

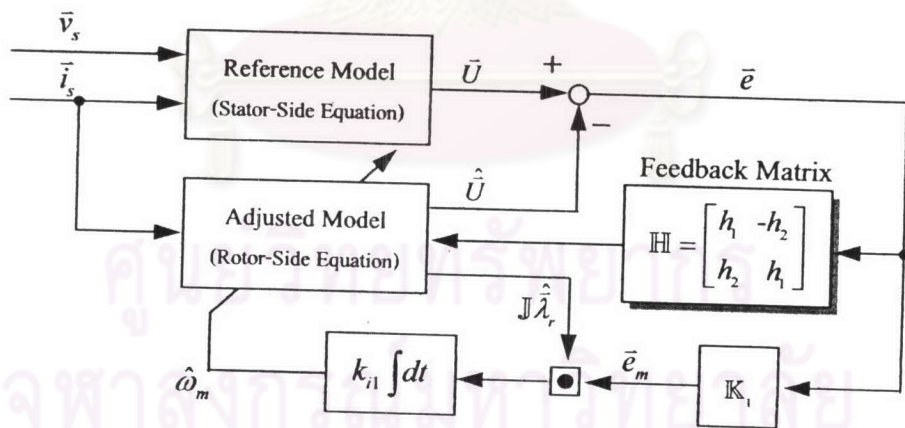
บทที่ 3

การประมาณค่าความเร็วที่มีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความ ต้านทานสเตเตอร์

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการแก้ไขผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานสเตเตอร์โดยการออกแบบเมตริกซ์ขยายป้อนกลับที่ทำให้ระบบประมาณค่าความเร็วมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสเตเตอร์ และผลจากการทดสอบประสิทธิภาพของเมตริกซ์ป้อนกลับที่ได้ออกแบบการทดลองจริงแสดงให้เห็นว่าระบบประมาณมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานสเตเตอร์เพิ่มขึ้นจริง

3.1 การออกแบบเมตริกซ์ขยายป้อนกลับที่ทำให้ระบบประมาณค่าความเร็วมีความคงทน

ในการออกแบบเมตริกซ์ขยาย (IH) เพื่อป้อนกลับค่าความผิดพลาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขาออก (\bar{e}) ให้กับแบบจำลองปรับตัวดังแสดงในรูปที่ 3.1 เราจะคำนึงถึงเงื่อนไขสองประการคือเมตริกซ์ขยาย (IH) ต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขเสถียรภาพของระบบประมาณค่าความเร็วและเมตริกซ์ขยาย (IH) ต้องลดผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานสเตเตอร์



รูปที่ 3.1 ระบบประมาณค่าความเร็ว ที่มีการป้อนกลับผ่านเมตริกซ์ขยาย IH

ดังนั้นก่อนการออกแบบเมตริกซ์ขยาย (IH) เราจะต้องวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพและผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสเตเตอร์ที่มีต่อระบบประมาณค่าความเร็วเมื่อมีการป้อนกลับผ่านเมตริกซ์ขยาย เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขสำหรับการออกแบบเมตริกซ์ขยายต่อไป

3.1.1 ความมีเสถียรภาพของระบบประมาณค่าความเร็วที่มีการป้อนกลับค่าความผิดพลาดผ่านเมตริกซ์ขยาย

เนื่องจากการป้อนกลับค่าความผิดพลาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขาออก (\bar{e}) ผ่านเมตริกซ์ขยาย \mathbb{H} ที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้ระบบขาดเสถียรภาพได้ ดังนั้นก่อนจะออกแบบเมตริกซ์ขยาย \mathbb{H} เพื่อเพิ่มความคงทนของระบบประมาณค่าความเร็ว เราจะต้องวิเคราะห์หาเงื่อนไขความมีเสถียรภาพของระบบประมาณค่าความเร็วที่มีการป้อนกลับค่าความผิดพลาดผ่านเมตริกซ์ขยาย \mathbb{H} เป็นอย่างแรก

กำหนดให้

$$\mathbb{H} = h_1 \cdot \mathbb{I} + h_2 \cdot \mathbb{J} = \begin{bmatrix} h_1 & -h_2 \\ h_2 & h_1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

การป้อนกลับค่าความผิดพลาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขาออก (\bar{e}) ให้กับแบบจำลองปรับตัวผ่านเมตริกซ์ \mathbb{H} จะทำให้สมการด้านโรเตอร์ ในสมการ (2.4) กลายเป็นสมการ (3.2)

$$\hat{U} = \frac{d\hat{\lambda}_r}{dt} = R'_r \cdot \hat{i}_s + \left[-\frac{R'_r}{M'} \mathbb{I} + \hat{\omega}_m \mathbb{J} \right] \cdot \hat{\lambda}_r + \mathbb{H} \cdot \bar{e} \quad (3.2)$$

จากสมการ (2.2) และ (3.2) เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขาออก (\bar{e}) กับค่าความผิดพลาดของความเร็วโรเตอร์ ($\Delta\omega_m$) บนแกนอ้างอิงสเตเตอร์ (แกน $\alpha - \beta$) ได้เป็นสมการผิดพลาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขาออก \bar{e} ดังนี้

$$\bar{e} = \bar{U} - \hat{U} = \mathbb{G}(s) \cdot \left\{ \mathbb{J} \hat{\lambda}_m \cdot \Delta\omega_m \right\} \quad (3.3)$$

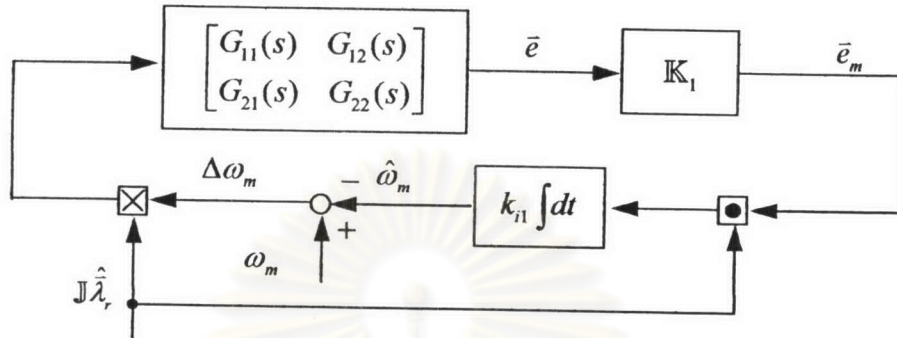
โดยที่

$$\mathbb{G}(s) = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix} = [s(\mathbb{I} + \mathbb{H}) + \alpha\mathbb{I} - \omega_m\mathbb{J}]^{-1} \cdot s\mathbb{I} \quad (3.4)$$

เนื่องจากค่าความผิดพลาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่ใช้ในการประมาณค่าความเร็วจริงๆ คือ \bar{e}_m ดังนั้นจากสมการ (1.6) และ (3.3) เราสามารถหาสมการค่าความผิดพลาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ \bar{e}_m ได้ใหม่ ดังนี้

$$\bar{e}_m = \mathbb{K}_1 \mathbb{G}(s) \cdot \left\{ \mathbb{J} \hat{\lambda}_r \Delta\omega_m \right\} \quad (3.5)$$

