

การควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ด้วยเทคนิคการควบคุมแบบพีไอสมรรถนะสูง
ในรางส่งถ่ายสไลเดอร์

STEPPING MOTOR CONTROL USING HIGH PERFORMANCE PI CONTROL IN
SLIDER TRANSFERRING LINE



ปริญญาโท เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ปีการศึกษา 2556

การควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ด้วยเทคนิคการควบคุมแบบพีไอสมรรถนะสูง

ในรางส่งถ่ายสไลเดอร์

STEPPING MOTOR CONTROL USING HIGH PERFORMANCE PI CONTROL IN

SLIDER TRANSFERRING LINE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

อาจารย์ที่ปรึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

อาจารย์วรกัลป์ ลิ่มเจริญ

STEPPING MOTOR CONTROL USING HIGH PERFORMANCE PI
CONTROL IN SLIDER TRANSFERRING LINE



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BECHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ด้วยเทคนิคการควบคุมแบบพีไอ
สมรรถนะสูงในรางส่งถ่ายสไลเดอร์

ผู้จัดทำ

1. นายภูริณัฐ จันทร์รักษา
2. นางสาวมนจิรา ทองปอน



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์วรกัลป์ ลิ้มเจริญ)

การควบคุมการทำงานของสเต็มมอเตอร์ด้วยเทคนิคการควบคุมแบบพีไอสมรรถนะสูง
ในร่างส่งถ่ายสไลเดอร์

นายภูริณัฐ	จันทร์รักษา	
นางสาวมนจิรา	ทองปอน	
ผศ.ดร.สมยศ	เกียรติวินชิวไล	อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์วรกัลป์	ลี้มเจริญ	อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบการควบคุมแบบพีไอสมรรถนะสูงในร่างส่งถ่ายสไลเดอร์ โดยได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC40F4011 มาเป็นตัวควบคุมตำแหน่งของร่างส่งถ่าย และใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับแสงเบอร์ ILX511 เป็นตัวตรวจสอบตำแหน่ง เพื่อที่จะป้องกันกลับสัญญาณเอาท์พุทไปใช้ในการควบคุมสเต็มมอเตอร์ นอกจากนี้ได้นำวิธีการหาพารามิเตอร์ระบบมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบอัตราขยายของการควบคุมแบบพีไอสมรรถนะสูง ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้กับระบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STEPPING MOTOR CONTROL USING HIGH PERFORMANCE PI CONTROL IN SLIDER
TRANSFERRING LINE

Mr.Purinat Chantaraksa
Miss Monchira Tongpon
Asst.Prof.Dr.Somyot Kaitvanitvilai Supervisor
Mr.Worrakan Limcharoen Supervisor
Year 2013

ABSTRACT

This project aims to study and design the high performance PI control for slider transferring line. The developed system adopts the microcontroller dsPIC30F4011 to control the position of carrier, and the low cost CCD sensor, ILX511, is used for detecting the position in order to feedback the output signal for controlling the actuator which is stepping motor. In addition, system identification technique and classical control approach are applied to design the gain of high performance PI control. The results show that the proposed design is applicable for this system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานีพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล และอาจารย์วรกัลป์ ลิ้มเจริญ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่ตีมาโดยตลอด และได้รับความช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์ ผู้จัดทำรู้สึกทราบบซึ่งและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณบริษัทซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) และคณะนักวิจัย ที่เอื้อเพื่อความรู้ อุปกรณ์ และสถานที่ในการจัดทำโครงการ

ขอขอบพระคุณคุณนครศักดิ์ แสงศรี เจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกในการยืมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ

ขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ และคอยให้กำลังใจตลอดระยะเวลาในการจัดทำโครงการครั้งนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจ รวมถึงสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำโครงการครั้งนี้ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการครั้งนี้สำเร็จลงได้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 สเต็ปมอเตอร์	5
2.1.1 โครงสร้างพื้นฐานของสเต็ปมอเตอร์	5
2.1.2 ลักษณะการพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปมอเตอร์	7
2.1.3 หลักการทำงานของสเต็ปมอเตอร์	8
2.2 ระบบควบคุม	10
2.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ	10
2.2.2 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	13
2.2.3 ชนิดของการควบคุมที่พบบ่อยในงานอุตสาหกรรม	14
2.3 วิธีหาเสถียรภาพของระบบควบคุมเชิงเส้น	17
2.3.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีของเรทท์ – ฮิววิตซ์	18
2.3.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีของไนควิสต์	20
2.3.3 การวิเคราะห์ด้วยวิธีเส้นทางเดินของราก	22
2.3.4 แผนภาพโพล	24
2.4 แผนภาพโพลของฟังก์ชันถ่ายโอนวงรอบเปิดและเทคนิคการจัดสรรฐานวงรอบ	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากร ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำต่อเอกสารนี้อีก และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การหาพารามิเตอร์ระบบ	27
2.5.1 การประมาณการโดยใช้รูปแบบ ARX	28
2.5.2 การประมาณค่ากำลังสองต่ำสุด	29
2.5.3 การประมาณการโดยใช้รูปแบบ OE	30
2.6 เซ็นเซอร์ ILX511	32
2.6.1 คุณสมบัติ ILX511	32
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจร	
3.1 บทนำ	33
3.2 การออกแบบและจัดสร้างชิ้นงานจริง	33
3.2.1 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์	33
3.2.2 วงจร IC เบอร์ LM2576S	34
3.2.3 วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์	35
3.2.4 วงจรการทำงานของเซ็นเซอร์ ILX511	36
3.3 การวิเคราะห์ทางพลศาสตร์และการหาพารามิเตอร์ระบบ	37
3.3.1 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก	39
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 บทนำ	44
4.2 การหาพารามิเตอร์ระบบ ในโปรแกรม MATLAB	44
4.3 การทดลองของตัวควบคุมที่ออกแบบให้ควบคุมความเร็วของรางส่งถ่ายสไลเดอร์	52
4.3.1 ผลตอบสนองรูปขั้นบันไดของระบบ	52
4.3.2 การออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอกรณีที่ไม่มีตัวรบกวน	53
4.4 การทดลองของตัวควบคุมที่ออกแบบให้ควบคุมตำแหน่งของรางส่งถ่ายสไลเดอร์	55
4.4.1 ผลตอบสนองรูปขั้นบันไดของระบบ	55
4.4.2 การออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอกรณีที่ไม่มีตัวรบกวน	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา	
5.1 บทสรุป	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
5.3 แนวทางการพัฒนา	58
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ข้อมูลอุปกรณ์	61
ภาคผนวก ข บทความวิชาการ	95
ประวัติผู้เขียน	100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของสแต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร 4 เฟส	5
2.2	โครงสร้างอย่างง่ายของสแต็ปมอเตอร์ชนิดไฮบริดจ์	7
2.3	ลักษณะการพันขดลวดสแต็ปมอเตอร์แบบไบโพล่า	7
2.4	ลักษณะการพันขดลวดสแต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพล่า	8
2.5	ฟังก์ชันถ่ายโอน	11
2.6	ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบที่มีอินพุตเดียวและเอาต์พุตเดียว	11
2.7	ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบหลายอินพุตและหลายเอาต์พุต	12
2.8	รูปแบบของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	13
2.9	ตัวควบคุมแบบพี	14
2.10	ตัวควบคุมแบบไอ	15
2.11	การควบคุมแบบดี	16
2.12	ผลตอบสนองจากการนำเอาตัวควบคุมพีไอดีแบบต่างๆ ไปใช้กับระบบหลายๆ แบบ	17
2.13	ระบบวงรอบปิดทั่วไป	20
2.14	เส้นทางในควิตส์	21
2.15	ตัวอย่างระบบควบคุมที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนวงรอบเปิดเป็น KG(s)H(s)	23
2.16	ตัวอย่างรากและจุดทดสอบเพื่อพิจารณาว่าเป็นเส้นทางเดินของรากหรือไม่	24
2.17	ไดอะแกรมทั่วไปของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	25
2.18	ระบบที่มีการจัดสัญญาณวงรอบ	27
2.19	บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลอง ARX	29
2.20	บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลอง OE	31
2.21	เซ็นเซอร์ ILX 511 ของ sony	32
2.22	โครงสร้างของ ILX 511	32
3.1	ขาสัญญาณของ IC เบอร์ L297	33
3.2	ตัวอย่างการต่อ IC เบอร์ L297 ร่วมกับ L298	34
3.3	วงจร IC เบอร์ LM2576S	35
3.4	วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์	35
3.5	วงจรการทำงานของเซ็นเซอร์ ILX511	36
3.6	แบบจำลองร่างส่งถ่ายสไลด์เตอร์ที่ใช้ในการพิจารณาระบบของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ	37
3.7	ไดอะแกรมการทำงานของสแต็ปมอเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลของระบบที่วิเคราะห์	38

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 วงจร DAC แบบ R-2R Ladder ขนาด 8 บิต	40
3.9 Module ET-MINI MCP4922 DAC 12 BIT 2CH	41
3.10 รูปแบบการส่งข้อมูล (SPI Serial Interface) ของไอซี MCP4922	43
4.1 หน้าต่างโปรแกรมการหาพารามิเตอร์ระบบในโปรแกรม MATLAB	44
4.2 สัญญาณตำแหน่งขาออกและความถี่ขาเข้า ในช่วงที่จะนำไปพิจารณา	45
4.3 ขั้นตอนการหาแบบจำลองพารามิเตอร์ระบบ	46
4.4 ค่าเอทพุทเมื่อจำลองด้วยทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ของระบบ เมื่อใช้ OE4326	48
4.5 ค่าอินพุทและเอทพุทของระบบที่ทำการหาอนุพันธ์แล้ว เมื่อจำลองด้วยทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ของระบบ	47
4.6 ค่าอินพุทและเอทพุทของระบบที่ทำการหาอนุพันธ์แล้ว เมื่อจำลองด้วย ทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ โดยจะใช้ตัวกรองแบบ Band Pass โดยถ้าใช้ช่วงข้อมูลที่ 20.8663 ถึง 618.9658 rad/s	48
4.7 ค่าอินพุทและเอทพุทของระบบที่ทำการหาอนุพันธ์แล้ว เมื่อจำลองด้วย ทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ โดยจะใช้ตัวกรองแบบ Band Pass โดยถ้าใช้ช่วงข้อมูลที่ 0.34807 ถึง 32.65043 rad/s	50
4.8 ผลตอบสนองแบบขั้นบันไดของระบบที่เอทพุทเป็นความเร็วของรางส่งถ่ายสไลเดอร์	52
4.9 แบบจำลองการควบคุมความเร็วของรางส่งถ่ายสไลเดอร์ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ	53
4.10 การตั้งค่าตัวควบคุมพีไอ	53
4.11 สัญญาณเอทพุทของระบบที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ ที่ควบคุมด้วยความเร็วของรางส่งถ่ายสไลเดอร์	54
4.12 ผลตอบสนองแบบขั้นบันไดของระบบที่เอทพุทเป็นความเร็วของรางส่งถ่ายสไลเดอร์	55
4.13 แบบจำลองการควบคุมตำแหน่งของรางส่งถ่ายสไลเดอร์ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ การตั้งค่าตัวควบคุมพีไอ	55
4.14 กราฟสัญญาณเอทพุทของระบบที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ ที่ควบคุมด้วยตำแหน่งของรางส่งถ่ายสไลเดอร์	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
1.1	ระยะเวลาในการทำงาน	3
2.1	การกระตุ้นการทำงานของขดลวดแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส	9
2.2	การกระตุ้นการทำงานของขดลวดแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส	9
2.3	การกระตุ้นการทำงานของขดลวดแบบครึ่งสเต็ป	10
3.1	แสดงรูปแบบการส่งคำสั่งและข้อมูล	42
4.1	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของรูปกราฟสัญญาณขาออกที่ได้ข้างต้น	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นตามอัตราการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม อีกทั้งในภาคอุตสาหกรรมมีการนำเทคโนโลยีอัตโนมัติมาใช้แทนแรงงานมนุษย์มากขึ้น เพื่อให้เกิดความสะดวก รวดเร็ว และสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้มากขึ้น ซึ่งหนึ่งในเทคโนโลยีอัตโนมัติที่มีการนำมาใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรมคือ การทำงานโดยรางส่งถ่ายสไลเดอร์ โดยจะทำให้มีการขนส่งสินค้าได้รวดเร็ว และต่อเนื่อง และมีการนำรางส่งถ่ายสไลเดอร์ไปใช้ร่วมกับแขนกลเพื่อเคลื่อนย้ายวัตถุ ซึ่งการทำงานร่วมกันนั้นจะใช้หลักการการทำงานที่ให้อัตโนมัติในตำแหน่งที่ต้องการโดยการปิด - เปิดสวิตซ์การทำงานของสเต็ปมอเตอร์ เพื่อให้แขนกลสามารถหยิบจับวัตถุเพื่อเคลื่อนย้าย แต่การหยุดรางส่งถ่ายสไลเดอร์ด้วยวิธีนี้จะทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่ต้องการ

จากการศึกษาข้อมูลพบว่าในช่วงเวลาที่ผ่านมาเริ่มมีการค้นคว้าวิจัยและพัฒนาความรู้เพื่อควบคุมสเต็ปมอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น Shyn-Ming Jong และคณะ [1] ได้ใช้การควบคุมสเต็ปมอเตอร์ด้วยวิธีไมโครสเต็ปซึ่งเป็นการควบคุมที่มีความละเอียดสูง โดยใช้สัญญาณพัลส์เบิ้ลยูเอ็ม (PWM) แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดในการอิมพัลส์มอเตอร์แบบไฮบริดจ์ในสถานะที่ไม่เป็นเชิงเส้น Ngoc Quy Le และคณะ [2] สเต็ปมอเตอร์ถูกใช้อย่างกว้างขวางในงานที่ต้องการความละเอียดของการเคลื่อนที่สูง โดยใช้การควบคุมความเร็วแบบวงรอบเปิด แต่จะเกิดข้อผิดพลาดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงมีการใช้การควบคุมความเร็วแบบวงรอบปิดร่วมกับการควบคุมแบบมุมนำ (Lead Angle) ทำให้สามารถควบคุมการทำงานโดยเปลี่ยนแปลงความเร็วของสเต็ปมอเตอร์โดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มได้

ดังนั้นจึงทำการศึกษาและพัฒนาการควบคุมสเต็ปมอเตอร์โดยใช้การควบคุมแบบ พีไอ (PI) เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการใช้การควบคุมแบบพีไอและแบบพีไอดี (PID) อย่างแพร่หลาย เพราะมีความง่ายในการควบคุม โดยการควบคุมแบบพีไอถูกนำไปใช้ในเกือบจะทุกกระบวนการผลิต เนื่องจากสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงทางพลศาสตร์ได้ โดย Rohit G. Kanojija [3] ได้ศึกษาเปรียบเทียบการทำงานของการทำงานของการควบคุมแบบ พีไอและแบบพีไอดี โดยมีการออกแบบเปรียบเทียบการควบคุม โดยการควบคุมแบบพีไอดีจะออกแบบโดยใช้ Ziegler-Nichols และการควบคุมแบบพีไอ จะใช้การออกแบบด้วยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) และใช้การจำลองค่าในโปรแกรม MATLAB เพื่อตรวจสอบค่าพบบว่าการควบคุมแบบพีไอ-พีเอสโอ (PI-PSO) เป็นการควบคุมที่ได้ค่าเป็นที่น่าพึงพอใจที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้การควบคุมแบบพีไอในการเพิ่มสมรรถนะในการควบคุมสเต็ปมอเตอร์ โดยจะใช้เซ็นเซอร์

ตรวจจับตำแหน่งของวัตถุและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล เพื่อสั่งหยุดการทำงานของ สเต็ปมอเตอร์ให้วัตถุบนรางส่งถ่ายสไลเดอร์อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการได้แม่นยำมากขึ้น สามารถระบุตำแหน่งของวัตถุได้

การออกแบบระบบควบคุมที่ดีนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของระบบซึ่งจะทำให้สามารถทราบผลในสภาวะชั่วขณะ (Transient state) และสภาวะคงตัว (Steady state) ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์และกำหนดสมรรถนะต่างๆ ของระบบ เช่น การเกิดการพุ่งเกิน (Overshoot) และเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว ให้อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ โดยการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์นั้นจะอ้างอิงโดยใช้ทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ (System identification) ของ Lennart Ljung [4] ซึ่งเป็นวิธีการหาพารามิเตอร์ของระบบโดยมองระบบเปรียบเสมือนกล่องดำ (Black box) ใช้ค่าอินพุต และเอาต์พุตของระบบที่พิจารณามาวิเคราะห์หาฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ของระบบ โดยไม่ต้องอาศัยการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์โดยตรง ซึ่งจะเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ด้วยวิธีการควบคุมที่มีตัวควบคุมแบบพีไอ
2. เพื่อศึกษาการหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ โดยใช้ทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ของระบบ (Identification theory)
3. เพื่อสร้างแบบจำลองการควบคุมการทำงานของรางส่งถ่ายสไลเดอร์ สำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. สร้างแบบจำลองการควบคุมการทำงานของรางส่งถ่ายสไลเดอร์แบบพีไอ
2. สามารถสร้างแบบจำลองการควบคุมสเต็ปมอเตอร์ให้มีการทำงานอยู่ในช่วง Critical Damp
3. ทดลองและหาเทคนิคการแก้ปัญหา เพื่อพัฒนาคุณภาพการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ให้ดีขึ้นต่อไป
4. ทำการหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบจากการหาพารามิเตอร์ระบบโดยใช้ค่าอินพุตและเอาต์พุตที่ได้จากการแปลงค่าสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลอสโคปและนำไปจำลองในโปรแกรม MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 1. จัดเตรียมและหาข้อมูลเกี่ยวกับการทำโครงการนี้ ศึกษาข้อมูลและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการทั้งหมด

2. จัดหาและเตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับโครงการทั้งหมด รวมถึงศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือชนิดต่างๆ
3. ออกแบบและสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคที่นำเสนอ
4. สรุปผลของโครงการ เพื่อจัดทำวิทยานิพนธ์ต่อไป

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการทำงาน

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1				ภาคเรียนที่ 2			
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. ศึกษาการทำงานและการควบคุมการทำงานของสแต็ปมอเตอร์	←→							
2. ศึกษาการควบคุมการทำงานแบบพีไอ	←→							
3. สร้างวงจรขับสแต็ปมอเตอร์ และทดสอบการทำงาน		←→						
4. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของสแต็ปมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์			←→					
5. ศึกษาทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ				←→				
6. ทำการหาพารามิเตอร์ของระบบโดยใช้โปรแกรม MATLAB				←→				
7. ทำการหาแบบจำลองทางพลศาสตร์ของระบบ					←→			
8. ออกแบบการควบคุมการทำงานของระบบด้วยการควบคุมแบบพีไอ						←→		
9. วิเคราะห์ผลการควบคุมการทำงานโดยใช้การควบคุมแบบพีไอ							←→	
10. สรุปผลการวิจัย และนำเสนอผลงาน								←→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการใดก็ตาม หากมีผู้คัดลอกเนื้อหานี้ และต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการควบคุมสเต็มมอเตอร์ด้วยวิธีการควบคุมแบบพีไอ
2. มีความรู้ ความเข้าใจ สามารถใช้เทคนิคการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ (System Identification) ในการวิเคราะห์ระบบได้
3. โครงการนี้เป็นการสร้างร่างส่งถ่ายสไลเดอร์ต้นแบบ เพื่อสามารถประยุกต์และนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สเต็ปมอเตอร์

สเต็ปมอเตอร์เป็นอุปกรณ์เอาต์พุตอย่างหนึ่งซึ่งสามารถนำไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำการควบคุมได้สะดวก และเป็นมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานควบคุมการหมุนที่ต้องการตำแหน่งและทิศทางที่แน่นอน การทำงานของสเต็ปมอเตอร์จะขับเคลื่อนทีละขั้น ขั้นละ 0.9, 1.8, 5, 7.5, 15 หรือ 50 องศา ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและชนิดของสเต็ปมอเตอร์ตัวนั้นๆ สเต็ปมอเตอร์จะแตกต่างจากมอเตอร์กระแสตรงทั่วไป (DC MOTOR) ที่การทำงานของมอเตอร์กระแสตรงจะหมุนไปแบบต่อเนื่องไม่สามารถหมุนแบบสเต็ปได้ ดังนั้นในการนำไปกำหนดตำแหน่งจึงควบคุมได้ยากกว่า

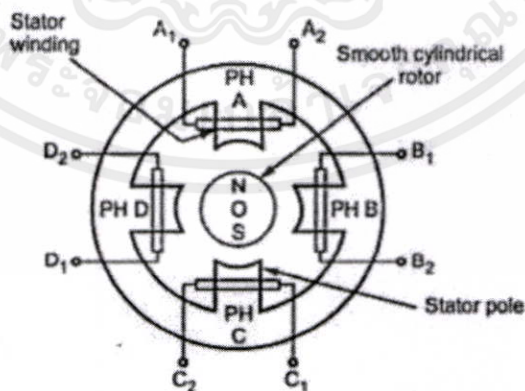
2.1.1 โครงสร้างพื้นฐานของสเต็ปมอเตอร์

สเต็ปมอเตอร์จะมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ชุดแกนหมุน (Rotor) ที่เป็นชุดของแม่เหล็กถาวร และชุดขดลวดอยู่กับที่ (Stator) ซึ่งจะทำหน้าที่รับสัญญาณพัลส์เข้ามาแล้วเปลี่ยนเป็นสนามแม่เหล็กหมุนไปรอบๆ แกนหมุนเพื่อทำให้แรงผลักและดันให้แกนหมุนหรือโรเตอร์เกิดการเคลื่อนที่ไปตามต้องการ

ในอดีตมีการแบ่งชนิดของสเต็ปมอเตอร์ออกตามโครงสร้างซึ่งแบ่งได้ 3 ชนิด คือ

1. สเต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet)

สเต็ปมอเตอร์ชนิดนี้จะใช้แม่เหล็กถาวรเป็นโรเตอร์โดยที่ตัวของโรเตอร์มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกและสเตเตอร์จะถูกแบ่งออกเป็นซี่ๆ หรือที่เรียกว่าเฟสล้อมรอบ ตามภาพที่ 2.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2.1 โครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร 4 เฟส ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในแต่ละชิ้นนั้นจะมีขดลวดพันโดยรอบๆ เพื่อทำให้เกิดการกระตุ้นในการสร้างสนามแม่เหล็ก การให้สเต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรนั้นมีขนาดมุมสเต็ปเล็กลงสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนของขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์หรือจำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ แต่การเพิ่มความละเอียดของการสเต็ปก็มีขีดจำกัดในการเพิ่มของจำนวนขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ ทั้งนี้เนื่องจากการสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีโครงสร้างแบบมีขั้วแม่เหล็กหลายๆ ขั้วนั้นทำได้ยาก จึงทำให้สเต็ปมอเตอร์ชนิดนี้มีข้อเสียคือ

ก) มีขนาดของมุมสเต็ปใหญ่ทำให้มีความละเอียดของสเต็ปต่อรอบน้อยมาก เนื่องจากโครงสร้างของมอเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร

ข) สเต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างขนาดเล็กทำให้ค่าแรงบิดที่ได้ต่อหน่วยปริมาตรมีค่าต่ำ ถ้าต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพในเรื่องของแรงบิดแม่เหล็กถาวรที่ใช้จะต้องทำมาจากสารแม่เหล็กที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กสูง

2. สเต็ปมอเตอร์แบบแปรค่าความต้านทานของสนามแม่เหล็กได้ (Variable Reluctance Stepping Motor)

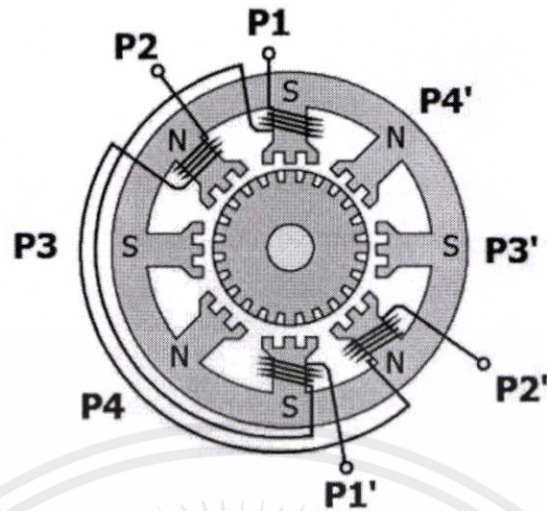
สเต็ปมอเตอร์ชนิดนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า วี อาร์ สเต็ปมอเตอร์ โดยโครงสร้างมีโรเตอร์และสเตเตอร์ที่ทำจากโลหะซิลิคอน (Silicon) ซึ่งเป็นสารแม่เหล็กที่มีสภาพความซึมซาบทางแม่เหล็ก (Permeability) สูงมาก เส้นแรงแม่เหล็กจึงสามารถไหลผ่านได้มาก

3. สเต็ปมอเตอร์แบบไฮบริดจ์ (Hybrid Stepping Motor)

สเต็ปมอเตอร์แบบไฮบริดจ์เป็นสเต็ปมอเตอร์ที่มีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร การใช้ชื่อไฮบริดจ์ได้มาจากการรวมหลักสำคัญของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร และแบบแปรค่าความต้านทานของสนามแม่เหล็กได้เข้าด้วยกัน ทำให้สเต็ปมอเตอร์แบบไฮบริดจ์มีโครงสร้างของสเตเตอร์คล้ายกับโครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์แบบแปรค่าความต้านทานแม่เหล็กได้ ลักษณะที่สำคัญของมอเตอร์ชนิดนี้คือ ตัวโรเตอร์จะเป็นแม่เหล็กชนิดถาวรและรูปร่างทรงกระบอกตามยาวอยู่ในแกนเหล็กของสเตเตอร์เพื่อใช้สร้างสนามแม่เหล็กและแต่ละขั้วของแม่เหล็กจะถูกล้อมรอบด้วยฟันเหล็กอ่อน โดยที่ฟันของโรเตอร์กับสเตเตอร์จะอยู่ในตำแหน่งที่เหลื่อมกันอยู่ 90 องศา

หลักการทำงานของสเต็ปมอเตอร์แบบไฮบริดจ์ที่แตกต่างจากสเต็ปมอเตอร์แบบแปรค่าความต้านทานของสนามแม่เหล็กได้ก็คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กจะไม่ขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเพียงอย่างเดียวแต่จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของซี่ฟันด้วย และข้อดีของสเต็ปมอเตอร์แบบไฮบริดจ์คือมีขนาดของสเต็ปเล็กทำให้มีความละเอียดของสเต็ปต่อรอบสูง นอกจากนี้ยังมีค่าของแรงบิดสูงกว่าสเต็ปมอเตอร์แบบแปรค่าความต้านทานของสนามแม่เหล็ก แต่สเต็ปมอเตอร์แบบแปรค่าความต้านทานของสนามแม่เหล็กได้จะมีแรงเฉื่อยทางกลน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

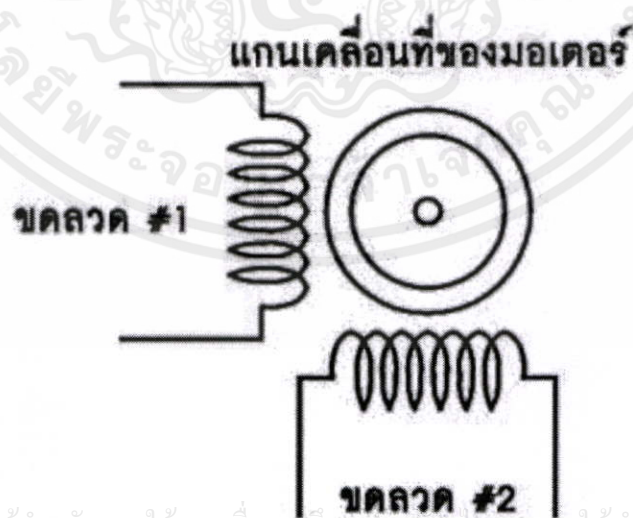


รูปที่ 2.2 โครงสร้างอย่างง่ายของสเต็ปมอเตอร์ชนิดไฮบริดจ์

2.1.2 ลักษณะการพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปมอเตอร์

1. สเต็ปมอเตอร์แบบไบโพล่า

มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.3 โดยแบ่งออกเป็น 2 ขดที่ไม่
มีแท่งกลาง ทำให้บางครั้งเรียกสเต็ปมอเตอร์แบบนี้ว่าเป็นสเต็ปมอเตอร์แบบ 2 เฟส การขับให้
มอเตอร์แบบนี้หมุนจะต้องป้อนแรงดันต่างขั้วกันให้แก่ขดลวดแต่ละขด ทำให้วงจรขับสเต็ปมอเตอร์
แบบนี้ค่อนข้างซับซ้อน

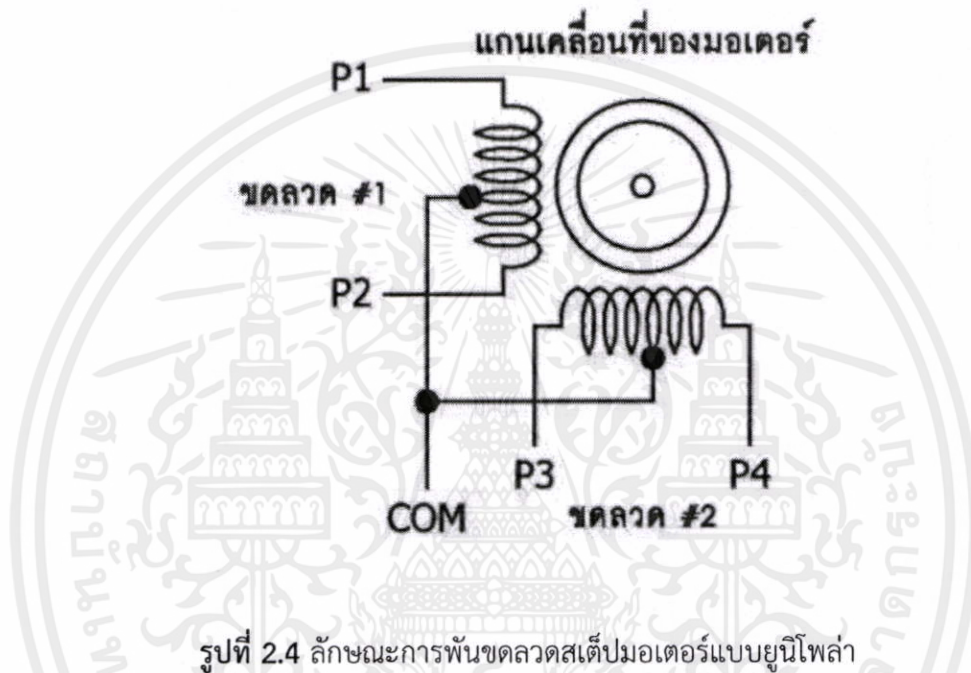


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 ลักษณะการพันขดลวดสเต็ปมอเตอร์แบบไบโพล่า

2. สเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพล่า

มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แสดงในรูปที่ 2.4 มีด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบ 5 สาย และแบบ 6 สาย บางครั้งเรียกสเต็ปมอเตอร์แบบนี้ว่าเป็นสเต็ปมอเตอร์แบบ 4 เฟส การขับจะต้องป้อนสัญญาณเข้าที่ขั้วหรือเฟสของสเต็ปมอเตอร์ให้เรียงลำดับอย่างถูกต้อง สเต็ปมอเตอร์จึงจะสามารถหมุนได้อย่างราบรื่น



รูปที่ 2.4 ลักษณะการพันขดลวดสเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพล่า

สเต็ปมอเตอร์แบบนี้มีการพันขดลวด 2 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ แต่ละขดแบ่งเป็น 2 เฟส ทำให้สเต็ปมอเตอร์มี 4 เฟส คือ เฟส 1, 2, 3 และ 4 โดยจะมีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยง ทำให้สเต็ปมอเตอร์แบบนี้มีทั้งแบบ 5 สาย และแบบ 6 สาย ถ้าเป็นแบบ 5 สาย จะเป็นการนำสายไฟเลี้ยงของขดลวดทั้งสองมาต่อรวมกันเป็นสายเดียว ซึ่งในโครงการนี้จะใช้สเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพล่าเนื่องจากสามารถหาได้ง่าย และใช้วงจรขับที่มีความซับซ้อนน้อยกว่า

2.1.3 หลักการทำงานของสเต็ปมอเตอร์

การทำงานของสเต็ปมอเตอร์จะทำงานได้โดยการกระตุ้นขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์หมุนและในการกระตุ้นขดลวดนี้ต้องป้อนกระแสไฟแบบต่อเนื่อง ในรูปแบบที่ถูกต้อง จึงจะสามารถขับสเต็ปมอเตอร์ให้หมุนได้ตามต้องการ สำหรับการกระตุ้นการหมุนของสเต็ปมอเตอร์แบ่งออกได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้บริการแก่ผู้ใช้งานเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นได้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็มป์ 1 เฟส (Full step 1 phase)

การขับสเต็มป์มอเตอร์โดยใช้การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็มป์ 1 เฟส เป็นการขับสเต็มป์มอเตอร์แบบที่ง่ายที่สุด โดยการป้อนกระแสไฟกระตุ้นการทำงานของขดลวดที่ละขดเรียงลำดับกันไปแบบนี้จะกินกระแสไฟน้อยที่สุด และให้แรงบิดน้อย ลักษณะการขับสเต็มป์มอเตอร์แบบ 1 เฟส แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การกระตุ้นการทำงานของขดลวดแบบฟูลสเต็มป์ 1 เฟส

สเต็มป์ที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ON	-	-	-
2	-	ON	-	-
3	-	-	ON	-
4	-	-	-	ON

2. การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็มป์ 2 เฟส (Full step 2 phase)

การขับสเต็มป์มอเตอร์โดยใช้การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็มป์ 2 เฟส จะเป็นการขับสเต็มป์มอเตอร์ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด 2 ขด พร้อมกัน ข้อเสียของการกระตุ้นเฟสแบบนี้คือจะใช้กระแสไฟฟ้ามากขึ้น แต่มีข้อดีคือ จะให้แรงบิดที่มากขึ้น โดยลักษณะการขับสเต็มป์มอเตอร์แบบ 2 เฟส แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การกระตุ้นการทำงานของขดลวดแบบฟูลสเต็มป์ 2 เฟส

สเต็มป์ที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ON	ON	-	-
2	-	ON	ON	-
3	-	-	ON	ON
4	ON	-	-	ON

3. การกระตุ้นเฟสแบบครึ่งสเต็มป์ (Half step)

เป็นรูปแบบที่ผสมผสานระหว่างการกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็มป์ 1 เฟส และ 2 เฟส โดยจะมีการกระตุ้นทั้ง 2 แบบ เรียงลำดับกันไป แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นเฟสแบบนี้จะเพิ่มขึ้น เพราะช่วงของสเต็มป์มีระยะสั้นลง ในการกระตุ้นแบบนี้เราจะต้องมีการกระตุ้นที่เฟส 2 ครั้ง จึงจะได้ระยะของ สเต็มป์เท่ากับการกระตุ้นเพียงครั้งเดียวของแบบฟูลสเต็มป์ ซึ่งจะทำให้ความละเอียดของการ

หมุน ตำแหน่งองศาต่อสแต็ปเป็นสองเท่าของแบบฟูลสแต็ป ความถูกต้องของตำแหน่งที่กำหนดจึงมีมากขึ้น

ตารางที่ 2.3 การกระตุ้นการทำงานของขดลวดแบบครึ่งสแต็ป

สแต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ON	-	-	-
2	ON	ON	-	-
3	-	ON	-	-
4	-	ON	ON	-
5	-	-	ON	-
6	-	-	ON	ON
7	-	-	-	ON
8	ON	-	-	ON

2.2 ระบบควบคุม (Control Systems)

ระบบควบคุมแบบสมัยใหม่นั้นใช้กับระบบที่มีหนึ่งสัญญาณด้านเข้าหนึ่งสัญญาณด้านออกได้ แต่จะมีประสิทธิภาพในการใช้งานกับระบบที่มีหลายสัญญาณด้านเข้า และหลายสัญญาณด้านออกมากกว่า โดยจะใช้คณิตศาสตร์เรื่องสมการอนุพันธ์ (Differential Equation), เวกเตอร์ (Vector) และเมทริกซ์ (Matrix) วิเคราะห์และออกแบบระบบ โดยใช้ตัวแปรสถานะ (State Variables) เพื่อศึกษาและพิจารณาเกี่ยวกับความสามารถในการตรวจสอบหรือสังเกตสถานะของระบบที่ถูกควบคุม และความสามารถในการควบคุมได้

2.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling) ที่ใช้ในระบบควบคุมพื้นฐานของระบบใดๆ สามารถหาได้จาก

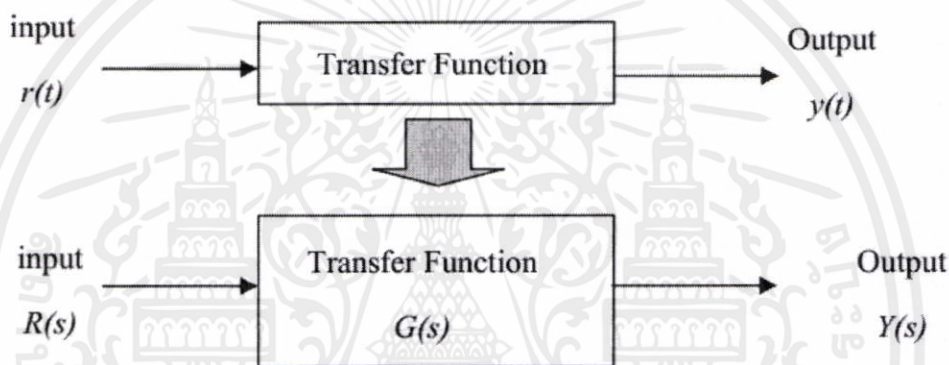
1) สมการความสัมพันธ์ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ของตัวแปรใดๆ แล้วแปลงให้อยู่ในรูปการแปลงลาปลาซของฟังก์ชัน (s-domain) ด้วยวิธีการแปลงลาปลาซ (Laplace's Transform) ซึ่งในเบื้องต้นอาจจะสร้างขึ้นมาจากสมการความสัมพันธ์ที่มีหลายตัวแปร แล้วทำให้เหลือเพียงแค่สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตกับเอาต์พุตของระบบเท่านั้น สุดท้ายจึงจัดให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอน

2) ทดสอบผลตอบสนองของระบบด้วยอินพุตอย่างใดอย่างหนึ่ง บันทึกผลตอบสนองที่ได้แล้วนำไปหาสมการความสัมพันธ์ด้วยวิธีการของการแสดงตัวระบบ (System Identification) ที่

พบ่อยคือการทดสอบระบบด้วยผลตอบสนองเชิงความถี่ แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างฟังก์ชันถ่ายโอนโดยตรง

2.2.1.1 ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)

ฟังก์ชันถ่ายโอนสร้างขึ้นมาจากสมการความสัมพันธ์ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ แปลงสมการเหล่านั้นให้อยู่ในรูปการแปลงลาปลาซของฟังก์ชัน (s-domain) โดยการแปลงลาปลาซ (Laplace’s Transform) ด้วยค่าเริ่มต้นเป็นศูนย์ จัดสมการความสัมพันธ์ให้เหลือเพียงแค่ตัวแปรสองตัวแปรคือ ตัวแปรอินพุตกับเอาต์พุตของระบบ ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนจึงหมายถึง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต โดยจะจำกัดการพิจารณาเฉพาะกับระบบที่เป็นเชิงเส้นและไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเท่านั้น ดังรูปที่ 2.5

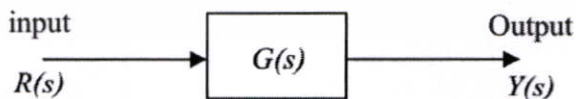


รูปที่ 2.5 ฟังก์ชันถ่ายโอน

ลักษณะฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นดังสมการความสัมพันธ์ที่ 2.1

$$G(s) = \frac{\mathcal{L}[y(t)]}{\mathcal{L}[r(t)]} = \frac{Y(s)}{R(s)} \tag{2.1}$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้กับระบบที่มีอินพุตเดียวและเอาต์พุตเดียว (Single Input Single Output : SISO) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ฟังก์ชันถ่ายโอนระบบที่มีอินพุตเดียวและเอาต์พุตเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีลักษณะของสมการคือ

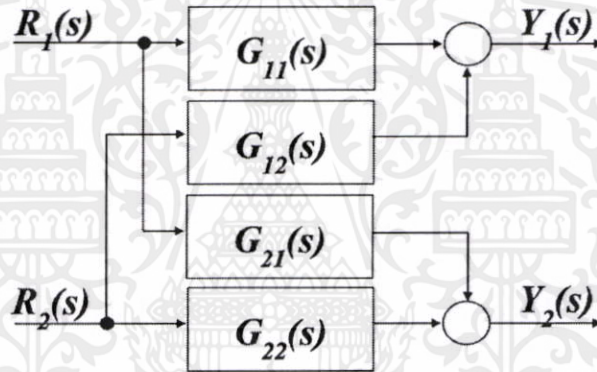
$$G(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{b_0s^m + b_1s^{m-1} + \dots + b_{m-1}s + b_m}{s^n + a_1s^{n-1} + \dots + a_{n-1}s + a_n}; m \leq n \quad (2.2)$$

โดยที่ $G(s)$ เป็นฟังก์ชันที่ได้สัดส่วน (rational function) ที่ $m \leq n$ และ n คืออันดับของระบบ ค่าคงที่ a_1, b_1 เป็นค่าคงตัวของพหุนามตัวหารของระบบทางกายภาพใดๆ ระบบนี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปโพลและซีโรเป็น

$$G(s) = \frac{K(s+z_1)(s+z_2)\dots(s+z_m)}{(s+p_1)(s+p_2)\dots(s+p_n)}; m \leq n \quad (2.3)$$

