ระบบเซนเซอร์แสงที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการประยุกต์ใช้งานทางฟิสิกส์

A LIGHT SENSOR SYSTEM CONTROL BY MICROCONTROLLER FOR PHYSICS APPLICATIONS

สุดารัตน์ สัจจะสังข์

สุริยนต์ สิงหาคุณ

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

ระบบเซนเซอร์แสงที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการประยุกต์ใช้งานทางฟิสิกส์

A LIGHT SENSOR SYSTEM CONTROL BY MICROCONTROLLER FOR PHYSICS APPLICATIONS

สุดารัตน์ สัจจะสังข์
สุริยนต์ สิงหาคุณ

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A LIGHT SENSOR SYSTEM CONTROL BY MICROCONTROLLER FOR PHYSICS APPLICATIONS

SUDARAT SATCHASANG

SURIYON SINGHAKUN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN APPLIED PHYSICS

DEPARTMENT OF PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ระบบเซนเซอร์แสงที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการประยุกต์ใช้งานทางฟิสิกส์ A LIGHT SENSOR SYSTEM CONTROL BY MICROCONTROLLER FOR PHYSICS APPLICATIONS
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุดารัตน์ สัจจะสังข์ รหัสนักศึกษา 54050620 นายสุริยนต์ สิงหาคุณ รหัสนักศึกษา 54050626
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.วิชาญ เตชิตธีระ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อ.ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์	
ดร.พิชชานันท์ ธีเศรษฐ์โศภน	
ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี	
รศ.วิชาญ เตชิตธีระ	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ระบบเซนเซอร์แสงที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการประยุกต์ใช้งานทางฟิสิกส์
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุดารัตน์ สัจจะสังข์ รหัสนักศึกษา 54050620 นายสุริยนต์ สิงหาคุณ รหัสนักศึกษา 54050626
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.วิชาญ เตชิตธีระ

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการสร้างนาฬิกาจับเวลาด้วยระบบเซนเซอร์แสงที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการประยุกต์ใช้งานทางฟิสิกส์ เมื่อเริ่มการทำงานการขัดจังหวะของเซนเซอร์แสงจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการจับเวลาและแสดงบนจอแสดงผล ซึ่งนาฬิกาจับเวลาด้วยเซ็นเซอร์แสงเครื่องนี้สามารถเลือกการทำงานได้สามเงื่อนไข คือจับเวลาในช่วงสั้นๆตอนที่วัตถุบังเซนเซอร์ จับเวลาแบบครึ่งคาบ และจับเวลาแบบหนึ่งคาบ อีกทั้งเวลาที่จับได้มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 4 %

คำสำคัญ : การขัดจังหวะ,ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง,โฟโตทรานซิสเตอร์,แอลอีดีอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	A LIGHT SENSOR SYSTEM CONTROL BY MICROCONTROLLER FOR PHYSICS APPLICATIONS
Students	Miss.Sudarat Satchasang Student ID 54050620
	Mr.Suriyon Singhakun Student ID 54050626
Degree	Bachelor of Science in Applied Physics
Program	Physics
Academic Year	2014
Advisor	Assoc.Proff.Wicharn Techitdheera

ABSTRACT

This special project concerns a light sensor system control by microcontroller for physics applications. When the system is initiated, the interruptions of a light sensor provide the base for counting the time by microcontroller and shown on the display. A light sensor system control by microcontroller for physics applications can use three function. For exam gate, half-period and period, with the absolute overall error being under 4 %

Keywords : Gravity,Interruption,IR LED,Phototransister

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของ รศ.วิชาญ เตชิตธีระ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองตลอดจนอุปการะทุนสนับสนุนและให้คำปรึกษา พร้อมทั้งยังปลูกฝังคุณธรรมจริยธรรมให้กับลูกศิษย์ทุกคน

ขอขอบคุณเพื่อนๆที่ให้คำปรึกษา ให้การช่วยเหลือ รวมทั้งกำลังใจที่ดีตลอดการทำงาน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่เมตตาประสิทธิ์ประสาทวิชาตั้งแต่การศึกษาภาคบังคับจนถึงปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุนทุนในการศึกษาเล่าเรียนพร้อมทั้งเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา

นางสาวสุดารัตน์ สัจจะสังข์

นายสุริยนต์ สิงหาคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	3
2.2 หลักการ และทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์	3
2.3 ตัวอย่างการทดลองที่นำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องนับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	4
2.3.1 การทดลองลูกตุ้มอย่างง่าย	4
2.3.2 การทดลองการตกแบบโปรเจคไตล์	7
2.4 microcontroller ตระกูล Arduino	9
2.4.1 โครงสร้างภายในพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano	10
2.4.2 microcontrollerตระกูล Arduino Nano ATMEGA 168	11
2.5 เซนเซอร์แสง	12
2.5.1 IR LED	12
2.5.2 โฟโตทรานซิสเตอร์	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 ขั้นตอนการสร้างส่วนประกอบ	15
3.1.1 ตัวเครื่อง	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 เซนเซอร์แสง	16
3.2 การต่อวงจรการทดลอง	17
3.3 ขั้นตอนการวิจัย	19
3.3.1 การทดลองจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	19
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 ผลการทดลองจับเวลาแบบgate	20
4.2 ผลการทดลองจับเวลาแบบครึ่งคาบ	21
4.3 ผลการทดลองจับเวลาแบบหนึ่งคาบ	24
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	27
5.1.2 ผลการทดลองจับเวลาแบบครึ่งคาบ	27
5.1.3 ผลการทดลองจับเวลาแบบหนึ่งคาบ	27
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	28
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการจับเวลาที่มุม 10°ของเส้นเชือกยาว 30 เซนติเมตร แบบครึ่งคาบ	21
4.2 ผลการจับเวลาที่มุม 20°ของเส้นเชือกยาว 30 เซนติเมตร แบบครึ่งคาบ	21
4.3 ผลการจับเวลาที่มุม 30°ของเส้นเชือกยาว 30 เซนติเมตร แบบครึ่งคาบ	21
4.4 ผลการจับเวลาที่มุม 10°ของเส้นเชือกยาว 45 เซนติเมตร แบบครึ่งคาบ	22
4.5 ผลการจับเวลาที่มุม 20°ของเส้นเชือกยาว 45 เซนติเมตร แบบครึ่งคาบ	22
4.6 ผลการจับเวลาที่มุม 30°ของเส้นเชือกยาว 45 เซนติเมตร แบบครึ่งคาบ	22
4.7 ผลการจับเวลาที่มุม 10°ของเส้นเชือกยาว 60 เซนติเมตร แบบครึ่งคาบ	23
4.8 ผลการจับเวลาที่มุม 20°ของเส้นเชือกยาว 60 เซนติเมตร แบบครึ่งคาบ	23
4.9 ผลการจับเวลาที่มุม 30°ของเส้นเชือกยาว 60 เซนติเมตร แบบครึ่งคาบ	23
4.10 ผลการจับเวลาที่มุม 10°ของเส้นเชือกยาว 30 เซนติเมตร แบบหนึ่งคาบ	24
4.11 ผลการจับเวลาที่มุม 20°ของเส้นเชือกยาว 30 เซนติเมตร แบบหนึ่งคาบ	24
4.12 ผลการจับเวลาที่มุม 30°ของเส้นเชือกยาว 30 เซนติเมตร แบบหนึ่งคาบ	24
4.13 ผลการจับเวลาที่มุม 10°ของเส้นเชือกยาว 45 เซนติเมตร แบบหนึ่งคาบ	25
4.14 ผลการจับเวลาที่มุม 20°ของเส้นเชือกยาว 45 เซนติเมตร แบบหนึ่งคาบ	25
4.15 ผลการจับเวลาที่มุม 30°ของเส้นเชือกยาว 45 เซนติเมตร แบบหนึ่งคาบ	25
4.16 ผลการจับเวลาที่มุม 10°ของเส้นเชือกยาว 60 เซนติเมตร แบบหนึ่งคาบ	26
4.17 ผลการจับเวลาที่มุม 20°ของเส้นเชือกยาว 60 เซนติเมตร แบบหนึ่งคาบ	26
4.18 ผลการจับเวลาที่มุม 30°ของเส้นเชือกยาว 60 เซนติเมตร แบบหนึ่งคาบ	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การแกว่งของลูกตุ้มอยู่ในแนว θ กับแนวดิ่ง	5
2.2 ลักษณะวิถีกระสุนของลูกปืน	7
2.3 ทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุและความเร็วที่เคลื่อนที่	8
2.4 ขาและตำแหน่งการใช้งานของไมโครคอนโทรเลอร์	9
2.5 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ Nano ATMEGA 168	11
2.6 ส่วนประกอบของเซนเซอร์	12
2.7 โคงสร้างและส่วนประกอบของ IR LED	12
2.8 สัญญลักษณ์ของโฟโตทรานซิสเตอร์	13
2.9 การใช้งานโฟโตทรานซิสเตอร์ในลักษณะต่างๆ	13
2.10 วงจรโฟโตทรานซิสเตอร์ที่สามารถปรับความไวในการตอบสนองต่อแสงได้	14
3.1 โครงสร้างของตัวเครื่อง	15
3.2 ตัวเครื่อง	16
3.3ก โครงสร้างเซนเซอร์แสง	16
3.3ข เซนเซอร์แสง	16
3.4 แผงวงจรและการเชื่อมต่อสายไฟภายในกล่อง	17
3.5 วงจรและตำแหน่งของอุปกรณ์	18
3.6 ชุดอุปกรณ์พร้อมใช้งาน	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

การทดลองในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์มักจะเกี่ยวข้องกับการวัดระยะเวลาระหว่างสองเหตุการณ์คือเวลาเริ่มต้นกับเวลาสิ้นสุด หรือวัดเวลาในช่วงสั้นๆ ซึ่งการจับเวลาที่นิยมใช้กันมักจะนำมาซึ่งความคลาดเคลื่อน เนื่องจากต้องอาศัยประสาทสัมผัสจากตาที่ต้องมองและมือที่ต้องกดนาฬิกา ความเป็นไปได้ที่จะได้เวลาที่แม่นยำจึงเป็นไปได้น้อยมาก ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงคิดที่จะทำนาฬิกาจับเวลาที่มีความแม่นยำโดยอาศัยการทำงานร่วมกับเซนเซอร์แสงที่ใช้ในการตรวจจับ เมื่อวัตถุบดบังลำแสงที่เคยตกลงบนโฟโตไดโอดจะสามารถแปลงเป็นสัญญาณแรงดัน ไฟฟ้าได้ และสามารถนำมาใช้เพื่อกระตุ้นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้ทำงาน เมื่อวัดเวลาได้เราจะสามารถหาค่าของพารามิเตอร์อื่นๆได้ เช่น ความเร็ว ความเร่ง เป็นต้น สำหรับการวัดเวลาที่ใช้ในการทดลองจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่วัดค่าได้อย่างแม่นยำ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์จับเวลาในการทดลองการเคลื่อนที่ใน 1 และ 2 มิติโดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการทำงานและออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการจับเวลา (Timer/Counter) ที่มีความละเอียด 1 มิลลิวินาที

2. ออกแบบและสร้างตัวรับส่งสัญญาณโดยใช้หลักการทำงานร่วมกันระหว่างเซนเซอร์อินฟราเรดกับโฟโตทรานซิสเตอร์

3. ออกแบบและสร้างเครื่องนับเวลาเพื่อใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาและออกแบบวงจรดิจิตอลที่ใช้ในการจับเวลา
2. ศึกษาการทำงานของเซนเซอร์อินฟราเรดเพื่อเริ่มต้นการออกแบบ
3. ออกแบบวงจร
4. เตรียมอุปกรณ์ไอซีที่ต้องใช้
5. ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ว่าใช้งานได้
6. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์
7. ต่อวงจรและทดสอบวงจรในแต่ล่ะส่วนพร้อมทั้งปรับปรุงแก้ไข
8. สรุปรายงานขั้นสุดท้าย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ชุดทดลองที่ใช้ทดลองการเคลื่อนที่ใน 1 และ 2 มิติ โดยใช้เซนเซอร์แสงอินฟราเรดในการจับเวลา
2. รู้หลักการทำงานของเซนเซอร์แสงและสามารถประยุกต์ใช้ในการสร้างอุปกรณ์อื่นๆได้
3. ได้เรียนรู้การแก้ปัญหาและการทำงานเป็นทีม พร้อมได้ประสบการณ์ในการทำงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง

การทดลองในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์มักจะเกี่ยวข้องกับการวัดระยะเวลาที่เกิดขึ้นระหว่างสองเหตุการณ์ ซึ่งการจับเวลาในห้องปฏิบัติการณ์ทางฟิสิกส์โดยทั่วไปจะใช้นาฬิกาจับเวลาแบบควบคุมด้วยมือ ซึ่งส่งผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ด้วยความสำคัญของเวลาที่สามารถนำไปสู่การหาค่าพารามิเตอร์อื่นๆได้นั้นจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถจับเวลาได้อย่างแม่นยำเพื่อลดการเกิดความคลาดเคลื่อนของเวลาเมื่อเทียบกับค่าทางทฤษฎี เครื่องนับเวลาด้วยเซนเซอร์แสงนี้จึงเป็นทางออกที่ดีที่จะแก้ปัญหาในเรื่องการจับเวลา

เซนเซอร์แสงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆมากมายไม่ว่าจะเป็นการตรวจจับอุณหภูมิ การตรวจจับหาวัตถุ การตรวจวัดปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์เป็นต้น ด้วยประสิทธิภาพที่ตรวจจับได้อย่างละเอียดนี้จึงถูกนำมาใช้ร่วมกับการจับเวลา

2.2 หลักการและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ [1]

การทำงานของเครื่องจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสงซึ่งอาศัยการทำงานระหว่างเลเซอร์และโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์นี้สามารถประยุกต์ใช้กับการทดลองทางฟิสิกส์เพื่อหาค่าเวลาที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่การทดลองหาความเร็วต้นจากวัตถุที่ตกแบบโปรเจคไทล์ และการหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

