บทที่ 5

การควบคุมระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว

จากบทที่ผ่านมากล่าวถึงหลักการออกแบบตัวควบคุมซึ่งได้จำลองระบบในคอมพิวเตอร์ พบว่าสามารถควบคุมการแกว่งของแขนกลแบบอ่อนตัวได้ และเมื่อลดจำนวนกฎที่ใช้ในการควบคุมจาก 7 กฎเป็น 5 กฎ และ 3 กฎพบว่าสามารถควบคุมการแกว่งได้ และในบทนี้กล่าวถึงชุดทดลองและการนำหลักการออกแบบตัวควบคุมมาใช้ในการควบคุมกับระบบจริง

ระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว

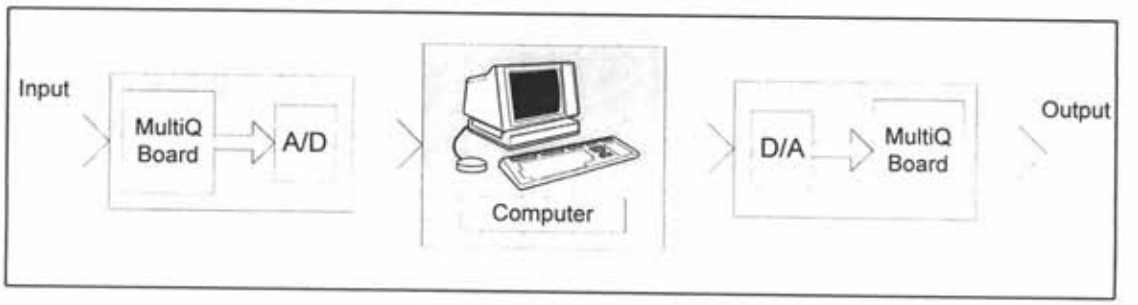
สำหรับระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนที่ใช้ในการควบคุมจริงนั้นเป็นชุดทดลองที่ผลิตโดยบริษัท Quanser Consulting ประเทศแคนาดา นอกจากมีส่วนประกอบดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 แล้วยังมีส่วนที่สำคัญอีกดังนี้

1. แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) ทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้าให้กับชุดทดลองระบบแขนกลแบบอ่อนตัวโดยจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ±12 โวลท์

2. ตัวตรวจรู้ (Sensor) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่วัดตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและส่วนที่สองคือส่วนที่วัดการแกว่งที่ตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัว

3. มัลติคิวบอร์ด (MultiQ board) ทำหน้าที่รับสัญญาณที่วัดได้จากตัวตรวจรู้ซึ่งสัญญาณทั้งสองสัญญาณเป็นสัญญาณเชิงอุปมาน (Analog signal) แล้วแปลงสัญญาณดังกล่าวให้เป็นสัญญาณเชิงเลข (Digital signal) โดยผ่านตัวแปลงผันสัญญาณแอนะลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog to Digital Converter) ซึ่งมีค่าอยู่ภายในช่วง -5 ถึง 5 โวลท์กระแสตรง ซึ่งมีความละเอียด 12 บิตและรับค่าได้ 8 ช่องสัญญาณ แล้วจึงเข้าสู่ส่วนควบคุมในคอมพิวเตอร์ซึ่งคอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณควบคุมที่เป็นสัญญาณดิจิตอลแล้วแปลงเป็นสัญญาณแอนะลอกโดยผ่านตัวแปลงผันสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก (Digital to Analog Converter) เพื่อส่งออกไปควบคุมระบบต่อไปดังแสดงในรูปที่ 5.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



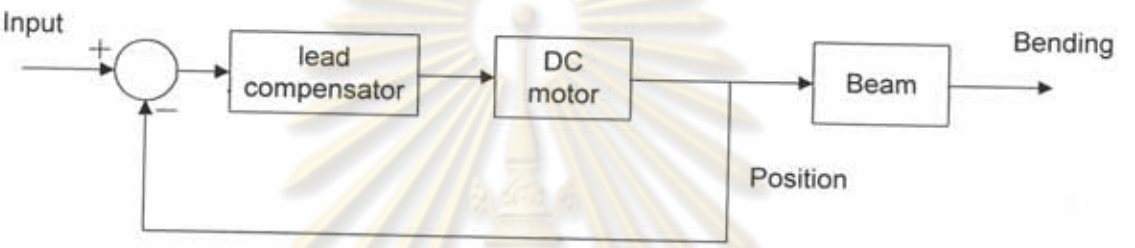
รูปที่ 5.1 การรับสัญญาณเข้าและสัญญาณออกของตัวควบคุม