โดยที่ K เป็นค่าเกนของระบบ z_i และ p_i เป็นตำแหน่งซีโรและโพลในระบบเชิงซ้อน

สำหรับระบบที่มีหลายอินพุตและหลายเอาต์พุต (Multi-Input Multi-Output : MIMO) เขียนได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบหลายอินพุตและหลายเอาต์พุต

การหาความสัมพันธ์โดยรวมจะกระทำได้ที่ละคู่ดังนี้

$$G_{11}(s) = \left. \frac{Y_1(s)}{R_1(s)} \right|_{R_2(s)=0} \quad G_{12}(s) = \left. \frac{Y_1(s)}{R_2(s)} \right|_{R_1(s)=0} \quad G_{21}(s) = \left. \frac{Y_2(s)}{R_1(s)} \right|_{R_2(s)=0} \quad G_{22}(s) = \left. \frac{Y_2(s)}{R_2(s)} \right|_{R_1(s)=0} \quad (2.4)$$

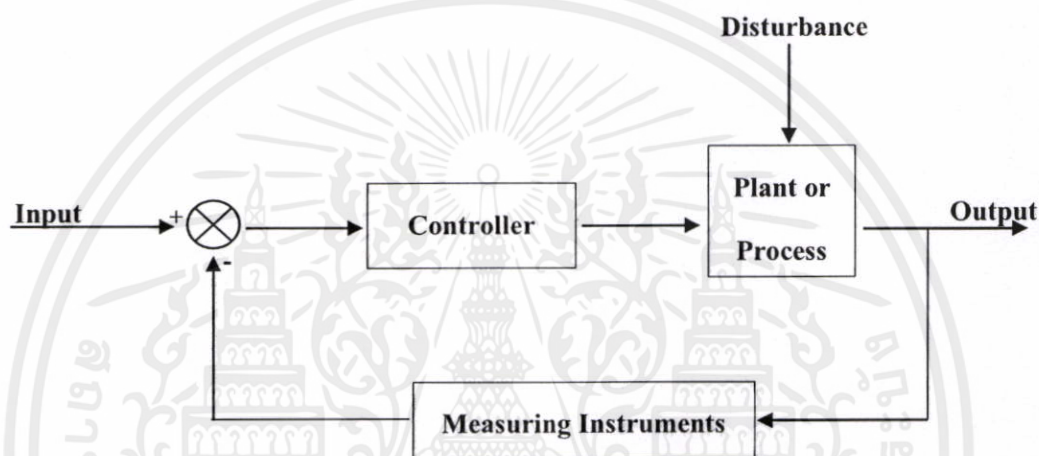
และเขียนรวมกันอยู่ในรูปแบบเมทริกซ์ของฟังก์ชันถ่ายโอนได้เป็น

$$\begin{bmatrix} Y_1(s) \\ Y_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1(s) \\ R_2(s) \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control Systems)

ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ หมายถึง ระบบควบคุมที่ต้องการควบคุมให้สัญญาณด้านออกหรือผลตอบสนองของระบบมีค่าตามที่ต้องการ โดยการนำเอาสัญญาณด้านออกป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับสัญญาณด้านเข้า ซึ่งการป้อนกลับนี้จะต้องเป็นการป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) จากนั้นนำค่าความแตกต่างระหว่างด้านเข้ากับด้านออกส่งต่อออกไปยังส่วนสร้างสัญญาณของตัวควบคุม เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมที่จะทำให้สัญญาณด้านออกของระบบที่ถูกควบคุมมีค่าตามต้องการ ระบบควบคุมป้อนกลับนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบควบคุมแบบลูปปิด หรือระบบควบคุมอัตโนมัติก็ได้



รูปที่ 2.8 รูปแบบของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

คุณสมบัติของการควบคุมแบบป้อนกลับ (Characteristics of Feedback)

- 1) การควบคุมแบบป้อนกลับสามารถทำให้ระบบเกิดเสถียรภาพได้
- 2) การควบคุมแบบป้อนกลับยังสามารถทำให้สมรรถนะในช่วงทรานเซียนของระบบดีขึ้น
- 3) สามารถลดหรือกำจัดค่าผิดพลาดในสภาวะคงตัวได้
- 4) สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้
- 5) สามารถลดความไวของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ได้

ในระบบบางประเภท เรามีความจำเป็นที่ต้องปรับปรุงสมรรถนะของระบบควบคุม ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้ส่วนประกอบอื่นเพิ่มเติมเข้ากับระบบควบคุม การที่เราปรับเปลี่ยนสมรรถนะของระบบควบคุมป้อนกลับแบบนี้เราเรียกว่า การชดเชย (Compensation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ชนิดของการควบคุมที่พบบ่อยในงานอุตสาหกรรม

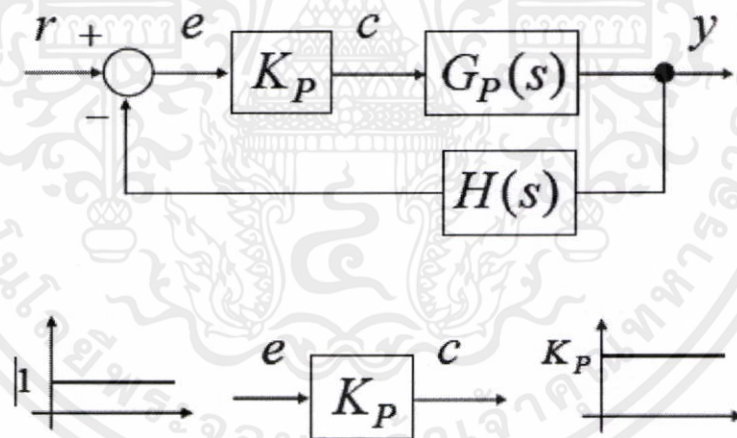
ตัวควบคุมแบบพีไอดีเป็นตัวควบคุมที่พบบ่อยมากที่สุดในงานอุตสาหกรรมทั่วไป เพราะเป็นตัวควบคุมที่สามารถปรับแต่งการควบคุมได้ง่ายเมื่อต้องการ ระบบควบคุมแบบพีไอดีมีตัวควบคุมย่อย 3 ตัว คือ

- 1) ตัวควบคุมแบบสัดส่วนหรือตัวควบคุมแบบพี
- 2) ตัวควบคุมแบบปริพันธ์หรือตัวควบคุมแบบไอ
- 3) ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์หรือตัวควบคุมแบบดี

ในการควบคุมทั่วไปมักใช้งานตัวควบคุมร่วมกัน เช่น การควบคุมแบบพีไอ การควบคุมแบบพีดี และการควบคุมแบบพีไอดี รายละเอียดการทำงานของตัวควบคุมแต่ละแบบมีดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบสัดส่วนหรือตัวควบคุมแบบพี

ตัวควบคุมแบบนี้จะนำเอาสัญญาณค่าความผิดพลาดระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณเอาต์พุตมาเป็นอินพุตของตัวควบคุม แล้วตัวควบคุมจะทำการสร้างสัญญาณเอาต์พุตด้วยการขยายสัญญาณความผิดพลาดดังกล่าวด้วยค่าเกนของตัวควบคุม บล็อกไดอะแกรมและลักษณะของการประมวลผลสัญญาณเป็นดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.9 ตัวควบคุมแบบพี

ฟังก์ชันการทำงาน คือ

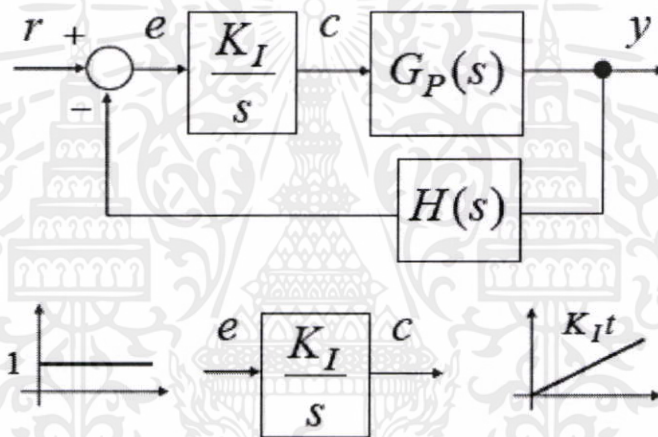
$$c(t) = K_p e(t) \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
จุดเด่นของตัวควบคุมแบบนี้เมื่อนำไปใช้งานก็คือ การปรับค่าเกนให้สูงขึ้นจะมีผลทำให้ระบบมีผลตอบสนองที่เร็วขึ้น ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในการนำไปใช้งานก็คือ ถ้านำไปใช้กับระบบชนิด 0 (System type 0) ตัวควบคุมแบบนี้จะไม่สามารถขจัดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวได้ แต่

ก็สามารถทำให้ค่าความผิดพลาดดังกล่าวมีค่าน้อยลงได้ด้วยการปรับค่าเกนให้สูง ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว การปรับค่าเกนให้สูงมากๆ ค่าเอาต์พุตที่ออกจริงจากตัวควบคุมมักมีค่าจำกัด และการปรับเกนให้มีค่าสูงสำหรับระบบที่มีอันดับสูงอาจจะทำให้ได้ผลตอบสนองเป็นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การปรับเกนให้สูงขึ้นสำหรับระบบอันดับสองผลที่ตามมาก็คือ ค่าพุงเกินก็จะสูงขึ้นตามด้วย ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อระบบได้

2. ตัวควบคุมแบบปริพันธ์หรือตัวควบคุมแบบไอ

ตัวควบคุมแบบนี้จะนำเอาสัญญาณความผิดพลาดระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณเอาต์พุตมาเป็นอินพุตของตัวควบคุม แล้วตัวควบคุมจะทำการสร้างสัญญาณเอาต์พุตด้วยการอินทิเกรตสัญญาณความผิดพลาดดังกล่าวแล้วคูณด้วยค่าเกนของตัวควบคุม บล็อกไดอะแกรมและลักษณะของการประมวลผลสัญญาณเป็นดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.10 ตัวควบคุมแบบไอ

ฟังก์ชันการทำงาน คือ

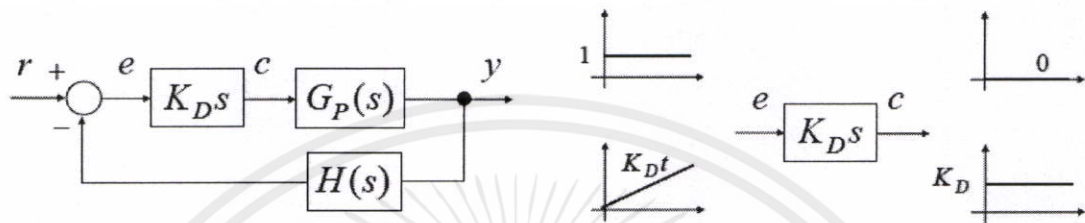
$$c(t) = K_I \int e(t) dt \quad (2.7)$$

จุดเด่นของตัวควบคุมแบบนี้เมื่อนำไปใช้งานก็คือ ถ้านำไปใช้งานกับระบบชนิด 0 (System type 0) ตัวควบคุมแบบนี้จะสามารถขจัดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวได้ ข้อด้อยที่อาจเกิดขึ้นในการนำไปใช้งานก็คือ ตัวควบคุมแบบนี้ไม่สามารถลดผลของการพุงเกินของผลตอบสนองได้ และการปรับเกนให้มีค่าสูงอาจจะทำให้ได้ผลตอบสนองที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การปรับเกนให้สูงขึ้นอาจจะมีผลทำให้ผลตอบสนองของระบบเกิดการแกว่งตัวได้

นอกจากนี้ ประโยชน์ด้านการคำนวณที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณ ไม่ว่าจะเป็นการคำนวณเชิงตัวเลข หรือการคำนวณเชิงสัญลักษณ์ และต้องอ้างอิงถึงเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์หรือตัวควบคุมแบบดี

ตัวควบคุมแบบนี้จะนำเอาสัญญาณความผิดพลาดระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณเอาต์พุตมาเป็นอินพุตของตัวควบคุม แล้วตัวควบคุมจะทำการสร้างสัญญาณเอาต์พุตด้วยการอนุพันธ์สัญญาณความผิดพลาดดังกล่าว แล้วคูณด้วยค่าเกนของตัวควบคุม บล็อกไดอะแกรมและลักษณะของการประมวลผลสัญญาณเป็นดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.11 การควบคุมแบบดี

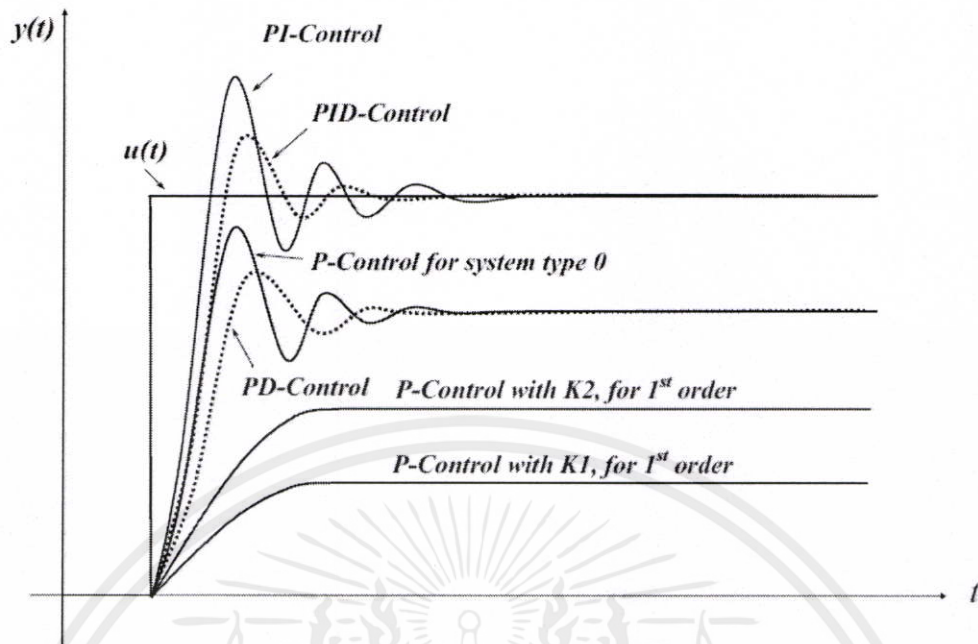
ฟังก์ชันการทำงาน คือ

$$c(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.8)$$

จุดเด่นของตัวควบคุมแบบนี้เมื่อนำไปใช้งานก็คือ ตัวควบคุมแบบนี้ใช้สำหรับลดผลของการพุ่งเกินของผลตอบสนองได้ ลดผลตอบสนองที่มีการเปลี่ยนแปลงไปมาได้ แต่ต้องปรับค่าเกนให้เหมาะสมด้วย ไมเช่นนั้นอาจจะทำให้ได้ผลตอบสนองที่ไม่เป็นที่พึงประสงค์ ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในการนำเอาตัวควบคุมนี้ไปใช้งานก็คือ ตัวควบคุมแบบนี้จะไม่สามารถขจัดค่าความผิดพลาดในสถานะคงตัวได้ และการใช้ตัวควบคุมนี้อาจจะทำให้ได้ผลตอบสนองที่ช้าลงได้

ตัวอย่างผลตอบสนองต่ออินพุตแบบขั้นบันไดของระบบต่างๆ ด้วยการใช้งานระบบควบคุมพีไอดีในลักษณะต่างๆ กัน เป็นดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ผลตอบสนองจากการนำเอาตัวควบคุมพีไอดีแบบต่างๆ ไปใช้กับระบบหลายๆ แบบ

จากรูปที่ 2.11 จะเห็นว่าถ้าหากนำตัวควบคุมแบบพีไอไปใช้กับระบบที่เป็นอันดับหนึ่ง ผลตอบสนองที่ได้จะมีค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัว ซึ่งสามารถลดผลกระทบได้ด้วยการเพิ่มค่าเกนของตัวควบคุมให้สูงขึ้น สำหรับการนำไปใช้กับระบบที่มีอันดับสูงกว่านั้นและเป็นระบบชนิด 0 ค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวก็ยังมีอยู่ และการลดผลกระทบด้วยการปรับค่าเกนของตัวควบคุมพีไอให้สูงขึ้นอาจจะส่งผลให้การพุ่งเกินมีค่าสูงขึ้นได้ ถ้าหากใช้ตัวควบคุมร่วมกันระหว่างพีกับไอ หรือตัวควบคุมแบบพีไอกับระบบนี้แล้ว ตัวควบคุมแบบไอก็จะช่วยขจัดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัว แต่ผลตอบสนองที่ได้จะยังคงมีค่าพุ่งเกินเหมือนเดิม ถ้าหากใช้ตัวควบคุมร่วมกันระหว่างพีกับดี หรือตัวควบคุมแบบพีดีกับระบบนี้แล้ว การพุ่งเกินของผลตอบสนองก็จะลดลง แต่ค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวก็ยังคงอยู่ ดังนั้นถ้าหากใช้ตัวควบคุมร่วมกันระหว่างพี ไอและดี ด้วยการปรับค่าเกนให้เหมาะสมกับระบบนั้นๆ ก็จะได้ผลตอบสนองแบบหน่วงต่ำกว่าวิกฤตที่มีค่าพุ่งเกินเหมาะสมกับระบบนั้นๆ

2.3 วิธีหาเสถียรภาพของระบบควบคุมเชิงเส้น

แม้ว่าเสถียรภาพของระบบเชิงเส้นที่ไม่แปรตามเวลาสามารถตรวจสอบได้จากผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ หรือจากการหาตำแหน่งขั้วของสมการคุณลักษณะ แต่ว่าเงื่อนไขเหล่านี้ทำได้ยากในทางปฏิบัติ เช่น ผลตอบสนองต่ออิมพัลส์จะหาได้จากการแปลงกลับลาปลาซ (inverse Laplace transform) ของฟังก์ชันถ่ายโอนซึ่งเป็นงานที่ไม่ง่ายนักในบางครั้ง หรือการหารากของสมการคุณลักษณะเช่นกัน ถ้าสมการคุณลักษณะที่เป็นพหุนามเมียบลของ s มีอันดับสูงๆ การหารากก็ทำได้ยาก

วิธีเหล่านี้จึงไม่ค่อยนิยมใช้นัก วิธีที่นิยมนำมาใช้ในการหาเสถียรภาพของระบบเชิงเส้นที่ไม่แปรตามเวลามีดังนี้

1) การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีของเรอท์ – ฮิวร์วิทซ์ (Routh-Hurwitz criterion) เป็นวิธีทางพีชคณิตที่ใช้หาเสถียรภาพสมบูรณ์ของระบบเชิงเส้นที่ไม่แปรตามเวลา การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีของเรอท์ – ฮิวร์วิทซ์จะเป็นวิธีการที่ตรวจหาว่ารากใดของสมการคุณลักษณะอยู่บนครึ่งขวาของระนาบ s และในเวลาเดียวกันจะทราบถึงจำนวนของรากที่อยู่บนแกนจินตภาพ และอยู่มางครึ่งขวาของระนาบ s ด้วย

2) การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีของไนควิสต์ (Nyquist criterion) เป็นวิธีที่กราฟที่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างจำนวนของโพลและซีโรของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลูปปิดโดยการสังเกตจากพฤติกรรมของแผนภาพไนควิสต์ (Nyquist plot)

3) การวิเคราะห์ด้วยวิธีเส้นทางเดินของราก (Root locus) เป็นการวาดเส้นทางเดินของรากของสมการคุณลักษณะเมื่อพารามิเตอร์ของระบบแปรค่าไป เมื่อทางเดินของรากอยู่ทางครึ่งขวาของระนาบ s ระบบจะรอบปิดจะไม่เสถียร

4) แผนภาพโบด (Bode diagram) แผนภาพโบดของฟังก์ชันถ่ายโอน $G(s)H(s)$ อาจจะใช้หาเสถียรภาพของระบบวงรอบปิดได้ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้สามารถใช้ได้ถ้า $G(s)H(s)$ ไม่มีโพลและซีโรอยู่มางด้านครึ่งขวาของระนาบ s เท่านั้น

5) Lyapunov's stability criterion เป็นวิธีหาเสถียรภาพของระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น แต่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบที่เป็นเชิงเส้นได้ เสถียรภาพของระบบสามารถหาได้โดยการตรวจสอบคุณสมบัติของ Lyapunov function ของระบบ

2.3.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีของเรอท์ – ฮิวร์วิทซ์ (Routh-Hurwitz criterion)

การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีของเรอท์ – ฮิวร์วิทซ์ เป็นวิธีการหาตำแหน่งของซีโรของสมการโพลีโนเมียลที่มีสัมประสิทธิ์ค่าจริงที่คงที่โดยการเทียบกับครึ่งซ้ายหรือครึ่งขวาในระนาบ s วิธีนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งระบบที่มีหนึ่งอินพุต – หนึ่งเอาต์พุต หรือระบบหลายอินพุต – หลายเอาต์พุต หรือระบบที่มีวงรอบเดียวหรือหลายวงรอบ (multiple-loop) ได้

พิจารณาจากสัมประสิทธิ์ของสมการคุณลักษณะ สมมติให้สมการคุณลักษณะทั่วไปอยู่ในรูป

$$a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + a_{n-2} s^{n-2} + \dots + a_1 s + a_0 = 0 \quad (2.9)$$

ในวิธีการนี้จะเขียนสัมประสิทธิ์ของสมการคุณลักษณะในรูปอะเรย์ต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่เป็นการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะหาค่าที่เหลือจากสมการต่อไปนี้

$$\begin{array}{l|llll} s^n & a_n & a_{n-2} & a_{n-4} & \dots \\ s^{n-1} & a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} & \dots \\ s^{n-2} & b_{n-1} & b_{n-3} & b_{n-5} & \dots \\ s^{n-3} & c_{n-1} & c_{n-3} & c_{n-5} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\ s^0 & n_{n-1} & & & \end{array}$$

โดยที่

$$b_{n-1} = \frac{(a_{n-1}a_{n-2}) - (a_n a_{n-3})}{a_{n-1}} = \frac{-1}{a_{n-1}} \left| \begin{array}{cc} a_n & a_{n-2} \\ a_{n-1} & a_{n-3} \end{array} \right|$$

$$b_{n-3} = \frac{-1}{a_{n-1}} \left| \begin{array}{cc} a_n & a_{n-4} \\ a_{n-1} & a_{n-5} \end{array} \right|$$

$$c_{n-1} = \frac{-1}{b_{n-1}} \left| \begin{array}{cc} a_{n-1} & a_{n-3} \\ b_{n-1} & b_{n-3} \end{array} \right|$$

ทำการพิจารณาสมาชิกในคอลัมน์แรกมีค่าเป็นบวกทั้งหมดไม่มีการเปลี่ยนเครื่องหมายหมายความว่าไม่มีโพลที่มีค่าจริงเป็นบวกดังนั้นระบบมีเสถียรภาพ

ในเทคนิคของเรา - ฮิวริทซ์ระบุว่าจำนวนของโพลที่มีจำนวนจริงเป็นบวกจะเท่ากับจำนวนครั้งของการเปลี่ยนเครื่องหมายของคอลัมน์ที่หนึ่งของตารางอูเรย์ของเรา - ฮิวริทซ์ ในกรณีที่มีค่าในคอลัมน์ที่หนึ่ง มีค่าเป็นศูนย์แต่เทอมถัดไปในแถวไม่เป็นศูนย์หมดหรือไม่มีเทอมถัดไป ให้สมมติให้ค่าศูนย์นั้นมีค่าเป็นจำนวนจริงบวกขนาดเล็กมาก เขียนแทนด้วย ϵ

กรณีที่สัมประสิทธิ์ในแถวของอูเรย์เรา - ฮิวริทซ์ มีค่าเป็นศูนย์ทั้งแถวแสดงว่าระบบมีรากที่เป็นจำนวนจริงที่มีขนาดเท่ากันแต่เครื่องหมายต่างกัน และ/หรือมีรากบนแกนจินตภาพที่เป็นคอนจูเกตกันหนึ่งคู่ (two conjugate imaginary roots) ในกรณีนี้ในการวิเคราะห์ต่อไปให้สร้างโพลโนเมียลช่วย (Auxiliary Polynomial) โดยสร้างจากสัมประสิทธิ์แถวสุดท้ายก่อนที่จะเป็นศูนย์หมดแล้วนำมาทำการอนุพันธ์และนำสัมประสิทธิ์ของโพลีโนเมียลที่ถูกอนุพันธ์แล้วเป็นสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการดำเนินการในอูเรย์ต่อไป

การใช้การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีของเรา - ฮิวริทซ์ ในการพิจารณาค่ารากที่อยู่ทางขวามือของระนาบ s ตลอดจนเงื่อนไขของเสถียรภาพของระบบ แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีของเรา - ฮิวริทซ์จะสามารถใช้ได้กับสมการคุณลักษณะที่เป็นพีชคณิตและมีสัมประสิทธิ์เป็นจำนวนจริงเท่านั้น ถ้าสมการคุณลักษณะมีสัมประสิทธิ์ตัวใดตัวหนึ่งเป็นจำนวนเชิงซ้อนหรือเป็นเอ็กโพเนนเชียล (exponential) ฟังก์ชันของ s แล้วจะไม่สามารถนำวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีของเรา - ฮิวริทซ์ มาประยุกต์ใช้ได้ และอีกประการหนึ่งการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีของเรา - ฮิวริทซ์ จะบอกให้เราทราบเพียงว่าระบบนี้เสถียรหรือไม่เสถียร (เสถียรภาพสัมบูรณ์) เท่านั้น ไม่สามารถบอกได้ว่าถ้าระบบนั้นเสถียรแล้ว เสถียรภาพระบบจะดี

หรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งคือ ไม่ได้บอกให้ทราบว่ารากของสมการคุณลักษณะจะอยู่ที่ใดบนจินตภาพเท่าไร สำหรับในระบบที่ไม่เสถียรก็เช่นกันการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีของเรา - ฮิวริทซ์ ไม่ได้บอกให้ทราบว่าทำอะไรระบบจึงจะเข้าสู่เสถียรภาพได้

2.3.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีของไนควิสต์ (Nyquist criterion)

วิธีของไนควิสต์มีลักษณะที่สำคัญซึ่งมีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมดังนี้

ก) สามารถจัดหาข้อมูลเกี่ยวกับเสถียรภาพสัมบูรณ์ของระบบควบคุมได้เท่ากับการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีของเรอท์ - ฮิวริทซ์

ข) นอกจากเสถียรภาพสัมบูรณ์ของระบบแล้วการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีของไนควิสต์ยังสามารถแสดงถึงดัชนีของเสถียรภาพของระบบที่เสถียร และยังบอกให้ทราบว่า จะปรับปรุงเสถียรภาพของระบบได้อย่างไร จึงสามารถใช้ในการออกแบบได้

ค) การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีของไนควิสต์จะให้ข้อมูลของผลตอบสนองของระบบในโดเมนความถี่ (frequency - domain)

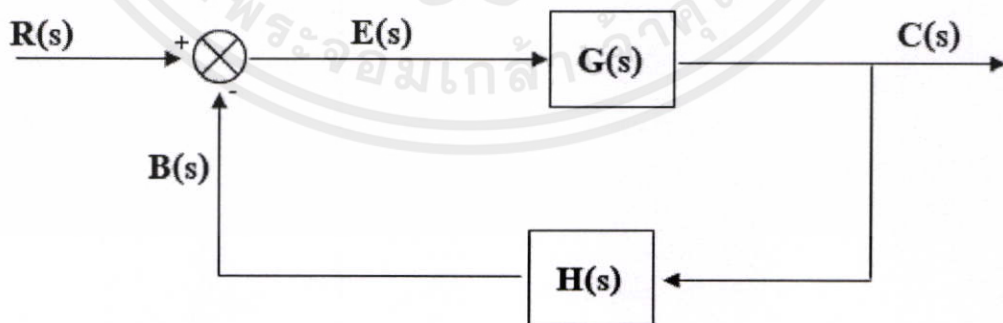
ง) สามารถใช้ศึกษาถึงเสถียรภาพของระบบที่มี pure - time delay ได้

ฉ) สามารถนำไปเปลี่ยนแปลงให้ใช้กับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้

เงื่อนไขเสถียรภาพของไนควิสต์สามารถใช้หาเสถียรภาพของระบบวงรอบปิดจากผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงรอบเปิดและโพลของวงรอบเปิด พิจารณาสมการวงรอบเปิด $G(s)$ แล้วฟังก์ชันถ่ายโอนวงรอบเปิดคือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)} \quad (2.10)$$

ระบบดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้แบบที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.13 ระบบวงรอบปิดทั่วไป
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ใช้วิเคราะห์เสถียรภาพได้จากสมการคุณลักษณะต่อไปนี้

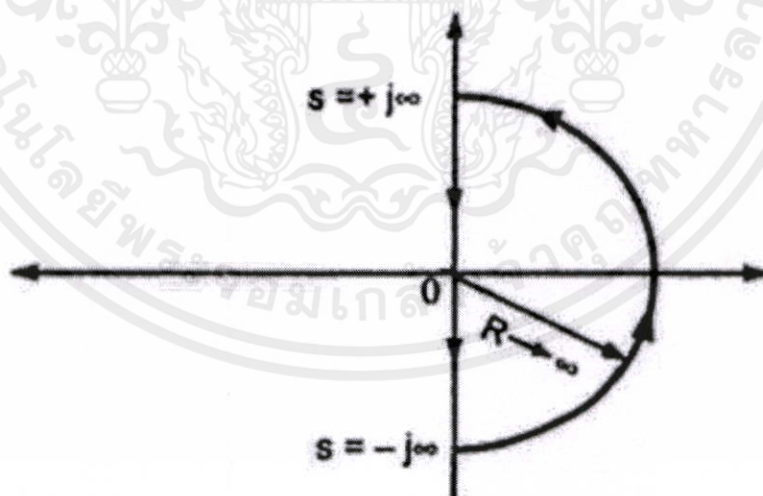
$$1 + G(s)H(s) = 0 \quad (2.11)$$

แผนภาพไนควิสต์สามารถใช้วิเคราะห์เสถียรภาพของระบบได้ ในบางกรณีที่ไม่สามารถหาสมการแบบจำลองคณิตศาสตร์แต่มีผลตอบสนองเชิงความถี่อย่างเดียวกันก็สามารถใช้แผนภาพไนควิสต์ในการวิเคราะห์เสถียรภาพได้เช่นกัน ในกรณีนี้หากใช้ทฤษฎีการส่งรูปมาวิเคราะห์ระบบ $1+G(s)H(s)$ แล้วสามารถพิจารณาการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยให้เส้นขอบทางเดิน (contour) ประกอบด้วยแกนจินตภาพจากค่า ω มีค่าตั้งแต่ $-\infty$ ถึง ∞ แล้วลักษณะเส้นขอบทางเดินที่ใช้พิจารณาจะเป็นรูปครึ่งวงกลมที่มีรัศมีเป็นอนันต์ซึ่งจะครอบคลุมระนาบ s ด้านขวามือทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 2.13 เส้นทางนี้เรียกว่า เส้นทางเดินไนควิสต์ (Nyquist path) ซึ่งจะปกคลุมโพลและซีโรที่อยู่ทางขวามือของระนาบทุกตัว กรณีที่น่าสนใจคือ หาก $G(s)H(s)$ มีโพลหรือซีโรอยู่ที่ตำแหน่ง $s=0$ นี้จะหาค่าไม่ได้ ในกรณีนี้จำเป็นต้องสร้างเส้นทางเดินรอบๆ จุด $s=0$ ซึ่งจะพิจารณาในกรณีพิเศษต่อไป

เนื่องจากเงื่อนไขที่ถูกละเมิดคือ

$$\lim_{s \rightarrow \infty} 1 + G(s)H(s) = \text{ค่าคงที่} \quad (2.12)$$

แล้ว $1+G(s)H(s)$ จะยังคงมีค่าคงที่แม้ว่า s จะวิ่งไปตามทางของครึ่งวงกลมที่มีรัศมีอนันต์ ดังนั้นทางเดินของ $1+G(s)H(s)$ ที่วนรอบจุดกำเนิดของระนาบ $1+G(s)H(s)$ นั้นจะหาได้จากการพิจารณาส่วนของเส้นขอบทางเดินบางส่วนของลูปปิด นั่นคือแกนจินตภาพเท่านั้น



รูปที่ 2.14 เส้นทางไนควิสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกท้วนว่าเส้นข้างเดินนี้ จะวาดตั้งแต่ ω มีค่าตั้งแต่ $-\infty$ ถึง ∞ ซึ่งในส่วนหนึ่งของเส้นทาง

เดินไนควิสต์แสดงได้ดังรูปที่ 2.13

เงื่อนไขของเสถียรภาพของไนควิตส์ (ในกรณีที่ $G(s)H(s)$ ไม่มีโพลหรือซีโรที่อยู่บนแกนจินตภาพ) ในระบบวงปิดในรูปที่ 2.12 เงื่อนไขเสถียรภาพของไนควิตส์สามารถเขียนในรูปแบบต่อไปนี้

$$Z=N+P \quad (2.13)$$

เมื่อ Z คือ จำนวนของซีโรของ $1+G(s)H(s)$ ที่อยู่ด้านขวาของระนาบ s

N คือ จำนวนของการวนรอบของจุด $-1+0j$ ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

P คือ จำนวนโพลของ $G(s)H(s)$ ที่อยู่ด้านขวาของระนาบ s

1) ในกรณีระบบที่ไม่มีโพลของ $G(s)H(s)$ อยู่ทางขวามือของระนาบ s ($P=0$) แล้ว หากเส้นขอบทางเดินของระนาบ $G(s)H(s)$ ไม่วนรอบจุด $(-1,0)$ แล้วระบบจะมีเสถียรภาพ

2) ในกรณีระบบที่มีโพลของ $G(s)H(s)$ อยู่ทางขวามือของระนาบ s ($P \neq 0$) แล้วระบบจะมีเสถียรภาพถ้าจำนวนของการวนรอบจุด $(-1,0)$ ในทิศทวนเข็มนาฬิกาของเส้นขอบทางเดินของระนาบ $G(s)H(s)$ เท่ากับจำนวนของโพลของ $G(s)H(s)$ ที่อยู่ทางขวามือของระนาบ s ในข้อนี้หมายถึง Z ต้องเท่ากับ 0 นั่นคือไม่มีซีโรของ $1+G(s)H(s)$ อยู่ทางด้านขวาของระนาบ s (โพลของระบบวงรอบปิดไม่อยู่ทางขวามือ ระบบจึงจะมีเสถียรภาพ)

3) หากมีการวนรอบจุด $-1+0j$ ในทิศตามเข็มนาฬิกาตั้งแต่หนึ่งรอบหรือมากกว่านั้น แสดงว่าระบบไม่มีเสถียรภาพ

2.3.3 การวิเคราะห์ด้วยวิธีเส้นทางเดินของราก (Root locus)

วิธีการเส้นทางเดินของรากนี้ถูกพัฒนาโดย Evans ในปี พ.ศ.2491 และถูกนำมาใช้วิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมอย่างมากในเวลาถัดมา ซึ่งกฎต่างๆ ในการสร้างเส้นทางเดินของรากถูกสร้างขึ้นโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างโพลและซีโร ในหลายกรณีวิธีการเส้นทางเดินรากถูกใช้ควบคู่กับการวิเคราะห์เสถียรภาพของเรท์ - ฮีร์วิทซ์ เพื่อให้สามารถกำหนดย่านการออกแบบและการวิเคราะห์ได้ดีขึ้น

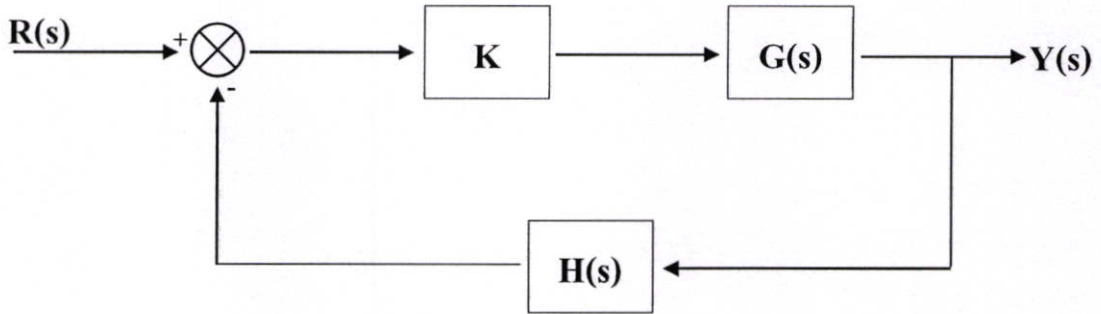
การหาเส้นทางเดินของรากจะพิจารณาสมการคุณลักษณะของระบบวงรอบปิดที่มีการควบคุมแบบป้อนกลับแบบลบและมีฟังก์ชันถ่ายโอนวงรอบเปิดเป็น $KG(s)H(s)$ ได้เป็น

$$1 + KG(s)H(s) = 0 \quad (2.14)$$

จากสมการที่ 2.14 หากค่าพารามิเตอร์ K เป็นจำนวนจริงบวกตั้งแต่ 0 ถึง ∞ แล้วสมการที่ 2.14 สามารถเขียนในรูปขนาดและมุมได้เป็น

$$KG(s)H(s) = -1 = 1 \angle 180^\circ = |KG(s)H(s)| \angle KG(s)H(s) \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ระบบควบคุมที่มีสมการคุณลักษณะนี้อาจเขียนแทนได้ดังรูปที่ 2.14 จากรูประบบที่
ไม่ว่ากรณีต้องการควบคุมจะมีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น $G(s)$ มีอัตราขยายคงที่ K เป็นตัวควบคุมแบบสัดส่วนและมีฟังก์ชันถ่ายโอนของส่วนป้อนกลับเป็น $H(s)$



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างระบบควบคุมที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนวงรอบเปิดเป็น $KG(s)H(s)$

จากสมการที่ 2.15 สามารถเขียนเงื่อนไขเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เส้นทางเดินของรากได้สองเงื่อนไข คือ

- 1) เงื่อนไขทางขนาด

$$|KG(s)H(s)| = 1 \quad (2.16)$$

- 2) เงื่อนไขทางมุม

$$\angle KG(s)H(s) = \pm 180^\circ(2k + 1) \quad (2.17)$$

เมื่อ $k=0, 1, 2, 3, \dots$

จากเงื่อนไขทั้งสองข้อสามารถใช้เพื่อพิจารณาในกรณีฟังก์ชันถ่ายโอนวงรอบเปิดในรูปทั่วไปได้ดังนี้

$$KG(s)H(s) = K \frac{(s+z_1)(s+z_2)\dots(s+z_q)}{(s+p_1)(s+p_2)\dots(s+p_r)} \quad (2.18)$$

เมื่อ q คือ จำนวนซีโรและ r คือ จำนวนโพล z_i คือ ซีโรตัวที่ i และ p_i คือ โพลตัวที่ i เมื่อพิจารณาตามเงื่อนไขทางขนาดและทางมุม เมื่อ $K > 0$ พบว่า

$$|KG(s)H(s)| = K \frac{|s+z_1||s+z_2|\dots|s+z_q|}{|s+p_1||s+p_2|\dots|s+p_r|} = 1 \quad (2.19)$$

และ

$$\begin{aligned} \angle KG(s)H(s) &= [\angle(s+z_1) + \angle(s+z_2) \dots + \angle(s+z_q)] - [\angle(s+p_1) + \angle(s+p_2) \dots \angle(s+p_r)] \\ &= \pm 180^\circ(2k + 1) \end{aligned} \quad (2.20)$$

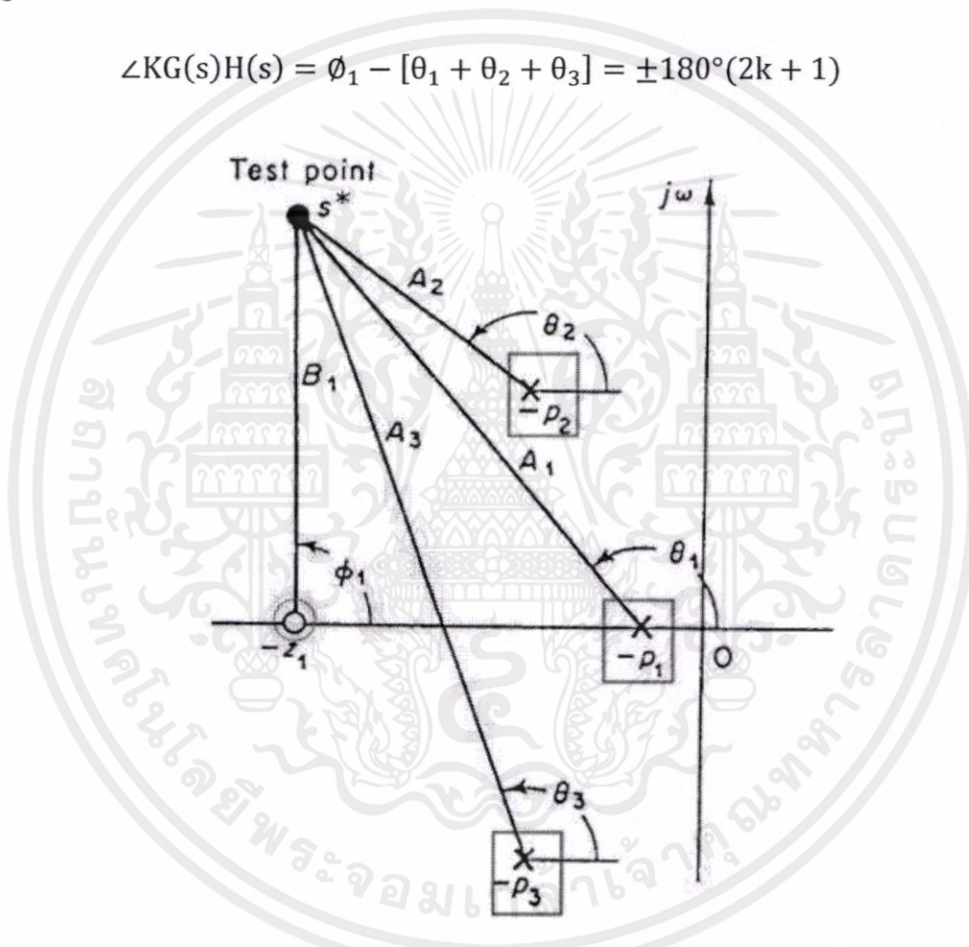
พิจารณารูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างของระบบวงรอบเปิดที่มีตำแหน่งโพลและซีโรดังรูป หากจุด s เป็นจุดที่เป็นเส้นทางเดินของรากแล้ว จุด s จะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขทางขนาดและทางมุม

รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างการพิจารณาจุดทดสอบว่าเป็นเส้นทางเดินของรากหรือไม่ จากรูปจะเห็นได้ว่า มุมระหว่างโพลของฟังก์ชันถ่ายโอนวงรอบเปิดไปยังจุดทดสอบคือ θ และมุมระหว่างซีโรของฟังก์ชันถ่ายโอนวงรอบเปิดไปยังจุดทดสอบคือ ϕ นอกจากนี้ขนาดของระยะทางจากโพลไปยังจุดทดสอบเขียนแทนด้วย A และขนาดของระยะจากซีโรไปยังจุดทดสอบเขียนแทนด้วย B จากเงื่อนไขทางขนาดและทางมุมได้ว่า

$$|KG(s)H(s)| = \frac{KB_1}{A_1A_2A_3} = 1 \quad (2.21)$$

และ

$$\angle KG(s)H(s) = \phi_1 - [\theta_1 + \theta_2 + \theta_3] = \pm 180^\circ(2k + 1) \quad (2.22)$$



x คือ ตำแหน่งโพล และ o คือ ตำแหน่งซีโร

รูปที่ 2.16 ตัวอย่างรากและจุดทดสอบเพื่อพิจารณาว่าเป็นเส้นทางเดินของรากหรือไม่

2.3.4 แผนภาพโบด (Bode Plot)

แผนภาพโบดเป็นการวาดแผนภาพของฟังก์ชันถ่ายโอนโดยการวิเคราะห์ด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต การคัดลอกหรือการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมายและต้องรับผิดชอบต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ เดซิเบลต่อ ω หรือ $\log \omega$ ส่วนอีกกราฟหนึ่งเป็นการวาดเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนในหน่วยองศาต่อ ω หรือ $\log \omega$ เช่นกัน

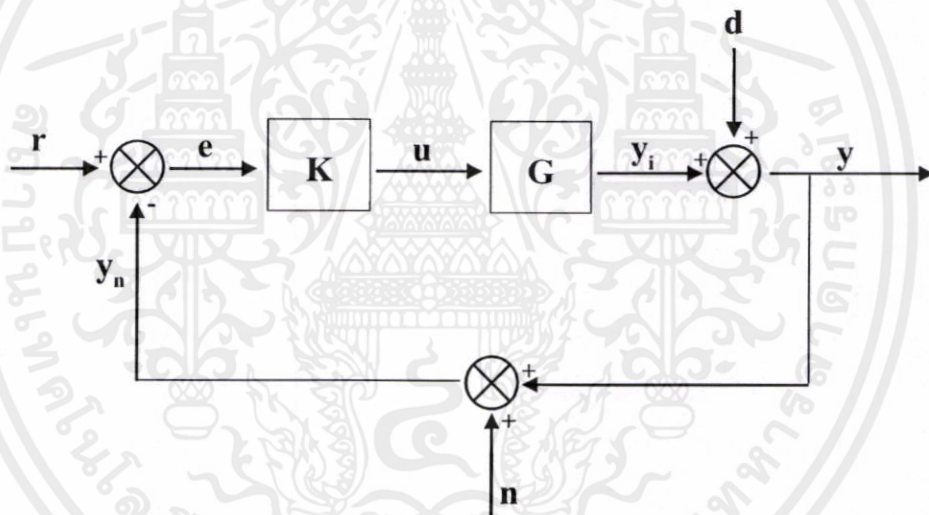
คุณลักษณะของแผนภาพโบท

1) เนื่องจากขนาดของ $G(j\omega)$ ในแผนภาพโบทจะแสดงในหน่วยของเดซิเบล ดังนั้นผลคูณและผลหารของตัวประกอบต่างๆ ในฟังก์ชันถ่ายโอนก็จะเป็นผลบวกและผลลบในหน่วยเดซิเบลตามลำดับ สำหรับความสัมพันธ์ของเฟสก็จะเป็นผลบวกและผลลบเช่นเดียวกัน

2) การวาดขนาดของแผนภาพโบทสำหรับฟังก์ชันถ่ายโอน ส่วนมากที่พบบ่อยในระบบควบคุมจะถูกประมาณด้วยเส้นตรง ทำให้การสร้างแผนภาพโบทง่ายขึ้นมาก

2.4 แผนภาพโบทของฟังก์ชันถ่ายโอนวงรอบเปิดและเทคนิคการจัดสัณฐานวงรอบ

นอกจากแผนภาพโบทของวงรอบปิดแล้วในการออกแบบการควบคุม แผนภาพโบทของวงรอบเปิดก็มีประโยชน์อย่างมากในการนำมาพิจารณา จากรูปที่ 2.16 พบว่าในระบบวงรอบปิดใดๆ อัตราส่วนระหว่างเอาต์พุตของระบบ (y) และสิ่งที่ต้องการให้ระบบตอบสนอง (r) เมื่อพิจารณาสัญญาณรบกวนที่ตัวตรวจจับและการรบกวน (disturbance) จะได้ดังสมการที่ 2.23



รูปที่ 2.17 ไตอะแกรมทั่วไปของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

จากรูป ตัวแปรต่างๆ ในระบบได้แก่

G คือ ระบบ (plant) ที่พิจารณา

K คือ ตัวควบคุม (controller)

r คือ สัญญาณอ้างอิงหรือคำสั่ง (command)

y_i คือ เอาต์พุตของระบบ (output)

d คือ การรบกวน (disturbance)

y คือ เอาต์พุตของระบบที่รวมการรบกวนเข้าไปด้วย

n คือ สัญญาณรบกวนที่ตัวตรวจจับ (noise)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

e คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (error) ระหว่างสิ่งที่ต้องการให้ระบบตอบสนองกับ y_n ซึ่งก็คือ เอาท์พุทของระบบที่มีตัวรบกวนและสัญญาณรบกวนจากตัวตรวจจับรวมอยู่ด้วย

y_n คือ เอาท์พุทของระบบที่รวมการรบกวนและสัญญาณรบกวนจากตัวตรวจจับสัญญาณเข้าไปด้วย

u คือ อินพุทของระบบ (input)

$$\frac{y}{r} = \frac{KG}{1+KG} - \frac{KGn}{r(1+KG)} + \frac{d}{r(1+KG)} \quad (2.23)$$

ระบบควบคุมที่สมบูรณ์ในอุดมคติ (Perfect Control) คือ ระบบที่เอาท์พุทเป็นไปตามสัญญาณอ้างอิง นั่นคือ $\frac{y}{r} = 1$

จากสมการข้างต้นพบว่าการออกแบบตัวควบคุมที่ทำให้ใกล้เคียงกับระบบควบคุมที่สมบูรณ์พิจารณาในแต่ละเทอม คือ

เทอมที่ 1: $\frac{KG}{1+KG}$ หากค่า KG มีค่าสูงมาก จะทำให้เทอมนี้มีค่าประมาณ 1 ผลตอบสนองตามสัญญาณอ้างอิงทำได้ดี

เทอมที่ 2: $\frac{KGn}{r(1+KG)}$ หากค่า KG มีค่าต่ำมากจะทำให้เทอมนี้มีค่าประมาณ 0 ซึ่งเป็น การลดผลของสัญญาณรบกวนที่ตัวตรวจจับ

เทอมที่ 3: $\frac{d}{r(1+KG)}$ หากค่า KG มีค่าสูงมากจะทำให้เทอมนี้มีค่าประมาณ 0 ซึ่งเป็น การลดผลของการรบกวนระบบ

จะเห็นได้ว่า หากค่า KG มีค่าสูงจะส่งผลดีในเทอมที่ 1 และเทอมที่ 3 และส่งผลไม่ดีในเทอมที่ 2 ในทางกลับกัน หากค่า KG มีค่าต่ำ จะส่งผลดีต่อเทอมที่ 2 และส่งผลไม่ดีในเทอมอื่น ซึ่งทำให้ระบบเป็นระบบควบคุมที่สมบูรณ์ในทางอุดมคติไม่ได้ อย่างไรก็ตามการเกิดขึ้นของการรบกวนระบบและสัญญาณรบกวนที่ตัวตรวจจับในหลายระบบมักเกิดขึ้นที่ความถี่ต่างกัน โดยมากการตามรอยสัญญาณอ้างอิง (Tracking) และความต้องการลดผลของการรบกวนระบบจะเกิดขึ้นในย่านความถี่ต่ำ ส่วนความต้องการลดผลของสัญญาณรบกวนที่ตัวตรวจจับนั้นจะเกิดในย่านความถี่สูง ซึ่งเป็นย่านที่สัญญาณรบกวนที่ตัวตรวจจับมักเกิดขึ้น

จากการวิเคราะห์ข้างต้นทำให้สามารถออกแบบระบบที่เหมาะสมได้โดยระบบที่ออกแบบควบคุม ออกแบบตัวควบคุม K ที่อนุกรมกับระบบเพื่อทำให้ระบบมีลักษณะของแผนภาพโพลของวงรอบเปิดเป็นดังนี้

ก) อัตราการขยายสูงที่ความถี่ต่ำ เพื่อลดผลที่เกิดจากตัวรบกวนและความไม่แน่นอนของระบบและทำให้การตามรอยคำสั่งหรือสัญญาณอ้างอิงทำได้ดี

ข) อัตราการขยายต่ำที่ความถี่สูง เพื่อลดผลของสัญญาณรบกวนที่ตัวตรวจจับ

ค) ค่าแบนวิดท์สูงเพื่อความไวในการตอบสนองของระบบ และที่ความถี่ตัดข้ามควรมีความชันของกราฟประมาณ -20dB/decade

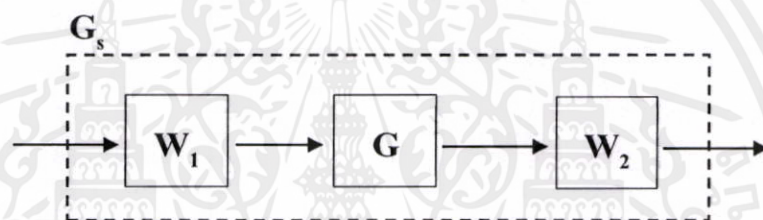
การออกแบบต่อไปนี้เป็นเทคนิคการออกแบบตัวควบคุมโดยพิจารณาจากวงรอบเปิดเรียกว่า เทคนิคการจัดสัญญาณวงรอบดังนี้

1) สำหรับการออกแบบตัวควบคุมในระบบ G จะออกแบบฟังก์ชันนำหน้า นำหน้าก่อน (pre-compensation) คือ W_1 เพื่อหาความต้องการเชิงสมรรถนะและลดตัวรบกวน และออกแบบ ฟังก์ชันนำหน้า นำหน้าหลัง (post-compensation) คือ W_2 เพื่อลดผลของสัญญาณรบกวนของตัว ตรวจจับสัญญาณ (sensor) ซึ่งหากกำหนดให้สัญญาณรบกวนจากตัวตรวจจับมีน้อยเนื่องจากการใช้ ตัวตรวจจับที่ดีแล้ว ฟังก์ชัน W_2 สามารถตัดทิ้ง

2) ระบบที่มีการจัดสัญญาณเพื่อให้ได้ข้อกำหนดตามต้องการจากการใช้ฟังก์ชันนำหน้าเป็น

$$G_s = W_1 G W_2 \quad (2.24)$$

3) ตัวควบคุมที่ออกแบบอาจพิจารณาได้เป็น $K = W_2 W_1$



รูปที่ 2.18 ระบบที่มีการจัดสัญญาณวงรอบ

2.5 การหาพารามิเตอร์ระบบ (System Identification)

เทคนิคการหาพารามิเตอร์ระบบเป็นการหาพารามิเตอร์ทางแบบจำลองพลวัตของระบบ โดยอาศัยข้อมูลที่วัดได้จากระบบใดระบบหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าอินพุตและเอาต์พุตของระบบที่ต้องการศึกษา นั้นๆ โดยในการหารูปแบบของระบบพลวัตจะมีวิธีประมาณการหรือแบบจำลองหลายแบบ ซึ่งรูปแบบ ในการประมาณการแต่ละแบบจะเหมาะกับการหาพารามิเตอร์ของระบบที่แตกต่างกัน เช่น สำหรับ โครงสร้างของระบบที่เป็นเชิงเส้น (Linear structure) จะใช้รูปแบบ ARX (Auto Regressive with external input) รูปแบบ OE (Output Error) หรือรูปแบบ ARMAX (Auto Regressive Moving Average with external input) ในการหาแบบจำลองออกมา แต่สำหรับโครงสร้างของระบบที่ไม่ เป็นเชิงเส้น (Non-linear structure) จะใช้รูปแบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) หรือใช้แบบจำลองแบบคลุมเคลือ (Fuzzy model) ในการหาแบบจำลองของระบบออกมา แทน โดยของเขตของการทำโครงงานนี้คือ ศึกษาแบบจำลองปริภูมิสถานะของระบบที่เป็นเชิงเส้น จึง ได้เลือกใช้รูปแบบ OE (Output Error) ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ในโอกาสต่อไปเราจะไปเจาะ โยชน์ในด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การประมาณการโดยใช้รูปแบบ ARX (Auto Regressive with external input)

แบบจำลองนี้เหมาะสำหรับการหารูปแบบระบบเชิงเส้นที่มีเพียงหนึ่งอินพุตและหนึ่งเอาต์พุต (Single-Input/Single-Output system : SISO) ซึ่งจะสร้างแบบจำลองโดยใช้สมการของระบบเชิงเส้น

$$y(t) + a_1y(t-1) + \dots + a_{n_a}y(t-n_a) = b_1u(t-n_k) + \dots + b_{n_b}u(t-n_k-n_b+1) + e(t) \quad (2.25)$$

โดยที่ $y(t)$ คือ ค่าเอาต์พุต ณ เวลา t

$u(t)$ คือ ค่าอินพุต ณ เวลา t

n_a คือ จำนวนโพลของระบบ

n_b คือ จำนวนซีโรของระบบบวกด้วยหนึ่ง

n_k คือ จำนวนการล่าช้าของอินพุตก่อนที่อินพุตจะมีผลต่อเอาต์พุตของระบบ

$y(t-1), \dots, y(t-n_a)$ คือ ค่าเอาต์พุตก่อนหน้าค่าเอาต์พุตที่ออกมา

$u(t-n_k), \dots, u(t-n_k-n_b+1)$ คือ ค่าอินพุตก่อนหน้าค่าเอาต์พุตที่ออกมา

$e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาด

a_1, \dots, a_{n_a} และ b_1, \dots, b_{n_b} คือ ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่เราต้องการทราบ

กำหนดให้ค่า q คือตัวแปรคูณเปลี่ยนเวลาย้อนหลัง ยกตัวอย่างเช่น $q^{-1}u(t) = u(t-1)$ สามารถจัดรูปสมการที่ (2.25) ให้กระชับขึ้นได้ ดังนี้

$$A(q)y(t) = B(q)u(t-n_k) + e(t) \quad (2.26)$$

เมื่อ

$$A(q) = 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_{n_a}q^{-n_a} \quad (2.27)$$

$$B(q) = b_1 + b_2q^{-1} + \dots + b_{n_b}q^{-n_b+1} \quad (2.28)$$

จากสมการที่ (2.26) จะได้

$$y(t) = \frac{B(q)}{A(q)}u(t-n_k) + \frac{1}{A(q)}e(t) \quad (2.29)$$

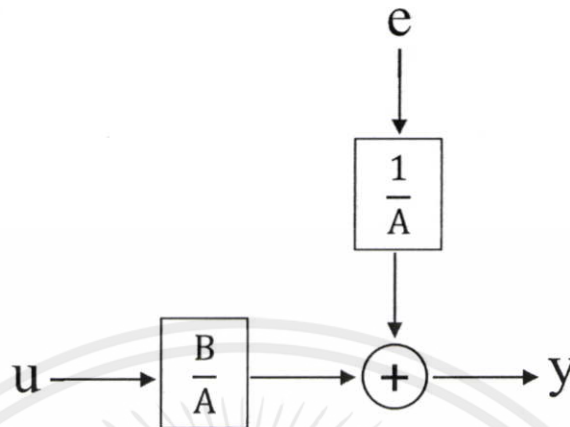
จากสมการที่ (2.29) จะเห็นว่าสมการอยู่ในรูปสมการไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete Time) จึงต้องแปลงให้อยู่ในรูปสมการต่อเนื่องทางเวลา (Continuous Time) เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y(s) = \frac{B(s)}{A(s)}U(s) + \frac{1}{A(s)}E(s) \quad (2.30)$$

โดยที่ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบมีค่าเท่ากับ $G(s) = \frac{B(s)}{A(s)}$

จากสมการที่ (2.30) เขียนในรูปของบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 2.19 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลอง ARX

ตัวอย่าง หากใส่ค่าอินพุตและเอาต์พุตที่วัดมาได้จากระบบใดระบบหนึ่ง จากนั้นกำหนดให้จำนวนโพล $n_a = 3$ และจำนวนซีโรบวกหนึ่ง $n_b = 2$ เมื่อผ่านรูปแบบ ARX แล้วได้สมการออกมาดังนี้

$$A(s) = s^3 + a_1s^2 + a_2s + a_3 \quad (2.31)$$

$$B(s) = b_1s + b_2 \quad (2.32)$$

จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ

$$G(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b_1s + b_2}{s^3 + a_1s^2 + a_2s + a_3} \quad (2.33)$$

สรุปวิธีการใช้เมื่อใส่ข้อมูลค่าอินพุตและเอาต์พุตจากระบบที่วัดได้ พร้อมกับจำนวนของโพลและจำนวนซีโรของระบบบวกด้วยหนึ่ง ซึ่งในการใส่ค่า n_a (จำนวนโพล) และ n_b (จำนวนซีโรบวกหนึ่ง) นั้นก็จะอาศัยการสุ่มค่าตามแบบของ Black box model คือ ไม่รู้ค่าจำนวนของโพลและซีโรของระบบมาก่อน ใช้การสุ่มค่าต่างๆ จนกว่าจะได้คำตอบที่ถูกต้อง ซึ่งคำตอบที่ออกมาคือค่าพารามิเตอร์ a_1, a_2, \dots, a_n และ b_1, b_2, \dots, b_n ของสมการของระบบที่ต้องการ

2.5.2 การประมาณค่ากำลังสองต่ำสุด (Least squares estimate)

ในการสร้างแบบจำลองของระบบด้วยวิธีการทางการหาพารามิเตอร์ระบบ จะสร้างโดยใช้เกณฑ์ทางสถิติเพื่อลดค่าความแปรปรวน (Noise dynamic) หรือค่าความผิดพลาด (error) ให้ต่ำที่สุด โดยจะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ออกมาใช้สร้างแบบจำลองที่ดีที่สุดนั่นเอง ไม่ว่าจะวิธีใด ๆ ทั้งสิ้น ล้วนทั้งห้ามมิให้คิดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ จากสมการที่ (2.26) ค่าความผิดพลาดเท่ากับ

$$e(t) = y(t) - \hat{y}(t) \quad (2.34)$$

โดยที่ $y(t)$ คือ ค่าเอาต์พุตจริงที่วัดมาจากระบบ

$\hat{y}(t)$ คือ ค่าเอาต์พุตที่สร้างขึ้นจากการประมาณการในแบบจำลอง จากสมการที่ (2.26) และ (2.29)

$$y(t) = \frac{B(q)}{A(q)} u(t - n_k) + \frac{1}{A(q)} (y(t) - \hat{y}(t)) \quad (2.35)$$

$$\hat{y}(t) = B(q)u(t - n_k) + (1 - A(q))y(t) \quad (2.36)$$

เมื่อกำหนดให้ค่า

$$\varphi = [-y(t-1), \dots, -y(t-n_a), u(t-n_k), \dots, u(t-n_k-n_b+1)]^T \quad (2.37)$$

$$\theta = \begin{bmatrix} a_1, \dots, a_{n_a} \\ b_1, \dots, b_{n_b} \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

เมื่อ φ คือ ข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตที่เราวัดมาจากระบบ

θ คือ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบที่เราต้องการทราบค่า จากสมการที่ (2.36), (2.37) และ (2.38)

$$\hat{y}(t) = \varphi^T \theta \quad (2.39)$$

นำค่าจากสมการที่ (2.39) แทนลงในสมการ (2.34)

$$e(t) = y(t) - \varphi^T \theta \quad (2.40)$$

จากรูปที่ 2.19 จะเห็นได้ว่าที่ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดเวกเตอร์ของค่าความผิดพลาด (e) จะต้องตั้งฉากกันกับ Column space ของ φ^T เพราะฉะนั้นจึงนำสมบัติของเวกเตอร์ตั้งฉาก (Orthogonal vector) มาใช้

จากสมการที่ (2.40) นำ $(\varphi^T)^T$ มาคูณทั้งสมการจะได้

$$(\varphi^T)^T \cdot e(t) = \varphi \cdot y(t) - \varphi \cdot \varphi^T \theta \quad (2.41)$$

$$0 = \varphi \cdot y - \varphi \cdot \varphi^T \theta \quad (2.42)$$

$$\hat{\theta} = (\varphi \cdot \varphi^T)^{-1} \cdot \varphi \cdot y(t) \quad (2.43)$$

จากสมการที่ (2.41) ได้ค่าพารามิเตอร์ของระบบโดยประมาณออกมา ซึ่งจะเป็นแบบจำลองทางพลศาสตร์ของระบบนั้นที่สามารถประมาณค่าเอาต์พุตได้ใกล้เคียงกับเอาต์พุตของระบบที่วัดจริงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้ และขอสงวนลิขสิทธิ์ในเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การประมาณการโดยใช้รูปแบบ OE (Output Error)

แบบจำลองนี้อาศัยการประมาณค่าความผิดพลาดในการสร้างฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ ซึ่งรูปแบบโครงสร้างของการประมาณการแบบ OE จะเป็นดังนี้

$$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}u(t - nk) + e(t) \quad (2.44)$$

$$B(q) = b_1 + b_2q^{-1} + \dots + b_{n_b}q^{-n_b+1} \quad (2.45)$$

$$F(q) = 1 + f_1q^{-1} + \dots + f_{n_f}q^{-n_f} \quad (2.46)$$

ค่า q คือ ตัวคูณเปลี่ยนเวลาย้อนหลัง ยกตัวอย่างเช่น $q^{-1}u(t) = u(t-1)$ เป็นต้น

โดยที่ $y(t)$ คือ ค่าเอาต์พุต ณ เวลา t

$u(t)$ คือ ค่าอินพุต ณ เวลา t

n_b คือ จำนวนซีโรของระบบบวกด้วยหนึ่ง

n_f คือ จำนวนโพลของระบบ

n_k คือ จำนวนการล่าช้าข้อมูล ก่อนที่อินพุตจะมีผลต่อเอาต์พุตของระบบ

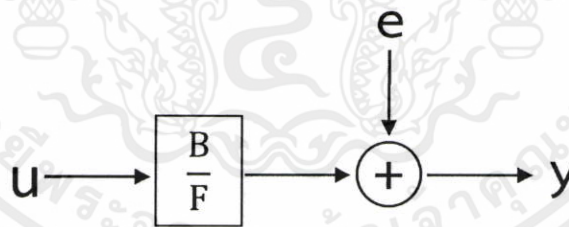
$e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาด

b_1, \dots, b_{n_b} และ f_1, \dots, f_{n_f} คือ ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่เราต้องการทราบ

จากสมการที่ (2.44) จะเห็นว่าสมการอยู่ในรูปของสมการไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete Time) จึงต้องแปลงให้อยู่ในรูปสมการต่อเนื่องทางเวลา (Continuous Time) เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบได้ดังนี้

$$G(s) = \frac{B(s)}{F(s)} = \frac{b_{n_b}s^{(n_b-1)} + b_{n_b-1}s^{(n_b-2)} + \dots + b_1}{s^{n_f} + f_{n_f}s^{(n_f-1)} + \dots + f_1} \quad (2.47)$$

จากสมการที่ (2.47) เขียนในรูปของบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



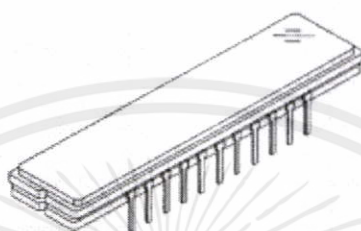
รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลอง OE

สรุปวิธีการใช้ เมื่อใส่ข้อมูลค่าอินพุตและเอาต์พุตจากระบบที่วัดได้ พร้อมกับจำนวนของโพลและจำนวนซีโรบวกหนึ่งของระบบ ซึ่งในการใส่ค่า n_f (จำนวนโพล) n_b (จำนวนซีโรบวกหนึ่ง) และ n_k (จำนวนการล่าช้าข้อมูล) นั้นก็จะอาศัยการสุ่มค่าตามแบบของโมเดลกล่องดำ (Black box model) คือ ไม่รู้ค่าจำนวนของโพลและซีโรของระบบมาก่อน ใช้การสุ่มค่าต่างๆ จนกว่าจะได้คำตอบที่ถูกต้องออกมานั่นเอง ซึ่งคำตอบที่ออกมานั่นคือค่าพารามิเตอร์ b_1, \dots, b_{n_b} และ f_1, \dots, f_{n_f} ของ

สมการของระบบที่ต้องการเช่นเดียวกันกับการประมาณการค่าตามรูปแบบ ARX (Auto Regressive with external input)

2.6 เซ็นเซอร์ ILX 511

ILX 511 เป็นเซ็นเซอร์ที่มีรูปทรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อใช้เป็นเครื่องสแกนบาร์โค้ด และเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดแสงหรือเซ็นเซอร์วัดแสง

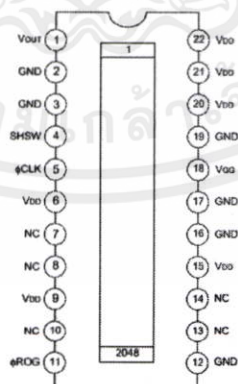


รูปที่ 2.21 เซ็นเซอร์ ILX 511 ของ sony

2.6.1 คุณลักษณะของ ILX 511

ภายในประกอบด้วยเครื่องกำเนิดเวลา (timing generator) ตัวขับเคลื่อนเวลา (clock-drives) และวงจรแซมเปิลแอนด์โฮลด์ (sample-and-hold circuit) โดยจะต้องต่อกับแหล่งจ่ายไฟ 5 V มีจำนวนพิกเซลเท่ากับ 2048 พิกเซล ซึ่งมีขนาดพิกเซลเท่ากับ $14 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ และมีการตอบสนองที่ไวมาก ตัวเซ็นเซอร์มีทั้งหมด 22 ขา (รูปที่ 2.22) และสามารถใส่สัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่ความถี่เท่ากับ 2 MHz

Pin Configuration (Top View)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.22 โครงสร้างของ ILX 511
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างวงจร

3.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการออกแบบวงจรที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์และการหาพารามิเตอร์ระบบโดยใช้เทคนิคการหาพารามิเตอร์ระบบ (Identification Technique) โดยในการหาพารามิเตอร์ระบบจะอาศัยค่าของข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตของระบบ

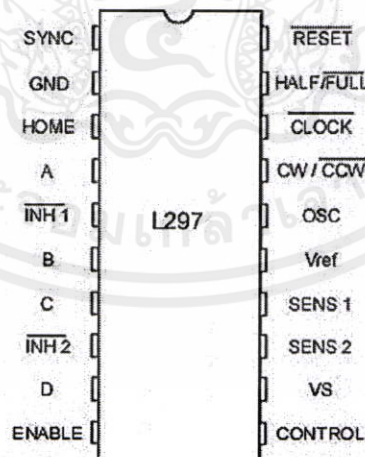
3.2 การออกแบบและจัดสร้างชิ้นงานจริง

3.2.1 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์

ในการควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์จะใช้ IC เบอร์ L297 และ L298 เนื่องจาก IC เบอร์ L297 เป็น Stepper motor controller คือ สามารถสั่งงานสเต็ปมอเตอร์ได้โดยการรับคำสั่งเพียง 3 คำสั่ง เข้าที่ขาสัญญาณ 3 ขาเท่านั้นคือ

- 1) Clock ที่ควบคุมจังหวะการหมุนของสเต็ปมอเตอร์
- 2) คำสั่งให้สเต็ปมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา หรือหมุนทวนเข็มนาฬิกา
- 3) คำสั่งขับสเต็ปมอเตอร์แบบ half step หรือ full step

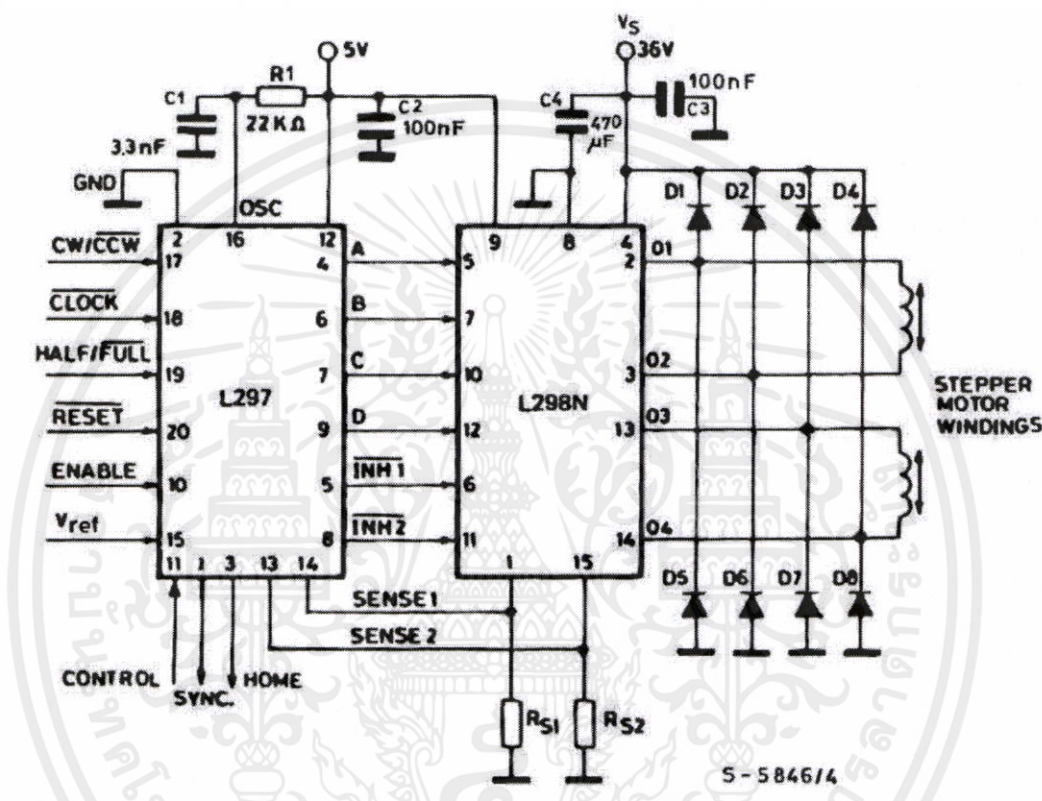
ทำให้การขับสเต็ปมอเตอร์โดยไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นทำได้ง่ายขึ้น ขาสัญญาณต่างๆ ของ IC เบอร์ L297 เป็นดังรูปที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.1 ขาสัญญาณของ IC เบอร์ L297 คิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ IC เบอร์ L297 นั้นไม่สามารถที่จะขับกระแสสูงได้ จำเป็นต้องใช้ร่วมกับ IC เบอร์ L298 เพื่อที่จะสามารถขับกระแสให้แก่สเต็ปมอเตอร์ได้ โดย IC เบอร์ L298 นั้นเป็น dual full bridge driver สามารถขับกระแสตรงได้ถึง 2A

เมื่อนำ IC เบอร์ L298 มาต่อร่วมกับ IC เบอร์ L297 ดังรูป จะทำให้สามารถควบคุมและขับกระแสให้กับสเต็ปมอเตอร์ได้



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการต่อ IC เบอร์ L297 ร่วมกับ L298

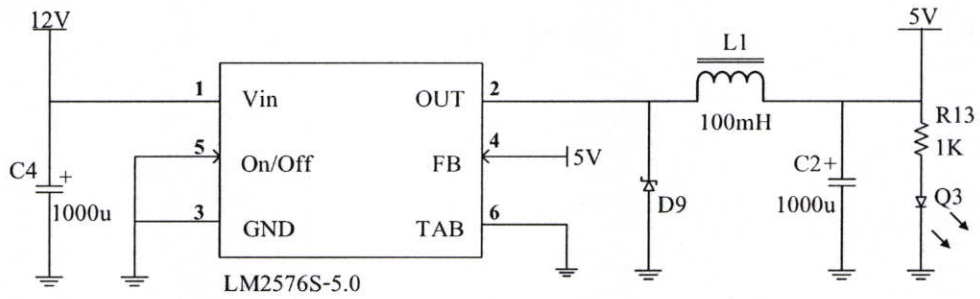
โดย IC เบอร์ L297 จะทำหน้าที่แปลงคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปเป็นสัญญาณควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ให้กับ IC เบอร์ L297 เพื่อขับกระแสให้แก่สเต็ปมอเตอร์ได้อย่างเพียงพอนั่นเอง

3.2.2 วงจร IC เบอร์ LM2576S

ใช้วงจร Regulator สร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง +5 โวลต์ โดยใช้ IC เบอร์ LM2576S

โดยทางด้านขาเข้ารับไฟมาจากหม้อแปลงแรงดัน (Center Tap) 220/12 โวลต์เพื่อใช้จ่ายไฟให้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานาน นโมอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์
 ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



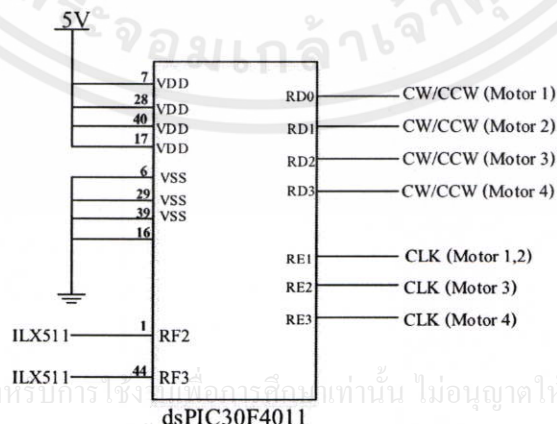
รูปที่ 3.3 วงจร IC เบอร์ LM2576S

3.2.3 วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมได้หลายภาษา ได้แก่ ภาษาแอสเซมบลี ภาษาเบสิก ซี และภาษาพาสคาล แต่เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีด้วยกันหลายประเภทหรือตระกูล โดยแบ่งตามสถาปัตยกรรม (การผลิตและกระบวนการทำงานของระบบประมวลผล) บางประเภทสามารถเขียนได้ทุกภาษา แต่บางประเภทก็ใช้ได้แค่บางภาษา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมและรวมถึงบริษัทผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย ซึ่งสำหรับโครงการนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC30F4011 ในการทำการทดลอง

ในโครงการนี้ใช้ฟังก์ชันของ dsPIC30F4011 ในการควบคุมการหมุนและหยุดหมุนของสเต็ปมอเตอร์ และใช้ในการประมวลผลค่าที่ได้รับจากเซ็นเซอร์วัดแสง ILX511

จากรูปที่ 3.4 แสดงการทำงานของ dsPIC30F4011 ซึ่ง dsPIC30F4011 จะส่งสัญญาณนาฬิกาไปยัง IC เบอร์ L297 ซึ่งเป็นชุดขับมอเตอร์ทำให้มอเตอร์หมุน และ dsPIC30F4011 จะรับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ ILX511 เมื่อรางสไลเดอร์มาอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ dsPIC30F4011 จะประมวลผลและสั่งการให้ชุดขับมอเตอร์หยุดทำงาน



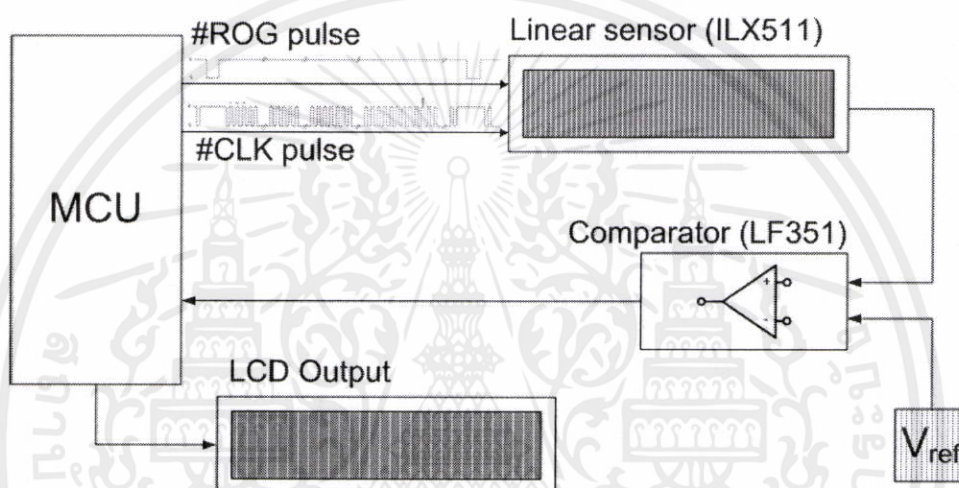
รูปที่ 3.4 วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 วงจรการทำงานของเซ็นเซอร์ ILX511

เซ็นเซอร์ ILX511 สามารถทำงานได้ที่ระดับแรงดัน 5 โวลต์ และต้องมีการจ่ายสัญญาณนาฬิกาไปยังเซ็นเซอร์ โดยเซ็นเซอร์สามารถทำงานได้ที่ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงสุด 2 เมกะเฮิร์ต ค่าที่เซ็นเซอร์ตรวจจับได้จะคิดเป็นพิกเซล (pixels) ซึ่งเซ็นเซอร์สามารถรับได้ค่าได้ 2,048 พิกเซล

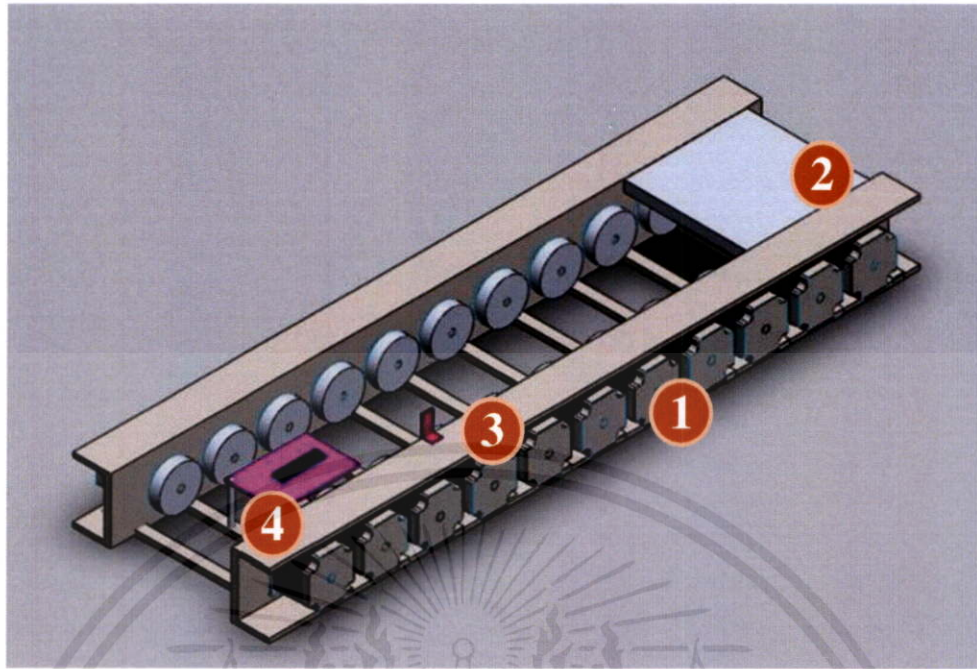
หลักการทำงานคือ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ dsPIC30F4011 ป้อนสัญญาณนาฬิกาให้กับตัวเซ็นเซอร์ เมื่อเซ็นเซอร์ทำงานตรวจจับแสงได้จะส่งสัญญาณมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง 5 โวลต์ แล้วส่งค่าออกไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล



รูปที่ 3.5 วงจรการทำงานของเซ็นเซอร์ ILX511

เมื่อทำการออกแบบและสร้างวงจรต่างๆ แล้ว ทำการรวมทุกวงจรเข้าด้วยกัน เพื่อตรวจสอบการทำงานและวิเคราะห์ระบบจะได้แบบจำลองดังรูปที่ 3.6 ซึ่งแสดงลักษณะภายในร่างส่งถ่ายสไลเดอร์ที่ใช้ในการพิจารณาบบนี้ โดยที่หมายเลข 1 ในรูปคือ สแต็ปมอเตอร์ หมายเลข 2 คือ ถาดที่ใช้ขนถ่ายวัตถุ หมายเลข 3 คือเซ็นเซอร์แสง และหมายเลข 4 คือเซ็นเซอร์ ILX511

