

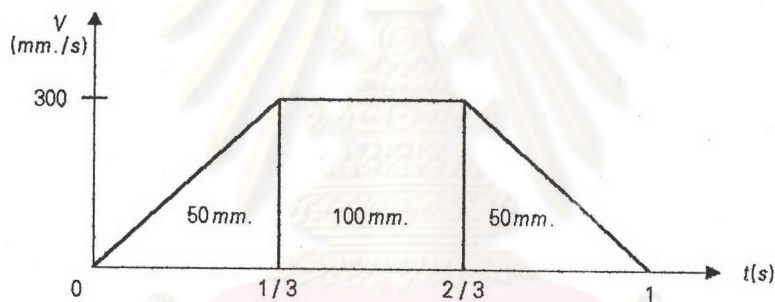
## บทที่ 6

### การออกแบบค่าเกณฑ์ของชุดควบคุม

การออกแบบค่าเกณฑ์ของชุดควบคุม ต้องการเลือกค่าเกณฑ์ที่เหมาะสม เพื่อให้การตอบสนองของมอเตอร์เป็นไปตามข้อกำหนด หรือความต้องการของการใช้งาน ซึ่งได้แก่ ความเร็วการเคลื่อนที่ ค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่จุดสิ้นสุด และเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูตสูงสุด

#### 6.1 ข้อกำหนดของผลการตอบสนองของมอเตอร์

6.1.1 ความเร็วการเคลื่อนที่ จากแผนภาพความเร็ว (VELOCITY PROFILE) เราต้องการให้ภาระเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 200 มิลลิเมตร ภายในเวลา 1 วินาที ดังนั้นความเร็วของภาระ ที่เวลาต่างๆ จะเป็นดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แผนภาพแสดงความเร็วเชิงเส้น ของภาระที่เวลา 0 ถึง 1 วินาที จากสมการเคลื่อนที่เชิงเส้น

$$s = ut + \frac{at^2}{2} \quad (6.1)$$

แทนค่า

$$50 = 0 + \frac{a}{2} \left(\frac{1}{3}\right)^2$$

$$a = 900 \text{ rev/s}^2$$

$$v = at$$

$$v_{\max} = 900(1/3)$$

$$= 300 \text{ mm./s}$$

แกนมอเตอร์ขับภาระให้เคลื่อนที่ ในแนวเส้นตรงด้วยบอลสกรู ระยะพิทช์ 16 มิลลิเมตรต่อรอบ ดังนั้นความเร็วและความเร่งของแกนมอเตอร์คือ

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{300 \text{ mm./s}^2}{16 \text{ mm./rev}} \\ &= 18.75 \text{ rev/s} \\ &= 117.8 \text{ rad/s} \\ \ddot{\theta} &= \frac{900 \text{ mm./s}^2}{16 \text{ mm./rev}} \\ &= 56.25 \text{ rev / s}^2 \\ &= 253.43 \text{ rad / s}^2 \end{aligned}$$

6.1.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่จุดสิ้นสุด ค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่จุดสิ้นสุด กำหนดจากค่าความแตกต่างระหว่าง เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของแม่พิมพ์ และเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน ของเปลือกคอมเพรสเซอร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.6 มิลลิเมตร แต่ในการออกแบบค่าควบคุมเราให้ ค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่จุดสิ้นสุดไม่เกิน 0.4 มิลลิเมตร เนื่องจากต้องเผื่อระยะคลาดเคลื่อนของศูนย์กลางระหว่างแม่พิมพ์ ที่เกิดจากการตั้งแม่พิมพ์ประมาณ 0.2 มิลลิเมตร

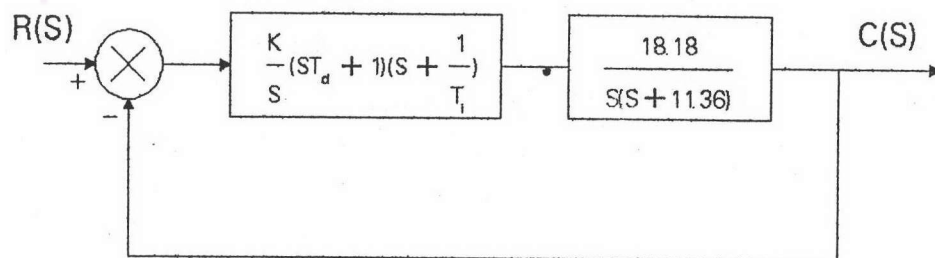
เนื่องจากระยะเคลื่อนของภาวะ 0.2 มิลลิเมตร เป็นระยะคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่เชิงเส้นแต่รูปการควบคุมมอเตอร์ ควบคุมเฉพาะตำแหน่งมุมของแกนมอเตอร์เท่านั้น เนื่องจากเราเลือกใช้บอลสกรูที่มีค่าความผิดพลาดของตำแหน่งของนัต(NUT) ที่ตำแหน่งใดๆ ภายในระยะ 300 มิลลิเมตร ไม่เกิน 0.050 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงกำหนดระยะคลาดเคลื่อนเชิงเส้นของภาวะ ที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนของมุมแกนมอเตอร์ไว้ที่ 0.25 มิลลิเมตร

ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนของมุมของแกนมอเตอร์ ที่จุดสิ้นสุด

$$\begin{aligned} &= \frac{2\pi \text{ rad / rev}}{16 \text{ mm./rev}} \times (0.25 \text{ mm.}) \\ &= 0.196 \text{ rad} \end{aligned}$$

6.1.3 เปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูดสูงสุด กำหนดให้การตอบสนองของระบบ มีอัตราส่วนแดมปีงประมาณ 0.7 หรือเกนมารจิน(GAIN MARGIN) ประมาณ 45 องศา

6.2 การออกแบบค่าเกนควบคุม พี.ไอ.ดี จากรูปที่ 6.7 เราสามารถจัดบล็อกไดอะแกรม ของระบบควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี ให้อยู่ในรูปของค่าคงตัวทางเวลา(TIME CONSTANT) ได้ดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี.

กำหนดให้

$$K_p = K(1 + T_d / T_i) \quad (6.2)$$

$$K_i = K / T_i \quad (6.3)$$

$$K_d = K \cdot T_d \quad (6.4)$$

6.2.1 การออกแบบค่าเกนควบคุมแบบ พี ก่อนอื่นเราจะกำหนดให้การควบคุมเป็นแบบ พี เพียงอย่างเดียวเพื่อคำนวณหาค่าเกน พี ที่ทำให้ ค่าความคลื่อนที่ของตำแหน่งที่สภาวะสิ้นสุด เมื่ออินพุทเป็นแบบแรมป์ ได้ตามที่กำหนดแล้ว จึงใช้การควบคุมแบบ ไอ และ ดี เพื่อปรับผลการตอบสนองของระบบให้ได้ตามข้อกำหนดอีกครั้งหนึ่ง

จากความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่สภาวะคงที่ เมื่อสัญญาณอินพุทเป็นแบบแรมป์ (STATIC VELOCITY ERROR COEFFICIENT)

$$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot G(s) \quad (6.5)$$

$$K_v = \text{OUTPUT VELOCITY} / \text{FVE} \quad (6.6)$$

กำหนดให้

$G(s)$  = ทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน ของระบบที่ถูกควบคุมเปิดแบบ พี

$K_v$  = สัมประสิทธิ์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง ที่สภาวะคงที่เมื่อสัญญาณอินพุทเป็นแบบแรมป์

FVE = ค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่สภาวะสิ้นสุด (0.137 rad)

OUTPUT VELOCITY = ความเร็วการหมุนของแกนมอเตอร์ขณะเคลื่อนที่ (117.8 rad/s)

แทนค่าในสมการที่ 6.3

$$\begin{aligned} K_v &= \frac{117.8 \text{ rad/s}}{0.137 \text{ rad}} \\ &= 859.85 \text{ sec}^{-1} \end{aligned}$$

แทนค่า  $G(s)$  และ  $K_v$  ในสมการที่ 6.2

$$\begin{aligned} 859.85 &= \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{K(18.18)}{s(s + 11.36)} \\ &= 537 \end{aligned}$$

6.2.2 การออกแบบค่าควบคุมไอและดี ในการออกแบบค่าเกน  $K_i$  และ  $K_d$  จะพิจารณาจากการตอบสนองเชิงความถี่ (FREQUENCY RESPONSE) ของระบบภายใต้การควบคุมเปิดแบบพี ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.3 พบว่า ระบบมีครอสโอเวอร์เฟรควนซี (CROSS OVER FREQUENCY) อยู่ที่ 100 rad/s มีเกนมารจิ้น (GAIN MARGIN) เท่ากับ  $-\infty$  และมีเฟสมารจิ้นประมาณ 10 องศา

ในการออกแบบเราจะเลือกค่า  $1/T_d$  ที่บริเวณใกล้กับครอสโอเวอร์เฟรควนซี ของระบบ และเลือกค่า  $1/T_i$  ให้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $1/T_d$  20 เท่า โดยให้ระบบมีเฟสมารจิ้น มากกว่าหรือเท่ากับ 45 องศา

