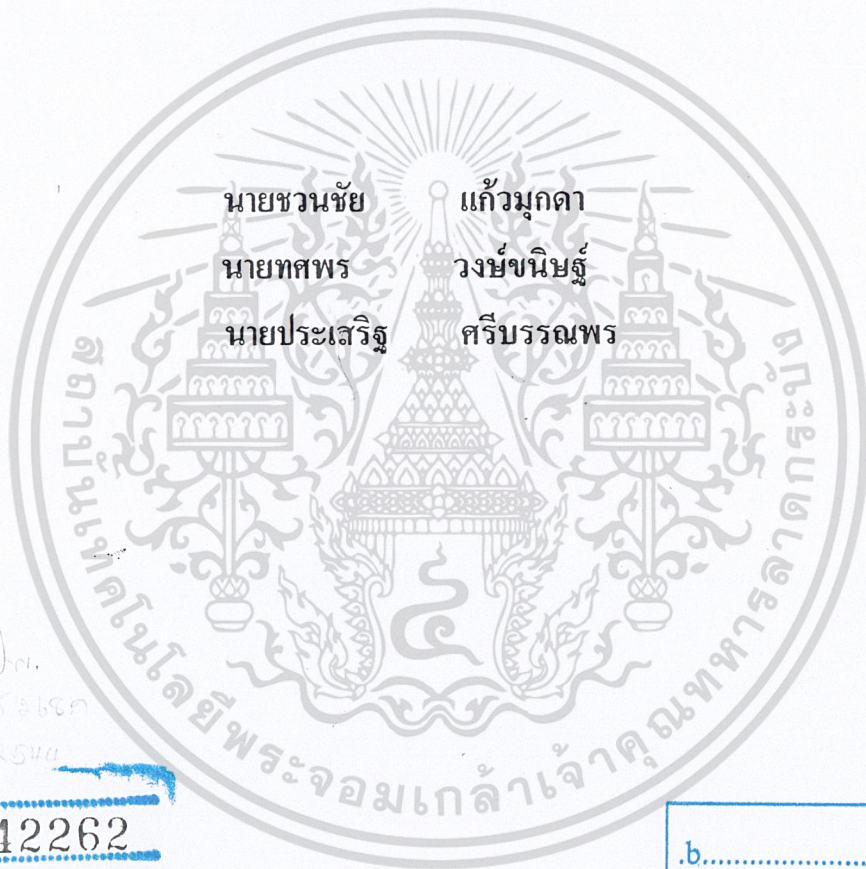


การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการอนุรักษ์วัฒนธรรมไทย
MICROCONTROLLER AND APPLICATION FOR THAI CULTURE
CONSERVATION



จก.
6868ค
2544

เลขที่.....
เลขทะเบียน 42262
วัน, เดือน, ปี 16 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์
ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
611202154

**MICROCONTRLOLLER AND APPLICATION FOR THAI CULTURE
CONSERVATION**



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

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการอนุรักษ์วัฒนธรรมไทย
(MICROCONTROLLER AND APPLICATION FOR THAI
CULTURE CONSERVATION)

นักศึกษาคณะผู้จัดทำ นายชวนชัย แก้วมุกดา รหัสประจำตัว 42015506
นายทศพร วงษ์ขนิษฐ รหัสประจำตัว 42015512
นายประเสริฐ ศรีบรรณพร รหัสประจำตัว 42015515

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. ปิติเขต ผู้รักษา
อ. บุญยชนะ ภูระหงษ์

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2544

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรม
ศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(.....)

.....กรรมการ
(.....)

.....กรรมการ
(.....)

.....กรรมการ
(.....)

.....กรรมการ
(.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรมและวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการอนุรักษ์วัฒนธรรมไทย
MICROCONTROLLER AND APPLICATION FOR THAI
CULTURE CONSERVATION

นักศึกษาผู้จัดทำ นายชวนชัย แก้วมุกดา รหัสประจำตัว 42015506
นายทศพร วงษ์นิษฐ์ รหัสประจำตัว 42015512
นายประเสริฐ ศรีบรรณพร รหัสประจำตัว 42015515

ปริญญา อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา 2544

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
ผศ. ดร. ปิติเขต ผู้รักษา	
อ. บุญชนะ ภูระหงษ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 29 ตุลาคม 2544

สถานที่สอบ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ศูนย์นนทบุรี

ภาควิชารับรองแล้ว

(ผศ.อุทัย ศรีธีระวิโรจน์)

หัวหน้าภาควิชา ฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการอนุรักษ์วัฒนธรรมไทย
MICROCONTROLLER AND APPLICATION FOR THAI
CULTURE CONSERVATION

นักศึกษาผู้จัดทำ นายชวนชัย แก้วมุกดา รหัสประจำตัว 42015506
 นายทศพร วงษ์ขนิษฐ รหัสประจำตัว 42015512
 นายประเสริฐ ศรีบรรณพร รหัสประจำตัว 42015515

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. ปิติเขต ผู้รักษา
 อ. บุญชนะ ภูระหงษ์

ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการอนุรักษ์วัฒนธรรมไทย ซึ่งชิ้นงานคือกระถางไฮเทค โดยวัตถุประสงค์เพื่อร่วมในเทศกาลวันลอยกระทง ภายในโครงการจะประกอบไปด้วยตัวถ่วงที่เป็นโครงสร้างภายนอก ซึ่งทำจากถังกะลือออกแบบให้มีลักษณะเหมือนกับกระทงทั่วไปสามารถรับน้ำหนักทั้งหมดและลอยอยู่ในน้ำได้ ภายในตัวกระทงจะมีไมโครคอนโทรลเลอร์ 2 ตัวที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานต่างกัน ตัวหนึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของจอแอลอีดีดีสเพลย์ที่แสดงตัวอักษรวิ่ง และควบคุมสเต็ปมอเตอร์ อีกตัวหนึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อนกระทง โดยมีเซนเซอร์อินฟราเรดคอยตรวจเช็คสิ่งกีดขวาง ควบคุมการจุดพลุ มอเตอร์ที่หมุนแสงเลเซอร์ให้เกิดเป็นรูปภาพ และยังมีส่วนของการควบคุมด้วยมือซึ่งเป็นชุดรับส่งวิทยุจะทำหน้าที่ควบคุมกระทงกลับมา จากผลการทดลองนำมาใช้ในงานจริงในงานวันลอยกระทง โครงการสามารถทำงานได้ตามโปรแกรมการสั่งงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้ง 2 ตัว จะมีข้อผิดพลาดอยู่บ้างก็เพียงเล็กน้อยซึ่งสามารถแก้ไขได้

Thesis Title	MICROCONTROLLER AND APPLICATION FOR THAI CULTURE CONSERVATION	
Authers	Mr. Chounchai	Kaewmookda
	Mr. Tossaporn	Wongschaniths
	Mr. Prasert	Sribunnaporn
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Pitikheth	Sooruksa
	Mr. Bunchana	Phurahong
Year	2001	

ABSTRACT

This project is applied microcontroller for Thai culture conservation. The name is Krathong Hitech for join in Loikrathong festival day. Project consist a part of external structure make from zinc. The design look like general krathong that can carry the weights and float in water. Internal structure has two microcontrollers in difference controlling. The first used to control stepping motor , show running letters from LED display. The second used to control motors driving the body, exploding fireworks, motor build picture of lasers light and receive input signal from Infrared sensors. And also it has manual mode for save krathong comeback to again by transmitter and receiver wireless. Result of the experiment shows that the real performance in Loikrathong day. It can be able to control from command programs. However, in this experiment occur some problem but will be able to edit.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์และโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับคำปรึกษาและความอนุเคราะห์ จาก ผศ.ดร. ปิติเขต สุรักษา และ อ. บุญชนะ ภูระหงษ์ ซึ่งคณะผู้จัดทำรู้สึกทราบบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ที่ได้คอยให้การสนับสนุนเกี่ยวกับการจัดทำโครงการ การจัดทำปริญญานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ นอกจากนี้ขอขอบคุณพี่สมศักดิ์ บุญกลอย ที่ได้คำปรึกษาเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรม พีพีริชา แก้วมุกดา ที่ได้คำปรึกษาในการเขียนโปรแกรมและการออกแบบวงจบบางส่วน ขอขอบพระคุณ คุณพิศาส คิลกวนิชย์ ผู้สื่อข่าวไอทีวี ที่ทำให้มีโอกาสดำเนินนำเสนอผลงานผ่านทางทีวี

ขอขอบพระคุณภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรมและวิศวกรรมสารสนเทศ และอาจารย์ในภาควิชาทุกท่านที่ให้คำปรึกษา ตลอดจนเอื้อเฟื้ออุปกรณ์เครื่องมือในการทดลองและความช่วยเหลือด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณพระคุณครูบาอาจารย์ที่ผ่านมา ที่ได้พรีาสอน ถ่ายทอดวิชาความรู้ให้ ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่ได้ให้กำลังใจและคำปรึกษาด้านต่างๆ จนมีส่วนทำให้งานเสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีได้จากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบแต่บิดาและมารดา

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์สำคัญของโครงการ	1
1.3 ขีดความสามารถของโครงการ	1
1.4 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 พีรีลยกระทง	3
2.2 ประวัติความเป็นมาของพีรีลยกระทง	3
2.3 ประวัติการลยกระทงในเมืองไทย	4
2.4 หลักการของแอลอีดีอินฟราเรดกำลังสูง	9
2.4.1 แอลอีดีกำลังสูงที่ให้แสงย่านใกล้อินฟราเรด	9
2.4.2 เทคโนโลยีเซตเทอโรจิ้งกัซัน	11
2.4.3 คุณสมบัติของแอลอีดีอินฟราเรด	12
2.4.4 การขับแอลอีดีอินฟราเรดโดยใช้พัลส์กระแสสูง	13
2.4.5 การแผ่รังสีของแอลอีดีอินฟราเรด	15
2.5 ทฤษฎีของระบบสัญญาณควบคุม	15
2.5.1 ระบบใช้สาย	15
2.5.2 ระบบไร้สาย	16
2.6 การควบคุมมอเตอร์กระแสไฟตรง	19
2.6.1 หลักการทำงาน	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.2 การสร้างวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้ในวงจร	20
2.6.3 การควบคุมมอเตอร์แบบสแต็ป	20
2.6.4 หลักการทำงานของมอเตอร์แบบสแต็ป	21
2.7 หลักการออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	22
2.7.1 การรักษาระดับแรงดันให้คงที่	22
2.7.2 การรักษาระดับแรงดันโดยใช้ไอซี 3 ขา	24
2.7.3 เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันเอาต์พุต	26
บทที่ 3 โครงสร้างของระบบโครงงาน	28
3.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์	28
3.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1	28
3.1.2 หลักการสร้างจอแอลอีดีแสดงผล	29
3.1.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2	31
3.1.4 ส่วนควบคุมด้วยมือ	34
3.2 การสร้างเครื่องรับเครื่องส่งวิทยุบังคับ 27 เมกกะเฮิร์ตซ์	34
3.2.1 เครื่องส่งสัญญาณ	34
3.2.2 เครื่องรับสัญญาณ	34
3.2.3 หลักการทำงาน	34
3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์	37
3.3.1 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1	37
3.3.2 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2	37
3.4 การออกแบบโครงสร้างภายนอกของกระทง	40
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	42
4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟ	42
4.2 การทดสอบระยะเวลาการทำงานของเครื่องรับเครื่องส่งวิทยุ	43
4.3 การวิเคราะห์สัญญาณ (Wave form) ต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สถานะต่างกัน	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1 การวัดสัญญาณขณะที่มีการจุดพลุ	44
4.3.2 การวัดสัญญาณขณะที่มอเตอร์หมุนกระจกสร้างภาพจากแสงเลเซอร์ทำงาน	45
4.3.3 การวัดสัญญาณขณะที่เซ็นเซอร์ตัวกลางทำงาน	46
4.3.4 การวัดสัญญาณขณะที่เซ็นเซอร์ด้านซ้ายทำงาน	47
4.3.5 การวัดสัญญาณขณะที่เซ็นเซอร์ด้านขวาทำงาน	48
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหาแนวทางแก้ไขและพัฒนา	49
5.1 บทสรุป	49
5.2 ขีดจำกัดของโครงการ	49
5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการจัดทำโครงการ	50
5.4 แนวทางแก้ไขปัญหาและพัฒนา	50
5.4.1 แนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ	50
5.4.2 แนวทางการพัฒนา	51
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก	53
ภาคผนวก ก. ส่วนของทฤษฎีควบคุมการทรงตัว	54
ภาคผนวก ข. ภาพถ่ายโครงการ และวงจรที่ใช้ทั้งหมด	76
ภาคผนวก ค. โปรแกรมการทำงาน	93
ภาคผนวก ง. คู่มือใช้งาน ไอซี	118

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	10
2.2	12
2.3	13
2.4	16
2.5	18
2.6	18
2.7	20
2.8	20
2.9	21
2.10	21
2.11	23
2.12	24
2.13	26
3.1	28
3.2	29
3.3	30
3.4	31
3.5	32
3.6	33
3.7	33
3.8	35
3.9	36
3.10	38
3.11	39
3.12	40
3.13	40
3.14	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 ขนาดโครงสร้างมองจากด้านข้าง	41
4.1 รูปสัญญาณขณะมีการจุดพลุ	44
4.2 รูปสัญญาณจากมอเตอร์ที่หมุนสะท้อนแสงจากเลเซอร์ทั้งสามตัว	45
4.3 รูปสัญญาณขณะที่เซนเซอร์ตัวกลางทำงาน	46
4.4 รูปสัญญาณขณะที่เซนเซอร์ตัวซ้ายทำงาน	47
4.3 รูปสัญญาณขณะที่เซนเซอร์ตัวขวาทำงาน	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเก็บประจุ C1 กับคาบเวลาของฟิล์ม	14
2.2 เปรียบเทียบระบบควบคุมไร้สายโดยการควบคุมด้วยแสงกับใช้คลื่นวิทยุควบคุม	17
2.3 รูปแบบปารกระตุ้นแบบเฟสเดียว	22
2.4 รูปแบบปารกระตุ้นแบบที่ละสองเฟส	22
4.1 แสดงระดับแรงไฟในสถานะต่างๆ	42
4.2 การทดสอบระยะเวลาการทำงานของเครื่องรับเครื่องส่งวิทยุ	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนี้ไม่ว่าสังคมไทยของเรานั้นจะเติบโตขึ้นมากเพียงไร วัฒนธรรมตะวันตกตลอดจนวัฒนธรรมของชาติอื่นๆจะเข้ามามากเพียงใด แต่ด้วยสำนึกของความเป็นไทยไม่ได้หายไปเลย วัฒนธรรมประเพณีไทยเก่าของเรายังยืนหยัดอยู่ได้ต่อไป ในยุคความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้วยเหตุนี้เอง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องช่วยกันอนุรักษ์วัฒนธรรมไทยของเราให้คงอยู่ต่อไปนานเท่านาน

ดังนั้นเราจึงได้มีการคิดที่จะนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาประยุกต์ในการประดิษฐ์อะไรชิ้นงานสักอย่าง ที่จะเป็นการอนุรักษ์วัฒนธรรมไปด้วยในตัว ในโครงการนี้ได้ทำการสร้างกระถงไฮเทคขึ้นมาเพื่อสำหรับแสดงในงานประเพณีวันลอยกระทง

1.2 วัตถุประสงค์สำคัญของโครงการ

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลที่เรารู้จักกันโดยทั่วไป และสามารถใช้งานได้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันนำมาประยุกต์ใช้งานในการประดิษฐ์กระถงไฮเทค โดยใช้ควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆในกระถง ให้ทำงานได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งถือได้ว่าไม่เคยเกิดขึ้นก่อน จัดได้ว่าเป็นไอเดียแปลกใหม่ที่ไม่มีใครเคยพบเห็น และอาจทำให้กระตุ้นให้เกิดการพัฒนาโครงการนี้ขึ้นมาอีกได้ในปีต่อไป ซึ่งช่วยให้ผู้คนหันมาเห็นความสำคัญของวัฒนธรรมประเพณีไทยของเราอีกทางหนึ่งด้วย

1.3 จุดความสามารถของโครงการ

1. สามารถนำไปใช้งานได้จริง ทำให้ผู้คนที่เห็นว่ามีอะไรที่ดีเกิดขึ้นได้ในประเพณีของเราได้เหมือนกัน
2. สามารถทำانได้ในโหมดอัตโนมัติ และโหมดควบคุมด้วยมือ การทำงานของส่วนต่างๆมีประสิทธิภาพที่แน่นอน ไม่เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ง่ายจนเกินไป เนื่องจากจะนำมาซึ่งการสูญเสียหรือเสียหายของโครงการ เพราะจะต้องลอยอยู่ในน้ำ
3. สามารถดึงดูดใจผู้ที่มาเที่ยวในงานลอยกระทง และจะต้องเป็นกระถงที่มีความเป็นจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับของนักศึกษาที่ใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผู้จัดทำสามารถแสดงให้เห็นถึงการที่สามารถประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับงานต่างๆได้มากมาย

1.4 เนื้อหาโดยสังเขป

บทที่ 2 จะเป็นประวัติความเป็นมาของพีซีลอยกระทง ทฤษฎีและหลักการของระบบมอเตอร์ไฟกระแสดตรง มอเตอร์แบบสแต็ป ทฤษฎีการออกแบบภาคจ่ายไฟที่ระดับแรงดันต่างๆ และทฤษฎีของเครื่องรับเครื่องส่งวิทยุ

บทที่ 3 โครงสร้างของระบบโครงงาน จะกล่าวถึงการออกแบบโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ วงจรส่วนต่างๆ ที่ใช้ในโครงงานว่าประกอบด้วยวงจรอะไรบ้าง การออกแบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของโครงงาน รวมถึงการออกแบบโครงสร้างทางแมคคานิคด้วย

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง เป็นส่วนที่แสดงรูปคลื่นสัญญาณ (Wave Form) ของมอเตอร์ขณะที่ทำงานในสภาวะต่างๆกัน ว่าเป็นอย่างไรบ้าง มีรูปสัญญาณเป็นอย่างไร การทดลองการทำงานของเครื่องรับเครื่องส่งวิทยุ การทดสอบประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟ (Battery) ที่ใช้ในวงจรทั้งหมด

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา และแนวทางแก้ไขพัฒนา จะกล่าวถึงบทสรุปโครงงาน ข้อบกพร่องต่างๆ ข้อจำกัดของโครงงาน ปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะที่จัดทำ ข้อเสนอแนะต่างๆในการแก้ไขปรับปรุงโครงงานนี้ให้ดีขึ้น

ภาคผนวก ก ส่วนของทฤษฎีควบคุมการทรงตัว ทั้งทฤษฎี ลักษณะการสร้าง การทดลอง และบทสรุปปัญหาของชิ้นงานทฤษฎีควบคุมการทรงตัว

ภาคผนวก ข โปรแกรมการทำงานต่างที่ใช้ภายในโครงงาน

ภาคผนวก ค วงจรทั้งหมดและรูปของชิ้นงาน

ภาคผนวก ง คู่มือไอซี

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พิธีลอยกระทง

เดือนสิบสองล่องลอยกระทงหลวง	ชนทั้งปวงเลยตามอร่ามแสง
ดอกไม้ไฟโชติช่วงเป็นดวงแดง	ทั้งพลูแรงตั้งตั้งดั่งสะท้าน
เสียงนกบินพราดพรอดอ้ายต้อ	เสียงหวอหวิวเฮฮาอยู่น่าจวน
ล้วนผู้คนลี้หลามตามสะพาน	อลหม่านนาวาในสาคร (นิราศเมือง)

เทศกาลลอยกระทง ตรงกับวันเพ็ญขึ้น 15 ค่ำเดือน 12 หรือราวเดือนพฤศจิกายน เป็นประเพณีเก่าแก่ของไทย ซึ่งมีมาตั้งแต่ก่อนสมัยกรุงสุโขทัย

2.2 ประวัติความเป็นมาของพิธี

คติที่มาเกี่ยวกับวันลอยกระทงมีอยู่หลายตำนาน ดังนี้

1. การลอยกระทง เพื่อขอขมาแก่พระแม่คงคา
2. การลอยกระทง เพื่อบูชาพระผู้เป็นเจ้าตามคติพราหมณ์ คือบูชาพระนารายณ์ ซึ่งบรรทมสินธุ์อยู่ในมหาสมุทร
3. การลอยกระทง เพื่อต้อนรับพระพุทธเจ้า ในวันเสด็จกลับจากเทวโลก เมื่อครั้งเสด็จไปจำพรรษาอยู่บนสวรรค์ชั้นดาวดึงส์ เพื่อทรงเทศนาอภิธรรมโปรดพระพุทธมารดา
4. การลอยกระทง เพื่อบูชาพระพุทธบาทของพระพุทธเจ้า ที่หาดทรายริมแม่น้ำมทานที เมื่อคราวเสด็จไปแสดงธรรมโปรดในนาคพิภพ
5. การลอยกระทง เพื่อบูชาพระจุฬามณีบนสวรรค์ ซึ่งเป็นที่บรรจุพระเกศาของพระพุทธเจ้า
6. การลอยกระทง เพื่อบูชาท้าวพกาพรหม บนสวรรค์ชั้นพรหมโลก
7. การลอยกระทง เพื่อบูชาพระอุปคุตตะระ ซึ่งบำเพ็ญเพียรบริกรรมคาถาอยู่ในท้องทะเลลึกหรือสะดือทะเล

2.3 ประวัติการลอยกระทงในเมืองไทย

การลอยกระทงในเมืองไทย มีมาตั้งแต่ครั้งกรุงสุโขทัย เรียกว่า การลอยกระทงพระประทีป หรือลอยโคมเป็นงานนันทนาการรื่นเริงของประชาชนทั่วไป ต่อมานางนพมาศหรือท้าวศรีจุฬาลักษณ์ เสด็จมาอยู่ในตำแหน่งนี้จึงได้คิดประดิษฐ์กระทงขึ้นใหม่เรียกว่ากระทงธัญญาพิกุล ซึ่งสวยงามและแปลกใหม่กว่ากระทงที่เคยมีมา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนมเอกของพระร่วง ได้คิดประดิษฐ์ดัดแปลงเป็นรูปกระทงดอกบัวแทนการลอยโคมการลอยกระทง หรือลอยโคมในสมัยนางนพมาศ กระทำเพื่อเป็นการสักการะรอยพระพุทธรบาทที่แม่น้ำนัมมทานที ซึ่งเป็นแม่น้ำสายหนึ่งอยู่ในแคว้นทักขิณาบถของประเทศอินเดีย ปัจจุบันเรียกว่า แม่น้ำนเรพุททา

2.3.1 การลอยกระทงเพื่อบูชารอยพระพุทธรบาท

รอยพระพุทธรบาทของพระพุทธเจ้า ที่ไปปรากฏอยู่ริมแม่น้ำนัมมทานที มีความเป็นมาเกี่ยวข้องกับพุทธประวัติ คือ ครั้งหนึ่งพญานาคทูลอาราธนาพระสัมมาสัมพุทธเจ้า ให้เสด็จ ไปแสดงธรรมโปรดในนาคพิภพ เมื่อพระองค์จะเสด็จกลับ พญานาคทูลขออนุสาวรีย์ไว้กราบไหว้บูชา พระพุทธองค์จึงทรงประดิษฐานรอยพระพุทธรบาทไว้ที่หาดทราย ริมฝั่งแม่น้ำนัมมทานที เพื่อให้บรรดานาคทั้งหลายได้สักการบูชา

การลอยกระทงที่มีความเป็นมาเกี่ยวข้องกับพุทธประวัติ ยังมีอีก 2 เรื่อง คือ

- การลอยกระทงเพื่อบูชาพระจุฬามณีบนสวรรค์ และ
- การลอยกระทงเพื่อต้อนรับพระพุทธองค์ในวันที่เสด็จกลับจากเทวโลก

2.3.2 ตำนานการลอยกระทงเพื่อบูชาพระจุฬามณี

เมื่อครั้งที่เจ้าชายสิทธัตถะ เสด็จออกจากพระนครกบิลพัสดุ์ในเวลากลางคืนด้วยม้ากัณฐกะพร้อมนายฉันทะนำเด็กผู้ตามเสด็จ ครั้นรุ่งอรุณก็ถึงฝั่งแม่น้ำอโนทานที เจ้าชายทรงจับม้ากัณฐกะกระโจนข้ามแม่น้ำไปโดยสวัสดิ์

เมื่อทรงทราบว่าพื้นเขตกругกบิลพัสดุ์แล้ว เจ้าชายสิทธัตถะจึงเสด็จลงประทับเหนือหาดทรายขาวสะอาด ตรัสให้นายฉันทะนำเครื่องประดับและม้ากัณฐกะกลับพระนคร ทรงตั้งพระทัยปรารถนาจะบรรพชา โดยเปล่งวาจา “สาธุ โข ปุพฺพชฺชา” แล้ว จึงทรงจับพระเมาลีด้วยพระหัตถ์ซ้าย พระหัตถ์ขวาทรงพระขรรค์ตัดพระเมาลี แล้วโยนขึ้นไปบนอากาศ พระอินทร์ได้เสนอผอบทองคำรองรับพระเมาลีไว้ และนำไปบรรจุยังพระจุฬามณีเจดีย์สถานในเทวโลก

พระจุฬามณีตามกตุมิเทวคาเหมาบูชาเป็นประจำแม้พระศรีอริยเมตไตรยเทวโพธิสัตว์ ซึ่งในอนาคตจะมาจุติบนโลกและตรัสรู้เป็นพระพุทธเจ้าพระองค์หนึ่งก็ยังเสด็จมาไหว้ การลอยกระทงเพื่อบูชาพระจุฬามณี จึงถือเป็นการไหว้บูชาพระศรีอริยเมตไตรยด้วย

2.3.3 ตำนานการลอยกระทง เพื่อการต้อนรับพระพุทธเจ้าเสด็จกลับจากเทวโลก

เมื่อเจ้าชายสิทธัตถะเสด็จออกบวชจนได้บรรลุธรรมเป็นพระสัมมาสัมพุทธเจ้าแล้ว หลังจากเผยแผ่พระธรรมคำสั่งสอนแก่สาธุชนโดยทั่วไปได้ระยะหนึ่ง จึงเสด็จไปจำพรรษาอยู่บนสวรรค์ชั้นดาวดึงส์ เพื่อทรงเทศนาธรรมโปรดพระพุทธรมาดา

ครั้นจำพรรษาจนครบ 3 เดือน พรองค์จึงเสด็จกลับลงสู่โลกมนุษย์ เมื่อท้าวสักกเทวราชทราบพุทธประสงค์ จึงเนรมิตบันไดทิพย์ขึ้น อันมี บันไดทอง บันไดเงิน และบันไดแก้ว ทอดลงสู่ประตูเมืองสังกัสสนคร บันไดแก้วนั้นเป็นที่ซึ่งพระผู้มีพระภาคเจ้าเสด็จลง บันไดทองเป็นที่สำหรับเทพดาทั้งหลายตามส่งเสด็จ บันไดเงินสำหรับพรหมทั้งหลายส่งเสด็จ

ในการเสด็จลงสู่โลกมนุษย์ครั้งนี้ เหล่าทวยเทพแลประชาชนทั้งหลาย ได้พร้อมใจกันทำการสักการบูชาด้วยทิพย์บุปผามาลัย การลอยกระทงตามคตินี้จึงเป็นการรับเสด็จพระสัมมาสัมพุทธเจ้าจากดาวดึงส์พิภพ (เป็นตำนานเดียวกับประเพณีการดักบาตรเทโวรับเสด็จพระพุทธองค์ลงจากดาวดึงส์)

2.3.4 การลอยกระทง เพื่อบูชาพระนารายณ์บรรทมสินธุ์

ยังมีพิธีการลอยกระทงตามคติพรหมณ์อีกเรื่องหนึ่ง ซึ่งกระทำเพื่อบูชาพระผู้เป็นเจ้า คือ พระนารายณ์บรรทมสินธุ์อยู่ในมหาสมุทร นิยมทำกันในวันขึ้น 15 ค่ำเดือน 11 หรือวันขึ้น 15 ค่ำเดือน 12 เป็น 2 ระยะ จะทำในกำหนดใดก็ได้

2.3.5 ตำนานการลอยกระทง เพื่อบูชาท้าวพกาพรหม

นิทานต้นเกี่ยวกับวันลอยกระทงอีกเรื่องหนึ่งที่หน้าสนใจ เป็นนิทานชาวบ้าน กล่าวถึงเมื่อครั้งดึกดำบรรพ์ มีกาเผือกสองตัวตัวเมียทำรังอยู่บนต้นไม้ในป่าหิมพานต์ใกล้ฝั่งแม่น้ำ วันหนึ่งกาตัวผู้ออกไปหากินแล้วหลงทางกลับรังไม่ได้ ปล่อยให้นางกาตัวเมียซึ่งกกไข่อยู่ 5 ฟองรอดด้วยความกระวนกระวายใจ จนมีพายุใหญ่พัดรังกระจัดกระจาย ฟองไข่ตกลงน้ำ แม่กาถูกลมพัดไปอีกทางหนึ่ง

เมื่อแม่กาช้อนกลับมาที่รังไม่พบฟองไข่ จึงร้องไห้จนขาดใจตาย ไปเกิดเป็นท้าวพกาพรหมอยู่ในพรหมโลก ฟองไข่ทั้ง 5 นั้นลอยน้ำไปในสถานที่ต่าง ๆ บรรดาแม่ไก่ แม่ناق แม่เต่า แม่โค และแม่ราชสีห์ มาพบเข้า จึงนำไปรักษาไว้ตัวละ 1 ฟอง ครั้นถึงกำหนดฟักกลับกลายเป็นมนุษย์ทั้งหมด ไม่มีฟองไหนเกิดมาเป็นลูกกาตามชาติกำหนดเลย

กุมารทั้ง 5 ต่างเห็นโทษภัยในการเป็นฉราวาสและเห็นอานิสงส์ในการบรรพชา จึงลamarดาเลี้ยงไปบวชเป็นฤาษี ต่อมาฤาษีทั้ง 5 ได้มีโอกาสพบปะกันและถามถึงนามวงศ์และมารดาของกันและ

จึงทราบว่าเพื่อน้องกัน ฤาษีทั้ง 5 มีนามดังนี้คือ
 เอกสารที่ ๑๖๖ เรื่อง การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คนแรก	ชื่อ	กกุสันโธ	(วงศ์ไก่)
คนที่สอง	ชื่อ	โกนาคมนโ	(วงศ์นาค)
คนที่สาม	ชื่อ	กัสสปโ	(วงศ์เต่า)
คนที่สี่	ชื่อ	โคตโม	(วงศ์โค)
คนที่ห้า	ชื่อ	เมตเตยโย	(วงศ์ราชสีห์)

ต่างตั้งจิตอธิษฐาน ว่าถ้าต่อไปจะไปได้ไปเกิดเป็นพระพุทธเจ้า ขอให้ร้อนไปถึงมารดา ด้วยแรงอธิษฐาน ท้าวพกาพรหมจึงเสด็จมาจากเทวโลก จำแลงองค์เป็นกาเผือก แล้วเล่าเรื่องราวแต่หนหลังให้ฟัง พร้อมบอกว่าถ้าคิดถึงมารดา เมื่อถึงเพ็ญเดือน 11 เดือน 12 ให้เอาค้ายคิบผูกไม้ตีนกาปักรูปเทียนบูชาลอยกระทงในแม่น้ำ ทำอย่างนี้เรียกว่าคิดถึงมารดา แล้วท้าวพกาพรหมก็ลากลับไป

ตั้งแต่นั้นมา จึงมีการลอยกระทงเพื่อบูชาท้าวพกาพรหม และเพื่อบูชารอยพระพุทธรูปที่ประดิษฐานอยู่ริมฝั่งแม่น้ำนัมมทานที ส่วนฤกษ์ทั้ง 5 ต่อมาได้ตรัสรู้เป็นพระพุทธเจ้า ดังนี้

ฤกษ์องค์แรก กกุสันโธ ได้แก่ พระพุทธเจ้าทรงพระนามว่า พระกกุสันโธ

ฤกษ์องค์ที่สอง โกนาคมนโ ได้แก่ พระพุทธเจ้าทรงพระนามว่า พระโกนาคมน

ฤกษ์องค์ที่สาม กัสสปโ ได้แก่ พระพุทธเจ้าทรงพระนามว่า พระกัสสปะ

ฤกษ์องค์ที่สี่ โคตโม ได้แก่ พระพุทธเจ้าทรงพระนามว่า พระสมณโคตม

ฤกษ์องค์ที่ห้า เมตเตยโย ได้แก่ พระพุทธเจ้าทรงพระนามว่า พระศรีอาริยเมตไตรย

พระพุทธเจ้าสามองค์แรก ได้มาบังเกิดบนโลกแล้วในอดีตกาล พระพุทธเจ้าองค์ที่ 4 คือ พระสัมมาสัมพุทธเจ้าองค์ปัจจุบัน พระพุทธเจ้าองค์ที่ 5 พระพุทธเจ้าที่จะมาบังเกิดบนโลกในอนาคต ได้แก่ พระศรีอาริยเมตไตรย

2.3.6 ตำนานการลอยกระทง เพื่อบูชาพระอุปคุตต์

การลอยกระทงเพื่อบูชาพระอุปคุตต์นี้ เป็นประเพณีของชาวเหนือและชาวม้า พระอุปคุตต์เป็นพระอรหันต์ระหลังสมัยพุทธกาล โดยมีตำนานความเป็นมาดังนี้

เมื่อพระเจ้าอโศกมหาราช ทรงมีพระราชศรัทธาในพระพุทธศาสนา ได้โปรดให้สร้างพระประดู่เจดีย์และพุทธวิหารขึ้นทั่วชมพูทวีป มหาวิหารที่มีชื่อเสียงมากที่สุด “อโศการาม” ซึ่งตั้งอยู่ในแคว้นมคธ หลังจากการสร้างพระสถูปเจดีย์ถึง 84,000 องค์สำเร็จแล้ว พระเจ้าอโศกทรงมีพระราชประสงค์จะนำพระบรมสารีริกธาตุของพระสัมมาสัมพุทธเจ้า ไปบรรจุในพระสถูปต่าง และบรรจุในพระมหาสถูปองค์ใหญ่ที่สร้างขึ้นใหม่มีความสูงประมาณครึ่งโยชน์ และประดับประดาด้วยแก้วต่าง ประดิษฐานอยู่ริมฝั่งแม่น้ำคงคาใกล้ป่าภูติบุตร อีกทั้งต้องการให้มีการเฉลิมฉลองยิ่งใหญ่เป็นเวลา 7 ปี 7 เดือน 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ด้วยเกรงว่าพญามารจะมาทำลายพิธีฉลอง มีเพียงพระอุปคุตต์ที่ไปจำศีลอยู่ในสะดือทะเลเพียงท่านเดียวเท่านั้นที่จะสามารถปราบพญามารได้ เมื่อพระอุปคุตต์ปราบพญามารจนสำนึกตัวหันมายึดเอาพระรัตนตรัยเป็นที่พึ่งแล้ว พระอุปคุตต์จึงลงไปจำศีลอยู่ในสะดือทะเลตามเดิม

พระอุปคุตต์นี้ไทยเรียกว่า พระบัวเข็ม ชาวไทยเหนือหรือชาวอีสานและชาวม่านนับถือพระอุปคุตต์มาก ชาวม่านไม่ว่าจะมีงานอะไรเป็นต้องนิมนต์มาเข้าพิธีด้วยเสมอ ไทยเราใช้บูชาในพิธีขอฝนหรือพิธีมงคล ฯลฯ

2.3.7 การลอยกระทงของชาวเหนือ (ยี่เป็ง)

การลอยกระทงของชาวเหนือ นิยมทำกันในเดือนยี่เป็ง (คือเดือนยี่หรือสิบสอง เพราะนับวันเร็วกว่าของเรา 2 เดือน) เพื่อบูชาพระอุปคุตต์ซึ่งเชื่อกันว่าท่านบำเพ็ญบริกรรมคาถาอยู่ในท้องทะเลลึก หรือสะดือทะเล ตรงกับคติของชาวม่าน

2.3.8 การลอยกระทงของชาวอีสาน (ไหลเรือไฟ)

การลอยกระทงในภาคอีสาน เรียกว่าเทศกาลไหลเรือไฟจัดเป็นประเพณียิ่งใหญ่ในจังหวัดนครพนม โดยการนำหยวกกล้วยหรือวัสดุต่าง มาตกแต่งเป็นรูปพญานาคและรูปร่างอื่นๆ ตอนกลางคืนจุดไฟปล่อยให้ไหลไปตามลำน้ำโขงคู่สวยงามตระการตา

นอกจากนี้ยังมีประเพณีลอยกระทงในประเทศต่างๆ เช่นที่เขมร จีน อินเดีย โดยมีคติความเชื่อและประวัตความเป็นมาตรงกันบ้างแตกต่างกันไปบ้าง

2.3.9 การลอยกระทงในปัจจุบัน

การลอยกระทงในปัจจุบัน ยังคงรักษารูปแบบเดิมเอาไว้ได้ตามสมควร เมื่อถึงวันเพ็ญพระจันทร์เต็มดวงในเดือน 12 ชาวบ้านจะจัดเตรียมทำกระทงจากวัสดุที่หาง่ายตามธรรมชาติ เช่น หยวกกล้วยและดอกบัว นำมาประดิษฐ์เป็นกระทงสวยงาม ปักธูปเทียนและดอกไม้เครื่องสักการบูชา ก่อนทำการลอยในแม่น้ำก็จะอธิษฐานในสิ่งมุ่งหวังพร้อมขอขมาต่อพระแม่คงคา

ตามคุ้มวัดหรือสถานที่จัดงานหลายแห่ง มีการประกวดกระทง ประกวดนางนพมาศ และมีมหรสพสมโภชในตอนกลางคืน นอกจากนี้ยังมีการจุดดอกไม้ไฟ พลุ ตะไล ซึ่งเป็นการเล่นตบตะกรับระว่างเป็นพิเศษ

- วัสดุที่นำมาใช้ทำกระทง ควรเป็นของที่สามารย่อยสลายได้ง่ายตามธรรมชาติ งานลอยกระทงที่ยิ่งใหญ่จัดขึ้นที่จังหวัดสุโขทัยเป็นงานระดับประเทศ เรียกว่า เทศกาลเผาเทียนเล่นไฟ มีนักท่องเที่ยวทั่วทั้งชาวไทยและต่างประเทศไปร่วมสนุกสนานกันเป็นจำนวนมากทุกปี

2.3.10 พิธีจองเปรียงเทศกาลลอยกระทงของสุโขทัยในสมัยโบราณ

ในหนังสือตำรับทำวศรีจุฬาลักษณ์ ได้กล่าวถึงพิธีจองเปรียงไว้ดังนี้

พอถึงการพระราชพิธีจองเปรียงในวันเพ็ญเดือน 12 เป็นนักขัตฤกษ์ชัศ โคมลอยบรรดาประชาชนชายหญิงต่างตกแต่งโคมชกโคมแขวนโคมลอยทุกตระกูลทั้งทั้งพระนคร แล้วก็ชวนกันเล่นมหรสพสิ้นสามราตรีเป็นเยี่ยงอย่างแต่บรรดาข้าเฝ้าฝ่ายราชบุรุษนั้น ต่างทำโคมประเทียบบริวารวิจิตรด้วยลวดลายวาดเขียนเป็นรูปสัตว์ฐานต่างๆ ประประกวดกันมาชักมาแขวนเป็นระเบียบเรียบร้อยตามแนวโคมชัยเสาระหงตรงหน้าพระที่นั่งชลพิमान ถวายสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวให้ทรงพระราชอุทิศสักการพระมหาเศวตฉัตรจุฬามณีในชั้นควาตึงส์

ฝ่ายพระสนมกำนัลก็ทำโคมลอยร้อยด้วยบุปผชาติเป็นรูปต่างๆ ประประกวดกันถวายให้ทรงอุทิศบูชาพระพุทธบาทซึ่งประดิษฐานยังนัมมทานทีแลข้าน้อย (นางนพมาศ) ก็กระทำโคมลอยคืดตกแต่งให้งามประหลาดกว่าโคมพระสนมกำนัลทั้งปวง

ครั้นเพลาลบค่ำ สมเด็จพระร่วงเจ้าเสด็จลงพระที่นั่งชลพิमानพร้อมด้วยอัครชายาพระบรมวงศ์และพระสนมกำนัลนางท้าวชาวชะแม่ทั้งปวง พราหมณ์ก็ถวายเสียงสังข์ขับเป็นมงคล ชาวพนักงานก็ชักสายโคมชัยโคมประเทียบบริวารขึ้นพร้อมกัน เพื่อจะให้ทรงพระราชอุทิศสักการบูชาพระจุฬามณี ฝ่ายนางท้าวชาวชะแม่ลอยโคมพระราชเทพี พระวงศานุวงศ์โคมสนมกำนัล เป็นลำดับกันมา ถวายให้ทอดพระเนตรและทรงพระราชอุทิศ

ครั้นถึงโคมรูปดอกกระมุทของข้าน้อย สมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงทอดพระเนตรพลางทางตรัสชมว่าโคมลอยอย่างนี้งามประหลาดยังหาเคยมีไม่ เป็นโคมของผู้ใดคิดกระทำ ทำวศรีราชศักดิ์โสภาคีกราบบังคมทูลว่าโคมของนพมาศธิดาพระศรีมโหสถ ครั้นสมเด็จพระร่วงเจ้าทรงสดับ ก็ดำรัสว่าข้าน้อยนี้มีปัญญาฉลาดสมกับที่เกิดในตระกูลนักปราชญ์ จึงมีพระราชบริการบำเพ็ญศุภเคราะห์ว่า แต่นี้สืบไปเบื้องหน้า โดยลำดับกษัตริย์ในสยามประเทศ ถึงการกำหนดนักขัตฤกษ์วันเพ็ญเดือน 12 พระราชพิธีจองเปรียงแล้วก็ให้กระทำโคมลอยเป็นรูปดอกกระมุทอุทิศสักการบูชาพระพุทธบาทนัมมทานทีตราบเท่ากัลปาวสาน อันว่าโคมลอยรูปดอกกระมุท (ดอกบัว) ก็ปรากฏมาจนเท่าทุกวันนี้

ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับพิธีลอยกระทง

ประเพณีการลอยกระทง น่าจะเป็นคติของชนชาติที่ประกอบกิจกรรม ซึ่งต้องมีน้ำเป็นปัจจัยสำคัญ เมื่อพันธู์ธัญญาหารเจริญงอกงามอุดมสมบูรณ์ จึงมีการลอยกระทงไปตามกระแสน้ำเพื่อขอบคุณพระแม่คงคาหรือเทพเจ้าแห่งน้ำ อีกทั้งเป็นการแสดงความคารวะขอภัยที่ได้ลงอาบหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อประโยชน์ของสาธารณชน การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พุทธบาท พระเจดีย์พุทธมณี ฯลฯ ตามคติความเชื่อหลังจากทำพิธีลอยกระทงแล้ว ก็จัดให้มีการละเล่นรื่นเริงสนุกสนาน เช่น การละเล่นพื้นเมือง การเล่นเพลงเรือ รำวง ฯลฯ อันเป็นธรรมเนียมประเพณีที่ปฏิบัติสืบทอดกันมาตั้งแต่ครั้งโบราณ

2.4 หลักการของแอลอีดี อินฟราเรด (LED Infrared) กำลังสูง

แอลอีดี (LED: Light Emitting Diode) กำลังสูงที่ให้แสงช่วงใกล้ย่านอินฟราเรด (high power near-infrared emitting diode) หรือไดโอดที่เปล่งแสงในย่านใกล้รังสีอินฟราเรดที่มีกำลังสูง ได้ถูกนำมาใช้นานแล้ว ปัจจุบันเราจึงได้เห็นแอลอีดีเบอร์ใหม่ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ราคาถูกลงปราคฏตัวออกมาอยู่เรื่อยๆ

การประยุกต์ใช้งานอย่างหนึ่งที่น่าสนใจก็คือ สามารถใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงนำทางให้คนตาบอดได้ หลักการก็คือใช้พลังงานแสงจากแอลอีดี ส่งออกไปกระทบวัตถุที่อยู่รอบกายของผู้ใช้วัตถุ ส่วนที่ถูกแสงก็จะสะท้อนแสงกลับมายังเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งไว้ด้านล่างของแอลอีดี แอ็ดหลุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ถูกขยายโดยเครื่องขยายช่วยฟัง และส่งผ่านไปยังหูฟังของผู้ใช้ซึ่งจะสามารถประมาณระยะห่างระหว่างตนเองกับวัตถุได้อย่างหยบๆ จากความเข้มของโทนเสียงที่แปรตามความเข้มของแสงที่สะท้อนกลับมานั่นเอง

2.4.1 แอลอีดีกำลังสูงที่ให้แสงย่านใกล้อินฟราเรด

รอยต่อ พี-เอ็น (P-N Junction) ของแอลอีดีเป็นแหล่งกำเนิดโพตอนที่ยอดเยี่ยมมากสมัยแรกๆ ได้มีการค้นพบว่ารอยต่อของแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ซึ่งให้แสงย่านใกล้อินฟราเรด ทำให้เกิดโพตอน 88 ตัว ต่ออิเล็กตรอน 100 ตัว เป็นประสิทธิภาพควอนตัมที่น่าทึ่งไม่น้อยทีเดียว

แต่อุปสรรคก็มีจนได้เนื่องจากโพตอนที่ถูกปล่อยมาจากรอยต่อ ส่วนหนึ่งถูกสกัดกั้นโดยกรอบของชิ้นสารแอ็ดพุทจริง ๆ จึงน้อยกว่า 88 เปอร์เซ็นต์

อีกส่วนหนึ่งของการแผ่รังสีจากรอยต่อ ก็ถูกดูดกลืนไปโดยตัวไดโอดเองและยังมีการแผ่รังสีบางส่วนที่กระทบผิวไดโอดด้วยมุมที่มากกว่า มุมวิกฤติ (Critical angle) จึงถูกสะท้อนกลับไปยังไดโอดทำให้เกิดการสูญเสียเช่นกัน

ปัญหาเรื่องมุมวิกฤติ เป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่ง ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

อากาศมีดัชนีของการหักเหเท่ากับ 1 (หรือ 1.0003 เมื่อเทียบกับสูญญากาศ) ดัชนีการหักเหของเพชรคือ 2.42 ในขณะที่ แกเลียมอาร์เซไนด์ มีดัชนีการหักเหของแสงเท่ากับ 3.5 ซึ่งเป็นหนึ่งในสสารเพียงไม่กี่ชนิดที่มีดัชนีของการหักเหมากกว่าเพชร ความแตกต่างของดัชนีการหักเหนี้ทำให้การแผ่รังสีของแสงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นสารแกเลียมอาร์เซไนด์ เมื่อกระทบผิวที่ติดต่อกับอากาศภายนอก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีมุมวิกฤติ 16 องศา หากมุมตกกระทบที่รอยต่อของผิวมากกว่า 16 องศา แสงนั้นจะถูกสะท้อนกลับมายังชั้นสารปรากฏการณ์เช่นนี้ เรียกว่า ปรากฏการณ์สะท้อนกลับภายใน (Total Internal Reflection)

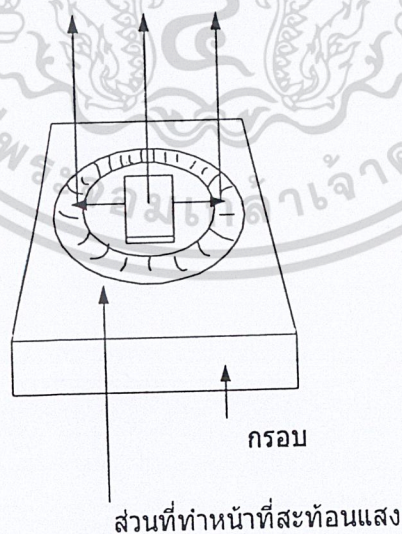
วิธีลดความไม่สมดุลระหว่างดัชนีการหักเหของแสงมีอยู่หลายวิธี

วิธีหนึ่งเป็นของเท็กซัสอินสตรูเมนต์ (Texas Instrument) คือ ทำผิวหน้าของซิลิคอนไดออกไซด์เป็นรูปโดม ทำให้แสงจากภายในมาถึงผิวต่อระหว่างอากาศและแคลเซียมฟอสเฟต ด้วยมุมที่ไม่เกิน 16 องศา วิธีนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงกว่าซิลิคอนไดออกไซด์แบบแบนราบประมาณ 10 เท่า

การผลิตไดออกไซด์แบบโดมนี้มีราคาค่อนข้างแพงแล้วยังต้องการสารแคลเซียมฟอสเฟต มากกว่าแบบแบนราบด้วย จึงมีการใช้อีพ็อกซีเคลือบไดออกไซด์ เพื่อให้ได้ดัชนีการหักเหของแสงสมดุลดัชนีการหักเหของสารเคลือบนี้มีค่าตั้งแต่ 1.4 ถึง 1.8 แม้ว่าจะไม่เท่ากับดัชนีการหักเหของแคลเซียมฟอสเฟต (3.5) ก็ตาม แต่ก็มีค่าใกล้เคียงมากกว่าอากาศ

ส่วนแอลอีดีที่ทำจากแคลเซียมฟอสไฟด์ (Gap) ที่ให้แสงสีเขียวและมีมุมวิกฤติ 17.7 องศา การเคลือบไดออกไซด์ด้วยอีพ็อกซีที่มีดัชนีหักเห 1.66 ทำให้เพิ่มมุมวิกฤติเป็น 30.3 องศา และทำให้การเปล่งแสงจากไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอีก 2.5 เท่า

หันมาพิจารณาถึงแสงที่ปล่อยออกมาจากของของสารที่ใช้ในการสร้างแอลอีดีในสมัยแรกๆ นั้น แสงสว่างนี้จะสูญเสียไปถ้าชั้นสารถูกวางไว้ในกรอบโลหะ ปัจจุบันแอลอีดีส่วนใหญ่จึงถูกวางไว้ในตัวสะท้อน (Reflectors) ตัวเล็กๆ ดังรูปที่ 2.1 ตัวสะท้อนนี้จะสะท้อนแสงที่เปล่งจากขอบของซิลิคอนออกมาสู่ภายนอก



รูปที่ 2.1 ชั้นสารที่วางอยู่ภายในกรอบที่สามารถสะท้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 เทคโนโลยีเฮเทอโรจังก์ชัน (Hetero Junction Technology)

ในระยะต่อมาของการพัฒนาแอลอีดี ได้มีการค้นพบว่าสามารถสร้างแอลอีดีที่ให้แสงย่านใกล้อินฟราเรดที่มีประสิทธิภาพสูงได้โดยการใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่าเฮเทอโรจังก์ชัน

เทคโนโลยีแบบนี้โคโอดจะมีสภาพเหมือนแซนด์วิช (Sandwich) ของสารกึ่งตัวนำที่มีคุณสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าต่างกันอยู่เล็กน้อย การทำชั้นสารหลายๆ ชั้นในรูปแบบของเฮเทอโรจังก์ชัน เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการเปล่งแสงของโคโอด เนื่องจากการใช้เทคโนโลยีแบบนี้ทำให้ลดพื้นที่บริเวณรอยต่อพี-เอ็น ลงชั้นนอกสุดของเฮเทอโรจังก์ชันมีความโปร่งใสที่ให้แสงผ่านได้มากกว่ารอยต่อพี-เอ็น ของโคโอดที่ใช้เทคโนโลยีแบบโฮโมจังก์ชัน (Homojunction) ทำให้พลังงานแสงที่ได้จึงมากกว่า 2 เท่า

ด้วยเทคโนโลยีแบบเฮเทอโรจังก์ชันทำให้สามารถผลิตเลเซอร์โคโอด (Laser Diode) ที่ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ณ อุณหภูมิห้องและผลิตเลเซอร์โคโอดคที่ให้แสงในย่านที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ ต่อมาเทคโนโลยีแบบเฮเทอโรจังก์ชัน ก็ได้นำมาใช้ในการผลิตแอลอีดีที่ให้แสงในย่านที่มองเห็นได้ และนำอะลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ (ALGaAs) มาใช้ผลิตแอลอีดีแสงสีแดงที่มีความสว่างสูง

2.4.3 คุณสมบัติของแอลอีดีอินฟราเรด

แรงกดคันทกร้อมที่รอยต่อพี-เอ็น ของโคโอดต้องมีค่ามากกว่าแรงคันทเรซโซลต์ (Threshold Voltage) จึงจะสามารถทำให้โคโอดนำกระแสได้ สำหรับซิลิคอนโคโอดแรงคันททำงานมีค่าประมาณ 0.6 โวลต์ ส่วนแอลอีดีที่ให้แสงในย่านมองเห็นได้ ถ้าทำจากสารแกลเลียมฟอสไฟด์ ซึ่งให้แสงสีเขียวจะมีค่าแรงคันททำงานประมาณ 2.1 ถึง 2.8 โวลต์ ถ้าเป็นแอลอีดีที่ทำจากอะลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ให้แสงสีแดงมีแรงคันททำงาน 1.75 ถึง 2.5 โวลต์ ส่วนแอลอีดีที่ให้แสงใกล้ย่านอินฟราเรดทำจากสารแกลเลียมอาร์เซไนด์มีแรงคันททำงาน 1.5 โวลต์ โดยให้แสงที่มีความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร และถ้าทำจากอะลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ จะได้แสงความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร ที่แรงคันท 1.75 โวลต์

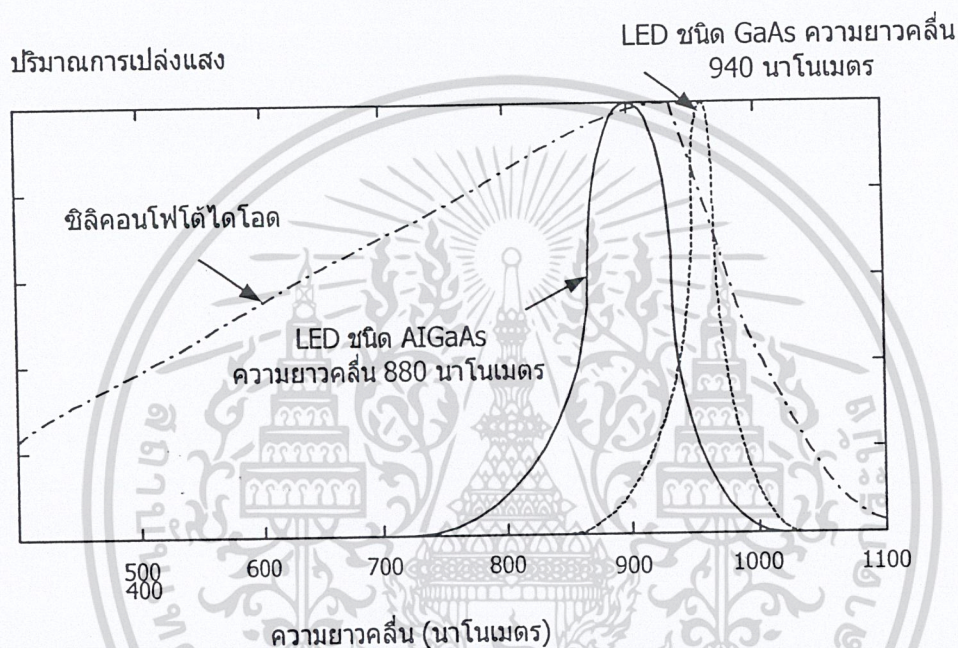
พลังงานที่ได้จากการเปล่งแสงของแอลอีดีหาได้จากกระแสไบแอสตรงของโคโอด และต้องระมัดระวังไม่ให้กระแสส่วนนี้มีค่าสูงจนเกิดความร้อน อันจะทำอันตรายต่อจังก์ชันโคโอด

สิ่งที่สำคัญที่สุดของแอลอีดี อินฟราเรดกำลังงานสูงคือ ชั้นสารอะลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ที่ให้ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร และสารแกลเลียมอาร์เซไนด์ ซิลิคอนโคโอดที่ให้แสงความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2 คือ กราฟสเปกตรัมที่เปรียบเทียบ

ความยาวคลื่นกับการเปล่งแสงของแอลอีดี ทั้ง 2 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลิคอนแอลอีดีที่ทำจาก แกลเลียมอาร์เซไนด์ ให้กำลังงานประมาณ 5 มิลลิวัตต์ ที่กระแสสไบแอตตรง 100 มิลลิแอมป์ LED ที่ทำจากอะลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ จะให้กำลังงานเป็น 2 เท่า เมื่อให้กระแสสไบแอตตรงค่าเดียวกัน ข้อที่คิดว่าอีกประการหนึ่งของแอลอีดี ชนิดอะลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ คือมี Rise time และ Fall time ที่เร็วกว่าคือ ประมาณ 0.5 ไมโครวินาที ในขณะที่แกลเลียมอาร์เซไนด์ ซิลิคอนไดโอดมีค่า 1.5 ไมโครวินาที



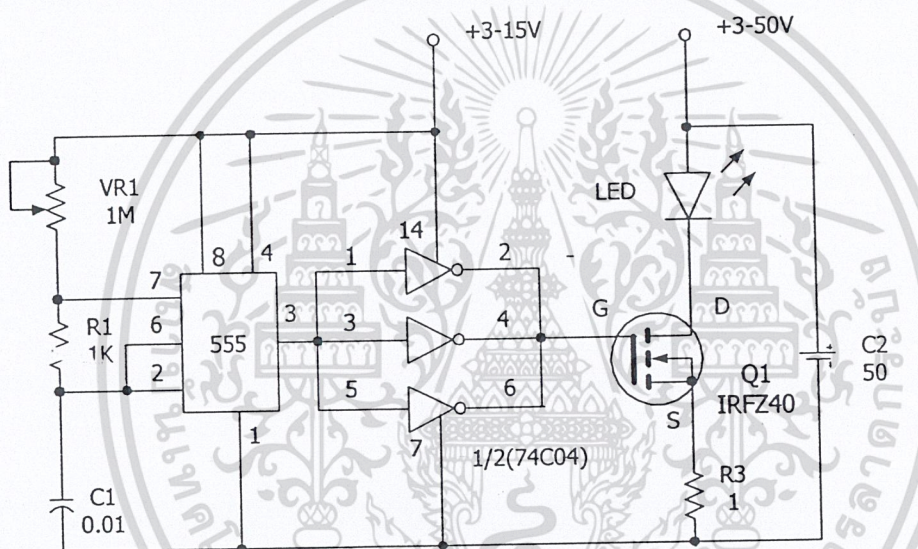
รูปที่ 2.2 การเปล่งแสงของแอลอีดีแบบ แกลเลียมอาร์เซไนด์ และ อะลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์

