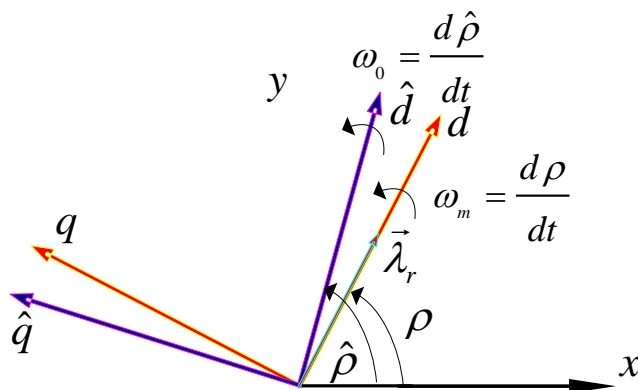


บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงตัวสังเกตเต็มอันดับแบบปรับตัวที่ใช้ในการประมาณค่าความเร็ว และ การประมาณค่าโรเตอร์ฟลักซ์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยในลำดับแรกจะกล่าวถึงแบบจำลองทางพลวัตของมอเตอร์เหนี่ยวนำก่อน ดังแสดงในลำดับต่อไปนี้คือ

2.1 แบบจำลองทางพลวัตของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแกนอ้างอิงทั้งสามแกนที่ใช้ในการควบคุมแบบไร้เซนเซอร์วัดความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

รูปที่ 2.1 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างแกนอ้างอิงทั้งสามแกนที่ใช้ในการควบคุมแบบไร้เซนเซอร์วัดความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งประกอบไปด้วย แกนอ้างอิงสเตเตอร์ (พิกัด x, y) แกนอ้างอิงโรเตอร์ (พิกัด d, q) และแกนอ้างอิงของโรเตอร์ฟลักซ์ประมาณ (พิกัด \hat{d}, \hat{q}) แบบจำลองของมอเตอร์เหนี่ยวนำ บนแกนอ้างอิงสเตเตอร์แสดงได้ดังสมการที่ (2.1)

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \vec{i}_s \\ \vec{\lambda}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} & \mathbf{A}_{12} \\ \mathbf{A}_{21} & \mathbf{A}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{i}_s \\ \vec{\lambda}_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \vec{u}_s \quad (2.1)$$

โดยที่

$$A_{11} = -(R_s + R_r M^2 / L_r^2) / \sigma L_s \cdot \mathbf{I}$$

$$A_{12} = -A_{22} M / \sigma L_s L_r$$

$$A_{21} = (R_r / L_r) \cdot \mathbf{I}$$

$$A_{22} = -(R_r / L_r) \cdot \mathbf{I} + \omega_m \cdot \mathbf{J} = -\varepsilon A_{12}$$

$$\mathbf{B}_1 = \mathbf{I} / \sigma L_s$$

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{J} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{0} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

และ

\vec{i}_s, \vec{u}_s คือ สเปซเวกเตอร์ของกระแสและแรงดันสเตเตอร์

$\vec{\lambda}_r$ คือ สเปซเวกเตอร์ของโรเตอร์ฟลักซ์

L_s คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดสเตเตอร์

L_r คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดโรเตอร์

M คือ ค่าความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างขดลวดด้านสเตเตอร์และโรเตอร์

R_r คือ ความต้านทานของขดลวดโรเตอร์

R_s คือ ความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์

“ \wedge ” คือ ค่าประมาณ

ω_m, ρ คือ ความเร็วและตำแหน่งของโรเตอร์คิดเป็นปริมาณทางไฟฟ้า

$\omega_0 = \frac{d\hat{\rho}}{dt}$ คือ ความเร็วและตำแหน่งของโรเตอร์ฟลักซ์ประมาณคิดเป็นปริมาณทางไฟฟ้า

$\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_s L_r}$ คือ สัมประสิทธิ์การรั่วไหลรวม

