

บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นการกำจักระแสฮาร์โมนิกในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วมด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ใช้ระบบควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมพีซีลอจิก ซึ่งตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีผู้วิจัยพัฒนางานวิจัยอย่างต่อเนื่อง ในบทนี้จึงเป็นการนำเสนอการสำรวจปรัทัศนัวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจักระแสฮาร์โมนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน เพื่อศึกษาความเป็นมาของระบบกำจักระแสฮาร์โมนิกด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน รวมถึงค้นคว้าองค์ความรู้ที่เป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัยวิทยานิพนธ์ โดยมีหัวข้อการนำเสนอดังนี้ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานจะนำเสนอในหัวข้อที่ 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานจะนำเสนอในหัวข้อที่ 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณตรวจจักระแสฮาร์โมนิกจะนำเสนอในหัวข้อที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานจะนำเสนอในหัวข้อที่ 2.5 และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานจะนำเสนอในหัวข้อที่ 2.6

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

จากข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน (Shunt Active Power Filter : SAPF) ตั้งแต่ในอดีต พบว่า โครงสร้างของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแส (Current Source Inverter : CSI) และวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter : VSI) โดยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานทั้ง 2 รูปแบบมีลักษณะโครงสร้าง รวมไปถึงมีคุณสมบัติในการใช้งานที่แตกต่างกัน ในหัวข้อนี้จึงนำเสนอานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาโครงสร้างของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานทั้ง 2 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 รวมไปถึงนำเสนอการสรุปเปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานทั้ง 2 รูปแบบดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนาน

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
1999	L. Benchaita, S. Saadate, and A. Salem nia	นำเสนอเกี่ยวกับการเปรียบเทียบโครงสร้างและคุณสมบัติระหว่างวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายกระแส และชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน จากผลการเปรียบเทียบ พบว่า วงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายแรงดันมีการทำงานที่ยืดหยุ่นกว่าวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายกระแส นอกจากนี้ วงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายแรงดันยังใช้แหล่งสะสมพลังงานเป็นตัวเก็บประจุซึ่งมีขนาดเล็กและมีราคาที่ถูกกว่าตัวเหนี่ยวนำซึ่งเป็นแหล่งสะสมพลังงานของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายกระแส
2006	Abdelaziz Zouidi, Farhat Fnaiech, and Kamal AL-Haddad	นำเสนอเกี่ยวกับโครงสร้างของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน และชนิดแหล่งจ่ายกระแสในระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟส การวิเคราะห์ห้วงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายแรงดันในระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟส รวมถึงการเปรียบเทียบสมรรถนะในการทำงานของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายกระแสและชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน จากผลการเปรียบเทียบ พบว่า วงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายแรงดันมีคุณสมบัติในเรื่องความไวในการตอบสนอง กำลังงานสูญเสีย ราคา และความยืดหยุ่นในการทำงานที่ดีกว่า

ตารางที่ 2.1 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนาน (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2009	Diyun WU, Yanbo CHE, and K.W.E CHENG	นำเสนอเกี่ยวกับโครงสร้างและการออกแบบวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายแรงดันสำหรับกำจัดฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสแบบสี่สาย รวมถึงนำเสนอผลการกำจัดฮาร์โมนิกด้วยวงจรรอกำลังแอกทีฟดังกล่าว จากผลการจำลองสถานการณ์ พบว่า วงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ออกแบบด้วยวิธีการที่นำเสนอสามารถกำจัดฮาร์โมนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2012	J. G. Pinto, Portugal, Bruno Exposto, Vitor Monteiro, L. F. C. Monteiro, Carlos Couto, and L. Afonso	นำเสนอการเปรียบเทียบการกำจัดฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสระหว่างการใช่วงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายแรงดันและชนิดแหล่งจ่ายกระแส โดยในการทดสอบเปรียบเทียบจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 กรณีตามชนิดโหลดของระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสที่ใช้ทดสอบ ได้แก่ โหลดตัวต้านทานอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ โหลดวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ที่มีโหลดตัวต้านทานอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ และโหลดวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ที่มีโหลดตัวต้านทานอนุกรมกับตัวเก็บประจุ ซึ่งผลการทดสอบทั้ง 3 กรณีโหลด พบว่า วงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานทั้ง 2 ชนิดมีสมรรถนะการกำจัดฮาร์โมนิกที่ดีใกล้เคียงกัน
2017	Mohamed J. M. A. Rasul, H.V.Khang, and Mohan Kolhe	นำเสนอระบบกำจัดฮาร์โมนิกที่กริดส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน รวมถึงนำเสนอผลการกำจัดฮาร์โมนิกที่กริดส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการจำลองสถานการณ์ พบว่า วงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ได้นำเสนอสามารถกำจัดฮาร์โมนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2.1 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2021	T. Trongjai, T. Narongrit, and K-L. Areerak	นำเสนอการเปรียบเทียบระหว่างการกำจัดฮาร์มอนิกที่ระบบไฟฟ้ากำลังสองเฟสและระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายแรงดันในระบบรางไฟฟ้า กระแสสลับแบบเฟสรวม จากผลการจำลองสถานการณ์ พบว่า การกำจัดฮาร์มอนิกที่ระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสมีประสิทธิภาพในการกำจัดฮาร์มอนิกที่ดีแต่จะกำจัดฮาร์มอนิกเฉพาะที่ระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสเท่านั้น ส่วนการกำจัดฮาร์มอนิกที่ระบบไฟฟ้ากำลังสองเฟสมีประสิทธิภาพการกำจัดฮาร์มอนิกที่ดีเช่นกันแต่สามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้ทั้งที่ระบบไฟฟ้ากำลังสองเฟสและระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟส โดยค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยมีค่าอยู่ภายใต้กรอบมาตรฐาน IEEE Std. 519-2014.
2021	S. Choudhury, D. P. Acharya and N. Nayak	นำเสนอเกี่ยวกับโครงสร้างและการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรกรองกำลังแอกทีฟชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน และชนิดแหล่งจ่ายกระแส นอกจากนี้ยังนำเสนอเกี่ยวกับข้อดี ข้อเสีย และรูปแบบการนำไปใช้งานของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ ประกอบไปด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรม วงจรกรองกำลังแบบไฮบริดจ์ และวงจรปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้ารวม (UPQC) รวมถึงสรุปข้อเสียและปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการใช้งานวงจรกรองกำลังแอกทีฟ แนวทางแก้ปัญหา และการพัฒนาในอนาคต

