



เครื่องรับ-ส่ง สัญญาณภาพและเสียงทางแสงเลเซอร์
Video and Sound Transceiver using by Laser



โดย
นายเชาวดีต นายพรศักดิ์
บุญพร้อมอาษา วัฒนมะโน
วัน เดือน ปี..... ๒๕๖๑ ๒๕๖๑
เลขทะเบียน..... ๒๖๘๔๖๖
เลขเรียกหนังสือ..... T ๓๑,๖๐๕ ค.๖๖๑๑

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๖๑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง 038410

เครื่องรับ-ส่ง สัญญาณภาพและเสียงทางแสงเลเซอร์
Video and Sound Transceiver using by Laser



ปริญญาโท สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2539

สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องรับ-ส่ง สัญญาณภาพและเสียงทางแสงเลเซอร์

ผู้จัดทำ

นายเชาวลิต บุญพร้อมอาสา 37013242

นายพรศักดิ์ วัฒนะโน 37013254

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. สุริภม สมควรพานิชย์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง รับ-ส่ง สัญญาณภาพและเสียงทางแสงเลเซอร์

ชาวลิต บุญพร้อมอาษา

พรศักดิ์ วัฒนมะโน

ดร.สุริภณ สมควรพณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอ เครื่องรับ-ส่ง สัญญาณวิดีโอทางแสงเลเซอร์เป็น เครื่องที่ใช้ส่งและรับสัญญาณภาพและเสียงโดยใช้แสงสีแดง ($\lambda=670$ nm) ผ่านตัวกลางซึ่งเป็น อากาศ (Free Space Propagation) แทนที่จะส่งในท่อนำคลื่น (Waveguide) เช่น เส้นใยนำแสง (Optical Fibers) ระบบนี้มีข้อดีคือใช้ตัวกลางแบบง่าย และไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายนั้นคืออากาศ และ ยังไม่ต้องยุ่งเกี่ยวกับ waveguide modes ต่างๆ ซึ่งมีความยุ่งยากแก่การควบคุมที่มีในเส้นใยนำแสง ซึ่งหลักการส่งนำสัญญาณเสียงมอดูเลทกับความถี่คลื่นพาห้ 5.5 MHz แล้วจึงรวมเข้ากับสัญญาณ ภาพ จากนั้นทำการมอดูเลทด้วยแสงสีแดงซึ่งเป็นแสงเลเซอร์เพื่อส่งผ่านทางอากาศ

Vedio and Sound Transceiver using by Laser

Chaowalit Bunphomarsa

Pornsak Watmano

Dr.Suripon Somkuarnpanit Advisor

1996

Abstrack

This thesis presented the Vedio and Sound Transceiver using by Laser, which is used for transmitted and received vedio and audio signal. These signal are transmitted pass free space which is a medium, replaced the waveguide such as optical fiber. Advantage this system is it easy to propagation and it not involve with waveguide mode which have a difficult to control in optical fiber. Principle this system is brought the audio signal modulated with the sub carrier frequency 5.5 MHz and then mixed with vedio signal. That modulated signal is driven by Laser diode which have a red colour ($\lambda=670$ nm) for transmit in free space.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	1
1.3 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ระบบส่งสัญญาณแสง	3
2.1.1 ระบบแพร่สัญญาณแสงไปในที่ว่างเปล่า	3
2.1.2 ระบบส่งสัญญาณแสงด้วยเคเบิล	3
2.1.3 ระบบส่งสัญญาณที่นำลำแสง	4
2.2 ส่วนประกอบของการส่งสัญญาณแสง	5
2.3 อุปกรณ์กำเนิดแสง	5
2.3.1 ไดโอดเปล่งแสง	6
2.3.2 เลเซอร์ไดโอด	6
2.3.1 พลังงานทางเอาท์พุท	7
2.3.2 ความกว้างสเปกตรัม	8
2.4 คุณสมบัติที่สำคัญของเลเซอร์	10
2.4.1 ความยาวคลื่นเดียว	10
2.4.2 การกระจายน้อย	10
2.4.3 ความแน่นแฟ้นสูง	10
2.5 วงจรขับเลเซอร์	11
2.6 เทคนิคการป้องกันกลับของเลเซอร์	12
2.7 การบีมลำแสง	13
2.8 ความปลอดภัยในการใช้เลเซอร์	14
2.9 อุปกรณ์ตรวจจับแสง	16
2.9.1 ฟินโฟโต้ไดโอด	16
2.10 พารามิเตอร์โฟโต้ไดโอด	17
2.10.1 ประสิทธิภาพทางควอนตัม	18
2.10.2 การตอบสนองต่อความไว	18
2.10.3 กระแสมืด (Dark Current)	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.11 สัญญาครอบงวนตัวตรวจจับ	20
2.11.1 สัญญาครอบงวนควอนตัม	20
2.11.2 สัญญาครอบงวนประทุ	20
2.11.3 สัญญาครอบงวนเชิงความร้อน	20
2.11.4 สัญญาครอบงวนรวม	21
2.12 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	21
2.13 สัญญาณภาพรวม	22
2.13.1 สัญญาณภาพขาวดำ	22
2.13.2 สัญญาณแบล็กกิ้ง	23
2.13.3 สัญญาณซิงโครไนซ์	23
2.13.4 สัญญาณอ็ควอไลซิง	23
2.14 การผสมสัญญาณภาพ	25
บทที่ 3 วงจรและการทำงาน	27
3.1 ภาคส่ง	27
3.1.1 วงจรผสมสัญญาณภาพและเสียง	27
3.1.2 วงจรขับและควบคุมกระแสเลเซอร์	29
3.2 ภาครับ	29
3.2.1 วงจรแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า	31
3.2.2 วงจรแยกสัญญาณภาพและเสียง	32
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	35
4.1 การทดลองและผลการทดลองของวงจรทางภาคส่ง	35
4.1.1 วงจรผสมสัญญาณภาพและเสียง	35
4.1.2 วงจรขับและควบคุมกระแสของเลเซอร์	37
4.2 การทดลองและผลการทดลองของวงจรภาครับ	39
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผล	46
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันระบบการส่งสัญญาณภาพและเสียงได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเห็นได้ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การส่งสัญญาณโทรทัศน์จากสถานีทอนสัญญาณที่ตั้งอยู่ตามพื้นดินของสถานีต่างๆ ต่อมาก็มีการดำเนินธุรกิจทางโทรทัศน์ในชื่อของระบบ DTH (Direct To Home) และระบบเคเบิลทีวี ซึ่งมีการส่งรายการโทรทัศน์ ทางสายใยแก้วนำแสง ซึ่งเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของระบบการส่งสัญญาณทางแสง แต่สายใยแก้วนำแสงนั้นยังมีราคาแพงและในบางสถานที่จำเป็นต้องมีการติดต่อกันแบบทันทีทันใด เช่นกรณีเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ การใช้สายเป็นตัวนำสัญญาณอาจขาดเสียหายได้ และบางทีที่ต้องการส่งข้อมูลข้ามแม่น้ำหรือลำคลองซึ่งการใช้สายใยแก้วนำแสง จะกระทำได้ยากกว่า ซึ่งในการจะเปลี่ยนการส่งข้อมูลโดยผ่านอากาศสามารถเปลี่ยนมาใช้สายใยแก้วนำแสงก็ได้เพียงเปลี่ยนตัวเลเซอร์ไดโอดและพินไดโอดที่ใช้สำหรับสายใยแก้วนำแสงแต่วงจรส่วนอื่นยังคงเดิม

1.1 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

- 1.1.1 เพื่อศึกษากระบวนการส่งสัญญาณภาพในระบบอนาล็อกทางแสงเลเซอร์
- 1.1.2 เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรภาคส่งและรับสัญญาณทางแสง
- 1.1.3 เพื่อกระตุ้นให้มีการวิจัยการสื่อสารทางแสงเลเซอร์มากขึ้น

1.2 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

สร้างวงจรส่งสัญญาณภาพและเสียงพร้อมทั้งภาครับดังนั้นจะแบ่งขอบเขตได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

1.2.1 ภาคส่งสัญญาณภาพและเสียง โดยทำการผสมสัญญาณภาพและเสียงเข้าด้วยกันโดยไม่รบกวนกัน

1.2.2 ภาครับและแยกสัญญาณภาพและเสียง

1.3 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงทฤษฎีการส่งสัญญาณทางแสงในรูปแบบต่างๆ รายละเอียดของอุปกรณ์กำเนิดแสงชนิดต่างๆ รวมถึงตัวตรวจจับแบบพินไดโอด ความสำคัญของสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสัญญาณที่ได้รับได้ รายละเอียดของสัญญาณภาพซึ่งเป็นข้อมูลที่จะส่ง กระบวนการส่งและการควบคุมเสถียรภาพของวงจรภาคส่ง การนำสัญญาณภาพและเสียงมาผสม กันโดยที่ไม่เกิดการรบกวนกัน อีกทั้งคุณสมบัติที่สำคัญของแสงเลเซอร์ และความปลอดภัยในการ ใช้งานซึ่งจำเป็นต้องเข้าใจและต้องระมัดระวังในการใช้งานอุปกรณ์เหล่านี้ รายละเอียดกล่าวถึงใน บทที่ 2 ส่วนในบทที่ 3 เป็นหลักการทำงานของวงจรต่างๆ อย่างละเอียด ซึ่งประกอบด้วยวงจร หลักๆ คือภาคส่งและภาครับ ส่วนผลการทดลองต่างๆ ของวงจรที่มีการวัดรูปสัญญาณประกอบ ด้วยเพื่อให้ผู้อ่านเกิดความเข้าใจ ซึ่งมีการเปรียบเทียบรูปสัญญาณทั้งภาพและเสียงที่ระยะทางใน การรับที่ต่างกันซึ่งผลการทดลองเหล่านี้อยู่ในบทที่ 4 และท้ายที่สุดจะกล่าวถึงการสรุปและวิจารณ์ ผลการทดลองและแนวทางในการพัฒนาต่อไป



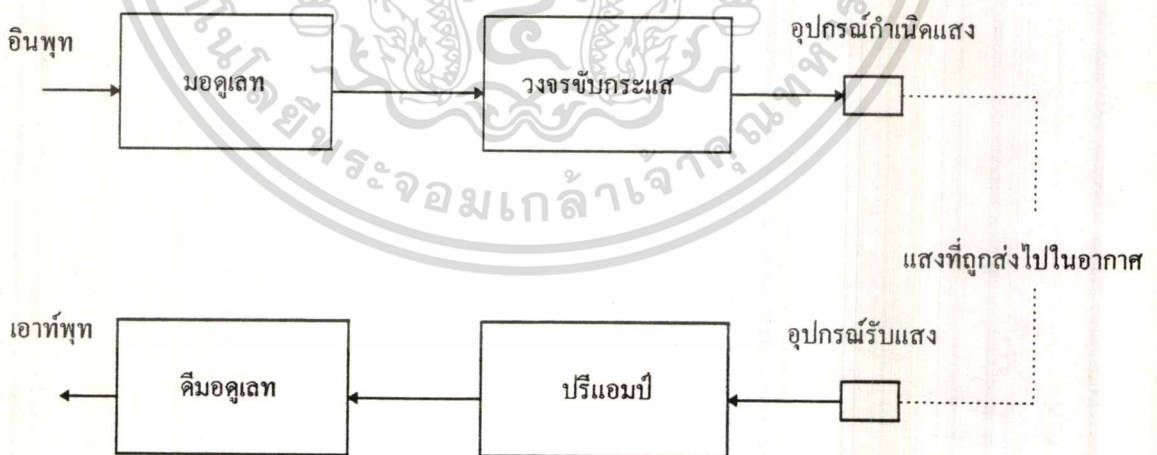
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ปัจจุบันนี้ระบบส่งสัญญาณแสงจะเป็นระบบที่สำคัญมากสำหรับการส่งสัญญาณระยะทางยาวที่มีความจุสูง และการส่งสัญญาณระยะทางสั้นที่มีแถบความถี่กว้าง ซึ่งได้มีการนำมาพัฒนาใช้งานได้กว้างขวาง สถานการณ์ปัจจุบันระบบนี้มีการใช้งานมาก และมีความสำคัญมากทั้งปัจจุบันและอนาคตจะสามารถ จัดแบ่งระบบสื่อสารทางแสงได้ ดังนี้

2.1 ระบบส่งสัญญาณแสง

2.1.1 ระบบแพร่สัญญาณแสงในที่ว่างเปล่า (Free space propagation system) ระบบแพร่ในที่ว่างเปล่าของแสงมีข้อดีคือเป็นระบบที่ง่าย และในปัจจุบันนี้เราสามารถนำระบบที่มีความจุต่ำมาใช้งานได้ แต่การลดทอนของระดับสัญญาณ (attenuation) จากหมอกและฝนมีสูงมาก ตัวอย่างเช่น ปริมาณของการลดใน 2% ของช่วงเวลานึ่งปี มีสูงถึง 30 dB/km จากการวัดใกล้ ๆ กรุงโตเกียว (มิถุนายน 2513 - กุมภาพันธ์ 2514)^[4] ดังนั้นการสร้างเส้นทางส่งสัญญาณที่มีเสถียรภาพสำหรับระยะทางไกล ๆ จึงยังยากมาก แต่ก็ยังมีประโยชน์สำหรับการใช้ชั่วคราวแทนเส้นทางที่เกิดภัยพิบัติหรือใช้ในเส้นทางที่ไม่สามารถสร้างวงจรธรรมดาได้โดยรูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของส่วนต่าง ๆ ของระบบแพร่สัญญาณแสงในที่ว่างเปล่า

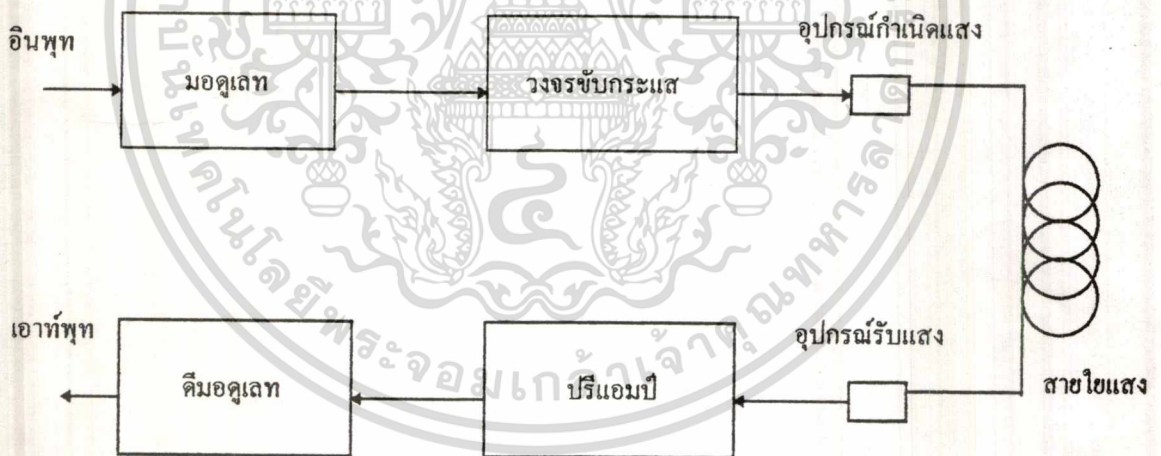


รูปที่ 2.1 หังแสดงระบบคลื่นพาหะของการส่งสัญญาณแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ระบบส่งสัญญาณแสงด้วยเคเบิล (Cable transmission system) สัญญาณแสงสามารถส่งผ่านเคเบิลที่เรียกว่าเคเบิลแสง (optical cable) ซึ่งงอไปมาได้เหมือนเคเบิลธรรมดา และมีคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาพดินฟ้าอากาศเหมือนในที่วางเปล่า ในปัจจุบันนี้มีใยแสง (optical fiber) 2 ชนิด ที่สามารถนำไปใช้เป็นเคเบิลแสงในอนาคตได้คือ ใยแสงชนิดโฟกัส (focusing type) และใยแสงชนิดรวม (clad type) ชนิดแรกมีดรรชนีหักเห (refractive index) ศูนย์กลางของใยแก้วที่มีดรรชนีหักเหต่ำกว่า เพื่อไม่ให้แสงผ่านออกมาจากใยแก้วได้เพราะสะท้อนกับจากผิวที่มีค่าดรรชนีหักเหไม่ต่อเนื่องกันเคเบิลทั้งสองชนิดสามารถใช้ส่งสัญญาณได้ทั้งในระยะทางใกล้ ๆ และระยะทางยาว เพราะการสูญเสียในสายน้อยมาก ซึ่งเป็นข้อดีที่สำคัญของใยแสง

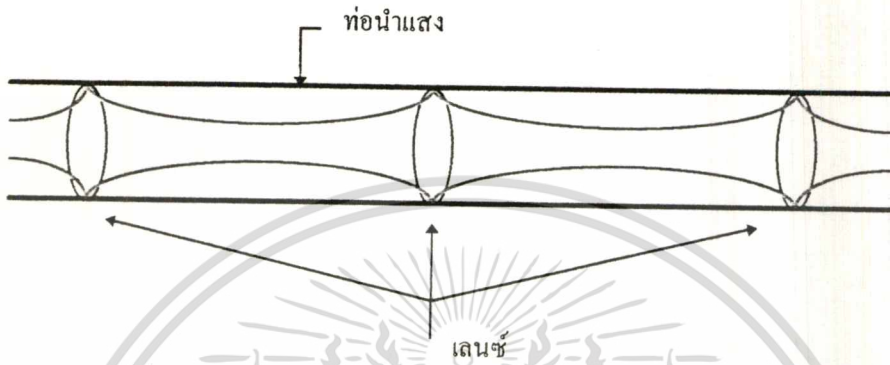
การส่งสัญญาณด้วยเคเบิลแสงแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามลักษณะของการใช้งาน คือ เคเบิลท้องถิ่น (local cable) และเคเบิลทรวง (trunk cable) เคเบิลทรวงเป็นเคเบิลที่ใช้สำหรับเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณหลายแบบ (multimode transmission) (เช่น ใยแก้วชนิดโฟกัส) ซึ่งสามารถต่อได้ง่ายกับไอโอดีของแสง ที่ใช้เป็นแหล่งออสซิลเลชันของแสงกันมาก สำหรับการส่งสัญญาณทางไกล เราใช้เคเบิลแบบเดี่ยว (single mode cable) ชนิดสวมหรือชนิดโฟกัสที่มีแถบความถี่ส่งสัญญาณกว้างมากเป็นพิเศษ เพื่อส่งสัญญาณพัลส์ความเร็วสูงที่ไม่มีการบิดเบือน โดยรูปที่ 2.2 แสดงผังของระบบส่งสัญญาณด้วยใยแสง



รูปที่ 2.2 ผังแสดงหลักการทำงานของระบบส่งสัญญาณแสงตามเคเบิล

2.1.3 ระบบส่งสัญญาณนำลำแสง (Optical beam guide transmission system) ท่อนำลำแสง^[4] (optical beam guide) เป็นระบบส่งสัญญาณแสงที่มีการจัดเลนส์แสง (optical lens) หรือกระจกเงาสะท้อนแสง (reflecting mirror) ไว้เป็นระยะห่างเท่า ๆ กัน เพื่อนำแสงดังแสดงในรูป 2.3 ข้อดีของท่อนำแสงก็คือมีการสูญเสียในการส่งสัญญาณต่ำมาก (จากราย

งานมีค่าประมาณ 0.5 dB/km) ความโค้งงอของเส้นทางส่งสัญญาณ จะมีผลกระทบต่อความกว้างของแถบความถี่มากกว่าต่อการสูญเสียในการส่งสัญญาณแต่ความกว้างของแถบความถี่ของการส่งสัญญาณอาจจะมีได้ถึง 1,000 GHz ถ้าความโค้งงอมีลักษณะเหมือนความโค้งงอของซูเปอร์ไฮเวย์สำหรับรถยนต์



รูปที่ 2.3 ท่อนำลำแสง (light beam guide)

2.2 ส่วนประกอบของการส่งสัญญาณแสง

ได้มีการพัฒนาแหล่งกำเนิดแสงขึ้นมาหลายชนิดด้วยกัน เช่น แกสเลเซอร์ เลเซอร์สารกึ่งตัวนำ ไดโอดเรืองแสง (luminous diode) ฯลฯ ในจำนวนแหล่งกำเนิดแสงเหล่านี้ เลเซอร์สารกึ่งตัวนำเป็นที่น่าสนใจที่สุด เพราะมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพสูงมาก และสามารถมอดูเลตได้โดยตรงที่ค่ากำลังต่ำ ๆ เทคนิคเฉพาะอย่าง เช่น การมอดูเลชัน การจับคลื่น (detection) มัลติเพลกซ์แบ่งความถี่ (frequency-division multiplexing) มัลติเพลกซ์แบ่งเวลา (time-division multiplexing) ของอุปกรณ์แสงต่าง ๆ ก็มีใช้งานกันอย่างกว้างขวางขณะนี้ ตัวอย่างเช่น มอดูเลเตอร์ภายนอกที่มีอัตราของการมอดูเลชันสูงถึงประมาณ 1 Gb/s ที่ใช้งานอยู่ในทางปฏิบัติและอวาแลนซ์ไฟโตไดโอด (avalanche-photo-diode-APD) ที่ใช้เป็นตัวจับคลื่นอยู่ในทางปฏิบัติ

ขณะนี้การศึกษาและพัฒนาของส่วนต่าง ๆ และของระบบส่งสัญญาณแสงมีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วเพราะระบบนี้จะสามารถตอบสนองความต้องการของการส่งสัญญาณปริมาณมาก ๆ ได้ เช่น โทรทัศน์ภาพ (television-telephony) , ระบบเคเบิลทีวี

2.3 อุปกรณ์กำเนิดแสง

อุปกรณ์กำเนิดแสงถูกใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง เพื่อส่งสัญญาณให้กับตัวกลาง เช่น สายไฟเบอร์หรือผ่านบรรยากาศ สัญญาณไฟฟ้าเป็นได้ทั้งสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิทัล แหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ จำเป็นต้องเหมาะสมโดยมีกฎเกณฑ์ดังนี้

1. ต้องมีผิวหน้าของการส่งแสงที่เล็ก (small emissive surface)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ต้องปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ถูกต้อง (correct wavelength)
3. ต้องมีการตอบสนองต่อเวลาที่เร็ว (rapid responstime)

แหล่งกำเนิดสัญญาณที่ใช้กันมากมีอยู่ 2 แบบ คือ ไดโอดเปล่งแสง (light emitting diode) ; LED และ อินเจกชันเลเซอร์ไดโอด (injection laser diode) ตัวปล่อยแสงเหล่านี้มีขนาดเล็ก, แรงดันต่ำ และมีความยาวคลื่นตามที่ต้องการในบพนี้จะอธิบายถึงกระบวนการปล่อยแสงอย่างสั้น ๆ การกำหนดข้อมูลที่กระทำบนตัวปล่อยแสง

2.3.1 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode)

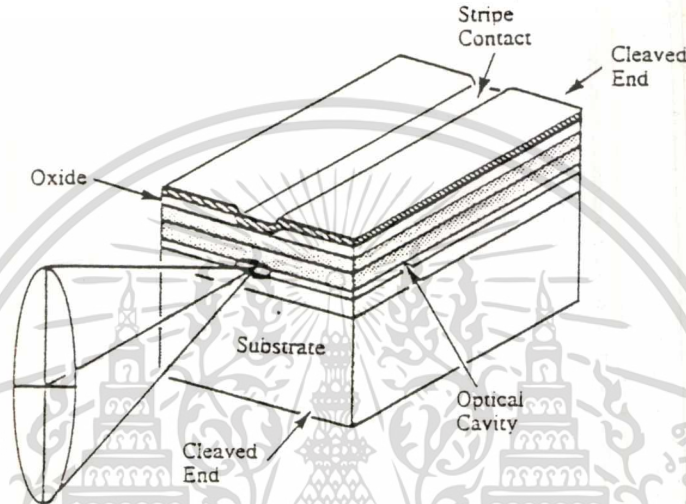
ไดโอดเปล่งแสง (LED) เป็นอุปกรณ์ที่ดีสำหรับใช้ในการเชื่อมต่อทางแสง ด้วยอายุการใช้งานที่ยาวนานประมาณ 10^5 ชั่วโมง, มีเสถียรภาพในการทำงาน, ข่านอุณหภูมิกว้างและราคาต่ำเราเรียกว่า LED ว่าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงซึ่งหมายความว่าจะให้แสงออกมาเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลภายในรอยต่อ พี-เอ็น ของไดโอดโดยกำเนิดโฟตอนออกมาเริ่มต้นด้วยรอยต่อพี-เอ็น โดยในสารกึ่งตัวนำชนิด เอ็นจะมีอิเล็กตรอนเป็นพาหะข้างมากและสารกึ่งตัวนำชนิด พีจะมีโฮลเป็นพาหะข้างมาก ด้วยอำนาจของสนามไฟฟ้าอิเล็กตรอนบางส่วนจะถูกฉีดข้ามรอยต่อ พี-เอ็น และรวมตัวกับโฮล เมื่อเกิดการรวมตัวขึ้นก็เกิดการสูญเสียพลังงานและปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตอน (แสง) ซึ่งกรณีเป็นแบบเกิดขึ้นเองโฟตอนที่ปล่อยออกมานี้จะมีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันซึ่งเป็นที่รู้กันว่าเป็นการส่องแสงแบบอินโคฮีเรนท์ (incoherent) ด้วยความยาวคลื่นของแสงที่ปล่อยออกมาจากแอลอีดี ขึ้นอยู่กับช่องว่างพลังงานของวัสดุระหว่างแถบความนำพลังงานช่องว่างรอยต่อพี-เอ็น

2.3.2 เลเซอร์ไดโอด (laser diode)

เลเซอร์ไดโอดมีความสามารถในการให้พลังงานมากกว่า LED ถึง 10 dB และยังเป็นแสงที่ติดต่อกัน (coherent light) หรือเป็นแสงสีเดียว (monochromatic light) การทำงานในกรณีที่กระแสไบอัสต่ำกว่ากระแสขีดเริ่ม (threshold current) เลเซอร์ไดโอดก็จะมีคุณสมบัติเหมือนกับ LED และที่กระแสขีดเริ่มนี้มีการปล่อยแสงแบบเกิดขึ้นเองก็จะเกิดขึ้น โดยมีพื้นที่การกระจายแสงที่กว้าง ส่วนในกรณีที่กระแสสูงกว่ากระแสขีดเริ่ม แสงสีเดียวก็จะถูกปล่อยออกจากตัวเลเซอร์และการเป็นเลเซอร์ก็เริ่มเกิดขึ้นผลที่ได้จะมีเกณฑ์ทางแสงสูงมีสเปคตรัมหรือความยาวคลื่นที่แคบและเป็น โคฮีเรนท์ (หมายถึงแสงที่ปล่อยออกมาในความยาวคลื่นเดียวกัน)

