

บทที่ 4

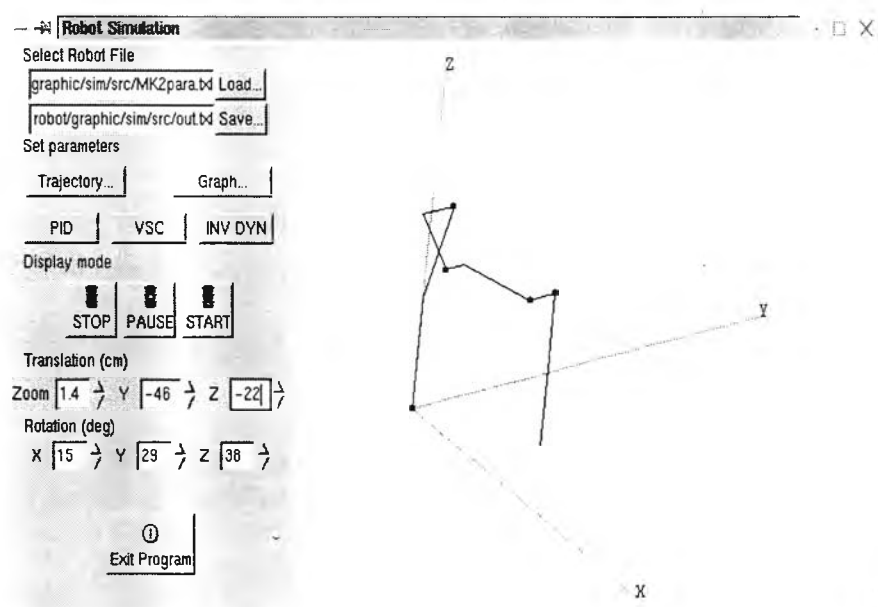
ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ทางภาพกราฟิก

ส่วนของ GUI มีขึ้นเพื่อช่วยให้ใช้คลังโปรแกรมได้ง่ายขึ้นกล่าวคือ ทำให้ผู้ใช้สามารถจำลองการเคลื่อนที่ และระบบควบคุมของแขนหุ่นยนต์ โดยไม่จำเป็นต้องเขียนโปรแกรม และยัง สามารถปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้โดยง่าย นอกจากนั้น ส่วนของ GUI ยังมีการแสดงภาพ การเคลื่อนที่ของแขนกลเป็นรูป 3 มิติ และรูปภาพของสัญญาณตำแหน่ง ความเร็ว และแรงบิด ของ แต่ละข้อต่อ ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้เห็นการทำงานของแขนกลได้ชัดเจนขึ้น

เนื้อหาภายในบทนี้ ประกอบด้วย ความสามารถของ GUI ของแขนกล และตัวอย่างการใช้งาน สำหรับการจำลองระบบด้วยวิธีควบคุมแบบต่าง ๆ ในส่วนของรายละเอียดขั้นตอนการสร้างอยู่ในภาคผนวก ข

4.1 ความสามารถของส่วน GUI ของแขนกล

GUI ของแขนกลที่สร้างขึ้นมีลักษณะหน้าต่างหลักเป็นดังรูปที่ 4.1 ซึ่งบนหน้าต่างหลักนี้ ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการแสดงรูปแขนกลในลักษณะภาพ 3 มิติ และส่วนที่สองเป็น แผงของปุ่มซึ่งมีหน้าที่แตกต่างกัน เช่น ปุ่มสำหรับเรียกหน้าต่างค่าได้ตอบในการตั้งค่าพารามิเตอร์ ตัวควบคุม แนวทางการเคลื่อนที่หรือ ปุ่มสำหรับหมุน หรือเลื่อนที่ หรือขยายภาพของแขนกล



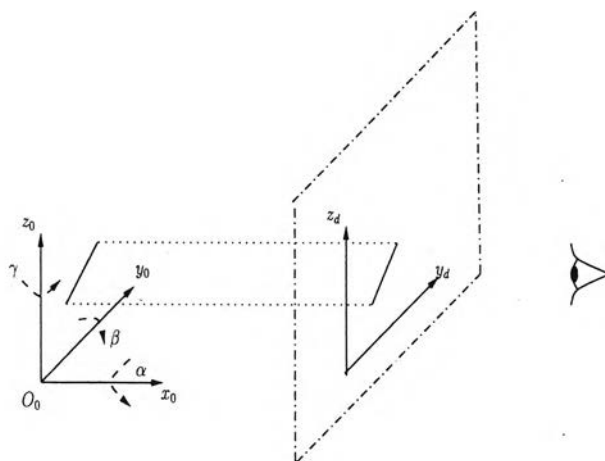
รูปที่ 4.1: หน้าต่างหลักของ GUI ของแขนกล

