

การศึกษาการวัดทางมิติโดยการประยุกต์ใช้ระบบ
ออปติคอลเฮดเทอร์โรดายน้อินเตอร์โฟโรมิเตอร์



นายจรูญศักดิ์ ขวัญเมือง
นายฉัตรชัย ชัยวิเศษกุล

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 51876
วัน,เดือน,ปี..... 4 ส.ค. 2547

b.....
.....

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A study of An Application of Optical Heterodyne Interferometer
for dimensional measurments**



Mr. Jaroonsak Khwanmuang

Mr. Chatchai Chaiwichetkul

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of
Bachelor of Science
Department of Applied Physics
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang






Academic Year 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาการวัดทางมิติโดยการประยุกต์ใช้ระบบแฮดเทอร์โรดาเยนน์ อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์

นักศึกษา นายจรูญศักดิ์ ขวัญเมือง
นายฉัตรชัย ชัยวิเชตุกุล
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ อัสวิน เรณูสวัสดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ สุรชาติ กมลคิลก

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.สุวพรรณ กุศลาราม	
กรรมการ ผศ.ดร. วราวุฒิ เถาถัดดา	
กรรมการ อ. สาหราชย์ คุณิพงษ์	
กรรมการที่ปรึกษา อ. อัสวิน เรณูสวัสดิ์	
กรรมการที่ปรึกษาร่วม อ. สุรชาติ กมลคิลก	



.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)
หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ เรื่อง การศึกษาการวัดทางมิติโดยการประยุกต์ใช้ระบบเซคเตอร์โรดายน์ อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์

นักศึกษา นายจรูญศักดิ์ ขวัญเมือง
นายฉัตรชัย ชัยวิเชตกุล

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

ปีการศึกษา พ.ศ. 2546

อาจารย์ที่ปรึกษา อ. อัครวิน เรณูสวัสดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ. สุรชาติ กมลคิลก

บทคัดย่อ

การใช้ความถี่บีตส์ร่วมกับ ความถี่ครอปเพลอร์ ด้วยวิธี เซคเทอโรดายน์ ซึ่งวิธีนี้จะใช้ ลำแสงของเลเซอร์ ฮีเลียม-นีออน ที่มีความเสถียรสูง มี 2 ความถี่ซึ่งแต่ละส่วนมีโพลาไรซ์ต่างกัน โดยในขั้นตอนแรกจะทำการแยกลำแสงสองความถี่นี้ออกจากกันโดย Polarizing Beam Splitter และมีลำแสงส่วนหนึ่งไปกระทบกับกระจกที่สามารถเลื่อนเข้าและออกได้ จากนั้นลำแสงทั้งสองจะ กลับมารวมกันอีกครั้งหนึ่ง โดยเมื่อกระจกหยุดนิ่งจะเกิดความต่างระหว่างสองความถี่ ($f_1 - f_2$) เมื่อ กระจกเคลื่อนที่จะทำให้ความถี่เลื่อนไป ($f_1 \pm \Delta f_1$) ซึ่งขึ้นอยู่กับ การเลื่อนของกระจก โดยเรา สามารถวัดระยะที่เลื่อนไปนี้ได้ ซึ่งการวัดด้วยวิธีนี้จะช่วยลดปัญหาของความผิดพลาดที่เกิดขึ้น เนื่องจาก index ของอากาศเปลี่ยนแปลง การสั่นสะเทือน แสงรอบข้าง ขณะทำการทดลอง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title A study of An Application of Heterodyne Interferometer for dimensional measurements

Name Mr. Jaroonsak Khwanmuang

Mr. Chatchai Chaiwichetkul

Department Applied Physics

Program Applied Physics

Academic Year 2003

Special Project Advisor Mr. Adsawin Raynusawat

Mr. Surachat Kamoldilok

ABSTRACT

Frequency beats combine frequency doppler effect, in a typical Heterodyne interferometer system. Use He-Ne laser is high stabilized, beam contain two frequency components, each with a unique linear polarization. First step laser beam was split at a polarizing beam splitter. Single beam reflects at moving target and recombine of two frequency. The movable target remain stationary, the frequency of optical interference signal will be the exact difference between the laser two frequency ($f_1 - f_2$). When the target move the frequency at the optical interference signal will be shifted up or down by the doppler effect ($f_1 \pm \Delta f_1$) depending on the direction of target motion. We can measure distance of target movement. This measurement decrease error from index of air was change, oscillation, ambient light etc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ประสบปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ มากมาย และการแก้ไขปัญหาเหล่านี้จะไม่สามารถแก้ไขปัญหาและอุปสรรคดังกล่าวไปได้ ถ้าขาดบุคคลเหล่านี้ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

1. อาจารย์อัศวิน เรณูสวัสดิ์ ที่ดูแลเอาใจใส่ คอยเคียงข้าง และให้ความรู้คำแนะนำต่าง ๆ เพื่อให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี
2. อาจารย์สุรชาติ กมลฉิลก ที่คอยช่วยเหลือ แนะนำ และเป็นธุระให้หลายอย่าง
3. ผศ. วิษณุ เพชรภา ที่ให้คำแนะนำบางอย่าง
4. คุณมณฑิ เรณูสวัสดิ์ ภาควิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่เสียสละเวลาและให้ยืมสถานที่ ในการวิจัย
5. ผศ.ดร.วราวุฒิ เถลัดดา ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์ในการวิจัย
6. รศ.สุวรรณ คุณสำราญ ที่ให้คำแนะนำในส่วนของคุณสมบัติต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการวิจัย
7. รุ่นพี่ปริญญาโททุกท่านที่กรุณาช่วยเหลือในหลายด้าน

สุดท้ายขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจพวกเราเสมอมา

นายจรรุยศักดิ์ ขวัญเมือง

นายฉัตรชัย ชัยวิเชตุกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

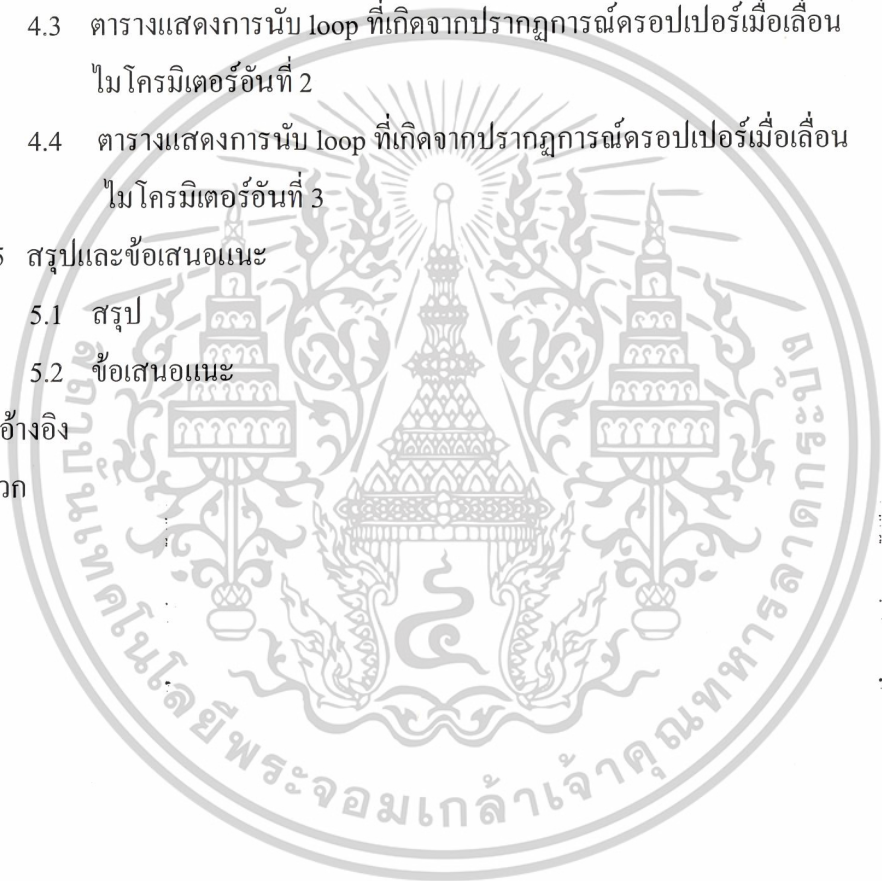
สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
สารบัญกราฟ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของ โครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	1
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 การแทรกสอดของแสง	3
2.2 การแทรกสอดแบบลำแสง 2 ลำ	3
2.3 บีตส์	6
2.4 การเลื่อนความถี่จากปรากฏการณ์ดอปเพลอร์	7
2.5 ไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์	10
2.6 อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดเพบริ-เฟอโรต์	15
2.7 อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์แบบแม็คเซินเดอร์	16
2.8 Homodyne Interferometer	17
2.9 Heterodyne Interferometer	18
2.10 ข้อเปรียบเทียบโฮโมไดยน์กับเฮเทอโรไดยน์	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 ในการทดลองได้แบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ	20
3.2 ส่วนประกอบของอุปกรณ์	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3	Stabilized He-Ne Laser	23
3.4	แผนผังการทำงาน	25
3.5	ไคอะแกรมวิธีการดำเนินการ	25
บทที่ 4	ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1	ตารางแสดงผลการทดลองวัดผลต่างความถี่ของเลเซอร์	26
4.2	ตารางแสดงการนับ loop ที่เกิดจากปรากฏการณ์ดรอปปเปอร์เมื่อเลื่อนไมโครมิเตอร์อันที่ 1	32
4.3	ตารางแสดงการนับ loop ที่เกิดจากปรากฏการณ์ดรอปปเปอร์เมื่อเลื่อนไมโครมิเตอร์อันที่ 2	33
4.4	ตารางแสดงการนับ loop ที่เกิดจากปรากฏการณ์ดรอปปเปอร์เมื่อเลื่อนไมโครมิเตอร์อันที่ 3	34
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุป	35
5.2	ข้อเสนอแนะ	36
เอกสารอ้างอิง		37
ภาคผนวก		



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. แสดงผลการทดลองวัดความต่างความถี่ของเลเซอร์ครั้งที่ 1	26
2. แสดงผลการทดลองวัดความต่างความถี่ของเลเซอร์ครั้งที่ 2	26
3. แสดงผลการทดลองวัดความต่างความถี่ของเลเซอร์ครั้งที่ 3	27
4. แสดงผลการทดลองวัดความต่างความถี่ของเลเซอร์ครั้งที่ 4	27
5. แสดงผลการทดลองวัดความต่างความถี่ของเลเซอร์ครั้งที่ 5	28
6. แสดงการนับที่เกิดจากปรากฏการณ์ดอปเพลอร์เมื่อเลื่อนไมโครมิเตอร์อันที่ 1	32
7. แสดงการนับที่เกิดจากปรากฏการณ์ดอปเพลอร์เมื่อเลื่อนไมโครมิเตอร์อันที่ 2	33
8. แสดงการนับที่เกิดจากปรากฏการณ์ดอปเพลอร์เมื่อเลื่อนไมโครมิเตอร์อันที่ 3	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1. แสดงการเปลี่ยนแปลง irradiance ของภาพการแทรกสอดกับความต่างเฟส δ	6
2. ลักษณะของสัญญาณบีตส์	7
3. การเลื่อนความถี่กรณีผู้สังเกตมีการเคลื่อนที่	8
4. การเลื่อนความถี่กรณีแหล่งกำเนิดมีการเคลื่อนที่	9
5. (a)แสดงหลักการของไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์	11
5. (b)แสดงการเกิดการแทรกสอดในเครื่องมือนี้	11
6. แสดงอันดับของวงมืดในไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์	14
7. แสดงอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดเพบริ-เพอโรต์	15
8. แสดงอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์แบบแม็คเซ็นเดอร์	16
9. แสดงการจัดวางอุปกรณ์ Heterodyne Interferometer	18
10. แสดงรูปร่าง Beam Splitter	20
11. แสดงลักษณะ Polarizing Beam Splitter	21
12. แสดงลักษณะ Non Polarizing Beam Splitter	21
13. แสดง Detector APD module C5658	21
14. แสดงเครื่อง Counter	22
15. แสดงเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม	23
16. แสดงวงจร Stabilized Helium-Neon Laser	23
17. แสดงแผนผังการทดลอง	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญกราฟ

กราฟที่	หน้า
1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความถี่กับเวลาครั้งที่ 1	29
2. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความถี่กับเวลาครั้งที่ 2	29
3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความถี่กับเวลาครั้งที่ 3	30
4. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความถี่กับเวลาครั้งที่ 4	30
5. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความถี่กับเวลาครั้งที่ 5	31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

เนื่องในปัจจุบันเราได้มีการ วัดระยะทางของสิ่งต่าง ๆ โดย ที่เราพบเห็นได้นั้นมีอยู่มากมาย ได้แก่ ไม้บรรทัด (ซึ่งวัดได้ในระดับมิลลิเมตร), เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (ซึ่งวัดได้ในระดับ 10^{-4}) และ ไมโครมิเตอร์ (ซึ่งวัดได้ในระดับไมครอน) แต่ก็ยังไม่เพียงพอที่จะวัดบางสิ่งที่มีขนาดเล็กกว่า ต่อมาได้มีการสร้างเครื่องมือที่ใช้เลเซอร์ในการวัด ซึ่งสามารถวัดขนาดได้ต่ำกว่าไมครอน จึงมีประโยชน์มากในการวัดสิ่งของที่เล็กมาก ๆ โดยเราจะใช้การแทรกสอดของแสงเลเซอร์ทำให้เกิดการปิดสั่นกันแล้วนำไปคำนวณจะได้ค่าระยะทางออกมา ซึ่งชุดเครื่องมือนี้ เรียกว่า Heterodyne Interferometer

ซึ่งประโยชน์ของมันเราสามารถนำไปวัดหาระยะทางสั้นมาก ๆ และ สอบเทียบ ไมโครมิเตอร์ได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างชุดเครื่องมือในการศึกษาการวัดระยะทางขนาดสั้นมาก ๆ
2. เพื่อศึกษาระบบ Heterodyne Interferometer
3. เพื่อทำการทดลองสอบเทียบไมโครมิเตอร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. เพื่อสร้างระบบ Heterodyne Interferometer สำหรับการสอบเทียบไมโครมิเตอร์

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ ได้แก่ เลเซอร์, กระจกสะท้อน, เลนส์ขยายลำแสง, ตัว แยกแสง, ตัวนับค่า, และไมโครมิเตอร์เปรียบเทียบ
2. ศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิด
3. จัดเตรียมเครื่องมือ
4. จัดสร้างวงจร Stabilized ของ He-Ne laser
5. จัดวางอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการทดลองและวัดค่า

7. ทำการปรับปรุงปัญหาต่าง ๆ เพื่อให้ได้ชุดเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างชุดเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ
2. ใช้ในการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ได้
3. เพื่อนำความรู้ความสามารถที่ได้จากงานวิจัยไปประยุกต์วัดสิ่งต่าง ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การแทรกสอดของแสง

การเกิดคลื่นนิ่งและบีตส์นั้น สามารถอธิบายได้โดยอาศัยหลักการซ้อนทับของคลื่น นอกจากนี้ยังมีปรากฏการณ์สำคัญที่เรียกว่าการแทรกสอด (interference) ของแสง ซึ่งอธิบายได้ด้วยการรวมคลื่น ปรากฏการณ์นี้เป็นการรวมคลื่น 2 คลื่นขึ้นไป แล้วส่งผลให้เกิดการเพิ่มและลดในแอมพลิจูดของคลื่นรวม การแทรกสอดที่ส่งผลให้เกิดการเพิ่มแอมพลิจูดเรียกว่าการแทรกสอดแบบเสริมสร้าง (constructive interference) ส่วนการแทรกสอดที่ส่งผลให้เกิดการลดแอมพลิจูดเรียกว่าการแทรกสอดแบบหักล้าง (destructive interference) ภาพที่เรามองเห็นและแสดงการเพิ่มและลดในลักษณะนี้เรียกว่าริ้วการแทรกสอด (interference pattern or fringe) การอธิบายปรากฏการณ์นี้ทำได้โดยคิดว่าแสงเคลื่อนที่ในแบบคลื่น และมีการรวมกันตามหลักการซ้อนทับของคลื่น

2.2 การแทรกสอดแบบลำแสง 2 ลำ

ในขั้นต้น จะพิจารณาการแทรกสอดของแสง 2 ลำ ที่แทนด้วยสนามไฟฟ้า E_1 และ E_2 ในการศึกษาการแทรกสอดนั้น คลื่นแสงทั้งสองมักจะออกมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกันและเคลื่อนที่ไปในระยะทางที่แตกต่างกัน กล่าวคือ แสงทั้ง 2 ลำจะมีความถี่เดียวกัน แต่ทิศทางของค่าคงที่การเคลื่อนที่ k_1 และ k_2 แตกต่างกัน ดังสมการ

$$E_1 = E_{01} \cos(k_1 \cdot r - \omega t + \varepsilon_1) \quad 1.$$

$$E_2 = E_{02} \cos(k_2 \cdot r - \omega t + \varepsilon_2) \quad 2.$$

ณ จุด P ซึ่งมีเวกเตอร์บอกตำแหน่ง (position vector) เป็น r ถ้าคลื่นแสงทั้งสองมาพบกันที่ตำแหน่งนี้ เราสามารถหาผลลัพธ์ของการรวมคลื่นได้จากหลักการรวมกัน

$$E_p = E_1 + E_2$$

การวัดปริมาณคลื่นด้วยตาหรือด้วยเครื่องวัดใด ๆ จะเป็นการวัดปริมาณที่เกี่ยวกับพลังงาน กล่าวคือวัดเป็นความหนาแน่นของพลังงาน หรือ irradiance ซึ่งเป็นการวัดกำลังสองของแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้ารวม และเพื่อป้องกันการสับสนในสัญลักษณ์ที่ใช้ จะใช้ $I = \text{irradiance}$

$$I = \varepsilon_0 c \langle E^2 \rangle \quad 3.$$

ดังนั้น irradiance ที่จุด P มีค่าดังนี้

$$I = \varepsilon_0 c \langle E_p^2 \rangle \quad 4.$$

$$I = \varepsilon_0 c \langle E_p \cdot E_p \rangle$$

$$= \varepsilon_0 c \langle (E_1 + E_2) \cdot (E_1 + E_2) \rangle \quad 5.$$

$$= \varepsilon_0 c \langle E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 \cdot E_2 \rangle$$

จากสมการ 4 เราสามารถหาได้ว่า irradiance จากคลื่น E_1 มีค่า $I_1 = \varepsilon_0 c \langle E_1^2 \rangle$ และ irradiance จากคลื่น E_2 มีค่า $I_2 = \varepsilon_0 c \langle E_2^2 \rangle$

ดังนั้นจะได้

$$I = I_1 + I_2 + I_{12}$$

ในที่นี้ I_{12} เป็นเทอมที่ขึ้นกับการกระทำระหว่าง E_1 และ E_2 เรียกว่า เทอมของการแทรกสอด (interference term) ซึ่งเทอมนี้จะไม่มีปรากฏถ้าเป็นกรณีที่ไม่เกิดการแทรกสอด เราอาจกล่าวได้ว่า I_{12} นี้จะเป็นเทอมที่ทำให้เกิดการเพิ่มและลด irradiance ของคลื่นรวมนั่นเอง

เมื่อพิจารณา $I_{12} = 2\varepsilon_0 c \langle E_1 \cdot E_2 \rangle \quad 6.$

จะได้ว่า I_{12} มีค่าสูงสุด ถ้า E_1 กับ E_2 ขนานกัน และ จะเป็นศูนย์ ถ้า E_1 กับ E_2 ตั้งฉากกัน คือไม่เกิดการแทรกสอด จากการพิจารณาในลักษณะนี้ ทำให้ทราบได้ว่าเมื่อแสงที่โพลาไรซ์ 2 ลำมารวมกัน จะทำให้เกิดการแทรกสอดขึ้นได้จากองค์ประกอบของแสงที่มีทิศขนานกัน ทั้งนี้เนื่องจากแสงไม่โพลาไรซ์สามารถแยกสนามไฟฟ้า(และสนามแม่เหล็ก)ได้เป็นสองแนวที่มีทิศตั้งฉากซึ่งกันและกัน

สำหรับ E_1, E_2 จากสมการ 6. ถ้าแทนค่า E_1 และ E_2 จากสมการ 1 และ 2 จะได้

$$E_1 \cdot E_2 = (E_{01} \cdot E_{02}) \cos(k_1 \cdot r - \omega t + \varepsilon_1) \cos(k_2 \cdot r - \omega t + \varepsilon_2)$$

ถ้ากำหนดให้

$$\alpha = k_1 \cdot r + \varepsilon_1$$

$$\beta = k_2 \cdot r + \varepsilon_2$$

จะได้ดัง

$$E_1 \cdot E_2 = E_{01} \cdot E_{02} \cos(\alpha - \omega t) \cos(\beta - \omega t)$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } \langle E_1 \cdot E_2 \rangle &= \frac{1}{2} E_{01} \cdot E_{02} \cos(\alpha - \beta) \\ &= \frac{1}{2} E_{01} \cdot E_{02} \cos[(k_1 - k_2) \cdot r + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)] \end{aligned} \quad 7.$$

เทอมใน [] ของสมการ 7 ก็คือความแตกต่างเฟสของ E_1 กับ E_2 นั่นเอง ถ้ากำหนดให้เทอมนี้มีค่าเป็น δ กล่าวคือ

$$\delta = [(k_1 - k_2) \cdot r + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)] \quad 8.$$

$$I_{12} = \varepsilon_0 c (E_{01} \cdot E_{02}) \cos \delta \quad 9.$$

สำหรับค่า I_1 และ I_2 นั้น เมื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยของ E_1^2 และ E_2^2 หรือ $\langle E_1^2 \rangle$ และ $\langle E_2^2 \rangle$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_{01}^2 \\ I_2 &= \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_{02}^2 \end{aligned} \quad 10.$$

ในกรณีที่ E_{01} และ E_{02} ขนานกัน $E_{01} \cdot E_{02}$ จะเท่ากับ $E_{01} E_{02}$ ดังนั้นสมการที่ 9 จะได้ว่า

$$I_{12} = 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta \quad 11.$$

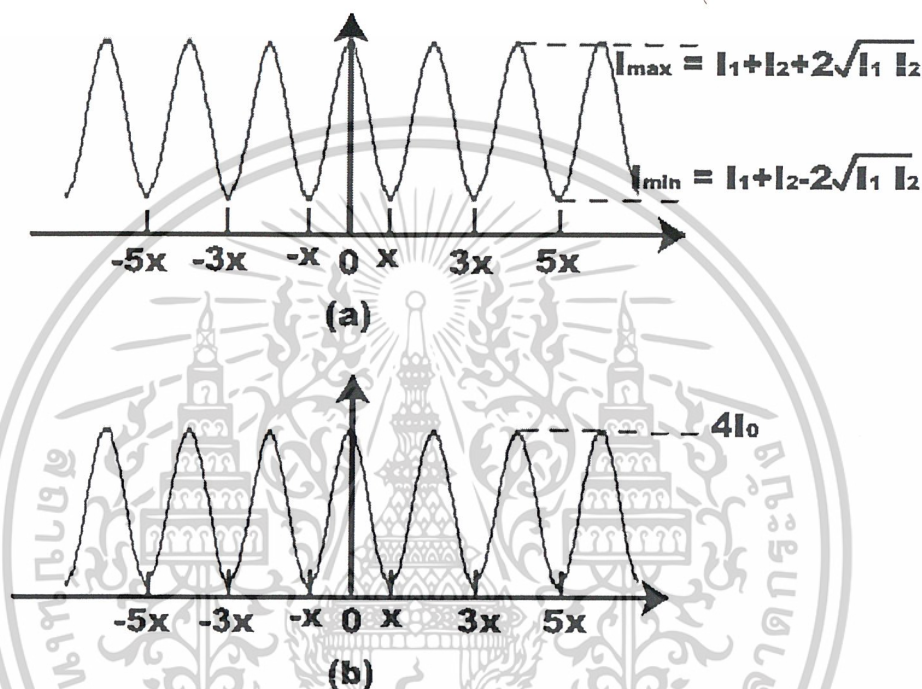
และ

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta \quad 12.$$

ผลที่ได้นี้เป็นเช่นเดียวกับที่เคยได้มาแล้วในกรณีของการรวมคลื่น 2 คลื่น สำหรับกรณีที่คลื่นทั้งสองเคลื่อนที่ในทิศเดียวกัน ผลจากสมการ 12 จะเป็นอย่างไรขึ้นอยู่กับค่าของ $\cos \delta$ กล่าวคือถ้ามากกว่า 0 จะทำให้ $I > I_1 + I_2$ และในทางกลับกันด้วย

เมื่อพิจารณาค่าความต่างเฟสของคลื่นจากแหล่งกำเนิดทั้งสอง หรือ δ ในสมการ 8 จะพบว่า δ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ $(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$ ซึ่งเป็นความแตกต่างเฟสอันเนื่องมาจากเฟสเริ่มต้น และ $(k_1 - k_2) \cdot r$ ซึ่งเป็นความแตกต่างของ propagation constant vector ในส่วนแรกถ้า $(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่เป็นระเบียบ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือแหล่งกำเนิดทั้งสองไม่เป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์ (incoherent) กัน จะทำให้ $\langle \cos \delta \rangle$ มีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นถึงแม้จะเกิดการแทรกสอดขึ้น แต่ภาพการแทรกสอดจะไม่เกิดให้เราเห็น เนื่องจากไม่สามารถคงอยู่ได้นานพอ นั่นคือเงื่อนไขสำคัญในการที่จะทำให้เรามองเห็นภาพการแทรกสอดคือ แหล่งกำเนิดทั้งสองต้องมีสมบัติอาพันธ์อยู่บ้าง

จากกล่าวสรุปได้ว่าถ้า $\cos\delta = +1$ จะได้การแทรกสอดแบบเสริมสร้าง
 ส่วนในกรณีที่ $\cos\delta = -1$ จะได้การแทรกสอดแบบหักล้าง
 การเปลี่ยนแปลงของ I กับ δ แสดงไว้ในรูปที่ 1 ในกรณีที่ $I_1 = I_2 = I_0$ จะได้การหักล้าง
 อย่างสมบูรณ์ ความแตกต่างที่มองเห็นได้ชัดคือความคมชัด รูป b จะคมชัดกว่ารูป a