ข้อดีอีกประการหนึ่งคือ การเปล่งแสงแอลอีดีที่มีความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร (AlGaAs) จะใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ซิลิคอนโฟโตทรานซิสเตอร์มีความไวสูงสุดจึงเป็นการเหมาะสมที่จะใช้แอลอีดีที่มีความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร

นอกจากนั้นแอลอีดีที่ให้ความยาวคลื่นแสง 880 นาโนเมตร ยังไม่ถูกดูดกลืนโดยละอองน้ำเหมือนแอลอีดีที่ให้ความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร จึงสามารถนำไปใช้ในการตรวจจับไอน้ำในอากาศ แอลอีดีชนิด 940 นาโนเมตร ไม่เหมาะสมกับการสื่อสารด้วยแสงภายนอกเพราะจุดอ่อนเรื่องการถูกดูดกลืนด้วยไอน้ำในอากาศนั่นเอง ส่วนแอลอีดีชนิดซิลิคอนที่ทำจากแกลเลียมอาร์เซไนด์ มักจะใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงย่านอินฟราเรด

2.4.4 การขับแอลอีดีอินฟราเรดโดยใช้พัลส์ (Pulse) กระแสสูง

แอลอีดีสามารถทำงานที่ค่ากระแสสูงกว่าค่าที่ใช้ในการใช้งานต่อเนื่อง หากใช้กับพัลส์ที่มีคาบเวลา 0.1-100 ไมโครวินาที เช่น แอลอีดี อินฟราเรดเบอร์ OD-50L สามารถขับด้วยพัลส์ 10 แอมป์ (ที่มีคาบเวลาไม่เกิน 10 ไมโครวินาทีและอัตราไม่เกิน 100 Hz) OD-50L นี้จะให้กำลังงาน 600 มิลลิวัตต์ แล้วทำไมต้องจ่ายพัลส์ให้ LED ด้วยกระแสสูงๆ ด้วยเหตุผลแรกคือ แอลอีดีที่ใช้พัลส์มีกำลังงานสูงนั้น เหมาะกับงานเตือนภัยระยะไกลและระบบตรวจสอบอื่นๆ เป็นตัวส่งสัญญาณระยะไกลได้ดี



รูปที่ 2.3 วงจรพัลส์กระแสสูงขับแอลอีดี โดยใช้มอสเฟต (MOSFET)

ตัวอย่างเช่น ในวงจรรูปที่ 2.3 แทนที่ R_1 ด้วยตัวตรวจจับอุณหภูมิแบบเปลี่ยนค่าความต้านทาน เช่น เทอร์มิสเตอร์ (thermistor) ก็สามารถส่งสัญญาณที่ถูกมอดูเลตโดยอุณหภูมิออกไปได้ไกลหลายร้อยหรือหลายพันฟุต หากต้องการให้แอลอีดีมีการแผ่รังสีสูง ต้องทำให้แรงดันตกคร่อมแอลอีดีมากกว่า 10 โวลต์ วิธีหนึ่งคือ การประจุตัวเก็บประจุด้วยแรงดันที่เหมาะสมแล้วจ่ายแรงดันนั้นให้แก่แอลอีดี

วงจรรูปที่ 2.3 เป็นวงจรพัลส์กระแสสูงที่จ่ายให้กับเลเซอร์ไดโอดแบบเฮตเทอโรจังก์ชัน ไดโอดตัวนี้ต้องการกระแสขับ 10-15 แอมป์ ด้วยความกว้างพัลส์สูงสุด 100-200 นาโนวินาที เพื่อทำให้มีการทำงานอย่างรวดเร็ว ควรใช้ตัวเก็บประจุค่าประมาณ 0.01 หรือ 0.02 ไมโครฟารัด (μF) ที่สามารถประจุแรงดันถึง 100 โวลต์หรือมากกว่า

ก่อนจะถึงยุคของมอสเฟตนั้น วิธีที่ใช้การประจุตัวเก็บประจุคร่อมเลเซอร์ไดโอด การใช้เอสซีอาร์ (SCR) หรือทรานซิสเตอร์แบบสองรอยต่อธรรมดา แต่คุณลักษณะพิเศษของมอสเฟตที่มีความต้านทานขณะทำงานเป็นสวิตช์ต่ำทำให้การจ่ายกระแสเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและง่ายกว่า จากรูปที่ 2.3 ใช้ไอซี 555 ไทเมอร์เป็นออสซิลเลเตอร์ส่งพัลส์มายังเกตของมอสเฟตทำให้เกิดการสวิตช์ที่มีความต้านทานต่ำ ส่วนอินเวอร์เตอร์สามารถต่อขนานกันได้ทั้ง 6 ตัว และต่อขาที่ไม่ใช้ลงกราวด์

อัตราเร็วของพัลส์ (Pulse Repetition Rate) การควบคุมโดยตัวต้านทาน R_1 ส่วนตัวเก็บประจุ C_1 เป็นตัวควบคุมคาบเวลา สามารถเลือกค่าเพื่อใช้งานได้ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุ C_1 กับคาบเวลาของพัลส์

ค่าความจุ C_1 (μF)	คาบเวลา (μS)
0.00047	0.85
0.001	1.7
0.005	6.0
0.01	10.0
0.047	40.0
0.047	88.0

มอสเฟตต่ออนุกรมอยู่กับแอลอีดี และตัวต้านทาน R_3 หากต้องการเปลี่ยนแปลงความกว้างสามารถเปลี่ยนแปลงค่า R_3 ได้ตามที่เรากำลังต้องการ และขนาดแอมป์ริจูดของพัลส์ สามารถกำหนดได้โดยเปลี่ยนค่า R_3 นี้ หากไม่ต้องการจำกัดกระแสที่ผ่านแอลอีดีก็ไม่ต้องใส่ R_3 ก็ได้ เมื่อมอสเฟตทำงานจะให้ค่าแรงดันสูงเกือบถึงแรงดันไฟเลี้ยง ถ้าต้องการผลลัพธ์ที่ดีควรใช้มอสเฟตที่มีความต้านทานขณะทำงานต่ำกว่า 1 โอห์ม เพื่อให้ได้กระแสผ่านแอลอีดีสูงสุด เช่น มอสเฟตเบอร์ IRF-511 ที่ใช้ในงานวิทยุมีความต้านทาน 0.6 โอห์ม และสวิตช์แรงดันได้ 60 โวลต์ ส่วนมอสเฟตเบอร์ที่สามารถจ่ายกระแสได้สูงคือ IRFZ40 ซึ่งมีค่าความต้านทานเพียง 0.028 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 การแผ่รังสีจากแอลอีดีอินฟราเรด

การใช้งานแอลอีดีอินฟราเรดกำลังสูง อาจพบความยุ่งยากที่ไม่อาจเห็นการแผ่รังสีในย่านที่ตาสามารถมองเห็นได้ของอุปกรณ์ชนิดนี้ จึงเป็นการยากที่จะจัดเลนส์โฟกัส และยากต่อการทำแพตเทิร์นการกระจายของรังสี ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำการ์ดเคลือบฟอสเฟอร์ชนิดพิเศษมาใช้ในการเปลี่ยนรังสีย่านใกล้อินฟราเรดเป็นแพตเทิร์นของแสงที่มองเห็นได้

ตอนแรกจะนำการ์ดนี้ไปถูกแสงสว่างก่อน เช่น แสงในห้องก็จะทำให้ผิวพื้นของการ์ดกลายเป็นสีเข้ม เมื่อการ์ดรับแสงจากแอลอีดีอินฟราเรด ก็จะเปลี่ยนเป็นสีส้มหรือสีเขียว การเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร ของแอลอีดีอินฟราเรดกำลังสูงมองเห็นเป็นแสงสีแดงมัวๆ เพราะการรับรู้ด้วยตาของมนุษย์จำกัดไว้ที่ 880 นาโนเมตรพอดี แต่ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2 แอลอีดีอินฟราเรด ALGaAs มีการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำลง เช่น 750 นาโนเมตร ไคโอดที่ให้แสงสีแดง ส่วนใหญ่อาจมาจากไคโอดที่ให้แสงความยาวคลื่นต่ำนี้ก็ได้ อาจรู้สึกว่าการข้างยุ่งยากลำบากไปสักหน่อยกับการพยายามหาแพตเทิร์นจากแผ่นฟอสเฟอร์ วิธีที่ดีกว่าก็คือผ่านรังสีไปในเครื่องแปลงภาพอินฟราเรด (Infrared Image Converter) หรือกล้องทีวีที่ตอบสนองได้ดีในย่านใกล้อินฟราเรด

2.5 ทฤษฎีของระบบสัญญาณควบคุม

ปัจจุบันนี้การแบ่งประเภทการควบคุมของระบบรีโมตคอนโทรล (Remote Control) อาจจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของการส่งผ่านสัญญาณ หรือตัวกลางในการเชื่อมโยงสัญญาณ

2.5.1 ระบบใช้สาย

เป็นระบบควบคุมที่ต้องมีอุปกรณ์นำสัญญาณจากตัวส่ง(สถานีส่ง) ไปยังตัวรับ(สถานีรับ) อุปกรณ์การนำสัญญาณนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณพาหะซึ่งอาจได้แก่สัญญาณไฟฟ้าและสัญญาณแสงเป็นต้น ในกรณีของสัญญาณควบคุมที่เป็นสัญญาณไฟฟ้า อุปกรณ์นำสัญญาณอาจได้แก่ สายไฟ, สายโทรศัพท์,สายโคแอกเชียล ฯลฯ แต่ถ้าในกรณีของสัญญาณควบคุมที่เป็นสัญญาณแสง อุปกรณ์นำสัญญาณจะเป็นเส้นใยแก้วนำแสง หรือไฟเบอร์ออปติก (Fiber optic)

ตัวอย่างของรีโมตคอนโทรลแบบใช้สายไฟ จะเห็นได้จากเครื่องใช้ไฟฟ้ารุ่นเก่า เช่นเครื่องเล่นวีดีโอ แอร์ ที่มีสายไฟเสียบต่อกับรีโมตคอนโทรลออกมาภายนอกเครื่อง ทำให้ไม่มีความสะดวกในการใช้งาน ปัจจุบันจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมอีกแล้ว จะมีก็แต่งานบางประเภทเท่านั้น ในส่วนของรีโมตคอนโทรลที่ใช้ไฟเบอร์ออปติก อาจไม่ค่อยได้พบเห็นกันบ่อยนัก เนื่องจากไม่ได้ใช้งานควบคุม แต่ใช้ในการส่งสัญญาณในลักษณะการสื่อสารข้อมูลที่ไม่เกี่ยวกับการควบคุมในทางปลาย

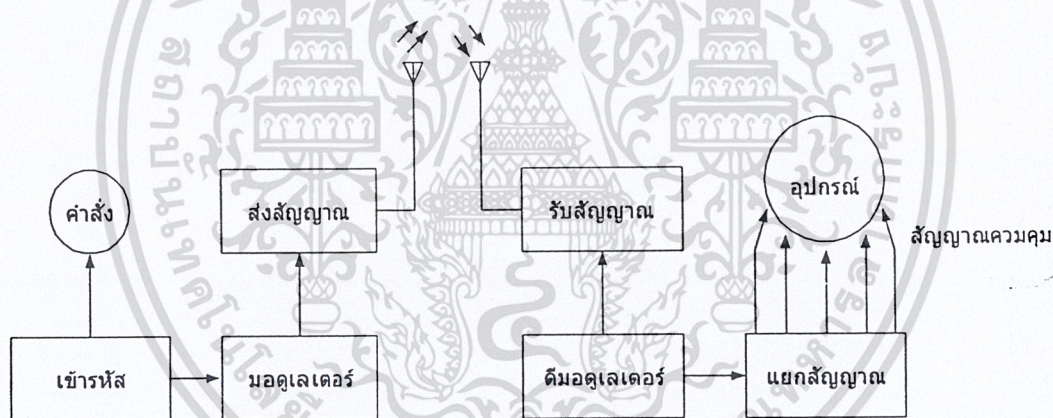
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางแทนสายส่งสัญญาณแบบธรรมดา เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบสายไฟธรรมดา ในหลายๆ ด้าน

2.5.2 ระบบไร้สาย

เป็นระบบควบคุมที่ไม่ต้องมีอุปกรณ์ใดๆ เป็นตัวนำสัญญาณ โดยสัญญาณควบคุมจะเดินทางผ่านอากาศ ชนิดของสัญญาณควบคุมที่เดินทางผ่านไป ในอากาศได้ อาจอยู่ในรูปของสัญญาณเสียง สัญญาณแสง และคลื่นวิทยุ

ส่วนของการใช้สัญญาณแสงกำลังเป็นที่นิยมกัน ในการนำมาเพื่อใช้ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าตามบ้านเรือน ดังนั้นเนื้อหาจะเน้นที่ระบบนี้เป็นหลัก สำหรับกรณีของการควบคุมด้วยการใช้คลื่นวิทยุ นั้น นิยมใช้กับเครื่องเล่นประเภทวิทยุบังคับ เช่น เครื่องบินเล็ก, เรือเร็ว, รถเด็กเล่น เป็นต้น ส่วนของวงจรภาครับ เมื่อได้รับสัญญาณวิทยุก็จะทำการดีมอดูเลต (Demodulate) เพื่อแยกชนิดของสัญญาณควบคุมออกจากความถี่วิทยุ สำหรับใช้ตั้งงานอุปกรณ์ส่วนอื่นๆต่อไป ดังบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) รูปที่ 2.4



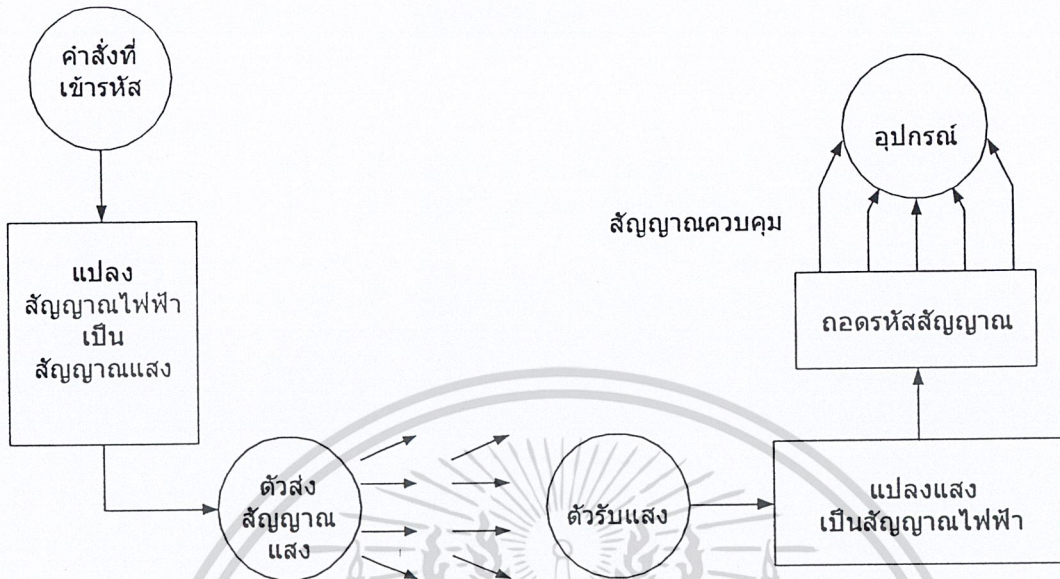
รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมของระบบวิทยุบังคับ

หากทำการเปรียบเทียบระบบรีโมทคอนโทรลชนิดไร้สายแบบใช้แสง กับใช้คลื่นวิทยุแล้ว อาจจะสรุปได้รายละเอียดในตารางที่ 2.2 ซึ่งพอจะเห็นได้ว่าทำไมระบบควบคุมด้วยแสงจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเรา

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบระบบควบคุมแบบไร้สายโดยการควบคุมด้วยแสงกับใช้คลื่นวิทยุควบคุม

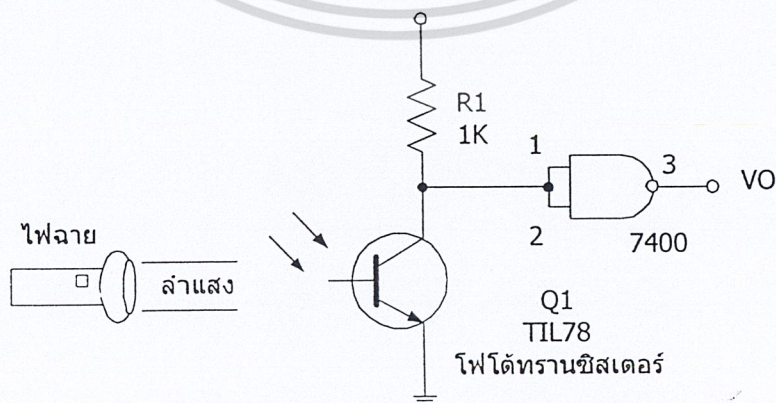
ข้อเปรียบเทียบ	ควบคุมด้วยแสง	ควบคุมด้วยคลื่นวิทยุ
● ส่วนของวงจร	วงจรไม่ซับซ้อนออกแบบง่าย	วงจรค่อนข้างซับซ้อน การออกแบบวงจรค่อนข้างพิถีพิถัน
● รัศมีทำการควบคุม	ใกล้ แต่เหมาะกับห้องที่มีฝ้าผนัง เพราะมีการสะท้อนได้คึกมาก	ไกลตามกำลังส่ง มีอำนาจทะลุทะลวงถึงกีดขวาง เหมาะกับการใช้งานกลางแจ้ง
● ปัญหาสัญญาณรบกวน	ไม่มี หรือน้อยมาก	อาจสร้างสัญญาณรบกวนให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นได้ง่าย และถูกรบกวนได้ง่ายเช่นกัน
● ปัญหาด้านกฎหมาย	ไม่มีกฎหมายควบคุม	ต้องขออนุญาตจากทางการเพื่อขอใช้คลื่นวิทยุ
● ราคา	ราคาถูก-ปานกลาง	ราคาปานกลาง-แพง
● ขนาดรูปร่าง	สามารถปรับปรุงให้มีขนาดเล็กลงได้	ไม่สามารถลดขนาดให้เล็กได้เท่าที่ควร เนื่องจากเหตุผลทางด้านกำลังส่งและอุปกรณ์ประกอบ

ในการควบคุมด้วยสัญญาณแสง สัญญาณควบคุมที่เป็นสัญญาณไฟฟ้าจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณแสงก่อน แล้วจึงถูกส่งออกไปยังตัวรับ ซึ่งจะต้องมีอุปกรณ์พิเศษทำหน้าที่รับสัญญาณแสงแล้วแปลงกลับให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นจึงทำการแยกชนิดของสัญญาณว่าเป็นสัญญาณควบคุมที่สอดคล้องกับคำสั่งของตัวส่งอย่างไร ดับล็อกไดอะแกรมที่แสดงในรูปที่ 2.5 ลักษณะของแสงที่ใช้ส่งสัญญาณแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามค่าความถี่ของแสง คือประเภทแสงที่มองเห็นได้ และประเภทแสงที่มองไม่เห็น ซึ่งมักได้แก่แสงในย่านของความถี่อินฟราเรดหรือได้แสงสีเขียว



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของระบบควบคุมด้วยแสงแบบไร้สาย

ในระบบของแสงที่มองเห็นได้ ความเข้มแสงที่ใช้รับ-ส่งถือเป็นสิ่งสำคัญ เพราะไม่เช่นนั้นแสงทั่วไปอาจส่งผลกระทบต่อวงจรรับได้ง่าย โดยทั่วไปลำแสงจะมีลักษณะกระจายออกจากแหล่งกำเนิดทุกทิศทุกทาง ดังนั้นในกรณีของรีโมตคอนโทรล ทิศทางของแสงควบคุมอาจต้องทำการกำหนดให้แน่นอน ตัวอย่างของตัวส่งและตัวรับที่เห็น โดยทั่วไป ได้แก่ตัวส่งสัญญาณที่เป็นไฟฉายธรรมดา และส่วนของตัวรับที่เป็นอุปกรณ์รับแสง ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า เช่น โฟโตทรานซิสเตอร์หรือโฟโตไดโอดต่อกันเป็นวงจรอย่างง่าย ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การส่งสัญญาณแสงควบคุมด้วยวงจรง่าย ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.6 เมื่อแสงจากไฟฉายตกกระทบโฟโตทรานซิสเตอร์ Q_1 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันที่ตกคร่อมขาคอลเล็กเตอร์ (Collector) เกิดเป็นสัญญาณเอาต์พุตออกมา การต่อแนนด์เกต (Nand Gate) ในลักษณะของอินเวอร์เตอร์จะช่วยแยกระดับของสัญญาณ “0” กับ “1” ออกมาให้เห็นชัดเจนยิ่งขึ้น สัญญาณที่ได้นี้สามารถนำไปตัดแปลงควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ได้ ส่วนสำคัญที่เป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพการรับหรือความไวในการรับของภาครับ ได้แก่ โฟโตทรานซิสเตอร์และภาคขยายสัญญาณซึ่งมีรายละเอียดและข้อกำหนดพอสมควร จากรูปวงจรมันปล่อยขาเบสลอยไว้ ซึ่งปกติจะเป็นเช่นนี้อยู่แล้ว ถ้าต้องการให้การตอบสนองของสัญญาณดีขึ้น อาจต่อขาเบสนี้เข้ากับไฟบวก 5 โวลต์ โดยใช้ตัวต้านทานอนุกรม เพื่อกำจัดกระแสเบสให้เป็นไปตามคุณสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์ ก็จะพอช่วยให้วงจรรับทำงานได้ดีขึ้น แต่การแก้ไขที่ดีที่สุดคือ การเลือกใช้ตัวรับแสงที่มีประสิทธิภาพสูงๆ

2.6 การควบคุมมอเตอร์กระแสไฟตรง (DC Moter)

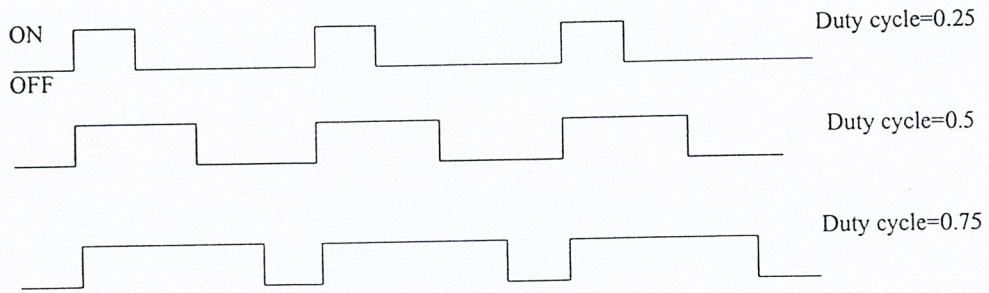
2.6.1 หลักการทำงาน

โดยปกติแล้วเมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับมอเตอร์ จะทำให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วสูงสุด ดังนั้นการควบคุมความเร็วของการหมุนของมอเตอร์วิธีหนึ่งอาจทำได้โดยการปรับค่าความต้านทาน ซึ่งต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง เพื่อปรับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ วิธีนี้เป็นการสูญเสียกำลังไฟฟ้าไป (Power Consumption) และความร้อนที่เกิดขึ้นมากตลอดเวลา ดังนั้นจึงมักเลี่ยงไปใช้การควบคุมแบบสวิตช์เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเป็นช่วงๆ ให้กับมอเตอร์แทน ซึ่งมีเทคนิคที่นิยมอยู่ 2 วิธีคือ

1. พัลส์วิดท์มอดูเลต(PWM : Pulse Width Modulate)

เป็นการใช้ความถี่คงที่ในการสร้างจังหวะการปิด-เปิดสวิตช์ซึ่งจะควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าอีกต่อหนึ่งสำหรับการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้านั้น ใช้การปรับเปลี่ยนช่วงเวลาการเปิดซึ่งจะสัมพันธ์กับช่วงเวลาของการปิดสวิตช์แทนซึ่งอัตรานี้เรียกว่าดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle) ซึ่งแสดงดังรูป

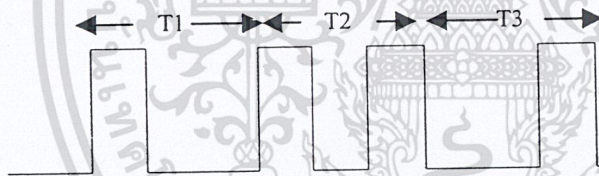
2.7



รูปที่ 2.7 แสดงสัญญาณโดยการควบคุมแบบพัลส์วิตช์ที่มอดูเลตที่ความถี่ที่แต่เปลี่ยนค่าตัวชี้ไขเกิ้ลพัลส์ที่ได้จากการปิดเปิดสวิตช์ควบคุมความเร็วของการหมุนของมอเตอร์

2. พัลส์ฟริควเอนซีมอดูเลต (PFM :Pulse Frequency Modulate)

เป็นการควบคุมการปิด-เปิดสวิตช์ที่ควบคุมจังหวะการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ มอเตอร์จึงปิด-เปิดตามจังหวะเวลานี้เช่นเดียวกันดังรูปที่ 2.8 ดังนั้นความถี่การควบคุมจังหวะการปิด-เปิดจะมีผลต่อการควบคุมแรงดันที่จะไปเปลี่ยนความเร็วการหมุนของมอเตอร์



รูปที่ 2.8 แสดงสัญญาณพัลส์ที่ได้จากการปิด-เปิดสวิตช์เพื่อควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยการใช้การควบคุมแบบที่ความถี่ที่แตกต่างกันไปตามระยะห่างของพัลส์จึงเรียกว่า การควบคุมความถี่ไขเกิ้ล

2.6.2 การสร้างวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรงในวงจรที่ใช้

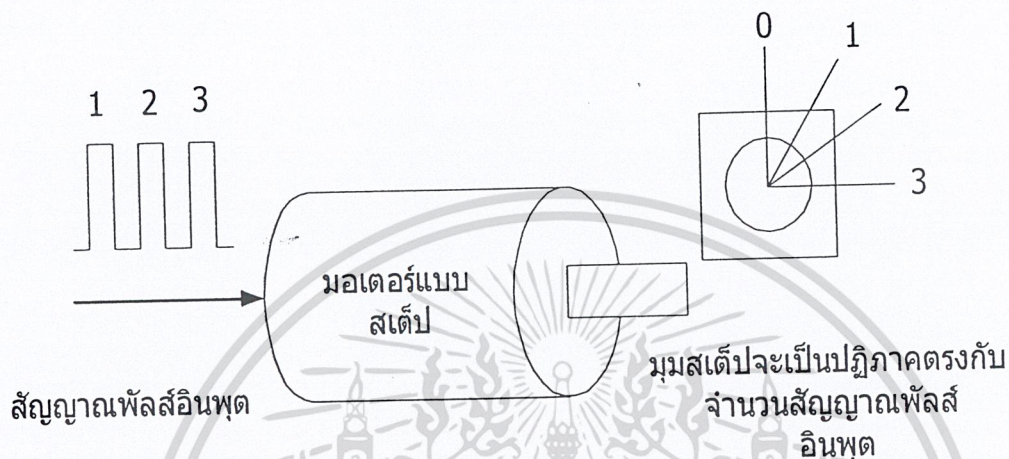
ในที่นี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ในการควบคุมการเปิด-ปิดแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง โดยมีรีเลย์เป็นตัวควบคุมการทำงานอีกส่วนหนึ่งด้วย โดยทำการตัดต่อไฟจากแบตเตอรี่

2.6.3 การควบคุมมอเตอร์แบบสเต็ป (Stepping Moter)

มอเตอร์แบบสเต็ปเป็นมอเตอร์ที่ใช้กระแสไฟตรง และการหมุนเป็นลำดับขั้นหรือสเต็ปรอบ

แกนหมุนด้วยค่ามุม (Step Angle) ที่แน่นอน ตามจังหวะพัลส์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ดังรูป มอเตอร์แบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

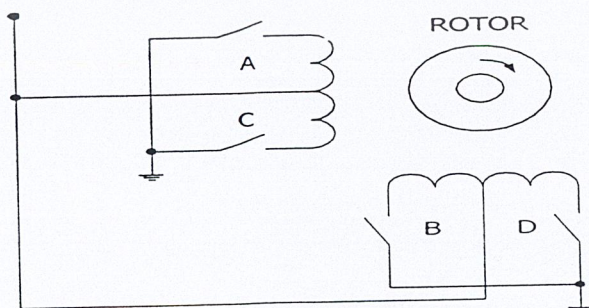
นี้จำแนกออกได้เป็นหลายลักษณะการทำงานและโครงสร้างการทำงาน แต่ที่นำมาใช้ในโครงการนี้เป็นแบบ VR (Variable Reluctance Type) ซึ่งใช้หลักการควบคุมการทำงานด้วยไฟฟ้า โดยใช้สัญญาณแบบขั้วเดียว (Unipolar Signal) ซึ่งพัลส์บวกเป็นสัญญาณอ้างอิงกับระดับกราวด์



รูปที่ 2.9 หลักการทำงานพื้นฐานของมอเตอร์แบบสเต็ป

2.6.4 หลักการทำงานของมอเตอร์แบบสเต็ป

จากรูปที่ 2.10 แสดงเห็น โครงสร้างภายในของมอเตอร์แบบสเต็ปแบบ 4 เฟส ซึ่งประกอบไปด้วยขดลวดสเตเตอร์ จำนวน 4 ขดลวดรอบแกนโรเตอร์ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดเพียงขดใดขดหนึ่ง จะทำให้เกิดการหมุนของแกนหมุนขึ้น เช่น เริ่มต้นจ่ายให้กับขดลวดขด A จากนั้นจึงเปลี่ยนเป็น B, C, D ตามลำดับ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนวนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา มีผลทำให้แกนหมุนซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวรหมุนตามสนามแม่เหล็กในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของวงจรขั้วมอเตอร์แบบสเต็ป 4 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบในการควบคุมตามลำดับของมอเตอร์แบบสแต็ปหรือที่เรียกว่า การกระตุ้นที่ละเฟส (Exciting mode) เกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะคือ การกระตุ้นเฟสแบบเฟสเดียว (Single Phase Excitation) ดังตารางที่ 2.3 การกระตุ้นเฟสแบบสองเฟส (Two Phase Excitation) ดังตารางที่ 2.4 และการกระตุ้นแบบครึ่งเฟส (One-Two Phase Excitation) ซึ่งจะ ได้มุมของการหมุนแต่ละสเต็ปอยู่ครึ่งทางระหว่างมุมของการหมุนของ 2 แบบก่อนหน้า

ตารางที่ 2.3 รูปแบบการกระตุ้นเฟสเดียว

STEP	1	2	3	4	5	6	7	8
PHASE A	1	0	0	0	1	0	0	0
PHASE B	0	1	0	0	0	1	0	0
PHASE C	0	0	1	0	0	0	1	0
PHASE D	0	0	0	1	0	0	0	1

ตารางที่ 2.4 รูปแบบการกระตุ้นที่ละสองเฟส

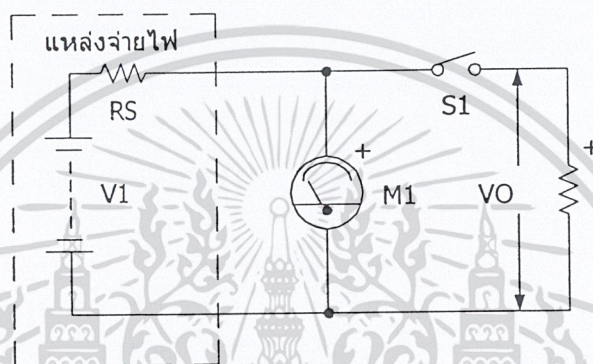
STEP	1	2	3	4	5	6	7	8
PHASE A	1	0	0	1	1	0	0	1
PHASE B	1	1	0	0	1	1	0	0
PHASE C	0	1	1	0	0	1	1	0
PHASE D	0	0	1	1	0	0	1	1

2.7 หลักการออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

2.7.1 การรักษาระดับแรงดันให้คงที่ (Voltage Regulators)

จุดมุ่งหมายของการรักษาระดับแรงดันให้คงที่ ก็คือ การรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ แม้ว่ากระแสของโหลดเอาต์พุต ระดับแรงดันอินพุต หรือทั้งสองอย่าง มีการเปลี่ยนแปลงไปตาม ปัญหาเบื้องต้นของการรักษาระดับแรงดัน ซึ่งก่อให้เกิดความยุ่งยากกับอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน ซึ่งมีอยู่หลายสาเหตุ ปัญหาแรกได้แก่ การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟจากสายไฟตามบ้าน ซึ่งสามารถจะเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ หรือในเบตเตอร์รถยนต์ ระดับแรงดันสามารถเปลี่ยนแปลงได้ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโดยปกติจะเปลี่ยนแปลง 20-25 เปอร์เซ็นต์ การไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงแรงดันของแบตเตอรี่อย่างมากมายนี้ จะก่อให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ เช่น เครื่องเสียงที่ติดตั้งอยู่ในรถยนต์ ส่วนสาเหตุประการที่สองของการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันเอาต์พุตได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของกระแสไหลครากแท้ของปัญหาได้แก่ ไม่มีแหล่งจ่ายไฟใดที่มีคุณสมบัติเหมือนกับในอุดมคติเลยเนื่องจากแหล่งจ่ายไฟทุกชนิดจะมีค่าความต้านทานภายใน บางครั้งเรียกว่าความต้านทานของแหล่งจ่ายไฟ (Source Resistance : R_S) ปัญหาในเรื่องค่าความต้านทานภายในนี้ แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.11 โดย R_S จะต่ออนุกรมอยู่กับแหล่งจ่ายแรงดัน V_1



รูปที่ 2.11 ค่าความต้านทานใน (R_S) ขนาดต่ำ เพื่อให้แน่ใจว่าการออกแบบการรักษาระดับแรงดันทำได้ดี ภายใต้เงื่อนไขซึ่งค่าของ R_L เปลี่ยนแปลงไปมาก

เมื่อไม่มีกระแสเอาต์พุตไหล ระดับแรงดันเอาต์พุต V_o จะมีค่าเท่ากับ V_1 แต่เมื่อเกิดการไหลของกระแสเอาต์พุตที่จะเกิดแรงดัน (เท่ากับ $I_o \times R_S$) ตกคร่อมความต้านทานภายในของแหล่งจ่ายไฟภายใต้สภาวะเช่นนี้ ค่าความต่างศักย์ที่เป็นจริงของเอาต์พุต $V_o = V_1 - (I_o \times R_S)$ เราสามารถสรุปได้ว่าการจะรักษาให้ระดับแรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุดก็โดย

- (1) พยายามรักษาค่า I_o ให้คงที่ (ซึ่งเป็นไปได้ไม่เสมอไป)
- (2) ลดค่าความต้านทาน R_S ให้น้อยที่สุด(ซึ่งเป็นวิธีที่แพงมากและส่วนใหญ่จะเป็นไปไม่ได้)
- (3) จัดหาจอร์รักษาระดับแรงดัน ซึ่งเป็นวิธีที่สมเหตุสมผลมากที่สุด

ค่าเปอร์เซ็นต์ของการรักษาระดับแรงดัน (percentage of regulation : % REG) เป็นวิธีการวัดค่าการรักษาระดับแรงดัน และหาได้จากสมการดังนี้

$$\% \text{ REG} = (100)(V_o - V_{\text{Imag}})/V_o$$

เมื่อ V_o เป็นระดับแรงดันเอาต์พุตเมื่อไม่มีโหลด และ $V_{L_{\text{max}}}$ เป็นระดับแรงดันเอาต์พุต เมื่อ

แหล่งจ่ายไฟจ่ายกระแสออกไปสูงที่สุดเต็มขีดจำกัด

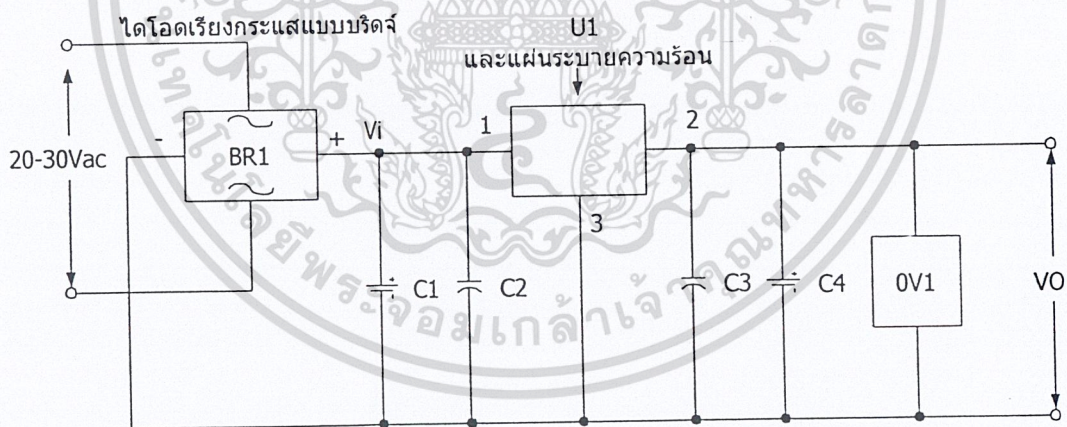
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 การรักษาระดับแรงดันโดยใช้ไอซี 3 ขา (Three-Terminal Regulators)

วงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ไอซีแบบ 3 ขานี้ เป็นกลุ่มของอุปกรณ์ซึ่งให้ค่าระดับแรงดันเอาต์พุตคงที่ บรรจุอยู่ในตัวถังของทรานซิสเตอร์แบบมาตรฐาน (แบบ TO-3, TO-39, TO-92, TO-5 และ TO-220) กระแสเอาต์พุตสูงสุดที่จ่ายได้อยู่ในย่านจาก 100 มิลลิแอมป์ ในตัวถังแบบ TO-3 และ TO-220 นั้น ส่วนใหญ่จะอยู่ในอัตรา 750 มิลลิแอมป์ จนถึง 1 แอมป์แปร์

วงจรมาตรฐานทั่วไปนิยมใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันแบบ 3 ขานี้ แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.15 อุปกรณ์บางตัวในวงจรก็เป็นแบบเพิ่มเติมเป็นพิเศษ (Optional) แต่บางตัวก็พบว่ามีอยู่เสมอๆ ทุกวงจรในรูปที่ 2.12 นี้ไม่ได้แสดงให้เห็นถึงหม้อแปลงไฟฟ้าและแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับซึ่งก็ใช้เหมือนกัน ไม่ว่าจะป็นวงจรรักษาระดับแรงดัน หรือไม่มีการรักษาระดับแรงดันก็ตาม

ไดโอดเรียงกระแสแบบบริดจ์ BR₁ และตัวเก็บประจุ C₁ นั้นเหมือนกันหมดสำหรับแหล่งจ่ายไฟใดๆ การเลือกใช้อุปกรณ์เหล่านี้ได้กล่าวมาแล้วมีกฎแบบง่ายๆ ในการเลือกค่าตัวเก็บประจุ C₁ ก็คือมีค่าไม่ต่ำกว่า 1000 ไมโครฟารัดต่อแอมป์แปร์ ของกระแสไหลคค่าสูงสุด เช่น สำหรับแหล่งจ่ายไฟขนาด 3 แอมป์แปร์ จะใช้ตัวเก็บประจุในการกรอง 3000 ฟารัด (หรือมากกว่า)



รูปที่ 2.12 เป็นวงจรรักษาระดับแรงดัน โดยใช้ไอซีแบบ 3 ขา ตัวเก็บประจุ C₂ และ C₄ จะใช้เพื่อลดทรานเซียนต์ที่เป็นสัญญาณรบกวนตัวไอซี วงจรป้องกันแรงดันเกิน (OV₁) จะเป็นตัวป้องกันแรงดันที่เอาต์พุตเกินกว่าระดับแรงดันที่กำหนดไว้

ตัวเก็บประจุ C_2 และ C_3 ใช้สำหรับปรับค่าความต้านทานต่อสัญญาณรบกวนให้ดีขึ้น และมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ไมโครฟารัด และ 0.47 ไมโครฟารัด ค่าที่แท้จริงขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้ ยกเว้นว่าเมื่อออกแบบให้จ่ายกระแสโหลดได้สูงขึ้นก็จะเลือกค่าความจุสูงขึ้น เราสามารถใช้ค่าความจุ 0.1 ไมโครฟารัด สำหรับแหล่งจ่ายไฟขนาด 1 แอมแปร์ และค่าความจุ 0.33 ไมโครฟารัด หรือ 0.47 ไมโครฟารัด สำหรับกระแสขนาด 3 และ 5 แอมแปร์ ตามลำดับ ตำแหน่งของ C_2 และ C_3 นั้น เป็นสิ่งสำคัญมาก ตัวเก็บประจุเหล่านี้ใช้สำหรับกดสัญญาณรบกวนต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยพัลส์ความถี่สูงๆ ดังนั้น ตัวเก็บประจุ C_2 และ C_3 จะต้องติดตั้งให้ใกล้กับตัวถังของไอซีรักษาระดับแรงดันเท่าที่จะทำได้ บางวงจรแนะนำให้ติดตั้ง C_2 และ C_3 เข้ากับตัวถังของ U_1 เลยทีเดียว ถ้าตัวเก็บประจุเหล่านี้ถูกติดตั้งห่างจาก U_1 มากเกินไปหรือขาดเหลือไว้ยาวเกินไปจะทำให้การทำงานของตัวเก็บประจุมีประสิทธิภาพลดลง

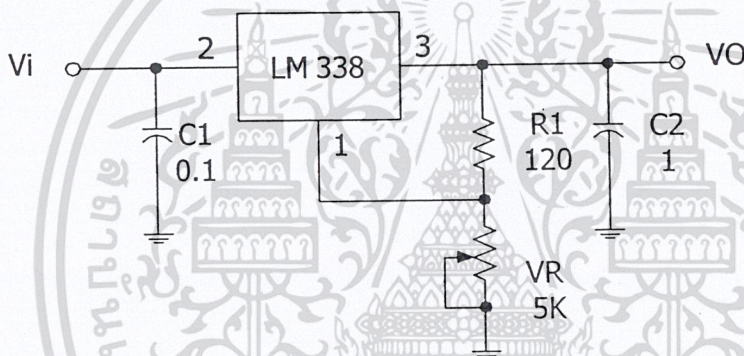
สำหรับตัวเก็บประจุ C_4 เป็นตัวที่เพิ่มเติมเข้ามา แต่ก็ควรให้มีโดยเฉพาะในวงจรที่มีการเปลี่ยนแปลงของกระแสโหลดอย่างมากในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เช่น ในวงจรดิจิทัล ซึ่งในกรณีเช่นนี้เป็นหน้าที่ของตัวเก็บประจุ C_4 หน้าที่ของ C_4 ก็คือ ปรับค่าการตอบสนองทางด้านทรานเซียนต์ (Transient Response) ของวงจรรักษาระดับแรงดัน ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมประจุเพื่อที่จะป้อนกระแสเข้าสู่โหลดในช่วงเวลาสั้นๆ ในขณะที่วงจรรักษาระดับแรงดันกำลังปรับตัวเองเพื่อรับกับความต้องการกระแสที่สูงขึ้น

อุปกรณ์ที่ระบุว่า OV_1 นั้นเป็นวงจรป้องกันแรงดันเกิน บางครั้งเรียกว่าวงจรเอสซีอาร์ โครวบาร์ (SCR crowbar) หน้าที่ของ OV_1 นั้นก็เพื่อป้องกันวงจรภายนอกที่รับกระแสจากวงจรรักษาระดับแรงดันนี้ไม่ให้เกิดความเสียหายเมื่อวงจรรักษาระดับแรงดัน U_1 เกิดการเสียหายขึ้น โดยปกติระดับแรงดันอินพุต V_1 จะสูงกว่าระดับแรงดันเอาต์พุต V_0 อย่างน้อย 2 – 3 โวลต์ และมีค่าสูงกว่า V_0 มากในหลายวงจร ถ้าหาก U_1 เกิดเสียหายและทำให้แรงดันอินพุต ปรากฏที่เอาต์พุต V_0 (ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเป็นเช่นนี้) ก็จะทำให้อุปกรณ์ที่ต่ออยู่ได้รับความเสียหายได้ ยกตัวอย่างเช่น ในวงจรทีทีแอล ถ้าหาก U_1 เกิดเสียหายจะทำให้ปรากฏแรงดัน +8 โวลต์ ขึ้นที่เอาต์พุตแรงดัน 5 โวลต์ ซึ่งก็จะทำให้ไอซีทีทีแอลเสียหายขึ้นมาทันที แผ่นระบายความร้อนสำหรับ U_1 นั้น ให้ติดแผ่นระบายความร้อนให้กับวงจรรักษาระดับแรงดันทุกชนิด เนื่องจากวงจรรักษาระดับแรงดันเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่จะกระจายพลังงานออกมา ดังนั้นความเชื่อถือได้จะแปรผันโดยตรงกับค่าอุณหภูมิ สำหรับวงจรที่จ่ายกระแสขนาด 1 แอมแปร์หรือที่น้อยกว่า ตัวถังที่เป็นโลหะของตัวเองมันเองก็อาจจะเพียงพอ ถ้าหากนอกเหนือจากนี้ก็ให้ติดตั้ง U_1 เข้ากับแผ่นระบายความร้อนแบบเป็นกริบ

2.7.3 เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันเอาต์พุต

วิธีแก้ปัญหาคือที่ดีที่สุดในการปรับค่าแรงดัน ได้แก่ การใช้วงจรรักษาระดับแรงดันที่ออกแบบมาเฉพาะงาน ไอซีรักษาระดับแรงดันที่ปรับค่าได้ที่มีจำหน่ายได้แก่ เบอร์ LM 317 (1.5 แอมแปร์) เบอร์ LM 338 (5 แอมแปร์) และอุปกรณ์ของบริษัทแลมด้าอิเล็กทรอนิกส์ (Lambda Electronics) เบอร์ LASXXU

ไอซีเบอร์ LM 338 เป็นไอซีรักษาระดับแรงดันที่สามารถจ่ายกระแสได้ 5 แอมแปร์ ในตัวถังแบบ TO-3 ซึ่งจะต้องติดตั้งแผ่นระบายความร้อนช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานะ เมื่อระดับแรงดันอินพุต (V_i) สูงกว่าแรงดันเอาต์พุตมาก ซึ่งในสถานะนั้น จะเกิดขึ้นในแหล่งจ่ายไฟแบบปรับค่าได้ เมื่อ V_o มีค่าต่ำสุด ในวงจรรูปที่ 2.13 ใช้ไอซีเบอร์ LM 338



รูปที่ 2.13 วงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ไอซีเบอร์ LM 338 จะต้องติดตั้งบนแผ่นระบายความร้อน เมื่อระดับแรงดันตกภายในตัวมีค่ามาก ถ้าหาก V_i มีค่า 28 โวลต์ และ V_o มีค่าเพียง 1.2 โวลต์ จะทำให้เกิดการกระจายกำลังงานประมาณ 134วัตต์ ที่กระแสโหลด 5 แอมแปร์ ภายใต้สภาวะเดียวกัน ถ้าหาก V_o มีค่า 25 โวลต์ การกระจายกำลังงานจะมีเพียง 15 วัตต์เท่านั้น

ยกตัวอย่างเช่น ระดับแรงดันอินพุต V_i จะสามารถปรับแรงดันออกได้จาก 1.2 โวลต์ ถึง 25 โวลต์ ที่ระดับแรงดันต่ำ การกระจายกำลังงาน P_D ที่กระแสโหลด 5 แอมแปร์ เท่ากับ

$$P_D = (28 - 1.2V) (5A) \\ = 134\text{วัตต์}$$

ปัญหาจะลดน้อยลงที่ค่าสูงสุดของ V_o โดยจะได้

$$P_D = (V_i - V_o) (I_{LOAD})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 15 วัตต์

ระดับแรงดันเอาต์พุตของไอซีเบอร์ จะถูกกำหนดโดยวงจรแบ่งระดับแรงดัน (และ) ซึ่งอาจจะเป็นโพลีโอมิเตอร์ร่วมกัน ถ้าต้องการระดับแรงดันเอาต์พุตที่คงที่แล้ว และ ควรใช้มีค่าคงที่ทั้งสองตัว ระดับแรงดันเอาต์พุตจะถูกกำหนดโดย

$$V_o = (1.25V) (R_2 / R_1 + 1)$$

ส่วนมากแล้วค่าของ R_1 จะอยู่ระหว่าง 120 โอห์ม ถึง 250 โอห์ม และ R_2 จะใช้ปรับให้ได้ระดับแรงดันที่ต้องการ สมการข้างต้นสามารถเขียนใหม่ให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมขึ้นดังนี้

ตัวอย่าง

$$R_2 = (V_o / 1.25 - 1) R_1$$

จงออกแบบวงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ไอซีเบอร์ LM 338 เพื่อให้ได้ระดับแรงดันเอาต์พุตขนาด 13.8 โวลต์ โดยกำหนดให้ค่า $R_1 = 120$ โอห์ม

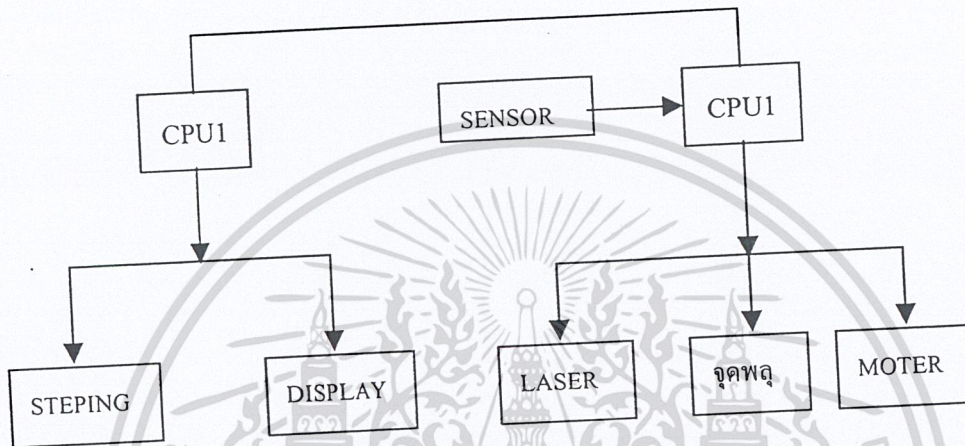
$$\begin{aligned} R_2 &= (V_o / 1.25 - 1) \times R_1 \\ &= (13.8 / 1.25 - 1) \times 120 \\ &= (11.04 - 1) \times 120 \\ &= 1205 \text{ โอห์ม} \end{aligned}$$

แน่นอนว่าเราไม่สามารถหาตัวต้านทานค่าคงที่ขนาด 1205 โอห์มได้แต่เราสามารถต่อ โดยใช้ตัวต้านทานค่าคงที่ต่ออนุกรมกับโพลีโอมิเตอร์ยกตัวอย่างเช่นใช้ตัวต้านทานค่าคงที่ขนาด 1000 โอห์ม และโพลีโอมิเตอร์ขนาด 500 โอห์ม เพื่อปรับให้ได้ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ถูกต้อง

บทที่ 3

โครงสร้างของระบบโรงงาน

3.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ (HARDWARE)



รูปที่ 3.1 บล็อก ไดอะแกรมการทำงานของโรงงาน

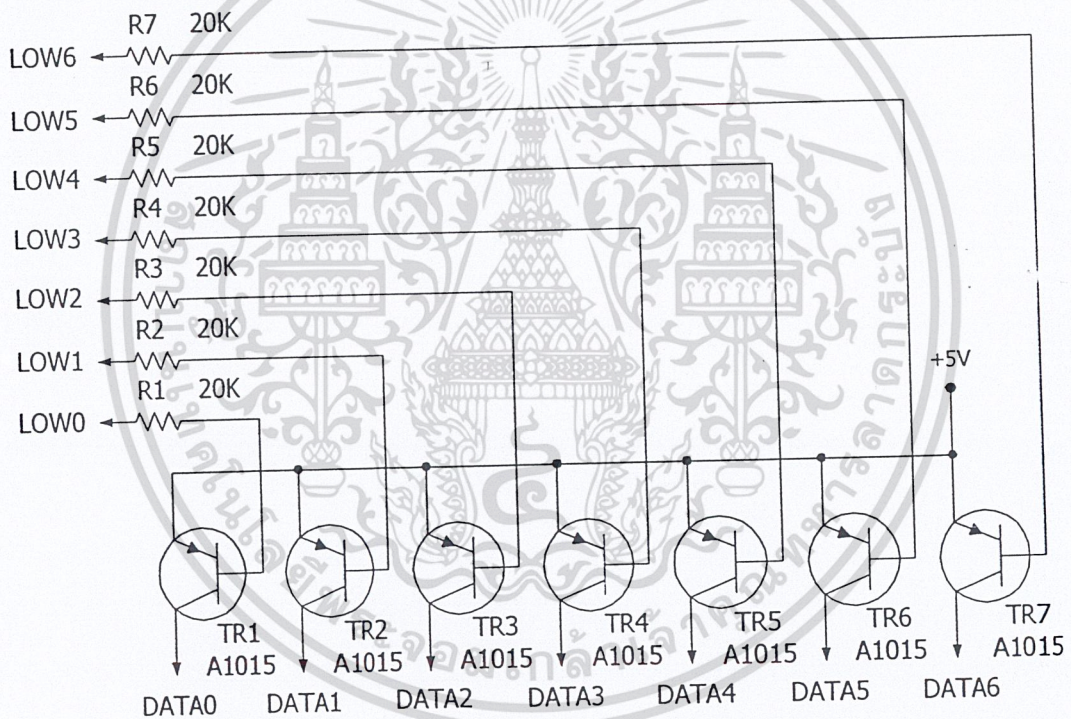
ระบบการทำงานต่างๆของโรงงานนี้จะมีไมโครคอนโทรลเลอร์ 2 ตัวที่ทำหน้าที่ในการประมวลผลการทำงาน โดยแยกการทำงานกัน ซึ่งทำงานอัตโนมัติตามโปรแกรมที่สั่งงาน นอกจากนั้นยังมีส่วนการทำงานที่ควบคุมด้วยมือด้วย (Manual Mode) โดยมีรายละเอียดส่วนประกอบ 3 ส่วนดังต่อไปนี้

3.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1 (CPU 1) ทำหน้าที่ในการประมวลผลการแสดงตัวอักษร ออกทางจอแสดงผลแอลอีดี (LED Display) ขนาด 7*24 (Low * Column) และทำหน้าที่ขับสเต็ป มอเตอร์ (Stepping Moter) ที่ทำหน้าที่ในการหมุนจอแสดงผล โดยมีโครงสร้างทางวงจรทั้งหมด ดังนี้

มีไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89S8252 เป็นตัวควบคุมการทำงาน โดย พอร์ต 0 จะต่ออยู่กับ 8255 ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูล (Data) ให้กับ 8255 ซึ่งต่ออยู่ทางด้านหลัก 0-23 (Column 0-23) ของจอแสดงผล และพอร์ต 1 ทำหน้าที่ส่งข้อมูลออกให้ทางด้านแถว 0-6 (Low 0-6) ของจอแสดงผล พอร์ต 2 จะใช้ พอร์ต P2.4 – P2.7 ในการต่อสเต็ปมอเตอร์เพื่อควบคุมการหมุนของจอแสดงผล

3.1.2 หลักการสร้างจอแสดงผลแอลอีดี (LED DISPLAY)

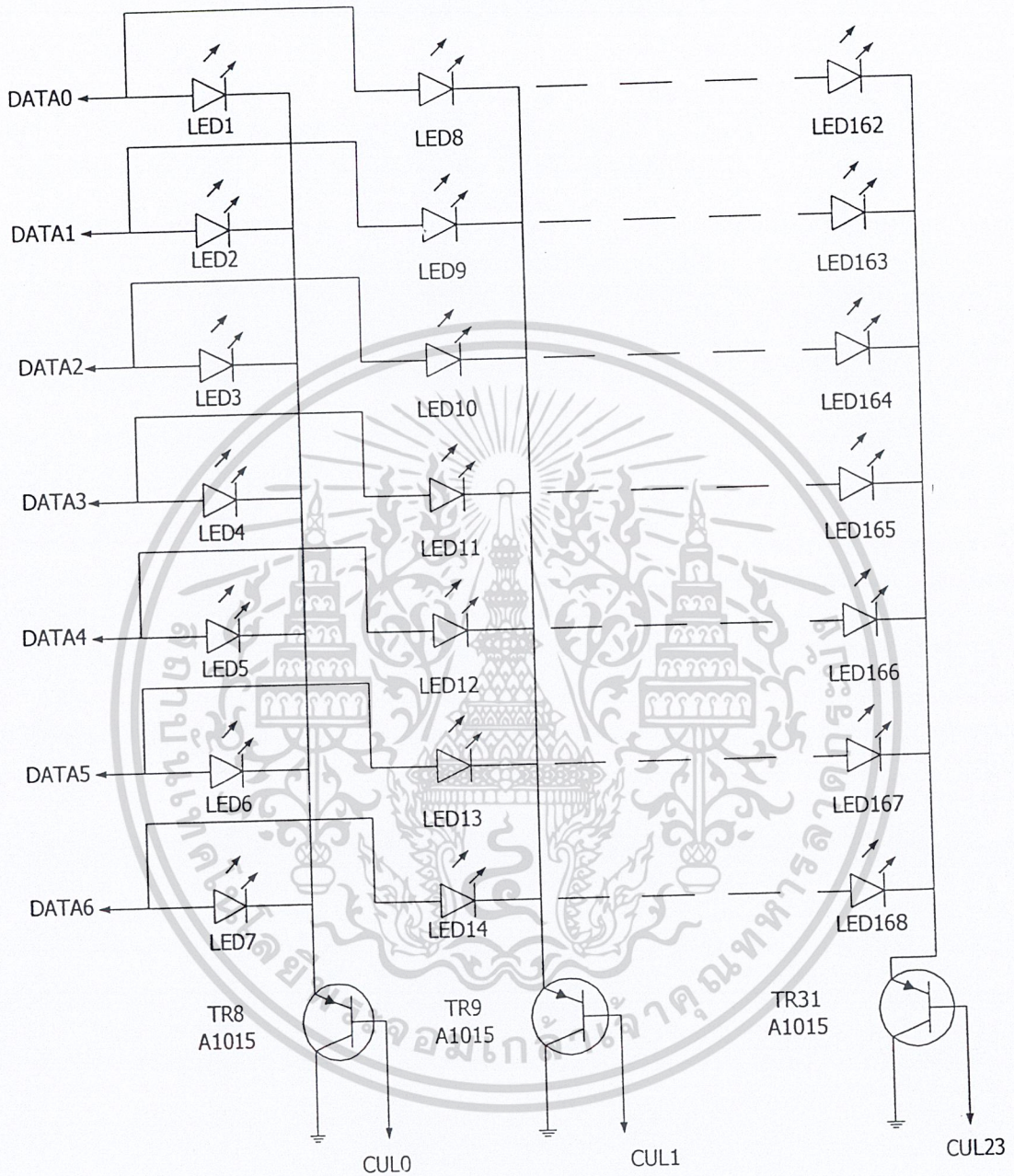
จอแสดงผลที่ใช้ในโครงการนี้จะประกอบไปด้วยหลอดแอลอีดี จำนวน $7 \times 24 = 168$ ดวง ในการแสดงผล ใช้ทรานซิสเตอร์ (Transistor) เบอร์ A1015 ทำหน้าที่ในการขับหลอดแอลอีดี ทั้งทางด้านขั้วแอนโนด (anode) และแคโทด (kathode) โดยทางด้านแอนโนด จะต่อกับพอร์ต P1.0-P1.6 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านความต้านทาน (Resister) ขนาด 20 K เข้าทางขาเบส (Base) ของทรานซิสเตอร์ ขาอีมิเตอร์ (Emitter) จะต่อกับไฟ +5V สัญญาณจาก P1.0-P1.7 จะผ่านออกทางขาคอลเลกเตอร์ (Collector) เข้าที่ขาแอนโนดของแต่ละแถว โดยทรานซิสเตอร์ 1 ตัว จะทำหน้าที่ขับหลอดแอลอีดี 1 แถว ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ขับทางด้านแอนโนดจึงเท่ากับ 7 ตัว