ตารางที่ 2.1 ทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนาน (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2021	N. Keerthi, A. Pandian and R. Dhanasekaran	นำเสนอเกี่ยวกับการจำแนกประเภทของวงจรรอกำลังแอกทีฟ โครงสร้างของวงจรรอกำลังแอกทีฟทั้งในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส และระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสรูปแบบต่าง ๆ รวมไปถึงการเปรียบเทียบคุณสมบัติวงจรรอกำลังแอกทีฟ ซึ่งมีการนำเสนอเนื้อหาของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานทั้งชนิดแหล่งจ่ายกระแส และชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน
2023	F. Zaro	นำเสนอเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าของกริดส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสามเฟส (11 kV, 50 Hz) ด้วยวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนาน โดยเลือกใช้วงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน เนื่องจากวงจรดังกล่าวสามารถใช้งานได้ดีในระบบที่มีกำลังไฟฟ้าสูง ไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันแรงดันเกิน รวมถึงมีกำลังสูญเสียที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายกระแส จากผลการทดสอบพบว่า วงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานสามารถช่วยลดค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายรวมถึงช่วยปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายกระแส และชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน

คุณสมบัติ	ชนิดของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนาน	
	ชนิดแหล่งจ่ายกระแส (CSI)	ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน (VSI)
1. ระบบไฟฟ้ากำลัง	1 เฟส, 3 เฟส	1 เฟส, 3 เฟส
2. หลักการทำงาน	ฉีดกระแสชดเชยเข้าจุดต่อร่วม (Point of Common Coupling : PCC) ของระบบไฟฟ้ากำลัง	จ่ายแรงดันผ่านตัวเหนี่ยวนำเพื่อสร้างกระแสชดเชยฉีดเข้าจุดต่อร่วม (Point of Common Coupling : PCC) ของระบบไฟฟ้ากำลัง
3. อุปกรณ์ที่ใช้	1 เฟส: 4 สวิตช์ / 4 ไดโอด 3 เฟส: 6 สวิตช์ / 6 ไดโอด	1 เฟส: 4 สวิตช์ / 4 ไดโอด 3 เฟส: 6 สวิตช์ / 6 ไดโอด
4. แหล่งสะสมพลังงาน	ตัวเหนี่ยวนำ	ตัวเก็บประจุ
5. ความเร็วในการตอบสนอง	ปานกลาง	เร็ว
6. ความซับซ้อนในการควบคุม	ซับซ้อนมาก	ซับซ้อนน้อย
7. กำลังสูญเสีย	มาก	น้อย
8. ราคาต้นทุน	สูง	ปานกลาง

จากผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายกระแส และชนิดแหล่งจ่ายแรงดันดังตารางที่ 2.2 งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้วงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานชนิดแหล่งจ่ายแรงดันเนื่องจากมีความยืดหยุ่นต่อการใช้งาน มีความไวในการตอบสนองที่ดี มีความซับซ้อนในการควบคุมที่น้อยกว่า และมีราคาต้นทุนที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังมีความเหมาะสมในการใช้งานกับระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟสซึ่งสอดคล้องกับระบบรางไฟฟ้าที่พิจารณาซึ่งเป็นระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วมที่มีลักษณะเป็นระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส 2 ฟังเชื่อมต่อกันผ่านหม้อแปลงเลอบลองค์ (le-blanc transformer)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนาน

วงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานที่มีโครงสร้างเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันมีค่าพารามิเตอร์ของวงจรที่จำเป็นต้องมีการออกแบบประกอบไปด้วย ค่าตัวเหนี่ยวนำ (L_f) ค่าตัวเก็บประจุ (C_{DC}) และค่าแรงดันบัสไฟตรง (V_{DC}) โดยค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวทั้งหมดจำเป็นต้องมีค่าที่เหมาะสมกับระบบที่พิจารณากำจัดฮาร์มอนิก เนื่องจากการใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลเสียถึงสมรรถนะในการกำจัดฮาร์มอนิกของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนาน ในหัวข้อนี้จึง

นำเสนอผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนานดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนาน

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
1997	D.M.E.Ingram, S.D. Round	นำเสนอการออกแบบวงจรรอกกำลังแอกทีฟที่ควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮีสเทอรีซิส โดยอาศัยค่าความชันของกระแสชดเชยในการออกแบบขอบเขตสูงสุดของค่าตัวเหนี่ยวนำของวงจรรอกกำลังแอกทีฟ จากนั้นนำค่าตัวเหนี่ยวนำที่ออกแบบร่วมกับแรงดันบัสไฟตรง และค่าความถี่สวิตช์ในการคำนวณค่าแถบฮีสเทอรีซิส
1998	T. Thomas, K. Haddad, G. Joos, and A. Jaafari	นำเสนอการออกแบบค่าตัวเก็บประจุของวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนาน รวมถึงขอบเขตของค่าแรงดันกระแสเฟรมในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส และระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสสมดุลและไม่สมดุล โดยในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟสควรมีค่าไม่เกิน 2% ของค่าแรงดันบัสไฟตรง
2010	T. Narongrit, K-L. Areerak, and K-N. Areerak	นำเสนอการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮีสเทอรีซิสด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm : GA) ซึ่งเป็นวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ประกอบไปด้วย ค่าตัวเหนี่ยวนำ ค่าแรงดันบัสไฟตรง และค่าแถบฮีสเทอรีซิส โดยวิธีดังกล่าวอาศัยวิธีเชิงพันธุกรรมในการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนานและระบบควบคุมกระแสชดเชยที่เหมาะสม ผลจากการทดสอบ พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่ออกแบบด้วยวิธี GA สามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยลดลงอยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE Std. 519-1992.

ตารางที่ 2.3 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2018	A.H. Budhrani, K.J. Bhayani, A.R. Pathak	ส่วนหนึ่งของงานวิจัยนำเสนอการออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานทั้งหมด 4 วิธี และการออกแบบตัวเก็บประจุของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานทั้งหมด 4 วิธี โดยแต่ละวิธีการออกแบบจะพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ในระบบที่พิจารณาที่แตกต่างกัน เช่น ค่ากำลังรีแอกทีฟที่โหลด ค่าพลังงานสูงสุดของตัวเก็บประจุ ค่ากระแสพลั่ว ค่าแรงดันบัลไฟตรง และค่าความถี่สวิตช์ เป็นต้น
2020	T. Trongjai, T. Narongrit, and K-L. Areerak	นำเสนอการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานและระบบควบคุมสำหรับกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสรวม ซึ่งประกอบด้วย ค่าตัวเหนี่ยวนำจะออกแบบโดยใช้วิธีของ D. M. E. Ingram and S. D. Round ค่าตัวเก็บประจุ และค่าแรงดันบัลไฟตรงจะออกแบบโดยใช้วิธีของ T. Thomas และ การออกแบบระบบควบคุมจะออกแบบร่วมกับตัวควบคุมพีไอ ผลจากการจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป พบว่า ค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟและระบบควบคุมมีความเหมาะสม ส่งผลให้วงจรกรองกำลังแอกทีฟร่วมกับระบบควบคุมสามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยมีค่าลดลงอยู่ภายใต้กรอบมาตรฐาน IEEE Std. 519-2014.

ตารางที่ 2.3 ปรัชญารวบรวมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2021	S. Waosungnern T. Narongrit, and K-L. Areerak	นำเสนอการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสำหรับกำจัดฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส โดยการออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานจะออกแบบโดยใช้วิธีของ D. M. E. Ingram and S. D. Round สำหรับตัวเก็บประจุของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานรวมถึงค่าแรงดันปัสไฟตรงจะออกแบบด้วยวิธีของ T. Thomas โดยผลของการจำลองสถานการณ์การจัดฮาร์โมนิก พบว่า วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสามารถกำจัดฮาร์โมนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยมีค่าลดลงอยู่ภายใต้กรอบมาตรฐาน IEEE Std. 519-2014.
2023	A. Umadevi, L. Lakshminarasim man, and A. Sakthivel	นำเสนอการออกแบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานเพื่อกำจัดอินเตอร์ฮาร์โมนิก (interharmonic) ที่เกิดขึ้นในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยส่วนหนึ่งของงานวิจัยนำเสนอการออกแบบค่าตัวเก็บประจุของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานโดยอาศัยการพิจารณาทฤษฎีการไหลของกำลังขณะหนึ่ง

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานดังแสดงในตารางที่ 2.3 พบว่า การออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานเป็นการออกแบบโดยอาศัยการคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของระบบที่พิจารณา เช่น วิธีของ D.M.E. Ingram and S.D. Round และวิธีของ T. Thomas นอกจากนี้ยังมีการออกแบบที่อาศัยการนำวิธีทางปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับระบบที่พิจารณาด้วยเช่นกัน โดยในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้วิธีการออกแบบค่า L_f ด้วยวิธีของ D.M.E. Ingram and S.D. Round สำหรับค่า C_{DC} และ V_{DC} จะเลือกออกแบบด้วยวิธีของ T. Thomas เนื่องจากทั้งสามวิธีดังกล่าวมีขั้นตอนการคำนวณในการออกแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อนและมีความยืดหยุ่นในการออกแบบ

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกสำหรับใช้งานร่วมกับ วงจรกรองกำลังแอกทีฟ

การคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกเป็นหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญในระบบกำลังการจัดฮาร์มอนิกด้วย วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน โดยมีหน้าที่ในการคำนวณตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกเพื่อใช้เป็น กระแสอ้างอิงสำหรับการชดเชยให้กับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน ซึ่งความถูกต้องของการคำนวณ ตรวจจับจะส่งผลต่อสมรรถนะในการกำจัดฮาร์มอนิกของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานโดยตรง ในหัวข้อนี้จึงนำเสนอผลการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีต่าง ๆ ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ประวัติวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิก

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
1984	H. Akagi, Y. Kanazawa, and A. Nabae	นำเสนอการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีทฤษฎีกำลังรีแอกทีฟ ขณะหนึ่ง (instantaneous reactive power theory) หรือวิธี PQ สำหรับใช้เป็นกระแสอ้างอิงให้กับวงจรกรองกำลังแอกทีฟเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังในระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสแบบสมดุล
1988	Takeda, Ikeda, Teramoto, and Aritsuka	นำเสนอการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีแกนหมุนดีคิว (DQ axis) หรือวิธี DQ สำหรับใช้เป็นกระแสอ้างอิงให้กับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานเพื่อกำจัดกระแสฮาร์มอนิก ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง และชดเชยกระแสโหลดให้มีลักษณะสมดุล
2003	J. Barros and E. Perez	นำเสนอการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส ด้วยวิธีตัวกรองคาลมาน (kalman filter) หรือวิธี KF จากผลการจำลองสถานการณ์ พบว่า วิธีดังกล่าวช่วยเพิ่มสมรรถนะในการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกให้กับวงจรกรองกำลังแอกทีฟ นอกจากนี้ยังช่วยชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนเฟสขององค์ประกอบฮาร์มอนิกอีกด้วย
2009	B. Han	นำเสนอเกี่ยวกับตัวควบคุมดิจิทัลที่พัฒนาขึ้นใหม่บนบอร์ด DSP รุ่น TMS320vc33 โดยใช้การคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (fast fourier transform) หรือวิธี FFT ซึ่งมีการพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของฮาร์มอนิกในแต่ละอันดับ จากผลการทดสอบการกำจัดฮาร์มอนิก พบว่า ตัวควบคุมดิจิทัลที่พัฒนาขึ้นร่วมกับวงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2.4 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิก (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2010	P. Santiprapan, K-L. Areerak	นำเสนอเกี่ยวกับการพัฒนาสมรรถนะในการคำนวณตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกด้วยวิธีกรอบอ้างอิงซิงโครนัส (synchronous reference frame) หรือวิธี SRF โดยพิจารณาในระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟส จากการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิก พบว่าการใช้วงจรกรองแบบความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter : LPF) ที่พิจารณา (อันดับ 3, ความถี่ตัดเท่ากับ 56 Hz) ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฮาร์มอนิกที่ดีโดยที่กระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยอยู่ภายใต้กรอบมาตรฐาน IEEE Std. 519-1992.
2014	S.Tiyarachakun, K-L. Areerak, and K-N. Areerak	นำเสนอการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีทฤษฎีกำลังรีแอกทีฟขณะหนึ่งร่วมกับการวิเคราะห์ฟูรีเยร์แบบวินโดว์เลื่อน (instantaneous power theory with sliding window with fourier analysis) หรือวิธี PQF โดยพิจารณาในระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสสมดุลและสามเฟสไม่สมดุล จากผลการทดสอบ พบว่าวิธี PQF สามารถคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกได้ดีกว่าวิธี PQ ทั้งในระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสสมดุลและระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสไม่สมดุล
2016	Mouna Tail, Ahmed Essadki, and Tamou Nasser	นำเสนอการกำจัดฮาร์มอนิกในสภาวะโหลดไม่สมดุลด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน โดยเปรียบเทียบการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกระหว่างวิธี PQ และวิธีการคำนวณตรวจจับซิงโครนัส (synchronous detection) หรือวิธี SD จากผลการจำลองสถานการณ์ เปรียบเทียบการกำจัดฮาร์มอนิก พบว่าที่สภาวะโหลดไม่สมดุลวิธี SD มีสมรรถนะการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกที่ดีกว่าวิธี PQ

ตารางที่ 2.4 ทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิก (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2017	Anand Panchbhai, Nikunj Prajapati, and Shreya Parmar	นำเสนอการเปรียบเทียบการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกสำหรับใช้เป็นกระแสดำเนินการของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานระหว่างการใช้วิธี PQ และวิธี DQ จากผลการทดสอบ พบว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ใช้ทั้ง 2 วิธีการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกสามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังรวมไปถึงการชดเชยกำลังรีแอกทีฟได้อีกด้วย โดยกรณีที่วิธี DQ จะให้ผลที่ดีกว่ากรณีที่วิธี PQ
2018	M. Padungsin, T. Narongrit, and K-L. Areerak	นำเสนอการเปรียบเทียบการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี PQ วิธี SRF และวิธีการวิเคราะห์ฟูริเยร์แบบวินโดว์เลื่อน (sliding window with fourier analysis) หรือวิธี SWFA โดยผลการจำลองสถานการณ์การคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟสที่มีโหลดตัวต้านทานอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ ผลจากการจำลองสถานการณ์ พบว่า วิธี SWFA มีสมรรถนะในการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกดีที่สุด อย่างไรก็ตามวิธี PQ และวิธี SRF ก็ยังมีสมรรถนะในการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกที่ดีเช่นกัน
2018	T. Narongrit, P. Santiprapan, and S. Janpong	นำเสนอการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี SD ร่วมกับการวิเคราะห์ฟูริเยร์วินโดว์เลื่อน หรือวิธี SDFA สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟสสำหรับใช้เป็นกระแสดำเนินการให้กับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานโดยในการทดสอบการกำจัดฮาร์มอนิกจะแบ่งออกเป็น 2 กรณีโหลด คือ วงจรเรียงกระแสที่มีโหลดตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ และวงจรเรียงกระแสที่มีโหลดตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำที่ขนานกับตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ โดยผลการทดสอบ พบว่า วิธี SDFA มีสมรรถนะในการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกที่ดีกว่าวิธี SD

