

การประมาณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ วิธีการชดเชยแบบปรับตัวได้

Estimation of DC Motor Variable Torque using Adaptive Compensation

จิระพล ศรีเสริฐผล* ชานัญยุทธ ขจรไตรเดช

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
โทร 0-4422-3117 โทรสาร 0-4422-3119 *อีเมล jiraphon@sut.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการนำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมาใช้ในอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก เช่น แขนกลของหุ่นยนต์ ระบบขับเคลื่อนสายพาน และเซอร์โวมอเตอร์แบบไฮดรอลิกส์ เป็นต้น ผลกระทบของค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลง (variable torque) ที่เกิดขึ้นมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งระบบควบคุมโดยทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงใช้การเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เพื่อให้ได้แรงบิดและความเร็วรอบตามต้องการเท่านั้น โดยไม่มีการพิจารณาในส่วนของคุณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลง ในทางปฏิบัติค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงนี้ไม่สามารถวัดได้โดยตรง บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการในการประมาณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้วิธีการชดเชยแบบปรับตัวได้ (adaptive compensation) เพื่อประมาณค่าของแรงบิดที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาประสิทธิภาพของระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

คำสำคัญ: การออกแบบตัวสังเกต, การชดเชยแบบปรับตัวได้

Abstract

Nowadays, DC motor drives are widely used in industry for drive systems such as robot arms, conveyors, and hydraulic servo motors. The performances of DC motor control systems are reduced by the effect of DC motor variable torque. The control system of a DC motor will increase the electric current in a DC motor to maintain a desirable speed when the DC motor receives the variable torque or disturbance torque. However, variable torque is not taken into account in most control methods. Generally, the variable torque of a DC motor is difficult to measure in practice but it can be estimated. This paper demonstrated a method for estimating the variable torque of DC motors by using a method called "adaptive compensation". The

results of the study can be used to improve and develop the performance of DC motor control systems.

Keywords: Observer Design, Adaptive Compensation

1. บทนำ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่นำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ถูกควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบต่างๆ เพื่อให้มีการตอบสนองอย่างเหมาะสมกับลักษณะงานนั้นๆ ในภาวะของการทำงานจริงโหลดจากภาระงานมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ การเปลี่ยนแปลงของโหลดจากภาระงานของระบบจะทำให้เกิดแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงเข้ามารบกวนการทำงานของระบบควบคุม ผลกระทบของค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งระบบควบคุมโดยทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงใช้วิธีการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เพื่อให้ได้แรงบิดและความเร็วรอบตามต้องการในภาวะที่มีแรงบิดเปลี่ยนแปลง โดยไม่มีการพิจารณาในส่วนของคุณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงเป็นผลให้ระบบควบคุมต้องใช้เวลาระยะหนึ่งเพื่อปรับปรุงการตอบสนองของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไปตามต้องการ และหากระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีการนำตัวสังเกตมาใช้ในการประมาณค่าตัวแปรสเตตเพื่อนำไปใช้ในการควบคุมระบบเช่น วิธีการของ Full-state feedback control [1, 2] ผลของค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นกับการประมาณค่าตัวแปรสเตตโดยใช้ตัวสังเกต ดังนั้นประสิทธิภาพของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงลดลง ในทางปฏิบัติค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงนี้ไม่สามารถวัดได้โดยตรงแต่สามารถประมาณค่าได้ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการในการประมาณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้วิธีการชดเชยแบบปรับตัวได้เพื่อประมาณค่าของแรงบิดที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาประสิทธิภาพของระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง การประมาณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้ตัวสังเกตแบบปรับตัวที่สร้างจากหลักการของ Lyapunov ทำให้ระบบมีเสถียรภาพ [3]

และเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมทำให้การตอบสนองของระบบมีความผิดพลาดลดลง [4] การชดเชยค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงให้กับระบบควบคุมจะทำให้การแกว่งตัวของระบบในภาวะที่ระบบได้รับแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงลดลง [5] ตัวสังเกตแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงสามารถใช้งานร่วมกับ Kalman Filter เพื่อลดผลกระทบของสัญญาณรบกวน [6] และการใช้การประมาณค่าแรงบิดเปลี่ยนแปลงร่วมกับตัวควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Control) สามารถแก้ปัญหาในกรณีที่ระบบไม่สามารถใช้อัตราขยายที่มีขนาดใหญ่ได้ [7, 8] นอกจากนี้การใช้ตัวสังเกตเพื่อประมาณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบควบคุมและสามารถลดการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดในระบบลงได้

