

การพัฒนาอุปกรณ์นำทางคนตาบอดโดยใช้เทคนิคทางคลื่นแสง



นางสาวจุฑามาส ทรัพย์สิน  
นางสาวรัชนิญา ลีพิลา

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 43939  
วัน, เดือน, ปี 18 ต.ค. 2545

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

ปัญหาพิเศษ/โครงการพิเศษที่เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **Development of guiding device for blind based on optical technique**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the  
Requirement for the Degree of Bachelor of Science**

**Department of Applied Physics**

**Faculty of Science**

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**2001**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การพัฒนาอุปกรณ์นำทางคนตาบอดโดยใช้  
เทคนิคทางคลื่นแสง

โดย

นางสาวจุฑามาส ทรัพย์สิน

นางสาวรัชณีญา ลีพิลา

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ปรีชา ยูพาพิน

ผศ. ชีรวัดน์ ประกอบผล

ผศ. เกรือวัลย์ คีตะจิตต์

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
ทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตร์บัณฑิต



หัวหน้าภาควิชา

(อาจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)



ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.ปรีชา ยูพาพิน)



กรรมการ

(ผศ. ชีรวัดน์ ประกอบผล)



กรรมการ

(ผศ. เกรือวัลย์ คีตะจิตต์)



กรรมการ

(ผศ. อนุพงศ์ สรงประภา)



กรรมการ

(อ. ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาอุปกรณ์นำทางคนตาบอดด้วยเทคนิคทางแสง
นักศึกษาผู้รับผิดชอบโครงการ	นางสาวจุฑามาศ ทรัพย์สิน นางสาวรัชนิญา ลีพิลา
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	รศ.ดร. ปรีชา ยูพาพิน ผศ. ชีรวัฒน์ ประกอบผล ผศ. เครือวัลย์ คีตะจิตต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2544

#### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นการพัฒนาอุปกรณ์นำทางคนตาบอดโดยใช้เทคนิคทางแสง ซึ่งมีหลักการทางเทคนิคนี้คือแสงจากเลเซอร์ไดโอดแฟลคที่ยิงไปยังวัตถุที่พิจารณาสะท้อนกลับเข้ามาที่โฟโต้ไดโอดที่อยู่ในเลเซอร์ไดโอดแฟลคเกิดเดียวกันนี้ ซึ่งก็หมายถึงการตรวจจับการย้อนกลับของแสง แล้วระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดกับวัตถุทดสอบสามารถวัดได้และมีสัญญาณเสียงเตือนโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT90S8535

<b>Special Project Title</b>	Development of guiding device for blind based on optical technique
<b>Name</b>	Miss Jutamas Supsin Miss Ruchaneeya Leepila
<b>Special Project Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr.Precha Yupapin Asst.Prof.Kruawan Keetachit Asst.Prof.Teerawat Prakorbpol
<b>Department</b>	Applied Physics
<b>Academic year</b>	2001

### Abstract

The special project 's the development of a guiding device for blind based on optical technique . The principle of technique's light from laser diode package which's reflected on the obstruction target then entered into its own photodiode , which means optical feedback detection . The distance between source and target can be measured and warned by using a microcontroller AT90S8535.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ผู้จัดทำมีความภูมิใจที่จะนำเสนออย่างมากเนื่องจาก โครงการที่นำเสนอนี้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์กับคนพิการทางสายตา และทางผู้จัดทำได้ทุ่มเททั้งแรงกายแรงใจ และแรงทรัพย์ เพื่อให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วง แม้ว่าในระยะเวลา 1 ปีที่ผ่านมาผู้จัดทำจะประสบปัญหามากมาย แต่ผู้จัดทำก็ไม่เคยคิดที่จะย่อท้อ อาทิเช่น ในโครงการนี้ใช้ตัววงจรจับกระแสเพื่อให้ Laser (เลเซอร์) ที่ใช้สามารถแปลงแสงได้ ตอนแรกทางผู้จัดทำได้วงจรจับกระแสซึ่งมีขนาดเล็กมากมายแล้ว แต่เมื่อทำการทดลอง แล้ววงจรจับกระแสเกิดเสีย ดังนั้นผู้จัดทำจึงต้องต่อวงจรจับกระแสใหม่ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเดิมหลายเท่า และต้องทำการทดสอบวงจรอีกหลายครั้ง นี่เป็นเพียงปัญหาส่วนหนึ่งที่เกิดขึ้นเท่านั้น แต่ไม่ว่าปัญหาจะมากน้อยเพียงใดทางผู้จัดทำก็สามารถผ่านพ้นมาได้ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ผู้จัดทำก็ได้รับความช่วยเหลือในด้านต่างๆมากมายจากบุคคลเหล่านี้ ซึ่งถ้าไม่มีบุคคลเหล่านี้โครงการนี้ก็คงจะสำเร็จลุล่วงไม่ได้เป็นแน่ อันได้แก่

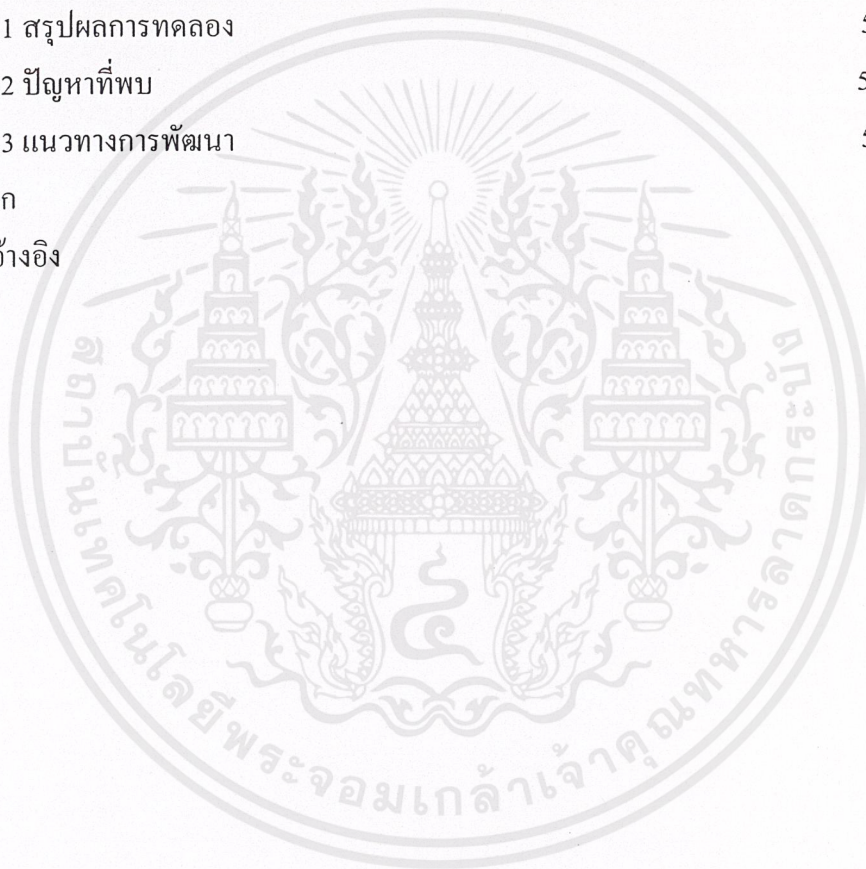
- บิดาและมารดา** ซึ่งเป็นผู้ที่คอยให้กำลังใจ ความเข้าใจในเรื่องต่างๆเสมอมา ไม่ว่าจะบางวันจะกลับบ้านดึกหรือไม่กลับก็ตาม และที่สำคัญ ท่านยังเป็นกำลังทรัพย์ที่สำคัญที่สุด อยากบอกว่าขอบคุณมากค่ะ
- รศ.ดร.ปรีชา ยูพาพิน** ผู้ซึ่งจุดประกายให้ผู้จัดทำคิดที่จะทำโครงการนี้ขึ้นมา และยังได้ให้ความรู้เกี่ยวกับหลักการที่นำมาใช้ คือ Self-mixing Interference (การแทรกสอดแบบเซลล์มิกซิง) ซึ่งเป็นเรื่องใหม่สำหรับผู้จัดทำ
- ผศ.เกรียงวัชร์ คีตะจิตต์** ผู้ซึ่งคอยให้คำปรึกษาและถามไถ่ความคืบหน้าเกี่ยวกับตัวรายงาน และในการปริ้นท์โปรเจกต์ในรายละเอียดต่างๆ และยังช่วยตรวจสอบความถูกต้องเสมอมา
- อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์** ที่ได้ให้ความรู้ในเรื่องต่างๆเมื่อทางผู้จัดทำประสบปัญหาและท่านเหล่านี้ได้ช่วยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี
- เพื่อนๆชาวฟิสิกส์ประยุกต์** ขอบคุณที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือเป็นอย่างดี
- รุ่น 17 ทุกคน** ไม่ว่าจะเป็นผู้อุปถัมภ์ ความรู้ในบางส่วนบางเรื่องของผู้จัดทำไม่ถนัด หรือว่าการเขียนโปรแกรม อยากบอกเพื่อนๆทุกคนที่ช่วยเหลือมาตลอดว่าขอบคุณจริงๆจากใจของผู้จัดทำ

## สารบัญเรื่อง

บทคัดย่อ โครงการงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อ โครงการงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของโครงการงานพิเศษ	1
1.2 ที่มาของโครงการงานพิเศษ	1
1.3 วัตถุประสงค์	2
1.4 ขอบข่ายการทำงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
1.6 ตารางแผนงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น	
2.1 การแทรกสอดแบบเซล์ฟมิกซิง (Self-mixing Interference)	4
2.2 โครงสร้างของไดโอดเลเซอร์ (Laser Diode : LD)	7
2.3 คุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ปล่อยแสง	12
2.4 โครงสร้างและการทำงานของารรับแสง	15
2.5 โครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง	16
2.6 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	19
2.7 Analog-to-digital conversion	22
2.8 ลักษณะทั่วไปของ AT90S8535	31
บทที่ 3 การดำเนินการและการวิจัย	
3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	42
3.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน	42
3.3 การต่อวงจร	43
3.4 การต่อวงจรขับกระแสให้กับเลเซอร์ไดโอด	43
3.5 การทดลอง	43
3.6 แผนผังลำดับการทำงาน	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การต่ออุปกรณ์ทั้งหมด	44
3.8 การทดสอบอุปกรณ์	45
3.9 การทำการสรุปผลและปัญหาที่เกิดขึ้น	45
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดสอบวงจรขับกระแสให้เลเซอร์ไดโอด	46
4.2 ผลการทดสอบวงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์	51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	53
5.2 ปัญหาที่พบ	54
5.3 แนวทางการพัฒนา	54
ภาคผนวก	
เอกสารอ้างอิง	



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	กำหนดการทำงานของโครงการมีดังนี้	3
ตารางที่ 2.1	คุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ปล่อยแสง LD	14
ตารางที่ 2.2	คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	21
ตารางที่ 4.1	ผลการทดสอบอุปกรณ์ที่ระยะทางต่างๆ	47
ตารางที่ 4.2	ผลการทดสอบอุปกรณ์ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์	52



## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 แสดงแบบจำลองของ SMI (Self-mixing Interference)	4
รูปที่ 2.2 (a) แผนภาพแสดงผลการแทรกสอดแบบเซฟฟีมีกซิง ในชุดของไดโอดเลเซอร์ (b) แผนภาพแสดงไดโอดเลเซอร์แบบแควิตีภายนอก (c) แผนภาพแสดงวงจรสมมูล	6
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างทั่วไปของไดโอดเลเซอร์ (Laser Diode : LD)	8
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้าง , ระดับพลังงานและลักษณะการเปลี่ยนแปลง ค่าดัชนีการหักเหของเลเซอร์ (LD)	9
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างแบบพลาแนสไตรป์ (Planar Stripe)	11
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของ Embedding Stripe Type	12
รูปที่ 2.7 แสดงรูปคลื่นเอาต์พุต (output waveform)	13
รูปที่ 2.8 แสดงการผสมแบบการมอดูเลตความเข้มแสง (Light Intensity Modulation)	13
รูปที่ 2.9 แสดงบริเวณปลดพาหะ (Depletion zone)	16
รูปที่ 2.10 แสดงหลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของ PIN-PD	18
รูปที่ 2.11 แสดงหลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของ อะวาแลนซ์โฟโตไดโอด(APD)	19
รูปที่ 2.12 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และกระแสที่เกิดจากแสง (photo current)	20
รูปที่ 2.13 วงจร Flash ADC ขนาด 3 บิต	22
รูปที่ 2.14 วงจร Digital – ramp ADC ขนาด 8 บิต	23
รูปที่ 2.15 สัญญาณแอนะล็อกและโวลเตจอ้างอิง	24
รูปที่ 2.16 เอาต์พุตของ Tracking ADC	25
รูปที่ 2.17 วงจร Single-slope ADC	26
รูปที่ 2.18 วงจร Dual-slope ADC	27
รูปที่ 2.19 การทำงานของวงจร Dual-slope ADC	29
รูปที่ 2.20 การทำงานของ successive – approximation ADC	30
รูปที่ 2.21 บล็อกไดอะแกรมสถาปัตยกรรมแบบ RISC ของ AT90S8535	31
รูปที่ 2.22 โครงสร้างของรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.23 แสดงรีจิสเตอร์ X, Y และ Z	33
รูปที่ 2.24 บล็อกไดอะแกรมของหน่วยความจำ	33
รูปที่ 2.25 โครงสร้างของวงจรรีเซต	34
รูปที่ 2.26 โครงสร้างของ SPI	36
รูปที่ 2.27 บล็อกไดอะแกรมของการเปรียบเทียบสัญญาณแอนาล็อก	37
รูปที่ 2.28 บล็อกไดอะแกรมของวงจรแปลงสัญญาณ ADC	38
รูปที่ 2.29 โครงสร้างของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 0	39
รูปที่ 2.30 โครงสร้างของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1	40
รูปที่ 2.31 โครงสร้างของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2	41
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน	42
รูปที่ 3.2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์	43
รูปที่ 3.3 แผนผังลำดับการทำงานของอุปกรณ์	44
รูปที่ 4.1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์	46
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับค่าแรงดัน	50

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญของโครงการพิเศษ

โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นโครงการพิเศษที่ทำขึ้นมาเพื่อผู้ที่มีความพิการทางสายตา มีชื่อว่า “ Development of guiding device for blind based on optical technique ” หรือ “ การพัฒนาอุปกรณ์นำทางคนตาบอดด้วยเทคนิคทางแสง ” สำหรับผู้ที่มีความพิการทางสายตา โดยอาศัยความรู้เกี่ยวกับฟิสิกส์โดยการนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน โครงการพิเศษที่เราจัดทำขึ้นมานี้จะอาศัยหลักการแทรกสอดของแสงแบบเซล์ฟมิกซิ่ง ( Self-Mixing Interference : SMI ) ซึ่งก็คือการแทรกสอดแบบรวมกันในตัวเอง กล่าวคือ เมื่อมีการยิงลำแสงเลเซอร์ (Laser) ออกจากตัวขับเลเซอร์สู่วัตถุที่ต้องการพิจารณา แล้วจะเกิดการสะท้อนกลับ แต่จะสะท้อนกลับมากหรือน้อยเพียงใด ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่พิจารณาว่า มีการดูดกลืน (Absorption) เพียงใด และแสงที่สะท้อนกลับมาจะเกิดการรวมกันกับแสงที่ยังออกไปทำให้เกิดเป็นการแทรกสอดแบบ เซล์ฟมิกซิ่ง ( SMI ) สิ่งทีกล่าวไว้ข้างต้นนี้เป็นเพียงความรู้ที่จะเกิดขึ้นกับผู้ที่ได้อ่านโครงการพิเศษฉบับนี้เพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ยังมีความรู้และรายละเอียดในส่วนต่างๆของโครงการพิเศษอีกหลายส่วนที่สามารถศึกษาได้จากโครงการพิเศษฉบับนี้

#### 1.2 ที่มาของโครงการพิเศษ

ตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบันและในอนาคต ผู้ที่มีความพิการทางสายตาก็มีจำนวนมากขึ้น โดยสภาพแวดล้อมได้มีการเปลี่ยนแปลงจึงทำให้มีสิ่งกีดขวางมากมาย ดังนั้นเราจึงสังเกตเห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้ที่มีความพิการทางสายตาในการเดินทางไปไหนมาไหนที่ต้องพบกับอุปสรรคมากมายเนื่องจากไม่สามารถมองเห็นทางได้ โดยเฉพาะสิ่งกีดขวางอันเป็นอุปสรรคสำคัญในการเดินทางของผู้ที่มีความพิการทางสายตา จึงมีการพัฒนาโครงการพิเศษที่มีชื่อว่าการพัฒนาอุปกรณ์นำทางคนตาบอดด้วยเทคนิคทางแสง สำหรับผู้ที่มีความพิการทางสายตานิ้ขึ้นมา โดยนำเอาความรู้ทางฟิสิกส์มาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ที่มีความพิการทางสายตา โดยคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงการพิเศษที่ทำขึ้นมาจะเป็นประโยชน์ไม่มากก็น้อยแก่ผู้ที่มีความพิการทางสายตา

### 1.3 วัตถุประสงค์

การทำโครงการพิเศษ ซึ่งเป็นการพัฒนาอุปกรณ์นำทางคนตาบอดด้วยเทคนิคทางแสง สำหรับผู้ที่มีความพิการทางสายตานั้น คณะผู้จัดทำมีความประสงค์ที่จะทำขึ้นมาเพื่อ

- 1.3.1 ช่วยให้ผู้ที่มีความพิการทางสายตามีความปลอดภัยจากสิ่งกีดขวางในการเดินทางมากขึ้น
- 1.3.2 เป็นการศึกษาการแทรกสอดของแสงแบบเซล์ฟมิกซิง ( SMI ) และการย้อนกลับของแสง
- 1.3.3 เป็นการศึกษาการแปลงแสงเป็นไฟฟ้า ( O/E ) และแปลงอะนาลอก(Analog) เป็นดิจิตอล (Digital)
- 1.3.4 เป็นการศึกษาการแสดงผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ( Microcontroller)

### 1.4 ขอบข่ายการทำงาน

ในโครงการพิเศษเรื่อง การพัฒนาอุปกรณ์นำทางคนตาบอดด้วยเทคนิคทางแสง นี้มีผู้จัดทำโครงการพิเศษ 2 คน โดยแบ่งงานออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

- 1.4.1 ทำการศึกษาหาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่
  - 1.4.1.1 การแทรกสอดแบบเซล์ฟมิกซิง ( Self-mixing interference : SMI )
  - 1.4.1.2 คุณสมบัติและโครงสร้างของ ไดโอดเลเซอร์ ( Diode Laser ) และ โฟโตไดโอด ( Photodiode )
  - 1.4.1.3 การแปลงอะนาลอก ( Analog ) เป็น ดิจิตอล ( Digital )
  - 1.4.1.4 เรื่องการประมวลสัญญาณ
  - 1.4.1.5 วงจรที่เกี่ยวข้อง
  - 1.4.1.6 เลือกวัสดุที่ใช้เป็นสิ่งกีดขวาง
- 1.4.2 ทำการต่อวงจรที่ศึกษาและหาข้อมูลไว้เรียบร้อยแล้ว
- 1.4.3 ทำการทดลองวงจรที่ต่อไว้ ถ้าพบปัญหาทำการแก้ไขดัดแปลงพร้อมใช้งาน จากนั้นสังเกตแรงดันกับระยะทางพร้อมเขียนกราฟของวัสดุที่เป็นสิ่งกีดขวางแต่ละชนิดซึ่งจะมีความแตกต่างกัน
- 1.4.4 พัฒนาขนาดของวงจรให้มีขนาดเล็กพอที่จะใส่ในหัวไม้เท้าได้
- 1.4.5 ทำการทดลองใช้จริง

### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.5.1 ผู้ที่มีความพิการทางสายตามีความสะดวกและปลอดภัยในการเดินทางมากขึ้น
- 1.5.2 ได้รับความรู้เรื่อง การแทรกสอดแบบเซล์ฟมิกซิง (Self-mixing Interference : SMI ) ซึ่งถือเป็นเรื่องใหม่
- 1.5.3 พัฒนาทักษะด้านความคิดและการแก้ปัญหาของผู้จัดทำ
- 1.5.4 สามารถนำหลักการในโครงการพิเศษนี้ไปพัฒนาให้เกิดประโยชน์ในด้านอื่นได้
- 1.5.5 ทำให้ผู้จัดทำมีความชำนาญในด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์มากขึ้น

### 1.6 ตารางแผนงาน

ตารางที่ 1.1 กำหนดการทำงานของโครงการมีดังนี้

ช่วงเวลา	กิจกรรม
มิถุนายน 2544	เสนอชื่อโครงการ
กรกฎาคม 2544	รวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ
กันยายน 2544	ออกแบบขั้นตอนการทำโครงการและต่อวงจรที่ใช้ในโครงการ
ตุลาคม 2544	ทดสอบและปรับปรุงวงจรที่ใช้ในโครงการ
พฤศจิกายน 2544	ทดสอบวงจรกับวัสดุที่ใช้ในโครงการพร้อมทั้งหาความสัมพันธ์ที่จะนำมาประมวลผล
ธันวาคม 2544	ดำเนินการในส่วนที่เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการประเมินผล
มกราคม 2545	ประกอบชิ้นงานและทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานพร้อมแก้ไข
กุมภาพันธ์ 2545	เขียนรายงานโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

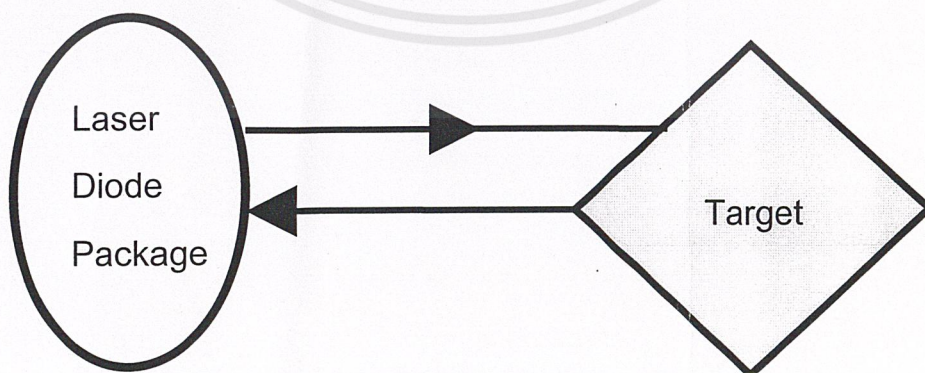
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น

#### 2.1 การแทรกสอดแบบเซล์ฟมิกซิ่ง (Self-mixing Interference)

การแทรกสอดแบบเซล์ฟมิกซิ่ง (Self-mixing Interference : SMI) เป็นการแทรกสอดชนิดหนึ่ง โดยอาศัยเทคนิคการย้อนกลับของแสง กล่าวคือ การศึกษา SMI นี้ เราจะใช้ไดโอดเลเซอร์ ( Diode Laser หรือ LD Package ) เป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งภายในไดโอดเลเซอร์ ( Diode Laser ) นี้ จะมีโฟโตไดโอด (Photodiode) อยู่ด้วย โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับแสงที่เข้ามา แล้วทำการประมวลผล แปลผลเป็นค่าที่ต้องการวัด หลักการของ SMI คือ เมื่อมีการยิงลำแสงออกจากไดโอดเลเซอร์ ( LD Package ) แล้วลำแสงจะตกกระทบกับวัตถุที่เราพิจารณา ( Target ) จากนั้นจะมีลำแสงบางส่วนเกิดการย้อนกลับ ซึ่งจะมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับการดูดกลืน (Absorption) ของวัตถุที่พิจารณา หรือ วัตถุที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ส่วนในโครงการพิเศษฉบับนี้เราจะกำหนดวัตถุที่จะพิจารณา วัตถุที่เป็นสแตนเลสและเลเซอร์ที่เราใช้ในโครงการพิเศษฉบับนี้ และกำลังของเลเซอร์ที่เป็นอินทราเรดนั้นจะอยู่ในช่วงที่มากกว่า 3 mW. ขึ้นไป ซึ่งเราไม่ได้นำมาใช้

เมื่อแสงมีการย้อนกลับในแนวเดิม แสงจะเกิดการรวมกันกับแสงที่ยิงไปสู่วัตถุ โดยเกิดการแทรกสอดกัน ภายในตัวไดโอดเลเซอร์และมีโฟโตไดโอดซึ่งอยู่ภายในไดโอดเลเซอร์เป็นตัวตรวจจับสัญญาณที่เข้ามา จากนั้นโฟโตไดโอดจะส่งสัญญาณที่เข้ามานั้นเข้าสู่หน่วยประมวลผล แปลผลเป็นค่าที่ต้องการวัด ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นหลักการของการแทรกสอดแบบเซล์ฟมิกซิ่ง ( Self-mixing Interference : SMI )



รูปที่ 2.1 แสดงแบบจำลองของ SMI (Self-mixing Interference)

ข้อดีของการนำการแทรกสอดแบบเซลฟ์มิกซิ่ง ( SMI ) หรือ หลักการย้อนกลับของแสง มาประยุกต์ใช้ คือ ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ทางแสงภายนอก เช่น ผลึกแยกลำแสง หรือ ตัวตรวจจับแสงภายนอก เป็นต้น ใช้เพียงชุดของเลเซอร์ไดโอด(Laser diode) ที่มีโฟโตไดโอด (Photodiode) อยู่ภายในก็เพียงพอ ทำให้ง่ายต่อการใช้งาน ประหยัดและขนาดกระทัดรัดและ สัญญาณที่ได้จากเทคนิคการแทรกสอดแบบเซลฟ์มิกซิ่ง(SMI) นี้เป็นสัญญาณการแทรกสอดชนิดหนึ่ง ที่เรียกว่า “ สัญญาณแทรกสอดแบบเซลฟ์มิกซิ่ง (Self-mixing Interference Signal ) ” ซึ่งทำให้เกิดขึ้นได้โดยการจัดชุดอุปกรณ์ซึ่งประกอบด้วยไดโอดเลเซอร์เลนส์ และกระจกสะท้อนภายนอก ดังรูปที่ 1(b) ซึ่งระยะทางระหว่างไดโอดเลเซอร์(Laser diode) และ วัตถุที่ทดสอบ(Target) เป็น  $D_0$  ในกรณีนี้ใช้ โฟโตไดโอด(Photodiode)ที่อยู่ใน ไดโอดเลเซอร์(Laser diode) เป็นโฟโตไดโอด(Photodiode)สำหรับตรวจวัดสัญญาณการแทรกสอดแบบเซลฟ์มิกซิ่ง(SMI)ที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.1(a) ผลของการเกิดเซลฟ์มิกซิ่ง(SMI) สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองของไดโอดเลเซอร์ (Laser diode) แบบแคเวตี้ภายนอก ดังรูปที่ 2.1(b) โดยกระจกสะท้อนภายนอกมี ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน เป็น  $r_3$  ถูกนำมาต่อกับไดโอดเลเซอร์(Laser diode) ซึ่งมี ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของกระจกที่ประกอบอยู่เป็น  $r_1$  และ  $r_2$  ตามลำดับ และเมื่อวงจรสมมูล ดังรูปที่ 2.1(c) จะมีประสิทธิภาพสะท้อนของด้านประกอบของไดโอดเลเซอร์เป็น  $r_{23}$  ซึ่ง

$$r_{\text{eff}} = r_{23} = r_2 + (1 - r_2^2)r_3 \exp(-j\omega_f \tau_D) \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้  $\xi = (1 - r_2^2) \frac{r_3}{r_2}$  เป็นค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดการสะท้อนกลับจากวัตถุเข้ามาในแคเวตี้ไดโอดเลเซอร์ ดังนั้นสมการที่ (1) จะได้

$$r_{\text{eff}} = r_{23} = r_2 [1 + \xi \exp(-j\omega_f \tau_D)] \quad (2)$$

โดย  $\omega_f \tau_D = 2\pi\nu_f \tau_D$  แทน เฟสที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการย้อนกลับทางแสง

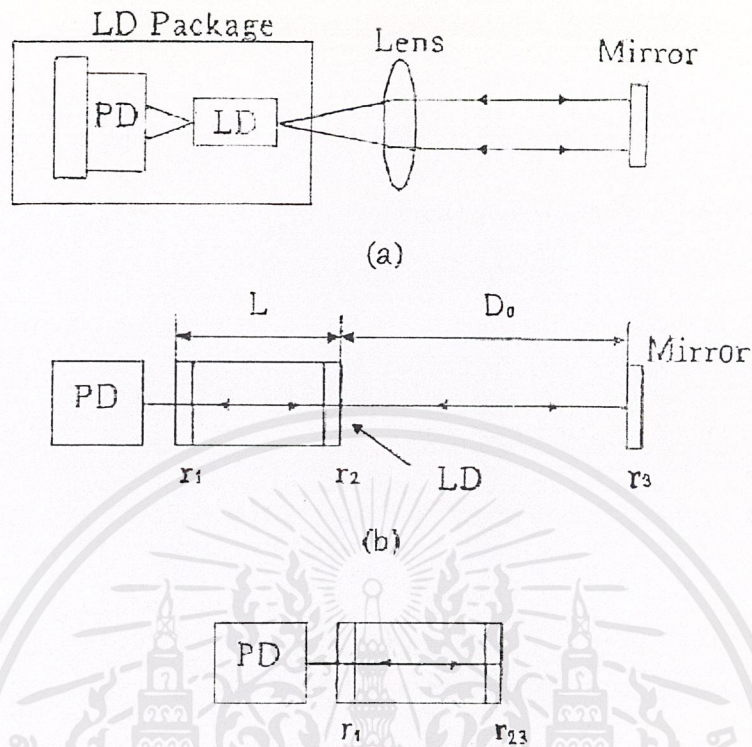
$\tau_D = \frac{2D}{c}$  แทน ค่าเวลาไปกลับระหว่างไดโอดเลเซอร์กับวัตถุที่พิจารณา

เมื่อ  $c$  แทน ความเร็วของแสง

$D$  แทน ระยะห่างระหว่างไดโอดเลเซอร์ กับ วัตถุที่พิจารณา

$\nu_f$  แทน ความถี่ของแสงย้อนกลับจากวัตถุที่พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 (a) แผนภาพแสดงผลการแทรกสอดแบบเซลล์ที่มิกซ์ในชุดของไดโอดเลเซอร์

(b) แผนภาพแสดงไดโอดเลเซอร์แบบแควิตีภายนอก

(c) แผนภาพแสดงวงจรสมมูล

เฟสที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการย้อนกลับทางแสงจะมีความสัมพันธ์กับเฟสเริ่มต้น ดังสมการ

$$\omega_r \tau_D - \omega_0 \tau_D + C \sin(\omega_r \tau_D + \arctan \alpha) = 0 \quad (3)$$

โดยที่  $C = \frac{\tau_D}{\tau_L} \xi (1 + \alpha^2)^{\frac{1}{2}}$

และค่ากำลังเอาต์พุตที่เปลี่ยนแปลงจะเท่ากับ

$$\Delta P = \Delta P_{\max} \cos \omega_r \tau_D \quad (4)$$

เมื่อ  $C$  แทน ค่าพารามิเตอร์ของการย้อนกลับของแสง

$\omega_0$  แทน ความถี่เชิงมุมเริ่มต้น

$\tau_D$  แทน ความยาวแควิตีของเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\alpha$  แทน แฟกเตอร์การเริ่มต้นของความกว้างสเปกตรัม  
 $\Delta P_{\max}$  แทน ค่ากำลังเอาต์พุตที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด

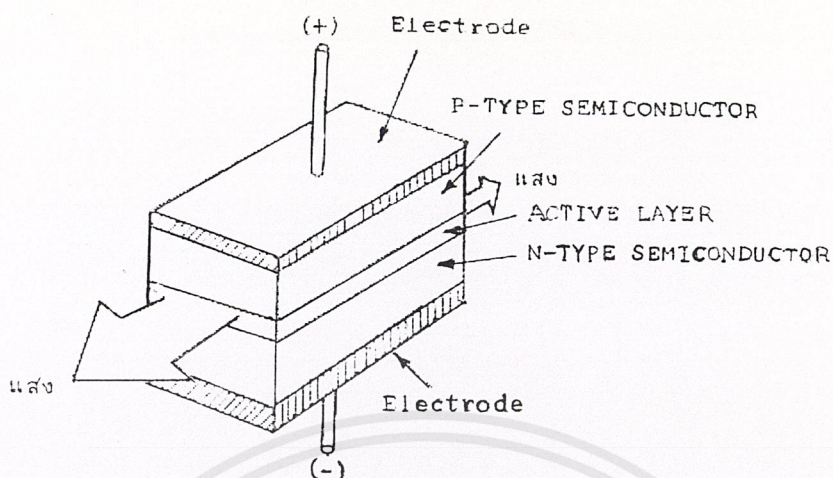
เมื่อพิจารณา ค่าพารามิเตอร์ของการย้อนกลับของแสง ( $C$ ) พบว่า เมื่อ  $C < 1$  จะเป็น แบบ โหมดเดียว (single-mode) และกำลังแสงที่เป็นฟังก์ชันของระยะทางวัตถุที่ทดสอบจะไม่มี ฮิสเทอรีซิส ( hysteresis ) และ เป็นการสะท้อนกลับสัญญาณแบบอ่อน ( weak feedback ) แต่เมื่อ  $C >$  จะเป็นแบบหลายโหมด(multimode)และกำลังแสงที่เป็นฟังก์ชันของระยะทางวัตถุที่ทดสอบ จะเป็น ฮิสเทอรีซิส ( hysteresis ) ซึ่ง ฮิสเทอรีซิส ( hysteresis ) หมายถึง สัญญาณจากเครื่องตรวจ แสง ( Photodetector) เกิดความแตกต่างของสัญญาณอาจจะขึ้นหรือลง ขึ้นอยู่กับระยะทางของ วัตถุที่ทดสอบว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง ส่วนค่ากำลังเอาต์พุตของแสงที่ย้อนกลับ หาได้จาก

$$P_c = P_s(1 + m \cos(2\pi \nu_c \tau_d)) \quad (5)$$

เมื่อ  $P_c$  แทน ค่ากำลังเอาต์พุตของแสงที่ย้อนกลับ  
 $P_s$  แทน ค่ากำลังเอาต์พุตของแสงที่ยิง  
 $m$  แทน ค่าสัมประสิทธิ์การมอดูเลต ( modulation ) ซึ่งขึ้นกับ สัมประสิทธิ์ การสะท้อนกลับของวัตถุที่พิจารณา  
 $\nu_c$  แทน ความถี่ของการปล่อยแสง

