

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์สำหรับรถไฟฟ้า

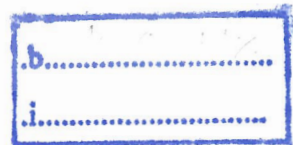
(DC MOTOR DRIVE FOR ELECTRIC CAR)



T104284



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 104284  
วัน,เดือน,ปี 30 ต.ค. 2552



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์สำหรับรถไฟฟ้า

DC MOTOR DRIVE FOR ELECTRIC CAR

ผู้จัดทำ

น.ส.กนกนุช	ทรงสุวรรณกิจ	48010005
นายจักรพงษ์	อนันต์เพชร	48010105
นายไพรัตน์	ศรีพุทธา	48010648



รศ. ดร. โยชิน เปรมปรมราชต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์สำหรับรถไฟฟ้า

โดย

น.ส.กนกนุช	ทรงสุวรรณกิจ	48010005
นายจักรพงษ์	อนันต์เพชร	48010105
นายไพรัตน์	ศรีพุทธา	48010648

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.โยชิน เปรมปราณีรัชต์

ปีการศึกษา 2551

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการพัฒนาระบบควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า อุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีมอเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยในการควบคุมนี้จะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์ และทิศทางการหมุนของดีซีมอเตอร์ โดยในการออกแบบการควบคุมนี้ได้เสนอการออกแบบด้วยวิธีซิมูเลชันมิตคอลลอปติ้ม โดยใช้ PI-controller ในการศึกษาการควบคุมครั้งนี้นอกจากจะศึกษาความเร็วและทิศทางของดีซีมอเตอร์แล้ว สิ่งสำคัญที่ศึกษาคือ ผลตอบสนองของระบบควบคุมดังกล่าว โดยการศึกษาจะพิจารณาถึงผลตอบสนองอันประกอบด้วยค่าไรซ์ไทม์ , โอเวอร์ชูต และ สมูทติงไทม์ โดยปริญญานิพนธ์เล่มนี้ไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของโหลด จึงมีการควบคุมแค่ลูปเดียวนั้นคือ ลูปความเร็วซึ่งจากการทดลองจะเปรียบเทียบระหว่างระบบควบคุมวงเปิด กับระบบควบคุมวงปิดที่มีการใช้ PI - controller ในการควบคุมระบบ เมื่อศึกษาผลตอบสนองของระบบควบคุมวงปิดเทียบกับระบบควบคุมวงเปิดปรากฏว่า ระบบควบคุมวงปิดมีผลตอบสนองที่เร็วกว่าระบบควบคุมวงเปิด และในระบบควบคุมวงปิดก็จะเกิดโอเวอร์ชูตในการศึกษา ระบบควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์นี้ ต้องปรับแต่งตัวคอนโทรลเลอร์ให้เข้ากับระบบ โดยสามารถปรับแต่งได้ทั้ง เกน และค่าคงที่ทางเวลา โดยค่าพารามิเตอร์ของคอนโทรลเลอร์ทั้งสองนี้มีผลต่อผลตอบสนองของระบบอย่างมาก นอกจากนี้แล้วปริญญานิพนธ์เล่มนี้ยังได้รวบรวมวงจรต่างๆ อาทิ วงจรสร้างสัญญาณ PWM วงจรไบโคริสตชันแนล วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันซึ่งสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบวงจรต่างๆหรือใช้ในการควบคุมต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DC MOTOR DRIVE FOR ELECTRIC CAR

By

Ms. Kanoknuch Songsuwankit

Mr. Jakkrapong Ananphet

Mr. Pairat Sriputta

Advisor

Assoc.Prof.Dr. Yothin Prempraneerach

Academic Year 2008

## ABSTRACT

This thesis mentions about the development of DC Motor speed controlling that can be applied to the electric car or any other industries involving motors. This control system consists of 2 essential parts such as controlling the speed of DC Motor and the direction of the DC motor. As the result, We use symmetrical optimum method to design control system also with PI-controller to study about the speed and the direction of DC Motor. The important thing is the system response as mentioned. The study also concentrate on rise time, overshoot, Smoothing time but not focus on the changing loads So there will be only one-loop system which is speed loop. The experiment will compare closed-loop system to open-loop system with PI-controller. As the result, closed-loop system shows the response faster than open-loop system, not only the faster response but also the overshoot in closed-loop system. From the study of controlling DC Motor, We have to adjust the controller to suit the system by adjusting system gain and time constant. These 2 parameters effect the system response very much. Furthermore, We gather all the circuits as well such as PWM circuit, Bi-directional circuit, Frequency to Voltage converter circuit. These circuits can be applied to other control methods.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานិพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จาก รศ.ดร.โยธิน เปรมปราชญ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่ดีมาโดยตลอดตั้งแต่ต้นรวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปการะที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่นๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.ไกรสร อัญชลีวรพรรณ ที่ให้ความรู้และให้การสนับสนุนในการทำโปรเจกต์ครั้งนี้ และขอขอบคุณ

คุณเทิดศักดิ์ อินทโชติ ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในเรื่องต่างๆทั้งในส่วนวงจร และสนับสนุนอุปการะในการทำงานหลายๆส่วน

ขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ สนับสนุนอุปการะที่ขาดเหลือ กระตุ้นเตือน รวมทั้งคอยถามไถ่ความคืบหน้าของโครงการอยู่เสมอ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

ผู้จัดทำ

น.ส.กนกนุช

ทรงสุวรรณกิจ

นายจักรพงษ์

อนันต์เพชร

นายไพรัตน์

ศรีพุทธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 หลักการและเหตุผล	1
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.4 รายละเอียดในการทำงาน	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	4
2.1 หลักการทำงานพื้นฐานของดีซีมอเตอร์	4
2.2 ชนิดของดีซีมอเตอร์	4
2.3 สมการทางคณิตศาสตร์และทรานเฟอร์ฟังก์ชันของดีซีมอเตอร์	5
2.3.1 สมการทางไฟฟ้า	5
2.3.2 สมการเชิงกล	6
2.4 การออกแบบระบบควบคุม	11
2.4.1 การออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีโมดูลัสออปติมิ้ม	12
2.4.1.1 การออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีโมดูลัสออปติมิ้มแบบ I – Controller	12
2.4.1.2 การออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีโมดูลัสออปติมิ้มแบบ PI – Controller	14
2.4.1.3 การออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีโมดูลัสออปติมิ้มแบบPID – Controller	16
2.4.2 การออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีซิมเมตริกอลออปติมิ้ม	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.1 การออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีซิมเมตริกคอลอปติมิမ်แบบPI –Controller	18
2.4.2.2 การออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีซิมเมตริกคอลอปติมิမ်แบบ PID–Controller	19

## สารบัญ(ต่อ)

2.4.3 การออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบที่มีตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่งขนาดใหญ่	20
2.4.4 การแก้ไขโอเวอร์ชูตจากการออกแบบด้วยวิธีซิมเมตริกคอลอปติมิမ်	22
2.4.5 การตอบสนองของระบบต่อสิ่งรบกวนภายนอก	23
2.4.6 การแบ่งระบบออกเป็นส่วนย่อย	23
<b>บทที่ 3 วงจรที่ใช้ในการทดลอง</b>	26
3.1 ระบบควบคุมทั้งหมด	26
3.2 วงจรสร้าง PWM	27
3.2.1 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม	27
3.2.2 วงจรปรับสเปก และซีโร	28
3.2.3 วงจรสร้าง PWM	29
3.2.4 วงจรเคคไทม์	29
3.3 POWER CIRCUIT	29
3.3.1 วงจรแยกกราวด์	29
3.3.2 POWER CIRCUIT	30
3.4 วงจร Bidirectional	31
3.4.1 วงจรเปรียบเทียบการนำหน้าสัญญาณ IC เบอร์ 74LS74	31
3.4.2 วงจรเปรียบเทียบการนำหน้าสัญญาณ IC เบอร์ 4011	32
3.5 วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน 2 ทิศทาง	33
3.6 วงจรสัญญาณความคลาดเคลื่อน (Error)	34
3.7 วงจรคอนโทรลเลอร์	34
3.8 การออกแบบตัวควบคุม	35
3.8.1 Symmetrical Optimum of PI-Controller	35
3.8.2 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ PI - Controller	36

**บทที่ 4 ผลการทดลอง** เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ผลการทดลองวัดสัญญาณสามเหลี่ยม	37
4.2 ผลการทดลองแสดงวงจรปรับสเปกและซีโรของวงจรสามเหลี่ยม	38
4.3 ผลการทดลองวงจรเคคไทม์	38
4.4 ผลการทดลองแรงตกคร่อมมอเตอร์	39
4.5 ผลการทดลองเอาท์พุท ของ IC 74LS04 (Bidirectional)	40
4.6 ผลการทดลองวงจรไบโคเรกซ์ชั้นแนล ผ่าน IC CD4011	41
4.7 ผลการทดลองวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน (แบบ 2 ทิศทาง)	42
4.8 ผลการทดลองการวัดค่าคงที่ทางเวลาของวงจรขับ (Driver Circuit)	43
4.9 ผลการทดลองแสดงผลตอบสนองต่อระบบควบคุมวงเปิด	43
4.10 ผลการทดลองวงจรสัญญาณความคลาดเคลื่อน	44
4.11 ผลการทดลองผลตอบสนองของระบบที่มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา	45
4.12 ผลการทดลองผลตอบสนองของระบบที่มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา	46
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	48
5.1 สรุปผลการทดลองการออกแบบตัวคอนโทรลเลอร์	48
5.2 สรุปผลการทดลองกระบวนการต่างๆของระบบควบคุม	48
5.3 สรุปผลการทดลองการควบคุมความเร็ว	48
5.4 สรุปผลการทดลองผลตอบสนองของระบบ	49
5.5 แนวทางการศึกษาต่อ	49
5.6 ปัญหาและแนวทางในการแก้ไขปัญหา	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและกระแสที่ไหลผ่านมาเจอร์	5
รูปที่ 2.2 แสดงวงจรทางไฟฟ้าของดีซีมอเตอร์	6
รูปที่ 2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์	8
รูปที่ 2.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์ในรูปของตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่งและอิทิเกรเตอร์	9
รูปที่ 2.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์อย่างง่าย	10
รูปที่ 2.6 แสดงระบบที่มีค่าคงที่ทางเวลา 1 ตัว	12
รูปที่ 2.7 แสดงระบบที่มีค่าคงที่ทางเวลา 2 ตัว	12
รูปที่ 2.8 แสดงระบบที่ใช้วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ I – controller	13
รูปที่ 2.9 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ I - Controller	14
รูปที่ 2.10 แสดงระบบที่ใช้วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ PI – controller	14
รูปที่ 2.11 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ PI - Controller	15
รูปที่ 2.12 แสดงระบบที่ใช้วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ PID – controller	16
รูปที่ 2.13 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ PID - Controller	17
รูปที่ 2.14 แสดงระบบที่ใช้วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ PI – controller	18
รูปที่ 2.15 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ PI – Controller	18
รูปที่ 2.16 แสดงระบบที่ใช้วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ PID – controller	19
รูปที่ 2.17 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ PID – Controller	20
รูปที่ 2.18 แสดงระบบที่มีตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่งขนาดใหญ่	21
รูปที่ 2.19 แสดงการเพิ่มตัวสมูทติงเพื่อลดโอเวอร์ชูตต่อสเตปอินพุท	22
รูปที่ 2.20 แสดงระบบที่ให้อินพุทเป็น 0 เมื่อพิจารณาผลตอบสนองต่อสิ่งรบกวนภายนอก (Z)	23
รูปที่ 2.21 แสดงระบบที่ใช้ตัวควบคุม 2 ตัว	24
รูปที่ 3.1 แสดงระบบควบคุมทั้งหมด	26
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม	27
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรปรับสเปน และซีโร	28
รูปที่ 3.4 แสดงการสร้าง PWM สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน	28

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 แสดงวงจรเคดไทม์	29
----------------------------	----

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 3.6 แสดงวงจรแยกกราวด์	29
รูปที่ 3.7 แสดงพาวเวอร์เซอร์กิต	30
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรการแก้ไขคิกแบ็คโวลต์เดจ	31
รูปที่ 3.9 แสดงวงจรเปรียบเทียบการนำหน้าสัญญาณ IC เบอร์ 74LS74	31
รูปที่ 3.10 แสดงวงจรเปรียบเทียบการนำหน้าสัญญาณ IC เบอร์ 4011	32
รูปที่ 3.11 แสดงวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน 2 ทิศทาง	33
รูปที่ 3.12 วงจรสัญญาณความคลาดเคลื่อน	34
รูปที่ 3.13 แสดงวงจรคอนโทรลเลอร์	34
รูปที่ 3.14 แสดงระบบควบคุมที่ออกแบบ	35
รูปที่ 3.15 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ PI – Controller	36
รูปที่ 4.1 ผลการทดลองวัดสัญญาณสามเหลี่ยม	37
รูปที่ 4.2 ผลการทดลองแสดงวงจรปรับสเปนและซีโรของวงจรสามเหลี่ยม	38
รูปที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรเคดไทม์ขาขึ้น	38
รูปที่ 4.4 ผลการทดลองวงจรเคดไทม์ขาลง	39
รูปที่ 4.5 แสดงค่าควิต์ไซเคิลต่ำสุด	39
รูปที่ 4.6 แสดงค่าควิต์ไซเคิลสูงสุด	40
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองเอาท์พุท ของ IC 74LS04	40
รูปที่ 4.8 ผลการทดลองวงจรไบโโคเรชันแนล ผ่าน IC CD4011	41
รูปที่ 4.9 ผลการทดลองวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันเมื่อมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา	42
รูปที่ 4.10 ผลการทดลองวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันเมื่อมอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา	42
รูปที่ 4.11 ผลการทดลองการวัดค่าคงที่ทางเวลาของวงจรขับ (Driver Circuit)	43
รูปที่ 4.12 ผลการทดลองแสดงผลตอบสนองต่อระบบควบคุมวงเปิด	43
รูปที่ 4.13 ผลการทดลองวงจรสัญญาณความคลาดเคลื่อนเมื่อมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา	44
รูปที่ 4.14 ผลการทดลองวงจรสัญญาณความคลาดเคลื่อนเมื่อมอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา	44
รูปที่ 4.15 แสดงการเกิดไรซ์ไทม์ของระบบ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.16 ผลการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

45

### สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 4.17 แสดงการเกิดโรซี่โทมส์ของระบบ

46

รูปที่ 4.18 ผลการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2.1	สรุปค่าคงที่ทางเวลาของการประมาณรูปควบคุมให้เป็นตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่ง	24
ตารางที่ 3.1	แสดงการทำงานของ 74LS74	31
ตารางที่ 3.2	แสดงการทำงานของ 4011(A เทียบ Q)	32
ตารางที่ 3.3	แสดงการทำงานของ 4011(B เทียบ Q)	32
ตารางที่ 3.4	แสดงการทำงานของวงจร Bidirectional	33



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาของโครงการ

ปัจจุบันการคมนาคมขนส่งมีความจำเป็นต่อการใช้ชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นการคมนาคมขนส่งทางบก การคมนาคมขนส่งทางน้ำ หรือการคมนาคมขนส่งทางอากาศ ล้วนแล้วแต่ต้องอาศัยปัจจัยหลักนั่นคือพลังงาน การคมนาคมขนส่งที่นับได้ว่าเป็นเรื่องใกล้ตัวและมีมากที่สุดในปัจจุบันคือการคมนาคมขนส่งทางบก โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดคือรถยนต์ จากการที่รถยนต์จำเป็นต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อน เช่น น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งพลังงานเหล่านี้มีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะน้ำมัน นอกจากน้ำมันจะมีปริมาณอยู่อย่างจำกัดแล้ว ราคาของน้ำมันก็ปรับตัวสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงจำเป็นต้องมีการจัดการเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ การแก้ปัญหาที่ดีอีกทางหนึ่งนั่นคือการใช้พลังงานทดแทน โดยเรามองว่าไฟฟ้าน่าจะเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่ดีที่สุดในอนาคต เพราะฉะนั้นการที่จะพัฒนาจากการใช้รถยนต์มาเป็นรถไฟฟ้าน่าจะเป็นทางที่ดีสำหรับการแก้ไขปัญหาในเรื่องของพลังงาน การศึกษาเรื่องของรถไฟฟ้านอกจากจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมแล้ว ยังเป็นอีกทางที่จะช่วยให้การคมนาคมขนส่งไม่จำเป็นต้องพึ่งพาพลังงานจำพวกน้ำมันอีกด้วย

### 1.2 หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันรถไฟฟ้าที่น่าจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการคมนาคมขนส่ง และเป็นอีกทางเลือกของการใช้พลังงานในอนาคตนั้นยังไม่เป็นที่นิยมนักแพร่หลายด้วยปัจจัยหลายๆอย่าง เช่น ค่านิยม ความเชื่อถือ เป็นต้น การที่จะสร้างความปลอดภัยให้คนเกิดความเชื่อถือเพื่อที่จะเป็นการกระตุ้นให้คนหันมาใช้รถไฟฟ้า นั้น ต้องศึกษาค้นคว้าวิจัยรถไฟฟ้า โดยเรามองว่าส่วนของมอเตอร์รถไฟฟ้ามีความจำเป็นมากที่จะต้องศึกษา เพราะเป็นหัวใจหลักที่สำคัญที่ทำให้ตัวรถไฟฟ้าเกิดการเคลื่อนที่ ในการศึกษามอเตอร์นั้นจะเป็นการศึกษาการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า โดยมอเตอร์ไฟฟ้าที่เราจะทำการศึกษาเป็นมอเตอร์กระแสตรง เนื่องจากเสถียรภาพจะดีกว่ามอเตอร์กระแสสลับ ในการควบคุมมอเตอร์นั้นมีความสำคัญอย่างมาก ทั้งในเรื่องการออกแบบ และการสร้างวงจรต่างๆขึ้นมา

ควบคุม โดยทั่วไปการควบคุมมอเตอร์นั้นมีหลากหลายวิธีการ ซึ่งการควบคุมโดยใช้เทคนิค PWM ง่ายๆ ไม่ว่าจะเป็นวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี่ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ดีที่จะนำมาใช้ในการควบคุมดีซีมอเตอร์ และในการออกแบบการควบคุมดีซีมอเตอร์นั้นก็ยังมีหลากหลายวิธีการ ซึ่งที่นิยมใช้กันคือการออกแบบด้วยวิธีโมดูลัสตอปติคัม และวิธีซิมมิตริกอลออปติคัม ในการออกแบบในปริญญาโทครั้งนี้ เลือกใช้วิธีซิมมิตริกอลออปติคัม และได้ใช้ตัวคอนโทรลเลอร์ เป็นแบบพีไอคอนโทรล ซึ่งเป้าหมายในการศึกษาครั้งนี้เพื่อควบคุมดีซีมอเตอร์ให้ได้สองทิศทางและสามารถปรับความเร็วได้ตามต้องการ

### 1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาการขับ DC Motor ด้วยสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM)
2. ศึกษาการควบคุม DC Motor ด้วยสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM)
3. ศึกษาเครื่องมือวัดความเร็วเชิงมุม (Optical Encoder) ของมอเตอร์ รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆในการทดลอง
4. ศึกษาการออกแบบตัวควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์
5. ศึกษาผลตอบสนองของระบบควบคุมดีซีมอเตอร์
6. ศึกษาวงจรในการสร้างสัญญาณต่างๆและวงจรอื่นๆที่ใช้ในการทดลอง

### 1.4 รายละเอียดในการทำงาน

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลทั้งในเรื่องของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวงจรต่างๆ และวิธีใช้อุปกรณ์ต่างๆ
2. ออกแบบวงจร และ เครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ
3. วางแผนการวิเคราะห์ห้วงจร และวางแผนการศึกษาการควบคุมในส่วนต่างๆของวงจร
4. จัดหาอุปกรณ์ในการทำ
5. สร้างเครื่องมือ และทำการทดสอบในส่วนต่างๆ ที่วางแผนไว้
6. ทดสอบ แก้ไข ปรับปรุง และศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมในส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
7. วิเคราะห์การทดลองเทียบกับทฤษฎี
8. รวบรวมข้อมูลจากการทดลอง และ สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อหาในวิทยานิพนธ์นี้แบ่งออกตามบทต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงลักษณะของดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ดีซีมอเตอร์แบบนี้เป็นหลัก โดยจะกล่าวรวมถึงสมการทางคณิตศาสตร์และทรานเฟอร์ฟังก์ชัน ระหว่างโวลต์เตจที่ป้อนให้กับดีซีมอเตอร์และความเร็วเชิงมุมของดีซีมอเตอร์ ในรูปของลาปลาซทรานฟอร์ม และแสดงบล็อกไดอะแกรมที่สัมพันธ์กับทรานเฟอร์ฟังก์ชันของดีซีมอเตอร์ เพื่อใช้ในการออกแบบระบบควบคุมความเร็วต่อไป อีกทั้งกล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมของระบบใดๆ ที่ประกอบไปด้วย ตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่ง ตัวอินทิเกรเตอร์ และค่าคงที่ใดๆ ให้เหมาะสม โดยพิจารณาผลจากการตอบสนองต่อสเตปอินพุตในด้านของโอเวอร์ชูทและเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวโดยอาศัยวิธีโมดูลัสออปติมิ้มและซิมเมตริกคอลลอปติมิ้มในการออกแบบตัวควบคุม ตลอดจนวิธีพิจารณาอุปควบคุมที่ออกแบบด้วยสองวิธีดังกล่าวให้เป็นเพียงตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่ง เพื่อใช้ในการออกแบบระบบควบคุมแบบหลายลูปซ้อนกัน และการสังเคราะห์วงจรของตัวควบคุมแบบ PI และ PID และวงจรมุมตั้ง โดยใช้วงจรรอปแอม

บทที่ 3 กล่าวถึงวงจรต่างๆที่ใช้ในการทดลอง และระบบควบคุมรวมทั้งหมด อันประกอบด้วยวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม วงจรสร้างสัญญาณ PWM วงจรแยกกราวด์ วงจรฟูลบริดจ์ วงจรสองทิศทางการหมุน (Bidirectional Circuit) วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ (Frequency to volt converter) วงจรควบคุม (controller) และวงจรอื่นๆอีกหลายวงจร โดยจะประกอบด้วยภาพวงจร และคำอธิบายการทำงานของวงจรถัดกล่าว

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองต่างๆ ในบทที่ 3 อันจะเป็นการอธิบายถึงการทดลองในส่วนต่างๆประกอบกับกราฟแสดงผลการทดลอง รวมถึงกราฟแสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมทั้งระบบควบคุมวงเปิด และระบบควบคุมวงปิด รวมไปถึงสัญญาณต่างๆที่วัดค่าได้จากวงจรในบทที่ 3

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการทดลอง การดำเนินการทั้งหมด ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลอง รวมถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหา แนวทางในการศึกษาต่อไป เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

## บทที่ 2

# หลักการและทฤษฎี

ดีซีมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานทางไฟฟ้าไปเป็นพลังงานเชิงกล อุปกรณ์ที่ใช้งานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับดีซีมอเตอร์นั้น ใช้งานได้ง่าย สะดวก และมีราคาถูกกว่ามอเตอร์ชนิดอื่นๆ

### 2.1 หลักการทำงานพื้นฐานของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์มีหลักการทำงานคือ การจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไหลในตัวนำที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก โดยตัวนำจะขดเป็นวงซ้อนกันหลายวงเพื่อให้ได้แรงที่มากกว่ากับตัวนำมากขึ้น โดยสนามแม่เหล็กนั้นกำเนิดจากแม่เหล็กไฟฟ้าหรือแท่งแม่เหล็กถาวรซึ่งมักติดกับส่วนที่คงที่ของมอเตอร์ที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator)

ขดตัวนำที่ใช้ อาจจะมีได้หลายขด โดยใช้คอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านในการจัดทิศทางของกระแสที่ไหลผ่านแต่ละขดตัวนำ เพื่อให้เกิดแรงกระทำกับขดตัวนำในทิศทางที่ทำให้เกิดการหมุนได้อย่างต่อเนื่อง โดยขดตัวนำเรียกว่าอาร์มาเจอร์ (Armature) เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมดีซีมอเตอร์ จะมีกระแสไหลผ่านทางบริชหรือแปรงถ่าน คอมมิวเตเตอร์ หรืออาร์มาเจอร์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กดูดและผลักกับสนามแม่เหล็กที่มาจากสเตเตอร์ ทำให้คอมมิวเตเตอร์และอาร์มาเจอร์หมุน

### 2.2 ชนิดของดีซีมอเตอร์

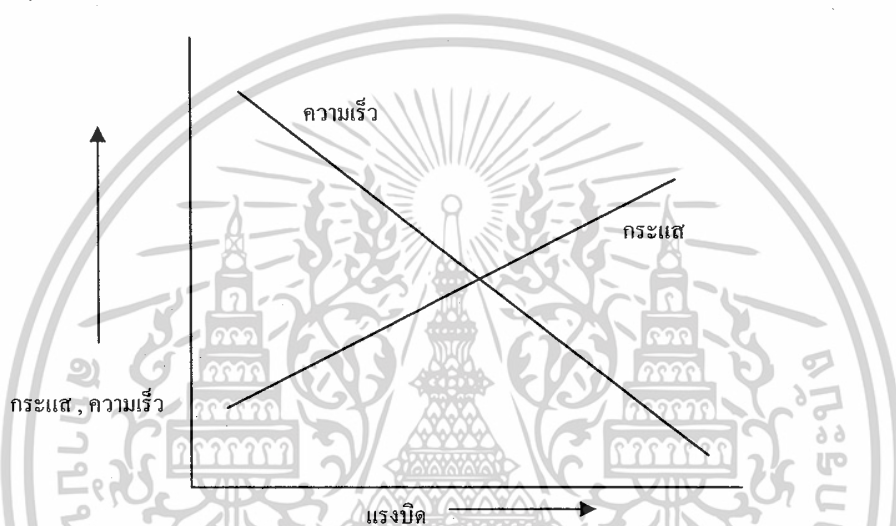
ดีซีมอเตอร์ยังแบ่งตามขนาดของกำลังออกได้เป็นสองประเภทได้แก่ ประเภทที่มีกำลังตั้งแต่หนึ่งแรงม้าขึ้นไป และประเภทที่มีกำลังต่ำกว่าหนึ่งแรงม้า ประเภทที่มีกำลังต่ำกว่าหนึ่งแรงม้ายังแบ่งออกได้อีกหลายชนิดตามรูปแบบของการให้กำเนิดสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์ ได้แก่

1. ชนิดที่ใช้ขดตัวนำต่ออนุกรมกันกับอาร์มาเจอร์ของดีซีมอเตอร์ (Straight – series motors) เพื่อให้กำเนิดสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์
2. ชนิดที่ใช้ขดลวดตัวนำสองขดต่ออนุกรมกันกับอาร์มาเจอร์ของดีซีมอเตอร์ (Split – series motors) โดยขดลวดตัวนำทั้งสองต่อขนานและกลับด้านกัน
3. ชนิดที่ใช้ขดตัวนำต่อขนานกันกับอาร์มาเจอร์ของดีซีมอเตอร์ (Shunt motors)
4. ชนิดที่ใช้ขดตัวนำต่ออนุกรมกับอาร์มาเจอร์ และอีกขดหนึ่งต่อขนานกับอาร์มาเจอร์ของดีซีมอเตอร์ (Compound motors)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ชนิดที่ใช้แม่เหล็กถาวรเป็นแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะให้ค่าของสนามแม่เหล็กคงที่ โดยแสดงลักษณะของดีซีมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร

ดีซีมอเตอร์ชนิดต่างๆ ดังกล่าวมีความสัมพันธ์ที่ผกผันกันระหว่างความเร็วและกระแสที่ไหลผ่านอามาเจอร์ ซึ่งดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมีความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นเชิงเส้นมากกว่าดีซีมอเตอร์ชนิดอื่นๆ โดยแสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกระแสของดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรดังภาพที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและกระแสที่ไหลผ่านอามาเจอร์

ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรเป็นหลัก เนื่องจากมีความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความเร็วเป็นเชิงเส้นมากกว่าแบบอื่นๆ และไม่ต้องใช้กระแสจากแหล่งอื่นเพื่อให้กำเนิดสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์

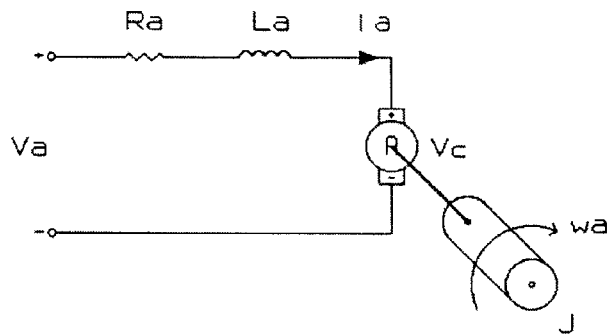
## 2.3 สมการทางคณิตศาสตร์และทรานเฟอ์ฟังก์ชันของดีซีมอเตอร์

สมการทางคณิตศาสตร์ของดีซีมอเตอร์แบ่งออกเป็นสมการทางไฟฟ้าและเชิงกล

### 2.3.1 สมการทางไฟฟ้า

พิจารณาดีซีมอเตอร์จากวงจรสมมูลซึ่งประกอบไปด้วยค่าความต้านทาน  $R$  และตัวเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า  $L_a$  เมื่อมอเตอร์หมุนจะเกิดค่าแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ  $V_b$  ออกมา ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงวงจรทางไฟฟ้าของดีซีมอเตอร์

ถ้าให้โวลต์เตจตกคร่อมของดีซีมอเตอร์  $V_a$  จะมีกระแสไหลเท่ากับ  $i_a$  โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2-1

$$V_a = L_a \frac{di_a}{dt} + R i_a + V_b \quad (2-1)$$

$V_b$  เป็นแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับที่เกิดจากการหมุนของดีซีมอเตอร์ โดยมีความสัมพันธ์กับความเร็วเชิงมุม  $\omega$  ของดีซีมอเตอร์ ดังนี้

$$V_b = K_E \omega \quad (2-2)$$

โดยที่  $K_E$  เป็นค่าแรงดันย้อนกลับหรืออีเอ็มเอฟโวลต์เตจสำหรับดีซีมอเตอร์ ดังนั้นจะได้สมการทางไฟฟ้าของดีซีมอเตอร์ ดังนี้

$$V_a = L_a \frac{di_a}{dt} + R i_a + K_E \omega \quad (2-3)$$

### 2.3.2 สมการเชิงกล

พิจารณาดีซีมอเตอร์ในทางเชิงกล ขณะหมุนเมื่อไม่มีโหลดจะประกอบไปด้วยแรงต้านต่างๆ ได้แก่ จากโมเมนต์ของแรงเฉื่อยในดีซีมอเตอร์  $J_m$  แรงบิดต้านจากความฝืด  $t_f$  และแรงบิดต้านที่แปรผันตามความเร็วเชิงมุม  $\omega$  ดังนั้นจะได้แรงบิดต้านการหมุนของดีซีมอเตอร์  $t_m$  ขณะไม่มีโหลดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t_m = t_f + D\omega \quad (2-4)$$