2.แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

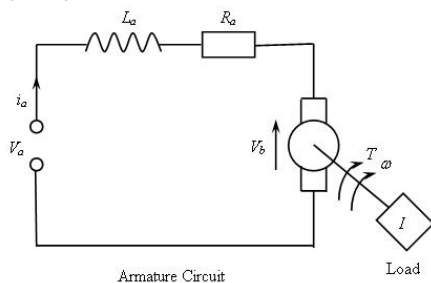
ในงานวิจัยนี้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและควบคุมด้วยวิธี Armature Control ใช้การปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับวงจรอาร์เมเจอร์ (Armature Circuit) เพื่อควบคุมความเร็วรอบโดยให้ค่ากระแสไฟฟ้าให้กับวงจรสนาม (Field Circuit) คงที่ดังแสดงในรูปที่ 1 การควบคุมจะปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ให้กับวงจรอาร์เมเจอร์ เราจะได้สมการของแรงบิด

$$I\dot{\omega} = -b \cdot \omega + K_t \cdot i_a - T_L \quad (1)$$

สมการของวงจรไฟฟ้า

$$V_a - V_b = L_a \frac{di_a}{dt} + R_a \cdot i_a \quad (2)$$

เมื่อ $V_b = K_b \cdot \omega$



รูปที่ 1 แผนภาพวงจรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

สมการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในรูปแบบของ State Space

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \omega \\ i_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{b}{I} & \frac{K_t}{I} \\ -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{K_b}{L_a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ i_a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L_a} \end{bmatrix} \cdot V_a + \begin{bmatrix} -\frac{1}{I} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot T_L \quad (3)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega \\ i_a \end{bmatrix}$$

เมื่อ I moment of inertia ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

K_t torque constant ($\text{N} \cdot \text{m/A}$)

K_b electromotive force constant ($\text{V} \cdot \text{s/rad}$)

T_L load torque ($\text{N} \cdot \text{m}$)

b linear approximation of viscous friction ($\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s/rad}$)

R_a resistance (Ω)

L_a inductance (H)

i_a armature current (A)

ω angular velocity (rad/s)

V_a armature voltage (V)

V_b back emf (V)

3.แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวสังเกตอันดับเต็ม

สมการของตัวสังเกตอันดับเต็มในรูปแบบของ State Space

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{\omega} \\ \hat{i}_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{b}{I} & \frac{K_t}{I} \\ -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{K_b}{L_a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\omega} \\ \hat{i}_a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L_a} \end{bmatrix} \cdot V_a + \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \hat{T}_L + \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \end{bmatrix} e \quad (4)$$

$$\hat{y} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\omega} \\ \hat{i}_a \end{bmatrix}$$

เมื่อ $e = y - C\hat{x} = \omega - \hat{\omega}$

เมื่อกำหนดให้ค่าที่มีสัญลักษณ์ ‘^’ คือค่าตัวแปรของตัวสังเกตที่ได้มาจากการประมาณค่าจากระบบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ค่า e คือค่าความผิดพลาดของความเร็วยวรอบที่เกิดขึ้นระหว่างระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและตัวสังเกต

4.อัลกอริทึมแบบปรับตัวได้เพื่อใช้ในการประมาณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลง

วิธีที่ 1. อัลกอริทึมแบบปรับตัวได้เพื่อประมาณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลง จากวิธี Gradient Method

จากสมการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในภาวะที่ระบบได้รับแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงสามารถจัดรูปได้คือ

$$\frac{K_t}{L_a I} V_a = \ddot{\omega} + \left[\frac{R_a}{L_a} + \frac{b}{I} \right] \dot{\omega} + \left[\frac{R_a K_b}{L_a I} + \frac{K_b K_t}{L_a I} \right] \omega + \frac{1}{I} \hat{T}_L + \frac{R_a}{L_a I} T_L \quad (5)$$

$$\text{เมื่อ } b_1 = \frac{K_t}{L_a I}, a_1 = \left[\frac{R_a b}{L_a I} + \frac{K_b K_t}{L_a I} \right], a_2 = \left[\frac{R_a}{L_a} + \frac{b}{I} \right]$$

$$\alpha_1 = \frac{R_a}{L_a I}, \alpha_2 = \frac{1}{I}$$

จะได้

$$b_1 V_a = \ddot{\omega} + a_2 \dot{\omega} + a_1 \omega + \alpha_2 \hat{T}_L + \alpha_1 T_L \quad (6)$$

