การจำลองแบบระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink

The Simulation of 3 Phase AC Motor Drives System Using MATLAB/Simulink

อดิศักดิ์ สุวรรณมา ฐิติพงษ์ เลิศวิริยะประภา พนาฤทธิ์ เศรษฐกุล

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ

บทคัดย่อ

*บทความนี้นำเสนอ การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบกรงกระรอก ที่ควบคุมด้วยชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส หรืออินเวอร์เตอร์(Inverter) โดยใช้เทคโนโลยีการควบคุมแบบแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ (Voltage – Frequency Control: **U/f;V/f**) ในย่านการทำงานทั้งแรงบิดคงที่และแรงบิดลดลง โดยในแบบจำลองสามารถวัดและแสดงผลกระแสไฟฟ้า แรงบิด ความเร็วรอบ ของมอเตอร์ไฟฟ้า ในช่วงไดนามิกส์ ในสภาวะคงตัว ขณะไม่มีโหลด และมีโหลด ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink.*

คำสำคัญ: ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส U/f;V/f Control โปรแกรม MATLAB/Simulink

Abstract

This paper presents a control technique of a 3-phase induction motor squirrel cage rotor type with variable speed drive. The control method is base on constant V/f inverter both constant and reduced torque ranges. The proposed simulation model in MATLAB/Simulink can monitors and measures current, torque and motor speed in dynamic and steady state with or without load.

Keywords: Variable Speed Drive; V/f – Control MATLAB/Simulink Program

1.บทนำ

ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ที่ปรับความเร็วรอบได้ (Variable Speed Drives; VSD) หรือที่เรียกกันว่าอินเวอร์เตอร์ (Inverter) นั้นได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในระบบควบคุมเครื่องจักรในภาคอุตสาหกรรม โดยนำชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส มาเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและการประหยัดพลังงานของเครื่องจักร ดังนั้นการใช้งานชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ผู้ใช้งานต้องมีความรู้ทางด้านทฤษฎี ระบบไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ระบบควบคุม รวมไปถึงโมเดลคณิตศาสตร์ชั้นสูง และในภาคปฏิบัติ ต้องมีทักษะในการใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า เช่น มัลติมิเตอร์ ออสซิโลสโคป ดังนั้นเพื่อลดเวลาและลดจินตนาการ ของการเรียน การสอน ในภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ และยังสามารถตรวจสอบผู้เรียนก่อนไปปฏิบัติงานในห้องทดลองและการทำงานจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องมีการป้องกันความเสียหายของชุด

ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส และผู้ปฏิบัติงาน เนื่องจากปัจจุบันคอมพิวเตอร์มีราคาถูกลงและมีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น รวมไปถึงมีโปรแกรมสำเร็จรูปทางวิศวกรรมใช้งานอย่างแพร่หลาย จึงได้นำแบบจำลองเข้ามาใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน[1] เพื่อจำลองการทำงานของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

2. ทฤษฎีพื้นฐานของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

2.1 หลักการการทำงานชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส คือแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั่วไปที่มีแรงดันไฟฟ้าและความถี่คงที่ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยวงจรเรียงกระแส (Rectifier) หรือวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) จากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงถูกเชื่อมโยงด้วยวงจรดีซีลิ้ง (DC link) ไปยังชุดอินเวอร์เตอร์ ทำการแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ที่สามารถปรับขนาดแรงดันไฟฟ้าและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ ส่วนของวงจรควบคุม ทำหน้าที่รับข้อมูลจากผู้ใช้งาน เช่น ตั้งค่าความเร็วรอบ แรงบิด และกระแสไฟฟ้า ส่งเข้าไปประมวลผลเพื่อควบคุม แรงบิด ความเร็วรอบ ให้เหมาะสมกับการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