เมื่อ  $D$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดวิสคอรส์

เนื่องจากดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมีค่าสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์คงที่ แรงบิด  $t_g$  จึงมีความสัมพันธ์กับกระแสที่ไหลผ่านอาร์มาเจอร์  $i_a$  ดังนี้

$$t_g = K_t i_a \quad (2-5)$$

โดยที่  $K_t$  เป็นค่าคงที่แรงบิดสำหรับดีซีมอเตอร์

ถ้าดีซีมอเตอร์มีโหลด  $t_L$  ต่ออยู่ด้วย โดยให้โมเมนต์ของแรงเฉื่อยจากโหลดเป็น  $J_L$  และแรงบิดต้านจากโหลดเป็น  $t_L$  ดังนั้นจะได้สมการของแรงบิด  $t_g$  คือ

$$t_g = (J_m + J_L) \frac{d\omega}{dt} + D\omega + t_f + t_L \quad (2-6)$$

ให้โมเมนต์ของแรงเฉื่อยทั้งหมดได้แก่  $J_m$  และ  $J_L$  เท่ากับ  $J$  และผลจากความฝืด  $t_f$  ที่น้อยมาก และอาศัยสมการ 2-3 ; 2-5 และ 2-6 ให้รูปแบบของลาปลาซทรานส์ฟอร์มและจัดรูปแบบใหม่จะได้สมการ 2-7 , 2-8 และ 2-9 ตามลำดับ

$$V_a(s) = (sL_a + R) i_a(s) + K_E \omega(s)$$

จัดรูปแบบใหม่ได้

$$V_a(s) - K_E \omega(s) = (sL_a + R) i_a(s) \quad (2-7)$$

$$T_g(s) = K_T i_a(s) \quad (2-8)$$

$$T_g(s) = (J_s + D) \omega(s) + T_L(s)$$

จัดรูปแบบใหม่ได้

$$T_g(s) - T_L(s) = (J_s + D) \omega(s) \quad (2-9)$$

จากสมการ 2-7 จะได้  $i_a(s)$  ดังนี้

$$i_a(s) = \frac{V_a(s) - K_E \omega(s)}{(sL_a + R)} \quad (2-10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าสมการ 2-10 ลงในสมการ 2-8 จะได้  $T_g(s)$  ดังนี้

$$T_g(s) = K_T \frac{V_a(s) - K_E \omega(s)}{(sL_a + R)} \quad (2-11)$$

แทนค่าสมการ 2-11 ลงในสมการ 2-9 จะได้ดังนี้

$$K_T \frac{V_a(s) - K_E \omega(s)}{(sL_a + R)} - T_L(s) = (J_s + D) \omega(s) \quad (2-12)$$

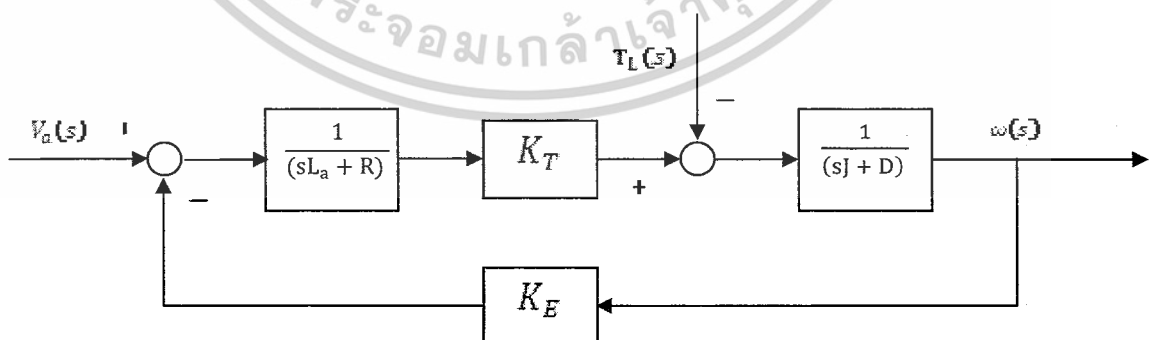
จัดรูปแบบสมการ (2-12) จะได้สมการของระบบที่มีสองอินพุตได้แก่  $V(s)$  และ  $T_L(s)$  และเอาที่พุดเป็นความเร็วเชิงมุม  $\omega(s)$  ดังนี้

$$\omega(s) = \frac{K_T}{(sL_a + R)(sJ + D) + K_E K_T} V_s - \frac{(sL_a + R)}{(sL_a + R)(sJ + D) + K_E K_T} T_L(s) \quad (2-13)$$

ดังนั้นจะได้ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันระหว่าง โวลต์เตจที่ตกคร่อมดีซีมอเตอร์กับความเร็วจเชิงมุม เมื่อให้  $T_L = 0$  ในกรณีที่ไม่มีโหลด ดังนี้

$$G_m(s) = \frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{K_T}{(sL_a + R)(sJ + D) + K_E K_T} \quad (2-14)$$

โดยอาศัยสมการ 2-7, 2-8 และ 2-9 สามารถแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.3 ดีซีมอเตอร์ประกอบไปด้วยส่วนทางไฟฟ้าที่แสดงได้โดยอาศัยสมการ 2-7 ซึ่งมีทรานสเฟอร์ฟังก์ชันระหว่างกระแสและ โวลต์เตจที่ตกคร่อมดีซีมอเตอร์ดังนี้

$$\frac{I_a(s)}{V_a(s) - K_E \omega(s)} = \frac{1}{(sL_a + R)} = \frac{1/R}{\left(\frac{sL_a}{R} + 1\right)} \quad (2-15)$$

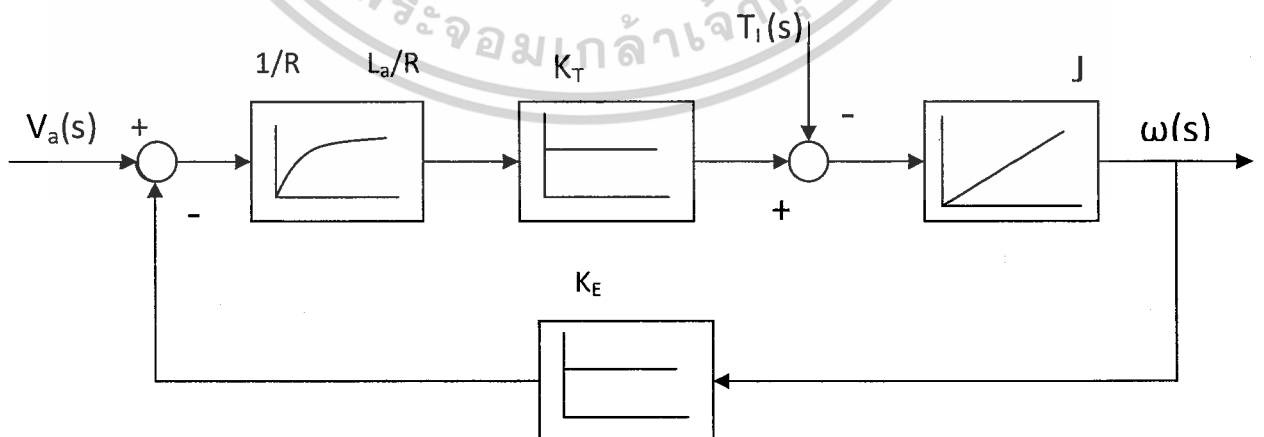
ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันระหว่างกระแสและ โวลต์เตจที่ตกคร่อมดีซีมอเตอร์มีลักษณะเป็นตัวแทนของเวลาอันดับหนึ่งที่มีค่าคงที่ทางเวลา  $L_a / R$  และมีค่าอัตราขยายสัญญาณ  $1/R$

ส่วนเชิงกลของดีซีมอเตอร์แสดงได้โดยอาศัยสมการ 2-9 ซึ่งมีทรานสเฟอร์ฟังก์ชันระหว่างความเร็วเชิงมุมและแรงบิดดังนี้

$$\frac{\omega(s)}{T_g(s) - T_L(s)} = \frac{1}{(Js + D)} = \frac{1}{Js}, \quad D \approx 0 \quad (2-16)$$

ซึ่งมีทรานสเฟอร์ฟังก์ชันระหว่างความเร็วเชิงมุมและแรงบิดมีลักษณะเป็นตัวแทนอินทิเกรเตอร์ที่มีค่าคงที่ในการอินทิเกรตสัญญาณ  $J$  เมื่อค่า  $D$  มีค่าน้อยมากๆ

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับกระแส และความเร็วรอบกับ โวลต์เตจย้อนกลับมีลักษณะเป็นสัดส่วนคงที่ ซึ่งมีลักษณะเป็นค่าอัตราขยาย  $K_T$  และ  $K_E$  ตามลำดับ ดังนั้น สามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมใหม่จากภาพที่ 2.3 ได้โดยแสดงลักษณะรูปของการตอบสนองต่อสเตปอินพุทในเชิงเวลาของแต่ละส่วนแทนสมการของทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน เพื่อช่วยแก่การเข้าใจลักษณะการตอบสนองต่อสเตปอินพุทของแต่ละส่วน โดยระบุค่าอัตราขยายสัญญาณและค่าคงที่ทางเวลาไว้ด้านบนของแต่ละส่วน โดยแสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์ในรูปแบบของตัวแทนเวลาอันดับหนึ่งและอินทิเกรเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

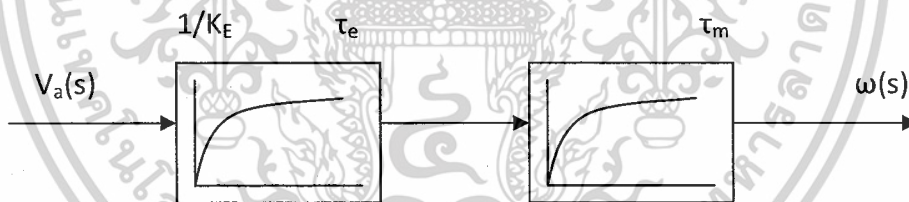
สำหรับดีซีมอเตอร์ที่มีค่า  $D$  น้อยมากจนสามารถประมาณเป็นศูนย์ สามารถประมาณทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของดีซีมอเตอร์จากสมการ 2-14 ได้ดังสมการ 2-17

$$G_m(s) = \frac{K_T}{s^2 L_a + sRJ + K_E K_T} = \frac{1/K_E}{s^2 \frac{L_a J}{K_E K_T} + s \frac{RJ}{K_E K_T} + 1} \quad (2-17)$$

ถ้าจัดรูปแบบของทรานสเฟอ์ฟังก์ชันให้อยู่ในรูปที่แสดงค่าคงที่ทางเวลาทางไฟฟ้า  $\tau_e$  และค่าคงที่ทางเวลาเชิงกล  $\tau_m$  ดังนี้

$$G_m(s) = \frac{1/K_E}{(s \tau_m + 1)(s \tau_e + 1)} = \frac{1/K_E}{s^2 \tau_m \tau_e + s(\tau_e + \tau_m) + 1} \quad (2-18)$$

จากสมการ 2-18 เป็นลักษณะของตัวหน่วงเวลาอันดับสองที่มีค่าอัตราขยายสัญญาณโดยรวมเท่ากับ  $1/K_E$  โดยตัวหน่วงเวลาอันดับสองนี้เกิดจากตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่งสองตัวที่มีค่าคงที่ทางเวลา  $\tau_e$  และ  $\tau_m$  ต่ออนุกรมกัน สามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์อย่างง่าย

โดยทั่วไปแล้วค่าของ  $\tau_m$  มากกว่า  $\tau_e$  หลายเท่า ดังนั้นสามารถประมาณได้ว่า  $(\tau_m + \tau_e)$  เท่ากับ  $\tau_m$  ดังนั้นจากสมการ (2-17) และ (2-18) จะได้

$$G_m(s) = \frac{1/K_e}{s^2 \tau_m \tau_e + s \tau_m + 1} = \frac{1/K_E}{s^2 \frac{L_a J}{K_E K_T} + s \frac{RJ}{K_E K_T} + 1} \quad (2-19)$$

โดยที่ 
$$\tau_m = \frac{RJ}{K_E K_T} \quad (2-20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau_e = \frac{L_a}{R} \quad (2-21)$$

จากภาพที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิดของดีซีมอเตอร์นั้น มีความสัมพันธ์ในเชิงผกผันกัน ถ้ามีแรงบิดมากขึ้นความเร็วจะลดลง จากสมการที่ 2-13 ความเร็วของดีซีมอเตอร์ขึ้นอยู่กับโวลต์เตจที่ตกคร่อมดีซีมอเตอร์และแรงบิดจากโหลดด้วย ในสภาวะที่โวลต์เตจที่ตกคร่อมดีซีมอเตอร์คงที่ ความเร็วก็จะคงที่ด้วย แต่ถ้าแรงบิดจากโหลดสูงขึ้นความเร็วจะลดลง ดังนั้นจึงต้องเพิ่ม โวลต์เตจที่ตกคร่อมดีซีมอเตอร์เพื่อให้ความเร็วเพิ่มขึ้นจนเท่าเดิม ดังนั้นการควบคุมโวลต์เตจที่ตกคร่อมดีซีมอเตอร์จึงเป็นการควบคุมความเร็วด้วย ซึ่งเป็นลักษณะพื้นฐานของการควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์ โดยการตรวจจับสัญญาณความเร็วจากอุปกรณ์ที่เหมาะสม

#### 2.4 การออกแบบระบบควบคุม

การออกแบบตัวควบคุมนั้น สามารถออกแบบได้หลายวิธี แต่ละวิธีจะมีความเหมาะสมสำหรับแต่ละระบบ โดยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและรูปแบบของระบบที่ต้องการควบคุม แต่ถ้าระบบประกอบไปด้วยตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่ง อินทิเกรเตอร์ และค่าคงที่ในการขยายสัญญาณ เช่น ระบบควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์ สามารถใช้วิธีโมดูลัส หรือซิมเมตริกอลอปปติมัม เพื่อการออกแบบตัวควบคุมแบบ I, PI, และ PID สำหรับระบบได้ เนื่องจากสามารถออกแบบได้สะดวกและได้ผลดี

ระบบควบคุมอาจจะมีเพียงลูปลควบคุมเดียวหรือหลายลูปลควบคุมซ้อนกันอยู่ ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการออกแบบและคุณสมบัติของระบบ ระบบควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์เป็นตัวอย่างของระบบควบคุมที่สามารถใช้การควบคุมความเร็วเพียงลูปลเดียวได้ แต่ถ้าเพิ่มการควบคุมกระแสเข้าไปภายในลูปลควบคุมความเร็วซึ่งเป็นลักษณะของการควบคุมแบบสองลูปล จะช่วยลดผลจากค่าคงที่ทางเวลาต่างๆ ภายในลูปลควบคุมกระแส ซึ่งทำให้ลูปลควบคุมความเร็วโดยรวมมีการตอบสนองต่อคำสั่งได้รวดเร็วยิ่งขึ้นและช่วยลดผลกระทบจากสิ่งรบกวนภายนอกได้

จากแนวความคิดในการเพิ่มลูปลควบคุมย่อยเข้าไป จะช่วยลดผลจากค่าคงที่ทางเวลาดังกล่าว ถ้าเพิ่มเติมลูปลควบคุมโวลต์เตจเข้าไปอยู่ภายในลูปลควบคุมกระแสซึ่งเป็นลักษณะของการควบคุมแบบสามลูปล ก็จะช่วยลดผลจากค่าคงที่ทางเวลาภายในของลูปลควบคุมโวลต์เตจ ทำให้ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าคงที่ทางเวลาภายในลูปควบคุมกระแสลดลง ซึ่งจะช่วยให้ลูปควบคุมความเร็วมีการตอบสนองต่อคำสั่งได้รวดเร็วยิ่งขึ้นและลดผลกระทบจากสิ่งรบกวนภายนอกได้ดียิ่งขึ้นกว่าการควบคุมแบบสองลูปดังกล่าว

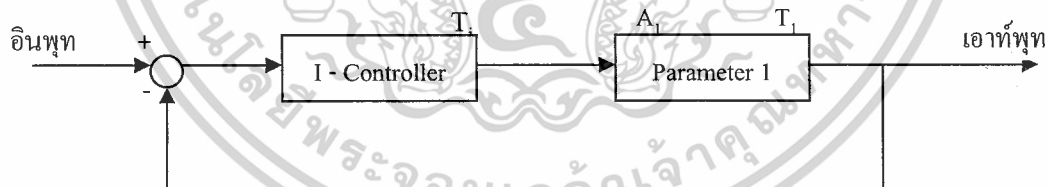
การออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบควบคุมแต่ละลูปนั้นสามารถใช้การออกแบบด้วยวิธี โมดูลัสออปติมัม หรือซิมเมตริกอลออปติมัม ได้ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีการออกแบบตัวควบคุมทั้งสองแบบนี้ต่อไป

#### 2.4.1 การออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีโมดูลัสออปติมัม

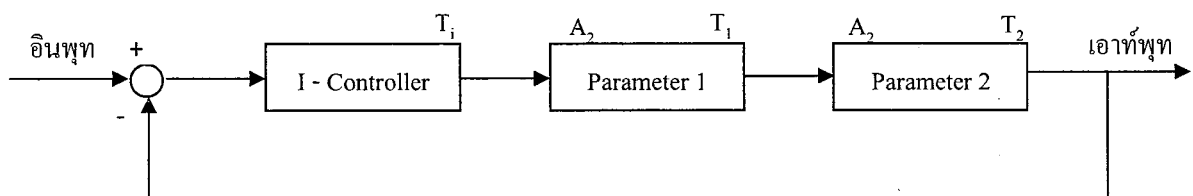
การออกแบบตัวควบคุมโดยพิจารณาจากลักษณะการตอบสนองในเชิงความถี่ เพื่อใช้ในการควบคุมให้อัตราขยายมีค่าเข้าใกล้หนึ่งให้มากที่สุดตลอดย่านความถี่ เสมือนเป็นการควบคุมรูปร่างของอัตราขยายในเชิงความถี่หรือ โมดูลัสของระบบให้เหมาะสม ซึ่งเป็นลักษณะของการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธี โมดูลัสออปติมัม การควบคุมอัตราขยายให้มีค่าเป็นหนึ่งคือการควบคุมให้ค่าเอาต์พุตของระบบมีค่าเท่ากับอินพุตซึ่งหมายถึงระบบสามารถทำงานได้ตามคำสั่งที่ให้ไป

##### 2.4.1.1 การออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีโมดูลัสออปติมัมแบบ I – Controller

ใช้กับระบบที่มีค่าคงที่ทางเวลา (Time Constant) เพียงค่าเดียว หรือมีค่าคงที่ทางเวลาหลายๆ ค่า แต่มีค่าใกล้เคียงกัน และสามารถรวมกันเป็นค่าเดียวได้



รูปที่ 2.6 แสดงระบบที่มีค่าคงที่ทางเวลา 1 ตัว

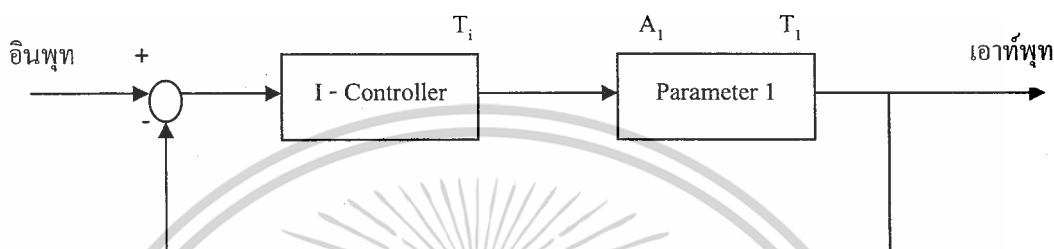


รูปที่ 2.7 แสดงระบบที่มีค่าคงที่ทางเวลา 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปหาคะบบมีค่าคงที่ทางเวลาเพียงแค่ค่าเดียวสามารถออกแบบตัวควบคุมโดยวิธี โมดูลัสออปติมิซแบบ I-Controller ได้ และหากค่าคงที่ทางเวลาของค่าพารามิเตอร์ (Parameter)  $T_1$  และ  $T_2$  มีค่าใกล้เคียงกัน สามารถนำมารวมกันได้ จากนั้นจึงออกแบบด้วยวิธี I-Controller ได้ เช่นกัน

### 1 วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ I-Controller



รูปที่ 2.8 แสดงระบบที่ใช้วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ I-controller

ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของระบบ คือ

$$F_R(s) = \frac{1}{s T_i} \quad (2-22)$$

และหาค่า  $T_i$  ได้จากสมการ

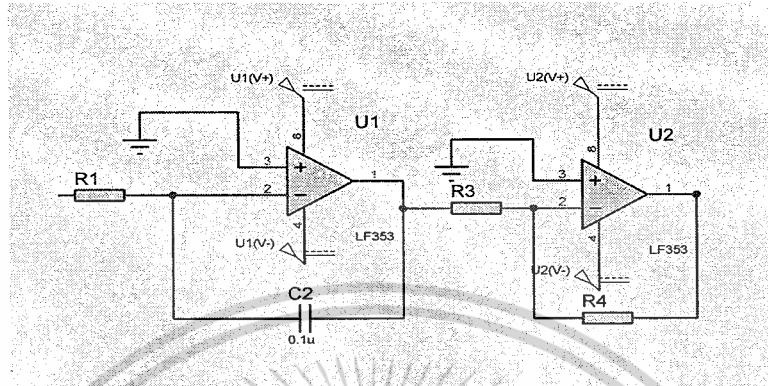
$$T_i = 2 A_s T_e \quad (2-23)$$

เมื่อ  $A_s$  คือ ค่าอัตราขยายสัญญาณของตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่ง

$T_i$  คือ ค่าคงที่ทางเวลาในการอินทิเกรตสัญญาณของตัวควบคุม I

$T_e$  คือ ผลรวมของค่าคงที่ทางเวลาอันดับหนึ่งของพารามิเตอร์ทั้งหมด

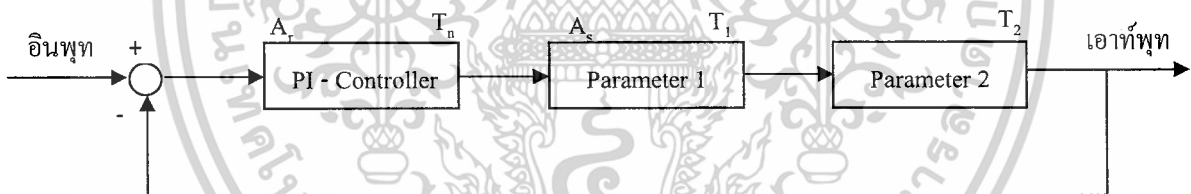
2 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ I - Controller



รูปที่ 2.9 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ I - Controller

จากรูป (3.4) ค่าคงที่ทางเวลา ( $T_i$ ) มีค่าเท่ากับ  $R_1 C_2$

2.4.1.2 การออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีโมดูลัสออปติมัมแบบ PI - Controller



รูปที่ 2.10 แสดงระบบที่ใช้วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ PI - controller

การออกแบบโดยใช้ PI - Controller เป็นการออกแบบระบบที่มีค่าพารามิเตอร์ และค่าคงที่ทางเวลาอยู่สองตัว หรือมากกว่านั้นแต่รวมกันทั้งหมดแล้วได้แค่สองตัว

1 วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ PI - Controller

จากรูปที่ 3.5 จะได้ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของระบบดังนี้

$$F_R(s) = \frac{A_r (1+s T_n)}{s T_n} \tag{2-24}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถหาค่าต่างๆ ได้จากสมการ

$$T_n = T_1 \quad (2-25)$$

$$A_r = \frac{T_1}{2A_s T_e} \quad (2-26)$$

$$T_r = 4.7 T_e \quad (2-27)$$

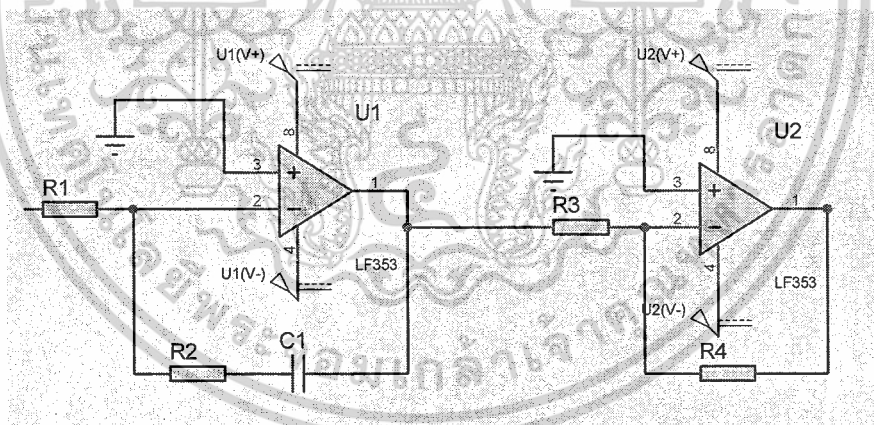
โดย  $T_n$  คือ ค่าคงที่ทางเวลาของตัว PI-Controller

$T_1$  คือ ค่าคงที่ทางเวลาของพารามิเตอร์ที่มีค่ามากที่สุด

$T_e$  คือ ค่าคงที่ทางเวลาของพารามิเตอร์ที่มีค่าน้อยที่สุด

$T_r$  คือ ค่าไรส์ไทม์ (Rise Time) ของระบบ

## 2. การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ PI-Controller



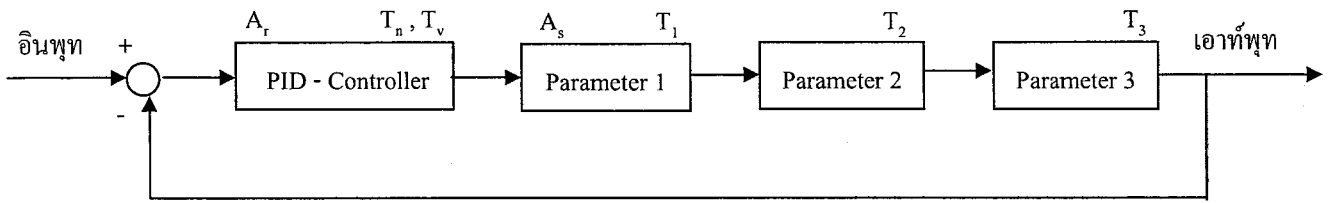
รูปที่ 2.11 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ PI-Controller

การปรับค่าเกน (Gain) ( $A_r$ ) ปรับได้จากอัตราส่วนระหว่าง  $\frac{R_2 R_4}{R_1 R_3}$

การปรับค่า  $T_n$  ปรับได้จาก  $T_n = R_2 C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.1.3 การออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีโมดัลส์ออปติมิမ်แบบ PID – Controller



รูปที่ 2.12 แสดงระบบที่ใช้วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ PID – controller

ระบบที่ใช้วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ PID – controller จะใช้ออกแบบระบบที่มีค่าพารามิเตอร์ 3 ตัว หรือมากกว่า แต่รวมค่าคงที่ที่ทางเวลาทั้งหมดได้เป็น 3 ตัว

#### 1 วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ PID – Controller

ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของระบบมีค่าเท่ากับ

$$F_R(s) = \frac{A_r (1+s T_n)(1+s T_v)}{s T_n} \quad (2-28)$$

สามารถหาค่าต่างๆ ได้จากสมการ

$$T_n = T_1 \quad (2-29)$$

$$T_v = T_2 \quad (2-30)$$

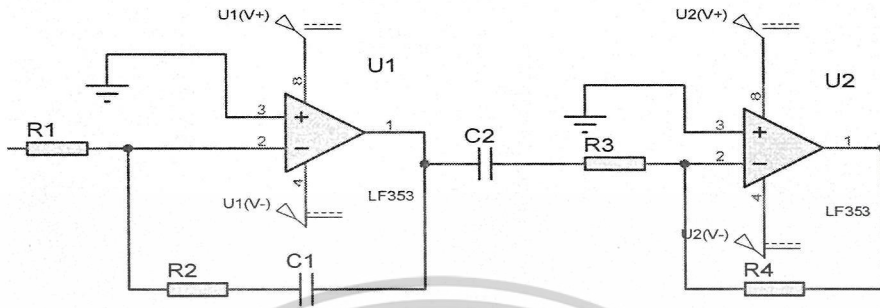
$$A_r = \frac{T_1}{2A_s T_e} \quad (2-31)$$

$$T_r = 4.7 T_e \quad (2-32)$$

เมื่อ  $T_v$  คือ ค่าคงที่ของการเดริเวทีฟ (Derivative)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ PID - Controller



รูปที่ 2.13 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ PID - Controller

$$T_v = C_1 R_1 \tag{2-33}$$

$$T_n = C_2 R_2 \tag{2-34}$$

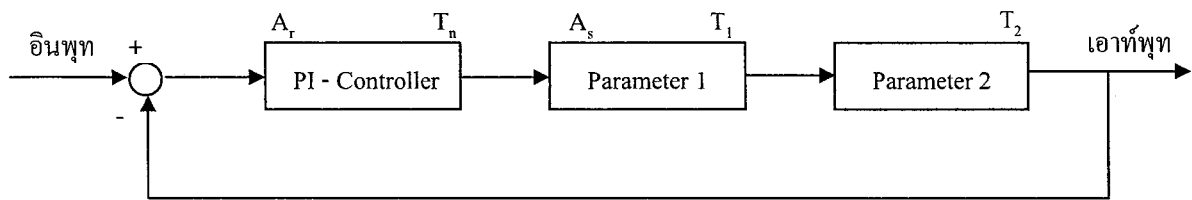
$$\text{Gain} = \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3} \tag{2-35}$$

2.4.2 การออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีซิมเมตริกอสตอปติ่ม

ซิมเมตริกอสตอปติ่มเป็นวิธีการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบที่มีส่วนประกอบของตัวอินทิเกรเตอร์กับตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถใช้วิธีการชดเชยได้เหมือนกับวิธีโมดูลัสอสตอปติ่ม ซึ่งจะทำให้ระบบเกิดการออสซิลเลต ระบบที่ประกอบด้วยตัวอินทิเกรเตอร์ที่มีค่าคงที่ทางเวลาในการอินทิเกรตสัญญาณ  $T_0$  และตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่งที่มีค่าที่ทางเวลา  $T_1$ ,  $T_2$  และ  $T_3$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน สามารถใช้ตัวควบคุมแบบ PI ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.2.1 การออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีจิมเมติกอลออปติ้มแบบ PI - Controller



รูปที่ 2.14 แสดงระบบที่ใช้วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ PI - controller