จากสมการการประมาณค่าความเร็ว (2.5) และ สมการค่าความผิดพลาดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ \bar{e}_m ในสมการ (3.5) เราสามารถเขียนบล็อกโคจรแกรมของระบบประมาณค่าความเร็วบนแกนอ้างอิงสเตเตอร์ (แกน $\alpha - \beta$) ได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 บล็อกโคจรแกรมของระบบประมาณค่าความเร็วบนแกนอ้างอิงสเตเตอร์

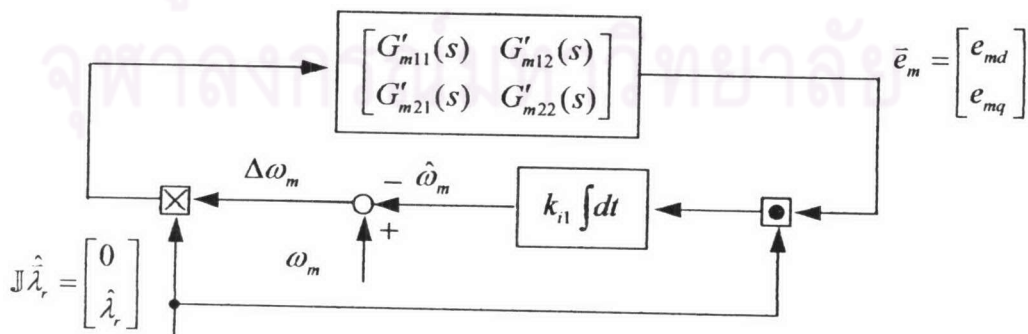
เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ค่าต่างๆของระบบประมาณค่าความเร็วในสภาวะอยู่ตัว เราจะทำการย้ายแกนอ้างอิงจากแกนอ้างอิงสเตเตอร์ (แกน $\alpha - \beta$) ไปยังแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์ (แกน $d - q$) ซึ่งจะทำให้สมการ (3.5) เปลี่ยนไปเป็นสมการ (3.6)

$$\begin{bmatrix} e_{md} \\ e_{mq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G'_{m11}(s) & G'_{m12}(s) \\ G'_{m21}(s) & G'_{m22}(s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \hat{\lambda}_r \end{bmatrix} \cdot \Delta\omega_m \tag{3.6}$$

โดยที่

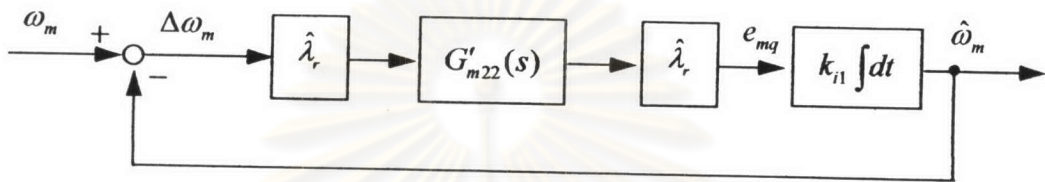
$$G'_m(s) = K_1 \cdot G(s') \Big|_{s'=sI+\omega J} = \begin{bmatrix} G'_{m11}(s) & G'_{m12}(s) \\ G'_{m21}(s) & G'_{m22}(s) \end{bmatrix} \tag{3.7}$$

โดยการย้ายระบบจากที่อ้างอิงบนแกนสเตเตอร์ (แกน $\alpha - \beta$) ไปอ้างอิงบนแกนหมุนโรเตอร์ฟลักซ์ (แกน $d - q$) เราจะได้บล็อกโคจรแกรมของระบบประมาณค่าความเร็วบนแกนอ้างอิงสเตเตอร์ดังนี้รูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 บล็อกโคจรแกรมระบบประมาณค่าความเร็วบนแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์

เมื่อพิจารณาระบบประมาณค่าความเร็วบนแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์ (แกน $d-q$) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 จะพบว่าค่าความผิดพลาด e_{mq} และฟังก์ชันโอนย้าย $G'_{m22}(s)$ เท่านั้นที่ถูกใช้ในการประมาณค่าความเร็ว นั่นคือเราสามารถลดรูประบบลงเหลือเพียงวงรอบขององค์ประกอบในแกน q เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และเนื่องจากโดยปรกติอัตราขยายการปรับตัว k_{r1} ที่เราใช้จะมีค่าสูงเพื่อให้ความเร็วประมาณติดตามค่าความเร็วจริงได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นตำแหน่งศูนย์ของฟังก์ชันโอนย้าย $G'_{m22}(s)$ จึงต้องอยู่ทางซ้ายของระนาบจำนวนเชิงซ้อน



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมระบบประมาณความเร็วบนแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์ ที่ลดรูปเป็นลักษณะสัญญาณเข้าออกเดี่ยว (SISO)

$$G'_{m22}(s) = \frac{(1+h_1-kh_2)s^2 + (\alpha+k\omega_m)s + \omega(\omega h_1 - k\omega h_2 + k\alpha + \omega_s)}{((1+h_1)s - \omega h_2 + \alpha)^2 + (h_2s + \omega h_1 + \omega_s)^2} \quad (3.8)$$

จากสมการ(3.8) เราจะได้ว่าเงื่อนไขเสถียรภาพของระบบประมาณค่าความเร็วก็คือเงื่อนไขที่จำเป็นและเพียงพอสำหรับการมีขั้วและศูนย์ที่เสถียรของฟังก์ชันโอนย้าย $G'_{m22}(s)$ ตามลำดับ ดังนี้

$$\text{Stable-pole condition:} \quad (1) \quad 1 + h_1 - \frac{\omega_m}{\alpha} h_2 > 0 \quad (3.9)$$

$$\text{Stable-zero condition:} \quad (2) \quad 1 + h_1 - kh_2 > 0 \quad (3.10)$$

$$(3) \quad (\alpha + k\omega_m) > 0 \quad (3.11)$$

$$(4) \quad \omega(\omega h_1 - k\omega h_2 + k\alpha + \omega_s) > 0 \quad (3.12)$$

3.1.2 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสเตเตอร์ต่อระบบประมาณค่าความเร็วที่มี การป้อนกลับค่าความผิดพลาดผ่านเมตริกซ์ขยาย

เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดของความเร็วโรเตอร์กับค่า ความคลาดเคลื่อนของความต้านทานสเตเตอร์ในสภาวะอยู่ตัวเมื่อมีการป้อนกลับผ่านเมตริกซ์ขยาย \mathbb{H} ได้ในทำนองเดียวกันกับที่ได้แสดงในหัวข้อ 2.2.4 เพื่อใช้เป็นแนวทางการออกแบบเมตริกซ์ ขยาย \mathbb{H} ให้ระบบมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานสเตเตอร์ ได้ดังต่อไปนี้

จากสมการ (2.6), (2.28) และ (3.2) จะสามารถหาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง ค่าความต้านทานสเตเตอร์ต่อ \bar{e}_m บนแกนอ้างอิงโรเตอร์ฟลักซ์ (แกน $d-q$) ได้ดังนี้

$$\bar{e}_m = G'_m(s) \left\{ \mathbb{J} \hat{\lambda}_r \cdot \Delta \omega_m \right\} + R'_m(s) \cdot \{ \bar{i}_s \cdot \Delta R_s \} \quad (3.13)$$

