

บทที่ 4

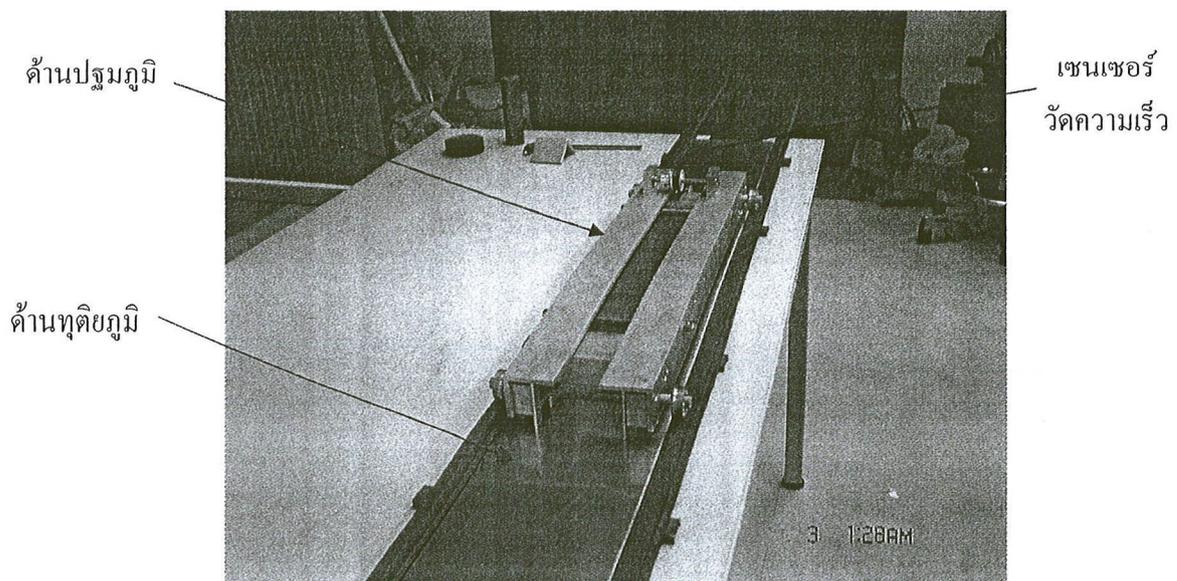
ผลการทดลอง

การทดสอบในโครงการวิจัย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. การทดสอบระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น
2. การทดสอบชุดประมวลผลสัญญาณของระบบควบคุม

4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดพื้นฐานที่ใช้ในการทดสอบ

ลักษณะ โครงสร้างแบบจำลองของรถไฟฟ้าแบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นที่สร้างขึ้น แสดงดังในรูปที่ 4.1

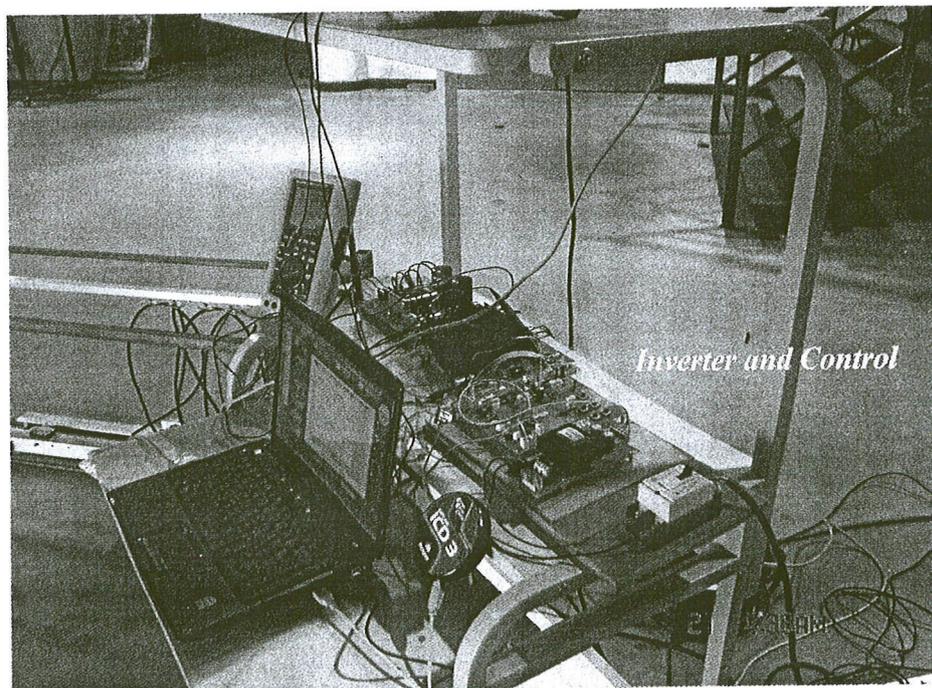
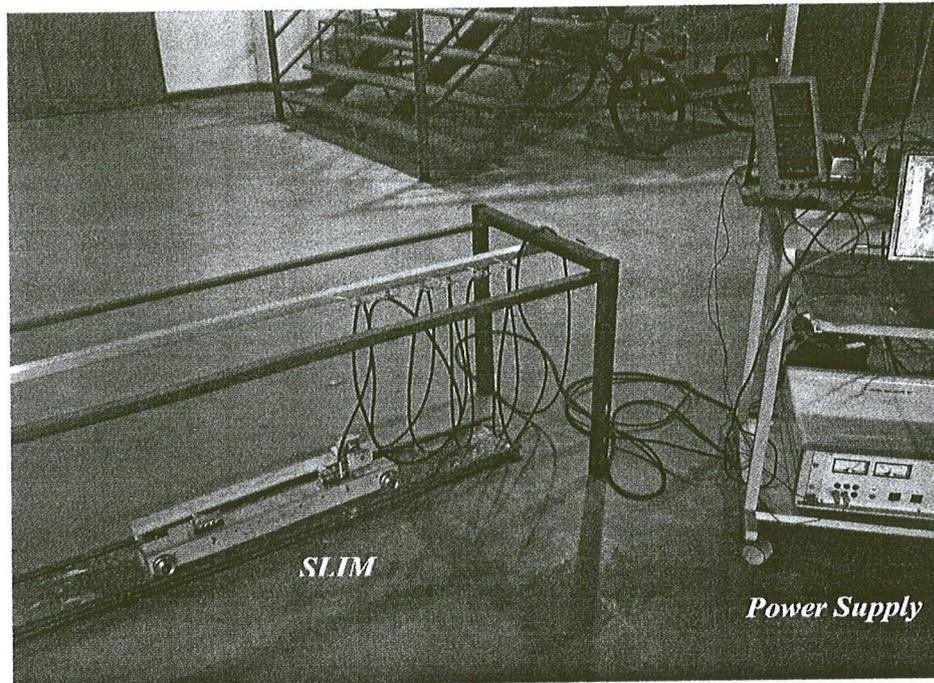


รูปที่ 4.1 แบบจำลองรถไฟฟ้าขนาดเล็กแบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น

อุปกรณ์และเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้ประกอบในการทดสอบระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น ประกอบด้วย

1. ออสซิลโลสโคป
2. โวลต์มิเตอร์
3. AC/DC Current probe
4. มอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นแบบด้านเดียว (SLIM) ที่สร้างขึ้น

