

บทที่ 6

ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

ในบทนี้เราจะทำการทดสอบการทำงานของระบบ โดยอาศัยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ได้กล่าวในบทที่ 5 โดยจะทำการทดสอบระบบที่สถานะอยู่ตัวที่จุดทำงานต่างๆและที่สถานะชั่วคราว โดยทำการเร่ง-ลดความเร็ว เพื่อดูผลตอบสนองแบบแรมป์เปรียบเทียบกับผลการจำลองการทำงานที่แสดงในบทที่ 3

ผลการทดสอบระบบที่สถานะอยู่ตัว

จากการทดสอบระบบที่สถานะอยู่ตัว ณ จุดทำงานต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.1-6.16 ระบบสามารถทำงานได้ถูกต้อง โดยกระแสมอเตอร์ i_{sm} ที่สภาวะไร้อะโหลดนี้มีค่าอยู่ประมาณ 4 A ซึ่งใกล้เคียงกับค่าของกระแสสร้างฟลักซ์ที่กำหนดไว้ (4.25A) และระบบสามารถควบคุมความเร็ว ω_m ได้ตามคำสั่ง ω_m^* ในขณะที่ค่าความเร็วประมาณ $\hat{\omega}_m$ ก็มีค่าใกล้เคียงกับความเร็วจริงโดยที่ค่าผิดพลาดของความเร็วประมาณ $\omega_m - \hat{\omega}_m$ มีค่าประมาณ 0.5-3% ของจุดทำงานที่ความเร็วสูง 500-1420 rpm และ 5-10% ของจุดทำงานที่ความเร็วต่ำ 100 rpm

จากรูปจะเห็นได้ว่าสัญญาณของค่าผิดพลาดของความเร็วมีความถี่ใกล้เคียงกันกับความถี่ของกระแส ทั้งนี้เป็นผลของสัญญาณรบกวนออฟเซตที่เกิดจากการตรวจจับกระแสต่อระบบ ประมาณค่าความเร็ว ดังที่ได้วิเคราะห์ไปในบทที่ 3 โดยที่ความไวต่อสัญญาณรบกวนของระบบ ประมาณจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราขยาย K_p เช่นที่จุดทำงาน $\omega_m^*=1000$ rpm และค่าอัตราขยายค่าต่ำ ($K_p=0.5, K_i=40$, รูปที่ 6.5) ความเร็วประมาณจะผิดพลาดประมาณ 5-10 rpm (0.5-10%) ถ้าเราเพิ่มอัตราขยาย K_p เป็น 4 โดยที่คงค่า K_i ไว้ (รูปที่ 6.6) ค่าความผิดพลาดของความเร็วประมาณจะเพิ่มขึ้นเป็น 15-20 rpm (1.5-2%) นั่นคืออัตราขยาย K_p ได้ขยายผลของสัญญาณรบกวนมากขึ้น

ในกรณีที่เรานำอัตราขยาย K_i ที่สูงเพื่อผลตอบแบบแรมป์ที่ดี ประกอบกับใช้ค่า K_p ค่าต่ำเพื่อให้อัตราขยายของสัญญาณรบกวนมีค่าต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 6.7 ($K_p=0.5, K_i=400$) จะเห็นว่าระบบประมาณค่าความเร็วจะแกว่ง ทั้งนี้เนื่องจากความถี่หักมุมของตัวควบคุม PI ที่สูง (800 rad/s) ทำให้อัตราขยาย K_i มีผลต่อสัญญาณรบกวน ดังนั้นในการออกแบบค่าอัตราขยาย K_p จะต้องคำนึงถึงความถี่หักมุมของตัวควบคุมไม่ให้มีค่าสูงเกินไป เพื่อไม่ให้การทำงานของระบบเกิดการแกว่ง

ได้ ดังแสดงในรูปที่ 6.8 (ความถี่หักมุมของตัวควบคุมเท่ากับ 100 rad/s) ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับที่ได้วิเคราะห์ในบทที่ 3

นอกจากนี้ที่จุดทำงานต่ำๆ $\omega_m^* = 100$ rpm สัญญาณรบกวนที่ความถี่สูง (เทียบกับจุดทำงาน) จะมีผลค่อนข้างมากต่อระบบประมาณ ดังแสดงในรูปที่ 6.13-6.16

ผลตอบของระบบที่สถานะชั่วครู่

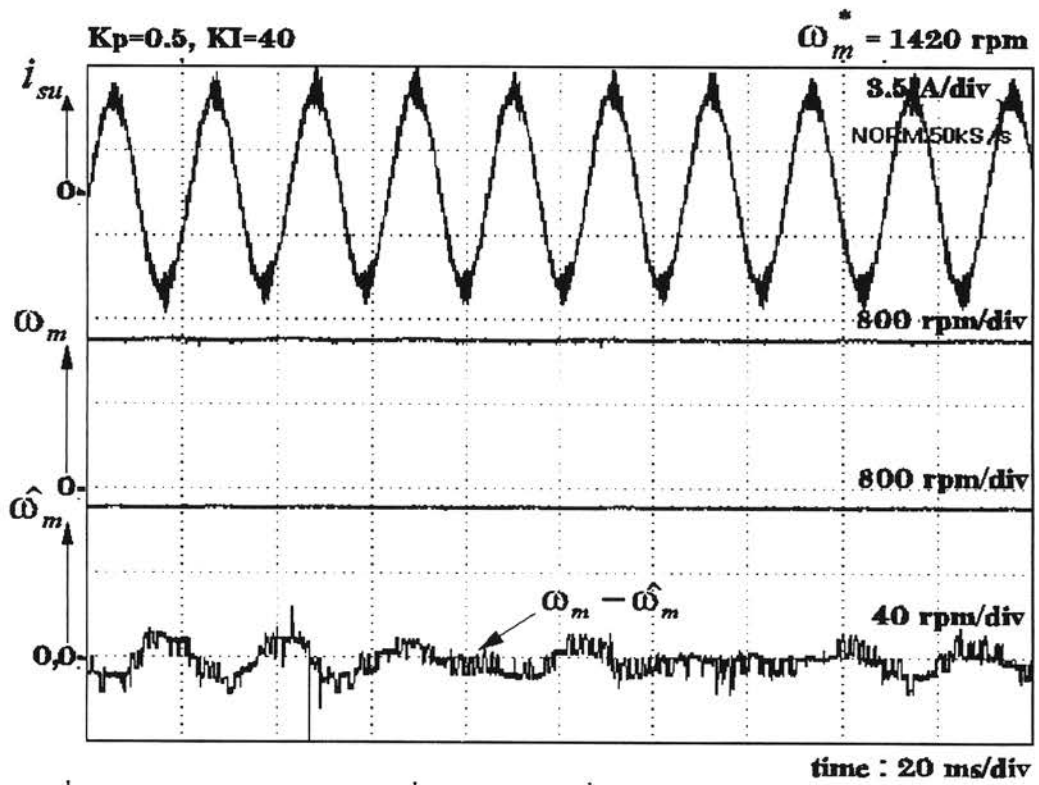
ผลการทดสอบระบบโดยทำการเร่ง-ลดความเร็ว โดยใช้อัตราขยาย K_I ค่าต่างๆ เพื่อดูผลตอบแบบแรมป์ รูปที่ 6.19-6.20 แสดงถึงผลตอบของระบบที่ค่าอัตราขยาย $K_I = 40$ พบว่าความเร็วประมาณจะมีค่าผิดพลาดประมาณ 40 rpm ในช่วงผลตอบแบบแรมป์ และผลตอบสนองของระบบโดยรวมมีค่าประมาณ 450ms เมื่อทำการเพิ่มอัตราขยาย K_I เป็น 400 ดังแสดงในรูปที่ 6.27-6.28 จะพบว่าค่าผิดพลาดของความเร็วประมาณในช่วงเร่ง-ลดความเร็วมีค่าประมาณ 5-10 rpm (คิดเฉพาะส่วนสัญญาณไฟตรงของ $\omega_m - \hat{\omega}_m$) และผลตอบโดยรวมของระบบมีค่าประมาณ 150 ms ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับสมการที่ 3.14

ค่ายอดของกระแสจริงในขณะเร่ง-ลดความเร็วสำหรับอัตราขยาย $K_I = 40$ มีค่าประมาณ 6 A ซึ่งน้อยกว่าค่ายอดของกระแสประเมิน (8.8 A) ดังแสดงในรูปที่ 6.23-6.24 ในขณะที่ค่ายอดของกระแสจริงที่อัตราขยาย $K_I = 400$ มีค่าประมาณ 8.4 A ซึ่งใกล้เคียงกับค่าคำสั่ง

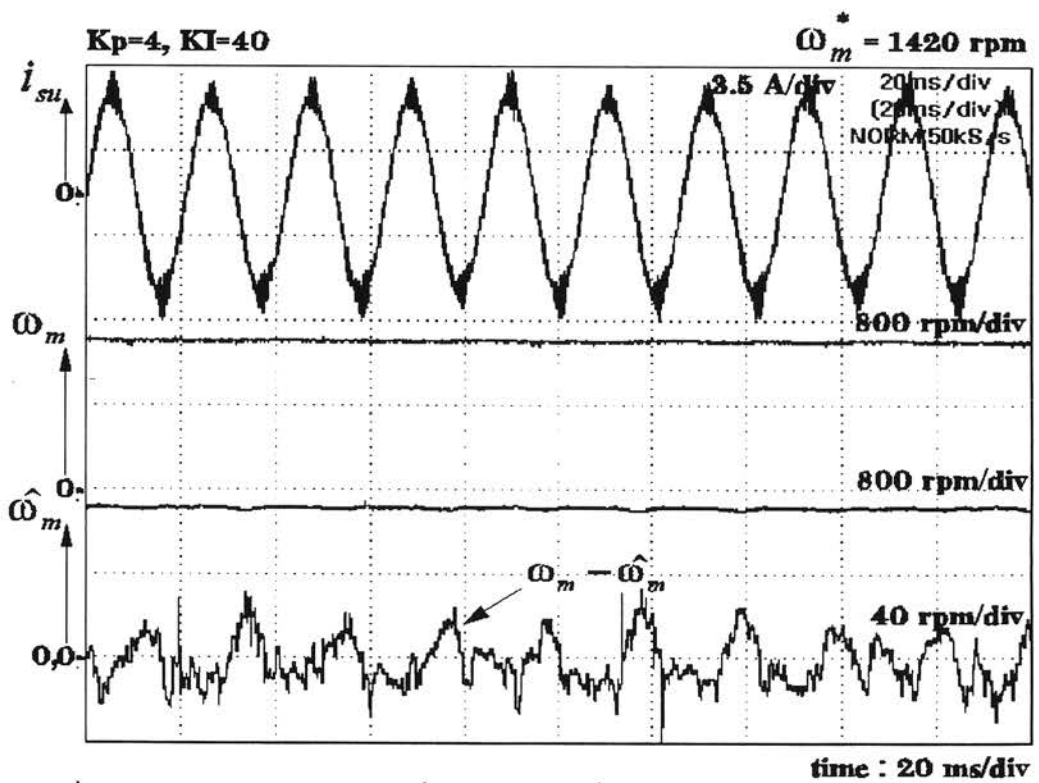
ในกรณีที่เราใช้อัตราขยาย K_p ค่าต่างๆ โดยคงค่า K_I ไว้ จะพบว่า K_p ไม่ได้มีผลต่อขนาดโดยเฉลี่ยของค่าผิดพลาดของความเร็วในช่วงผลตอบสนองแบบแรมป์ แต่การใช้ค่าอัตราขยาย K_p ที่ต่ำจะทำให้เกิดการแกว่งของสัญญาณค่าผิดพลาดของความเร็วได้ (เปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 6.17, 6.18 และ 6.21, 6.22 ตามลำดับ) ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองการทำงานรูปที่ 3.21 และ 3.23

นอกจากนี้เรายังพบว่าค่าความถี่หักมุมของตัวควบคุมแบบปรับตัวที่เหมาะสม โดยไม่ทำให้ระบบเกิดการแกว่งมีค่าประมาณ 100-200 rad/s ดังแสดงในรูปที่ 6.29-6.30 และ 6.33-6.34 เปรียบเทียบกับ รูปที่ 6.25-6.26 และ 6.31-6.32 ตามลำดับ

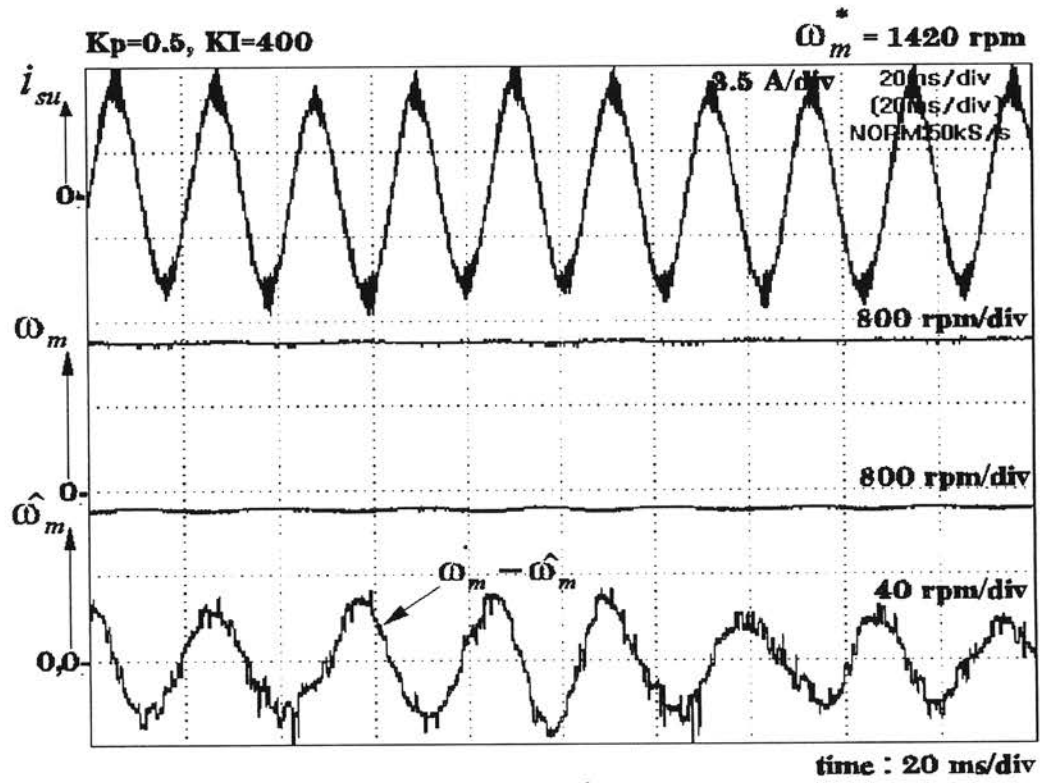
ผลการทดสอบของระบบโดยการเร่ง-ลดความเร็ว (รูปที่ 6.33-6.34) และการกลับทิศทางการหมุน (รูปที่ 6.37) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของระบบควบคุมแบบเวกเตอร์ที่ใช้เซนเซอร์วัดความเร็วที่ได้แสดงในรูปที่ 6.35-6.36 และรูปที่ 6.38 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระบบทั้งสองนี้มีผลตอบสนองที่ใกล้เคียงกัน