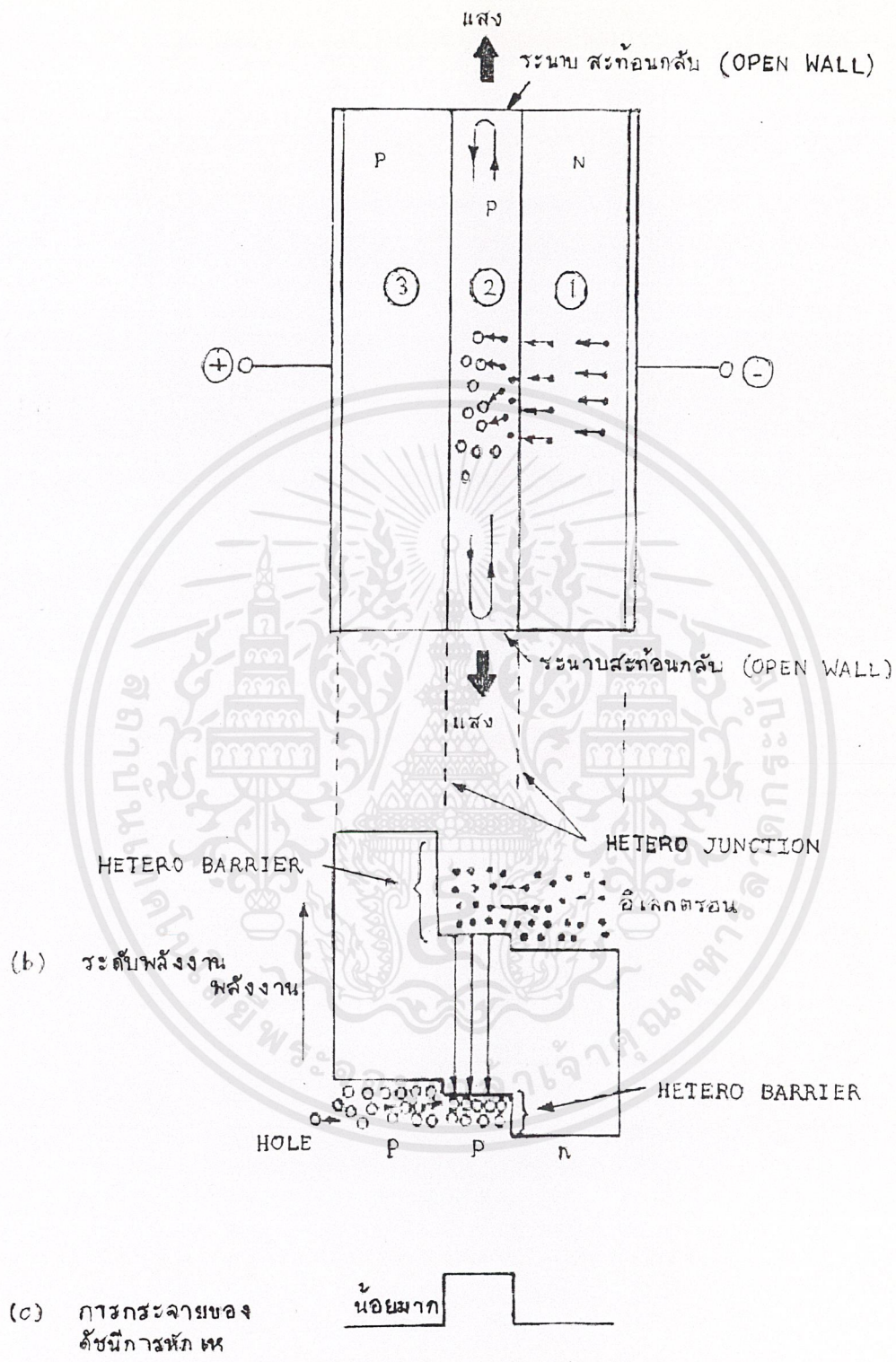
## 2.2 โครงสร้างของไดโอดเลเซอร์ (Laser Diode : LD)

โดยทั่วไปแล้ว LD จะมีโครงสร้างเป็น 3 ชั้น ในการทำให้เกิดการสั่นของเลเซอร์ (Laser Oscillation) นั่นคือส่วนที่ทำหน้าที่เป็นเรโซเนเตอร์ ( Resonator ) ซึ่งเรียกว่าชั้นทำงาน (Active Layer) ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) กับชนิดเอ็น (N-type)



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างทั่วไปของไดโอดเลเซอร์ (Laser Diode : LD)

จากรูปที่ 2.3 ถ้าหากทำให้กระแสไหลจากขั้ว + ไปยังขั้ว - ( ทำการฉีดกระแส : Current injection ) จะเกิดแสงเลเซอร์ออกมาในทิศทางที่แสดงด้วยลูกศร เกี่ยวกับวิธีการเกิดการสั่น (Oscillation) ของ LD นั้นอธิบายโดยเน้นตรงบริเวณชั้นทั้ง 3 ของสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) , ชนิดเอ็น (N-type) และชั้นทำงาน (Active Layer) นี้สำหรับโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำอย่างนี้เรียกว่า รอยต่อดับเบิลเฮเทโร (Double Hetero Junction) นั้นหมายความว่ารอยต่อของชั้น (Layer) ของสารประกอบต่างกัมนั้นมี 2 ด้านโครงสร้าง , ระดับพลังงานและลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของ LD แสดงดังรูปที่ 2.4



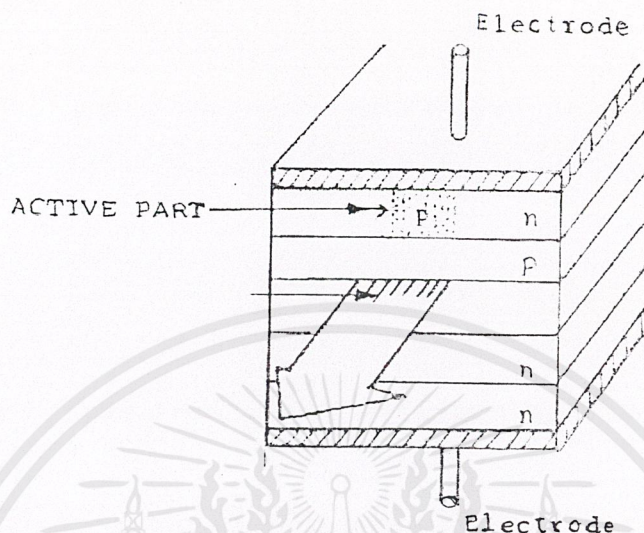
รูปที่ 2.4 แสดง โครงสร้าง , ระดับพลังงานและลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของ เลเซอร์ (LD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำให้เกิดการสั่นของเลเซอร์ (Laser Oscillation) นั้นจะต้องทำให้ผลต่างระหว่างระดับพลังงานของแถบความนำ (Conduction Band) ของสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) และแถบความนำ (Conduction Band) ของชั้นทำงาน (Active Layer) มีค่ามากกว่าผลต่างระหว่างพลังงานของแถบความนำ (Conduction Band) กับแถบวาเลนซ์ (Valence Band) ของสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) มีค่ามากด้วย นอกจากนี้ยังจะต้องทำให้ระดับพลังงานของแถบวาเลนซ์ (Valence Band) ของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) มีค่าต่ำกว่าระดับพลังงานของแถบวาเลนซ์ (Valence Band) ของชั้นทำงานแอกทีฟเลเยอร์ (Active Layer) ด้วย จากนั้นจึงนำมาเชื่อมต่อกันจะได้ระดับพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (b) เมื่อทำให้มีกระแสไหลในสารกึ่งตัวนำที่มีการเชื่อมต่อกันในลักษณะที่กล่าวมาในข้างต้น โดยให้มีทิศทางไหลจากสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) ไปหาชนิดเอ็น (N-type) จะเป็นผลให้อิเล็กตรอนส่วนเกินที่มีอยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) แสดงด้วย (1) ในรูปที่ 2.4 (a) ) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เคลื่อนที่ไปยังชนิดพี (P-type) และโฮลส่วนเกินที่มีอยู่ในชนิดพี (P-type) ( แสดงด้วย (3) ในรูปที่ 2.4(a) ) เคลื่อนที่ไปยังชนิดเอ็น (N-type) ผลการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลเหล่านี้ทำให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮล อยู่ในชั้นทำงานแอกทีฟเลเยอร์ (Active Layer) ( แสดงด้วย (2) ในรูปที่ 2.4(a) และโดยทั่วไปชั้นทำงานแอกทีฟเลเยอร์ (Active Layer) นี้จะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี ( P-type ) เมื่อมาถึงจุดนี้ให้สังเกตระดับพลังงานของชั้นทั้ง 3 ที่แสดงในรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าเกิดมีกำแพงของพลังงาน ( เรียกว่า Hetero Barrier ) ขึ้นทำให้อิเล็กตรอนและโฮลที่เคลื่อนที่ไปนั้นถูกขังอยู่ในชั้นทำงานแอกทีฟเลเยอร์ (Active Layer) เป็นผลให้เกิดสภาพการกระจายแบบอินเวอร์ชัน (Inversion Distribution) ได้อย่างดีทำให้มีผลการขยายความเข้มของการปล่อยแสง โดยการทำให้ดัชนีการหักเหของชั้นทำงานแอกทีฟเลเยอร์ (Active Layer) มีค่ามากกว่าชั้นข้างเคียง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (c) แสงที่ถูกปล่อยออกมาจะถูกกักและเดินทางอยู่ในชั้นทำงานแอกทีฟเลเยอร์ (Active Layer) จากผลการกักอิเล็กตรอนและโฮลเอาไว้ในชั้นทำงานแอกทีฟเลเยอร์ (Active Layer) และผลการกักแสงเอาไว้ในชั้นทำงานแอกทีฟเลเยอร์ (Active Layer) ทำให้ได้การปล่อยแสงที่มีประสิทธิภาพที่ดี

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าแสงจะออกมาจากระนาบสะท้อนกลับ โดยที่ระนาบสะท้อนกลับนี้ทำจากการใช้สิ่งที่มีค่ามาก ๆ คล้ายกับนำไบมิดโคนไปตัดสารกึ่งตัวนำที่ประกอบกันเป็น LD ให้มีช่องเปิดเรียกว่าโอเพ่นวอลล์ (open wall) ซึ่งการทำเช่นนี้แสงเลเซอร์จะถูกกักขังอยู่ในชั้นทำงานแอกทีฟเลเยอร์ (Active Layer) ได้ดี แต่เมื่อมันเดินทางมาถึงช่องเปิดมันจะหลุดออกมาข้างนอกของตลอดแนวช่องเปิดทำให้ประสิทธิภาพการเชื่อมแสงเข้ากับเส้นใยแสงไม่ดีด้วยเหตุนี้ เพื่อเป็นการทำให้ประสิทธิภาพดีจำเป็นต้องมีการปรับปรุงต่างๆ เพื่อให้มีปฏิกิริยานำคลื่นแสงในทิศ

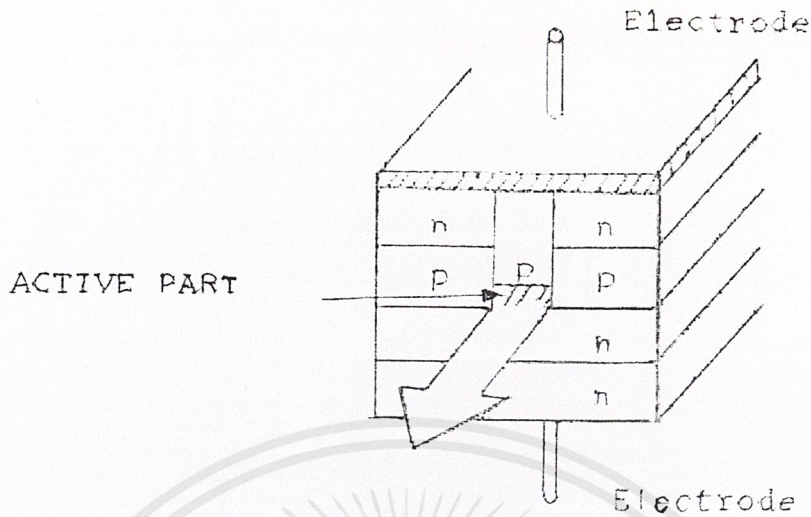
ทางแนวนอน ตัวอย่างหนึ่งของวิธีการปรับปรุงก็คือ สิ่งที่เรียกว่าโครงสร้างแบบพลาแนสไตรป์ (Planar Stripe Structure) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างแบบพลาแนสไตรป์ (Planar Stripe)

เพื่อให้การผลิตเลเซอร์ไดโอด(LD) ( การสร้างขั้วพลิกและขั้วไฟฟ้า ) ทำได้ง่าย โดยให้โครงสร้างเป็น 5 ชั้น และทำให้บริเวณที่กระแสไหลมีขนาดแคบ ส่วนของการสั่นของเลเซอร์ (Laser Oscillation) เป็นการใช้หลักการที่ทำให้การสั่นเกิดขึ้นเฉพาะตรงส่วนที่กระแสไหล นั่นคือตรงส่วนที่มีการกระตุ้นเท่านั้น จากรูปที่ 2.5 จะเห็นว่าชั้นบนสุดที่มีขั้วไฟฟ้า + ติดอยู่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) เกือบทั้งหมด แต่จะมีเฉพาะส่วนหนึ่งเท่านั้นซึ่งแคบมากที่เป็นชนิดพี (P-type) ซึ่งจะทำให้ไม่มีกระแสไหลตรงส่วนเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) , ชนิดพี (P-type) , ชั้นทำงานแอกทีฟเลเยอร์ (Active Layer) และชนิดเอ็น (N-type) เนื่องจากคุณสมบัติสารกึ่งตัวนำ นั่นกระแสนจะไม่ไหลจาก N-type ไปยัง P-type แต่ในทางตรงกันข้ามกระแสนจะไหลจากตรงส่วนเชื่อมต่อของ สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) , ชนิดพี (P-type) , ชั้นทำงานแอกทีฟเลเยอร์ (Active Layer) และชนิดเอ็น (N-type) นั่นคือส่วนของชนิดพี (P-type) ของชั้นที่ 1 จะทำหน้าที่เป็นทางไหลเข้าของกระแสกลายเป็นแถบสไตรป์ ( Stripe ) ส่วนหนึ่งของชั้นทำงานแอกทีฟเลเยอร์ (Active Layer) จึงเรียกว่าชนิดของพลาแนสไตรป์ (Planar Stripe Type) โครงสร้างแบบอื่นที่มีคุณสมบัติดีกว่าแบบชนิดของพลาแนสไตรป์ (Planar Stripe Type) และนิยมใช้กันมากคือ แบบชนิดเอ็มเบดดิ้งสไตรป์ (Embedding Stripe Type) ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดง โครงสร้างของ Embedding Stripe Type

โครงสร้างนี้มีลักษณะพิเศษตรงที่ทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแอกทีฟเลเยอร์ (Active Layer) มีค่าสูงทั้งส่วนบน , ล่าง , ซ้าย , ขวา นั่นคือส่วนบนของชั้นทำงานแอกทีฟเลเยอร์ (Active Layer) มีชั้นของสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) อยู่ซึ่งจะเหมือนชนิดของพลาแนสไตรป์ (Planar Stripe Type) และกระแสจะไหลเฉพาะในส่วนนี้เท่านั้นจากข้างบนไปข้างล่างนอกจากจะสามารถทำให้เกิดการสั่น (Laser Oscillation) ด้วยกระแสที่มีค่าน้อยแล้ว ยังทำให้ค่าดัชนีการหักเหของชั้นทำงาน แอกทีฟเลเยอร์ (Active Layer) มีค่าสูงมากอีก จึงเป็นผลให้ประสิทธิภาพของการกักแสงเพิ่มขึ้น สามารถได้แสงที่ปล่อยออกมาเป็นลำแสงที่คมชัดมาก

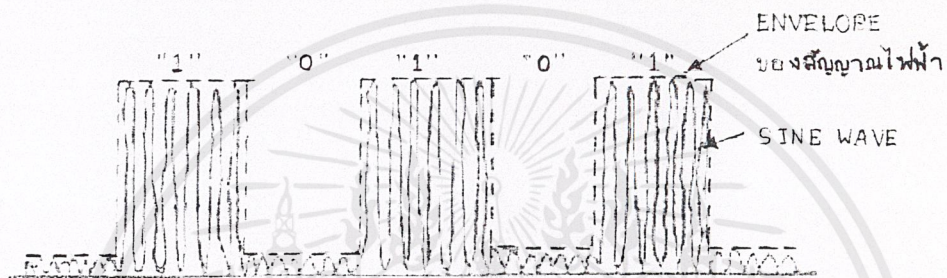
### 2.3 คุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ปล่อยแสง

คุณสมบัติต่างๆ ที่ต้องการของอุปกรณ์ปล่อยแสง ได้แก่

- คุณสมบัติการผสมของแสงกับไฟฟ้า ( นั่นคือ output power ของแสง , ความเป็นเชิงเส้น หรือ Linearity )
- ความกว้างของสเปกตรัม (Spectrum) ของแสง
- ความเร็วต่อการตอบสนองความถี่ (Frequency Response Speed) เป็นต้น

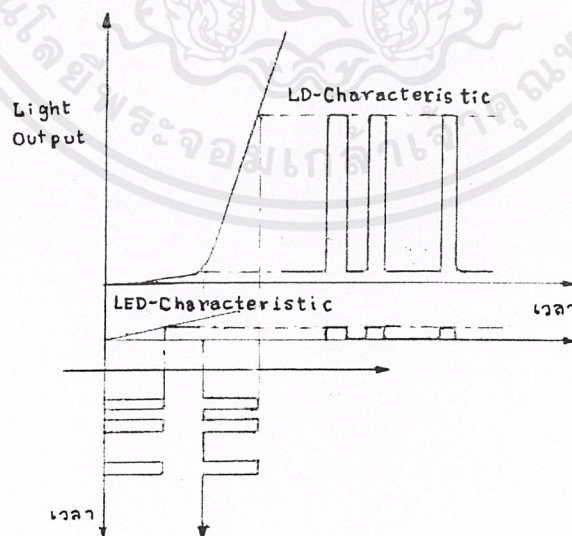
ในปัจจุบันแสงที่ได้จากอุปกรณ์ปล่อยแสงจะมีความยาวแสงจำนวนหนึ่งปนอยู่ ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้แสงที่เป็นคลื่นพาหะ ( Carrier Wave) ในการมอดูเลตความถี่ (Frequency Modulation) , การมอดูเลตเฟส (Phase Modulation) ของสัญญาณไฟฟ้าได้เหมือนอย่างที่ใช้ในการส่งการมัลติเพลก (Multiplex) ในระบบการส่งสัญญาณอะนาลอก (Analog) ของ การส่งสัญญาณพาหะ (Carrier Transmission) , การส่งสัญญาณไมโครเวฟ (Microwave

Transmission) ที่ใช้อยู่ทั่วไป แต่จะใช้การผสมที่เรียกว่า การมอดูเลตความเข้มแสง (Intensity Modulation) ซึ่งทำการผสมโดยตรงกับความเข้มแสง ยกตัวอย่างเช่นดิจิตอล (Digital) , รูปคลื่นเอาต์พุต (output waveform) ที่ได้จะเป็นดังแสดงในรูปที่ 2.7 กล่าวคือแสงจะเกิดการกระพริบสว่างหรือดับตามสัญญาณไฟฟ้าที่เป็น “1” หรือ “0” ในความเป็นจริงแล้วความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแสงจะมีค่าสั้นกว่าความยาวคลื่นของสัญญาณไฟฟ้ามาก ดังนั้นในเอนVELOPE “1” ของสัญญาณไฟฟ้าจะมีแสงที่มีความยาวคลื่นหลายค่าอยู่ข้างใน ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงรูปคลื่นเอาต์พุต (output waveform) ของแสงและการผสม (Modulation) ในการส่งสัญญาณดิจิตอล

ส่วนคุณสมบัติการผสมของอุปกรณ์ปล่อยแสงแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการผสมแบบการมอดูเลตความเข้มแสง (Light Intensity Modulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นว่าเนื่องจาก LED ใช้ปรากฏการณ์การปล่อยแสงตามธรรมชาติ ดังนั้นปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ป้อนเข้าไป ( กระตุ้น ) แต่สำหรับเลเซอร์ไดโอด(LD) นั้นใช้ปฏิกิริยาการสั่น (Oscillation) โดยการกระตุ้นให้ปล่อยแสง ( Stimulated Emission ) ดังนั้นปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมาจะมีลักษณะเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเลขค่าหนึ่งของกระแส ( Threshold value current ) ไปแล้ว ตัวอย่างคุณสมบัติต่างๆ ของเลเซอร์ไดโอด(LD) ที่กล่าวมาแล้วแสดงในตารางที่ 1 จากการพิจารณาคุณสมบัติต่างๆ ในตารางนี้จะเห็นว่าเกี่ยวกับกำลังเอาต์พุต (output power) ของแสงนั้น เลเซอร์ไดโอด(LD) จะมีค่ามาก เพราะมีการสั่น (Oscillation) และการขยายของแสงและกำลังอินพุต (input power) ที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงก็เช่นกัน เนื่องจากเลเซอร์ไดโอด(LD) มีคุณสมบัติเกี่ยวกับทิศทางของแสง ( Directivity ) ที่ดี เป็นผลทำให้มีการสูญเสียการเชื่อมแสงกับเส้นใยแสงต่ำ ทำให้มี กำลังของแสงป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้มาก

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ปล่อยแสง LD

คุณสมบัติ	LD
กำลังเอาต์พุตของแสง	10 mW.
กำลังอินพุตของแสงในเส้นใยแสง	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 mW.
ความกว้างของสเปกตรัมที่จุดที่กำลังตกลงครึ่งหนึ่ง ( ตอนมอดูเลต )	100 nm.
ความเร็วของการตอบสนองความถี่ (Frequency Response Speed )	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 MHz.
อายุการใช้งาน	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 <sup>6</sup> ชม.

เกี่ยวกับสเปกตรัมของแสงนั้นเลเซอร์ไดโอด(LD) นั้นมีพลังงานเป็นช่วงแคบๆเนื่องมาจากขบวนการสั่น (Oscillation) ทำให้มีสเปกตรัมของแสงแคบ นอกจากนั้นการทำงานสว่างหรือดับ ( กระพริบ ) ของแสงนั้น ถ้าหากเวลาการรวมกันของอิเล็กตรอนกับ โฮลยังสั้นจะยิ่งมีความเร็วมาก กล่าวคือถ้าหากอิเล็กตรอนและ โฮลมีจำนวนมาก นั่นคือความหนาแน่นของกระแสมีมากเท่าไรจะทำให้ค่าเฉลี่ยของเวลาการรวมกันของอิเล็กตรอนกับ โฮลมีค่าน้อยลงเท่านั้น เนื่องจากค่าความหนาแน่นของกระแสที่กระตุ้นมีค่ามากทำให้เวลาการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนและ โฮลมีค่าน้อย ส่วนถ้าเป็นความถี่จะได้หลาย GHz. ซึ่งความถี่เหล่านี้จะแสดง ความเร็วของการตอบสนองความถี่ (Frequency Response Speed) ของเลเซอร์ไดโอด(LD) ยิ่งกว่านั้น ถ้าหากทำการไบอัสกระแสให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเข้าใกล้กระแสค่าขีดเริ่ม (Threshold value current) มากเท่าใดความเร็วของการตอบสนอง (Response Speed) จะสูงขึ้นเท่านั้น

#### 2.4 โครงสร้างและการทำงานของารรับแสง

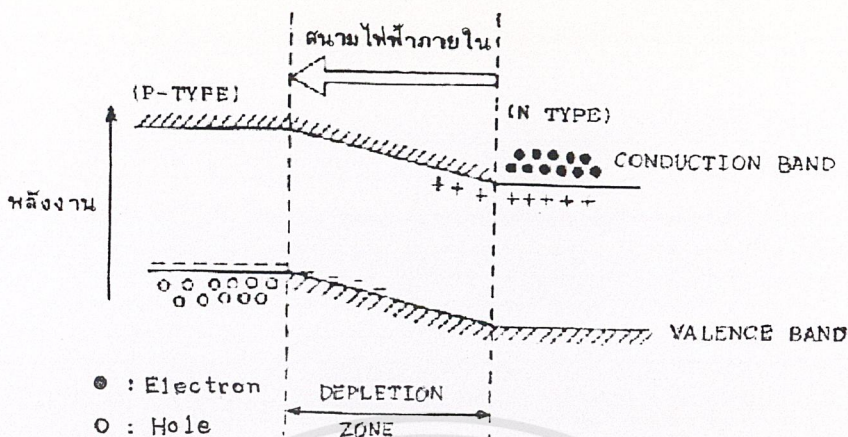
การรับแสงหมายถึงการเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า ในการทำงานนี้แบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ วิธีที่ 1 เป็นการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรง เรียกว่าปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก (photo electric effect)

วิธีที่ 2 ทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานความร้อนก่อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นไฟฟ้า เรียกว่าปรากฏการณ์เซ็นซิวิตีฟ (sensitive heat effect)

วิธีตรวจสอบแสงโดยใช้ ปรากฏการณ์เซ็นซิวิตีฟ (sensitive heat effect) นั้นโดยทั่วไป จะมีการตอบสนองช้ามากจึงใช้กับเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) , โบโรมิเตอร์ (Borometer) และอื่นๆ แต่ไม่สามารถนำมาใช้กับการสื่อสารด้วยแสง ดังนั้นสำหรับการสื่อสารด้วยแสงจึงควรทำความเข้าใจใน โครงสร้าง และการทำงานของารรับแสงโดยปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก (photo electric effect) สำหรับสารกึ่งตัวนำต่อไปนี้จะกล่าวถึงปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก (photo electric effect)

หลักการของปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก (photo electric effect) จะใช้ขบวนการดูดพลังงานกล่าวคือ เมื่อมีแสงมาตกกระทบสารกึ่งตัวนำ อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบวาเลนซ์ (Valence Band) จะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่แถบความนำ (Conduction Band) แต่การเลื่อนขึ้นไปนี้จะมีเพียงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปเท่านั้น และในที่สุดมันจะเข้าไปรวมกันใหม่กับโฮลในแถบวาเลนซ์ (Valence Band) อีก ทำให้ไม่ได้รับปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก (photo electric effect) ด้วยเหตุนี้ การที่จะเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้านั้นจะต้องใช้สภาพการแยกกันของอิเล็กตรอนกับโฮลก่อนที่มันจะรวมกัน

สำหรับอุปกรณ์รับแสงกึ่งตัวนำ ก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง นั่นคือการแยกอิเล็กตรอนกับโฮลนั้น โดยทั่วไปจะใช้ รอยต่อพี-เอ็น (P-N junction) ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าที่รอยต่อของพี-เอ็น (P-N junction) นั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าในที่ว่าง (Space Electric Field) ขึ้น แต่มันจะถูกดึงด้วยอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) และโฮลของสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็น - และ + ตามลำดับ เป็นผลให้เกิดบริเวณที่ไม่มีอิเล็กตรอนและโฮลขึ้นตรงรอยต่อ บริเวณนี้เรียกว่าบริเวณปลอดพาหะ (Depletion zone) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงบริเวณปลอดพาหะ (Depletion zone)

ในสภาพอย่างนี้เมื่อมีแสงมาตกกระทบจากทางด้านบริเวณสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) แสงนั้นจะถูกดูดพร้อมทั้งเคลื่อนที่ไปบริเวณสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) แต่ที่บริเวณปลอดพาหะ (Depletion zone) อิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดจากการดูดพลังงานจากแสงจะถูกสนามไฟฟ้า (Space Electric Field) แยกไปในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปทางด้านสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและโฮลเคลื่อนที่ไปทางด้านสารกึ่งตัวนำชนิดพี หนึ่งทีบริเวณที่อยู่ห่างจากบริเวณปลอดพาหะ (Depletion zone) นั้น เนื่องจากไม่มีสนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดจากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก (photo electric effect) จะรวมตัวกันใหม่ในระหว่างการเคลื่อนที่ แต่สำหรับอิเล็กตรอนและโฮลที่เคลื่อนที่เข้าไปในสนามไฟฟ้า (Space Electric Field) แล้วนั้นจะสามารถเข้าไปยังบริเวณตรงกันข้ามได้ ผลที่ได้ก็คือ จะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับปริมาณอิเล็กตรอนและโฮลที่ถูกแยกกระหว่างปลายทั้งสองของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) และชนิดพี (P-type) ถ้าหากนำวงจรภายนอกมาต่อกับปลายทั้งสองนี้จะทำให้อิเล็กตรอนและโฮล สามารถรวมตัวกันได้โดยผ่านวงจรภายนอก นั่นก็จะมีกระแสไหลนั่นเอง กระแสที่เกิดขึ้นบริเวณเขตปลอดพาหะ (Depletion zone) เรียกว่า “ กระแสเลื่อนลอย (Drift Current) ” ส่วนกระแสที่เกิดตรงบริเวณที่อยู่ห่างจากเขตปลอดพาหะ (Depletion zone) เรียกว่า “ กระแสแพร่ซึม (Diffusion Current) ” และกระแสนี้เป็นหลักการของการเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า

## 2.5 โครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

ในหัวข้อที่แล้วได้กล่าวถึงสนามไฟฟ้า (Space Electric Field) ตรงรอยต่อพี-เอ็น (P-N junction) ที่ทำให้อิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม แต่ถ้าหากให้แรงดันกลับ

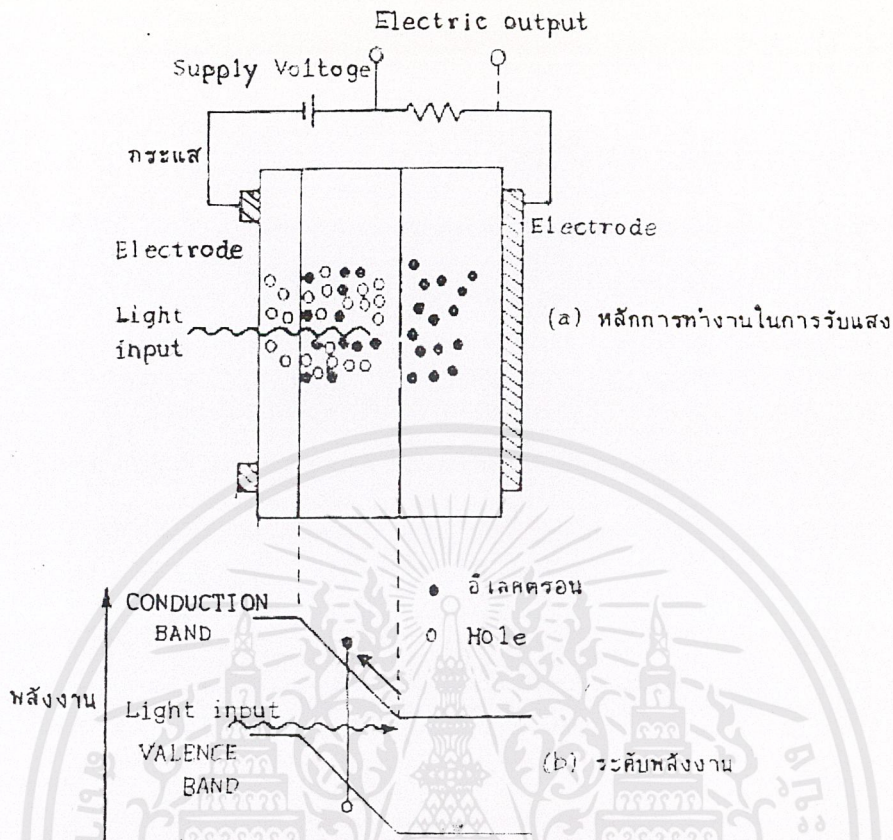
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางจากภายนอกกล่าวคือทางด้านสารกึ่งตัวนำชนิดพี ให้ไฟ - และทางด้านสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ให้ไฟ + จะทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลตรงรอยต่อมีอัตราเร่งเพิ่มขึ้น

อุปกรณ์รับแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนี้แบ่งออกเป็นพวกใหญ่ๆ ได้ 2 พวก ตามปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้จากภายนอก คือ

โฟโตไดโอด (Photo Diode : PD ) กับอะวอลานซ์โฟโตไดโอด (Avalanche Photo Diode : APD ) พวกโฟโตไดโอด (PD) นั้นเป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ส่วนพวกอะวอลานซ์โฟโตไดโอด (APD) เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก

ตัวอย่างของโฟโตไดโอด(PD) คือ พินโฟโตไดโอด (PIN-PD) ดังแสดงในรูปที่ 11 พิน (PIN) หมายถึงว่าในระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) และชนิดเอ็น (N-type) มีสารกึ่งตัวนำที่เรียกว่าสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ (Intrinsic : I) คั่นอยู่ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่ากระแสเลื่อนลอย (drift current) นั้นเกิดขึ้นในเขตปลอดพาหะ (Depletion zone) และผลของสนามไฟฟ้าทำให้มีการตอบสนองเร็ว แต่ในทางตรงกันข้ามกระแสแพร่ซึม (Diffusion Current) ที่เกิดขึ้นภายนอกเขตปลอดพาหะ (Depletion zone) นั้น มีการตอบสนองช้า ดังนั้นถ้าความกว้างของ เขตปลอดพาหะ (Depletion zone) ยิ่งกว้างมากเท่าใด สัมประสิทธิ์ควอนตัม (Quantum efficiency) และความเร็วของการตอบสนองความถี่ยิ่งดีขึ้น ความกว้างของเขตปลอดพาหะ (Depletion zone) นี้ถ้าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและโฮลของสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) และชนิดเอ็น (N-type) ยิ่งต่ำจะยิ่งกว้าง ดังนั้นสารกึ่งตัวนำแบบบริสุทธิ์ (Intrinsic : I) ที่คั่นกลางระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) และชนิดเอ็น (N-type) จึงมีหน้าที่เพื่อทำให้ความกว้างของเขตปลอดพาหะ (Depletion zone) กว้างขึ้นนั่นเอง เนื่องจากโฟโตไดโอด(PD) ที่ใช้ในระบบการสื่อสารนั้นโดยทั่วไปต้องการความเร็วในการตอบสนองสูง ดังนั้นส่วนใหญ่จะใช้ PIN-PD

