

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติเนื่องจากสลิปฟักัดโดยปรกติมีค่าประมาณ  $\pm 5\%$  ของความเร็วฟักัด ดังนั้นโดยพิจารณาจากสมการ (3.16) ย่านการทำงานที่ไม่มีเสถียรภาพของระบบจะเกิดขึ้นที่ความถี่ต่ำเท่านั้น

#### เงื่อนไข $x > 0$

เงื่อนไขที่สองนี้แสดงถึงข้อจำกัดในการออกแบบค่าอัตราขยายป้อนกลับของสัญญาณขาออกผิดพลาดเพื่อปรับปรุงตัวสังเกตแบบเต็มอันดับหรือเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของการประมาณค่าความเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อไม่มีการป้อนกลับของสัญญาณขาออกผิดพลาด  $x = R_s / (\sigma L_s) + R_r / (\sigma L_r) > 0$  ระบบประมาณค่าความเร็วจะทำงานสอดคล้องกับเงื่อนไขนี้เสมอ

#### เงื่อนไข $\omega_o n < mx$

ในกรณีที่ไม่มี การป้อนกลับในตัวสังเกต ( $H'_1 = H'_2 = 0$ ) เราจะได้ว่า

$$\begin{aligned} n &= -p\omega_m \frac{R_s}{\sigma L_s} \\ m &= \frac{R_r R_s}{L_r \sigma L_s} > 0 \\ x &= \frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{R_r}{\sigma L_r} > 0 \end{aligned} \quad (3.17)$$

พจน์ทางขวามือของเงื่อนไข (3.11) จะมีค่ามากกว่าศูนย์เสมอ ในขณะที่ผลคูณของพจน์ทางซ้ายมือจะมีค่ามากกว่าศูนย์ก็ต่อเมื่อความถี่ของอินเวอร์เตอร์และความเร็วมอเตอร์มีทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งหมายถึงการทำงานในย่านเบรกแบบปลั๊กกิง (Plugging) โดยสลิปมีค่ามากกว่าหนึ่งนั่นเอง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสลิปจะมีค่าฟักัดประมาณ  $\pm 5\%$  ของความเร็วฟักัด ดังนั้นการเบรกแบบปลั๊กกิงในระบบควบคุมเวกเตอร์จะเกิดขึ้นก็เฉพาะในย่านความเร็วต่ำเท่านั้น ( $\omega_o n$  ก็จะมีค่าน้อยตามไปด้วย) และเมื่อจุดทำงานไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขนี้ จะปรากฏคู่สังยุคของศูนย์บนฝั่งขวาของระนาบจำนวนเชิงซ้อน  $s$  ยังผลให้คู่สังยุคของขั้วเด่นของฟังก์ชันโอนย้าย  $G'_{22}(s)$  ที่อยู่ทางฝั่งซ้ายของระนาบจำนวนเชิงซ้อน  $s$  วิ่งไปหาคู่ศูนย์นี้ นั่นหมายความว่าถ้าเราออกแบบให้อัตราขยายแบบปรับตัวในระบบประมาณความเร็วมีค่าสูงเพื่อผลตอบสนองที่ดี ระบบจะขาดเสถียรภาพได้ ผลที่ได้นี้ตรงกันกับการวิเคราะห์โดยการทำให้ระบบเป็นเชิงเส้น (C. Schauder, 1989) อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่า  $x$  ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์มีค่าอยู่ในหลักร้อย ทำให้โอกาสที่จะเกิดคู่ศูนย์ที่ไม่มีเสถียรภาพเป็นไปได้ยาก ดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 3.9 จากผลการจำลองใน รูปที่ 3.10 จะเห็นว่าถ้าเราทำการป้อนโหลดขนาด 10 Nm ( $\omega_s = 11.36$  rad/s = 3.82% ของความเร็วฟักัด) โดยทำ



การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไว้ที่  $\omega_m^* = -4 \text{ rad/s}$  ความถี่ทำงานของระบบ  $\omega_o$  จะมีค่าเป็น  $3.36 \text{ rad/s}$  และผลคูณของ  $\omega_o n = 4.50e+03$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่า  $mx=3.15e+05$  ประมาณ 100 เท่า เงื่อนไขที่ (3.11) จึงสอดคล้องและระบบก็สามารถควบคุมความเร็วและแรงบิดได้ถูกต้อง

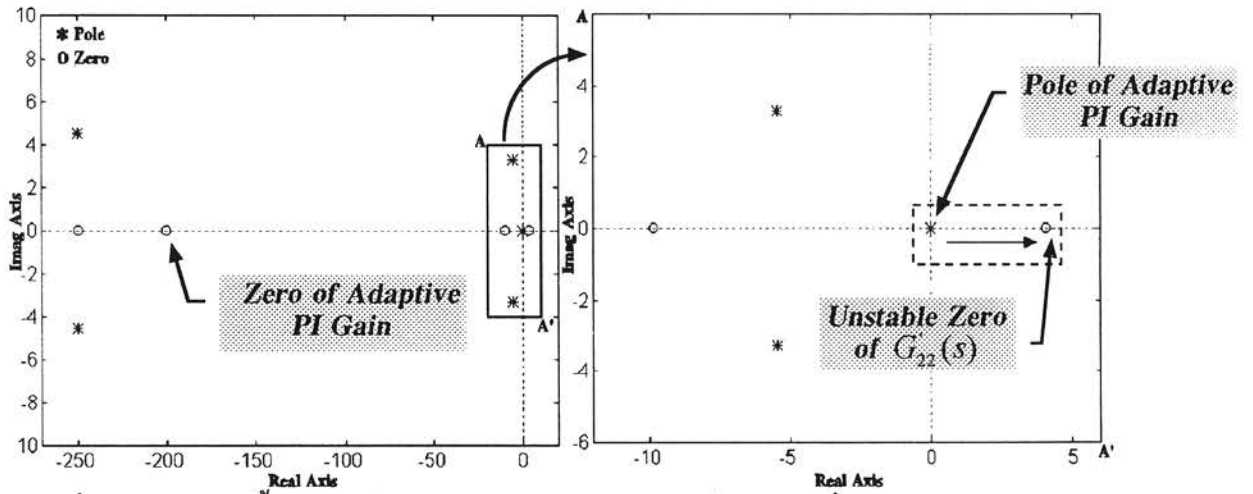
ในกรณีที่มีการป้อนกลับโดยให้  $H_1' = 0, H_2' = -0.9R_s \bullet I$  เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของระบบประมาณ ผลคูณของ  $\omega_o n=4.5e+02$  ซึ่งยังคงน้อยกว่า  $mx=3.15e+04$  อยู่ประมาณ 100 เท่า เช่นเดิมและไม่ปรากฏคู่สังยุค (conjugate pair) ของศูนย์ทางฝั่งขวาของระนาบ S อีกเช่นเคยดังแสดงในรูป 3.11 และระบบยังคงทำงานได้ถูกต้องดังผลการจำลองการทำงานที่แสดงในรูปที่ 3.12

จากการพิจารณาเงื่อนไขทั้งสามดังกล่าวเราได้ข้อสรุปดังนี้คือเสถียรภาพของระบบประมาณ ค่าความเร็วจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของศูนย์บนระนาบจำนวนเชิงซ้อน S ของฟังก์ชันโอนย้าย  $G_{22}'(s)$  ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงานของมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ซึ่งเราสามารถอธิบายที่ย่านการทำงานต่างๆ ได้ดังนี้คือ

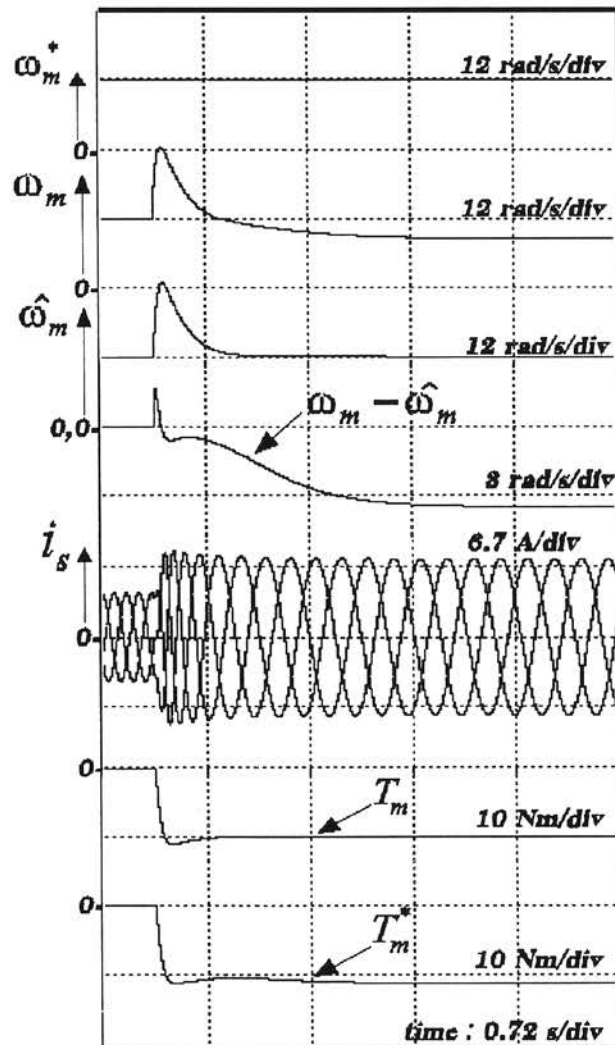
1. เมื่อมอเตอร์ทำงานเป็นมอเตอร์ (Motoring Region,  $0 < \text{slip} < 1$ ) ระบบประมาณค่าความเร็วจะมีเสถียรภาพเสมอ

2. ในย่านการทำงานแบบคืนพลังงาน (Regenerative Region,  $\text{slip} < 0$ ) เมื่อจุดทำงานของมอเตอร์อยู่ต่ำกว่าความถี่วิกฤต  $\omega_o < \omega_c (= -\frac{n}{x})$  จะปรากฏศูนย์ตัวหนึ่งบนแกนจริงทางด้านขวาของระนาบจำนวนเชิงซ้อน S เป็นเหตุให้ขั้วของตัวควบคุมแบบปรับตัวเคลื่อนที่ไปหาศูนย์ตัวนี้ ยังผลให้ระบบประมาณขาดเสถียรภาพไม่ว่าค่าอัตราขยายแบบปรับตัวจะมีค่าเท่าไรก็ตาม อย่างไรก็ตาม เราสามารถออกแบบอัตราขยายป้อนกลับที่ตัวสังเกด้วยค่าที่เหมาะสม เพื่อให้ความถี่วิกฤตมีค่าน้อยลงและขยายย่านการทำงานที่มีเสถียรภาพให้กว้างขึ้นได้

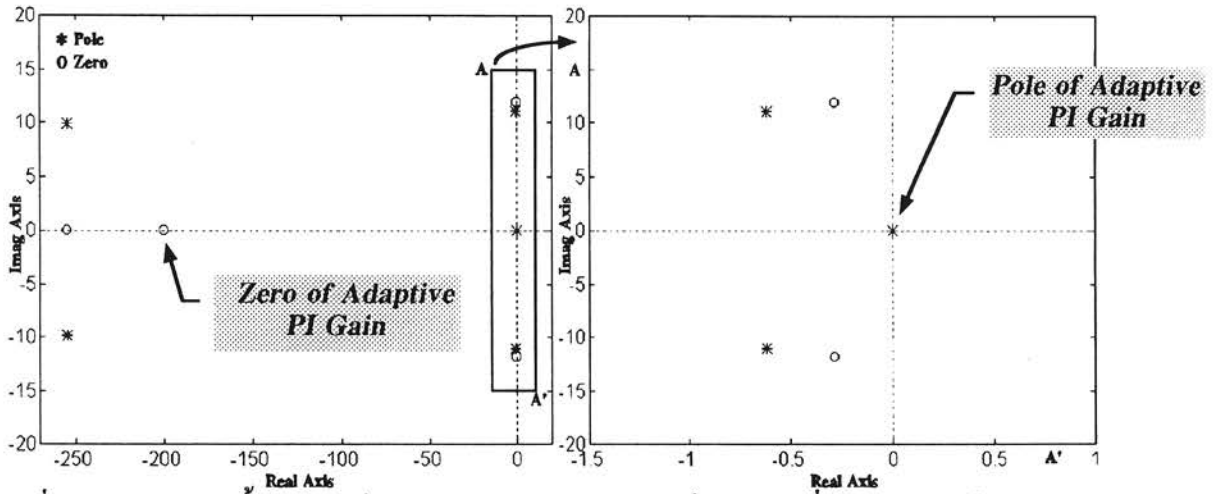
3. จุดทำงานในย่านการทำงานแบบเบรก (Braking Region,  $\text{slip} > 1$ ) ที่ไม่สอดคล้องกับเงื่อนไข  $\omega_o n < mx$  จะทำให้เกิดคู่สังยุคของศูนย์ทางด้านขวาของระนาบจำนวนเชิงซ้อน เป็นเหตุให้ระบบประมาณขาดเสถียรภาพได้ ถ้าอัตราขยายแบบปรับตัวมีค่าสูงเพียงพอที่จะทำให้ขั้วเคลื่อนที่อยู่ทางด้านซ้ายของระนาบจำนวนเชิง S วิ่งข้ามแกนจินตภาพไปที่คู่ศูนย์นี้ อย่างไรก็ตามจากการที่ค่า  $mx$  สำหรับมอเตอร์โดยทั่วไปมีค่าที่ค่อนข้างสูงทำให้ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ยาก