รูปที่ 3.2 วงจรขับทางด้านแถว (Row) ของจอแสดงผล

ส่วนทางด้านหลัก (Column) ของจอแสดงผลนั้น จะใช้ทรานซิสเตอร์ เบอร์ A1015 ในการขับเช่นกัน แต่ลักษณะการจัดไบอัสจะต่างกัน คือ ขาเบสของทรานซิสเตอร์ของแต่ละตัวจะต่อกับพอร์ต A, พอร์ต B และพอร์ต C ของ 8255 เพื่อรับข้อมูลเข้ามา ขาคอลเลกเตอร์จะต่ออยู่กับกราวด์ และขาอีมิเตอร์จะต่อเข้ากับขั้วแคโทดของแอลอีดีทุกตัวของแต่ละหลักใดๆ โดยทรานซิสเตอร์ 1 ตัว

ก็จะทำหน้าที่ขับหลัก ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ขับทางด้านหลักจึงมีทั้งหมด 24 ตัว
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

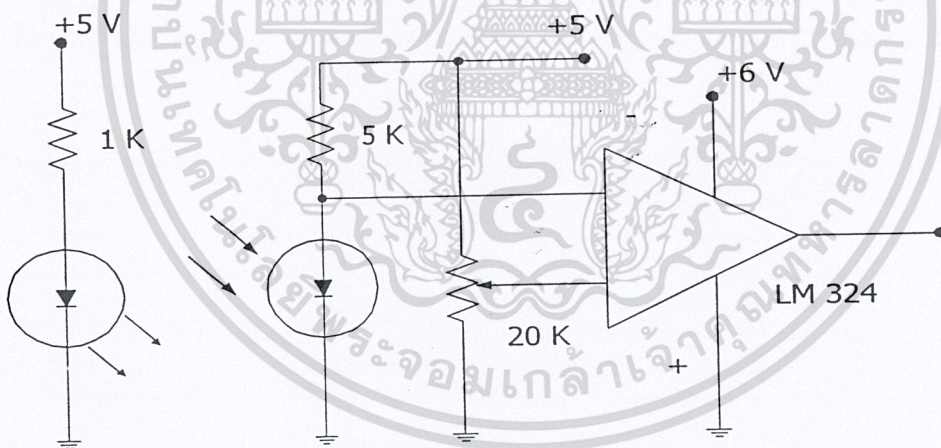


รูปที่ 3.3 วงจรขับทางด้านหลัก (Column) ของจอแสดงผล

พอร์ต P2.4-P2.7 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1 นั้นทำหน้าที่ในการขับสเต็ปมอเตอร์ให้หมุนที่
 ละ 90 องศา เมื่อมีการแสดงผลตัวอักษรของจอแสดงผลครบ 1 ชุดตัวอักษรแล้ว การต่อจะต่อผ่าน
 ภาคขับซึ่งใช้ไอซีเบอร์ ULN 2003 เข้ามอเตอร์เลย ซึ่งทฤษฎีการต่อใช้งานสเต็ปมอเตอร์ได้กล่าวใน
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 บทที่แล้วจึงไม่ขอกล่าวอีก
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 (CPU2) ทำหน้าที่ในการควบคุมส่วนต่างๆของตัว กระจกไม่ว่าจะเป็นการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ขับเคลื่อนตัวกระจก ควบคุมการจุดพลุ ตรวจสอบ เซ็คการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ขับมอเตอร์ที่ทำหน้าที่แสดงรูปร่างจากแสงเลเซอร์ รวมไปถึงทำหน้าที่ ออกจากโหมดอัตโนมัติไปสู่โหมดควบคุมด้วยมือ (Manual Mode) ซึ่งจะใช้เครื่องรับเครื่องส่งวิทยุ 27 เมกกะเฮิร์ซ (MHz) ในการควบคุมในโหมดนี้ โดยมีฮาร์ดแวร์ส่วนประกอบดังนี้

- พอร์ต P1.0-P1.2 เป็นส่วนของวงจรตรวจจับสิ่งกีดขวาง (Sensor) คือวงจรเซ็นเซอร์อิน ฟราเรด (Sensor Infrared Circuit) ที่ใช้กันโดยทั่วไป โดยภาครับแสงอินฟราเรดจะใช้ลักษณะของวงจร คอมพารเตอร์ (Comparator Circuit) เมื่อมีสิ่งกีดขวางมากระทบภาคส่งของอินฟราเรดจนทำให้ สัญญาณเข้ามาทางภาครับได้ ก็จะส่งเอาท์พุทไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ต P1.0-P1.2 ที่ทำ หน้าที่เป็นอินพุต และพอร์ต P1.3 ยังต่อกับไมโครสวิตช์ (Micro Switch) ที่คอยเช็คสัญญาณจาก เครื่องรับเครื่องส่ง ถ้าหาก P1.3 เป็น "1" ซีพียูก็จะทำการประมวลผลจุดพลุขึ้น และพอร์ต P1.4 ก็ ต่อกับไมโครสวิตช์ (Micro Switch) ที่คอยเช็คสัญญาณจากเครื่องรับเครื่องส่งเช่นกัน โดยถ้าหากเช็ค ได้ว่าเป็น "1" ซีพียูตัวที่ 2 นี้ก็จะหยุดทำงาน

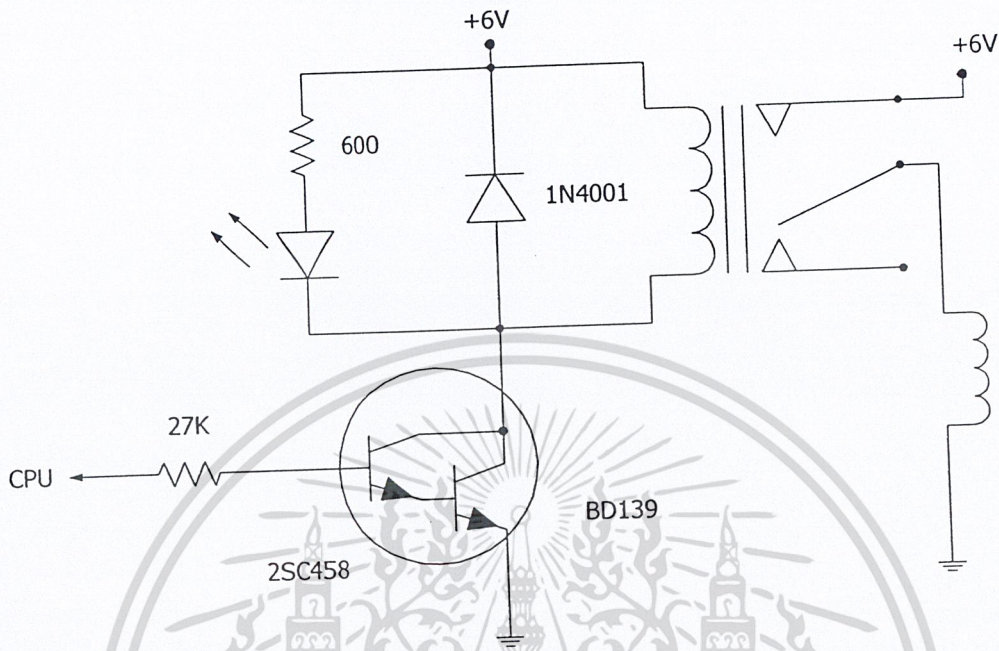


รูปที่ 3.4 แสดงวงจร Sensor Infrared

- พอร์ต P0.0-P0.4 จะต่อกับขดลวดความร้อนที่ทำหน้าที่จุดพลุ โดยจะมีรีเลย์ (Relay) เป็น สวิตช์ในการตัดต่อไฟให้กับขดลวด การทำงานของขดลวดความร้อนนี้จะทำงานเรียงกันไปตาม ลำดับ คือขดลวดจะติดเรียงกันไปจาก P0.0 ก่อนไปจนถึง P0.4 ตามลำดับ โดยจะมีสภาวะเป็น "1" เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจจับจากพอร์ต P1.3 ได้ว่าเป็น "1" ขดลวดความร้อนก็จะทำงาน โดย รีเลย์จะต่อไฟเข้าโดยตรงกับขดลวดเลย คยระยะเวลาในการติดนั้นเป็นไปตามโปรแกรมที่สั่งงานให้กับ

ไมโครคอนโทรลเลอร์

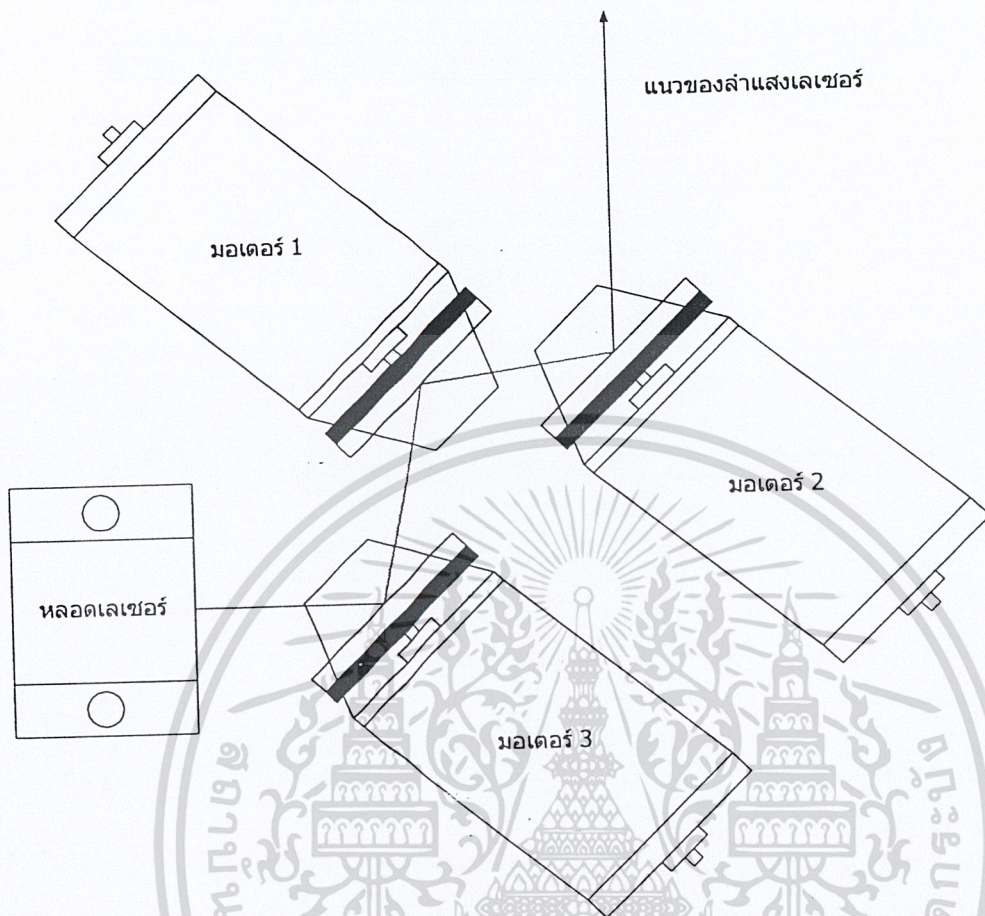
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



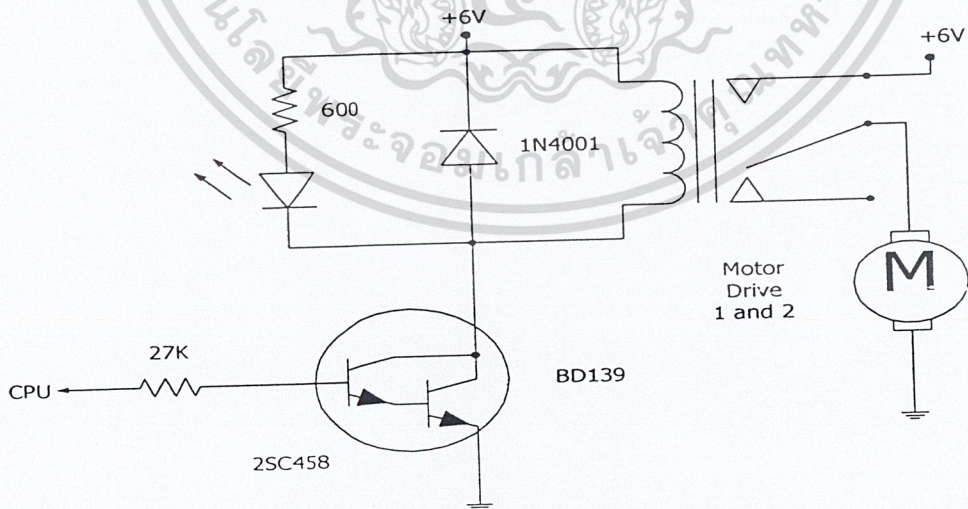
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรขับเคลื่อนเลเซอร์ที่ทำหน้าที่จุดพลุ

- ส่วนควบคุมมอเตอร์ พอร์ต P2.3-P2.5 จะต่อกับภาคขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ทำหน้าที่หมุนกระจกสะท้อนลำแสงเลเซอร์(Laser)ให้เกิดรูปร่างเลเซอร์ชนิดต่างๆ ที่เกิดจากการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ในลักษณะต่างๆ โดยมอเตอร์แต่ละตัวจะหมุนด้วยความเร็วช้าเร็วต่างกัน ตามสัญญาณความกว้างพัลส์ที่ป้อนเข้ามา ทำให้เกิดรูปร่างตัดกันเป็นรูปร่างเรขาคณิตเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเรื่อยๆ โดยกระจกจะติดในลักษณะที่สามารถสะท้อนลำแสงถึงกันได้ออกไปขึ้นบนฉากสีดำซึ่งมองเห็นภาพได้ง่ายที่สุด

- ส่วนพอร์ต P2.6-P2.7 จะต่อกับมอเตอร์ 2 ตัว ทำหน้าที่ขับเคลื่อนมอเตอร์ขับเคลื่อนกระจก โดยมีรีเลย์เป็นตัวตัดต่อสวิตซ์ให้กับมอเตอร์ โดยมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 จะทำหน้าที่หมุนตามสภาวะการทำงานที่ได้รับจากการตรวจเช็คอินพุตจากเซนเซอร์อินฟาเรดว่าจะเลี้ยวซ้ายหรือขวา



รูปที่ 3.6 การวางมอเตอร์ติดกระจกสะท้อนแสงจากเลเซอร์



รูปที่ 3.7 วงจรไดร์ฟมอเตอร์ขับเคลื่อนกระจก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ส่วนควบคุมด้วยมือ (manual mode) จะใช้เครื่องรับเครื่องส่งวิทยุ 27 เมกะเฮิร์ต ซึ่งสามารถรับส่งสัญญาณได้ในระยะที่ไกลพอสมควร โดยเครื่องรับจะต่อกับมอเตอร์ 2 ตัว มอเตอร์ตัวหนึ่งทำหน้าที่ขับเคลื่อนกระพวง โดยรับสัญญาณจากเครื่องส่งว่าจะเดินหน้าหรือถอยหลัง ส่วนมอเตอร์อีกตัวจะเป็นเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Moter) จะต่ออยู่กับหางเสือที่ใช้ในการควบคุมทิศทางให้เลี้ยวซ้ายหรือว่าเลี้ยวขวา ส่วนควบคุมด้วยมือนี้จะใช้ในกรณีเราจะสามารถที่จะกึ่งนำกระพวงกลับมาได้ เมื่อทำงานในโหมดอัตโนมัติเรียบร้อยแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 จะหยุดทำงาน โดยใช้สัญญาณจากเครื่องส่งวิทยุเข้ามาทางพอร์ต P1.4 เพื่อสั่งให้ซีพียูหยุดทำงาน

3.2 การสร้างเครื่องรับเครื่องส่งวิทยุบังคับ 27 เมกะเฮิร์ตซ์

วิทยุบังคับจะประกอบด้วยส่วนใหญ่มาก 2 ส่วนคือ เครื่องส่งสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณ

3.2.1 เครื่องส่งสัญญาณ

ทำหน้าที่ส่งสัญญาณพัลส์รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการมอดูเลต กับคลื่นพาหะแล้วออกไปสายอากาศซึ่งพัลส์รูปสี่เหลี่ยมนี้จะเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ต่อได้ตามการเปลี่ยนแปลงความดันทานที่อยู่กับคันโยกบังคับของเครื่องส่ง

3.2.2 เครื่องรับสัญญาณ

ทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่นวิทยุที่ส่งออกมาจากเครื่องส่ง นำมาแยกคลื่นพาหะออกเหลือแต่สัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่มอดูเลตมาพร้อมรับคลื่นพาหะ ซึ่งจะนำไปเป็นสัญญาณในการควบคุมกลไกให้ทำงานเคลื่อนไหว โดยจะสัมพันธ์กับการบังคับคันโยกที่เครื่องส่ง ชุดกลไกที่นิยมใช้กันในระบบวิทยุบังคับทั่วไป เรียกว่า เซอร์โว (Servo) ภายในจะประกอบด้วยมอเตอร์นำมาหดรอบด้วยเฟืองให้ความเร็วต่ำลงแต่ได้กำลังมากขึ้น

3.2.3 หลักการทำงาน

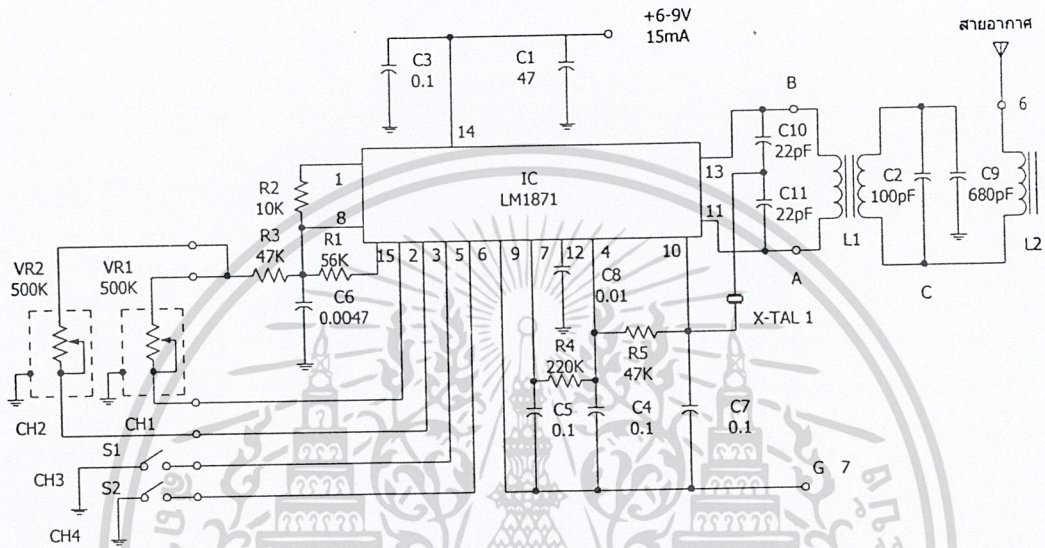
ภาคส่ง

จากวงจรเครื่องส่งจะเห็นได้ว่าวงจรเป็นวงจรที่ออกแบบให้มีขนาดเล็กมีประสิทธิภาพสูงโดยใช้ IC เบอร์ LM 1871 เพียงตัวเดียวซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งระบบ เอฟเอ็ม (FM) สมบูรณ์แบบในตัวเดียวกันซึ่งภายในตัว IC LM 1871 จะประกอบไปด้วย ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์สร้างรหัสและมอดูเลเตอร์ และชุดส่งสัญญาณซึ่งรวมอยู่ในตัวเดียวกันตัวถังของ ไอซีเป็นแบบดินตะขาบ 18 ขา แบ่งออกเป็น 2 ข้าง ๆ ละ 9 ขา โดยใช้แหล่งจ่ายไฟขนาด 6 – 9 โวลต์ ป้อนเข้าที่ขา 14 โดยที่ ซี1 และ ซี3 ต่ออยู่เพื่อช่วยกรองสัญญาณ

จากวงจร IC1 เบอร์ LM 1871 ทำหน้าที่ทั้งหมดตั้งแต่เข้ารหัสมอดูเลเตอร์และส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับทำหน้าที่ปรับความกว้างของพัลส์ด้วยการปรับเปลี่ยนความดันทาน โดยที่โวลุ่ม VR1 และ VR2 ทำหน้าที่ปรับความกว้างของพัลส์ด้วยชุดปรับความดันทานไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ VR1 และ VR2 จะทำคณณะแซนเนลไม่เก็วข้องกันจึงสามารถใช้งานได้ 2 แชนเนล การปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานของ VR1 ป้อนเข้าที่จุด 1 ที่ต่อกับขา 2 ของไอซีและ VR2 ป้อนให้จุด 2 ที่ต่อกับขา 3 ของไอซี



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรภาคส่ง

ส่วนสวิตช์ S1 และ S2 จะควบคุมการปิดเปิด โดยการโยกสวิตช์ ที่เครื่องส่งเพื่อควบคุมอุปกรณ์ทางภาครับ เมื่อโยกสวิตช์ S1 ไปตำแหน่งเปิดจะทำให้ขา 5 ของไอซีต่อกับไฟลบ และเมื่อโยกมาตำแหน่งปิดขา 5 ของไอซีจะแยกออกจากไฟลบซึ่ง S2 จะทำหน้าที่เหมือนกันกับ S1 คลื่นพัลส์ที่เกิดจากการบังคับแต่ละช่องรวมมี 2 ช่องสัญญาณพัลส์ และ 2 ช่องสัญญาณดิจิทัล ปิดเปิด จะส่งไปมอดูเลเตอร์โดย IC1 ซึ่งคลื่นพาหะที่นำไปมอดูเลตเกิดจากแร่คริสตอลความถี่ 27.145 เมกะเฮิร์ตซ์ที่ต่ออยู่ภายนอก สัญญาณที่มอดูเลตแล้วจะผ่าน L1 เป็นคอยล์จูนความถี่ผ่านร่วมอยู่กับ L2 ก่อนจะส่งไปสายอากาศแพร่กระจายคลื่นต่อไป

ภาครับ

วงจรภาครับในรูปแบบที่ 2 ทำงานด้วยไอซีเบอร์ LM1872 จะเป็นไอซีภาครับระบบเอฟเอ็ม (FM) ทำหน้าที่ทั้งหมดภายใน ประกอบด้วย ภาคคลื่นวิทยุ , ออสซิลเลเตอร์ ภาคขยายความถี่ไอเอฟ

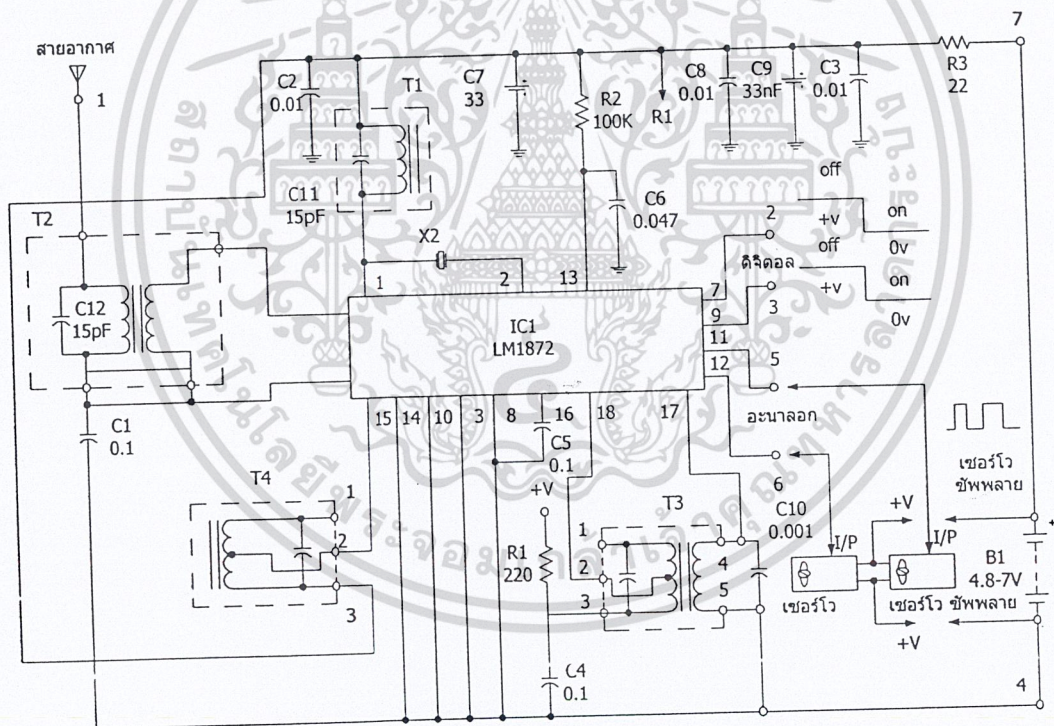
จากวงจรสายอากาศต่อกับ T2 และ C12 เป็นวงจรจูนความถี่ให้ตรงกับความถี่ 27.145

เมกะเฮิร์ตซ์ จากเครื่องส่งเพื่อรับสัญญาณให้ได้แรงที่สุดและเหนี่ยวนำผ่านจาก T2 เข้าขา 5 ของไอซี

ซึ่งเข้าไปหักลบกับความถี่ 26.690 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งผลิตขึ้นโดยแร่คริสตอลที่ต่ออยู่ภายนอกมี T1 ช่วยเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับแต่งความถี่เมื่อความถี่หักล้างกันแล้วจะได้ 455 กิโลเฮิร์ตซ์ หรือเรียกว่าความถี่ไอเอฟ (IF) ซึ่งค่านี้มาจาก 27.145 เมกะเฮิร์ตซ์ ลบกับ 26.690 เมกะเฮิร์ตซ์ ความถี่ไอเอฟ ที่ได้จะออกทางขา 18 เข้าคอยล์ T3 ที่ทำหน้าที่เป็น ไอเอฟทรานส์ฟอร์มเมอร์ (I.F.T) ตัวแรก ฐานสัญญาณที่ความถี่ไอเอฟ แล้วส่งไปเข้าขา 17 เข้าไปขยายและ คีเทคเตอร์เพื่อแยกสัญญาณพาหะ 27 เมกะเฮิร์ตซ์ ออกให้เหลือแต่รูปคลื่นพัลส์ที่ส่งมาจากเครื่องส่ง

ที่ขา 7 และ 9 ของไอซีเป็นช่องสัญญาณออก 2 ช่อง เมื่อทางเครื่องส่งกดสวิตช์ S1 หรือ S2 ให้ทำงานจะมีแรงดันออกที่ขา 7 และ 9 ของเครื่องรับประมาณ 1.5 – 2 โวลต์ และเมื่อปิดสวิตช์ S1 หรือ S2 ที่เครื่องส่งแรงดันที่ขา 7 และ 9 ของเครื่องรับจะเป็น 0 โวลต์ ซึ่งเราอาจจะนำมาใช้ในการเปิดปิดไฟหน้าหรือไฟหลังของรถบังคับเด็กเล่นก็ได้ ส่วนขา 11 และ 12 ที่เครื่องรับเป็นขาสัญญาณพัลส์สำหรับต่อกับเซอร์โว เพื่อให้เซอร์โวทำงานตามต้องการควบคุมจากเครื่องส่ง สามารถต่อใช้งานกับเซอร์โวได้ 2 ตัว แรงดันที่ป้อนให้แก่เซอร์โวและวงจรรักษาไว้ใช้ 4.8 – 7 โวลต์



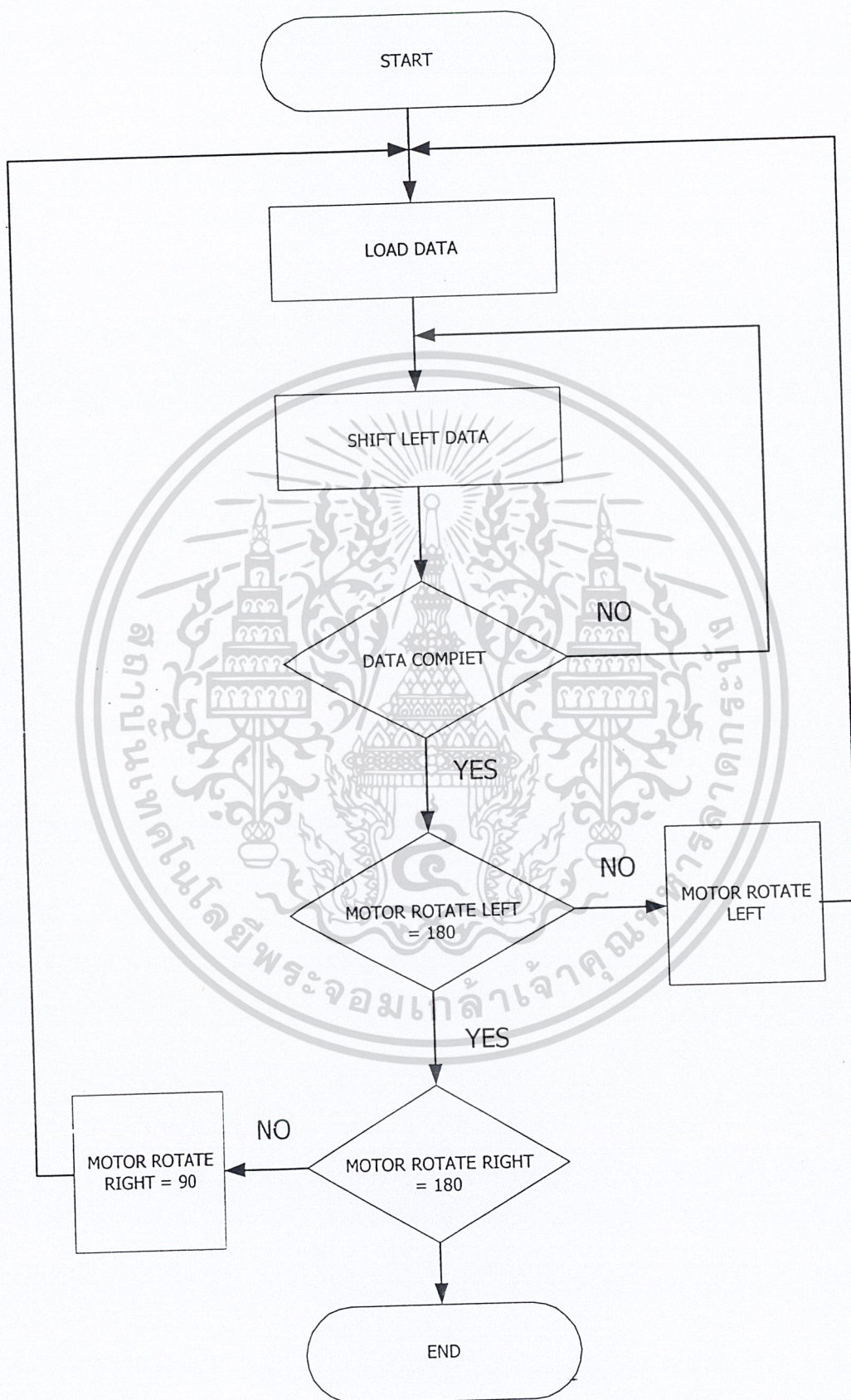
รูป 3.9 แสดงวงจรรักษาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

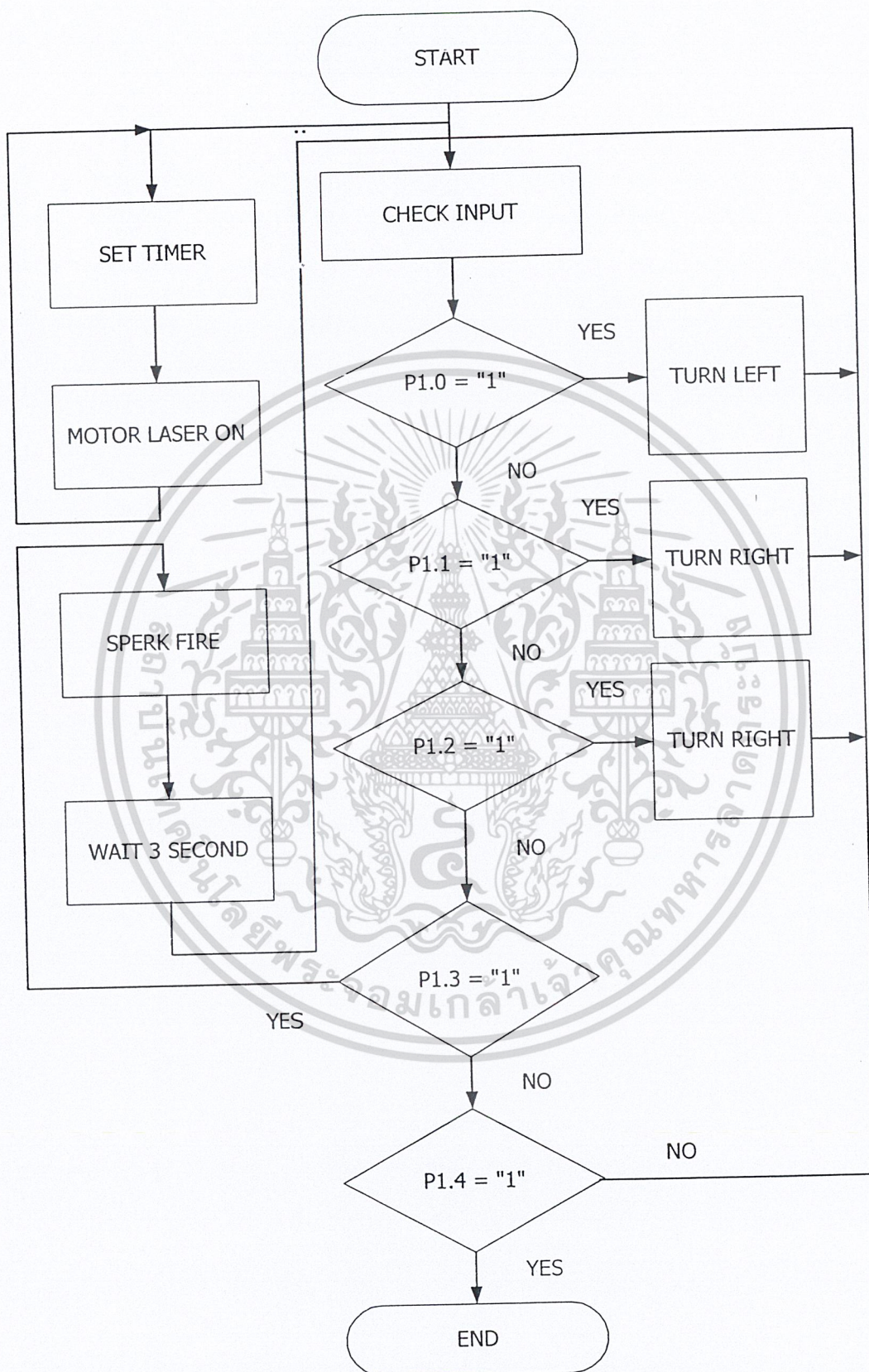
3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์ (SOFTWARE)

3.3.1 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1 (CPU 1) ถูกออกแบบให้แสดงตัวอักษรวิ่ง โดยให้ตัวหนังสือวิ่งไปทางซ้ายข้อความที่ปรากฏก็คือ “ i1 พ.ย. 43 ลอยกระทง KRATONG HITECH WITH APPLY MICROCONTROLLER FOR AMAZING THAILAND 2000 ” ข้อความจะวิ่งไปจนสิ้นสุด หลังจากนั้นก็จะสั่งให้สเต็ปปีงมอเตอร์หมุนซ้าย 90 องศา จากนั้นก็จะทำลักษณะเช่นเดิมเมื่อหมุนซ้ายครบ 1 กลับทางขวาทีละ 90 องศาจนครบ 180 องศาโดยจะทำสลับไปเช่นนี้เรื่อยๆ ดังรูปที่ 3.10 เป็น Frow 80 องศา แล้วก็จะเปลี่ยนมาหมุนกลับทางขวาทีละ 90 องศาจนครบ 180 องศาโดยจะทำสลับไปเช่นนี้เรื่อยๆ ดังรูปที่ 3.10 เป็น Frow Chart การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1

3.3.2 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 (CPU 2) ทำงานโดยการเช็คอินพุตจากเซนเซอร์ และอินพุตจากเครื่องรับที่สั่งงานจากเครื่องวิทยุ พอร์ตอินพุต P1.0-P1.2 ทำหน้าที่ควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อนซ้ายขวา สัญญาณจากเครื่องรับส่งจะทำให้ซีพียูสั่งการจุดพลุและให้ซีพียูหยุดการทำงานลักษณะการทำงานโปรแกรมเป็นดังรูปที่ 3.11



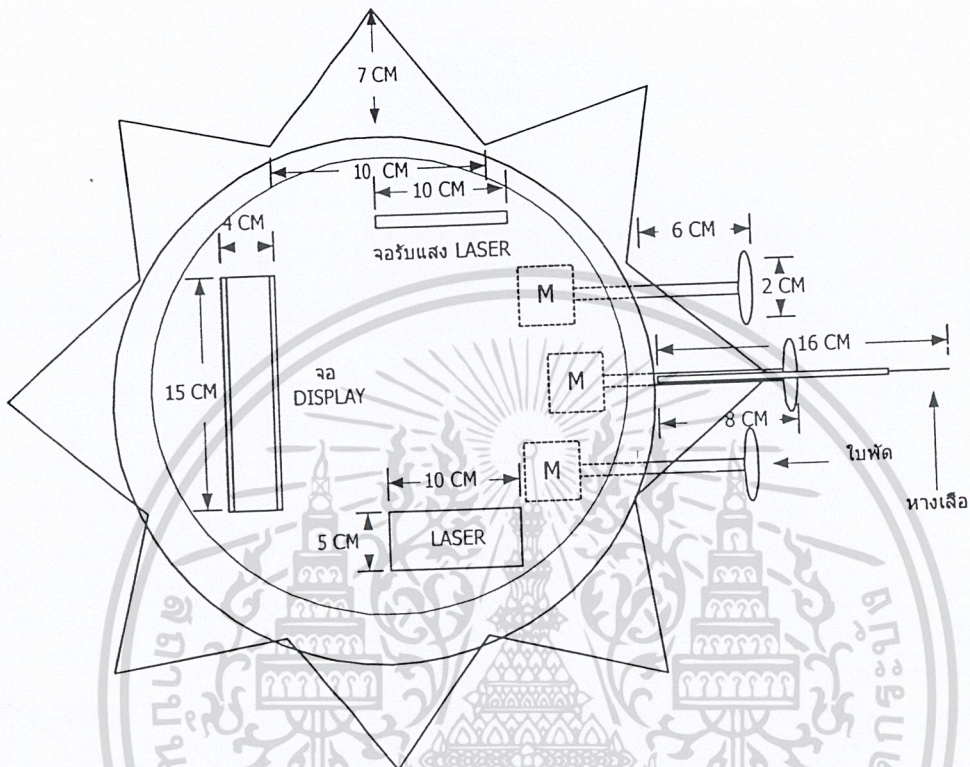
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.10 Flow Chart การทำงานของ CPU1
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



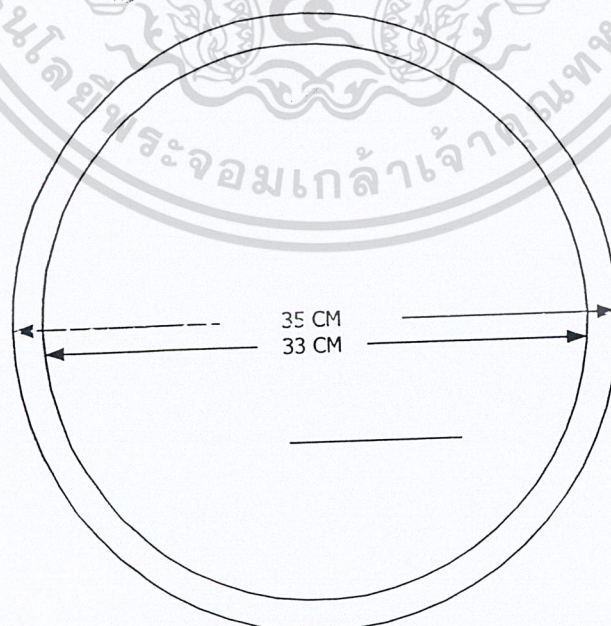
รูปที่ 3.11 Flow Chart การทำงานของ CPU2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบโครงสร้างภายนอกของตัวกระทง

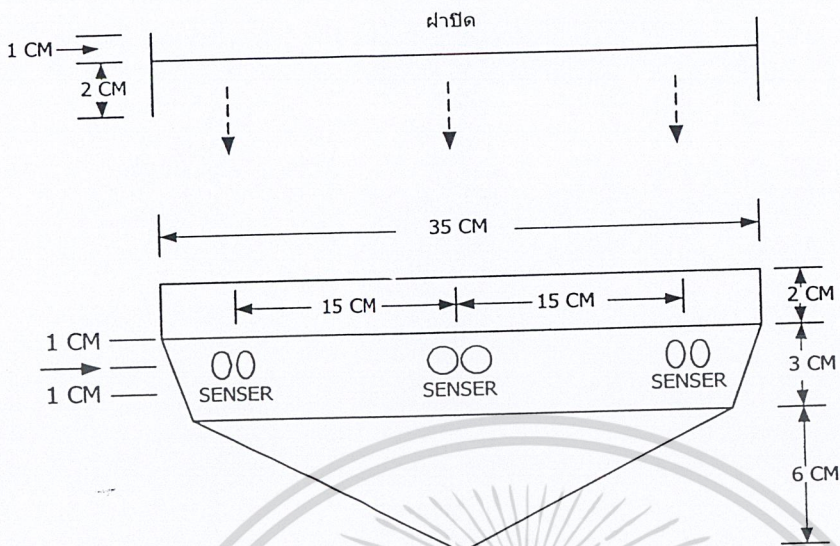


รูปที่ 3.12 ขนาดโครงสร้างมองจากด้านบน (TOP VIEW)

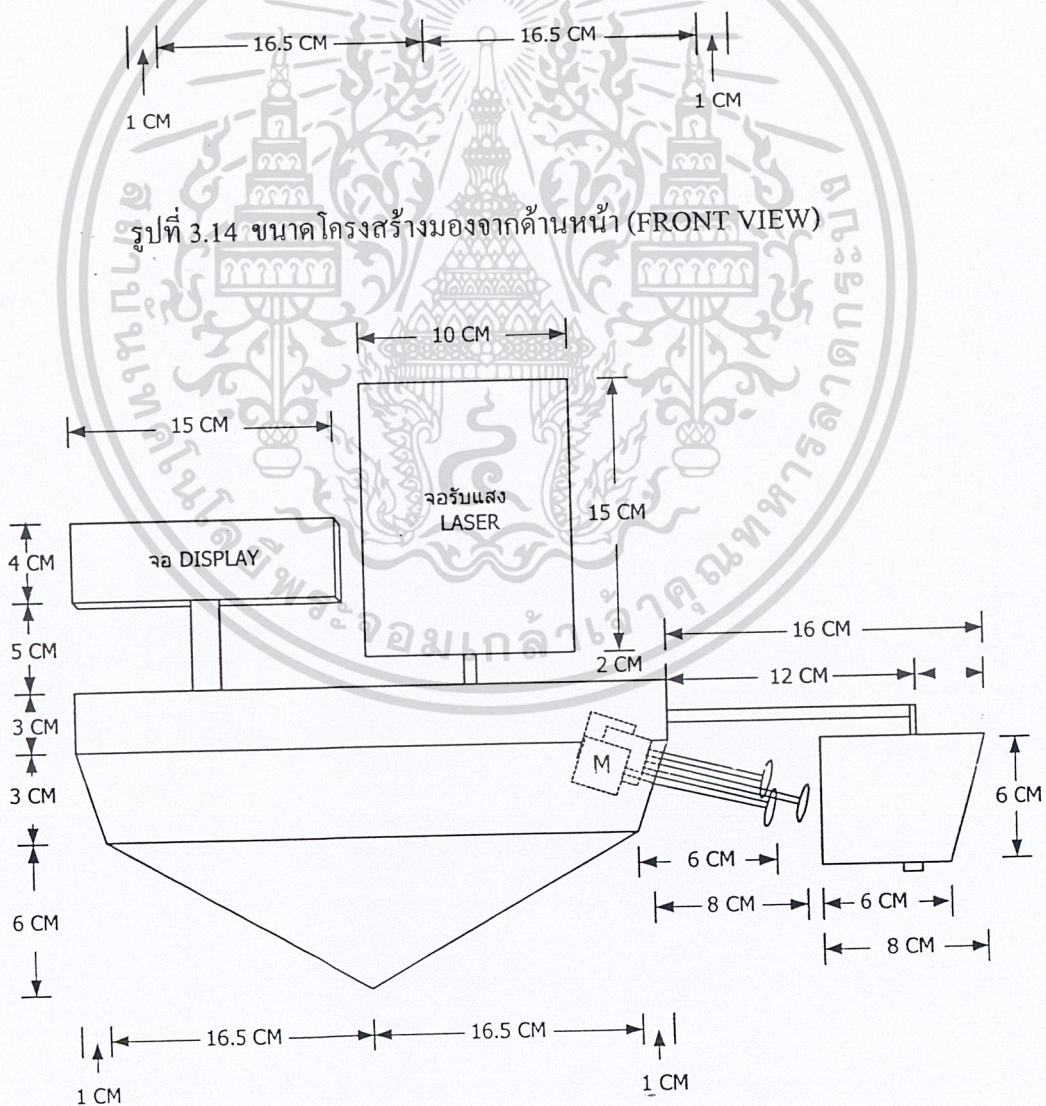


รูปที่ 3.13 ขนาดความกว้างของตัวกระทง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ขนาดโครงสร้างมองจากด้านหน้า (FRONT VIEW)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รูปที่ 3.15 ขนาดโครงสร้างมองจากด้านข้าง (SIDE VIEW) ให้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

การทดลองได้ทำการทดลองส่วนต่างๆของโครงการซึ่งได้แก่

4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟ

ทำการทดลองป้อนแรงไฟจากแบตเตอรี่ 6 V 4 A ที่ผ่านวงจรภาคเรกกูเลต +5V ออกมาให้กับซีพียู ตัวที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์เพียงอย่างเดียว ปรากฏว่าการทำงานทุกอย่างก็สามารถทำงานได้ตามที่กำหนดไม่ว่าจะเป็นภาคเซนเซอร์ ที่สามารถทำงานได้สัมพันธ์กับการทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อน โดยตรวจสอบเช็คสิ่งกีดขวางได้หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ มอเตอร์ที่หมุนแสดงรูปร่างจากแสงเลเซอร์สามารถทำงานได้ แต่เมื่อมีการต่อแหล่งจ่ายเข้ากับซีพียูอีกตัวที่ทำหน้าที่ควบคุมจอแสดงผลและสแต็ปมอเตอร์ ก็จะมีผลกับส่วนอื่นๆมากพอสมควร ไม่ว่าจะเป็นเซนเซอร์ที่ดูเหมือนว่าจะมีการตรวจเช็คผิดพลาดบ้างบางครั้ง มอเตอร์มีความแรงในการหมุนต่ำลง เนื่องจาก การที่แบตเตอรี่มีโวลตเพิ่มมากขึ้นแรงไฟที่จ่ายไปเลี้ยงส่วนอื่นๆก็น้อยลง

ตารางที่ 4.1 แสดงระดับแรงไฟในสถานะต่าง

แหล่งจ่ายไฟ	CPU 1	CPU 2	ระดับแรงที่วัดได้
6 V 4 A	ต่อ	ไม่ต่อ	+5V
6 V 4 A	ไม่ต่อ	ต่อ	+5V
6 V 4 A	ต่อ	ต่อ	+4.5V
7.5 V 2.5 A	ต่อ	ต่อ	+4.6V

** แหล่งจ่ายไฟนี้ได้จ่ายไฟผ่านภาคเรกกูเลต +5V แล้ว

จะเห็นว่าการต่อวงจรเพียงบางส่วนกับต่อครบทั้งหมดนั้นมีความแตกต่างกัน การต่อครบทั้งหมดนั้นทำให้ระดับแรงไฟลดลง ซึ่งทำให้ซีพียูสั่งงานผิดพลาดไป ถ้าหากไม่ได้ระดับแรงไฟที่เหมาะสม รวมทั้งกระแสของแหล่งจ่ายไฟก็มีผลด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบระยะการส่งงานได้ของเครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุ

การทดลองนี้มีส่วนสำคัญมากเช่นกัน ทำให้เราทราบได้ว่าควรจะมีรัศมีการส่งการเท่าใดที่จะไม่ทำให้ข้อผิดพลาดขึ้นเวลาใช้งานจริง ซึ่งหากเรารู้ระยะที่เหมาะสมก็จะทำให้เราแก้ปัญหาได้ทันทั่วทั้งการทดสอบทำได้โดยการการวัดระยะทางที่ระยะต่างๆ ที่สามารถทำให้เครื่องรับสามารถรับรู้ได้จากสัญญาณของเครื่องส่ง

ตารางที่ 4.2 การทดสอบระยะการส่งงานของเครื่องรับเครื่องส่งวิทยุ

ระยะการส่งงาน (เมตร)	การทำงานระหว่างเครื่องรับ-ส่ง
30	ทำงานได้
50	ทำงานได้
80	ทำงานได้
90	ทำงานได้
100	ทำงานได้
120	ทำงานไม่ได้

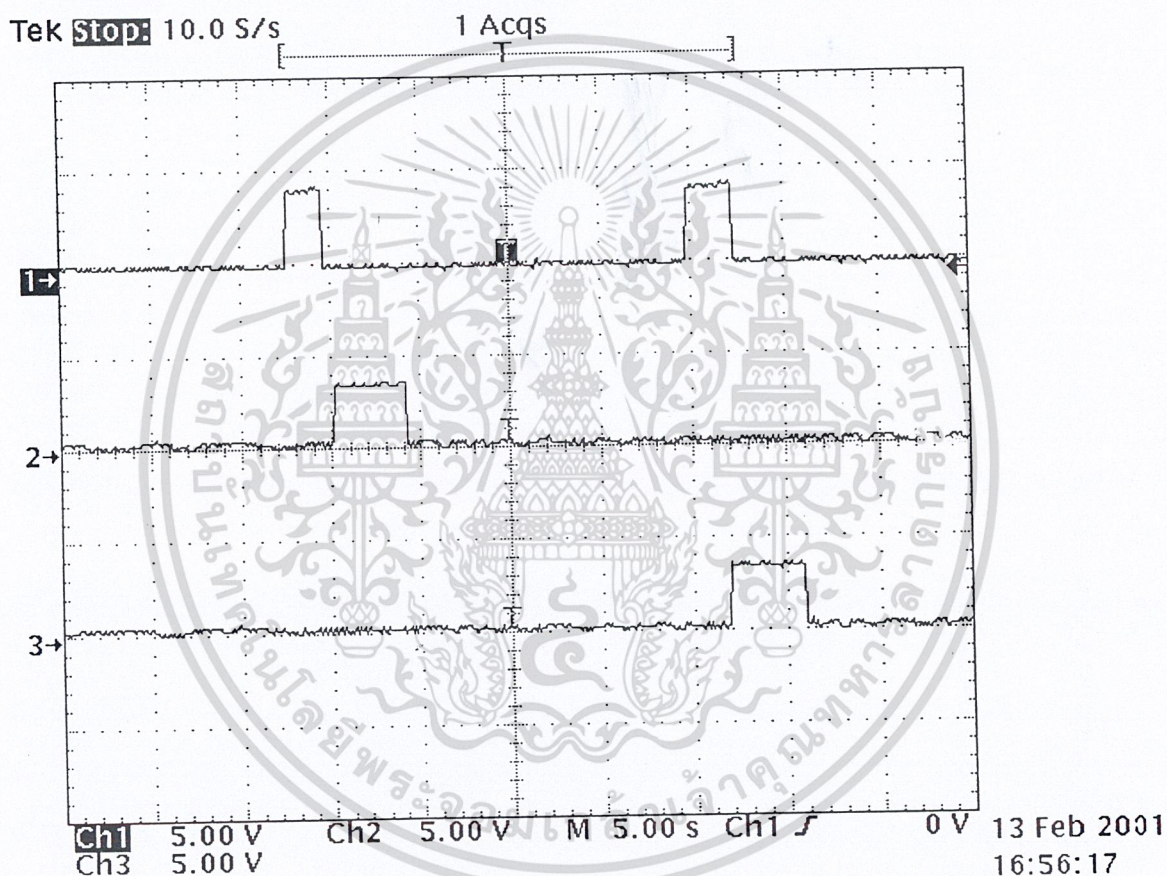
จากการทดสอบระยะการส่งงานระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุ เราลองทดสอบที่ระยะที่ใกล้ก่อนถ้าหากว่ายังสามารถทำงานได้ก็ลองเพิ่มระยะไปเรื่อยๆทีละไม่มาก ทดสอบไปจนทราบระยะที่เครื่องรับและเครื่องส่งไม่สามารถทำงานได้ จากการทดลองนี้ระยะที่ยังทำงานได้อยู่ประมาณ 0 - 100 เมตร ถ้ามากกว่านี้ทำให้ไม่สามารถทำงานได้คือ 100 เมตรขึ้นไป ซึ่งเป็นประสิทธิภาพของเครื่องรับส่งวิทยุนี้ ถ้าหากต้องการระยะเครื่องรับ-ส่งได้ไกลกว่านี้ก็ได้โดยเปลี่ยนเครื่องรับส่งวิทยุที่มีระยะการส่งได้ไกลกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวัดรูปสัญญาณ Wave Form ต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สภาวะการทำงานต่างกัน

การวัดขนาดสัญญาณต่างๆนี้วัดจากเครื่อง Digitizing Oscilloscope

4.3.1 การวัดสัญญาณขณะที่มีการจุดพลุ

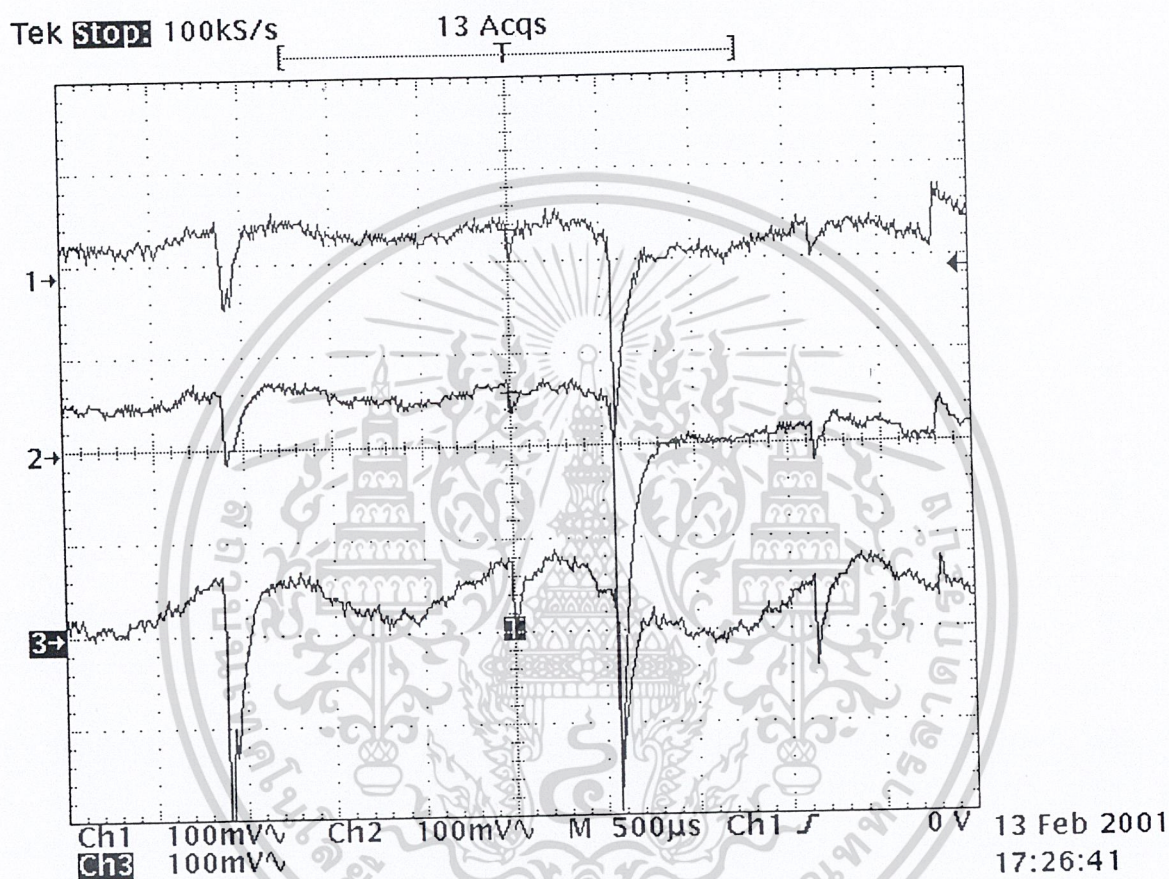


รูปที่ 4.1 รูปสัญญาณขณะที่มีการจุดพลุ

สัญญาณที่ 1 จะเป็นสัญญาณ Clock Input ที่ส่งเข้ามาทางพอร์ต P1.3 สัญญาณที่ 2 เป็นสัญญาณการจุดพลุครั้งแรก สัญญาณที่ 3 เป็นสัญญาณการจุดพลุครั้งที่ 2 จากรูปสัญญาณ wave form จะเห็นว่าเมื่อสัญญาณ clock input เข้ามาทริกที่อินพุตจะสามารถวัดสัญญาณ ได้ว่า CPU จะทำการสั่งการจุดพลุที่ขอบาลงของของสัญญาณ clock ลูกแรกที่เข้ามา และจะรอนกว่าจะมีสัญญาณ clock ลูกต่อมาเข้ามาจึงจะทำการสั่งการจุดพลุได้ โดยจะมีการทำงานที่ขอบาลงเช่นกัน ซึ่งการสั่งงานเป็นไปตามโปรแกรมที่กำหนดให้จุดพลุตามการสั่งงานจากภายนอก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การวัดสัญญาณขณะที่มอเตอร์หมุนกระจกสร้างภาพจากแสงเลเซอร์ทำงาน

