

อินเวอร์ทเพนดูลัมคอนโทรล

INVERT PENDULUM CONTROL SYSTEM



นาย กิตติภักดิ์ วิริยะประสาท
นาย เกษมสุข อุดหนุนิชย์
นาย สุวัฒน์ สิตาพารี



เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 42527
วัน, เดือน, ปี 24 พ.ค. 2545

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INVERT PENDULUM CONTROL SYSTEM

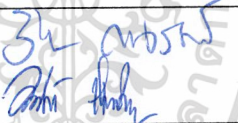



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL INSTRUMENTATION TECHNOLOGY
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2000

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท อินเวอร์ทเพนดูลัมคอนโทรล
INVERT PENDULUM CONTROL SYSTEM
นักศึกษาผู้จัดทำ นาย กิตติภักดิ์ วิริยะประสาธน์ รหัสประจำตัว 41013399
นาย เกษมสุข อุณหวิชัย รหัสประจำตัว 41013401
นาย สุวัฒน์ สีตาพารี รหัสประจำตัว 41013433
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2543

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท		ลายมือชื่อ
ผศ.วิริยะ	กองรัตน์	
อ.อาจินต์	น่วมสำราญ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 9 เมษายน พ.ศ. 2544
สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชารับรองแล้ว

(ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)
หัวหน้าภาควิชาฯ

หัวข้อปริญญานิพนธ์

อินเวอร์ทเพนดูลัมคอนโทรล

INVERT PENDULUM CONTROL SYSTEM

นักศึกษาผู้จัดทำ

นาย กิตติภักดิ์ วิริยะประสาธ

นาย เกษมสุข อุณหวิชัย

นาย สุวัฒน์ สีดาพารี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. วิริยะ กองรัตน์

อ.อาจันต์ น่วมสำราญ

ปีการศึกษา

2543

บทคัดย่อ

การควบคุมเสถียรภาพของกระบวนการ ด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอดี ที่นิยมมากที่สุดและยังให้ผลตอบสนองที่ดี ซึ่งโครงการเพนดูลัมคอนโทรลนั้น ได้อาศัยหลักการควบคุมเสถียรภาพ โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี จากระบบ จุดมุ่งหมายของการควบคุมก้านขั้วจะถูกควบคุมด้วยลิเนียร์มอเตอร์ และจะทำให้ลูกตุ้มสามารถตั้งขึ้นได้ ที่ตำแหน่ง 0 องศา จากทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันเราสามารถจะออกแบบค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้โดยอาศัย โปรแกรมเมทแล็บ โดยจะสร้างชุดสัญญาณและควบคุมด้วยโปรแกรม วิซอลเบสิก และเป็นตัวแสดงผลตอบสนองของระบบ ซึ่งจากการทดลองเนื่องจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบไม่สามารถหาค่าได้ ทำให้ต้องอาศัยหลักการประมาณค่าและทดลองเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ดีที่สุด ซึ่งจากค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่หาได้นั้น ทำให้ระบบสามารถควบคุมได้อย่างมีเสถียรภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	INVERT PENDULUM CONTROL SYSTEM	
Authers	Mr.Kittipat	Wiriyaprasat
	Mr.Kasemsuk	Ounhavanich
	Mr.Suwat	Sedaparee
Thesis Advisor	Asst.Prof.Viriya	Kongratana
	Mr. Arjin	Numsomran
Year	2000	

ABSTRACT

Process stability control by PID controller is mostly used to a good response. This project is invert pendulum control system use the PID controller to control stability .The aim is to control the DC linear motor to drive arm of the pendulum to make the pendulum stand upraised at an angle of zero degree. The transfer function of the system will be derived all parameter of the PID controller by Matlab software. Use Visual basic software to operate, control and display a response. In this experiment some parameter of system are unknown, so that we use trial and error method to design parameter of the PID controller. Results of the experiment shows that the performance of system have stability by trial and error method and can be able to control the invert pendulum have stability.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับคำปรึกษาและความอนุเคราะห์จากผู้ช่วยศาสตราจารย์วิริยะ กองรัตน์ และ อาจารย์อานินต์ น่วมสำราญ ซึ่งคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้การสนับสนุนและคำปรึกษาเกี่ยวกับปริญญาบัตรจนสำเร็จตามจุดประสงค์

ขอขอบพระคุณภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรมและอาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษาในด้านต่างๆ และเอื้อเฟื้ออุปกรณ์เครื่องมือในการทดลองและความช่วยเหลือ จนสามารถทำปริญญาบัตรฉบับนี้เสร็จสิ้นลงตามวัตถุประสงค์

ขอขอบพระคุณเพื่อนทุกคน ที่ได้ให้กำลังใจและคำปรึกษาทางด้านต่างๆ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบแต่บิดาและมารดา

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 Mathematical Modeling Of Physical System.....	3
2.3 โมเดลทางคณิตศาสตร์ ของดีซีมอเตอร์.....	5
2.3.1 โมเดลอีเล็กโทรแมคคานิกอล.....	6
2.3.2 ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของดีซีมอเตอร์.....	10
2.4 เอนโค้ดเดอร์ที่ใช้งานจริง.....	14
2.5 วิธีการควบคุมเสถียรภาพแบบพีไอดี.....	15
2.6 การปรับค่าของตัวควบคุม พีไอดี.....	22
2.6.1 การปรับค่าของตัวควบคุม พีไอดีโดยวิธี Ziegler-Nichols.....	23
2.6.2 การปรับค่าของตัวควบคุม พีไอดีโดยวิธี Damped Oscillation.....	26
บทที่ 3 การออกแบบ Hard Ware.....	28
3.1 โครงสร้างของ Pendulum.....	28
3.2 ชุดอ่านค่าตำแหน่งจากก้านลูกตุ้ม.....	28
3.3 ชุดอ่านค่าตำแหน่งของ มอเตอร์.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ภาคขับมอเตอร์.....	30
3.5 ชุดควบคุมความเร็วแบบ Pluse Width Modution (PWM)	31
3.6 ส่วนอินเทอร์เฟส.....	33
บทที่ 4 การทดลอง.....	35
4.1 ชุด ฮาร์ดแวร์.....	35
4.1.1 วงจรตรวจเช็คตำแหน่ง.....	35
4.1.2 การขับมอเตอร์.....	36
4.2 ชุดการ์ด อินเทอร์เฟส.....	38
4.3 โปรแกรมการควบคุม	39
4.4 การหาทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของระบบ	40
4.5 ผลการทดลอง.....	43
บทที่ 5 บทสรุปและปัญหาที่เกิดขึ้น	47
5.1 สรุป	47
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข	47
บรรณานุกรม.....	48
ภาคผนวก.....	49
ภาคผนวก ก	50
ภาคผนวก ข.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

2.1 แสดงการควบคุมระบบแบบต่างๆ17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 Pendulum Control System.....	2
1.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุม.....	2
2.1 การแตกแรงเพื่อหาสมการรูปแบบทางคณิตศาสตร์.....	3
2.2 โมเดลของดีซีมอเตอร์แบบฟิลด์แยกกระตุ้น.....	6
2.3 แสดงถึงแรงบิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นต่อโหลดของมอเตอร์.....	8
2.4 บล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์โมเดล.....	9
2.5 ตัวอย่างคอนโทรลมอเตอร์และเซนเซอร์เรเตอร์.....	11
2.6 ดีซีมอเตอร์ และทาโคมิเตอร์สำหรับใช้ในระบบบังคับมีการป้อนกลับ.....	12
2.7 เอนโค้ดเดอร์อย่างง่ายใช้วัดความเร็วและตำแหน่งได้ถ้าเพลลาหมุนทางเดียว.....	14
2.8 เมื่อเอนโค้ดเดอร์หมุนทิศตามเข็มนาฬิกา Clock Wise (CW) ความเร็วคงที่.....	15
2.9 เมื่อเอนโค้ดเดอร์หมุนทิศทวนเข็มนาฬิกา Counter Clock Wise (CCW) ความเร็วคงที่.....	15
2.10 ระบบควบคุมป้อนกลับแบบ Unity.....	15
2.11 ระบบตัวอย่างทางกล.....	17
2.12 Open Loop Step.....	18
2.13 แสดงระบบควบคุมแบบ พี.....	19
2.14 แสดงระบบควบคุมแบบ พี - ดี.....	20
2.15 แสดงระบบควบคุมแบบ พี - ไอ.....	21
2.16 แสดงระบบควบคุมแบบ พีไอดี.....	22
2.17 ผลตอบสนองภายหลังการควบคุมด้วย พีไอดีโดยวิธีของ Ziegler-Nichols.....	24
2.18 การประมาณค่าแบบ Process Reaction Curve.....	25
2.19 วิธีการประมาณค่าแบบ Ultimate Method.....	26
2.20 การประมาณค่าโดยวิธี Damped Oscillation.....	27
3.1 ขนาดของ Pendulum.....	28
3.2 วงจรบริดจ์สมดุลและอินสตรูเมนต์แอมป์.....	29
3.3 ผังเวลาของตัว เอนโค้ดเดอร์.....	29
3.4 วงจรวัดตำแหน่งเอนโค้ดเดอร์.....	30
3.5 วงจรขับมอเตอร์แบบ H-Bridge.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 Signal Conditioner	32
3.7 H-Bridge Brush-Type Controller ด้วย MC33033	32
4.1 เปรียบเทียบระหว่างแรงดันกับองศาของแขนมอเตอร์.....	36
4.2 เปรียบเทียบแรงดันกับองศาของก้านคู้มกับ Potentionmeter.....	36
4.3 แสดงไดอะแกรมวงจรขั้วมอเตอร์.....	37
4.4 ผลการทดลองของการขั้วมอเตอร์ทางด้านตามเข็มนาฬิกากับทวนเข็มนาฬิกา	37
4.5 แสดงการติดต่อระหว่างการ์ดกับฮาร์ดแวร์ โดยแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์.....	38
4.6 บล็อกไดอะแกรมการควบคุม	39
4.7 โปรแกรมควบคุมวิซวล.....	39
4.8 กราฟผลตอบสนองของ การขั้วมอเตอร์และแขนขั้ว	40
4.9 ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของ มอเตอร์และแขนขั้ว	40
4.10 ผลการทดลองปล่อยลูกคู้มโดยอิสระ	41
4.11 เลียนแบบกราฟโดยใช้ แมทแเล็ปเมื่อหา a และ b	42
4.12 บล็อกไดอะแกรมที่จะนำไปใช้งาน	42
4.13 แสดงระบบควบคุมแบบเพนดูลัม.....	43
4.14 ผลตอบสนองของ zeta 1 ก่อนการควบคุม	44
4.15 ผลตอบสนองของ zeta 1 หลังการควบคุม	44
4.16 แสดงระบบควบคุมแบบอินเวอร์ทเพนดูลัม.....	45
4.17 การควบคุมเสถียรภาพของ Zeta 2	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ระบบควบคุมที่มีความสามารถ มีความเร็ว เพียงพอ เป็นเงื่อนไขของการออกแบบ สร้างระบบที่มีความสามารถที่จะ ควบคุมเสถียรภาพของ อินเวอร์ทเพนดูลัม และรวมถึงการสร้างตัวควบคุมแบบ พีไอดี ที่มีความสามารถในการควบคุมความไม่เสถียรภาพของอินเวอร์ทเพนดูลัม ให้มีเสถียรภาพได้ ดังนั้น จึงคิดโครงการที่จะออกแบบให้ระบบที่จะควบคุม, ตัวควบคุม เพื่อทำการควบคุม อินเวอร์ทเพนดูลัมได้อย่างมีเสถียรภาพ

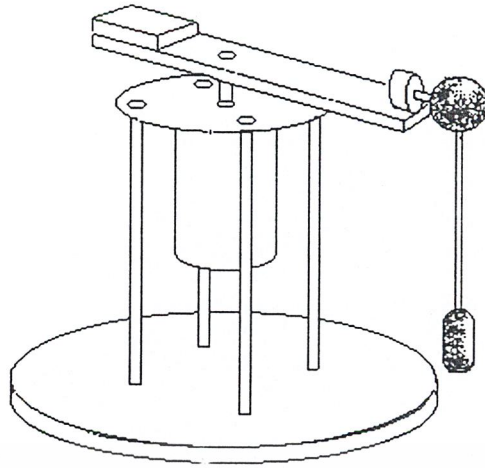
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

- 1.สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่ จะทำการควบคุมได้
- 2.ออกแบบระบบที่จะทำการ ควบคุม และทำการติดต่อกับ ควบคุม ผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์
- 3.สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงาน และควบคุมกระบวนการได้
- 4.สามารถทำการควบคุมระบบให้มีเสถียรภาพได้ โดยการออกแบบตัวควบคุม แบบ พีไอดี
- 5.สามารถที่จะทำการ ปรับค่าตัวแปรของตัวควบคุม พีไอดี ค่าพี, ค่าไอ และค่าดี เพื่อให้ได้ผลการตอบสนองที่ดีและเร็วที่สุด

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

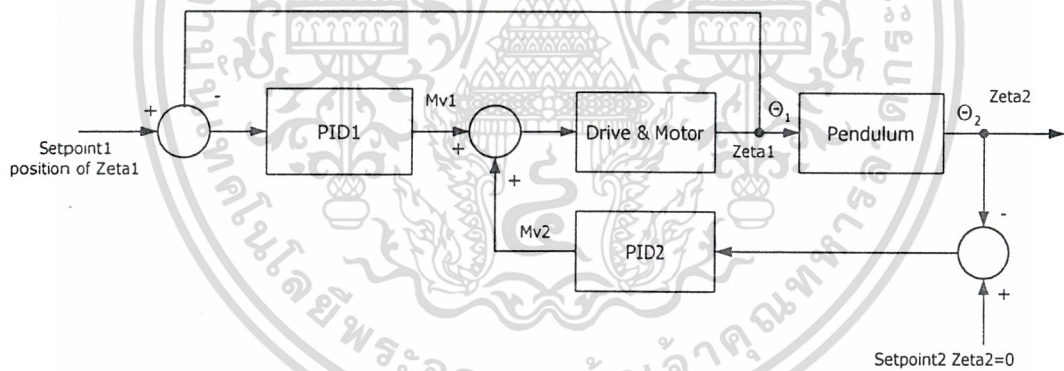
อินเวอร์ทเพนดูลัมที่จะทำการควบคุมนั้นเป็นระบบที่ไม่มีเสถียรภาพดังนั้นจึงต้อง ทำการควบคุมระบบให้ทำงานอย่างมีเสถียรภาพมากที่สุด โดยศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่ จะทำการควบคุม แล้วทำการทำการควบคุมเสถียรภาพของตำแหน่งของก้านลูกตุ้มโดยใช้ตัวควบคุมแบบ พีไอดีในโครงการนี้จะประกอบด้วย ส่วนสำคัญ หลักๆ ดังนี้

- 1.ชุดควบคุมการทำงาน และตัวควบคุมโดยใช้ โปรแกรม คอมพิวเตอร์
- 2.ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ควบคุม อินเวอร์ทเพนดูลัม



รูปที่ 1.1 Pendulum Control System

รายละเอียดส่วนประกอบปลีกย่อยที่ใช้งานร่วมด้วยในโครงการนี้ ได้แก่ชุดวัดตำแหน่งของแขนขับ ชุดวัดตำแหน่งของก้านลูกตุ้ม และส่วนอื่นๆที่ใช้ จะทำการกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป รายละเอียดแสดงเป็น บล็อก ไดอะแกรม ของการควบคุม ดังนี้



รูปที่ 1.2 บล็อก ไดอะแกรมของระบบควบคุม

จาก บล็อก ไดอะแกรมขอบเขตของการควบคุมจะทำการควบคุม θ_2 ให้เท่ากับ 0 โดยทำการควบคุม θ_2 ด้วย θ_1 ที่เกิดขึ้น โดยการส่งกำลังจากแขนส่ง ไปยังก้านลูกตุ้ม

บทที่ 2 ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

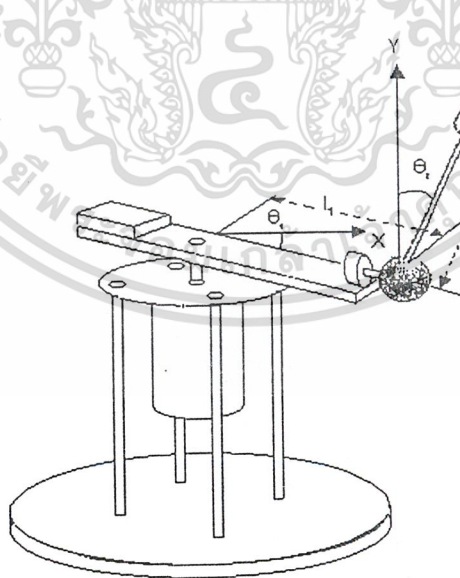
2.1 กล่าวนำ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอ การสร้างระบบควบคุมระบบอินเวอร์ทเพนดูลัม นั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาหลักการ ทฤษฎีต่างๆ ดังต่อไปนี้

- Mathematical Modeling of Physical System
- หลักการควบคุม เสถียรภาพของระบบแบบ พีไอดี

2.2 Mathematical Modeling of Physical System

ในการจะทำการควบคุมระบบใดที่ได้สร้างแบบจำลองขึ้นมา นั้นจำเป็นต้องเรียนรู้ สมการรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบนั้นๆ ด้วย ซึ่งในการหาสมการรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ของระบบต่างๆ นั้นมีหลายระบบ เช่น ระบบทางไฟฟ้า ระบบที่เกี่ยวกับระดับของของเหลว ระบบ ความร้อน และ อื่นๆ แต่ระบบที่จะนำเสนอต่อไปนี้ เป็นการหาสมการรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของ ระบบเชิงกล (Mechanical System) ของ การควบคุมระบบอินเวอร์ทเพนดูลัม ที่ได้สร้างไว้ เพื่อจะ ได้สมการรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ของ การควบคุมเพนดูลัม เอาไว้ใช้ทำการควบคุมต่อไปเมื่อ



รูปที่ 2.1 การแตกแรงเพื่อหาสมการรูปแบบทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ l_1 : ความยาวของแขนจับนับจากจุดหมุน (m)

l_2 : ความยาวของก้านลูกตุ้ม (m)

m : มวลของลูกตุ้ม (kg)

θ_1 : มุมที่เปลี่ยนไปของแขนจับ (rad)

θ_2 : มุมที่เปลี่ยนไปของก้านลูกตุ้ม (rad)

V : แรงในแนวตั้งที่ทำกับก้านลูกตุ้ม (N)

H : แรงในแนวนอนที่ทำกับก้านลูกตุ้ม (N)

จากรูปที่ 2.1 สามารถหาฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้

จากกฎข้อที่สองของนิวตัน จะได้

พิจารณาในแกน Y :

$$V - mg = m \frac{d^2}{dt^2} (l_2 \cos \theta_2) \quad (2.1)$$

พิจารณาในแกน X :

$$H = m \frac{d^2}{dt^2} (l_2 \sin \theta_2 + \theta_1 l_1) \quad (2.2)$$

เมื่อ $\theta_1 l_1$ คือระยะทางที่แขนเคลื่อนที่ไปเป็นวงกลมด้วยมุม θ_1
จากหนังสือ "Modern Control Engineering" หน้า 103 เราจะได้ความสัมพันธ์ คือ

$$J_2 \ddot{\theta}_2 + b_2 \dot{\theta}_2 = H l_2 \cos \theta_2 - V l_2 \sin \theta_2 \quad (2.3)$$

โดยที่ J_2 เป็นค่า Moment of Inertia ของก้านลูกตุ้ม

b_2 เป็นค่าความฝืด (Viscous Friction)

นำสมการที่ (2.1),(2.2) แทนลงใน (2.3)

$$J_2 \ddot{\theta}_2 + b_2 \dot{\theta}_2 = \left[m \frac{d^2}{dt^2} (l_2 \sin \theta_2 + l_1 \theta_1) \right] l_2 \cos \theta_2 - \left[mg + m \frac{d^2}{dt^2} (l_2 \cos \theta_2) \right] l_2 \sin \theta_2 \quad (2.4)$$

และ

$$\frac{d^2}{dt^2} \sin \theta = -(\sin \theta) \dot{\theta}^2 + (\cos \theta) \ddot{\theta} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{d^2}{dt^2} \cos \theta = -(\cos \theta) \dot{\theta}^2 - (\sin \theta) \ddot{\theta} \tag{2.6}$$

จะได้

$$(J_2 - ml_2^2) \ddot{\theta}_2 + b_2 \dot{\theta}_2 + mgl_2 \sin \theta_2 = \dot{\theta}_1 ml_1 l_2 \cos \theta_2 \tag{2.7}$$

เราประมาณค่า $\sin \theta_2 \approx 0$ และ $\cos \theta_2 \approx 1$ เมื่อให้ค่า θ_2 เข้าใกล้ 0 จะได้

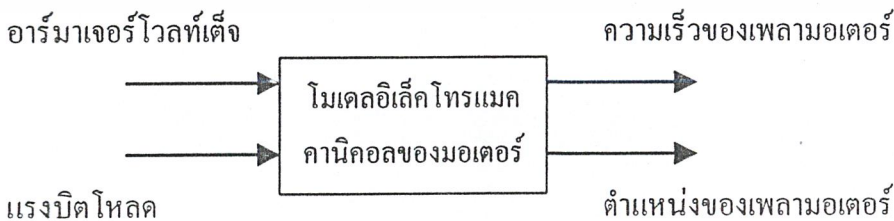
$$(J_2 - ml_2^2) \ddot{\theta}_2 + b_2 \dot{\theta}_2 = \dot{\theta}_1 ml_1 l_2 \tag{2.8}$$

Laplace Transform จะได้ฟังก์ชันการถ่ายโอน ของความสัมพันธ์ระหว่าง θ_1 และ θ_2 เป็น

$$\frac{\theta_2(s)}{\dot{\theta}_1(s)} = \frac{ml_1 l_2}{(J_2 - ml_2^2)s^2 + b_2 s} \tag{2.9}$$

2.3 โมเดลคณิตศาสตร์ของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์ที่ใช้ร่วมกับดีซีแอมพลิไฟทั้งในระบบการบังคับตำแหน่งและการบังคับความเร็วมักจะได้รับการประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบสร้างกำลังงานในระบบการนำร่อง และระบบการบังคับต่าง ๆ และเนื่องจากวิทยาการเกี่ยวกับสารแม่เหล็ก และการขยายด้วยโซลิติสเตท ทำให้ ดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร ได้รับความนิยมใช้เป็นส่วนประกอบการขับเคลื่อนในระบบการบังคับแบบปิดลูปต่าง ๆ มากขึ้น การออกแบบและการชดเชยระบบดังกล่าวได้อย่างเหมาะสม จะต้องใช้โมเดลคณิตศาสตร์ของส่วนประกอบทั้งหมดในระบบ ในหัวข้อนี้เราจะได้พัฒนาลิเนียร์โมเดลของดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร และแบบฟิลด์แยกกระตุ้น



2.3.1 โมเดลอิเล็กทรอนิกส์โทรแมคคานิคอล

ส่วนสำคัญของดีซีมอเตอร์แบบฟิวด์แยกกระตุ้นมีโมเดลดังแสดงในรูปที่ 2.2

โดยที่ R_a : ความต้านทานของอาร์มาเจอร์

L_a : อินดักแตนซ์ของอาร์มาเจอร์

V_g : โวลต์เต็จกำเนิดในอาร์มาเจอร์ (โวลต์เต็จย้อนกลับ)

R_f : ความต้านทานของฟิวด์

L_f : อินดักแตนซ์ของฟิวด์

ϕ : ช่องว่างอากาศของเส้นแรงสนามแม่เหล็ก

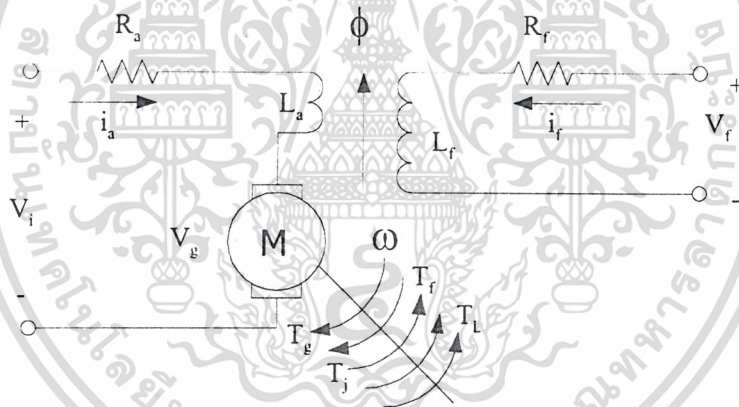
ω : ความเร็วของเพลอาาร์มาเจอร์

T_g : แรงบิดที่พัฒนาขึ้นในมอเตอร์

T_f : แรงบิดเสียดทานของมอเตอร์

T_j : แรงเฉื่อยของมอเตอร์

T_L : แรงบิดโหลดบนเพลของมอเตอร์



รูปที่ 2.2 โมเดลของดีซีมอเตอร์แบบฟิวด์แยกกระตุ้น

ขั้นแรกเราจะหาสมการพื้นฐาน โมเดลของดีซีมอเตอร์ได้จากกฎของอาร์มาเจอร์

$$V_i(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + V_g(t) \quad (2.10)$$

เทอมโวลต์เต็จ $V_g(t)$ ในสมการ (2.10) คือ โวลต์เต็จย้อนกลับของมอเตอร์ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเส้นลวดตัวนำของอาร์มาเจอร์หมุนตัดเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งเกิดขึ้นโดยกระแสของฟิวด์ (I_f) ตามกฎ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของฟาราเดย์ของเส้นลวดตัวนำหมุนในฟิลด์แม่เหล็กคงที่จะมีการเหนี่ยวนำโวลต์เต็จขึ้นในขดลวดนั้น

$$V(t) = \frac{d\lambda(t)}{dt} \quad (2.11)$$

เมื่อ $\lambda(t)$ เส้นแรงแม่เหล็กที่รั่วไปยังขดลวดและ t คือเวลาในการหมุนของคอมมิวเตเตอร์ของมอเตอร์ การควบคุมวงจรของแต่ละส่วนของตัวนำในโรเตอร์จะเกิดโวลต์เต็จขึ้นในส่วนของตัวนำนั้นตามสมการ (2.11) เมื่อ $d\lambda(t)/dt$ จะเป็นสัดส่วนต่อเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศ และความเร็วเชิงมุม $\omega(t)$ หรือเราจะได้ว่า

$$V_g(t) = K\phi(t)\omega(t) \quad (2.12)$$

สมมติให้กระแสของฟิลด์มีค่าคงที่ และไม่คิดถึงส่วนการเปลี่ยนแปลงในเส้นแรงฟิลด์เนื่องจากอาร์มาเจอร์รีแอกซ์ชันเส้นแรงฟิลด์ ก็จะมีค่าคงที่ ดังนั้น สมการ (2.12) ก็จะกลายเป็น

$$V_g(t) = K_c\omega(t) \quad (2.13)$$

เมื่อเราสมมติให้เส้นแรงของฟิลด์มีค่าคงที่ แรงบิดของแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นแก่โรเตอร์ของมอเตอร์ จะเป็นสัดส่วนกับกระแสอาร์มาเจอร์

$$T_g(t) = K_t i_a(t) \quad (2.14)$$

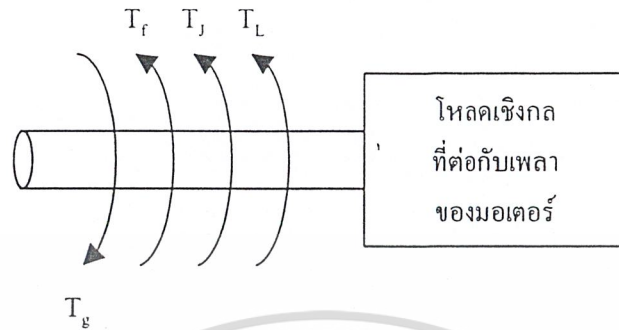
โดยที่ K_t คือค่าคงที่ของแรงบิดของมอเตอร์

กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ คือผลคูณของแรงบิดที่เกิดขึ้นและความเร็วเชิงมุม

$$P_g(t) = T_g(t)\omega(t) \quad (2.15)$$

กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ทั้งหมดนี้จะจ่ายไปยังโหลดที่ต่ออยู่กับเพลาของมอเตอร์แต่กำลังงานนี้บางส่วนจะสูญเสียไปในมอเตอร์ การสูญเสียเนื่องมาจากแรงเสียดทาน หมายถึงหน่วงเนื่องจากลมที่มีต่อโรเตอร์ แรงเสียดทานตัวรองรับโรเตอร์ กระแสที่ไหลวนในเหล็กเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของโรเตอร์และฮีสเตอร์รีซิส จากรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงแรงบิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นต่อโหลดของมอเตอร์ คือ



รูปที่ 2.3 แสดงถึงแรงบิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นต่อ โหลดของมอเตอร์