ในรูป 2.4 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอดเมื่อเลเซอร์ไดโอดถูกไบอัสด้วยกระแสที่แน่นอนโฮลและอิเล็กตรอนก็จะเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณแอคทีฟ (active region) โดยบริเวณแอคทีฟนี้ถูกปิดล้อมด้วยวัสดุที่มีด้วยชั้นของพีและเอ็น แสงที่ปล่อยออกมาก็จะถูกจำกัดบริเวณ โดยออกมาจากสองด้านคือด้านหน้าและด้านหลังของตัวเลเซอร์ไดโอด อิเล็กตรอนและ

โฮลที่รวมตัวกันก็จะให้โฟตอนหรือแสง ซึ่งที่ประกอบบริเวณแอคทีฟทำหน้าที่เสมือนกระจกเงา (mirrors) หรือ resonant cavity ที่ซึ่งโฟตอนถูกสะท้อนกลับไปมาทำให้เกิดการทางเดินออกที่ปลายทั้งสองด้าน โฟตอนที่เข้าไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนรวมตัวกลับโฮล ทำให้เกิดการปล่อยโฟตอนออกมาในความยาวคลื่นเดียวกันกับโฟตอนตัวที่สองจึงเกิดการขยายขึ้นเลเซอร์ไดโอดสามารถใช้วัสดุเดียวกับที่ทำ LED ได้แต่อุปกรณ์ทั้งสองมีโครงสร้างที่ต่างกัน โดยในการสร้างภาคส่งจะใช้ laser diode เป็นแหล่งกำเนิดแสงของวงจร



รูปที่ 2.4 โครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอด

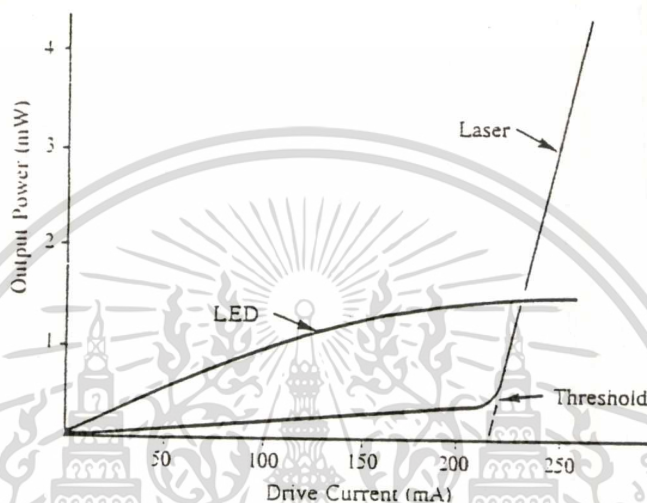
2.3.3 พลังงานทางเอาต์พุต (POWER OUTPUT)

การพิจารณาอีกอย่างหนึ่งคือ คุณสมบัติทางเอาต์พุตของ แอลอีดีและเลเซอร์ไดโอดกราฟในรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงพลังงานทางเอาต์พุตเทียบกับกระแสที่ป้อน จากกราฟจะเห็นว่าแอลอีดีมีลักษณะของพลังงานทางแสงใกล้เคียงความเป็นเชิงเส้นกับกระแสที่ป้อนให้ ความหมายนี้หมายถึงว่าแอลอีดีสามารถทำงานที่ระดับพลังงานต่ำได้ ตามสัมพันธะระหว่างพลังงานทางแสงกับกระแสที่ป้อนแสดงได้ว่า

$$P = N \cdot \frac{hc}{\lambda} = \frac{\eta \cdot E_g \cdot I}{e}$$

- โดยที่ N เป็นจำนวนของประจุต่อวินาที = i / e
- η เป็น fraction of radiative charges that recombined
- E_g เป็นพลังงานช่องว่างในหน่วยจูลส์

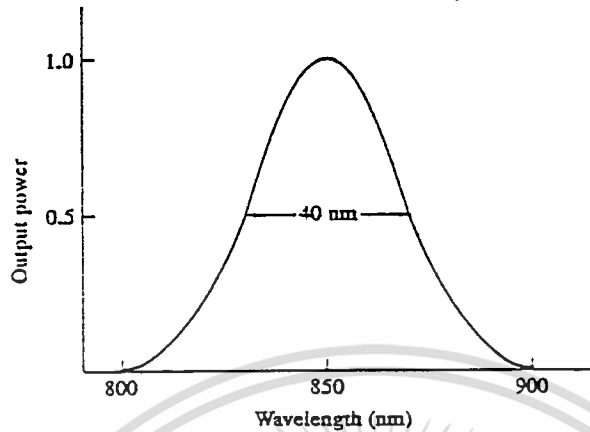
ดังนั้นแอลอีดีจึงคุณประโยชน์จากการบริโภคพลังงานต่ำและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ปกติแล้วแอลอีดีทำงานที่ประมาณ 350 ถึง 300 mA และต้องการแรงดันประมาณ 1.5 ถึง 2.5 v พลังงานทางเอทพุทของเลเซอร์ไดโอดมีค่าน้อยที่กระแสต่ำๆ เนื่องจากเกิดการปล่อยแสงแบบเกิดขึ้นเอง แต่ถ้าเพิ่มกระแสขึ้นการปล่อยแสงแบบเกิดขึ้นเองก็จะกลายเป็นการปล่อยแสงแบบถูกเร้า พลังงานทางเอทพุทก็จะเพิ่มขึ้น ระดับของพลังงานทางอินพุทในการทำให้เกิดเลเซอร์นั้นต้องถูกควบคุมอย่างระมัดระวังหรือจำเป็นต้องมีการชดเชยการสูญเสียทางความร้อนขึ้น



รูปที่ 2.5 แสดงพลังงานทางเอทพุทเทียบกับกระแสของแอลอีดีและเลเซอร์ไดโอด

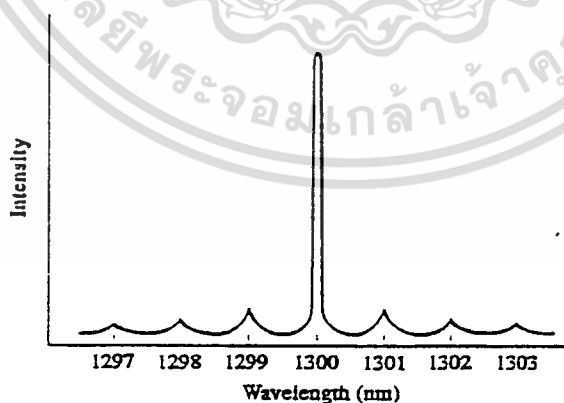
2.3.4 ความกว้างสเปกตรัม (Spectral Width)

สเปกตรัมแสงของแอลอีดีและเลเซอร์ไดโอดมีความแตกต่างกันมากที่เดียวทั้งสองอย่างไม่ใช่อุปกรณ์ที่มีความยาวคลื่นคงที่ค่าใดค่าหนึ่ง ความยาวคลื่นเอทพุทเป็นตัวประกอบพื้นฐานและถูกวัดให้เป็นฟังก์ชันกับพลังงานเอทพุท โดยถูกวัดที่จุดครึ่งหนึ่งของพลังงาน (half power point) บนกราฟของพลังงานเอทพุทเทียบกับความยาวคลื่นที่ปล่อยออกมา ดังนั้นความแตกต่างของความยาวคลื่นที่จุดครึ่งของพลังงานจึงถูกเรียกว่า ความยาวสเปกตรัม ตัวเปล่งแสงที่ถูกกำหนดให้ทำงานเฉพาะจุดกึ่งกลางของความยาวคลื่น เช่น เปล่งความยาวคลื่นที่มีจุดกึ่งกลาง 1300 nm ของความยาวคลื่น โดยในความจริงแล้วจะไม่มีมีความยาวคลื่นที่คงที่ แต่จะมีความยาวคลื่นอื่นๆ ภายในช่วง 10 ถึง 20 nm ของจุดกึ่งกลางนั้นๆ ถูกเปล่งออกมาด้วย ในแอลอีดีที่มีความยาวคลื่นเฉพาะที่ 850 nm จะมีความกว้างสเปกตรัมประมาณ 30 ถึง 50 nm ความกว้างสเปกตรัมที่สูงนั้นสัมพันธ์กับรูปแบบการกระจายของสีซึ่งเป็นจำกัดแบนด์วิดท์ ของระบบในรูปที่ 2.9 แสดงสเปกตรัมความยาวคลื่นของแอลอีดี



รูปที่ 2.6 สเปกตรัมของแอลอีดี

สำหรับเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่นเฉพาะที่ 1300 nm ก็จะมี ความกว้างสเปกตรัมประมาณ 0.01 nm วัสดุที่ใช้ทำเลเซอร์ไดโอดนั้น มีผลต่อความกว้างสเปกตรัมด้วย ในเลเซอร์ไดโอดที่สร้างมาจากสารประกอบ เช่น แกลเลียมอะลูมิเนียมอาเซนายด์ (GaAlAs) และอินเดียมแกลเลียมอาเซนายด์ (InGaAsP) มีความกว้างสเปกตรัมที่ไม่เป็นเลเซอร์ 2 ถึง 5 nm และ 0.8 nm ตามลำดับ การไม่เป็นเลเซอร์หมายถึงการที่เลเซอร์ไดโอดประพุดิตัวเป็นแอลอีดีธรรมดา นั้นเอง ในรูปที่ 2.10 แสดงความกว้างสเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอด



รูปที่ 2.7 สเปกตรัมของเลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 คุณสมบัติที่สำคัญของเลเซอร์

แสงเลเซอร์ที่แท้จริงนั้นจะต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญและเห็นได้อย่างชัดเจน 3 ประการดังต่อไปนี้คือ^[5]

2.4.1 ความยาวคลื่นเดียว(Monochromaticity) ตามปกติแล้วแสงที่เราเห็นว่าไม่มีสี(หรือสีขาว)นี้ ประกอบด้วยแสงสีต่าง ๆ ที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ดังเราจะเห็นได้เมื่อนำแท่งแก้วปริซึมมาตั้งไว้ให้แสงแดดธรรมดา ๆ ล่องผ่านไป แสงแดดจะถูกแท่งแก้วปริซึมกระจายออกเป็นแสงสีต่าง ๆ กันไปดังตารางที่ 2.1 เป็นความยาวคลื่นของแสงสีต่าง ๆ ที่แยกมาได้ แต่แสงเลเซอร์มีความยาวคลื่นเพียงหนึ่งเดียวเท่านั้น ซึ่งจะเป็นเท่าไรก็ขึ้นอยู่กับวัตถุที่เป็นต้นกำเนิดแสงเลเซอร์ดังตารางที่ 2.2

2.4.2 การกระจายน้อย(Low divergence) เมื่อแสงเดินทางออกจากต้นกำเนิดจะมีการกระจายตัวออกตามธรรมชาติของมัน ไม่มีการยักเว้นแม้แต่แสงเลเซอร์ มุมที่แสงกระจายตัวกว้างออกไปนั้นคือ Divergence angle ซึ่งมีหน่วยวัดเป็นเรเดียน ในกรณีของแสงเลเซอร์นั้น มุมกระจายนี้มีค่าน้อยมากคือประมาณ 0.001 เรเดียนเท่านั้น และการกระจายขนาดนี้เมื่อแสงเดินทางห่างจากต้นกำเนิดเป็นระยะทาง 1,000 ฟุต จะมีการกระจายกว้างออกเป็นระยะเพียง 1 ฟุต เท่านั้น

2.4.3 ความแน่นแฟ้นสูง(Coherent) ธรรมชาติของแสงอีกเช่นกันที่แสงปกติอันประกอบด้วยความยาวคลื่นต่าง ๆ กันนั้นจะมีการกระจายของคลื่นแสง ซึ่งเมื่อคลื่นแสงเหล่านั้นเดินทางไปจะไม่รวมเฟส(Phase)กัน คือเมื่อเดินทางไปช่วงหนึ่งจะมีคลื่นยาวลูกขึ้น ๆ ลง ๆ ไม่เท่ากัน แต่สำหรับแสงเลเซอร์แล้ว ณ เวลาใดก็ตามคลื่นแสงจะเป็นเฟสเดียวกันทำให้มีความแน่นแฟ้นสูง และคุณสมบัติข้อนี้แหละที่ทำให้เลเซอร์มีอำนาจการทะลุทะลวงอย่างมหาศาล

แสงสีต่าง ๆ	ความยาวคลื่น (nm)
ม่วง	390 - 455
น้ำเงิน	455 - 492
เขียว	492 - 577
เหลือง	577 - 597
ส้ม	597 - 622
แดง	622 - 770

ตารางที่ 2.1 ความยาวคลื่นของแสงสีต่าง ๆ

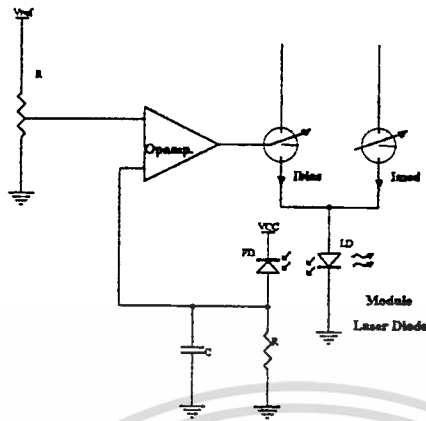
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุ	ชนิดของตัวกลาง	ความยาวคลื่น (nm)
Ionized Argon	ก๊าซ	488(น้ำเงิน) และ 514(เขียว)
Ionized Krypton	ก๊าซ	10,600(อินฟราเรด)
Helium Neon	ก๊าซ	632.8(แดง)
Organic Dyes	ของเหลว	360 - 650 (หลายสี)
Erbium	ของแข็ง	1,612(อินฟราเรด)
Neodymium : glass	ของแข็ง	1,060(อินฟราเรด)
Neodymium : YAG	ของแข็ง	1,060(อินฟราเรด)
Ruby	ของแข็ง	694(แดงมัว ๆ)
Gallium Antimonide	สารกึ่งตัวนำ	1,600(อินฟราเรด)
Gallium Arsenide	สารกึ่งตัวนำ	850(อินฟราเรด)
Indium Arsenide	สารกึ่งตัวนำ	3,200(อินฟราเรด)

ตารางที่ 2.2 แสดงความยาวคลื่นของต้นกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ

2.5 วงจรขับเลเซอร์ (Laser drive circuit)

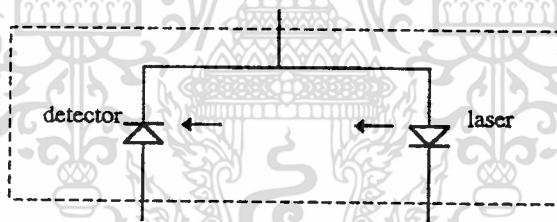
ในหัวข้อนี้เราจะพิจารณาการส่งสัญญาณโดยใช้เลเซอร์ซึ่งจะมีค่าขีดเริ่ม (threshold) ความต้องการกระแสขั้วจึงต่างจากแอลอีดีและจากกราฟความสัมพันธ์ทางพลังงานแสงของเลเซอร์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น (รูปที่ 2.5) จะเห็นว่ามีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น โดยที่พลังงานจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อกระแสขั้วเกินค่าของกระแสขีดเริ่ม (threshold current) ของตัวเลเซอร์ ช่วงบริเวณเชิงเส้นหลังจากเลขกระแสขีดเริ่มแล้วเล็กน้อย เหมาะสำหรับการมอดูเลตสัญญาณทางอนาล็อก โดยปกติแล้วเลเซอร์ไดโอดทำงานในลักษณะ current mode ดังนั้นถ้ามีกระแสขั้วให้มากเกินไปก็สามารถทำความเสียหายกับตัวเลเซอร์ได้ จึงต้องมีการป้อนกลับ (feedback) เพื่อควบคุมปริมาณกระแสขั้วซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป และโดยทั่วไปแล้ววงจรขับเลเซอร์พื้นฐานจะมีลักษณะคล้ายๆซึ่งแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 2.8 จะเห็นว่ามีกระแสไบอัสและกระแสมอดูเลต กระแสไบอัสจะเป็นกระแสที่กำหนดให้เลเซอร์ไดโอดอยู่ในช่วงใช้งาน กล่าวคือต้องเซตให้เกินค่ากระแสขีดเริ่มเล็กน้อย และกระแสส่วนนี้ต้องสามารถควบคุมได้เพื่อเหตุผลที่กล่าวไปข้างแล้ว ส่วนกระแสมอดูเลตเป็นกระแสของสัญญาณอินพุต เพื่อให้เกิดการมอดูเลตในช่วงที่กำหนดไว้ในกราฟรูปที่ 2.5 ส่วนของมอนิเตอร์โฟโต้ไดโอด และ ออปแอมป์ จะทำหน้าที่ในส่วนของการป้อนกลับและควบคุมกระแสไบอัสซึ่งรายละเอียดของวงจรจะได้อธิบายในบทถัดไป



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรพื้นฐานการขับเลเซอร์ในภาคส่ง

2.6 เทคนิคการป้อนกลับของเลเซอร์ (Laser Feedback Techniques)

ปกติแล้วในชุดโมดูลเลเซอร์ (laser module) จะประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ตัวคือ ตัวเลเซอร์ไดโอด และตัวดีเทคเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญในการควบคุมการป้อนกลับ และแสดงสัญลักษณ์ได้ดังรูปที่ 2.9



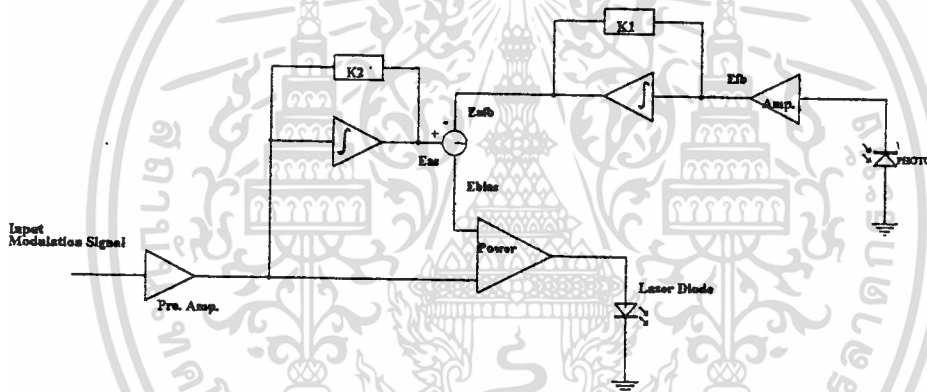
รูปที่ 2.9 แสดงสัญลักษณ์ของชุด โมดูลเลเซอร์

ดังนั้นในการนำเลเซอร์มาทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงในปริิมาณที่พหุขยับนี้จะต้องคำนึงถึงการป้อนกลับให้กับตัวเลเซอร์เองด้วยตัวดีเทคเตอร์ ซึ่งต่อไปเราจะกล่าวถึงการป้อนกลับของเลเซอร์โดยปกติจะมีการป้อนกลับอยู่ 2 แบบหลักๆ คือ

1. การป้อนกลับทางแสงควบคุมการไบอัส (Optical-feedback bias control)
2. การป้อนกลับทางความร้อนแบบควบคุมด้วยอุณหภูมิ (Temperature control with thermal feedback)

แต่ที่นำมาใช้งานจริงใช้แบบแรก โดยมีรูปแบบแสดง ดังรูปที่ 2.9 และมีหลักการทำงานง่ายๆ ดังนี้ โดยอาศัยปริมาณแสงส่วนหนึ่งของพลังงานแสงทางเอาท์พุทของเลเซอร์ไดโอด แสงส่วนนี้จะตกกระทบบนตัวดีเทคเตอร์ด้วย λ_f ได้เป็นสัญญาณไฟฟ้าและจะถูกขยายโดยได้ออกมาเป็น E_{fb}

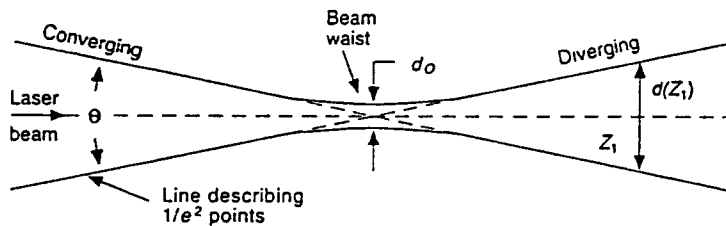
จากนั้นสัญญาณส่วนนี้จะถูกเฉลี่ยโดยได้เป็น E_{af} สัญญาณอินพุตที่จะป้อนให้กับส่วนขยาย เลเซอร์ก็จะถูกเฉลี่ยด้วยเช่นกันแล้วนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณป้อนกลับ สัญญาณที่ได้จากการ เปรียบเทียบนี้จะป้อนสัญญาณควบคุมกระแสไบอัสให้กับเลเซอร์ไดโอด โดยที่เริ่มแรกพลังงาน เอาท์พุท (Optical power output) จะถูกเซตไว้ก่อน และเนื่องด้วยผลของความร้อนในขณะนี้ยัง น้อยอยู่ สัญญาณควบคุมการไบอัส (E_{bias}) จะเพิ่มขึ้นตามกระแสไบอัสที่เซตไว้ลักษณะนี้ เรียกว่าเป็นการชดเชย และถ้าเอาท์พุทของเลเซอร์ (พลังงานแสง) เพิ่มขึ้นเพราะว่าอุณหภูมิรอบข้างหรือสภาวะอื่นๆ สัญญาณควบคุมการไบอัส; E_{bias} ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อรักษากระแสไบอัสเลเซอร์ซึ่ง E_{bias} นี้เป็นผลต่างระหว่างสัญญาณอินพุตเฉลี่ย (average input signal) ; E_{as} กับสัญญาณป้อนกลับเฉลี่ย (average feedback signal) ; E_{afb}



รูปที่ 2.9 แสดงระบบป้อนกลับทางแสงแบบควบคุมการไบอัส

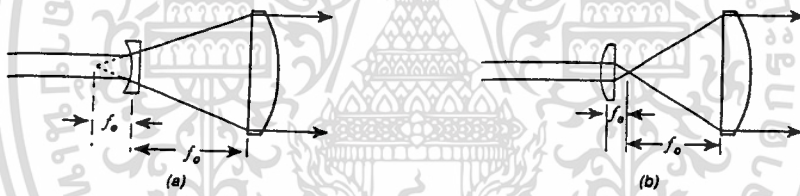
2.7 การบีบลำแสงเลเซอร์ (Laser beam)

เนื่องจากแสงของเลเซอร์ไดโอดจะมีรูปแบบการกระจายแสงออกมาเป็นลักษณะวงรี ดังรูปที่ 2.4 ดังนั้นการนำมาใช้งานจึงต้องมีการบีบลำแสง ให้ออกมามีขนาดลำแสง และมุมการกระจายที่ต่ำที่สุด สามารถแก้ไขได้โดยใช้เลนส์ (lenses) อย่างไรก็ตามก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทางลำแสงต่าง ๆ ไม่สามารถแก้ไขได้ ดังนั้นการเพิ่มความยาวของกรวยแสงเลเซอร์ทำได้โดยลดการกระจายแสงออกของเลเซอร์^[8] แล้วทำให้ส่วนคอดของลำแสง (beam waist) เพิ่มขึ้น ลำแสงส่วนคอดนี้เป็นบริเวณที่ลำแสงเลเซอร์ลู่อเข้ามากที่สุดทำให้ลำแสงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำแสงน้อยที่สุดแล้วลำแสงก็จะเริ่มลู่ออก (บานออก)



รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางลำแสงเลเซอร์ที่บริเวณส่วนคอด เพื่อที่จะเพิ่มความยาวของกรวยลำแสง ขั้นแรกให้ทำการบีบการบานออกของลำแสง และทำให้ ส่วนคอดของลำแสงให้เล็ก จากนั้นให้ไล่เลนส์ที่ตำแหน่ง beam waist

วิธีการเพิ่มความยาวกรวยลำแสงของเลเซอร์ทำได้ 2 วิธี วิธีแรกประกอบด้วย negative lens และ positive lens แสดงดังรูป 2.11 a โดยเริ่มแรกแสงจะถูกทำให้บานออกด้วย negative lens จากนั้นจะมี positive lens วางที่ตำแหน่งโฟกัส (focus) ของลำแสง เพื่อทำให้ลำแสงมี กรวยแสงมากที่สุด วิธีที่สองโดยการใช้ positive lens ก่อน แสงก็จะถูกบีบให้เล็กลงที่ตำแหน่ง โฟกัสเช่นกันจากนั้นก็ใช้ positive lens อีกตัวมาทำให้ลำแสงเกิดกรวยแสงแสดงดังรูป 2.11 b



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะบีบของกรวยแสง

a.) การวางเลนส์แบบกาลิเลโอ b.) การวางเลนส์แบบเคปเลอร์ ;
เมื่อ f_c คือ โฟกัสเลนส์ตา, f_o คือ โฟกัสเลนส์วัตถุ

2.8 ความปลอดภัยในการใช้เลเซอร์

พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากแสงเลเซอร์บางชนิด สามารถทำอันตรายต่อผิวหนังหรือ ดวงตาอย่างง่ายคายมาก โดยทั่วไปแล้วเลเซอร์จะถูกแบ่งออกเป็นหลายระดับตามความร้ายแรงของมัน^[2] สถาบัน American National Standard Institute (ANSI) ของสหรัฐอเมริกา ได้กำหนด เทคนิคและข้อแนะนำเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้และสร้างอุปกรณ์เลเซอร์ มาตรฐานตามข้อ บังคับนี้เรียกว่า 21 CFR 1040 ซึ่งประกาศใช้เป็นข้อบังคับตามกฎหมายของรัฐบาลกลางด้วยตาม ข้อกำหนดระดับนี้แบ่งเลเซอร์ออกเป็น 4 ระดับ ตามความปลอดภัย

2.8.1 ระดับที่1(Class I) เป็นเลเซอร์ที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายหรืออาการบาดเจ็บใด ๆ กำลังแสงที่มีกำลังงานเพียงไม่ถึงมิลลิวัตต์นั้น ไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่อผิวหนังถึงแม้ในระดับนี้จะปลอดภัยพอที่จะมองด้วยตาเปล่าได้ แต่ไม่ควรอย่างยิ่งที่จะมองไปยังลำแสงไม่ว่าลำแสงนั้นจะมีความรุนแรงในระดับใดก็ตามเลเซอร์ในระดับที่ 1 นี้ได้แก่ ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์ เลเซอร์ในเครื่องอ่านซีดี และเลเซอร์ไดโอด

2.8.2 ระดับที่2(Class II) เป็นเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในย่านแสงที่มองเห็นได้ เลเซอร์ในระดับนี้มีกำลังมากกว่าในระดับที่ 1 มีพลังงานไม่เกิน 1 มิลลิวัตต์ และเป็นอันตรายต่อดวงตา ถ้าหากมองไปยังลำแสงนั้นโดยตรง แม้เพียงเสี้ยวหนึ่งของวินาทีก็ตาม อย่างไรก็ตาม มองผ่านจักษุทัศนระบอบอย่างเช่น แว่นขยาย ก็เป็นอันตรายอย่างยิ่งเช่นกัน แต่สำหรับผิวหนังแล้วจะไม่เป็นอันตรายจากแสงระดับที่ 2 นี้ กำลังสูงสุดของเลเซอร์แบบนี้คือ 1 มิลลิวัตต์ ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์ สำหรับใช้งานเอนกประสงค์เป็นเลเซอร์ที่มีอันตรายอยู่ในระดับนี้ อีกทั้งเลเซอร์ไดโอดก็จัดอยู่ในระดับนี้ได้