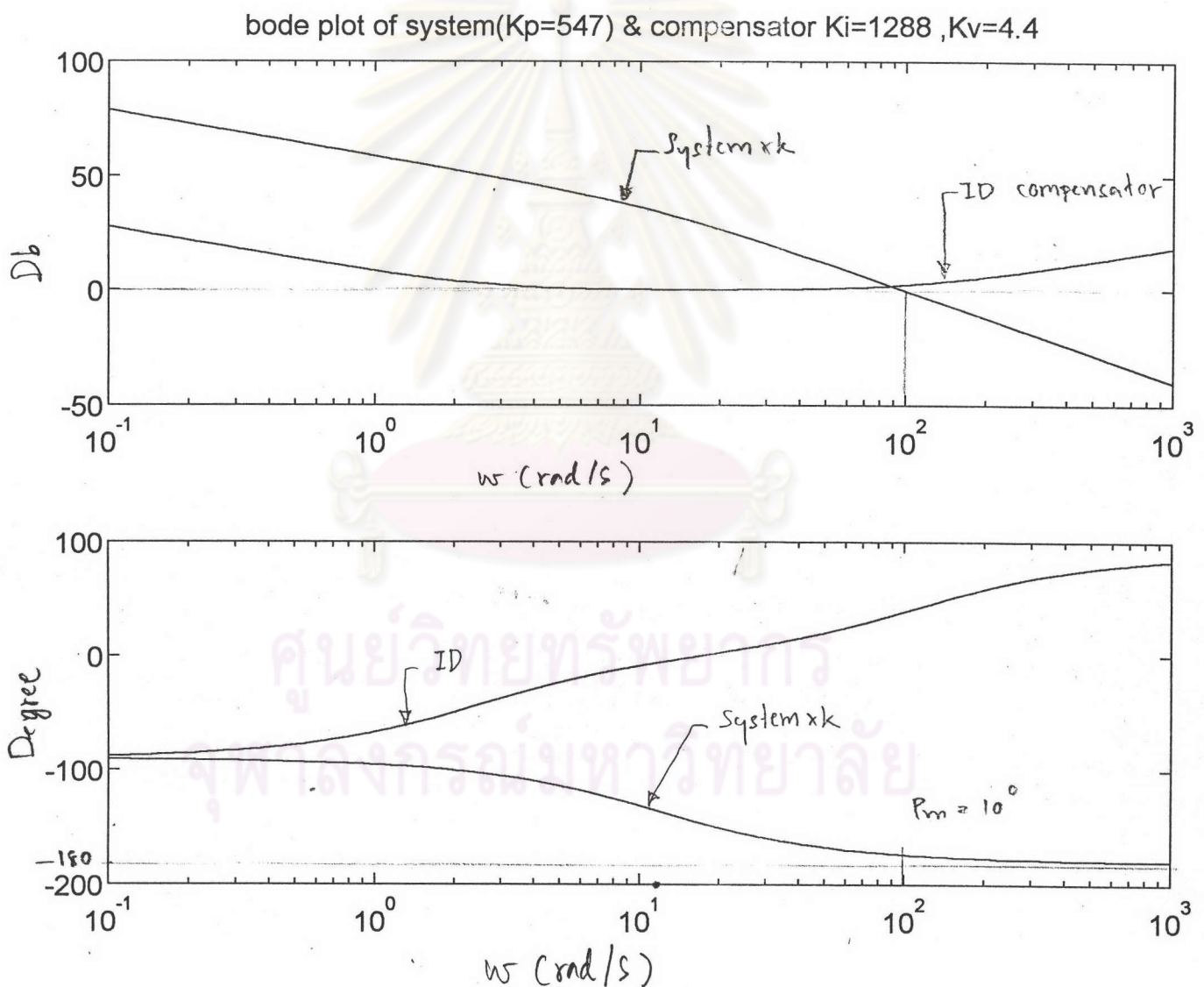
จากการทดลองเลือกค่า  $1/T_d$  เท่ากับ 120 rad/s และ  $1/T_i$  เท่ากับ 2.4 ซึ่งให้ค่าของเฟสมารจิ้นประมาณ 45 องศา และค่าเกนมารจิ้น เท่ากับ  $-\infty$  ซึ่งแสดงว่าระบบนี้เสถียร (STABLE) ทุกค่าของ  $K$  และ  $1/T_i$  ในสมการที่ (6.2) - (6.4) จะได้