จากรูปที่ 4.2 สัญญาณที่ 1 เป็นสัญญาณของมอเตอร์หมุนสะท้อนแสงจากเลเซอร์ตัวที่ 1 สัญญาณที่ 2 และ 3 จะเป็นของมอเตอร์หมุนสะท้อนแสงจากเลเซอร์ตัวที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

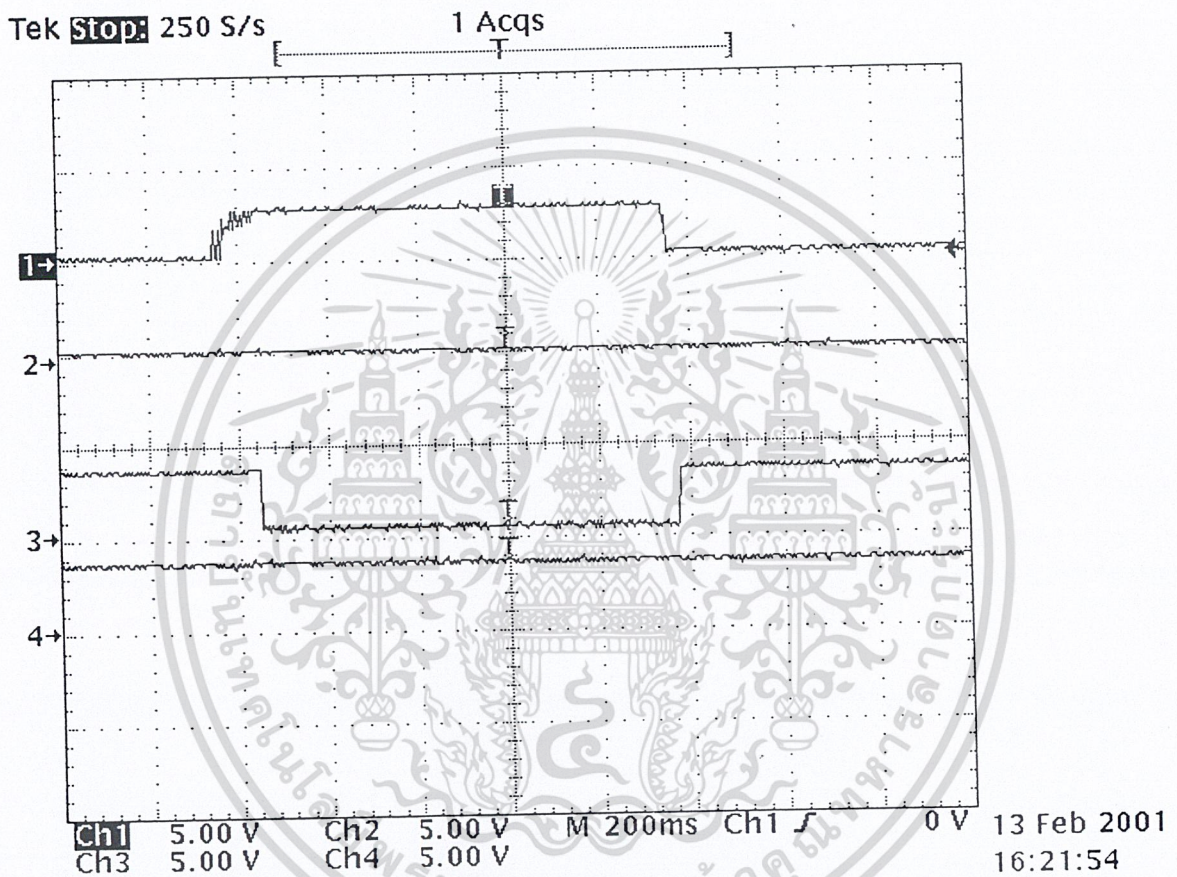


รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณจากมอเตอร์ที่หมุนสะท้อนแสงจากเลเซอร์ทั้ง 3 ตัว

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าสัญญาณทั้งสามที่ได้มานั้น จะมีขนาดสัญญาณที่แตกต่างกันเนื่องจากค่า Timer Clock ที่ป้อนให้ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ มีความแตกต่างกัน รูปสัญญาณอาจจะดูไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากการที่มอเตอร์ทำงานเร็วทำให้การวัดขนาดสัญญาณอาจจะทำไม่ทัน ทำให้รูปที่ออกมาอาจเห็นความแตกต่างไม่ชัดเจน

4.3.3 การวัดสัญญาณขณะที่เซ็นเซอร์ตัวกลางทำงาน

จากรูปที่ 4.3 สัญญาณแรกเป็นสัญญาณ Clock Input จากตัวรับอินฟาเรดตัวกลาง สัญญาณที่ 3 เป็นสัญญาณเอาต์พุตที่ขับเคลื่อนมอเตอร์ขับเคลื่อนกระถางข้างขวา สัญญาณที่ 4 เป็นสัญญาณที่ขับเคลื่อนมอเตอร์ขับเคลื่อนด้านซ้าย



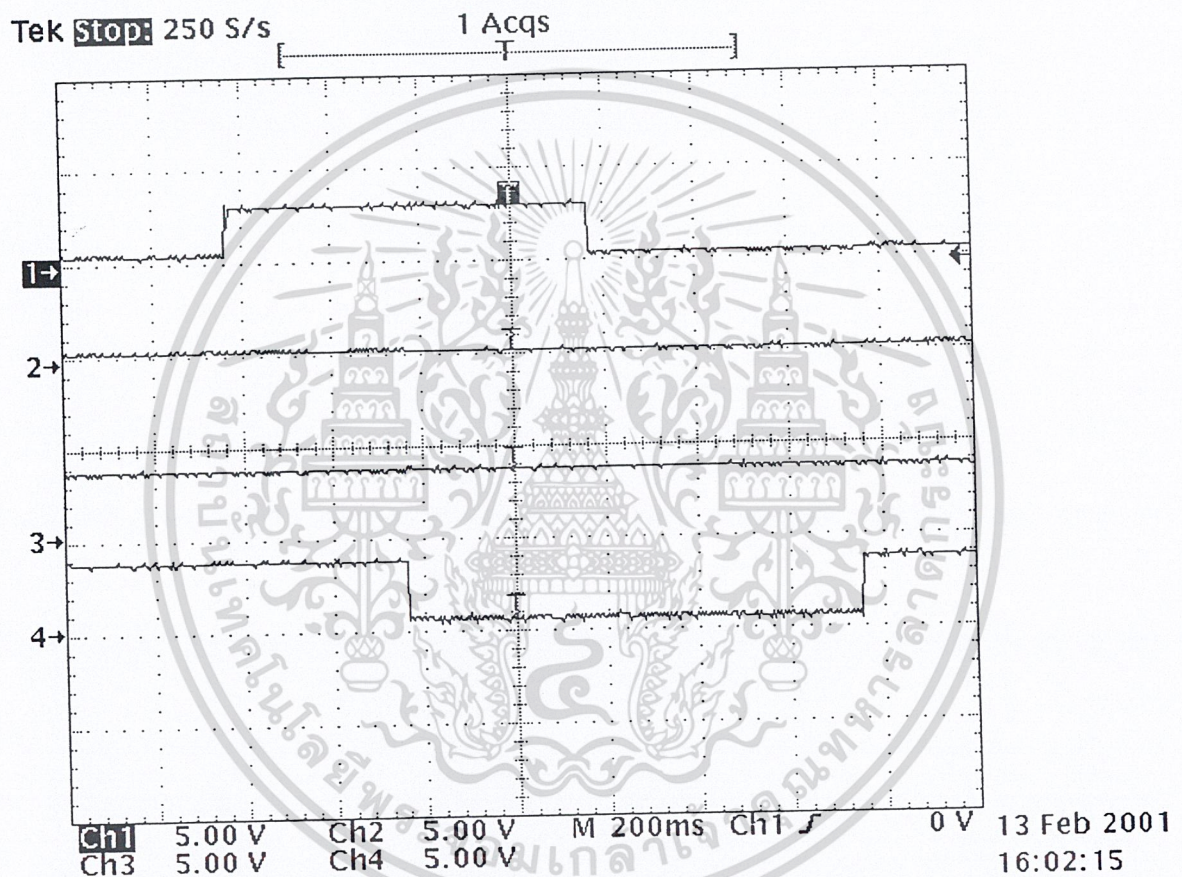
รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณขณะที่เซ็นเซอร์ตัวกลางทำงาน

จะเห็นว่าเมื่อสัญญาณอินพุตเข้ามาจากเซ็นเซอร์ตัวกลาง จะทำให้มอเตอร์ขับเคลื่อนกระถางข้างขวาจะทำงานซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของโปรแกรมที่กำหนดให้หลบหลีกสิ่งกีดขวางโดยมอเตอร์ด้านขวาทำงานเพียงตัวเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การวัดสัญญาณขณะที่เซ็นเซอร์ด้านซ้ายทำงาน

จากรูปที่ 4.4 สัญญาณที่ 1 เป็นสัญญาณ Clock Input จากตัวรับอินพุตอินฟาเรดด้านซ้าย สัญญาณที่ 2 เป็นสัญญาณ Clock Input จากอินพุตอินฟาเรดด้านขวา สัญญาณที่ 3 และ 4 เป็นสัญญาณ Output ที่ขั้วมอเตอร์ขับเคลื่อนกระถางด้านซ้ายและขวาตามลำดับ



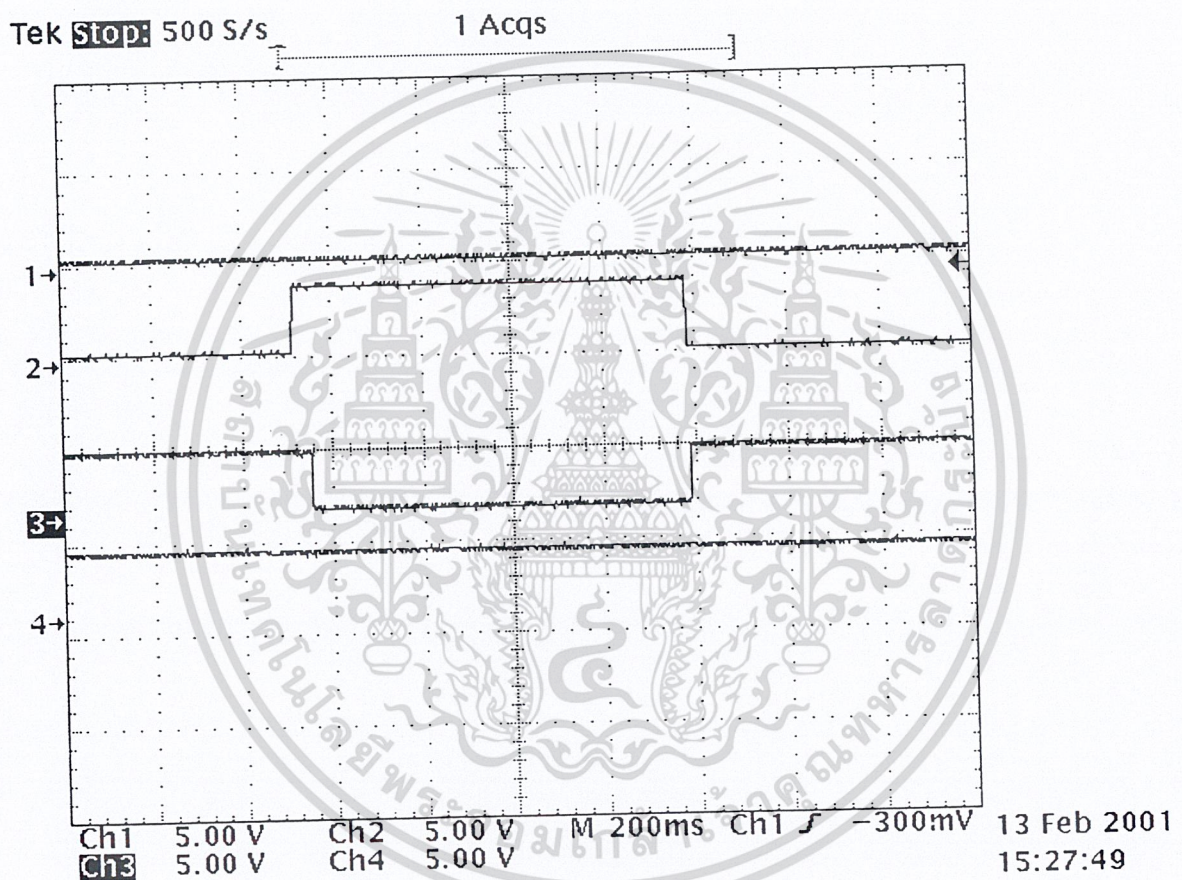
รูปที่ 4.4 รูปสัญญาณขณะที่เซ็นเซอร์ด้านซ้ายทำงาน

จะเห็นได้ว่าเมื่อมีสัญญาณอินพุตจากเซ็นเซอร์อินฟาเรดด้านซ้ายเข้ามา จะทำให้มอเตอร์ด้านซ้ายทำงานเพียงตัวเดียว คือให้เลี้ยวขวาออกเมื่อเจอสิ่งกีดขวางด้านขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 การวัดสัญญาณขณะที่เซ็นเซอร์ด้านขวาทำงาน

สัญญาณที่วัดได้ในรูปที่ 4.5 จะเห็นว่า ขณะที่อินพุตจากเซ็นเซอร์ด้านขวานั้น จะทำให้มอเตอร์ขับเคลื่อนด้านขวาทำงาน แต่มอเตอร์ด้านซ้ายหยุดทำงานคือให้เลี้ยวซ้ายออกมาเมื่อเจอสิ่งกีดขวางด้านขวา



รูปที่ 4.5 รูปสัญญาณขณะที่เซ็นเซอร์ด้านขวาทำงาน

สรุปจากการวัดสัญญาณขณะที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานในสภาวะต่าง ทำให้เราทราบการทำงานขณะนั้นว่าเป็นไปตามที่เราสั่งงานหรือไม่ ซึ่งสัญญาณที่วัดได้ทั้งหมดนั้นก็ขึ้นอยู่กับคำสั่งของโปรแกรมนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป ปัญหาแนวทางแก้ไขและพัฒนา

5.1 บทสรุป

ความสามารถของโครงการนี้ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้ดีพอสมควร แต่ก็ยังมีปัญหาข้อบกพร่องเกิดขึ้นอยู่หลายจุด ความสามารถในการทำงานของส่วนต่างๆที่ทำได้มีดังนี้

1. จอแสดงผลแอลอีดี สามารถแสดงตัวอักษรวิ่งขึ้นมาเป็นข้อความตามที่เราโปรแกรมลงไป สดเป็ปิ้งมอเตอร์สามารถหมุนจอแสดงผลได้ เมื่อจอแสดงผลแสดงข้อความครบ 1 ชุด
2. สามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อนกระถาง ตรวจสอบสิ่งกีดขวางได้ แสดงส่วนของแสงจากเลเซอร์ให้เป็นรูปเลขาคณิตออกเป็นรูปร่างต่างๆ ตามสัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้กับมอเตอร์
3. การควบคุมคอนโทรลการทำงานของกระถางด้วยมือ ก็สามารถทำได้ในกรณีฉุกเฉินหรือในกรณีที่ต้องการจะกู้กลับมาก็สามารถนำกลับมาได้ โดยไม่ทำให้กระถางนั้นจมน้ำเสียหายไป
4. ควบคุมจุดพลุได้โดยไม่เกิดอันตรายแก่ผู้อื่น โดยใช้สัญญาณควบคุมจากเครื่องรับเครื่องส่งวิทยุ การทำงานของส่วนต่างๆทำงานได้อย่างสัมพันธ์กันตามโปรแกรมที่กำหนดไว้
5. บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้คือต้องการนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้กับการอนุรักษ์วัฒนธรรมไทย มีชิ้นงานไปร่วมแสดงในงานวันลอยกระทง

5.2 ขีดจำกัดของโครงการ

1. เนื่องจากโครงการเป็นโครงการที่เกิดใหม่ ดังนั้นสิ่งต่างๆที่เกิดขึ้นกับโครงการจึงเป็นการปรากฏขึ้นครั้งแรก ซึ่งเราอาจไม่รู้ล่วงหน้า การใช้งานนำไปใช้งานในน้ำซึ่งบางครั้งอาจเกิดข้อผิดพลาดจากสาเหตุธรรมชาติขึ้นได้จากการที่น้ำเข้าไปในกระถางได้
2. ส่วนประกอบต่างๆของโครงการล้วนแล้วแต่เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักมากพอสมควร ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่แปรผันโดยตรงกับขนาดรูปร่างของตัวกระถางนั่นเอง เมื่อมีน้ำหนักมากตัวกระถางก็มีความจำเป็นที่จะต้องมีความแข็งแรงตามมาด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เนื่องจากฮาร์ดแวร์ หรือวงจรส่วนต่างๆล้วนต้องการไฟเลี้ยงวงจรด้วยกันทั้งนั้น ดังนั้นจึงต้องการแหล่งจ่ายไฟที่มีประสิทธิภาพพอสมควร ที่จะทำให้ตัวโครงการสามารถทำงานอยู่ได้โดยไม่ขัดข้อง ซึ่งถือเป็นอุปสรรคสำคัญของโครงการเลยทีเดียว
4. การทำงานต่างถูกออกแบบมาใช้แสดงการทำงานในตอนกลางคืน ดังนั้นเมื่อมีการทำงานในเวลากลางวันจึงไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร มีการติดขัดบ้างบางประการ

5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการจัดทำโครงการ

ปัญหาที่เกิดขึ้นต่างล้วนมีสาเหตุส่วนมากจากขีดจำกัดความสามารถของโครงการ ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการที่จะต้องออกแบบตัวกระถางให้ลอยน้ำอยู่ได้ ให้สามารถรับน้ำหนักที่มากของอุปกรณ์ต่างๆได้ พืชที่อยู่ในน้ำได้โดยไม่จม รวมทั้งจะต้องออกแบบรูปร่างให้มีความกระชับรัดกุมเหมาะสมด้วย ไม่มีขนาดใหญ่เทอะทะจนเกินไปนัก

ความสามารถของแหล่งจ่ายไฟ จากการทดลองการทำงานปัญหานี้เป็นปัญหาสำคัญเลยทีเดียว เพราะส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์ที่นำมาใช้นั้นมีหลายส่วน ทำให้ต้องการแหล่งจ่ายไฟที่มีประสิทธิภาพดีใช้งานได้ในช่วงเวลาที่นานพอสมควร มิฉะนั้นก็จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการทำงานขึ้นได้ แหล่งจ่ายไฟที่ใช้นั้นเป็นแบตเตอรี่ซึ่งมีน้ำหนักมากเลยทีเดียว ซึ่งมีผลไปถึงขนาดรูปร่างของกระถางด้วยเช่นกัน การที่แบตเตอรี่ไม่สามารถจ่ายไฟให้กับส่วนต่างๆของวงจรได้เพียงพอการทำงานก็จะทำได้ไม่ดีพอ ถ้าหากไปลดส่วนของวงจรลงเพื่อให้จ่ายไฟได้เพียงพอ ก็จะเป็นการไปลดลักษณะเด่นและลูกเล่นต่างๆของตัวโครงการลง ดังนั้นทุกสิ่งทุกอย่างจะต้องมีการออกแบบให้มีความสัมพันธ์กันด้วย

5.4 แนวทางแก้ไขปัญหาและพัฒนา

5.4.1 แนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ

1. พยายามออกแบบส่วนควบคุมต่างๆให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี
2. การออกแบบส่วนต่างๆจะต้องคำนึงถึงแหล่งจ่ายไฟด้วย จะต้องสิ้นเปลืองให้น้อยที่สุด แต่ต้องมีประสิทธิภาพความสามารถสูงสุด
3. มีการใช้วัสดุที่เป็นมาตรฐานมากกว่านี้ อย่างเช่นตัวโครงกระถางที่เป็นสังกะสีอาจเปลี่ยนมาเป็นวัสดุประเภทไฟเบอร์กลาสก็ได้ ซึ่งจะช่วยให้ตัวโครงการมีน้ำหนักเบาขึ้นและลอยน้ำได้ดี
4. อุปกรณ์บางอย่างอาจมีการเสียหายมาจากแหล่งผลิตแล้ว ดังนั้นจะต้องมีการตรวจเช็ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ทุกครั้งก่อนที่จะมีการใช้งาน เพื่อที่จะได้ไม่ต้องมาตรวจสอบหาอีกภายหลัง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 แนวทางการพัฒนา

อาจมีการจัดการประกวดแข่งขันการประดิษฐ์กระทงไฮเทคกัน ซึ่งจะช่วยให้เกิดแนวคิดที่หลากหลายมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งแต่ละคนอาจมีแนวคิดสร้างสรรค์ที่ต่างกันไป หากเปลี่ยนเป็นการแข่งขันกันจัดทำกระทงไฮเทคขึ้น อาจจะมีผู้หันมาเห็นความสำคัญและจะทำให้เกิดแนวคิดใหม่ในการทำที่มีลูกเล่นที่แปลกใหม่กว่าเดิมออกไปมากขึ้น อาจจะมีโครงงานแบบนี้เกิดขึ้นมาที่มีความสามารถมากกว่าก็เป็นได้ รวมทั้งอาจทำให้มีความคิดที่จะนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประยุกต์ใช้ในงานอนุรักษ์ประเพณีไทยด้านอื่นๆด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. นภัทร วัฒนเทพินทร์. “วงจรถิจริตอล 2 (ลอจิกเชิงลำดับ)” ,สกายบุคส์ พิมพ์ครั้งที่ 1, พฤศจิกายน 2541 ,หน้าที่ 178
2. ชีร์วัฒน์ ประกอบผล. “การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์”, สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. กรุงเทพฯ, 2542 .
3. มงคล ทองสงคราม. “อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น”, พิมพ์ที่ ห้างหุ้นส่วนจำกัดวี.เจ.พรินติ้ง, พิมพ์ครั้งที่ 2 ,2538.
4. โยชิน เปรมปราณีสิทธิ์. “ระบบเซอร์โว และอิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์”, พิมพ์ที่ Japan International Cooperation Agency (JICA), พิมพ์ครั้งที่ 1 2533
5. แผนกหนังสือพิเศษด้านอิเล็กทรอนิกส์. “ออกแบบเครื่องจ่ายไฟ”, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), พิมพ์ที่ บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), พิมพ์ครั้งที่ 1 2538
6. แผนกหนังสือพิเศษด้านอิเล็กทรอนิกส์. “รีโมตคอนโทรล”, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน), พิมพ์ครั้งที่ 1.
7. Kuo,B.C.”Automatic Control System” 3rd Edition, Prentice-Hall India, 1976
8. M.Okata. “Modern Control System Engineering”, 3rd edition, Prentice-Hall India, PP 670679, 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

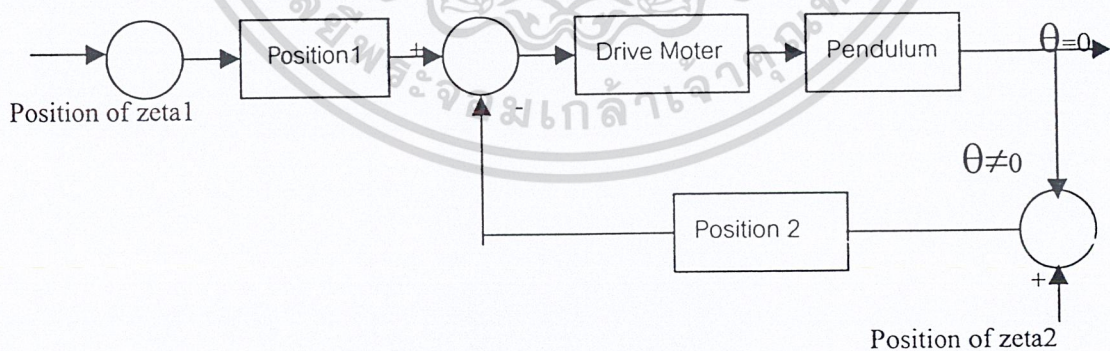
ทฤษฎีควบคุมการทรงตัว

1.1 ความเป็นมาและลักษณะการสร้าง

โครงการทฤษฎีควบคุมการทรงตัว (Inverted Pendulum) นี้เป็นงานที่สร้างขึ้นต่อเนื่องจากชิ้นงานกระตงไฮเทค เพื่อเป็นแนวทางของหลักการควบคุมการทรงตัวของกระตง โดยโครงการนี้มีมอเตอร์ 1 ตัวเป็นตัวควบคุมการทรงตัว ส่วนประกอบจะมีแกนที่ต่อออกมาจากมอเตอร์ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่าแขนหมุน (Rotate Arm) และก้านลูกตุ้ม (Pendulum) ซึ่งเป็นตัวที่เราจะควบคุมเสถียรภาพของการทรงตัว ให้สามารถทรงตัวอยู่ได้โดยไม่ล้ม ซึ่งใช้ลักษณะการควบคุมโดยการบังคับมอเตอร์หมุนแขนหมุนให้เลี้ยงก้านลูกตุ้มอีกที จะมีตัวตรวจเช็คค่าขององศาที่ก้านลูกตุ้มด้วย รายละเอียดส่วนประกอบของโครงการเป็นดังรูป

1.2 ขอบเขตของงานและการควบคุม

โครงสร้างของชิ้นงานที่จะควบคุมนั้นเป็นระบบที่ไม่เสถียรภาพ ดังนั้นจึงต้องทำการควบคุมระบบให้ทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพมากที่สุด โดยศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่จะทำการควบคุม เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของก้านลูกตุ้มทรงตัวได้อย่างมีเสถียรภาพ ลักษณะการทำงานของชิ้นงานเป็นดังบล็อกไดอะแกรม



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

จากบล็อกไดอะแกรมการทำงานสถานะแรกของการทำงานจะนำค่าตำแหน่งครั้งแรกของการลูกตุ้มเข้ามาทำการเช็คค่าอยู่ที่ตำแหน่งใด จากนั้นทำการหมุนมอเตอร์ควบคุมให้ตำแหน่งมุมของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก้านลูกตุ้มให้เท่ากับ 0 ($\theta=0$) ถ้าตำแหน่งของก้านลูกตุ้มไม่เท่ากับ 0 ($\theta \neq 0$) ก็ส่งค่าไปให้มอเตอร์ทำการหมุนจนกว่าก้านลูกตุ้มจะตั้งตรงอยู่ได้

2. ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

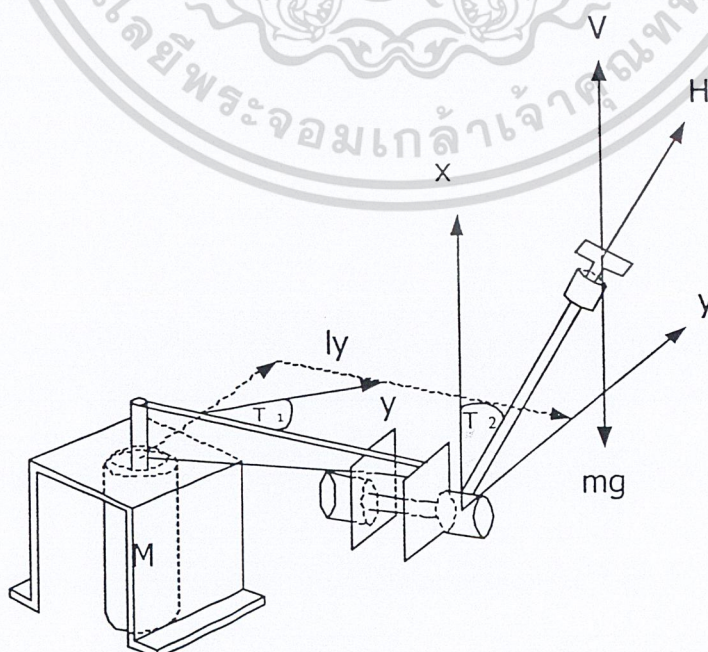
2.1 กล่าวนำ

ระบบควบคุมการทรงตัวนี้ได้นำเสนอการสร้างระบบควบคุมระบบอินเวอร์ทเพนดูลัม นั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาหลักการ ทฤษฎีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- Mathematical Modeling of Physical System
- หลักการควบคุมเสถียรภาพของระบบแบบ พีไอดี

2.2 Mathematical Modeling of Physical System

ในการจะทำการควบคุมระบบใดที่ได้สร้างแบบจำลองขึ้นมา นั้น จำเป็นที่จะต้องเรียนรู้สมการรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบนั้น ๆ ด้วย ซึ่งในการหาสมการรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบต่าง ๆ นั้นมีหลายระบบ เช่น ระบบทางไฟฟ้า ระบบที่เกี่ยวกับระดับของของเหลว ระบบความร้อน และอื่น ๆ แต่ระบบที่จะนำเสนอต่อไปนี้เป็น การหาสมการรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบเชิงกล (Mechanical System) ของ การควบคุมระบบอินเวอร์ทเพนดูลัม ที่ได้สร้างไว้ เพื่อจะได้สมการรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ของการควบคุมเพนดูลัม เอาไว้ใช้ทำการควบคุมต่อไปเมื่อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 2.1 การแตกแขนงเพื่อหาสมการรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบอินเวอร์ทเพนดูลัม ซึ่งใช้ประโยชน์ในการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่ I_1 : ความยาวของแขนจับนับจากจุดหมุน (m)
 I_2 : ความยาวของก้านลูกตุ้ม (m)
 m : มวลของลูกตุ้ม (kg)
 θ_1 : มุมที่เปลี่ยนไปของแขนจับ (rad)
 θ_2 : มุมที่เปลี่ยนไปของก้านลูกตุ้ม (rad)
 V : แรงในแนวตั้งที่ทำกับก้านลูกตุ้ม (N)
 H : แรงในแนวนอนที่ทำกับก้านลูกตุ้ม (N)

จากรูป 2.1 สามารถหาฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้
 จากกฎข้อที่สองของนิวตัน จะได้

$$\text{พิจารณาในแกน Y: } V - mg = m \frac{d^2}{dt^2} (I_2 \cos \theta_2) \quad (2.1)$$

$$\text{พิจารณาในแกน X: } H = m \frac{d^2}{dt^2} (I_2 \sin \theta_2 + \theta_1 I_1) \quad (2.2)$$

เมื่อ $\theta_1 I_1$ คือระยะทางที่แขนเคลื่อนที่ไปเป็นวงกลมด้วยมุม θ_1
 จากหนังสือ "Modern Control Engineering" หน้า 103 เราจะได้ความสัมพันธ์ คือ

$$J_2 \theta_2 + b_2 \dot{\theta}_2 = H I_2 \cos \theta_2 - V I_2 \sin \theta_2 \quad (2.3)$$

- โดยที่ J_2 เป็นค่า Moment of Inertia ของก้านลูกตุ้ม
 b_2 เป็นค่าความฝืด (Viscous Friction)

นำสมการที่ (2.1),(2.2) แทนลงใน (2.3)

$$J_2 \theta_2 + b_2 \dot{\theta}_2 = m \frac{d^2}{dt^2} (I_2 \sin \theta_2 + I_1 \theta_1) I_2 \cos \theta_2 - mg + m \frac{d^2}{dt^2} (I_2 \cos \theta_2) I_2 \sin \theta_2 \quad (2.4)$$

และ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

จะได้

$$(J_2 m I_2^2)\theta_2 + b_2\theta_2 + mg I_2 \sin\theta_2 = \theta_1 m I_1 I_2 \cos\theta_2 \quad (2.7)$$

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

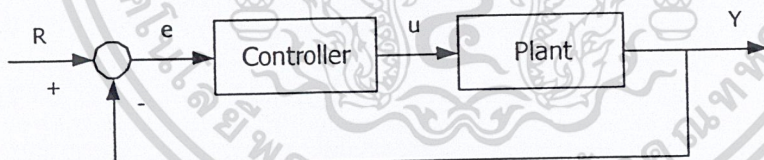
$$(J_2 - m I_2^2)\theta_2 + b_2\theta_2 = \theta_1 m I_1 I_2 \quad (2.8)$$

Laplace Transform จะได้ฟังก์ชันการถ่ายโอนของความสัมพันธ์ระหว่าง และ เป็น

$$\frac{\theta_2(s)}{\theta_1(s)} = \frac{m I_1 I_2}{(J_2 - m I_2^2)s^2 + b_2 s} \quad (2.9)$$

2.3 วิธีการควบคุมเสถียรภาพแบบ พีไอดี

ในที่นี้จะแสดงให้เห็นถึงสมการคุณลักษณะ โดยจะเกี่ยวกับระบบควบคุมแบบพี, ไอ และยังคงกล่าวไปถึงความต้องการในผลตอบแทน ซึ่งในที่นี้สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.2 ระบบควบคุมป้อนกลับแบบ Unity

ระบบควบคุมแบบ พีไอดี

ตัวควบคุมแบบพีไอดีประกอบด้วยตัวควบคุมแบบพี ตัวควบคุมแบบไอ และตัวควบคุมแบบดี และมีฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$K_p + \frac{K_I}{S} + K_D S = \frac{K_D S^2 + K_p S + K_I}{S} \quad (2.10)$$

โดยที่ K_p, K_I และ K_D เป็นค่าจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K_I	=	Integral gain
K_D	=	Derivative gain

เริ่มแรกให้พิจารณาระบบควบคุมแบบ พีโอดีในระบบแบบลูปปิด (Close-Loop) ซึ่งสมการที่ได้แสดงไว้สมการ (2.10) ค่าตัวแปร (e) จะแสดงถึงค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบ โดยฟังก์ชันถ่ายโอนจะได้จากความแตกต่างระหว่างค่า (R) Input และ ค่าOutput (Y) สัญญาณความผิดพลาดจะเข้าไปในระบบควบคุมแบบพีโอดี และในระบบควบคุมจะทำการคำนวณค่าดี และค่าโอ ที่เกิดจากสัญญาณความผิดพลาด ส่วนสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม (U) ในระบบควบคุมจะ สมดุลกัน โดยที่ค่า K_p (Proportional Gain) ขนาดของเวลาในการเกิดความผิดพลาดมาก K_I (Integral Gain) เวลาในการเกิดโอ จะเกิดความผิดพลาดมาก K_D (Derivative Gain) เวลาในการเกิดดีจะเกิดความผิดพลาด สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเป็น

$$u = K_p e + K_I \int e dt + K_D \frac{de}{dt} \quad (2.11)$$

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

สมการคุณลักษณะในระบบควบคุม พีโอดี

ระบบควบคุมในส่วนของค่า K_p จะทำให้ประสิทธิภาพของช่วงเวลา Rise Time ลดลงและจะค่อย ๆ ลดลงแต่การขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่ภาวะคงที่ (Steady-State Error) จะไม่ค่อยแน่นอน

ส่วนค่า K_I จะทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ แต่อาจจะทำให้ผลตอบสนองทรานเซียนลดลง (เลวลง) ค่า K_D จะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นและมี เสถียรภาพในระบบปรับลดค่า Over Shoot และปรับปรุงแก้ไขผลตอบสนองทรานเซียนดีขึ้น

ประสิทธิภาพแต่ละอย่างในระบบควบคุมแบบ K_p , K_I และ K_D ในระบบลูปปิด จะสรุปไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

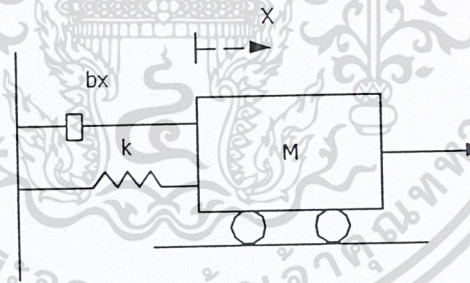
CL RESPONSE	RISE TIME	OVERSHOOT	SETTING TIME	S-S ERROR
Kp	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลดลง
Ki	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	กำจัด
Kd	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลดลง	ลดลง	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

ในตารางที่ 2.1 บันทึกไว้กล่าวถึงความสัมพันธ์ที่อาจไม่แน่นอนถูกต้อง เพราะว่าค่า K_p , K_D และ K_I จะพึ่งพาส่งต่าง ๆ ในสภาพความเป็นจริงคือ

- 1) ประสิทธิภาพความผันแปรได้
- 2) อื่น ๆ ดังเหตุผลที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ควรใช้ในการอ้างอิงเพื่อที่จะใช้ในการตัดสินใจค่า K_p , K_D และ K_I

ตัวอย่างปัญหา

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



รูปที่ 2.3 ระบบตัวอย่างทางกล

แสดงสมการในระบบ

$$Mx + bx + kx = F \quad (2.12)$$

ทำการใส่สมการ ลากลาตาสในสมการ (2.12)

ฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่าง การเคลื่อนที่ $X(s)$ และทางค่านอินพุท $F(s)$ ให้สอดคล้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Ms^2X(s) + bsX(s) + kX(s) = F(s) \quad (2.13)$$

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Ms^2 + bs + k} \quad (2.14)$$

โดยกำหนดให้ $M = 1 \text{ kg}$

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

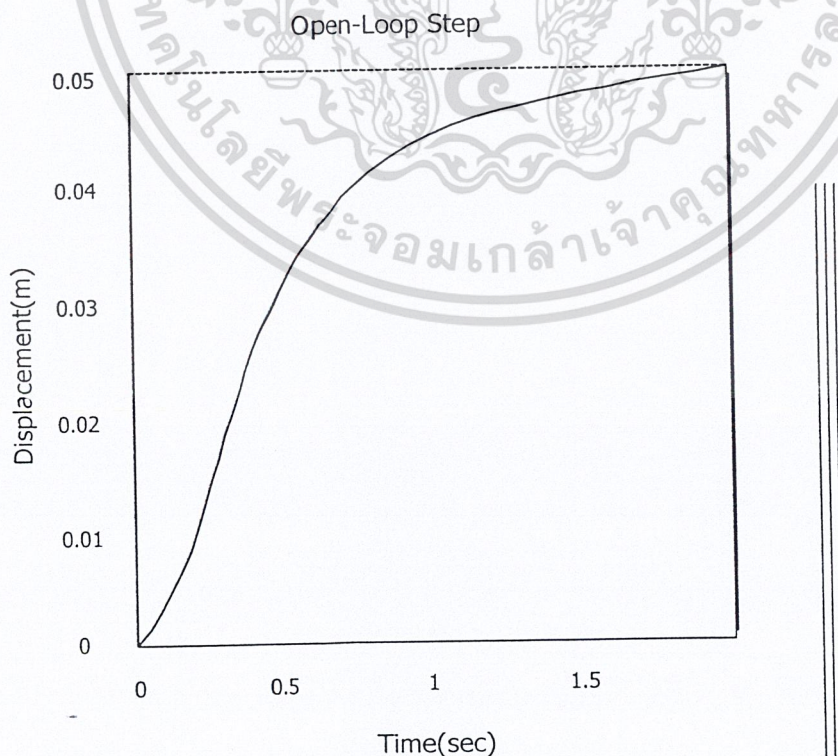
$$K = 20 \text{ N/m}$$

$$F(s) = 1$$

ใส่ค่าเบื้องต้นจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{s^2 + 10s + 20} \quad (2.15)$$

จากโจทย์ให้หาค่า K_p , K_D , K_I
ขั้นตอนของผลตอบสนองในแบบลูปเปิด



รูปที่ 2.4 Open-Loop Step

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

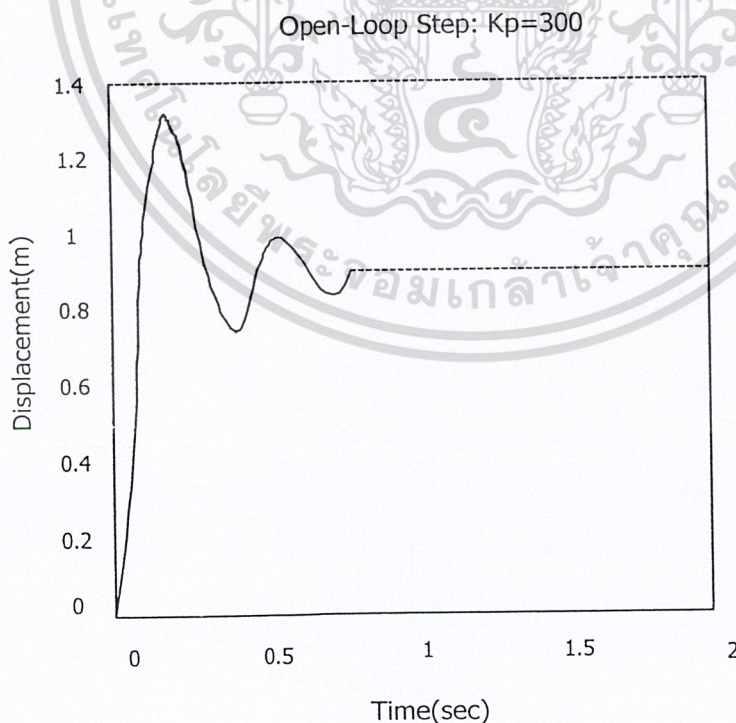
ค่า Dc Gain จะควบคุมฟังก์ชันถ่ายโอน คือ $1/20$ ดังนั้นที่ค่า 0.05 ให้หาค่าทางด้านเอาต์พุต โดยที่มีอินพุตเป็นแบบ Unit Step โดยให้สอดคล้องกับค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่คือ 0.95

นอกจากนี้ค่า Rise Time ประมาณ 1 Second และค่า Setting Time ประมาณ 1.5 Seconds ให้ ออกแบบระบบควบคุมที่ทำการลดค่า Rise Time ลดค่า Setting Time และขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่ สภาวะคงที่

ระบบควบคุมแบบ พี

จากตารางที่ 2.1 ที่แสดงไว้สามารถทำให้เห็นระบบควบคุมแบบ พี ว่า K_p นี้จะลดค่า Rise Time, เพิ่ม Over Shoot และลดความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ระบบควบคุมแบบ พี จะมีฟังก์ชันถ่าย โอนแบบลูปิดดังนี้

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_p}{s^2 + 10s + (20 + K_p)} \quad (2.16)$$



รูปที่ 2.5 แสดงระบบควบคุมแบบ พี

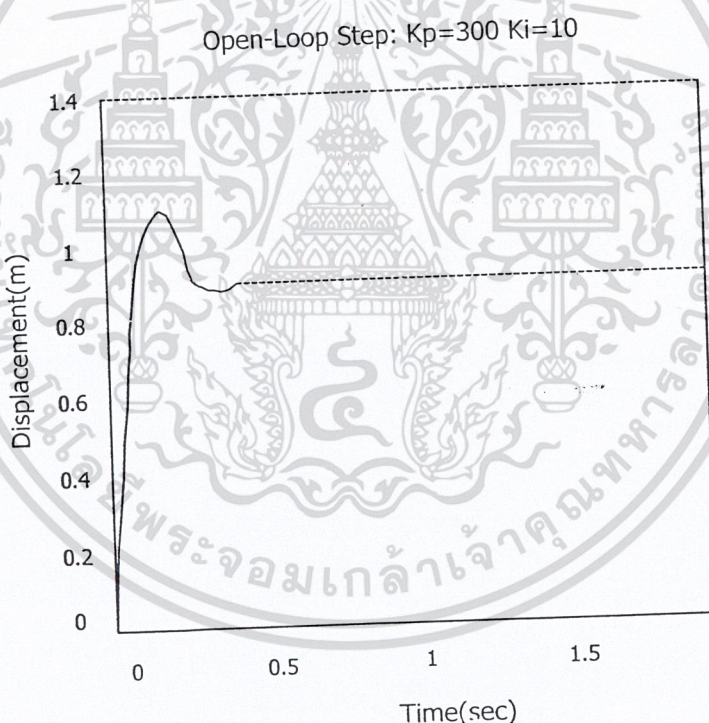
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.5 แสดงถึงระบบควบคุมแบบ พี ซึ่งได้ลดค่า Rise Time และค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงที่ และเพิ่ม Over Shoot และทำให้ค่า Setting Time มีค่าลดลง

ระบบควบคุมแบบพี-ดี

ตอนนี้จะสนใจระบบควบคุมแบบ พีดีจากตารางที่ 2.1 สามารถพิจารณาระบบควบคุมแบบพีค่า K_D จะลดค่า Over Shoot และค่า Setting Time ในระบบควบคุมแบบ พี-ดี จะมีฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลูปปิดได้ดังนี้

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_D s + K_P}{s^2 + (10 + K_D)s + (20 + K_P)} \quad (2.17)$$



รูปที่ 2.6 แสดงระบบควบคุมแบบ พี-ดี

จากรูปที่ 2.6 เป็นระบบควบคุมแบบ พี-ดี ซึ่งจะลดค่า Over Shoot และค่า Setting Time และจะทำให้ประสิทธิภาพในช่วง Rise Time เล็กกลงและค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงที่เล็กกลง

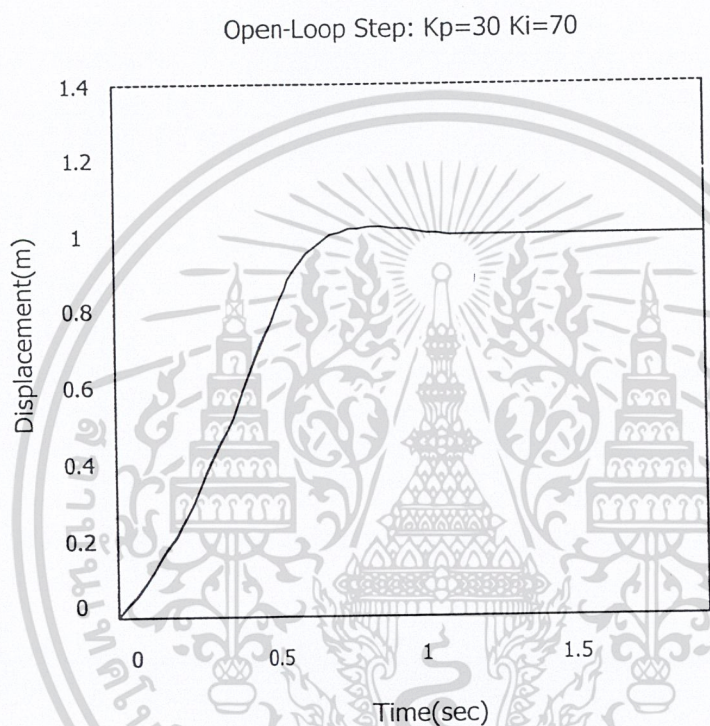
ระบบควบคุมแบบ พี-ไอ

ก่อนหน้านี้จะสนใจระบบควบคุมแบบ พีไอดี ในส่วนนี้จะสนใจระบบควบคุม พี-ไอจากตา

เอกสารที่ 2.1 สามารถพิจารณาระบบควบคุม ไอ ค่า K_i จะทำให้ลดค่า Rise Time จะเพิ่มค่า Over Stoot
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่า Setting Time และจะขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่จะแสดงระบบให้เห็นระบบควบคุม พี-ไอ จะมีฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลูปปิดไว้ดังนี้

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{K_p + K_I}{s^3 + 10s^2 + (20 + K_p)s + K_I} \quad (2.18)$$



รูปที่ 2.7 แสดงระบบควบคุมแบบ พี – ไอ

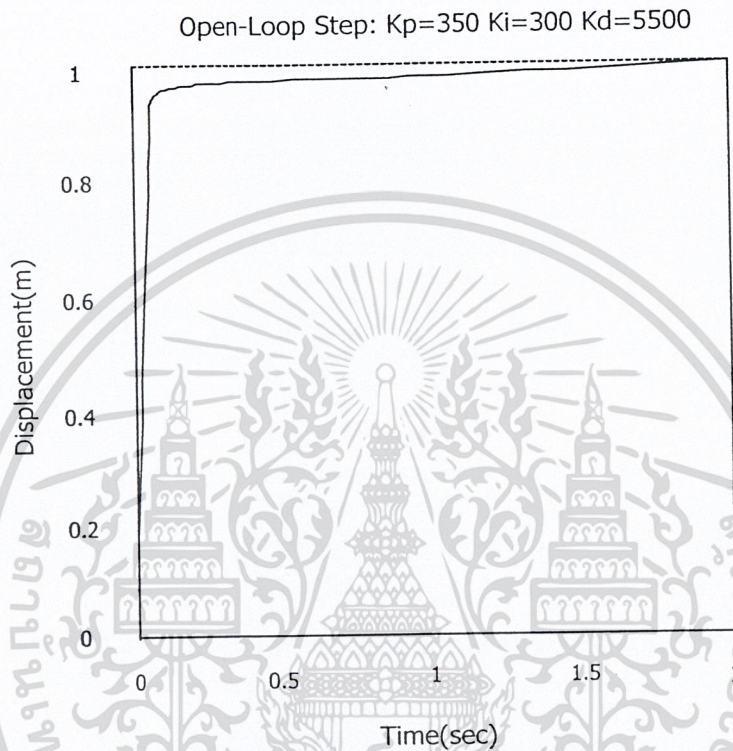
การที่ลดค่า k_p เพราะว่าในระบบควบคุมแบบ ไอ จะลดค่า Rise time และเพิ่ม Over Shoot ซึ่งจะเหมือนกับระบบควบคุมแบบ พี ผลตอบสนองที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.7 โดยระบบควบคุมแบบ ไอ จะขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่

ระบบควบคุมแบบ พีไอดี

ตอนนี้จะสนใจระบบควบคุมแบบ พีไอดี ซึ่งจะมีฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลูปปิดไว้ดังนี้

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{k_D s^2 + K_p s + K_I}{s^3 + (10 + K_D)s^2 + (20 + K_p)s + K_I} \quad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงระบบควบคุมแบบ พีไอดี

หลักทั่วไปในการออกแบบระบบควบคุม พีไอดี

ในการออกแบบระบบควบคุมพีไอดี จะพิจารณาตามขั้นตอนข้างล่างซึ่งได้รับผลตอบสนองตามที่ต้องการ

- 1) รับผลตอบสนองในลูปเปิดและตัดสินใจว่าต้องการปรับปรุงแก้ไขอะไร
- 2) เพิ่มระบบควบคุม พี เพื่อไปปรับปรุงแก้ไขค่า Rise Time
- 3) เพิ่มระบบควบคุม ดี เพื่อไปปรับปรุงแก้ไขค่า Over Shoot
- 4) เพิ่มระบบควบคุม ไอ เพื่อไปจำกัดค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่
- 5) ปรับค่าแต่ละค่า คือค่า K_p , K_i และ K_d จนกระทั่งรับผลตอบสนองทั้งหมดที่ท่านสามารถอ้างอิงในตารางที่ 2.1 เพื่อนำไปหากระบวนการควบคุม ,ระบบควบคุม, และหาสมการคุณลักษณะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การปรับค่าของตัวควบคุม พีไอดี

การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี เป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อให้ได้การควบคุมที่ดีที่สุด ซึ่งทำได้หลายวิธี บางวิธีจะพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบและอาศัยประสบการณ์ บางวิธีจะอาศัยคณิตศาสตร์ และส่วนใหญ่จะพิจารณาจากเงื่อนไข ในโดเมนเวลามากกว่าในโดเมนความถี่ พิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบพีไอดี ดังนี้

$$G_c(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] \quad (2.20)$$

โดยที่ K = Proportional Gain

T_i = Integral Time

T_d = Derivative Time

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

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.21)$$

นอกจากนี้ ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบ พีไอดี อาจจะเขียนในรูปของ

$$G_c s = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (2.22)$$

โดยที่ K_p = Proportional Gain

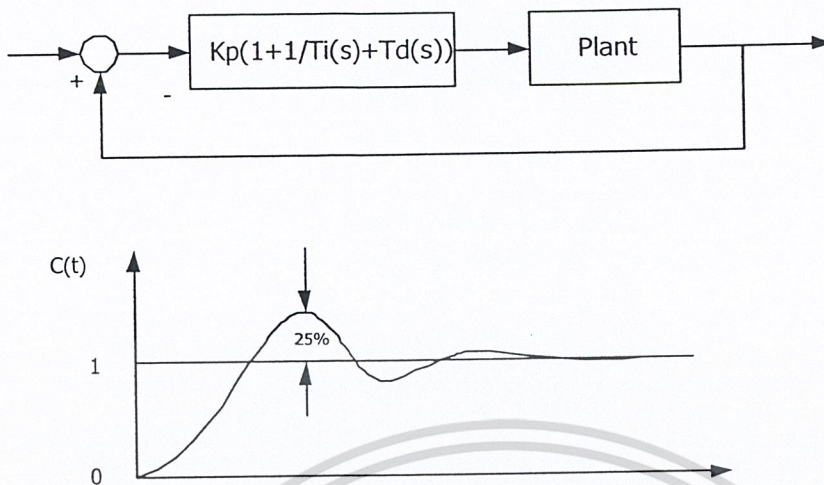
K_i = Integral Gain

K_d = Derivative Gain

2.4.1 การปรับค่าของตัวควบคุม พีไอดี โดยวิธีของ Ziegler-Nichols

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



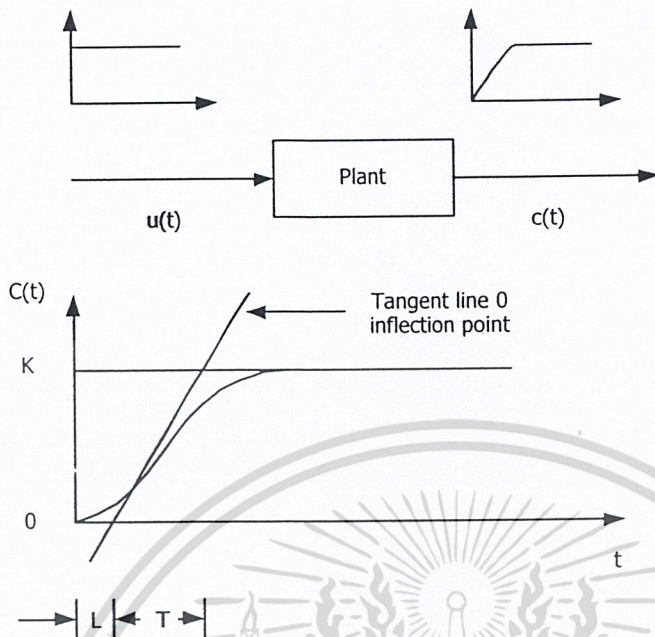
รูปที่ 2.9 ผลตอบสนองของภายหลังการควบคุมด้วย พีไอดี โดยวิธีของ Ziegler-Nichols

วิธีที่ 1 Process Reaction Curve

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม พีไอดี จากผลตอบสนองเวลาของระบบหรือกระบวนการที่ถูกควบคุมต่ออินพุทแบบ Step โดยที่ระบบหรือกระบวนการในกรณีนี้จะไม่มี Pole ที่จุด Origin หรือ ไม่มี Dominant Complex Conjugate Poles และไม่มีตัวควบคุมต่อรวมอยู่ ดังนั้น ผลตอบสนองเวลาจะเป็นรูปดังตัว S ดังในรูป (ถ้าผลตอบสนองเวลาไม่เป็นรูปตัว S วิธีจะไม่ได้) ซึ่งสามารถจะแยกพิจารณาเป็นค่าคงที่ 2 ตัวคือค่าของ Delay Time L และเวลาคงที่ T (Time-Constant) จากนั้นให้ลากเส้นสัมผัสกับจุดที่มีอัตราการเบี่ยงสูงสุด เส้นนี้จะตัดกับแกนเวลาและเส้นตรงของเอาท์พุท $c(t)$ ที่ $c(t) = K$

ดังนั้นฟังก์ถ่ายโอนจะประมาณได้ด้วยระบบอันดับหนึ่งที่มี Transport lag คือ

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1} \quad (2.23)$$



รูปที่ 2.10 การประมาณค่าแบบ Process Reaction Curve

Zieler-Nichols ได้กำหนดค่าของ K_p , T_i และ T_d สำหรับตัวควบคุมแบบต่าง ๆ ดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบ พี

$$K_p = T / L$$

2. ตัวควบคุมแบบ พี-ไอ

$$K_p = 0.9T / L$$

$$T_i = L / 0.3$$

3. ตัวควบคุมแบบ พีไอดี

$$K_p = 1.2T / L$$

$$T_i = 2L$$

$$T_d = 0.5L$$

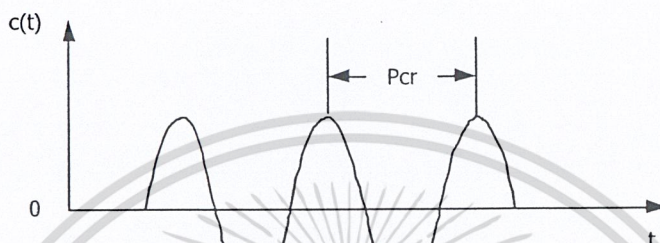
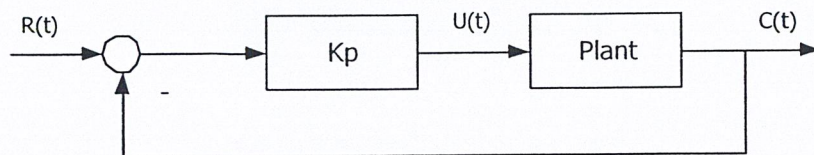
วิธีที่ 2 Ultimate Method