4.1.1 การแสดงรูปแขนหุ่นยนต์เป็นภาพ 3 มิติ

การแสดงรูปแขนหุ่นยนต์เป็นภาพ 3 มิตินั้น เริ่มจากการกำหนดให้ตำแหน่งของข้อต่อแขนกล (จุด O_i) แทนด้วยจุดวงกลม ส่วนแขนกลแต่ละท่อนั้นประกอบจาก เส้นตรง 2 เส้นซึ่งลากเชื่อมระหว่างจุด O_{i-1} กับ O_i และระหว่างจุด O_i กับ O_{i+1} ตำแหน่งของจุดต่าง ๆ เหล่านี้เพิ่มเติมบอกเทียบกับพิกัดฐานของแขนกล ซึ่งเราจะทำการแปลงพิกัดของจุดเหล่านั้นโดยใช้เมตริกซ์การแปลง

$$A_{RPY} = A_z(\gamma)A_y(\beta)A_x(\alpha) = \begin{bmatrix} c_\gamma c_\beta & c_\gamma s_\beta s_\alpha - s_\gamma c_\beta & c_\gamma s_\beta c_\alpha + s_\gamma s_\beta & x_s \\ s_\gamma c_\beta & s_\gamma s_\beta s_\alpha + c_\gamma c_\beta & s_\gamma s_\beta c_\alpha - c_\gamma s_\beta & y_s \\ -s_\beta & c_\beta s_\alpha & c_\beta c_\alpha & z_s \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

โดยเมตริกซ์การแปลงนี้ ทำหน้าที่หมุนรอบแกน x_0 , y_0 และ z_0 เป็นมุม α , β และ γ ตามลำดับและทำการเลื่อนที่จุดเป็นระยะทาง x_s , y_s และ z_s หลังจากนั้นทำการฉายภาพแขนกล ในระนาบ y_d และ z_d ซึ่งเป็นตัวแทนของหน้าจอคอมพิวเตอร์ (ดังแสดงในรูปที่ 4.2) โดยใช้เฉพาะพิกัดตำแหน่งของแกน y และ z ที่ผ่านการคูณกับเมตริกซ์ A_{RPY} แล้ว และเพื่อให้การแสดงผลครบถ้วนมากขึ้น จึงกำหนดให้ผู้ใช้สามารถย่อหรือขยายขนาดภาพได้



รูปที่ 4.2: การแสดงภาพ 3 มิติของแขนกล

นอกจากนั้น ในขณะที่โปรแกรมแสดงภาพเคลื่อนไหวของแขนกล ผู้ใช้สามารถหยุดการเคลื่อนไหวชั่วคราว เพื่อดูรายละเอียดของการเคลื่อนที่ ก่อนที่จะให้โปรแกรมทำการแสดงภาพเคลื่อนไหวต่อไปจนจบ

4.1.2 หน้าที่ของปุ่มต่าง ๆ บนแผงของ GUI

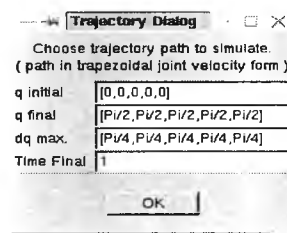
- ปุ่ม Load และ ปุ่ม Save

ปุ่ม Load ใช้ในการเรียกหน้าต่างคำโต้ตอบ สำหรับเลือกไฟล์พารามิเตอร์ของแขนกล ส่วนปุ่ม

Save ใช้เรียกหน้าต่างค่าโต้ตอบ สำหรับเลือกไฟล์เพื่อเก็บข้อมูล เช่น ตำแหน่ง ความเร็ว แรงบิด ในการเคลื่อนที่ของแขนกล นอกจากนี้ ถ้าผู้ใช้รู้ตำแหน่งไคเร็กทอริและชื่อไฟล์ที่ต้องการ ก็สามารถพิมพ์เองได้โดยตรง ในจตุรับเข้า (entry) ที่กำหนดไว้