แบบจำลองนี้สามารถแสดงบนแกนอ้างอิงโรเตอร์ได้ดังสมการที่ (2.2) - (2.6) โดยที่ สมการที่ (2.2) - (2.3) คือสมการทางด้านสเตเตอร์ สมการที่ (2.4) - (2.5) คือสมการทางด้านโรเตอร์และสมการที่ (2.6) คือสมการแรงบิดของมอเตอร์ ตามลำดับ

แบบจำลองของมอเตอร์เหนี่ยวนำบนแกนอ้างอิงโรเตอร์ :

สมการทางด้านสเตเตอร์ :

$$u_{sd} = R_s i_{sd} + \sigma L_s \frac{di_{sd}}{dt} + \frac{R_r M^2}{L_r^2} (i_{sd} - i_0) - \sigma L_s \omega_0 i_{sq} \quad (2.2)$$

$$u_{sq} = R_s i_{sq} + \sigma L_s \frac{di_{sq}}{dt} - \frac{M^2}{L_r} \omega_0 (i_{sd} - i_0) + L_s \omega_0 i_{sd} \quad (2.3)$$

สมการทางด้านโรเตอร์ :

$$\frac{di_0}{dt} = \frac{R_r}{L_r} (i_{sd} - i_0) \quad (2.4)$$

$$\frac{d\rho}{dt} = \omega_0 = \omega_m + \frac{R_r}{L_r} \left(\frac{i_{sq}}{i_0} \right) \quad (2.5)$$

สมการแรงบิด :

$$T_m = p \frac{M^2}{L_r} i_0 i_{sq} \quad (2.6)$$

โดยที่ T_m คือแรงบิดของมอเตอร์ p คือจำนวนขั้วของขั้วแม่เหล็ก และตัวห้อย d, q แสดงถึงองค์ประกอบในแกนอ้างอิงโรเตอร์ d, q ตามลำดับ

2.2 ตัวสังเกตเต็มอันดับแบบปรับตัวของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จากแบบจำลองในสมการที่ (2.1) เราสามารถเขียนสมการของตัวสังเกตแบบเต็มอันดับของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ดังสมการที่ (2.7) – (2.8)

ตัวสังเกตเต็มอันดับแบบปรับตัว :

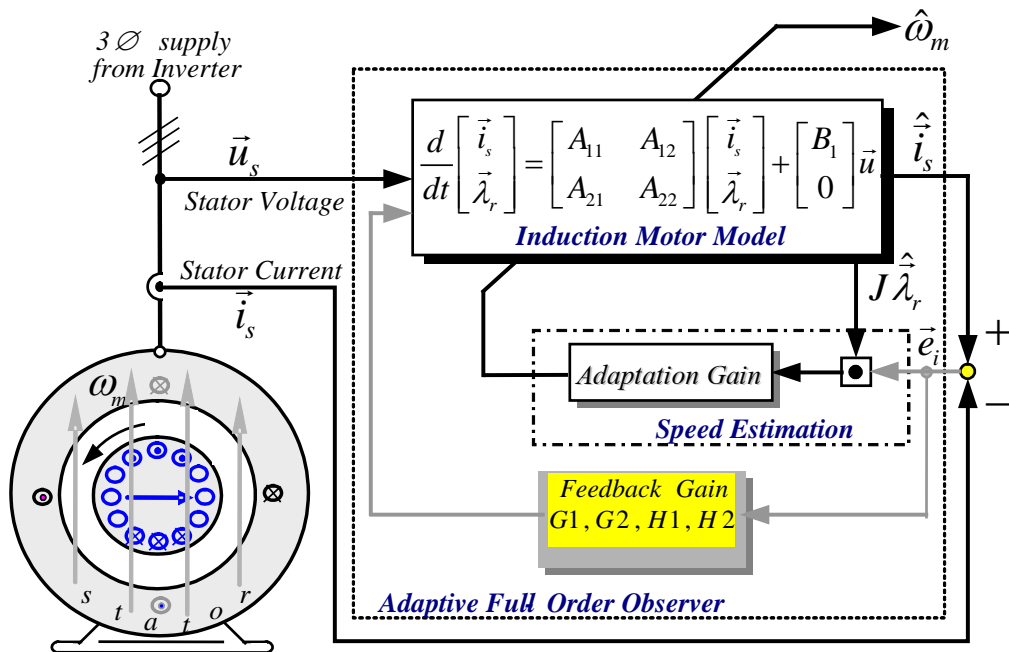
$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{i}_s \\ \hat{\lambda}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} & \hat{\mathbf{A}}_{12} \\ \mathbf{A}_{21} & -\varepsilon \hat{\mathbf{A}}_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_s \\ \hat{\lambda}_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \vec{u}_s + \begin{bmatrix} G_1 \mathbf{I} + G_2 \mathbf{J} \\ H_1 \mathbf{I} + H_2 \mathbf{J} \end{bmatrix} [\hat{i}_s - \vec{i}_s] \quad (2.7)$$