โดยที่

$$R'_m(s) = \mathbb{K}_1 \cdot R(s) \Big|_{s'I=sI+\omega\mathbb{J}} = \begin{bmatrix} R'_{m11}(s) & R'_{m12}(s) \\ R'_{m21}(s) & R'_{m22}(s) \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

$$R(s) = [s(\mathbb{I} + \mathbb{H}) + \alpha\mathbb{I} - \omega_m\mathbb{J}]^{-1} \cdot [(s + \alpha)\mathbb{I} - \omega_m\mathbb{J}] \quad (3.15)$$

โดยการแทน $e_{mq} = 0$ และ $s = 0$ ลงในสมการ (3.13) เราจะได้ความสัมพันธ์ ระหว่างค่าความผิดพลาดของความเร็วโรเตอร์กับค่าความคลาดเคลื่อนของความต้านทานสเตเตอร์ ในสภาวะอยู่ตัว ดังนี้

$$\frac{\Delta \omega_m}{\Delta R_s} = - \frac{(R'_{m21}(0) \cdot i_{sd} + R'_{m22}(0) \cdot i_{sq})}{G'_{m22}(0) \cdot \hat{\lambda}_r} \quad (3.16)$$

โดยที่

$$R'_{m21}(0) = \frac{-k(\alpha^2 + \omega_s^2) - \omega(k\omega_s + \alpha)h_1 + \omega(k\alpha - \omega_s)h_2}{(\alpha - \omega h_2)^2 + (\omega h_1 + \omega_s)^2} \quad (3.17)$$

$$R'_{m22}(0) = \frac{(\alpha^2 + \omega_s^2) + \omega(k\alpha - \omega_s)h_1 - \omega(k\omega_s + \alpha)h_2}{(\alpha - \omega h_2)^2 + (\omega h_1 + \omega_s)^2} \quad (3.18)$$

โดยอาศัยสมการ (3.18) และความสัมพันธ์ $\omega_s = \frac{R'_r}{M'} \cdot \frac{i_{sq}}{i_{sd}} = \alpha \cdot \frac{i_{sq}}{i_{sd}}$ เราสามารถ เขียนสมการ (3.16) ได้ใหม่ ดังนี้

$$\frac{\Delta \omega_m}{\Delta R_s} = \left\{ \frac{\alpha^2 - \omega_s^2}{\alpha} + 2\omega_s \cdot \frac{\omega k h_1 + \omega h_2 + k\omega_s - \alpha}{\omega h_1 - k\omega h_2 + \omega_s + k\alpha} \right\} \cdot \frac{i_{sd}}{\omega \hat{\lambda}_r} \quad (3.19)$$

3.1.3 การออกแบบเมตริกซ์ขยายป้อนกลับ

เนื่องจากเมตริกซ์ขยาย \mathbb{H} ขึ้นกับทั้งค่า h_1 และ h_2 ซึ่งจะทำให้ยากต่อการออกแบบ เพื่อให้สอดคล้องทั้งเงื่อนไขเสถียรภาพ ค้างในสมการ (3.9)-(3.12) และลดค่าความผิดพลาดความเร็ว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสเตเตอร์ ค้างในสมการ (3.19) ค้างนั้นเพื่อความสะดวกในการหาค่า h_1 และ h_2 ให้สัมพันธ์กับเงื่อนไขข้างต้น เราจึงกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่า h_1 และ h_2 ในการออกแบบเมตริกซ์ \mathbb{H} ให้เป็น ค้างในสมการ (3.20)

$$\mathbb{H} = kh\alpha \cdot \mathbb{I} + h\alpha \cdot \mathbb{J} \quad (h_1 = kh\alpha, h_2 = h\alpha) \quad (3.20)$$

เมื่อแทนค่า h_1 และ h_2 จากสมการ (3.20) ลงในสมการ (3.9)-(3.12) และเมื่อพิจารณาค่า k จากสมการ (2.7) จะได้เงื่อนไขเสถียรภาพของระบบประมาณค่าความเร็วที่ขึ้นกับค่า h เพียงตัวเดียวเท่านั้น ดังแสดงในสมการ (3.21)

$$h \cdot \text{sgn}(\omega_m) \cdot [|\omega_m| - \mu] < 1 ; \text{ในกรณีที่ } |\omega_m| > \mu \quad (3.21)$$

และในทำนองเดียวกัน เมื่อเราแทนค่า h_1 และ h_2 จากสมการ (3.20) ลงในสมการ (3.19) จะสามารถหาค่า h ที่ทำให้ระบบประมาณค่าความเร็วมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสเตเตอร์ หรือ มีค่าความผิดพลาดความเร็วเป็นศูนย์ ($\Delta\omega_m = 0$) ได้ดังแสดงในสมการ (3.22)

$$h = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\omega_s - k\alpha)(\omega_s^2 + \alpha^2)}{\omega\omega_s(k^2 + 1)\alpha^2} \quad (3.22)$$

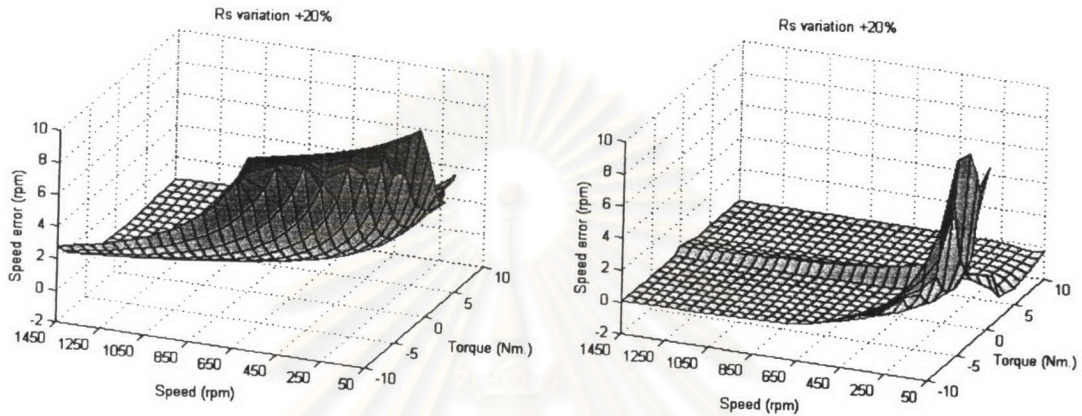
อย่างไรก็ตามในระบบเวกเตอร์ไร้เซนเซอร์วัดความเร็ว เราไม่ทราบค่าจริงของ ω_s และ ω_m ดังนั้นเราจึงใช้ค่าประมาณ $\hat{\omega}_s$ และ $\hat{\omega}_m$ แทนค่าจริงเหล่านั้นตามลำดับ สมการ (3.22) จึงสามารถเขียนได้ใหม่ ดังนี้

$$\hat{h} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\hat{\omega}_s - k\alpha)(\hat{\omega}_s^2 + \alpha^2)}{\omega\hat{\omega}_s(\hat{k}^2 + 1)\alpha^2} \quad (3.23)$$

