

เครื่องวัดอัตราการไหลของของไหล

LASER DOPPLER IN FLUID FLOW MEASUREMENT

โดย

นายกอบชัย

กระจ่าง

นายอนุศิษฐ์

ศรีแก้ว

วัน เดือน ปี.....-1 คค 2541

เลขทะเบียน.....0.38400

เลขเรียกหนังสือ.....T.99420 ๑๗๗๑

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

ปริญญาโทปีการศึกษา 2539

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดอัตราการไหลของของไหล

(LASER DOPPLER IN FLUID FLOW MEASUREMENT)



ผู้จัดทำ

1. นายกอบชัย กระจ่าง 36014016

2. นายอนุศิษย์ ศรีแก้ว 36014543



(ดร. สุริภณ สมควรพาณิชย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดอัตราการไหลของของไหล

LASER DOPPLER IN FLUID FLOW MEASUREMENT

นาย กอบชัย กระจ่าง

นาย อนุศิษฐ์ ศรีแก้ว

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. สุริภณ สมควรพาณิชย์

ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีจุดประสงค์ในการนำเลเซอร์มาใช้ประยุกต์ในงานวัดความเร็วของของไหล โดยใช้คุณสมบัติของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Dopplers Effect) ของแสงเลเซอร์ โดยใช้เลเซอร์แบบก๊าซ ชนิดฮีเลียม นีออน (HeNe - Helium Neon Gas Laser) ซึ่งให้ลำแสงสีแดง โดยจะใช้การตรวจจับความถี่ของแสงเลเซอร์ที่เปลี่ยนไป หลังจากเกิดการกระเจิงเมื่อไปตกกระทบกับผิวของของไหล แล้วนำมาเปรียบเทียบกับความถี่ของแสงเลเซอร์อ้างอิง จากนั้นนำไปผ่านการกระบวนการประมวลผล และแสดงผลต่อไป สาเหตุที่ใช้เลเซอร์ในโครงการนี้ เนื่องจากเลเซอร์มีคุณสมบัติที่ต่างจากแสงโดยทั่วไปคือ สามารถเล็งลำแสงให้ตกกระทบที่จุด ๆ หนึ่งได้อย่างแม่นยำและไม่เกิดการบานปลาย นอกจากนี้ยังให้แสงที่มีความถี่เดียว และมีช่วงความถี่แคบกว่าแสงชนิดอื่น จึงสามารถตรวจจับของไหลที่มีอัตราการไหลต่ำได้

LASER DOPPLER IN FLUID FLOW MEASUREMENT

Kobchai Krachang

Anusit Srikaew

Adviser :

Dr. Suripon Somkuanpanit

1996

ABSTRACT

This project has the object to apply laser to measure the fluid flow rate by applying "Doppler Effect Theory". We use Helium Neon gas laser (HeNe) which has red beam. For application, we use laser to detect the frequency shift after scattering, then we bring it to compare with reference frequency of laser. After that, bring it to calculate velocity and display. The reasons we use laser in this project are the properties that different from the ordinary light source as follow :

- laser can be focus at the small object very accuracy.
 - laser give single frequency light.
 - laser has narrow bandwidth frequency.
- From these properties, we can use laser to detect low fluid flow rate.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับเลเซอร์	2
2.1 คลื่นแสง	2
2.2 ประเภทของเลเซอร์	3
2.3 ระบบเลเซอร์	6
2.4 คุณสมบัติที่สำคัญของแสงเลเซอร์	7
2.5 แกสเลเซอร์	14
2.6 ระบบฮีเลียม - นีออน เลเซอร์	15
บทที่ 3 ปรากฏการณ์ไดโพลเลอร์	21
3.1 ทฤษฎีปรากฏการณ์ไดโพลเลอร์	21
3.2 การประยุกต์ปรากฏการณ์ไดโพลเลอร์	23
บทที่ 4 อุปกรณ์ในการตรวจจับแสง	27
4.1 Photodiode Devices	27
4.2 Pin Photodiode	29
4.3 Avalanche Photodiode	30
บทที่ 5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวตระกูล 51	31
5.1 โครงสร้างของ 8051	32
5.2 การจัดการหน่วยความจำของ 8051	34
5.3 สถาปัตยกรรมของ 8051	37
5.4 การทำงานของ 8051	40
5.5 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ	43
บทที่ 6 การออกแบบและการทำงานของวงจร	48
บทที่ 7 การทดลองและผลการทดลอง	53
บทที่ 8 สรุปผลและวิจารณ์โครงงาน	62
บรรณานุกรม	63
กิตติกรรมประกาศ	64
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตั้งแต่ย่านรังสีแกมมาจนถึงย่านคลื่นวิทยุ	2
รูปที่ 2.2 แสดงระบบเลเซอร์โดยทั่วไป	6
รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบถึงความบริสุทธิ์ของสเปกตรัมความถี่ระหว่าง แสงอาร์คแลมป์ กับแสงเลเซอร์	8
รูปที่ 2.4 แสดงมุม ของการบานปลายของแสงเลเซอร์	9
รูปที่ 2.5 แสดงการมีคุณสมบัติโคเฮียเรนซ์ และไม่มีคุณสมบัติโคเฮียเรนซ์ ของการเคลื่อนที่ของคลื่น	12
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในของหลอดฮีเลียม - นีออน	16
รูปที่ 2.7 แสดงประเภทของ Resonator ชนิดต่าง ๆ	17
รูปที่ 2.8 แสดงค่าระดับพลังงานของแกสฮีเลียม และแกสนีออน ซึ่งก่อให้เกิดแสงเลเซอร์ ที่มีความยาวคลื่น 632.8 nm , 1150 nm และ 3390 nm	18
รูปที่ 3.1 แสดงหน้าคลื่นวงกลมที่กระจายออกจากแหล่งกำเนิด	21
รูปที่ 3.2 แสดงความเร็วซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของผู้สังเกต และทิศทางการเคลื่อนที่ของ แหล่งกำเนิด	22
รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการนำปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ไปใช้ในการวัดความเร็ว	23
รูปที่ 3.4 การวัดความเร็วของไหลโดยใช้เทคนิคลำแสงข้างอิง	24
รูปที่ 3.5 การวัดความเร็วโดยใช้เทคนิคลำแสงคู่	24
รูปที่ 4.1 แสดง V-I characteristic ของโฟโตไดโอดกรีนรับแสงที่มีความเข้มสูง	28
รูปที่ 4.2 แสดงโครงสร้าง PIN Photodiode	29
รูปที่ 4.3 แสดงโครงสร้าง Avalanche Photodiode	30
รูปที่ 5.1 ไดอะแกรมโครงสร้างของ 8051	32
รูปที่ 5.2 ภาพเสมือนหน่วยความจำ	33
รูปที่ 5.3 แผนภูมิหน่วยความจำของ 8051	35
รูปที่ 5.4 สถาปัตยกรรมภายในของ 8051	37
รูปที่ 5.5 โครงสร้างของ Port 0	37
รูปที่ 5.6 โครงสร้างของ Port 1	38
รูปที่ 5.7 โครงสร้างของ Port 2	39
รูปที่ 5.8 โครงสร้างของ Port 3	39
รูปที่ 5.9 ลำดับสถานะการทำงานใน MCS-51	42

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 5.11 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ	44
รูปที่ 5.12 TMOD Timer/Counter Mode Register	47
รูปที่ 5.13 การกำหนดโหมดการทำงานของ Timer/Counter	47
รูปที่ 6.1 การจัดวางอุปกรณ์ในการวัดความเร็วของของไหล	48
รูปที่ 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่เปลี่ยนแปลงและความเร็วของของไหล	49
รูปที่ 6.3 วงจรรับสัญญาณแสงเลเซอร์	50
รูปที่ 6.4 วงจรขยายความถี่สูง	50
รูปที่ 6.5 วงจร Zero Crossing Detector	51
รูปที่ 6.6 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	52
รูปที่ 6.7 วงจรหารความถี่ 1000 เท่า	52
รูปที่ 7.1 ผลการทดลองวงจรรับสัญญาณ	53
รูปที่ 7.2 ผลการทดลองวงจรขยายความถี่สูง	56
รูปที่ 7.3 ผลการทดลองวงจร Crossing Detector และ Comparator	58
รูปที่ 7.4 ผลการทดลองวงจรหารความถี่ 1000 เท่า	60

บทที่ 1 บทนำ

เลเซอร์ (Laser) เป็นคำศัพท์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในวงการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และวงการต่าง ๆ เลเซอร์อาจหมายถึงลำแสงที่บริสุทธิ์เท่าที่นักวิทยาศาสตร์จะผลิตออกมาได้ หรืออาจหมายถึงระบบเครื่องมือชนิดหนึ่งที่สามารถผลิตแสงบริสุทธิ์ได้ หรืออาจหมายถึง วิทยาการที่เกิดจากการใช้วิทยาการหลายด้านทางวิทยาศาสตร์ มาประยุกต์เข้าเป็นวิทยาการใหม่ที่มีบทบาท และมีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันได้มีการนำเอาวิชาการและเครื่องเลเซอร์มาประยุกต์ใช้งานในวงการต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง และเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันมากขึ้น ทั้งทางด้านการแพทย์ ด้านการเกษตร ด้านธุรกิจการค้า ตลอดจนด้านการทหาร เป็นต้น

แสงเลเซอร์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ชนิดหนึ่ง ซึ่งเกิดจากขบวนการทางฟิสิกส์ที่เรียกว่า Light Amplification by Stimulated Emission Radiation ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงเป็นคลื่นแสงที่มีคุณสมบัติทางสเปกตรัม (Spectrum) เหมือนกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกประการ

โดยทั่วไปแล้ว เราจะพบการนำเลเซอร์มาใช้เกี่ยวกับมาตรฐานของเวลา เนื่องจากแสงเลเซอร์มีคุณสมบัติที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่แน่นอนไม่บานปลาย และมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของลำแสงน้อยมาก เมื่อเคลื่อนที่ห่างออกไปจากแหล่งกำเนิด ดังนั้นเราจึงสามารถยิงแสงเลเซอร์ไปได้ไกล ๆ

ในวงการอุตสาหกรรมได้มีการนำเลเซอร์ไปใช้ในการตัด เจาะ แผ่นโลหะ แผ่นเซลล์สุริยะ และวัสดุอื่นได้เป็นอย่างดี และโดยเฉพาะในกรณีที่เครื่องตัดเจาะแบบธรรมดาไม่สามารถทำได้ ในวงการแพทย์ได้มีการนำเลเซอร์ไปใช้ในการผ่าตัดหลายรูปแบบ อาทิ ผ่าตัดเนื้อร้าย มะเร็ง ผ่าตัดนิยน์ตา ผ่าตัดต่อ ตลอดจนจัดแต่งในทันตกรรม ในวงการธุรกิจได้มีการนำเลเซอร์มาใช้ในการพิมพ์ ซึ่งทำให้ภาพคมชัด และ ควบคุมการจัดสีสรรได้สะดวกขึ้น ใช้เลเซอร์ร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ในการอ่านรหัสสินค้า (Bar Code) ทำให้การคิดเงิน การทำสต็อก การจัดซื้อ และการคิดบัญชี ทำได้อย่างรวดเร็วแม่นยำขึ้นอย่างมาก

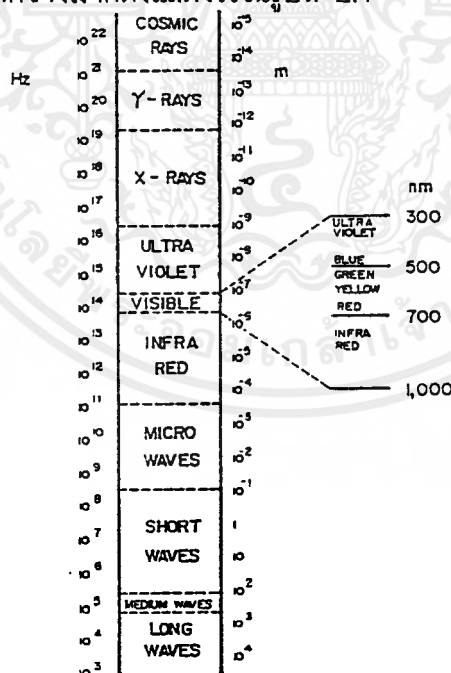
บทที่ 2

ทฤษฎีเกี่ยวกับเลเซอร์

2.1 คลื่นแสง (Light Wave)

เพื่อที่จะได้ศึกษาคุณสมบัติของแสงเลเซอร์ (Laser Light) ให้ดีขึ้น เรามีความจำเป็นต้องเรียนรู้คุณสมบัติของแสงเสียก่อน คุณสมบัติของแสงที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นคุณสมบัติพื้นฐานทั่วไป แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ชนิดหนึ่งที่อยู่ในย่านที่มีสเปคตรัมที่ตาเปล่าสามารถมองเห็นได้ ซึ่งตรงกับย่านสเปคตรัมที่เรียกว่า วิบจิอออร์ (VIBYOR) ธรรมชาติของแสงนั้นเราสามารถแสดงให้เห็นได้ชัดเจน โดยเฉพาะการแทรกสอด (Interference) การหักเหกระจาย (Diffraction) เป็นต้น คลื่นแสงประกอบด้วยคลื่นสนามไฟฟ้า E (Electric Field) และคลื่นสนามแม่เหล็ก H (Magnetic Field) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทาง และเวลาที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ไป ดังนั้นแสงก็จะมีคุณสมบัติเป็นไปตามสมการของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's Equation) ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นมิได้ประกอบด้วยแสงที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ได้แต่เพียงส่วนเดียวหากแต่ประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีสเปคตรัมตั้งแต่ช่วงคลื่นที่ยาว ๆ เช่น คลื่นวิทยุที่มีช่วงคลื่น $\lambda > 10 \text{ m}$ ไปจนถึงช่วงคลื่นที่สั้นมาก ๆ ในย่านแกมมาเรย์ (Gamma rays) คือ มีช่วงคลื่น $\lambda < 10^{-11} \text{ m}$ เป็นต้นไป สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากว้างมากดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงสเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตั้งแต่ย่านรังสีแกมมา (gamma rays) จนถึงย่านคลื่นวิทยุ (radio wave)

อย่างไรก็ตาม ช่วงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่น่าสนใจซึ่งจะได้กล่าวถึงและนำมาใช้ส่วนใหญ่เกี่ยวกับแสงเลเซอร์ต่อไปนั้น ก็คือช่วงสเปกตรัมในย่านที่ตาเปล่ามองเห็นได้ หรือบริเวณใกล้เคียง กล่าวคือ ย่านความถี่ที่มีช่วงคลื่นตั้งแต่ $\lambda = 300 \text{ nm}$ (ultraviolet) ไปจนถึงย่านที่มีช่วงคลื่น $\lambda = 1000 \text{ nm}$ (สีแดง) และในบางกรณีก็อาจจะครอบคลุมไปถึงย่านอินฟราเรด (infrared) คือช่วงคลื่น $\lambda = 1000 \text{ nm}$ ถึง 20 um

คลื่นแสงประกอบด้วยสนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก H ซึ่งทั้งสนามไฟฟ้า และ สนามแม่เหล็กมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามเวลา การแปรตามเวลาของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กนี้ ก็เป็นไปในลักษณะของการแปรเปลี่ยนฮาร์มอนิกออสซิลเลชัน (harmonic oscillation) ที่มีการสั่นสะเทือน (oscillation) ด้วยความถี่ ν (frequency) และคาบ (period) T และช่วงคลื่นในสุญญากาศ (wave length) λ_0 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ ν และช่วงคลื่น λ_0 นั้นเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\lambda \nu = c \quad (2.1)$$

โดยที่ C เป็นค่าความเร็วของแสงในสุญญากาศ ซึ่งมีค่าประมาณ $3 \times 10^8 \text{ m/sec}$ ในกรณีที่แสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่มีดัชนีหักเห สมการที่ 2.1 จะเขียนใหม่เป็น

$$\lambda \nu = c/n = v \quad (2.2)$$

เมื่อ n : ดัชนีของการหักเห (reflection index) ของวัตถุ

v : ความเร็วของแสงในวัตถุนั้น

2.2 ประเภทของเลเซอร์ (Type of Laser)

นับตั้งแต่ T.H. Maiman ได้ประสิทธิผลสำเร็จในการประดิษฐ์ระบบรูบี้เลเซอร์ (Ruby Laser) ในปี ค.ศ. 1960 เป็นต้นมา เลเซอร์อีกหลายชนิด ตลอดจนการประยุกต์ใช้ก็ถูกผลิตขึ้นมา และนำไปใช้อย่างมากมาย ทำให้เกิดมีเลเซอร์หลายชนิด และหลายรูปแบบตามความเหมาะสมและสภาวะของการทำให้เกิดแสงเลเซอร์ การประยุกต์ใช้งานในการจัดแบ่งประเภทของเลเซอร์นั้นทำได้หลายกรณี แต่โดยทั่วไปนั้นมักจะจัดแบ่งประเภทของเลเซอร์ ตามสถานะของสารเลเซอร์หรือเลเซอร์มีเดีย (Laser Medium) ซึ่งเป็นตัวหลักสำคัญในการใช้ผลิตแสงเลเซอร์

การจัดแบ่งประเภทของเลเซอร์

สามารถแบ่งประเภทของเลเซอร์ได้โดยใช้หลักการดังนี้

ก. แบ่งตามสถานะของสารเลเซอร์

โดยแบ่งตาม สถานะ ของสารเลเซอร์ สามารถแบ่งได้ดังนี้

โซลิดสเตทเลเซอร์ (Solid State Lasers) ระบบเลเซอร์ชนิดนี้ใช้เลเซอร์มีเดียในสถานะของแข็งในรูปแบบผลึก อาทิเช่น ผลึกรูบี้ (Ruby Crystal) หรือสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เช่น GaAs หรือในรูปแบบของการ์เน็ต (Garnet) เช่น นีโอติเมียม ยิทเทรียม อะลูมิเนียมการ์เน็ต (Neodymium Yttrium Aluminium Garnet - Nd : YAG) หรือในรูปของแข็งอสัณฐาน เช่น การใส่ธาตุนีโอติเมียมเจือปนแบบ impurity ลงในแท่งแก้วที่เรียกว่า นีโอติเมียมกลาส (Neodymium Glass - Nd : Glass) เป็นต้น

ลิควิดเลเซอร์ (Liquid Laser) เลเซอร์ระบบนี้ใช้เลเซอร์มีเดียที่มีสถานะเป็นของเหลว สารพวกนี้ ได้แก่ สารละลายสีย้อมผ้า (Dye Solution) ซึ่งมีตัวถูกละลายเป็นด้าย (Dyes) ชนิดต่าง ๆ ละลายในตัวทำละลาย (Solvent) แอลกอฮอล์ อารีโซโตน เป็นต้น เลเซอร์มีเดียเหล่านี้ได้แก่ Rhodamine 6G, Rhodamine B, Coumarin เป็นต้น โดยทั่วไป ลิควิดเลเซอร์มักจะถูกเรียกแทนด้วยคำว่า ด้ายเลเซอร์ (Dye Laser) เพื่อชี้เน้นถึงตัวเลเซอร์มีเดีย

แก๊สเลเซอร์ (Gas Laser) เลเซอร์ระบบนี้ใช้สารเลเซอร์มีเดียที่มีสถานะเป็นแก๊ส สารเลเซอร์มีเดียเหล่านี้ได้แก่ แก๊สผสมระหว่างแก๊สฮีเลียมและนีออน (He + Ne) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม แก๊สผสมระหว่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไนโตรเจน และแก๊สฮีเลียม (CO₂ + N₂ + He) แก๊สไนโตรเจน (N₂) แก๊สซีนอนคลอไรด์ (XeCl) แก๊สอาร์กอน (Argon) เป็นต้น

ข. แบ่งตามสถานะของสารเลเซอร์

ในกรณีนี้เราใช้สถานะของสารเลเซอร์เป็นหลักในการพิจารณาจัดแบ่ง กล่าวคือ เราศึกษาและพิจารณาละเอียดลงไปว่า ในการที่ทำให้เกิดแสงเลเซอร์นั้น สารเลเซอร์มีสถานะเป็นอะตอม (Atoms) หรือโมเลกุล (Molecules) หรืออยู่ในสถานะแบบไอออน (Ions) ทั้งนี้คุณสมบัติของแสงเลเซอร์ที่ได้ออกมานั้น จะไม่เหมือนกันและมีช่วงความยาวคลื่นต่างกันออกไป ในการจัดแบ่งตามหลักเกณฑ์ดังกล่าวนี้ ประเภทของเลเซอร์จะถูกจัดแบ่งออกเป็น

อะตอมมิกเลเซอร์ (Atomic Lasers)

เลเซอร์ประเภทนี้ใช้สารเลเซอร์ หรือ เลเซอร์มีเดีย ที่อยู่ในสถานะที่เป็นอะตอม (atoms) แล้วการเกิดแสงเลเซอร์ขึ้นนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์แบบสติมูเลตเต็อดิมิชชัน ระหว่างค่าระดับพลังงานของอะตอมในสารเลเซอร์มีเดีย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานเป็นการเปลี่ยนแปลงระหว่างระดับอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Level Transition) ซึ่งให้ค่า $\Delta E = (E_2 - E_1)$ มากซึ่งจะยังผลให้แสงเลเซอร์มีค่าความถี่ $\nu = (E_2 - E_1) / h$ อยู่ในย่านที่ตาเปล่ามองเห็น (visible spectrum) ระบบ

เลเซอร์ดังกล่าวนี้ ได้แก่ ระบบฮีเลียม นีออน เลเซอร์ ระบบรูบี้เลเซอร์ ไนโตรเจนเลเซอร์ เป็นต้น ในบางกรณีมีการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานระหว่างระดับอิเล็กทรอนิกส์ของอะตอมก็ตามที่ แสงเลเซอร์ที่ออกมาอยู่ในย่านอินฟราเรด (infrared) อาทิเช่น ระบบ Nd : YAG Laser , Nd : Glass Laser เป็นต้น ซึ่งเราจัดเลเซอร์เหล่านี้อยู่ในพวกอะตอมมิกเลเซอร์เช่นเดียวกัน

โมเลกุลาร์เลเซอร์ (Molecular Lasers)

เลเซอร์ระบบนี้ใช้สารเลเซอร์มีเดียที่อยู่ในสภาวะเป็นโมเลกุล (molecules) การเกิดแสงเลเซอร์นั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานแบบสติมูเลตเต็ดอิมิชชันระหว่างระดับพลังงานของโมเลกุลในสารเลเซอร์มีเดีย โดยการเปลี่ยนแปลงนั้นเกิดขึ้นระหว่างระดับไวเบรชัน (vibration level) ของโมเลกุล ดังนั้น $\Delta E = (E_2 - E_1)$ จะมีค่าน้อย ซึ่งจะทำให้แสงเลเซอร์ที่ได้ออกมามีความถี่ ν ในย่านอินฟราเรด (infrared) ซึ่งมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ระบบเลเซอร์เหล่านี้ได้แก่ ระบบคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ในบางกรณีเช่น ระบบดายเลเซอร์ (Dye Laser) ซึ่งโมเลกุลของดาย ทำหน้าที่เป็นเลเซอร์มีเดีย แสงเลเซอร์ที่ได้จากดายเลเซอร์ จะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังงานระดับอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นแสงจากดายเลเซอร์จึงอยู่ในย่าน Visible Spectrum

ไอออนเลเซอร์ (Ion Lasers)

เลเซอร์ระบบนี้ใช้สารเลเซอร์มีเดียที่อยู่ในสภาวะแตกตัวเป็นไอออน (ions) กล่าวคือ อะตอมหรือโมเลกุล แตกตัวออกเป็นไอออน (ไอออน คือ อะตอมหรือโมเลกุลที่ขาดอิเล็กตรอน ตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป) ไอออนเหล่านี้จะมีค่าระดับพลังงานแตกต่างไปจากสภาพเดิมของอะตอมและโมเลกุล แต่เราสามารถทำให้เกิดสติมูเลตเต็ดอิมิชชันขึ้นได้ ดังนั้นก็จะมีแสงเลเซอร์ปลดปล่อยออกมาได้ เลเซอร์ชนิดนี้ได้แก่ อาร์กอนเลเซอร์ (Argon Laser) , คริปทอนเลเซอร์ (Krypton Laser) หรือ พวก เอ็กซ์ซิเมอร์เลเซอร์ (Excimer Laser) เป็นต้น

ดังนั้นเราจะเห็นว่าในการจัดแบ่งประเภทของเลเซอร์นั้น เราแบ่งตามลักษณะ คุณสมบัติของสารเลเซอร์หรือเลเซอร์มีเดีย (Laser medium) อย่างไรก็ตาม นอกจากการแบ่งประเภทของเลเซอร์แล้วเราจะได้กล่าวถึงระบบของเลเซอร์ ซึ่งมีหลายระบบ ตั้งแต่ขนาดเล็กมาก ซึ่งได้แก่ ระบบเลเซอร์จําพวกสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Laser) ไปจนถึงขนาดใหญ่มาก ได้แก่ ระบบ Nd : YAG Laser , ระบบ Excimer Laser และ ระบบ Free Electron Laser (FEL) เป็นต้น โดยที่กำลังของแสงเลเซอร์ที่ได้จากระบบเลเซอร์ต่าง ๆ นั้นจะมีค่าตั้งแต่ 1.0 มิลลิวัตต์ ไปจนถึง 15 กิโลวัตต์ ซึ่งทั้งนี้ก็แล้วแต่การนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ระบบเลเซอร์ (Laser System)

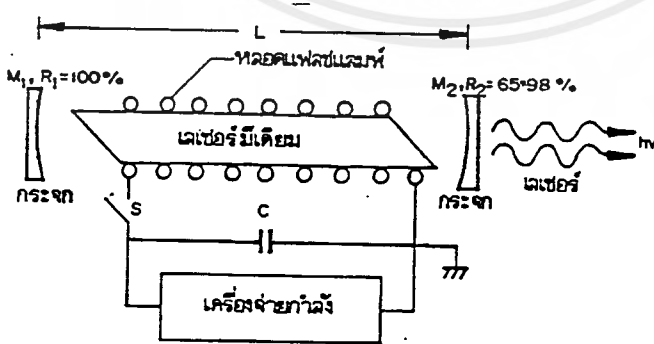
ระบบเลเซอร์ โดยทั่วไปแล้วจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 3 องค์ประกอบ คือ

1. สารเลเซอร์ หรือที่เรียกว่า เลเซอร์มีเดีย (Laser Medium) เลเซอร์มีเดียนี้จะต้องมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถทำให้เกิดประชากรผกผัน (Population Inversion) ขึ้นภายในเนื้อสาร (การเกิดประชากรผกผันสามารถทำให้เกิดขบวนการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอะตอมหรือโมเลกุลแบบสตีมมูเลเต้ดอิมิชชันได้ ตัวอย่างเลเซอร์มีเดียได้แก่ แท่งผลึกรูบี้ (Ruby Crystal) , แก๊สผสมระหว่างแก๊สฮีเลียมและนีออน (Helium + Neon) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม สารละลายสีย้อมผ้า (Dye Solutions)

2. ระบบจ่ายไฟกำลัง (Power Supply) ระบบจ่ายกำลังนี้จะเกี่ยวข้องกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์คิกดาสูง (High Voltage Electronics circuit) ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกำลังทางไฟฟ้าที่คิกดาสูง เพื่อไปทำการกระตุ้นสารเลเซอร์ให้เกิดมีประชากรผกผันขึ้น การกระตุ้นเลเซอร์มีเดียมันทำได้หลายวิธี ทั้งนี้แล้วแต่ความเหมาะสมที่ต้องใช้กับเลเซอร์มีเดียชนิดนั้น ๆ โดยทั่วไปแล้วการกระตุ้นมักจะทำในรูปแบบของ ออฟติคัลพัมพ์ (Optical Pumping) โดยตรงจ่ายกระแสไฟตรงจำนวนมากที่คิกดาสูงผ่านหลอดแฟลชแลมพ์ หรือการดิซชาร์จ์กระแสไฟตรง เป็นต้น

3. ออฟติคัลเรโซเนเตอร์ (Optical Resonator) ระบบเลเซอร์โดยส่วนมากแล้วมีความจำเป็นต้องมีออฟติคัลเรโซเนเตอร์ (Optical Resonator) ซึ่งทำหน้าที่ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (หรือโฟตอน Photon) ที่เกิดจากขบวนการสตีมมูเลเต้ดอิมิชชันสะท้อนกลับเข้ามาผ่านเลเซอร์มีเดีย โดยที่เลเซอร์มีเดียจะได้ขยาย (Amplify) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นให้มีความเข้มสูงมากขึ้นจนในที่สุดก็จะเป็นแสงเลเซอร์ออกมา ระบบออฟติคัลเรโซเนเตอร์ ประกอบด้วยกระจกเคลือบไดอิเล็กตริกหลาย ๆ ชั้น ปิดหัวและปิดท้ายเลเซอร์มีเดีย กระจกเหล่านี้จะมีค่าสะท้อนกลับ (Relectivity) ที่ช่วงคลื่น λ ของเลเซอร์

ซึ่งการจัดองค์ประกอบของระบบเลเซอร์โดยทั่วไป และการจัดวางองค์ประกอบเหล่านี้ แสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงระบบเลเซอร์ โดยทั่วไป

2.4 คุณสมบัติที่สำคัญของแสงเลเซอร์

นอกจากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นแล้ว แสงเลเซอร์ยังมีคุณสมบัติพิเศษดีกว่าแสงธรรมดาทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติที่เกี่ยวกับ ความเจิดจ้า (Brightness) และการมทิศทางของการเคลื่อนที่ที่แน่นอน (Directionality) นอกจากนี้ก็ยังมีคุณสมบัติที่มีความบริสุทธิ์ของแสงในด้านที่เป็นคลื่นเดียว (หรือความถี่เดียว) ที่เรียกว่า โมโนโครมาติซิตี (Monochromaticity) คุณสมบัติในการที่โฟกัสเป็นจุดเล็กที่สุด ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียง 1 - 10 μm จึงดีกว่าแสงชนิดอื่นที่ไม่สามารถทำได้เช่นนี้ เลเซอร์ยังมีคุณสมบัติที่เรียกว่า โคฮีเอร์เรนซ์ (Coherence) สูงมากกว่าแสงชนิดอื่น ๆ อีกด้วย ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงเป็นแสงที่มีความบริสุทธิ์ทางแสงดีที่สุดในที่นักฟิสิกส์จะทำได้ ซึ่งจะกล่าวถึงคุณสมบัติของแสงเลเซอร์โดยสังเขป เช่น คุณสมบัติทางด้านโมโนโครมาติซิตี (Monochromaticity) , ไดรเรกชันแนลลิตี (Directionality) , ไดเวอร์เจนต์ (Divergent) , ความเจิดจ้า (Brightness) , โคฮีเอร์เรนซ์ (Coherence) โพลาไรเซชัน (Polarization) และแสงเลเซอร์แบบพัลส์แคบ (Ultrashort Pulse Laser) เป็นต้น