#### 1 วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ PI - Controller

ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของระบบมีค่าเท่ากับ

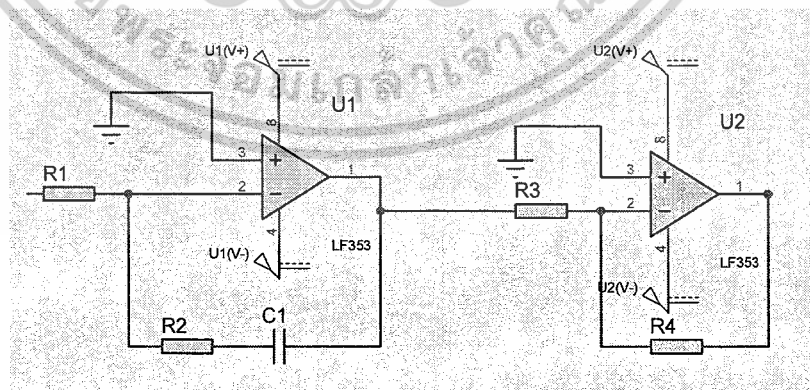
$$F_R(s) = \frac{A_r (1 + s T_n)}{s T_n} \quad (2-36)$$

โดยที่

$$T_n = 4T_e \quad (2-37)$$

$$A_r = \frac{T_1}{2A_s T_e} \quad (2-38)$$

#### 2 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ PI - Controller



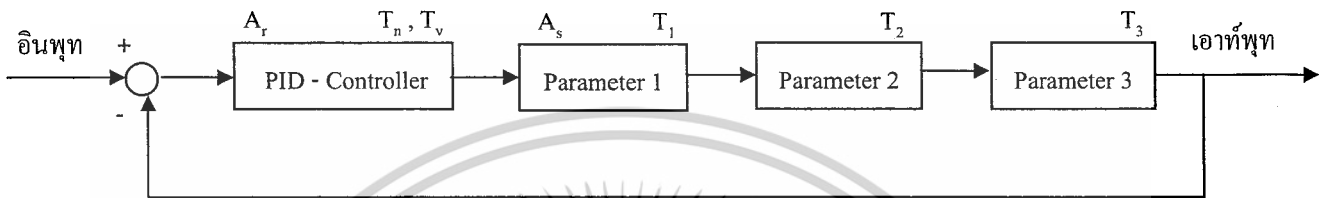
รูปที่ 2.15 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ PI - Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับแต่งระบบ  $\text{Gain} = \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3}$  (2-39)

$$T_n = R_2 C_2 \quad (2-40)$$

#### 2.4.2.2 การออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีซิมเมติกอลออปติ้มแบบ PID – Controller



รูปที่ 2.16 แสดงระบบที่ใช้วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ PID – controller

ทรานสเฟอริงฟังก์ชันของระบบมีค่าเท่ากับ

$$F_R(s) = \frac{A_r (1+sT_n)(1+sT_v)}{sT_n} \quad (2-41)$$

#### 1 วิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบ PID – Controller

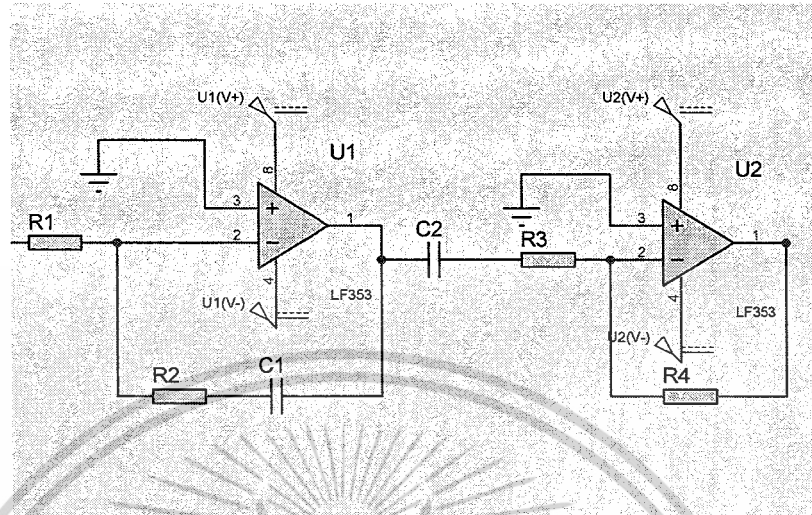
$$T_n = 4T_e \quad (2-42)$$

$$T_v = T_2 \quad (2-43)$$

$$A_r = \frac{T_1}{2A_s T_e} \quad (2-44)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ PID - Controller



รูปที่ 2.17 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ PID - Controller

การปรับแต่ง

$$\text{Gain} = \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3} \quad (2-45)$$

$$T_n = R_2 C_2 \quad (2-46)$$

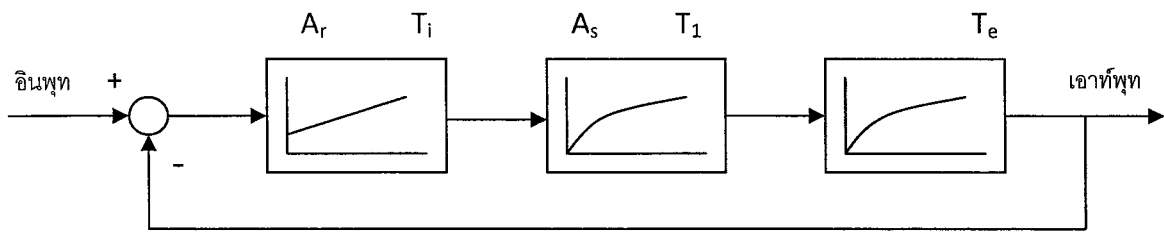
$$T_v = R_1 C_1 \quad (2-47)$$

### 2.4.3 การออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบที่มีตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่งขนาดใหญ่

ระบบที่ไม่ได้ประกอบด้วยอินทิเกรเตอร์ แต่มีตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่งที่มีค่าคงที่ทางเวลาขนาดใหญ่กว่าตัวอื่นๆ มาก ควรใช้การออกแบบด้วยวิธีซิมเมตริกคอลอปติ้มัม โดยพิจารณาค่าคงที่ทางเวลาของตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่งที่ใหญ่ที่สุดเป็นเสมือนตัวอินทิเกรเตอร์

ตัวอย่างระบบที่ประกอบไปด้วยตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่งที่มีค่าคงที่ทางเวลา  $T_1$  มากกว่า  $T_e$  ซึ่งเป็นผลรวมของค่าคงที่ทางเวลาของตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่งที่เหลือ สามารถใช้ตัวควบคุมแบบ PI ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แสดงระบบที่มีตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่งขนาดใหญ่

การตอบสนองต่อสเตปอินพุทของระบบนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ  $T_1$  กับ  $4T_e$  ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่ามาก หรือค่า  $T_1$  มีค่ามากกว่า 4 เท่าของของ  $T_e$  มากๆ จะมีการตอบสนองที่โอเวอร์ชูต 43.4 % และมีเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวที่  $16.5 T_e$  แต่ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าใกล้เคียง 1 ค่าไรซ์ไทม์จะเพิ่มขึ้นและโอเวอร์ชูตจะลดลง จนใกล้เคียงกับระบบที่ออกแบบด้วยวิธีโมดูลัสออปติมัม

เนื่องจากระบบประกอบไปด้วยตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่ง การตอบสนองต่อสเตปอินพุทจึงมีค่าไรซ์ไทม์และ โอเวอร์ชูตที่แตกต่างกันไปจากระบบที่มีตัวอินทิเกรเตอร์ ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PI จึงต้องคูณกับค่าแก้ไข  $k_1$  และ  $k_2$  เพื่อให้การตอบสนองของระบบเนไปตามที่โอเวอร์ชูต 43.4% และมีเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว  $16.5 T_e$  แสดงดังสมการ (3-27) และ (3-28)

$$T_i = 4 T_e k_2 \quad (2-48)$$

$$A_r = \frac{T_1}{2A_s T_e} k_1 \quad (2-49)$$

เมื่อ

$$k_1 = 1 + \frac{T_e^2}{T_1^2} \quad \text{และ} \quad k_2 = \frac{k_1}{\left(1 + \frac{T_e}{T_1}\right)^3} \quad (2-50)$$

ดังนั้นจะได้ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันทั้งหมดดังสมการ

$$F_w(s) = \frac{1 + s4T_e k_2}{1 + s4T_e k_3 + s^2 8T_e^2 k_3^2 + s^3 8T_e^3 k_3^3} \quad (2-51)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เมื่อ} \quad k_3 = \frac{1}{1+(T_e T_1)} \quad (2-52)$$

#### 2.4.4 การแก้ไขโอเวอร์ชูตจากการออกแบบด้วยวิธีซิมเมตริกอลอปปติมัม

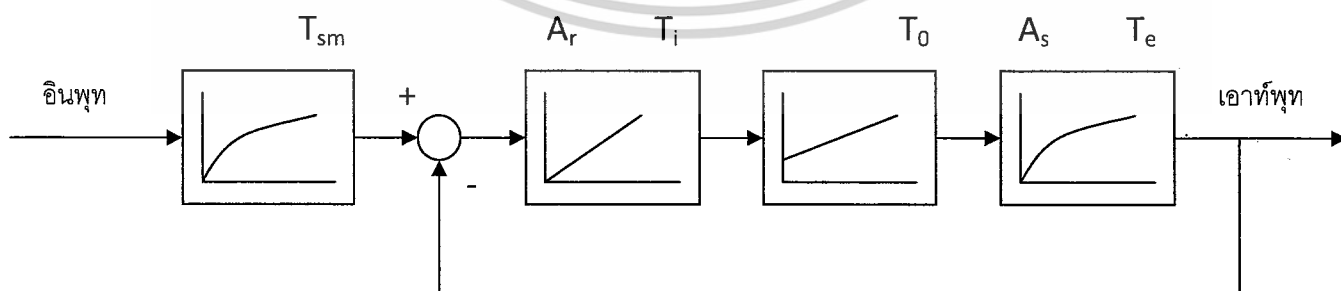
การตอบสนองของระบบที่ออกแบบด้วยวิธีซิมเมตริกอลอปปติมัมต่อสเตปอินพุท มีค่าโอเวอร์ชูตสูงถึง 43.4% ซึ่งเป็นค่าที่สูงมากเมื่อเทียบกับระบบที่ออกแบบด้วยวิธีโมดูลัสออปติมัมซึ่งมีโอเวอร์ชูตเพียง 4.3% เท่านั้น ถ้าพิจารณาจากทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของระบบที่ออกแบบด้วยวิธีทั้งสองแบบแล้วจะพบว่าทรานสเฟอ์ฟังก์ชันที่ออกแบบด้วยวิธีโมดูลัสออปติมัมจะไม่มีเทอม  $1 + sT_n$  ที่ตัวตั้ง ซึ่งทำให้เกิดโอเวอร์ชูตสูง ดังนั้นถ้าสามารถกำจัดเทอมดังกล่าวออกไปได้ โอเวอร์ชูตก็จะลดลง

วิธีกำจัดเทอมดังกล่าวออกไปวิธีหนึ่งได้แก่ เพิ่มตัวหน่วงเวลาที่มีค่าคงที่ทางเวลา  $T_{sm}$  เท่ากับ  $4 T_e$  หรือเท่ากับค่าคงที่ทางเวลาในการอินทิเกรตสัญญาณของตัวควบคุม ( $T_i$ ) ตัวหน่วงเวลาดังกล่าวเรียกว่า ตัวสมูทติง ก็จะช่วยให้ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันโดยรวมทั้งหมดไม่มีเทอม  $1 + sT_n$  เป็นตัวตั้ง

$$F_R(s) = \frac{1}{1+sT_n} * \frac{A_r(1+sT_n)}{sT_n} \quad (2-53)$$

$$\text{จะได้} \quad F_R(s) = \frac{A_r}{sT_n} \quad (2-54)$$

การเพิ่มตัวสมูทติงที่มีค่าคงที่ทางเวลา  $T_{sm}$  เข้าไปแสดงได้ดังรูป

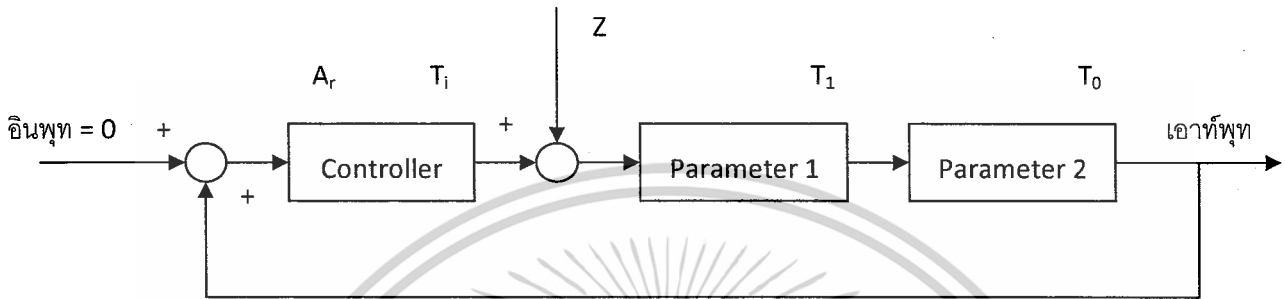


รูปที่ 2.19 แสดงการเพิ่มตัวสมูทติงเพื่อลดโอเวอร์ชูตต่อสเตปอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.5 การตอบสนองของระบบต่อสิ่งรบกวนภายนอก

ระบบที่ออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีโมดูลัสหรือซิมเมตริกอลอปปติมัม จะมีการตอบสนองต่อสิ่งรบกวนภายนอกของระบบ (disturbances) ในลักษณะที่แตกต่างกันตามคุณสมบัติของระบบ พิจารณาตัวอย่างของระบบควบคุมดังรูป โดยไม่มีการป้อนคำสั่งให้กับระบบ หรืออินพุทเป็น 0



รูปที่ 2.20 แสดงระบบที่ให้อินพุทเป็น 0 เมื่อพิจารณาผลตอบสนองต่อสิ่งรบกวนภายนอก (Z)

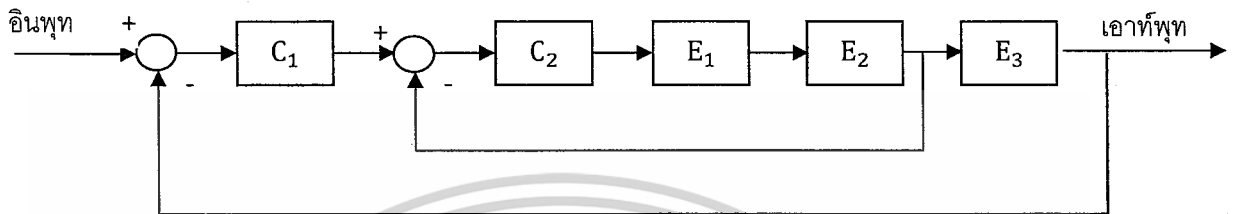
ตัวอย่างระบบดังรูปที่ 2.30 ประกอบไปด้วยตัวควบคุมแบบ PI และองค์ประกอบของระบบที่มีค่าคงที่ทางเวลาที่มากที่สุดเป็น  $T_1$  และผลรวมของค่าคงที่ทางเวลาขนาดเล็กเป็น  $T_e$  โดยให้ผลจากสิ่งรบกวนภายนอกแทนด้วย Z การออกแบบตัวควบคุมของระบบนี้ทำได้ 2 วิธี ได้แก่ วิธีโมดูลัสออปติมัม และ ซิมเมตริกอลอปปติมัม โดยแต่ละวิธีจะพิจารณาในกรณีที่มีค่าคงที่ทางเวลา  $T_1$  มีค่าเท่ากับ  $2 T_e$ ,  $4 T_e$  และ  $8 T_e$

จากการตอบสนองของระบบที่ออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีโมดูลัสออปติมัมพบว่าถ้าคงที่ทางเวลา  $T_1$  มีค่ามากกว่า  $4T_e$  มากยิ่งขึ้นระบบจะมีเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวยาวนานมากขึ้นแต่โอเวอร์ชูตน้อย ส่วนระบบที่ออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีซิมเมตริกอลอปปติมัมพบว่าถ้าค่าคงที่ทางเวลา  $T_1$  มีค่าน้อยกว่า  $4T_e$  น้อยยิ่งขึ้นระบบจะมีเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวยาวนานมากขึ้นและมีโอเวอร์ชูตสูง ดังนั้นเพื่อการตอบสนองต่อสิ่งรบกวนภายนอกที่เหมาะสมของระบบ การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีโมดูลัสออปติมัมควรใช้เมื่อค่าคงที่ทางเวลา  $T_1$  มีค่าไม่เกิน  $4T_e$  และการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีซิมเมตริกอลอปปติมัมควรใช้เมื่อค่าคงที่ทางเวลา  $T_1$  มีค่าเกิน  $4T_e$

### 2.4.6 การแบ่งระบบออกเป็นส่วนย่อย

ระบบที่มีองค์ประกอบหลายส่วน สามารถใช้ตัวควบคุมเพียงตัวเดียวควบคุมทั้งหมดได้ โดยพิจารณาการใช้ตัวควบคุมแบบต่างๆ ได้แก่ I, PI และ PID ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของระบบ แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าองค์ประกอบของระบบมีมากขึ้น การใช้ตัวควบคุมเพียงตัวเดียวไม่สามารถทำให้ระบบตอบสนองต่อสเตปอินพุทและสเตปโหลดได้ช้าลง พิจารณาระบบที่ประกอบด้วยองค์ประกอบ  $E_1$ ,  $E_2$  และ  $E_3$  และใช้ตัวควบคุม  $C_1$  และ  $C_2$  ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.21 แสดงระบบที่ใช้ตัวควบคุม 2 ตัว

ระบบในรูปที่ 2.31 ใช้ตัวควบคุม  $C_2$  ควบคุมองค์ประกอบ  $E_1$  และ  $E_2$  เป็นลักษณะของการควบคุมแบบปิดเป็นลูปที่ 1 สามารถพิจารณาเป็นส่วนประกอบย่อยของตัวควบคุม  $C_1$  และองค์ประกอบ  $E_3$  เป็นลูปที่ 2 ที่อยู่นอกสุด อยู่ในลักษณะลูปควบคุมที่ซ้อนกันอยู่สองลูป การพิจารณาลูปภายในเป็นส่วนประกอบย่อยของลูปภายนอกใช้การพิจารณาตามแบบของวิธีการออกแบบตัวควบคุม โดยพิจารณาได้จากทรานสเฟอร์ฟังก์ชันโดยรวมหลังจากที่ออกแบบตัวควบคุมแล้ว มีค่าคงที่ทางเวลาประมาณเท่ากับสัมประสิทธิ์กำลัง 1 ของ  $S$  สำหรับระบบที่ออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีโมดูลัสตอบติမ် และด้วยวิธีซิมเมตริกอลออปติ่มที่ใช้ตัวสมูทติ้งเพื่อลดโอเวอร์ชูต สรุปได้ดังตาราง ดังนี้

ตารางที่ 2.1 สรุปค่าคงที่ทางเวลาของการประมาณลูปควบคุมให้เป็นตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่ง

วิธีการออกแบบ	ค่าคงที่ทางเวลาในการประมาณค่าเป็นตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่ง
โมดูลัสตอบติ่ม	$2T_e$
ซิมเมตริกอลออปติ่ม	$4T_e$
ซิมเมตริกอลออปติ่ม (ระบบที่มีตัวหน่วงเวลาอันดับหนึ่งขนาดใหญ่)	$4T_e k_3$ (จากสมการที่ 3-30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมาณมูลค่าภายในตัวหน่วยเวลาอันดับหนึ่งสำหรับรูปภายนอก ทำให้การออกแบบ  
ตัวควบคุมของรูปภายนอกทำได้สะดวกขึ้น โดยใช้ค่าคงที่ทางเวลาที่ได้จากการประมาณตามตาราง  
เพื่อออกแบบตัวควบคุมในรูปภายนอก

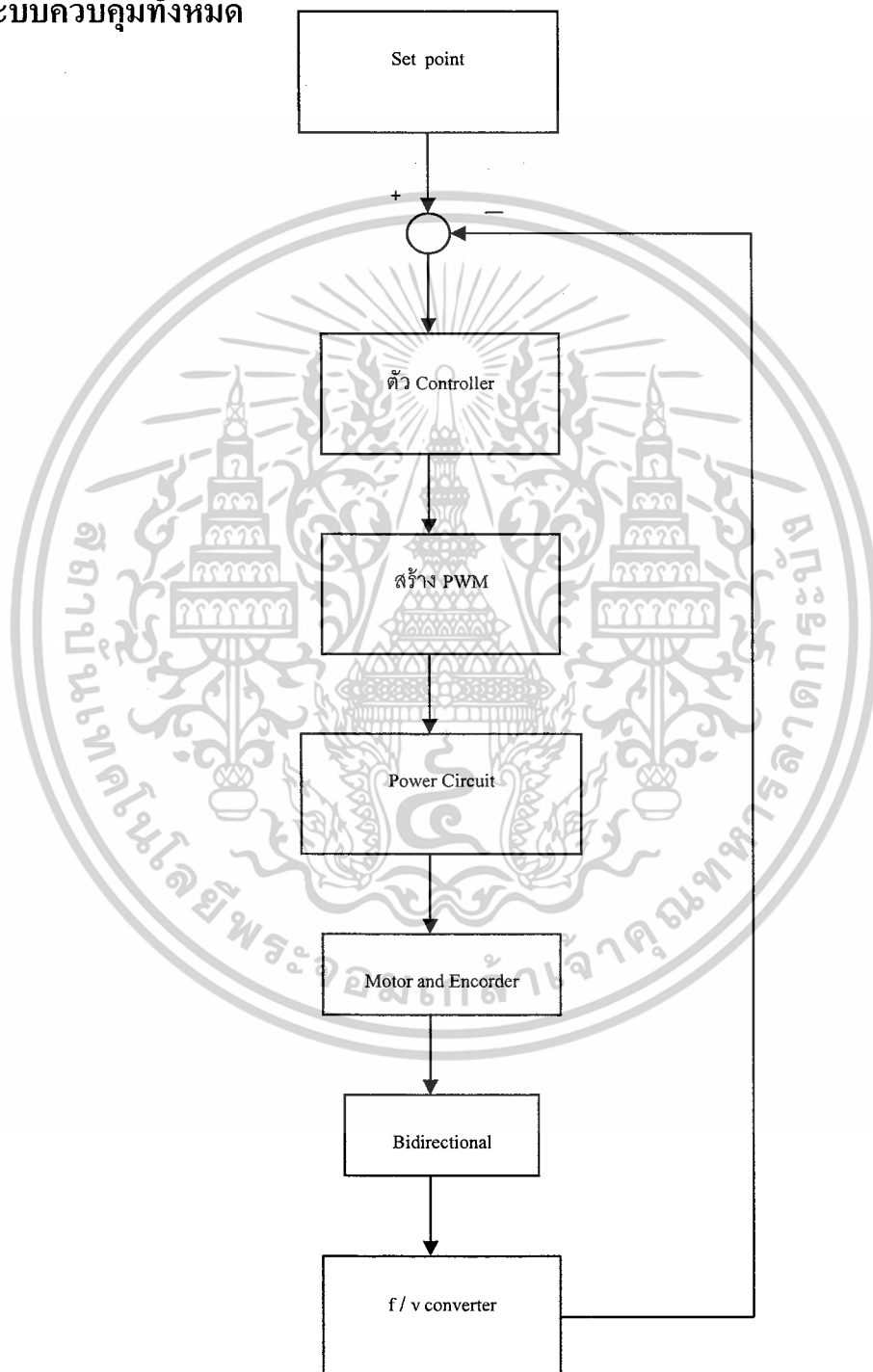


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วงจรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.1 ระบบควบคุมทั้งหมด



**รูปที่ 3.1 แสดงระบบควบคุมทั้งหมด**

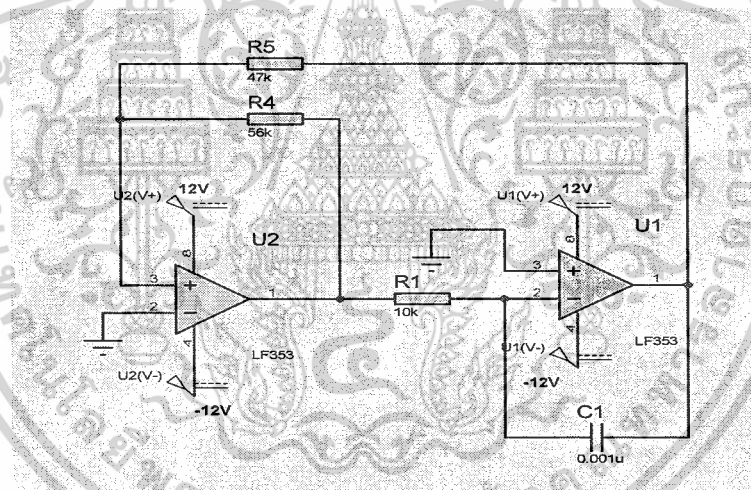
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมประกอบด้วยตัวคอนโทรลเลอร์ เป็นแบบ PI - Controller ซึ่งจะควบคุมการสร้าง PWM ที่มีความถี่ 25 kHz โดยควบคุมค่าความถี่ไซเคิลเพื่อส่งไปยังส่วนของพาวเวอร์เซอร์กิตซึ่งเป็นภาคที่มีแรงดันสูงถึง 24 โวลต์ และไปขับโหลด (Motor) ซึ่งมีเซ็นโค้ดเดอร์ติดอยู่ และจากนั้นก็ส่งสัญญาณเซ็นโค้ดเดอร์สาย A กับ B ไปเปรียบเทียบกัน และเข้าวงจร f/v Converter เพื่อแปลงเป็นแรงดันที่มีค่าตั้งแต่ -5 ถึง 5 โวลต์ แล้วป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับเซ็ทพอยท์ จะได้สัญญาณความคลาดเคลื่อน (error) เพื่อเข้าสู่ตัวคอนโทรลเลอร์

### 3.2 วงจรสร้าง PWM

ประกอบด้วยวงจรหลักๆอยู่ 4 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

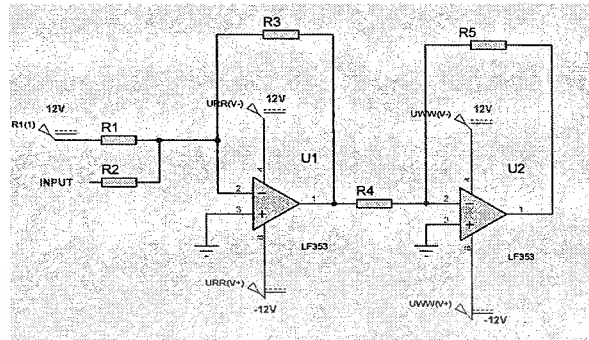
#### 3.2.1 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

เป็นวงจรที่ใช้ IC เบอร์ 353 จำนวน 1 ตัว ซึ่งมีอยู่ 2 ช่องสัญญาณ (Channel) โดยหลักการคือ การอินทิเกรตสัญญาณ PWM จะได้สัญญาณสามเหลี่ยม โดยสัญญาณ PWM นี้ได้มาจากสัญญาณสามเหลี่ยมที่ถูกป้อนกลับกลับมาจากเอาต์พุทแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่ากราวด์โดยกล่าวคือ ถ้ามากกว่า 0 โวลต์ เอาต์พุทที่ได้ จะเป็นบวก และถ้าน้อยกว่า 0 โวลต์ เอาต์พุท จะเป็นลบ กล่าวคือ PWM เป็นบวกกับลบนั่นเอง จากนั้น ก็นำเข้าสู่วงจรอินทิเกรต ซึ่งปรับความถี่ได้จากค่า R กับ C ในที่นี้ได้ความถี่ที่ 25 KHz และมีค่าสูงสุด (Max) อยู่ที่ 10 และค่าต่ำสุด (Min) อยู่ที่ -11 โวลต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

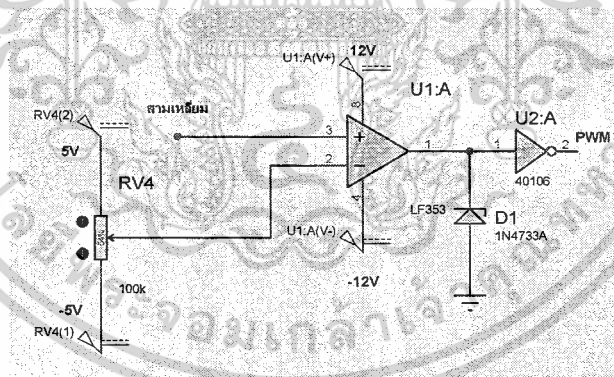
### 3.2.2 วงจรปรับ Span และ Zero



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรปรับ Span และ Zero

เป็นวงจรที่ใช้ในการปรับ Span และ Zero ของวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม โดยที่เราต้องการปรับช่วง [-11 ถึง 10 โวลต์] ให้มาอยู่ในช่วงของ [-6 ถึง 6 โวลต์] โดยหลักการออกแบบของวงจรนี้ใช้หลักการสมการเส้นตรง เทียบกับสมการ เอาท์พุท ของวงจร

### 3.2.3 วงจรสร้าง PWM

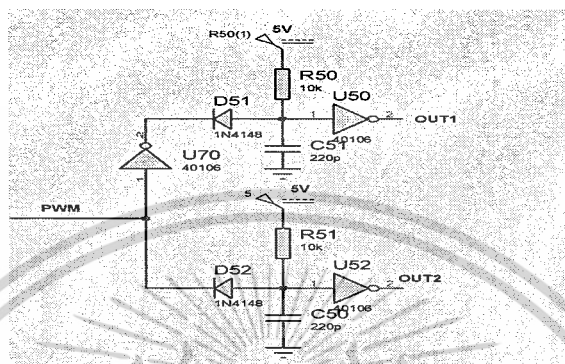


รูปที่ 3.4 แสดงวงจรสร้าง PWM

เป็นวงจรที่ใช้ IC เบอร์ 353 ทำการเปรียบเทียบ แรงดันระหว่างเซ็กพอยท์ ที่มีค่า [-5 ถึง 5 โวลต์] กับสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีค่า [-6 ถึง 6 โวลต์] โดยถ้าแรงดันเซ็กพอยท์ มีค่าน้อยกว่าแรงดันสามเหลี่ยมเอาท์พุทจะออกมาเป็นบวก ส่วนถ้าแรงดันเซ็กพอยท์มากกว่าแรงดันของสัญญาณสามเหลี่ยม เอาท์พุทจะออกมาเป็นลบ จะกลายเป็น 0 โวลต์ ดังนั้นแล้วเอาท์พุทส่วนนี้จึงออกมาเป็น +5 กับ 0 โวลต์ และทำการกลับสัญญาณโดยใช้ IC เบอร์ CD40106 ซึ่งเป็น Not Gate เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับสัญญาณเพื่อให้ สัญญาณควมเรียงขึ้นโดยในวงจรนี้จะเป็นการปรับค่าความถี่ที่เกิดจากแรงดันเซ็ทพอยท์