เมื่อ

$$\hat{k} = \begin{cases} \hat{\omega}_m / \alpha & , |\hat{\omega}_m| < \mu \\ \text{sgn}(\hat{\omega}_m) \mu / \alpha & , |\hat{\omega}_m| > \mu \end{cases} \quad \text{และ } \hat{\omega}_s = \omega - \hat{\omega}_m \quad (3.24)$$

โดยใช้เมตริกซ์ขยาย III ที่ได้ออกแบบข้างต้น เราสามารถแสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของระบบประมาณค่าความเร็วเดิมที่มีและไม่มีการป้อนกลับผ่านเมตริกซ์ขยาย III ดังแสดงในรูปที่ 3.5 อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ เราจะหยุดการป้อนกลับในรอบๆ บริเวณชั่ว $\omega = 0$ หรือ $\omega_s = 0$ จึงทำให้ยังคงมีความคลาดเคลื่อนสูงในบริเวณการทำงานดังกล่าว



รูปที่ 3.5 ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าความเร็วของระบบประมาณค่าความเร็วเดิมที่ไม่มีเมตริกซ์ขยาย (ซ้าย) และระบบที่มีเมตริกซ์ขยาย ตามที่ออกแบบ (ขวา)

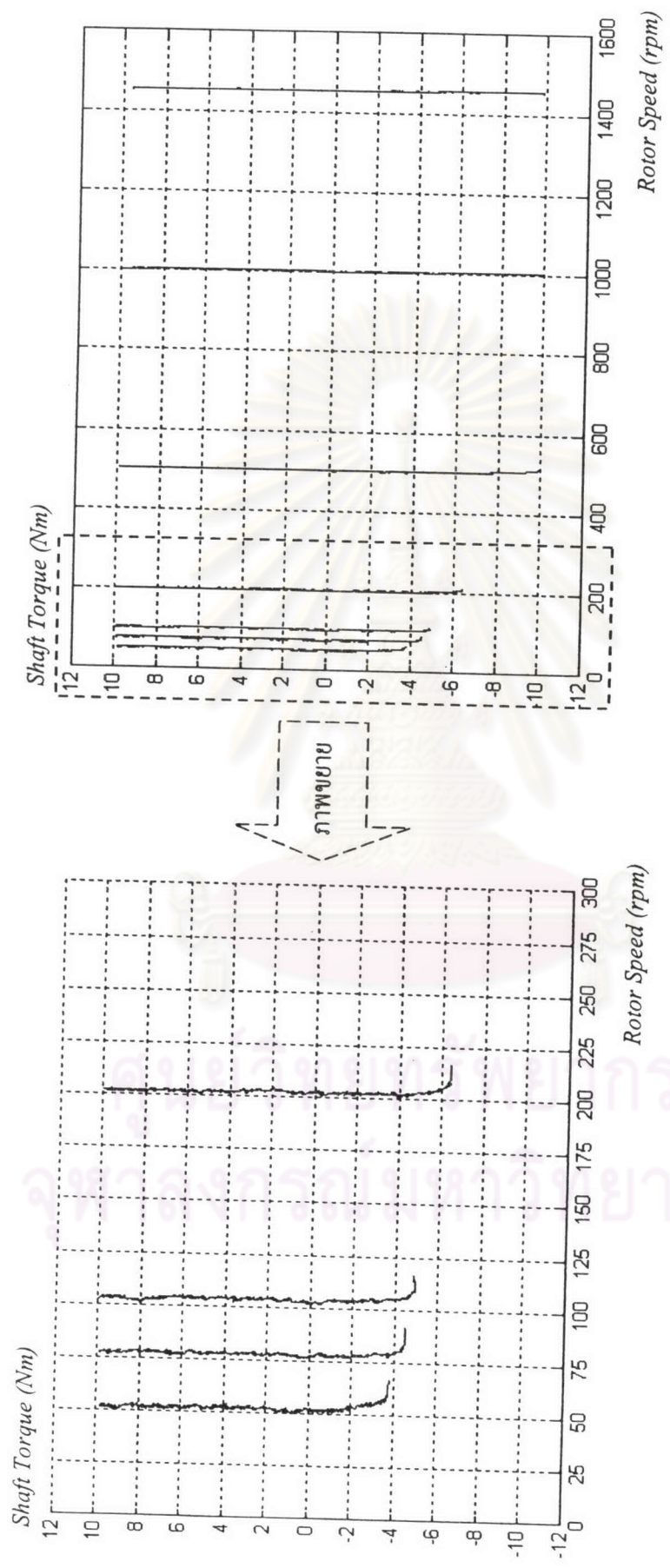
จากรูปที่ 3.5 จะพบว่าโดยภาพรวมระบบที่มีการป้อนกลับผ่านเมตริกซ์ขยาย III จะทำให้ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าความเร็วลดลงมากและมีค่าไม่เกิน 1 rpm ยกเว้นในสภาวะการทำงานไร้โหลดและสภาวะการทำงานแบบเบรกคืนพลังงานในย่านความเร็วต่ำที่ระบบยังคงมีค่าความผิดพลาดของความเร็วประมาณเท่าเดิมและยังคงขาดเสถียรภาพเช่นกัน ดังนั้นสรุปได้ว่าผลโดยรวมของระบบประมาณค่าความเร็วที่มีการป้อนกลับผ่านเมตริกซ์ขยาย III จะมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานสเตเตอร์ขึ้นแต่ระบบยังคงขาดเสถียรภาพได้เมื่อมอเตอร์ทำงานที่ความถี่ต่ำ

3.2 ผลการทดลอง

รูปที่ 3.6- 3.7 เป็นผลการทดสอบระบบควบคุมเวกเตอร์ไร้เซ็นเซอร์วัดความเร็ว ณ จุดทำงานต่างๆเมื่อไม่มีเมตริกซ์ป้อนกลับ โดยแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์ และรูปที่ 3.8-3.9 เป็นผลการทดลองในกรณีที่มีเมตริกซ์ขยายป้อนกลับที่ได้นำเสนอเพื่อให้ระบบมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานสเตเตอร์ รูปที่ 3.6 และ 3.8 เป็นกรณีที่ความต้านทานสเตเตอร์มีความคลาดเคลื่อน ($\Delta R_s = R_s - \hat{R}_s$) ประมาณ -8% และรูป