การตั้งค่าตัวตรวจรู้

ตัวตรวจรู้ที่ใช้งานอยู่ในระบบแขนกลแบบอ่อนตัวนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนตรวจวัดตำแหน่งของมอเตอร์และส่วนวัดการแกว่งของแขนกลแบบอ่อนตัวซึ่งในที่นี้กล่าวถึงการตั้งค่าของตัวตรวจรู้ที่ใช้วัดการแกว่งของแขนกลแบบอ่อนตัว ซึ่งก่อนติดตั้งส่วนแขนกลแบบอ่อนตัวเข้ากับแกนมอเตอร์กระแสตรงนั้นมีการตั้งระดับสัญญาณให้กับตัวตรวจ ซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณแสงที่ส่งออกมาจากตำแหน่งปลายของแขนกลโดยตัวตรวจรู้ทำหน้าที่คอยวัดระดับความเข้มแสงที่ส่งออกมายังตัวกล้อง ในการตั้งระดับสัญญาณดังกล่าวโดยนำแขนกลแบบอ่อนตัววางลงบนแกนสำหรับการปรับระดับให้อยู่ในแนวตรงกลางแล้วใช้โวลท์มิเตอร์วัดสัญญาณจากนั้นจึงปรับค่าออฟเซต (Offset) ของตัวตรวจรู้ให้ได้ค่าเป็น 0 โวลท์ นั่นคือเมื่อยังไม่มีการแกว่งตัวตรวจรู้สามารถวัดค่าสัญญาณได้เป็น 0 โวลท์ และจากนั้นจึงจัดตำแหน่งปลายของแขนกลให้เกิดการงอตัวโดยอยู่ภายในช่วงที่กำหนดโดยมีการปรับอัตราขยาย (Gain) ให้ได้ค่าเป็น -1.5 ถึง 1.5 โวลท์ ดังนั้นขอบเขตของสัญญาณการสั่นที่วัดได้จากตัวตรวจจึงอยู่ภายในขอบเขต -1.5 ถึง 1.5 โวลท์ สำหรับมอเตอร์กระแสตรงนั้นเป็นที่ทราบว่าสามารถหมุนได้ภายในรัศมี ± 45 องศาและตัวตรวจรู้ที่วัดสัญญาณตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงนั้นสามารถวัดได้อยู่ภายในช่วง - 1.2 ถึง 1.2 โวลท์ สำหรับระบบแขนกลแบบอ่อนตัวนั้นสามารถรับสัญญาณเข้าได้อยู่ภายในช่วงที่จำกัดคือ -5 ถึง 5 โวลท์ ดังนั้นตัวควบคุมจึงได้กำหนดขอบเขตของสัญญาณควบคุมที่ส่งไปยังระบบดังกล่าว ภายในขอบเขตที่กำหนดข้างต้น