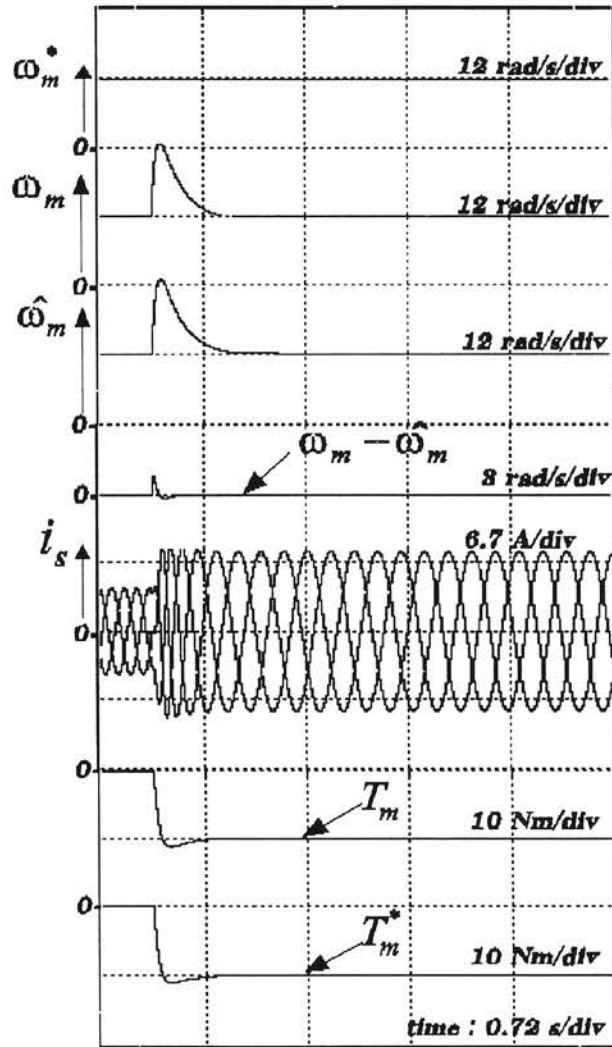
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งขั้วและศูนย์ของระบบประมาณค่าความเร็วในขณะที่มีโหลดแบบคีนพลังงานขนาด  $-10 \text{ Nm}$  โดยไม่มีการป้อนกลับ ( $K_p=2, K_f=400, H_1' = 0, H_2' = 0$ )



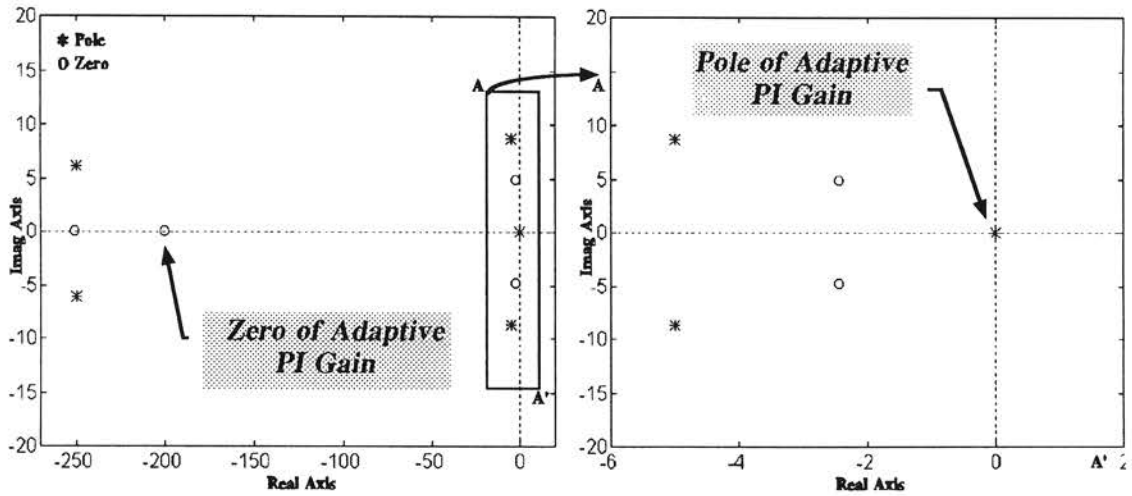
รูปที่ 3.6 ผลการจำลองการทำงานของระบบในขณะที่มีโหลดแบบคีนพลังงานขนาด  $-10 \text{ Nm}$  โดยไม่มีการป้อนกลับ ( $K_p=2, K_f=400, H_1' = 0, H_2' = 0$ )



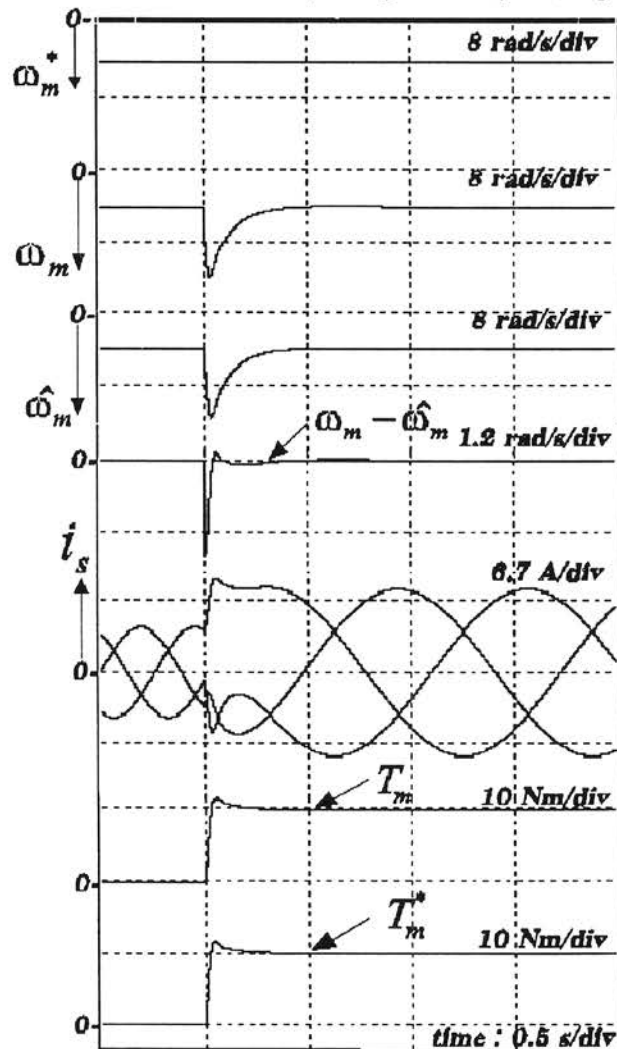
รูปที่ 3.7 ตำแหน่งขั้วและศูนย์ของระบบประมาณค่าความเร็วในขณะที่มีโหลดแบบคีนพลังงานขนาด -10 Nm โดยมีการป้อนกลับ ( $K_p=2, K_f=400, H_1' = 0, H_2' = -0.9 R_s \bullet I$ )



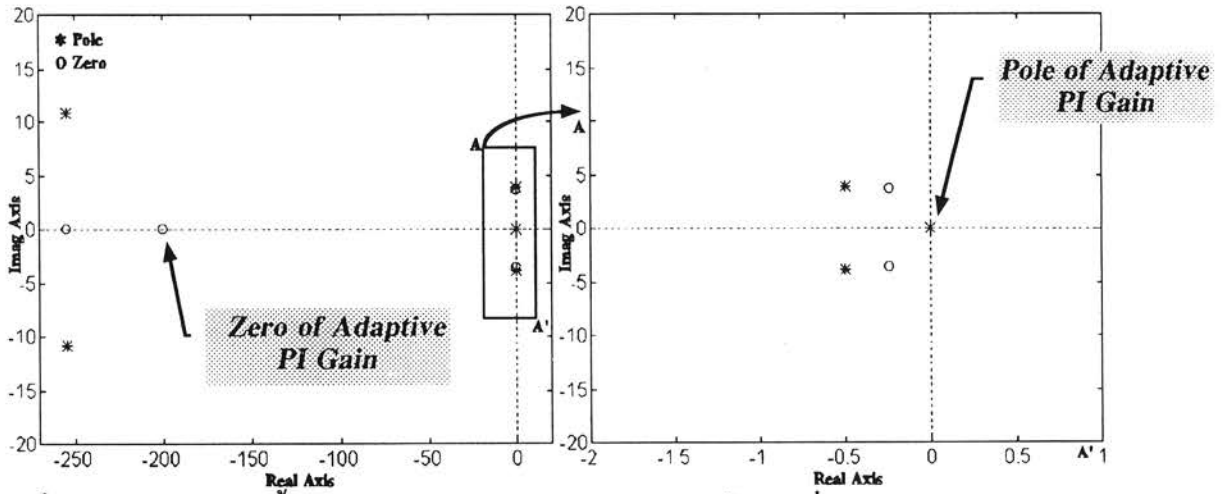
รูปที่ 3.8 ผลการจำลองการทำงานของระบบในขณะที่มีโหลดแบบคีนพลังงานขนาด -10 Nm โดยมีการป้อนกลับ ( $K_p=2, K_f=400, H_1' = 0, H_2' = -0.9 R_s \bullet I$ )



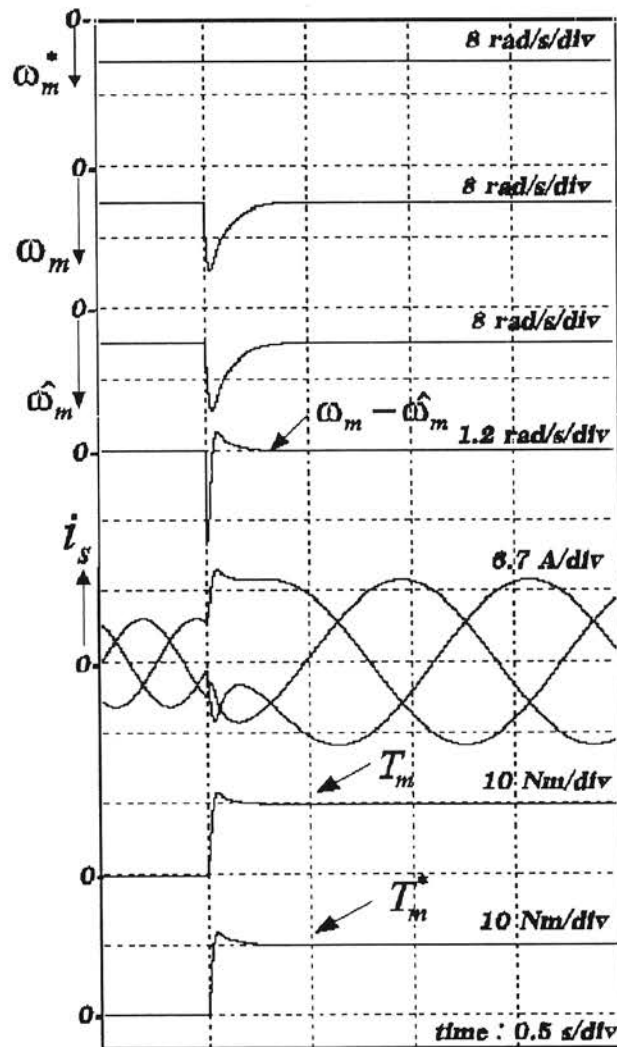
รูปที่ 3.9 ตำแหน่งของขั้วและศูนย์ของระบบประมาณค่าความเร็วขณะทำงานในย่านการเบรกแบบปลั๊กกิ้งโดยไม่มีการป้อนกลับ ( $K_p=2, K_f=400, H_1' = 0, H_2' = 0$ )