เมื่อสามารถทราบค่าตัวแปรต่างๆในระบบของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง และกำหนดให้ค่าตัวแปรของระบบมีค่าคงที่มีเพียงค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลง ($\hat{T}_L$) เพียงค่าเดียวที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการประมาณค่าตัวแปรสเตต ดังนั้นเราจะได้สมการของตัวสังเกต คือ

$$\frac{K_t}{L_a I} V_a = \ddot{\omega} + \left[\frac{R_a}{L_a} + \frac{b}{I} \right] \dot{\omega} + \left[\frac{R_a b}{L_a I} + \frac{K_b K_t}{L_a I} \right] \omega + \frac{1}{I} \dot{\hat{T}}_L + \frac{R_a}{L_a I} \hat{T}_L \quad (7)$$

เมื่อ $b_1 = \frac{K_t}{L_a I}, a_1 = \left[\frac{R_a b}{L_a I} + \frac{K_b K_t}{L_a I} \right]$
 $a_2 = \left[\frac{R_a}{L_a} + \frac{b}{I} \right], \alpha_1 = \frac{R_a}{L_a I}, \alpha_2 = \frac{1}{I}$

จะได้

$$b_1 V_a = \ddot{\omega} + a_2 \dot{\omega} + a_1 \omega + \alpha_2 \dot{\hat{T}}_L + \alpha_1 \hat{T}_L \quad (8)$$

ดังนั้นหลักการทำงานของอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้คือการปรับค่าตัวแปร ($\hat{T}_L$) ให้ความแตกต่างระหว่างเอาต์พุตของระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและตัวสังเกตน้อยลง โดยกำหนดให้ Loss function (J) มีค่า

$$J(T_L) = \frac{1}{2} e^2 \quad (9)$$

สมการที่ (6) ลบด้วยสมการที่ (8) จะได้

$$\ddot{e} = -a_2 \dot{e} - a_1 e - \alpha_2 (\dot{T}_L - \dot{\hat{T}}_L) - \alpha_1 (T_L - \hat{T}_L) \quad (10)$$

เมื่อ $\ddot{e} = \ddot{\omega} - \ddot{\hat{\omega}}, \dot{e} = \dot{\omega} - \dot{\hat{\omega}}, e = \omega - \hat{\omega}$

การเปลี่ยนแปลงของตัวแปร ($\hat{T}_L$) ในทิศทาง Negative gradient of Loss function (J) คือ

$$\frac{d\hat{T}_L}{dt} = -\gamma \frac{dJ}{d\hat{T}_L} = -\gamma e \frac{de}{d\hat{T}_L} \quad (11)$$

โดยที่ $\frac{de}{d\hat{T}_L} = -\frac{d\hat{\omega}}{d\hat{T}_L}$ (12)

และ γ คือ อัตราการปรับตัว

ดังนั้น เรากำหนดให้ Sensitivity Function เท่ากับ

$$v = \frac{d\hat{\omega}}{d\hat{T}_L} \quad (13)$$

เมื่อตัวแปรปรับค่า ($\hat{T}_L$) มีการเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงของสมการ (8) ต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร คือ

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + a_2 \frac{dv}{dt} + a_1 v = -\alpha_1 \quad (14)$$

วิธีที่ 2. อัลกอริทึมแบบปรับตัวได้เพื่อประมาณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลง จากวิธี Lyapunov's Direct Method

การประมาณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงของระบบโดยใช้อัลกอริทึมแบบปรับตัวได้ที่สร้างจาก Lyapunov's Direct Method จะสามารถทำการประมาณค่าของแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงได้ จากสมการที่ (10) เรากำหนดให้ Lyapunov Function คือ

$$V(e, \hat{T}_L) = \frac{a_1}{2} e^2 + \frac{\dot{e}^2}{2} + \frac{1}{2\gamma_2} (\dot{T}_L - \dot{\hat{T}}_L)^2 + \frac{1}{2\gamma_1} (T_L - \hat{T}_L)^2 \quad (15)$$