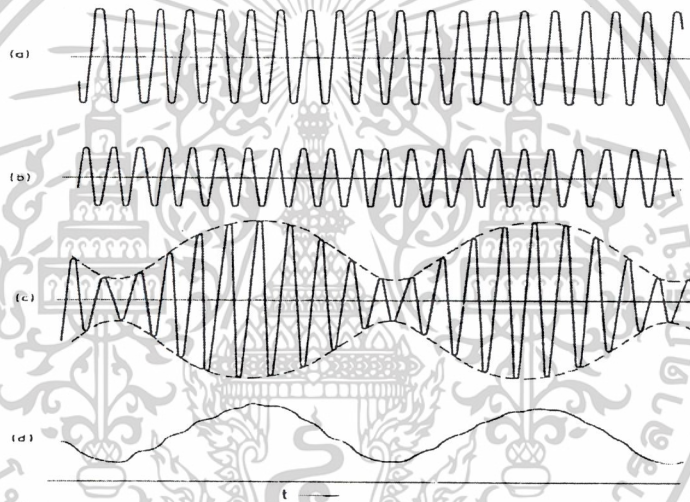
รูปที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลง irradiance ของภาพการแทรกสอดกับความต่างเฟส δ

2.3 บีตส์ (Beats)

สัญญาณบีตส์ เกิดจากการรวมกันของ 2 คลื่นที่มีความถี่ต่างกันเล็กน้อย เช่นเดียวกับ
 กรณีคลื่นเสียง ลักษณะของสัญญาณคล้ายกับคลื่นนิ่งแต่มี Relative Phase เปลี่ยนแปลงตามเวลา
 แทนที่จะเปลี่ยนตามระยะทางเหมือนกรณีคลื่นนิ่ง การรวมกันของ Sinusoidal Wave ที่มีแอมพลิจูด
 และอัตราการเปลี่ยนเฟสต่างกันแสดงดังรูป 2 ในที่นี้ เฟสของคลื่นที่มีการ Oscillate สูงกว่าจะถือ
 เป็น Reference Phase ดังนั้นเฟสของคลื่นที่เกิดจากการรวมกันจะแสดงการเปลี่ยนเฟสของคลื่นที่มี
 การ Oscillate ต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม แม้ว่า Amplitude ของคลื่นรวมจะเปลี่ยนแปลงแบบ Sinusoidal
 แต่การเปลี่ยนเฟสไม่ได้เป็น sinusoidal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บีตส์เป็นลักษณะของการผสมสัญญาณที่มีอัมพลิจูดเปลี่ยนแปลงตามเวลา และใช้ทฤษฎี Fourier ในการวิเคราะห์สัญญาณที่เป็น aperiodic modulation ซึ่งปกติแล้วการเกิด periodic และ aperiodic modulation ของสัญญาณ sinusoidal จะแสดงด้วย modulating function $g(t)$ นั่นคือเขียนแทนสัญญาณด้วย $g(t) \cos(2\pi V_1 t)$ ถ้า $g(t)$ เป็น sinusoidal สามารถยุบเทอมแล้วเขียนเป็นส่วนประกอบของความถี่ที่อยู่สูงกว่าและต่ำกว่า V_1 คือถ้าคลื่น 2 ความถี่เกิดการ Modulate กัน เกิดเป็นสัญญาณบีตส์ที่ Modulating Frequency โดยถ้าไม่ได้เป็น Full Modulate อัมพลิจูดของสัญญาณรวมจะไม่ลดถึงศูนย์ และมีส่วนประกอบของความถี่ V_1 สเปกตรัมของ Modulating Wave จะประกอบด้วย Carrier Frequency และมี Sideband Frequency เกิดขึ้นที่ด้านข้างของ Carrier Frequency



รูปที่ 2 ลักษณะของสัญญาณบีตส์

2.4 การเลื่อนความถี่จากปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

การเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นในลักษณะของ Doppler Shift เกิดจากความสัมพันธ์ในการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดและตัวรับสัญญาณ หรือกล่าวได้ว่าเกิดการเลื่อนความถี่ของคลื่นจากการเคลื่อนที่ของ Inert object ผ่านคลื่นซึ่งกำลังเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดไปยังตัวรับ การเกิด Doppler Effect สามารถเกิดได้กับคลื่นเสียงรวมถึง Electromagnetic Spectrum ทั้งหมด ซึ่งในเชิงแสงการเกิด Doppler สามารถอธิบายได้ทั้งเชิง Atomic และ Cosmic ซึ่งในเชิง Atomic จะเกี่ยวข้องกับ การกระจายความถี่ของ Spectrum Line อันเนื่องมาจาก Thermal Velocity ของอะตอม หรือ โมเลกุลของตัวกลาง ส่วนในเชิง Cosmic จะกล่าวถึงการเกิด Red Shift หรือ Blue Shift ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Spectrum Line ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามความเร็ว ดังนั้นสามารถใช้ Doppler Effect ในการหาปริมาณความเร็วของวัตถุได้อย่างแม่นยำโดยใช้ร่วมกับทฤษฎีสัมพัทธภาพ

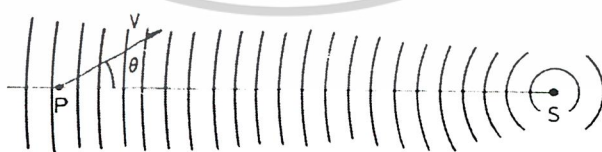
ถ้ากล่าวถึงการเกิด Doppler Effect ในกรณีของคลื่นเสียงจะแบ่งเป็นกรณีที่ผู้สังเกตเคลื่อนที่ในขณะที่แหล่งกำเนิดหยุดนิ่ง และกรณีที่แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ในขณะที่ผู้สังเกตหยุดนิ่ง ซึ่งในทั้งสองกรณีคลื่นเสียงที่ผู้สังเกตได้รับจะมีความถี่แตกต่างจากความถี่เดิมเสมือนว่าถูกบีบอัด ความยาวคลื่นสัมพันธ์กับความเร็วในการเคลื่อนที่ และค่าความถี่ที่สังเกตได้ในสองกรณีนี้มีค่าไม่เท่ากัน แต่ในกรณีของแสงไม่มีความแตกต่างระหว่างกรณีที่แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่กับผู้สังเกตเคลื่อนที่ จึงให้ผลของการเกิด Doppler Shift เหมือนกันทั้งสองกรณี

พิจารณาการเคลื่อนที่ของคลื่นที่มีตัวรับสัญญาณหรือผู้สังเกตที่ตำแหน่ง P แหล่งกำเนิดอยู่ห่างไปเป็นระยะทาง S กำเนิดคลื่นที่มีความยาวคลื่น λ ความเร็วของคลื่น c ถ้าจุด P อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น สามารถคิดว่าคลื่นจากแหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่เข้าหาจุด P มีลักษณะเป็นระนาบคลื่น ในหนึ่งหน่วยเวลาคลื่นจะเคลื่อนที่ผ่านจุด P ตามทิศทางของแหล่งกำเนิดเป็นระยะ $v \cos \theta$ เมื่อ θ คือ มุมของเวกเตอร์ความเร็วที่กระทำกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น ดังนั้นในหนึ่งหน่วยเวลาจะมีคลื่นเคลื่อนที่ผ่านจุด P เป็นจำนวน $v \cos \theta / \lambda$ นั่นคือ การเพิ่มขึ้นของความถี่ที่ปรากฏแก่ผู้สังเกต คือ

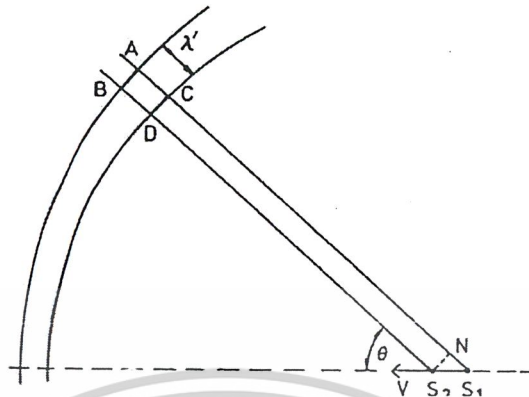
$$\Delta \nu = \frac{v \cos \theta}{\lambda} \quad 13.$$

จาก $c = \nu \lambda$ เมื่อ ν คือความถี่ของคลื่นจากแหล่งกำเนิดคลื่นที่สังเกต โดยผู้สังเกตหยุดนิ่ง สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่คือ

$$\frac{\Delta \nu}{\nu} = \frac{v \cos \theta}{c} \quad 14.$$



รูปที่ 3 การเคลื่อนที่ของคลื่นผู้สังเกตมีการเคลื่อนที่



รูปที่ 4 การเลื่อนความถี่กรณีแหล่งกำเนิดมีการเคลื่อนที่

ถ้าแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ในขณะที่ผู้สังเกตหยุดนิ่ง ดังรูป 4

พิจารณาในช่วงเวลา t ส่วนของหน้าคลื่น AB และ CD เกิดขึ้นที่เวลา t_1 และ t_2 เมื่อแหล่งกำเนิดอยู่ที่ตำแหน่ง S_1 และ S_2 ตามลำดับ ดังนั้น

$$S_1A = c(t-t_1) \quad \text{และ} \quad S_2D = c(t-t_2) \quad 15.$$

เมื่อ c คือความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่น ช่วงเวลาที่เกิดหน้าคลื่นต่อเนื่องที่แหล่งกำเนิด หรือคาบเวลา T คือ

$$T = t_2 - t_1 = 1/\nu \quad 16.$$

เมื่อ ν คือความถี่ของคลื่น ณ แหล่งกำเนิด และในช่วงเวลานี้แหล่งกำเนิดมีการเคลื่อนที่จาก S_1 ไปยัง S_2 จะได้ว่า

$$S_1S_2 = \nu T \quad 17.$$

ดังนั้น ความยาวคลื่นสังเกตได้จากผู้สังเกตหยุดนิ่ง ที่ AB และ CD จะแตกต่างกัน

$$\lambda' = AC = S_1A - S_2D - S_1S_2 \cos \theta \quad 18.$$

เมื่อ θ คือมุมระหว่าง S_1A และเวกเตอร์ความเร็ว ν และคิดโดยถือว่าหน้าคลื่นเป็นระนาบที่อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดมากๆ

จากสมการ 15 ถึง 18 จะได้ว่า

$$\lambda' = cT - \nu T \cos \theta \quad 19.$$

และเนื่องจาก $c = \nu \lambda'$ เมื่อ ν' คือความถี่ที่สังเกตได้ จะได้อัตราการเกิด Doppler Shift

$$\frac{\Delta \nu}{\nu} = \frac{\nu' - \nu}{\nu} = \frac{\nu/c \cos \theta}{1 - \nu/c \cos \theta} \quad 20.$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสมการ 20 ต่างจากสมการ 14 แม้ว่าจะเป็นความสัมพันธ์ในกรณีของการเคลื่อนที่ของผู้สังเกตทั้งสองสมการ สังเกตว่า Δv จะมีค่าเป็น ∞ ได้ต่อเมื่อ $v > c$ ซึ่งไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีผู้สังเกตเคลื่อนที่ ส่วนกรณีที่ v มีค่าน้อยๆ สามารถเขียนสมการ 19 ในรูปอนุกรมกำลังของ v/c คือ

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{v}{c} \cos \theta + \frac{v^2}{c^2} \cos^2 \theta + \dots \quad 21.$$

ซึ่งเทอมแรกของสมการ 21 เหมือนกับสมการ 20 โดยการเลื่อนความถี่ของคลื่นขึ้นอยู่กับความเร็วของแหล่งกำเนิดและผู้สังเกตเท่านั้น ไม่ขึ้นกับตัวกลาง

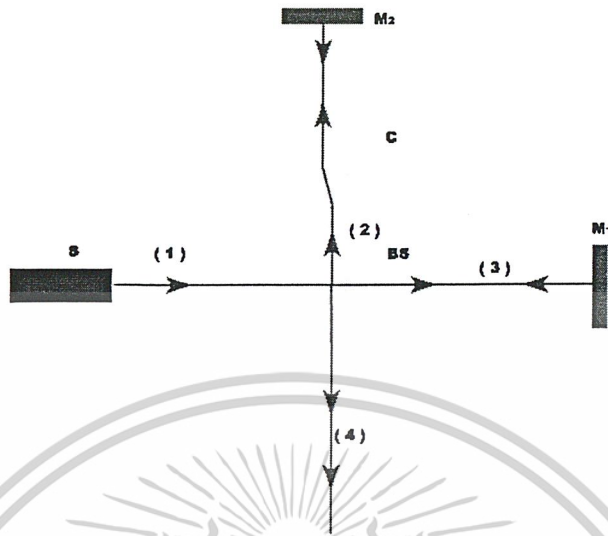
จากการเลื่อนกระจะจะทำให้เกิดความถี่ดอปเปลอร์ ดังสมการ

$$\begin{aligned} v' &= v \left(1 \pm \frac{v}{c}\right) \\ \Delta v &= \pm v \frac{v}{c} \\ &= v \frac{2v}{c} = \frac{2v}{\lambda} = \frac{2s}{\lambda t} \\ \Delta t &= N = \frac{2s}{\lambda} \\ s &= \frac{\lambda N}{2} \end{aligned}$$

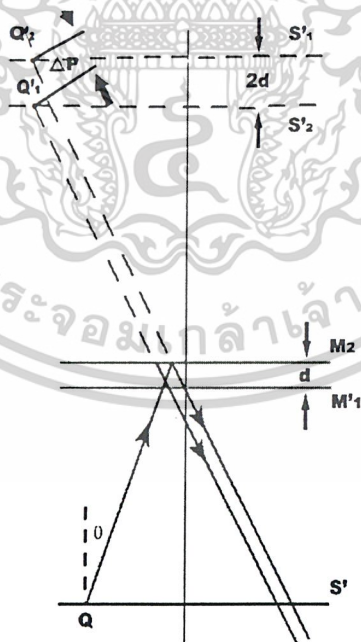
2.5 ไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์

หลักการของเครื่องนี้ แสดงในรูป 5(a) S เป็นแหล่งกำเนิดแสงให้ลำแสง (1) ออกมาเมื่อลำแสงนี้ไปกระทบที่ตัวแยกแสง BS จะเกิดการแยกลำแสงออกเป็น 2 ลำที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน คือ ลำแสงสะท้อน (2) และลำแสงที่ผ่านไป (3) ลำแสงทั้งสองนี้จะไปสะท้อนกระจก M1 และ M2 กลับมาตามแนวเดิมสู่ BS อีกครั้ง ในครั้งนี้ลำแสง (2) จะทะลุผ่านและ (3) จะสะท้อนที่ BS แล้วออกไปด้วยกันเป็นลำแสง (4) และทำให้เกิดการแทรกสอดขึ้น

ตัวกระจก M₁ และ M₂ สามารถปรับให้ตั้งฉากกันได้โดยใช้สกรูที่ติดอยู่ด้านหลังนอก จากนั้นกระจกบานหนึ่งสามารถที่จะเลื่อนเข้าเลื่อนออกได้ตามแนวของลำแสง การเคลื่อนนี้จะส่งผลให้รั้วมีการเปลี่ยนแปลงไปได้ตามที่ต้องการ เวลาทดลองจะสังเกตเห็นว่าเมื่อเราปรับกระจกบานใดบานหนึ่งจะเห็นลำแสงหนึ่งเคลื่อนที่ตามที่เราหมุน และเมื่อเราปรับอีกบานลำแสงอีกลำจะเคลื่อนตาม ดังนั้นเวลาที่เราหมุนหรือปรับกระจกทั้งสองบาน จะเห็นได้ว่ามีลำแสงเคลื่อนที่ที่เราหมุนหรือปรับกระจกถึงสองลำแสง ฉะนั้นเมื่อเราหมุนหรือปรับให้ลำแสงทั้งสองนั้นมารวมกันหรือทับกันได้พอดีจะเกิดการแทรกสอดของแสงเห็นเป็นรั้วมืดรั้วสว่างเกิดขึ้นที่ฉาก รั้วที่เห็นนี้คือรั้วที่เราจะวัดและเทียบค่ากับไมโครมิเตอร์ต่อไป



รูปที่ 5 (a) แสดงหลักการของไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์



รูปที่ 5 (b) แสดงการเกิดการแทรกสอดในเครื่องมือนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามรูปที่ 5 (a) อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดนี้จะมีแนวแกนของแสงถึง 2 แกน ซึ่งทั้งสองแกนตั้งฉากกันและกัน เราอาจเขียนแผนภาพแทนให้มีแนวแกนของแสงเพียง 1 แกนโดยหมุนแนว SM_1 ไปในทิศทวนเข็มนาฬิกาเป็นมุม 90° รอบจุดตัดของลำแสงกับ BS ดังรูป 3 (b) S' เป็นตำแหน่งใหม่ของแหล่งกำเนิดแสง M'_1 เป็นตำแหน่งใหม่ของกระจก M_1 การเขียนแผนภาพแทนในลักษณะนี้จะทำให้สะดวกในการพิจารณา ในแผนภาพนี้ M'_1 อยู่ห่างจาก M_1 เป็นระยะ d และ S'_1 กับ S'_2 เป็นภาพเสมือนของ S' ที่เกิดจากกระจก M'_1 และ M'_2 ตามลำดับ ซึ่งระยะที่ S'_1 ห่างจาก S'_2 จะเป็น $2d$ แสงจากจุด Q บนแหล่งกำเนิดแสง S' จะสะท้อนจากทั้ง M'_1 และ M'_2 ลำแสงสะท้อนทั้งสองนี้จะเสมือนกับเป็นลำแสงจากภาพเสมือน Q'_1 และ Q'_2 ของจุด Q เนื่องจากระยะระหว่าง S'_1 และ S'_2 เป็น $2d$ ดังนั้น OPD ของลำแสงทั้งสองนี้มีค่าเป็น

$$\Delta_p = 2d \cos \theta \quad 22.$$

เมื่อ θ เป็นมุมที่ลำแสงตกกระทบบนแนวตั้งฉากกับกระจก M_1 ในกรณีของแสงที่ตกกระทบบนแนวตั้งฉากกับกระจก M_1 หรือ $\theta = 0$ จะได้ $\Delta_p = 2d$ ซึ่งผลเช่นนี้เป็นไปตามความคาดหมาย

จาก $\Delta_p = 2d$ นี้ ถ้าเป็นค่าที่ทำให้เกิดการแทรกสอดแบบเสริมสร้างกันแล้ว จะพบว่าถ้าเราเลื่อนกระจกบานใดบานหนึ่งเป็นระยะ $\lambda/2$ จะยังคงได้ผลเหมือนเดิม

ตามรูป 5 (b) อาจพิจารณาได้ว่าเป็นกรณีของการแทรกสอดจากฟิล์มอากาศที่มีผิวทั้งสองขนานกัน และมีแสงจากแหล่งกำเนิดแบบแผ่กระจายตกกระทบบน แสงจากแหล่งกำเนิดนี้จะมีค่ามุม θ ได้หลายค่าและทำให้ Δ เปลี่ยนไปตามค่า θ ดังสมการ 22 ตำแหน่งภาพการแทรกสอดจึงขึ้นกับมุม θ และทำให้ภาพการแทรกสอดที่มองเห็นนั้นมีลักษณะเป็นวงกลมมืด-สว่างซ้อนกัน ภาพการแทรกสอดลักษณะนี้ เป็นแบบที่มีความเอียงเท่ากัน สามารถมองเห็นได้โดยมองที่ BS ในแนวของลำแสง (4) โดยใช้เลนส์ตาหรือเลนส์กล้องจุลทรรศน์โพกัสภาพที่ระยะอนันต์

ในกรณีที่แอมพลิจูดของลำแสง (2) และ (3) เท่ากัน จะได้ว่า irradiance ของวงมืต-สว่างเป็นไปตามสมการ

$$I = 4I_0 \cos^2 \frac{\delta}{2} \quad 23.$$

โดยที่ความต่างเฟส δ มีค่าดังนี้

$$\delta = k\Delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta \quad 24.$$

ซึ่ง

$$\Delta = \Delta_p + \Delta_r$$

ในกรณีของรูปที่ 5 นั้น ลำแสง (2) จะมีการสะท้อนแบบภายนอก 2 ครั้ง ในขณะที่ลำ

แสง (3) มีการสะท้อนแบบภายในเพียงครั้งเดียว ดังนั้นจึงได้ Δ_r เป็น $\lambda/2$ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta = \Delta_p + \Delta_r = 2d\cos\theta + \frac{\lambda}{2}$$

ในกรณีของวงมืด $\Delta = (m + \frac{1}{2})\lambda$

ทำให้ได้ $2d\cos\theta = m\lambda; m = 0, 1, 2, \dots$ 25.

สำหรับจุดศูนย์กลางของวงเหล่านี้ จะเกิดขึ้นเมื่อ $\theta = 0$ หรือเมื่อแสงตกกระทบในแนวตั้งฉากกับกระจก ในกรณีที่จุดศูนย์กลางวงเป็นวงมืด อันดับของวงนี้จะมีค่าเป็นไปตามสมการ 25 คือ

$$m = \frac{2d}{\lambda}$$

และเนื่องจาก m มีค่าแปรผันกับ $\cos\theta$ จะเห็นได้ว่ายิ่ง θ มีค่ามากขึ้น m จะยิ่งลดลง ดังนั้นที่ θ มีค่าเป็น 0 ค่า m จะมีค่ามากที่สุด วงที่ห่างออกไปค่า m จะน้อยลงและค่า m สูงสุดของวงมืดหาได้จาก

$$m_{\max} = \frac{2d}{\lambda}$$
 26.

การเรียงอันดับที่ของวงเหล่านี้อาจทำอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ได้วงกลางมีอันดับน้อยกว่าวงที่อยู่นอกออกไป โดยกำหนดให้

$$p = m_{\max} - m$$

ดังนั้นจะได้

$$p = \frac{2d}{\lambda} - m$$
 27.

จากสมการ 25 จะได้

$$p\lambda = 2d(1 - \cos\theta), p = 0, 1, 2, \dots$$
 28.

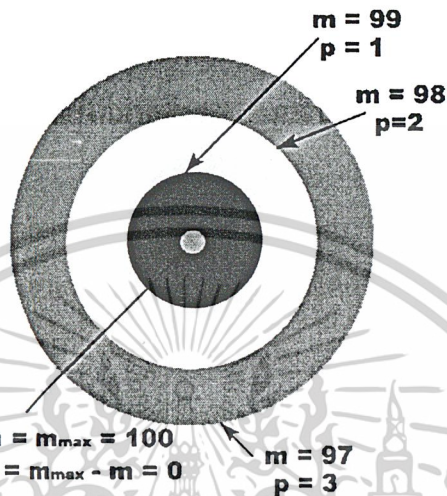
ในกรณีของ p นี้ วงกลางจะมีค่า $p = 0$ การเปรียบเทียบค่า p กับ m เป็นไปดังรูป 5 (b)

สมการ 25 หรือ 28 แสดงให้เห็นว่า ถ้าเราสังเกตที่จุดใดจุดหนึ่งบนภาพการแทรกสอด ขณะที่ค่า d เปลี่ยนไป จะพบว่าจุด ๆ นั้นจะมีค่า m หรือ p เปลี่ยนไป โดยจะสังเกตได้ว่าวงมืดยังมีการขยายออกจากจุดศูนย์กลางหรือยุบเข้าหาจุดศูนย์กลาง การขยายออกหรือยุบเข้านี้ขึ้นกับ OPD ว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามสมการเปลี่ยนค่า d ด้วยวิธีการนี้ เราสามารถสังเกตได้ว่า ในขณะที่เลื่อนกระจกบานหนึ่งให้ผ่านตำแหน่งที่ OPD มีค่าเป็นศูนย์ การเคลื่อนที่ของภาพการแทรกสอดจะกลับกัน คือ ถ้าเดิมมีการขยายออกจากจุดศูนย์กลาง พอผ่านตำแหน่งที่ OPD เป็นศูนย์แล้ว ภาพการแทรกสอดจะเกิดการยุบเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 25 ถ้าพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ θ เพียงเล็กน้อย จะได้ว่า

$$|\Delta\theta| = \frac{\lambda\Delta m}{2d\sin\theta}$$



รูปที่ 6 แสดงอันดับของวงมืดในไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์

จากสมการข้างต้น จะเห็นว่า สำหรับจำนวนแถบมืดช่วงเล็ก ๆ Δm ค่าหนึ่ง ถ้าระยะระหว่างกระจก d มีค่าลดลง $\Delta\theta$ จะมีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือวงต่าง ๆ จะมีระยะห่างกันมากขึ้นถ้า OPD มีค่าน้อยลง

ถ้า $d = \lambda/2$ เราสามารถใช้สมการ 25 แสดงได้ว่า $m = \cos\theta$ นั่นคือเราจะมองเห็นอย่างมากก็เพียงวงมืดวงเดียวเท่านั้น เมื่อทำการเลื่อนกระจกบานหนึ่งไปเป็นระยะ Δd จะทำให้วงมืดจำนวน Δm เคลื่อนที่ผ่านจุดศูนย์กลางซึ่ง

$$\Delta m = \frac{2(\Delta d)}{\lambda}$$

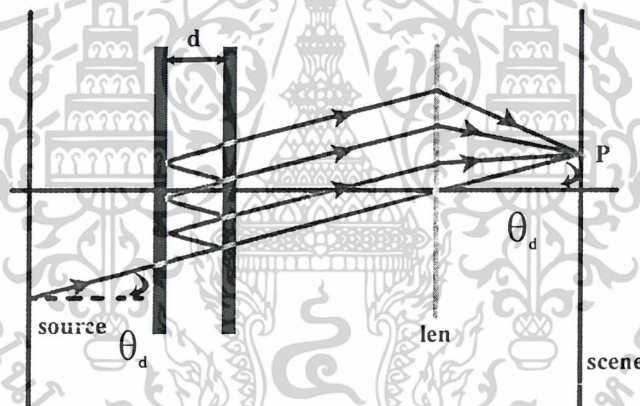
29.