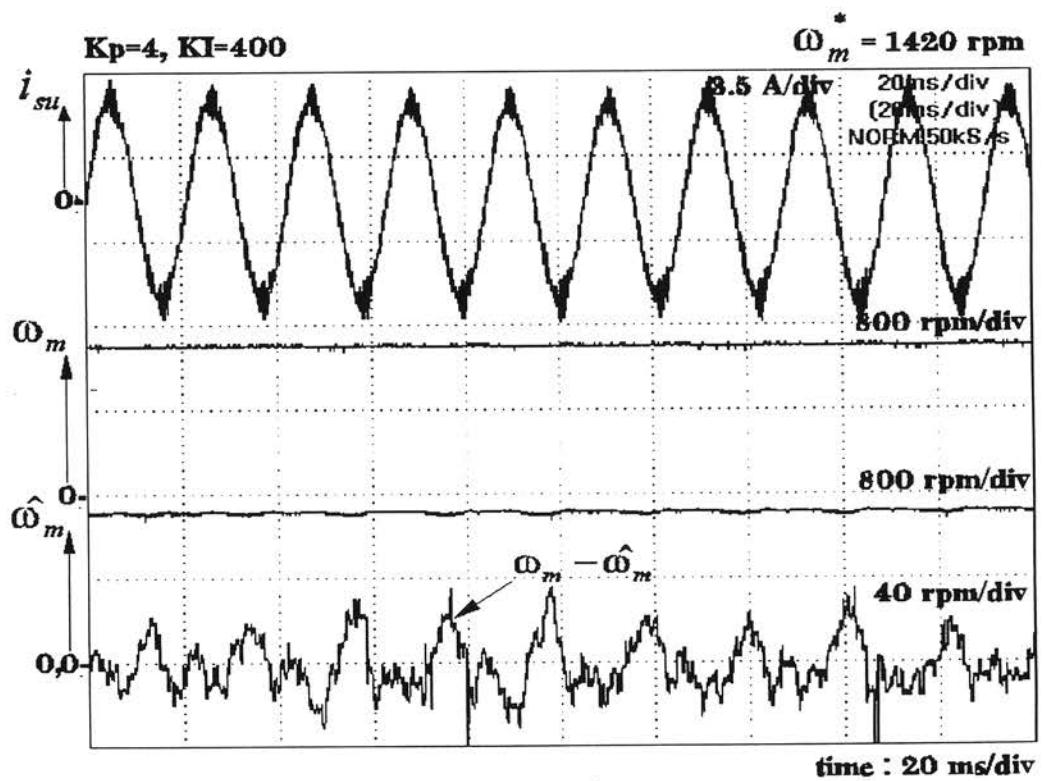
รูปที่ 6.1 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^* = 1420$ rpm, $K_p = 0.5$ และ $K_I = 40$



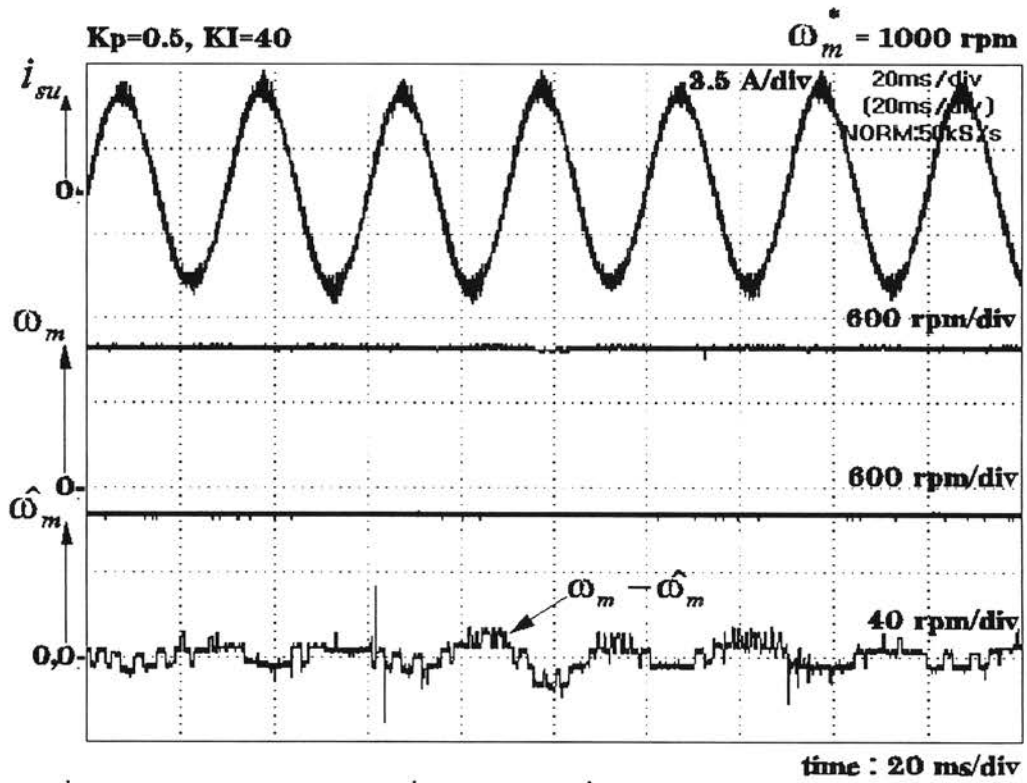
รูปที่ 6.2 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^* = 1420$ rpm, $K_p = 4$ และ $K_I = 40$



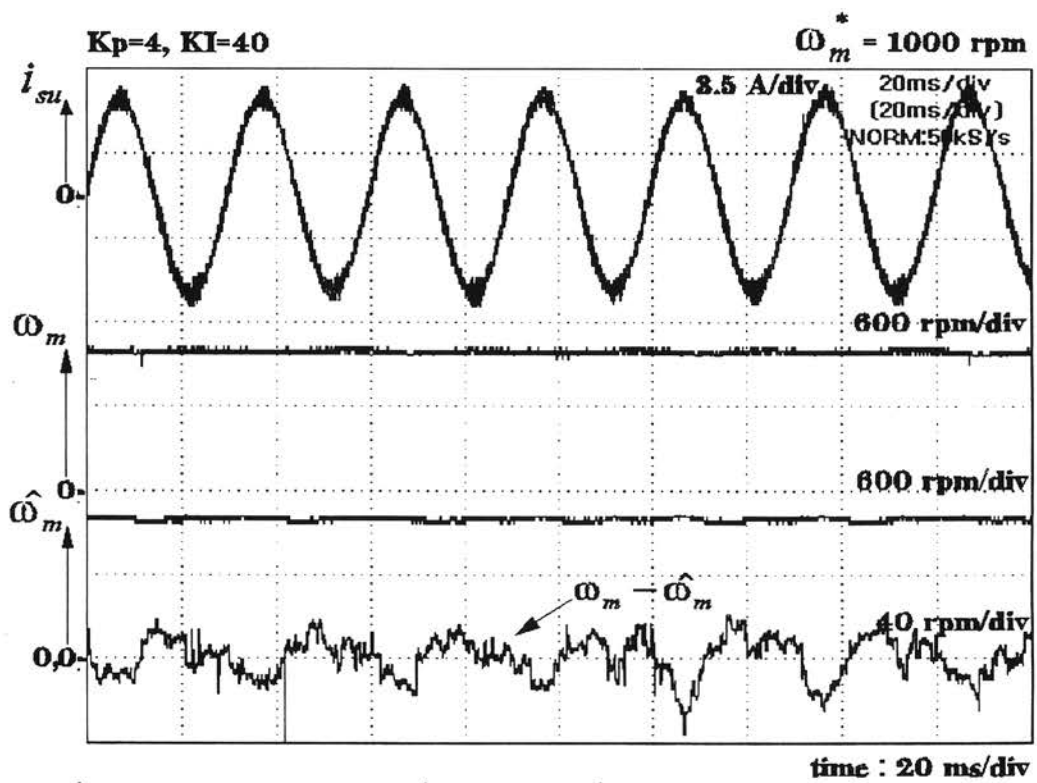
รูปที่ 6.3 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^* = 1420$ rpm, $K_p = 0.5$ และ $K_I = 400$



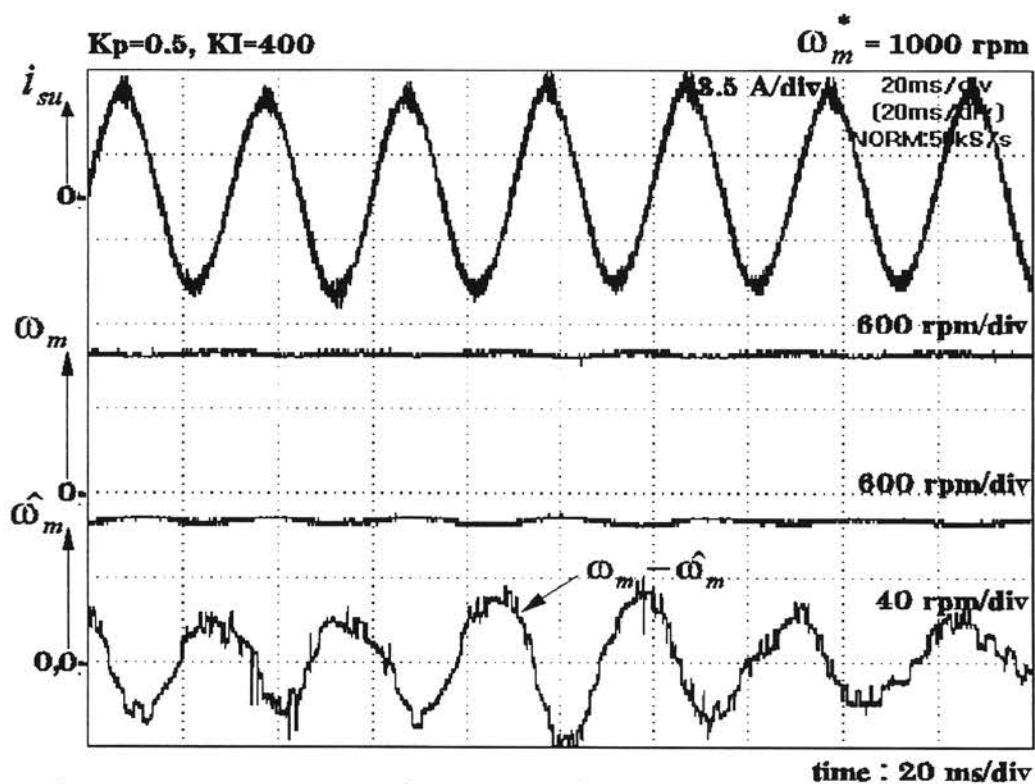
รูปที่ 6.4 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^* = 1420$ rpm, $K_p = 4$ และ $K_I = 400$



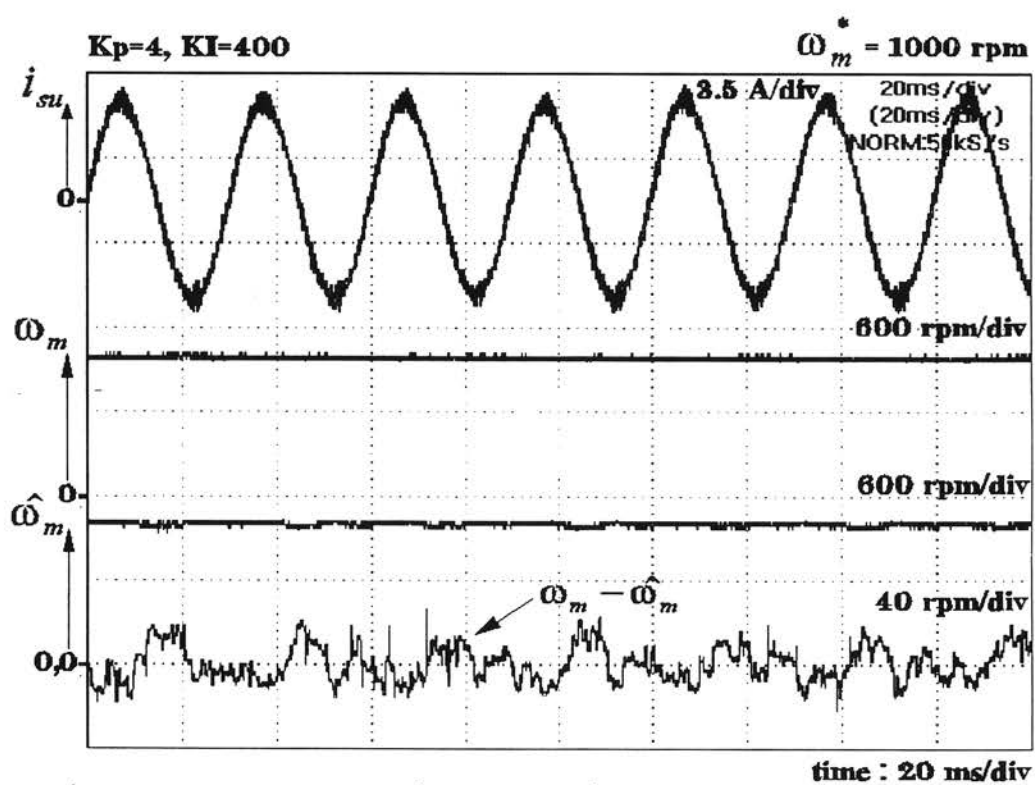
รูปที่ 6.5 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^* = 1000$ rpm, $K_p = 0.5$ และ $K_I = 40$