โมโนโครมาติก (Monochromaticity)

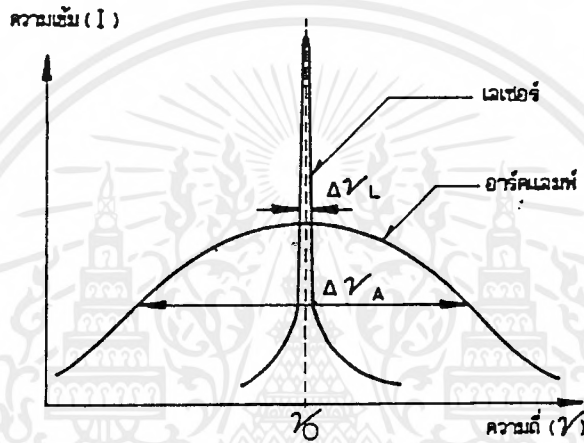
แสงโมโนโครมาติก หมายถึง แสงที่มีสีเดียวหรือมีความถี่เดียว คำว่า Monochromaticity นี้มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก (monos = single, choma = colour) ในห้องปฏิบัติการแสงโดยทั่วไปเราพบว่า ถ้าแสงโมโนโครมาติกได้มาจากหลอดดิซชาร์จของแกส (discharged tube) หรือมาจากสเปกตรัลแลมป์ (spectral lamp) อย่างไรก็ตามถ้าหากเราใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ทำการวิเคราะห์แสงที่มาจากหลอดดิซชาร์จ หรือจากสเปกตรัลแลมป์เหล่านั้นแล้ว เราจะพบว่าความถี่ของแสงนั้นมีได้เป็นความถี่เดียว หากแต่ถ้าจะมีการกระจายของความถี่ $\Delta\nu$ ที่สามารถวัดได้ การกระจายของความถี่นั้นเราสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$\Delta\nu = -(c/v^2) \Delta\lambda \quad (2.3)$$

$$\text{หรือ} \quad \Delta\lambda = -(c/v^2) \Delta\nu \quad (2.4)$$

โดยทั่วไปเราเรียก $\Delta\nu$ ว่า ไลน์วิดธ์ (line width) หรือสเปกตรัลวิดธ์ (spectral width) ของแหล่งกำเนิดแสง แสงจะมีความเป็นโมโนโครมาติซิตีมากน้อยอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับค่าของ $\Delta\nu$ สำหรับกรณีของหลอดดิซชาร์จ เราพบว่า $\Delta\lambda$ มีค่าประมาณ 0.01 μm หรือ $\Delta\nu = 10^{15}$ Hz ซึ่งเครื่องสเปกโตรมิเตอร์สามารถวัดได้ สำหรับแสงเลเซอร์นั้น $\Delta\nu$ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 MHz - 1 GHz และในกรณีของแกสเลเซอร์แบบฮีเลียมนีออนที่สว่างเป็นพิเศษ เราจะพบว่ามีสเปกตรัลวิดธ์ $\Delta\nu = 1$ Hz ซึ่งจะให้ความบริสุทธิ์ของความถี่ของคลื่นเลเซอร์ประมาณ 10^{15} หรือจะเปรียบเทียบให้เห็นชัดเจนขึ้นอีก ก็คือ จะมีความผิดพลาดหรือการแปรเปลี่ยนในความถี่ของแสงเลเซอร์นี้เพียง 10^{-15} ส่วน (หนึ่งในพันล้านล้าน) สำหรับกรณี

ของแสงเลเซอร์ทั่ว ๆ ไป เราพบว่าจะมีสเปคตรัมความถี่ $\Delta\nu = 1$ GHz หรือเทียบเป็นความบริสุทธิ์ของความถี่ได้เป็น 2×10^6 ซึ่งหมายถึง ความถี่ของแสงเลเซอร์ทั่ว ๆ ไป จะมีการแปรเปลี่ยนเพียง 2 ในล้านส่วนเท่านั้น ดังนั้นเราจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า คลื่นแสงเลเซอร์มีคุณสมบัติในด้านโมโนโครมาติซิตีสูงมากเป็นพิเศษมากกว่าแสงชนิดอื่น ๆ ตามความหมายที่สมบูรณ์ของโมโนโครมาติซิตี (absolute monochromaticity) นั้น เราจะได้ $\Delta\nu = 0$ ซึ่งหมายถึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของแสงเลย (แสงที่มีความถี่เดียวจริง ๆ) ในกรณีนี้จะเป็นไปได้ก็เพียงแต่ในเชิงทฤษฎีเท่านั้น แม้แต่เลเซอร์ยังไม่มีคุณสมบัตินี้ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้แสงเลเซอร์เป็นแสงที่มีความบริสุทธิ์ของสเปคตรัมสูงที่สุดเท่าที่นักวิทยาศาสตร์จะผลิตออกมาได้



รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบถึงความบริสุทธิ์ของสเปคตรัมความถี่ระหว่างแสงอาร์คแลมป์ (Arc lamp) กับแสงเลเซอร์ ซึ่ง $\nu_L \gg \nu_A$

ไดเรกชันแนลลิตี (Directionality)

คุณสมบัติที่เด่นเฉพาะตัวของแสงเลเซอร์ที่แสงชนิดอื่นไม่สามารถทำได้ก็คือคุณสมบัติที่เรียกว่า ไดเรกชันแนลลิตี (directionality) กล่าวคือ แสงเลเซอร์ที่ถูกผลิตออกมานั้นมีทิศทางในการเคลื่อนที่ที่แน่นอน ไม่กระจายออกไปโดยรอบ ๆ เหมือนกับกรณีของฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent) ทั้งนี้เพราะแสงเลเซอร์เกิดจากขบวนการทางฟิสิกส์ที่เรียกว่า สติมมูเลตเตดอิมิชชัน (stimulated emission) และจำเป็นต้องมีออปติคัลเรโซเนเตอร์ซึ่งประกอบด้วยกระจกที่มีค่าสะท้อนกลับ (reflectivity) สูง ดังนั้นแสงเลเซอร์จะถูกผลิตออกมาเฉพาะบริเวณที่มีกระจก และในทิศทางในแนวแกนออปติคัลของเรโซเนเตอร์เท่านั้น กระจกของเรโซเนเตอร์จะทำหน้าที่เป็นคอลลิเมตติง อาร์เพอร์เจอร์ (collimating aperture) แสงที่เกิดจากสติมมูเลตเตดอิมิชชัน ภายในเรโซเนเตอร์จะถูกขยาย (amplified) และสะท้อนกลับไปมาระหว่างกระจกทั้งสองของเรโซเนเตอร์ประมาณ 100 - 1000 รอบก่อนที่จะออกมาเป็นแสงเลเซอร์ที่มีความเข้มสูง จึงเปรียบเสมือนแสงที่ถูกรวมเอาไว้ในบริเวณแคบ ๆ (collimated beam) และมีเวฟฟรอนต์ (wave front) ที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสม่ำเสมอและเคลื่อนที่ออกไปอย่างมีระเบียบในทิศทางที่แน่นอนไม่กระจัดกระจาย ออกไปเหมือนกับแสงที่เกิดจากหลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดไฟฟ้าธรรมดา ดังนั้นโดยคุณสมบัติของไดเรกชันแนลลิตีของแสงเลเซอร์จึงทำให้แสงเลเซอร์สามารถเดินทางออกไปจากแหล่งกำเนิดแสงได้ระยะทางไกลมาก

ไดเวอร์เจนซ์ (Divergence)

คุณสมบัติของแสงเลเซอร์ที่เด่นชัดอีกข้อหนึ่งก็คือ แสงเลเซอร์มีการบานปลาย (Divergence) น้อยมาก คุณสมบัติไดเวอร์เจนซ์นี้มีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติไดเรกชันแนลลิตีที่ได้อธิบายไปแล้ว กล่าวคือแสงเลเซอร์จะมีไดเรกชันแนลมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมุมเบี่ยงเบน (divergence angle) ϕ ของเลเซอร์



รูปที่ 2.4 แสดงมุม ϕ ของการบานปลาย (Divergence) ของแสงเลเซอร์

โดยทั่วไปแสงเลเซอร์จะมีค่า ϕ ประมาณ 1.0 - 2.0 มิลลิเรเดียน (milliradian = 10^{-3} radian) ซึ่งมิต่ำน้อยมาก ดังนั้นแสงเลเซอร์ที่ถูกปล่อยออกมาจะเป็นลำขนาน (parallel beam) พุ่งไปในทิศทางที่แน่นอน เมื่อเปรียบเทียบกับแสงทั่วไปที่กระจายออกโดยรอบตัวจากแหล่งกำเนิด ด้วยคุณสมบัติของแสงเลเซอร์ที่มีไดเรกชันแนลลิตีสูงมาก และไดเวอร์เจนซ์น้อยมาก จึงทำให้นักวิทยาศาสตร์ส่งแสงเลเซอร์ออกไปนอกโลกถึงดวงจันทร์ และกระทบกับกระจกที่ตั้งไว้บนดวงจันทร์แล้วสะท้อนกลับมายังโลกและมีความเข้มสูงพอที่จะวัดค่าได้ ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถคำนวณระยะทางระหว่างโลกกับดวงจันทร์ได้แม่นยำที่สุด กล่าวคือระยะทางระหว่างโลกกับดวงจันทร์มีค่าประมาณ 384,000 กิโลเมตร การวัดระยะทางนี้จะมี ความคลาดเคลื่อนเพียง 1.5 - 2.0 เมตร เท่านั้น การวัดจะมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่านี้ อีกประมาณล้านเท่าหากใช้แสงเลเซอร์แบบเฟมโตเซ็กกันพัลส์ (femto second pulse : 10^{-15} second) มาทำการวัดระยะทางระหว่างโลกกับดวงจันทร์ ซึ่งคาดว่า การใช้แสงเลเซอร์แบบเฟมโตเซ็กกัน นั้นจะมีอย่างแพร่หลายภายในระยะเวลาไม่นานนัก

ความเจิดจ้า (Brightness)

กำลังของแสงเลเซอร์โดยทั่ว ๆ ไป ของเครื่องฮีเลียม - นีออน จะเริ่มต้นจากประมาณ 1.0 mW ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดไฟฟ้ายาธรรมดาขนาด 25 W แล้วเรานะเห็นว่า กำลังของแสงฮีเลียม - นีออน เลเซอร์นั้นน้อยมาก ในบางกรณีเราจะพบว่า ระบบเลเซอร์อื่น อาทิเช่น นีโอติเมียมแยกเลเซอร์ (Nd : YAG Laser) หรือคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (Carbondioxide laser) สามารถผลิตแสงเลเซอร์ที่มีกำลังตั้งแต่ 1.0 kw ขึ้นไป และนำไปใช้ในการตัด เจาะ เชื่อม ทางอุตสาหกรรม และในทำนองเดียวกันเราสามารถผลิตหลอดไฟฟ้าที่ให้กำลังของแสงสว่างได้เป็นหลายร้อยวัตต์ แต่ทำไมแสงเลเซอร์ที่มีกำลังน้อย เช่น แสงฮีเลียม นีออนเลเซอร์จึงมีความเจิดจ้าสูงมาก และสามารถโฟกัสให้มีความหนาแน่นของพลังงาน (energy density) สูงในบริเวณแคบ ๆ ได้ ที่เป็นเช่นนี้เพราะแสงเลเซอร์นั้นมีคุณสมบัติพิเศษในด้านโคเรชันแนลลิตี และมีไดเวอร์เจนซ์น้อยมาก และเป็นแสงแบบโมโนโครมาติกตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้น

เนื่องจากแสงเลเซอร์เป็นแสงแบบโมโนโครมาติกที่บริสุทธิ์มาก และพลังงานของแสงจะอยู่ในบริเวณช่วงแคบ ๆ ของสเปกตรัมไลเนวิดท์ $\Delta\nu$ ถึงแม้ว่าแสงเลเซอร์บางชนิดที่มีกำลังต่ำ แต่เราจะพบว่า ความเจิดจ้าของมันและความหนาแน่นของพลังงานจะสูงมาก ถ้ากำหนดให้ P เป็นกำลังของแสงเลเซอร์ เราจะได้ความเจิดจ้าที่วัดเทียบเป็นอุณหภูมิ T_b (°K) ได้ดังนี้

$$T_b = \frac{P}{KB(\Delta\nu)} \quad (2.5)$$

เมื่อ K_b = Boltzman 's constant

$$= 1.38 \times 10^{-38} \text{ joules / } ^\circ\text{K}$$

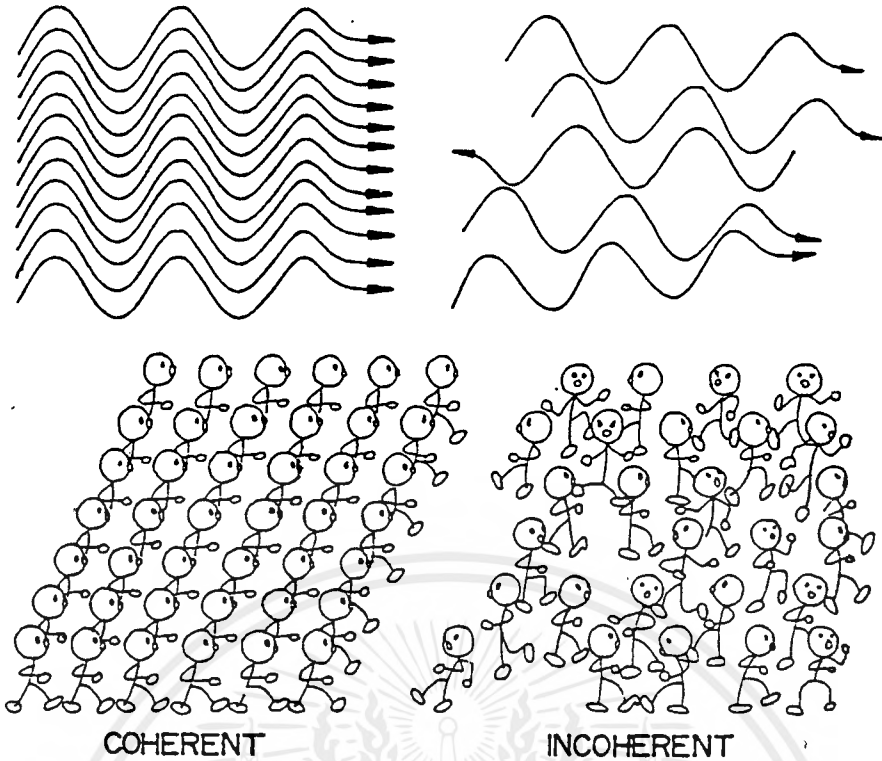
ในกรณีของฮีเลียม นีออน เลเซอร์ที่มี $P = 1.0 \text{ mW}$ และ $\Delta\nu = 1 \text{ Hz}$ เราจะได้ความเจิดจ้า $T_b = 10^{20} \text{ } ^\circ\text{K}$ หรือถ้าให้ $P = 10 \text{ mW}$ และ $\Delta\nu = 1 \text{ MHz}$ ความเจิดจ้าของเลเซอร์ T_b จะมีค่าเท่ากับ $10^{17} \text{ } ^\circ\text{K}$ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับความเจิดจ้าของดวงอาทิตย์หรือหลอดไฟธรรมดาทั่ว ๆ ไปแล้ว ความเจิดจ้าของดวงอาทิตย์จะมีค่า T_b ประมาณ $10^4 \text{ } ^\circ\text{K}$ เท่านั้น ดังนั้นจะเห็นว่า ความเจิดจ้าของลำแสงเลเซอร์นั้นสูงมากจึงต้องระมัดระวังในการใช้เครื่องเลเซอร์โดยหลีกเลี่ยงไม่มองตรงไปยังแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์เนื่องจากแสงเลเซอร์มีคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น จึงทำให้เราสามารถโฟกัสแสงเลเซอร์ให้เป็นจุดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมาก ประมาณ 1 - 10 μm ได้อย่างง่าย ซึ่งแสงชนิดอื่นไม่สามารถทำได้เช่นนี้ ดังนั้นเราจึงสามารถทำให้แสงเลเซอร์มีความหนาแน่นของพลังงาน (energy density) และความหนาแน่นของโฟตอน (Photon density) สูงมาก ตัวอย่างเช่น แสงฮีเลียม นีออนเลเซอร์ที่มีกำลัง $P = 1.0 \text{ mW}$ เมื่อทำการโฟกัสแล้วเราจะได้ความหนาแน่นของกำลังงาน (power density) ถึง 10 kW/cm^2 ซึ่งเทียบได้กับจำนวน

ฟลักซ์ของโฟตอน เป็น 3×10^{22} photons/cm²/sec ซึ่งในกรณีที่สนามไฟฟ้าของแสงเลเซอร์สูงมากพอ ก็จะสามารถที่จะแยกสลาย (ionization) อะตอม / โมเลกุล ของวัสดุได้

โคฮีเรนซ์ (Coherence)

โคฮีเรนซ์ เป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับคลื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) ที่ประกอบด้วยสนามไฟฟ้า E (Electric field) และสนามแม่เหล็ก H (Magnetic field intensity) ซึ่งแปรตามเวลา และต่างก็มีความถี่ของการสั่นเท่ากันเป็น V เราสามารถศึกษาคุณสมบัติด้านโคฮีเรนซ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (กรณีที่เป็นแสงเลเซอร์) ได้โดยการพิจารณาคุณสมบัติของสนามไฟฟ้า E ของแสงเลเซอร์ ในการพิจารณานั้น เราดูได้จากตำแหน่งและสถานที่ (spatial position) และเวลาของการเคลื่อนที่ของสนามไฟฟ้า E ว่า ค่าของสนามไฟฟ้า E นั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างไรบ้าง เมื่อสถานที่และเวลาเปลี่ยนไป ดังนั้นในการอธิบายเกี่ยวกับโคฮีเรนซ์ระดับต้น (First order coherence) ของแสงเลเซอร์นั้นจะเป็นการเกี่ยวข้องกับโคฮีเรนซ์ทางสถานที่ (spatial coherence) และโคฮีเรนซ์ทางเวลา (temporal coherence) สำหรับกรณีของโคฮีเรนซ์ระดับสูง (High order coherence) นั้นเป็นเรื่องที่ต้องศึกษาในระดับควอนตัมออปติก (quantum optics) ซึ่งจะไม่ขอกล่าวในที่นี้

เราอาจทำความเข้าใจเกี่ยวกับความหมายของโคฮีเรนซ์ได้อย่างง่ายโดยไม่ต้องใช้คณิตศาสตร์ที่ยุ่งยากได้ โดยการพิจารณาเปรียบเทียบการเดินแถวสวนสนามอย่างมีระเบียบ กับการเดินขวักไขว้ของกลุ่มชนในงานนิทรรศการใหญ่ ๆ การเดินแถวสวนสนามอย่างมีระเบียบนั้น เป็นตัวอย่างของการมีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์สมบูรณ์ (complete coherence) และการเดินขวักไขว้ของกลุ่มชนเป็นตัวอย่างของการไม่มีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์ ในการเดินแถวสวนสนามอย่างมีระเบียบนั้น ถ้าเรารู้เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของทหารคนใดคนหนึ่งแถว จะทำให้เราสามารถรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของทหารคนอื่นในแถวอื่น ๆ ได้ตลอดเวลา และไม่จำกัดบริเวณหรือสถานที่ที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 2.5 แสดงการมีคุณสมบัติโคฮีเรนต์ (Coherence) และ ไม่มีคุณสมบัติโคฮีเรนต์ (Incoherence) ของการเดินแถวและและการเคลื่อนที่ของคน

โคฮีเรนต์ ของแสงเลเซอร์นั้น เราสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ โคฮีเรนต์ทางสถานที่ (spatial coherence) และ โคฮีเรนต์ ทางเวลา (Temporal coherence) ซึ่งเราจะพิจารณาให้ละเอียดต่อไปดังนี้

โคฮีเรนต์ทางสถานที่ (Spatial coherence) นั้น หมายถึงกรณีที่แสงเดินทางผ่านจุด 2 จุด คือ จุด P1 และ P2 พร้อมกัน เมื่อเวลา $t = 0$ โดยที่ P1 และ P2 วางตั้งอยู่ในแนวคลื่น (wavefront) อันเดียวกัน กำหนดให้ $E_1(t)$ และ $E_2(t)$ เป็นแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้า E ที่จุด P1 และ P2 ตามลำดับ และให้ความแตกต่างระหว่างเฟส (phase) ของ $E_1(t)$ และ $E_2(t)$ เป็น $\varphi = 0$ ดังนั้นเมื่อเวลาต่อมา $t > 0$ และ ตำแหน่งสถานที่ของสนามไฟฟ้า $E_1(t)$ และ $E_2(t)$ เปลี่ยนไป แต่ก็ยังพบต่อไปอีกว่า (ขณะที่ $t > 0$) ไม่มีความแตกต่างระหว่างเฟสของคลื่นสนามไฟฟ้า $E_1(t > 0)$ และ $E_2(t > 0)$ อีก กล่าวคือ $\varphi = 0$ เมื่อ $t > 0$ ในปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่าคลื่น $E_1(t)$ และ $E_2(t)$ มีโคฮีเรนต์สมบูรณ์ทางสถานที่ (perfect spatial coherence) ในกรณีที่ให้จุด P1 อยู่กับที่ และ P2 เคลื่อนที่ไปรอบๆ แต่ยังคงส่งผลให้ $\varphi = 0$ เมื่อ $t > 0$ เราเรียกว่าบริเวณที่ P2 เคลื่อนที่ไปรอบๆ ว่า พื้นที่โคฮีเรนต์ (coherence area) สำหรับกรณีที่คลื่นสนามไฟฟ้า $E_1(t)$ และ $E_2(t)$ เมื่อ $t > 0$ แล้วให้ค่า $\varphi = 0$ นั้น เราเรียกคลื่นสนามไฟฟ้าเป็น พาร์เซียลโคฮีเรนต์ทางสถานที่

โคฮีเอร์เรนซ์ทางเวลา (Temporal coherence) ของคลื่นแสงนั้น เราพิจารณาได้ในทำนองเดียวกัน โดยกำหนดให้สนามไฟฟ้า E ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่จุด P ที่เวลา t และเวลา $t + \tau$ เมื่อ τ เป็นเวลาที่ล่องไป (delay time) นั้น ความแตกต่างระหว่างเฟส ϕ ของสนามไฟฟ้า $E(t)$ และของ $E(t + \tau)$ จะเป็นการวัดค่าโคฮีเอร์เรนซ์ทางเวลาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ในกรณีที่ $\phi = C$ (เมื่อ $C =$ ค่าคงที่) คลื่นสนามไฟฟ้าที่ขณะเวลา t และ $t + \tau$ จะมีคุณสมบัติโคฮีเอร์เรนซ์สมบูรณ์ทางเวลา (perfect temporal coherence) สำหรับกรณีที่ $\phi = C$ ในช่วงเวลา โดยที่ $0 < \tau < \tau_0$ เราเรียกคลื่นสนามไฟฟ้านี้เป็นแบบพาร์เชียลโคฮีเอร์เรนซ์ทางเวลา (partial temporal coherence)

ในการศึกษาทางด้านแสง (optics) เราพบว่า ระยะทางโคฮีเอร์เรนซ์ l_c (coherence length) และระยะเวลาโคฮีเอร์เรนซ์ t_c (coherence time) นั้นหมายถึงระยะทางและระยะเวลาที่คลื่นสนามไฟฟ้าสามารถทรงความเป็นโคฮีเอร์เรนซ์ได้ และความสัมพันธ์ระหว่าง l_c และ t_c เป็นไปตามสมการ

$$l_c = c t_c \quad (2.6)$$

เมื่อ c เป็นความเร็วของแสง

ในกรณีที่แสงโมโนโครมาติกมีการกระจายของความถี่ซึ่งเรียกว่า สเปกตรัลวิดท์ หรือ ไลน์วิดท์ $\Delta\nu$ นั้น เราพบว่า

$$l_c = c / \Delta\nu \quad (2.7)$$

$$\text{และ} \quad t_c = 1 / \Delta\nu \quad (2.8)$$

กรณีของแสงธรรมดาทั่วๆ ไปจากหลอดไฟฟ้าหรือหลอดฟลูออโรเรสเซนต์ที่ ความยาวคลื่น = 500 nm และมี ไลน์วิดท์ = 100 nm หรือ ไลน์วิดท์ = 1.2×10^{14} Hz เราจะได้ $l_c = 2.5 \mu\text{m}$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแสงจากหลอดไฟฟ้าธรรมดา มีระยะทางโคฮีเอร์เรนซ์น้อยมาก หรืออีกนัยหนึ่งมีโคฮีเอร์เรนซ์น้อยมาก สำหรับกรณีของแสงเลเซอร์ อาทิเช่น แสงฮีเลียมนีออนเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น = 632.8 nm และมี ไลน์วิดท์ = 1 Hz เราจะได้ $l_c = 300,000$ กิโลเมตร ดังนั้นเราจะเห็นว่า ระยะทางโคฮีเอร์เรนซ์ของแสงเลเซอร์นั้นยาวมาก แสดงว่าแสงเลเซอร์มีคุณสมบัติโคฮีเอร์เรนซ์สูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติหนึ่งของแสงที่มีความบริสุทธิ์มากสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ อย่างกว้างขวาง

โพลาไรเซชัน (Polarization)

แสงเลเซอร์ที่ผลิตออกมาได้นั้น โดยทั่วไปแล้วจะเป็นแสงที่ไม่มีโพลาไรเซชัน (unpolarized light) แต่โดยทั่วไปแล้วในการสร้างเลเซอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงในการเกิดแสงเลเซอร์ เรามักจะหาทางกำจัดการสูญเสียของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในเลเซอร์คาวิตี (laser cavity) หนทางหนึ่งที่จะทำได้ง่ายก็คือ

กำจัดการสูญเสียของพลังงานแสงขณะที่สะท้อนกลับเข้ามาภายในเลเซอร์ควาวิตี้ ก่อนที่จะเป็นแสงเลเซอร์ กำลังสูงออกมา วิธีนี้กระทำได้โดยตัดปลายหลอดเลเซอร์หรือแท่งผลึกที่จะทำให้เกิดแสงเลเซอร์ ให้เอียงทำมุม Brewster (Brewster's angle) กับแนวแกนของหลอดเลเซอร์ ในสภาวะเช่นนี้แสงที่สะท้อนจากกระจกเลเซอร์หัวท้ายของเลเซอร์ควาวิตี้ จะพุ่งเข้าสู่หลอดเลเซอร์หรือแท่งผลึกเลเซอร์ทั้งหมด ทำให้ไม่มีการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากการสะท้อนออก (reflection) กระจกที่ปิดปลายหลอดที่มุม Brewster นี้เรียกว่า Brewster window หรือ Brewster cut) ในกรณีที่เราใช้ Brewster กับระบบเลเซอร์ เราจะได้แสงเลเซอร์ที่ส่งออกมาเป็นแสงเลเซอร์ที่มีโพลาไรเซชันสูงมาก สนามไฟฟ้า E ของแสงเลเซอร์ จะมีโพลาไรเซชันในระนาบของการตกกระทบ (plane of incidence) และค่าสนามไฟฟ้านี้มีค่าเป็นอัตราส่วน 1000 : 1 เมื่อเทียบกับสนามไฟฟ้า E ของแสงเลเซอร์ที่มีโพลาไรเซชันตั้งฉากกับระนาบของการตกกระทบ เราจะเห็นว่าโพลาไรเซชันของแสงเลเซอร์นั้นบริสุทธิ์มากเกินกว่าแหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่นจะทำได้ ที่เป็นเช่นนี้เพราะที่ปลายหลอดเลเซอร์หรือปลายผลึกที่จะทำให้เกิดแสงเลเซอร์นั้นถูกตัดเอียงทำมุม Brewster ไว้พอดี และก่อนที่จะเกิดเป็นลำแสงเลเซอร์ออกมามายนอกนั้น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะต้องสะท้อนกลับเข้ามา ระหว่างกระจกหัวท้ายของระบบเลเซอร์ประมาณ 100-1000 จึงทำให้ โพลาไรเซชันของคลื่นนั้นถูกกลั่นกรองให้มีโพลาไรเซชันในแนวทางที่กำหนดไว้ถึง 100-1000 ครั้ง ก่อนที่จะเป็นแสงเลเซอร์ออกมา ดังนั้นจึงมีความบริสุทธิ์ของโพลาไรเซชันสูงมาก

ในบางกรณีเราจะไม่ตัดปลายหลอดเลเซอร์หรือแท่งผลึกเลเซอร์ให้เอียงทำมุม Brewster แต่เราจะใช้ผลึกของสารประกอบบางชนิดที่มีคุณสมบัติเป็นเบียร์ฟรินเจนซ์ (birefringence) มาทำหน้าที่แทน แล้วทำให้แสงเลเซอร์ที่ออกมาที่โพลาไรเซชันในทิศทางที่ต้องการ

2.5 แกสเลเซอร์ (Gas Lasers)

เราสามารถจัดระบบเลเซอร์บางระบบไว้ในกลุ่มเดียวกันที่ชื่อว่า แกสเลเซอร์ (Gas Lasers) ทั้งนี้ก็เพราะสารเลเซอร์ (Lasers medium) ที่ผลิตแสงเลเซอร์ออกมานั้นอยู่ในสถานะแกส สารเลเซอร์เหล่านี้จะมีสภาพเป็นแกสบริสุทธิ์ล้วน อาทิเช่น ไนโตรเจน, คาร์บอนมอนนอกไซด์ หรือจะมีสภาพอยู่เป็นแกสผสม อาทิเช่น แกสผสมระหว่างฮีเลียมและนีออน, แกสผสมระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ ฮีเลียม และไนโตรเจน เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับพลังงานของสารเลเซอร์เหล่านั้นว่า เมื่อเรากระตุ้นอะตอมหรือโมเลกุลของแกสเหล่านั้นเกิดประชากรผกผัน (population inversion) แล้วทำให้เกิดstimulus เกิดดีมิสชันและการขยาย (amplification) ในเวลาต่อมา ผลที่ออกมาก็คือแสงเลเซอร์ เราจะพบโดยทั่วไป ระบบแกสเลเซอร์จะถูกกระตุ้นแบบอิเล็กทรอนิกส์ดิสชาร์จ (electronic discharge) ซึ่งจะยังผลให้เกิดเลเซอร์ออกมาแบบต่อเนื่อง (continuous wave, CW) ในบางระบบของแกสเลเซอร์ แสงเลเซอร์ที่ออกมาจะมีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายช่วงคลื่น และในบางครั้งเราสามารถเปลี่ยนค่าความถี่ (frequency tunability) ได้ในช่วงสเปกตรัมแคบ ๆ ตัวอย่างของระบบแกสเลเซอร์นั้น ได้แก่ ระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์ ระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ระบบไนโตรเจนเลเซอร์ เป็นต้น