$$K_p = 547$$

$$K_i = 1288$$

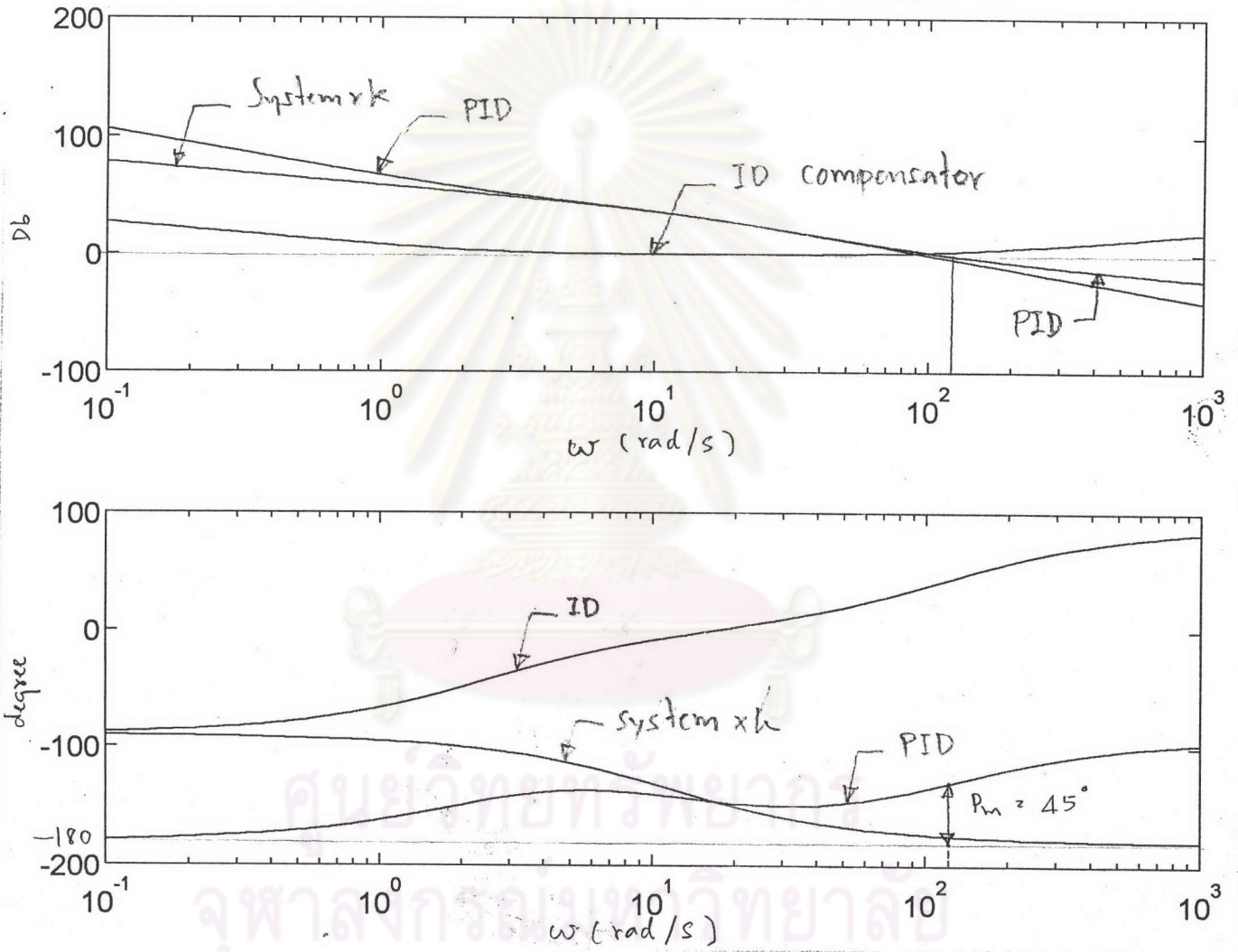
$$K_d = 4.5$$

นำค่าเกณฑ์ที่ได้ไปทดสอบการตอบสนองต่ออินพุตแบบเฉปของระบบจริง เปรียบเทียบกับการตอบสนองที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังแสดงในรูปที่ 6.5 และทดสอบดูผลของค่าความผิดพลาดของตำแหน่งและค่าความผิดพลาดของความเร็ว ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 117.8 rad/s ดังแสดง ในรูปที่ 6.6 ถึง รูปที่ 6.7

