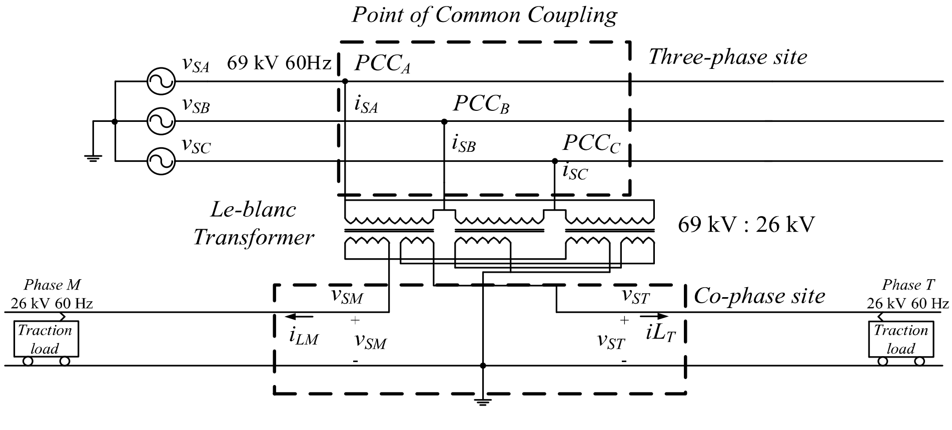
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