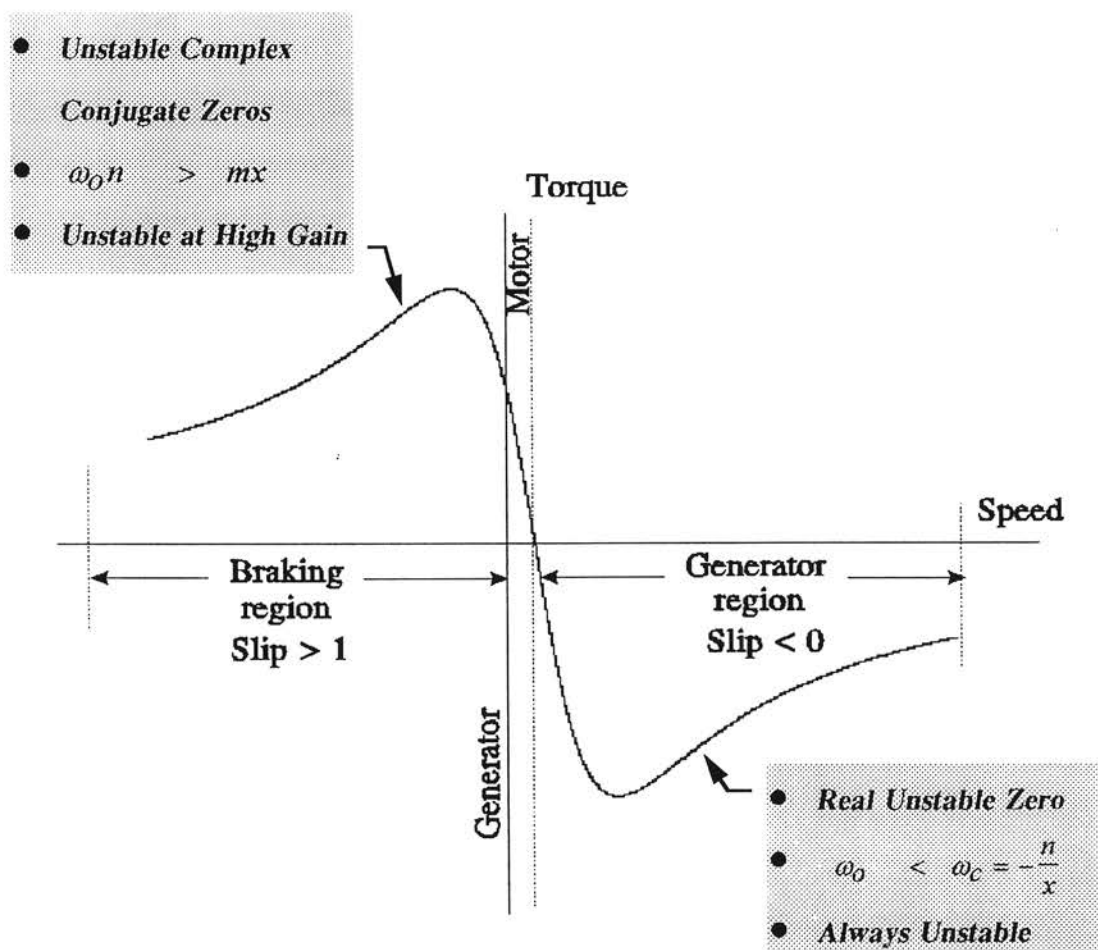
รูปที่ 3.10 ผลการจำลองการทำงานของระบบขณะทำงานในย่านการเบรกแบบปลั๊กกิ้งโดยไม่มีการป้อนกลับ ( $K_p=2, K_f=400, H_1' = 0, H_2' = 0$ )



รูปที่ 3.11 ตำแหน่งของขั้วและศูนย์ของระบบประมาณค่าความเร็วขณะทำงานในย่านการเบรกแบบปลั๊กกิ้งโดยมีการป้อนกลับ ( $K_p=2, K_f=400, H_1 = 0, H_2 = -0.9R_s \cdot I$ )



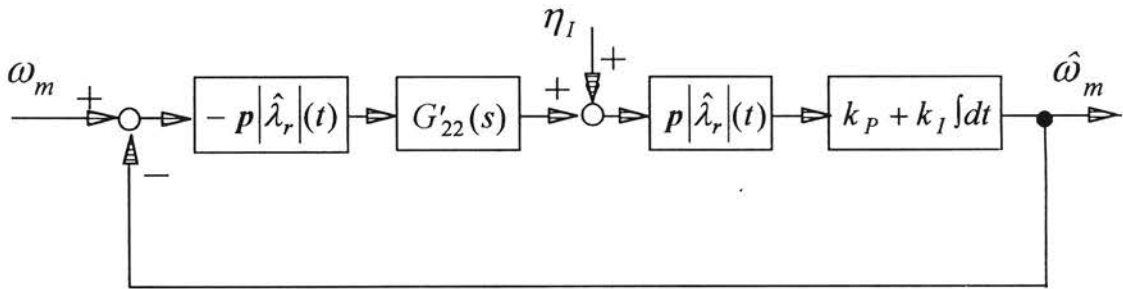
รูปที่ 3.12 ผลการจำลองการทำงานของระบบขณะทำงานในย่านการเบรกแบบปลั๊กกิ้งโดยมีการป้อนกลับ ( $K_p=2, K_f=400, H_1 = 0, H_2 = -0.9R_s \cdot I$ )



รูปที่ 3.13 การเกิดศูนย์ที่ฝั่งขวาของระนาบจำนวนเชิงซ้อน  $s$  ของระบบประมาณค่าความเร็วในย่านการทำงานต่าง ๆ ของมอเตอร์

### การออกแบบค่าอัตราขยายแบบปรับตัว

ในการหาเกณฑ์การออกแบบอัตราขยายปรับตัวนี้เราจะใช้บล็อกไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 3.14 โดยจะพิจารณาถึงสัญญาณรบกวน  $\eta_I$  ที่เกิดจากการตรวจจับกระแสที่ใช้สำหรับการประมาณค่าความเร็วด้วย



รูปที่ 3.14 ระบบประมาณค่าความเร็วที่มีสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการตรวจจับกระแส

ระบบป้อนกลับของการประมาณค่าความเร็วในรูปที่ 3.14 มีสัญญาณขาเข้าของระบบคือความเร็วจริงของมอเตอร์และสัญญาณขาออกคือความเร็วที่เราประมาณ โดยฟังก์ชันโอนย้ายใน ส่วนทางเดินไปหน้าจะประกอบด้วยฟังก์ชันโอนย้าย  $G'_{22}(s)$ , ตัวควบคุม PI แบบปรับตัวและ บล็อกของอัตราขยายซึ่งมีค่าเท่ากับขนาดของโรเตอร์ฟลักซ์ประมาณ เนื่องจากโดยทั่วไปเราจะควบคุมให้โรเตอร์ฟลักซ์มีขนาดคงที่ ดังนั้นผลตอบสนองในการประมาณค่าความเร็วและความไวต่อสัญญาณรบกวนจึงขึ้นอยู่กับฟังก์ชันโอนย้าย  $G'_{22}(s)$  และตัวควบคุม PI เท่านั้น

ในอันดับแรกเราจะพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของความเร็วจริง  $\omega_m(t)$  อันเนื่องมาจาก ระบบควบคุมความเร็ว เพื่อที่จะได้ใช้เป็นหลักในการออกแบบค่าอัตราขยายแบบปรับตัว

ระบบควบคุมความเร็วโดยทั่วไปจะมีการจำกัดขนาดสัญญาณขาออกของตัวควบคุมความเร็ว (Speed Regulator) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ดังนั้นแรงบิดคำสั่ง ( $T_m^*$ ) จะมีขนาดคงที่ถ้าเราทำการเร่งหรือลดความเร็วมอเตอร์ที่มีช่วงกว้างพอประมาณ โดยความเร็วของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง เป็นเชิงเส้น โดยมีความชันเท่ากับ  $T_m / J$  ( $J$  คือค่าความเฉื่อยของมอเตอร์) ด้วยเหตุนี้เราจึงเลือกที่จะศึกษาถึงผลตอบสนองของระบบประมาณค่าความเร็วต่อสัญญาณแรมป์ (Ramp Response)

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.14 เราสามารถหาฟังก์ชันโอนย้ายระหว่างความเร็วจริงและสัญญาณผิดพลาดของความเร็วประมาณได้ดังนี้ คือ

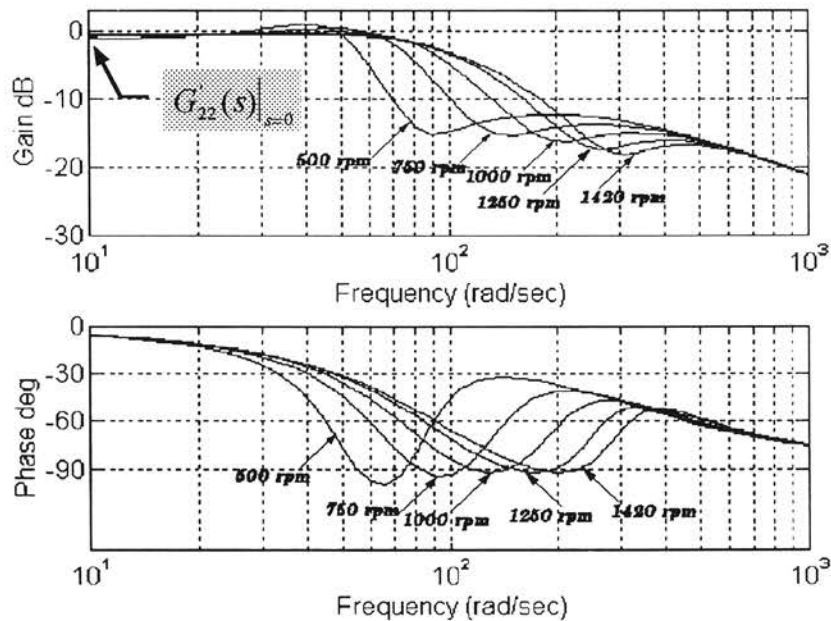
$$\frac{\omega_m - \hat{\omega}_m}{\omega_m} = \frac{1}{1 + (-C^2)G'_{22}(s)(K_p + K_I / s)} \quad (3.18)$$

โดยที่  $C = p|\hat{\lambda}_r|(t) = 1.25 \text{ Wb}$

โดยใช้ ทฤษฎีบทค่าสุดท้าย (Final Value Theorem) เราสามารถหาค่าสัญญาณผิดพลาดของความเร็วที่ประมาณ ณ สถานะอยู่ตัว ( $e_{ss}$ ) สำหรับสัญญาณความเร็วจริงของมอเตอร์ที่เป็นแบบแรมป์ได้ว่า

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s \times \frac{R}{s^2} \times \frac{1}{1 + (-C^2) G'_{22}(s) (K_p + K_I / s)} = \frac{R}{-C^2 G'_{22}(s)|_{s=0} K_I} \quad (3.19)$$

โดยที่  $R = T_m / J$  โพลพล็อตของฟังก์ชันโอนย้าย  $G'_{22}(s)$  ที่จุดทำงานต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 3.15 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าค่า  $G'_{22}(s)$  ที่  $s=0$  มีค่าค่อนข้างคงที่ ดังนั้นจากสมการ (3.19) ถ้าเราใช้ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบอินทิเกรต  $K_I$  ที่มีค่าสูงก็จะทำให้ระบบประมาณค่าความเร็วมีผลตอบสนองแบบแรมป์ที่ดีได้

