สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# ชุดสาธิต OTDR

# OTDR DEMONSTRATION KIT

T104330

โดย

นายไพบูลย์ อำนวยชัยวัฒน์

ภาควิชา
วิศวกรรมโทรคมนาคม

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว
(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104330
วัน,เดือน,ปี - 2 พ.ย. 2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

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

# ชุดสาธิต OTDR

# OTDR DEMONSTRATION KIT


โดย

นายไพบูลย์ อำนวยชัยวัฒน์ 48015026

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**เรื่อง ชุดสาธิต OTDR**

**OTDR DEMONSTRATION KIT**

**ผู้จัดทำโดย นายไพบูลย์ อำนวยชัยวัฒน์ 48015026**

**.....อาจารย์ที่ปรึกษา**

**( ผศ.ดร. สุทธิชัย นพนาคีพงษ์ )**

ชุดสาธิต OTDR

**OTDR DEMONSTRATION KIT**

**โดย** นายไพบูลย์ อำนวยชัยวัฒน์ 48015026

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์

**บทคัดย่อ**

การสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง เข้ามามีบทบาทในการสื่อสารปัจจุบัน และมีการประยุกต์ใช้งานต่างๆ สำหรับในโครงงานนี้ นำเสนอชุดสาธิต OTDR เพื่อหาค่าการสูญเสียของเส้นใยแก้วนำแสงและการสูญเสียจากจุดเชื่อมต่ออยู่ในค่าที่ยอมรับได้ การหาตำแหน่งที่ผิดพลาด อาทิเช่น การแตกหักของเส้นใยแก้วนำแสง หรือรอยต่อที่เกิดขึ้นหลังจากการติดตั้ง

**ABSTRACT**

The optical fiber optic communication is widely used , applied for some applications.The project present OTDR demonstration kit find the loss budget of a fiber optic splices and connector losses are within acceptable limits. Findlocation such as broken fiber or splices may occur during or after installation

# สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| **บทที่ 1 บทนำ** | |
| 1.1 กล่าวนำ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์และข้อกำหนดในการทำวิทยานิพนธ์ | 1 |
| 1.3 โครงสร้างวิทยานิพนธ์ | 1 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง** | |
| 2.1 เส้นใยแสง | 3 |
| 2.1.1 เทคโนโลยีเส้นใยแสง | 3 |
| 2.1.2 ชนิดของของเส้นใยแสง | 3 |
| 2.1.3 ข้อดีของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง | 4 |
| 2.1.4 ข้อเสียของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง | 5 |
| 2.1.5 การสูญเสียสัญญาณในเส้นใยแสง | 5 |
| 2.2 อุปกรณ์การเชื่อมโยงการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสง | 6 |
| 2.2.1 อุปกรณ์กำเนิดแสง | 8 |
| 2.2.1.1 P-N Junction | 8 |
| 2.2.1.2 แอลอีดี (Light Emitting Diode : LED) | 9 |
| 2.2.1.3 แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ (Laser Source) | 10 |
| 2.2.2 โฟโต้ดีเทคเตอร์ | 20 |
| 2.2.2.1 หลักการพื้นฐาน | 20 |
| 2.2.2.2 ประเภทของ Photodetector | 21 |
| **บทที่ 3 การคำนวณและการแก้ไข** | |
| 3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (#74HC123, #555) | 24 |
| 3.2 วงจรเลือกสัญญาณ (#74150) | 25 |

# สารบัญ(ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| 3.3 วงจรขับสัญญาณ (#LM6365, #LH0002) | 26 |
| 3.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ (#LM710) | 26 |
| 3.5 วงจรรวมสัญญาณ (#74HC32) | 27 |
| 3.6 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ (#74HC74, #74HC14) | 28 |
| 3.7 วงจรคูณสัญญาณ (#74LS08, #74HC393, Oscillator 24 MHz, #74HC14) | 30 |
| 3.8 วงจรนับ (#74HC393) | 31 |
| 3.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (#ADC 0820) | 32 |
| 3.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (AT89s8252 ) | 32 |
| 3.10.1 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 89S8252 | 34 |
| 3.10.2 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต | 37 |
| 3.10.3 ความร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ | 38 |
| 3.11 จอแสดงผล | 38 |
| 3.11.1 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD | 39 |
| 3.11.2 รายละเอียดเกี่ยวโมดูล LCD ในโครงงาน | 40 |
| 3.11.3 คำสั่งควบคุม LCD | 40 |
| 3.11.4 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่โมดูล LCD | 45 |
| 3.11.5 จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล | 45 |
| **บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง** | |
| 4.1 การออกแบบวงจร | 47 |
| 4.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ | 47 |
| 4.1.2 วงจรเลือกสัญญาณ | 51 |
| 4.1.3 วงจรขับสัญญาณ | 52 |

# สารบัญ(ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| 4.1.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ | 54 |
| 4.1.4.1 วงจรตรวจจับพัลส์บวก (Positive Detector) | 55 |
| 4.1.4.2 วงจรตรวจจับพัลส์บวก (Negative Pulse Detector) | 56 |
| 4.1.5 วงจรรวมสัญญาณ | 57 |
| 4.1.6 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ | 57 |
| 4.1.7 วงจรคูณสัญญาณ | 60 |
| 4.1.8 วงจรนับ | 62 |
| 4.1.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล | 63 |
| 4.1.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ | 63 |
| 4.1.10.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์ | 64 |
| 4.1.10.2 ส่วนของซอร์ฟแวร์ | 64 |
| 4.1.11 จอแสดงผล | 68 |
| 4.2 ผลการทดลองและค่าความผิดพลาด | 69 |
| **บทที่ 5 วิจารณ์และสรุป** | |
| 5.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ | 71 |
| 5.2 วงจรเลือกสัญญาณ | 71 |
| 5.3 วงจรขับสัญญาณ | 72 |
| 5.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ | 72 |
| 5.5 วงจรรวมสัญญาณ | 72 |
| 5.6 วงจรตรวจจับเวลา และตรวจสอบสถานะ | 72 |
| 5.7 วงจรคูณสัญญาณ | 73 |
| 5.8 วงจรนับ | 73 |
| 5.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล | 73 |

# สารบัญ(ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| 5.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ | 73 |
| 5.11 สรุปผลการทดลอง | 74 |
| 5.12 แนวทางการพัฒนา | 74 |
| บรรณานุกรม | |

# สารบัญรูปภาพ

**เรื่อง** **หน้า**


รูปที่ 2.1 การเดินทางของเส้นใยแสงชนิดต่างๆ 4

รูปที่ 2.2 อุปกรณ์หลักของการเชื่อมต่อผ่านเส้นใยแสง 7

รูปที่ 2.3 เส้นทางของสัญญาณแสงไปยังเส้นใยแสง 7

รูปที่ 2.4โครงสร้าง P-N Junction 8

รูปที่ 2.5 โครงสร้างภายในแอลอีดี 10

รูปที่ 2.6 โครงสร้างการทำงานแอลอีดี 10

รูปที่ 2.7 รูปแสดงชั้นพลังงานของอะตอม 11

รูปที่ 2.8 การกระตุ้นการทำงานของโฟตอนแสง 12

รูปที่ 2.9 การปลดปล่อยพลังงานของโฟตอน 12

รูปที่ 2.10 รูปแสดงโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดเลเซอร์ 14

รูปที่ 2.11 โครงสร้างภายใน OTDR เบื้องต้น 20

รูปที่ 2.12 แสดงหลักการทำงานพื้นฐาน Photodetector 21

รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ 24

รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเลือกสัญญาณ 25

รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรขับสัญญาณ 26

รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรม ของวงจรตรวจจับสัญญาณ 26

รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรวมสัญญาณ 27

รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของวงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ 28

รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของคูณสัญญาณ 30

รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมของวงจรนับ 31

รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล 32

รูปที่ 3.10 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89S8252 36

รูปที่ 3.11 การจัดขาของจอแสดงผล 40

# สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

**เรื่อง** **หน้า**


รูปที่3.12 บล็อกไดอะแกรมรวม 46

รูปที่ 4.1วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 47

รูปที่ 4.2 ผลการทดลองในส่วนของวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา 48

รูปที่ 4.3 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ 49

รูปที่ 4.4(ก) สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (100 nsec) 49

รูปที่ 4.4(ข) สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (0.4 μsec) 50

รูปที่ 4.4(ค) สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (3.5 μsec) 50

รูปที่ 4.5 สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ทั้งหมด 51

รูปที่ 4.6 วงจรเลือกสัญญาณ 51

รูปที่ 4.7 สัญญาณพัลส์ 3.5 μsec ที่ผ่านวงจรเลือกสัญญาณ 52

รูปที่ 4.8 วงจรขับสัญญาณ 53

รูปที่ 4.9 สัญญาณพัลส์ขนาด 3.5 μsec เมื่อผ่านวงจรขับสัญญาณ 53

รูปที่ 4.10 สัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเมื่อปลายสายทดสอบเปิด 54

รูปที่ 4.11สัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเมื่อปลายสายทดสอบลัดวงจร54

รูปที่ 4.12 วงจรตรวจจับพัลส์บวก 55

รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์บวก เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต 55

รูปที่ 4.14 วงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ลบ 56

รูปที่ 4.15 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์บวก เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต 56

รูปที่ 4.16 วงจรรวมสัญญาณ 57

รูปที่ 4.17 สัญญาณที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณ 57

รูปที่ 4.18 วงจรของ D-Flip Flop ที่ทำการแปลงเป็น T-Flip Flop 58

รูปที่ 4.19 วงจรทั้งหมดของวงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ 58