ตารางที่ 2.4 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิก (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2019	C. panpean, K-L. Areerak, K-N. Areerak, S. Udomsuk, and P. Santiprapan	นำเสนอการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกในระบบแรงไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสรวมกรณีแหล่งจ่ายแรงดันมีฮาร์มอนิกปะปนด้วยวิธีทฤษฎีกำลังรีแอกทีฟขณะหนึ่งร่วมกับวิธีการตรวจจับแรงดันลำดับเฟสบวกมูลฐาน (วิธี PQ และ PSVD) ผลจากการจำลองสถานการณ์ พบว่า เมื่อเกิดฮาร์มอนิกปะปนที่แหล่งจ่ายแรงดันวิธี PQ แบบดั้งเดิมจะเกิดการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกที่ผิดพลาดแต่วิธี PQ และ PSVD ยังสามารถคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกได้อย่างถูกต้อง ส่งผลให้วงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถกำจัดฮาร์มอนิก ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีค่า %THD ภายหลังการชดเชยของกระแสที่แหล่งจ่ายมีค่าลดลงอยู่ภายใต้กรอบมาตรฐาน IEEE Std. 519-2014.
2022	M. Jyothi Kumar and K. Varalakshmi	นำเสนอเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานในระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟส โดยพิจารณาใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่มีการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic : PV) ซึ่งมีการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี PQ จากผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิก พบว่า วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถลดค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายจาก 15.82% เหลือ 1.73%

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกดังตารางที่ 2.4 พบว่า ปัจจุบันมีวิธีการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกอยู่หลายวิธีที่นิยมใช้ ได้แก่ วิธีทฤษฎีกำลังรีแอกทีฟขณะหนึ่ง (PQ) วิธีกรอบอ้างอิงซิงโครนัส (SRF) วิธีตรวจจับซิงโครนัส (SD) วิธีแกนหมุนดีคิว (DQ) วิธีตัวกรองคาลมาน (KF) และวิธีการวิเคราะห์ฟูริเยร์แบบวินโดว์เลื่อน (SWFA) นอกจากนี้บางวิธีที่กล่าวมายังมีการปรับปรุงพัฒนาให้มีสมรรถนะในการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกที่ดียิ่งขึ้น เช่น วิธี PQF วิธี DQF และวิธี SDFA โดยในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้วิธีทฤษฎีกำลังรีแอกทีฟขณะหนึ่ง หรือวิธี PQF เนื่องจากวิธีดังกล่าวมีการคำนวณที่ง่ายไม่ซับซ้อน และมีสมรรถนะในการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกที่ดีเพียงพอ นอกจากนี้วิธีดังกล่าวยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกในระบบแรงไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสรวมให้สามารถคำนวณตรวจจับ

ฮาร์มอนิกได้พร้อมกันทั้ง 2 เฟส (เฟส M และเฟส T) ด้วยบล็อกการคำนวณเพียงบล็อกเดียวได้อีกด้วย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกระแสชดเชยของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนาน

เพื่อให้วงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานสามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นจะต้องมีการควบคุมกระแสชดเชยที่ดีเพื่อควบคุมการฉีดกระแสชดเชยให้มีลักษณะคล้ายตามกับกระแสอ้างอิงที่ได้จากการคำนวณตรวจสอบฮาร์มอนิก โดยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการนำเสนอวิธีการควบคุมกระแสชดเชยของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานเป็นจำนวนมาก ซึ่งการควบคุมกระแสชดเชยแต่ละแบบจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป ในหัวข้อนี้จึงนำเสนอผลการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกระแสชดเชยของวงจรรอกำลังแอกทีฟด้วยวิธีต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปฏิทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกระแสชดเชยของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนาน

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
1998	Simone Buso, Luigi Malesani, and Paolo Mattavelli,	นำเสนอการทดสอบเปรียบเทียบการควบคุมกระแสชดเชย 2 วิธี คือ วิธีเดดบิต (deadbeat) และวิธีฮิสเทอรีซิส (hysteresis) โดยผลจากการทดสอบ พบว่า วิธีฮิสเทอรีซิสมีประสิทธิภาพในการควบคุมกระแสชดเชยได้ดีที่สุด
2004	A. Hamadi, K. Al-Haddad, P.J. Lagace, and A. Chandra	นำเสนอการทดสอบเปรียบเทียบตัวควบคุมกระแสชดเชย 2 ชนิด ได้แก่ ตัวควบคุมพีไอ (PI controller) และตัวควบคุมฟัซซีลอจิก (fuzzy logic controller) โดยผลจากการทดสอบเปรียบเทียบ พบว่า ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าตัวควบคุมพีไอ โดยให้ค่า %THD ภายหลังการชดเชยที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังมีการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงที่ดีกว่าและการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดที่ไวกว่าตัวควบคุมพีไออีกด้วย

