

บทที่ 5

ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้เป็นการนำเสนอขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็นสองการทดลอง โดยเริ่มจากการทดลองแรกคือการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ด้วยตัวควบคุมแบบดั้งเดิมกรณีการทำงานปกติ และบันทึกผลการทดลองเพื่อเป็นต้นแบบอ้างอิงจากนั้นทำการทดลองที่สองคือการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ด้วยตัวควบคุมแบบดั้งเดิมที่มีความไม่แน่นอนกรณีเลวที่สุด กับการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ด้วยตัวควบคุมกฎชนิดติดตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความไม่แน่นอนกรณีเลวที่สุด จากนั้นทำการบันทึกผลเพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างตัวควบคุมแบบดั้งเดิม กับตัวควบคุมกฎชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความไม่แน่นอนกรณีเลวที่สุด โดยใช้สัญญาณทดสอบแบบขั้นบันได เพื่อพิจารณาผลของการติดตามสัญญาณตำแหน่งอ้างอิงที่สถานะการทำงานตามเข็มนาฬิกา และทวนเข็มนาฬิกา

5.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้

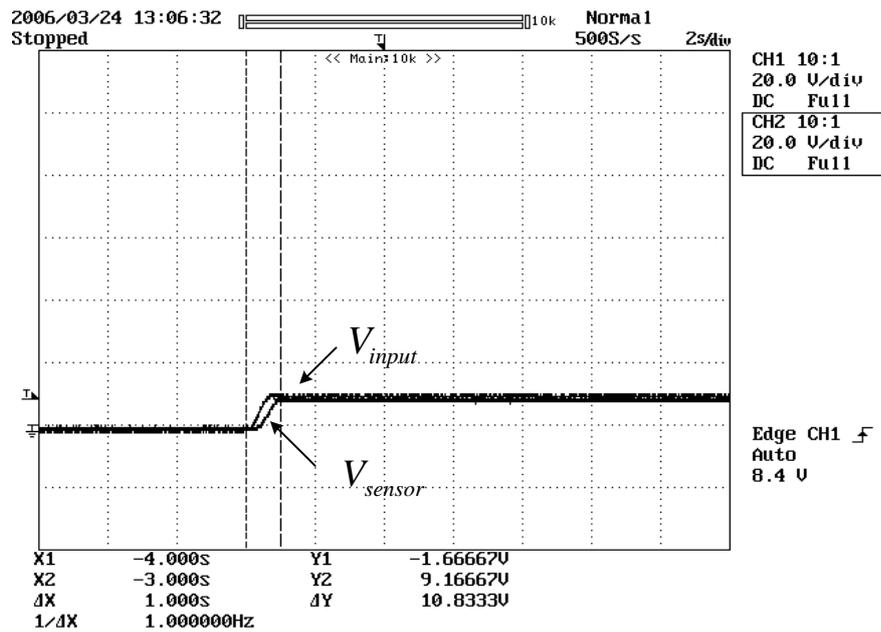
1. ชุดทดลองที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์
2. ดีซีมอเตอร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
3. ดีซีเพาเวอร์ซัพพลาย $\pm 15V$ สำหรับดีซีมอเตอร์ 1 ชุด
4. ออสซิโลสโคป (Oscilloscope) 1 ชุด
5. ดีซีเพาเวอร์ซัพพลาย $\pm 15V$ 4 เครื่อง
6. สายต่อวงจร

5.2 การทดสอบการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ด้วยตัวควบคุมแบบดั้งเดิมกรณีการทำงานปกติ

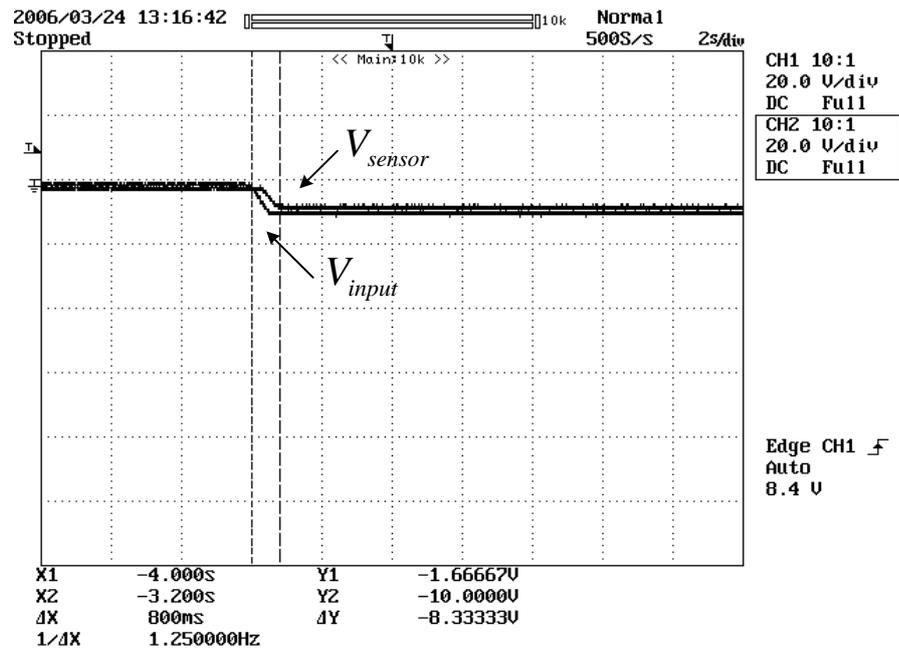
5.2.1 ขั้นตอนการทดลองที่ 1 การควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์ด้วยตัวควบคุมแบบดั้งเดิมกรณีการทำงานปกติ