รูปที่ 4.20 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip flop 1 หรือวงจรตรวจจับสัญญาณ 59

# สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

**เรื่อง** **หน้า**


รูปที่ 4.21 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip Flop 2 หรือวงจรตรวจสอบสายดีหรือเสีย 59

รูปที่ 4.22 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip Flop 3 หรือวงจรตรวจสอบเปิดหรือลัดวงจร 60

รูปที่ 4.23 วงจรคูณสัญญาณและวงจรผลิตสัญญาณความถี่ 12 MHz 61

รูปที่ 4.24 สัญญาณจากออสซิลเลเตอร์ ความถี่ 24 MHZ 61

รูปที่ 4.25 สัญญาณ 12 MHz หลังจากวงจรหารความถี่ 61

รูปที่ 4.26 ผลการทดสอบวงจรคูณสัญญาณ 62

รูปที่ 4.27 วงจรนับสัญญาณ 62

รูปที่ 4.28 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล 63

รูปที่ 4.29 (ก) โฟวร์ชาร์ท การทำงานของโปรแกรม 66

รูปที่ 4.29 (ข) โฟวร์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรม (ต่อ) 67

รูปที่ 4.30 ข้อความที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลเมื่อเริ่มทำงาน 68

รูปที่ 4.31 ข้อความที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลขณะรอทำการทดสอบ 68

รูปที่ 4.32 ข้อความเมื่อทดสอบแล้วสายไม่ชำรุด 68

รูปที่ 4.33 ข้อความเมื่อสายเกิดการลดวงจร 68

รูปที่ 4.34 ข้อความเมื่อสายเกิดการขาด 68

รูปที่ 4.35 วงจรรวมทั้งหมดของโครงงาน 70

# สารบัญตาราง

**เรื่อง** **หน้า**

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการตรวจจับการเสียของสายจากในส่วนวงจรตรวจสอบสายดีหรือเสีย 29

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการตรวจจับชนิดการเสียของสายในวงจรตรวจสอบสายเปิดหรือตารางที่ 30

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชที่งานกันในปัจจุบัน 33

ตารางที่ 3.4 ชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของ LCD 41

ตารางที่ 4.1 Truth Table ของ IC #74HC123 48

ตารางที่ 4.2 ค่า R และ C ในวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ 49

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองจากเครื่องวัด 69

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารในระบบใยแก้วนำแสง ( Obtic fiber ) ได้มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในการสื่อสารโทรคมนาคมและบริการต่างๆ ถ้าหากเกิดปัญหาเกี่ยวกับสายใยแก้วนำแสงก็อาจทำให้การสื่อสารเกิดการหยุดชะงักได้ วิทยานิพนธ์นี้จึงได้จำลองการสาธิตการทำงานการตรวจเช็คสายใยแก้วนำแสง ว่าสายยังใช้งานได้ดีอยู่หรือไม่ หรือเกิดการขาดภายในโดยที่ตาเราไม่สามารถมองเห็นได้

## 1.2 วัตถุประสงค์และข้อกำหนดในการทำวิทยานิพนธ์

เครื่อง OTDR จะส่ง optical pulse ที่มีความกว้างน้อยๆ เข้าไปใน fiber optic cable ซึ่งแสงบางส่วนจะกระเจิง ( scatter ) บางส่วนจะกลับมาที่ต้นสายและจะถูกตรวจจับด้วยตัวดีเทคเตอร์ภายในตัว OTDR โดยระยะเวลาที่แตกต่างกันระหว่างจากที่เริ่มส่งพัลส์จนถึงเวลาที่รับสัญญาณได้จะถูกคำนวณ จากผลต่างของเวลาเริ่มต้นกับเวลาสุดท้ายของตัวดีเทคเตอร์รับสัญญาณได้ คูณกับค่าของ C จาก

สมการ distance = C * ( d2 – d1 )

โดยที่ distance คือ ระยะทาง หน่วย m

C คือ ความเร็วของแสง 3*10exp8 m/s

d2 คือ เวลาสุดท้ายที่ตัวดีเทคเตอร์ได้รับ

d1 คือ เวลาที่เริ่มปล่อยพัลส์

ได้ค่าต่างๆ แล้วนำมาคำนวณ ตามสมการ ข้างบน

## 1.3 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่1 กล่าวถึงบทนำ

บทที่2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทที่3 กล่าวถึงการคำนวณและการแก้ไข

บทที่4 กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง

บทที่5 กล่าวถึงบทวิจารณ์และบทสรุป

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากโครงงานนี้เป็นศึกษาการทำงานของเครื่องมือวัดจุดเสียต่างๆของสายใยแสง โดยเรียนรู้จากการทดลองของชุดสาธิต OTDR เพื่อทำความเข้าใจการทำงานโดยใช้ต้นทุนในการสร้างต่ำ

# บทที่ 2
# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 เส้นใยแสง

### 2.1.1 เทคโนโลยีเส้นใยแสง

ปัจจุบันความต้องการในการขนส่งข้อมูลที่ความเร็วสูงขึ้นและระยะทางที่ไกลขึ้น สำหรับการรับส่งสัญญาณผ่านเคเบิ้ล ทำให้ได้แบนด์วิดธ์ที่สูงขึ้นแต่ราคาต่ำลง เส้นใยแสงทั้งเส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง โดยมีโครงสร้างประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินผ่านเรียกว่า คอร์(Core) และส่วนที่หุ้มคอร์อยู่เรียกว่า แคลดดิ้ง (Cladding) ทั้งคอร์ และแคลดดิ้ง เป็นสารไดอิเล็กตริก (Dielectric) ใส 2ชนิด โดยทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแคลดดิ้ง มีค่าน้อยกว่าดัชนีหักเหของคอร์เล็กน้อยประมาณ 0.2 – 3% และอาศัยการสะท้อนกลับหมดของแสง ทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปในคอร์เดินทางไปได้ นอกจากนั้น เนื่องจากว่าเส้นใยแสงมีขนาดเล็กมากเท่าเส้นผม นั้นหมายถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก ของแคลดดิ้งมีขนาดประมาณ 0.1 มิลลิเมตร ส่วนคอร์ที่แสงเดินทางผ่านนั้นมีขนาดเล็กลงไปอีกคือ ประมาณหลายไมโครเมตร จนถึงขนาดหลายสิบไมโครเมตร ซึ่งเล็กกว่าความยาวคลื่นของแสงที่ใช้งานหลายเท่า

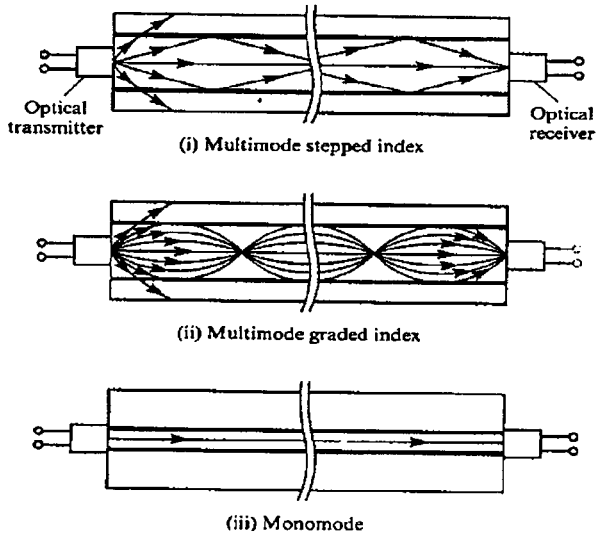
### 2.1.2 ชนิดของของเส้นใยแสง

ชนิดของเส้นใยแสงแบ่งออกได้ 3 ประเภทดังนี้

1. แบบขั้นบันได (Multimode Step index) ลำแสงที่ใช้เป็นแสงทั่วไป (แสงสีขาว) ใช้ตัวกำเนิดแสงประเภท Light-emitting diode (LED) มีราคาถูกที่สุด และใช้ในงานแพร่หลาย เหมาะสมกับงานที่มีความจุข้อมูลต่ำ

2. แบบต่อเนื่อง (Multimode graded index) ลำแสงที่ใช้เป็นแสงทั่วไป (แสงสีขาว) ใช้ตัวกำเนิดแสงประเภท Light-emitting diode (LED)จัดว่ามีราคาแพง มีใช้ในระบบสื่อสารพอสมควร การเคลื่อนที่ของลำแสงไปได้เร็วกว่าแบบขั้นบันได

3. แบบโหมดเดียว (Monomode)ลำแสงที่ใช้เป็นแสงสีเดียว ใช้ตัวกำเนิดแสงประเภท Laser diode (LD) มีเส้นทางเดินของลำแสงเป็นเส้นตรง มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กมาก มีราคาแพงที่สุด และมีการส่งข้อมูลสูงกว่าประเภทอื่น




