

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ (Induction motor) ทั้งแบบ 1 เฟส และ 3 เฟส ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในระบบการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม และในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าสำหรับใช้งานในบ้านพักอาศัย อาทิเช่น ปั้มน้ำ ระบบสายพานลำเลียง พัดลมเป่าอากาศ และคอมเพรสเซอร์ของระบบเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

การเลือกประเภทของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ รวมไปถึงการเลือกวิธีการควบคุมการทำงานของมอเตอร์เป็นประเด็นที่จะต้องมีการพิจารณาถึงความเหมาะสมของการใช้งานทั้งในด้านวิศวกรรมศาสตร์ และเศรษฐศาสตร์ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ต้นทุนการสร้าง และการประหยัดกำลังงาน เนื่องจากมีความหลากหลายของประเภทมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับที่มีการจำหน่ายในปัจจุบัน ทั้งแบบ 1 เฟส และ 3 เฟส นอกจากนี้การควบคุมมอเตอร์ยังจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความต้องการของผู้ใช้ อาทิเช่น แรงบิด ความเร็วรอบของมอเตอร์ รวมไปถึงค่ากำลังงานที่จะต้องใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ดังกล่าว โดยปัจจัยเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์ ซึ่งมีความแตกต่างกันไป

นอกจากประเด็นที่ได้กล่าวในข้างต้นแล้ว ยังมีข้อปัญหาในเชิงเทคนิคที่จำเป็นที่จะต้องพิจารณาในเชิงลึก โดยเฉพาะปัญหาการสูญเสียกำลังงานบางส่วนในช่วงสภาวะเริ่มต้นของการขับเคลื่อนมอเตอร์ ซึ่งเกิดจากการนำมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ ทำงานร่วมกับสวิตช์ตัดต่อวงจร เพื่อให้การทำงานของมอเตอร์เป็นไปในลักษณะแบบ ทำงาน และ หยุดทำงานเป็นช่วงๆ สลับกัน หรือเรียกว่า การทำงานแบบเปิด/ปิด เช่นในกรณีเครื่องปรับอากาศ ซึ่งในระบบคอมเพรสเซอร์ ของเครื่องปรับอากาศ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ ซึ่งการทำงานลักษณะเปิด/ปิด เช่นนี้ จะทำให้มีการสูญเสียกำลังงานบางส่วนในสภาวะเริ่มต้น เนื่องจากกระแสเฉื่อยในช่วงเริ่มต้นมีขนาดสูงกว่าสภาวะปกติ และไม่สามารถควบคุมการทำงานได้อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับนั้นจะขึ้นอยู่กับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้เป็นหลัก

จากปัญหาที่ได้กล่าวถึงในข้างต้น ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอินเวอร์เตอร์ เพื่อควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ ให้มีการลดอัตราการสิ้นเปลืองกำลังงานไฟฟ้า โดยนำเสนอหลักการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยใช้การเปลี่ยนแปลงความถี่ของแรงดันไฟสลับที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ

1.2 ความหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

การวิจัยนี้ศึกษาการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 3 เฟส และ 1 เฟส เพื่อจะควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ด้วยอินเวอร์เตอร์วิธี Pulse Width Modulation (PWM) โดยใช้ FPGA (Field programmable gate array) เป็นตัวสร้างสัญญาณ PWM โดยใช้เทคนิค Space Vector Modulation (SVM)

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอหลักการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 3 เฟส ที่ควบคุมค่าความถี่แรงดันไฟสลับที่ใช้งานกับมอเตอร์ รวมทั้งค่าดัชนีการมอดูเลต (modulation index), ความถี่ในการสวิตช์ เพื่อสร้างสัญญาณ SVM PWM โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับแบบ 3 เฟสเป็นหลัก อย่างไรก็ตามหลักการที่ได้นำเสนอ สามารถที่จะถูกนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบ 1 เฟส

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในการออกแบบอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ โดยใช้เทคนิค SVM มีหลายรูปแบบ อาทิเช่น

รูปแบบที่ 1 การใช้งานอุปกรณ์พื้นฐานทางดิจิทัล อาทิเช่น หน่วยความจำแบบ ROM ทำงานร่วมกับวงจรนับ [1] ซึ่งทำให้วงจรของทั้งระบบไม่ซับซ้อน โดยค่าเวลาในการสวิตช์ จะถูกคำนวณไว้ล่วงหน้าและนำไปเก็บไว้ใน ROM อย่างไรก็ตามรูปแบบนี้มีข้อด้อยในด้านการปรับเปลี่ยนค่าต่างๆทำได้ไม่สะดวกนัก เนื่องจากจะต้องนำอุปกรณ์ ROM ไปโปรแกรมใหม่

รูปแบบที่ 2 การใช้งานอุปกรณ์จำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์ อาทิเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC หรือ MCS 8051 ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมาก [2] โดยมีข้อดีในด้านการสะดวกต่อการใช้งาน และปรับเปลี่ยนแก้ไขได้ โดยค่าเวลาในการสวิตช์ก็ยังคงถูกคำนวณไว้ล่วงหน้า และเก็บไว้ในอุปกรณ์ ROM เช่นกัน แต่การปรับเปลี่ยนแก้ไขได้ง่ายกว่าแบบแรก อย่างไรก็ตาม ความเร็วของการสวิตช์ และการทำงานยังคงถูกจำกัดอยู่ เนื่องจากอัตราการใช้สวิตช์ที่ควบคุมโดย MCS 8051 ถูกจำกัดอยู่ที่ประมาณ 2-3 KHz

รูปแบบที่ 3 การใช้งานอุปกรณ์ตัวประมวลสัญญาณ DSP (Digital Signal Processor) [3] ซึ่งทำให้ได้ความถี่ในการสวิตช์ที่สูงขึ้น [4] อย่างไรก็ตาม ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์โดยเฉพาะในแง่ของราคาโดยรวมของระบบจะมีค่าสูงขึ้น อีกทั้งการพัฒนาแบบต้องใช้เวลาค่อนข้างนาน เนื่องจากจะต้องทำความเข้าใจในชุดคำสั่งที่มีจำนวนมาก รวมไปถึงตัวโครงสร้างของ DSP เองที่มีความซับซ้อนสูงกว่าทั้งสองแบบข้างต้นที่กล่าวมา นอกจากนี้ การใช้งานตัวประมวลสัญญาณ DSP กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังนั้นยังประสบปัญหาด้านสัญญาณรบกวนสูง เนื่องจากในวงจร

อิเล็กทรอนิกส์กำลังก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนจำนวนมาก ทำให้ระบบไม่เสถียรภาพ และทำให้เกิดความเสี่ยงที่จะทำให้ระบบโดยรวมเสียหาย

จากการศึกษาทั้งสามรูปแบบ ทำให้ผู้วิจัยได้แนวความคิด ที่จะใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์มาใช้ในการควบคุม ซึ่งจะทำให้ระบบมีเสถียรภาพ และมีความเร็วที่สูงกว่าการควบคุมระบบด้วยซอฟต์แวร์ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อุปกรณ์ FPGA ได้ถูกเลือกนำมาใช้งานเป็นฮาร์ดแวร์ โดยมีจุดเด่นที่สามารถโปรแกรมได้ นอกจากนี้ในการออกแบบระบบสามารถที่ปรับเปลี่ยนฮาร์ดแวร์ได้ โดยไม่มีผลเสีย อีกทั้งใช้เวลาในการออกแบบระบบที่น้อยกว่า แม้ว่าในงานวิจัยด้านนี้ได้เคยนำเสนอมาแล้ว [5][6][7] แต่การเสนอดังกล่าวไม่สามารถที่จะปรับเฟสของสัญญาณ PWM และออกแบบมาเฉพาะงานเท่านั้น อาทิเช่น การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 3 เฟส หรือ permanent magnet AC servo motor เพียงอย่างเดียว แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบที่สามารถใช้งานได้หลากหลาย โดยระบบเป็นการออกแบบให้สามารถปรับเฟสของสัญญาณ PWM ให้ใช้ได้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 3 เฟส และ 1 เฟส โดยค่าพารามิเตอร์ เช่น ความถี่ในการสวิตช์ ค่า dead time ครรชนีการมอดดูเลต และมุมเฟสสามารถปรับเปลี่ยนได้ และสามารถควบคุมไม่ให้เกิดการกระชากของกระแส ซึ่งเกิดขึ้นกับกรณีที่ใช้การ เปิด/ปิด มอเตอร์เหนี่ยวนำทำให้สามารถลดกำลังงานสูญเสียลงได้ โดยการปรับความถี่ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเพื่อควบคุมความเร็วรอบจึงไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการควบคุมการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ เปิด/ปิด

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ การออกแบบสามารถทำได้โดยใช้ Single programmable hardware chip (Xilinx เบอร์XC2S100) ซึ่งไม่ต้องอาศัยหน่วยความจำภายนอก และจะทำให้วงจรมีขนาดเล็ก และสะดวกต่อการใช้งาน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

สำหรับรายละเอียดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีดังต่อไปนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 3 เฟส และ 1 เฟส โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส และ 1 เฟส สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ทฤษฎีสนามแม่เหล็ก ขวางของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ค่าสลิปของมอเตอร์ การควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบ PWM อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส หลักการ SVM โครงสร้าง และ คุณสมบัติทั่วไปของ FPGA

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบวงจรที่ใช้ในระบบ ซึ่งประกอบไปด้วย การออกแบบสัญญาณควบคุมมอเตอร์ การหา modulation index และมุมเฟส การออกแบบสัญญาณควบคุมสวิตช์ การออกแบบส่วนเชื่อมต่อระหว่างชุดรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์ กับชุด FPGA ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์ การออกแบบภาคขับสวิตช์ IGBT การออกแบบสร้างสัญญาณ PWM ที่ใช้ FPGA การออกแบบวงจรทวิแรงดัน

บทที่ 4 เป็นส่วนของการประยุกต์ใช้ FPGA เพื่อสร้างสัญญาณ SVM PWM โดยจะอธิบายการทำงานบล็อกไดอะแกรม ของ FPGA ซึ่งจะประกอบไปด้วย บล็อกของ input decoder parameter ซึ่งในรับค่าอินพุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์ บล็อก MEM_ACCESS บล็อก CAL_TIME บล็อก VEC_MOD บล็อก DEAD_TIME ของระบบมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส และ 1 เฟส

บทที่ 5 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบระบบอินเวอร์เตอร์ ขับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส และ 1 เฟส พร้อมทำการทดสอบภาระทางกลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 1 แรงม้า

บทที่ 6 สรุปการวิจัย และข้อเสนอแนะที่เกิดจากการทดลอง
ส่วนในภาคผนวก ก. จะเป็นรายละเอียดของ วงจรทั้งหมด ภาคผนวก ข. เป็นรายละเอียดของโปรแกรมในส่วนของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ FPGA