สมการการประมาณค่าความเร็ว :

$$\hat{\omega}_m = (k_p + k_i \int dt) \{ \vec{e}_i^T J \hat{\lambda}_r \} \quad ; k_p, k_i > 0 \quad (2.8)$$

โดยที่ G_1, G_2, H_1, H_2 คือ อัตราขยายป้อนกลับ $\vec{e}_i = \hat{i}_s - \vec{i}_s$ คือค่าความผิดพลาดของกระแส และ k_p, k_i คืออัตราขยายการปรับตัวแบบสัดส่วนและแบบอินทิเกรต ตามลำดับ

จากสมการที่ (2.7) - (2.8) สามารถเขียนแผนภาพรวมของตัวสังเกตเต็มอันดับแบบปรับตัวได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ภาพรวมการทำงานของตัวสังเกตแบบปรับตัว

2.3 ตัวสังเกตเต็มอันดับแบบปรับตัวบนแกนหมุนของฟลักซ์ประมาณและการควบคุมแบบแยกการเชื่อมร่วม (Decoupling control)

เนื่องจากระบบควบคุมแบบเวกเตอร์ซึ่งใช้ข้อมูลความเร็ว และฟลักซ์แม่เหล็กนั้นสร้างโดยอ้างอิงบนแกนหมุนของฟลักซ์ประมาณ ดังนั้นตัวสังเกตเต็มอันดับแบบปรับตัวซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบควบคุมแบบเวกเตอร์จึงต้องแสดงอ้างอิงบนแกนหมุนของฟลักซ์ประมาณด้วย

สมการทางด้านสเตเตอร์ :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{i}_{sd} \\ \hat{i}_{sq} \end{bmatrix} = B_1 \begin{bmatrix} u_{sd} \\ u_{sq} \end{bmatrix} + A_{11} \begin{bmatrix} \hat{i}_{sd} \\ \hat{i}_{sq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{i}_{sq} \hat{\omega}_0 \\ -\hat{i}_{sd} \hat{\omega}_0 \end{bmatrix} + \frac{\hat{\lambda}_r}{\varepsilon} \begin{bmatrix} R_r / L_r \\ -\hat{\omega}_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_1 e_{\hat{d}} - G_2 e_{\hat{q}} \\ G_2 e_{\hat{d}} + G_1 e_{\hat{q}} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

สมการทางด้านโรเตอร์ :

$$\frac{d\hat{\lambda}_r}{dt} = A_{21} \hat{i}_{\hat{d}} - \frac{R_r}{L_r} \hat{\lambda}_r + H_1 e_{\hat{d}} - H_2 e_{\hat{q}} \quad (2.10)$$

$$\hat{\omega}_0 = \frac{d\hat{\rho}}{dt} = \hat{\omega}_m + \frac{(A_{21} \hat{i}_{sq} + H_2 e_{\hat{d}} + H_1 e_{\hat{q}})}{\hat{\lambda}_r} \quad (2.11)$$