การควบคุมตำแหน่งของระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว

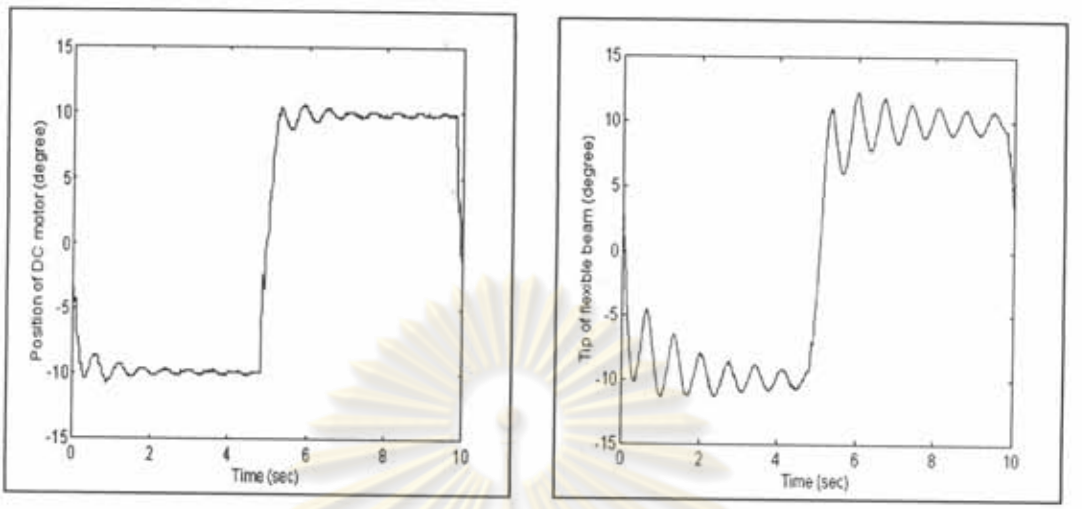
จากการจำลองระบบดังในบทที่ 3 ซึ่งได้เลือกตัวควบคุมตำแหน่งของระบบแขนกลแบบอ่อนตัวโดยใช้ตัวควบคุมแบบตัวชดเชยแบบล้ำหน้า โดยกำหนดสัญญาณที่เข้าสู่ตัวควบคุมนี้คือสัญญาณผิดพลาดและสัญญาณออกเป็นสัญญาณควบคุมโดยมีแผนภาพกรอบในการควบคุมดังแสดงในรูปที่ 5.2 ซึ่งเมื่อป้อนสัญญาณที่ขนาดแตกต่างกันภายในช่วง -45 องศาถึง 45 องศา พบว่าสามารถควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ



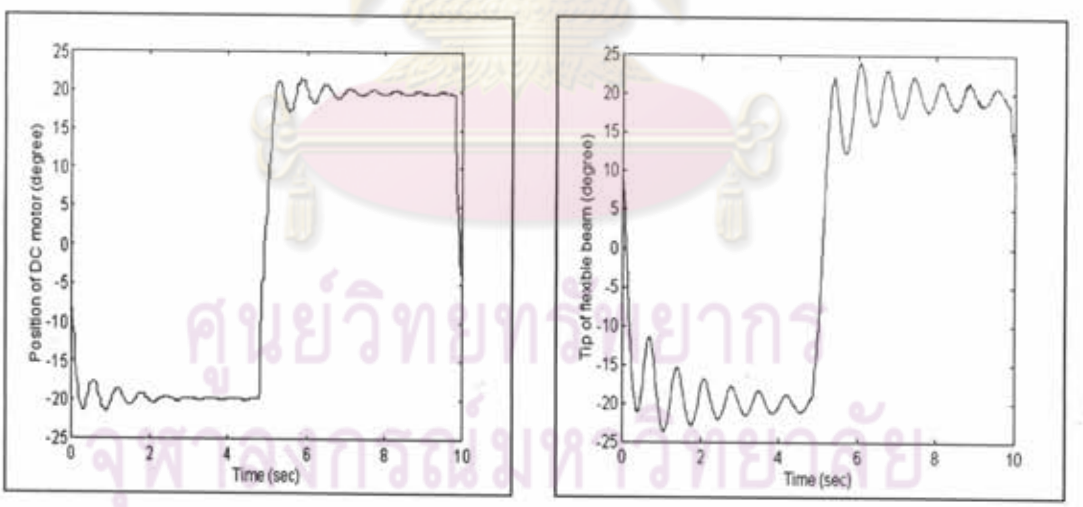
รูปที่ 5.2 แผนภาพกรอบของการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรง

ในบทนี้ได้นำวิธีการควบคุมตำแหน่งซึ่งได้จำลองมาใช้ในการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงที่เป็นระบบจริงซึ่งเป็นชุดทดลองระบบแขนกลแบบอ่อนตัวโดยกำหนดขอบเขตการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงไว้ภายในช่วงที่กำหนดคือ -45 องศาถึง 45 องศา ซึ่งในการควบคุมระบบจริงนั้นมีการปรับค่าในการควบคุมที่แตกต่างจากการจำลองระบบในคอมพิวเตอร์ และได้แสดงผลการควบคุมระบบแขนกลแบบอ่อนตัวที่เป็นระบบจริง คือสัญญาณตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและสัญญาณการแกว่งที่ตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัว ดังแสดงในรูปที่ 5.3 ถึง 5.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