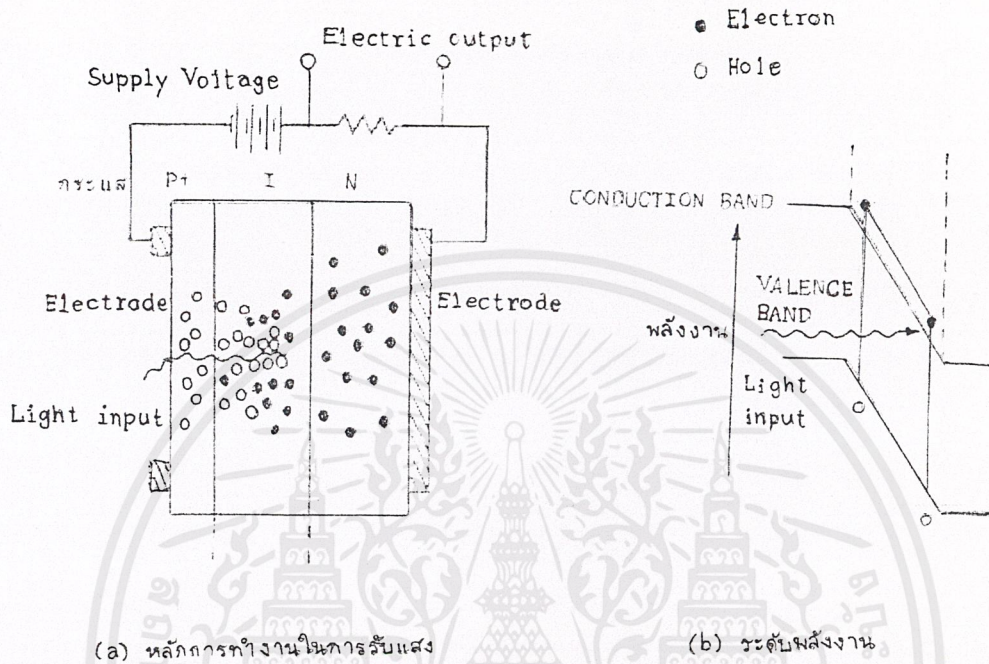


รูปที่ 2.10 แสดงหลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของ PIN-PD

อนึ่ง อะวาแลนซ์โฟโตไดโอด (APD) นั้นใช้ปฏิกิริยาการขยายแบบอะวาแลนซ์ (Avalanche) ของอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำเมื่อเปรียบเทียบกับโฟโตไดโอด(PD) แล้วเป็นอุปกรณ์รับแสงที่ให้กระแสจำนวนมาก หลักการทำงานของอะวาแลนซ์โฟโตไดโอด (APD) แสดงดังรูปที่ 2.11 สำหรับโครงสร้างนั้นส่วนใหญ่ทางด้านพีของรอยต่อพี+เอ็น (P-N junction) จะมีสารกึ่งตัวนำแบบพี (P-type) ที่มีความหนาแน่นของโฮลสูงติดอยู่ ( ส่วนที่แสดงด้วย P+ ในรูป ) โดยการทำให้เช่นนี้จะทำให้สนามไฟฟ้าภายในบริเวณใกล้ๆ รอยต่อที่มีชั้นพี (P-Layer) เป็นศูนย์กลางมีค่ามาก อิเล็กตรอนที่ดูดแสงที่มากกระทบจากด้าน P+ และถูกกระตุ้นจากแถบวาเลนซ์ (Valence Band) ไปยังแถบความนำ (Conduction Band) ในระหว่างที่อิเล็กตรอนได้รับอัตราเร่งและผ่านชั้นพี (P-Layer) นั้นจะได้รับพลังงานจำนวนมากว่าผลต่างของพลังงานของแถบวาเลนซ์ (Valence Band) กับแถบความนำ (Conduction Band) จากผลนี้ทำให้สามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบวาเลนซ์ (Valence Band) และทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮลใหม่ได้ และอิเล็กตรอนกับโฮลใหม่นี้ ยังถูกสนามไฟฟ้าเร่งอัตราเร่งให้อีก ทำให้อิเล็กตรอนและโฮลใหม่ออกมาอีก เมื่อขบวนการนี้เกิดอย่างต่อเนื่อง จำนวนของอิเล็กตรอนและโฮลจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( Avalanche ) เป็นผลให้เกิดการขยายที่เรียกว่าการเพิ่มจำนวนแบบอะวาลานซ์ (Avalanche Multiplication) มีผลทำให้กระแสถูกขยายนั่นเอง



รูปที่ 2.11 แสดงหลักการการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของอะวาลานซ์โฟโตไดโอด(APD)

### 2.6 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์รับแสงประเมินได้จากคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ สัมประสิทธิ์ควอนตัม (Quantum efficiency) ซึ่งแสดงว่าแสงที่ได้รับมานั้นถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้มากเท่าไร ความไวการรับแสง ( ระดับรับแสงต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการส่งที่มีคุณภาพ ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบระยะเวลาถ่ายทอดของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง , สัญญาณรบกวน ( noise ) ที่เกิดขึ้นและความเร็วของการตอบสนองการทำงาน สำหรับสัมประสิทธิ์ควอนตัม (Quantum efficiency) กำหนดจากสารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสงแต่สำหรับความไวในการรับแสงนั้นจะเกี่ยวข้องกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้

เนื่องจากอะวาลานซ์โฟโตไดโอด(APD) ใช้ปรากฏการณ์การขยายแบบอะวาลานซ์ (Avalanche) ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นจึงมีความไวสูงประมาณ 10 ~ 20 dB ( 10 ~ 100 เท่า) เมื่อเทียบกับโฟโตไดโอด(PD) สัญญาณรบกวน ( noise ) ที่เกิดในอุปกรณ์รับแสงมีสิ่งๆที่เรียกว่าช็อตนอยซ์ (shot noise) ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสเกิด

จากแสง (photo current) ที่เกิดจากการกระตุ้นอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบทางเวลาหรือทางช่อง (space) คุณสมบัติของช็อตนอยซ์ (shot noise) เป็นดังแสดงในสมการต่อไปนี้

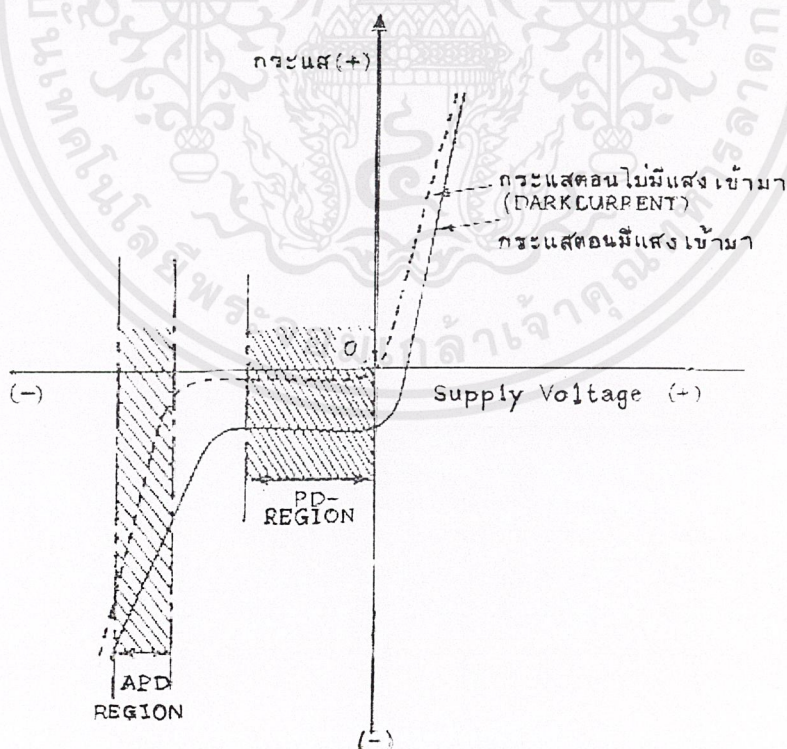
$$\text{กระแสช็อตนอยซ์ (shot noise current)} \propto I_0 M^{2-F}$$

ในที่นี้  $M$  เป็นอัตราขยายกระแสของอุปกรณ์รับแสง

$I_0$  เป็นกระแสที่เกิดจาก photo current เมื่อ  $M = 1$  (กรณีของ PD)

$F$  เป็นจำนวนสัญญาณรบกวนที่มากเกินไป (excess noise figure) มีค่ามากเมื่อเทียบกับ  $M$  นั่นคือ จากสมการจะเห็นว่าที่ระดับการรับแสงเท่ากัน ถ้าหากทำให้แรงดันไฟฟ้าในทิศทางกลับที่ป้อนให้มีค่าสูง และทำให้อัตราขยายกระแสเพิ่มมากขึ้นนั้น สัญญาณออก (output signal  $I_0 M^2$ ) จะเพิ่มมากขึ้นด้วยแต่ ช็อตนอยซ์ (shot noise) ก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน

คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสงทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.11 จากรูปจะช่วยทำให้เข้าใจความแตกต่างของบริเวณการทำงานของอะวาแลนซ์โฟโตไดโอด (APD) และโฟโตไดโอด (PD) ได้ดีและในรูปที่ 2.11 นี้ได้แสดงการไหลของกระแสที่เรียกว่ากระแสมืด (dark current) ที่เกิดในสภาพที่มีแรงดันไฟฟ้าในทิศทางกลับป้อนให้แต่ไม่มีแสงเข้ามาด้วย



รูปที่ 2.12 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และกระแสที่เกิดจากแสง (photo current)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสมืด (dark current) นี้มีลักษณะพิเศษคือมันจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของ สัญญาณออก (output signal) ซ็อตนอยซ์ (shot noise) เป็นสิ่งที่เกิดจากกระแสมืด (dark current) และอื่นๆ ที่เป็นแหล่งกำเนิด กรณีของ PD เนื่องจาก  $M = 1$  ดังนั้นซ็อตนอยซ์ (shot noise) จึงไม่มีค่ามาก แต่สำหรับกรณีของอะวาแลนซ์โฟโตไดโอด (APD) จำเป็นต้องระวังเกี่ยวกับค่าของ  $M$

ความเร็วการตอบสนองความถี่ เป็นสิ่งที่กำหนดจากเวลาที่มีสัญญาณแสงเข้ามา จนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์คู่แสง แต่ในปัจจุบันเนื่องจากทั้ง โฟโตไดโอด (PD) สามารถตอบสนองความเร็วได้ถึงหลาย GHz. จึงไม่มีปัญหาในการใช้งาน

## ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

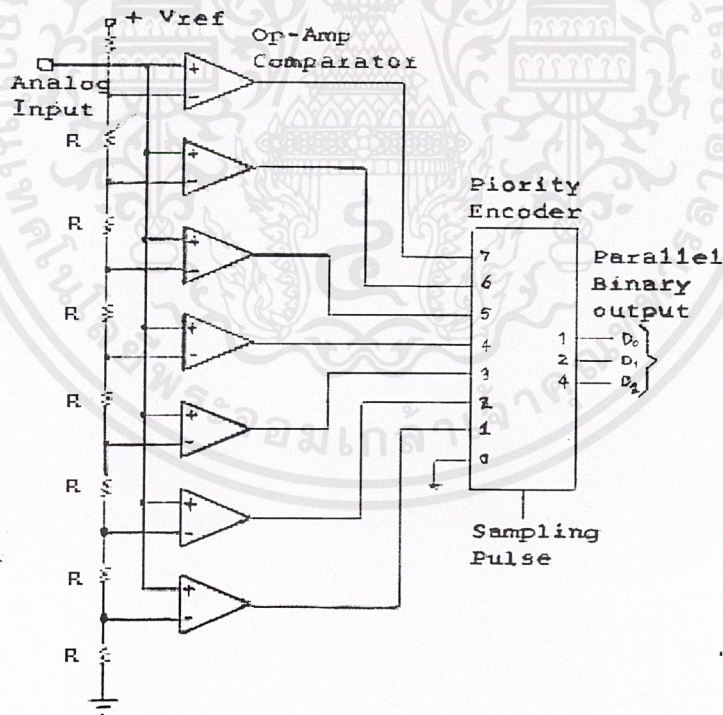
คุณสมบัติ	PD
สัมประสิทธิ์ควอนตัม (Quantum efficiency )	80%
ความไวการรับแสง	-15 ถึง 20 dBm
ความเร็วการตอบสนองความถี่	มากกว่า 100 GHz.
อัตราขยายกำลัง	1
ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำงาน	0 - 20 v.

2.7 Analog – to – digital conversion

เป็นการแปลงปริมาณแอนาล็อกไปเป็นรหัสดิจิทัล วงจรที่ใช้ทำหน้าที่ดังกล่าวเรียกว่า Analog – to – digital converter ( A/D converter ) ซึ่งจะมีหลายแบบได้แก่

Flash ( Simultaneous ) ADC

วงจรแปลงแอนาล็อกเป็นดิจิทัลโดยวิธีแฟลชนี้จะใช้ Op – Amp ทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบ โดยตัวเปรียบเทียบนี้จะทำหน้าที่เปรียบเทียบอินพุตที่ขา inverting input ( - ) กับ noninverting input ( + ) ถ้าโวลเตจที่ขา noninverting input ( + ) มีค่าสูงกว่าโวลเตจที่ขา inverting input ( - ) จะได้อเอาต์พุตเป็นลอจิก 1 แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าโวลเตจที่ขา noninverting input ( + ) มีค่าต่ำกว่าที่ขา inverting input ( - ) จะได้อเอาต์พุตเป็นลอจิก 0 ในกรณีของ Flash ADC นี้ตัวเปรียบเทียบจะทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณแอนาล็อกที่ต้องการแปลงเป็นดิจิทัลกับ โวลเตจอ้างอิง ถ้าสัญญาณแอนาล็อกมีค่าสูงกว่าโวลเตจอ้างอิง ก็จะได้เอาต์พุตเป็นลอจิก 1 เพื่อป้อนให้กับ Priority encoder ดังรูป



รูปที่ 2.13 วงจร Flash ADC ขนาด 3 บิท

วงจร Flash ADC ขนาด 3 บิท ต้องใช้ตัวเปรียบเทียบ จำนวน  $2^n - 1 = 2^3 - 1 = 7$  ตัว ( เมื่อ  $n =$  จำนวนบิทของ ADC ) ถ้าให้  $V_{REF} = 8 V$  จะได้ความต่างศักย์ตกร้อมตัวต้านทาน R แต่ละตัว

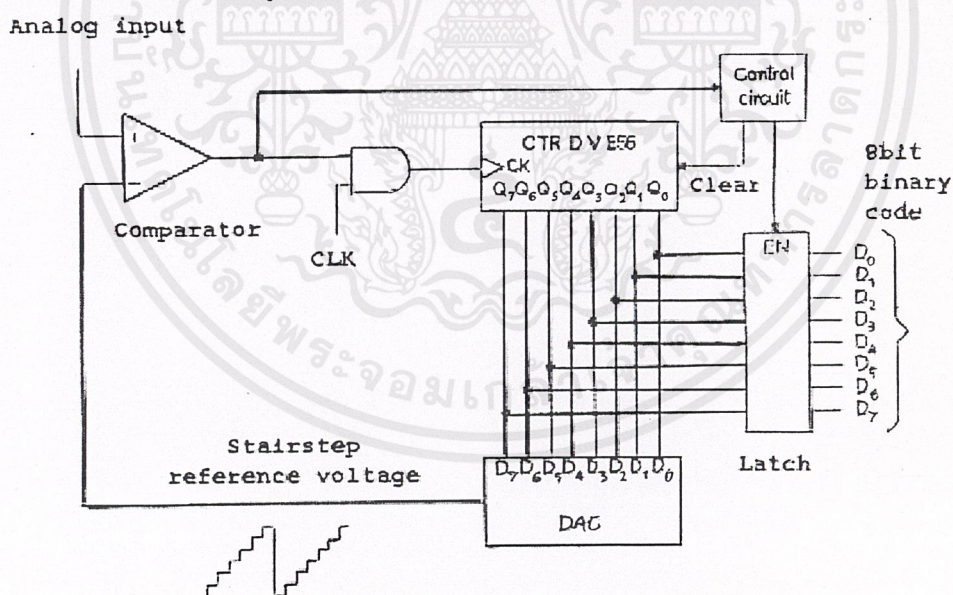
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 1 V และถ้าให้  $V_{in} = 3.5 V$  ตัวเปรียบเทียบ 3 ตัวล่างจะให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 1 นอกนั้นเป็นลอจิก 0 ดังนั้น priority encoder จะให้เอาต์พุตเป็นรหัสดิจิทัล 011 หรือถ้าให้  $V_{in} = 5.2 V$  ตัวเปรียบเทียบ 5 ตัวล่างจะให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 1 นอกนั้นเป็นลอจิก 0 ดังนั้น priority encoder จะให้เอาต์พุตเป็นรหัสดิจิทัล 101 เป็นต้น

วงจรจะทำการแปลงสัญญาณทุกครั้งที่มีการให้พัลส์ที่ขา EN ของ encoder ดังนั้นถ้าให้พัลส์ที่ขา EN ของ encoder อย่างต่อเนื่อง วงจร ADC ก็จะทำให้ดิจิทัลเอาต์พุตที่เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณแอนาลอกที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ วงจร ADC ชนิด Flash นี้มีข้อดีคือสามารถแปลงสัญญาณได้เร็วมาก แต่มีข้อเสียที่ต้องใช้ตัวเปรียบเทียบเป็นจำนวนมากตามจำนวนบิตที่ต้องการ

### Digital – ramp ADC

การแปลงแอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบ Digital – ramp บางที่เรียกว่า Stairstep – ramp หรือ Counter method ADC วงจร ADC แบบนี้ประกอบด้วยวงจรนับเลขไบนารี ( binary counter) และวงจร DAC ดังแสดงในรูป

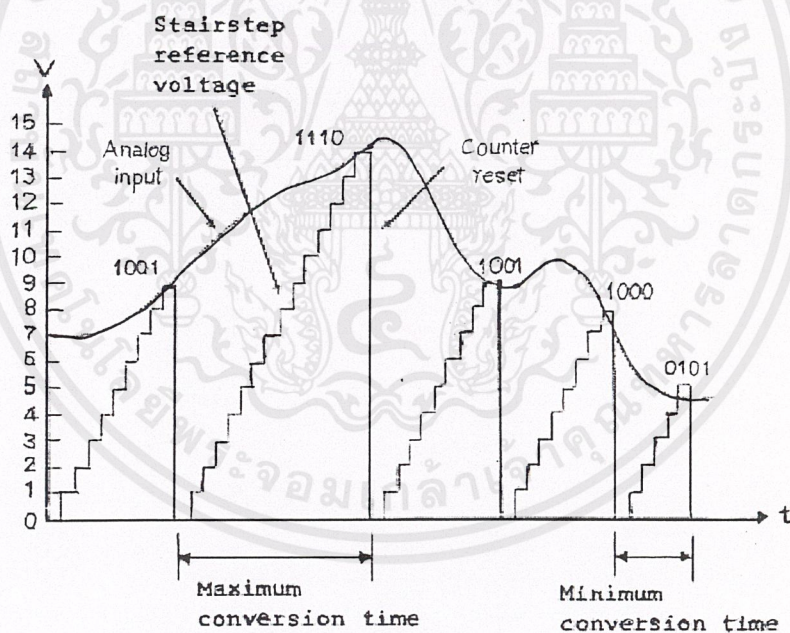


รูปที่ 2.14 วงจร Digital – ramp ADC ขนาด 8 บิต

สมมุติว่าตอนเริ่มต้น วงจรนับเลขไบนารีถูกรีเซ็ตและเอาต์พุตของวงจร DAC เป็นศูนย์ และสมมุติว่าขณะนี้มีสัญญาณแอนาลอกถูกป้อนเข้าทางอินพุต ถ้าสัญญาณนี้มีค่ามากกว่าโวลเตจอ้างอิง (เอาต์พุตของ DAC) เอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบจะเป็นลอจิก 1 ทำให้สัญญาณนาฬิกาสามารถผ่าน AND gate ไปยังวงจรนับได้ วงจรนับนี้จะให้เอาต์พุตเป็นรหัสดิจิทัลที่มีค่าเพิ่มขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามเวลาซึ่งถูกป้อนเป็นอินพุทของวงจร DAC ดังนั้นเอาต์พุทของวงจร DAC ซึ่งเป็นโวลเตจอ้างอิงจะเพิ่มขึ้นตามเวลาแบบขั้นบันได ถ้าโวลเตจอ้างอิงนี้มีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าเท่ากับสัญญาณแอนาลอกที่ถูกป้อนเข้าทางอินพุท เอาต์พุทของตัวเปรียบเทียบจะเปลี่ยนเป็นลอจิก 0 ทำให้สัญญาณนาฬิกาไม่สามารถผ่าน AND gate ไปยังวงจรรนับได้อีกต่อไป วงจรรนับจะหยุดนับและให้เอาต์พุทเป็นรหัสดิจิตอลค่าหนึ่งซึ่งเป็นค่าที่ทำให้โวลเตจอ้างอิงมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าสัญญาณแอนาลอกที่ถูกป้อนเข้าทางอินพุท ดังนั้นสัญญาณแอนาลอกจึงถูกแทนด้วยรหัสดิจิตอลนั้นเอง วงจร control logic จะทำหน้าที่ไหลตรหัสดิจิตอลมายังวงจรร latch เพื่อเก็บข้อมูลนี้ไว้ชั่วคราว จากนั้นวงจรรนับจะถูกเคลียร์และเริ่มทำการแปลงสัญญาณอินพุทรอบใหม่ต่อไป

วงจรร Digital – ramp ADC จะทำการแปลงสัญญาณได้ช้ากว่าแบบ Flash เนื่องจากวงจรรนับต้องเริ่มต้นนับจากศูนย์จนถึงค่าที่ทำให้โวลเตจอ้างอิงมีค่าถึงสัญญาณแอนาลอกที่ถูกป้อนเข้าทางอินพุทเสมอ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการแปลงจึงขึ้นกับขนาดของสัญญาณแอนาลอก ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.15 สัญญาณแอนาลอกและโวลเตจอ้างอิง

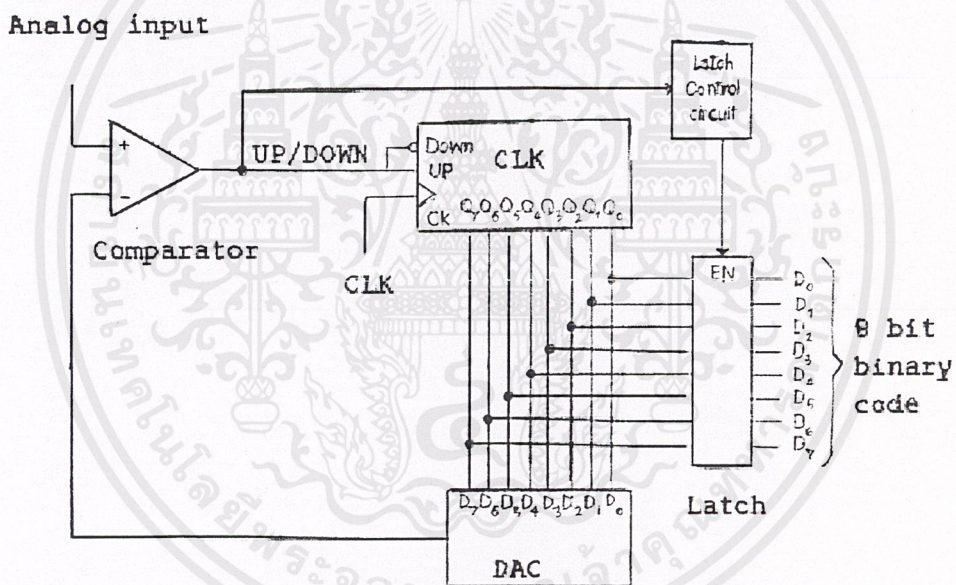
### Tracking ADC

Tracking ADC ใช้วงจรรนับ ขึ้น/ลง ( up/down counter ) แทนวงจรรนับแบบธรรมดาในวงจร Digital – ramp ADC ดังในรูป จะทำให้การแปลงสัญญาณทำได้เร็วขึ้นเนื่องจากวงจรรนับจะไม่ถูกรีเซ็ตหลังจากการแปลงสัญญาณแต่ละครั้ง แต่จะให้รหัสดิจิตอลเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามสัญญาณแอนาลอกตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของ Tracking ADC จะคล้ายกับ Digital – ramp ADC คือในขณะที่โวลเตจอ้างอิงยังคงมีค่าต่ำกว่าสัญญาณแอนาลอกที่อินพุท เอาท์พุทของตัวเปรียบเทียบจะเป็นลอจิก 1 ทำให้วงจรนับทำงานในโหมดนับขึ้น เป็นผลให้โวลเตจอ้างอิงซึ่งเป็นเอาท์พุทของ DAC มีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าเท่ากับสัญญาณแอนาลอกที่อินพุท

เมื่อโวลเตจอ้างอิงมีค่าเท่ากับสัญญาณแอนาลอกที่อินพุทจะทำให้เอาท์พุทของตัวเปรียบเทียบเป็นลอจิก 0 วงจรนับก็จะเปลี่ยนมาทำงานในโหมดนับลง เอาท์พุทของวงจรนับซึ่งเป็นรหัสดิจิตอลก็จะมีค่าลดลงเป็นผลให้โวลเตจอ้างอิงมีค่าน้อยลงด้วย ถ้าสัญญาณแอนาลอกที่อินพุทมีค่าลดลงอีกวงจรนับก็จะนับลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้รหัสดิจิตอลที่เอาท์พุทของวงจรนับมีการเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณแอนาลอกที่อินพุทตลอดเวลา และถ้าสัญญาณแอนาลอกที่อินพุทกลับมีค่าเพิ่มขึ้นอีก จะทำให้เอาท์พุทของตัวเปรียบเทียบกลับเป็น ลอจิก 1 และวงจรนับก็จะนับขึ้นอีกครั้ง



รูปที่ 2.16 เอาท์พุทของ Tracking ADC

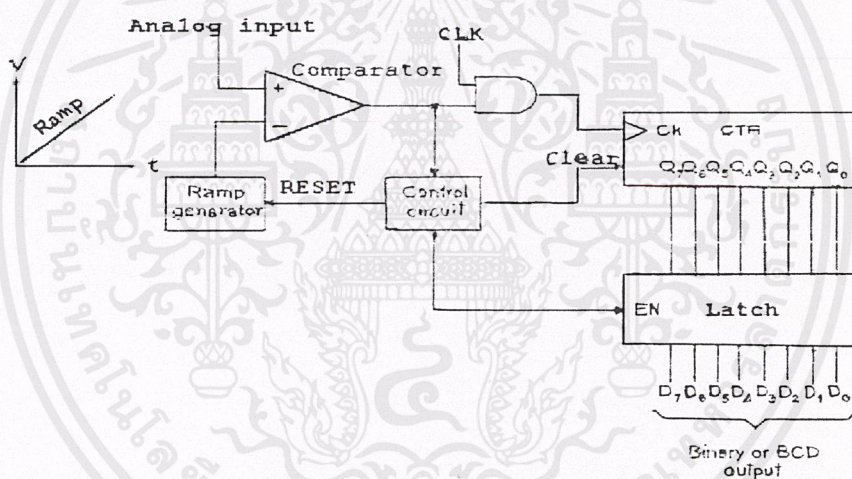
ถ้าสัญญาณแอนาลอกที่อินพุทมีค่าคงที่และวงจรนับกำลังงานในโหมดนับขึ้น เมื่อวงจรนับเริ่มนับสัญญาณนาฬิกาเพิ่มขึ้น 1 ลูก ก็จะทำให้โวลเตจอ้างอิงมีค่ามากกว่าสัญญาณแอนาลอกที่อินพุททำให้เอาท์พุทของตัวเปรียบเทียบเป็น ลอจิก 0 เป็นผลให้วงจรนับเปลี่ยนมาทำงานในโหมดนับลง ทันทีที่วงจรนับเริ่มนับลดหลัง 1 ขึ้น จะทำให้โวลเตจอ้างอิงมีค่าน้อยกว่าสัญญาณแอนาลอกที่อินพุททันทีเอาท์พุทของตัวเปรียบเทียบจะกลับเป็น ลอจิก 1 และวงจรนับก็กลับมาทำงานในโหมดนับขึ้นอีกครั้งวงจรนับจะนับขึ้นและลงอยู่อย่างนี้ตราบที่สัญญาณแอนาลอกที่อินพุทยังคงมีค่าคงที่ ส่งผลให้เอาท์พุทของวงจรมีการออสซิลเลตอยู่ระหว่างรหัสดิจิตอลสองค่าตลอดเวลา ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งถือเป็นข้อดีของวงจรแปลงสัญญาณแบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Single-slope ADC

วงจร Single-slope ADC ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ต่างจากวงจร digital-ramp และ tracking ADC ตรงที่วงจร Single-slope ADC ไม่ต้องใช้วงจร DAC แต่จะให้วงจร linear ramp generator แทน โดยวงจรนี้จะสร้าง โวลเตจที่มีการเริ่มขึ้นตามเวลาด้วยอัตราคงที่ (ความชันหรือslope คงที่) ทำหน้าที่เป็นโวลเตจอ้างอิง(วงจร digital-ramp และ tracking ADC ใช้ DAC เป็นตัวสร้างโวลเตจอ้างอิง)

ตอนเริ่มต้นสมมุติว่าวงจรมับถูกรีเซตและวงจร ramp generator เริ่มต้นทำงานโดยมีเอาต์พุตเริ่มต้นจาก 0 V สัญญาณแอนาลอกที่อินพุตซึ่งขณะนี้มีความสูงกว่าโวลเตจอ้างอิง ทำให้อาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบเป็น ลอจิก 1 ส่งผลให้สัญญาณนาฬิกาสามารถผ่าน AND gate ไปยังวงจรมับได้ วงจรก็จะเริ่มนับและให้อาต์พุตเป็นรหัสดิจิตอลที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.17 วงจร Single-slope ADC

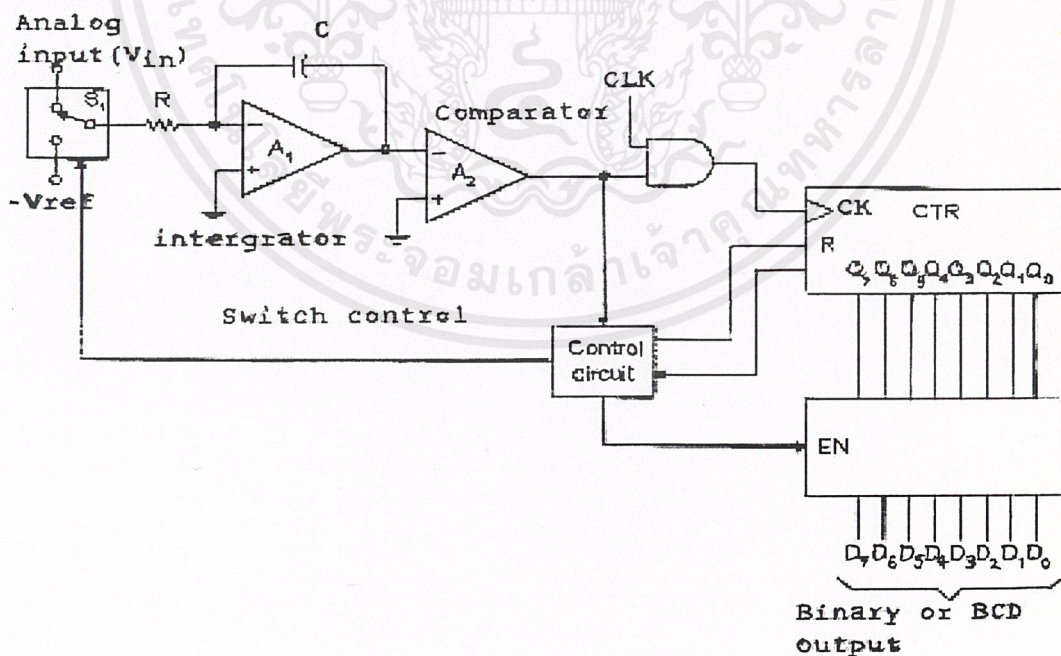
สมมุติว่าโวลเตจอ้างอิงมีอัตราการเพิ่มขึ้น 1 V/ms โวลเตจอ้างอิงนี้จะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนกระทั่งมีค่าเท่ากับสัญญาณแอนาลอกที่อินพุต เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบจะเปลี่ยนเป็น ลอจิก 0 ส่งผลให้วงจร control logic ทำการรีเซตวงจร ramp generator ให้มีเอาต์พุตกลับไปเป็น 0 V พร้อมกับส่งรหัสดิจิตอลที่เอาต์พุตของวงจรมับไปเก็บไว้ที่ latches และเคลียร์วงจรมับให้มีเอาต์พุตกลับไปเริ่มต้นที่ 0 อย่างเดิม เช่น ถ้าสัญญาณแอนาลอกที่อินพุต มีค่า 2 V และสัญญาณนาฬิกา มีความถี่ 100 kHz โวลเตจอ้างอิงต้องใช้เวลา 2 ms จึงจะมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 2 V ในขณะที่โวลเตจอ้างอิงยังมีค่าไม่ถึง 2 V วงจรมับจะนับสัญญาณนาฬิกาไปเรื่อย ๆ และจะหยุดนับเมื่อเวลาผ่านไป 2 ms ซึ่งจะนับสัญญาณนาฬิกาได้ 200 ลูก โดยการถอดรหัสและทำสเกลให้เหมาะสม สามารถทำให้ วงจรแสดงผลเป็น 2.00 V ได้ วิธีการนี้เป็นพื้นฐานของดิจิตอลโวลมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Dual-slope ADC

วงจร Dual-slope ADC ดังแสดงในรูปที่ 2.20 มีการทำงานคล้ายกับแบบ single-slope ADC แต่ใช้โวลเตจอ้างอิงที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (ความชันหรือ slope) 2 แบบ คือ แบบคงที่ และแบบไม่คงที่ วงจรแปลงสัญญาณแบบนี้มีการใช้โดยทั่วไปในดิจิตอลโวลมิเตอร์และเครื่องมือวัดทั้งหลาย