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



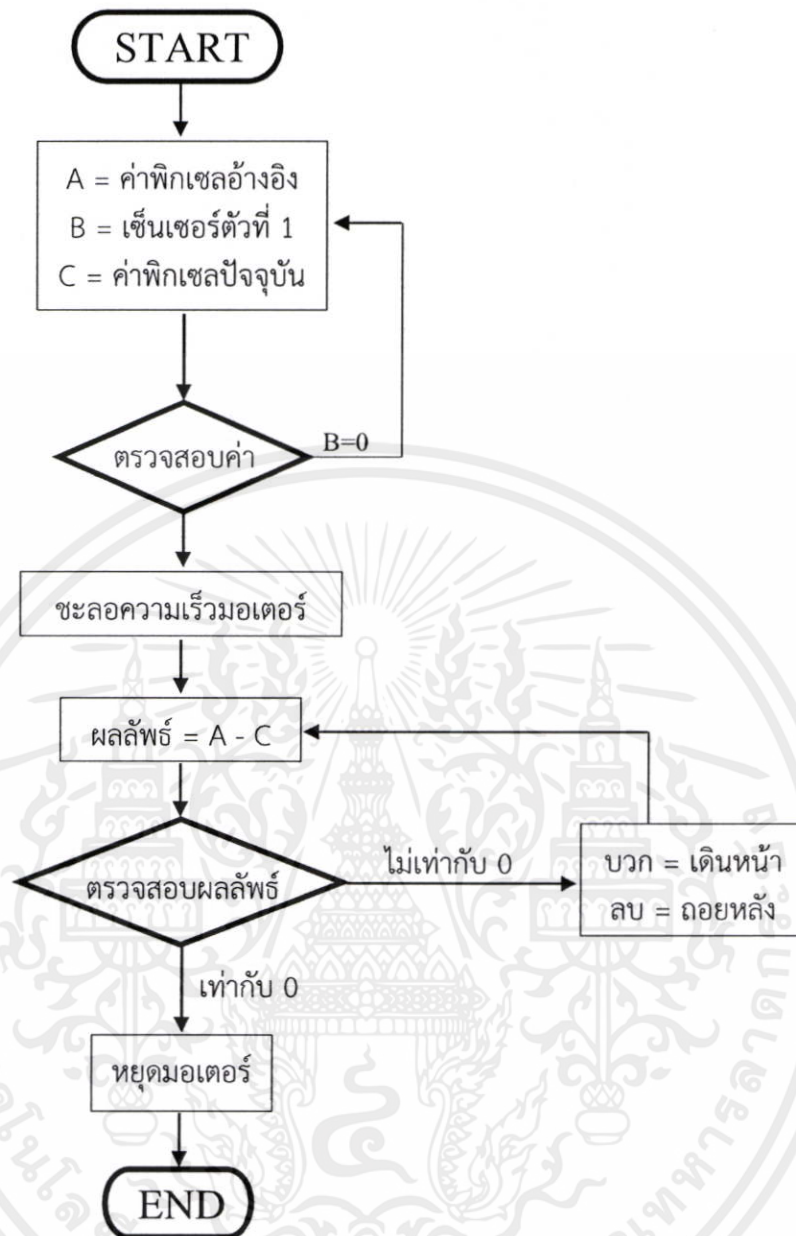
รูปที่ 3.6 แบบจำลองรางส่งถ่ายสไลเดอร์ที่ใช้ในการพิจารณาระบบ

3.3 การวิเคราะห์ทางพลศาสตร์และการหาพารามิเตอร์ของระบบ

ในการหาพารามิเตอร์ของระบบสามารถทำได้โดยการใช้วงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A/D : Analog to Digital) เพื่อใช้เก็บข้อมูลของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต แล้วจึงนำข้อมูลที่เก็บได้มาสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของระบบออกมา โดยใช้ทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ (System Identification) ในโปรแกรม MATLAB

โดยการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบนั้นจะทำการเขียนโปรแกรม ซึ่งจะมีไดอะแกรมการทำงานตามรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ไดอะแกรมการทำงานของสตีปมอเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลของระบบที่วิเคราะห์

ซึ่งหลักการการทำงานของสตีปมอเตอร์ตามไดอะแกรมคือ เมื่อสั่งให้สตีปมอเตอร์หมุน เพื่อให้ถาดส่งของเคลื่อนที่ผ่านมายังเซ็นเซอร์แสง เมื่อเซ็นเซอร์แสงสามารถตรวจจับได้ก็จะส่งสัญญาณเพื่อให้สตีปมอเตอร์ลดความเร็วในการหมุนเพื่อที่จะให้ถาดส่งของหยุดในตำแหน่งที่ต้องการ โดยตำแหน่งที่ต้องการนั้นจะทำการตรวจสอบจากการตรวจจับสัญญาณของเซ็นเซอร์ ILX511 ซึ่งจะมีตำแหน่งของสัญญาณอ้างอิง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าตำแหน่งให้มอเตอร์เดินหน้าหรือถอยหลัง

แม้ว่ากรณีนี้เพียงอย่างเดียวก็ไม่ได้เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมให้สเต็ปมอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกา เพื่อให้ถาดที่ใช้ขนถ่ายวัตถุนั้นเคลื่อนที่กลับไปกลับมาภายในบริเวณที่เซ็นเซอร์ ILX511 สามารถตรวจจับค่าตำแหน่งได้ และนำข้อมูลที่เก็บค่าได้มาวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังนี้

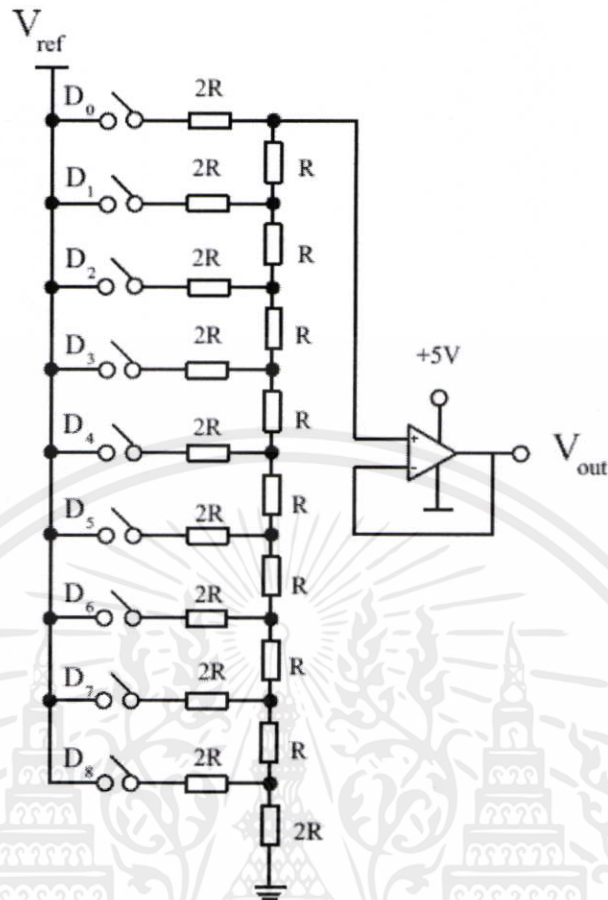
3.3.1 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก

สัญญาณในระบบไฟฟ้ามีสัญญาณพื้นฐานอยู่ 2 แบบ คือ สัญญาณดิจิทัลและสัญญาณอนาล็อก สัญญาณอนาล็อกหมายถึง สัญญาณที่มีการแปลงอย่างต่อเนื่อง แต่สัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ 2 ระดับ โดยกำหนดให้เป็น “0” และ “1” ในลักษณะของเลขฐานสอง (Binary) สัญญาณต่างๆ ในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ก็ใช้รูปแบบของสัญญาณดิจิทัล ดังนั้นในการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ไปต่อกับอุปกรณ์ภายนอกที่มีการรับและส่งข้อมูลโดยใช้สัญญาณอนาล็อกจะต้องมีการแปลงสัญญาณดิจิทัลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เป็นสัญญาณอนาล็อก (Digital to Analog Conversion : DAC) เพื่อส่งไปยังอุปกรณ์ภายนอกและแปลงสัญญาณอนาล็อกจากอุปกรณ์ภายนอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Conversion : ADC) เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับข้อมูลสัญญาณอนาล็อกที่ทำการป้อนกลับต่างๆ

การเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (Digital to Analog Conversion : DAC) โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลออกไปที่พอร์ทเอาต์พุตแบบขนานและส่งสัญญาณไปให้กับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกนั้น หลักการเบื้องต้นของการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกนั้นอาศัยหลักการง่ายๆ คือ ตำแหน่งของเลขฐานสองที่คิดตามความสำคัญของบิต จะต้องมีค่าเท่ากับระดับของสัญญาณอนาล็อกที่เกิดขึ้น เช่น บิต 0 จะมีค่าของแรงดันเท่ากับ $2^0 = 1V$ บิตที่ 1 จะมีค่าแรงดันเท่ากับ $2^1 = 2V$ บิตที่ 2 มีค่าระดับแรงดันเท่ากับ $2^2 = 4V$ และบิตที่ n จะมีค่าระดับแรงดันเท่ากับ $2^n V$ วงจรพื้นฐานของการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกที่นิยมใช้มีอยู่ 2 แบบ คือ Weighted Resistor DAC และ R-2R Ladder DAC

วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกแบบ R-2R Ladder DAC จะใช้ความต้านทานเพียงสองค่ามาต่อเป็นระบบการทำงานที่เรียกว่า R-2R Ladder โดยค่าความต้านทานสองค่านี้จะมีค่าความแตกต่างกันเท่าตัว ซึ่งการไหลของกระแสจากข้อมูลที่บิตต่างๆ มาที่เอาต์พุตจะมีค่าตามความสำคัญของบิต วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกแบบ R-2R Ladder DAC แสดงไว้ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจร DAC แบบ R-2R Ladder ขนาด 8 บิต

แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจร R-2R Ladder นี้ต้องผ่านวงจรบัฟเฟอร์ก่อน โดยปกติใช้ ออปแอมป์ เพราะว่าออปแอมป์มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมากจึงไม่โหลดวงจรแลดเดอร์ (Ladder) ทำให้เกิดค่าผิดพลาดน้อย แรงดันเอาต์พุตของวงจร R-2R Ladder ขนาด 8 บิต สามารถคำนวณหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$V_{out} = V_{ref} \times \left(\frac{D_7}{2} + \frac{D_6}{4} + \frac{D_5}{8} + \frac{D_4}{16} + \frac{D_3}{32} + \frac{D_2}{64} + \frac{D_1}{128} + \frac{D_0}{256} \right) \quad (3.1)$$

เมื่อ $D_0 - D_7$ แทนสัญญาณดิจิทัลที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 ตามข้อมูล

V_{out} แทนสัญญาณอนาล็อกที่ได้จากเอาต์พุต (V)

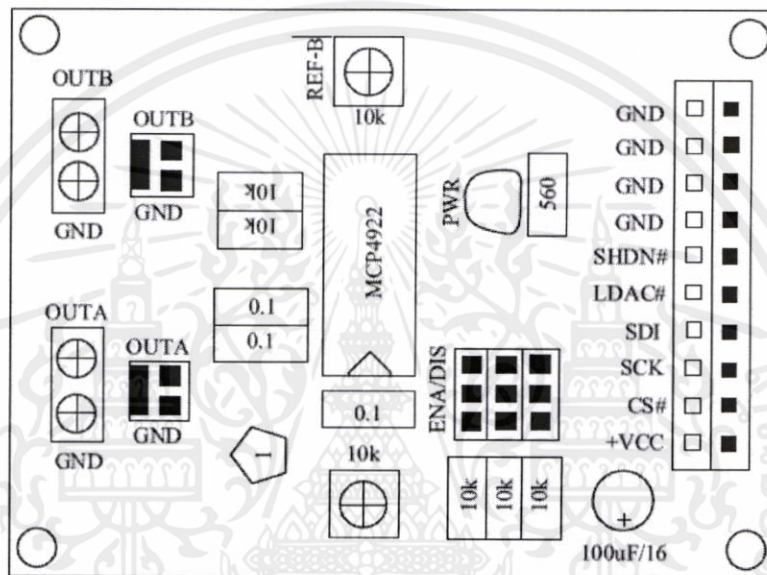
V_{ref} แทนแรงดันอ้างอิง (V)

ค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจร DAC แต่ละ Step (V_{step}) สามารถคำนวณหาค่าได้แน่นอน ตามค่าบิตต่ำสุด (1 LSB) ดังสมการที่ 3.2

ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{step} = \frac{V_{ref}}{256} \quad (3.2)$$

ในโครงการนี้จะใช้ DAC แบบ R-2R Ladder ซึ่งวงจรสำหรับเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกจะถูกรวมอยู่ในอุปกรณ์ตัวเดียว เป็นไอซีเบอร์ MCP4922 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Microchip เป็นตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ซึ่งเป็นไอซีเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกแบบ 12 บิต สาเหตุที่เลือกใช้เนื่องจากมีการรองรับโมดูล SPI ซึ่งทำให้สามารถรับส่งข้อมูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เพียงใช้พอร์ตส่งข้อมูลเพียงพอร์ตเดียว และมีการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกถึง 2 แชนแนลภายในตัวเดียว สามารถที่จะเลือกใช้เพียงแชนแนลเดียวหรือใช้พร้อมกันทั้ง 2 แชนแนลก็ได้



รูปที่ 3.9 Module ET-MINI MCP4922 DAC 12 BIT 2CH

3.3.1.1 หน้าที่ใช้สัญญาณบนบอร์ด

ก) ขา +VCC และ GND ใช้ต่อกับไฟเลี้ยง และกราวด์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุม ซึ่งรองรับแรงดันได้ตั้งแต่ 2.7V – 5.5V ขา CS-Chip select Input จะทำงานที่ลอจิก Low เพื่อที่จะใช้งานสัญญาณนาฬิกาและข้อมูล

ข) ขา SCK จะเป็นขาสำหรับรับสัญญาณนาฬิกา (SPI) จากภายนอกเข้ามา

ค) ขา SDI เป็นขา Data สำหรับรับข้อมูลแบบอนุกรมจากภายนอกเข้ามา

ง) ขา LDAC จะทำงานที่ลอจิก Low ซึ่งจะทำหน้าที่โหลดข้อมูลที่ถูกแปลงค่าแล้วออกไปที่ขาเอาต์พุต

จ) ขา SHDN จะทำงานที่ลอจิก Low ทำหน้าที่ Shutdown วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกให้อยู่ในโหมด Standby ในสภาวะใช้งานปกติจะต้องให้เป็นลอจิก High

ฉ) ขา OUTA และ OUTB เป็นขาเอาต์พุตสำหรับต่อสัญญาณอนาล็อกที่ได้ไปใช้

งาน

ข) VR REF-A และ REF-B ใช้สำหรับปรับแรงดันอ้างอิงให้แขนแนล A และ B ตามลำดับ โดยแรงดันอ้างอิงนี้จะปรับได้ที่ 0 ถึง +VCC

3.3.1.2 รูปแบบการส่งข้อมูล (SPI Serial Interface)

สำหรับโมดูลนี้ผู้ใช้จะต้องส่งข้อมูลอินพุตแบบดิจิทัลให้กับโมดูลในลักษณะของการส่งข้อมูลแบบอนุกรม (SPI) โดยจะมีการส่งคำสั่งและส่งข้อมูลไปด้วยกันครั้งละ 16 บิต (2 ไบท์) ต่อการแปลงสัญญาณดิจิทัล 1 ค่า โดยมีรูปแบบแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงรูปแบบการส่งคำสั่งและข้อมูล

Upper Half :							
Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
A/B	BUF	GA	SHDN	D11	D10	D9	D8
Lower Half :							
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Bit 15 \bar{A}/B : DAC_A หรือ DAC_B Select bit สำหรับเลือกแขนแนล

1 = Write to DAC_B ใช้งานเอาต์พุตแขนแนล B

0 = Write to DAC_A ใช้งานเอาต์พุตแขนแนล A

Bit 14 BUF : V_{ref} Input Buffer Control bit สำหรับกำหนดให้แรงดันอ้างอิงที่รับเข้ามาผ่านบัฟเฟอร์หรือไม่ผ่านบัฟเฟอร์

1 = Buffered ให้แรงดันอ้างอิงที่รับเข้ามาผ่านบัฟเฟอร์ภายในของ MCP4922

0 = Unbuffered ให้แรงดันอ้างอิงที่รับเข้ามาไม่ผ่านบัฟเฟอร์ภายในของ MCP4922

Bit 13 GA : Output Gain Select bit สำหรับเลือกเกณฑ์ขยายของสัญญาณเอาต์พุต

$$1 = 1x \text{ จะได้ } V_{\text{out}} = V_{\text{ref}} \times \frac{D}{4096}$$

$$0 = 2x \text{ จะได้ } V_{\text{out}} = 2 \times V_{\text{ref}} \times \frac{D}{4096}$$

เมื่อ D = ค่าของอินพุตดิจิทัลฐาน 10 (D0-D11)

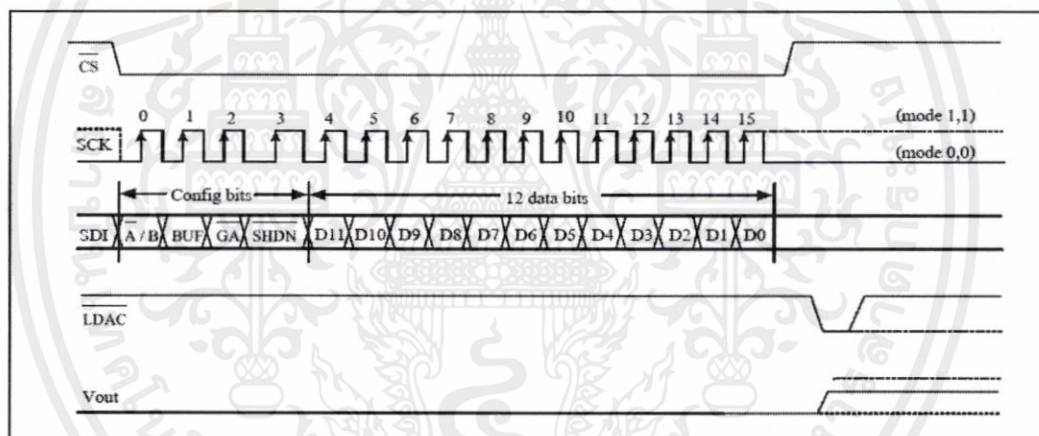
Bit 12 SHDN : Output Power down Control bit ใช้กำหนดโหมด Shutdown ให้กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัล

1 = Output Power Down Control bit : บัฟเฟอร์เอาต์พุตทำงานปกติ วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกทำงาน

0 = Output buffer disabled, Output high impedance : บัฟเฟอร์เอาต์พุตไม่ทำงาน
 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเปลี่ยนเป็นโหมด Standby

Bit 11-0 D11-D0 : DAC Data bits ข้อมูลดิจิตอล 12 บิต ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 4096

ขั้นตอนในการส่งข้อมูลและคำสั่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.8 คือเริ่มต้นต้องกำหนดให้ขา CS และ LDAC เป็น 1 ค้างไว้ เมื่อจะทำการเขียนคำสั่งและส่งข้อมูล จะต้องกำหนดให้ขา CS='0' แล้วตามด้วยการส่งงานสัญญาณนาฬิกาแบบ 4 บิต และข้อมูล 12 บิต ตามลำดับ ข้อมูลที่จะถูกส่งออกไปที่ขา SDI โดยเริ่มส่งบิต 15 ออกไปเป็นบิตแรก หลังจากส่งข้อมูลครบ 16 บิต ก็กำหนดให้ขา CS='1' แล้วจึงส่งสัญญาณ Latch (จาก 0 เป็น 1) ไปที่ขา LDAC สัญญาณดิจิตอลที่ถูกแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อกและจะถูกส่งออกมาที่ขาเอาต์พุตในแขนแนลที่กำหนดไว้ ซึ่งระดับแรงดันที่ออกมาจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณจากสูตรข้างต้น จากบอร์ดถ้าขา CS, SCL และ SDI ไม่ได้ถูก Pull Up จากภายนอกบอร์ดไว้ จะต้องต่อจัมเปอร์บนบอร์ดมาทางด้าน ENA ด้วย เพื่อทำการ Pull Up ให้กับขาสัญญาณทั้ง 3 ขา



รูปที่ 3.10 รูปแบบการส่งข้อมูล (SPI Serial Interface) ของไอซี MCP4922

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

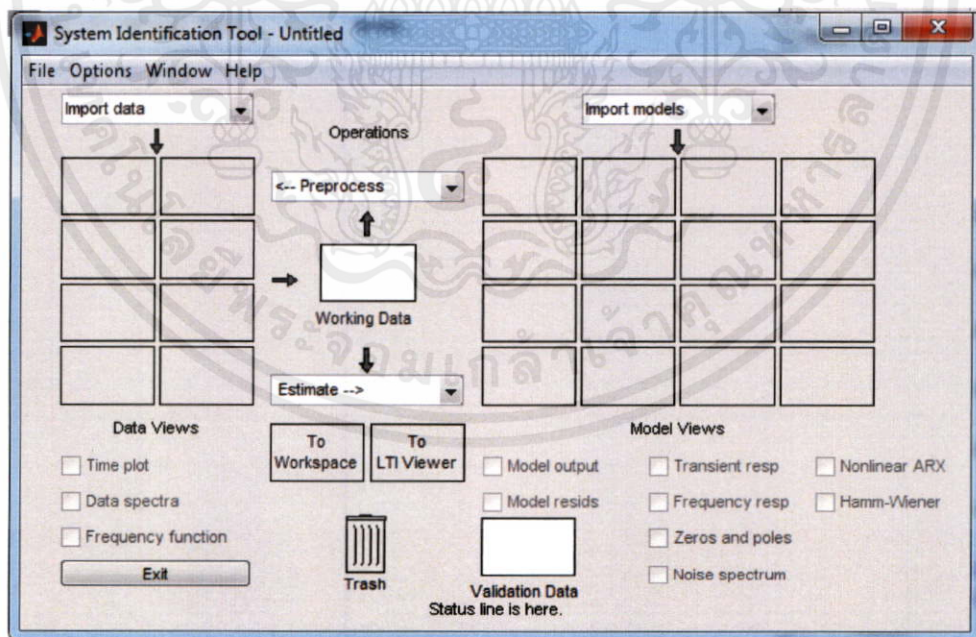
ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการหาพารามิเตอร์ของระบบ รวมทั้งการควบคุมความเร็วและตำแหน่งของรางส่งถ่ายสไลเดอร์ซึ่งใช้สแต็ปมอเตอร์ในการขับเคลื่อน ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ (PI Controller) โดยที่สแต็ปมอเตอร์จะถูกขับเคลื่อนด้วยแรงดันพัลส์ที่มีความถี่เท่ากับ 200 เฮิรท์ และในการทดลองอาศัยการสุ่มค่าตัวอย่างทุกๆ 0.002 วินาที โดยที่เราจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจะแสดงการทดลองของตัวควบคุมที่ออกแบบให้ควบคุมความเร็วของรางส่งถ่ายสไลเดอร์ และส่วนที่สองจะแสดงการทดลองของตัวควบคุมที่ออกแบบให้ควบคุมตำแหน่งของรางส่งถ่ายสไลเดอร์โดยการสร้างแบบจำลอง (Simulink) ในโปรแกรม MATLAB

4.2 การหาพารามิเตอร์ระบบ (System Identification) ในโปรแกรม MATLAB

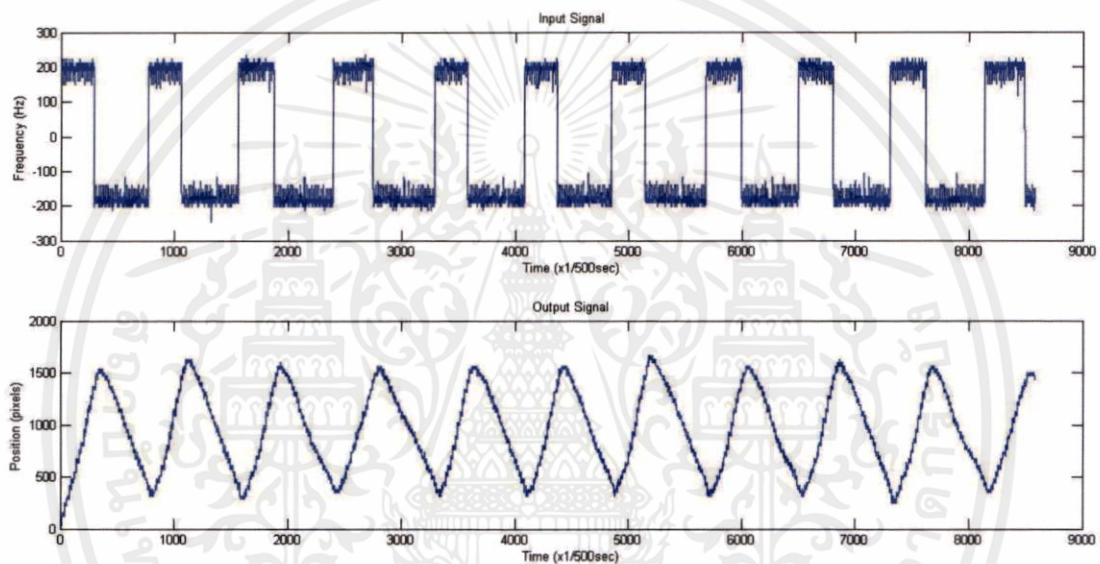
การสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของระบบโดยใช้เครื่องมือหาพารามิเตอร์ระบบ (System Identification Tool) ในโปรแกรม MATLAB รูปแบบของหน้าต่างจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.1 หน้าต่างโปรแกรมการหาพารามิเตอร์ระบบในโปรแกรม MATLAB
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการแปลงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ได้จากการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ที่ถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้วงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาล็อกเพื่อให้สามารถวัดค่าได้โดยใช้ ออสซิลอสโคป จากนั้นทำการบันทึกค่าเพื่อนำมาวิเคราะห์สัญญาณ โดยข้อมูลของสัญญาณอินพุตคือ สัญญาณชั้บขาเกตและค่าสัญญาณเอาต์พุตคือค่าการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ โดยให้ข้อมูลอินพุตของระบบคือตัวแปร in และเอาต์พุตของระบบคือตัวแปร out นำไปใช้หาแบบจำลองด้วยวิธีหา พารามิเตอร์ระบบ (System Identification) ตามขั้นตอนดังนี้

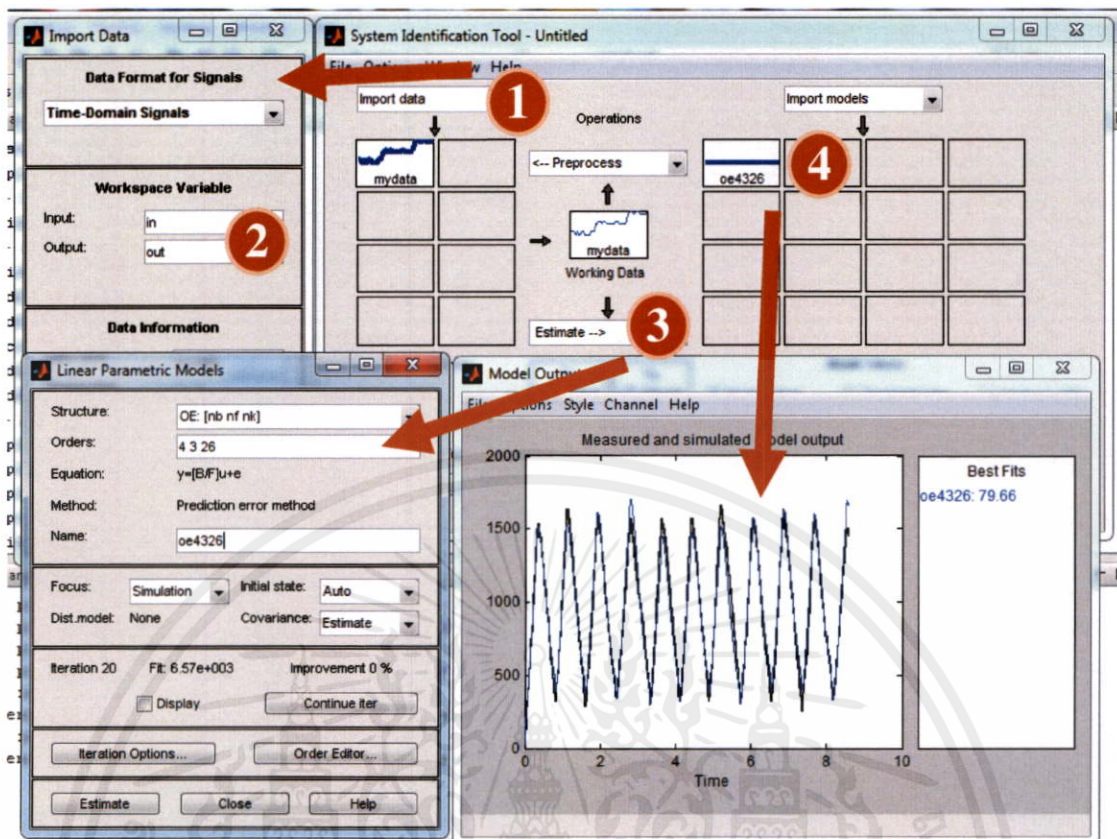
- 1) เลือกช่วงข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์หาแบบจำลอง โดยเลือกช่วงข้อมูลทั้งหมด 8,584 ค่า ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 สัญญาณตำแหน่งขาออกและความถี่ขาเข้า ในช่วงที่จะนำไปพิจารณา

- 2) เปิดเครื่องมือการหาพารามิเตอร์ระบบในโปรแกรม MATLAB โดยจะมีหน้าต่างเครื่องมือ ดังรูปที่ 4.3 จากนั้นป้อนข้อมูลให้กับเครื่องมือ กำหนดค่าการสุ่มข้อมูลในการทำการหา พารามิเตอร์ระบบ (Sampling interval)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการหาแบบจำลองพารามิเตอร์ระบบ

- 3) เลือกรูปแบบของแบบจำลองตามทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบที่เหมาะสม โดยใช้รูปแบบ OE (Output-Error) ซึ่งมีความเหมาะสมในการหาแบบจำลองระบบที่มีเพียงค่าอินพุตและเอาต์พุตเพียงค่าเดียว โดยมีรายละเอียดของตัวแปรในแบบจำลองดังนี้

- 3.1) n_b คือ จำนวนซีโรของระบบบวกด้วยหนึ่ง
- 3.2) n_f คือ จำนวนโพลของระบบ
- 3.3) n_k คือ จำนวนการสุ่มข้อมูลก่อนที่ค่าอินพุตจะมีผลต่อค่าเอาต์พุตของระบบ

การเลือกตัวแปรของแบบจำลองอาศัยการเดาสุ่มตามแบบของโมเดลกล่องดำ (Black-Box model) คือไม่สามารถบ่งบอกจำนวนโพล ซีโร ในระบบมาก่อน แล้วทำการสุ่มตัวแปรของแบบจำลองตามทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบไปจนกว่าจะได้แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องที่สามารถยอมรับได้

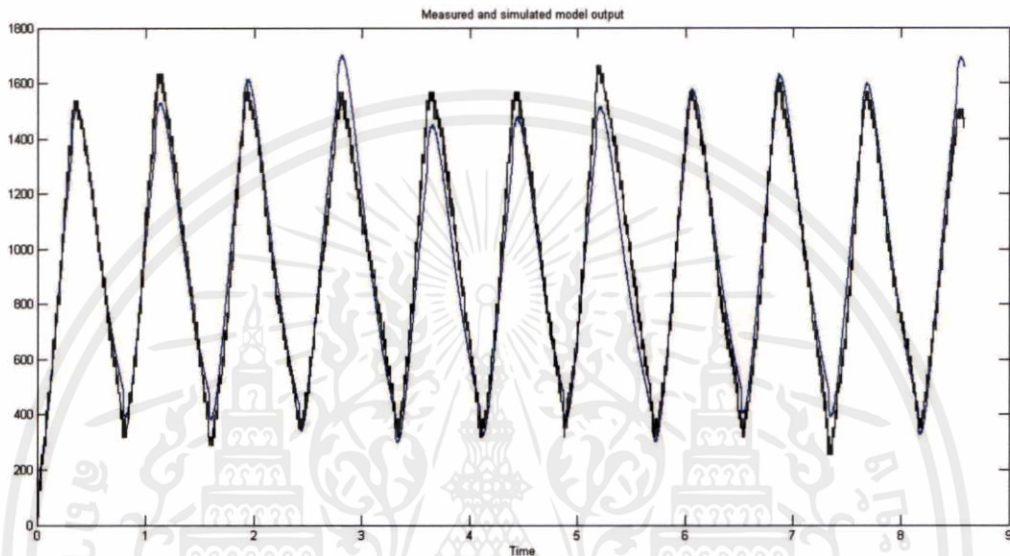
- 4) เมื่อเลือกรูปแบบและตัวแปรของแบบจำลองเพื่อหาพารามิเตอร์ระบบ คือ OE4326 จะได้เอาต์พุตที่สร้างจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าเอาต์พุตจริงที่วัดมาจากการทดสอบสมมติฐาน มีหน่วยวัดค่าความถูกต้องเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 79.66 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงและยอมรับได้ หากเปอร์เซ็นต์มีค่าที่สูงค่าเอาต์พุตของแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นยิ่งใกล้เคียงกับเอาต์พุตจริงที่วัดมาจากการทดลอง

5) สร้างฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบในรูปของโดเมน s ได้

$$y(t) = \frac{B(s)}{F(s)}u(t) + e(t)$$

$$B(s) = (-7198)s^3 + (1.664 \times 10^5)s^2 + (1.114 \times 10^7)s - (9.073 \times 10^6)$$

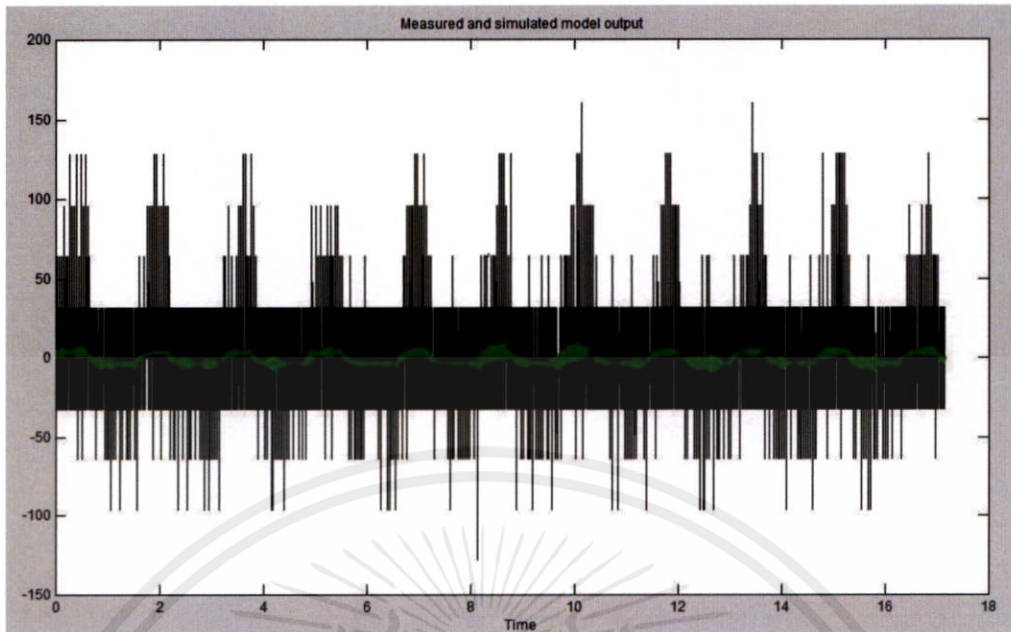
$$F(s) = s^4 + (3.7 \times 10^4)s^3 + (6.165 \times 10^5)s^2 + (9.153 \times 10^5)s + (3.687 \times 10^5)$$



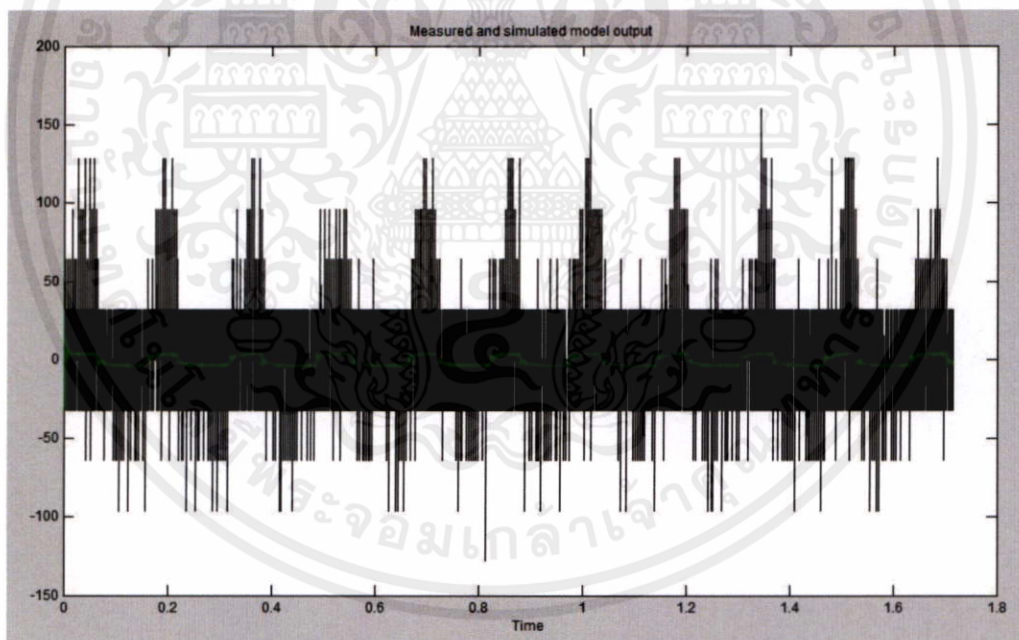
รูปที่ 4.4 ค่าเอาต์พุตเมื่อจำลองด้วยทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ของระบบ โดยใช้ OE4326

จากค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบในรูปโดเมน s ที่ได้ จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ที่คำนวณได้จะมีค่ามาก ซึ่งจะทำให้การออกแบบตัวชดเชยนั้นทำได้ยาก จึงได้ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ระบบใหม่โดยนำค่าเอาต์พุตของระบบที่เก็บข้อมูลได้มาทำการหาอนุพันธ์ ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ระบบนั้นเปลี่ยนจากการวิเคราะห์ด้วยตำแหน่ง เป็นการวิเคราะห์ด้วยความเร็วแทน ซึ่งวิธีการคำนวณและวิเคราะห์นั้นก็ใช้เช่นเดียวกับในที่กล่าวไปแล้ว แต่เมื่อพิจารณาในรูปที่ 4.5 เป็นการแสดงกราฟผลการจำลองระบบด้วยทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบจะพบปัญหาที่เกิดขึ้นขึ้นคือ ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องนั้นมีค่าที่ต่ำมาก คือมีค่า 1.093 เปอร์เซ็นต์ ที่ OE233 และมีค่า 0.9746 เปอร์เซ็นต์ ที่ OE4326 กล่าวได้ว่าแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นมีค่าต่างกับกับเอาต์พุตจริงที่วัดมาจากการทดลองสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



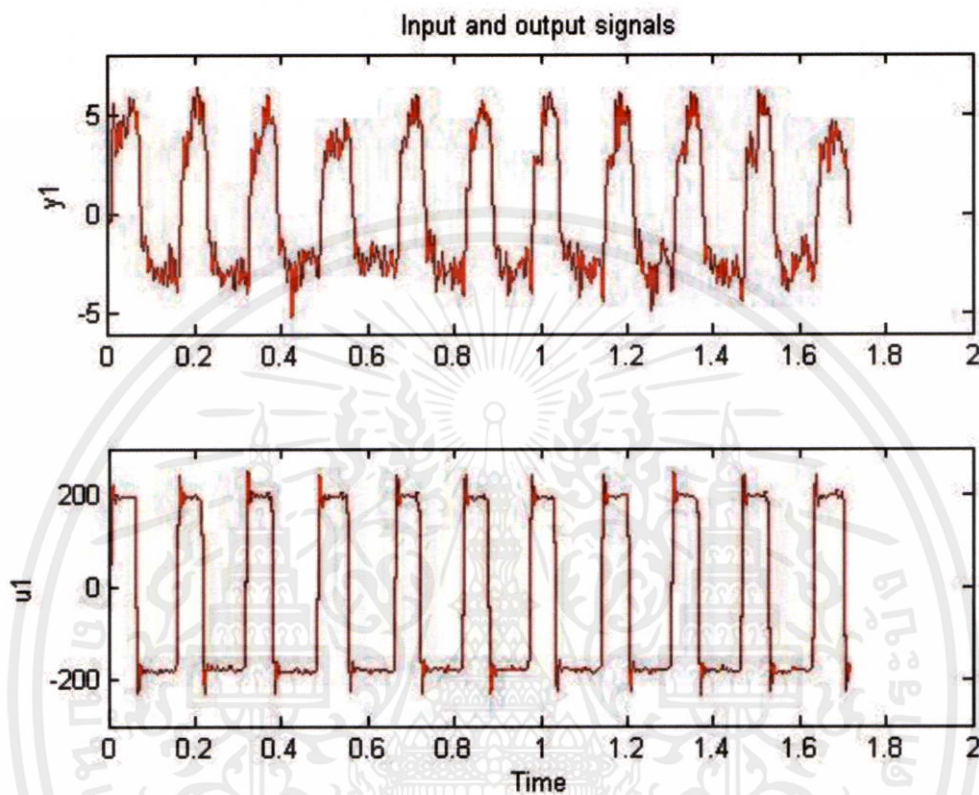
(ก) เมื่อใช้ OE233



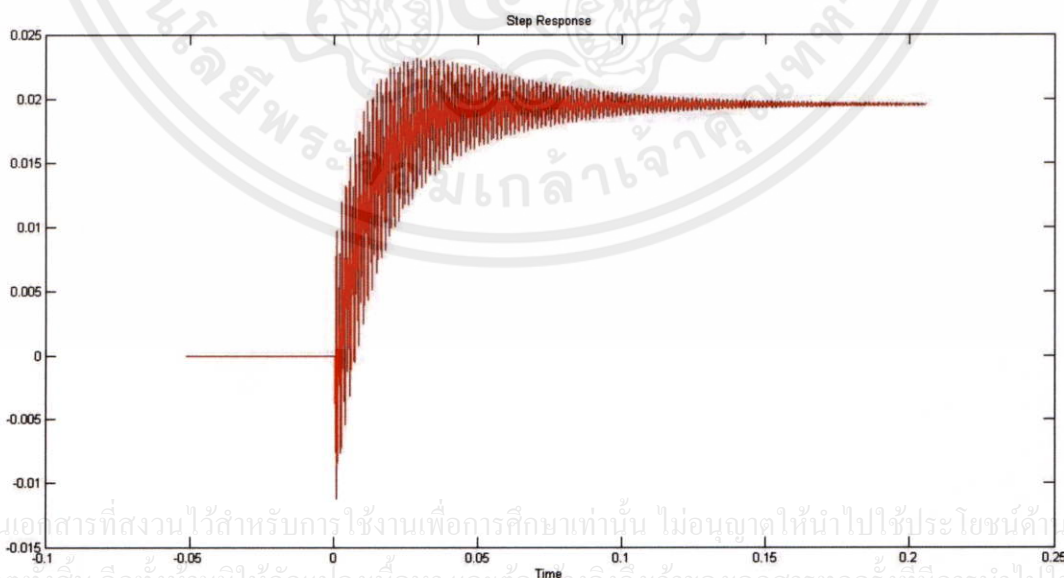
(ข) เมื่อใช้ OE4326

รูปที่ 4.5 ค่าเอาต์พุตของระบบที่ทำการหาอนุพันธ์แล้ว เมื่อจำลองด้วยทฤษฎีการหาพารามิเตอร์
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ระบบ (ก) เมื่อใช้ OE233 (ข) เมื่อใช้ OE4326
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบได้จึงต้องทำการใส่ตัวกรอง (Filter) ให้กับระบบ ซึ่งสามารถกำหนดและใส่ตัวกรองได้จากเครื่องมือ System Identification Tool ได้เลย โดยจะใช้ตัวกรองแบบ Band Pass จะได้ผลต่างๆ ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7