- ปุ่ม Trajectory

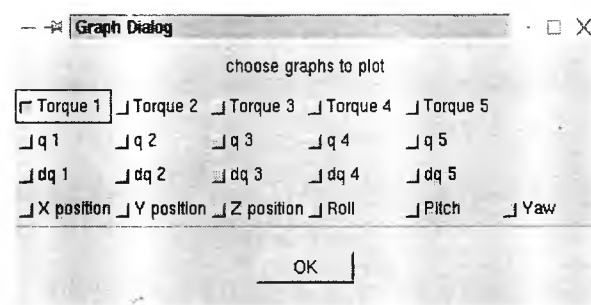
ใช้เรียกหน้าต่างค่าโต้ตอบ เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ของแนวทางการเคลื่อนที่ (รูปที่ 4.3) ได้แก่ q_i เป็นตำแหน่งเริ่มต้น, q_f เป็นตำแหน่งสุดท้าย, dq_{max} เป็นความเร็วสูงสุดของข้อต่อ, t_f เป็นระยะเวลาทั้งหมดในการเคลื่อนที่ แนวทางการเคลื่อนที่ที่ได้มีลักษณะกราฟความเร็วเชิงมุมเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู



รูปที่ 4.3: หน้าต่างค่าโต้ตอบสำหรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของแนวทางการเคลื่อนที่

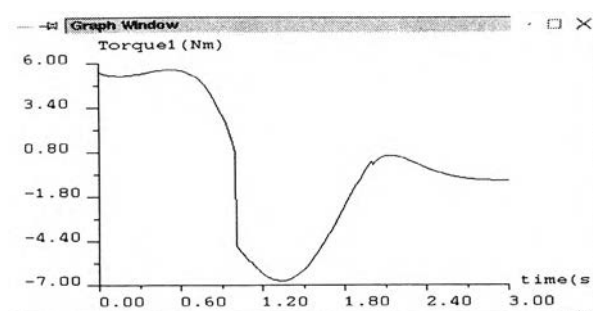
- ปุ่ม Graph

ใช้เรียกหน้าต่างค่าโต้ตอบ เพื่อเลือกรูปกราฟที่จะแสดงจากไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนที่ (รูปที่ 4.4) รูปกราฟที่สามารถแสดงได้ ได้แก่ ตำแหน่ง ความเร็ว แรงบิด ของแต่ละข้อต่อ, ตำแหน่งในพิกัด XYZ ของแกนพิกัดฐานของปลายแขนกล และ มุม Roll Pitch Yaw ของแขนกล ซึ่งค่ามุมเหล่านี้ขึ้นกับลักษณะโครงสร้างของแขนกล จึงอาจต้องมีการแก้ไขให้ตรงกับชนิดของแขนกล ตัวอย่างของรูปกราฟแรงบิดแสดงในรูปที่ 4.5

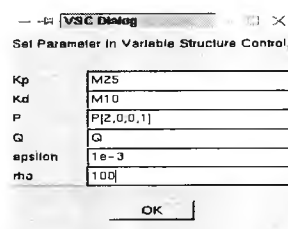


รูปที่ 4.4: หน้าต่างค่าโต้ตอบสำหรับเลือกรูปกราฟที่จะแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

- ปุ่ม PID, VSC และ INV DYN ปุ่มทั้งสามใช้เรียกหน้าต่างค่าโต้ตอบเพื่อเลือกวิธีการควบคุม ได้แก่ PID, VSC และตัวควบคุมแบบพลวัตผกผัน และใช้ปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ได้แก่ ค่า K_P , K_I , K_D ของ PID ค่า K_P , K_D , P , Q , ρ และ ϵ ของตัวควบคุม VSC (รูปที่ 4.6), และค่า K_P , K_D ของตัวควบคุมพลวัตผกผัน



รูปที่ 4.5: ตัวอย่างรูปภาพแรงบิดที่ได้



รูปที่ 4.6: หน้าต่างค่าได้ตอบสำหรับการตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม VSC

- ปุ่ม STOP PAUSE และ START
ปุ่มทั้งสามใช้เมื่อตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ครบถ้วนแล้ว และจะทำการเริ่มจำลองระบบโดยใช้ปุ่ม START ซึ่งในระหว่างนั้น ถ้าต้องการหยุดการทำงานชั่วคราวให้กดปุ่ม PAUSE หรือ ถ้าต้องการให้หยุดการทำงานเลยก่อนเสร็จสิ้นการจำลองระบบให้ใช้ปุ่ม STOP
- ปุ่ม Zoom
ใช้ในการขยายหรือย่อภาพของแกนกล
- ปุ่ม Translation Y และ Z
ใช้ในการเลื่อนตำแหน่งรูปแกนกล ตามแกน y_d และ z_d
- ปุ่ม Rotation X, Y และ Z
ใช้ในการหมุนรูปแกนกล รอบแกน x_0 , y_0 และ z_0 เป็นมุม α , β และ γ ตามลำดับ
- ปุ่ม Exit Program
ใช้ออกจากโปรแกรม