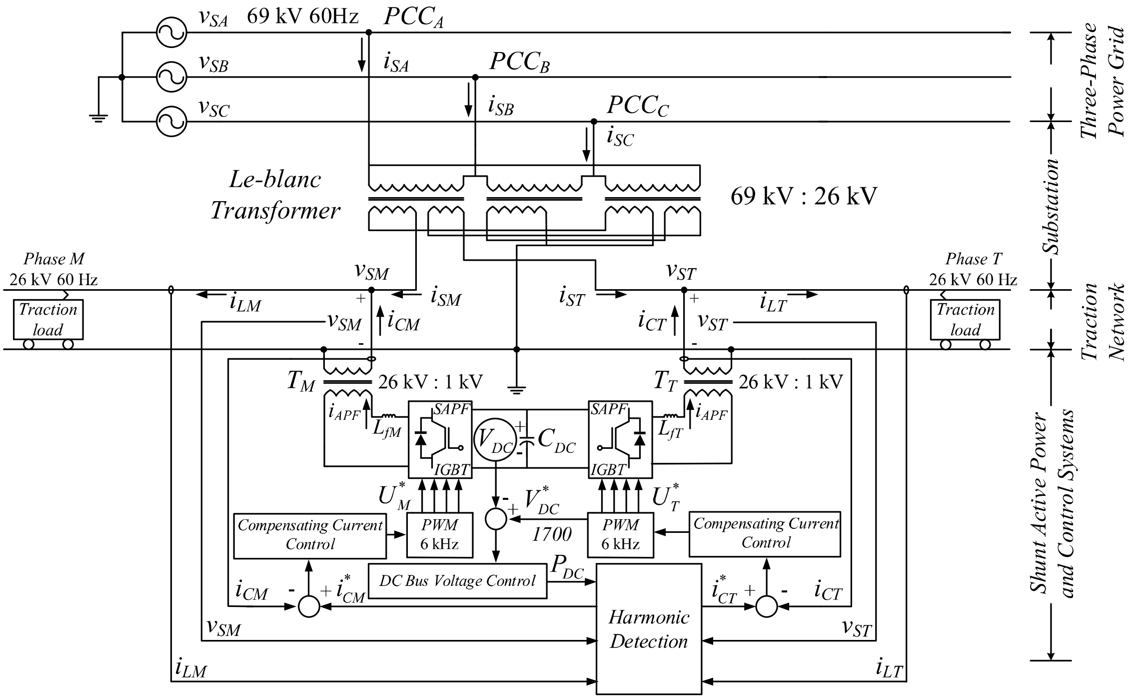
ปัจจุบันทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศมีการใช้งานระบบรางไฟฟ้าอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นประเภทความเร็วปานกลาง (Medium-Speed Rail : MSR) หรือประเภทความเร็วสูง (High-Speed Rail : HSR) ทั้งเพื่อการขนส่งสินค้าและการขนส่งมวลชน เนื่องจากเป็นระบบขนส่งที่มีประสิทธิภาพและความปลอดภัยสูงเมื่อเทียบกับการขนส่งประเภทอื่น ๆ ระบบรางไฟฟ้าสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทหลัก คือ ระบบรางไฟฟ้ากระแสตรง (DC electric railway systems) และระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับ (AC electric railway systems) โดยในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับจะแบ่งย่อยเป็นประเภทระบบหนึ่งเฟส (single-phase power supply systems) และระบบสองเฟส หรือที่เรียกว่าระบบเฟสร่วม (co-phase power supply systems) (Z. Shu and et al ., 2011) ในส่วนของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับรถไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ ระบบสายส่งเหนือศีรษะ (overhead catenary) ระบบรางที่สาม (third rail) และระบบรางที่สี่ (fourth rail) โดยในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วมที่มีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยระบบสายส่งเหนือศีรษะเนื่องจากมีสัดส่วนในการใช้งานเป็นจำนวนมาก ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าจำเป็นจะต้องมีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบรางเพื่อจ่ายให้กับโหลดที่สำคัญ ได้แก่ มอเตอร์ขับเคลื่อนรถไฟฟ้า วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์เพื่อควบคุมความเร็วของรถไฟ นอกจากนี้ยังมีโหลดเสริมสำหรับอำนวยความสะดวกประเภทอื่น ๆ ที่ใช้ภายในรถไฟฟ้า ได้แก่ อุปกรณ์แสงสว่าง และเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น ซึ่งโหลดทั้งหมดที่กล่าวมามีพฤติกรรมการทำงานที่ไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear load) ส่งผลทำให้เกิดฮาร์มอนิกขึ้นในระบบรางไฟฟ้า และก่อให้เกิดผลเสียต่าง ๆ ตามมา ได้แก่ การเกิดสัญญาณรบกวนในระบบการสื่อสาร ระบบอาณัติสัญญาณ และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ การเกิดกำลังสูญเสียที่สายส่ง ความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้ามีค่าลดลง (A. Luo and et al., 2011) ทำให้เกิดการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ป้องกันและรีเลย์ (Z. He, Z. Zheng and H. Hu., 2016) ตัวเก็บประจุและอุปกรณ์แสงสว่างมีอายุการใช้งานสั้นลง เกิดกำลังสูญเสียและความร้อนขึ้นที่มอเตอร์ เกิดกำลังสูญเสียและความร้อนที่หม้อแปลงไฟฟ้า นอกจากนี้ยังส่งผลเสียถึงคุณภาพกำลังไฟฟ้าในภาพรวมอีกด้วย

จากผลเสียทั้งหมดที่กล่าวมาทำให้การกำจัดฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบรางไฟฟ้าเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างมาก ในปัจจุบันมีวิธีการกำจัดฮาร์มอนิกที่นิยมใช้อยู่ 3 วิธี คือ การใช้วงจรกรองกำลังพาสซีฟ (passive power filter) (H. Hu, Z. He and S. Gao., 2015) การใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟ (active power filter) (L. Wu and W. Mingli., 2017) และการใช้วงจรกรองกำลังแบบไฮบริดจ์ (hybrid power filter) (S. Senini and P. J. Wolfs., 2000) ซึ่งในแต่ละวิธีจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไป โดยในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะมุ่งเน้นการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกโดยใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน (Shunt Active Power Filter : SAPF) เนื่องจากวิธีดังกล่าวสามารถให้ประสิทธิผลในการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกที่ดี มีความยืดหยุ่นในการทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ และไม่ประสบปัญหาเรโซแนนซ์ (M. Izhar and et al., 2004) การกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสามารถเลือกจุดพิจารณาในการกำจัดฮาร์มอนิกได้ 2 ตำแหน่ง คือ ที่ระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟส (three-phase side) ที่ฝั่งแรงสูงของหม้อแปลงระบบรางไฟฟ้า (traction transformer) ซึ่งเป็นตำแหน่งจุดต่อร่วม (Point of Common Coupling : PCC) และระบบไฟฟ้ากำลังสองเฟสที่ฝั่งแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นระบบเฟสร่วม (co-phase side) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 โดยในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้เลือกพิจารณากำจัดฮาร์มอนิกที่ระบบไฟฟ้ากำลังสองเฟสฝั่งแรงต่ำของหม้อแปลงเนื่องจากการกำจัดฮาร์มอนิกที่ฝั่งแรงต่ำจะส่งผลให้สามารถกำจัดฮาร์มอนิกที่ฝั่งแรงสูงได้ด้วยและสามารถลดการเกิดกำลังสูญเสียที่หม้อแปลงเลอบลองค์ นอกจากนี้อุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานจะมีขนาดพิกัดที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการพิจารณากำจัดฮาร์มอนิกที่ฝั่งแรงสูงซึ่งเป็นการลดต้นทุนค่าอุปกรณ์ได้ (ฐานันดร์ ตรงใจ, 2564)