โดยที่ $T_g(t)$: แรงบิดของมอเตอร์

$T_f(t)$: แรงบิดที่ต้องชนะการสูญเสียเนื่องจากการเสียดทาน

$T_j(t)$: แรงบิดเพื่อใช้เพิ่มอัตราเร่งแก่ ความเฉื่อยของโหลด

$T_L(t)$: แรงบิดโหลด

ในช่วงเวลาใดๆ ก็ตาม แรงบิดของมอเตอร์จะต้องเท่ากับ และมีทิศทางตรงข้ามกับผลรวมของแรงบิด $T_f(t)$, $T_j(t)$ และ $T_L(t)$ ดังนั้น

$$T_g(t) = T_f(t) + T_L(t) + J \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (2.16)$$

โดยที่ J คือผลรวมของโมเมนต์แรงเฉื่อยของโรเตอร์และ โหลดที่ต่ออยู่ที่เพลลาของมอเตอร์

ผลรวมของแรงบิดเสียดทานที่ประกอบกันขึ้นที่เพลลาของมอเตอร์ ซึ่งเป็นลิเนียร์ฟังก์ชันกับความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ เรียกว่า ส่วนประกอบของวิสคอสฟริกชัน และมักจะอยู่ในทอมที่แยกออกจากฟริกชันอื่นๆ ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการ ต่อไปนี้

$$T_g(t) = T_f(t) + T_L(t) + J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ B คือสัมประสิทธิ์ของวิสกอสฟริกชันของมอเตอร์และโหลดที่ต่ออยู่กับเพลลาของมอเตอร์ $T_f(t)$ คือผลรวมของฟริกชันของโหลด และของมอเตอร์ทั้งหมด มีแรงต้านของลมและการสูญเสียกำลังในเหล็กของเพลลามอเตอร์ ยกเว้นวิสกอสฟริกชัน

สมการ (2.10) (2.13) (2.14) และ (2.17) เป็นชุดสมการพื้นฐานของดีซีมอเตอร์โมเดลและจากสมการเหล่านี้ เราสามารถจะหาทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของดีซีมอเตอร์ได้ โดยใส่ลาปลาซทรานส์ฟอร์ม ทั้งสองข้างของชุดสมการพื้นฐาน และเขียนได้ใหม่เป็น

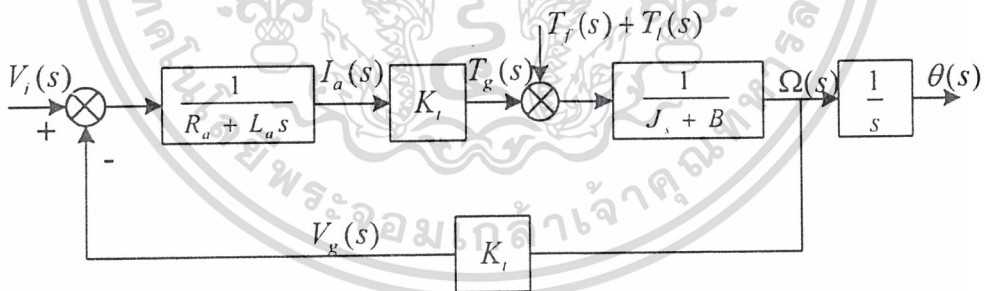
$$V_i(s) - V_g(s) = (R_a + sL_a)I_a(s) \quad (2.18)$$

$$V_g(s) = Ke \omega \quad (2.19)$$

$$T_g(s) = K_t I_a(s) \quad (2.20)$$

$$T_g(s) T_f(s) T_L(s) = (B + sJ) \omega \quad (2.21)$$

บล็อกไดอะแกรมที่แสดงถึงสมการพื้นฐานเหล่านี้ แสดงได้ดังในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์โมเดล

ข้อควรสังเกต

สมมติว่าโวลต์เตจที่ป้อนให้กับวงจรอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์มีค่าคงที่คั้งนั้นมอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วคงที่คือทำงานอยู่ที่สภาวะสงบนิ่งด้วย โหลดที่คงที่คั้งเชิงกลที่เกิดขึ้น โดยโรเตอร์จะหาได้จากสมการ (2.15) และเมื่อร่วมกับสมการ (2.14) ก็จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_g = T_g \omega = K_t I_a \omega \quad (2.22)$$

เมื่อทุกเทอมในสมการสุดท้ายมีค่าคงที่ เนื่องจากมอเตอร์ทำงานอยู่ที่สภาวะสงบนิ่ง กำลังไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนโดยอาร์มาเจอร์ต้องเท่ากับผลคูณของโวลต์เต็จคร่อมอาร์มาเจอร์ และกระแสที่ไหลผ่าน ดังนั้น

$$P = V_g I_a = K_e \omega I_a \quad (2.23)$$

ดังนั้นเราจะได้ว่า กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นต้องเท่ากับกำลังงานไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนในโรเตอร์ คือสรุปได้ว่า $K_t = K_e$

2.3.2 ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของดีซีมอเตอร์

บล็อกไดอะแกรมของรูปที่ 2.4 แสดงถึงระบบที่มีสองอินพุทและมีเอาต์พุทเป็นทั้งความเร็วเชิงมุม ω และการเคลื่อนที่แบบเชิงมุม θ จากรูปที่ 2.4 ความเร็วเอาต์พุทของระบบเขียนได้เป็น

$$\omega(s) = G_1(s)V_1(s) + G_2(s)[T_f(s) + T_L(s)] \quad (2.24)$$

เมื่อ

$$G_1(s) = \frac{\omega(s)}{V_1(s)} ; T_f(s) + T_L(s) = 0 \quad (2.25)$$

$$G_1(s) = \frac{\omega(s)}{T_f(s) + T_L(s)} ; V_1(s) = 0 \quad (2.26)$$

โดยที่ $G_1(s)$ คือทรานสเฟอร์ฟังก์ชันระหว่างโวลต์เต็จและความเร็ว

$$\begin{aligned} G_1(s) &= \frac{\omega(s)}{V_1(s)} = \frac{K_t}{(L_a s + R_a)(J s + B) + K_t K_e} \\ &= \frac{K_m}{\alpha s^2 + \beta s + 1} \end{aligned} \quad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$K_m = \frac{K_t}{R_a B + K_t K_c} \quad (2.28)$$

$$\alpha = \frac{L_a J}{R_a B + K_t K_c} \quad (2.29)$$

$$\beta = \frac{R_a J + L_a B}{R_a B + K_t K_c} \quad (2.30)$$



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างคอนโทรลมอเตอร์และเซนเซอร์เรเตอร์

สมการ (2.27) เป็น โวลต์เตจทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของดีซีมอเตอร์ในเมื่อสมมติว่า T_r และ T_L มีค่าเป็นศูนย์ สมการ (2.27) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$G_1(s) = \frac{K_t}{R_a B(1 + \tau_e s)(1 + \tau_m s) + K_t K_c} \quad (2.31)$$

โดยที่

$$\tau_e = L_a / R_a = \text{ไทม์คอนสแตนต์ทางไฟฟ้า}$$

$$\tau_m = J / B = \text{ไทม์คอนสแตนต์ทางเชิงกล}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_L(s) = \frac{\omega(s)}{T_f(s) + T_L(s)} = \frac{-\frac{R_a}{K_t} K_m}{\tau s + 1} \quad (2.35)$$

ตัวอย่างของทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน

ดีซีมอเตอร์ตัวเล็ก ๆ มีข้อกำหนด ดังต่อไปนี้

$V_f(\text{max})$	=	30 โวลท์
$I_a(\text{max})$	=	2 แอมป์
R_a	=	3 โอห์ม
L_a	=	6 มิลลิเฮนรี่
K_t	=	50×10^{-3} นิวตัน-เมตร / แอมป์
$T(\text{rated})$	=	0.1 นิวตัน-เมตร
J_m	=	40×10^{-3} กิโลกรัม-เมตร ²
B_m	=	35×10^{-6} กิโลกรัม-เมตร ² / วินาที
$\omega(\text{rated})$	=	300 เรเดียน / วินาที

ถ้าเราสมมติว่าแรงเฉื่อยของโหลด และเฟรคชั่นที่มีต่อเพลลาของมอเตอร์ คือ

$$\begin{aligned} J_L &= 60 \times 10^{-6} \text{ กิโลกรัม-เมตร}^2 \\ B_L &= 60 \times 10^{-6} \text{ กิโลกรัม-เมตร}^2 / \text{วินาที} \end{aligned}$$

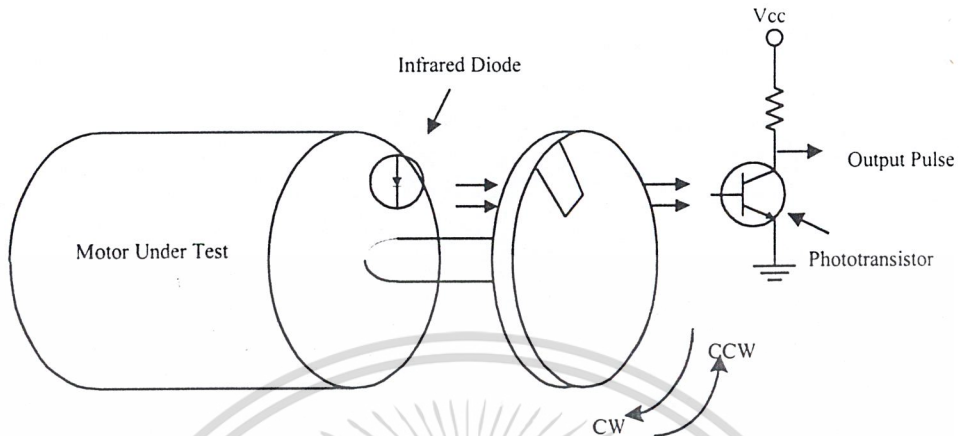
ดังนั้นทรานสเฟอร์ฟังก์ชันระหว่างโวลต์เต็ม-ความเร็วได้เป็น จากสมการ (2-33)

2.4 เอนโค้ดเดอร์ที่ใช้งานจริง

เอนโค้ดเดอร์ที่มีขายกันทั้งไปนั้นให้เอาท์พุท 2 สัญญาณ เรียกว่าสัญญาณ A และสัญญาณ B บางรุ่นอาจให้สัญญาณ Z (Zero) มาด้วยและจะเป็นลอจิก "1" เมื่อหมุนครบรอบ แต่อย่างน้อยจะให้สัญญาณ A และสัญญาณ B เมื่อเอนโค้ดเดอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา (CW) สัญญาณ A จะนำหน้าสัญญาณ B แต่ถ้าหมุนกลับทางสัญญาณ B จะนำหน้าสัญญาณ A เมื่อหมุนครบรอบจำนวนพัลส์ของสัญญาณ A จะเท่ากับสัญญาณ B เสมอ

รูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4 นั้นเป็นสิ่งที่เราจะเห็นเมื่อเราใช้ออสซิลโลสโคป จับสัญญาณ A และ B พร้อมกัน และเอนโค้ดเดอร์หมุนทิศทางเดียวด้วยความเร็วคงที่ สังเกตการลักษณะของสัญญาณ A และ B จะเห็นว่าประกอบด้วยสองบิตที่มีการเปลี่ยนแปลงทีละบิตเท่านั้น ลักษณะแบบนี้เรียกว่า

รหัสเกรย์ กล่าวคือการนับจะไม่ใช้ 00-01-10-11 เหมือนกับเลขไบนารี แต่จะเป็น 00-01-11-10 โดยให้ A คือบิตบนและ B คือบิตล่าง



รูปที่ 2.7 เอนโค้ดเดอร์อย่างง่าย ใช้วัดความเร็วและตำแหน่งได้ถ้าเพลามุมทางเดียว

เมื่อหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา Clock Wise (CW)

เมื่อเอนโค้ดเดอร์หมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา (CW) หาทวนของสัญญาณ A และ B จะเป็น 00-10-11-01-00-10-11-... คล้ายกับนับเลขฐานสิบจาก 0 ถึง 3 เป็น 0-1-2-3-0-1-2-3-...

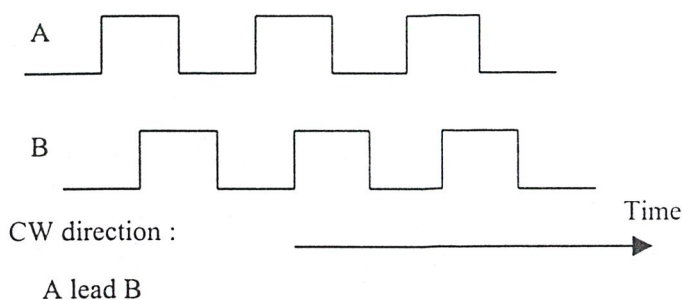
เมื่อหมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา Counter Clock Wise (CCW)

เมื่อเอนโค้ดเดอร์หมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา (CCW) สัญญาณ A และ B จะวนกลับทิศทาง เป็น 00-01-11-10-00-01-11-...

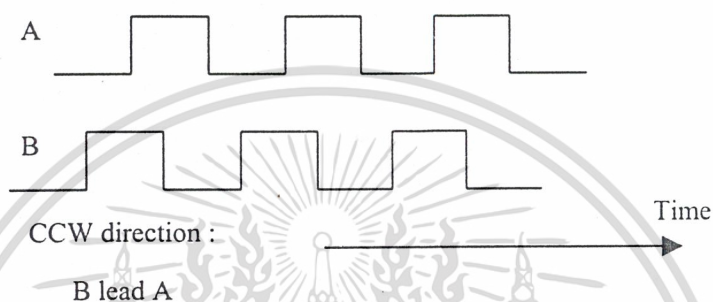
เมื่อมีการกลับทิศทาง

การหมุนกลับทางกลับไปกลับมาคือการสลับลำดับการนับเป็น 0-1-2-3-0-0-2-1-0-3-2-1-0-1-2-3-0 จะเห็นว่าช่วงแรกคือนับขึ้นจนถึงตัวหน้าชุดแรก (2-1) เป็นการนับลง จากตัวอย่างเลขฐานสิบนี้ถ้าเป็นรหัสเกรย์ จะได้ 00-10-11-01-00-10-11-10-00-01-11-10-00-10-11-01-00 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



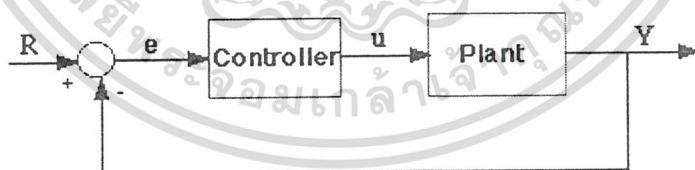
รูปที่ 2.8 เมื่อเอนโค้ดเดอร์หมุนทิศตามเข็มนาฬิกา (CW) ความเร็วคงที่



รูปที่ 2.9 เมื่อเอนโค้ดเดอร์หมุนทิศทวนเข็มนาฬิกา (CCW) ความเร็วคงที่

2.5 วิธีควบคุมเสถียรภาพแบบ พีไอดี

ในที่นี้จะแสดงให้เห็นถึงสมการคุณลักษณะโดยจะเกี่ยวกับระบบควบคุมแบบพี,ไอและดี ซึ่งกล่าวไปถึงความต้องการในผลตอบสนอง ซึ่งในที่นี้สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ระบบควบคุมป้อนกลับแบบ Unity

ระบบควบคุมแบบ พีไอดี

ตัวควบคุมแบบพีไอดีประกอบด้วยตัวควบคุมแบบพี ตัวควบคุมแบบไอและตัวควบคุมแบบดี และมีฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_p + \frac{K_I}{S} + K_D S = \frac{K_D S^2 + K_p S + K_I}{S} \quad (2.36)$$

โดยที่ K_p , K_I และ K_D เป็นค่าจริง

K_p = Proportional gain

K_I = Integral gain

K_D = Derivative gain

เริ่มแรกให้พิจารณาระบบควบคุมแบบ ฟีดแบ็คในระบบแบบลูปปิด(Close-Loop) ซึ่งสมการที่ได้แสดงไว้สมการ (2.36) ค่าตัวแปร (e) จะแสดงถึงค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบ โดยฟังก์ชันถ่ายโอนจะได้จากความแตกต่างระหว่างค่า (R) Input และ ค่า Output (Y) สัญญาณความผิดพลาดจะเข้าไปในระบบควบคุมแบบฟีดแบ็ค และในระบบควบคุมจะทำการคำนวณค่าดี และค่าโอที่เกิดจากสัญญาณความผิดพลาด ส่วนสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม (U) ในระบบ ควบคุมจะสมมูลกัน โดยที่ค่า K_p (Proportional Gain) ขนาดของเวลา ในการเกิดความผิดพลาดมาก, K_I (Integral Gain) เวลาในการเกิดโอ จะเกิดความผิดพลาดมาก, K_D (Derivative Gain) เวลาในการเกิดโอ จะเกิดความผิดพลาด

สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเป็น

$$u = K_p e + K_I \int e dt + K_D \frac{de}{dt} \quad (2.37)$$

สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม (u) จะแสดงให้เห็นถึงสิ่งที่ถูกควบคุมและทำให้ได้ค่าทางด้านเอาต์พุต (Y) ใหม่ กล่าวถึงส่วนหลังที่เป็นค่าที่เกิดขึ้นใหม่ ให้หาสัญญาณความผิดพลาด (e) ใหม่ ในระบบควบคุมจะพิจารณาสัญญาณความผิดพลาด (e) ใหม่ และจะคำนวณค่า Derivative และค่า Integral อีกครั้ง ในกระบวนการจะพยายาม ON และ OFF ได้

สมการคุณลักษณะในระบบควบคุม ฟีดแบ็ค

ระบบควบคุมในส่วนของค่า K_p จะทำให้ประสิทธิภาพของช่วงเวลา Rise Time ลดลงและจะค่อยๆลดลงแต่การขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่ภาวะคงที่ (Steady-State Error) จะไม่ค่อนแน่นอน

ส่วนค่า K_I จะทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่ภาวะคงที่ แต่อาจจะทำให้ผลตอบสนองทรานเซียนลดลง (เลวลง) ค่า K_D จะทำให้ประสิทธิภาพ เพิ่มมากขึ้นและมีเสถียรภาพในระบบ, ปรับลดค่า Over Shoot และปรับปรุงแก้ไขผลตอบสนองทรานเซียนดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

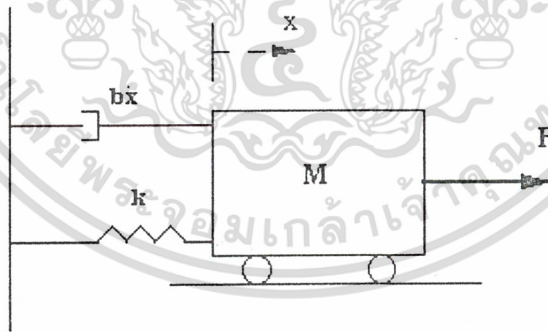
ประสิทธิภาพแต่ละอย่างในระบบควบคุมแบบ K_p , K_D และ K_I ในระบบลูปปิด จะสรุปไว้ใน ตารางที่ 2.1
 ตารางที่ 2-1

CL RESPONSE	RISE TIME	OVERSHOOT	SETTING TIME	S-S ERROR
K_p	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลดลง
K_i	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	กำจัด
K_d	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลดลง	ลดลง	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

ในตารางที่ 2.1 บันทึกไว้ กล่าวถึงความสัมพันธ์ที่อาจไม่แน่นอนถูกต้อง เพราะว่าค่า K_p , K_D และ K_I จะพึ่งพาสั่งต่างๆ ในสภาพความเป็นจริงคือ 1) ประสิทธิภาพความผันแปรได้ 2) อื่นๆ ดังเหตุผลที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ควรใช้ในการอ้างอิงเพื่อที่จะใช้ในการตัดสินใจ ค่า K_p , K_D และ K_I

ตัวอย่างปัญหา

โจทย์ มีมวล (Mass), สปริง (Spring) และตัวลดความสั่นสะเทือน (Damper) ต่อกันอย่างง่ายดังรูป



รูปที่ 2.11 ระบบตัวอย่างทางกล

แสดงสมการในระบบ

$$Mx + bx + kx = F \tag{2.38}$$

ทำการใส่สมการ ลاپลาสในสมการ (2.38)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่าง การเคลื่อนที่ $X(s)$ และ ทางด้านอินพุท $F(s)$ ให้สอดคล้องกัน

$$Ms^2X(s) + bsX(s) + kX(s) = F(s) \quad (2.39)$$

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Ms^2 + bs + k} \quad (2.40)$$

โดยกำหนดให้ $M = 1 \text{ kg}$

$$B = 10 \text{ N.s/m}$$

$$K = 20 \text{ N/m}$$

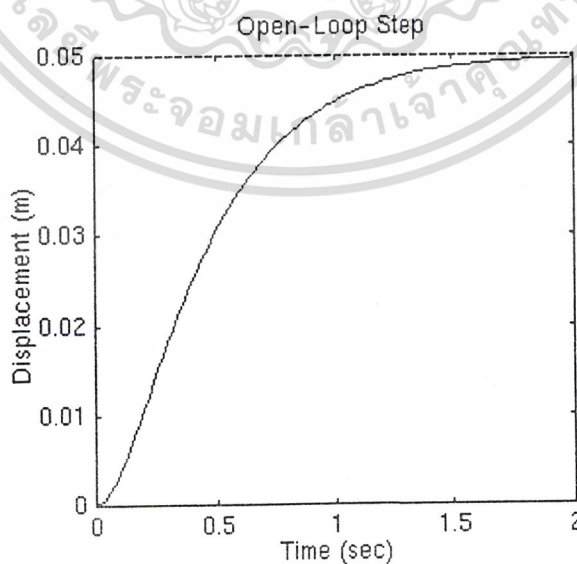
$$F(s) = 1$$

ใส่ค่าเบื้องต้น จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{s^2 + 10s + 20} \quad (2.41)$$

จากโจทย์ให้หาค่า K_p , K_D , K_I

ขั้นตอนของผลตอบสนองในแบบดูปเปิด



รูปที่ 2.12 Open-Loop Step

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

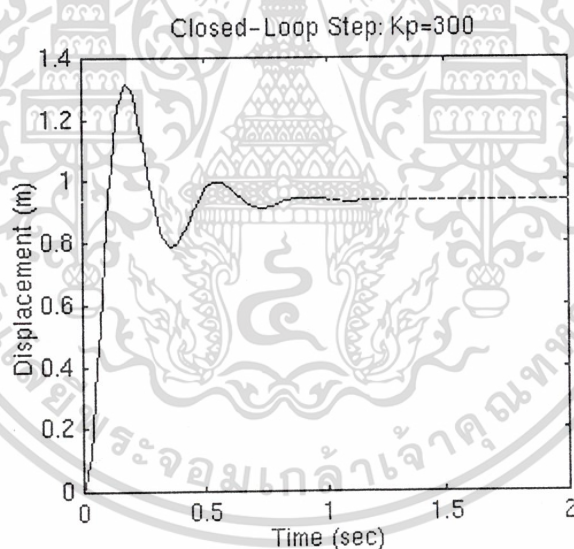
ค่า Dc Gain จะควบคุมฟังก์ชันถ่ายโอน คือ $1/20$ ดังนั้นที่ค่า 0.05 ให้หาค่าทางด้านเอาต์พุต โดยที่มีอินพุตเป็นแบบ Unit Step โดยให้สอดคล้องกับค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่คือ 0.95

นอกจากนี้ค่า Rise Time ประมาณ 1 Second และค่า Setting Time ประมาณ 1.5 Seconds ให้ออกแบบระบบควบคุมที่ทำการลดค่า Rise Time, ลดค่า Setting Time และขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่

ระบบควบคุมแบบ พี

จากตารางที่ 2.1 ที่แสดงไว้สามารถทำให้เห็นระบบควบคุมแบบ พี ว่า K_p นี้จะลดค่า RiseTime, เพิ่ม Over Shoot และลดความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ระบบควบคุมแบบ พี จะมีฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลูปปิดดังนี้

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_p}{s^2 + 10s + (20 + K_p)} \quad (2-42)$$



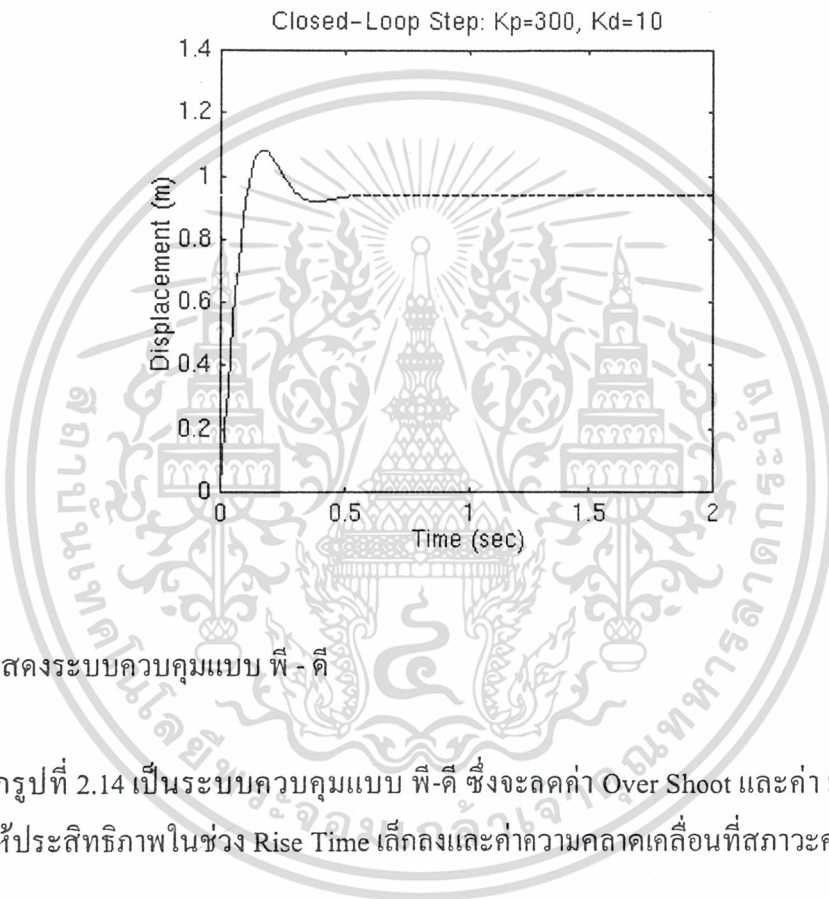
รูปที่ 2.13 แสดงระบบควบคุมแบบ พี

จากรูปที่ 2.13 แสดงถึงระบบควบคุมแบบ พี ซึ่งได้ลดค่า RiseTime และค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ และเพิ่ม Over Shoot และทำให้ค่า Setting Time มีค่าลดลง

ระบบควบคุมแบบ พี - ดี

ตอนนี้จะสนใจระบบควบคุมแบบ พีดีจากรายที่ 2.1 สามารถพิจารณาระบบควบคุมแบบ พี ค่า K_D จะลดค่า Over Shoot และค่า Setting Time ในระบบควบคุมแบบ พี-ดีจะมีฟังก์ชันถ่ายโอนแบบรูปปิดได้ดังนี้

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_D s + K_P}{s^2 + (10 + K_D)s + (20 + K_P)} \quad (2.43)$$



รูปที่ 2.14 แสดงระบบควบคุมแบบ พี - ดี

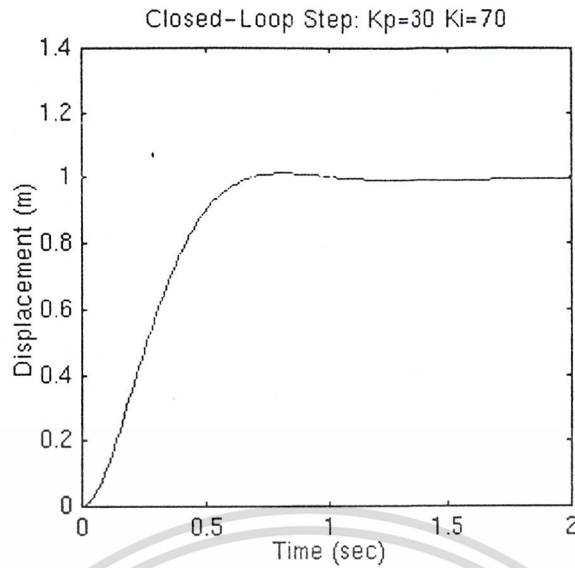
จากรูปที่ 2.14 เป็นระบบควบคุมแบบ พี-ดี ซึ่งจะลดค่า Over Shoot และค่า Setting Time และจะทำให้ประสิทธิภาพในช่วง Rise Time ได้ตกลงและค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ได้อีก

ระบบควบคุมแบบ พี - ไอ

ก่อนหน้านี้จะสนใจระบบควบคุมแบบ พีไอในส่วนนี้จะสนใจระบบควบคุม พี-ไอจากรายที่ 2.1 สามารถพิจารณาระบบควบคุม ไอ ค่า K_i จะทำให้ลดค่า Rise Time จะเพิ่มค่า Over Shoot และค่า Setting Time และจะขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ที่จะแสดงระบบให้เห็นระบบควบคุมแบบ พี-ไอจะมีฟังก์ชันถ่ายโอนแบบรูปปิดไว้ดังนี้

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_p s + K_i}{s^3 + 10s^2 + (20 + K_p)s + K_i} \quad (2.44)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