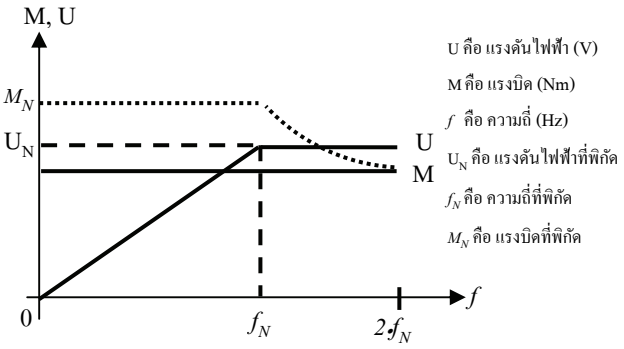
จากภาพที่ 2. ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส โดยมีฟังก์ชันและพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ ภาควงจรกำลังประกอบด้วย ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส วงจรเรียงกระแส 3 เฟส แบบเต็มคลื่น ตัวต้านทานลดกระแสสูงเกินขณะสตาร์ท ตัวต้านทานจำกัดแรงดันไฟฟ้าสูงเกิน ในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้าทำงานในโหมด Regenerative braking และวงจรอินเวอร์เตอร์ ในส่วนของวงจรควบคุมประกอบด้วย วงจรควบคุมการทำงานตัวต้านทานลดกระแสสูงเกินขณะสตาร์ท วงจรควบคุมการทำงานตัวต้านทานจำกัดแรงดันไฟฟ้าสูงเกิน ในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้าทำงานในโหมด Regenerative braking วงจรควบคุมการทำงานวงจรอินเวอร์เตอร์ (PWM) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส [2]

บทความนี้นำเสนอวิธีการจำลองชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า โดยใช้เทคโนโลยีการควบคุมแบบ อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ (Voltage –Frequency Control: U/f;V/f) ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

3. เทคโนโลยีการควบคุมแบบ

อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ (Voltage – Frequency Control: U/f;V/f) [3] ดังสมการที่ 1.

$$\emptyset = \frac{U}{f} = constant \quad \text{..... (1)}$$



ภาพที่ 1. กราฟแสดงคุณลักษณะสมบัติ การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยวิธี อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่

จากสมการความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน

$$n_1 = \frac{120 \cdot f}{P} \quad \text{..... (2)}$$

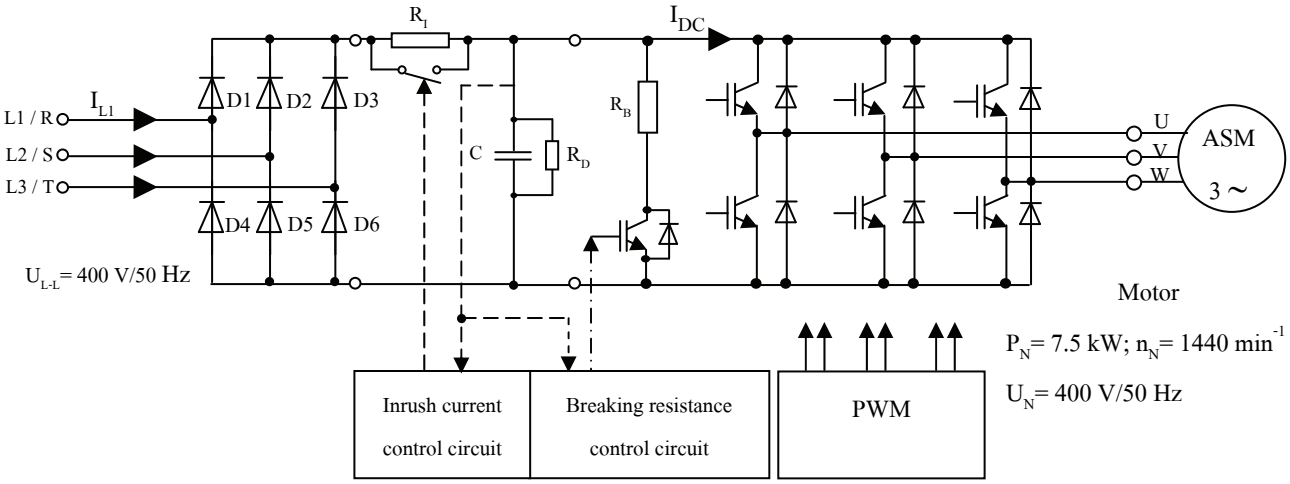
โดยที่

n_1 คือ ความเร็วรอบสนามแม่เหล็กหมุน (rpm)
f คือ ความถี่ที่แหล่งจ่าย (Hz)
P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็ก (Pole)

ภาพที่ 1 กราฟแสดงคุณลักษณะสมบัติ การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยวิธีการปรับแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ ในช่วงตั้งแต่ความถี่ 0 Hz ไปจนถึงความถี่ที่พิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อทำให้แรงบิดคงที่ ส่วนในช่วงตั้งแต่ความถี่ที่พิกัดไปจนถึงความถี่ 2 เท่าที่พิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้า ส่งผลทำให้แรงบิดลดลง

การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความถี่ ตามสมการที่ 2. ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการปรับแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่หรือที่เรียกว่าชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Variable Speed Drives/Inverter) ตามสมการที่ 1 ทำการปรับความถี่ตั้งแต่30 Hz; 40 Hz; 50 Hz; 60 Hz; 70 Hz; 80 Hz; 90 Hz; 100 Hz; ตามลำดับเพื่อศึกษาการ

ทำงานของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ดังแสดงใน ภาพที่ 1.