โดยที่ γ_1 และ γ_2 คือ อัตราการปรับตัว

พิจารณาอนุพันธ์ของ Lyapunov Function

$$\frac{dV(e, \hat{T}_L)}{dt} = a_1 e \dot{e} + \dot{e} \ddot{e} + \frac{1}{\gamma_2} (\dot{T}_L - \dot{\hat{T}}_L) \left(-\frac{d\dot{\hat{T}}_L}{dt} \right) + \frac{1}{\gamma_1} (T_L - \hat{T}_L) \left(-\frac{d\hat{T}_L}{dt} \right) \quad (16)$$

แทนค่าสมการที่ (10) ในสมการที่ (16) จะได้

$$\frac{dV(e, \hat{T}_L)}{dt} = -a_2 \dot{e}^2 + (\dot{T}_L - \dot{\hat{T}}_L) \left(-\frac{1}{\gamma_2} \frac{d\dot{\hat{T}}_L}{dt} - \dot{e} \alpha_2 \right) + (T_L - \hat{T}_L) \left(-\frac{1}{\gamma_1} \frac{d\hat{T}_L}{dt} - \dot{e} \alpha_1 \right) \quad (17)$$

เมื่อ $\frac{d\dot{\hat{T}}_L}{dt} = -\gamma_2 \dot{e} \alpha_2$ (18)

$$\frac{d\hat{T}_L}{dt} = -\gamma_1 \dot{e} \alpha_1$$

จะทำให้

$$\frac{dV(e, \hat{T}_L)}{dt} = -a_2 \dot{e}^2 \quad (19)$$

จากสมการที่ (19) จะทำให้อนุพันธ์ของ Lyapunov function เป็น Negative Semi-Definite อัลกอริทึมแบบปรับตัวได้ที่สร้างขึ้นจะมีเสถียรภาพ

5.ผลการจำลองสถานการณ์ระบบ

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการจำลองการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในกรณีที่ระบบได้รับแรงบิดที่เปลี่ยนแปลง โดยจะพิจารณาระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบระบบปิดที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ พร้อมทั้งผลการชดเชยค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงซึ่งได้จากการประมาณให้กับตัวสังเกต ด้วยวิธี Gradient Method และ Lyapunov's Direct Method สำหรับค่าตัวแปรที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์และการทดลองนั้น ได้จากวิธีการระบุเอกลักษณ์ของระบบ เนื่องจากค่าที่ได้จากคู่มือมีความผิดพลาดอยู่มาก

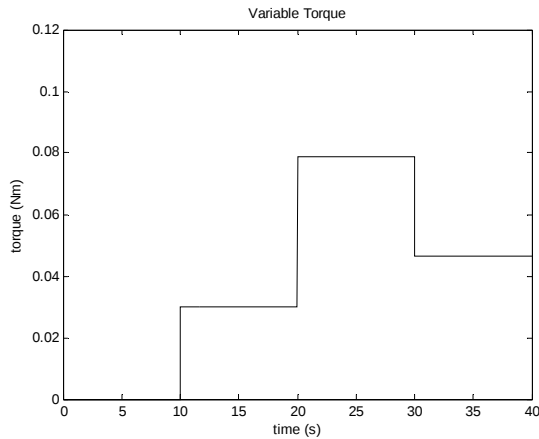
$$I = 2.0069 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{rad}, K_t = 0.052 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{A}$$

$$K_b = 0.057 \text{ V} \cdot \text{s} / \text{rad}, b = 3.3677 \times 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}$$

$$R_a = 2.9981 \Omega, L_a = 2.0864 \times 10^{-3} \text{ H}$$

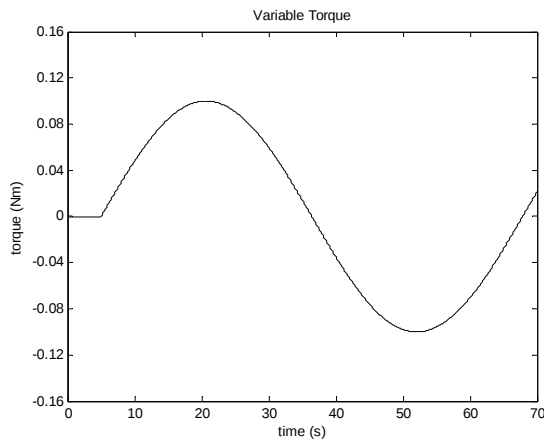
การศึกษาการจำลองสถานการณ์ระบบได้พิจารณาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่า $T_L(t)$ เป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 ระบบมีค่า $T_L(t)$ เปลี่ยนแปลงเป็นขั้นบันได (Step Function) ดังแสดงในรูปที่ 2