2.8.3 ระดับที่3(Class III) สำหรับแสงเลเซอร์นี้มีกำลังงานอยู่ในระหว่าง 1-500 มิลลิวัตต์ ในระดับนี้ลำแสงสามารถทำอันตรายต่อผิวหนังแม้เพียงไม่ถึง 1 วินาทีก็ตามระดับนี้ยังแบ่งออกย่อยเป็น 2 กลุ่มคือ

2.8.3.1 ระดับที่3a(Class III a) เป็นเลเซอร์ที่มีระดับพลังงาน 1-5 มิลลิวัตต์ เลเซอร์ที่จัดอยู่ในระดับนี้ก็เช่น ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์

2.8.3.2 ระดับที่3b(Class III b) เป็นเลเซอร์ที่มีระดับพลังงาน 5-500 มิลลิวัตต์ เลเซอร์ที่จัดอยู่ในระดับนี้ก็เช่น อินฟราเรดเลเซอร์

2.8.4 ระดับที่4(Class IV) เป็นเลเซอร์ที่มีลำแสงกำลังสูง 500 มิลลิวัตต์ขึ้นไป จัดเป็นระดับที่มีอันตรายอย่างมหาศาล ดวงตาและผิวหนังจะถูกทำลายจากลำแสงในเวลาเพียงชั่วพริบตาเท่านั้น นอกจากนี้มันยังสามารถทำให้วัตถุที่โปร่งเป็นรูพรุน เกิดการเผาไหม้อย่างไม่ยากนักแม้แต่แสงสะท้อนของมันก็ยังเป็นอันตรายอย่างร้ายแรงเช่นกัน คาร์บอนไดออกไซด์ และ YAG เลเซอร์ หลายชนิดที่ใช้กันอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมถูกจัดอยู่ในประเภทนี้

มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับเลเซอร์ มีมากมายหลายอย่างด้วยกันเช่น

1. ใช้แว่นสำหรับป้องกันเลเซอร์เพื่อป้องกันดวงตา กระจกของแว่นนี้มีหลายชนิด ซึ่งจะกรองลำแสงที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน ไปดังนั้นการใช้แว่นกรองแสงเลเซอร์ จึงต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความยาวคลื่นที่ต่างกันออกไป

2. ระงับรักษาให้สิ่งห่อหุ้มหรือปกปิดที่ประกอบอยู่กับอุปกรณ์เลเซอร์ อยู่ในสภาพปกปิดตลอดเวลาไม่ใช้งานในสภาพที่เรียกว่า “เปลือย” เป็นอันตราย

3. ไม่ควรฉายแสงเลเซอร์ไปยังพื้นผิวที่สะท้อนแสง แสงอาจกลับมาในทิศทางที่คาดไม่ถึง อาจเป็นอันตรายต่อผู้ที่อยู่ข้างเคียงหรือแม้แต่ตัวผู้ใช้เอง

4. ควรสวมใส่เครื่องป้องกัน เช่น ถุงมือ หรือที่ครอบศีรษะ และถึงแม้ว่ามันจะสามารถป้องกันอันตรายโดยตรงจากเลเซอร์ในระดับที่ 4 ได้ไม่มากนักก็ตาม แต่มันก็สามารถทำให้ลำแสงกระจายออก หรือหักเหไปได้บ้างซึ่งนั่นก็หมายความว่าความรุนแรงที่เกิดขึ้นพอจะลดลงไปได้บ้าง

2.9 อุปกรณ์ตรวจจับแสง

ในระบบสื่อสารทางแสง ตัวตรวจจับสัญญาณจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณที่มีค่าเปลี่ยนแปลง ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าที่มีค่าเปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะการมอดูเลตสัญญาณนั้นจะเป็นแบบเปลี่ยนแปลงปัลลิตูด หรือเปลี่ยนความถี่ก็ตาม ตัวตรวจจับแสงจะทำหน้าที่เพียงรับสัญญาณความเข้มแสงที่ตกกระทบตัวมันเท่านั้น ตัวตรวจจับแสงในอุดมคติจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. ต้องมีความไวต่อสัญญาณแสงอ่อน ๆ ที่ตกกระทบ
2. ต้องมีความสามารถในการทำงานใกล้เคียงย่านอินฟราเรด
3. ต้องมีความเร็วที่เพียงพอเพื่อสามารถเปลี่ยนแสงเป็นอิเล็กทรอนิกส์
4. ต้องไม่มีความรู้สึกต่อสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ
5. ต้องมีราคาถูก

โดยทั่วไปที่ใช้มี 2 แบบคือ ฟินโฟโตไดโอด (PIN ; Intrinsic - Negative) และอะวา ลานซ์โฟโตไดโอด (APD ; Avalanche Photo Diode)

2.9.1 ฟินโฟโตไดโอด (PIN photodiode)

ฟินโฟโตไดโอดเป็นตัวอย่างของโฟโตไดโอดแบบชั้นปลดพาหะ (depletion layer photodiode) ด้วยชั้นอินทรินซิกที่เจือสารชนิดอื่นอย่างเบาบาง แล้วถูกประกอบด้วยชั้นเบา ๆ ของชั้นสารชนิดพีและเอ็นตามลำดับ ซึ่งแสดงโครงสร้างดังรูปที่ 2.12 แสงที่ตกลงบนชั้นสารพี (P-layer) ของโฟโตไดโอดที่มันถูกดูดกลืนโดยอิเล็กทรอนิกส์จะเคลื่อนที่ข้ามบริเวณปลดพาหะ (ชั้นอินทรินซิก) ในระหว่างที่เราให้แรงดันไบอัสกลับ แสงตกกระทบที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่าความยาวคลื่นคัทออฟ (cutoff wavelength) จะทำให้ตัวตรวจจับนี้ไม่สามารถเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าได้โดยที่ความยาวคลื่นคัทออฟนั้นขึ้นอยู่กับแถบว่างของอุปกรณ์นั้น ๆ โดยจะได้ว่า

$$\lambda_c = \frac{h \cdot c}{E_g} = \frac{1.24}{E_g}$$

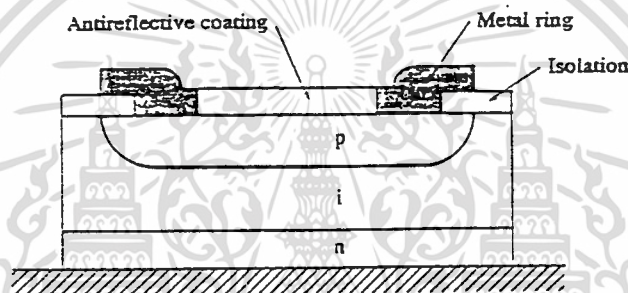
โดยที่ λ เป็นความยาวคลื่นที่ใช้งาน ; ไมโครเมตร (μm)

h เป็นค่าคงที่ของแพลงค์

c เป็นความเร็วแสง

Eg เป็นพลังงานช่องว่างของวัสดุ ; อิเล็กตรอน - โวลต์ (eV)

อิเล็กตรอนนั้นจำเป็นต้องถูกรบกวนในแถบความนำเพื่อที่จะใช้กระแสไฟฟ้าโดยคู่อิเล็กตรอนโฮล (electron - hole - pairs) ถูกแยกด้วยสนามไฟฟ้าในบริเวณอินทรินซิก ความหนาของบริเวณอินทรินซิกควรจะอย่างน้อยที่สุดเท่ากับความกว้างของพื้นที่ดูดกลืนแสง ความหนาที่มีความสำคัญมากเพราะว่ามันจะมีโอกาสที่ง่ายของโฟตรอนแสงมาทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนโฮลขึ้น ชั้นเอ็นั้นควรจะแคบมากๆ เพื่อที่อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ออกไปได้เร็วจากตัวอุปกรณ์



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของพินโฟโตไดโอด

2.10 พารามิเตอร์โฟโตไดโอด

พารามิเตอร์ต่างๆของโฟโตไดโอดนั้นเป็นข้อมูลที่สำคัญมาก ในระบบการสื่อสารทางแสงโฟโตไดโอดจำเป็นต้องมีความไวในย่านความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ ต้องมีสัญญาณรบกวนต่ำหรือไม่มีเลย ต้องมีเวลาในการตอบสนองที่เร็วหรือมีแบนด์วิดท์ที่เพียงพอต่อข้อมูลพารามิเตอร์เหล่านี้มีความสำคัญในการวิเคราะห์ระบบ เช่น สัญญาณรบกวน , การตอบสนองความถี่ , ประสิทธิภาพทางควอนตัม เช่น ควอนตัมสั้นน้อย , การตอบสนองความไว , ความเร็วในการตอบสนอง , กระแสมืด (Dark Current) , พลังงานสัญญาณรบกวนและอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal - to - Noise ratio) สิ่งต่างๆเหล่านี้เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากต่อผู้ออกแบบระบบการสื่อสารข้อมูลทางแสงมาก ซึ่งรายละเอียดของพารามิเตอร์ต่างๆแสดงได้ดังต่อไปนี้

2.10.1 ประสิทธิภาพทางควอนตัม (QUANTUM EFFICIENCY)

ประสิทธิภาพทางควอนตัม ; η เป็นประสิทธิภาพของการกลับโฟตอนเป็นคู่อิเล็กตรอน - โฮลจำนวนเฉลี่ยของคู่อิเล็กตรอน - โฮลถูกกำเนิดขึ้นตามจำนวนของโฟตอนที่เกิดขึ้น ประสิทธิภาพทางควอนตัมนั้นจะขึ้นกับความยาวคลื่น , วัสดุที่สร้าง , มุมของแสงตกกระทบ , เพิ่มขึ้นตามความกว้างของบริเวณปอดคาหะ เราสามารถแสดงประสิทธิภาพควอนตัมได้ดังนี้

$$\eta = \frac{\text{จำนวนคู่อิเล็กตรอน - โฮลที่กำเนิดขึ้น}}{\text{จำนวนโฟตอน}}$$

$$= \frac{I_p/e}{P_o/h\nu}$$

โดยที่ I_p เป็นกระแสโฟตอนเฉลี่ย
 e เป็นประจุอิเล็กตรอน , $1.6 \cdot 10^{-19}$
 P_o เป็นพลังงานแสงเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบนโฟโอดีไดโอด
 $h\nu = hc/\lambda$ เป็นค่าคงที่แพลงค์คูณด้วยความเร็วแสงและหารด้วยความยาวคลื่น

โดยทั่วไปโฟโอดีไดโอดที่มีโฟตอนอุบัติขึ้น 100 ตัว จะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน - โฮลประมาณระหว่าง 30 และ 95 ดังนั้นประสิทธิภาพควอนตัมจะมีค่าประมาณ 30% ถึง 95% ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นและชนิดโฟโอดีไดโอดความหนาของบริเวณปอดคาหะก็ไม่ควรมากเพราะจะทำให้พาหะแพร่ข้ามบริเวณรอยต่อไบอัสกลับยาว จึงทำให้การตอบสนองความเร็วช้าลง

2.10.2 การตอบสนองต่อความไว (PHOTODIODE RESPONSIVITY)

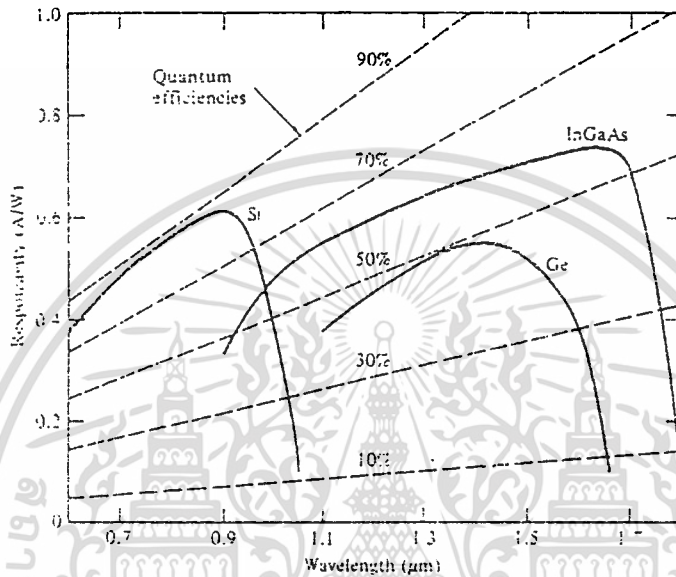
พารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งคือ การตอบสนองต่อความไว ; ρ ซึ่งสัมพันธ์กับประสิทธิภาพทางควอนตัมโดยมีสมการดังนี้

$$\rho = \frac{I_p}{P_o} = \eta \cdot \frac{e}{h \cdot c} \cdot \lambda \quad \text{amperes/watt}$$

โดยที่ I_p เป็นกระแสโฟตอนเฉลี่ย
 P_o เป็นพลังงานแสงเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบนโฟโอดีไดโอด
 η เป็นประสิทธิภาพควอนตัม
 e เป็นประจุอิเล็กตรอน
 h เป็นค่าคงที่ของแพลงค์
 λ เป็นความยาวคลื่น



สมการนี้เป็นการเปรียบเทียบกระแสที่เกิดจากโฟตอนทุกตัวกับพลังงานแสงอินพุต ซึ่งโดยทั่วไปค่าของการตอบสนองต่อความไวมีค่าเท่ากับ 0.65 A/W สำหรับเยอรมันเนียมที่ความยาวคลื่นแสง 1.3 ไมโครเมตร และ 0.65 A/W สำหรับ InGaAs ที่ความยาวคลื่นแสง 1.3 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.13^[6]



รูปที่ 2.13 การเปรียบเทียบของการตอบสนองต่อความไวและไบอัสกลับของควอนตัม

2.10.3 กระแสมืด (Dark Current)

กระแสมืดเป็นน้อยสที่ ไม่ต้องการทำให้กระแสไหล ได้ขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุต แอมพลิฟายของกระแสนี้ถึงแม้ว่าจะอยู่ในย่านนาโนแอมแปร์ (nanoampere) ก็สามารทำให้เกิด ปัญหาต่อสัญญาณเอาท์พุทโดยรอบ ในระบบการรับทางแสงภาคขยายส่วนแรกถูกต้องเพื่อขยาย กระแสที่ออกจากโฟโอดีโอดคั้งนั้นถึงแม้ว่ากระแสนี้จะอยู่ในย่านนาโนแอมปีแต่ภาคขยายส่วน แรก (preamplifier) ไม่สามารถที่รู้ว่ากระแสนี้เป็นสัญญาณจริงหรือสัญญาณรบกวน กระแสมืด นี้เกิดขึ้นโดยการรั่วไหลที่ผิวหน้า (surface leakage) หรือกระแสรั่วไหลในเนื้อสารภายใน โอดีโอด ขนาดของกระแสมืดแสดงได้คั้งนี้

$$i_d = 2 \cdot e \cdot I_d \cdot M^2 \cdot F_d \cdot B \quad \text{amperes}$$

- โดยที่
- Id เป็นองค์ประกอบกระแสมีด
 - M เป็น avalanche gain ของ APD ($M = 1$ สำหรับ PIN)
 - Fd เป็น excess noise factor ของ APD ($Fd = 1$ สำหรับ PIN)
 - B เป็น แบนด์วิธ

กระแสมีดนี้ขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนให้ , อุณหภูมิการทำงานและ avalanche gain ของไดโอดตัวอย่าง เช่น ที่อุณหภูมิ 25°C , จีลิคอน APD ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณแอคทีฟ 0.1 mm ก็จะมีกระแสมีด 1 ถึง 10 nA ด้วย $M = 100$ ส่วนเซอร์มันเนียมประมาณ (μA ที่ $M = 20$)

2.11 สัญญาณรบกวนตัวตรวจจับ (Detector noise)

สัญญาณรบกวนจะเป็นปัญหาเสมอในระบบส่ง ซึ่งเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือแสงที่ไม่ต้องการโดยเปลี่ยนเป็นสิ่งสำคัญเหนือกว่าสัญญาณจริง สัญญาณแสงมีขนาดต่ำกว่า (นาโนวัตต์) และสัญญาณรบกวนที่เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าแล้วสามารถมีขนาดเท่ากับหรือขนาดใหญ่กว่าสัญญาณจริงสัญญาณที่ถูกเปลี่ยนเป็นอิเล็กตรอนจำเป็นต้องการขยายคั้งนั้นที่ภาคขยายสัญญาณทั้งสองพร้อม ๆ กัน

2.11.1 สัญญาณรบกวนควอนตัม (Quantum Noise)

สัญญาณรบกวนควอนตัมมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพควอนตัม เป็นการจัดการเปลี่ยนแปลงของการกลับ (conversion) ช่วงชะโงกโฟตรอนเป็นคู่อิเล็กตรอน - โฮล การคำนวณค่าของสัญญาณรบกวนควอนตัมนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนเชิงสถิติ (statistical number) ของความต้องการอิเล็กตรอนต่อการตรวจจับพัลส์ของแสง 1 พัลส์ในตัวตรวจจับอุดมคติ (ideal photodetector) ในระบบที่ปฏิบัติได้มีค่าประมาณ 400 โฟตอนต่อ 1 พัลส์

2.11.2 สัญญาณรบกวนประทุ (Shot noise)

สัญญาณรบกวนประทุเกิดขึ้นโดยกระบวนการแบบสุ่ม (random process) ของโฟตอนในการสร้างคู่อิเล็กตรอน - โฮล สัญญาณรบกวนประทุเพิ่มขึ้นเมื่อแบนด์วิธและกระแสเฉลี่ยเพิ่มขึ้น สัญญาณรบกวนประทุสามารถเกิดขึ้น เมื่อไม่มีแสงตกกระทบบนโฟโอดีโอดีเลย ซึ่งเมื่อรวมกระแสของสัญญาณเข้าไปอีก ก็จะทำให้สัญญาณรบกวนประทุเพิ่มขึ้นได้

2.11.3 สัญญาณรบกวนเชิงความร้อน (Thermal noise)

สัญญาณรบกวนที่สัมพันธ์กับกระแสที่ถูกกำเนิดขึ้นจากความร้อนเรียกว่าสัญญาณรบกวนเชิงความร้อนสัญญาณรบกวนนี้อาจเรียกได้อีก ชื่อหนึ่งว่าสัญญาณรบกวนจอนส์สัน (Johnson noise) โดยมีผลสำคัญหรืออำนาจสำคัญกับความต้านทานโหลดของตัวตรวจจับพลัง

งานเชิงความร้อนจากความต้านทานโพลนี้จะยอมให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ (Move-randomly) ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสแบบอิสระ (Random current)

2.11.4 สัญญาณรบกวนรวม (Total noise)

สัญญาณรบกวนรวม ; i_n เป็นรากที่สองของผลรวมของสัญญาณรบกวนประทุ และสัญญาณรบกวนเชิงความร้อนจะพบว่าเราสามารถประมาณค่าของสัญญาณรบกวนรวม ให้มีค่าเท่ากับสัญญาณรบกวนประทุได้

2.12 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal - to - Noise ratio)

สัญญาณในระบบใดๆ ต้องมีค่าสูงกว่าสัญญาณรบกวนเสมอ สำหรับสัญญาณแสงควรจะมีค่าเป็น 2 เท่าของสัญญาณรบกวน ถ้าสัญญาณมีความแรงที่ระดับเดียวกับสัญญาณรบกวน สัญญาณจะสูญหายไปและไม่สามารถหาความแตกต่างกันได้จากสัญญาณรบกวน อัตราส่วนต่อสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) แสดงให้เห็นว่ามีสัญญาณมากกว่าสัญญาณรบกวนเท่าใด ค่า SNR ที่มากนั้นหมายความว่าสัญญาณมีค่าสัญญาณรบกวน โดยเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$SNR = \left(\frac{\eta \cdot e}{h \cdot f} \right)^2 \cdot \frac{(M \cdot m \cdot P)^2}{i_n}$$

โดยที่

- η เป็นประสิทธิภาพควอนตัม
- e เป็นประจุอิเล็กตรอน
- h เป็นค่าคงที่ของพลังค์
- M เป็นตัวคูณอะวาลันซ์
- m เป็นดัชนีการมอดูเลชันทางแสง
- P เป็นพลังงานแสงที่เกิดขึ้นบนตัวตรวจจับ
- i_n เป็นสัญญาณรบกวนรวม
- f เป็นความถี่ของสัญญาณ

วัสดุที่ใช้สร้างตัวตรวจจับและลักษณะจำเพาะแสดงได้ดังตารางที่ 2.3^[7] ส่วนมากแล้วใช้ซิลิกอน PIN โดไดค และ APDs ที่ความยาวคลื่น 0.8 ถึง 0.9 μm และ InGaAs PIN โดไดคกับ APDs ที่ความยาวคลื่น 1.1 ถึง 1.6 μm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Material	Structure	Rise-time (ns)	Wavelength (nm)	Responsivity (A/W)	Dark Current (nA)	Gain
Silicon	PIN	0.5	300-1100	0.5	1	1
Germanium	PIN	0.1	500-1800	0.7	200	1
InGa.AsP	PIN	<1.0	1000-1700	0.6	15-50	1
Silicon	APD	0.5	400-1000	77	15	150
Germanium	APD	1.0	1000-1600	30	700	50
InGa.AsP	APD	0.2	1000-1700	—	100	10-50

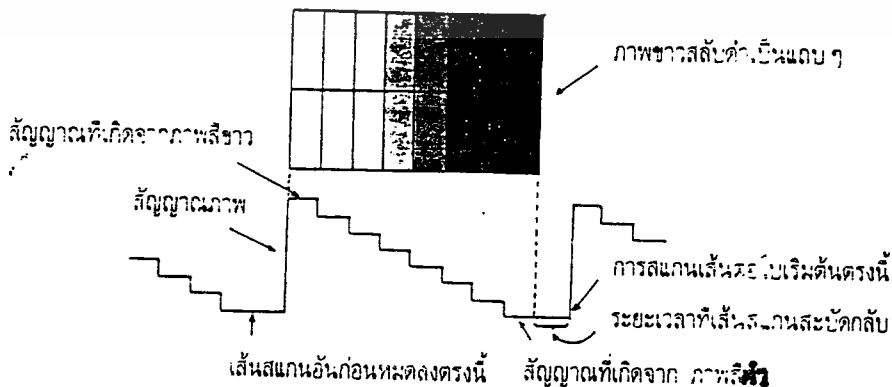
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของตัวตรวจจับแบบรอยต่อ (Characteristics of junction photodiodes)

2.13 สัญญาณภาพรวม

หากจะถามว่าเครื่องส่งทำการส่งสัญญาณอะไรมาให้เครื่องรับรับบ้าง หากตอบกันง่าย ๆ ก็ต้องตอบว่าส่งสัญญาณภาพรวม (Composite Video Signal) ซึ่งการที่เราจะทำให้เครื่องรับประมวลผลได้ นั้นต้องประกอบด้วยสัญญาณภาพรวมซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

ในส่วนของระบบสัญญาณเสียงเราจะใช้คลื่นพาห์ (Carrier) เฉพาะ เพราะทราบกันเบื้องต้นแล้วว่าระบบเสียงในโทรทัศน์เป็นระบบ เอฟเอ็ม. ส่วนสัญญาณภาพและอื่น ๆ ที่เหลือ นั้นเราจะส่งเป็นสัญญาณภาพรวมหรือคอมโพสิท วิดีโอ ซิกแนล (Composite Video Signal) แล้วใช้คลื่นพาห์ภาพส่งออกไป การที่เราต้องส่งสัญญาณทั้ง 5 ตัว ออกอากาศแพร่คลื่นออกไปเพื่อวัตถุประสงค์ดังนี้

2.13.1 สัญญาณภาพขาวดำ เป็นสัญญาณที่ส่งไปเพื่อให้เกิดภาพที่เครื่องรับ สมมุติว่าเราจะดูระดับสัญญาณขาว-ดำ กรณีที่เรากล่าวถึงสัญญาณขาว-ดำหรือสัญญาณ โมโน โนโครม ได้ดีที่สุดต้องกล่าวถึงภาพที่เป็นสีขาวคือภาพที่มีความสว่างมากที่สุด และภาพที่เป็นสีดำคือภาพที่ไม่มีความสว่างเลยภาพจำลองที่ดีที่สุดของกรณีก็คือแถบภาพที่มีความแตกต่างของระดับขาวดำที่ละเอียด ซึ่งเราเรียกว่าระดับเกรย์สเกลนั่นเอง



รูปที่ 2.14 แสดงระดับสัญญาณขาว-ดำ โดยเกรย์ สเกล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นระดับของเกรย์สเกล ในกรณีที่ระดับสัญญาณภาพเป็นสัญญาณสีขาวเข้ามา นั้นหมายความว่าระดับความแรงของสัญญาณภาพมากที่สุดจึงให้ความส่องสว่างที่หน้าจอสว่างมากที่สุด และเมื่อระดับสัญญาณสีขาวลดลงเป็นสีม่วง, เทา และดำ นั้น ระดับสัญญาณจะลดลงมาเรื่อย ๆ นั้นหมายความว่าเมื่อสัญญาณมีความแรงน้อยลงความส่องสว่างจะน้อยลงตามไปด้วย

2.13.2 สัญญาณแบลนกกิ่ง เป็นสัญญาณที่ส่งเพื่อให้ลบเส้นสะบัดกลับทั้งในแนวตั้งและแนวนอน เพราะเราทราบแล้วว่าเมื่อมีการสแกนลำอิเล็กตรอนที่หน้าจอจะเกิดเส้นริเทรสหรือเส้นสะบัดกลับ ซึ่งเป็นเส้นภาพที่เราไม่ต้องการ เครื่องส่งจึงต้องส่งสัญญาณแบลนกกิ่ง (Blanking) เพื่อบังคับให้เครื่องรับสามารถลบเส้นสะบัดกลับได้สัญญาณแบลนกกิ่งส่วนหนึ่งเครื่องรับจะต้องสร้างขึ้นเหมือนการสร้างสัญญาณซิงโครไนซ์แต่มันจะสัมพันธ์เครื่องส่งได้อย่างไร จึงต้องมีการส่งสัญญาณแบลนกกิ่งมาจากเครื่องส่งเพื่อลบเส้นสะบัดกลับในเครื่องรับ สัญญาณแบลนกกิ่งมีอยู่ 2 อย่างคือเวอร์ติคอลลแบลนกกิ่ง กับฮอริซอนตอลลแบลนกกิ่ง

2.13.3 สัญญาณซิงโครไนซ์ เป็นสัญญาณที่ส่งมาเพื่อช่วยให้อ่างจรหักเหทางแนวตั้งและวงจรถักเหทางแนวนอน เพื่อให้เครื่องส่งกับเครื่องรับทำงานสอดคล้องตรงกัน เป็นสัญญาณเพื่อให้การสแกนเป็นไปอย่างถูกต้อง ทั้งการสแกนตั้งและแนวนอน โดยสัญญาณซิงโครไนซ์หรือสัญญาณซิงค์มีอยู่ 2 สัญญาณ คือ