ที่ 3.7 และ 3.9 เป็นกรณีที่ความต้านทานสเตเตอร์มีความคลาดเคลื่อนประมาณ +14% เหตุผลที่เลือกใช้ค่าความคลาดเคลื่อนของความต้านทานสเตเตอร์ดังกล่าวในการทดสอบก็เนื่องจากเราต้องการทดสอบระบบเมื่อความต้านทานสเตเตอร์ของมอเตอร์จริงมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าความต้านทานสเตเตอร์ที่ใช้ในตัวควบคุมเวกเตอร์ โดยเราจะสมมติสถานการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นจริงใน 2 ลักษณะ ในกรณีแรกนั้นเราจะสมมติให้มอเตอร์จริงทำงานที่อุณหภูมิ 75 °C ซึ่งเป็นจุดทำงานที่ใช้ในการออกแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำ ส่วนค่าความต้านทานสเตเตอร์ที่ใช้ในตัวควบคุมจะอ้างอิงที่อุณหภูมิ 40 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิห้องที่กำหนดไว้ในป้ายชื่อ(Name plate)ของมอเตอร์ เมื่อคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของความต้านทานสเตเตอร์ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนเป็น +14% ส่วนกรณีที่สองเป็นกรณีที่ค่าความต้านทานสเตเตอร์ของมอเตอร์จริงมีค่าน้อยกว่าค่าที่ใช้ในการควบคุม ซึ่งเราจะสมมติให้มอเตอร์จริงทำงานที่อุณหภูมิ 20 °C ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนของความต้านทานสเตเตอร์จึงมีค่าเป็น -8% อย่างไรก็ตามในการทดลองการทำให้มอเตอร์มีอุณหภูมิ 75 °C และ 20 °C เป็นเรื่องยุ่งยาก ดังนั้นเราจึงกำหนดให้ค่าความต้านทานสเตเตอร์ในตัวควบคุมมีค่าที่อุณหภูมิ 75 °C และ 20 °C แทนแล้วรักษาอุณหภูมิของมอเตอร์จริงที่ 40 °C ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนเช่นเดียวกับความต้องการในการทดสอบข้างต้น จากผลการทดลองที่ได้เราพบว่าการใช้อัตราขยายป้อนกลับที่นำเสนอจะช่วยลดความผิดพลาดในการควบคุมความเร็วได้และช่วยให้ระบบสามารถทำงานในย่านเบรกแบบคืนพลังงาน (แรงบิดเป็นลบ) ได้กว้างขึ้นโดยสังเกตได้จากเส้นกราฟความเร็ว-แรงบิดในย่านความเร็วต่ำ

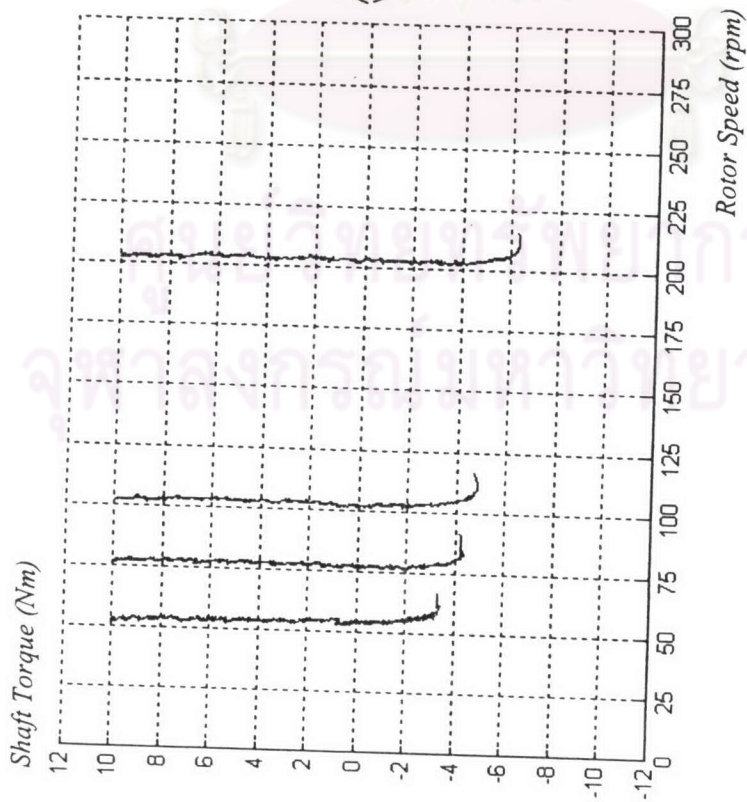
รูปที่ 3.10-3.16 เป็นผลการทดลองแสดงผลตอบสนองสถานะชั่วคราวสำหรับระบบที่ใช้เมตริกซ์ป้อนกลับที่นำเสนอโดยค่า $\Delta R_s = +14\%$ ในรูปที่ 3.10-3.11 เราทำการเร่งและลดความเร็วระหว่างความเร็ว 200 และ 1200 rpm ในที่นี้เราให้ความเร็วคำสั่งมีลักษณะเป็นฟังก์ชันของแรมป์แทนความเร็วคำสั่งที่เป็นแบบขั้นเพื่อลดการกระชากในช่วงต้นของการเร่งหรือลดความเร็ว จะเห็นได้ว่าค่าความเร็วประมาณสามารถติดตามค่าความเร็วจริงที่มีการเปลี่ยนแปลงได้เป็นอย่างดี รูปที่ 3.12-3.13 เป็นรูปแสดงผลตอบสนองสถานะชั่วคราวโดยทำการกลับทิศทางการหมุนระหว่างความเร็ว +1450 rpm และ -1450 rpm เห็นได้ว่าระบบสามารถควบคุมให้มอเตอร์ติดตามความเร็วคำสั่งได้เป็นอย่างดี รูปที่ 3.14-3.15 เป็นรูปแสดงผลตอบสนองสถานะชั่วคราวโดยใส่โหลดพิกัดให้แก่มอเตอร์ที่ความเร็ว 200 และ 1200 rpm ตามลำดับ จะพบว่าในขณะที่ใส่โหลดความเร็วมอเตอร์มีค่าลดลงแต่ระบบสามารถควบคุมความเร็วให้กลับมาสู่ค่าความเร็วคำสั่งได้



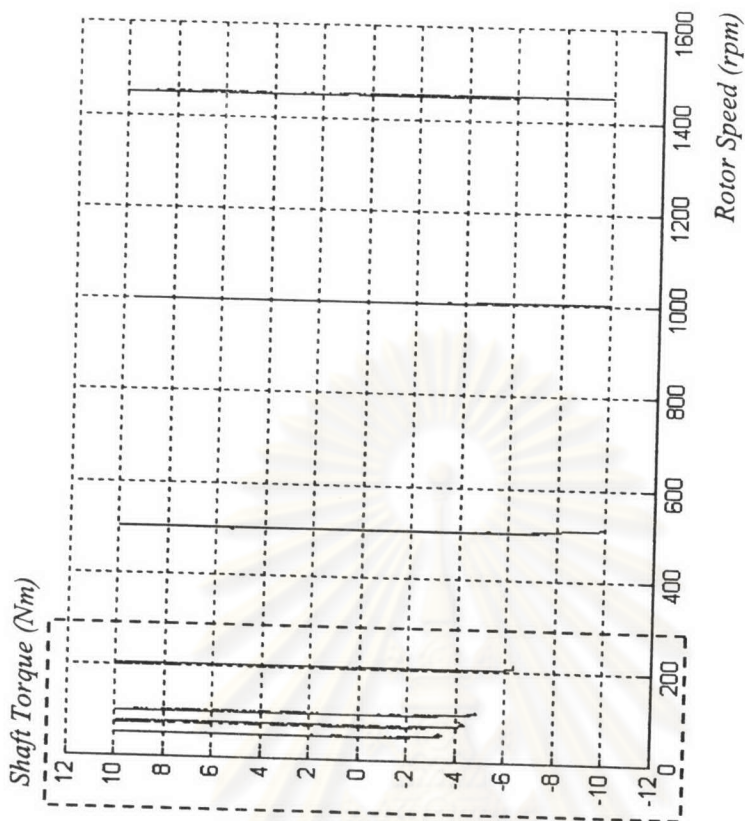
(ก) ภาพขยายในย่านความเร็วต่ำ

(ข) ภาพโดยรวมตลอดย่านความเร็ว

รูปที่ 3.6 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์เมื่อไม่มีเมตริกซ์ขยายป้อนกลับ และ $\Delta R_s = -8\%$