2.6 ระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์ (Helium-Neon Laser System)

ระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์เป็นระบบแกสเลเซอร์ระบบแรกของโลก เลเซอร์ระบบนี้ถูกประดิษฐ์คิดค้นโดย A.Javan และคณะ ในปี ค.ศ.1961 ที่ห้องปฏิบัติการของบริษัทเบลล์เทเลโฟน (Bell Telephone Co. Laboratory) ในครั้งแรก A.Javan สามารถทำให้แกสผสมระหว่างฮีเลียมและนีออนปลดปล่อยแสงเลเซอร์ ออกมาที่ช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 1150 nm. (ย่านอินฟราเรด) และต่อมาพบว่า เลเซอร์ระบบนี้สามารถให้แสงเลเซอร์ออกมาได้อีกที่ช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 3390 nm. ต่อมาในปี ค.ศ. 1962 A.D. White และคณะ สามารถผลิตแสงเลเซอร์จากระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์ได้ที่มีความยาวคลื่น 632.8 nm. (สีแดง) โดยที่อัตราขยาย (gain) ของระบบที่ความยาวคลื่น 632.8 nm. น้อยมาก ดังนั้นระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์ที่ให้ความยาวคลื่น 632.8 nm. จึงเป็นระบบเลเซอร์ที่ค่อนข้างละเอียดอ่อน การทำให้เกิดแสงเลเซอร์ออกมานั้นทำได้ยากมากขึ้นส่วนทางแสง (optical component) ของระบบจะต้องดีเยี่ยม เพื่อขจัดการสูญเสีย (loss) ของพลังงานภายในเลเซอร์ควิตี หลังจาก A.D. White และคณะ สามารถผลิตแสงฮีเลียมนีออนเลเซอร์ สีแดงได้สำเร็จ เลเซอร์ระบบนี้ที่ช่วงคลื่นเดียวกันนี้ก็เป็นที่นิยมแพร่หลายและใช้อย่างกว้างขวางไปในหลายวงการตราบจนปัจจุบันนี้

ฮีเลียม - นีออน เลเซอร์ ส่วนมากจะส่งลำแสงเป็นสีแดง ขนาดของกำลังในการส่งลำแสงจะถูกจำกัดโดยวิธีการระบายความร้อน คือถ้าขนาดกำลังสูง ๆ จะต้องมีระบบการระบายความร้อนมาช่วย แต่ที่ใช้งานได้สะดวกก็จะเป็นขนาดกำลังต่ำเป็น มิลลิวัตต์ เพราะไม่ต้องมีระบบการระบายความร้อนที่ยุงยาก ฮีเลียม - นีออน เลเซอร์ จึงเป็นที่นิยมมากในการทดลองเลเซอร์

ส่วนประกอบภายในของ หลอด ฮีเลียม - นีออน เลเซอร์

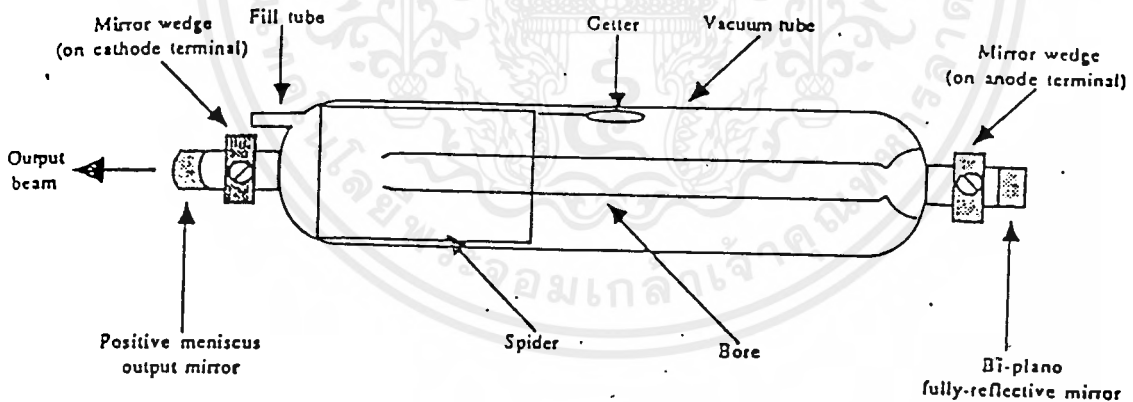
ฮีเลียม - นีออน เลเซอร์ เป็นภาชนะที่หุ้มด้วยแก้วภายในบรรจุ ฮีเลียม 10 ส่วน และนีออน 1 ส่วน และใช้แรงกดอากาศภายในประมาณ 1 mm/Hg เพลทขั้วไฟฟ้าที่ปลาย หลอดแก้วไว้สำหรับต่อเข้ากับ ไฟฟ้ากับแกส ด้วยวิธีนี้เป็นการกระตุ้นอะตอมของฮีเลียม และนีออน และกระเจกติดอยู่ที่ปลายแต่ละปลาย หลอดระหว่างกระเจกทั้งสองปลายนี้ เรียกว่า Optical Resonator ส่วนมากของหลอดฮีเลียม นีออน จะเรียกกระเจกทั้งสองโดยปลายด้านหนึ่งเรียกว่า กระเจกรวมการสะท้อนแสง และอีกปลายหนึ่งเรียกว่า กระเจกแบ่ง ส่วนการสะท้อน เป็นด้านที่ส่งลำแสงออกมาจากหลอดแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดฮีเลียม นีออน ในสมัยแรกจะมีขนาดใหญ่เทอะทะ และยังต้องการระบายความร้อนด้วยน้ำหรืออากาศ แต่ปัจจุบันหลอดฮีเลียม นีออน จะมีลักษณะดังรูป มีขนาดและลักษณะคล้ายเตงกวา และอาศัยการระบายความร้อนด้วยอากาศรอบข้างเท่านั้นซึ่ง มีความสะดวกต่อการใช้งานมาก

ฮีเลียม นีออน เลเซอร์ มีส่วนประกอบที่แท้จริง คือประกอบด้วยหลอด 2 หลอด หลอดภายนอกเป็นหลอดแก้วภายในเป็นสุญญากาศ ที่บรรจุก๊าซอยู่ และยังมีหลอดที่มีรูเล็ก ๆ ที่มีขนาดเล็กกว่า บรรจุอยู่ภายในด้วย โดยปลายด้านหนึ่งของหลอดเล็กภายในนี้จะแนบติดกับปลายด้านหนึ่งของหลอดแก้วใหญ่ ตรงปลายของหลอดเล็กจะขยายใหญ่ คือเป็นทางออกหันไปทางกระจกรวมการสะท้อน ส่วนทางด้านกระจกแบ่งส่วนการสะท้อนจะมีส่วนที่ทำด้วยโลหะ ยึดตัวหลอดเล็ก เรียกว่า สไปเดอร์ (Spider) เส้นผ่านศูนย์กลางของลำแสงเลเซอร์ โดยปกติจะมีขนาด 0.6 ถึง 1 มิลลิเมตร

ส่วนปลายสุดจากกระจกสะท้อนทั้งสองด้านจะเป็นขั้วแอโนด (Anode Positive) และแคโทด (Cathode Negative) จะมีวงแหวนโลหะที่ยึดด้วยสกรู ไว้สำหรับตั้งระดับแนวของกระจกให้ตรงกัน โดยจะไม่พยายามปรับวงแหวนโลหะนี้ นอกจากจะสงสัยว่ากระจกไม่ได้แนวกันจริง เพราะวงแหวนโลหะนี้จะถูกปรับแต่งอย่างถูกต้อง จากโรงงานผลิตแล้ว เพื่อให้ได้ลำแสงที่ออกมามากที่สุด ลักษณะของส่วนประกอบต่าง ๆ ของ หลอดฮีเลียม นีออน แสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในของหลอด Helium - Neon

ความสำคัญของผิวหน้าของกระจกสะท้อนทั้งสองปลาย ซึ่งการสะท้อนระหว่างกระจกทั้งสองนี้สามารถจัดเป็นวิธีการสะท้อนแสงได้ 3 วิธี คือ

1. Plane Parallel Resonator กระจกทั้งสองด้านจะมีผิวหน้าเรียบ แสงจะสะท้อนกลับและมีลำแสงออกมาแบบเต็มที โดยกระจกแบ่งส่วนการสะท้อนจะต้องมีกำลังมากเพียงพอ ในการสะท้อนลำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงออกไป ในทางปฏิบัติแล้ววิธีนี้นาน ๆ ถึงจะมีการนำมาใช้ในงานที่จำเป็น เพราะวิธีนี้จะไม่มีความเที่ยงตรง

2. Confocal Resonator วิธีนี้จะใช้กระจกผิวเว้าทั้งสองด้านทำให้เกิดการสะท้อน และรวมแสงกันที่จุดกึ่งกลางของทางเดินแสง ทำให้เกิดจุด พลังงานสูงสุด แต่กระจกไม่สามารถที่จะรับจลรวมแสงนี้ได้ จึงต้องปรับปรุงไปเป็นแบบต่อไป

3. Hemispherical Resonator ซึ่งเป็นการปรับปรุงจากวิธีที่ 1 และ 2 โดยใช้ปลายด้านหนึ่งเป็นกระจกผิวเว้า อีกด้านหนึ่งเป็นกระจกผิวเรียบที่สามารถรับจลรวมแสงจากกระจกผิวเว้าได้ และสะท้อนเป็นลำแสงออกไป โดยวิธีนี้จะมีความเที่ยงตรงของลำแสงมาก จึงเป็นที่นิยมโดยทั่วไป

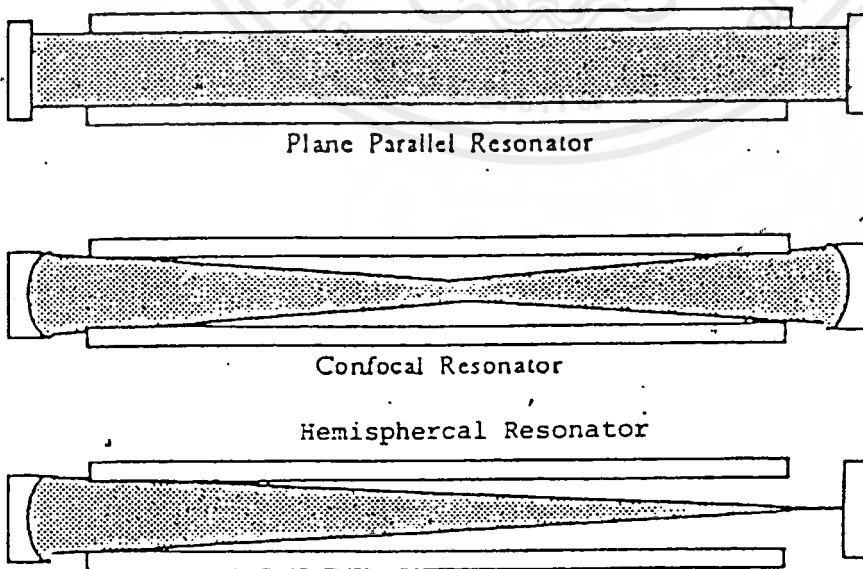
ซึ่ง Resonator ทั้ง 3 วิธี แสดงดังรูป 2.7

ฮีเลียม นีออน เลเซอร์ ที่ใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 3 แบบ ดังนี้

1. Bare Tube ชนิดนี้จะไม่มีการห่อหุ้ม ตัวหลอดและขั้วต่อจ่ายแรงดันสูงซึ่งมันจะเป็นอันตรายมากในการใช้งาน ฉะนั้นจะต้องมีความระมัดระวังในกระใช้งานเลเซอร์ชนิดนี้มาก เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายจากไฟฟ้า และการแตกของหลอดแก้ว

2. Cylindrical Head Lasers ชนิดนี้จะมีส่วนห่อหุ้มป้องกันทั้งหลอดและขั้วต่อจ่ายแรงดันสูง ซึ่งจะเป็นส่วนที่ป้องกันอันตรายได้ อีกทั้งยังมีขนาดเล็ก เพราะเลเซอร์ชนิดนี้ไม่ได้ทำขนาดใหญ่ จึงเหมาะมากสำหรับเป็นอุปกรณ์มือถือได้

3. Self - Contained Lasers ชนิดนี้ก็มีส่วนห่อหุ้มป้องกันอันตรายเหมือนกัน ส่วนใหญ่เลเซอร์ชนิดนี้ จะใช้ในลักษณะติดตั้งอยู่กับที่ เพราะมันมีขนาดใหญ่ และมีข้อห้ามในการนำไปใช้เป็นอุปกรณ์มือถือ



รูปที่ 2.7 แสดงประเภทของ Resonator ชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางานของระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์

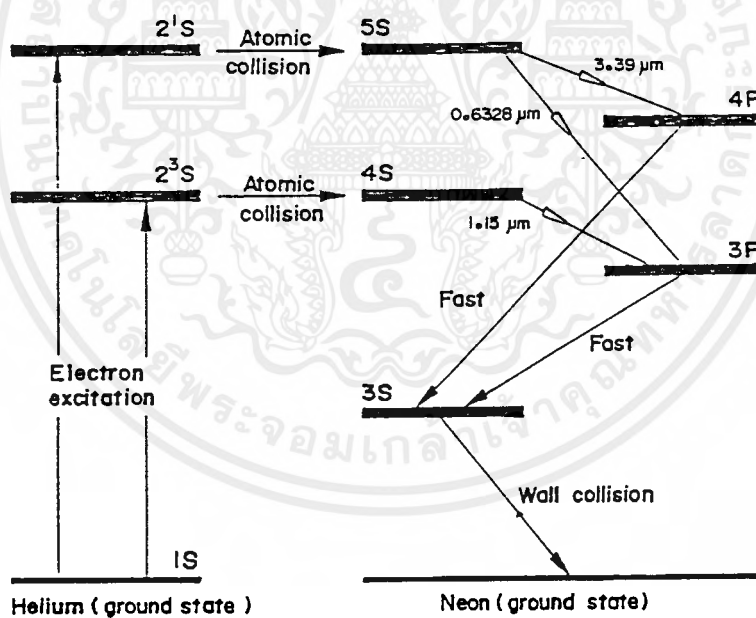
ระบบเลเซอร์นี้มีส่วนเลเซอร์หรือที่เรียกว่า เลเซอร์มีเดียม เป็นแก๊สผสมระหว่างแก๊สฮีเลียมและแก๊สนีออนในอัตราส่วนผสมที่พอเหมาะของฮีเลียม : นีออน ตั้งแต่ 20 : 1 จนถึง 2 : 1 เราพบว่าเงื่อนไขของการทำงานของระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์ที่จะให้ความเข้มของแสงและพลังงานของแสงเลเซอร์ออกมาดีที่สุด ก็ต่อเมื่อ

1. ผลคูณของความดันรวม (total pressure, P.) ของแก๊สผสมฮีเลียมนีออน และความกว้างของหลอดเลเซอร์ (D) มีค่าประมาณ 3.6- 4.0 ทอร์รมิลลิเมตร (torr-mm)

2. อัตราส่วนผสมของแก๊สฮีเลียมต่อแก๊สนีออน เป็นอัตราส่วน

$$\text{He} : \text{Ne} = 5 : 1$$

3. หลอดฮีเลียมนีออนเลเซอร์ ควรเป็นหลอดรูแคบ (capillary tube) ในกรณีที่กำลังของฮีเลียมนีออนเลเซอร์อยู่ระหว่าง 0 - 50 mW เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลเซอร์ D จะมีค่าระหว่าง 1 - 6 มิลลิเมตร (mm) ทั้งนี้ถ้าหาก D มีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้มีการเกิดประชากรผกผัน (population inversion) ลดลงซึ่งทำให้ประสิทธิภาพและกำลัง (power) ของเลเซอร์ลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 2.8 แสดงค่าระดับพลังงานของแก๊สฮีเลียมและแก๊สนีออน ซึ่งก่อให้เกิดแสงเลเซอร์ที่มี $\lambda = 632.8 \text{ nm}, 1150 \text{ nm}, 3390 \text{ nm}$ ตามลำดับ

แก๊สผสมฮีเลียมนีออนภายในหลอดเลเซอร์ มีค่าระดับพลังงานเหมือนกับที่แสดงดังรูปที่ 2.8 ปลายหลอดเลเซอร์จะมีอิเล็กโทรด (Electrode) ซึ่งเป็นขั้วบวก (Anode) และขั้วลบ (Cathode) ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อยู่คนละปลายหลอด ขั้วบวกทำด้วยโลหะทังสเตม (tungsten) และขั้วลบเป็นแบบฮอลโลแคทโธด (Hallow Cathode) ทำด้วยอะลูมิเนียม เมื่อทำการดิซชาร์จ (discharge) กระแสไฟตรงที่ศักดาเริ่มแรกประมาณ 10 กิโลโวลต์ (KV) จะทำให้แก๊สแตกตัวเป็นไอออน (ionize) จากนั้นศักดา (voltage) ของการดิซชาร์จจะลดลงเหลืออยู่ระหว่าง 0 - 3 KV ที่กระแสไฟตรง 0 - 50 mA กระแสอิเล็กทรอนิกส์จะทำการ ดิซชาร์จแก๊สผสมฮีเลียมนีออน โดยอิเล็กทรอนิกส์จะวิ่งชนฮีเลียมอะตอมในกราวนด์สเตท (ground state) ทำให้ฮีเลียมอะตอมมีระดับพลังงานสูงขึ้น และกระโดดขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงาน 2^3s และ 2^2s ตามลำดับ จากนั้นฮีเลียมอะตอมที่ระดับ 2^3s และ 2^2s จะถ่ายพลังงานให้แก่ไนออนอะตอม โดยการชนระหว่างอะตอม-อะตอม (atomic collision) ทำให้ไนออนอะตอมมีค่าระดับพลังงานที่ระดับ $4s$ และ $5s$ ตามลำดับ เนื่องจากอายุ (ระยะเวลาของการอยู่) ของระดับ $4s$ และ $5s$ ของไนออนอะตอมยาวกว่าอายุของระดับ $4P$ และ $3P$ ดังนั้นจะเกิดประชากรผกผัน (population inversion) ขึ้นระหว่างระดับ $4S$ และ $3P$ ระหว่างระดับ $5S$ กับ $4P$ และ $3P$ ตามลำดับ จากนั้นก็จะมีเกิดการเกิดstimulusเลดเต็ดอิมิสชันระหว่างระดับ $5S$ ไปยัง $4P$ ซึ่งยังผลให้เกิดแสงเลเซอร์ที่มีช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 3390 nm. (ย่านอินฟราเรดมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น) เกิดstimulusเลดเต็ดอิมิสชันระหว่างระดับ $5S$ ไปยัง $3P$ ซึ่งจะยังผลให้เกิดแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ 1150 nm. (ย่านอินฟราเรด) เกิดstimulusเลดเต็ดอิมิสชัน ระหว่างระดับ $4S$ ไปยัง $3P$ ซึ่งจะให้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 632.8 nm. (สีแดง) จากนั้นไนออนอะตอมที่ระดับ $4P, 3P$ และลดระดับพลังงานอย่างรวดเร็วมาสู่ระดับ $3S$ และจากระดับ $3S$ ground state โดยชนวนการวิ่งกระทบผนังหลอดเลเซอร์ (wall collision) ดังนั้นเราจะทราบได้ทันทีว่า ทำไมหลอดฮีเลียมนีออนเลเซอร์จึงมักจะทำจาก หลอดรูแคบ (capillary tube) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 8 มิลลิเมตร ทั้งนี้ก็เพราะต้องการให้เกิด wall collision อย่างรวดเร็ว จำนวนไนออนอะตอมในระดับ $3S$ จะได้น้อยมากซึ่งส่งผลให้จำนวนไนออนอะตอมในระดับ $3P, 4P$ ลดลงอย่างรวดเร็วไปในตัวด้วย และจะทำให้จำนวนประชากรผกผันระหว่าง $5S$ กับ $4P$ และ $3P, 4S$ กับ $3P$ เกิดอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้เกิดแสงเลเซอร์แบบต่อเนื่อง (continuous wave, CW)

คุณสมบัติของแสงฮีเลียมนีออนเลเซอร์

ระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์ ให้แสงเลเซอร์ช่วงคลื่นเดียว (monochromatic light) ที่มีความยาวคลื่น 3390 nm, 1150 nm และ 632.8 nm ตามลำดับ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความบริสุทธิ์ทางแสงมาก เป็นลำขนานและส่องได้เป็นระยะทางไกลมาก โดยที่ไม่สูญเสียความเข้มของแสงมากนัก คุณสมบัติต่าง ๆ พอสรุปได้ดังนี้คือ

คุณสมบัติของแสงฮีเลียมนีออนเลเซอร์

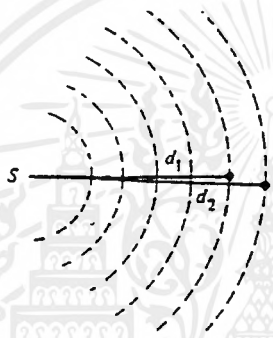
มุมไดเวอร์เจนซ์ (Beam divergence)	0.2 - 1.0	m rad
ไลน์วิดท์ (line width)	1700	Mhz
ความยาวคลื่น	632.8, 1150, 3390	nm
โคฮีเรนท์เลงธ์ (Coherent length)	20-100000	cm
ความเจิดจ้า (Brightness)	10^5	w/cm ² -Sr
กำลัง (Power)	0.1 - 100	mW



บทที่ 3 ปรากฏการณ์ดอปเลอร์

3.1 ทฤษฎีปรากฏการณ์ดอปเลอร์

ปรากฏการณ์ดอปเลอร์ (Doppler Effect) สามารถนำมาใช้ในการวัดความเร็วได้โดยการตรวจจับความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป ภายหลังจากการสะท้อนหรือกระเจิง เมื่อเดินทางผ่านพื้นผิวที่มีการเคลื่อนไหวย ความถี่ที่เปลี่ยนไปสามารถตรวจจับได้ จากแสงที่สะท้อนกลับมาเทียบกับลำแสงอ้างอิงจากแหล่งกำเนิดเลเซอร์เดียวกัน เมื่อหาความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปได้แล้ว ก็สามารถนำไปคำนวณหาความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนไหวอยู่ได้



รูปที่ 3.1 แสดงหน้าคลื่นวงกลมที่กระจายออกจากแหล่งกำเนิด

จากรูป 3.1 ซึ่งแสดงถึงการกระจายออกของคลื่นจากแหล่งกำเนิด ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเป็น d_2 ซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่หน้าคลื่นมีเฟสเดียวกันกับระยะ d_1 ดังนั้นจะได้

$$d_2 - d_1 = \lambda \quad (3.1)$$

ซึ่งเท่ากับความยาวคลื่นของแสงนั้น ถ้าแหล่งกำเนิดแสงเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของผู้สังเกต ด้วยความเร็ว v ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดที่เวลา t_2 แทนด้วย d_1' และ d_2' ซึ่ง

$$d_1' = d_1 - v t_2 \quad (3.2)$$

และ
$$d_2' = d_2 - v t_1 \quad (3.3)$$

ผู้สังเกตทำการบันทึกความยาวคลื่นที่เวลา t_2 ซึ่ง

$$\lambda' = d_2' - d_1' \quad (3.4)$$

$$\lambda' = \{d_2 - v t_2\} - \{d_1 - v t_1\} \quad (3.5)$$

แต่เนื่องจากช่วงเวลา $t_2 - t_1 = 1/\nu = \lambda/c = T$ ซึ่งเป็นคาบของคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดนั้น

ในช่วงเวลา T นั้น แหล่งกำเนิดจะเคลื่อนที่ไปได้ระยะทาง $vT = v(\lambda/c)$ ดังนั้นระยะทางจากหน้าคลื่น d_1 ถึง d_2 จะลดลง $\lambda(v/c)$ ดังสมการ 3.6

$$\lambda' = (1 - v/c)\lambda \quad (3.6)$$

เนื่องจาก
$$v' = \frac{c}{\lambda'} \quad (3.7)$$

จากสมการ 3.6 จัดให้อยู่ในรูปของความถี่ที่เปลี่ยนไป ได้เป็น

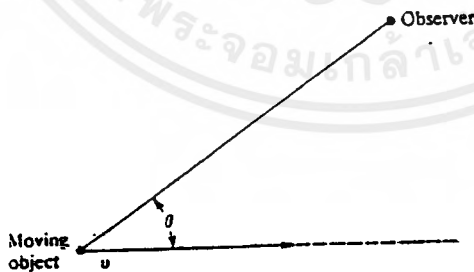
$$v' = \frac{c}{[1 - v/c]\lambda} \quad (3.8)$$

หรือ

$$v' = \frac{v}{1 - v/c} \quad (3.9)$$

เนื่องจากรูปร่างของ v' ซึ่งเป็นความถี่ของลำแสงอ้างอิง ดังนั้นเราสามารถหาความถี่ดอปเลอร์ (Doppler frequency : v') ได้ตามสมการ 3.9

โดยทั่วไปแล้วนั้นผู้สังเกตมักจะสังเกตทำมุม θ กับทิศทางการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิด ดังแสดงในรูปที่ 3.2



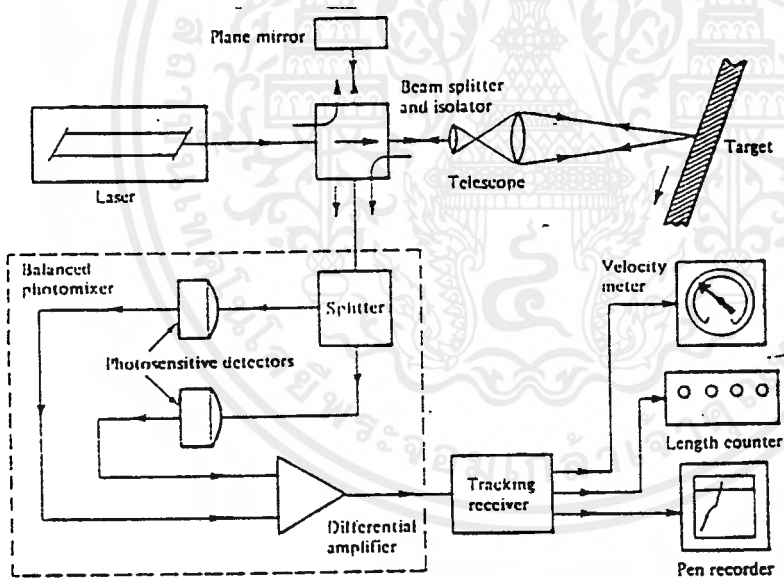
รูปที่ 3.2 แสดงความเร็วซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของผู้สังเกต และทิศทางการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิด

ดังนั้นจึงเขียนสมการ 3.9 ได้เป็น

$$\nu' = \frac{\nu}{1 - (V/c) \cos \theta} \quad (3.10)$$

3.2 การประยุกต์ใช้ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

โดยใช้หลักของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ โดยแทนแหล่งกำเนิดแสงที่เคลื่อนที่ด้วยแสงที่สะท้อนนภายหลังจากที่กระทบกับผิวของวัตถุแล้ว สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดความเร็ว เช่น วัดความเร็วของของไหล , ความเร็วของอนุภาคเล็ก ๆ ในละอองฝุ่น , ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแผ่นโลหะในโรงอุตสาหกรรม เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามต้องมีวิธีการที่ดี ที่จะรับแสงที่สะท้อนหรือกระเจิง ภายหลังจากตกกระทบกับผิวของวัตถุที่จะวัดแล้ว นอกจากนี้ก็ยังสามารถนำมาใช้ในการวัดระยะทางได้อีกด้วย ซึ่งจะสามารถวัดระยะทางได้ไกลมาก ทั้งนี้เนื่องจากการมีคุณสมบัติที่ไม่บานปลาย (Divergence) ของแสงเลเซอร์

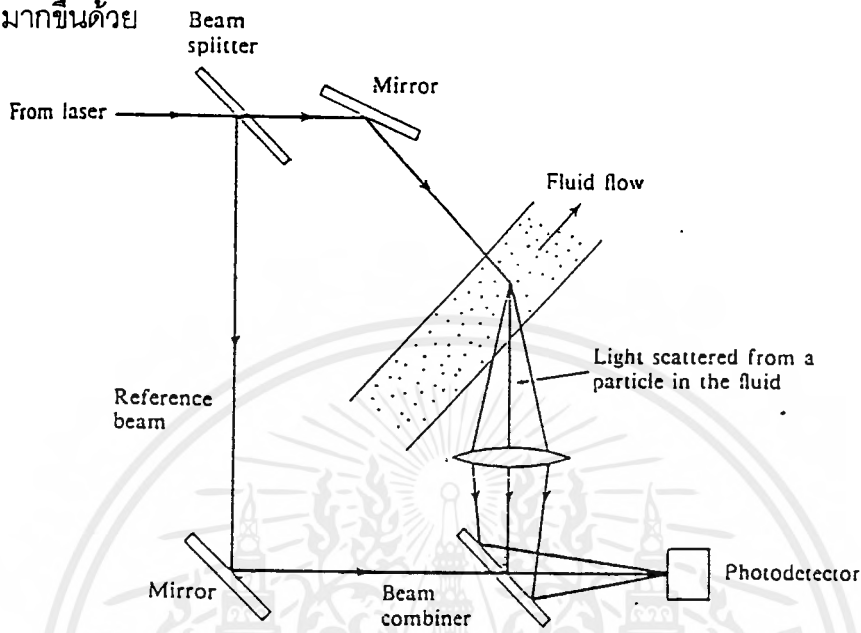


รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการนำปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ไปใช้ในการวัดความเร็ว