2.13.3.1 ฮอริซอนตอล ซิงโครไนซ์ (Horizontal Synchronize) เป็นสัญญาณซิงโครไนซ์ทางแนวนอน ซึ่งมีความถี่ 15,625 เฮิรตซ์ (ในระบบ CCIR) หรือ 15,750 เฮิรตซ์ (ในระบบ FCC) ถ้าไม่มีสัญญาณส่วนนี้ส่งมาจะทำให้ภาพเกิดการลัดได้

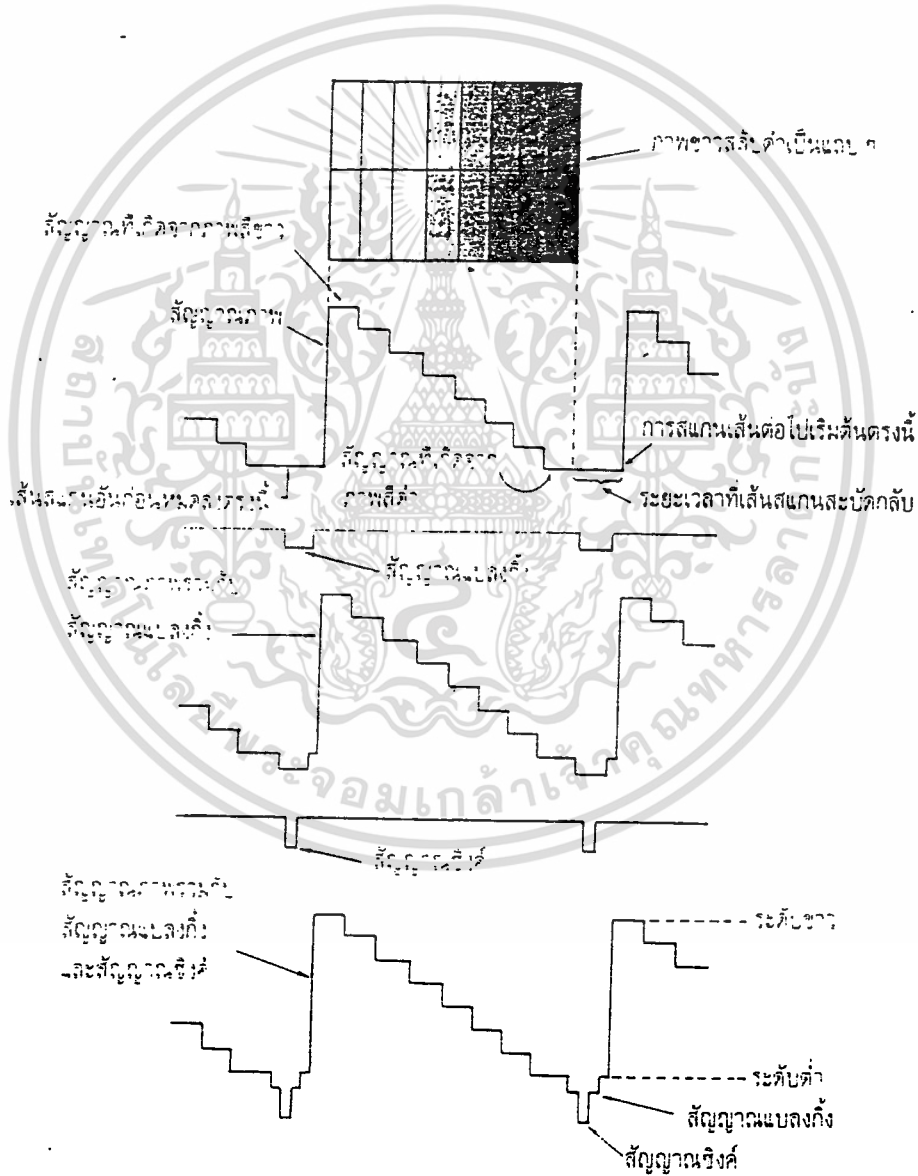
2.13.3.2 เวอร์ติคอลล ซิงโครไนซ์ (Vertical Synchronize) เป็นสัญญาณซิงโครไนซ์ทางแนวตั้ง ซึ่งมีความถี่ 50 เฮิรตซ์ (ในระบบ CCIR) หรือ 60 เฮิรตซ์ (ในระบบ FCC) ถ้าไม่มีการส่งสัญญาณส่วนนี้มาจะทำให้ภาพเลื่อน

เนื่องจากสัญญาณซิงโครไนซ์กับสัญญาณแบลนกกิ่งไม่ว่าจะเป็นแนวนอนหรือแนวตั้ง จะมีความถี่เท่ากันเวลาส่งจึงต้องกำหนดตำแหน่งของการส่งให้ถูกต้อง มิฉะนั้นแล้วจะเกิดกวนกันได้ ในทางปฏิบัติจึงให้สัญญาณซิงค์พัลส์มีขนาดกว้างน้อยกว่าแบลนกกิ่งพัลส์ เมื่อมีการจัดระดับของสัญญาณส่วนนี้เทียบกับเกรย์สเกลระดับของแบลนกกิ่ง จะอยู่ที่ระดับต่ำกว่าค่า ส่วนซิงค์จะเป็นระดับต่ำกว่าระดับค่ามากกว่าลงไปอีก สัญญาณเหล่านี้จึงไม่มีการส่งผลต่อการมองเห็น (หรือไม่กวนสัญญาณภาพ) ดังรูปที่ 2.15

2.3.4 สัญญาณอิควไลซิง เป็นสัญญาณที่ช่วยให้สัญญาณซิงโครไนซ์ทั้งแนวตั้งและแนวนอนยังคงรูปเดิมอยู่ได้ แม้ว่าจะเป็นารสแกนแบบสลับเส้นก็ตาม แล้วยังช่วยให้การสแกนแบบสลับเส้นเป็นไปได้อย่างถูกต้องด้วย สามารถขึ้นเส้นคู่เส้นคี่ในตำแหน่งที่ถูกต้องได้ ทั้งยังส่ง

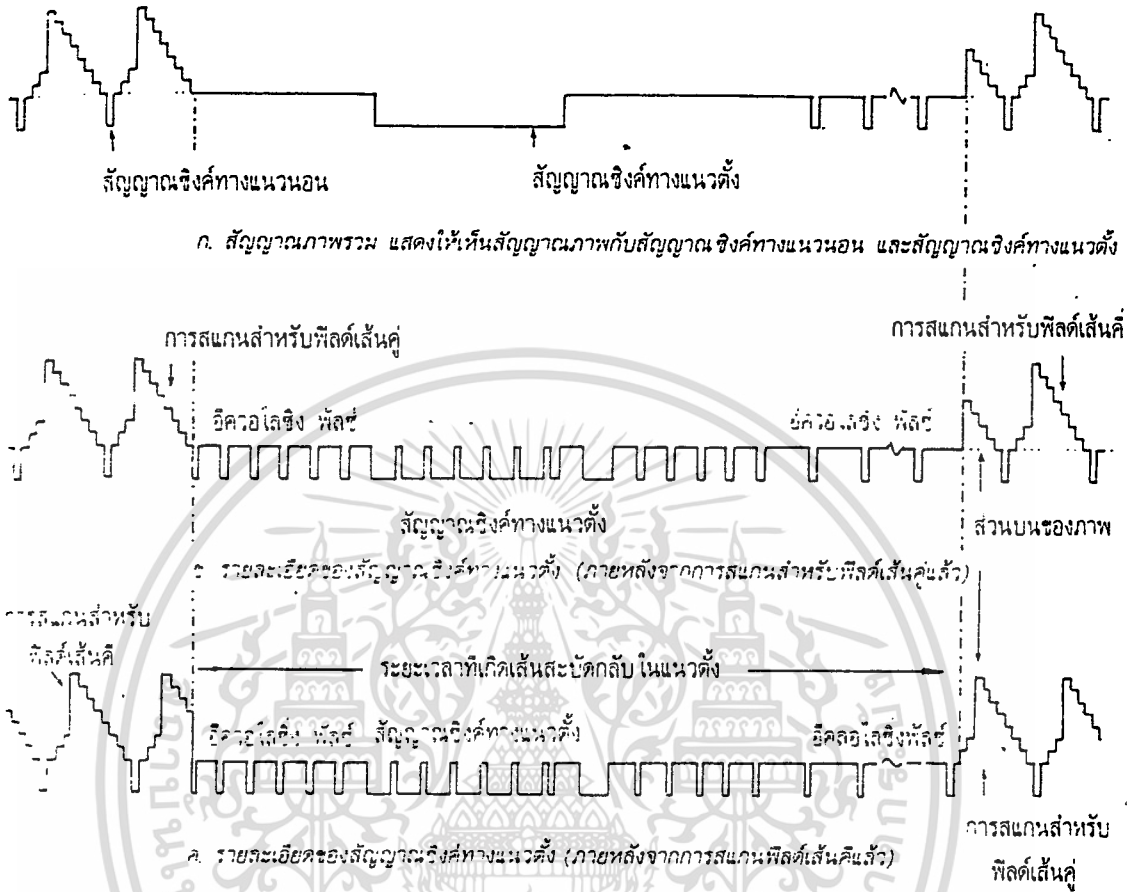
ผลทางอ้อมให้สัญญาณเชิงโครโมในซ์ทางแวนอนไม่ขาดช่วงหายไปในระหว่างการส่งสัญญาณทาง
แนวตั้งด้วย สัญญาณตัวนี้จะมีขนาดของพัลซ์รวมเท่ากับเวอร์ติคอล ึ่งโครโมในซ์ พัลซ์ สัญญาณ
ส่วนนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 6 ลูกเล็ก ๆ ในระบบ 525 เส้น และถูกแบ่งเป็น 5 ลูกในระบบ 625 เส้น
ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.16

ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสัญญาณภาพ ส่วนของระบบ
สัญญาณเสียงเราจะใช้คลื่นพาห้ (Carrier) 5.5 MHz โดยมีการมอดูเลทสัญญาณแบบ FM ส่วน
สัญญาณภาพและอื่น ๆ ที่เหลือนั้นเราจะส่งเป็นสัญญาณภาพรวมหรือคอมโพสิท วิดีโอ ซิกแนล
(Composite Video Signal) แล้วใช้วงจรมอดูเลททางแสงส่งออกไปได้เลย



รูปที่ 2.15 แสดงสัญญาณภาพรวมเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงสัญญาณภาพรวมที่มีรายละเอียดทุกอย่าง

2.14 การผสมสัญญาณภาพ

สัญญาณภาพประกอบสัญญาณใหญ่ ๆ 2 สัญญาณคือ สัญญาณภาพและสัญญาณเสียง ดังนั้นระบบการผสมความถี่หรือการมอดูเลชัน (Modulation System) จึงค่อนข้างยุ่งยากพอสมควร ประการแรกก็คือสัญญาณภาพเป็นสัญญาณที่มีตัวประกอบหลายต่อหลายตัวส่วนสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณธรรมดาที่ไม่มีความยุ่งยากมากนักโดยสัญญาณเสียงจะถูกมอดูเลชันในระบบเอฟเอ็ม (Frequency Modulation) ทั้งนี้ในระบบเอฟเอ็ม การผสมสัญญาณเสียงมิได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณความถี่คลื่นพาห์แต่อย่างใดแต่จะเปลี่ยนแปลงความถี่เท่านั้น ส่วนสัญญาณภาพเป็นสัญญาณที่มีสัญญาณซิงโครไนซ์, แบลกกิ่ง, อีควอไลซิง ฯลฯ รวมอยู่ด้วย จึงทำให้แบนด์วิดท์ในการมอดูเลชันสูงกว่าที่ควรจะเป็นในเครื่องรับโทรทัศน์จึงค่อนข้างจะยุ่งยากเมื่อเข้าสู่วิธีการเกี่ยวกับระบบการแปรสภาพสัญญาณให้เป็นภาพที่หน้าจอแต่หากเราผสมสัญญาณภาพเข้ากับสัญญาณเสียง (ที่มอดูเลชันในระบบ เอฟเอ็ม. มาแล้ว) เราจะพบว่าความยุ่งยากจะลดลงอย่างมากเพราะไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องข่งเกี่ยวกับวงจรควมถึสูงเลขซึ่งเป็นหลักรสำคัญในครงงานนี้แต่อย่าง ไรก็ตามหากต้องการพัฒนาและปรบัปรุงครงงานนี้ให้ส่งและรับได้หลายช่ง ก็จำเป็นอย่างย้งที่ต้งเกี่ยวข้องกับวงจรควมถึสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วงจรและการทำงาน

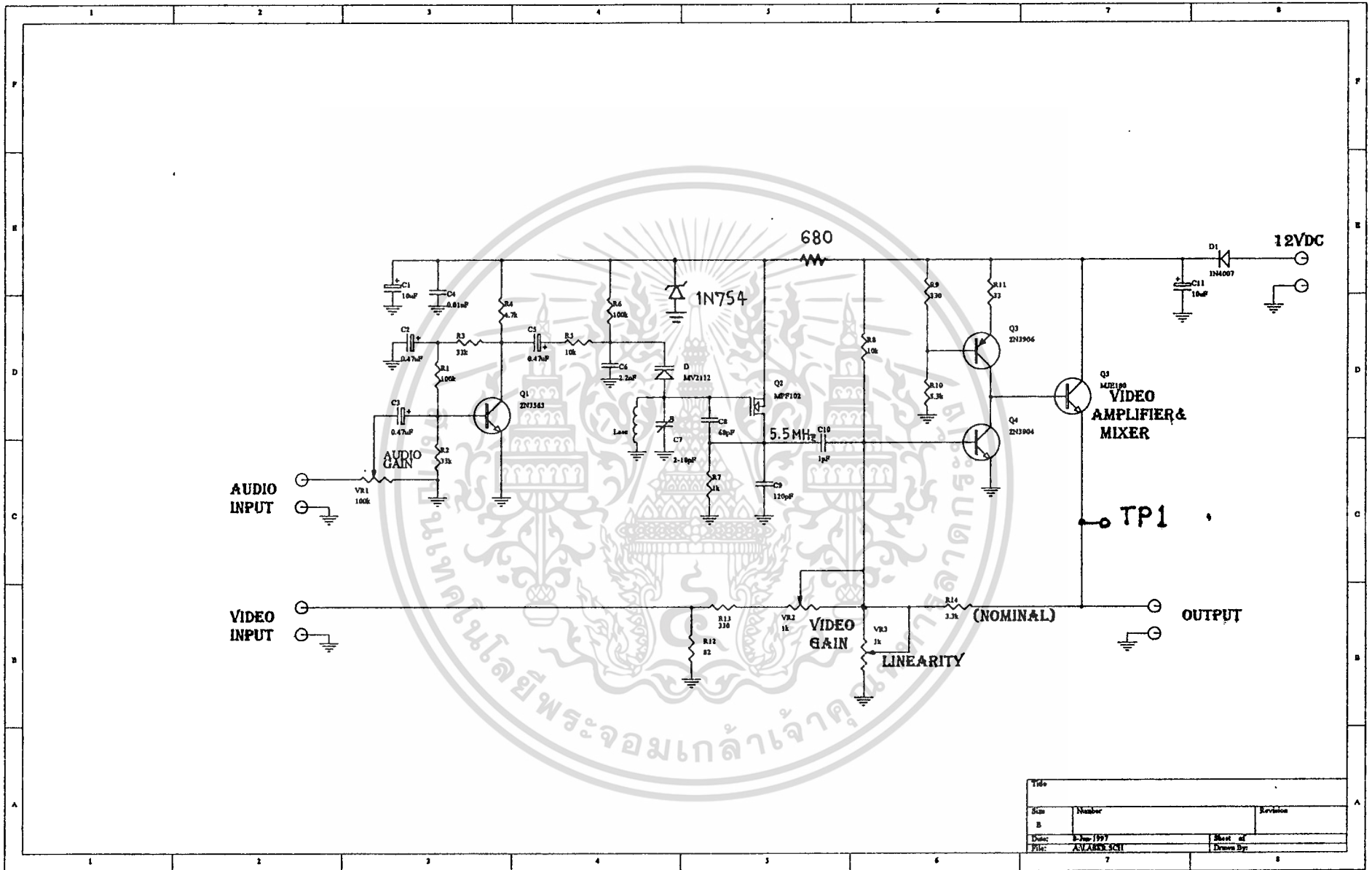
3.1 ภาคส่ง (Transmitter)

วงจรในภาคส่งซึ่งทำหน้าที่จัดการสัญญาณภาพและเสียง เสร็จแล้วก็จะเปลี่ยนจากสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ วงจรผสมสัญญาณภาพและเสียง (Video and Audio Mixer) และวงจรขับและควบคุมกระแสเลเซอร์ (Laser drive and Control current) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 วงจรผสมสัญญาณภาพและเสียง (Video and Audio mixer)

เนื่องจากสัญญาณภาพและเสียงมีความถี่ของสัญญาณที่ตรงกันอยู่ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ดังนั้นการนำสัญญาณทั้งสองมาผสมกันโดยตรงจึงทำไม่ได้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้นำสัญญาณเสียงทำการมอดูเลต (modulate) แบบ FM ที่ความถี่คลื่นพาห์ 5.5 MHz ก่อนที่จะนำมาผสมกับสัญญาณภาพโดยตรงได้ การทำงานส่วนการมอดูเลตแบบ FM เมื่อสัญญาณเสียงป้อนผ่านมาที่ VR1 ซึ่งเป็นความต้านทานปรับค่าได้ควบคุมขนาดของสัญญาณเสียงจากนั้นคัปปลิง (coupling) ผ่าน C3 ไปยังขาเบส (base) ของ Q1 ซึ่งจัดเป็นวงจรขยายสัญญาณเสียงให้มีความแรงของสัญญาณมากขึ้นส่งไปวงจรกรองความถี่ต่ำแบบ RC ที่ R5 และ C6 โดยมีคัทออฟความถี่ต่ำประมาณ 7 kHz คำนวณได้จากสูตร $ความถี่ต่ำคัทออฟ = 0.159/(R5 * C6)$ จากนั้นสัญญาณถูกส่งไปที่ D ซึ่งเป็นวาริแคปไดโอดที่มีความจุเปลี่ยนแปลงตามค่าแรงดันไบอัสกลับโดยที่ D, Losc, C7, Q2, C9, C8 และ R7 เป็นส่วนสำคัญในการกำเนิดความถี่คลื่นพาห์ 5.5 MHz โดย LOSC และ C7 ต่อเป็นวงจรเรโซแนนซ์ (resonance) แบบขนานที่ความถี่ 5.5 MHz ซึ่งวงจรแบบนี้จะให้แรงดันมีค่าสูงสุดที่ความถี่เรโซแนนซ์แต่กระแสต่ำสุดจึงใช้ Q2 ซึ่งเป็น FET เป็นตัวขยายสัญญาณนี้ และมีการป้อนกลับแบบบวกผ่าน C8 เพื่อให้สัญญาณที่เกิดเรโซแนนซ์มีขนาดที่คงที่ และเมื่อสัญญาณเสียงทำให้แรงดันไบอัสกลับที่ D เปลี่ยนแปลงก็ทำให้วงจรเรโซแนนซ์ผลิตความถี่เบี่ยงเบนจากความถี่ 5.5 MHz ซึ่งเป็นการมอดูเลตแบบ FM นั่นเองจากนั้นสัญญาณที่มอดูเลตแล้วจะส่งผ่าน C10 ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดขนาดของสัญญาณก่อนการผสมกับสัญญาณภาพที่ขาเบสของ Q4 ซึ่งจัดวงจรขยายแบบคอมมอนอีมิเตอร์ที่มี VR3 เป็นตัวปรับความถี่เชิงเส้น (linear) ของวงจรมี Q3 เป็นตัวจ่ายกระแสสแตนท์ให้ขาคอลเลกเตอร์ (collector) ของ Q4 และส่งขยายกำลังอีกครั้งด้วย Q5 เอ้าท์พุทส่งออกที่ขาอีมิเตอร์ (emitter) และสามารถปรับขนาดสัญญาณที่ผสมกันเรียบร้อยแล้วได้ที่ R14 จากนั้นจะส่งต่อไปยังภาคขับและควบคุมกระแสเลเซอร์ต่อไปและวงจรผสมสัญญาณภาพและเสียงแสดงดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 วงจรผสมสัญญาณภาพและเสียง

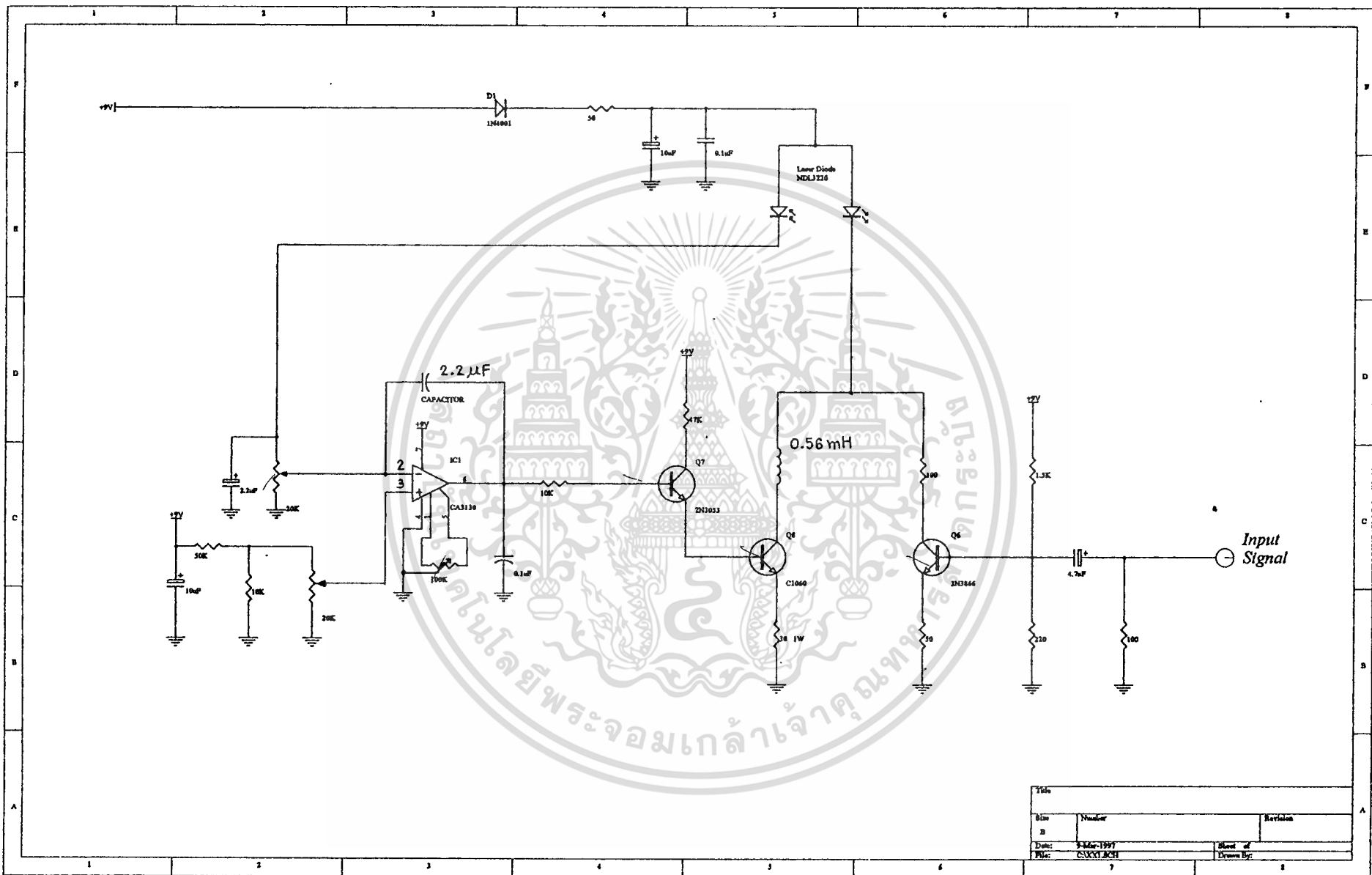
Title		
Size	Number	Revision
B		
Date:	2-Jun-1997	Sheet of
File:	ASU.AMKE.SCH	Drawn By:

3.1.2 วงจรขับและควบคุมกระแสเลเซอร์ (Laser drive and control Current)

ในส่วนของวงจรขับและควบคุมกระแสนี้จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ได้จากวงจรผสมภาพและเสียงและจ่ายกระแสที่ค่าหนึ่งให้กับตัวเลเซอร์ไดโอดด้วย ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 จากวงจรทรานซิสเตอร์ Q6 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเพื่อให้เกิดการมอดูเลตที่เลเซอร์ไดโอด ทรานซิสเตอร์ Q7,Q8 ต่อกันในลักษณะคาร์ลิงตันเพื่อทำหน้าที่จ่ายกระแสที่ค่าหนึ่งตามที่กล่าวไว้แล้ว โดยได้รับแรงดันควบคุมปริมาณกระแสส่วนนี้จากขา 6 ของ IC1 ซึ่งเป็นออปแอมป์ จากวงจรจะเห็นว่ามิโอดีไดโอดอยู่ในโมดูลเดียวกันกับตัวเลเซอร์โดยมิโอดีไดโอดนี้จะทำหน้าที่ป้อนกระแสควบคุมมาให้ IC1 ที่ขา 2 การทำงานโดยเริ่มต้นที่ต้องปรับ VR ที่ขา 3 ของ IC1 ให้มีแรงดันที่ขา 3 เป็นศูนย์ ในขณะที่ VR ที่ขา 2 ก็เช่นเดียวกันควรปรับให้ขากลางลงกราวด์แล้ววัดแรงดันเอาต์พุตที่ขา 6 ถ้าไม่เป็นศูนย์ให้ปรับ VR ที่ระหว่างขา 5 กับ 1 จนกระทั่งแรงดันที่ขา 6 เท่ากับศูนย์ ในขณะที่จะมีกระแสไหลผ่านเลเซอร์ไดโอดประมาณ 5-6 mA เนื่องจากทรานซิสเตอร์ Q6 จากนั้นให้ทำการปรับ VR ที่ขา 2 ให้อยู่ประมาณกึ่งกลางแล้วค่อย ๆ ปรับ VR ที่ขา 3 เพราะฉะนั้นจึงสามารถตั้งกระแสที่ได้ตามที่ต้องการในที่นี้ใช้ 30 mA เมื่อเซตกระแสที่ 30 mA ไว้แล้วแสงที่ออกจากตัวเลเซอร์ก็จะพุ่งออกไปข้างหน้าและส่วนหนึ่งก็จะตกกระทบบนมิโอดีไดโอด (monitor) และกระแสส่วนนี้จะควบคุมปริมาณกระแสที่ 30 mA ให้คงที่ โดยเมื่อไหลผ่าน VR ที่ขา 2 ของ IC1 ก็จะเกิดแรงดันที่ขา 2 ค่าหนึ่งแรงดันค่านี้จะเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงที่ขา 3 ของ IC1 ถ้ากระแสที่ไหลผ่านเลเซอร์มากก็จะทำให้ปริมาณแสงมากทำให้กระแสที่ได้จากมิโอดีไดโอดมากแรงดันที่ขา 3 ของ IC1 ก็จะเพิ่มขึ้นผลจะทำเอาต์พุตที่ขา 6 ลดลงกระแสที่ไหลผ่านเลเซอร์ก็จะลดลงและกลับเข้าสู่สภาพปกติการทำงาน ในลักษณะนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกระแสและแรงดันสลับกันไปมาที่เร็วมากจนไม่สามารถเห็นความแตกต่างที่ชัดเจน