ภาพที่ 2. การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า ด้วยชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า

4. โมเดลทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model of Induction Motor) ของมอเตอร์ไฟฟ้า

โมเดลทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้า [4] แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ คือ

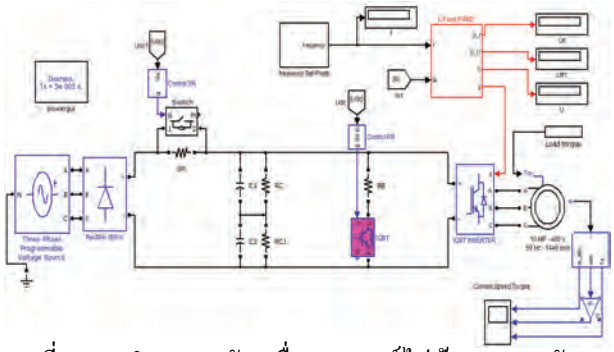
4.1 ด้านไฟฟ้า

$$u_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\lambda_{ds}}{dt} - \omega_e \lambda_{qs} \quad (1)$$

$$u_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\lambda_{qs}}{dt} + \omega_e \lambda_{ds} \quad (2)$$

$$u_{dr} = 0 = R_r i_{dr} + \frac{d\lambda_{dr}}{dt} - (\omega_e - \omega_r)\lambda_{qr} \quad (3)$$

$$u_{qr} = 0 = R_r i_{qr} + \frac{d\lambda_{qr}}{dt} + (\omega_e - \omega_r)\lambda_{dr} \quad (4)$$



ภาพที่ 3. การจำลองชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

4.2 ด้านทางกล

$$T_e = \frac{3}{2}\frac{P}{2} L_m \left[i_{qs} i_{dr} - i_{ds} i_{qr} \right] \quad (5)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{P}{2H}\left(T_e - T_L\right) \quad (6)$$

ภาพที่ 3. แสดงชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส โดยมีฟังก์ชันและพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ ภาควงจรกำลังประกอบด้วย ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส วงจรเรียงกระแส 3 เฟส แบบเต็มคลื่น ตัวต้านทานลดกระแสสูงเกินขณะสตาร์ท ตัวต้านทานจำกัดแรงดันไฟฟ้าสูงเกิน และวงจรอินเวอร์เตอร์ ในส่วนของวงจรควบคุมประกอบด้วย วงจรควบคุมการทำงานตัวต้านทานลดกระแสสูงเกินขณะสตาร์ท วงจรควบคุมการทำงานตัวต้านทานจำกัดแรงดันไฟฟ้าสูงเกิน วงจรควบคุมการทำงานวงจรอินเวอร์เตอร์ (PWM) และนำสมการจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้า ทำการจำลอง ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink.

5. ผลการจำลอง

จำลองการทำงาน วิธีการสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยชุดระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า ที่ความถี่ตั้งแต่ 30 Hz; 40 Hz; 50 Hz; 60 Hz; 70 Hz. ตามลำดับ ผลการจำลองแสดงการจำลอง

ในช่วงไดนามิกส์และช่วงสภาวะคงตัว ของ กระแสไฟฟ้า แรงบิด ความเร็วรอบ ในขณะไม่มีโหลดที่เวลา 0 -1 วินาที และมีโหลดที่เวลา 1 วินาที ส่งผลให้ความเร็วรอบลดลง แรงบิดและกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4 -7 ซึ่งสอดคล้องกับกราฟคุณลักษณะสมบัติ การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยวิธีอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ ในย่านแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้าคงที่ ดังแสดงในภาพที่ 1.