รูปที่ 2.1 การเดินทางของเส้นใยแสงชนิดต่างๆ

**2.1.3 ข้อดีของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง**

ในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสงมีข้อดีเหนือกว่าระบบออฟติคอล เวฟไกด์อื่นๆ ทั้งหมด โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีความสูญเสียต่ำตลอดย่านความยาวที่ใช้งาน(น้อยกว่า1เดซิเบล ต่อ 1 กิโลเมตร) จึงมีผลทำให้ลดจำนวนอุปกรณ์ทวนสัญญาณ(Regenerator)
2. มีแบนด์วิดท์กว้าง(1-10 กิกะเฮิรต์) ทำให้มีความจุช่องสัญญาณมาก
3. มีขนาดเล็ก(เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 100 ไมโครเมตร เมื่อรวมกับอุปกรณ์หุ้มแล้วจะมีขนาด 1-2 มิลลิเมตร)
4. น้ำหนักเบา การสร้างโครงข่ายจะทได้สะดวกกว่าสายทองแดง
5. ไม่มีการรบกวนจากสนามแม่เหล็ก เนื่องจากแก้วไม่ใช่ตัวนำไฟฟ้า สนามแม่เหล็กจึงไม่มีผลต่อการรบกวน
6. การรบกวนกวนระหว่างกัน(Crosstalk)ต่ำ มีการป้องกันสูง เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไม่มีผลรบกวนต่อระบบนี้ และระบบนี้ยังไม่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนระบบอื่นๆด้วย

7. ส่วนประกอบของแก้วที่ใช้เป็นวัสดุทางธรรมชาติ
8. มีความต้านทานต่อปฏิกิริยาเคมีและการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิมาก ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้งานในบริเวณที่มีความร้อนสูงได้ดี

**2.1.4 ข้อเสียของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง**

1. เปราะบาง เนื่องจากเส้นใยผลิตมาจากแก้ว จึงมีความเปราะบางมาก ต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ
2. ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษในการติดตั้ง เนื่องมาจากการวางเคเบิล การเชื่อมต่อสาย ตลอดจนการติดตั้งต่างๆต้องใช้ความประณีต และความสะอาดเป็นพิเศษ นอกจากนี้ยังต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง
3. การลดทอนจากการโค้งงอ(Bending Loss) เราไม่สามารถที่จะโค้งงอสายเคเบิลใยแสงได้มากกว่าค่าที่กำหนดไว้ เนื่องจากอาจจะทำให้แสงทะลุผ่านออกไปภายนอกได้

**2.1.5 การสูญเสียสัญญาณในเส้นใยแสง**

เมื่อมีการป้อนข้อมูลสัญญาณแสงให้เส้นใยแสงในช่วงระยะทางหนึ่ง สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ย่อมมีการสูญเสียหรือผิดเพี้ยนบ้างเช่นเดียวกับการส่งข้อมูลด้วยสายเคเบิ้ล ลักษณะการสูญเสียในเส้นใยนำแสงมีสาเหตุดังต่อไปนี้คือ

1. การสูญเสียเนื่องจากการดูดกลืนแสงของวัตถุตัวกลาง เป็นผลมาจากการดูดซับพลังงานภายในเนื้อสารที่ใช่ทำเส้นใยแสงในขณะที่แสงเดินทาง และชนโมเลกุลของมัน หากการดูดซับพลังงานในเนื้อสารมีมากจะก่อให้เกิดการสูญเสียมากเช่นกัน
2. การสูญเสียจากการกระเจิงของแสง เนื่องจากการเดินทางในเส้นใยแสงจะเกิดการกระเจิงของแสงเนื่องจากเส้นใยแสงด้วย
3. การสูญเสียจากการโค้งงอเส้นใยแสง เป็นการสูญเสียอันเนื่องมาจากการจัดวางตัวของสายเส้นใยแสงที่ทำหน้าที่เป็นท่อนำสัญญาณในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรง ทำให้มุมของการตกกระทบที่ผนังระหว่างคอร์ กับแคลดดิ้งเปลี่ยนไป
4. การสูญเสียอันเนื่องมาจากโครงสร้างของเส้นใยที่ไม่สมบูรณ์ เกิดจากรอยต่อของคอร์กับแคลดดิ้งไม่ได้เป็นผิวของทรงกระบอกที่แบนราบเหมือนอย่างทฤษฎี แต่ว่ามีรอย

ตะปุ่มตะป่ำขนาดเล็กมากมาย เมื่อผิวไม่เรียบสม่ำเสมออย่างนี้จะทำให้โหมดการเดินทางเปลี่ยนไป

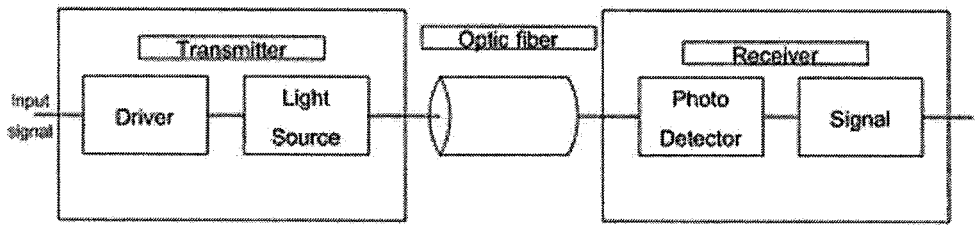
5. การสูญเสียของการโค้งงอ(Microbending Loss) เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นภายหลังการผลิตเส้นใยแสงอันเนื่องมาจากมีแรงกดไม่สม่ำเสมอมากระทำทางด้านข้างของเส้นใยแสง ทำให้แกนของเส้นใยแสงบิดงอไป 2-3 ไมโครเมตร ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นขณะทำการม้วนเส้นใยแสงให้กับหลอด( Robbin ) หรือทำการม้วนพลาสติกเข้ากับเส้นใยแสง
6. การสูญเสียจากการเชื่อมต่อ (Connection Loss) เกิดจากการต่อเส้นใยแสง โดยจะปรับคอร์ของเส้นใยแสงทั้งสองให้ยื่นเข้าหากันอย่างถูกต้องและต้องต่อกันอย่างสม่ำเสมอจริงๆ แต่ถ้าหากไม่สม่ำเสมออย่างสมบูรณ์แล้ว ส่วนหนึ่งของแสงที่ออกมาจากคอร์ด้านหนึ่งนั้นจะไม่สามารถเข้าไปยังคอร์อีกด้านหนึ่งได้ แต่จะรั่วเข้าไปในแคลดดิ้งกลายเป็นการสูญเสียแสง

## 2.2 อุปกรณ์การเชื่อมโยงการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสง

ในการเชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสงมีส่วนสำคัญต่างๆคือ เครื่องส่งที่ประกอบด้วยตัวกำเนิดแสงร่วมกับวงจรกระตุ้น(Drive Circuit) เคเบิลเส้นใยแสง และเครื่องรับที่ประกอบด้วยโฟโต้ดีเทคเตอร์รวมกับวงจรขยายสัญญาณ และวงจรที่ทำให้สัญญาณกลับสู่สภาพเดิม เคเบิลใยแสงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการเชื่อมต่อเส้นใยแสง นอกจากจะได้มีการป้องกันเส้นใยแสงระหว่างการติดตั้งและการให้บริการ ภายในเคเบิลอาจจะบรรจุสายทองแดงสำหรับกำลังที่จะจ่ายให้กับอุปกรณ์ทวนสัญญาณเพื่อเพิ่มระยะทางให้ไกลออกไปได้อีก เคเบิลโดยทั่วไปแล้วประกอบด้วยเส้นใยแสงรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเท่ากับเส้นผมจำนวนมาก แต่ละเส้นไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนวงจรของการสื่อสาร

คุณสมบัติอันดับแรกของเส้นใยแสง คือการลดทอน ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นที่ใช้เทคโนโลยีในตอนต้นๆนั้น ใช้ความยาวคลื่นประมาณ 800-900 นาโนเมตรอย่างเดียว เนื่องจากในแถบความยาวคลื่นนี้เป็นความยาวคลื่นที่เส้นใยแสงในขณะนั้นมีการลดทอนน้อยสุด และแหล่งกำเนิดแสง และ โฟโต้ดีเทคเตอร์ที่ทำงานในย่านความยาวคลื่นนี้จัดหาได้ง่าย โดยการลดทอนความเข้มข้นของประจุของ ไฮดรอซิล (Hydroxyl ions) และประจุโลหะ(Metallic ions)ที่เจือปนอยู่ในส่วนประกอบของเส้นใยแก้ว ทำให้ผู้ผลิตสามารถผลิตเส้นใยที่มีการสูญเสียต่ำมากในย่านความยาวคลื่น 1100-1600 นาโนเมตร ปกติความกว้างของแบนด์วิดท์จะอ้างถึงในย่านความยาวคลื่นยาว

(Long – wave Length) ลักษณะสำคัญเพิ่มขึ้นหลังจากที่ได้พัฒนาที่ความยาว 1300 นาโนเมตร เนื่องจากในย่านนี้เส้นใยซิลิก้าบริสุทธิ์มีความเพี้ยนต่ำมาก

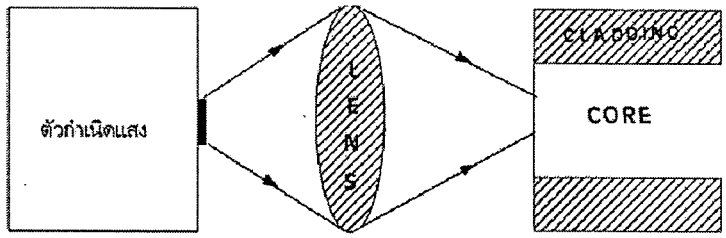



รูปที่ 2.2 อุปกรณ์หลักของการเชื่อมต่อผ่านเส้นใยแสง

ได้มีการเริ่มต้นวิจัยส่วนประกอบของเส้นใยแสงชนิดใหม่ๆ สำหรับใช้ในย่านความยาวคลื่น 3-5ไมโครเมตร เริ่มต้นจากจุดสำคัญที่น่าสนใจเกี่ยวกับโลหะฮาไลด์ที่มีผลึกมากกว่าหลายผลึก เช่น ซิงค์คลอไรด์(SnC 12) ธอลเลียมโบรไมด์(TLBr) และธอลเลียมไบรไมไอโอได(KPS-5)