3.2 ภาครับ (Receiver)

ภาครับของเครื่องส่งนี้จะทำหน้าที่รับสัญญาณแสงที่ถูกส่งออกมาจากภาคส่งแล้วแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วย พินมิโอดีไดโอด (PIN Photodiode) ;PD1 สัญญาณไฟฟ้านี้จะถูกขยายโดยวงจรขยายภาคแรก (Preamplifier) จากนั้นจะส่งไปให้วงจรขยายหลัก (Main Amplifier) เพื่อให้มีขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่พอเหมาะ โดยสัญญาณไฟฟ้าส่วนนี้จะประกอบ



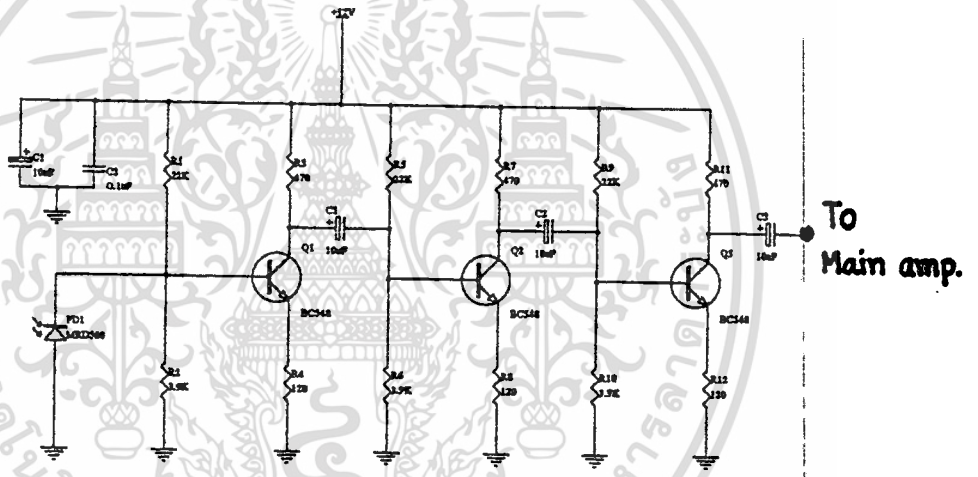
รูปที่ 3.2 วงจรขับและควบคุมกระแสเลเซอร์

Title		
Rev	Number	Revision
D		
Date:	8-Mar-1991	Drawn by:
Plc:	SUKSIRICH	Drawn by:

ด้วยสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง (ที่มอดูเลทแบบ FM ความถี่คลื่นพาห์ 5.5 MHz) เพื่อให้ได้สัญญาณภาพและสัญญาณเสียงที่แยกกันที่ Video output และ Audio output จึงจำเป็นต้องมีวงจรแยกสัญญาณภาพและเสียงออกจากกันหรือเรียกได้ว่าเรากรองเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ภาพ (0-5 MHz) และสัญญาณความถี่พาหะเสียง(5.5 MHz \pm 25 kHz) ซึ่งจะขอลกล่าวถึงรายละเอียดในแต่ละส่วนต่อไป

8.2.1 วงจรแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

วงจรวจรในส่วนนี้จะประกอบด้วยฟิโนไดโอด;MRD500 ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าจากนั้นจะส่งไปขยายที่ วงจรภาคแรกซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ Q1-Q3 ต่อเป็นวงจรขยายแบบคอมมอนอิมิตเตอร์โดยทั้งสามภาคต่อกันแบบคาสเคด (Cascade) แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณ ไฟฟ้าและปริแอมป์

จากวงจรดังรูปที่ 3.3 สามารถคำนวณหาอัตราขยายได้โดย

$$A_V = \{ [-\beta_o Z_C] / [r_{b'e} + (\beta_o + 1)Z_E] \}$$

โดย $Z_C = 470 \Omega$

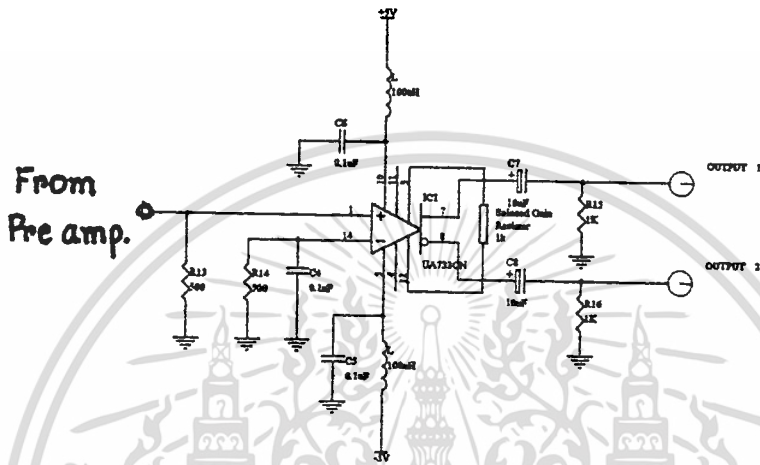
$Z_E = 120 \Omega$

$r_{b'e} = \beta_o V_T / I_{CQ} = 591 \Omega$

$\therefore A_V = 4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นภาคขยายภาคแรกที่ State1 จะมีอัตราขยายแรงดันประมาณ 4 เท่า เพราะฉะนั้นภาคขยาย 3 state จึงมีอัตราขยายแรงดันรวมเท่ากับ $4 \times 3 = 12$ เท่า สัญญาณที่ได้นี้ยังมีขนาดเล็กอยู่จึงทำการขยายโดย main amplifier ซึ่งใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ UA 733 ซึ่งเป็นไอซีสำหรับขยายสัญญาณวิดีโอโดยตรงเพื่อให้มีขนาดแรงขึ้นจึงจะส่งไปยังภาคแยกสัญญาณภาพสัญญาณเสียงต่อไปโดยวงจร main amplifier แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจร Main Amplifier

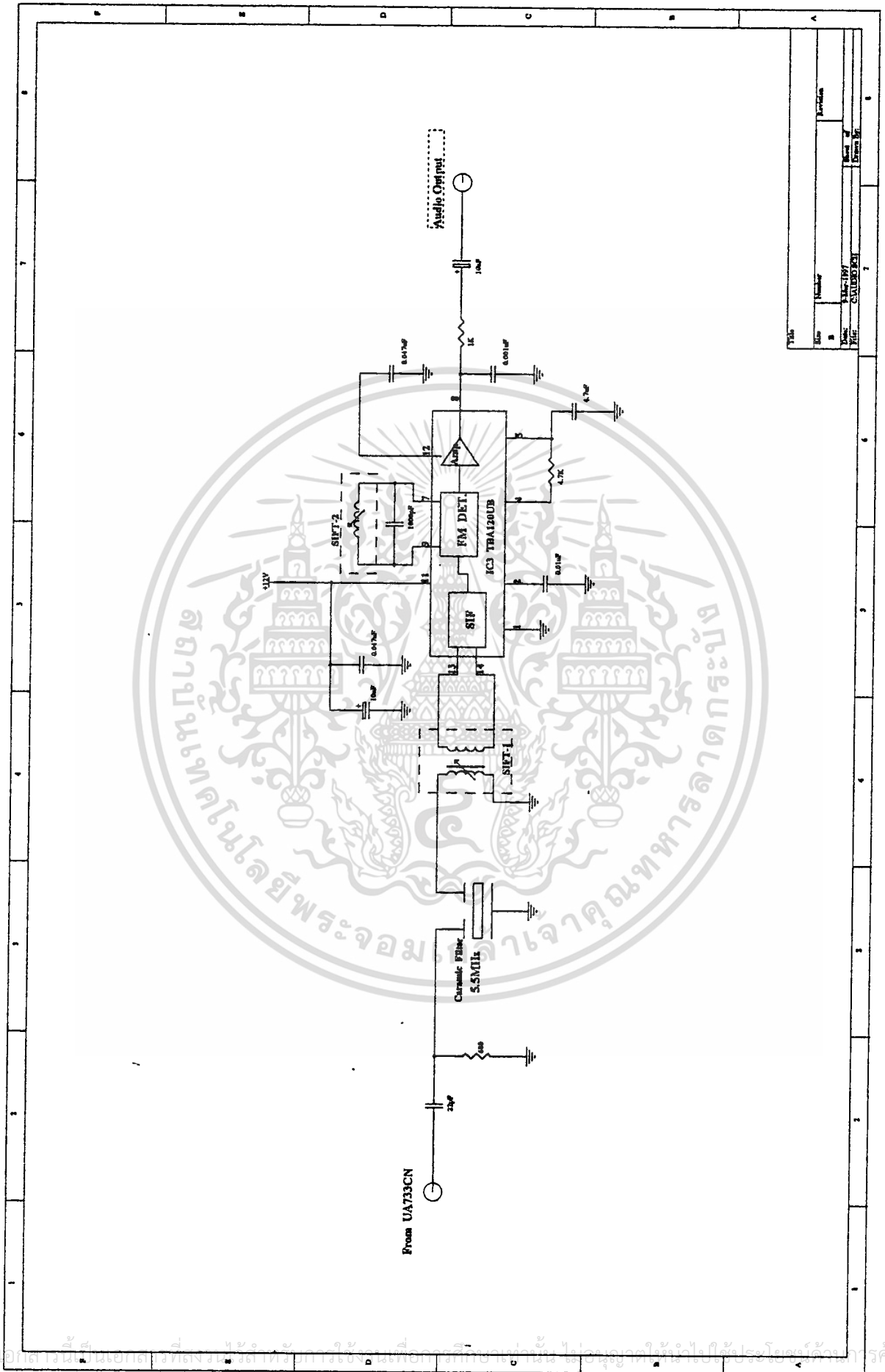
3.2.2 วงจรแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียง

การแยกสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงเพื่อนำมาใช้งานคือให้ได้สัญญาณ Video output และ Audio output เป็นส่วนที่สำคัญมาก แต่ในที่นี้จะไม่ยุ่งยากเหมือนในระบบเครื่องรับโทรทัศน์ที่สัญญาณภาพรวมต้องรวมอยู่กับความถี่พาหะภาพและความถี่พาหะเสียง ซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการแยกเอาสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงออกจากความถี่พาหะเหล่านี้ ในที่นี้คือความถี่ 5.5 MHz ในระบบ CCIR ซึ่งใช้อยู่ในประเทศไทย แต่ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้การผสมสัญญาณภาพและเสียงไม่มีการผสมเข้ากับความถี่พาหะหลักแต่อย่างใด เพียงแต่นำสัญญาณเสียงไปมอดูเลตแบบ FM ที่ความถี่คลื่นพาหะรอง (sub carrier) 5.5 MHz ก่อน จากนั้นก็นำสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงที่มอดูเลตแล้วมาผสมกันโดยตรง (Mixer) ดังที่อธิบายมาแล้วข้างต้น ดังนั้นจึงเห็นว่าเมื่อวงจรภาครับรับสัญญาณมาแล้วจึงเป็นสัญญาณที่ไม่มี ความถี่พาหะหลักใด ๆ กระบวนการแยกภาพและเสียงจะแยกกล่าวในรายละเอียดได้เป็น 2 ส่วนดังนี้

3.2.2.1 กระบวนการแยกสัญญาณภาพ

จากที่กล่าวมาข้างต้นการแยกสัญญาณภาพออกจากสัญญาณคลื่นความถี่พาหะรองเสียง 5.5 MHz ทำได้โดยใช้วงจรกรองความถี่ต่ำ (low pass filter) ที่มีความถี่ต่ำคัทออฟไม่เกิน 5 MHz ในที่นี้ใช้เซรามิกฟิลเตอร์ (Ceramic Filter) แสดงได้ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title	
No.	
Name	ศาสตราจารย์ ดร. ชัยวัฒน์ ชื่นชูชัยกิจ
Page	34
Page No.	

รูปที่ 3.6 วงจรแยกและขยายสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

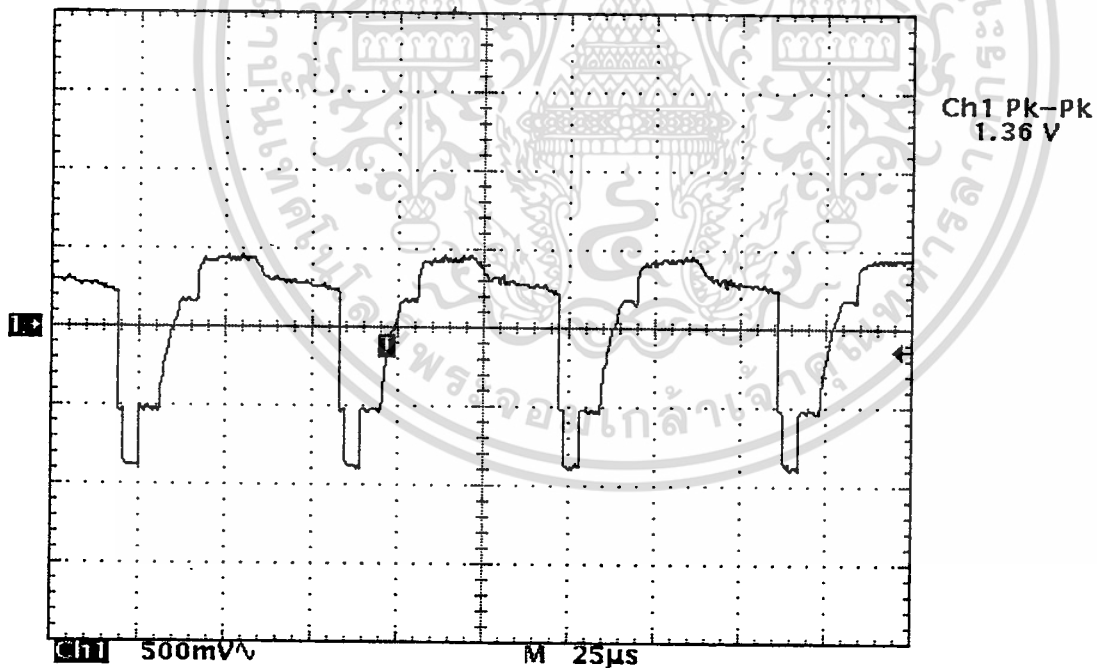
ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองของวงจรทางภาคส่งและภาครับ โดยแบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

4.1 การทดลองและผลการทดลองของวงจรทางภาคส่ง

วงจรทางภาคส่งประกอบด้วยวงจรผสมสัญญาณภาพและเสียง และวงจรขับและควบคุม กระแสของเลเซอร์มีการทดลองและผลการทดลองดังต่อไปนี้

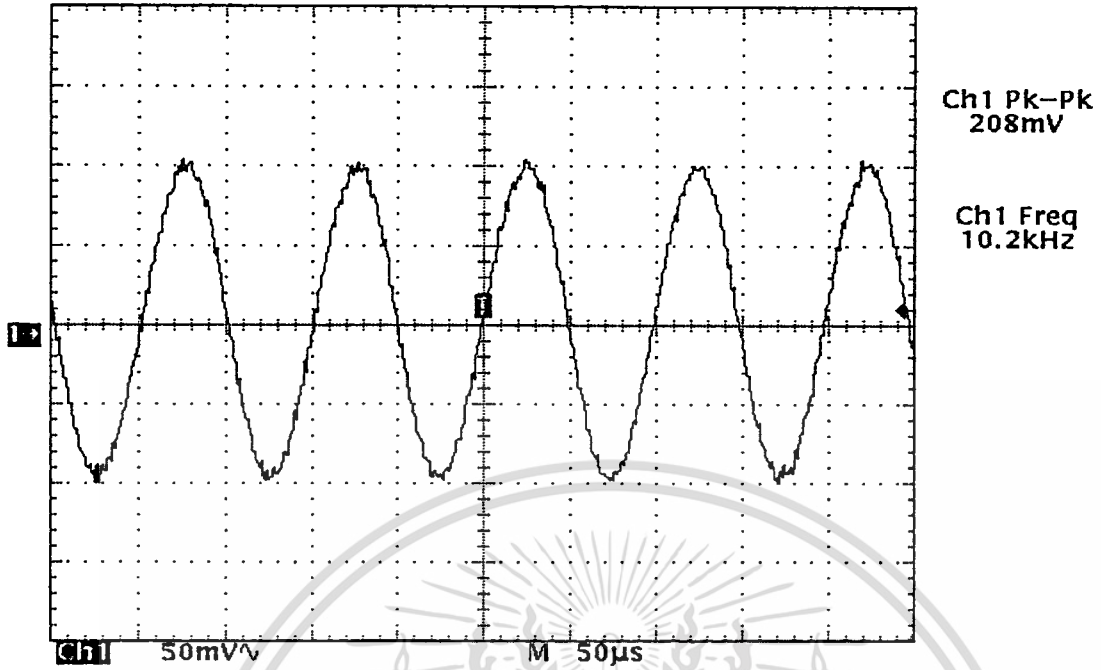
4.1.1 การทดลองและผลการทดลองของวงจรผสมสัญญาณภาพและเสียง

วงจรผสมสัญญาณภาพและเสียงแสดงดังรูปที่ 3.1 การทดลองกระทำโดยการนำสัญญาณภาพจากกล้องวิดีโอป้อนเข้าที่ Video input ของวงจร แสดงสัญญาณได้ดังรูปที่ 4.1 และป้อนสัญญาณเสียงซึ่งในที่นี้จะแทนด้วยสัญญาณไซน์ ที่ความถี่ 10 kHz เข้าที่ Audio input ของวงจร แสดงสัญญาณได้ดังรูปที่ 4.2

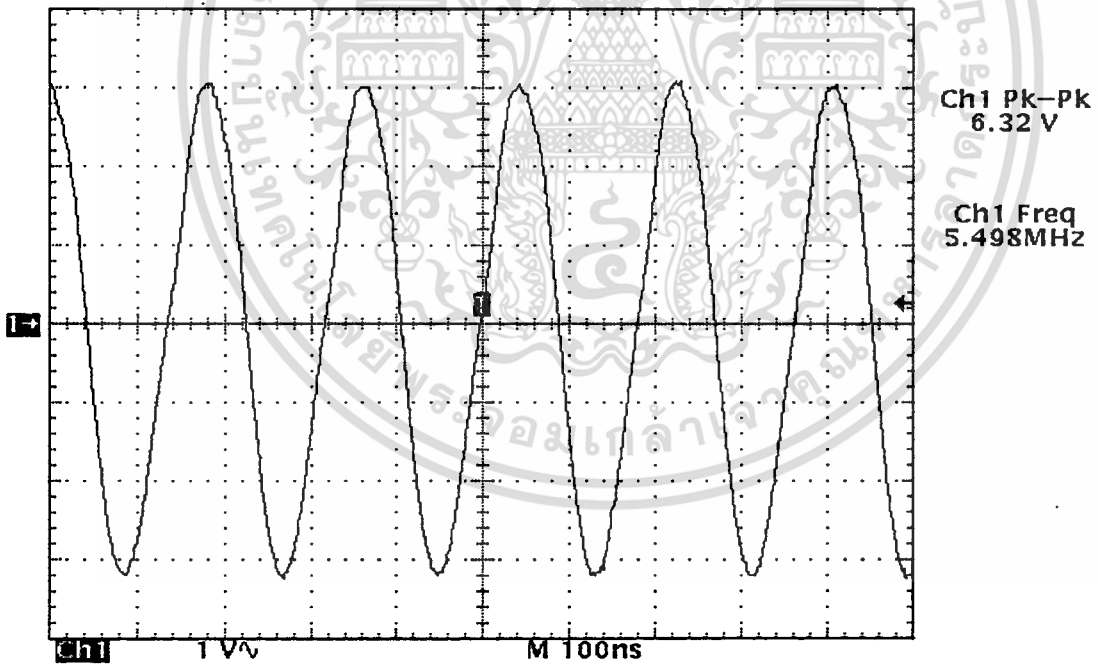


รูปที่ 4.1 สัญญาณภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



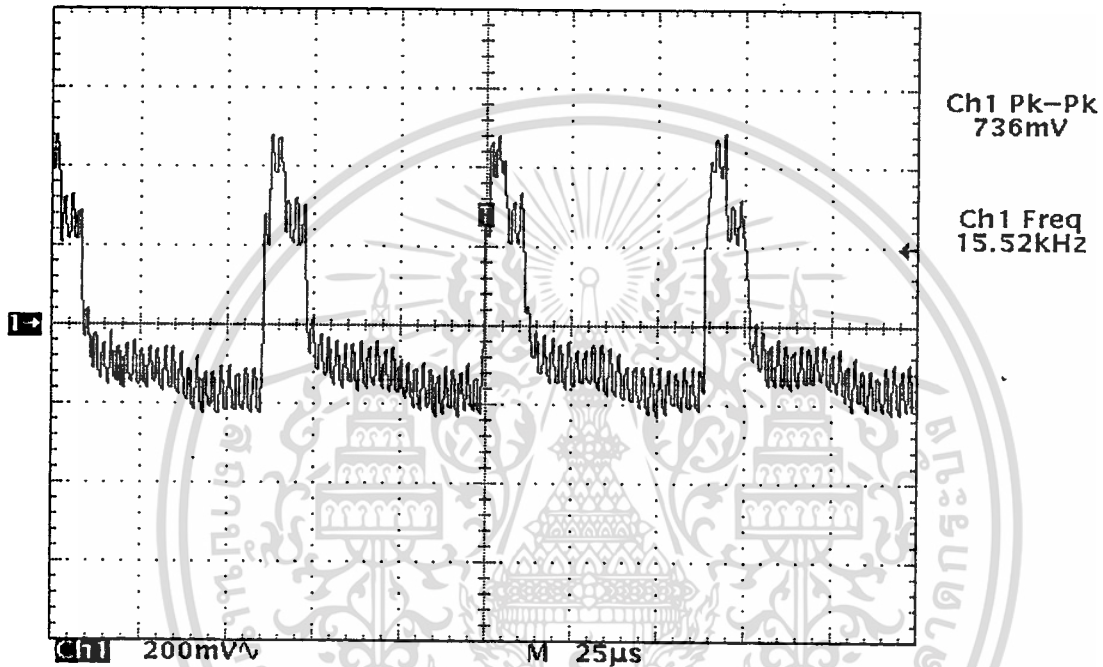
รูปที่ 4.2 สัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 10 kHz



รูปที่ 4.3 สัญญาณความถี่คลื่นพาหะรอง 5.5 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรผสมสัญญาณภาพและเสียงมีวงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อสร้างความถี่คลื่นพาหะรอง 5.5 MHz ก่อนที่จะนำสัญญาณเสียงมาทำการมอดูเลทแบบ FM โดยวัดสัญญาณที่ขาเกทของ Q2 แสดงสัญญาณได้ดังรูปที่ 4.3 จากนั้นสัญญาณภาพจากกล้องวิดีโอและสัญญาณซายน์ที่มอดูเลทกับความถี่พาหะรอง 5.5 MHz แล้วจะถูกนำมาผสมกันโดยตรง และขยายออกมาได้สัญญาณภาพและเสียงที่ผสมกันที่จุด TP1 แสดงสัญญาณได้ดังรูปที่ 4.4 โดยสัญญาณซายน์ 5.5 MHz ที่มีการมอดูเลทสัญญาณเสียงเข้าไปแล้วจะขึ้นมากับสัญญาณภาพนั่นเอง



รูปที่ 4.4 สัญญาณที่ผ่านการผสมระหว่างภาพและสัญญาณซายน์ที่มีความถี่ 10 kHz

4.2.2 การทดลองและผลการทดลองของวงจรขับและควบคุมกระแสของเลเซอร์

วงจรขับและควบคุมกระแสของเลเซอร์แสดงได้ดังรูปที่ 3.2 การทดลองกระทำตามที่ได้อธิบายแล้วในบทที่ 3 ส่วนผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ขณะที่ยังไม่ป้อนสัญญาณอินพุท เป็นการวัดค่าทางคี่ซีที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของวงจร ซึ่งต้องมีการตั้งกระแสเพื่อกำหนดจุดทำงานให้เลขค่ากระแสซีดีเริ่มแต่ไม่เลขค่ากระแสทำงานที่เลเซอร์ไดโอดสามารถทนได้

กระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q6 เท่ากับ 7 mA

กระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q8 เท่ากับ 35 mA

ดังนั้น

กระแสรวมที่ไหลผ่านเลเซอร์ไดโอด เท่ากับ I_{Q6} รวมกับ I_{Q8}

$$\therefore I_{LD} = I_{Q6} + I_{Q8} = 42 \text{ mA}$$

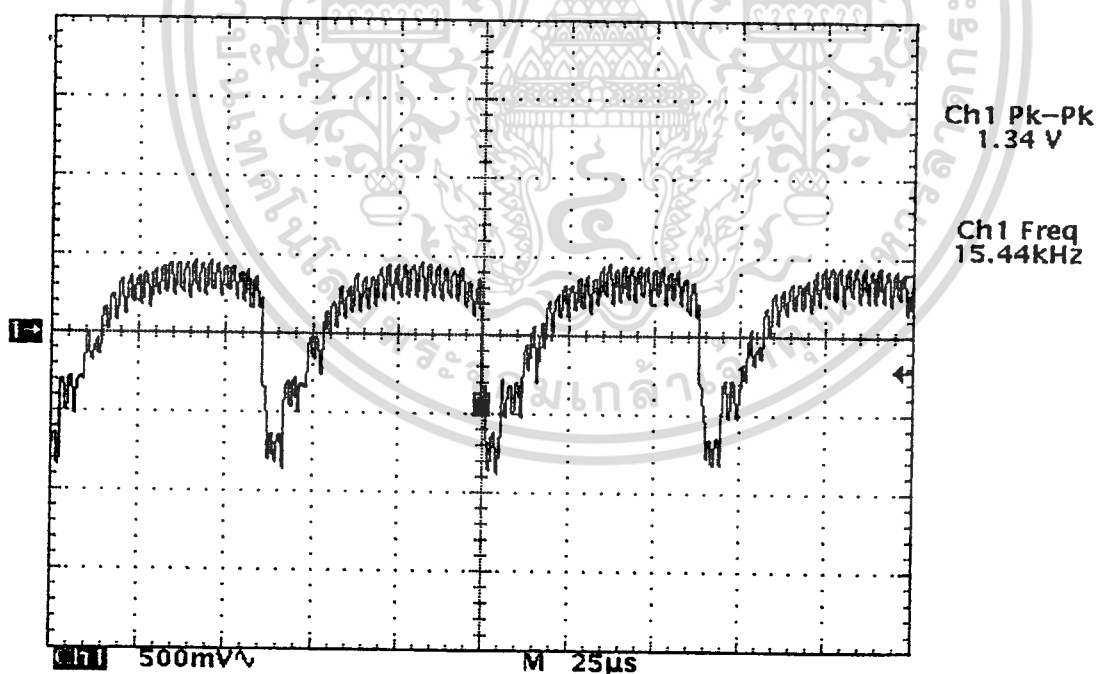
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของกระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q8 เป็นผลมาจากการปรับค่าแรงดันที่ขา 3 ของ IC1 ด้วย VR5 เพื่อเป็นการเซตค่าของกระแสที่พอเหมาะเมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันที่ขา 2 ของ IC1 ที่ได้มาจากกระแสของพินโฟโต้ไดโอดผ่าน VR4 ผลจากการเปรียบเทียบแรงดันทั้งสองก็จะได้แรงดันเอาต์พุตที่ขา 6 ของ IC1 เพื่อนำไปควบคุมปริมาณกระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q8 แรงดันที่จุดต่างๆ แสดงได้ดังต่อไปนี้