ตารางที่ 1.ข้อมูลทางเทคนิคของมอเตอร์ไฟฟ้า

กำลังเอาท์พุทที่พิกัด (P_N)	7.5 kW (10 HP)
แรงดันไฟฟ้าที่พิกัด (U_N)	400 V
ความถี่ที่พิกัด (f_N)	50 Hz
กระแสไฟฟ้าที่พิกัด (I_N)	12.63 A
แรงบิดที่พิกัด (M_N)	49 Nm

การสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยชุดระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า ที่ความถี่ 80 Hz ผลการจำลอง แสดงการจำลอง ในช่วงไดนามิกส์และช่วงสภาวะคงตัว ของกระแสไฟฟ้า แรงบิด ความเร็วรอบ ในขณะไม่มีโหลดที่เวลา 0 -1.2 วินาที และ มีโหลดที่เวลา 1.2 วินาที และในวินาทีที่ 2.5 ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แรงบิดลดต่ำลงกว่าแรงบิดที่พิกัด ในวินาทีที่ 3 ความเร็วรอบลดลงเป็นศูนย์ ดังแสดงในภาพที่ 8 ที่ความถี่ 90 Hz ผลการจำลองแสดงกระแสไฟฟ้า แรงบิด ความเร็วรอบ ในขณะไม่มีโหลดที่เวลา 0 -1.2 วินาที และ มีโหลดที่เวลา 1.2 วินาที และในวินาทีที่ 1.4 ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แรงบิดลดต่ำลงกว่าแรงบิดที่พิกัด ความเร็วรอบลดลงเป็นศูนย์ ในวินาทีที่ 1.7 ดังแสดงในภาพที่ 9 และที่ความถี่ 100 Hz ผลการจำลอง แสดงการจำลอง ในช่วงไดนามิกส์และช่วงสภาวะคงตัว ของ กระแสไฟฟ้า แรงบิด ความเร็วรอบ ในขณะไม่มีโหลดที่เวลา 0 -1.2 วินาที และ มีโหลดที่เวลา 1.2 วินาที และในวินาทีที่ 1.3 ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แรงบิดลดต่ำลงกว่าแรงบิดที่พิกัด ความเร็วรอบลดลงเป็นศูนย์ ในวินาทีที่1.6 ดังแสดงในภาพที่ 10 ซึ่งสอดคล้องกับกราฟคุณลักษณะสมบัติ การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยวิธี อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ ในย่านแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้าลดลง ดังแสดงในภาพที่ 1.

ตารางที่ 2 แสดงผล ความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยชุดระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ที่ความถี่ 30 Hz -70 Hzโดยใช้เงื่อนไขแรงบิดคงที่ และโหลดที่พิกัด

ตารางที่ 2. ผลการจำลองการทำงานของชุดระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยโปรกรม MATLAB/Simulink [3]

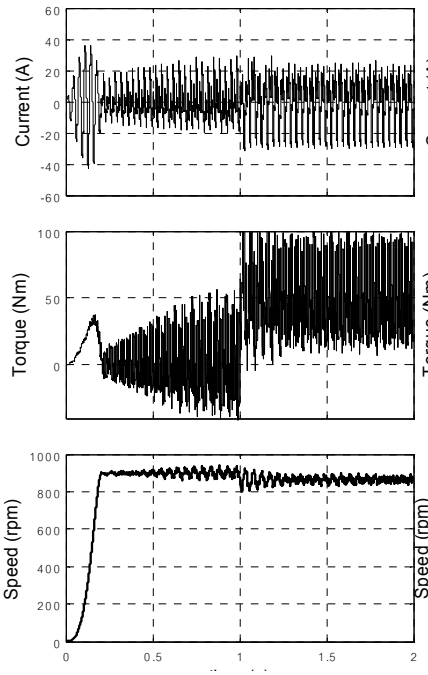
$f_{\text{set-point}}$	n_1	$n_{\text{N,Simulation}}$
30 Hz	900 rpm	840 rpm
40 Hz	1200 rpm	1140 rpm
50 Hz	**1500 rpm**	**1400 rpm**
60 Hz	1800 rpm	1640 rpm
70 Hz	2100 rpm	1840 rpm