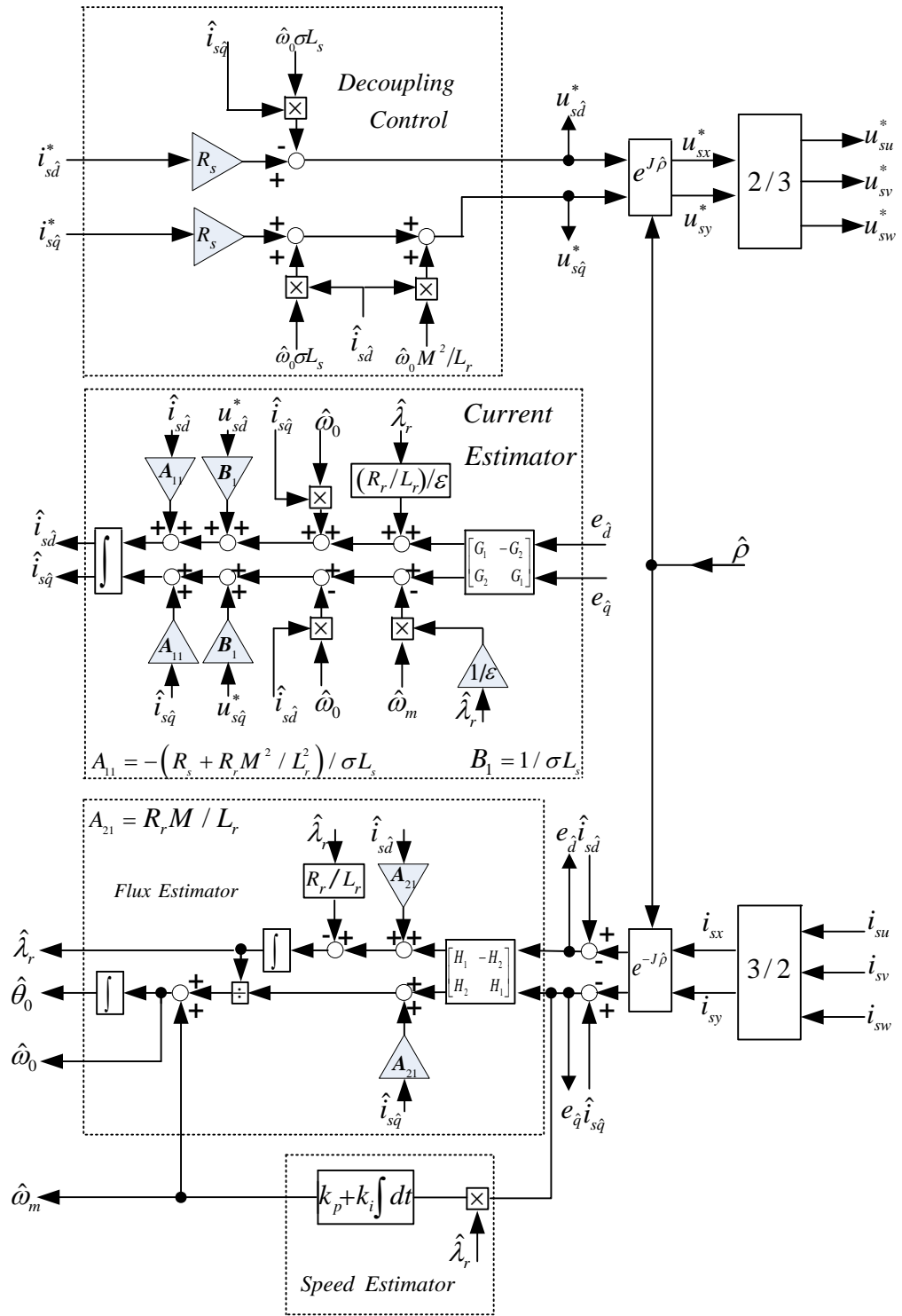
สมการการประมาณค่าความเร็วบนแกนหมุนของฟลักซ์ประมาณ :

$$\hat{\omega}_m = (k_p + k_i \int dt) [e_{\hat{q}} \hat{\lambda}_r] \quad (2.12)$$

