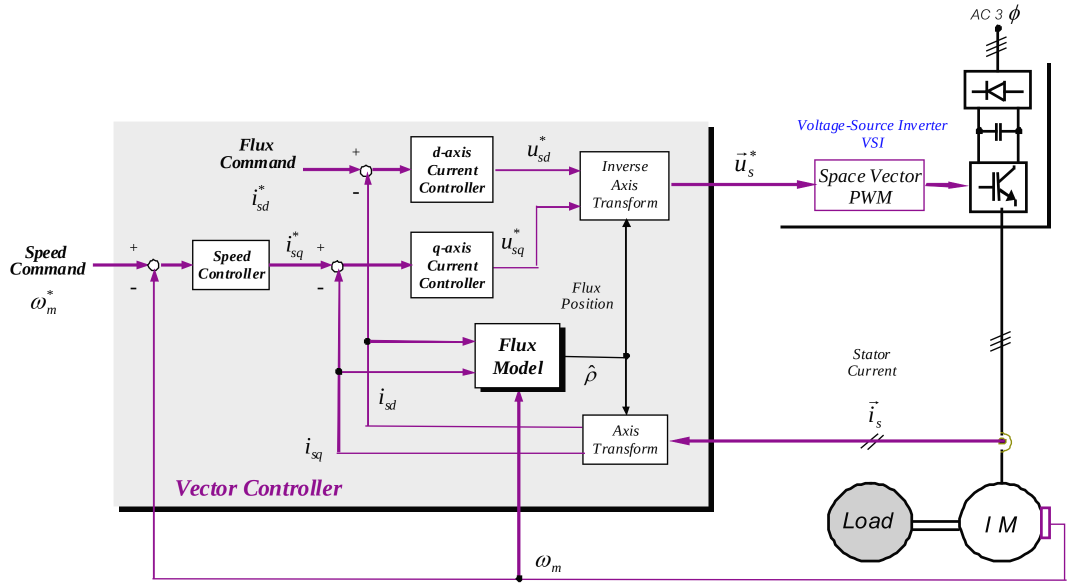
บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและ ความสำคัญของการทำวิจัย

ในปัจจุบันการควบคุมแบบเวกเตอร์ (Vector control) สำหรับระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำได้รับความนิยมอย่างมากในงานขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ [1] แต่การควบคุมแบบเวกเตอร์จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลความเร็วของโรเตอร์ในการควบคุม โครงสร้างของระบบควบคุมแบบเวกเตอร์แสดงในรูปที่ 1.1 [1]



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของระบบควบคุมแบบ Vector Control

ในการหาความเร็วโรเตอร์โดยปกติแล้วจะใช้ตัวตรวจจับที่เรียกว่า เอนโคเดอร์ (encoder) หรือรีโซลเวอร์ (resolver) อย่างไรก็ตามในการประยุกต์ใช้งานจริงอาจมีข้อจำกัดในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความเร็วเหล่านี้ อาทิเช่น ไม่มีพื้นที่ในการติดตั้ง ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูง หรือไม่สามารถหาตัวตรวจจับความเร็วย่านความเร็วที่กว้างมากๆ ได้ เป็นต้น ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวมานี้ จึงมีงานวิจัยจำนวนมากพัฒนาวิธีการประมาณความเร็วของโรเตอร์ในระบบควบคุมเวกเตอร์แบบไร้เซนเซอร์โดยอาศัยวิธีการต่างๆ เช่น วิธีที่นำเสนอใน [3, 4] ใช้การอินทิเกรตแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำซึ่งมีปัญหาเรื่องการขยับเลื่อน (drift) และการอิ่มตัว (saturation) จากการใช้ตัวอินทิเกรต งานวิจัย [5, 8] ใช้ตัวกรอง

คาลมานแบบขยาย (Extended Kalman filter (EKF)) ในการประมาณค่าความเร็ว ซึ่งวิธีนี้ต้องอาศัยการประมาณแบบจำลองให้เป็นเชิงเส้นรอบจุดทำงาน (Linearization) จึงไม่สามารถยืนยันได้ว่าระบบจะมีเสถียรภาพตลอดย่านการทำงาน