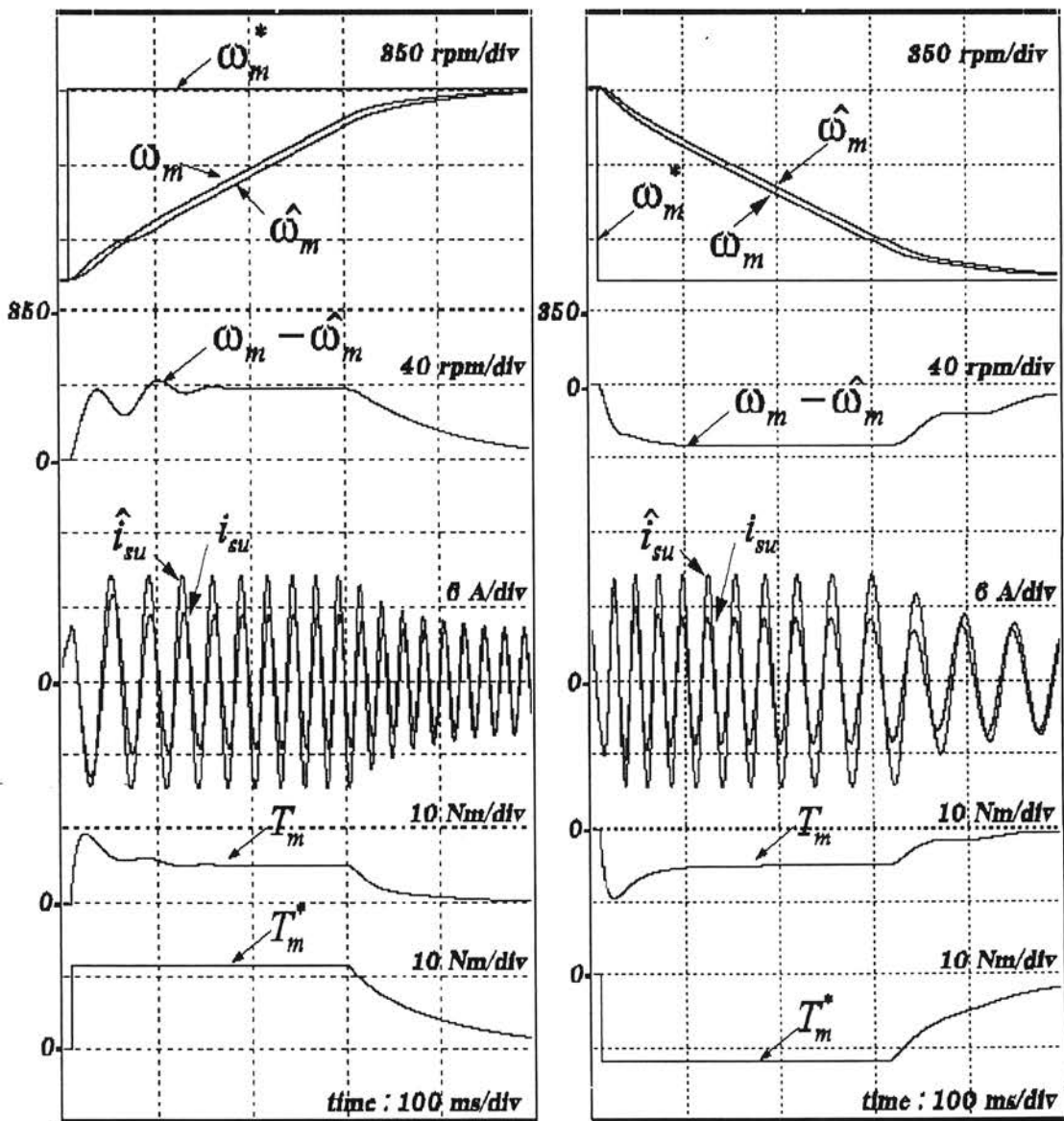


รูปที่ 3.15 โพลพล็อตของฟังก์ชันโอนย้าย  $G'_{22}(s)$  ณ จุดทำงานต่างๆ

ผลการจำลองการทำงานของระบบควบคุมเวกเตอร์ไร้เซ็นเซอร์วัดความเร็วในรูปแบบที่ 3.16 แสดงถึงผลตอบสนองของความเร็วประมาณในขณะที่ทำการเร่งและลดความเร็ว โดยที่อัตราขยายแบบปรับตัวที่ใช้คือ  $K_p = 2$ ,  $K_I = 40$  จะเห็นได้ว่าความเร็วประมาณสามารถติดตามความเร็วจริงได้ โดยมีค่าผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัวประมาณ 35 rpm และค่ายอดของกระแสเดเตอร์จริงและกระแสประมาณในตัวสังเกตแบบเต็มอันดับมีขนาดต่างกันมากประมาณ 3.5 A นอกจากนี้ค่าแรง



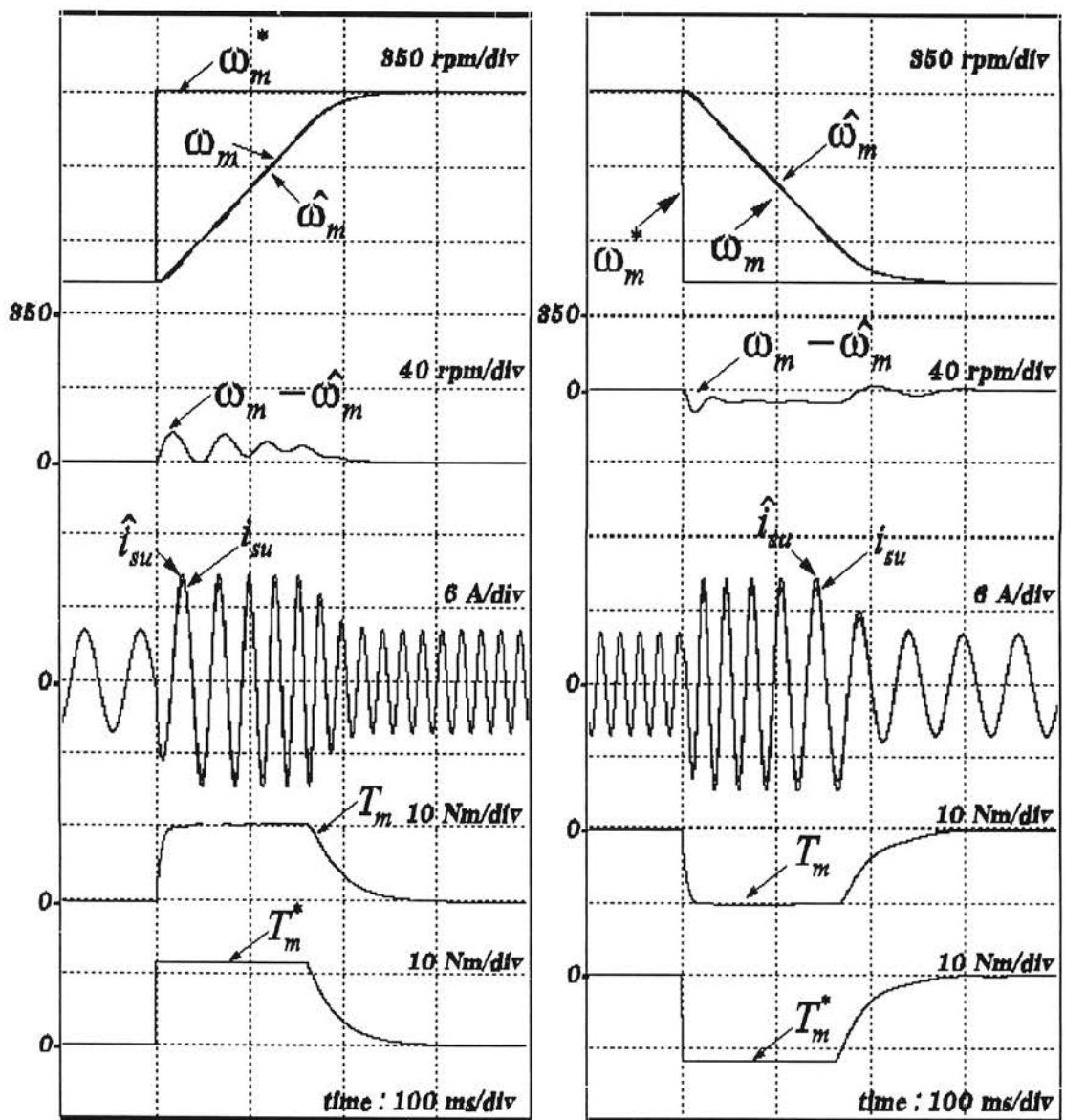
บิดของมอเตอร์ ก็มีขนาดต่างจากแรงบิดคำสั่งประมาณ 6 Nm ทำให้ผลตอบสนองโดยรวมของระบบ ที่พิจารณาระหว่างความเร็วจริงและความเร็วคำสั่งไม่ดีเท่าที่ควร โดยมีค่าความเร็วในการตอบสนองราว 500 ms โดยประมาณ จากโพลพล็อตในรูปที่ 3.15 ที่ความถี่ต่ำๆ ( $< 30\text{rad/s}$ ) ขนาดของฟังก์ชันโอนย้าย  $|G'_{22}(s)|$  จะมีค่าประมาณ 0.93 ที่ทุกๆจุดทำงาน และเมื่อแทนค่า  $R, C$  และ  $K_f$  ในสมการ (3.19) เราคำนวณค่าผิดพลาดของความเร็วประมาณได้ประมาณ 39 rpm ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับผลการจำลองดังกล่าวข้างต้น เมื่อเราใช้อัตราขยายที่มีค่าสูงขึ้นเป็น  $K_f = 400$  และ 800 ระบบประมาณสามารถประมาณค่าความเร็วได้อย่างถูกต้องดังแสดงในรูปที่



รูปที่ 3.16 ผลการจำลองการทำงานของระบบโดยการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว ความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว  $K_p = 2, K_f = 40$

3.17 และ 3.18 โดยมีค่าผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัวโดยประมาณเท่ากับ 7 และ 4 rpm ตามลำดับ ค่ายอดของกระแสเดเตอร์ที่ประมาณได้ก็มีค่าเท่ากับค่ายอดของกระแสจริง และระบบสามารถควบคุมแรงบิดได้ดี (สังเกตจากค่าแรงบิดของมอเตอร์มีค่าใกล้เคียงกับแรงบิดคำสั่งจากการควบคุมแบบเวกเตอร์) ยังผลให้ระบบโดยรวมมีผลตอบสนองที่ดีประมาณ 230 และ 215 ms ตามลำดับ ความเร็วผิดพลาดที่คำนวณได้จากสมการ (3.14) มีค่าประมาณ 7.83 และ 4.31 rpm สำหรับ  $K_I = 400$  และ 800 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับผลการจำลอง

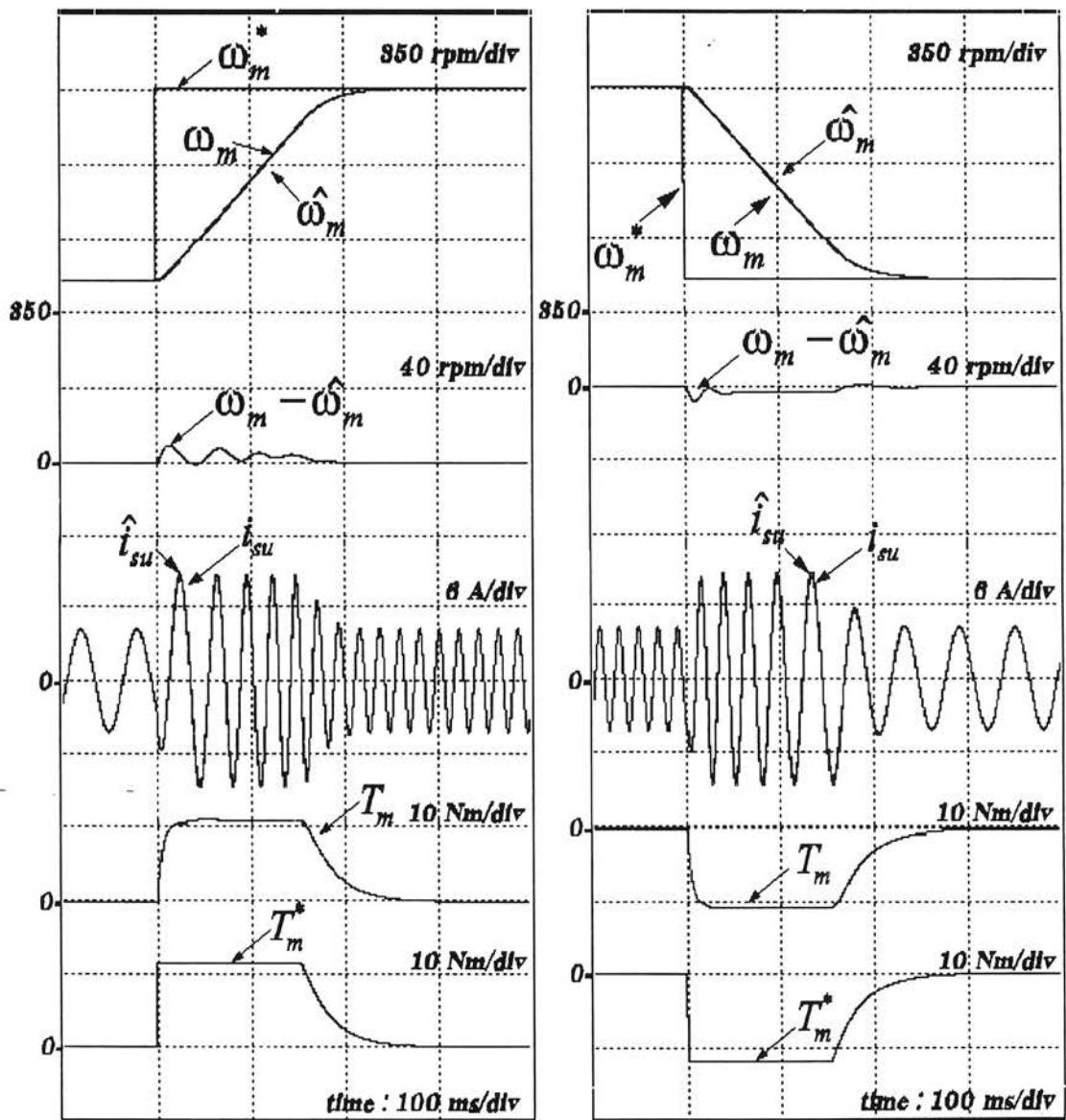
เนื่องจากฟังก์ชันโอนย้าย  $G'_{22}(s)$  มีค่าขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์  $m, n, x$  และ  $y$  ซึ่งขึ้นอยู่กับ