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี จากผลตอบสนองเวลาของระบบ หรือ กระบวนการที่ ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมพี ต่ออินพุตแบบ Unit Step โดยปรับค่าของ K_p ไปเรื่อย ๆ จนผลตอบสนอง เวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Sustained Oscillations) จากนั้นหาค่าของ

K_{cr} (Critical Gain) เป็นอัตราขยายที่ทำให้ผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง -

P_{cr} (Oscillation Period) เป็นคาบเวลาของการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 วิธีการประมาณค่าแบบ Ultimate Method

Ziegler-Nichols ได้กำหนดค่าของ K_p T_i และ T_d สำหรับตัวควบคุมแบบต่างๆ ดังนี้

1. ตัวควบคุมแบบ พี

$$K_p = 0.5K_{cr}$$

2. ตัวควบคุมแบบ พี-ไอ

$$K_p = 0.45K_{cr}$$

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

3. ตัวควบคุมแบบ พี-ดี

$$K_p = 0.6K_{cr}$$

$$T_d = 0.125P_{cr}$$

4. ตัวควบคุมแบบ พีไอดี

$$K_p = 0.6K_{cr}$$

$$T_i = 0.5P_{cr}$$

$$T_d = 0.125P_{cr}$$

2.4.2 การปรับค่าของตัวควบคุม พีไอดี โดยวิธี Damped Oscillation

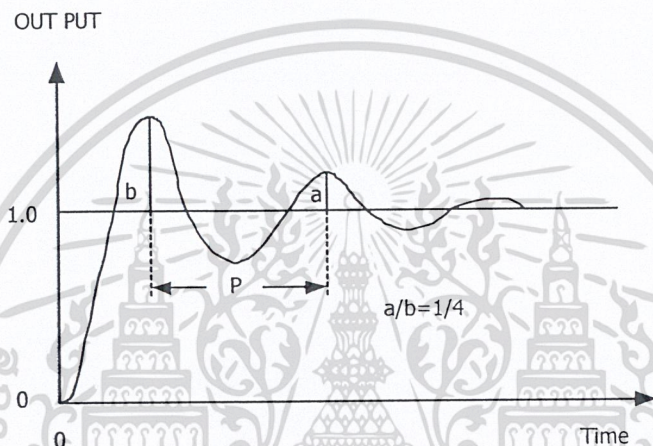
วิธีนี้ปรับปรุงมาจาก Ultimate Method โดย Harriott เพื่อใช้ในกรณีที่การปรับของ K_p ไรเอกสอยังไรก็ตามแต่ผลตอบสนององเวลาไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง มอนูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธี Damped Oscillation นี้จะปรับค่า K_p ไปจนผลตอบสนองเวลาของระบบควบคุมแบบลูป ปิดมีอัตราการเสื่อม ดังรูป จากนั้นวัดของ P และใช้ของ K_p เพื่อคำนวณหาค่า K_p , T_i และ T_d ดังนี้

$$K_p = K_p(1/4)$$

$$T_i = P / 1.5$$

$$T_d = P / 6$$

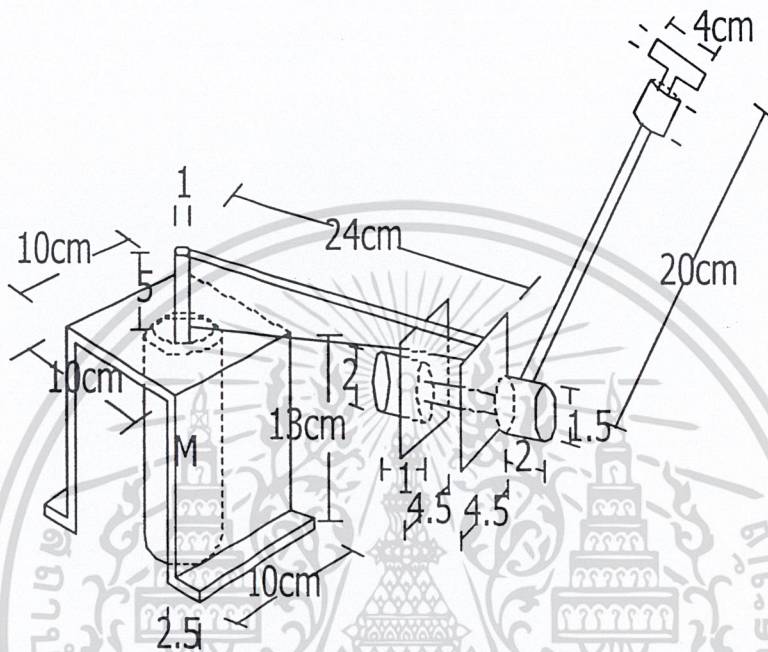


รูปที่ 2.12 การประมาณค่าโดยวิธี Damped Oscillation

จะต้องระลึกอยู่เสมอว่าการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของ พีไอดี โดยวิธีของ Ziegler-Nichols นั้น ไม่ใช่เป็นค่าที่เที่ยงตรงที่นำไปใช้งานได้ทันที และมี Maximum Overshoot 25% ตามที่กล่าวไว้ แต่จะเป็นเพียงค่าใกล้เคียงเท่านั้น ผู้ควบคุมจะต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์เหล่านี้แบบละเอียด (Fine Tuning) อีกครั้งหนึ่ง

3. การออกแบบ

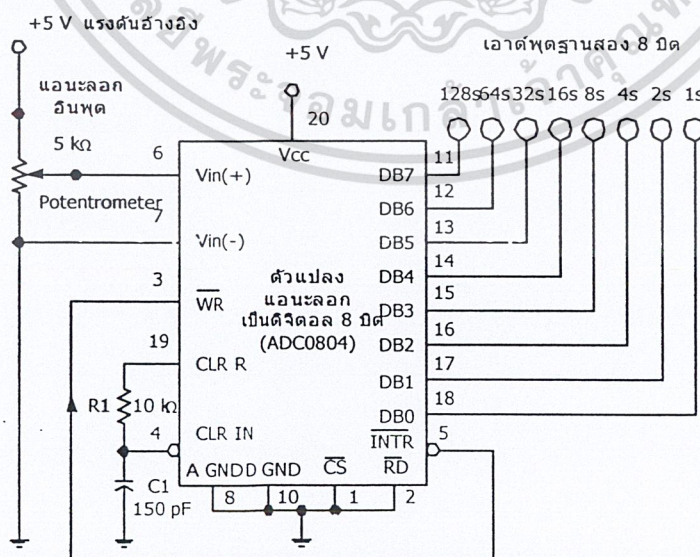
3.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์



รูปที่ 3.1.ก รูปโครงสร้างชิ้นงาน

3.2 วงจรที่ใช้งาน

3.2.1 ชุดอ่านค่าตำแหน่งของก้านลูกตุ้ม



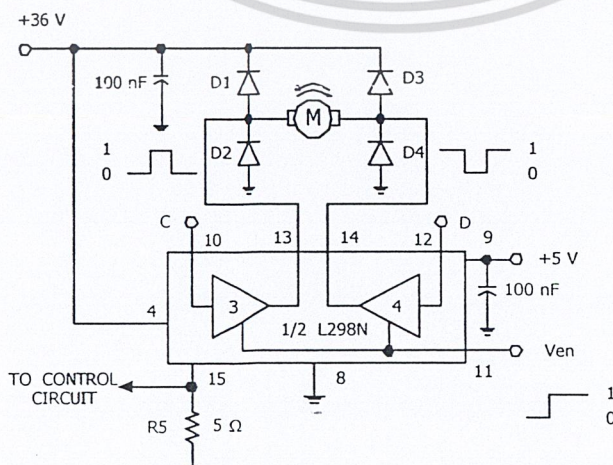
รูปที่ 3.2.ก วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D CONVERTER)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ตัวต้านทานชนิด Potentiometer แบบปรับค่าได้เป็นตัวรับและอ่านค่าตำแหน่งจาก ก้านลูกตุ้ม โดยต่อเข้ากับวงจรรวม A/D เบอร์ ADC 0804 ต่อเป็นอนาล็อกอินพุตให้กับ Vin(+) และ Vin(-) ซึ่งค่า Potentiometer ที่ใช้เท่ากับ 5kohms ที่ต่อกับจุดดิน ขา WR และ INTR ต่อถึงกันโดยตรงเพื่อให้มีการอ่านค่าและส่งค่าให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตลอดเวลา โดยเอาท์พุตเป็นฐานสอง 8 บิต ต่อเข้าเป็นอินพุตให้กับพอร์ต 1.0-พอร์ต 1.7 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ขาสัญญาณ CLKout และ CLKin ต่อ R,C ภายนอกโดยใช้สัญญาณนาฬิกาภายใน ADC 0804 และขา Vref/2 เปิดวงจร ซึ่งจะรับแรงดัน Vin ได้ 0-5 V ค่าความแยกชั้ต่อบิตเท่ากับ $5/255$ (8บิตเอาท์พุต=2⁸) ได้ 19.6 mV เมื่อปรับค่า R 5K ไปอินพุตตำแหน่งต่ำสุด (Vin = 0V) ไบนารีเอาท์พุตจะเป็น "0" ทั้ง 8 บิต และเมื่อปรับค่า R 5K ไปอินพุตตำแหน่งสูงสุด (Vin = 5V) ไบนารีเอาท์พุตจะเป็น "1" ทั้ง 8 บิต ก้านลูกตุ้มจะต่ออยู่กับตัวต้านทาน R 5K นี้ ค่าตำแหน่งของก้านลูกตุ้มซึ่งเป็นอนาล็อกจะถูกส่งไปให้กับ A/D แปลค่าเป็นดิจิตอลส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าตาม โปรแกรม แล้วส่งค่าเอาท์พุตออกไปยังมอเตอร์ให้ทำงานควบคุมตำแหน่งก้านลูกตุ้มต่อไป

3.2.2 ชุดวงจรขับมอเตอร์

มอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์รับแรงดันขนาด 36 Vdc ที่ต่อมาจากแหล่งจ่ายไฟ ในที่นี้จะไม่ขอกว่าถึงการออกแบบแหล่งจ่ายไฟอีกเนื่องจาก ได้กล่าวไว้ใบบทฤษฎีของโครงการกระทงไฮเทคแล้ว วงจรที่ใช้ขับมอเตอร์เป็นไอซีเบอร์ L298 ซึ่งคุณสมบัติของ ไอซีขับตัวนี้จะเป็นลักษณะของไบไดเรกชันนอล (Bidirectional) คือสามารถขับ ได้สองทิศทาง โดยปกติมอเตอร์กระแสตรงจะหมุนได้ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ถ้าไม่มีการกลับขั้วแหล่งจ่ายไฟ แต่ไอซีเบอร์ L298 นี้จะสามารถควบคุมการทำงานได้สองทิศทาง จากการป้อนอินพุตพัลส์เข้ามาลักษณะการต่อวงจรใช้งานเป็นดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.3.3 วงจรขับมอเตอร์ IC 298N อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรขาอินพุต C กับ D ได้รับแรงดันพัลส์อินพุตมาจากพอร์ต 2.6 และ 2.7 ของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น "0" และ "1" ขา Ven ต่อกับแรงไฟ +5V (Ven มีสถานะเป็น high) เอาท์พุตออกมาขับเคลื่อนมอเตอร์ทางขา 13 และ 14 ฟังก์ชันการทำงานของมอเตอร์ในการหมุนซ้ายและขวามีลักษณะการทำงานเป็นไปตามระดับแรงดันพัลส์อินพุต ตามตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 3.1.ก สถานะการทำงานของมอเตอร์

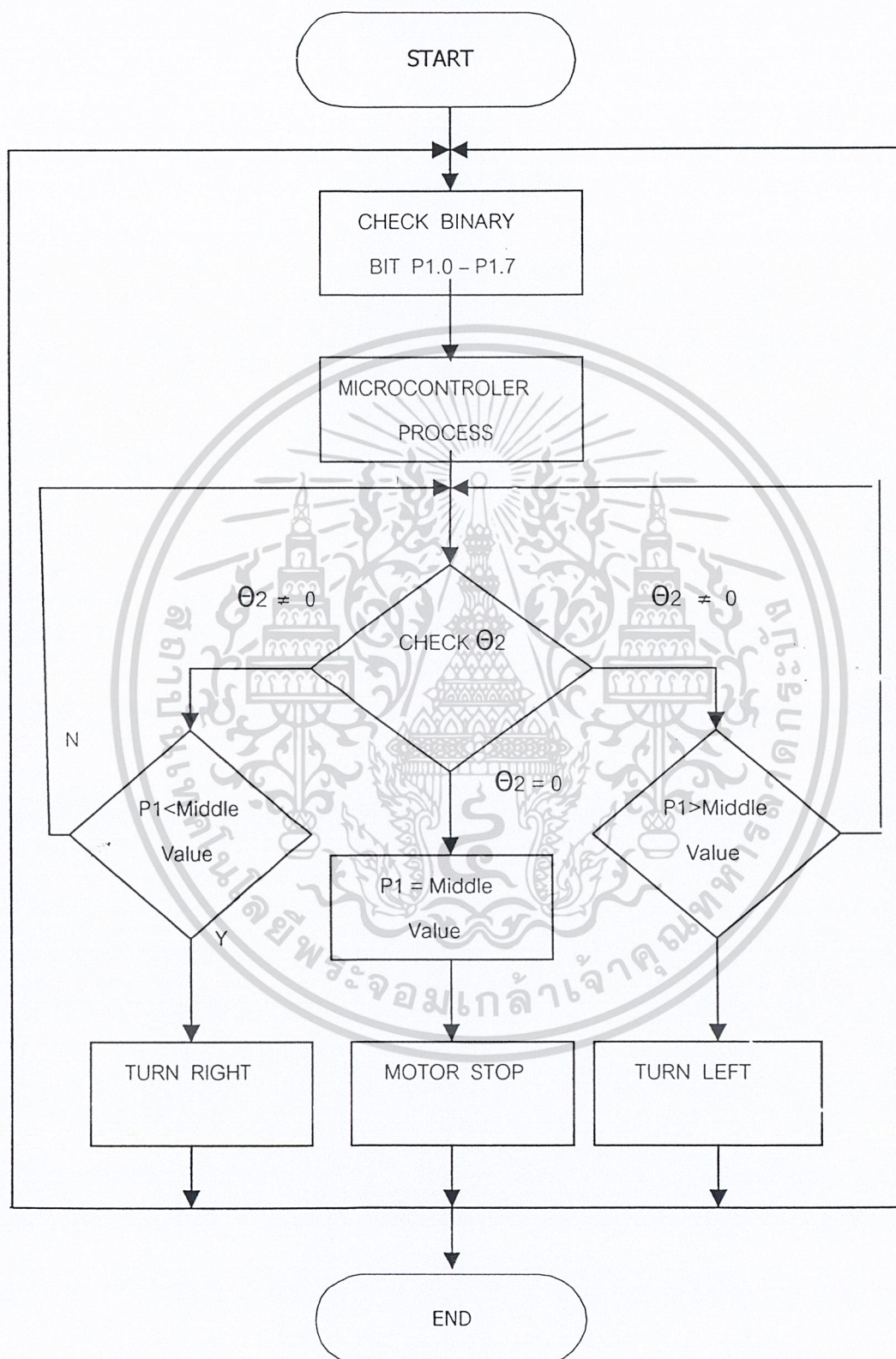
INPUTS		FUNCTION
Ven = H	C = H ; D = L	TURN RIGHT
	C = L ; D = H	TURN LEFT
	C = D	FAST MOTER STOP
Ven = L	C = X ; D = C	FREE RUNNING MOTER STOP

L = LOW H = HIGH X = DON'T CARE

ในที่นี้ขา Ven ต่อกับแรงดันไฟ 5V (Ven=H) ดังนั้นถ้า C=H และ D=L มอเตอร์จะหมุนทางซ้าย ถ้า C=L และ D=H มอเตอร์ก็จะหมุนทางขวา แต่ถ้า C และ D มีระดับแรงดันที่เหมือนกันมอเตอร์จะหยุดหมุน ระดับแรงดันอินพุต "0" กับ "1" ที่เข้าทางอินพุตของไอซี L298 นี้ได้จากโปรแกรมการสั่งงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.3 การออกแบบโปรแกรมการทำงาน

ในการเขียนโปรแกรมการทำงานนั้นเราจะให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการอ่านค่าจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลตลอดเวลา เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับค่าก็จะทำการประมวลผลสั่งงานมอเตอร์ให้หมุนตามเงื่อนไขของโปรแกรมดังรูปที่ 3.4.ก ซึ่งเป็น Flow chart การทำงานของโปรแกรม



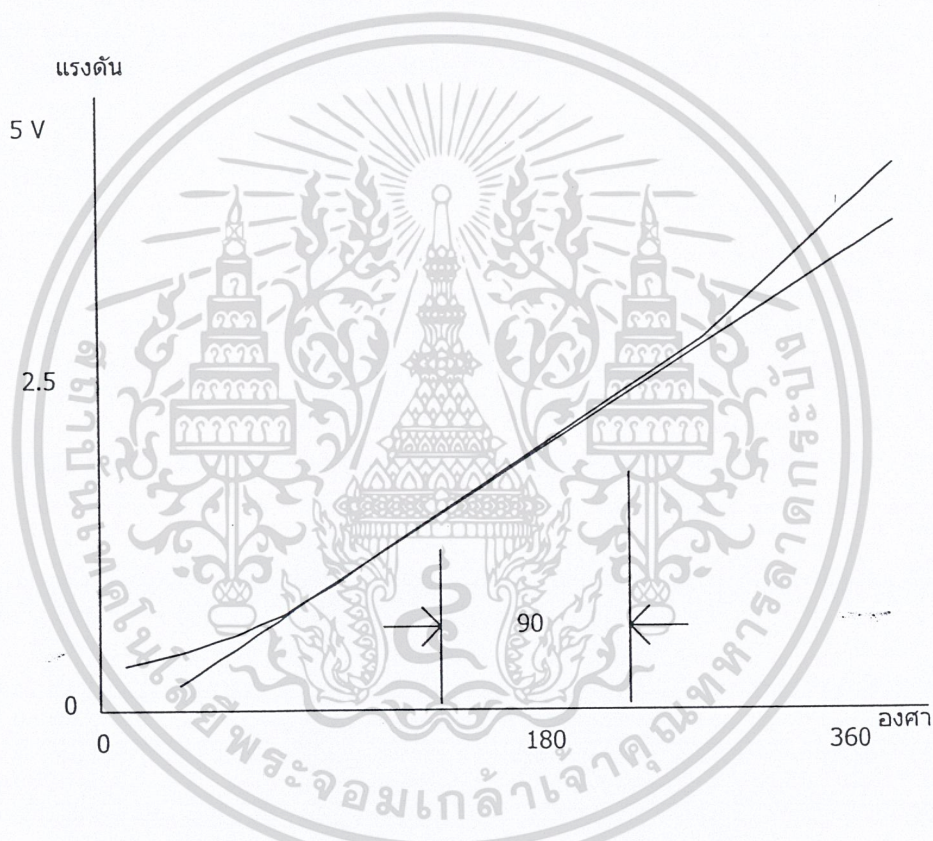
รูปที่ 3.4.ก Flow chart การทำงานของโปรแกรม Inverted Pendulum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การทดลอง

4.1 ชุดอ่านค่าตำแหน่งของก้านลูกตุ้ม

การใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometer) ซึ่งมีค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปตามตำแหน่งของก้านลูกตุ้ม ตั้งแต่ 0-5 Kohms ขององศาที่เปลี่ยน ลักษณะการเปลี่ยนแปลงระหว่างองศา กับแรงดันนั้นค่อนข้างจะไม่เป็นเส้นตรง (linear) ซึ่งจากการทดลองนำค่ามาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ขององศากับแรงดันเป็นดังนี้



รูป เปรียบเทียบแรงดันกับองศาของก้านลูกตุ้ม กับตัวต้านทาน

จะเห็นว่าผลการทดลองเป็นไปตามที่คาดหมายไว้ คือค่าที่ได้ไม่เป็นเส้นตรง ดังนั้นในการอ่านค่าตำแหน่งจึงเกิดเฉพาะช่วงที่เป็นเส้นตรง และมีช่วงกว้างมากที่สุด ก็จะได้ช่วงที่ทำการควบคุมประมาณ 90 องศา ดังนั้นเงื่อนไขสำหรับการเขียน โปรแกรมควบคุมจึงใช้ช่วงดังกล่าว คือช่วง 45 องศา มาเปรียบเทียบเป็นแรงดัน 0-5V

4.2 ชุดวงจรขับมอเตอร์

ทำการทดสอบการทำงานของมอเตอร์และวงจรภาคขับว่าสามารถทำงานได้หรือไม่ โดยทดลองป้อนแรงดัน 36V ให้กับขั้วมอเตอร์ขั้วหนึ่งแล้วต่ออีกด้านหนึ่งด้วยกราวด์ว่ามอเตอร์หมุนทางใดและเมื่อกลับขั้วกันมอเตอร์จะหมุนทางตรงกันข้ามหรือไม่ ต่อจากนั้นทดลองทำการต่อไฟในทิศทางแรงดันไฟเดียวกัน คือ 36V หรือ Gnd เหมือนกันว่ามอเตอร์หมุนหรือไม่

ตารางที่ 4.1.ก การทดลองขับมอเตอร์โดยจ่ายไฟผ่านภาคขับ

INPUTS		FUNCTION
Ven = H	C = 36V ; D = GND	TURN RIGHT
	C = GND ; D = 36V	TURN LEFT
	C = D	FAST MOTER STOP
Ven = L	C = X ; D = C	FREE RUNNING
		MOTER STOP

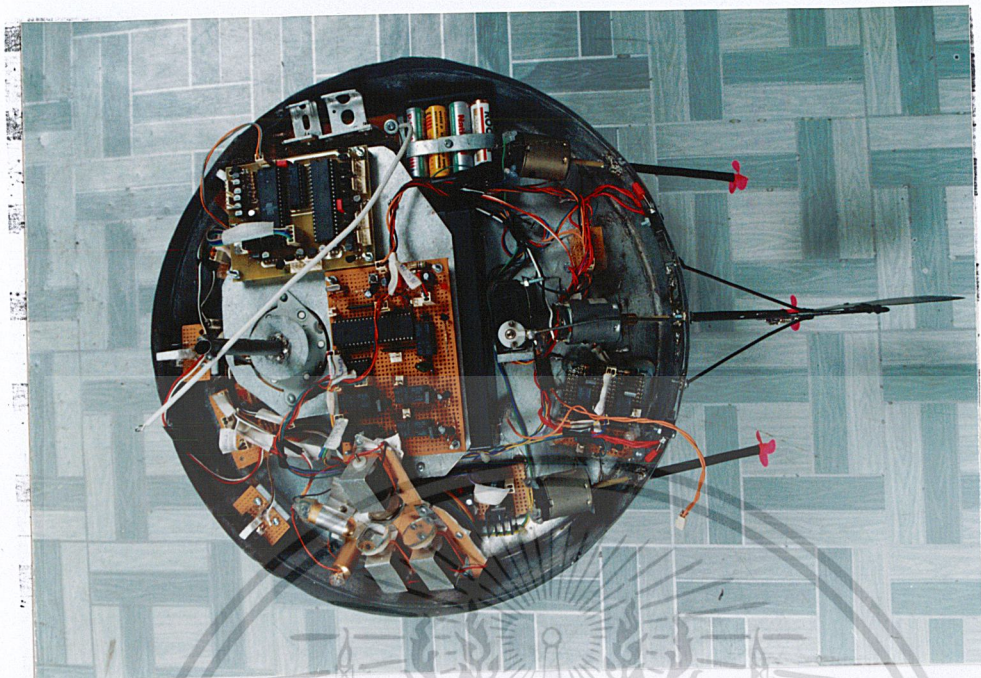
จากการทดลองทำให้เรารู้ได้ว่ามอเตอร์สามารถหมุนได้ตามสถานะการทำงานของไอซีไดร์เวอร์ (Driver) เบอร์ 298N นำไปเขียนโปรแกรมต่อไป

5. บทสรุปและปัญหาที่เกิดขึ้น

การทำงานในโครงการ Inverted Pendulum Control System นี้เกิดปัญหาค้นหลายอย่างทั้งในส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์ เช่น มอเตอร์ และในส่วนของซอฟต์แวร์ควบคุม ล้วนเป็นปัญหาที่ทําระบบขาดความเสถียร เนื่องจากการรบกวนในระบบเกิดขึ้น ซึ่งภายในชิ้นนี้วัตถุประสงค์หลักจึงเป็นเพียงการแสดงให้เห็นถึงวิธีการที่เราจะควบคุมสถานะการทรงตัว เพื่อศึกษาทฤษฎีการทรงตัวและสามารถเป็นบรรทัดฐานในการพัฒนาต่อไป ซึ่งในการที่จะนำไปพัฒนาต่อไปนั้นสิ่งที่จะต้องคำนึงก็คือ ท้าในส่วนของ ฮาร์ดแวร์และซอร์แวร์จะต้องให้มีการสมดุลซึ่งกันและกันมากที่สุดเพื่อให้ระบบมีความเสถียรนั่นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพถ่ายวงจรที่ใช้ภายในกระถงทั้งหมดที่มองจากด้านบน



ภาพถ่ายภายนอกตัวกระถงที่เสร็จสมบูรณ์มองจากด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

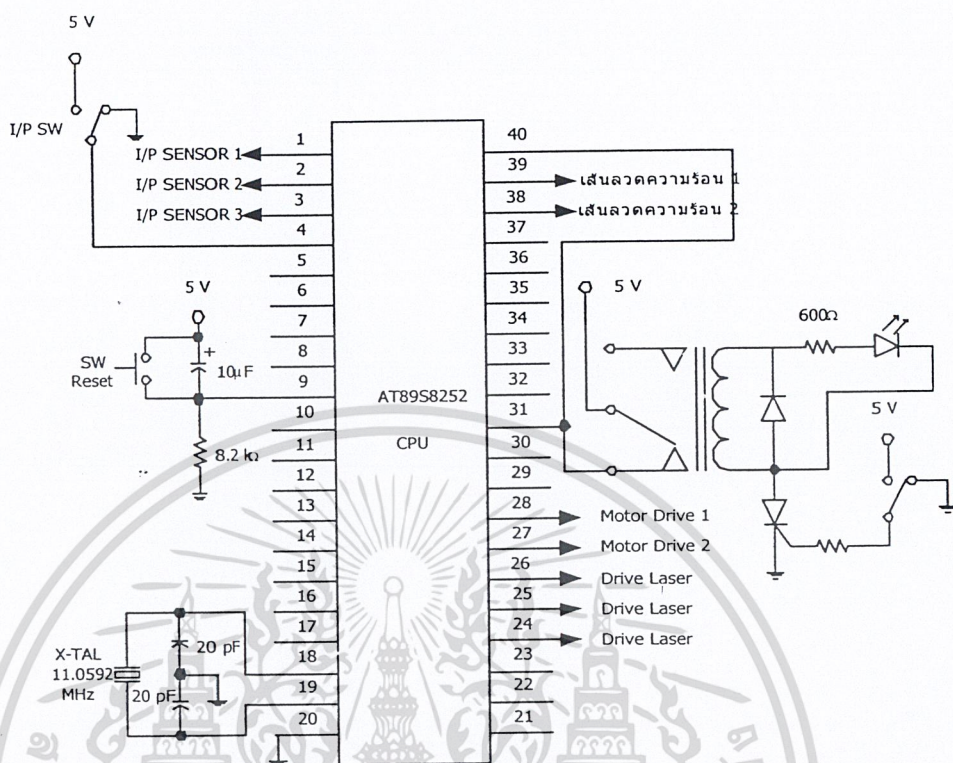


ภาพถ่ายภายนอกตัวกระโทงที่เสร็จสมบูรณ์มองจากด้านข้าง

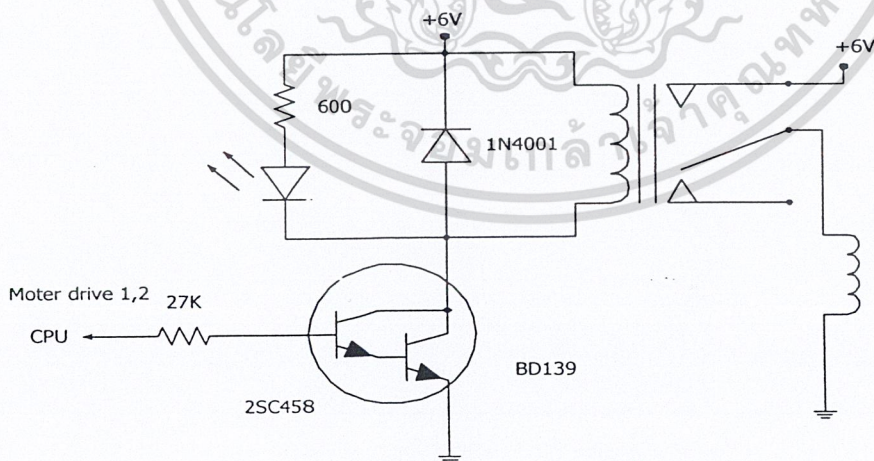


ภาพถ่ายภายนอกตัวกระโทงที่เสร็จสมบูรณ์มองจากด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

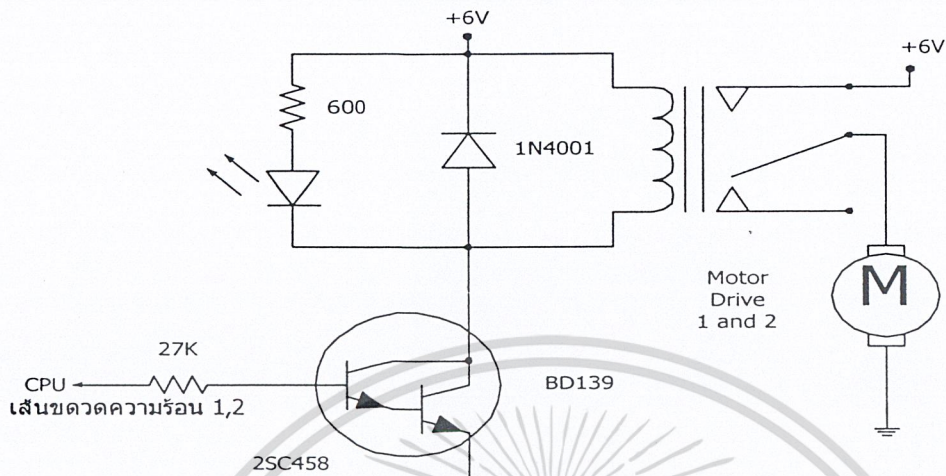


วงจรส่วนควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2

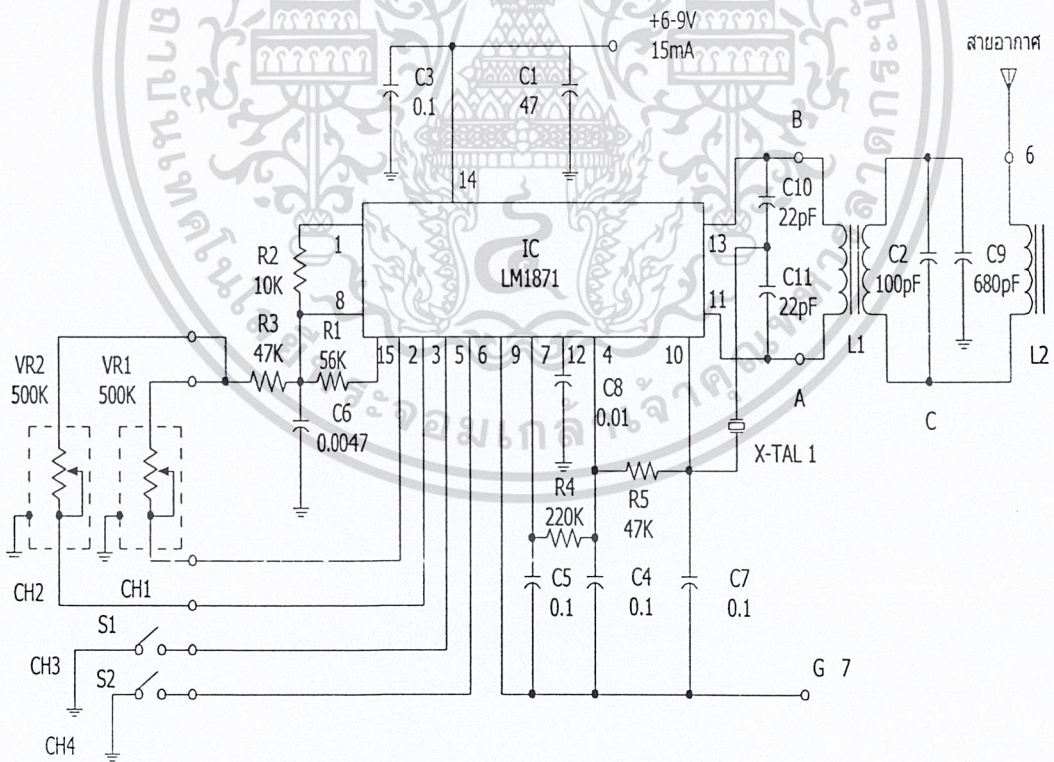


วงจรขับเคลื่อนจุดพลุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

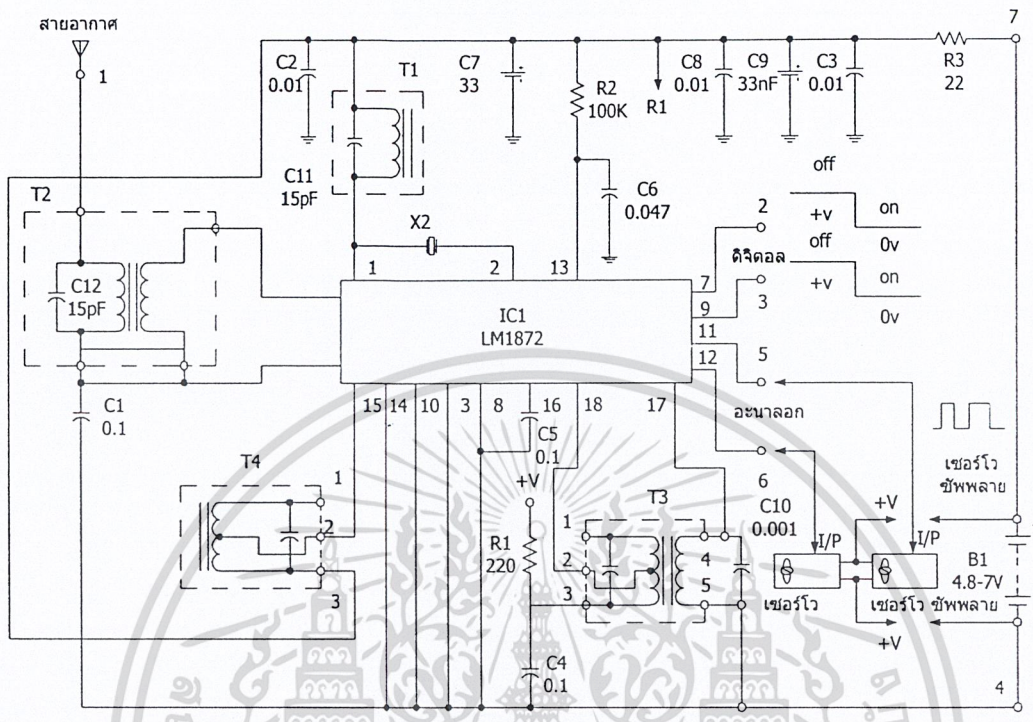


วงจรขับมอเตอร์ขับเคลื่อนกระแทก

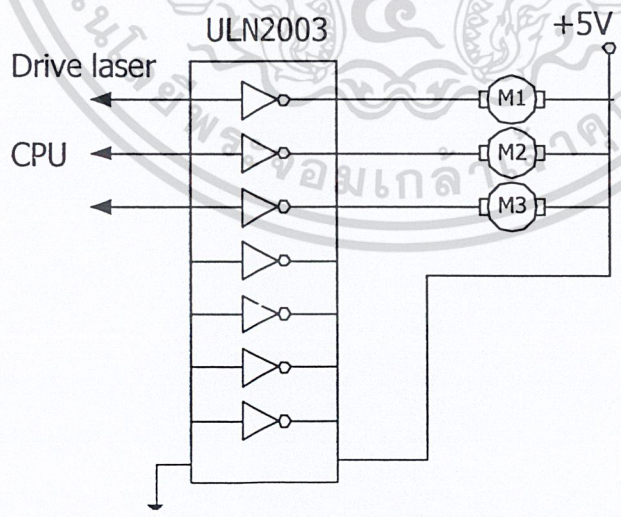


วงจรรภาคเครื่องส่งวิทยุ 27 เมกกะเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

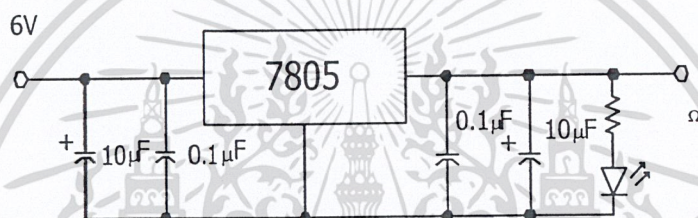
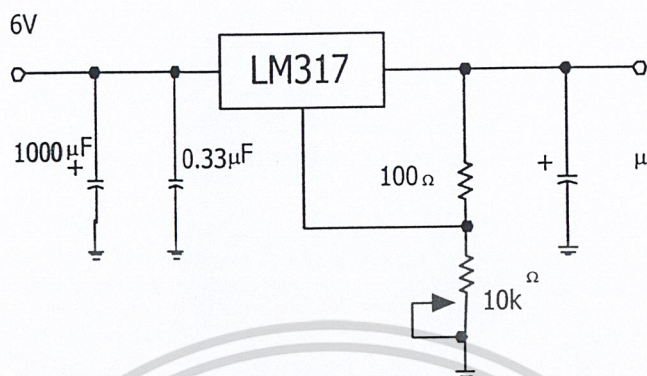


วงจรรภาคเครื่องรับวิทยุ 27 เมกกะเฮิร์ตซ์



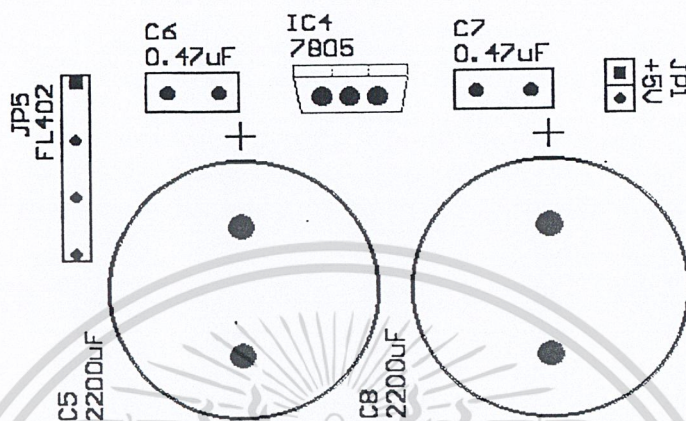
วงจรมอเตอร์เลเซอร์สร้างภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟ 5V และ 3V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

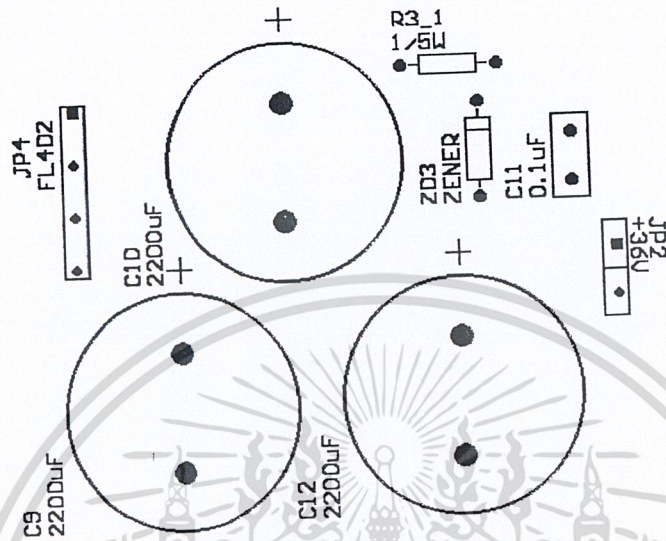


รูปตำแหน่งการวางอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟ 5V

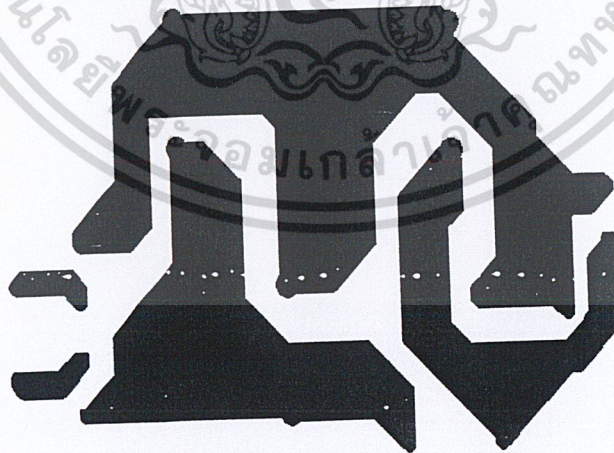


รูปลายวงจรพิมพ์ภาคแหล่งจ่ายไฟ 5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปตำแหน่งการวางอุปกรณ์วงจรแหล่งจ่ายไฟ 36V



รูปลายวงจรพิมพ์ภาคแหล่งจ่ายไฟ 36V

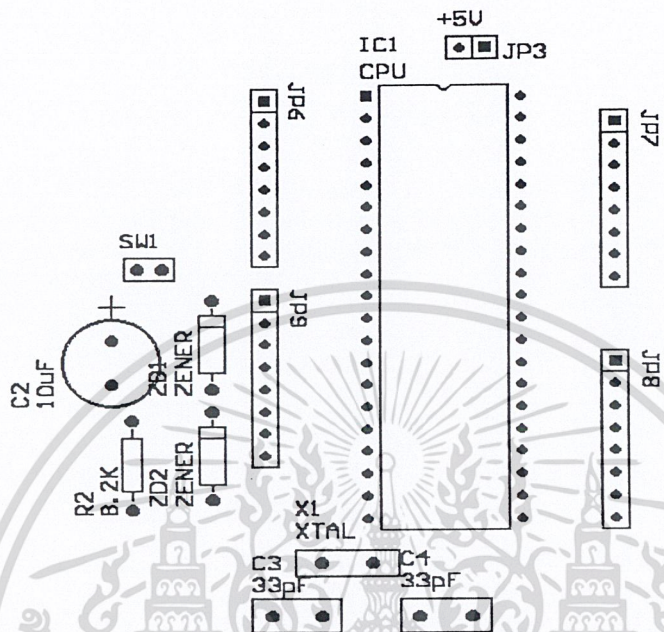
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



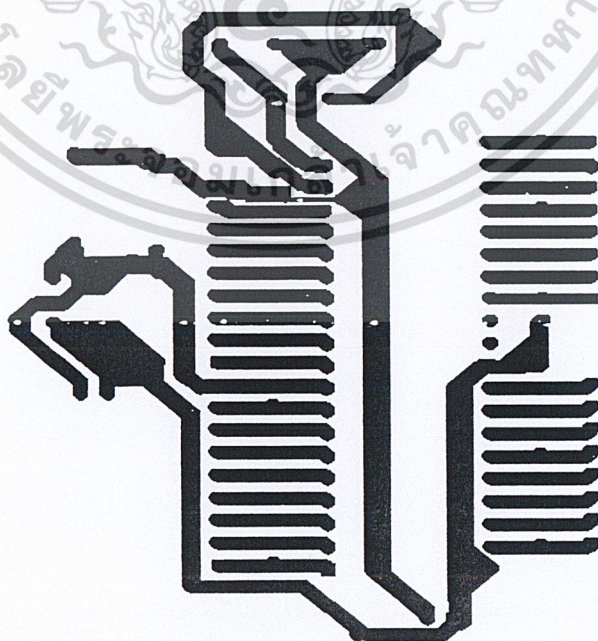
รูปตำแหน่งการวางอุปกรณ์วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล

รูปลายวงจรพิมพ์วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล

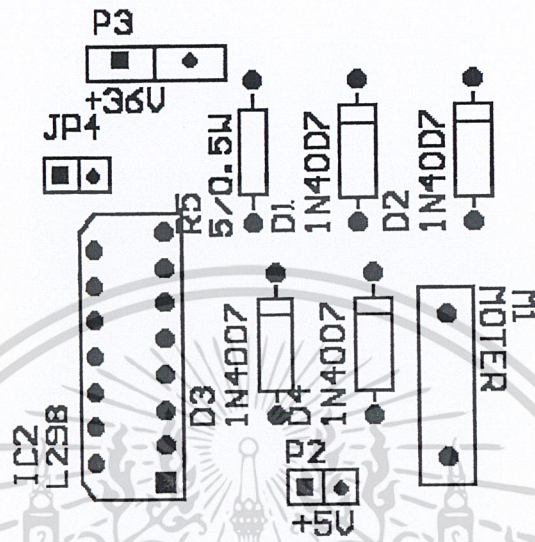
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



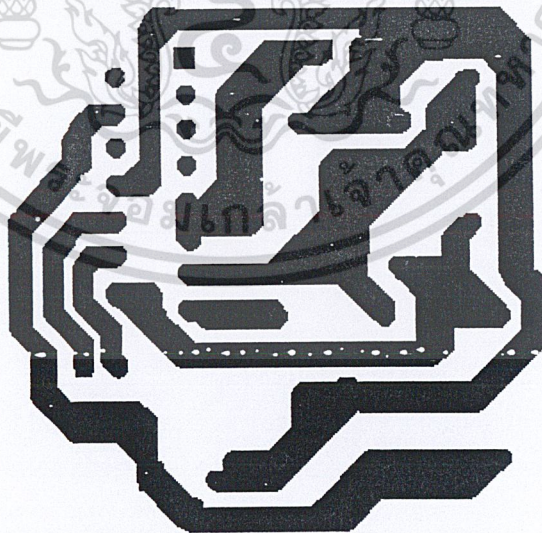
รูปตำแหน่งการวางอุปกรณ์วงจรส่วนควบคุม Inverted Pendulum



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่หรือจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

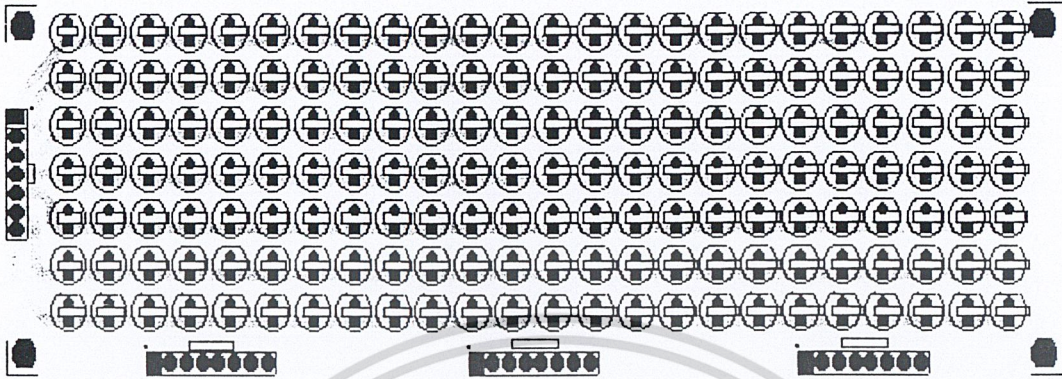


รูปตำแหน่งการวางอุปกรณ์วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ Inverted Pendulum



รูปลายวงจรพิมพ์วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ Inverted Pendulum

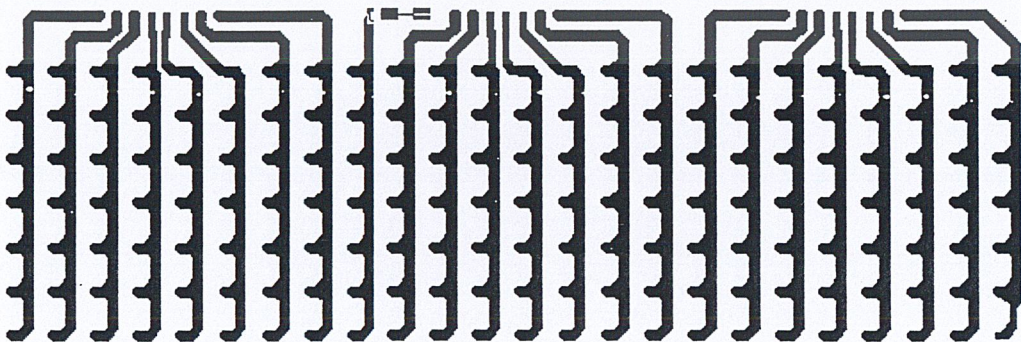
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปตำแหน่งการวางอุปกรณ์วงจรจอแสดงผลแอลอีดี

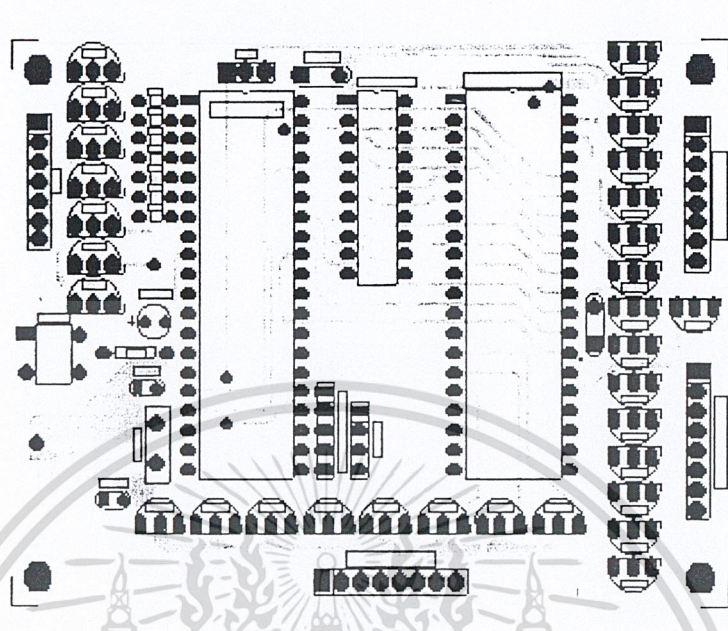


รูปลายวงจรพิมพ์วงจรจอแสดงผลแอลอีดี(Top Layer)

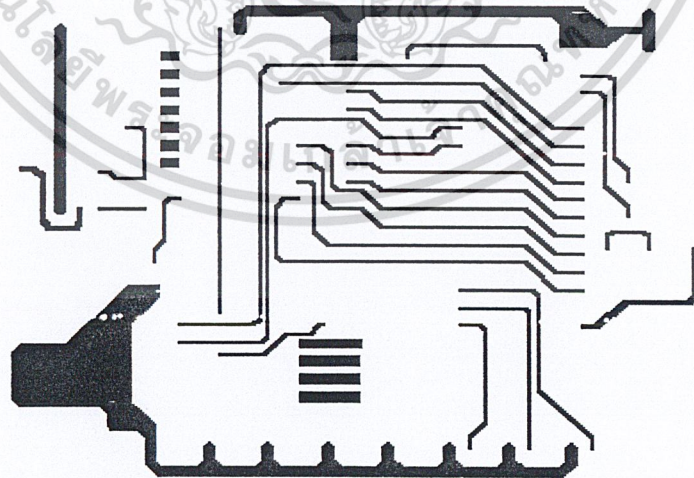


รูปลายวงจรพิมพ์วงจรจอแสดงผลแอลอีดี(Bottom Layer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

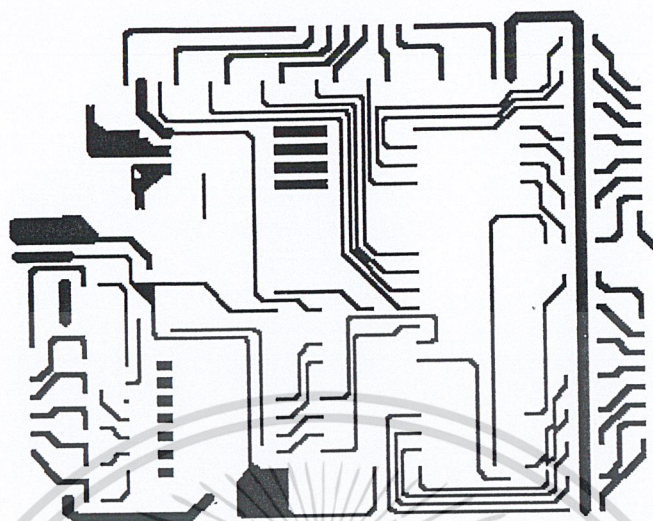


รูปตำแหน่งการวางอุปกรณ์วงจรส่วนควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1



รูปลายวงจรพิมพ์วงจรส่วนควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1(Top Layer)

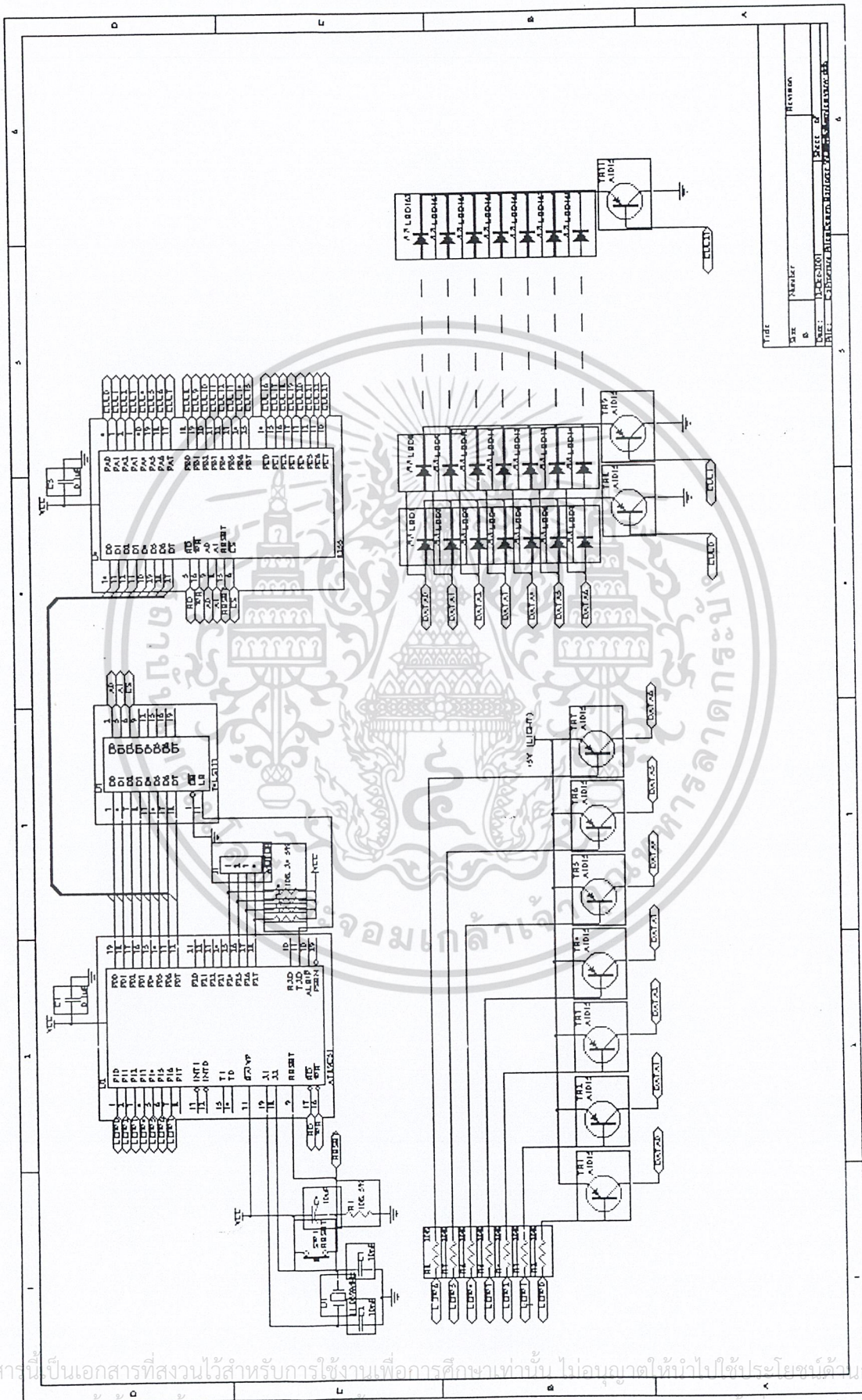
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