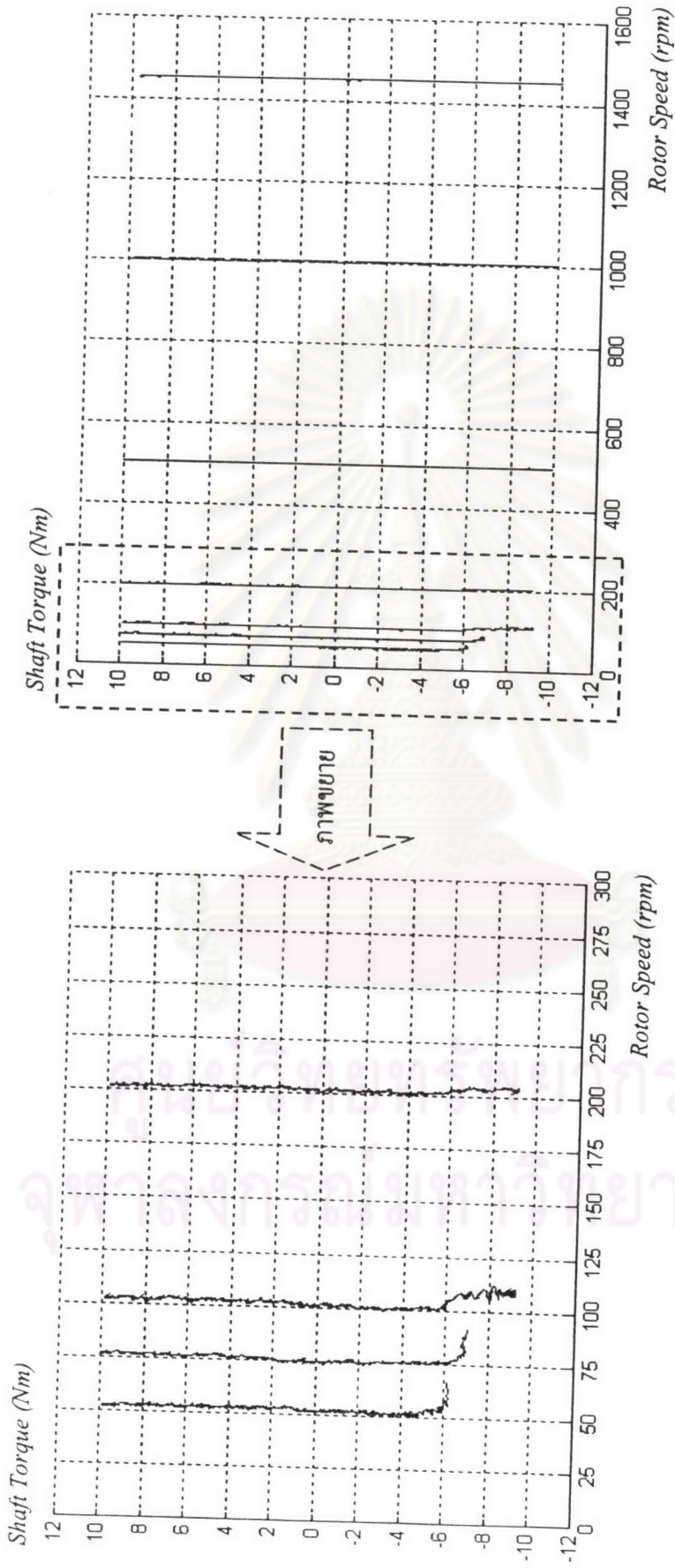


(ก) ภาพขยายในย่านความเร็วต่ำ



(ข) ภาพโดยรวมตลอดย่านความเร็ว

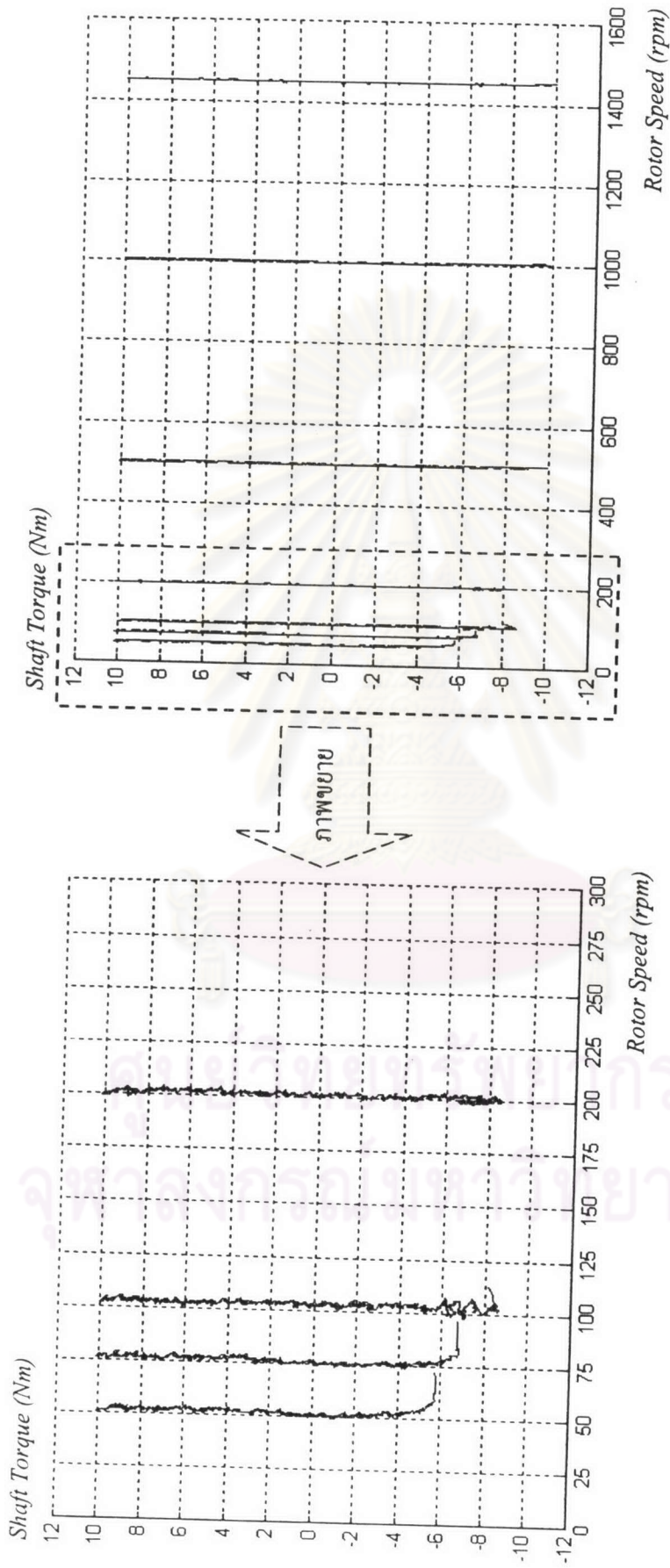
รูปที่ 3.7 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์เมื่อไม่มีเมตริกซ์ขยายป้อนกลับ และ $\Delta R_s = +14\%$