6. ผลการนำไปใช้กับนักศึกษา

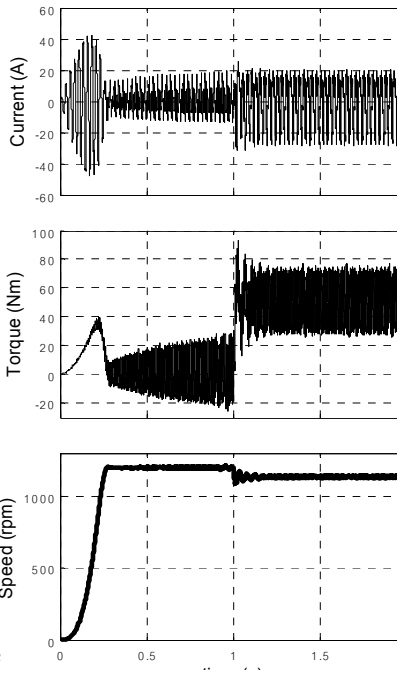
การจำลองแบบระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink นำไปทดลองใช้กับนักศึกษา ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จากคะแนนเต็ม 82 คะแนน พบว่าก่อนสอน ได้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 18.68 คะแนน หรือคิดเป็นร้อยละ 22.78 หลังการสอนได้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 42.65 หรือคิดเป็นร้อยละ 52.02

7. สรุป

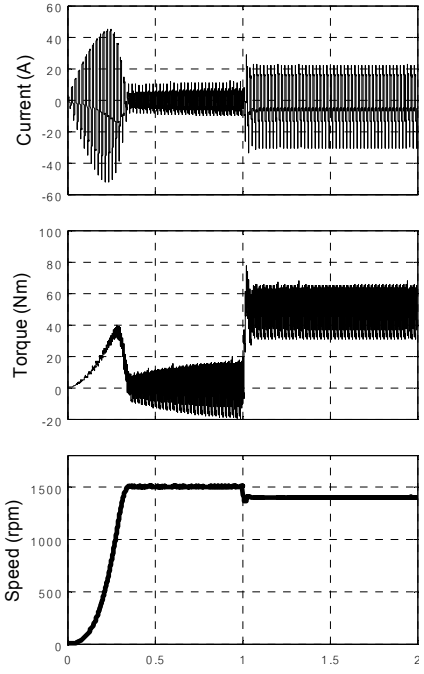
จากผลการจำลองการทำงานของ ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า โดยใช้เทคโนโลยีการควบคุมแบบ อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink นั้นสามารถนำไปใช้เป็นสื่อการเรียน การสอน เพื่อทำความเข้าใจในการทำงานของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า โดยวิเคราะห์จาก กระแสไฟฟ้า แรงบิด ความเร็วรอบ ของมอเตอร์ไฟฟ้า มีความสอดคล้องกับผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองจริง



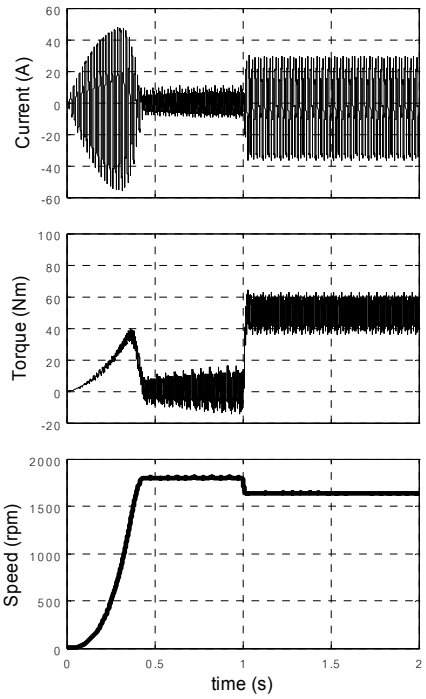
ภาพที่ 4. $f_{\text{set-point}}$ ที่ 30 Hz



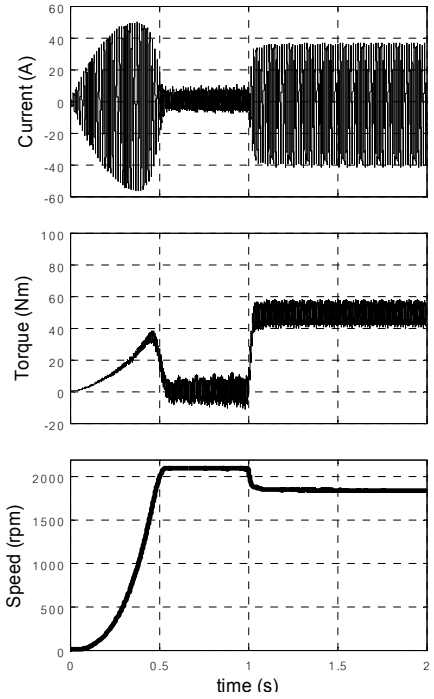
ภาพที่ 5. $f_{\text{set-point}}$ ที่ 40 Hz