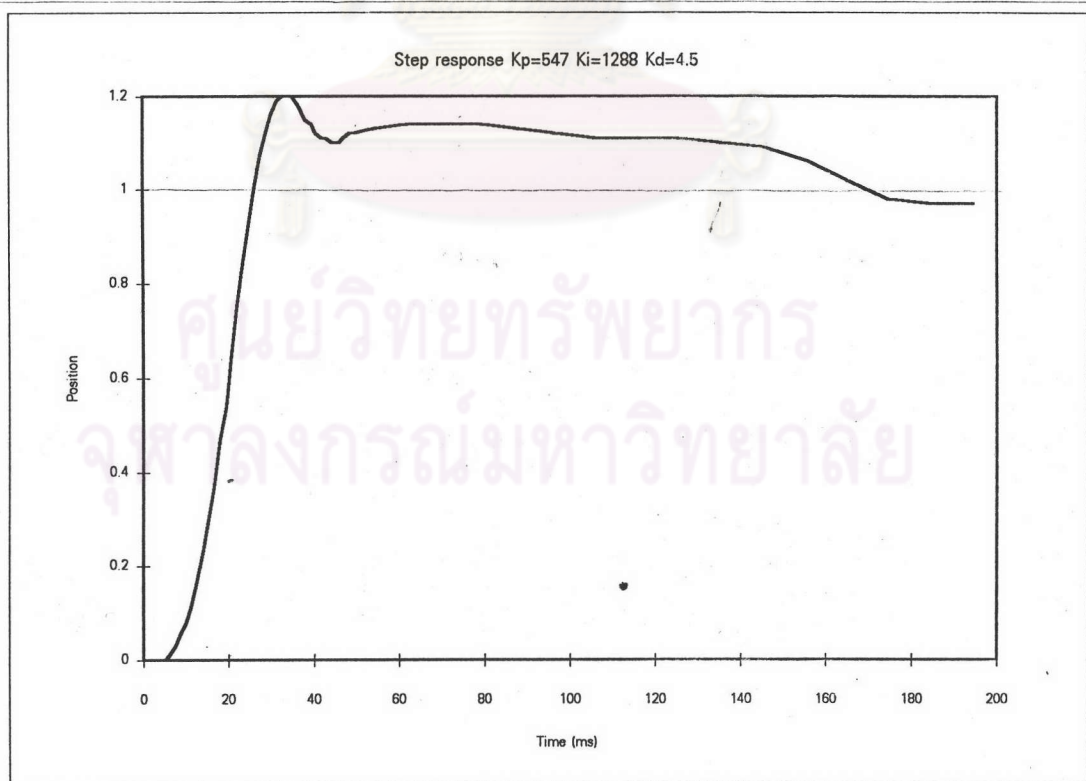
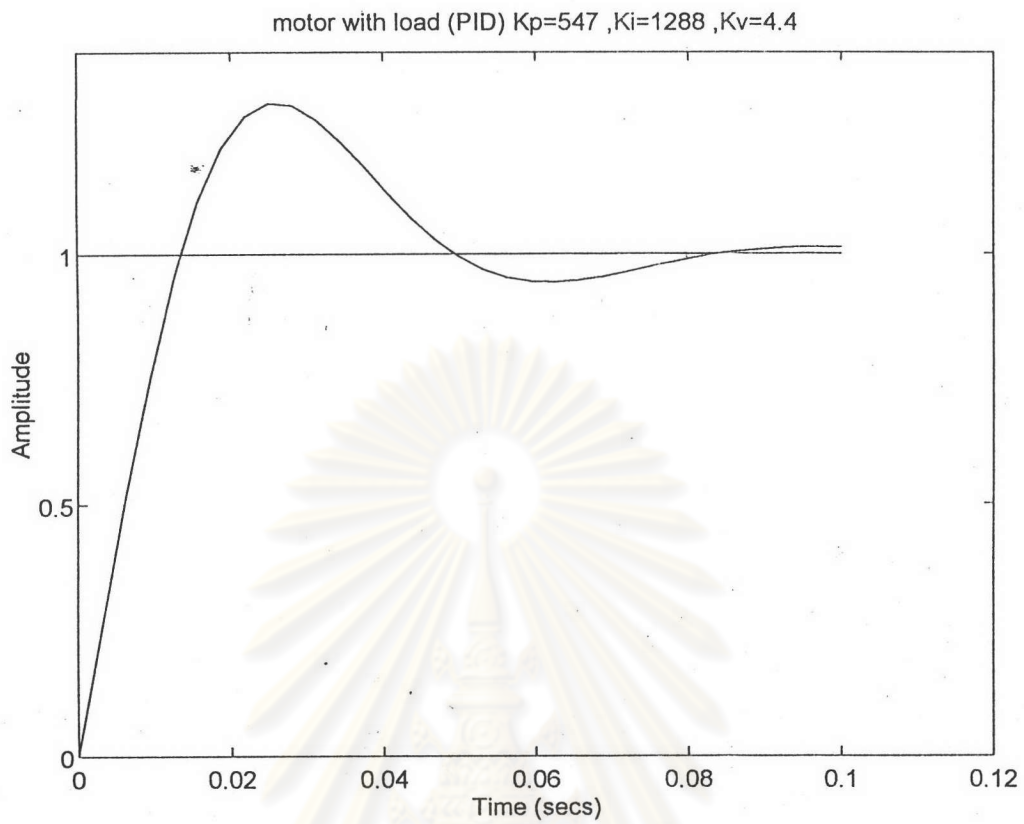