การพยากรณ์ เป็นเพียงสมมุติฐาน คาดว่าเส้นใยเหล่านี้ จะก่อให้เกิดผลต่อการสื่อสารทางไกลอย่างมาก เมื่อเคเบิลได้ติดตั้งไปแล้ว แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่จะใช้ส่งถ่ายพลังงานของแสงเข้าไปในเส้นใย จะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับคอร์ของเส้นใย

ในด้านการสื่อสารอุปกรณ์ที่ให้กำเนิดพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในแถบความยาวคลื่นที่ตามองเห็นและแถบ อินฟาเรด เรียกว่า "ตัวกำเนิดแสง" พลังงานที่ออกมานี้เป็นตัวพาข่าวสาร (Information carrier) ถ้าแสงที่เกิดขึ้นมีความยาวคลื่น หรือความถี่เดี่ยว และยังคงมี phase front สม่ำเสมอ เราเรียกแหล่งกำเนิดแสงนั้นว่า coherent source อย่างไรก็ตาม ตัวกำเนิดแสงส่วนมากจะให้กำเนิดแสงที่มีหลายความยาวคลื่นแตกต่างกัน และ phase front ไม่สม่ำเสมอ ตัวกำเนิดแสงแบบนี้เรียกว่า incoherent source




รูปที่ 2.3 เส้นทางของสัญญาณแสงไปยังเส้นใยแสง

เมื่อสัญญาณแสงเดินทางผ่านไปในเส้นใยในระยะทางพอสมควร สัญญาณจะถูกลดทอนเกิดความเพี้ยนจนถึงองศา(Degree of distortion เป็น %) ที่ต้องการทวนสัญญาณในสาย เพื่อที่จะทำ

การขยายสัญญาณที่สร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่ สถานีทวนสัญญาณแสงประกอบด้วยเครื่องรับและเครื่องส่งติดตั้งแบบหลังชนกัน ภาคเครื่องรับตรวจรับสัญญาณแสงและเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งต้องการขยายสัญญาณ สร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่ และส่งสัญญาณไฟฟ้า ให้กับภาคเครื่องส่ง ภาคเครื่องส่งจะเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากลับเป็นสัญญาณแสงใหม่และส่งเข้าไปในเส้นใยแสง

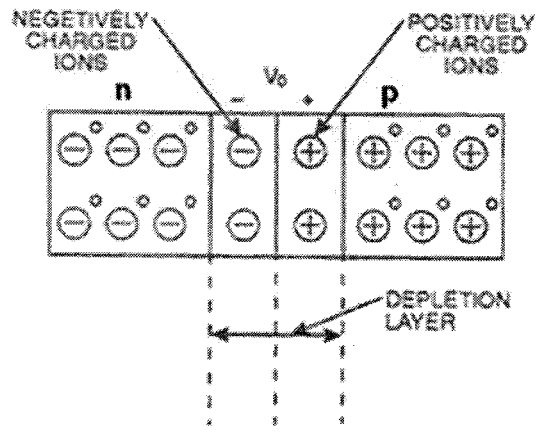
**2.2.1 อุปกรณ์กำเนิดแสง**

**2.2.1.1 P-N Junction**

เกี่ยวกับโครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสง การใช้งานให้ได้กำลังการปล่อยแสงที่มีประสิทธิภาพสูงนั้น การนำสารกึ่งตัวนำ P และ N มาเชื่อมต่อกัน (Junction) นั้นเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ดังนั้นเพื่อทำความเข้าใจในขั้นตอนการปล่อยแสงอันเนื่องมาจากโครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนั้น จะอธิบายถึงคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำแบบ P-type และ N-type ก่อน

สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้น โดยปกตินั้นจำนวนอิเล็กตรอนที่มีอยู่นั้นจะมีค่าคงที่ตามชนิดของสารอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะรวมตัวกันอยู่ในวาเลนซ์แบนด์ (Valence Band) ในตอนต้นสารกึ่งตัวนำที่มีสภาพเช่นนี้เรียกว่า จีเนียน เซมิคอนดักเตอร์(Genuine Semiconductor)แต่สารกึ่งตัวนำที่เรียกว่า P-type นั้นจะมีสภาพที่มีจำนวนโฮลมากและมีอิเล็กตรอนน้อย ส่วนสารกึ่งตัวนำที่เรียกว่า N-type นั้นจะมีสภาพตรงกันข้ามกับ P-type กล่าวคือ มีอิเล็กตรอนมากกว่าโฮล จำนวนอิเล็กตรอนนี้จะรวมกันอยู่ในคอนดักชันแบนด์(Conduction Band)

เมื่อเรานำสารกึ่งตัวนำทั้งสองแบบมาเชื่อมต่อกัน และบริเวณที่เชื่อมต่อกันนั้น อิเล็กตรอนที่มีจำนวนมากใน N-type จะรวมตัวกับโฮลที่มีจำนวนมากใน P-type และเมื่อมีการรวมตัวที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆนั้น ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าใน P-type (เพราะว่าโฮลลดลง เหลือแต่อิเล็กตรอน) และเกิดประจุไฟฟ้าขึ้นใน N-type (เพราะว่าอิเล็กตรอนลดลงเหลือแต่โฮล) จากผลนี้ทำให้เกิดสภาพดีพลีชันโซน(Depletion Zone) ขึ้นตรงบริเวณใกล้ๆ รอยเชื่อมต่อ




รูปที่ 2.4โครงสร้าง P-N Junction

**2.2.1.2 แอลอีดี (Light Emitting Diode : LED)**

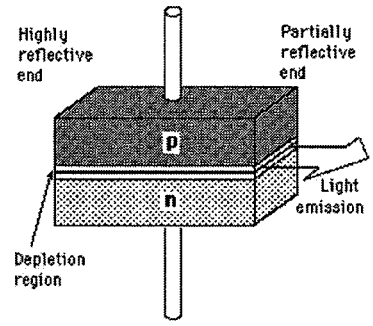
โครงสร้างของแอลอีดี เป็นแบบ ดับเบิ้ล เฮทเทอร์โร จังชั่น อิเล็กตรอนที่ไหลผ่านรอยต่อ P-N จะไปรวมกับโฮลภายในแอคทีฟเลเยอร์ แสงที่ปล่อยออกมาจากแอลอีดี จะออกมาข้างนอกจากด้านหน้าที่ต่อกับขั้วไฟฟ้า

ตัวอย่างโครงสร้างของแอลอีดี แบบที่ปล่อยแสงออกมาด้านหน้า (Face Emission Type แอลอีดี) เพื่อเป็นการทำให้แสงปล่อยออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นขั้วไฟฟ้าทางด้านที่ปล่อยแสงออกมาจะต้องมีรูปร่างเป็นวงแหวน

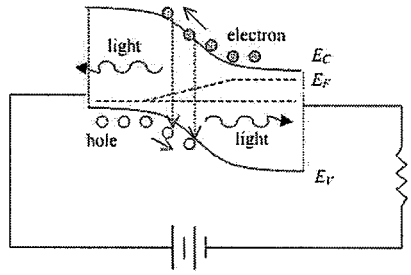
นอกจากนี้ปัจจุบันได้มีการผลิตแอลอีดีแบบหนึ่งขึ้นมา โดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแอคทีฟเลเยอร์มีค่าสูง และทำให้เกิดปฏิกิริยาการนำแสงขึ้นในแอคทีฟเลเยอร์และทำให้แสงปล่อยออกมาทางด้านข้างของแอคทีฟเลเยอร์เหมือนกันกับเลเซอร์ไดโอดแอลอีดีแบบนี้เรียกว่าแอลอีดีแบบปล่อยแสงทางด้านข้าง (Side Emission Type LED) และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบปล่อยแสงทางด้านหน้า โดยการให้กระแสไหลผ่านเท่ากัน แล้วปรากฏว่าจะได้แสงออกมามีกำลังน้อยกว่าแบบปล่อยแสงออกทางด้านหน้า แต่เนื่องจากบริเวณการปล่อยแสงมีขนาดแคบมากกว่า จึงมีข้อดีที่ว่ามีประสิทธิภาพการเชื่อมแสงกับเส้นใยสูงกว่า

ในการสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสงอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณแสงที่ใช้ในการส่งสัญญาณที่ระดับความเร็ว 50 -100 Mbps อาจจะเลือกใช้ LED เป็นตัวกำเนิดแสงได้เนื่องจากเราสามารถใช้สัญญาณ Pulse เป็นสัญญาณขับได้ อีกทั้งทนต่อสภาพกระแสเกิน (Overcurrent) ช่วงสั้นๆได้ดี

แต่เมื่อระดับความเร็วในการส่งสัญญาณเพิ่มขึ้นมาอยู่ที่ 155 และ 622Mbps SONET/SDH (synchronous-optical network / synchronous-optical-hierarchy) LED จะมีความเร็วในการส่งสัญญาณช้าเกินไป จึงจำเป็นจะต้องเปลี่ยนมาใช้ เลเซอร์ไดโอด (Laser diode) หรือ เลเซอร์ไดโอดที่เรียกว่า "Verticalcavity surface-emitting laser" เป็นแหล่งกำเนิดของแสงแทน เนื่องจากเลเซอร์ไดโอด มีข้อดีที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงพอสมควรและ ให้กำเนิดแสงได้ดี แต่มีข้อเสียคือ มีคุณสมบัติบางประการที่จะต้องคำนึงถึง คือตัวมันมีอายุการใช้งานจำกัด ระดับของกระแสที่ได้ออกมาจะลดลงเรื่อยๆ และ ระดับของกระแสต่ำสุดต่อการเริ่มเปล่งแสง (Operating Thresholds) ของมันจะเปลี่ยนไปตามอายุการใช้งาน ทำให้จำเป็นจะต้องคอยตรวจสอบสภาพการทำงานของมันอยู่ตลอดเวลา