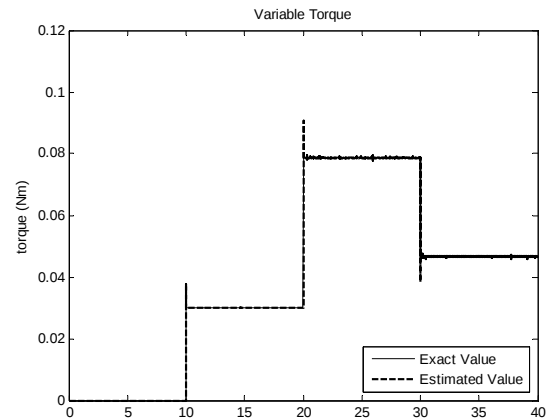
รูปที่ 2. แสดงค่า $T_L(t)$ สำหรับกรณีที่ 1

กรณีที่ 2 ระบบมีค่า $T_L(t) = 0.1 \sin(0.1t)$ และมีค่าเวลาหน่วง (Delay Time) = 5 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 3



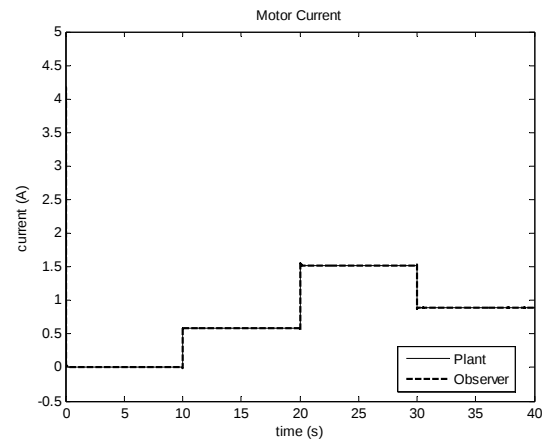
รูปที่ 3. แสดงค่า $T_L(t)$ สำหรับกรณีที่ 2

การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในภาวะที่ระบบได้รับแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบ และค่าของกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลง และการทำงานของตัวสังเกตเมื่อระบบได้รับแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงการประมาณค่าตัวแปรสถานะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น

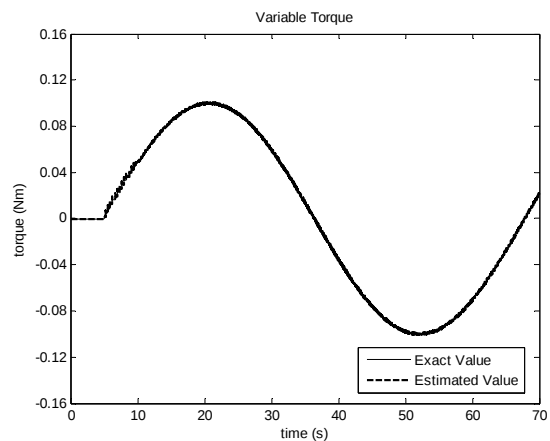


รูปที่ 4. แสดงค่า $T_L(t)$ และ $\hat{T}_L(t)$ โดยวิธีที่ 1 สำหรับกรณีที่ 1

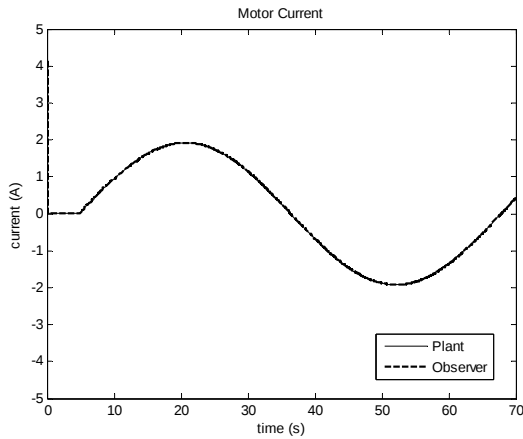
ผลการประมาณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลง และการประมาณค่าตัวแปรสถานะ $\hat{i}_a$ โดยใช้วิธีการ Gradient Method ที่กระทำกับระบบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งสองกรณี ดังแสดงในรูปที่ 4, 5, 6 และ 7