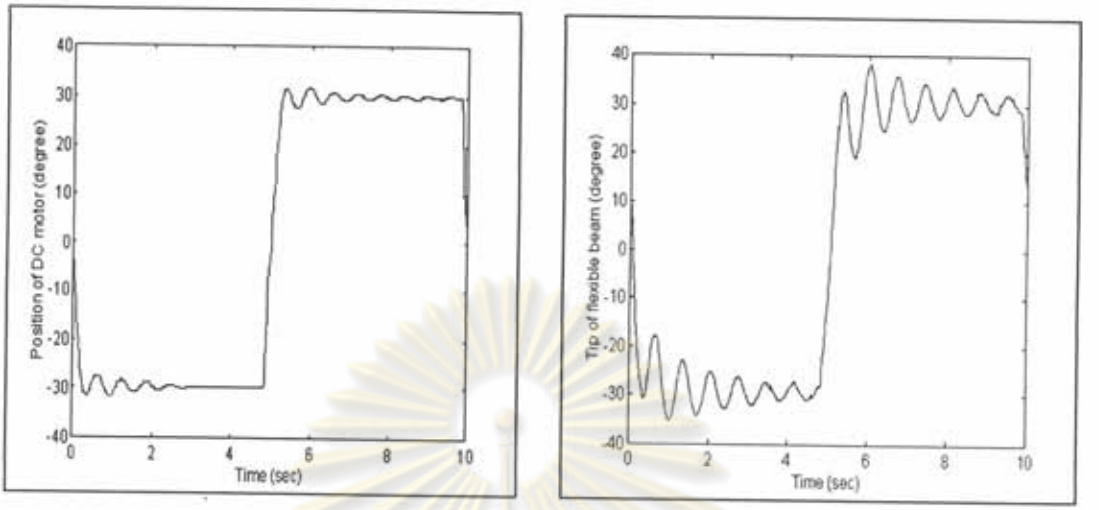


รูปที่ 5.3 ตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัว เมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±10 องศา

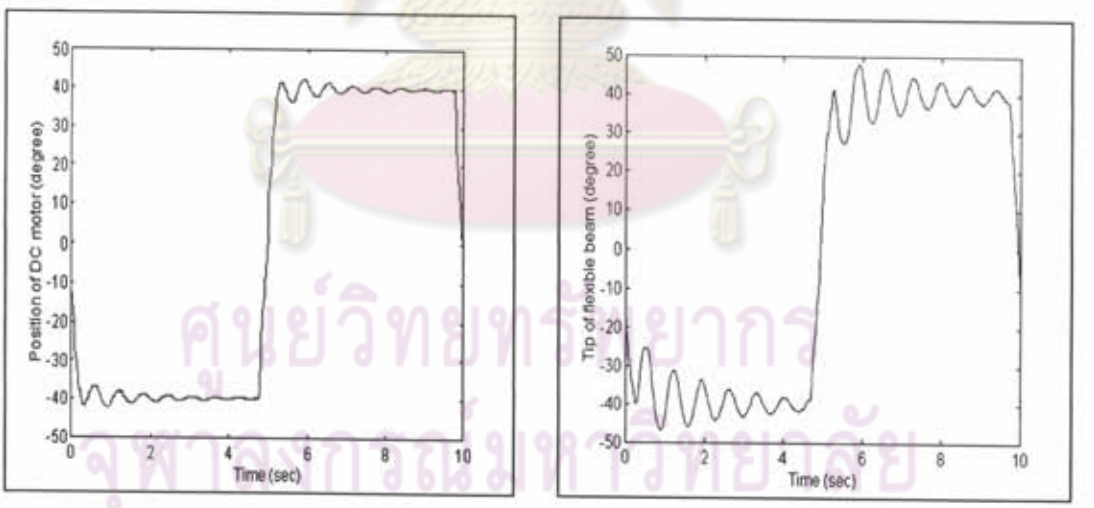


รูปที่ 5.4 ตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัว เมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±20 องศา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.5 ตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัว เมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±30 องศา



