บทที่ 5

การทดสอบการทำงานและเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุม

การทดสอบการทำงานของระบบควบคุมที่ออกแบบในงานวิจัย และเปรียบเทียบผลกับระบบควบคุมชนิดอื่น ได้แก่ ระบบควบคุมที่ออกแบบโดย Liu และ Lin และระบบควบคุมที่ออกแบบโดย Goldenberg et al. แบ่งการทดสอบออกเป็น

1. ในสภาวะไม่มีโหลด
2. มีการรบกวนต่อระบบเนื่องจาก โหลดเปลี่ยนแปลงทันทีแบบเป็นขั้น (step)

<u>ข้อมูลในการจำลองแบบ</u>

แบบจำลองแขนหุ่นยนต์ซึ่งใช้ทดสอบด้วยการจำลองเชิงเลข ดังรูปที่ 4.1 มีพารามิเตอร์ดังนี้

มวลของลิงค์ที่ 1 : m_1 = 1.5 กิโลกรัม

มวลของลิงค์ที่ 2 : m_2 = 1.5 กิโลกรัม

ความยาวลิงค์ที่ 1 : l_1 = 0.5 เมตร

ความยาวลิงค์ที่ 2 : l_2 = 0.5 เมตร

ในการทดสอบ ใช้คาบเวลาการสุ่ม T = 0.01 วินาที ตำแหน่งอ้างอิงในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์เป็นฟังก์ชัน cycloid ดังรูปที่ 4.3 โดยเริ่มจากตำแหน่งหยุดนิ่งคือ มุม $q_1 = q_2 = \delta$ ไปยังตำแหน่งสุดท้ายคือ $q_1 = 2\delta$ และ $q_2 = -2\delta$ ภายในเวลา 2 วินาที หลังจากนั้นจะคงอยู่ที่ตำแหน่งเดิม

ในสภาวะที่มีการรบกวนเนื่องจากโหลดเกิดขึ้น จำลองแบบโดยให้มวลของลิงค์ที่ 2 เพิ่มขึ้นทันทีอีก 0.5 กิโลกรัม เมื่อเวลาผ่านไป 0.5 วินาที

ตัวควบคุมทุติยภูมิของระบบควบคุมในงานวิจัย กำหนดให้อันดับของโพลิโนเมียล $A_i(z^{-1})$, $B_i(z^{-1})$ และ $B_{ij}(z^{-1})$ คือ $N_{ai} = 2$, $N_{bi} = 2$, $N_{bij} = 0$ ตามลำดับ และ $d_i = 1$, $d_{ij} = 2$ ตัวควบคุมทุติยภูมิของระบบควบคุมที่ออกแบบโดย Liu และ Lin กำหนดเช่นเดียวกัน

การทดสอบระบบควบคุมที่ออกแบบในงานวิจัย

การทดสอบการทำงานของระบบควบคุม ทดสอบในสภาวะที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลง โดยกำหนดค่าต่างๆ ในตอนเริ่มต้นดังนี้

ตัวควบคุมปฐมภูมิ กำหนดให้

forgetting factor $\rho = 0.96$

การเดาค่าเริ่มต้นของวิธีประมาณค่า ตามสมการ (3.1.14) โดยกำหนด

เมตริกซ์ $P(0) = 200\mathbf{I}$, เมตริกซ์ $A = [1]$

และ เวคเตอร์ $Z^T(0) = [0\ 0\ \ldots\ 0]^T$

ตัวควบคุมทุติยภูมิ กำหนดให้

$\rho = 0.945$

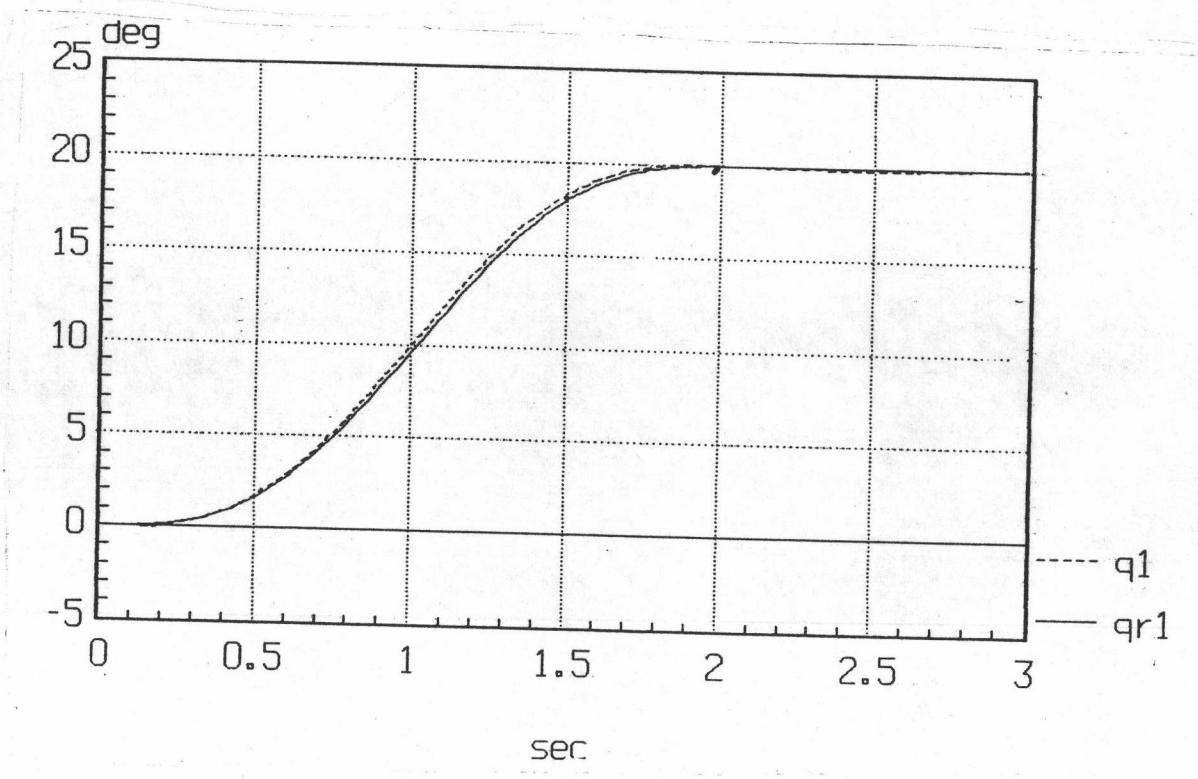
โพลิโนเมียลน้ำหนักถ่วง $R_i(z^{-1}) = 1 - 0.9z^{-1}$ และ $W_i(z^{-1}) = 0.0049$

การเดาค่าเริ่มต้นของวิธีประมาณค่า ตามสมการ (3.2.14) กำหนดให้

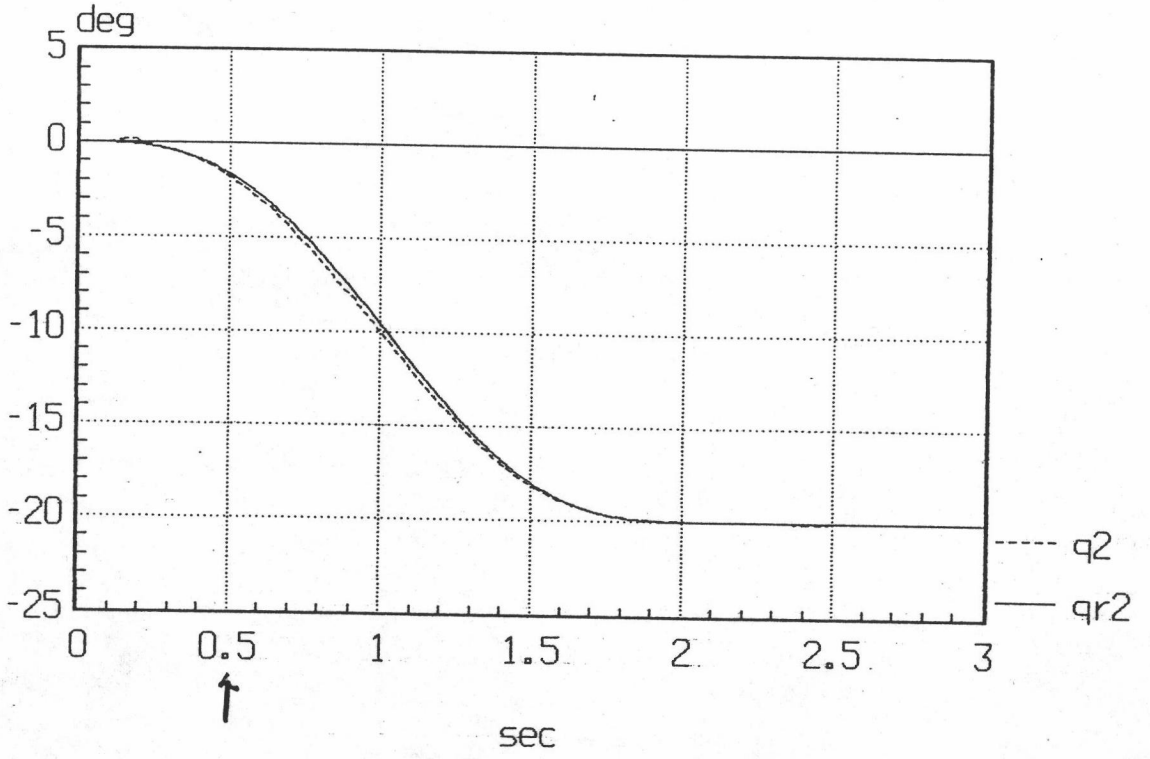
เมตริกซ์ $P_i(0) = 1e^6\mathbf{I}$, เวคเตอร์ $\alpha_i^T(0) = [0\ 0\ \ldots\ 0]$