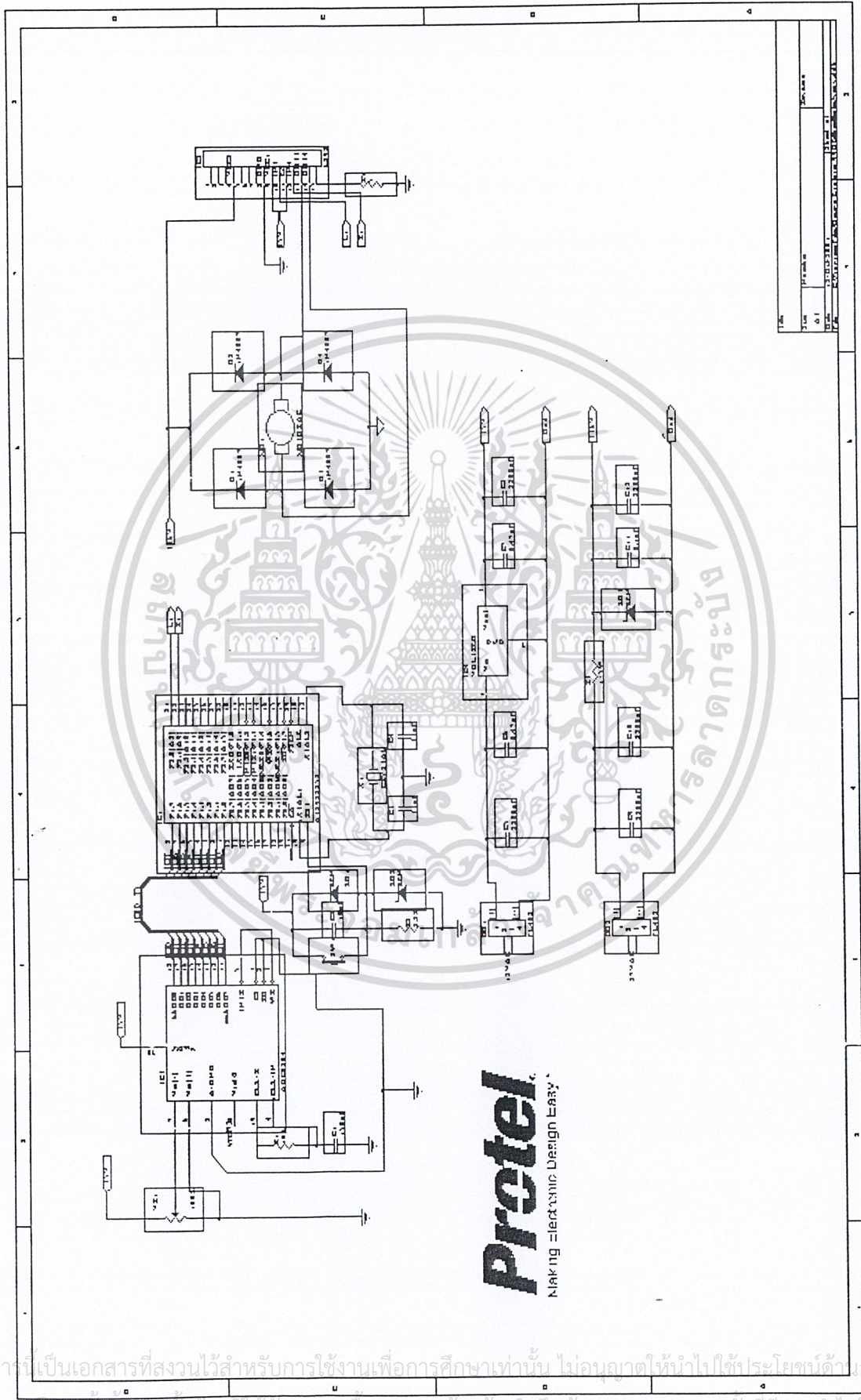
รูปลายวงจรพิมพ์วงจรส่วนควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1 (Bottom Layer)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Protel
 Making Electronic Design Easy

File	11/27/2004
Sheet	01
Time	2:00:23.17
Path	C:\Program Files\Protel 99 SE\PCB\PCB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้วยการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAM CONTROL FOR CPU 1

: MCS-51 INTERNAL REGISTERS

B	EQU 0F0H	; B REGISTER
ACC	EQU 0E0H	; ACCUMULATOR
PSW	EQU 0D0H	; PROGRAM STATUS WORD
SP	EQU 81H	; STACK POINTER
IPC	EQU 0B8H	; INTERRUPT PRIORITY
P0	EQU 80H	; PORT 0
P1	EQU 90H	; PORT 1
P2	EQU 0A0H	; PORT 2
PLUSE	EQU 0A7H	; CLOCK MUSSIC
P3	EQU 0B0H	; PORT 3
SBUF	EQU 99H	; SEND BUFFER
SCON	EQU 98H	; SERIAL CONTROL
TMOD	EQU 89H	; TIMER MODE
TCON	EQU 88H	; TIMER CONTROL
PCON	EQU 87H	; POWER CONTROL REGISTER
DPH	EQU 83H	; DATA POINTER HIGH
DPL	EQU 82H	; DATA POINTER LOW
TL0	EQU 8AH	; TIME LOW0
TH0	EQU 8CH	; TIME HIGH0
TL1	EQU 8BH	; TIME HIGH1
TH1	EQU 8DH	; TIME LOW1

: MCS-51 INTERNAL BIT ADDRESSES

CY	EQU 0D7H	; CARRY FLAG
AC	EQU 0D6H	; AUXILIARY-CARRY FLAG
F0	EQU 0D5H	; USER FLAG 0
RS1	EQU 0D4H	; REGISTER SELECT MSB

```

RS0      EQU 0D3H      ; REGISTER SELECT LSB
SM0      EQU 9FH       ; SERIAL MODE 0
SM1      EQU 9EH       ; SERIAL MODE 1
SM2      EQU 9DH       ; SERIAL MODE 2
REN      EQU 9CH       ; SERIAL RECEPTION ENABLE
TB8      EQU 9BH       ; TRANSMITT BIT 8
RB8      EQU 9AH       ; RECEIVE BIT 8
TI       EQU 99H       ; TRANSMIT INTERRUPT FLAG
RI       EQU 98H       ; RECEIVE INTERRUPT FLAG
TR1      EQU 8EH       ; TIMER 1 RUN CONTROL BIT
TF0      EQU 8DH       ; TIMER 0 OVERFLOW FLAG
TR0      EQU 8CH       ; TIMER 0 RUN CONTROL BIT
IT0      EQU 88H
IT1      EQU 8AH
PT0      EQU 0B9H
IE       EQU 0A8H      ; INTERRUPT ENABLE
EX0      EQU 0A8H
ET0      EQU 0A9H
EX1      EQU 0AAH
ET1      EQU 0ABH      ; DISABLE TIMER1 INTERRUPT
ES       EQU 0ACH      ; ENABLE INTERRUPT OF SERIAL PORT
EA       EQU 0AFH      ; ENABLE CPU INTERRUPT
ET2      EQU 0ADH
IP       EQU 0B8H

```

```

;*****
;

```

```

; ADDRESS MEMORY USER

```

```

;*****
;

```

```

MEM_DPL   EQU 40H
MEM_DPH   EQU 41H
TIME_RUN  EQU 42H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL	EQU 0B0H	; P3.0
SDA	EQU 0B1H	; P3.1
INT_EX0	EQU 0B2H	; P3.2
INT_EX1	EQU 0B3H	; P3.3
INCOIN1	EQU 0B4H	; P3.4
INCOIN5	EQU 0B5H	; P3.5
INCOIN10	EQU 0B6H	; P3.6
PAPER	EQU 0B7H	; P3.7
DATA_A	EQU 0A0H	; P2.0
DATA_B	EQU 0A1H	; P2.1
DATA_C	EQU 0A2H	; P2.2
DATA_D	EQU 0A3H	; P2.3
DATA_E	EQU 0A4H	; P2.4
DATA_F	EQU 0A5H	; P2.5
DATA_G	EQU 0A6H	; P2.6
DATA_H	EQU 0A7H	; P2.7
LED_ROON	EQU 90H	; P1.0
LDR	EQU 91H	; P1.1
TEST_ERR	EQU 92H	; P1.2
SET_LAMP	EQU 93H	; P1.3
LED_R	EQU 94H	; P1.4
SETUP	EQU 95H	; P1.5
SOUND	EQU 96H	; P1.6
LED_L	EQU 97H	; P1.7
SEG_COU0	EQU 80H	; P0.0
SEG_COU1	EQU 81H	; P0.1
SEG_WEI3	EQU 82H	; P0.2
SEG_WEI2	EQU 83H	; P0.3
SEG_WEI1	EQU 84H	; P0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SEG_WEI0    EQU 85H                ; P0.5
LED8        EQU 86H                ; P0.6
LED9        EQU 87H                ; P0.7

;*****
;
;          START PROGRAM
;*****

          ORG 0000H
          LJMP MAIN_PROGRAM1

          ORG 0003H
          RETI

          ORG 000BH
          RETI

          ORG 0013H
          RETI

          ORG 001BH
          RETI

;*****
;
;          START PROGRAM CHUNCHUY
;*****

          ORG 0020H
MAIN_PROGRAM1:  MOV P0,#0FFH
                MOV P1,#0FFH
                MOV P2,#0FFH
                MOV P3,#0FFH
                LCALL DELAY_PULSE
                MOV STOP_DISPLAY,#00H
                MOV MEM_DPL,#00H
                MOV MEM_DPH,#0AH
                MOV DPTR,#0003H
                MOV A,#80H
                MOVX @DPTR,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

START:    MOV R3,#04H
SHOW1:   LCALL DISPLAY           ; SHOW DISPLAY
          MOV A,STOP_DISPLAY
          CJNE A,#0FFH,SHOW1
          MOV STOP_DISPLAY,#00H

          MOV A,#33H             ; ON 2 PHASE
          MOV R2,#0CH           ; COUNTER STEP
FORWARD:  MOV P2,A
          LCALL DELAY_STEP
          RL A
          DJNZ R2,FORWARD
          DJNZ R3,SHOW1
          MOV R3,#04H
SHOW2:   LCALL DISPLAY           ; SHOW DISPLAY
          MOV A,STOP_DISPLAY
          CJNE A,#0FFH,SHOW2
          MOV STOP_DISPLAY,#00H

          MOV A,#33H             ; ON 2 PHASE
          MOV R2,#0CH           ; COUNTER STEP
REVERSE:  MOV P2,A
          LCALL DELAY_STEP
          RR A
          DJNZ R2,REVERSE
          DJNZ R3,SHOW2
          LJMP START

```

```

;*****

```

```

DISPLAY:  PUSH DPL
          PUSH DPH

```

```

          MOV TIME_RUN,#10H           ; TIME SCAN DISPLAY

```

```

SCAN_AGAIN:    MOV DPL, MEM_DPL
               MOV DPH, MEM_DPH
               MOV R2, #08H           ; DISPLAY PORT A
               MOV A, #0FEH

DISPLAY_PORTA: PUSH DPL
               PUSH DPH
               PUSH ACC
               MOV A, #00H
               MOVC A, @A+DPTR
               MOV P1, A
               MOV DPTR, #0000H
               POP ACC
               MOVX @DPTR, A
               RL A
               POP DPH
               POP DPL
               LCALL DELAY_DISPLAY
               INC DPTR
               DJNZ R2, DISPLAY_PORTA
               PUSH DPL
               PUSH DPH
               MOV A, #0FFH
               MOV DPTR, #0000H
               MOVX @DPTR, A
               POP DPH
               POP DPL
               MOV R2, #08H           ; DISPLAY PORT B
               MOV A, #0FEH

DISPLAY_PORTB: PUSH DPL
               PUSH DPH
               PUSH ACC
               MOV A, #00H

```

```

MOV C A,@A+DPTR
MOV P1,A
MOV DPTR,#0001H
POP ACC
MOVX @DPTR,A
RL A
POP DPH
POP DPL
LCALL DELAY_DISPLAY
INC DPTR
DJNZ R2,DISPLAY_PORTB
PUSH DPL
PUSH DPH
MOV A,#0FFH
MOV DPTR,#0001H
MOVX @DPTR,A
POP DPH
POP DPL
MOV R2,#08H ; DISPLAY PORT C
MOV A,#0FEH
DISPLAY_PORTC:
PUSH DPL
PUSH DPH
PUSH ACC
MOV A,#00H
MOV C A,@A+DPTR
MOV P1,A
MOV DPTR,#0002H
POP ACC
MOVX @DPTR,A
RL A
POP DPH
POP DPL

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCALL DELAY_DISPLAY
INC DPTR
DJNZ R2,DISPLAY_PORTC
PUSH DPL
PUSH DPH
MOV A,#0FFH
MOV DPTR,#0002H
MOVX @DPTR,A
POP DPH
POP DPL
DJNZ TIME_RUN,LSCAN_AGAIN
MOV A,MEM_DPH ; CHECK END DATA DISPLAY
ANL A,#0FH
CJNE A,#0CH,INC_MEM_DPTR
MOV A,MEM_DPL
CJNE A,#40H,INC_MEM_DPTR
MOV STOP_DISPLAY,#0FFH
MOV MEM_DPL,#00H
MOV MEM_DPH,#0AH
POP DPH
POP DPL
RET

```

```
LSCAN_AGAIN: LJMP SCAN_AGAIN
```

```
INC_MEM_DPTR: MOV A,MEM_DPL ; CHANG COLUMN
```

```
ADD A,#01H
```

```
MOV MEM_DPL,A
```

```
MOV A,MEM_DPH
```

```
ADDC A,#00H
```

```
MOV MEM_DPH,A
```

```
POP DPH
```

```
POP DPL
```

```
RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****
DELAY_PULSE:    MOV 71H,#0FFH
DEC_PUL2:      MOV 72H,#0FFH
DEC_PUL1:      NOP
                DJNZ 72H,DEC_PUL1
                DJNZ 71H,DEC_PUL2
                RET

DELAY_DISPLAY:  MOV 73H,#99H
DEC_DIS:       NOP
                DJNZ 73H,DEC_DIS
                RET

DELAY_STEP:    MOV 74H,#20H
DEC_STEP2:    MOV 75H,#0FFH
DEC_STEP1:    NOP
                DJNZ 75H,DEC_STEP1
                DJNZ 74H,DEC_STEP2
                RET

;*****
                ORG 0A00H
DATA_DISPLAY:  DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH    ;DATA FOR SHOW
                DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
                DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
                DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
                DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
                DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
                DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
                DB 0BDH,00H,0BFH          ; 1
                DB 0FFH,0FFH
                DB 0BDH,00H,0BFH          ; 1

```

DB 0FFH,0FFH,0FFH
 DB 0FCH,00H,6FH,73H ; พ
 DB 6FH,00H
 DB 0FFH
 DB 1FH,1FH ; .
 DB 0FFH
 DB 4CH,34H,3BH,3FH ; ย
 DB 40H
 DB 0FFH
 DB 1FH,1FH ; .
 DB 0FFH,0FFH,0FFH
 DB 67H,6BH,6DH,00H ; 4
 DB 6FH,6FH
 DB 0FFH
 DB 5EH,36H,32H,34H ; 3
 DB 4EH
 DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
 DB 0DH,16H,76H,6EH ; ด
 DB 01H
 DB 0FFH
 DB 45H,26H,3EH,3EH ; อ
 DB 41H
 DB 0FFH
 DB 4CH,34H,3BH,3FH ; ย
 DB 40H
 DB 0FFH
 DB 05H,7AH,7EH,7EH ; ก
 DB 01H
 DB 0FFH
 DB 7BH,79H,1AH,05H ; ร
 DB 7EH
 DB 0FFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DB 49H,49H,5BH,6DH ; ๕๕

DB 0FFH

DB 7CH,00H,7BH,7DH ; ๗

DB 7EH,01H

DB 0FFH

DB 77H,6FH,5CH,00H ; ๓

DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH

DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH

DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH

DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH

DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH

DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH

DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH

DB 0FFH

DB 00H,77H,6BH,5DH ; K

DB 3EH,0FFH

DB 00H,76H,76H,76H ; R

DB 09H,0FFH

DB 03H,75H,76H,75H ; A

DB 03H,0FFH

DB 7EH,7EH,00H,7EH ; T

DB 7EH,0FFH

DB 00H,77H,77H,77H ; H

DB 00H,0FFH

DB 41H,3EH,3EH,3EH ; O

DB 41H,0FFH

DB 00H,7BH,77H,6FH ; N

DB 00H,0FFH

DB 41H,3EH,36H,36H ; G

DB 05H,0FFH

DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH

DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH

DB 00H,77H,77H,77H ; H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DB 00H,0FFH
 DB 3EH,00H,3EH,0FFH ; I
 DB 7EH,7EH,00H,7EH ; T
 DB 7EH,0FFH
 DB 00H,36H,36H,36H ; E
 DB 36H,0FFH
 DB 41H,3EH,3EH,3EH ; C
 DB 5DH,0FFH
 DB 00H,77H,77H,77H ; H
 DB 00H,0FFH
 DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
 DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
 DB 00H,6FH,73H,6FH ; W
 DB 00H,0FFH
 DB 3EH,00H,3EH,0FFH ; I
 DB 7EH,7EH,00H,7EH ; T
 DB 7EH,0FFH
 DB 00H,77H,77H,77H ; H
 DB 00H,0FFH
 DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
 DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
 DB 03H,75H,76H,75H ; A
 DB 03H,0FFH
 DB 00H,76H,76H,76H ; P
 DB 79H,0FFH
 DB 00H,76H,76H,76H ; P
 DB 79H,0FFH
 DB 00H,3FH,3FH,3FH ; L
 DB 3FH,0FFH
 DB 3EH,00H,3EH,0FFH ; I
 DB 00H,36H,36H,36H ; E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ DB 36H,0FFH งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DB 00H,3EH,3EH,3EH ; D
 DB 41H,0FFH
 DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
 DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
 DB 0H,7DH,7BH,7DH ; M
 DB 00H,0FFH
 DB 3EH,00H,3EH,0FFH ; I
 DB 41H,3EH,3EH,3EH ; C
 DB 5DH,0FFH
 DB 00H,76H,76H,76H ; R
 DB 09H,0FFH
 DB 41H,3EH,3EH,3EH ; O
 DB 41H,0FFH
 DB 41H,3EH,3EH,3EH ; C
 DB 5DH,0FFH
 DB 41H,3EH,3EH,3EH ; O
 DB 41H,0FFH
 DB 00H,7BH,77H,6FH ; N
 DB 00H,0FFH
 DB 7EH,7EH,00H,7EH ; T
 DB 7EH,0FFH
 DB 00H,76H,76H,76H ; R
 DB 09H,0FFH
 DB 41H,3EH,3EH,3EH ; O
 DB 41H,0FFH
 DB 00H,3FH,3FH,3FH ; L
 DB 3FH,0FFH
 DB 00H,3FH,3FH,3FH ; L
 DB 3FH,0FFH
 DB 00H,36H,36H,36H ; E
 DB 36H,0FFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรนำเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DB 09H,0FFH
 DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
 DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
 DB 00H,76H,76H,76H ; F
 DB 7EH,0FFH
 DB 41H,3EH,3EH,3EH ; O
 DB 41H,0FFH
 DB 00H,76H,76H,76H ; R
 DB 09H,0FFH
 DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
 DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
 DB 03H,75H,76H,75H ; A
 DB 03H,0FFH
 DB 00H,7DH,7BH,7DH ; M
 DB 00H,0FFH
 DB 03H,75H,76H,75H ; A
 DB 03H,0FFH
 DB 1EH,2EH,36H,3AH ; Z
 DB 3CH,0FFH
 DB 3EH,00H,3EH,0FFH ; I
 DB 00H,7BH,77H,6FH ; N
 DB 00H,0FFH
 DB 41H,3EH,36H,36H ; G
 DB 05H,0FFH
 DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
 DB 0FFH,0FFH,0FFH,0FFH
 DB 7EH,7EH,00H,7EH ; T
 DB 7EH,0FFH
 DB 00H,77H,77H,77H ; H
 DB 00H,0FFH
 DB 03H,75H,76H,75H ; A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ DB 03H,0FFH ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAM CONTROL FOR CPU 2

```

FIRE_P      EQU  P0.0
FIRE_ADD    EQU  29H
LASER_1     EQU  P2.5      ;Use Timer 0
LASER_2     EQU  P2.6      ;Use Timer 1
LASER_3     EQU  P2.7      ;Use Timer 2
DRIVE_L     EQU  P2.0      ;Left Motor
DRIVE_R     EQU  P2.1      ;Right Motor
SEN_L       EQU  P1.0
SEN_MID     EQU  P1.1
SEN_R       EQU  P1.2
REMT_R      EQU  P1.6
REMT_L      EQU  P1.7
TIMER0_1    EQU  2EH      ;DATA TO TLO
TIMER0_2    EQU  2DH      ;DATA TO TH0
TIMER1_1    EQU  2CH      ;DATA TO TL1
TIMER1_2    EQU  2BH      ;DATA TO TH1
SEN_BUF     EQU  2AH
LASER_SW1   EQU  78H
LASER_SW2   EQU  79H
LASER_SW3   EQU  7AH
L_BUF       EQU  57H
MID_BUF     EQU  56H
R_BUF       EQU  55H
REMT_LBUF   EQU  54H
REMT_RBUF   EQU  53H

```

ORG 0000H

เอกสารนี้เป็นเอกสาร AJMP MAIN_PRO การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ORG 000BH
LJMP TIMER_0

ORG 001BH
LJMP TIMER_1

ORG 002BH
LJMP TIMER2

;*****
;
ORG 0100H ;Timer 0 INT Address pulse for Laser1 TIMER_0:
JNB LASER_1,H_P1
SETB LASER_1
CLR LASER_SW1
AJMP LSER1_END
H_P1: SETB LASER_1
SETB LASER_SW1
LSER1_END: MOV TL0,TIMER0_1
MOV TH0,TIMER0_2
RETI

;*****
;
ORG 0200H ;Timer 1 INT Address pulse for Laser2
TIMER_1: JNB LASER_2,H_P2
SETB LASER_2
CLR LASER_SW2
AJMP LSER2_END
H_P2: SETB LASER_2
SETB LASER_SW2
LSER2_END: MOV TL1,TIMER1_1
MOV TH1,TIMER1_2
RETI

;*****
;
ORG 0300H ;Timer 2 INT Address pulse for Laser3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 TIMER2: JNB LASER_3,H_P3
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SETB LASER_3
CLR LASER_SW3
AJMP LSER3_END
H_P3: SETB LASER_3
      SETB LASER_SW3
LSER3_END: CLR T2CON.6
          RETI
;*****
;
ORG 0500H
MAIN_PRO: CLR P1.3
          CLR P1.4
          MOV PCON,#70H ;DISABLE POWER CONTROL REG
          MOV TIMER0_1,#00H
          MOV TIMER0_2,#0FH
          MOV TIMER1_1,#05H
          MOV TIMER1_2,#03H
          MOV TL2,#0A0H
          MOV TH2,#00H
          MOV FIRE_ADD,#0FEH
MAIN:     ACALL DELAY_3s
          ACALL SET_TIMER
          ACALL LASER_ON
START:   ACALL DRV_START
          SJMP START
;*****
;
;Set timer input = TIMER0_1 TIMER0_2 TIMER1_1 TIMER1_2 TL2 TH2
SET_TIMER: SETB EA ;Enable interupt
           CLR ES ;Disable Serail Port INT
           MOV TLO,TIMER0_1
           MOV TH0,TIMER0_2
           MOV TL1,TIMER1_1

```

```

MOV TH1,TIMER1_2
SETB ET0                ;Enable interrupt timer 0
SETB ET1                ;Enable interrupt timer 1
SETB ET2                ;Enable interrupt timer 1
CLR T2CON.3            ;Disable T2EX Control and Not use Timer2
                        ;Assign Baudrate of serial and auto reload

MOV T2CON,#00H        ;Select Timer 2 to Counter
MOV TMOD,#00010001B  ;timer 0 and Timer 1 mode 1 16Bit
SETB TR0              ;Run Timer 0
SETB TR1              ;Run Timer 1
SETB T2CON.2         ;Run Timer 2
RET

;*****
LASER_ON: CLR TR0          ;RUN MOTER LASERS
          CLR TR1
          CLR T2CON.2
          MOV A,TIMER0_1
          ADD A,#08H
          MOV TIMER0_1,A
          MOV A,TIMER0_2
          ADD A,#60H
          MOV TIMER0_2,A
          MOV A,TIMER1_1
          ADD A,#70H
          MOV TIMER1_1,A
          MOV A,TIMER1_2
          ADD A,#09H
          MOV TIMER1_2,A
          MOV A,TL2
          ADD A,#0CH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV A,TH2
ADD A,#04H
MOV TH2,A
SETB TR0
SETB TR1
SETB T2CON.2
RET

```

```

;*****

```

```

SEN_CHK: CLR L_BUF
          JNB SEN_L,LEFT_OK
          SETB L_BUF
LEFT_OK: CLR MID_BUF
          JNB SEN_MID,MID_OK
          SETB MID_BUF
MID_OK:  CLR R_BUF
          JNB SEN_R,CHK_REML
          SETB R_BUF
CHK_REML: CLR REMT_LBUF
          JNB REMT_L,CHK_REMR
          SETB REMT_LBUF
CHK_REMR: CLR REMT_RBUF
          JNB REMT_R,END_CHK
          SETB REMT_RBUF
END_CHK: RET

```

```

;*****

```

```

DRV_START: MOV A,P1                ;CHECK INPUT SENSORS
            ANL A,#0C7H
            CJNE A,#00H,J1
            LJMP GO_AHEAD

```

```

J1: CJNE A,#01H,J2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 LJMP TRN_R
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

J2:  CJNE A,#02H,J3
      LJMP TRN_R
J3:  CJNE A,#03H,J4
      LJMP TRN_L
J4:  CJNE A,#04H,J5
      LJMP TRN_L
J5:  CJNE A,#05H,J6
      LJMP GO_AHEAD
J6:  CJNE A,#06H,J7
      LJMP TRN_L
J7:  CJNE A,#07H,J8
      LJMP TRN_R
J8:  CJNE A,#40H,J9
      ACALL STOP
      LJMP SPARK
J9:  CJNE A,#41H,J10
      ACALL STOP
      LJMP SPARK
J10: CJNE A,#42H,J11
      ACALL STOP
      LJMP SPARK
J11: CJNE A,#43H,J12
      ACALL STOP
      LJMP SPARK
J12: CJNE A,#44H,J13
      ACALL STOP
      LJMP SPARK
J13: CJNE A,#45H,J14
      ACALL STOP
      LJMP SPARK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 J14: CJNE A,#46H,J15
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL STOP
LJMP SPARK
J15:  CJNE A,#47H,J16
      ACALL STOP
      LJMP SPARK
J16:  CJNE A,#80H,J17
      LJMP SHUT_DOWN
J17:  CJNE A,#81H,J18
      LJMP SHUT_DOWN
J18:  CJNE A,#82H,J19
      LJMP SHUT_DOWN
J19:  CJNE A,#83H,J20
      LJMP SHUT_DOWN
J20:  CJNE A,#84H,J21
      LJMP SHUT_DOWN
J21:  CJNE A,#85H,J22
      LJMP SHUT_DOWN
J22:  CJNE A,#86H,J23
      LJMP SHUT_DOWN
J23:  CJNE A,#87H,J24
      LJMP SHUT_DOWN
J24:  CJNE A,#0C0H,J25
      LJMP SHUT_DOWN
J25:  CJNE A,#0C1H,J26
      LJMP SHUT_DOWN
J26:  CJNE A,#0C2H,J27
      LJMP SHUT_DOWN
J27:  CJNE A,#0C3H,J28
      LJMP SHUT_DOWN

```

```

J28:  CJNE A,#0C4H,J29

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

J29:    CJNE A,#0C5H,J30
        LJMP SHUT_DOWN
J30:    CJNE A,#0C6H,J31
        LJMP SHUT_DOWN
J31:    CJNE A,#0C7H,J32
J32:    LJMP SHUT_DOWN
TRN_R:  CLR  P1.3                ;TURN MOTER RIGHT
        SETB P1.4
        RET
TRN_L:  CLR  P1.4                ;TURN MOTER LEFT
        SETB P1.3
        RET
SPARK:  CLR  P1.3                ;FIREWORKS EXPLODE
        CLR  P1.4
        PUSH ACC
        MOV  A,FIRE_ADD          ;29H
        MOV  FIRE_P,A
        ACALL DELAY_3s
        MOV  FIRE_P,#0FFH
        RL  A
        MOV  FIRE_ADD,A
        POP  ACC
        RET
GO_AHEAD: SETB P1.3
        SETB P1.4
END_DRV: RET
;*****
STOP:   CLR  P1.3
        CLR  P1.4
        ACALL DELAY_5s