แรงดันที่ขา 3 ของ IC1 เท่ากับ 0.48 V

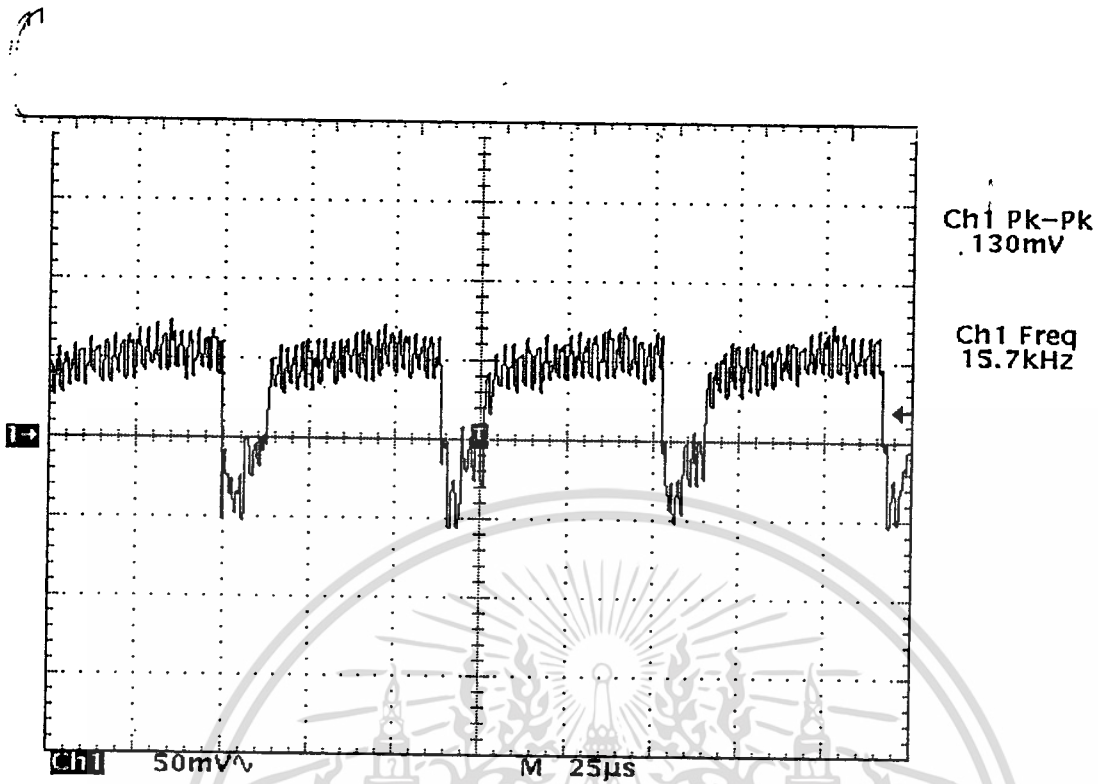
แรงดันที่ขา 6 ของ IC1 เท่ากับ 2.16 V

เมื่อได้ผลการทดลองทางทฤษฎีแล้วก็ให้ทำการทดลองโดยการป้อนสัญญาณอินพุตที่ได้จากวงจรผสมสัญญาณภาพและเสียงเข้าที่อินพุตของวงจรขั้วนี้เพื่อทดสอบว่าวงจรทำหน้าที่มอดูเลททางแสงคือ Q6 สามารถขยายสัญญาณได้สมบูรณ์หรือไม่ก่อนส่งออกไปยังภาครับ ผลการทดลองจะวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขาคอลเลกเตอร์ของ Q6 และสัญญาณที่จุด TP2 ซึ่งแสดงสัญญาณได้ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 สัญญาณเอาต์พุตที่ขยายจากทรานซิสเตอร์ Q6 (ขา คอลเลกเตอร์)

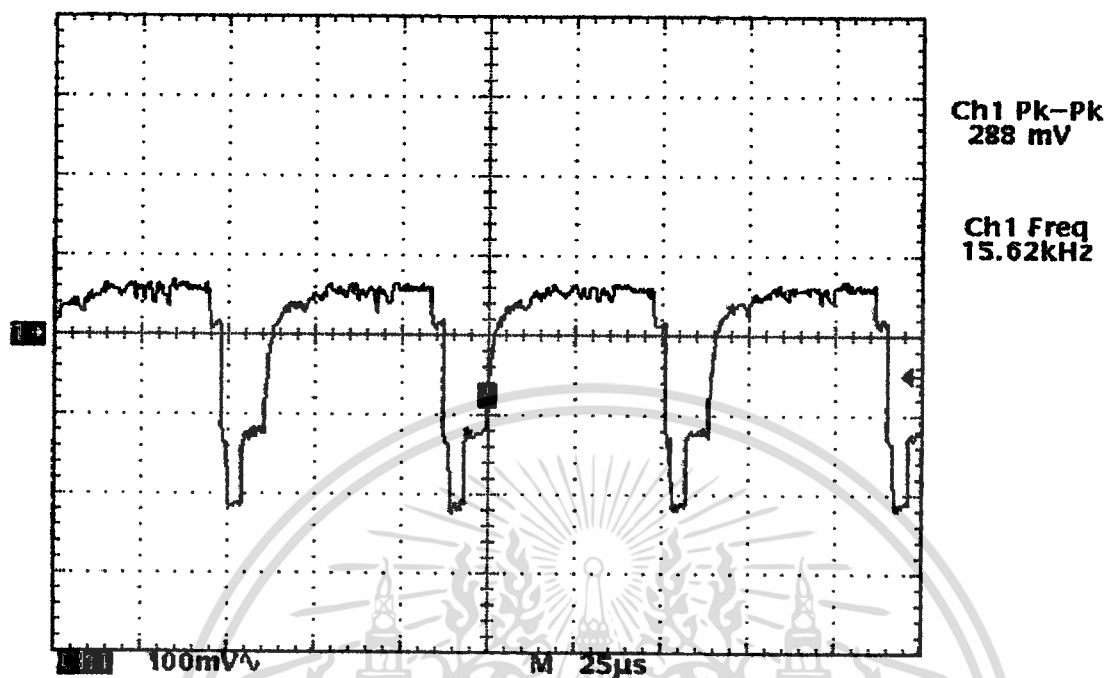
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



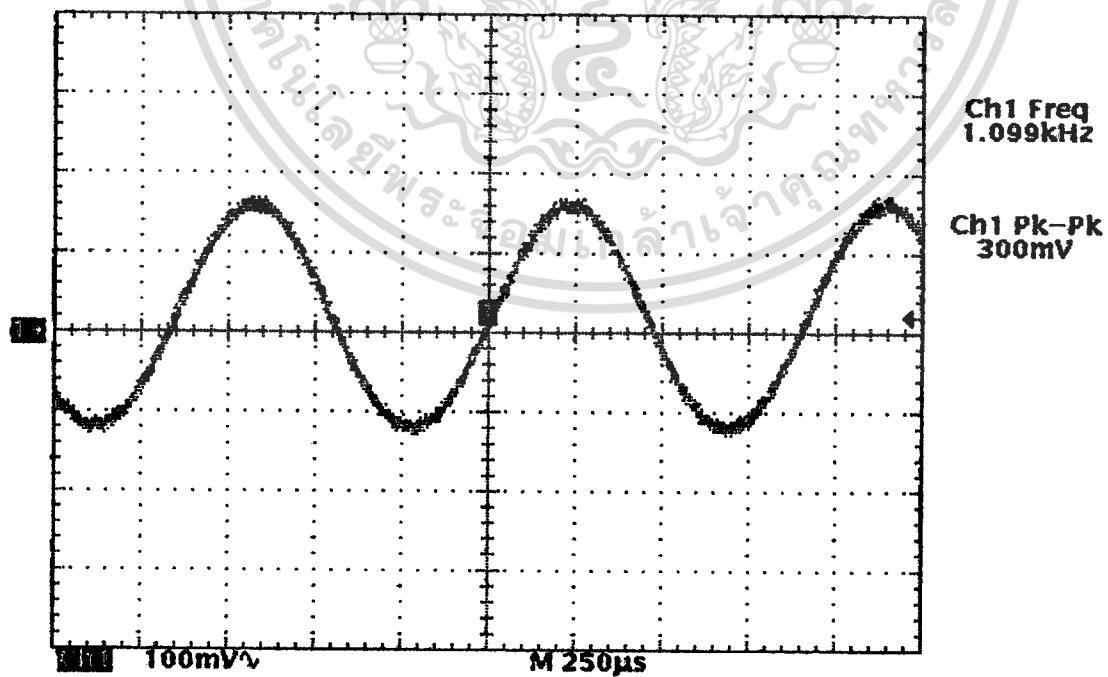
รูปที่ 4.6 สัญญาณที่จุด TP2 (ขา คาโอดของเลเซอร์)

4.2 การทดลองและผลการทดลองของวงจรภาครับ

การทดลองวงจรทางภาครับจะกระทำพร้อมกับการส่งสัญญาณมาจากวงจรทางภาคส่ง โดยตั้งเครื่องรับให้ตัว detector ตรงกับลำแสงของเลเซอร์ให้มากที่สุด โดยสังเกตได้จากสัญญาณภาพที่เอาท์พุทของ Video output จะมีขนาดสูงสุด โดยการทดลองทำที่ระยะทางต่าง ๆ เพื่อวัดผลของสัญญาณภาพ และเสียง ที่ระยะ 1 เมตร และ 5 เมตร ตามลำดับ โดยผลการทดลองมีการวัดสัญญาณที่ภาครับ แสดงสัญญาณดังรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 ตามลำดับ และแสดงภาพถ่ายจากแพทเทิร์นสีก่อนส่ง และที่รับได้ดังรูปที่ 4.9 จากนั้นรูปที่ 4.10 และ 4.11 แสดงภาพถ่ายที่รับได้เมื่อใช้แพทเทิร์นรูปแบบต่าง ๆ

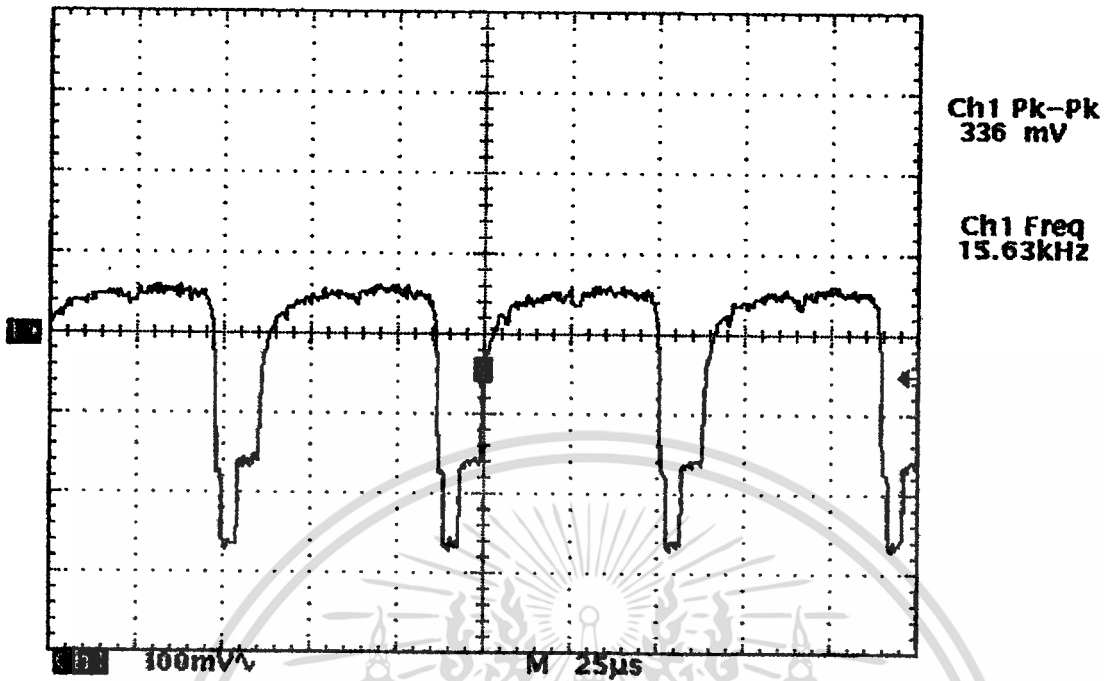


รูปที่ 4.7 ก.) สัญญาณภาพที่รับได้ที่ระยะ 1 เมตร

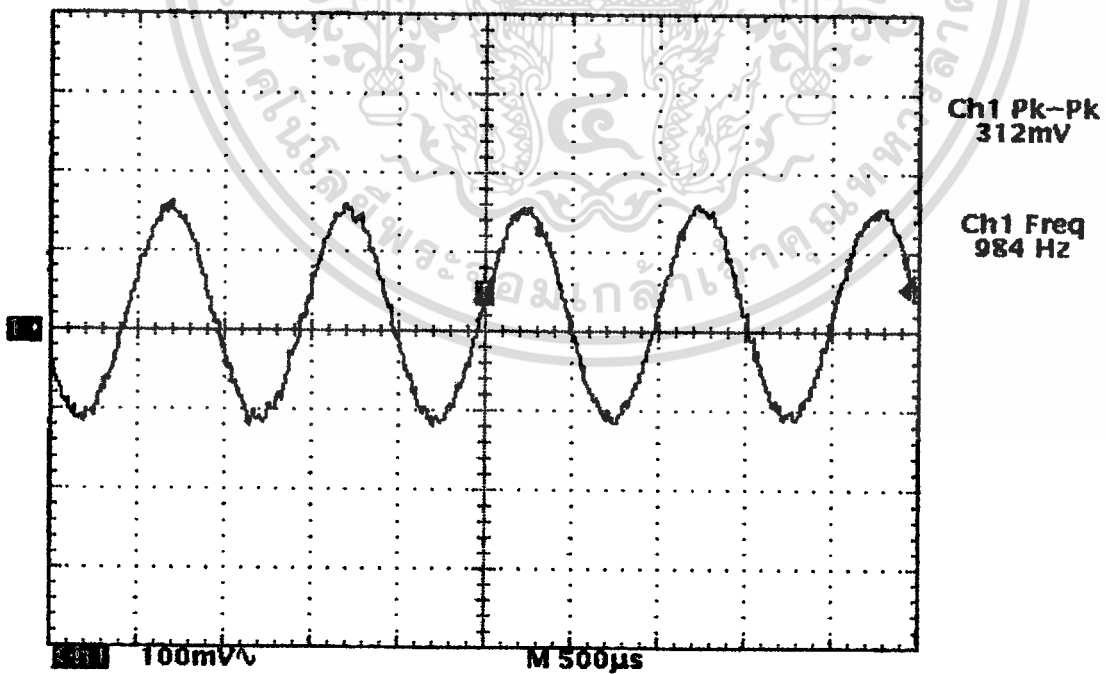


รูปที่ 4.7 ข.) สัญญาณเสียงที่รับได้ที่ระยะ 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

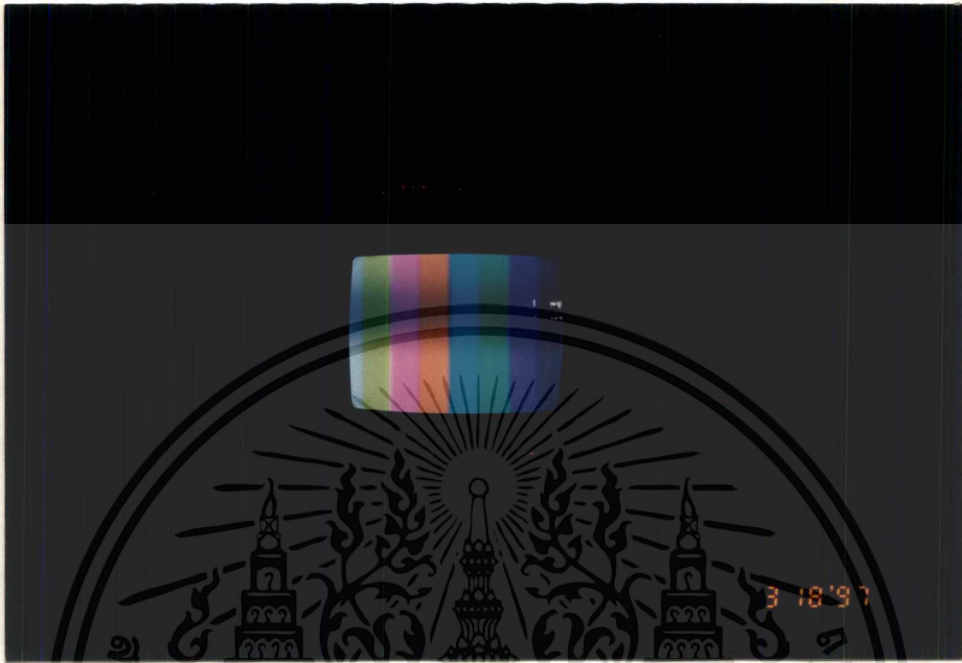


รูปที่ 4.8 ก.) สัญญาณภาพที่รับได้ที่ระยะ 5 เมตร



รูปที่ 4.8 ข.) สัญญาณเสียงที่รับได้ที่ระยะ 5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

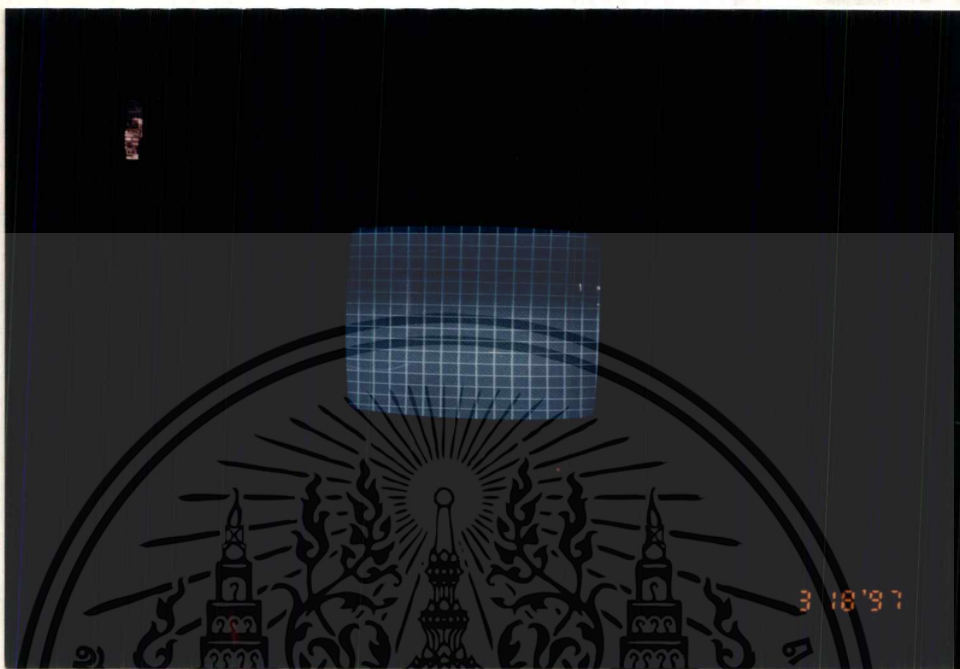


รูปที่ 4.9 ก) ภาพถ่ายแพทเทิร์นก่อนทำการส่ง (แบบ Color Bar)



รูปที่ 4.9 ข.) ภาพถ่ายแพทเทิร์นหลังจากรับได้ (แบบ Colour Bar)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายแพทเทิร์นที่รับได้ (แบบ Cross Line)



รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายแพทเทิร์นที่รับได้ (แบบ Ver Line)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผล

จากการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องส่ง-รับ สัญญาณภาพและเสียง แยกเป็นส่วน ๆ คือ ภาคส่งสัญญาณภาพและเสียง และเครื่องรับสัญญาณภาพและเสียง

ส่วนของเครื่องส่ง มีวงจรผสมสัญญาณภาพและเสียง และวงจรขับพร้อมทั้งควบคุมกระแสของเลเซอร์ ในวงจรผสมสัญญาณภาพและเสียงการสร้างและการทดลองไม่ประสบปัญหามากนัก โดยอาศัยหลักการพื้นฐานของทรานซิสต์ ในวงจรขับและควบคุมกระแสของเลเซอร์เมื่อประกอบวงจรเสร็จ พบปัญหาในส่วนของ การควบคุมกระแส เนื่องจากในคอนเริ่มต้นใช้ LED แทนเลเซอร์ และใช้พินโฟโต้ไดโอดมาเป็นตัวควบคุมการป้อนกลับกระแส จะมีปัญหามากเนื่องจากการจัดลำแสงของอุปกรณ์ทั้งสองไม่ตรงกันทำให้การควบคุมกระแสมีการผิดพลาด ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวโมดูลของเลเซอร์ไดโอดในการทดลองเลย ซึ่งทำให้สามารถควบคุมปริมาณกระแสที่ไหลผ่านเลเซอร์ได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ในส่วนของวงจรมอดูเลทที่ใช้ Q6 นั้นสามารถขับและมอดูเลทสัญญาณอินพุตได้

ส่วนของเครื่องรับมีวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า, วงจรขยายสัญญาณไฟฟ้า, วงจรแยกสัญญาณภาพ และวงจรแยกสัญญาณเสียง ในส่วนนี้จะใช้พินโฟโต้ไดโอดเป็น O/E converter จากนั้นส่งสัญญาณเข้าวงจรขยายและแยกสัญญาณภาพและเสียงออกมา การสร้างและการทดลองวงจรในส่วนของวงจรขยายภาคแรก (ปรี่แอมป์) จะพบปัญหาในเรื่องการออสซิลเลท จึงต้องประกอบวงจรอย่างระมัดระวัง ส่วนวงจรขยายหลัก (main amp.) ใช้ไอซีจึงไม่มีปัญหาในส่วนสุดท้ายคือวงจรแยกสัญญาณภาพและเสียงจะอาศัยหลักการจากเครื่องรับทรานซิสต์

ปัญหาและการแก้ไข

ปัญหาในส่วนของเครื่องส่งจะอยู่ที่วงจรขับและควบคุมกระแสของเลเซอร์ดังที่ได้กล่าวไปข้างแล้ว การแก้ปัญหาคควรทดสอบคุณสมบัติของเลเซอร์ไดโอดก่อนการใช้งานว่ามีกระแสสูงสุดเป็นเท่าใด เพื่อความปลอดภัยต่อการใช้งานปัญหาอีกส่วนหนึ่งคือการเชื่อมต่อวงจรระหว่างวงจรผสมสัญญาณภาพและเสียง เข้ากับวงจรขับเลเซอร์เมื่อเชื่อมต่อกันโดยตรงพบว่าเมื่อเครื่องรับรับสัญญาณภาพแล้วภาพที่ได้จากจอมอนิเตอร์ มีการเลื่อนขึ้น-ลง ทางแนวตั้งและเมื่อใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่เอาท์พุทของวงจรภาคขับที่เครื่องส่ง พบว่าสัญญาณในส่วนของสัญญาณควบคุมตำแหน่งภาพทางแนวตั้ง (Vertical synchronize) มีความผิดเพี้ยนไปจากอินพุท การแก้ไขทำได้โดยการใช่วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) ช่วย โดยนำเอาท์พุทของวงจรผสมสัญญาณภาพและเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อเข้าวงจรบัฟเฟอร์ก่อน แล้วนำเอาที่พุทของบัฟเฟอร์ต่อเข้าที่อินพุทของวงจรขับแสงเลเซอร์ซึ่งพบว่า การเลื่อนไหลของภาพจะลดลงสามารถควบคุมได้ดีขึ้น ปัญหาในส่วนของการรับคือวงจรปริแอมป์พบว่าเกิดการออสซิลเลท การแก้ไขทำได้โดยประกอบวงจรให้มีขนาดเล็กไม่เดินสายนำสัญญาณให้ยาวเกินไป และควรทำกราวด์เพลนรอบ ๆ วงจรด้วย พบว่าปัญหาการออสซิลเลทหมดไปเมื่อทำกราวด์เพลนดี ๆ ปัญหาอีกส่วนหนึ่งคือวงจรแยกสัญญาณภาพ เมื่อแยกสัญญาณภาพได้จากเซรามิกซ์ฟิลเตอร์ ไม่สามารถนำไปต่อเข้ามอดูเลเตอร์ได้โดยตรงเพราะจะทำให้ภาพที่จ่อมอดูเลเตอร์จาง และเลื่อนไหลได้ง่าย จึงต้องต่อวงจรบัฟเฟอร์ก่อนเข้ามอดูเลเตอร์ซึ่งเป็นการแก้ปัญหา (Loading Effect) นั้นเอง ส่วนผลการทดลองที่ส่งสัญญาณแพทเทิร์นสีแล้วที่ภาครับรับ ได้มีสีที่สลับกันกับที่ภาคส่งส่งมาสรุปว่าเกิดจากสัญญาณเบิสต์ (Burst signal) ที่รับได้มีขนาดเล็กไม่พอที่เครื่องรับโทรทัศน์สามารถแยกสัญญาณเบิสต์ออกไปควบคุมการผลิตความถี่ซิงแคเรียร์ที่ 4.43 MHz เพื่อให้มีความถี่และเฟสตรงกับทางเครื่องส่งได้ ส่วนขนาดของสัญญาณเอาท์พุทภาพและเสียงที่รับได้ที่ระยะทาง 5 เมตรมีขนาดมากกว่าที่รับได้ที่ระยะทาง 1 เมตรเพราะที่ระยะทาง 1 เมตรแสงเลเซอร์ยังรวมแสงไม่ถึงจุดคอด (beam waist) ทำให้ความเข้มแสงน้อยกว่าที่ระยะทาง 5 เมตรซึ่งเป็นระยะทางที่แสงรวมกันใกล้จุดคอดมากกว่าจึงมีความเข้มแสงมากกว่าด้วย

แนวทางการพัฒนาต่อ

พัฒนาภาคส่งและรับให้ส่งสัญญาณได้หลาย ๆ ช่อง (Multi Channal) แบ่งเป็นแนวทางต่าง ๆ ได้หลายแนวทางดังนี้

1.) ผสมสัญญาณภาพและเสียงที่ ความถี่ต่าง ๆ กัน โดยที่สัญญาณแต่ละช่องต้องไม่รบกวนกัน ส่วนภาครับก็ต้องทำขึ้นตามจำนวนช่องที่ต้องการส่งซึ่งเป็นการผสมความถี่แบบ AM ซึ่งมีแบนด์วิดธ์ประมาณ 10 MHz

2.) ลดแบนด์วิดธ์ของวิธีการของ AM โดยใช้ระบบ เวสติเจียล ไซด์แบนด์ สามารถลดแบนด์วิดธ์ของการส่งลงเหลือเพียง 7 MHz ทำให้เราสามารถเพิ่มจำนวนช่องได้มากกว่าวิธีแรก