จากสมการ 29 นี้ แสดงให้เห็นว่า เราสามารถทำการทดลองวัด Δm และ Δd เพื่อนำไปหาค่าความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ทำการทดลองได้ และวิธีการนี้ก็เป็นการใช้ประโยชน์วิธีหนึ่งของไมเคิลสันอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ นอกจากนี้สมการ 29 ยังแสดงให้เห็นว่าในกรณีที่ทราบค่าความยาวคลื่นแสงที่ใช้ เราสามารถใช้วิธีนี้ในการเปรียบเทียบสเกลของไมโครมิเตอร์ที่ใช้ในการเลื่อนตำแหน่งกระจกได้อีก

2.6 อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดเพริ-เพอโรต์

เครื่องมือชนิดนี้ใช้ฟิล์มบางที่มีผิวสองด้านขนานกันเป็นตัวทำให้เกิดการแทรกสอด และใช้ประโยชน์จากแสงที่ส่งผ่านไปทำให้เกิดการแทรกสอด

ลักษณะการจัดเครื่องมือชนิดนี้ ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยการใส่แผ่นแก้วหรือควอตซ์ สองแผ่นวางขนานกัน เพื่อทำให้เกิดฟิล์มอากาศที่มีผิวสองด้านขนานกัน แผ่นแก้วหรือควอตซ์ที่ใช้ ต้องมีด้านในที่เรียบมากและสะท้อนแสงดีมากด้วย การสะท้อนนี้ทำได้โดยฉาบโลหะบางชนิด เช่น เงินหรืออลูมิเนียมไว้บนแผ่นแก้วหรือควอตซ์นั้น การฉาบฟิล์มโลหะจะต้องบางและเรียบมาก ระยะห่างระหว่างแผ่นแก้วหรือควอตซ์นั้นมีความสำคัญมาก เพราะเป็นความหนาของฟิล์ม d ที่ทำให้เกิดการแทรกสอด ความหนานี้อาจทำให้คงที่หรือปรับค่าได้ก็ได้ แต่ส่วนใหญ่จะทำให้คงที่ และในกรณีนี้ เรียกแผ่นแก้วคู่นี้ว่า เฮตาลอน(etalon)



รูปที่ 7 แสดงอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิดเพริ-เพอโรต์

จากรูป Source เป็นแหล่งกำเนิดแสงความยาวคลื่นเดียว ให้แสงลำหนึ่งออกมาโดยทำมุม θ_d ดังรูป ถ้าแสงนี้จะทำให้เกิดการสะท้อนหลาย ๆ ครั้ง และมีการหักเหผ่านออกไปอีกด้านหนึ่ง ไปรวมกันด้วยเลนส์นูน และเกิดภาพการแทรกสอดบนฉากที่จุด P ลักษณะของภาพการแทรกสอดที่เกิดขึ้นนี้ สามารถหาได้จากสมการ

$$\Delta = 2n_f d \cos \theta_d \quad \text{โดยใช้ } n_f = 1$$

Δ คือผลต่างระยะทางเดินแสงที่สะท้อนในฟิล์ม

ดังนั้นจะเกิดแถบสว่าง ถ้า

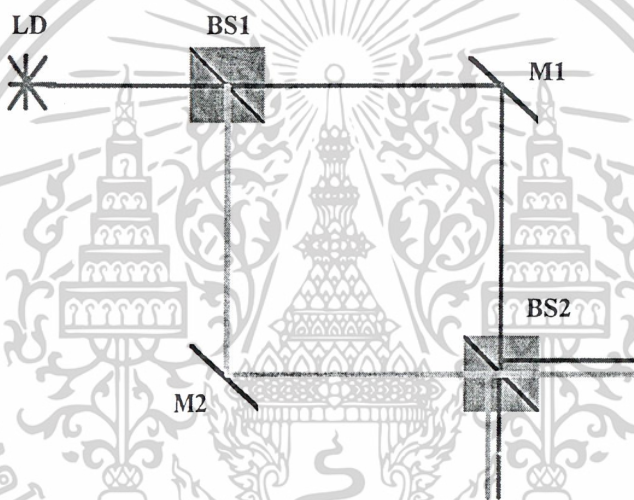
$$2d \cos \theta_d = m\lambda$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงจากจุดอื่น ๆ บนแหล่งกำเนิด ถ้ามีมุม θ_d เท่ากันก็จะมีผลต่างเชิงแกนทศน์เท่ากัน ก็จะทำให้ผลการแทรกสอดที่จุด P เช่นเดียวกัน แต่ถ้า θ_d มีค่าเปลี่ยนไปก็จะทำให้ได้วงสว่างที่ ตำแหน่งอื่น ๆ ภาพการแทรกสอดที่ได้บนฉากจะเป็นวงกลมมืด-สว่างสลับกันไป

2.7 อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์แบบแม็คเซนเดอร์

วิธีนี้ประกอบด้วยตัวแยกและรวมแสง(Beam Splitter) 2 อันคือ BS₁ และ BS₂ และ กระจกเงา 2 อัน คือ M₁ และ M₂ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์แบบแม็คเซนเดอร์

ตัวแยกแสง BS ที่มีสมบัติแบ่งความเข้มแสงเป็น 50:50 จะแบ่งแสงออกเป็น 2 ทาง ที่มีความเข้มเท่ากัน ส่วนกระจก M จะต้องสะท้อนแสง 100%

แสงอาพันธ์จากเลเซอร์ไดโอด LD เมื่อตกกระทบผลึกแยกแสง BS₁ จะแยกแสงออกเป็นสองทางที่มีความเข้มเท่ากันแสงที่ทะลุผ่านตรงไปจะไปสะท้อนที่กระจก M₁ ส่วนแสงที่สะท้อนออกเป็นมุมฉากด้านข้างจะไปสะท้อนที่กระจก M₂ แล้วจึงมารวมกันที่ผลึกรวมแสง BS₂ แสงที่ผ่านออกมาทั้งสองทางจะเกิดการแทรกสอดทั้งแบบเสริมและแบบหักล้างขึ้นอยู่กับเฟสของแสงที่สะท้อนมาจากกระจกทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 Homodyne Interferometer

เป็นอินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ชนิด 2 ลำแสง (Two Beam Interferometer) ที่ใช้แสงความถี่เท่ากันในการวัด ใช้การวัดในรูปแบบของ Michelson's Interferometer โดยแสงที่แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ Reference Beam และ Object Beam (Measurement Beam) แทนด้วย

$$E_R = a_R e^{-i(kL_R - \omega t)}$$

$$E_o = a_o e^{-i(k(L_R + 2\delta(t)) - \omega t)}$$

เมื่อแสงทั้งสองส่วนเกิดการแทรกสอดกัน ความเข้มของการแทรกสอดของแสงที่ได้จาก Photo detector มีค่า

$$I(t) = I_R + I_M + 2\sqrt{I_R I_M} \cos(\phi + 2\pi\nu_D t)$$

$$I_D = I_R + I_O + 2\sqrt{I_R I_O} \cos\{k_{opt}(L_R - L_O) - 2k_{opt}\delta(t)\} \quad 30.$$

จากสมการ

เทอมแรกของ Phase term มีค่าคงที่ เนื่องจาก Path length $k_{opt}L_O$ คงที่ $2k_{opt}\delta(t)$ คือ Phase change เนื่องจากการเคลื่อนที่ของวัตถุ $\delta(t)$ เป็น time varying normal displacement

ถ้าใน static term มี phase difference ต่างกัน $\pi/2$ นั่นคือ $k_{opt}(L_R - L_O) = \frac{\pi}{2}$ สัญญาณการเลื่อนเฟสที่ได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุจะมีค่าสูงสุด ตามสมการ

$$I_D = I_R + I_O + 2\sqrt{I_R I_O} \cos\{2k_{opt}\delta(t)\} \quad 31.$$

ซึ่งบอกการกระจัดในระยะน้อย ๆ ของวัตถุได้ เขียนใหม่ได้ว่า

$$I_D = I_{tot} \{1 + M \cos(2k_{opt}\delta(t))\} \quad ; 2k_{opt}\delta \ll 1 \quad 32.$$

โดยเทอม $I_{tot} = I_R + I_O$ เป็น dc-term

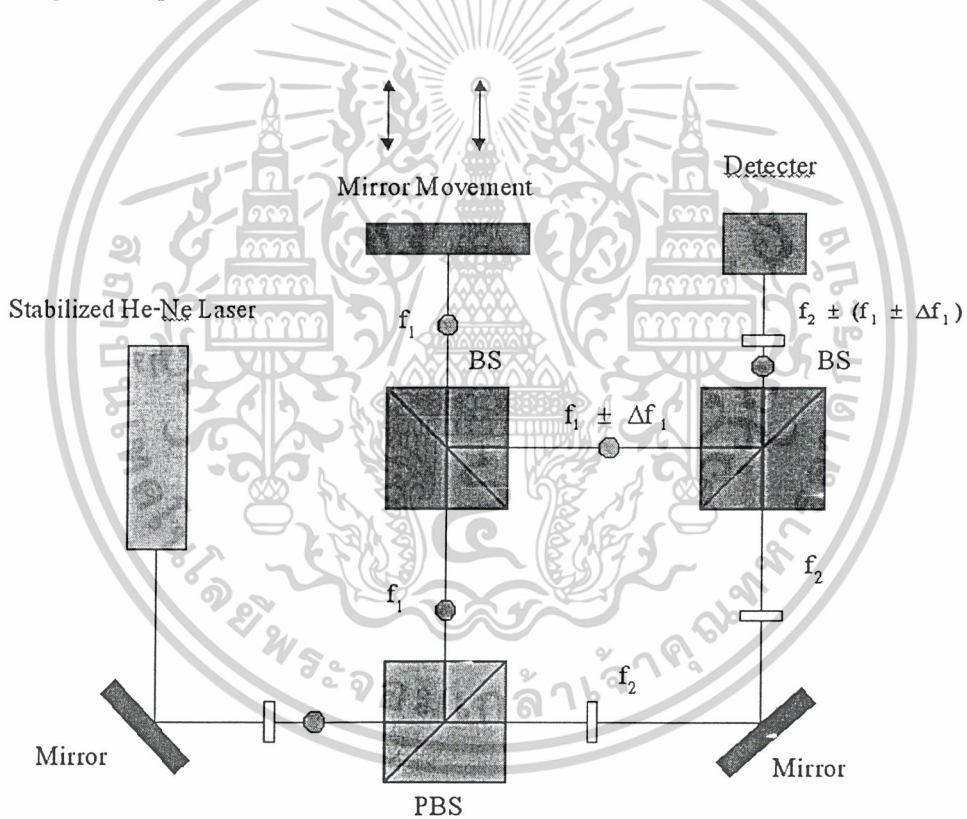
$$M = \frac{2\sqrt{I_R I_O}}{I_R + I_O} \quad 33.$$

เรียกเทอมนี้ว่า Modulation depth of interference

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 Heterodyne interferometer

เป็นการจัดวางอุปกรณ์แบบไมเคลสัน โดยลำแสง Stabilized จากหลอดเลเซอร์ส่งผ่านไปยัง Non Polarizing Beam Splitter ซึ่งจะทำการแยกลำแสงที่ออกมา 2 ลำ โดยลำแรกจะผ่านไปยัง Polarizing Beam Splitter ซึ่งจะแยกลำแสงออกเป็น 2 แนว คือแนวแกน S กับ แนวแกน P แล้วไปสะท้อนกระจก Triple Reflector 1 และ Triple Reflector 2 แล้วกลับมารวมกันที่ Polarizing Beam Splitter หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้จาก Polarizing Beam Splitter และ Non Polarizing Beam Splitter เมื่อทำการเลื่อนกระจก Triple Reflector 2 จะทำให้ความถี่ของลำแสงที่ได้จาก Polarizing Beam Splitter มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง และเมื่อรวมกับลำแสงที่ได้จาก Non Polarizing Beam Splitter ทำให้เกิดความต่างกันของความถี่ลำแสงทั้งสอง เรียกว่า บีตส์ (Beats)



รูปที่ 9 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ Heterodyne Interferometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 ข้อเปรียบเทียบโฮโมไดนาม์กับเฮเทอโรไดนาม์

	Homodyne	Heterodyne
Always measuring	No	Yes
Quadrature Output	Available	Available
Error detection	Ambiguous	Unambiguous
Intensity sensitivity	Yes	No
Sensitive to ambient light	Yes	No
Bandwidth of electronics	$0-2\nu/\lambda$	$f_1-f_2 \pm 2\nu/\lambda$
SNR at detector	6-12+ bits	2-3 bits
Multi-axis	Limited	Yes
Complexity of Receiver(s)	Complex	Simple
Easy to Align	No	yes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

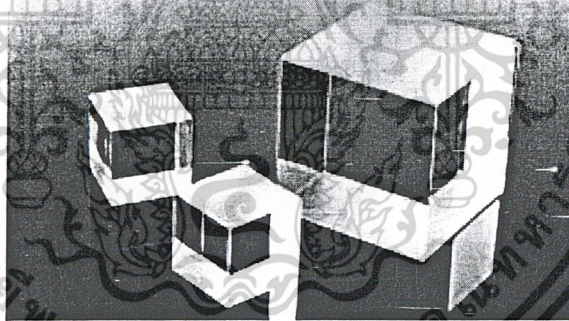
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ในการทดลองได้แบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการแทรกสอดของแสงและระบบ Heterodyne Interferometer
2. ออกแบบระบบ Heterodyne Interferometer
3. จัดเตรียมอุปกรณ์ และทำการประกอบอุปกรณ์ตามที่ได้ออกแบบไว้
4. ทำการทดลองวัดค่าระยะทางของการเกิดบีตส์เทียบกับไมโครมิเตอร์

3.2 ส่วนประกอบของอุปกรณ์

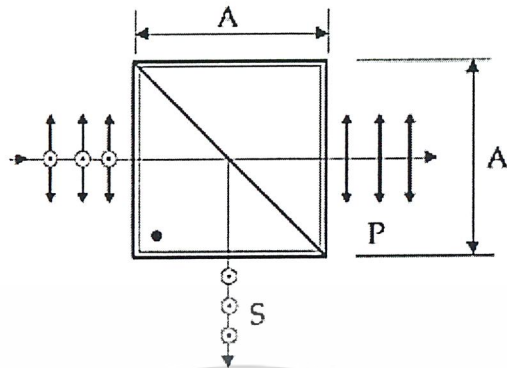
1. Stabilized He-Ne Laser ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดของแสงเลเซอร์
2. Beam Splitter ทำหน้าที่เป็นตัวแยกลำแสง



รูปที่ 10 แสดงรูปร่าง Beam Splitter

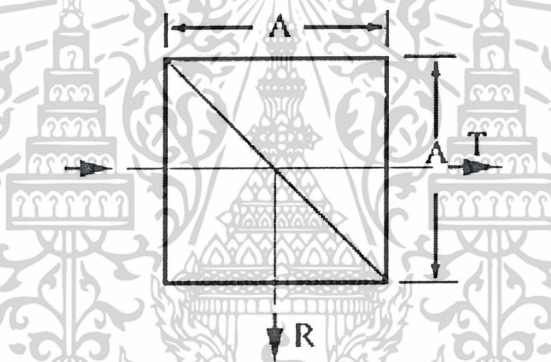
- 2.1 Polarized Beam Splitter ทำหน้าที่เป็นตัวแยกลำแสง โดยแนวแกนของลำแสงที่ตั้งฉากทะลุผ่านไป และแนวแกนของลำแสงที่ขนานสะท้อนออกจาก Polarized Beam Splitter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



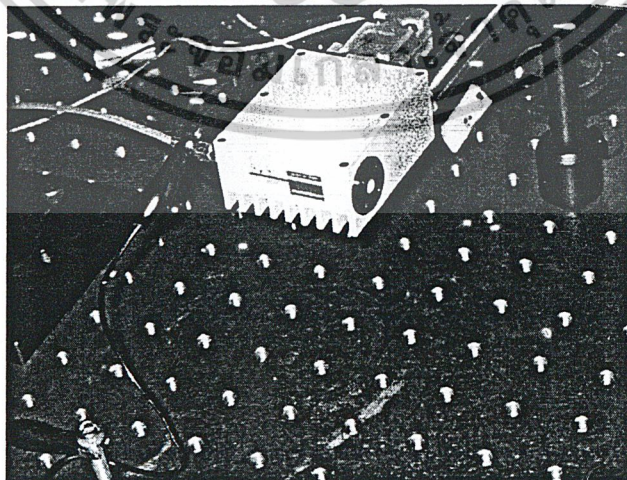
รูปที่ 11 แสดงลักษณะ Polarizing Beam Splitter

2.2 Non Polarizing Beam Splitter ทำหน้าที่แยกลำแสงเป็น 2 ทางโดยมีความเข้มเท่ากัน



รูปที่ 12 แสดงลักษณะ Non Polarizing Beam Splitter

3. Detector ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจวัดความถี่ลำแสง



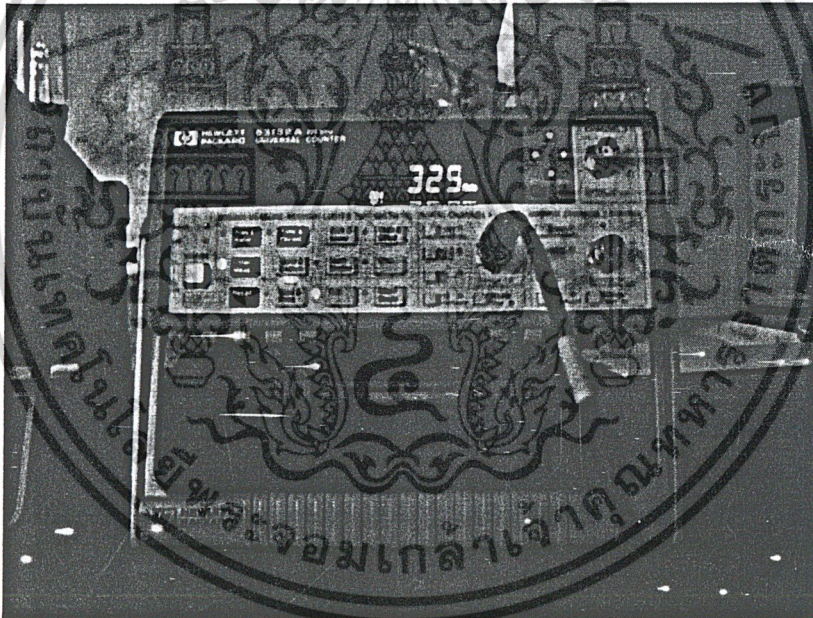
รูปที่ 13 แสดง Detector APD module C5658

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอุปกรณ์ตรวจจับแสงชนิดรอยต่อพี-เอ็น ที่มีความไวสูง สามารถรับแสงที่มีความเข้มต่ำได้ มีโครงสร้างเหมือนกับ PN-Diode หรือ PIN-Diode แต่สามารถป้อนแรงดันไฟฟ้าที่มีค่ามากให้แก่ APD ได้ซึ่งต่างจากไดโอดชนิดรอยต่ออื่น ๆ ในการทำงานจะต้องจ่าย Reverse Bias ให้แก่ APD ประมาณ 100-150 V เมื่อมีแสงมาตกกระทบบนหัววัดที่ชั้น N จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนและโฮลระหว่างชั้น P และชั้น N เนื่องจากแรงดันที่ให้เข้าไปมีค่ามากทำให้เกิดสนามไฟฟ้าแรงสูง เป็นการเร่งให้พาหะที่วิ่งผ่านบริเวณรอยต่อมีพลังงานจลน์สูงพอที่จะกระตุ้นอิเล็กตรอนตัวอื่นจาก Valence Band เข้าสู่ Conduction Band ได้โดยการชนกันของอิเล็กตรอนที่วิ่งผ่านรอยต่อกับอิเล็กตรอนในชั้น P ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลเพิ่มมากขึ้น และต่อเนื่องไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่เรียกว่าเกิด Avalanche Effect เกิดการขยายกระแส ดังนั้น APD จึงเป็นอุปกรณ์ที่สามารถรับแสงที่มีกำลังต่ำๆได้

4. Counter

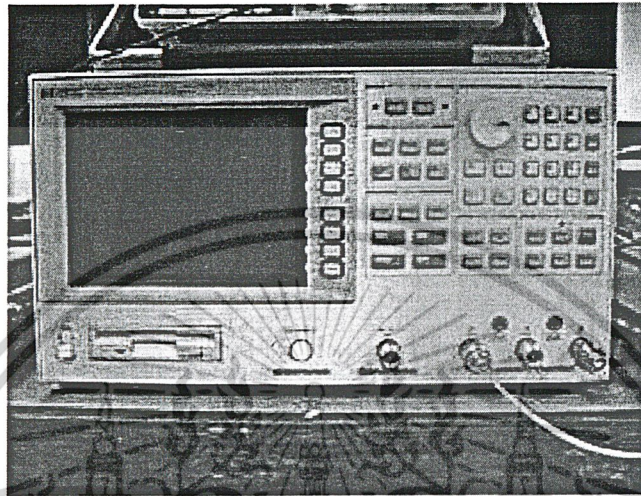
ทำหน้าที่นับค่าความถี่ที่ได้จาก Detector



รูปที่ 14 แสดงตัว counter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

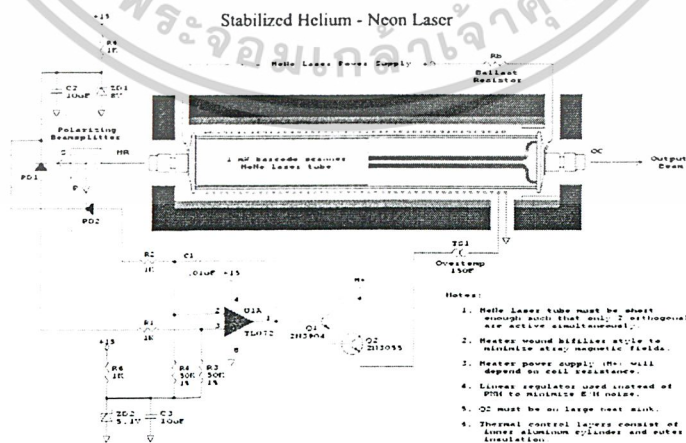
5. Spectrum Analyzer : Hewlett Packard รุ่น HP 4395A สามารถแสดงความถี่ในช่วง 10 kHz – 500MHz ใช้เพื่อแสดงสเปกตรัมของแสง ทำหน้าที่วิเคราะห์สเปกตรัมของเลเซอร์



รูปที่ 15 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

3.3 Stabilized Helium-Neon Laser

เป็นวงจรควบคุมความถี่เลเซอร์ให้คงที่ โดยโฟโตไดโอดหนึ่งและโฟโตไดโอดสอง จะทำการวัดแนวโพลาไรซ์ของลำแสง (S) กับ (P) ทั้งสองลำที่ออกมาจาก Polarizing Beam Splitter แล้วทำการเปรียบเทียบลำแสงทั้งสองเพื่อดูว่ามีค่าความเข้มเท่ากันหรือไม่ ถ้าไม่วงจรจะส่งสัญญาณไปควบคุม Heater ที่พันอยู่รอบหลอด โดยเมื่ออุณหภูมิของหลอดสูงขึ้นจะทำให้หลอดขยายตัวส่งผลให้กระจกในหลอดเลเซอร์ให้มีการเลื่อนเข้าออกทำให้ความถี่ของเลเซอร์ที่ออกมามีค่าคงที่

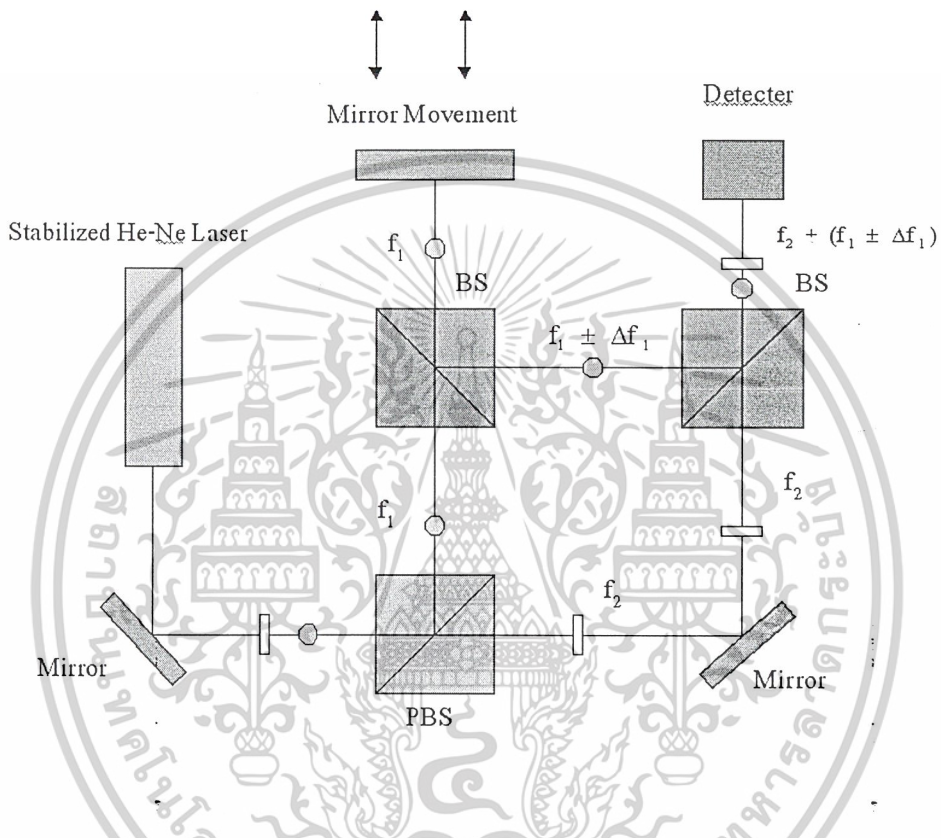


รูปที่ 16 แสดงวงจร Stabilized Helium-Neon Laser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากที่ต้องใช้วงจรมันก็เพราะว่าเลเซอร์ที่ใช้ในการทดลองนั้นมีความถี่ที่ออกมาไม่เท่ากัน ซึ่งจะส่งผลให้ได้ค่าที่ออกมาไม่มีประสิทธิภาพ เราจึงจำเป็นต้องเพิ่มวงจรมันลงไปเพื่อให้ความถี่ของเลเซอร์ที่ออกมาคงที่ และสามารถทำการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