รูปที่ 5. แสดงค่า i_a และ $\hat{i}_a$ เมื่อมีการชดเชยค่า $\hat{T}_L(t)$ โดยวิธีที่ 1 สำหรับกรณีที่ 1

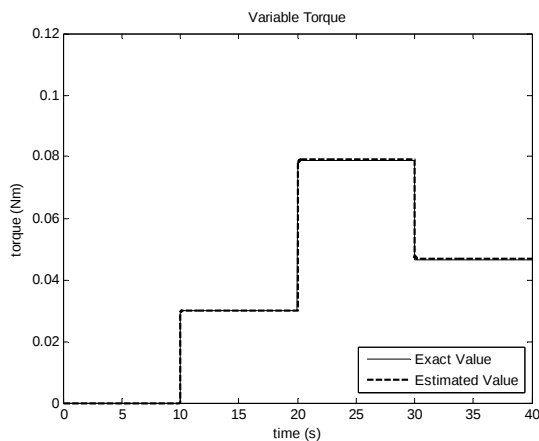


รูปที่ 6. แสดงค่า $T_L(t)$ และ $\hat{T}_L(t)$ โดยวิธีที่ 1 สำหรับกรณีที่ 2

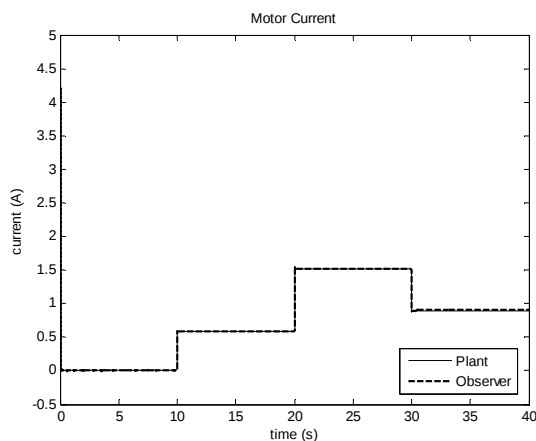


รูปที่ 7. แสดงค่า i_a และ $\hat{i}_a$ เมื่อมีการชดเชยค่า $\hat{T}_L(t)$ โดยวิธีที่ 1 สำหรับกรณีที่ 2

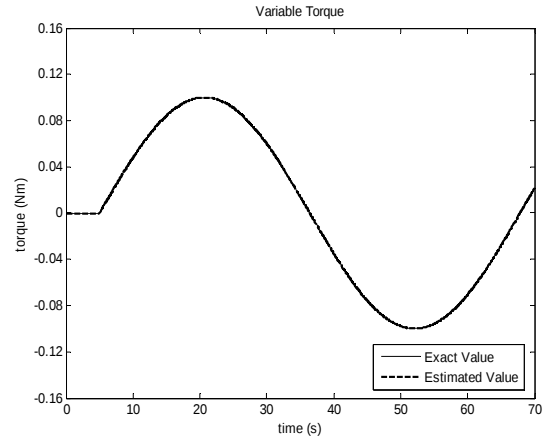
ผลการประมาณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงและการประมาณค่าตัวแปรสแตต $\hat{i}_a$ โดยใช้วิธีการ Lyapunov's Direct Method ที่กระทำกับระบบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งสองกรณี ดังแสดงในรูปที่ 8,9,10 และ 11



รูปที่ 8. แสดงค่า $T_L(t)$ และ $\hat{T}_L(t)$ โดยวิธีที่ 2 สำหรับกรณีที่ 1

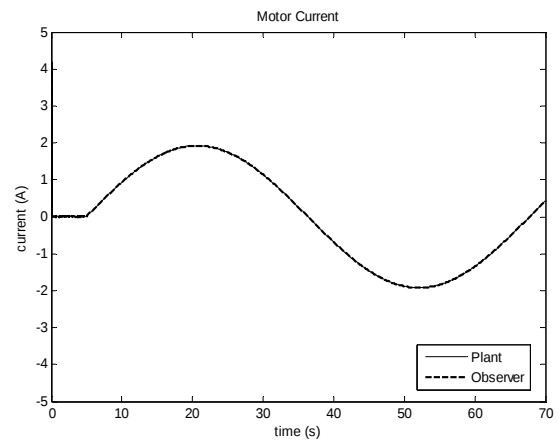


รูปที่ 9. แสดงค่า i_a และ $\hat{i}_a$ เมื่อมีการชดเชยค่า $\hat{T}_L(t)$ โดยวิธีที่ 2 สำหรับกรณีที่ 1