ตารางที่ 2.5 ปรัชณัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2009	L. Limongi, M. Signh, A. Chandra, And B. Singh	นำเสนอเกี่ยวกับการเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุมกระแสชดเชยของตัวควบคุม 4 วิธี ได้แก่ ตัวควบคุมพีไอ ตัวควบคุมสัดส่วนร่วมกับเรโซแนนซ์ (resonance) ตัวควบคุมเดดบิต และตัวควบคุมทำซ้ำ (repetitive controller) โดยผลการทดสอบด้วยวิธีทางดิจิทัล พบว่า ตัวควบคุมทั้ง 4 วิธีให้สมรรถนะการควบคุมกระแสชดเชยที่ใกล้เคียงกัน
2009	Hong Qiu, Yin Zhongdong, Liu Qiao, and Shan Renzhong	นำเสนอการกำจัดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิส โดยผลการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม PSCAD/EMTDC พบว่า วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่นำเสนอมีสมรรถนะในการกำจัดฮาร์มอนิกที่ดี
2011	Nitin Gupta, S. P. Singh, and S. P. Dubey	นำเสนอการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมพีซีแอลจิกและตัวควบคุมพีไอของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน ซึ่งผลจากการทดสอบเปรียบเทียบ พบว่า ตัวควบคุมพีซีแอลจิกมีการตอบสนองในสภาวะชั่วคราวและสมรรถนะในการกำจัดฮาร์มอนิกที่ดีกว่าตัวควบคุมพีไอ โดยสามารถลดค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยให้อยู่ภายใต้กรอบมาตรฐาน IEEE Std. 519-2014.
2011	Wada Hosny, Han-Eol Park, and Joong-Ho Song	นำเสนอการกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่มีการควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฮีสเตอร์ซิส และควบคุมแรงดันบัสไฟตรงด้วยตัวควบคุมพีไอ ผลจากการจำลองสถานการณ์ พบว่า วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสามารถกำจัดฮาร์มอนิก ได้อย่างมีประสิทธิภาพส่งผลให้ค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายลดลงจาก 21.00% เหลือเพียง 3.40% นอกจากนี้ยังช่วยเรื่องการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้ดีขึ้นอีกด้วย

ตารางที่ 2.5 ปรัชณัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกระแสชดเชยของวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนาน (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2015	T. Narongrit, K-L. Areerak, and K-N. Areerak	นำเสนอการควบคุมกระแสชดเชยของวงจรรอกกำลังแอกทีฟด้วยตัวควบคุมพีซีลอจิก โดยมีการออกแบบตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกด้วยวิธีการใหม่ โดยพิจารณาจากค่าความผิดพลาดสูงสุดที่เกิดขึ้น ผลการจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูปพบว่า ตัวควบคุมพีซีลอจิกที่นำเสนอมีสมรรถนะในการกำจัดฮาร์มอนิกที่ดีรวมถึงสามารถปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสสมดุลให้ดีขึ้น
2020	M. Padungsin, T. Narongrit, and K-L. Areerak	นำเสนอการเปรียบเทียบตัวควบคุมกระแสชดเชยของวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนานสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส โดยเปรียบเทียบตัวควบคุมกระแสชดเชย 3 ชนิด ได้แก่ ตัวควบคุมพีไอ ตัวควบคุมฮิสเตอร์ซิส และตัวควบคุมทำนาย (predictive controller) โดยผลจากการทดสอบเปรียบเทียบด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป พบว่า ตัวควบคุมทั้ง 3 ชนิดมีสมรรถนะในการควบคุมกระแสชดเชยที่ดีทั้งช่วงก่อนเปลี่ยนแปลงโหลดและภายหลังการเปลี่ยนแปลงโหลด ส่งผลให้ %THD ของกระแสที่แหล่งภายหลังการชดเชยลดลงอยู่ภายใต้กรอบมาตรฐาน IEEE Std. 519-2014. โดยตัวควบคุมทำนายจะให้ค่าที่น้อยที่สุด
2022	M. Pichan, M. Seyyedhosseini, and H. Hafezi	นำเสนอระบบควบคุมกระแสชดเชยของวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนานด้วยตัวควบคุมเดดบิตแบบใหม่ที่มีการควบคุมกำลังโดยตรง (Direct Power Control : DPC) โดยผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้าสามเฟส พบว่าตัวควบคุมที่นำเสนอมีสมรรถนะในการควบคุมกระแสชดเชยที่ดีส่งผลให้วงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบขนานสามารถกำจัดฮาร์มอนิก ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยค่า %THD ของกระแสที่แหล่งภายหลังการชดเชยลดลงจาก 22.00% ลดลงเหลือ 3.00%

ตารางที่ 2.5 ปรัชญารรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกระแสชดเชยของวงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2022	M. Pichan, M. Seyyedhosseini, and H. Hafezi	นำเสนอระบบควบคุมกระแสชดเชยของวงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนานด้วยตัวควบคุมเดดบิตแบบใหม่ที่มีการควบคุมกำลังโดยตรง (Direct Power Control : DPC) โดยผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกในระบบแรงไฟฟ้าสามเฟส พบว่าตัวควบคุมที่นำเสนอมีสมรรถนะในการควบคุมกระแสชดเชยที่ดีส่งผลให้วงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสามารถกำจัดฮาร์มอนิก ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายหลังการชดเชยลดลงจาก 22.00% ลดลงเหลือ 3.00%

จากผลสำรวจข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกระแสชดเชยดังตารางที่ 2.5 พบว่าตัวควบคุมกระแสชดเชยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ ตัวควบคุมกระแสแบบเชิงเส้น (linear control) ได้แก่ ตัวควบคุมพีไอ ตัวควบคุมเดดบิต ตัวควบคุมทำซ้ำ และตัวควบคุมแบบทำนาย เป็นต้น และตัวควบคุมกระแสแบบไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear control) ได้แก่ ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก และตัวควบคุมฮิสเตอร์ซิส เป็นต้น โดยในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้ตัวควบคุมพีไอในการศึกษากระบวนการทำงานของระบบกำจัดฮาร์มอนิกก่อนในเบื้องต้น เนื่องจากตัวควบคุมดังกล่าวมีขั้นตอนการออกแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อน จากนั้นจะเลือกใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกในการพัฒนาสมรรถนะการควบคุมของระบบควบคุมกระแสชดเชยต่อไป เนื่องจากตัวควบคุมดังกล่าวมีจุดเด่นในการใช้งานในระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น ไม่จำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่พิจารณา นอกจากนี้ยังสามารถรองรับระบบที่มีหลายอินพุตได้ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในระบบควบคุมกระแสชดเชยของวงจรรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงของวงจรรอกำลัง แอททิฟแบบขนาน