1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ ก.1 ซึ่งรายละเอียดของวงจรอปแอมป์สามารถที่จะแสดงได้ดังส่วนต่างๆ ที่แสดงไว้ในวิทยานิพนธ์ทั้งหมด
2. ปรับแรงดันอ้างอิง ($V_{ref}(t)$) จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ (Function Generator) [สัญญาณแบบขั้นบันได ขนาด $5V_p$ ความถี่ 2kHz ปรับออฟเซต (Offset) ให้ปรากฏเพียงซีกบวก ที่สมนัยกับสัญญาณ]

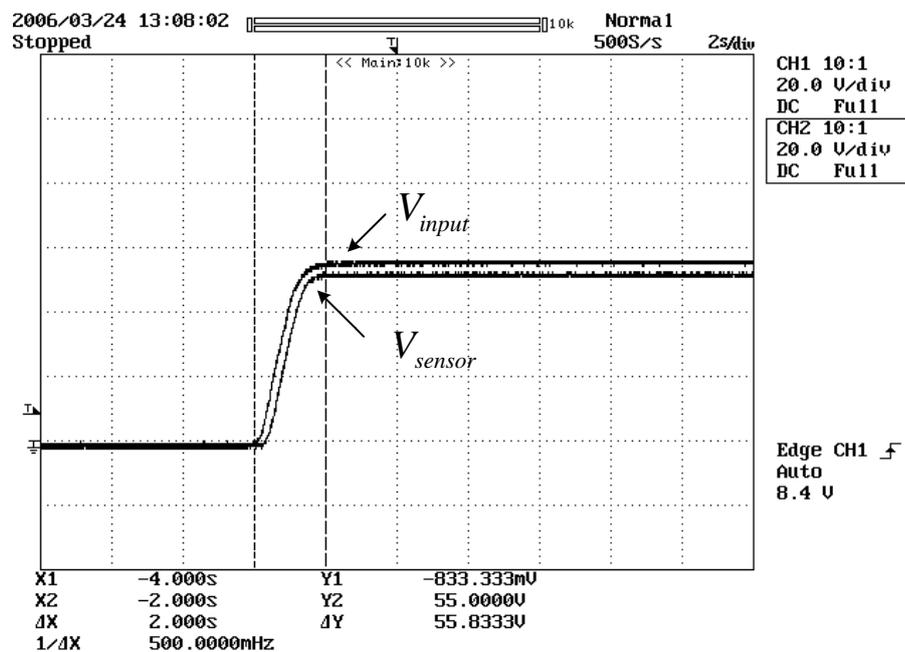
3. ปรับสวิตช์ S_a ไปที่ตำแหน่ง PID สวิตช์ S_b ให้ลอยไว้ สำหรับการทดลองกรณีการทำงานปกติ
4. ปรับเซตพอยต์ (Setpoint) จากชุดทดลองไปที่ $15^\circ, 90^\circ, 165^\circ$
5. ใช้สโคปสัญญาณที่ 1 (Scope ch1.) วัดสัญญาณแรงดันอินพุต (V_{input})
6. ใช้สโคปสัญญาณที่ 2 (Scope ch2.) วัดสัญญาณแรงดันอ้างอิง (V_{sensor})
7. บันทึกผลการทดลอง



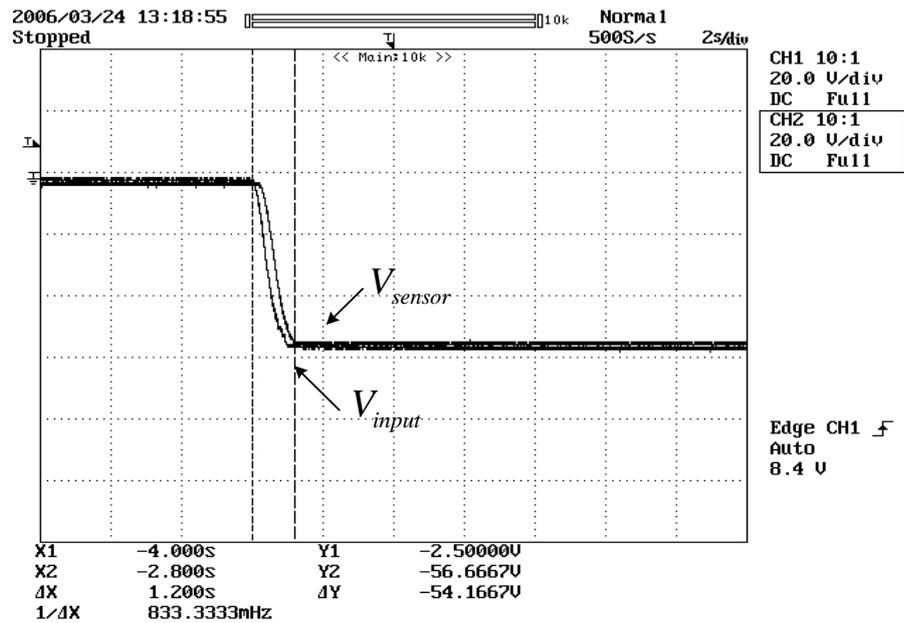
รูปที่ 5.1 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบดั้งเดิม โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 15° (ตามเข็มนาฬิกา) กรณีการทำงานปกติ