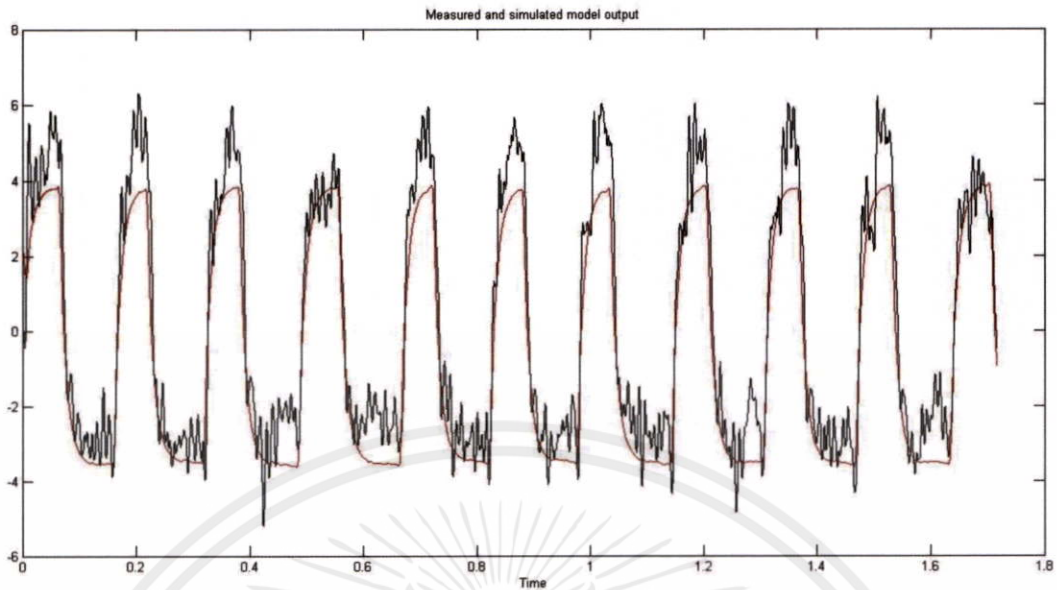


(ก) สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบ



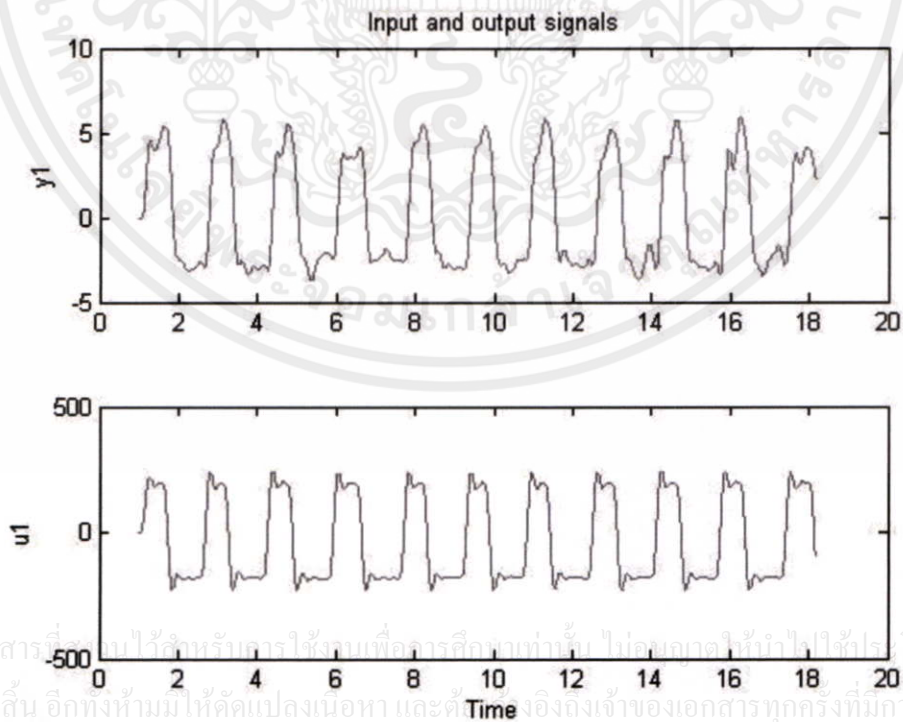
(ข) ผลตอบสนองแบบขั้นบันไดของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



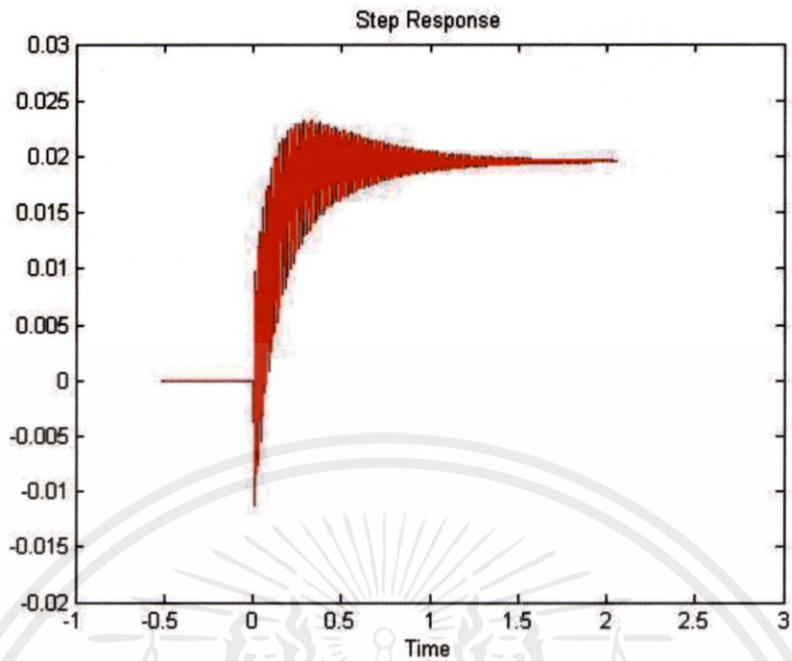
(ค) ค่าเอทพุทของระบบที่ทำการหาอนุพันธ์แล้ว เมื่อจำลองด้วยทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ และมีการใส่ตัวกรอง ใช้ OE233 มีค่า 67.28 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.6 ค่าอินพุทและเอทพุทของระบบที่ทำการหาอนุพันธ์แล้ว เมื่อจำลองด้วยทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ของระบบ โดยจะใช้ตัวกรองแบบ Band Pass โดยถ้าใช้ช่วงข้อมูลที่ 20.8663 ถึง 618.9658 rad/s

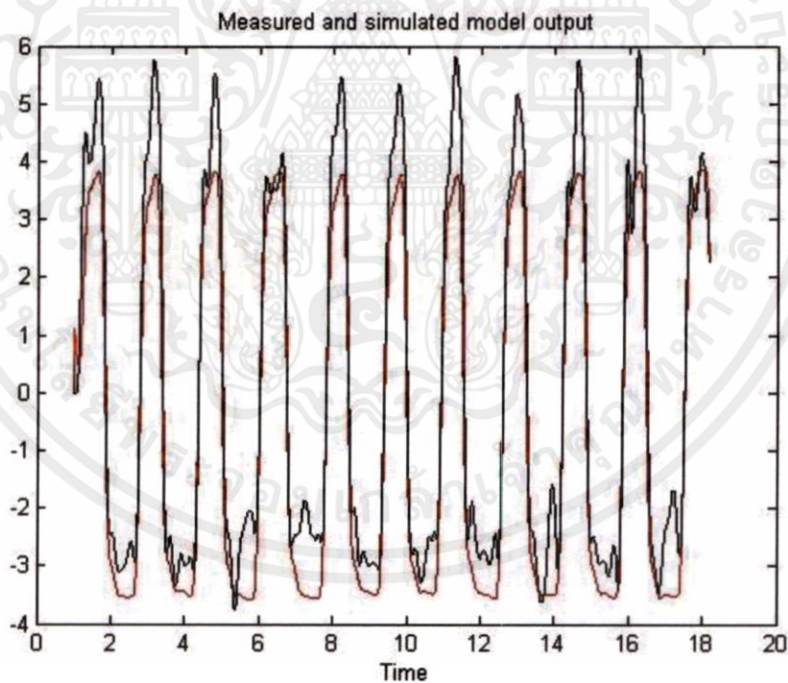


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับครูในวงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ขอสงวนสิทธิ์ในไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) สัญญาณอินพุทและเอทพุทของระบบ



(ข) ผลตอบสนองแบบขั้นบันไดของระบบ



(ค) ค่าเอาร์ทพุทของระบบที่ทำการหาอนุพันธ์แล้ว เมื่อจำลองด้วยทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ของระบบ และมีการใส่ตัวกรอง ใช้ OE233 มีค่า 71.28 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.7 ค่าอินพุทและเอาร์ทพุทของระบบที่ทำการหาอนุพันธ์แล้ว เมื่อจำลองด้วยทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ โดยจะใช้ตัวกรองแบบ Band Pass โดยถ้าใช้ช่วงข้อมูลที่

0.34807 ถึง 32.65043 rad/s

จากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าถ้าเลือกใช้ตัวกรองที่เหมาะสมจะทำให้ได้ค่าเอาต์พุตที่สร้างจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าเอาต์พุตจริงที่วัดมาจากการทดสอบมอเตอร์มีหน่วยวัดค่าความถูกต้องเป็นเปอร์เซ็นต์มีค่ามากขึ้น หากเปอร์เซ็นต์มีค่าที่สูงค่าเอาต์พุตของแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นยิ่งใกล้เคียงกับเอาต์พุตจริงที่วัดมาจากการทดลอง ดังนั้นจึงเลือกตัวกรองในช่วงข้อมูลที่ 0.34807 ถึง 32.65043 rad/s เพราะทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแบบจำลองที่มากกว่า ซึ่งจะสามารสรสร้างฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบในรูปของโดเมน s ได้ ดังนี้

$$y(t) = \frac{B(s)}{F(s)}u(t) + e(t)$$

$$B(s) = -14.17s^2 - 3820s + (3.289 \times 10^5)$$

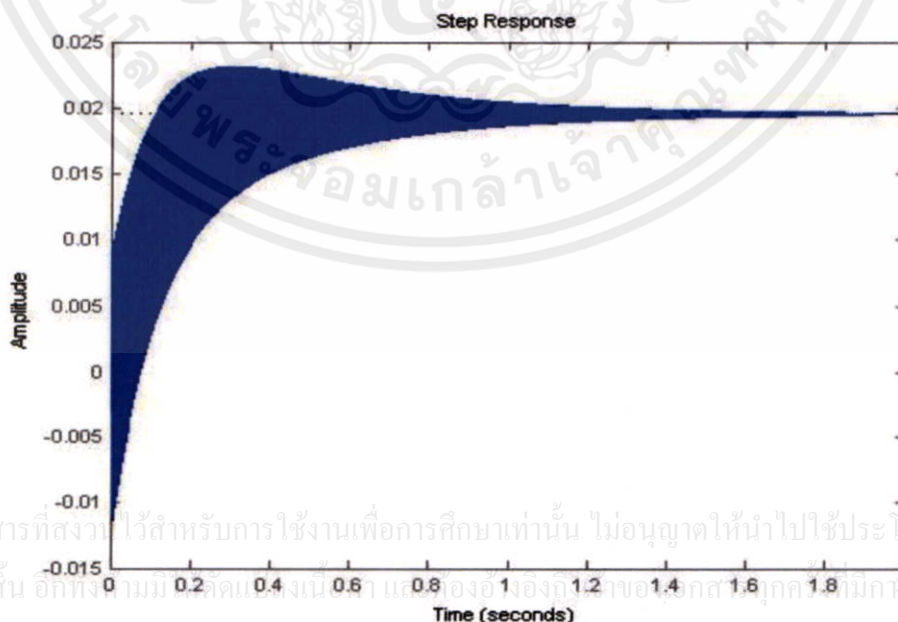
$$F(s) = s^3 + 14s^2 + (1.868 \times 10^6)s + (1.682 \times 10^7)$$

เมื่อวิเคราะห์ผลตอบสนองแบบขั้นบันไดจากฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบที่ได้จะเห็นว่าระบบจะมีการสั่นที่ค่อนข้างสูงดังนั้นจึงออกแบบตัวชดเชยเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งในที่นี้จะใช้การออกแบบระบบโดยใช้การควบคุมแบบพีไอ

4.3 การทดลองของตัวควบคุมที่ออกแบบให้ควบคุมความเร็วของรางส่งถ่ายสไลเดอร์

4.3.1 ผลตอบสนองรูปขั้นบันไดของระบบ

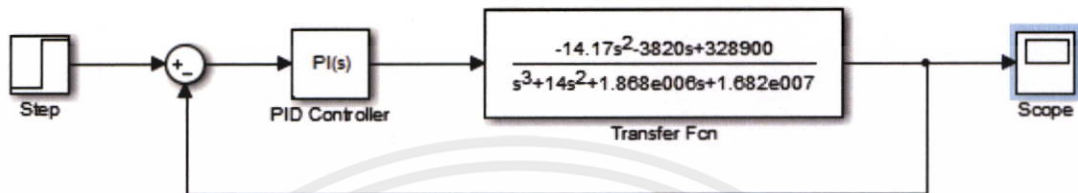
จากฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้จากบทที่แล้ว เมื่อนำมาสร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบผลตอบสนองรูปขั้นบันไดของระบบที่มีเอาต์พุตเป็นความเร็วของรางส่งถ่ายสไลเดอร์จะได้ผลตอบสนองรูปขั้นบันไดเป็นดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟผลตอบสนองแบบขั้นบันไดของระบบที่เอาต์พุตเป็นความเร็วของรางส่งถ่ายสไลเดอร์

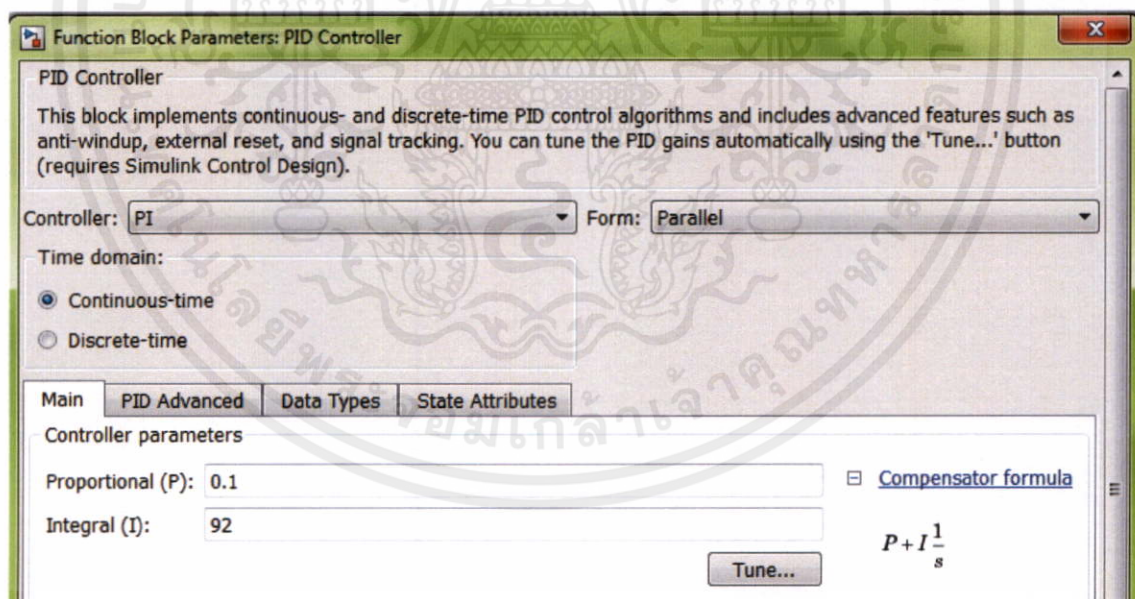
4.3.2 การออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอกรณีที่ไม่มีตัวรบกวน

จากฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้นำออกแบบระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอแบบป้อนกลับ โดยที่ควบคุมการป้อนกลับของความเร็วของรางส่งถ่ายสไลเดอร์ ด้วยการจำลองการควบคุมในโปรแกรม MATLAB จะได้แบบจำลองการควบคุมเป็นดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แบบจำลองการควบคุมความเร็วของรางส่งถ่ายสไลเดอร์ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ

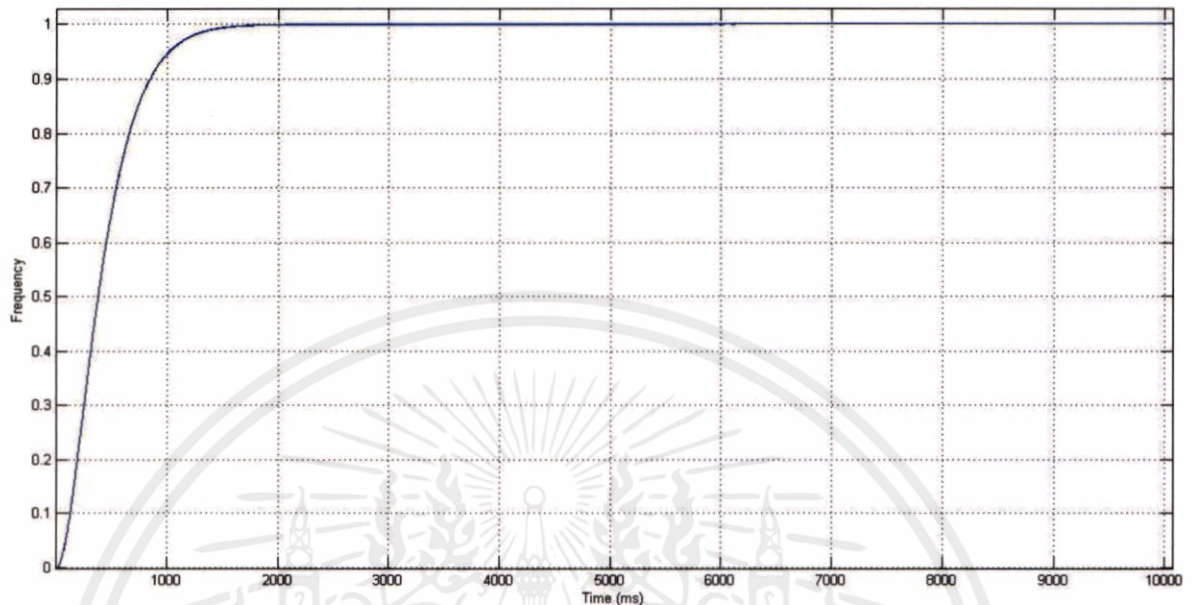
จากนั้นทำการปรับจูนตั้งค่าตัวควบคุมพีไอ (PI Controller) จนได้กราฟเอทท์พุทตามที่ต้องการ ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำการตั้งค่าพี เท่ากับ 0.1 และตั้งค่าไอ เท่ากับ 92 ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การตั้งค่าตัวควบคุมพีไอ โดยมีค่าพี เท่ากับ 0.1 และค่าไอ เท่ากับ 92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้กราฟสัญญาณเอาต์พุตออกมาดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.11 กราฟสัญญาณเอาต์พุตของระบบที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ ที่ควบคุมด้วยความเร็วของรางส่งถ่ายสไลเดอร์

จากรูปที่ 4.11 พบว่าในการควบคุมความเร็วของรางส่งถ่ายสไลเดอร์ ระบบจะเข้าสู่ค่าอ้างอิงที่กำหนดไว้ได้ตามต้องการ โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

Rise time	=	0.957	วินาที
Setting time	=	1.72	วินาที
Overshoot	=	0	เปอร์เซ็นต์
Peak	=	1	

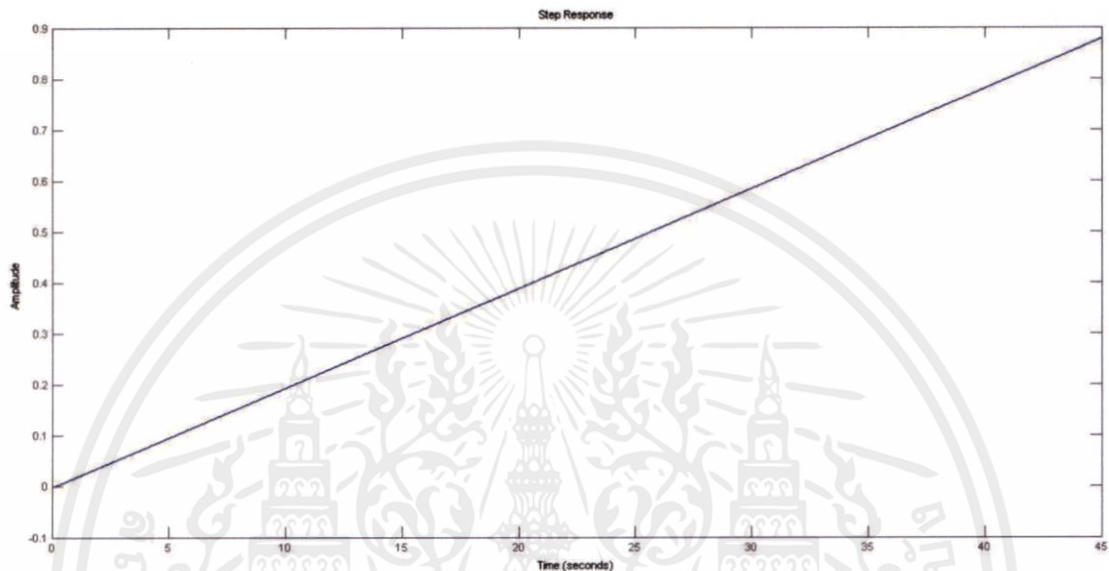
ซึ่งเมื่อเทียบกับรูปที่ 4.8 และ 4.11 จะพบว่ากราฟสัญญาณเอาต์พุตของระบบหลังจากใส่ตัวควบคุม ได้ถูกปรับให้ดีขึ้นโดยสามารถลดค่าโอเวอร์ชูต (overshoots) ลงจนมีค่าเท่ากับ 0 และค่าความเร็วที่ช่วงสภาวะคงที่ (steady state) มีค่าเข้าสู่ค่าอ้างอิงที่กำหนดไว้ และยังสามารถทำให้ระบบเร็วขึ้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกริใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญัตให้ไปเผยแพร่ ใช้งานด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองของตัวควบคุมที่ออกแบบให้ควบคุมตำแหน่งของรางส่งถ่ายสไลเดอร์

4.4.1 ผลตอบสนองรูปขั้นบันไดของระบบ

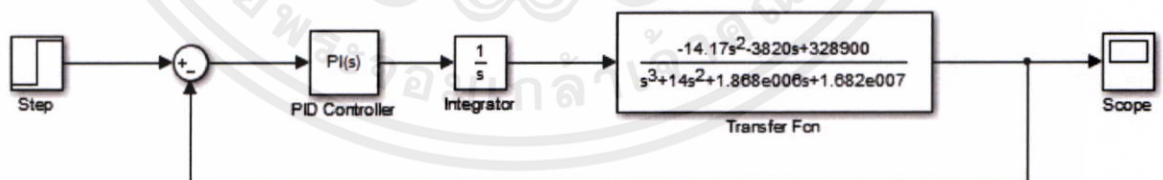
จากฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้จากบทที่แล้ว จะได้ผลตอบสนองรูปขั้นบันไดเป็นดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟผลตอบสนองแบบขั้นบันไดของระบบที่เอาต์พุตเป็นตำแหน่งของรางส่งถ่ายสไลเดอร์

4.4.2 การออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอกรณที่ไม่มีตัวรบกวน

จากแบบจำลองในรูปที่ 4.9 ทำการอินทิเกรตทรานเฟอร์ฟังก์ชันเพื่อเปลี่ยนการควบคุมจากควบคุมด้วยความเร็วเปลี่ยนเป็นควบคุมด้วยตำแหน่งของรางส่งถ่ายสไลเดอร์แทน ซึ่งจะได้แบบจำลองดังรูปที่ 4.13



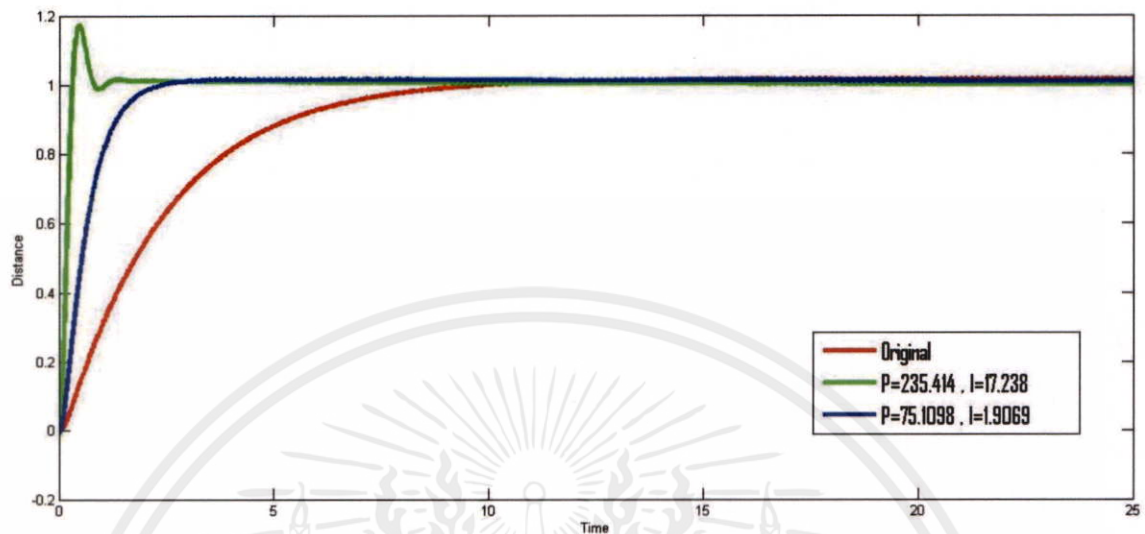
รูปที่ 4.13 แบบจำลองการควบคุมตำแหน่งของรางส่งถ่ายสไลเดอร์ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ

จากนั้นทำการปรับจูนตั้งค่าตัวควบคุมพีไอ (PI Controller) จนได้กราฟเอาต์พุตตามที่ต้องการ ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการควบคุมออกเป็น 2 แบบคือ

- 1) ระบบที่มีค่าพี (P) เท่ากับ 75.1098 และมีค่าไอ (I) เท่ากับ 1.9069

2) ระบบที่มีค่าพี (P) เท่ากับ 235.414 และมีค่าไอ (I) เท่ากับ 17.238

จะได้กราฟสัญญาณเอาต์พุตออกมาดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.14 กราฟสัญญาณเอาต์พุตของระบบที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ ที่ควบคุมด้วยตำแหน่งของรางส่งถ่ายสไลเดอร์

และมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของรูปกราฟสัญญาณขาออกที่ได้ข้างต้น

	Original (กราฟสีแดง)	P=235.414 , I=17.238 (กราฟสีเขียว)	P=75.1098 , I=1.9069 (กราฟสีน้ำเงิน)
Rise Time (s)	4.97	0.306	1.17
Settling Time (s)	8.11	1.08	1.95
Overshoot(%)	1.57	7.94	1.59
Peak	1.02	1.08	1.02

ซึ่งจากรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อทำการใส่ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI Controller) เข้าไปในระบบที่ทำการทดลอง จะช่วยให้ระบบมีผลตอบสนองที่ไวขึ้น ซึ่งการทดลองนี้เลือกการตั้งค่าแบบกราฟสัญญาณขาออกสีเขียว (P=235.414 , I=17.238) เนื่องจากเป็นกราฟที่มีการตอบสนองที่ไว ทำให้สามารถที่จะเข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการได้รวดเร็วกว่ากราฟสัญญาณขาออกสีน้ำเงิน (P=75.1098 , I=1.9069) ถึงแม้ว่าจะมีค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ทำให้เลยตำแหน่งไปบ้างก็ตาม เอกสารนี้เป็นการนำเสนอข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับงานวิจัยที่ดำเนินการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้วิจัยที่รับผิดชอบงานวิจัยนี้ได้ที่เบอร์โทรศัพท์ 08-1000-10000 หรืออีเมล pi.controller@kmutt.ac.th หรือ pi.controller@kmutt.ac.th ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

จากปัญหาของรางส่งถ่ายสไลเดอร์ที่ใช้สำหรับส่งถ่ายชิ้นส่วนต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ในโรงงานอุตสาหกรรม เมื่อต้องการหยุดให้ตรงตำแหน่งเพื่อทำงานร่วมกันกับเครื่องจักรอื่นๆ แต่มีการหยุดคลาดเคลื่อนจึงอาจต้องใช้แรงงานคนเข้ามาช่วยในการทำงาน และเวลาที่รางส่งถ่ายจะออกตัว ความเร็วจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทำให้อาจเกิดการหล่นของชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้เกิดแนวคิดในการสร้างการควบคุมการทำงานของสแตมป์มอเตอร์ด้วยเทคนิคการควบคุมแบบพีไอขึ้นมา

โครงการนี้สร้างแบบจำลองการควบคุมรางส่งถ่ายสไลเดอร์แบบพีไอโดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อดูผลตอบสนองของการควบคุมความเร็วและตำแหน่งของรางส่งถ่ายสไลเดอร์ ซึ่งจากผลการทดลองในบทที่ 4 พบว่า หลังจากใส่ตัวควบคุมแบบพีไอเข้าไปสามารถที่จะลดค่าการพุ่งเกิน (overshoot) ลงจนมีค่าเท่ากับ 0 และสามารถที่จะลดผลของตัวรบกวนของระบบได้อีกด้วย อีกทั้งยังสามารถที่จะทำให้ระบบมีการตอบสนองที่เร็วขึ้น

จากการทดลอง พบว่าการควบคุมที่มีตัวควบคุมแบบพีไอสามารถที่จะแก้ปัญหาการหยุดไม่ตรงตำแหน่งที่ต้องการ และการเร่งความเร็วที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจนเกินไปของรางส่งถ่ายสไลเดอร์ให้ดีขึ้นได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการทดลองตลอดโครงการนี้พบว่า มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. การเลือกที่จะเก็บค่าสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกจะต้องเลือกให้เหมาะสมและเห็นค่าการทำงานให้มากที่สุด เพื่อที่จะได้สร้างแบบจำลองที่ใกล้เคียงกับระบบมากที่สุด
2. การออกแบบตัวกรองสัญญาณจะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออก เพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการมากขึ้น
3. การหาค่าพารามิเตอร์ระบบ มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องไม่สูงมากนัก ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องเลือกค่าที่ได้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่สูงขึ้น เพื่อให้ได้ฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ที่มีค่าใกล้เคียงกับระบบมากขึ้น
4. การออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอ จะต้องตั้งค่าให้เหมาะสมกับระบบ เพื่อที่จะได้ระบบที่มีการตอบสนองที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการพัฒนา

การออกแบบการควบคุมโดยมีตัวควบคุมแบบพีไอของรางส่งถ่ายสไลเดอร์ โดยใช้ทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ มีวิธีการหาแบบจำลองอีกหลายรูปแบบ ซึ่งสามารถที่จะศึกษารูปแบบอื่นๆ นอกเหนือจากแบบจำลองแบบ OE (Output Error) ได้ เช่น ARX (Auto Regressive with external input), Least squares estimate, BJ (Box-Jenkins) เป็นต้น และอาจเปลี่ยนจากการทำแบบจำลอง จากโปรแกรม MATLAB เป็นการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการทำงานจริงในรางส่งถ่ายสไลเดอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Shyn-Ming Jong, Shun-Te and Hsiao, "An Implementation of FPGA Based Driver for Approaching High Resolution of Five-phase Hybrid Step Motor," *IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, vol.5, pp. 2543-2548, 11-14 July 2010, Qingdao.
- [2] Ngoc Quy Le, Jung Uk Cho and Jae Wook Jeon, "Application of Velocity Profile Generation and Closed-Loop Control in Step Motor Control System," *International Joint Conference on SICE-ICASE*, pp. 3593-3598, 18-21 October 2006, Busan, Korea
- [3] Rohit G. Kanojija, "Optimal Tuning of PI Controller for Speed Control of DC motor drive using Particle Swarm Optimization," *IEEE International Conference on Advances in Power Conversion and Energy Technologies*, pp. 1-6, 2-4 August 2012, Mylavaram, Andhra Pradesh.
- [4] Lennart Ljung, "System identification," New jersey, P T R Prentice Hall, inc, 1987.
- [5] ทวีศักดิ์ เพ็ญพิทักษ์วงศ์ และคณะ, "การขับสแต็ปมอเตอร์แบบมินิสเตปที่สามารถโปรแกรมได้," *ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต*, สาขาวิศวกรรมการวัดคุม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- [6] เจษฎา บางประเสริฐ ญัฐวุฒิ สิทธิสุทธิ และ ปทุมรัตน์ เยาวบุตร, "ระบบควบคุมมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC," *ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต*, สาขาวิศวกรรมการวัดคุม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551.
- [7] ณรงค์เดช อินทสิทธิ์ และคณะ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.nectec.or.th/schoolnet/library/webcontest2003/100team/dlnes137/am/step_motor.html
- [8] วิชาสตร์ บุญญา. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.kknic.ac.th/~kkvisart_poon/Webpage/wachira/htdoc/less_5/Stepmoter.pdf
- [9] นัฐชัย ชาญดนตรีกิจ และ อรรถสิทธิ์ จ้อยกลัด, "ชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยตัวควบคุม PID ผ่านโปรแกรม LabVIEW," *ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต*, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550.
- [10] กิตติ ธีรเศรษฐ, *การวิเคราะห์ระบบควบคุมเชิงเส้น*, เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2526.
- [11] กิตติ ธีรเศรษฐ, *การวิเคราะห์ระบบควบคุมเชิงเส้น*, เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2536.
- [12] ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล, *ระบบควบคุม*, กรุงเทพมหานคร: มิน เซอร์วิส ซัพพลาย, 2554



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

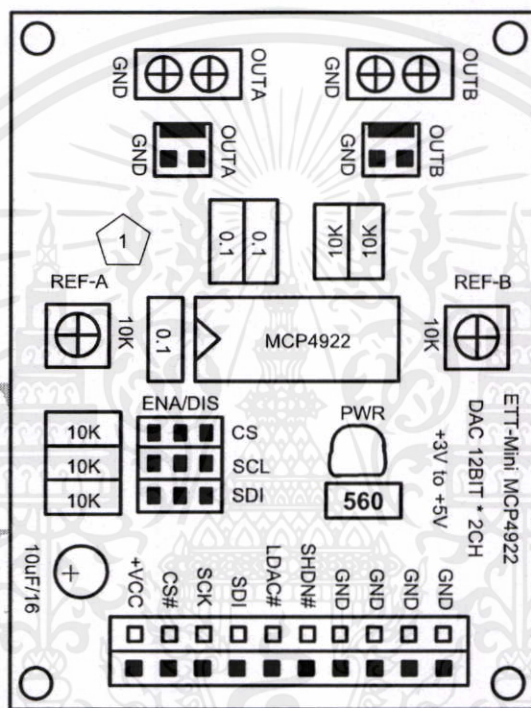


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ET-MINI MCP4922 DAC 12BIT

Module ET-MINI MCP4922 DAC 12BIT *2CH เป็นชุด Convert สัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

1. Digital Input มีความละเอียดที่ 12 บิต
2. แรงดันอ้างอิง VrefA และ VrefB สามารถปรับจาก VR ได้ตั้งแต่ 0 ถึง +Vcc
3. ใช้ได้กับ Power Supply 2.7V ถึง 5.5V
4. Interface การส่งข้อมูล Digital Input ด้วย SPI ซึ่งรองรับสัญญาณ Clock ได้ถึง 20MHz
5. มี DAC OUTPUT ให้ใช้งาน 2 แชนแนล และสามารถเลือกเกณฑ์ขยายของสัญญาณ Output ได้ที่ 1x หรือ 2x



รูป Module ET-MINI MCP4922 DAC 12 BIT*2CH

หน้าที่ขาสัญญาณบนบอร์ด

- 1) ขา +Vcc และ GND ใช้ต่อเข้ากับ Vcc และ GND ของ MCU ที่ใช้ควบคุม ซึ่งรองรับแรงได้ตั้งแต่ 2.7V-5.5V
- 2) ขา CS -Chip select Input จะทำงานที่ลอจิก Low เพื่อที่จะ Enable Clock และ Data
- 3) ขา SCK จะเป็นขาสำหรับรับสัญญาณ Clock (SPI)จากภายนอกเข้ามา
- 4) ขา SDI เป็นขา Data สำหรับรับข้อมูลแบบ Serial จากภายนอกเข้ามา
- 5) ขา LDAC จะทำงานที่ Logic Low ซึ่งจะทำหน้าที่โหลดข้อมูลที่ถูก Convert แล้ว ออกไปที่ขา Output
- 6) ขา SHDN จะทำงานที่ Logic Low ทำหน้าที่ Shutdown DAC ให้อยู่ใน Standby Mode ในสถานะใช้งานปกติ

จะต้องให้เป็น Logic High

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีข้อตกลงเบื้องต้นที่ผู้ใช้ต้องปฏิบัติตามทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7) ขา OUTA และ OUTB เป็นขา Output สำหรับต่อสัญญาณ Analog ที่ได้ไปใช้งาน
- 8) VR REF-A และ REF-B ใช้สำหรับปรับแรงดันอ้างอิงให้ แชนแนล A และ B ตามลำดับ โดยแรงดันอ้างอิงนี้ จะปรับได้ที่ 0 ถึง +Vcc

รูปแบบการส่งข้อมูล (SPI Serial Interface)

สำหรับ Module นี้ผู้ใช้จะต้องส่งข้อมูล Digital Input ให้กับ Module ในลักษณะของ Serial (SPI) โดยจะมีการส่งคำสั่งและส่งข้อมูลไปด้วยกันครั้งละ 16 Bit (2Byte) ต่อการ Convert สัญญาณ Digital 1 ค่า โดยมีรูปแบบแสดงในตาราง

ตาราง แสดงรูปแบบการส่ง Command และ Data

Upper Half :							
Bit15	Bit14	Bit13	Bit12	Bit11	Bit10	Bit9	Bit8
A/B	BUF	GA	SHDN	D11	D10	D9	D8

Lower Half :							
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Bit 15 $\overline{A/B}$: DAC_A หรือ DAC_B Select bit สำหรับเลือก แชนแนล Output

1 = Write to DAC_B ใช้งาน Output แชนแนล B

0 = Write to DAC_A ใช้งาน Output แชนแนล A

Bit 14 **BUF**: Vref Input Buffer Control bit สำหรับกำหนดให้แรงดันอ้างอิงที่รับเข้ามาผ่าน Buffer หรือ ไม่ผ่าน Buffer

1 = Buffered ให้แรงดันอ้างอิงที่รับเข้ามาผ่าน Buffer ภายใน ของ MCP4922

0 = Unbuffered ให้แรงดันอ้างอิงที่รับเข้ามาไม่ผ่าน Buffer ภายใน ของ MCP4922

Bit13 \overline{GA} : Output Gain Select bit สำหรับเลือกเกณฑ์ขยายของสัญญาณ Output

1 = 1x จะได้ $V_{out} = V_{ref} * D/4096$

0 = 2x จะได้ $V_{out} = 2 * V_{ref} * D/4096$ เมื่อ D = ค่าของ Digital Input ฐาน 10 (D0-D11)