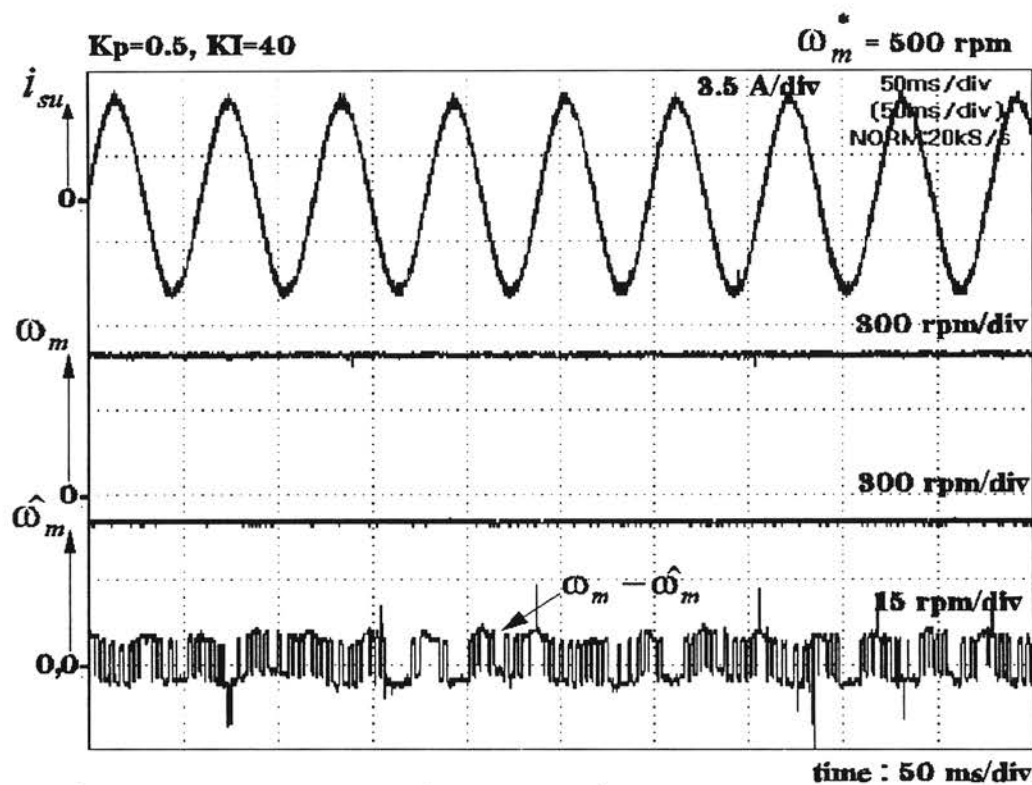
รูปที่ 6.6 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^* = 1000$ rpm, $K_p = 4$ และ $K_I = 40$



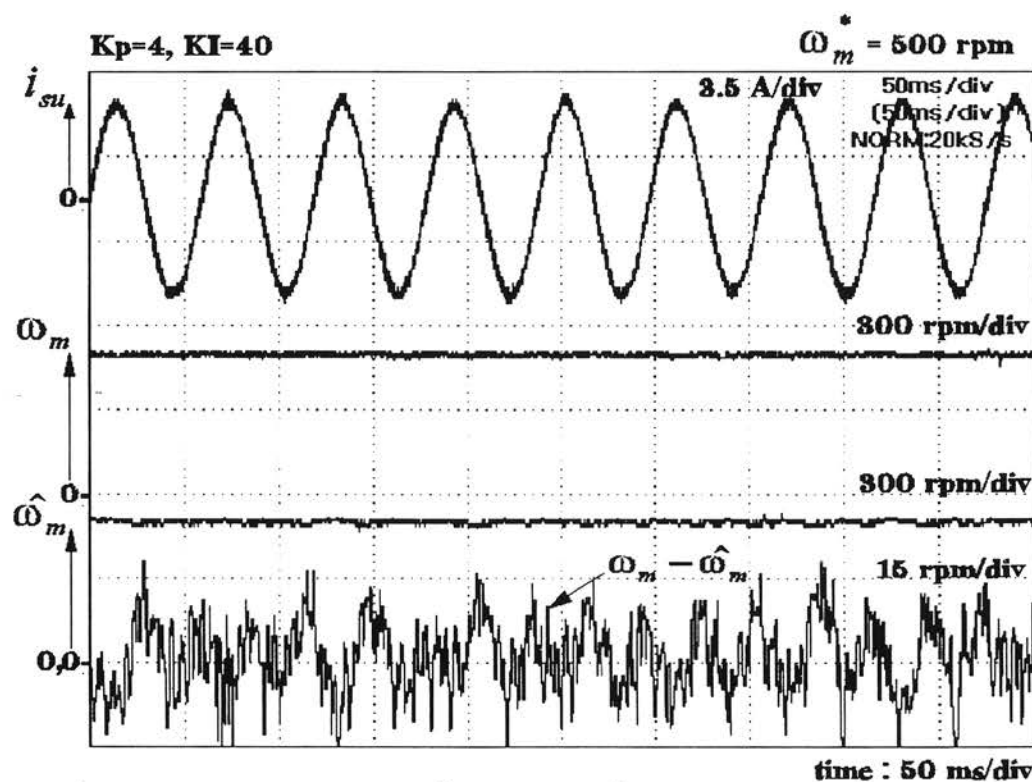
รูปที่ 6.7 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=1000$ rpm, $K_p=0.5$ และ $K_I=400$



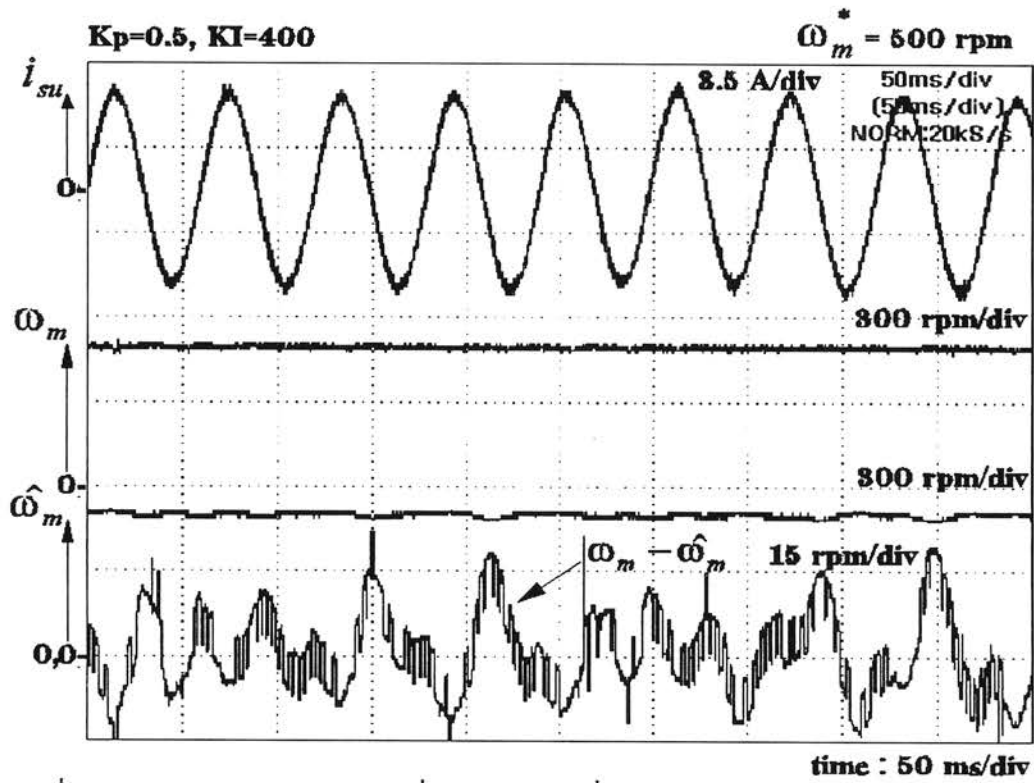
รูปที่ 6.8 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=1000$ rpm, $K_p=4$ และ $K_I=400$



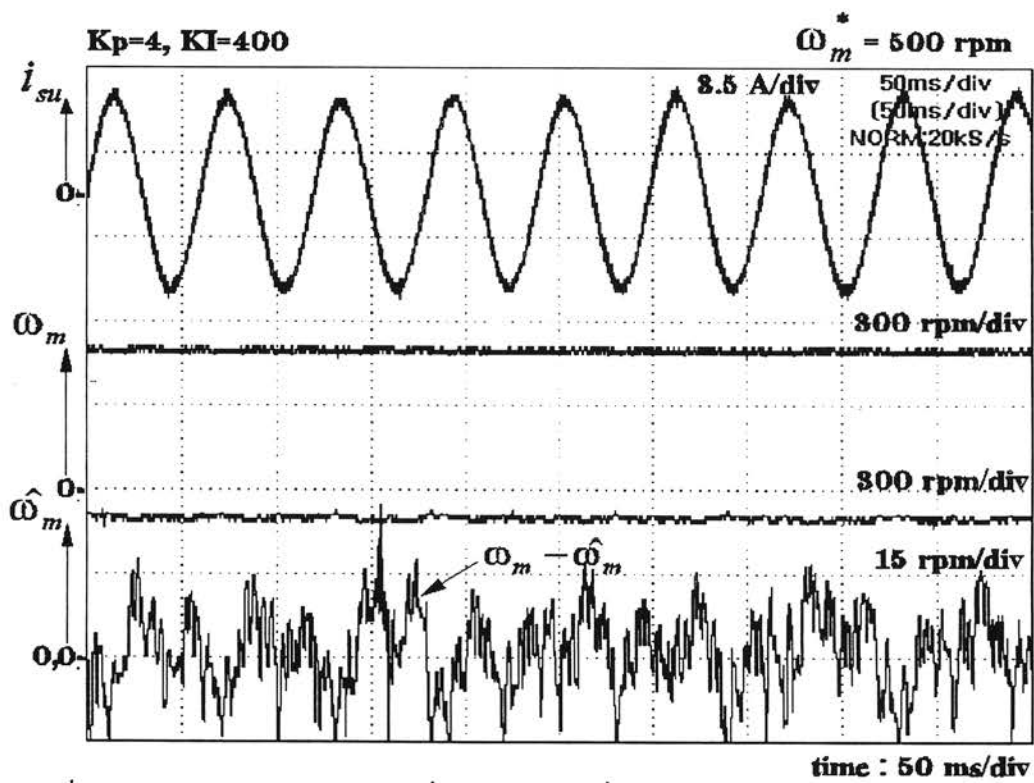
รูปที่ 6.9 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^* = 500 \text{ rpm}$, $K_p = 0.5$ และ $K_I = 40$



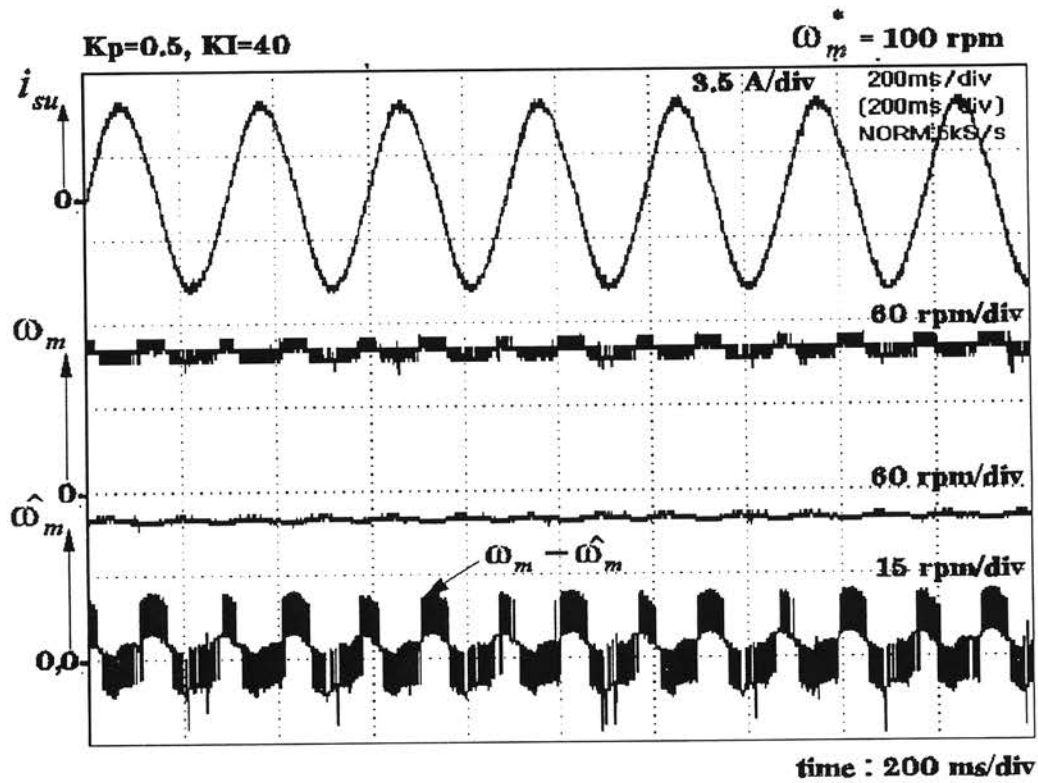
รูปที่ 6.10 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^* = 500 \text{ rpm}$, $K_p = 4$ และ $K_I = 40$