จากกฎแรงโน้มถ่วงของนิวตัน พบว่าแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำกับมวลใดๆจะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างศูนย์กลางมวลของโลกกับศูนย์กลางมวลวัตถุยกกำลังสอง ดังนั้นแรงโน้มถ่วงของโลกบริเวณต่างๆจึงมีค่าไม่เท่ากัน และเนื่องจากโลกมีการหมุนรอบตัวเองจึงทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งแรงหนีศูนย์กลางนี้จะหักล้างกับแรงโน้มถ่วงของโลก แรงหนีศูนย์กลางจะมีค่ามากที่สุดบริเวณเส้นศูนย์สูตรและมีค่าน้อยที่สุดบริเวณขั้วโลก ผลของแรงหนีศูนย์กลางนี้ทำให้แรงโน้มถ่วงของโลกบริเวณเส้นศูนย์สูตรมีค่าน้อยกว่าแรงโน้มถ่วงของโลกบริเวณขั้วโลกเหนือ นอกจากนั้นโลกก็มิได้เป็นทรงกลมโดยสมบูรณ์แต่แป้นตรงกลางเล็กน้อยคล้ายผลส้ม ทำให้ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกถึงพื้นผิวโลกแปรผันไปตามละติจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์

เครื่องจับเวลาเซนเซอร์แสงที่ควบคุมด้วยโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์มีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานกับห้องปฏิบัติการทางฟิสิกส์ โดยความคลาดเคลื่อนจากเวลาจะลดลง การทำงานของเซนเซอร์แสงเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างอินฟราเรดแอลอีดีซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูลและโฟโตทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวรับข้อมูล สัญญาณเอาท์พุตของเซนเซอร์แสงจะถูกนำไปใช้เป็นสัญญาณอินพุตของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรเลอร์จะประมวลผลตามคำสั่งของโปรแกรมที่เขียนไว้ ทำให้มีการจับเวลาและจะแสดงผลบนจอดิจิตอลเซ็กเมนต์ (Digital Segment) ผู้ทำการวิจัยนำเอาเครื่องนับเวลาด้วยเซนเซอร์แสงมาประยุกต์ ใช้กับชุดการทดลองทางฟิสิกส์เพื่อจับเวลาระหว่างสองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นซึ่งเวลาที่ได้นั้นจะนำไปสู่การคำนวณหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (g) โดยหาได้จากการทดลองลูกตุ้มอย่างง่าย หาค่าความเร็วต้นของวัตถุที่ตกแบบโปรเจคไทล์

2.3 ตัวอย่างการทดลองที่นำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องนับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง

2.3.1 การทดลองลูกตุ้มอย่างง่าย [2]

การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย (Simple Pendulum) เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เป็นการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์มอนิกซึ่งประกอบด้วยวัตถุมวล m แขวนที่ปลายเชือกยาว l เมื่อดึงวัตถุให้เชือกเอียงไปทำมุมกับแนวดิ่งเล็กน้อยแล้วปล่อย วัตถุจะแกว่งกลับไปมาซ้ำทางเดิมผ่านตำแหน่งสมดุลโดยมีขนาดของการกระจัดสูงสุดคงตัวเรียกว่า **แอมพลิจูด** ช่วงเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ เรียกว่า คาบ (T) และจำนวนรอบที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ใน 1 วินาที เรียกว่า ความถี่ (f) ในชีวิตประจำวันเราจะพบเห็นตัวอย่างที่มีการแกว่งแบบเดียวกับลูกตุ้มอย่างง่าย เช่น การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา การแกว่งของชิงช้า เป็นต้น

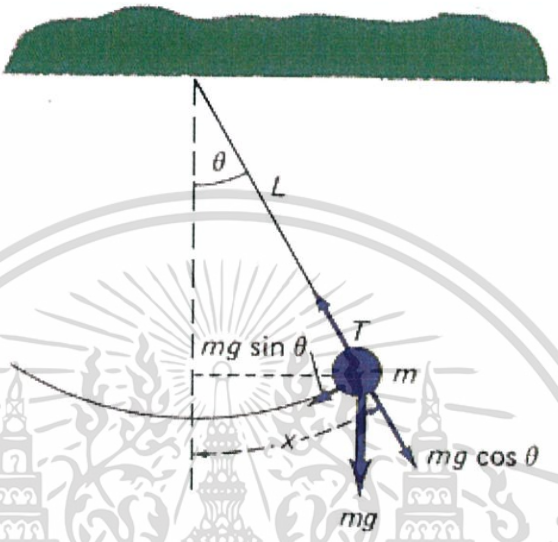
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาลูกตุ้มที่ผูกติดกับเชือกเบา แล้วแกว่งไปมาในแนวดิ่งในทำนองเดียวกับการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา โดยกำหนดให้

m เป็นมวลของลูกตุ้ม

l เป็นความยาวของเส้นเชือก

θ เป็นมุมที่เส้นเชือกทำกับแนวดิ่ง



รูปที่ 2.1 การแกว่งของลูกตุ้มอยู่ในแนว θ กับแนวดิ่ง

จากรูปจะเห็นว่าในขณะที่ลูกตุ้มอยู่ในแนว θ กับแนวดิ่ง การขจัดจะเป็น x ซึ่งถ้า θ เป็นมุมเล็กๆ จะได้ว่า $x = l\theta$ ดังนั้นการขจัดของวัตถุอาจจะเขียนได้ว่าเป็น x หรือเป็น θ ก็ได้ เมื่อพิจารณาแรงน้ำหนัก mg ของลูกตุ้ม ก็สามารถแตกแรงนี้ออกเป็น 2 ส่วนคือ $mg\cos\theta$ อยู่ในแนวเดียวกับเส้นเชือก และ $mg\sin\theta$ ซึ่งอยู่ในแนวเส้นสัมผัสแรง $mg\sin\theta$ นี่เองที่เป็นแรงดึงกลับที่กระทำต่อลูกตุ้ม

นั่นคือ แรงดึงกลับ $F = mg\sin\theta$

ในขณะที่ ระยะทางของวัตถุ $x = l\theta$

ดังนั้น แรงดึงกลับจึงไม่แปรผันโดยตรงกับระยะทางการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาไม่น่าเป็น SHM แต่ถ้ามุม θ มีค่าน้อยๆ จะได้ว่าในหน่วยเรเดียน

$$\sin\theta = \theta$$

ดังนั้น แรงดึงกลับ $F = mg\theta$

ระยะทาง $x = l\theta$

จึงได้ ว่าแรงดึงกลับเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทาง นั่นคือการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาที่มีมุม θ น้อยๆ จึงเป็น SHM (Simple Harmonic Motion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาแรงดึงกลับ

$$F = mg\ \theta$$

จากรูป เมื่อ θ น้อย ๆ จะได้

$$\theta = \frac{x}{l}$$

ดังนั้น $$F = mg\frac{x}{l}$$

จากกฎข้อ 2 ของนิวตัน

$$F = ma$$

ดังนั้น ความเร่งของตุ้มนาฬิกา $$a = -g\frac{x}{l}$$

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มเป็น SHM

ดังนั้น $$a = \omega^2 x$$

นั่นคือ $$\omega^2 x = g\frac{x}{l}$$

หรือ $$\omega^2 = \frac{g}{l}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

โดย ω เป็นความถี่เชิงมุม (angular frequency) $= 2\pi f$

ดังนั้น $$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

ความถี่ของการแกว่งของลูกตุ้ม $$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}$$

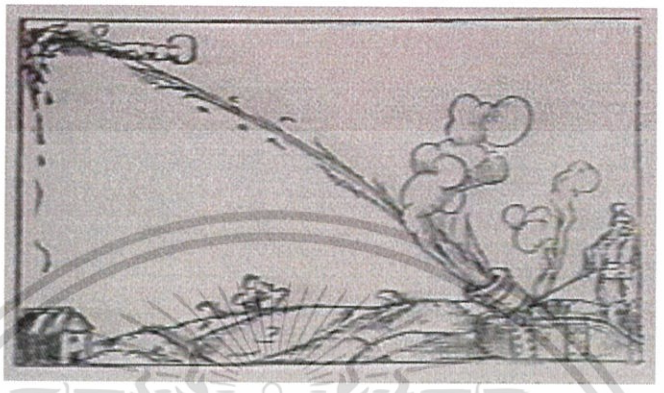
คาบของการแกว่งของลูกตุ้ม $$T = \frac{1}{f} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การตกแบบโปรเจคไทล์

การเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ [3]

ในสมัยกรีกโบราณเชื่อตามทฤษฎีของอริสโตเติลที่ว่าถ้ายิงวัตถุจากปืนใหญ่ (ดังรูป) วัตถุจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงตามแนวที่ยิง และวัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ให้จนกระทั่งความเร็วนั้นค่อยๆ ลดลงจนเป็นศูนย์ แล้ววัตถุจะตกลงมาอย่างรวดเร็วที่ตำแหน่งนั้น



รูปที่ 2.2 ลักษณะวิถีกระสุนของลูกปืน

ต่อมากาลิเลโอได้อธิบายว่า การเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์เป็นการเคลื่อนที่ที่ประกอบด้วยการเคลื่อนที่ในสองแนวที่ไม่ใช่แนวเดียว โดยในแนวดิ่งจะมีแรงเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกกระทำต่อวัตถุให้เคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง 9.8 m/s^2 และในเวลาเดียวกับที่วัตถุถูกดึงลงโปรเจคไทล์ก็ยังคงเคลื่อนที่ตรงในแนวราบด้วย (Galilao's principal Inertia) เขาแสดงให้เห็นว่า โปรเจคไทล์นั้นประกอบด้วยการเคลื่อนที่ 2 แนวพร้อมๆกัน โดยในแต่ละแนวนั้นจะเคลื่อนที่อย่างอิสระ และไม่เกี่ยวข้องกัน พร้อมทั้งพบว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ของโพรเจคไทล์จะเป็นรูปเรขาคณิตที่เรียกว่า "พาราโบลา"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณเมื่อเกี่ยวข้องกับมวลและแรง

วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุมวล m ที่ถูกยิงออกไปด้วยความเร็วต้น u ทำมุม θ กับแนวระดับ ที่ระดับความสูง h เมื่อไม่คิดแรงต้านของอากาศ

วัตถุมีความเร็วต้น u ในแนวราบ ($\theta = 0$)

วัตถุมวล m ที่ถูกยิงออกไปด้วยแรง mg ทิศลงในแนวดิ่ง พิจารณาจากการเคลื่อนที่ในแนวราบ-แนวดิ่ง

แนวราบ $\sum F_x = 0$

ดังนั้น $a_x = 0$

วัตถุมีความเร็วในแนวราบคงที่ $V_x = U$

แนวดิ่ง $\sum F_x = mg$

ดังนั้นวัตถุมีความเร่งคงที่ g

และมีความเร็วต้นในแนวดิ่ง $U_y = 0$

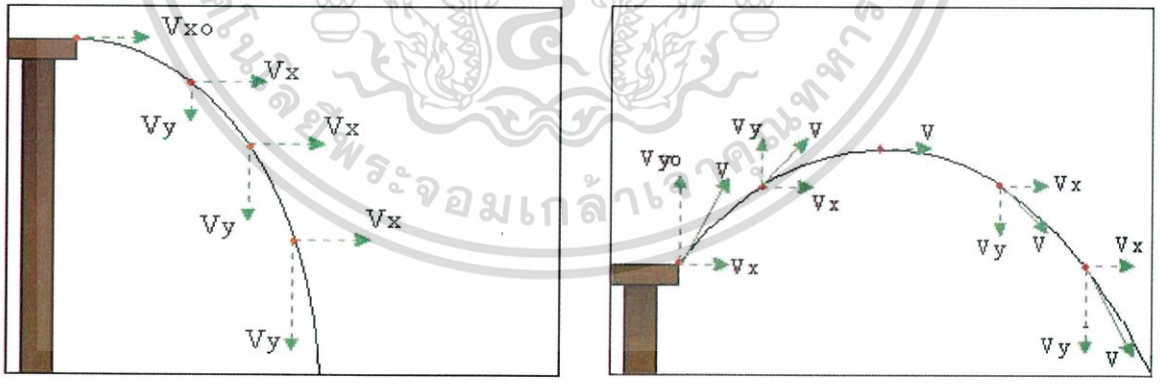
วัตถุมีความเร็วในแนวราบ (V_x) และความเร็วในแนวดิ่ง (V_y) พร้อมกันทำให้วัตถุเคลื่อนที่ในแนวโค้ง (แบบโพรเจคไทล์) (ดังรูปที่2.3)

ความเร็ว $(\bar{V})$ ของวัตถุขณะเวลาใด ๆ (t) หาได้จาก

$$v = \frac{d}{t}$$

เวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ทั้งหมด หาได้จาก

$$t = \sqrt{\frac{2s_y}{g}}$$

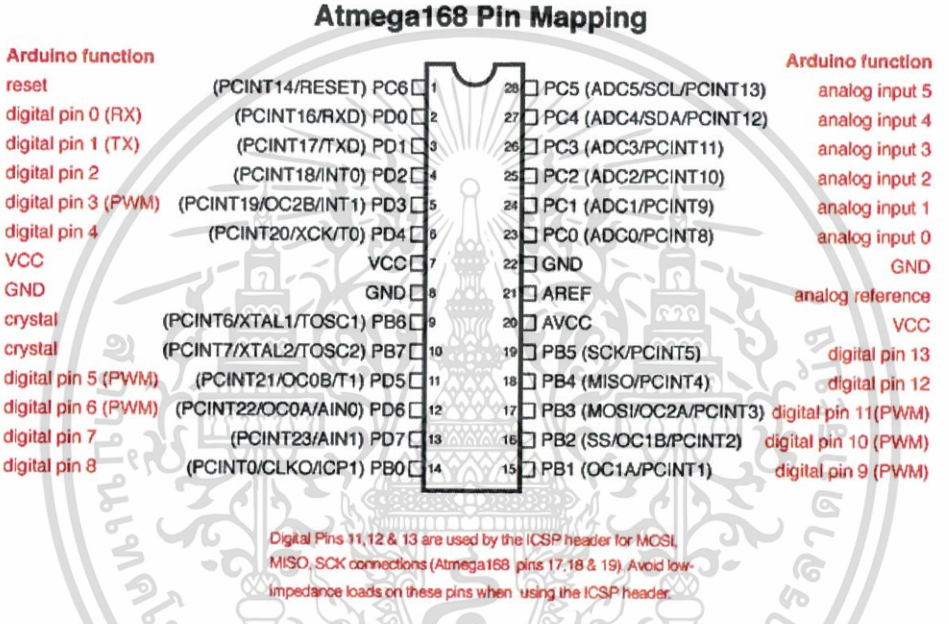


รูปที่ 2.3 ทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุและความเร็วที่เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 microcontroller ตระกูล Arduino [4]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล Nano ATMEGA 168 ของบริษัท Arduino เป็นไมโครคอนโทรเลอร์ที่เป็นบอร์ดรุ่นใหม่ที่เริ่มเป็นที่รู้จักในปัจจุบัน เนื่องจากมีการพัฒนาให้มีขนาดเล็กและบรรจุข้อมูลได้มากกว่าเดิม อีกทั้งยังใช้งานง่าย ราคาถูก มีซอฟแวร์อำนวยความสะดวกสามารถเข้าไปดูตัวอย่างการเขียนคำสั่งต่างๆได้ ใช้งานได้ในชิปเดียว ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ภายนอกประกอบ เนื่องจากมีหน่วยความจำอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์และสามารถต่อใช้งานกับพอร์ตได้โดยตรง มีความพิเศษคือรับข้อมูลเป็นอนาล็อกและสามารถแสดงข้อมูลเป็นดิจิตอล ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arduino Nano ATMEGA 168 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 10 บิต มีขา 28 ขา ซึ่งแสดงขาสัญญาณดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ขาและตำแหน่งการใช้งานของไมโครคอนโทรเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 โครงสร้างภายในพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano ATMEGA 168