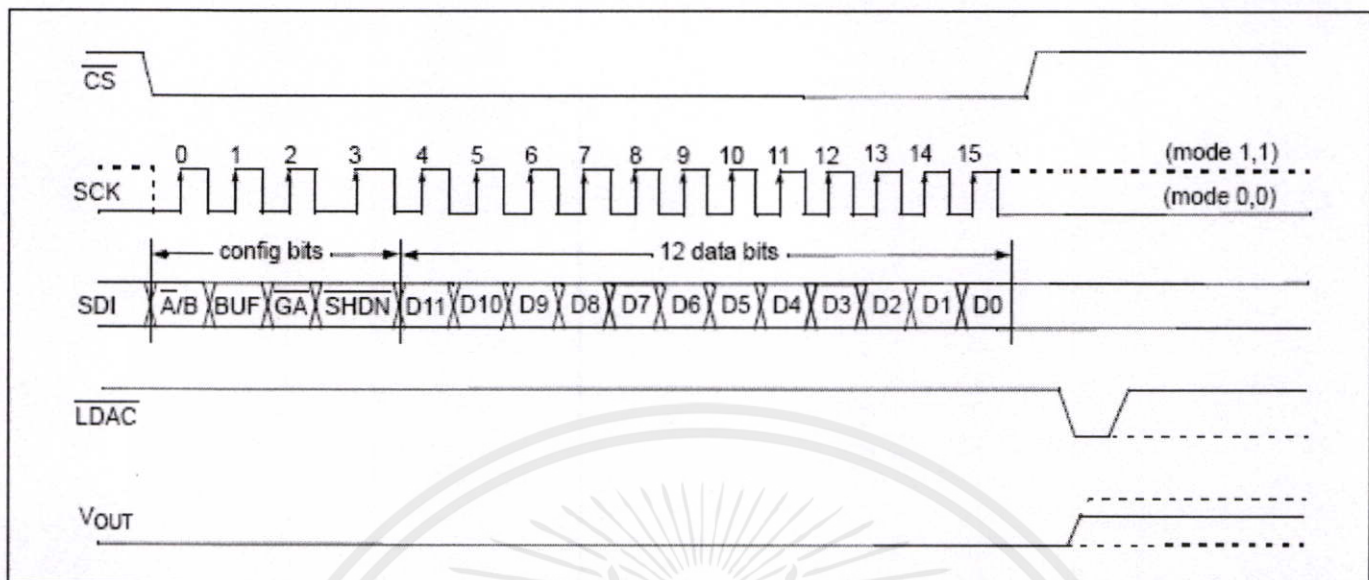
Bit12 \overline{SHDN} : Output Power down Control bit ใช้ กำหนด Mode Shutdown ให้กับ DAC

1 = Output Power Down Control bit : บัฟเฟอร์ Output ทำงานปกติ DAC ทำงาน

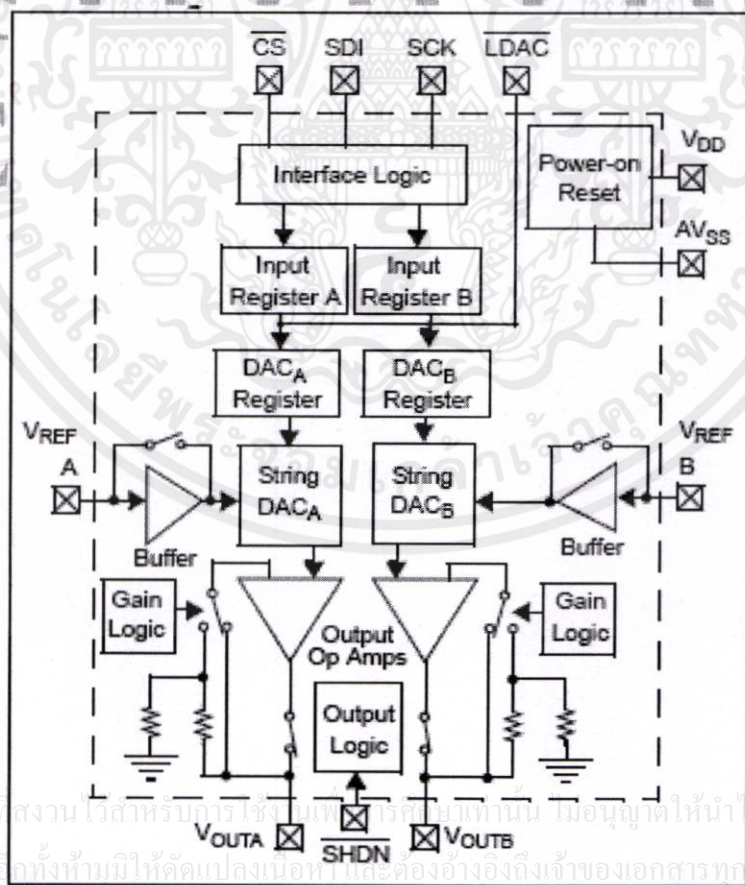
0 = Output buffer disabled ,Output high impedance : บัฟเฟอร์ Output ไม่ทำงาน DAC Standby Mode

Bit 11-0 **D11-D0**: DAC Data bits ข้อมูล Digital 12 Bit ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 4096

ขั้นตอนในการส่งข้อมูลและ Command สามารถพิจารณาได้จากรูปด้านล่าง คือเริ่มต้นต้องกำหนดให้ขา CS และ LDAC เป็น 1 ค้างไว้ เมื่อจะทำการ Write Command และส่งข้อมูล จะต้องกำหนดให้ขา CS = '0' แล้วตามด้วย Clock 4 bit Configuration และ 12 bit data ตามลำดับ ข้อมูลก็จะถูกส่งออกไปที่ขา SDI โดยเริ่มส่งบิต 15 ออกไปเป็นบิตแรก หลังจากส่งข้อมูลครบ 16 บิต ก็กำหนดให้ขา CS = '1' แล้วจึงส่งสัญญาณ Latch (จาก 0 เป็น 1) ไปที่ขา LDAC สัญญาณดิจิทัลที่ถูก Convert เป็นอนาล็อก ก็จะถูกส่งออกมาที่ ขา Output ในแชนแนลที่ผู้ใช้กำหนดไว้ ซึ่งระดับแรงดันที่ออกมา ก็จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณจากสูตรข้างต้น จากบอร์ด ถ้าขา CS ,SCL และ SDI ไม่ได้ถูก Pull Up จากภายนอกบอร์ดไว้ ผู้ใช้จะต้อง Set Jumper บนบอร์ดมาทางด้าน ENA ด้วย เพื่อทำการ Pull Up ให้กับขาสัญญาณทั้ง 3 ขา

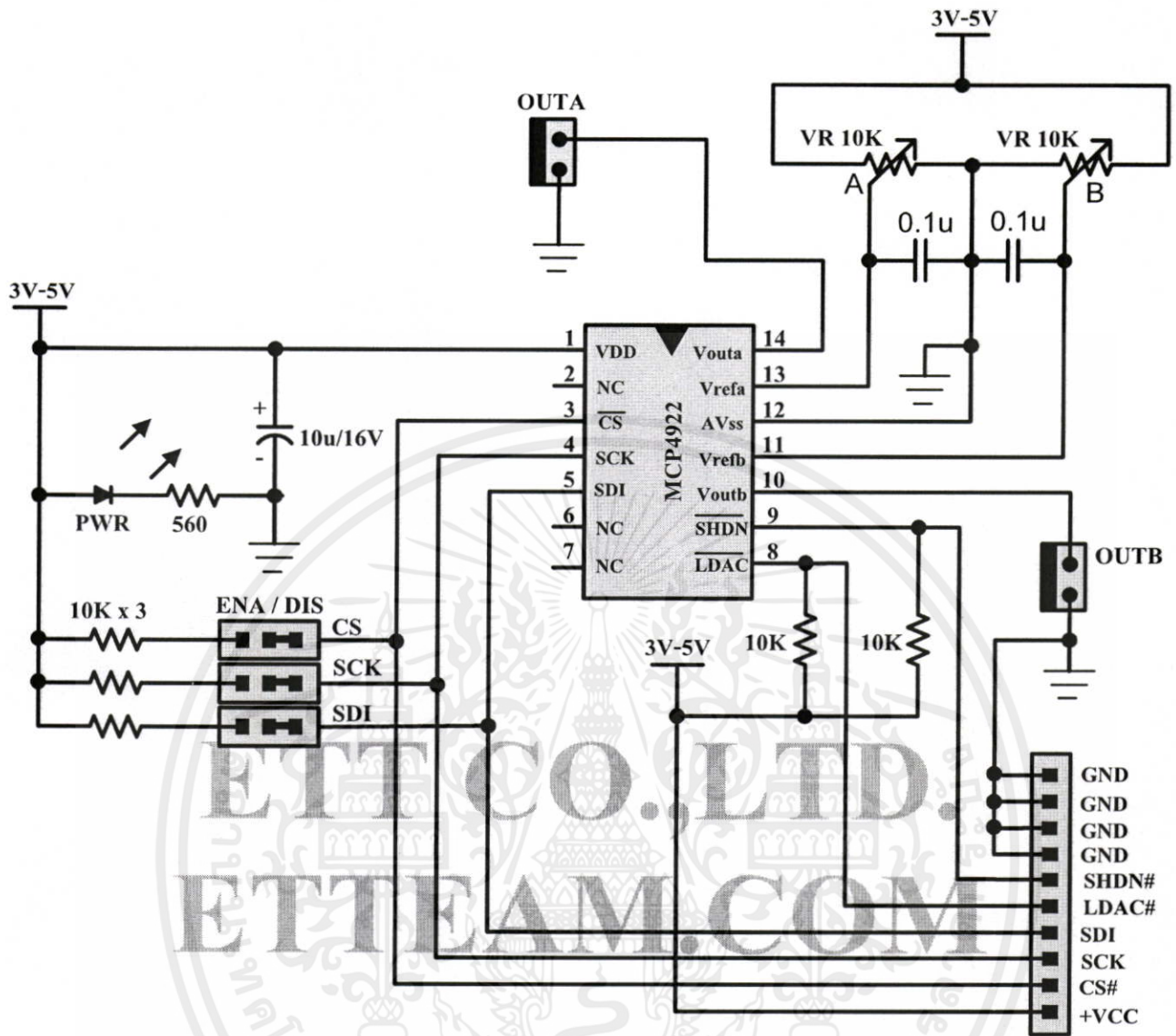


รูปแสดง Timing Write Command



รูปแสดง Block Diagram ของ MCP4922

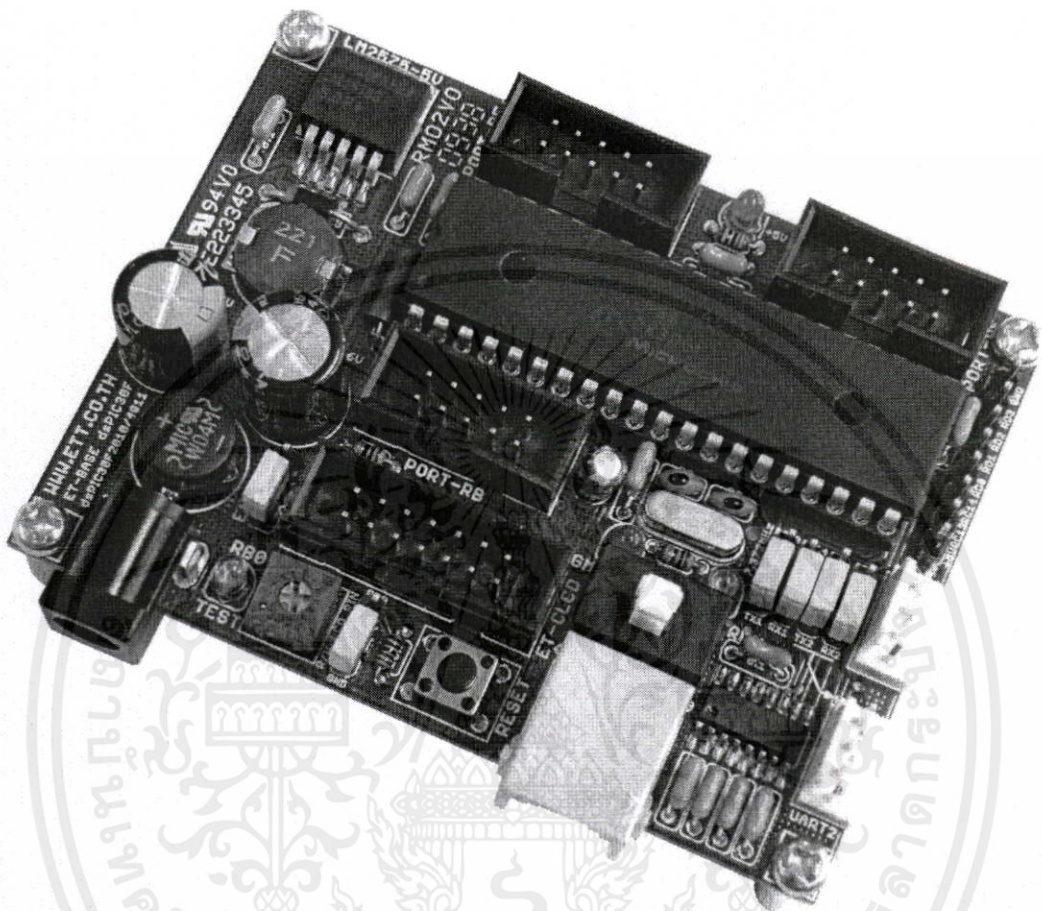
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาในเอกสารอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป วงจร ET-MINI MCP4922 DAC 12BIT*2CH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ET-BASE dsPIC30F2010/4011



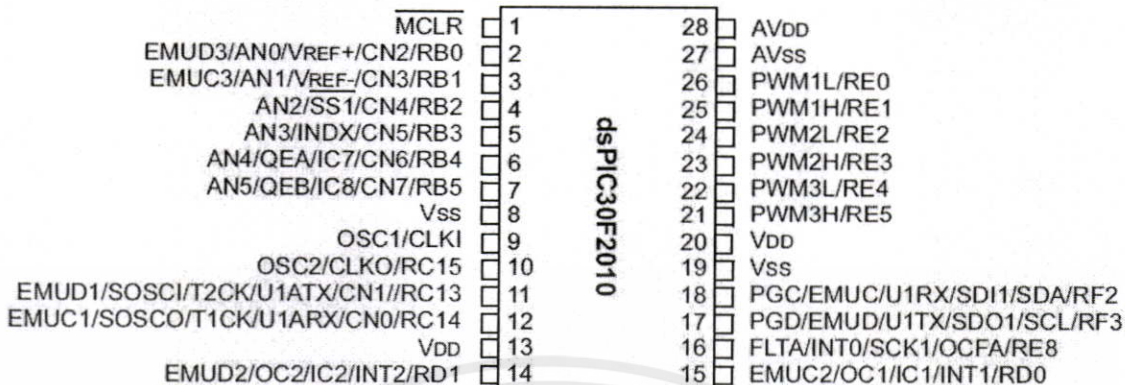
ET-BASE dsPIC30F2010/4011 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล dsPIC30F ซึ่งเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น 28 Pin เบอร์ dsPIC30F2010 หรือ รุ่น 40 Pin เบอร์ dsPIC30F4011 ของ Microchips เป็น MCU ประจำบอร์ด โดย dsPIC30F2010/4011 เป็น MCU ซึ่งใช้การประมวลผลข้อมูลแบบ 16 บิต จากค่าย Microchips ซึ่งมีจุดเด่นในด้านของความสามารถในการประมวลผลข้อมูลสัญญาณแบบดิจิทัลเป็นอย่างดีสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานควบคุมต่างๆ โดยโครงสร้างภายในจะเป็นการผสมผสานระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) และวงจร DSP (Digital Signal Processing) รวมเข้าไว้ด้วยกัน หรืออาจเรียก MCU ตระกูล dsPIC30F ว่าเป็น DSC หรือ Digital Signal Controller ก็ได้

โดยโครงสร้างของบอร์ด ET-BASE dsPIC30F2010/4011 ได้รับการออกแบบให้บอร์ดมีขนาดเล็กเหมาะต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นหลัก โดยภายในบอร์ดได้บรรจุเอาวงจรที่จำเป็นต่อการใช้งาน และสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม มีความยืดหยุ่น สามารถปรับเปลี่ยนสัญญาณ I/O เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆให้สอดคล้องและเหมาะสมกับความต้องการใช้งานได้ในหลายๆลักษณะตามต้องการ

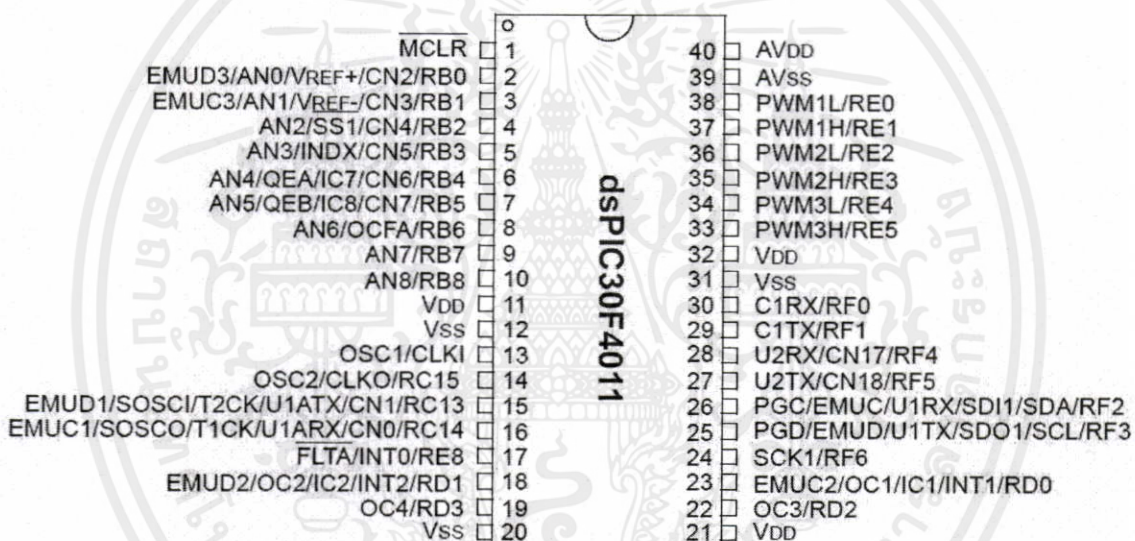
คุณสมบัติของบอร์ด

- เลือกใช้ MCU ตระกูล dsPIC30F2010 หรือ dsPIC30F4011 ของ Microchips เป็น MCU ประจำบอร์ด โดยคุณสมบัติเด่นๆของ MCU ได้แก่
 - มีหน่วยความจำ Flash 12KByte(dsPIC20F2010) หรือ 48KByte(dsPIC30F4011)
 - มีหน่วยความจำ RAM ขนาด 512Byte(dsPIC30F2010) หรือ 2KByte(dsPIC30F4011)
 - มีหน่วยความจำ EEPROM ขนาด 1KByte สำหรับเก็บข้อมูลใช้งาน
 - มีพอร์ต I/O ขนาด 19 Bit(dsPIC30F2010) หรือ 29 Bit(dsPIC30F4011)
 - มี 16Bit Timer/Counter จำนวน 3 ชุด(dsPIC30F2010) หรือ 5 ชุด(dsPIC30F4011)
 - มี Input Capture จำนวน 4 ช่อง
 - มี Output Compare จำนวน 2 ช่อง(dsPIC30F2010) หรือ 4 ช่อง(dsPIC30F4011)
 - มี ADC 10Bit/500Ksps จำนวน 6 ช่อง(dsPIC30F2010) หรือ 9 ช่อง(dsPIC30F4011)
 - มี PWM Motor Control จำนวน 6 ช่อง พร้อม Quadrature Encode Interface(QEI)
 - มี UART จำนวน 1 ช่อง(dsPIC30F2010) หรือ 2 ช่อง (dsPIC30F4011)
 - มี SPI จำนวน 1 ช่อง และมี I2C จำนวน 1 ช่อง
 - มีวงจร Watchdog, Power-ON Reset, PWM
- ใช้ Crystal ความถี่ 7.3728MHz สามารถใช้ PLL คุณความถี่เพื่อ Run ความถี่ 29.4912MHz ได้
- มีพอร์ตสื่อสารอนุกรม UART แบบ RS232 จำนวน 1 ช่อง สำหรับ dsPIC30F2010 และ 2 ช่อง สำหรับ dsPIC30F4011 พร้อม Jumper สำหรับเลือกใช้งาน UART หรือ GPIO ได้ตามต้องการ โดยใช้ขั้วต่อ UART แบบ CPA-4 Pin มาตรฐาน อีทีที
- มีขั้ว ICSP มาตรฐาน ICD2 แบบ RJ11 สำหรับใช้ร่วมกับชุดพัฒนาโปรแกรมและ Debugger ที่รองรับการทำงานตามมาตรฐาน ICD2 ของ Microchips เช่น ICD2 หรือ Pickit2 ได้
- มี Switch สำหรับสลับสัญญาณระหว่าง Program/Debug(PGM) และ ใช้งานปรกติ(RUN) พร้อม LED แสดงโหมดการทำงานของบอร์ด
- มีขั้วต่อสัญญาณ I/O แบบ Header ขนาด 2x5 จำนวน 3 ชุด และ Header 1x8 Pin อีก 1 ชุด
- Header 14Pin สำหรับ Character LCD พร้อม VR ปรับความสว่าง
- มี Switch Reset สำหรับสั่ง Reset การทำงานของ MCU ภายในบอร์ด
- มี LED สำหรับทดสอบการทำงาน โดยใช้ RB0 ในการควบคุม พร้อม Jumper ตัดต่อสัญญาณ
- Power AC/DC Input พร้อม Regulate แบบ Switching เบอร์ LM2575 ขนาด 5V/1A ลดปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารความลับจากวงจร Regulate และ LED แสดงสถานะแหล่งจ่าย Power นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ขนาด PCB Size เล็กเพียง 8 x 6 cm. และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงการจัดขาสัญญาณของ dsPIC30F2010

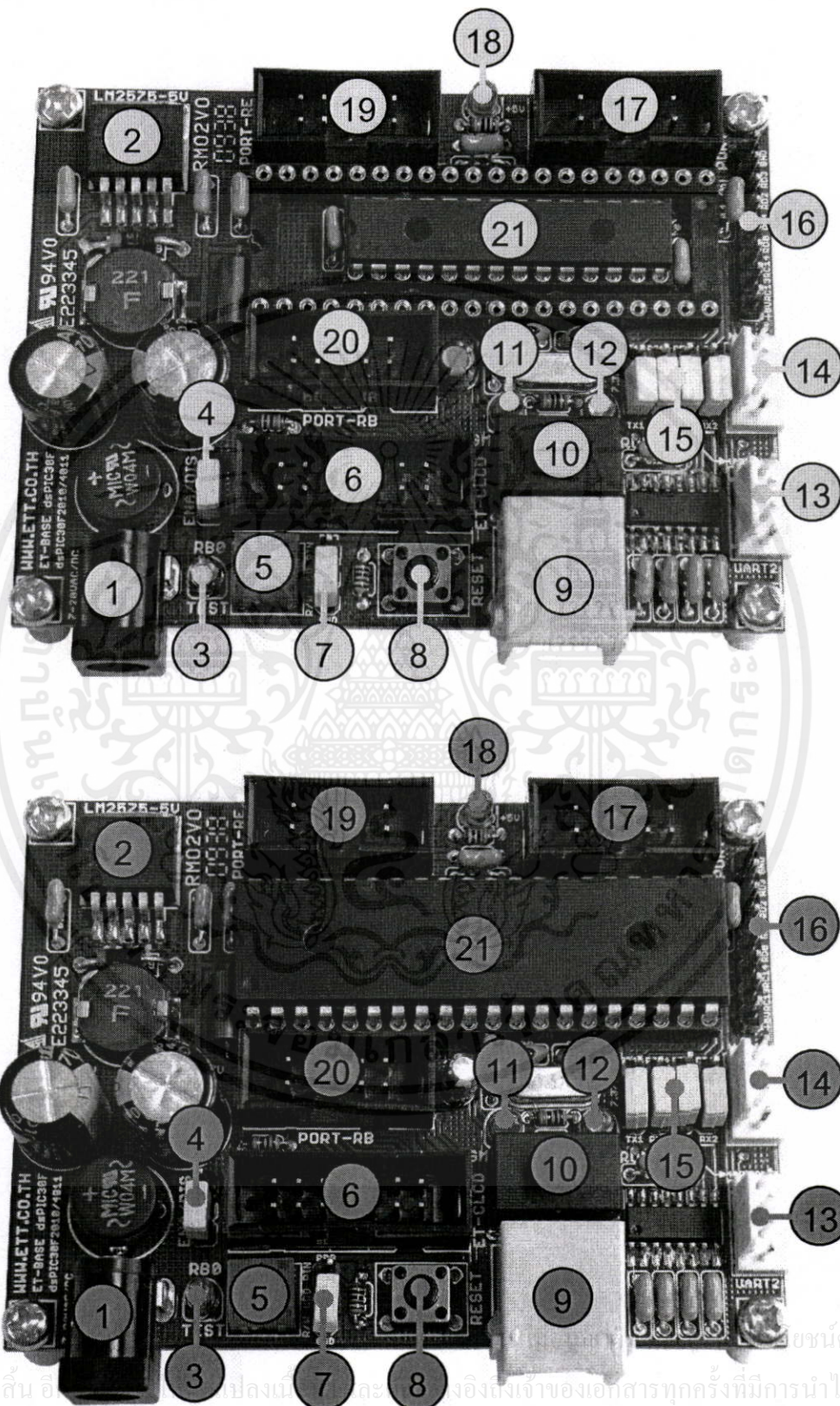


รูปแสดงการจัดขาสัญญาณของ dsPIC30F4011

Device	Pins	Program Mem. Bytes/Instructions	SRAM Bytes	EEPROM Bytes	Timer 16-bit	Input Cap	Output Comp/Std PWM	Motor Control PWM	A/D 10-bit 500 Ksps	Quad Enc	UART	SPI™	I ² C™	CAN
dsPIC30F2010	28	12K/4K	512	1024	3	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F3010	28	24K/8K	1024	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	-
dsPIC30F4012	28	48K/16K	2048	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	1
dsPIC30F3011	40/44	24K/8K	1024	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	-
dsPIC30F4011	40/44	48K/16K	2048	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	1
dsPIC30F5015	64	66K/22K	2048	1024	5	4	4	8 ch	16 ch	Yes	1	2	1	1
dsPIC30F6010	80	144K/48K	8192	4096	5	8	8	8 ch	16 ch	Yes	2	2	1	2

ตารางแสดง คุณสมบัติความแตกต่างของ dsPIC30F เบอร์ต่างๆ

โครงสร้างบอร์ด ET-BASE dsPIC30F2010/4011



เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัท ETT จำกัด (มหาชน) ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ ไม่สามารถรับประกันความถูกต้องของข้อมูลใดๆได้
 โปรดอ่านคู่มือการใช้งานอย่างละเอียดก่อนใช้งาน และแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หมายเลข 1 คือ ขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรของบอร์ด ใช้กับแหล่งจ่ายไฟ 7-20VAC/DC
- หมายเลข 2 คือ IC Regulate แบบ Switching ขนาด 5V/1A
- หมายเลข 3 คือ LED TEST สำหรับทดสอบการทำงานของบอร์ด โดยควบคุมจาก RB0
- หมายเลข 4 คือ Jumper สำหรับ ตัด ต่อ สัญญาณ RB0 กับ LED TEST
- หมายเลข 5 คือ VR ปรับค่า สำหรับใช้ปรับความสว่างของหน้าจอแสดงผล LCD
- หมายเลข 6 คือ ขั้วต่อ 14PIN IDE สำหรับเชื่อมต่อกับ LCD แบบ Character
- หมายเลข 7 คือ Jumper สำหรับเลือกรูปแบบการควบคุมขา R/W ของ LCD โดยถ้าใช้ MCU รุ่น 28Pin ต้องเลือกไว้ด้าน GND เสมอและไม่สามารถสั่งอ่านข้อมูลจาก LCD ได้
- หมายเลข 8 คือ สวิตช์ Reset สำหรับ Reset การทำงานของ MCU เมื่ออยู่ในโหมด Run
- หมายเลข 9 คือ ขั้วต่อ ICD2 สำหรับใช้เชื่อมต่อกับเครื่องโปรแกรมและดีบั๊กตามมาตรฐาน ICD2
- หมายเลข 10 คือ สวิตช์ สำหรับเลือกโหมดการทำงานระหว่าง Run(RUN) และ Program(PGM)
- หมายเลข 11 คือ LED สีแดง แสดงสถานะ PGM เมื่อบอร์ดทำงานใน Program Mode
- หมายเลข 12 คือ LED สีเขียว แสดงสถานะ RUN เมื่อบอร์ดทำงานใน Run Mode
- หมายเลข 13 คือ ขั้วต่อ UART2 ซึ่งมีเฉพาะใน MCU รุ่น 40 Pin (dsPIC30F4011) เท่านั้น โดยเป็นสัญญาณแบบ RS232 โดยใช้ Pin ของ RF4(RX2) และ RF5(TX2) เป็นสัญญาณเชื่อมต่อ
- หมายเลข 14 คือ ขั้วต่อ UART1 โดยเป็นสัญญาณแบบ RS232 มีอยู่ใน MCU ทั้งรุ่น 28 Pin และรุ่น 40 Pin ซึ่งใช้ Pin ของ RC13(TX1),RC14(RX1) เป็นสัญญาณเชื่อมต่อ
- หมายเลข 15 คือ Jumper สำหรับเลือกการเชื่อมต่อสัญญาณ RC13,RC14,RF4,RF5 ว่าจะใช้ขาสัญญาณดังกล่าวทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณรับส่งของ RS232 หรือ GPIO สำหรับใช้งานทั่วไป
- หมายเลข 16 คือ ขั้วต่อสัญญาณ RC13,RC14,RD0,RD1,RD2 และ RD3 สำหรับใช้งาน โดยถ้าเป็น MCU รุ่น 28Pin จะไม่มีสัญญาณ RD2 และ RD3 ขาสัญญาณดังกล่าวจะปล่อยว่างไว้
- หมายเลข 17 คือ ขั้วต่อสัญญาณ Port-RF ซึ่งถ้าเป็น MCU รุ่น 40 Pin จะมี 7 บิต คือ RF[0..6] แต่ถ้าเป็น MCU รุ่น 28 Pin จะมีเพียง 2 บิต คือ RF[2] และ RF[3] เท่านั้น
- หมายเลข 18 คือ LED สำหรับแสดงสถานะ ของแหล่งจ่ายไฟ +5V ของบอร์ด
- หมายเลข 19 คือ ขั้วต่อสัญญาณ Port-RE ซึ่งจะมี 7 บิต คือ RE[0..6 และ 8]
- หมายเลข 20 คือ ขั้วต่อสัญญาณ Port-RB ซึ่งถ้าเป็น MCU40Pin จะมี 8 บิต คือ RB[0..7] แต่ถ้าเป็น MCU 28Pin จะมีเพียง 6 บิต คือ RB[0..5] เท่านั้น
- หมายเลข 21 คือ MCU ประจำบอร์ด โดยถ้าเป็น รุ่น 28Pin จะใช้เบอร์ dsPIC30F2010 แต่ถ้าเป็นรุ่น 40Pin จะใช้เบอร์ dsPIC30F4011

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัท ETT จำกัด (มหาชน) ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจาก ETT จำกัด (มหาชน) หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจาก ETT จำกัด (มหาชน) บริษัท ETT จำกัด (มหาชน) ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และไม่รับผิดชอบต่อความเสียหายใดๆ ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเอกสารนี้

หัวต่อสัญญาณต่างๆ

ET-BASE dsPIC30F2010	ET-BASE dsPIC30F4011
<p>PORT-RE[0..5,8]</p>	<p>PORT-RE[0..5,8]</p>
<p>PORT-RF[2..3]</p>	<p>PORT-RF[0..6]</p>
<p>PORT-RB[0..5]</p>	<p>PORT-RB[0..7]</p>

รูปแสดง การจัดเรียงสัญญาณของพอร์ต I/O ต่างๆของบอร์ด ET-BASE dsPIC30F2010/4011

SONY**ILX511****2048-pixel CCD Linear Image Sensor (B/W)****Description**

The ILX511 is a rectangular reduction-type CCD linear image sensor designed for bar code POS hand scanner and optical measuring equipment use. A built-in timing generator and clock drivers ensure single 5V power supply for easy use.

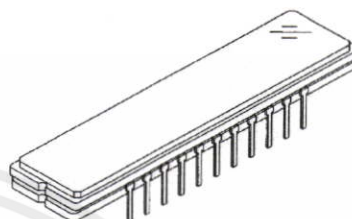
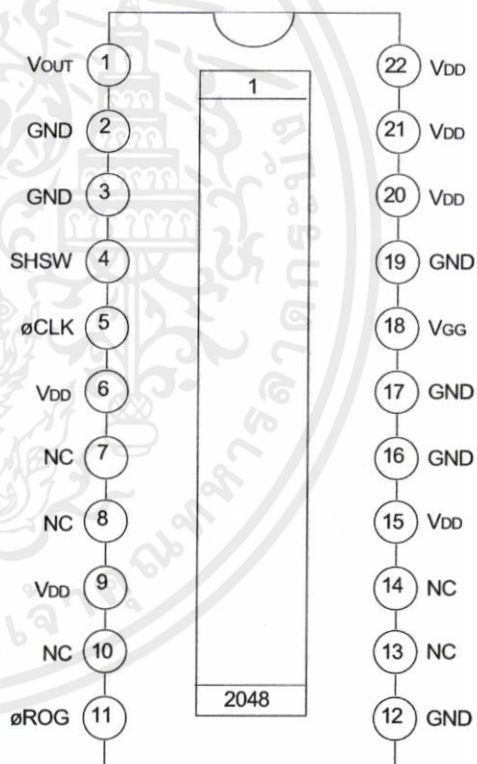
Features

- Number of effective pixels: 2048 pixels
- Pixel size: 14 μ m x 200 μ m (14 μ m pitch)
- Single 5V power supply
- Ultra-high sensitivity
- Built-in timing generator and clock-drivers
- Built-in sample-and-hold circuit
- Maximum clock frequency: 2MHz

Absolute Maximum Ratings

- Supply voltage VDD 6 V
- Operating temperature -10 to +60 °C
- Storage temperature -30 to +80 °C

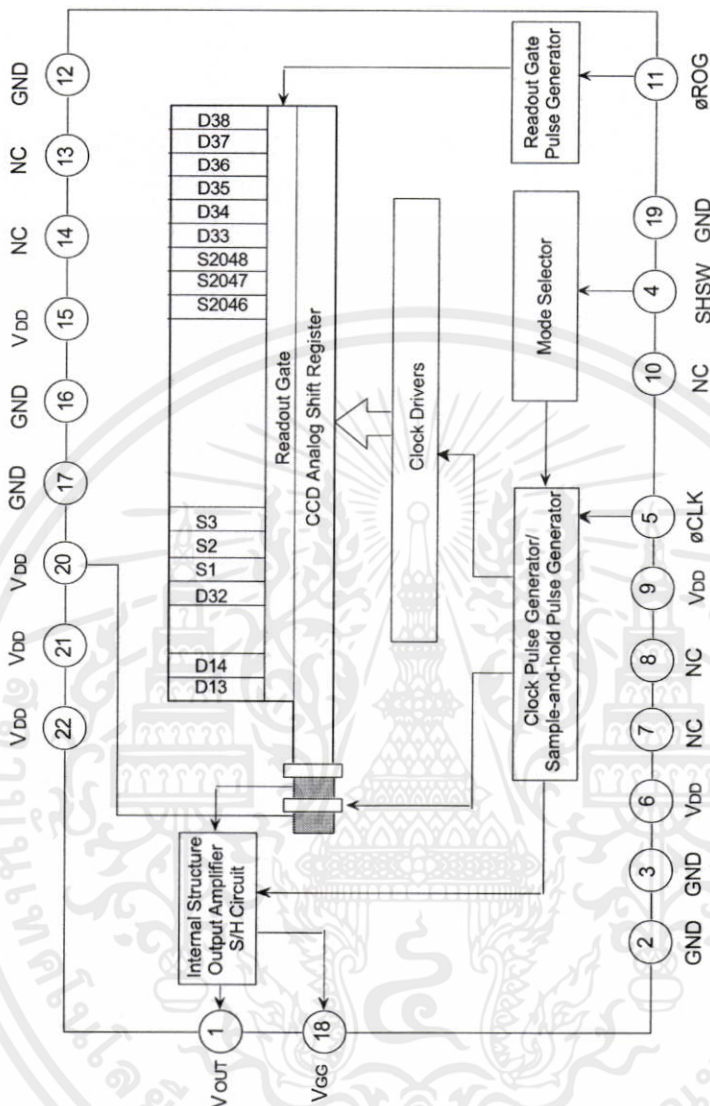
22-pin DIP (CERDIP)

**Pin Configuration (Top View)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sony reserves the right to change products and specifications without prior notice. This information does not convey any license by any implication or otherwise under any patents or other right. Application circuits shown, if any, are typical examples illustrating the operation of the devices. Sony cannot assume responsibility for any problems arising out of the use of these circuits.

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Description

Pin No.	Symbol	Description
1	VOUT	Signal output
2	GND	GND
3	GND	GND
4	SHSW	Switch (with S/H or without S/H)
5	øCLK	Clock pulse input
6	VDD	5V power supply
7	NC	NC
8	NC	NC
9	VDD	5V power supply
10	NC	NC
11	øROG	Readout gate pulse input
12	GND	GND
13	NC	NC
14	NC	NC
15	VDD	5V power supply
16	GND	GND
17	GND	GND
18	VGG	Output circuit gate bias
19	GND	GND
20	VDD	5V power supply
21	VDD	5V power supply
22	VDD	5V power supply

Mode Description

Mode in Use	Pin 4 (SHSW)
With S/H	GND
Without S/H	VDD

Recommended Voltage

Item	Min.	Typ.	Max.	Unit
VDD	4.5	5.0	5.5	V

Input Clock Voltage Condition (Note)

Item	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _{IH}	4.5	5.0	5.5	V
V _{IL}	0	—	0.5	V

Note) This is applied to the all pulses applied externally (øCLK, øROG).

Input Pin Capacity

Item	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input capacity of øCLK pin	CøCLK	—	10	—	pF
Input capacity of øROG pin	CøROG	—	10	—	pF

Electro-optical Characteristics

(Ta = +25°C, VDD = 5V, Clock Frequency: 1MHz, Light Source = 3200K, IR Cut Filter: CM-500S (t = 1.0mm), Without S/H Mode)

Item	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Remarks
Sensitivity 1	R1	150	200	250	V/(lx · s)	Note 1
Sensitivity 2	R2	—	1800	—	V/(lx · s)	Note 2
Sensitivity nonuniformity	PRNU	—	5.0	10.0	%	Note 3
Saturation output voltage	VSAT	0.6	0.8	—	V	—
Dark voltage average	VDRK	—	3.0	6.0	mV	Note 4
Dark signal nonuniformity	DSNU	—	6.0	12.0	mV	Note 4
Image lag	IL	—	1	—	%	Note 5
Dynamic range	DR	—	267	—	—	Note 6
Saturation exposure	SE	—	0.004	—	lx · s	Note 7
5V current consumption	I VDD	—	5.0	10.0	mA	—
Total transfer efficiency	TTE	92.0	98.0	—	%	—
Output impedance	Zo	—	250	—	Ω	—
Offset level	VOS	—	2.8	—	V	Note 8

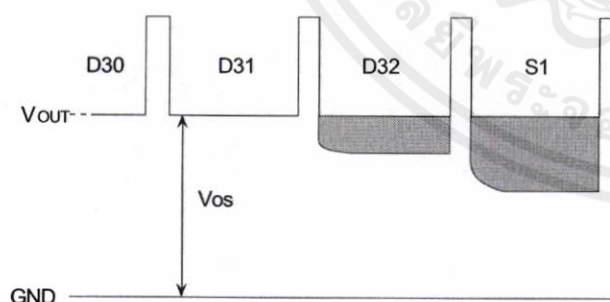
Notes:

1. For the sensitivity test light is applied with a uniform intensity of illumination.
2. Light source: LED λ = 660nm
3. PRNU is defined as indicated below. Ray incidence conditions are the same as for Note 1.

$$\text{PRNU} = \frac{(V_{\text{MAX}} - V_{\text{MIN}})/2}{V_{\text{AVE}}} \times 100 (\%)$$

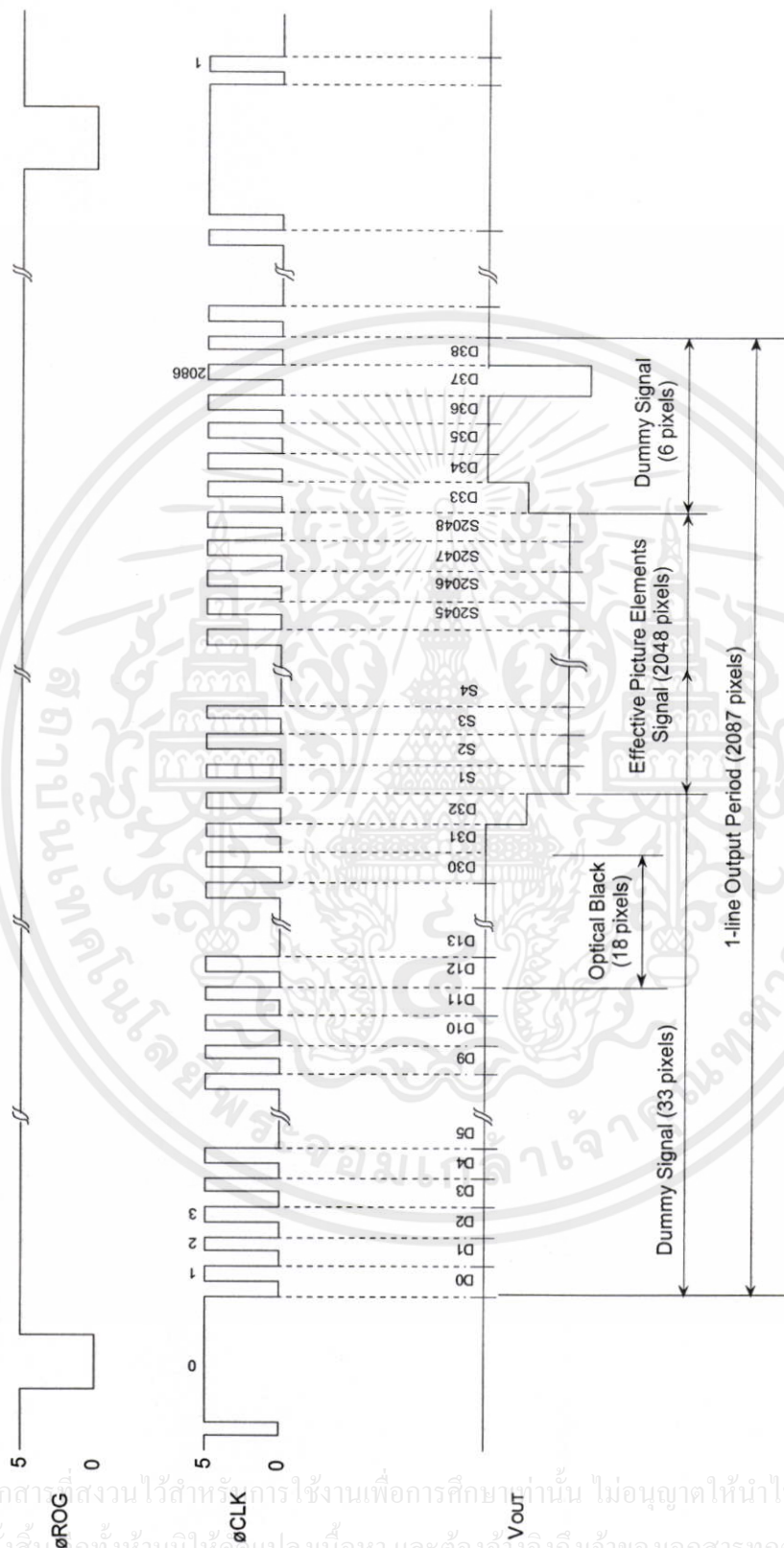
The maximum output of all the valid pixels is set to V_{MAX}, the minimum output to V_{MIN} and the average output to V_{AVE}.