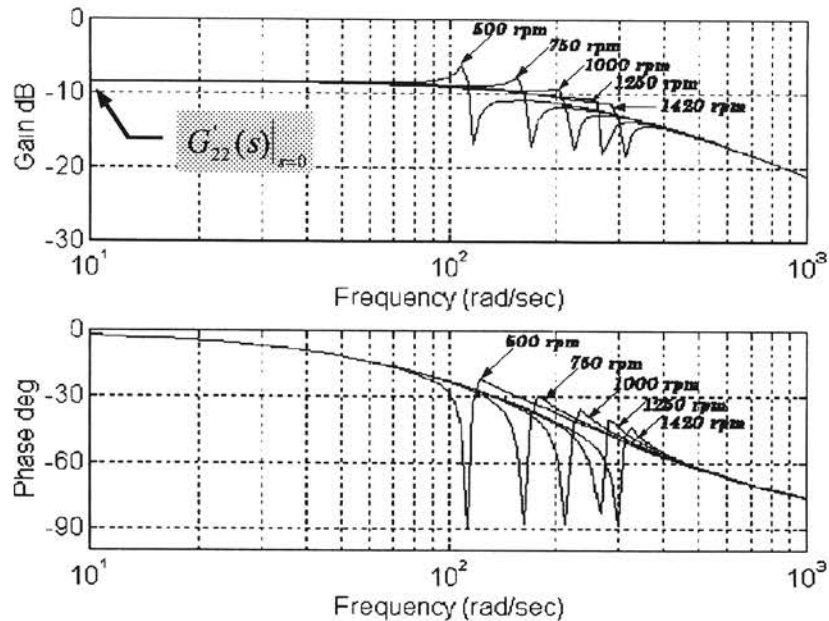
รูปที่ 3.17 ผลการจำลองการทำงานของระบบโดยการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว  $K_p = 2, K_I = 400$

กับค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์และอัตราขยายป้อนกลับ  $H_1, H_2$  ดังนั้นถ้าเราป้อนกลับสัญญาณผิดพลาดของกระแสเดเตอร์เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของประมาณความเร็ว โพลลีสถิตของฟังก์ชันโอนย้าย  $G'_{22}(s)$  ก็จะเปลี่ยนไปดังแสดงในรูปที่ 3.19 โดยอัตราขยาย  $G'_{22}(s)|_{s=0}$  มีค่าน้อยลงเท่ากับ 0.38 โดยประมาณ ซึ่งส่งผลกระทบต่อผลตอบสนองในการประมาณความเร็วในที่สุด

ผลการจำลองการทำงานในรูปที่ 3.20 ในกรณีที่ใช้อัตราขยายแบบปรับตัว  $Kp = 2, KI = 400$  แสดงให้เห็นถึงค่าความเร็วประมาณผิดพลาดขนาดประมาณ 17 rpm (ในขณะที่คำนวณได้ประมาณ 16.30 rpm) ซึ่งมีขนาดมากกว่าในกรณีที่ไม่มีการป้อนกลับ (รูปที่ 3.17) อยู่



รูปที่ 3.18 ผลจำลองการทำงานของระบบโดยการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว  $Kp = 2, KI = 800$



รูปที่ 3.19 โบทพล็อตของฟังก์ชันโอนย้าย  $G'_{22}(s)$  ในกรณีที่มีการป้อนกลับ  $H_1 = 0$ ,  $H_2 = -0.9R_s \cdot I$  ณ จุดทำงานต่างๆ ที่ความถี่สลิป  $\omega_s = 13.33 \text{ rad/s}$

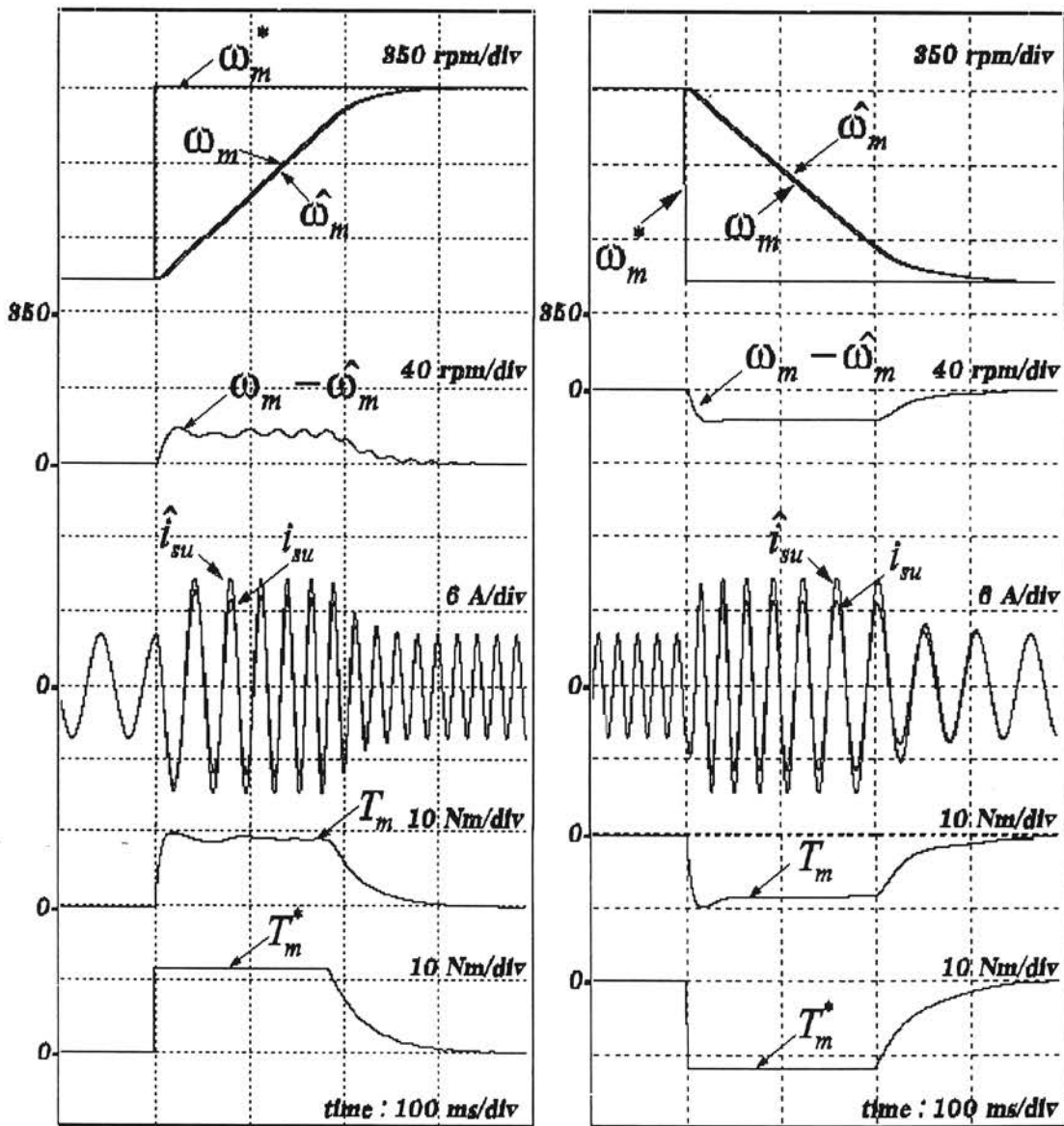
ประมาณ 10 rpm นอกจากนี้ค่าผิดพลาดระหว่างกระแสที่ประมาณกับกระแสจริงก็มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าแรงบิดจริงของมอเตอร์ก็มีขนาดลดลงกว่าเดิมประมาณ 1.5 Nm และระบบโดยรวมจึงมีผลตอบที่ช้าลงประมาณ 50 ms จากผลการวิเคราะห์และผลการจำลองที่ได้เราสามารถสรุปได้ว่า ในขณะที่เราปรับปรุงเสถียรภาพของระบบประมาณค่าความเร็ว โดยการป้อนกลับค่าผิดพลาดของกระแสจะทำให้อัตราขยายของระบบลดลง จึงทำให้ผลตอบสนองของการประมาณความเร็วมีค่าลดลง

ในกรณีที่เรாதดลองเปลี่ยนค่าอัตราขยาย  $K_p$  โดยคงค่าอัตราขยาย  $K_i$  เราพบว่าในกรณีที่มีความถี่ตัดข้ามของตัวควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้น ( $K_p$  มีค่าลดลง) ระบบประมาณค่าความเร็วจะแกว่ง (รูปที่ 3.21) ซึ่งเราสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ

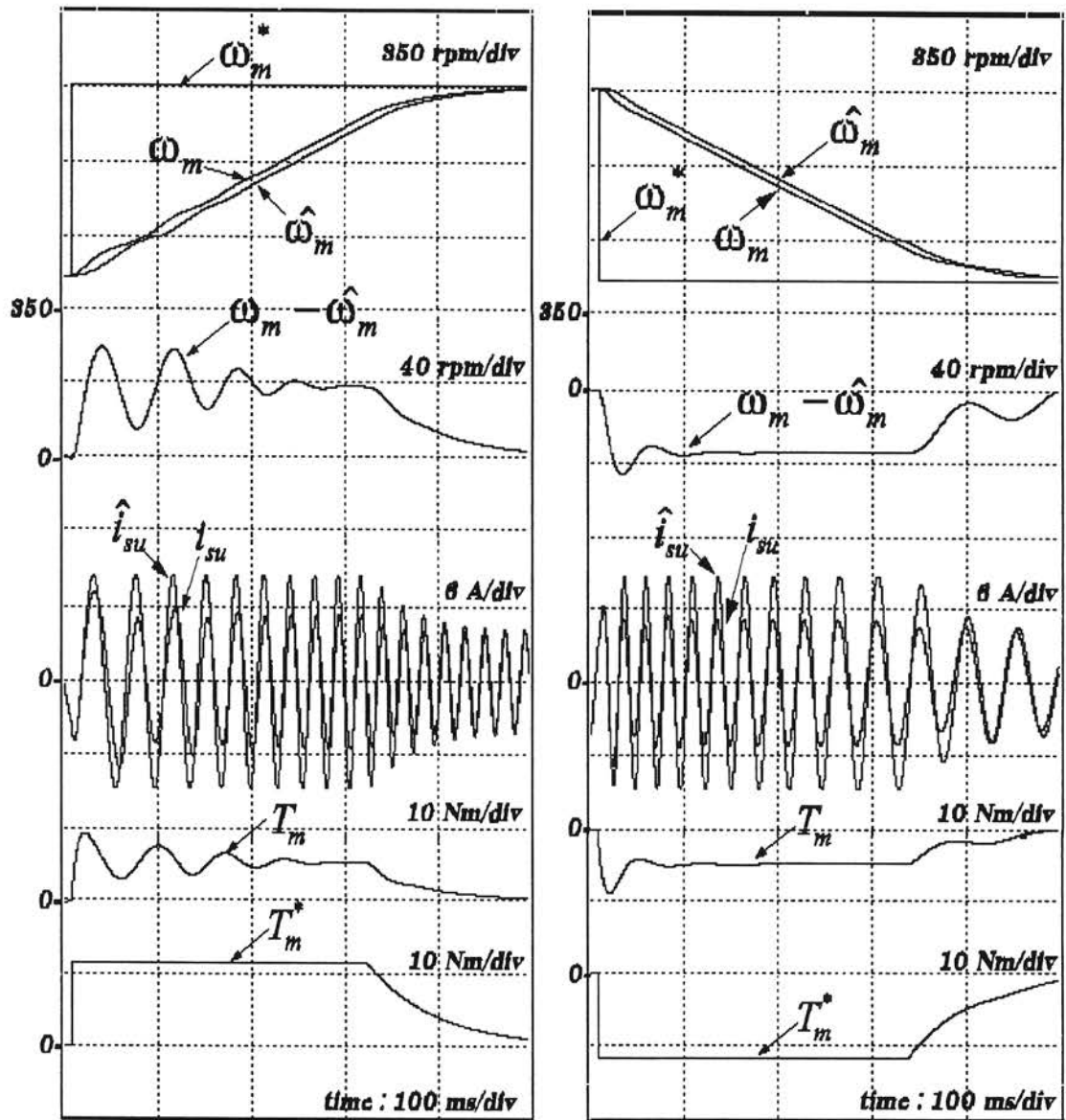
จากโบตพล็อตในรูปที่ 3.15 จะเห็นว่าในช่วงความถี่ 70-200 rad/s มุมเฟสของฟังก์ชันโอนย้าย  $G'_{22}(s)$  จะมีค่าประมาณ 90 องศาสำหรับแต่ละจุดทำงาน ดังนั้นถ้าเราออกแบบให้ความถี่ตัดข้ามของตัวควบคุม PI อยู่ในย่านนี้หรือสูงกว่าก็จะทำมุมเฟสล่าช้าของตัวควบคุม PI มีผลกระทบต่อมุมเฟสโดยรวมของระบบประมาณค่าความเร็ว และทำให้ระบบแกว่งได้ในที่สุด ผลการจำลองการทำงานในรูปที่ 3.21 ( $K_i / K_p = 80 \text{ rad/s}$ ) และรูปที่ 3.22 ( $K_i / K_p = 1600 \text{ rad/s}$ ) จะเห็นได้ว่าในช่วงผลตอบแบบแรมปีสัญญาณผิดพลาดของความเร็วจะแกว่งรอบ ๆ ค่าความเร็วผิดพลาดที่ ซึ่งมีขนาดเท่ากับกรณีที่มีความถี่ตัดข้ามของตัวควบคุมมีค่าน้อยกว่าดังแสดงในรูปที่ 3.16 ( $K_i / K_p = 20 \text{ rad/s}$ ) และรูปที่ 3.17 ( $K_i / K_p = 200 \text{ rad/s}$ ) ตามลำดับ