Op-Amp,  $A_1$  ถูกต่อเป็นวงจร integrator ทำหน้าที่กำเนิดโดยโวลเตจที่เพิ่มขึ้นตามเวลา เริ่มต้นสมมุติว่าวงจรนับถูกกรีเซตและเอาต์พุตของวงจร integrator เป็น 0 V ขณะนี้สมมุติว่าสัญญาณแอนาลอก ( $V_{in}$ ) ที่มีค่าเป็นบวกถูกป้อนผ่าน  $S_1$  ซึ่งควบคุมโดยวงจร control logic เนื่องจาก inverting input(-) ของ  $A_1$  เป็น virtual ground และคิดว่า  $V_{in}$  มีค่าคงที่ในช่วงเวลาที่กำลังพิจารณา ดังนั้นจะมีกระแสไฟฟ้าคงที่ไหลผ่านตัวต้านทาน  $R$  ไปยังตัวเก็บประจุ  $C$  เป็นผลให้เอาต์พุตของ  $A_1$  มีโวลเตจเป็นลบเพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงที่ โดยอัตรานี้ขึ้นกับสัญญาณแอนาลอก ( $V_{in}$ ) (ความชันหรือ slope ไม่คงที่ แต่ขึ้นกับ  $V_{in}$ ) ดังรูปที่ 2.21 (a) ในขณะที่โวลเตจ(เป็นลบ) ที่ขา inverting input (-) ของ Op-amp,  $A_2$  ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบ มีค่าต่ำกว่าโวลเตจที่ขา noninverting input (+) ซึ่งเป็น 0 V (ground) ทำให้เอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบเป็น ลอจิก 1 ส่งผลให้สัญญาณนาฬิกาสามารถผ่าน AND gate ไปยังวงจรนับได้ วงจรก็จะเริ่มนับและให้เอาต์พุตเป็นรหัสดิจิตอลที่เพิ่มขึ้น

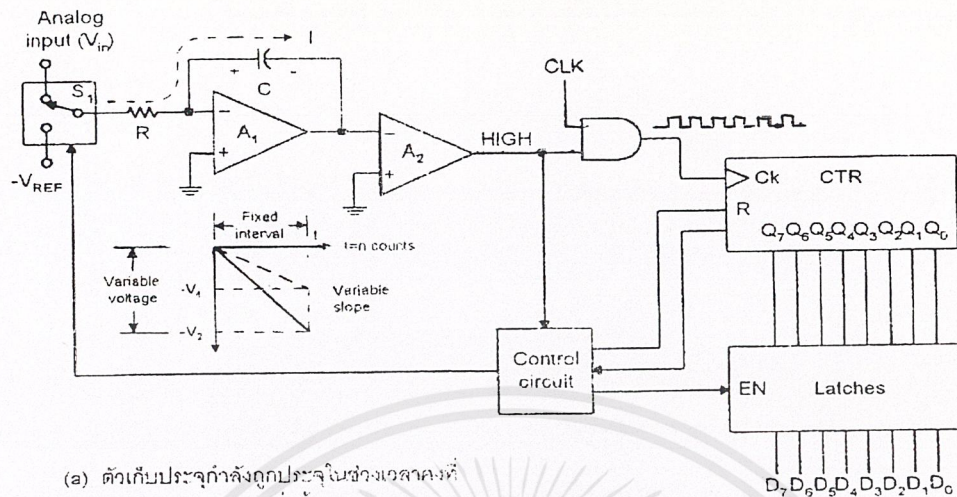


รูปที่ 2.18 วงจร Dual-slope ADC

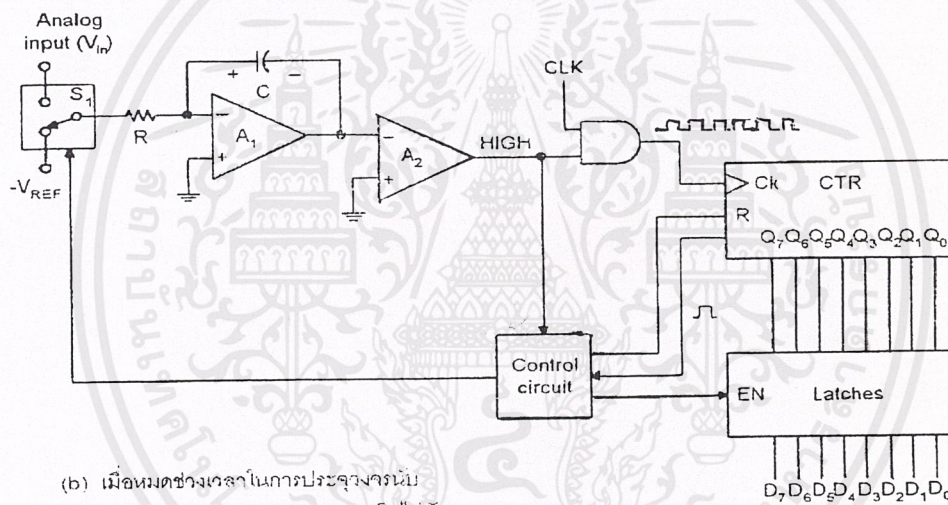
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวงจรมีจนถึงค่าเฉพาะค่าหนึ่ง ( ที่ถูกกำหนดขึ้นเป็นค่าใดๆ ) วงจรมีจะถูกรีเซ็ต และส่งสัญญาณ ไปยังวงจร control logic เพื่อควบคุมให้  $S_1$  สับมายัง โวลเตจอ้างอิง ( $-V_{REF}$ ) ซึ่งมีค่า เป็นลบ ดังรูปที่ 2.19 (b) ในขณะนั้นสมมุติว่าตัวเก็บประจุถูกประจุจนทำให้เอาต์พุตของวงจร integrator มีค่าเป็น  $-V$  ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณแอนาลอกที่อินพุต  $V_{in}$

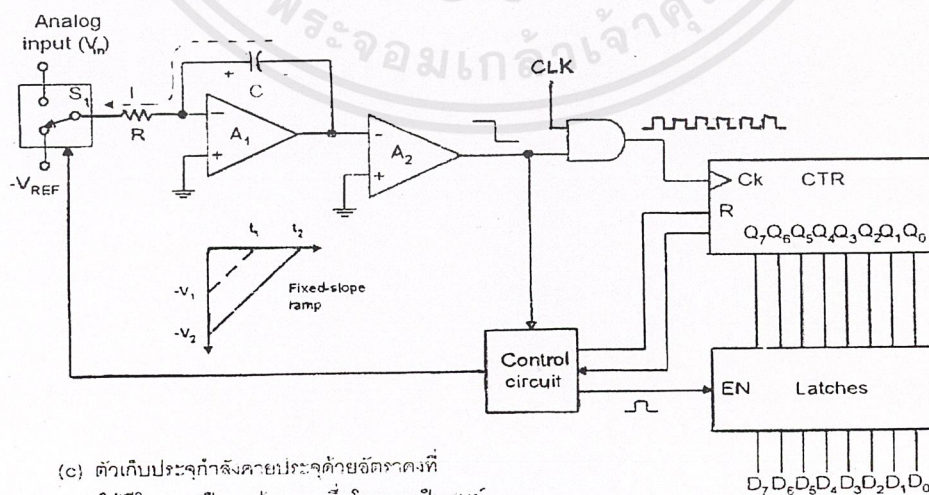
เมื่อ  $S_1$  ถูกลูกสับมายัง โวลเตจอ้างอิงที่เป็นลบ ตัวเก็บประจุเริ่มคายประจุ (discharge) ด้วย อัตราคงที่เนื่องจาก โวลเตจอ้างอิงมีค่าคงที่ ดังรูปที่ 2.19 (c) การคายประจุด้วยอัตราคงที่ ทำให้เอาต์พุตของ  $A_1$  มีโวลเตจเป็นลบน้อยลงเริ่มต้นจาก  $-V$  (มีค่าเพิ่มขึ้น) ด้วยอัตราคงที่ เนื่องจาก โวลเตจ อ้างอิง ( $-V_{REF}$ ) มีค่าคงที่ (ความชันหรือ slope คงที่ ไม่ขึ้นกับ  $V_{in}$ ) ขณะนี้โวลเตจ(เป็นลบ)ที่ขา inverting input(-) ยังคงเป็นลบ ทำให้เอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบยังคงเป็น ลอจิก 1 ดังนั้นวงจรมี จึงยังคงนับต่อไปเริ่มจากศูนย์อีกครั้งเนื่องจากถูกรีเซ็ตก่อนหน้านี้ วงจรมีจะนับไปเรื่อย ๆ ติราบ โดที่เอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบยังคงเป็น ลอจิก 1 เอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบจะเปลี่ยนเป็น ลอจิก 0 เมื่อตัวเก็บประจุคายประจุจนหมด (เอาต์พุตของ  $A_1$  จะมีโวลเตจเป็น 0 V) เนื่องจากอัตราคงที่ คายประจุมีค่าคงที่ (ความชันหรือ slope คงที่) ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการคายประจุจนหมดจึงขึ้นกับ จำนวนประจุไฟฟ้าที่ถูกประจุไว้ ซึ่งขึ้นกับ โวลเตจเริ่มต้น  $-V$  (ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณ แอนาลอกที่เอาต์พุต  $V_{in}$ ) เมื่อเอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบเปลี่ยนเป็น ลอจิก 0 วงจรมีจึงหยุดนับ รหัสดิจิตอลที่เอาต์พุตของวงจรมีจะถูกส่งไปยัง latches ดังนั้นการแปลงสัญญาณจึงเสร็จสมบูรณ์ และจะเริ่มแปลงสัญญาณรอบต่อไป เนื่องจากช่วงเวลาที่ใช้ในการคายประจุขึ้นกับ  $-V$  เพียงอย่าง เดียว โดยค่าของ  $-V$  นี้ขึ้นกับ  $V_{in}$  และวงจรมีจะนับสัญญาณนาฬิกาได้มากหรือน้อยขึ้นกับช่วง เวลานี้ รหัสดิจิตอลที่เอาต์พุตของวงจรมีนี้จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณแอนาลอกที่อิน พุต



(a) ตัวเก็บประจุกำลังถูกประจุในช่วงเวลาคงที่  
ให้มีโวลเตจเป็นลบเพิ่มขึ้น



(b) เมื่อหมดช่วงเวลาในการประจุจนวนับ  
ส่งสัญญาณผ่านวงจรควบคุมสวิตช์ไปยัง S1



(c) ตัวเก็บประจุกำลังคายประจุด้วยอัตราคงที่  
ให้มีโวลเตจเป็นลบน้อยลง เมื่อโวลเตจเป็นศูนย์  
วงจรมันจะหยุดนับและส่งผลทางนับไปยัง Latches

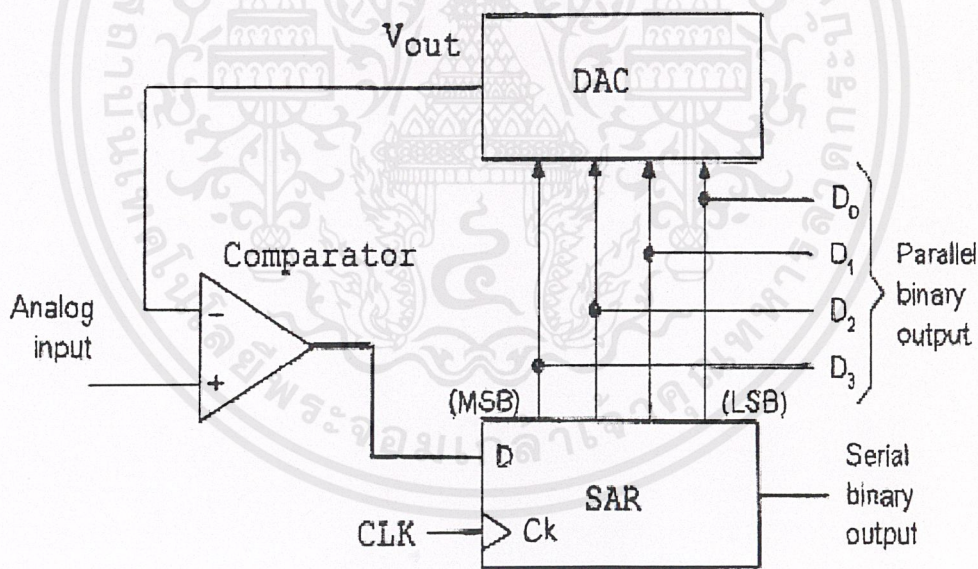
รูปที่ 2.19 การทำงานของวงจร Dual-slope ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Successive – Approximation ADC

วงจร successive – approximation ADC เป็นวงจร ADC ที่ใช้กันแพร่หลายวงจรหนึ่ง เนื่องจากแปลงสัญญาณได้เร็วกว่าแบบอื่นๆ ยกเว้นแบบ Flash ADC วงจร successive – approximation ADC ประกอบด้วย DAC , successive – approximation register ( SAR ) และวงจรเปรียบเทียบ ดังรูป

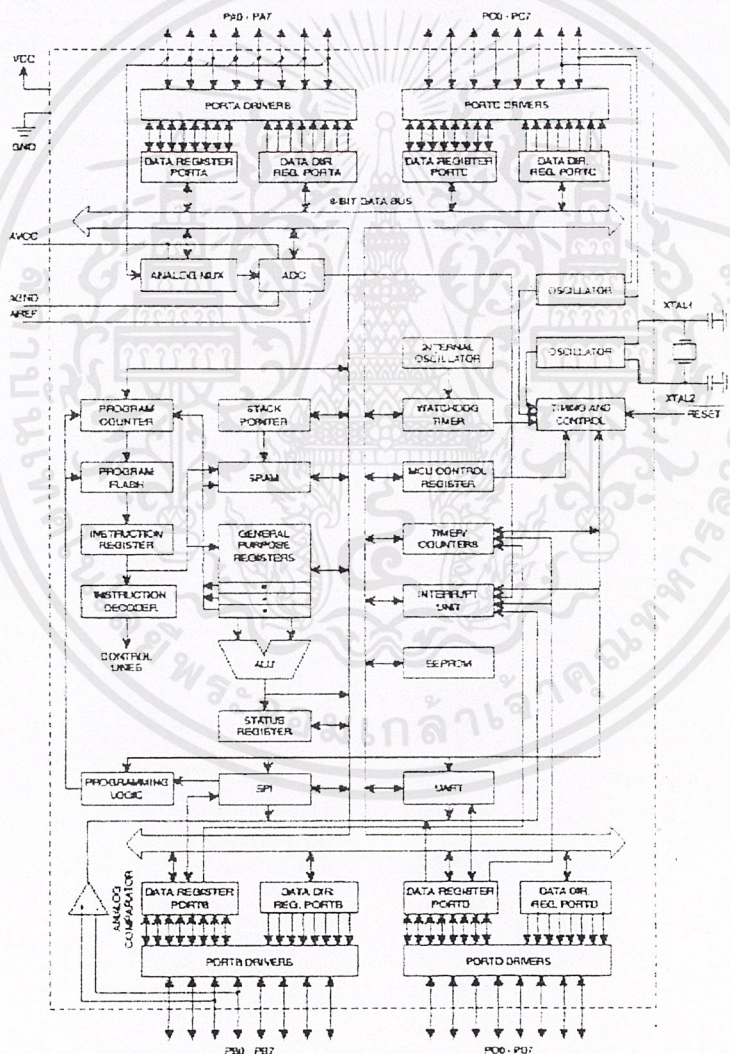
วงจรจะทำงานโดยทำให้บิตภายในของ SAR เป็นลอจิก 1 ทีละบิตโดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดก่อน และค่าของบิตต่างๆ ใน SAR จะถูกส่งไปยัง DAC เพื่อแปลงสัญญาณแอนาลอกทุกๆ ครั้งที่แต่ละบิตถูกกำหนดให้เป็นลอจิก 1 ตัวเปรียบเทียบจะเปรียบเทียบเอาต์พุตของ DAC ว่ามากกว่าหรือน้อยกว่าสัญญาณแอนาลอกที่อินพุต ถ้าเอาต์พุตของ DAC มีค่ามากกว่าสัญญาณแอนาลอกที่อินพุต เอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบจะเป็นลอจิก 0 เป็นผลให้บิตนั้นๆ ใน SAR ถูกรีเซ็ตเป็น 0 แต่ถ้าครบ หลังจากครบทุกบิตแล้วรหัสดิจิทัลใน SAR จะแทนสัญญาณแอนาลอกที่อินพุต



รูปที่ 2.20 การทำงานของ successive – approximation ADC

## 2.8 ลักษณะทั่วไปของ AT90S8535

AT90S8535 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ที่มีสถาปัตยกรรมแบบ RISC โดยระบบการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้หลักการออกแบบของฮาร์ดแวร์ ด้วยการแยกระบบบัสของโปรแกรมและดาต้าออกจากกัน ซึ่งโปรแกรมจะมีการประมวลผลด้วย SINGLE LEVEL PIPELINING ซึ่งจะทำให้ CPU สามารถ Fetch และ Execute คำสั่งได้ภายใน 1 คาบเวลา ซึ่งทำให้สามารถประมวลคำสั่งได้ 1 MIPS/MHz ในรูปที่ 2.21 แสดงโครงสร้างสถาปัตยกรรมแบบ RISC ของ AT90S8535



รูปที่ 2.21 บล็อกไดอะแกรมสถาปัตยกรรมแบบ RISC ของ AT90S8535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในประกอบด้วยรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิต จำนวน 32 ตัว ซึ่งแต่ละตัวจะต่อเข้ากับ ALU โดยตรง และมีพอร์ตที่สามารถทำงานได้ 2 ทิศทาง จำนวน 32 เส้นสัญญาณ และระบบไทม์เมอร์ / เคาน์เตอร์ จำนวน 3 ชุด ที่มีหมดการทำงานเสริมในส่วนของ การสร้างสัญญาณ PWM และส่วนของการตรวจจับสัญญาณอินพุตแคปเจอร์ (input capture) มีอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบ UART และ SPI และยังมีเสริมด้วยระบบการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต จำนวน 8 แชนแนล ที่มาพร้อมกับ MCU มีส่วนการทำงานของวอตช์ ดีอ็อกไทม์เมอร์ เพื่อตรวจสอบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีระบบการประหยัดพลังงานอีก 3 ระบบ

ALU จะสนับสนุนการกระทำทางคณิตศาสตร์และลอจิกระหว่าง รีจิสเตอร์กับรีจิสเตอร์ หรือระหว่างรีจิสเตอร์กับค่าคงที่ ซึ่งการเรียกใช้รีจิสเตอร์สามารถกระทำได้โดยการอ้างหน่วยความจำภายในที่ตำแหน่ง \$00-\$1F จำนวน 32 ตำแหน่ง และใน MCU ยังได้จัดแบ่งให้มีรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของหน่วยอินพุตและเอาต์พุตต่างๆ อีก 64 ตำแหน่ง โดยสามารถเรียกใช้งานได้โดยการอ้างตำแหน่งหน่วย ความจำที่ตำแหน่ง \$20-\$5F

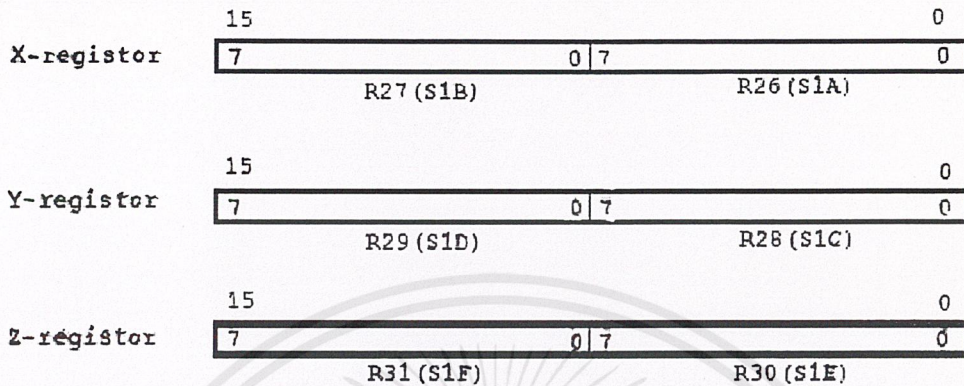
	7	0	Addr.	
General Purpose Working Registers	R0		\$00	
	R1		\$01	
	R2		\$02	
	...			
	R13		\$0D	
	R14		\$0E	
	R15		\$0F	
	R16		\$10	
	R17		\$11	
	...			
	R26		\$1A	X-register low byte
	R27		\$1B	X-register high byte
	R28		\$1C	Y-register low byte
	R29		\$1D	Y-register high byte
	R30		\$1E	Z-register low byte
	R31		\$1F	Z-register high byte

รูปที่ 2.22 โครงสร้างของรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป

### รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป

ในรูปที่ 2.22 แสดงการจัดวางตำแหน่งของรีจิสเตอร์ใช้งานทั้งหมด โดยมีรีจิสเตอร์ที่สามารถนำมาใช้งานเป็นรีจิสเตอร์คู่เพื่อทำเป็นตัวชี้ข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำ ซึ่งรีจิสเตอร์ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

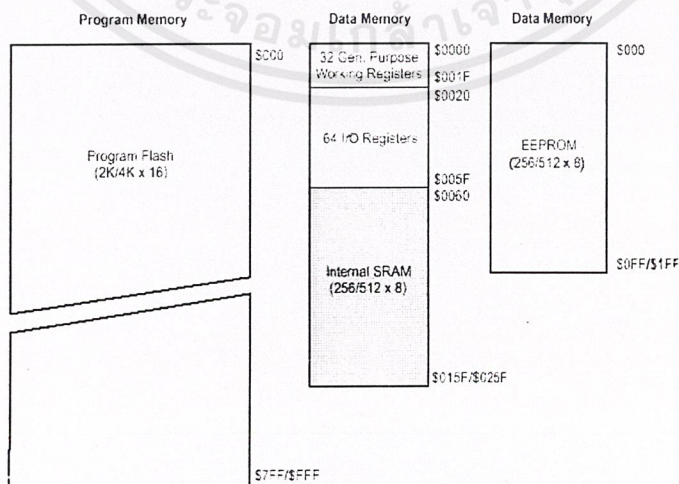
กลุ่มนี้จะใช้ชื่อว่า X, Y และ Z โดยในรีจิสเตอร์ R26...R31 นี้สามารถนำมาต่อกันเพื่อทำเป็นรีจิสเตอร์คู่เพื่อใช้งานเป็นตัวชี้ข้อมูลในชื่อของรีจิสเตอร์ X, Y และ Z



รูปที่ 2.23 แสดงรีจิสเตอร์ X, Y และ Z

### หน่วยความจำ SRAM

หน่วยความจำภายใน MCU จัดให้มีหน่วยความจำ 608 คำแห่ง โดยหน่วยความจำทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป รีจิสเตอร์ใช้งานอินพุต/เอาต์พุต และหน่วยความจำภายใน SRAM โดยใน 96 คำแห่งแรกจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนของรีจิสเตอร์ และอีก 512 คำแห่งจะถูกจัดไว้เป็นส่วนของหน่วยความจำภายใน SRAM สำหรับการเข้าถึงข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 5 ส่วนคือ Direct, Indirect with Displacement, Indirect with Pre-Decrement และ Indirect with Post-Increment ดังแสดงโครงสร้างของหน่วยความจำไว้ในรูปที่ 2.24

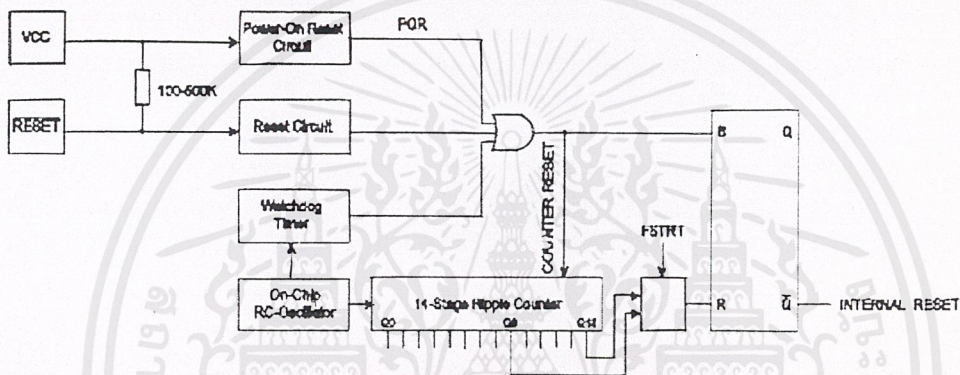


รูปที่ 2.24 บล็อกไดอะแกรมของหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การรีเซ็ตและการอินเทอร์รัปต์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT90S8535 มีระบบการตอบสนองสัญญาณอินเทอร์รัปต์จาก 16 แหล่งสัญญาณ โดยได้แยกอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์ของแต่ละอินเทอร์รัปต์ออกจากกัน ในการควบคุมการตอบสนองของอินเทอร์รัปต์แต่ละแหล่งสามารถแยกการควบคุมได้จากบิตอีนามิลของอินเทอร์รัปต์ทั้งหมดโดยตำแหน่งแรก ๆ ในหน่วยความจำโปรแกรมจะเป็นตำแหน่งที่ถูกใช้เป็นพื้นที่ของอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์ โดยเริ่มจากอินเทอร์รัปต์ที่มีระดับความสำคัญสูงสุด คือ รีเซ็ต จนถึงอินเทอร์รัปต์ที่มีระดับความสำคัญต่ำสุด รูปที่ 2.25 แสดงโครงสร้างของวงจรรีเซ็ต



รูปที่ 2.25 โครงสร้างของวงจรรีเซ็ต

สัญญาณรีเซ็ต ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT90S8535 มีสัญญาณรีเซ็ต 3 แหล่ง คือ

1. POWER ON RESET ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรีเซ็ตอัตโนมัติเมื่อมีการจ่ายไฟให้กับขา Vcc และ GND
2. EXTERNAL RESET ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรีเซ็ตเมื่อมีสัญญาณลอจิก LOW เข้ามาที่ขา รีเซ็ต เป็นระยะเวลามากกว่า 2 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาจากคริสตอล
3. WATCHDOG RESET ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรีเซ็ตเมื่อถึงครบเวลาของวอตช์ดีด็อก

ในระหว่างที่เกิดการรีเซ็ต รีจิสเตอร์ทั้งหมดจะถูกกำหนดให้อยู่ที่ค่าเริ่มต้นและโปรแกรมจะเริ่มทำงานที่ตำแหน่ง \$0000 โดยคำสั่งที่ตำแหน่ง \$0000 จะต้องเป็นคำสั่ง RJMP แต่ถ้าโปรแกรมไม่มีการกำหนดให้มีการใช้อินเทอร์รัปต์พื้นที่ส่วนที่เป็นอินเทอร์รัปต์เวกเตอร์จะถูกใช้เป็นพื้นที่ของโปรแกรม

### Power On Reset

วงจรของ Power On Reset (POR) ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้แน่ใจว่า MCU จะไม่ทำงานถ้าระดับของแรงดันไฟเลี้ยงวงจรยังไม่ถึงระดับที่จะทำให้ระบบการทำงานภายในของ MCU ทำงานได้อย่างถูกต้อง ถ้าต้องการใช้ระบบ Power On Reset ภายใน MCU จะต้องต่อขารีเซ็ต เข้ากับ Vcc หรือ ต่อผ่านความต้านทานพูลอัพค่าประมาณ 100 กิโลโอห์ม ถึง 500 กิโลโอห์ม

### External Reset

การรีเซ็ตจากภายนอกจะเกิดขึ้นโดยการให้ลอจิก LOW ที่ขา RESET อย่างน้อย 2 คาบ เวลาของสัญญาณนาฬิกา ซึ่งเมื่อสัญญาณที่ขอบขาขึ้นของขารีเซ็ตขึ้นถึงระดับแรงดันขีดโวลต์ (Threshold Voltage) จะทำให้วงจรหน่วงเวลา (Time Delay) เริ่มทำงาน ซึ่ง CPU จะถูกรีเซ็ต เมื่อคาบเวลาของ Timer Delay มากกว่าคาบเวลา Time-Out

### Watchdog Reset

เมื่อ WTD TIME-OUT เริ่มกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่มีคาบเวลาเท่ากับคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา โดยในช่วงขอบขาของพัลส์จะทำให้ระบบการหน่วงเวลาเริ่มทำงานจนหมดช่วงเวลาของ TIME-OUT จึงจะทำให้ CPU รีเซ็ต

### การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ AT90S85355 มีระบบการสื่อสารแบบอนุกรม 2 แบบ คือ Serial Peripheral Interface (SPI) ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารที่ใช้การสื่อสารแบบซิงโครนัส และอีกระบบหนึ่งคือระบบ Asynchronous Receiver and Transmitter (UART) ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารที่ใช้การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส ดังแสดงโครงสร้างของ SPI ไว้ใน **Serial Peripheral Interface (SPI)** เป็นการอินเตอร์เฟสสัญญาณแบบอนุกรมมีคุณลักษณะดังนี้คือ

# เป็นการสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ที่ใช้สายสัญญาณ 3 เส้น ในการส่งถ่ายข้อมูล

# สามารถทำงานเป็นได้ทั้งตัวส่งข้อมูลและตัวรับข้อมูล

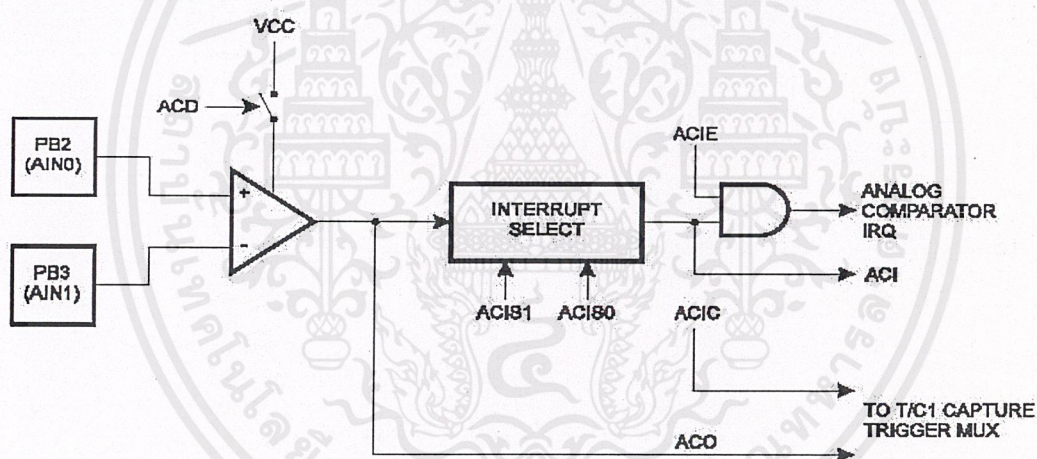
# สามารถเลือกได้ว่าจะให้ส่งบิต MSB หรือ LSB ออกก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## การเปรียบเทียบสัญญาณอะนาล็อก

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณอะนาล็อกที่มีใน AT90S8535 จะทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณอะนาล็อกที่ขา PB2 (AIN0) และขา PB3 (AIN1) (ระดับสัญญาณไม่เกิน 5 โวลต์) โดยขา PB2 (AIN0) ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณบวก(+) ของวงจรเปรียบเทียบ และขา PB3 (AIN1) ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณลบ(-)ของวงจรเปรียบเทียบ เมื่อระดับสัญญาณที่ขา PB2 (AIN0) มีค่ามากกว่าระดับสัญญาณที่ขา PB3 (AIN1) จะทำให้เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบมีระดับลอจิก High ซึ่งจะทำให้บิต ACO เซตเป็น "1" ซึ่งสัญญาณจากบิต ACO จะถูกนำไปใช้เป็นอินพุตของชุด Input Capture Function ของ Timer/Counter1 สัญญาณที่ออกมาจากเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ จะถูกนำไปเป็นสัญญาณกำเนิดอินเตอร์รัปต์ ซึ่งจะเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อสัญญาณที่ขา PB2(AIN0) มีค่ามากกว่าสัญญาณที่ขา PB3 (AIN1) ในรูปที่ 2.27 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณอะนาล็อก



รูปที่ 2.27 บล็อกไดอะแกรมของการเปรียบเทียบสัญญาณอะนาล็อก

## การแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล

ในส่วนของวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัลนั้นมีคุณสมบัติเด่นดังต่อไปนี้

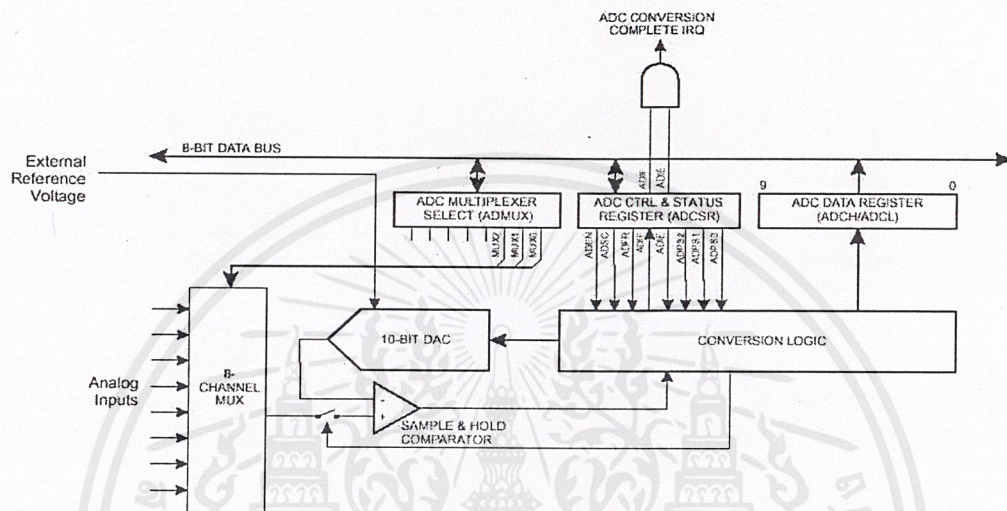
- # ความละเอียดขนาด 10 บิต
- # ความถูกต้อง +/- 1/2 LSB
- # ค่าเวลาการแปลงสัญญาณ 65-260 ไมโครวินาที
- # เซนเนลอินพุตเป็นแบบมัลติเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# มีโหมดการแปลงสัญญาณแบบซิงเกิลหรือรันนิงโหมด