4. Integration time is 10ms.
5. Typical value is used for clock pulse and readout pulse. V_{OUT} = 500mV.
6. DR = VSAT/VDRK. When optical integration time is shorter, the dynamic range sets wider because dark voltage is in proportion to optical integration time.
7. SE = VSAT/R1
8. Vos is defined as indicated below.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

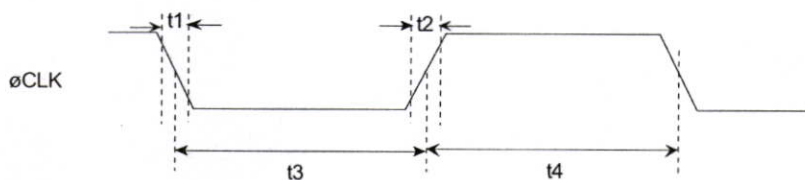
Clock Timing Diagram (With S/H Mode)



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2088 or more clock pulses are required.

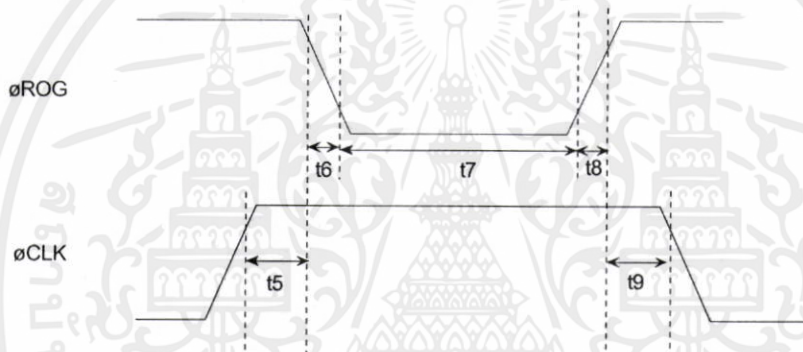
øCLK Timing (For All Modes)



Item	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
øCLK pulse rise/fall time	t1, t2	0	10	100	ns
øCLK pulse duty (Note 1)	—	40	50	60	%

Note 1) $100 \times t4 / (t3 + t4)$

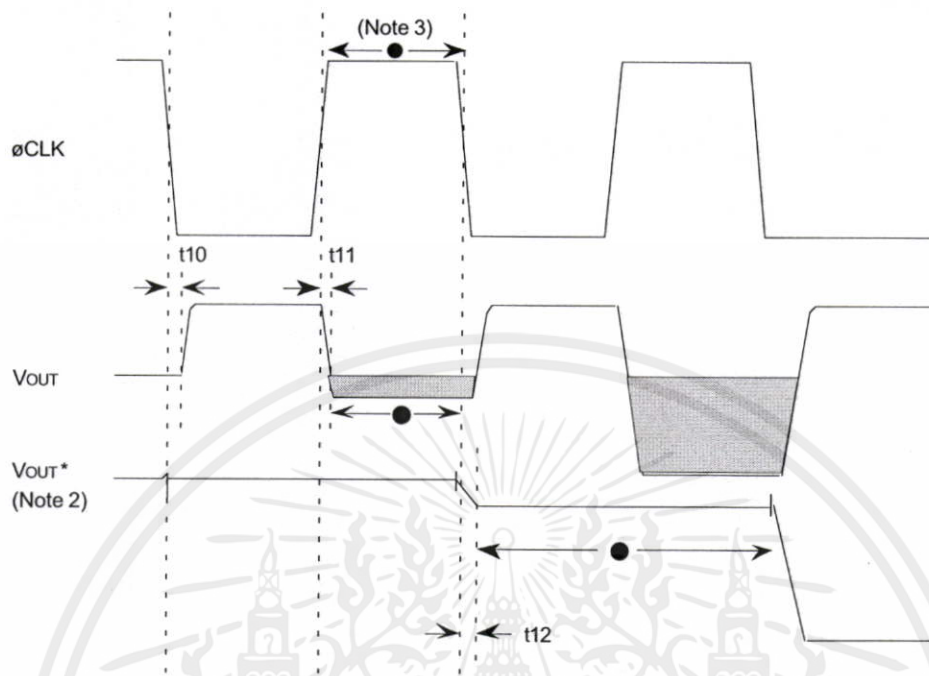
øROG, øCLK Timing



Item	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
øROG, øCLK pulse timing 1	t5	0	3000	—	ns
øROG, øCLK pulse timing 2	t9	1000	3000	—	
øROG pulse rise/fall time	t6, t8	0	10	—	
øROG pulse period	t7	3000	5000	—	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

∅CLK, VOUT Timing (Note 1)



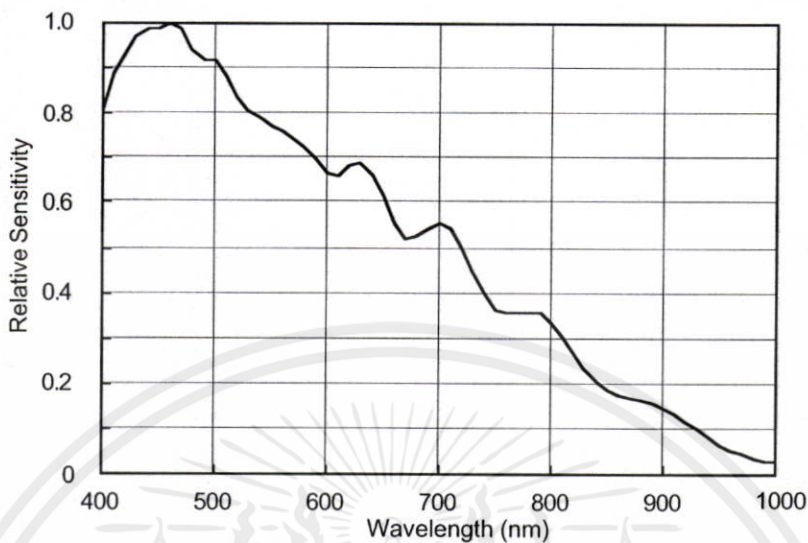
Item	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
∅CLK-VOUT 1	t10	40	115	280	ns
∅CLK-VOUT 2	t11	55	120	205	
∅CLK-VOUT* (with S/H)	t12	10	165	240	

Notes:

- 1) f_{clk} = 1MHz, ∅CLK pulse duty = 50%, ∅CLK pulse rise/fall time = 10ns
- 2) Output waveform when internal S/H is in use.
- 3) • indicates the correspondence of clock pulse and data period.

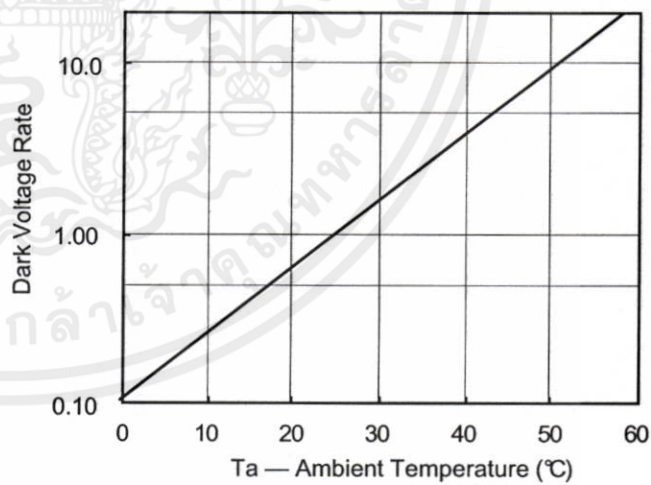
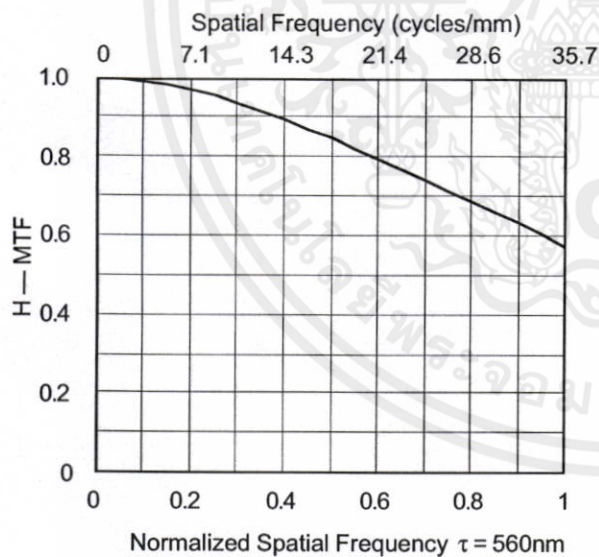
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Spectral Sensitivity (typ.) (Ta = +25°C)



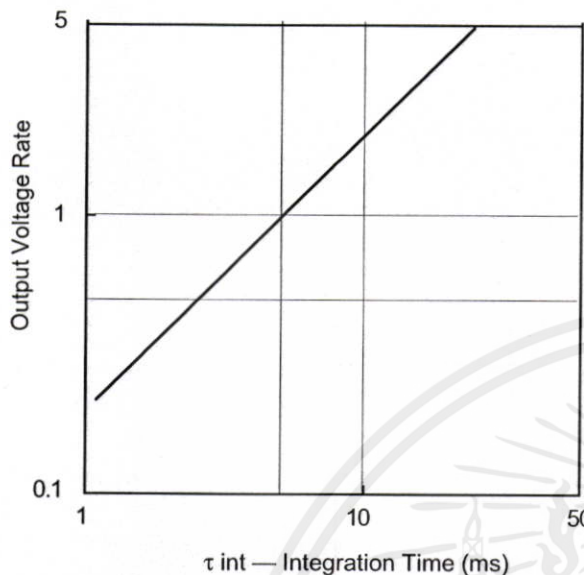
MTF of main scanning direction (typ.)

Dark Voltage Rate vs. Ambient Temperature (typ.)

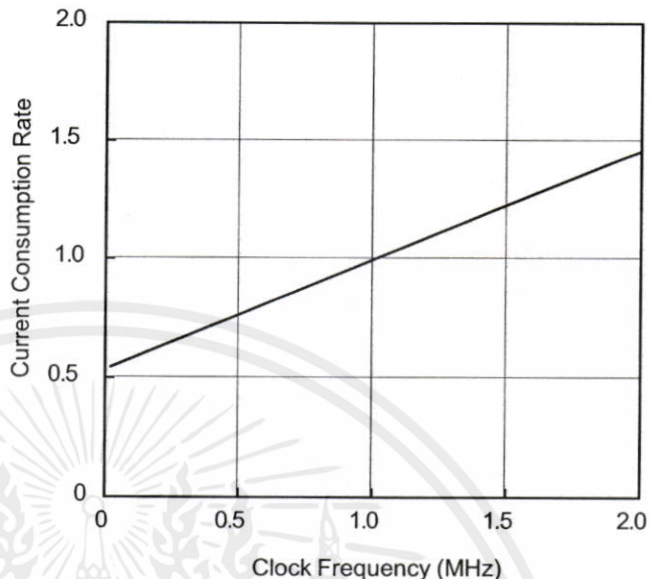


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

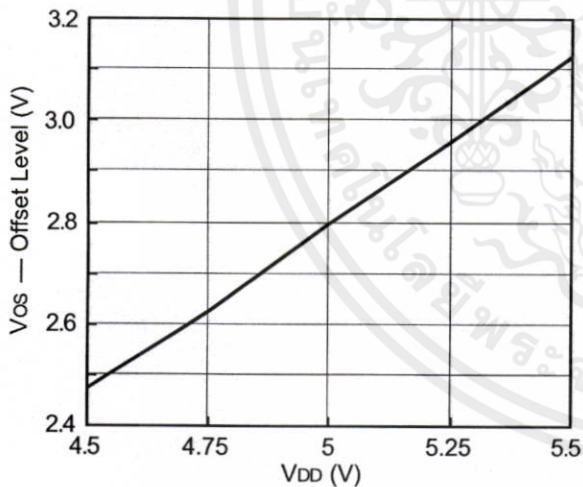
Output Voltage Rate vs. Integration Time (typ.)



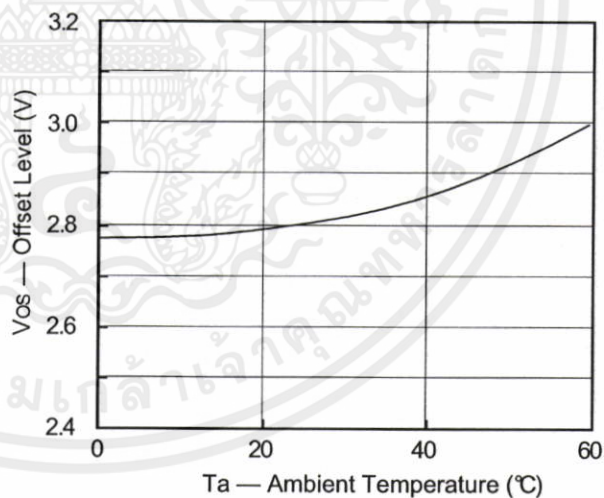
Current Consumption Rate vs. Clock Frequency (typ.)



Offset Level vs. VDD (typ.)

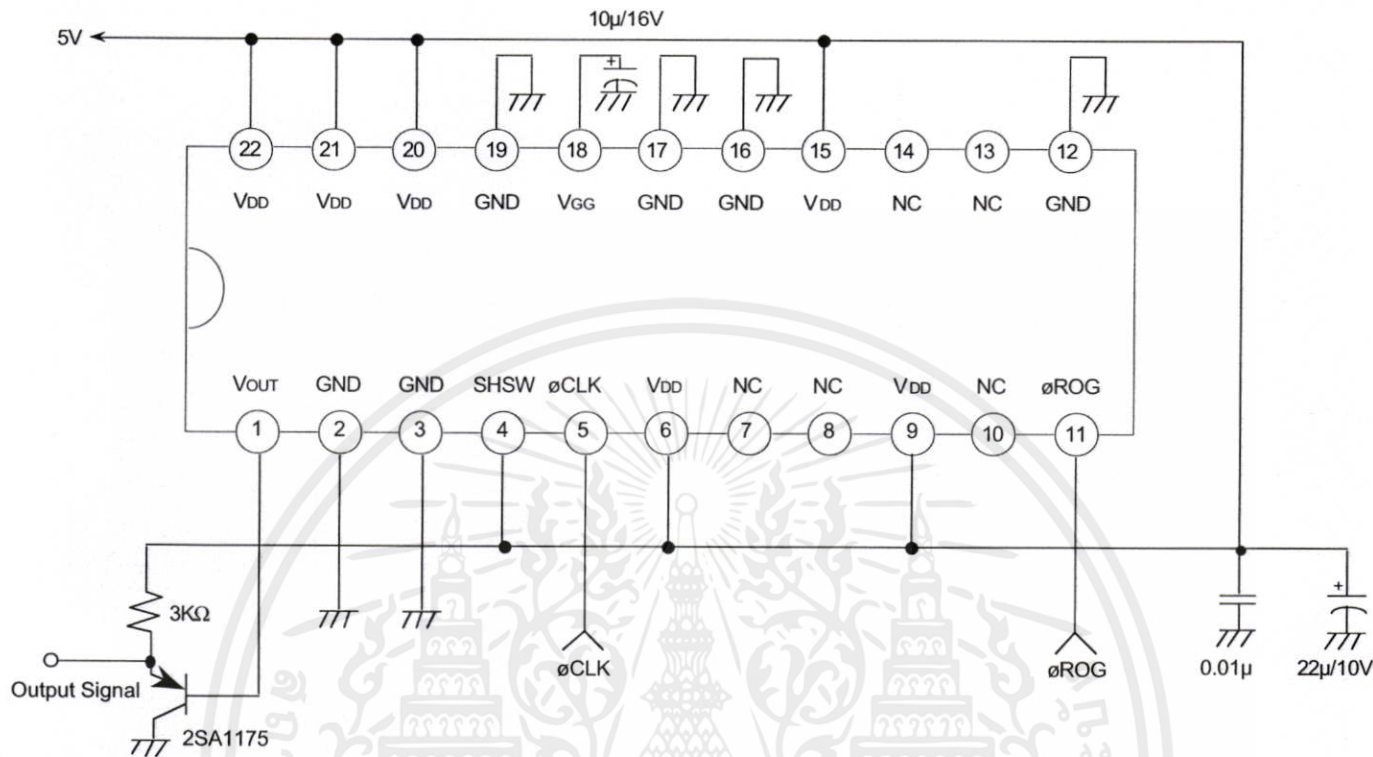


Offset Level vs. Ambient Temperature (typ.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Circuit (Without S/H Mode (Note))



Note) This circuit diagram is the case when internal S/H is not used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application circuits shown are typical examples illustrating the operation of the devices. Sony cannot assume responsibility for any problems arising out of the use of these circuits or for any infringement of third party and other right due to same.

Notes on Handling

1) Static charge prevention

CCD image sensors are easily damaged by static discharge. Before handling, be sure to take the following protective measures:

- a) Either handle bare handed or use non-chargeable gloves, clothes or material. Also use conductive shoes.
- b) When handling directly use a grounding band.
- c) Install a conductive mat on the floor or working table to prevent the generation of static electricity.
- d) Ionized air is recommended for discharge when handling CCD image sensors.
- e) For the shipment of mounted substrates use cartons treated for the prevention of static charges.

2) Notes on handling CCD CERDIP package

The following points should be observed when handling and installing this package:

- a) (1) Compressive strength: 39N/surface (do not apply any load more than 0.7mm inside the outer perimeter of the glass portion)
- (2) Shearing strength: 29N/surface
- (3) Tensile strength: 29N/surface
- (4) Torsional strength: 0.9Nm
- b) In addition, if a load is applied to the entire surface by a hard component, bending stress may be generated and the package may fracture, etc., depending on the flatness of the ceramic portion. Therefore, for installation, either use an elastic load, such as a spring plate, or an adhesive.

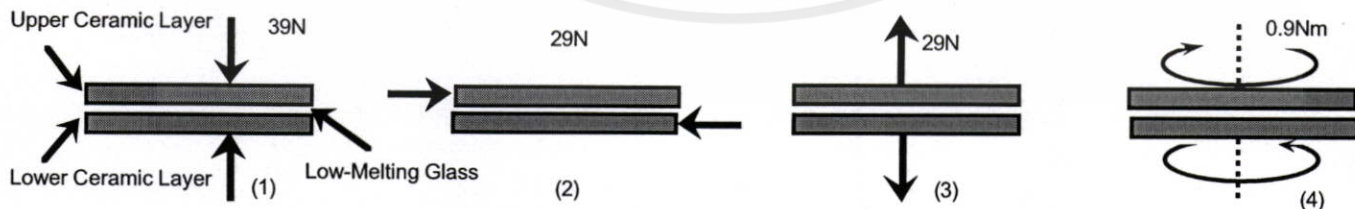
c) Be aware that any of the following can cause the glass to crack because the upper and lower ceramic layers are shielded by low-melting glass:

- (1) Applying repetitive bending stress to the external leads.
- (2) Applying heat to the external leads for an extended period of time with a soldering iron.
- (3) Rapid cooling or heating.
- (4) Applying a load or impact to a limited portion of the low-melting glass with a small-tipped tool such as tweezers.
- (5) Prying the upper or lower ceramic layers away at a support point of the low-melting glass.

Note that the preceding notes should also be observed when removing a component from a board after it has already been soldered.

3) Soldering

- a) Make sure the package temperature does not exceed +80°C.
- b) Solder dipping in a mounting furnace causes damage to the glass and other defects. Use a grounded 30W soldering iron and solder each pin in less than 2 seconds. For repairs and remount, cool sufficiently.
- c) To dismount image sensors, do not use solder suction equipment. When using an electric desoldering tool, ground the controller. For the control system, use a zero cross type.



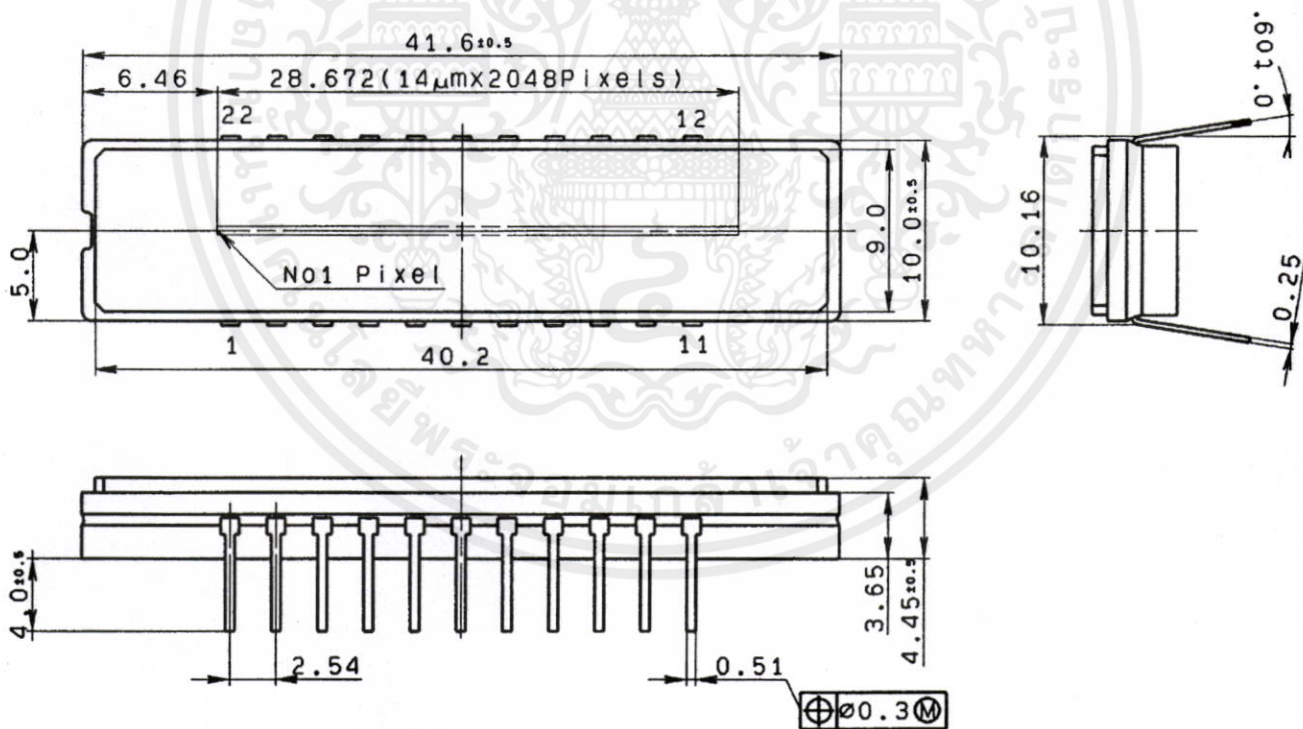
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) Dust and dirt protection
 - a) Operate in clean environments.
 - b) Do not touch glass plates by hand or have any object come in contact with glass surfaces. Should dirt stick to a glass surface blow it off with an air blower. (For dirt stuck through static electricity, ionized air is recommended.)
 - c) Clean with a cotton swab and ethyl alcohol if the glass surface is grease stained. Be careful not to scratch the glass.
 - d) Keep in case to protect from dust and dirt. To prevent dew condensation, preheat or precool when moving to a room with great temperature differences.
- 5) Exposure to high temperature or humidity will affect the characteristics. Accordingly, avoid storage or usage in such conditions.
- 6) CCD image sensors are precise optical equipment that should not be subjected to mechanical shocks.
- 7) Make sure the input pulse should not be -1V or below.
- 8) Normal output signal is not obtained immediately after device switch on. Use the output signal added 22500 pulses or above to ϕ CLK clock pulse.

Package Outline

Unit: mm

22-pin DIP (400mil)



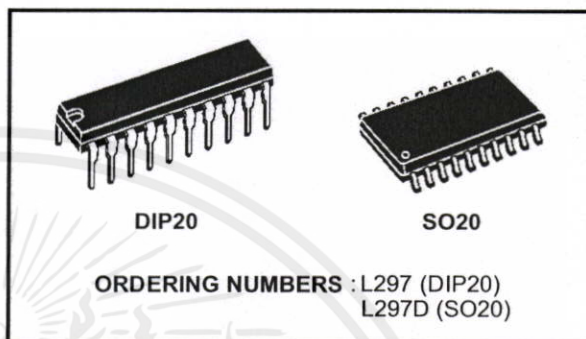
PACKAGE STRUCTURE

PACKAGE MATERIAL	CERDIP
LEAD TREATMENT	TIN PLATING
LEAD MATERIAL	42ALLOY
PACKAGE WEIGHT	5.2g

1. Distance of the first pixel: (H, V) = (6.46 ± 0.8mm, 5.0 ± 0.5mm)
2. The height from the bottom to the sensor surface is 2.45 ± 0.3mm
3. The thickness of the cover glass is 0.8mm and the refractive index is 1.5

STEPPER MOTOR CONTROLLERS

- NORMAL/WAVE DRIVE
- HALF/FULL STEP MODES
- CLOCKWISE/ANTICLOCKWISE DIRECTION
- SWITCHMODE LOAD CURRENT REGULATION
- PROGRAMMABLE LOAD CURRENT
- FEW EXTERNAL COMPONENTS
- RESET INPUT & HOME OUTPUT
- ENABLE INPUT

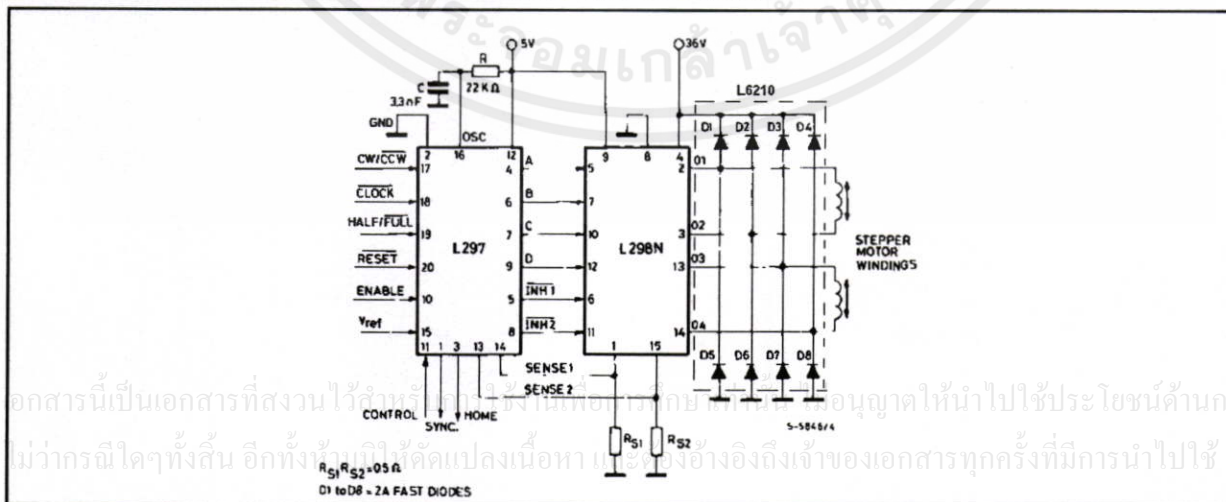

DESCRIPTION

The L297/A/D Stepper Motor Controller IC generates four phase drive signals for two phase bipolar and four phase unipolar step motors in microcomputer-controlled applications. The motor can be driven in half step, normal and wave drive modes and on-chip PWM chopper circuits permit switchmode control of the current in the windings. A

feature of this device is that it requires only clock, direction and mode input signals. Since the phase are generated internally the burden on the microprocessor, and the programmer, is greatly reduced. Mounted in DIP20 and SO20 packages, the L297 can be used with monolithic bridge drives such as the L298N or L293E, or with discrete transistors and darlingtonts.

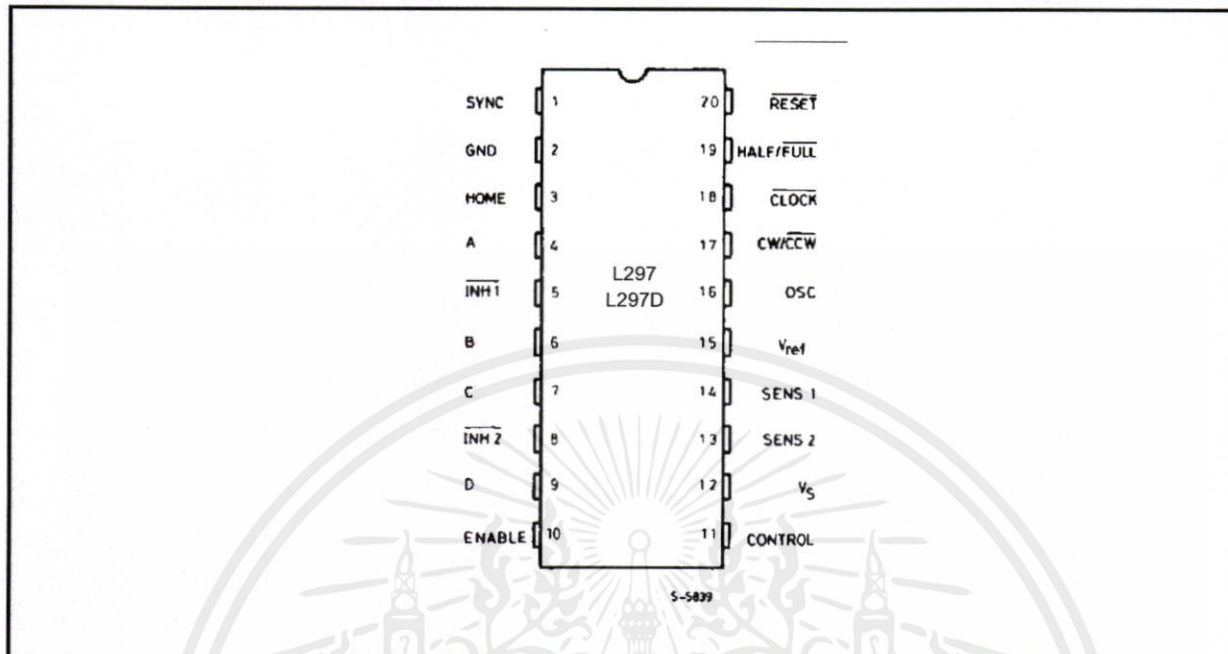
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_s	Supply voltage	10	V
V_i	Input signals	7	V
P_{tot}	Total power dissipation ($T_{amb} = 70^\circ\text{C}$)	1	W
T_{stg}, T_j	Storage and junction temperature	-40 to + 150	$^\circ\text{C}$

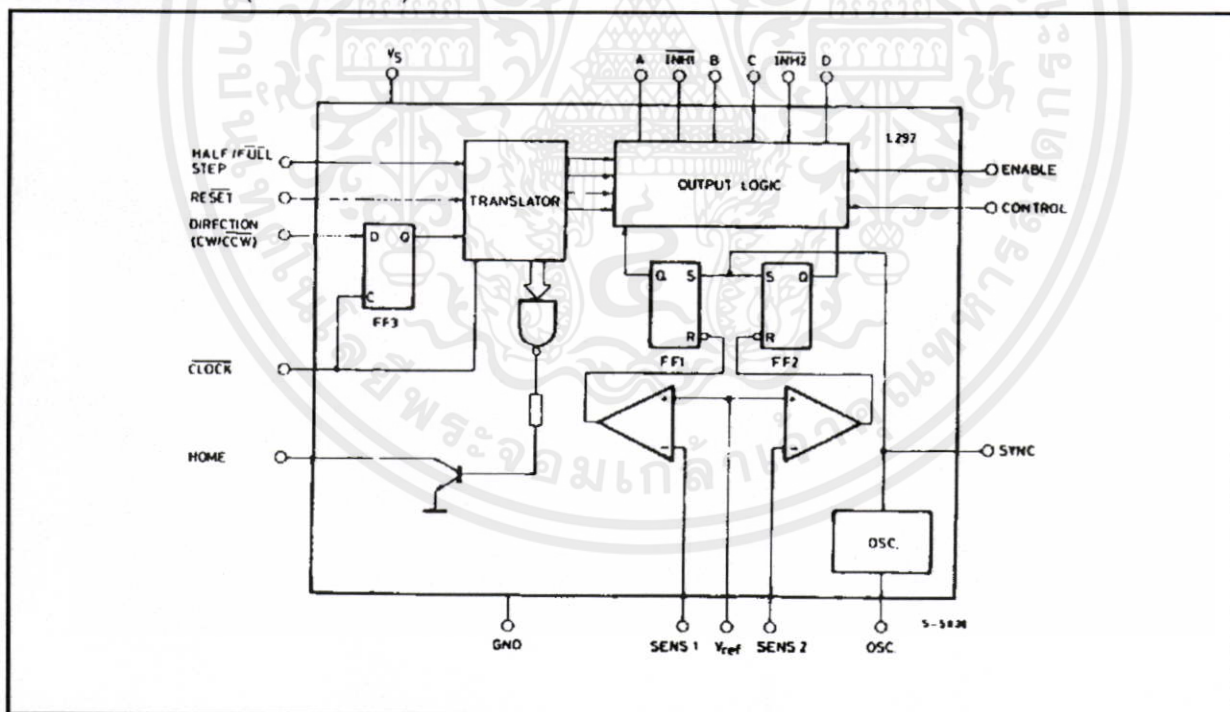
TWO PHASE BIPOLAR STEPPER MOTOR CONTROL CIRCUIT


L297-L297D

PIN CONNECTION (Top view)



BLOCK DIAGRAM (L297/L297D)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN FUNCTIONS - L297/L297D

N°	NAME	FUNCTION
1	SYNC	Output of the on-chip chopper oscillator. The SYNC connections of all L297s to be synchronized are connected together and the oscillator components are omitted on all but one. If an external clock source is used it is injected at this terminal.
2	GND	Ground connection.
3	HOME	Open collector output that indicates when the L297 is in its initial state (ABCD = 0101). The transistor is open when this signal is active.
4	A	Motor phase A drive signal for power stage.
5	$\overline{\text{INH1}}$	Active low inhibit control for driver stage of A and B phases. When a bipolar bridge is used this signal can be used to ensure fast decay of load current when a winding is de-energized. Also used by chopper to regulate load current if CONTROL input is low.
6	B	Motor phase B drive signal for power stage.
7	C	Motor phase C drive signal for power stage.
8	$\overline{\text{INH2}}$	Active low inhibit control for drive stages of C and D phases. Same functions as INH1.
9	D	Motor phase D drive signal for power stage.
10	ENABLE	Chip enable input. When low (inactive) INH1, INH2, A, B, C and D are brought low.
11	CONTROL	Control input that defines action of chopper. When low chopper acts on INH1 and INH2; when high chopper acts on phase lines ABCD.
12	V_s	5V supply input.
13	SENS ₂	Input for load current sense voltage from power stages of phases C and D.
14	SENS ₁	Input for load current sense voltage from power stages of phases A and B.
15	V_{ref}	Reference voltage for chopper circuit. A voltage applied to this pin determines the peak load current.
16	OSC	An RC network (R to V_{CC} , C to ground) connected to this terminal determines the chopper rate. This terminal is connected to ground on all but one device in synchronized multi - L297 configurations. $f \cong 1/0.69 RC$
17	$\overline{\text{CW/CCW}}$	Clockwise/counterclockwise direction control input. Physical direction of motor rotation also depends on connection of windings. Synchronized internally therefore direction can be changed at any time.
18	$\overline{\text{CLOCK}}$	Step clock. An active low pulse on this input advances the motor one increment. The step occurs on the rising edge of this signal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L297-L297D

PIN FUNCTIONS - L297/L297D (continued)

N°	NAME	FUNCTION
19	HALF/FULL	Half/full step select input. When high selects half step operation, when low selects full step operation. One-phase-on full step mode is obtained by selecting FULL when the L297's translator is at an even-numbered state. Two-phase-on full step mode is set by selecting FULL when the translator is at an odd numbered position. (The home position is designate state 1).
20	RESET	Reset input. An active low pulse on this input restores the translator to the home position (state 1, ABCD = 0101).

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	DIP20	SO20	Unit	
$R_{th-j-amb}$	Thermal resistance junction-ambient	max	80	100	°C/W

CIRCUIT OPERATION

The L297 is intended for use with a dual bridge driver, quad darlington array or discrete power devices in step motor driving applications. It receives step clock, direction and mode signals from the systems controller (usually a microcomputer chip) and generates control signals for the power stage.

The principal functions are a translator, which generates the motor phase sequences, and a dual PWM chopper circuit which regulates the current in the motor windings. The translator generates three different sequences, selected by the HALF/FULL input. These are normal (two phases energised), wave drive (one phase energised) and half-step (alternately one phase energised/two phases energised). Two inhibit signals are also generated by the L297 in half step and wave drive modes. These signals, which connect directly to the L298's enable inputs, are intended to speed current decay when a winding is de-energised. When the L297 is used to drive a unipolar motor the chopper acts on these lines.

An input called CONTROL determines whether the chopper will act on the phase lines ABCD or the inhibit lines INH1 and INH2. When the phase lines

are chopped the non-active phase line of each pair (AB or CD) is activated (rather than interrupting the line then active). In L297 + L298 configurations this technique reduces dissipation in the load current sense resistors.

A common on-chip oscillator drives the dual chopper. It supplies pulses at the chopper rate which set the two flip-flops FF1 and FF2. When the current in a winding reaches the programmed peak value the voltage across the sense resistor (connected to one of the sense inputs SENS₁ or SENS₂) equals V_{ref} and the corresponding comparator resets its flip flop, interrupting the drive current until the next oscillator pulse arrives. The peak current for both windings is programmed by a voltage divider on the V_{ref} input.

Ground noise problems in multiple configurations can be avoided by synchronising the chopper oscillators. This is done by connecting all the SYNC pins together, mounting the oscillator RC network on one device only and grounding the OSC pin on all other devices.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

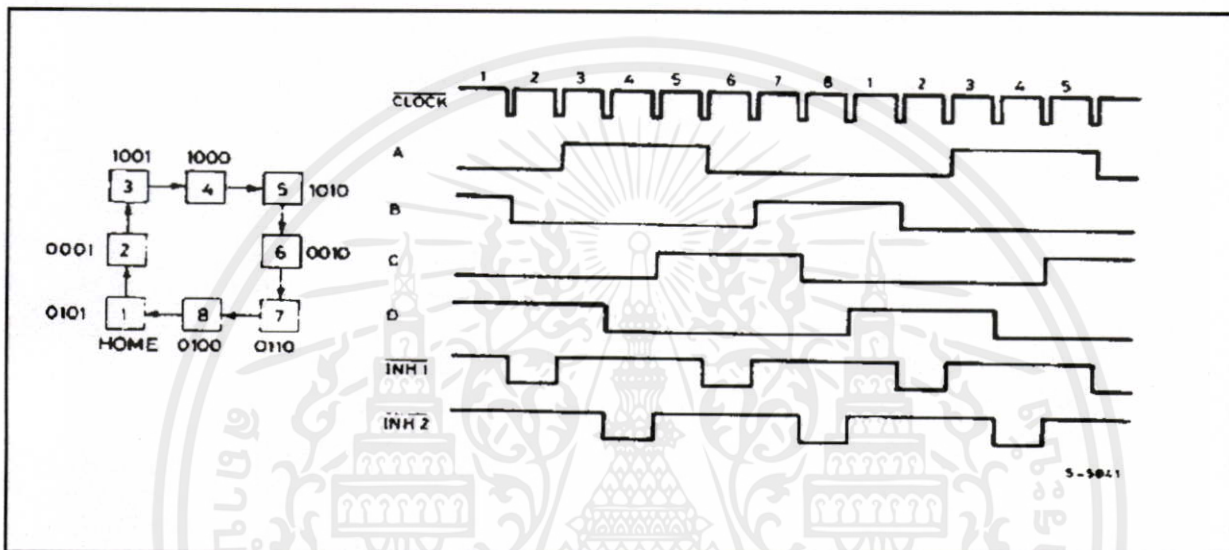
MOTOR DRIVING PHASE SEQUENCES

The L297's translator generates phase sequences for normal drive, wave drive and half step modes. The state sequences and output waveforms for these three modes are shown below. In all cases the translator advances on the low to high transition of **CLOCK**.

Clockwise rotation is indicate; for anticlockwise rotation the sequences are simply reversed **RESET** restores the translator to state 1, where ABCD = 0101.

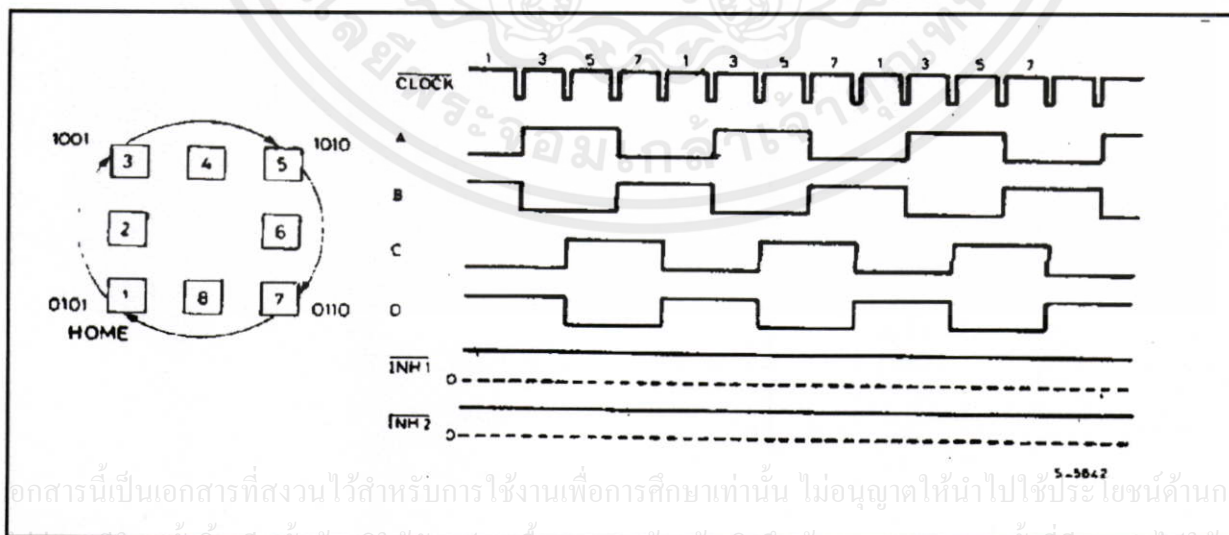
HALF STEP MODE

Half step mode is selected by a high level on the **HALF/FULL** input.



NORMAL DRIVE MODE

Normal drive mode (also called "two-phase-on" drive) is selected by a low level on the **HALF/FULL** input when the translator is at an odd numbered state (1, 3, 5 or 7). In this mode the **INH1** and **INH2** outputs remain high throughout.



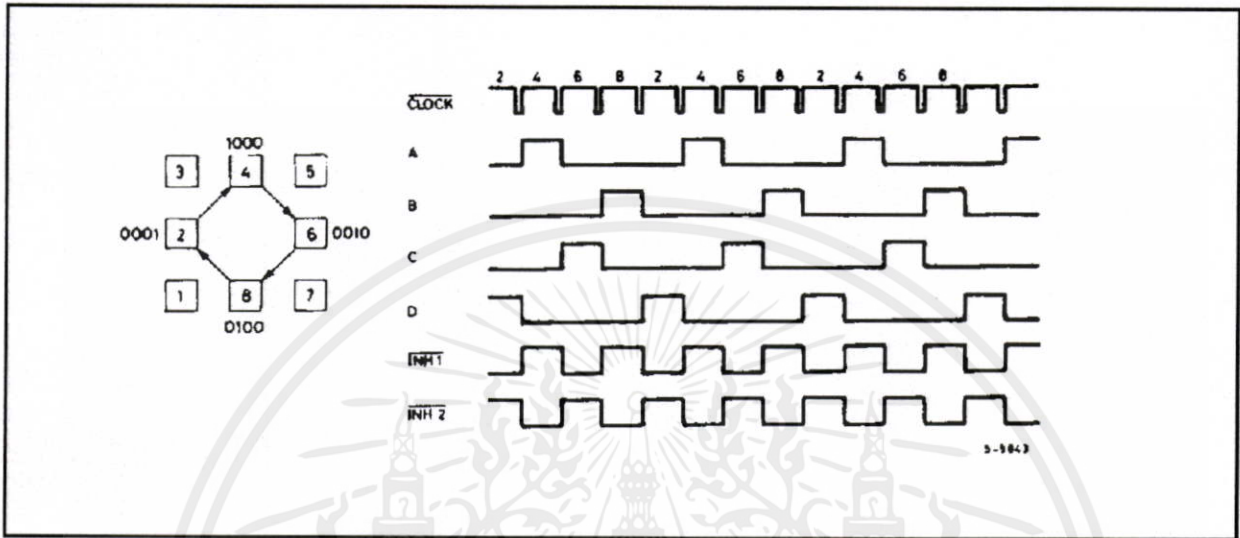
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 หมายเหตุ: หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และขอเชิญแจ้งผู้ดูแลระบบทันที

L297-L297D

MOTOR DRIVING PHASE SEQUENCES (continued)

WAVE DRIVE MODE

Wave drive mode (also called "one-phase-on" drive) is selected by a low level on the HALF/FULL input when the translator is at an even numbered state (2, 4, 6 or 8).



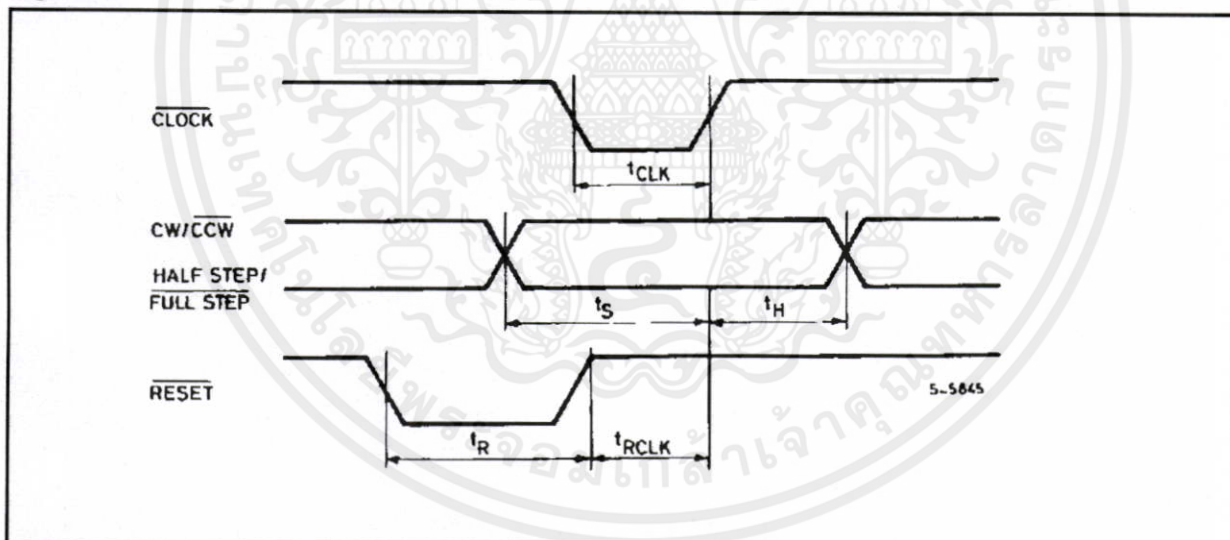
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Refer to the block diagram $T_{amb} = 25^{\circ}C$, $V_s = 5V$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ	Max.	Unit
V_s	Supply voltage (pin 12)		4.75		7	V
I_s	Quiescent supply current (pin 12)	Outputs floating		50	80	mA
V_i	Input voltage (pin 11, 17, 18, 19, 20)	Low			0.6	V
		High	2		V_s	V
I_i	Input current (pin 11, 17, 18, 19, 20)	$V_i = L$		100		μA
		$V_i = H$			10	μA
V_{en}	Enable input voltage (pin 10)	Low			1.3	V
		High	2		V_s	V
I_{en}	Enable input current (pin 10)	$V_{en} = L$			100	μA
		$V_{en} = H$			10	μA
V_o	Phase output voltage (pins 4, 6, 7, 9)	$I_o = 10mA$ V_{OL}			0.4	V
		$I_o = 5mA$ V_{OH}	3.9			V
V_{inh}	Inhibit output voltage (pins 5, 8)	$I_o = 10mA$ $V_{inh L}$			0.4	V
		$I_o = 5mA$ $V_{inh H}$	3.9			V
V_{SYNC}	Sync Output Voltage	$I_o = 5mA$ $V_{SYNC H}$	3.3			V
		$I_o = 5mA$ $V_{SYNC V}$			0.8	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ	Max.	Unit
I_{leak}	Leakage current (pin 3)	$V_{CE} = 7\text{ V}$			1	μA
V_{sat}	Saturation voltage (pin 3)	$I = 5\text{ mA}$			0.4	V
V_{off}	Comparators offset voltage (pins 13, 14, 15)	$V_{ref} = 1\text{ V}$			5	mV
I_o	Comparator bias current (pins 13, 14, 15)		-100		10	μA
V_{ref}	Input reference voltage (pin 15)		0		3	V
t_{CLK}	Clock time		0.5			μs
t_s	Set up time		1			μs
t_H	Hold time		4			μs
t_R	Reset time		1			μs
t_{RCLK}	Reset to clock delay		1			μs

Figure 1.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L297-L297D

APPLICATION INFORMATION

TWO PHASE BIPOLAR STEPPER MOTOR CONTROL CIRCUIT

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2A. The diodes are fast 2A types.

Figure 2.

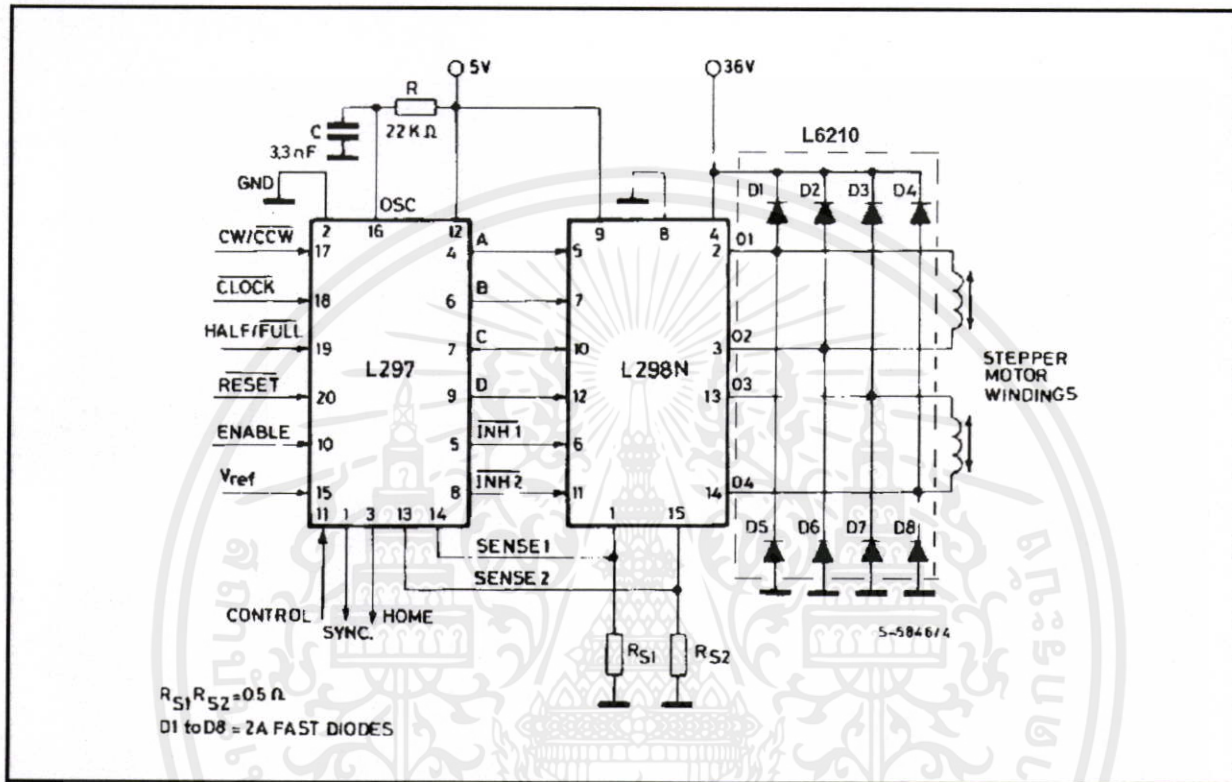
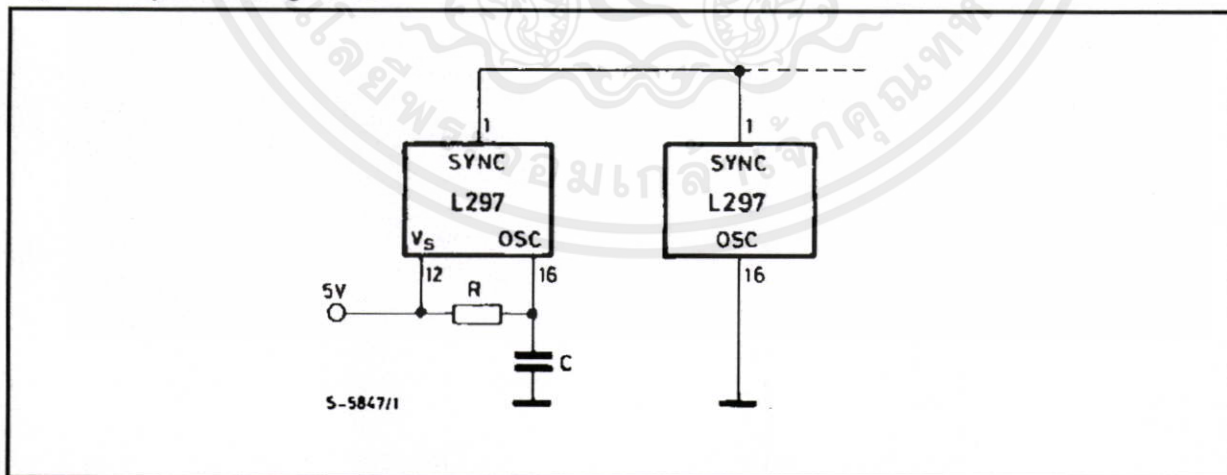


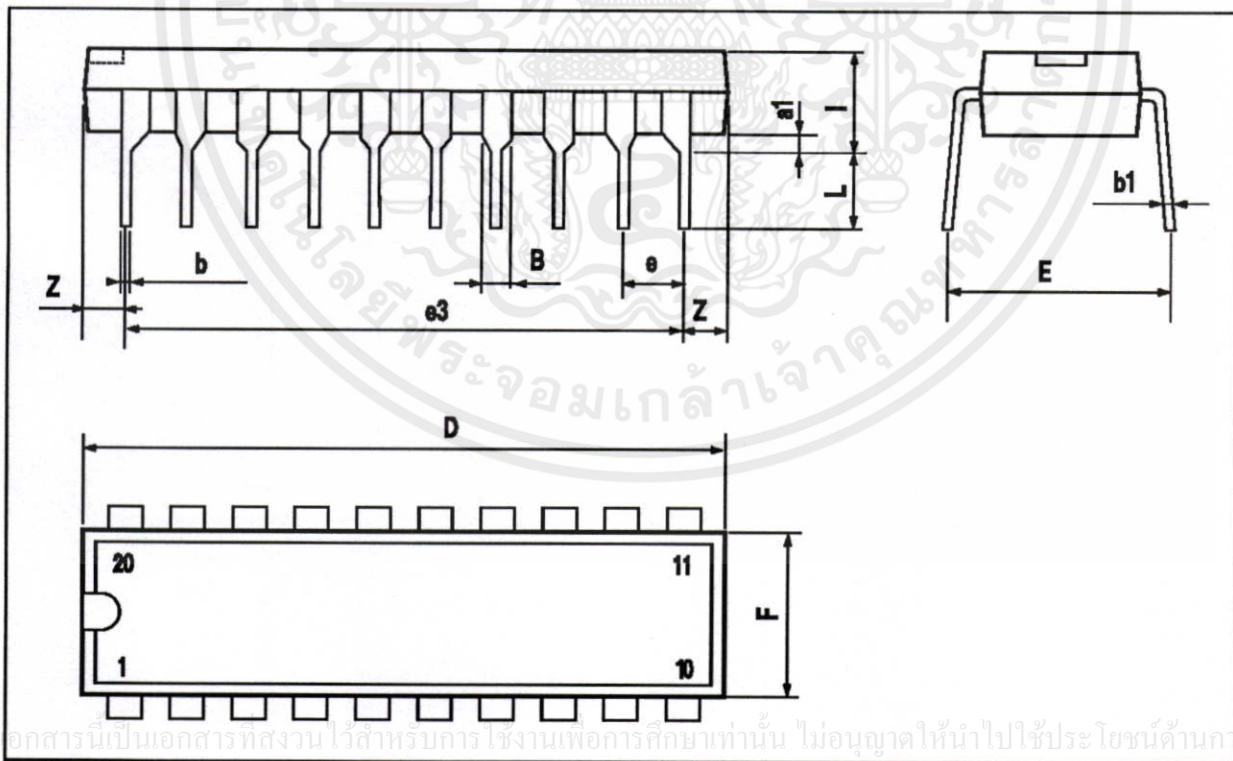
Figure 3 : Synchronising L297s



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIP20 PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.254			0.010		
B	1.39		1.65	0.055		0.065
b		0.45			0.018	
b1		0.25			0.010	
D			25.4			1.000
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		22.86			0.900	
F			7.1			0.280
I			3.93			0.155
L		3.3			0.130	
Z			1.34			0.053

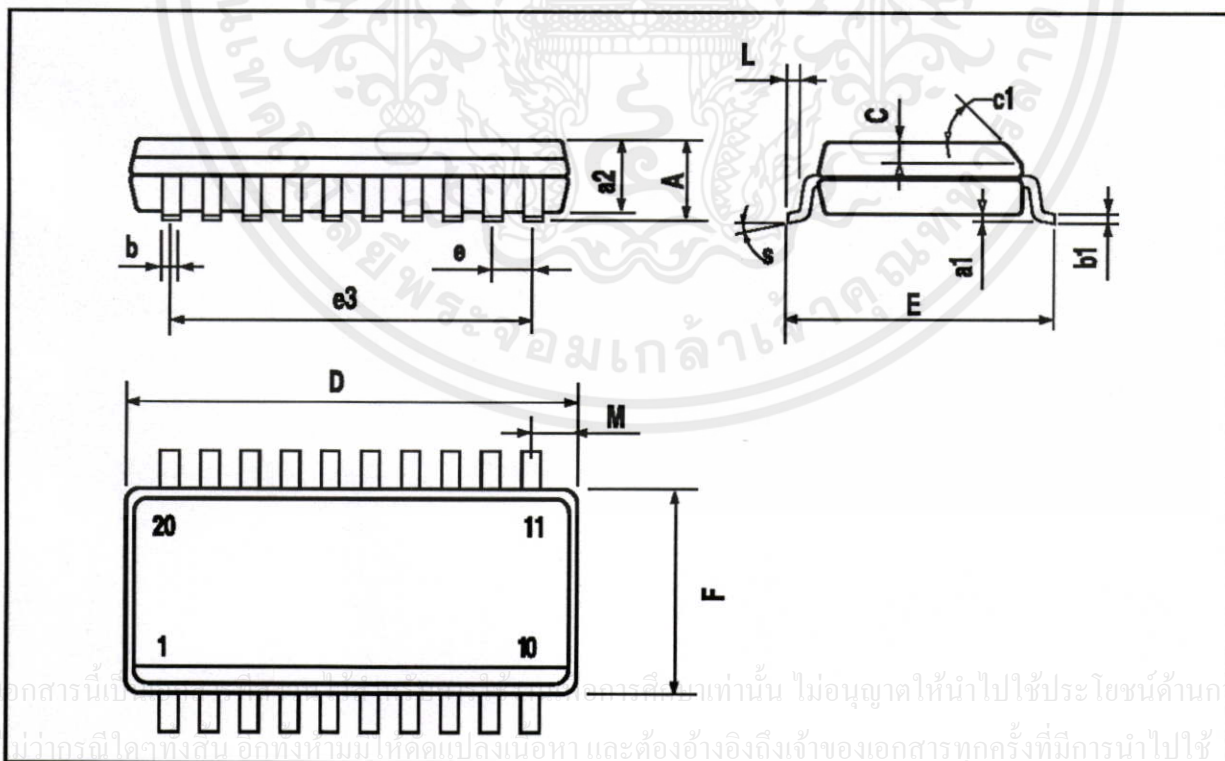


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษามเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L297-L297D

SO20 PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			2.65			0.104
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			2.45			0.096
b	0.35		0.49	0.014		0.019
b1	0.23		0.32	0.009		0.013
C		0.5			0.020	
c1	45 (typ.)					
D	12.6		13.0	0.496		0.512
E	10		10.65	0.394		0.419
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
F	7.4		7.6	0.291		0.299
L	0.5		1.27	0.020		0.050
M			0.75			0.030
S	8 (max.)					





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ด้วยเทคนิคการควบคุมแบบพีไอสมรรถนะสูงในรางส่งถ่ายสไลเดอร์

Stepping motor control using high performance PI control in slider transferring line

ภูริณัฐ จันทร์กษา มนจิรา ทองปอน

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบการควบคุมแบบพีไอสมรรถนะสูงในรางส่งถ่ายสไลเดอร์ โดยได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 มาเป็นตัวควบคุมตำแหน่งของรางส่งถ่าย และใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับแสงเบอร์ ILX511 เป็นตัวตรวจสอบตำแหน่ง เพื่อที่จะป้องกันสัญญาณผิดพลาดที่ใช้ในการควบคุมสเต็ปมอเตอร์ นอกจากนี้ได้นำวิธีการหาพารามิเตอร์ระบบมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบอัตราขยายของการควบคุมแบบพีไอสมรรถนะสูง ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้กับระบบนี้

คำสำคัญ: การควบคุมแบบพีไอสมรรถนะสูง, รางส่งถ่ายสไลเดอร์, พารามิเตอร์ระบบ

Abstract

This paper aims to study and design the high performance PI control for slider transferring line. The developed system adopts the microcontroller dsPIC30F4011 to control the position of carrier, and the low cost CCD sensor, ILX511, is used for detecting the position in order to feedback the output signal for controlling the actuator which is stepping motor. In addition, system identification technique and classical control approach are applied to design the gain of high performance PI control. The results show that the proposed design is applicable for this system.

Keywords: High performance PI control, Slider transferring line, Identification parameter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานิติศาสตร์เท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่ได้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ปัจจุบันการทำงานโดยรางส่งถ่ายสไลเดอร์ถูกใช้ในอุตสาหกรรมมากขึ้น ซึ่งการทำงานของรางส่งถ่ายสไลเดอร์จะใช้หลักการการทำงานที่ให้อัตราความเร็วในตำแหน่งที่ต้องการโดยการเปิด - ปิด สวิตซ์การทำงานของสเต็ปมอเตอร์ ซึ่งการหยุดด้วยวิธีนี้จะทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่ต้องการ

โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาและพัฒนาการควบคุมสเต็ปมอเตอร์โดยใช้การควบคุมแบบพีไอ ซึ่งจะทำการหยุดการทำงานของสเต็ปมอเตอร์เพื่อให้อัตราความเร็วของรางส่งถ่ายสไลด์เคลื่อนอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการได้แม่นยำมากขึ้น โดยการควบคุมด้วยวิธีนี้จะใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่งของวัตถุและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลเพื่อให้สามารถระบุตำแหน่งของวัตถุได้ ก่อนจะส่งคำสั่งให้สเต็ปมอเตอร์ค่อยๆ ลดความเร็วและหยุดวัตถุในตำแหน่งที่ต้องการ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สเต็ปมอเตอร์

ในโครงการนี้จะใช้สเต็ปมอเตอร์แบบไฮบริดจ์ (Hybrid Stepping Motor) โดยหลักการการทำงานของสเต็ปมอเตอร์แบบไฮบริดจ์คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กจะไม่นิ่งอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเพียงอย่างเดียว แต่จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของซี่ฟันด้วย ข้อดีของสเต็ปมอเตอร์แบบไฮบริดจ์คือ มีขนาดของสเต็ปเล็กทำให้มีความละเอียดของสเต็ปต่อรอบสูง

โดยลักษณะการพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปมอเตอร์ จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ สเต็ปมอเตอร์แบบไบโพลาร์ และสเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ แต่สเต็ปมอเตอร์แบบไบโพลาร์จะมีวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ซับซ้อน จึงเลือกใช้สเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ บางครั้งเรียกสเต็ปมอเตอร์แบบนี้ว่าเป็นสเต็ปมอเตอร์แบบ 4 เฟส การขับเคลื่อนจะต้องป้อนสัญญาณเข้าที่ขั้วหรือเฟสของสเต็ปมอเตอร์ให้เรียงลำดับอย่างถูกต้อง สเต็ปมอเตอร์จึงจะสามารถหมุนได้อย่างราบรื่น

หลักการการทำงานของสเต็ปมอเตอร์จะแบ่งออกเป็น

1) การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส (Full step 1 phase)

- 2) การกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส (Full step 2 phase)
- 3) การกระตุ้นเฟสแบบครึ่งสเต็ป (Half step)

เนื่องจากต้องการความแม่นยำของตำแหน่งวางส่งถ่ายสไลเดอร์สูงจึงเลือกใช้การกระตุ้นเฟสแบบครึ่งสเต็ป ซึ่งเป็นรูปแบบที่ผสมผสานระหว่างการกระตุ้นเฟสแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส และ 2 เฟส โดยจะมีการกระตุ้นทั้ง 2 แบบ เรียงลำดับกันไป แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นเฟสแบบนี้จะเพิ่มขึ้นเพราะช่วงของสเต็ปมีระยะสั้นลง ในการกระตุ้นแบบนี้เราจะต้องมีการกระตุ้นที่เฟส 2 ครั้ง จึงจะได้ระยะของสเต็ปเท่ากับการกระตุ้นเพียงครั้งเดียวของแบบฟูลสเต็ป ซึ่งจะให้ความละเอียดของการหมุน ตำแหน่งองศาต่อสเต็ป เป็นสองเท่าของแบบฟูลสเต็ป ความถูกต้องของตำแหน่งที่กำหนดจึงมีมากขึ้น

ตารางที่ 2.1 การกระตุ้นการทำงานของขดลวดแบบครึ่งสเต็ป

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ON	-	-	-
2	ON	ON	-	-
3	-	ON	-	-
4	-	ON	ON	-
5	-	-	ON	-
6	-	-	ON	ON
7	-	-	-	ON
8	ON	-	-	ON

2.2 ระบบควบคุม (Control Systems)

2.2.1 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control)

ในระบบควบคุมแบบสัดส่วนนั้น เราจะได้ว่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเป็นสัดส่วนกับอินพุตของตัวควบคุม และถ้าเรากำหนดสัญญาณอินพุตให้กับตัวควบคุมเป็นค่าความผิดพลาด (e) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลาเราจะได้

$$\text{Output} = K_p e \tag{1}$$

เมื่อ K_p เป็นค่าคงที่ เรียกว่า อัตราขยายแบบสัดส่วน (Proportional gain) เราจะพบว่าเอาต์พุตที่ออกจากตัวควบคุมแบบสัดส่วนจะขึ้นกับขนาดของความผิดพลาดในขณะที่เรากำลังพิจารณา ทำให้ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมจะมีค่าเป็น $G_c(s)$

$$G_c(s) = K_p \tag{2}$$

2.2.2 การควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Control)

ในระบบควบคุมแบบปริพันธ์เอาต์พุตของตัวควบคุมจะเป็นสัดส่วนกับปริพันธ์ของสัญญาณผิดพลาดเทียบกับเวลาหรือ

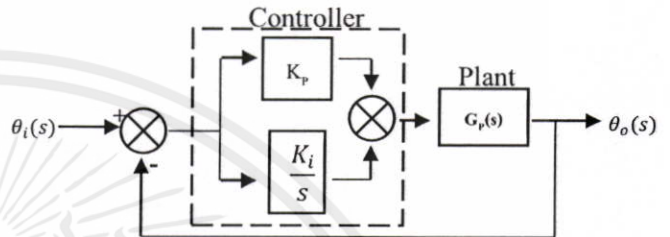
$$\text{Output} = K_i \int_0^t e dt \tag{3}$$

เมื่อ K_i เป็นค่าคงที่ เรียกว่า อัตราขยายปริพันธ์ (Integral gain) และเมื่อทำการเปลี่ยนรูปลาปลาซของสมการข้างต้นจะทำให้เราได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมเป็น

$$G_c(s) = \frac{\text{Output}(s)}{e(s)} = \frac{K_i}{s} \tag{4}$$

2.2.3 การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์ (Proportional plus Integral Control: PI)

การใช้การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบปริพันธ์ มีลักษณะของระบบควบคุมจะเป็นตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบควบคุมแบบพีไอ

สำหรับระบบดังกล่าวจะมีเอาต์พุตของตัวควบคุมเป็น

$$\text{Output} = K_p e + K_i \int_0^t e dt \tag{5}$$

2.3 การหาพารามิเตอร์ระบบ (System Identification)

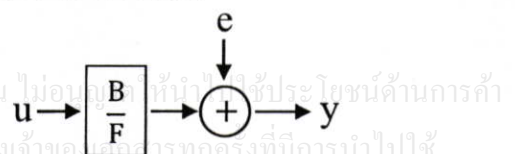
เทคนิคการหาพารามิเตอร์ระบบเป็นการหาพารามิเตอร์ทางแบบจำลองพลวัตของระบบ โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากระบบใดระบบหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าอินพุตและเอาต์พุตของระบบที่ต้องการศึกษานั้นๆ โดยขอบเขตของการทำโครงการนี้คือ ศึกษาแบบจำลองปริภูมิสถานะของระบบที่เป็นเชิงเส้น จึงได้เลือกใช้รูปแบบ OE (Output Error) ในการประมาณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบ

2.3.1 การประมาณการโดยใช้รูปแบบ OE (Output Error)

เมื่อใส่ข้อมูลค่าอินพุตและเอาต์พุต จากระบบที่วัดได้ พร้อมกับใส่ค่า n_x (จำนวนซีโรบวกหนึ่ง) n_y (จำนวนโพล) และ n_u (จำนวนการสุ่มข้อมูล) ซึ่งอาศัยการสุ่มค่าตามแบบการจำลองแบบกล่องดำ (Black box model) คือไม่รู้ค่าจำนวนของโพลและซีโรของระบบมาก่อน ใช้การสุ่มค่าต่างๆ จนกว่าจะได้คำตอบที่ถูกต้องออกมา ซึ่งคำตอบที่ออกมาคือค่าพารามิเตอร์ b_1, \dots, b_{n_b} และ f_1, \dots, f_{n_f} ของระบบที่ต้องการ ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบคือ

$$G(s) = \frac{B(s)}{F(s)} = \frac{b_{n_b}s^{(n_b-1)} + b_{n_b-1}s^{(n_b-2)} + \dots + b_1}{s^{n_f} + f_{n_f}s^{(n_f-1)} + \dots + f_1} \tag{6}$$

เขียนในรูปของบล็อกโคอะแกรมได้ดังนี้

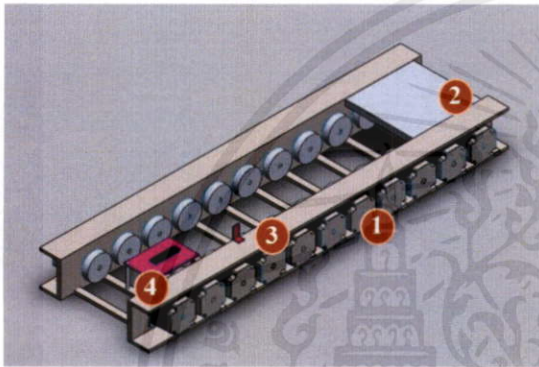


รูปที่ 2.2 บล็อกโคอะแกรมของแบบจำลอง OE

3. การออกแบบและสร้างวงจร

3.1 การออกแบบและสร้างชิ้นงานจริง

เมื่อทำการออกแบบและสร้างวงจรต่างๆ คือ วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ วงจร IC เบอร์ LM2576S วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรการทำงานของ ILX511 ทำการรวมทุกวงจรเข้าด้วยกันเพื่อตรวจสอบการทำงานและวิเคราะห์ระบบ จะได้แบบจำลองดังรูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงลักษณะภายในรางส่งถ่ายสไลเดอร์ที่ใช้ในการพิจารณาระบบนี้ โดยที่หมายเลข 1 ในรูปคือ สเต็ปมอเตอร์ หมายเลข 2 คือ ถาดที่ใช้ขนถ่ายวัตถุ หมายเลข 3 คือ เซ็นเซอร์แสง และหมายเลข 4 คือ เซ็นเซอร์ ILX511

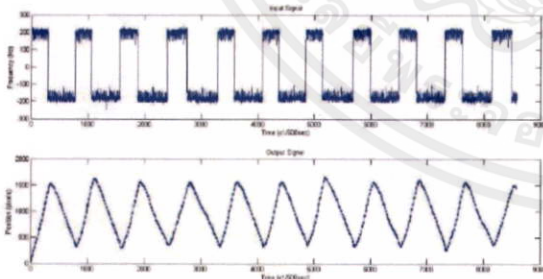


รูปที่ 3.1 แบบจำลองรางส่งถ่ายสไลเดอร์ที่ใช้ในการพิจารณาระบบ

3.2 การวิเคราะห์ทางพลศาสตร์และการหาพารามิเตอร์ระบบ

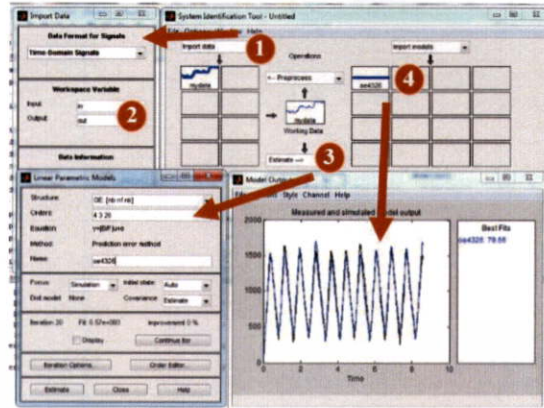
การหาค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบจากค่าอินพุตและเอาต์พุตของระบบที่สนใจ มีขั้นตอนดังนี้

1) เลือกช่วงข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์หาแบบจำลอง โดยเลือกช่วงข้อมูลทั้งหมด 8,584 ค่า ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สัญญาณความถี่ขาเข้าและตำแหน่งขาออกในช่วงที่จะนำไปพิจารณา

2) เปิดเครื่องมือการหาพารามิเตอร์ระบบใน โปรแกรม MATLAB เลือกสร้างเป็นเอกสารทำงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยจะมีหน้าต่างเครื่องมือดังรูปที่ 3.3 จากนั้นทำการสุ่มหาพารามิเตอร์ระบบ (Sampling interval)



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการหาแบบจำลองพารามิเตอร์ระบบ

- 3) ทำการกรองสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ได้เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนจากออสซิลโลสโคป ให้เหลือแต่สัญญาณที่ต้องการ
- 4) เลือกรูปแบบของแบบจำลองตามทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบที่เหมาะสม โดยใช้รูปแบบ OE (Output-Error) จากนั้นทำการสุ่มค่า n_u, n_y และ n_e จนได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องตามที่ต้องการ
- 5) เลือกค่าฟังก์ชันถ่ายโอนจากการสุ่มค่า ในกรณีทดลองนี้เลือกใช้ OE233 ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเท่ากับ 71.28%
- 6) สร้างฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบในรูปของโดเมน s ได้ดังนี้

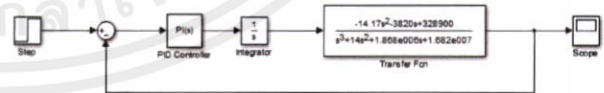
$$y(t) = \frac{B(s)}{F(s)} u(t) + e(t)$$

$$B(s) = -14.17s^2 - (3.82 \times 10^3)s + (3.289 \times 10^5)$$

$$F(s) = s^3 + 14s^2 + (1.868 \times 10^6)s + (1.682 \times 10^7)$$

4. ผลการทดลอง

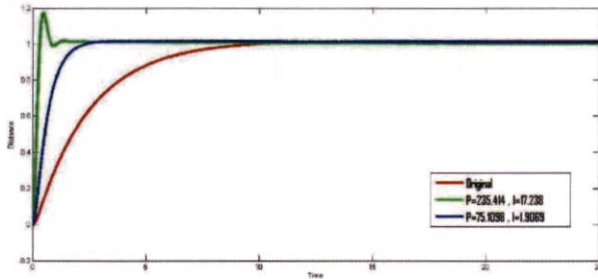
เมื่อทำการอินทิเกรตฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเพื่อเปลี่ยนการควบคุมจากการควบคุมด้วยความเร็วเป็นการควบคุมด้วยตำแหน่งของรางส่งถ่ายสไลเดอร์ จะได้แบบจำลองดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แบบจำลองการควบคุมด้วยตำแหน่งของรางส่งถ่ายสไลเดอร์

จากนั้นทำการปรับจูนตั้งค่าตัวควบคุม จนได้กราฟเอาต์พุตค่าต่างๆ ตามรูปที่ 4.2

2) เปิดเครื่องมือการหาพารามิเตอร์ระบบใน โปรแกรม MATLAB เลือกสร้างเป็นเอกสารทำงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยจะมีหน้าต่างเครื่องมือดังรูปที่ 3.3 จากนั้นทำการสุ่มหาพารามิเตอร์ระบบ (Sampling interval) อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 สัญญาณเอาต์พุตของระบบเมื่อทำการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ

จะได้ค่าต่างๆ ตามตาราง

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบที่ควบคุมด้วยพีไอ

	Original (สีแดง)	P=75.1098 I=1.9069 (สีน้ำเงิน)	P=235.414 I=17.238 (สีเขียว)
Rise Time (sec)	4.97	1.17	0.306
Setting Time (sec)	8.11	1.95	1.08
% Overshoot	1.57	1.59	7.94
Peak	1.02	1.02	1.08

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าเมื่อใส่ตัวควบคุมแบบพีไอเข้าไปในระบบจะทำให้ระบบมีการตอบสนองที่ไวขึ้น ซึ่งกราฟสีน้ำเงินจะไม่มีค่าพุ่งเกินเลย ในขณะที่กราฟสีเขียวจะมีค่าพุ่งเกินเล็กน้อยแต่ทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่หรือตำแหน่งที่ต้องการได้ไวกว่า ดังนั้นในการออกแบบระบบนี้จึงเลือกค่า P=235.414 และ I=17.238

5. สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้ได้สร้างแบบจำลองการควบคุมรางส่งถ่ายสไลเดอร์แบบพีไอโดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อดูผลการตอบสนองของการควบคุมตำแหน่งรางส่งถ่ายสไลเดอร์ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าหลังจากใส่ตัวควบคุมแบบพีไอเข้าไป สามารถที่จะลดผลของตัวรบกวนระบบได้อีกทั้งยังทำให้ระบบมีการตอบสนองที่เร็วขึ้น

จากการทดลองพบว่าการควบคุมที่มีตัวควบคุมแบบพีไอสามารถแก้ปัญหาการหยุดไม่ตรงตำแหน่งที่ต้องการและการเร่งความเร็วที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของรางส่งถ่ายสไลเดอร์ขณะออกตัวได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล และอาจารย์วรภัทร์ ลิ้มเจริญ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการค้นคว้าหาข้อมูล อีกทั้งยังมีเหตุผลแบบลงมือทำ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ที่ตามมาโดยตลอด

ขอขอบคุนบริษัทซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) และคณะนักวิจัย ที่เอื้อเพื่อความรู้ อุปกรณ์ และสถานที่ในการจัดทำโครงการงาน

ขอขอบพระคุณคุณนครศักดิ์ แสงศรี เจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกในการยืมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการงาน

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจ รวมถึงสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการจัดทำโครงการครั้งนี้ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการครั้งนี้สำเร็จลงได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lennart Ljung, "System identification," New jersey, P T R Prentice Hall.inc, 1987.
- [2] ทวีศักดิ์ เพียรพิทักษ์วงศ์ และคณะ, "การขับสเต็ปมอเตอร์แบบมินิสเต็ปที่สามารถโปรแกรมได้," ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมการวัดคุม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- [3] กิตติ ศิริเศรษฐ, การวิเคราะห์ระบบควบคุมเชิงเส้น, เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2526.
- [4] กิตติ ศิริเศรษฐ, การวิเคราะห์ระบบควบคุมเชิงเส้น, เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2536.
- [5] ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล, ระบบควบคุม, กรุงเทพมหานคร: มินิ เซอร์วิส ซัพพลาย, 2554

ประวัติผู้เขียนบทความ



นายกูรินฐ จันทรักษา

ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นางสาวมนจิรา ทองปอน

ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติผู้เขียน



นายภุริณัฐ จันทร์รักษา เกิดวันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ. 2534
 ที่อยู่ : ง.78/4 ถนนดาวดึงส์ 14 ตำบลปากน้ำโพ อำเภอเมืองนครสวรรค์
 จังหวัดนครสวรรค์ 60000
 ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 เบอร์โทรศัพท์ 086-9819038
 E-mail : modthe_kid@hotmail.com



นางสาวมนจิรา ทองปอน เกิดวันที่ 23 มิถุนายน พ.ศ.2534
 ที่อยู่ : 11/39 ถนนแพรกษา ตำบลท้ายบ้านใหม่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ
 จังหวัดสมุทรปราการ 10280
 ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง
 เบอร์โทรศัพท์ 089-5511834
 E-mail : junes_ja@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้