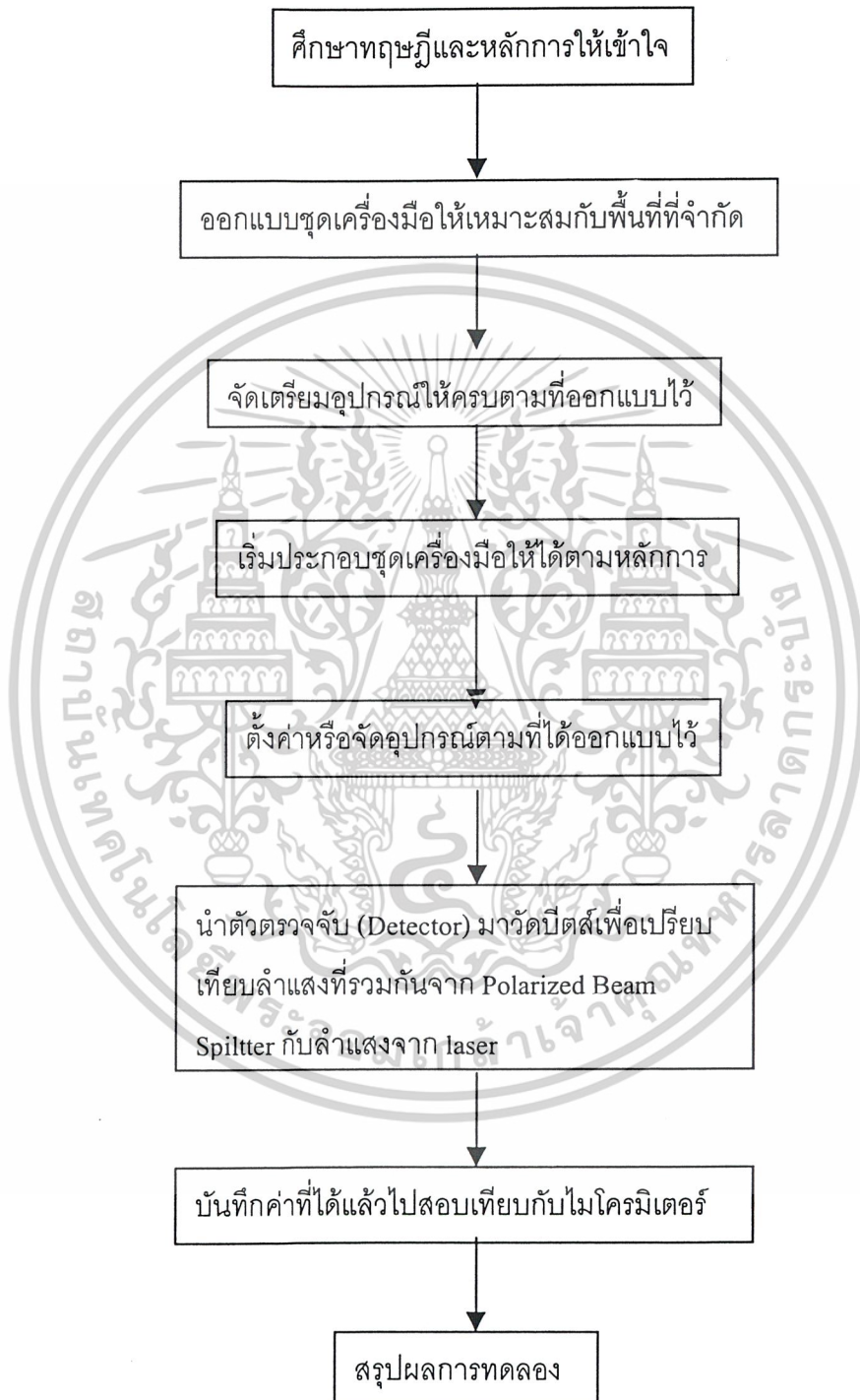
3.4 แผนผังการทำงาน



รูปที่ 17 แสดงแผนผังการทดลอง

เริ่มต้นจากยิงเลเซอร์ที่มี 2 ความถี่ผ่าน Polarizing Beam Splitter ทำให้แยกลำแสงออกสองลำโดยมีแนวโพลาไรซ์ตั้งฉากกัน ลำแสงที่ 1 มีความถี่ f_1 ผ่านไปยัง Non Polarizing Beam Splitter ไปสะท้อนกระจกที่สามารถปรับระยะได้แล้วกลับมาที่ Non Polarizing Beam Splitter อีกครั้งแล้วสะท้อนออกไปอีกทางด้วยความถี่ $f_1 \pm \Delta f_1$ แล้วเข้า Non Polarizing Beam Splitter อีกตัวแล้วสะท้อนออกเข้าตัว Detector ลำแสงที่ 2 มีความถี่ f_2 ไปสะท้อนกับกระจก แล้วเข้า Non Polarizing Beam Splitter ไปรวมกับลำแสงที่ 1 แล้วทะลุผ่านไปยังตัว Detector ซึ่งได้ความถี่เป็น $f_2 + (f_1 \pm \Delta f_1)$ ซึ่งเป็นความถี่ที่ได้จากการบิตส์กันของแสงสองลำ

3.5 ไตอะแกรมวิธีดำเนินการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ตารางแสดงผลการทดลองวัดผลต่างความถี่ของเลเซอร์

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองวัด

ความต่างความถี่ของเลเซอร์ครั้งที่ 1

เวลา(วินาที)	ความต่างของความถี่
5	0.81
10	0.92
15	1.19
20	1.27
25	1.41
30	1.56
35	1.67
40	1.65
45	1.65
50	1.65
55	1.65
60	1.65
65	1.65
70	1.65
75	1.65
80	1.65
85	1.65
90	1.65
95	1.65
100	1.65
105	1.65
110	1.65
115	1.65
120	1.65

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองวัด

ความต่างความถี่ของเลเซอร์ครั้งที่ 2

เวลา(วินาที)	ความต่างของความถี่
5	0.51
10	0.77
15	0.83
20	0.95
25	1.02
30	1.21
35	1.34
40	1.54
45	1.65
50	1.64
55	1.65
60	1.65
65	1.65
70	1.65
75	1.65
80	1.65
85	1.65
90	1.65
95	1.65
100	1.65
105	1.65
110	1.65
115	1.65
120	1.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองวัด
ความต่างความถี่ของเลเซอร์ครั้งที่ 3

เวลา(วินาที)	ความต่างของความถี่
5	3.12
10	2.86
15	2.54
20	2.31
25	2.15
30	1.9
35	1.72
40	1.68
45	1.65
50	1.65
55	1.65
60	1.65
65	1.65
70	1.65
75	1.65
80	1.65
85	1.65
90	1.65
95	1.65
100	1.65
105	1.65
110	1.65
115	1.65
120	1.65

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองวัด
ความต่างความถี่ของเลเซอร์ครั้งที่ 4

เวลา(วินาที)	ความต่างของความถี่
5	1.21
10	1.35
15	1.48
20	1.59
25	1.68
30	1.59
35	1.64
40	1.64
45	1.64
50	1.64
55	1.64
60	1.64
65	1.64
70	1.64
75	1.64
80	1.64
85	1.64
90	1.64
95	1.64
100	1.64
105	1.64
110	1.64
115	1.64
120	1.64

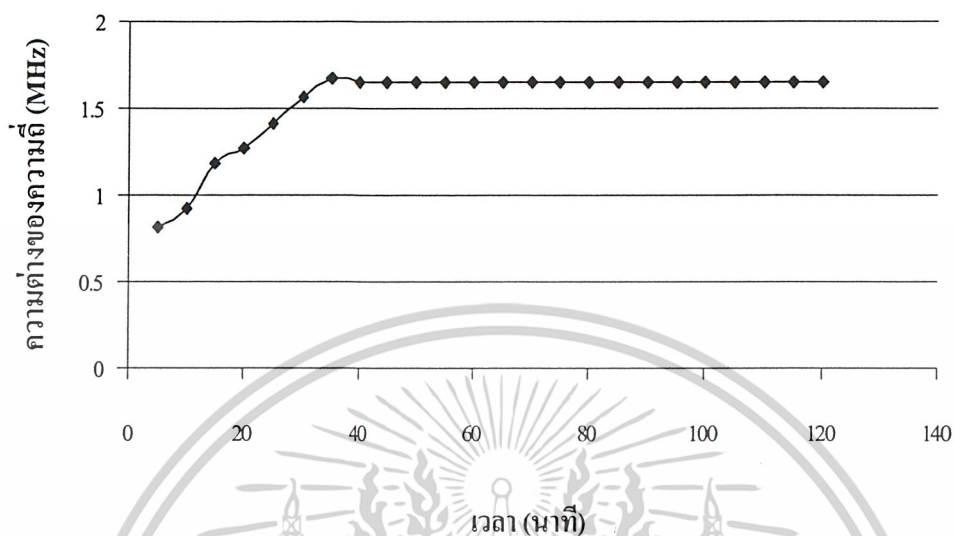
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงผลการทดลองวัด
ความต่างความถี่ของเลเซอร์ครั้งที่ 5

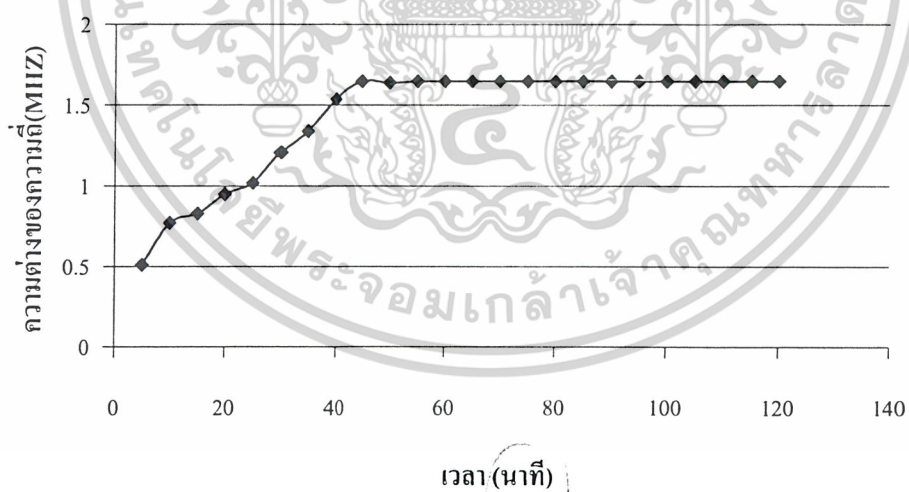
เวลา(วินาที)	ความต่างของความถี่
5	2.01
10	1.91
15	1.83
20	1.61
25	1.73
30	1.65
35	1.66
40	1.66
45	1.66
50	1.66
55	1.66
60	1.66
65	1.66
70	1.66
75	1.66
80	1.66
85	1.66
90	1.66
95	1.66
100	1.66
105	1.66
110	1.66
115	1.66
120	1.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความถี่กับเวลาครั้งที่ 1

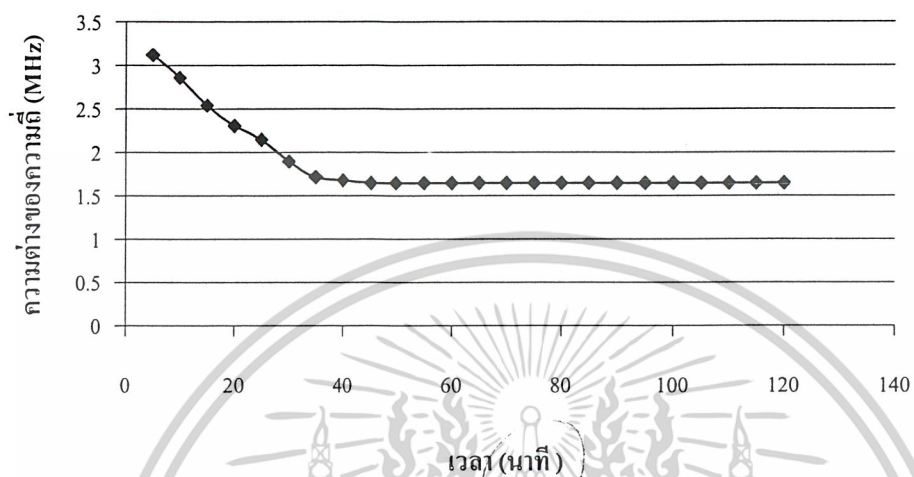


กราฟที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความถี่กับเวลาครั้งที่ 2

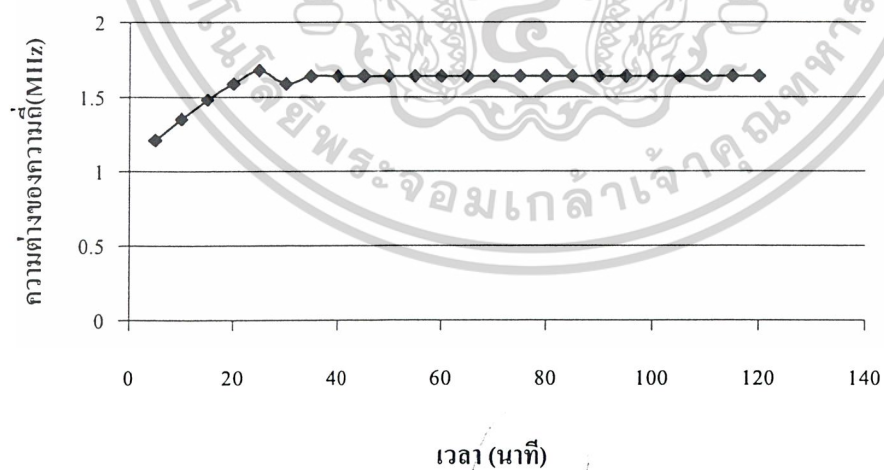


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความถี่กับเวลาครั้งที่ 3

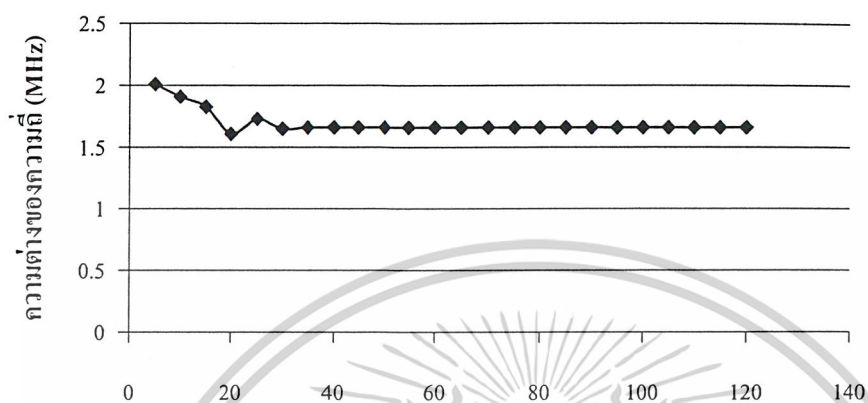


กราฟที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความถี่กับเวลาครั้งที่ 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความถี่กับเวลาครั้งที่ 5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ตารางแสดงการนับที่เกิดจากปรากฏการณ์ดอปเพลอร์

เมื่อเลื่อนไมโครมิเตอร์อันที่ 1

ครั้งที่	ระยะทาง(mm)	จำนวนนับ(N)	N/mm	N/ช่องเล็ก(0.01mm)
1	0.71	2419	3407.04	34.07
2	0.75	2506	3341.33	33.41
3	0.67	1902	2838.81	28.39
4	0.63	1513	2401.59	24.02
5	0.78	2401	3078.21	30.78
6	0.82	2623	3198.78	31.99
7	0.63	1712	2717.46	27.17
8	0.81	2700	3333.33	33.33
9	0.85	2738	3221.18	32.21
10	0.71	2362	3326.76	33.27
11	0.58	1603	2763.79	27.64
12	0.49	1204	2457.14	24.57
13	0.63	2015	3198.41	31.98
14	0.74	2109	2850.00	28.50
15	0.81	2468	3046.91	30.47
16	0.74	2317	3131.08	31.31
17	0.65	1948	2996.92	29.97
18	0.83	2832	3412.05	34.12
19	0.61	2008	3291.80	32.92
20	0.67	1872	2794.03	27.94
เฉลี่ย	0.71	2163	3040.33	30.40
SD			303.93	3.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ตารางแสดงการนับที่เกิดจากปรากฏการณ์คอปเพลอร์ เมื่อเดือนไมโครมิเตอร์อันที่ 2

ครั้งที่	ระยะทาง(mm)	จำนวนนับ(N)	N/mm	N/ช่องเล็ก(0.01mm)
1	0.83	2496	3007.23	30.07
2	0.92	2812	3056.52	30.57
3	0.78	2251	2885.90	28.86
4	0.71	2212	3115.49	31.15
5	0.64	2046	3196.88	31.97
6	0.75	2349	3132.00	31.32
7	0.58	1748	3013.79	30.14
8	0.49	1630	3326.53	33.27
9	0.42	1549	3688.10	36.88
10	0.62	1658	2674.19	26.74
11	0.7	1964	2805.71	28.06
12	0.81	2412	2977.78	29.78
13	0.74	2393	3233.78	32.34
14	0.69	2245	3253.62	32.54
15	0.77	2569	3336.36	33.36
16	0.59	1911	3238.98	32.39
17	0.78	2348	3010.26	30.10
18	0.93	3106	3339.78	33.40
19	0.64	1986	3103.13	31.03
20	0.77	2346	3046.75	30.47
เฉลี่ย	0.71	2202	3122.14	31.22
SD			221.21	2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ตารางแสดงการนับที่เกิดจากปรากฏการณ์ดอปเพลอร์

เมื่อเลื่อนไมโครมิเตอร์อันที่ 3

ครั้งที่	ระยะทาง(mm)	จำนวนนับ(N)	N/mm	N/ช่องเล็ก(0.01mm)
1	0.85	2712	3190.59	31.91
2	0.72	2308	3205.56	32.06
3	0.64	2112	3300.00	33.00
4	0.77	2555	3318.18	33.18
5	0.59	1660	2813.56	28.14
6	0.54	1514	2803.70	28.04
7	0.68	2304	3388.24	33.88
8	0.74	2512	3394.59	33.95
9	0.81	2549	3146.91	31.47
10	0.83	2644	3185.54	31.86
11	0.67	1848	2758.21	27.58
12	0.79	2512	3179.75	31.80
13	0.81	2649	3270.37	32.70
14	0.73	2312	3167.12	31.67
15	0.69	1934	2802.90	28.03
16	0.57	1779	3121.05	31.21
17	0.43	1338	3111.63	31.12
18	0.56	1998	3567.86	35.68
19	0.77	2445	3175.32	31.75
20	0.88	2606	2961.36	29.61
เฉลี่ย	0.70	2215	3143.12	31.43
SD			218.65	2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอนะ

5.1 สรุป

จากการทดลองเราสามารถควบคุมความถี่ของเลเซอร์ให้คงที่ได้โดยใช้วงจร Stabilized Helium-Neon Laser Circuit โดยใช้ Detector 2 ตัววัดลำแสงที่มาจาก Polarizing Beamsplitter แล้วทำการเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสองโดยใช้ Op-amp จากนั้นสัญญาณที่ได้จาก Op-amp จะไปควบคุมทรานซิสเตอร์เพื่อให้กระแสกับฮีตเตอร์ที่อยู่รอบหลอดเลเซอร์เพื่อทำการควบคุมระยะในคาวิตี้เพื่อให้ได้ความถี่คงที่โดยเมื่อทำการวัดความถี่ของเลเซอร์จะพบว่ามีความต่างของความถี่เท่ากับ 1.65 MHz

จากการทดลองเมื่อเลื่อนกระจก(M2) แล้วทำการนับ count ที่เกิดจากปรากฏการณ์ ดอปเพลอร์พบว่ามีความถี่ใกล้เคียงกับทฤษฎี โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ประมาณ 250 ที่ระยะทาง 1 mm ซึ่งค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากความเร็วในการเลื่อนไม่คงที่และไฟรั่วของเครื่องมือวัด

โดยค่าจากทฤษฎี

$$2\Delta S = N\lambda$$

เมื่อ ΔS คือ ระยะทางของไมโครมิเตอร์ที่เลื่อนไป

N คือ จำนวน Count ที่นับได้

λ คือ ความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่ใช้

ดังนั้นที่ระยะทาง 1 mm จะนับ Count ได้ $= 2 \times 1 \times 10^{-3} \text{ m} / 632.8 \times 10^{-9} \text{ m} = 3160 \text{ Count}$

นอกจากนี้เรายังสามารถนำระบบนี้ไปประยุกต์เพื่อทำการวัดระยะของสิ่งที่มีขนาดเล็ก
ต่างๆได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การจัดวางอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวกับแสงควรอยู่ในระนาบเดียวกันและถูกจับล็อกอย่างมั่นคงทั้งหมด
2. การวางไมโครมิเตอร์ควรอยู่ในระนาบเดียวกันกับลำแสง เพราะเมื่อทำการเลื่อนไมโครมิเตอร์แนวลำแสงจะได้ไม่เลื่อนออกจากแนวเดิม
3. ควรศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือต่างๆในการทดลองก่อนทำการทดลองเพื่อความสะดวกในการทดลองและไม่ทำให้เครื่องมือเสียหาย
4. ควรทำความสะอาดเครื่องมือที่เกี่ยวกับแสง เช่น Beamsplitter , Mirror เป็นต้น เพื่อลดการกระเจิงของแสง
5. ควรต่อสายกราวด์ให้เครื่องมือต่างๆที่ใช้เพื่อลดสัญญาณรบกวน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequency specifications, Agilent 8560 E-series

Frequency range

	8560E	8561E	8562E	8563E	8564E	8565E
Internal mixing	30 Hz ² to 2.9 GHz	30 Hz ² to 6.5 GHz	30 Hz ² to 13.2 GHz	30 Hz ¹ to 26.5 GHz	30 Hz ¹ to 40 GHz	30 Hz ¹ to 50 GHz
External mixing	18 GHz to 325 GHz	18 GHz to 325 GHz	18 GHz to 325 GHz	18 GHz to 325 GHz	18 GHz to 325 GHz	18 GHz to 325 GHz

Frequency band

30 Hz to 2.9 GHz
2.75 GHz to 6.46 GHz
5.86 GHz to 13.2 GHz
12.4 GHz to 26.8 GHz
26.4 GHz to 31.15 GHz
31.0 GHz to 50 GHz

Harmonic mixing mode (N)

1
1
2
4
4
8

Frequency counter accuracy

Marker count accuracy (S/N ≥ 25 dB)	±(marker freq x freq ref accuracy ⁶ + 2 Hz x N ⁵ + 1 LSD of counter)
Accuracy at 1 GHz (25 °C, 1 yr aging, marker resolution = 1 Hz)	±225 Hz (5 minute warm-up) ⁷ ±135 Hz (15 minute warm-up) ⁷ ±3003 Hz (Option 103)
Delta count accuracy (S/N ≥ 25 dB)	±(delta freq x freq ref accuracy ⁶ + 4 Hz x N ⁵ + 2 LSD)
Counter resolution	Selectable from 1 Hz to 1 MHz

Frequency reference

Temperature stability³

Aging (per year)
(per day nom.)

Initial achievable accuracy

Short-term warm-up accuracy factors (nominal)

5 minute

15 minute

±1 × 10⁻⁸ ±1 × 10⁻⁶

±1 × 10⁻⁷ ±2 × 10⁻⁶

±5 × 10⁻¹⁰⁽⁴⁾

±2.2 × 10⁻⁸ ±1 × 10⁻⁶

±1 × 10⁻⁷

±1 × 10⁻⁶

Option 103

Frequency span

Range

0, 100 Hz to full span
(100 Hz x N¹⁰ when using external mixers)

Accuracy

Span > 2 MHz x N⁵

Span ≤ 2 MHz x N⁵

±5%

±1%

Frequency readout accuracy

(Start, stop, center, and marker frequency functions)

Span > 2 MHz x N⁵ ±(freq readout x freq ref accuracy⁶ + 5% x span + 15% x RBW + 10 Hz)

Span ≤ 2 MHz x N⁵ ±(freq readout x freq ref accuracy⁶ + 1% x span + 15% x RBW + 10 Hz)

1. 8563E, 8564E, 8565E require Option 006 for operation below 9 kHz.

2. 8560E, 8561E, 8562E minimum frequency in AC coupled mode is 100 kHz. In DC coupled mode minimum frequency is 30 Hz.