ในทางปฏิบัติแล้วการเลื่อนกระจก หรือการเคลื่อนที่ของกระจก สามารถแทนได้ด้วยการเคลื่อนที่ของพื้นผิวหรือ อนุภาคเล็ก ๆ เช่น เม็ดฝุ่น ที่เจือปนอยู่ในอากาศ ฟองแกส หรือของไหล เป็นต้น อนุภาคเล็ก ๆ เหล่านี้จะทำให้เกิดการกระเจิงของแสงซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของอนุภาคนั้น ดังนั้นจึงสามารถทำให้เกิดการเลื่อนความถี่ (Dopplser - shift frequency : $\nu' - \nu$)

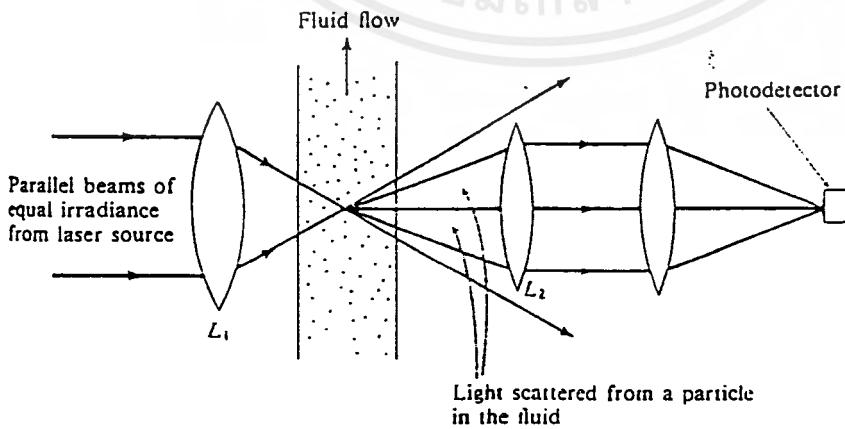
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากแสงเลเซอร์ต่างจากแสงทั่วไป โดยเฉพาะในด้านที่มีคุณสมบัติของความเป็น โคฮีเร้นซ์สูง เราจึงสามารถนำมาใช้ในการวัดความเร็ว โดยการประยุกต์ปรากฏการณ์ดอปเลอร์ได้ ซึ่งจะ ให้ผลที่แม่นยำมากขึ้นด้วย



รูปที่ 3.4 การวัดความเร็วของไหลโดยใช้เทคนิคลำแสงอ้างอิง

จากรูป 3.4 เป็นวิธีเบื้องต้นที่นำมาใช้ในการวัดความเร็วของไหล ซึ่งเรียกว่าเทคนิคลำแสง อ้างอิง (Reference beam technique) แต่วิธีการนี้จะให้ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อเสียงรบกวน (Signal to Noise Ratio) ค่อนข้างต่ำ จึงได้มีการดัดแปลงมาใช้วิธีอื่น เรียกว่า เทคนิคลำแสงคู่ (Dual beam technique) โดยใช้ลำแสงคู่จากเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ตัวเดียวกันเล็งไปที่ของไหลที่ต้องการวัดความเร็ว ซึ่งตำแหน่งที่ลำแสงคู่ตัดกัน จะเป็นตำแหน่งที่จะวัดความเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การวัดความเร็วโดยใช้เทคนิคลำแสงคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อของไหลตกกระทบกับผิวของของไหลแล้ว จะเกิดการกระเจิงขึ้น ซึ่งจะทำให้ความถี่ของแสงเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ซึ่งแสงที่รับได้ที่ตัวโฟโตดีเทคเตอร์ (Photodetector) จะเกิดจากการรวมกันของความถี่เดิม กับความถี่ที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการกระเจิง ตัวอย่างเช่น สัญญาณแสง 2 ความถี่

$$E_1 = A \cos w_1 t \quad (3.11 a)$$

และ
$$E_2 = B \cos w_2 t \quad (3.11 b)$$

รวมกันและไปตกกระทบบนผิว cathode ของตัวโฟโตดีเทคเตอร์ กระแสที่เกิดขึ้นสามารถเขียนได้ดังสมการ

3.12

$$I \propto (E_1 + E_2)^2 \quad (3.12)$$

$$I \propto E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 \quad (3.13)$$

หรือ
$$I \propto A^2 \cos w_1 t + B^2 \cos w_2 t + 2AB \cos w_1 t \cos w_2 t \quad (3.14)$$

เนื่องจากเทอม $\cos w_1 t \cos w_2 t$ สามารถเขียนในรูป

$$\cos w_1 t \cos w_2 t = \frac{1}{2} [\cos (w_1 - w_2)t + \cos (w_1 + w_2)t] \quad (3.15)$$

ดังนั้น

$$I \propto A^2 \cos w_1 t + B^2 \cos w_2 t + AB [\cos (w_1 - w_2)t + \cos (w_1 + w_2)t] \quad (3.16)$$

ซึ่งความถี่ w_1 , w_2 และความถี่ $w_1 + w_2$ เป็นความถี่ที่สูงเกินกว่าที่โฟโตดีเทคเตอร์จะรับได้ ดังนั้น กระแสที่ได้จะเกิดจากผลต่างของความถี่ (Difference frequency : $\Delta \nu$)

บทที่ 4

อุปกรณ์ในการตรวจจับแสง

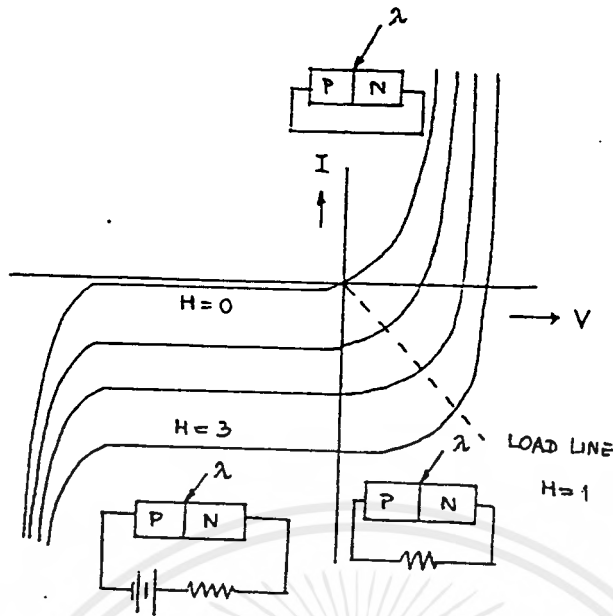
4.1 Photodiode Devices

Photodiode มีลักษณะของ P-N junction แต่การทำงานต้องต่อในลักษณะ Reverse Bias ซึ่งปกติแล้ว P-N junction ที่จุดสมดุลง่ายจะมีอิเล็กตรอนเป็นจำนวนมากที่ P-region และ โฮล เป็นจำนวนมากที่ N-region เมื่อนำไปต่อกับ external voltage ในทิศทางที่จะทำให้ P-region เป็นลบมากขึ้น จะเป็นผลทำให้ depletion region ขยายเพิ่มขึ้น ถ้ามีการเพิ่มขึ้นของ depletion region ต่อไป จะเป็นการขัดขวางมิให้ carrier เกิดการไหล ในที่สุดก็จะไม่มีการไหลผ่าน barrier ไปได้ โดยความจริงแล้ว ค่า resistivity ของ depletion region อาจมีค่ามากกว่า resistivity ของสารกึ่งตัวนำหลายเท่า ความกว้างของ depletion region จะยังคงเพิ่มขึ้นต่อไปตราบเท่าที่ applied voltage เพิ่มขึ้น จนกระทั่ง breakdown ของ junction ได้เกิดขึ้น ถ้าในขณะนี้มีแสงมาตกกระทบที่ junction photon จะถูกดูดกลืนเข้าไปที่ depletion region เกิดการ generate โฮลและอิเล็กตรอนขึ้นใหม่ อิเล็กตรอนนั้นจะเคลื่อนที่ไปยัง N-region และ โฮลจะเคลื่อนที่ไปยัง P-region. ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดกระแสไหลใน external circuit ได้ Photodiode ก็จะทำตัวเป็น current generator และค่าของกระแสก็เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ light intensity ใน Photodiode devices จะได้ว่า

$$I_{\text{tot}} = I_L + I_D \quad (4.1)$$

โดยที่ I_L คือ light current
 I_D คือ dark current ของ diode

ในกรณีของ Photodiode ที่ทำมาจาก silicon จะมี I_D ประมาณ 1 nA ขณะที่ I_L จะมีค่าประมาณ 10 μA สำหรับ 5 mm² active area ที่แสงตกภายในห้อง รูปที่ 4.1 แสดงถึง V-I characteristics ของ silicon P-N junction ทั้งการ bias, open circuit และ short circuit modes

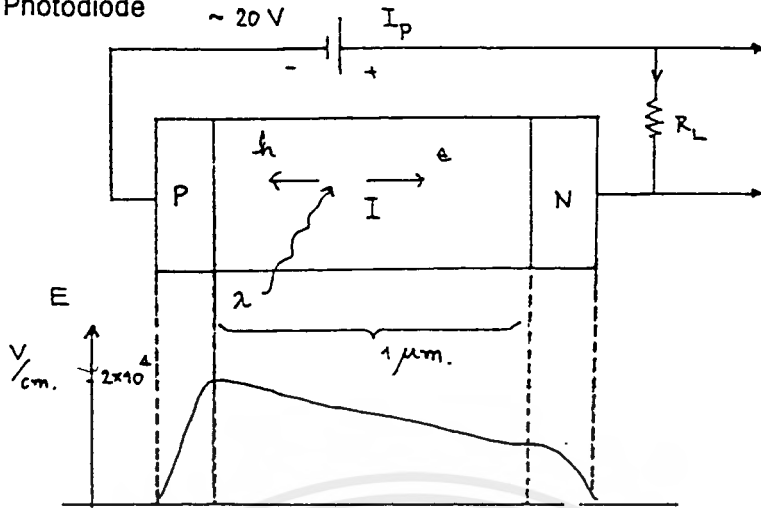


รูปที่ 4.1 แสดง V-I characteristic ของ โฟโตไดโอด
กรณีรับแสงที่มีความเข้มสูง

ความกว้างของ depletion region สามารถถูกควบคุมโดย reverse bias และค่า resistivity silicon material (ที่ bias voltage คงที่ ความกว้างของ depletion region จะเป็นสัดส่วนที่สองของ resistivity) depletion region ยิ่งกว้างขึ้นก็จะทำให้ค่าของ junction capacitance มีค่าต่ำลง photodiode จึงเป็น sensor ที่เหมาะสมสำหรับใช้กับ high speed operation ที่ high quantum efficiency เพราะว่าคุณอิเลคตรอน - โฮล มีความน่าจะเป็นสูงในการที่จะถูก generate ขึ้นมาใหม่ใน depletion region และมีค่า capacitance/high field ต่ำ จึงเป็นผลให้เวลาในการส่งผ่านประจุเหล่านี้สั้นลง

photodiode ถูกสร้างให้มี gain ขึ้นภายในตัวได้ โดยทำให้เกิดค่าของ avalanche multiplication factor เมื่อทำการบิอ reverse bias ที่ P-N junction ให้มีค่าใกล้เคียงกันกับ breakdown voltage photon ที่สร้างคู่อิเลคตรอน - โฮล จะได้รับพลังงานที่เพียงพอ (ขณะนี้มันเกิดความเร่งวิ่งผ่าน junction) ที่จะสร้างคู่อิเลคตรอน - โฮล คู่ใหม่ขึ้นมาได้ ขณะที่มันปะทะกับ substrate atoms อันเป็นผลทำให้เกิดการทวีคูณของกระแส avalanche photodiode จะมี effective photocurrent gain ประมาณ 100 หรือ มากกว่า และยังคงมี junction capacitance ต่ำด้วย

4.2 Pin Photodiode



รูปที่ 4.2 แสดงโครงสร้าง PIN Photodiode

เมื่อมีแสงมาตกกระทบบนผิว surface ของ PIN Diode ที่บริเวณ I - region จะเกิดอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปชนกับโฮล (minority) ใน N - region เกิดการ recombination ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการเปล่งแสงออกมาที่ด้าน P- region ก็เช่นเดียวกัน คือ โฮลจาก I - region จะเคลื่อนที่ชนกับอิเล็กตรอน (minority) ใน P region ทำให้เกิดการเปล่งแสงออกมาได้ ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด recombination ที่ N และ P region จะทำให้ P-N region จะทำให้ P-N region แคบมาก ๆ

เมื่อ

$$E = 2 \times 10^4$$

$$V = 10^7 \text{ cm/sec}$$

$$T = \text{Transit time} = 10^{-4} / 10^7 = 10^{-11} = 10 \text{ psec}$$

= เวลาที่มีกระแสไหล เมื่อรับแสงเข้ามา

ผลตอบสนองของความถี่ (frequency response) ที่ $f_{3\text{dB}} = 2.4 / 2\pi T$ (4.2)

กำหนดให้ light in = P watts และ $0 < \eta < 1$

ให้ $\eta = \text{quantum efficiency} = \frac{\text{จำนวนอิเล็กตรอน}}{\text{จำนวนโฟตอน}}$ (4.3)

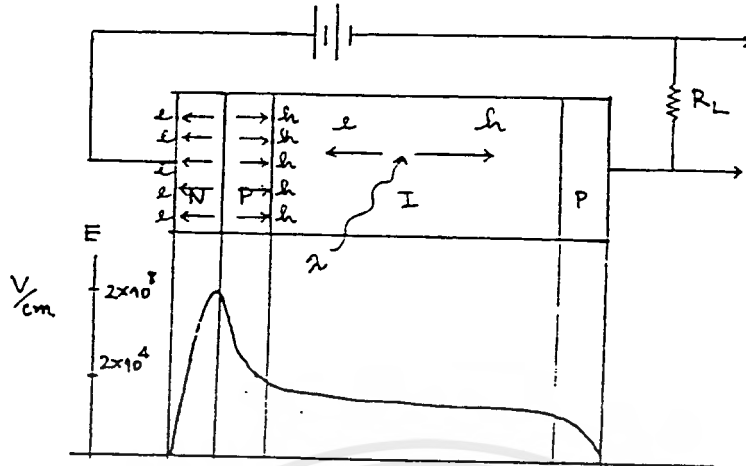
จำนวนโฟตอน = $P / h\nu$ /sec (4.4)

และ จำนวน อิเล็กตรอน = $\frac{\eta P}{h\nu}$ (4.5)

∴ ค่ากระแส $I_p = \frac{\eta e P}{h\nu}$ (4.6)

เมื่อ e = electron charge = 1.602×10^{-19} C

4.3 Avalanche Photodiode (APD)



รูปที่ 4.3 แสดงโครงสร้าง Avalanche Photodiode

light in = P watt

$$\text{จำนวนโฟตอน} = P / h\nu \quad (4.7)$$

$$\text{จำนวนอิเล็กตรอน} = \frac{\eta P}{h\nu} \quad (4.8)$$

เมื่อ η = quantum efficiency

$$\text{จำนวนอิเล็กตรอนทั้งหมด} = M \left(\frac{\eta P}{h\nu} \right) \quad (4.9)$$

$$\text{ดังนั้น ค่ากระแส } I_p = M \left(\frac{eP}{h\nu} \right) \quad (4.10)$$

เมื่อ M = avalanche gain กรณี แบบซิลิกอน < 100 กรณี เจอร์มาเนียม < 40

บทที่ 5

ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยวตระกูล 51

MCS-51 ผลิตโดยบริษัท Intel มีการทำงานเป็นแบบ 8 บิต ซึ่งหมายความว่าส่วนที่ทำหน้าที่ในการคำนวณ (Arithmetic Logic Unit , ALU) จะทำงานสูงสุดทีละ 8 บิต

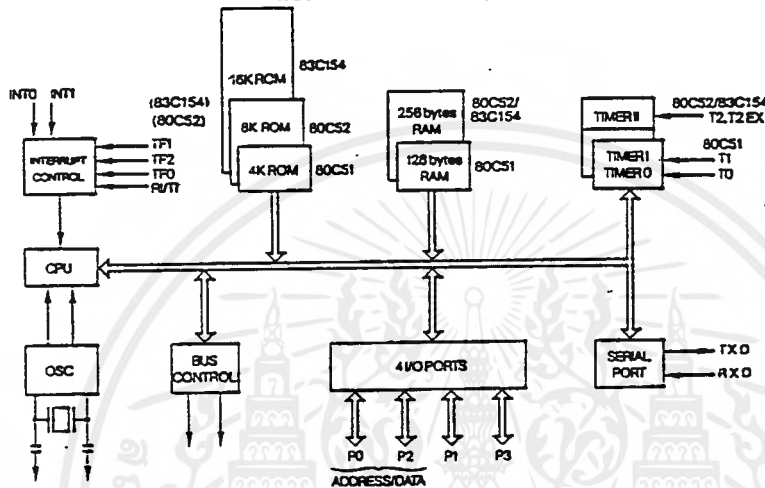
MCS-51 มีข้อดีดังนี้

1. สามารถนำเอาข้อมูลมา AND, OR หรือทำ Complement ทั้งแบบทีละ 8 บิต และ 1 บิต
2. สามารถใช้กับหน่วยความจำสำหรับโปรแกรม (Program Memory) ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่ใช้สำหรับเก็บชุดคำสั่งที่จะให้ MCS-51 ทำงาน ได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ (Kilobyte = 64 x 1024 ไบต์) ทำให้เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานได้มาก
3. สามารถต่อกับหน่วยความจำสำหรับข้อมูล (Data Memory) ซึ่งเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลในระหว่างการทำงานของโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
4. มีพอร์ขนาน (Parallel port) สำหรับข้อมูลเข้าและออกจำนวน 32 บิต ที่ข้อมูลแต่ละบิตเป็นอิสระต่อกัน
5. มีวงจรถ่าย Timer/Counter ขนาด 16 บิต 2 ชุดที่ทำงานในโหมดต่าง ๆ ได้ถึง 4 โหมด
6. มี Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) สำหรับรับ-ส่งข้อมูลอนุกรม (Serial) แบบ Full duplex ที่สามารถเลือกรูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลได้ 4 แบบ
7. มีแหล่งกำเนิดสัญญาณขอขัดจังหวะการทำงานของโปรแกรม (Interrupt Request Signal) 6 ตำแหน่ง ซึ่งสามารถกระโดดไปทำงานตอบสนองการขัดจังหวะ (Interrupt Service Routine) ได้ต่าง ๆ กัน 5 ตำแหน่ง
8. สามารถเลือกการทำงานให้อยู่ในโหมดของ Idle และ Power Down ซึ่งจะประหยัดกำลังไฟในการทำงาน

จากข้อดีดังกล่าว จึงทำให้ MCS-51 เป็นที่นิยมนำมาใช้ในการควบคุมระบบอัตโนมัติมาก คุณสมบัติดังกล่าวบรรจุไว้ในวงจรรวมเดียว (Single Chip) ขนาด 40 ขา ดังนั้นจึงสามารถออกแบบให้ระบบทั้งหมดมีขนาดเล็ก และการที่ทั้งหมดบรรจุอยู่ภายในวงจรรวมเดียวจึงทำให้การตรวจสอบหาข้อผิดพลาดในระบบง่ายไม่สลับซับซ้อน รวมทั้งลดปัญหาเรื่องการที่มีสัญญาณรบกวนในระบบ จนทำให้การทำงานผิดพลาดไป แต่การที่จะนำเอา MCS-51 มาใช้งานได้จำเป็นต้องศึกษาและทำความเข้าใจถึงโครงสร้างและองค์ประกอบของ MCS-51 เสียก่อนแล้วจึงจะเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของ MCS-51 ให้เป็นไปตามความต้องการ

5.1 โครงสร้างของ 8051

ภายใน 8051 จะประกอบขึ้นด้วย GATE ต่าง ๆ เช่น AND, OR, NOT ซึ่ง GATE เหล่านี้จะถูกนำมาออกแบบให้มีหน้าที่ในการทำงานต่าง ๆ เช่น วงจรถอดรหัสคำสั่ง (Instruction Decoder) วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock Signal Generator) โครงสร้างภายในของ 8051 จะประกอบด้วย ส่วนย่อย ๆ ดังไดอะแกรมใน รูป 5.1



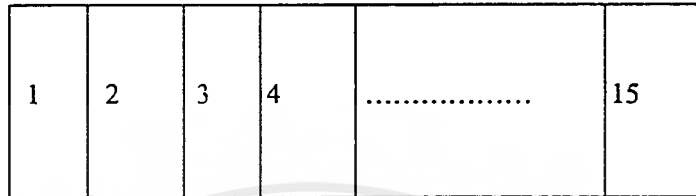
รูปที่ 5.1 ไดอะแกรมโครงสร้างของ 8051

ไดอะแกรมในรูปที่ 5.1 เป็นโครงสร้างใหญ่ ๆ ของ 8051 เนื่องจากลักษณะของ 8051 เป็นคอมพิวเตอร์จึงประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ

ส่วนที่ 1 คือ CPU (Central Processing Unit) หรือตัวประมวลผล ส่วนนี้จะมีส่วนที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมในการติดต่อกับส่วนอื่น ๆ เรียกว่าวงจรควบคุม (Control Unit) สัญญาณที่สร้างจากวงจรควบคุมได้แก่ สัญญาณสำหรับการติดต่อกับหน่วยความจำ อุปกรณ์รับข้อมูลเข้าหรือส่งข้อมูลเข้าหรือส่งข้อมูลออกจากตัว 8051 ซึ่งส่วนควบคุมการขัดจังหวะ (Interrupt Control) และส่วนควบคุมบัส (Bus Control) ก็เป็นส่วนหนึ่งของวงจรควบคุมด้วยการสร้างสัญญาณควบคุมจากส่วน CPU นี้จะทำการสร้างสัญญาณโดยการถอดรหัสจากคำสั่ง (Instruction) ตามที่มีการกำหนดไว้ และสัญญาณที่สร้างขึ้นมาจะอ้างอิงกับสัญญาณนาฬิกา ที่สร้างจากวงจรถอดรหัสสัญญาณนาฬิกา เพื่อให้ทุก ๆ ส่วนในวงจรทำงานประสานกัน (Synchronize) อย่างถูกต้อง

ใน CPU นี้ยังประกอบด้วยส่วนย่อยอีกส่วนที่เรียกว่า ส่วนประมวลผล (Arithmetic Logic Unit) ส่วนนี้จะทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลเช่น การบวก ลบ คูณ หรือหารข้อมูล แล้วนำผลลัพธ์ไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์หรือหน่วยความจำที่ต้องการ

ส่วนที่ 2 คือ หน่วยความจำ (Memory) มีไว้สำหรับจดจำข้อมูล ถ้าจะให้เห็นภาพพจน์ของหน่วยความจำได้ดีก็คือ หน่วยความจำเปรียบเหมือนกล่องเก็บเอกสารจำนวนมากที่นำมาต่อเรียงกันไว้ แต่ละกล่องก็มีเอกสาร 1 แผ่น ดังรูปที่ 5.2 มีกล่องเอกสารทั้งหมด 15 กล่อง



รูปที่ 5.2 ภาพเสมือนหน่วยความจำ

ถ้าต้องการเอาเอกสารจากกล่องใด หรือเอาเอกสารไปเก็บที่กล่องใด จะต้องรู้หมายเลขของกล่องข้อมูลเสียก่อน ซึ่งถ้าเป็นหน่วยความจำแล้วหมายเลขของกล่องก็คือตำแหน่งของหน่วยความจำหรือแอดเดรส (Adress) นั่นเอง การเอาข้อมูลไปเก็บในหน่วยความจำเรียกว่าการเขียน (Write) ข้อมูล และการเอาข้อมูลออกจากหน่วยความจำจะเรียกว่าการอ่าน (Read) ข้อมูล ซึ่งแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะเก็บข้อมูลได้เพียงค่าเดียวเท่านั้น ในไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไปรวมทั้ง 8051 นั้นข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะมีค่าได้เพียง 8 หลักของเลขฐาน 2 (8 บิตเท่ากับ 1 ไบท์) ดังนั้นแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจะเก็บข้อมูลมีค่าได้ระหว่าง 0 ถึง 255 (00000000 ถึง 11111111 ในเลขฐาน 2) แต่จำนวนตำแหน่งที่จะเก็บข้อมูลได้ขึ้นกับไมโครโพรเซสเซอร์แต่ละเบอร์ การติดต่อกับหน่วยความจำจะต้องมีสัญญาณ 3 กลุ่ม คือ

1. แอดเดรส หรือค่าตำแหน่งที่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำ ใน 8051 จะติดต่อกับหน่วยความจำประเภท Program Memory หรือ Data Memory ได้สูงสุด ชนิดละ 65536 ตำแหน่ง ดังนั้นการอ้างอิงแต่ละ ตำแหน่งของหน่วยความจำจะต้องใช้เส้นแสดงตำแหน่งในเลขฐาน 2 ทั้งหมด 16 เส้น (2^{16} เท่ากับ $64 \times 1024 = 65536$)
2. ข้อมูลที่จะอ่านหรือเขียนกับหน่วยความจำที่ตำแหน่งในข้อ 1
3. สัญญาณควบคุมที่จะส่งไปยังหน่วยความจำ เพื่อบอกกับหน่วยความจำว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูล

สัญญาณเหล่านี้จะถูกรวบรวมควบคุมภายใน 8051 สร้างมาจากวงจรถอดรหัสของคำสั่งที่ 8051 อ่านจากหน่วยความจำ Program Memory เข้าไปทำงานนั่นเอง ในรูป 6.2 หน่วยความจำได้แก่ 4K ROM และ 128 Byte RAM ซึ่งขนาดของหน่วยความจำนี้มีขนาดต่าง ๆ กันตามเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และจะอธิบายโดยละเอียดในข้อ 6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 3 อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต (Input /Output Device) เป็นส่วนที่จะใช้ส่งข้อมูลเข้าหรือออกจาก 8051 ทำให้ 8051 ติดต่อกับโลกภายนอกได้ ดังในไดอะแกรมรูปที่ 6.2 อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต ได้แก่ 4 I/O Port, Timer 0, Timer 1, Serial Port การทำงานของแต่ละส่วนมีดังนี้

1. I/O Port คำว่าพอร์ทหมายถึงจุดที่จะติดต่อกับส่วนที่อยู่ภายนอก 4 I/O Port ของ 8051 เป็นที่ใช้สำหรับรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลเข้าหรือออกจากตัว MCS-51 พอร์ทมีทั้งหมด 4 พอร์ท โดยแต่ละพอร์ทจะรับ-ส่งข้อมูลได้ 8 บิต มีพอร์ท P0,P1,P2 และ P3 บางพอร์ทจะใช้ทำงานมากกว่า 1 อย่างก็ได้ เช่น พอร์ท P0 และ P2 จะใช้สำหรับการส่งค่าตำแหน่ง (Address) ของหน่วยความจำที่ต้องการติดต่อ และพอร์ท P0 จะใช้รับส่งข้อมูลเมื่อติดต่อกับหน่วยความจำได้ด้วย แต่สิ่งเหล่านี้ไม่ได้เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน แต่จะใช้วิธีทำงานตามลำดับโดยควบคุมจากสัญญาณควบคุม (Control) ที่ถอดรหัสมาจากแต่ละคำสั่งที่ให้คอมพิวเตอร์ทำงานนั่นเอง และสัญญาณทั้งหมดจะอ้างอิงกับสัญญาณนาฬิกา

2. Timer 0 และ Timer 1 เป็นวงจรมับที่สามารถกำหนดให้ทำการนับจำนวนไซเคิลของสัญญาณที่ต่อจากภายนอก 8051 หรือจำนวนไซเคิลของสัญญาณนาฬิกาภายใน 8051 ก็ได้ค่าจากการนับจะถูกอ่านหรือตั้งค่าเริ่มต้นของการนับได้โดย CPU

3. Serial Port หรือพอร์ทอนุกรม CPU จะอ่านและเขียนข้อมูลกับ Serial Port เป็นแบบ 8 บิต แต่ข้อมูลจะถูกส่งออกจาก 8051 เรียงไปทีละบิตออกจากขา TXD และในการรับข้อมูลเข้าก็จะรับเข้ามาทีละ บิต ทางขา RXD แล้วจัดเรียงใหม่เป็น 8 บิต เพื่อให้ CPU อ่านไปใช้งานต่อไป

8051 มีพอร์ทให้ใช้งานได้หลายแบบทำให้สะดวกแก่การนำไปใช้งานต่าง ๆ มากมาย การจะจำพอร์ทเหล่านี้ไปใช้งานได้จะต้องเขียนโปรแกรมขึ้นมาควบคุม ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

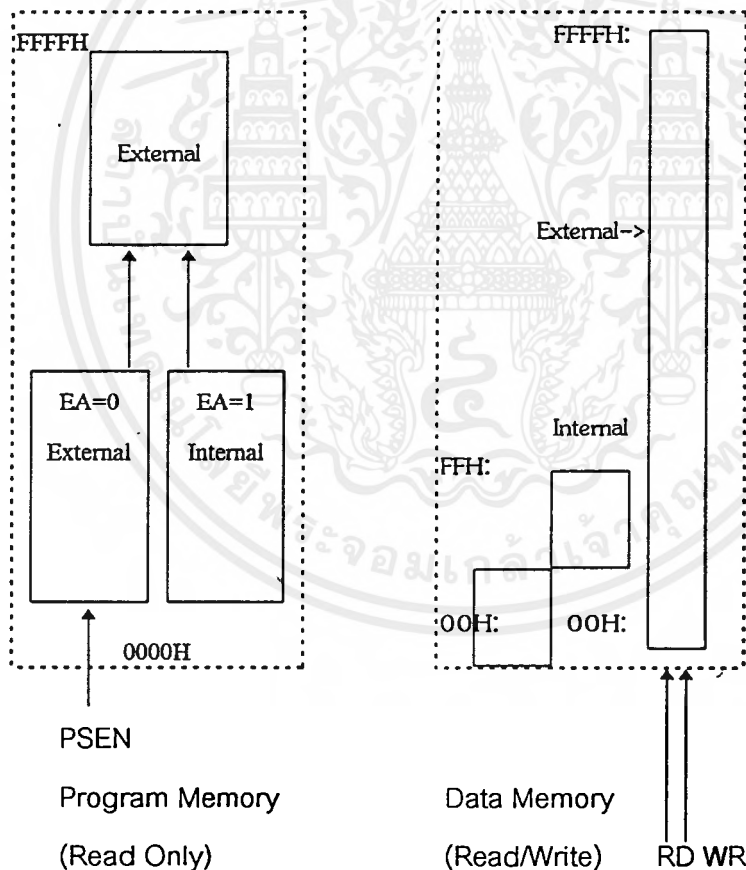
5.2 การจัดการหน่วยความจำของ 8051

หน่วยความจำของ 8051 แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ตามลักษณะของการทำงาน คือ