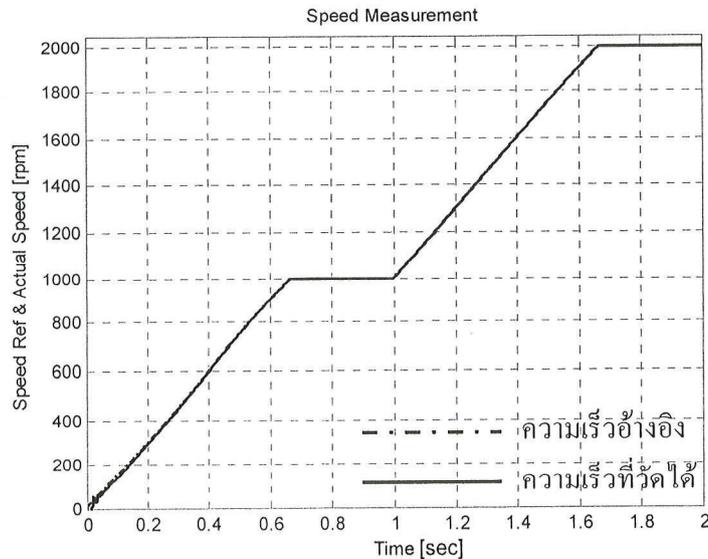
5. วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสพร้อมวงจรถวลุมที่สร้างขึ้นสำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น
6. แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงปรับค่าได้ ขนาด 0- 310 โวลต์ 10 แอมป์



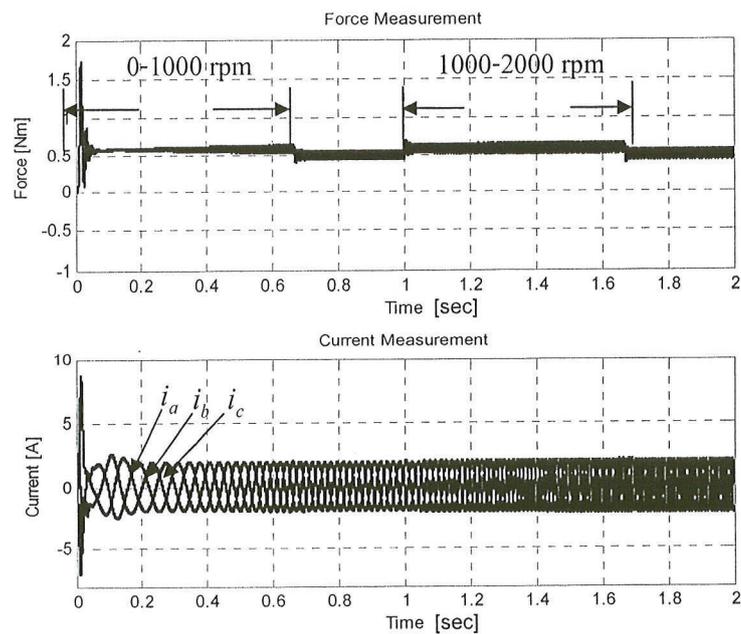
รูปที่ 4.2 ชุดทดลองสำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น

4.2 การทดสอบแบบจำลองการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น

การทดสอบ เริ่มจากการทดสอบผลตอบสนองความเร็วเมื่อทำการตั้งค่าความเร็วไว้ที่ 1000 rpm และ 2000 rpm และบรรทุกโหลดขนาด 0.5 Nm เพื่อดูผลตอบสนองระหว่างความเร็วที่วัดได้ (Speed Actual) และความเร็วที่ตั้งไว้ (Speed Command) รวมถึงผลตอบสนองของแรง และกระแสเฟสที่เกิดขึ้น ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.3 และ 4.4

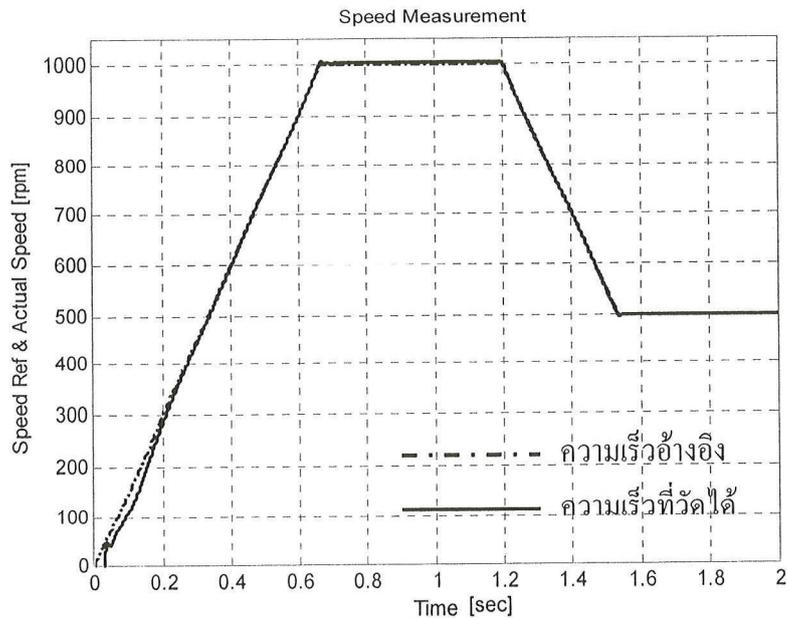


รูปที่ 4.3 ผลตอบสนองความเร็วที่ 1000 rpm และปรับเพิ่มขึ้น 2000 rpm ขณะบรรทุกโหลด 0.5 Nm

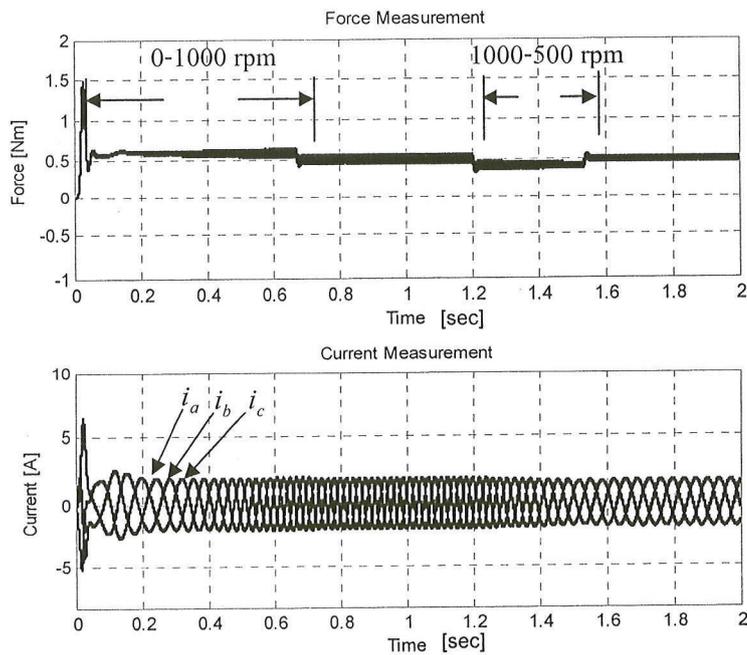


รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองของแรง (Force) และกระแสเฟส ในขณะที่บรรทุกโหลด 0.5 Nm

ลำดับต่อไปทดสอบปรับความเร็วอ้างอิงไว้ที่ 1000 rpm และลดลง 500 rpm ในขณะที่
 บรรทุกโหลดขนาด 0.5 Nm เพื่อดูผลตอบสนองความเร็วที่วัดได้ (Speed Measurement) และ
 ความเร็วที่ปรับตั้งไว้ (Speed Command) เป็นการจำลองในกรณีที่ต้องการลดความเร็วของมอเตอร์
 โดยผลการทดสอบที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