ในระบบกําลังจัดฮาร์โมนิกด้วยวงจรรอกำลังแอททิฟแบบขนานจำเป็นจะต้องมีการรักษา
ระดับแรงดันบัลไฟตรง (V_{DC}) ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุซึ่งเป็นแหล่งสะสมพลังงานของวงจรรอกำลัง
แอททิฟแบบขนานให้มีระดับแรงดันที่เหมาะสมตามที่ได้ออกแบบไว้ตลอดระยะเวลาที่ทำงานเนื่องจาก
ระดับแรงดันบัลไฟตรงที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลเสียถึงสมรรถนะในการกําลังจัดฮาร์โมนิกของวงจรรอก
กำลังแอททิฟแบบขนาน โดยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการนำเสนอการควบคุมแรงดันบัลไฟตรง
เป็นจำนวนมากโดยผลการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงของวงจรรอก
กำลังแอททิฟแบบขนานสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแรงดันบัลไฟตรง

ปีที่ ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
1998	B. Singh, Anuradha, D.P. Kothari, and A. Chandra A. CHAOUI	นำเสนอการเปรียบเทียบการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงของวงจร รอกำลังแอททิฟแบบขนานในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส โดยมี การทดสอบเปรียบเทียบการควบคุม 3 วิธี ได้แก่ วิธีพีไอ (PI) วิธีโครงสร้างตัวแปรแรงดันไฟฟ้า (VSC) และวิธีการควบคุมแบบ สมดุลพลังงาน จากผลการทดสอบ พบว่า ทั้ง 3 วิธีมีสมรรถนะใน การควบคุมแรงดันบัลไฟตรงที่ดีทั้งช่วงก่อนมีการเปลี่ยนแปลง โหลดและภายหลังการเปลี่ยนแปลงโหลด
2007	A. Chaoui, J. P. Gaubert, F. Krim, and G. Champenois	ส่วนหนึ่งของบทความกล่าวถึงระบบควบคุมแรงดันบัลไฟตรง ของวงจรรอกำลังแอททิฟแบบขนานด้วยตัวควบคุมพีไอ (PI controller) โดยนำเสนอบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุม แรงดันบัลไฟตรง รวมไปถึงการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ ควบคุมพีไอดีด้วยวิธีประมาณด้วยการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์
2010	Ilhami Colak, Ramazan Bayindir, Orhan Kaplan, And Ferhat Tas	นำเสนอการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงของวงจรรอกำลังแอททิฟ แบบขนานสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟสด้วยตัวควบคุม พีซีลอจิก โดยผลจากการทดสอบ พบว่า ตัวควบคุมพีซีลอจิก มีสมรรถนะในการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงที่ดีเพียงพอ นอกจากนี้ ตัวควบคุมดังกล่าวยังมีการออกแบบที่เรียบง่ายไม่ซับซ้อน

