บทที่ 7
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ค้นคว้า ออกแบบและสร้างระบบอินเวอร์เตอร์แบบแปรความถี่การสวิตช์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยมีการคำนวณหาแบบแผนการแปรความถี่การสวิตช์ที่มุ่งให้มีการกระจายของสเปกตรัมของกระแสออกในช่วงกว้าง เพื่อลดความน่ารำคาญจากเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากมอเตอร์อันเนื่องมาจากการขับเคลื่อนด้วยอินเวอร์เตอร์ที่มีความถี่การสวิตช์คงที่ ซึ่งสเปกตรัมของกระแสจะมีค่าเด่นอยู่ที่ความถี่การสวิตช์และค่าพหุคูณของความถี่การสวิตช์ เป็นผลให้เกิดเสียงรบกวนที่เด่นชัดที่ความถี่การสวิตช์นั้น การใช้หลักการแปรความถี่การสวิตช์จะทำให้เสียงรบกวนไม่เกิดที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งอย่างเด่นชัด แต่จะเกิดเสียงขึ้นในช่วงความถี่กว้างทำให้หูมนุษย์รู้สึกว่าเสียงรบกวนน่ารำคาญน้อยลง

การคำนวณหาแบบแผนการแปรความถี่การสวิตช์ จะใช้หลักการของ optimal subcycle คือ การแปรความถี่การสวิตช์ในแต่ละ subcycle ให้มีค่าอาร์เอ็มเอสของกระแสฮาร์มอนิกในทุกๆ subcycle มีค่าเท่ากัน โดยที่แต่ละ subcycle มีคาบเวลาการสวิตช์ที่ต่างกัน เป็นผลให้สเปกตรัมของกระแสกระจายตัวออกในช่วงกว้าง ผลการหาแบบแผนการแปรความถี่การสวิตช์จะพบว่า พิสัยในการแปรความถี่การสวิตช์จะลดลงเมื่อดัชนีการมอดูเลตลดลง ดังนั้น ที่ความถี่มูลฐานต่ำ ๆ จะเห็นว่าความถี่การสวิตช์แทบจะไม่มีการแปรค่าเลย นั่นคือ มีลักษณะใกล้เคียงกับระบบที่มีความถี่การสวิตช์คงที่ซึ่งเป็นผลให้สเปกตรัมของกระแสฮาร์มอนิกกระจายตัวได้ไม่ดี โดยจะเกาะกลุ่มกันที่บริเวณความถี่การสวิตช์และค่าพหุคูณของความถี่การสวิตช์เช่นเดียวกับระบบที่มีการสวิตช์คงที่ ในวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอว่าเพื่อให้สเปกตรัมของกระแสมีการกระจายตัวที่ดี เราจะคงค่าแบบแผนการแปรความถี่การสวิตช์ไว้ ณ จุดที่มีพิสัยการแปรความถี่ที่กว้างที่สุดคือที่ดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 1

จากวิธีการคำนวณหาแบบแผนการแปรความถี่การสวิตช์ที่ใช้วิธี optimal subcycle นั้นจะต้องใช้กรรมวิธีทาง numerical ในการคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการคำนวณ ซึ่งเป็นวิธีการที่ยุ่งยากในการนำไปประยุกต์ใช้ ดังนั้น เมื่อเราเลือกแบบแผนการแปรความถี่การสวิตช์ ณ จุดที่ดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 1 เราพิจารณาเห็นว่าลักษณะการแปรความถี่การสวิตช์มีความคล้ายกับฟังก์ชันค่าสัมบูรณ์ของไซน์ที่มีค่า dc offset มาก ดังนั้นเราสามารถประมาณแบบแผนการ

แปรความถี่การสวิตช์ด้วยฟังก์ชันค่าสัมบูรณ์ของไซน์ที่มี dc offsetได้ ดังแสดงรายละเอียดในบทที่ 3