และ เวคเตอร์ $\theta_i^T(0) = [1\ 1\ \ldots\ 1]$

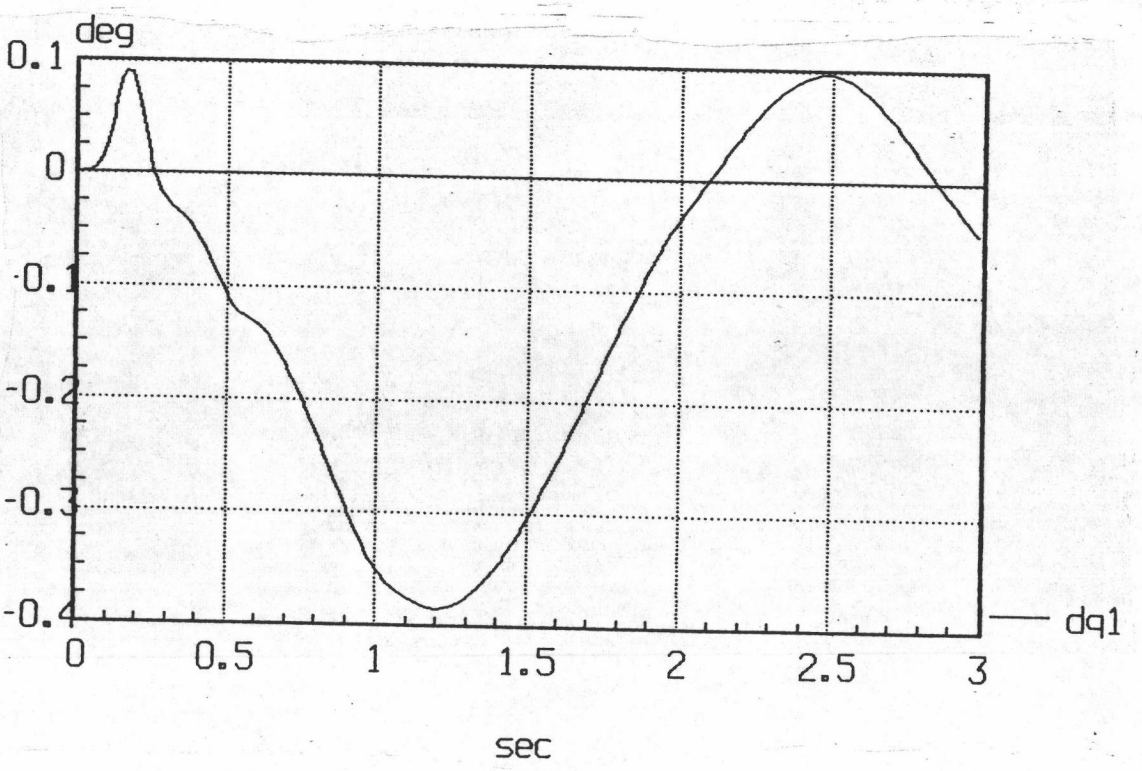
ผลการทดลองแสดงดังรูปต่อไปนี้



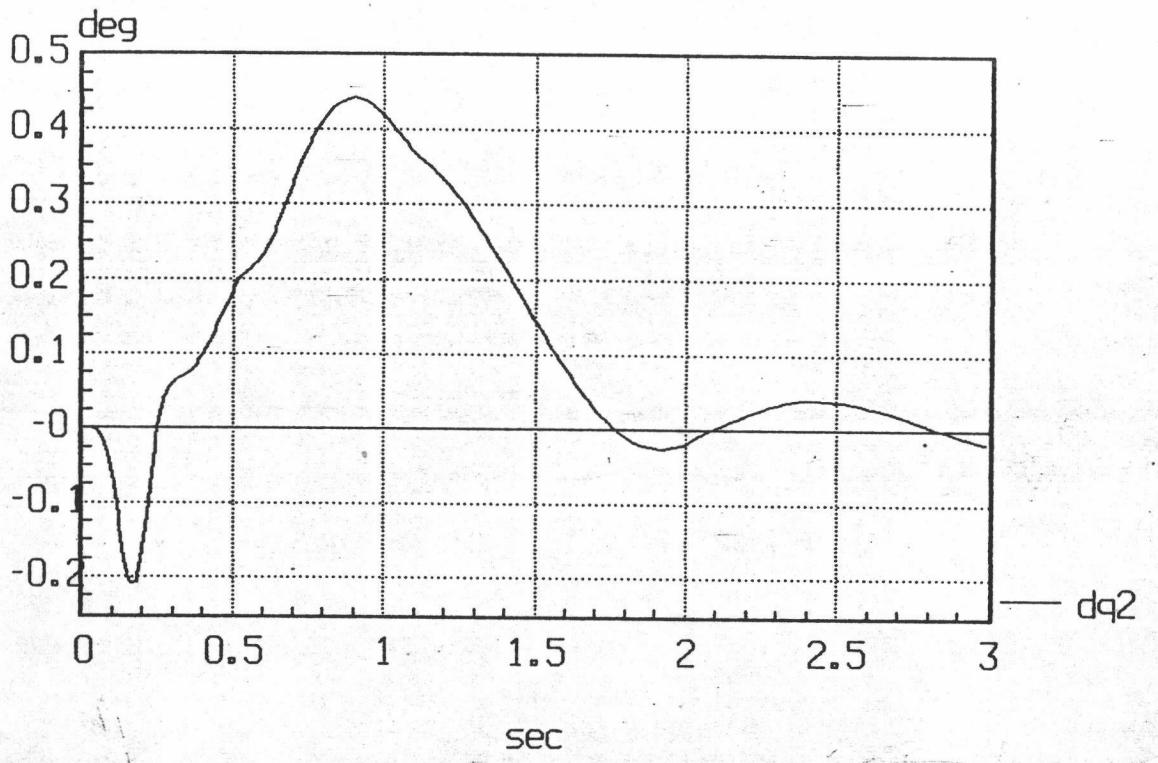
รูปที่ 5.1 การเคลื่อนที่ติดตามตำแหน่งอ้างอิงของข้อที่ 1



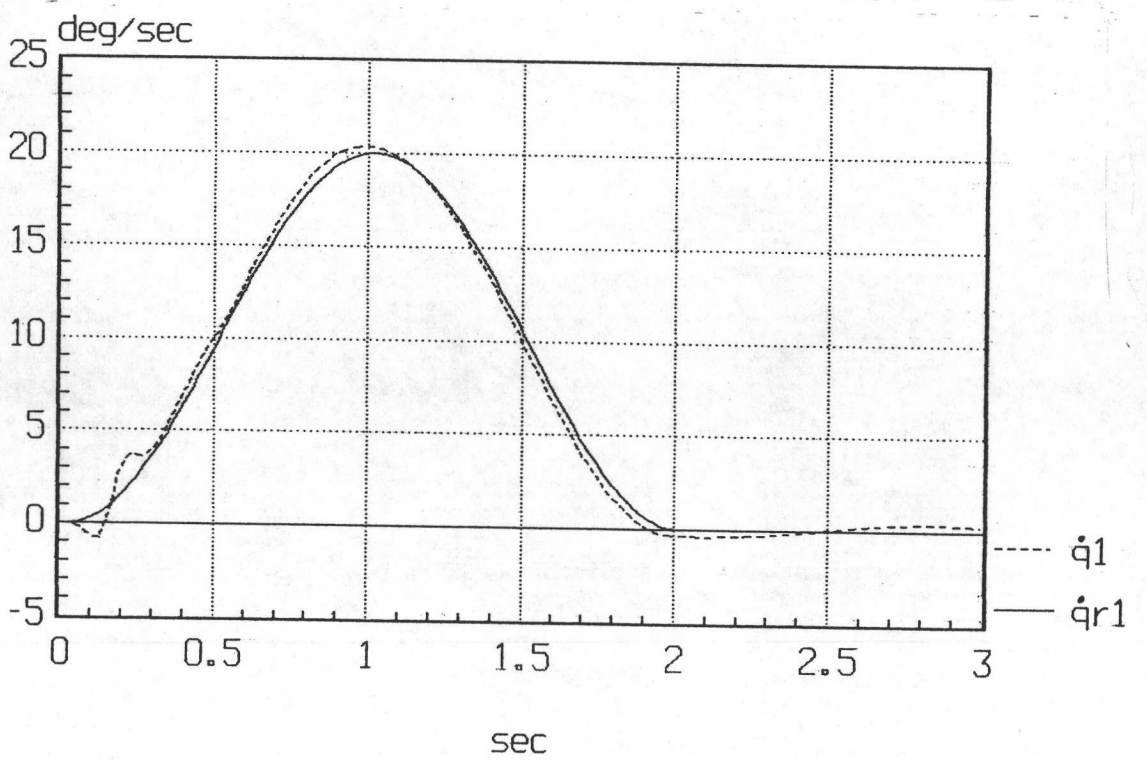
รูปที่ 5.2 การเคลื่อนที่ติดตามตำแหน่งอ้างอิงของข้อที่ 2



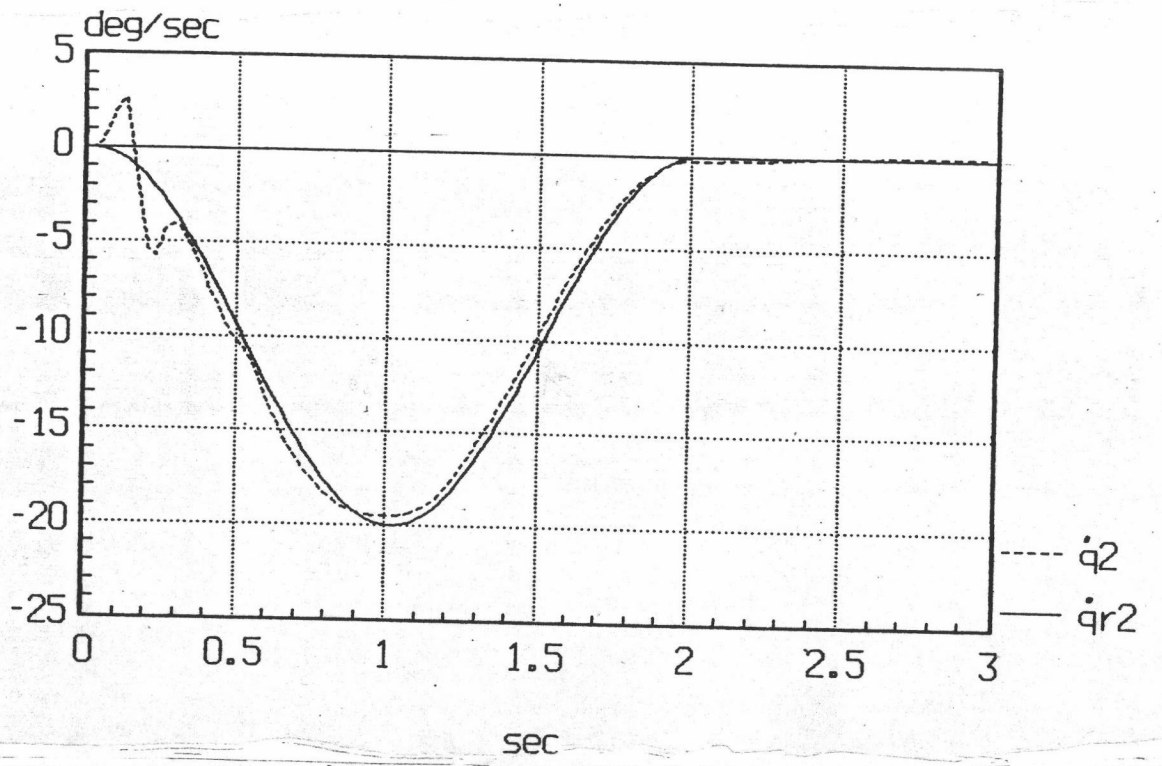
รูปที่ 5.3 ตำแหน่งคลาดเคลื่อนของข้อที่ 1