### 3.2.4 วงจร Dead time



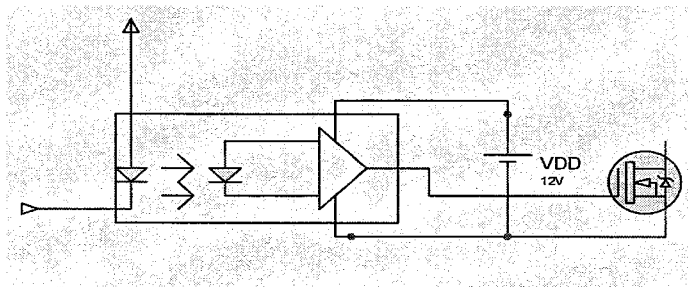
รูปที่ 3.5 แสดงวงจร Dead time

เป็นวงจรที่ใช้ IC เบอร์ CD40106 โดยจะทำการส่งสัญญาณเข้าไปโดยตรง 1 ช่องสัญญาณ และกลับสัญญาณก่อนส่งเข้าวงจรอีก 1 ช่องสัญญาณ โดยเทคนิคนี้อาศัยคุณสมบัติการคายประจุของตัวเก็บประจุ แล้วเอาที่พุดที่ออกมาจะเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 จะนำหน้าส่วนที่ 2 อยู่ในช่วง 1.5  $\mu$ s โดยกำหนดไว้ด้วยการปรับค่าตัวเก็บประจุ วงจรนี้มีประโยชน์ในการป้องกันการขั้วเกจ (Gate) ของส่วนวงจรพาวเวอร์ไปให้เกิดการทับซ้อนกันจนทำให้ MOSFET เสียหาย

## 3.3 POWER CIRCUIT

เป็นวงจรในส่วนของ ตัวขับเคลื่อน และส่วนของภาคแรงดันสูงประกอบด้วย 2 วงจร คือ

### 3.3.1 วงจรแยกกราวด์ (Isolation Ground)

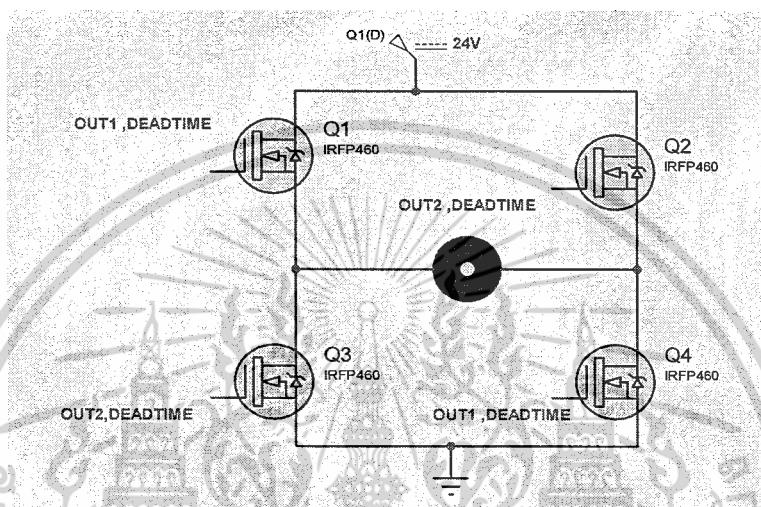


รูปที่ 3.6 แสดงวงจรแยกกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นวงจรที่ใช้ในการแยกกราวด์ระหว่างภาคกำลังสูง ที่มีแรงดันสูงกับส่วนของวงจรที่มีแรงดันต่ำโดยใช้ตัวออปโตไดโอด (Opto Couple) เป็น IC เบอร์ TLP 251 โดยเอาท์พุทของ TLP 251 นี้จะนำไปขับขา Gate ของขา MOSFET ในส่วนของวงจรพาวเวอร์ต่อไป

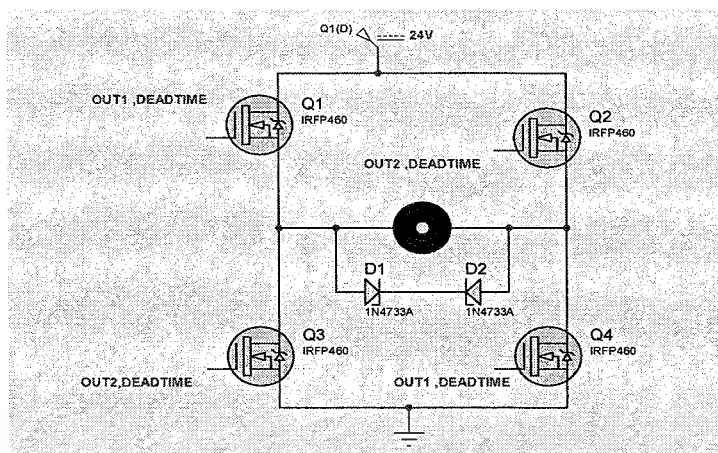
### 3.3.2 POWER CIRCUIT



รูปที่ 3.7 แสดง Power circuit

เป็นวงจรในส่วนของวงจรแรงดันไฟสูงในที่นี้ใช้ 24 โวลท์ เป็นวงจรฟูลบริดจ์ (full bridge) ประกอบด้วย MOSFET 4 ตัว และมีโหลด คือ มอเตอร์ โดยการทำงานของวงจรนี้นั้นจะทำงานโดยการขับขาเกท ของ MOSFET โดยการขับเป็นคู่ๆไป โดยแต่ละคู่จะขับไปพร้อมกัน ส่วนซีเนอร์ไดโอด ที่ต่อคร่อม มอเตอร์ 2 ตัวนั้น เป็นการป้องกันการเกิดคิกแบ็คโวลท์เตจ (Kick back Voltage) ในช่วงการเปลี่ยนสถานะจาก on และ off โดยในช่วงเปลี่ยนนี้จะเกิดแรงดัน  $L \frac{di}{dt}$  ขึ้น ทำให้แรงดันตกคร่อม MOSFET มีค่ามาก ทำให้ MOSFET ร้อนและอาจเกิดความเสียหายได้ แต่หากเราต่อซีเนอร์แล้ว ถ้าเกิด  $L \frac{di}{dt}$  ขึ้นไปค่ามากแค่ไหนซีเนอร์ก็จะกำจัดให้เหลือเพียงแค่แรงดันซีเนอร์เท่านั้น จึงแก้ไขปรากฏการณ์ดังกล่าวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

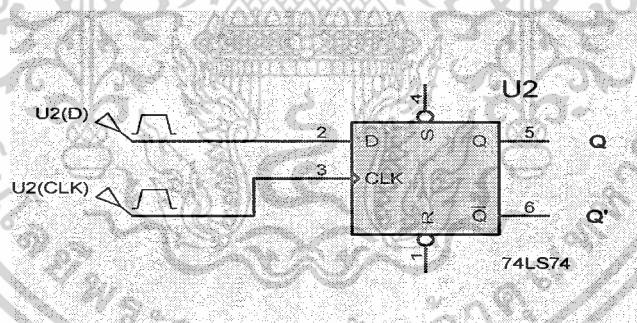


รูปที่ 3.8 แสดงวงจรการแก้ไข kick back voltage

### 3.4 วงจร Bidirectional

เป็นวงจรที่ใช้ในการบอกทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ประกอบด้วย IC เบอร์ 74LS74 อยู่ 1 ตัว และ IC เบอร์ 4011 อยู่ 2 Chanel

#### 3.4.1 วงจรเปรียบเทียบการนำหน้าสัญญาณ IC เบอร์ 74LS74



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรเปรียบเทียบการนำหน้าสัญญาณ IC เบอร์ 74LS74

#### ตารางที่ 3.1 แสดงการทำงานของ 74LS74

สัญญาณ	Q	$\bar{Q}$
A Lead B	1	0
B Lead A	0	1

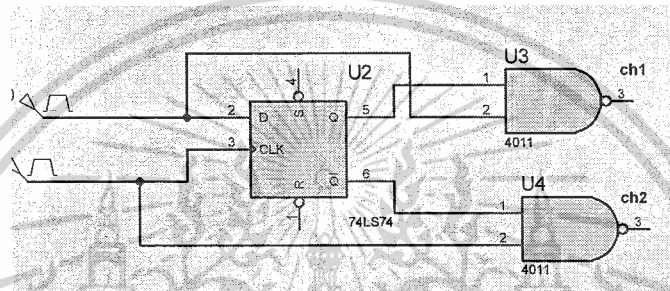
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นวงจรที่บ่งบอกทิศทางของการหมุน ถ้า A นำหน้า B จะออกเป็น ลอจิก 1 และถ้า B นำหน้า A จะออกเป็น ลอจิก 0

ส่วนของวงจร 4011 เป็น NAND Gate เป็นการเปรียบเทียบลอจิกของ 2 ส่วนคือ

- 1.สาย A เทียบกับ เอาท์พุท Q ของ 74LS74
- 2.สาย B เทียบกับ เอาท์พุท Q ของ 74LS74

### 3.4.2 วงจรเปรียบเทียบการนำหน้าสัญญาณ IC เบอร์ 4011



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรเปรียบเทียบการนำหน้าสัญญาณ IC เบอร์ 4011

ตารางที่ 3.2 แสดงการทำงานของ 4011(A เทียบ Q)

Q	A	Out put
1	PWM	PWM
0	PWM	ไฟเลี้ยง

ตารางที่ 3.3 แสดงการทำงานของ 4011(B เทียบ Q)

Q	B	Out put
1	PWM	PWM
0	PWM	ไฟเลี้ยง

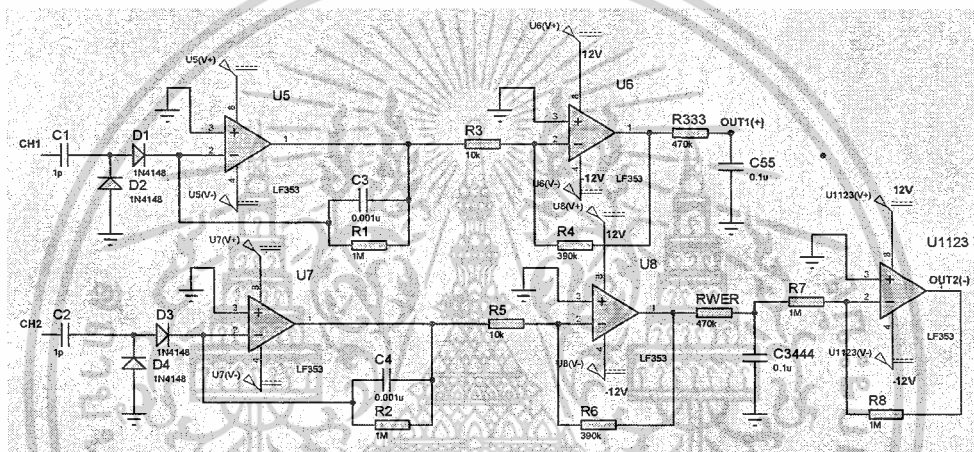
ดังนั้นจะแสดงให้เห็นว่า ถ้าหาก A นำหน้า B ( มอเตอร์ หมุนตามเข็มนาฬิกา ) เอาท์พุท Ch 1 ของ 4011 จะออกมาเป็น PWM ส่วน Ch 2 ของ 4011 จะออกมาเป็นไฟตรง ถ้าหาก B นำหน้า A ( มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา ) เอาท์พุท Ch 1 ของ 4011 จะออกมาเป็น ไฟตรง ส่วน

Ch2 ของ 4011 จะออกมาเป็นPWM ดังแสดงในตาราง 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงการทำงานของวงจร Bidirectional

Signal	Ch	Ch2
A Lead B	PWM	ไฟตรง
B Lead A	ไฟตรง	PWM

### 3.5 วงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน 2 ทิศทาง



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน 2 ทิศทาง

เป็นการประยุกต์ใช้งานของ IC 353 ในการแปลงความถี่ให้เป็นแรงดันโดยในวงจรจะทำ 2 ส่วนแล้วนำมารวมกัน คือ ในส่วนของ Ch1 กับ Ch2 ของ IC เบอร์ 4011 ที่ได้จากวงจรไบไดเรกชันแนล (Bidirectional) โดยในส่วนของวงจรแปลงนั้นเหมือนกัน คือ สัญญาณ PWM ที่มีความถี่นั้นก็ จะแปลงออกมาเป็นแรงดันไฟตรงได้ ในที่นี้ คือ [0 ถึง 5 โวลท์] ส่วนถ้าอินพุต เป็นไฟตรงก็จะ แปลงออกมาเป็นแรงดัน 0 โวลท์ ในการแปลงของ Ch1 และ Ch2 นั้นเหมือนกันแต่ Ch2 จะนำมา เข้าอินเวอร์ตติ้ง แอมพลิฟายเออร์ (inverting Amplifier) เพื่อทำการกลับเฟสทำให้การแปลงของทั้ง 2 chanal เป็นดังนี้

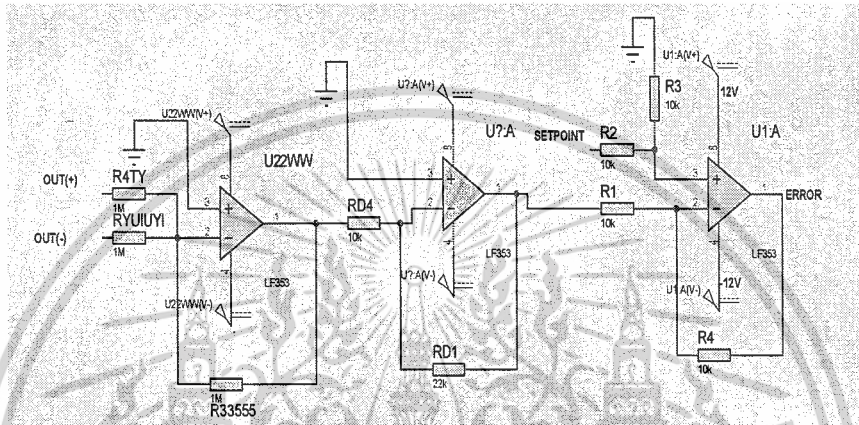
Chanal 1 จะได้แรงดันเอาต์พุต [ 0 ถึง 5 โวลท์ ]

Chanal 2 จะได้แรงดันเอาต์พุต [ -5 ถึง 0 โวลท์ ]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นรวมเอาที่พุด ที่แปลงได้เข้าด้วยกัน ด้วยซัมมิ่งแอมป์ (summing Amp) และกลับเฟสอีกครั้งหนึ่ง ก็ได้  $f/v$  คอนเวอร์เตอร์ แบบ 2 ทิศทาง โดยถ้ามอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา  $f/v$  จะมีค่าเป็นบวก ส่วนถ้า Motor หมุนทวนเข็มนาฬิกา  $f/v$  จะเป็นลบ

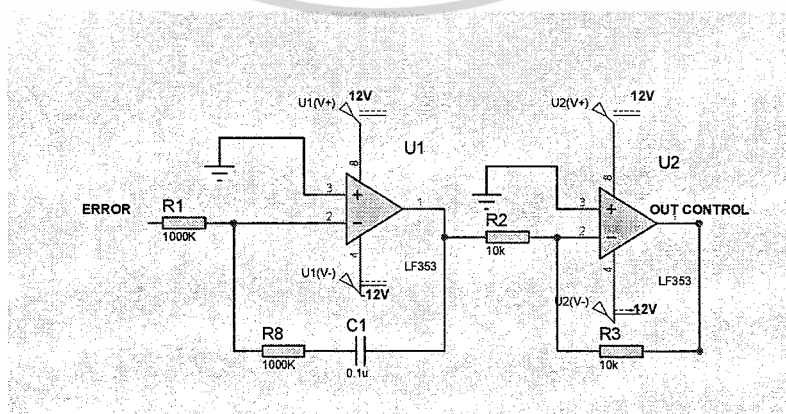
### 3.6 วงจรสัญญาณความคลาดเคลื่อน (Error)



รูปที่ 3.12 วงจรสัญญาณความคลาดเคลื่อน

เป็นวงจรที่ใช้ในการเปรียบเทียบแรงดันระหว่าง เอาท์พุท ของ  $f/v$  คอนเวอร์เตอร์ ถึง เซ็ตพอยท์ ที่มีค่า [-5 ถึง 5 โวลต์] เหมือนกัน โดยเอาท์พุทของวงจร คือ  $V_{\text{setpoint}} - V_{f/v}$  นั่นก็คือ สัญญาณความคลาดเคลื่อน นั่นเอง

### 3.7 วงจรคอนโทรลเลอร์

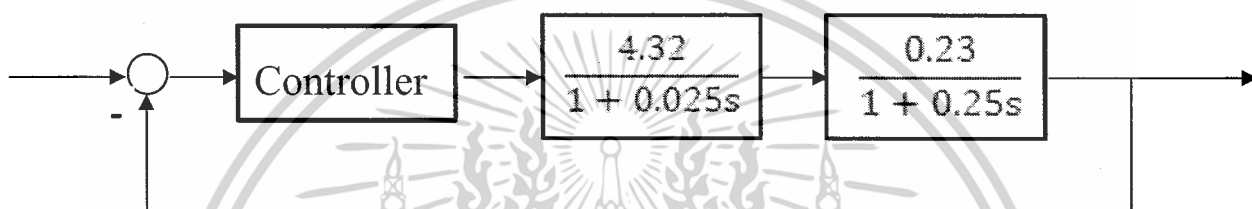


รูปที่ 3.13 แสดงวงจรคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นวงจรคอนโทรลเลอร์ แบบ PI ที่มีองค์ประกอบต่างๆขึ้นอยู่กับค่า R และ C โดยการปรับแต่งค่าเกน ปรับได้จากการปรับ R1 ส่วนการปรับค่าคงที่ทางเวลา (Time Constant) ปรับได้จาก C และ R2 โดยการทำงานของคอนโทรลเลอร์ จะรับส่วนของสัญญาณความคลาดเคลื่อนเข้ามาและคุณสมบัติของคอนโทรลเลอร์ จะทำให้เอาท์พุท มีค่าเร็วขึ้นการตอบสนองของระบบก็ปรับแต่งได้จากค่าเกน และค่าคงที่ทางเวลา ตามต้องการ

### 3.8 การออกแบบตัวควบคุม



รูปที่ 3.14 แสดงระบบควบคุมที่ออกแบบ

#### 3.8.1 Symmetrical Optimum of PI-Controller

$$F_o(s) = A_r \frac{1 + sT_n}{sT_n} \quad (3.1)$$

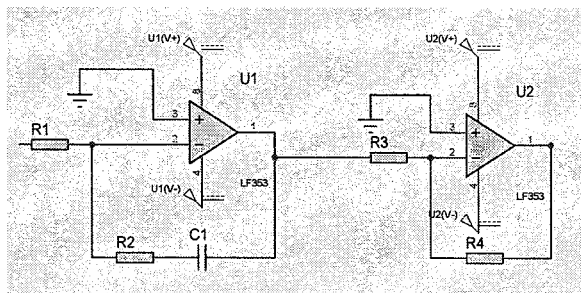
$$T_n = 4 T_e = 4(0.025) = 100 \text{ ms} \quad (3.2)$$

$$A_r = \frac{T_1}{2A_s T_e} = \frac{0.25}{2(4.32)(0.23)(0.025)} = 4.82 \quad (3.3)$$

$$t_r = 3.1T_e = 3.1(0.025) = 78 \text{ ms} \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8.2 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ PI - Controller



รูปที่ 3.15 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมแบบ PI - Controller

การปรับแต่งระบบ

$$\text{Gain} = \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3} \quad (3.5)$$

$$T_n = R_2 C_2 \quad (3.6)$$

จากการออกแบบ

PI-Controller

$$F_0(s) = A_r \frac{1 + sT_n}{sT_n} \quad (3.7)$$

การประยุกต์

$$\frac{\text{out}}{\text{in}} = \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3} * \frac{1 + R_2 C_2 s}{R_2 C_2 s} \quad (3.8)$$

เลือกใช้  $R_4$  กับ  $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$  และ  $C_2 = 1 \mu\text{F}$

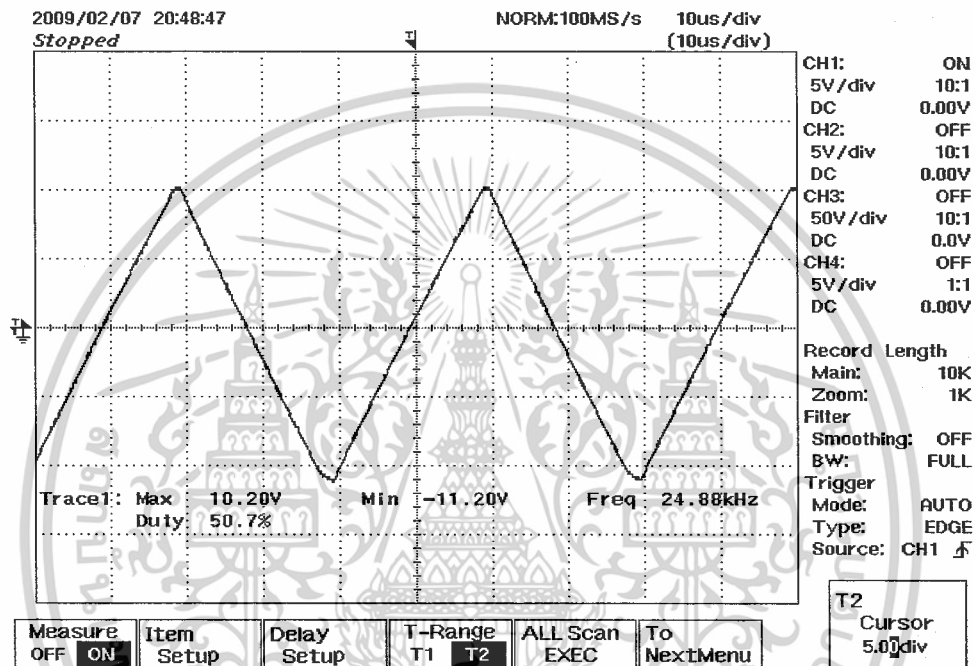
เทียบสมการจะได้  $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$  และ  $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลองวัดสัญญาณสามเหลี่ยม

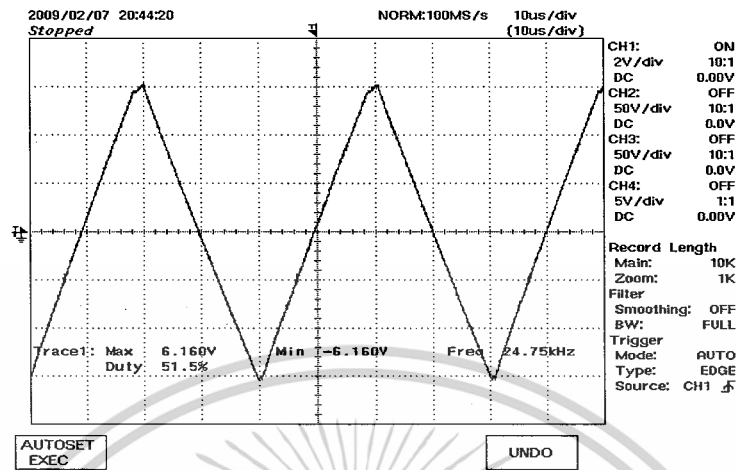


รูปที่ 4.1 ผลการทดลองวัดสัญญาณสามเหลี่ยม

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากการทดลองจะมีความถี่อยู่ที่ประมาณ 25 KHz แต่เป็นที่สังเกตว่าค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดมีค่าไม่เท่ากัน นั่นคือค่าสูงสุดมีค่า 10.2 และค่าต่ำสุดอยู่ที่ -11.2 ดังนั้นแล้วจึงต้องมีการปรับสเปกและซีโร (span & zero) เพื่อให้ได้ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดนั้นมีค่าเท่ากัน และอีกอย่างเพื่อเป็นการปรับค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดให้อยู่ในช่วงใกล้ๆกับเซ็ทพอยท์ เพื่อทำการเปรียบเทียบและได้ค่าความถี่ที่ใกล้เคียงค่า สูงสุดมาก และค่าต่ำสุด น้อย ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

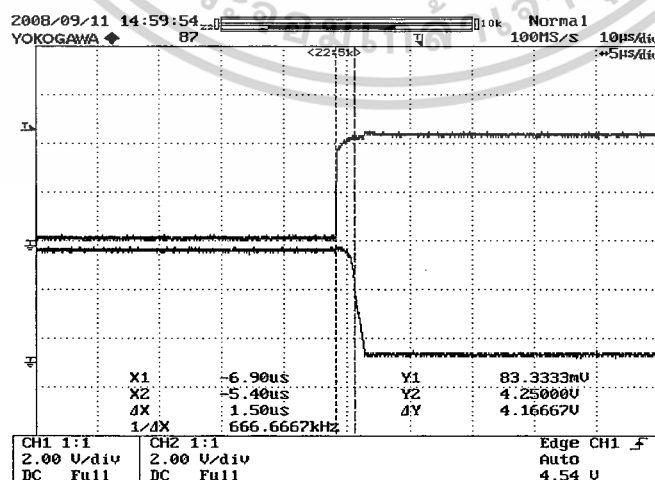
## 4.2 ผลการทดลองแสดงวงจรปรับสเปกและซีโรของวงจรสามเหลี่ยม



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองแสดงวงจรปรับสเปกและซีโรของวงจรสามเหลี่ยม

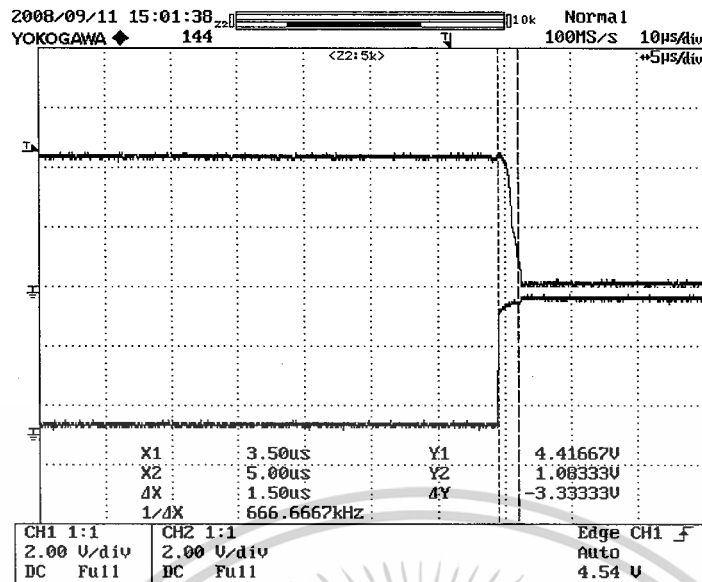
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสมการปรับสเปกและซีโรให้ได้ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดมีค่าเท่ากันได้ที่ค่าสูงสุด อยู่ที่ 6.2 และค่าต่ำสุด อยู่ที่ -6.2 และมีค่าเข้าใกล้ช่วงของเซทพอยท์จะทำให้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเซทพอยท์แล้ว คิวดีไซเคิล ที่ได้จะมีค่าที่ดี กล่าวคือ มีค่าสูงสุด ที่สูง และมีค่าต่ำสุดที่ต่ำ และที่คิวดีไซเคิล 50% จะอยู่ที่เซทพอยท์เท่ากับ 0 พอดี

## 4.3 ผลการทดลองวงจรเดคไทม์



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรเดคไทม์ขาขึ้น

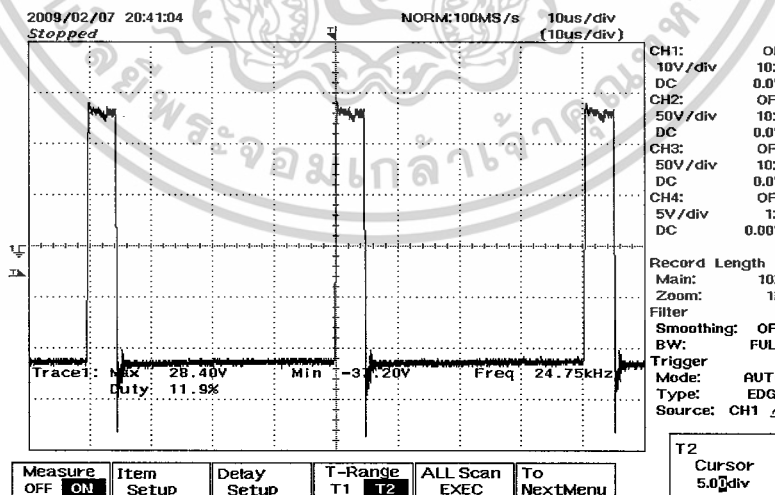
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลการทดลองวงจรเดโมใหม่ขาลง

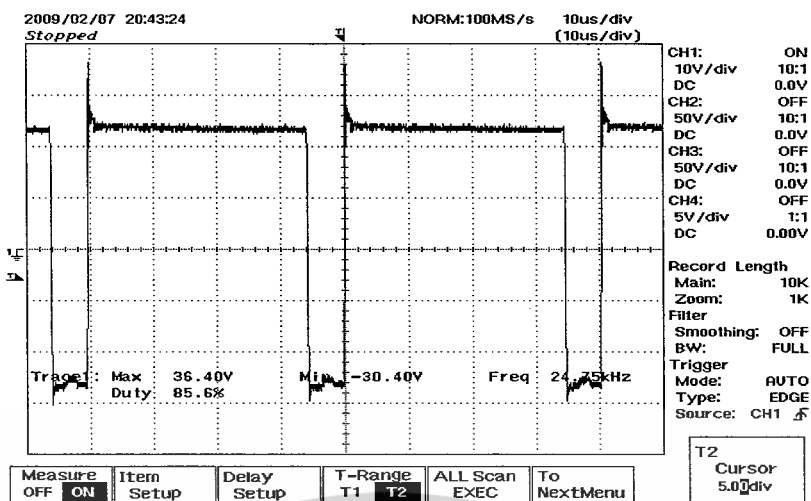
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสัญญาณเอาต์พุต ของที่ 2 ช่องสัญญาณมีการเหลื่อมกันไปประมาณ 1  $\mu s$  ซึ่งจะเป็นผลดีที่ช่วยในการป้องกันไม่ให้ MOSFET ทำงานพร้อมกันทั้ง 2 คู่ที่จะทำให้ MOSFET เสียหาย