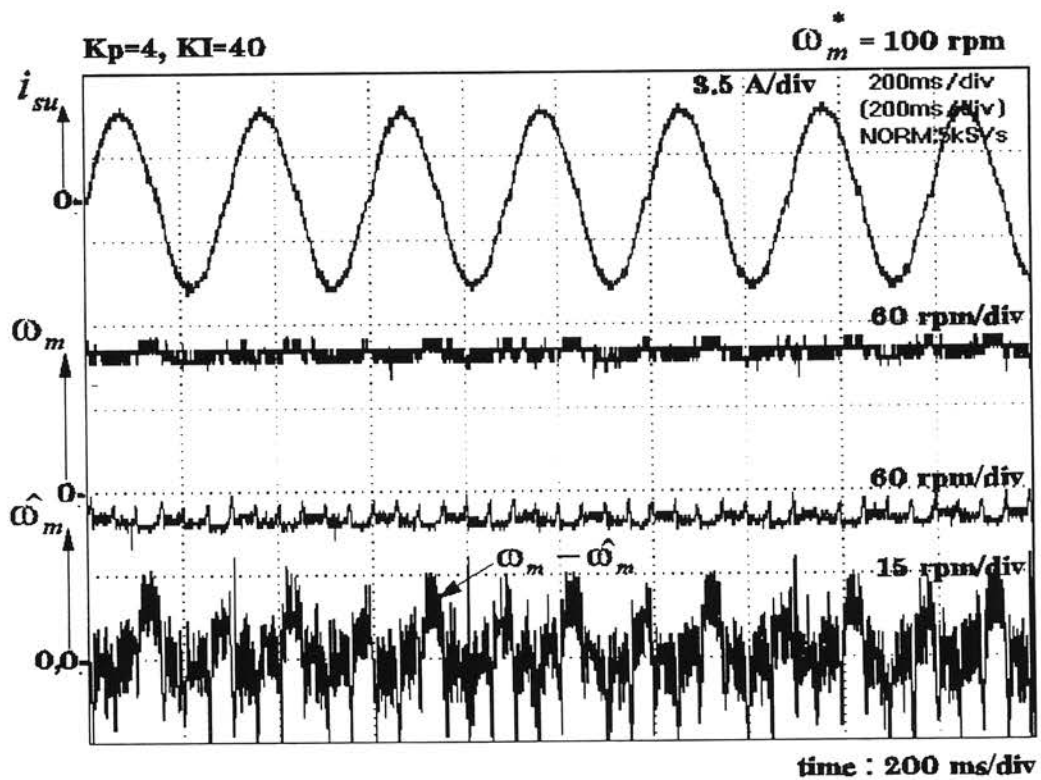
รูปที่ 6.11 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^* = 500$ rpm, $K_p = 0.5$ และ $K_I = 400$



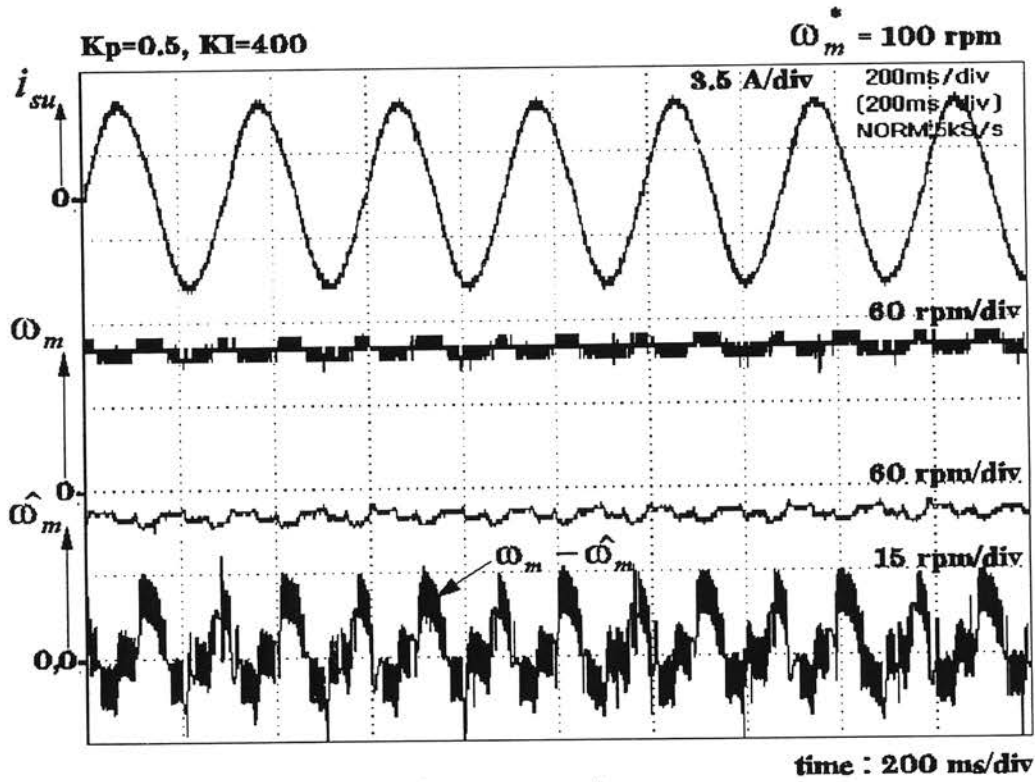
รูปที่ 6.12 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^* = 500$ rpm, $K_p = 4$ และ $K_I = 400$



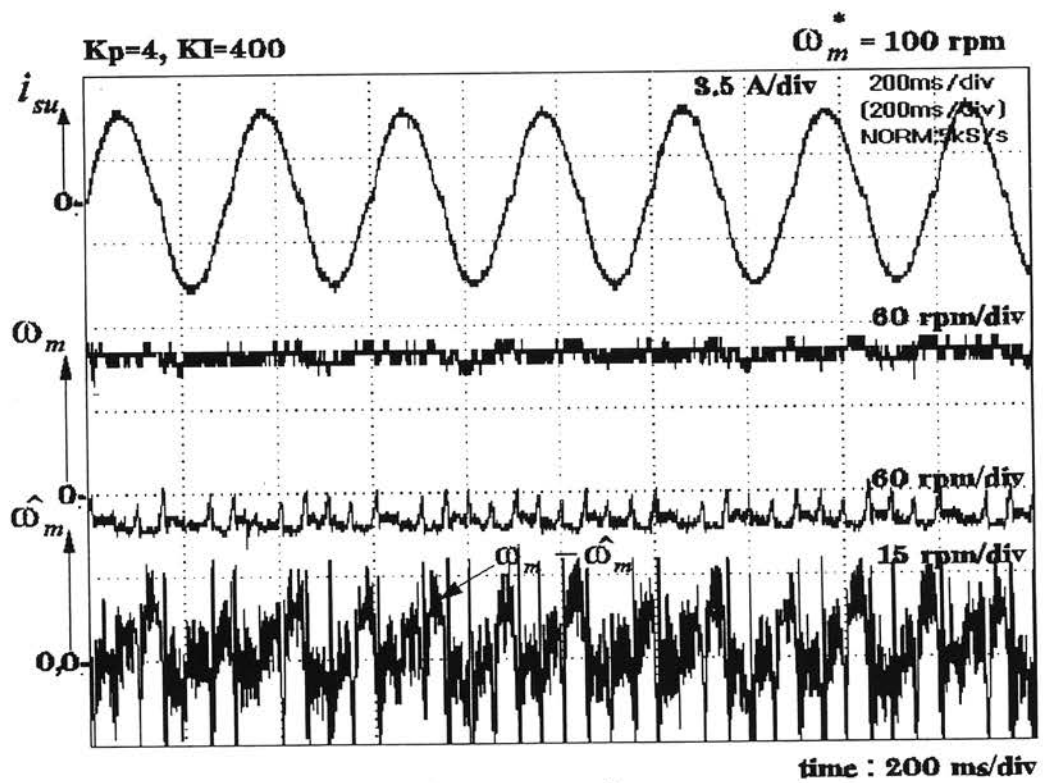
รูปที่ 6.13 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=100 \text{ rpm}$, $K_p=0.5$ และ $K_I=40$



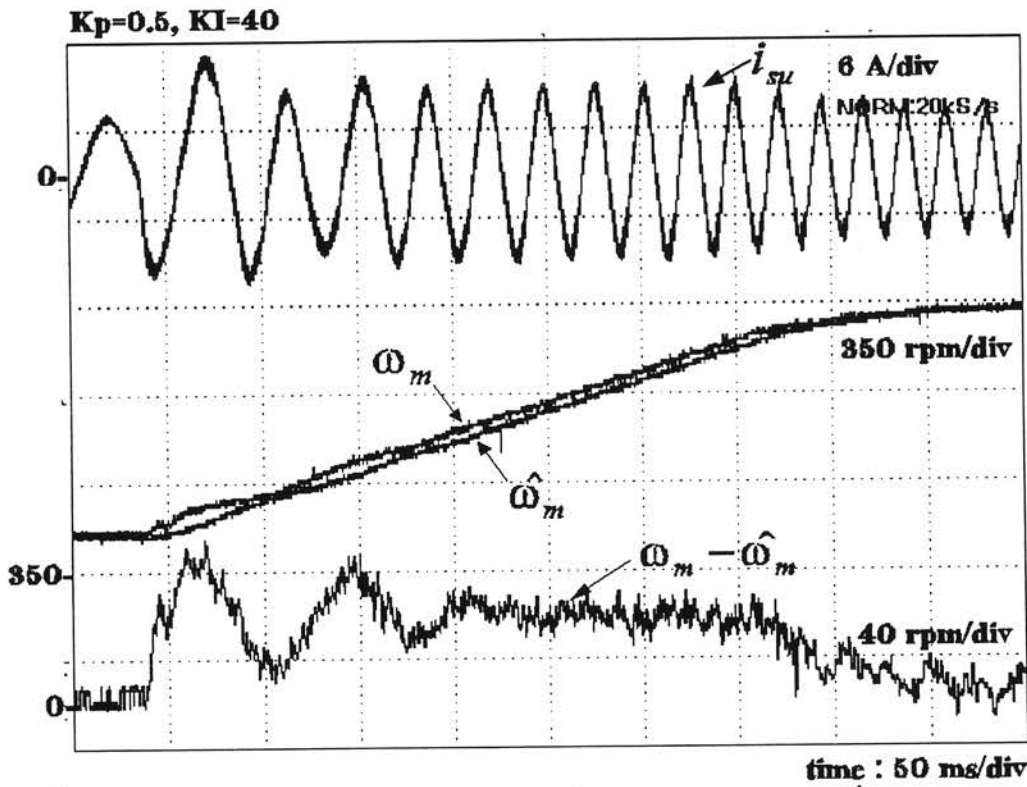
รูปที่ 6.14 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=100 \text{ rpm}$, $K_p=4$ และ $K_I=40$



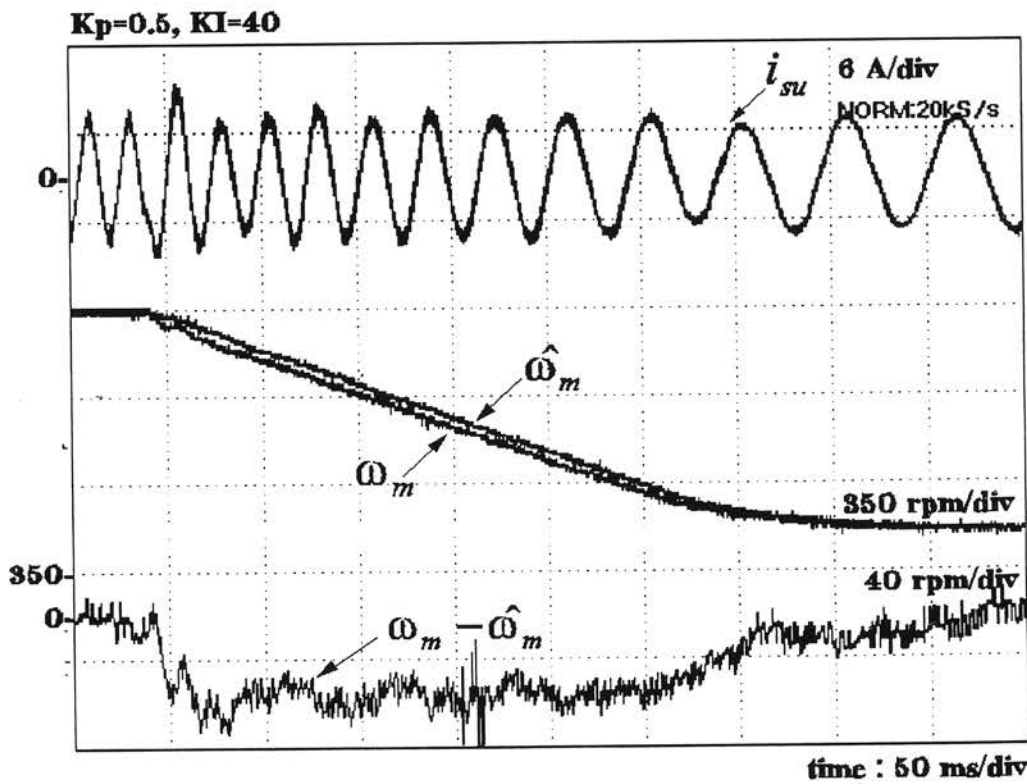
รูปที่ 6.15 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=100 \text{ rpm}$, $K_p=0.5$ และ $K_I=400$