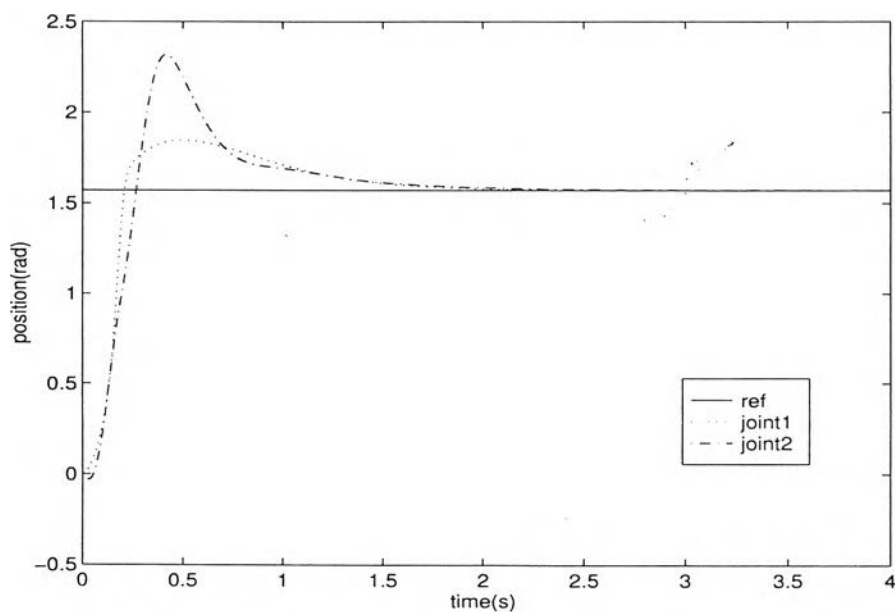
4.2 ตัวอย่างการใช้ GUI ในการจำลองระบบ

แกนกลที่ใช้เป็นตัวอย่างในส่วนนี้ มีค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.1

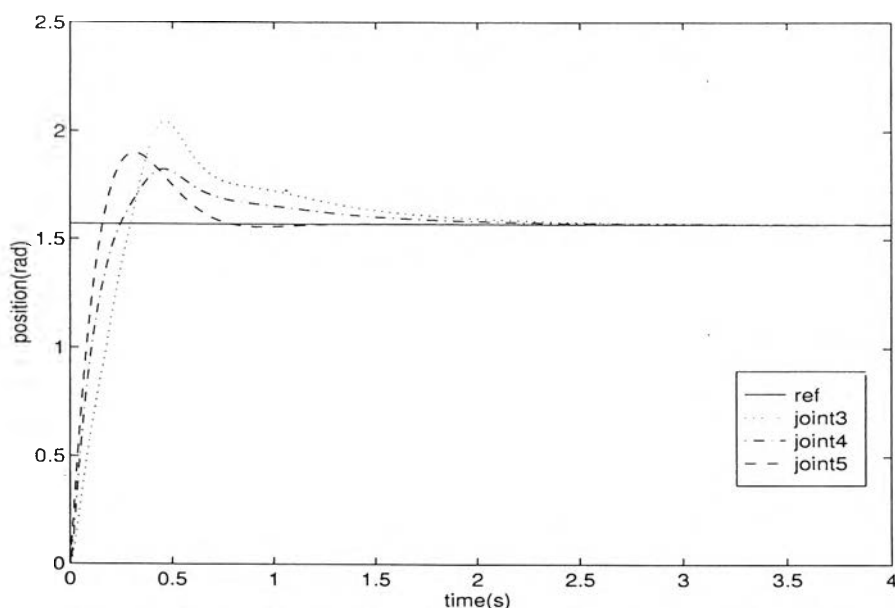
4.2.1 การควบคุมแบบ PID

การควบคุมในที่นี้ต้องการให้แกนกลทุกข้อต่อเคลื่อนที่จากตำแหน่ง 0 rad ไปยัง $\pi/2$ rad โดยใช้ค่า

แรงบิดที่คำนวณจากสมการ 2.28 โดยใช้อัตราขยาย K_p สำหรับแต่ละข้อต่อเป็น 300, 500, 500, 500, 200 ส่วนอัตราขยาย K_i สำหรับแต่ละข้อต่อเป็น 500, 800, 800, 800, 1000 และอัตราขยาย K_d สำหรับแต่ละข้อต่อเป็น 50, 50, 50, 50, 20 ผลการควบคุมแสดงในรูปที่ 4.7–4.8