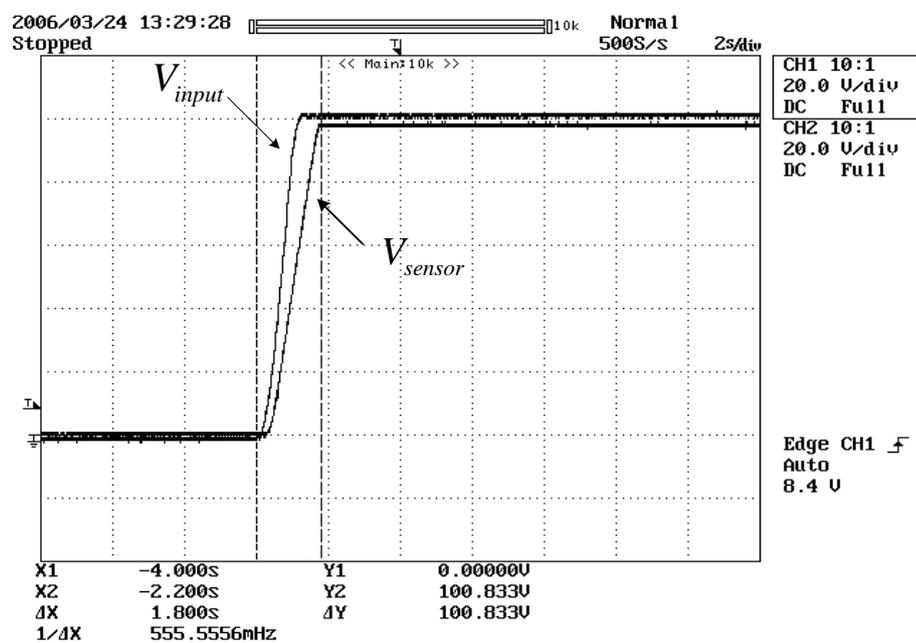
รูปที่ 5.2 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบดั้งเดิม โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 15° (ทวนเข็มนาฬิกา) กรณีการทำงานปกติ



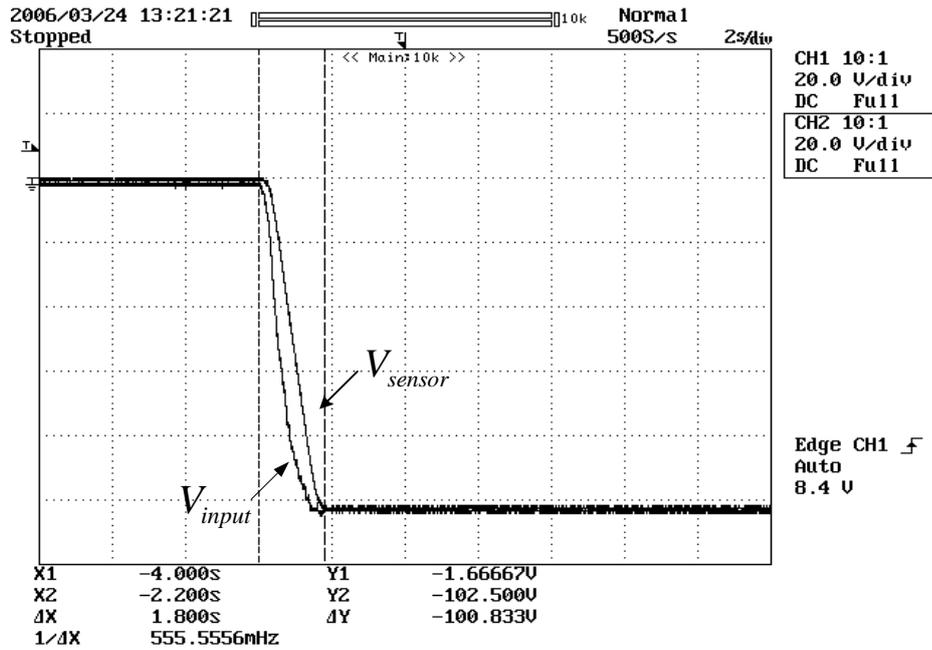
รูปที่ 5.3 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบดั้งเดิม โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 90° (ตามเข็มนาฬิกา) กรณีการทำงานปกติ



รูปที่ 5.4 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบดั้งเดิม โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 90° (ทวนเข็มนาฬิกา) กรณีการทำงานปกติ



รูปที่ 5.5 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบดั้งเดิม โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 165° (ตามเข็มนาฬิกา) กรณีการทำงานปกติ



รูปที่ 5.6 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบดั้งเดิม โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 165° (ทวนเข็มนาฬิกา) กรณีการทำงานปกติ

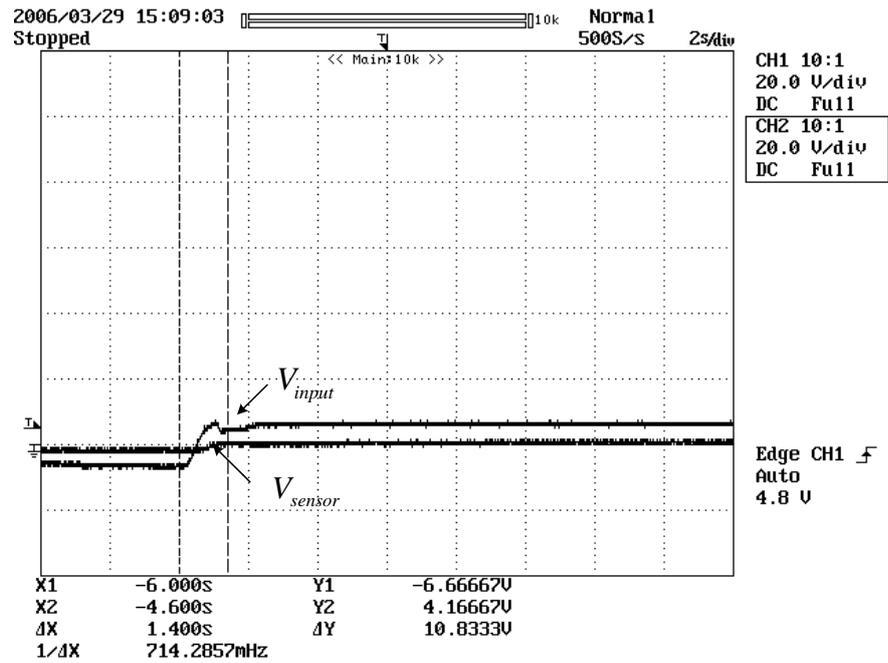
วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองการควบคุมตำแหน่งของคิซิมอเตอร์แบบวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมพีไอดี เมื่อกำหนดค่าอัตราขยาย K_p , K_i และ K_d คงที่ ตามที่ได้ออกแบบไว้ นั่นแล้วทำการปรับค่าตำแหน่งองศาให้มีค่าที่ตำแหน่งต่างๆ พบว่าค่าแรงดันเอาต์พุตของคิซิมอเตอร์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงค่าไปตามองศาต่างๆ เมื่อองศามากขึ้น แรงดันเอาต์พุตก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