การใช้ตัวสังเกตแบบปรับตัว (Adaptive observer) ในการประมาณค่าตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับนั้นได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน ทั้งนี้เพราะว่ามีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการอื่นดังนี้คือ

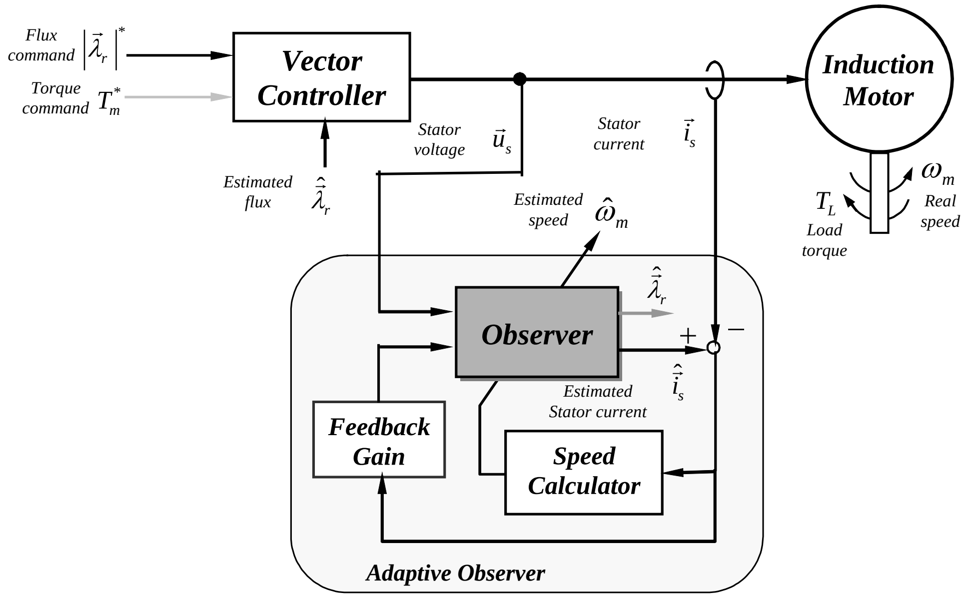
1) ไม่ต้องอาศัยเงื่อนไขการทำงานในสภาวะอยู่ตัวในการออกแบบตัวสังเกตให้มีเสถียรภาพ

2) ยืนยันการลู่เข้าของการประมาณพร้อมกับพิสูจน์ให้เห็นได้อย่างชัดเจน

3) สามารถทำงานได้ในช่วงความเร็วที่กว้าง

สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นตัวสังเกตถูกนำมาใช้ในงานวิจัย [9-14] ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้เป็นสองแบบคือแบบที่ใช้สมการพลวัตทางกล กับแบบที่ใช้สมการพลวัตทางไฟฟ้า เนื่องจากการใช้สมการพลวัตทางกลนั้นมีข้อเสียคือการประมาณค่านั้นจะได้รับผลกระทบจากโหลดที่ต่อกับมอเตอร์อยู่ค่อนข้างมาก เพราะว่าในการประมาณนั้นต้องอาศัยค่าความเหนียว (viscosity) สัมประสิทธิ์ความฝืดและค่าความเฉื่อยของโหลด โดยปกติแล้วจะไม่ทราบค่าพารามิเตอร์เหล่านี้และอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามจุดทำงาน วิธีการนี้จึงไม่เหมาะสมและไม่สะดวกในการใช้งานจริง

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะพบว่าตัวสังเกตที่อาศัยแบบจำลองทางไฟฟ้า มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการประมาณค่าตำแหน่งและความเร็วในทางปฏิบัติ สำหรับหลักการของตัวสังเกตแบบปรับตัว ก็คือจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ทำการประมาณค่าตัวแปรสถานะและความเร็วโรเตอร์ไปพร้อมๆ กันดังแสดงในรูปที่ 1.2 [1]