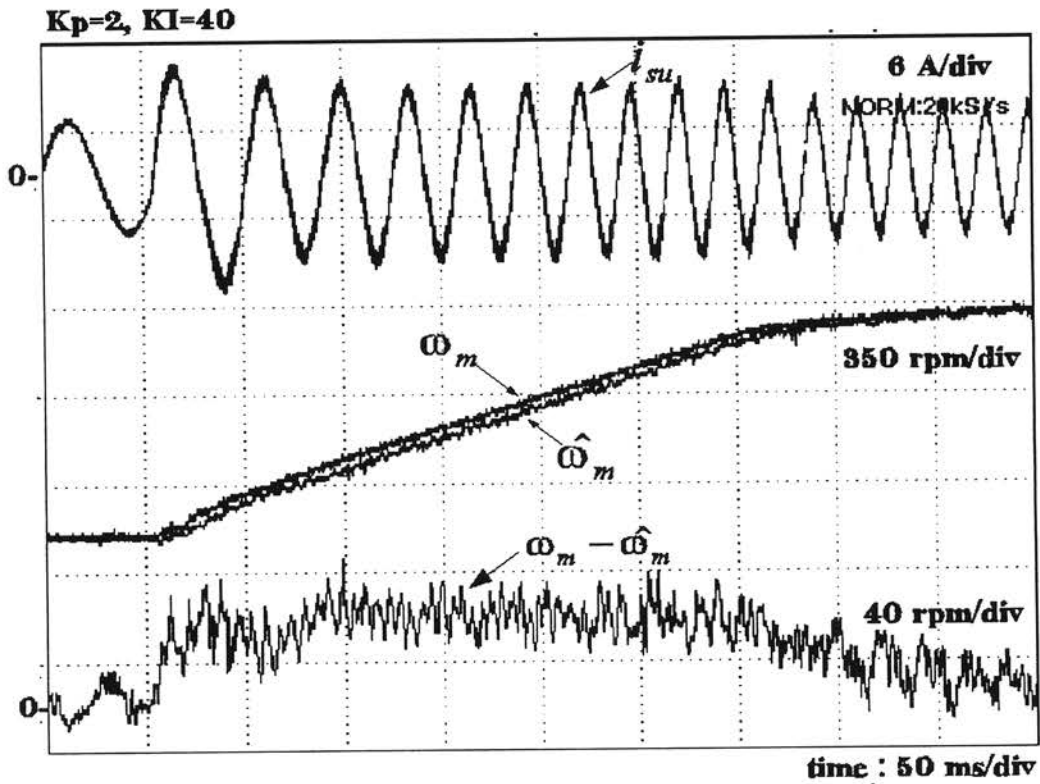
รูปที่ 6.16 ผลการทำงานของระบบที่สถานะอยู่ตัว ที่ $\omega_m^*=100 \text{ rpm}$, $K_p=4$ และ $K_I=400$



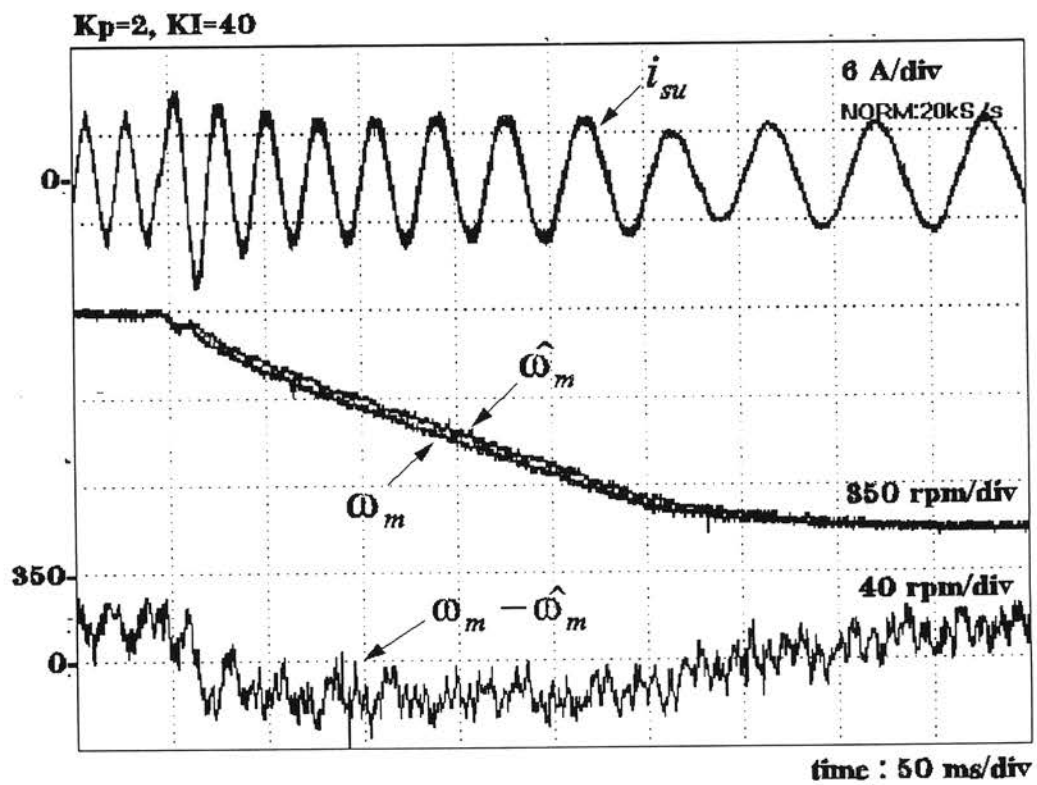
รูปที่ 6.17 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm ที่ $K_p=0.5, K_i=40$



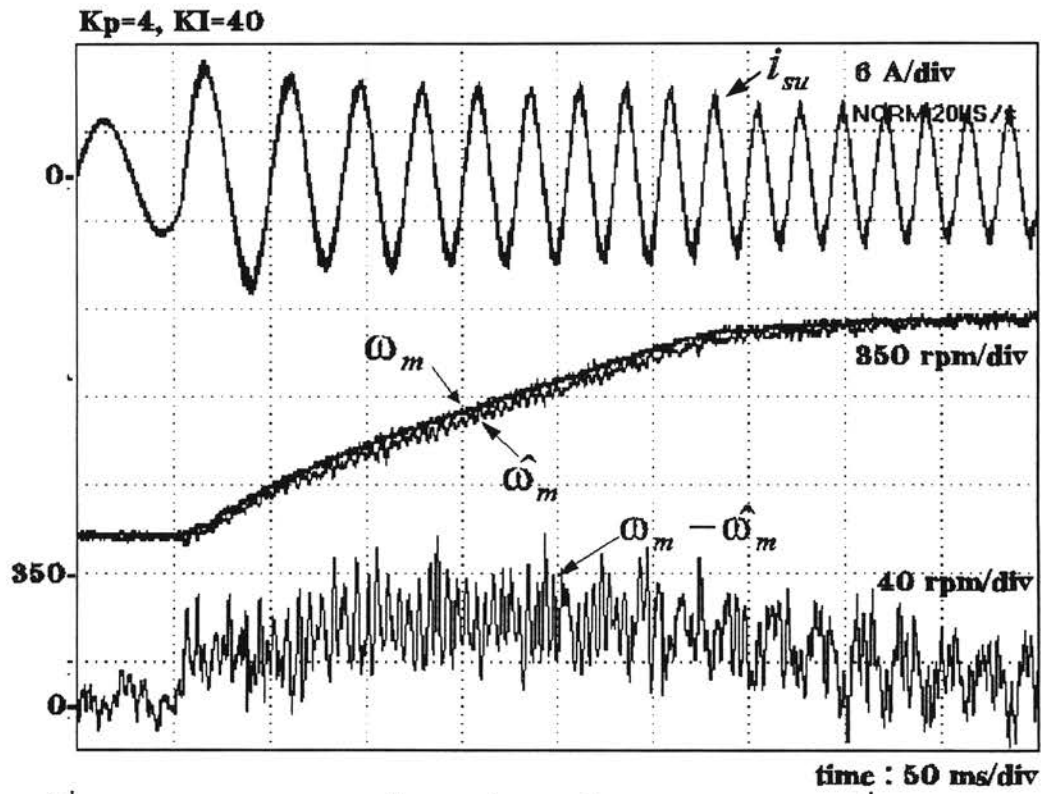
รูปที่ 6.18 ผลการทดสอบระบบโดยการลดความเร็วจาก 1420->500 rpm ที่ $K_p=0.5, K_i=40$



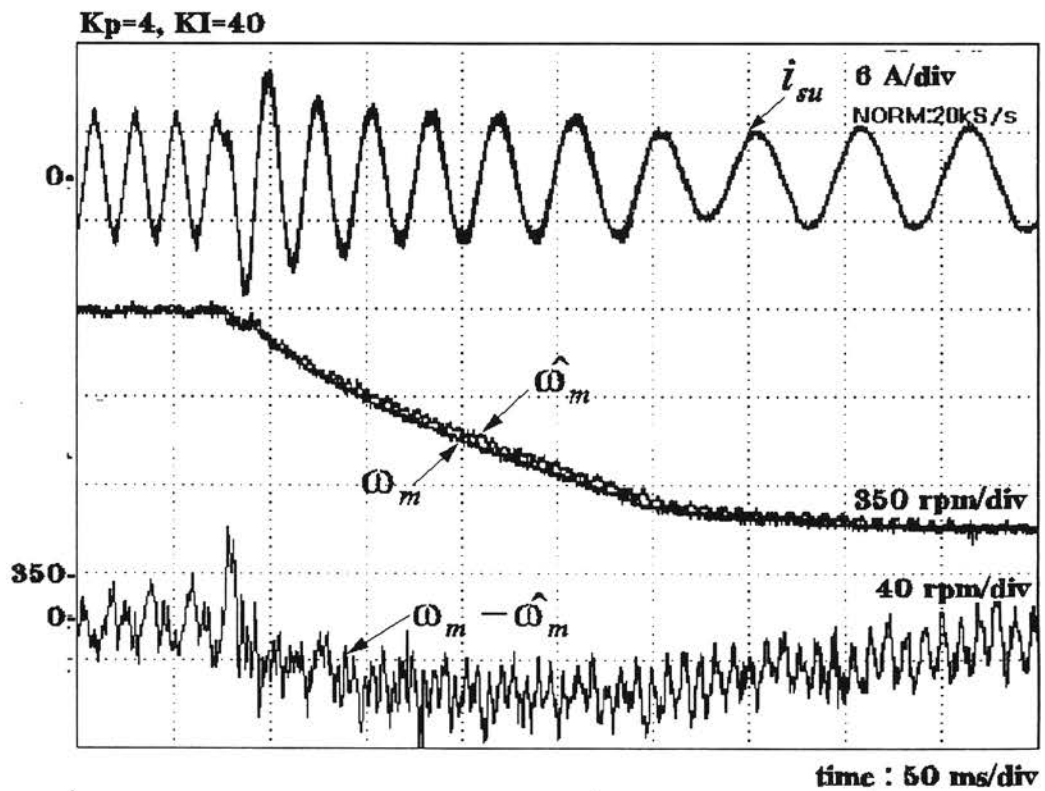
รูปที่ 6.19 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm ที่ $K_p=2, K_I=40$



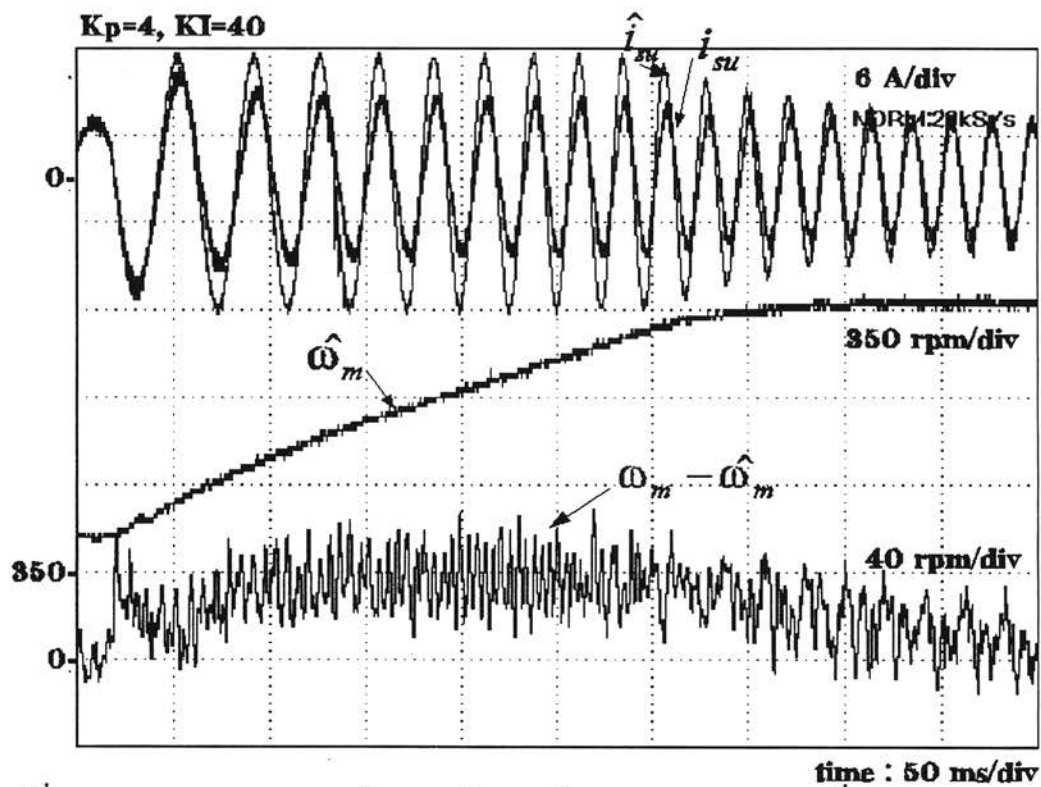
รูปที่ 6.20 ผลการทดสอบระบบโดยการลดความเร็วจาก 1420->500 rpm ที่ $K_p=2, K_I=40$



รูปที่ 6.21 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm ที่ $K_p=4, K_I=40$