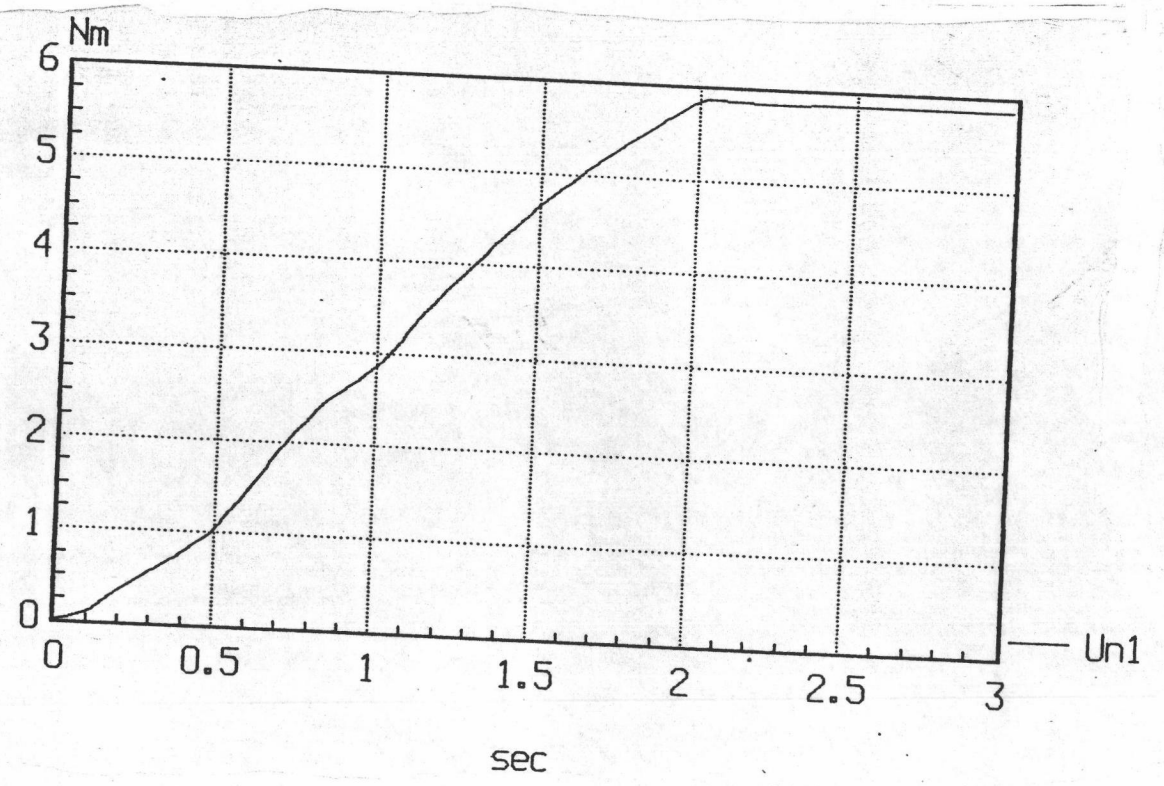
รูปที่ 5.4 ตำแหน่งคลาดเคลื่อนของข้อที่ 2



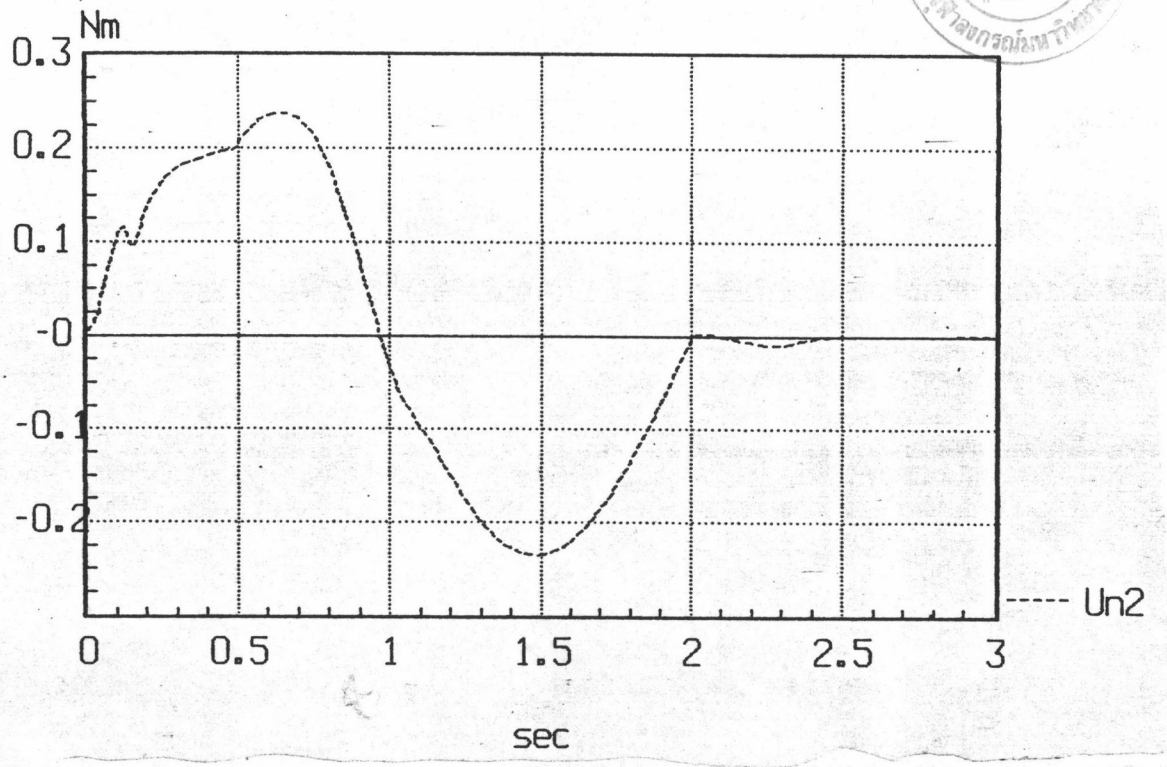
รูปที่ 5.5 การติดตามความเร็วอ้างอิงของข้อที่ 1



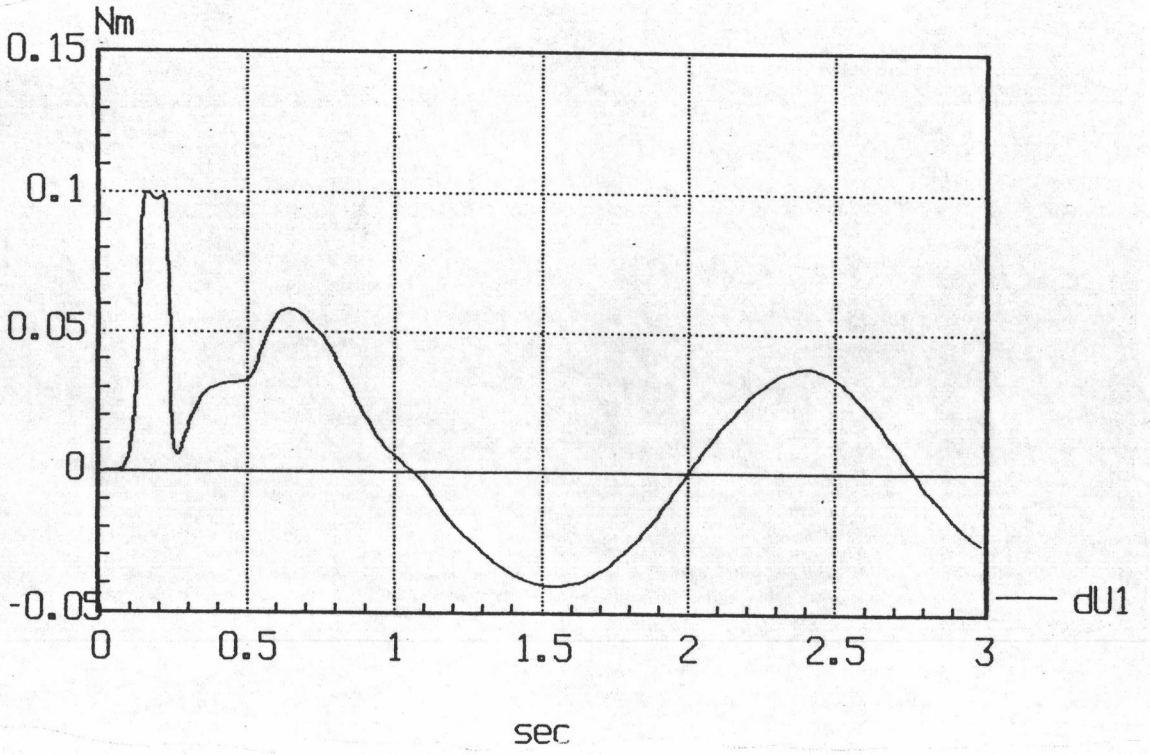
รูปที่ 5.6 การติดตามความเร็วอ้างอิงของข้อที่ 2



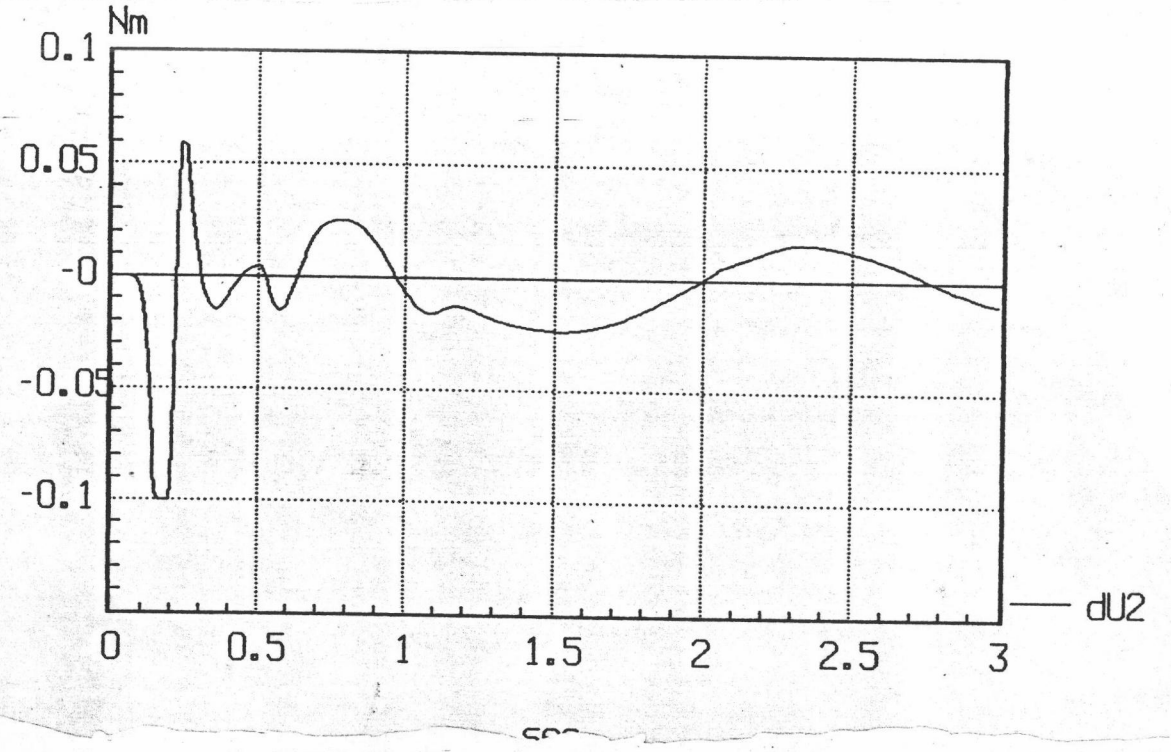
รูปที่ 5.7 แรงบิดที่ระบุของข้อที่ 1



รูปที่ 5.8 แรงบิดที่ระบุของข้อที่ 2



รูปที่ 5.9 แรงบิดเพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อนของข้อที่ 1