ในทางตรงกันข้าม ถ้าเราทำการเพิ่มอัตราขยาย  $K_p$  โดยคงค่าอัตราขยาย  $K_i$  ผลของการ

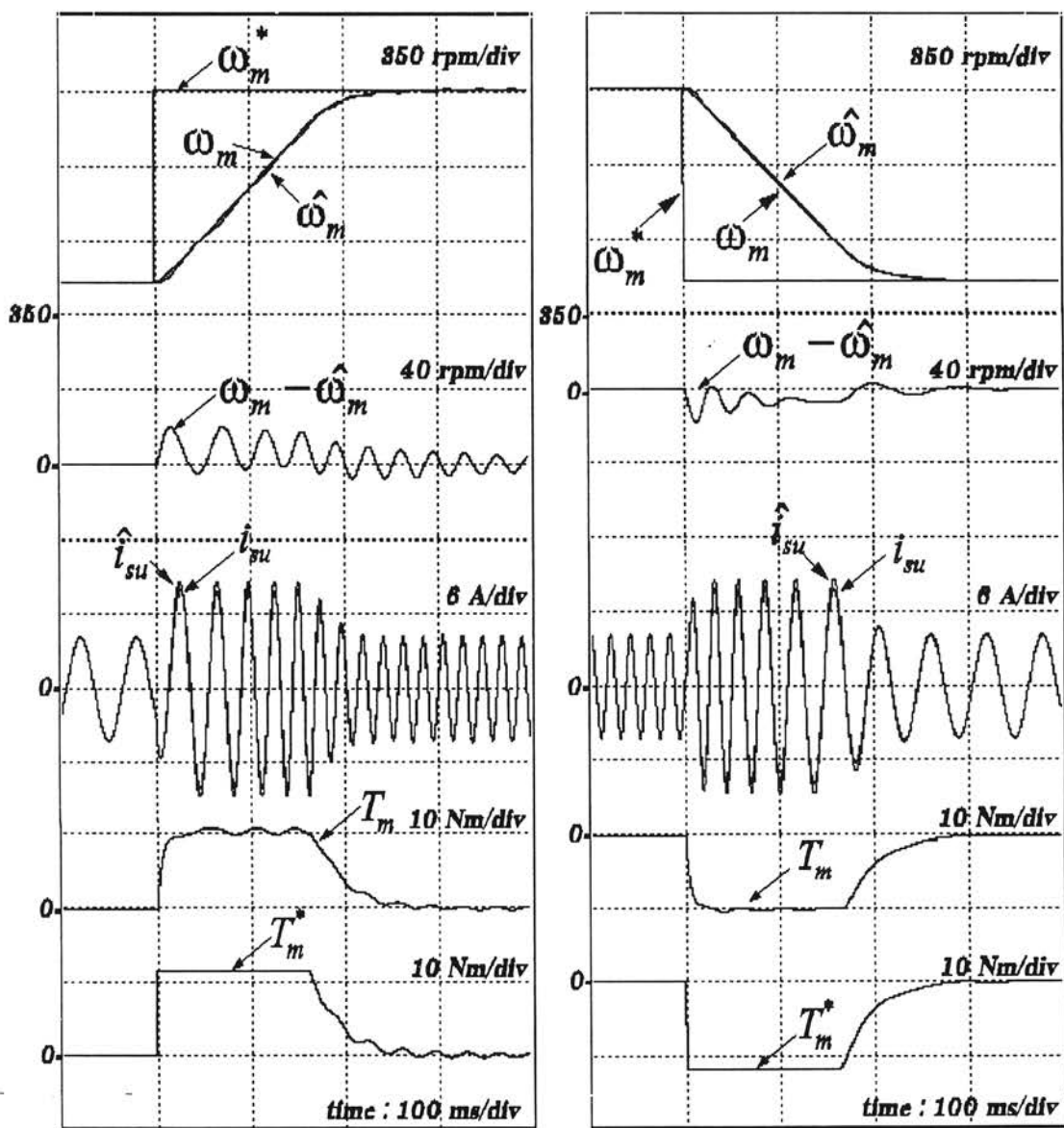
แกว่งก็จะน้อยลง ดังแสดงในผลการจำลองการทำงานในรูปที่ 3.23 และ 3.24 จะเห็นได้ว่าในช่วงผลตอบแบบแรมป์ค่าความเร็วผิดพลาดยังคงมีขนาดเฉลี่ยเท่าเดิม แต่การแกว่งจะลดน้อยลงเมื่อเทียบกับ  $K_I$  ค่าเดียวกัน (รูปที่ 3.16 และ 3.17 ตามลำดับ) กล่าวโดยสรุปก็คือในกรณีที่เรเอาขนาดของความเร็วผิดพลาดเป็นเกณฑ์ประกอบการพิจารณา ค่าความเร็วผิดพลาดจะถูกกำหนดโดยอัตราขยาย  $K_I$  เท่านั้น โดยค่าอัตราขยาย  $K_p$  จะไม่มีผลต่อความเร็วในการผลตอบสนองแบบแรมป์ ซึ่งสอดคล้องกับสมการ 3.19 แต่  $K_p$  จะมีผลต่อลักษณะการแกว่งของระบบ



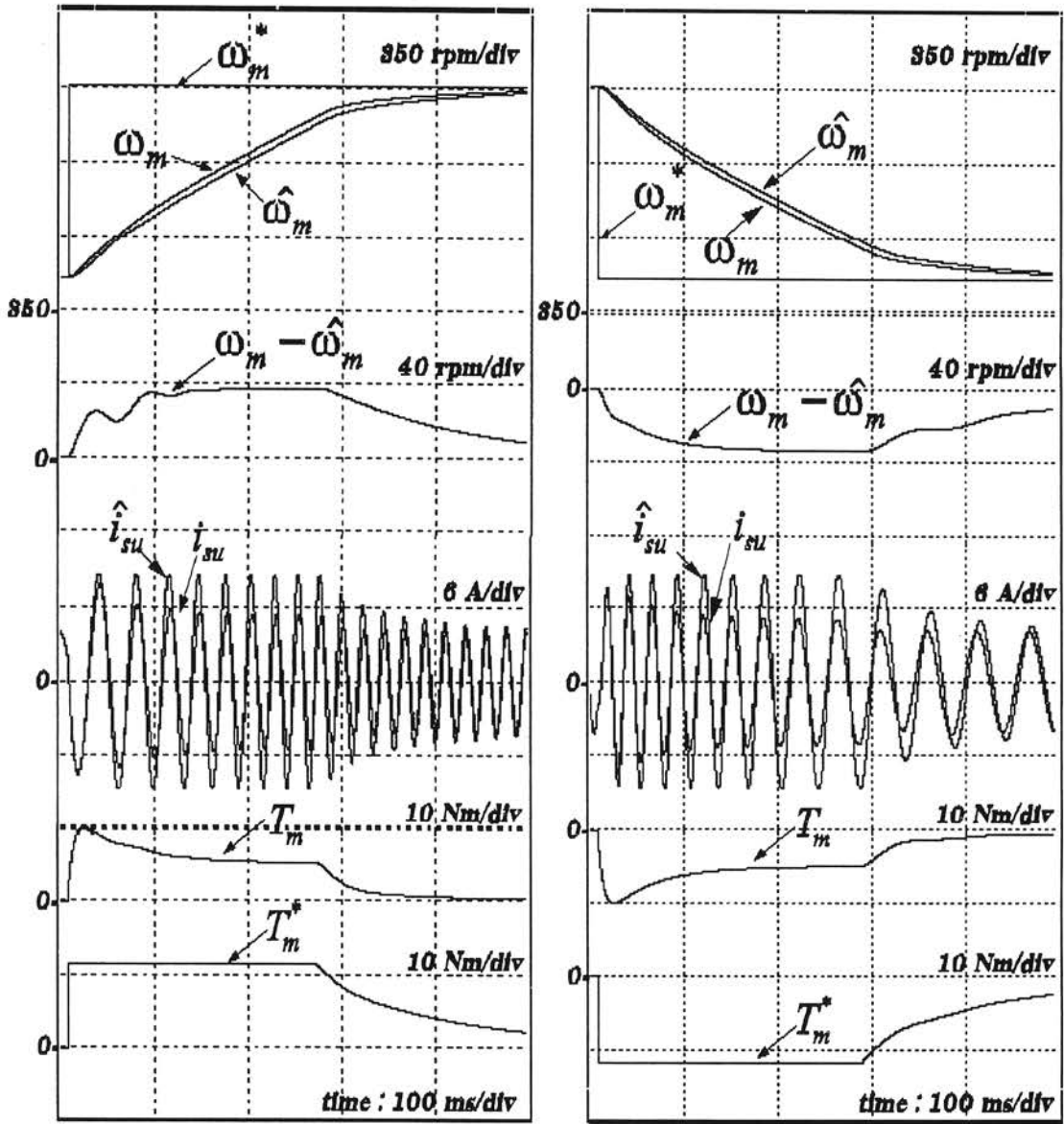
รูปที่ 3.20 ผลการจำลองการทำงานของระบบโดยการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว  $K_p = 2, K_I = 400$  โดยมีการป้อนกลับ  $H_1 = 0, H_2 = -0.9R_s \cdot I$



รูปที่ 3.21 ผลการจำลองการทำงานของระบบโดยการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว  $K_p = 0.5, K_I = 40$

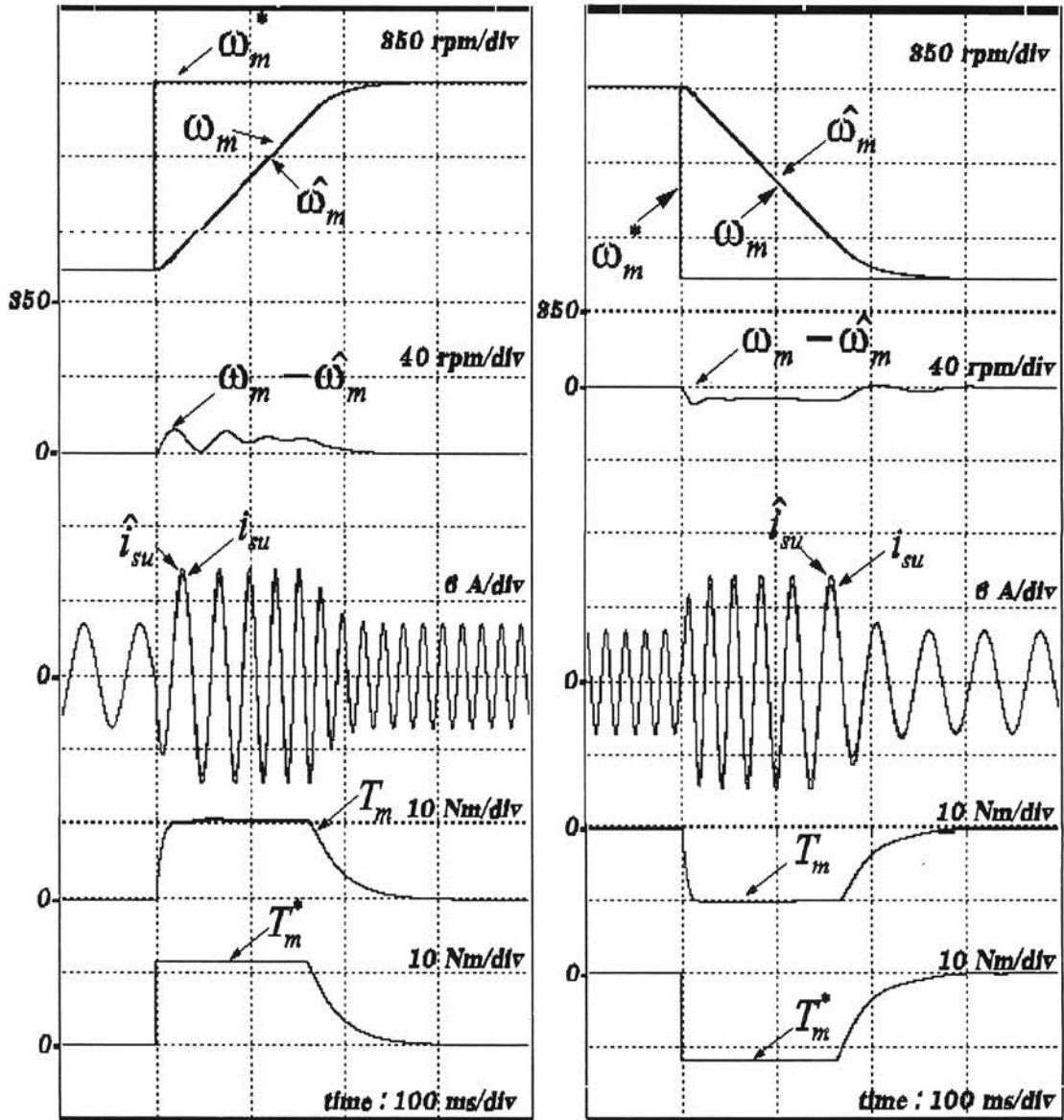


รูปที่ 3.22 ผลจำลองการทำงานของระบบโดยการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว  $K_p = 0.25, K_I = 400$