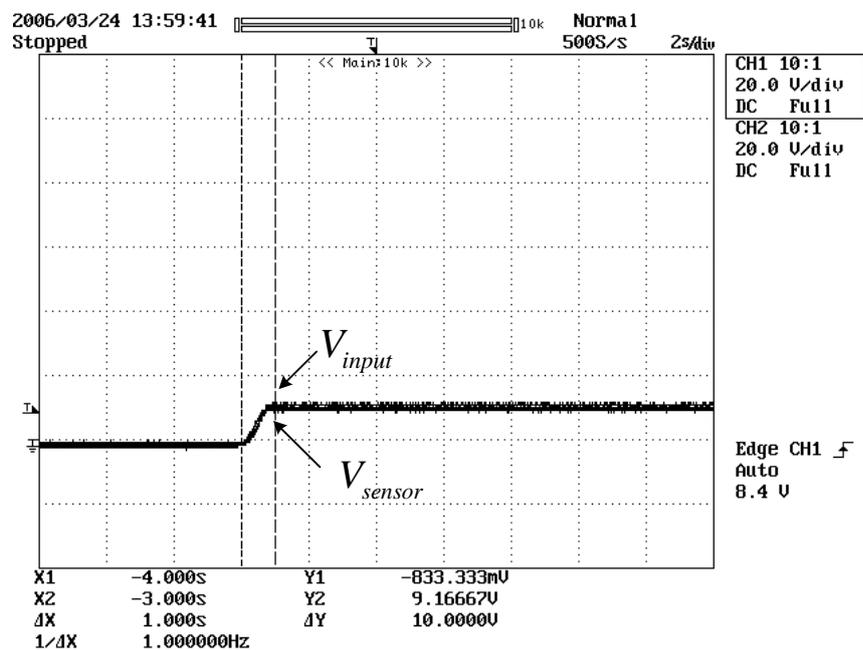
5.3 การทดสอบการควบคุมตำแหน่งดีซีมอเตอร์เพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างตัวควบคุมแบบดั้งเดิมกับตัวควบคุมคอนทนต์ติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทดสอบที่มีความไม่แน่นอนกรณีเลวที่สุด

5.3.1 ขั้นตอนการทดลองที่ 2 การทดสอบการควบคุมแบบดั้งเดิม กับการออกแบบตัวควบคุมคอนทนต์ติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความไม่แน่นอนกรณีเลวที่สุด

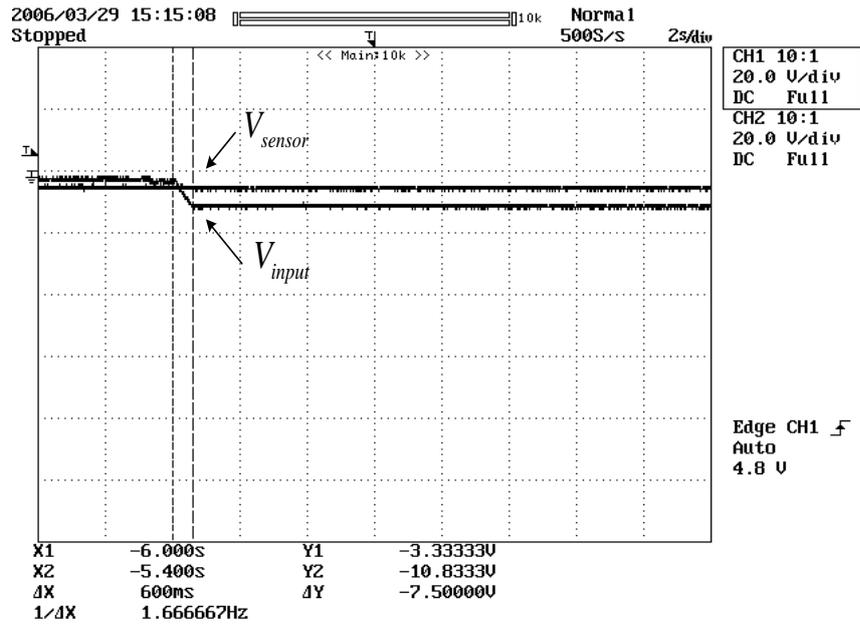
1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ ก.1 ซึ่งรายละเอียดของวงจรอปแอมป์สามารถที่จะแสดงได้ดังส่วนต่างๆ ที่แสดงไว้ในวิทยานิพนธ์ทั้งหมด
2. ปรับแรงดันอ้างอิง $V_{ref}(t)$ จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ (Function Generator) [สัญญาณแบบซึ้นบันได ขนาด $5V_p$ ความถี่ $2kHz$ ปรับออฟเซต (Offset) ให้ปรากฏเพียงซีกบวก ที่สมนัยกับสัญญาณ]
3. ปรับสวิตช์ S_a ไปที่ตำแหน่งพีไอดี เพื่อจะทดลองการควบคุมแบบดั้งเดิม และในทางตรงกันข้ามปรับสวิตช์ S_b ไปที่ตำแหน่ง RNMFC เพื่อจะทดลองการออกแบบตัวควบคุมคอนทนต์ติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
4. ติดตั้งโหลดให้กับเพลลาของมอเตอร์ด้วยน้ำหนัก 0.25 kg เมื่อจะทำการทดสอบกรณีที่มีความไม่แน่นอน
5. ปรับเซตพอยต์ (set point) จากชุดทดลองไปที่ $15^\circ, 90^\circ, 165^\circ$
6. ใช้สโคปสัญญาณที่ 1 (scope ch1.) วัดสัญญาณแรงดันอินพุต (V_{input})
7. ใช้สโคปสัญญาณที่ 2 (scope ch2.) วัดสัญญาณแรงดันอ้างอิง (V_{sensor})
8. บันทึกผลการทดลอง



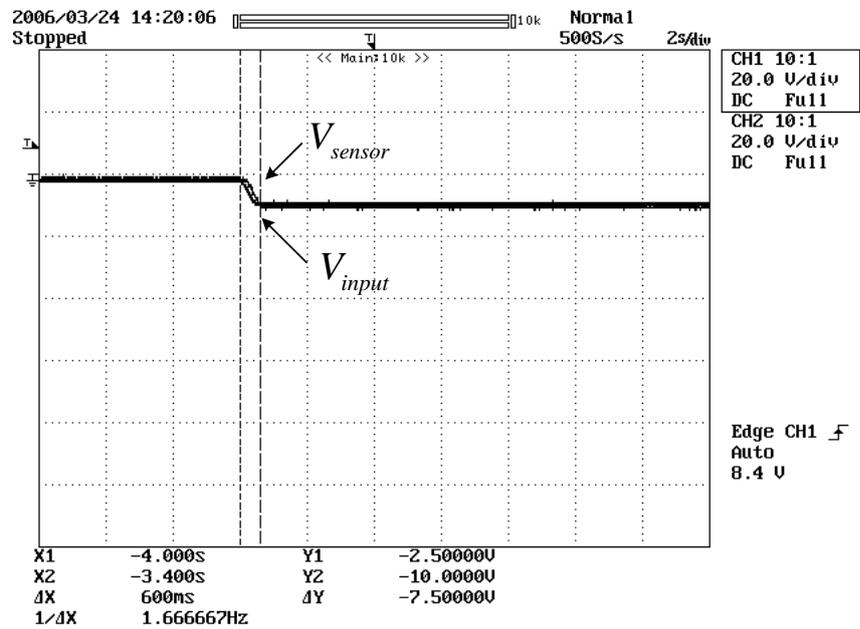
รูปที่ 5.7 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบดั้งเดิม โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 15° (ตามเข็มนาฬิกา) ที่มีความไม่แน่นอนกรณีเร็วที่สุด



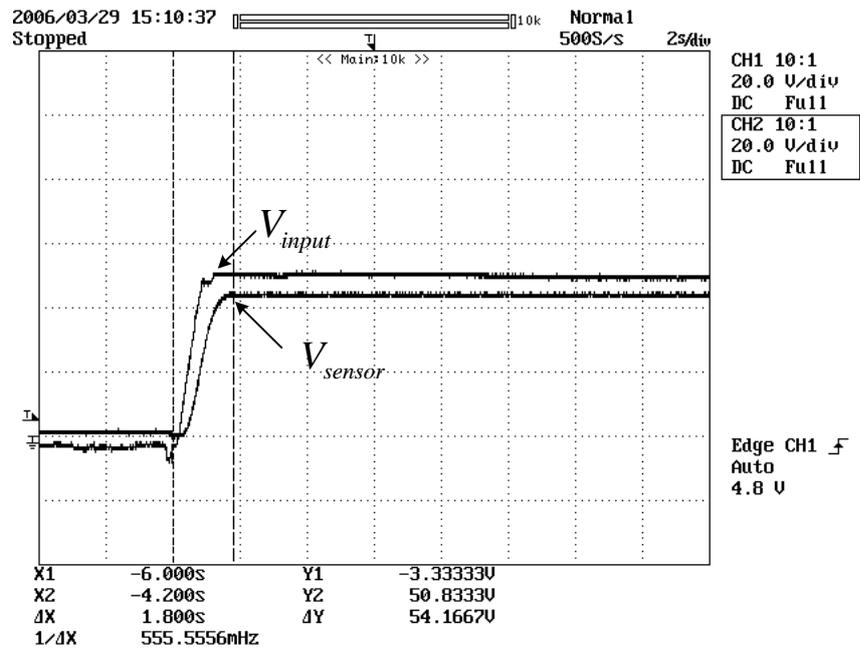
รูปที่ 5.8 ผลตอบสนองของตัวควบคุมคงทวนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 15° (ตามเข็มนาฬิกา) ที่มีความไม่แน่นอนกรณีเร็วที่สุด



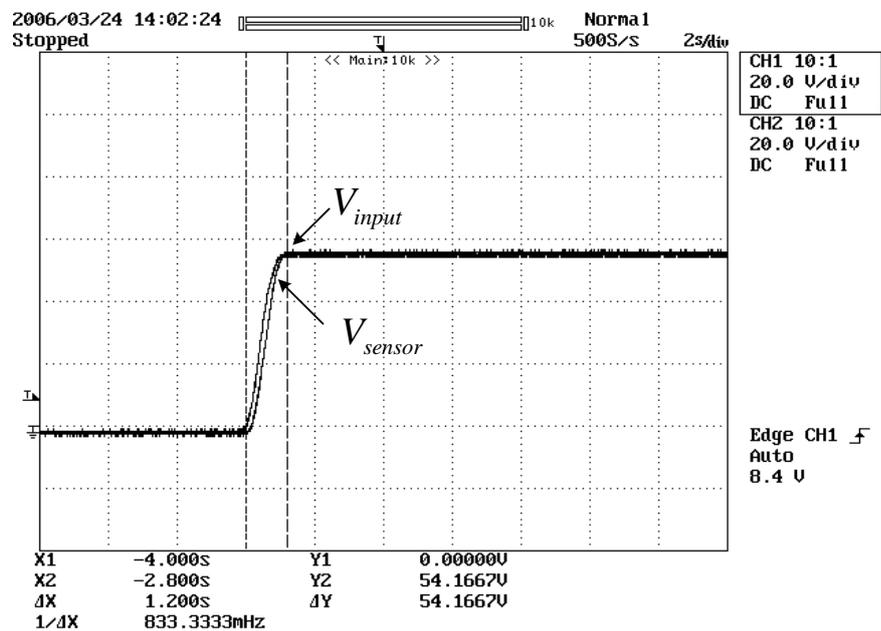
รูปที่ 5.9 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบดั้งเดิม โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 15° (ทวนเข็มนาฬิกา) ที่มีความไม่แน่นอนกรณีเลวที่สุด



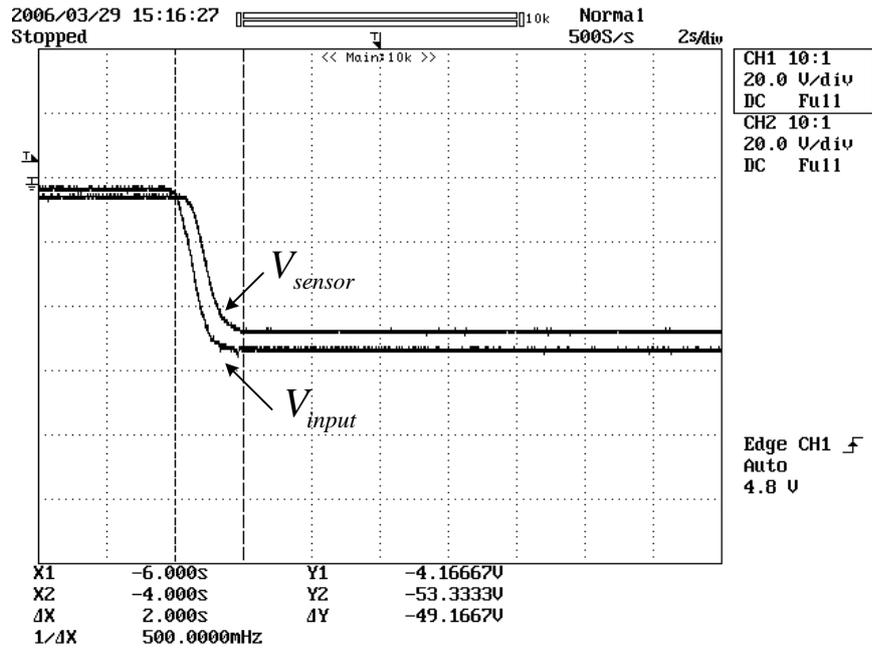
รูปที่ 5.10 ผลตอบสนองของตัวควบคุมกฎทวนชนิดคิดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได ที่ตำแหน่ง 15° (ทวนเข็มนาฬิกา) ที่มีความไม่แน่นอนกรณีเลวที่สุด



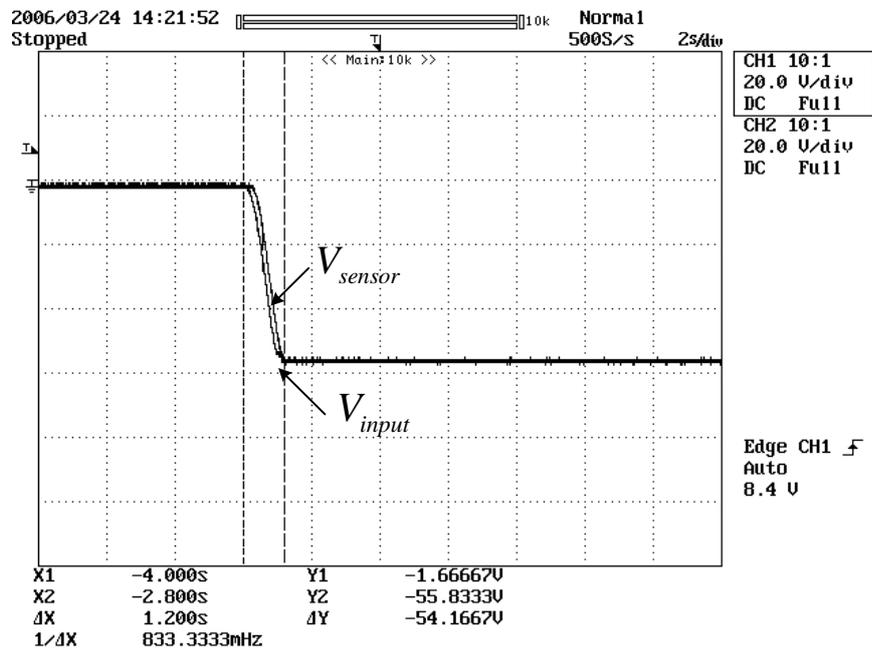
รูปที่ 5.11 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบดั้งเดิม โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 90° (ตามเข็มนาฬิกา) ที่มีความไม่แน่นอนกรณีเร็วที่สุด



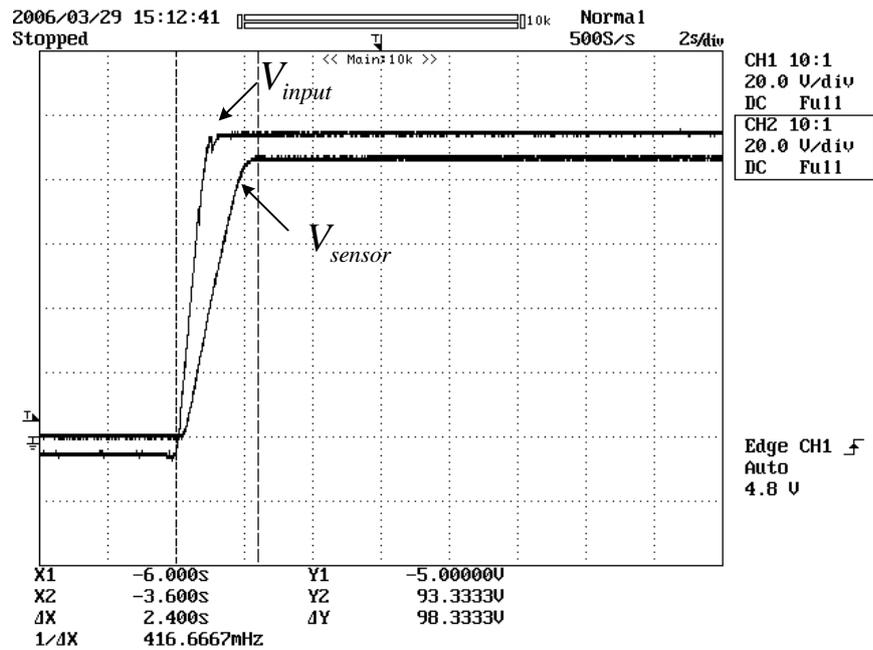
รูปที่ 5.12 ผลตอบสนองของตัวควบคุมทรงหนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 90° (ตามเข็มนาฬิกา) ที่มีความไม่แน่นอนกรณีเร็วที่สุด



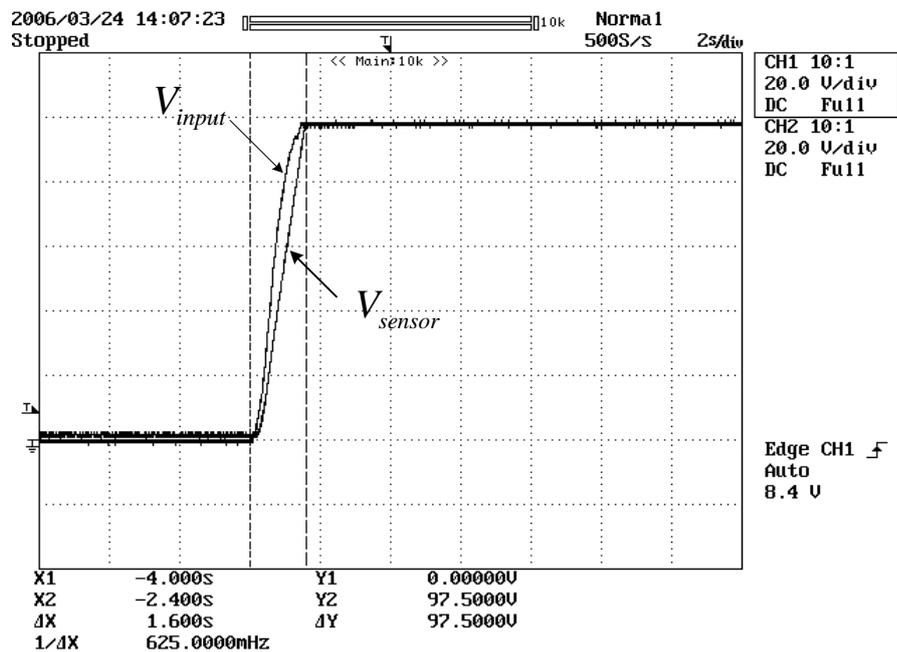
รูปที่ 5.13 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบดั้งเดิม โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 90° (ทวนเข็มนาฬิกา) ที่มีความไม่แน่นอนกรณีเลวที่สุด



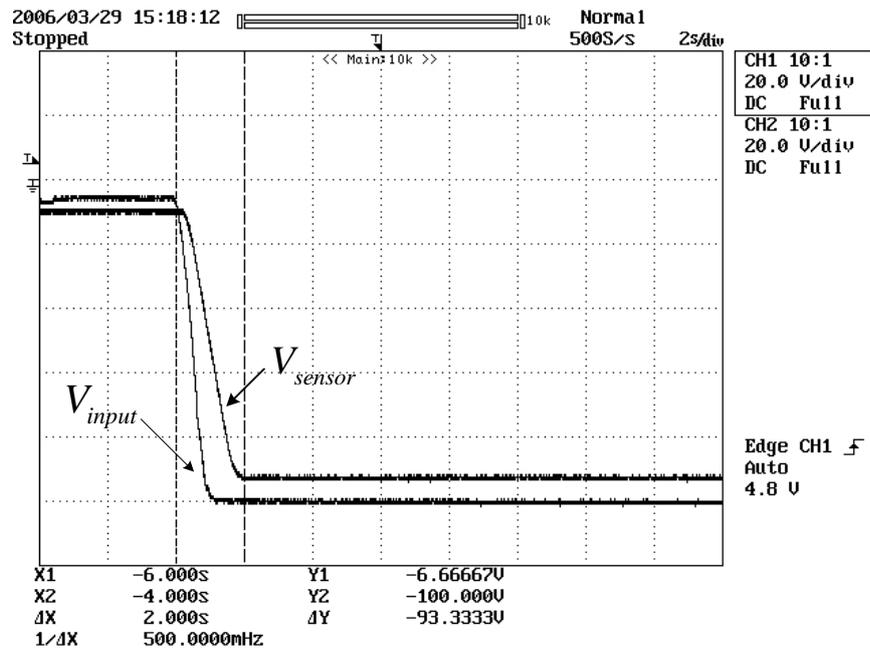
รูปที่ 5.14 ผลตอบสนองของตัวควบคุมคงทวนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 90° (ทวนเข็มนาฬิกา) ที่มีความไม่แน่นอนกรณีเลวที่สุด



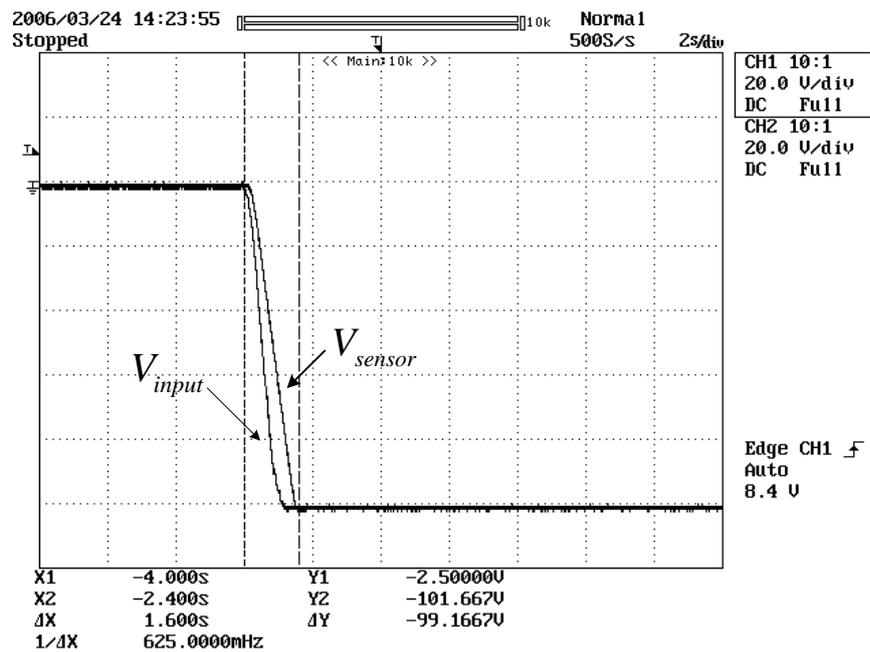
รูปที่ 5.15 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบดั้งเดิม โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 165° (ตามเข็มนาฬิกา) ที่มีความไม่แน่นอนกรณีเลวที่สุด



รูปที่ 5.16 ผลตอบสนองของตัวควบคุมคงทวนชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 165° (ตามเข็มนาฬิกา) ที่มีความไม่แน่นอนกรณีเลวที่สุด



รูปที่ 5.17 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบคั้งเดิม โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 165° (ทวนเข็มนาฬิกา) ที่มีความไม่แน่นอนอนกรณีเลวที่สุด



รูปที่ 5.18 ผลตอบสนองของตัวควบคุมกนทชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดที่ตำแหน่ง 165° (ทวนเข็มนาฬิกา) ที่มีความไม่แน่นอนอนกรณีเลวที่สุด

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า เมื่อกำหนดค่าอัตราขยาย K_p , K_I และ K_D คงที่ ตามที่ได้ ออกแบบไว้แล้ว ช่วงเวลาในการไต่ระดับ (Δx) ของตัวควบคุมคอนทนต์ติดตามแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์นั้น มีช่วงเวลาในการไต่ระดับที่ดีกว่า การควบคุมแบบดั้งเดิมทั้ง 2 กรณี คือการ ควบคุมแบบดั้งเดิมกรณี que การทำงานปกติ และการควบคุมแบบดั้งเดิมที่มีความไม่แน่นอนกรณี เหวที่สุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการออกแบบตัวควบคุมคอนทนต์ติดตามการควบคุมแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์นั้น ทำให้ระบบมีความทนต่อความไม่แน่นอนเชิงเลขของพลานต์ที่มีความไม่ แน่นอนกรณีเหวที่สุด (ดูผลการเปรียบเทียบแรงดันและช่วงเวลาในการไต่ระดับประกอบ)

5.4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบแรงดัน และช่วงเวลาในการไต่ระดับ (Δx) ของตัว ควบคุมในรูปแบบต่าง ๆ

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบแรงดันของตัวควบคุมแบบดั้งเดิม กรณีการทำงานปกติ

องศา (ตาม)	0°	15°	90°	165°
V_{in}	0	1.2	6.6	12
V_{sensor}	0	1.2	6.6	12

องศา (ทวน)	0°	15°	90°	165°
V_{in}	0	1.2	6.6	12
V_{sensor}	0	0.9	6.4	12

ตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาในการไต่ระดับ (Δx) ของตัวควบคุมแบบดั้งเดิมกรณี การทำงานปกติ

Δx (ตาม)	0°	15°	90°	165°
วินาที	0	1	2	1.8

Δx (ทวน)	0°	15°	90°	165°
วินาที	0	0.8	1.2	1.8

ตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบแรงดันของตัวควบคุมแบบดั้งเดิม ที่มีความไม่แน่นอนกรณีเหว ที่สุด

องศา (ตาม)	0°	15°	90°	165°
V_{in}	0	1.2	6.6	12
V_{sensor}	0	2.3	11.3	20.5

องศา (ทวน)	0°	15°	90°	165°
V_{in}	0	1.2	6.6	12
V_{sensor}	0	1.6	10.2	19.5

ตารางที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาในการไต่ระดับ (Δx) ของตัวควบคุมแบบดั้งเดิม ที่มีความไม่แน่นอนอนกรณิเลวที่สุด

Δx (ตาม)	0°	15°	90°	165°
วินาที	0	1.4	1.8	2.4

Δx (ทวน)	0°	15°	90°	165°
วินาที	0	1.5	2	2

ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบแรงดัน ตัวควบคุมกนทชนิดติดตามการควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่มีความไม่แน่นอนอนกรณิเลวที่สุด

องศา (ตาม)	0°	15°	90°	165°
V_{in}	0	1.2	6.6	12
V_{sensor}	0	1.2	6.5	11.6

องศา (ทวน)	0°	15°	90°	165°
V_{in}	0	1.2	6.6	12
V_{sensor}	0	0.9	6.5	11.8

ตารางที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาในการไต่ระดับ (Δx) ของตัวควบคุมกนทชนิดติดตาม การควบคุมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่มีความไม่แน่นอนอนกรณิเลวที่สุด

Δx (ตาม)	0°	15°	90°	165°
วินาที	0	1	1.2	1.6

Δx (ทวน)	0°	15°	90°	165°
วินาที	0	0.6	1.2	1.6