3. -10 °C to +55 °C, referenced to 25 °C

4. After 7-day warm-up

5. N = harmonic mixing mode number

6. Frequency reference accuracy = aging x time since last adjustment + initial achievable accuracy + temperature stability

7. Short term warm-up accuracy factors have been included in this calculation.

Frequency specifications, continued

Sweep time

Range

Span = 0 Hz 50 μ s to 6000 s

Span \pm 100 Hz

RBW \geq 300 Hz 50 ms to 2000 s

RBW \leq 100 Hz 50 ms to 100 ks

Accuracy (Span = 0 Hz)

Sweep time \geq 30 ms \pm 1% (digitized trace data)

Sweep time <30 ms \pm 10% (analog trace data)

(non-Option 007)

Sweep time <30 ms \pm 0.1% (digitized trace data)

(Option 007¹)

Sweep trigger

delayed, free run, single,
line, video, external

Noise sidebands (see figure 1)

Center Frequency \leq 1 GHz

Offset

100 Hz \leq 88 dBc/Hz² Opt. 103 \leq 70 dBc/Hz²

1 kHz \leq 97 dBc/Hz² \leq 90 dBc/Hz²

10 kHz⁶ \leq 113 dBc/Hz³ \leq 113 dBc/Hz³

30 kHz^{6,8} \leq 113 dBc/Hz⁴ \leq 113 dBc/Hz⁴

100 kHz⁷ \leq 117 dBc/Hz⁵ \leq 117 dBc/Hz⁵

Residual FM

(zero span, 10 Hz RBW)

<1 Hz pk-pk x N⁹ in 20 ms

<0.25 Hz pk-pk x N⁹ in 20 ms

(typical)

Option 103

<10 Hz pk-pk x N⁹ in 20 ms

Resolution bandwidth

Range (-3 dB) 1 Hz to 1 MHz in a 1, 3, 10 sequence
and 2 MHz (3 MHz at -6 dB)

Option 103 10 Hz to 1 MHz in a 1, 3, 10 sequence
and 2 MHz (3 MHz at -6 dB)

Accuracy

1 Hz to 300 kHz \pm 10%

1 MHz \pm 25%

2 MHz +50%, -25%

Selectivity (-60 dB/-3 dB BW ratio)

RBW \geq 300 Hz <15:1

RBW \leq 100 Hz <5:1

Video bandwidth range

1 Hz to 3 MHz in a 1, 3, 10 sequence

1. Option 007 extends digitized trace data capability to sweep times <30 ms.

2. Add $5.2 \times ((f/1 \text{ GHz}) - 1)$ for $f > 1 \text{ GHz}$ and $f \leq 2.9 \text{ GHz}$

3. Add $2.5 \times ((f/1 \text{ GHz}) - 1)$ for $f > 1 \text{ GHz}$ and $f \leq 2.9 \text{ GHz}$

4. Add $3.0 \text{ dB} \times ((f/1 \text{ GHz}) - 1)$ for $f > 1 \text{ GHz}$ and $f \leq 2.9 \text{ GHz}$

5. Add 2 dB for $f > 1 \text{ GHz}$ and $f \leq 2.9 \text{ GHz}$

6. RBW $\leq 1 \text{ k}$ or Span $\leq 745 \text{ kHz}$

7. RBW $\geq 3 \text{ k}$ or Span $> 745 \text{ kHz}$

8. Not specified at 30 kHz offset for 8564E and 8565E

9. N = harmonic mixing mode number

Amplitude specifications, Agilent 8560 E-series

Range Displayed average noise level to +30 dBm

1 dB gain compression

Maximum power at mixer =

input power (dBm) – input attenuation (dB)

10 MHz to 2.9 GHz	-5 dBm
2.9 GHz to 6.46 GHz	+0 dBm ³
6.46 GHz to 26.8 GHz	-3 dBm
26.8 GHz to 50 GHz	+0 dBm (nominal)

Maximum safe input level

Average continuous power +30 dBm (1 W, input attn ≥10 dB)

Peak pulse power +50 dBm (100 W, input attn ≥30 dB)

(≤10 μs pulse width, <1% duty cycle)

Maximum DC input voltage

DC coupled ±0.2 Vdc

AC coupled ±50 Vdc

Displayed average noise level (DANL) (see figure 2) (0 dB attenuation, 1 Hz resolution bandwidth¹)

	8560E	8561E	8562E	8563E	8564E, 8565E
30 Hz ²	≤90 dBm	≤90 dBm	≤90 dBm	≤90 dBm	≤90 dBm
1 kHz ²	≤105 dBm	≤105 dBm	≤105 dBm	≤105 dBm	≤105 dBm
10 kHz	≤120 dBm	≤120 dBm	≤120 dBm	≤120 dBm	≤120 dBm
100 kHz	≤120 dBm	≤120 dBm	≤120 dBm	≤120 dBm	≤120 dBm
1 MHz to 10 MHz	≤140 dBm	≤140 dBm	≤140 dBm	≤140 dBm	≤140 dBm
10 MHz to 2.9 GHz	≤149 dBm	≤145 dBm	≤151 dBm	≤151 dBm	≤145 dBm
2.9 GHz to 6.46 GHz		≤145 dBm	≤148 dBm	≤148 dBm	≤147 dBm
6.46 GHz to 13.2 GHz			≤145 dBm	≤145 dBm	≤143 dBm
13.2 GHz to 22.0 GHz				≤140 dBm	≤140 dBm
22.0 GHz to 26.8 GHz				≤139 dBm	≤136 dBm
26.8 GHz to 31.15 GHz					≤139 dBm
31.15 GHz to 40 GHz					≤130 dBm
40 GHz to 50 GHz					≤127 dBm

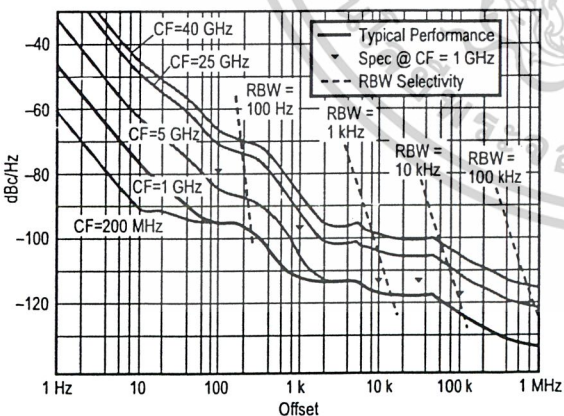


Figure 1. Noise sidebands normalized to 1 Hz BW versus offset from carrier

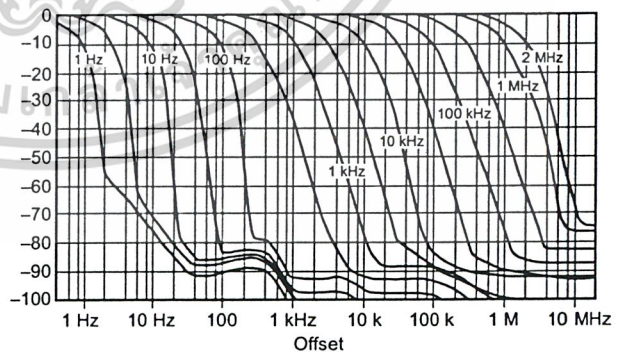


Figure 2. Typical on-screen dynamic range versus offset from 1 GHz center frequency for all RBWs (mixer level = -10 dBm)

1. For Option 103, degrade DANL by 10 dB
2. 8563E, 8564E, 8565E require Option 006 for operation below 9 kHz.
3. 8561E: -3 dBm

Amplitude specifications, continued

Dynamic range (see figure 3)

Compression to noise ¹	8560E	8561E	8562E	8563E	8564E, 8565E
10 MHz to 2.9 GHz	>146 dB	>140 dB	>146 dB	>144 dB	>145 dB
2.9 GHz to 6.46 GHz		>142 dB	>148 dB	>148 dB	>147 dB
6.46 GHz to 13.2 GHz			>142 dB	>142 dB	>140 dB
13.2 GHz to 22.0 GHz				>137 dB	>137 dB
22.0 GHz to 26.8 GHz				>136 dB	>133 dB
26.8 GHz to 31.15 GHz					>139 dB
31.15 GHz to 40 GHz					>130 dB
40 GHz to 50 GHz					>127 dB
Signal to distortion					
Harmonic²					
20 MHz to 1.45 GHz	>95 dB	>88.5 dB	>95 dB	>94 dB	>92 dB
1.45 GHz to 2 GHz		>98.5 dB	>111.5 dB	>111.5 dB	>111 dB
2 GHz to 3.25 GHz		>119 dB	>119 dB	>119 dB	>113.5 dB
3.25 GHz to 6.6 GHz			>117.5 dB	>117.5 dB	>111.5 dB
6.6 GHz to 11 GHz				>115 dB	>110 dB
11 GHz to 13.4 GHz				>114.5 dB	>108 dB
13.4 GHz to 15.6 GHz					>109.5 dB
15.6 GHz to 20 GHz					>105 dB
20 GHz to 25 GHz					>103.5 dB
Intermodulation³					
10 MHz to 2.9 GHz	>108 dB	>103 dB	>108 dB	>107 dB	>104 dB
2.9 GHz to 6.46 GHz		>107 dB	>108.5 dB	>108.5 dB	>108 dB
6.46 GHz to 13.2 GHz			>101.5 dB	>101.5 dB	>100 dB
13.2 GHz to 22.0 GHz				>98 dB	>98 dB
22.0 GHz to 26.8 GHz				>97.5 dB	>95.5 dB
26.8 GHz to 31.15 GHz					>101 dB (nominal)
31.15 GHz to 40 GHz					>95 dB (nominal)
40 GHz to 50 GHz					>93 dB (nominal)

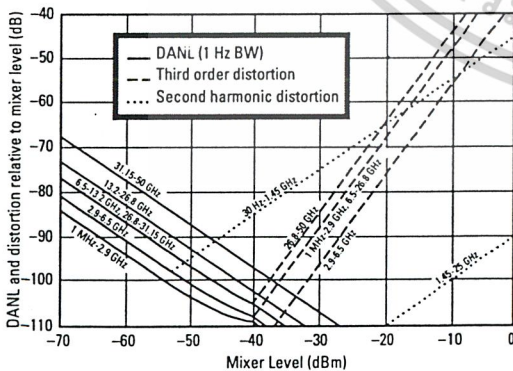


Figure 3. Agilent 8560E family nominal dynamic range

- (1 dB compression - DANL) For Option 103, degrade compression to noise dynamic range by 10 dB.
- 0.5 x (SHI - DANL at 2 x input frequency) For Option 103, degrade harmonic (SHI) dynamic range by 5 dB.
- 0.67 x (TOI - DANL) For Option 103, degrade intermodulation (TOI) dynamic range by 6.67 dB.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Amplitude specifications, continued

Spurious responses

General spurious responses

(Mixer level -40 dBm) $<(-75 + 20 \times \log N^1)$ dBc

Second harmonic distortion input signal

input signal	Mixer level	Distortion	SHI
20 MHz to 1.45 GHz	-40 dBm	≤ 79 dBc ²	+39 dBm ²
1.45 GHz to 2 GHz	-10 dBm ³	≤ 85 dBc ³	+75 dBm ³
2 GHz to 13.25 GHz			
8562E, 8563E	-10 dBm	≤ 100 dBc	+90 dBm
8564E, 8565E	-10 dBm	≤ 90 dBc	+80 dBm
13.25 GHz to 25 GHz	-10 dBm	≤ 90 dBc	+80 dBm

Third order intermodulation distortion (Two -30 dBm signals, ≥ 1 kHz apart)

Mixer level	Distortion	TOI
20 MHz to 2.9 GHz	≤ 82 dBc ⁴	+11 dBm
2.9 GHz to 6.46 GHz	≤ 90 dBc	+15 dBm
6.46 GHz to 26.8 GHz	≤ 75 dBc	+7.5 dBm
26.8 GHz to 50 GHz	≤ 85 dBc (nominal)	+12.5 dBm (nominal)

Image responses

Mixer level	Distortion
10 MHz to 26.8 GHz	-80 dBc
26.8 GHz to 50 GHz	-60 dBc

Multiple and out-of-band responses

Mixer level	Distortion
10 MHz to 26.8 GHz	-80 dBc
26.8 GHz to 50 GHz	-55 dBc

Residual responses

≤ 90 dBm, for the range from 200 kHz to 6.46 GHz, no input signal, 0 dB input attenuation

Scale fidelity

Log range

RBW ≥ 300 Hz

RBW ≤ 100 Hz

Linear range

Incremental

0 to -90 dB

± 0.1 dB/dB

± 0.2 dB/2dB

$\pm 3\%$ of reference level

Maximum

0 to -90 dB

± 0.85 dB

± 0.85 dB⁵

Display range

Viewing area approximately 7 cm (V) x 9 cm (H)

Scale calibration 10 x 10 divisions

Log scale 10, 5, 2, 1 dB per division

Linear scale 10% of reference level per division

1. Excluding display related side bands at multiples of 60 Hz

2. 8561E: distortion -72 dBc, SHI +32 dBm

3. 8561E: mixer level -20 dBm, distortion -72 dBc, SHI +52 dBm

4. 8561E -78 dB distortion with two -30 dBm signals, 9 dBm TOI

5. Maximum for 0 to -100 dB is ± 1.5 dB

Amplitude specifications, continued

Reference level range

Log, adjustable in 0.1 dB steps

30 Hz to 31.15 GHz	-120 to +30 dBm
31.15 GHz to 50 GHz	-115 to +30 dBm

Linear, adjustable in 1% steps

30 Hz to 31.15 GHz	2.2 μ V to 7.07 V
31.15 GHz to 50 GHz	3.98 μ V to 7.07 V

Frequency response in dB, 10 dB input attenuation, dc coupled
relative/typical relative/absolute²/typical absolute³

	8560E	8561E	8562E	8563E	8564E, 8565E
100 MHz to 2 GHz	0.7/0.7/--/--		0.9/0.8/--/--	1.0/0.8/--/--	0.9/0.8/--/--
30 Hz ¹ to 2.9 GHz	1/0.8/1.5/1.0	1.0/0.7/1.75/1.0	1.25/0.8/1.8/1.0	1.25/0.8/1.8/1.0	1.0/0.8/1.5/1.0
2.9 GHz to 6.46 GHz		1.5/1.1/2.5/1.5	1.5/1.1/2.5/1.5	1.5/1.0/2.4/1.5	1.7/1.4/2.6/1.8
6.46 to 13.2 GHz			2.2/1.5/2.9/2.0	2.2/1.5/2.9/2.0	2.6/2.2/3.0/2.8
13.2 to 22 GHz				2.5/1.5/4.0/2.5	2.5/2.5/4.0/3.5
22 to 26.8 GHz				3.3/2.2/4.0/2.5	3.3/2.2/4.5/4.0
26.8 to 31.15 GHz					3.1/2.9/4.0/3.0
31.15 GHz to 40 GHz (8564E)					2.6/2.4/4.0/3.2
31.15 GHz to 50 GHz (8565E)					3.2/3.0/4.0/4.0

Band switching uncertainty

± 1 dB (added to relative frequency response for between-band measurements)

Calibrator output

300 MHz x (1 \pm frequency reference accuracy⁴) at -10 dBm
 ± 0.3 dB

Input attenuator

Switching uncertainty (referenced to 10 dB attenuation)
30 Hz to 2.9 GHz for 20 to 70 dB settings of input attenuator:
 ± 0.6 dB/10 dB step, 1.8 dB maximum
Repeatability ± 0.1 dB (nominal)

IF gain uncertainty

± 1 dB (0 to -80 dBm reference levels with 10 dB input attenuation)

IF alignment uncertainty

± 0.5 dB (additional uncertainty only when using 300 Hz RBW)

Resolution bandwidth switching uncertainty

± 0.5 dB (relative to 300 kHz RBW)

1. Operation below 9 kHz requires Option 006.
2. Absolute flatness values referenced to 300 MHz CAL OUT
3. Typical values at 25 °C
4. Frequency reference accuracy = aging x time since last adjustment + initial achievable accuracy + temperature stability

Amplitude specifications, continued

Pulse digitization uncertainty

(Pulse response mode, PRF >720/sweep time)

	Log	Linear
RBW ≤1 MHz	<1.25 dB pk-pk	<4% of ref level
RBW = 2 MHz	<3 dB pk-pk	<12% of ref level
Standard deviation (RBW <1 MHz)		<0.2 dB (nominal)

Time-gated spectrum analysis

Gate delay ¹	Edge mode	Level mode
Range	3 μs to 65.535 ms	≤0.5 μs
Resolution	1 μs	
Accuracy	±1 μs	
(From GATE TRIGGER INPUT to positive edge of GATE OUTPUT)		
Gate length		
Range	1 μs to 65.535 ms	
Resolution	1 μs	
Accuracy	±1 μs	
(From positive edge to negative edge of GATE OUTPUT)		

Delayed sweep

Trigger modes

Free run, line,
external, video

Range

Non-Option 007¹

+2 μs to +65.535 ms

Option 007, sweep time <30 ms

-9.9 ms to +65.535 ms

sweep time ≥30 ms

+2 μs to +65.535 ms

Resolution

1 μs

Accuracy

±1 μs

Demodulation

Spectrum demodulation

Modulation type

AM and FM

Audio output

Speaker and phone jack
with volume control

Marker pause time

100 ms to 60 s (nominal)

1. Up to 1 μs jitter due to 1 μs resolution of gate delay clock

Inputs/outputs, Agilent 8560 E-series

(All values are nominal)

Front panel connectors

RF input

8560E, 8561E, 8562E, 8563E (Option 026, 8563E only)	Type N female, 50 Ω APC 3.5 mm male, 50 Ω
8564E, 8565E	APC 2.4 mm male, 50 Ω
VSWR (≥ 10 dB atten)	
30 Hz to 2.9 GHz	<1.5:1 dB
2.9 GHz to 50 GHz	<2.3:1 dB
LO emission level (Average with 10 dB atten)	≤ 80 dBm

IF input

Frequency	310.7 MHz
Full screen level	-30 dBm
Gain compression	-23 dB

First LO output

Frequency	3.000 - 6.8107 GHz ¹
Amplitude	+16.5 dBm ± 2.0 dB ¹

Cal output

Probe power

BNC female, 50 Ω +15 Vdc, -12.6 Vdc, and Gnd (150 mA max each)

Rear panel connectors

Earphone

Subminiature mono jack,
0.2 W into 4 Ω

10 MHz REF In/Out

Output freq accuracy

Shared BNC female, 50 Ω
 $\pm(10 \text{ MHz} \times \text{freq ref accuracy})$

Output amplitude

0 dBm

Input amplitude

-2 to +10 dBm

Video output

Amplitude (RBW ≥ 300 Hz)

BNC, 50 Ω

0 to +1 V full scale

LO sweep frequency analog voltage output

(LO sweep or V/GHz function selectable from the front panel, BNC female, 120 Ω)

LO sweep output

0 to 10 V (no load)

Frequency analog voltage output (internal mixer mode)

Output ramp voltage proportional to start and stop frequencies.

Transfer function: 0.5 V/GHz

0.5 V/GHz output (external mixer mode)

Output ramp voltage proportional to LO frequency:
(LO = 3 to 6.8107 GHz)

Transfer function: (1.5 V/GHz \times LO frequency (GHz))
-0.2054 ± 50 mV (typ)

Blanking/gate

Output

Shared BNC female, 50 Ω

Blanking mode

During sweep

Low TTL level

During retrace

High TTL level

Gate mode

Gate on

High TTL level

Gate off

Low TTL level

External/gate

Trigger input

Shared BNC female, >10 k Ω

Settable to high TTL or low TTL

GPIB

Interface functions

IEEE-488 bus connector

SH1, AH1, T6, L4, LE0, RL1, PP1,

DC1, DT1, C1, C28, TE0, SR1

Direct printer output

Supports HP 3630A PaintJet

printer, HP 2225A ThinkJet printer

Direct plotter output

Supports HP 7225A/7440A/

7470A/7475A/7550A

1. Option 002: 3.9107 to 6.8107 GHz, +14.5 dBm ± 3.0 dB

Options

Option 001 second IF output, Agilent 8560 series

(All values are nominal)

3 dB bandwidth NF conversion gain	8560E	8561E	8562E	8563E	8564E,8565E
30 Hz to 2.9 GHz ¹	>25 MHz 24 dB 1.2 dB	>25 MHz 25 dB -6.5 dB	>25 dB 20 dB -1.2 dB	>25 MHz 25 dB -1.2 dB	>25 MHz 28 dB -1.2 dB
2.9 GHz to 6.5 GHz		>30 MHz 26 dB -1 dB	>30 MHz 22 dB -3 dB	>30 MHz 22 dB -1 dB	>30 MHz 23 dB -1 dB
6.5 GHz to 13.2 GHz			>37 MHz 26 dB -5.7 dB	>37 MHz 26 dB -5.7 dB	>37 MHz 28 dB -5.7 dB
13.2 GHz to 22 GHz				>45 MHz 30 dB -8 dB	>45 MHz 32 dB -8 dB
22 GHz to 26.8 GHz				>45 MHz 32 dB -8 dB	>45 MHz 35 dB -8 dB
26.8 GHz to 31.15 GHz					>25 MHz 28 dB -9 dB
31.15 GHz to 40 GHz					>25 MHz 38 dB -19 dB
40 GHz to 50 GHz					>25 MHz 42 dB -23 dB

Option 002 built-in tracking generator² (8560E only)

Frequency specifications		Amplitude specifications	
Frequency range	300 kHz to 2.9 GHz	Output level (10 dBm to +2.8 dBm typical)	-10 dBm to +1 dBm
Accuracy		Resolution	0.1 dB
After peaking	±(frequency reference accuracy x tuned frequency +5% x span + 295 Hz)	Accuracy Vernier	±0.20 dB/dB, ±0.5 dBm max (25 °C ±10 °C)
Tracking drift (nominal)	Usable in 1 kHz RBW after 5-minute warm-up, usable in 300 Hz RBW after 30-minute warm-up.	Absolute Level flatness	±0.75 dB ±2.0 dB
Minimum RBW	300 Hz ³	Effective source match Total absolute accuracy	1.92:1 (nominal) ±3.25 dB

1. DC coupled for frequencies below 100 kHz. Option 006 required for operation below 9 kHz in 8563E, 8564E, 8565E.

2. Option 002 deletes millimeter external mixer capability (Second IF input is deleted)

3. Tracking generator not usable with resolution bandwidths ≤100 Hz

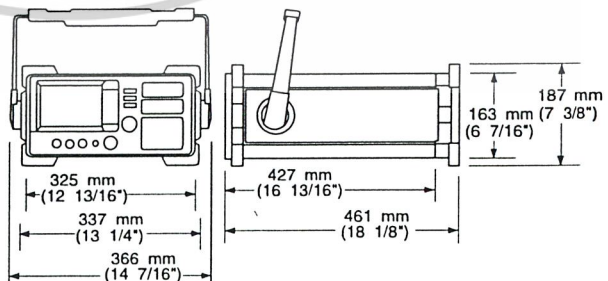
**Option 002 built-in tracking generator
(8560E only), continued**

Spurious output (at +1 dBm output power)		Dynamic range ²	
Harmonic spurious	-25 dBc	300 kHz to 1 MHz	96 dB
Non-harmonic spurious		1 MHz to 2.7 GHz	116 dB
300 kHz to 2.0 GHz	-27 dBc	2.7 to 2.9 GHz	111 dB
2.0 GHz to 2.9 GHz	-23 dBc	Power sweep	10 dB range, 0.1 dB resolution
LO feedthrough	-16 dBm		
	(3.9 GHz to 6.8 GHz)	Inputs/outputs	
Residuals (RF-Power-Off)	-78 dBm	RF output (front panel) (nominal)	Type-N female, 50 Ω
	(300 kHz to 2.9 GHz)	Maximum safe reverse level	+30 dBm, ±30 Vdc
Dynamic range		External ALC input (rear panel)	BNC female, use with negative detector
TG feedthrough ¹			
300 kHz to 1 MHz	-95 dBm		
1 MHz to 2.7 GHz	-115 dBm		
2.7 GHz to 2.9 GHz	-110 dBm		

Environmental specifications, Agilent 8560 E-series

Per MIL-T-28800, type III, class 3³, style C

Calibration interval	2 years	Power requirements	115 VAC operation: 90 to 140 V rms, 3.2 A rms max, 47 to 440 Hz
8560E, 8561E, 8562E, 8563E	1 year		230 VAC operation: 180 to 250 V rms, 1.8 A rms max, 47 to 66 Hz
8564E, 8565E	5-minutes in ambient conditions	Maximum power dissipation	
Warm-up time		8560E, 8561E, 8562E, 8563E	180 W
		8564E, 8565E	260 W
Temperature	-10 °C to +55 °C (oper- ating); -51 °C to +71 °C (not operating)	Audible noise (nominal)	<5.0 Bels power at room temp (ISO DP7779)
Humidity	95% @ 40 °C for 5 days	Dimensions (w/o handle, cover)	337 mm W x 187 mm H x 461 mm D
Rain resistance	Drip-proof at 16 liters/ hour/sq. ft.	Weight (nominal)	
Altitude	15,000 ft. (operating), 50,000 ft. (non- operating)	8560E, 8561E, 8562E, 8563E	20 kg (44 lbs)
Pulse shock (half sine)	30 g for 11 ms duration	8564E, 8565E	21 kg (46 lbs)
Transit drop	8-inch drop on six faces and eight corners	Electromagnetic compatibility	Conducted and radiated interference in compliance with CISPR Pub. 11 (1990). Meets Mil-STD-461C, part 2, with certain exceptions.



1. Leakage measured with maximum power into 50 Ω and with 50 Ω on RF input
2. Difference between maximum power output and tracking generator feedthrough
3. 8564E, 8565E: Class 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Agilent Technologies' Test and Measurement Support, Services, and Assistance

Agilent Technologies aims to maximize the value you receive, while minimizing your risk and problems. We strive to ensure that you get the test and measurement capabilities you paid for and obtain the support you need. Our extensive support resources and services can help you choose the right Agilent products for your applications and apply them successfully. Every instrument and system we sell has a global warranty. Support is available for at least five years beyond the production life of the product. Two concepts underlie Agilent's overall support policy: "Our Promise" and "Your Advantage."

Our Promise

"Our Promise" means your Agilent test and measurement equipment will meet its advertised performance and functionality. When you are choosing new equipment, we will help you with product information, including realistic performance specifications and practical recommendations from experienced test engineers. When you use Agilent equipment, we can verify that it works properly, help with product operation, and provide basic measurement assistance for the use of specified capabilities, at no extra cost upon request. Many self-help tools are available.

Your Advantage

"Your Advantage" means that Agilent offers a wide range of additional expert test and measurement services, which you can purchase according to your unique technical and business needs. Solve problems efficiently and gain a competitive edge by contracting with us for calibration, extra-cost upgrades, out-of-warranty repairs, and on-site education and training, as well as design, system integration, project management, and other professional services. Experienced Agilent engineers and technicians worldwide can help you maximize your productivity, optimize the return on investment of your Agilent instruments and systems, and obtain dependable measurement accuracy for the life of those products.

For more assistance with your test and measurement needs go to:

www.agilent.com/find/assist

Or contact the test and measurement experts at Agilent Technologies
(During normal business hours)

United States:

(tel) 1 800 452 4844

Canada:

(tel) 1 877 894 4414

(fax) (905) 206 4120

Europe:

(tel) (31 20) 547 2000

Japan:

(tel) (81) 426 56 7832

(fax) (81) 426 56 7840

Latin America:

(tel) (305) 267 4245

(fax) (305) 267 4286

Australia:

(tel) 1 800 629 485

(fax) (61 3) 9272 0749

New Zealand:

(tel) 0 800 738 378

(fax) 64 4 495 8950

Asia Pacific:

(tel) (852) 3197 7777

(fax) (852) 2506 9284

Product specifications and descriptions in this document subject to change without notice.

Copyright © 2000 Agilent Technologies
Printed in USA, December 15, 2000
5965-8078E

Equipment Depot

00-517-8431

99 Washington Street
Melrose, MA 02176
Fax 781.665.0780

TestEquipmentDepot.com



Agilent Technologies

Innovating the HP Way

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N3055, MJ2955

Preferred Device

Complementary Silicon Power Transistors

... designed for general-purpose switching and amplifier applications.