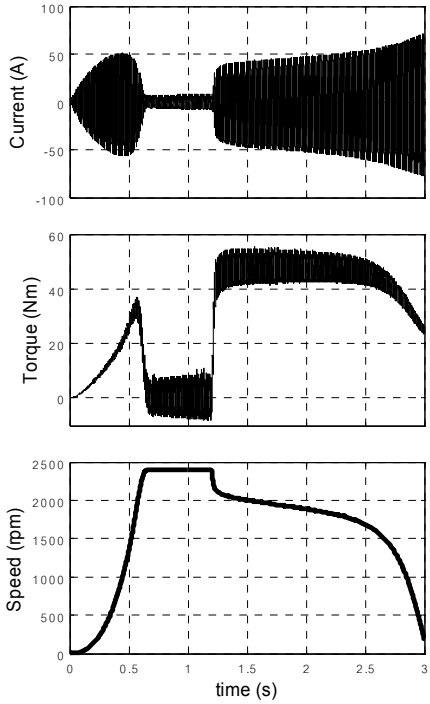
ภาพที่ 6. $f_{\text{set-point}}$ ที่ 50 Hz



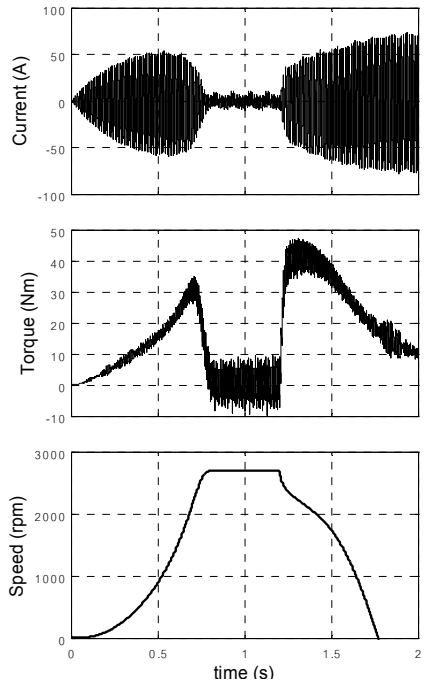
ภาพที่ 6. $f_{\text{set-point}}$ ที่ 60 Hz



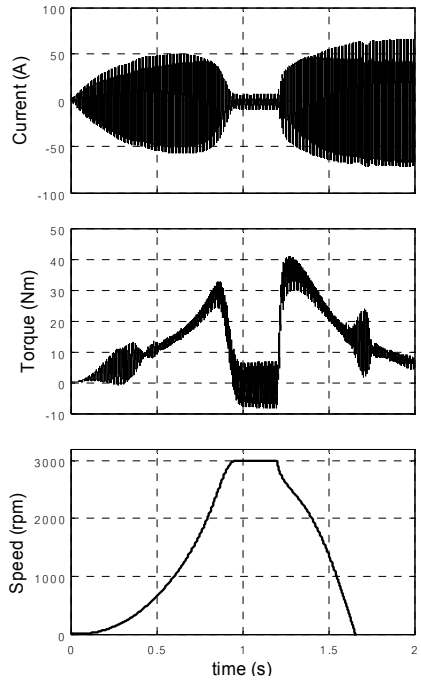
ภาพที่ 7. $f_{\text{set-point}}$ ที่ 70 Hz



ภาพที่ 8. $f_{\text{set-point}}$ ที่ 80 Hz



ภาพที่ 9. $f_{\text{set-point}}$ ที่ 90 Hz



ภาพที่ 10. $f_{\text{set-point}}$ ที่ 100 Hz

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Amar Bentounsi, Hind Djeghloud, Hocine Benalla, Tahar Birem, and Hamza Amiar "Computer-Aided Teaching Using MATLAB/Simulink for Enhancing an IM Course With Laboratory Tests," IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 54, NO. 3, AUGUST 2011.
[2] DRIVE ACADEMY SEW EURODRIVE
[3] Peter F. Brosch "Moderne Strom-richterantriebe
[4] Aleck W. Leedy **"**Simulink / MATLAB Dynamic Induction Motor Model for Use as A Teaching and Research Tool," International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE) ISSN: 2231-2307, Volume-3, Issue-4, September, 2013