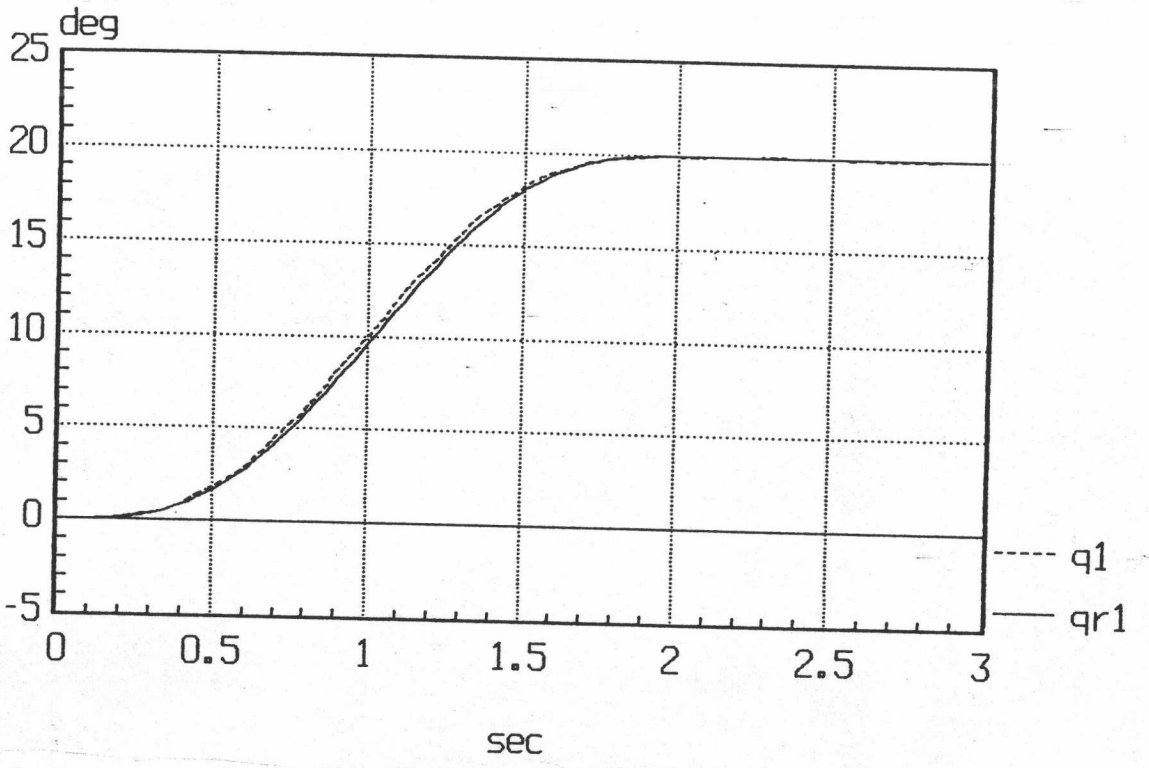
รูปที่ 5.10 แรงบิดเพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อนของข้อที่ 2

จากรูปที่ 5.3 และ 5.4 ซึ่งแสดงตำแหน่งคลาดเคลื่อน และรูปที่ 5.5 และ 5.6 ซึ่งแสดงการติดตามความเร็วอ้างอิง จะเห็นได้ว่าในช่วงเริ่มต้น มีความผิดพลาดของการเคลื่อนที่มากอย่างสังเกตเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจากตัวควบคุมชนิดปรับตัวเอง ต้องเดาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งมักไม่ทราบค่าที่แท้จริง แต่อย่างไรก็ตาม กลไกปรับตัวเองในการประมาณค่า สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ให้เข้าสู่ค่าที่แท้จริงอย่างรวดเร็ว ทำให้ความผิดพลาดเนื่องจากการเดาค่าเริ่มต้นลดลงอย่างรวดเร็ว ดังที่เห็นในรูป

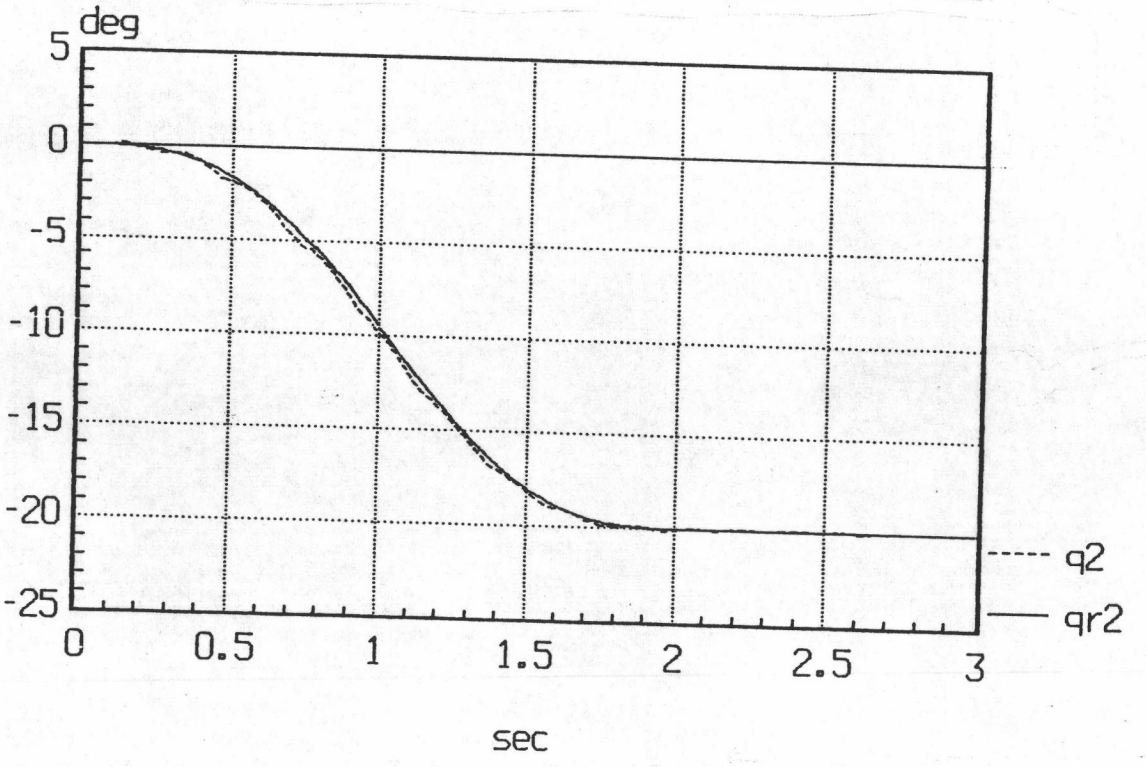
เนื่องจากระบบควบคุมชนิดปรับตัวเอง ต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์บางอย่างเองตามความเหมาะสม จึงทดลองเปลี่ยนค่าบางค่าดังนี้

กำหนดให้ โพลิโนเมียลน้ำหนักถ่วงในดรรชนีสมรรถนะของตัวควบคุมทุติยภูมิ คือ $R_1(z^{-1}) = 1 - 0.05z^{-1}$, $W_1(z^{-1}) = 0.005$ และ $W_2(z^{-1}) = 0.008$

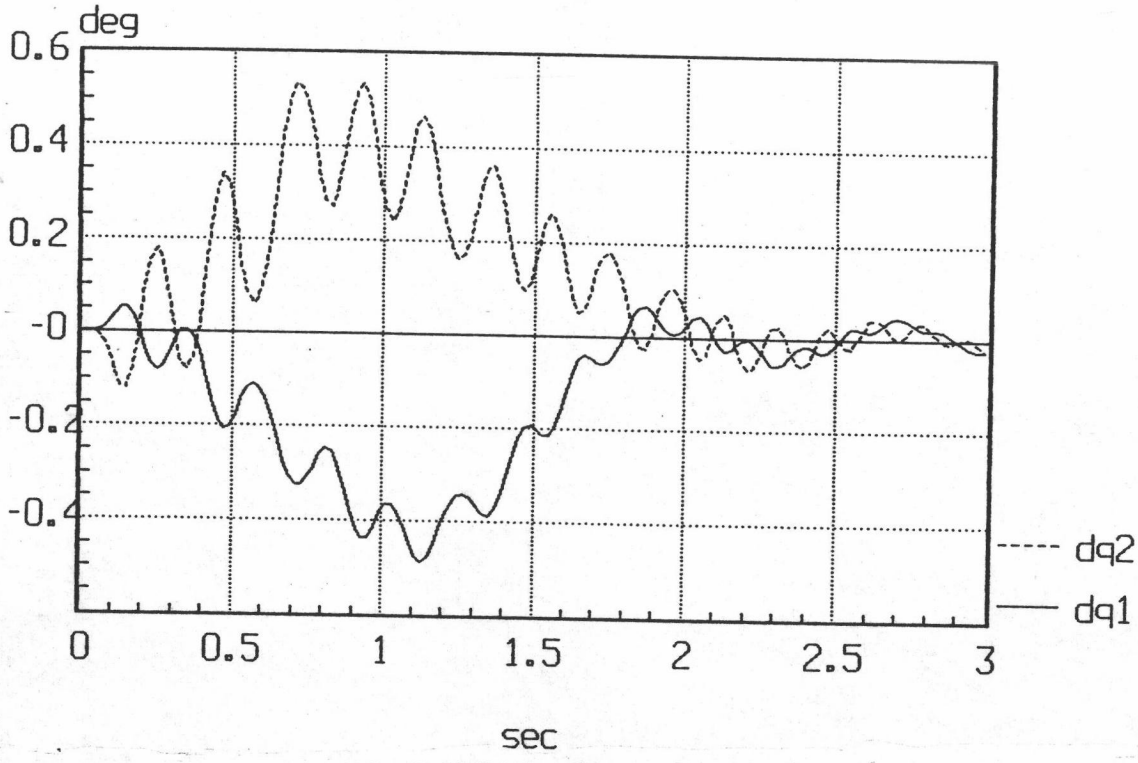
ผลการทดลองแสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 5.11 การเคลื่อนที่ติดตามตำแหน่งอ้างอิงของข้อที่ 1