รูปที่ 5.6 ตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัว เมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±40 องศา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 5.3 แสดงตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณแบบขั้นที่ค่า ±10 องศา พบว่ามอเตอร์กระแสตรงหมุนไปยังค่าที่ได้กำหนดคือ -10 องศาในลักษณะมีการแกว่งขนาดเล็กรอบๆค่าดังกล่าว เนื่องจากขณะที่มอเตอร์กระแสตรงหมุนไปนั้นแขนกลแบบอ่อนตัวเกิดการหมุนตามไปด้วยและขณะที่หมุนไปเข้าใกล้ค่าที่กำหนดแล้วความเร็วในการหมุนช้าลงทำให้แขนกลเกิดการแกว่งรอบๆแกนของมอเตอร์ ในขณะที่มอเตอร์เข้าสู่ค่ากำหนดแล้วพบว่ายังเกิดการแกว่งที่มีขนาดเล็กเป็นผลจากการแกว่งของแขนกลแบบอ่อนตัวรอบๆค่ากำหนดที่-10 องศา จากนั้นจึงเปลี่ยนระดับของสัญญาณเข้าไปที่ค่า 10 องศา พบว่าเกิดการแกว่งของมอเตอร์กระแสตรงรอบๆ ค่ากำหนดในลักษณะเดียวกัน สำหรับที่ตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัวพบการแกว่งที่ตำแหน่งปลายแขนกลแบบอ่อนตัวรอบๆ ตำแหน่งที่ต้องการ คือ -10 องศาแล้วขนาดของการแกว่งจึงค่อยๆลดขนาดลงจากนั้นจึงเปลี่ยนระดับไปที่ค่า 10 องศาและเกิดการแกว่งในลักษณะเดียวกัน

เมื่อเพิ่มขนาดของสัญญาณเป็น ±20, ±30 และ ±40 องศาดังในรูปที่ 5.4, 5.5 และ 5.6 พบว่าการแกว่งที่ปลายแขนกลแบบอ่อนตัวมีขนาดเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ และเมื่อพิจารณาตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงพบว่าเมื่อขนาดเพิ่มขึ้นตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงสามารถเข้าสู่ค่ากำหนดได้ตามต้องการและเป็นที่น่าสังเกตว่าการแกว่งที่ตำแหน่งปลายของแขนกลมีผลกระทบน้อยกว่าเดิม นั่นคือสัญญาณตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงมีค่าราบเรียบมากขึ้น

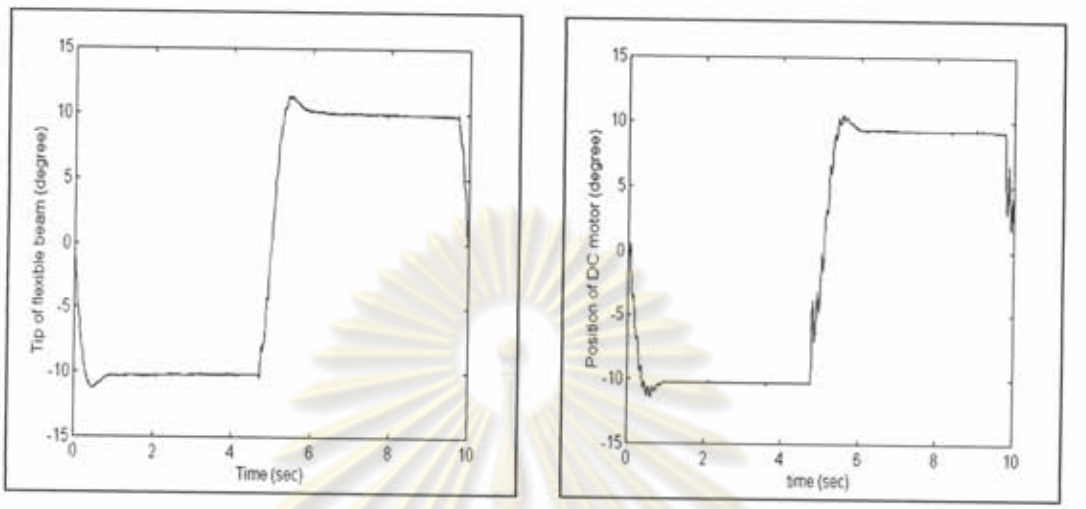
การควบคุมการแกว่งของแขนกลแบบอ่อนตัว

จากการจำลองระบบแขนกลแบบอ่อนตัวพบว่าเมื่อแขนกลหมุนไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้พบว่าเกิดการแกว่งที่ปลายของแขนกลแบบอ่อนตัวรอบๆค่าที่กำหนดซึ่งในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงหลักการออกแบบตัวควบคุมเพื่อลดการแกว่งที่เกิดขึ้นโดยใช้ตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซี ซึ่งกำหนดให้สัญญาณเข้าตัวตวบตุมคือ สัญญาณผิดพลาด นั่นคือต้องการให้สัญญาณการแกว่งมีค่าเป็นศูนย์จึงได้กำหนดสัญญาณอ้างอิงเป็นศูนย์ ซึ่งสัญญาณผิดพลาดที่ได้คือสัญญาณเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณการแกว่งของแขนกล และสัญญาณออกของตัวควบคุมคือสัญญาณควบคุม ดังนั้นในการควบคุมการแกว่งของระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัวนั้นสัญญาณควบคุมซึ่งส่งให้กับมอเตอร์กระแสตรงจึงได้จากสัญญาณควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์และสัญญาณควบคุมการแกว่งของแขนกลแบบอ่อนตัวดังแสดงในรูปที่ 4.2

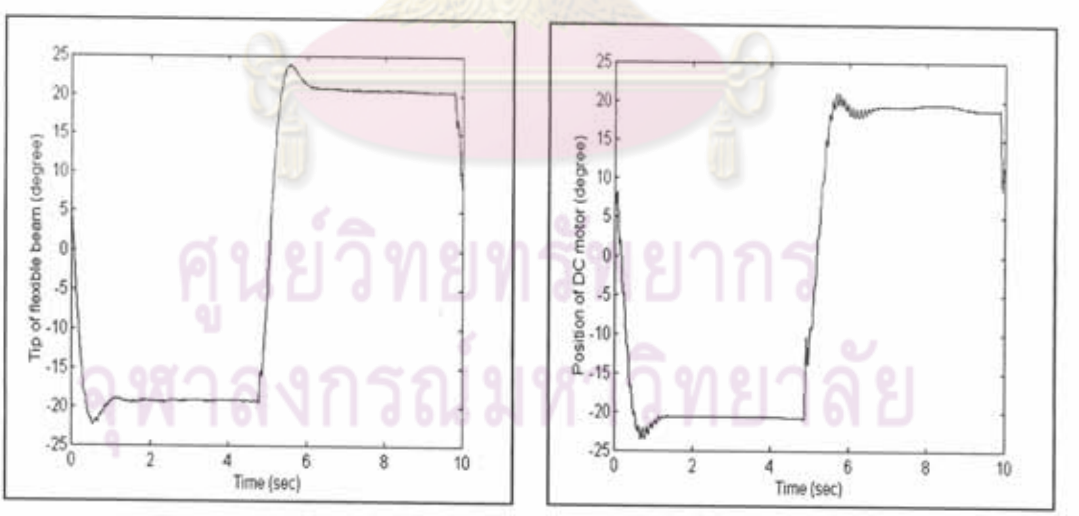
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการจำลองการควบคุมการแกว่งของแขนกลแบบอ่อนตัวโดยใช้กฎในการควบคุม 7 กฎ 5 กฎ และ 3 กฎ พบว่าสามารถลดการแกว่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในการควบคุมกับระบบจริงนั้นได้ใช้กฎในการควบคุมเป็น 3 กฎ ซึ่งได้แสดงผลการควบคุมระบบจริงคือแสดงตำแหน่งปลายแขนกลแบบอ่อนตัว และตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงเมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็นค่าต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ถึง 5.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

