

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ปัญหาฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าเป็นปัญหาที่สำคัญมากปัญหาหนึ่ง ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของระบบไฟฟ้า จึงได้มีการคิดค้นวิธีการแบบใหม่เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว อุปกรณ์อย่างหนึ่งที่ใช้งานได้ดีคือวงจรกรองกำลังแอคทีฟ (Active power filter) ซึ่งมีการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานอย่างต่อเนื่อง สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าโดยใช้วงจรกรองกำลังแอคทีฟกับระบบไฟฟ้าแบบสามเฟสสี่สาย ซึ่งจะได้้นำโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural networks) มาประยุกต์ใช้งาน

1.2 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันมีโหลดไม่เชิงเส้น (Non-linear load) ทั้งชนิดเฟสเดียว และสามเฟส เชื่อมต่ออยู่ในระบบไฟฟ้าแบบสามเฟสสี่สายอยู่มาก และมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เช่น

- ก. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีทั่วไปในบ้านพัก หรือสำนักงาน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นชนิดเฟสเดียว เช่นเครื่องคอมพิวเตอร์ แหล่งจ่ายกำลังสำรอง และบัลลาสต์ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic ballast) สำหรับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent)
- ข. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเพื่อใช้ในการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม เช่นตัวเรียงกระแสกำลัง เครื่องแปลงผันกำลังแบบสถิต และชุดขับเคลื่อนแบบปรับความเร็วได้
- ค. อุปกรณ์ที่มามีการทำงานแบบอาร์ค เช่นเตาหลอมแบบอาร์ค เตาหลอมแบบเหนี่ยวนำ และเครื่องเชื่อมแบบอาร์คและแบบจุด
- ง. อุปกรณ์ที่มีความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสแบบไม่เชิงเส้น เนื่องจากการอิ่มตัวของแกนเหล็กทางแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นหม้อแปลงไฟฟ้า และเครื่องกลไฟฟ้า

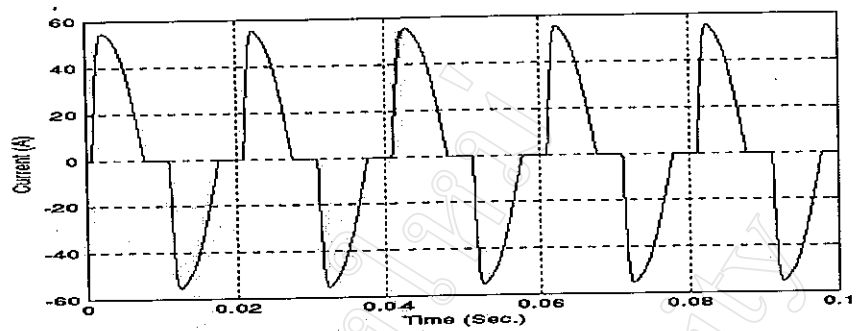
โหลดไม่เชิงเส้นจะมีรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าแบบไม่สมดุลและไม่เป็นไซน์ซอซด์ ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบไฟฟ้า คือเกิดกระแสและแรงดันฮาร์โมนิก (Harmonics) ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ เช่น

- ก. กระแสไฟฟ้าในสายกลางอาจมีค่าสูงเกินพิกัดที่สายสามารถทนทาน จนอาจเกิดความเสียหายได้ โดยตัวอย่างกระแสโหลดที่มีฮาร์โมนิก แสดงได้ดังรูปที่ 1.1 (ก) รูปที่ 1.1 (ข) และ รูปที่ 1.1 (ค) สำหรับเฟส A B และ C ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลให้เกิดกระแสในสายกลางดังรูปที่ 1.1 (ง)
- ข. ส่งผลให้เกิดความร้อนสูงในหม้อแปลงไฟฟ้า และมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง
- ค. ตัวเก็บประจุซึ่งทำหน้าที่ปรับตัวประกอบกำลัง (Power factor) เสียหาย ทำให้ตัวประกอบกำลังต่ำลง
- ง. รบกวนการทำงานของโหลดข้างเคียงอื่นๆ อาจทำให้ทำงานผิดพลาด
- จ. รบกวนต่อสัญญาณวิทยุ ส่งผลเสียต่อระบบสื่อสาร

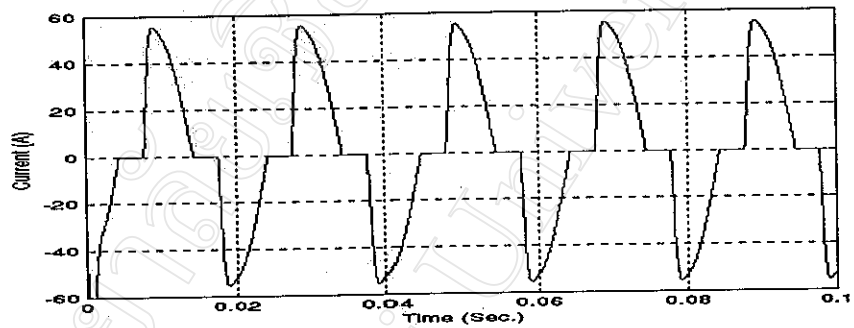
แนวทางที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาคือใช้วงจรกรองฮาร์โมนิก ซึ่งปัจจุบันวงจรกรองฮาร์โมนิกที่ใช้กันมีหลายประเภท เช่นรีแอคเตอร์ในสาย (Line reactor) วงจรกรองกำลังพาสซีฟ (Passive power filter) และวงจรกรองกำลังแอคทีฟ

รีแอคเตอร์ในสาย คือการใช้ตัวเหนี่ยวนำ โดยความเหนี่ยวนำจากตัวเหนี่ยวนำจะต้านทานการไหลของฮาร์โมนิกที่มีความถี่สูง จากสูตรค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำ $X_L = 2\pi fL$ เมื่อ f คือค่าความถี่ L คือค่าความเหนี่ยวนำ และ X_L คือค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้นหากความถี่มีค่าสูงขึ้น อิมพีแดนซ์ย่อมสูงขึ้น นั่นคือกระแสความถี่ต่ำ เช่น 50 เฮิรตซ์ ย่อมผ่านได้ดี ในขณะที่กระแสความถี่ฮาร์โมนิกที่มีค่าสูงย่อมผ่านได้ลำบาก แต่ข้อเสียของวงจรกรองแบบนี้คือรูปคลื่นของแรงดันและกระแสขาออกจะผิดเพี้ยน และต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำขนาดใหญ่มาก

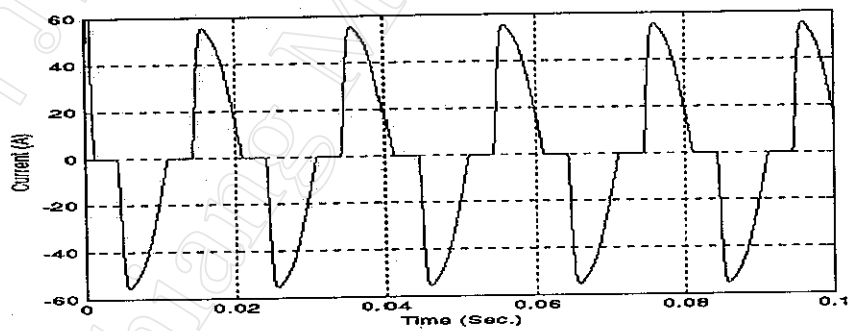
วงจรกรองกำลังพาสซีฟที่ใช้กันมีหลายชนิด บางชนิดจะคล้ายกับแบบรีแอคเตอร์ในสาย ส่วนชนิดอื่นๆ จะใช้วงจรกรองเรโซแนนซ์ (Resonance filter) ต่อแบบอนุกรม หรือแบบขนาน ข้อเสียของวงจรกรองแบบอนุกรมคือจะต้องปรับความถี่การทำงานให้มีได้เพียงค่าใดหนึ่งเท่านั้น จึงสามารถกรองฮาร์โมนิกได้เพียงค่าเดียว ดังนั้นจึงนิยมนำมาใช้กับโหลดไม่เชิงเส้นชนิดเฟสเดียว ส่วนข้อเสียของวงจรกรองแบบขนานคือจะทำงานได้ที่ความถี่ตามที่กำหนดเพียงช่วงแคบๆ ส่วนข้อเสียคือรูปคลื่นของแรงดันและกระแสขาออกยังผิดเพี้ยน และการออกแบบส่วนใหญ่



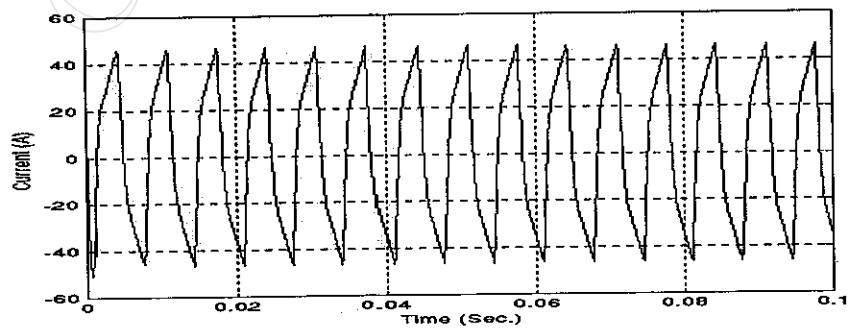
รูปที่ 1.1 (ก) ตัวอย่างกระแสโหลดที่มีฮาร์มอนิกในเฟส A



รูปที่ 1.1 (ข) ตัวอย่างกระแสโหลดที่มีฮาร์มอนิกในเฟส B



รูปที่ 1.1 (ค) ตัวอย่างกระแสโหลดที่มีฮาร์มอนิกในเฟส C



รูปที่ 1.1 (ง) ตัวอย่างกระแสโหลดที่มีฮาร์มอนิกในสายกลาง

จะต้องออกแบบให้มีพิกัดใหญ่กว่าพิกัดโหลดมากๆ เพื่อให้สามารถทนต่อฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า และต้องออกแบบให้มีขนาดสัมพันธ์กับความต้องการกำลังรีแอกทีฟของโหลด นอกจากนี้ยังอาจเกิดปัญหาการเรโซแนนซ์ระหว่างตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำของระบบไฟฟ้า ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าได้

วงจรรอกำลังแอคทีฟมีคุณสมบัติดีกว่าวงจรรอกำลังพาสซีฟคือ

- ก. สามารถทดแทนฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นโดยไม่ข้องเกี่ยวกับความถี่หลักมูลของกำลังรีแอคทีฟ
- ข. พิกัดของวงจรรอกจะมีขนาดต่ำกว่าแบบพาสซีฟ
- ค. ไม่ทำให้เกิดเรโซแนนซ์ในระบบไฟฟ้า
- ง. ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันและกระแสขาออกน้อยกว่า

ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ จะนำวงจรรอกำลังแอคทีฟมาแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยวิธีในการควบคุมกระแสของวงจรรอกกำลังแอคทีฟที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันคือวิธีฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและได้ผลดี แต่วิธีการนี้มีข้อเสียคือความสูญเสียเนื่องจากการสวิตชิง (Switching loss) และแรงดันพลิว (Voltage ripple) มีค่าสูง

1.3 แนวทางการแก้ปัญหา

เนื่องจากการควบคุมกระแสของวงจรรอกกำลังแอคทีฟวิธีฮิสเทอรีซิสยังมีข้อเสียอยู่ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงจะนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ เพื่อควบคุมกระแสแทนการควบคุมกระแสแบบเดิม เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการเตรียมและปรับปรุงวิธีการเพื่อให้ได้เอาต์พุต (Output) จากอินพุต (Input) ซึ่งมีรูปแบบไม่เชิงเส้น และสามารถนำมาใช้หาเอาต์พุตที่ต้องการแทนวิธีการแบบเดิมได้เป็นอย่างดี โดยโครงข่ายประสาทเทียมใช้ความสามารถในการปรับปรุงตัวเอง ความไม่เป็นเชิงเส้น การประมวลผลแบบขนาน และความสามารถด้านการเรียนรู้ เพื่อหาเอาต์พุตสำหรับข้อมูลไม่เชิงเส้น ไม่แน่นอน และมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา นอกจากนี้โครงข่ายประสาทเทียมยังมีความทนทานสูงเหนือวิธีการควบคุมแบบเดิมที่มีอยู่ เช่นมีความทนทานต่อความผิดพลาด (Fault tolerance) สูงกว่า [1]

1.4 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

Harashima, *et al.* [1] ได้ศึกษา และนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้งานกับเครื่องแปลงผันกำลัง (Power converter) แบบสามเฟส โดยจำลองการทำงานโดยใช้คอมพิวเตอร์ โดยนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้งานเพื่อควบคุมการสวิตชิงของไอจีบีที ซึ่งวิธีการจะคล้ายกับ Lin and Hoft [2] ซึ่งนำวิธีโครงข่ายประสาทเทียมและวิธีฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy logic) มาควบคุมการทำงานของเครื่องแปลงผันกำลัง จากการศึกษาพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมมีความทนทานต่อสัญญาณที่ผิดพลาด คือหากมีความผิดพลาดเกิดขึ้นบางส่วนในระบบแล้ว ระบบยังสามารถทำงานได้ เนื่องจากข้อมูลอินพุตที่ถูกต้องจากส่วนอื่นๆ สามารถทดแทนผลของข้อมูลที่ผิดพลาดได้ และความสูญเสียเนื่องจากการสวิตชิงของไอจีบีทีจะมีน้อยกว่าแบบฮิสเตอร์ซิส

Quinn and Mohan [4] ได้ศึกษา และจำลองผลการทำงานโดยใช้คอมพิวเตอร์ของการทำงานวงจรกรองกำลังแอกทีฟเพื่อกำจัดกระแสฮาร์มอนิกของระบบไฟฟ้าแบบสามเฟสสี่สาย อันเนื่องมาจากโหลดไม่เชิงเส้น ซึ่งได้เปรียบเทียบการใช้งานวงจรกรองแบบต่างๆ จากการศึกษาพบว่าแรงดันตกคร่อมบัสกระแสตรงสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบเฟสเดียวสามชุด จะต้องมีความอย่างน้อย $\sqrt{2} \times V_{rms}$

Singh, *et al.* [5] ได้ศึกษา และจำลองผลการทำงานของวงจรกรองกำลังแอกทีฟโดยคอมพิวเตอร์เพื่อกำจัดกระแสโหลดที่มีฮาร์มอนิก ทดแทนกำลังรีแอกทีฟ ลดกระแสในสายกลาง และรักษาความสมดุลของระบบไฟฟ้าแบบสามเฟสสี่สาย ซึ่งมีโหลดไม่เชิงเส้นไม่สมดุล โดยใช้วิธีฮิสเตอร์ซิสแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์เพื่อควบคุมกระแสของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ จากการศึกษาพบว่า วงจรกรองกำลังแอกทีฟสามารถทดแทนกำลังรีแอกทีฟ ลดกระแสในสายกลาง และกำจัดกระแสโหลดที่มีฮาร์มอนิก โดยระบบไฟฟ้าแบบสามเฟสสี่สายสมดุลได้เป็นอย่างดี

Chen, *et al.* [6] ได้ศึกษาการใช้งานวงจรกรองกำลังแอกทีฟสำหรับระบบไฟฟ้าแบบสามเฟสไม่สมดุลโดยใช้วิธีการตรวจจับเชิงโครนัสเพื่อคำนวณกระแสรีแอกทีฟ และกระแสโหลดที่มีฮาร์มอนิกเพื่อนำไปควบคุมวงจรกรองกำลังแอกทีฟ โดยคำนวณและแก้ไขแยกในแต่ละเฟส ซึ่งสามารถแก้ไขกระแสโหลดที่มีฮาร์มอนิก และกระแสรีแอกทีฟได้ และทำให้กระแสในแต่ละเฟสสมดุล โดยข้อดีของวิธีการนี้คือสามารถทำงานได้ที่โหลดเป็นแบบไม่สมดุล และพบว่าการใช้งานวงจรกรองกำลังแอกทีฟสามเฟสนั้น หากแหล่งจ่ายแรงดันเป็นแบบไม่สมดุลอย่างมาก วงจรกรองจะทำการแก้ไขปัญหาคะแสรีแอกทีฟ และกระแสโหลดที่มีฮาร์มอนิกได้ไม่ดี

Saetieo, *et al.* [7] ได้วิเคราะห์ แสดงการออกแบบ และการใช้วงจรรองกำลังแอกทีฟ สำหรับระบบไฟฟ้าสามเฟส โดยที่การควบคุมการทำงานของวงจรรองกำลังแอกทีฟใช้วงจรควบคุม 2 วงรอบ คือวงจรบนกระแสด้านในโดยใช้การควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมด (Sliding-mode) เพื่อควบคุมรูปคลื่นกระแสของวงจรรองกำลังแอกทีฟ ซึ่งควบคุมได้ง่าย และวงจรแรงดันด้านนอกเพื่อควบคุมแรงดันตกคร่อมเฉลี่ยของตัวเก็บประจุของบัลลิสต์เรตตรง ผลการทดลองพบว่า วงจรรองกำลังแอกทีฟสามารถทดแทนความเพี้ยนและกำลังรีแอกทีฟซึ่งเกิดจากโหลดไม่เชิงเส้น ได้เป็นอย่างดี แต่ข้อเสียของวิธีการควบคุมแบบนี้คือค่าความเหนี่ยวนำร่วของหม้อแปลงซึ่งจะนำไปต่ออนุกรมกับรีแอกแตนซ์ของแต่ละเฟสมีไม่มากพอ และแรงดันตกคร่อมบัลลิสต์เรตตรงต้องมีค่าถึงสามเท่าของแรงดันสูงสุดระหว่างเฟสกับสายกลาง

1.5 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.5.1 เพื่อศึกษาวิธีการในการแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าแบบสามเฟสสี่สาย
- 1.5.2 เพื่อศึกษาการใช้งานวงจรรองกำลังแอกทีฟ โดยนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมกระแส

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและเชิงประยุกต์

- 1.6.1 ได้ผลการวิจัยเพื่อเป็นแนวทางใหม่ในการใช้งานวงจรรองกำลังแอกทีฟสำหรับระบบไฟฟ้าแบบสามเฟสสี่สาย โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อควบคุมกระแส
- 1.6.2 เข้าใจทฤษฎีการแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าแบบสามเฟสสี่สาย โดยใช้วงจรรองกำลังแอกทีฟ
- 1.6.3 เข้าใจทฤษฎี และการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม

1.7 ขอบเขตของการทำวิจัย

ออกแบบและสร้างวงจรรองกำลังแอกทีฟ ขนาด 3 กิโลวัตต์ เพื่อให้สามารถลดกระแสฮาร์มอนิกของแหล่งจ่ายกำลังซึ่งจ่ายให้กับโหลดไม่เชิงเส้น สำหรับระบบไฟฟ้าแบบสามเฟสสี่สาย ให้ได้ค่าทีเอชดี (THD, Total Harmonic Distortion) น้อยกว่า 5% ตามมาตรฐาน IEEE 519-1992 โดยการควบคุมกระแสของวงจรรองกำลังแอกทีฟใช้วิธีฮิสเตอร์ซิส เปรียบเทียบกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

1.8 วิธีการทำวิจัย

1.8.1 ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก. ศึกษาการแก้ไขปัญหาระบบฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้าแบบสามเฟสสี่สาย โดยใช้วงจรกรองกำลังแอกทีฟ และศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการสวิตชิง ซึ่งคือ ไอจีบีที พร้อมทั้งศึกษาวิธีการควบคุมกระแสของวงจรกรองกำลังแอกทีฟด้วยวิธีฮิสเตอร์ซิส

ข. ศึกษาโครงข่ายประสาทดัดแปลง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ควบคุมกระแสของวงจรกรองกำลังแอกทีฟ

1.8.2 จำลองการทำงานของวงจรกรองกำลังแอกทีฟโดยใช้คอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบการควบคุมกระแสทั้งสองวิธี คือวิธีฮิสเตอร์ซิสเปรียบเทียบกับวิธีโครงข่ายประสาทดัดแปลง และหาค่าองค์ประกอบต่างๆ

1.8.3 สร้างวงจรกำลัง และวงจรควบคุมตามที่ได้จากการจำลองการทำงานโดยใช้คอมพิวเตอร์ ทั้งสองวิธี

1.8.4 ทดสอบการทำงาน และเปรียบเทียบการทำงานของวงจรทั้งสองวิธี

1.8.5 วิเคราะห์ สรุปผลการวิจัย จัดทำ และเสนอรายงานวิทยานิพนธ์