- DC Current Gain – $h_{FE} = 20-70 @ I_C = 4 \text{ Adc}$
- Collector–Emitter Saturation Voltage –
 $V_{CE(sat)} = 1.1 \text{ Vdc (Max) @ } I_C = 4 \text{ Adc}$
- Excellent Safe Operating Area

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CEO}	60	Vdc
Collector–Emitter Voltage	V_{CER}	70	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CB}	100	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EB}	7	Vdc
Collector Current – Continuous	I_C	15	Adc
Base Current	I_B	7	Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	115 0.657	Watts W/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +200	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.52	°C/W

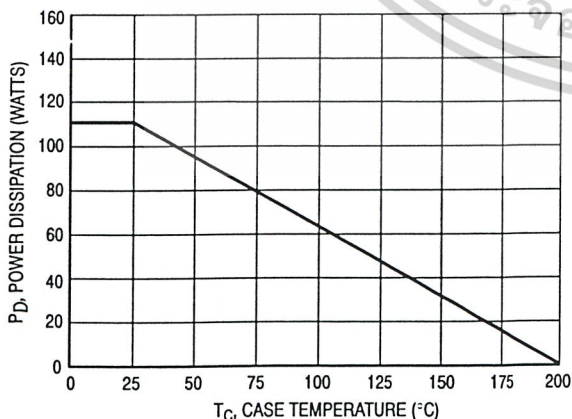


Figure 1. Power Derating



ON Semiconductor®

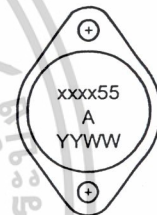
<http://onsemi.com>

15 A
POWER TRANSISTORS
COMPLEMENTARY SILICON
60 V
115 W



TO-204AA (TO-3)
CASE 1-07

MARKING
DIAGRAM



xxxx55 = Device Code
xxxx = 2N3055 or MJ2955
A = Assembly Location
YY = Year
WW = Work Week
x = 1, 2, or 3

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
2N3055	TO-204AA	100 Units / Tray
MJ2955	TO-204AA	100 Units / Tray

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

2N3055, MJ2955

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

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

*OFF CHARACTERISTICS

Collector-Emitter Sustaining Voltage (Note 1) ($I_C = 200\text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	$V_{CE(sus)}$	60	-	Vdc
Collector-Emitter Sustaining Voltage (Note 1) ($I_C = 200\text{ mAdc}$, $R_{BE} = 100\ \Omega$)	$V_{CER(sus)}$	70	-	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 30\text{ Vdc}$, $I_B = 0$)	I_{CEO}	-	0.7	mAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 100\text{ Vdc}$, $V_{BE(off)} = 1.5\text{ Vdc}$) ($V_{CE} = 100\text{ Vdc}$, $V_{BE(off)} = 1.5\text{ Vdc}$, $T_C = 150^\circ\text{C}$)	I_{CEX}	-	1.0 5.0	mAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 7.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}	-	5.0	mAdc

*ON CHARACTERISTICS (Note 1)

DC Current Gain ($I_C = 4.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 10\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$)	h_{FE}	20 5.0	70 -	-
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 4.0\text{ Adc}$, $I_B = 400\text{ mAdc}$) ($I_C = 10\text{ Adc}$, $I_B = 3.3\text{ Adc}$)	$V_{CE(sat)}$	-	1.1 3.0	Vdc
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 4.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$)	$V_{BE(on)}$	-	1.5	Vdc

SECOND BREAKDOWN

Second Breakdown Collector Current with Base Forward Biased ($V_{CE} = 40\text{ Vdc}$, $t = 1.0\text{ s}$, Nonrepetitive)	$I_{s/b}$	2.87	-	Adc
---	-----------	------	---	-----

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Current Gain - Bandwidth Product ($I_C = 0.5\text{ Adc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	f_T	2.5	-	MHz
*Small-Signal Current Gain ($I_C = 1.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	h_{fe}	15	120	-
*Small-Signal Current Gain Cutoff Frequency ($V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$, $I_C = 1.0\text{ Adc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)	f_{hfe}	10	-	kHz

*Indicates Within JEDEC Registration. (2N3055)

1. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\ \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

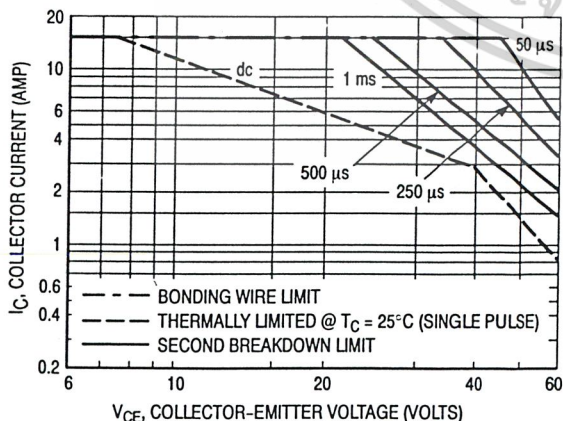


Figure 2. Active Region Safe Operating Area

There are two limitations on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate $I_C - V_{CE}$ limits of the transistor that must be observed for reliable operation; i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

The data of Figure 2 is based on $T_C = 25^\circ\text{C}$; $T_{J(pk)}$ is variable depending on power level. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% but must be derated for temperature according to Figure 1.

2N3055, MJ2955

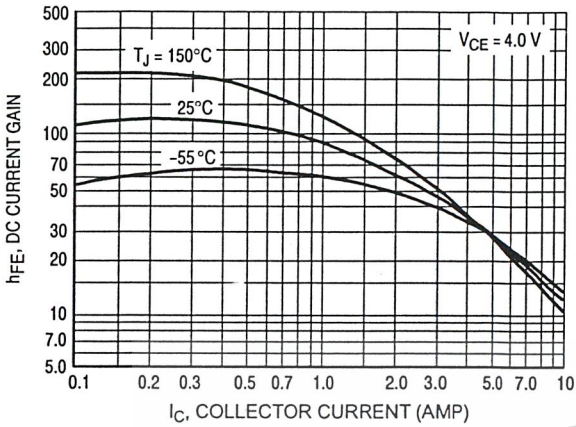


Figure 3. DC Current Gain, 2N3055 (NPN)

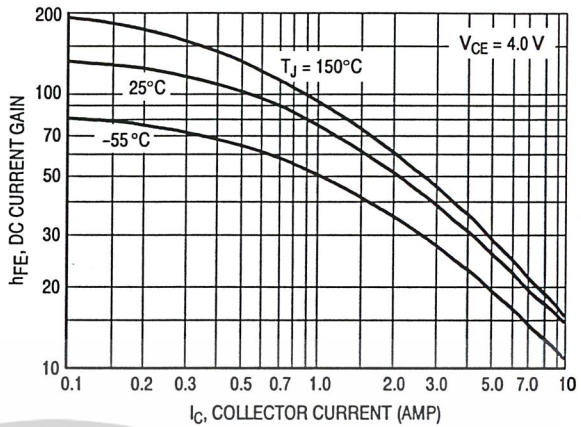


Figure 4. DC Current Gain, MJ2955 (PNP)

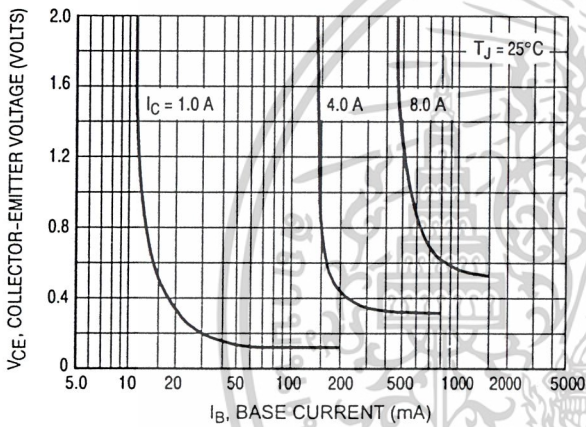


Figure 5. Collector Saturation Region, 2N3055 (NPN)

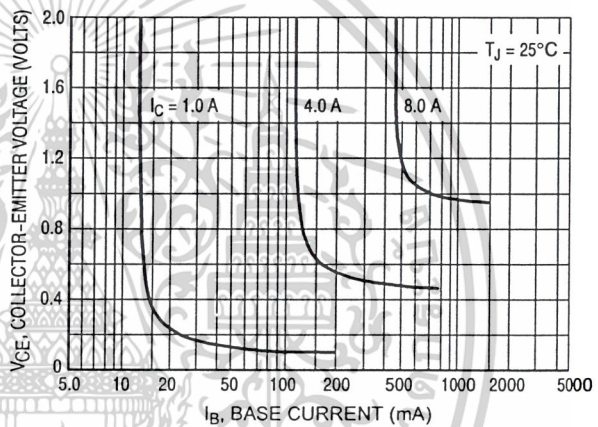


Figure 6. Collector Saturation Region, MJ2955 (PNP)

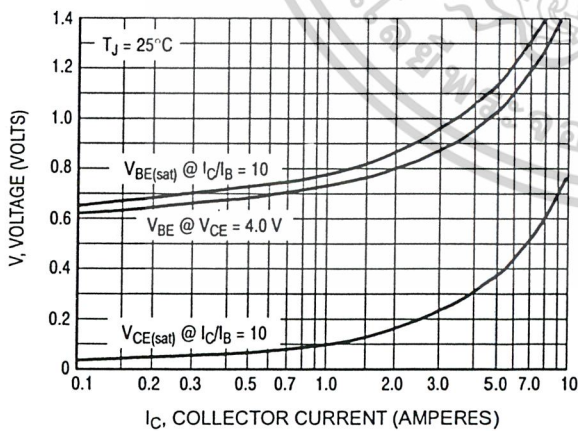


Figure 7. "On" Voltages, 2N3055 (NPN)

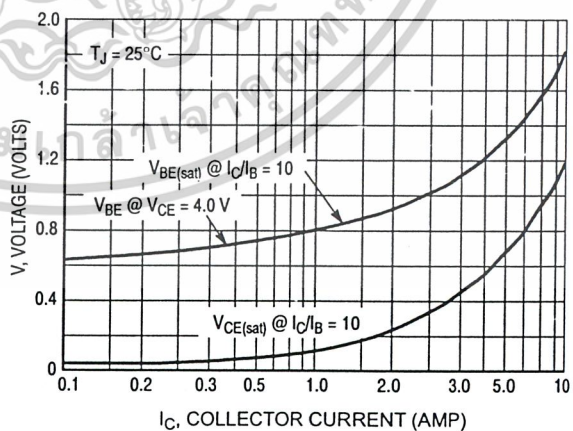
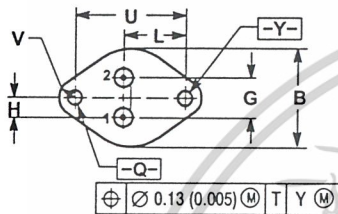
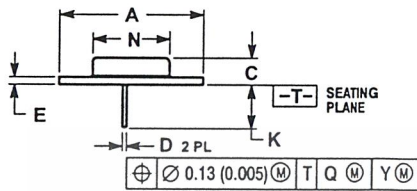


Figure 8. "On" Voltages, MJ2955 (PNP)

2N3055, MJ2955

PACKAGE DIMENSIONS


TO-204 (TO-3)
CASE 1-07
ISSUE Z



NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. ALL RULES AND NOTES ASSOCIATED WITH REFERENCED TO-204AA OUTLINE SHALL APPLY.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	1.550 REF	39.37 REF		
B	---	1.050	---	26.67
C	0.250	0.335	6.35	8.51
D	0.038	0.043	0.97	1.09
E	0.055	0.070	1.40	1.77
G	0.430 BSC		10.92 BSC	
H	0.215 BSC		5.46 BSC	
K	0.440	0.480	11.18	12.19
L	0.665 BSC		16.89 BSC	
N	---	0.830	---	21.08
Q	0.151	0.165	3.84	4.19
U	1.187 BSC		30.15 BSC	
V	0.131	0.188	3.33	4.77

ON Semiconductor and  are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

Literature Fulfillment:
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free USA/Canada

JAPAN: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center
2-9-1 Kamimeguro, Meguro-ku, Tokyo, Japan 153-0051
Phone: 81-3-5773-3850

ON Semiconductor Website: <http://onsemi.com>

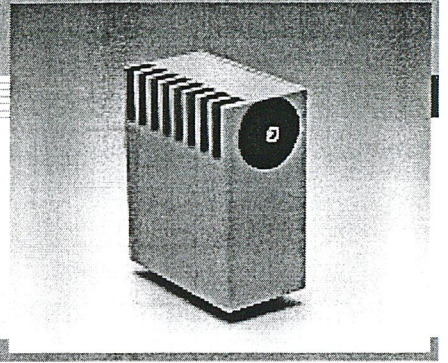
For additional information, please contact your local Sales Representative.

2N3055/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APD module C5658

Detects optical signals at 1 GHz, with high sensitivity



APD module C5658 is a highly sensitive photodetector consisting of a Si APD (avalanche photodiode), a bias power supply and a low-noise amplifier, all integrated into a compact case. The APD used has an effective active area of $\phi 0.5$ mm to allow efficient coupling to a light beam in applications such as spatial light transmission. The APD internally multiplies the photocurrent to produce an ample gain (set to 100 times for C5658) and also features high-speed response, achieving detection limits up to 1 GHz wideband and -48 dBm (16 nWr.m.s.) noise level in combination with the low-noise amplifier. C5658 also incorporates a thermosensor and a temperature-compensated bias power supply necessary for stable operation of the APD. Highly sensitive optical measurements can be made just by supplying +12 V to C5658.

Features

- High-speed response and high sensitivity
- Flat frequency characteristics
- Compact and lightweight
- Single power supply operation

Applications

- Laser radar
- Spatial light transmission
- Optical rangefinder

Absolute maximum ratings

Parameter	Condition	Value	Unit
Supply voltage		+13.5	V
Maximum incident light level	Continuous input	10	mW
Operating temperature		0 to +50	°C
Storage temperature		-30 to +80	°C

Electrical and optical characteristics (Ta=25 °C, Vcc=12 V, output terminated with 50 Ω)

Parameter	Condition	Typ.	Unit
Spectral response range		400 to 1000	nm
Active area		$\phi 0.5$	mm
Quantum efficiency	$\lambda=800$ nm	70	%
Cut-off frequency (-3 dB)	High band	1	GHz
	Low band	1	MHz
Detection sensitivity	$\lambda=800$ nm	2.5×10^5	V/W
Gain stability	25 °C \pm 10 °C	± 5.0	%
Noise level	Dark state	-48	dBm
Output impedance		50	Ω
VSWR *		1.5	-
Compression point at 1 dB		3	μ W

* VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

If internal matching of elements on a signal transmission line (matching between element input/output impedance and signal line impedance) is poor, signal reflections occur that generate standing waves on the signal line. The VSWR is the ratio of standing wave maximum amplitude (V Max.) to minimum amplitude (V Min.) and indicates how well the impedance is internally matched. When this internal matching is complete, no standing waves exist and the VSWR is 0 (zero).

Signal connector

Parameter	Standard
Signal output	SMA
Power supply connector	D-sub 9 pin

General specifications

Parameter	Condition	Value	Unit
Supply voltage		+12 \pm 0.1	V
Current consumption		100	mA
Dimensional outline	Excluding projecting parts	28 \times 50 \times 60	mm
Weight		120	g

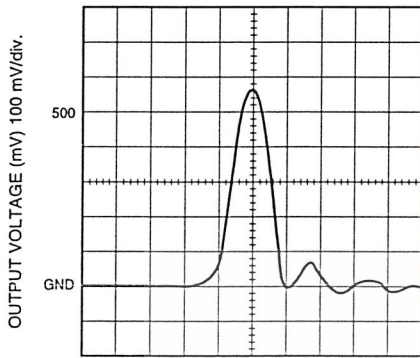
SOLID STATE DIVISION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในกรณีที่มีการสั่งซื้อเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

HAMAMATSU

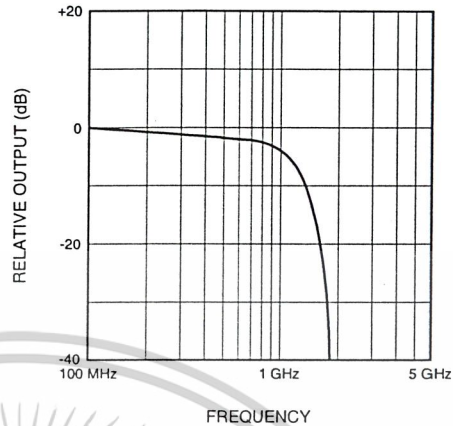
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Pulse response waveform



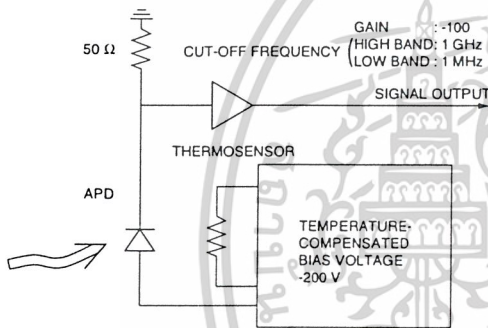
TIME 500 ps/div.

■ Frequency response



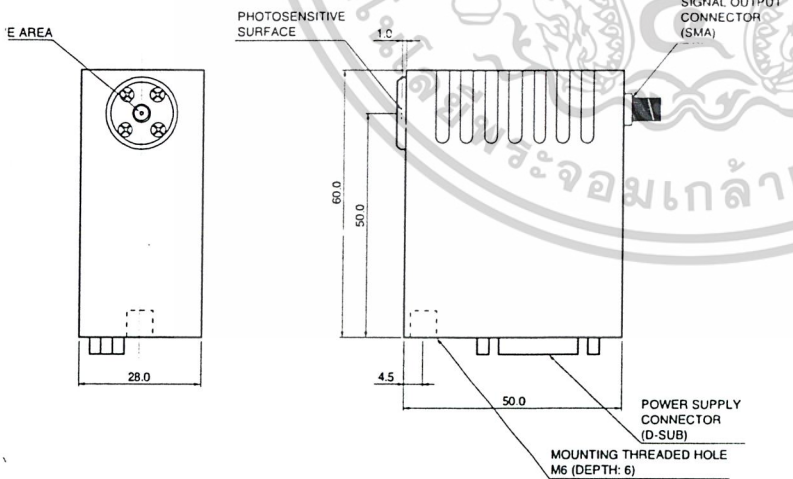
KACC80051EB

■ Block diagram



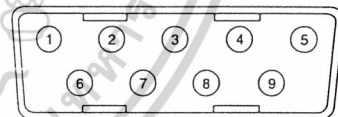
KACC80051EA

■ Dimensional outline (unit: mm)



KACCA0092EA

■ Pin connection



KACCC0134EA

Pin No.	Signal
1	+12 V
2	NC
3	GND
4	NC
5	NC
6	NC
7	NC
8	NC
9	NC

Mating connector (supplied):

DE-9S (made by JAE) or equivalent

HAMAMATSU

Information furnished by HAMAMATSU is believed to be reliable. However, no responsibility is assumed for possible inaccuracies or omissions. Specifications are subject to change without notice. No patent rights are granted to any of the circuits described herein. ©2001 Hamamatsu Photonics K.K.

HAMAMATSU PHOTONICS K.K., Solid State Division

1 Ichino-cho, Hamamatsu City, 435-8558 Japan, Telephone: (81) 053-434-3311, Fax: (81) 053-434-5184, <http://www.hamamatsu.com>

Hamamatsu Corporation: 360 Foothill Road, P.O.Box 6910, Bridgewater, N.J. 08807-0910, U.S.A., Telephone: (1) 908-231-0960, Fax: (1) 908-231-1218

Germany: Hamamatsu Photonics Deutschland GmbH: Arzbergerstr. 10, D-82211 Herrsching am Ammersee, Germany, Telephone: (49) 08152-3750, Fax: (49) 08152-2658

France: Hamamatsu Photonics France S.A.R.L.: 8, Rue du Saule Trapu, Parc du Moulin de Massy, 91882 Massy Cedex, France, Telephone: 33-(1) 69 53 71 00, Fax: 33-(1) 69 53 71 10

United Kingdom: Hamamatsu Photonics UK Limited: 2 Howard Court, 10 Tewin Road, Welwyn Garden City, Hertfordshire AL7 1BW, United Kingdom, Telephone: (44) 1707-294888, Fax: (44) 1707-325777

Sweden: Hamamatsu Photonics Norden AB: Smidesvägen 12, SE-171 41 Solna, Sweden, Telephone: (46) 8-509-031-00, Fax: (46) 8-509-031-01

Italy: Hamamatsu Photonics Italia S.R.L.: Strada della Moia, 1/E, 20020 Arese, (Milano), Italy, Telephone: (39) 02-935-81-733, Fax: (39) 02-935-81-741

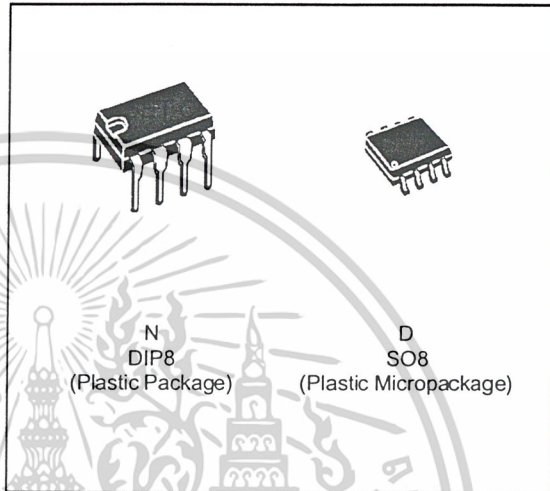
Cat. No. KACC1023E01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOW NOISE
DUAL J-FET OPERATIONAL AMPLIFIERS

- LOW POWER CONSUMPTION
- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- LOW NOISE $e_n = 15nV/\sqrt{Hz}$ (typ)
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- LOW HARMONIC DISTORTION : 0.01% (typ)
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : $16V/\mu s$ (typ)



DESCRIPTION

The TL072, TL072A and TL072B are high speed J-FET input dual operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

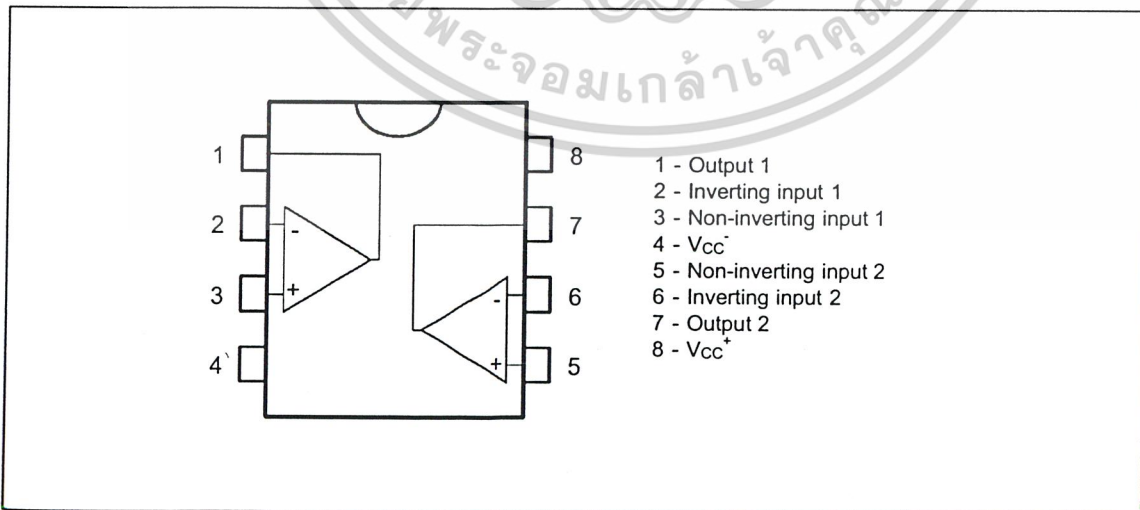
The devices feature high slew rates, low input bias and offset current, and low offset voltage temperature coefficient.

ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
TL072M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•
TL072I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•
TL072C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•
Example : TL072CN			

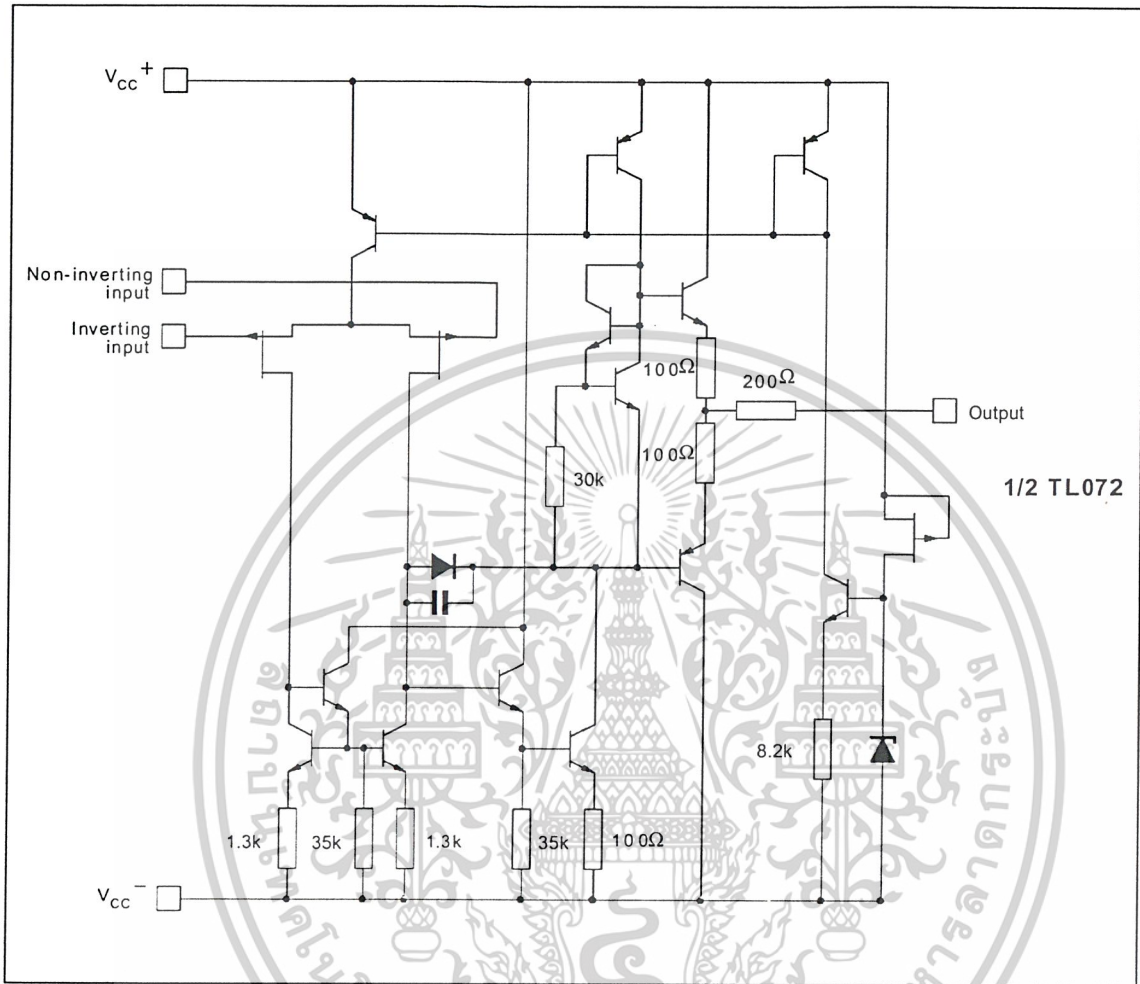
072-01.TBL

PIN CONNECTIONS (top view)



TL072 - TL072A - TL072B

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit	
V _{cc}	Supply Voltage - (note 1)	±18	V	
V _i	Input Voltage - (note 3)	±15	V	
V _{id}	Differential Input Voltage - (note 2)	±30	V	
P _{tot}	Power Dissipation	680	mW	
	Output Short-circuit Duration - (note 4)	Infinite		
T _{oper}	Operating Free Air Temperature Range	TL072C,AC,BC TL072I,AI,BI TL072M,AM,BM	0 to 70 -40 to 105 -55 to 125	°C
T _{stg}	Storage Temperature Range		-65 to 150	°C

- Notes:
1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{cc}⁻ and V_{cc}⁺.
 2. Differential voltages are at the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
 3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
 4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and /or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V_{CC} = ±15V, T_{amb} = 25°C (unless otherwise specified)

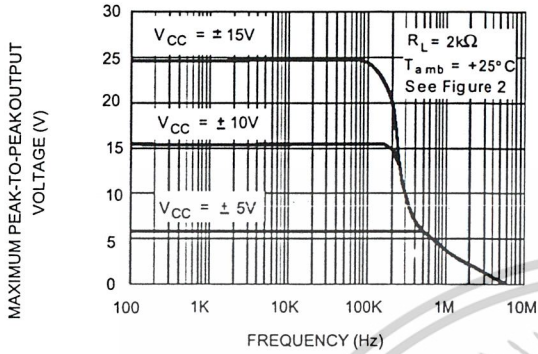
Symbol	Parameter	TL072I,M,AC,AI, AM,BC,BI,BM			TL072C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V _{io}	Input Offset Voltage (R _s = 50Ω) T _{amb} = 25°C		3	6		3	10	mV
	TL072BC,BI,BM T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}		1	3 7 5			13	
DV _{io}	Input Offset Voltage Drift		10			10		μV/°C
I _{io}	Input Offset Current * T _{amb} = 25°C		5	100		5	100	pA nA
	T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}			4		10		
I _{ib}	Input Bias Current * T _{amb} = 25°C		20	200		20	200	pA nA
	T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}			20		20		
A _{vd}	Large Signal Voltage Gain (R _L = 2kΩ, V _O = ±10V) T _{amb} = 25°C	50	200		25	200		V/mV
	T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}	25			15			
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio (R _S = 50Ω) T _{amb} = 25°C	80	86		70	86		dB
	T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}	80			70			
I _{cc}	Supply Current, per Amp, no Load T _{amb} = 25°C		1.4	2.5		1.4	2.5	mA
	T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}			2.5		2.5		
V _{icm}	Input Common Mode Voltage Range	±11	+15 -12		±11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio (R _S = 50Ω) T _{amb} = 25°C	80	86		70	86		dB
	T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}	80			70			
I _{os}	Output Short-circuit Current T _{amb} = 25°C	10	40	60	10	40	60	mA
	T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}	10		60	10		60	
±V _{OPP}	Output Voltage Swing T _{amb} = 25°C							V
	R _L = 2kΩ	10	12		10	12		
	R _L = 10kΩ	12	13.5		12	13.5		
	T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}	10			10			
SR	Slew Rate (V _{in} = 10V, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, unity gain)	8	16		8	16		V/μs
t _r	Rise Time (V _{in} = 20mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, unity gain)		0.1			0.1		μs
K _{ov}	Overshoot (V _{in} = 20mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, unity gain)		10			10		%
GBP	Gain Bandwidth Product (f = 100kHz, T _{amb} = 25°C, V _{in} = 10mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF)	2.5	4		2.5	4		MHz
R _i	Input Resistance		10 ¹²			10 ¹²		Ω
THD	Total Harmonic Distortion (f = 1kHz, A _V = 20dB, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, V _O = 2V _{PP})		0.01			0.01		%
e _n	Equivalent Input Noise Voltage (f = 1kHz, R _S = 100Ω)		15			15		nV √Hz
∅ _m	Phase Margin		45			45		Degrees
V _{O1} /V _{O2}	Channel Separation (A _V = 100)		120			120		dB

* The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.