1. Program Memory เป็นหน่วยความจำที่ใช้เป็นเก็บคำสั่งในรูปรหัสภาษาเครื่อง (Machine Language) ซึ่งต้องการให้ 8051 ทำงาน เมื่อ 8051 ทำงานก็จะอ่านข้อมูลที่เก็บในหน่วยความจำประเภทนี้เข้าไปถอดรหัสแล้วสร้างสัญญาณควบคุมส่วนอื่น ๆ ตามการทำงานของแต่ละคำสั่งนั้น หน่วยความจำแบบนี้จะต้องเป็นแบบ Read Only Memory (ROM) และผู้ใช้ต้องเขียนข้อมูลในแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำเป็นรหัสภาษาเครื่องของ 8051 ตามลำดับการทำงานที่ต้องการ (หน่วยความจำแบบ ROM เป็นแบบ Non Volatile ซึ่งเมื่อปิดไฟแล้ว ข้อมูลก็ไม่มีการสูญหาย) การเขียนข้อมูลลงไปบน ROM จะต้องใช้เครื่องมือพิเศษ ในระหว่างการทำงานของ 8051 ผู้ใช้จะไม่สามารถใช้คำสั่งทำการเขียนข้อมูลลงไปบน ROM ได้ จำนวนตำแหน่งสูงสุดของหน่วยความจำแบบนี้ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8051 ะใช้งานได้คือ 65536 ตำแหน่ง ค่าของตำแหน่ง (Address) จะเขียนเป็นเลขฐาน 16 ได้ตั้งแต่ 0000H ถึง FFFFH หน่วยความจำตำแหน่ง 0000H ถึง 0FFFFH จำนวน 4 กิโลไบต์ นั้นผู้ใช้จะเลือกได้ว่าเป็นตำแหน่งของ ROM ที่อยู่ภายในหรือภายนอก 8051 ถ้าต้องการให้ 8051 ทำงานตามคำสั่งที่เก็บไว้ใน ROM ภายใน 8051 ก็ให้ป้อนสัญญาณสถานะลอจิก High (1) เข้าที่ขา EA ของ 8051 แต่ถ้าต้องการให้ทำงานในโปรแกรมที่เก็บไว้ใน ROM ภายนอก 8051 ก็ให้ต่อลอจิก Low (0) เข้าที่ขา EA ของ 8051 ส่วนหน่วยความจำที่ตำแหน่ง 1FFFFH ถึง FFFFH จะต้องต่ออยู่ภายนอก 8051 เสมอ ดังแสดงในแผนภูมิหน่วยความจำ (Memory Map) ในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แผนภูมิหน่วยความจำของ 8051

- Internal Memory หมายถึง หน่วยความจำนั้นอยู่ภายใน 8051 ส่วน External Memory หมายถึง หน่วยความจำนั้นอยู่ภายนอก 8051 ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ได้แก่ เบอร์ 8031 ,8051 และ 8751 นั้นโดยโครงสร้างและรหัสคำสั่งจะเหมือนกันทุกประการแตกต่างกันที่

- 8031 จะไม่มี ROM ขนาด 4 กิโลไบต์อยู่ใน ผู้ใช้จะต้องเลือกการใช้งาน Program Memory อยู่ภายนอกวงจรรวมทั้งหมด 64 กิโลไบต์

- 8051 จะมี ROM ขนาด 4 กิโลไบต์อยู่ใน ถ้าต้องการเก็บคำสั่งควบคุมการทำงานไว้ในหน่วยความจำส่วนนี้ จำต้องส่งโปรแกรมคำสั่งไปให้โรงงานผู้ผลิตทำการเขียนใส่ใน ROM ให้ตั้งแต่ในขั้นตอนของการผลิตวงจรรวม ผู้ใช้ไม่สามารถแก้ไขโปรแกรมได้เอง ถ้าจะนำมาใช้งานโดยเก็บโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำช่วง 4 กิโลไบต์แรก อยู่ภายนอกก็สามารถทำได้ โดยการต่อ ROM ไว้ภายนอก แล้วต่อขา EA ของ 8051 ไว้กับสัญญาณที่มีสภาวะวอลจิกเป็น 0

- 8751 จะมีหน่วยความจำขนาด 4 กิโลไบต์เป็นแบบ EPROM (Erasable Program Read Only Memory) อยู่ในวงจรรวมเอาไว้ ใช้เก็บโปรแกรมคำสั่งที่จะให้ 8751 ทำงาน ผู้ใช้สามารถเขียนคำสั่งลงใน EPROM ได้เองโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องโปรแกรม EPROM (EPROM Programmer) และผู้ใช้สามารถแก้ไขโปรแกรมที่อยู่ใน EPROM ได้โดยการล้างข้อมูลในทุกตำแหน่งของ EPROM ออกด้วยการฉายแสงอุลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) ผ่านกระจกใสบนวงจรรวมเข้าไปยังวงจรรวมภายใน ตามเวลาที่กำหนดในคู่มือเฉพาะ (Data sheet) ของ 8751 จากนั้นก็ใช้เครื่องโปรแกรม EPROM เขียนโปรแกรมลงไปใหม่ 8751 นี้จะสะดวกมากสำหรับการพัฒนาโปรแกรม

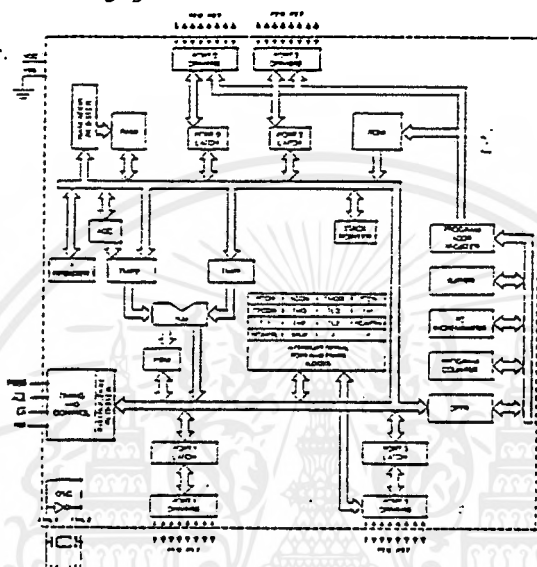
2. Data Memory เป็นหน่วยความจำที่ 8051 จะใช้สำหรับพัก, เก็บข้อมูล แล้วเรียกมาใช้ใหม่ ในระหว่างการทำงานของ 8051 การอ่านหรือเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำจะกระทำโดยคำสั่งที่เก็บไว้ใน Program Memory หน่วยความจำแบบนี้เป็นประเภท Random Access Memory (RAM) ถ้ามีไฟเลี้ยงอยู่ข้อมูลที่เก็บไว้จะไม่สูญหาย แต่ถ้าปิดเครื่องหรือไม่จ่ายไฟให้แก่ RAM แล้วข้อมูลใน RAM ก็ จะสูญหายไป การสูญหายของข้อมูลไม่ได้หมายความว่าไม่มีอะไรอยู่เลย แต่เป็นการที่ข้อมูลใหม่ซึ่งไม่ใช่ข้อมูลที่เก็บไว้เดิมเข้ามาอยู่แทนที่ เช่นเดิมเก็บข้อมูล 18H ไว้ที่ตำแหน่ง 1900H เมื่อปิดไฟแล้วเปิดใหม่ ข้อมูลที่ตำแหน่ง 1900H จะไม่ใช่ 18H อาจเป็นค่าอะไรก็ได้ ซึ่งเรียกรวมการเกิดลักษณะนี้ว่าข้อมูลสูญหายไป หน่วยความจำแบบ Data Memory ของ 8051 จะมีอยู่ 2 ชุด ชุดหนึ่งอยู่ใน 8051 จำนวน 128 ไบต์ที่ตำแหน่ง 00H ถึง 7FH และอีกชุดหนึ่งจะต้องต่ออยู่ภายนอกของวงจรรวม 8051 มีได้สูงสุด 65536 ไบต์ (64 กิโลไบต์) อยู่ที่ตำแหน่ง 0000H ถึง FFFFH ดังแสดงในรูป 6.4 หน่วยความจำแบบ Data Memory ภายใน 8051 ที่ตำแหน่ง 80H ถึง FFH นั้น ไม่ได้มีอยู่ทุกตำแหน่ง จะมีเฉพาะในบางตำแหน่งซึ่งเรียกหน่วยความจำบางตำแหน่งนี้ว่า Special Function Register (SFR) เพราะจะใช้หน่วยความจำเหล่านี้สำหรับงานพิเศษเท่านั้น แต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำแบบ SFR นี้ อาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น RAM หรือจอร์นัม (Counter) จอร์ตั้งเวลา (Timer) ก็ได้ เช่น เป็น Timer 0 , Timer 1 ดังนั้นใน 8051 จึงไม่ถือว่า SFR เป็น Data Memory

5.3 สถาปัตยกรรมของ 8051

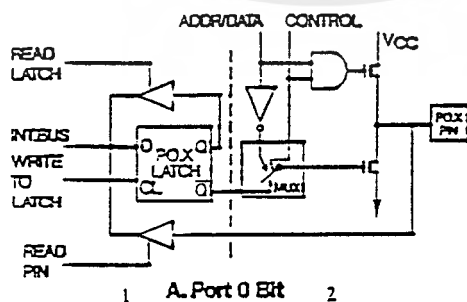
จากรูปที่ 5.4 เป็นสถาปัตยกรรมของ 8051 ซึ่งจะอธิบายถึงส่วนย่อยๆภายในของ 8051 สัญญาณา 40ขาที่จะต่อสัญญาณาออกภายนอก



รูปที่ 5.4 สถาปัตยกรรมภายในของ 8051

Port 0

เป็น Port ขนาดขนาด 8 bit อยู่ที่ขา 39-32 เริ่มจากบิต 0 ถึง 7 ดังรูป แต่ละขาจะเขียนว่า P0.0,P0.1,...P0.7 หมายถึงบิต 7 ของ Port 0 ซึ่งเป็นบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุด Port 0 ใช้ได้ทั้งการรับ-ส่ง ข้อมูล ข้อมูลที่ส่งออกทาง Port 0 จะถูกแลตช์ไว้ที่ขาของ Port โครงสร้างของแต่ละบิตของ Port 0 เป็นแบบ Open Drain Bidirectional ดังรูป 5.5



รูปที่ 5.5 โครงสร้างของPort 0

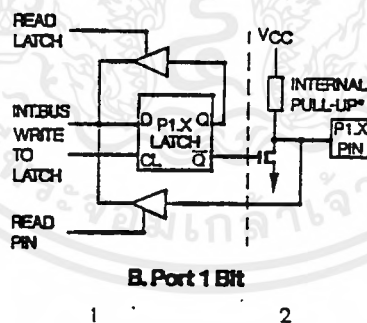
ในรูปที่ 5.5 เมื่อมีคำสั่งการเขียนข้อมูลมายัง Port 0 ข้อมูลจาก Internal Data Bus จะถูก Latch ไว้ที่ D-FF โดยสัญญาณ "Write to Latch" ที่ถูกสร้างมาจากส่วน Timing and Control และในการอ่านข้อมูลจาก 0 จะอ่านได้ 2 แบบ คือ การอ่านข้อมูลที่ส่งไปเก็บไว้ที่ Port ก็จะมีสัญญาณ Read Latch มาเพื่ออ่านข้อมูลจาก D-FF กลับเข้าไปยัง Internal Data Bus การอ่านข้อมูลอีกแบบก็คือ การอ่านสถานะของสัญญาณที่เข้ามาทาง Port 0 ก็จะมีสัญญาณ Read Pin มาควบคุมการอ่าน

Port 0 จะใช้งานหลายอย่างดังนี้

1. ใช้สำหรับส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำภายนอกที่ต้องการติดต่อด้วย ตำแหน่งหน่วยความจำสูงสุดที่จะติดต่อได้คือ 64 kbyte จึงมีค่าตำแหน่งหน่วยความจำ 16 บิตของเลขฐานสอง ค่าตำแหน่งหน่วยความจำ 8 บิตล่างจะถูกส่งออกทาง Port 0 และ 8 บิตบนจะส่งออกทาง Port 2
2. ใช้รับ-ส่งข้อมูลกับ Data Memory หรือใช้รับข้อมูลจาก Program Memory
3. ใช้รับ-ส่งข้อมูลทาง Port โดยตรง ในกรณีที่ไม่มีการใช้หน่วยความจำของ Program Memory หรือ Data Memory ภายนอก

Port 1

เป็น Port ขนาด 8 บิต คือขา P1.0-P1.7 (ขา 1-8) P1.0 หมายถึงบิต 0 ของ Port 1 ซึ่งเป็นบิต Least Significant Bit และ บิต 7 (P1.7) เป็น Most Significant Bit โครงสร้าง Port 1 ดังรูป 5.6



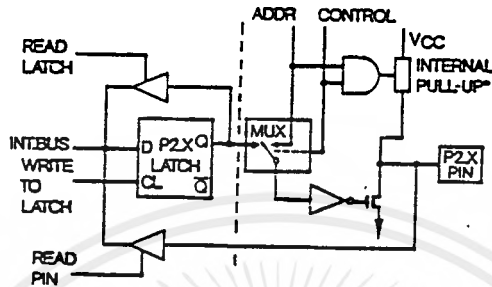
รูปที่ 5.6 โครงสร้าง Port 1

ส่วนที่ 1 คือ Port Latch ในรูปที่ 5.6 ซึ่งจะมีการทำงานเหมือนส่วนที่ 1 ของ Port 0 ส่วนที่ 2 คือ Port 1 Driver ในรูปที่ 3.4 Port 1 Driver จะมีตัวต้านทานต่ออยู่เป็น Internal Pull up .Port 1 จะใช้เป็นตัวรับส่งข้อมูลเท่านั้น ข้อมูลที่ส่งออกมาทาง Port 1 จะถูก Latch ไว้แล้วส่งออกไปทางแต่ละขา ก่อนที่จะอ่านข้อมูลเข้าไปทาง Port 1 จะต้องเขียน 1 ไปยังทุกบิตของ Port 1 เสียก่อนเพื่อให้ FET อยู่ในสถานะ OFF ก่อน มิฉะนั้นแล้วถ้ามีข้อมูล 0 ส่งออกมาค้างอยู่ที่ D-FF จะทำให้ FET อยู่ในสถานะ ON ดังนั้นถ้า

สัญญาณภายนอกส่งเข้ามาที่ขานี้ก็จะถูกสังวจรลงกราวด์ โดยไม่สนใจว่าสถานะลอจิกของสัญญาณที่เข้ามาจะเป็นอะไร ข้อมูลที่อ่านเข้าไปจึงเป็น 0 เสมอ

Port 2

Port ขนาด 8 บิตคือขา P2.0 ถึง P2.7 มีโครงสร้างของPort ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 โครงสร้างของ Port2

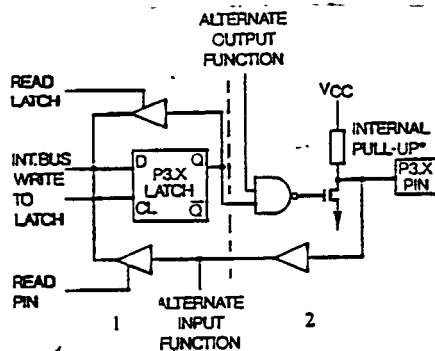
ลักษณะจะเหมือนกับ Port 0 แต่แตกต่างกันที่ ในPort 2 นั้นภาค Driver จะใช้งานเพียง 2 ลักษณะคือ

1. ใช้ส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำภายนอกที่ต้องการติดต่อค่าตำแหน่งนี้เป็น 8บิตบนของค่าตำแหน่ง
2. ใช้เป็นพอร์รับและส่งข้อมูลกับภายนอก

ดังนั้นภาค Driver ของ Port 2 จึงแตกต่างจาก Driver ของ Port 0 โดยที่ในPort 2 นั้นจะมีเฉพาะ ADDRเข้ามาที่ MUX เท่านั้น นอกนั้นแล้วการทำงานจะเหมือนกัน และที่ Output ของ Port 2 จะมี Internal Pull up จะทำให้Output ของ Port 2 แสดงสถานะลอจิกเป็น 1 ได้ ถ้า FET อยู่ในสถานะ OFF บางครั้งเรียกว่า "Quasi-Bidirectional" เมื่อใช้เป็นพอร์ Input ก็รับสัญญาณภายนอกมาโดยตรง ถ้าสัญญาณภายนอกเป็น 0 ก็จะมีกระแสไหลออกจากพอร์ เมื่อใช้เป็นพอร์ Input รับข้อมูล จะต้องเขียน 1 ไปยังแต่ละบิตเสียก่อน

Port 3

คือขา P3.0-3.7 หรือขา 10-17 Port 3 มีโครงสร้างดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 โครงสร้างพอร์ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 1 ในรูปที่ 5.8 เป็นส่วน Latch ข้อมูลที่เขียนมายังพอร์ท 3 ทาง Internal Bus เหมือนกับ Port อื่นๆ และพอร์ท 3 จะมี Internal Pull up อยู่ทุกบิต แต่พอร์ท 3 นี้แต่ละบิตจะใช้ในการทำงานอื่นได้ โดยใช้คำสั่งควบคุมการทำงาน ในส่วนที่ 2 จะมีสัญญาณ Alternative Output Function ที่สร้างมาจากส่วน Timing and Control สัญญาณ Alternative Output Function เป็นสัญญาณส่งออกในกรณีที่ ใช้พอร์ท 3 ทำงานใน Function อื่น และจุด Alternative Output Function เป็นจุดที่จะเอาสัญญาณไป เข้ากับส่วนอื่นตามการทำงานของบิตนั้น แต่ละบิตของพอร์ท 3 จะมี Function อื่นดังนี้

P3.0/RXD(Serial Input Port)

P3.1/TXD(Serial Output Port)

P3.2/INT0(External Interrupt)

P3.3/INT1(External Interrupt)

P3.4/TO(Timer Counter 0 External Input)

P3.5/T1(Timer Counter 1 External Input)

P3.6/WR(External Data Memory Write Strobe)

P3.7/RD(External Data Memory Read Strobe)

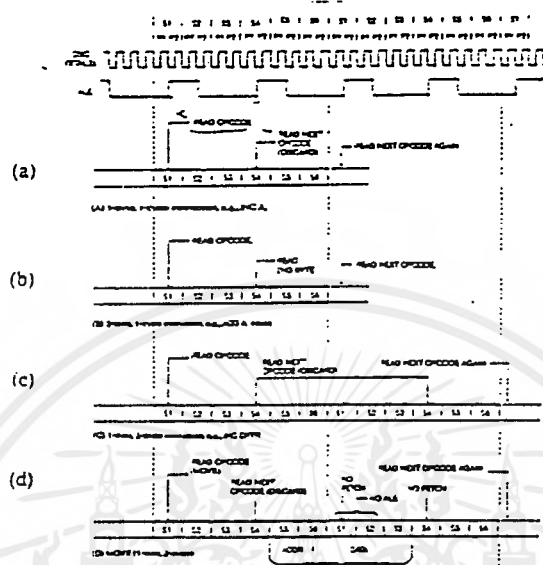
5.4 การทำงานของ 8051

คอมพิวเตอร์จะทำงานด้วยวงจรที่เรียกว่า ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ประกอบขึ้นมาเพียงอย่างเดียวไม่ได้ จะต้องมีการโปรแกรมหรือคำสั่งที่จัดเรียงกันไว้ให้คอมพิวเตอร์ทำงานตามลำดับ ใน 8051 ก็เช่นกัน ผู้ใช้จะต้องเขียนโปรแกรมเป็นภาษาเครื่อง ซึ่งอยู่ในรูปของเลขฐาน 2 เก็บไว้ในหน่วยความจำ ประเภท Program memory แต่ละคำสั่งของ 8051 อาจประกอบด้วย 1,2 หรือ 3 ไบต์ แล้วแต่ว่าจะเป็นคำสั่งให้ทำงานอะไร คอมพิวเตอร์ก็จะเหมือนกับคนที่จะต้องทำงานตามคำสั่ง เมื่อรับคำสั่งแล้วก็จะไปทำตามคำสั่งนั้น เสร็จสิ้นแล้วก็กลับมารับคำสั่งต่อไป

จากรูปที่ 5.4 เมื่อเริ่มป้อนไฟเลี้ยงให้กับ 8051 ซึ่งมีวงจร Power on reset ต่ออยู่จะมีการรีเซ็ตเกิดขึ้น การทำงานภายใน 8051 จะเริ่มจากบิตล็อก Program Counter ซึ่งเป็นวงจรมับ (Counter Circuit) ชนิดหนึ่งส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมลงไปบนบัส (Bus) หมายเลข 1 บิตนี้มีขนาด 16 บิต ค่าตำแหน่งหน่วยความจำนี้จะถูกส่งไปเก็บที่ Program ADDR Register ที่เป็นวงจร Latch ข้อมูลซึ่งเป็นค่าตำแหน่งหน่วยความจำ จะปรากฏที่บนบัส 16 บิตหมายเลข 2 ถ้าเป็นค่าตำแหน่งหน่วยความจำแรกหลังจากรีเซ็ต ค่าตำแหน่งหน่วยความจำจะเป็น 0000H หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมจะเลือกได้ว่าเป็น ROM ภายในหรือภายนอก 8051 โดยการป้อนสภาวะลอจิกเข้าไปที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8051 ทางขา EA ซึ่งต่ออยู่ส่วน Timing and Control ทำหน้าที่ เป็นวงจรถอดรหัส (Decoder) แล้วสร้างสัญญาณควบคุมต่อไป ถ้าบิตสัญญาณลอจิก 0 เข้าไปที่ขา EA จะเป็นการเลือกใช้ ROM ภายใน 8051 โดยที่วงจร Timing and Control จะสร้างสัญญาณไปยัง ROM ภายในให้ส่งข้อมูลที่เป็นคำสั่งจากตำแหน่งที่ถูกชี้ด้วยค่าตำแหน่งที่ส่งมาทางบัสหมายเลข 2 ข้อมูลจาก ROM จะถูกส่งลงไปยังบัสหมายเลข 3 ที่เรียกว่า Internal Data Bus แล้วนำไปเก็บไว้ที่ Instruction Register (เป็นวงจร Latch) เพื่อส่งต่อไปให้กับวงจร Timing and Control ทำการถอดรหัส แล้วควบคุมการทำงานส่วนอื่น ๆ ต่อไป แล้วแต่ว่าเป็นคำสั่งให้ทำงานอะไร ในกรณีที่เลือก ROM ภายนอก 8051 โดยบิตสัญญาณลอจิก 1 เข้าไปที่ขา EA จะทำให้วงจร Timing and Control ส่งสัญญาณไปยังพอร์ท 0 และ 2 เพื่อส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำบนบัสหมายเลข 2 ออกไปชี้ตำแหน่งหน่วยความจำภายนอก จากนั้นจะอ่านข้อมูลที่เป็นคำสั่งกลับเข้ามาทางพอร์ท 0 ไปยัง Internal Data Bus แล้วเก็บที่ Instruction Register เพื่อทำงานต่อไปเหมือนกับตอนอ่านคำสั่งจาก ROM ภายใน การทำงานในช่วงส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำไปยังหน่วยความจำ แล้วอ่านข้อมูลที่เป็นคำสั่งกลับเข้ามาเก็บไว้ใน Instruction Register เรียกว่าเป็นช่วงของการ Fetch (Fetch Cycle) ช่วงต่อไปจะเป็นช่วงของการทำงานตามคำสั่งเรียกว่า Execute Cycle เช่นถ้าเป็นคำสั่งให้บวกข้อมูลในรีจิสเตอร์ Accumulator กับข้อมูลจากหน่วยความจำ Data Memory ภายใน RAM ตำแหน่ง 23H วงจร Timing and Control ก็จะส่งสัญญาณให้ Instruction Register ส่งค่าตำแหน่งหน่วยความจำ 23H ไปยัง Internal Data Bus แล้วนำข้อมูลไปเก็บไว้ที่ RAM ADDR Register เพื่อใช้ชี้ตำแหน่งหน่วยความจำ RAM จากนั้น Timing and Control จะสั่งให้ RAM ส่งข้อมูลที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำตำแหน่ง 23H ลงมายัง Internal Data Bus แล้วนำข้อมูลไปเก็บไว้ที่ TMP1 (วงจร Latch) ขณะเดียวกันวงจร Timing and Control ก็จะส่งสัญญาณไปยัง ACC ให้ส่งข้อมูลมายัง TMP2 (วงจร Latch) วงจร ALU ซึ่งโครงสร้างเป็นวงจรถ่ายการคำนวณทางคณิตศาสตร์ (บวก,ลบ,คูณ,หาร) และยังสามารถทำงานทางลอจิก (AND, OR , NOT,XOR) จะทำการบวกเลขจาก TMP1 และ TMP2 เข้าด้วยกันผลลัพธ์ที่ได้จะส่งผ่าน Internal Data Bus กลับไปเก็บยัง ACC PSW (Program Status Word) ซึ่งจะทำหน้าที่เก็บสถานะผลลัพธ์ของการทำงานใน ALU เช่นผลลัพธ์การบวกมีค่าเกิน 8 บิต ก็จะทำให้บิตหนึ่งใน PSW ถูก SET เป็น 1

การทำงานที่กล่าวมาข้างต้นจะขึ้นกับสัญญาณควบคุมที่สร้างมาจากวงจร Timing and Control และสัญญาณที่สร้างขึ้นนี้จะอ้างอิงกับสัญญาณนาฬิกาที่สร้างมาจากวงจร Timing and Control และสัญญาณที่สร้างขึ้นนี้จะอ้างอิงกับสัญญาณนาฬิกาที่สร้างมาจากวงจร Oscillator ทำให้การทำงานต่าง ๆ เป็นไปตามลำดับที่ผู้ผลิตได้ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 ลำดับสถานะการทำงานใน MCS-51

คำสั่งแต่ละคำสั่งของ 8051 จะใช้เวลาทำงาน 1,2 หรือ 3 ไชเคลิของเครื่อง (Machine Cycle) แล้วแต่ว่าเป็นคำสั่งประเภทใด 1 ไชเคลิของเครื่องจะใช้เวลา 12 ไชเคลิของสัญญาณนาฬิกา ดังนั้นแต่ละคำสั่งของ 8051 จะใช้เวลาการทำงาน 12,24 หรือ 36 ไชเคลิของสัญญาณนาฬิกานั้นเอง แต่ละไชเคลิของเครื่องจะถูกแบ่งออกเป็น 6 State คือ S1,S2,S3,S4,S5 และ S6 แต่ละ State จะประกอบด้วย 2 ไชเคลิของสัญญาณนาฬิกา ในไชเคลิแรกจะเรียกว่า เฟส 1 (P1) และไชเคลิที่ 2 เรียกเฟส 2 (P2) ในแต่ละเฟสจะนับตั้งแต่ขอบขาของสัญญาณนาฬิกาที่อยู่ถัดไปดังในรูปที่ 6.14 เมื่อ 8051 ทำงานเสร็จ 1 ไชเคลิของเครื่องก็จะเริ่มทำงาน State 1 Phase 1 (S1P1) ของไชเคลิต่อไป ใน 1 ไชเคลิของเครื่องวงจร Timing and Control จะสร้างสัญญาณ ALE ออกมา 2 ไชเคลิเพื่อ Fetch คำสั่งเข้าไป 2 ครั้งเสมอ ที่บริเวณขอบขาขึ้นของสัญญาณ ALE คำสั่งใดมีที่ไบท์หรือใช้เวลาทำงานที่ไชเคลิจะดูได้จากตารางชุดคำสั่ง 8051

คำสั่งประเภท 1 ไบท์ 1 ไชเคลิของเครื่องได้แก่คำสั่ง INC A จะมีการอ่านคำสั่งจากหน่วยความจำสำหรับโปรแกรม 2 ครั้ง ที่เวลาประมาณขอบขาขึ้นของสัญญาณ ALE เมื่อคำสั่งแรกถูกอ่านเข้าไปที่เวลาที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณ ALE แรก แล้วนำไปเก็บที่ Instruction Register เพื่อให้วงจร Timing

and Control ถอดรหัสแล้วเข้าสู่การ Execute ขณะเดียวกันก็จะเริ่มต้นการ Fetch คำสั่งที่อยู่ในหน่วยความจำตำแหน่งถัดไปเข้ามา และคำสั่งที่ 2 จะถูกอ่านเข้ามาที่เวลาขอบขาขึ้นของสัญญาณ ALE ถัดไป วงจร Timing and Control เมื่อถอดรหัสคำสั่งแรกก็จะทราบว่าการทำงานคำสั่งนี้ให้สิ้นสุดจะใช้คำสั่งเพียง 1 ไบท์ ดังนั้นคำสั่งที่ถูกอ่านมาไบท์ที่ 2 จะไม่ถูกนำมาทำงาน เพียงแต่อ่านเข้ามาแล้วทิ้งไป (Discard) ดังรูปที่ 5.10 a

คำสั่งประเภท 2 ไบท์และใช้เวลา 1 ไชเคิลของเครื่องได้แก่คำสั่ง ADD A,#data ในหนึ่งไชเคิลของเครื่องนี้จะมีการอ่านคำสั่งเข้ามา 2 ไบท์ เหมือนกับคำสั่งประเภท 1 ไบท์ 1 ไชเคิลของเครื่อง แตกต่างกันไปไบท์ที่ 2 จะถูกนำมาใช้งานด้วยไม่ได้ถูกทิ้งไปดังในรูปที่ 5.10 b ตัวอย่างของคำสั่ง ADD A,#33H จะเขียนเป็นภาษาเครื่องได้ 2 ไบท์ เมื่ออ่านคำสั่งไบท์แรกเข้าไปที่ Instruction Register แล้ว Timing and Control จะถอดรหัสพบว่าเป็นคำสั่งบวกเลข ก็จะส่งสัญญาณไปยัง Accumulator ให้เอาข้อมูลไปไว้ที่ TMP1 เมื่อคำสั่งที่ 2 ถูกอ่านเข้ามาที่ Instruction Register แล้ว Timing and Control จะสั่งให้เอาข้อมูลไบท์ ที่ 2 ส่งลงไปยัง Internal Data Bus ไปเก็บยัง TMP2 จากนั้นวงจร ALU จะนำเอาข้อมูล TMP1 และ TMP2 มาบวกกันผลลัพธ์ที่ได้จะส่งออกจาก ALU ไปยัง Internal Data Bus แล้วไปเก็บไว้ที่ Accumulator