# มีการอินเตอร์รัปต์บนวงจรแปลงอย่างสมบูรณ์

# ตัดสัญญาณรบกวนเมื่อเข้าสู่โหมด sleep mode



รูปที่ 2.28 บล็อกไดอะแกรมของวงจรแปลงสัญญาณ ADC

ในรูปที่ 2.28 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรแปลงสัญญาณ ADC ซึ่ง AT90A8535 ได้จัดให้มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิตจำนวน 8 แชนเนล ซึ่งแต่ละแชนเนลจะรับสัญญาณเข้ามาทางขาของพอร์ต A ในแต่ละขาโดยในระบบจะมีวงจรแซมเปิลและโฮลด์เพื่อช่วยให้สัญญาณอะนาลอกที่รับเข้ามาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลมีระดับสัญญาณคงที่ โดยวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลนี้จะมีแหล่งจ่ายไฟและกราวด์แยกกันต่างหากจากแหล่งจ่ายไฟของระบบดิจิทัล ซึ่งในการใช้งานจริงไม่ควรให้ความแตกต่างกันเกิน  $\pm 0.3$  โวลต์ ซึ่งในการใช้งานจะต้องจ่ายแรงดันไฟอ้างอิงและกราวด์ที่ขา AREF ในช่วงของระดับแรงดัน  $V_{CC}-AGND$

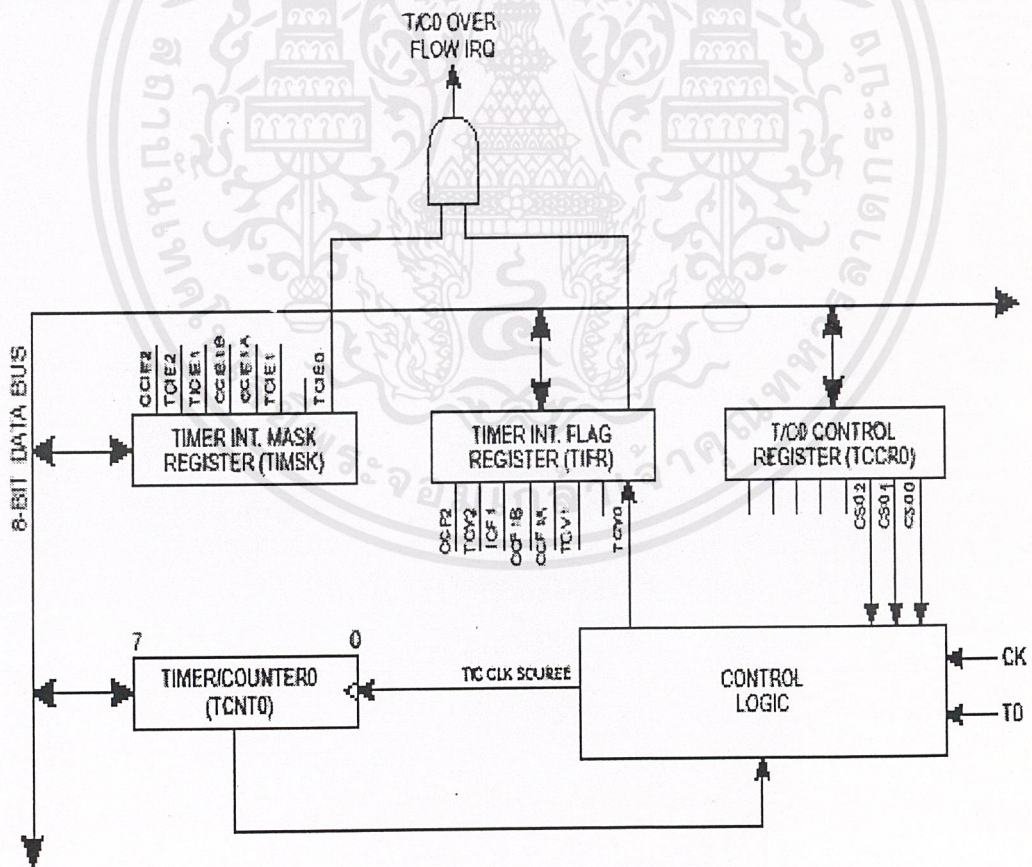
การทำงานในส่วนของการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลสามารถทำงานได้ 2 โหมดคือ Single Conversion Mode และ 3 Free Running Mode โดยการทำงานแบบ single conversion mode ผู้ใช้ต้องเป็นผู้กำหนดการใช้งานขึ้นเอง แต่ในส่วนของ free running mode วงจรแปลงสัญญาณ ADC จะเป็นตัวจัดการอ่านข้อมูลและเก็บในดาต้ารีจิสเตอร์ ADC ซึ่งบิต ADFR ในรีจิสเตอร์ ADCSR จะเป็นบิตที่ใช้เลือกโหมดการใช้งานของวงจรแปลง ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์

ภายใน AT90S8535 จัดให้มีวงจรไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 3 ชุด โดยจัดเป็นไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ ขนาด 8 บิต 2 ชุดและไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ ขนาด 16 บิต 1 ชุด โดยไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 สามารถรับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกได้ ซึ่งเป็นส่วนเพิ่มเติมที่จะไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 มาทำเป็น RTC โดยใช้คริสตอลที่มีค่าความถี่เท่ากับ 32.768 กิโลเฮิร์ตซ์ มาเป็นฐานเวลา ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 จะใช้วงจรปริสเกลขนาด 10 บิต ร่วมกันส่วนไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 นั้นจะใช้วงจรปริสเกลแยกออกต่างหาก ในรูปที่ 2.29 รูปที่ 2.30 และ รูปที่ 2.31 แสดงบล็อกไดอะแกรมของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 0, 1 และ ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ตามลำดับ

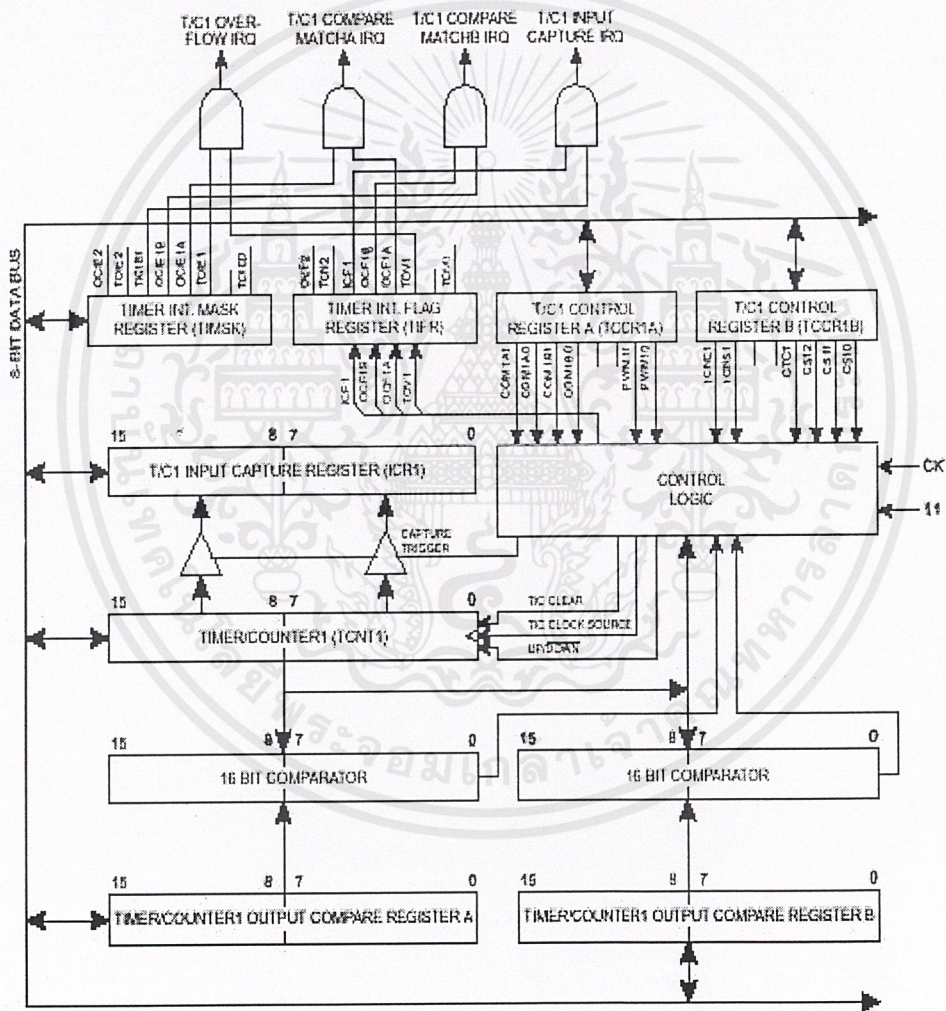
ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 0 จะมีขนาด 8 บิต ซึ่งสามารถเลือกสัญญาณนาฬิกาได้จาก CK (สัญญาณนาฬิกาของระบบ) หรือสัญญาณนาฬิกาของระบบที่ถูกหาร (Prescaling) หรือ สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก



รูปที่ 2.29 โครงสร้างของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 0

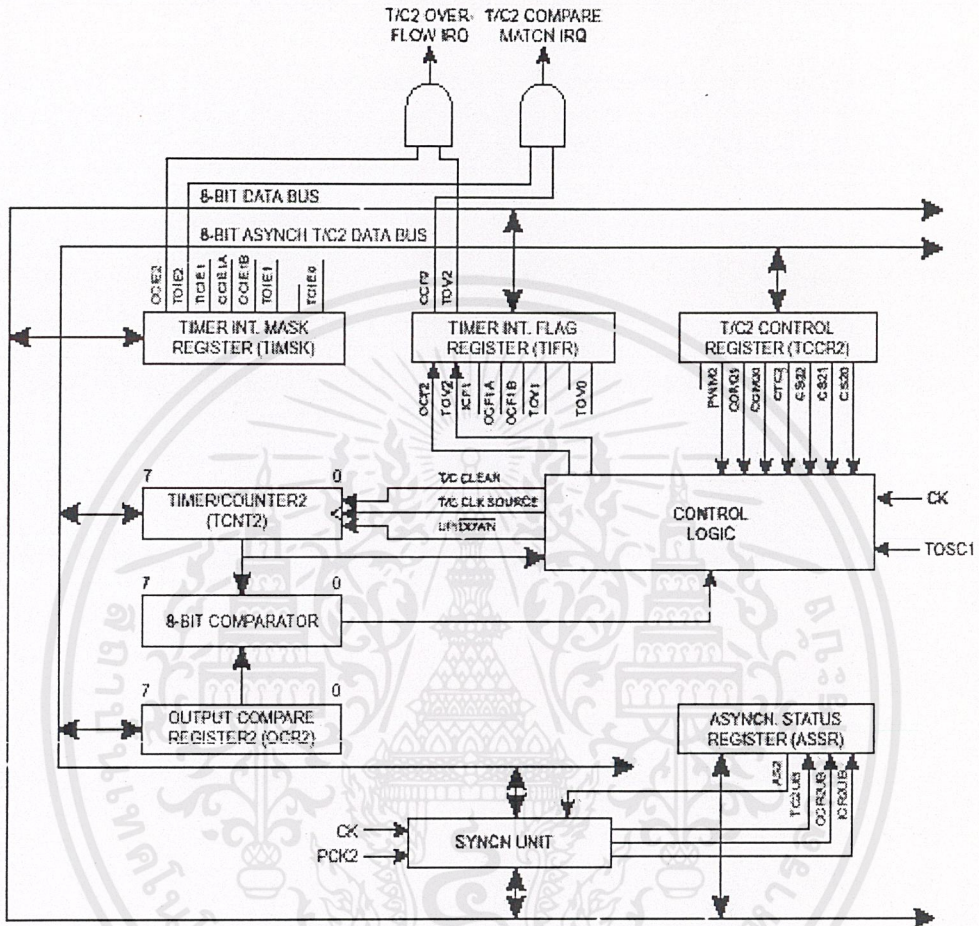
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 จะมีขนาด 16 บิตโดยสามารถเลือกสัญญาณนาฬิกาได้จาก CK หรือ สัญญาณที่ได้รับกรหารจาก CK(Prescelling) ส่วนการใช้งานไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 ในโหมด PWM นั้นจะสามารถเลือกใช้งานได้ขนาด 8, 9 หรือ 10 บิต โดยเอาต์พุตที่ได้จะออกมาที่ขา PD5 (OC1A) และขา PD(OC1B) ซึ่งลักษณะการทำงานนั้นจะนับขึ้นและนับลง โดยจะนับขึ้นจาก 000 ถึงค่าสูงสุด และจะนับจากค่าสูงสุดลงมาที่ 000 แล้วจึงนับขึ้นอีกครั้งเมื่อค่าในไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 เท่ากับค่าในรีจิสเตอร์ OCR1A หรือ OCR1B จะทำให้ขา PD5 (OC1A) / PD1 (OC1B) เปลี่ยนแปลงตามที่กำหนดในบิต COM1A1/COM1A0 หรือ COM1B1/COM1B0



รูปที่ 2.30 โครงสร้างของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1

ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 มีขนาด 8 บิต ที่มีส่วนของ input capture, output compare match และ PWM เหมือนกับไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 1 แต่เพิ่มส่วนของการทำงานแบบซิงโครนัสเคาน์เตอร์เข้ามา



รูปที่ 2.31 โครงสร้างของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2

ยังไม่หมดเพียงเท่านี้สำหรับรายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT90S8535 ตระกูลใหม่นี้ เพราะความมีข้อดีหลายประการของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอื่นรวมอยู่ในตัว บวกกับข้อดีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาของตัวไอซีเอง ทำให้อดใจไม่อยู่เสียแล้วที่นักออกแบบพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องรีบหามาทดลองเล่นดูให้กระจ่างว่าขนาดไหน

## บทที่ 3

### การดำเนินการและการวิจัย

#### 3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 การแทรกสอดแบบเซลฟ์มิกซิง ( Self-mixing Interference )

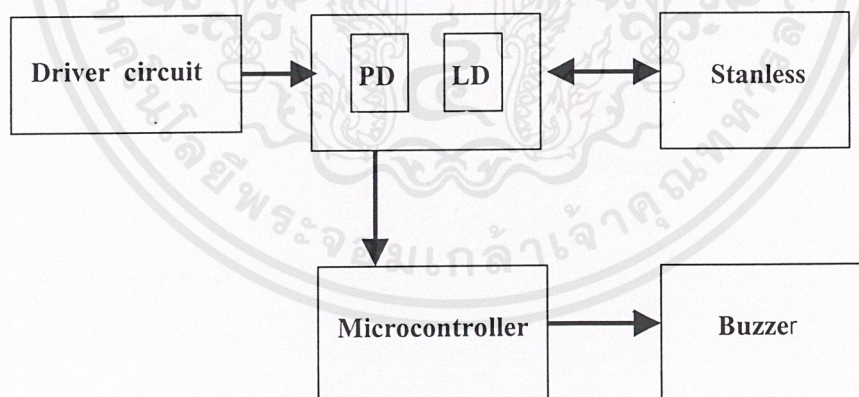
3.1.2 ทฤษฎีและคุณสมบัติของเลเซอร์ไดโอด(Laserdiode )และโฟโตไดโอด(Photodiode )

3.1.3 ศึกษาการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ( Microcontroller ) , การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ( Analog to Digital Converter ) และการใช้ชิพ AT90S8535

3.1.4 โปรแกรมที่ใช้ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งในที่นี้จะใช้ภาษาซีเขียน

3.1.5 วงจรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ วงจรขับกระแสให้เลเซอร์ไดโอด และวงจรในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในภาคแสดงผล

#### 3.2 วางขอบเขตความสามารถของระบบ โดยจะมีบล็อกไดอะแกรมการทำงาน ดังนี้



รูปที่ 3.1 Block Diagram การทำงานของอุปกรณ์

จากรูป 3.1 จะเป็นการแสดงการทำงานของอุปกรณ์ในโครงการพิเศษนี้ซึ่งก็คือ วงจรขับจะขับกระแส ( Driver Circuit ) ให้กับเลเซอร์ไดโอด ( LD ) ที่อยู่ในเลเซอร์ไดโอดแพ็คเกจให้ปล่อยแสงที่มีกำลังตามที่ต้องการคือ 3 mW. ไปยังวัตถุทดสอบในโครงการนี้จะใช้สแตนเลส ( Stanless ) ขัดมันเนื่องจากการสะท้อนที่ดี จากนั้นเมื่อแสงไปตกบนสแตนเลสก็จะเกิดการสะท้อนกลับมายังแนวเดิมทำให้เกิดการแทรกสอดกันภายในควาวิตีของเลเซอร์ไดโอดแพ็คเกจแล้วโฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( PD ) ก็ตรวจจับสัญญาณที่แทรกสอดกันแล้วส่งสัญญาณไปยังส่วน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ( Microcontroller ) ซึ่งใช้ชิพ AT90S8535 ก็จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณ แอนาลอกเป็นสัญญาณ ดิจิตอลแล้วก็จะส่งเข้าไปส่วนประมวลผลที่ควบคุมด้วย โปรแกรมแล้วส่งต่อไปยังส่วนแสดงผล ก็คือบัสเซอร์ ( Buzzer ) แสดงออกมาเป็นสัญญาณเสียง

### 3.3 ทำการต่อวงจรที่เกี่ยวข้องซึ่งประกอบด้วย

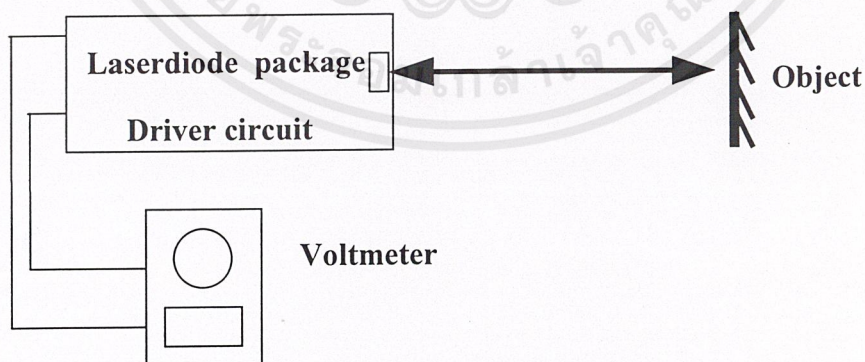
3.3.1 วงจรขับกระแสให้เลเซอร์ไดโอดซึ่งในส่วนของวงจรมีหน้าที่ขยาย กระแสให้กับ เลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้กำลังของเลเซอร์ไดโอดตามต้องการ ในเลเซอร์ไดโอดที่ใช้ในโครงการ นี้มีกำลัง 10 mW. อยู่ในย่านความยาวคลื่น 635 nm. ( เลเซอร์สีแดง )

3.3.2 วงจรในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการประมวลผลโดยใช้ชิพ AT90S8535 และแสดงผลเป็นสัญญาณเสียงจากบัสเซอร์ ( Buzzer ) โดยจะรับสัญญาณจาก โฟโตไดโอด ( Photodiode )

3.4 ทำการต่อวงจรขับกระแสให้กับเลเซอร์ที่อยู่ในเลเซอร์ไดโอดแพ็คเกจ ( Laserdiode Package ) ซึ่งก็คือเลเซอร์ไดโอด ( Laserdiode ) ร่วมกับโฟโตไดโอด ( Photodiode ) แล้วทำการปรับ กระแสให้ได้กำลังของเลเซอร์ตามต้องการแล้วทำการทดลองกับวัตถุที่กำหนด

### 3.5 ทำการทดลองดังนี้

#### 3.5.1 จัดวางอุปกรณ์ ดังรูป



รูปที่ 3.2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์

3.5.2 ยิงเลเซอร์ออกไปยังวัตถุที่กำหนด โดยในการจัดวางวัตถุต้องให้ตั้งฉากกับแนวลำแสง เพื่อให้แสงสะท้อนกลับเข้ามาในเลเซอร์แพ็คเกจ

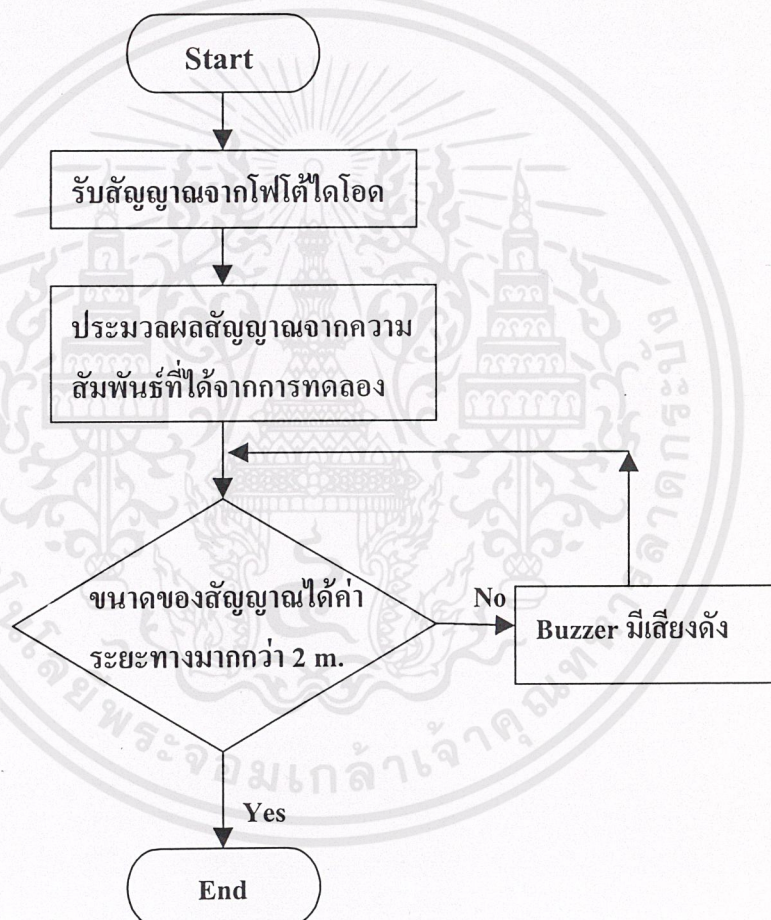
3.5.3 เลื่อนวัตถุให้ติดกับเลเซอร์ (0cm.) และอ่านค่าความต่างศักย์แล้วบันทึกค่า ทำเช่นนี้โดย เพิ่มระยะวัตถุไปที่ละ 0.5 cm. จนถึงที่ระยะ 48 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองก็คือค่าระยะทางและค่าความต่างศักย์ที่อ่านได้ ณ ตำแหน่งนั้นๆ มาทำการพล็อตกราฟโดยให้ระยะทางอยู่บนแกน x และค่าความต่างศักย์อยู่บนแกน y

3.5.5 จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับความต่างศักย์เพื่อที่จะนำไปใช้ในส่วนประมวลผลต่อไป

3.6 ทำการเขียนโปรแกรมโดยนำความสัมพันธ์จากการทดลองข้างต้นมาใช้ในส่วนประมวลผล โดยจะมีแผนผังลำดับการทำงาน ดังนี้



รูปที่ 3.3 แผนผังลำดับการทำงานของอุปกรณ์

3.7 นำส่วนที่เป็นภาคขับเคลื่อนของเลเซอร์ไดโอดแพ็คเกจ ( Laserdiode Package ) ที่มี โฟโตไดโอด ( Photodiode ) เป็นตัวรับสัญญาณที่ได้จากการแทรกสอดแบบเซล์ฟมิกซิง ( Self-mixing Interference ) มาต่อเข้ากับวงจรในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ ( Microcontroller ) ซึ่งจะทำให้การประมวลผลสัญญาณออกเป็นเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.8 ทดลองวงจรทั้งหมดจากข้างต้นกับวัตถุที่กำหนดไว้โดยดูผลที่ได้ว่าที่เงื่อนไขของระยะทางที่กำหนดไว้นั้นก็คือเมื่อเลเซอร์เข้าใกล้วัตถุภายในระยะ 2 m. แล้วมีเสียงดังเกิดขึ้นหรือไม่ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าชิ้นงานนี้มีความผิดพลาดมากน้อยเพียงใด
- 3.9 ทำการสรุปผลและปัญหาที่ได้จากการทำโครงการพิเศษนี้ และเสนอแนะแนวทางการพัฒนาปรับปรุงชิ้นงานให้ดียิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดสอบอุปกรณ์

ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดสอบอุปกรณ์ทั้งในส่วนที่เป็นวงจรขับเคลื่อนให้เลเซอร์ไดโอดและส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ประมวลผลและแสดงผลที่เลือกใช้ชิพ AT90S8535

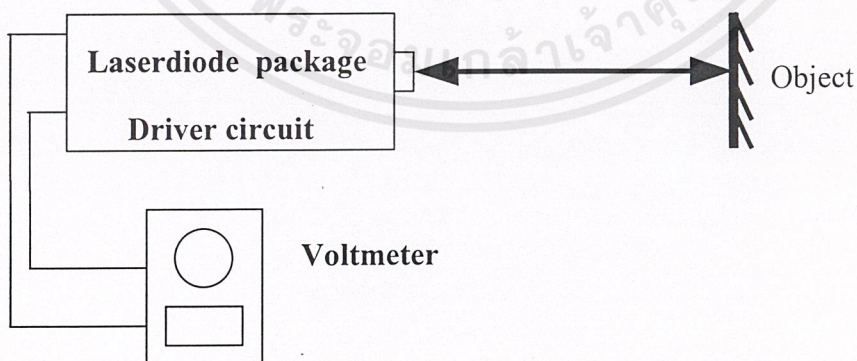
#### 4.1 ผลการทดสอบวงจรขับเคลื่อนให้เลเซอร์ไดโอด

##### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. วงจรขับที่ต่อไว้แล้ว
2. เลเซอร์ไดโอดแพ็คเกจ HL8320G ( ย่านสีแดง 635 nm. )
3. ชุดอุปกรณ์ทดสอบ
4. วัตถุทดสอบ คือ สแตนเลส
5. ดิจิตอลมิเตอร์

##### วิธีการทดสอบ

1. จัดวางอุปกรณ์ ดังรูป



รูปที่ 4.1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์

2. ยิงเลเซอร์ออกไปยังวัตถุที่กำหนด โดยในการจัดวางวัตถุต้องให้ตั้งฉากกับแนวลำแสงเพื่อให้แสงสะท้อนกลับเข้ามาในเลเซอร์แพ็คเกจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลื่อนวัตถุให้ติดกับเลเซอร์(0cm.) และอ่านค่าความต่างศักย์( $V_{out}$ ) แล้วบันทึกค่า ทำเช่นนี้ โดยเพิ่มระยะวัตถุ (d) ไปทีละ 0.5 cm. จนถึงระยะ 48 cm.
4. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองก็คือค่าระยะทางและค่าความต่างศักย์ที่อ่านได้ ณ ตำแหน่งนั้นๆ มาทำการพล็อตกราฟโดยให้ระยะทางอยู่บนแกน x และค่าความต่างศักย์อยู่บนแกน y
5. จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับความต่างศักย์เพื่อที่จะนำไปใช้ในส่วนของประมวลผลต่อไป

### ผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบอุปกรณ์ที่ระยะทางต่างๆ

d(mm.)	$V_{out1}$ (V.)	$V_{out2}$ (V.)	$V_{out3}$ (V.)	$(V_{out})_{av}$ (V.)
0	4.635	4.632	4.637	4.635
5	4.601	4.601	4.601	4.601
10	4.524	4.524	4.522	4.523
15	4.428	4.423	4.435	4.429
20	4.403	4.402	4.404	4.403
25	4.376	4.372	4.370	4.373
30	4.350	4.350	4.355	4.352
35	4.303	4.297	4.299	4.300
40	4.232	4.231	4.233	4.232
45	4.180	4.183	4.183	4.182
50	4.161	4.157	4.159	4.159
55	4.121	4.127	4.124	4.124
60	4.086	4.082	4.084	4.084
65	4.068	4.067	4.067	4.067
70	4.132	4.136	4.144	4.137
75	4.135	4.135	4.133	4.134
80	4.116	4.114	4.116	4.115
85	4.126	4.127	4.118	4.124
90	4.090	4.091	4.093	4.091
95	4.082	4.080	4.081	4.081

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100	4.062	4.071	4.072	4.068
105	4.059	4.070	4.054	4.061
110	4.033	4.029	4.027	4.030
115	4.013	4.024	4.017	4.018
120	4.021	4.015	4.024	4.020
125	4.009	4.030	4.027	4.022
130	4.014	4.017	4.027	4.019
135	4.010	4.008	4.011	4.010
140	3.991	3.995	3.997	3.994
145	3.979	3.980	3.984	3.981
150	3.983	3.987	3.981	3.984
155	3.948	3.946	3.948	3.947
160	3.938	3.933	3.933	3.935
165	3.915	3.919	3.917	3.917
170	3.907	3.900	3.901	3.903
175	3.886	3.884	3.879	3.883
180	3.854	3.850	3.849	3.851
185	3.838	3.836	3.836	3.837
190	3.814	3.811	3.814	3.813
195	3.796	3.802	3.803	3.800
200	3.851	3.842	3.842	3.845
205	3.849	3.844	3.852	3.848
210	3.8	3.797	3.801	3.799
215	3.787	3.783	3.781	3.784
220	3.735	3.752	3.748	3.745
225	3.702	3.708	3.706	3.705
230	3.663	3.663	3.656	3.661
235	3.632	3.629	3.637	3.633
240	3.593	3.592	3.593	3.593
245	3.573	3.573	3.569	3.572
250	3.530	3.532	3.535	3.532
255	3.519	3.520	3.522	3.520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

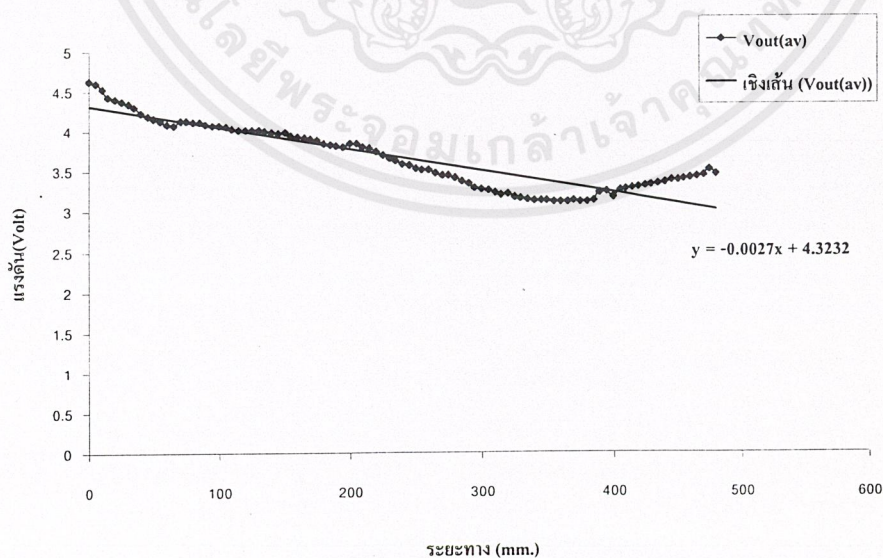
260	3.516	3.509	3.518	3.514
265	3.473	3.480	3.474	3.476
270	3.456	3.446	3.456	3.453
275	3.455	3.451	3.451	3.452
280	3.418	3.419	3.414	3.417
285	3.386	3.379	3.375	3.380
290	3.344	3.342	3.349	3.345
295	3.294	3.295	3.296	3.295
300	3.274	3.276	3.278	3.276
305	3.269	3.254	3.259	3.261
310	3.244	3.239	3.239	3.241
315	3.208	3.208	3.209	3.208
320	3.215	3.213	3.210	3.213
325	3.184	3.182	3.182	3.183
330	3.160	3.160	3.158	3.159
335	3.142	3.146	3.143	3.144
340	3.138	3.136	3.137	3.137
345	3.132	3.138	3.130	3.133
350	3.134	3.134	3.123	3.130
355	3.118	3.115	3.117	3.117
360	3.120	3.127	3.124	3.124
365	3.110	3.119	3.117	3.115
370	3.129	3.139	3.126	3.131
375	3.122	3.120	3.121	3.121
380	3.130	3.121	3.126	3.126
385	3.127	3.132	3.126	3.128
390	3.222	3.228	3.230	3.227
395	3.247	3.236	3.240	3.241
400	3.255	3.254	3.000	3.170
405	3.274	3.257	3.257	3.263
410	3.280	3.281	3.278	3.280
415	3.290	3.297	3.280	3.289

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

420	3.300	3.307	3.301	3.303
425	3.305	3.315	3.330	3.317
430	3.339	3.336	3.340	3.338
435	3.357	3.336	3.340	3.344
440	3.381	3.350	3.370	3.367
445	3.388	3.386	3.390	3.388
450	3.379	3.381	3.392	3.384
455	3.401	3.404	3.400	3.402
460	3.412	3.416	3.410	3.413
465	3.428	3.421	3.450	3.433
470	3.449	3.446	3.460	3.452
475	3.466	3.460	3.610	3.512
480	3.453	3.456	3.463	3.457

และจากข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองเราสามารถนำมาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางระหว่างเลเซอร์ถึงวัตถุที่ทดสอบกับค่าแรงดันที่ PD ( สัญญาณเอาท์พุทของการแทรกสอดแบบเซลล์พิกซิ่ง ) ซึ่งได้ผลดังกราฟข้างล่างนี้

รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับค่าแรงดัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะให้ความสัมพันธ์กันเป็นแบบเชิงเส้น ดังสมการ

$$y = -0.0027x + 4.3232$$

ซึ่งสมการนี้มีความเฉพาะสำหรับโลหะแต่ละชนิดเนื่องจากคุณสมบัติพื้นผิวที่แตกต่างกัน เช่น ค่าการสะท้อนของโลหะชนิดนั้นๆ ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้เองทำให้เราทราบแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงระยะทางว่ามีผลอย่างไรกับค่าแรงดันที่ PD นั่นก็คือเมื่อเรานำข้อมูลจากสมการนี้มาวิเคราะห์จะได้ว่าเมื่อค่าระยะทางเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ค่าแรงดันก็จะลดลงหรือกล่าวคือค่าแรงดันแปรผกผันกับค่าระยะทางระหว่างเลเซอร์กับวัตถุทดสอบ และเราจะสามารถวัดค่าแรงดันนี้ได้ถึงที่ระยะทางค่าหนึ่งแล้วก็จะไม่สามารถวัดได้อีก จากข้อมูลข้างต้นนี้เราสามารถทำนายได้ว่าเราจะสามารถวัดค่าแรงดันได้ไกลสุดที่ระยะประมาณ 1601.185 mm. หรือประมาณ 1.6 m.

#### 4.2 ผลการทดสอบวงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

ในผลการทดลองนี้เป็นการจำลองสัญญาณให้ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยทดสอบเพื่อดูการทำงานของส่วนนี้ว่าค่าที่วัดได้จริงมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่กำหนดไว้มากน้อยเพียงใด

##### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. วงจรในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต่อไว้
2. คอมพิวเตอร์
3. ดิจิตอลมิเตอร์

##### วิธีการทดสอบ

1. กำหนดแรงดันที่ต้องการทดสอบ
2. คำนวณค่าแรงดันที่จะใช้ในการเขียนลงโปรแกรม จากสูตร

$$V = \frac{V_{in} - V_{GND}}{LSB}$$

เมื่อ 
$$LSB = \frac{V_{ref} - V_{GND}}{2^n} \text{ (Least Significant Bit) ;}$$

$n =$  จำนวนบิตของ A/D Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใส่ค่าที่คำนวณไว้ลงในโปรแกรมแล้วอัปเดตลงชีพ
4. ทำการปรับค่าความต้านทานที่ใช้แบ่งแรงดันจนกระทั่งได้ยินเสียงจากบัซเซอร์ ( Buzzer )
5. นำดิจิตอลมิเตอร์มาวัดค่าแรงดันที่เริ่มทำให้บัซเซอร์เสียงดัง แล้วบันทึกค่าลงตาราง
6. ทำเหมือนข้อ 5 อีก 2 ครั้ง
7. คำนวณค่าแรงดันเฉลี่ย แล้วคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

### ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ผลจากการทดสอบอุปกรณ์ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

$V_{in}$ ( Volt )	ค่าแรงดันที่วัดได้จริง ( V. )				ค่าความคลาด เคลื่อน ( % )
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
0.5	0.48	0.46	0.48	0.473	5.40
1.0	0.96	0.96	0.97	0.963	3.70
1.5	1.46	1.47	1.48	1.470	2.00
2.0	1.96	1.98	1.96	1.967	1.65
2.5	2.43	2.44	2.44	2.437	2.52
3.0	2.93	2.95	2.96	2.947	1.77
3.5	3.47	3.46	3.47	3.467	0.94
4.0	3.96	3.98	3.98	3.973	0.68
4.5	4.40	4.41	4.41	4.407	2.07

### วิจารณ์ผลการทดสอบ

จากผลการทดลองเราจะได้ทราบถึงค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าแรงดันที่วัดได้จริงจากอุปกรณ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันที่วัดได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดไว้แต่ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก็สามารถยอมรับได้เนื่องจากค่าแรงดันที่วัดได้นั้นมีค่าน้อยกว่าค่าแรงดันที่กำหนดซึ่งสัมพันธ์กับค่าระยะทางหรือกล่าวคือเสียงจะดังก่อนถึงระยะจริงเล็กน้อย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ในโครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาเทคนิคการวัดระยะทางของชิ้นงานกับสิ่งกีดขวางด้วยหลักการแทรกสอดแบบเซลล์ฟิสิกซ์ ( self-mixing ) โดยใช้เลเซอร์ไดโอดแคโทดเป็นแหล่งกำเนิดแสงและมีตัวรับแสงอยู่ในตัว จากนั้นนำสัญญาณเอาท์พุทจากโฟโตไดโอดในเลเซอร์ไดโอดแคโทดเกิดต่อเข้าส่วนประมวลผลซึ่งจะแสดงผลออกมาเป็นเสียง โดยได้ทำการทดลองดังแสดงในบทที่ 3 และผลการทดลองจะแสดงไว้ในบทที่ 4

จากการทดลองทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางระหว่างเลเซอร์ถึงวัตถุที่นำมาทดสอบกับค่าแรงดันที่ตกคร่อมโฟโตไดโอดหรือค่าสัญญาณเอาท์พุทที่เกิดจากการแทรกสอดแบบเซลล์ฟิสิกซ์ในควิตี้ของเลเซอร์ไดโอดแคโทดเกิด โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ซึ่งความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เราได้นั้นผลอาจจะไม่เป็นแบบเชิงเส้นจริง และเมื่อทำการทดลองเพิ่มจะพบว่า แนวโน้มของการเปลี่ยนระยะทางนั้นๆ ซึ่งมีผลต่อค่าแรงดันที่โฟโตไดโอดจะเป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งก็จะได้ว่าระยะทางมีค่าแปรผกผันกับค่าแรงดันที่โฟโตไดโอด และจากความสัมพันธ์นี้เองจึงนำมาใช้ในการหาระยะทางระหว่างเลเซอร์กับวัตถุทดสอบได้ และได้นำหลักการนี้มาประยุกต์ทำไม้เท้านำทางคนตาบอดโดยนำมาต่อเข้ากับส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลและแสดงผลออกมาด้วยเสียง ส่วนค่าผลการทดลองที่คลาดเคลื่อนนั้นมาจากปัจจัย ดังนี้ ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องทำการควบคุม ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้น โดยในการทดลองอุปกรณ์ครั้งนี้ ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ

## 5.2 ปัญหาที่พบ

- ในโครงการนี้เป็นการทำไม้เท้าเพื่อคนตาบอดแต่ในการทำวงจรจับกระแสให้กับเลเซอร์และวงจรในส่วนขงไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นส่วนประมวลผลและแสดงผลมีขนาดใหญ่จึงไม่สามารถทำลงในไม้เท้าจริงได้
- ในการทำการทดลองเราต้องพยายามตั้งวัตถุทดสอบให้ตรงกับแนวลำแสงของเลเซอร์ไดโอดที่ยังออกมาเพื่อจะให้แสงย้อนกลับเข้าไปในเลเซอร์ไดโอดเพื่ก่เกิดทำให้เกิดการแทรกสอดแบบเซล์ฟมิกซิ่งซึ่งเรานำสัญญาณในส่วนนี้มาประมวลผลต่อไป ซึ่งในการทดลองผลที่ได้ อาจเกิดการผิดพลาดได้เนื่องจากการจัดวางอุปกรณ์
- จากผลทดลองที่ได้ทำการวัดค่าแรงดันที่โฟโตไดโอดและค่าระยะทางระหว่างเลเซอร์ไดโอดกับวัตถุทดสอบตามในบทที่ 4 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มในการวัดค่าแรงดันเราจะสามารถวัดได้ที่ค่าระยะทางค่าหนึ่งก็จะไม่สามารถวัดได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าเลเซอร์ที่ใช้ถ้ากำลังค่าเดียว (3 mW.) ก็จะได้ระยะทางค่าหนึ่ง
- ในระหว่างทำการทดลองผู้ทดลองจะทดลองเลเซอร์ที่กำลังสูงกว่า 3 mW. จึงต้องปรับกระแสดำเนินการให้มากขึ้นแต่เนื่องจากความไม่ระวังของผู้ทดลองได้ปรับกระแสเกินสเปคของเลเซอร์จึงทำให้เลเซอร์พังจึงไม่สามารถทำการทดลองได้ต่อ
- และเนื่องจากเลเซอร์เสียก่อนที่จะได้นำวงจรในส่วนขงวงจรจับกระแสให้เลเซอร์มาต่อกับวงจรในส่วนขงไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นในการดำเนินการในส่วนขงไมโครคอนโทรลเลอร์จึงได้ใช้การจำลองสัญญาณเข้าไปเพื่อทดสอบวงจร โดยยังคงใช้แผนผังลำดับการทำงานเดิมโดยจำลองให้ที่ระยะ 2 m. จะได้ค่าแรงดันที่โฟโตไดโอด 3 V.

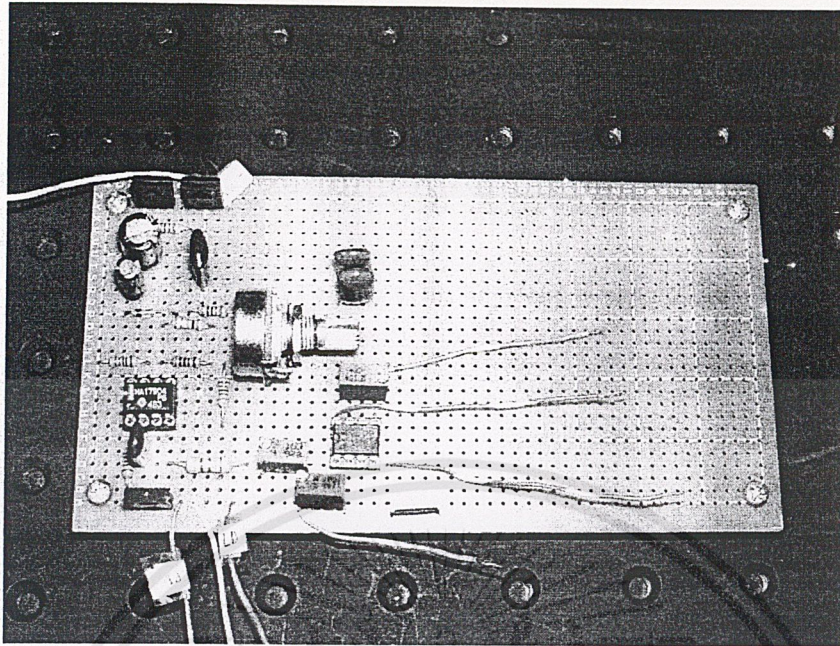
## 5.3 แนวทางการพัฒนา

- การทำชิ้นงานให้มีขนาดเล็กลง โดยการใช่วงจรจับกระแสให้เลเซอร์เป็นเซอร์เฟสเมาส์ดีไวส์
- พัฒนาโปรแกรม โดยให้ระยะห่างยังคงแล้วเสียงจะยังคงขึ้น หรือเปลี่ยนเป็นเสียงพูดแทนเสียงเตือนธรรมดา
- การพัฒนาเพื่อนำไปใช้งานวัดระยะทางในการทดลองทางวิทยาศาสตร์อื่นๆ ได้
- ทำการติดเลเซอร์แบบเป็นแผงเพื่อลดปัญหาในเรื่องการสะท้อนกลับของสัญญาณที่เข้ามาในตัวเลเซอร์เพื่อทำให้เกิดการแทรกสอดของสัญญาณในควิตี้ของเลเซอร์ไดโอดเพื่ก่เกิด

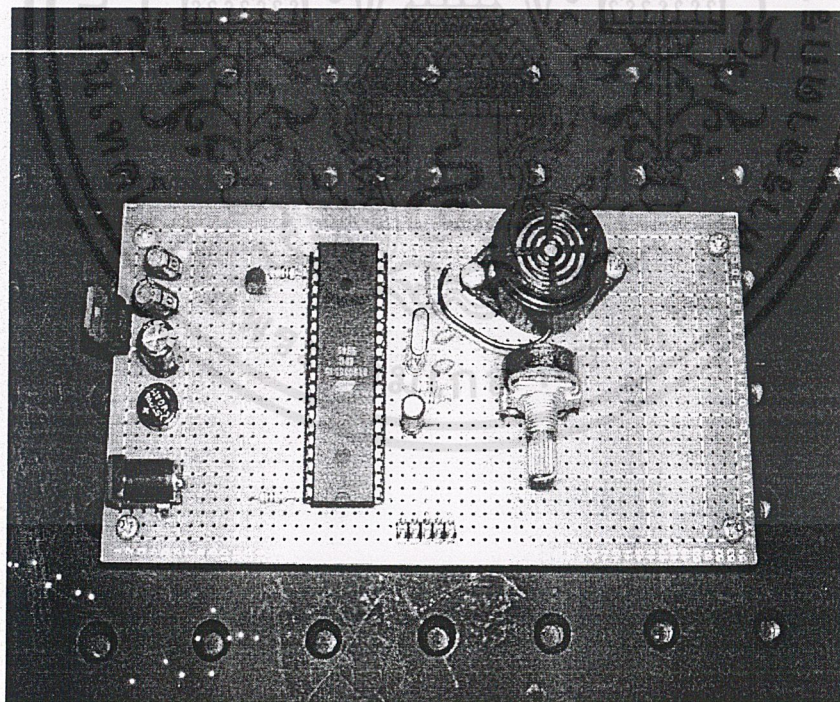
# ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

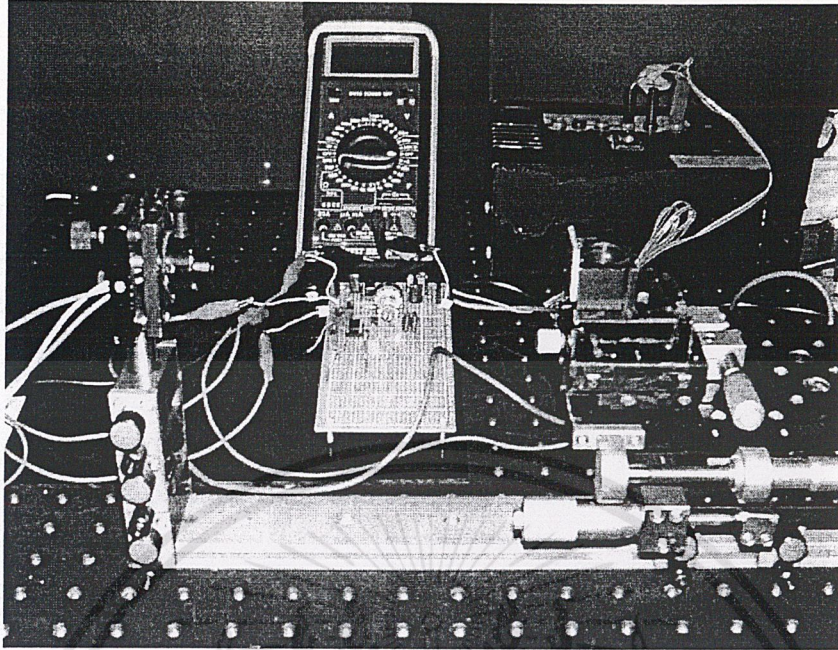


รูปวงจรขับกระแสไฟให้มอเตอร์ไดโอด

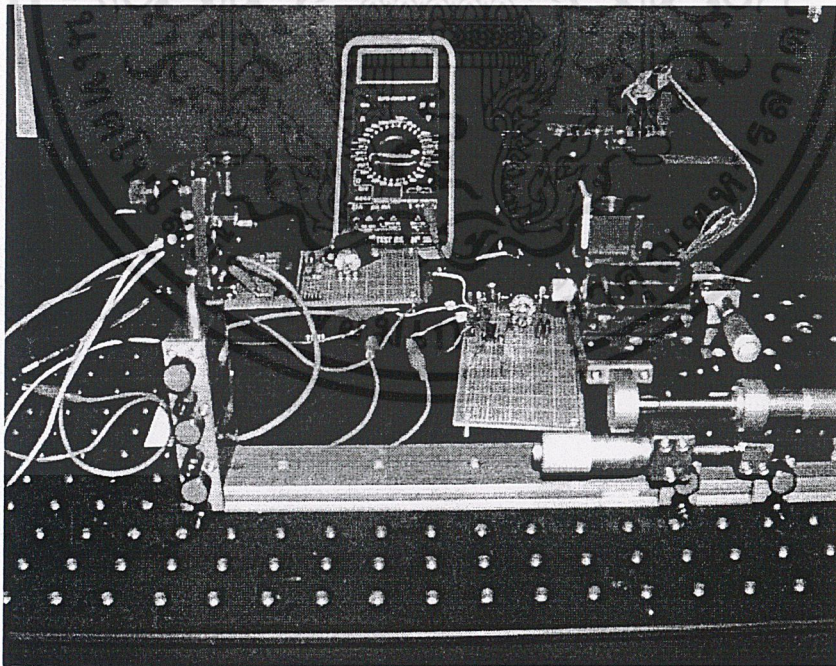


รูปวงจรในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

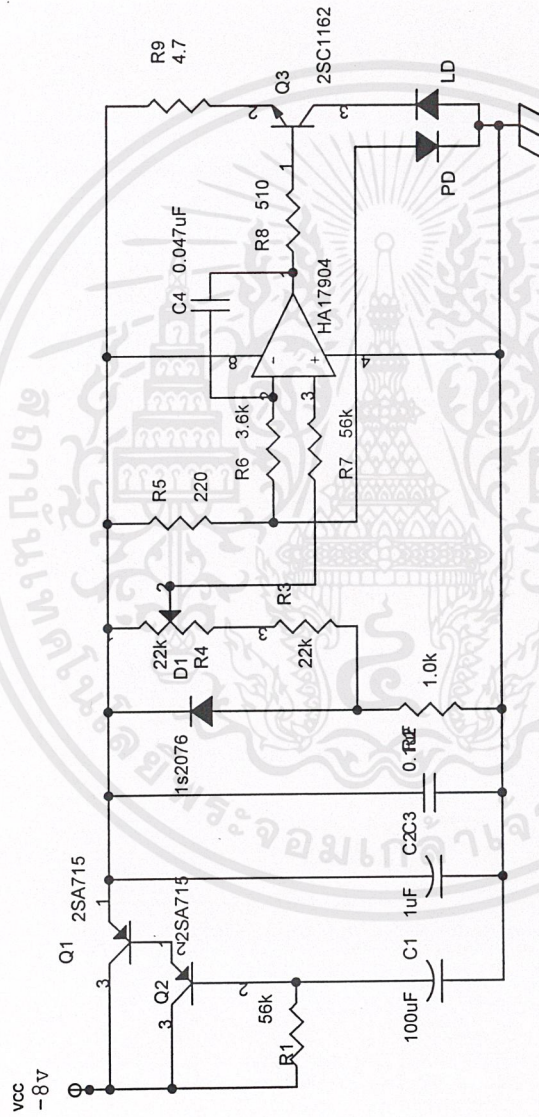


รูปแสดงการต่อวงจรขับเคลื่อนกับมอเตอร์ในการทำการทดลอง



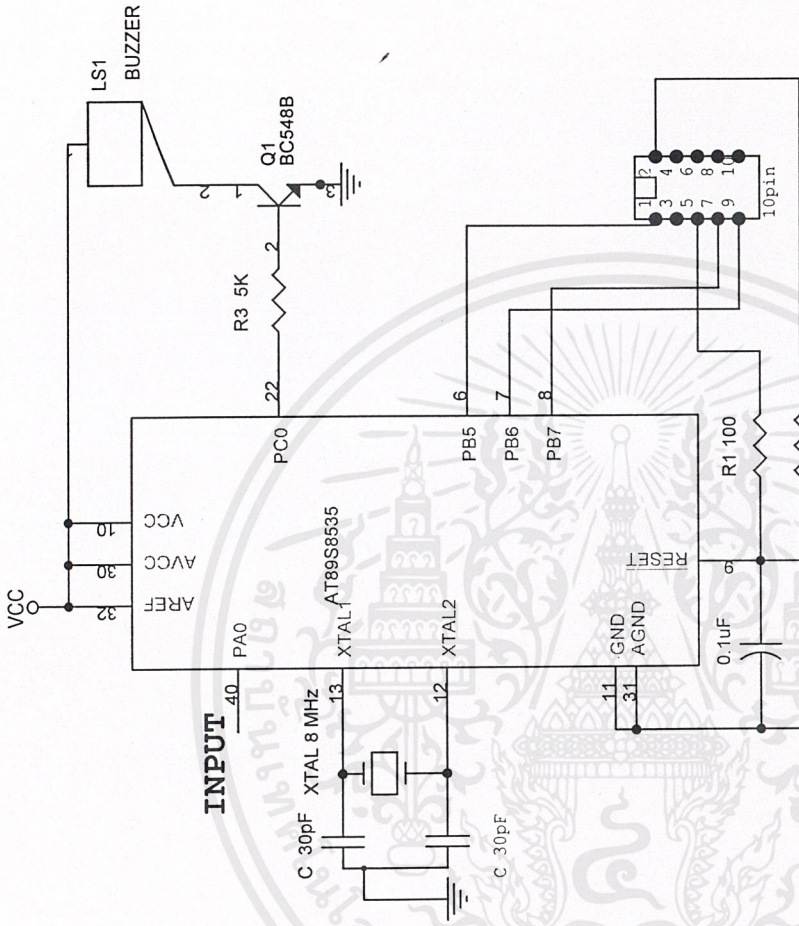
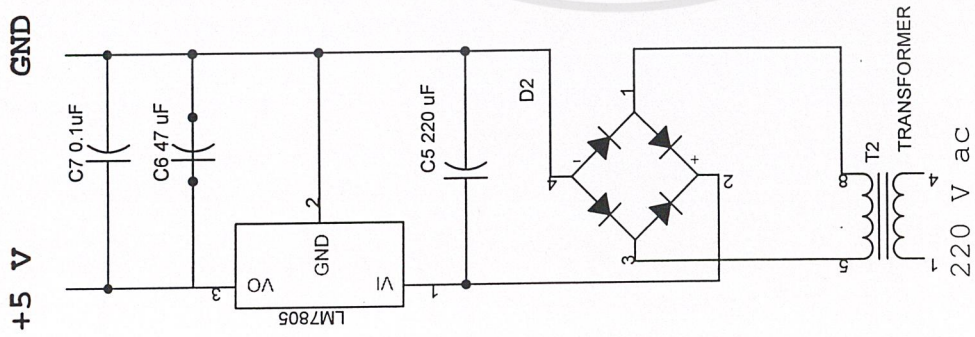
รูปแสดงการเชื่อมต่อวงจรขับเคลื่อนกับส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		LD Operating Circuit (APC)	
Size	Document Number	Rev	<RevCode>
A	<Doc>		
Date:	Wednesday, March 20, 2002	Sheet	1 of 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title	Microcontroller Part
Size	Document Number
Rev	<Rev Code>
Date:	Monday, February 25, 2002
Sheet	1 of 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

/\*\*\*\*\*\*  
/\*\*\*\*\*

This program was produced by the  
CodeWizardAVR V1.0.0.7 Standard  
Automatic Program Generator  
© Copyright 1998-2000 Pavel Haiduc

Project :

Version :

Author : Team Solitude

Company : Enjoy...

Comments:

Chip type : AT90LS8535  
Clock frequency : 8.000000 MHz  
Memory model : Small  
Internal RAM size: 512  
External RAM size: 0  
Data Stack size : 128

\*\*\*\*\*  
/\*\*\*\*\*

```
#include <90s8535.h>
```

```
sfrw ADCW=4;
```

```
// Read the ADC's conversion result
```

```
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
```

```
{
```

```
#ifdef BANDGAP
```

```
ADMUX=adc_input|0x40;
```

```
#else
```

```
ADMUX=adc_input;
```

```
#endif
```

```
ADCSR.6=1;
```

```
while (ADCSR.4==0);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ADCSR.4=1;
return ADCW;
}

void main(void)
{
int signal

// Input/Output Ports initialization
// Port A
DDRA=0x00;
PORTA=0x00;

// Port B
DDRB=0x00;
PORTB=0x00;

// Port C
DDRC=0x00;
PORTC=0x00;

// Port D
DDRD=0x00;
PORTD=0x00;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Output Compare
//.OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 1 Stopped
// Mode: Output Compare
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
```

```
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;
```

```
// Timer/Counter 2 initialization
```

```
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 2 Stopped
// Mode: Output Compare
// OC2 output: Disconnected
TCCR2=0x00;
ASSR=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;
```

```
// Analog Comparator initialization
```

```
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
```

```
// ADC initialization
```

```
// ADC Clock frequency: 4000.000 kHz
ADCSR=0x81;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

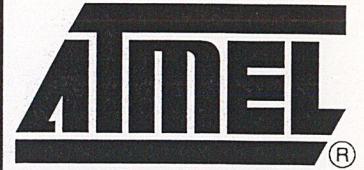
```
while (1)
{
    signal=read_adc(0);
    if(signal>=0x273){DDRC=0xff;PORTC=0xff;};
    if(signal<0x273){DDRC=0x00;PORTC=0x00;};
};
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Features

- AVR® - High-performance and Low-power RISC Architecture
  - 118 Powerful Instructions - Most Single Clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Up to 8 MIPS Throughput at 8 MHz
- Data and Nonvolatile Program Memories
  - 4K/8K Bytes of In-System Programmable Flash  
SPI Serial Interface for In-System Programming  
Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
  - 256/512 Bytes EEPROM  
Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
  - 256/512 Bytes Internal SRAM
  - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
  - 8-channel, 10-bit ADC
  - Programmable UART
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare and Capture Modes, and dual 8-, 9-, or 10-bit PWM
  - Programmable Watchdog Timer with On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
  - Power-on Reset Circuit
  - Real Time Clock (RTC) with Separate Oscillator and Counter Mode
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Three Sleep Modes: Idle, Power Save, and Power Down
- Power Consumption at 4 MHz, 3V, 20°C
  - Active: 6.4 mA
  - Idle Mode: 1.9 mA
  - Power Down Mode: <1 µA
- I/O and Packages
  - 32 Programmable I/O Lines
  - 40-pin PDIP, 44-pin PLCC and 44-pin TQFP
- Operating Voltages
  - V<sub>CC</sub>: 4.0 - 6.0V AT90S4434/AT90S8535
  - V<sub>CC</sub>: 2.7 - 6.0V AT90LS4434/AT90LS8535
- Speed Grades:
  - 0 - 8 MHz AT90S4434/AT90S8535
  - 0 - 4 MHz AT90LS4434/AT90LS8535

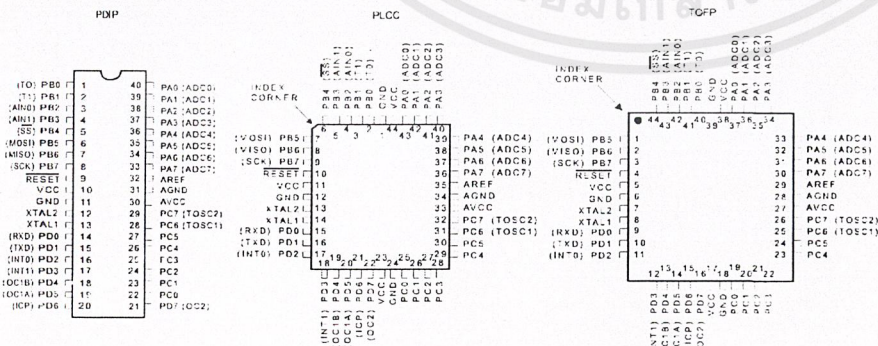


**8-bit AVR<sup>®</sup>**  
**Microcontroller**  
**with 4K/8K**  
**Bytes In-System**  
**Programmable**  
**Flash**

**AT90S4434**  
**AT90LS4434**  
**AT90S8535**  
**AT90LS8535**

**Preliminary**

## Pin Configurations



Rev. 1041E-04/99



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

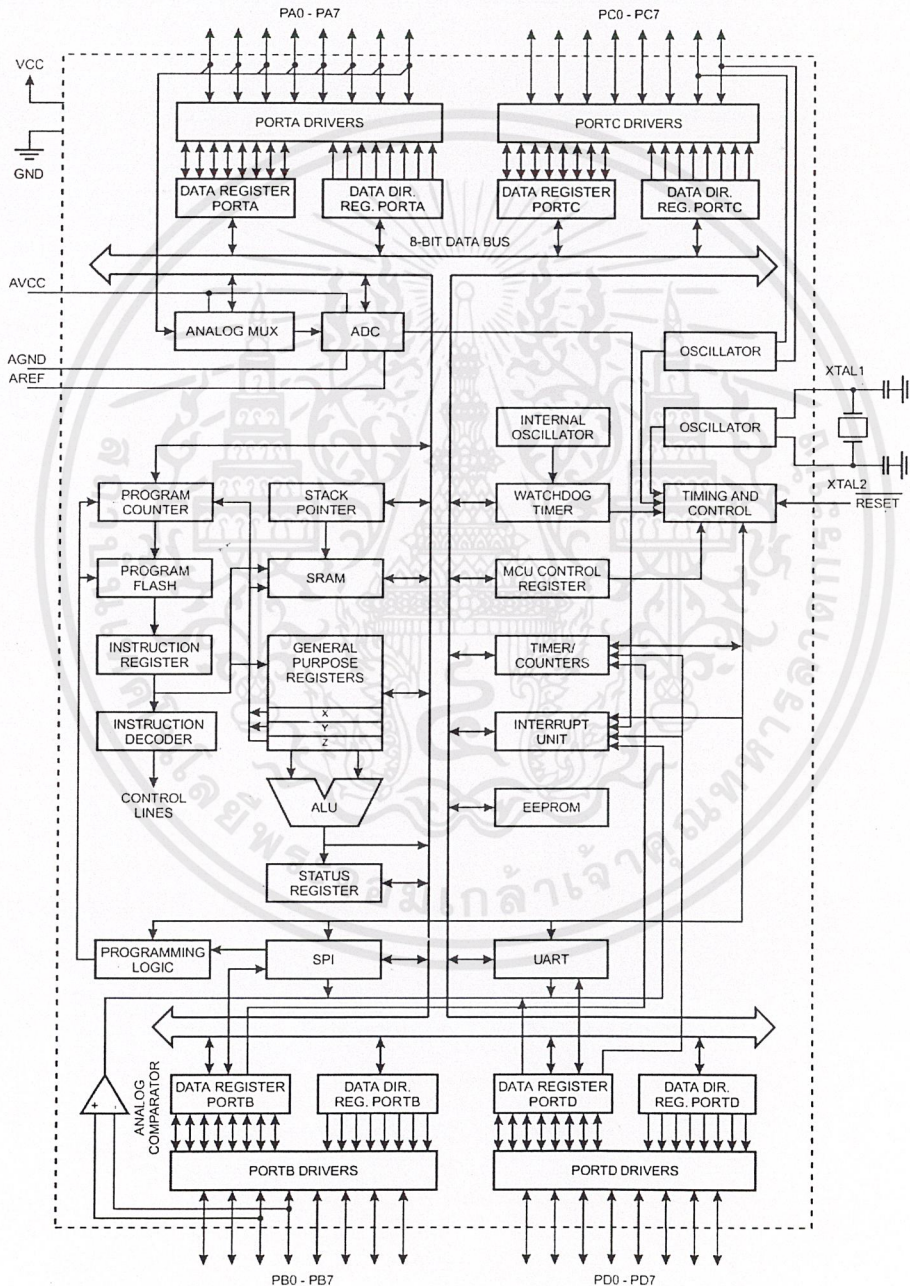


## Description

The AT90S4434/8535 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the AT90S4434/8535 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

## Block Diagram

Figure 1. The AT90S4434/8535 Block Diagram



## AT90S/LS4434 and AT90S/LS8535

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 architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The AT90S4434/8535 provides the following features: 4K/8K bytes of In-System Programmable Flash, 256/512 bytes EEPROM, 256/512 bytes SRAM, 32 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, Real Time Clock (RTC), three flexible timer/counters with compare modes, internal and external interrupts, a programmable serial UART, 8-channel, 10-bit ADC, programmable Watchdog Timer with internal oscillator, an SPI serial port, and three software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, timer/counters, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power Down mode saves the register contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset. In Power Save mode, the timer oscillator continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping.

The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology. The on-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT90S4434/8535 is a powerful microcontroller that provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The AT90S4434/8535 AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C compilers, macro assemblers, program debugger/simulators, in-circuit emulators, and evaluation kits.

### Comparison between AT90S4434 and AT90S8535

The AT90S4434 has 4K bytes of In-System Programmable Flash, 256 bytes of EEPROM, and 256 bytes of internal SRAM. The AT90S8535 has 8K bytes of In-System Programmable Flash, 512 bytes of EEPROM, and 512 bytes of internal SRAM. Table 1 summarizes the different memory sizes for the two devices.

Table 1. Memory Size Summary

Part	Flash	EEPROM	SRAM
AT90S4434	4K bytes	256 bytes	256 bytes
AT90S8535	8K bytes	512 bytes	512 bytes

### Pin Descriptions

#### VCC

Digital supply voltage

#### GND

Digital ground

#### Port A (PA7..PA0)

Port A is an 8-bit bi-directional I/O port. Port pins can provide internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers can sink 20mA and can drive LED displays directly. When pins PA0 to PA7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current if the internal pull-up resistors are activated.

Port A also serves as the analog inputs to the A/D Converter.

The Port A pins are tristated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

#### Port B (PB7..PB0)

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors. The Port B output buffers can sink 20 mA. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. Port B also serves the functions of various special features of the AT90S4434/8535 as listed on page 68.





The Port B pins are tristated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

#### Port C (PC7..PC0)

Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullup resistors. The Port C output buffers can sink 20 mA. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. Two Port C pins can alternatively be used as oscillator for Timer/Counter2.

The port C pins are tristated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

#### Port D (PD7..PD0)

Port D is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-up resistors. The Port D output buffers can sink 20 mA. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated.

Port D also serves the functions of various special features of the AT90S4434/8535 as listed on page 77.

The port D pins are tristated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

#### $\overline{\text{RESET}}$

Reset input. An external reset is generated by a low level on the  $\overline{\text{RESET}}$  pin. Reset pulses longer than 50 ns will generate a reset, even if the clock is not running. Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.

#### XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

#### XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier

#### AVCC

This is the supply voltage pin for the A/D Converter. It should be externally connected to  $V_{CC}$  via a low-pass filter. See page 59 for details on operation of the ADC.

#### AREF

This is the analog reference input for the A/D Converter. For ADC operations, a voltage in the range AGND to  $AV_{CC}$  must be applied to this pin.

#### AGND

Analog ground. If the board has a separate analog ground plane, this pin should be connected to this ground plane. Otherwise, connect to GND.

nection between the analog comparator and the Input Capture function is given. To make the comparator trigger the Timer/Counter1 Input Capture interrupt, the TICIE1 bit in the Timer Interrupt Mask Register (TIMSK) must be set (one).

• **Bits 1,0 - ACIS1, ACIS0: Analog Comparator Interrupt Mode Select**

These bits determine which comparator events that trigger the Analog Comparator interrupt. The different settings are shown in Table 26.

**Table 26. ACIS1/ACIS0 Settings**

ACIS1	ACIS0	Interrupt Mode
0	0	Comparator Interrupt on Output Toggle
0	1	Reserved
1	0	Comparator Interrupt on Falling Output Edge
1	1	Comparator Interrupt on Rising Output Edge

Note: When changing the ACIS1/ACIS0 bits, The Analog Comparator Interrupt must be disabled by clearing its Interrupt Enable bit in the ACSR register. Otherwise an interrupt can occur when the bits are changed.

Caution: Using the SBI or CBI instruction on other bits than ACI in this register, will write a one back into ACI if it is read as set, thus clearing the flag.

## Analog to Digital Converter

Feature list:

- 10-bit Resolution
- $\pm 2$  LSB Accuracy
- 0.5 LSB Integral Non-Linearity
- 65 - 260  $\mu$ s Conversion Time
- Up to 15 kSPS
- 8 Multiplexed Input Channels
- Rail-to-Rail Input Range
- Free Run or Single Conversion Mode
- Interrupt on ADC Conversion Complete
- Sleep Mode Noise Canceler

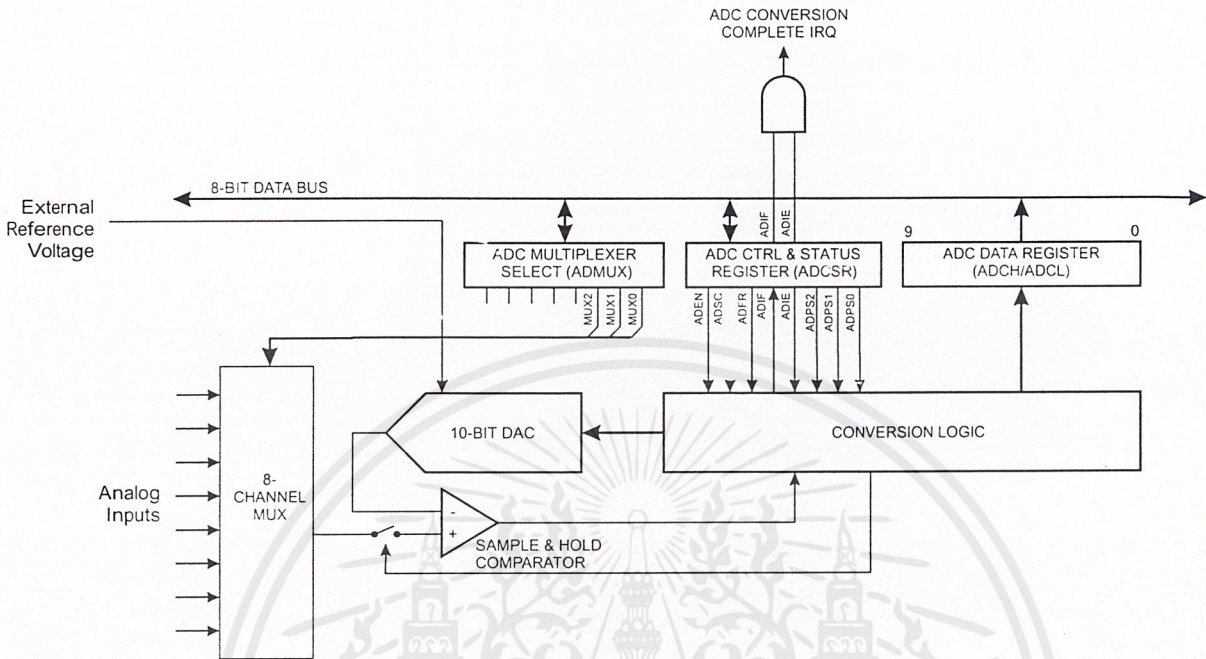
The AT90S4434/8535 features a 10-bit successive approximation ADC. The ADC is connected to an 8-channel Analog Multiplexer which allows each pin of Port A to be used as an input for the ADC. The ADC contains a Sample and Hold Amplifier which ensures that the input voltage to the ADC is held at a constant level during conversion. A block diagram of the ADC is shown in Figure 45.

The ADC has two separate analog supply voltage pins,  $AV_{CC}$  and AGND. AGND must be connected to GND, and the voltage on  $AV_{CC}$  must not differ more than  $\pm 0.3V$  from  $V_{CC}$ . See the paragraph ADC Noise Canceling Techniques on how to connect these pins.

An external reference voltage must be applied to the AREF pin. This voltage must be in the range  $AGND - AV_{CC}$ .



Figure 45. Analog to Digital Converter Block Schematic



### Operation

The ADC can operate in two modes - Single Conversion and Free Run Mode. In Single Conversion Mode, each conversion will have to be initiated by the user. In Free Run Mode, the ADC is constantly sampling and updating the ADC Data Register. The ADFR bit in ADCSR selects between the two available modes.

The ADC is enabled by writing a logical one to the ADC Enable bit, ADEN in ADCSR. The first conversion that is started after enabling the ADC, will be preceded by a dummy conversion to initialize the ADC. To the user, the only difference will be that this conversion takes 12 more ADC clock pulses than a normal conversion.

A conversion is started by writing a logical one to the ADC Start Conversion bit, ADSC. This bit stays high as long as the conversion is in progress and will be set to zero by hardware when the conversion is completed. If a different data channel is selected while a conversion is in progress, the ADC will finish the current conversion before performing the channel change.

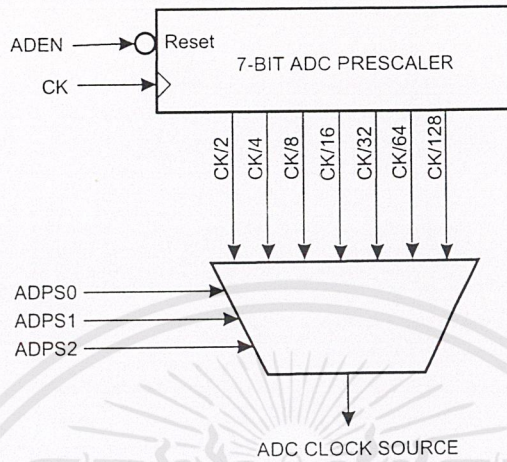
As the ADC generates a 10-bit result, two data registers, ADCH and ADCL, must be read to get the result when the conversion is complete. Special data protection logic is used to ensure that the contents of the data registers belong to the same conversion when they are read. This mechanism works as follows:

When reading data, ADCL must be read first. Once ADCL is read, ADC access to data registers is blocked. This means that if ADCL has been read, and a conversion completes before ADCH is read, none of the registers are updated and the result from the conversion is lost. When ADCH is read, ADC access to the ADCH and ADCL registers is re-enabled.

The ADC has its own interrupt, ADIF, which can be triggered when a conversion completes. When ADC access to the data registers is prohibited between reading of ADCH and ADCL, the interrupt will trigger even if the result gets lost.

Prescaling

Figure 46. ADC Prescaler

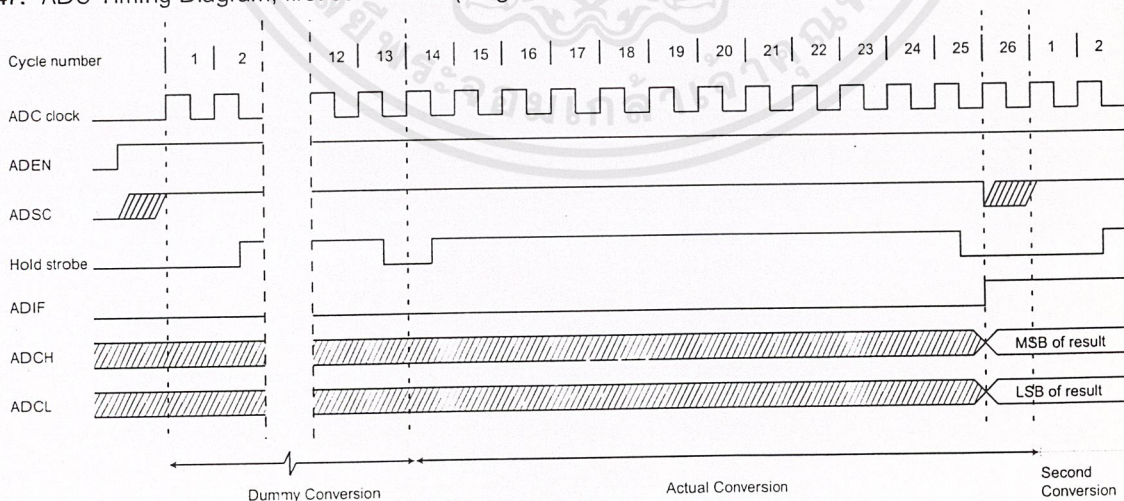


The ADC contains a prescaler, which divides the system clock to an acceptable ADC clock frequency. The ADC accepts input clock frequencies in the range 50 - 200 kHz. Applying a higher input frequency will result in a poorer accuracy. See "ADC Characteristics" on page 66.

The ADPS0 - ADPS2 bits in ADCSR are used to generate a proper ADC clock input frequency from any XTAL frequency above 100 kHz. The prescaler starts counting from the moment the ADC is switched on by setting the ADEN bit in ADCSR. The prescaler keeps running for as long as the ADEN bit is set, and is continuously reset when ADEN is low.

When initiating a conversion by setting the ADSC bit in ADCSR, the conversion starts at the following rising edge of the ADC clock cycle. The actual sample-and-hold takes place 1.5 ADC clock cycles after the start of the conversion. The result is ready and written to the ADC Result Register after 13 cycles. In single conversion mode, the ADC needs one more clock cycle before a new conversion can be started, see Figure 47. If ADSC is set high in this period, the ADC will start the new conversion immediately. In Free Run Mode, a new conversion will be started immediately after the result is written to the ADC Result Register. Using Free Run Mode and an ADC clock frequency of 200 kHz gives the lowest conversion time, 65  $\mu$ s, equivalent to 15.4 kSPS. For a summary of conversion times, see Table 27.

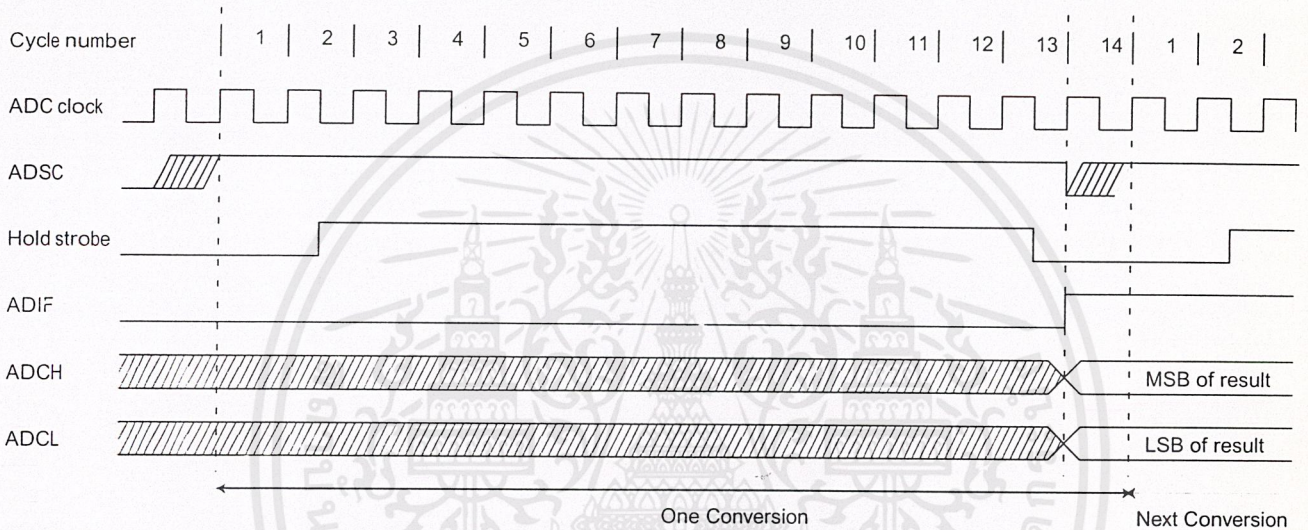
Figure 47. ADC Timing Diagram, first conversion (Single Conversion Mode)



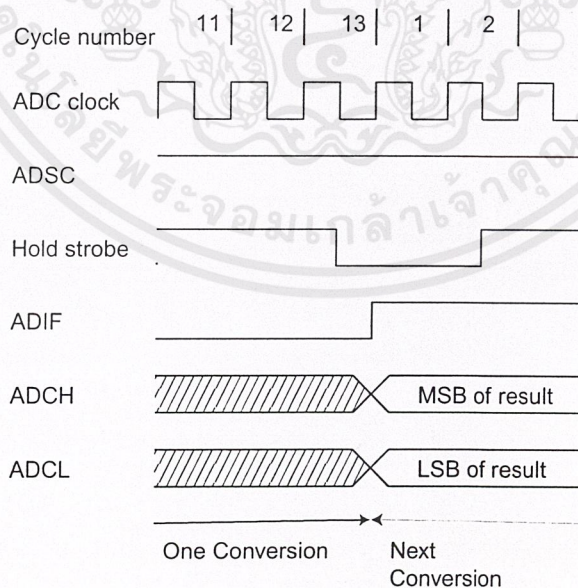
**Table 27. ADC Conversion Time**

Condition	Sample Cycle Number	Result Ready (cycle number)	Total Conversion Time (cycles)	Total Conversion Time ( $\mu\text{s}$ )
1st Conversion, Free Run	14	25	25	125 - 500
1st Conversion, Single	14	25	26	130 - 520
Free Run Conversion	2	13	13	65 - 260
Single Conversion	2	13	14	70 - 280

**Figure 48. ADC Timing Diagram, single conversion**



**Figure 49. ADC Timing Diagram, free run conversion**



## ADC Noise Canceler Function

The ADC features a noise canceler that enables conversion during idle mode to reduce noise induced from the CPU core. To make use of this feature, the following procedure should be used:

1. Make sure that the ADC is enabled and is not busy converting. Single Conversion Mode must be selected and the ADC conversion complete interrupt must be enabled.  
 ADEN = 1  
 ADSC = 0  
 ADFR = 0  
 ADIE = 1
2. Enter idle mode. The ADC will start a conversion once the CPU has been halted.
3. If no other interrupts occur before the ADC conversion completes, the ADC interrupt will wake up the MCU and execute the ADC conversion complete interrupt routine.

## ADC Multiplexer Select Register - ADMUX

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$07 (\$27)	-	-	-	-	-	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- **Bits 7..3 - Res: Reserved Bits**

These bits are reserved bits in the AT90S4434/8535 and always read as zero.

- **Bits 2..0 - MUX2..MUX0: Analog Channel Select Bits 2-0**

The value of these three bits selects which analog input 7-0 is connected to the ADC.

## ADC Control and Status Register - ADCSR

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$06 (\$26)	ADEN	ADSC	ADFR	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- **Bit 7 - ADEN: ADC Enable**

Writing a logical '1' to this bit enables the ADC. By clearing this bit to zero, the ADC is turned off. Turning the ADC off while a conversion is in progress, will terminate this conversion.

- **Bit 6 - ADSC: ADC Start Conversion**

In Single Conversion Mode, a logical '1' must be written to this bit to start each conversion. In Free Run Mode, a logical '1' must be written to this bit to start the first conversion. The first time ADSC has been written after the ADC has been enabled, or if ADSC is written at the same time as the ADC is enabled, a dummy conversion will precede the initiated conversion. This dummy conversion performs initialization of the ADC.

ADSC remains high during the conversion. ADSC goes low after the actual conversion is finished, but before the result is written to the ADC Data Registers. This allows a new conversion to be initiated before the current conversion is complete. The new conversion will then start immediately after the current conversion completes. When a dummy conversion precedes a real conversion, ADSC will stay high until the real conversion is finished.

Writing a 0 to this bit has no effect.

- **Bit 5 - ADFR: ADC Free Run Select**

When this bit is set (one) the ADC operates in Free Run Mode. In this mode, the ADC samples and updates the data registers continuously. Clearing this bit (zero) will terminate Free Run Mode.

- **Bit 4 - ADIF: ADC Interrupt Flag**

This bit is set (one) when an ADC conversion completes and the data registers are updated. The ADC Conversion Complete Interrupt is executed if the ADIE bit and the I-bit in SREG are set (one). ADIF is cleared by hardware when executing



the corresponding interrupt handling vector. Alternatively, ADIF is cleared by writing a logical one to the flag. Beware that if doing a read-modify-write on ADCSR, a pending interrupt can be disabled. This also applies if the SBI and CBI instructions are used.

• **Bit 3 - ADIE: ADC Interrupt Enable**

When this bit is set (one) and the I-bit in SREG is set (one), the ADC Conversion Complete Interrupt is activated.

• **Bits 2..0 - ADPS2..ADPS0: ADC Prescaler Select Bits**

These bits determine the division factor between the XTAL frequency and the input clock to the ADC.

**Table 28. ADC Prescaler Selections**

ADPS2	ADPS1	ADPS0	Division Factor
0	0	0	2
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	32
1	1	0	64
1	1	1	128

**ADC Data Register - ADCL AND ADCH**

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
\$05 (\$25)	-	-	-	-	-	-	ADC9	ADC8	ADCH
\$04 (\$24)	ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADC1	ADC0	ADCL
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	

When an ADC conversion is complete, the result is found in these two registers. In Free Run Mode, it is essential that both registers are read, and that ADCL is read before ADCH.

**Scanning Multiple Channels**

Since change of analog channel always is delayed until a conversion is finished, the Free Run Mode can be used to scan multiple channels without interrupting the converter. Typically, the ADC Conversion Complete interrupt will be used to perform the channel shift. However, the user should take the following fact into consideration:

The interrupt triggers once the result is ready to be read. In Free Run Mode, the next conversion will start immediately when the interrupt triggers. If ADMUX is changed after the interrupt triggers, the next conversion has already started, and the old setting is used.

**ADC Noise Canceling Techniques**

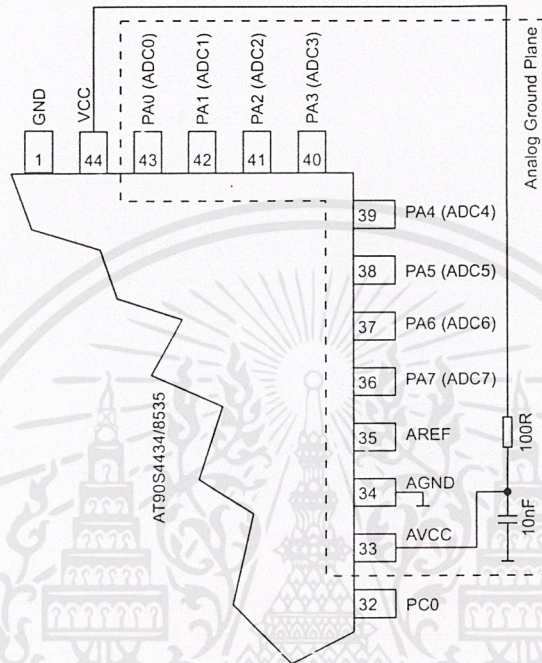
Digital circuitry inside and outside the AT90S4434/8535 generates EMI which might affect the accuracy of analog measurements. If conversion accuracy is critical, the noise level can be reduced by applying the following techniques:

1. The analog part of the AT90S4434/8535 and all analog components in the application should have a separate analog ground plane on the PCB. This ground plane is connected to the digital ground plane via a single point on the PCB.
2. Keep analog signal paths as short as possible. Make sure analog tracks run over the analog ground plane, and keep them well away from high-speed switching digital tracks.

## AT90S/LS4434 and AT90S/LS8535

3. The  $AV_{CC}$  pin on the AT90S4434/8535 should be connected to the digital  $V_{CC}$  supply voltage via an RC network as shown in Figure 50.
4. Use the ADC noise canceler function to reduce induced noise from the CPU.
5. If some Port A pins are used as digital outputs, it is essential that these do not switch while a conversion is in progress.

Figure 50. ADC Power Connections



Note that since  $AV_{CC}$  feeds the Port A output drivers, the RC network shown should not be employed if any Port A serve as outputs.



## ADC Characteristics

T<sub>A</sub> = -40°C to 85°C

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Units
	Resolution			10		Bits
	Absolute accuracy	VREF = 4V ADC clock = 200 kHz		1	2	LSB
	Absolute accuracy	VREF = 4V ADC clock = 1 MHz		4		LSB
	Absolute accuracy	VREF = 4V ADC clock = 2 MHz		16		LSB
	Integral Non-Linearity	V <sub>REF</sub> > 2V		0.5		LSB
	Differential Non-Linearity	V <sub>REF</sub> > 2V		0.5		LSB
	Zero Error (Offset)			1		LSB
	Conversion Time		65		260	μs
	Clock Frequency		50		200	kHz
AV <sub>CC</sub>	Analog Supply Voltage		V <sub>CC</sub> - 0.3 <sup>(1)</sup>		V <sub>CC</sub> + 0.3 <sup>(2)</sup>	V
V <sub>REF</sub>	Reference Voltage		AGND		AV <sub>CC</sub>	V
R <sub>REF</sub>	Reference Input Resistance		6	10	13	kΩ
R <sub>AIN</sub>	Analog Input Resistance			100		MΩ

Notes: 1. Minimum for AV<sub>CC</sub> is 2.7V.  
2. Maximum for AV<sub>CC</sub> is 6.0V.

## I/O-Ports

All AVR ports have true Read-Modify-Write functionality when used as general digital I/O ports. This means that the direction of one port pin can be changed without unintentionally changing the direction of any other pin with the SBI and CBI instructions. The same applies for changing drive value (if configured as output) or enabling/disabling of pull-up resistors (if configured as input).

### Port A

Port A is an 8-bit bi-directional I/O port.

Three I/O memory address locations are allocated for Port A, one each for the Data Register - PORTA, \$1B(\$3B), Data Direction Register - DDRA, \$1A(\$3A) and the Port A Input Pins - PINA, \$19(\$39). The Port A Input Pins address is read only, while the Data Register and the Data Direction Register are read/write.

All port pins have individually selectable pull-up resistors. The Port A output buffers can sink 20mA and thus drive LED displays directly. When pins PA0 to PA7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current if the internal pull-up resistors are activated.

Port A has an alternate function as analog inputs for the ADC. If some Port A pins are configured as outputs, it is essential that these do not switch when a conversion is in progress. This might corrupt the result of the conversion.

During powerdown mode, the schmitt trigger of the digital input is disconnected. This allows analog signals that are close to V<sub>CC</sub>/2 to be present during powerdown without causing excessive power consumption.

## Port C

Port C is an 8-bit bi-directional I/O port.

Three I/O memory address locations are allocated for the Port C, one each for the Data Register - PORTC, \$15(\$35), Data Direction Register - DDRC, \$14(\$34) and the Port C Input Pins - PINC, \$13(\$33). The Port C Input Pins address is read only, while the Data Register and the Data Direction Register are read/write.

All port pins have individually selectable pull-up resistors. The Port C output buffers can sink 20mA and thus drive LED displays directly. When pins PC0 to PC7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current if the internal pull-up resistors are activated.

### Port C Data Register - PORTC

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$15 (\$35)	<b>PORTC7 PORTC6 PORTC5 PORTC4 PORTC3 PORTC2 PORTC1 PORTC0</b>								PORTC
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

### Port C Data Direction Register - DDRC

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$14 (\$34)	<b>DDC7 DDC6 DDC5 DDC4 DDC3 DDC2 DDC1 DDC0</b>								DDRC
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

### Port C Input Pins Address - PINC

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$13 (\$33)	<b>PINC7 PINC6 PINC5 PINC4 PINC3 PINC2 PINC1 PINC0</b>								PINC
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R	
Initial value	Hi-Z	Hi-Z	Hi-Z	Hi-Z	Hi-Z	Hi-Z	Hi-Z	Hi-Z	

The Port C Input Pins address - PINC - is not a register, and this address enables access to the physical value on each Port C pin. When reading PORTC, the Port C Data Latch is read, and when reading PINC, the logical values present on the pins are read.

### Port C As General Digital I/O

All 8 pins in Port C have equal functionality when used as digital I/O pins.

PCn, General I/O pin: The DDCn bit in the DDRC register selects the direction of this pin, if DDCn is set (one), PCn is configured as an output pin. If DDCn is cleared (zero), PCn is configured as an input pin. If PORTCn is set (one) when the pin configured as an input pin, the MOS pull up resistor is activated. To switch the pull up resistor off, PORTCn has to be cleared (zero) or the pin has to be configured as an output pin. The port pins are tristated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

**Table 32.** DDCn Effects on PORT C Pins

DDCn	PORTCn	I/O	Pull Up	Comment
0	0	Input	No	Tri-state (Hi-Z)
0	1	Input	Yes	PCn will source current if ext. pulled low.
1	0	Output	No	Push-Pull Zero Output
1	1	Output	No	Push-Pull One Output

n: 7...0, pin number

## Alternate Functions of Port C

When the AS2 bit in ASSR is set (one) to enable asynchronous clocking of Timer/Counter2, pins PC6 and PC7 are disconnected from the port. In this mode, a crystal oscillator is connected to the pins, and the pins can not be used as I/O pins.

## Port C Schematics

Note that all port pins are synchronized. The synchronization latch is however, not shown in the figure.

Figure 58. Port C Schematic Diagram (Pins PC0 - PC5)

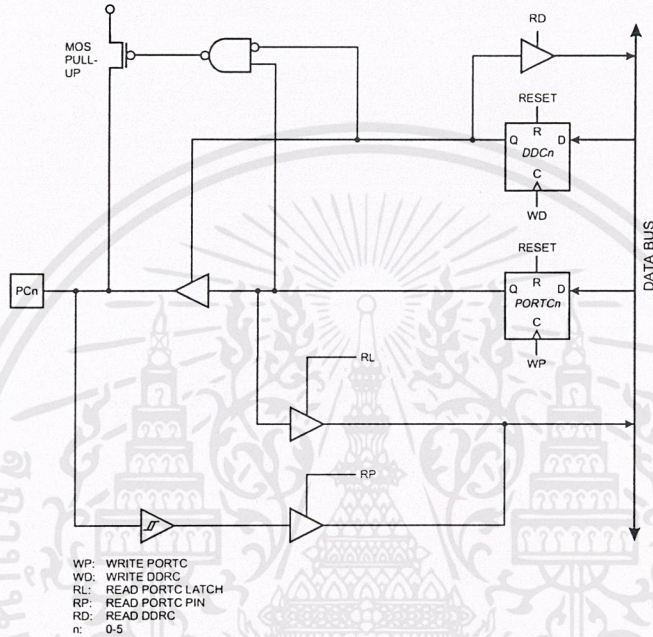


Figure 59. Port C Schematic Diagram (Pins PC6)

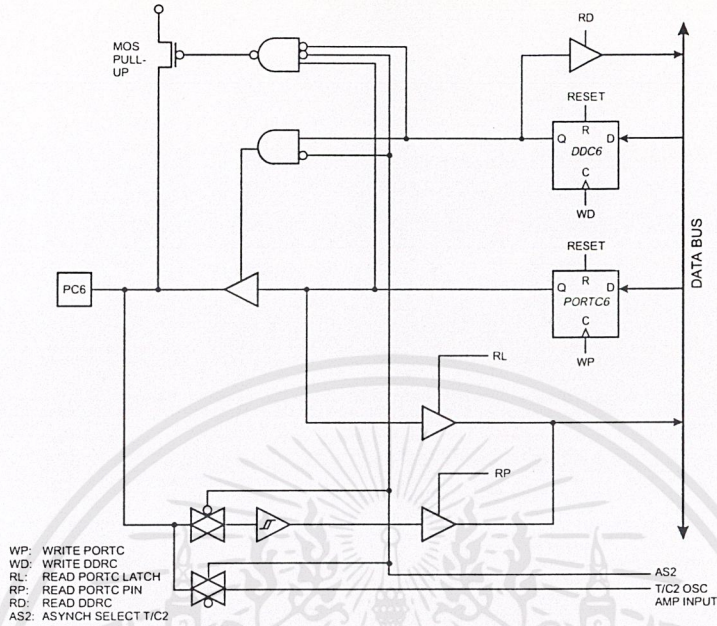
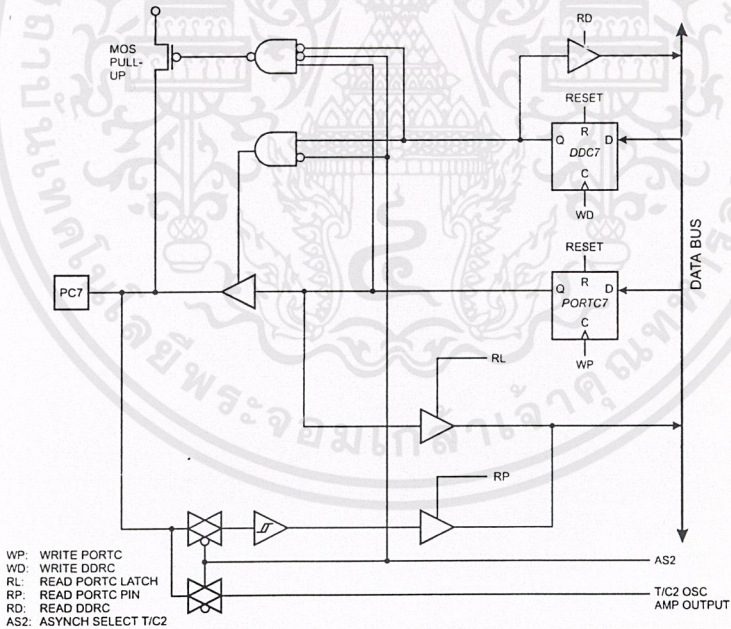


Figure 60. Port C Schematic Diagram (Pins PC7)



# HA17904 Series

## Dual Operational Amplifier

# HITACHI

ADE-204-046 (Z)

Rev. 0

Dec. 2000

### Description

HA17904 is dual operational amplifier which, provide internal phase compensation and high gain, and mono power source operation is possible. It can be widely applied to control equipment and to general use.

### Features

- Wide range of operating supply voltage and mono power source operation is possible.
- Wide range of common mode input voltage possible to operate with an input around 0V, and output around 0V is available.
- Frequency characteristics and input bias current are temperature compensated.

### Ordering Information

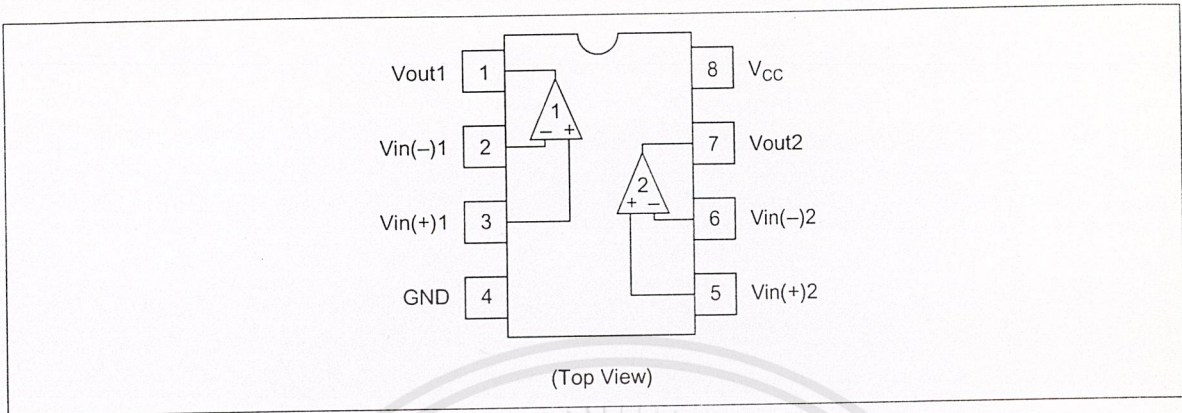
Type No.	Application	Package
HA17904PSJ	Car use	DP-8
HA17904FPJ	Car use	FP-8D
HA17904FPK	Car use	
HA17904PS	Industrial use	DP-8
HA17904FP	Industrial use	FP-8D



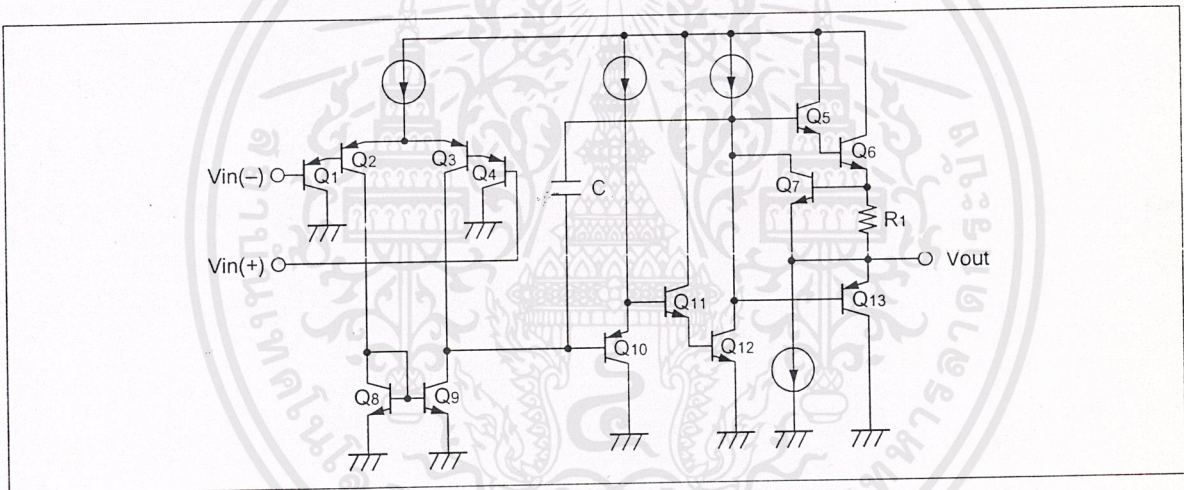
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# HA17904 Series

## Pin Arrangement



## Circuit Schematic (1/2)



HITACHI

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Item	Symbol	Ratings					Unit
		HA17904PS	HA17904FP	HA17904PSJ	HA17904FPJ	HA17904FPK	
Supply voltage	V <sub>CC</sub>	32	32	32	32	32	V
Output sink current	I <sub>O sink</sub>	50	50	50	50	50	mA
Common-mode input voltage	V <sub>CM</sub>	-0.3 to V <sub>CC</sub>	-0.3 to V <sub>CC</sub>	-0.3 to V <sub>CC</sub>	-0.3 to V <sub>CC</sub>	-0.3 to V <sub>CC</sub>	V
Common-mode differential voltage	V <sub>IN(diff)</sub>	±V <sub>CC</sub>	±V <sub>CC</sub>	±V <sub>CC</sub>	±V <sub>CC</sub>	±V <sub>CC</sub>	V
Power dissipation	P <sub>T</sub>	570* <sup>1</sup>	385* <sup>2</sup>	570* <sup>1</sup>	385* <sup>2</sup>	385* <sup>2</sup>	mW
Operating temperature range	Topr	-20 to +75	-20 to +75	-40 to +85	-40 to +85	-40 to +125	°C
Storage temperature range	Tstg	-55 to +125	-55 to +125	-55 to +125	-55 to +125	-55 to +150	°C

- Notes: 1. These are the allowable values up to Ta = 55 °C. Derate by 8.3mW/°C above that temperature.  
 2. These are the allowable values up to Ta = 45 °C mounting on 30% wiring density glass epoxy board. Derate by 7.14mW/°C above that temperature.

## HA17904 Series

### Electrical Characteristics 1 ( $V_{CC} = +15V$ , $T_a = 25^\circ C$ )

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
Input offset voltage	$V_{IO}$	—	3	7	mV	$V_{CM} = 7.5V$ , $R_S = 50\Omega$ , $R_f = 50k\Omega$
Input offset current	$I_{IO}$	—	5	50	nA	$V_{CM} = 7.5V$ , $I_{IO} =  I_{I(+)} - I_{I(-)} $
Input bias current	$I_{IB}$	—	30	250	nA	$V_{CM} = 7.5V$
Power source rejection ratio	PSRR	—	93	—	dB	$R_S = 1k\Omega$ , $R_f = 100k\Omega$
Voltage gain	$A_{VD}$	75	90	—	dB	$R_L = \infty$ , $R_S = 1k\Omega$ , $R_f = 100k\Omega$
Common mode rejection ratio	CMR	—	80	—	dB	$R_S = 50\Omega$ , $R_f = 5k\Omega$
Common mode input voltage range	$V_{CM(+)}$	13.5	—	—	V	$R_S = 1k\Omega$ , $R_f = 100k\Omega$
	$V_{CM(-)}$	—	—	-0.3	V	$R_S = 1k\Omega$ , $R_f = 100k\Omega$
Peak-to-peak output voltage	$V_{op-p}$	—	13.6	—	V	$f = 100Hz$ , $R_L = 20k\Omega$ , $R_S = 1k\Omega$ , $R_f = 100k\Omega$
Output source current	$I_{osource}$	20	40	—	mA	$V_{IN}^+ = 1V$ , $V_{IN}^- = 0V$ , $V_{OH} = 10V$
Output sink current	$I_{osink}$	10	20	—	mA	$V_{IN}^- = 1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ , $V_{OL} = 2.5V$
Output sink current	$I_{osink}$	15	50	—	$\mu A$	$V_{IN}^- = 1V$ , $V_{IN}^+ = 0V$ , $V_{out} = 200mV$
Supply current	$I_{CC}$	—	0.8	2	mA	$V_{IN} = GND$ , $R_L = \infty$
Slew rate	SR	—	0.2	—	V/ $\mu s$	$R_L = \infty$ , $V_{CM} = 7.5V$ , $f = 1.5kHz$
Channel separation	CS	—	120	—	dB	$f = 1kHz$

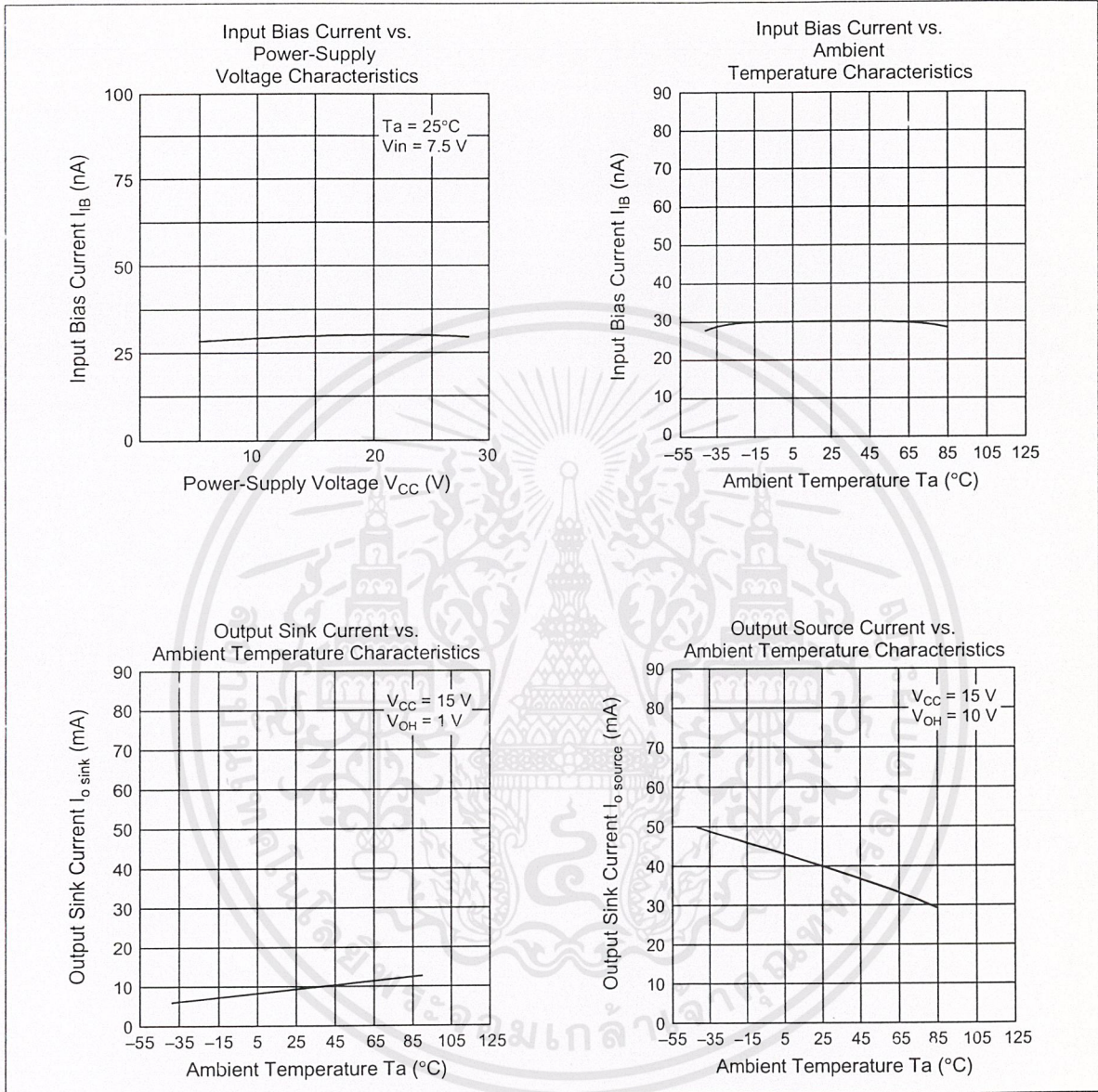
### Electrical Characteristics 2 ( $V_{CC} = +15V$ , $T_a = -40$ to $+125^\circ C$ )

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
Input offset voltage	$V_{IO}$	—	—	7	mV	$V_{CM} = 7.5V$ , $R_S = 50\Omega$ , $R_L = 50k\Omega$
Input offset current	$I_{IO}$	—	—	200	nA	$V_{CM} = 7.5V$ , $I_{IO} =  I_{I(+)} - I_{I(-)} $
Input bias current	$I_{IB}$	—	—	500	nA	$V_{CM} = 7.5V$
Common mode input voltage range	$V_{CM}$	0	—	13.0	V	$R_S = 1k\Omega$ , $R_f = 100k\Omega$
Supply current	$I_{CC}$	—	—	4	mA	$V_{IN} = GND$ , $R_L = \infty$

Note: As for the characteristic curve, refer to HA17904FPK/

Hitachi  
HITACHI  
Hitachi

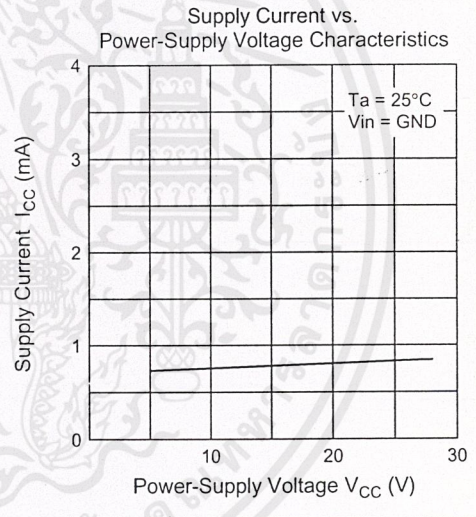
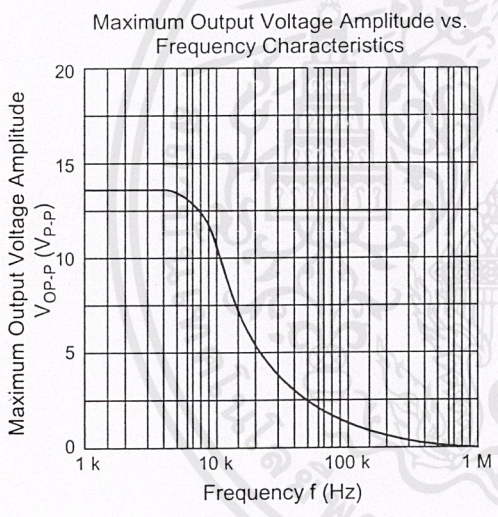
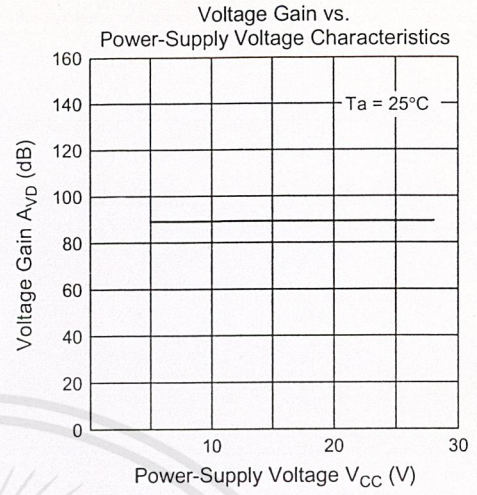
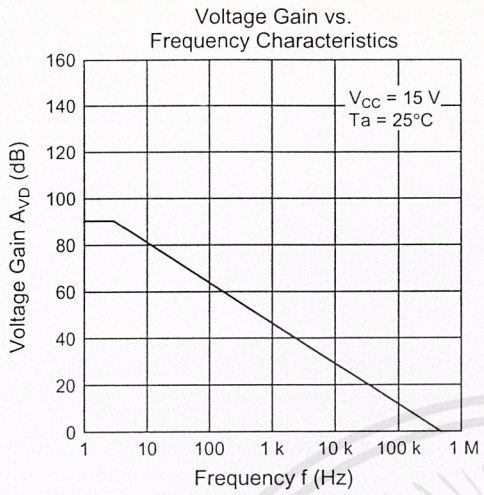
Characteristic Curves



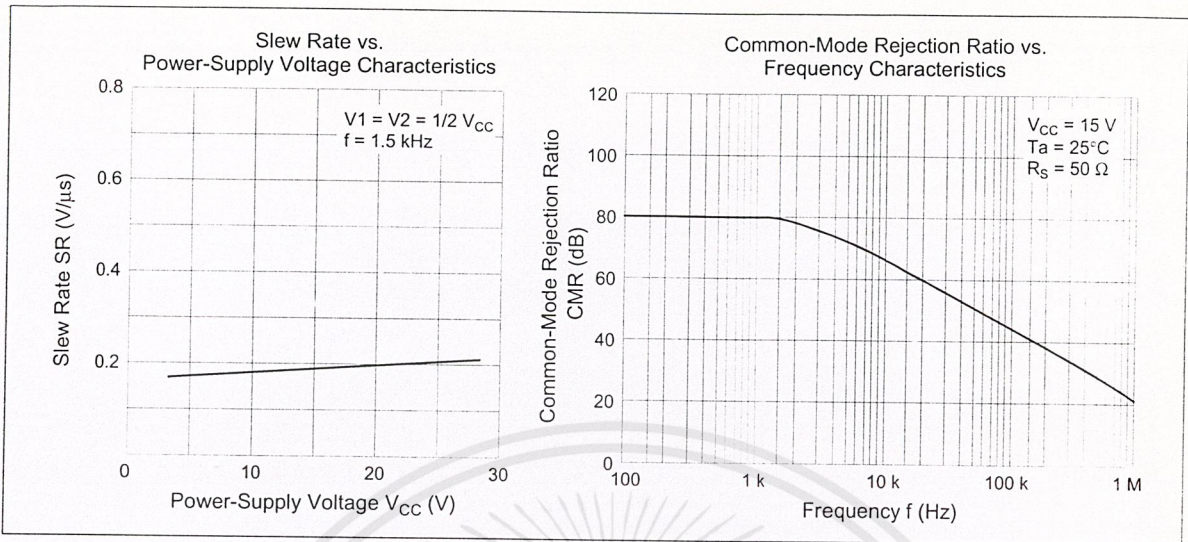
HITACHI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# HA17904 Series



HITACHI



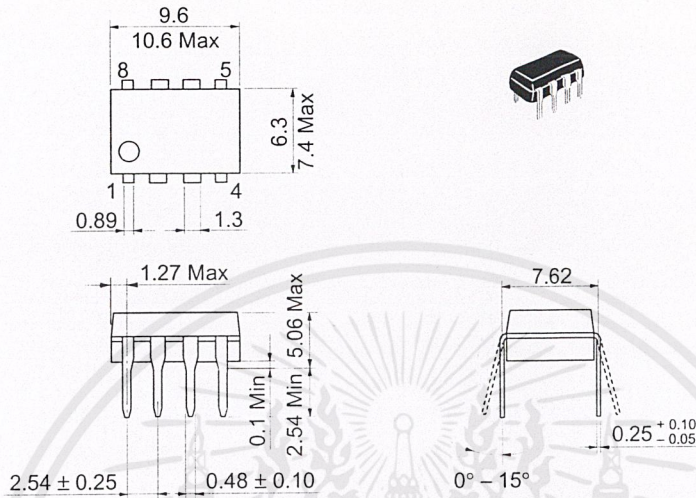
HITACHI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# HA17904 Series

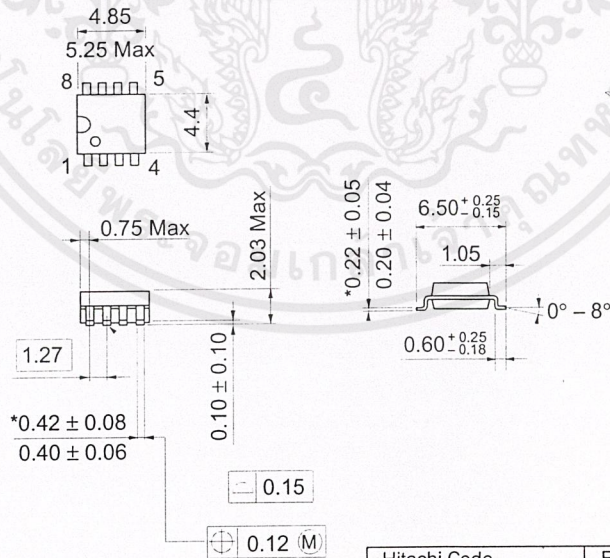
## Package Dimensions

Unit: mm



Hitachi Code	DP-8
JEDEC	Conforms
EIAJ	Conforms
Mass (reference value)	0.54 g

Unit: mm



\*Dimension including the plating thickness  
Base material dimension

Hitachi Code	FP-8D
JEDEC	—
EIAJ	Conforms
Mass (reference value)	0.10 g

HITACHI

**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      North America      : <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)-2718-3656  
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

**HITACHI**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# HL6319G/20G

AlGaInP Laser Diodes

# HITACHI

ADE-208-479D (Z)

5th Edition

Dec. 2000

## Description

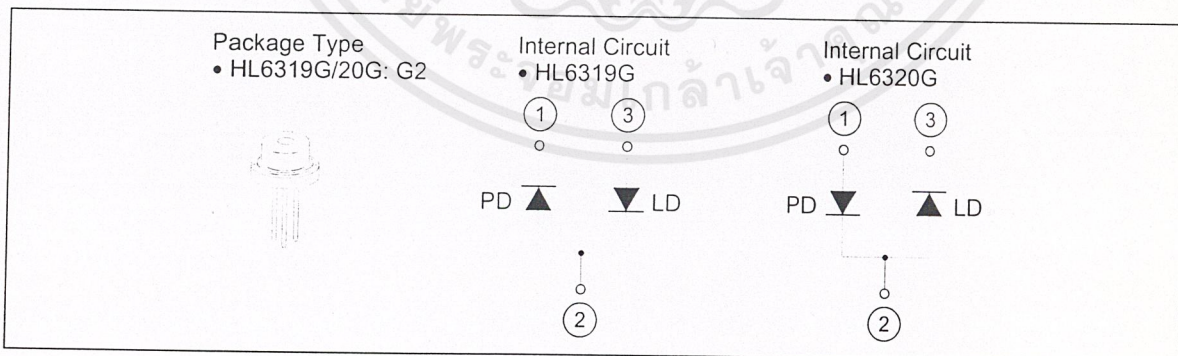
The HL6319G/20G are 0.63  $\mu\text{m}$  band AlGaInP laser diodes with a multi-quantum well (MQW) structure. They are suitable as light sources for laser levelers and optical equipment for measurement.

## Application

- Laser levelers
- Measurement

## Features

- Visible light output: 635 nm Typ (nearly equal to He-Ne gas laser)
- Optical output power: 10 mW CW
- Low operating current: 95 mA Max
- Low operating voltage: 2.7 V Max
- TM mode oscillation



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## HL6319G/20G

### Absolute Maximum Ratings

( $T_c = 25^\circ\text{C}$ )

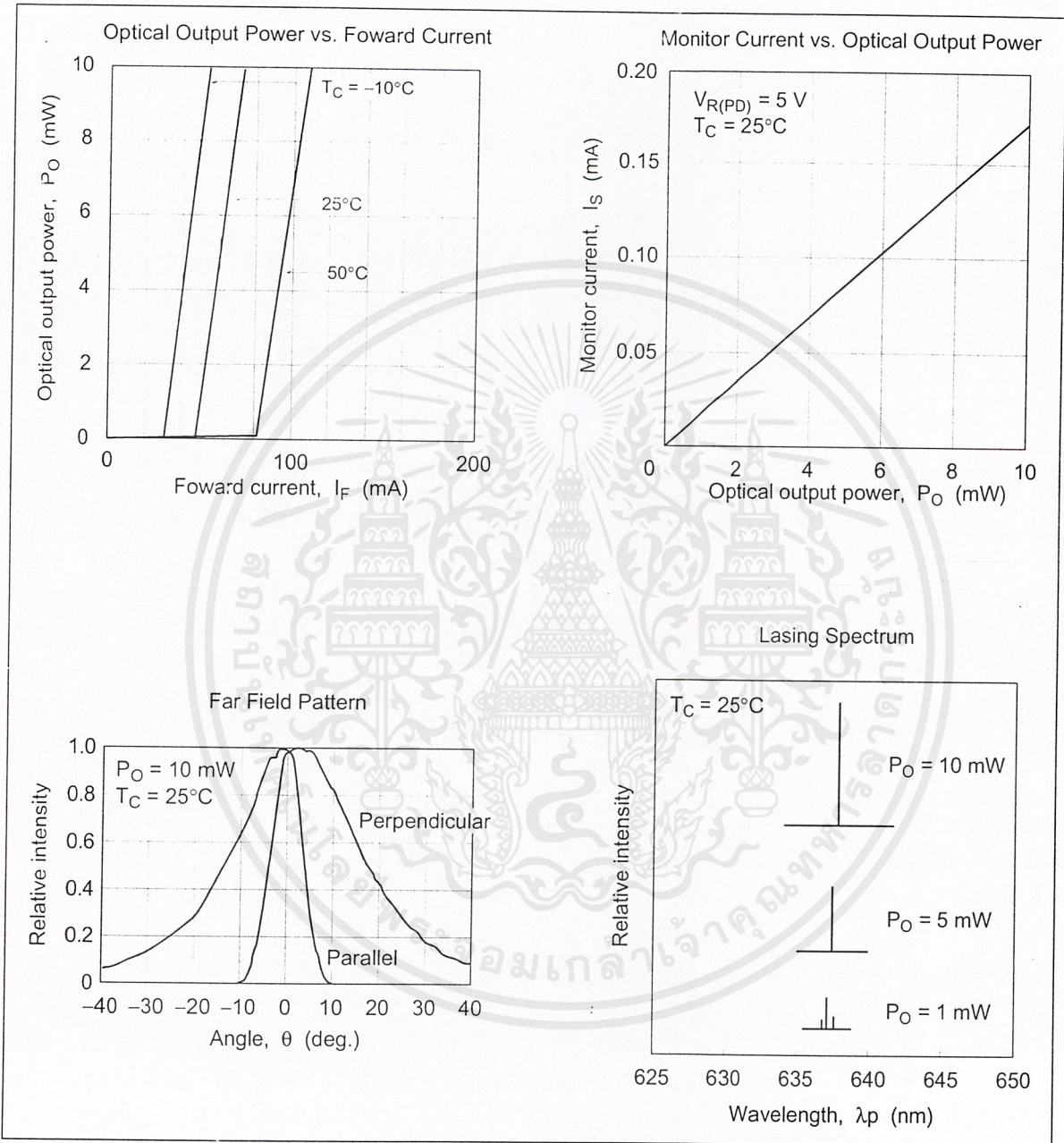
Item	Symbol	Rated Value	Unit
Optical output power	$P_o$	10	mW
LD reverse voltage	$V_{R(LD)}$	2	V
PD reverse voltage	$V_{R(PD)}$	30	V
Operating temperature	$T_{opr}$	-10 to +50	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	$T_{stg}$	-40 to +85	$^\circ\text{C}$

### Optical and Electrical Characteristics

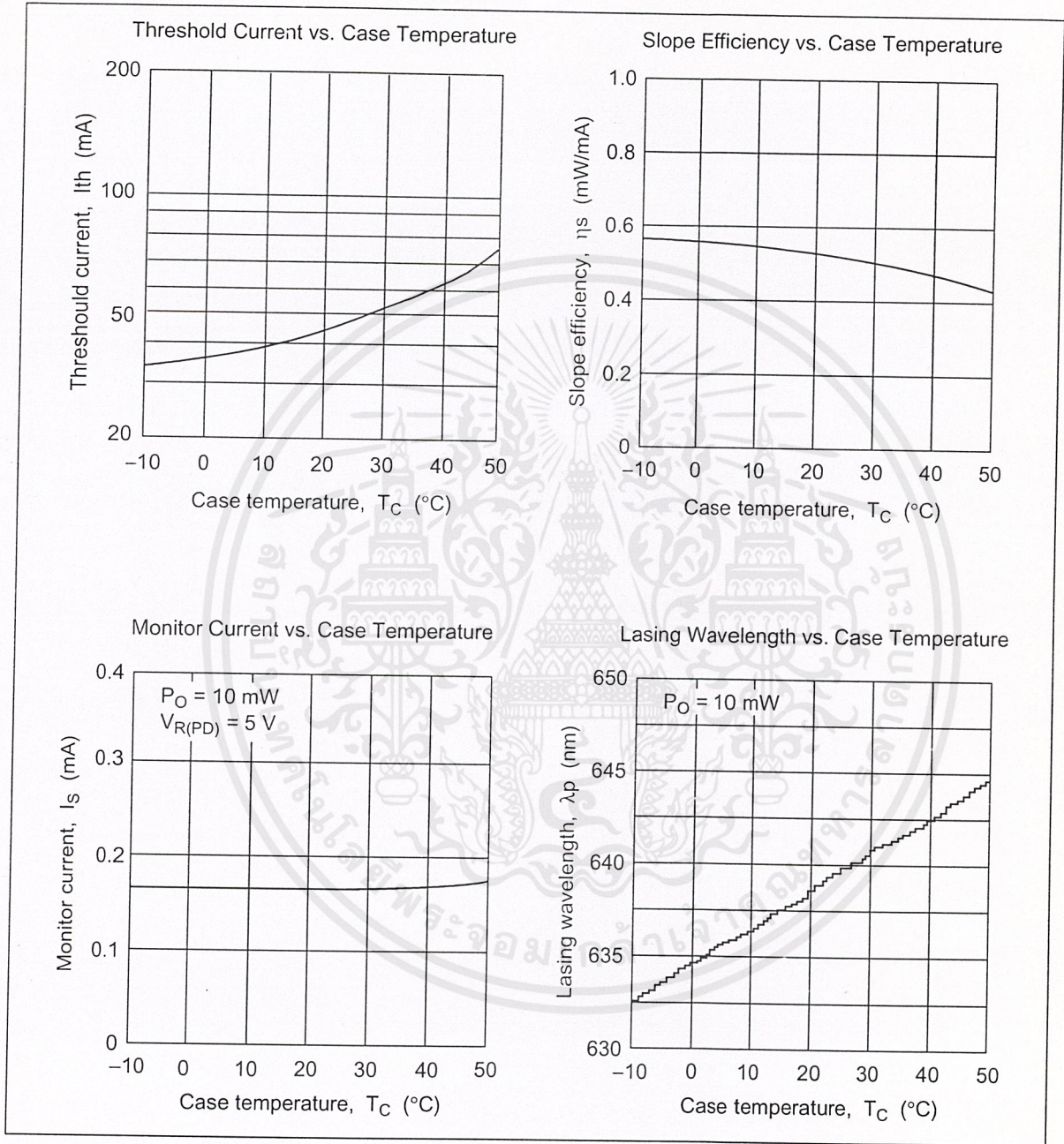
( $T_c = 25^\circ\text{C}$ )

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
Optical output power	$P_o$	10	—	—	mW	Kink free
Threshold current	$I_{th}$	20	50	75	mA	
Operating current	$I_{OP}$	—	70	95	mA	$P_o = 10 \text{ mW}$
Operating voltage	$V_{OP}$	—	—	2.7	V	$P_o = 10 \text{ mW}$
Slope efficiency	$\eta_s$	0.3	0.5	0.7	mW/mA	$6 \text{ (mW)} / (I_{(6\text{mW})} - I_{(2\text{mW})})$
Beam divergence parallel to the junction	$\theta_{//}$	5	8	11	deg.	$P_o = 10 \text{ mW}$
Beam divergence perpendicular to the junction	$\theta_{\perp}$	25	31	37	deg.	$P_o = 10 \text{ mW}$
Astigmatism	$A_s$	—	5	—	$\mu\text{m}$	$P_o = 10 \text{ mW}$ , $NA = 0.55$
Lasing wavelength	$\lambda_p$	625	635	640	nm	$P_o = 10 \text{ mW}$
Monitor current	$I_s$	0.05	0.17	0.30	mA	$P_o = 10 \text{ mW}$ , $V_{R(PD)} = 5 \text{ V}$

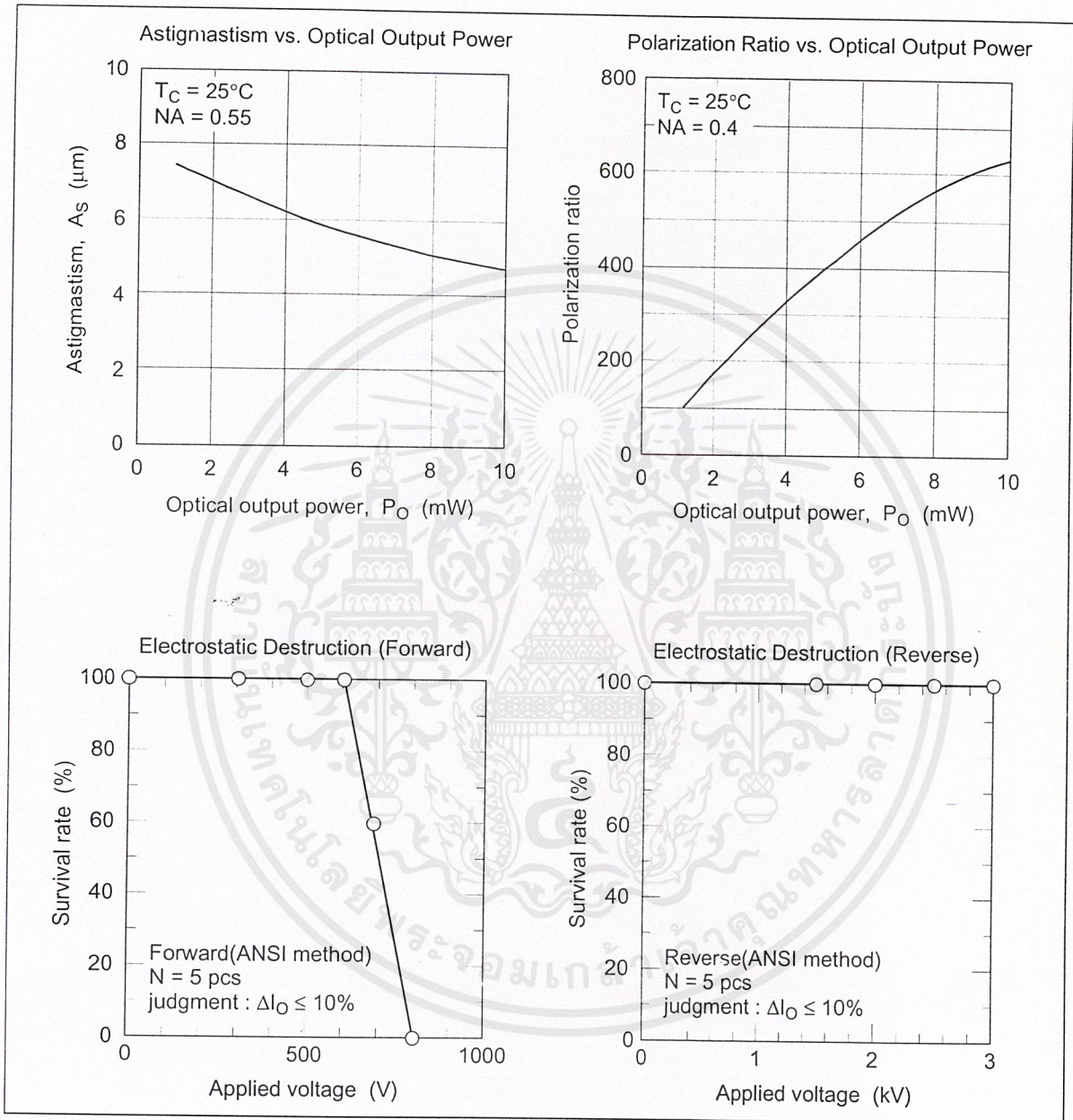
Typical Characteristic Curves



Typical Characteristic Curves (cont)



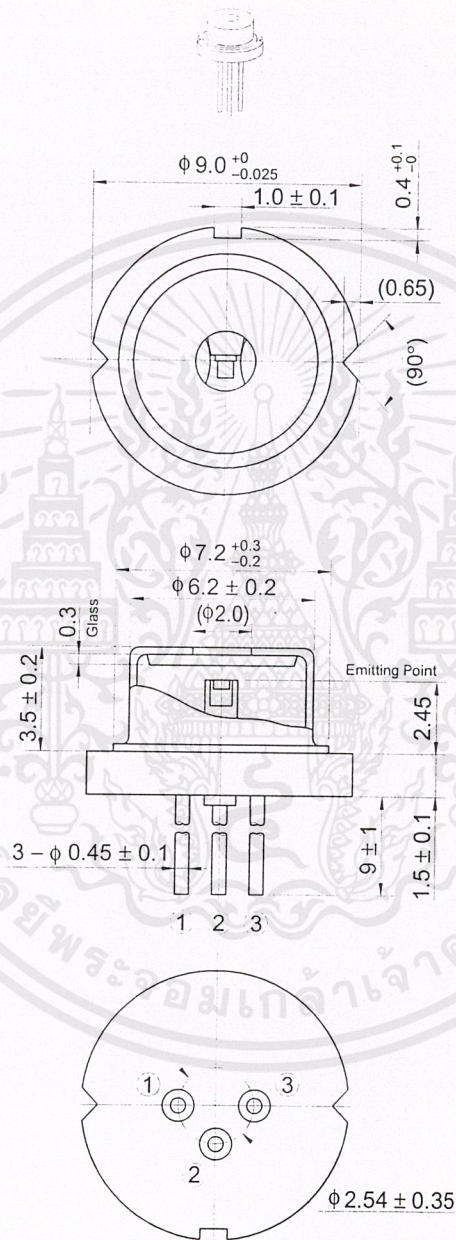
Typical Characteristic Curves (cont)



# HL6319G/20G

## Package Dimensions

As of January, 2001  
Unit: mm



Hitachi Code	LD/G2
JEDEC	—
EIAJ	—
Mass (reference value)	1.1 g

## 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.

1. The laser light is harmful to human body especially to eye no matter what directly or indirectly. The laser beam shall be observed or adjusted through infrared camera or equivalent.



# HITACHI

## Hitachi, Ltd.

Semiconductor & Integrated Circuits  
Nippon Bldg., 2-6-2, Ohte-machi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0004, Japan  
Tel: (03) 3270-2111 Fax: (03) 3270-5109

URL NorthAmerica : <http://semiconductor.hitachi.com/>  
Europe : <http://www.hitachi-eu.com/hel/ecg>  
Asia : <http://sicpac.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 Ltd.  
Electronic Components Group  
Whitebrook Park  
Lower Cookham Road  
Maidenhead  
Berkshire SL6 8YA, United Kingdom  
Tel: <44>(1628) 585000  
Fax: <44>(1628) 585200

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 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://semiconductor.hitachi.com.hk>

Copyright © Hitachi, Ltd., 2001. All rights reserved. Printed in Japan.  
Colophon 4.0

## เอกสารอ้างอิง

- 1.Thierry Bosch , Noel Servagent and Marc Lescure A Displacement Sensor For Spectrum Analysis using The Optical Feedback in a Single – Mode Laser Diode IEEE Instrumentation And Measurement Technology Conference. ( 1997 ) : 870 – 871
- 2.Thierry Bosch , Noel Servagent and Silvano Donati Optical feedback interferometry for sensing application Society of Photo – Optical Instrumentation Engineerings. 1( 2001 ) : 20 – 26
- 3.Takamasa Suzuki , Member Spie , Shigeyuki Hirabayashi and Takeo Maruyama Self – mixing Type of phase – locked laser diode interferometer Society of Photo – Optical Instrumentation Engineerings. 1( 1999 ) : 543 – 548
- 4.ผศ.อภิรักษ์ มัชฌานนท์ การสื่อสารเส้นใยแสง หน้า 111 – 130 , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพมหานคร
- 5.[www.pirun.ku.ac.th/~b40nuw/micro/CPU/manu.html](http://www.pirun.ku.ac.th/~b40nuw/micro/CPU/manu.html) , AT90s8535 8 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์