รูปที่ 4.7: ตำแหน่งของข้อต่อที่ 1 และ 2



รูปที่ 4.8: ตำแหน่งของข้อต่อที่ 3,4 และ 5

จากผลการจำลองระบบพบว่า ตัวควบคุม PID สามารถควบคุมให้แขนกลหมุนไปยังตำแหน่งสุดท้ายที่ต้องการได้ แม้ว่าผลที่ได้จะมีขนาดของส่วนพุ่งเกิน (overshoot) ค่อนข้างสูง ซึ่ง

ถ้าต้องการลดขนาดของส่วนพุงเกินนี้ อาจทำได้โดยลดอัตราขยายของ K_i แต่ก็จะทำให้ช่วงเวลาเข้าที่ยาวนานขึ้น และจากการที่ได้ลองปรับอัตราขยายหลาย ๆ ค่าพบว่า การเพิ่มอัตราขยายของ K_p ในข้อต่อที่ 2, 3 และ 4 สามารถช่วยลดขนาดของส่วนพุงเกินได้ ซึ่งตรงข้ามกับระบบเชิงเส้นทั่วไป นอกจากนี้ การเลือกใช้อัตราขยายที่ไม่เหมาะสม เช่น เลือก K_p หรือ K_i ที่มีค่าสูง อาจทำให้ระบบขาดเสถียรภาพได้

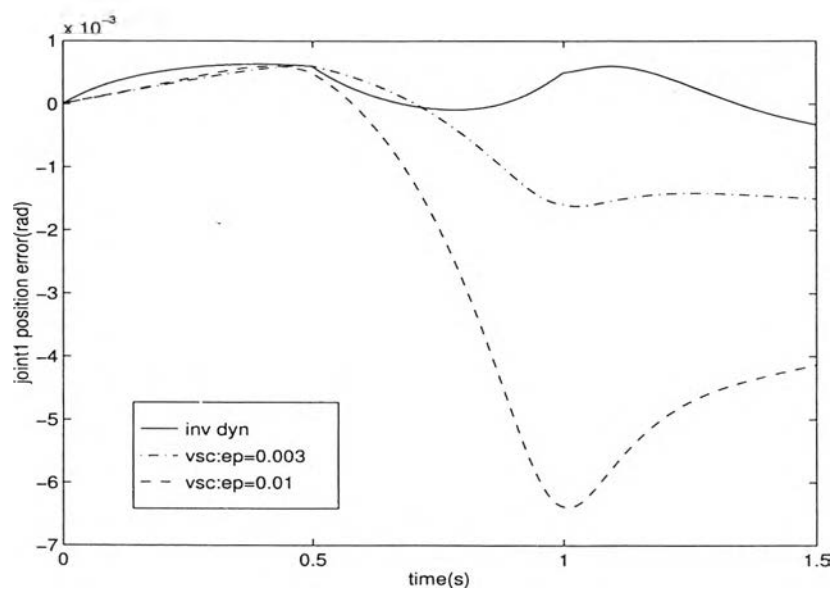
ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การออกแบบตัวควบคุม PID นั้นสามารถอาศัยหลักการของระบบเชิงเส้นได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ผู้ใช้ต้องเสียเวลาในการลองผิดถูก เพื่อปรับจนให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งค่าเหล่านั้นขึ้นกับแนวทางในการเคลื่อนที่ด้วย เนื่องจากระบบแขนกลนอกจากจะไม่เป็นเชิงเส้นแล้ว ค่าพารามิเตอร์ยังขึ้นกับตำแหน่ง และ ความเร็ว ของข้อต่อ ในขณะนั้น

4.2.2 การควบคุมแบบพลวัตผกผัน และการควบคุมแบบโครงสร้างแปรผันได้

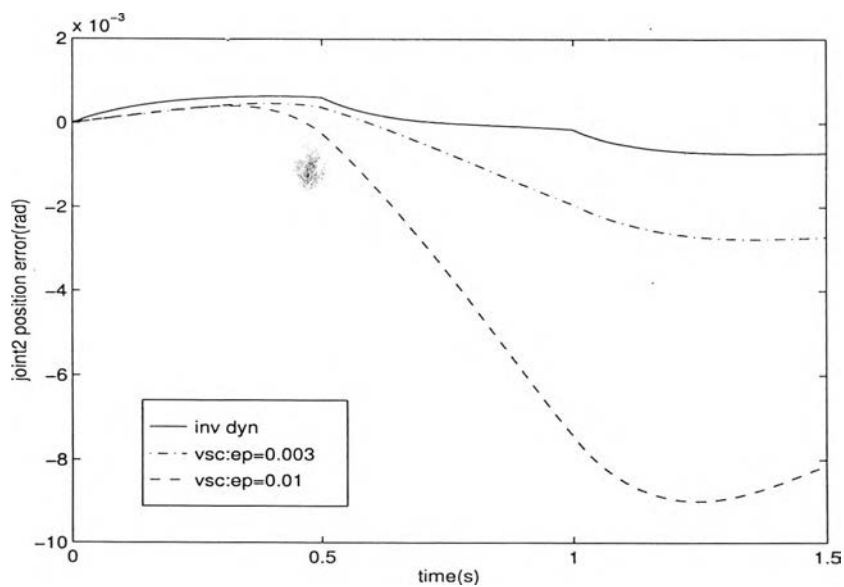
การควบคุมทั้งสอง ได้กำหนดให้แนวทางการเคลื่อนที่ของทุกข้อต่อ ให้เริ่มจากตำแหน่ง 0 rad ไปยัง $\pi/2$ rad ภายในเวลา 1.5 วินาที และความเร็วเชิงมุมสูงสุดเป็น $\pi/2$ rad/s โดยมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู กล่าวคือ ในช่วงเวลา 0.5 วินาทีแรก ข้อต่อจะถูกเร่งด้วยอัตราคงที่ ต่อมาช่วงเวลา 0.5–1.0 วินาที ต้องการให้มีค่าความเร็วเชิงมุมคงที่ ณ ค่าความเร็วเชิงมุมสูงสุด และช่วงสุดท้ายข้อต่อจะถูกหน่วงด้วยอัตราคงที่ ซึ่งมีขนาดเท่ากับค่าอัตราเร่งในช่วงแรก

โดยมีค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพลวัตผกผัน K_p และ K_d เป็น $25 * I_5$ และ $10 * I_5$ สำหรับตัวควบคุมแบบโครงสร้างแปรผันได้ มีค่า K_p , K_d , P , ρ เป็น $25 * I_5$, $10 * I_5$, $\begin{bmatrix} 2 * I_5 & 0 \\ 0 & I_5 \end{bmatrix}$, 10 ตามลำดับ และใช้ ϵ 2 ค่า คือ 0.003 และ 0.01 ผลการควบคุมแสดงความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งทุกข้อต่อแสดงในรูปที่ 4.9–4.13 ส่วนรูปที่ 4.14–4.16 แสดงค่าแรงบิดของข้อต่อที่ 2

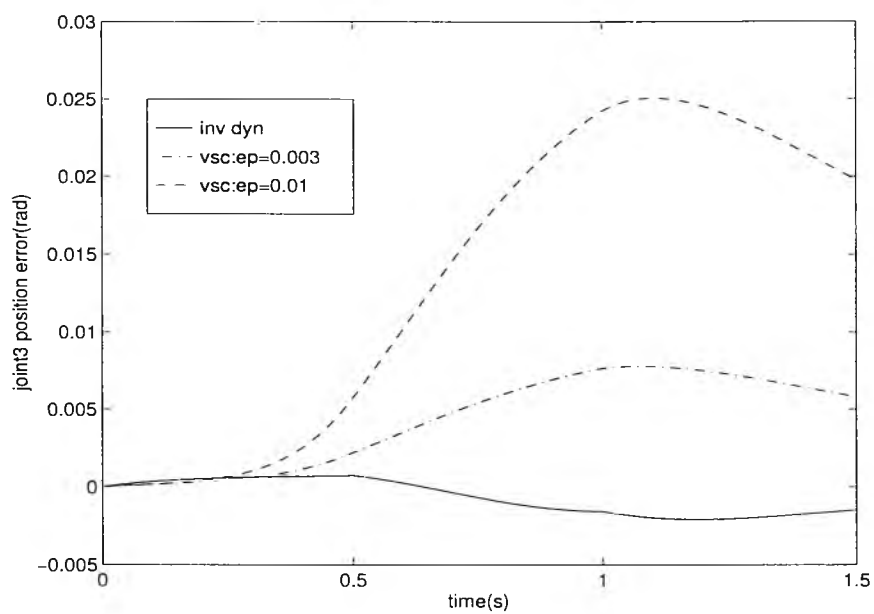
จากผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่า การควบคุมแบบพลวัตผกผันให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีขนาดต่ำสุด แต่จะทำได้ยากในทางปฏิบัติ เนื่องจากต้องอาศัยค่าพารามิเตอร์ที่ถูกต้องของแขนกล ส่วนการควบคุมแบบโครงสร้างแปรผันได้นั้น ขนาดของความคลาดเคลื่อนขึ้นกับขนาดของชั้นเซตแดน ซึ่งถ้ามีขนาดเล็ก ก็จะทำให้ขนาดความคลาดเคลื่อนน้อยตาม แต่อาจเกิดการแซทเทอริงในสัญญาณควบคุม



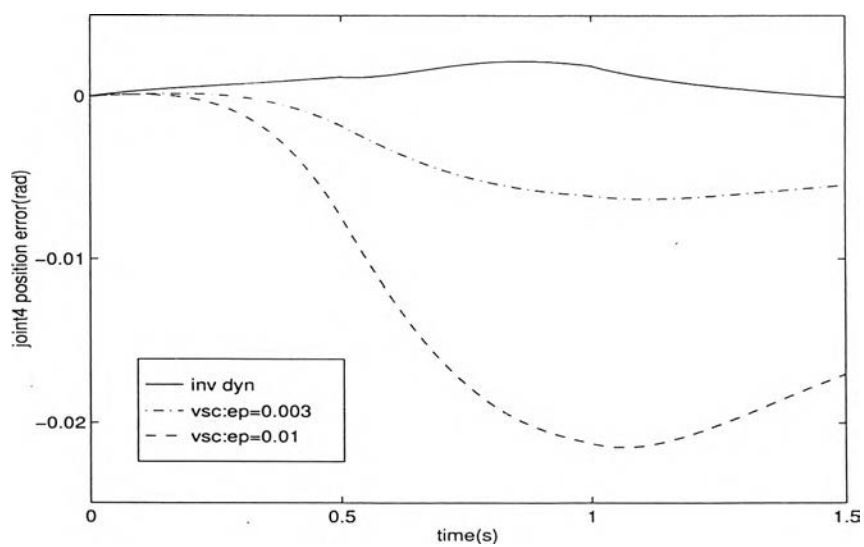
รูปที่ 4.9: ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของข้อต่อที่ 1



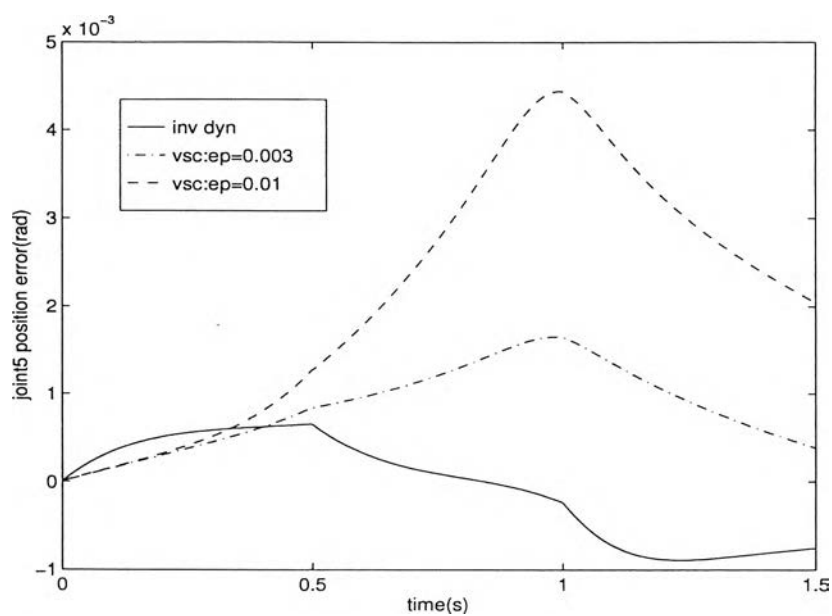
รูปที่ 4.10: ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของข้อต่อที่ 2



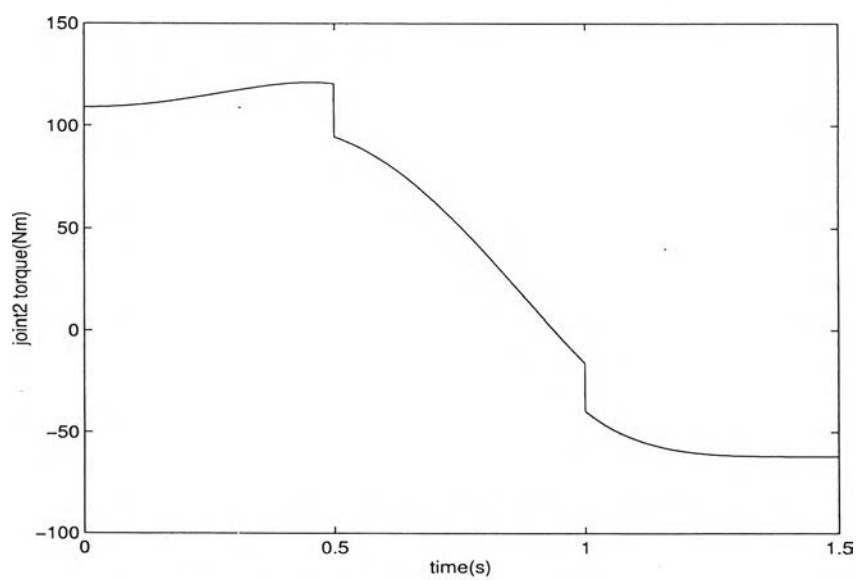
รูปที่ 4.11: ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของข้อต่อที่ 3