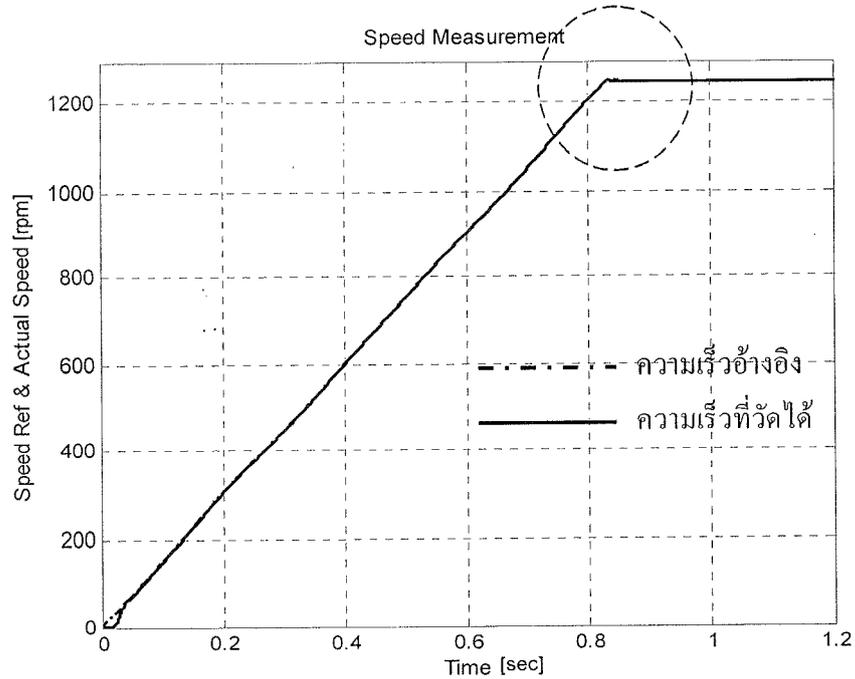


รูปที่ 4.5 ผลตอบสนองความเร็วที่ 1000 rpm และปรับลดลง 500 rpm ขณะบรรทุกโหลด 0.5 Nm

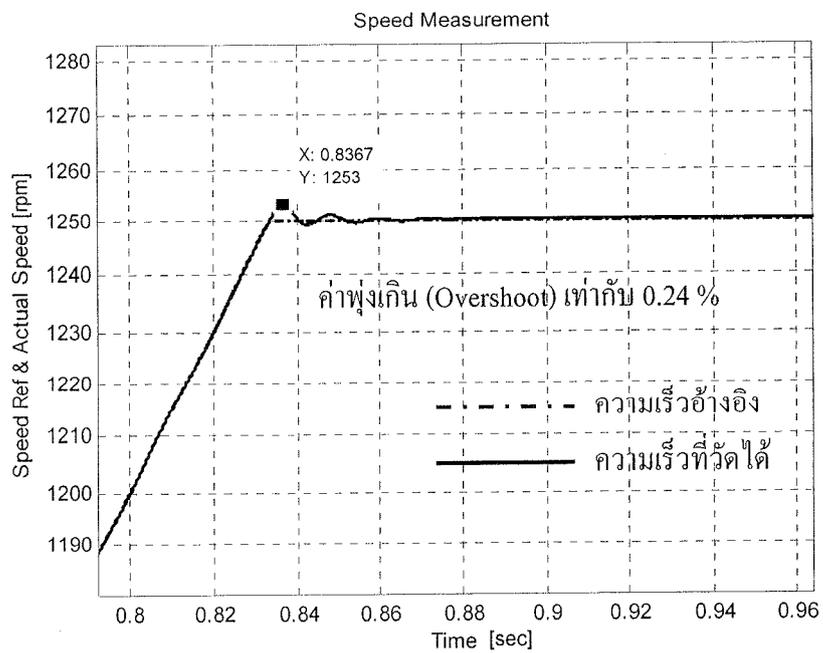


รูปที่ 4.6 ผลตอบสนองของแรง (Force) และกระแสเฟส ในขณะบรรทุกโหลด 0.5 Nm

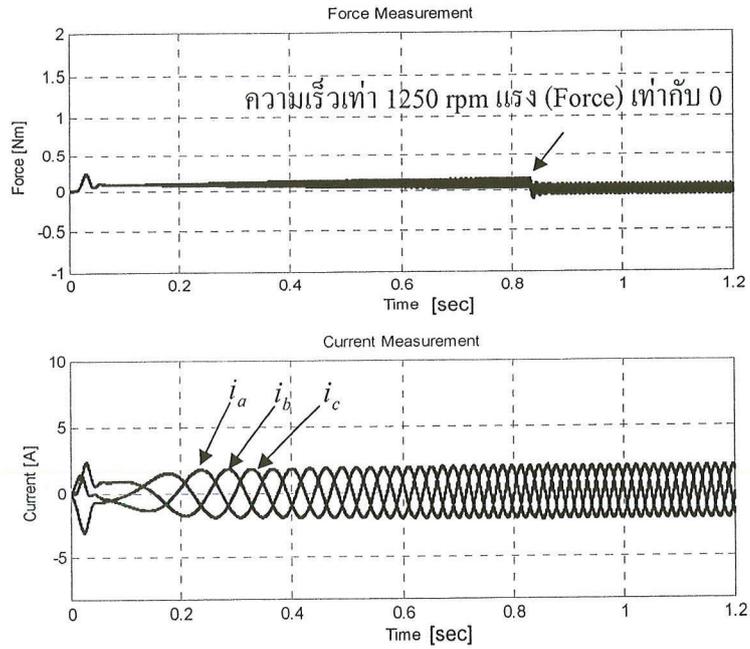
ทำการทดสอบขณะไม่มีโหลดเพื่อดูผลตอบสนองความเร็ว โดยที่การปรับตั้งค่าความเร็วไว้ที่ 1250 rpm ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.7 ผลตอบสนองความเร็วขณะไม่มีโหลด