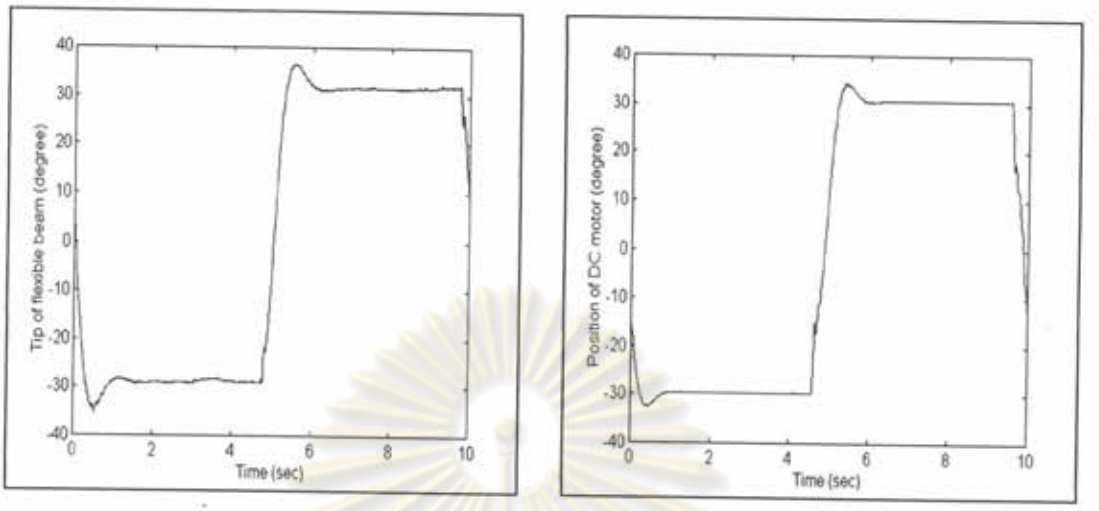


รูปที่ 5.7 ตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัว เมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±10 องศา

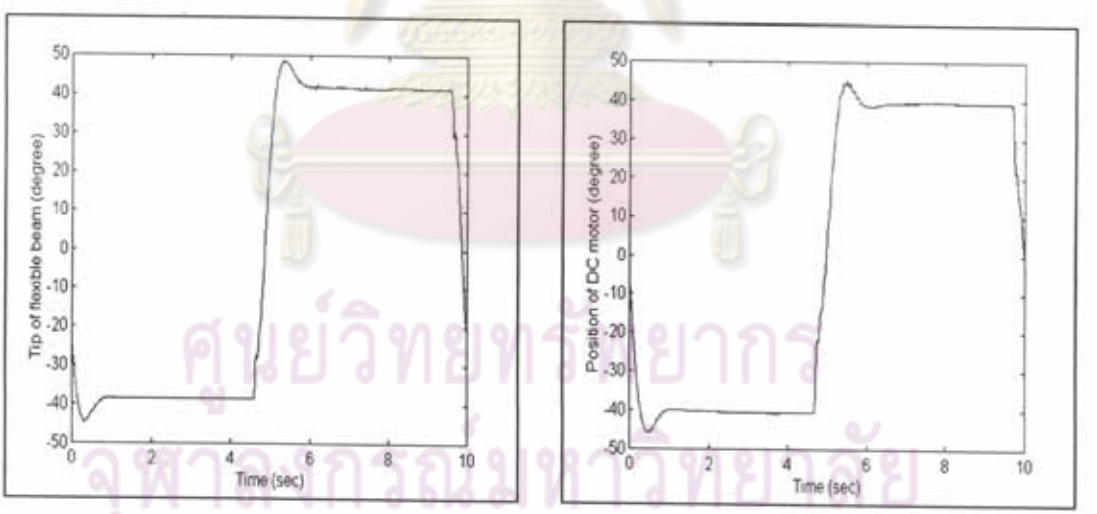


รูปที่ 5.8 ตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัว เมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±20 องศา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.9 ตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัว เมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±30 องศา



รูปที่ 5.10 ตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัว เมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±40 องศา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 5.7 แสดงตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อมีการควบคุมด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี โดยป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±10 องศา ซึ่งพบว่าตัวควบคุมดังกล่าวสามารถควบคุมการแกว่งของแขนกลได้จริง และเมื่อพิจารณาตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงพบว่า สามารถเข้าสู่ค่ากำหนดได้ตามที่ต้องการ ซึ่งจากรูปข้างต้นพบว่าในการควบคุมเพื่อลดการแกว่งของแขนกลแบบอ่อนตัวนี้ใช้วิธีการปรับทิศทางการหมุนของมอเตอร์เพื่อชดเชยซึ่งลดการแกว่งของแขนกลแบบอ่อนตัวและเข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการ และเมื่อเพิ่มขนาดของสัญญาณเข้าเป็น ±20, ±30 และ ±40 องศาตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 5.18, 5.9 และ 5.10 พบว่า ตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์ฟัซซีลดการแกว่งของแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัวได้จริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย