

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 การวิเคราะห์ระบบลูกตุ้มผกผัน	4
2.1 การวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของลูกตุ้มผกผัน	4
2.2 การหาค่าพารามิเตอร์	11
2.3 การทดสอบหาค่าของค่าคงที่ระหว่างแรงบิดกับกระแสของมอเตอร์	13
2.4 การทดสอบหาค่าของค่าคงที่ระหว่างแรงดันกับความเร็วของมอเตอร์	14
2.5 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของเครื่องมือวัด	17
บทที่ 3 การออกแบบตัวควบคุม	21
3.1 บทนำ	21
3.2 Controllability และ Observability ของลูกตุ้มผกผัน	22
3.3 การออกแบบตัวควบคุม	28
3.4 การออกแบบตัวประมาณค่า	36
3.5 การต่ออัตราป้อนกลับของสเตทเข้ากับตัวประมาณค่า	43
บทที่ 4 โครงสร้างของแบบจำลองลูกตุ้มผกผัน	47
4.1 โครงสร้างทางกลของลูกตุ้มผกผัน	47
4.2 วงจรขับมอเตอร์	49
4.3 วงจรของตัวควบคุม	55

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการทดสอบ	61
5.1 การทดสอบวงจรขั้วมอเตอร์	62
5.2 การทดสอบตัวควบคุม	63
5.3 การทดสอบการควบคุมลูกตุ้มผกผัน	65
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	73
6.1 บทสรุป	73
6.2 ข้อเสนอแนะ	74
บรรณานุกรม	76
ภาคผนวก	78
ประวัติผู้เขียน	83

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงผลการทดสอบและการคำนวณ หาค่าคงที่ระหว่างแรงดัน กับความเร็วของมอเตอร์	16
ตารางที่ 2.2 ค่าพารามิเตอร์ของลูกตุ้มผกผัน	18
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบวงจรขับมอเตอร์	62

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 แสดงกระบวนการของลูกตุ้มผกผัน (Inverted Pendulum)	4
ภาพที่ 2.2 แสดงแผนภาพบล็อกของลูกตุ้มผกผัน	8
ภาพที่ 2.3 แสดงแบบจำลองของดีซีมอเตอร์ ขณะมีโหลด	8
ภาพที่ 2.4 แสดงการทดสอบหาค่า K_m และ K_b	12
ภาพที่ 2.5 วงจรสมมูลของมอเตอร์	14
ภาพที่ 2.6 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของลูกตุ้มผกผัน เมื่อมีการรบกวนต่อระบบ	19
ภาพที่ 2.7 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของลูกตุ้มผกผัน เมื่อจุดเริ่มต้นไม่ได้อยู่ที่จุดสมดุล	20
ภาพที่ 3.1 แสดงระบบรูปเปิด และระบบรูปปิด	28
ภาพที่ 3.2 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของตำแหน่งของตัวรถ เมื่ออินพุทเป็นอิมพัลส์	32
ภาพที่ 3.3 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของมุมของลูกตุ้ม เมื่ออินพุทเป็นอิมพัลส์	33
ภาพที่ 3.4 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของความเร็วของตัวรถ เมื่ออินพุทเป็นอิมพัลส์	33
ภาพที่ 3.5 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของความเร็วของลูกตุ้ม เมื่ออินพุทเป็นอิมพัลส์	34
ภาพที่ 3.6 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของสัญญาณควบคุม เมื่ออินพุทเป็นอิมพัลส์	34
ภาพที่ 3.7 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของลูกตุ้มผกผัน เมื่อตำแหน่งเริ่มต้นไม่เป็นศูนย์	35
ภาพที่ 3.8 แสดงลักษณะของ Reduced order estimator	36
ภาพที่ 3.9 แสดงรูปแบบของตัวประมาณค่า	40
ภาพที่ 3.10 Signal flow graph ของตัวควบคุม ที่ใช้ควบคุมลูกตุ้มผกผัน	43
ภาพที่ 3.11 แสดงผลตอบสนองทางเวลาของระบบรวม เมื่อต่ออัตราขยายป้อนกลับเข้ากับตัวประมาณค่า	45
ภาพที่ 3.12 แสดงค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการใช้ตัวประมาณค่า	46
ภาพที่ 4.1 แสดงโครงสร้างทางกลของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในแนวราบ	47
ภาพที่ 4.2 แสดงโครงสร้างทางกลของลูกตุ้มผกผัน	48
ภาพที่ 4.3 วงจร Bridge ทรานส์ซิสเตอร์	49
ภาพที่ 4.4 แสดงการต่อวงจรกลับเฟสเข้ากับ Bridge ทรานส์ซิสเตอร์	50
ภาพที่ 4.5 แสดงการเกิด Cross over distortion	51
ภาพที่ 4.6 แสดงการต่อไดโอด เพื่อลด Cross over distortion	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.7	แสดงการต่อ R_2 เพื่อแก้ Output voltage offset เนื่องจากมี Input bias current โดยค่าของ R_2 มีค่าเท่ากับ R_1 ต่อขนานกับ R_f	52
ภาพที่ 4.8	แสดงวงจรขั้วมอดเดอร์	54
ภาพที่ 4.9	แสดงวงจรขยายสัญญาณผลต่าง	55
ภาพที่ 4.10	แสดงวงจรขยายแบบกลับเฟส	56
ภาพที่ 4.11	แสดงวงจรรวมสัญญาณ	56
ภาพที่ 4.12	แสดงวงจรอินทิเกรเตอร์	57
ภาพที่ 4.13	แสดงวงจรอินทิเกรเตอร์ ที่ใช้ในทางปฏิบัติ	58
ภาพที่ 4.14	แสดงวงจรของตัวควบคุมที่ใช้ควบคุมลูกตุ้มผกผัน แบบอัตราขยายคงที่	59
ภาพที่ 4.15	แสดงวงจรของตัวควบคุมที่ใช้ควบคุมลูกตุ้มผกผัน แบบเปลี่ยนอัตราขยายได้	60
ภาพที่ 5.1	แสดงการต่อระบบลูปิดเพื่อควบคุมลูกตุ้มผกผัน	61
ภาพที่ 5.2	แสดงผลสัญญาณควบคุม ที่ไม่ถูกต้องของตัวควบคุม เมื่ออินพุตเป็นศูนย์	64
ภาพที่ 5.3	แสดงผลสัญญาณควบคุม ที่ถูกต้องของตัวควบคุม เมื่ออินพุตเป็นศูนย์	65
ภาพที่ 5.4	แสดงผลตอบสนองของลูกตุ้มผกผัน ที่ยังไม่ได้มีการควบคุม เมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำ	66
ภาพที่ 5.5	กราฟใช้ในการแปลงค่าแรงดันไปเป็นมุมของลูกตุ้ม	67
ภาพที่ 5.6	กราฟใช้ในการแปลงค่าแรงดันไปเป็นระยะทางของตัวรถ	67
ภาพที่ 5.7	แสดงผลตอบสนองของลูกตุ้มผกผัน เมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำ	68
ภาพที่ 5.8	แสดงผลการควบคุม เมื่อมุมเริ่มต้นของลูกตุ้มก่อนการควบคุม ไม่ได้อยู่ที่จุดสมดุล	69
ภาพที่ 5.9	แสดงผลการควบคุม เมื่อให้น้ำหนักการควบคุมมุมของลูกตุ้มมากเกินไป	70
ภาพที่ 5.10	แสดงผลการควบคุม เมื่อเพิ่มอัตราขยายการควบคุมความเร็วของลูกตุ้ม	71
ภาพที่ 5.11	แสดงผลตอบสนองของลูกตุ้มผกผัน เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณอิมพัลส์	72

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	มิติ
A	สเตตเมตริกซ์ (State matrix)	$n \times n$
B	อินพุทเวกเตอร์ (Input vector)	$n \times 1$
C	เอาต์พุตเมตริกซ์ (Output matrix)	$n \times m$
Γ	ลากรางเจียน (Lagrangian)	ไร้มิติ
K	พลังงานจลน์ (Kinetic energy)	จูลล์ (Joules)
P	พลังงานศักย์ (Potential energy)	จูลล์ (Joules)
M	มวลของตัวรถ	กิโลกรัม (kg)
m	มวลของลูกตุ้ม	กิโลกรัม (kg)
l	ความยาวของแท่งลูกตุ้ม	เมตร (m)
r	รัศมีของมู่เเล่	เมตร (m)
y	ตำแหน่งของตัวรถ	เมตร (m)
g	แรงโน้มถ่วงของโลก	m/sec^2
θ	มุมของลูกตุ้ม	rad
f	แรง	N
x	สเตตเวกเตอร์	$n \times 1$
Y	เอาต์พุตเวกเตอร์	$m \times 1$
u	สัญญาณควบคุม	โวลต์ (volt)
ω	ความเร็วเชิงมุม	rad/sec
T_m	แรงบิดของมอเตอร์	N
i_a	กระแสอาร์เมเจอร์	amp
K_m	ค่าคงที่ระหว่างแรงบิดกับกระแสของมอเตอร์	N.m/amp
K_b	ค่าคงที่ระหว่างแรงดันกับความเร็วของมอเตอร์	volt.sec/rad
V_a	แรงดันย้อนกลับ (Back emf voltage) ในอาร์เมเจอร์	volt
R_a	ความต้านทานของอาร์เมเจอร์	โอห์ม Ω
L_a	ค่ารีแอ็กแตนซ์ของขดลวดอาร์เมเจอร์	henry

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	มิติ
τ_a	ค่าคงที่ทางเวลาของอาร์เมเจอร์	วินาที (sec)
τ	ค่าคงที่ทางเวลา	วินาที (sec)
v	ความเร็วเชิงเส้น	m/sec
S	ระยะทาง	m
t	เวลา	วินาที (sec)
$V_{\max}$	แรงดันสูงสุด	volt
D	เส้นผ่าศูนย์กลาง	m
K_θ	อัตราขยายของเครื่องมือวัดมุมของลูกตุ้ม	volt/rad
K_y	อัตราขยายของเครื่องมือวัดตำแหน่งของตัวรถ	volt/meter
K_a	อัตราขยายของวงจรขับมอเตอร์	ไร้มิติ
P	Controllability matrix	$n \times n_r$
O	Observability matrix	$n_m \times n$
K	อัตราขยายป้อนกลับ	$1 \times n$
J	performance index	ไร้มิติ