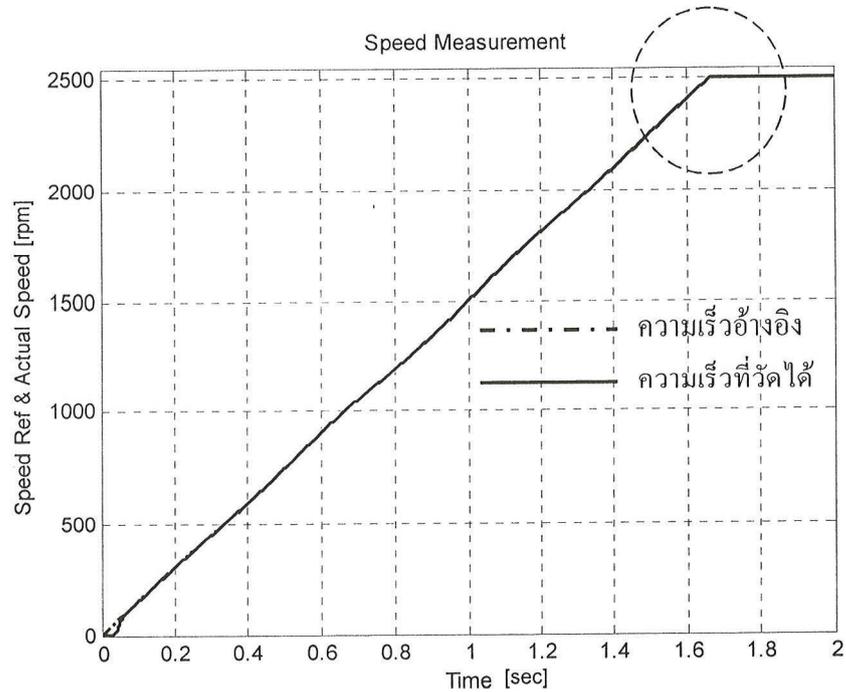


รูปที่ 4.8 ภาพขยายผลตอบสนองความเร็ว 1250 rpm ขณะไม่มีโหลด

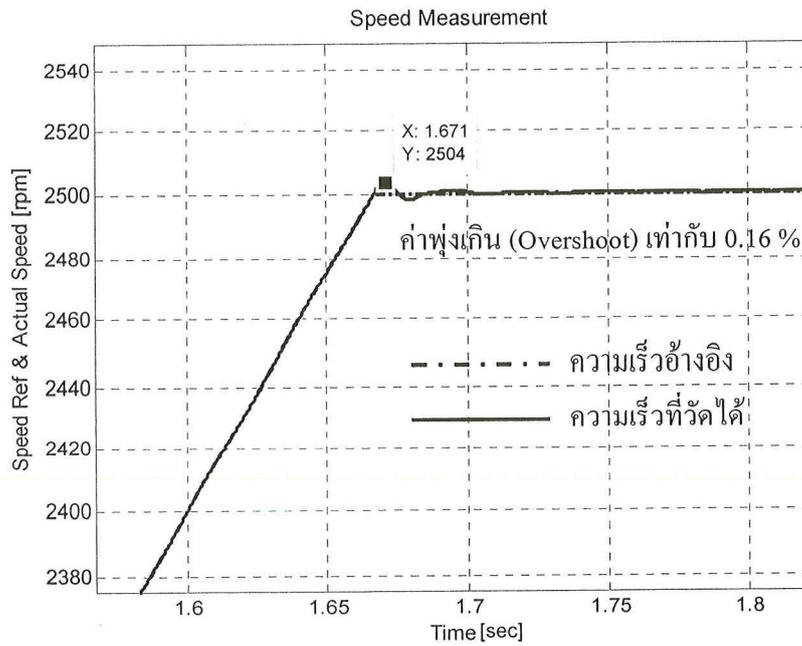


รูปที่ 4.9 ผลตอบสนองของแรง (Force) ที่เกิดขึ้น และกระแสที่ความเร็ว 1250 rpm ขณะไม่มีโหลด

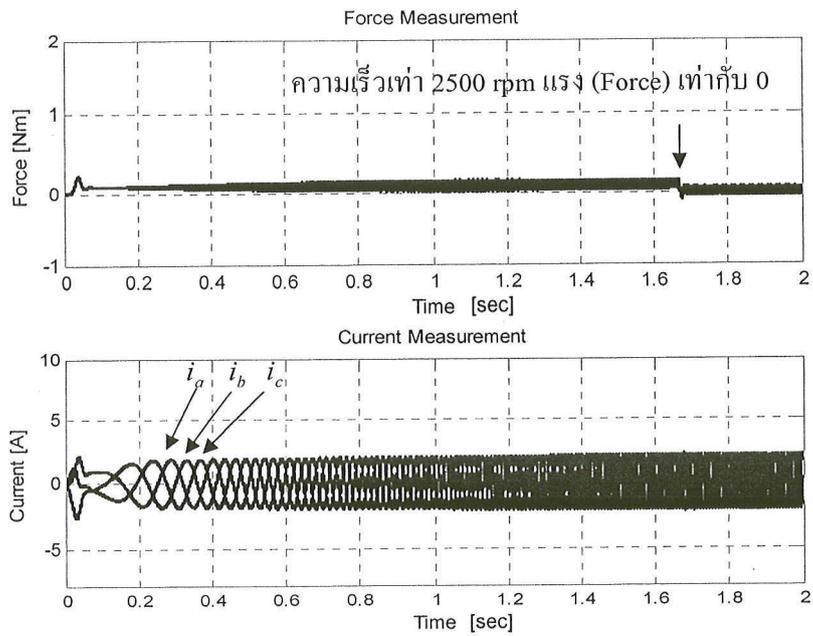
ทำการทดสอบความเร็วที่ 2500 rpm ขณะที่ไม่มีโหลด เพื่อดูผลตอบสนองของระบบ เมื่อมอเตอร์ทำงานที่ความเร็วสูง ผลการทดสอบที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12



รูปที่ 4.10 ผลตอบสนองความเร็วที่ 2500 rpm ขณะไม่มีโหลด

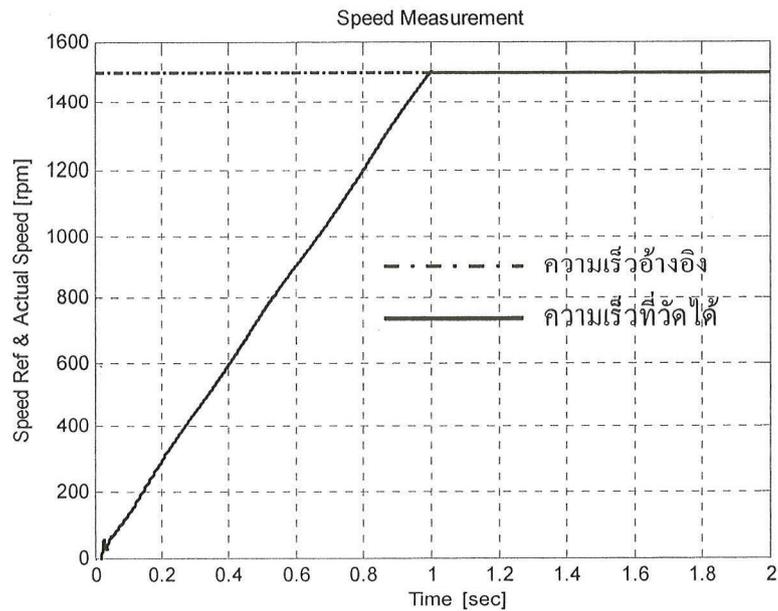


รูปที่ 4.11 ภาพขยายผลตอบสนองความเร็วที่ 2500 rpm ขณะไม่มีโหลด

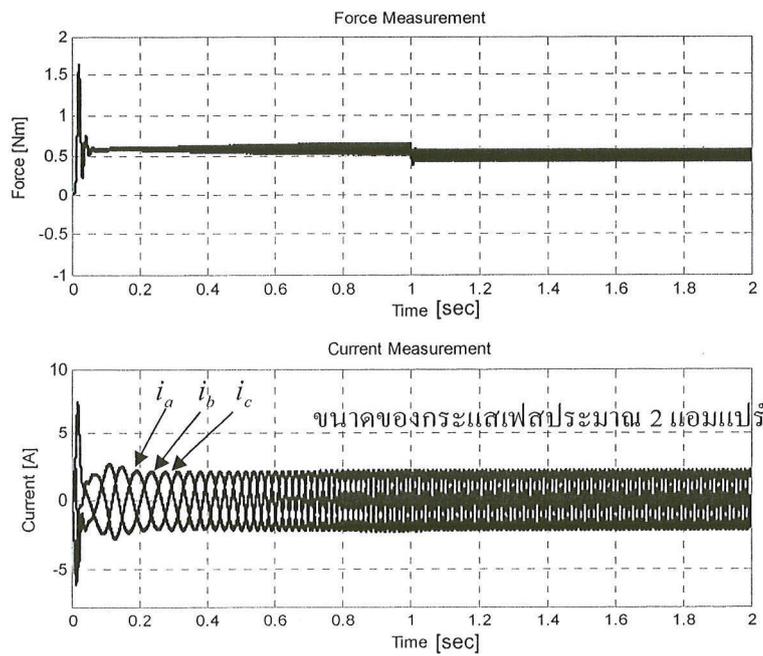


รูปที่ 4.12 ผลตอบสนองของแรง (Force) ที่เกิดขึ้น และกระแสขณะไม่มีโหลด

ทำการทดสอบที่ความเร็ว 1500 rpm. บรรทุกโหลดขนาด 0.5 Nm เพื่อดูผลตอบสนองความเร็ว ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.13 และผลตอบสนองของแรง (Force) ที่เกิดขึ้น และกระแสเฟสแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 ผลตอบสนองความเร็วที่ 1500 rpm. ขณะบรรทุกโหลด 0.5 Nm