โครงสร้างภายในพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบไปด้วย

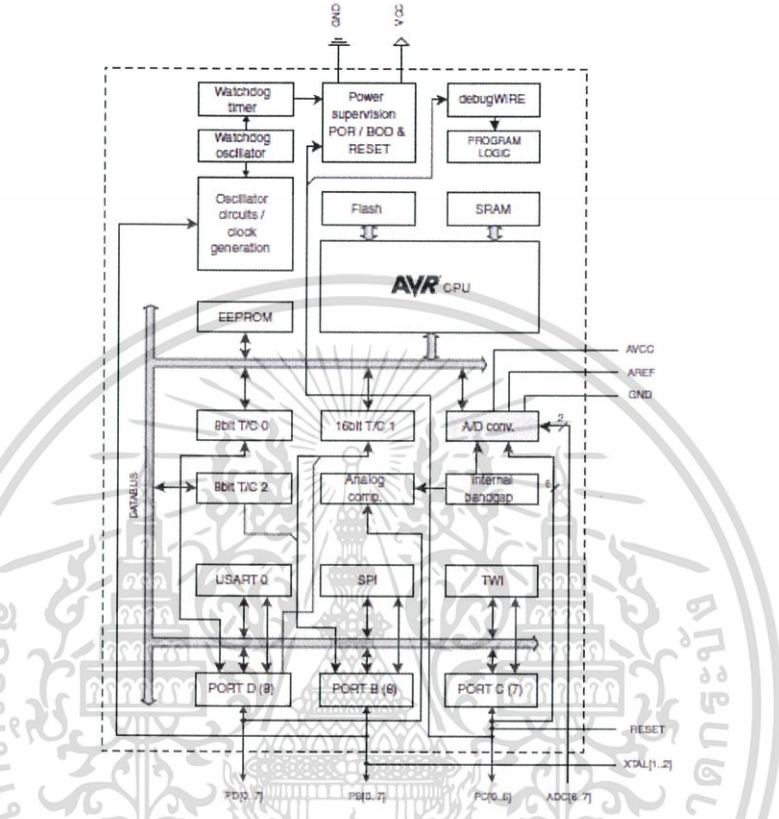
1. หน่วยประมวลกลางหรือซีพียู เป็นหน่วยประมวลผลขนาด 10 บิต ทำหน้าที่ในการประมวลผล
2. ข้อมูลตามคำสั่งโปรแกรม
3. วงจรออสซิลเลเตอร์ ทำหน้าที่สร้างสัญญาณนาฬิกาเพื่อกำหนดจังหวะการทำงานของซีพียูและวงจรภายในคอนโทรลเลอร์
4. วงจรควบคุมการอินเทอร์รัปต์ ทำหน้าที่ควบคุมการอินเทอร์รัปต์ หรือการขัดจังหวะการทำงานของซีพียูจากอุปกรณ์ภายนอกและจากอินเทอร์รัปภายใน
5. หน่วยความจำโปรแกรมภายใน ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมเพื่อส่งให้กับซีพียู ทำการประมวลผลตามโปรแกรม
6. หน่วยความจำภายใน ทำหน้าที่เก็บข้อมูลจากการประมวลผลของซีพียู
7. วงจรควบคุมบัส ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของบัสข้อมูล บัสควบคุม และบัสที่อยู่
8. พอร์ตขนาน ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตภายนอกแบบขนาน
9. พอร์ตอนุกรม ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับไมโครคอนโทรลเลอร์
10. วงจรนับ/เวลา ทำหน้าที่นับสัญญาณพัลส์ภายนอกหรือจับเวลาสัญญาณนาฬิกาภายในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 microcontroller ตระกูล Arduino Nano ATMEGA 168

โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ Nano ATMEGA 168 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 10 บิต ขาของสัญญาณมี 28 ขา โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงดังรูป

Figure 2-1. Block diagram.



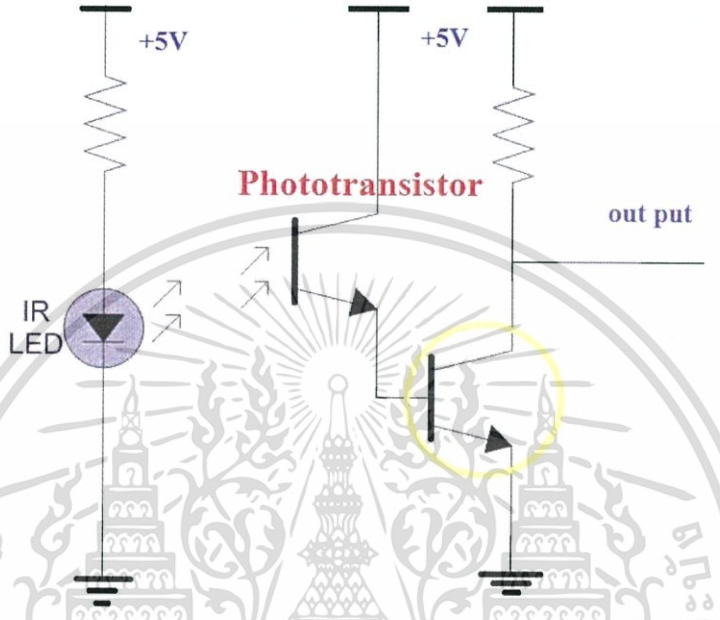
The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting

รูปที่ 2.5 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ Nano ATMEGA 168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

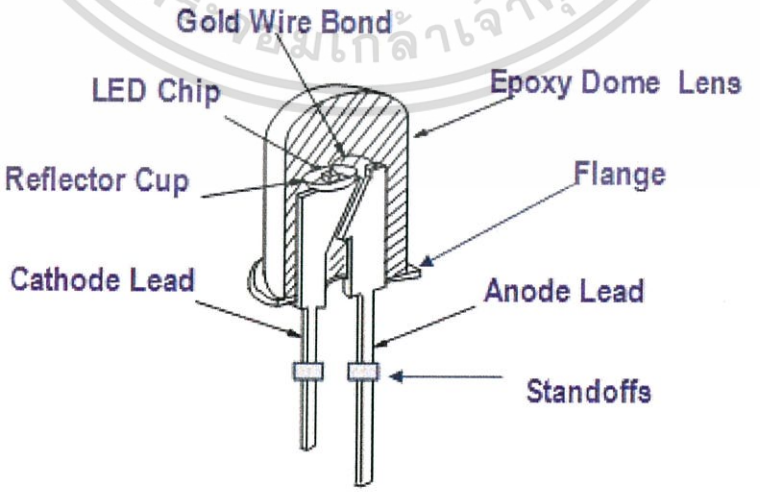
2.5 เซนเซอร์แสง

หลักการทำงานของเซนเซอร์แสงเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างตัวส่งข้อมูล IR LED และตัวรับข้อมูลโฟโตทรานซิสเตอร์ โดยอาศัยการเปล่งแสงของ LED ที่เปล่งแสงไปตกกระทบบนโฟโตทรานซิสเตอร์ เมื่อโฟโตทรานซิสเตอร์ได้รับแสงก็จะทำให้เกิดกระแสไหลไหลผ่านขาอีมิตเตอร์ไปยังทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ อธิบายดังรูป



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเซนเซอร์

2.5.1 IR LED



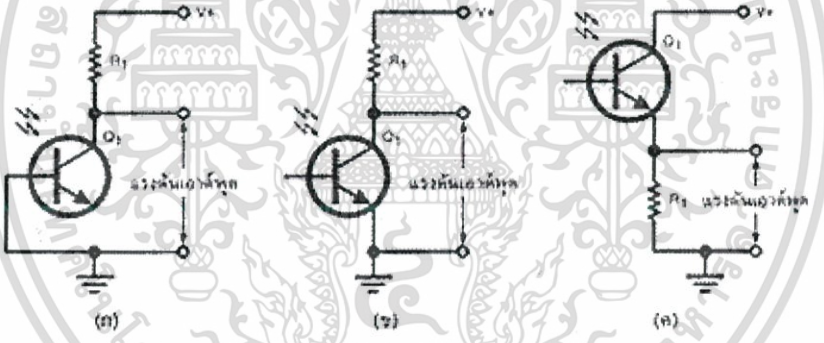
รูปที่ 2.7 โครงสร้างและส่วนประกอบของ IR LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 โฟโตทรานซิสเตอร์ [5]

รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์ของโฟโตทรานซิสเตอร์

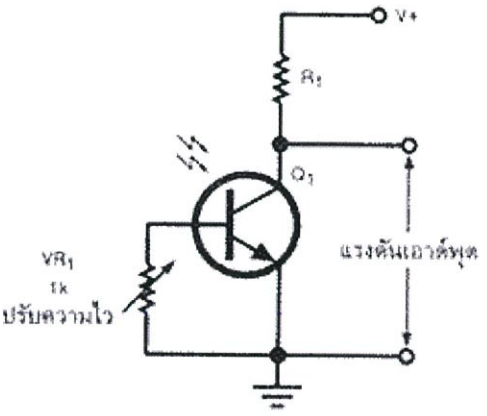
ดังที่ทราบกันอยู่แล้วว่าซิลิกอนทรานซิสเตอร์นั้นถูกสร้างจากรอยต่อพี-เอ็น จึงไม่แปลกเลยที่ทรานซิสเตอร์ จะมีความไวต่อแสงด้วย ซึ่งอยู่ในรูปแบบของโฟโตทรานซิสเตอร์นั่นเอง สัญลักษณ์ของโฟโตทรานซิสเตอร์แสดงใน รูปที่ 2.8



รูปที่ 2.9 การใช้งานโฟโตทรานซิสเตอร์ในลักษณะต่างๆ

การใช้งานโฟโตทรานซิสเตอร์พื้นฐานมีอยู่ 3 แบบด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 9 จากรูปจะเห็นว่า ในแต่ละกรณีรอยต่อเบส-คอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ จะต่อในลักษณะได้รับไบแอสกลับ เช่นเดียวกับโฟโตไดโอด ในรูปที่ 2.9 (ก) ขาเบสของทรานซิสเตอร์ถูกต่อลงกราวด์ ดังนั้น ทรานซิสเตอร์จะทำงานเหมือนกับโฟโตไดโอดทุกประการ ส่วนรูปที่ 2.9 (ข) และ 2.9 (ค) ขาเบสของทรานซิสเตอร์ถูกปล่อยลอยไว้และเมื่อใดที่ทรานซิสเตอร์ได้รับแสง ก็จะมีกระแสไหลผ่านรอยต่อเบส - คอลเล็กเตอร์ไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะทำให้กระแสที่ผ่านจากคอลเล็กเตอร์มายังอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมาก กระแสนี้จะทำให้ได้แรงดันเอาต์พุตที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R1 ที่ต่ออนุกรมอยู่มีค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 วงจรโฟโตทรานซิสเตอร์ที่สามารถปรับความไวในการตอบสนองต่อแสงได้

เมื่อเปรียบเทียบกับโฟโตไดโอด โฟโตทรานซิสเตอร์จะมีความไวต่อแสงมากกว่าประมาณ 100 เท่า ในการใช้งานอาจจะต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ระหว่างขาเบสและอิมิตเตอร์ของโฟโตทรานซิสเตอร์ด้วยก็ได้ ดังรูปที่ 2.10 เพื่อให้สามารถเลือกได้ว่าต้องการใช้กับงานที่มีความไวต่อแสงมากๆ หรือต้องการใช้กับงานที่มีความถี่สูง โดยเมื่อ VR1 เปิดวงจรก็จะทำหน้าที่เป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ และเมื่อ VR1 ลัดวงจร ก็จะทำหน้าที่เป็นโฟโตไดโอด

ในการใช้งานวงจรที่เกี่ยวข้องกับแสงในรูปที่ 2.9 กับ 2.10 นั้นจะต้องเลือกใช้ตัวต้านทานโหลด R1 ที่มีค่ามากหรือน้อยจนเกินไปด้วย เพราะถ้าใช้ตัวต้านทาน R1 ที่มีค่ามากๆ ถึงแม้จะทำให้อัตรา ขยายแรงดัน ของวงจรเพิ่มขึ้น แต่ก็จะทำให้ช่วงความถี่ของการใช้งานลดลงด้วยและค่าของ R1 จะ ต้องเป็นค่าที่ทำให้โฟโตไดโอด หรือโฟโตทรานซิสเตอร์ ทำงานในช่วงที่เป็นเชิงเส้นด้วย