072-03.TBL

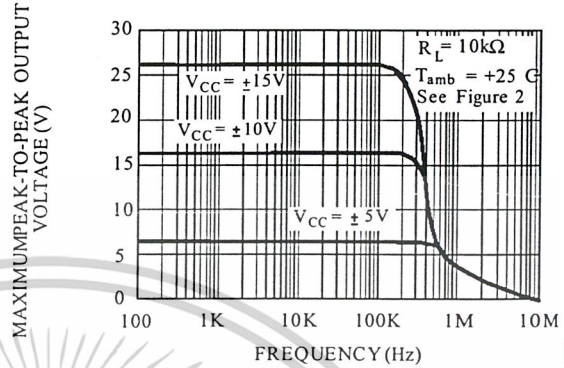
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



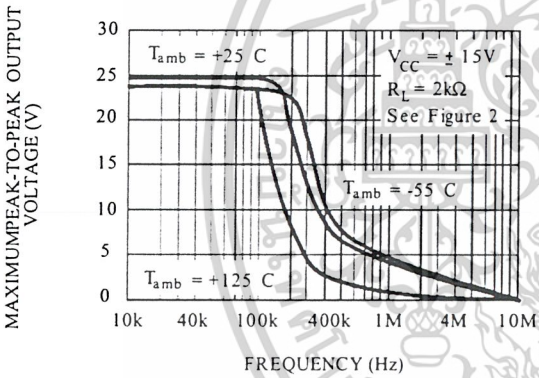
072-04.EPS

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



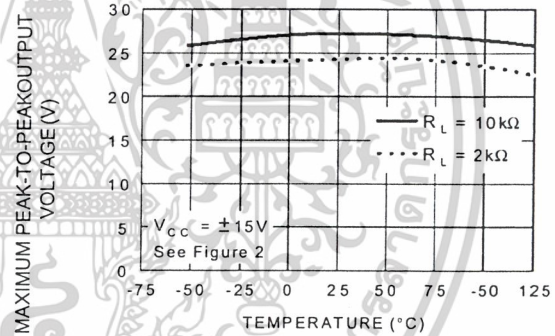
072-05.EPS

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



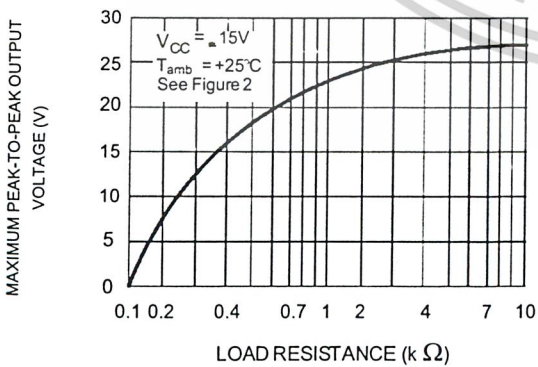
072-06.EPS

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREE AIR TEMP.



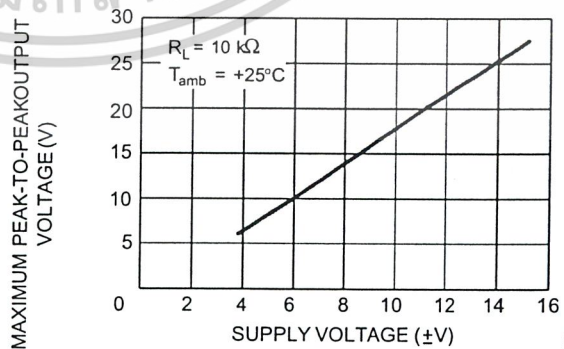
072-07.EPS

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS LOAD RESISTANCE



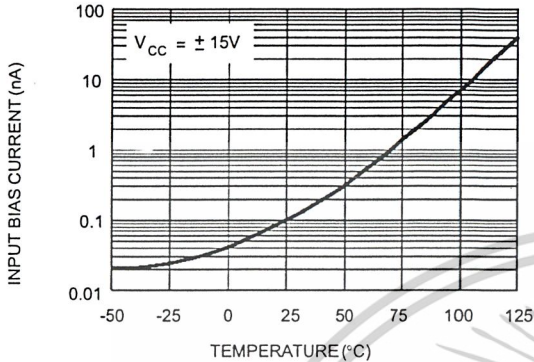
072-08.EPS

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS SUPPLY VOLTAGE



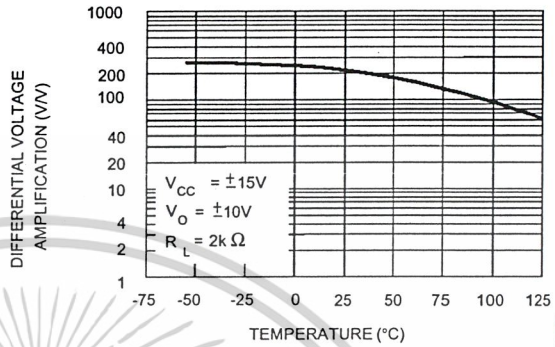
072-09.EPS

INPUT BIAS CURRENT VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



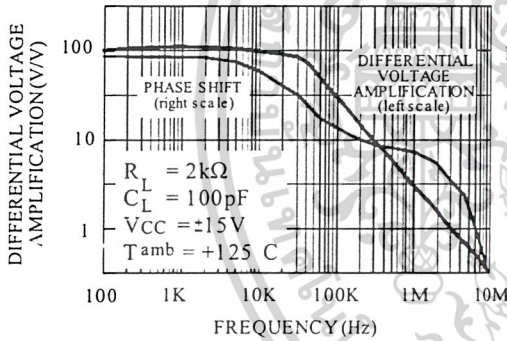
072-10.EPS

LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



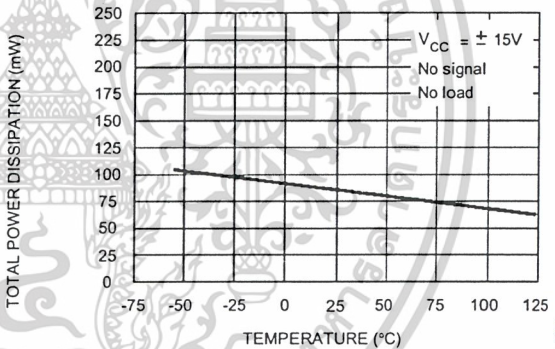
072-11.EPS

LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION AND PHASE SHIFT VERSUS FREQUENCY



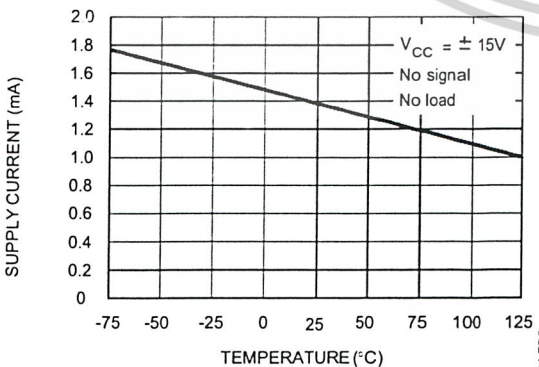
072-12.EPS

TOTAL POWER DISSIPATION VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



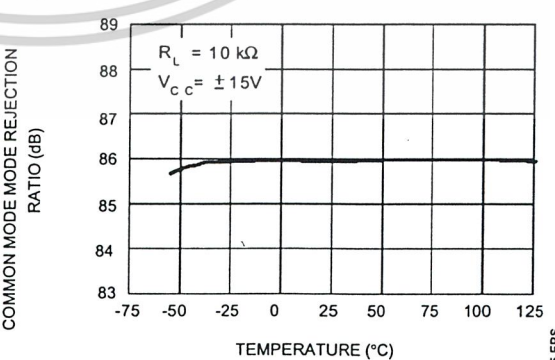
072-13.EPS

SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



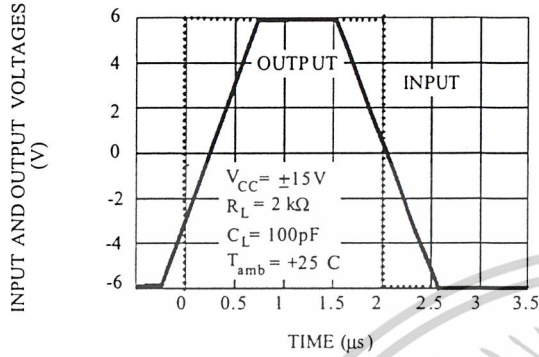
072-14.EPS

COMMON MODE REJECTION RATIO VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



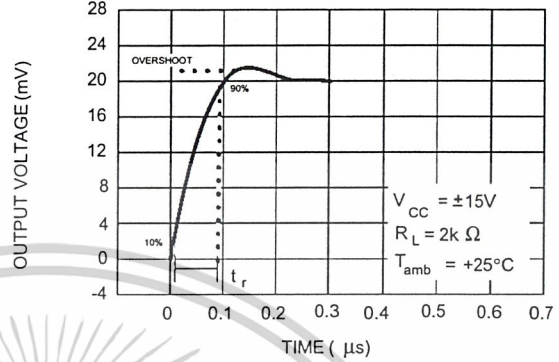
072-15.EPS

VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE



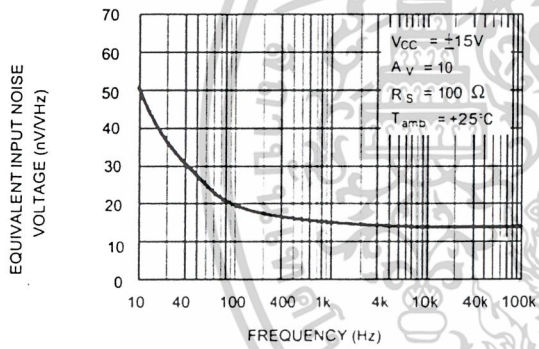
072-16.EPS

OUTPUT VOLTAGE VERSUS ELAPSED TIME



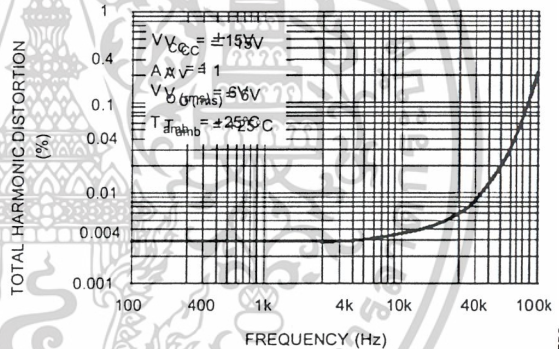
072-17.EPS

EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



072-18.EPS

TOTAL HARMONIC DISTORTION VERSUS FREQUENCY



072-19.EPS

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

Figure 1 : Voltage Follower

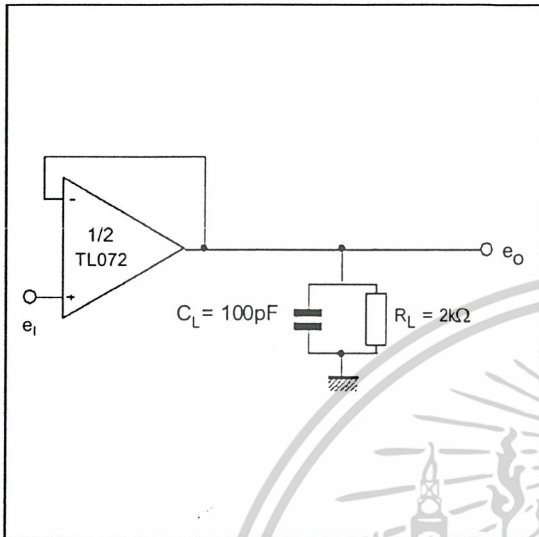
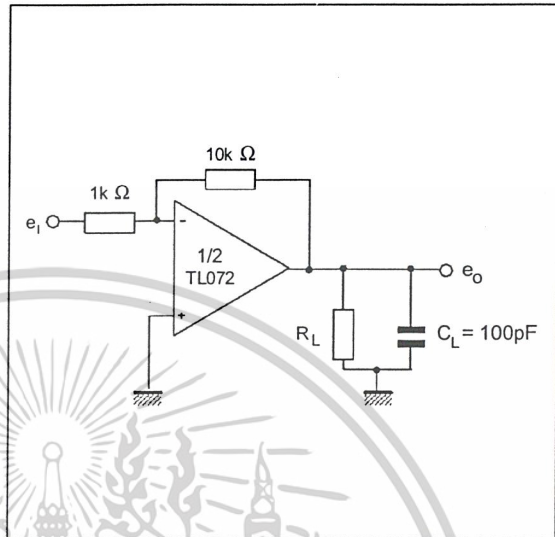
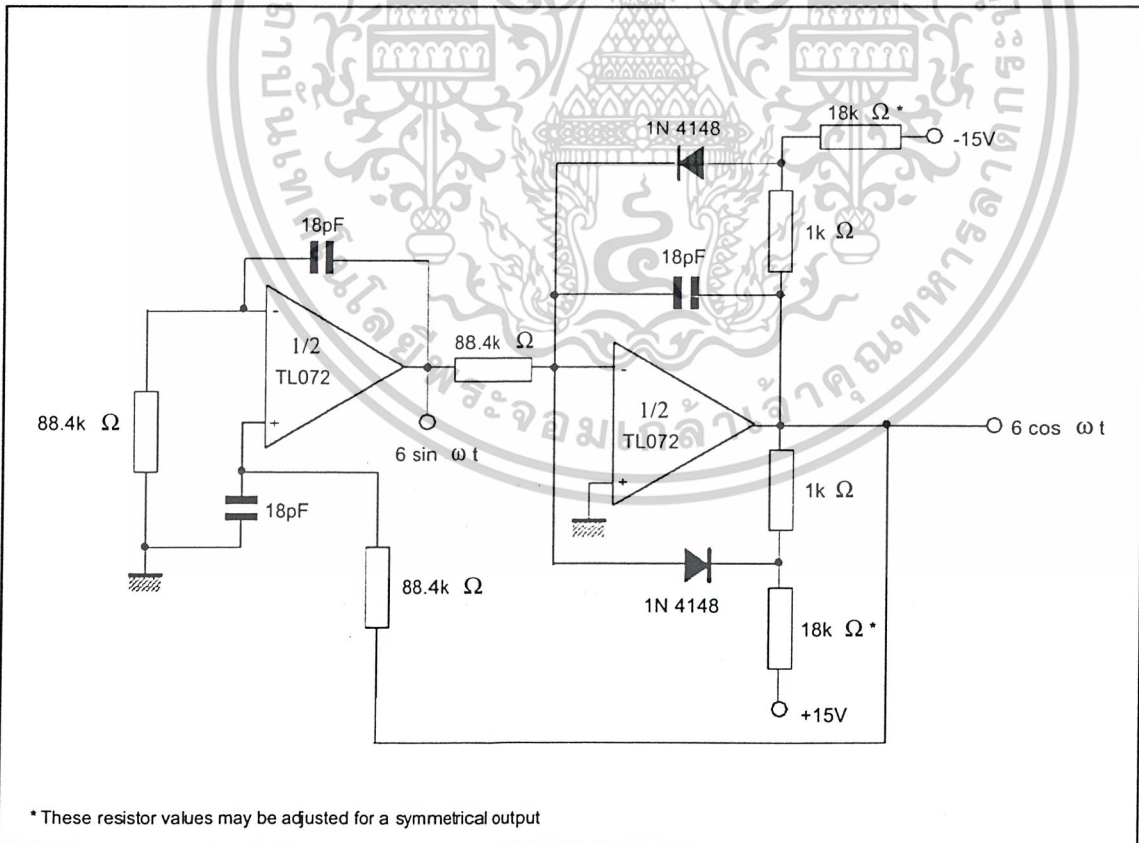


Figure 2 : Gain-of-10 Inverting Amplifier



TYPICAL APPLICATION

100KHz QUADRUPLE OSCILLATOR

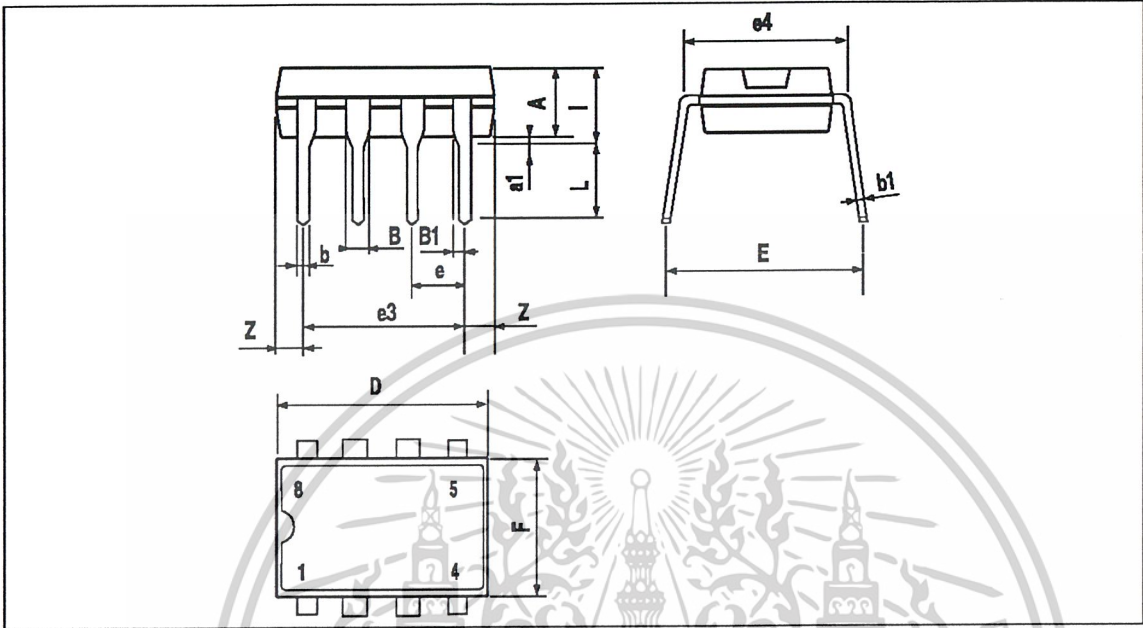


* These resistor values may be adjusted for a symmetrical output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL072 - TL072A - TL072B

PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC DIP

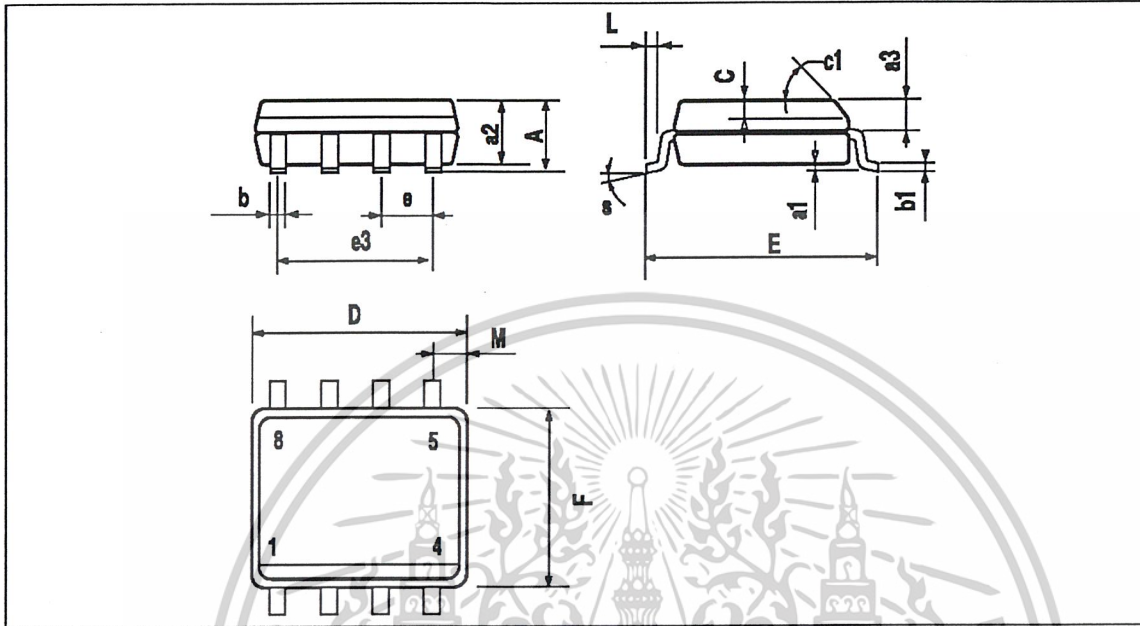


PM-DIP8.EPS

Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
a1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54			0.100	
e3		7.62			0.300	
e4		7.62			0.300	
F			6.6			0.260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060

DIP8.TBL

PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



PM-S08.EPS

Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.010
a2			1.65			0.065
a3	0.65		0.85	0.026		0.033
b	0.35		0.48	0.014		0.019
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C	0.25		0.5	0.010		0.020
c1			45° (typ.)			
D	4.8		5.0	0.189		0.197
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		3.81			0.150	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.6			0.024
S			8° (max.)			

S08.TBL

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, SGS-THOMSON Microelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No licence is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of SGS-THOMSON Microelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. SGS-THOMSON Microelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of SGS-THOMSON Microelectronics.

© 1995 SGS-THOMSON Microelectronics - All Rights Reserved

SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - France - Germany - Hong Kong - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Morocco - The Netherlands
 Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

ORDER CODE :

2N3055, MJ2955

Preferred Device

Complementary Silicon Power Transistors

... designed for general-purpose switching and amplifier applications.

- DC Current Gain - $h_{FE} = 20-70 @ I_C = 4 \text{ A dc}$
- Collector-Emitter Saturation Voltage - $V_{CE(sat)} = 1.1 \text{ Vdc (Max) @ } I_C = 4 \text{ A dc}$
- Excellent Safe Operating Area



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

15 A POWER TRANSISTORS COMPLEMENTARY SILICON

60 V
115 W

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	Vdc
Collector-Emitter Voltage	V_{CER}	70	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB}	100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	7	Vdc
Collector Current - Continuous	I_C	15	A dc
Base Current	I_B	7	A dc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	115 0.657	Watts W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +200	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.52	$^\circ\text{C/W}$

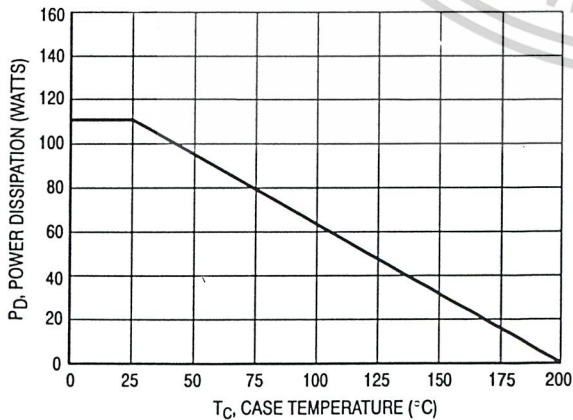
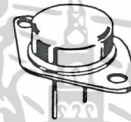


Figure 1. Power Derating



TO-204AA (TO-3)
CASE 1-07

MARKING DIAGRAM



xxxx55 = Device Code
xxxx = 2N3055 or MJ2955
A = Assembly Location
YY = Year
WW = Work Week
x = 1, 2, or 3

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
2N3055	TO-204AA	100 Units / Tray
MJ2955	TO-204AA	100 Units / Tray

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

2N3055, MJ2955

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

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

*OFF CHARACTERISTICS

Collector-Emitter Sustaining Voltage (Note 1) ($I_C = 200 \text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	$V_{CE(sus)}$	60	-	Vdc
Collector-Emitter Sustaining Voltage (Note 1) ($I_C = 200 \text{ mAdc}$, $R_{BE} = 100 \Omega$)	$V_{CER(sus)}$	70	-	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 30 \text{ Vdc}$, $I_B = 0$)	I_{CEO}	-	0.7	mAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 100 \text{ Vdc}$, $V_{BE(off)} = 1.5 \text{ Vdc}$) ($V_{CE} = 100 \text{ Vdc}$, $V_{BE(off)} = 1.5 \text{ Vdc}$, $T_C = 150^\circ\text{C}$)	I_{CEX}	-	1.0 5.0	mAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 7.0 \text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}	-	5.0	mAdc

*ON CHARACTERISTICS (Note 1)

DC Current Gain ($I_C = 4.0 \text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0 \text{ Vdc}$) ($I_C = 10 \text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0 \text{ Vdc}$)	h_{FE}	20 5.0	70 -	-
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 4.0 \text{ Adc}$, $I_B = 400 \text{ mAdc}$) ($I_C = 10 \text{ Adc}$, $I_B = 3.3 \text{ Adc}$)	$V_{CE(sat)}$	-	1.1 3.0	Vdc
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 4.0 \text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0 \text{ Vdc}$)	$V_{BE(on)}$	-	1.5	Vdc

SECOND BREAKDOWN

Second Breakdown Collector Current with Base Forward Biased ($V_{CE} = 40 \text{ Vdc}$, $t = 1.0 \text{ s}$, Nonrepetitive)	$I_{s/b}$	2.87	-	Adc
---	-----------	------	---	-----

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Current Gain - Bandwidth Product ($I_C = 0.5 \text{ Adc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ MHz}$)	f_T	2.5	-	MHz
*Small-Signal Current Gain ($I_C = 1.0 \text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	h_{fe}	15	120	-
*Small-Signal Current Gain Cutoff Frequency ($V_{CE} = 4.0 \text{ Vdc}$, $I_C = 1.0 \text{ Adc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	f_{hfe}	10	-	kHz

*Indicates Within JEDEC Registration. (2N3055)

1. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300 \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

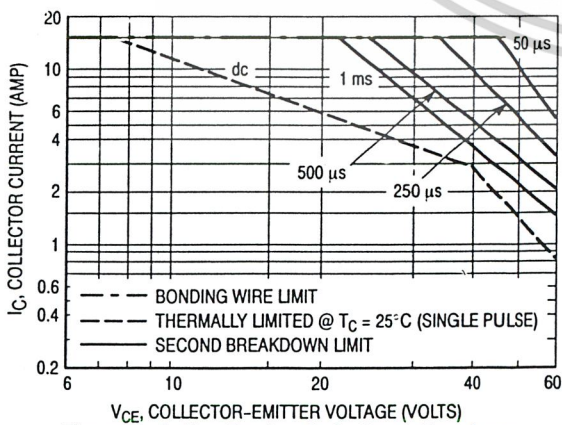


Figure 2. Active Region Safe Operating Area

There are two limitations on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate $I_C - V_{CE}$ limits of the transistor that must be observed for reliable operation; i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

The data of Figure 2 is based on $T_C = 25^\circ\text{C}$; $T_{J(pk)}$ is variable depending on power level. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% but must be derated for temperature according to Figure 1.