5.5 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register : SFR)

ใน 8051 จะใช้วิธีการกำหนดชื่อให้กับตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายใน (Internal Data Memory) ที่เรียกว่า Symbolize เช่นการให้ชื่อหน่วยความจำแต่ละตำแหน่งในแต่ละ Bank ซึ่งอยู่ในช่วงหน่วยความจำตำแหน่ง 00H ถึง 1FH แล้วในคำสั่งจะอ้างถึงหน่วยความจำแต่ละตำแหน่งโดยการใช้ชื่อ R0,R1,R2,R3,R4,R5,R6 และ R7 หน่วยความจำตำแหน่งเหล่านี้ จะเรียกอีกอย่างว่า เป็นรีจิสเตอร์ซึ่งมีหน้าที่ในการเก็บหรือพักข้อมูลหรือใช้สำหรับการกระทำบางอย่าง รีจิสเตอร์กลุ่มหนึ่งใน 8051 ที่เรียกว่า Special Function (SFR) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับงานเฉพาะ คือข้อมูลที่ถูกลำไปเก็บไว้รีจิสเตอร์เหล่านี้จะมีความหมายเฉพาะตัวของรีจิสเตอร์ ที่แต่ละตำแหน่งของ SFR อาจจะไม่ใช้เป็นหน่วยความจำ (RAM) แต่อาจเป็นตัวนับ (Count Register), Shift Register หรือ Latch ซึ่งการอ้างถึงข้อมูลในแต่ละตำแหน่งนั้น 8051 จะถือเสมือนว่าเป็นหน่วยความจำตำแหน่งหนึ่ง จึงเรียกการมองข้อมูลแต่ละตำแหน่งนี้ว่า Memory Map I/O รีจิสเตอร์กลุ่มนี้มีดังรูป 5.11

Symbol	Name	Address
*ACC	Accumulator	0E0H
*B	B Register	0F0H
*PSW	Program Status Word	0D0H
SP	Stack Pointer	81H
DPTR	Data Pointer 2 Bytes	
DPL	Low Byte	82H
DPH	High Byte	83H
*P0	Port 0	80H
*P1	Port 1	90H
*P2	Port 2	0A0H
*P3	Port 3	0B0H
*IP	Interrupt Priority Control	088H
*IE	Interrupt Enable Control	0A8H
TMOD	Timer/Counter Mode Control	89H
TCON	Timer/Counter Control	88H
*T2CON	Timer/Counter 2 Control	0C8H
TH0	Timer/Counter 0 High Byte	8CH
TL0	Timer/Counter 0 Low Byte	8AH
TH1	Timer/Counter 1 High Byte	8DH
TL1	Timer/Counter 1 Low Byte	8BH
+TH2	Timer/Counter 2 High Byte	0CDH
+TL2	Timer/Counter 2 Low Byte	0CCH
+RCAP2H	T/C 2 Capture Reg. High Byte	0CBH
+RCAP2L	T/C 2 Capture Reg. Low Byte	0CAH
*SCON	Serial Control	98H
SBUF	Serial Data Buffer	99H
POCON	Power Control	87H
*IOCON (1)	IO Control	F8H

+80C52 and 83C154 only * bit addressable
(1) 83C154 only

รูปที่ 5.11 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ

ในรูปที่ 5.11 ช่อง Symbol ทางซ้ายจะเป็นสัญลักษณ์ของรีจิสเตอร์ ในช่องถัดมาคือ ชื่อของรีจิสเตอร์ตามสัญลักษณ์ที่อยู่ทางซ้าย ในช่องขวาสุดจะเป็นตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายใน 8051 ที่แทนด้วยชื่อหรือสัญลักษณ์ทางซ้ายนั่นเอง และรีจิสเตอร์บางตัวในกลุ่มนี้ยังสามารถใช้คำสั่งในกลุ่ม Boolean Instruction เพื่อการทำงานกับแต่ละบิตในรีจิสเตอร์เหล่านั้นได้ด้วย จากตารางในรูป รีจิสเตอร์ที่มีเครื่องหมาย * อยู่ข้างหน้าจะสามารถใช้คำสั่งในกลุ่ม Boolean Instruction จัดการกับแต่ละบิตได้ รีจิสเตอร์ที่มีเครื่องหมาย + นำหน้านั้นหมายความว่ารีจิสเตอร์นั้นมีเฉพาะใน 80C52 และ 80C154 เท่านั้น ไม่มีใน 8051 และในช่องสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ จะเป็นตำแหน่งของบิตนั้นในแต่ละรีจิสเตอร์ เช่นในช่องซ้ายสุดของรีจิสเตอร์ TCON มีค่า 8FH ซึ่งเป็นค่าตำแหน่งบิต 7 ของหน่วยความจำตำแหน่ง 88H ถ้าต้องการทำให้บิตนี้มีค่าเป็น 0 ก็สามารถทำได้โดยใช้คำสั่ง

CLR 8FH

หรือจะทำให้บิตนี้เป็น 1 ก็ทำได้โดยคำสั่ง

SETB 8FH

รีจิสเตอร์ในกลุ่ม Special Function Register มีดังนี้

1. Accumulator

ตำแหน่งหน่วยความจำภายในเท่ากับ 0E0H รีจิสเตอร์นี้มีขนาด 8 บิต เป็นรีจิสเตอร์ ที่ใช้มากซึ่งในรหัสคำสั่ง ช่วยจำ จะอ้างอิงถึงรีจิสเตอร์นี้โดยใช้สัญลักษณ์ A และคำสั่งที่จะอ่านหรือเก็บข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอกจะต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์นี้เท่านั้น และข้อมูลที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์นี้ก็สามารที่จะให้โปรแกรมตรวจสอบเพื่อกระโดดการทำงานไปยังตำแหน่งอื่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. B Register

ตำแหน่งหน่วยความจำภายในเท่ากับ 0F0H เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ที่ใช้ในคำสั่งการคูณ และคำสั่งการหาร เท่านั้นโดยรีจิสเตอร์ B นี้จะเก็บตัวคูณและผลลัพธ์ 8 ถึง 15 ในคำสั่งการคูณ ส่วนในคำสั่งหารนั้น รีจิสเตอร์ B จะเก็บตัวหารและผลการหาร การเขียนข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์นี้จะต้องใช้คำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูลไปยังตำแหน่ง 0F0H

3. Program Status Word

ตำแหน่งหน่วยความจำภายในเท่ากับ 0D0H เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตที่แต่ละบิตจะบอกสถานะต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากการทำงานตามคำสั่ง การกระทำทางคณิตศาสตร์ เป็นต้น

4. Stack Pointer

ตำแหน่งหน่วยความจำภายในเท่านั้น 081H เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต รีจิสเตอร์นี้ จะใช้ชี้ตำแหน่งหน่วยความจำ ภายใน 8051 ที่ใช้เก็บตำแหน่งเดิมของโปรแกรมก่อนทำงานคำสั่ง CALL หรือตำแหน่งที่จะใช้เก็บข้อมูลด้วยคำสั่ง PUSH และตำแหน่งที่จะอ่านข้อมูลออกมาในคำสั่ง POP

5. Data Pointer Register

ตำแหน่งหน่วยความจำภายในเท่ากับ 82H และ 83H รีจิสเตอร์ DPTR มีขนาด 16 บิต หน้าทีของรีจิสเตอร์นี้ก็คือใช้สำหรับชี้ตำแหน่งในหน่วยความจำ รีจิสเตอร์ DPTR นี้สามารถใช้อ้างอิงตำแหน่งหน่วยความจำ ได้สูงสุด 60x1024 ตำแหน่ง DPTR นี้ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต 2 ตัว คือ DPH และ DPL ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 83H และ 82H ในหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายใน 8051 ดังนั้นการแก้ไขข้อมูลในรีจิสเตอร์ DPTR จึงทำได้ทั้งทีละ 16 บิต และ 8 บิต โดยการแก้ไขข้อมูลใน DPH และ DPL

6. Port 0 ถึง 3

ตำแหน่งหน่วยความจำภายในเท่ากับ 80H, 90H, 0A0H, 0B0H Special Function Register ชื่อ P0, P1, P2, P3 เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตของหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายใน 8051 ที่ตำแหน่ง 80H, 90H, 0A0H, 0B0H ตามลำดับ การเขียนข้อมูลลงไปยังหน่วยความจำแต่ละตำแหน่งเป็นการส่งข้อมูลไปยังพอร์ทนั้น ๆ ของ 8051 ข้อมูลที่เขียนออกไปจะถูก Latch ค้างไว้และปรากฏที่แต่ละบิตของพอร์ท

7. Serial Data Buffer

ตำแหน่งหน่วยความจำภายในเท่ากับ 99H รีจิสเตอร์นี้มีขนาด 8 บิตและมีตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับ ข้อมูลภายใน 8051 เท่ากับ 99H โครงสร้างภายในของรีจิสเตอร์นี้มี 2 ตัวที่มีชื่อเดียวกัน ตัวหนึ่งสำหรับเก็บข้อมูลที่จะส่งแบบอนุกรมออกจาก 8051 และอีกตัวหนึ่งสำหรับรับข้อมูลแบบ

อนุกรมที่เข้ามา ดังนั้น Serial Port ของ 8051 จึงเรียกว่ามีการทำงานแบบ Full Duplex เพราะสามารถส่งและรับข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน เนื่องจากมีรีจิสเตอร์สำหรับส่งและรับแยก ออกจากกัน

8. SCON (Serial Port Control Register)

ตำแหน่งหน่วยความจำภายในเท่ากับ 98H รีจิสเตอร์ SCON ,มีขนาด 8 บิตใช้สำหรับ ควบคุมการส่งและรับ ข้อมูลผ่านทาง Serial Port แต่ละบิตของข้อมูลในรีจิสเตอร์นี้มีความหมายเฉพาะ

9. TIMER Register TH0,TL0 ,TH1,TL1

ตำแหน่งหน่วยความจำภายในเท่ากับ 8CH,8AH,8DH,8BH ใน 8051 จะมีวงจรถูกจัดคือ Timer 1 และ Timer 0 ใน Timer แต่ละชุดจะมีรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตอยู่ 2 ตัว เพื่อเก็บการนับของ Timer ได้สูงสุด ถึง 16 บิต ใน Timer 0 รีจิสเตอร์นี้คือ TH0 , TL0 และ ใน Timer 1 คือรีจิสเตอร์ TH1 ,TL1 TLx (x หมายถึง 0 หรือ 1) จะเก็บค่าของการนับ 8 บิตล่าง และ THx จะเก็บค่าของการนับ 8 บิตบน ผู้ใช้จึงสามารถกำหนดการทำงานของวงจรถูกจัด Timer ในโหมด Timer หรือโหมด Counter ได้ โดยการกำหนดในรีจิสเตอร์ ชื่อ TMOD (Timer/Counter Mode Control Register) การทำงานเป็น Timer นั้น จะให้รีจิสเตอร์ใน Timer 0 หรือ 1 ทำการนับจำนวนไซเคิลของสัญญาณนาฬิกาที่ผ่านวงจรถูกจัด เมื่อการนับครบถึงค่าสูงสุดที่รีจิสเตอร์ TLx 1 และ THx จะเก็บได้คือค่า 0FFFFH แล้วยังนับต่อไปค่าที่ได้จากการนับจะเป็น 0000H ทำให้เกิดการเซตบิตบางบิตในรีจิสเตอร์ TCON เพื่อบอกสถานะ Timer Overflow นี้ ในการให้วงจรถูกจัด Timer ทำงานเป็น Counter ก็คือการใช้รีจิสเตอร์ THx และ TLx ทำการนับจำนวนไซเคิลของ สัญญาณที่เข้ามาทางขา T0 หรือ T1 ของ 8051 สัญญาณที่เข้ามาทางขา T0 หรือ T1 อาจจะมาจกวงจรถูกจัดจับ (Sensor) ก็ได้ แต่สถานะของสัญญาณนี้จะต้องมีระดับโวลต์เตจของสถานะลอจิก 0 หรือ 1 เป็นแบบ TTL ซึ่งสถานะลอจิก 0 จะต้องมีโวลต์เตจไม่เกิน 0.2 โวลต์ และลอจิก 1 จะต้องมีโวลต์เตจมากกว่า 2.4 โวลต์

10. TMOD (Timer/Counter Mode Register)

ตำแหน่งหน่วยความจำภายในเท่ากับ 89H TMOD เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตมีหน้าที่ควบคุมการทำงานของ Timer 0 และ Timer 1 แต่ละบิตในรีจิสเตอร์นี้มีความหมายเฉพาะดังรูป 5.12

GATE	C/T	M1	M0	GATE	C/T	M1	M0
TIMER 1				TIMER 0			
GATE	When TRx (in TCON) is set and GATE=1, TIMER/COUNTERx will run only while INTx pin is high (hardware control). When GATE=0, TIMER/COUNTERx will run only while TRx=1 (software control).						
C/T	Timer or Counter selector. Cleared for Timer operation (input from internal system clock). Set for Counter operation (input from Tx input pin).						
M1	Mode selector bit. (NOTE 1)						
M0	Mode selector bit. (NOTE 1)						

NOTE 1:

M1	M0	Operating Mode
0	0	0 13-bit Timer
0	1	1 16-bit Timer/Counter
1	0	2 8-bit Auto-Reload Timer/Counter (Timer 0) TL0 is an 8-bit Timer/Counter controlled by the standard Timer 0 control bits, TH0 is an 8-bit Timer and is controlled by Timer 1 control bits.
1	1	3 (Timer 1) Timer/Counter 1 stopped.

รูป 5.12 TMOD-Timer/Counter Mode Register

ในรูป 5.12 M0 เป็นชื่อของบิต 0 และ Gate ทางซ้ายสุดเป็นชื่อของบิต 7

รีจิสเตอร์นี้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุด ละ 4 บิต คือ บิต 0 ถึง 3 ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของ Timer 0 และบิต 4 ถึง 7 ใช้ควบคุมการทำงานของ Timer 1 หน้าที่ในการควบคุม Timer ของแต่ละบิตที่มีชื่อเดียวกันจะมีหน้าที่เหมือนกัน

Gate เป็นบิตที่ใช้ควบคุมให้ Timer ทำงานหรือไม่ ถ้า บิตนี้ของ Timer x ถูกตั้งเป็น 1 จะทำให้ Timer ทำงานก็ต่อเมื่อ ที่ขา INTx มีสถานะลอจิกเป็น 1 และบิต Tx ในรีจิสเตอร์ TCON เป็น 1 ด้วย

C/T บิตนี้ใช้สำหรับเลือกทำงานของ Timer หรือ จะให้ทำงานเป็น Counter ถ้าบิตนี้เป็น 1 หมายความว่าเลือกการทำงานเป็น Counter ซึ่งจะนับจำนวนไซเคิลของสัญญาณที่เข้ามาทางขา Tx

M1 M0 เป็น 2 บิตที่ใช้ร่วมกันเพื่อเลือกโหมดการทำงานของ Timer การทำงานโหมด 0 1 และ 2 ของ Timer 0 จะเหมือนกับ Timer 1 แต่ในโหมด 3.การทำงานของทั้งสองจะต่างกัน ค่าใน M1 และ M0 จะเลือกโหมดการทำงานดังตารางในรูป 5.13

M1	M0	การทำงาน
0	0	โหมด 0 รีจิสเตอร์ THx และ TLx ทำตัวเป็นตัวนับ 13 บิต ค่าจากการนับ 8 บิตบนมาจาก 8 บิตของ THx และอีก 5 บิตล่างมาจากค่า 5 บิตล่างของรีจิสเตอร์ TLx โดยที่ 3 บิตบน ของ TLx จะไม่ต้องสนใจเลย
0	1	โหมด 1 รีจิสเตอร์ THx และ TLx ทำตัวเป็นตัวนับ 16 บิตค่าจากการนับ 8 บิตบนอยู่ในรีจิสเตอร์ THx และค่าจากการนับ 8 บิตล่างอยู่ในรีจิสเตอร์ TLx
1	0	โหมด 2. ในการนับของรีจิสเตอร์ TLx ขนาด 8 บิตเมื่อนับถึงค่าสูงสุดคือ FFH เมื่อทำการนับต่อไปจะเกิดการ Overflow แล้วก็จะ "Reload" เอาข้อมูลจาก THx เข้าไปยัง TLx เพื่อเป็นค่าเริ่มต้นในการนับครั้งต่อไป
1	1	โหมด 3 การทำงานของ Timer 0 และ Timer 1 จะต่างกันดังที่จะกล่าวต่อไป

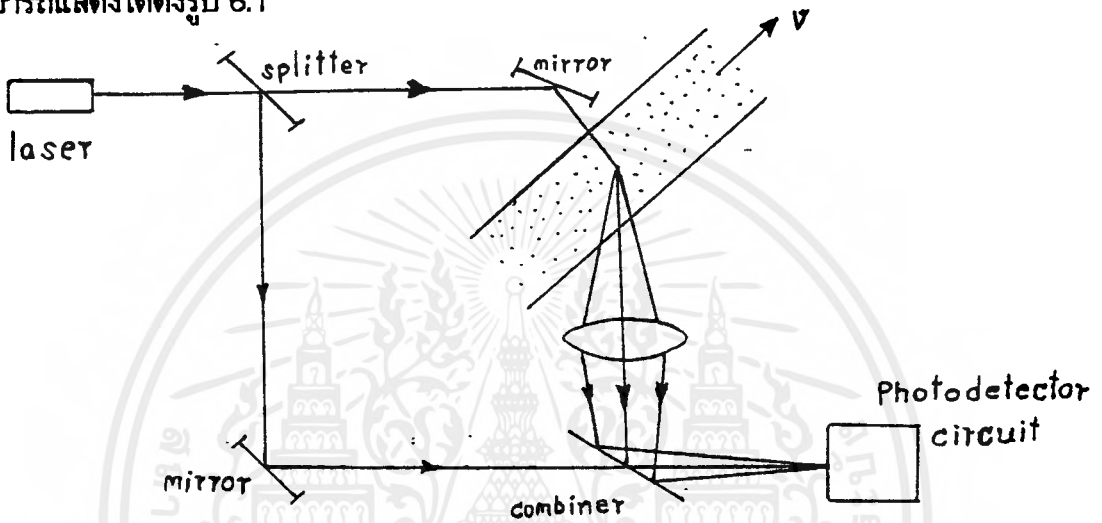
เอกสารนี้เป็นเอกสารรูป 5.13 การกำหนดโหมดการทำงานของ Timer/Counter หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การออกแบบและการทำงานของวงจร

6.1 การจัดวางการทดลอง

ในการจัดวางอุปกรณ์ในการทดลองตรวจจับสัญญาณแสงเลเซอร์ ที่ใช้ในการวัดความเร็วของของไหล สามารถแสดงได้ดังรูป 6.1



รูปที่ 6.1 การจัดวางอุปกรณ์ในการวัดความเร็วของของไหล

จากรูป 6.1 ซึ่งจะใช้หลักการตรวจจับสัญญาณแสงเลเซอร์แบบ Coherent ซึ่งเป็นวิธีการวัดสัญญาณความถี่ในกรณีที่ไม่สามารถวัดความถี่ได้โดยตรง เพราะที่ความถี่สูง ๆ ซึ่งเป็นค่าความถี่ที่แสงเลเซอร์ทำงานนี้ ตัวตรวจจับสัญญาณแสงไม่มีความเร็วเพียงพอที่จะติดตามการเปลี่ยนแปลงนั้นได้ทัน สิ่งที่ตัวตรวจจับสัญญาณแสงวัดได้นั้น เป็นเพียงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกำลังแสงที่เปลี่ยนแปลงต่อเวลาเท่านั้น โดยการตรวจจับสัญญาณคลื่นแสงแบบ Coherent นี้ ความถี่ของแสงเลเซอร์ที่ต้องการวัด (signal beam) จะถูกเปรียบเทียบกับความถี่ของคลื่นแสงจากเลเซอร์ที่เป็นแสงอ้างอิง (reference beam) ซึ่งมีเสถียรภาพดี ซึ่งความถี่ที่วัดได้จากตัวตรวจจับสัญญาณจะเป็นผลต่างของสองความถี่นั้น ดังนั้นความถี่ที่วัดได้ ก็คือความถี่ที่เปลี่ยนแปลง (Doppler shift frequency $\Delta f = f' - f$) เนื่องจากการกระเจิงของแสงนั่นเอง จากความถี่ที่วัดได้นี้ สามารถนำไปคำนวณหาความเร็ว ตามทฤษฎีของปรากฏการณ์ดอปเลอร์ได้ดังสมการที่ 6.3

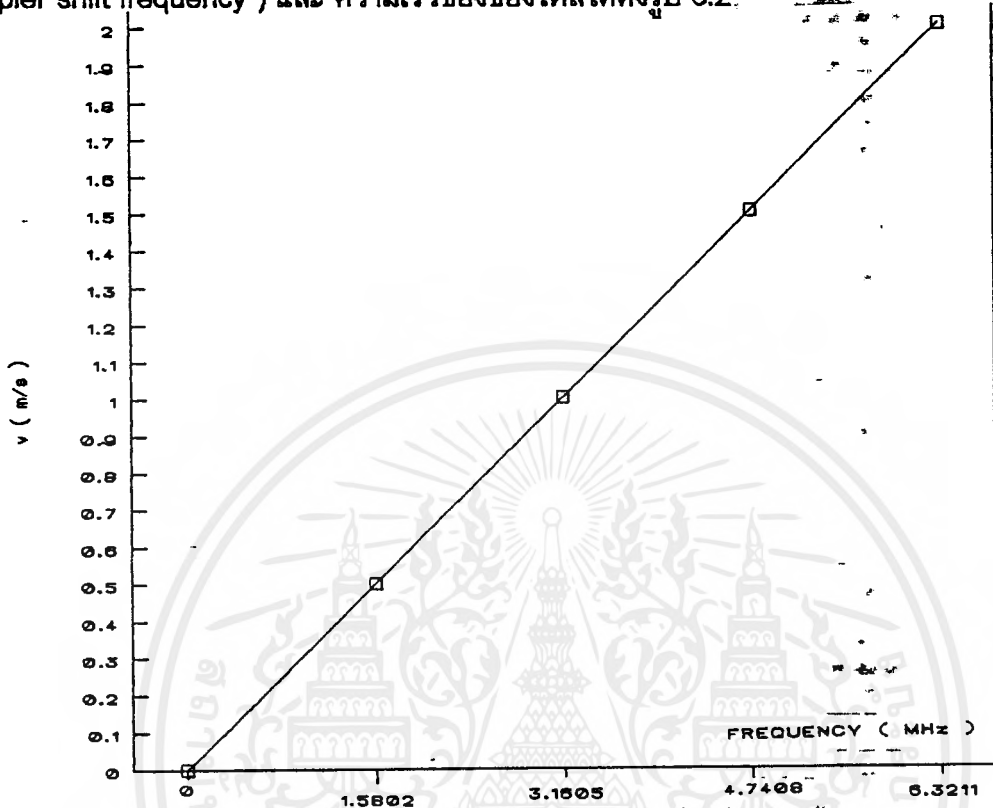
$$f' - f = 2v / \lambda \tag{6.1}$$

$$f' - f = 2v / \lambda \tag{6.2}$$

ดังนั้น
$$v = \lambda (f' - f) \tag{6.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 2 ขาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 6.3 สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่เปลี่ยนแปลง (Doppler shift frequency) และ ความเร็วของของไหลได้ดังรูป 6.2.



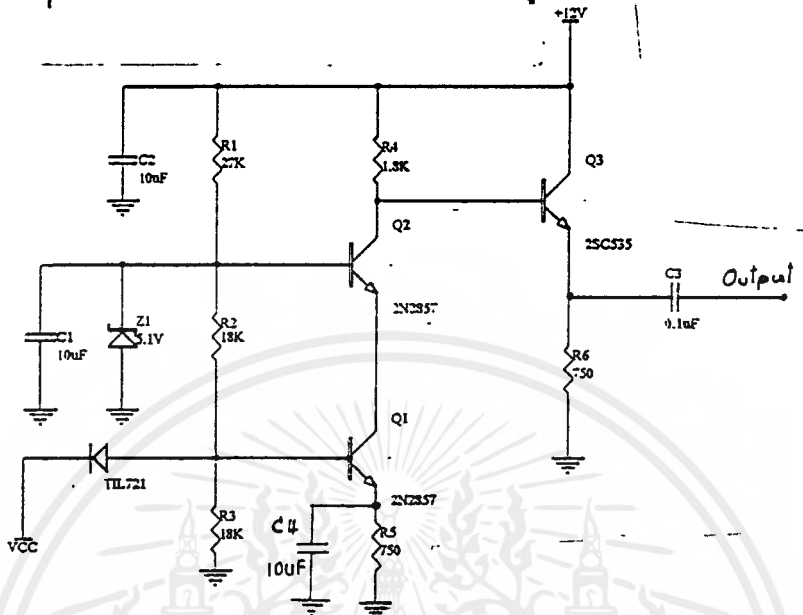
รูปที่ 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่เปลี่ยนแปลงและความเร็วของของไหล

6.2 วงจรรับสัญญาณ (Receiver) และ พรีแอมพลิไฟร์ (Pre-Amplifier)

จากรูป 6.3 เป็นวงจรรับสัญญาณ (Receiver) แสงเลเซอร์ โดยใช้ PIN Photodiode MRD721 ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับแสงเลเซอร์ (Detector) ให้อยู่ในรูปสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่มีขนาดแปรตามความเข้มของสัญญาณแสงเลเซอร์ ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้า จะมีค่าประมาณ 5-10 ไมโครแอมป์ ซึ่งนอกจากจะขึ้นกับความเข้มแสงแล้ว ยังขึ้นกับแรงดันย้อนกลับ (Reverse Bias) ที่ป้อนให้แก่ Photodiode MRD721 นั้นตอบสนองได้ดีต่อแสงซึ่งมีความยาวคลื่น 600 - 800 นาโนเมตร จึงสามารถตรวจจับแสงเลเซอร์ จากฮีเลียม นีออน แกลสเลเซอร์ ซึ่งมีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร นอกจากนี้ MRD721 ยังมี ความไวสูง และให้ไรส์ไทม์ (Rise Time) ต่ำด้วย

หลังจากนั้นสัญญาณกระแสที่ได้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า โดยวงจรรขยายสัญญาณดังรูป 6.3 โดยมีทรานซิสเตอร์ Q1, Q2 และ Q3 เป็นอุปกรณ์หลักในการทำงาน จากวงจรจะ ต่อ Photodiode MRD721 แบบ Reverse Bias ซึ่งจะให้กระแสผ่านเข้าวงจรรขยายซึ่งใช้ Q1 และ Q2 ต่อคาสโคด (Cascode) แบบอิมิตเตอร์ร่วม (Common Emitter) และ เบสร่วม (Common Base) ตามลำดับ ทำหน้าที่เป็นภาคก่อนขยาย (Pre-amplifier) แปลงกระแสจาก Photodiode ให้เป็นศักดา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

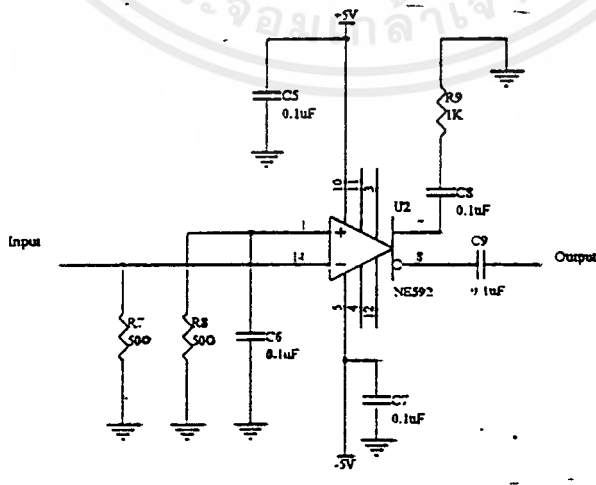
จากนั้นจะผ่าน Q3 ที่ต่อแบบคอลเลคเตอร์ร่วม (Common Collector) ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ เพื่อให้มีเอาต์พุตที่มีแอมพลิจูดต่ำ ๆ เพื่อที่จะนำไปใช้ต่อกับภาคขยายความถี่สูงต่อไป



รูปที่ 6.3 วงจรรับสัญญาณแสงเลเซอร์

6.3 วงจรขยายความถี่สูง (High Frequency Amplifier)

ในภาคนี้ใช้ IC Video Amplifier เบอร์ NE592 ซึ่งทำงานได้ดีในย่านความถี่สูง และสามารถเลือกอัตราขยายได้ 100 หรือ 400 เท่าโดยการเชื่อมต่อขาของ IC เพื่อเลือกอัตราขยายที่ต้องการเท่านั้น ซึ่งในภาคนี้จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ออกจากภาคพรีแอมพลิฟาย์ ให้มีขนาดคิกคาสูงมากพอที่จะนำไปใช้งานในส่วนที่เกี่ยวข้องกับวงจรส่วน TTL

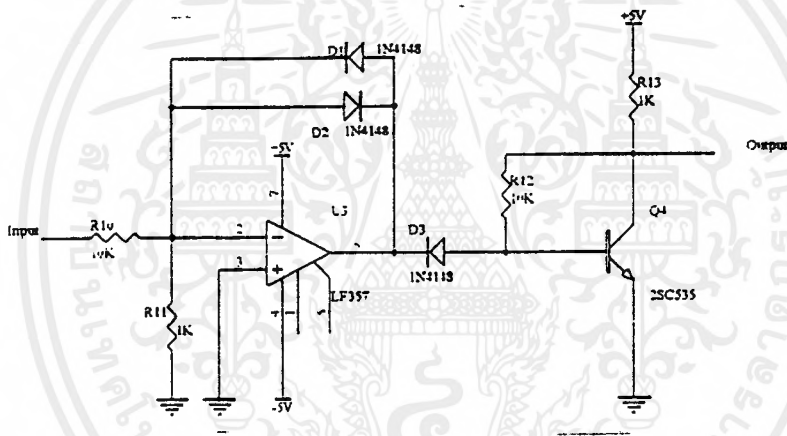


รูปที่ 6.4 วงจรขยายความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 วงจร Zero Crossing Detector