รูปที่ 1.2 การประมาณค่าความเร็วโรเตอร์ด้วย Adaptive Observer

ปัญหาที่สำคัญของระบบประมาณค่าความเร็วด้วยตัวสังเกตแบบปรับตัวก็คือการขาดเสถียรภาพของระบบในย่านการทำงานแบบคืนพลังงาน (Regenerative mode) ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะสมบัติของระบบประมาณที่เป็นระบบวงรอบปิด ดังนั้นเสถียรภาพของระบบประมาณนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็นและสำคัญที่สุดของการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบไร้เซนเซอร์วัดความเร็ว ดังนั้นปัญหาหลักที่ต้องพิจารณาเป็นอันดับแรกคือ การออกแบบตัวสังเกตให้มีเสถียรภาพตลอดย่านการทำงานโดยปราศจากสมมุติฐานใดๆ

นอกจากนั้นแล้วบทความวิจัยต่างๆ [9-14] ที่ใช้ตัวสังเกตแบบปรับตัวในการประมาณค่าความเร็วและตำแหน่งยังไม่สามารถให้รูปแบบทั่วไปของอัตราขยายป้อนกลับของตัวสังเกต (General closed-form solution) ที่ทำให้ระบบประมาณมีเสถียรภาพตลอดย่านการทำงาน ในกรณีที่ไม่มีรูปสมการทั่วไปของอัตราขยายป้อนกลับ การออกแบบที่ยุ่งยากซับซ้อนอาทิเช่น LMI H_∞ และ LQR [14] จะใช้วิธีลองผิดลองถูกหรือใช้วิธีการเชิงเลข ซึ่งใช้ได้สำหรับมอเตอร์ที่รู้ค่าพารามิเตอร์ล่วงหน้าเท่านั้น การหารูปแบบทั่วไปของอัตราขยายป้อนกลับของตัวสังเกตจึงเป็นปัญหาสำคัญเมื่อต้องการใช้ตัวสังเกตแบบปรับตัวกับอินเวอร์เตอร์ใช้งานทั่วไป (General purpose inverter) เพื่อขับมอเตอร์ที่ไม่รู้ค่าพารามิเตอร์ล่วงหน้า [2]

รูปสมการทั่วไปของอัตราขยายป้อนกลับที่มีเสถียรภาพยังจำเป็นในกรณีที่เราต้องการออกแบบตัวสังเกตให้มีคุณสมบัติอื่นเพิ่มเติมนอกเหนือจากการมีเสถียรภาพ อาทิเช่น การวางตำแหน่งขั้วของตัวสังเกต การให้ผลตอบสนองในสภาวะชั่วครู่ที่ดี การคงทนต่อสัญญาณรบกวน หรือการคงทนต่อค่าความผิดพลาดจากการตรวจจับค่ากระแสหรือแรงดัน เป็นต้น ทั้งนี้เพราะว่าเราสามารถออกแบบผ่านการเลือกตัวแปรอิสระที่อยู่ในรูปสมการทั่วไปเพื่อให้ตัวสังเกตมีคุณสมบัติอื่นๆ ได้ในขณะที่ตัวสังเกตยังคงมีเสถียรภาพเสมอ หากไม่มีรูปสมการทั่วไปแล้วในการออกแบบเพื่อให้ได้คุณสมบัติเพิ่มเติมเหล่านี้แล้วจะต้องกลับมาตรวจสอบการมีเสถียรภาพอีก ซึ่งจะทำให้การออกแบบยุ่งยากและไม่มีประสิทธิภาพ

การออกแบบให้ตัวสังเกตมีผลตอบสนองทางพลวัตที่ดีนั้นก็เป็นอีกประเด็นหนึ่งที่สำคัญ ทั้งนี้ถึงแม้ตัวสังเกตจะมีเสถียรภาพตลอดย่านการทำงานแล้ว แต่ถ้าตัวสังเกตมีผลตอบสนองทางพลวัตที่ไม่ดี อาทิเช่น มีอัตราการหน่วงที่ไม่ดี เป็นต้น จะทำให้ค่าประมาณที่ได้ไม่ว่าจะเป็น ตำแหน่ง ความเร็ว ฟลักซ์แม่เหล็ก หรือกระแส เกิดการแกว่งเมื่อนำค่าประมาณเหล่านั้นมาใช้ในระบบควบคุมเวกเตอร์แบบไร้เซนเซอร์แล้ว ระบบโดยรวมอาจขาดเสถียรภาพได้ โดยปกติการออกแบบตัวสังเกตจะออกแบบให้ตำแหน่งของขั้วมีอัตราการลู่เข้าที่ไว [9] จึงต้องการอัตราขยายป้อนกลับที่มีค่ามาก อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จะมีข้อจำกัดในทางปฏิบัติเนื่องจากผลกระทบจากสัญญาณรบกวน งานวิจัย [15, 16] การประมาณให้เป็นเชิงเส้นรอบจุดทำงานแล้วทำการออกแบบอัตราขยายป้อนกลับของตัวสังเกตเพื่อให้มีอัตราการหน่วงที่ดี แต่การประมาณให้เป็นเชิงเส้นรอบจุดทำงานทำให้ไม่สามารถยืนยันความถูกต้องในย่านการทำงานในช่วงกว้างได้ ปัญหาที่สำคัญของการออกแบบให้ตัวสังเกตมีผลตอบสนองทางพลวัตที่ดี คือการขาดสมการความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างอัตราขยายป้อนกลับกับตำแหน่งของขั้วและศูนย์ของตัวสังเกตแบบปรับตัว

1.2 วัตถุประสงค์และ ขอบเขตของการวิจัย

จากปัญหาที่กล่าวมาทั้งหมด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอการปรับปรุงเสถียรภาพและผลตอบสนองทางพลวัตของตัวสังเกตเต็มอันดับแบบปรับตัวสำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบไร้เซนเซอร์วัดความเร็ว โดยมีประเด็นหลักของการวิจัยดังนี้คือ

1. นำเสนออัตราขยายป้อนกลับของตัวสังเกตที่มีความง่าย โดยใช้ค่าความเร็วประมาณเพียงแค่ตัวเดียว โดยที่ระบบประมาณยังคงมีเสถียรภาพตลอดทุกย่านการทำงาน

2. นำเสนอสมการทั่วไป (Closed-from solutions) สำหรับการออกแบบอัตราขยายป้อนกลับของตัวสังเกตในเชิงฟังก์ชันของค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ โดยที่ระบบประมาณยังคงมีเสถียรภาพอยู่ตลอดเวลา ภายใต้เงื่อนไขจริงบวก (PR Conditons)

3. นำเสนอนำเสนอตัวสังเกตเต็มอันดับแบบปรับตัวในการประมาณค่าตำแหน่งและความเร็วโรเตอร์ โดยใช้วิธีการของ Lyapunov ในการวิเคราะห์การมีเสถียรภาพของระบบประมาณ

1.3 ขั้นตอนของงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีการประมาณค่าความเร็วจากงานวิจัยในอดีต

2. หารูปสมการทั่วไปของอัตราขยายป้อนกลับของตัวสังเกตที่ทำให้ระบบประมาณค่าความเร็วและตำแหน่งที่มีเสถียรภาพตลอดย่านการทำงาน

3. ศึกษาและออกแบบ อัตราขยายป้อนกลับที่มีความง่ายโดยที่ระบบประมาณยังคงมีเสถียรภาพตลอดทุกย่านการทำงาน

4. ออกแบบ สร้างแบบจำลองการทำงานของระบบด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อทดสอบแนวความคิด

5. ออกแบบระบบในส่วนของซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ พร้อมทดสอบการทำงาน

6. ทดลองและทดสอบปรับปรุงแก้ไขระบบในส่วนของซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้น

7. ประเมินผลและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทางด้านวิชาการสามารถนำแนวการออกแบบตัวสังเกตที่นำเสนอไปใช้เพื่อทำให้สมรรถนะของระบบดีขึ้น ทั้งในแง่เสถียรภาพและลักษณะเชิงพลวัต ทางด้านการประยุกต์สามารถนำทฤษฎีที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในงานอุตสาหกรรมจริง อันเป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมแบบพึ่งพาตัวเองในประเทศ