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;*****
;      Delay time at system clock 12 MHz
DELAY_10ms:    MOV  R7,#10
DELAY_10ms_1:  MOV  R6,#0E6H
DELAY_10ms_2:  NOP
               NOP
               DJNZ R6,DELAY_10ms_2
               DJNZ R7,DELAY_10ms_1
               RET
;*****
DELAY_1s:      MOV  R5,#10
DELAY_1s_1:    ACALL DELAY_10ms
               DJNZ R5,DELAY_1s_1
               RET
;*****
DELAY_5s:      MOV  R4,#2
DELAY_5s_1:    ACALL DELAY_1s
               DJNZ R4,DELAY_5s_1
               RET
;*****
DELAY_3s:      MOV  R4,#3
DELAY_3s_1:    ACALL DELAY_1s
               DJNZ R4,DELAY_3s_1
               RET
;*****
SHUT_DOWN:    MOV  P2,#00H
               CLR  EA
               CLR  TR0
               CLR  TR1
               CLR  T2CON.2

```



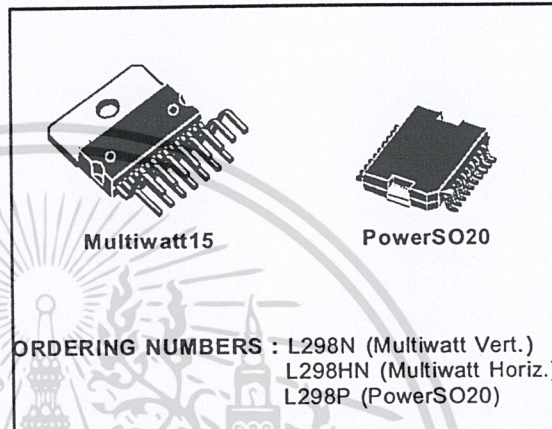
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

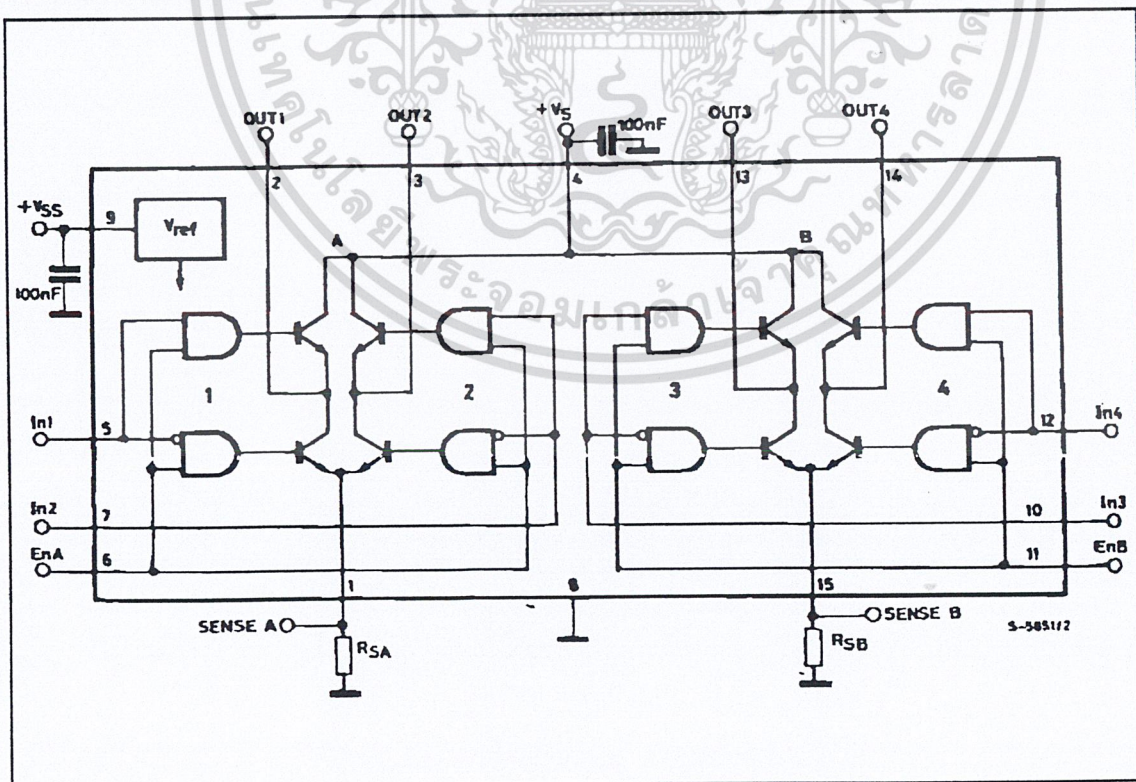
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

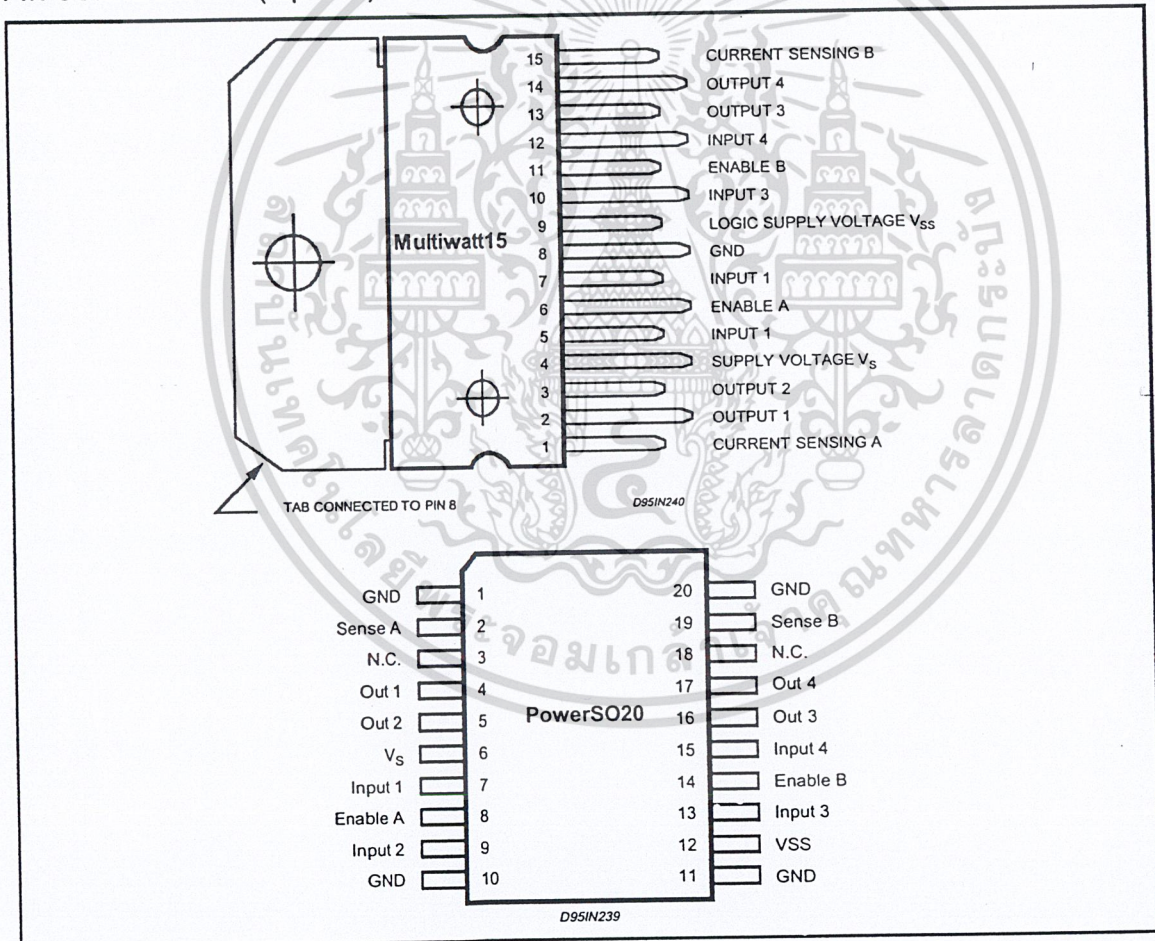
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _S	Power Supply	50	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V _I , V _{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I _O	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive (t = 100μs)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; t _{on} = 10ms)	2.5	A
	- DC Operation	2	A
V _{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P _{tot}	Total Power Dissipation (T _{case} = 75°C)	25	W
T _{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	°C
T _{stg} , T _j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	°C

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter	PowerSO20	Multiwatt15	Unit
R _{th j-case}	Thermal Resistance Junction-case	Max. -	3	°C/W
R _{th j-amb}	Thermal Resistance Junction-ambient	Max. 13 (*)	35	°C/W

(*) Mounted on aluminum substrate



PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V _{SS}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_j = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{IH} +2.5		46	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I _S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{en} = H; I _L = 0 V _i = L V _i = H		13 50	22 70	mA mA
		V _{en} = L V _i = X			4	mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = H; I _L = 0 V _i = L V _i = H		24 7	36 12	mA mA
		V _{en} = L V _i = X			6	mA
V _{iL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V _{iH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V
I _{iL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = L			-10	μA
I _{iH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = H ≤ V _{SS} -0.6V		30	100	μA
V _{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V _{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{SS}	V
I _{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = L			-10	μA
I _{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = H ≤ V _{SS} -0.6V		30	100	μA
V _{CEsat(H)}	Source Saturation Voltage	I _L = 1A I _L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
V _{CEsat(L)}	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V _{CEsat}	Total Drop	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V V
V _{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T ₁ (V _i)	Source Current Turn-off Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (2); (4)		1.5		μs
T ₂ (V _i)	Source Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4)		0.2		μs
T ₃ (V _i)	Source Current Turn-on Delay	0.5 V _i to 0.1 I _L (2); (4)		2		μs
T ₄ (V _i)	Source Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4)		0.7		μs
T ₅ (V _i)	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (3); (4)		0.7		μs
T ₆ (V _i)	Sink Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4)		0.25		μs
T ₇ (V _i)	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (3); (4)		1.6		μs
T ₈ (V _i)	Sink Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4)		0.2		μs
f _c (V _i)	Commutation Frequency	I _L = 2A		25	40	KHz
T ₁ (V _{en})	Source Current Turn-off Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (2); (4)		3		μs
T ₂ (V _{en})	Source Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4)		1		μs
T ₃ (V _{en})	Source Current Turn-on Delay	0.5 V _{en} to 0.1 I _L (2); (4)		0.3		μs
T ₄ (V _{en})	Source Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4)		0.4		μs
T ₅ (V _{en})	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4)		2.2		μs
T ₆ (V _{en})	Sink Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4)		0.35		μs
T ₇ (V _{en})	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4)		0.25		μs
T ₈ (V _{en})	Sink Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4)		0.1		μs

- 1) Sensing voltage can be -1 V for t ≤ 50 μsec; in steady state V_{sens} min ≥ -0.5 V.
- 2) See fig. 2.
- 3) See fig. 4.
- 4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

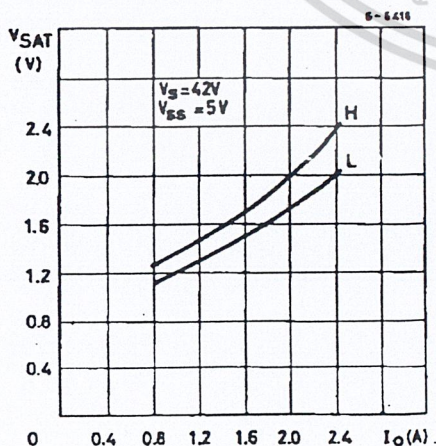
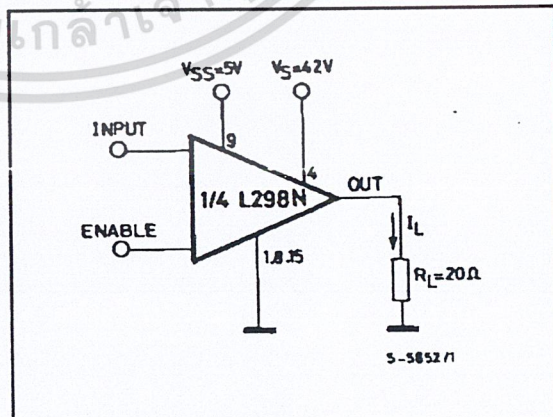


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = H

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

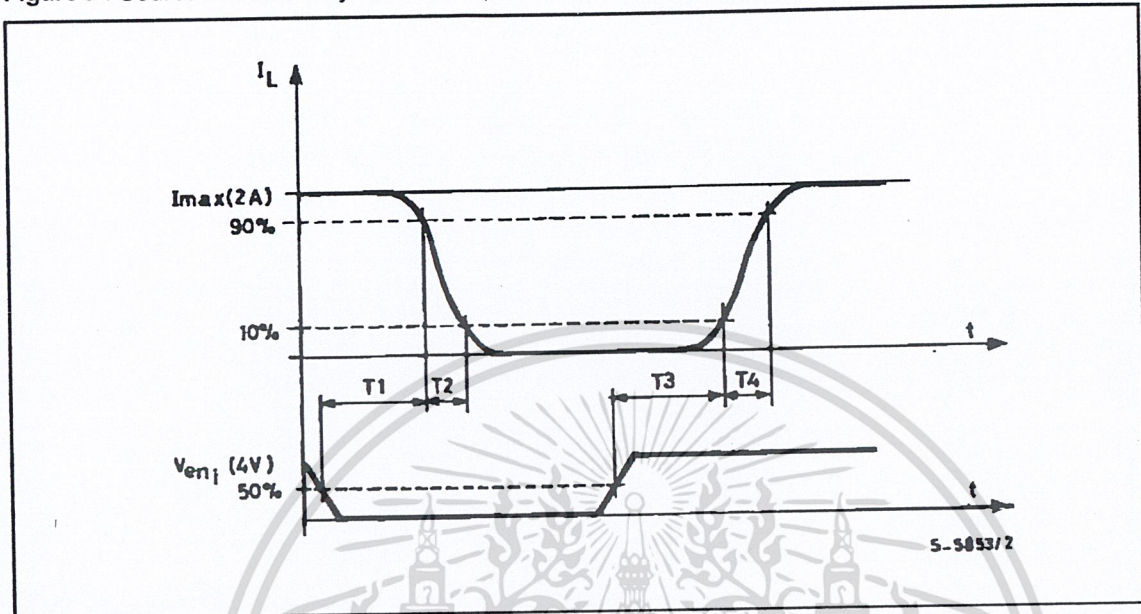
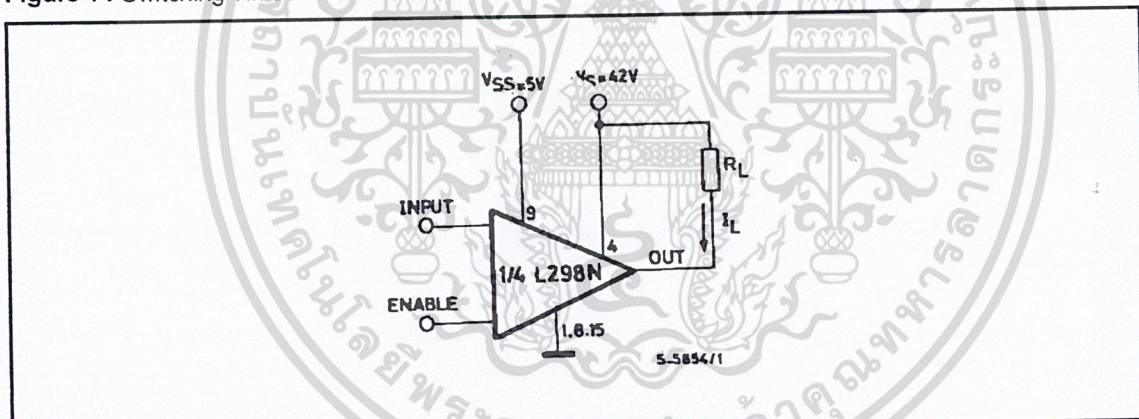


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = L

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

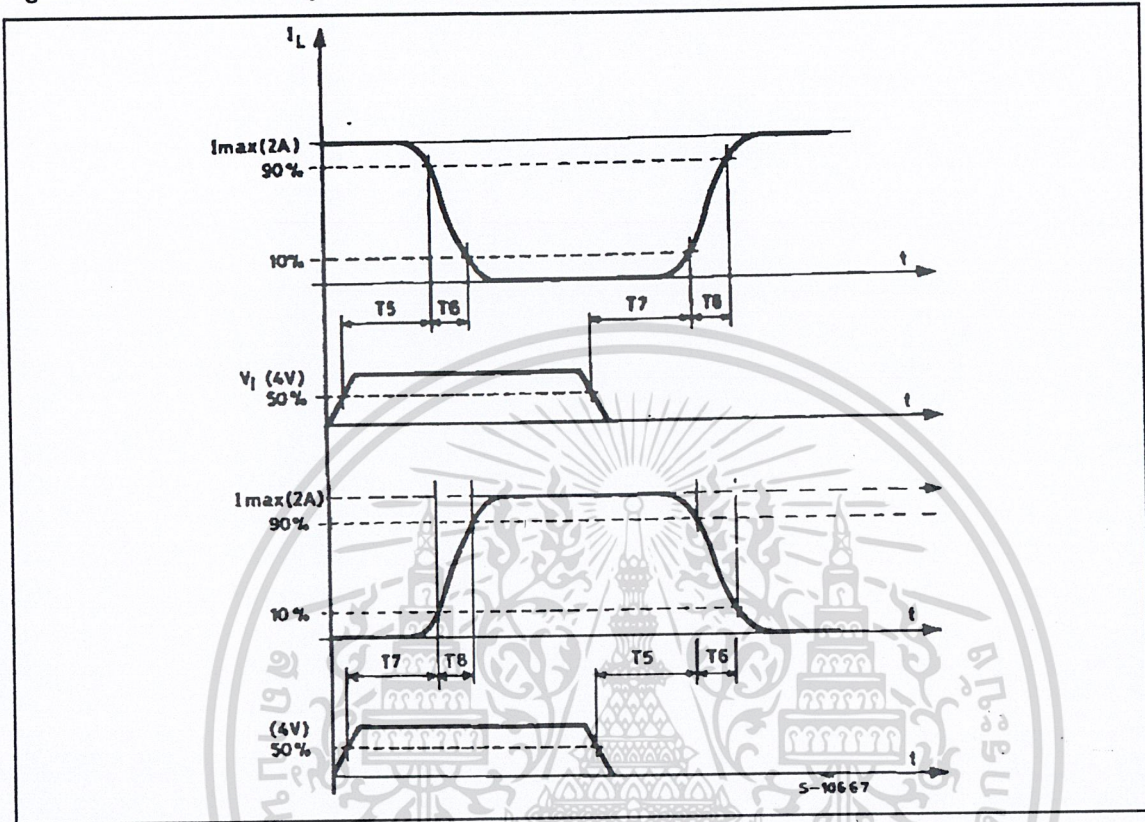


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.

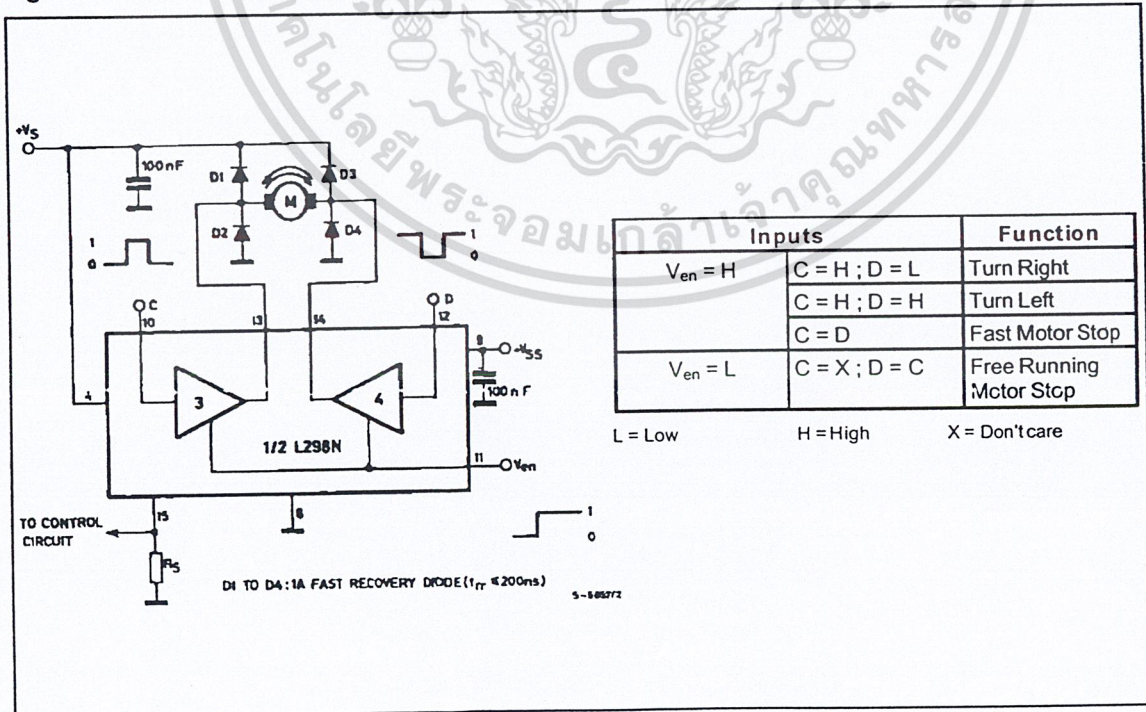
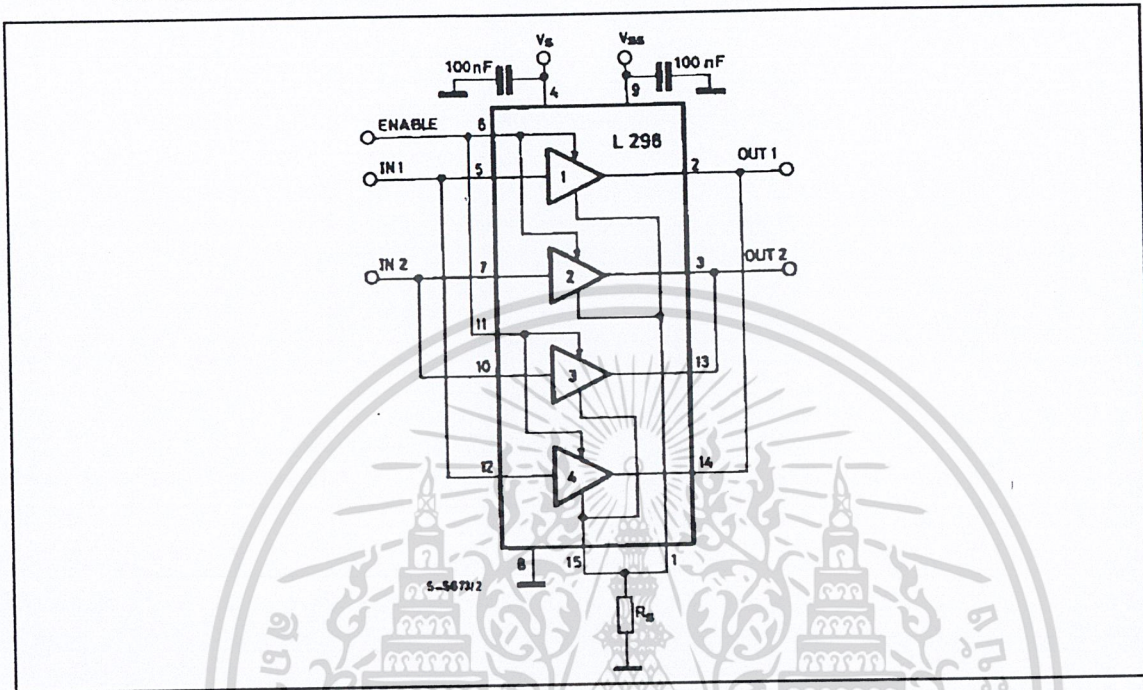


Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output: an external resistor (R_{SA} ; R_{SB}) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are In_1 ; In_2 ; EnA and In_3 ; In_4 ; EnB . The In inputs set the bridge state when The En input is high; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both V_s and V_{ss} , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of V_s that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off: Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ($t_{rr} \leq 200$ nsec) that must be chosen of a V_F as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped; Schottky diodes would be preferred.

L298

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

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

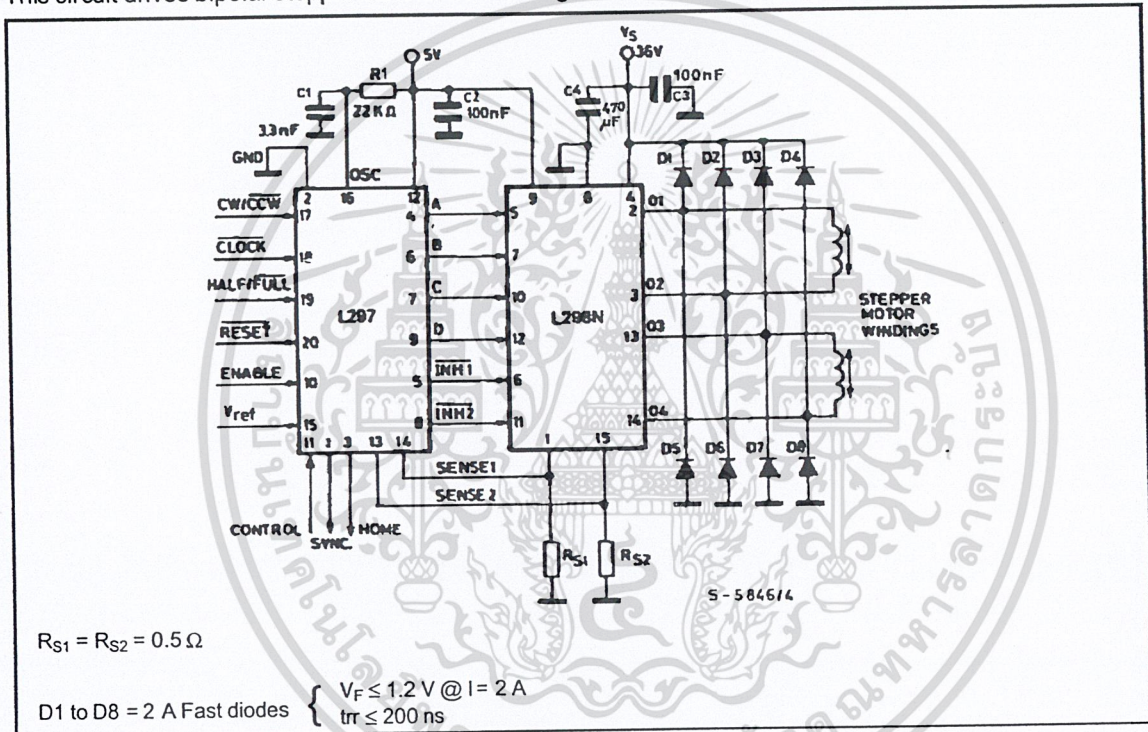


Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

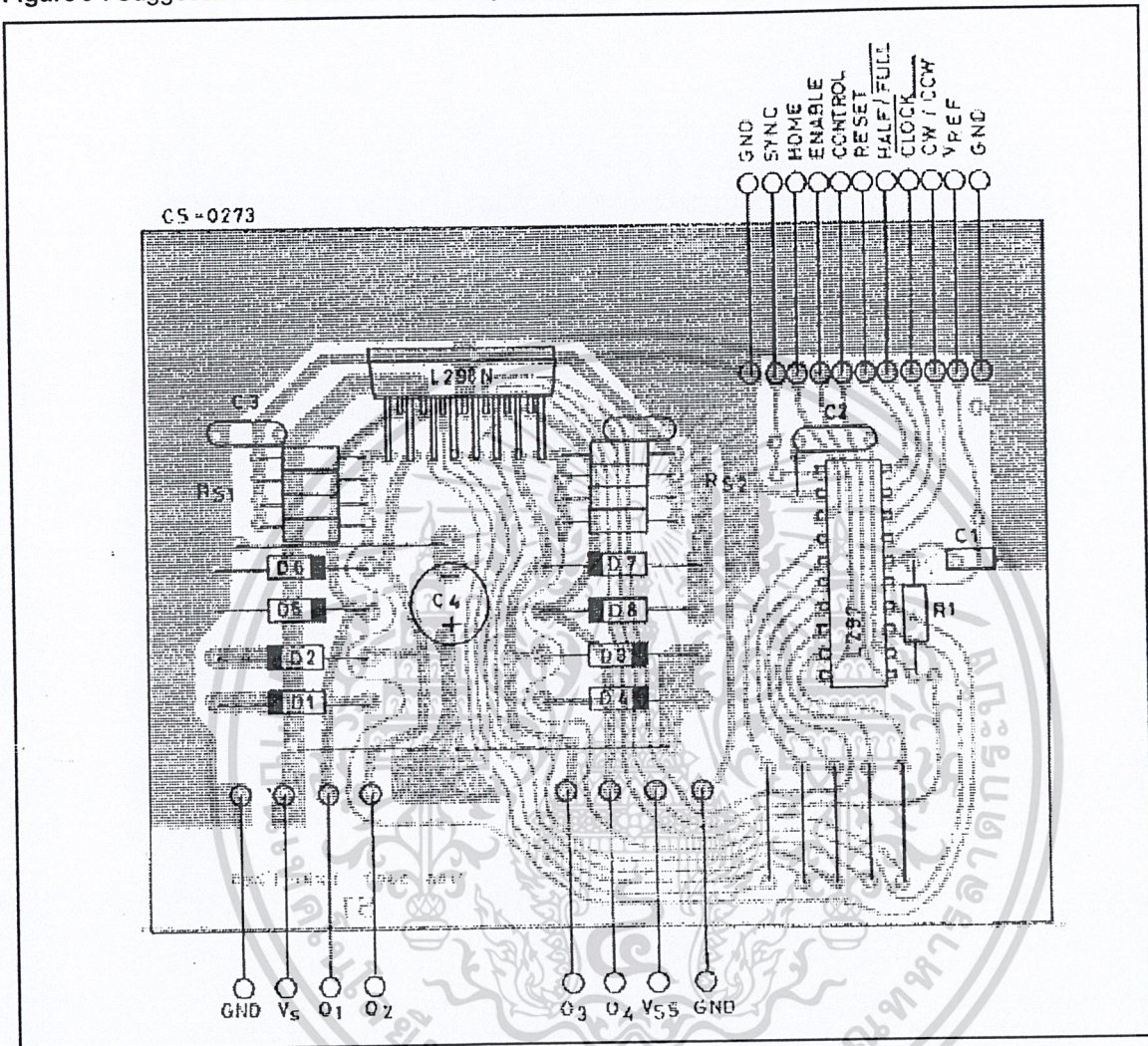
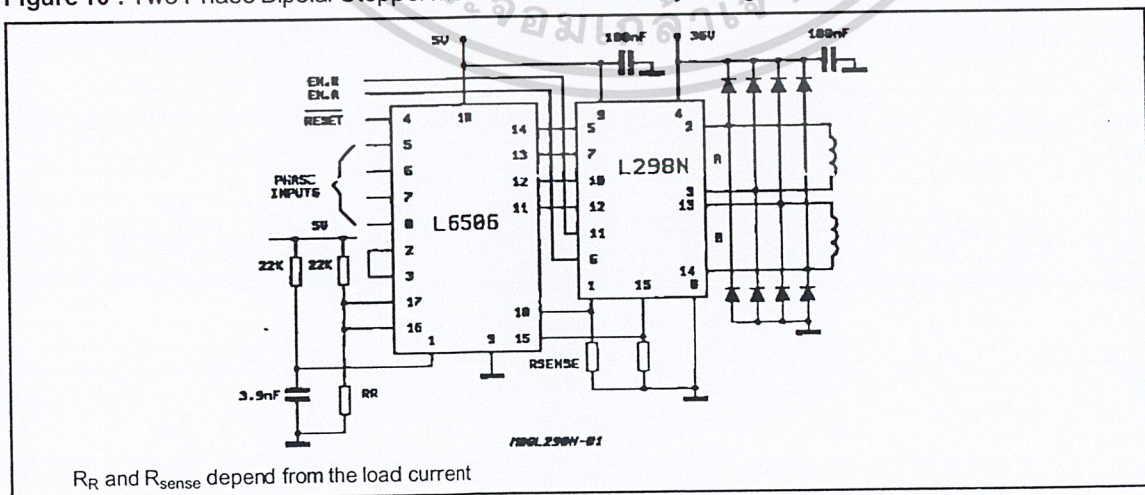
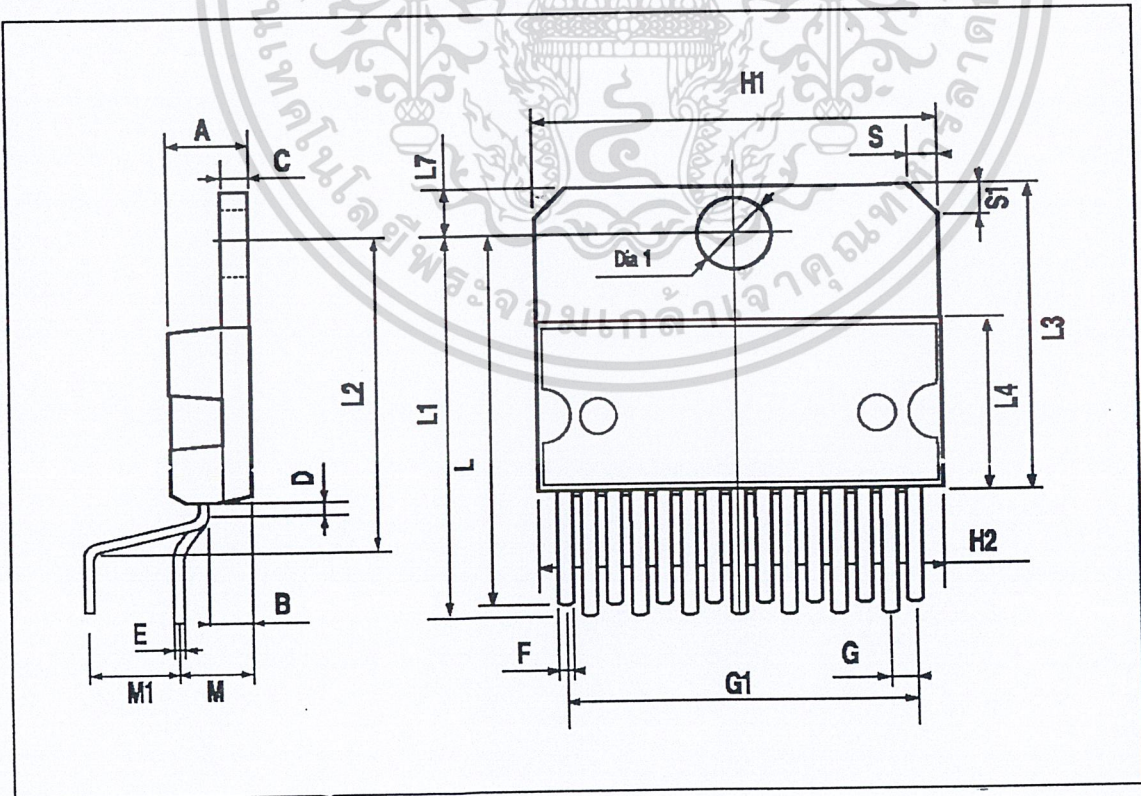
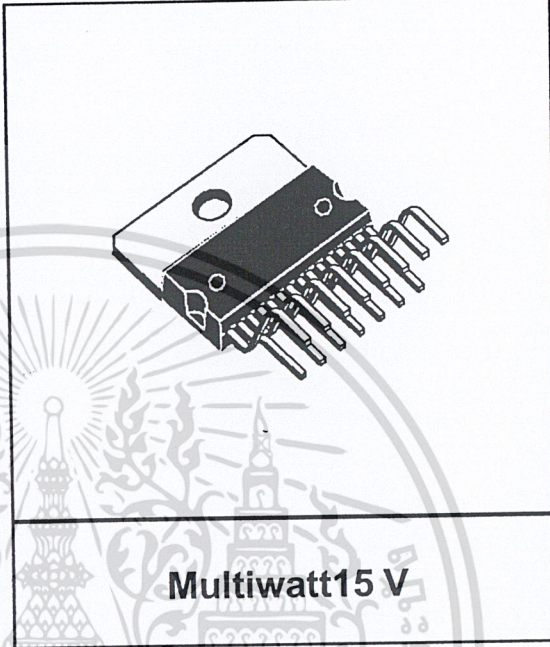


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.



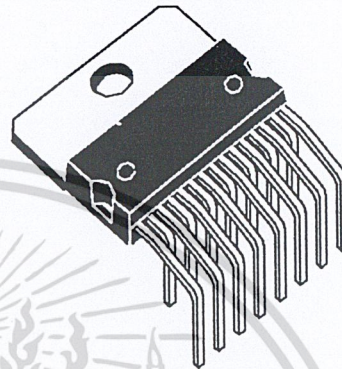
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA

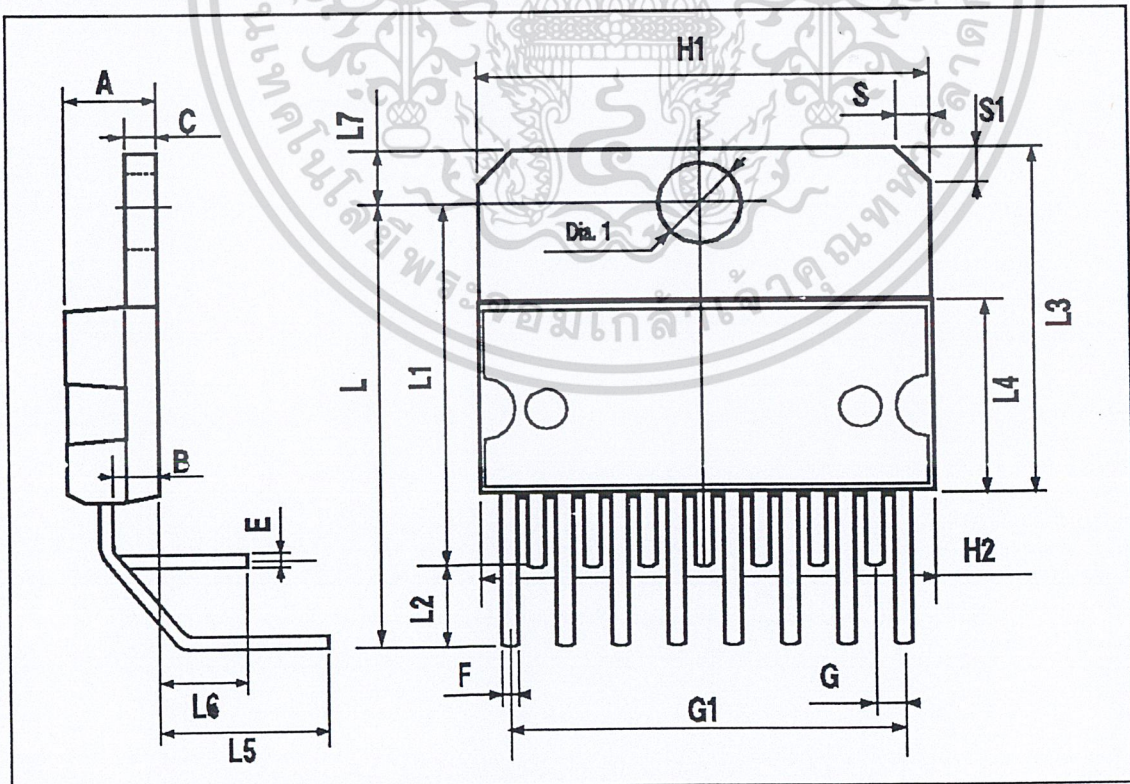


DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.14	1.27	1.4	0.045	0.050	0.055
G1	17.57	17.78	17.91	0.692	0.700	0.705
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L		20.57			0.810	
L1		18.03			0.710	
L2		2.54			0.100	
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L5		5.28			0.208	
L6		2.38			0.094	
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



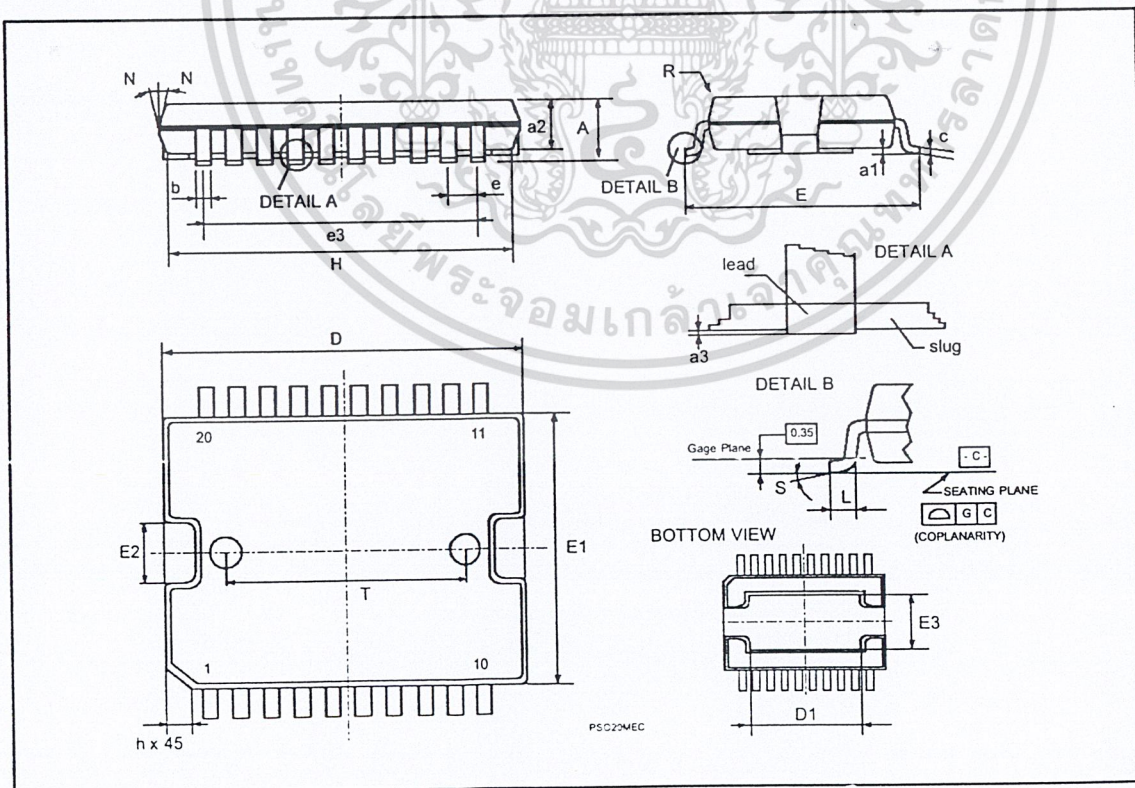
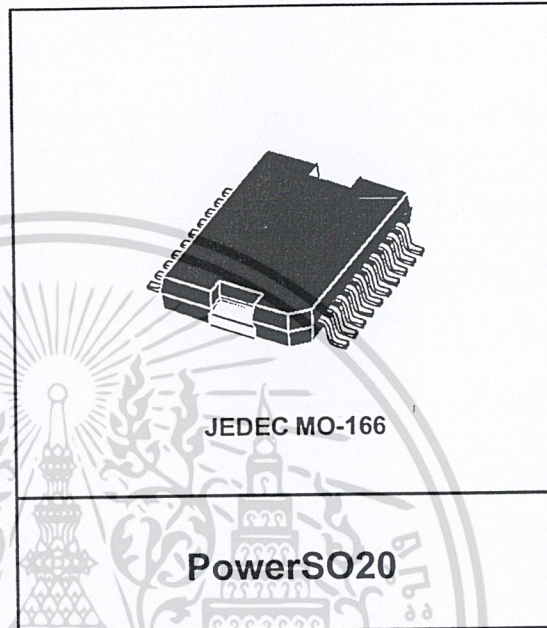
Multiwatt15 H



DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			3.6			0.142
a1	0.1		0.3	0.004		0.012
a2			3.3			0.130
a3	0		0.1	0.000		0.004
b	0.4		0.53	0.016		0.021
c	0.23		0.32	0.009		0.013
D (1)	15.8		16	0.622		0.630
D1	9.4		9.8	0.370		0.386
E	13.9		14.5	0.547		0.570
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
E1 (1)	10.9		11.1	0.429		0.437
E2			2.9			0.114
E3	5.8		6.2	0.228		0.244
G	0		0.1	0.000		0.004
H	15.5		15.9	0.610		0.626
h			1.1			0.043
L	0.8		1.1	0.031		0.043
N	10° (max.)					
S	8° (max.)					
T		10			0.394	

(1) "D and F" do not include mold flash or protrusions.
 - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm (0.006").
 - Critical dimensions "E", "G" and "a3"

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



MICRO

2SA1015

PNP
SILICON
TRANSISTOR

TO-92B

2SA1015 is PNP silicon planar transistor designed for audio frequency general purpose amplifier applications and driver stage amplifier applications.



ECB

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Collector-Base Voltage	VCBO	50V
Collector-Emitter Voltage	VCEO	50V
Emitter-Base Voltage	VEBO	5V
Collector Current	IC	150mA
Total Power Dissipation	Ptot	400mW
Operating Junction & Storage Temperature	Tj, Tstg	-55 to +125°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta=25°C)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	MAX	UNIT	TEST CONDITIONS
Collector Cutoff Current	ICBO		100	nA	VCB=50V IE=0
Emitter Cutoff Current	IEBO		100	nA	VEB=5V IC=0
D.C. Current Gain	HFE	70 25	400		IC=2mA VCE=6V IC=150mA VCE=6V*
Collector-Emitter Saturation Voltage	VCE(sat)		0.3	V	IC=100mA IB=10mA*
Base-Emitter Saturation Voltage	VBE(sat)		1.1	V	IC=100mA IB=10mA*
Current Gain-Bandwidth Product	fT	80		MHz	IC=1mA VCE=10V
Output Capacitance	Cob		7	pF	VCB=10V f=1MHz
Noise Figure	NF		10	dB	IC=100μA VCB=6V Rg=10KΩ f=1KHz

* Pulse Test : Pulse Width = 300μs, Duty Cycle = 2%.

HFE Grouping @ IC=2mA VCE=6V

0 : 70-140 Y : 120-240 GR : 200-400



MICRO ELECTRONICS LTD. 美科有限公司 FAX: 3-410321
38 Hung To Road, Kwun Tong, Kowloon, Hong Kong. Cable: Microtron, Hong Kong. Telex: 43510 Micro Hx.
P.O. Box 9477, Kwun Tong. Tel: 3-430181-6, 3-699363, 3-692423, 3-698221

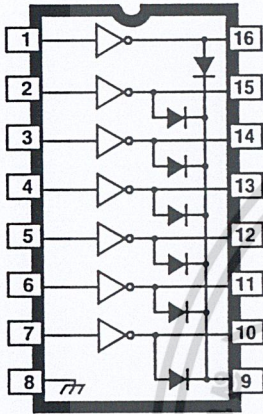
1-1.0mp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2003 THRU 2024

Data Sheet
29304F

HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT DARLINGTON ARRAYS



Dwg. No. A-9594

Note that the ULN20xxA series (dual in-line package) and ULN20xxL series (small-outline IC package) are electrically identical and share a common terminal number assignment.

Ideally suited for interfacing between low-level logic circuitry and multiple peripheral power loads, the Series ULN20xxA/L high-voltage, high-current Darlington arrays feature continuous load current ratings to 500 mA for each of the seven drivers. At an appropriate duty cycle depending on ambient temperature and number of drivers turned ON simultaneously, typical power loads totaling over 230 W (350 mA x 7, 95 V) can be controlled. Typical loads include relays, solenoids, stepping motors, magnetic print hammers, multiplexed LED and incandescent displays, and heaters. All devices feature open-collector outputs with integral clamp diodes.

The ULN2003A/L and ULN2023A/L have series input resistors selected for operation directly with 5 V TTL or CMOS. These devices will handle numerous interface needs — particularly those beyond the capabilities of standard logic buffers.

The ULN2004A/L and ULN2024A/L have series input resistors for operation directly from 6 to 15 V CMOS or PMOS logic outputs.

The ULN2003A/L and ULN2004A/L are the standard Darlington arrays. The outputs are capable of sinking 500 mA and will withstand at least 50 V in the OFF state. Outputs may be paralleled for higher load current capability. The ULN2023A/L and ULN2024A/L will withstand 95 V in the OFF state.

These Darlington arrays are furnished in 16-pin dual in-line plastic packages (suffix “A”) and 16-lead surface-mountable SOICs (suffix “L”). All devices are pinned with outputs opposite inputs to facilitate ease of circuit board layout. All devices are rated for operation over the temperature range of -20°C to +85°C. Most (see matrix, next page) are also available for operation to -40°C; to order, change the prefix from “ULN” to “ULQ”.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Output Voltage, V_{CE}	
(ULN200xA and ULN200xL)	50 V
(ULN202xA and ULN202xL)	95 V
Input Voltage, V_{IN}	30 V
Continuous Output Current,	
I_C	500 mA
Continuous Input Current, I_{IN}	25 mA
Power Dissipation, P_D	
(one Darlington pair)	1.0 W
(total package)	See Graph
Operating Temperature Range,	
T_A	-20°C to +85°C
Storage Temperature Range,	
T_S	-55°C to +150°C

FEATURES

- TTL, DTL, PMOS, or CMOS-Compatible Inputs
- Output Current to 500 mA
- Output Voltage to 95 V
- Transient-Protected Outputs
- Dual In-Line Plastic Package or Small-Outline IC Package

x = digit to identify specific device. Characteristic shown applies to family of devices with remaining digits as shown. See matrix on next page.

**2003 THRU 2024
HIGH-VOLTAGE,
HIGH-CURRENT
DARLINGTON ARRAYS**

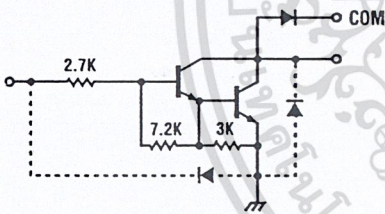
DEVICE PART NUMBER DESIGNATION

$V_{CE(MAX)}$	50 V	95 V
$I_C(MAX)$	500 mA	500 mA
Logic	Part Number	
5V TTL, CMOS	ULN2003A* ULN2003L*	ULN2023A* ULN2023L
6-15 V CMOS, PMOS	ULN2004A* ULN2004L*	ULN2024A ULN2024L

* Also available for operation between -40°C and +85°C. To order, change prefix from "ULN" to "ULQ".

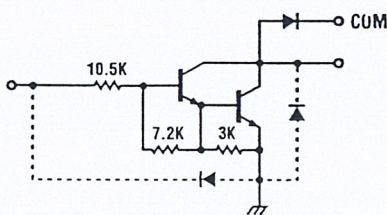
PARTIAL SCHEMATICS

ULN20x3A/L (Each Driver)

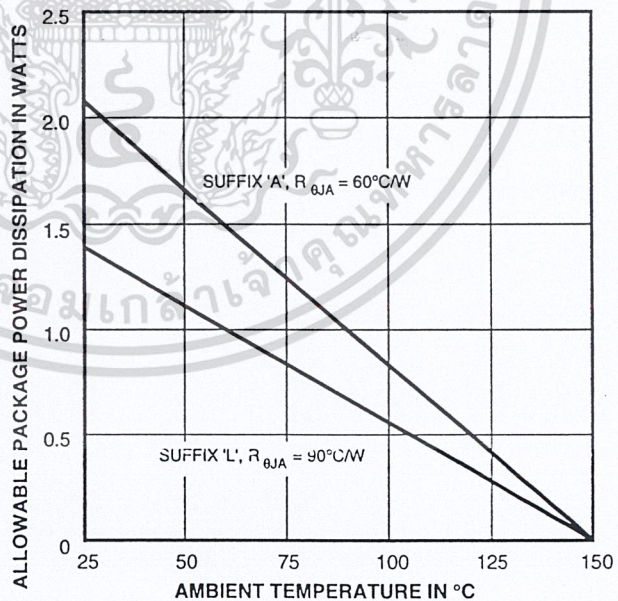


Dwg. No. A-9651

ULN20x4A/L (Each Driver)



Dwg. No. A-9898A



Dwg. GP-005A

X = Digit to identify specific device. Specification shown applies to family of devices with remaining digits as shown. See matrix above.

**2003 THRU 2024
HIGH-VOLTAGE,
HIGH-CURRENT
DARLINGTON ARRAYS**

**Types ULN2003A, ULN2003L, ULN2004A, and ULN2004L
ELECTRICAL CHARACTERISTICS at +25°C (unless otherwise noted).**

Characteristic	Symbol	Test Fig.	Applicable Devices	Test Conditions	Limits			Units
					Min.	Typ.	Max.	
Output Leakage Current	I_{CEX}	1A	All	$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	< 1	50	μA
				$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	< 1	100	μA
		1B	ULN2004A/L	$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}, V_{IN} = 1.0\text{ V}$	—	< 5	500	μA
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	2	All	$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 250\text{ }\mu\text{A}$	—	0.9	1.1	V
				$I_C = 200\text{ mA}, I_B = 350\text{ }\mu\text{A}$	—	1.1	1.3	V
				$I_C = 350\text{ mA}, I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$	—	1.3	1.6	V
Input Current	$I_{IN(ON)}$	3	ULN2003A/L	$V_{IN} = 3.85\text{ V}$	—	0.93	1.35	mA
			ULN2004A/L	$V_{IN} = 5.0\text{ V}$	—	0.35	0.5	mA
				$V_{IN} = 12\text{ V}$	—	1.0	1.45	mA
	$I_{IN(OFF)}$	4	All	$I_C = 500\text{ }\mu\text{A}, T_A = 70^\circ\text{C}$	50	65	—	μA
Input Voltage	$V_{IN(ON)}$	5	ULN2003A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	—	2.4	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 250\text{ mA}$	—	—	2.7	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 300\text{ mA}$	—	—	3.0	V
		ULN2004A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 125\text{ mA}$	—	—	5.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	—	6.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 275\text{ mA}$	—	—	7.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 350\text{ mA}$	—	—	8.0	V	
			—	All	—	—	15	25
Turn-On Delay	t_{PLH}	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	μs
Turn-Off Delay	t_{PHL}	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	μs
Clamp Diode Leakage Current	I_R	6	All	$V_R = 50\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	—	50	μA
				$V_R = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	—	100	μA
Clamp Diode Forward Voltage	V_F	7	All	$I_F = 350\text{ mA}$	—	1.7	2.0	V

Complete part number includes suffix to identify package style: A = DIP, L = SOIC.

**2003 THRU 2024
HIGH-VOLTAGE,
HIGH-CURRENT
DARLINGTON ARRAYS**

**Types ULN2023A, ULN2023L, ULN2024A, and ULN2024L
ELECTRICAL CHARACTERISTICS at +25°C (unless otherwise noted).**

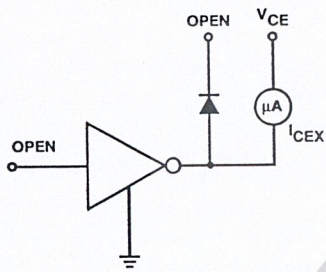
Characteristic	Symbol	Test Fig.	Applicable Devices	Test Conditions	Limits			
					Min.	Typ.	Max.	Units
Output Leakage Current	I_{CEX}	1A	All	$V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	< 1	50	μA
				$V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	< 1	100	μA
		1B	ULN2024A/L	$V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}, V_{IN} = 1.0\text{ V}$	—	< 5	500	μA
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	2	All	$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 250\text{ }\mu\text{A}$	—	0.9	1.1	V
				$I_C = 200\text{ mA}, I_B = 350\text{ }\mu\text{A}$	—	1.1	1.3	V
				$I_C = 350\text{ mA}, I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$	—	1.3	1.6	V
Input Current	$I_{IN(ON)}$	3	ULN2023A/L	$V_{IN} = 3.85\text{ V}$	—	0.93	1.35	mA
				$V_{IN} = 5.0\text{ V}$	—	0.35	0.5	mA
			ULN2024A/L	$V_{IN} = 12\text{ V}$	—	1.0	1.45	mA
	$I_{IN(OFF)}$	4	All	$I_C = 500\text{ }\mu\text{A}, T_A = 70^\circ\text{C}$	50	65	—	μA
Input Voltage	$V_{IN(ON)}$	5	ULN2023A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	—	2.4	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 250\text{ mA}$	—	—	2.7	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 300\text{ mA}$	—	—	3.0	V
		ULN2024A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 125\text{ mA}$	—	—	5.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	—	6.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 275\text{ mA}$	—	—	7.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 350\text{ mA}$	—	—	8.0	V	
Input Capacitance	C_{IN}	—	All		—	15	25	pF
Turn-On Delay	t_{PLH}	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	μs
Turn-Off Delay	t_{PHL}	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	μs
Clamp Diode Leakage Current	I_R	6	All	$V_R = 95\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	—	50	μA
				$V_R = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	—	100	μA
Clamp Diode Forward Voltage	V_F	7	All	$I_F = 350\text{ mA}$	—	1.7	2.0	V

Complete part number includes suffix to identify package style: A = DIP, L = SOIC.

2003 THRU 2024 HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT DARLINGTON ARRAYS

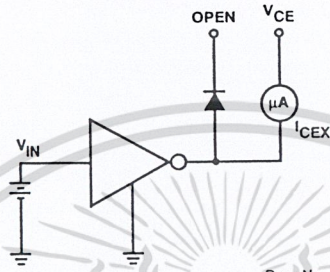
TEST FIGURES

FIGURE 1A



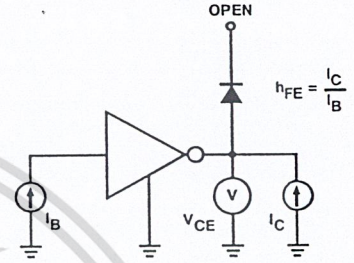
Dwg. No. A-9729A

FIGURE 1B



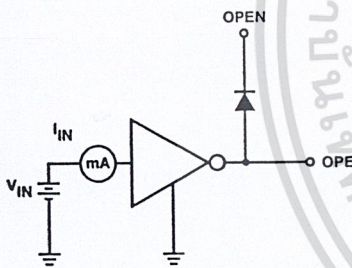
Dwg. No. A-9730A

FIGURE 2



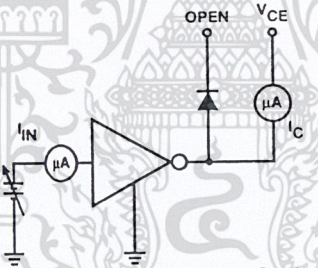
Dwg. No. A-9731A

FIGURE 3



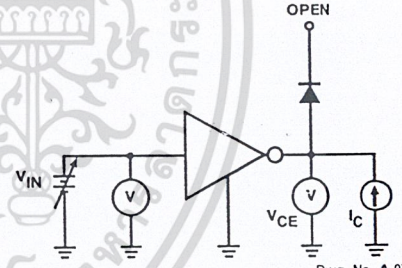
Dwg. No. A-9732A

FIGURE 4



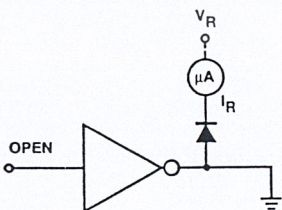
Dwg. No. A-9733A

FIGURE 5



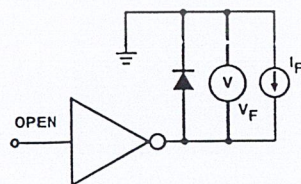
Dwg. No. A-9734A

FIGURE 6



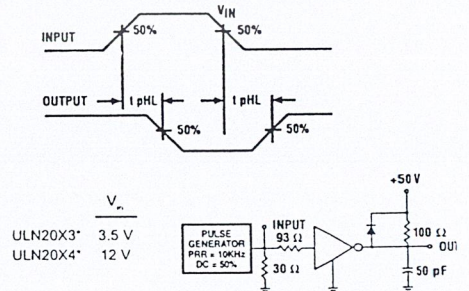
Dwg. No. A-9735A

FIGURE 7



Dwg. No. A-9736A

FIGURE 8



* Complete part number includes a final letter to indicate package.

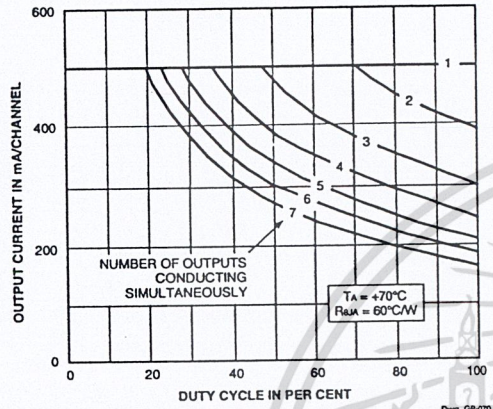
X = Digit to identify specific device. Specification shown applies to family of devices with remaining digits as shown.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
www.allegromicro.com

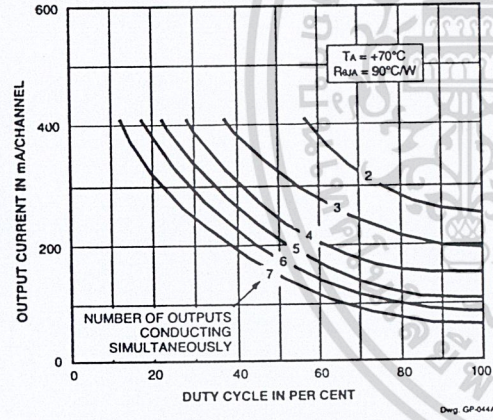
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2003 THRU 2024 HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT DARLINGTON ARRAYS

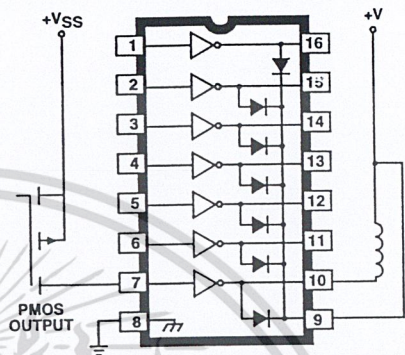
ALLOWABLE COLLECTOR CURRENT AS A FUNCTION OF DUTY CYCLE (Dual In-line-Packaged Devices, Suffix 'A')



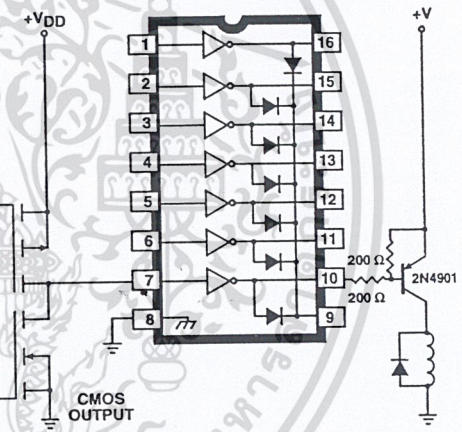
(Small-Outline-Packaged Devices, Suffix 'L')



TYPICAL APPLICATIONS

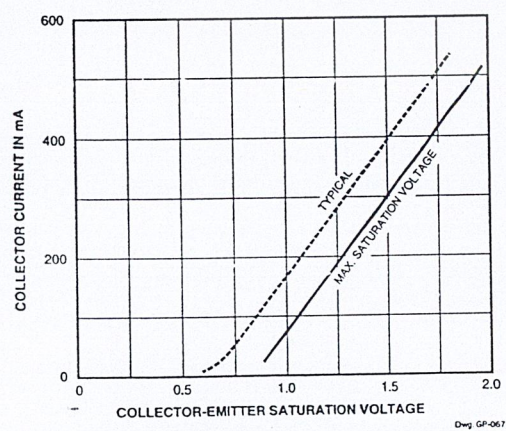


Dwg. No. A-9652

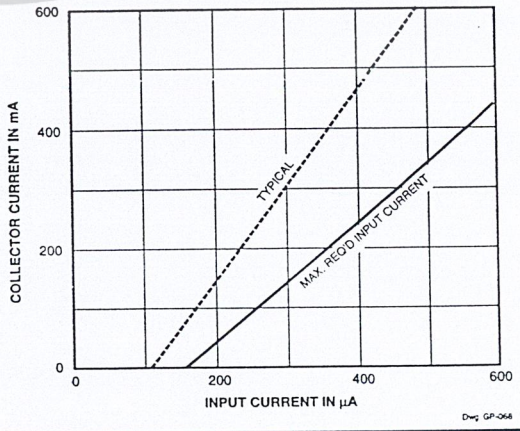


Dwg. No. A-9654A

SATURATION VOLTAGE AS A FUNCTION OF COLLECTOR CURRENT



COLLECTOR CURRENT AS A FUNCTION OF INPUT CURRENT

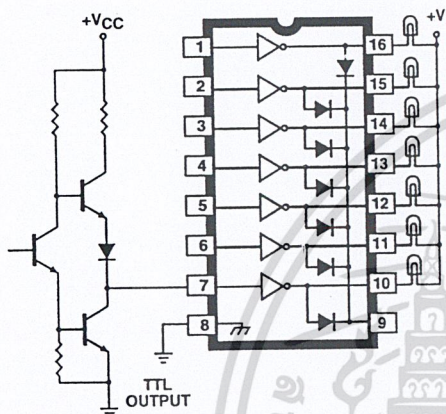


2003 THRU 2024 HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT DARLINGTON ARRAYS

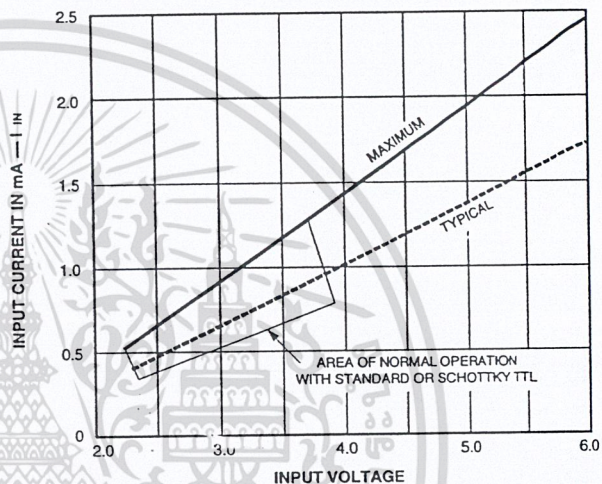
TYPICAL APPLICATIONS

INPUT CURRENT AS A FUNCTION OF INPUT VOLTAGE

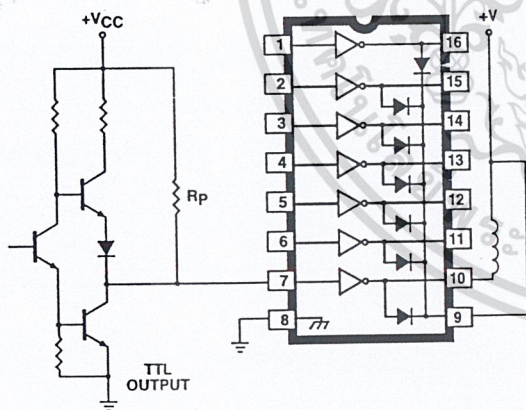
Types ULN2003A, ULN2003L, ULN2023A, and
ULN2023L



Dwg. No. A-9653A

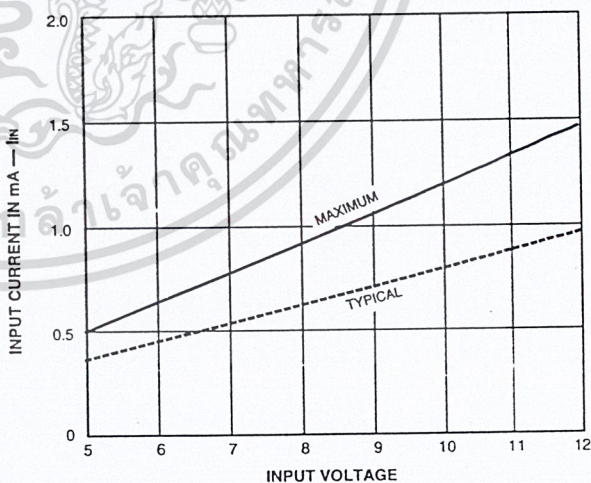


Dwg GP-069



Dwg. No. A-10,175

Types ULN2004A, ULN2004L, ULN2024A, and
ULN2024L

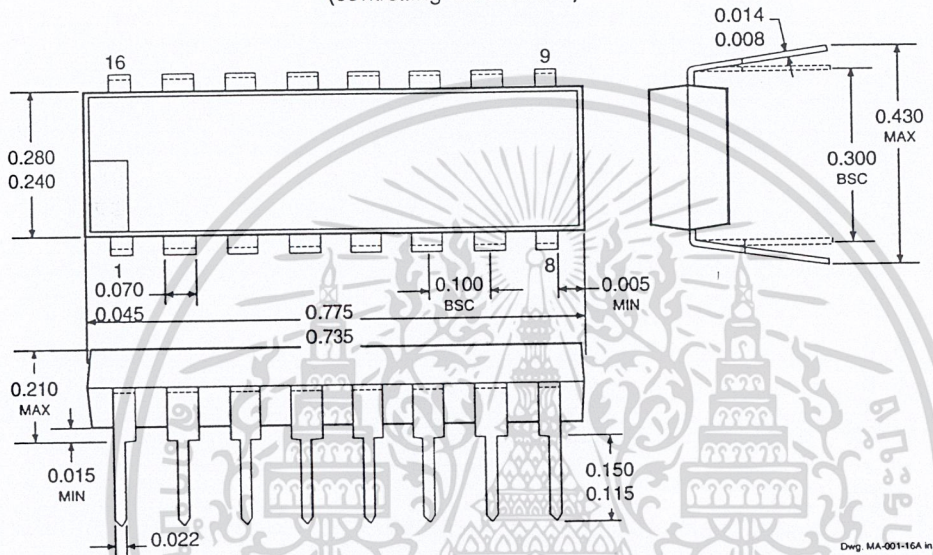


Dwg GP-069-1

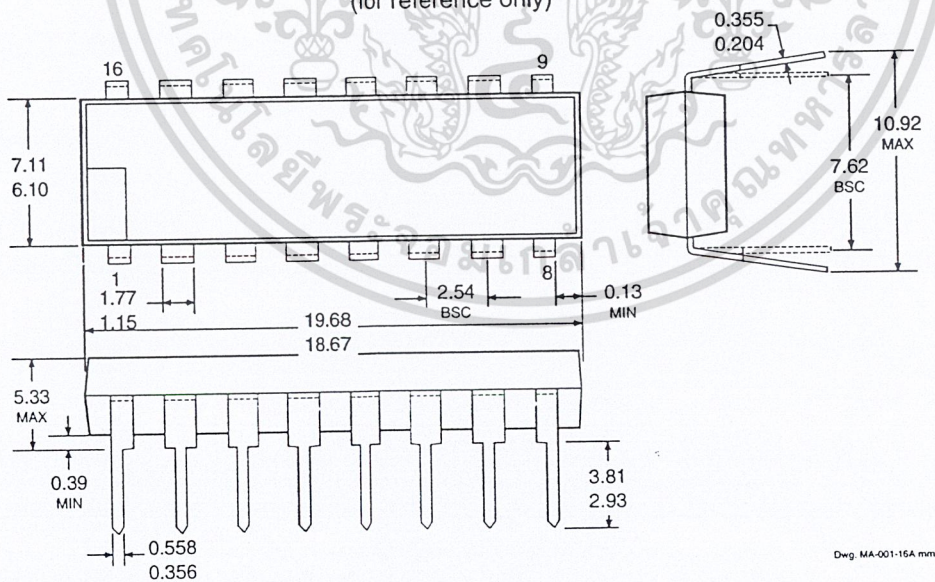
**2003 THRU 2024
HIGH-VOLTAGE,
HIGH-CURRENT
DARLINGTON ARRAYS**

PACKAGE DESIGNATOR "A"

Dimensions in Inches
(controlling dimensions)



Dimension in Millimeters
(for reference only)

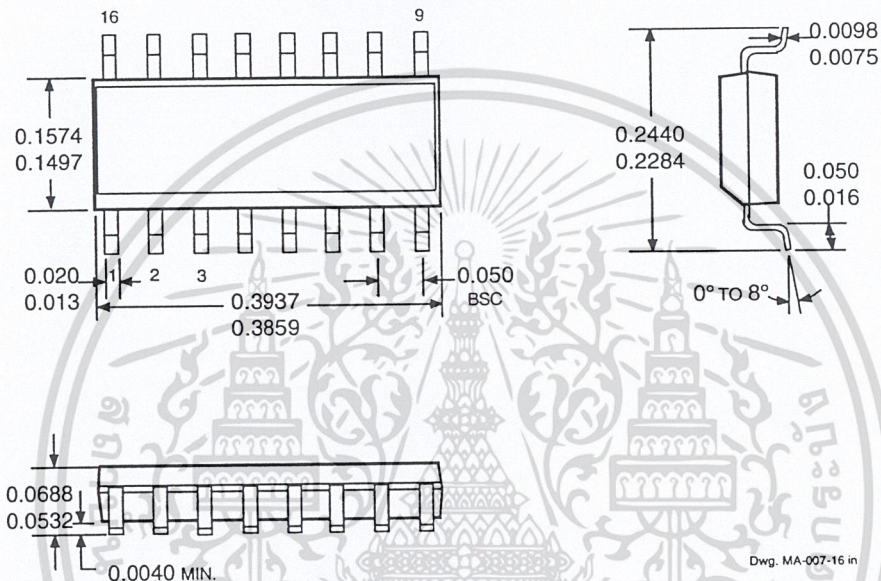


- NOTES: 1. Leads 1, 8, 9, and 16 may be half leads at vendor's option.
2. Lead thickness is measured at seating plane or below.
3. Lead spacing tolerance is non-cumulative.
4. Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown.

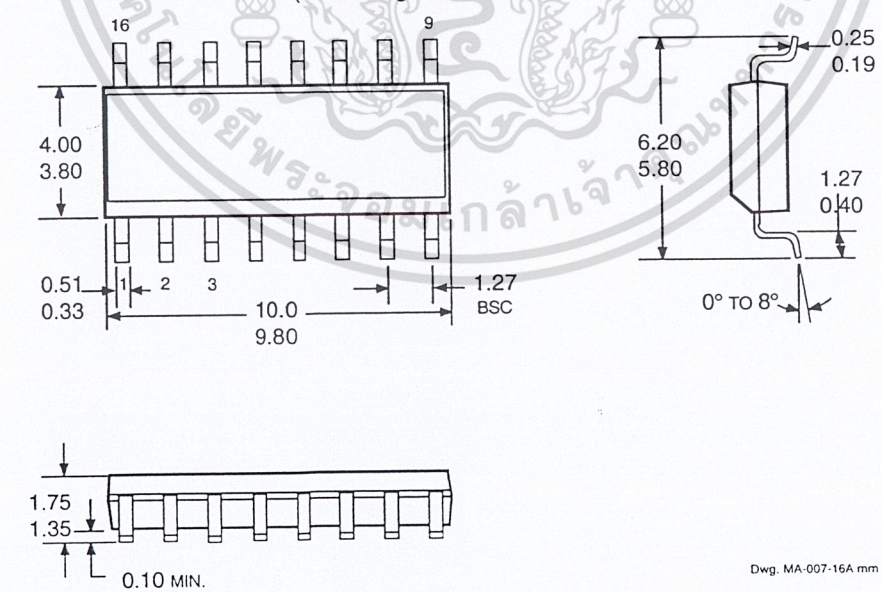
2003 THRU 2024
**HIGH-VOLTAGE,
HIGH-CURRENT
DARLINGTON ARRAYS**

PACKAGE DESIGNATOR "L"

Dimensions in Inches
(for reference only)



Dimension in Millimeters
(controlling dimensions)



- NOTES: 1. Lead spacing tolerance is non-cumulative.
2. Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown.

ADC0808/ADC0809

8-Bit μ P Compatible A/D Converters with 8-Channel Multiplexer

General Description

The ADC0808, ADC0809 data acquisition component is a monolithic CMOS device with an 8-bit analog-to-digital converter, 8-channel multiplexer and microprocessor compatible control logic. The 8-bit A/D converter uses successive approximation as the conversion technique. The converter features a high impedance chopper stabilized comparator, a 256R voltage divider with analog switch tree and a successive approximation register. The 8-channel multiplexer can directly access any of 8 single-ended analog signals.

The device eliminates the need for external zero and full-scale adjustments. Easy interfacing to microprocessors is provided by the latched and decoded multiplexer address inputs and latched TTL TRI-STATE[®] outputs.

The design of the ADC0808, ADC0809 has been optimized by incorporating the most desirable aspects of several A/D conversion techniques. The ADC0808, ADC0809 offers high speed, high accuracy, minimal temperature dependence, excellent long-term accuracy and repeatability, and consumes minimal power. These features make this device ideally suited to applications from process and machine control to consumer and automotive applications. For 16-channel multiplexer with common output (sample/hold port) see ADC0816 data sheet. (See AN-247 for more information.)

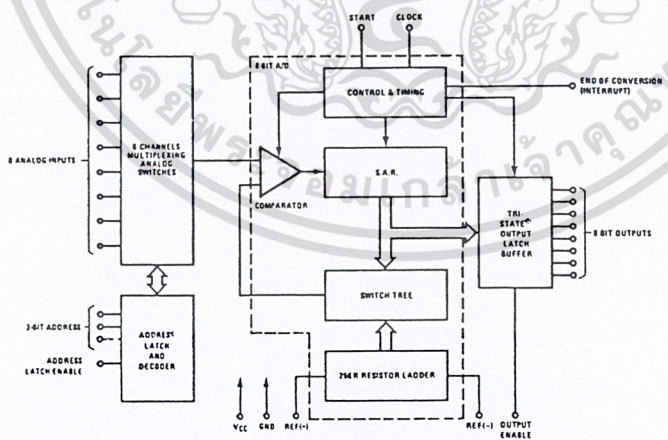
Features

- Easy interface to all microprocessors
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} or analog span adjusted voltage reference
- No zero or full-scale adjust required
- 8-channel multiplexer with address logic
- 0V to 5V input range with single 5V power supply
- Outputs meet TTL voltage level specifications
- Standard hermetic or molded 28-pin DIP package
- 28-pin molded chip carrier package
- ADC0808 equivalent to MM74C949
- ADC0809 equivalent to MM74C949-1

Key Specifications

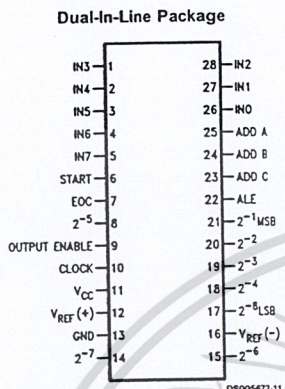
■ Resolution	8 Bits
■ Total Unadjusted Error	$\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB
■ Single Supply	5 V _{DC}
■ Low Power	15 mW
■ Conversion Time	100 μ s

Block Diagram



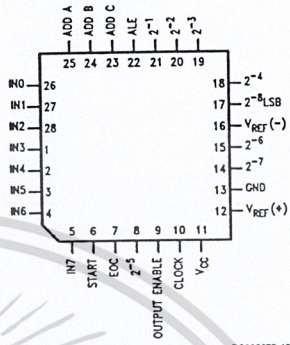
See Ordering Information

Connection Diagrams



Order Number ADC0808CCN or ADC0809CCN
See NS Package J28A or N28A

Molded Chip Carrier Package



Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
See NS Package V28A

Ordering Information

TEMPERATURE RANGE		-40°C to +85°C			-55°C to +125°C
Error	±½ LSB Unadjusted	ADC0808CCN	ADC0808CCV	ADC0808CCJ	ADC0808CJ
	±1 LSB Unadjusted	ADC0809CCN	ADC0809CCV		
Package Outline		N28A Molded DIP	V28A Molded Chip Carrier	J28A Ceramic DIP	J28A Ceramic DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Notes 2, 1)

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

Supply Voltage (V_{CC}) (Note 3)	6.5V
Voltage at Any Pin	-0.3V to ($V_{CC}+0.3V$)
Except Control Inputs	
Voltage at Control Inputs (START, OE, CLOCK, ALE, ADD A, ADD B, ADD C)	-0.3V to +15V
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at $T_A=25^\circ\text{C}$	875 mW
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C

Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Molded Chip Carrier Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 8)	400V

Operating Conditions (Notes 1, 2)

Temperature Range (Note 1)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$
ADC0808CCN, ADC0809CCN	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$
ADC0808CCV, ADC0809CCV	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$
Range of V_{CC} (Note 1)	$4.5 V_{DC}$ to $6.0 V_{DC}$

Electrical Characteristics

Converter Specifications: $V_{CC}=5$, $V_{DC}=V_{REF+}$, $V_{REF-}=GND$, $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ and $f_{CLK}=640$ kHz unless otherwise stated.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
	ADC0808					
	Total Unadjusted Error (Note 5)	25°C T_{MIN} to T_{MAX}			$\pm 1/2$ $\pm 3/4$	LSB LSB
	ADC0809					
	Total Unadjusted Error (Note 5)	0°C to 70°C T_{MIN} to T_{MAX}			± 1 $\pm 1 1/4$	LSB LSB
	Input Resistance	From Ref(+) to Ref(-)	1.0	2.5		k Ω
	Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(-)	GND-0.10		$V_{CC}+0.10$	V_{DC}
$V_{REF(+)}$	Voltage, Top of Ladder	Measured at Ref(+)		V_{CC}	$V_{CC}+0.1$	V
$\frac{V_{REF(+)} + V_{REF(-)}}{2}$	Voltage, Center of Ladder		$V_{CC}/2-0.1$	$V_{CC}/2$	$V_{CC}/2+0.1$	V
$V_{REF(-)}$	Voltage, Bottom of Ladder	Measured at Ref(-)	-0.1	0		V
I_{IN}	Comparator Input Current	$f_c=640$ kHz, (Note 6)	-2	± 0.5	2	μA

Electrical Characteristics

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, $4.75 \leq V_{CC} \leq 5.25$ V, $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ANALOG MULTIPLEXER						
$I_{OFF(+)}$	OFF Channel Leakage Current	$V_{CC}=5$ V, $V_{IN}=5$ V, $T_A=25^\circ\text{C}$ T_{MIN} to T_{MAX}		10	200 1.0	nA μA
$I_{OFF(-)}$	OFF Channel Leakage Current	$V_{CC}=5$ V, $V_{IN}=0$, $T_A=25^\circ\text{C}$ T_{MIN} to T_{MAX}	-200 -1.0	-10		nA μA
CONTROL INPUTS						
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage		$V_{CC}-1.5$			V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage				1.5	V
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN}=15$ V			1.0	μA
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	$V_{IN}=0$	-1.0			μA
I_{CC}	Supply Current	$f_{CLK}=640$ kHz		0.3	3.0	mA

Electrical Characteristics (Continued)

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, $4.75 \leq V_{CC} \leq 5.25V$, $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)						
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$V_{CC} = 4.75V$ $I_{OUT} = -360\mu A$ $I_{OUT} = -10\mu A$		2.4 4.5		V(min) V(min)
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$I_O = 1.6 \text{ mA}$			0.45	V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage EOC	$I_O = 1.2 \text{ mA}$			0.45	V
I_{OUT}	TRI-STATE Output Current	$V_O = 5V$ $V_O = 0$	-3		3	μA μA

Electrical Characteristics

Timing Specifications $V_{CC} = V_{REF(+)} = 5V$, $V_{REF(-)} = GND$, $t_r = t_f = 20 \text{ ns}$ and $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{WS}	Minimum Start Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t_{WALE}	Minimum ALE Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t_s	Minimum Address Set-Up Time	(Figure 5)		25	50	ns
t_H	Minimum Address Hold Time	(Figure 5)		25	50	ns
t_D	Analog MUX Delay Time From ALE	$R_S = 0\Omega$ (Figure 5)		1	2.5	μs
t_{HI}, t_{H0}	OE Control to Q Logic State	$C_L = 50 \text{ pF}$, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_{IH}, t_{OH}	OE Control to Hi-Z	$C_L = 10 \text{ pF}$, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_c	Conversion Time	$f_c = 640 \text{ kHz}$, (Figure 5) (Note 7)	90	100	110	μs
f_c	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
t_{EOC}	EOC Delay Time	(Figure 5)	0		8+2 μs	Clock Periods
C_{IN}	Input Capacitance	At Control Inputs		10	15	pF
C_{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance	At TRI-STATE Outputs		10	15	pF