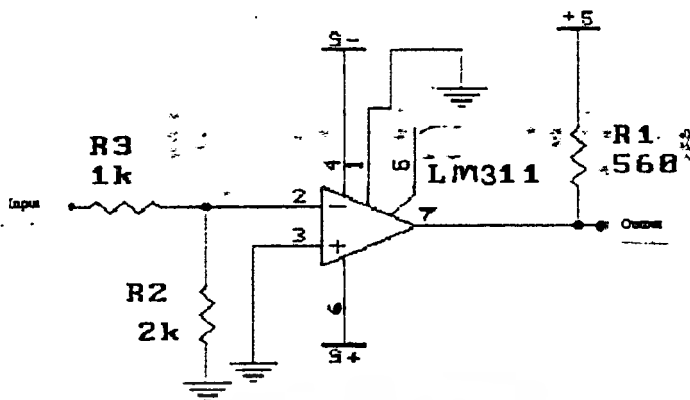
วงจร Zero Crossing Detector จะทำการแปลงสัญญาณรูปคลื่น Sine Wave ให้เป็นสัญญาณ Square Wave ที่มีค่าความถี่เท่าเดิม โดยเมื่อระดับสัญญาณที่เข้ามาเป็น 0 โวลต์ เอาท์พุทของวงจรก็จะมีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์เช่นกัน เมื่อสัญญาณ Sine Wave มีค่าสูงขึ้นมากกว่าระดับศูนย์โวลต์เพียงเล็กน้อย สัญญาณทางด้านเอาท์พุทก็จะมีสถานะเป็น High และในทางตรงข้ามเมื่อระดับสัญญาณตกลงมาที่ระดับศูนย์อีกครั้ง ระดับสัญญาณที่ออกทางเอาท์พุทจะมีค่า Low จากวงจรรูป 6.4 จะใช้ Opamp LF351 และ Diode เบอร์ 1N4148 เป็นตัวดีเทคสัญญาณ และมีทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SC535 ทำหน้าที่เป็นตัวสวิตช์ ON - OFF และเพื่อให้ได้แรงดันใกล้เคียงกับส่วน TTL วงจร Zero Crossing Detector นี้จะใช้แรงดันไฟเลี้ยง 5 โวลต์



รูปที่ 6.5 วงจร Zero Crossing Detector

6.6 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

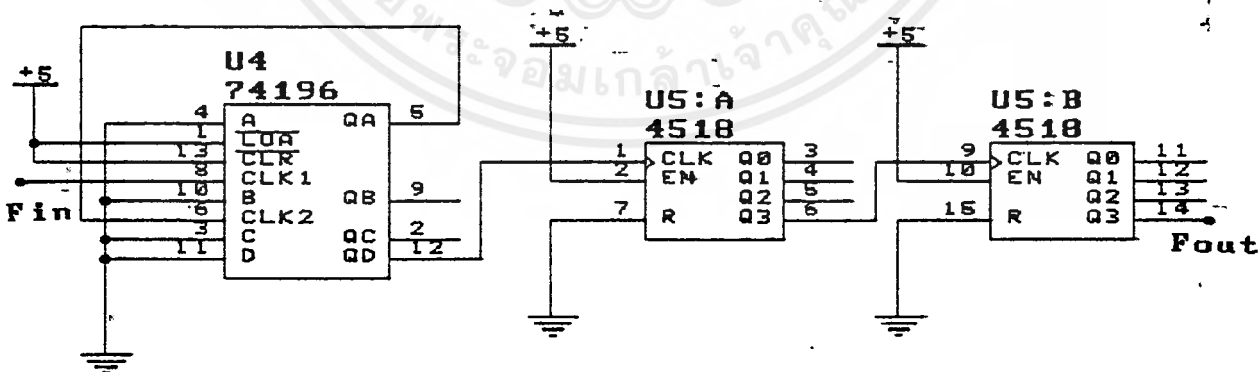
วงจรเปรียบเทียบแรงดันโดยใช้ออปแอมป์ดังรูปที่ 6.6 จะเปรียบเทียบระดับแรงดันสัญญาณระหว่างขั้วอินพุททั้งสองได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยเมื่อแรงดันที่ขั้วลบมีค่ามากกว่าแรงดันอินพุทที่ขั้วบวก สัญญาณที่เอาท์พุทจะมีค่าใกล้เคียงศูนย์ แต่ถ้าแรงดันที่ขั้วลบมีค่าน้อยกว่าแรงดันอินพุทที่ขั้วบวก สัญญาณเอาท์พุทจะมีค่าใกล้เคียงระดับแรงดันไฟเลี้ยงออปแอมป์ (5 V.) ซึ่งจะทำให้เอาท์พุทมีค่าอยู่ในระดับเดียวกับ TTL เพื่อนำไปเป็นอินพุทวงจรหาความถี่ซึ่งใช้ไอซี TTL



รูปที่ 6.6 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

6.6 วงจรหารความถี่

วงจรหารความถี่จะทำการหารความถี่อินพุตให้มีความถี่ลดลง โดย IC SN74196 เป็นตัวฟรีสเกล โดยจะหารความถี่ลง 10 เท่า จากนั้นจะนำความถี่ที่ได้ไปเข้า IC CD4518 เพื่อหารความถี่ให้น้อยลงอีก 100 เท่า ดังนั้นความถี่ที่ได้ทางเอาต์พุตของวงจรจะมีความถี่ลดลง 1000 เท่า แล้วนำไปผ่าน IC SN7414 ซึ่งเป็น IC ขมิททริกเกอร์ ซึ่งเอาต์พุตจะมีลักษณะคลื่นสี่เหลี่ยมที่ตีขึ้น พร้อมทั้งจะถูกป้อนเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนับความถี่และนำไปคำนวณหาความถี่ของของไหล



รูปที่ 6.7 วงจรหารความถี่ 1000 เท่า

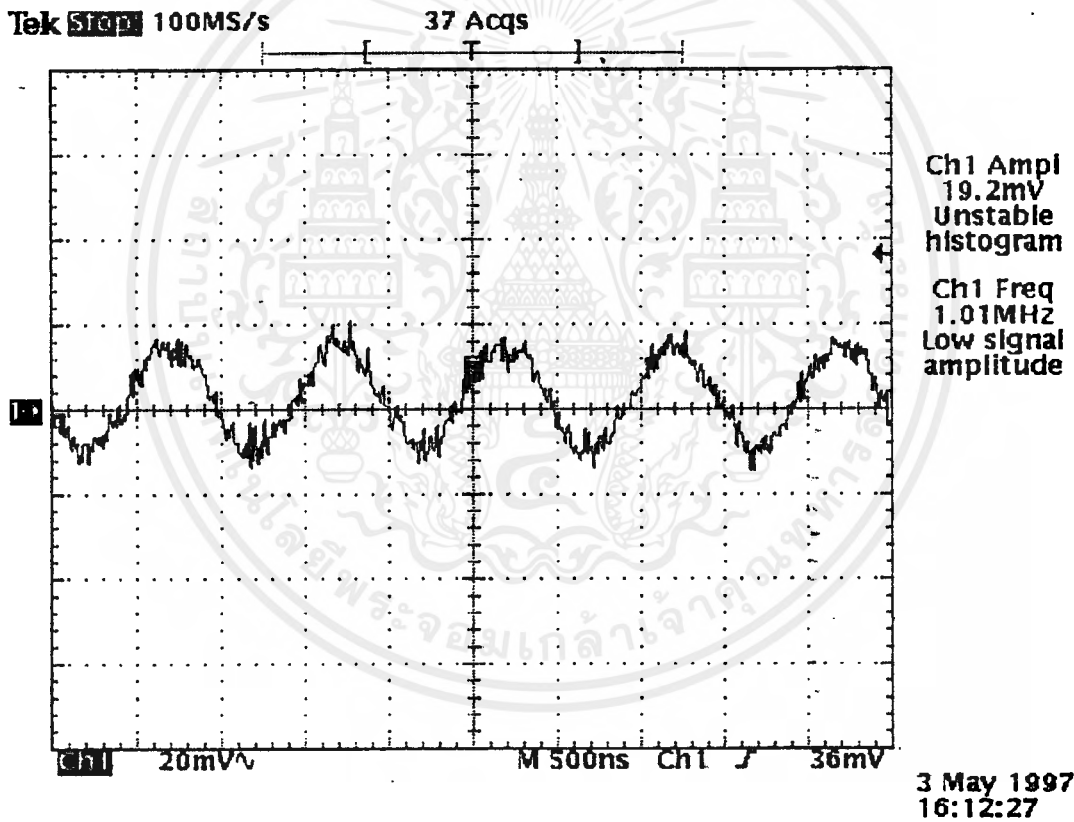
บทที่ 7

การทดลองและผลการทดลอง

7.1 การทดลองวงจรรับสัญญาณ (Receiver)

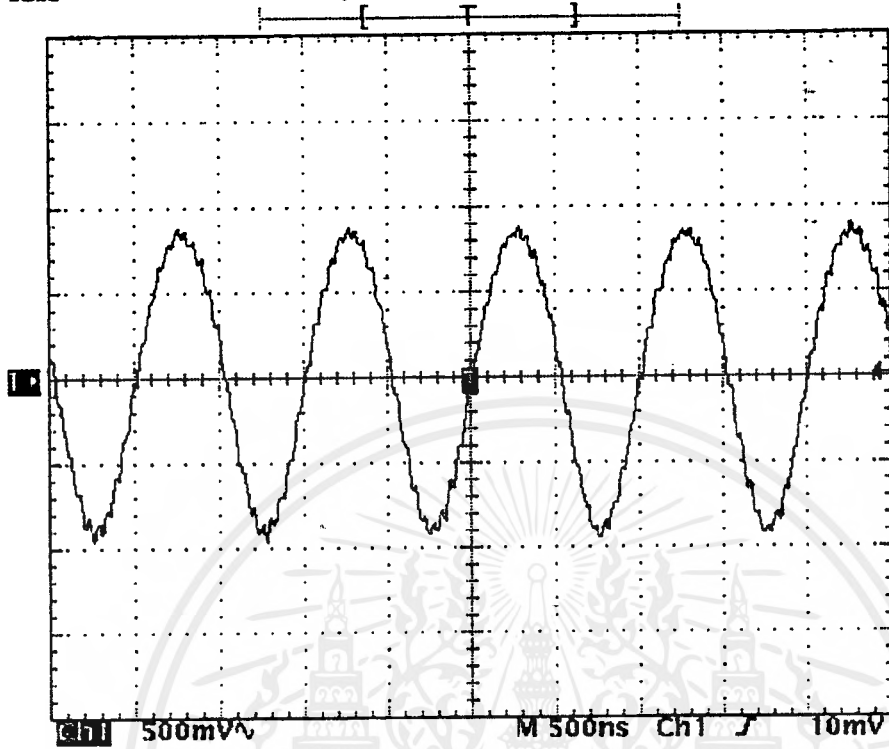
ในการทดลองโดยต่อวงจรดังรูปที่ 6.3 การทดสอบวงจรทำได้โดยป้อนอินพุตเป็นสัญญาณไซน์ ความถี่ 1 MHz ซึ่งแสดงดังรูป 7.1 ก. วัดเอาต์พุตของวงจร แล้วเปลี่ยนความถี่เป็น 3.5 MHz และ 6.5 MHz ตามลำดับ

ผลการทดลองวงจรส่วนรับสัญญาณ (Receiver)



รูปที่ 7.1 ก. อินพุตวงจรรับสัญญาณ 20 mV

Tek Run: 100MS/s Sample **115.7**



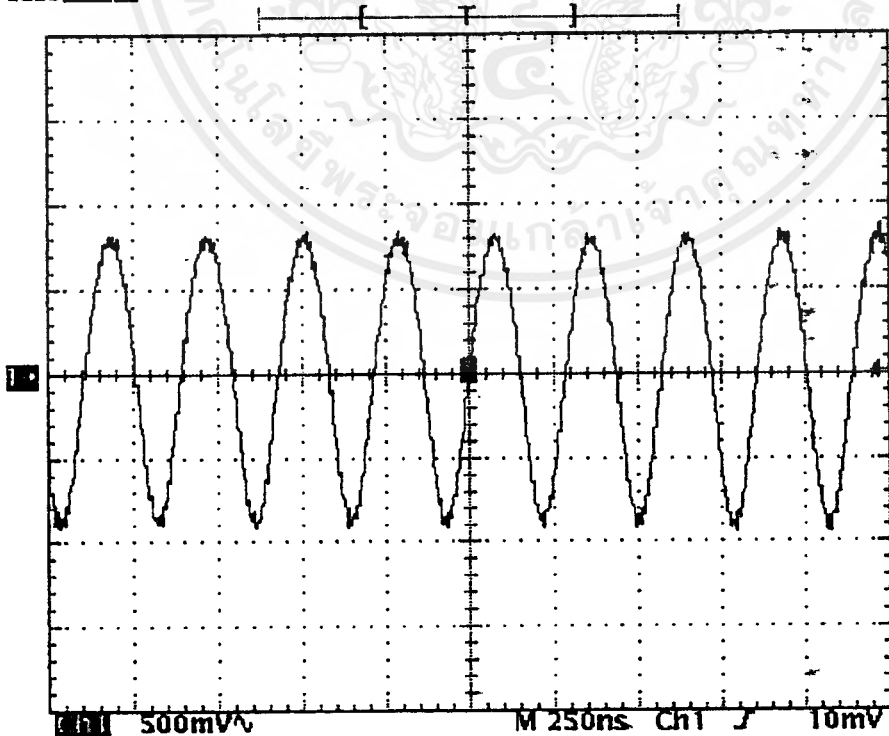
Ch1 Ampl
1.66 V

Ch1 Freq
990.9kHz

3 May 1997
15:46:06

รูปที่ 7.1 ข. เอาท์พุททางจรรีบสัญญาณ อินพุทความถี่ 1-MHz

Tek **STOP** 200MS/s 88 Acqs

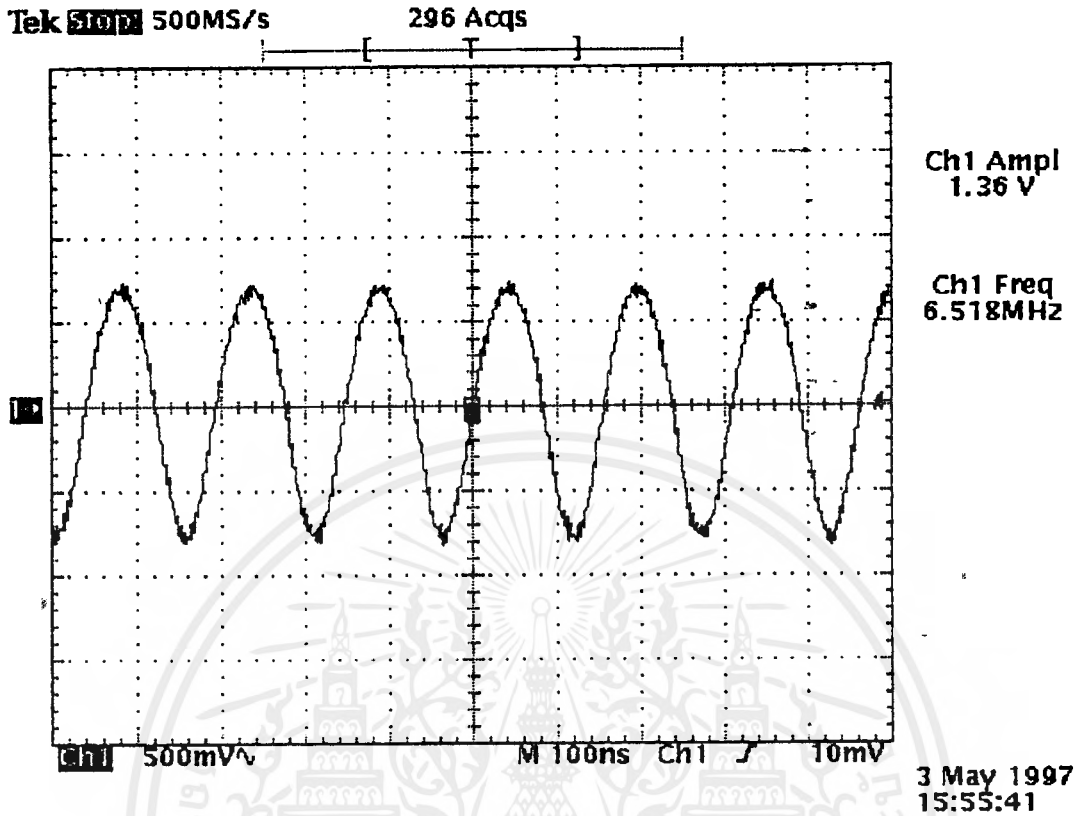


Ch1 Ampl
1.64 V

Ch1 Freq
3.499MHz

3 May 1997
15:52:03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งอยู่ภายใต้การคุ้มครองลิขสิทธิ์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

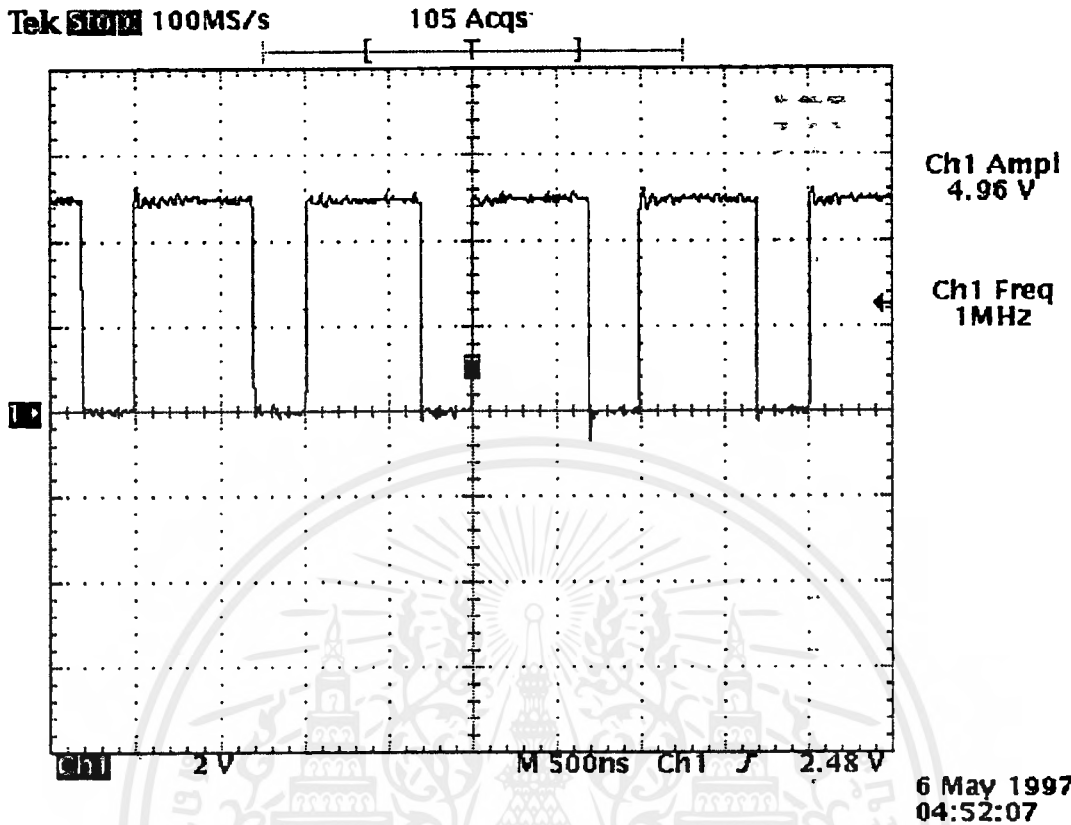


รูปที่ 7.1 ง. เอาท์พุทจากวงจรรับสัญญาณ อินพุทความถี่ 6.5 MHz

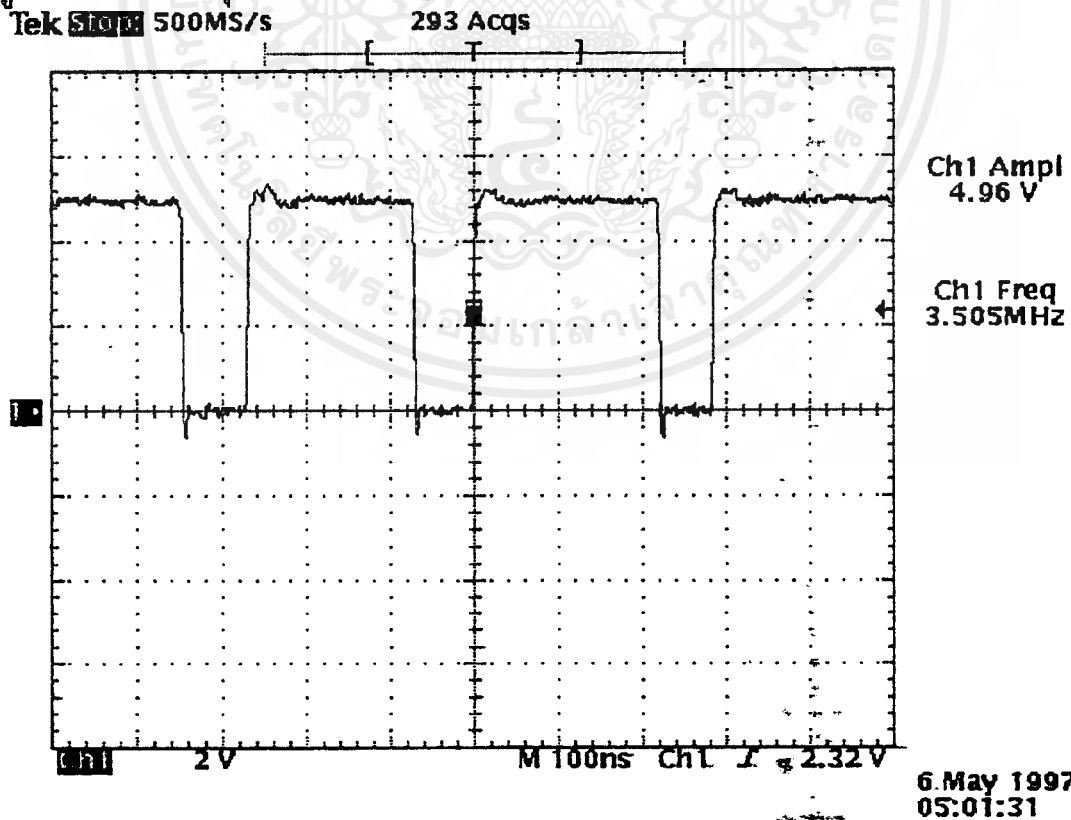
7.2 การทดลองวงจรขยายความถี่สูง

โดยนำเอาท์พุทจากวงจรรับสัญญาณที่ทดลองในข้อ 7.1 มาเป็นอินพุทป้อนเข้าวงจรขยายความถี่สูงดังรูป 6.4 ทดลองวัดเอาท์พุทของวงจรที่ความถี่ต่าง ๆ เช่นเดียวกับข้อ 7.1

ผลการทดลองวงจรขยายความถี่สูง แสดงได้ดังรูปที่ 7.2

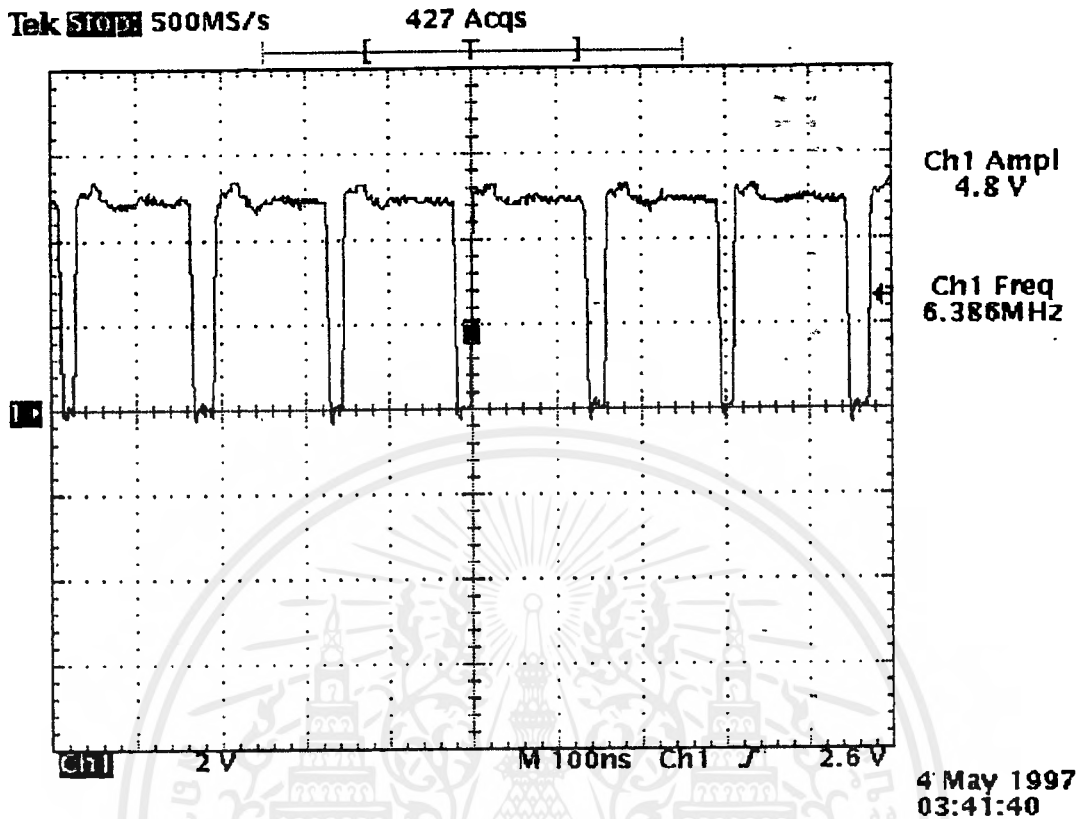


รูปที่ 7.3 ก. เวก์พุททางจร Crossing Detector และ Comparator ความถี่ 1 MHz



รูปที่ 7.3 ข. เวก์พุททางจร Crossing Detector และ Comparator ความถี่ 3.5 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

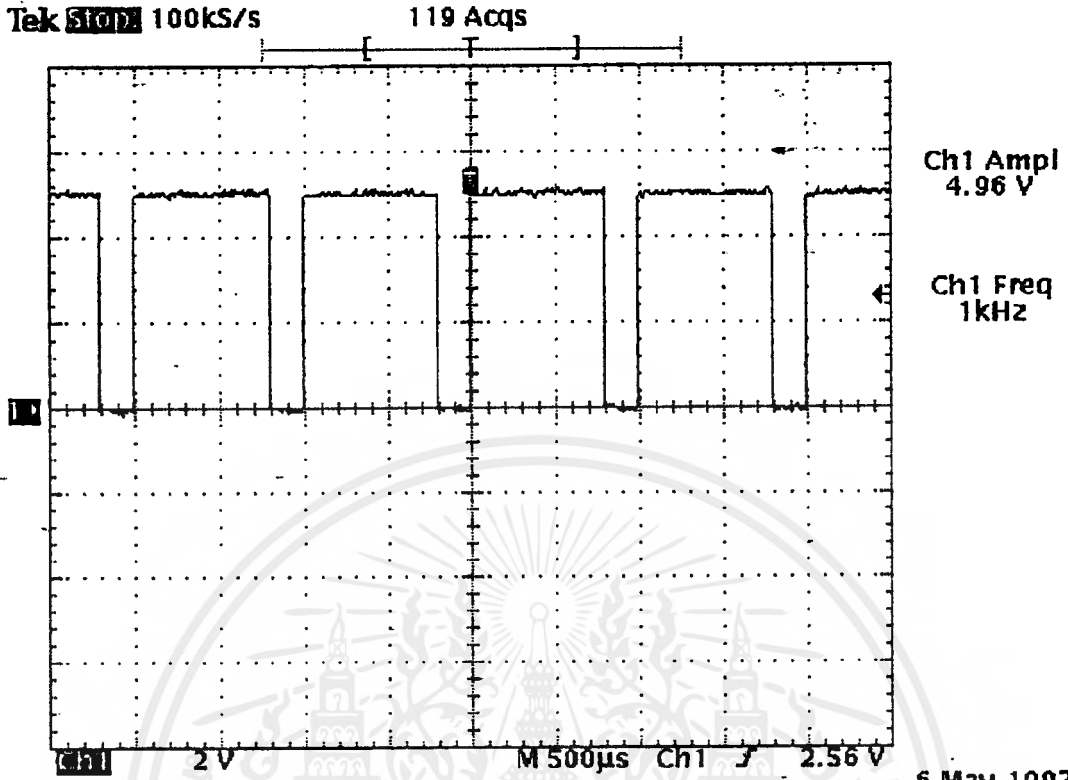


รูปที่ 7.3 ค. เอาท์พุทวงจร Crossing Detector และ Comparator ความถี่ 6.5 MHz

7.4 การทดลองวงจรหารความถี่ 1000 เท่า

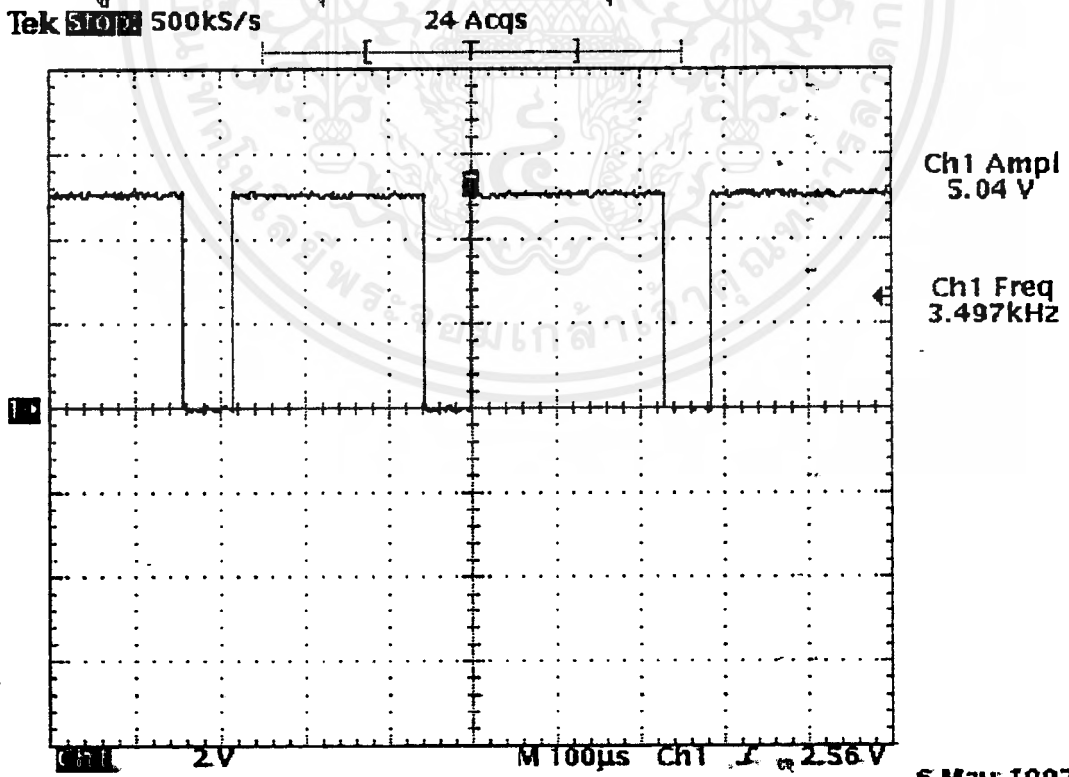
โดยการทดลองต่อวงจรดังรูปที่ 6.7 โดยนำเอาท์พุทจากการทดลองในข้อ 7.3 มาเป็นอินพุทของการทดลองวงจรหารความถี่ วัดเอาท์พุทของวงจร ที่ความถี่ต่าง ๆ เช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 7.3