รูปที่ 1.1 จุดพิจารณาในการกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วม

การกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.2 ซึ่งประกอบด้วย 5 ส่วนที่สำคัญได้แก่ ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบรางไฟฟ้า การตรวจจับฮาร์มอนิก (harmonic detection) วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน (Shunt Active Power Filter : SAPF) ระบบควบคุมกระแสชดเชย (compensating current control) และระบบควบคุมแรงดันบัสไฟตรง (DC bus voltage control) โดยรายละเอียดของแต่ละส่วนสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้



รูปที่ 1.2 การกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วมด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

ส่วนที่ 1 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบรางไฟฟ้า ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกพิจารณาระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบรางไฟฟ้าของประเทศไต้หวัน (S-R. Huang and B-N. Chen., 2002) ซึ่งประกอบด้วยกริดส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสามเฟสจากผู้ผลิต (transportation system) พิกัดแรงดันไฟฟ้า 69 kV 60 Hz เชื่อมต่อกับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเลอบลองค์ (Le-blanc transformer) เพื่อแปลงจากระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสามเฟสเป็นระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบเฟสร่วม (เฟส M และ T) และลดระดับแรงดันให้อยู่ในช่วง 26 kV 60 Hz สำหรับส่งจ่ายให้กับโหลดรถไฟฟ้า (traction load) ผ่านสถานีของระบบรางไฟฟ้า ซึ่งการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแบบเลอบลองค์จะช่วยลดต้นทุนเนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้าดังกล่าวมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับหม้อแปลง

ชนิดอื่น ๆ ที่มีการใช้งานในระบบรางไฟฟ้า (Ch.-P. Huang and et al., 2006) และยังสามารถลดปัญหาเฟสไม่สมดุลที่แหล่งจ่ายฝั่งปฐมภูมิของหม้อแปลงได้อีกด้วย (T.-H. Chen., 1994)

ส่วนที่ 2 การตรวจจับฮาร์มอนิก เป็นส่วนที่ใช้คำนวณหาค่ากระแสอ้างอิงสำหรับการชดเชยให้กับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน ซึ่งปัจจุบันการตรวจจับฮาร์มอนิกมีอยู่หลายวิธี เช่น วิธีทฤษฎีกำลังรีแอกทีฟขณะหนึ่ง (Instantaneous reactive power theory : PQ) (Akagi H. and et al., 1984) วิธีกรอบอ้างอิงซิงโครนัส (Synchronous Reference Frame : SRF) (Takeda M. and et al., 1988) วิธีการวิเคราะห์ฟูริเยร์แบบวินโดว์เลื่อน (Sliding Window Fourier Analysis : SWFA) (M. El-Habrouk and M. K. Darwish, 2001) วิธีการตรวจจับซิงโครนัส (Synchronous Detection : SD) (V. Khadkikar, M.Singh, A. Chandra and B. Singh, 2010) และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Neuron Network : NN) (M. Cirrincione and et al.,2009) เป็นต้น โดยแต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่นำไปใช้ โดยงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้การตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีทฤษฎีกำลังรีแอกทีฟขณะหนึ่งหรือวิธี PQ เนื่องจากวิธีดังกล่าวมีขั้นตอนการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน มีสมรรถนะในการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกที่ดี และสามารถเลือกรูปแบบการชดเชยได้หลากหลาย เช่น การชดเชยฮาร์มอนิก การชดเชยค่ากำลังแอกทีฟ (active power : P) และการชดเชยค่ากำลังรีแอกทีฟ (reactive power : Q) เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (power factor : pf) นอกจากนี้ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วมเพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกได้อีกด้วย