รูปที่ 2.5 โครงสร้างภายในแอลอีดี




รูปที่ 2.6 โครงสร้างการทำงานแอลอีดี

**2.2.1.3 แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ (Laser Source)**

โดยอุปกรณ์สร้างแสงเลเซอร์(laser source)ในอดีตจะใช้หลอดบรรจุแก๊สฮีเลียมผสมนีออน ซึ่งเรียกว่า ฮีเลียม – นีออนเลเซอร์ ซึ่งสร้างแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร หรือ 0.6328ไมครอน และมีความเข้มของแสง 1.5 มิลลิวัตต์ ±0.5 มิลลิวัตต์ แต่เนื่องจากแหล่งกำเนิดแบบนี้มีขนาดที่ใหญ่ และน้ำหนักมาก ถึงแม้ว่าจะให้กำลังงานสูง และมีน๊อยส์ต่ำก็ตาม ปัจจุบันจึงหันมาใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์เป็นแบบเซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์(semiconductor laser)แทน เซมิคอนดักเตอร์หรือ มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เลเซอร์ไดโอด (laser diode) ถึงแม้ว่าจะสร้างแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นมาก (0.78 – 0.94 ไมครอน) ความเข้มแสงก็ต่ำเพียงประมาณ 0.2 – 0.4 มิลลิวัตต์ และมีน๊อยส์มากแต่เนื่องจากมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และมีราคาถูก ปัจจุบันจึงนิยมใช้กันมาก

ฮีเลียม – นีออนเลเซอร์ จะมีลักษณะเป็นหลอดแก้วสุญญากาศรูปกระบอกยาว 26 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 เซนติเมตร มีขั้วแอโนด (anode) และแคโทด (cathode) บรรจุอยู่ที่ส่วนปลายทั้งสองบรรจุแก๊สอยู่ภายใน 2 ชนิดคือ ฮีเลียม และ นีออน

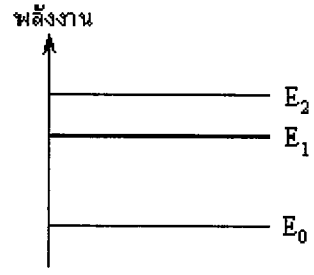
เลเซอร์คืออะไร คำว่า Laser ย่อมาจาก Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation แสงเลเซอร์เป็นแสงที่มีสมบัติพิเศษแตกต่างจากแสงทั่ว ๆ ไป สมบัติดังกล่าวประกอบด้วย

- เป็นแสงสีเดียว (monochromaticity)
- มีความพร้อมเพรียง (coherence)
- มีทิศทางที่แน่นอน (directionality)
- มีความเข้ม (Intensity หรือ Brightness) สูงมาก

เพื่อจะเข้าใจการกำเนิดแสงเลเซอร์ ต้องเริ่มทำความเข้าใจตั้งแต่โครงสร้างของอะตอม ซึ่งเป็นหน่วยย่อย ของธาตุหรือสสาร นักฟิสิกส์ได้เสนอแบบจำลองอะตอมว่าประกอบด้วยนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง ซึ่งมีประจุบวก และมีอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบโคจรอยู่โดยรอบ การอยู่หรือการจัดวางของอิเล็กตรอนในอะตอมทำให้อะตอม มีพลังงานค่าหนึ่ง ซึ่งอะตอมจะมีพลังงานได้เพียงบางค่าเท่านั้น (เรียกว่า quantized energy) ขึ้นอยู่กับจำนวนอิเล็กตรอนและประจุบวกที่อยู่ในนิวเคลียสของอะตอมนั้น

ถ้าอะตอมได้รับพลังงานกระตุ้นที่เหมาะสม จะมีผลทำให้อะตอมมีพลังงานสูงขึ้น แต่โดยธรรมชาติแล้ว เมื่อเวลาผ่านไปอย่างรวดเร็ว อะตอมจะคายพลังงานส่วนเกินที่ได้รับออกมา เพื่อให้มีพลังงานต่ำลง

เนื่องจากอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสในวงโคจรที่ต่างกัน จะมีพลังงานที่แตกต่างกัน ซึ่งพลังงานดังกล่าวบ่งชี้ถึงพลังงานของอะตอมนั่นเอง เมื่อทำการจัดเรียงพลังงานต่าง ๆ ของอะตอมที่สามารถมีได้ จากค่าน้อยไปหาค่ามาก สามารถเขียนแผนภาพชั้นพลังงาน (energy level) ของอะตอมได้ ดังรูป

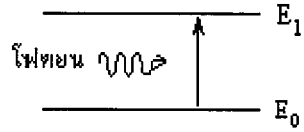



รูปที่ 2.7 รูปแสดงชั้นพลังงานของอะตอม

อะตอมที่มีพลังงาน $E_0$ เป็นอะตอมที่อยู่ในสถานะพื้น (ground state) แต่ถ้าอะตอมที่มีพลังงานสูงขึ้นไป จะอยู่ในสถานกระตุ้น (excited states)

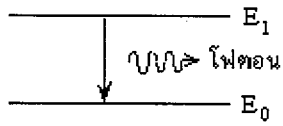
ในสภาวะสมดุลความร้อน เมื่อพิจารณาอะตอมหนึ่ง ๆ จะมีพลังงานอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งจะสามารถอยู่ในชั้นพลังงานใดชั้นพลังงานหนึ่งได้ แต่ในธรรมชาติ ธาตุและสารประกอบจะประกอบด้วยอะตอมจำนวนมาก ดังนั้นในชั้นพลังงานของอะตอมสำหรับธาตุหรือสารประกอบจึงมีอะตอมหรือประชากรอะตอมกระจายอยู่ในจำนวนที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยมากแล้ว ประชากรอะตอมในชั้นพลังงานต่ำจะมีมากกว่าประชากรอะตอมในชั้นพลังงานสูง

การเปลี่ยนชั้นพลังงานของประชากรอะตอมสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีพลังงานจากภายนอกมากระตุ้น เช่น การกระตุ้นโดยโฟตอนแสง (อนุภาคของแสง) ที่มีพลังงานเท่ากับความแตกต่างของระดับพลังงานพอดี กล่าวคือ ถ้าต้องการกระตุ้นอะตอมที่เดิมอยู่ในสถานพื้น ให้ไปอยู่ในสถานะกระตุ้นที่ 1 โฟตอนแสงที่ไปกระตุ้นต้องมีพลังงานเท่ากับขนาดของผลต่าง $E_0 - E_1$




รูปที่ 2.8 การกระตุ้นการทำงานของโฟตอนแสง

การเปลี่ยนชั้นพลังงานของอะตอมที่เกิดขึ้นโดยการดูดกลืนโฟตอนแสง เป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การดูดกลืนแสง (light absorption) แต่อะตอมที่อยู่ในชั้นพลังงาน $E_1$ จะไม่เสถียร เมื่อเวลาผ่านไปอย่างรวดเร็ว อะตอมนั้นจะกลับมาอยู่ในชั้นพลังงาน $E_0$ เช่นเดิม โดยปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของโฟตอนแสง ที่มีพลังงานเท่ากับ $E_1 - E_0$ ปรากฏการณ์ปลดปล่อยโฟตอนโดยธรรมชาตินี้เรียกว่า การปล่อยแสงแบบเกิดขึ้นเอง (spontaneous emission)




รูปที่ 2.9 การปลดปล่อยพลังงานของโฟตอน

ในปี ค.ศ. 1917 ไอน์สไตน์ ได้เสนอว่า นอกเหนือจากปรากฏการณ์ปล่อยแสงแบบเกิดขึ้นเองแล้ว ยังสามารถทำให้เกิดการปล่อยแสงโดยการถูกกระตุ้น (spontaneous emission) ได้ด้วย ซึ่งการปล่อยแสงโดยการถูกกระตุ้นนี้ เป็นกลไกหลักในการกำเนิดแสงเลเซอร์ กล่าวคือ ในขณะที่อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น เช่น อยู่ในชั้นพลังงาน $E_1$ ถ้ามีโฟตอนแสงจากภายนอกที่มีพลังงานเท่ากับความแตกต่างของระดับพลังงาน $E_1 - E_0$ เข้ามาชน จะทำให้อะตอมที่อยู่ในชั้นพลังงาน $E_1$ นี้

ถูกกระตุ้นให้ลงมายังชั้นพลังงาน $E_0$ โดยมีการคายพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับ $E_1 - E_0$ เนื่องจากโฟตอนแสงที่มาชนไม่ถูกดูดกลืนโดยอะตอมที่ถูกชน ทำให้จำนวนโฟตอนเพิ่มขึ้นเป็นสองอนุภาค (โฟตอนที่มากระตุ้น บวกกับโฟตอนที่ได้จากการเปลี่ยนสถานะของอะตอม)