รูปที่ 3.23 ผลจำลองการทำงานของระบบโดยการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว  $K_p = 4, K_I = 40$





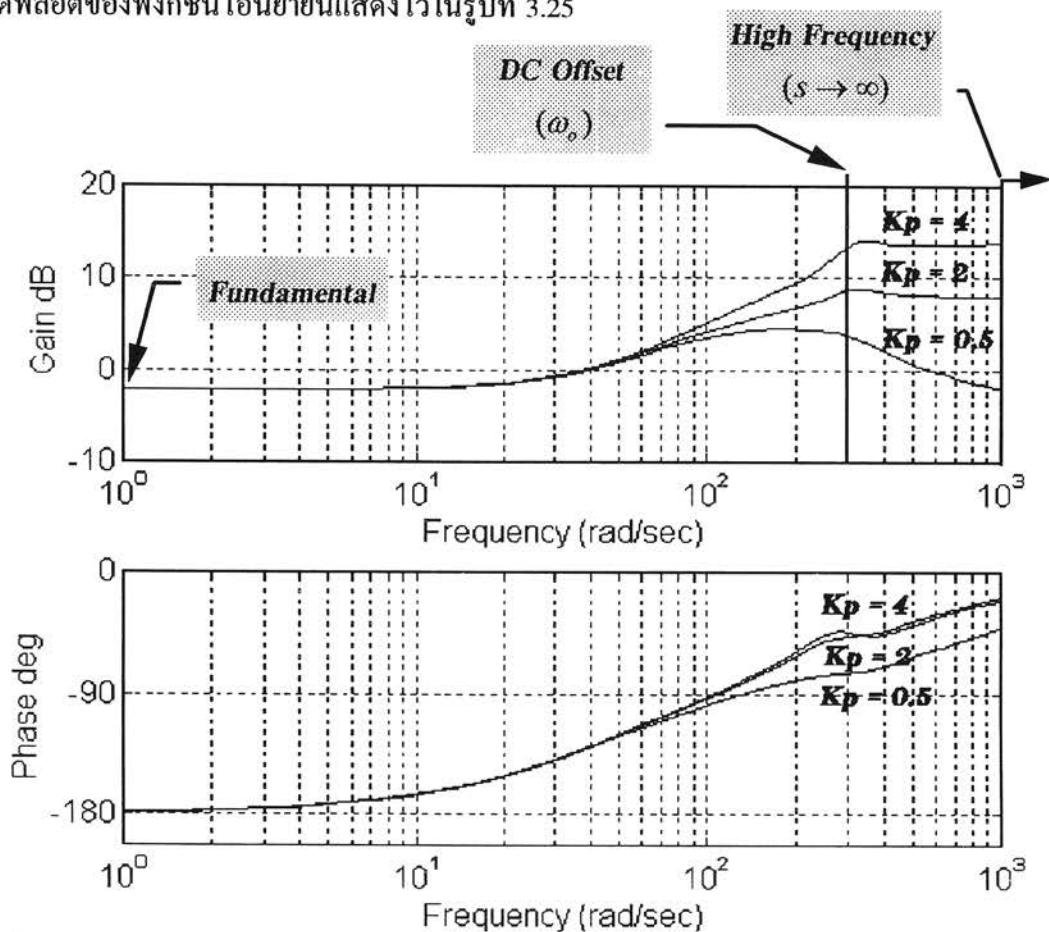
รูปที่ 3.24 ผลจำลองการทำงานของระบบโดยการเร่งความเร็ว 500->1420 rpm และลดความเร็ว 1420->500 rpm ที่อัตราขยายแบบปรับตัว  $K_p = 4$ ,  $K_i = 400$

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว การเพิ่มค่าอัตราขยาย  $K_p$  จะทำให้ระบบมีผลการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความเร็วจริงดีขึ้น แต่ในทางปฏิบัติการตรวจจับสนะจะมีสัญญาณรบกวนปะปนมา ซึ่งอาจจะเป็นปัญหาในกรณีที่เรำใช้ค่าอัตราขยาย  $K_p$  ที่สูง ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงผลของสัญญาณรบกวนนี้ต่อการประมาณค่าความเร็วด้วย

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.14 เราสามารถหาฟังก์ชันโอนย้ายระหว่างความเร็วประมาณและสัญญาณรบกวนของกระแสได้ดังนี้

$$\frac{\hat{\omega}_m}{\eta_1} = \frac{C(K_p + K_I / s)}{1 + (-C^2) G_{22}(s)(K_p + K_I / s)} \quad (3.20)$$

โบดพล็อตของฟังก์ชันโอนย้ายนี้แสดงไว้ในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 โบดพล็อตของฟังก์ชันโอนย้ายวงรอบปิดระหว่างสัญญาณรบกวนกับความเร็วประมาณ ( $K_I=400$ ,  $\omega_m^* = 1420 \text{ rpm}$ )

เนื่องจากเราทำการวิเคราะห์ระบบประมาณบนแกนหมุน ดังนั้นในการหาอัตราขยายหรือมุมเฟสสำหรับสัญญาณรบกวนที่ความถี่  $\omega$  ต่างๆ เราต้องทำการพิจารณาอัตราขยายและมุมเฟสที่ความถี่ซึ่งเลื่อนจากความถี่ของสัญญาณไปเท่ากับความถี่ของจุดทำงานเป็น  $\omega - \omega_0$  ยกตัวอย่าง

เช่น อัตราขยายสำหรับสัญญาณรบกวนที่เกิดจากออฟเซตของวงจรถวายกระแสซึ่งเป็นสัญญาณ กระแสตรงจะมีค่าเท่ากับ  $\left. \frac{\hat{\omega}_m}{\eta_I} \right|_{s=-j\omega_o}$  เป็นต้น จากโพลพล็อตและสมการ (3.20) จะเห็นได้ว่าอัตรา ขยายสัญญาณรบกวนที่ความถี่หลักมูลจะถูกกำหนดโดย  $G'_{22}(s)|_{s=0}$ ,  $\left( \left. \frac{\hat{\omega}_m}{\eta_I} \right|_{s=0} = \frac{1}{-C G'_{22}(s)|_{s=0}} \right)$  ในส่วนของสัญญาณรบกวนที่เป็นออฟเซตอัตราขยายจะถูกกำหนดโดยค่าอัตราขยายแบบปรับตัว  $K_p$  และความถี่ตัดข้ามของตัวควบคุม  $(K_I / K_p)$   $\left( \left. \frac{\hat{\omega}_m}{\eta_I} \right|_{s=-j\omega_o} \approx CK_p \right)$  ในขณะที่สัญญาณร บกวนที่ความถี่สูงจะถูกกำหนดโดย  $K_p$  เท่านั้น  $\left( \left. \frac{\hat{\omega}_m}{\eta_I} \right|_{s \rightarrow \infty} = CK_p \right)$  ดังนั้นการเพิ่มค่า  $K_p$  เพื่อให้ ลักษณะการตอบสนองดีขึ้น จะทำให้สัญญาณรบกวนถูกขยายเพิ่มขึ้นไปด้วย

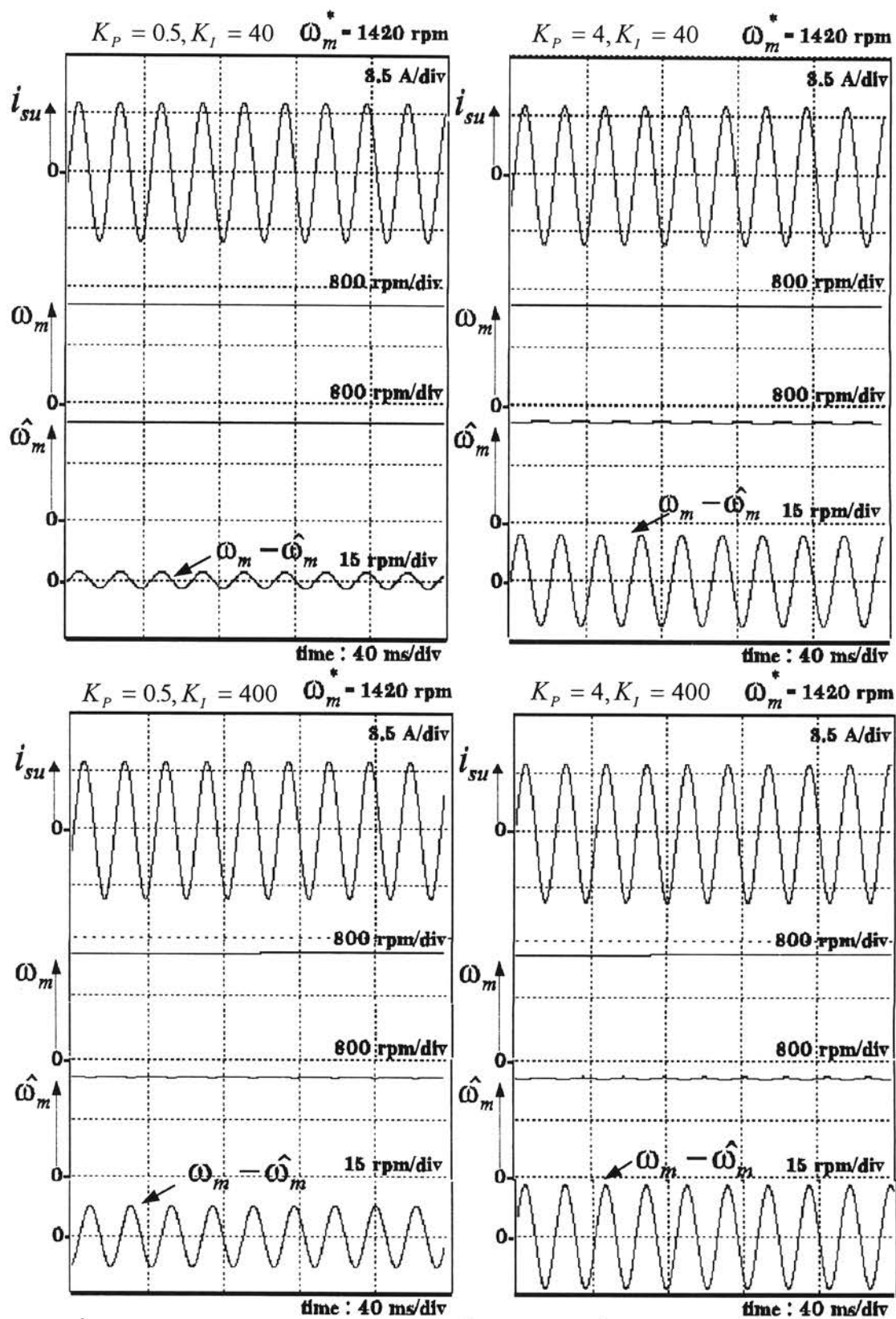
รูปที่ 3.26-3.29 แสดงถึงผลการจำลองการทำงานที่สถานะอยู่ตัว ณ จุดทำงานต่าง ๆ ที่อัตรา ขยายค่าต่างๆ โดยกำหนดให้สัญญาณรบกวนออฟเซตมีขนาด 0.4 A จะเห็นว่า จะเกิดค่าความเร็ว ผิดพลาดมีความถี่เท่ากับจุดทำงาน ทั้งนี้เนื่องจากผลคุณสมบัติระหว่างออฟเซตกับรีเกรสเซอร์เวก- เตอร์  $(p\lambda_i)$  ที่มีความถี่เดียวกันกับของโรเตอร์ฟลักซ์นั่นเอง (ความถี่ถูกเลื่อนจากกระแสตรงไป เป็นความถี่ทำงานตามความสัมพันธ์  $\omega - \omega_o$ ) เมื่อเราเพิ่มค่าอัตราขยาย  $K_p$  จาก 0.5 จนถึง 4 จะ พบว่าสัญญาณผิดพลาดของความเร็วจะมีค่ามากขึ้น และในกรณีที่เราเปลี่ยนค่าความถี่ตัดข้ามของ ตัวควบคุมจาก 200 ไปเป็น 2,000 rad/s อัตราขยาย  $K_I$  จะเริ่มมีผลต่อการขยายสัญญาณรบกวน ยังผลให้ได้ค่าผิดพลาดของความเร็วมีค่าสูงขึ้นในที่สุด นอกจากนี้ในแต่ละจุดทำงานค่าความเร็วผิด พลาดที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันไปตามขนาดฟังก์ชันโอนย้าย  $G'_{22}(s)$  ด้วย (ดูโพลพล็อตในรูปที่ 3.25 ประกอบ)

แนวทางการออกแบบอัตราขยายแบบปรับตัวสำหรับระบบประมาณความเร็วสามารถสรุป ได้ดังนี้คือ