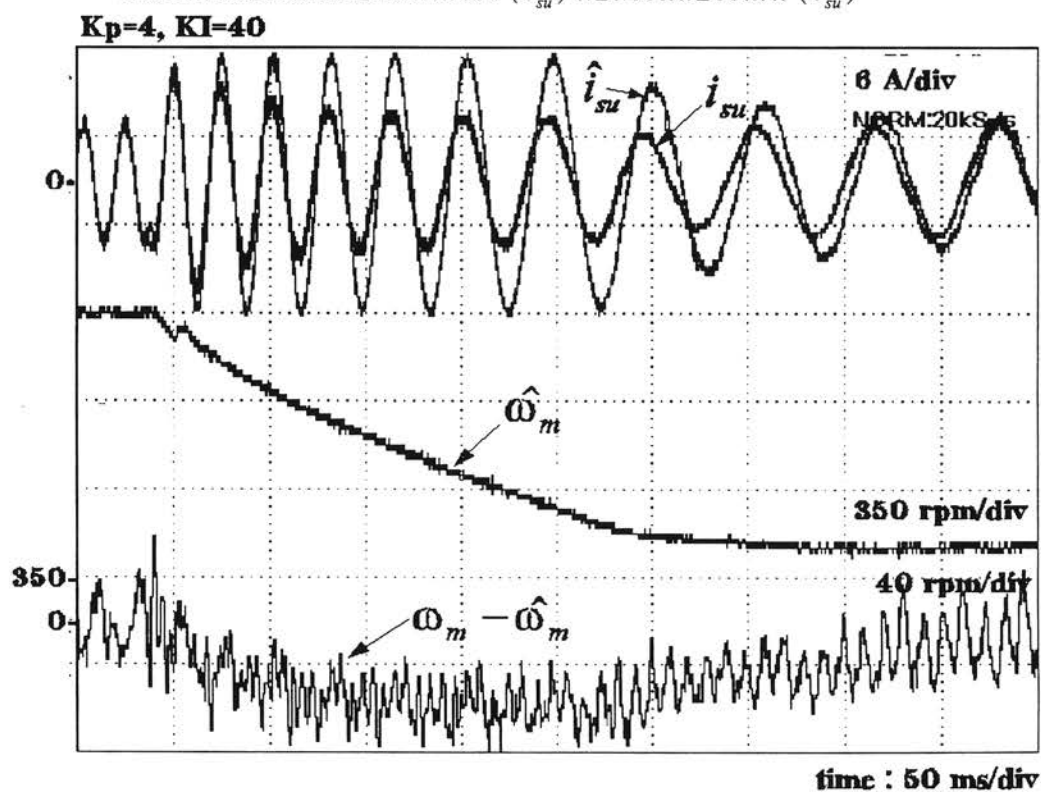


รูปที่ 6.22 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 1420->500 rpm ที่ $K_p=4, K_I=40$



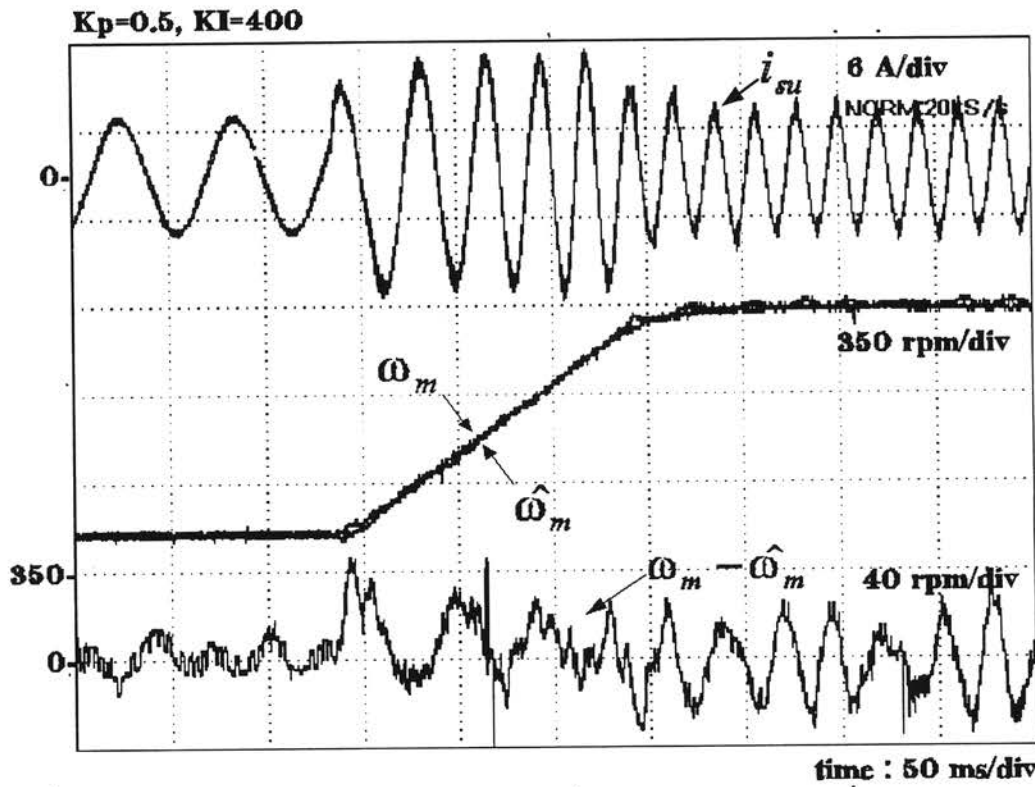
รูปที่ 6.23 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm ที่ $K_p=4, K_i=40$

โดยทำการเปรียบเทียบกระแสจริง (i_{su}) กับกระแสประเมิน (\hat{i}_{su})

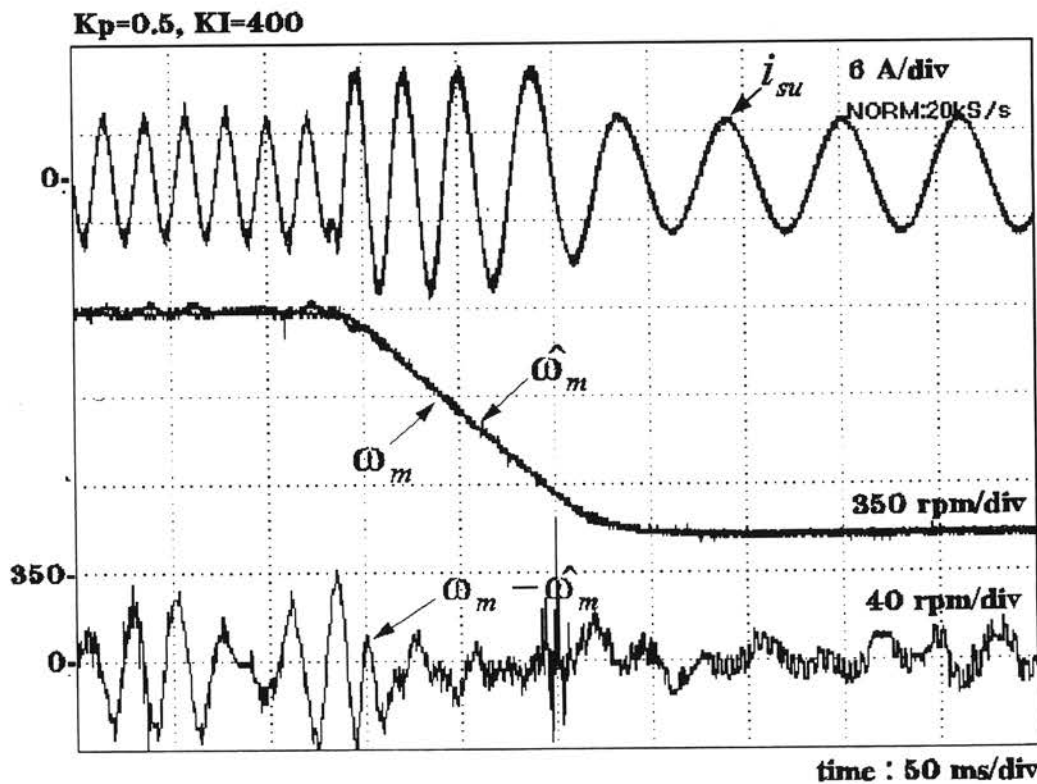


รูปที่ 6.24 ผลการทดสอบระบบโดยการลดความเร็วจาก 1420->500 rpm ที่ $K_p=4, K_i=40$ โดย

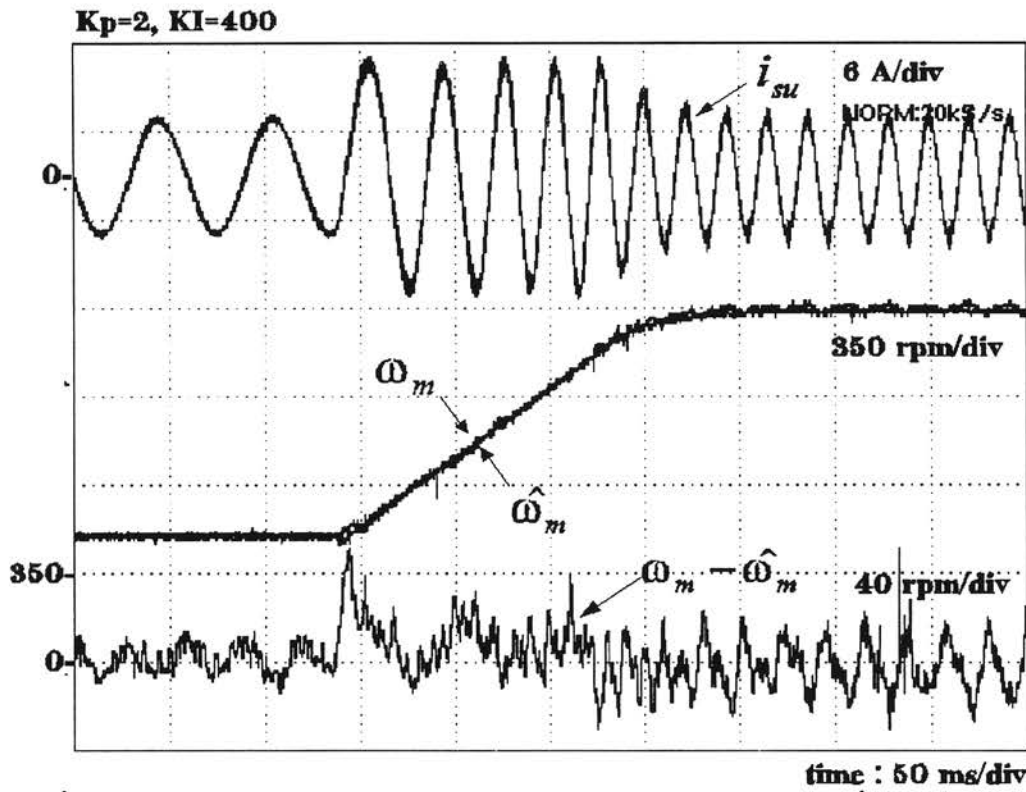
ทำการเปรียบเทียบกระแสจริง (i_{su}) กับกระแสประเมิน (\hat{i}_{su})



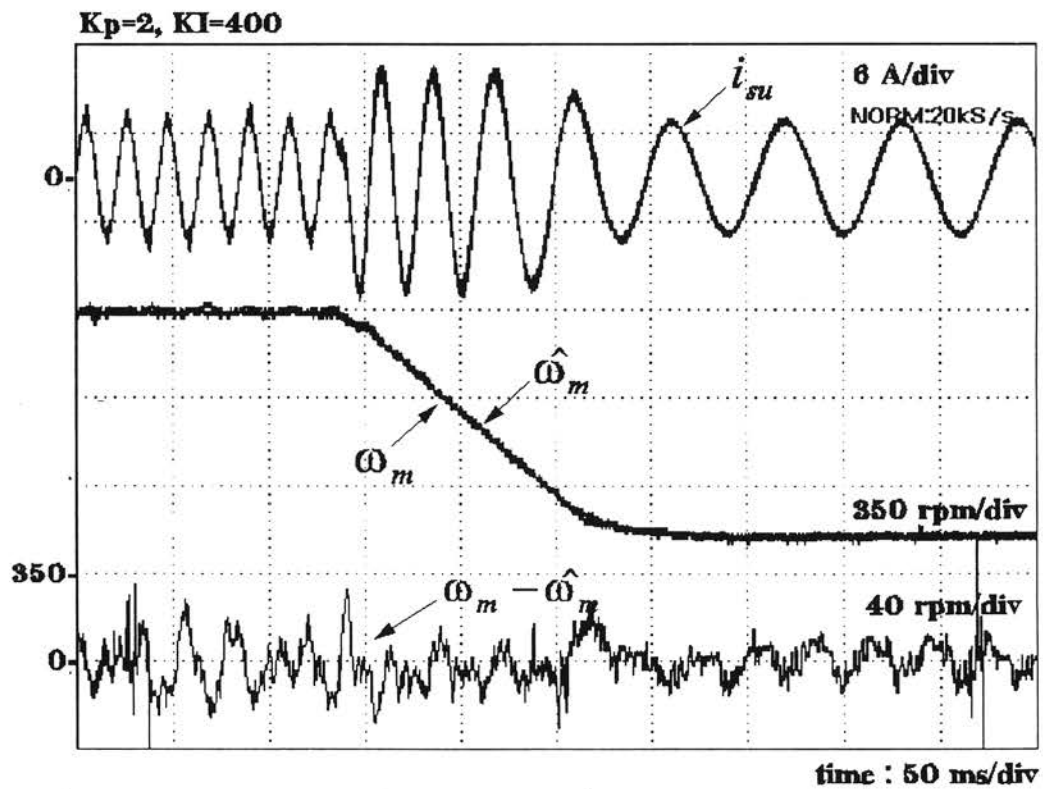
รูปที่ 6.25 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm ที่ K_p=0.5, K_I=400