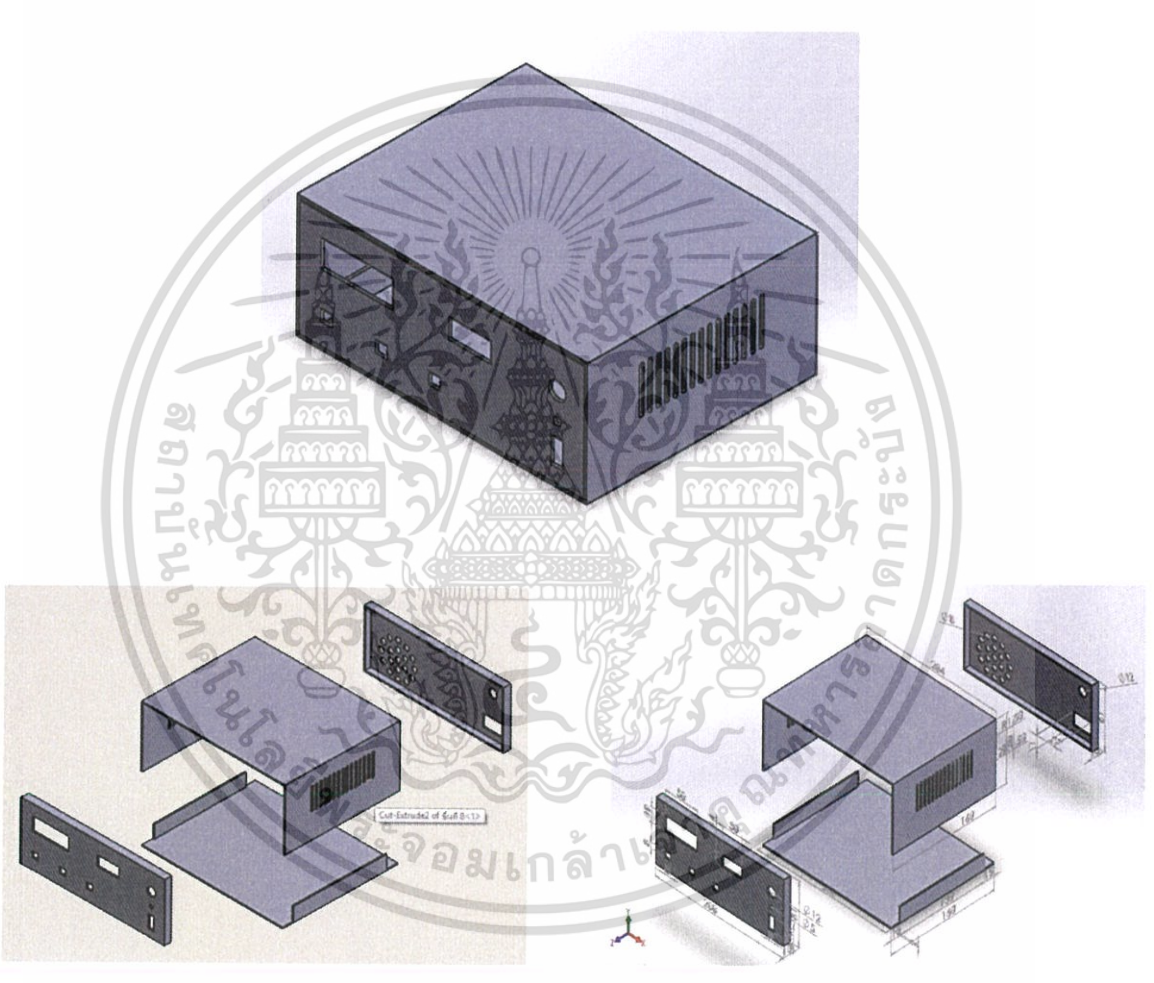
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการสร้างส่วนประกอบ

3.1.1 ตัวเครื่อง

มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมด้านหน้าประกอบไปด้วยจอแสดงผล ปุ่มกดเพื่อเลือกฟังก์ชันการทำงานต่างๆ



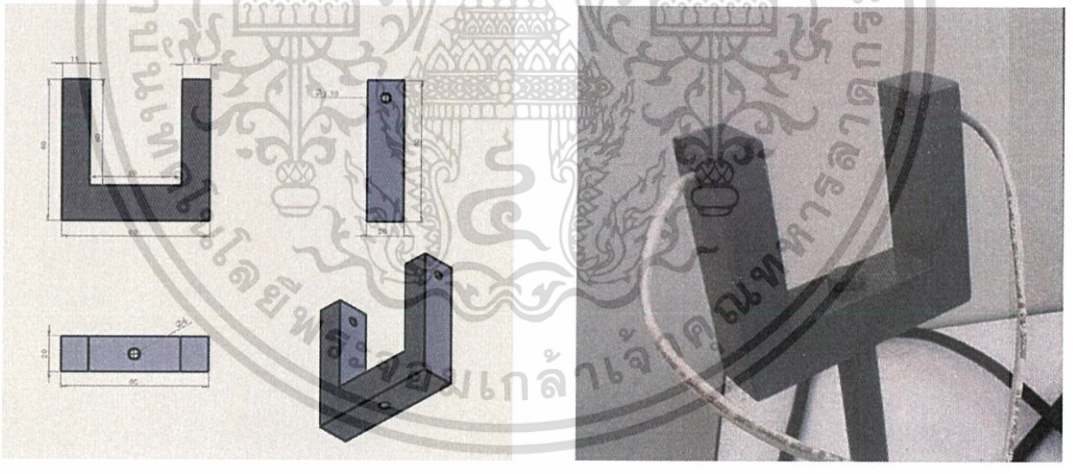
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของตัวเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 ตัวเครื่อง

3.1.2 เซนเซอร์แสง

มีลักษณะคล้ายก้ามปูปลายด้านหนึ่งเป็น IR LED ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณ และอีกด้านหนึ่งเป็น Phototransistor ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณ



ก. ข.

รูปที่ 3.3 ก. โครงสร้างเซนเซอร์แสง

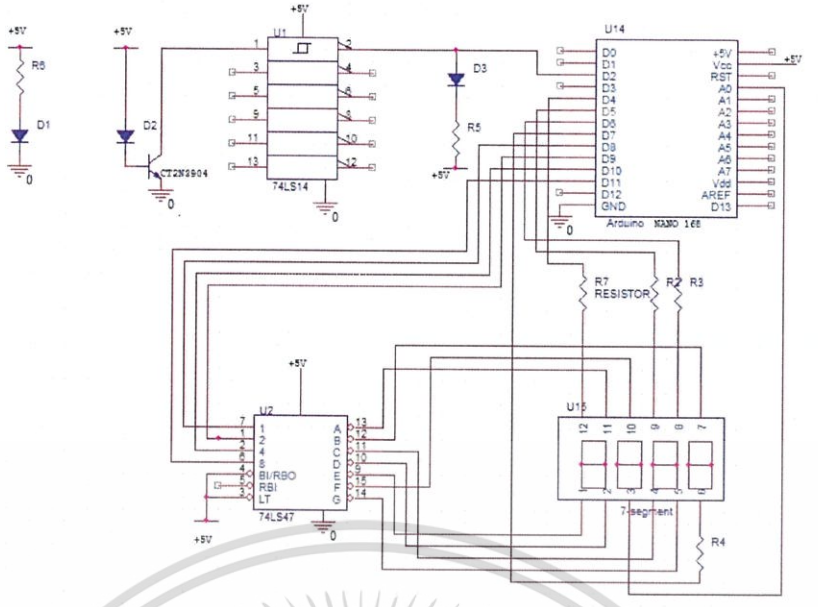
ข. เซนเซอร์แสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

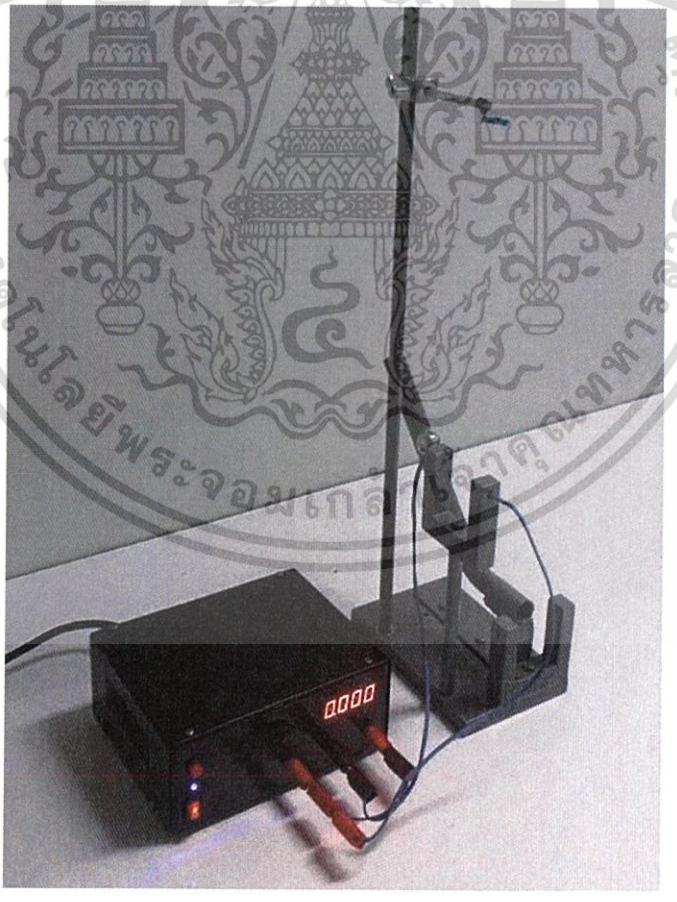
3.2 วงจรการทดลอง

รูปที่ 3.4 แผงวงจรและการเชื่อมต่อสายไฟภายในกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรและตำแหน่งของอุปกรณ์



รูปที่ 3.6 ชุดอุปกรณ์พร้อมใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

3.3.1 การทดลองจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง

ในการแกว่งของลูกตุ้ม หรือ การที่วัตถุตัดผ่านเซนเซอร์ วงจรจะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่อวัตถุ หรือลูกเหล็กจะสามารถบังแสงที่เปล่งออกมา IR LED ไม่ให้ตกกระทบบนโฟโตทรานซิสเตอร์หรือบังแสงได้มากที่สุดที่ทำให้เอาท์พุตมีค่าลอจิกเป็น HIGH หรือมีแรงดันเป็น 5 โวลต์ หากไม่มีวัตถุบดบังลำแสงโดยโฟโตทรานซิสเตอร์ได้รับแสงโดยตรงที่เอาท์พุตจะมีค่าลอจิกเป็น LOW หรือมีแรงดันเป็น 0 โวลต์ แสงที่เปล่งออกมาจาก IR LED จะมีลักษณะบานเพราะเป็นคลื่นแสงดังนั้นระยะห่างของตัวรับและตัวส่งของเซนเซอร์แสงไม่ควรห่างมากเกินไป และบริเวณปลายด้านหนึ่งของก้ามปูที่ทำหน้าที่เป็นช่องปล่อยแสงต้องไม่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 3 มิลลิเมตร เพื่อลดการบานของแสง

การทดลองในเรื่องลูกตุ้มอย่างง่ายต้องคำนึงถึงมุมที่ใช้ในการแกว่งซึ่งมุมที่ใช้ไม่ควรเกิน 20 องศา เนื่องจากในการคำนวณหาค่าแรงโน้มถ่วงนั้นเราจะพิจารณาว่ามุมมีค่าน้อยมากหรือแทบจะไม่มีผลเพื่อตัดตัวแปรต่างๆที่จะมีผลต่อการหาค่าแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งน้ำหนักของมวลที่ใช้ในการทดลองไม่มีผลต่อค่าแรงโน้มถ่วงของโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการทดลองจับเวลาแบบ gate.

การคำนวณหาความเร็วต้นจากการทดลองของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์

เมื่อใช้ลูกเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.58 เซนติเมตร และเวลาที่วัดได้ 0.009 วินาที

จากสูตร $$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = mgh$$

$$I = \frac{2}{5}mR^2, v^2 = \omega^2 R^2, \omega^2 = \frac{v^2}{R^2}$$

เมื่อ I คือโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุทรงกลมตัน

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{2}{5}mR^2\right)\left(\frac{v^2}{R^2}\right) = mgh$$

$$\frac{1}{2}v^2 + \frac{1}{5}v^2 = gh$$

$$\frac{7}{10}v^2 = gh$$

$$v^2 = \frac{10}{7}gh$$

$$v = \sqrt{\frac{10}{7}gh}$$

ดังนั้น $$v = \sqrt{\frac{10}{7}(9.8)(0.165)} = 1.52 m/s$$

การคำนวณหาความเร็วต้นจากทฤษฎีของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์โดยไม่คิดถึงการหมุนของวัตถุ

เมื่อใช้ลูกเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.58 เซนติเมตร และเวลาที่วัดได้ 0.009 วินาที

จาก $$v = \frac{d}{t}$$

เมื่อ d คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกเหล็ก และ t คือเวลาที่วัดได้

$$v = \frac{d}{t} = \frac{0.0158}{0.009}$$

จะได้ $$v = 1.76 m/s$$

ความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองเท่ากับ 13.63 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองจับเวลาแบบครึ่งคาบ

การทดลองครั้งที่1

ลูกตุ้มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.23 เซนติเมตร เส้นเชือกยาว 30 เซนติเมตร ทำการทดสอบโดยปล่อยลูกตุ้มที่มุม 10 องศา 20 องศา และ 30 องศาได้ผลทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 10 องศา

θ / เครื่องมือวัด	$\theta = 10^\circ$					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.548	0.549	0.548	0.548	9.86	0.61
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.51	0.53	0.55	0.53	10.54	7.55

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 20 องศา

θ / เครื่องมือวัด	$\theta = 20^\circ$					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.552	0.551	0.551	0.551	9.75	0.51
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.53	0.48	0.51	0.507	11.51	17.44

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 30 องศา

θ / เครื่องมือวัด	$\theta = 30^\circ$					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.557	0.560	0.557	0.558	9.51	2.96
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.48	0.55	0.59	0.54	10.15	3.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่2

ลูกตุ้มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.23 เซนติเมตร เส้นเชือกยาว 45 เซนติเมตร ทำการทดสอบโดยปล่อยลูกตุ้มที่มุม 10 องศา 20 องศา และ 30 องศาได้ผลทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 10 องศา

θ / เครื่องมือวัด	$\theta = 10^\circ$					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.673	0.674	0.674	0.674	9.78	0.20
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.66	0.61	0.65	0.64	10.84	10.61

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 20 องศา

θ / เครื่องมือวัด	$\theta = 20^\circ$					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.676	0.677	0.677	0.677	9.69	1.12
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.65	0.63	0.63	0.64	10.84	10.61

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 30 องศา

θ / เครื่องมือวัด	$\theta = 30^\circ$					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.685	0.685	0.683	0.684	9.49	3.16
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.66	0.71	0.65	0.67	9.87	0.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่3

ลูกตุ้มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.23 เซนติเมตร เส้นเชือกยาว 60 เซนติเมตร ทำการทดสอบโดยปล่อยลูกตุ้มที่มุม 10 องศา 20 องศา และ 30 องศาได้ผลทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 10 องศา

θ / เครื่องมือวัด	θ = 10°					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.780	0.780	0.780	0.780	9.73	0.71
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.75	0.76	0.73	0.75	10.61	8.27

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 20 องศา

θ / เครื่องมือวัด	θ = 20°					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.783	0.783	0.783	0.783	9.66	1.42
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.76	0.76	0.75	0.757	10.33	5.4

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 30 องศา

θ / เครื่องมือวัด	θ = 30°					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.792	0.792	0.792	0.792	9.44	3.67
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	0.81	0.81	0.81	0.81	9.03	7.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองจับเวลาแบบหนึ่งคาบ