โฟตอนทั้งสองนี้มีพลังงานเท่ากัน มีความถี่เดียวกัน มีเฟสตรงกัน มีโพลาไรเซชันเหมือนกัน และเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน ซึ่งถ้าพิจารณาในมุมมองของคลื่นแล้ว จะพบว่าเมื่อแสงสองขบวนมีความถี่ตรงกัน มีเฟสตรงกัน เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน สามารถที่จะรวมกันในลักษณะที่เสริมกันได้ ทำให้ได้คลื่นรวมที่มีขนาดโตขึ้น เกิดเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การขยายสัญญาณแสง ( Light amplification) ขึ้น ถ้าสามารถทำให้เกิดการขยายสัญญาณแสงในลักษณะนี้กับอะตอมเป็นจำนวนมาก ๆ ได้ ก็จะทำให้ได้สัญญาณแสงที่มีความเข้มสูงออกมา

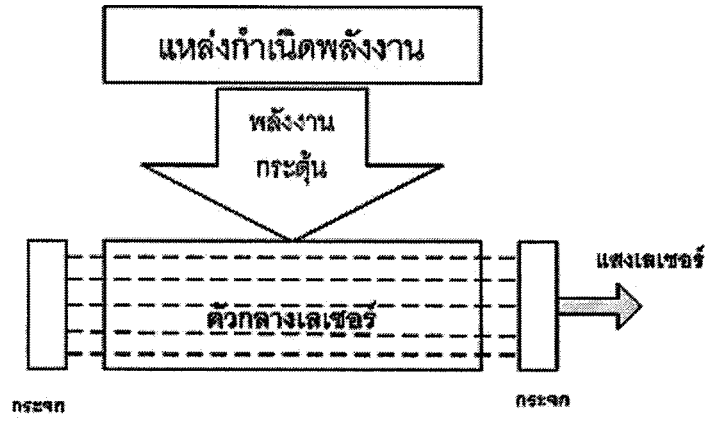
จากที่กล่าวมา พบว่าปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการที่จะทำให้เกิดการขยายแสงโดยการกระตุ้นได้มาก ๆ คือ การทำให้มีประชากรอะตอมในสถานะกระตุ้นมาก ๆ ซึ่งในธรรมชาติเป็นไปไม่ได้ จึงต้องมีการหาวิธีการที่จะทำให้ประชากรอะตอมในสถานะกระตุ้น $E_1$ มากกว่าสถานะพื้น $E_0$

ปรากฏการณ์ที่ทำให้จำนวนประชากรอะตอมในชั้นพลังงานสูงมีมากกว่าประชากรในชั้นพลังงานต่ำ เรียกว่า ประชากรผกผัน (population inversion) ในทางปฏิบัติสามารถทำให้เกิดประชากรผกผันได้โดยการใช้พลังงานจากภายนอกปริมาณหนึ่งที่เพียงพอจะทำให้ประชากรอะตอมมีสถานะเปลี่ยนไปจากสถานะพื้น $E_0$ ไปยังสถานะกระตุ้น $E_1$ และทำให้การกระตุ้นประชากรอะตอมในสถานะกระตุ้นให้ตกกลับมายังสถานะพื้น เพื่อให้ประชากรอะตอมปลดปล่อยโฟตอนแสงเป็นจำนวนมากออกมา

อย่างไรก็ตามการกระตุ้นประชากรอะตอมเพื่อให้มีการปล่อยแสงเพียงครั้งเดียวยังไม่สามารถทำให้ได้แสงเลเซอร์ออกมา เนื่องจากในความเป็นจริง ในขณะเดียวกับที่เกิดการปล่อยแสงโดยการถูกกระตุ้น ก็จะมีการดูดกลืนแสงเกิดขึ้นด้วยโดยประชากรอะตอมในสถานะพื้น ทำให้ความเข้มแสงที่ได้มีปริมาณลดลง ดังนั้นเพื่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความเข้มของสัญญาณแสง จึงต้องทำให้เกิดปรากฏการณ์ปล่อยแสงโดยการถูกกระตุ้นอย่างต่อเนื่อง โดยการทำให้โฟตอนแสงที่ได้จากการปลดปล่อยของประชากรอะตอม มากระตุ้นให้เกิดการปลดปล่อยแบบถูกกระตุ้นซ้ำแล้วซ้ำอีก จนกระทั่งสัญญาณแสงมีความเข้มสูงขึ้นจนถึงจุดเลสซิง (lasing point) หรือจุดออสซิลเลตของเลเซอร์ (laser oscillating point) แสงที่ได้ออกมาจึงมีสมบัติเป็นแสงเลเซอร์ ด้วยสาเหตุที่แสงที่ได้นี้เกิดจากปรากฏการณ์ขยายสัญญาณโดยการปล่อยแสงแบบถูกกระตุ้น จึงเป็นที่มาของคำเต็ม laser ในภาษาอังกฤษที่มาจาก Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

ชนิดของเลเซอร์ เครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์จะต้องมีองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ

1. ตัวกลางเลเซอร์ (laser medium) เป็นวัสดุที่ถูกกระตุ้นแล้วให้แสงเลเซอร์ออกมา ซึ่งอาจเป็นแก๊ส ของแข็ง ของเหลว หรือสารกึ่งตัวนำ
2. ออปติคัลเรโซเนเตอร์ (optical resonator) เป็นส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดเลเซอร์ที่ทำให้เกิดการปล่อยแสงแบบถูกกระตุ้นซ้ำแล้วซ้ำอีกจนถึงจุดเลสชิง ประกอบด้วยกระจก 2 แผ่น วางหันหน้าเข้าหากัน โดยระหว่างกลางมีตัวกลางเลเซอร์อยู่
3. แหล่งกำเนิดพลังงาน (energy source) เป็นตัวกระตุ้นให้อะตอมอยู่ในสภาวะที่เป็นประชากรผกผัน




รูปที่ 2.10 รูปแสดงโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องกำเนิดเลเซอร์

กระจกที่ทำหน้าที่เป็นออปติคัลเรโซเนเตอร์สองบานนั้น มีความสามารถในการสะท้อนแสงได้ต่างกันเล็กน้อย กล่าวคือ กระจกแผ่นหลังตัวกลางเลเซอร์สามารถสะท้อนแสงได้หมด ในขณะที่กระจกแผ่นหน้าสะท้อนแสงได้เกือบหมด โดยมีปริมาณแสงบางส่วนทะลุผ่านไปได้ แสงที่ทะลุผ่านออกไปก็คือแสงเลเซอร์นั่นเอง

เราสามารถแบ่งชนิดของเลเซอร์ตามลักษณะของตัวกลางเลเซอร์ได้ดังนี้

1. Gas Laser : สารตัวกลางเลเซอร์มีลักษณะเป็นก๊าซเช่น Argon Laser, Xenon Laser, He-Ne Laser

2. Solid State Laser : ใช้สารตัวกลางเลเซอร์ที่เป็นแท่งผลึกแข็ง เช่น Nd :YAG Laser, Ruby Laser

3. Dye Laser: สารตัวกลางมีลักษณะเป็นของเหลว เช่น Rhodamin 6G Laser

4. Semiconductor Laser: เป็นเลเซอร์ที่ใช้สารตัวกลางเลเซอร์เป็นสารกึ่งตัวนำ เช่น Diode Laser ชนิดต่าง ๆ

เลเซอร์ที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ได้แก่ He-Ne Laser, Argon-Ion Laser, Carbon dioxide Laser, Ruby Laser, Nd :YAG Laser, Semiconductor Laser และ Eximer Laser แต่ละชนิดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

He-Ne Laser ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์ เป็นเลเซอร์ก๊าซชนิดแรก ประกอบด้วยก๊าซฮีเลียม (He) และนีออน (Ne) ในอัตรา ส่วนประมาณ 10:1 แหล่งกำเนิดพลังงานที่กระตุ้นให้เกิดประชากรผกผัน (มักเรียกอีกชื่อว่า pumping source) ที่ใช้จะเป็น electrical discharge คือทำให้มีอิเล็กตรอนวิ่งผ่านและชนกับก๊าซที่บรรจุอยู่ในหลอดเลเซอร์

แสงเลเซอร์ที่ได้จะเป็นสีแดง ที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร (หรือ $632.8 \times 10^{-9}$ เมตร) และมีกำลังประมาณ 0.5 – 50 มิลลิวัตต์ ผู้สร้างสามารถเลือกการเปลี่ยนชั้นพลังงานของอะตอมให้เกิดเป็นเลเซอร์สีเขียว และอินฟราเรด ได้ แต่ไม่นิยม เพราะแสงดังกล่าวเกิดยากกว่าและต้องใช้ต้นทุนสูง

มีการใช้งาน ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์ มากในงานศึกษาวิจัย โดยมากใช้ในการสอบเทียบ การวัด การสร้างภาพโฮโลแกรม ในงานอุตสาหกรรมใช้เป็นมาตรฐานในการสอบเทียบการวัดเชิงมิติ

Argon-ion Laser อาร์กอน-อิออน เลเซอร์ ตัวกลางที่เป็นต้นกำเนิดของแสงเลเซอร์ชนิดนี้ คือ อิออนของอาร์กอน ซึ่งเกิดจากการกระตุ้นอะตอมของอาร์กอน จนอิเล็กตรอนบางอนุภาคหลุดออกไป

Pumping source ที่ใช้เป็นแบบ electrical discharge ทำให้อิออนของอาร์กอนถูกกระตุ้นไปอยู่ที่ชั้นพลังงานที่สูงกว่า ที่เรียกว่า metastable state โดยที่บริเวณที่เป็น metastable states จะมีหลายชั้นย่อย ทำให้สามารถเกิดการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานได้หลายแบบ แต่ที่เด่นชัดคือ แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร (สีเขียว) และ 488 นาโนเมตร (สีน้ำเงิน) กำลังของแสงเลเซอร์ที่ได้จะอยู่ในช่วง 1 – 20 วัตต์