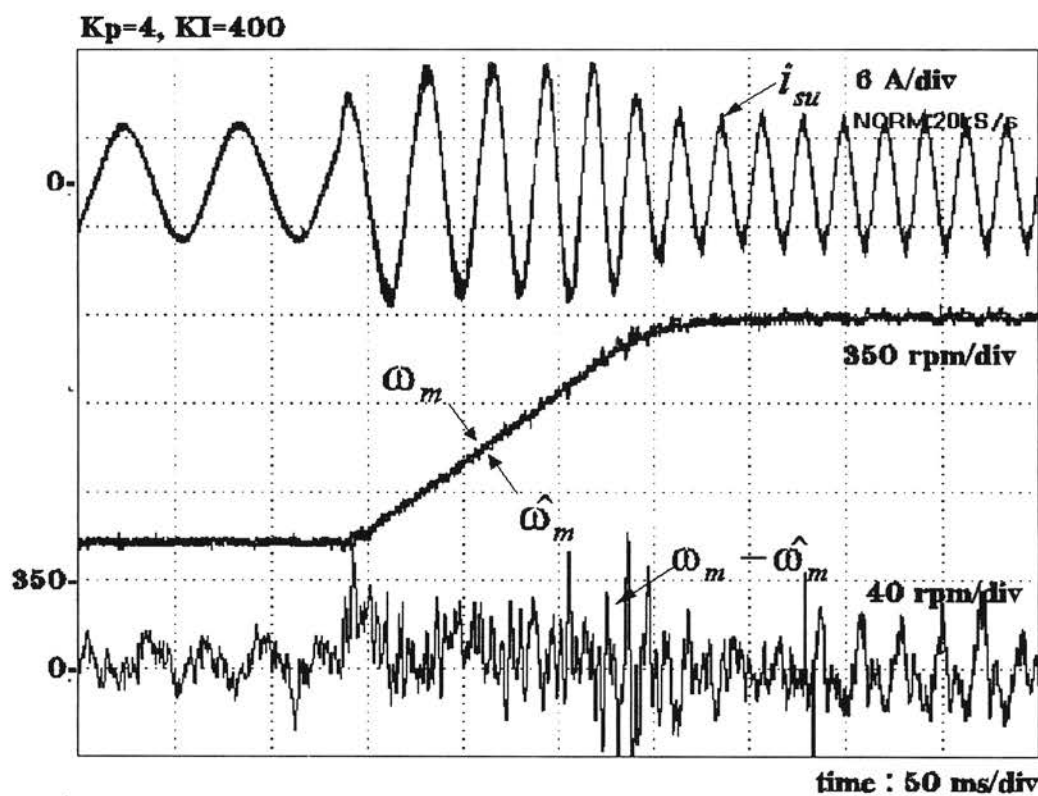
รูปที่ 6.26 ผลการทดสอบระบบโดยการลดความเร็วจาก 1420->500 rpm ที่ K_p=0.5, K_I=400



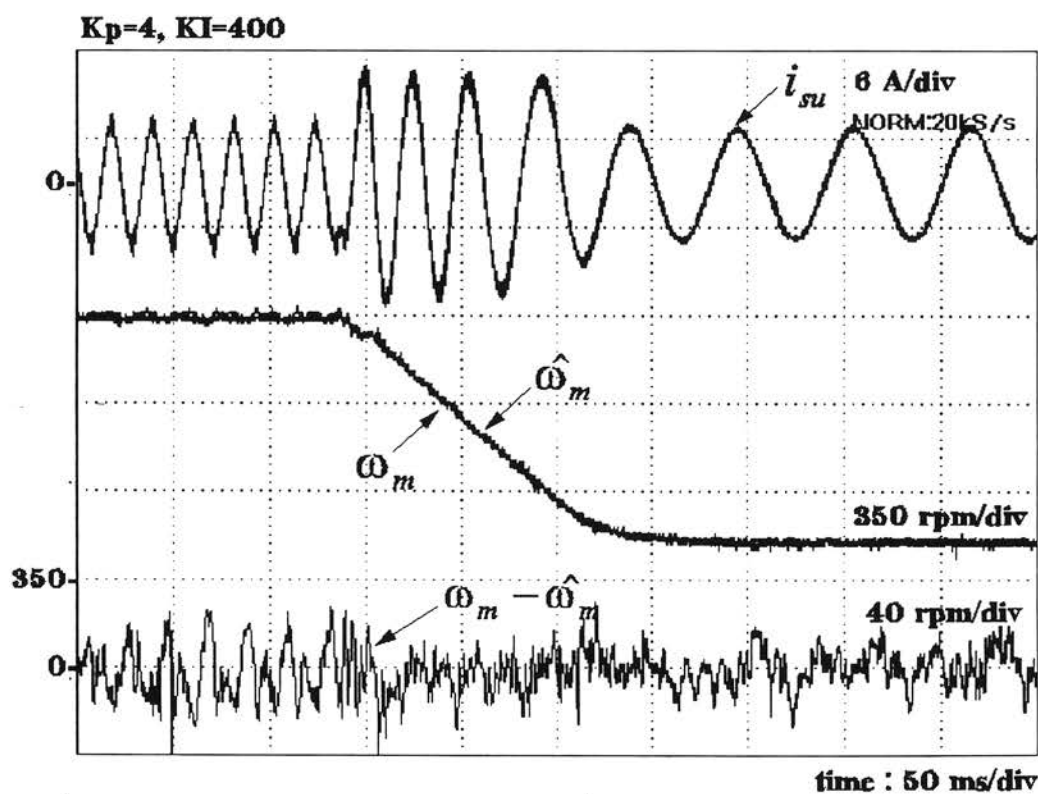
รูปที่ 6.27 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500- \rightarrow 1420 rpm ที่ $K_p=2, K_I=400$



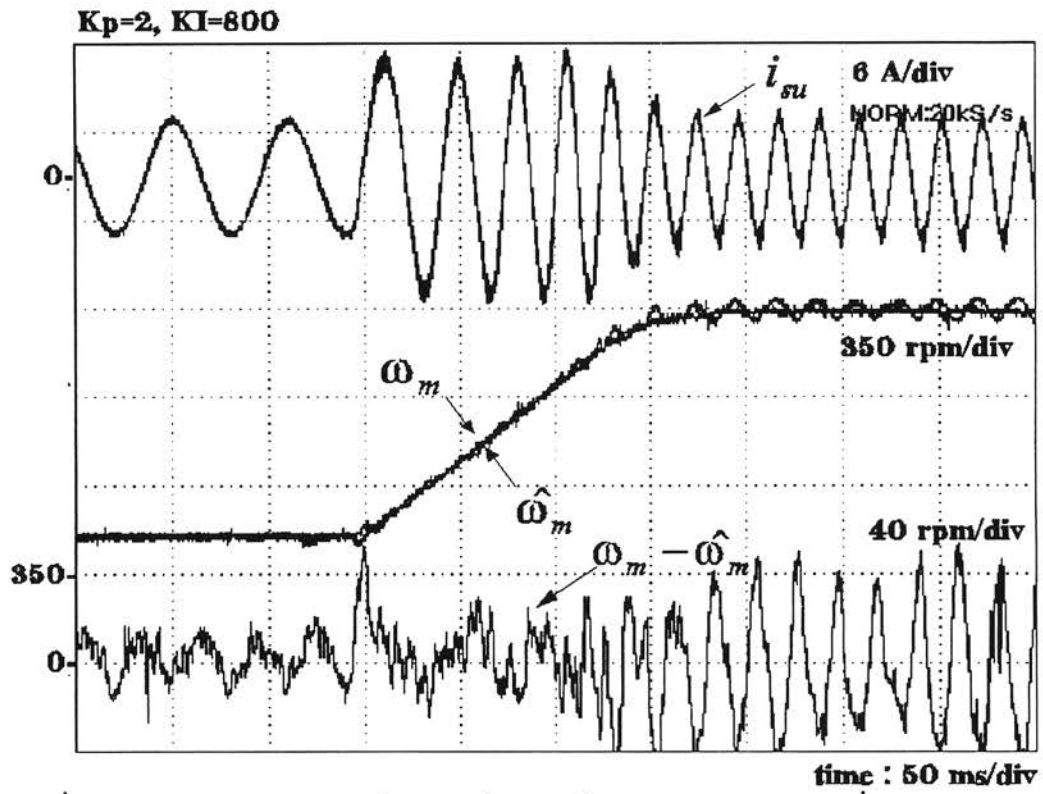
รูปที่ 6.28 ผลการทดสอบระบบโดยการลดความเร็วจาก 1420- \rightarrow 500 rpm ที่ $K_p=2, K_I=400$



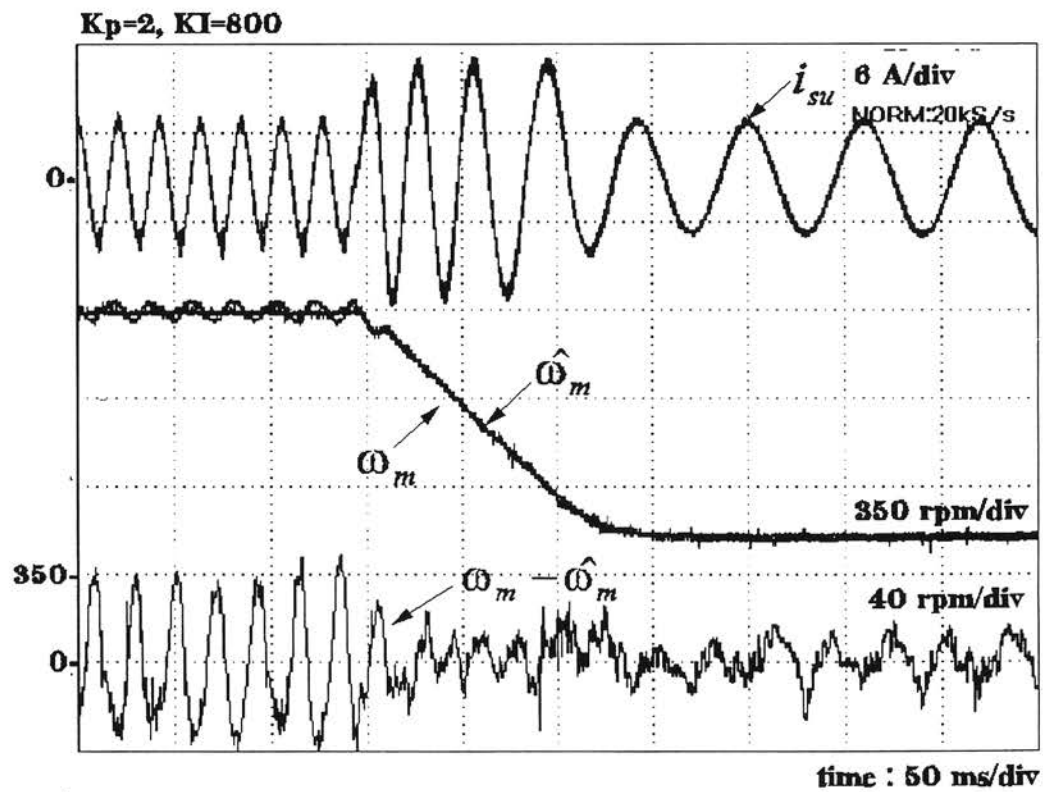
รูปที่ 6.29 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm ที่ $K_p=4, K_I=400$



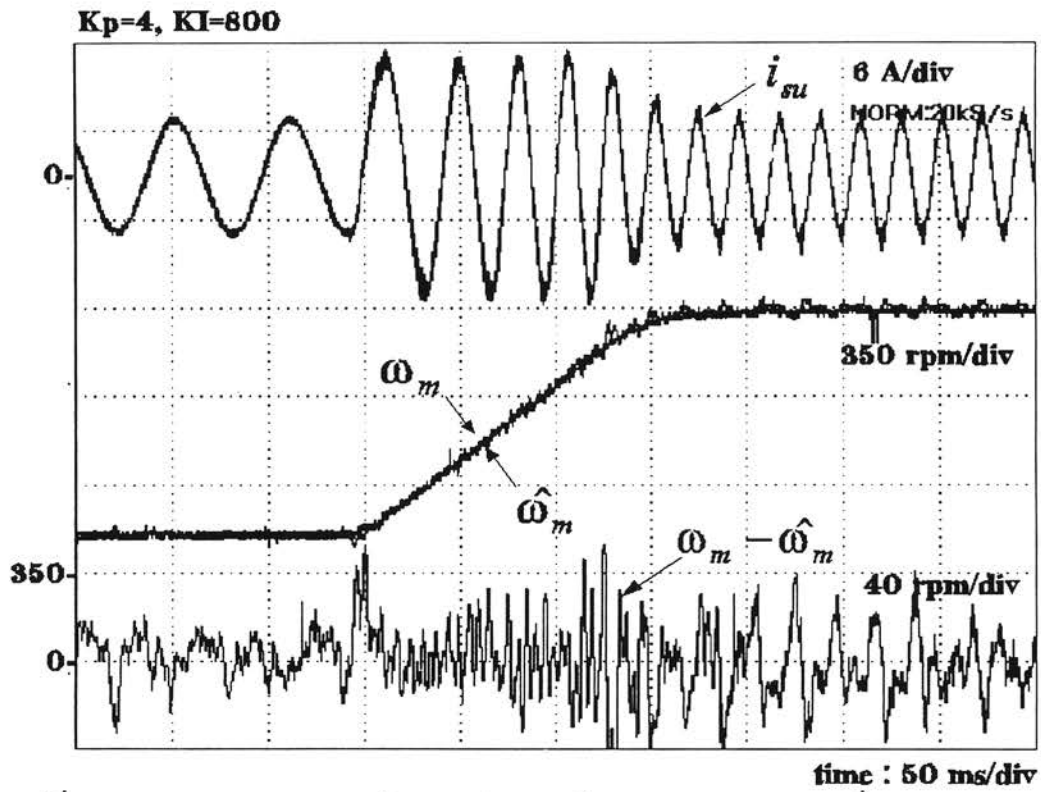
รูปที่ 6.30 ผลการทดสอบระบบโดยการลดความเร็วจาก 1420->500 rpm ที่ $K_p=4, K_I=400$