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified.

Note 3: A zener diode exists, internally, from V_{CC} to GND and has a typical breakdown voltage of $7 V_{DC}$.

Note 4: Two on-chip diodes are tied to each analog input which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC} supply. The spec allows 100 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 100 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0V_{DC} to 5V_{DC} input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.900 V_{DC} over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiplexer errors. See Figure 3. None of these A/Ds requires a zero or full-scale adjust. However, if an all zero code is desired for an analog input other than 0.0V, or if a narrow full-scale span exists (for example: 0.5V to 4.5V full-scale) the reference voltages can be adjusted to achieve this. See Figure 13.

Note 6: Comparator input current is a bias current into or out of the chopper stabilized comparator. The bias current varies directly with clock frequency and has little temperature dependence (Figure 6). See paragraph 4.0.

Note 7: The outputs of the data register are updated one clock cycle before the rising edge of EOC.

Note 8: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Functional Description

Multiplexer. The device contains an 8-channel single-ended analog signal multiplexer. A particular input channel is selected by using the address decoder. *Table 1* shows the input states for the address lines to select any channel. The address is latched into the decoder on the low-to-high transition of the address latch enable signal.

TABLE 1.

SELECTED ANALOG CHANNEL	ADDRESS LINE		
	C	B	A
IN0	L	L	L
IN1	L	L	H
IN2	L	H	L
IN3	L	H	H
IN4	H	L	L
IN5	H	L	H
IN6	H	H	L
IN7	H	H	H

CONVERTER CHARACTERISTICS

The Converter

The heart of this single chip data acquisition system is its 8-bit analog-to-digital converter. The converter is designed to give fast, accurate, and repeatable conversions over a wide range of temperatures. The converter is partitioned into 3 major sections: the 256R ladder network, the successive approximation register, and the comparator. The converter's digital outputs are positive true.

The 256R ladder network approach (*Figure 1*) was chosen over the conventional R/2R ladder because of its inherent monotonicity, which guarantees no missing digital codes. Monotonicity is particularly important in closed loop feedback control systems. A non-monotonic relationship can cause oscillations that will be catastrophic for the system. Additionally, the 256R network does not cause load variations on the reference voltage.

The bottom resistor and the top resistor of the ladder network in *Figure 1* are not the same value as the remainder of the network. The difference in these resistors causes the output characteristic to be symmetrical with the zero and full-scale points of the transfer curve. The first output transition occurs when the analog signal has reached $+1/2$ LSB and succeeding output transitions occur every 1 LSB later up to full-scale.

The successive approximation register (SAR) performs 8 iterations to approximate the input voltage. For any SAR type converter, n-iterations are required for an n-bit converter. *Figure 2* shows a typical example of a 3-bit converter. In the ADC0808, ADC0809, the approximation technique is extended to 8 bits using the 256R network.

The A/D converter's successive approximation register (SAR) is reset on the positive edge of the start conversion (SC) pulse. The conversion is begun on the falling edge of the start conversion pulse. A conversion in process will be interrupted by receipt of a new start conversion pulse. Continuous conversion may be accomplished by tying the end-of-conversion (EOC) output to the SC input. If used in this mode, an external start conversion pulse should be applied after power up. End-of-conversion will go low between 0 and 8 clock pulses after the rising edge of start conversion.

The most important section of the A/D converter is the comparator. It is this section which is responsible for the ultimate accuracy of the entire converter. It is also the comparator drift which has the greatest influence on the repeatability of the device. A chopper-stabilized comparator provides the most effective method of satisfying all the converter requirements.

The chopper-stabilized comparator converts the DC input signal into an AC signal. This signal is then fed through a high gain AC amplifier and has the DC level restored. This technique limits the drift component of the amplifier since the drift is a DC component which is not passed by the AC amplifier. This makes the entire A/D converter extremely insensitive to temperature, long term drift and input offset errors.

Figure 4 shows a typical error curve for the ADC0808 as measured using the procedures outlined in AN-179.

Functional Description (Continued)

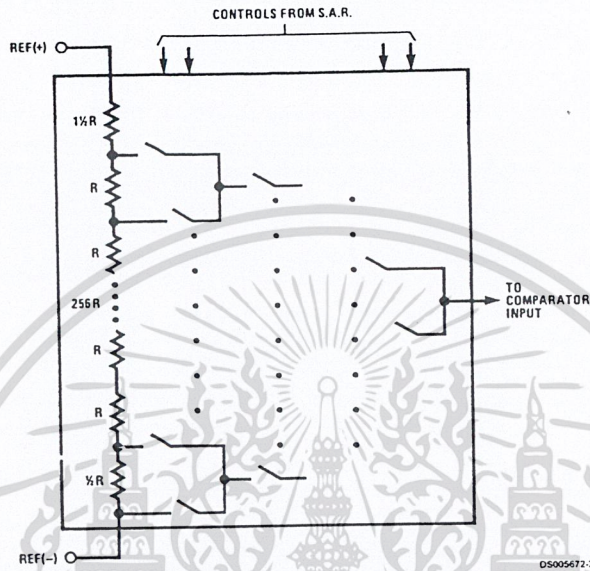


FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree

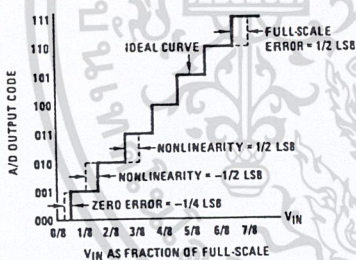


FIGURE 2. 3-Bit A/D Transfer Curve

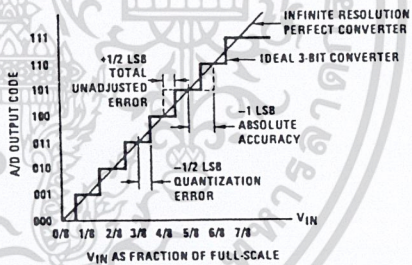


FIGURE 3. 3-Bit A/D Absolute Accuracy Curve

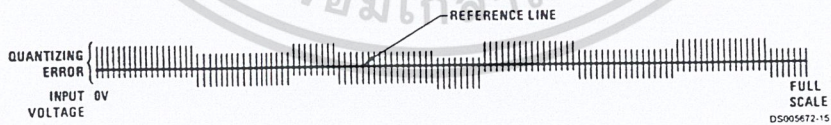


FIGURE 4. Typical Error Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timing Diagram

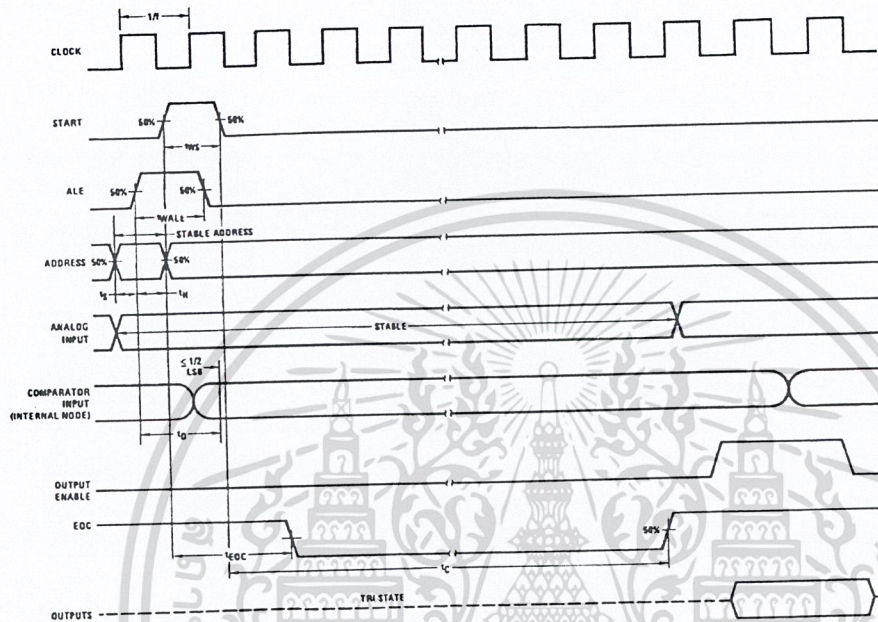


FIGURE 5.

DS005672-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

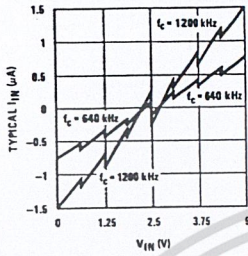


FIGURE 6. Comparator I_{IN} vs V_{IN} ($V_{CC}=V_{REF}=5V$)

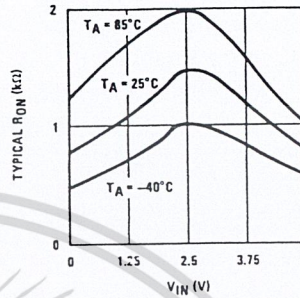


FIGURE 7. Multiplexer R_{ON} vs V_{IN} ($V_{CC}=V_{REF}=5V$)

TRI-STATE Test Circuits and Timing Diagrams

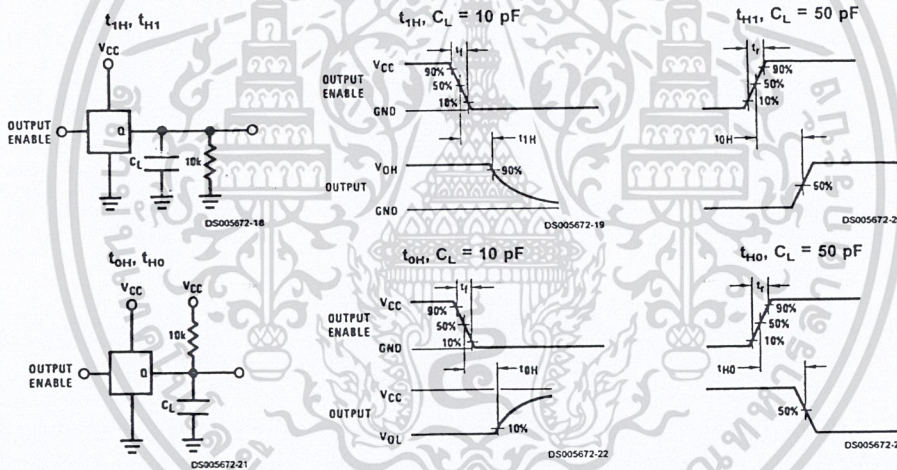


FIGURE 8.

Applications Information

OPERATION

1.0 RATIOMETRIC CONVERSION

The ADC0808, ADC0809 is designed as a complete Data Acquisition System (DAS) for ratiometric conversion systems. In ratiometric systems, the physical variable being measured is expressed as a percentage of full-scale which is not necessarily related to an absolute standard. The voltage input to the ADC0808 is expressed by the equation

$$\frac{V_{IN}}{V_{FS}-V_Z} = \frac{D_X}{D_{MAX}-D_{MIN}} \quad (1)$$

V_{IN} =Input voltage into the ADC0808

V_{FS} =Full-scale voltage

V_Z =Zero voltage

D_X =Data point being measured

D_{MAX} =Maximum data limit

D_{MIN} =Minimum data limit

A good example of a ratiometric transducer is a potentiometer used as a position sensor. The position of the wiper is directly proportional to the output voltage which is a ratio of the full-scale voltage across it. Since the data is represented as a proportion of full-scale, reference requirements are greatly reduced, eliminating a large source of error and cost for many applications. A major advantage of the ADC0808, ADC0809 is that the input voltage range is equal to the supply range so the transducers can be connected directly across the supply and their outputs connected directly into the multiplexer inputs, (Figure 9).

Ratiometric transducers such as potentiometers, strain gauges, thermistor bridges, pressure transducers, etc., are suitable for measuring proportional relationships; however, many types of measurements must be referred to an absolute standard such as voltage or current. This means a sys-

Applications Information (Continued)

tem reference must be used which relates the full-scale voltage to the standard volt. For example, if $V_{CC}=V_{REF}=5.12V$, then the full-scale range is divided into 256 standard steps. The smallest standard step is 1 LSB which is then 20 mV.

2.0 RESISTOR LADDER LIMITATIONS

The voltages from the resistor ladder are compared to the selected into 8 times in a conversion. These voltages are coupled to the comparator via an analog switch tree which is referenced to the supply. The voltages at the top, center and bottom of the ladder must be controlled to maintain proper operation.

The top of the ladder, Ref(+), should not be more positive than the supply, and the bottom of the ladder, Ref(-), should not be more negative than ground. The center of the ladder voltage must also be near the center of the supply because the analog switch tree changes from N-channel switches to P-channel switches. These limitations are automatically satisfied in ratiometric systems and can be easily met in ground referenced systems.

Figure 10 shows a ground referenced system with a separate supply and reference. In this system, the supply must be trimmed to match the reference voltage. For instance, if a 5.12V is used, the supply should be adjusted to the same voltage within 0.1V.

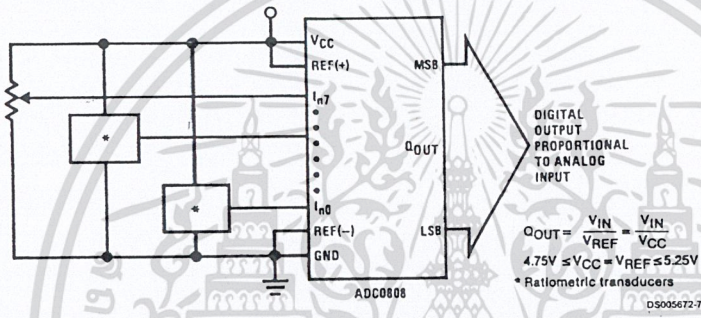
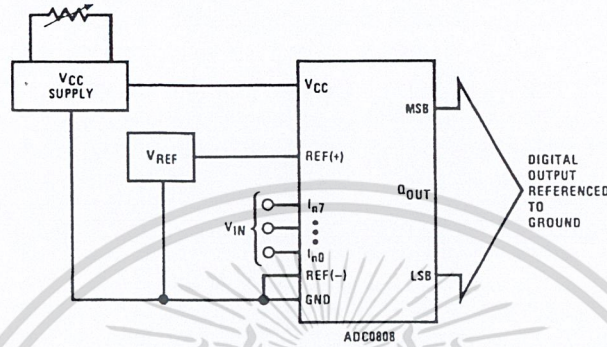


FIGURE 9. Ratiometric Conversion System

The ADC0808 needs less than a milliamp of supply current so developing the supply from the reference is readily accomplished. In Figure 11 a ground referenced system is shown which generates the supply from the reference. The buffer shown can be an op amp of sufficient drive to supply the milliamp of supply current and the desired bus drive, or if a capacitive bus is driven by the outputs a large capacitor will supply the transient supply current as seen in Figure 12. The LM301 is overcompensated to insure stability when loaded by the 10 μF output capacitor.

The top and bottom ladder voltages cannot exceed V_{CC} and ground, respectively, but they can be symmetrically less than V_{CC} and greater than ground. The center of the ladder voltage should always be near the center of the supply. The sensitivity of the converter can be increased, (i.e., size of the LSB steps decreased) by using a symmetrical reference system. In Figure 13, a 2.5V reference is symmetrically centered about $V_{CC}/2$ since the same current flows in identical resistors. This system with a 2.5V reference allows the LSB bit to be half the size of a 5V reference system.

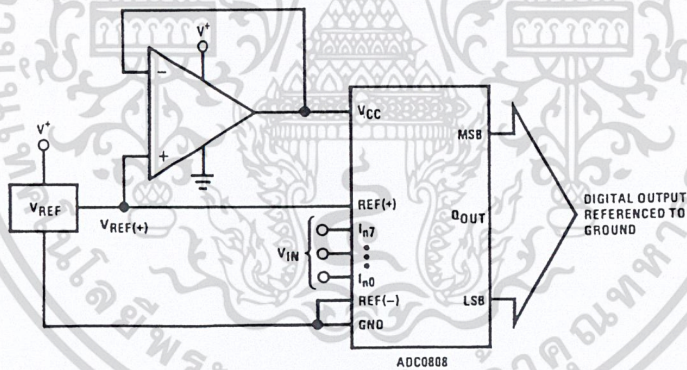
Applications Information (Continued)



$$Q_{OUT} = \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$$

$$4.75V \leq V_{CC} = V_{REF} \leq 5.25V$$

FIGURE 10. Ground Referenced Conversion System Using Trimmed Supply



$$Q_{OUT} = \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$$

$$4.75V \leq V_{CC} = V_{REF} \leq 5.25V$$

FIGURE 11. Ground Referenced Conversion System with Reference Generating V_{CC} Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

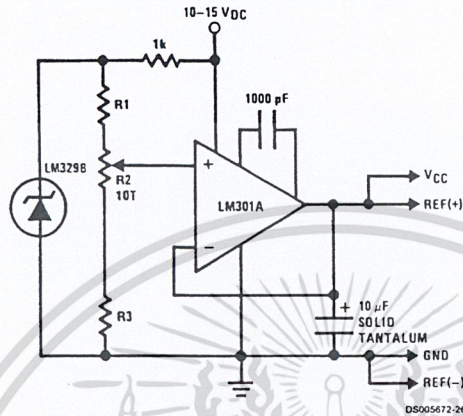


FIGURE 12. Typical Reference and Supply Circuit

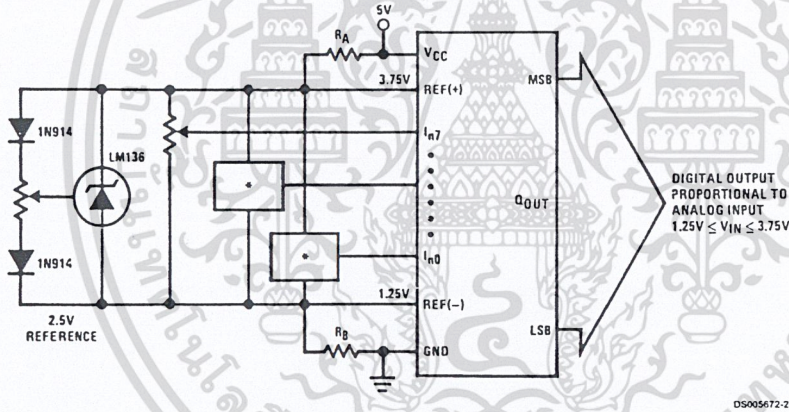


FIGURE 13. Symmetrically Centered Reference

$R_A = R_B$

*Ratiometric transducers

3.0 CONVERTER EQUATIONS

The transition between adjacent codes N and N+1 is given by:

$$V_{IN} = \left\{ (V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \left[\frac{N}{256} + \frac{1}{512} \right] \pm V_{TUE} \right\} + V_{REF(-)} \quad (2)$$

The center of an output code N is given by:

$$V_{IN} \left\{ (V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \left[\frac{N}{256} \right] \pm V_{TUE} \right\} + V_{REF(-)} \quad (3)$$

The output code N for an arbitrary input are the integers within the range:

$$N = \frac{V_{IN} - V_{REF(-)}}{V_{REF(+)} - V_{REF(-)}} \times 255 \pm \text{Absolute Accuracy} \quad (4)$$

Where: V_{IN} = Voltage at comparator input
 $V_{REF(+)}$ = Voltage at Ref(+)
 $V_{REF(-)}$ = Voltage at Ref(-)
 V_{TUE} = Total unadjusted error voltage (typically $V_{REF(+)} \pm 512$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

4.0 ANALOG COMPARATOR INPUTS

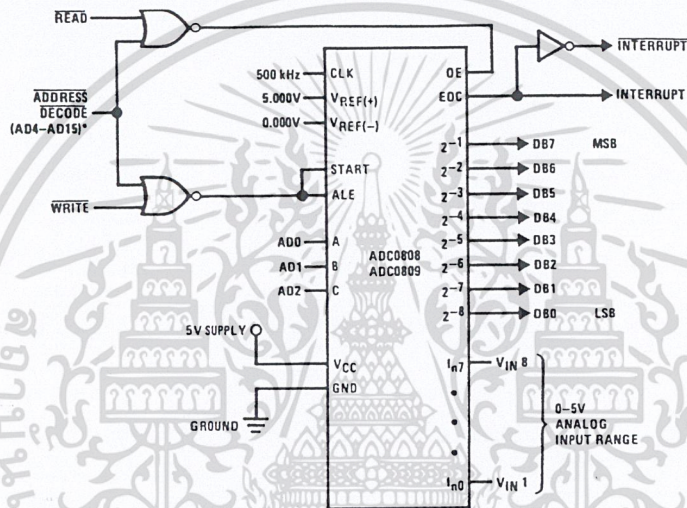
The dynamic comparator input current is caused by the periodic switching of on-chip stray capacitances. These are connected alternately to the output of the resistor ladder/switch tree network and to the comparator input as part of the operation of the chopper stabilized comparator.

The average value of the comparator input current varies directly with clock frequency and with V_{IN} as shown in Figure 6.

If no filter capacitors are used at the analog inputs and the signal source impedances are low, the comparator input current should not introduce converter errors, as the transient created by the capacitance discharge will die out before the comparator output is strobed.

If input filter capacitors are desired for noise reduction and signal conditioning they will tend to average out the dynamic comparator input current. It will then take on the characteristics of a DC bias current whose effect can be predicted conventionally.

Typical Application

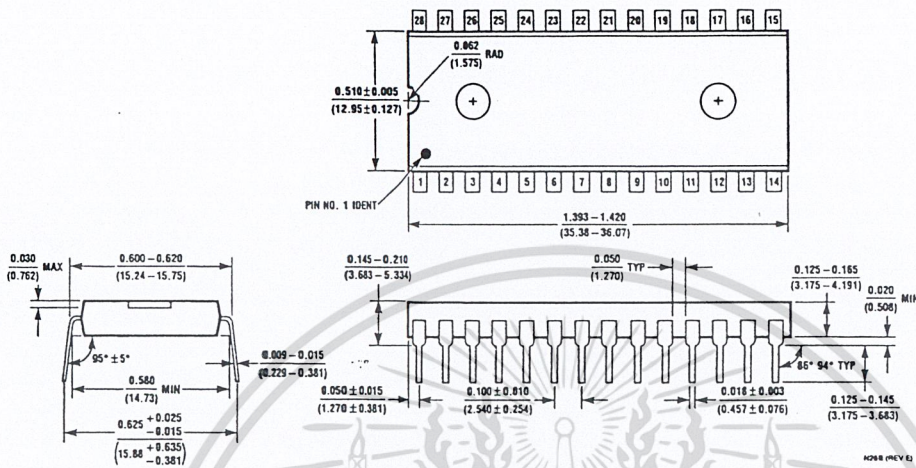


*Address latches needed for 8085 and SCMP interfacing the ADC0808 to a microprocessor

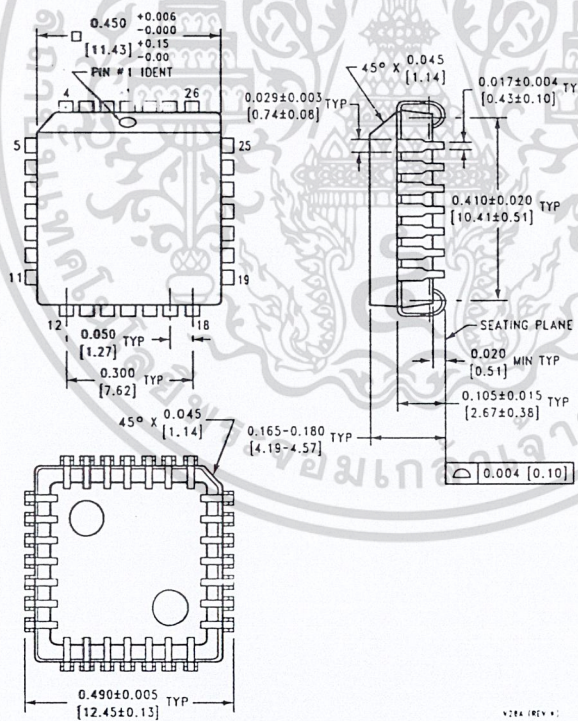
TABLE 2. Microprocessor Interface Table

PROCESSOR	READ	WRITE	INTERRUPT (COMMENT)
8080	MEMR	MEMW	INTR (Thru RST Circuit)
8085	\overline{RD}	\overline{WR}	INTR (Thru RST Circuit)
Z-80	\overline{RD}	\overline{WR}	\overline{INT} (Thru RST Circuit, Mode 0)
SC/MP	NRDS	NWDS	SA (Thru Sense A)
6800	$VMA \cdot \phi_2 \cdot R/W$	$VMA \cdot \phi_1 \cdot R/W$	\overline{IRQA} or \overline{IRQB} (Thru PIA)

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number ADC0808CCN or ADC0809CCN
NS Package Number N28B



Molded Chip Carrier (V)
Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
NS Package Number V28A

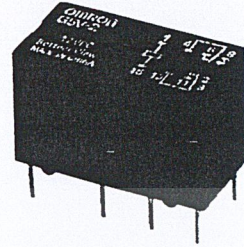
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OMRON®

Low Signal Relay

G5V-2

- Suitable for handling low signals in computer peripherals, telecommunications and security equipment
- Capable of switching loads up to 2 A
- Conforms to FCC part 68 1500 V surge withstand
- Reliable bifurcated crossbar contacts
- Fully-sealed construction



Ordering Information

To Order: Select the part number and add the desired coil voltage rating (e.g., G5V-2-DC12).

Type	Contact form	Construction	Part number
Standard	DPDT	Fully-sealed	G5V-2
High-sensitivity			G5V-2-H
Ultra-sensitive			G5V-2-H1

Specifications

■ CONTACT DATA

Load	Resistive load (p.f. = 1)
Rated load	0.50 A at 125 VAC 2 A at 30 VDC
Contact material	Ag (Au clad)
Carry current	2 A
Max. operating voltage	125 VAC 125 VDC
Max. operating current	2 A
Max. switching capacity	62.50 VA 60W
Min. permissible load	10 μ A, 10 mVDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ COIL DATA

Standard type

Rated voltage (VDC)	Rated current (mA)	Coil resistance (Ω)	Coil inductance (Ref. value) (H)		Pick-up voltage	Dropout voltage	Maximum voltage	Power consumption (mW)
			Armature OFF	Armature ON				
3	166.70	18	0.04	0.05	75% max.	5% min.	120% max. at 65°C (149°F)	Approx. 500
5	100	50	0.09	0.11				
6	83.30	72	0.16	0.19				
9	55.60	162	0.31	0.49				
12	41.70	288	0.47	0.74				
24	20.80	1,152	1.98	2.68				
48	12	4,000	—	—			110% max. at 60°C (140°F)	Approx. 580

High-sensitivity type

Rated voltage (VDC)	Rated current (mA)	Coil resistance (Ω)	Coil inductance (Ref. value) (H)		Pick-up voltage	Dropout voltage	Maximum voltage	Power consumption (mW)
			Armature OFF	Armature ON				
3	120	25	0.04	0.07	75% max.	5% min.	120% max. at 70°C (158°F)	Approx. 360
5	72	70	0.12	0.19				
6	60	100	0.18	0.29				
9	40	225	0.40	0.62				
12	30	400	0.75	1.18				
24	15	1,600	3.16	4.81				
48	7.5	6,400	—	—			110% max. at 70°C (158°F)	

Ultra-sensitive type

Rated voltage (VDC)	Rated current (mA)	Coil resistance (Ω)	Coil inductance (Ref. value) (H)		Pick-up voltage	Dropout voltage	Maximum voltage	Power consumption (mW)	
			Armature OFF	Armature ON					
3	50	60	0.18	0.26	75% max.	5% min.	150% max. at 70°C (158°F)	Approx. 150	
5	30	166.70	0.46	0.71					
6	25	240	0.70	0.97					
9	16.70	540	1.67	2.33					
12	12.50	960	2.90	3.99					
24	8.30	2,880	6.72	9.27					
48	6.25	7,680	20.10	26.70				Approx. 200	
									Approx. 300

Note: 1. The rated current and coil resistance are measured at a coil temperature of 23°C (73°F) with a tolerance of ±10%.
 2. The operating characteristics are measured at a coil temperature of 23°C (73°F).

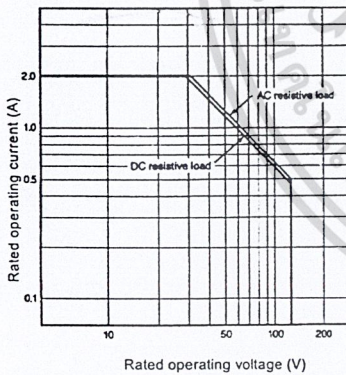
■ CHARACTERISTICS

Contact resistance		50 mΩ max. G5V-2, G5V-2-H, 100 mΩ max. G5V-2-H1
Operate time		7 ms max. (mean value: approx. 3.5 ms)
Release time		3 ms max. (mean value: approx. 0.8 ms)
Bounce time	Operate	Mean value: approx. 0.5 ms
	Release	Mean value: approx. 3.5 ms
Operating frequency	Mechanical	36,000 operations/hour
	Electrical	1,800 operations/hour (under rated load)
Insulation resistance		1,000 MΩ min (at 500 VDC)
Dielectric strength		1,000 VAC, 50/60 Hz for 1 minute between coil and contacts 1,000 VAC, 50/60 Hz for 1 minute between contacts of different poles 750 VAC, 50/60 Hz for 1 minute between contacts of same poles (500 VAC, 50/60 Hz for 1 minute between contacts of same poles for ultra-sensitive type)
Surge withstand voltage		1,500 V 10 X 160 μs (conforms to part 68 of FCC rules)
Vibration	Mechanical durability	10 to 55 Hz, 1.50 mm (0.59 in) double amplitude
	Malfunction durability	
Shock	Mechanical durability	1,000 m/s ² (approx. 100 G)
	Malfunction durability	200 m/s ² (approx. 20 G)
Ambient temperature	Operating/storage	-25° to 70°C (-13° to 158°F)
Humidity		35% to 85% RH
Service life	Mechanical	15 million operations min. (at operating frequency of 36,000 operations/hour)
	Electrical	See "Characteristic Data"
Weight		6 g (0.21 oz)

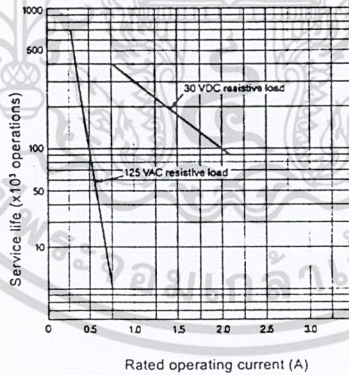
Note: Data shown are of initial value.

■ CHARACTERISTIC DATA

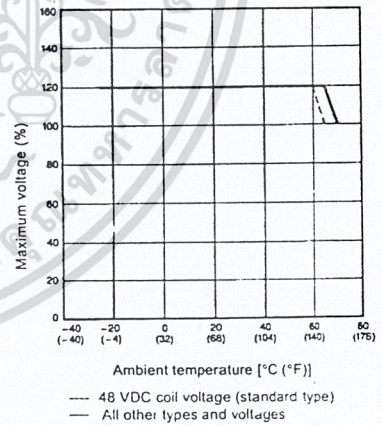
Maximum switching capacity



Electrical service life



Ambient temperature vs. maximum voltage

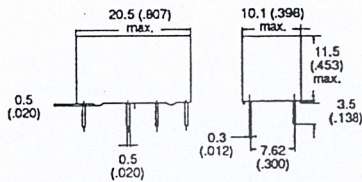


Dimensions

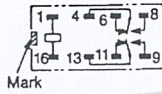
Unit: mm (inch)

■ RELAYS

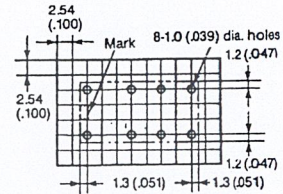
Fully-sealed



Terminal arrangement/Internal (bottom view)



Mounting holes (bottom view)



- Note: 1. and indicate mounting orientation marks.
2. A tolerance of ± 0.10 (0.004) applies to the above dimensions.

■ APPROVALS

UL (File No. E41515)/CSA (File No. LR24825)

Type	Contact form	Coil rating	Contact ratings
G5V-2	DPDT	3 to 48 VDC	0.6 A, 125 VAC
G5V-2-H		3 to 24 VDC	0.6 A, 110 VDC 2.0 A, 30 VDC
G5V-2-H1		3 to 48 VDC	0.6 A, 125 VAC 0.6 A, 110 VDC 1.0 A, 24 VDC

- Note: 1. The rated values approved by each of the safety standards may be different from the performance characteristics individually defined in this catalog.
2. In the interest of product improvement, specifications are subject to change.
3. Complies with UL1950 Basic Insulation at 125 V (pollution degree 1 for internal spacings, pollution degree 2 for external spacings).

NOTE: DIMENSIONS ARE SHOWN IN MILLIMETERS. To convert millimeters to inches divide by 25.4.

OMRON

OMRON ELECTRONICS, INC.

One East Commerce Drive
Schaumburg, IL 60173
1-800-55-OMRON

OMRON CANADA, INC.

885 Milner Avenue
Scarborough, Ontario M1B 5V8
416-286-6465

Cat. No. GC RLY7

01/00

Specifications subject to change without notice.

Printed in the U.S.A.

2SC458(K)

Silicon NPN Epitaxial

HITACHI

ADE-208-1045 (Z)
1st. Edition
Mar. 2001

Application

- Low frequency amplifier
- Medium speed switching

Outline

TO-92 (1)



1. Emitter
2. Collector
3. Base

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2SC458 (K)

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Item	Symbol	Ratings	Unit
Collector to base voltage	V_{CBO}	30	V
Collector to emitter voltage	V_{CEO}	30	V
Emitter to base voltage	V_{EBO}	5	V
Collector current	I_C	100	mA
Emitter current	I_E	-100	mA
Collector power dissipation	P_C	200	mW
Junction temperature	T_j	150	°C
Storage temperature	T_{stg}	-55 to +150	°C

Electrical Characteristics (Ta = 25°C)

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test conditions
Collector to base breakdown voltage	$V_{(BR)CBO}$	30	—	—	V	$I_C = 10 \mu A, I_E = 0$
Collector to emitter breakdown voltage	$V_{(BR)CEO}$	30	—	—	V	$I_C = 1 \text{ mA}, R_{BE} = \infty$
Emitter to base breakdown voltage	$V_{(BR)EBO}$	5	—	—	V	$I_E = 10 \mu A, I_C = 0$
Collector cutoff current	I_{CBO}	—	—	0.5	μA	$V_{CB} = 18 \text{ V}, I_E = 0$
Emitter cutoff current	I_{EBO}	—	—	1.0	μA	$V_{EB} = 4 \text{ V}, I_C = 0$
DC current transfer ratio	h_{FE}^{*1}	100	—	500	—	$V_{CE} = 1 \text{ V}, I_C = 10 \text{ mA}$
Collector to emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	—	—	0.4	V	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1 \text{ mA}$
Base to emitter voltage	$V_{BE(sat)}$	—	—	1.0	V	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1 \text{ mA}$
Gain bandwidth product	f_T	100	—	—	MHz	$V_{CE} = 10 \text{ V}, I_C = 10 \text{ mA}$
Collector output capacitance	C_{ob}	—	—	4	pF	$V_{CB} = 10 \text{ V}, I_E = 0, f = 1 \text{ MHz}$
Turn on time	t_{on}	—	80	—	ns	$I_C = 10 \text{ mA}, I_{B1} = -10 \text{ mA}, I_{B2} = 10 \text{ mA}, V_{CC} = 10 \text{ V}$
Turn off time	t_{off}	—	300	—	ns	
Storage time	t_{stg}	—	260	—	ns	$I_C = I_{B1} = -I_{B2} = 20 \text{ mA}, V_{CC} = 5 \text{ V}$

Note: 1. The 2SC458 (K) is grouped by h_{FE} as follows.

B	C	D
100 to 200	160 to 320	250 to 500

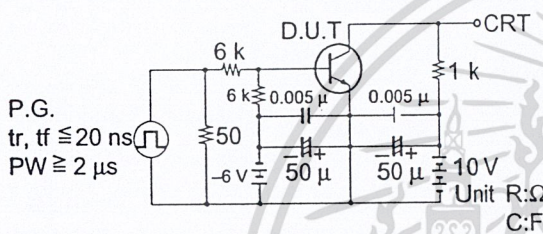
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HITACHI

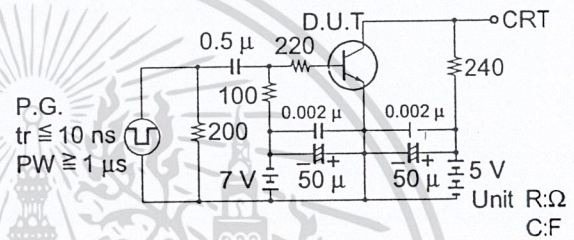
Small Signal h Parameters

Item	Symbol	Typ	Unit	Test conditions
Input impedance	h_{ie}	16.5	k Ω	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 0.1\text{ mA}, f = 270\text{ Hz}$
Voltage feedback ratio	h_{re}	70	$\times 10^{-6}$	
Current transfer ratio	h_{fe}	130		
Output admittance	h_{oe}	11	μS	

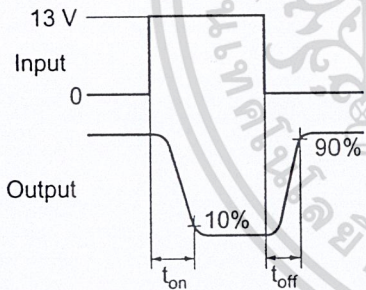
Switching Time Test Circuit
 t_{on}, t_{off} Test Circuit



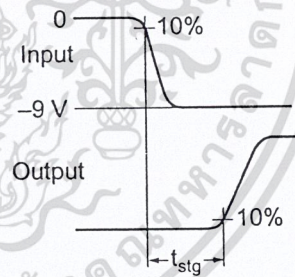
Switching Time Test Circuit
 t_{stg} Test Circuit



Response Waveform



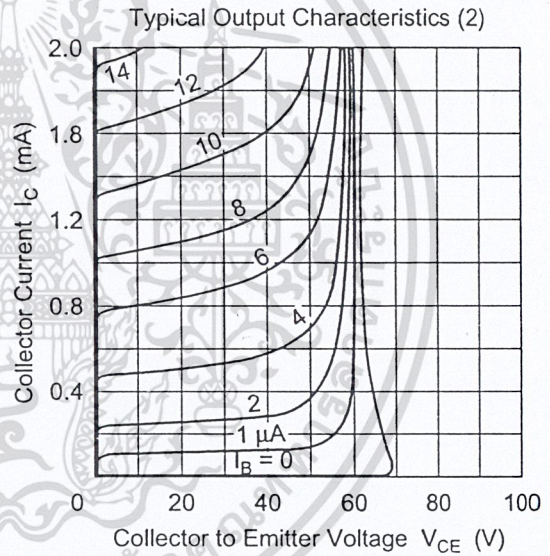
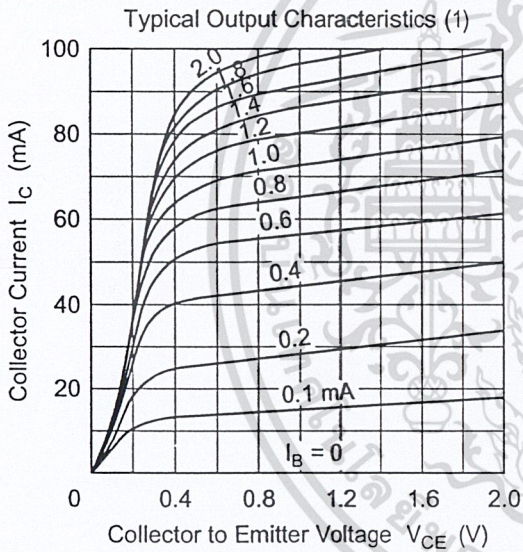
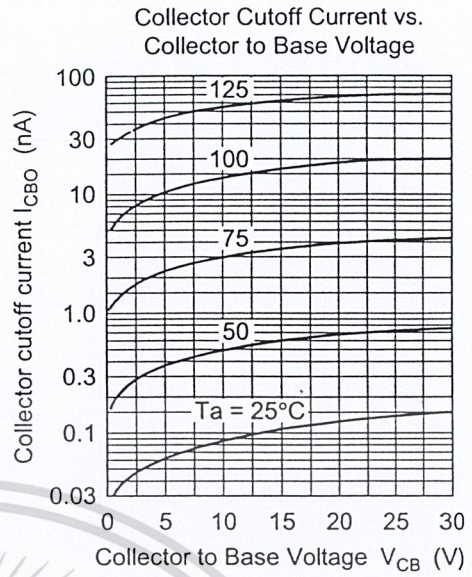
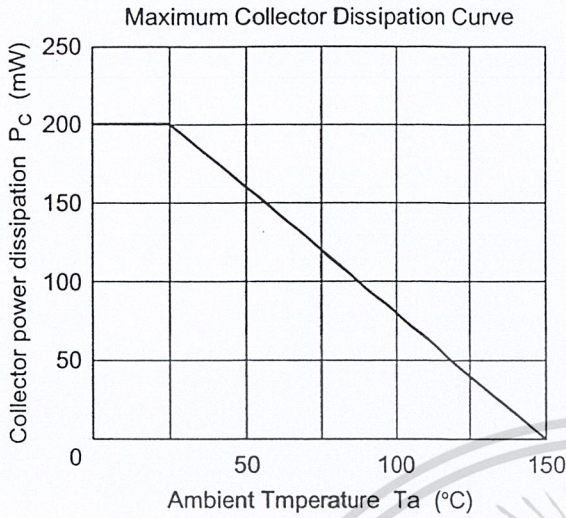
Response Waveform



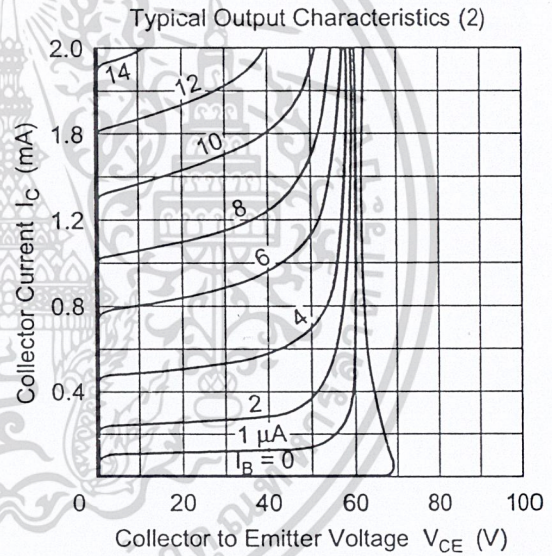
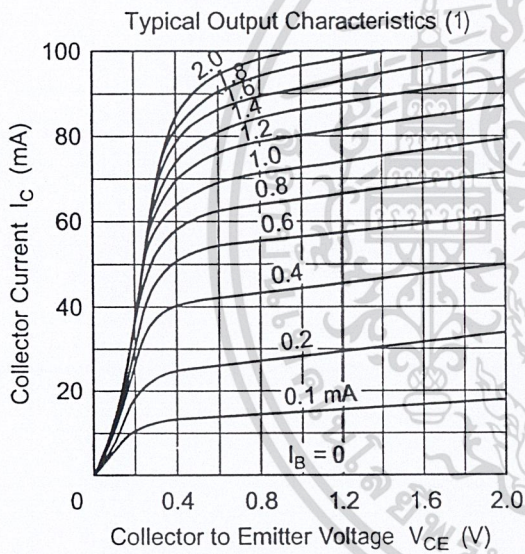
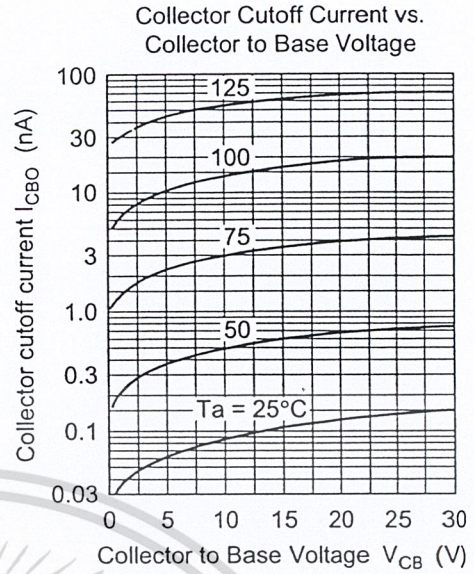
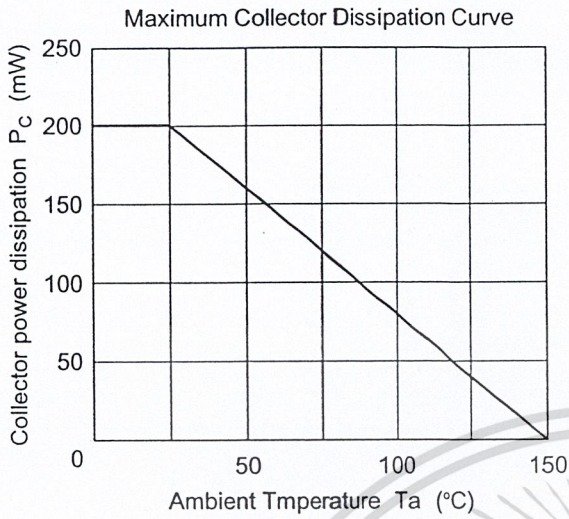
I_C	I_{B1}	I_{B2}	V_{CC}	V_{BB}	V_{in}
10 mA	1 mA	-1 mA	10 V	-6 V	13 V

I_C	I_{B1}	I_{B2}	V_{CC}	V_{BB}	V_{in}
20 mA	20 mA	-20 mA	5 V	7 V	-9 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



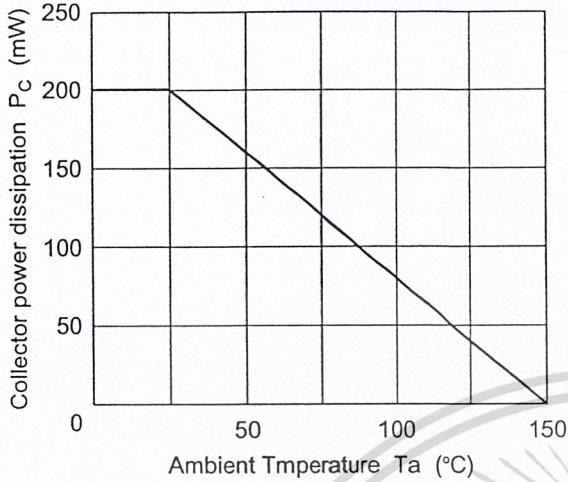
2SC458 (K)



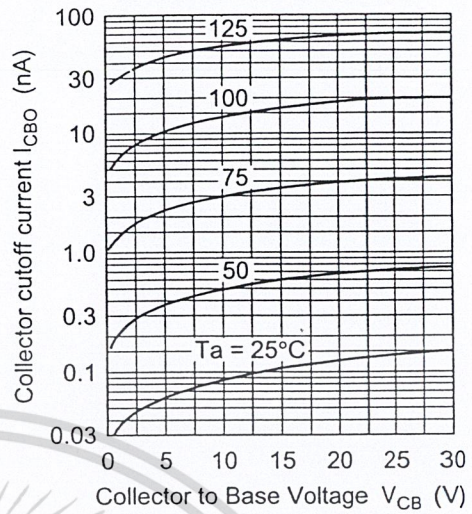
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2SC458 (K)

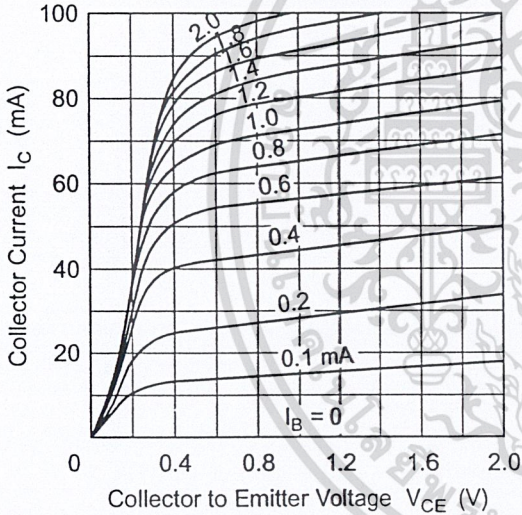
Maximum Collector Dissipation Curve



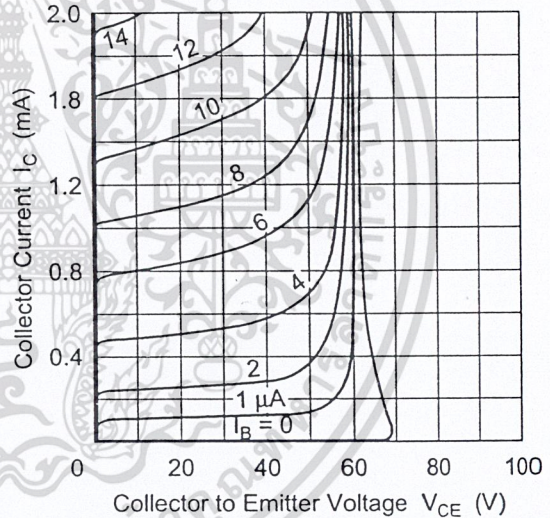
Collector Cutoff Current vs. Collector to Base Voltage



Typical Output Characteristics (1)

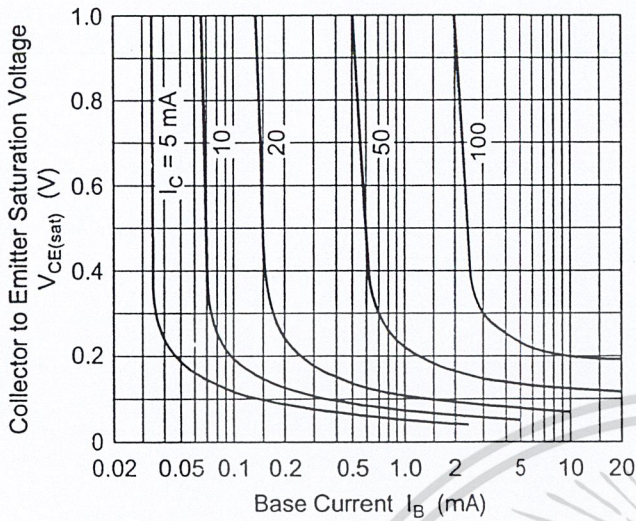


Typical Output Characteristics (2)

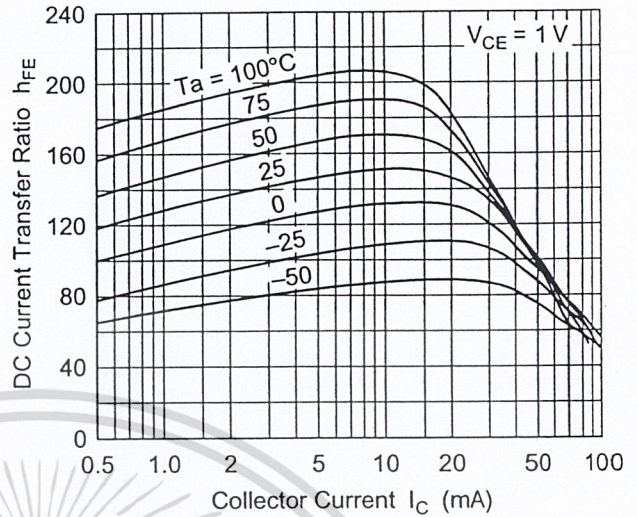


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

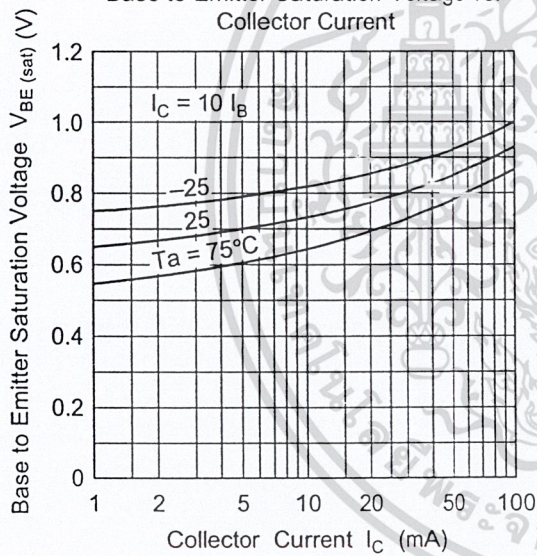
Collector to Emitter Saturation Voltage vs. Base Current



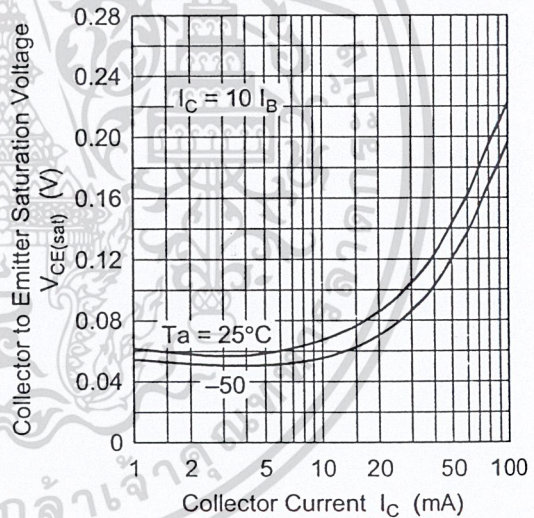
DC Current Transfer Ratio vs. Collector Current



Base to Emitter Saturation Voltage vs. Collector Current

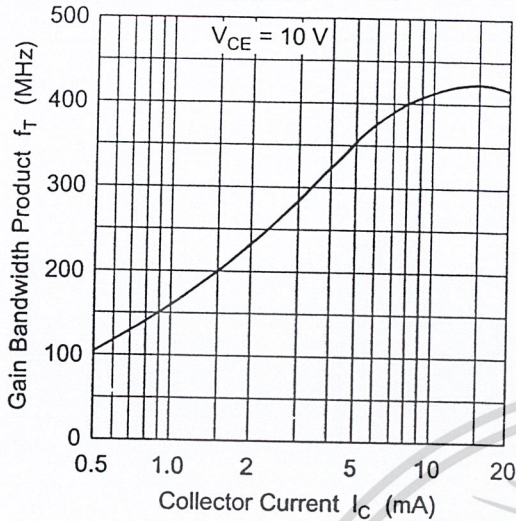


Collector to Emitter Saturation Voltage vs. Collector Current

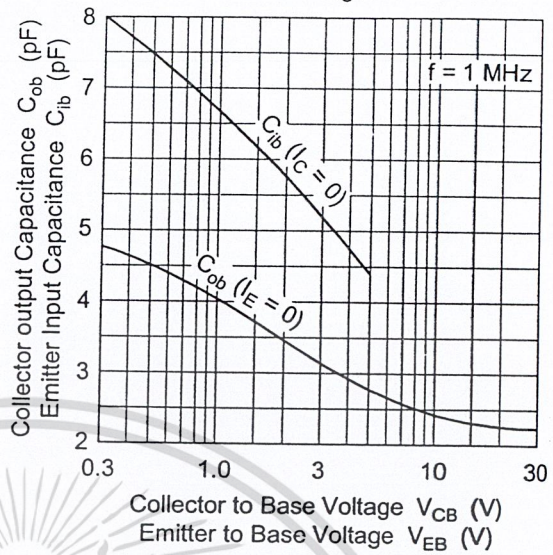


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

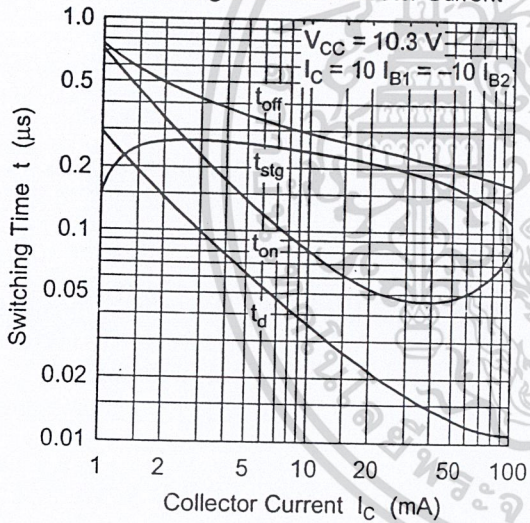
Gain Bandwidth Product vs. Collector Current



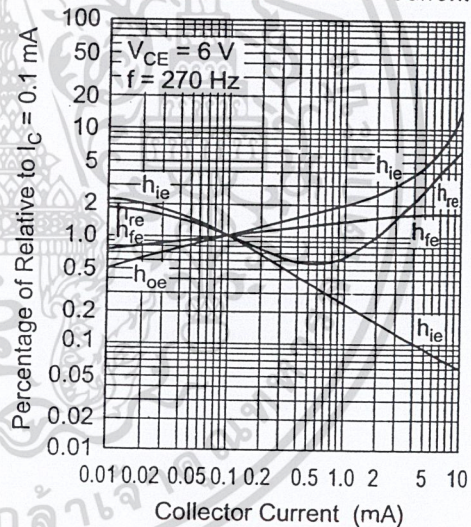
Input and Output Capacitance vs. Voltage



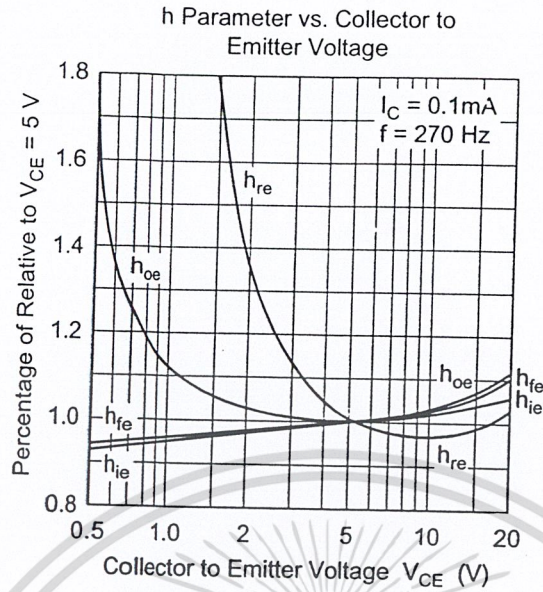
Switching Time vs. Collector Current



h Parameter vs. Collector Current



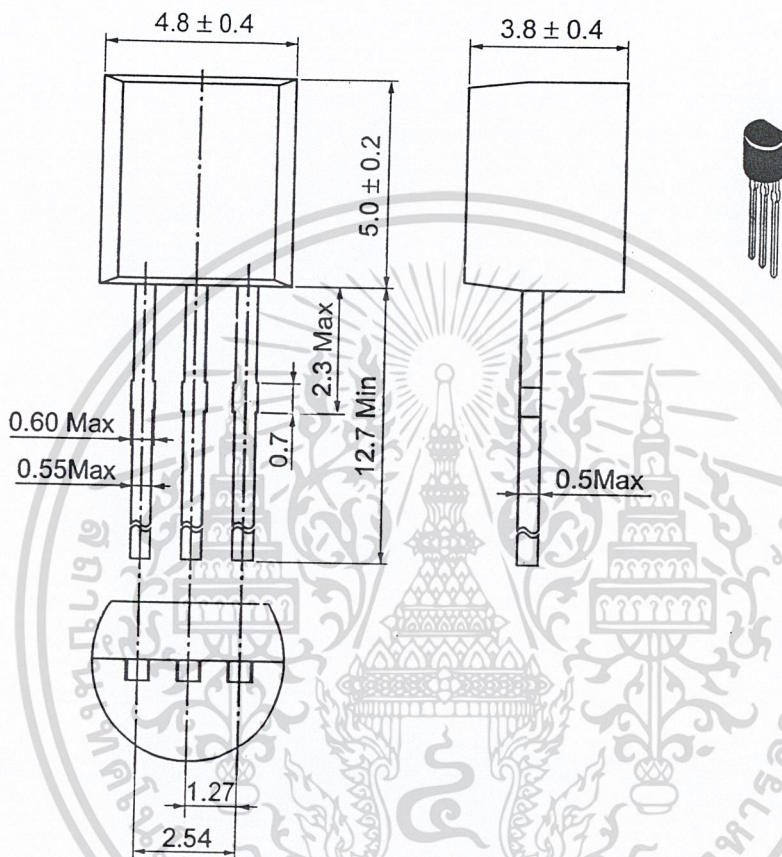
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Dimensions

As of January, 2001
Unit: mm



Hitachi Code	TO-92 (1)
JEDEC	Conforms
EIAJ	Conforms
Mass (reference value)	0.25 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cautions

1. Hitachi neither warrants nor grants licenses of any rights of Hitachi's or any third party's patent, copyright, trademark, or other intellectual property rights for information contained in this document. Hitachi bears no responsibility for problems that may arise with third party's rights, including intellectual property rights, in connection with use of the information contained in this document.
2. Products and product specifications may be subject to change without notice. Confirm that you have received the latest product standards or specifications before final design, purchase or use.
3. Hitachi makes every attempt to ensure that its products are of high quality and reliability. However, contact Hitachi's sales office before using the product in an application that demands especially high quality and reliability or where its failure or malfunction may directly threaten human life or cause risk of bodily injury, such as aerospace, aeronautics, nuclear power, combustion control, transportation, traffic, safety equipment or medical equipment for life support.
4. Design your application so that the product is used within the ranges guaranteed by Hitachi particularly for maximum rating, operating supply voltage range, heat radiation characteristics, installation conditions and other characteristics. Hitachi bears no responsibility for failure or damage when used beyond the guaranteed ranges. Even within the guaranteed ranges, consider normally foreseeable failure rates or failure modes in semiconductor devices and employ systemic measures such as fail-safes, so that the equipment incorporating Hitachi product does not cause bodily injury, fire or other consequential damage due to operation of the Hitachi product.
5. This product is not designed to be radiation resistant.
6. No one is permitted to reproduce or duplicate, in any form, the whole or part of this document without written approval from Hitachi.
7. Contact Hitachi's sales office for any questions regarding this document or Hitachi semiconductor products.

HITACHI

Hitachi, Ltd.

Semiconductor & Integrated Circuits.

Nippon Bldg., 2-6-2, Ohte-machi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0004, Japan

Tel: Tokyo (03) 3270-2111 Fax: (03) 3270-5109

URL NorthAmerica : <http://semiconductor.hitachi.com/>
 Europe : <http://www.hitachi-eu.com/hel/ecg>
 Asia : <http://sicapac.hitachi-asia.com>
 Japan : <http://www.hitachi.co.jp/Sicd/indx.htm>

For further information write to:

Hitachi Semiconductor
(America) Inc.
179 East Tasman Drive,
San Jose, CA 95134
Tel: <1> (408) 433-1990
Fax: <1> (408) 433-0223

Hitachi Europe GmbH
Electronic Components Group
Dornacher Straße 3
D-85622 Feldkirchen, Munich
Germany
Tel: <49> (89) 9 9180-0
Fax: <49> (89) 9 29 30 00

Hitachi Europe Ltd.
Electronic Components Group.
Whitebrook Park
Lower Cookham Road
Maidenhead
Berkshire SL6 8YA, United Kingdom
Tel: <44> (1628) 585000
Fax: <44> (1628) 585160

Hitachi Asia Ltd.
Hitachi Tower
16 Collyer Quay #20-00,
Singapore 049318
Tel: <65>-538-6533/538-8577
Fax: <65>-538-6933/538-3877
URL: <http://www.hitachi.com.sg>

Hitachi Asia Ltd.
(Taipei Branch Office)
4/F, No. 167, Tun Hwa North Road,
Hung-Kuo Building,
Taipei (105), Taiwan
Tel: <886>-(2)-2718-3666
Fax: <886>-(2)-2718-8180
Telex: 23222 HAS-TP
URL: <http://www.hitachi.com.tw>

Hitachi Asia (Hong Kong) Ltd.
Group III (Electronic Components)
7/F., North Tower,
World Finance Centre,
Harbour City, Canton Road
Tsim Sha Tsui, Kowloon,
Hong Kong
Tel: <852>-(2)-735-9218
Fax: <852>-(2)-730-0281
URL: <http://www.hitachi.com.hk>

Copyright © Hitachi, Ltd., 2000. All rights reserved. Printed in Japan.

Colophon 2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HITACHI