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N3055, MJ2955

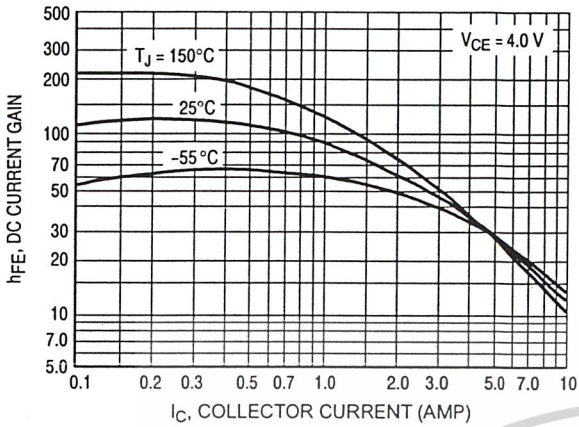


Figure 3. DC Current Gain, 2N3055 (NPN)

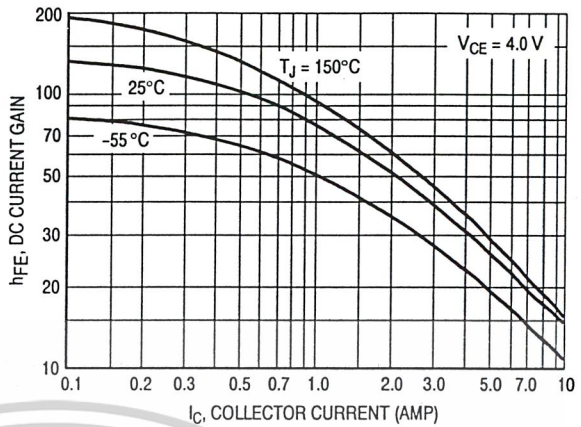


Figure 4. DC Current Gain, MJ2955 (PNP)

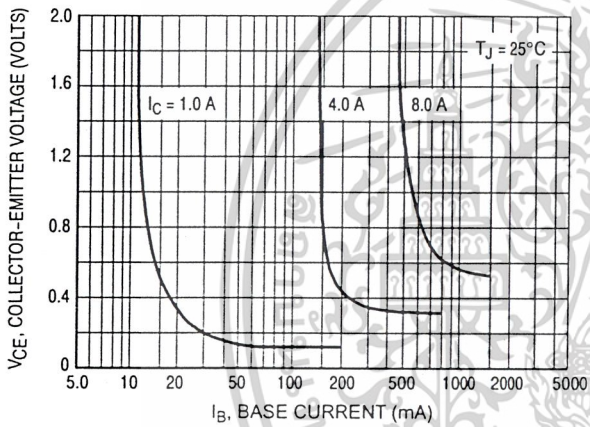


Figure 5. Collector Saturation Region, 2N3055 (NPN)

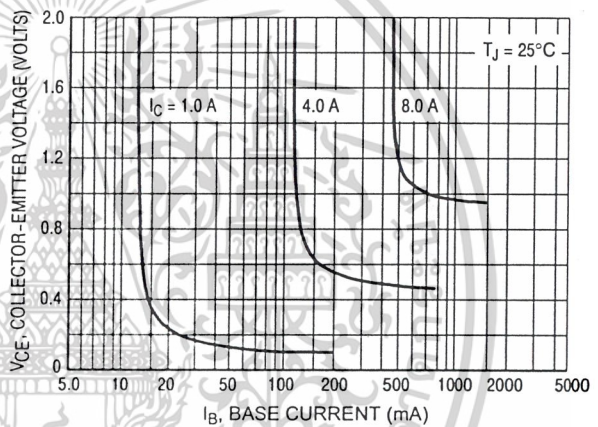


Figure 6. Collector Saturation Region, MJ2955 (PNP)

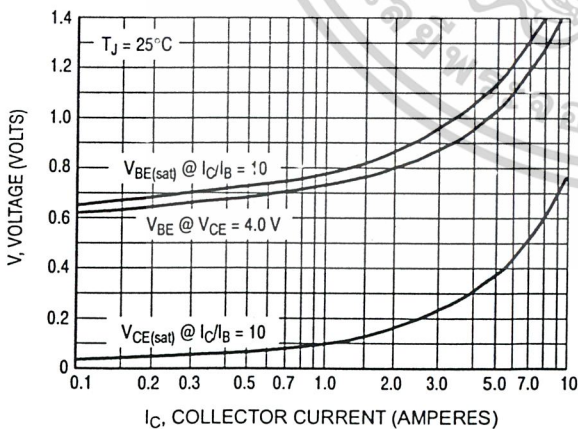


Figure 7. "On" Voltages, 2N3055 (NPN)

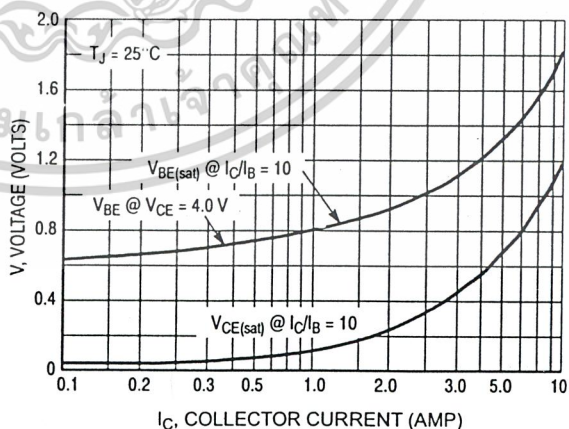
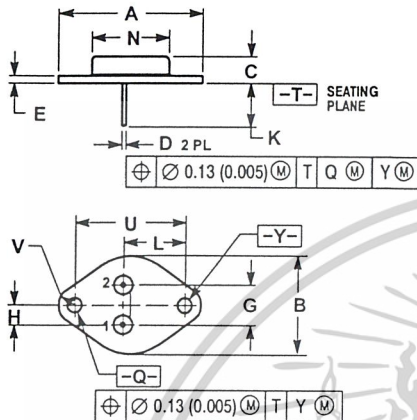


Figure 8. "On" Voltages, MJ2955 (PNP)

2N3055, MJ2955

PACKAGE DIMENSIONS

TO-204 (TO-3)
CASE 1-07
ISSUE Z



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. ALL RULES AND NOTES ASSOCIATED WITH REFERENCED TO-204AA OUTLINE SHALL APPLY.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	1.550 REF		39.37 REF	
B	---	1.050	---	26.67
C	0.250	0.335	6.35	8.51
D	0.038	0.043	0.97	1.09
E	0.055	0.070	1.40	1.77
G	0.430 BSC		10.92 BSC	
H	0.215 BSC		5.46 BSC	
K	0.440	0.480	11.18	12.19
L	0.665 BSC		16.89 BSC	
N	---	0.830	---	21.08
Q	0.151	0.165	3.84	4.19
U	1.187 BSC		30.15 BSC	
V	0.131	0.188	3.33	4.77

ON Semiconductor and are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

Literature Fulfillment:
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

JAPAN: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center
2-9-1 Kamimeguro, Meguro-ku, Tokyo, Japan 153-0051
Phone: 81-3-5773-3850

ON Semiconductor Website: <http://onsemi.com>

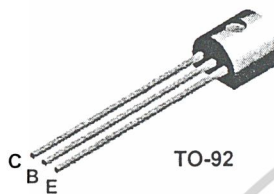
For additional information, please contact your local Sales Representative.

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free USA/Canada

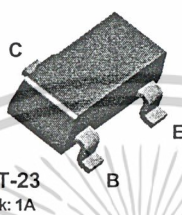
2N3055/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

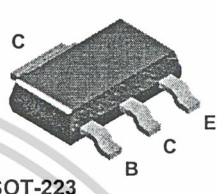
2N3904



MMBT3904



PZT3904



NPN General Purpose Amplifier

This device is designed as a general purpose amplifier and switch. The useful dynamic range extends to 100 mA as a switch and to 100 MHz as an amplifier.

Absolute Maximum Ratings* $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage	40	V
V_{CB0}	Collector-Base Voltage	60	V
V_{EB0}	Emitter-Base Voltage	6.0	V
I_C	Collector Current - Continuous	200	mA
T_J, T_{stg}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

NOTES:

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

Thermal Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max			Units
		2N3904	*MMBT3904	**PZT3904	
P_D	Total Device Dissipation	625	350	1,000	mW
	Derate above 25 $^\circ\text{C}$	5.0	2.8	8.0	mW/ $^\circ\text{C}$
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3			$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	125	$^\circ\text{C}/\text{W}$

* Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.06"

** Device mounted on FR-4 PCB 36 mm X 18 mm X 1.5 mm; mounting pad for the collector lead min. 6 cm².

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN General Purpose Amplifier
(continued)

Electrical Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Max	Units
OFF CHARACTERISTICS					
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1.0\text{ mA}, I_B = 0$	40		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10\ \mu\text{A}, I_E = 0$	60		V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10\ \mu\text{A}, I_C = 0$	6.0		V
I_{BL}	Base Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{ V}, V_{EB} = 3\text{ V}$		50	nA
I_{CEX}	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{ V}, V_{EB} = 3\text{ V}$		50	nA

ON CHARACTERISTICS*

h_{FE}	DC Current Gain	$I_C = 0.1\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$	40		
		$I_C = 1.0\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$	70		
		$I_C = 10\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$	100	300	
		$I_C = 50\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$	60		
		$I_C = 100\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$	30		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 1.0\text{ mA}$		0.2	V
		$I_C = 50\text{ mA}, I_B = 5.0\text{ mA}$		0.3	V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 1.0\text{ mA}$	0.65	0.85	V
		$I_C = 50\text{ mA}, I_B = 5.0\text{ mA}$		0.95	V

SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS

f_T	Current Gain - Bandwidth Product	$I_C = 10\text{ mA}, V_{CE} = 20\text{ V}, f = 100\text{ MHz}$	300		MHz
C_{obo}	Output Capacitance	$V_{CB} = 5.0\text{ V}, I_E = 0, f = 1.0\text{ MHz}$		4.0	pF
C_{ibo}	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5\text{ V}, I_C = 0, f = 1.0\text{ MHz}$		8.0	pF
NF	Noise Figure	$I_C = 100\ \mu\text{A}, V_{CE} = 5.0\text{ V}, R_S = 1.0\text{ k}\Omega, f = 10\text{ Hz to }15.7\text{ kHz}$		5.0	dB

SWITCHING CHARACTERISTICS

t_d	Delay Time	$V_{CC} = 3.0\text{ V}, V_{BE} = 0.5\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}, I_{B1} = 1.0\text{ mA}$		35	ns
t_r	Rise Time	$V_{CC} = 3.0\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}$		200	ns
t_s	Storage Time	$I_{B1} = I_{B2} = 1.0\text{ mA}$		50	ns
t_f	Fall Time				

*Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\ \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$

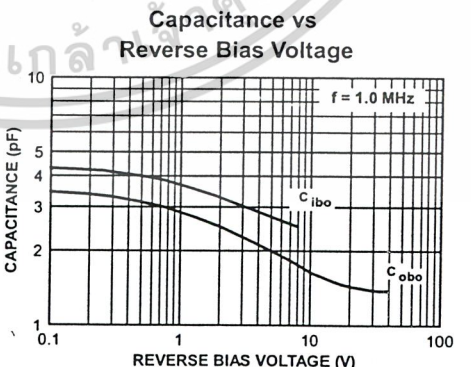
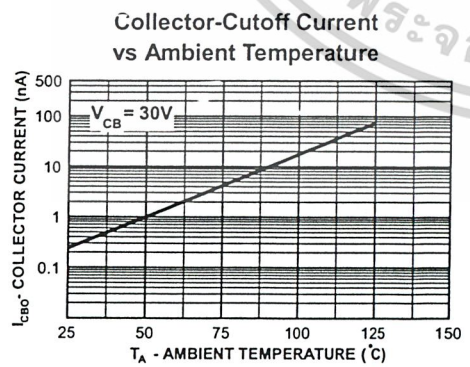
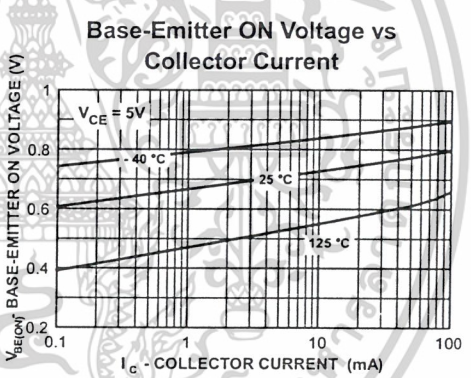
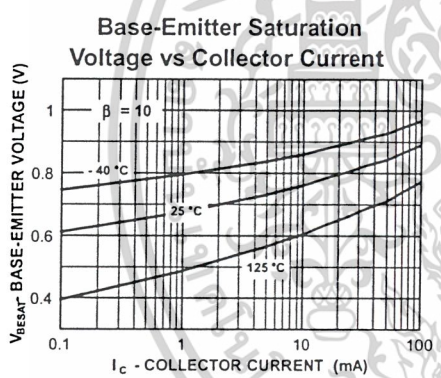
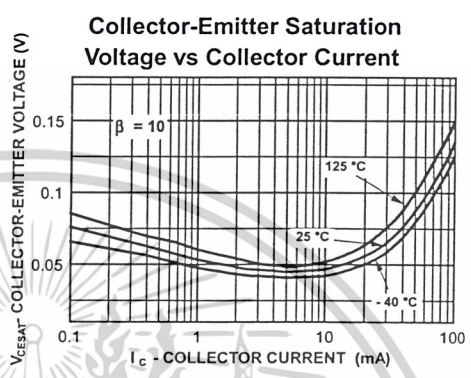
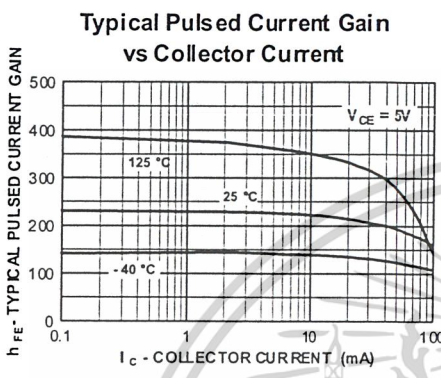
Spice Model

NPN (Is=6.734f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=74.03 Bf=416.4 Ne=1.259 Ise=6.734 Ikf=66.78m Xtb=1.5 Br=.7371 Nc=2 Isc=0 Ikr=0 Rc=1 Cjc=3.638p Mjc=.3085 Vjc=.75 Fc=.5 Cje=4.493p Mje=.2593 Vje=.75 Tr=239.5n Tf=301.2p Itf=.4 Vtf=4 Xtf=2 Rb=10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN General Purpose Amplifier
(continued)

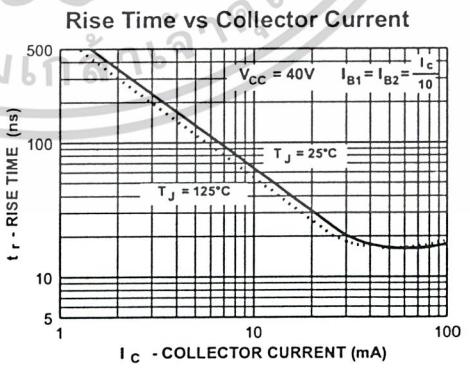
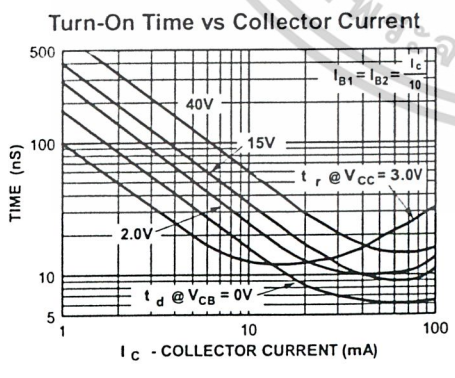
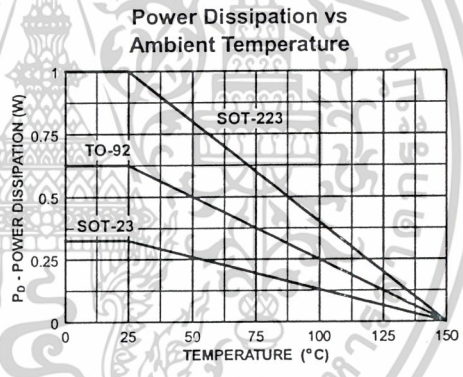
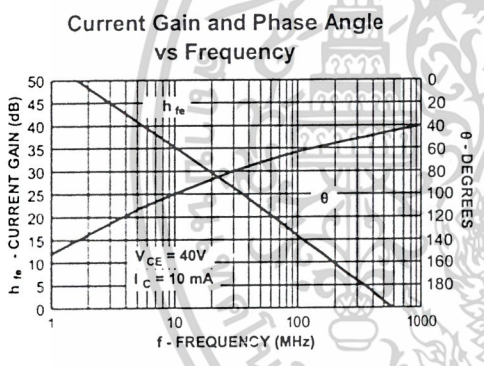
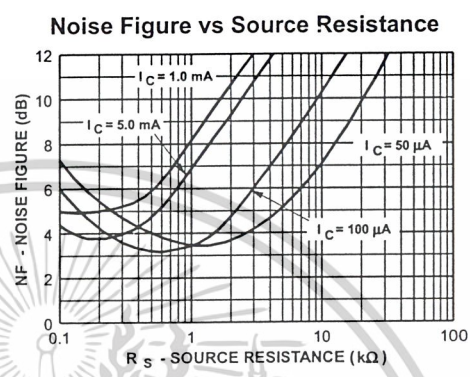
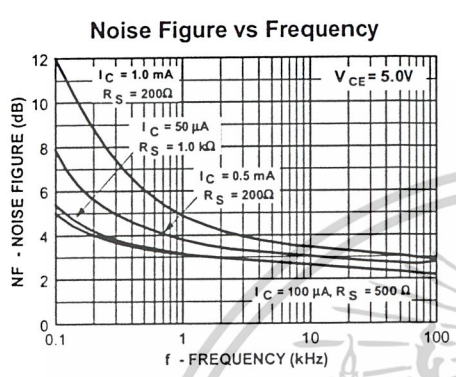
Typical Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN General Purpose Amplifier
(continued)

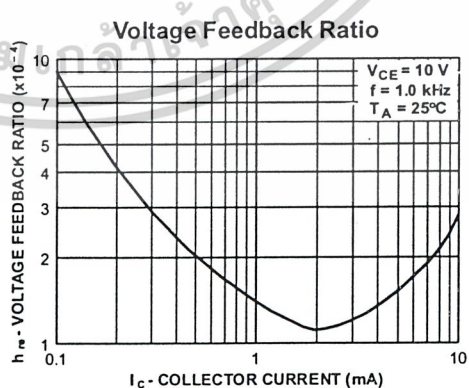
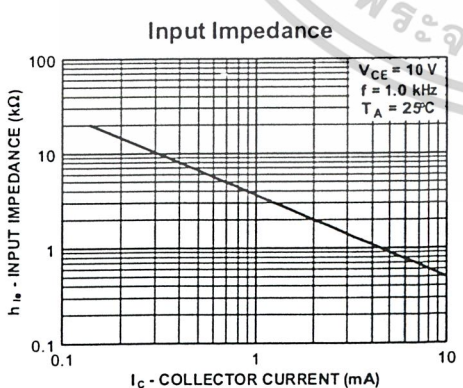
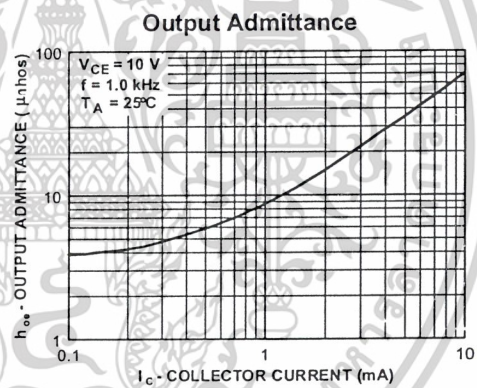
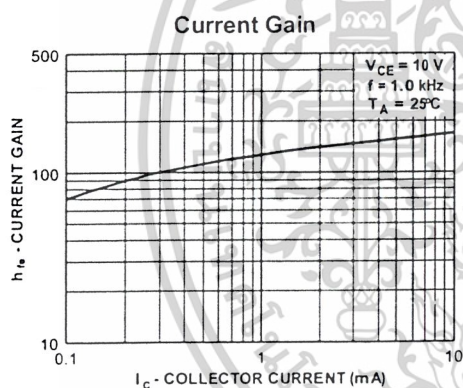
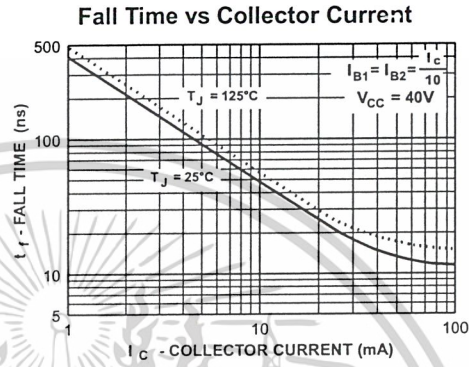
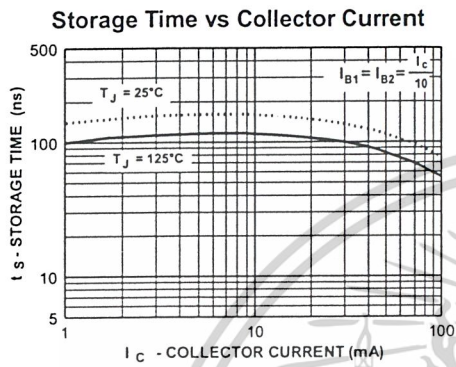
Typical Characteristics (continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN General Purpose Amplifier
(continued)

Typical Characteristics (continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN General Purpose Amplifier
(continued)

2N3904 / MMBT3904 / PZT3904

Test Circuits

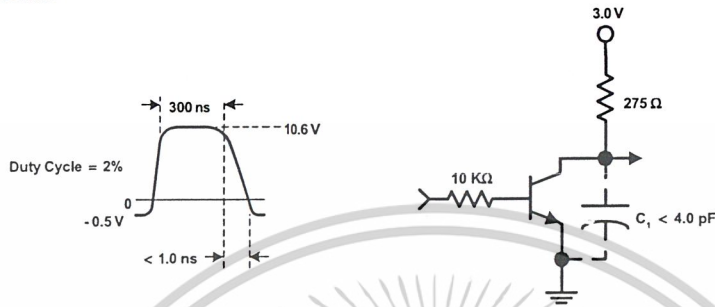


FIGURE 1: Delay and Rise Time Equivalent Test Circuit

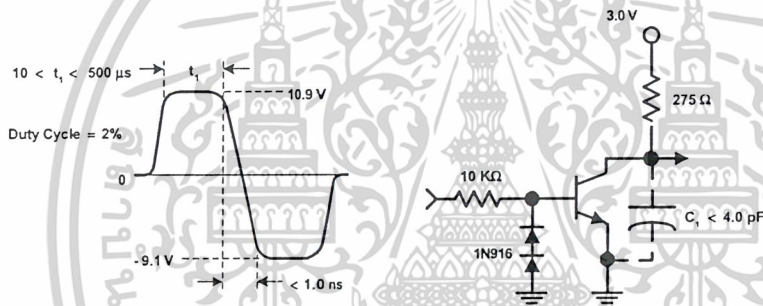


FIGURE 2: Storage and Fall Time Equivalent Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE ^x ™	FAST ^r ™	PowerTrench®	SyncFET™
Bottomless™	GlobalOptoisolator™	QFET™	TinyLogic™
CoolFET™	GTO™	QS™	UHC™
CROSSVOLT™	HiSeC™	QT Optoelectronics™	VCX™
DOME™	ISOPLANAR™	Quiet Series™	
E ² CMOS™	MICROWIRE™	SILENT SWITCHER®	
EnSigna™	OPTOLOGIC™	SMART START™	
FACT™	OPTOPLANAR™	SuperSOT™-3	
FACT Quiet Series™	PACMAN™	SuperSOT™-6	
FAST ^ε	POP™	SuperSOT™-8	

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

Rev. G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้