(ก) ภาพขยายในย่านความเร็วต่ำ

(ข) ภาพโดยรวมตลอดย่านความเร็ว

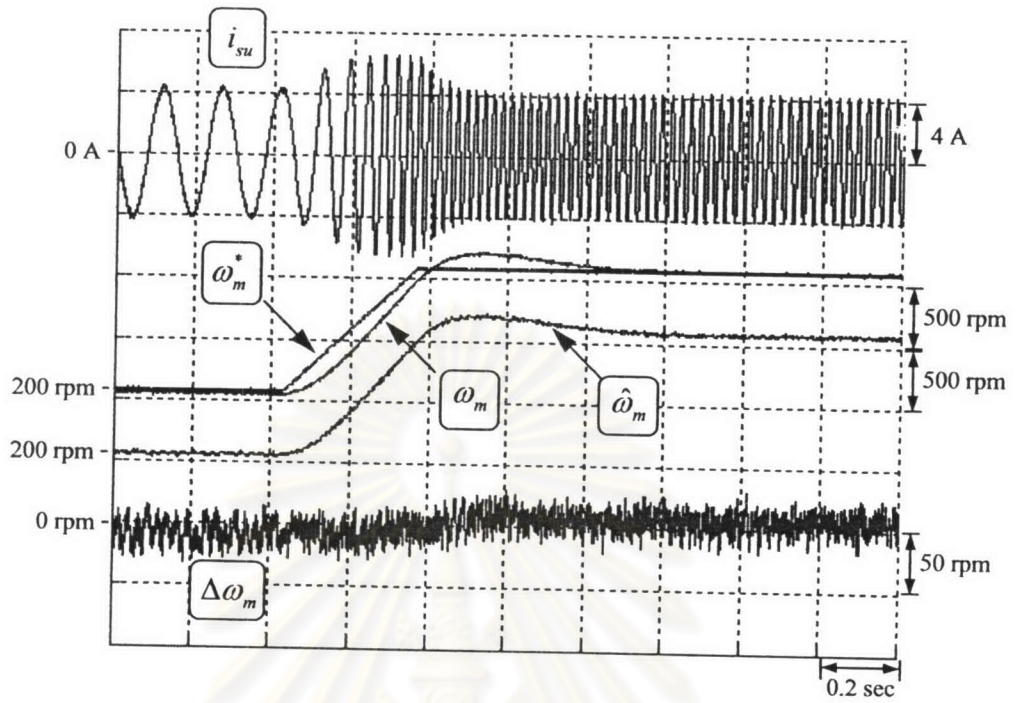
รูปที่ 3.8 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์เมื่อมีเมตริกซ์ขยายย้อนกลับ และ $\Delta R_s = -8\%$



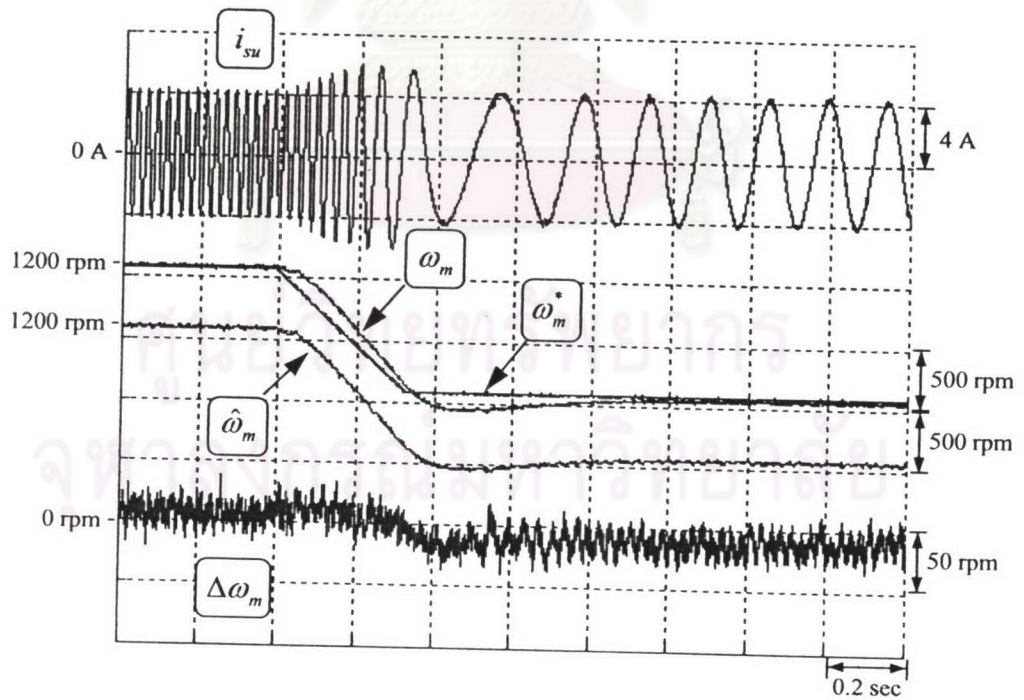
(ก) ภาพขยายในย่านความเร็วต่ำ

(ข) ภาพโดยรวมตลอดย่านความเร็ว

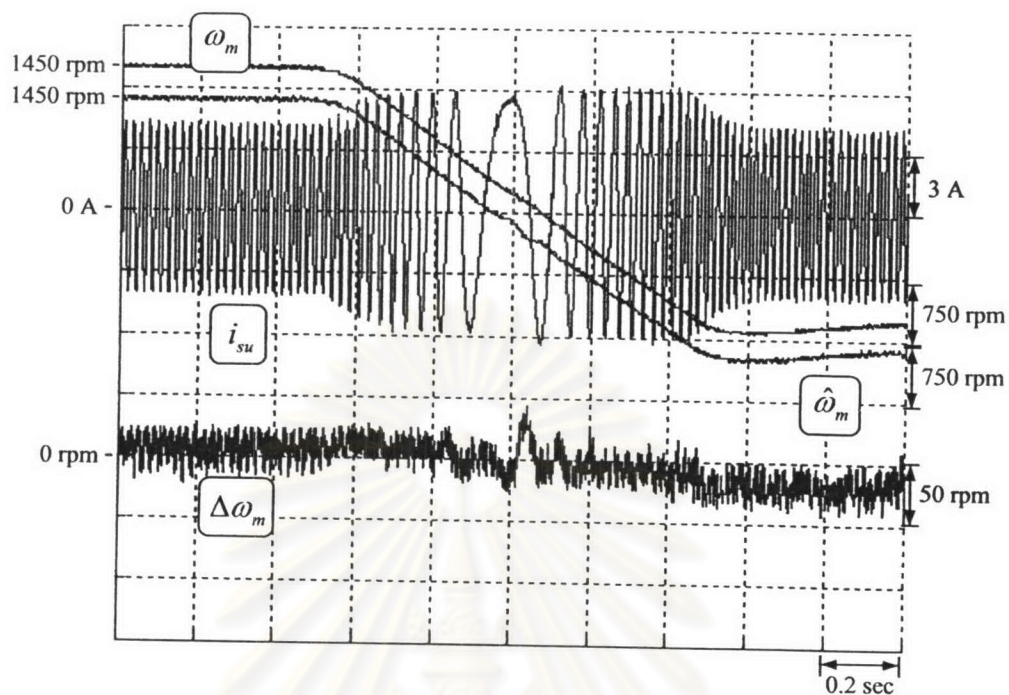
รูปที่ 3.9 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์เมื่อมีเมตริกซ์ขยายย้อนกลับ และ $\Delta R_s = +14\%$