รูปที่ 5.12 การเคลื่อนที่ติดตามตำแหน่งอ้างอิงของข้อที่ 2



รูปที่ 5.13 ตำแหน่งคลาดเคลื่อนของข้อที่ 1 และ 2

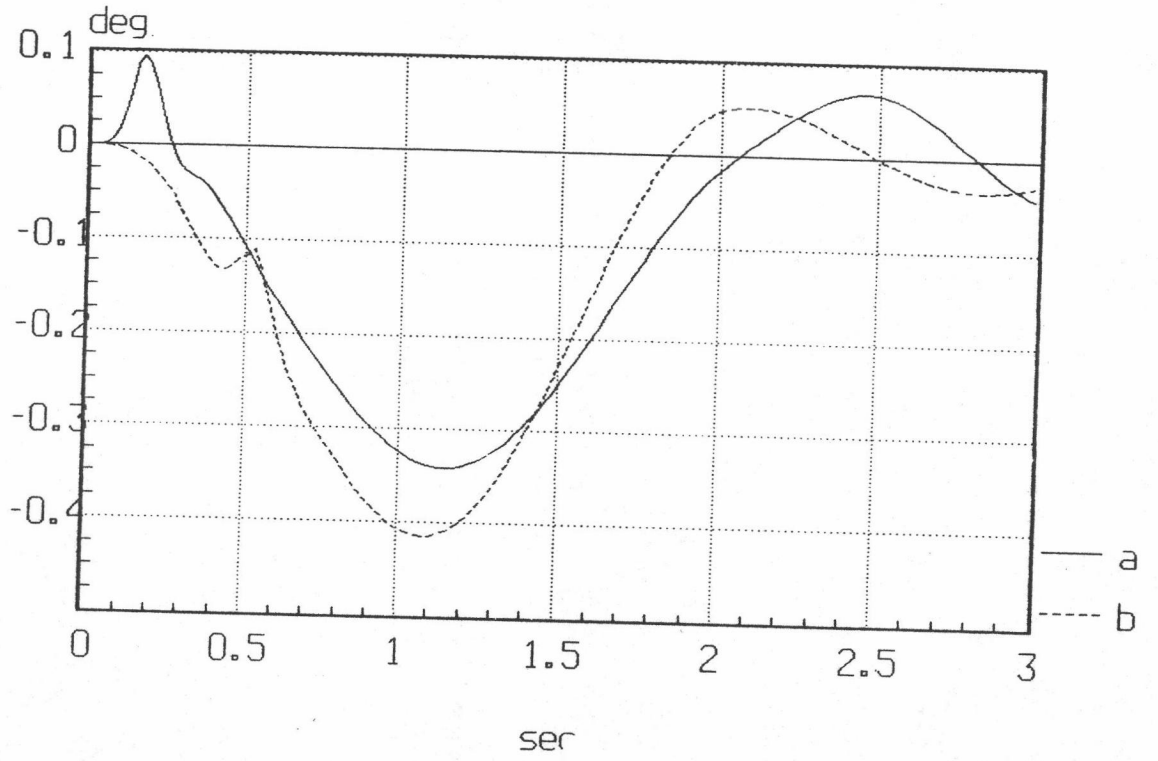
<u>การเปรียบเทียบสมรรถนะ</u>

ระบบควบคุมที่ออกแบบในงานวิจัย นำมาเปรียบสมรรถนะกับระบบควบคุมที่ออกแบบโดย Liu และ Lin กับระบบควบคุมที่ออกแบบโดย Goldenberg et al. ดังนี้

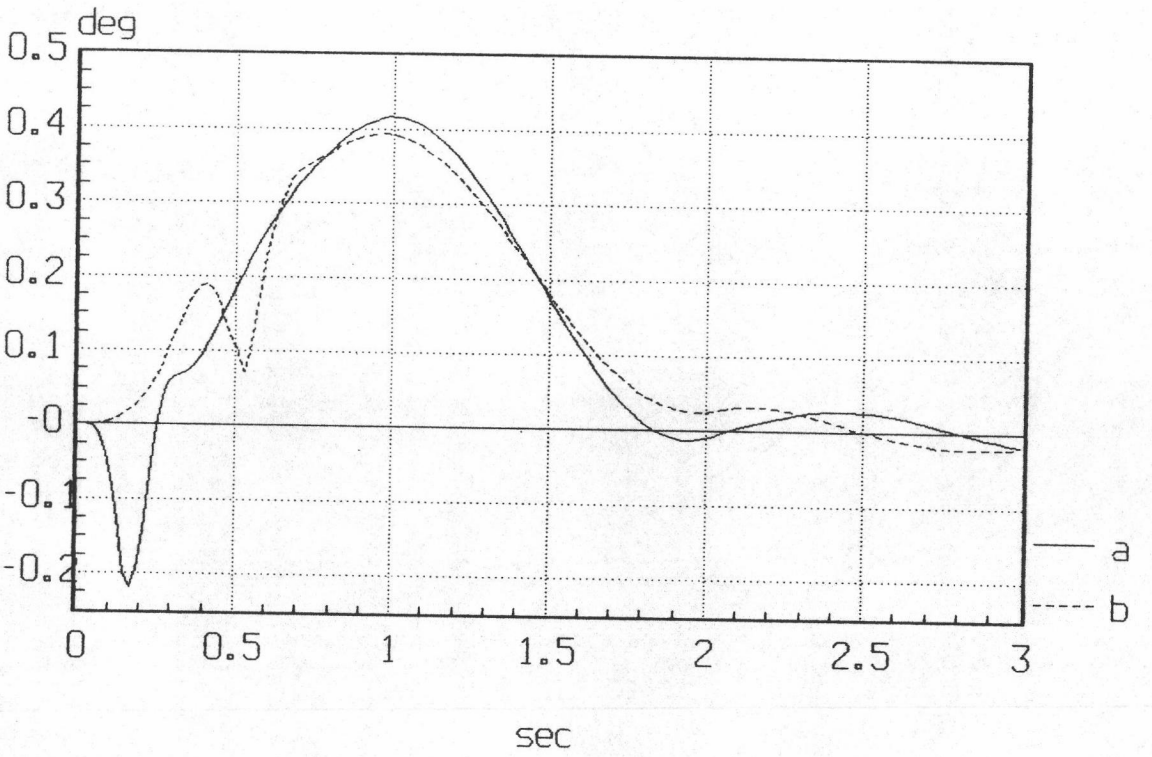
1. <u>การเปรียบเทียบสมรรถนะกับระบบควบคุมที่ออกแบบโดย Liu และ Lin</u>

ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะ พิจารณาทั้งในสภาวะไม่มีโหลด และโหลดเปลี่ยนแปลง การทดลองในสภาวะไม่มีโหลด มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของ ตัวควบคุมปฐมภูมิในงานวิจัย ซึ่งคำนวณแรงบิดจากการประมาณค่าพารามิเตอร์พลวัต โดยในการทดลองกำหนดให้ตัวควบคุมปฐมภูมิของ Liu และ Lin ทราบพารามิเตอร์พลวัตอย่างแท้จริง ผลการทดลองแสดงดังรูปต่อไปนี้ โดยที่กราฟ a แสดงถึง ผลจากระบบควบคุมที่ออกแบบในงานวิจัย และกราฟ b แสดงถึงผลจากระบบควบคุมที่ออกแบบโดย Liu และ Lin

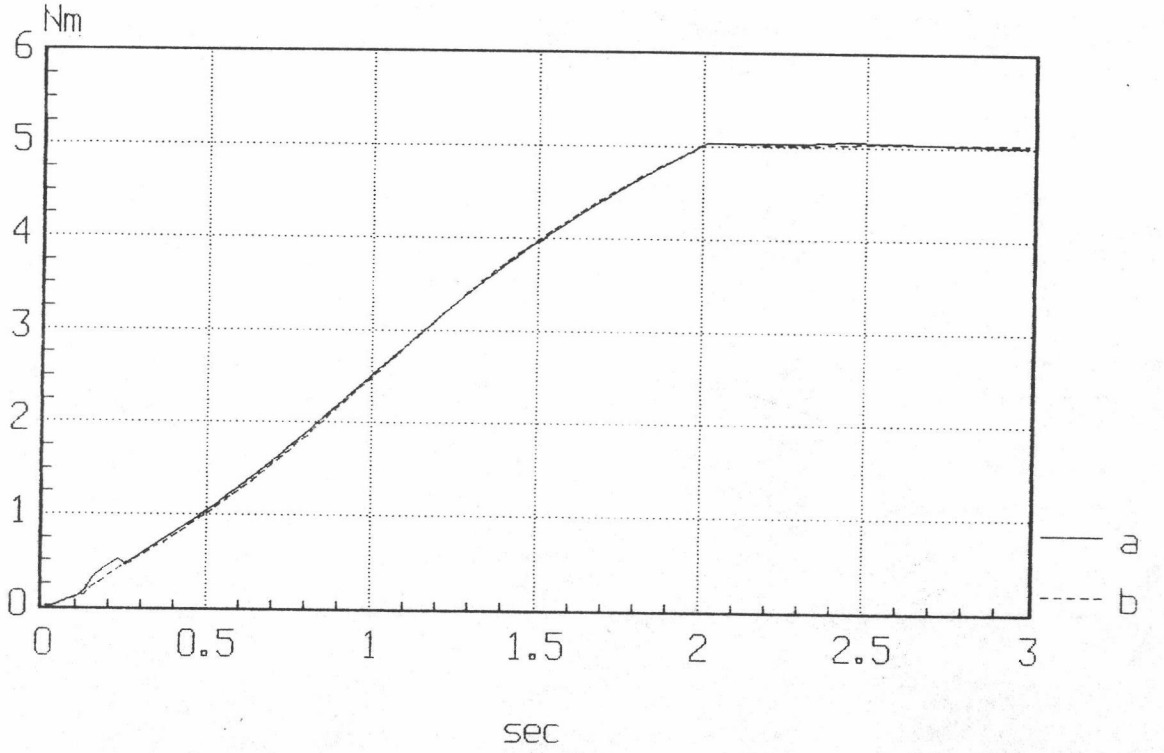
1.1 <u>ในสภาวะไม่มีโหลด</u>



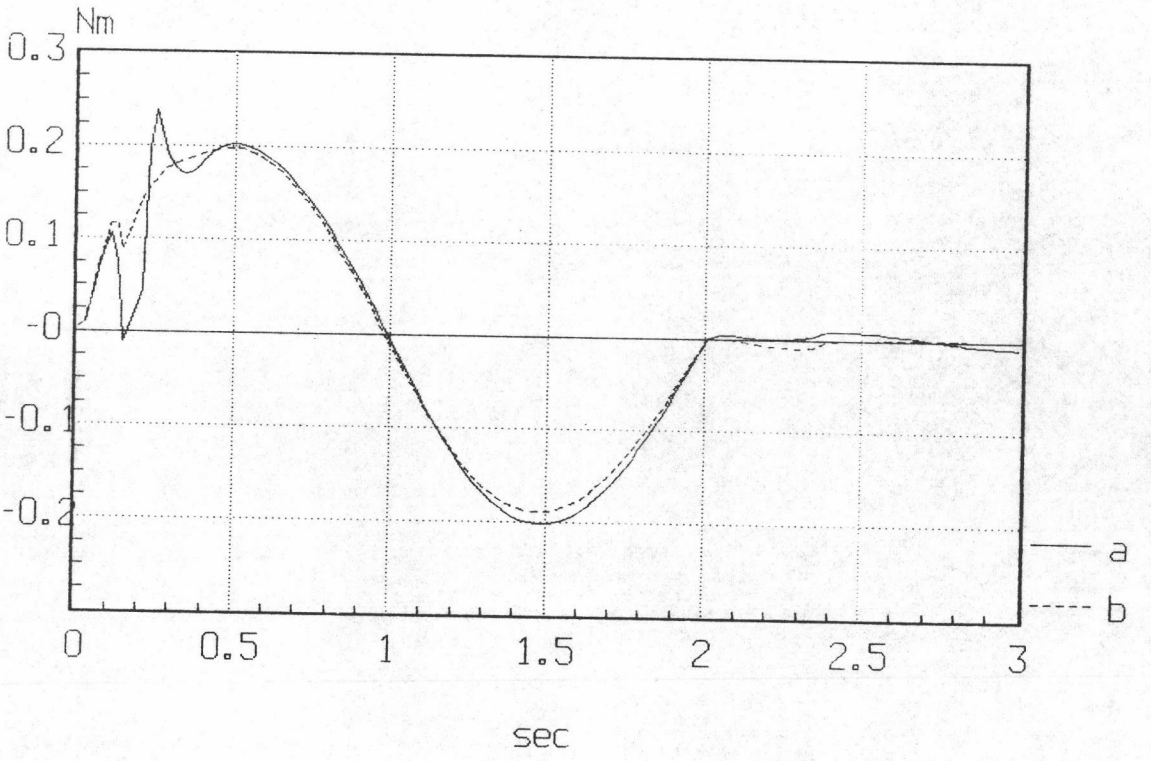
รูปที่ 5.14 ตำแหน่งคลาดเคลื่อนของข้อที่ 1



รูปที่ 5.15 ตำแหน่งคลาดเคลื่อนของข้อที่ 2

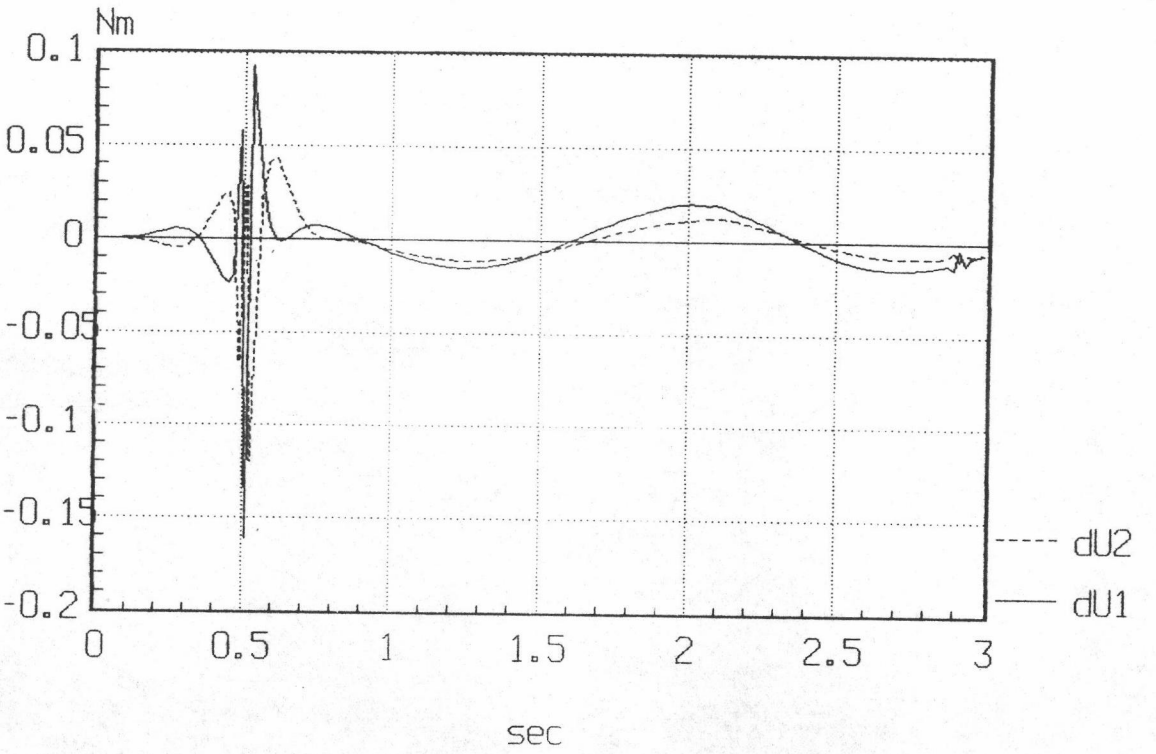


รูปที่ 5.16 แรงบิดที่ระบุของข้อที่ 1



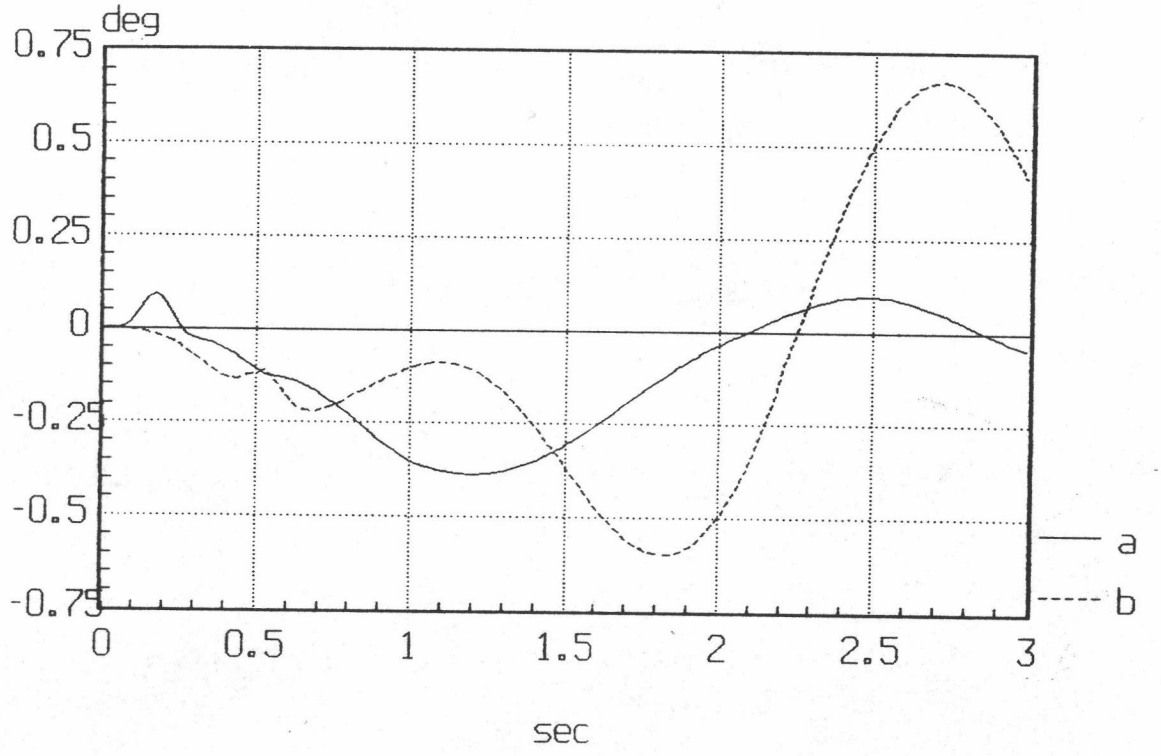
รูปที่ 5.17 แรงบิดที่ระบุของข้อที่ 2

จากผลการทดลองดังรูปที่ 5.14 ถึง 5.17 เห็นได้ว่า ตัวควบคุมปฐมภูมิของระบบควบคุมทั้งสองแบบ สามารถคำนวณแรงบิดที่ระบุได้ค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาตำแหน่งคลาดเคลื่อนจากระบบควบคุมของ Liu และ Lin จะเห็นว่าในช่วงแรก ตำแหน่งคลาดเคลื่อน (b) มีการเปลี่ยนแปลงกระทันหันดังเห็นเป็นรอยหยัก ทั้งนี้เนื่องจากผลของแรงบิดชดเชยจากตัวควบคุมทุติยภูมิ ตามรูปที่ 5.18 ซึ่งต้องเคาค่าเริ่มต้น ดังกล่าวมาแล้ว

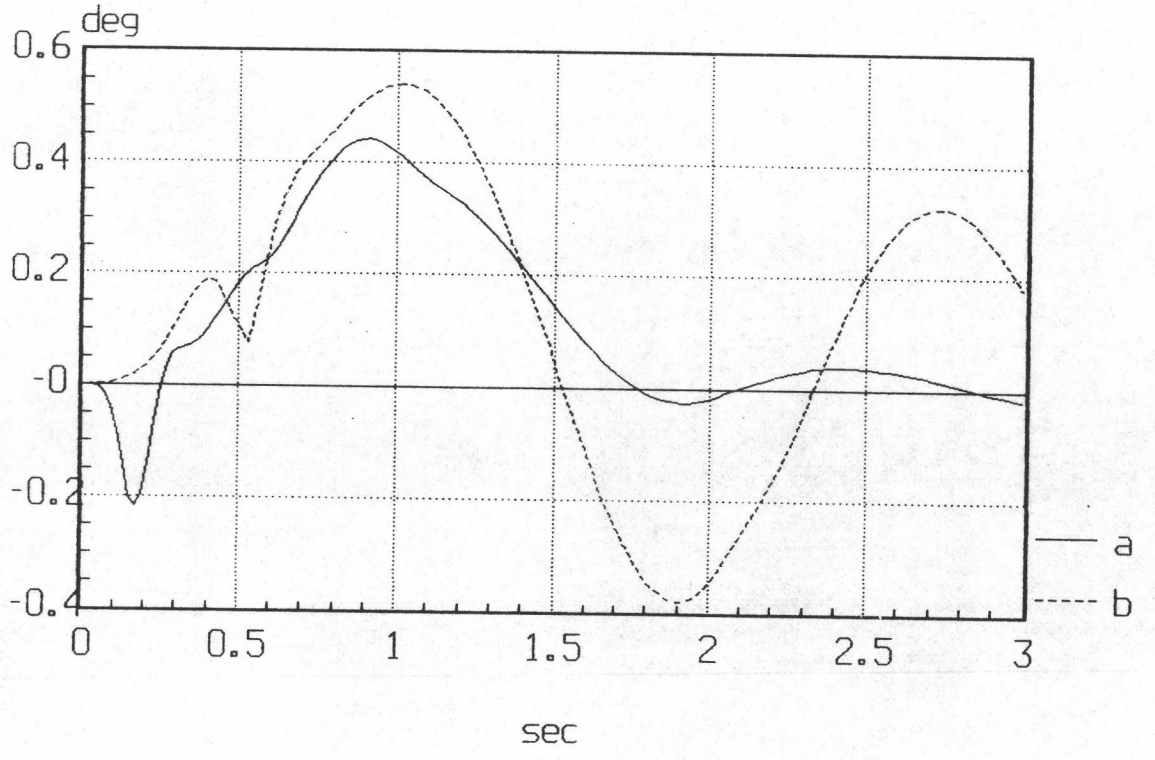


รูปที่ 5.18 แรงบิดชดเชยความคลาดเคลื่อนของข้อที่ 1 และ 2

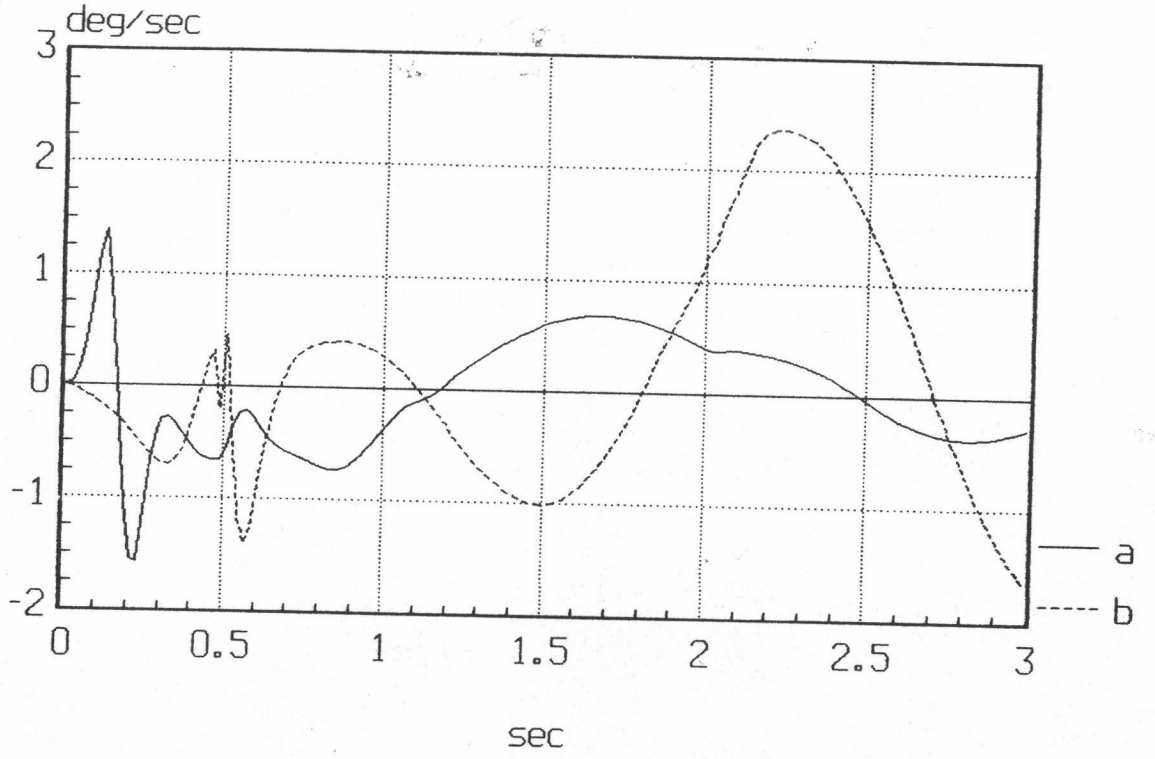
1.2 <u>ในสภาวะโหลดเปลี่ยนแปลง</u>



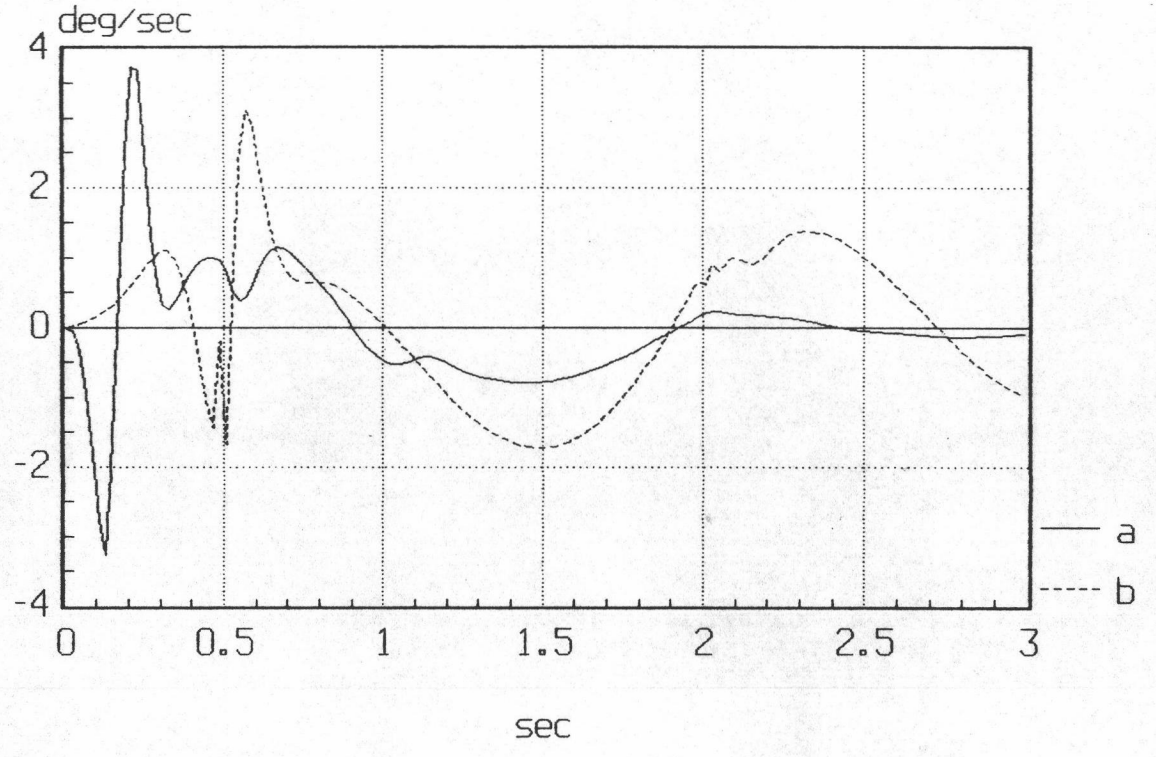
รูปที่ 5.19 ตำแหน่งคลาดเคลื่อนของข้อที่ 1



รูปที่ 5.20 ตำแหน่งคลาดเคลื่อนของข้อที่ 2



รูปที่ 5.21 ความเร็วคลาดเคลื่อนของข้อที่ 1



รูปที่ 5.22 ความเร็วคลาดเคลื่อนของข้อที่ 2

จากผลการทดลองดังรูป จะเห็นว่าตำแหน่ง และความเร็วคลาดเคลื่อน ของระบบควบคุมที่ออกแบบโดย Liu และ Lin มีค่าสูงกว่ามาก เนื่องจากตัวควบคุมปฐมภูมิตามวิธีนี้ไม่ทราบการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของแขนหุ่นยนต์อันเนื่องมาจากโหลด จึงยังคงคำนวณแรงบิดจากข้อมูลเดิมในขณะไม่มีโหลด แต่ในการทดลองกำหนดให้ มวลของลิงค์ที่ 2 เพิ่มอย่างกระทันหันอีก 0.5 กิโลกรัม หรือหนึ่งในสามของมวลลิงค์ที่ 2 ซึ่งเป็นโหลดที่ขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับขนาดของแขนหุ่นยนต์ ความคลาดเคลื่อนจึงสูงมาก

2. <u>การเปรียบเทียบสมรรถนะกับระบบควบคุมที่ออกแบบโดย Goldenberg et al.</u>

ระบบควบคุมที่ออกแบบในงานวิจัย ใช้ตัวควบคุมปฐมภูมิจากระบบควบคุมของ Goldenberg et al. ต่างกันที่ตัวควบคุมทุติยภูมิ ซึ่งในการทดลองกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

ตัวควบคุมปฐมภูมิ กำหนดให้

forgetting factor $\rho = 0.99$

การเดาค่าเริ่มต้นของวิธีประมาณค่า ตามสมการ (3.1.14) โดยกำหนด

เมตริกซ์ $\mathbf{P}(0) = 200\mathbf{I}$

เวคเตอร์ $\boldsymbol{\alpha}^T(0) = [0\ 0\ \ldots\ 0]^T$

เวคเตอร์ $\boldsymbol{\theta}_i^T = [1\ 1\ \ldots\ 1]$

ตัวควบคุมทุติยภูมิ กำหนดให้

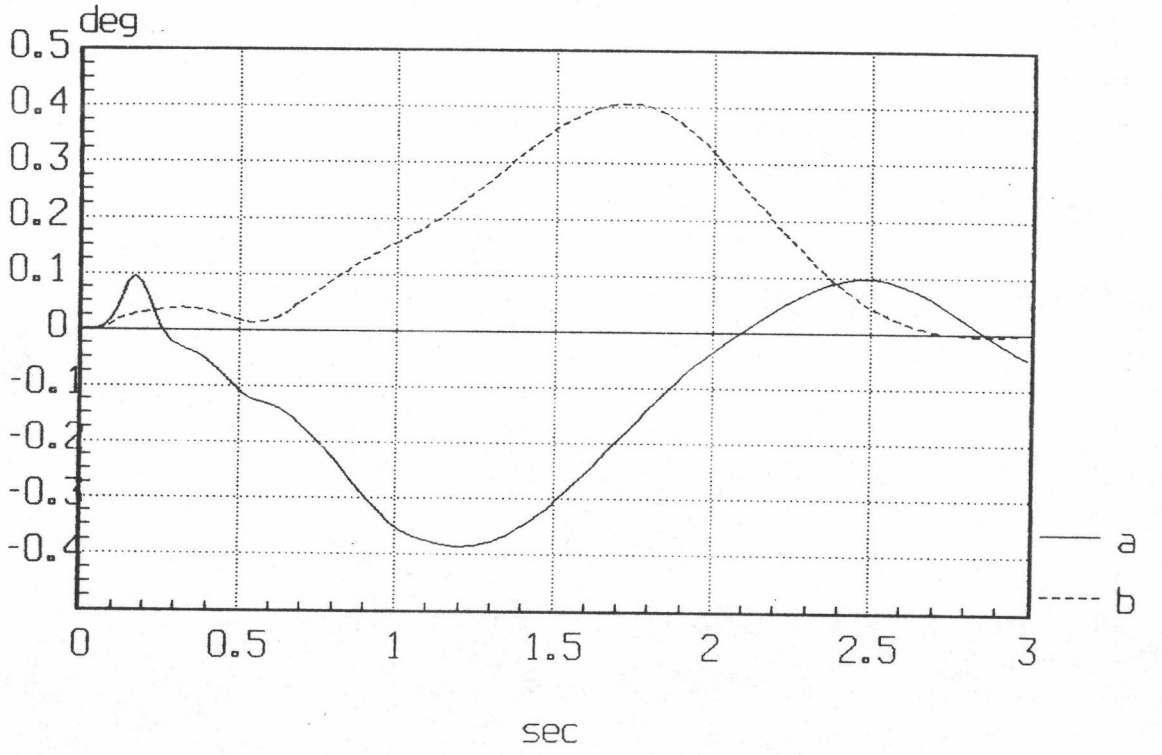
$\rho = 0.99$

เมตริกซ์น้ำหนักถ่วง $\mathbf{R} = 0.002\mathbf{I}_{2x2}$ และ $\mathbf{Q} = 0.088\mathbf{I}_{4x4}$