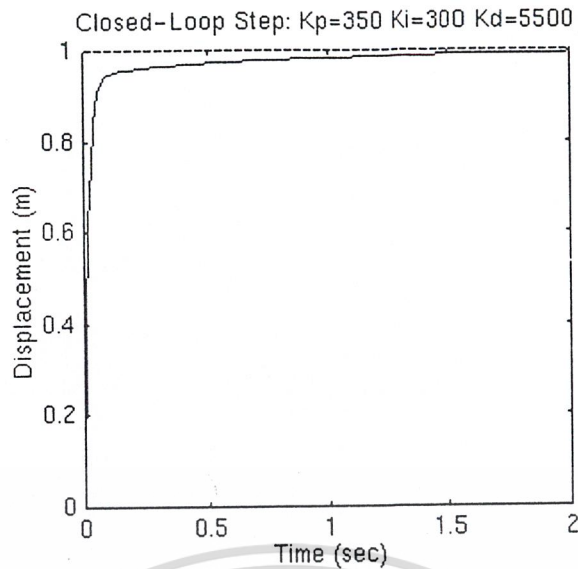
รูปที่ 2.15 แสดงระบบควบคุมแบบ พี - ไอ

การที่ลดค่า K_p เพราะว่าเป็นระบบควบคุมแบบ ไอ จะลดค่า Rise Time และเพิ่ม Over Shoot ซึ่งจะเหมือนกับระบบควบคุมแบบ พี ผลตอบสนองที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.15 โดยระบบควบคุมแบบ ไอ จะขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่

ระบบควบคุมแบบ พีไอดี

ตอนนี้จะสนใจระบบควบคุมแบบ พีไอดี ซึ่งจะมีฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลููปปิดไว้ดังนี้

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_I}{s^3 + (10 + K_D) s^2 + (20 + K_p) s + K_I} \quad (2.45)$$



รูปที่ 2.16 แสดงระบบควบคุมแบบ พีไอดี

หลักทั่วไปในการออกแบบระบบควบคุม พีไอดี

ในการออกแบบระบบควบคุมพีไอดีจะพิจารณาตามขั้นตอนข้างล่างซึ่งได้รับผลตอบสนองตามที่ต้องการ

- 1) รับผลตอบสนองในรูปเปิดและตัดสินใจว่าต้องการปรับปรุงแก้ไขอะไร
- 2) เพิ่มระบบควบคุม พี เพื่อไปปรับปรุงแก้ไขค่า Rise Time
- 3) เพิ่มระบบควบคุม ดี เพื่อไปปรับปรุงแก้ไขค่า Over Shoot
- 4) เพิ่มระบบควบคุม ไอ เพื่อไปจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่
- 5) ปรับค่าแต่ละค่า คือค่า K_p , K_i และ K_d จนกระทั่งรับผลตอบสนองทั้งหมดท่าน

สามารถอ้างอิงในตารางที่ 2.1 เพื่อนำไปหากระบวนการควบคุม, ระบบควบคุม, และหาสมการคุณลักษณะได้

2.6 การปรับค่าของตัวควบคุม พีไอดี

การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี เป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อให้ได้การควบคุมที่ดีที่สุดซึ่งทำได้หลายวิธี บางวิธีจะพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบและอาศัยประสบการณ์ บางวิธีจะอาศัยคณิตศาสตร์ และส่วนใหญ่จะพิจารณาจากเงื่อนไข ในโดเมนเวลามากกว่าในโดเมนความถี่พิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบพีไอดี ดังนี้

$$G_C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.46)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ K = Proportional Gain

T_i = Integral Time

T_d = Derivative Time

เมื่อ $e(t)$ และ $u(t)$ คืออินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุม จะได้ว่า

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_{-\infty}^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2.47)$$

นอกจากนี้ ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบ พีไอดี อาจจะเขียนในรูปของ

$$G_C s = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (2.48)$$

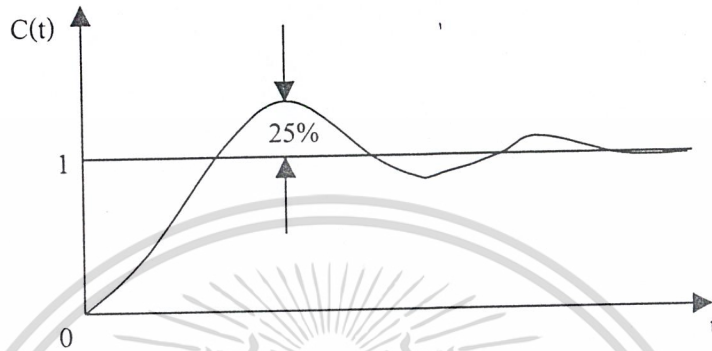
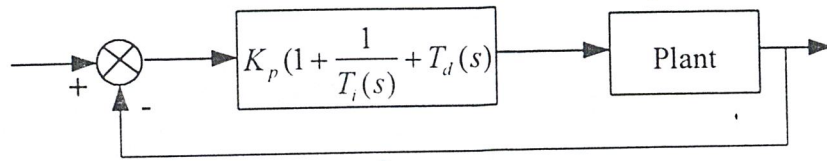
โดยที่ K_p = Proportional Gain

K_i = Integral Gain

K_d = Derivative Gain

2.6.1 การปรับค่าของตัวควบคุม พีไอดี โดยวิธีของ Ziegler-Nichols

วิธีของ Ziegler-Nichols ในการหาค่า K_p , T_i และ T_d จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของผลตอบสนองชั่วคราวของระบบที่ถูกควบคุม ซึ่งมีอยู่ 2 วิธี แต่ละวิธีมีจุดมุ่งหมายที่จะทำให้ผลตอบสนองเวลาของระบบต่ออินพุตแบบ Unit Step มีค่าของ Maximum Over Shoot ไม่เกิน 25% ดังรูป



รูปที่ 2.17 ผลตอบสนองภายหลังการควบคุมด้วย พีไอดี โดยวิธีของ Ziegler-Nichols

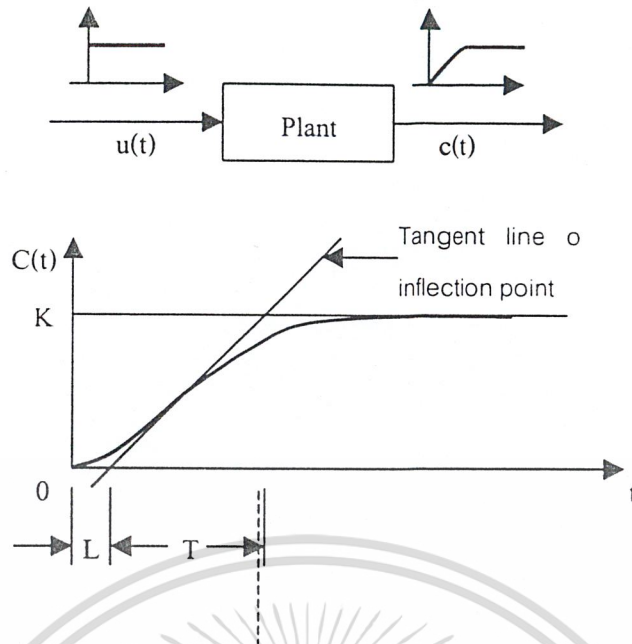
วิธีที่ 1 Process Reaction Curve

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี จากผลตอบสนองเวลาของระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุมต่ออินพุตแบบ Step โดยที่ระบบหรือกระบวนการในกรณีนี้จะไม่มี Pole ที่จุด Origin หรือไม่มี Dominant Complex Conjugate Poles และไม่มีตัวควบคุมต่อรวมอยู่ ดังนั้นผลตอบสนองเวลาจะเป็นรูปดังตัว S ดังในรูป (ถ้าผลตอบสนองเวลาไม่เป็นรูปตัว S วิธีนี้จะใช้ไม่ได้) ซึ่งสามารถจะแยกพิจารณาเป็นค่าคงที่ 2 ตัวคือค่าของ Delay Time L และเวลาคงที่ T (Time-Constant) จากนั้นให้ลากเส้นสัมผัสกับจุดที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด เส้นนี้จะตัดกับแกนเวลาและเส้นตรงของเอาท์พุท $c(t)$ ที่ $c(t) = K$

ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนจะประมาณได้ด้วยระบบอันดับหนึ่งที่มี Transport lag คือ

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} \quad (2.50)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การประมาณค่าแบบ Process Reaction Curve

Ziegler-Nichols ได้กำหนดค่าของ K_p , T_i และ T_d สำหรับตัวควบคุมแบบต่างๆ ดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบ พี

$$K_p = T / L$$

2. ตัวควบคุมแบบ พี - ไอ

$$K_p = 0.9 T / L$$

$$T_i = L / 0.3$$

3. ตัวควบคุมแบบ พีไอดี

$$K_p = 1.2 T / L$$

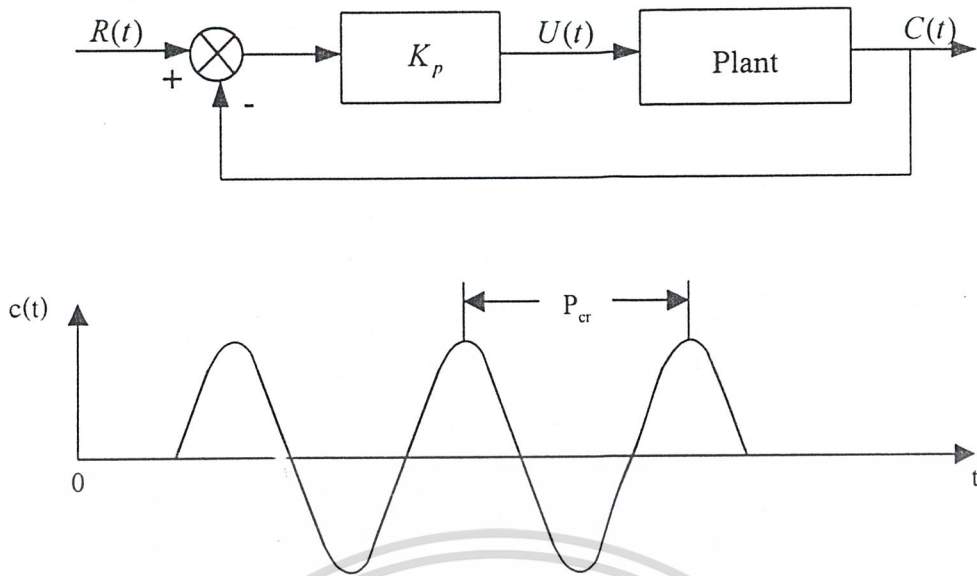
$$T_i = 2L$$

$$T_d = 0.5L$$

วิธีที่ 2 Ultimate Method

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีจากผลตอบสนองเวลาของระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพี ต่ออินพุตแบบ Unit Step โดยปรับค่าของ K_p ไปเรื่อยๆ จนผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Sustained Oscillations) จากนั้นหาค่าของ K_{cr} (Critical Gain) เป็นอัตราการขยายที่ทำให้ผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง P_{cr} (Oscillation Period) เป็นคาบเวลาของการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก/เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 วิธีการประมาณค่าแบบ Ultimate Method

Ziegler-Nichols ได้กำหนดค่าของ K_p , T_i และ T_d สำหรับตัวควบคุมแบบต่างๆ ดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบ พี

$$K_p = 0.5 K_{cr}$$

2. ตัวควบคุมแบบ พี-ไอ

$$K_p = 0.45 K_{cr}$$

$$T_i = P_{cr} / 1.2$$

3. ตัวควบคุมแบบ พี-ดี

$$K_p = 0.6 K_{cr}$$

$$T_d = 0.125 P_{cr}$$

4. ตัวควบคุมแบบ พีไอดี

$$K_p = 0.6 K_{cr}$$

$$T_i = 0.5 P_{cr}$$

$$T_d = 0.125 P_{cr}$$

2.6.2 การปรับค่าของตัวควบคุม พีไอดี โดยวิธี Damped Oscillation

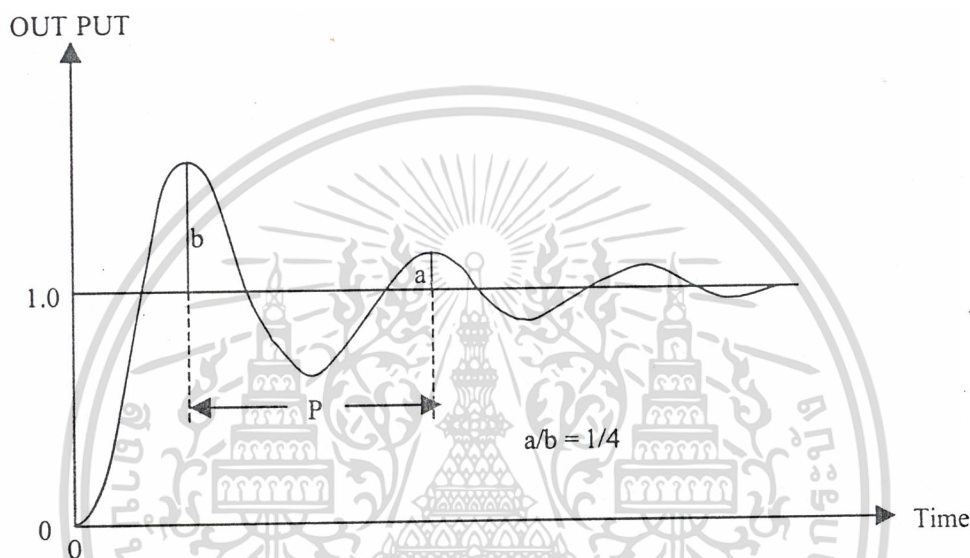
วิธีนี้ปรับปรุงมาจาก Ultimate Method โดย Harriott เพื่อใช้ในกรณีที่การปรับค่าของ K_p

ไปอย่างไรก็ตาม แต่ผลตอบสนองเวลาไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธี Damped Oscillation นี้จะปรับค่าของ K_p ไปจนผลตอบสนองเวลาของระบบควบคุมแบบลูปปิดมีอัตราการเสื่อม $1/4$ ดังรูป จากนั้นวัดค่าของ P และใช้ค่าของ $K_p (1/4)$ เพื่อคำนวณหาค่า K_p , T_i และ T_d ดังนี้

$$\begin{aligned} K_p &= K_p(1/4) \\ T_i &= P/1.5 \\ T_d &= P/6 \end{aligned}$$



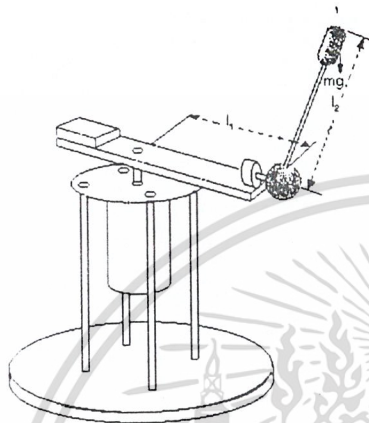
รูปที่ 2.20 การประมาณค่าโดยวิธี Damped Oscillation

จะต้องระลึกอยู่เสมอว่า การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของ พีไอดี โดยวิธีของ Ziegler-Nichols นั้น ไม่ใช่เป็นค่าที่เที่ยงตรงที่จะนำไปใช้งานได้ทันที และมี Maximum Overshoot 25% ตามที่กล่าวไว้ แต่จะเป็นเพียงค่าที่ใกล้เคียงเท่านั้น ผู้ควบคุมจะต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์เหล่านี้แบบละเอียด (Fine Tuning) อีกครั้งหนึ่ง

บทที่ 3

การออกแบบ Hard Ware

3.1 โครงสร้างของ Pendulum



L1: ความยาวของแขนขั้ว

L2: ความยาวของก้านลูกตุ้ม

M: มวลของแขนขั้ว

m: มวลของก้านลูกตุ้ม

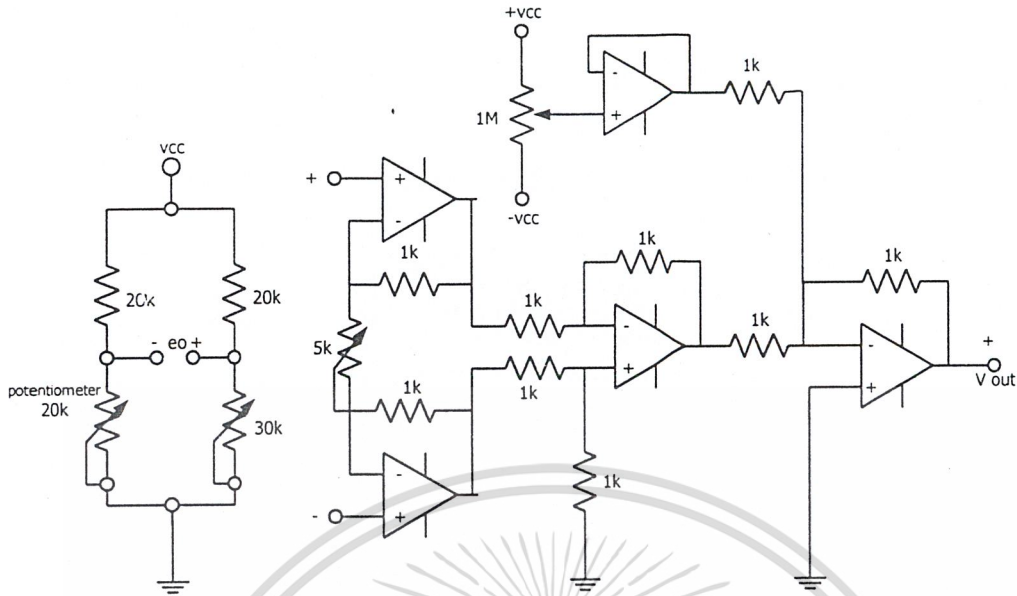
รูปที่ 3.1 ขนาดของ Pendulum

จากรูปที่ 3.1 ขนาดของโครงสร้าง Pendulum มีขนาดดังนี้

L1	=	0.2m
L2	=	0.18m
M	=	0.096 kg
m	=	0.012kg

3.2 ชุดอ่านค่าตำแหน่งจากก้านลูกตุ้ม

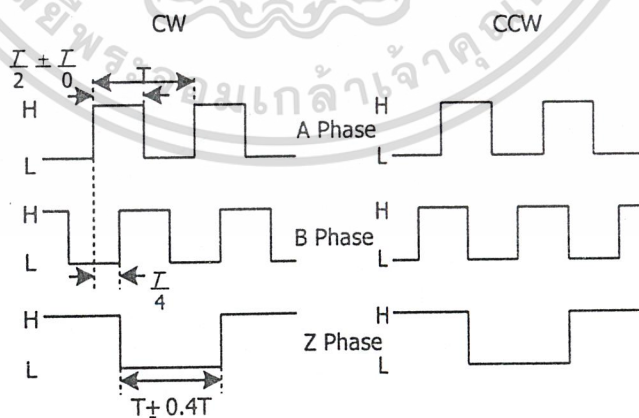
ใช้ตัวต้านทานชนิด Potentiometer เป็นตัวรับค่าตำแหน่งจากก้านลูกตุ้ม โดยใช้หลักการของวงจร Balance Bridge ในการผลิตแรงดันอ้างอิง โดยอาศัยการเปลี่ยนค่าของตัวต้านทานแบบ Potentiometer และวงจร Instrument Amplifier เพื่อทำการขยายสัญญาณอ้างอิงนั้น แล้วปรับ Span และ Zero ให้เป็นแรงดัน 0 – 5 โวลต์ใช้เป็นตัวส่งสัญญาณแรงดันไปยัง การ์ดอินเตอร์เฟส วงจรแสดงดัง รูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรบริดจ์สมมูลและอินสตรูเมนต์แอมป์

3.3 ชุดอ่านค่าตำแหน่งของมอเตอร์

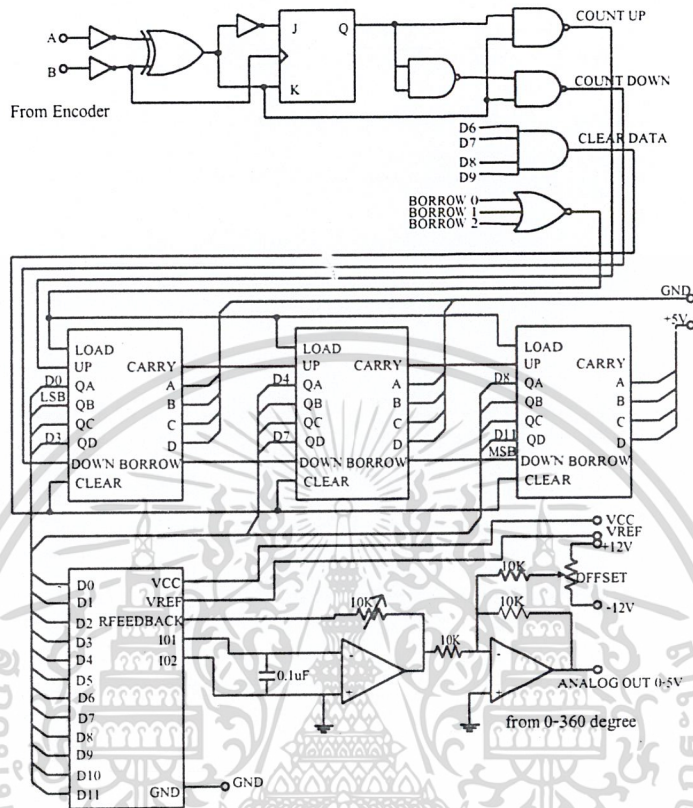
ในการอ่านค่าตำแหน่งของมอเตอร์นั้นไม่ว่าจะเป็น มุมที่เปลี่ยนไป ความเร็ว ทิศทาง และจำนวนรอบนั้นจำเป็นต้องอาศัย ตัว เอนโค้ดเดอร์ ที่ติดมากับตัวมอเตอร์ โดยเอาที่พุทที่ได้จะเป็นพัลส์ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 เฟส จะใช้เป็นตัวบอกทิศทาง และตำแหน่งของมอเตอร์ ซึ่งจะแสดงเป็นไคอะแกรมเวลา เทียบกันระหว่างเฟสทั้งสองเฟสดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ผังเวลาของตัวเอนโค้ดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากไคอะแกรมเวลา เราสามารถจะนำเอาสัญญาณที่ได้จากเฟสทั้งสองมาทำการเปรียบเทียบกัน แล้วใช้วงจรถ่ายโอน ทำการนับพัลส์ที่ได้จากเอนโค้ดเดอร์ จากนั้นก็ทำการนำมาผ่านวงจร Digital to Analog Converter เพื่อจะได้เป็นค่าแรงดัน 0 – 5 โวลต์

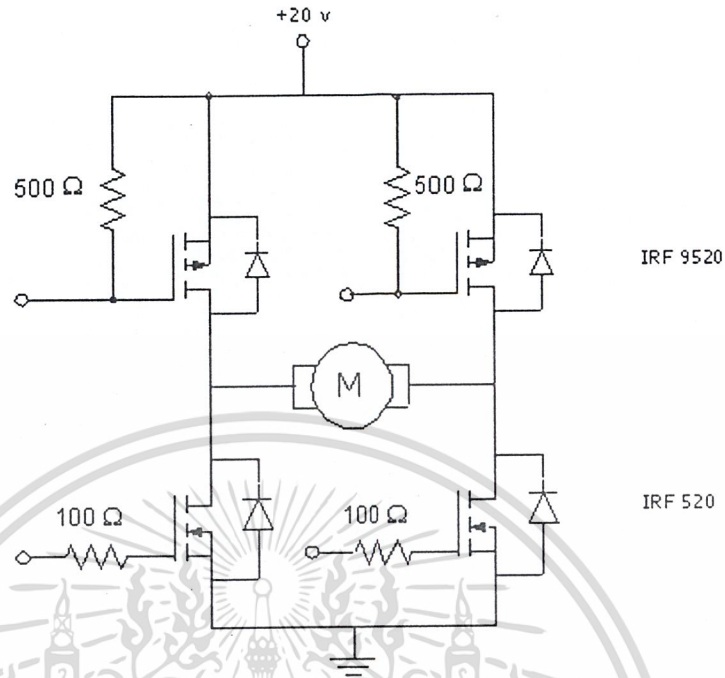


รูปที่ 3.4 วงจรวัดตำแหน่งเอนโค้ดเดอร์

3.4 ภาคขับมอเตอร์

ใช้วงจรถ่ายโอนแบบ H-Bridge โดยใช้ มอสเฟต 4 ตัว เพื่อสามารถจะควบคุม มอเตอร์ ได้ 2 ทิศทาง มอสเฟตใช้เป็นคู่ Match IRF520 N-Chanal และ IRF9520 P-Chanal ซึ่งสามารถทนแรงดันได้ $V_{DS} = + 100 \text{ V}$ และกระแส $I_{DSS} = 8 \text{ A}$ แรงดันที่จ่ายเป็น 20 Volt เพื่อจ่ายต่อการคำนวณ เพราะเนื่องจากเป็นขนาดแรงดันที่ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ เป็น 3000 rpm การใช้มอสเฟต ในการขับมอเตอร์ นั้นมีข้อดีกว่า ใช้ทรานซิสเตอร์คือ แรงดันตกคร่อมขาทรานซิสเตอร์น้อยมาก ทำให้เกิดกำลังสูญเสียน้อยกว่าและสามารถสวิทซ์ที่ความถี่สูงๆ ได้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับทรานซิสเตอร์แล้ว การสวิทซ์ที่ความถี่สูงแล้วจะทำให้เกิดกำลังสูญเสียที่รอยต่อคอลเล็กเตอร์กับอีมิเตอร์ มากกว่า

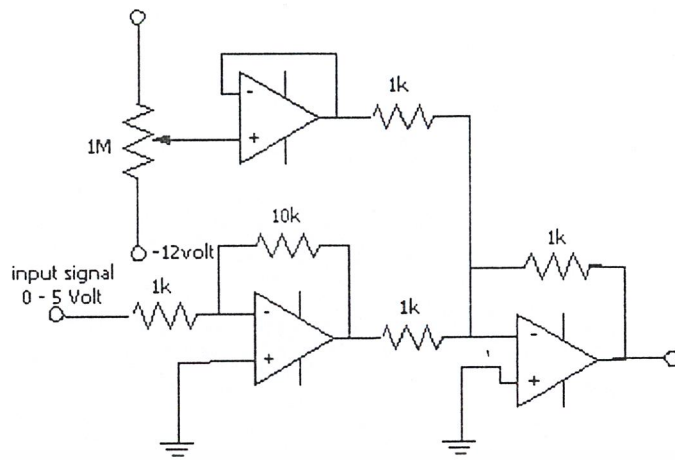
ทรานซิสเตอร์แล้ว การสวิตช์ที่ความถี่สูงแล้วจะทำให้เกิดกำลังสูญเสียที่รอยต่อคอลเล็กเตอร์กับ อิมิตเตอร์ มากกว่า



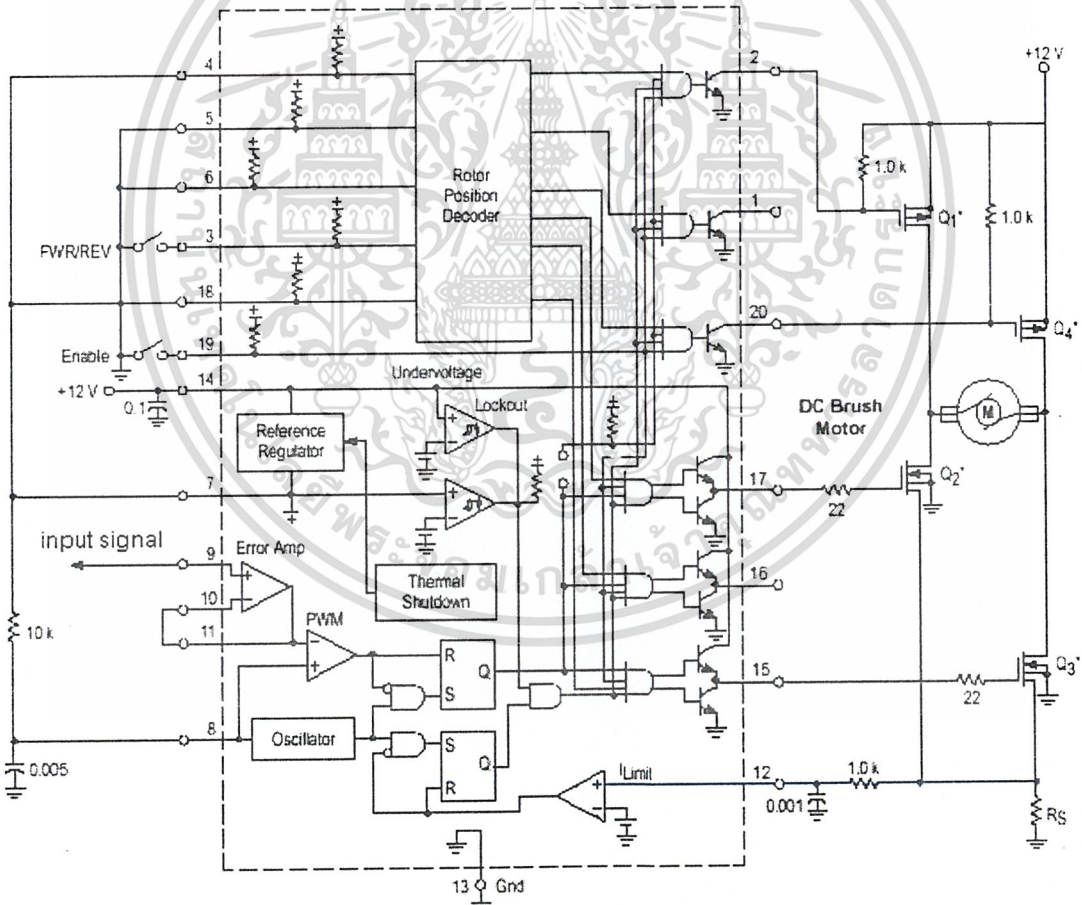
รูปที่ 3.5 วงจรขับมอเตอร์แบบ H-Bridge

3.5 ชุดควบคุมความเร็วแบบ PULSE WIDTH MODULATION

ใช้หลักการควบคุมความเร็วโดยใช้สัญญาณ PWM ชุดกำเนิดสัญญาณ PWM นั้นได้มาจาก ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ MC 33033 โดยตัวมันเป็นชนิด Brush Less DC Motor Controller แต่เราสามารถ จัดให้ ไอซีสร้างสัญญาณ PWM โดยสามารถใช้กับมอเตอร์กระแสตรงที่มีแปร่งถ่านได้ โดยทำการ จัดวงจรใช้งานดังรูปที่ 3.7 และจาก สัญญาณอินพุตที่ขา 9 จะเป็นแรงดันเพื่อควบคุมความเร็วของ มอเตอร์ซึ่งจากสัญญาณคาบเวลาของ PWM 0-100 % ได้แรงดันอินพุต เป็น 1.4-3.5 V ดังนั้นจำเป็น จะต้องมีชุดปรับปรุงสัญญาณ เพื่อให้สามารถ ส่งควบคุมมาจาก Card Interface โดยค่าที่ต้องการ เป็น 0-5 V ได้สัญญาณ PWM 0-100 % ดังนั้นภาคขยายและ ปรับออฟเซ็ท จึงจัดวงจรได้เป็นดังรูป ที่ 3.6 ดังนี้



รูปที่ 3.6 Signal conditioner



รูปที่ 3-7 H-Bridge Brush-Type Controller ด้วย MC33033

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ส่วนอินเตอร์เฟส

PC- LabCard PCL – 818

PCL – 818 เป็น การ์ดที่มีคุณภาพสูงและมีความเร็วสูงใช้งานได้หลากหลาย (Multi-Function) อีกทั้งมี ภาคขยายที่สามารถ เขียนโปรแกรมได้จากคอมพิวเตอร์ทำให้ สามารถใช้งาน ได้กว้าง และหลากหลาย สามารถประยุกต์ได้ในหลายงาน เช่น งานอุตสาหกรรม,งานในห้อง Lab.Process Control Automatic Testing และ Factory Automation ฯลฯ

การใช้งาน การ์ด Product specification (เฉพาะที่ได้ใช้งาน)

Analog input (A/D converter)

- Channels : 16 single- ended or 8 differential ,switch selectable.
- resolution : 12 bits.
- Input range : Unipolar : +10V,+5V,+2V,+1V.
: Bipolar : +/-10V,+/-5V,+/-2.5V,+/-1V ,+/-0.5V
- Conversion speed : 100KHz max.
- Accuracy : +/- (0.01% of reading)+/- 1 bit.
- Linearity : +/- 1bit.