ส่วนที่ 3 วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน (Shunt Active Power Filter : SAPF) ที่มีโครงสร้างเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter : VSI) (C.-Y Hsu and H.-Y Wu., 1995) ซึ่งมีหน้าที่ในการฉีดกระแสชดเชยเพื่อกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้า โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันมีข้อดี คือ ให้ประสิทธิผลในการกำจัดฮาร์มอนิกที่ดี มีการควบคุมที่ง่ายไม่ซับซ้อน มีความยืดหยุ่นในการทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบ และมีราคาต้นทุนที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแส (A. Zouidi and et al., 2006)

ส่วนที่ 4 ระบบควบคุมกระแสชดเชย (compensating current control) ทำหน้าที่ควบคุมการฉีดกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานให้มีลักษณะคล้อยตามกระแสอ้างอิงที่ได้จากการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิก โดยงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอวิธีการออกแบบ และการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก (fuzzy logic controller) ร่วมกับเทคนิคการสวิตช์แบบพีดับเบิลยูเอ็ม (Pulse Width Modulation : PWM) (S. Fukuda and T. Yoda, 2001) ในการควบคุมกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน เนื่องจากตัวควบคุมดังกล่าวสามารถให้สมรรถนะในการควบคุมที่ดี มีความเหมาะสมในการใช้งานในระบบที่มีความคลุมเครือ มีหลายอินพุต และในการออกแบบไม่จำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ซึ่งมีความเหมาะสมกับการนำมาใช้ในควบคุมกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

ส่วนที่ 5 ระบบควบคุมแรงดันบัสไฟตรง (DC bus voltage control) ทำหน้าที่ในการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานให้มีค่าเท่ากับแรงดันอ้างอิงที่ได้ออกแบบไว้ โดยในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI controller) (H.-L. Jou., 1994) ในการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงเนื่องจากตัวควบคุมดังกล่าวมีการออกแบบที่เรียบง่าย ไม่ซับซ้อน และมีสมรรถนะในการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงที่มีค่าคงที่ได้ดีเพียงพอ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัยวิทยานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาองค์ความรู้เกี่ยวกับการกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วมด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

1.2.2 เพื่อศึกษาและพัฒนาการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีทฤษฎีกำลังรีแอกทีฟขณะหนึ่งสำหรับระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วม

1.2.3 เพื่อศึกษาและออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสำหรับระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วม

1.2.4 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบควบคุมกระแสชดเชยและระบบควบคุมแรงดันบัสไฟตรงด้วยตัวควบคุมพีไอสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วม

1.2.5 เพื่อศึกษาและคิดค้นวิธีการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกสำหรับใช้ควบคุมกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วม

1.2.6 เพื่อศึกษาและสร้างระบบจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วมด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป (hardware in the loop)

1.2.7 เพื่อสร้างฮาร์ดแวร์ระบบควบคุมของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสำหรับการทดสอบสมรรถนะการกำจัดฮาร์มอนิกในทางปฏิบัติ

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.3.1 ระบบรางไฟฟ้าอ้างอิงที่ใช้พิจารณากำจัดฮาร์มอนิกเป็นระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วมของประเทศไต้หวัน (Sy-Ruen H. and Bing-Nan C., 2002) ซึ่งมีพิกัดแรงดันไฟฟ้า 26 kV 60 Hz

1.3.2 โหลดรถไฟฟ้าในระบบรางไฟฟ้าที่พิจารณากำจัดฮาร์มอนิกจะแทนด้วยแหล่งจ่ายกระแสในอุดมคติซึ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบมูลฐานและองค์ประกอบฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นจริงในระบบรางไฟฟ้าของประเทศไต้หวัน (Sy-Ruen H. and Bing-Nan C., 2002)

1.3.3 การจำลองสถานการณ์ใช้โปรแกรม Simulink ใน MATLAB

1.3.4 การจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป (hardware in the loop) จะใช้โปรแกรม Simulink ร่วมกับบอร์ด DSP รุ่น TMS320C2000^{TM}

1.3.5 โครงสร้างของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน

1.3.6 การทดสอบในทางปฏิบัติจะกำหนดให้ระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแทนด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าสามเฟสที่เชื่อมต่อกับหม้อแปลงเลอบลองค์ และโหลดของระบบรางไฟฟ้าจะแทนด้วยวงจรเรียงกระแส (rectifier circuit) ที่มีโหลดความต้านทาน (resistor) อนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ (inductor)

1.3.7 การวัดประสิทธิผลการกำจัดฮาร์มอนิกจะใช้ค่า %THD เป็นตัวชี้วัด ซึ่งต้องมีค่าลดลงภายหลังการชดเชย

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้พิจารณากำจัดกระแสฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วมเท่านั้น

1.4.2 งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะใช้โหลดค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นจริงในระบบรางไฟฟ้าของประเทศไต้หวัน (Sy-Ruen H. and Bing-Nan C., 2002) โดยกำหนดให้ทั้งสองเฟส (เฟส M และ T) มีปริมาณฮาร์มอนิกที่เท่ากัน

1.4.3 งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาการกำจัดฮาร์มอนิกที่ระบบไฟฟ้ากำลังสองเฟสซึ่งเป็นระบบเฟสร่วมฝั่งแรงต่ำของหม้อแปลงระบบรางไฟฟ้า

1.4.4 ในการทดสอบสมรรถนะการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี PQ แรงดันไฟฟ้าที่ระบบไฟฟ้ากำลังสองเฟส (เฟส M และ T) จะพิจารณาทั้งในกรณีแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายเป็นรูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์และกรณีที่แรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายมีฮาร์มอนิกปะปน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วมด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

1.5.2 ได้วิธีการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีทฤษฎีกำลังรีแอกทีฟขณะหนึ่งสำหรับระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วม

1.5.3 สามารถออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่เหมาะสมกับระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วม

1.5.4 ได้ระบบควบคุมกระแสชดเชยและระบบควบคุมแรงดันบัสไฟตรงด้วยตัวควบคุมพีไอสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วม

1.5.5 ได้ระบบควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิกสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วม

1.5.6 ได้ระบบจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วมด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป (hardware in the loop)

1.5.7 ได้ฮาร์ดแวร์สำหรับทดสอบระบบควบคุมของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสำหรับการทดสอบสมรรถนะการกำจัดฮาร์มอนิกในทางปฏิบัติ

1.5.8 ได้ตีพิมพ์บทความวิจัยสำหรับเผยแพร่ในระดับชาติและนานาชาติ

1.6 การจัดรูปเล่มรายงาน

วิจัยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 9 บท โดยมีการนำเสนอเนื้อหาในแต่ละบทดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตการวิจัยรวมถึงประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของงานวิจัยวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับและการกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้าด้วยวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

บทที่ 3 นำเสนอเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้การตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีทฤษฎีกำลังรีแอกทีฟขณะหนึ่งหรือวิธี PQ ให้สามารถคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วมได้พร้อมกันทั้งสองเฟส (เฟส M และ T) การตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีพีคิวเอฟ (PQF) และการนำวิธีการตรวจจับแรงดันลำดับเฟสบวกมูลฐาน (Positive Sequence Voltage Detection : PSVD) มาใช้งานร่วมกับการคำนวณตรวจจับฮาร์มอนิกในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายมีฮาร์มอนิกปะปน รวมถึงนำเสนอการทดสอบสมรรถนะการตรวจจับฮาร์มอนิกทั้งในกรณีที่แหล่งจ่ายเป็นรูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์ และกรณีที่แรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายมีฮาร์มอนิกปะปนด้วยโปรแกรม Simulink/MATLAB