1. ค่าอัตราขยาย  $K_I$  กำหนดตามสมการ (3.19) เพื่อให้ได้ค่าความผิดพลาดของความเร็ว ประมาณในการตอบสนองแบบแรมปี  $e_{ss}$  ตามต้องการ

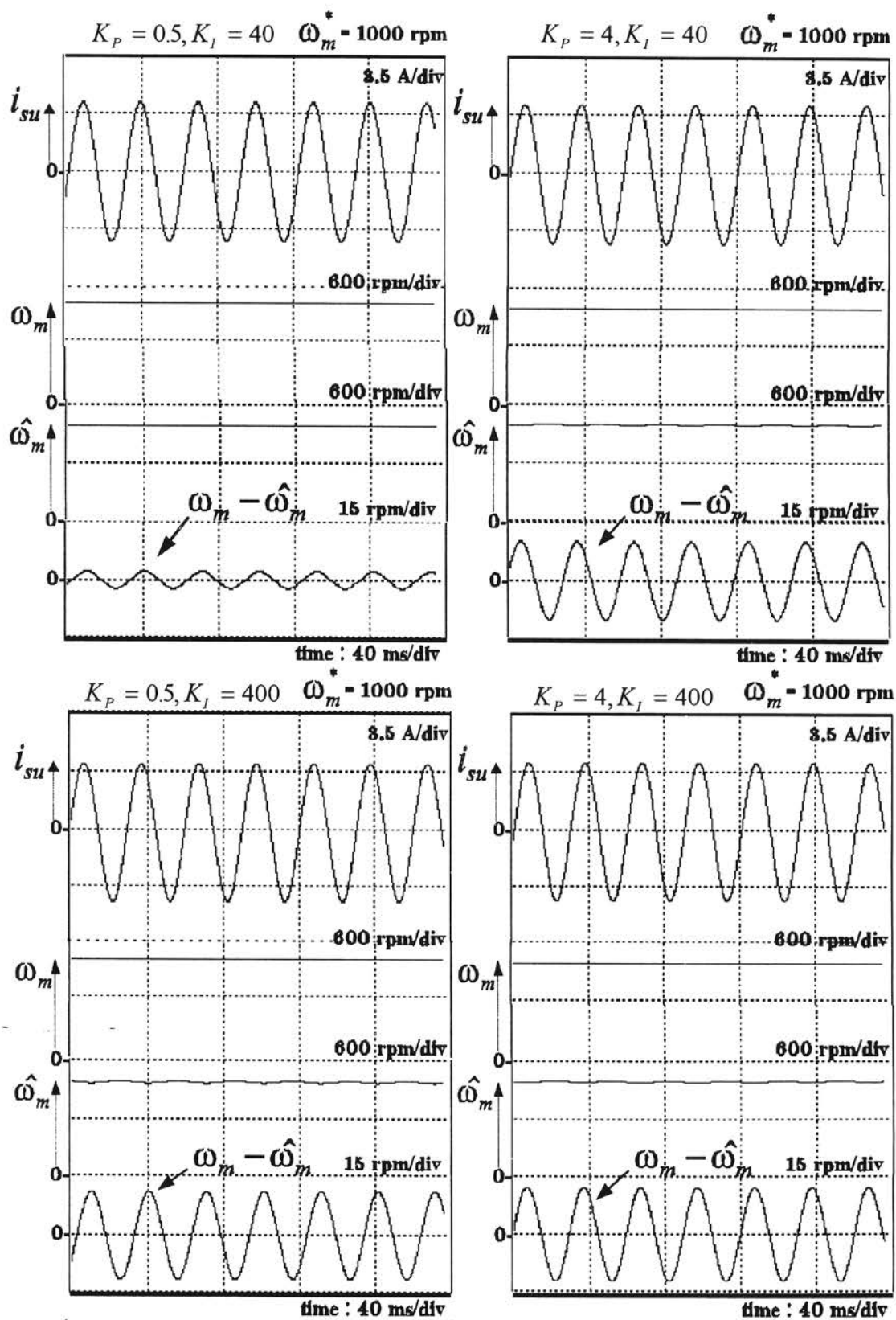
$$K_I = \frac{e_{ss} \times (-C^2) G'_{22}(s)|_{s=0}}{R} \quad (3.21)$$

2. อัตราขยาย  $K_p$  ควรให้มีค่าน้อยที่สุดโดยค่าความถี่ตัดข้าม  $K_p / K_I$  ที่ได้จะต้องมีค่า ไม่เกิน 100-200 rad/s



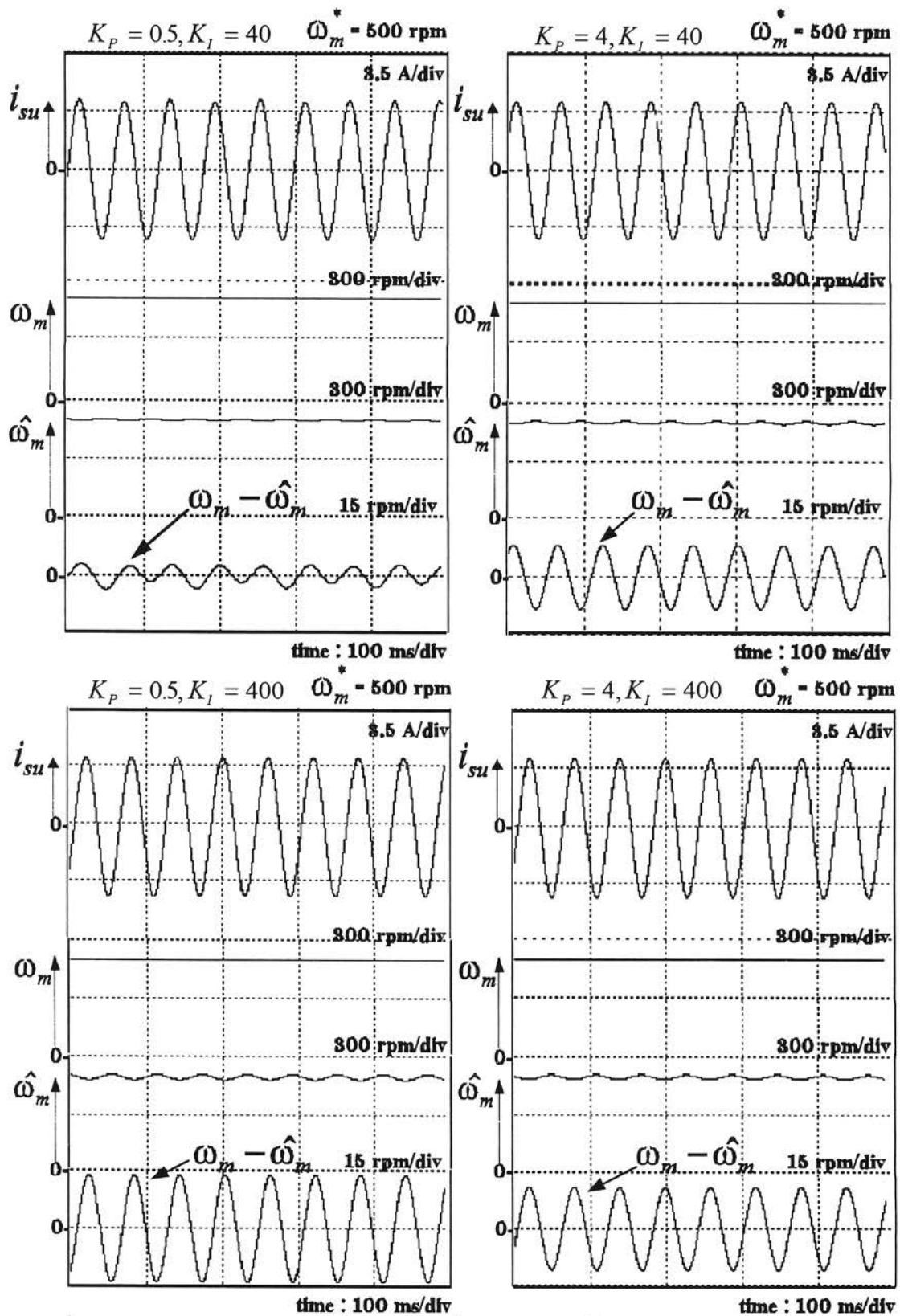
รูปที่ 3.26 ผลการจำลองการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัวที่  $\omega_m^* = 1420$  rpm ณ อัตราขยาย

$K_p, K_I$  ต่างๆ โดยให้สัญญาณออฟเซตของกระแสมีค่าเป็น 0.4 A



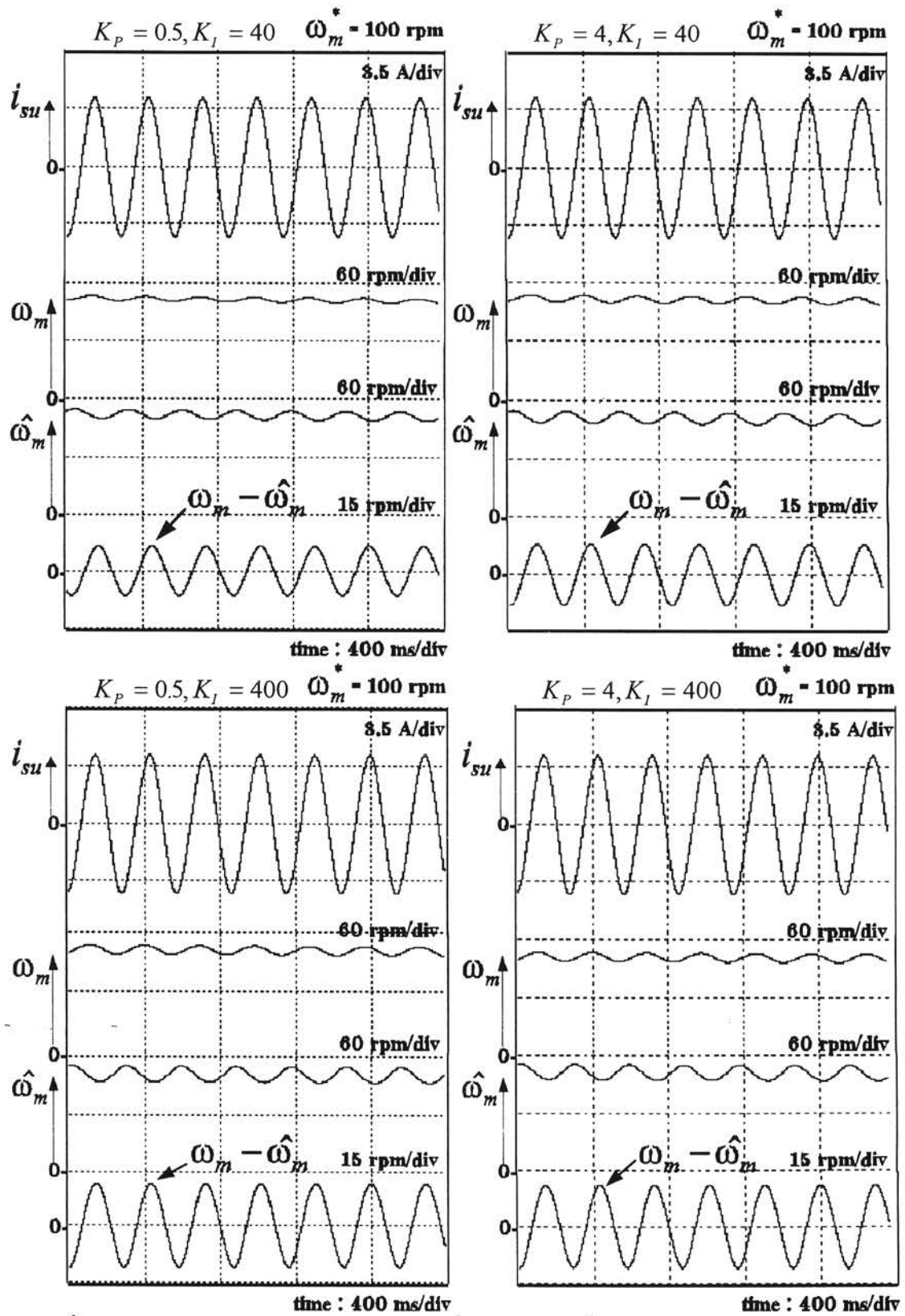
รูปที่ 3.27 ผลการจำลองการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัวที่  $\omega_m^* = 1000 \text{ rpm}$  ณ อัตราขยาย

$K_P, K_I$  ต่างๆ โดยให้สัญญาณออฟเซตของกระแสมีค่าเป็น 0.4 A



รูปที่ 3.28 ผลการจำลองการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัวที่  $\omega_m^* = 500$  rpm ณ อัตราขยาย

$K_p, K_i$  ต่างๆ โดยให้สัญญาณออฟเซตของกระแสมีค่าเป็น 0.4 A



รูปที่ 3.29 ผลการจำลองการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัวที่  $\omega_m^* = 100 \text{ rpm}$  ณ อัตราขยาย

$K_P, K_I$  ต่างๆ โดยให้สัญญาณออฟเซตของกระแสมีค่าเป็น 0.4 A