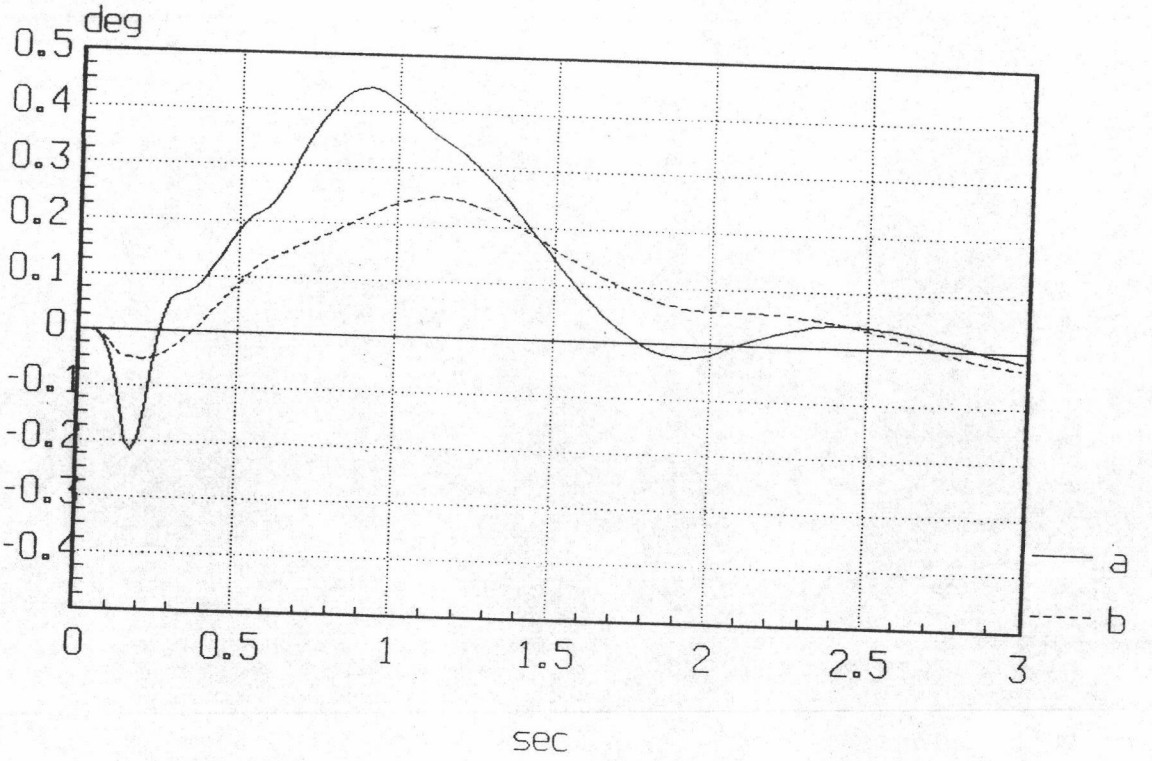
การเดาค่าเริ่มต้นของวิธีประมาณค่า ตามสมการ (3.2.14) กำหนดให้

เมตริกซ์ $\mathbf{P}(0) = 1e^{8}\mathbf{I}$

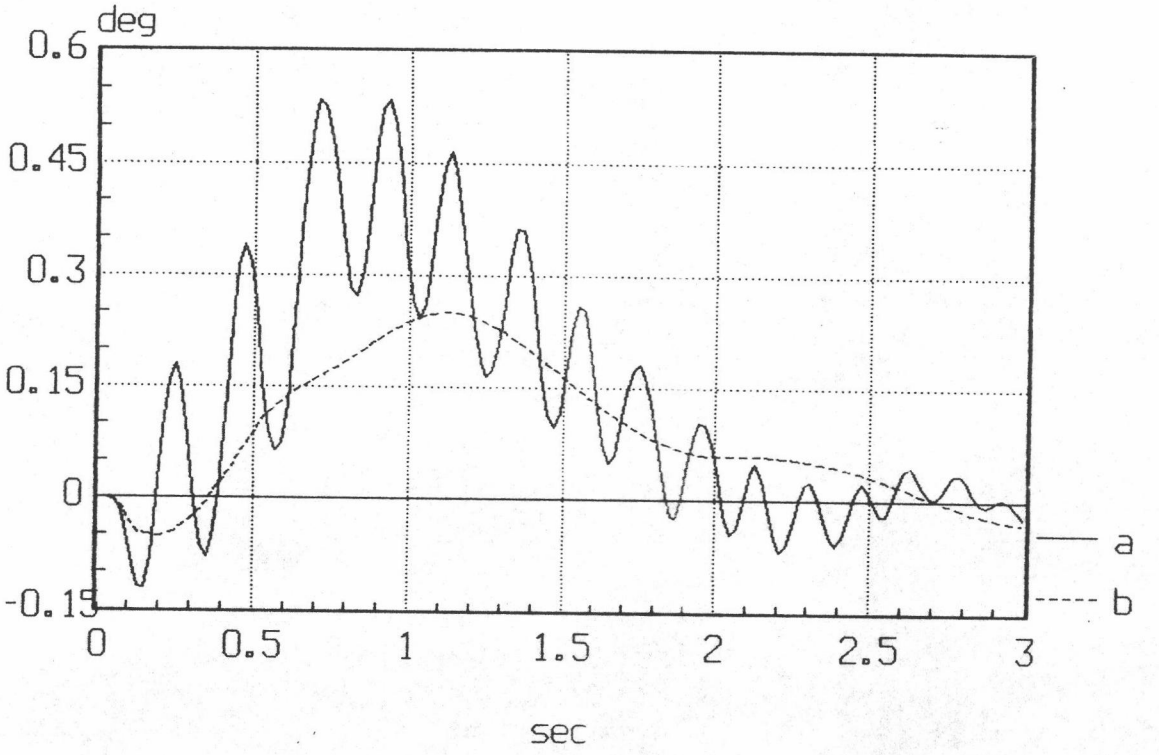
ผลการทดลองแสดงดังรูปต่อไปนี้ โดยที่กราฟ a แสดงถึง ผลจากระบบควบคุมที่ออกแบบในงานวิจัย และกราฟ b แสดงถึง ผลจากระบบควบคุมที่ออกแบบโดย Goldenberg et al.



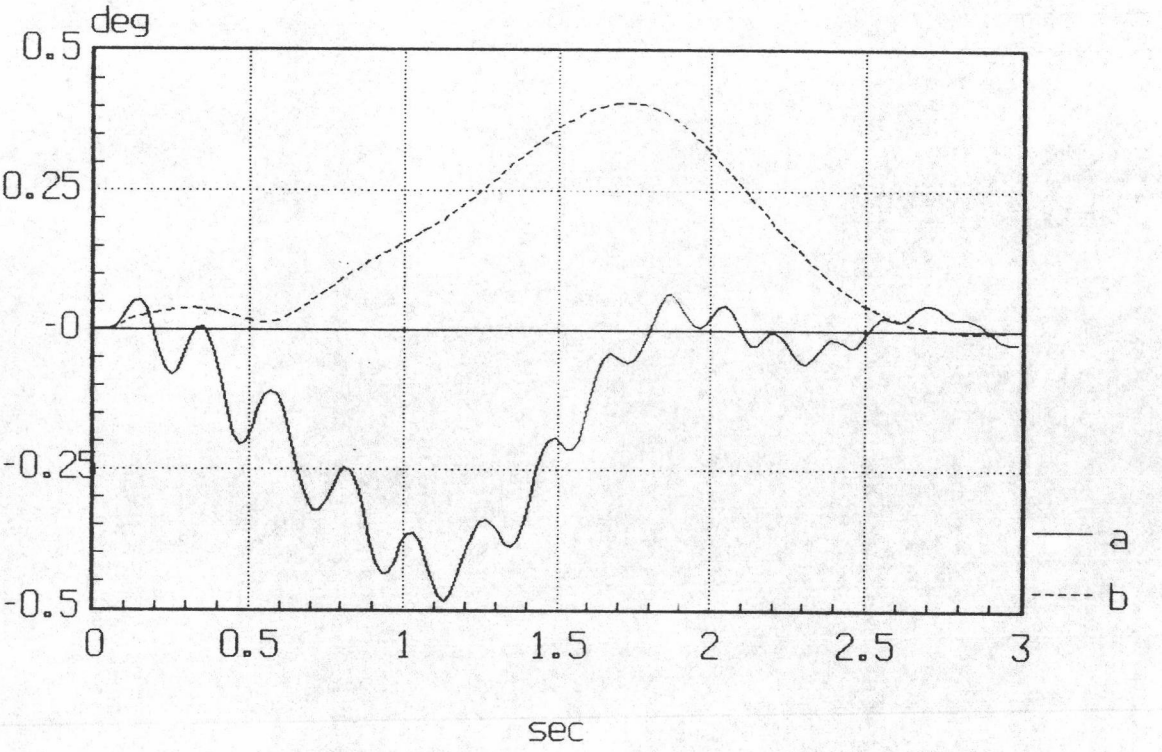
รูปที่ 5.23 **ตำแหน่งคลาดเคลื่อนของข้อที่** 1



รูปที่ 5.24 **ตำแหน่งคลาดเคลื่อนของข้อที่ 2**



รูปที่ 5.25 ตำแหน่งคลาดเคลื่อนของข้อที่ 1



รูปที่ 5.26 ตำแหน่งคลาดเคลื่อนของข้อที่ 2