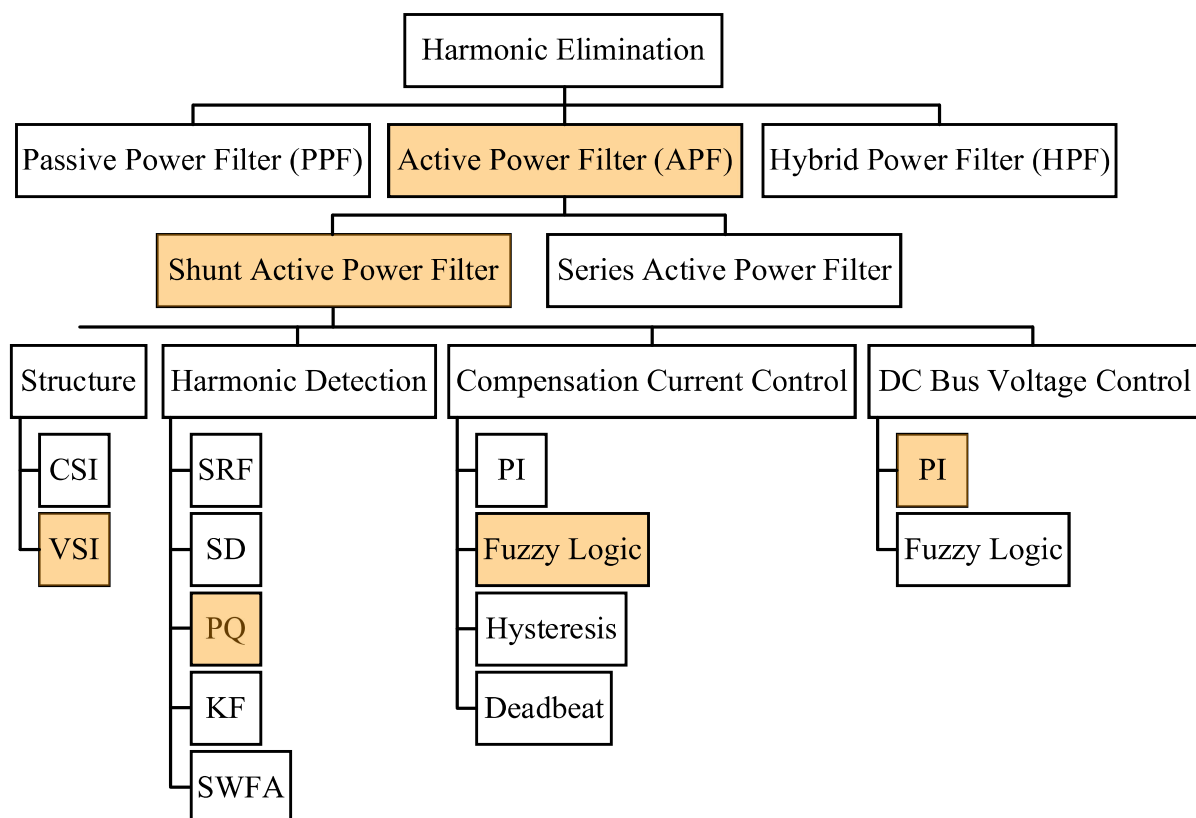
ตารางที่ 2.6 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแรงดันบัลไฟตรง (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2010	Z. Shu, S. Xie, and Q. Li	ส่วนหนึ่งของบทความนำเสนอการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงด้วยตัวควบคุมพีไอของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานแบบแบ็คทูแบ็คที่มีตัวเก็บประจุเป็นแหล่งสะสมพลังงานร่วมกันในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสรวม (1 เฟสจำนวน 2 ชุด) โดยใช้ตัวควบคุมเพียงตัวเดียว
2016	Atiqi Mohd Zainuri, Mohd Radzi, and al.	นำเสนอการเปรียบเทียบการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานระหว่างตัวควบคุมพีไอ และตัวควบคุมพีซีลอจิกจากผลการทดสอบเปรียบเทียบ พบว่าตัวควบคุมทั้งสองสามารถควบคุมแรงดันบัลไฟตรงให้มีค่าเท่ากับค่าแรงดันบัลไฟตรงที่กำหนดไว้ โดยตัวควบคุมพีซีลอจิกจะเกิดการพุ่งเกิน (overshoot) ที่น้อยกว่าตัวควบคุมพีไอ
2019	S. Janpong, T. Narongrit, M. Puangpool, And N. Suthikarnnarunai	นำเสนอการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานด้วยตัวควบคุมโครงข่ายประสาทเชิงเส้นแบบปรับตัว (adaptive linear neural network : ADALINE) โดยผลจากการจำลองสถานการณ์ พบว่า ตัวควบคุมดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงที่ดี สามารถควบคุมแรงดันบัลไฟตรงให้มีค่าเท่ากับค่าแรงดันบัลไฟตรงอ้างอิง ส่งผลให้วงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนานสามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายมีค่าลดลงรวมไปถึงสามารถปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้ดียิ่งขึ้น
2024	A. Annamalaichamy, P. W. David, P. K. Balachandran and I. Colak	นำเสนอการเปรียบเทียบระหว่างการใช้ตัวควบคุมพีไอ และตัวควบคุมพีซีลอจิกในการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบขนาน สำหรับการทดสอบเปรียบเทียบจะพิจารณา 2 กรณี คือ กรณีที่ใช้โหลดวงจรเรียงกระแสที่มีโหลดตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ และกรณีที่ใช้โหลดวงจรเรียงกระแสที่มีโหลดตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ โดยผลจากการทดสอบ พบว่า ตัวควบคุมทั้ง 2 ชนิดให้ผลการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงที่ดี แต่ตัวควบคุมพีซีลอจิกจะมีการตอบสนองที่ไวกว่า เกิดการพุ่งเกินที่น้อยกว่า รวมไปถึงให้ค่า %THD ของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยที่น้อยกว่าตัวควบคุมพีไอ

จากการค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแรงดันบัลไฟตรงดังตารางที่ 2.6 พบว่า ตัวควบคุมแรงดันบัลไฟตรงที่นิยมใช้ คือ ตัวควบคุมพีไอ และตัวควบคุมพีซีลอจิก อย่างไรก็ตามในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้ตัวควบคุมพีไอในการควบคุมแรงดันบัลไฟตรง เนื่องจาก ค่าแรงดันบัลไฟตรงมีลักษณะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าคงที่ ซึ่งตัวควบคุมพีไอมีสมรรถนะในการควบคุมค่าแรงดันในลักษณะดังกล่าวได้ดีเพียงพอ นอกจากนี้ตัวควบคุมพีไอยังมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนทำให้ง่ายต่อการออกแบบ

2.7 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับการกำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรรอกำลึงแอกทีฟแบบขนาน ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างของวงจรรอกำลึงแอกทีฟแบบขนาน การออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรรอกำลึงแอกทีฟแบบขนาน การคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิก ระบบควบคุมกระแสชดเชยของวงจรรอกำลึงแอกทีฟแบบขนาน และระบบควบคุมแรงดันบัลไฟตรงของวงจรรอกำลึงแอกทีฟแบบขนาน ซึ่งปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้นำเสนอในแต่ละหัวข้อที่เกี่ยวข้องจะเป็นความรู้พื้นฐานที่สำคัญสำหรับผู้วิจัยในการทำงานวิทยานิพนธ์ รวมถึงการวิจัยและพัฒนากำจัดฮาร์มอนิกด้วยวงจรรอกำลึงแอกทีฟแบบขนานในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสรวมให้ดียิ่งขึ้น โดยผลการสำรวจงานวิจัยดังกล่าวสามารถสรุปแผนภาพได้ดังรูปที่ 2.1 โดยในส่วนที่ไฮไลต์ คือ วิธีการที่ได้เลือกใช้สำหรับงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้



VSI : Voltage Source Inverter

CSI : Current Source Inverter

SRF : Synchronous Reference Frame

SWFA : Sliding Window with Fourier Analysis

SD : Synchronous Detection

PQ : Instantaneous Reactive Power

KF : Kalman Filter

PI :Proportional Integral

รูปที่ 2.1 แผนภาพสรุปผลการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรม