บทที่ 6
สรุปผลงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รวบรวมองค์ความรู้ต่าง ๆ ที่นำมาประยุกต์ใช้กับการพัฒนาระบบป้องกันแบบผลต่างให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น หากมีความผิดพร่องใดๆเกิดขึ้นภายในเขตป้องกัน รีเลย์จะทำการปลดวงจร ในทางกลับกันหากไม่มีความผิดพร่องเกิดขึ้น รีเลย์จะไม่สั่งปลดวงจร การผิดเพี้ยนของสัญญาณกระแส ไม่ว่าจะเกิดจากการอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแส หรือเกิดจากสัญญาณรบกวนจากสิ่งแวดล้อมรอบข้างอาจส่งผลให้รีเลย์ป้องกันทำงานผิดพลาด ทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังมีเสถียรภาพลดลง เกิดไฟฟ้าดับ อีกทั้งยังทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการนำอุปกรณ์ต่อกลับเข้าระบบดังเดิม อัลกอริธึมที่งานวิจัยนี้นำเสนอสามารถช่วยลดปัญหาข้างต้นได้

6.1 อัลกอริธึมของการป้องกันแบบผลต่างเพื่อเสริมความทนทานต่อการผิดเพี้ยนของสัญญาณกระแส

การอิ่มตัวของหม้อแปลงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สัญญาณกระแสเกิดความผิดเพี้ยน และส่งผลให้รีเลย์เข้าใจผิดว่ามีความผิดพร่องเกิดขึ้น งานวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบอัลกอริธึมสำหรับรีเลย์ป้องกันแบบผลต่างที่มีความทนทานต่อการผิดเพี้ยนของสัญญาณกระแสโดยอัลกอริธึมได้ออกแบบให้เลือกใช้แต่สัญญาณที่มีคุณภาพดีมาใช้ในการประมวลผล และทำการตัดส่วนของสัญญาณที่มีการผิดเพี้ยนหรือไม่แน่ใจว่ามีคุณภาพดีหรือไม่ทิ้งไป โดยใช้คุณสมบัติสองประการของสัญญาณที่มีคุณภาพดี ไม่มีการผิดเพี้ยน เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก ดังนี้

1. สัญญาณกระแสที่มีคุณภาพดี ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ (สั้นกว่าหนึ่งในสิบส่วนของคาบ) ขนาดของสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก หรืออีกนัยหนึ่งคือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของขนาดจะต้องมีค่าที่ต่ำมาก

2. สัญญาณกระแสที่มีคุณภาพดีจะมีความถี่เท่ากับความถี่มูลฐานของระบบ หากระบบไฟฟ้ามีความถี่มูลฐาน 50 Hz (คาบเวลาเป็น 20 มิลลิวินาที) มุมของสัญญาณกระแสจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงด้วยอัตรา 360° ต่อ 20 มิลลิวินาทีเสมอ

หลังจากที่ได้ออกแบบอัลกอริธึมแล้ว จึงนำไปทดสอบการทำงาน โดยในการทดสอบได้ใช้สัญญาณกระแสผิดพร่องในหลาย ๆ กรณีมาทำการทดสอบ เช่น เกิดความผิดพร่องทั้งภายนอกและในเขตป้องกัน มีและไม่มีองค์ประกอบสัญญาณกระแสตรงทั้งขั้วบวกและขั้วลบ จังหวะของการเริ่มเกิดเหตุผิดพร่องมีการควบคุมให้เริ่มเกิดขึ้นที่หลากหลายมุม อัตราส่วน X/R ทั้งสูงและต่ำ มีและ

ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง มีการทดสอบในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงชนิดของความผิดพร่องขณะเกิดการอิ่มตัว อีกทั้งยังนำเอาสัญญาณที่บันทึกจากกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สายส่ง หม้อแปลงกำลัง มอเตอร์ บัสบาร์ มาทำการทดสอบ รวมสัญญาณที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็นจำนวน 910 สัญญาณ ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าอัลกอริธึมนี้มีความทนทานต่อการผิดเพี้ยนของสัญญาณกระแสในกรณีที่เป็นเหตุผิดพร่องภายนอก รีเลย์จะไม่มีการสั่งตัดวงจรแม้กระแสที่ตรวจวัดได้จะมีการผิดเพี้ยนก็ตาม ในทางกลับกันหากเหตุผิดพร่องเกิดขึ้นภายในเขตป้องกัน รีเลย์จะสั่งปลดวงจรไม่ว่าจะเกิดการอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแสหรือไม่ ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ตอบสนองวัตถุประสงค์หลักที่ต้องการอัลกอริธึมที่มีความทนทานต่อความผิดเพี้ยนของสัญญาณกระแส

6.1.1 จุดเด่นของอัลกอริธึม

อัลกอริธึมที่วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอมีจุดเด่นอยู่หลายประการคือ มีความคงทนต่อการผิดเพี้ยนของสัญญาณกระแส แม้จะมีการอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแส การคำนวณของขนาดและมุมของสัญญาณกระแสก็ยังคงทำได้อย่างถูกต้อง ให้ผลการคำนวณของขนาดและมุมที่เร็วกว่าวิธีการแปลงฟูริเยร์แบบครึ่งคลื่นหรือเต็มคลื่น กลไกในการแก้ปัญหาสัญญาณผิดเพี้ยนนั้นไม่จำเป็นต้องใช้กราฟคุณลักษณะการกระตุ้น ไม่จำเป็นต้องทราบค่าภาระ (Burden) ของหม้อแปลงกระแส ไม่ต้องทำการฝึกฝนอัลกอริธึม ทำให้สามารถใช้อัลกอริธึมนี้ได้กับหม้อแปลงกระแสทุกรุ่นทุกขนาด นอกจากอัลกอริธึมนี้จะช่วยแก้ปัญหาที่เกิดจากการอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแส ยังสามารถช่วยลดปัญหาของการอิ่มตัวของหม้อแปลงกำลังได้ด้วย แม้กระแสพุ่งเข้าของหม้อแปลงจะทำให้เกิดกระแสขนาดสูงในช่วงที่หม้อแปลงอิ่มตัว แต่อัลกอริธึมจะเลือกใช้แต่สัญญาณกระแสในขณะที่แกนของหม้อแปลงกำลังไม่มีการอิ่มตัวเท่านั้น อีกทั้งอัลกอริธึมของงานวิจัยนี้ใช้การคำนวณที่ไม่ซับซ้อนสามารถนำไปใช้กับการควบคุมเวลาจริง (Real-time) ได้

6.1.2 ข้อด้อยของอัลกอริธึม

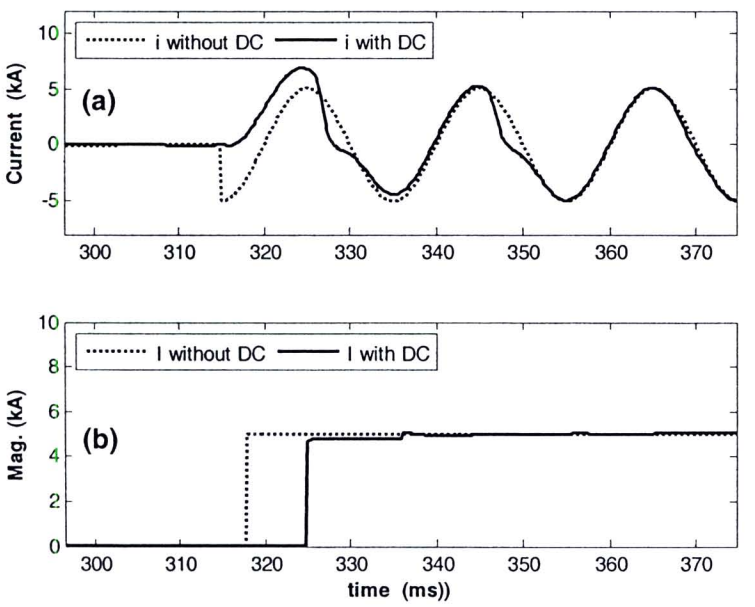
อัลกอริธึมที่นำเสนอแม้จะมีความสามารถเด่นหลายประการ แต่ก็มีข้อด้อยอยู่บ้าง คือ ระยะเวลาที่รีเลย์ผลต่างใช้ในการตัดสินใจนั้นไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับคุณภาพของสัญญาณกระแสที่ได้จากหม้อแปลงว่ามีการผิดเพี้ยนรุนแรงหรือไม่ มีองค์ประกอบกระแสตรงมากน้อยเพียงใด หากในครึ่งคาบแรกสัญญาณที่มีคุณภาพดีนั้นสั้นเกินไป อัลกอริธึมจะต้องรอสัญญาณครึ่งคาบถัดไปซึ่งจะมีคุณภาพดีขึ้นเนื่องจากองค์ประกอบสัญญาณกระแสตรงมีค่าน้อยลง

6.1.3 แนวทางการวิจัยเพิ่มเติมในอนาคตสำหรับการพัฒนาอัลกอริธึม

6.1.3.1 อัลกอริธึมในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการแก้ไขปรับปรุงสัญญาณกระแสในระดับขนาดและมุม หากพัฒนาให้อัลกอริธึมสามารถกู้ข้อมูลในระดับรูปร่างของคลื่นได้

6.1.3.2 การพัฒนาอัลกอริธึมให้มีกระบวนการที่สามารถลดทอนสัญญาณกระแสตรงได้จะทำให้อัลกอริธึมสามารถตรวจจับสัญญาณคุณภาพดีได้เร็วขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 6-1(a) เป็น

สัญญาณกระแสที่มีและไม่มีองค์ประกอบของสัญญาณกระแสตรง (เส้นทึบและเส้นจุดตามลำดับ) ผลของการคำนวณขนาดของสัญญาณทั้งสองเป็นดังแสดงไว้ดังภาพที่ 6-1(b) เห็นได้ว่าหากใช้สัญญาณกระแสที่ไม่มีองค์ประกอบกระแสตรง อัลกอริธึมจะสามารถประมวลผลเพื่อหาค่าของขนาดได้เร็วกว่าในกรณีที่มีสัญญาณกระแสตรงผสมอยู่ถึง 7 มิลลิวินาที



ภาพที่ 6-1 การเปรียบเทียบความเร็วในการคำนวณค่าขนาดของสัญญาณที่มีและไม่มีองค์ประกอบกระแสตรง

6.1.3.3 มีความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มความเร็วและความแม่นยำในตรวจจับการอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแส โดยนำเทคนิคการตรวจจับการอิ่มตัวโดยอัลกอริธึมของงานวิจัยนี้ร่วมกับการตรวจจับแบบการหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการอิ่มตัว เนื่องจากวิธีการตรวจจับแบบหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเป็นวิธีที่ตรวจจับได้รวดเร็ว แต่ช่วงเวลาระหว่างกลางของจุดทั้งสองนั้นจะไม่มีการตรวจจับ ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดได้ ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.11.1.2 หากมีการนำเอาอัลกอริธึมของงานวิจัยนี้ซึ่งให้ผลการตรวจจับแบบจุดต่อจุด (Point by Point) แต่ใช้เวลาในการตรวจจับนานกว่าเข้ามาทำงานร่วมกัน มีความเป็นไปได้ที่จะได้ระบบตรวจจับที่มีความเร็วสูงและมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด

6.2 การตรวจวัดสภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยการใช้สัญญาณการสั่นสะเทือน

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบสภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ว่ามีสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่ โดยที่ในการตรวจสอบจะนำสัญญาณการสั่นสะเทือนขณะทำการเปิดและปิดหน้าสัมผัสมาแปลงเวฟเลท หากผลลัพธ์จากการแปลงเวฟเลทบ่งชี้ว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์อยู่ในสภาพที่ดี

การตรวจสอบสภาพโดยการรื้อชิ้นส่วนจึงไม่มีความจำเป็น ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาได้ ในทางกลับกัน หากหากผลลัพธ์จากการแปลงเวฟเลทบ่งชี้ว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น เซอร์กิตเบรกเกอร์จะถูกซ่อมแซมอย่างทันท่วงที ทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถทำงานได้สมบูรณ์เสมอในกรณีที่มีกระแสผิดพร่องเกิดขึ้น

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการประยุกต์ใช้ เพื่อพัฒนาการป้องกันระบบไฟฟ้าให้ดีขึ้น เพื่อที่จะส่งผลให้ประชากรผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งภาคที่อยู่อาศัย ภาคอุตสาหกรรม และภาคธุรกิจ ได้ใช้พลังไฟฟ้าที่มีคุณภาพในการพัฒนาประเทศสืบไป