รูปที่ 6.3 โบทพลอตของระบบควบคุมเปิดแบบพี ( $K = 537$ ) และระบบควบคุมแบบไอและดี

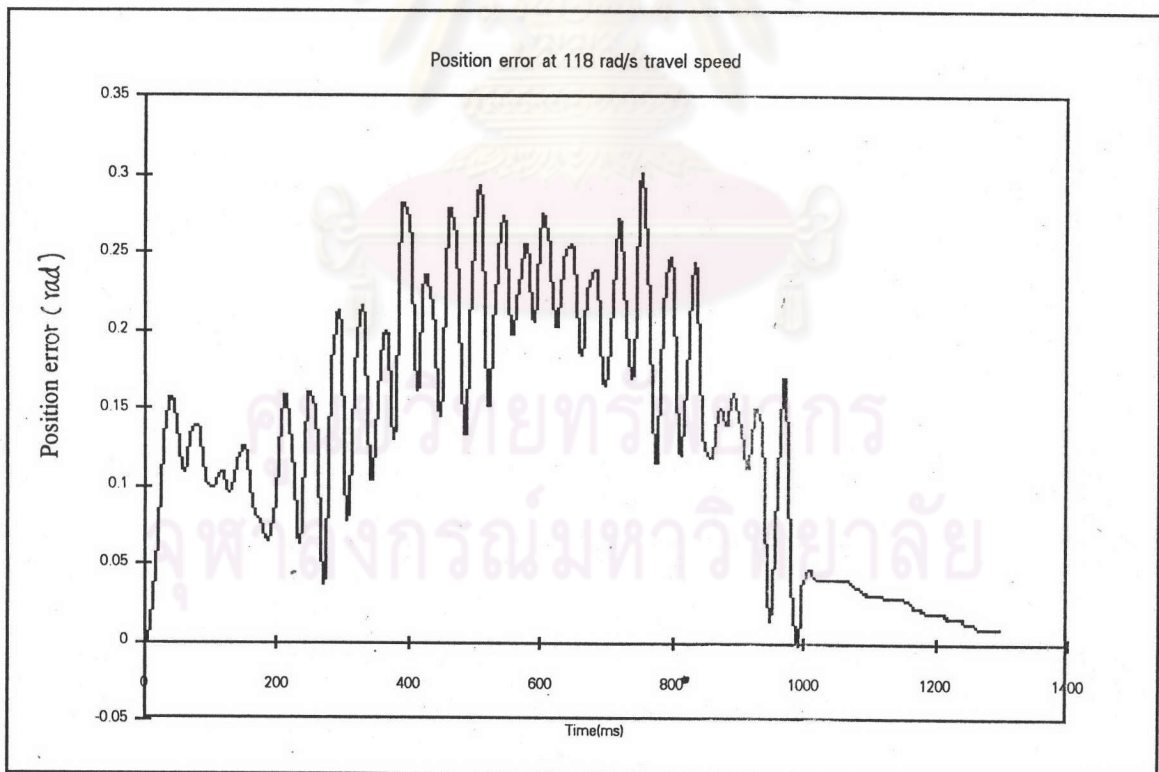
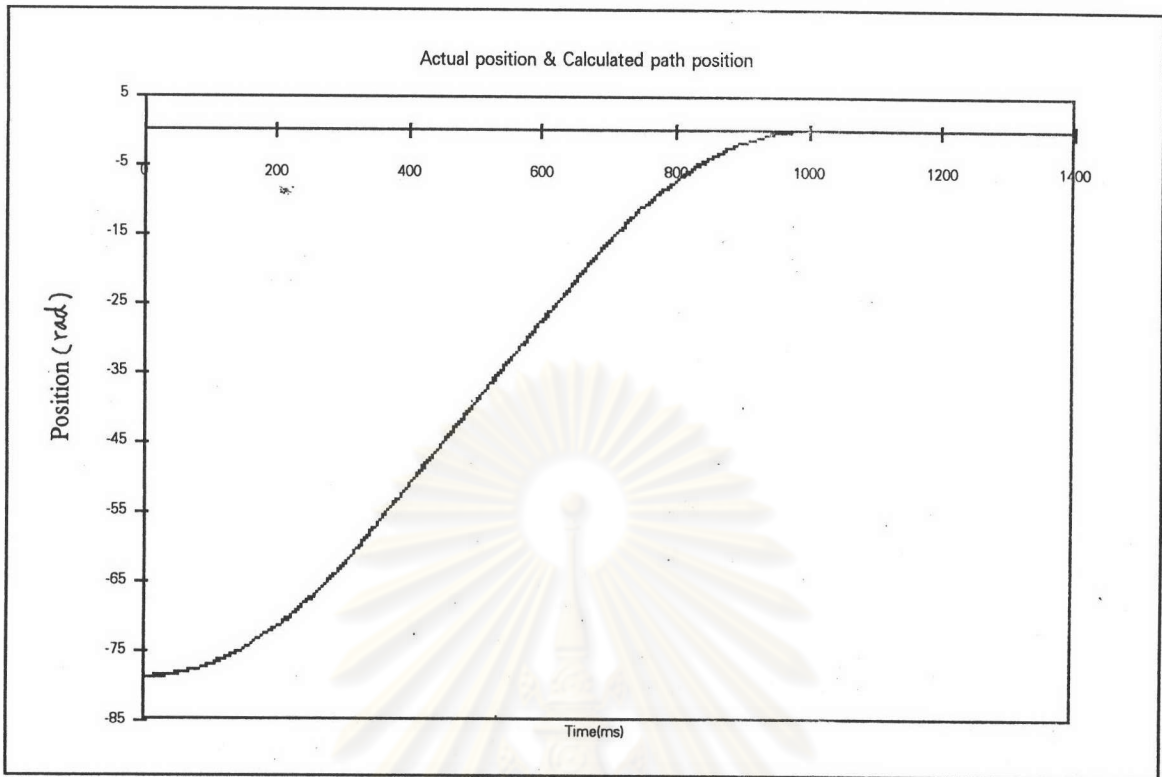
bode plot of motor with load  $K_p=547, K_i=1288, K_v=4.4$