เมื่อเราได้แบบแผนการแปรความถี่การสวิตช์มาแล้ว เมื่อทำการทดสอบด้วยการจำลองระบบก็จะได้ผลของสเปกตรัมของกระแสจากการจำลองระบบที่สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ จากนั้นจึงจำลองระบบเพิ่มเติมโดยรวมผลจากเวลาช่วงตายเข้าไปด้วย ผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่า แรงดันที่ผิดเพี้ยนจากผลของเวลาช่วงตายมีผลกระทบมากพอควรกับระบบที่มีการแปรความถี่การสวิตช์ ดังแสดงรายละเอียดในบทที่ 4 จากนั้นจึงสร้างระบบจริงขึ้น โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 80C196MC ของ Intel เป็นตัวสร้างสัญญาณ PWM แบบแปรความถี่การสวิตช์ตามที่ได้ออกแบบไว้และยังทำหน้าที่ควบคุมระบบโดยรวมทั้งหมด การที่เราจะประยุกต์หลักการที่ได้ศึกษาไว้ให้ใช้ได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เราต้องพิจารณาโครงสร้างของหน่วยสร้างสัญญาณ PWM ก็คือ ทุก ๆ ครั้งที่สิ้นสุดคาบสวิตช์จะมีการอินเตอร์รัพต์เกิดขึ้น โปรแกรมบริการอินเตอร์รัพต์จะทำการคำนวณความกว้างพัลส์ของแต่ละเฟส แล้วโหลดข้อมูลดังกล่าวเก็บไว้ในบัฟเฟอร์สำหรับเปรียบเทียบเพื่อสร้างความกว้างพัลส์ในคาบการสวิตช์ถัดไป ด้วยเหตุนี้ ความกว้างพัลส์ที่คำนวณได้ในคาบเวลาการสวิตช์ปัจจุบัน จะถูกสร้างขึ้นในคาบเวลาการสวิตช์ถัดไป ทำให้เกิดการหน่วงเวลาของการสร้างเวกเตอร์แรงดันขึ้น ในระบบที่มีความถี่การสวิตช์คงที่จะไม่พบปัญหาดังกล่าว เนื่องจากทุก ๆ คาบการสวิตช์มีคาบเวลาเท่ากัน แต่ในระบบที่การแปรความถี่การสวิตช์ไม่ว่าจะแปรด้วยแบบแผนใด ๆ ก็ตาม จะพบปัญหาเรื่องการคำนวณเวกเตอร์แรงดันจะผิดพลาดเมื่อมีการหน่วงเวลาดังกล่าวเกิดขึ้น โดยรายละเอียดอธิบายในบทที่ 5 ดังนั้นวิธีแก้ไขก็คือ ต้องคำนวณค่าล่วงหน้าไว้ 1 คาบเวลาการสวิตช์จะทำให้ปัญหาดังกล่าวหมดไป

เมื่อแก้ปัญหาดังกล่าวได้แล้ว ในการทดสอบโดยการขับเคลื่อนมอเตอร์จะพบว่ารูปคลื่นของกระแสเฟสของมอเตอร์ที่ได้มีความผิดเพี้ยนอยู่พอสมควร ดังที่ทราบมาแล้วจากผลการจำลองระบบว่า การผิดเพี้ยนดังกล่าวเกิดจากค่าเวลาช่วงตายของระบบ เนื่องจากระบบมีค่าเวลาช่วงตายคงที่แต่มีความถี่การสวิตช์ที่แปรค่าได้ ดังนั้น ผลกระทบของค่าเวลาช่วงตาย ณ คาบการสวิตช์ที่มีความถี่การสวิตช์สูงย่อมมีผลกระทบมากกว่าคาบการสวิตช์ ที่มีความถี่การสวิตช์ต่ำ ดังนั้น เราควรจะลดผลของเวลาช่วงตายนี้ให้น้อยที่สุดโดยลดค่าเวลาช่วงตายลง แต่ในระบบจริงเราไม่สามารถทำให้ค่าเวลาช่วงตายเป็นศูนย์ได้ จึงทำการทดสอบที่ค่าเวลาช่วงตายเป็น 1μs ซึ่งผลที่ได้จะเห็นว่ารูปคลื่นกระแสมีความใกล้เคียงไซน์มากขึ้น ดังแสดงอยู่ในบทที่ 6

หลังจากผ่านการแก้ปัญหาเรื่องความผิดเพี้ยนเรื่องกระแสได้แล้ว จึงทำการทดสอบหาสเปกตรัมของกระแสมอเตอร์ ซึ่งก็ได้ผลที่สอดคล้องกับการจำลองระบบ คือ เมื่อแปรความถี่การสวิตช์ในแบบแผนค่าสัมบูรณ์ของไซน์สเปกตรัมของกระแสจะกระจายตัวออกในช่วงกว้าง ไม่เกิด