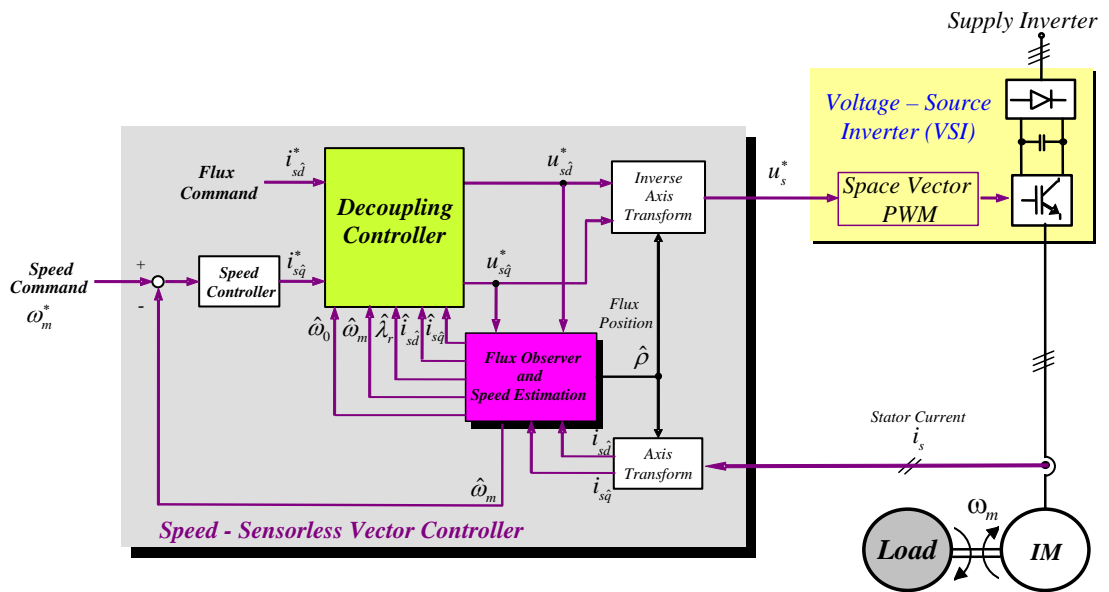
ในการควบคุมเวกเตอร์แบบแยกการเชื่อมร่วมนั้นแรงดันสเตเตอร์ถูกกำหนดโดยแรงดันสเตเตอร์ของตัวควบคุมเวกเตอร์ที่มีการชดเชยแรงดันเชื่อมโยงระหว่างแกน :

$$\begin{bmatrix} u_{sd}^* \\ u_{sq}^* \end{bmatrix} = R_s \begin{bmatrix} i_{sd}^* \\ i_{sq}^* \end{bmatrix} + \hat{\omega}_0 \sigma L_s \begin{bmatrix} -\hat{i}_{sq} \\ \hat{i}_{sd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \hat{\omega}_0 M^2 \hat{i}_{sd} / L_r \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

โดยที่ “*” คือค่าคำสั่ง ตัวห้อย \hat{d}, \hat{q} แสดงถึงองค์ประกอบในแกนอ้างอิงฟลักซ์ประมาณ \hat{d}, \hat{q} จากสมการที่ (2.9) - (2.13) สามารถเขียนแผนภาพบล็อกการควบคุมแยกการเชื่อมร่วมกับตัวสังเกตเต็มอันดับได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และระบบควบคุมความเร็วที่ใช้ระบบควบคุมเวกเตอร์แบบแยกการเชื่อมร่วมที่มีการประมาณค่าตำแหน่งและความเร็วด้วยตัวสังเกตเต็มอันดับแบบปรับตัวแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 แผนภาพไดอะแกรมโดยรวมของตัวสังเกตแบบปรับตัวกับระบบควบคุมเวกเตอร์แบบแยกการเชื่อมร่วม



รูปที่ 2.4 ระบบควบคุมความเร็วที่ใช้ระบบควบคุมเวกเตอร์แบบแยกการเชื่อมร่วมที่มีการประมาณค่าความเร็วด้วยตัวสังเกตเพิ่มอันดับแบบปรับตัว