ผลการทดลองวงจรหารความถี่ 1000 เท่า แสดงได้ดังรูปที่ 7.4. -



6 May 1997
04:53:49

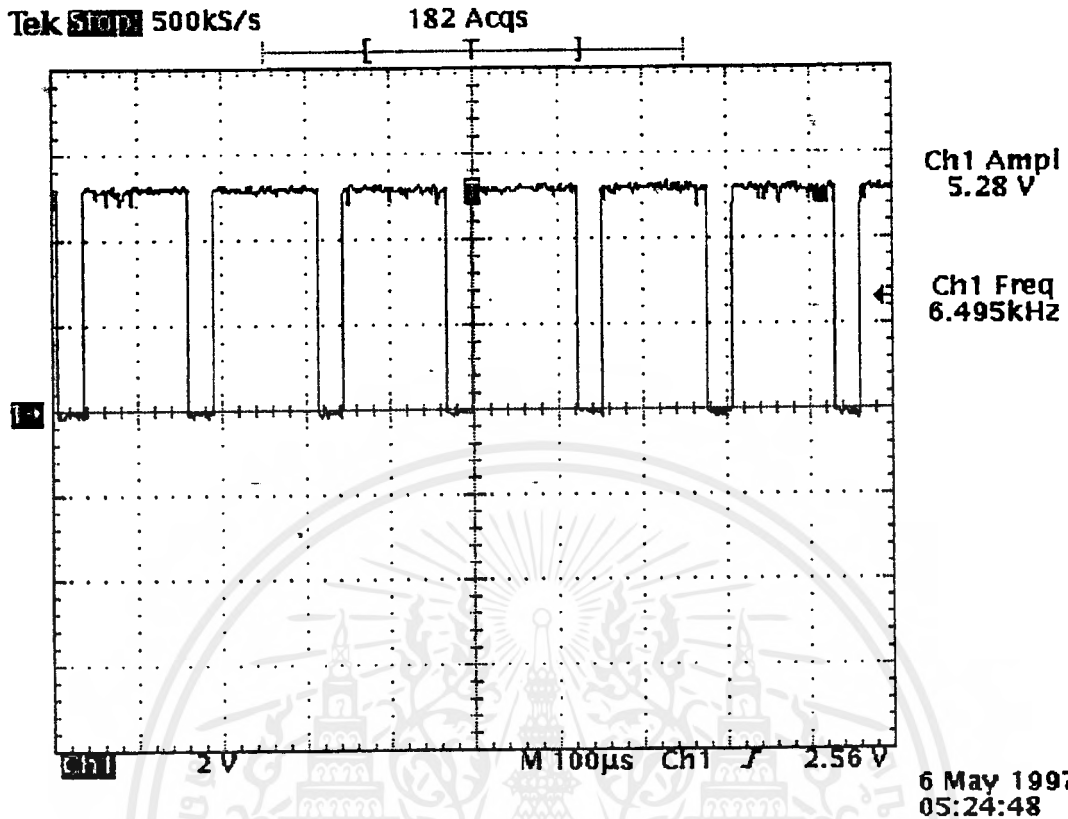
รูปที่ 7.4 ก. เออร์ทพวงจรรักษาความถี่ อินพุต 1 MHz



6 May 1997
05:04:00

รูปที่ 7.4 ข. เออร์ทพวงจรรักษาความถี่ อินพุต 3.5 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 ค. เาท์พุทวงจรรวมความถี่ อินพุท 6.5 MHz

7.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองวงจรในส่วนต่าง ๆ พบว่า ผลการทดลองออกมาได้ผลดังที่ตั้งไว้โดยสามารถตอบสนองความถี่ได้สูง 6.5 MHz แต่เฉพาะวงจรรับสัญญาณและวงจรรยายความถี่สูง สามารถตอบสนองต่อสัญญาณความถี่ได้มากกว่า 10 MHz แต่วงจรอื่น ๆ ไม่สามารถตอบสนองได้และเกิดความเพี้ยนจนไม่สามารถนำมาใช้ได้

จากการทดลอง วงจรจะถูกจำกัดความถี่ไว้ที่ 6.5 MHz จากกราฟในรูปที่ 6.2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของของไหลและความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากปรากฏการณ์ดอปเลอร์ ดังนั้นจะเห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะสามารถวัดความเร็วของของไหลได้สูงถึง 2 m/s

บทที่ 8 สรุปผลและวิจารณ์โครงการ

โครงการนี้เป็น การนำทฤษฎีของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์มาประยุกต์ใช้ โดยใช้แสงเลเซอร์จาก ซีเลียม-นีออนแก๊สเลเซอร์ ยิงไปกระทบของไหล หลังจากนั้นจะทำการตรวจจับแสงเลเซอร์ที่สะท้อนหรือ กระจิงออกมาหลังจากกระทบของไหลแล้ว ซึ่งจะตรวจจับความถี่ของแสงเลเซอร์ โดยกระบวนการตรวจ จับแบบโคฮีเรนซ์ กล่าวคือ จะใช้แสงเลเซอร์อ้างอิงจากแหล่งกำเนิดเลเซอร์ (Reference Beam) และ แสงที่สะท้อนหรือกระจิง หลังจากกระทบของไหลแล้ว (Signal Beam) มาทำให้เกิดการ Beat กันซึ่งจะ ทำให้ เกิดความถี่ของสัญญาณแสงเลเซอร์เดิมทั้งสอง และผลบวก ผลต่าง ของสองความถี่ของแสง เลเซอร์นั้น แต่ตัวตรวจจับสัญญาณแสงเลเซอร์จะตรวจจับได้เฉพาะความถี่ผลต่างของสัญญาณแสง เลเซอร์เท่านั้น ซึ่งความถี่ผลต่างที่ตรวจจับได้นี้จะมากขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของของไหล จึงใช้ ความสัมพันธ์จากปรากฏการณ์ดอปเปลอร์นี้ นำมาคำนวณหาอัตราการไหลของของไหล

ในการคำนวณหาอัตราการไหล จะเริ่มตั้งแต่การตรวจจับความถี่โดยใช้โฟโตไดโอด แล้วนำมา ขยายสัญญาณให้มีขนาดสูงมากพอที่จะทำให้อยู่ในระดับ TTL เพื่อนำไปเป็นอินพุตให้ ไมโคร คอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 นับความถี่ของสัญญาณ และคำนวณหาอัตราการไหล แล้วนำออก แสดงผลต่อไป

ในการทดลองปัญหาที่พบก็คือ ในการตรวจจับแสงเลเซอร์เพื่อให้ได้ความถี่ออกมานั้น ไม่อาจทำ ได้โดยง่าย การจัดวางอุปกรณ์ รวมทั้งเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์จะต้องจัดวางให้ตรงตำแหน่งเพื่อทำให้ เกิดการตรวจจับแบบโคฮีเรนซ์ โดยจะต้องให้เกิดการ Beat ของสัญญาณแสงเลเซอร์ที่ตัวตรวจจับซึ่งใช้ โฟโตไดโอดพอดี ซึ่งโครงการนี้ยังมีจุดด้อยในส่วนนี้อยู่

โครงการนี้ได้เสนอแนวทางหนึ่งในการวัดอัตราการไหลของของไหลโดยประยุกต์ใช้ปรากฏ การณ์ดอปเปลอร์ ซึ่งโครงการนี้มีความเป็นไปได้ที่จะทำให้อาจสำเร็จได้ แต่ต้องมีการปรับปรุงในส่วนการ ตรวจจับแบบโคฮีเรนซ์ เพื่อให้ความถี่ผลต่างของสัญญาณแสงเลเซอร์ที่สะท้อนหรือกระจิง หลังจาก กระทบกับของไหลให้รัดกุมมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

1. วุฑฒิ พันธุมนาวิณ , “ เลเซอร์ฟิสิกส์ “ , มิตรนราการพิมพ์ , 2532
2. Walter G. Jung , “ IC Op - Amp Cookbook “ , third edion, Howard W. Sarms & Company , 1989
3. S. S. Charschan , “ Lasers in Industry “ , Van Nostrand Reinhold company, 1992
4. Alan Billings , “ Optics ,Optoelectronics and Photonics Engineering Principle and Applications “ , Prentice Hall , 1993
5. สุเจตน์ จันทพงษ์, “ ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยว 8051 “ , พิมพ์ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร,2535



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สุริภณ สมควรพาณิชย์ ที่กรุณาช่วยเหลือให้คำปรึกษา
แนะนำจนปริญญาานิพนธ์เรื่องนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

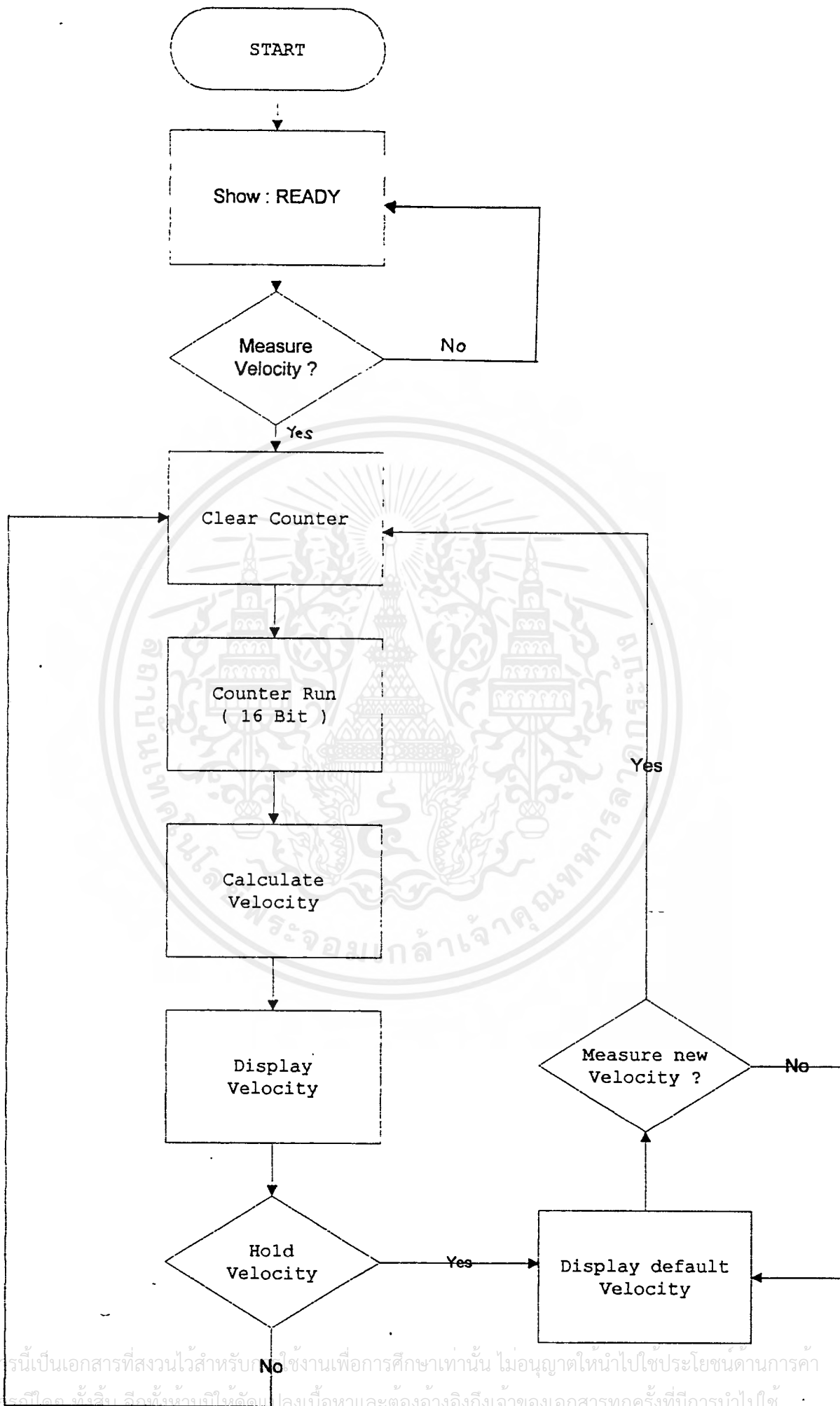


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

-----
;
; PROJECT.ASM
;
-----

```

```

R0_ EQU 0 ; direct address to registers bank 0
R1_ EQU 1
R2_ EQU 2
R3_ EQU 3
R4_ EQU 4

```

```

TEMP3 EQU 20H ; temt var for div32
TEMP2 EQU 21H
TEMP1 EQU 22H
TEMPO EQU 23H

```

```
DISBUF EQU 50H
```

```

ORG 0000H
PORTB EQU 01H
PORTC EQU 02H
CTRL EQU 03H

```

```

CLR A
MOV R7,A ; DELAY FOR 8255
RST00: MOV R6,A
DJNZ R6,$
DJNZ R7,RST00

```

```

CLR A
MOV R7,A ; DELAY FOR 8255
RST01: MOV R6,A
DJNZ R6,$
DJNZ R7,RST01

```

```

MOV TCON,#00010001B
MOV TMOD,#00000101B
MOV IE,#00H

```

```

BEGIN: MOV DPTR,#CTRL
MOV A,#80H
MOVX @DPTR,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
BEGIN2:
 ไม่วาระณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV R1,#06H
MOV R2,#00H
```

```
START: MOV DPTR,#PORTC ; ==> PORT C = select common
```

```
MOV A,R1
DEC A
MOVX @DPTR,A ;
```

```
MOV DPTR,#TABLE
MOV A,R2
MOVC A,@A+DPTR
MOV DPTR,#PORTB
MOVX @DPTR,A
```

```
LCALL DELAY
```

```
MOV DPTR,#PORTB ; ==> PORT B = send data segment
MOV A,#00H
MOVX @DPTR,A
```

```
INC R2
DJNZ R1,START
LCALL DELAY
```

```
; Then check port 1 bit 0 of 80C31 to exit SHOW READY.
```

```
SCANKEY1: MOV P1,#0FFH
MOV A,P1
JNB ACC.0,START_CT ; jump to exit show ready if bit 0 of ACC = 0
```

```
LJMP BEGIN2
```

```
DELAY: PUSH 0
MOV RO,#0FFH
DLY1: DJNZ RO,DLY1
POP 0
RET
```

```
-----
; Start to mesure velocity
-----
```

```
START_CT: ; start to count frequency came in PIN 14: T0
```

```
MOV TLO,#00H ; 8AH
```

```
MOV THO,#00H ; 8CH
```

CTRUN1S:

SETB TCON.4 ; TO counter run

LCALL DELAY1S

NOP

NOP

STOPCT: CLR TCON.4 ; stop counter

MOV 48H,TLO ; move number of pulse to address of buffer

MOV 49H,THO

MOV 4AH,#00

; End measure frequency, then use this frequency for determine VELOCITY

MOV R7,49H ;MUL R76 BY R54

MOV R6,48H

MOV R5,#HIGH 3164

MOV R4,#LOW 3164

LCALL MUL16

;RESULT IN R3210

MOV R7,R3_ ;SAVE RESULT TO R7654 FOR NEXT DIVISION

MOV R6,R2_

MOV R5,R1_

MOV R4,R0_

MOV DPL,#0 ;DIGIT COUNT

H2D10: CLR A ;R3210=10d

MOV R3,A

MOV R2,A

MOV R1,A

MOV R0,#10

LCALL DIV32 ;DIV R7654 BY 10d

INC DPL

PUSH R0_ ;KEEP REMAINDER IN STACK

CJNE R7,#0,H2D10 ;SEE IF REMAINDER < 10d ?

CJNE R6,#0,H2D10 ;NO,DIV AGAIN

CJNE R5,#0,H2D10

CJNE R4,#10,\$+3

JNC H2D10

PUSH R4_ ;YES,PUSH LAST DIGIT OF QUOTIENT

เอกสารนี้เป็น DPL ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV R0,#DISBUF
MOV R1,DPL
MOV B,R1
POPX: POP ACC
MOV @RO,A
INC R0
DJNZ R1,POPX

```

SHOW:

```

BUFFER EQU DISBUF
MOV R7,#OFFH
LPSHOW: MOV R0,#BUFFER ;R0 = POINTER WHAT POINT TO BUFFER
MOV R3,#5 ;R3 KEEP COLUMN
MOV R4,#0

TLOOP: MOV DPTR,#PORTC
MOV A,R3
MOVX @DPTR,A ;SELECT COLUMN
CJNE A,#5,NODOT
MOV R5,#80H
SJMP $+4
NODOT: MOV R5,#0
MOV A,@R0 ;GET DATA FROM BUFFER
MOV DPTR,#TABLE2 ;GET TABLE
MOVC A,@A+DPTR ;CONVERT IT BY OPEN TABLE
MOV DPTR,#PORTB
ORL A,R5
MOVX @DPTR,A ;DISPLAY CONVERTED DATA
LCALL DELAY

DEC R3 ;SHIFT POINTER
INC R0 ;GOTO THE NEXT DATA
INC R4
CJNE R3,#1,$+5
SJMP POW
MOV A,R4
CJNE A,B,TLOOP

```

```

POW: MOV A,B
ADD A,#0F8H
JNB ACC.7,POS

```

```

CPL A
INC A

```

```

PUSH ACC
MOV DPTR,#PORTC
MOV A,#1
MOVX @DPTR,A ;SELECT COLUMN
MOV DPTR,#PORTB
MOV A,#40H
MOVX @DPTR,A ;DISPLAY '-'
LCALL DELAY
POP ACC

POS: MOV DPTR,#TABLE2 ;GET TABLE
MOV C A,@A+DPTR ;CONVERT IT BY OPEN TABLE
PUSH ACC
MOV DPTR,#PORTC
CLR A
MOVX @DPTR,A ;SELECT COLUMN
MOV DPTR,#PORTB
POP ACC
MOVX @DPTR,A ;DISPLAY CONVERTED DATA
LCALL DELAY

SCANKEY2: MOV P1,#0FFH
MOV A,P1
JNB ACC.1,TO_BEGIN ; Jump because system is " RESET "
JNB ACC.2,SH_AGAIN ; Jump because system is " STOP "
; & jump to display default velocity

DJNZ R7,LPSHOW
LJMP START_CT

TO_BEGIN: LJMP BEGIN
SH_AGAIN: LJMP SHOW

;-----
DELAY1S:
MOV R5,#10D
DECR5: MOV R4,#098D
LOOP2: MOV A,#234D
LOOP1: DEC A
ANL A,#0FFH
JNZ LOOP1
DJNZ R4,LOOP2
DJNZ R5,DECR5
RET

;-----

```

MUL16: ; R3210 = R76*R54
 MOV B,R4
 ; เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ; ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV  A,R6
MUL  AB
MOV  R1,B
MOV  R0,A
```

```
MOV  B,R4
MOV  A,R7
MUL  AB
ADD  A,R1
MOV  R1,A
CLR  A
ADDC A,B
MOV  R2,A
```

```
MOV  B,R5
MOV  A,R6
MUL  AB
ADD  A,R1
MOV  R1,A
CLR  A
ADDC A,B
ADDC A,R2
MOV  R2,A
PUSH PSW
```

```
MOV  B,R5
MOV  A,R7
MUL  AB
POP  PSW
ADDC A,R2
MOV  R2,A
CLR  A
ADDC A,B
MOV  R3,A
RET
```

```
-----
;
;
;DIV32: DIV 32 BIT
; INPUT R7R6R5R4 = DIVIDEND
;       R3R2R1R0 = DIVISOR
; RETURN R7R6R5R4 = QUOTIENT
;       R3R2R1R0 = REMAINDER
;
;
;-----
```

DIV32: MOV TEMP3,R3
 MOV TEMP2,R2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV TEMP1,R1
MOV TEMPO,RO
```

```
MOV B,#32 ;LOOP COUNTER
CLR A
MOV RO,A ;DIVIDEND
MOV R1,A
MOV R2,A
MOV R3,A
```

```
DV20: ;SHL R32107654
```

```
MOV A,R4
RLC A
MOV R4,A
MOV A,R5
RLC A
MOV R5,A
MOV A,R6
RLC A
MOV R6,A
MOV A,R7
RLC A
MOV R7,A
MOV A,RO
RLC A
MOV RO,A
MOV A,R1
RLC A
MOV R1,A
MOV A,R2
RLC A
MOV R2,A
MOV A,R3
RLC A
MOV R3,A
```

```
;IF R3210 > TEMP3210 THEN R3210=R3210-TEMP3210;R4.0=1
```

```
;ELSE R4.0=0
```

```
CLR C ;SUB R3210 BY TEMP3210
```

```
MOV A,RO
SUBB A,TEMPO
PUSH ACC
MOV A,R1
SUBB A,TEMP1
PUSH ACC
MOV A,R2
SUBB A,TEMP2
```

```

PUSH ACC
MOV A,R3
SUBB A,TEMP3
PUSH ACC
JC DV30
POP R3_
POP R2_
POP R1_
POP R0_
MOV A,R4
SETB ACC.0
MOV R4,A
SJMP DV40
DV30: POP ACC
POP ACC
POP ACC
POP ACC
MOV A,R4
CLR ACC.0
MOV R4,A
DV40: DJNZ B,DV20
RET

```

TABLE: DB 70H,79H,77H,5EH,6EH,80H ; table of "rEAdY."

TABLE2: DB 3FH,06H,5BH,4FH,66H,6DH,7DH,07H,7FH,6FH

; Table2 = table of segment code of 0,1,,2,3,,9

END

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

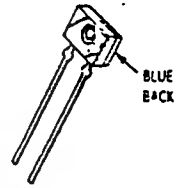
Photo Detector
PIN Diode Output

MRD721

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

- Ultra Fast Response — (<1 ns Typ)
- Sensitive Throughout Visible and Near Infrared Spectral Range for Wide Application
- Annular Passivated Structure for Stability and Reliability
- Economical, Low Profile, Miniature Plastic Package
- Lens Molded Into Package
- Designed for Automatic Handling and Accurate Positioning

PHOTO DETECTOR
DIODE OUTPUT
100 VOLTS



CASE 349-01
PLASTIC

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

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	V_R	100	Volts
Total Power Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C (Note 1))	P_D	150 2	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-40 to +100	°C
Lead Soldering Temperature (5 sec. max, 1-16" from case) (Note 2)	—	260	°C

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

Characteristic	Fig. No.	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Dark Current ($V_R = 20\text{ V}, R_L = 1\text{ M}\Omega$; Note 3) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$	3 and 4	I_D	— —	0.06 14	10 —	nA
Reverse Breakdown Voltage ($I_R = 10\ \mu\text{A}$)	—	$V_{(BR)R}$	100	200	—	Volts
Forward Voltage ($I_F = 50\text{ mA}$)	—	V_F	—	—	1.1	Volts
Series Resistance ($I_F = 50\text{ mA}$)	—	R_S	—	8	—	Ohms
Total Capacitance ($V_R = 20\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$)	5	C_T	—	3	—	pF

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

Characteristic	Fig. No.	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Light Current ($V_R = 20\text{ V}$, Note 4)	2	I_L	1.5	4	—	μA
Sensitivity ($V_R = 20\text{ V}$, Note 5)	—	$S(\lambda = 0.8\ \mu\text{m})$	—	5	—	$\mu\text{A/mW}$
	—	$S(\lambda = 0.94\ \mu\text{m})$	—	1.2	—	$\mu\text{A/cm}^2$
Response Time ($V_R = 20\text{ V}, R_L = 50\ \Omega$)	—	$t(\text{resp})$	—	1	—	ns
Wavelength of Peak Spectral Response	6	λ_p	—	0.8	—	μm

- Notes: 1. Measured with the device soldered into a typical printed circuit board.
 2. Heat sink should be applied to leads during soldering to prevent case temperature from exceeding 100°C .
 3. Measured under dark conditions ($H = 0$).
 4. Radiation Flux Density (H) equal to 5 mW/cm^2 emitted from a tungsten source at a color temperature of 2870 K .
 5. Radiation Flux Density (H) equal to 0.5 mW/cm^2 .

10
 3.95 x 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MRD721

TYPICAL CHARACTERISTICS

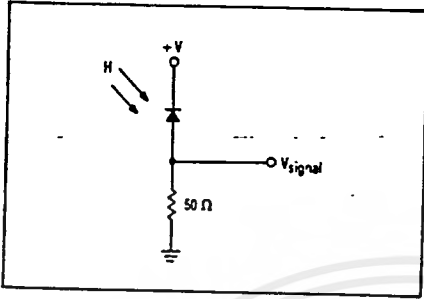


Figure 1. Operating Circuit

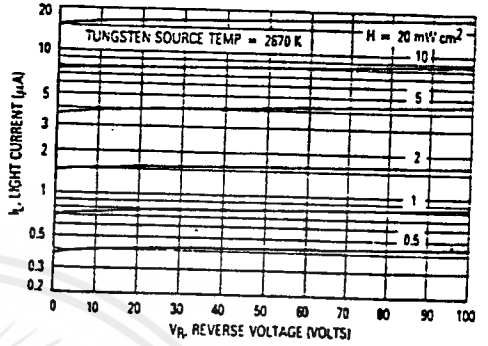


Figure 2. Irradiated Voltage — Current Characteristic

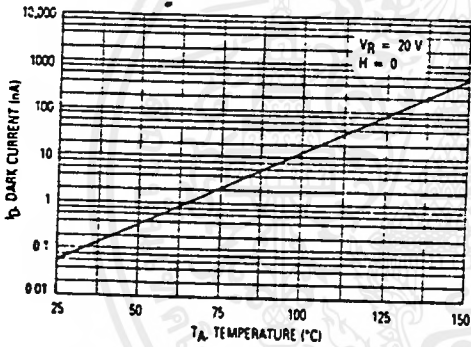


Figure 3. Dark Current versus Temperature

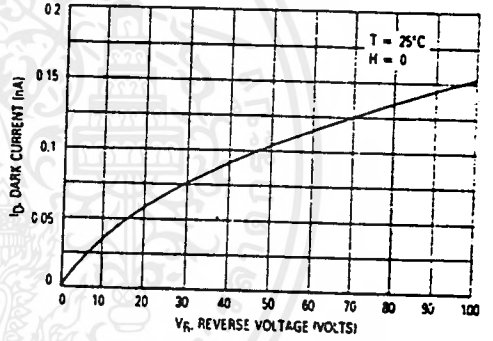


Figure 4. Dark Current versus Reverse Voltage

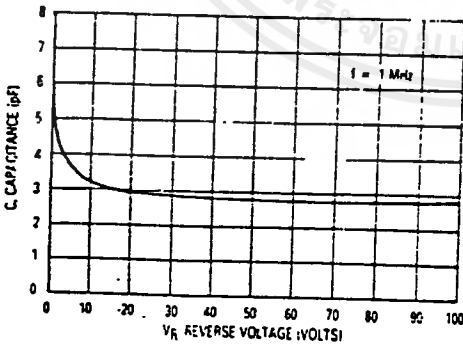


Figure 5. Capacitance versus Voltage

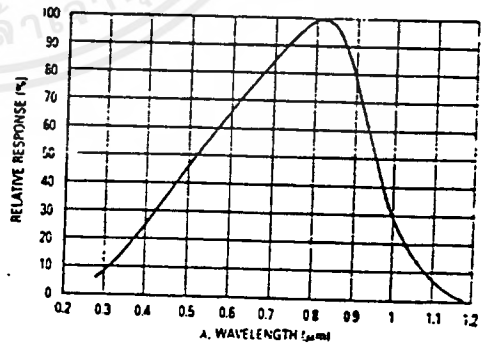


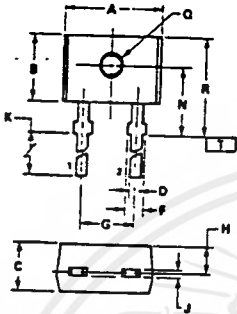
Figure 6. Relative Spectral Response

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IARD721

OUTLINE DIMENSIONS

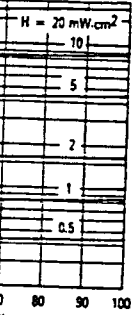
CASE 349-01
PLASTIC



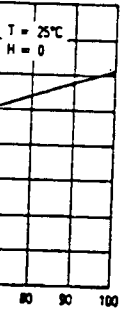
- NOTES:
1. DIMENSIONS A, B AND C ARE DATUMS.
 2. POSITIONAL TOLERANCE FOR Ø DIMENSION:
 ± 0.25 B.C.D. (C) | T | A (C) | C (C)
 3. POSITIONAL TOLERANCE FOR Ø DIMETER:
 ± 0.25 B.C.D. (C) | A (C) | B (C)
 4. T | G SEATING PLANE.
 5. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5, 1972.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	3.43	4.62	0.135	0.185
B	2.78	3.30	0.110	0.130
C	2.03	3.18	0.080	0.125
D	0.43	0.62	0.017	0.024
F	1.14	1.40	0.045	0.055
G	2.54 BSC	0.100 BSC		
H	1.52 BSC	0.060 BSC		
J	0.23	0.56	0.009	0.022
K	12.83	15.05	0.506	0.590
M	3.05	3.30	0.120	0.130
O	0.76	1.52	0.030	0.060
R	3.81	4.80	0.150	0.195

STYLE 1:
PIN 1 CATHODE
2 ANODE



Characteristic



e Voltage