ค่าเด่นที่ความถี่ใดความถี่หนึ่ง แต่ที่ความถี่มูลฐาน 50Hz จะเห็นว่าสเปกตรัมของกระแสจะกระจายตัวไม่ดีนัก เนื่องจากจำนวน subcycle มีน้อยทำให้การแปรความถี่การสวิตช์ไม่ละเอียดพอ ดังแสดงในบทที่ 6 แต่ที่ความถี่มูลฐานต่ำลงสเปกตรัมของกระแสจะกระจายตัวได้ดี

เมื่อทดสอบวัดเสียงรบกวนที่เกิดจากตัวมอเตอร์ เราจะใช้หน่วยวัดเป็น dB(A) คือ การวัดเสียงในหน่วยเดซิเบลที่มีการถ่วงน้ำหนักแบบ A เพื่อชดเชยผลการตอบสนองความถี่ของหูมนุษย์ด้วย ผลจากการวัดจะเห็นว่าสเปกตรัมของเสียงที่เกิดขึ้นในระบบที่มีการแปรความถี่การสวิตช์นั้นจะกระจายตัวออกรอบ ๆ ความถี่การสวิตช์เฉลี่ย (ซึ่งความถี่การสวิตช์เฉลี่ยของระบบที่มีการแปรความถี่การสวิตช์ จะมีค่าเท่ากับความถี่การสวิตช์ของระบบที่มีความถี่การสวิตช์คงที่) ในขณะที่ระบบที่มีความถี่การสวิตช์คงที่จะมีสเปกตรัมของเสียงเด่นอยู่ที่ความถี่การสวิตช์ เสียงที่ได้ยินจากมอเตอร์ในระบบที่มีความถี่การสวิตช์คงที่จึงมีลักษณะเป็นเสียงหวีดแหลม ในขณะที่ระบบที่มีการแปรความถี่การสวิตช์เสียงจะมีลักษณะซ่าคล้ายเสียงฝนตก ดังนั้น ความรู้สึกของมนุษย์ที่ได้รับฟังเสียงทั้งสองแบบนี้เปรียบเทียบกัน จะรู้สึกว่าเสียงที่เกิดจากระบบอินเวอร์เตอร์ที่มีการแปรความถี่การสวิตช์จะน่ารำคาญน้อยกว่าซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

<u>ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป</u>

1. เนื่องจากค่าเวลาช่วงตายมีผลกระทบต่อระบบอินเวอร์เตอร์แบบแปรความถี่การสวิตช์ค่อนข้างมาก จึงควรมีการเขียนซอฟต์แวร์ชดเชยเวลาช่วงตาย โดยต้องตรวจจับทิศทางของกระแสแต่ละเฟสมาใช้ในการคำนวณค่าแรงดันที่จะสร้างชดเชยให้แก่แต่ละเฟส
2. ในการออกแบบระบบอินเวอร์เตอร์ของวิทยานิพนธ์นี้ ใช้วิธีการสร้าง PWM แบบอะซิงโครนัส เนื่องจากง่ายในการสร้าง ถ้าเราสามารถทำให้เป็นระบบซิงโครนัสได้จะได้ผลดีกว่า เนื่องจากจะไม่มีฮาร์มอนิกคู่และซับฮาร์มอนิก(sub-harmonic)เกิดขึ้น แต่การคำนวณและการสร้างระบบจริงจะยุ่งยากมากกว่า
3. วัตถุประสงค์ในการแปรความถี่การสวิตช์ไม่ได้จำกัดอยู่แค่การลดเสียงรบกวนหรือการกระจายสเปกตรัมของกระแสเท่านั้น เราจะใช้เทคนิคในการแปรความถี่การสวิตช์ในการลดการสั่นของแรงบิด(torque pulsation)ดังที่มีผู้เคยวิจัยไว้(Iwaji and Fukuda, 1992) หรืออาจจะดัดแปลงใช้กับวัตถุประสงค์อื่น ๆ ได้ โดยหาแบบแผนการแปรความถี่การสวิตช์ใหม่ได้เหมาะสมกับระบบที่ต้องการ