การทดลองครั้งที่1

ลูกตุ้มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.23 เซนติเมตร เส้นเชือกยาว 30 เซนติเมตร ทำการทดสอบโดยปล่อยลูกตุ้มที่มุม 10 องศา 20 องศา และ 30 องศาได้ผลทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 10 องศา

θ / เครื่องมือวัด	$\theta = 10^\circ$					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.099	1.099	1.099	1.099	9.81	0.10
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.05	1.13	1.10	1.093	9.91	1.12

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 20 องศา

θ / เครื่องมือวัด	$\theta = 20^\circ$					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.106	1.107	1.106	1.106	9.68	1.22
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.10	1.05	1.13	1.093	9.91	1.12

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 30 องศา

θ / เครื่องมือวัด	$\theta = 30^\circ$					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.117	1.115	1.116	1.116	9.51	2.96
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.11	0.98	1.10	1.063	10.48	6.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่2

ลูกตุ้มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.23 เซนติเมตร เส้นเชือกยาว 45 เซนติเมตร ทำการทดสอบโดยปล่อยลูกตุ้มที่มุม 10 องศา 20 องศา และ 30 องศาได้ผลทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงผลเวลาที่มุม 10 การจับ องศา

θ / เครื่องมือวัด	$\theta = 10^\circ$					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.349	1.348	1.348	1.348	9.77	0.31
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.35	1.35	1.33	1.277	10.89	11.12

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 20 องศา

θ / เครื่องมือวัด	$\theta = 20^\circ$					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.356	1.357	1.358	1.357	9.65	1.53
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.35	1.28	1.33	1.32	10.20	4.08

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 30 องศา

θ / เครื่องมือวัด	$\theta = 30^\circ$					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.370	1.370	1.372	1.371	9.45	3.56
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.33	1.40	1.40	1.377	9.40	4.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่3

ลูกตุ้มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.23 เซนติเมตร เส้นเชือกยาว 60 เซนติเมตร ทำการทดสอบโดยปล่อยลูกตุ้มที่มุม 10 องศา 20 องศา และ 30 องศาได้ผลทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 10 องศา

θ / เครื่องมือวัด	$\theta = 10^\circ$					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.558	1.558	1.558	1.558	9.76	0.41
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.56	1.58	1.60	1.58	9.45	3.57

ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 20 องศา

θ / เครื่องมือวัด	$\theta = 20^\circ$					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.569	1.566	1.566	1.567	9.54	2.63
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.61	1.55	1.61	1.59	9.37	4.39

ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงผลการจับเวลาที่มุม 30 องศา

θ / เครื่องมือวัด	$\theta = 30^\circ$					
นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.579	1.576	1.579	1.578	9.51	2.96
นาฬิกาจับเวลา	ครั้งที่1 (s)	ครั้งที่2 (s)	ครั้งที่3 (s)	เฉลี่ย (s)	g (m/s^2)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	1.56	1.61	1.60	1.59	9.37	4.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลการทดลองจับเวลาแบบ gate

จากการทดลองจับเวลาเพื่อคำนวณหาความเร็วต้นของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์พบว่าค่าความเร็วต้นที่ได้จากการทดลองมีค่า 1.52 m/s ซึ่งมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าทฤษฎีคือ 1.76 m/s อยู่ 13.63 % ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากเซ็นเซอร์มีความบานของแสงทำให้ลูกตุ้มเคลื่อนที่ผ่านเซ็นเซอร์ใช้เวลาเร็วมากจึงส่งให้เวลาที่จับได้มีความคลาดเคลื่อนไป

5.1.2 ผลการทดลองจับเวลาแบบครึ่งคาบ

จากการทดลองจับเวลาแบบครึ่งคาบพบว่าเวลาที่ได้จากนาฬิกาจับเวลาด้วยเซ็นเซอร์แสงและนาฬิกาจับเวลาแบบมือกดมีความแตกต่างกันในแง่ของความละเอียดของเวลาที่จับได้โดยนาฬิกาจับเวลาด้วยเซ็นเซอร์แสงสามารถจับเวลาได้ละเอียดมากกว่า เมื่อนำเวลาเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองด้วยนาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสงจำนวน 3 ครั้งไปคำนวณเพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยทดลองที่ความยาวเชือก30 เซนติเมตร 45 เซนติเมตร และ 60 เซนติเมตร พบว่าค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน และที่มุมการแกว่ง10องศาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

5.1.3 ผลการทดลองจับเวลาแบบหนึ่งคาบ

จากการทดลองจับเวลาแบบครึ่งคาบพบว่าเวลาที่ได้จากนาฬิกาจับเวลาด้วยเซ็นเซอร์แสงและนาฬิกาจับเวลาแบบมือกดมีความแตกต่างกันในแง่ของความละเอียดของเวลาที่จับได้โดยนาฬิกาจับเวลาด้วยเซ็นเซอร์แสงสามารถจับเวลาได้ละเอียดมากกว่า เมื่อนำเวลาเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองด้วยนาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสงจำนวน 3 ครั้งไปคำนวณเพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยทดลองที่ความยาวเชือก30 เซนติเมตร 45 เซนติเมตร และ 60 เซนติเมตร พบว่าค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน และที่มุมการแกว่ง10องศาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด จากค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลองทำให้ทราบว่าที่มุม 10 องศาของทุกความยาวเชือกมีค่าแรงโน้มถ่วงของโลกใกล้เคียงกับค่าแรงโน้มถ่วงสากลมากที่สุด

ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่วัดได้จะมีค่าลดลงเมื่อมุมมีค่าเพิ่มขึ้น และที่ความยาวเชือกต่างกันแต่มีมุมเดียวกันค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงจะมีค่าใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าความยาวของเส้นเชือกไม่มีผลต่อค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก และจากการทดลองที่ให้ผลเป็นไปตามทฤษฎีนั้นจึงกล่าวได้ว่า นาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสงที่ผู้วิจัยทำขึ้นนี้สามารถจับเวลาได้แม่นยำ และเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของผู้ทำการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าเวลาที่จับได้นั้นมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากลูกตุ้มที่ใช้ในการทดลองมีการหมุนของเส้นเชือกที่ใช้ร้อยเข้ากับลูกตุ้มทำให้การบังแสงในบางครั้งทำงานได้ช้ากว่าที่ควรจะเป็นการแก้ปัญหาจะทำโดยการปรับเปลี่ยนเชือกและลูกตุ้มให้มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเดิม และจากการทดลองเพื่อจับเวลาแบบgate หรือการจับเวลาเพียงช่วงสั้นๆนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