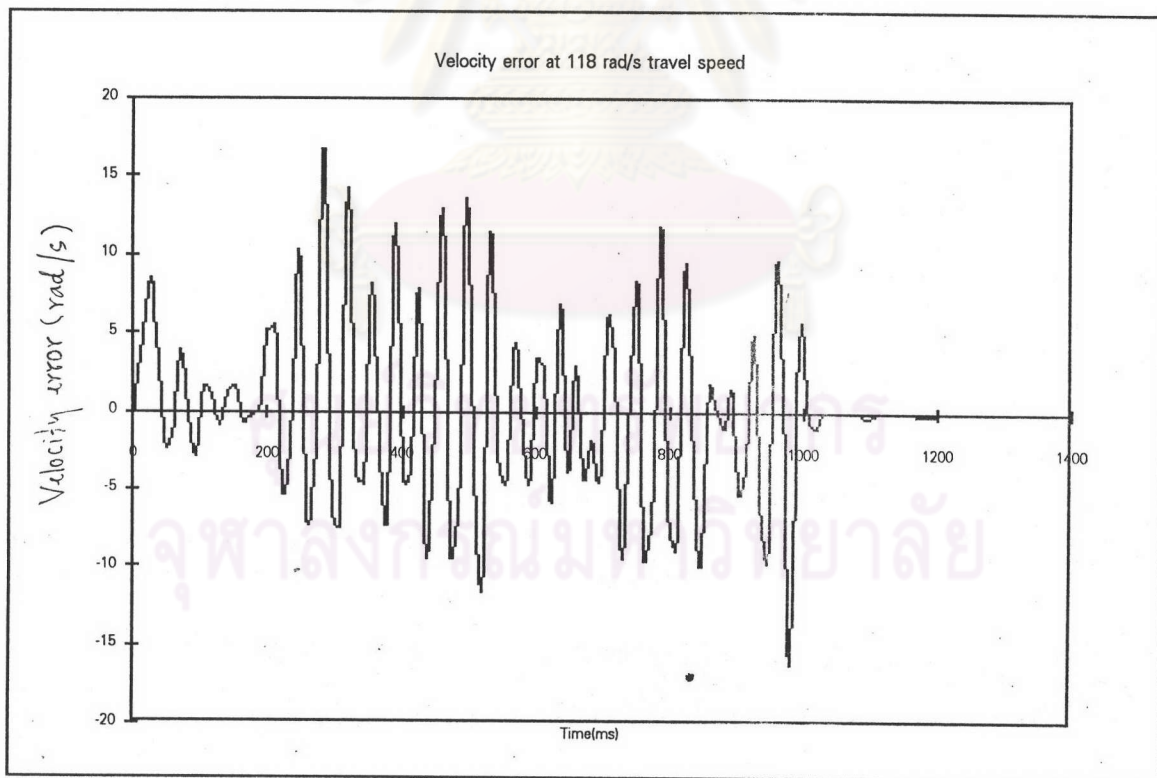
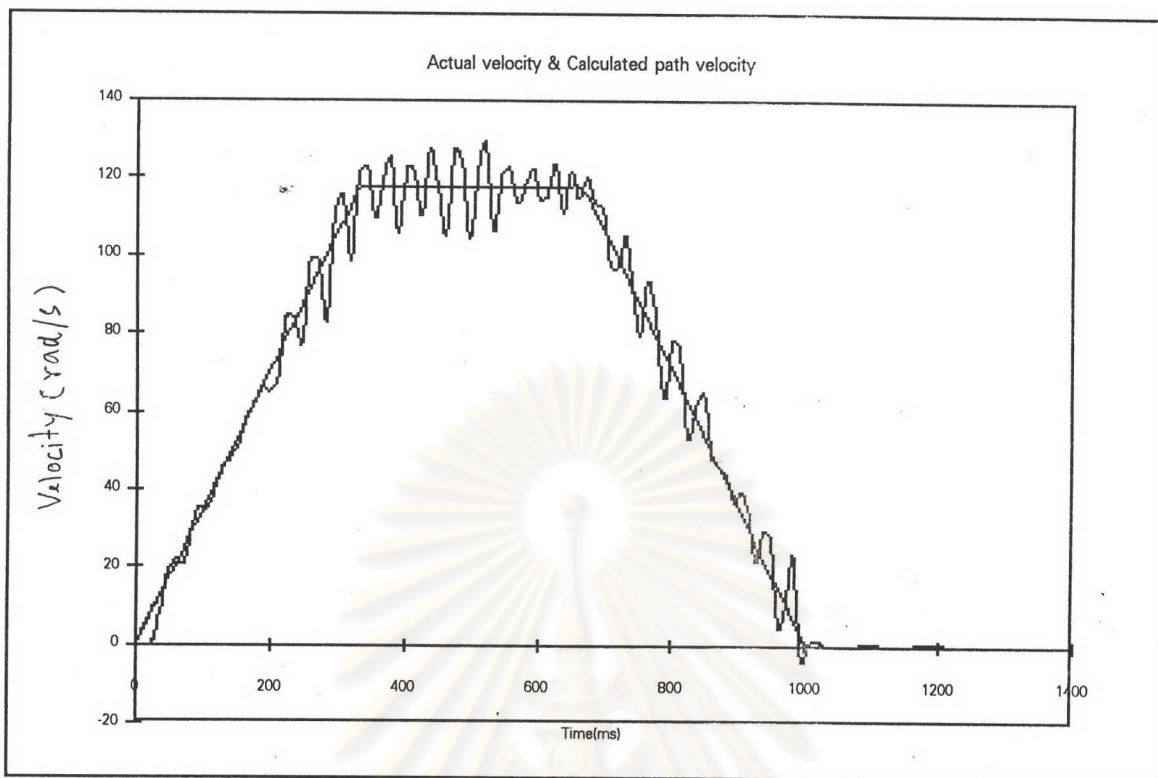
รูปที่ 6.4 โบทพลอตของระบบควบคุมแบบ พี . ไอ . ดี



รูปที่ 6.5 การตอบสนองของระบบภายใต้การควบคุมแบบ พี. ไอ. ดี ต่ออินพุตแบบฟังก์ชันสเตปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (รูปบน) เปรียบเทียบกับระบบจริง (รูปล่าง).



รูปที่ 6.6 กราฟแสดงตำแหน่งและความผิดพลาดของตำแหน่งแกนมอเตอร์  
ของระบบจริงเปรียบเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง



รูปที่ 6.7 กราฟแสดงความเร็วและความผิดพลาดของความเร็วแกนมอเตอร์  
ของระบบจริงเปรียบเทียบกับความเร็วอ้างอิง