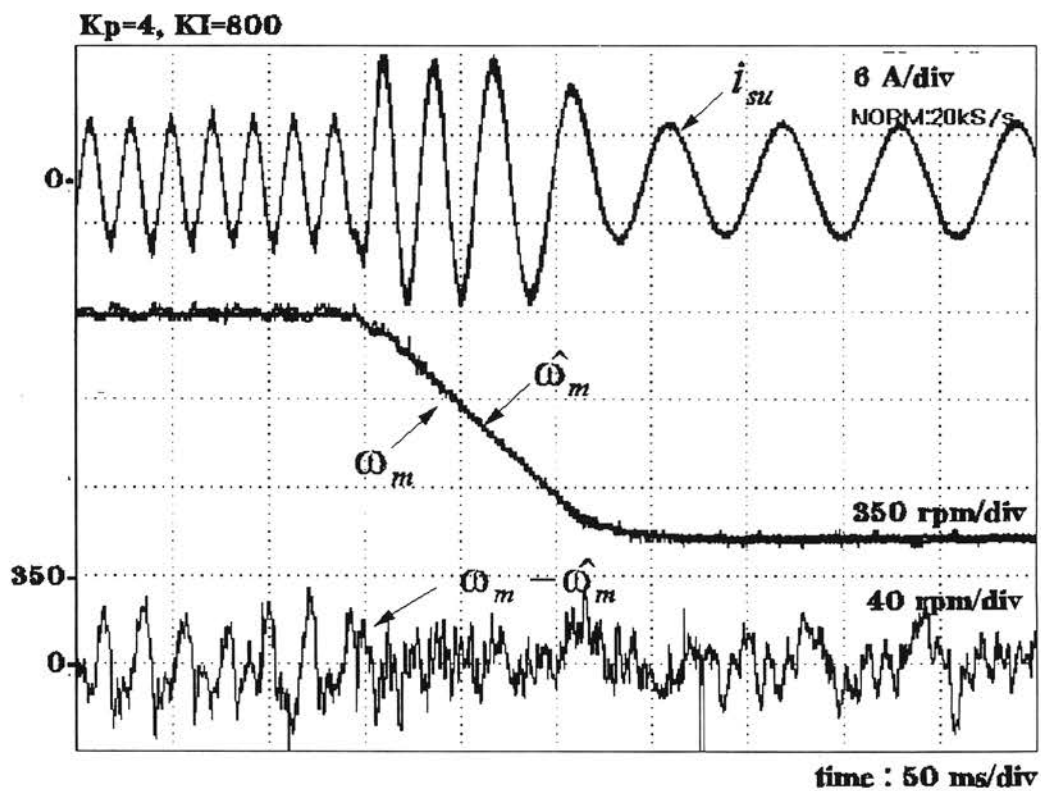
รูปที่ 6.31 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500-→1420 rpm ที่ $K_p=2, K_I=800$



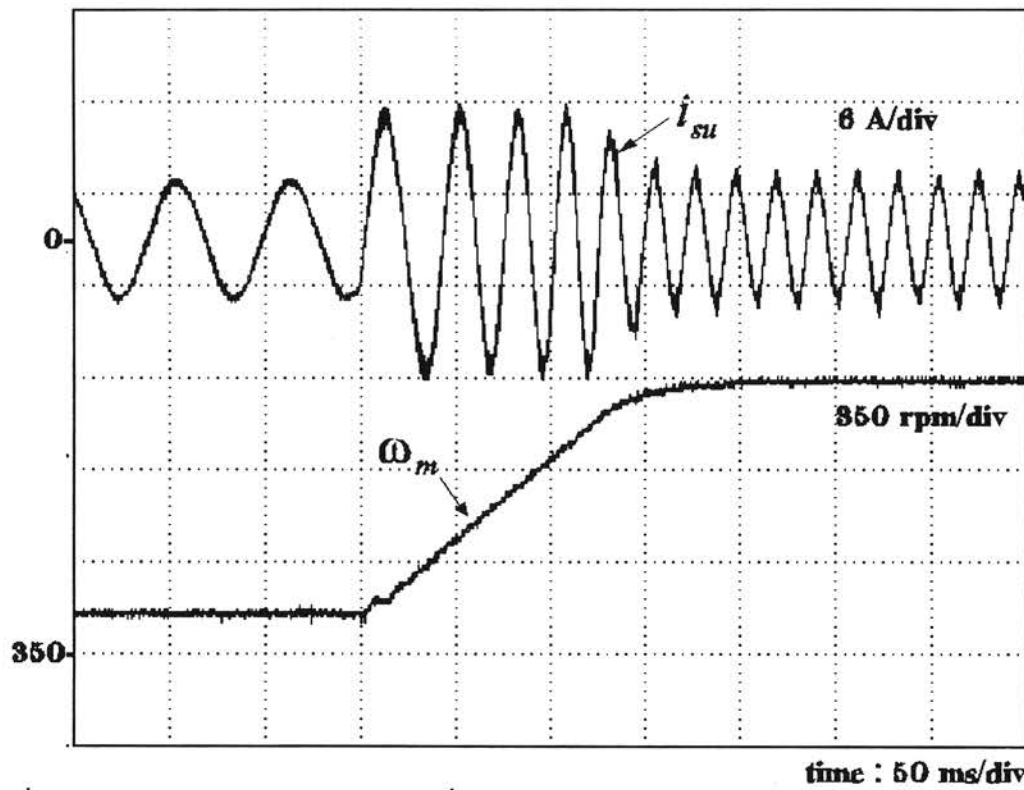
รูปที่ 6.32 ผลการทดสอบระบบโดยการลดความเร็วจาก 1420-→500 rpm ที่ $K_p=2, K_I=800$



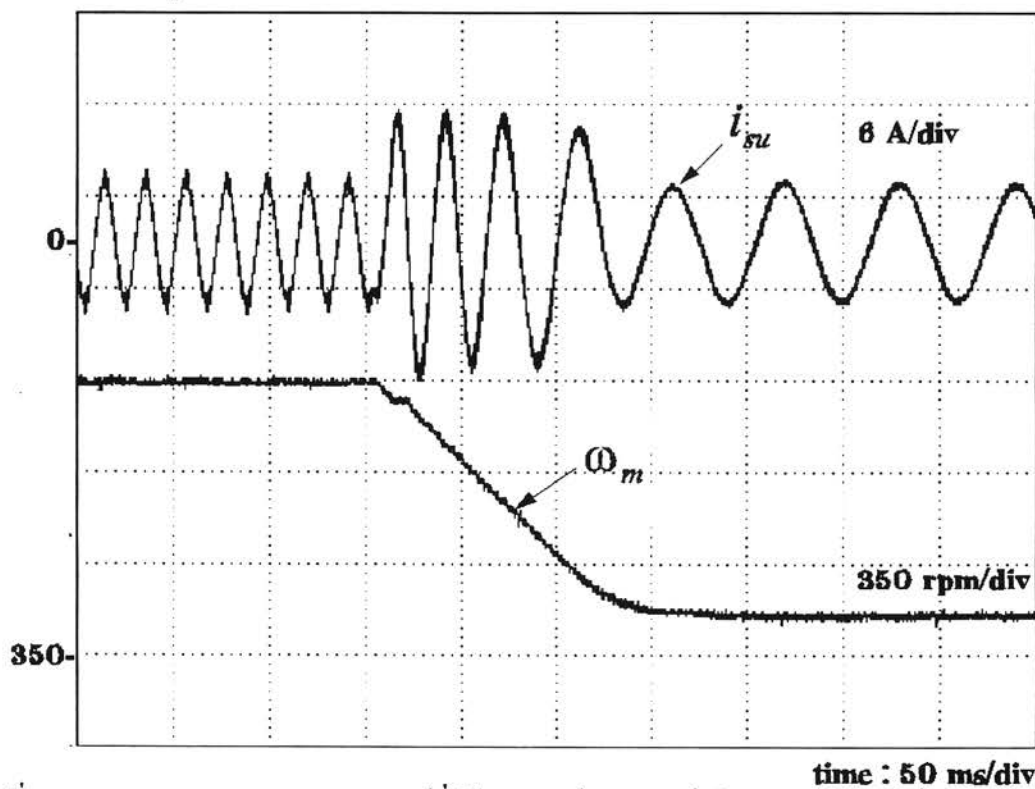
รูปที่ 6.33 ผลการทดสอบระบบโดยการเร่งความเร็วจาก 500->1420 rpm ที่ $K_p=4, K_I=800$



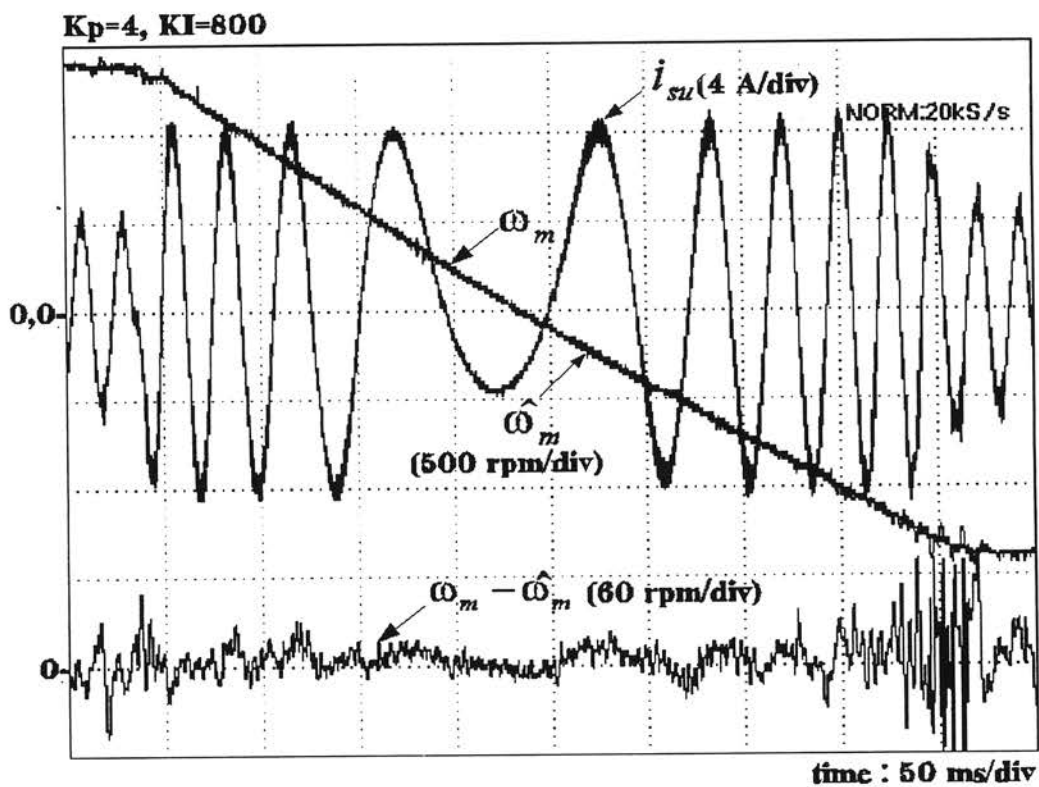
รูปที่ 6.34 ผลการทดสอบระบบโดยการลดความเร็วจาก 1420->500 rpm ที่ $K_p=4, K_I=800$



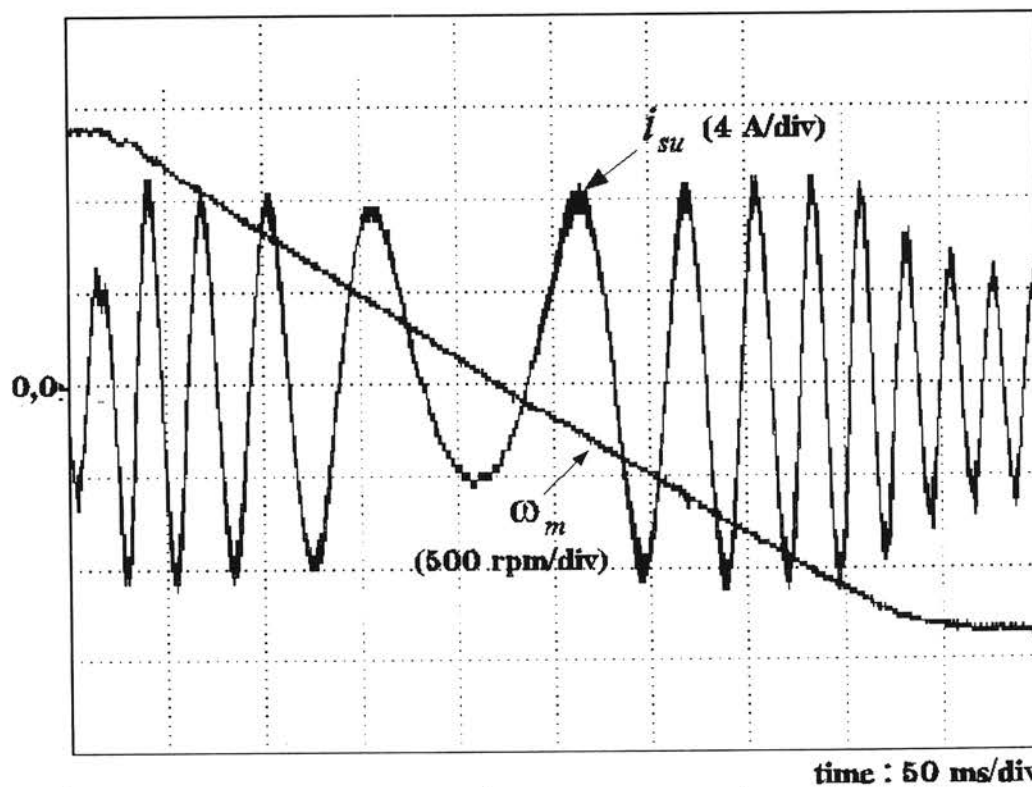
รูปที่ 6.35 ผลการทดสอบระบบเวกเตอร์ที่ใช้เซนเซอร์วัดความเร็วโดยการเร่งความเร็วจาก 500-> 1420 rpm



รูปที่ 6.36 ผลการทดสอบระบบเวกเตอร์ที่ใช้เซนเซอร์วัดความเร็วโดยการลดความเร็วจาก 1420-> 500 rpm



รูปที่ 6.37 ผลการทดสอบระบบโดยการกลับทิศ 1420 -> -1420 rpm



รูปที่ 6.38 ผลการทดสอบระบบเวกเตอร์ที่ใช้เซนเซอร์วัดความเร็วโดยการกลับทิศ 1420 -> -1420 rpm