ข้อเสียของเลเซอร์ชนิดนี้คือต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการ pump สูงมาก เพราะต้องทำหน้าที่ทั้งทำให้อะตอมเป็นอิออน และกระตุ้นอิออนให้เกิดประชากรผกผัน ทำให้เกิดความร้อนสูง จึงต้องมีระบบหล่อเย็น

อาร์กอน-อิออน เลเซอร์ ถูกนำไปประยุกต์ใช้ทางด้านการแพทย์ (ผ่าตัด) สร้างภาพโฮโลแกรม (holography) และงานด้าน specto photometry

Carbon dioxide Laser คาร์บอนไดออกไซด์ เลเซอร์ เป็นเลเซอร์ชนิดก๊าซ ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซฮีเลียม ในอัตราส่วนประมาณ 1:1:10 เพื่อช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของเลเซอร์ ที่แตกต่างเลเซอร์ก๊าซประเภทอื่นมาก เพราะแสงเลเซอร์ไม่ได้เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอะตอม แต่เกิดจากการหมุนและการสั่นของโมเลกุลของก๊าซ โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ ปกติจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยมีออกซิเจนอยู่สองข้างและคาร์บอนอยู่ตรงกลาง การสั่นของโมเลกุลเป็นการสั่นขึ้นลงหรือเข้าออกของออกซิเจน เมื่อเทียบกับคาร์บอน

พลังงานจากการเปลี่ยนระดับพลังงานในการสั่นของโมเลกุลจะมีค่าประมาณ 0.1 อิเล็กตรอนโวลต์ ได้ความยาวคลื่นแสงเลเซอร์ประมาณ 10.6 ไมครอน ($10.6 \times 10^{-6}$ เมตร) ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านอินฟราเรด

การที่พลังงานจากการเปลี่ยนระดับพลังงานมีค่าต่ำ ทำให้ pump โดยใช้ electrical discharge ได้ง่าย และมีประสิทธิภาพสูงถึง 20% ซึ่งถือว่ามากเมื่อเทียบกับเลเซอร์โดยทั่วไป ที่มีประสิทธิภาพประมาณ 1%

คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ โดยทั่วไปจะมีกำลังเฉลี่ยประมาณ 10 – 2,000 วัตต์ ถ้าประยุกต์ใช้ในงานการตัดกระดาษหรือผ้า หรือในงานแกะสลักพลาสติกและไม้ จะใช้กำลังอยู่ที่ประมาณ 10 – 5- วัตต์ แต่ถ้าใช้ในการตัดหรือเจาะโลหะหรือวัสดุที่มีความแข็งสูงมาก ต้องใช้กำลังอยู่ที่ประมาณ 100 วัตต์ ขึ้นไป ทำให้เลเซอร์ชนิดนี้ไม่เหมาะในการนำมาประยุกต์ใช้ในงานการแกะสลักหรือเจาะวัสดุที่มีความแข็งสูง โดยส่วนใหญ่แล้วมักใช้กับวัสดุจำพวกอโลหะ เนื่องจากระบบคาร์บอนไดออกไซด์แบบชนิดที่มีกำลังสูงจะมีขนาดใหญ่ และมีอุปกรณ์เสริมต่อพ่วง เช่น ถังก๊าซ ปั๊มสุญญากาศ และอุปกรณ์ควบคุมความดัน รวมถึงแหล่งจ่ายกำลังแรงดันสูงประมาณ 10 – 25 กิโลโวลต์

Ruby Laser เลเซอร์ทับทิม เป็นเลเซอร์ชนิดของแข็ง มีลักษณะที่สำคัญคือ ตัวกลางเลเซอร์ที่ใช้จะเป็นแท่งผลึกของฉนวน ซึ่งทำหน้าที่เป็น host และมีการฉาบ (dope) โครเมียม (เป็น impurity) เข้าไป ทำให้บางครั้งนิยมเรียกว่า doped insulator laser และมีตัวอย่างเลเซอร์หลัก ๆ 2 ชนิดที่ใช้เทคนิคนี้ คือ เลเซอร์ทับทิม และ Nd:YAG เลเซอร์

เลเซอร์ทับทิม เป็นเลเซอร์ชนิดแรกที่ถูกสร้างขึ้น โดย Theodore Maiman ในปี ค.ศ. 1960 สารตัวกลางเลเซอร์คือ $Cr^{3+}:Al_2O_3$ เป็นการ dope $Cr^{3+}$ ลงไปใน $Al_2O_3$ ซึ่งคือทับทิมสังเคราะห์นั่นเอง

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

pumping source ที่ใช้เป็นแบบ optical โดยที่นิยมใช้กันคือ หลอดไฟแฟลช (xenon flash lamp ที่เห็นเป็นหลอดแก้วเกลียวในรูปข้างบน ซึ่งโอบรอบแท่งผลึกทับทิมที่อยู่ตรงกลาง) การทำให้เกิดประชากรผกผันในเลเซอร์ทับทิมนั้นทำได้ยาก แ ละจะได้เลเซอร์เฉพาะแบบที่เป็นพัลส์เท่านั้น ความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ที่ได้คือ 694.3 นาโนเมตร และมีพลังงานในระดับ มิลลิจูล ต่อพัลส์ ถึง กิโลจูลต่อพัลส์

Nd:YAG Laser นิโอดิเมียมแย็กเลเซอร์ เป็นเลเซอร์ชนิดของแข็ง โดยมี host เป็น ผลึกของ Yttrium-aluminium garnet ($Y_3Al_5O_{12}$) หรือเรียกย่อ ๆ ว่า YAG ส่วน impurity คือ $Nd^{3+}$ ซึ่งจะถูก dope เข้าไปประมาณ 1% โดยน้ำหนัก

โดยทั่วไปนีโอดิเมียมแย็กเลเซอร์ มีกำลังเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3 – 1,000 วัตต์ สามารถให้แสงได้ทั้งแบบพัลส์ (pulse) และแบบต่อเนื่อง (continuous) ขึ้นอยู่กับว่า pumping source ที่ใช้เป็นแบบหลอดไฟแฟลช หรือหลอดไฟอาร์ค

เลเซอร์ชนิดนี้มีความยาวคลื่น 1064 นาโนเมตร อยู่ในย่านอินฟราเรด แต่นิยมใช้ควบคู่กับ second harmonic crystal เช่น KTP ทำให้ได้ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร เป็นแสงสีเขียวออกมาได้

เนื่องจากเลเซอร์ชนิดนี้สามารถทำให้เกิดค่ากำลังสูดสุดถึง 2,000 วัตต์ ได้ในระบบเลเซอร์ที่มีค่ากำลังเฉลี่ย 3 วัตต์ เท่านั้น จึงทำให้ระบบเลเซอร์นี้ ซึ่งมีขนาดเล็ก สามารถนำไปทำการเจาะ ตัด หรือแกะสลักวัสดุที่มีความแข็งสูง วัสดุจำพวกโลหะ หรือวัสดุเช่นแก้ว เซรามิก หรืออัญญมณี ได้เป็นอย่างดี

ปัจจุบันระบบนิโอดีเมียมแย็กเลเซอร์ส่วนใหญ่ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมเป็นแบบใช้หลอดไฟแฟลช หรือหลอดไฟอาร์ค เป็น pumping source ซึ่งระบบนี้มีการสิ้นเปลืองพลังงานมาก เนื่องจากพลังงานทั้งหมดที่ใส่ให้แก่หลอดอาร์คจะมีเพียง 4 – 7% เท่านั้นที่ถูกนำไปใช้ในการกระตุ้น ส่วนที่เหลือคือความร้อนซึ่งจะต้องถูกระบายทิ้งออกไป

ในปัจจุบันมีการพัฒนาเลเซอร์ไดโอดให้มีประสิทธิภาพสูงและมีราคาที่ถูกลงมาก จึงได้นำเอาเลเซอร์ไดโอดมาใช้เป็นแหล่งกระตุ้นแทนที่หลอดไฟอาร์คชนิดเดิม ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้นถึง 50 – 70% ของประสิทธิภาพรวม โดยที่ระบบเดิมมีค่าเพียง 2 – 3% เท่านั้น ระบบจึงมีขนาดเล็กลงมาก และมีอุปกรณ์ระบายความร้อนที่มีขนาดเล็กด้วย ทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำงานลดลงมาก

Eximer Laser เอ็กไซเมอร์เลเซอร์ เป็นเลเซอร์ชนิดก๊าซ โดยก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในระบบนั้นจะมีความดันอยู่ในช่วงไม่เกิน 5 atm ซึ่งก๊าซที่ใช้เป็นการผสมกันของ rare gas เช่น Ar , Kr, Xe ปริมาณ 0.1 – 0.3% กับก๊าซฮาโลเจน เช่น F, Cl, Br, I ปริมาณ 2 – 10% โดยก๊าซทั้งสองชนิด

104330

จะมีอยู่ในระบบเพียงน้อยนิดเมื่อเทียบกับปริมาตรของก๊าซทั้งหมดภายในระบบ ส่วนที่เหลือคือ buffer gas เช่น He แต่ buffer gas จะไม่ใช้เป็นตัวกลางของการเกิดแสงเลเซอร์