#### 4.4 ผลการทดลองแรงดันคร่อมมอเตอร์



รูปที่ 4.5 แสดงค่าดิวิตีไซเคิลต่ำสุด

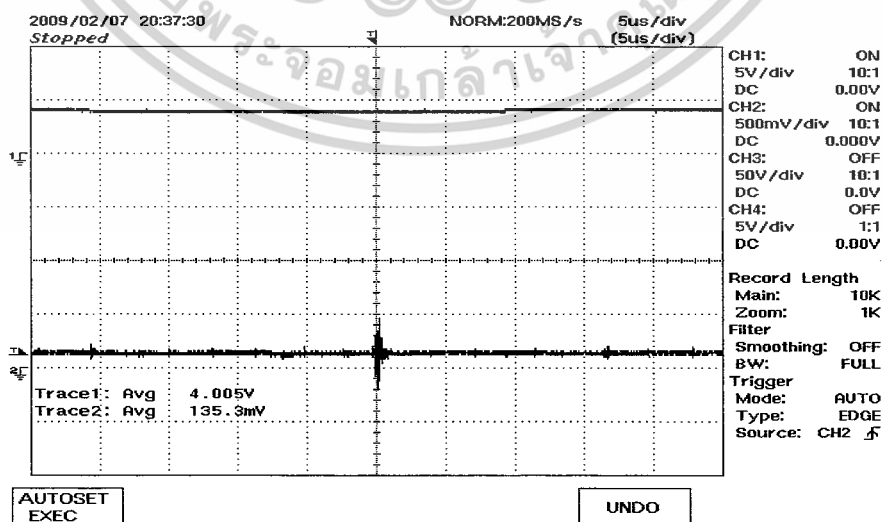
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงค่าวิตีไซเคิลสูงสุด

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า แรงดันตกรวมมอเตอร์จะออกมาในรูปแบบของวิตีไซเคิลที่มีค่าสูงสุด คือ แรงดันจากแหล่งจ่าย และมีค่าต่ำสุด คือ ค่าติดลบแรงดันจากแหล่งจ่าย โดยการหมุนแต่ละทิศทางขึ้นอยู่กับว่าการปรับค่าวิตีไซเคิลนั้นมีค่าแค่ไหน โดยที่วิตีไซเคิล 50% มอเตอร์จะหยุดหมุนที่วิตีไซเคิลมากกว่า 50% มอเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา ส่วนที่วิตีไซเคิลน้อยกว่า 50% มอเตอร์หมุนจะทวนเข็มนาฬิกา

#### 4.5 ผลการทดลองเอาท์พุท ของ IC 74LS04 (Bidirectional)

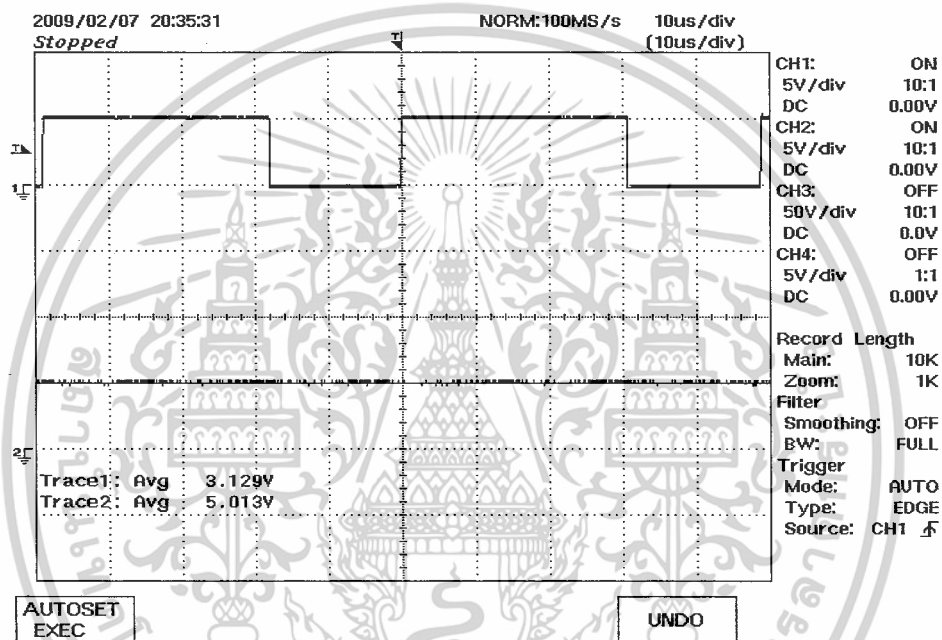


รูปที่ 4.7 ผลการทดลองเอาท์พุท ของ IC 74LS04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อนำเอาอินพุตเคอร์ 2 สาย คือ สาย A และสาย B มาเทียบกัน หาก A นำหน้า B ผลการทดลองจะเป็นดังกราฟ คือ Ch1 คือ เอาท์พุท ของ A จะเป็น ลอจิก 1 ส่วน Ch2 นั่นคือ เอาท์พุท ของ B จะเป็น ลอจิก 0 หากมอเตอร์หมุนกลับด้านนั่นคือ B นำหน้า A ผลการทดลองจะสลับกันคือ เอาท์พุท A จะเป็น ลอจิก 0 กับ เอาท์พุท B จะเป็น ลอจิก 1

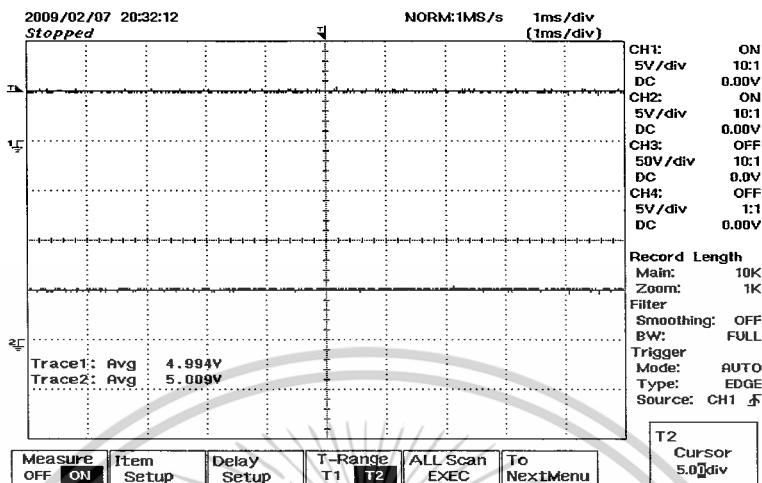
#### 4.6 ผลการทดลองวงจรไบโตรีกซ์ขั้นแนล ผ่าน IC CD4011



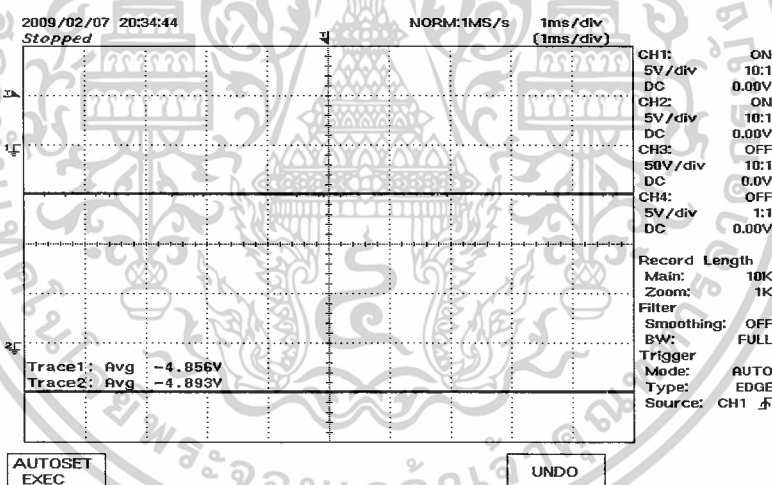
รูปที่ 4.8 ผลการทดลองวงจรไบโตรีกซ์ขั้นแนล ผ่าน IC CD4011

จากผลการทดลองพบว่าเอาท์พุท ที่ผ่าน IC 4011 นี้จะมี 2 สถานะนั้นคือ ไฟตรงกับ PWM โดยที่หาก A นำหน้า B เอาท์พุท ที่ Ch1 จะเป็น PWM และ เอาท์พุท ที่ Ch2 จะเป็นไฟตรง และหากเป็น B นำหน้า A เอาท์พุทที่ได้ ก็จะกลับด้านกัน

### 4.7 ผลการทดลองวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดัน (แบบ 2 ทิศทาง)



รูปที่ 4.9 ผลการทดลองวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันเมื่อมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา



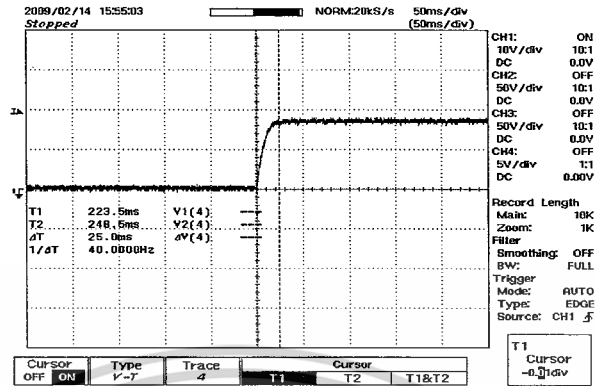
รูปที่ 4.10 ผลการทดลองวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันเมื่อมอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา

จากการทดลองจะพบว่าอินพุท แรกเริ่ม คือ สัญญาณ PWM จากเอ็นโค้ดเดอร์และเมื่อแปลงความถี่เป็นแรงดันออกมาแล้วจะเป็นแรงดันไฟตรง โดยที่ว่าจะเป็นไปได้ทั้งบวกและลบ โดยเอาท์พุทที่ออกมาที่จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ เมื่อมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา  $f/v$  ที่ Ch1 จะเป็นบวก และที่ มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา จะเป็นลบ โดยมีช่วงอยู่ที่ [-5 ถึง 5 โวลท์] เท่ากับเซ็ทพอยท์

โดยจากกราฟ Ch2 คือเซ็ทพอยท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

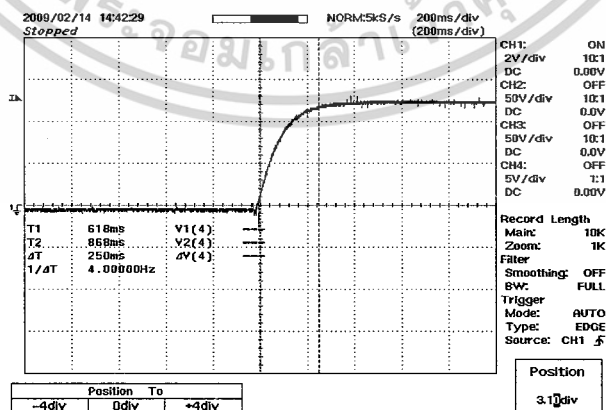
#### 4.8 ผลการทดลองการวัดค่าคงที่ทางเวลาของวงจรขั้ว (Driver Circuit)



รูปที่ 4.11 ผลการทดลองการวัดค่าคงที่ทางเวลาของวงจรขั้ว (Driver Circuit)

การวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ติดคร่อมโพลต์ที่ได้เป็นค่า PWM แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณ โดยใช้ ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ ในการกรองสัญญาณ แล้ววัดผลตอบสนองของระบบ โดยค่าคงที่นี้นำไปลบออกจากค่าคงที่ของตัว RC ก็จะได้ค่าคงที่ทางเวลาของตัวตัวขับมอเตอร์ ซึ่งจะได้ค่าคงที่ทางเวลาของตัวขับเท่ากับ  $25 - 1 = 24 \text{ ms}$

#### 4.9 ผลการทดลองแสดงผลตอบสนองต่อระบบควบคุมวงเปิด

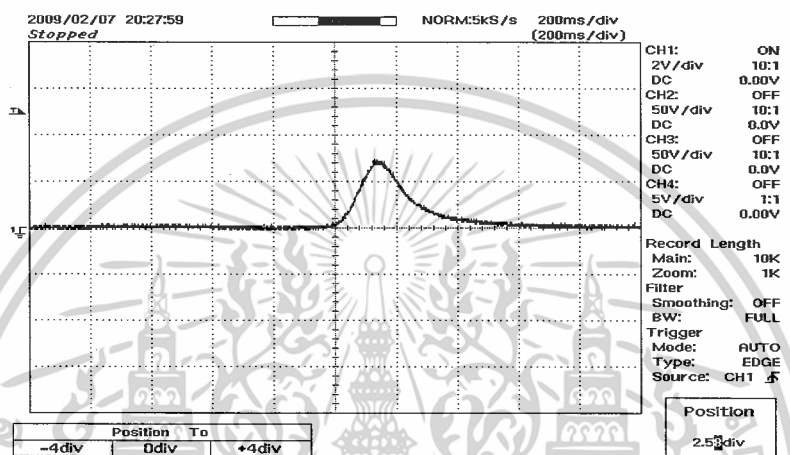


รูปที่ 4.12 ผลการทดลองแสดงผลตอบสนองต่อระบบควบคุมวงเปิด

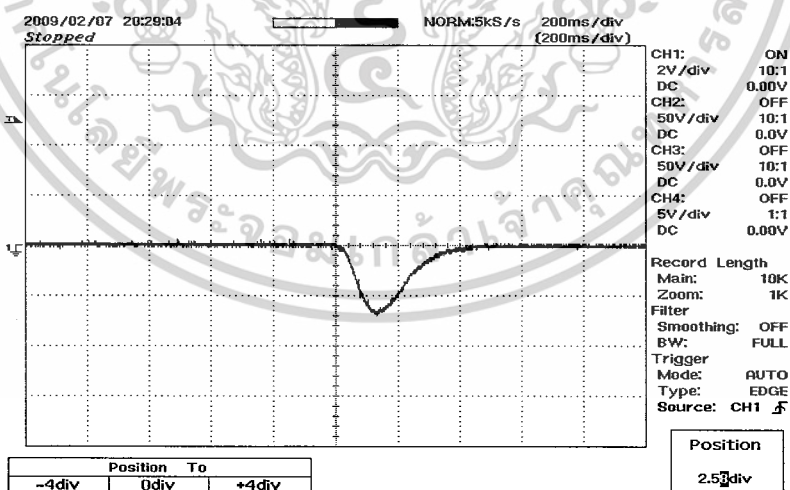
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อปรับค่าเซ็ทพอยท์ไปที่ 5 V มอเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา เมื่อแปลงความถี่เป็นแรงดัน ออกมาจะได้ค่า 5 V ส่วนเมื่อปรับค่าเซ็ทพอยท์ไปที่ -4.9 V มอเตอร์จะหมุนสวนเข็มนาฬิกา เมื่อแปลงความถี่เป็นแรงดันค่าที่วัดได้คือ 4.9 V

#### 4.10 ผลการทดลองวงจรสัญญาณความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 4.13 ผลการทดลองวงจรสัญญาณความคลาดเคลื่อนเมื่อมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา

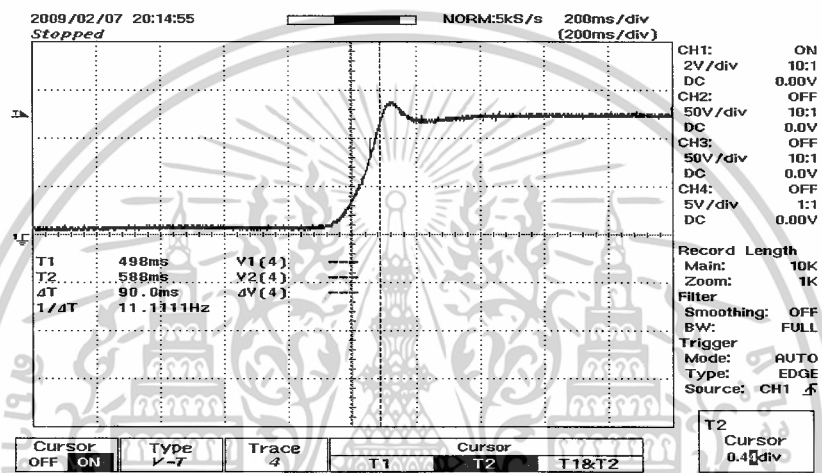


รูปที่ 4.14 ผลการทดลองวงจรสัญญาณความคลาดเคลื่อนเมื่อมอเตอร์หมุนสวนเข็มนาฬิกา

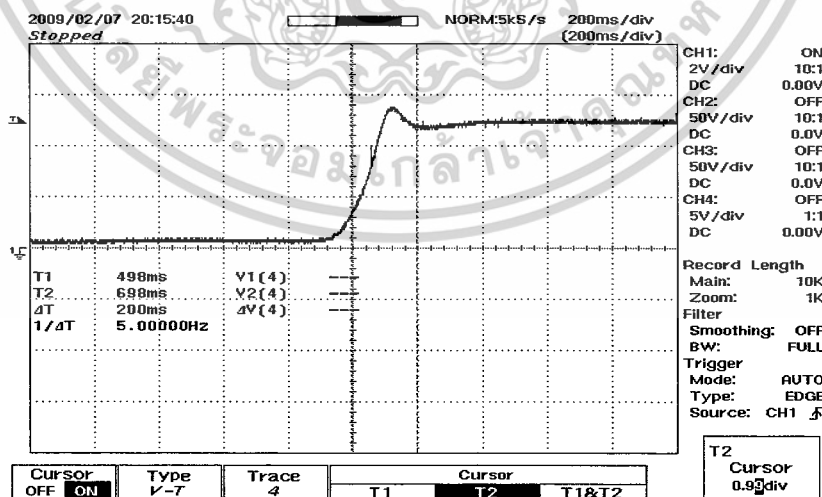
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจะสังเกตว่าโดยปกติถ้ามอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาที่ที่กำหนด นั่นคือ  $f/v$  มีค่าเท่ากับเข็มนาฬิกา ค่าความคลาดเคลื่อนจะเท่ากับ 0 หากแต่มีช่วงเวลาที่ปรับความเร็ว (set point) เพิ่มหรือลด ก็จะทำให้เกิดสัญญาณความคลาดเคลื่อนขึ้น และ ค่าความคลาดเคลื่อนก็จะลดลงในที่สุด เมื่อเวลาผ่านไปสักระยะหนึ่งก็จะมีค่าเท่ากับ 0

#### 4.11 ผลการทดลองผลตอบสนองของระบบที่มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา



รูปที่ 4.15 แสดงการเกิดไรชท์ใหม่ในระบบ

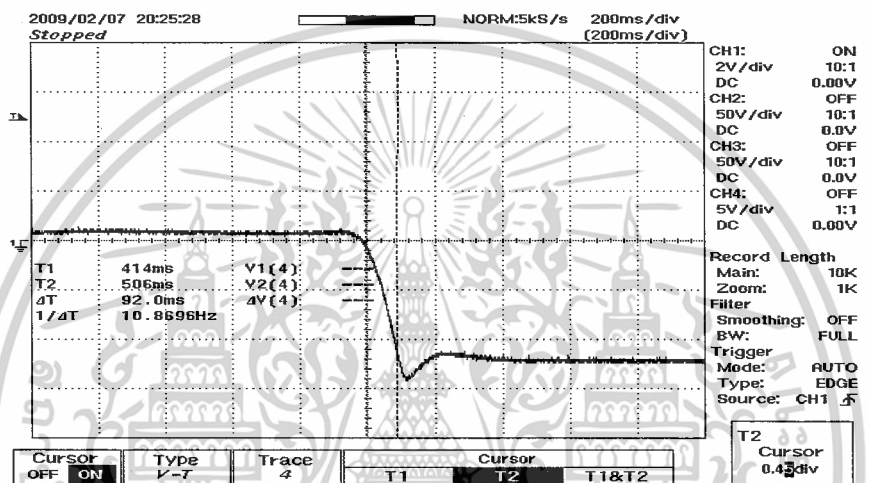


รูปที่ 4.16 ผลการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

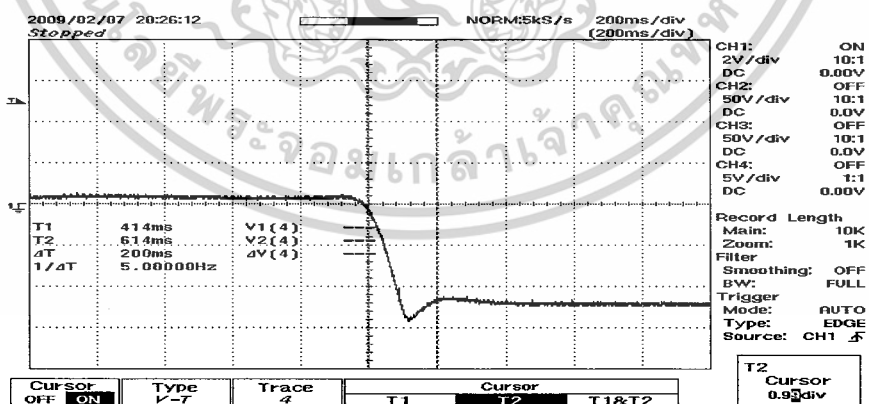
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปแสดงผลการทดลองการตอบสนองของระบบเมื่อผ่านตัว PI-controller จะเห็นว่าระบบจะมีค่าไรซ์ไทม์ อยู่ที่ประมาณ 90 ms และระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ ที่ 200 ms และมีโอเวอร์ชูต ที่ประมาณ 20% ซึ่งจากรูปนี้เป็นผลตอบสนองของระบบจากการหมุนของมอเตอร์ที่หมุนตามเข็มนาฬิกา

#### 4.12 ผลการทดลองผลตอบสนองของระบบที่มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 4.17 แสดงการเกิดไรซ์ไทม์ของระบบ



รูปที่ 4.18 ผลการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปแสดงผลการทดลอง วัดผลตอบสนองของระบบการขับ DC-Motor ที่หมุนทวน  
เข็มนาฬิกาจะเห็นว่าระบบจะมีกราฟไต่ลงเรื่อยๆ จนไปถึงเซ็ทพอยท์โดยระบบมีค่าไรซ์ไทม์ที่  
92 ms และมีค่าการเข้าสู่สภาวะคงที่ที่ 200 ms และมีโอเวอร์ชูตที่ 20%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลองการออกแบบตัวคอนโทรลเลอร์

ในการออกแบบตัวคอนโทรลเลอร์ ใช้วิธีการออกแบบด้วยวิธีซิมูเลชันมิตริกอลออบติမ်ม โดยใช้วิธีการออกแบบของตัวควบคุมแบบพีไอคอนโทรล

#### 5.2 สรุปผลการทดลองกระบวนการต่างๆของระบบควบคุม

เริ่มจากการสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดไม่เท่ากัน ด้วยความที่เป็นลิเนียร์จึงใช้วงจรปรับสเปนและซีโร เข้ามาแก้ไขปัญหาดังกล่าวจากนั้นนำไปเทียบกับค่าเซ็ทพอยท์ที่มีค่าอยู่ในช่วง -5 ถึง 5 โวลท์ เมื่อเทียบกันแล้วจะได้สัญญาณ (PWM) จากนั้นแยกสัญญาณนี้ออกเป็นสองส่วนโดยอีกส่วนก็กลับจากส่วนเดิมเข้าวงจรเดโทม์ เพื่อ ป้องกันการทำงานพร้อมกันทั้งสองคู่ของมอเตอร์ จากนั้นก็ส่งสัญญาณไปผ่านวงจรแยกกราวด์เพื่อป้องกันกระแสที่ไหลย้อนกลับจากฝั่งวงจรภาคกำลังสูงที่มีแรงดันถึง 24 โวลท์ เข้าสู่ภาคที่มีแรงดันต่ำซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ จากนั้นไปขับขาคัดและขาของมอเตอร์ โดยเป็นการขับแบบไบโพลาร์ ให้มอเตอร์หมุนได้สองทิศทาง และสัญญาณจากเอนโคเดอร์ของมอเตอร์ก็นำไปเข้าวงจรไบโตรีคชั่นแนล เป็นวงจรที่บ่งบอกทิศทางการหมุนของมอเตอร์เพื่อที่จะนำไปแปลงความถี่เป็นแรงดันได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ โดยแรงดันที่แปลงออกมามีค่า -5 ถึง 5 โวลท์ เท่ากับค่า เซ็ทพอยท์ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเทียบกับค่าเซ็ทพอยท์ จะได้สัญญาณความคลาดเคลื่อนจากนั้นนำไปเข้าตัวพีไอคอนโทรลเลอร์ไปควบคุมการสร้าง PWM ในการที่จะขับมอเตอร์ต่อไป

#### 5.3 สรุปผลการทดลองการควบคุมความเร็ว

ในการควบคุมความเร็วของดีซีมอเตอร์ สามารถควบคุมได้ทั้งความเร็วและทิศทางได้ โดยการปรับค่าเซตพอยท์ที่อยู่ในช่วง -5 ถึง 5 โวลต์ ถ้าปรับที่ศูนย์โวลต์มอเตอร์จะหยุดหมุน ดิวตี้ไซเคิลจะอยู่ที่ 50% หากปรับแรงดันมากกว่า 0 โวลท์ ค่าดิวตี้ไซเคิลจะมีค่ามากกว่า 50% แต่สูงสุดที่ 85% มอเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา และหากปรับค่าแรงดันน้อยกว่า 0 โวลท์ ค่าดิวตี้ไซเคิล จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยกว่า 50% แต่ต่ำสุดที่ 15.3% มอเตอร์จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา โดยจากการที่มอเตอร์หมุนได้ไม่ถึง 100% และที่ 0% เนื่องจากสัญญาณสามเหลี่ยมที่นำมาเทียบกับค่าเซทพอยท์ นั้น มีค่าสูงสุดและต่ำสุดไม่เท่ากัน

#### 5.4 สรุปผลการทดลองผลตอบสนองของระบบ

ผลตอบสนองของระบบวงเปิดนั้นจะเป็นเหมือนกราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง โดยจะเริ่มไต่จากค่าความเร็วเริ่มต้นในขณะทำการทดลองไปสู่ความเร็วสุดท้ายในการทดลองแต่เวลาที่ใช้ในการไต่จากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้าย (rise time) นั้นมีค่ามากหรือค่อนข้างช้าจึงต้องมีการป้อนกลับกลายเป็นระบบควบคุมวงปิด โดยระบบควบคุมวงปิดนี้จะมีผลตอบสนองที่เร็วกว่า มีการเกิดโอเวอร์ชูต และมีค่าเวลาในการเข้าสู่ภาวะสมดุลที่เร็วกว่าระบบควบคุมวงเปิดแต่เมื่อเทียบกับการออกแบบแล้ว ค่า rise time ออกแบบได้ 78 ms ส่วนในการทดลองได้ 92 ms คลาดเคลื่อนไป 14 ms ทั้งนี้การคลาดเคลื่อนมีผลมาจากต้องปรับแต่งเกนของคอนโทรลเลอร์เองเพื่อให้เกิดความเหมาะสม

#### 5.5 แนวทางการศึกษาต่อ

- 1 เป็นแนวทางในการ ศึกษาต่อในเรื่องผลตอบสนองต่อสิ่งรบกวน ( disturbance ) และในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงของโหลดโดยการเพิ่มลูกระแส และลูประงดันเข้าไป
- 2 เป็นแนวทางในการศึกษาการออกแบบตัวคอนโทรลเลอร์ด้วยวิธีการอื่น เช่น ใช้วิธีการของโมดูลัสออปติมัม เป็นต้น แล้วเปรียบเทียบผลดีและผลเสียของแต่ละวิธี
- 3 เป็นแนวทางในการศึกษาการหาวิธีที่ออปติมัมที่สุดในการที่จะควบคุมมอเตอร์
- 4 นำไปประยุกต์ใช้ในการวิจัยหรือพัฒนากระบวนการต่างๆทั้งในการศึกษาและในอุตสาหกรรม
- 5 นำไปประยุกต์ใช้ในการทำระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์สำหรับรถไฟฟ้าเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด และมีความปลอดภัยสูงสุด

#### 5.6 ปัญหาและแนวทางในการแก้ไขปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ในการสร้างวงจรต่างๆไม่ได้คำนึงเรื่องสัญญาณรบกวน จึงค่อนข้างที่จะมีสัญญาณรบกวนการแก้ไขสามารถทำได้หลากหลายอย่างด้วยเทคนิคการลดสัญญาณรบกวนต่างๆ อีกทั้งอาจใช้ฟิวเตอร์ในการลดสัญญาณรบกวน
2. ในการออกแบบตัวคอนโทรลเลอร์นั้นเมื่อออกแบบแล้วนำมาต่อเข้ากับระบบอาจได้ค่าที่คลาดเคลื่อนไป การแก้ไขได้ด้วยการปรับแต่งตัวคอนโทรลเลอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 54LS74/DM54LS74A/DM74LS74A Dual Positive-Edge-Triggered D Flip-Flops with Preset, Clear and Complementary Outputs

### General Description

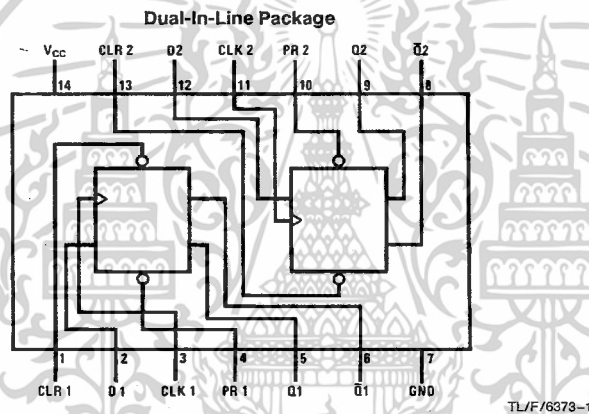
This device contains two independent positive-edge-triggered D flip-flops with complementary outputs. The information on the D input is accepted by the flip-flops on the positive going edge of the clock pulse. The triggering occurs at a voltage level and is not directly related to the transition time of the rising edge of the clock. The data on the D input may be changed while the clock is low or high without affecting the outputs as long as the data setup and hold times are not

violated. A low logic level on the preset or clear inputs will set or reset the outputs regardless of the logic levels of the other inputs.

### Features

- Alternate military/aerospace device (54LS74) is available. Contact a National Semiconductor Sales Office/Distributor for specifications.

### Connection Diagram



Order Number 54LS74DMQB, 54LS74FMQB, 54LS74LMQB, DM54LS74AJ, DM54LS74AW, DM74LS74AM or DM74LS74AN  
See NS Package Number E20A, J14A, M14A, N14A or W14B

TL/F/6373-1

### Function Table

Inputs				Outputs	
PR	CLR	CLK	D	Q	Q̄
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H*	H*
H	H	↑	H	H	L
H	H	↑	L	L	H
H	H	L	X	Q <sub>0</sub>	Q̄ <sub>0</sub>

H = High Logic Level

X = Either Low or High Logic Level

L = Low Logic Level

↑ = Positive-going Transition

\* = This configuration is nonstable; that is, it will not persist when either the preset and/or clear inputs return to their inactive (high) level.

Q<sub>0</sub> = The output logic level of Q before the indicated input conditions were established.

54LS74/DM54LS74A/DM74LS74A Dual Positive-Edge-Triggered D Flip-Flops with Preset, Clear and Complementary Outputs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings (Note)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	7V
Input Voltage	7V
Operating Free Air Temperature Range	
DM54LS and 54LS	-55°C to +125°C
DM74LS	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Note: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the "Electrical Characteristics" table are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

## Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	DM54LS74A			DM74LS74A			Units
		Min	Nom	Max	Min	Nom	Max	
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
V <sub>IH</sub>	High Level Input Voltage	2			2			V
V <sub>IL</sub>	Low Level Input Voltage			0.7			0.8	V
I <sub>OH</sub>	High Level Output Current			-0.4			-0.4	mA
I <sub>OL</sub>	Low Level Output Current			4			8	mA
f <sub>CLK</sub>	Clock Frequency (Note 2)	0		25	0		25	MHz
f <sub>CLK</sub>	Clock Frequency (Note 3)	0		20	0		20	MHz
t <sub>w</sub>	Pulse Width (Note 2)	Clock High	18		18			ns
		Preset Low	15		15			
		Clear Low	15		15			
t <sub>w</sub>	Pulse Width (Note 3)	Clock High	25		25		ns	
		Preset Low	20		20			
		Clear Low	20		20			
t <sub>SU</sub>	Setup Time (Notes 1 and 2)	20 ↑			20 ↑			ns
t <sub>SU</sub>	Setup Time (Notes 1 and 3)	25 ↑			25 ↑			ns
t <sub>H</sub>	Hold Time (Note 1 and 4)	0 ↑			0 ↑			ns
T <sub>A</sub>	Free Air Operating Temperature	-55		125	0		70	°C

Note 1: The symbol (↑) indicates the rising edge of the clock pulse is used for reference.

Note 2: C<sub>L</sub> = 15 pF, R<sub>L</sub> = 2 kΩ, T<sub>A</sub> = 25°C, and V<sub>CC</sub> = 5V.

Note 3: C<sub>L</sub> = 50 pF, R<sub>L</sub> = 2 kΩ, T<sub>A</sub> = 25°C, and V<sub>CC</sub> = 5V.

Note 4: T<sub>A</sub> = 25°C and V<sub>CC</sub> = 5V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 1)	Max	Units
$V_I$	Input Clamp Voltage	$V_{CC} = \text{Min}, I_I = -18 \text{ mA}$			-1.5	V
$V_{OH}$	High Level Output Voltage	$V_{CC} = \text{Min}, I_{OH} = \text{Max}$ $V_{IL} = \text{Max}, V_{IH} = \text{Min}$	DM54	2.5	3.4	V
			DM74	2.7	3.4	
$V_{OL}$	Low Level Output Voltage	$V_{CC} = \text{Min}, I_{OL} = \text{Max}$ $V_{IL} = \text{Max}, V_{IH} = \text{Min}$	DM54		0.25	V
			DM74		0.35	
			$I_{OL} = 4 \text{ mA}, V_{CC} = \text{Min}$	DM74		0.25
$I_I$	Input Current @Max Input Voltage	$V_{CC} = \text{Max}$ $V_I = 7\text{V}$	Data		0.1	mA
			Clock		0.1	
			Preset		0.2	
			Clear		0.2	
$I_{IH}$	High Level Input Current	$V_{CC} = \text{Max}$ $V_I = 2.7\text{V}$	Data		20	$\mu\text{A}$
			Clock		20	
			Clear		40	
			Preset		40	
$I_{IL}$	Low Level Input Current	$V_{CC} = \text{Max}$ $V_I = 0.4\text{V}$	Data		-0.4	mA
			Clock		-0.4	
			Preset		-0.8	
			Clear		-0.8	
$I_{OS}$	Short Circuit Output Current	$V_{CC} = \text{Max}$ (Note 2)	DM54	-20	-100	mA
			DM74	-20	-100	
$I_{CC}$	Supply Current	$V_{CC} = \text{Max}$ (Note 3)		4	8	mA

**Note 1:** All typicals are at  $V_{CC} = 5\text{V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

**Note 2:** Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second. For devices, with feedback from the outputs, where shorting the outputs to ground may cause the outputs to change logic state an equivalent test may be performed where  $V_O = 2.25\text{V}$  and  $2.125\text{V}$  for DM54 and DM74 series, respectively, with the minimum and maximum limits reduced by one half from their stated values. This is very useful when using automatic test equipment.

**Note 3:** With all outputs open,  $I_{CC}$  is measured with CLOCK grounded after setting the Q and  $\bar{Q}$  outputs high in turn.

## Switching Characteristics at $V_{CC} = 5\text{V}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$ (See Section 1 for Test Waveforms and Output Load)

Symbol	Parameter	From (Input) To (Output)	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$				Units
			$C_L = 15 \text{ pF}$		$C_L = 50 \text{ pF}$		
			Min	Max	Min	Max	
$f_{MAX}$	Maximum Clock Frequency		25		20		MHz
$t_{PLH}$	Propagation Delay Time Low to High Level Output	Clock to Q or $\bar{Q}$		25		35	ns
$t_{PHL}$	Propagation Delay Time High to Low Level Output	Clock to Q or $\bar{Q}$		30		35	ns
$t_{PLH}$	Propagation Delay Time Low to High Level Output	Preset to Q		25		35	ns
$t_{PHL}$	Propagation Delay Time High to Low Level Output	Preset to $\bar{Q}$		30		35	ns
$t_{PLH}$	Propagation Delay Time Low to High Level Output	Clear to $\bar{Q}$		25		35	ns
$t_{PHL}$	Propagation Delay Time High to Low Level Output	Clear to Q		30		35	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CD4011B, CD4012B, CD4023B Types

## CMOS NAND GATES

High-Voltage Types (20-Volt Rating)

- Quad 2 Input – CD4011B
- Dual 4 Input – CD4012B
- Triple 3 Input – CD4023B

CD4011B, CD4012B, and CD4023B NAND gates provide the system designer with direct implementation of the NAND function and supplement the existing family of CMOS gates. All inputs and outputs are buffered.

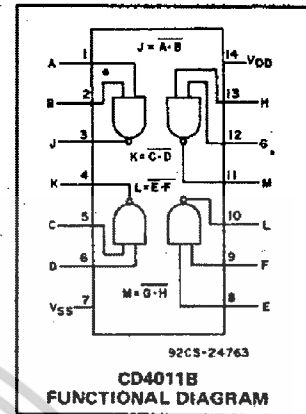
The CD4011B, CD4012B, and CD4023B types are supplied in 14-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (D and F suffixes), 14-lead dual-in-line plastic packages (E suffix), and in chip form (H suffix).

### Features:

- Propagation delay time = 60 ns (typ.) at  $C_L = 50 \text{ pF}$ ,  $V_{DD} = 10 \text{ V}$
- Buffered inputs and outputs
- Standardized symmetrical output characteristics
- Maximum input current of  $1 \mu\text{A}$  at 18 V over full package temperature range;  $100 \text{ nA}$  at 18 V and  $25^\circ\text{C}$
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Noise margin (over full package temperature range):

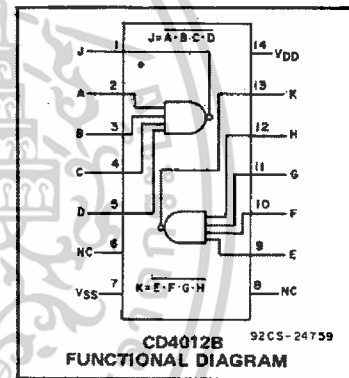
1 V at  $V_{DD} = 5 \text{ V}$   
2 V at  $V_{DD} = 10 \text{ V}$   
2.5 V at  $V_{DD} = 15 \text{ V}$

- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of "B" Series CMOS Devices"



### MAXIMUM RATINGS, Absolute-Maximum Values:

DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, ( $V_{DD}$ ) Voltages referenced to $V_{SS}$ Terminal)	-0.5V to +20V
INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS	-0.5V to $V_{DD} + 0.5\text{V}$
DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT	$\pm 10\text{mA}$
POWER DISSIPATION PER PACKAGE ( $P_D$ ): For $T_A = -55^\circ\text{C}$ to $+100^\circ\text{C}$	500mW
For $T_A = +100^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$	Derate Linearly at $12\text{mW}/^\circ\text{C}$ to 200mW
DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR FOR $T_A = \text{FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types)}$	100mW
OPERATING-TEMPERATURE RANGE ( $T_A$ )	$-55^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$
STORAGE TEMPERATURE RANGE ( $T_{stg}$ )	$-65^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$
LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING): At distance $1/16 \pm 1/32$ inch ( $1.59 \pm 0.79\text{mm}$ ) from case for 10s max	$+285^\circ\text{C}$

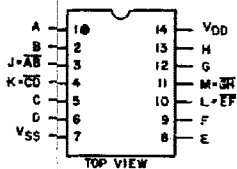


### RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

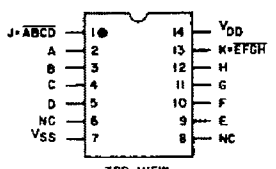
For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges:

CHARACTERISTIC	LIMITS		UNITS
	MIN.	MAX.	
Supply-Voltage Range (For $T_A = \text{Full Package Temperature Range}$ )	3	18	V

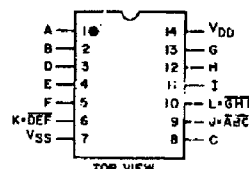
### TERMINAL ASSIGNMENTS



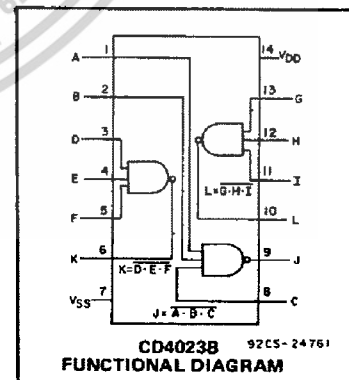
CD4011B



CD4012B



CD4023B



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CD4011B, CD4012B, CD4023B Types

## STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

CHARACTERISTIC	CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C)							UNITS
	V <sub>O</sub> (V)	V <sub>IN</sub> (V)	V <sub>DD</sub> (V)					+25			
				-55	-40	+85	+125	Min.	Typ.	Max.	
Quiescent Device Current, I <sub>DD</sub> Max.	-	0,5	5	0,25	0,25	7,5	7,5	-	0,01	0,25	μA
	-	0,10	10	0,5	0,5	15	15	-	0,01	0,5	
	-	0,15	15	1	1	30	30	-	0,01	1	
	-	0,20	20	5	5	150	150	-	0,02	5	
Output Low (Sink) Current I <sub>OL</sub> Min.	0,4	0,5	5	0,64	0,61	0,42	0,36	0,51	1	-	mA
	0,5	0,10	10	1,6	1,5	1,1	0,9	1,3	2,6	-	
	1,5	0,15	15	4,2	4	2,8	2,4	3,4	6,8	-	
Output High (Source) Current, I <sub>OH</sub> Min.	4,6	0,5	5	-0,64	-0,61	-0,42	-0,36	-0,51	-1	-	mA
	2,5	0,5	5	-2	-1,8	-1,3	-1,15	-1,6	-3,2	-	
	9,5	0,10	10	-1,6	-1,5	-1,1	-0,9	-1,3	-2,6	-	
	13,5	0,15	15	-4,2	-4	-2,8	-2,4	-3,4	-6,8	-	
Output Voltage: Low-Level, V <sub>OL</sub> Max.	-	0,5	5					0,05	0	0,05	V
	-	0,10	10					0,05	0	0,05	
	-	0,15	15					0,05	0	0,05	
Output Voltage: High-Level, V <sub>OH</sub> Min.	-	0,5	5					4,95	5	-	V
	-	0,10	10					9,95	10	-	
	-	0,15	15					14,95	15	-	
Input Low Voltage, V <sub>IL</sub> Max.	4,5	-	5					1,5	-	1,5	V
	9	-	10					3	-	3	
	13,5	-	15					4	-	4	
Input High Voltage, V <sub>IH</sub> Min.	0,5,4,5	-	5					3,5	3,5	-	V
	1,9	-	10					7	7	-	
	1,5,13,5	-	15					11	11	-	
Input Current I <sub>IN</sub> Max.		0,18	18	±0,1	±0,1	±1	±1	-	±10 <sup>-5</sup>	±0,1	μA

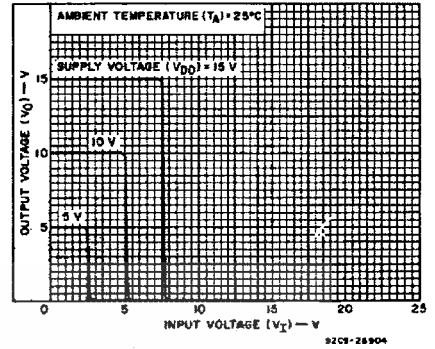


Fig. 1 - Typical voltage transfer characteristics.

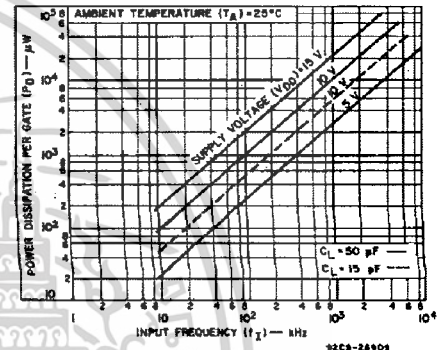


Fig. 2 - Typical power dissipation characteristics.

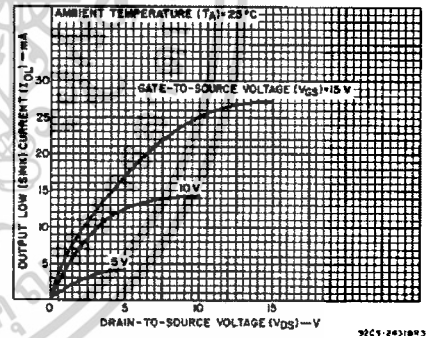


Fig. 3 - Typical output low (sink) current characteristics.

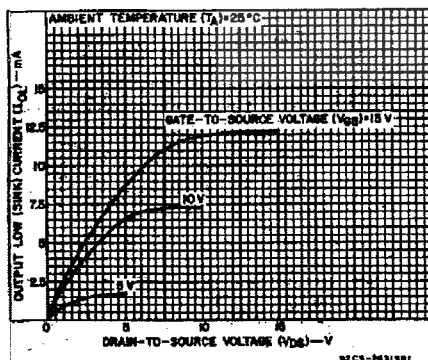


Fig. 4 - Minimum output low (sink) current characteristics.

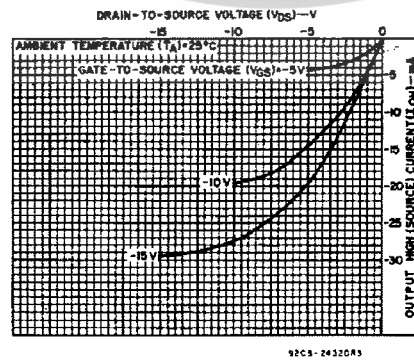


Fig. 5 - Typical output high (source) current characteristics.

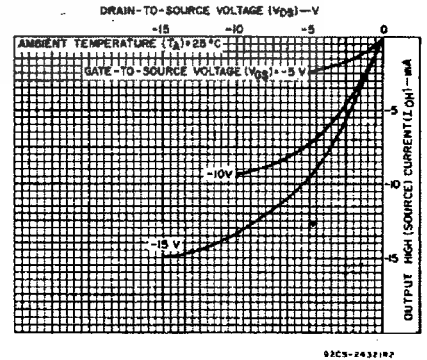


Fig. 6 - Minimum output high (source) current characteristics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CD4011B, CD4012B, CD4023B Types

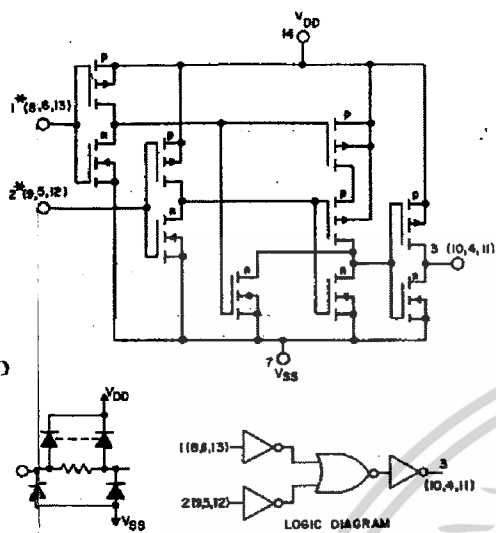


Fig. 7 - Schematic and logic diagrams for CD4011B.

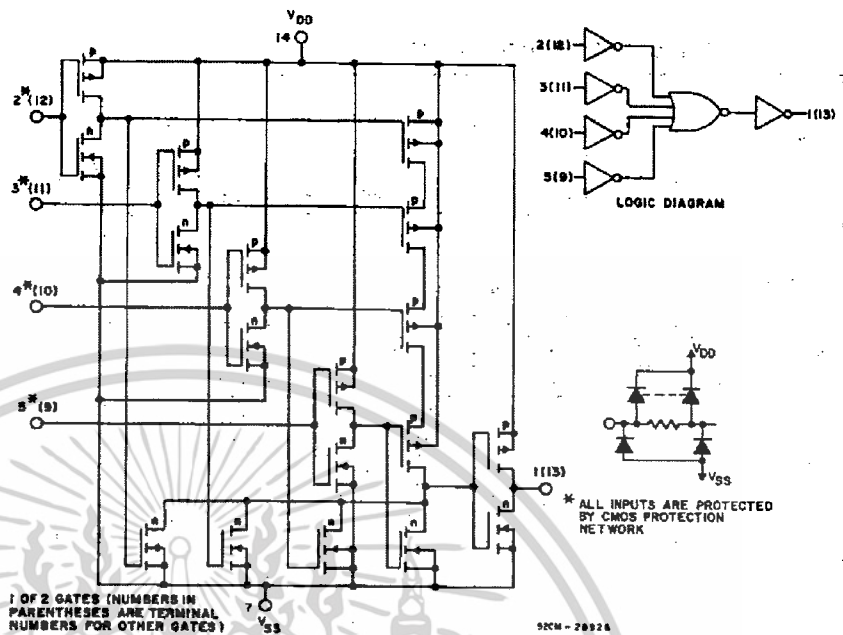


Fig. 8 - Schematic and logic diagrams for CD4012B.

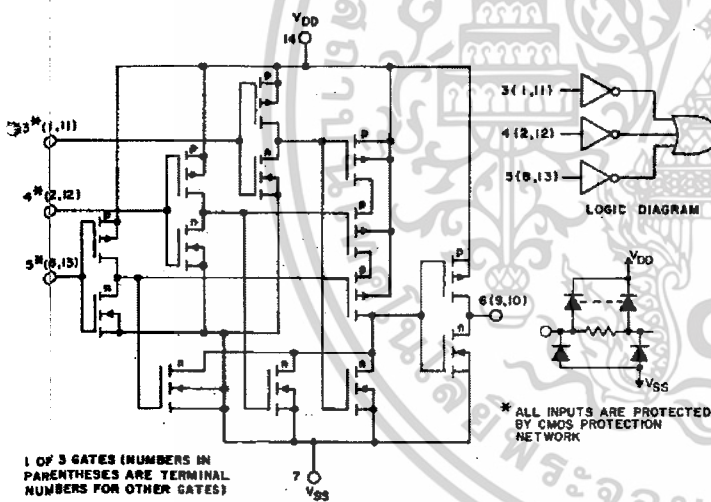


Fig. 9 - Schematic and logic diagrams for CD4023B.

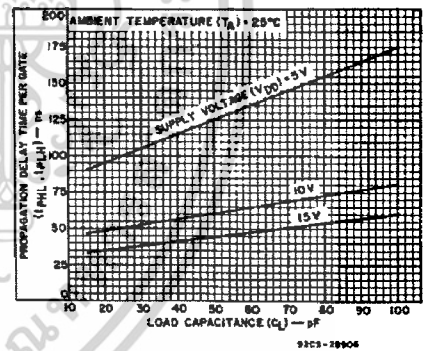


Fig. 10 - Typical propagation delay time per gate as a function of load capacitance.

## DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

At  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ; Input  $t_r, t_f = 20\text{ ns}$ ,  $C_L = 50\text{ pF}$ ,  $R_L = 200\text{ k}\Omega$

CHARACTERISTIC	TEST CONDITIONS	LIMITS		UNITS	
		V <sub>DD</sub> VOLTS	TYP.		MAX.
Propagation Delay Time, $t_{PHL}, t_{PLH}$		5	125	250	ns
		10	60	120	
		15	45	90	
Transition Time, $t_{THL}, t_{TLH}$		5	100	200	ns
		10	50	100	
		15	40	80	
Input Capacitance, $C_{iN}$	Any Input		5	7.5	pF

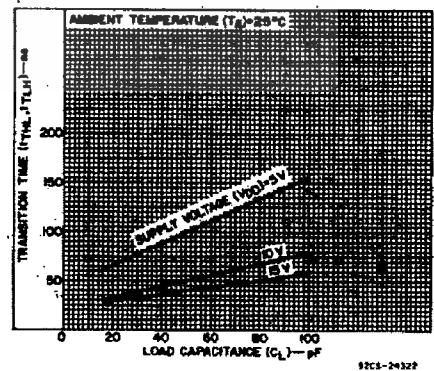


Fig. 11 - Typical transition time as a function of load capacitance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช. ใจให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CMOS Hex Schmitt Triggers

High-Voltage Types (20-Volt Rating)

■ CD40106B consists of six Schmitt-trigger circuits. Each circuit functions as an inverter with Schmitt-trigger action on the input. The trigger switches at different points for positive- and negative-going signals. The difference between the positive-going voltage ( $V_P$ ) and the negative-going voltage ( $V_N$ ) is defined as hysteresis voltage ( $V_H$ ) (see Fig.6). The CD40106B types are supplied in 14-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (D and F suffixes), 14-lead dual-in-line plastic package (E suffix), and in chip form (H suffix).

### Features:

- Schmitt-trigger action with no external components
- Hysteresis voltage (typ.) 0.9 V at  $V_{DD} = 5\text{ V}$ , 2.3 V at  $V_{DD} = 10\text{ V}$ , and 3.5 V at  $V_{DD} = 15\text{ V}$
- Noise immunity greater than 50%
- No limit on input rise and fall times
- Standardized, symmetrical output characteristics
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- Maximum input current of  $1\ \mu\text{A}$  at 18 V over full package-temperature range; 100 nA at 18 V and 25°C
- Low  $V_{DD}$  to  $V_{SS}$  current during slow input ramp
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of 'B' Series CMOS Devices"

### Applications:

- Wave and pulse shapers
- High-noise-environment systems
- Monostable multivibrators
- Astable multivibrators

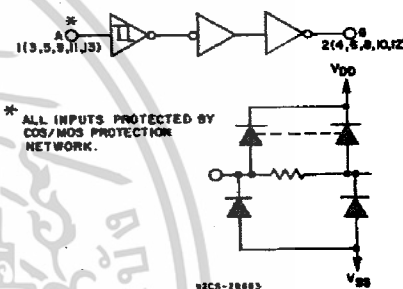
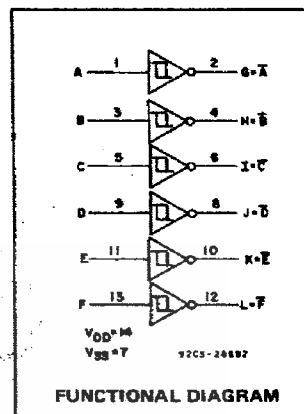


Fig. 1 — Logic diagram (1 of 6 Schmitt triggers).

### MAXIMUM RATINGS, Absolute-Maximum Values:

DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, ( $V_{DD}$ )	-0.5V to +20V
Voltages referenced to $V_{SS}$ Terminal)	
INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS	-0.5V to $V_{DD} + 0.5V$
DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT	$\pm 10\text{ mA}$
POWER DISSIPATION PER PACKAGE ( $P_D$ ):	
For $T_A = -55^\circ\text{C}$ to $+100^\circ\text{C}$	500mW
For $T_A = +100^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$	Derate Linearly at 12mW/°C to 200mW
DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR	
FOR $T_A = \text{FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types)}$	100mW
OPERATING-TEMPERATURE RANGE ( $T_A$ )	-55°C to +125°C
STORAGE TEMPERATURE RANGE ( $T_{stg}$ )	-65°C to +150°C
LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING):	
At distance $1/16 \pm 1/32$ inch ( $1.59 \pm 0.79\text{mm}$ ) from case for 10s max	+265°C

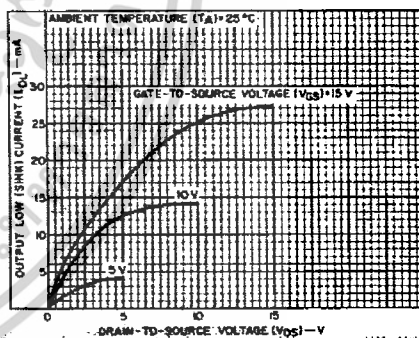


Fig. 2 — Typical output low (sink) current characteristics.

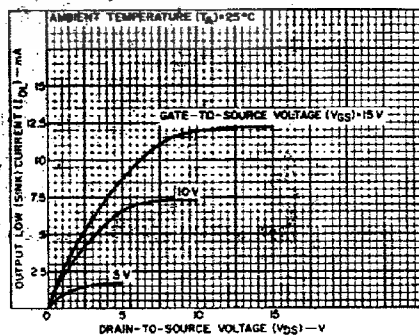


Fig. 3 — Minimum output low (sink) current characteristics.

### RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges:

CHARACTERISTIC	LIMITS		UNITS
	MIN.	MAX.	
Supply-Voltage Range (For $T_A$ Full Package-Temperature Range)	3	18	V

### DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

At  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , Input  $t_r, t_f = 20\text{ ns}$ ,  $C_L = 50\text{ pF}$ ,  $R_L = 200\text{ k}\Omega$

CHARACTERISTIC	TEST CONDITIONS	LIMITS		UNITS	
		$V_{DD}$ (V)	TYP.		MAX.
Propagation Delay Time:	$t_{PHL}$	5	140	280	ns
	$t_{PLH}$	10	70	140	
		15	60	120	
Transition Time:	$t_{THL}$	5	100	200	ns
	$t_{TLH}$	10	50	100	
		15	40	80	
Input Capacitance, $C_{IN}$	Any Input		5	7.5	pF

# CD40106B Types

## STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

CHARACTERISTIC	CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C)							UNITS
	V <sub>O</sub> (V)	V <sub>IN</sub> (V)	V <sub>DD</sub> (V)	-55	-40	+85	+125	+25			
								Min.	Typ.	Max.	
Quiescent Device Current, I <sub>DD</sub> Max.	-	0.5	5	1	1	30	30	-	0.02	1	μA
	-	0.10	10	2	2	60	60	-	0.02	2	
	-	0.15	15	4	4	120	120	-	0.02	4	
	-	0.20	20	20	20	600	600	-	0.04	20	
Positive Trigger Threshold Voltage V <sub>P</sub> Min.	-	-	5	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.9	-	V
	-	-	10	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	5.9	-	
	-	-	15	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	8.8	-	
V <sub>P</sub> Max.	-	-	5	3.6	3.6	3.6	3.6	-	2.9	3.6	V
	-	-	10	7.1	7.1	7.1	7.1	-	5.9	7.1	
	-	-	15	10.8	10.8	10.8	10.8	-	8.8	10.8	
Negative Trigger Threshold Voltage V <sub>N</sub> Min.	-	-	5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.9	-	V
	-	-	10	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.9	-	
	-	-	15	4	4	4	4	4	5.8	-	
V <sub>N</sub> Max.	-	-	5	2.8	2.8	2.8	2.8	-	1.9	2.8	V
	-	-	10	5.2	5.2	5.2	5.2	-	3.9	5.2	
	-	-	15	7.4	7.4	7.4	7.4	-	5.8	7.4	
Hysteresis Voltage V <sub>H</sub> Min.	-	-	5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.9	-	V
	-	-	10	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.3	-	
	-	-	15	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	3.5	-	
V <sub>H</sub> Max.	-	-	5	1.6	1.6	1.6	1.6	-	0.9	1.6	V
	-	-	10	3.4	3.4	3.4	3.4	-	2.3	3.4	
	-	-	15	5	5	5	5	-	3.5	5	
Output Low (Sink) Current, I <sub>OL</sub> Min.	0.4	0.5	5	0.64	0.61	0.42	0.36	0.51	1	-	mA
	0.5	0.10	10	1.6	1.5	1.1	0.9	1.3	2.6	-	
	1.5	0.15	15	4.2	4	2.8	2.4	3.4	6.8	-	
Output High (Source) Current, I <sub>OH</sub> Min.	4.6	0.5	5	-0.64	-0.61	-0.42	-0.36	-0.51	-1	-	mA
	2.5	0.5	5	-2	-1.8	-1.3	-1.15	-1.6	-3.2	-	
	9.5	0.10	10	-1.6	-1.5	-1.1	-0.9	-1.3	-2.6	-	
	13.5	0.15	15	-4.2	-4	-2.8	-2.4	-3.4	-6.8	-	
Output Voltage Low-Level, V <sub>OL</sub> Max.	-	5	5			0.05		-	0	0.05	V
	-	10	10			0.05		-	0	0.05	
	-	15	15			0.05		-	0	0.05	
Output Voltage High Level, V <sub>OH</sub> Min.	-	0	5			4.95		4.95	5	-	V
	-	0	10			9.95		9.95	10	-	
	-	0	15			14.95		14.95	15	-	
Input Current, I <sub>IN</sub> Max.	-	0.18	18	±0.1	±0.1	±1	±1	-	±10 <sup>-5</sup>	±0.1	μA

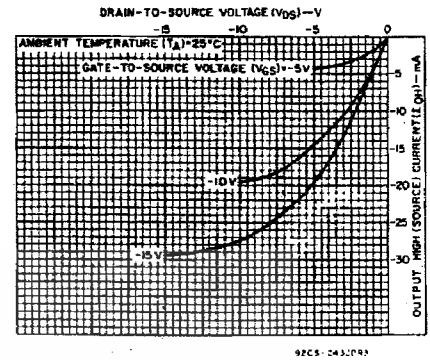


Fig. 4 - Typical output high (source) current characteristics.

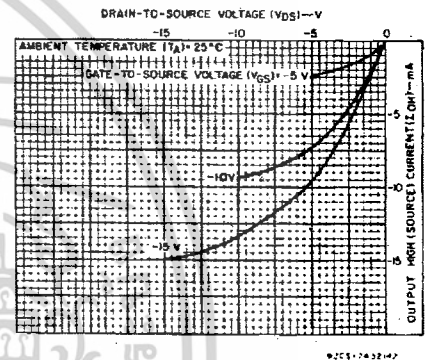


Fig. 5 - Minimum output high (source) current characteristics.

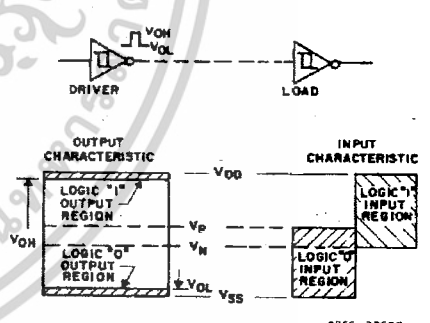
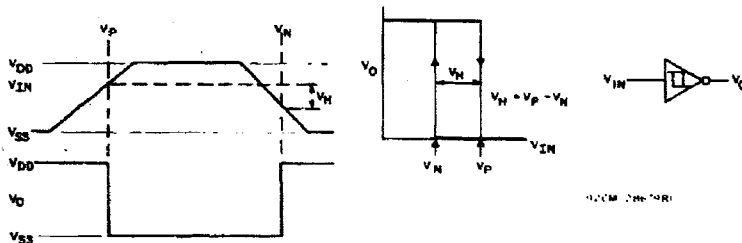


Fig. 7 - Input and output characteristics.



a) Definition of V<sub>P</sub>, V<sub>N</sub>, V<sub>H</sub>

b) Transfer characteristics of 1 of 6 gates

Fig. 6 - Hysteresis definition, characteristics, and test set-up.

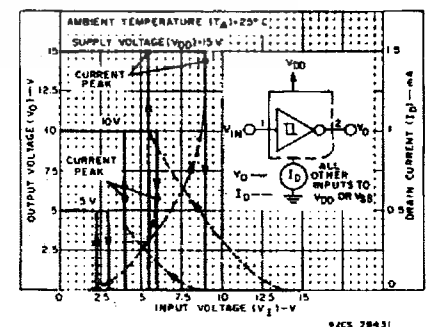


Fig. 8 - Typical current and voltage transfer characteristics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMMERCIAL CMOS

# CD40106B Types

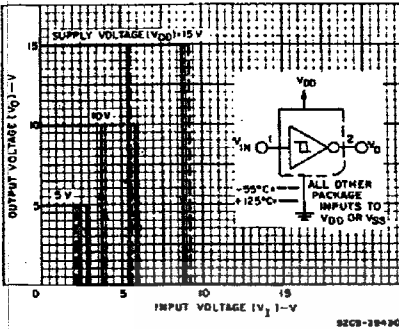


Fig. 9 - Typical voltage transfer characteristics as a function of temperature.

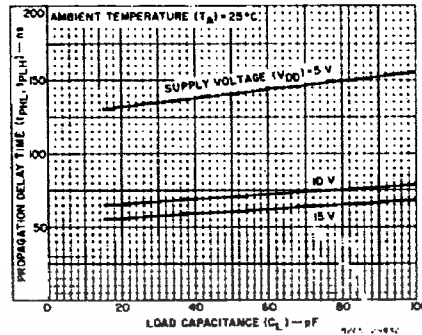


Fig. 10 - Typical propagation delay time as a function of load capacitance.

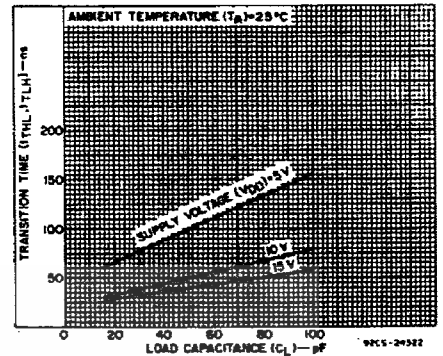


Fig. 11 - Typical transition time as a function of load capacitance.

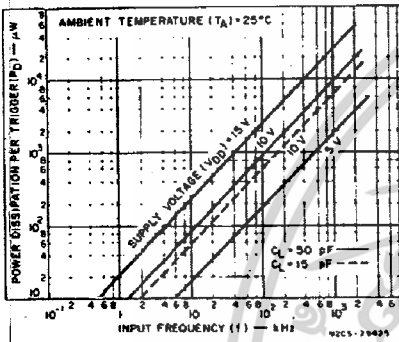


Fig. 12 - Typical power dissipation per trigger as a function of input frequency.

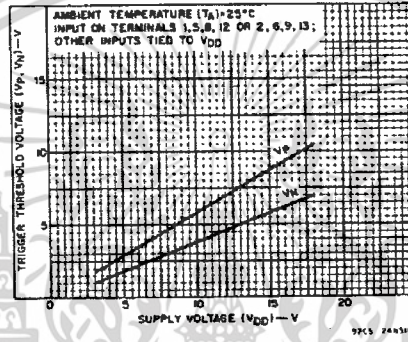


Fig. 13 - Typical trigger threshold voltage as a function of supply voltage.

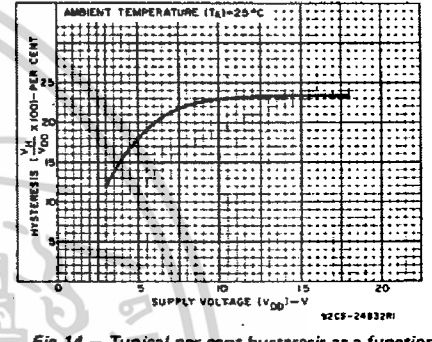


Fig. 14 - Typical per cent hysteresis as a function of supply voltage.

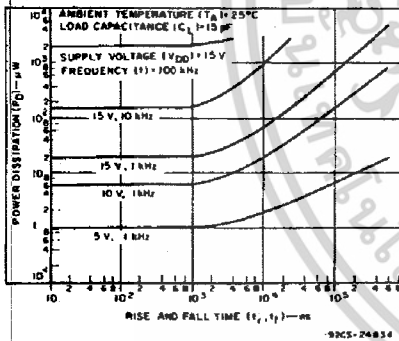


Fig. 15 - Typical power dissipation as a function of rise and fall times.

## APPLICATIONS

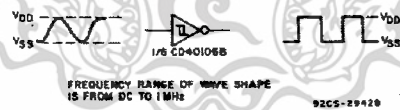


Fig. 16 - Wave shaper.

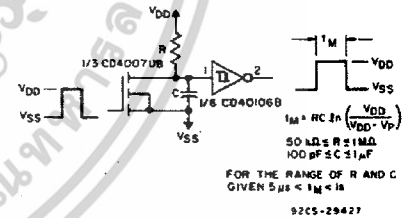


Fig. 17 - Monostable multivibrator.

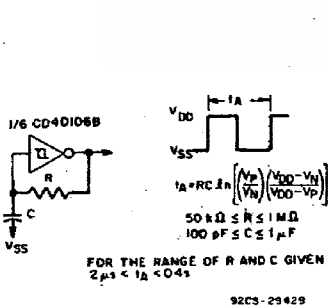


Fig. 18 - Astable multivibrator.

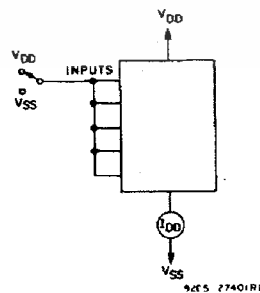


Fig. 19 - Quiescent device current test circuit.

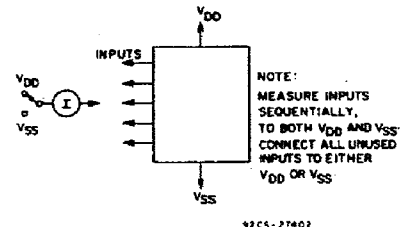


Fig. 20 - Input current test circuit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 3-390 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

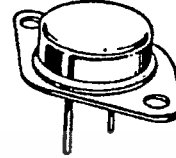
## IRF450/451/452/453

N-CHANNEL  
POWER MOSFETS

## FEATURES

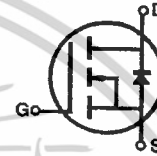
- Low  $R_{DS(on)}$  at high voltage
- Improved inductive ruggedness
- Excellent high voltage stability
- Fast switching times
- Rugged polysilicon gate cell structure
- Low input capacitance
- Extended safe operating area
- Improved high temperature reliability
- TO-3 package (High voltage)

TO-3



## PRODUCT SUMMARY

Part Number	V <sub>DS</sub>	R <sub>DS(on)</sub>	I <sub>B</sub>
IRF250	500V	0.4Ω	13A
IRF251	450V	0.4Ω	13A
IRF252	500V	0.5Ω	12A
IRF253	450V	0.5Ω	12A



## MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	IRF450	IRF451	IRF452	IRF453	Unit
Drain-Source Voltage (1)	V <sub>DSS</sub>	500	450	500	450	Vdc
Drain-Gate Voltage (R <sub>GS</sub> =1.0MΩ)(1)	V <sub>DGR</sub>	500	450	500	450	Vdc
Gate-Source Voltage	V <sub>GS</sub>	±20				Vdc
Continuous Drain Current T <sub>C</sub> =25°C	I <sub>D</sub>	13	13	12	12	Adc
Continuous Drain Current T <sub>C</sub> =100°C	I <sub>B</sub>	8.0	8.0	7.0	7.0	Adc
Drain Current—Pulsed (3)	I <sub>DM</sub>	52	52	48	48	Adc
Gate Current—Pulsed	I <sub>GM</sub>	±1.5				Adc
Total Power Dissipation @ T <sub>C</sub> =25°C Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	150 1.2				Watts W/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T <sub>J</sub> , T <sub>stg</sub>	-55 to 150				°C
Maximum Lead Temp. for Soldering Purposes, 1/8" from case for 5 seconds	T <sub>L</sub>	300				°C

Notes: (1) T<sub>J</sub>=25°C to 150°C

(2) Pulse test: Pulse width ≤ 300μs, Duty Cycle ≤ 2%

(3) Repetitive rating: Pulse width limited by max. junction temperature

**IRF450/451/452/453****N-CHANNEL  
POWER MOSFETS**

98 DE 7964142 0005145 7

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_C=25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	Type	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
Drain-Source Breakdown Voltage	$BV_{DSS}$	IRF450 IRF452	500	—	—	V	$V_{GS}=0V$
		IRF451 IRF453	450	—	—	V	$I_D=250\mu A$
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	ALL	2.0	—	4.0	V	$V_{DS}=V_{GS}$ , $I_D=250\mu A$
Gate-Source Leakage Forward	$I_{GSS}$	ALL	—	—	100	nA	$V_{GS}=20V$
Gate-Source Leakage Reverse	$I_{GSS}$	ALL	—	—	-100	nA	$V_{GS}=-20V$
Zero Gate Voltage Drain Current	$I_{DSS}$	ALL	—	—	250	$\mu A$	$V_{DS}=\text{Max. Rating}$ , $V_{GS}=0V$
		—	—	—	1000	$\mu A$	$V_{DS}=\text{Max. Rating}\times 0.8$ , $V_{GS}=0V$ , $T_C=125^\circ\text{C}$
On-State Drain-Source Current (2)	$I_{D(on)}$	IRF450 IRF451	13	—	—	A	$V_{DS}>I_{D(on)}\times R_{DS(on) \text{ max.}}$ , $V_{GS}=10V$
		IRF452 IRF453	12	—	—	A	
Static Drain-Source On-State Resistance (2)	$R_{DS(on)}$	IRF450 IRF451	—	0.38	0.4	$\Omega$	$V_{GS}=10V$ , $I_D=7.0A$
		IRF452 IRF453	—	0.4	0.5	$\Omega$	
Forward Transconductance (2)	$g_{fs}$	ALL	6.0	10.8	—	S	$V_{DS}>I_{D(on)}\times R_{DS(on) \text{ max.}}$ , $I_D=7.0A$
Input Capacitance	$C_{iss}$	ALL	—	2850	3000	pF	
Output Capacitance	$C_{oss}$	ALL	—	350	600	pF	$V_{GS}=0V$ , $V_{DS}=25V$ , $f=1.0\text{MHz}$
Reverse Transfer Capacitance	$C_{rss}$	ALL	—	150	200	pF	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	ALL	—	—	35	ns	
Rise Time	$t_r$	ALL	—	—	50	ns	$V_{DD}=0.5BV_{DSS}$ , $I_D=7.0A$ , $Z_\theta=4.7\Omega$ (MOSFET switching times are essentially independent of operating temperature.)
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$	ALL	—	—	150	ns	
Fall Time	$t_f$	ALL	—	—	70	ns	
Total Gate Charge (Gate-Source Plus Gate-Drain)	$Q_g$	ALL	—	77	120	nC	$V_{GS}=10V$ , $I_D=16A$ , $V_{DS}=0.8 \text{ Max. Rating}$ (Gate charge is essentially independent of operating temperature. See Fig. 8 page 21)
Gate-Source Charge	$Q_{gs}$	ALL	—	11	—	nC	
Gate-Drain ("Miller") Charge	$Q_{gd}$	ALL	—	66	—	nC	

**THERMAL RESISTANCE**

Junction-to-Case	$R_{thJC}$	ALL	—	—	0.83	K/W	
Case-to-Sink	$R_{thCS}$	ALL	—	0.1	—	K/W	Mounting surface flat, smooth, and greased
Junction-to-Ambient	$R_{thJA}$	ALL	—	—	30	K/W	Free Air Operation

Notes: (1)  $T_J=25^\circ\text{C}$  to  $150^\circ\text{C}$ (2) Pulse test: Pulse width  $\leq 300\mu s$ , Duty Cycle  $\leq 2\%$ 

(3) Repetitive rating: Pulse width limited by max. junction temperature



SAMSUNG SEMICONDUCTOR


144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

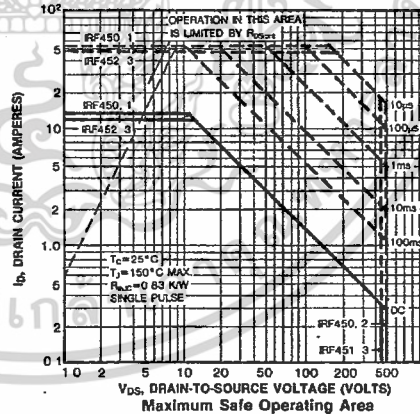
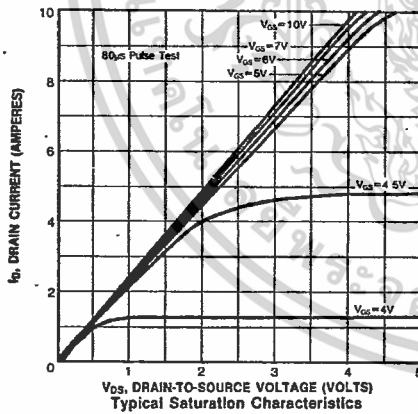
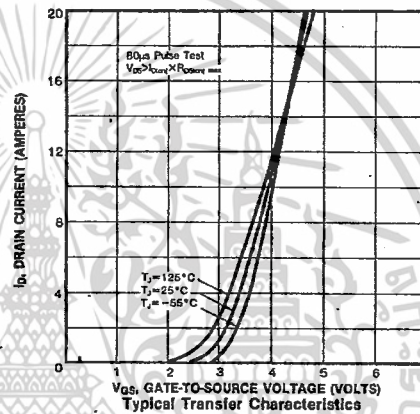
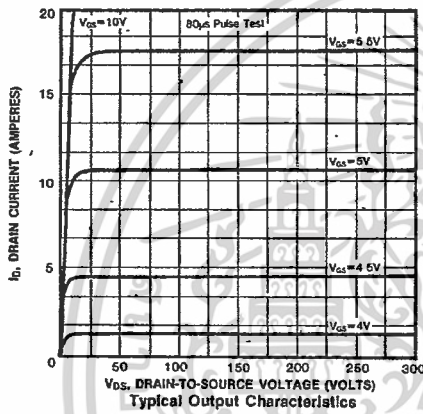
IRF450/451/452/453

N-CHANNEL POWER MOSFETS

SOURCE-DRAIN DIODE RATINGS AND CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Type	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
Continuous Source Current (Body Diode)	I <sub>S</sub>	IRF450	—	—	13	A	Modified MOSFET symbol showing the integral reverse P-N junction rectifier 
		IRF451	—	—	12	A	
		IRF452 IRF453	—	—	12	A	
Pulse Source Current (Body Diode) (3)	I <sub>SM</sub>	IRF450	—	—	52	A	
		IRF451	—	—	52	A	
		IRF452 IRF453	—	—	48	A	
Diode Forward Voltage (2)	V <sub>SD</sub>	IRF450	—	—	1.4	V	T <sub>C</sub> =25°C, I <sub>S</sub> =13A, V <sub>GS</sub> =0V
		IRF451	—	—	1.4	V	T <sub>C</sub> =25°C, I <sub>S</sub> =12A, V <sub>GS</sub> =0V
		IRF452 IRF453	—	—	1.3	V	T <sub>C</sub> =25°C, I <sub>S</sub> =12A, V <sub>GS</sub> =0V
Reverse Recovery Time	t <sub>rr</sub>	ALL	—	1300	—	ns	T <sub>J</sub> =150°C, I <sub>F</sub> =13A, dI <sub>F</sub> /dt=100A/μs

Notes: (1) T<sub>J</sub>=25°C to 150°C (2) Pulse test; Pulse width ≤ 300μs, Duty Cycle ≤ 2%  
 (3) Repetitive rating; Pulse width limited by max. junction temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TLP251

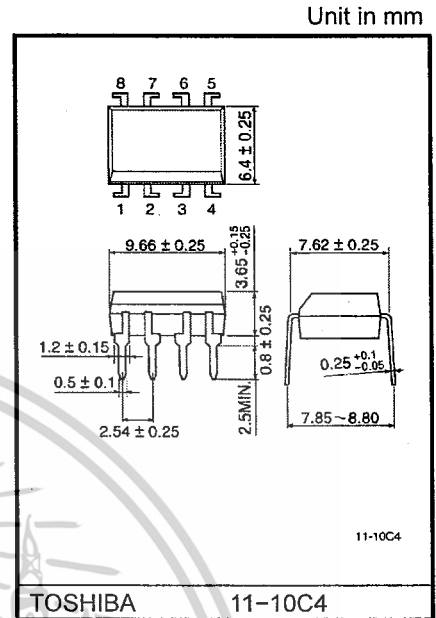
Inverter For Air Conditionor  
 Induction Heating  
 Transistor Inverter  
 Power MOS FET Gate Drive  
 IGBT Gate Drive

The TOSHIBA TLP251 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.

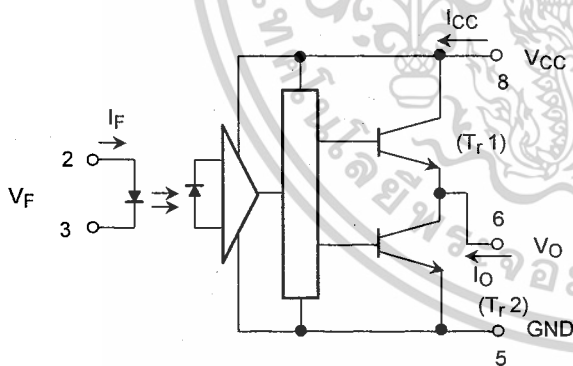
This unit is 8-lead DIP package.

TLP251 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET. Especially TLP251 is capable of "direct" gate drive of lower power IGBTs. (~15A)

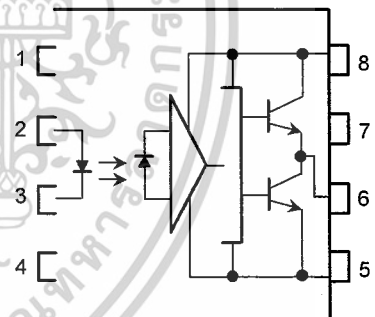
- Input threshold current:  $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current ( $I_{CC}$ ):  $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage ( $V_{CC}$ ): 10-35V
- Output current ( $I_O$ ):  $\pm 0.4\text{A}(\text{max.})$
- Switching time ( $t_{pLH} / t_{pHL}$ ):  $1\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage:  $2500\text{Vrms}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, file no.E67349



## Schematic



## Pin Configuration (top view)



- 1 : N.C.
- 2 : Anode
- 3 : Cathode
- 4 : N.C.
- 5 : Gnd
- 6 :  $V_O$  (Output)
- 7 : N.C.
- 8 :  $V_{CC}$

A 0.1 $\mu\text{F}$  bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5(see Note 5).

## Truth Table

		Tr1	Tr2
Input	On	On	Off
LED	Off	Off	On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	$I_F$	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	$I_{FPT}$	1	A	
	Reverse voltage	$V_R$	5	V	
	Junction temperature	$T_j$	125	°C	
Detector	"H" peak output current ( $P_W \leq 2.0\mu s, f \leq 15kHz$ ) (Note 2)	$I_{OPH}$	-0.4	A	
	"L" peak output current ( $P_W \leq 2.0\mu s, f \leq 15kHz$ ) (Note 2)	$I_{OPL}$	0.4	A	
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	$V_O$	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	$V_{CC}$	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Junction temperature	$T_j$	125	°C	
	Operating frequency (Note 3)	f	25	kHz	
Operating temperature range	$T_{opr}$	-20~85	°C		
Storage temperature range	$T_{stg}$	-55~125	°C		
Lead soldering temperature(10s)	$T_{sol}$	260	°C		
Isolation voltage (AC, 1min., R.H. ≤ 60%) (Note 4)	$BV_S$	2500	Vrms		

(Note 1) Pulse width  $P_W \leq 1\mu s, 300pps$

(Note 2) Exponential waveform

(Note 3) Exponential waveform,  $I_{OPH} \leq -0.25A(\leq 2.0\mu s), I_{OPL} \leq +0.25A(\leq 2.0\mu s)$

(Note 4) Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

(Note 5) A ceramic capacitor(0.1μF)should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the swiching property.The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input current, on	$I_{F(ON)}$	7	8	10	mA
Input voltage, off	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8	V
Supply voltage	$V_{CC}$	10	—	30   20	V
Peak output current	$I_{OPH} / I_{OPL}$	—	—	$\pm 0.1$	A
Operating temperature	$T_{opr}$	-20	25	70   85	°C

## Electrical Characteristics ( $T_a = -20 \sim 70^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified)

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		$V_F$	—	$I_F = 10 \text{ mA}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		$\Delta V_F / \Delta T_a$	—	$I_F = 10 \text{ mA}$	—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current		$I_R$	—	$V_R = 5 \text{ V}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	—	10	μA
Input capacitance		$C_T$	—	$V = 0$ , $f = 1 \text{ MHz}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	45	250	pF
Output current	"H" level	$I_{OPH}$	3	$V_{CC} = 30 \text{ V}$ (*1) $V_{8-6} = 4 \text{ V}$ $I_F = 0$ $V_{6-5} = 2.5 \text{ V}$	-0.1	-0.25	—	A
	"L" level	$I_{OPL}$	2		0.1	0.2	—	
Output voltage	"H" level	$V_{OH}$	4	$V_{CC1} = +15 \text{ V}$ , $V_{EE1} = -15 \text{ V}$ $R_L = 200 \Omega$ , $I_F = 5 \text{ mA}$	11	13.2	—	V
	"L" level	$V_{OL}$	5		$V_{CC1} = +15 \text{ V}$ , $V_{EE1} = -15 \text{ V}$ $R_L = 200 \Omega$ , $V_F = 0.8 \text{ V}$	—	-14.5	
Supply current	"H" level	$I_{CCH}$	—	$V_{CC} = 30 \text{ V}$ , $I_F = 10 \text{ mA}$ $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	7.5	—	mA
					$V_{CC} = 30 \text{ V}$ , $I_F = 10 \text{ mA}$	—	—	
	"L" level	$I_{CCL}$	—	$V_{CC} = 30 \text{ V}$ , $I_F = 0 \text{ mA}$ $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	8	—	
					$V_{CC} = 30 \text{ V}$ , $I_F = 0 \text{ mA}$	—	—	
Threshold input current	"Output L → H"	$I_{FLH}$	—	$V_{CC1} = +15 \text{ V}$ , $V_{EE1} = -15 \text{ V}$ $R_L = 200 \Omega$ , $V_O > 0 \text{ V}$	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H → L"	$V_{FLH}$	—	$V_{CC1} = +15 \text{ V}$ , $V_{EE1} = -15 \text{ V}$ $R_L = 200 \Omega$ , $V_O < 0 \text{ V}$	0.8	—	—	V
Supply voltage		$V_{CC}$	—		10	—	35	V
Capacitance (input-output)		$C_s$	—	$V_s = 0$ , $f = 1 \text{ MHz}$ $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	1.0	2.0	pF
Resistance (input-output)		$R_s$	—	$V_s = 500 \text{ V}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$ R.H. ≤ 60%	$1 \times 10^{12}$	$10^{14}$	—	Ω

\* All typical values are at  $T_a = 25^\circ\text{C}$  (\*1): Duration of  $I_O$  time ≤ 50μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LF353

## Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier

### General Description

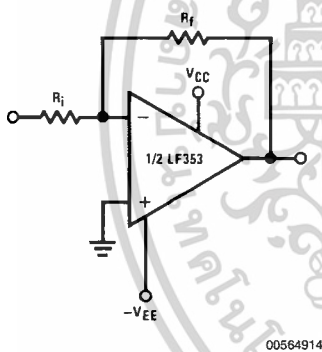
These devices are low cost, high speed, dual JFET input operational amplifiers with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). They require low supply current yet maintain a large gain bandwidth product and fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF353 is pin compatible with the standard LM1558 allowing designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM1558 and LM358 designs.

These amplifiers may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample and hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The devices also exhibit low noise and offset voltage drift.

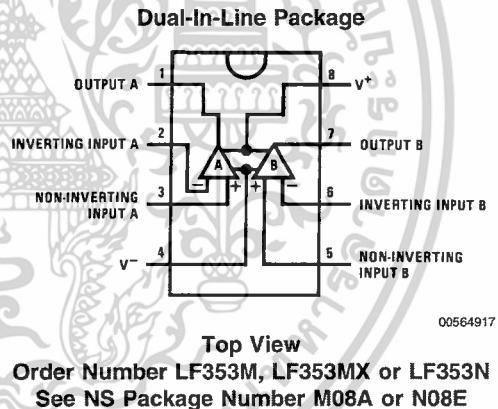
### Features

- Internally trimmed offset voltage: 10 mV
- Low input bias current: 50pA
- Low input noise voltage: 25 nV/√Hz
- Low input noise current: 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth: 4 MHz
- High slew rate: 13 V/μs
- Low supply current: 3.6 mA
- High input impedance: 10<sup>12</sup>Ω
- Low total harmonic distortion : ≤0.02%
- Low 1/f noise corner: 50 Hz
- Fast settling time to 0.01%: 2 μs

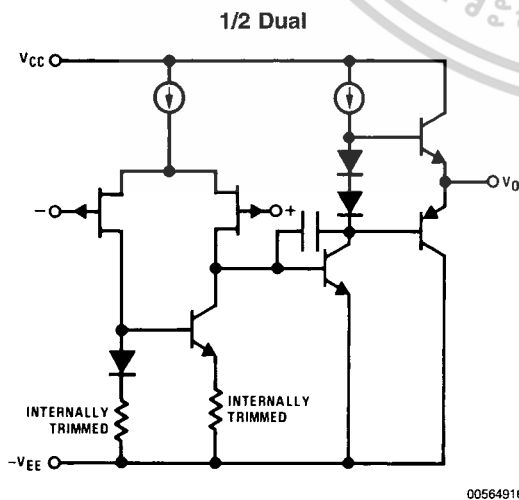
### Typical Connection



### Connection Diagram



### Simplified Schematic



BI-FET II™ is a trademark of National Semiconductor Corporation.

### Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	±18V
Power Dissipation	(Note 2)
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
T <sub>J</sub> (MAX)	150°C
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltage Range (Note 3)	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temp. (Soldering, 10 sec.)	260°C
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 sec.)	260°C

Small Outline Package

Vapor Phase (60 sec.) 215°C

Infrared (15 sec.) 220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD Tolerance (Note 8) 1000V

θ<sub>JA</sub> M Package TBD

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

### DC Electrical Characteristics

(Note 5)

Symbol	Parameter	Conditions	LF353			Units
			Min	Typ	Max	
V <sub>OS</sub>	Input Offset Voltage	R <sub>S</sub> =10kΩ, T <sub>A</sub> =25°C Over Temperature		5	10	mV
ΔV <sub>OS</sub> /ΔT	Average TC of Input Offset Voltage	R <sub>S</sub> =10 kΩ		10	13	μV/°C
I <sub>OS</sub>	Input Offset Current	T <sub>J</sub> =25°C, (Notes 5, 6) T <sub>J</sub> ≤70°C		25	100	pA
I <sub>B</sub>	Input Bias Current	T <sub>J</sub> =25°C, (Notes 5, 6) T <sub>J</sub> ≤70°C		50	200	pA
R <sub>IN</sub>	Input Resistance	T <sub>J</sub> =25°C		10 <sup>12</sup>	8	nA
A <sub>VOL</sub>	Large Signal Voltage Gain	V <sub>S</sub> =±15V, T <sub>A</sub> =25°C V <sub>O</sub> =±10V, R <sub>L</sub> =2 kΩ Over Temperature	25	100		V/mV
V <sub>O</sub>	Output Voltage Swing	V <sub>S</sub> =±15V, R <sub>L</sub> =10kΩ	±12	±13.5		V
V <sub>CM</sub>	Input Common-Mode Voltage Range	V <sub>S</sub> =±15V	±11	+15		V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R <sub>S</sub> ≤ 10kΩ	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 7)	70	100		dB
I <sub>S</sub>	Supply Current			3.6	6.5	mA

### AC Electrical Characteristics

(Note 5)

Symbol	Parameter	Conditions	LF353			Units
			Min	Typ	Max	
	Amplifier to Amplifier Coupling	T <sub>A</sub> =25°C, f=1 Hz–20 kHz (Input Referred)		-120		dB
SR	Slew Rate	V <sub>S</sub> =±15V, T <sub>A</sub> =25°C	8.0	13		V/μs
GBW	Gain Bandwidth Product	V <sub>S</sub> =±15V, T <sub>A</sub> =25°C	2.7	4		MHz
e <sub>n</sub>	Equivalent Input Noise Voltage	T <sub>A</sub> =25°C, R <sub>S</sub> =100Ω, f=1000 Hz		16		nV/√Hz
i <sub>n</sub>	Equivalent Input Noise Current	T <sub>J</sub> =25°C, f=1000 Hz		0.01		pA/√Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

# AC Electrical Characteristics (Continued)

(Note 5)

Symbol	Parameter	Conditions	LF353			Units
			Min	Typ	Max	
THD	Total Harmonic Distortion	$A_V=+10$ , $R_L=10k$ , $V_O=20Vp-p$ , $BW=20\text{ Hz}-20\text{ kHz}$		<0.02		%

**Note 2:** For operating at elevated temperatures, the device must be derated based on a thermal resistance of 115°C/W typ junction to ambient for the N package, and 158°C/W typ junction to ambient for the H package.

**Note 3:** Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

**Note 4:** The power dissipation limit, however, cannot be exceeded.

**Note 5:** These specifications apply for  $V_S=\pm 15V$  and  $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ .  $V_{OS}$ ,  $I_{B}$  and  $I_{OS}$  are measured at  $V_{CM}=0$ .

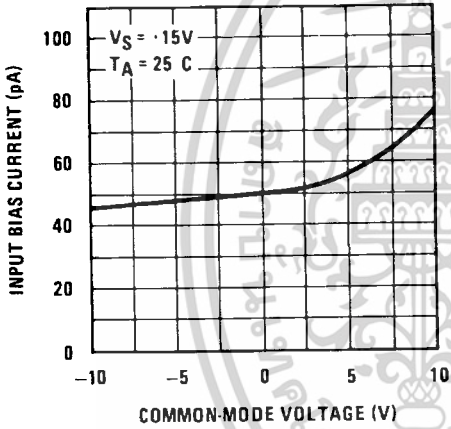
**Note 6:** The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature,  $T_j$ . Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation,  $P_D$ .  $T_j=T_A+\theta_{jA} P_D$  where  $\theta_{jA}$  is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

**Note 7:** Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice.  $V_S = \pm 6V$  to  $\pm 15V$ .

**Note 8:** Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.

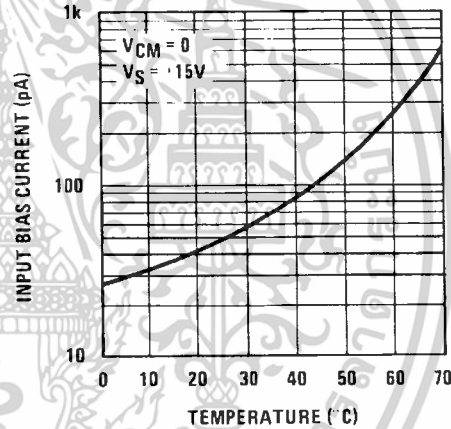
## Typical Performance Characteristics

Input Bias Current



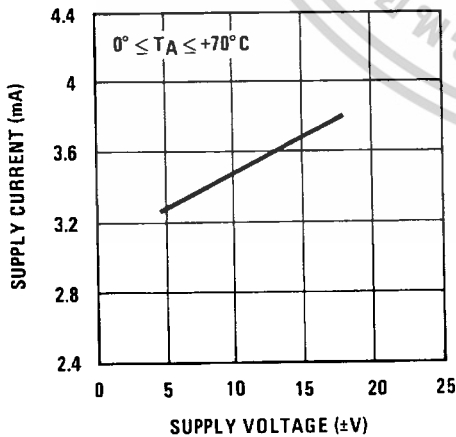
00564918

Input Bias Current



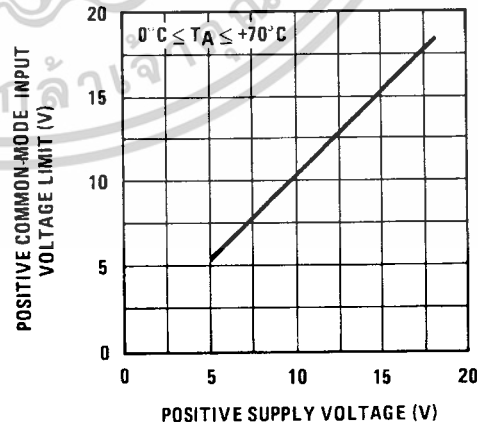
00564919

Supply Current



00564920

Positive Common-Mode Input Voltage Limit



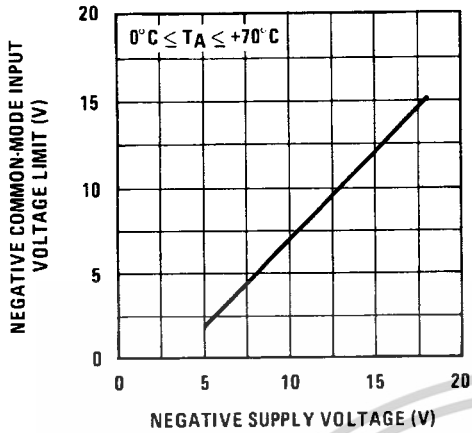
00564921

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ [www.national.com](http://www.national.com)

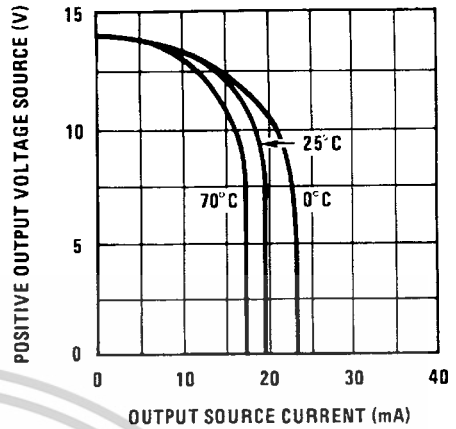
# Typical Performance Characteristics (Continued)

Negative Common-Mode Input Voltage Limit



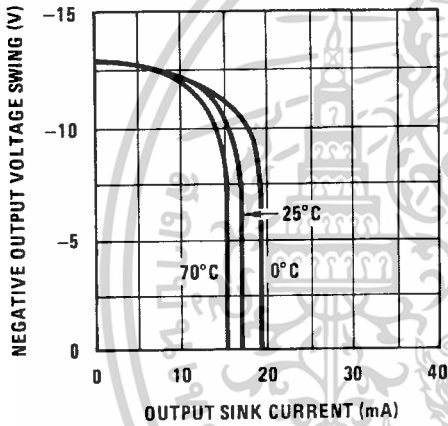
00564922

Positive Current Limit



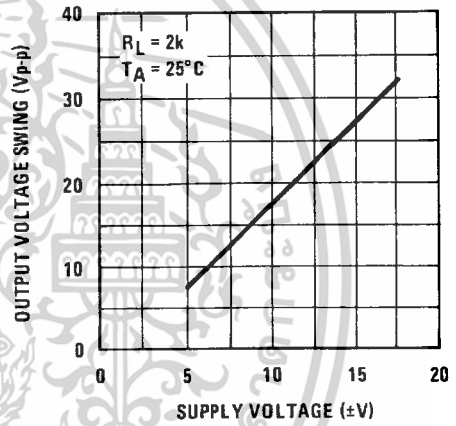
00564923

Negative Current Limit



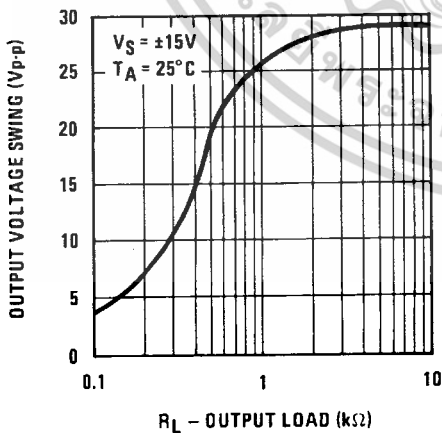
00564924

Voltage Swing



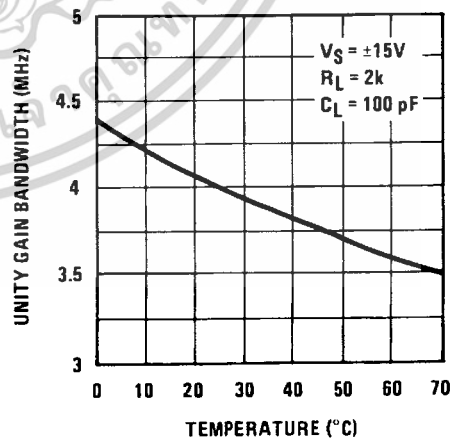
00564925

Output Voltage Swing



00564926

Gain Bandwidth

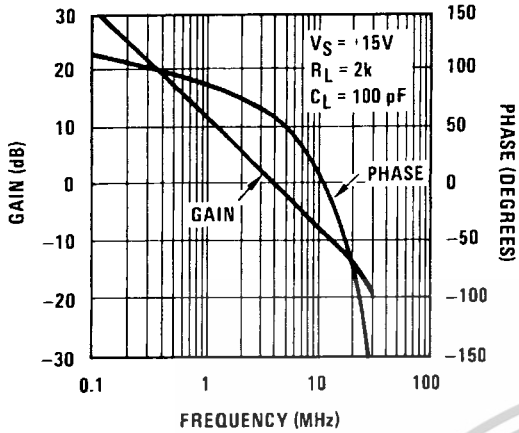


00564927

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

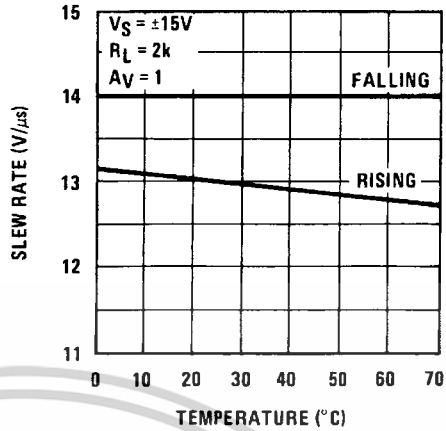
Typical Performance Characteristics (Continued)

Bode Plot



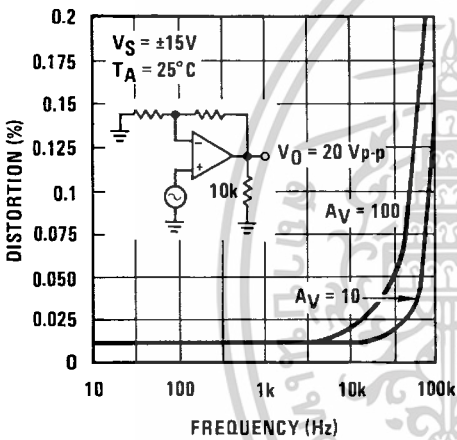
00564928

Slew Rate



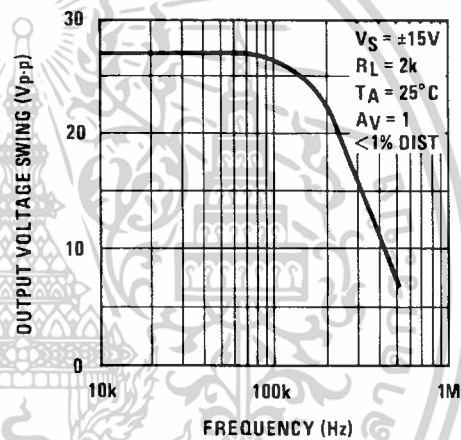
00564929

Distortion vs. Frequency



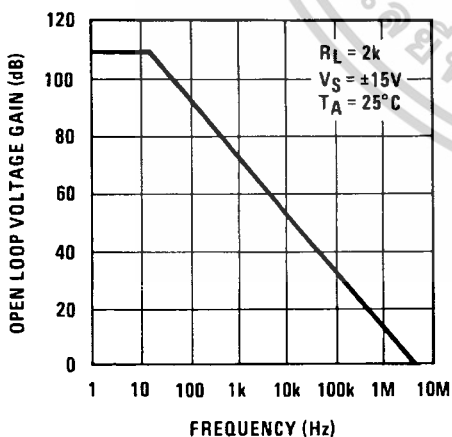
00564930

Undistorted Output Voltage Swing



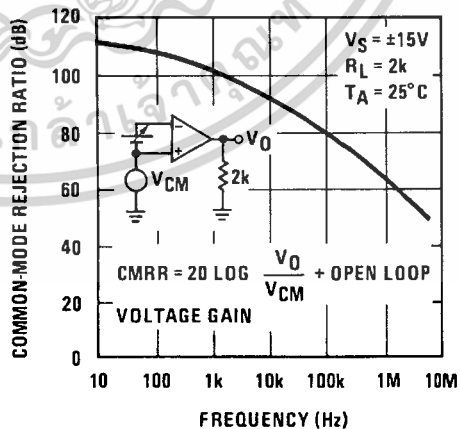
00564931

Open Loop Frequency Response



00564932

Common-Mode Rejection Ratio

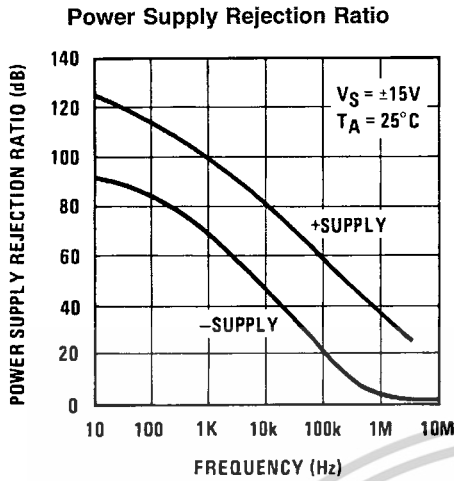


00564933

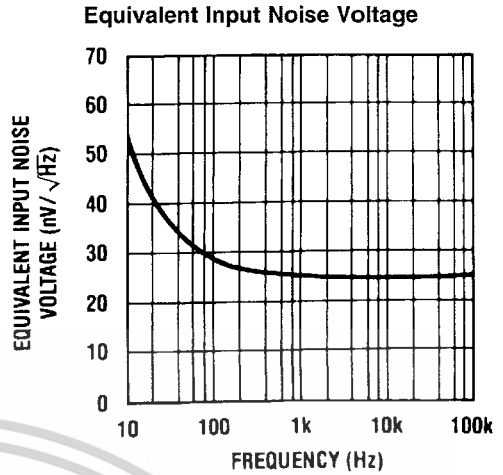
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

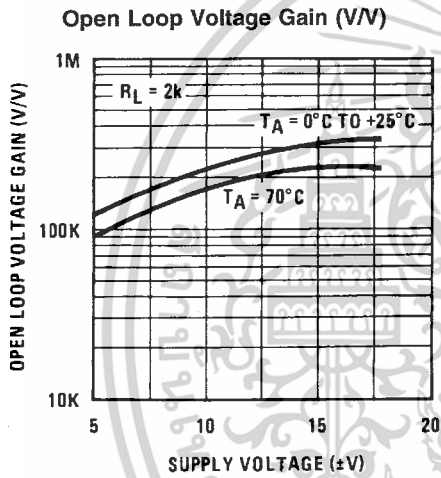
# Typical Performance Characteristics (Continued)



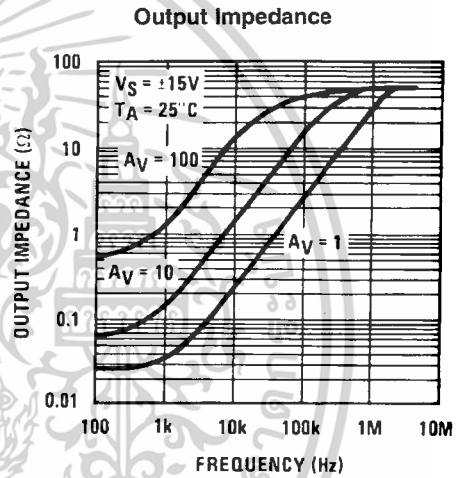
00564934



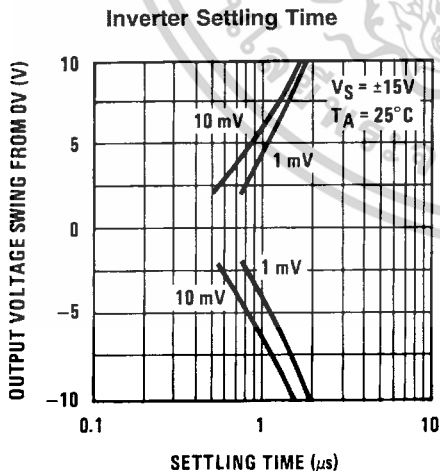
00564935



00564936



00564937

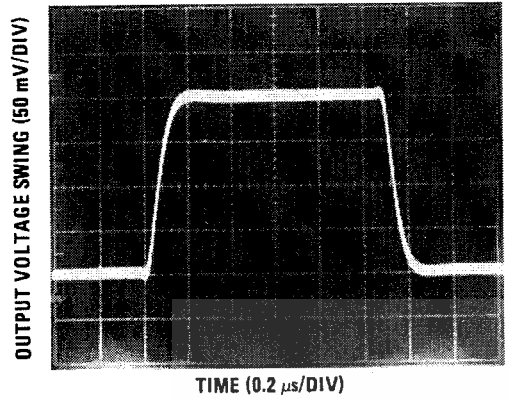


00564938

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

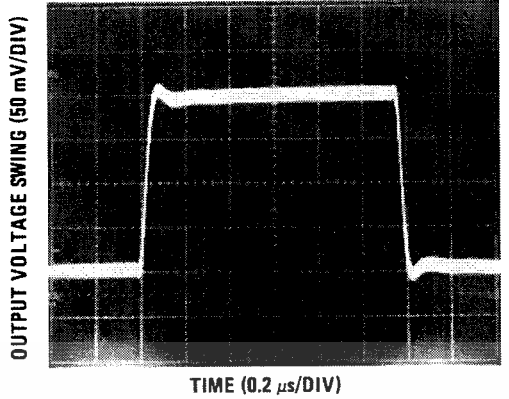
# ulse Response

Small Signaling Inverting



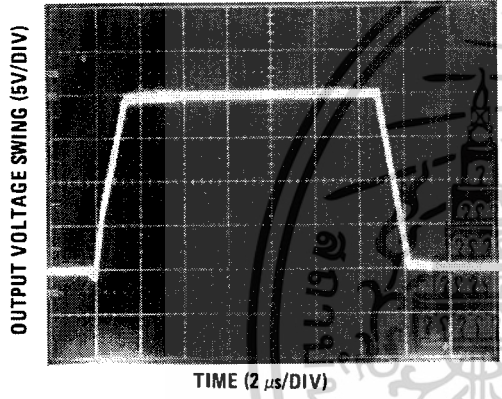
00564904

Small Signal Non-Inverting



00564905

Large Signal Inverting



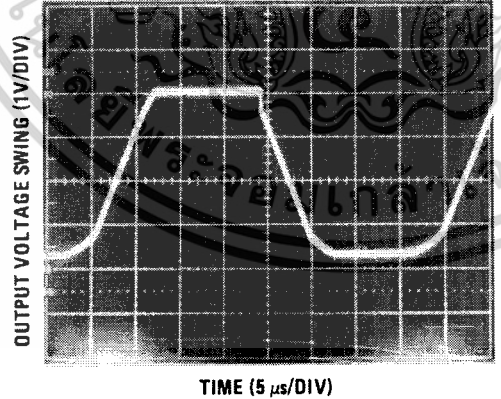
00564906

Large Signal Non-Inverting



00564907

Current Limit ( $R_L = 100\Omega$ )



00564908

## Application Hints

These devices are op amps with an internally trimmed input offset voltage and JFET input devices (BI-FET II). These JFETs have large reverse breakdown voltages from gate to source and drain eliminating the need for clamps across the inputs. Therefore, large differential input voltages can easily be accommodated without a large increase in input current. The maximum differential input voltage is independent of the

supply voltages. However, neither of the input voltages should be allowed to exceed the negative supply as this will cause large currents to flow which can result in a destroyed unit.

Exceeding the negative common-mode limit on either input will force the output to a high state, potentially causing a reversal of phase to the output. Exceeding the negative common-mode limit on both inputs will force the amplifier output to a high state. In neither case does a latch occur

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

### Application Hints (Continued)

since raising the input back within the common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

Exceeding the positive common-mode limit on a single input will not change the phase of the output; however, if both inputs exceed the limit, the output of the amplifier will be forced to a high state.

The amplifiers will operate with a common-mode input voltage equal to the positive supply; however, the gain bandwidth and slew rate may be decreased in this condition. When the negative common-mode voltage swings to within 3V of the negative supply, an increase in input offset voltage may occur.

Each amplifier is individually biased by a zener reference which allows normal circuit operation on ±6V power supplies. Supply voltages less than these may result in lower gain bandwidth and slew rate.

The amplifiers will drive a 2 kΩ load resistance to ±10V over the full temperature range of 0°C to +70°C. If the amplifier is forced to drive heavier load currents, however, an increase in input offset voltage may occur on the negative voltage swing and finally reach an active current limit on both positive and negative swings.

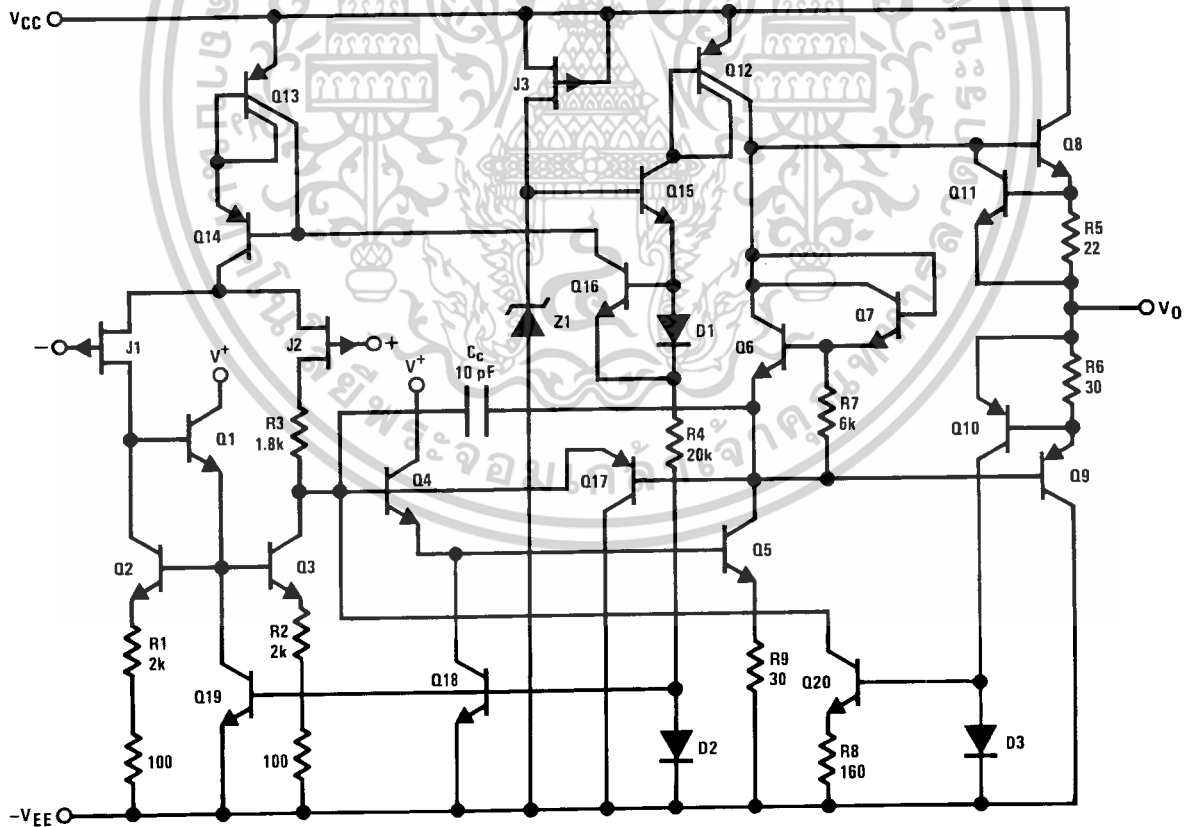
Precautions should be taken to ensure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity

or that the unit is not inadvertently installed backwards in a socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

As with most amplifiers, care should be taken with lead dress, component placement and supply decoupling in order to ensure stability. For example, resistors from the output to an input should be placed with the body close to the input to minimize "pick-up" and maximize the frequency of the feedback pole by minimizing the capacitance from the input to ground.

A feedback pole is created when the feedback around any amplifier is resistive. The parallel resistance and capacitance from the input of the device (usually the inverting input) to AC ground set the frequency of the pole. In many instances the frequency of this pole is much greater than the expected 3 dB frequency of the closed loop gain and consequently there is negligible effect on stability margin. However, if the feedback pole is less than approximately 6 times the expected 3 dB frequency a lead capacitor should be placed from the output to the input of the op amp. The value of the added capacitor should be such that the RC time constant of this capacitor and the resistance it parallels is greater than or equal to the original feedback pole time constant.

### Detailed Schematic

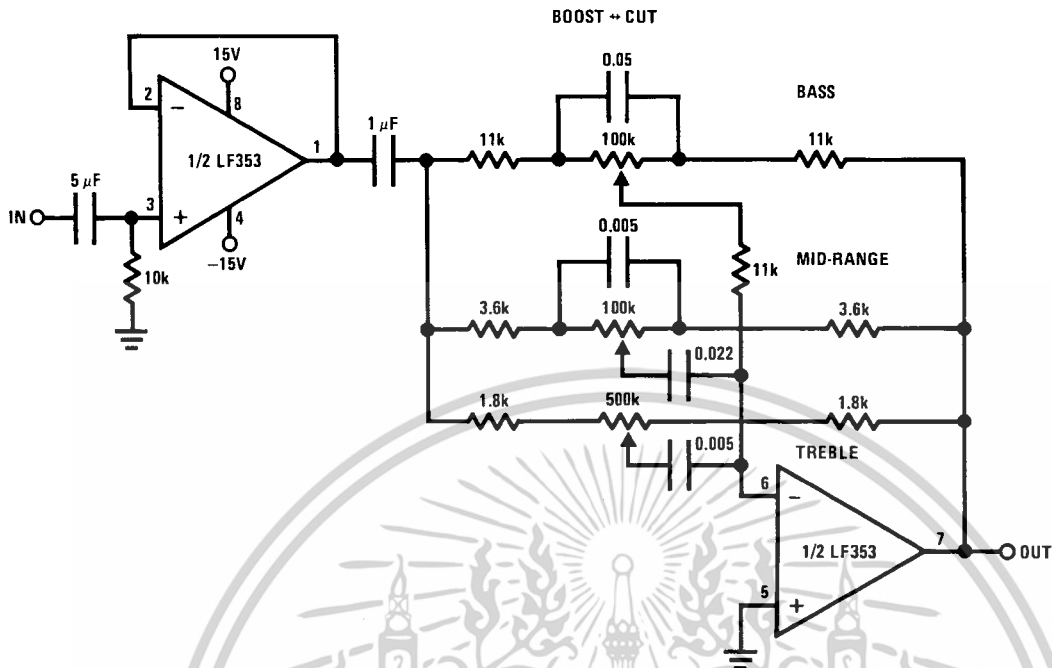


00564909

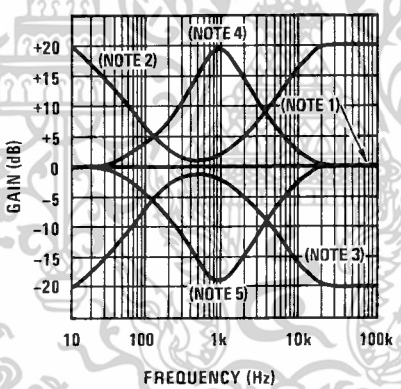
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไข ใดๆ โดยไม่ขออนุญาต

# Typical Applications

## Three-Band Active Tone Control



00564939

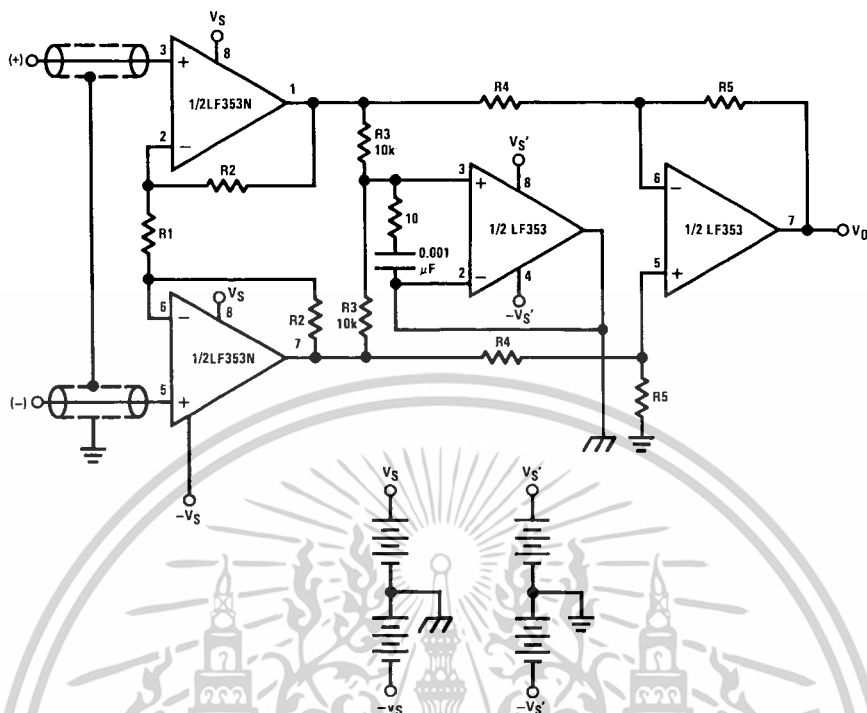


00564940

- Note 1:** All controls flat.
- Note 2:** Bass and treble boost, mid flat.
- Note 3:** Bass and treble cut, mid flat.
- Note 4:** Mid boost, bass and treble flat.
- Note 5:** Mid cut, bass and treble flat.
- All potentiometers are linear taper
- Use the LF347 Quad for stereo applications

Typical Applications (Continued)

Improved CMRR Instrumentation Amplifier



SEPARATE

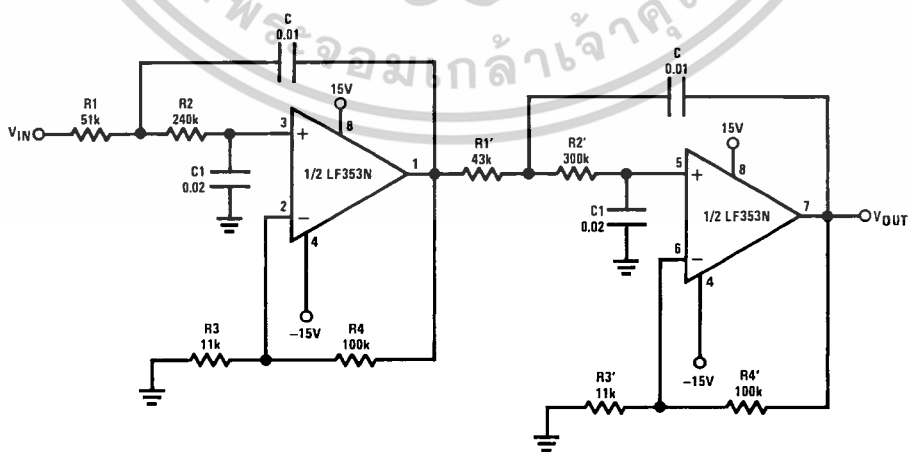
00564941

$$A_V = \left( \frac{2R_2}{R_1} + 1 \right) \frac{R_5}{R_4}$$

⏏ and ⏏ are separate isolated grounds  
 Matching of R2's, R4's and R5's control CMRR  
 With  $A_{VT} = 1400$ , resistor matching = 0.01%: CMRR = 136 dB

- Very high input impedance
- Super high CMRR

Fourth Order Low Pass Butterworth Filter



00564942

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ได้อื่นๆ

## เอกสารอ้างอิง

เอกสารประกอบการเรียน

- [1] รศ.ดร.โยชิน เปรมปราณีรัชต์. Solid state DC-MOTOR CONTROL.
- [2] รศ.ดร.โยชิน เปรมปราณีรัชต์. Noise Reduction in electronic system.
- [3] รศ.ดร.วรวงษ์ ตั้งศรีรัตน์. เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ : สสท,2548
- [4] กิรติ พิฑูรพงษ์. “การปรับปรุงผลตอบสนองของทรานเซียนของระบบควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์โดยการควบคุมแบบหลายรูป” ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตร-บัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542.
- [5] Katsuhiko Ogata. Modern Control Engineering : Prentice Hall,2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้