Analog output (D/A Converter)

- Channel : 2 channels.
- Resolution : 12 bits.
- Output Range : 0 to +5 (+10 V) with on-board –5 (-10V) reference.
Max . +10V or –10V with external DC or AC reference.
- Conversion type : 12 bit monolithic multiplying .
- Linearity : +/-0.5 bit.
- Output drive : +/-5mA max.
- Settling time : 5 microseconds.

Digital Input

- Channel : 16 bits.
- Level : TTL compatible
- Input voltage : Low ----- 0.8V max.
High ----- 2.0V min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Input load : Low ----- 0.4 mA max. at 0.5 V.
High----- 0.05mA max. at 2.7 V.

Digital Output

- Channel : 16 bits.
- Level : TTL compatible
- Output voltage : Low ----- Sink 8 mA at 0.5 V max.
High ----- Source -0.4 mA at 2.4 V min.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการทดลอง ของโครงการนี้ได้นำเอาฮาร์ดแวร์ที่ได้จากการออกแบบในบทที่ 3 นำมาทำการทดลอง เพื่อหาเงื่อนไขในการทำงาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด และทำโดยการทดลองได้แยกเป็น

1. ชุดฮาร์ดแวร์

- วงจรตรวจจับตำแหน่ง
- Motor Drive & Speed Control

2. ชุดการ์ดอินเตอร์เฟต

3. ส่วนการควบคุม

4. การหาทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของระบบควบคุม

4.1 ชุดฮาร์ดแวร์

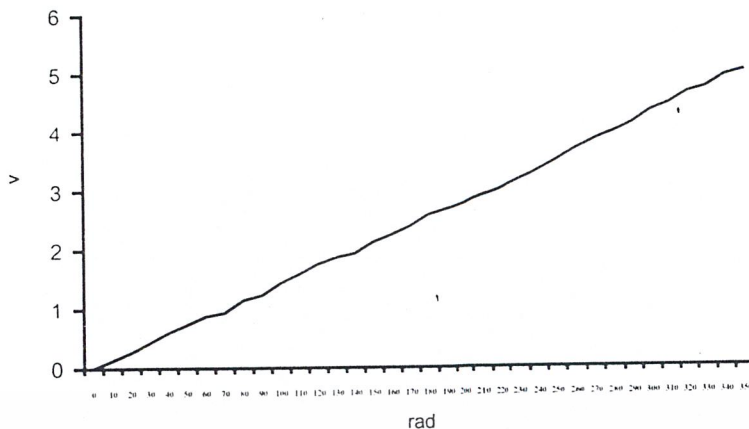
4.1.1 วงจรตรวจเช็คตำแหน่ง

ในตัวโครงการนี้ ได้ทำการออกแบบตัวตรวจเช็คไว้เพื่อทำการอ่านค่าตำแหน่งขององศาที่เปลี่ยนไป ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 ตัวได้แก่

- วงจรตรวจเช็คตำแหน่งของมอเตอร์ : Zeta 1
- วงจรตรวจเช็คตำแหน่งของเพนคูลิ้ม : Zeta 2

วงจรถวายเช็คตำแหน่งของมอเตอร์

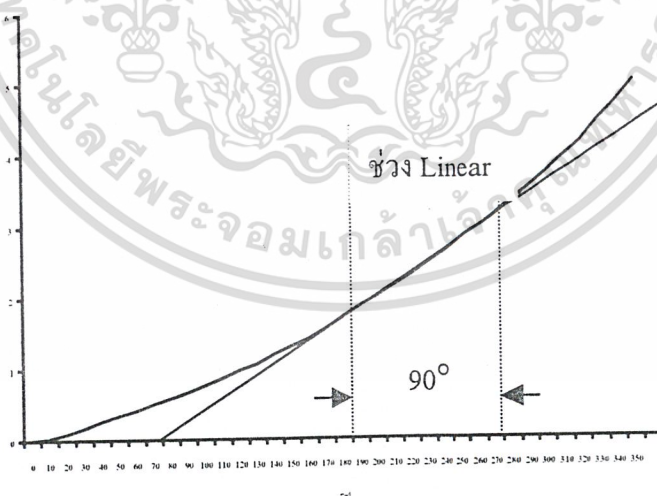
จากการออกแบบ เราจะทำการออกแบบให้เปลี่ยนองศาที่เปลี่ยนไป ให้ไปเป็นแรงดันคือ 0-360 องศา ออกเป็นแรงดัน 0-5 โวลท์ โดยเราทดลองโดยการทำการพล็อตกราฟ องศาเทียบกับแรงดัน เนื่องจากใช้เอนโค้ดเดอร์ เป็นอุปกรณ์ในการตรวจจับ ทำให้แรงดันที่ออกมาเทียบกับองศาที่เปลี่ยนไปเป็น ลิเนียร์ ดีมากจะได้ผลการทดลองเป็นดังนี้



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบระหว่างแรงดันกับองศาของแขนมอเตอร์

วงจรตรวจเช็คตำแหน่งของเพนดูลัม

จากการทดลองที่แล้ว จะเห็นได้ว่า การได้เอนโค้ดเดอร์ในการอ่านค่าตำแหน่งนั้น จะมีความเป็นลิเนียร์ค่อนข้างสูง แต่เนื่องจากตรงจุดนี้ หากใช้เอนโค้ดเดอร์ จะทำให้ต้นทุนการทำให้ราคาสูงขึ้น ดังนั้นจึงใช้ ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (Potentiometer) ซึ่งค่าความต้านทานต่อตำแหน่งที่เปลี่ยนไปนั้น ค่อนข้างไม่เป็นลิเนียร์ ซึ่งจากการทดลองที่เงื่อนไข $0-360 = 0-5$ v เราจะได้กราฟความสัมพันธ์ขององศาเทียบกับแรงดันเป็นดังนี้



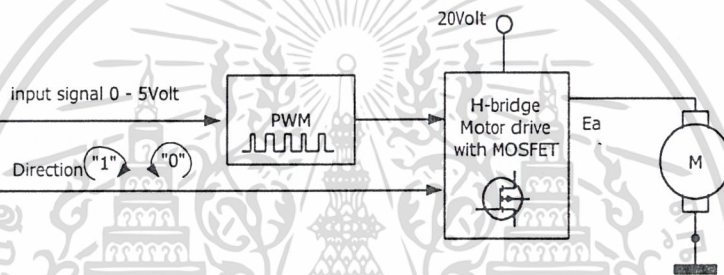
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบแรงดันกับองศาของก้านตุ้ม กับ Potentiometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่า ผลการทดลองเป็นไปตามที่คาดหมายไว้ ค่าที่ได้ไม่เป็น ลิเนียร์ดังนั้นในการอ่านค่าตำแหน่งจึงเกิดเฉพาะช่วงที่เป็น ลิเนียร์ และมีช่วง กว้างมากที่สุด ก็จะได้ ช่วงที่ทำการควบคุมประมาณ 90 องศาแต่สำหรับเงื่อนไขของการควบคุมที่กำหนดไว้เราจึงใช้ ช่วงในช่วง 45 องศาโดยนำ ช่วง ที่ใช้งาน 45 องศา มาเปลี่ยนเป็นแรงดัน 0-5 โวลต์ เพื่อใช้ในการควบคุมต่อไป

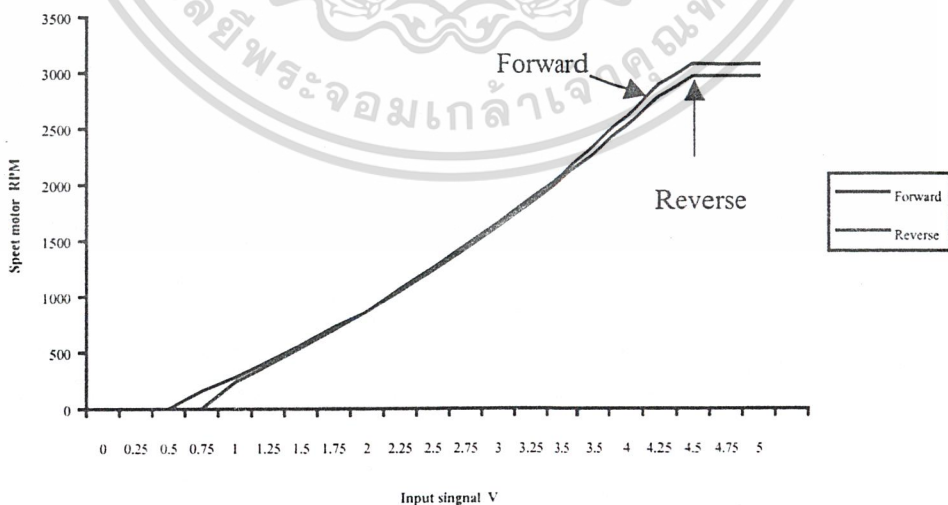
4.1.2 การขับมอเตอร์

จากเงื่อนไขของการออกแบบ จะให้ ช่วงของการควบคุม 0-3000 rpm โดยควบคุมด้วยแรงดัน 0-5 โวลต์ และ ควบคุมทิศทางด้วย สถานะ " 0 " กับ " 1 " โดยแรงดันที่ใช้ขับมอเตอร์ใช้แรงดันเท่ากับ 20 โวลต์ ซึ่งจะได้ช่วงเป็น 3000 rpm พอดี โดยจากการทดลองได้ทำไว้ 2 กรณี คือในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และ ตามเข็มนาฬิกา โคนเขียนเป็นไดอะแกรมไว้เพื่อต่อการทดลอง



รูปที่ 4.3 แสดงไดอะแกรมวงจรขับมอเตอร์

หลังการปรับแต่ง ตามเงื่อนไขต่างๆ แล้ว ทำการทดลองซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



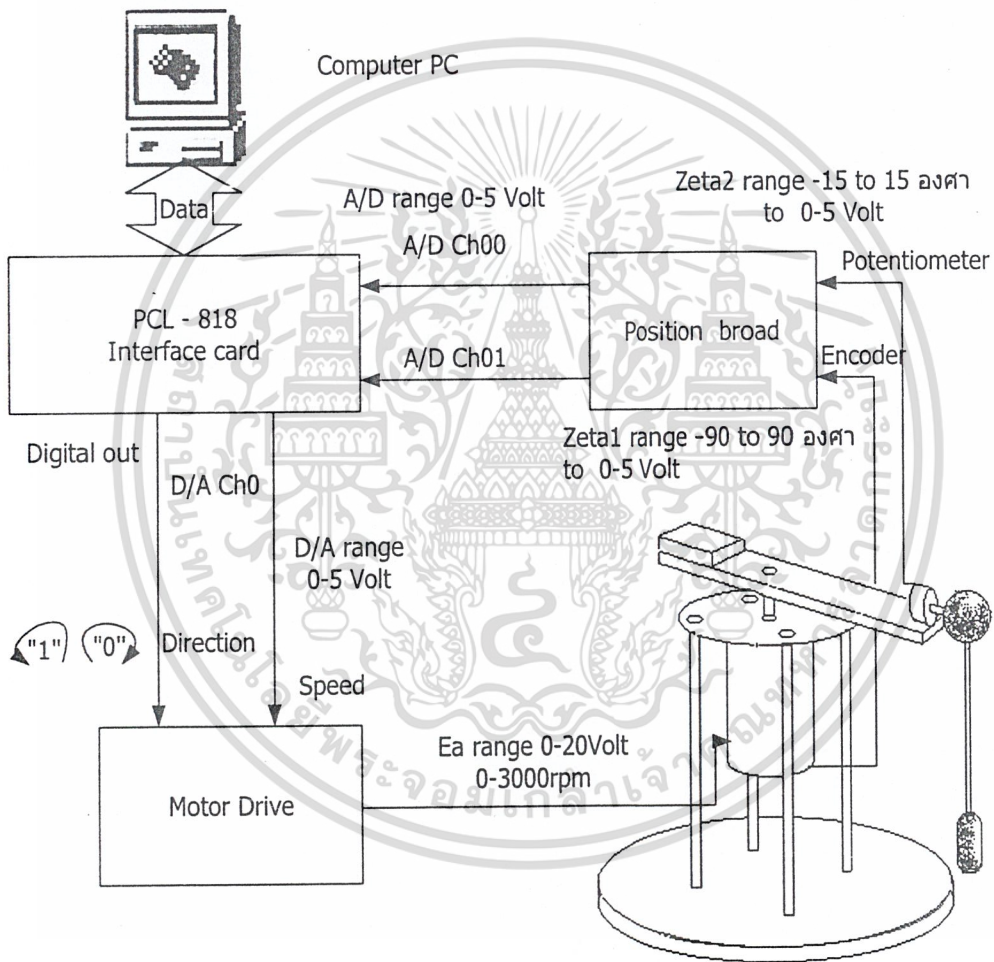
รูปที่ 4.4 ผลการทดลองของการขับมอเตอร์ทางด้านตามเข็มนาฬิกากับทวนเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง จะเห็นว่าช่วงของแต่ละทิศทางมันจะไม่เท่ากันทั้งนี้ก็เป็นเพราะคุณภาพของมอเตอร์ ที่ใช้นั่นเอง แต่ก็เห็นว่า มีค่าแตกต่างกันน้อยมาก

4.2 ชุดการ์ด อินเตอร์เฟส

การติดตั้ง ฮาร์ดแวร์กับ คอมพิวเตอร์ นั้น จึงจำเป็นต้องใช้ การ์ด D to A, A to D ซึ่ง คุณสมบัติได้กล่าว ไปแล้วในบทที่ 3 แล้ว โดยตัวการ์ด สามารถจะเลือก ช่วงของการควบคุมได้ โดยเงื่อนไขของ สัญญาณที่ใช้งาน แสดงไว้ดัง โดอะแกรม

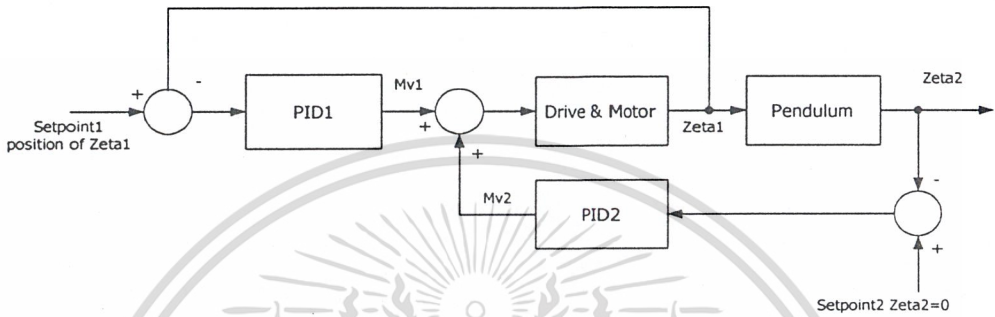


รูปที่ 4.5 แสดงการติดต่อระหว่างการ์ดกับฮาร์ดแวร์โดยแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์

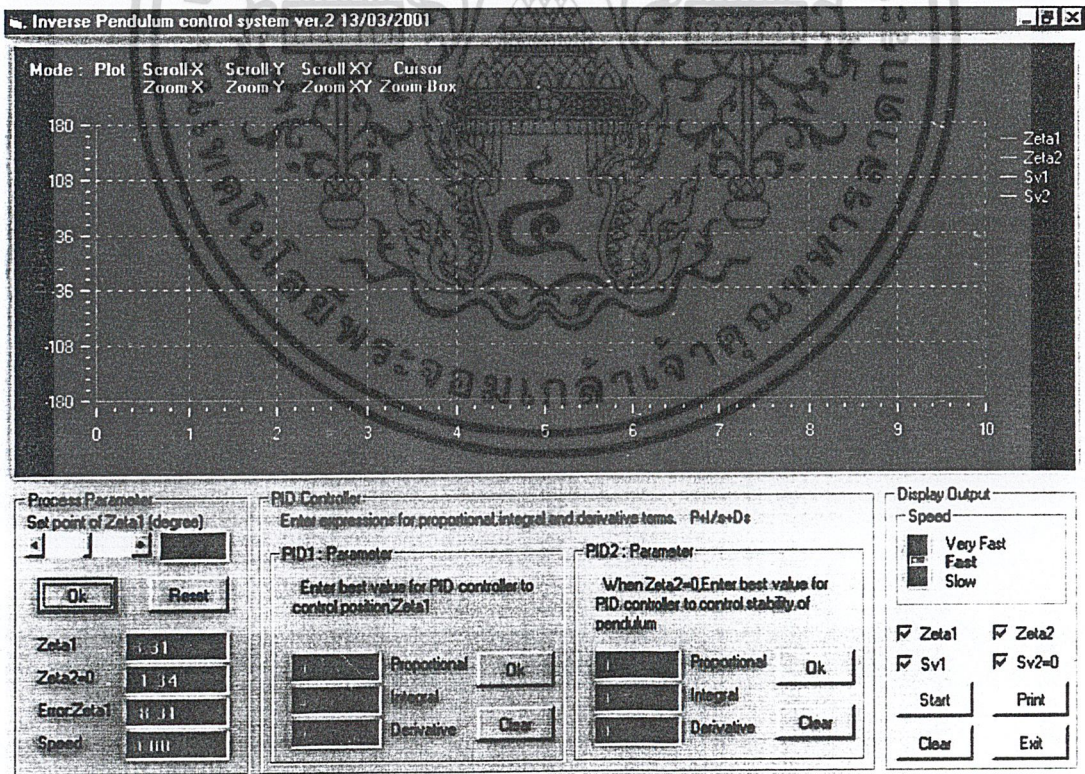
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 โปรแกรมการควบคุม

ใช้การเขียนโปรแกรม เพื่อทำการควบคุมระบบเพื่อให้มีเสถียรภาพ โดยเขียนโปรแกรมเป็นตัวควบคุมชนิด พีไอดีโดยลักษณะของบล็อกไดอะแกรมและหน้าตาของโปรแกรมระบบควบคุมมีลักษณะเป็นดังนี้



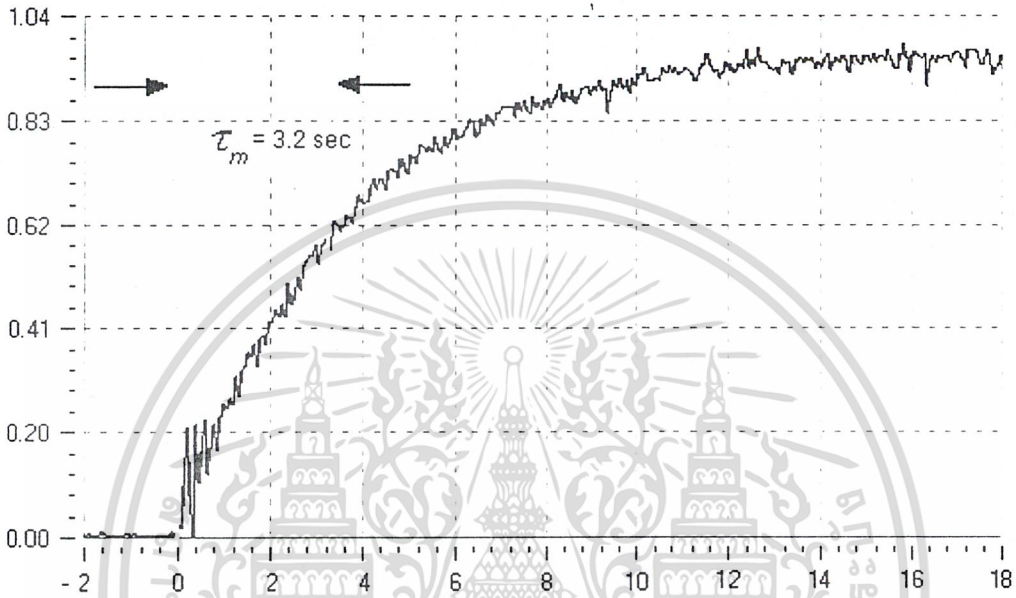
รูปที่ 4.6 บล็อกไดอะแกรมการควบคุม



เอกสารรูปที่ 4.7 โปรแกรมควบคุมวิซอลการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

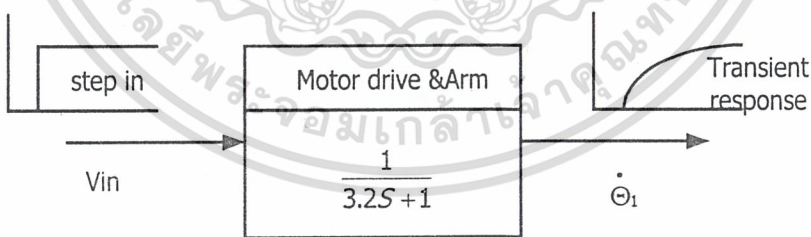
4.4 การหาทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของระบบ

การหาทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของระบบนั้นเรื่องจริงทำได้ยากเนื่องจากเครื่องมือและอุปกรณ์การวัดไม่เพียงพอ ดังนั้นการหา ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันจึงใช้การประมาณค่า โดยสมมุติ ให้ระบบเป็น First Order โดยการใส่ อินพุต แล้ววัดเป็นความเร็วออกมาทำการพล็อตกราฟและหาค่าเวลาคงที่ (Time Constant) ผลจากการวัดที่ได้ออกมานั้นแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.8 กราฟผลตอบสนองของการจับมอเตอร์และแกนจับ

จากการทดลองจะได้ค่าของทรานสเฟอ์ฟังก์ชันเป็นดังนี้



รูปที่ 4.9 ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของมอเตอร์และแกนจับ

จาก โมเดลทางคณิตศาสตร์ ของความสัมพันธ์ระหว่าง $\dot{\Theta}_1$ และ Θ_2 ทำการแทนค่าและทดลองประมาณค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าด้วยการใช้ แมทแกล์ป์จะ ได้ความสัมพันธ์โดยแสดงในรูปของ สเตจิสเปอร์ทดดังนี้

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{-mgl_2}{j - ml_2^2} & \frac{-b}{j - ml_2^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1.57 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

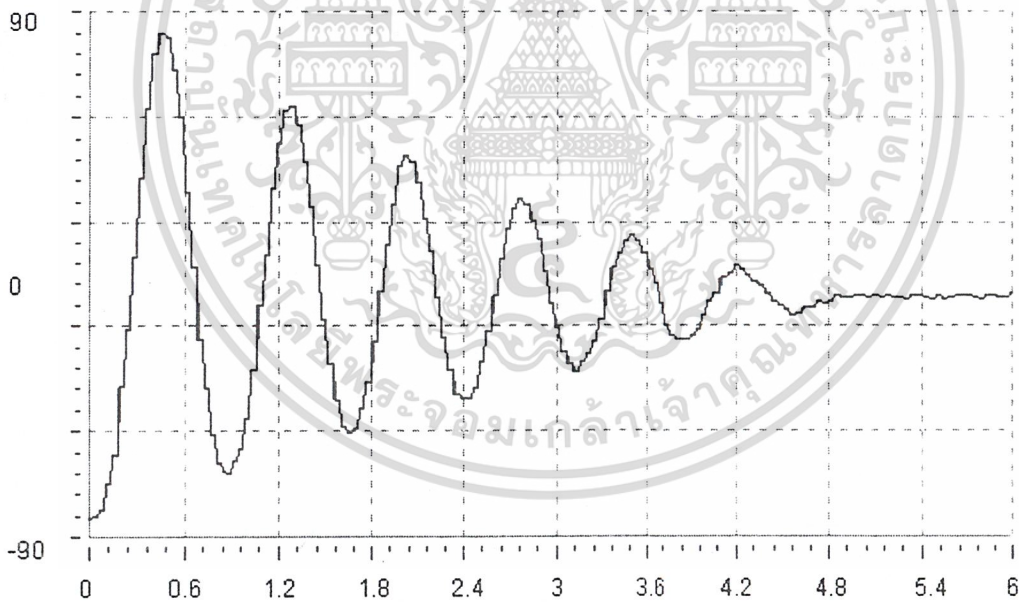
เมื่อให้ $x_1 = \theta_2$

$x_2 = \dot{\theta}_2$

$j = \text{moment of inertia}$

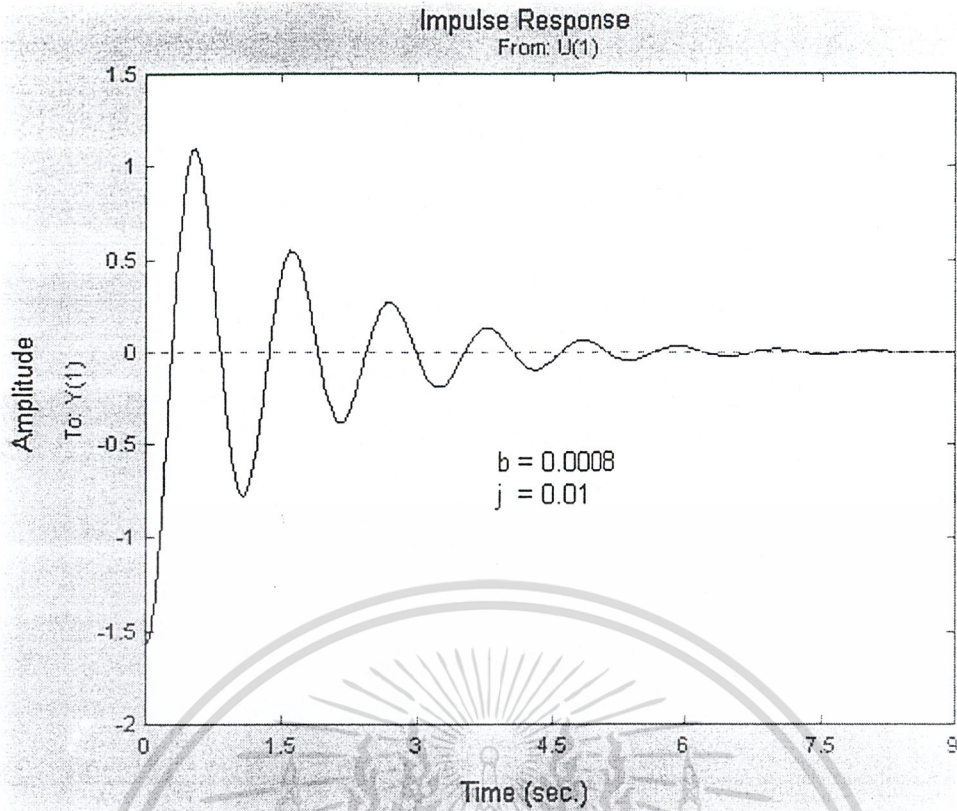
$b = \text{friction}$

เป็นสมการของการทดสอบโดยทำการขีดยกแขนขั้วอยู่กับที่แล้วจึงปล่อยลูกตุ้มที่มุม -90 องศา หรือ -1.57 เรเดียน ($\Theta_2 = -1.57 \text{ rad}$) ทดลอง โดยการสุ่มค่า j และ b โดยการใช้แมทแล็บ โดยทำให้กราฟใกล้เคียงค่าที่ทดลองผลที่ได้เป็น