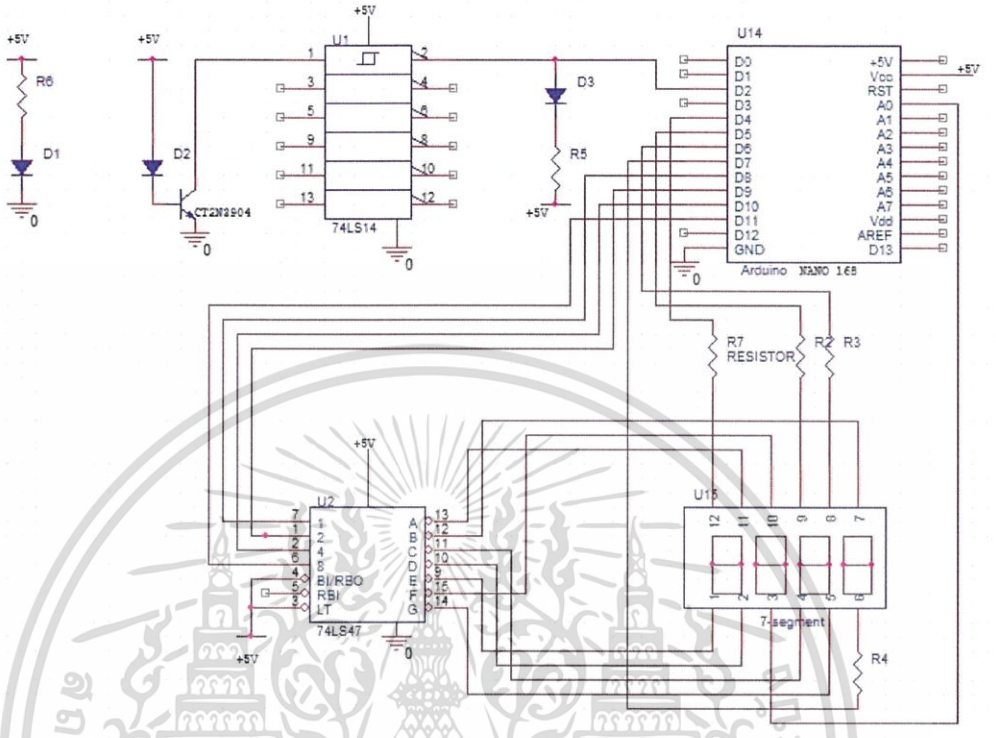
[1] ประวัติศาสตร์ฟิสิกส์ (ออนไลน์) แหล่งที่มา :
http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B9%82%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%A1%E0%B8%96%E0%B9%88%E0%B8%A7%E0%B8%87
[2] การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา (simple pendulum) แหล่งที่มา :
http://www.school.net.th/libraly/snet3/supinya/hamonic-pen/pendulum.html
[3] การเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ (ออนไลน์) แหล่งที่มา :
http://www.thaigoodview.com/node/104243
[4] โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ (ออนไลน์) แหล่งที่มา :
http://arduino.cc/en/Hacking/PinMapping168
[5] สารานุกรมไดโอดฉบับย่อ ตอนจบ : บุญชัย งามวงศ์วัฒนา (ออนไลน์) แหล่งที่มา :
http://electronics.se-ed.com/contents/140s135/140s135_p08.asp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก วงจรการทำงานของนาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข โปรแกรมการทำงานของนาฬิกาจับเวลาด้วยเซนเซอร์แสง

```
int sensorPin = 3;
int digitalPin = 2;
int lookatarnPin = 12;
int aa = 0;
int bb = 0;
int cc = 0;
int cutstate = 0; // if == 0 non cut or cut even time
                  // if == 1 cut odd time
int counter = 0;
unsigned long timebegin;
unsigned long clocksegment =0;
int digital =0;
int timehalf;
int timefull;
int Dp = 13;
int Pineigth = 8;
int Pinnine = 9;
int Pinten = 10;
int Pineleven = 11;
int Digit1 = 4;
int Digit2 = 5;
int Digit3 = 6;
int Digit4 = 7;
int seva=0;
int sevb=0;
int sevc=0;
int sevd=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
unsigned long timestart;
unsigned long timestop;
int WaitStart = 0;
int WaitStop = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  pinMode(2,INPUT);
  pinMode(3,INPUT);
  pinMode(12,INPUT);
  pinMode(sensorPin,INPUT);
  pinMode(digitalPin,INPUT);
  pinMode(lookatarnPin,INPUT);
  pinMode(Dp,OUTPUT);
  pinMode(Pineigth,OUTPUT);
  pinMode(Pinnine,OUTPUT);
  pinMode(Pinten,OUTPUT);
  pinMode(Pineleven,OUTPUT);
  pinMode(Digit1,OUTPUT);
  pinMode(Digit2,OUTPUT);
  pinMode(Digit3,OUTPUT);
  pinMode(Digit4,OUTPUT);
 }

void loop()
{
unsigned long time = micros();
aa = digitalRead(digitalPin);
bb = digitalRead(sensorPin);
cc = digitalRead(lookatarnPin);
if (bb == LOW && WaitStart == 0 && aa == HIGH && cc == LOW){timestart =
micros();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    WaitStart = 1;}
//bb
if (aa == LOW && WaitStart == 0 && bb == LOW && cc == LOW){
                    WaitStart = 2;timestart = micros();}
 //cc
 if (aa == HIGH && WaitStart == 0 && bb == HIGH && cc == HIGH){
                    WaitStart = 3;}
  if (WaitStart == 1 || WaitStart == 2 | WaitStart == 3){

          //bb
           if (bb == HIGH && aa == LOW && cc == LOW){WaitStop = 1;}
           //cc
            if(aa == HIGH && bb == HIGH && cc ==  HIGH && cutstate ==0)
  {
    if(counter ==0){timestart = micros();}
    counter ++;
    cutstate = 1;
  }

   if(aa == HIGH && bb == HIGH && cc == LOW && cutstate == 1)
  {
    cutstate = 2;
  }

   if(aa == HIGH && bb == HIGH && cc == HIGH && cutstate ==2)
  {
    if(counter ==1)
    {
      cutstate = 3;
  }
  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(aa == HIGH && bb == HIGH && cc == LOW && cutstate == 3)
  {
    cutstate = 4;
  }
 if(aa == HIGH && bb == HIGH && cc == HIGH && cutstate ==4)
  {
    cutstate = 0;
  }
if (counter == 1){  timestop = micros() - timestart;}
if (aa == HIGH && bb == LOW && cc == LOW){timestart = micros();}
if (aa == LOW){timestop = micros() - timestart;}

                Serial.println(timestop);
                unsigned long a = (timestop/1000000);
                unsigned long b =(timestop/100000)%10;
                unsigned long c =(timestop/10000)%10;
                unsigned long d =(timestop/1000)%10;

                seva = a;
                sevb =b;
                sevc = c;
                sevd =d;
                Serial.print(a);
                Serial.print(b);
                Serial.print(c);
                Serial.println(d);
                 }

 drive(seva,sevb,sevc,sevd);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  if( bb == LOW && WaitStop == 1 ){ WaitStop = 0;
                                  while(WaitStop == 0){
                                  drive(seva,sevb,sevc,sevd);}
  }
  if(cc == HIGH && cutstate == 0){ WaitStop = 0;
                                  while(WaitStop == 0){
                                  drive(seva,sevb,sevc,sevd);}
                                 }
}

  void drive (int a,int b, int c, int d)
  { unsigned long jame = micros() - clocksegment;
     If(jame >= 5) { clocksegment = 0;
                    if(digital == 0){
                      lightoff();
                    if(a==0){zero(); oned();}
                    if(a==1){one(); oned();}
                    if(a==2){two(); oned();}
                    if(a==3){three(); oned();}
                    if(a==4){four(); oned();}
                    if(a==5){five(); oned();}
                    if(a==6){six(); oned();}
                    if(a==7){seven(); oned();}
                    if(a==8){eight(); oned();}
                    if(a==9){nine(); oned();}
                    digitalWrite(Dp,LOW);}

                    else if(digital == 1){
                      digitalWrite(Dp,HIGH);
                      lightoff();
                    if(b==0){zero(); twod();}
                    if(b==1){one(); twod();}
                    if(b==2){two(); twod();}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(b==3){three(); twod();}
if(b==4){four(); twod();}
if(b==5){five(); twod();}
if(b==6){six(); twod();}
if(b==7){seven(); twod();}
if(b==8){eight(); twod();}
if(b==9){nine(); twod();}
}

else if(digital == 2){
  lightoff();
if(c==0){zero(); threed();}
if(c==1){one(); threed();}
if(c==2){two(); threed();}
if(c==3){three(); threed();}
if(c==4){four(); threed();}
if(c==5){five(); threed();}
if(c==6){six(); threed();}
if(c==7){seven(); threed();}
if(c==8){eight(); threed();}
if(c==9){nine(); threed();}
digitalWrite(Dp,HIGH);}

else if(digital == 3){
  lightoff();
if(d==0){zero(); fourd();}
if(d==1){one(); fourd();}
if(d==2){two(); fourd();}
if(d==3){three(); fourd();}
if(d==4){four(); fourd();}
if(d==5){five(); fourd();}
if(d==6){six(); fourd();}
if(d==7){seven(); fourd();}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            if(d==8){eight(); fourd();}
            if(d==9){nine(); fourd();}
            digitalWrite(Dp,HIGH);}

            digital++;
            if(digital > 3){digital =0;}
        }

}
 void zero()
 {
    digitalWrite(Pineigth,LOW);
    digitalWrite(Pinnine,LOW);
    digitalWrite(Pinten,LOW);
    digitalWrite(Pineleven,LOW);
 }
 void one()
 {
    digitalWrite(Pineigth,HIGH);
    digitalWrite(Pinnine,LOW);
    digitalWrite(Pinten,LOW);
    digitalWrite(Pineleven,LOW);
 }
 void two()
 {
    digitalWrite(Pineigth,LOW);
    digitalWrite(Pinnine,HIGH);
    digitalWrite(Pinten,LOW);
    digitalWrite(Pineleven,LOW);
 }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void three()
 {
   digitalWrite(Pineigth,HIGH);
   digitalWrite(Pinnine,HIGH);
   digitalWrite(Pinten,LOW);
   digitalWrite(Pineleven,LOW);
 }
void four()
 {
   digitalWrite(Pineigth,LOW);
   digitalWrite(Pinnine,LOW);
   digitalWrite(Pinten,HIGH);
   digitalWrite(Pineleven,LOW);
 }
void five()
 {
   digitalWrite(Pineigth,HIGH);
   digitalWrite(Pinnine,LOW);
   digitalWrite(Pinten,HIGH);
   digitalWrite(Pineleven,LOW);
 }
 void six()
 {
   digitalWrite(Pineigth,LOW);
   digitalWrite(Pinnine,HIGH);
   digitalWrite(Pinten,HIGH);
   digitalWrite(Pineleven,LOW);
 }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void seven()
{
  digitalWrite(Pineigth,HIGH);
  digitalWrite(Pinnine,HIGH);
  digitalWrite(Pinten,HIGH);
  digitalWrite(Pineleven,LOW);
}
void eight()
{
  digitalWrite(Pineigth,LOW);
  digitalWrite(Pinnine,LOW);
  digitalWrite(Pinten,LOW);
  digitalWrite(Pineleven,HIGH);
}
void nine()
{
  digitalWrite(Pineigth,HIGH);
  digitalWrite(Pinnine,LOW);
  digitalWrite(Pinten,LOW);
  digitalWrite(Pineleven,HIGH);
}
void oned()
{
  digitalWrite(Digit1,HIGH);
  digitalWrite(Digit2,LOW);
  digitalWrite(Digit3,LOW);
  digitalWrite(Digit4,LOW);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void twod()
{
  digitalWrite(Digit1,LOW);
  digitalWrite(Digit2,HIGH);
  digitalWrite(Digit3,LOW);
  digitalWrite(Digit4,LOW);
}
void threed()
{
  digitalWrite(Digit1,LOW);
  digitalWrite(Digit2,LOW);
  digitalWrite(Digit3,HIGH);
  digitalWrite(Digit4,LOW);
}
void fourd()
{