บทที่ 4 นำเสนอเกี่ยวกับโครงสร้างของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่มีโครงสร้างแบบตัวเก็บประจุร่วม การออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน การออกแบบค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมกระแสชดเชยและระบบควบคุมแรงดันบัสไฟตรงที่ใช้ตัวควบคุมพีไอ รวมไปถึงนำเสนอการทดสอบสมรรถนะการกำจัดฮาร์มอนิกของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานและระบบควบคุมที่ได้นำเสนอการออกแบบโดยการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Simulink/MATLAB

บทที่ 5 นำเสนอพื้นฐานทฤษฎีเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกสำหรับนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวควบคุมกระแสชดเชยให้กับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน โดยจะนำเสนอความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกประกอบไปด้วย ฟัซซีเซต (fuzzy set) การดำเนินการทางฟัซซีเซต (fuzzy set operations) รูปร่างฟังก์ชันสมาชิก (fuzzy shape) ค่าเชิงภาษา (linguistic value) และตัวแปรเชิงภาษา (Linguistic Variable) กฎฟัซซี (fuzzy rules) และในส่วนสุดท้ายจะนำเสนอเกี่ยวกับการอนุมานฟัซซี (fuzzy inference)

บทที่ 6 นำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบระบบควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิก ซึ่งประกอบไปด้วย การออกแบบค่าเชิงภาษาและตัวแปรเชิงภาษา การเปรียบเทียบการใช้รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกได้แก่ รูปสามเหลี่ยม (triangular membership function : trimf) รูปสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal membership function : trapmf) รูปเกาส์เซียน (gaussian membership function : gussmf) และรูประฆังคว่ำ (generalized bell membership function : gbellmf) การออกแบบกฎฟัซซีสำหรับควบคุมกระแสชดเชย การเปรียบเทียบวิธีการอนุมานฟัซซีทั้งวิธี Mamdani และวิธี Takagi-Sugeno การเปรียบเทียบการออกแบบเลือกใช้อินพุตฟัซซี 3 กรณี ได้แก่ กรณีพิจารณาเฉพาะค่าความผิดพลาด (error) กรณีพิจารณาค่าความผิดพลาดร่วมกับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด (error rate) และกรณีพิจารณาค่าความผิดพลาดร่วมกับค่าผลรวมของค่าความผิดพลาด (sum error) การออกแบบตำแหน่งของฟังก์ชันสมาชิกอินพุตและเอาต์พุต ในส่วนสุดท้ายจะนำเสนอการทดสอบสมรรถนะการควบคุมกระแสชดเชยโดยการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Simulink/MATLAB

บทที่ 7 นำเสนอเกี่ยวกับโครงสร้างและกระบวนการทำงานของการจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป (hardware in the loop) สำหรับนำไปสร้างระบบจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วมด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป รวมถึงผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วม โดยมีการพิจารณาโหลดของระบบรางไฟฟ้าทั้งในกรณีโหลดปกติ และโหลดมีการเปลี่ยนแปลง เพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะของระบบควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ออกแบบด้วยวิธีที่นำเสนอในบทที่ 6

บทที่ 8 นำเสนอเกี่ยวกับรายละเอียดโครงสร้างของระบบฮาร์ดแวร์สำหรับทดสอบการกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วน ส่วนแรก คือ ระบบรางไฟฟ้าจำลองที่พิจารณา ส่วนที่ 2 คือ วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน และส่วนสุดท้าย คือ การตรวจจับฮาร์มอนิกและระบบควบคุม การออกแบบระบบควบคุมกระแสชดเชยด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิกสำหรับระบบรางไฟฟ้าจำลองในห้องปฏิบัติการ การจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้าจำลองในห้องปฏิบัติการด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป รวมไปถึงการทดสอบการกำจัดฮาร์มอนิกจริงในห้องปฏิบัติการ

บทที่ 9 สรุปและข้อเสนอแนะ