รูปที่ 10. แสดงค่า $T_L(t)$ และ $\hat{T}_L(t)$ โดยวิธีที่ 2 สำหรับกรณีที่ 2

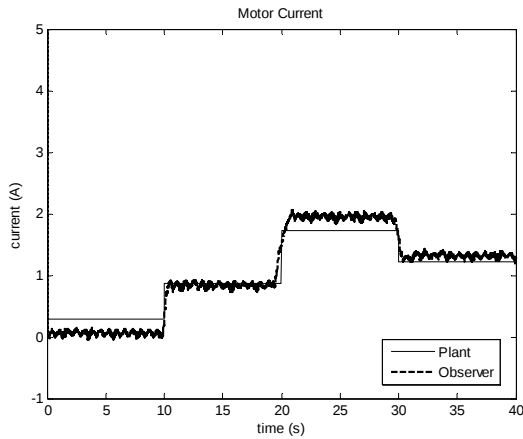
จากการจำลองสถานการณ์ของระบบแสดงให้เห็นว่าการชดเชยค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงที่กระทำกับระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถลดความผิดพลาดในการประมาณค่าตัวแปรสแตตของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ตัวสังเกตได้



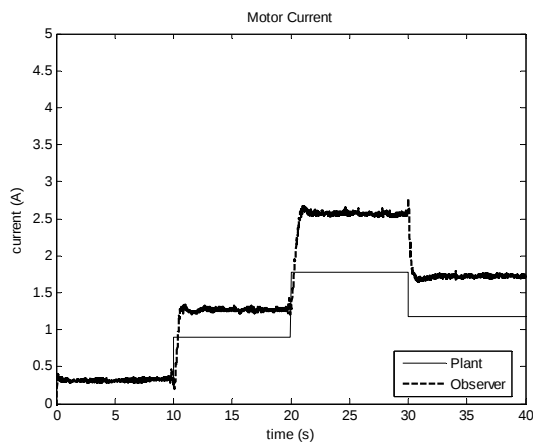
รูปที่ 11. แสดงค่า i_a และ $\hat{i}_a$ เมื่อมีการชดเชยค่า $\hat{T}_L(t)$ โดยวิธีที่ 2 สำหรับกรณีที่ 2

6.ผลการทดลอง

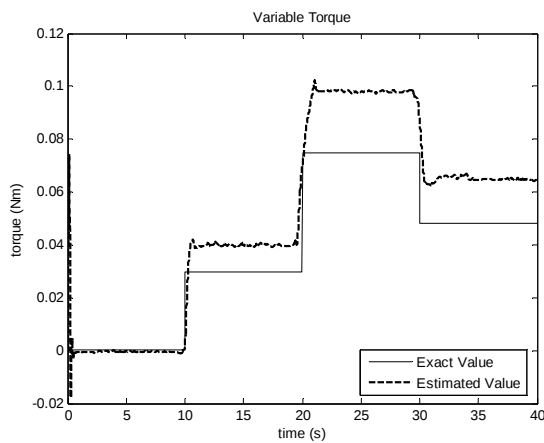
การทดลองนี้ใช้เครื่องมือ Precision Modular Servo System เป็นชุดเครื่องมือทดลองทดลองที่มีระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้โปรแกรม Simulink Real Time ของ MATLAB การเชื่อมต่อสัญญาณการควบคุมระหว่างคอมพิวเตอร์ด้วย PCI 1711 card



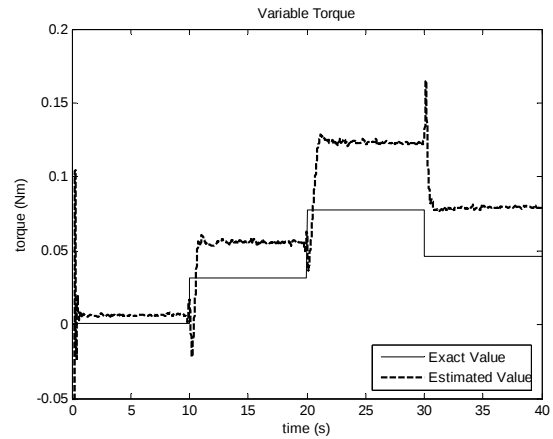
รูปที่ 12. แสดงค่า i_a และ $\hat{i}_a$ เมื่อมีการชดเชยค่า $T_L(t)$ โดยวิธีที่ 1 สำหรับกรณีที่ 1