3.) ส่งภาพและเสียงโดยใช้ความยาวคลื่นแสงที่ต่างกันและที่ภาครับแต่ละช่องมีฟิลเตอร์ความยาวคลื่นแสงตามช่องที่ต้องการจะรับซึ่งเป็นแนวทางที่ไม่ขัดตึกกับระบบการส่งสัญญาณด้วยความถี่วิทยุแบบสองข้อแรก และจำนวนช่องขึ้นอยู่กับจำนวนความยาวคลื่นแสงที่เลือกใช้

4.) จากวิธีที่สามให้เพิ่มเกรทติงระหว่างทางของการส่งทำให้จำนวนช่องเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า

บรรณานุกรม

- [1] กองบรรณาธิการ, "ผ่าโลกเลเซอร์," อพเคท,ปีที่ 10,ฉบับ 118,หน้า 38-43,เมษายน 2539.
- [2] น.ต.ฉิรชา ศิวพรม, "เลเซอร์ ลำแสงแห่งชีวิต," คอมพิวเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ เวิลด์,ฉบับ 130, หน้า 202 - 212,พฤศจิกายน 2533.
- [3] เจน สงสมพันธุ์ และ นิคม อนันต์ทิพย์, "เทคโนโลยีโทรทัศน์," กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์สถาบันอิเล็กทรอนิกส์กรุงเทพฯ, 2535
- [4] พันธุ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, "ทฤษฎีเครื่องรับวิทยุ," กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์เจริญธรรม
- [5] อุทัย จิงภักดิ์, "มารู้จักกับเลเซอร์โคโอด," คอมพิวเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ เวิลด์,ฉบับ 134, หน้า 115-119, 2534.
- [6] G.E. Keiser, *Optical Fiber Communications*, McGraw-Hill, New York, 1991.
- [7] J. Senior, *Optical Fiber Communications*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1985.
- [8] Glencoe, *Optical Fiber and Experimental*, McGraw-Hill, New York, 1992.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.สุริภณ สมควรพานิชย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษาในการทำ Project และให้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองต่าง ๆ รวมถึงอาจารย์ สมศักดิ์ เขียวศิริกุล และอาจารย์ ประภากร สุวรรณะ ที่ช่วยให้คำปรึกษาเพิ่มเติม รวมไปถึง พ่อ แม่ พี่น้อง และเพื่อนที่คอยให้กำลังใจทุก ๆ คน ต้องขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ภาคส่ง

Q1	2N3565
Q2	MPF102
Q3	2N3906
Q4	2N3904
Q5	MJE180
Q6	2N3866
Q7	2N3053
Q8	2SC1061
Varicap Diode	MV2112
Diode	1N4001
LASER Diode	NDL3220
IC	LM3010

รายการอุปกรณ์ภาครับ

Q1-Q3	BC548
Q4	2N3904
IC1	UA733CN,NE592,LM733
IC2	LM318
IC3	TBA120UB
Ceramic filter	5.5 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NDL3220, NDL3220

670 nm BAR CODE READER, POINTER APPLICATION
AlGaInP MQW VISIBLE LASER DIODE

DESCRIPTION

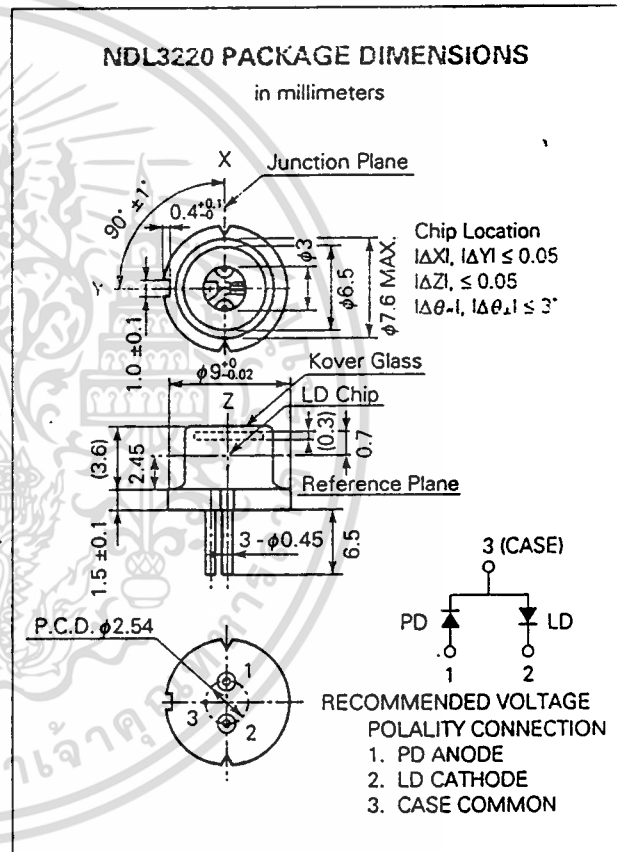
NDL3220 is an AlGaInP 670 nm visible laser diode and especially developed for Bar Code Reader and Pointer.

FEATURES

- Low Operating Current ($I_{op} = 30 \text{ mA TYP.}$)
- Low Operating Voltage ($V_{op} = 2.1 \text{ V TYP.}$)
- Wide Operating Case Temperature ($T_c = -10 \text{ to } +60 \text{ }^\circ\text{C}$)
- Peak Emission Wavelength ($\lambda = 670 \text{ nm TYP.}$)
- Fundamental Transverse Mode

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

Optical Output Power	P_o	6.0	mW
Reverse Voltage	V_R	2.0	V
Operating Case Temperature	T_c	-10 to +60	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	T_{stg}	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Monitor PD			
Reverse Voltage	V_R	30	V
Forward Current	I_f	20	mA



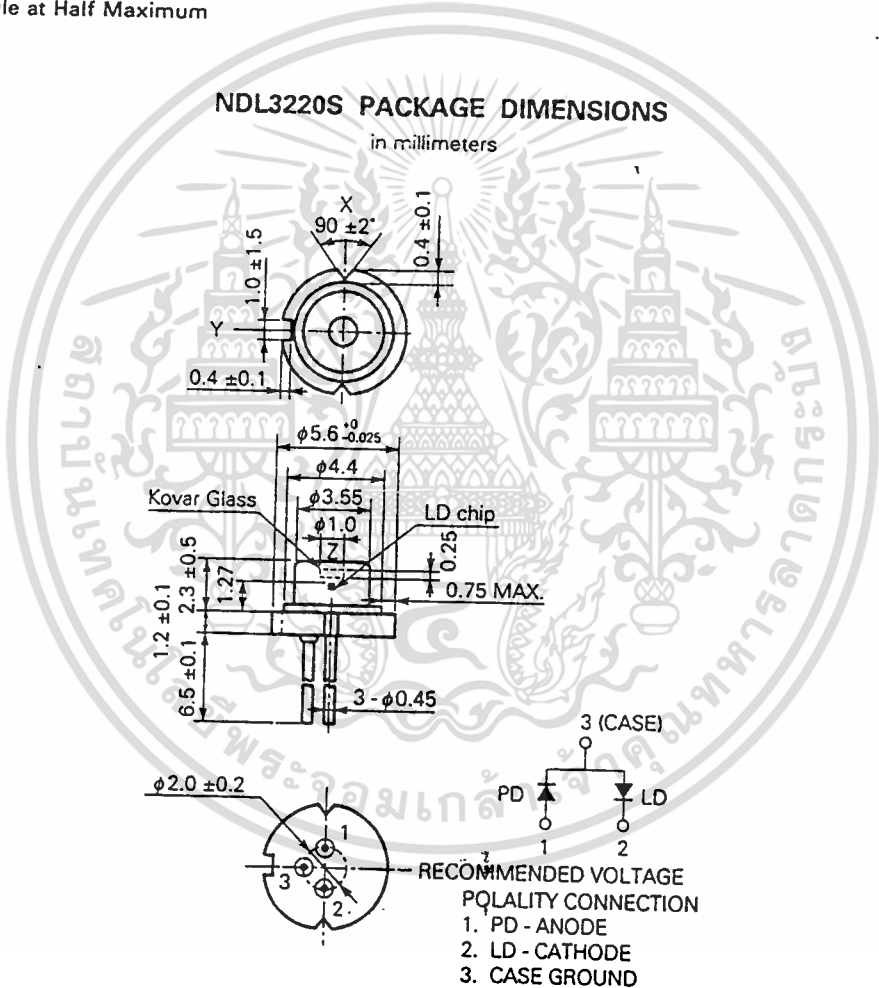
RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS ($T_c = 25 \text{ }^\circ\text{C}$)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Optical Output Power	P_o			5.0	mW

ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS (T_c = 25 °C)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	TEST CONDITIONS
Operating Voltage	V _{op}		2.1	2.3	V	P _o = 5.0 mW
Threshold Current	I _{th}		20	30	mA	CW
Operating Current	I _{op}		30	40	mA	P _o = 5.0 mW
Monitor Current NDL3220	I _m	0.05	0.1	0.2	mA	P _o = 5.0 mW V _R = 5 V
Monitor Current NDL3220S	I _m	0.1	0.3	0.5	mA	P _o = 5.0 mW
Peak Emission Wavelength	λ _p	660	670	680	nm	P _o = 5.0 mW
Vertical Beam Angle	θ _v	25	30	35	deg.	P _o = 5.0 mW, FAHM*
Lateral Beam Angle	θ _h	6	8	10	deg.	P _o = 5.0 mW, FAHM*

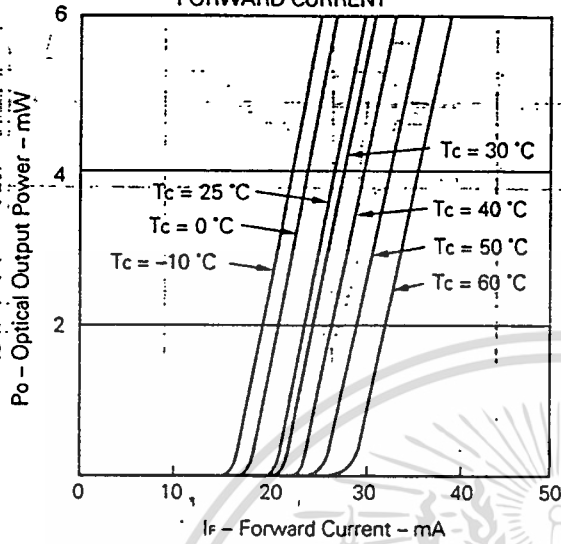
* FAHM: Full Angle at Half Maximum



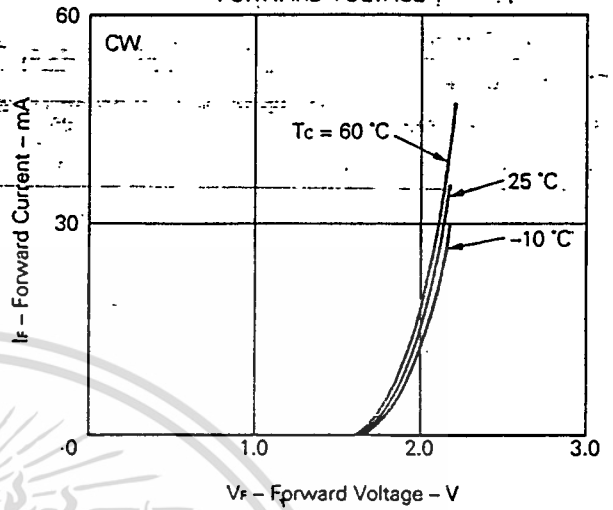
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS (T_c = 25 °C)

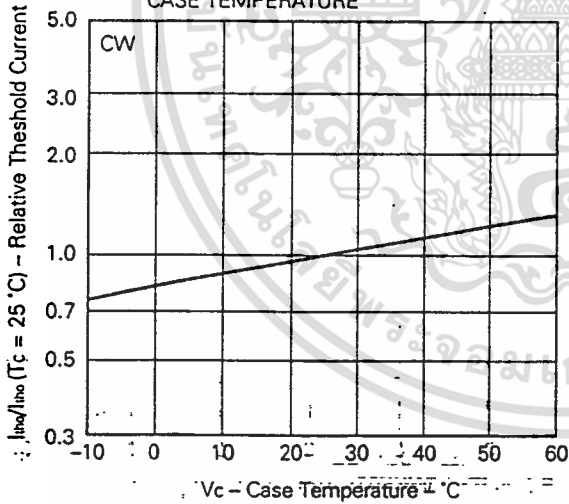
OPTICAL OUTPUT POWER vs. FORWARD CURRENT



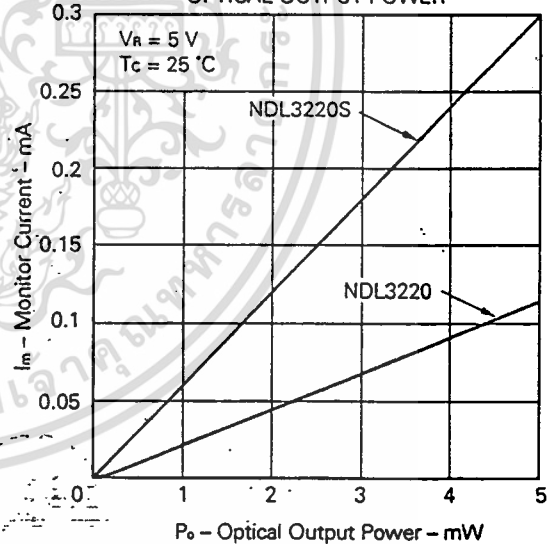
FORWARD CURRENT vs. FORWARD VOLTAGE



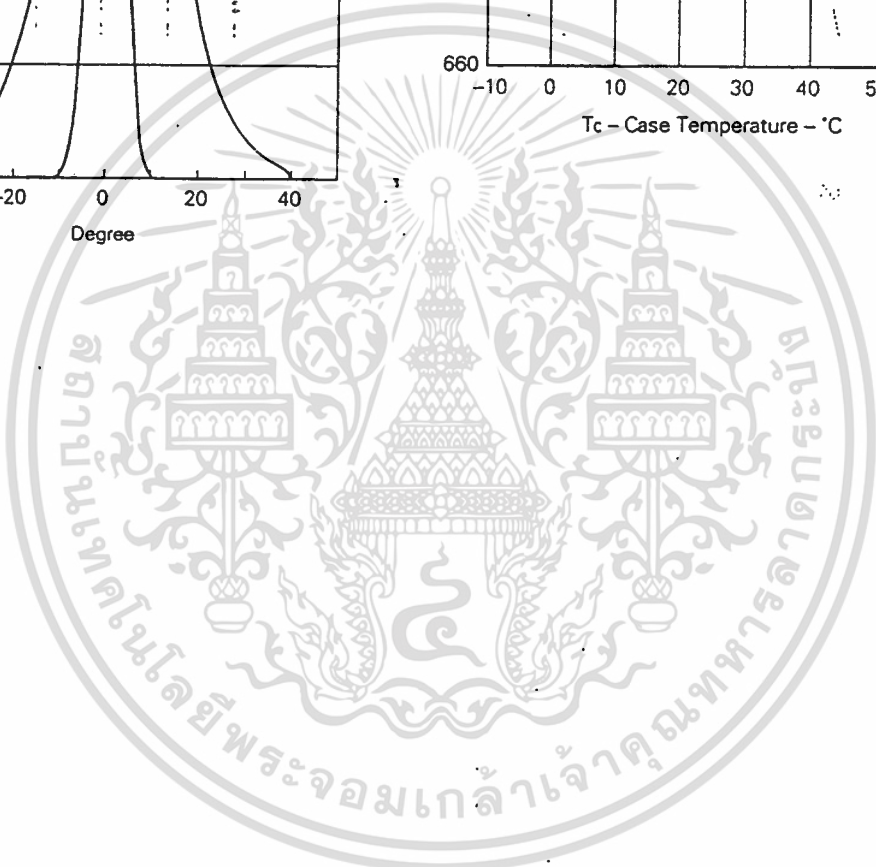
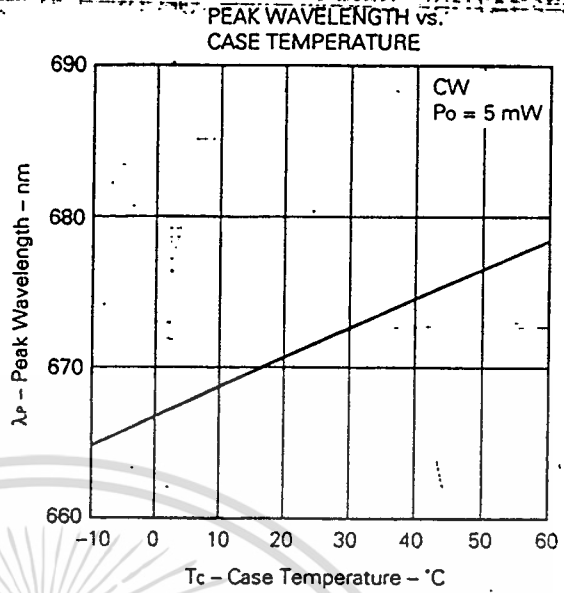
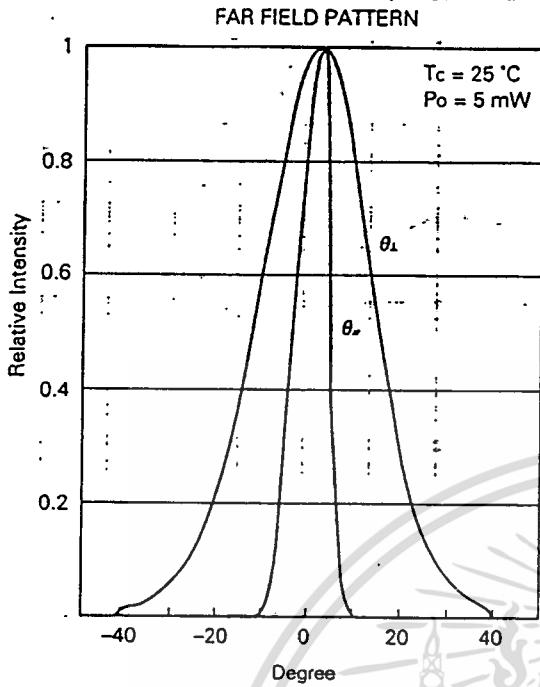
RELATIVE THRESHOLD CURRENT vs. CASE TEMPERATURE



MONITOR CURRENT vs. OPTICAL OUTPUT POWER

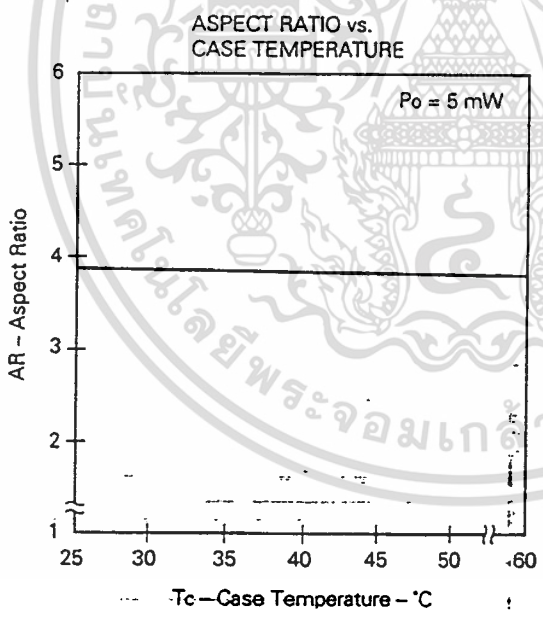
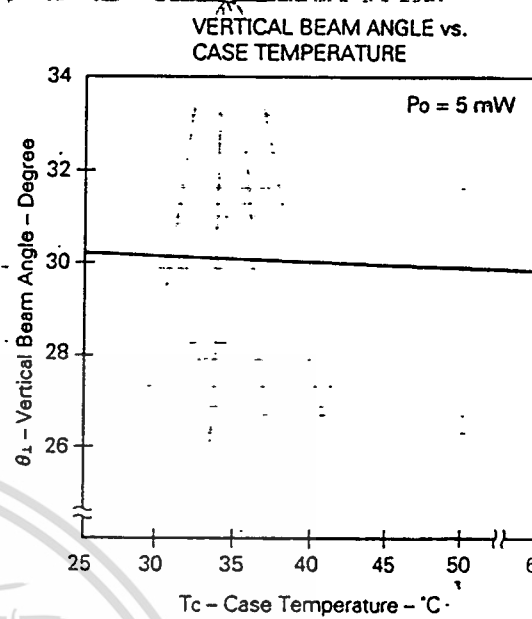
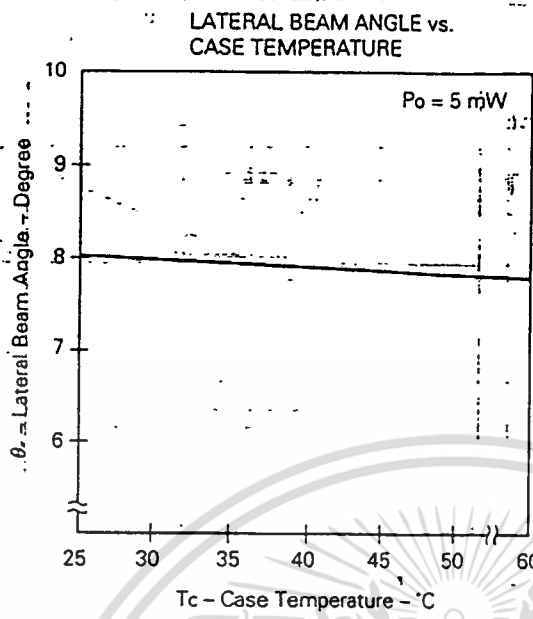


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



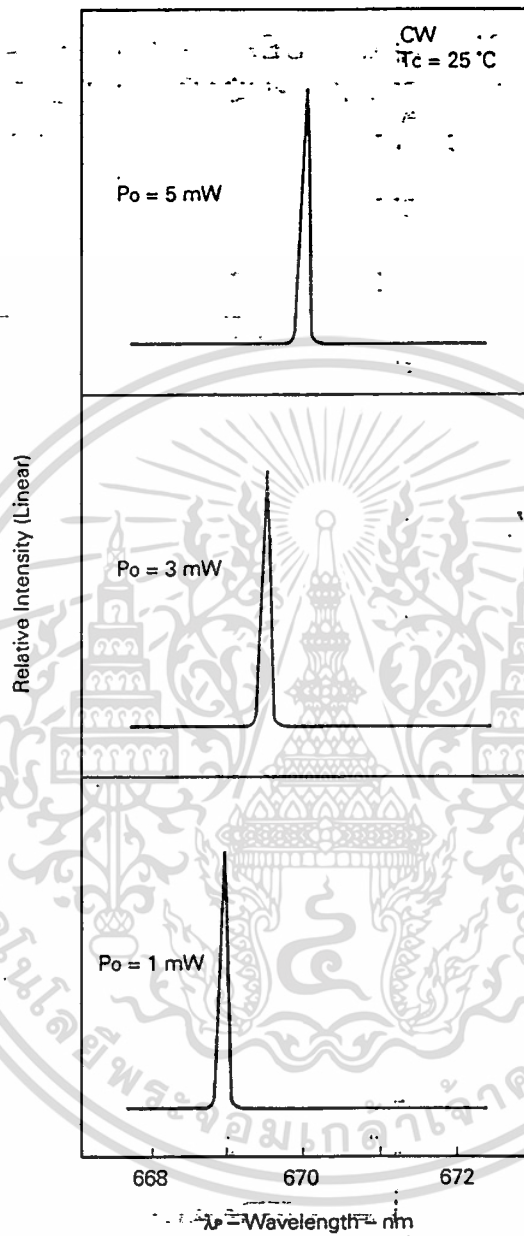
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEMPERATURE DEPENDENCE OF OPTICAL CHARACTERISTICS

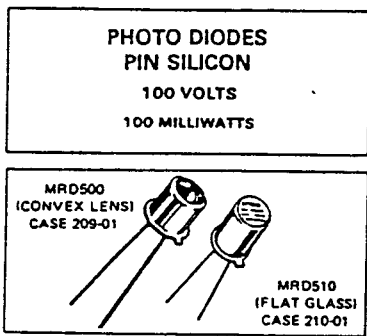


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER DEPENDENCE OF
LONGITUDINAL MODE (LINEAR)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

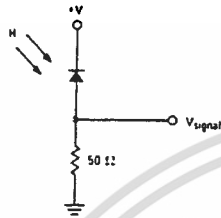


PIN SILICON PHOTO DIODES

... designed for application in laser detection, light demodulation, detection of visible and near infrared light-emitting diodes, shaft or position encoders, switching and logic circuits, or any design requiring radiation sensitivity, ultra high-speed, and stable characteristics.

- Ultra Fast Response – (<1.0 ns Typ)
- High Sensitivity – MRD500 (1.2 $\mu\text{A}/\text{mW}/\text{cm}^2$ Min)
MRD510 (0.3 $\mu\text{A}/\text{mW}/\text{cm}^2$ Min)
- Available With Convex Lens (MRD500) or Flat Glass (MRD510) for Design Flexibility
- Popular TO-18 Type Package for Easy Handling and Mounting
- Sensitive Throughout Visible and Near Infrared Spectral Range for Wide Application
- Annular Passivated Structure for Stability and Reliability

TYPICAL OPERATING CIRCUIT



MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	V_R	100	Volts
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	100 0.57	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +200	$^\circ\text{C}$

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Fig. No.	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Dark Current ($V_R = 20\text{ V}, R_L = 1.0\text{ megohm}$; Note 2) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$	4 and 5	I_D	— —	— 14	— 2.0	nA
Reverse Breakdown Voltage ($I_R = 10\ \mu\text{A}$)	—	$V_{(BR)R}$	100	300	—	Volts
Forward Voltage ($I_F = 50\ \text{mA}$)	—	V_F	—	0.82	1.1	Volts
Series Resistance ($I_F = 50\ \text{mA}$)	—	R_s	—	1.2	10	ohms
Total Capacitance ($V_R = 20\ \text{V}; f = 1.0\ \text{MHz}$)	6	C_T	—	2.5	4	pF

OPTICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Characteristic	Fig. No.	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Radiation Sensitivity ($V_R = 20\ \text{V}$, Note 1)	MRD500 MRD510 2 and 3	S_R	1.2 0.3	3.0 0.42	— —	$\mu\text{A}/\text{mW}/\text{cm}^2$
Sensitivity at $0.8\ \mu\text{m}$ ($V_R = 20\ \text{V}$, Note 3)	MRD500 MRD510 —	$S(\lambda = 0.8\ \mu\text{m})$	—	6.6 1.5	— —	$\mu\text{A}/\text{mW}/\text{cm}^2$
Response Time ($V_R = 20\ \text{V}, R_L = 50\ \text{ohms}$)	—	t_{resp}	—	1.0	—	ns
Wavelength of Peak Spectral Response	7	λ_p	—	0.8	—	μm

FIG. 4-2 Photodiode characteristics of the MRD500.

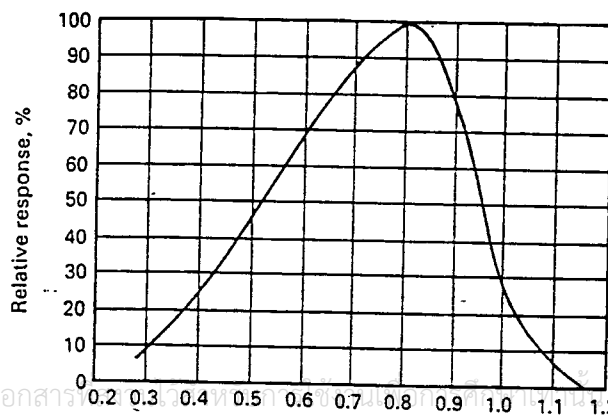


FIG. 4-3 Spectral response of photodiode MRD500.

เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้... และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N3903 (SILICON)

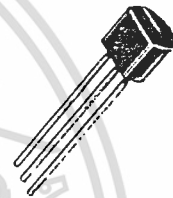
2N3904

NPN SILICON ANNULAR TRANSISTORS

... designed for general purpose switching and amplifier applications and for complementary circuitry with types 2N3905 and 2N3906.

- Collector-Emitter Breakdown Voltage – $V_{CE0} = 40$ Vdc (Min)
- Current Gain Specified from $100 \mu A$ to 100 mA
- Complete Switching and Amplifier Specifications
- Low Capacitance – $C_{ob} = 4.0$ pF (Max)

NPN SILICON SWITCHING & AMPLIFIER TRANSISTORS



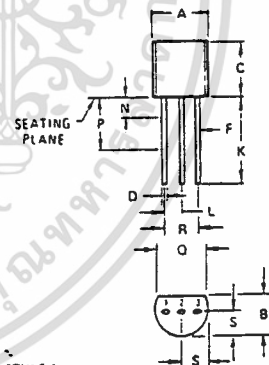
*MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Base Voltage	V_{CB}	60	Vdc
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	40	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	6.0	Vdc
Collector Current – Continuous	I_C	200	mA dc
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$	P_D	350 2.8	mW mW/ $^\circ C$
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$	P_D	1.0 8.0	Watts mW/ $^\circ C$
Junction Operating Temperature	T_J	150	$^\circ C$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to +150	$^\circ C$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	357	$^\circ C/W$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	125	$^\circ C/W$

*Indicates JEDEC Registered Data



STYLE 1:
PIN 1: EMITTER
2: BASE
3: COLLECTOR

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	4.450	5.200	0.175	0.205
B	3.180	4.190	0.125	0.165
C	4.320	5.330	0.170	0.210
D	0.407	0.533	0.016	0.021
F	0.407	0.482	0.016	0.019
K	12.700	-	0.500	-
L	1.150	1.390	0.045	0.055
N	-	1.270	-	0.050
P	6.350	-	0.250	-
O	3.430	-	0.135	-
R	2.410	2.670	0.095	0.105
S	2.030	2.670	0.080	0.105

CASE 29-02
TO-92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N3903, 2N3904 (continued)

* ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_a = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Fig. No.	Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Collector-Base Breakdown Voltage (I _C = 10 μA, I _E = 0)		BV _{CBO}	60	-	V _{dc}
Collector-Emitter Breakdown Voltage (1) (I _C = 1.0 mA, I _B = 0)		BV _{CEO}	40	-	V _{dc}
Emitter-Base Breakdown Voltage (I _E = 10 μA, I _C = 0)		BV _{EBO}	6.0	-	V _{dc}
Collector Cutoff Current (V _{CE} = 30 V, V _{EB(off)} = 3.0 V)		I _{CEV}	-	50	nA _{dc}
Base Cutoff Current (V _{CE} = 30 V, V _{EB(off)} = 3.0 V)		I _{BEV}	-	50	nA _{dc}

ON CHARACTERISTICS

DC Current Gain (1) (I _C = 0.1 mA, V _{CE} = 1.0 V)	2N3903	15	h _{FE}	20	-	-	
	2N3904			40	-	-	
	(I _C = 1.0 mA, V _{CE} = 1.0 V)			2N3903	35	-	-
	2N3904			70	-	-	
	(I _C = 10 mA, V _{CE} = 1.0 V)			2N3903	50	150	-
	2N3904			100	300	-	
(I _C = 50 mA, V _{CE} = 1.0 V)	2N3903	30	-	-			
2N3904	60	-	-				
(I _C = 100 mA, V _{CE} = 1.0 V)	2N3903	15	-	-			
2N3904	30	-	-				
Collector-Emitter Saturation Voltage (1) (I _C = 10 mA, I _B = 1.0 mA)	16, 17	V _{CE(sat)}	-	0.2	V _{dc}		
(I _C = 50 mA, I _B = 5.0 mA)	-		0.3	-			
Base-Emitter Saturation Voltage (1) (I _C = 10 mA, I _B = 1.0 mA)	17	V _{BE(sat)}	0.65	0.85	V _{dc}		
(I _C = 50 mA, I _B = 5.0 mA)			-	0.95	-		

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Current-Gain-Bandwidth Product (I _C = 10 mA, V _{CE} = 20 V, f = 100 MHz)	2N3903 2N3904		f _T	250 300	-	MHz
Output Capacitance (V _{CB} = 5.0 V, I _E = 0, f = 100 kHz)		3	C _{ob}	-	4.0	pF
Input Capacitance (V _{BE} = 0.5 V, I _C = 0, f = 100 kHz)		3	C _{ib}	-	8.0	pF
Input Impedance (I _C = 1.0 mA, V _{CE} = 10 V, f = 1.0 kHz)	2N3903 2N3904	13	h _{ie}	0.5 1.0	8.0 10	k ohms
Voltage Feedback Ratio (I _C = 1.0 mA, V _{CE} = 10 V, f = 1.0 kHz)	2N3903 2N3904	14	h _{re}	0.1 0.5	5.0 8.0	X 10 ⁻⁴
Small-Signal Current Gain (I _C = 1.0 mA, V _{CE} = 10 V, f = 1.0 kHz)	2N3903 2N3904	11	h _{ie}	50 100	200 400	-
Output Admittance (I _C = 1.0 mA, V _{CE} = 10 V, f = 1.0 kHz)		12	h _{oe}	1.0	40	μmhos
Noise Figure (I _C = 100 μA, V _{CE} = 5.0 V, R _S = 1.0 k ohms, f = 10 Hz to 15.7 kHz)	2N3903 2N3904	9, 10	NF	-	6.0 5.0	dB

SWITCHING CHARACTERISTICS

Delay Time	(V _{CC} = 3.0 V, V _{BE(off)} = 0.5 V, I _C = 10 mA, I _{B1} = 1.0 mA)	1, 5	t _d	-	35	ns
Rise Time		1, 5, 6	t _r	-	35	ns
Storage Time	(V _{CC} = 3.0 V, I _C = 10 mA, I _{B1} = I _{B2} = 1.0 mA)	2, 7	t _s	-	175 200	ns
Fall Time		2, 8	t _f	-	50	ns

(1) Pulse Test: Pulse Width = 300 μs, Duty Cycle = 2.0%.
*Indicates JEDEC Registered Data

FIGURE 1 - DELAY AND RISE TIME EQUIVALENT TEST CIRCUIT

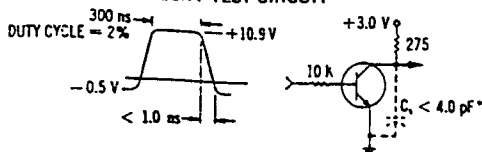
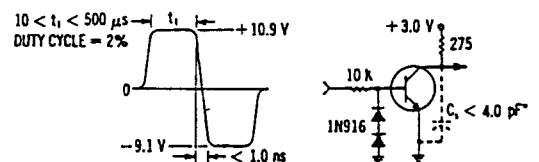


FIGURE 2 - STORAGE AND FALL TIME EQUIVALENT TEST CIRCUIT



*Total shunt capacitance of test jig and connectors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
164
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MOTOROLA
Semiconductors

BOX 20912 - PHOENIX - ARIZONA 85036

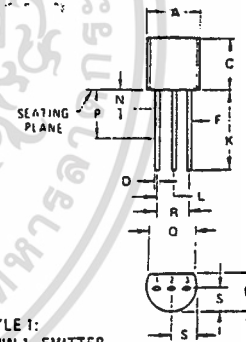
2N3905
2N3906

PNP SILICON ANNULAR* TRANSISTORS

... designed for general purpose switching and amplifier applications and for complementary circuitry with types 2N3903 and 2N3904.

- High Voltage Ratings - $V_{CE0} = 40$ Volts (Min)
- Current Gain Specified from $100 \mu A$ to $100 mA$
- Complete Switching and Amplifier Specifications
- Low Capacitance - $C_{ob} = 4.5 pF$ (Max)

PNP SILICON
SWITCHING & AMPLIFIER
TRANSISTORS



STYLE 1:
PIN 1. EMITTER
2. BASE
3. COLLECTOR

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	4.450	5.700	0.175	0.225
B	3.180	4.190	0.125	0.165
C	4.320	5.330	0.170	0.210
D	0.407	0.533	0.016	0.021
F	0.407	0.482	0.016	0.019
L	1.150	1.390	0.045	0.055
N	-	1.270	-	0.050
P	6.350	-	0.250	-
Q	3.430	-	0.135	-
R	2.410	2.670	0.095	0.105
S	2.030	2.670	0.080	0.105

CASE 29-02
(TO-92)

***MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Base Voltage	V_{CB}	40	Vdc
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	40	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0	Vdc
Collector Current	I_C	200	mA
Total Power Dissipation @ $T_A = 60^\circ C$	P_D	250	mW
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$	P_D	350	mW
		2.8	mW/ $^\circ C$
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$	P_D	1.0	Watt
		8.0	mW/ $^\circ C$
Junction Operating Temperature	T_J	+150	$^\circ C$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to +150	$^\circ C$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	357	$^\circ C/W$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	125	$^\circ C/W$

*Indicates JEDEC Registered Data.

*Annular semiconductors patented by Motorola Inc.

©MOTOROLA INC., 1973

DS 5128 R2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

***ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted.)**

Characteristic	Fig. No.	Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Collector-Base Breakdown Voltage (I _C = 10 μAdc, I _E = 0)		BV _{CB0}	40	—	Vdc
Collector-Emitter Breakdown Voltage (1) (I _C = 1.0 mAdc, I _B = 0)		BV _{CEO}	40	—	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage (I _E = 10 μAdc, I _C = 0)		BV _{EB0}	5.0	—	Vdc
Collector Cutoff Current (V _{CE} = 30 Vdc, V _{BE(off)} = 3.0 Vdc)		I _{CEX}	—	50	nAdc
Base Cutoff Current (V _{CE} = 30 Vdc, V _{BE(off)} = 3.0 Vdc)		I _{BL}	—	50	nAdc

ON CHARACTERISTICS (1)						
DC Current Gain (I _C = 0.1 mAdc, V _{CE} = 1.0 Vdc)	2N3905 2N3906	15	h _{FE}	30	—	
(I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 1.0 Vdc)	2N3905 2N3906			60	—	
(I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 1.0 Vdc)	2N3905 2N3906			40	—	
(I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 1.0 Vdc)	2N3905 2N3906			80	—	
(I _C = 50 mAdc, V _{CE} = 1.0 Vdc)	2N3905 2N3906			50	150	
(I _C = 100 mAdc, V _{CE} = 1.0 Vdc)	2N3905 2N3906			100	300	
Collector-Emitter Saturation Voltage (I _C = 10 mAdc, I _B = 1.0 mAdc) (I _C = 50 mAdc, I _B = 5.0 mAdc)		16, 17	V _{CE(sat)}	—	0.25 0.4	Vdc
Base-Emitter Saturation Voltage (I _C = 10 mAdc, I _B = 1.0 mAdc) (I _C = 50 mAdc, I _B = 5.0 mAdc)		17	V _{BE(sat)}	0.65	0.85 0.95	Vdc

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Current-Gain – Bandwidth Product (I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 20 Vdc, f = 100 MHz)	2N3905 2N3906		f _T	200 250	—	MHz
Output Capacitance (V _{CB} = 5.0 Vdc, I _E = 0, f = 100 kHz)		3	C _{ob}	—	4.5	pF
Input Capacitance (V _{BE} = 0.5 Vdc, I _C = 0, f = 100 kHz)		3	C _{ib}	—	1.0	pF
Input Impedance (I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N3905 2N3906	13	h _{ie}	0.5 2.0	8.0 12	k ohms
Voltage Feedback Ratio (I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N3905 2N3906	14	h _{re}	0.1 1.0	5.0 10	X 10 ⁻⁴
Small-Signal Current Gain (I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N3905 2N3906	11	h _{fa}	50 100	200 400	—
Output Admittance (I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	2N3905 2N3906	12	h _{oe}	1.0 3.0	40 60	μmhos
Noise Figure (I _C = 100 μAdc, V _{CE} = 5.0 Vdc, R _S = 1.0 k ohm, f = 10 Hz to 15.7 kHz)	2N3905 2N3906	9, 10	NF	—	5.0 4.0	dB

SWITCHING CHARACTERISTICS

Delay Time	(V _{CC} = 3.0 Vdc, V _{BE(off)} = 0.5 Vdc)	1, 5	t _d	—	35	ns
Rise Time	(I _C = 10 mAdc, I _{B1} = 1.0 mAdc)	1, 5, 6	t _r	—	35	ns
Storage Time	(V _{CC} = 3.0 Vdc, I _C = 10 mAdc, I _{B1} = I _{B2} = 1.0 mAdc)	2, 7	t _s	—	200 225	ns
Fall Time		2, 8	t _f	—	60 75	ns

*Indicates JEDEC Registered Data. (1) Pulse Width = 300 μs, Duty Cycle = 2.0 %.

FIGURE 1 – DELAY AND RISE TIME EQUIVALENT TEST CIRCUIT

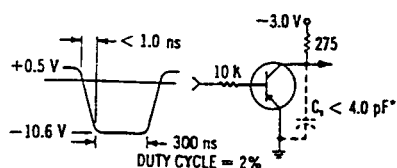
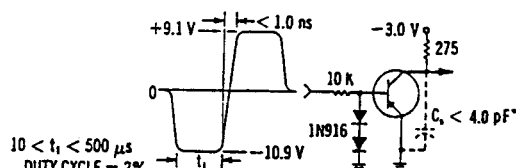


FIGURE 2 – STORAGE AND FALL TIME EQUIVALENT TEST CIRCUIT



*Total shunt capacitance of test jig and connectors

TRANSIENT CHARACTERISTICS
 — $T_j = 25^\circ\text{C}$ — $T_j = 125^\circ\text{C}$

FIGURE 3 - CAPACITANCE

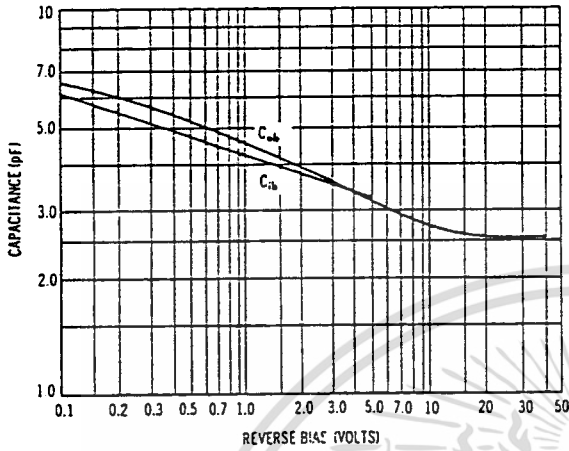


FIGURE 4 - CHARGE DATA

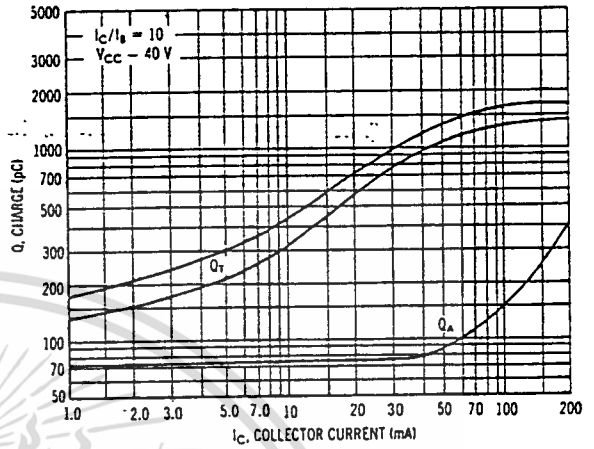


FIGURE 5 - TURN-ON TIME

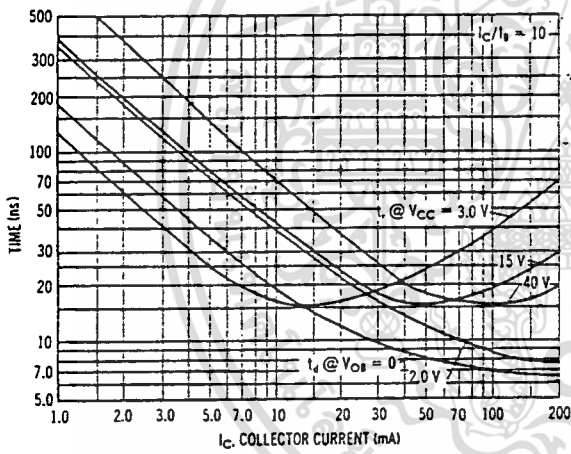


FIGURE 6 - RISE TIME

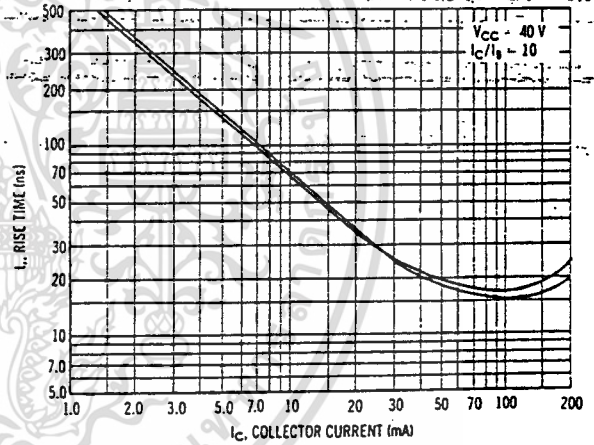


FIGURE 7 - STORAGE TIME

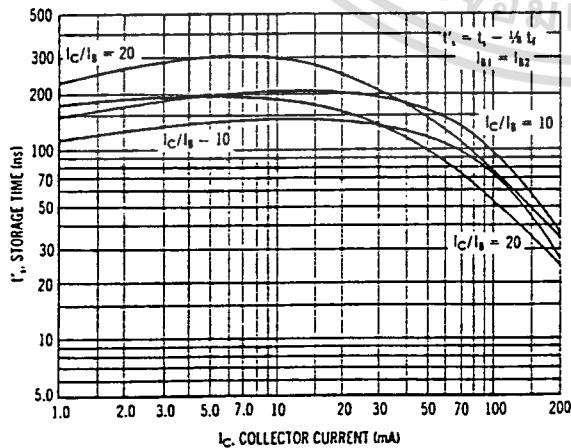
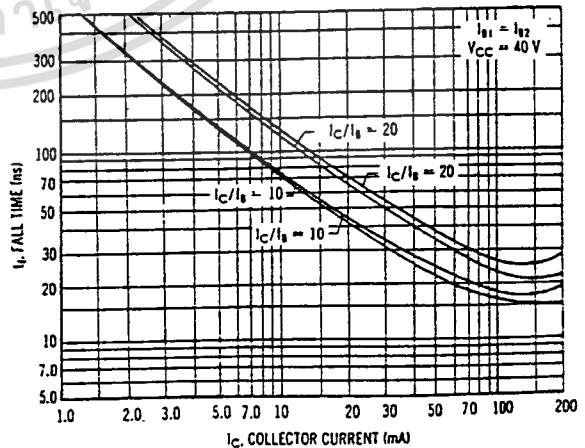


FIGURE 8 - FALL TIME



LM386 Low Voltage Audio Power Amplifier

General Description

The LM386 is a power amplifier designed for use in low voltage consumer applications. The gain is internally set to 20 to keep external part count low, but the addition of an external resistor and capacitor between pins 1 and 8 will increase the gain to any value up to 200.

The inputs are ground referenced while the output is automatically biased to one half the supply voltage. The quiescent power drain is only 24 milliwatts when operating from a 6 volt supply, making the LM386 ideal for battery operation.

Features

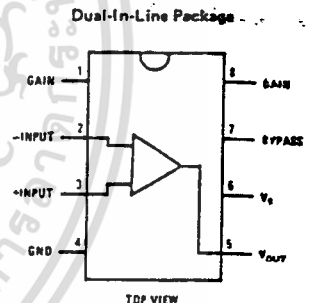
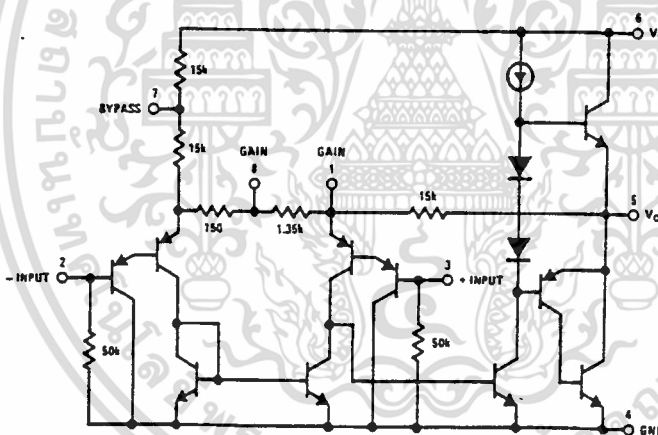
- Battery operation
- Minimum external parts
- Wide supply voltage range 4V–12V or 5V–18V
- Low quiescent current drain 4 mA

- Voltage gains from 20 to 200
- Ground referenced input
- Self-centering output quiescent voltage
- Low distortion
- Eight pin dual-in-line package

Applications

- AM-FM radio amplifiers
- Portable tape player amplifiers
- Intercoms
- TV sound systems
- Line drivers
- Ultrasonic drivers
- Small servo drivers
- Power converters

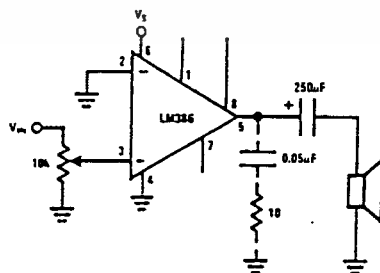
Equivalent Schematic and Connection Diagrams



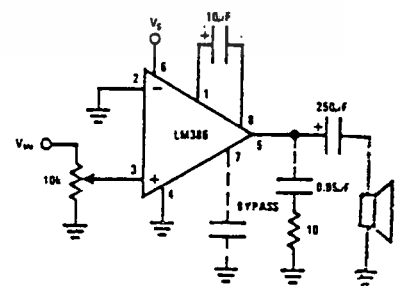
Order Number LM386N-1,
LM386N-3 or LM386N-4
See NS Package N08E

Typical Applications

Amplifier with Gain = 20
Minimum Parts



Amplifier with Gain = 200



Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage (LM386N)	15V	Storage Temperature	-65°C to +150°C
Supply Voltage (LM386N-4)	22V	Operating Temperature	0°C to +70°C
Package Dissipation (Note 1) (LM386N-4)	1.25W	Junction Temperature	+150°C
Package Dissipation (Note 2) (LM386)	660 mW	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	+300°C
Input Voltage	±0.4V		

Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Operating Supply Voltage (V_S)					
LM386		4		12	V
LM386N-4		5		18	V
Quiescent Current (I_Q)	$V_S = 6\text{V}, V_{IN} = 0$		4	8	mA
Output Power (P_{OUT})					
LM386N-1	$V_S = 6\text{V}, R_L = 8\Omega, \text{THD} = 10\%$	250	325		mW
LM386N-3	$V_S = 9\text{V}, R_L = 8\Omega, \text{THD} = 10\%$	500	700		mW
LM386N-4	$V_S = 16\text{V}, R_L = 32\Omega, \text{THD} = 10\%$	700	1000		mW
Voltage Gain (A_V)	$V_S = 6\text{V}, f = 1\text{ kHz}$		26		dB
	10 μF from Pin 1 to 8		46		dB
Bandwidth (BW)	$V_S = 6\text{V}, \text{Pins 1 and 8 Open}$		300		kHz
Total Harmonic Distortion (THD)	$V_S = 6\text{V}, R_L = 8\Omega, P_{OUT} = 125\text{ mW}$ $f = 1\text{ kHz}, \text{Pins 1 and 8 Open}$		0.2		%
Power Supply Rejection Ratio (PSRR)	$V_S = 6\text{V}, f = 1\text{ kHz}, C_{BYPASS} = 10\mu\text{F}$ Pins 1 and 8 Open, Referred to Output		50		dB
Input Resistance (R_{IN})			50		k Ω
Input Bias Current (I_{BIAS})	$V_S = 6\text{V}, \text{Pins 2 and 3 Open}$		250		nA

Note 1: For operation in ambient temperatures above 25°C, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 100°C/W junction to ambient.

Note 2: For operation in ambient temperatures above 25°C, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 187°C junction to ambient.

Application Hints

GAIN CONTROL

To make the LM386 a more versatile amplifier, two pins (1 and 8) are provided for gain control. With pins 1 and 8 open the 1.35 k Ω resistor sets the gain at 20 (26 dB). If a capacitor is put from pin 1 to 8, bypassing the 1.35 k Ω resistor, the gain will go up to 200 (46 dB). If a resistor is placed in series with the capacitor, the gain can be set to any value from 20 to 200. Gain control can also be done by capacitively coupling a resistor (or FET) from pin 1 to ground.

Additional external components can be placed in parallel with the internal feedback resistors to tailor the gain and frequency response for individual applications. For example, we can compensate poor speaker bass response by frequency shaping the feedback path. This is done with a series RC from pin 1 to 5 (paralleling the internal 15 k Ω resistor). For 6 dB effective bass boost: $R \cong 15\text{ k}\Omega$, the lowest value for good stable operation is $R = 10\text{ k}\Omega$ if pin 8 is open. If pins 1 and 8 are bypassed then R as low as 2 k Ω can be used. This restriction is because the amplifier is only compensated for closed-loop gains greater than 9.

INPUT BIASING

The schematic shows that both inputs are biased to ground with a 50 k Ω resistor. The base current of the input transistors is about 250 nA, so the inputs are at about 12.5 mV when left open. If the dc source resistance driving the LM386 is higher than 250 k Ω it will contribute very little additional offset (about 2.5 mV at the input, 50 mV at the output). If the dc source resistance is less than 10 k Ω , then shorting the unused input to ground will keep the offset low (about 2.5 mV at the input, 50 mV at the output). For dc source resistances between these values we can eliminate excess offset by putting a resistor from the unused input to ground, equal in value to the dc source resistance. Of course all offset problems are eliminated if the input is capacitively coupled.

When using the LM386 with higher gains (bypassing the 1.35 k Ω resistor between pins 1 and 8) it is necessary to bypass the unused input, preventing degradation of gain and possible instabilities. This is done with a 0.1 μF capacitor or a short to ground depending on the dc source resistance on the driven input.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า