รูปที่ 4.14 ผลตอบสนองของแรง (Force) ที่เกิดขึ้น และกระแสเฟส

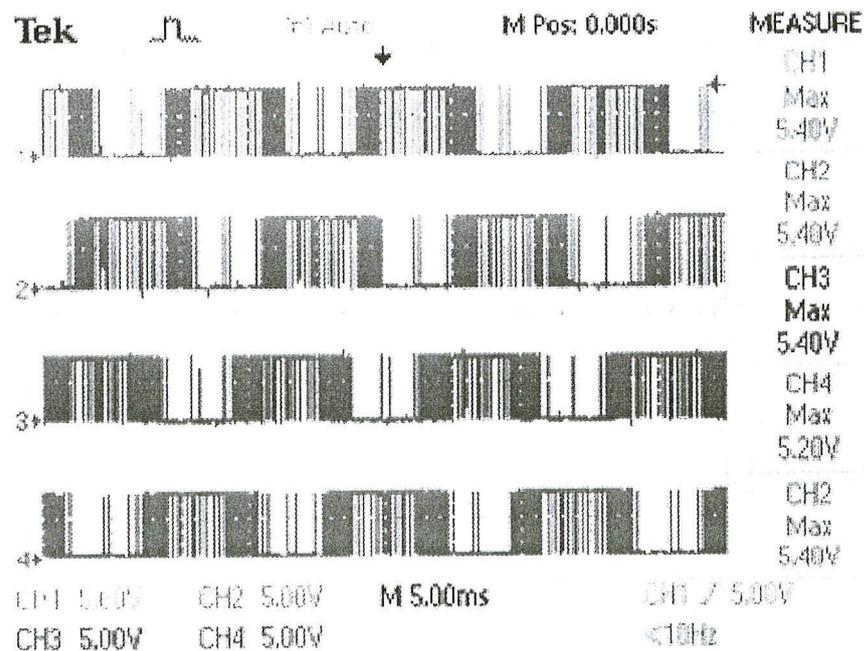
4.3 การทดสอบหาคะควบคุม

เมื่อทำการจำลองการทำงานแบบจำลองของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น ในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK แล้ว ผลที่ได้นั้นสามารถควบคุมความเร็วของแบบจำลองมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นได้เป็นอย่างดี ขั้นตอนต่อไปคือทดสอบการทำงานของ ฮาร์ดแวร์ระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น ที่สร้างขึ้นเพื่อผลการทำงาน

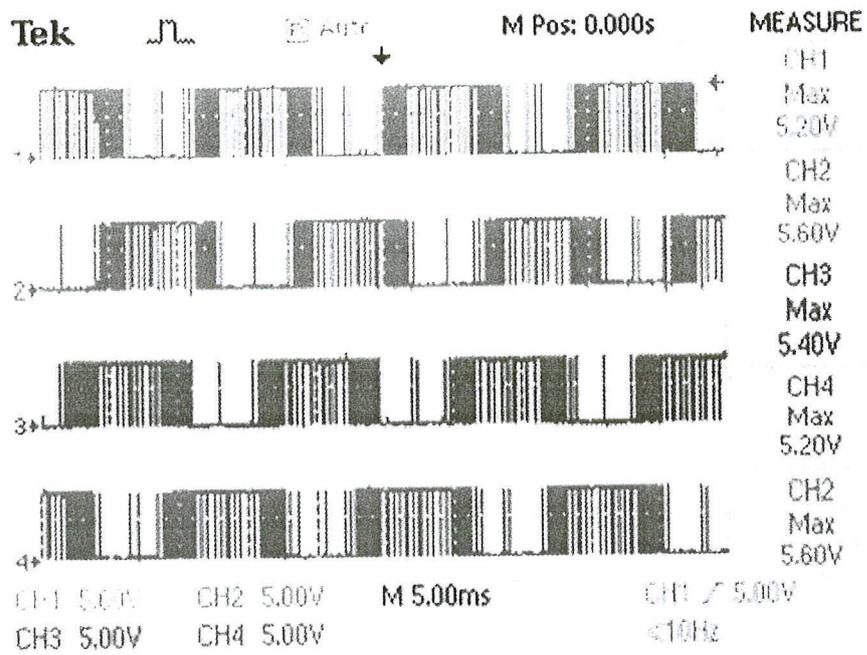
4.3.1 ผลการทดลองการสร้างสัญญาณ SVPWM โดย dsPIC30F2010

ในการทำงานของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในวงจร (ในโครงการวิจัยนี้ ใช้เป็น IGBT) นั้น ใช้การควบคุมด้วยสัญญาณ PWM ตามหลักการ Space Vector Modulation (SVPWM) ทั้งนี้ จะทำการสร้างสัญญาณควบคุมนี้ โดยการประยุกต์ใช้บอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล dsPIC30F2010 ของบริษัท Microchip จำกัด

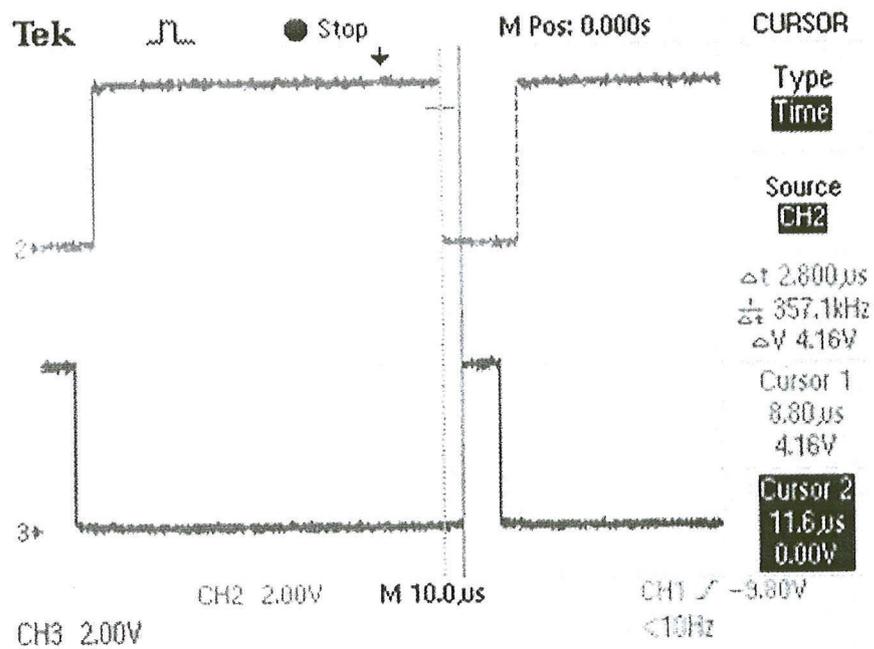
การทดลองเริ่มจากการวัดสัญญาณ SVPWM ที่ขา PWM1L, PWM1H, PWM2L, PWM2H, PWM3L และ PWM3H ของชิพ dsPIC30F2010 นั้นมีขนาด 5 โวลต์ สัญญาณที่สร้างขึ้นมีขนาดความถี่ 16 กิโลเฮิร์ตซ์ แสดงดังรูปที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ ผลการวัดสัญญาณที่ได้มีความสมบูรณ์ จากนั้นทำการวัดค่าเวลาวิกฤต (Dead Time) เนื่องจากสวิตช์แต่ละตัวจะต้องได้รับการ OFF จนสมบูรณ์เสียก่อน จึงจะทำการ ON สวิตช์อีกตัวหนึ่งได้ มิฉะนั้นจะเกิดลัดวงจรขึ้น ซึ่งช่วงเวลานี้ เรียกว่า Dead Time โดยแสดงดังรูปที่ 4.17 และ 4.18



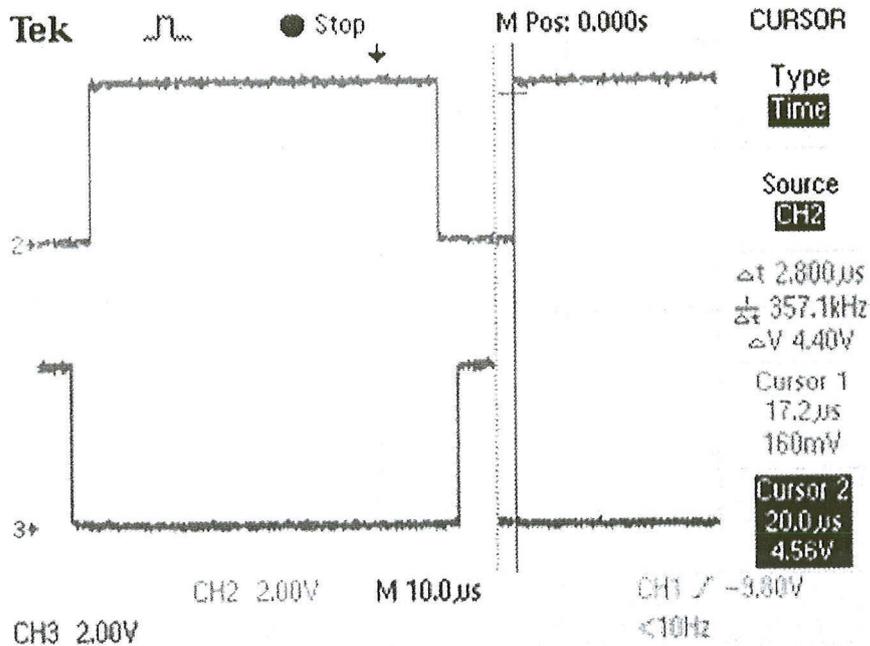
รูปที่ 4.15 สัญญาณที่ขา PWM1L-PWM1H-PWM2L-PWM2H ของ dsPIC30F2010



รูปที่ 4.16 สัญญาณ PWM ที่ขา PWM2L-PWM2H-PWM3L-PWM3H ของ dsPIC30F2010

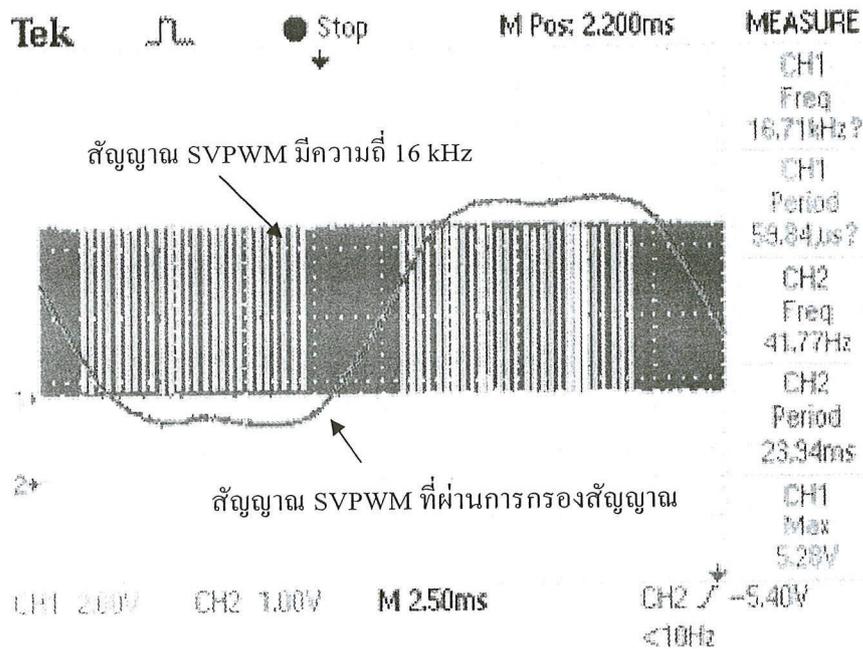


รูปที่ 4.17 เวลาวิกฤต (Dead Time) ด้านหน้าขนาด 2.8 ไมโครวินาที

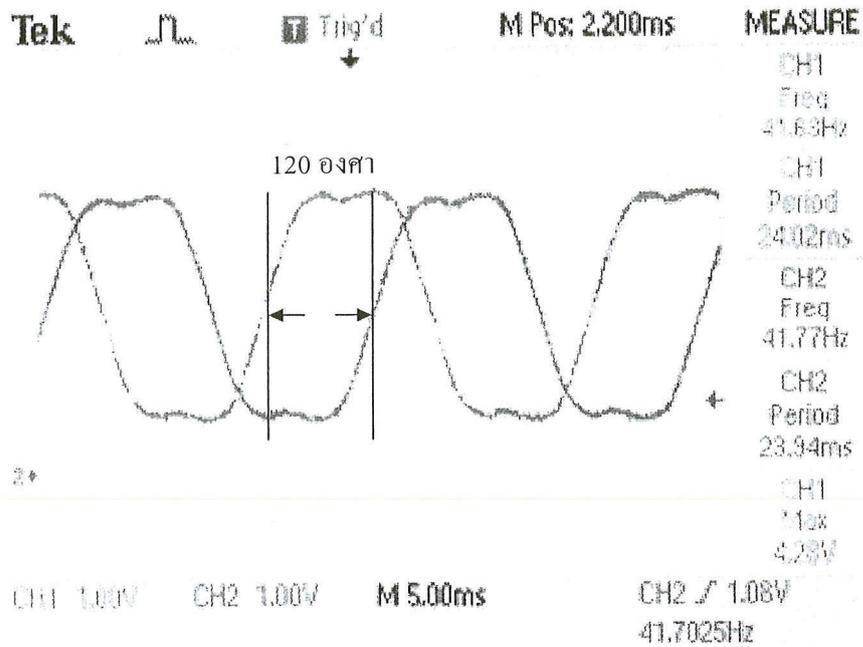


รูปที่ 4.18 เวลาวิฤต (Dead Time) ด้านหลังขนาด 2.8 ไมโครวินาที

จากนั้น ทำการวัดสัญญาณ SVPWM ที่ยังไม่ผ่านการกรองความถี่ เปรียบเทียบกับสัญญาณ SVPWM ที่ผ่านการกรองสัญญาณแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ซึ่งสัญญาณ SVPWM ที่ผ่านการกรองสัญญาณแล้ว จะมีรูปร่างเหมือนสัญญาณฮาร์มอนิกอันดับที่สามของสัญญาณไซน์ ทั้งนี้สัญญาณแต่ละเฟสที่สร้างขึ้นจะต้องมีความต่างเฟสกัน 120 องศาไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.20

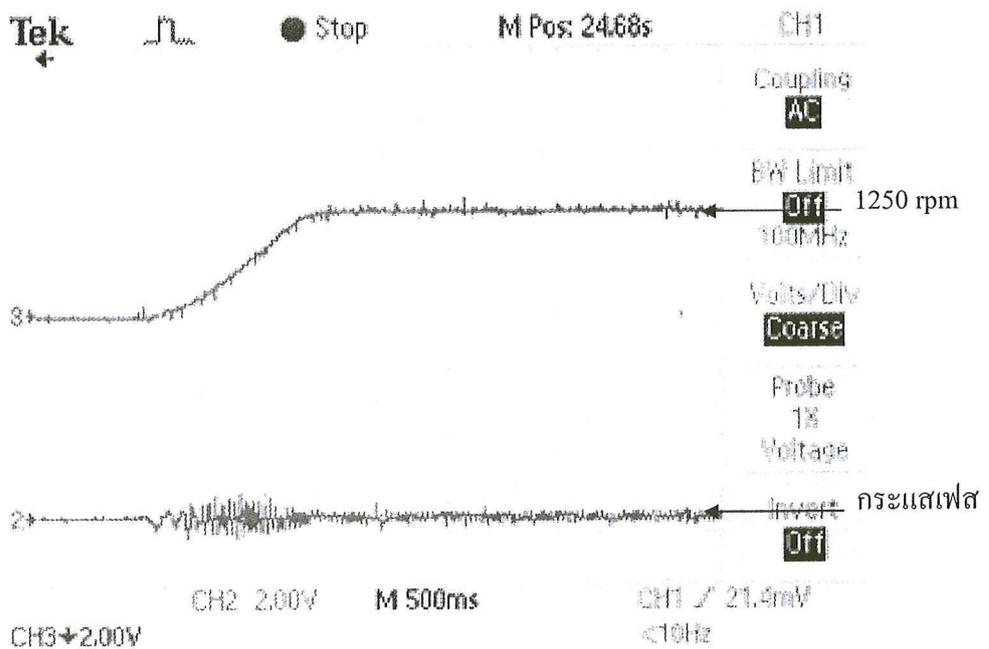


รูปที่ 4.19 สัญญาณ SVPWM เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองความถี่

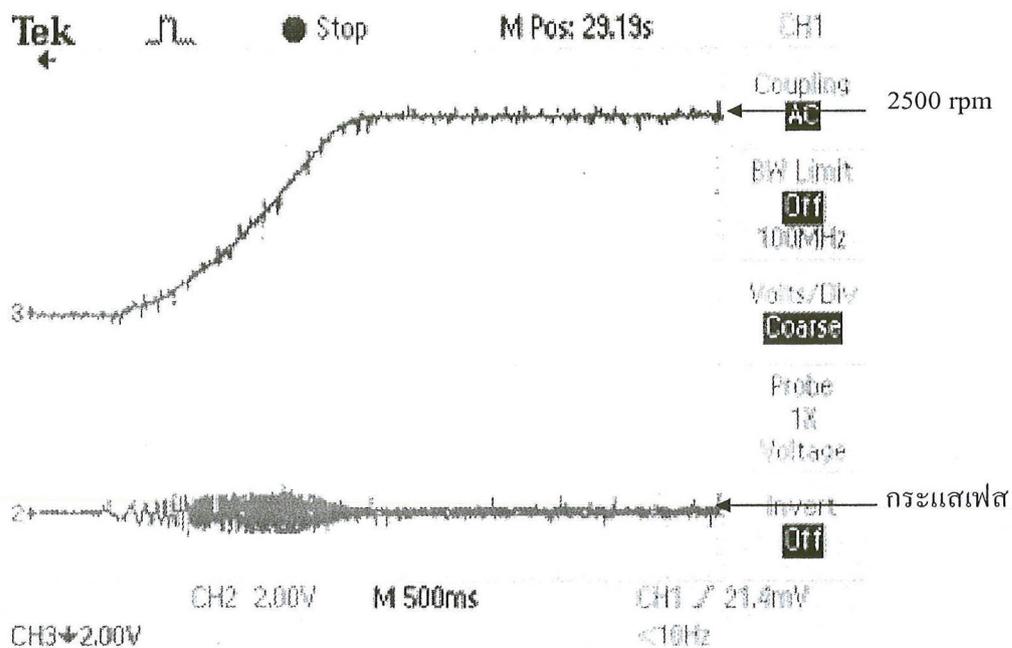


รูปที่ 4.20 สัญญาณแรงดัน SVPWM เฟสที่ 1 และ 2 จะต่างเฟสกัน 120 องศาไฟฟ้า

ต่อไปเป็นการทดสอบการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น โดยทำการปรับค่าความเร็วที่ 1250 rpm ในขณะที่ไม่มีโหลด ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.21 ซึ่งจะเห็นว่าสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ที่ 1250 rpm ได้ และเมื่อเปลี่ยนความเร็วเป็น 2500 rpm (ขณะไม่มีโหลดเช่นกัน) ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.21

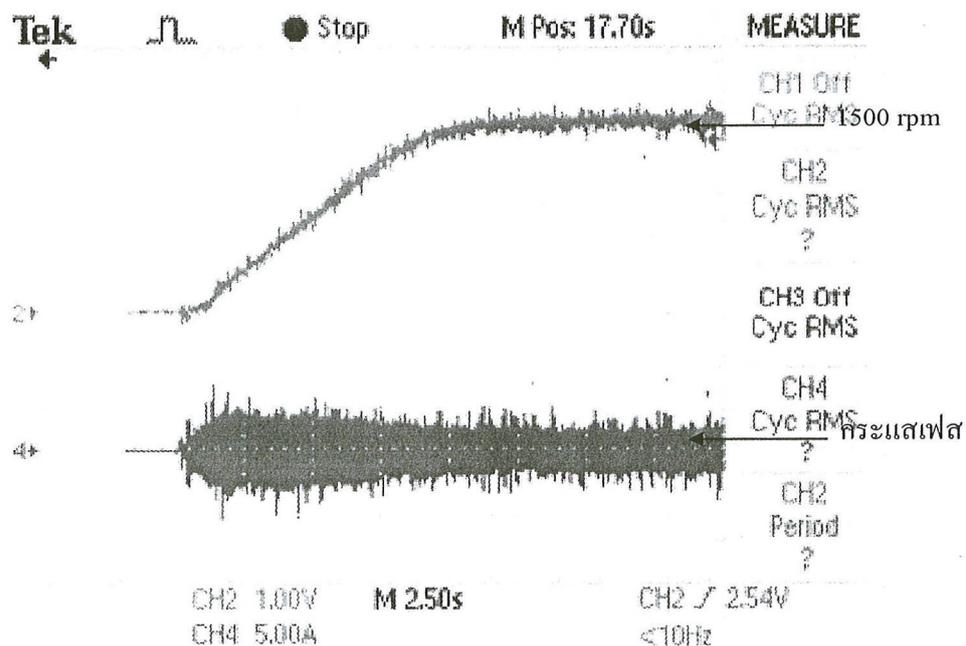


รูปที่ 4.21 ความเร็วและกระแสเฟสเมื่อความเร็วอ้างอิง 1250 rpm ขณะมอเตอร์ไม่มีโหลด

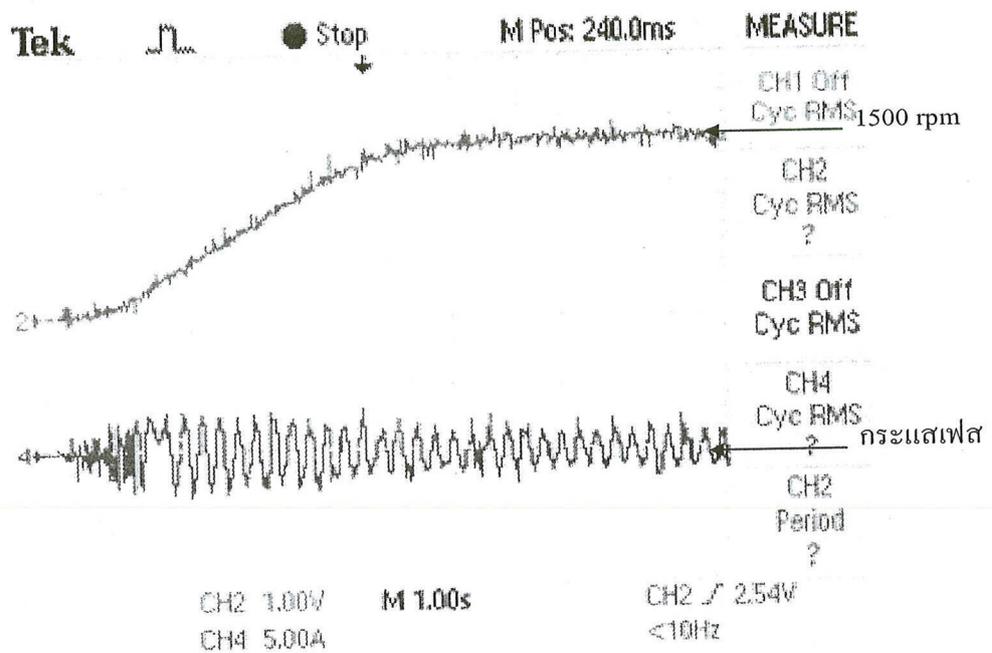


รูปที่ 4.22 ความเร็วและกระแสเฟส เมื่อความเร็วอ้างอิงที่ 2500 rpm ขณะมอเตอร์ไม่มีโหลด

และทำการทดลองโดยการปรับความเร็วไว้ที่ 1500 rpm และบรรทุกโหลดขนาด 0.5 Nm. จะได้สัญญาณความเร็วและกระแสมอเตอร์ดังรูปที่ 4.23 ทั้งนี้สามารถขยายฐานเวลาให้เห็นภาพได้ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.24

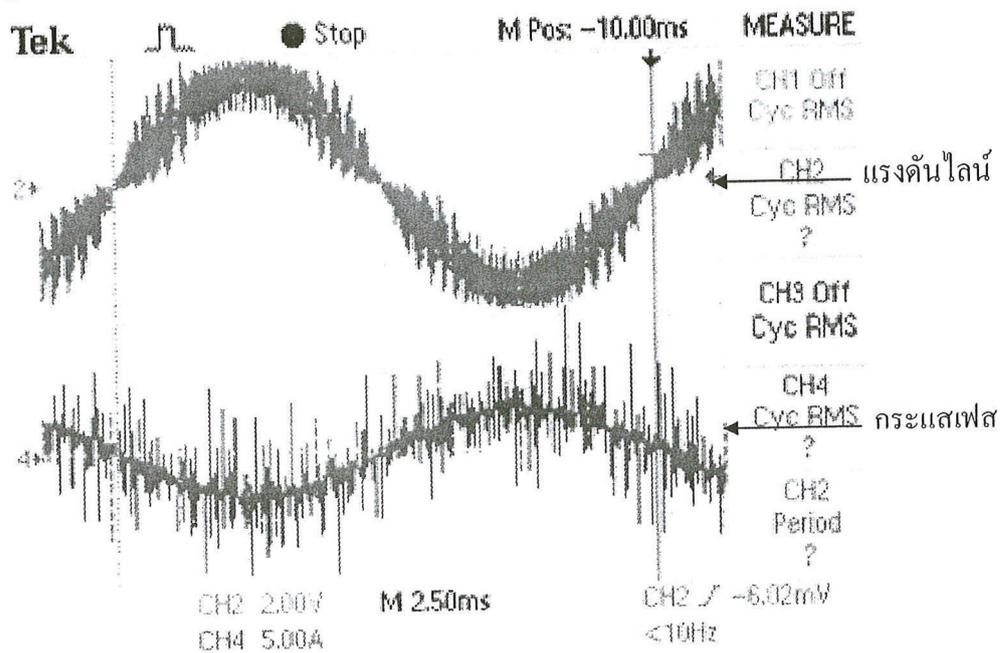


รูปที่ 4.23 ความเร็วและกระแสเฟส เมื่อความเร็วอ้างอิงที่ 1500 rpm ขณะมอเตอร์มีโหลด 0.5 Nm



รูปที่ 4.24 ภาพขยายผลตอบสนองความเร็วและกระแสเฟสของรูปที่ 4.23

ทั้งนี้แรงดันสายไฟ (Line Voltage) และกระแสเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น ขณะทำงานที่ความเร็ว 1500 rpm และมีโหลด 0.5 Nm. โดยกระแสเฟสจะมีค่าอาร์เอ็มเอสประมาณ 2 A. แสดงดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 รูปคลื่นแรงดันสายไฟ (Line Voltage) และกระแสเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น ที่ความเร็ว 1500 rpm ขณะมีโหลด 0.5 Nm

4.4 สรุปการทดลอง

จากรูปที่ 4.25 จะเห็นว่ากระแสเฟสของมอเตอร์ขณะบรรทุกโหลด 0.5 Nm. มีขนาด 2A โดยประมาณ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลที่จำลองได้ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK และผลการทดสอบชุดควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นที่สร้างขึ้น สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยดูจากผลการทดลองเมื่อทำการปรับตั้งความเร็วอ้างอิงไว้ แล้วทำการสั่งให้ระบบทำงาน ซึ่งชุดควบคุมสามารถจ่ายพลังงานให้มอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น และสามารถทำความเร็วของมอเตอร์ให้ได้ตามความเร็วที่ต้องการได้ แต่การทดสอบระบบยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง เนื่องจากความยาวของรางรถไฟในโครงการวิจัยนี้มีระยะทางค่อนข้างจำกัด

อย่างไรก็ตามระบบควบคุมในโครงการนี้นับว่ายังไม่สมบูรณ์นัก เนื่องจากระบบยังสามารถคุมค่าความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ขณะมีการเปลี่ยนแปลงโหลดกะทันหันได้ ซึ่งระบบควรได้รับการปรับปรุงและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการควบคุมความเร็วและแรงบิดแบบป้อนกลับสัญญาณ ซึ่งคณะวิจัยเห็นว่าการปรับคุมอัตโนมัติ (Adaptive control) ของค่าตัวควบคุมของระบบควบคุมมอเตอร์เป็นหัวข้อที่น่าสนใจในอนาคตต่อไป