รูปที่ 13. แสดงค่า i_a และ $\hat{i}_a$ เมื่อมีการชดเชยค่า $T_L(t)$ โดยวิธีที่ 2 สำหรับกรณีที่ 1



รูปที่ 14. แสดงค่า $T_L(t)$ และ $\hat{T}_L(t)$ โดยวิธีที่ 1 สำหรับกรณีที่ 1



รูปที่ 15. แสดงค่า $T_L(t)$ และ $\hat{T}_L(t)$ โดยวิธีที่ 2 สำหรับกรณีที่ 1 ผลการทดลองการประมาณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลง และการประมาณค่าตัวแปรสแตต $\hat{i}_a$ ของระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยวิธี Gradient Method และ Lyapunov's Direct Method ดังแสดงในรูปที่ 12, 13, 14 และ 15

7.สรุป

การศึกษาผลกระทบของค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อการทำงานของระบบควบคุมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และเพื่อประมาณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลง จากผลการจำลองสถานการณ์ของระบบโดยวิธี Gradient Method และ Lyapunov's Direct Method แสดงให้เห็นว่าทั้งสองวิธีการสามารถประมาณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในส่วนของการทดลองนั้นให้ผลของการประมาณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลง และการประมาณค่าตัวแปรสแตต $\hat{i}_a$ ของระบบยังไม่มีประสิทธิภาพดีพอเพียง เนื่องจากค่าตัวแปรที่ใช้ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการทดลองกับอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้นั้นมีค่าแตกต่างกัน จึงทำให้ผลการทดลองดังกล่าวขาดประสิทธิภาพ ถ้าเราสามารถทราบค่าตัวแปรของระบบอย่างถูกต้อง ประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นจะมีผลเหมือนกันกับผลการจำลองสถานการณ์

การวิเคราะห์เสถียรภาพของอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้ที่สร้างขึ้นโดยวิธี Lyapunov's Direct Method จะมีเสถียรภาพตามหลักการของทฤษฎีเสถียรภาพ ส่วนวิธี Gradient Method จะต้องทำการพิจารณาความเสถียรของระบบก่อน

เอกสารอ้างอิง

1. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ.(2548).การควบคุมระบบพลศาสตร์. (พิมพ์ครั้งที่2). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
2. Richard C. Dorf and Robert H Bishop, 2005. Modern Control Systems. (10th Edition), London, Pearson Education.
3. Karl J. Astrom and Bjorn Wittenmark, 1995. Adaptive Control. (2nd Edition), USA, Addison Wesley.
4. Jong Sun Ko, Young Seok Jung, Sung Kwun Kim and Myung Joong Youn, 1995. MRAC Load Torque Observer for Position

- Control of Brushless DC Motor. Proceedings of International Conference on Power Electronics and Drive Systems, pp.622-627.
5. Kichul Hong and Kwanghee Nam, 1998. A Load Torque Compensation Scheme Under the Speed Measurement Delay. Journal of IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.45, Issue 2, pp.283-290.
 6. Chan-Ki Kim, Hong-Woo Rhew and Yoon-Ho Kim, 1997. Robust Speed Control of PMSM Using Kalman Filter Load Torque Observer. Proceedings of 23rd International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, Vol. 2, pp.918-924.
 7. Geeng-Kwei Chang and Tzeuen-Lih Chern, 2001. Design of Integral Variable Structure Model Following Control with Load Torque Estimator for DSP-based Servo Drive System. Proceeding of IEEE International Electric Machines and Drives Conference, pp.730-732.
 8. Ki-Hong Park, Tae-Sung Kim, Sung-Chan Ahn and Dong-Seok Hyun, 2003. Speed Control of High-Performance Brushless DC Motor Drives by Load Torque Estimation. Proceedings of IEEE 34th Annual Power Electronics Specialist Conference Vol.4, pp.1677-1681.
 9. Ata SEVINC, 2003. A Full Adaptive Observer for DC Servo Motors. Proceeding of Turk Journal Electrical Engineering, Vol.11, pp.117-130.