  digitalWrite(Digit1,LOW);
  digitalWrite(Digit2,LOW);
  digitalWrite(Digit3,LOW);
  digitalWrite(Digit4,HIGH);
}
void lightoff()
{
  digitalWrite(Digit1,LOW);
  digitalWrite(Digit2,LOW);
  digitalWrite(Digit3,LOW);
  digitalWrite(Digit4,LOW);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TAIWAN OASIS LED DATA SHEET

PART NO. : TOF-5461BMRL-B

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS AT TA=25°C

PARAMETER	VALUE	UNITS
Power Dissipation Per Segment	75	mW
Peak Forward Current Per Segment (1/10 Duty Cycle, 0.1ms Pulse Width)	80	mA
Continuous Forward Current Per Segment	20	mA
Recommend Operating Current	12	mA
Reverse Voltage Per Segment	5	V
Operating Temperature Range	-25 to +85	°C
Storage Temperature Range	-30 to +85	°C
Junction Temperature	>85	°C
Lead-Free Solder Temperature(1/16 Inch Below Seating Plane)	260°C for 3 sec.	

ELECTRICAL/OPTICAL CHARACTERISTICS AT TA=25°C

PARAMETER	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS	TEST CONDITION
Luminous Intensity Per Segment	Iv		21937		µcd	I_F=10mA
Dominant Emission Wavelength	λ_d		640		nm	I_F=20mA
Spectral Line Half-Width	$\triangle\lambda$		15		nm	I_F=20mA
Forward Voltage Per Segment	V_F	1.8	2.0	2.3	V	I_F=20mA
Reverse Current Per Segment	I_R			100	µA	V_R=5V
Luminous Intensity Matching Rate	Iv-m			2.0:1		I_F=20mA

Notes:Above specification may be changed without notice.

DATE	10/23/08'	SCALE	——	DRAWING NO.	S-5461BMRL-B-A	DRAWN	C.D.P	CHECKED	
UNIT	——	SHEET NO.	2/2			CUSTOMER		APPROVED	

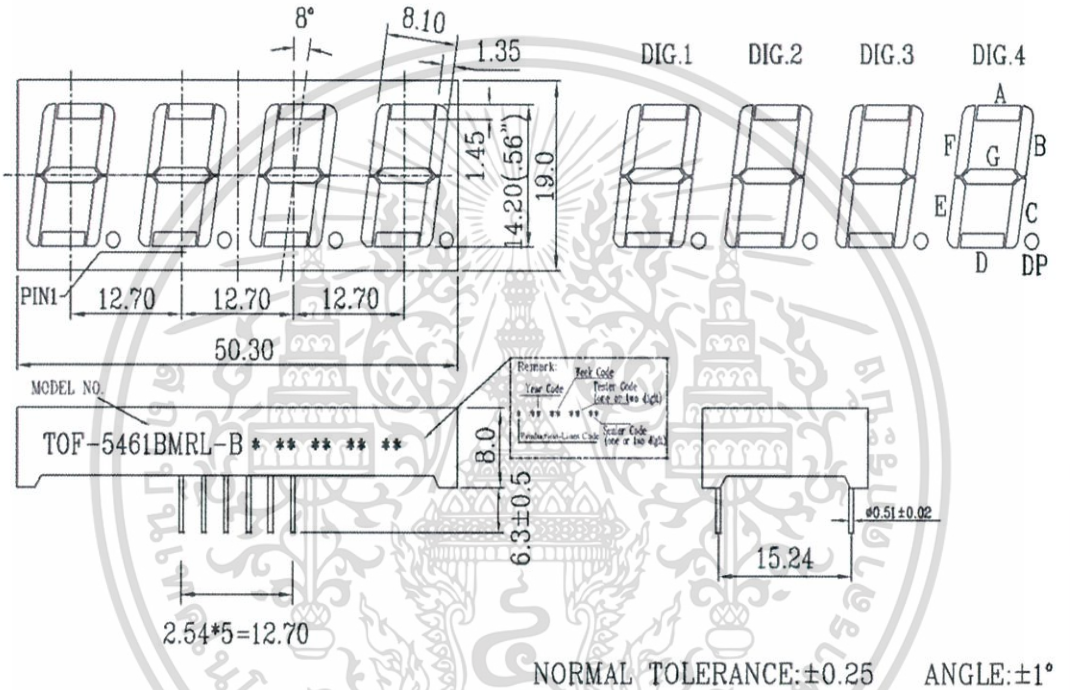
เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่รับรองความถูกต้องสมบูรณ์ของเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TAIWAN OASIS LED DATA SHEET

PART NO. : TOF-5461BMRL-B

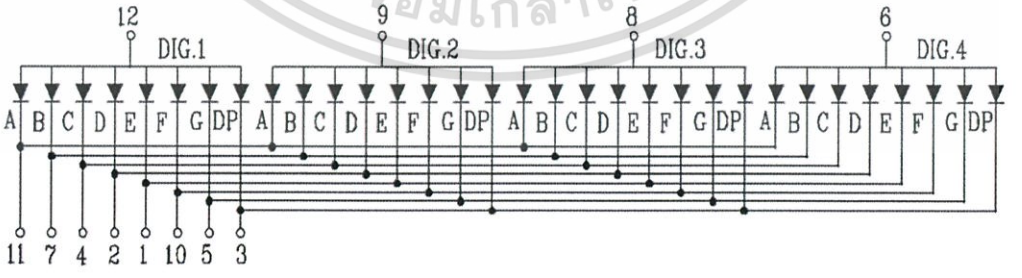
APPEARANCE			TECHNOLOGY	AlGaInP/GaAs
FACE	SEGMENT	PIN	SOURCE COLOR	Ultra Bright Red
			DRIVER MODE	Com.Anode
Black	White	ø0.51x10.28	PACKING	Tube(5263)

PACKAGE DIMENSIONS



NORMAL TOLERANCE:±0.25 ANGLE:±1°

INTERNAL CIRCUIT DIAGRAM



DATE	10/23/08'	SCALE	1.5:1	DRAWING NO.	S-5461BMRL-B-A	DRAWN	C.D.P	CHECKED	
UNIT	M/M	SHEET NO.	1/2			CUSTOMER		APPROVED	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA

SN54/74LS47

BCD TO 7-SEGMENT DECODER/DRIVER

BCD TO 7-SEGMENT DECODER/ DRIVER

LOW POWER SCHOTTKY

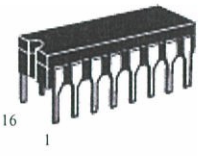
The SN54 / 74LS47 are Low Power Schottky BCD to 7-Segment Decoder / Drivers consisting of NAND gates, input buffers and seven AND-OR-INVERT gates. They offer active LOW, high sink current outputs for driving indicators directly. Seven NAND gates and one driver are connected in pairs to make BCD data and its complement available to the seven decoding AND-OR-INVERT gates. The remaining NAND gate and three input buffers provide lamp test, blanking input / ripple-blanking output and ripple-blanking input.

The circuits accept 4-bit binary-coded-decimal (BCD) and, depending on the state of the auxiliary inputs, decodes this data to drive a 7-segment display indicator. The relative positive-logic output levels, as well as conditions required at the auxiliary inputs, are shown in the truth tables. Output configurations of the SN54 / 74LS47 are designed to withstand the relatively high voltages required for 7-segment indicators.

These outputs will withstand 15 V with a maximum reverse current of 250 ∝A. Indicator segments requiring up to 24 mA of current may be driven directly from the SN74LS47 high performance output transistors. Display patterns for BCD input counts above nine are unique symbols to authenticate input conditions.

The SN54 / 74LS47 incorporates automatic leading and / or trailing-edge zero-blanking control (RBI and RBO). Lamp test (LT) may be performed at any time which the BI / RBO node is a HIGH level. This device also contains an overriding blanking input (BI) which can be used to control the lamp intensity by varying the frequency and duty cycle of the BI input signal or to inhibit the outputs.

- Lamp Intensity Modulation Capability (BI/RBO)
- Open Collector Outputs
- Lamp Test Provision
- Leading / Trailing Zero Suppression
- Input Clamp Diodes Limit High-Speed Termination Effects



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 620-09

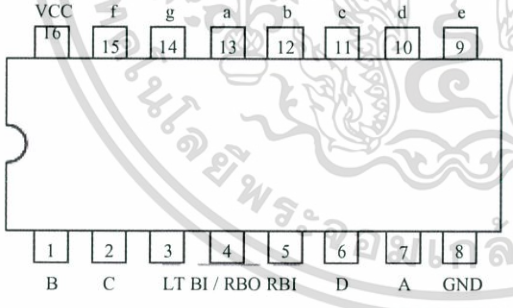
N SUFFIX
PLASTIC
CASE 648-08

D SUFFIX
SOIC
CASE 751B-03

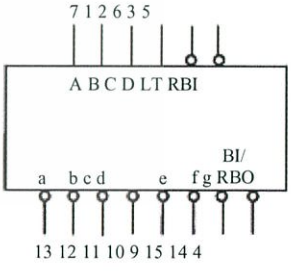
ORDERING INFORMATION

SN54LSXXJ	Ceramic
SN74LSXXN	Plastic
SN74LSXXD	SOIC

CONNECTION DIAGRAM DIP (TOP VIEW)



LOGIC SYMBOL



VCC = PIN 16
GND = PIN 8

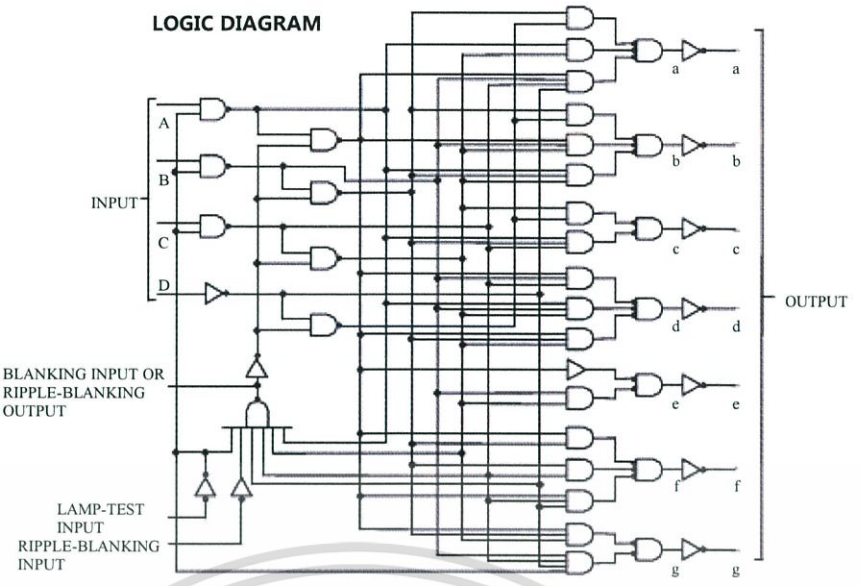
PIN NAMES

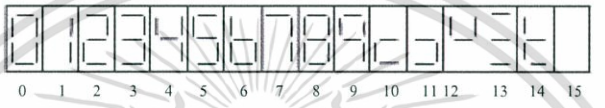
		LOADING (Note a) HIGH	LOW
A, B, C, D	BCD Inputs	0.5 U.L.	0.25 U.L.
$\overline{RBI}$	Ripple-Blanking Input	0.5 U.L.	0.25 U.L.
$\overline{LT}$	Lamp-Test Input	0.5 U.L.	0.25 U.L.
$\overline{BI}$ / $\overline{RBO}$	Blanking Input or Ripple-Blanking Output	0.5 U.L. 1.2 U.L.	0.75 U.L. 2.0 U.L.
– — a, to g	Outputs	Open-Collector	15 (7.5) U.L.

NOTES:
a) 1 Unit Load (U.L.) = 40 ∝A HIGH, 1.6 mA LOW.
b) Output current measured at VOUT = 0.5 V
The Output LOW drive factor is 7.5 U.L. for Military (54) and 15 U.L. for Commercial (74) Temperature Ranges.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOGIC DIAGRAM





NUMERICAL DESIGNATIONS — RESULTANT DISPLAYS

TRUTH TABLE

	INPUTS							OUTPUTS							
DECIMAL OR FUNCTION	$\overline{LT}$	$\overline{RBI}$	D	C	B	A	$\overline{BI/RBO}$	a	b	c	d	e	f	g	NOTE
0	H	H	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	H	A
1	H	X	L	L	L	H	H	H	L	L	H	H	H	H	A
2	H	X	L	L	H	L	H	L	L	H	L	L	H	L	
3	H	X	L	L	H	H	H	L	L	L	L	H	H	L	
4	H	X	L	H	L	L	H	H	L	L	H	H	L	L	
5	H	X	L	H	L	H	H	L	H	L	L	H	L	L	
6	H	X	L	H	H	L	H	H	H	L	L	L	L	L	
7	H	X	L	H	H	H	H	L	L	L	H	H	H	H	
8	H	X	H	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	
9	H	X	H	L	L	H	H	L	L	L	H	H	L	L	
10	H	X	H	L	H	L	H	H	H	H	L	L	H	L	
11	H	X	H	L	H	H	H	H	H	L	L	H	H	L	
12	H	X	H	H	L	L	H	H	L	H	H	H	L	L	
13	H	X	H	H	L	H	H	L	H	H	L	H	L	L	
14	H	X	H	H	H	L	H	H	H	H	L	L	L	L	
15	H	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	
BI	X	X	X	X	X	X	L	H	H	H	H	H	H	H	B
RBI	H	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	C
LT	L	X	X	X	X	X	H	L	L	L	L	L	L	L	D

H = HIGH Voltage Level
L = LOW Voltage Level
X = Immaterial

NOTES:
(A) BI/RBO is wire-AND logic serving as blanking Input (BI) and/or ripple-blanking output (RBO). The blanking out (BI) must be open or held at a HIGH level when output functions 0 through 15 are desired, and ripple-blanking input (RBI) must be open or at a HIGH level if blanking of a decimal 0 is not desired. X = input may be HIGH or LOW.
(B) When a LOW level is applied to the blanking input (forced condition) all segment outputs go to a LOW level regardless of the state of any other input condition.
(C) When ripple-blanking input (RBI) and inputs A, B, C, and D are at LOW level, with the lamp test input at HIGH level, all segment outputs go to a HIGH level and the ripple-blanking output (RBO) goes to a LOW level (response condition).
(D) When the blanking input/ripple-blanking output (BI/RBO) is open or held at a HIGH level, and a LOW level is applied to lamp test input, all segment outputs go to a LOW level.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
VCC	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
TA	Operating Ambient Temperature Range	54 74	– 55 0	25 25	125 70	°X
IOH	Output Current — High BI / RBO	54, 74			– 50	∝A
IOL	Output Current — Low BI / RBO BI / RBO	54 74			1.6 3.2	mA
VO (off)	Off-State Output Voltage a to g	54, 74			15	V
IO (on)	On-State Output Current a to g a to g	54 74			12 24	mA

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

SymbolS b l	ParameterP		Limits Min	Typ	Max	UnitU i	Test C di iTConditions	
VIH	Input HIGH Voltage		2.0			V	Guaranteed Input HIGH Theshold Voltage for All Inputs	
VIL	Input LOW Voltage	54			0.7	V	Guaranteed Input LOW Threshold Voltagepg for All Inputs	
		74			0.8			
VIK	Input Clamp Diode Voltage			– 0.65	– 1.5	V	VCC = MIN, IIN = – 18 mA	
VOH	Output HIGH Voltage, BI / RBOVoltage		2.424	4.242		V	VCC = MIN, IOH = – 50 ∝A,,∝ , VIN = VIN or VIL per Truth Table	
VOL	Output LOW Voltagepg BI / RBO	54, 74		0.25	0.4	V	IOL = 1.6 mA	VCC = MIN, VIN = VIN or, VIL per Truth Table
		74		0.35	0.5	V	IOL = 3.2 mA	
IO (off)	Off-State Output Current a thru g				250	∝A	VCC = MAX, VIN = VIN or VIL per Truth Table, VO (off) = 15 V	
VO (on)	On-State Output Voltagepg a thru g	54, 74		0.25	0.4	V	IO (on) = 12 mA	VCC = MAX, VIN = VIH or VIL per Truth TableT th T l
		74		0.35	0.5	V	IO (on) = 24 mA	
IIH	Input HIGH Current				20	∝A	VCC = MAX, VIN = 2.7 V	