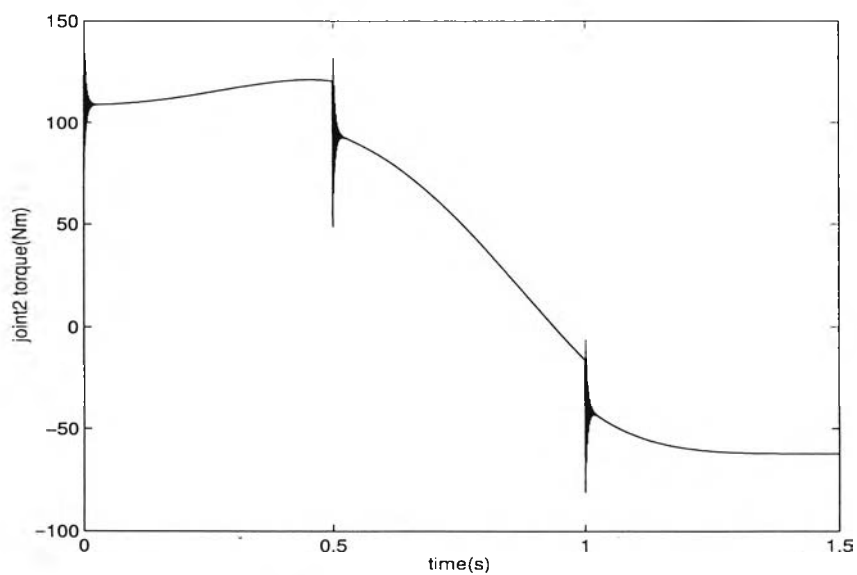
รูปที่ 4.12: ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของข้อต่อที่ 4



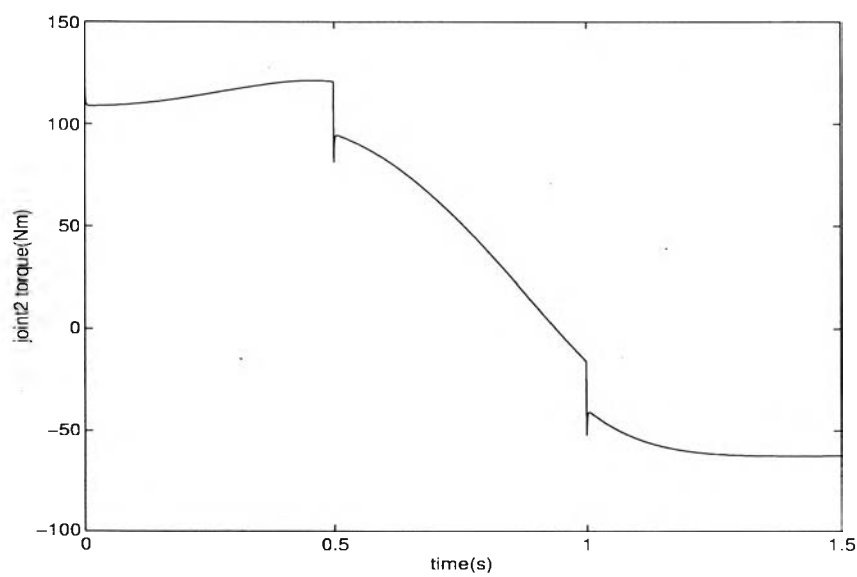
รูปที่ 4.13: ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของข้อต่อที่ 5



รูปที่ 4.14: แรงบิดของข้อต่อที่ 2 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพลวัตผกผัน



รูปที่ 4.15: แรงบิดของข้อต่อที่ 2 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบโครงสร้างแปรผันได้ โดย ϵ มีค่า 0.003



รูปที่ 4.16: แรงบิดของข้อต่อที่ 2 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบโครงสร้างแปรผันได้ โดย ϵ มีค่า 0.01