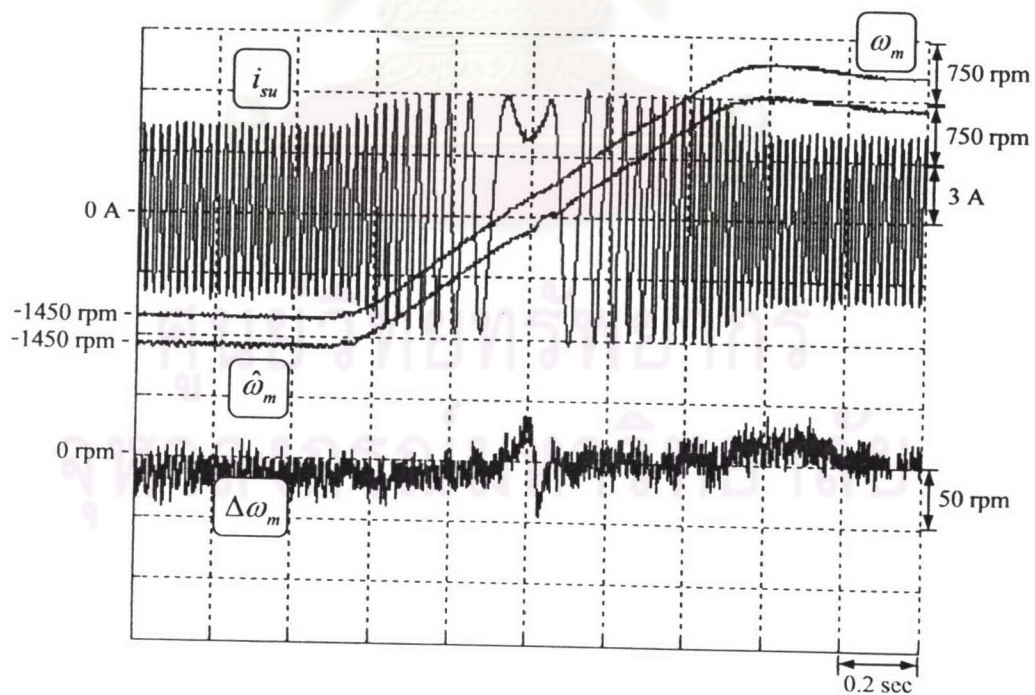
รูปที่ 3.10 ผลตอบสนองสถานะชั่วคราวขณะเร่งความเร็วของมอเตอร์จาก 200 rpm ไป 1200 rpm ($\Delta R_s = +14\%$)



รูปที่ 3.11 ผลตอบสนองสถานะชั่วคราวขณะเร่งความเร็วของมอเตอร์จาก 1200 rpm ไป 200 rpm ($\Delta R_s = +14\%$)



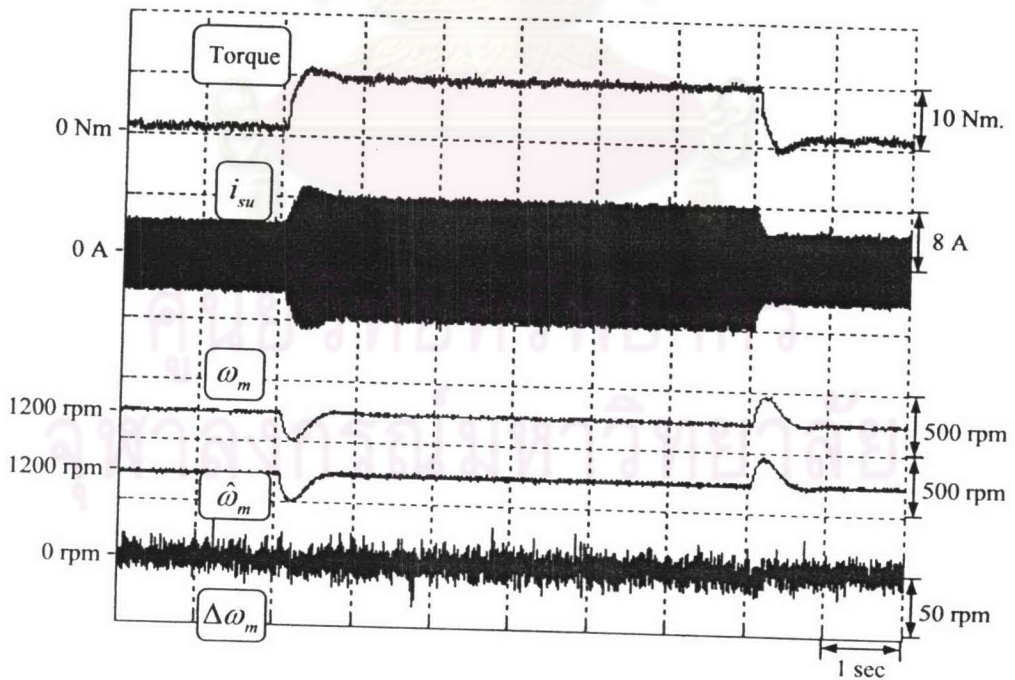
รูปที่ 3.12 ผลตอบสนองสถานะชั่วครู่ขณะกลับทิศความเร็วของมอเตอร์จาก +1450 rpm ไป -1450 rpm ($\Delta R_s = +14\%$)



รูปที่ 3.13 ผลตอบสนองสถานะชั่วครู่ขณะกลับทิศความเร็วของมอเตอร์จาก -1450 rpm ไป +1450 rpm ($\Delta R_s = +14\%$)



รูปที่ 3.14 ผลตอบสนองสถานะชั่วครู่ขณะใส่โหลดพิกัดเมื่อมอเตอร์ทำงานที่ความเร็ว 200 rpm ($\Delta R_s = +14\%$)



รูปที่ 3.15 ผลตอบสนองสถานะชั่วครู่ขณะใส่โหลดพิกัดเมื่อมอเตอร์ทำงานที่ความเร็ว 1200 rpm ($\Delta R_s = +14\%$)