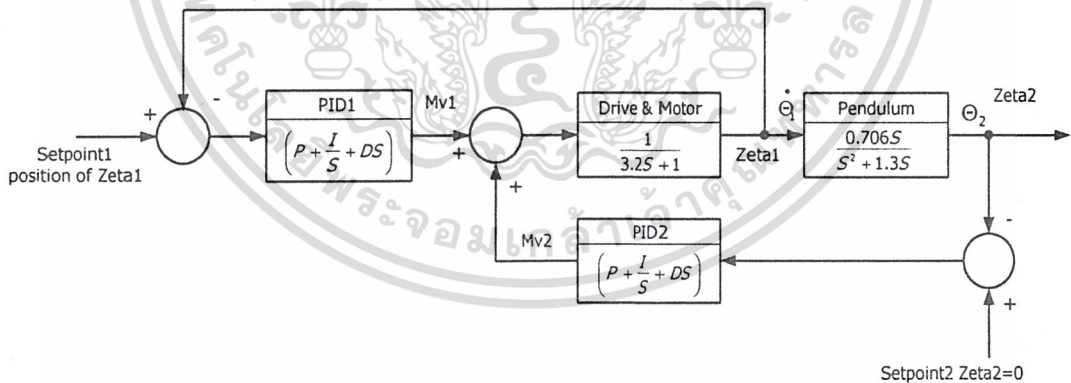
รูปที่ 4.10 ผลการทดลองปล่อยลูกตุ้มโดยอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 เลียนแบบกราฟโดยใช้ แมทแล็บเพื่อหาค่า j และ b

ดังนั้นทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของระบบควบคุมจึงเป็นดังนี้



รูปที่ 4.12 บล็อกไดอะแกรมที่จะนำไปใช้งาน

การปรับแต่งพารามิเตอร์ ของตัวควบคุม พีไอดี เพื่อทำการควบคุมระบบ

หลังจากการประมาณค่าของทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน ของระบบที่ทำการควบคุม ดังนั้นในการหาค่าพารามิเตอร์ ของตัวควบคุม จึงใช้วิธีการ Simulate โดย แมทแล็บ และ ใช้การประมาณจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

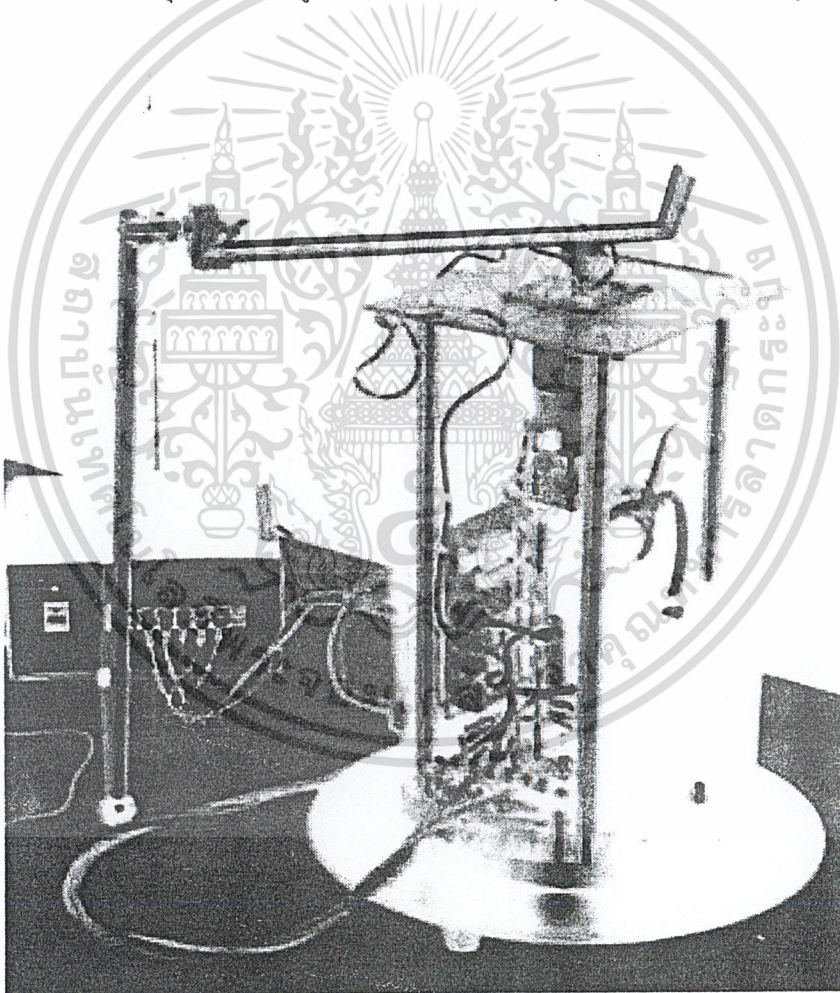
Transient Response และโดยอาศัยประสบการณ์และวิธีลองผิดลองถูก โดยในการทดลองได้แบ่งเป็น 3 กรณี ของการทดลองได้ดังนี้

- ควบคุมเฉพาะ Zeta 1
- ควบคุมเฉพาะ Zeta 2

4.5 ผลการทดลอง

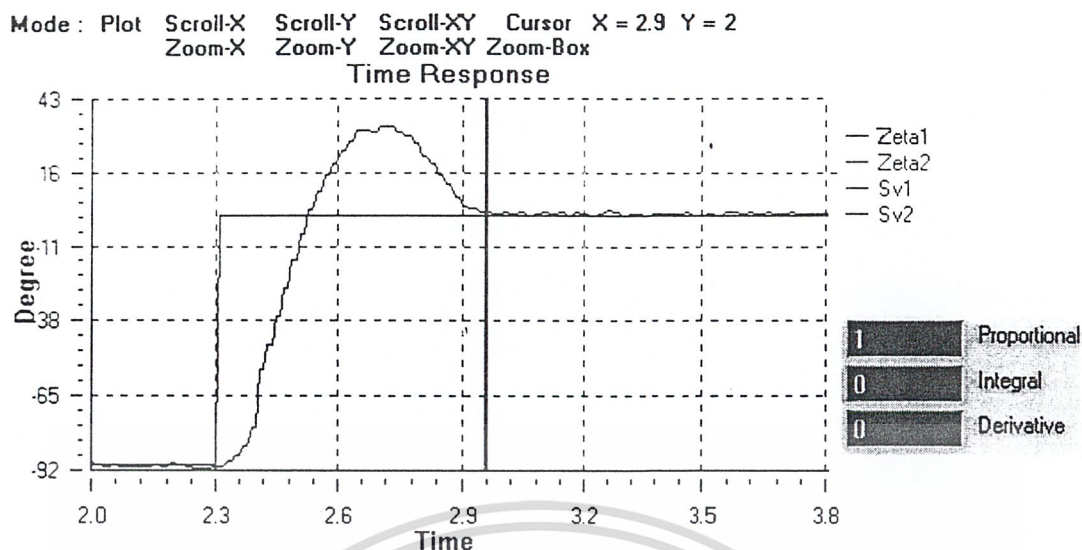
การควบคุมตำแหน่ง Zeta 1

จึงได้แสดงระบบจริงที่ได้สร้างขึ้นมา เพื่อทำการควบคุมให้ระบบมีความเสถียรภาพโดยรูปข้างล่างจะเป็นระบบควบคุมแบบเพนดูลัมขณะที่ทำการควบคุมตำแหน่ง Zeta 1 ดังรูปที่ 4.13



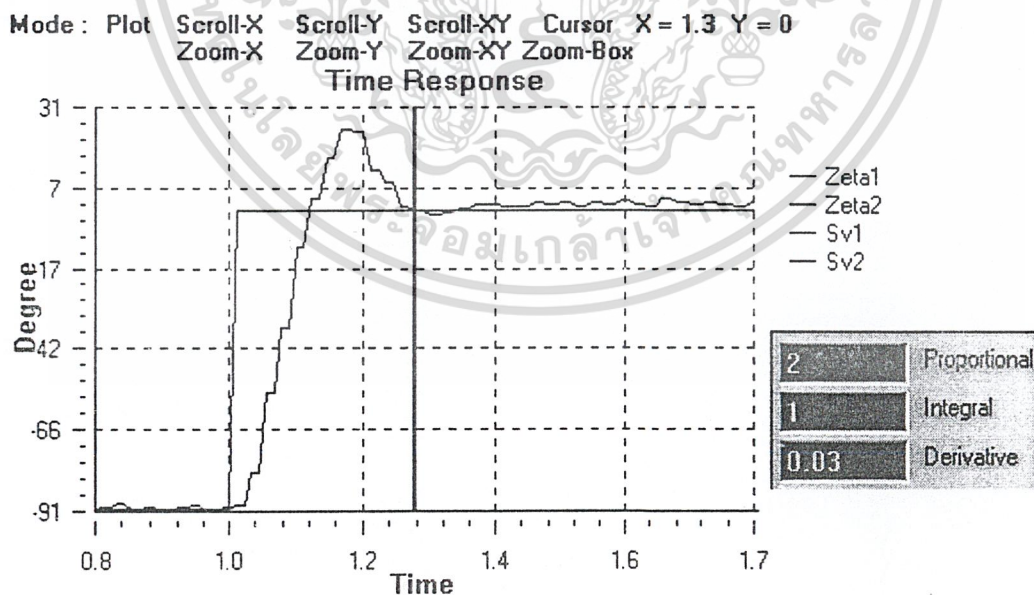
รูปที่ 4.13 แสดงระบบควบคุมแบบเพนดูลัม

จากการเปรียบเทียบกันระหว่างระบบที่มีการป้อนกลับแบบลบ(-) และไม่มีตัวควบคุมหรือเอกสาค่า Gain=1 ผลการตอบสนองมี Overshoot 35% และ Setting time 0.7 วินาที ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ผลตอบสนองของ Zeta1 ก่อนการควบคุม

หลังจากการทำกร เซ็พพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดีและ ผลตอบสนองของ Zeta 1 ภายหลังจากการควบคุมจะได้ Overshoot ลดลงเป็น 25%และ Setting Time ลดลงเป็น 0.3 วินาที จะเห็นว่าระบบมีผลตอบสนองที่เร็วขึ้น และแสดงว่าการควบคุมพีไอดี ที่ทำขึ้นมีความสามารถในการปรับปรุงระบบ

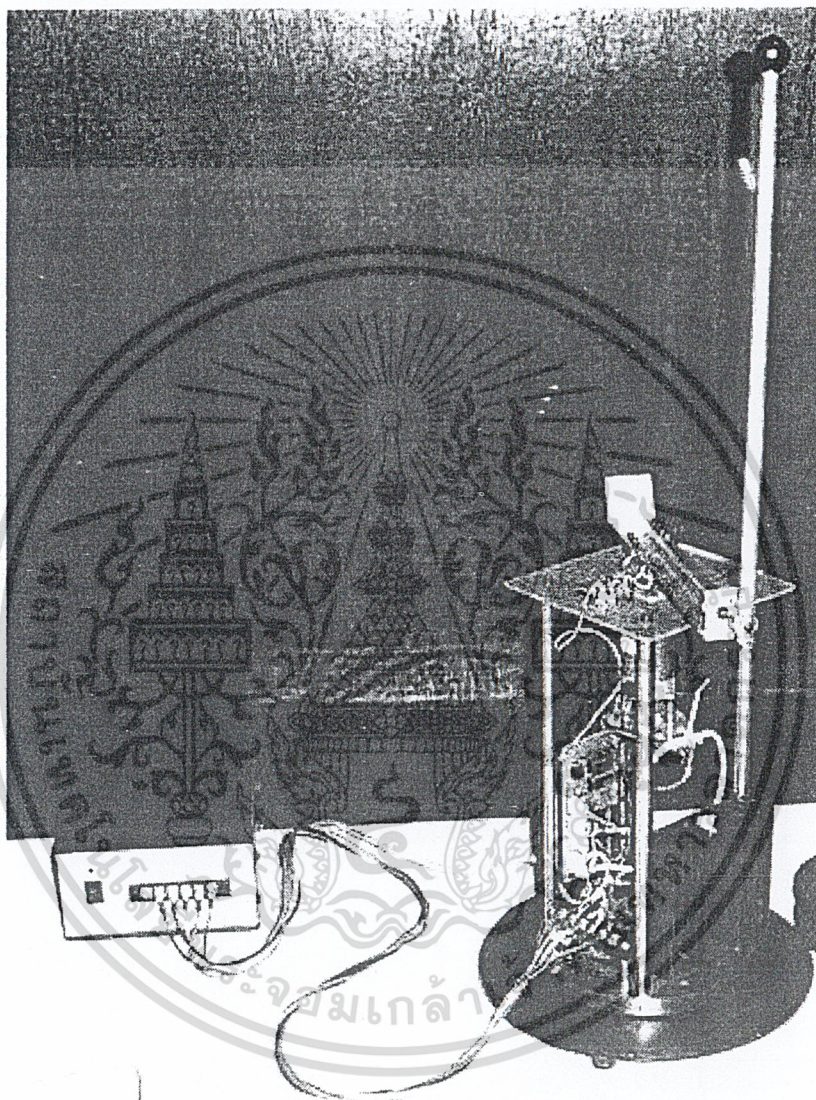


รูปที่ 4.15 ผลตอบสนองของ Zeta1 หลังการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมตำแหน่ง Zeta 2

จึงได้ แสดงระบบจริงที่ได้สร้างขึ้นมา เพื่อทำการควบคุมให้ระบบมีความเสถียรภาพโดยรูปข้างล่างจะเป็นระบบควบคุมแบบอินเวอร์ทเพนดูลัมขณะที่กำลังทำการควบคุมตำแหน่ง Zeta 2 ดังรูปที่ 4.16

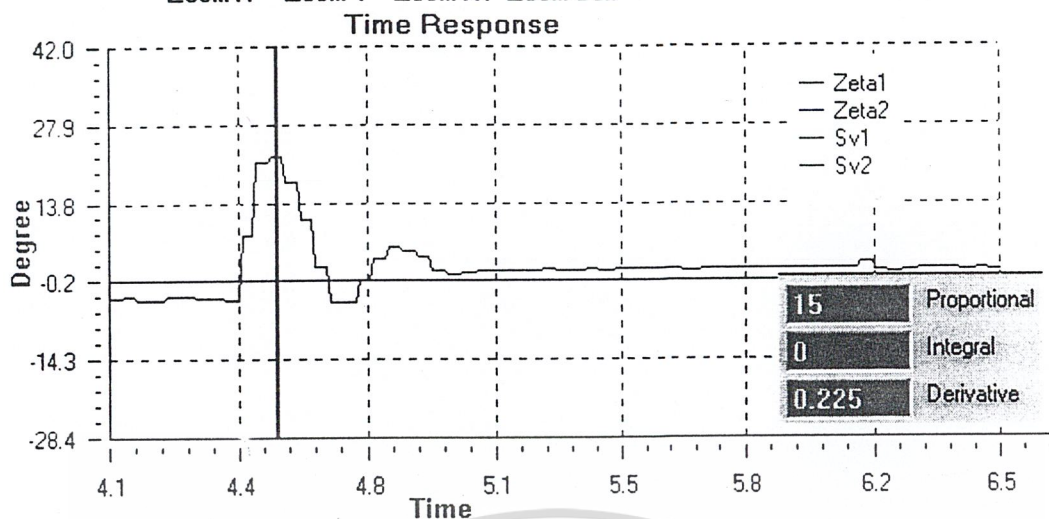


รูปที่ 4.16 แสดงระบบควบคุมแบบอินเวอร์ทเพนดูลัม

จากระบบที่ควบคุมเป็นการควบคุม ลูกตุ้มให้ตั้งขึ้นอยู่ตลอด ดังนั้น Zeta 2 จึงกำหนดค่า เซ็ทพอยท์ไว้ที่ 0 องศา จากนั้นก็ทำการทดลองใส่ค่าพารามิเตอร์ ของตัวควบคุมพีไอดี จนได้ค่าที่ดีที่สุด ซึ่งผลตอบสนองภายหลังการควบคุมเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode : Plot Scroll-X Scroll-Y Scroll-XY Cursor X = 4.5 Y = 22.1
Zoom-X Zoom-Y Zoom-XY Zoom-Box



รูปที่ 4.17 การควบคุมเสถียรภาพของ Zeta2

ทดลองโดยการใส่แรงผลักลูกตุ้ม ทำให้เกิดการแกว่งไปมา ซึ่งตัวควบคุมจะทำการรักษาเสถียรภาพของลูกตุ้มไว้เพื่อจะไม่ให้ลูกตุ้มล้มลง และระบบจะเข้าสู่เซตพอยท์ภายในเวลาประมาณ 0.7 วินาที

บทที่ 5

บทสรุปและปัญหาที่เกิดขึ้น

5.1 สรุป

จากการควบคุมจะเห็นได้ว่า ตัวควบคุมแบบ พีโอดี นั้นสามารถควบคุมระบบที่ไม่มีเสถียรภาพ ให้มีเสถียรภาพได้ โดยต้องขึ้นอยู่กับค่า พารามิเตอร์ของตัวควบคุม แต่เนื่องจากไม่ทราบค่าพารามิเตอร์บางตัวในกระบวนการทำให้ ไม่สามารถจะหา ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันได้ ดังนั้นจึงแก้ไขโดยประมาณค่าของ ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์ให้เป็นแบบ First Order แล้วจึงปรับกว่าจะได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ได้จากการทดลองจะต้องทำการทดลองอยู่หลายค่าสำหรับการควบคุมก้านลูกตุ้มนั้น จะเห็นว่าใช้ตัวควบคุมเป็นแบบพีดีเพราะเนื่องจาก ต้องการความเร็วในการควบคุมมากกว่าที่จะสนใจ ค่า Steady State Error และจากการทดลอง เราไม่สามารถจะควบคุมตำแหน่งของ Zeta1 และ Zeta2 ได้พร้อมกันเพราะเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ Zeta1 และ Zeta2 นั้นมีผลต่อกัน ประกอบกับ การใช้วิธีควบคุมแบบดั้งเดิม ที่สามารถทำได้เพียง ระบบที่เป็น SISO เท่านั้น ดังนั้นหากต้องการพัฒนาควรจะต้องศึกษาทฤษฎีการควบคุมแบบสมัยใหม่แทน โดยใช้การควบคุมแบบ State-Space ที่สามารถจะควบคุม ระบบที่เป็น MIMO ได้

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางการแก้ไข

การทำงานใน โครงการงาน Inverse Pendulum Control System นี้ได้เกิดปัญหาคือขึ้นหลายอย่าง ทั้งในส่วนของวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ และ ในส่วนของ ซอฟต์แวร์ควบคุม ปัญหาที่เกิดขึ้นจากรีเลย์ทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นก็เป็นพวกการปรับแต่งการเลือกย่านของตัว Sensor ให้เหมาะสม และปัญหาที่เกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวน ซึ่งการแก้ไขโดยอาศัยการ Bypass สัญญาณรบกวนให้ลกราวด์ไป และปัญหาที่สำคัญที่สุดและยังไม่สามารถแก้ไขได้ก็คือ การหาทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน ของระบบไม่ได้ทำให้ไม่สามารถจะทำการควบคุมกระบวนการให้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดได้ ทางออกที่ดีทางภาควิชาควรจัดหาอุปกรณ์ในการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ไว้ให้พร้อมเสมอรวมถึงให้คำปรึกษา และในส่วนของการ อินเตอร์เฟสก็จะหาวิธีการติดต่อระหว่าง ฮาร์ดแวร์กับ คอมพิวเตอร์ได้ใช้เวลาอยู่นานกว่าจะทำสำเร็จ และปัญหาข้อจำกัดของระบบเองที่ทำให้ไม่สามารถที่จะทำการควบคุมให้สมบูรณ์แบบได้ และอื่นๆอีกมากมาย เช่น การหาอุปกรณ์ยาก,ปัญหาด้านเวลาในการทำงาน ,การใช้ทรัพยากรในทางที่ผิดทำให้ความสามารถในการทำงานลดลง,ปัญหาด้านทฤษฎี ฯลฯ

บรรณานุกรม

- [1] กิตติ ตีรเศรษฐ “พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม” พิมพ์ครั้งที่ 5 , มกราคม 2539
- [2] รศ. กิตติ ตีรเศรษฐ , รศ. วิทยา ทิพย์สุวรรณ “วิศวกรรมระบบควบคุมและระบบควบคุมป้อนกลับ”
- [3] ชาริน สิทธิธรรมชาติ “Visual Basic Version 6.0” พิมพ์ครั้งที่ 3 ,พิมพ์ที่ บริษัท ส. เอเชียเพรส (1989) จำกัด
- [4] Kuo , B.C. “Automatic Control System” 3rd edition , Prentice – Hall India , 1976
- [5] M.Okata “Modern Control Engineering” 3rd edition , Prentice – Hall India , PP 670-679,1997
- [6] Robert H. Bishop “Modern Control System Analysis and Design Using MATLAB”





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมระบบอินเวอร์ตเพนดูลัม

Option Explicit

Private m_CommEnabled As Boolean

Private m_WriteSet As Boolean

Private m_WriteFloat As Boolean

Private m_WriteByte As Boolean

Private m_FloatReadDisabled As Boolean

Dim AOGetConfig As PT_AIGetConfig

Dim gnNumOfSubdevices As Integer

Dim lpDEVCONFIG_AI As DEVCONFIG_AI

Dim lpAIGetConfig As PT_AIGetConfig

Dim TimerCount As Integer

Dim StripChartTimeTotal As Double

Dim StripChartCountTotal As Long

Private Sub Check1_click()

If Check1.value = 1 Then

 iStripChartX1.SetChannelVisible 0, True

Else

 iStripChartX1.SetChannelVisible 0, False

End If

End Sub

Private Sub Check2_Click()

If Check2.value = 1 Then

 iStripChartX1.SetChannelVisible 1, True

Else

 iStripChartX1.SetChannelVisible 1, False

End If

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Private Sub Check3_Click()
    If Check3.value = 1 Then
        iStripChartX1.SetChannelVisible 2, True
    Else
        iStripChartX1.SetChannelVisible 2, False
    End If
End Sub

```

```

Private Sub Check4_Click()
    If Check4.value = 1 Then
        iStripChartX1.SetChannelVisible 3, True
    Else
        iStripChartX1.SetChannelVisible 3, False
    End If
End Sub

```

```

Private Sub Command1_Click()
    SetPoint = ((CSng(Tsv.Text)) + 180) * (5 / 360)
    Sv1 = CSng(Tsv.Text)
    Run1 = 1
End Sub

```

```

Private Sub Command2_Click()
    Dim AnalogOutput As PT_AOVoltageOut
    HScroll1.value = 0
    SetPoint = 0
    AnalogOutput.chan = lpAOConfig.chan
    AnalogOutput.OutputValue = SetPoint
    ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle, AnalogOutput)
    If (ErrCde <> 0) Then

```

DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
```

```
Exit Sub
```

```
End If
```

```
ErrorO = 0
```

```
ErrorO1 = 0
```

```
Mv1 = 0
```

```
Sum = 0
```

```
Diff = 0
```

```
Run1 = 0
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()
```

```
Form2.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click()
```

```
TKp1.Text = "0"
```

```
TTi1.Text = "0"
```

```
TTd1.Text = "0"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command5_Click()
```

```
Dim AnalogOutput As PT_AOVoltageOut
```

```
AnalogOutput.chan = lpAOConfig.chan
```

```
AnalogOutput.OutputValue = 0
```

```
ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle, AnalogOutput)
```

```
If (ErrCde <> 0) Then
```

```
DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
```

```
Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
```

```
Exit Sub
```

```
End If
```

```
End
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End Sub

Private Sub Command6_Click()

StripChartTimeTotal = 0

StripChartCountTotal = 0

iStripChartX1.ClearData

End Sub

Private Sub Command7_Click()

Timer1.Enabled = Not Timer1.Enabled

If Timer1.Enabled = True Then

Command7.Caption = "Pause"

Command7.ToolTipText = "Pause chart"

Else

Command7.Caption = "Start"

Command7.ToolTipText = "Start chart"

End If

End Sub

Private Sub Command8_Click()

iStripChartX1.p

End Sub

Private Sub Form_Load()

Dim gnNumOfDevices As Integer

Dim nOutEntries As Integer

Dim i, ii As Integer

Dim tt As Long

Dim tempStr As String

Dim tempNum As Integer

Dim lpSubDeviceList As Long

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dim dwDeviceNum As Long

*****Initial Value of PID

1*****

ErrorO = 0

ErrorO1 = 0

Mv1 = 0

Sum = 0

Diff = 0

Ts = 0.01

*****Initial Value of PID

2*****

Error2O = 0

Error2O1 = 0

Mv21 = 0

Sum2 = 0

Diff2 = 0

Ts2 = 0.01

*****iStripChart*****

StripChartTimeTotal = 0

StripChartCountTotal = 0

'StripChartCountLabel.Caption = "Count = " + Format(StripChartCountTotal, "General
Number")

iStripChartX1.ClearData

bRun = False

gnNumOfSubdevices = 0

tmrSampling.Enabled = True

Timer1.Enabled = True

```

TimerDisplay.Enabled = True

'***** Add type of PC Laboratory Card*****

tt = DRV_GetAddress(devicelist(0))
ErrCde = DRV_DeviceGetList(tt, MaxEntries, nOutEntries)
If (ErrCde <> 0) Then
    DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
    Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
    Exit Sub
End If

ErrCde = DRV_DeviceGetNumOfList(gnNumOfDevices)
If (ErrCde <> 0) Then
    DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
    Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
    Exit Sub
End If

'***** Data Acquisition & Control or Digital I/O card*****

If (gnNumOfSubdevices = 0) Then
    dwDeviceNum = devicelist(0).dwDeviceNum
    ErrCde = DRV_DeviceOpen(dwDeviceNum, DeviceHandle)
    If (ErrCde <> 0) Then
        DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
        Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
        Exit Sub
    Else
        bRun = True
    End If

    ptDevGetFeatures.buffer = DRV_GetAddress(lpDevFeatures)
    ErrCde = DRV_DeviceGetFeatures(DeviceHandle, ptDevGetFeatures)

```

```

DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
Exit Sub
End If

```

```

ptAIGetConfig.buffer = DRV_GetAddress(lpDEVCONFIG_AI)
ErrCde = DRV_AIGetConfig(DeviceHandle, ptAIGetConfig)
If (ErrCde <> 0) Then
    DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
    Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
    Exit Sub
End If

```

```

lpAOConfig.chan = 0
lpAOConfig.MaxValue = 5
lpAOConfig.MinValue = 0

```

```
End If
```

```

If (gnNumOfSubdevices = 0) Then
    ErrCde = DRV_AOConfig(DeviceHandle, lpAOConfig)
    If (ErrCde <> 0) Then
        DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
        Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
        Exit Sub
    End If
End If

```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
```

```
Dim AnalogOutput As PT_AOVoltageOut
```

```
Tsv.Text = "0,000"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
AnalogOutput.chan = lpAOConfig.chan
```

```
AnalogOutput.OutputValue = CSng(Tsv.Text)
```

```
ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle, AnalogOutput)
```

```
If (ErrCde <> 0) Then
```

```
    DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
```

```
    Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
```

```
    Exit Sub
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub HScroll1_Change()
```

```
Tsv.Text = Format(HScroll1.value, "###")
```

```
If HScroll1.value = 0 Then
```

```
    Tsv.Text = "0"
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Pid1Ok_Click()
```

```
Kp = CSng(TKp1.Text)
```

```
Ti = CSng(TTi1.Text)
```

```
Td = CSng(TTd1.Text)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Pid2Ok_Click()
```

```
If Pid2Ok.Caption = "Ok" Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Kp2 = CSng(TKp2.Text)
Ti2 = CSng(TTi2.Text)
Td2 = CSng(TTd2.Text)
Pid2Ok.Caption = "Clear"
Pid2Ok.ToolTipText = "All Parameter = 0"
ElseIf Pid2Ok.Caption = "Clear" Then
TKp2.Text = "0"
TTi2.Text = "0"
TTd2.Text = "0"
Kp2 = 0
Ti2 = 0
Td2 = 0
Pid2Ok.Caption = "Ok"
Pid2Ok.ToolTipText = "ใส่ค่า Parameter ของ Controller2"
End If
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
Dim SpeedMultiplier As Integer
Dim X As Integer
Dim TimeIndex As Long

*****Display*****

Select Case ChartSpeedSwitchSlider.Position
Case 0: SpeedMultiplier = 1
Case 1: SpeedMultiplier = 2
Case Else: SpeedMultiplier = 5
End Select

iStripChartX1.BeginUpdate
For X = 0 To SpeedMultiplier

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

StripChartCountTotal = StripChartCountTotal + 3
TimeIndex = iStripChartX1.AddIndexTime(StripChartTimeTotal)
iStripChartX1.SetChannelData 0, TimeIndex, (Zeta1 * (360 / 5) - 180)
iStripChartX1.SetChannelData 1, TimeIndex, (Zeta2 * (30 / (2.5 - 1.9)) - 110)
iStripChartX1.SetChannelData 2, TimeIndex, Sv1
iStripChartX1.SetChannelData 3, TimeIndex, (0)

Next

iStripChartX1.EndUpdate

End Sub

```

```

Private Sub TimerDisplay_Timer()
Dim Te As Single
TZeta1.Text = Format((Zeta1 * (360 / 5) - 180), "###0.00")
Te = CSng(Tsv.Text) - CSng(TZeta1.Text)
Terror.Text = Format(Te, "###0.00")
TZeta2.Text = Format((Zeta2 * (30 / (2.5 - 1.9)) - 110), "###0.00")
Tspeed.Text = Format(((Mvt) * (3000 / 5)), "###0.00")

End Sub

```

```

Private Sub tmrSampling_Timer()
Dim AnalogOutput As PT_AOVoltageOut
'*****Get Value from A/D Channel3(Position of Zeta1)*****:)

AiCtrMode = 0
lpAIConfig.DasChan = 3
lpAIConfig.DasGain = lpDevFeatures.gIGainList(6).usGainCde
ErrCde = DRV_AIConfig(DeviceHandle, lpAIConfig)

If (ErrCde <> 0) Then
DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!!")

Exit Sub

End If

```

```

'*****Get Value from A/D Channel2(Pendulum)*****')
AiCtrMode = 0
lpAIConfig.DasChan = 2
lpAIConfig.DasGain = lpDevFeatures.glGainList(6).usGainCde
ErrCde = DRV_AIConfig(DeviceHandle, lpAIConfig)
If (ErrCde <> 0) Then
    DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
    Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
    Exit Sub
End If
Zeta2 = ADCIn

'*****PID1&PID2*****'
If Run1 = 1 Then
    Error = SetPoint - Zeta1
    Error2 = Zeta2 - Sv2
    Sum = ErrorO + ErrorO1
    Sum2 = Error2O + Error2O1
    Diff = Error - ErrorO
    'Diff = Zeta1 - Zeta10
    Diff2 = Error2 - Error2O
    Mv = Kp * Error + (((Ti * Ts) * (Sum)) / 2) + ((Td * Diff) / Ts)
    Mv2 = Kp2 * Error2 + (((Ti2 * Ts2) * (Sum2)) / 2) + ((Td2 * Diff2) / Ts2)
    ErrorO1 = ErrorO
    Error2O1 = Error2O
    ErrorO = Error
    'Zeta10 = Zeta1
    Error2O = Error2
    Mv1 = Mv

```

Mvt = Mv2 + Mv

*****Digital I/O*****

```
If (Mvt) < -0.05 Then
    lpDioWritePort.state = 0
ElseIf (Mvt) > 0.05 Then
    lpDioWritePort.state = 1
```

End If

```
lpDioWritePort.Port = 0
lpDioWritePort.Mask = 255
ErrCde = DRV_DioWritePortByte(DeviceHandle, lpDioWritePort)
If (ErrCde <> 0) Then
    DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
    Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
    Exit Sub
End If
```

*****Speed out*****

```
Mvt = Mvt ^ 2
Mvt = Mvt ^ (1 / 2) 'absolute value
AnalogOutput.chan = lpAOConfig.chan
```

If IsNumeric(Tsv.Text) Then

```
If (((CSng(Tsv.Text)) + 180) * (5 / 360) > lpAOConfig.MaxValue) Then
    Response = MsgBox(" Over range", vbOKOnly, "Error!!")
    Exit Sub
```

Else:

```
If (((CSng(Tsv.Text)) + 180) * (5 / 360) < lpAOConfig.MinValue) Then
    Response = MsgBox(" Lower range", vbOKOnly, "Error!!")
    Exit Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

If Mvt > 5 Then
    Mvt = 5
ElseIf Mvt < 0 Then
    Mvt = 0
End If
End If

AnalogOutput.OutputValue = Mvt

ErrCde = DRV_AOVoltageOut(DeviceHandle, AnalogOutput)

If (ErrCde <> 0) Then
    DRV_GetErrorMessage ErrCde, szErrMsg
    Response = MsgBox(szErrMsg, vbOKOnly, "Error!!")
    Exit Sub
End If
End If
End If
End If
End Sub

```

Calibration setpoint of Zeta2

```

Private Sub Command1_Click()
    Text2.Text = Zeta2
    Sv2 = Zeta2
End Sub

```

```

Private Sub Command2_Click()
    Form1.Show
End Sub

```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
Text1.Text = Zeta2
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Timer()
```

```
Text1.Text = Zeta2
```

```
End Sub
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD7520, AD7530, AD7521, AD7531

10-Bit, 12-Bit, Multiplying D/A Converters

Features

- AD7520/AD7530, 10-Bit Resolution; 8-Bit, 9-Bit and 10-Bit Linearity
- AD7521/AD7531, 12-Bit Resolution; 8-Bit, 9-Bit and 10-Bit Linearity
- Low Power Dissipation (Max)20mW
- Low Nonlinearity Tempco at 2ppm of FSR/°C
- Current Settling Time to 0.05% of FSR 1.0μs
- Supply Voltage Range ±5V to +15V
- TTL/CMOS Compatible
- Full Input Static Protection
- /883B Processed Versions Available

Description

The AD7520/AD7530 and AD7521/AD7531 are monolithic, high accuracy, low cost 10-bit and 12-bit resolution, multiplying digital-to-analog converters (DAC). Intersil' thin-film on CMOS processing gives up to 10-bit accuracy with TTL/CMOS compatible operation. Digital inputs are fully protected against static discharge by diodes to ground and positive supply.

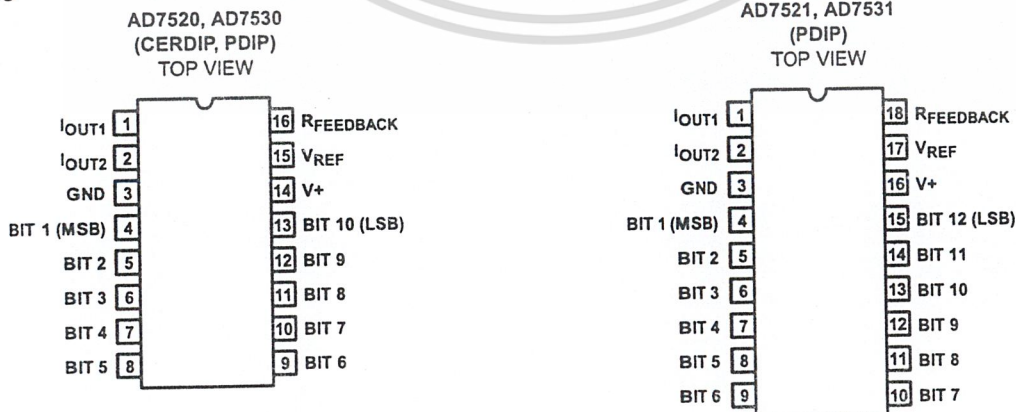
Typical applications include digital/analog interfacing, multiplication and division, programmable power supplies, CRT character generation, digitally controlled gain circuits, integrators and attenuators, etc.

The AD7530 and AD7531 are identical to the AD7520 and AD7521, respectively, with the exception of output leakage current and feedthrough specifications.

Ordering Information

PART NUMBER	LINEARITY (INL, DNL)	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
AD7520JN, AD7530JN	0.2% (8-Bit)	0 to 70	16 Ld PDIP	E16.3
AD7520KN, AD7530KN	0.1% (9-Bit)	0 to 70	16 Ld PDIP	E16.3
AD7521JN, AD7531JN	0.2% (8-Bit)	0 to 70	18 Ld PDIP	E18.3
AD7521KN, AD7531KN	0.1% (9-Bit)	0 to 70	18 Ld PDIP	E18.3
AD7520LN, AD7530LN	0.05% (10-Bit)	-40 to 85	16 Ld PDIP	E16.3
AD7521LN, AD7531LN	0.05% (10-Bit)	-40 to 85	18 Ld PDIP	E18.3
AD7520JD	0.2% (8-Bit)	-25 to 85	16 Ld Cerdip	F16.3
AD7520KD	0.1% (9-Bit)	-25 to 85	16 Ld Cerdip	F16.3
AD7520LD	0.05% (10-Bit)	-25 to 85	16 Ld Cerdip	F16.3
AD7520SD, AD7520SD/883B	0.2% (8-Bit)	-55 to 125	16 Ld Cerdip	F16.3
AD7520UD, AD7520UD/883B	0.05% (10-Bit)	-55 to 125	16 Ld Cerdip	F16.3

Pinouts



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.

File Number 3104.1

http://www.intersil.com or 407-727-9207 | Copyright © Intersil Corporation 1999

AD7520, AD7530, AD7521, AD7531

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage (V_+ to GND)	+17V
V_{REF}	$\pm 25V$
Digital Input Voltage Range	V_+ to GND
Output Voltage Compliance	-100mV to V_+

Operating Conditions

Temperature Ranges

JN, KN, LN Versions	0°C to 70°C
JD, KD, LD Versions	-25°C to 85°C
SD, UD Versions	-55°C to 125°C

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

The digital control inputs are zener protected; however, permanent damage may occur on unconnected units under high energy electrostatic fields. Keep unused units in conductive foam at all times.

Do not apply voltages higher than V_{DD} or less than GND potential on any terminal except V_{REF} and $R_{FEEDBACK}$.

NOTE:

- θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	θ_{JA} (°C/W)	θ_{JC} (°C/W)
16 Ld PDIP Package	100	N/A
18 Ld PDIP Package	90	N/A
CERDIP Package	75	20
Maximum Junction Temperature (Hermetic Package)	175°C	
Maximum Junction Temperature (Plastic Packages)	150°C	
Maximum Storage Temperature Range	-65°C to 150°C	
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300°C	

Electrical Specifications $V_+ = +15V$, $V_{REF} = +10V$, $T_A = 25^\circ C$ Unless Otherwise Specified

PARAMETER	TEST CONDITIONS	AD7520/AD7530			AD7521/AD7531			UNITS	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
SYSTEM PERFORMANCE (Note 2)									
Resolution		10	10	10	12	12	12	Bits	
Nonlinearity	J, S	S Over -55°C to 125°C (Notes 2, 5) (Figure 3)		-	-	± 0.2 (8-Bit)	-	± 0.2 (8-Bit)	% of FSR
	K	T Over -55°C to 125°C (Figure 2)		-	-	± 0.1 (9-Bit)	-	± 0.1 (9-Bit)	% of FSR
	L, U	-10V $\leq V_{REF} \leq +10V$ U Over -55°C to 125°C (Figure 2)		-	-	± 0.05 (10-Bit)	-	± 0.05 (10-Bit)	% of FSR
Nonlinearity Tempco		-10V $\leq V_{REF} \leq +10V$ (Notes 3, 4)		-	-	± 2	-	± 2	ppm of FSR/°C
Gain Error		-	± 0.3	-	-	± 0.3	-	% of FSR	
Gain Error Tempco		-	-	± 10	-	-	± 10	ppm of FSR/°C	
Output Leakage Current (Either Output)	Over the Specified Temperature Range	-	-	± 200 (± 300)	-	-	± 200 (± 300)	nA	
DYNAMIC CHARACTERISTICS									
Output Current Settling Time	To 0.05% of FSR (All Digital Inputs Low To High And High To Low) (Note 4) (Figure 7)	-	1.0	-	-	1.0	-	μs	
Feedthrough Error	$V_{REF} = 20V_{p-p}$, 10kHz (50kHz) All Digital Inputs Low (Note 4) (Figure 6)	-	-	10	-	-	10	mV _{p-p}	
REFERENCE INPUT									
Input Resistance	All Digital Inputs High I_{OUT1} at Ground	5	10	20	5	10	20	k Ω	
ANALOG OUTPUT									
Output Capacitance	I_{OUT1}	All Digital Inputs High (Note 4) (Figure 5)		-	200	-	200	-	pF
		I_{OUT2}		-	75	-	75	-	pF
	I_{OUT1}	All Digital Inputs Low (Note 4) (Figure 5)		-	75	-	75	-	pF
		I_{OUT2}		-	200	-	200	-	pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 10-8 ศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD7520, AD7530, AD7521, AD7531

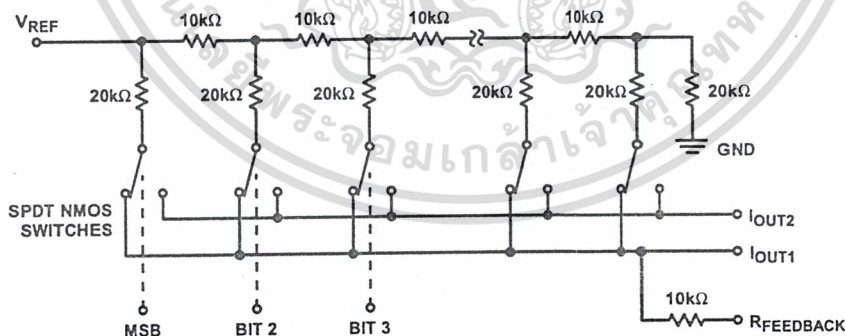
Electrical Specifications $V_+ = +15V$, $V_{REF} = +10V$, $T_A = 25^\circ C$ Unless Otherwise Specified (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	AD7520/AD7530			AD7521/AD7531			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Output Noise	Both Outputs (Note 4) (Figure 4)	-	Equivalent to 10k Ω	-	-	Equivalent to 10k Ω	-	Johnson Noise
DIGITAL INPUTS								
Low State Threshold, V_{IL}	Over the Specified Temperature Range $V_{IN} = 0V$ or $+15V$	-	-	0.8	-	-	0.8	V
High State Threshold, V_{IH}		2.4	-	-	2.4	-	-	V
Input Current, I_{IL} , I_{IH}		-	-	± 1	-	-	± 1	μA
Input Coding	See Tables 1 and 2	Binary/Offset Binary						
POWER SUPPLY CHARACTERISTICS								
Power Supply Rejection	$V_+ = 14.5V$ to $15.5V$ (Note 3) (Figure 3)	-	± 0.005	-	-	± 0.005	-	% FSR/ % ΔV_+
Power Supply Voltage Range		+5 to +15			+5 to +15			V
I_+	All Digital Inputs at 0V or V_+ Excluding Ladder Network	-	± 1	-	-	± 1	-	μA
	All Digital Inputs High or Low Excluding Ladder Network	-	-	2	-	-	2	mA
Total Power Dissipation	Including the Ladder Network	-	20	-	-	20	-	mW

NOTES:

- Full scale range (FSR) is 10V for Unipolar and $\pm 10V$ for Bipolar modes.
- Using internal feedback resistor $R_{FEEDBACK}$.
- Guaranteed by design, or characterization and not production tested.
- Accuracy not guaranteed unless outputs at GND potential.
- Accuracy is tested and guaranteed at $V_+ = 15V$ only.

Functional Diagram



NOTES:

- Switches shown for Digital Inputs "High".
Resistor values are typical.

AD7520, AD7530, AD7521, AD7531

Pin Descriptions

AD7520/30	AD7521/31	PIN NAME	DESCRIPTION
1	1	IOUT1	Current Out summing junction of the R2R ladder network.
2	2	IOUT2	Current Out virtual ground, return path for the R2R ladder network.
3	3	GND	Digital Ground. Ground potential for digital side of D/A.
4	4	Bits 1(MSB)	Most Significant Digital Data Bit.
5	5	Bit 2	Digital Bit 2.
6	6	Bit 3	Digital Bit 3.
7	7	Bit 4	Digital Bit 4.
8	8	Bit 5	Digital Bit 5.
9	9	Bit 6	Digital Bit 6.
10	10	Bit 7	Digital Bit 7.
11	11	Bit 8	Digital Bit 8.
12	12	Bit 9	Digital Bit 9.
13	13	Bit 10	Digital Bit 10 (AD7521/31). Least Significant Digital Data Bit (AD7520/30).
-	14	Bit 11	Digital Bit 11 (AD7521/31).
-	15	Bit 12	Least Significant Digital Data Bit (AD7521/31).
14	16	V+	Power Supply +5V to +15V.
15	17	V _{REF}	Voltage Reference Input to set the output range. Supplies the R2R resistor ladder.
16	18	RFEEDBACK	Feedback resistor used for the current to voltage conversion when using an external Op Amp.

Definition of Terms

Nonlinearity: Error contributed by deviation of the DAC transfer function from a "best straight line" through the actual plot of transfer function. Normally expressed as a percentage of full scale range or in (sub)multiples of 1 LSB.

Resolution: It is addressing the smallest distinct analog output change that a D/A converter can produce. It is commonly expressed as the number of converter bits. A converter with resolution of n bits can resolve output changes of 2^{-N} of the full-scale range, e.g., $2^{-N} V_{REF}$ for a unipolar conversion. Resolution by no means implies linearity.

Settling Time: Time required for the output of a DAC to settle to within specified error band around its final value (e.g., $1/2$ LSB) for a given digital input change, i.e., all digital inputs LOW to HIGH and HIGH to LOW.

Gain Error: The difference between actual and ideal analog output values at full scale range, i.e., all digital inputs at HIGH state. It is expressed as a percentage of full scale range or in (sub)multiples of 1 LSB.

Feedthrough Error: Error caused by capacitive coupling from V_{REF} to IOUT1 with all digital inputs LOW.

Output Capacitance: Capacitance from IOUT1 and IOUT2 terminals to ground.

Output Leakage Current: Current which appears on IOUT1 terminal when all digital inputs are LOW or on IOUT2 terminal when all digital inputs are HIGH.

Detailed Description

The AD7520, AD7530, AD7521 and AD7531 are monolithic, multiplying D/A converters. A highly stable thin film R-2R resistor ladder network and NMOS SPDT switches form the basis of the converter circuit, CMOS level shifters permit low power TTL/CMOS compatible operation. An external voltage

or current reference and an operational amplifier are all that is required for most voltage output applications.

A simplified equivalent circuit of the DAC is shown in the Functional Diagram. The NMOS SPDT switches steer the ladder leg currents between IOUT1 and IOUT2 buses which must be held either at ground potential. This configuration maintains a constant current in each ladder leg independent of the input code.

Converter errors are further reduced by using separate metal interconnections between the major bits and the outputs. Use of high threshold switches reduce offset (leakage) errors to a negligible level.

The level shifter circuits are comprised of three inverters with positive feedback from the output of the second to the first, see Figure 1. This configuration results in TTL/CMOS compatible operation over the full military temperature range. With the ladder SPDT switches driven by the level shifter, each switch is binarily weighted for an ON resistance proportional to the respective ladder leg current. This assures a constant voltage drop across each switch, creating equipotential terminations for the 2R ladder resistors and highly accurate leg currents.

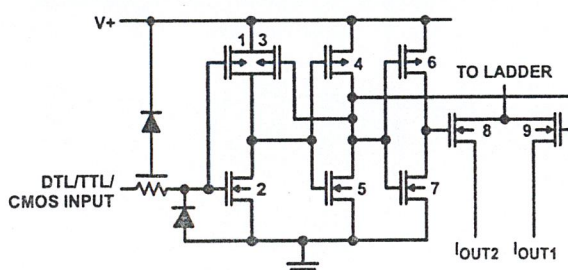


FIGURE 1. CMOS SWITCH

AD7520, AD7530, AD7521, AD7531

Test Circuits The following test circuits apply for the AD7520. Similar circuits are used for the AD7530, AD7521 and AD7531.

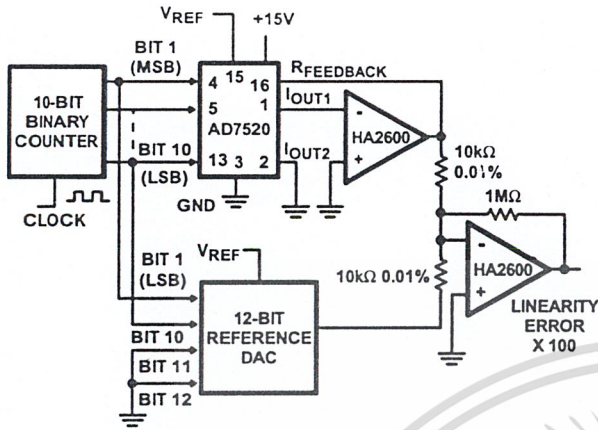


FIGURE 2. NONLINEARITY

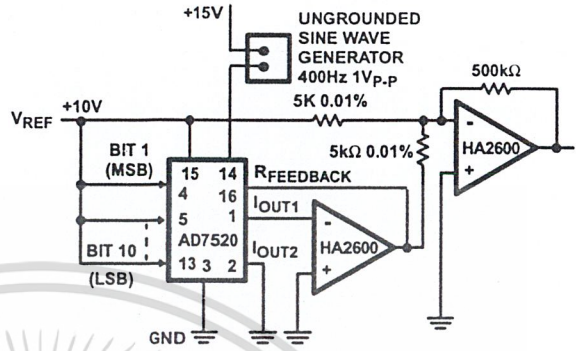


FIGURE 3. POWER SUPPLY REJECTION

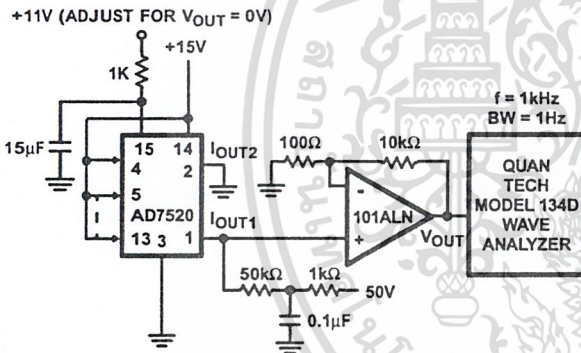


FIGURE 4. NOISE

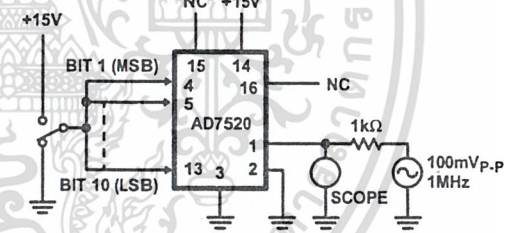


FIGURE 5. OUTPUT CAPACITANCE

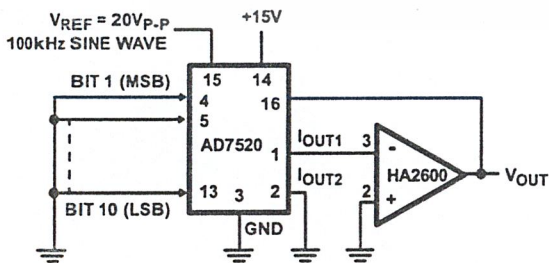


FIGURE 6. FEEDTHROUGH ERROR

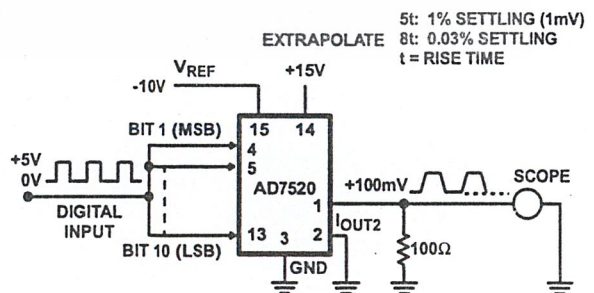


FIGURE 7. OUTPUT CURRENT SETTLING TIME

AD7520, AD7530, AD7521, AD7531

Test Circuits The following test circuits apply for the AD7520. Similar circuits are used for the AD7530, AD7521 and AD7531.

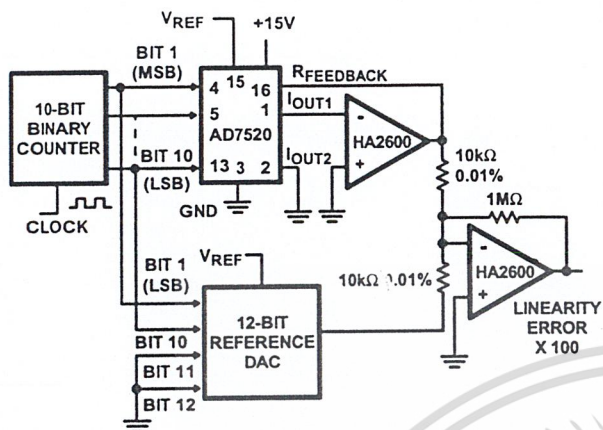


FIGURE 2. NONLINEARITY

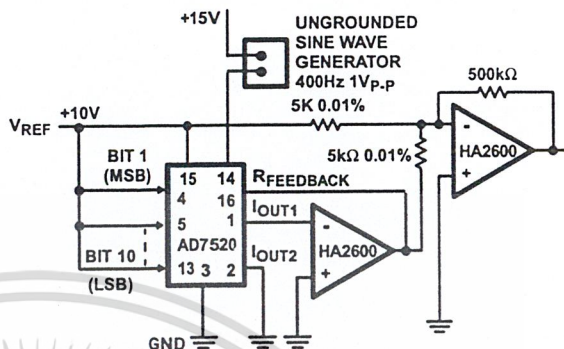


FIGURE 3. POWER SUPPLY REJECTION

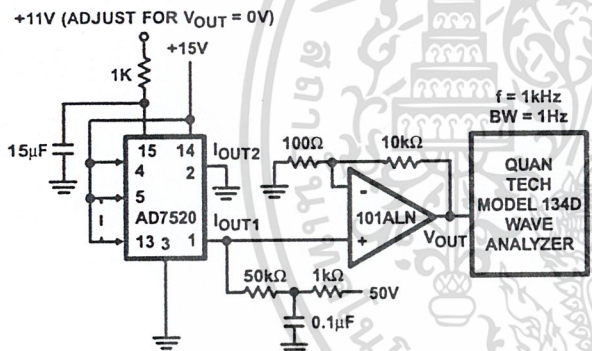


FIGURE 4. NOISE

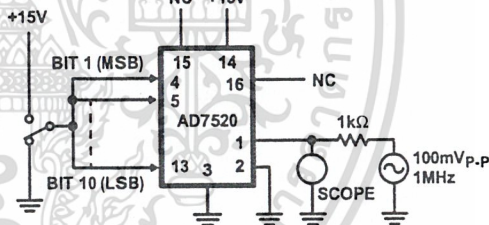


FIGURE 5. OUTPUT CAPACITANCE

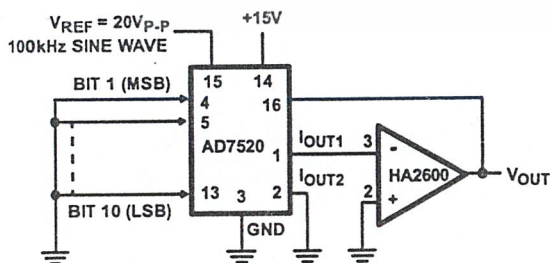


FIGURE 6. FEEDTHROUGH ERROR

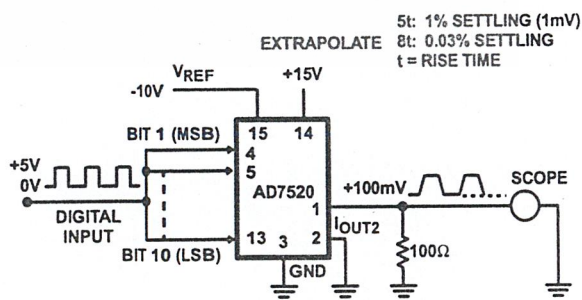


FIGURE 7. OUTPUT CURRENT SETTLING TIME

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 10-11 วิชาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD7520, AD7530, AD7521, AD7531

Applications

Unipolar Binary Operation

The circuit configuration for operating the AD7520 in unipolar mode is shown in Figure 8. Similar circuits can be used for AD7521, AD7530 and AD7531. With positive and negative V_{REF} values the circuit is capable of 2-Quadrant multiplication. The "Digital Input Code/Analog Output Value" table for unipolar mode is given in Table 1.

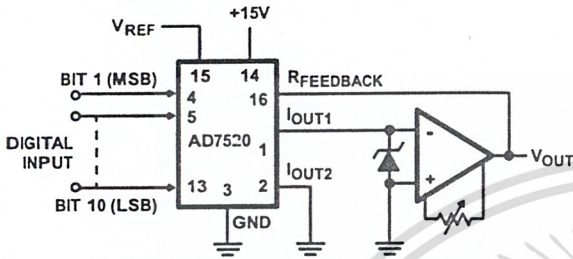


FIGURE 8. UNIPOLAR BINARY OPERATION (2-QUADRANT MULTIPLICATION)

TABLE 1. CODE TABLE - UNIPOLAR BINARY OPERATION

DIGITAL INPUT	ANALOG OUTPUT
1111111111	$-V_{REF} (1-2^{-N})$
1000000001	$-V_{REF} (\frac{1}{2} + 2^{-N})$
1000000000	$-V_{REF}/2$
0111111111	$-V_{REF} (\frac{1}{2}-2^{-N})$
0000000001	$-V_{REF} (2^{-N})$
0000000000	0

NOTES:

1. $LSB = 2^{-N} V_{REF}$.
2. $N = 10$ for 7520, 7530; $N = 12$ for 7521, 7531.

Zero Offset Adjustment

1. Connect all digital inputs to GND.
2. Adjust the offset zero adjust trimpot of the output operational amplifier for 0V at V_{OUT} .

Gain Adjustment

1. Connect all digital inputs to $V+$.
2. Monitor V_{OUT} for a $-V_{REF} (1-2^{-N})$ reading. ($N = 10$ for AD7520/30 and $N = 12$ for AD7521/31).
3. To decrease V_{OUT} , connect a series resistor (0 to 250Ω) between the reference voltage and the V_{REF} terminal.
4. To increase V_{OUT} , connect a series resistor (0 to 250Ω) in the I_{OUT1} amplifier feedback loop.

Bipolar (Offset Binary) Operation

The circuit configuration for operating the AD7520 in the bipolar mode is given in Figure 9. Similar circuits can be used for AD7521, AD7530 and AD7531. Using offset binary digital input codes and positive and negative reference voltage values, 4-Quadrant multiplication can be realized. The

"Digital Input Code/Analog Output Value" table for bipolar mode is given in Table 2.

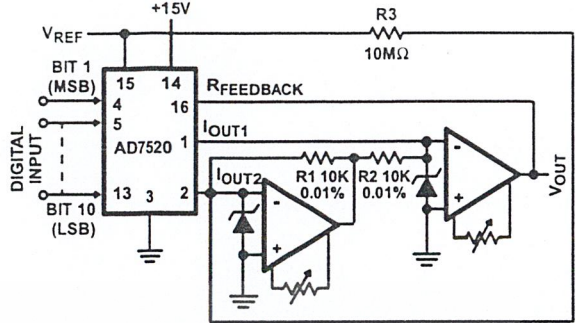


FIGURE 9. BIPOLAR OPERATION (4-QUADRANT MULTIPLICATION)

TABLE 2. BIPOLAR (OFFSET BINARY) CODE TABLE

DIGITAL INPUT	ANALOG OUTPUT
1111111111	$-V_{REF} (1-2^{-(N-1)})$
1000000001	$-V_{REF} (2^{-(N-1)})$
1000000000	0
0111111111	$V_{REF} (2^{-(N-1)})$
0000000001	$V_{REF} (1-2^{-(N-1)})$
0000000000	V_{REF}

NOTES:

1. $LSB = 2^{-(N-1)} V_{REF}$.
2. $N = 10$ for 7520, 7521; $N = 12$ for 7530, 7531.

A "Logic 1" input at any digital input forces the corresponding ladder switch to steer the bit current to I_{OUT1} bus. A "Logic 0" input forces the bit current to I_{OUT2} bus. For any code the I_{OUT1} and I_{OUT2} bus currents are complements of one another. The current amplifier at I_{OUT2} changes the polarity of I_{OUT2} current and the transconductance amplifier at I_{OUT1} output sums the two currents. This configuration doubles the output range. The difference current resulting at zero offset binary code, (MSB = "Logic 1", All other bits = "Logic 0"), is corrected by using an external resistor, (10MΩ), from V_{REF} to I_{OUT2} .

Offset Adjustment

1. Adjust V_{REF} to approximately +10V.
2. Connect all digital inputs to "Logic 1".
3. Adjust I_{OUT2} amplifier offset adjust trimpot for $0V \pm 1mV$ at I_{OUT2} amplifier output.
4. Connect MSB (Bit 1) to "Logic 1" and all other bits to "Logic 0".
5. Adjust I_{OUT1} amplifier offset adjust trimpot for $0V \pm 1mV$ at V_{OUT} .

Gain Adjustment

1. Connect all digital inputs to $V+$.
2. Monitor V_{OUT} for a $-V_{REF} (1-2^{-(N-1)})$ volts reading. ($N = 10$ for AD7520 and AD7530, and $N = 12$ for AD7521 and AD7531).
3. To increase V_{OUT} , connect a series resistor of up to 250Ω between V_{OUT} and $R_{FEEDBACK}$.
4. To decrease V_{OUT} , connect a series resistor of up to 250Ω between the reference voltage and the V_{REF} terminal.

AD7520, AD7530, AD7521, AD7531

Die Characteristics

DIE DIMENSIONS:

101 mils x 103 mils (2565micrms x 2616micrms)

METALLIZATION:

Type: Pure Aluminum
Thickness: $10 \pm 1 \text{ k\AA}$

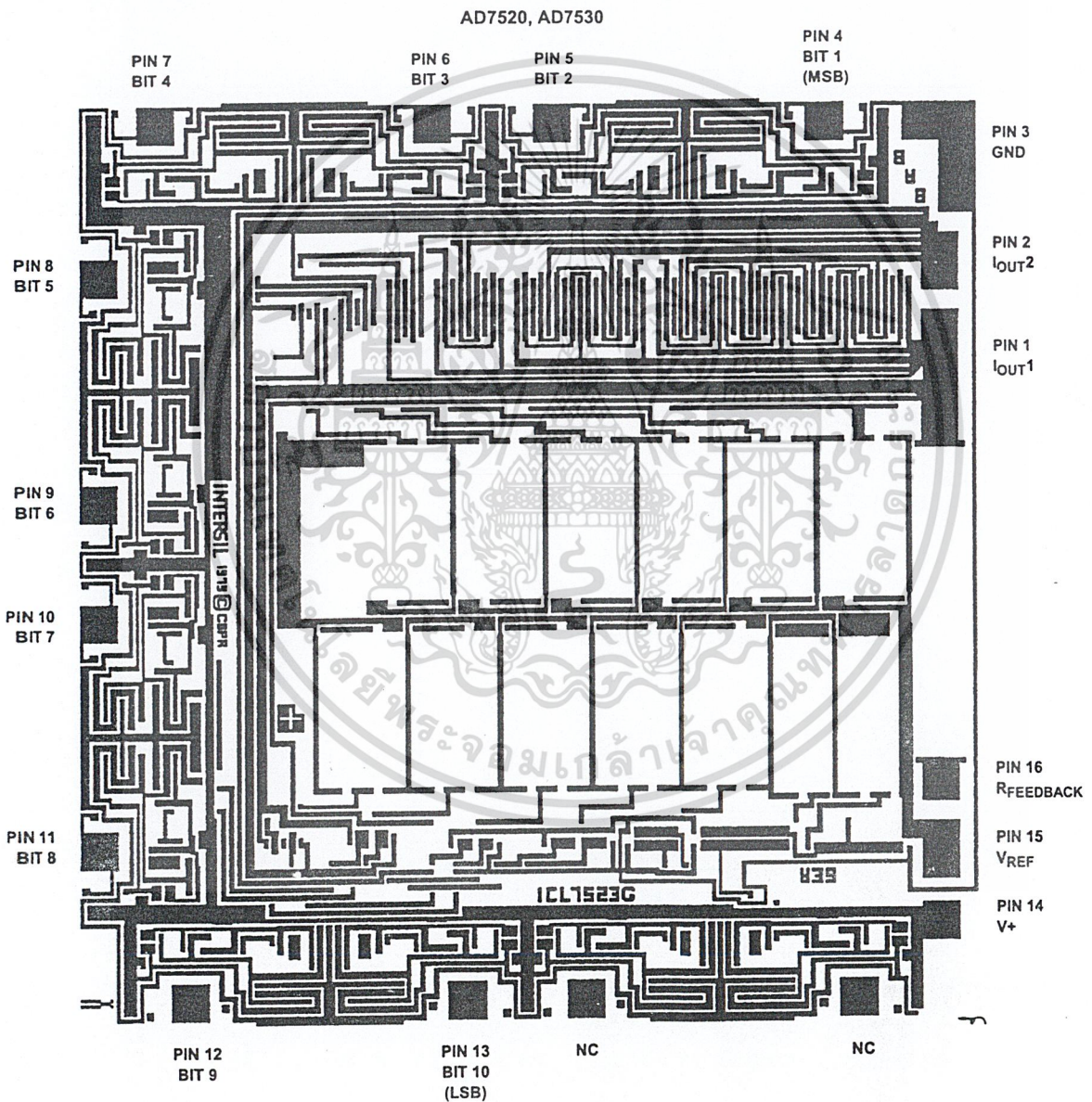
PASSIVATION:

Type: PSG/Nitride
PSG: $7 \pm 1.4 \text{ k\AA}$
Nitride: $8 \pm 1.2 \text{ k\AA}$

PROCESS:

CMOS Metal Gate

Metallization Mask Layout



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 10-13 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD7520, AD7530, AD7521, AD7531

Die Characteristics

DIE DIMENSIONS:

101 mils x 103 mils (2565micrms x 2616micrms)

METALLIZATION:

Type: Pure Aluminum
Thickness: $10 \pm 1 \text{ k\AA}$

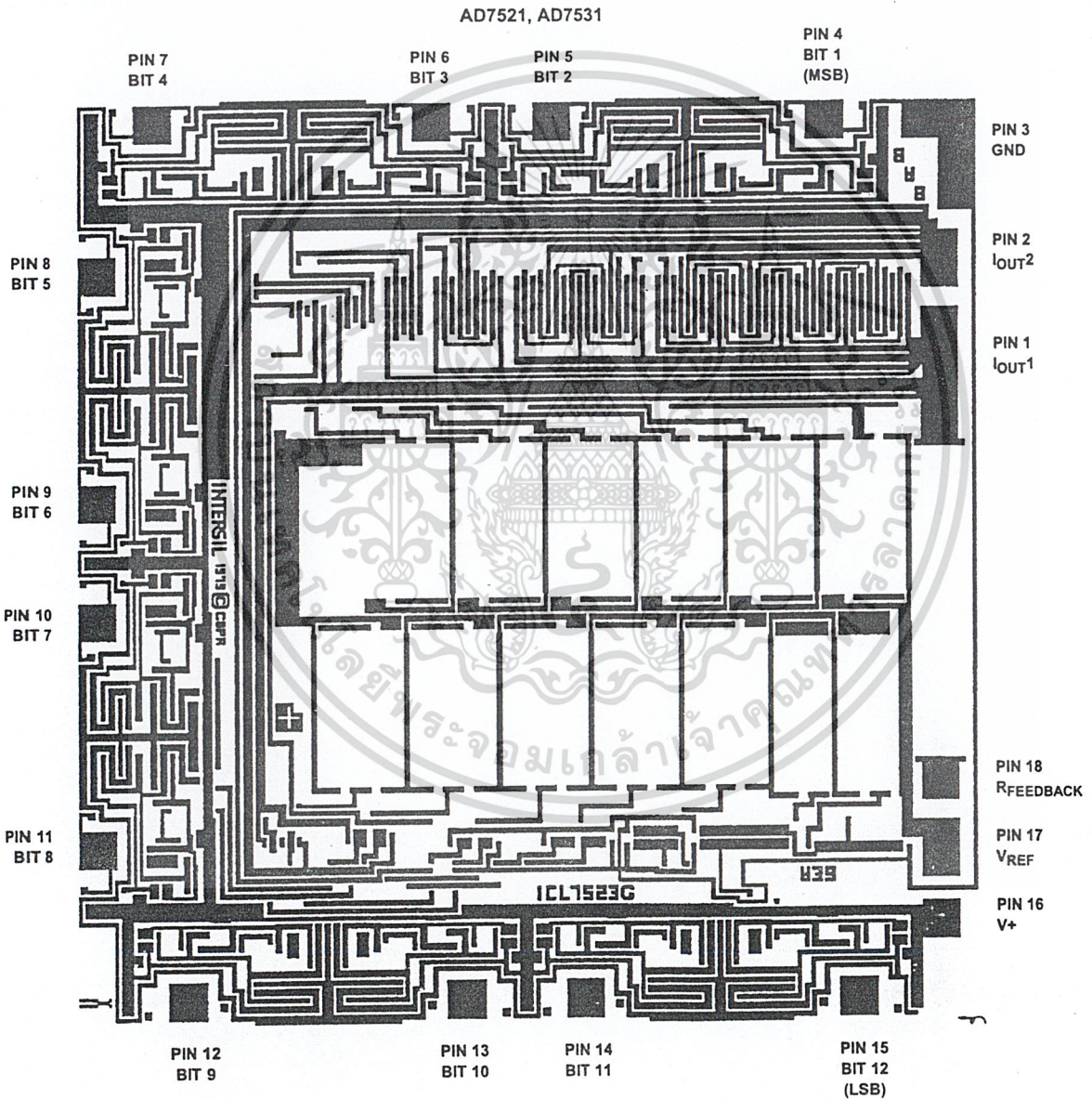
PASSIVATION:

Type: PSG/Nitride
PSG: $7 \pm 1.4 \text{ k\AA}$
Nitride: $8 \pm 1.2 \text{ k\AA}$

PROCESS:

CMOS Metal Gate

Metallization Mask Layout



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 10-14 ารศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Three Channel Optical Incremental Encoder Modules

Technical Data

HEDS-9040
HEDS-9140

Features

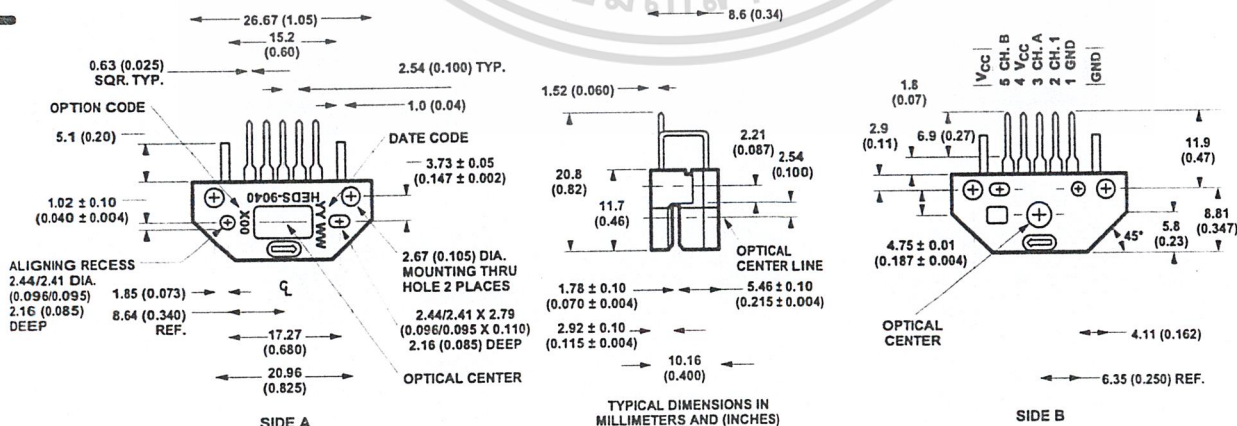
- Two Channel Quadrature Output with Index Pulse
- Resolution Up to 2000 CPR Counts Per Revolution
- Low Cost
- Easy to Mount
- No Signal Adjustment Required
- Small Size
- -40°C to 100°C Operating Temperature
- TTL Compatible
- Single 5 V Supply

Description

The HEDS-9040 and HEDS-9140 series are three channel optical incremental encoder modules. When used with a codewheel, these low cost modules detect rotary position. Each module consists of a lensed LED source and a detector IC enclosed in a small plastic package. Due to a highly collimated light source and a unique photodetector array, these modules provide the same high performance found in the HEDS-9000/9100 two channel encoder family.



Package Dimensions



ESD WARNING: NORMAL HANDLING PRECAUTIONS SHOULD BE TAKEN TO AVOID STATIC DISCHARGE.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The HEDS-9040 and 9140 have two channel quadrature outputs plus a third channel index output. This index output is a 90 electrical degree high true index pulse which is generated once for each full rotation of the codewheel.

The HEDS-9040 is designed for use with a HEDX-614X codewheel which has an optical radius of 23.36 mm (0.920 inch). The HEDS-9140 is designed for use with a HEDS-5140 codewheel which has an optical radius of 11.00 mm (0.433 inch).

The quadrature signals and the index pulse are accessed through five 0.025 inch square pins located on 0.1 inch centers.

Standard resolutions between 256 and 2000 counts per revolution are available. Consult local Agilent sales representatives for other resolutions.

Applications

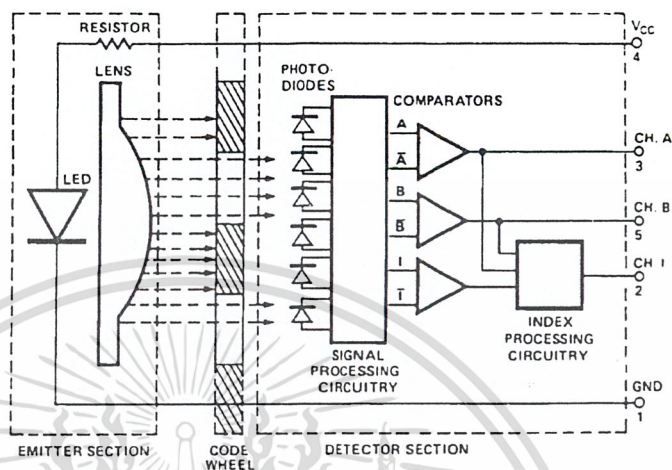
The HEDS-9040 and 9140 provide sophisticated motion control detection at a low cost, making them ideal for high volume applications. Typical applications include printers, plotters, tape drives, and industrial and factory automation equipment.

Theory of Operation

The HEDS-9040 and 9140 are emitter/detector modules. Coupled with a codewheel, these modules translate the rotary motion of a shaft into a three-channel digital output.

As seen in the block diagram, the modules contain a single Light

Block Diagram



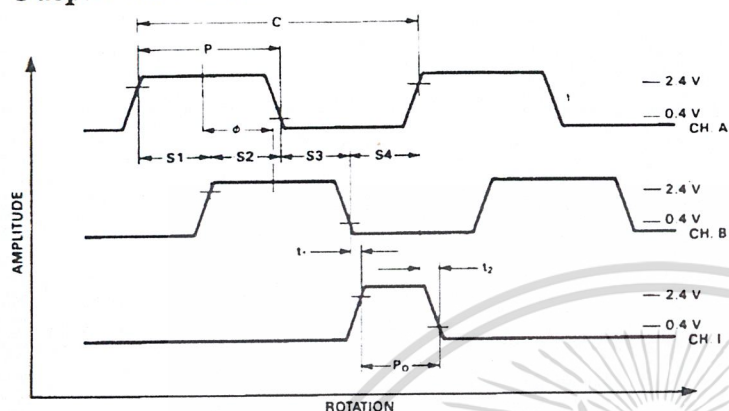
Emitting Diode (LED) as its light source. The light is collimated into a parallel beam by means of a single polycarbonate lens located directly over the LED. Opposite the emitter is the integrated detector circuit. This IC consists of multiple sets of photodetectors and the signal processing circuitry necessary to produce the digital waveforms.

The codewheel rotates between the emitter and detector, causing the light beam to be interrupted by the pattern of spaces and bars on the codewheel. The photodiodes which detect these interruptions are arranged in a pattern that corresponds to the radius and design of the codewheel. These detectors are also spaced such that a light period on one pair of detectors corresponds to a dark period on the adjacent pair of detectors. The photodiode outputs are then fed through the signal processing circuitry resulting in A , \bar{A} , B , \bar{B} , I and \bar{I} . Comparators receive these signals and produce the final outputs for

channels A and B. Due to this integrated phasing technique, the digital output of channel A is in quadrature with that of channel B (90 degrees out of phase).

The output of the comparator for I and \bar{I} is sent to the index processing circuitry along with the outputs of channels A and B. The final output of channel I is an index pulse P_0 which is generated once for each full rotation of the codewheel. This output P_0 is a one state width (nominally 90 electrical degrees), high true index pulse which is coincident with the low states of channels A and B.

Output Waveforms



Definitions

Count (N): The number of bar and window pairs or counts per revolution (CPR) of the codewheel.

One Cycle (C): 360 electrical degrees ($^{\circ}$ e), 1 bar and window pair.

One Shaft Rotation: 360 mechanical degrees, N cycles.

Position Error ($\Delta\theta$): The normalized angular difference between the actual shaft position and the position indicated by the encoder cycle count.

Cycle Error (ΔC): An indication of cycle uniformity. The difference between an observed shaft

angle which gives rise to one electrical cycle, and the nominal angular increment of $1/N$ of a revolution.

Pulse Width (P): The number of electrical degrees that an output is high during 1 cycle. This value is nominally 180° e or $1/2$ cycle.

Pulse Width Error (ΔP): The deviation, in electrical degrees, of the pulse width from its ideal value of 180° e.

State Width (S): The number of electrical degrees between a transition in the output of channel A and the neighboring transition in the output of channel B. There are 4 states per cycle, each nominally 90° e.

State Width Error (ΔS): The deviation, in electrical degrees, of each state width from its ideal value of 90° e.

Phase (ϕ): The number of electrical degrees between the center of the high state of channel A and the center of the high state of channel B. This value is nominally 90° e for quadrature output.

Phase Error ($\Delta\phi$): The deviation of the phase from its ideal value of 90° e.

Direction of Rotation: When the codewheel rotates in the direction of the arrow on top of the module, channel A will lead channel B. If the codewheel rotates in the opposite direction, channel B will lead channel A.

Optical Radius (R_{OP}): The distance from the codewheel's center of rotation to the optical center (O.C.) of the encoder module.

Index Pulse Width (P_0): The number of electrical degrees that an index is high during one full shaft rotation. This value is nominally 90° e or $1/4$ cycle.

Absolute Maximum Ratings

Storage Temperature, T_S	-40°C to +100°C
Operating Temperature, T_A	-40°C to +100°C
Supply Voltage, V_{CC}	-0.5 V to 7 V
Output Voltage, V_O	-0.5 V to V_{CC}
Output Current per Channel, I_{OUT}	-1.0 mA to 5 mA
Shaft Axial Play	± 0.25 mm (± 0.010 in.)
Shaft Eccentricity Plus Radial Play	0.1 mm (0.004 in.) TIR
Velocity	30,000 RPM ^[1]
Acceleration	250,000 rad/sec ² [1]

Note:

1. Absolute maximums for HEDS-5140/6140 codewheels only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
Temperature	T_A	-40		100	°C	
Supply Voltage	V_{CC}	4.5	5.0	5.5	Volts	Ripple < 100 mV _{p-p}
Load Capacitance	C_L			100	pF	2.7 k Ω pull-up
Count Frequency	f			100	kHz	Velocity (rpm) x N/60
Shaft Perpendicularity Plus Axial Play				± 0.25 (± 0.010)	mm (in.)	6.9 mm (0.27 in.) from mounting surface
Shaft Eccentricity Plus Radial Play				0.04 (0.0015)	mm (in.) TIR	6.9 mm (0.27 in.) from mounting surface

Note: The module performance is guaranteed to 100 kHz but can operate at higher frequencies. For the HEDS-9040 #T00 for operation below 0°C and greater than 50 kHz the maximum Pulse Width and Logic State Width errors are 60°e.

Encoding Characteristics

HEDS-9040 (except #T00), HEDS-9140

Encoding Characteristics over Recommended Operating Range and Recommended Mounting Tolerances unless otherwise specified. Values are for the worst error over the full rotation of HEDS-5140 and HEDS-6140 codewheels.

Parameter	Symbol	Min.	Typ. ⁽¹⁾	Max.	Units	
Cycle Error	ΔC		3	5.5	°e	
Pulse Width Error	ΔP		7	30	°e	
Logic State Width Error	ΔS		5	30	°e	
Phase Error	$\Delta \phi$		2	15	°e	
Position Error	$\Delta \theta$		10	40	min. of arc	
Index Pulse Width	P_o	60	90	120	°e	
CH. I rise after CH. B or CH. A fall	-25°C to +100°C	t_1	10	100	250	ns
	-40°C to +100°C	t_1	-300	100	250	ns
CH. I fall after CH. A or CH. B rise	-25°C to +100°C	t_2	70	150	300	ns
	-40°C to +100°C	t_2	70	150	1000	ns

Note:
1. Module mounted on tolerance circle of ± 0.13 mm (± 0.005 in.) radius referenced from module Side A aligning recess centers. 2.7 k Ω pull-up resistors used on all encoder module outputs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Encoding Characteristics

HEDS-9040 #T00

Encoding Characteristics over Recommended Operating Range and Recommended Mounting Tolerances unless otherwise specified. Values are for the worst error over the full rotation of HEDM-614X Option TXX codewheel.

Parameter		Symbol	Min.	Typ. ^[1]	Max.	Units
Cycle Error		ΔC		3	7.5	°e
Pulse Width Error		ΔP		7	50	°e
Logic State Width Error		ΔS		5	50	°e
Phase Error		$\Delta \phi$		2	15	°e
Position Error		$\Delta \Theta$		2	20	min. of arc
Index Pulse Width		P_O	40	90	140	°e
CH. I rise after CH. B or CH. A fall	-40°C to +100°C	t_1	10	450	1500	ns
CH. I fall after CH. A or CH. B rise	-40°C to +100°C	t_2	10	250	1500	ns

Note:

1. Module mounted on tolerance circle of ± 0.13 mm (± 0.005 in.) radius referenced from module Side A aligning recess centers. 2.7 k Ω pull-up resistors used on all encoder module outputs.

Electrical Characteristics

Electrical Characteristics over Recommended Operating Range.

Parameter	Symbol	Min.	Typ. ^[1]	Max.	Units	Notes
Supply Current	I_{CC}	30	57	85	mA	
High Level Output Voltage	V_{OH}	2.4			V	$I_{OH} = -200 \mu A$ max.
Low Level Output Voltage	V_{OL}			0.4	V	$I_{OL} = 3.86$ mA
Rise Time	t_r		180 ^[2]		ns	$C_L = 25$ pF $R_L = 2.7$ k Ω pull-up
Fall Time	t_f		49 ^[2]		ns	

Notes:

1. Typical values specified at $V_{CC} = 5.0$ V and 25°C.
2. t_r and t_f 80 nsec for HEDS-9040 #T00.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Interface

To insure reliable encoding performance, the HEDS-9040 and 9140 three channel encoder modules require 2.7 kΩ (± 10%) pull-up resistors on output pins 2, 3, and 5 (Channels I, A and B) as shown in Figure 1. These pull-up resistors should be located as close to the encoder module as possible (within 4 feet). Each of the three encoder module outputs can drive a single TTL load in this configuration.

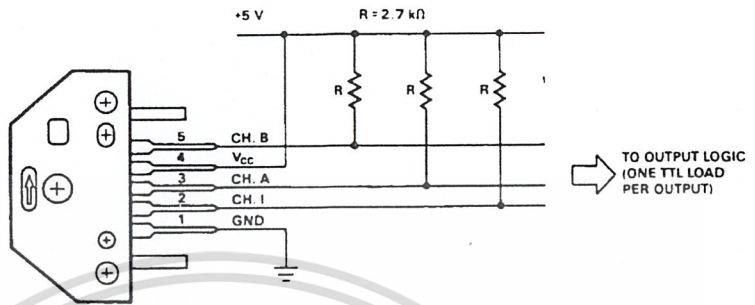


Figure 1. Pull-up Resistors on HEDS-9X40 Encoder Module Outputs.

Mounting Considerations

Figure 2 shows a mounting tolerance requirement for proper operation of the HEDS-9040 and HEDS-9140. The Aligning Recess Centers must be located within a tolerance circle of 0.005 in. radius from the nominal locations. This tolerance must be maintained whether the module is mounted with side A as the mounting plane using aligning pins (see Figure 5), or mounted with Side B as the mounting plane using an alignment tool (see Figures 3 and 4).

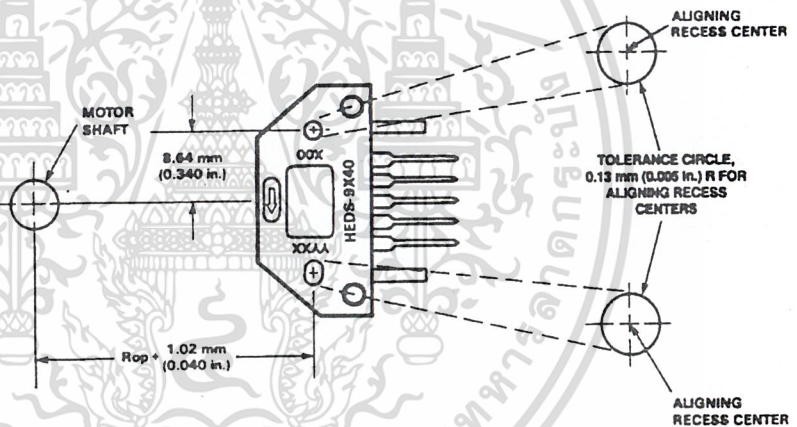


Figure 2. HEDS-9X40 Mounting Tolerance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connectors

Manufacturer	Part Number	Mounting Surface
AMP	103686-4	Both
	640442-5	Side B
DuPont	65039-032 with 4825X-000 term	Both
HP	HEDS-8903 with 5-wire leads	Side B (see Figure 8)
Molex	2695 series with 2759 series term	Side B

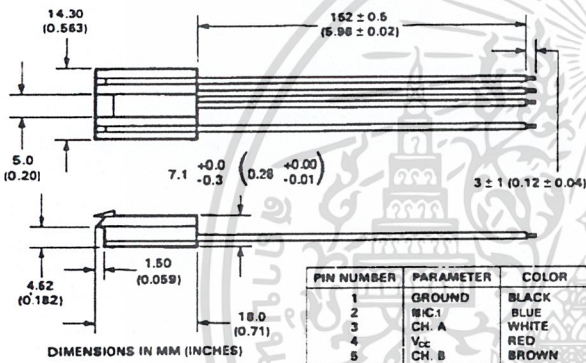
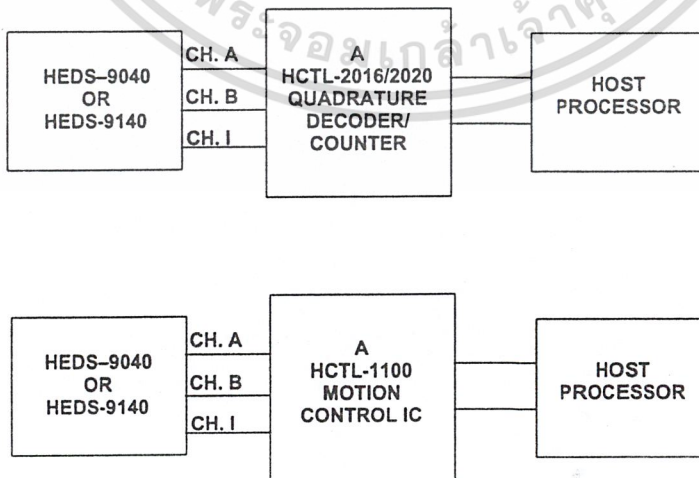


Figure 8. HEDS-8903 Connector.

Typical Interfaces



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Order this document by MC33033/D

MC33033

Brushless DC Motor Controller

The MC33033 is a high performance second generation, limited feature, monolithic brushless dc motor controller which has evolved from Motorola's full featured MC33034 and MC33035 controllers. It contains all of the active functions required for the implementation of open loop, three or four phase motor control. The device consists of a rotor position decoder for proper commutation sequencing, temperature compensated reference capable of supplying sensor power, frequency programmable sawtooth oscillator, fully accessible error amplifier, pulse width modulator comparator, three open collector top drivers, and three high current totem pole bottom drivers ideally suited for driving power MOSFETs. Unlike its predecessors, it does not feature separate drive circuit supply and ground pins, brake input, or fault output signal.

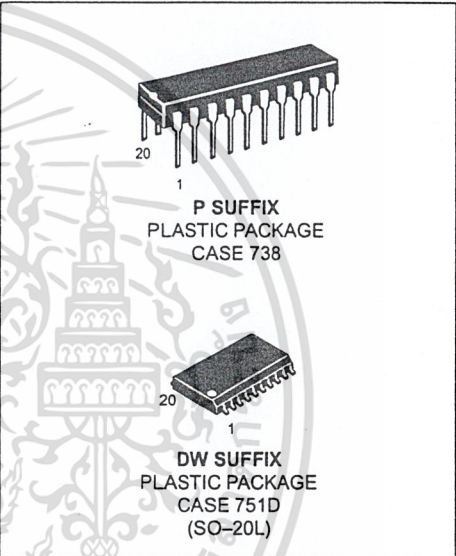
Included in the MC33033 are protective features consisting of undervoltage lockout, cycle-by-cycle current limiting with a selectable time delayed latched shutdown mode, and internal thermal shutdown.

Typical motor control functions include open loop speed, forward or reverse direction, and run enable. The MC33033 is designed to operate brushless motors with electrical sensor phasings of 60°/300° or 120°/240°, and can also efficiently control brush dc motors.

- 10 to 30 V Operation
- Undervoltage Lockout
- 6.25 V Reference Capable of Supplying Sensor Power
- Fully Accessible Error Amplifier for Closed Loop Servo Applications
- High Current Drivers Can Control External 3-Phase MOSFET Bridge
- Cycle-By-Cycle Current Limiting
- Internal Thermal Shutdown
- Selectable 60°/300° or 120°/240° Sensor Phasings
- Also Efficiently Control Brush DC Motors with External MOSFET H-Bridge

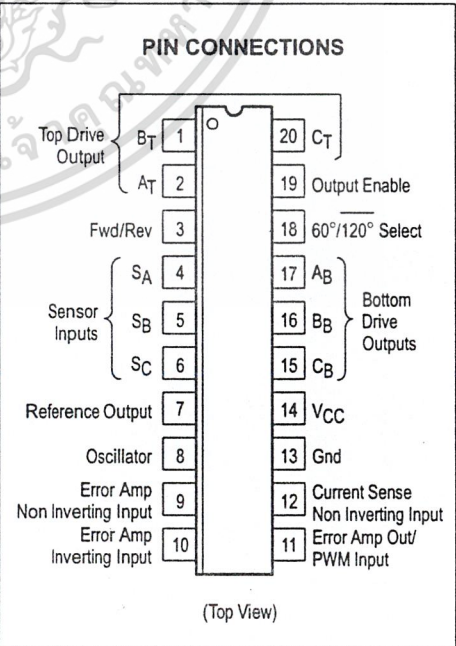
BRUSHLESS DC MOTOR CONTROLLER

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



ORDERING INFORMATION

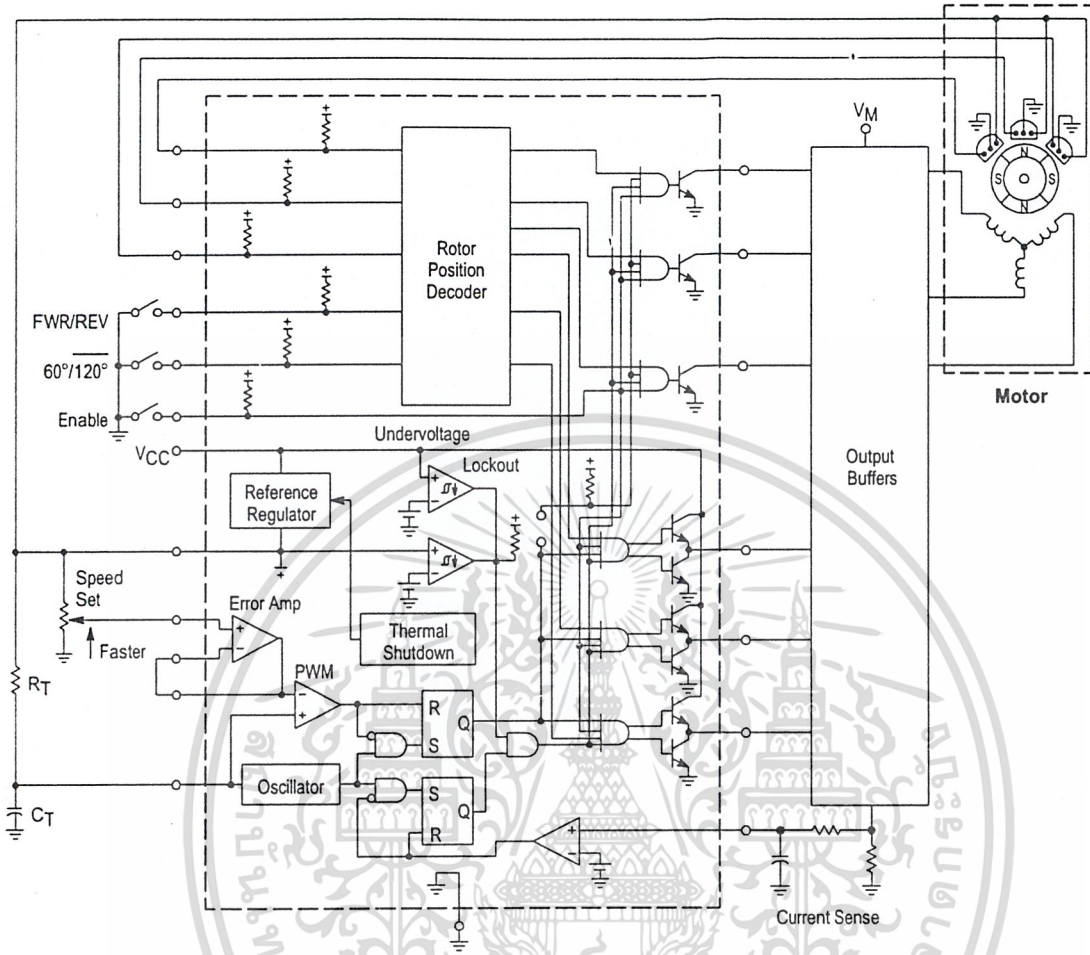
Device	Operating Temperature Range	Package
MC33033DW	T _A = -40° to +85°C	SO-20L
MC33033P		Plastic DIP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC33033

Representative Schematic Diagram



This device contains 266 active transistors.

MC33033

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	30	V
Digital Inputs (Pins 3, 4, 5, 6, 18, 19)	–	V_{ref}	V
Oscillator Input Current (Source or Sink)	I_{OSC}	30	mA
Error Amp Input Voltage Range (Pins 9, 10, Note 1)	V_{IR}	–0.3 to V_{ref}	V
Error Amp Output Current (Source or Sink, Note 2)	I_{Out}	10	mA
Current Sense Input Voltage Range	V_{Sense}	–0.3 to 5.0	V
Top Drive Voltage (Pins 1, 2, 20)	$V_{CE(top)}$	40	V
Top Drive Sink Current (Pins 1, 2, 20)	$I_{Sink(top)}$	50	mA
Bottom Drive Output Current (Source or Sink, Pins 15, 16, 17)	I_{DRV}	100	mA
Power Dissipation and Thermal Characteristics P Suffix, Dual-In-Line, Case 738 Maximum Power Dissipation @ $T_A = 85^\circ\text{C}$ Thermal Resistance, Junction-to-Air	P_D $R_{\theta JA}$	867 75	mW $^\circ\text{C/W}$
DW Suffix, Surface Mount, Case 751D Maximum Power Dissipation @ $T_A = 85^\circ\text{C}$ Thermal Resistance, Junction-to-Air	P_D $R_{\theta JA}$	619 105	mW $^\circ\text{C/W}$
Operating Junction Temperature	T_J	150	$^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range	T_A	–40 to +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	–65 to +150	$^\circ\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 20\text{ V}$, $R_T = 4.7\text{ k}$, $C_T = 10\text{ nF}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Reference Output Voltage ($I_{ref} = 1.0\text{ mA}$) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = -40^\circ\text{ to } +85^\circ\text{C}$	V_{ref}	5.9 5.82	6.24 –	6.5 6.57	V
Line Regulation ($V_{CC} = 10\text{ V to } 30\text{ V}$, $I_{ref} = 1.0\text{ mA}$)	Reg_{line}	–	1.5	30	mV
Load Regulation ($I_{ref} = 1.0\text{ mA to } 20\text{ mA}$)	Reg_{load}	–	16	30	mV
Output Short-Circuit Current (Note 3)	I_{SC}	40	75	–	mA
Reference Under Voltage Lockout Threshold	V_{th}	4.0	4.5	5.0	V

ERROR AMPLIFIER

Input Offset Voltage ($T_A = -40^\circ\text{ to } +85^\circ\text{C}$)	V_{IO}	–	0.4	10	mV
Input Offset Current ($T_A = -40^\circ\text{ to } +85^\circ\text{C}$)	I_{IO}	–	8.0	500	nA
Input Bias Current ($T_A = -40^\circ\text{ to } +85^\circ\text{C}$)	I_{IB}	–	–46	–1000	nA
Input Common Mode Voltage Range	V_{ICR}	(0 V to V_{ref})			V
Open Loop Voltage Gain ($V_O = 3.0\text{ V}$, $R_L = 15\text{ k}$)	A_{VOL}	70	80	–	dB
Input Common Mode Rejection Ratio	CMRR	55	86	–	dB
Power Supply Rejection Ratio ($V_{CC} = 10\text{ V to } 30\text{ V}$)	PSRR	65	105	–	dB
Output Voltage Swing High State ($R_L = 15\text{ k to Gnd}$) Low State ($R_L = 17\text{ k to } V_{ref}$)	V_{OH} V_{OL}	4.6 –	5.3 0.5	– 1.0	V

NOTES: 1. The input common mode voltage or input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V.
2. The compliance voltage must not exceed the range of –0.3 to V_{ref} .
3. Maximum package power dissipation limits must be observed.

MC33033

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued) ($V_{CC} = 20\text{ V}$, $R_T = 4.7\text{ k}$, $C_T = 10\text{ nF}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OSCILLATOR SECTION					
Oscillator Frequency	f_{OSC}	22	25	28	kHz
Frequency Change with Voltage ($V_{CC} = 10\text{ V}$ to 30 V)	$\Delta f_{OSC}/\Delta V$	–	0.01	5.0	%
Sawtooth Peak Voltage	$V_{OSC(P)}$	–	4.1	4.5	V
Sawtooth Valley Voltage	$V_{OSC(V)}$	1.2	1.5	–	V
LOGIC INPUTS					
Input Threshold Voltage (Pins 3, 4, 5, 6, 18, 19) High State Low State	V_{IH} V_{IL}	3.0 –	2.2 1.7	– 0.8	V
Sensor Inputs (Pins 4, 5, 6) High State Input Current ($V_{IH} = 5.0\text{ V}$) Low State Input Current ($V_{IL} = 0\text{ V}$)	I_{IH} I_{IL}	–150 –600	–70 –337	–20 –150	μA
Forward/Reverse, $60^\circ/120^\circ$ Select and Output Enable (Pins 3, 18, 19) High State Input Current ($V_{IH} = 5.0\text{ V}$) Low State Input Current ($V_{IL} = 0\text{ V}$)	I_{IH} I_{IL}	–75 –300	–36 –175	–10 –75	μA
CURRENT-LIMIT COMPARATOR					
Threshold Voltage	V_{th}	85	101	115	mV
Input Common Mode Voltage Range	V_{ICR}	–	3.0	–	V
Input Bias Current	I_{IB}	–	–0.9	–5.0	μA
OUTPUTS AND POWER SECTIONS					
Top Drive Output Sink Saturation ($I_{Sink} = 25\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	–	0.5	1.5	V
Top Drive Output Off-State Leakage ($V_{CE} = 30\text{ V}$)	$I_{DRV(leak)}$	–	0.06	100	μA
Top Drive Output Switching Time ($C_L = 47\text{ pF}$, $R_L = 1.0\text{ k}$) Rise Time Fall Time	t_r t_f	– –	107 26	300 300	ns
Bottom Drive Output Voltage High State ($V_{CC} = 30\text{ V}$, $I_{source} = 50\text{ mA}$) Low State ($V_{CC} = 30\text{ V}$, $I_{sink} = 50\text{ mA}$)	V_{OH} V_{OL}	($V_{CC} - 2.0$) –	($V_{CC} - 1.1$) 1.5	– 2.0	V
Bottom Drive Output Switching Time ($C_L = 1000\text{ pF}$) Rise Time Fall Time	t_r t_f	– –	38 30	200 200	ns
Under Voltage Lockout Drive Output Enabled (V_{CC} Increasing) Hysteresis	$V_{th(on)}$ V_H	8.2 0.1	8.9 0.2	10 0.3	V
Power Supply Current	I_{CC}	–	15	22	mA

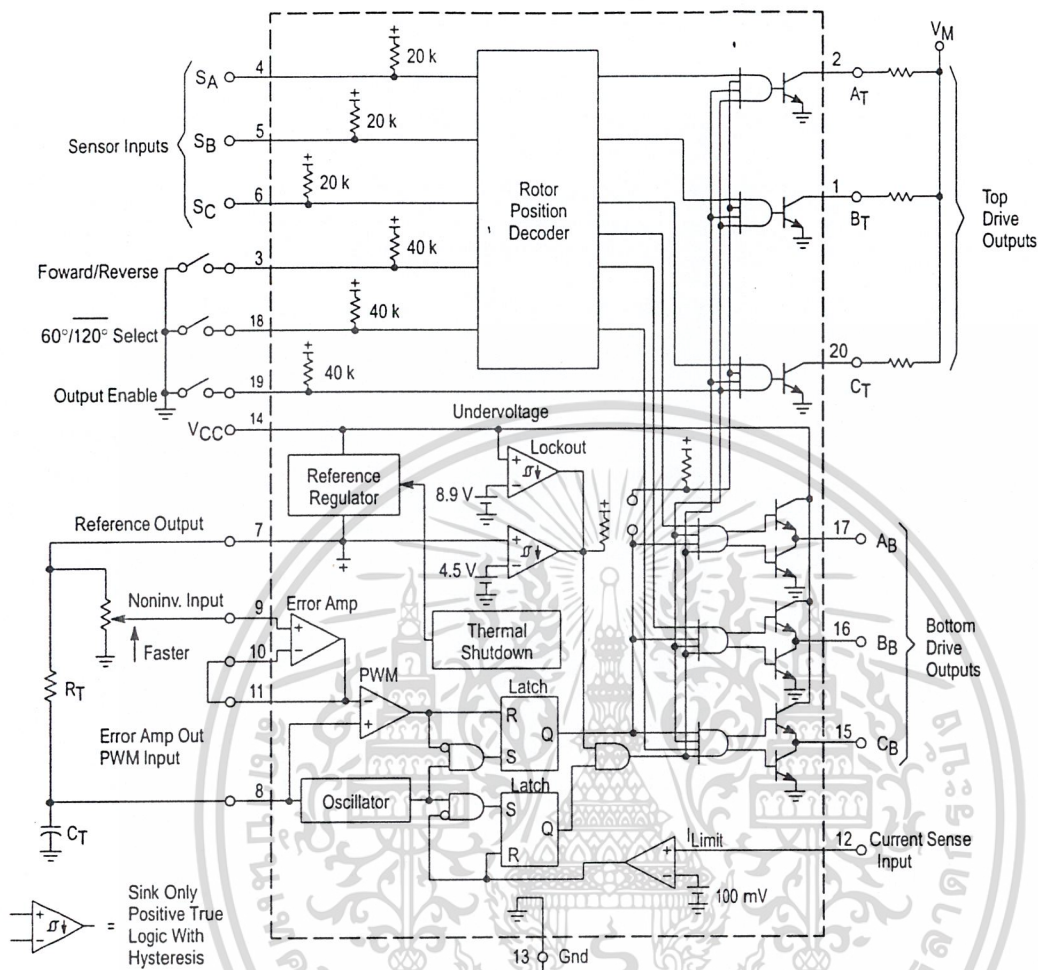
MC33033

PIN FUNCTION DESCRIPTION

Pin	Symbol	Description
1, 2, 20	B _T , A _T , C _T	These three open collector Top Drive Outputs are designed to drive the external upper power switch transistors.
3	Fwd//Rev	The Forward/Reverse Input is used to change the direction of motor rotation.
4, 5, 6	S _A , S _B , S _C	These three Sensor Inputs control the commutation sequence.
7	Reference Output	This output provides charging current for the oscillator timing capacitor C _T and a reference for the Error Amplifier. It may also serve to furnish sensor power.
8	Oscillator	The Oscillator frequency is programmed by the values selected for the timing components, R _T and C _T .
9	Error Amp Noninverting Input	This input is normally connected to the speed set potentiometer.
10	Error Amp Inverting Input	This input is normally connected to the Error Amp Output in open loop applications.
11	Error Amp Out/PWM Input	This pin is available for compensation in closed loop applications.
12	Current Sense Noninverting Input	A 100 mV signal, with respect to Pin 13, at this input terminates output switch conduction during a given oscillator cycle. This pin normally connects to the top side of the current sense resistor.
13	Gnd	This pin supplies a separate ground return for the control circuit and should be referenced back to the power source ground.
14	V _{CC}	This pin is the positive supply of the control IC. The controller is functional over a V _{CC} range of 10 to 30 V.
15, 16, 17	C _B , B _B , A _B	These three totem pole Bottom Drive Outputs are designed for direct drive of the external bottom power switch transistors.
18	60°/120° Select	The electrical state of this pin configures the control circuit operation for either 60° (high state) or 120° (low state) sensor electrical phasing inputs.
19	Output Enable	A logic high at this input causes the motor to run, while a low causes it to coast.

MC33033

Figure 18. Representative Block Diagram



MC33033

Brush Motor Control

Though the MC33033 was designed to control brushless dc motors, it may also be used to control dc brush-type motors. Figure 44 shows an application of the MC33033 driving a H-bridge affording minimal parts count to operate a brush-type motor. Key to the operation is the input sensor code [100] which produces a top-left (Q₁) and a bottom-right (Q₃) drive when the controller's Forward/Reverse pin is at logic [1]; top-right (Q₄), bottom-left (Q₂) drive is realized when the Forward/Reverse pin is at logic [0]. This code supports the requirements necessary for H-bridge drive accomplishing both direction and speed control.

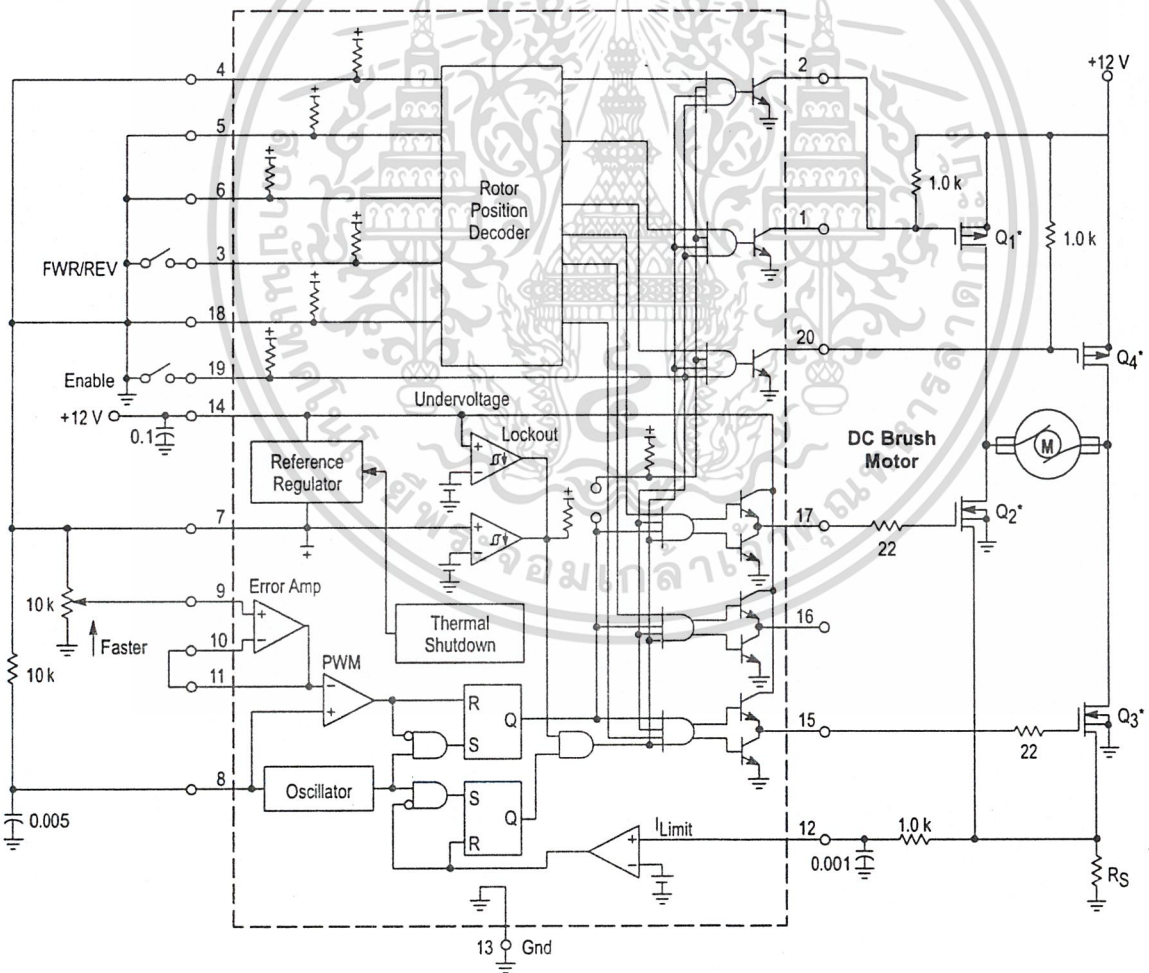
The controller functions in a normal manner with a pulse width modulated frequency of approximately 25 kHz. Motor speed is controlled by adjusting the voltage presented to the noninverting input of the Error Amplifier establishing the PWM's slice or reference level. Cycle-by-cycle current limiting of the motor current is accomplished by sensing the voltage (100 mV threshold) across the R_S resistor to ground of the H-bridge motor current. The over current sense circuit makes it possible to reverse the direction of the motor, on the

fly, using the normal Forward/Reverse switch, and not have to completely stop before reversing.

LAYOUT CONSIDERATIONS

Do not attempt to construct any of the motor control circuits on wire-wrap or plug-in prototype boards. High frequency printed circuit layout techniques are imperative to prevent pulse jitter. This is usually caused by excessive noise pick-up imposed on the current sense or error amp inputs. The printed circuit layout should contain a ground plane with low current signal and high drive and output buffer grounds returning on separate paths back to the power supply input filter capacitor V_M. Ceramic bypass capacitors (0.01 μF) connected close to the integrated circuit at V_{CC}, V_{ref} and error amplifier noninverting input may be required depending upon circuit layout. This provides a low impedance path for filtering any high frequency noise. All high current loops should be kept as short as possible using heavy copper runs to minimize radiated EMI.

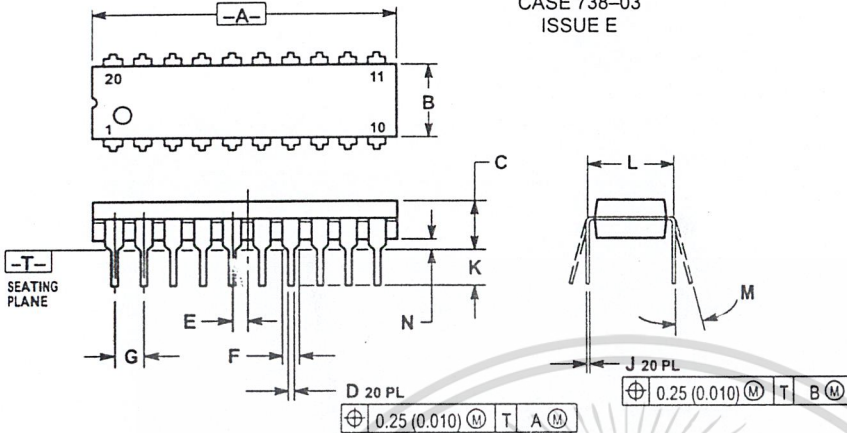
Figure 44. H-Bridge Brush-Type Controller



MC33033

OUTLINE DIMENSIONS

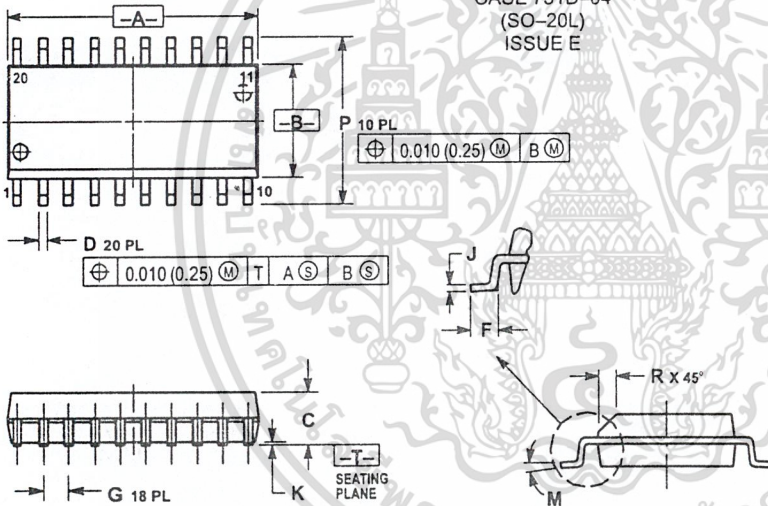
P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 738-03
ISSUE E



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.
 4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	1.010	1.070	25.65	27.17
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.150	0.180	3.81	4.57
D	0.015	0.022	0.39	0.55
E	0.050 BSC		1.27 BSC	
F	0.050	0.070	1.27	1.77
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.008	0.015	0.21	0.38
K	0.110	0.140	2.80	3.55
L	0.300 BSC		7.62 BSC	
M	0°	15°	0°	15°
N	0.020	0.040	0.51	1.01

DW SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751D-04
(SO-20L)
ISSUE E



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
 3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
 4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.150 (0.006) PER SIDE.
 5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.13 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	12.65	12.95	0.499	0.510
B	7.40	7.60	0.292	0.299
C	2.35	2.65	0.093	0.104
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.50	0.90	0.020	0.035
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.25	0.32	0.010	0.012
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0°	7°	0°	7°
P	10.05	10.55	0.395	0.415
R	0.25	0.75	0.010	0.029

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and $\text{\textcircled{M}}$ are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution; P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6609
INTERNET: <http://Design-NET.com>

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park, 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำมาใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MC33033/D