					0.1	mA	VCC = MAX, VIN = 7.0 V	
IIL	Input LOW Current BI / RBO Any Input except BI / RBO				– 1.2 – 0.4	mA	VCC = MAX, VIN = 0.4 V	
IOS BI / RBO	Output Short Circuit Current (Note 1)		– 0.3		–2.0	mA	VCC = MAX, VOUT = 0 V	
ICC	Power Supply Current			7.0	13	mA	VCC = MAX	

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (TA = 25°C)

SymbolS b l	ParameterP	Limits Min	Typ	Max	UnitU i	Test C di iConditionsT
tPHL tPLH	Propagation Delay, Address Input to Segment Output			100 100	ns ns	VCC = 5.0 V CL = 15 pF
tPHL tPLH	Propagation Delay, RBI Input To Segment Output			100 100	ns ns	

AC WAVEFORMS

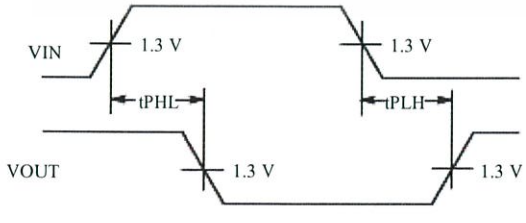


Figure 1

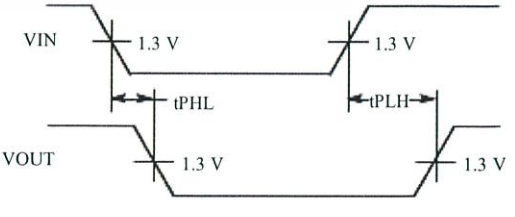


Figure 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA

SN54/74LS13
SN54/74LS14

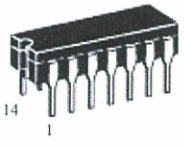
SCHMITT TRIGGERS
DUAL GATE/HEX INVERTER

The SN54LS/ 74LS13 and SN54LS / 74LS14 contain logic gates / inverters which accept standard TTL input signals and provide standard TTL output levels. They are capable of transforming slowly changing input signals into sharply defined, jitter-free output signals. Additionally, they have greater noise margin than conventional inverters.

Each circuit contains a Schmitt trigger followed by a Darlington level shifter and a phase splitter driving a TTL totem pole output. The Schmitt trigger uses positive feedback to effectively speed-up slow input transitions, and provide different input threshold voltages for positive and negative-going transitions. This hysteresis between the positive-going and negative-going input thresholds (typically 800 mV) is determined internally by resistor ratios and is essentially insensitive to temperature and supply voltage variations.

SCHMITT TRIGGERS
DUAL GATE/ HEX INVERTER

LOW POWER SCHOTTKY



J SUFFIX
CERAMIC
CASE 632-08

N SUFFIX
PLASTIC
CASE 646-06

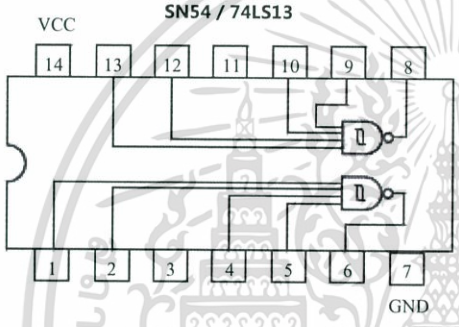
D SUFFIX
SOIC
CASE 751A-02

ORDERING INFORMATION

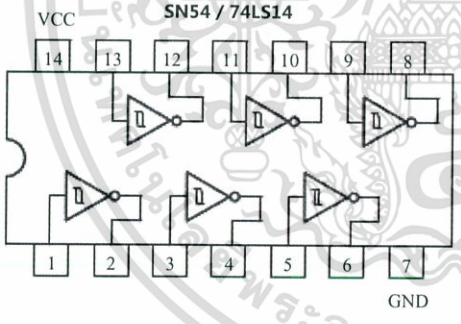
SN54LSXXJ	Ceramic
SN74LSXXN	Plastic
SN74LSXXD	SOIC

LOGIC AND CONNECTION DIAGRAMS

SN54 / 74LS13



SN54 / 74LS14



GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
VCC	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
TA	Operating Ambient Temperature Range	54 74	– 55 0	25 25	125 70	°X
IOH	Output Current — High	54, 74			– 0.4	mA
IOL	Output Current — Low	54 74			4.0 8.0	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter		Limits Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
VT+	Positive-Going Threshold Voltage		1.5		2.0	V	VCC = 5.0 V
VT–	Negative-Going Threshold Voltage		0.6		1.1	V	VCC = 5.0 V
VT+ – VT–	Hysteresis		0.4	0.8		V	VCC = 5.0 V
VIK	Input Clamp Diode Voltage			– 0.65	– 1.5	V	VCC = MIN, IIN = – 18 mA
VOH	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.4		V	VCC = MIN, IOH = – 400 ∝A, VIN = VIL
		74	2.7	3.4		V	
VOL	Output LOW Voltage	54, 74		0.25	0.4	V	VCC = MIN, IOL = 4.0 mA, VIN = 2.0 V
		74		0.35	0.5	V	VCC = MIN, IOL = 8.0 mA, VIN = 2.0 V
IT+	Input Current at Positive-Going Threshold			– 0.14		mA	VCC = 5.0 V, VIN = VT+
IT–	Input Current at Negative-Going Threshold			– 0.18		mA	VCC = 5.0 V, VIN = VT–
IIH	Input HIGH Current			1.0	20	∝A	VCC = MAX, VIN = 2.7 V
					0.1	mA	VCC = MAX, VIN = 7.0 V
IIL	Input LOW Current				– 0.4	mA	VCC = MAX, VIN = 0.4 V
IOS	Short Circuit Current (Note 1)		– 20		–100	mA	VCC = MAX, VOUT = 0 V
ICC	Power Supply Current						
	Total, Output HIGH	LS13		2.9	6.0	mA	VCC = MAX
		LS14		8.6	16		
	Total, Output LOW	LS13		4.1	7.0		
		LS14		12	21		

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (TA = 25°C)

Symbol	Parameter	Max LS13	Max LS14	Unit	Test Conditions
tPLH	Propagation Delay, Input to Output	22	22	ns	VCC = 5.0 V CL = 15 pF
tPHL	Propagation Delay, Input to Output	27	22	ns	

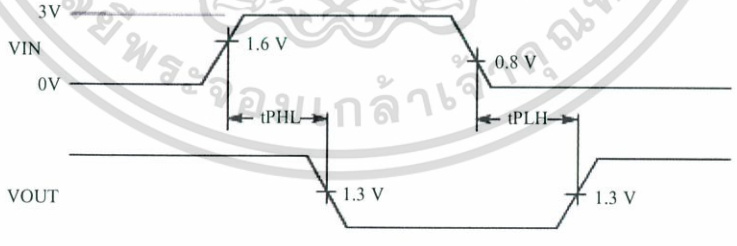


Figure 1. AC Waveforms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

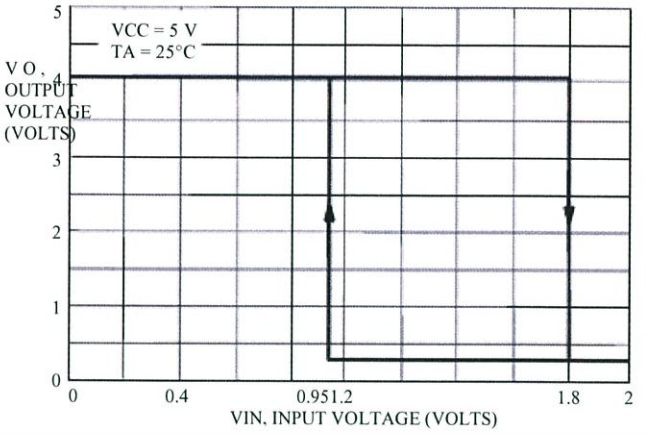


Figure 2. VIN versus VOUT Transfer Function

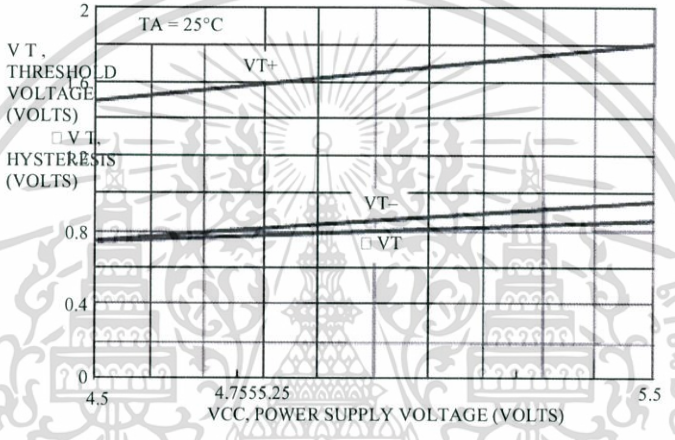


Figure 3. Threshold Voltage and Hysteresis versus Power Supply Voltage

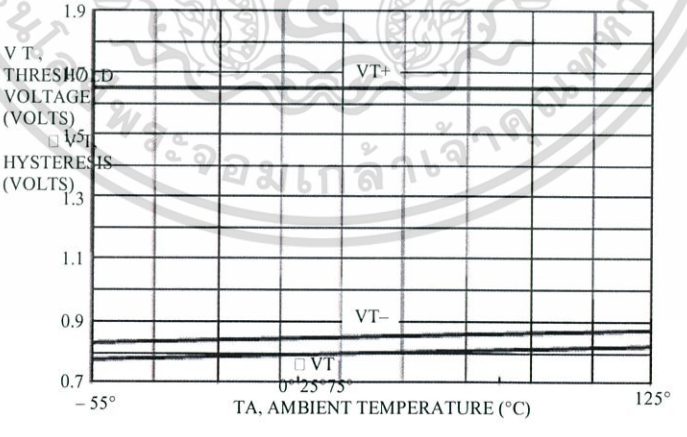


Figure 4. Threshold Voltage Hysteresis versus Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

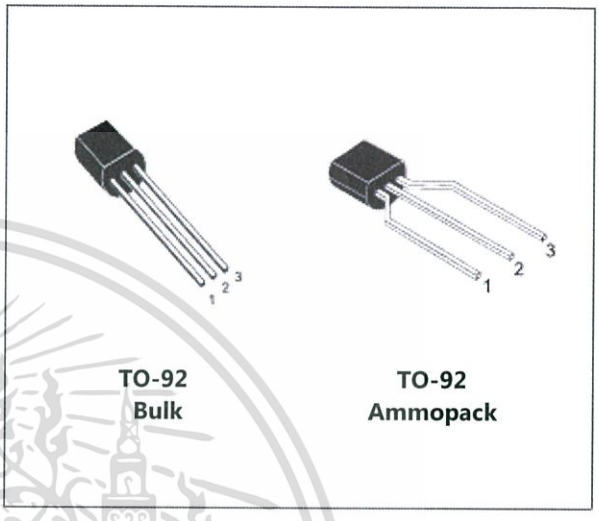
2N3904

SMALL SIGNAL NPN TRANSISTOR

PRELIMINARY DATA

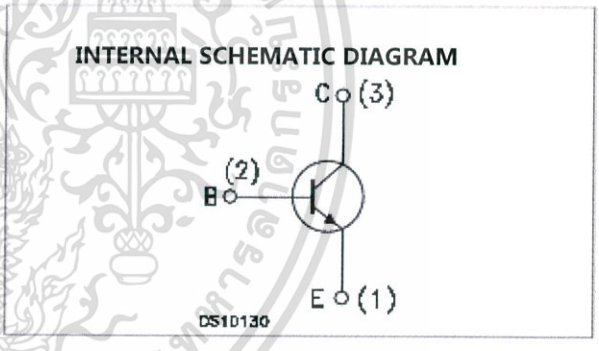
Ordering Code	Marking	Package / Shipment
2N3904	2N3904	TO-92 / Bulk
2N3904-AP	2N3904	TO-92 / Ammopack

- SILICON EPITAXIAL PLANAR NPN TRANSISTOR
- TO-92 PACKAGE SUITABLE FOR THROUGH-HOLE PCB ASSEMBLY
- THE PNP COMPLEMENTARY TYPE IS 2N3906



APPLICATIONS

- WELL SUITABLE FOR TV AND HOME APPLIANCE EQUIPMENT
- SMALL LOAD SWITCH TRANSISTOR WITH HIGH GAIN AND LOW SATURATION VOLTAGE



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CBO}	Collector-Base Voltage ($I_E = 0$)	60	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage ($I_B = 0$)	40	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage ($I_C = 0$)	6	V
I_C	Collector Current	200	mA
P_{tot}	Total Dissipation at $T_C = 25\ ^\circ C$	625	mW
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to 150	°C
T_j	Max. Operating Junction Temperature	150	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL DATA

R thj-amb □	Thermal Resistance Junction-Ambient	Max	200	°C/W
R thj-case □	Thermal Resistance Junction-Case	Max	83.3	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Tcase = 25 °C unless otherwise specified)

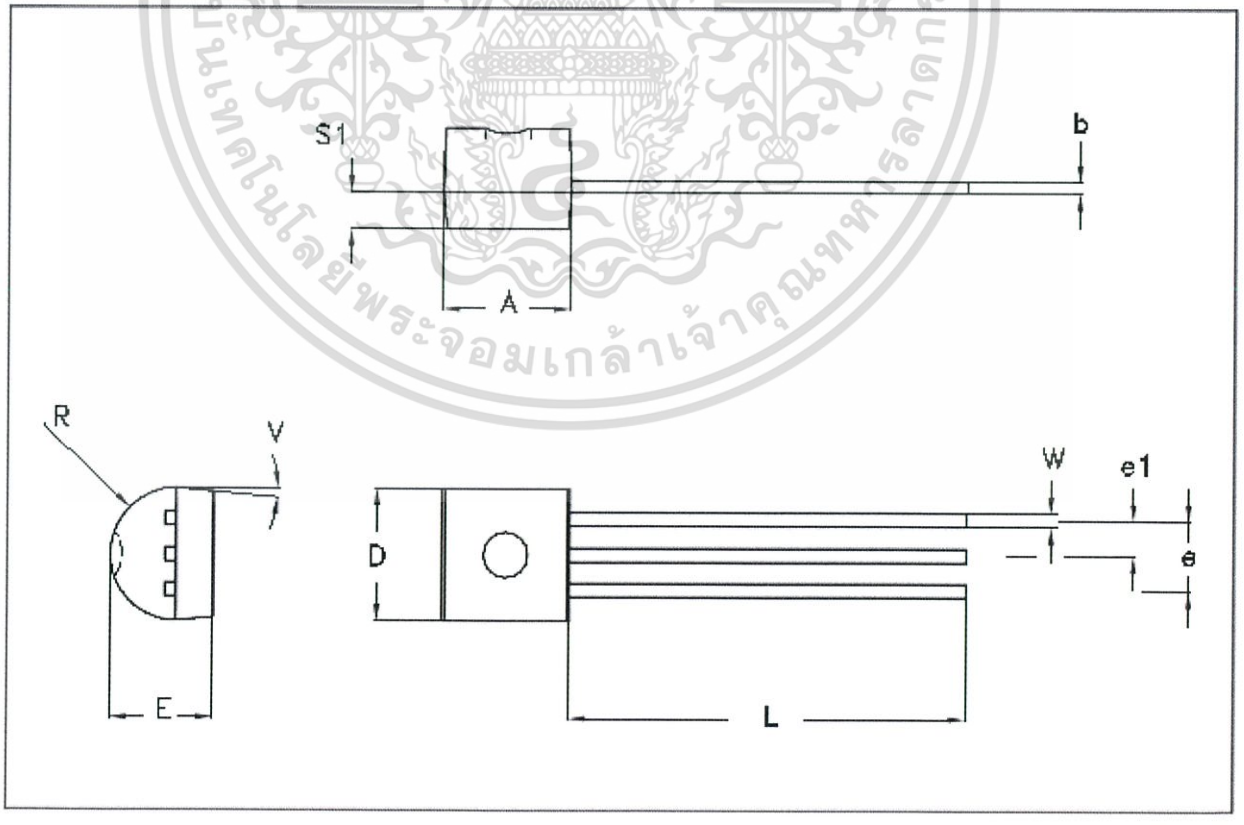
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I CEX	Collector Cut-off Current (V BE = -3 V)	V CE = 30 V			50	nA
I BEX	Base Cut-off Current (V BE = -3 V)	V CE = 30 V			50	nA
V (BR)CEO □	Collector-Emitter Breakdown Voltage (I B = 0)	I C = 1 mA	40			V
V (BR)CBO	Collector-Base Breakdown Voltage (I E = 0)	I C = 10 ∝A	60			V
V (BR)EBO	Emitter-Base Breakdown Voltage (I C = 0)	I E = 10 ∝A	6			V
V CE(sat) □	Collector-Emitter Saturation Voltage	I C = 10 mA I B = 1 mA I C = 50 mA I B = 5 mA			0.2 0.2	V V
V BE(sat) □	Base-Emitter Saturation Voltage	I C = 10 mA I B = 1 mA I C = 50 mA I B = 5 mA	0.65		0.85 0.95	V V
h FE □	DC Current Gain	Ic = 0.1 mA V CE = 1 V Ic = 1 mA V CE = 1 V Ic = 10 mA V CE = 1 V Ic = 50 mA V CE = 1 V Ic = 100 mA V CE = 1 V	60 80 100 60 30		300	
fT	Transition Frequency	I C = 10 mA V CE = 20 V f = 100 MHz	250	270		MHz
C CBO	Collector-Base Capacitance	IE = 0 V CB = 10 V f = 1 MHz		4		pF
C EBO	Emitter-Base Capacitance	Ic = 0 V EB = 0.5 V f = 1 MHz		18		pF
NF	Noise Figure	V CE = 5 V Ic = 0.1 mA f = 10 Hz to 15.7 KHz R G = 1 KΩ		5		dB
td tr	Delay Time Rise Time	I C = 10 mA I B = 1 mA V CC = 30 V			35 35	ns ns
ts tf	Storage Time I C = 10 mA Fall Time V CC = 30 V	I B1 = -I B2 = 1 mA			200 50	ns ns

□ Pulsed: Pulse duration = 300 ∝σ, duty cycle δ 2 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TO-92 MECHANICAL DATA

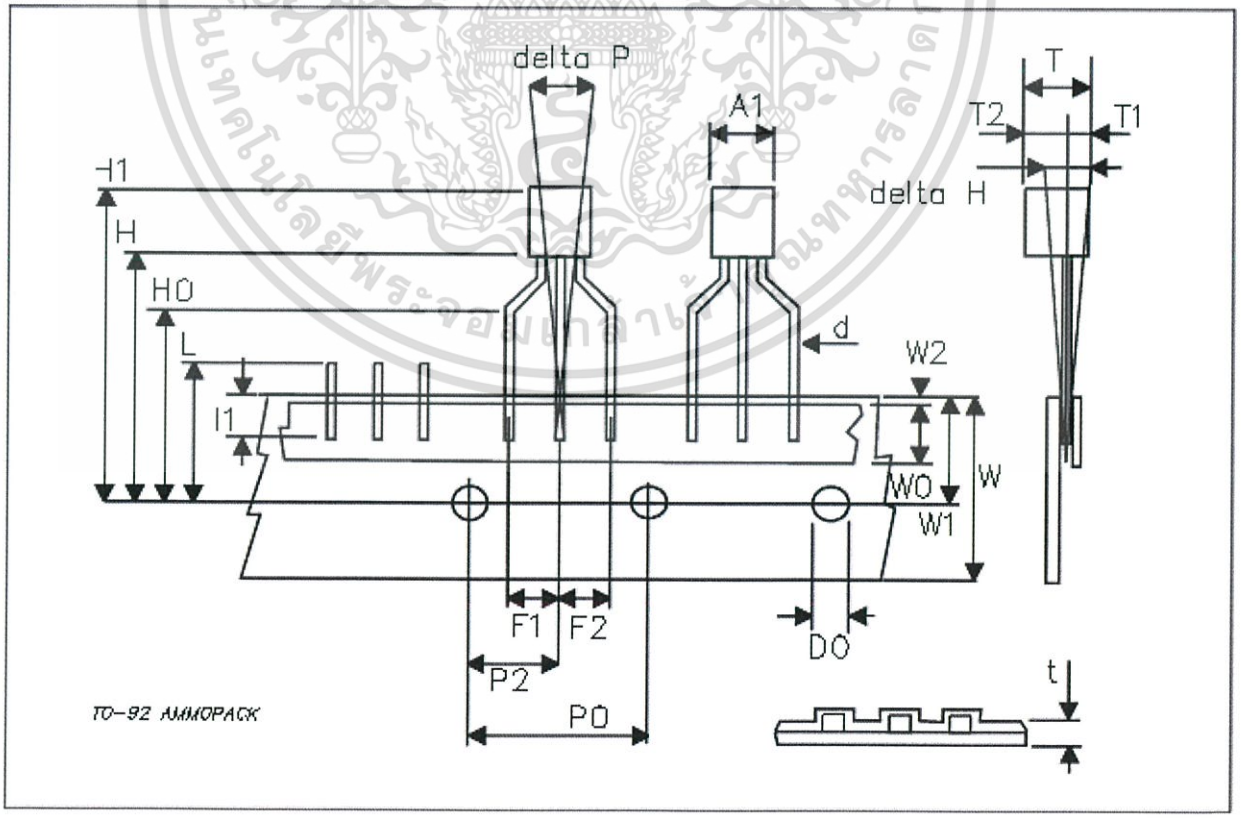
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.32		4.95	0.170		0.195
b	0.36		0.51	0.014		0.020
D	4.45		4.95	0.175		0.194
E	3.30		3.94	0.130		0.155
e	2.41		2.67	0.095		0.105
e1	1.14		1.40	0.045		0.055
L	12.70		15.49	0.500		0.609
R	2.16		2.41	0.085		0.094
S1	1.14		1.52	0.045		0.059
W	0.41		0.56	0.016		0.022
V	4 degree		6 degree	4 degree		6 degree



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TO-92 AMMOPACK SHIPMENT (Suffix"-AP") MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A1			4.80			0.189
T			3.80			0.150
T1			1.60			0.063
T2			2.30			0.091
d			0.48			0.019
P0			12.90			0.508
P2			7.05			0.278
F1,F2	12.50	12.70	2.94	0.492	0.500	0.116
delta H	5.65	6.35	2.00	0.222	0.250	0.079
W	2.44	2.54	19.00	0.096	0.100	0.748
W0	-2.00		6.30	-0.079		0.248
W1	17.50		9.25	0.689		0.364
W2	5.70		0.50	0.224		0.020
H	8.50	18.00	20.50	0.335	0.709	0.807
H0		6.00	16.50		0.236	0.650
H1		9.00	25.00		0.354	0.984
D0			4.20			0.165
t			0.90			0.035
L			11.00			0.433
I1	18.50			0.728		
delta P	15.50	16.00		0.610	0.630	
	3.80	4.00		0.150	0.157	
	3.00			0.118		
	-1.00		1.00	-0.039		0.039



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for theconsequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in thispublication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.
The ST logo is a trademark of STMicroelectronics

© 2003 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES
Australia - Brazil - Canada - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States.

http://www.st.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้