เอ็กไซเมอร์เลเซอร์เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยพลังงานของโมเลกุล เมื่อมีการเปลี่ยนระดับพลังงานระหว่างสถานะกระตุ้นและสถานะพื้น คำว่า Eximer มาจากคำว่า Excited Dimer (อ่านว่า ไดเมอร์) ซึ่งเอ็กไซเมอร์เลเซอร์ที่ใช้ส่วนใหญ่จะใช้ก๊าซผสมระหว่าง rare gas ที่มีมวลโมเลกุลสูงกับก๊าซฮาโลเจน

pumping source ที่ใช้ได้มาจากพลังงานจากปฏิกิริยาเคมี ระหว่าง rare gas กับก๊าซฮาโลเจน เรียกวิธี pump แบบนี้ว่า chemical pumping เมื่อต้องการให้เกิดแสงเลเซอร์ ก๊าซสองชนิดจะถูกนำมาผสมกัน นั่นคือก๊าซทั้งสองแยกกันอยู่ในตอนแรก

เอ็กไซเมอร์เลเซอร์ให้แสงที่เป็นแบบพัลส์ออกมา สามารถให้พลังงานตั้งแต่ระดับ มิลลิจูล ไปจนถึงระดับ 100 จูลต่อพัลส์ ในความถี่สูงถึงระดับ 1 – 2 กิโลเฮิรตซ์ และสามารถให้กำลังงานเฉลี่ยได้สูงถึง 500 วัตต์

เอ็กไซเมอร์เลเซอร์เป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงเหนือม่วงแบบอาพันธ์ (coherent uv) และ deep uv ให้ลำแสงที่มีขนาดเล็กมาก สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวางทั้งทางการแพทย์ (เลซิค) และทางอุตสาหกรรม โดยส่วนใหญ่จะนำไปใช้กับวัสดุที่มีความแข็งแรงของโครงสร้างโมเลกุลสูง เช่น เพชร หรือสารจำพวกโพลีเมอร์

เซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ (Semiconductor Laser )

เซมิคอนดักเตอร์เลเซอร์ เรียกชื่อได้อีกอย่างหนึ่งว่า เลเซอร์ไดโอด สร้างจากสารกึ่งตัวนำชนิด N และ P ที่มีส่วนผสมของแกลเลียมอาร์เซไนด์คั่นอยู่ตรงกลาง ในการทำให้เกิดแสงเลเซอร์นั้น จะต้องทำให้ผลต่างระหว่างระดับพลังงานของเลเซอร์ ไดโอดของสารกึ่งตัวนำ P-type และคอนดัคชันแบนด์ของแอคทีฟมีค่ามากพร้อมทั้งทำให้ผลต่างระหว่างพลังงานของคอนดัคชันแบนด์กับวาเลนซ์แบนด์ของสารกึ่งตัวนำ N-type มีค่าต่ำกว่าระดับพลังงานของวาเลนซ์แบนด์ของแอคทีฟเลเยอร์ด้วยจากนั้นจึงนำมาเชื่อมต่อกันจะได้ระดับพลังงาน เมื่อทำให้มีกระแสไหลในสารกึ่งตัวนำที่มีการเชื่อมต่อกันในลักษณะที่กล่าวมา โดยให้มีทิศทางการไหลจาก P-type ไปหา N-type จะเป็นผลให้อิเล็กตรอนส่วนเกินที่อยู่ใน N-type เคลื่อนที่ไปยัง P-type และโฮลส่วนเกินที่อยู่ใน P-type เคลื่อนที่ไปยัง N-type ผลของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลเหล่านี้ทำให้เกิดอิเล็กตรอน และโฮล อยู่ในแอคทีฟเลเยอร์ เป็นผลให้เกิดสภาพอิสเวิร์สชั่น ดิสทริบิวชั่น (Inversion Distribution)ได้อย่างดี ทำให้มีผลต่อการขยายความเข้มการปล่อยแสง

เลเซอร์ไดโอดเป็นเลเซอร์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำเป็นตัวกลาง และเป็นเลเซอร์ที่มีจำนวนมากที่สุด มีลักษณะคล้ายกับ LED (light emitting diode) แต่มีลักษณะพิเศษบางประการ ทำให้แสงที่

ออกมาเป็นเลเซอร์ โดย LED จะให้แสงจาก spontaneous emission แต่เลเซอร์สารกึ่งตัวนำให้แสงจาก stimulated emission

แสงในเลเซอร์ชนิดนี้เกิดจากการรวมตัว (recombination) ของอิเล็กตรอน กับ "หลุม" (hole) ที่บริเวณรอยต่อ P-N ของสารกึ่งตัวนำ เช่น GaAs, GaP และ GaAlAs

ความยาวคลื่นของแสงขึ้นกับชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ใช้เป็นตัวกลาง โดยความยาวคลื่นหลัก ๆ คือ 650, 770, 809, 1100 และ 1500 นาโนเมตร สามาตรประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์หลายชนิด เช่น ปรินเตอร์ เลเซอร์พอยน์เตอร์

กำลังของเลเซอร์ที่ได้มีตั้งแต่ระดับ มิลลิวัตต์ ถึง วัตต์ แต่สามารถนำเลเซอร์สารกึ่งตัวนำหลาย ๆ อัน มารวมกันในรูปแบบของ array หรือ bar ให้มีกำลังสูงเป็นระดับ กิโลวัตต์ ได้

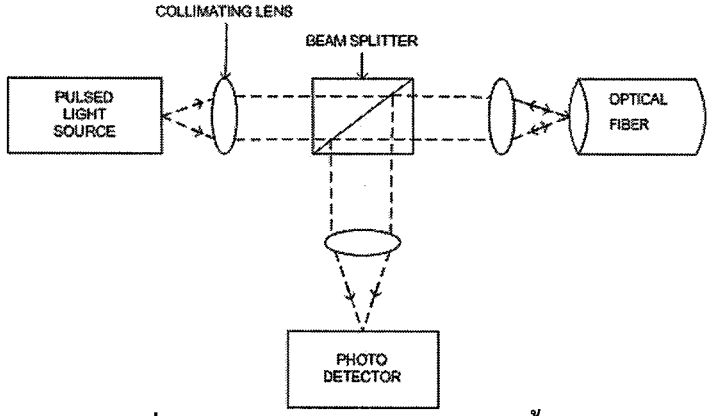
ถึงแม้ว่าเรื่องอายุการใช้งานจำกัดของเลเซอร์ไดโอด จะเป็นปัญหา แต่ก็ไม่สำคัญนักเมื่อเทียบกับปัญหาเรื่องความไว (Sensitivity)ของมันต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ขณะทำงาน ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของมัน ดังนั้นจึงต้องมีวงจรควบคุม เพื่อช่วยให้เลเซอร์ไดโอดให้กระแสออกมาคงที่ และช่วยปรับค่าไบแอสให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการปรับแต่งสัญญาณ (Modulate) ของไดโอด จึงต้องมีวงจรควบคุมระดับกระแสอัตโนมัต (Automatic power control:APC)

สารกึ่งตัวนำไดโอดเปล่งแสง (LED) และเลเซอร์ไดโอดเหมาะสมที่จะใช้เป็นแหล่งกำเนิดเครื่องส่งเพื่อจุดประสงค์นี้ เนื่องจากเอาท์พุตของแสงสามารถมอดูเลตโดยตรงกับกระแสไฟไบอัสที่แปรค่าได้อย่างรวดเร็ว สัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้ากับเครื่องส่งอาจเป็นอนาล็อก หรือดิจิตอล อย่างหนึ่งอย่างใดก็ได้ ที่เครื่องจะมีวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเหล่านี้ให้เป็นสัญญาณแสง จากการแปรค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแหล่งกำเนิดแสง เป็นสแควร์ ลอร์ ดีไวส์(Square law device) ซึ่งหมายความว่าการแปรผันเป็นเส้นตรง(linear) ในวงจรขับกระแสจะมีผลตรงกันกับการเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรงในวงจรออฟติคอลเอาท์พุตเพาเวอร์ในย่านความยาวคลื่น 800-900 นาโนเมตร โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงเป็นดลหะผสมของ อินเดียม-แคลเซียม-อาเซไนซ์-ฟอสฟอรัส (InGaAsP) หลังจากสัญญาณถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วแล้วการลดทอนและความเพี้ยนจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางไปตามลำดับ เนื่องจากการกระจาย การดูดซึม และโครงสร้างที่ทำให้แสงกระจายในการเดินทางของแสงทางด้านรับ การลดทอนและความเพี้ยนของออฟติคอลเพาเวอร์เอาท์พุตจะถูกตรวจจับโดยโฟโต้ดีเทคเตอร์

ถึงแม้ว่า LED กับเลเซอร์ไดโอด จะเป็นแหล่งกำเนิดแสงเหมือนกัน แต่ก็มีโครงสร้างการทำงาน และลักษณะที่แตกต่างกันอย่างมาก เนื่องจาก กระแสที่ได้จาก LED จะเป็นเส้นตรง (linear) ขนานกับแรงเคลื่อน และการใช้ LED นั้นจะง่ายต่อการ ปิด/เปิด (on/off)ได้ ในทางตรงกันข้าม

เลเซอร์ไดโอด จะมีระดับของกระแสที่เหมาะสมในการเริ่มทำงาน (Threshold current-drive requirement) หากใช้กระแสที่ต่ำกว่าระดับดังกล่าวแล้ว จะไม่ปล่อยแสงออกมา โดยจะปลดปล่อยแสงออกมาในระดับกระแสที่สูงกว่ากำหนดเท่านั้น ปัจจัยอีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อการทำงานของไดโอด คือ อุณหภูมิ ขณะทำงาน ดังนั้น ในเลเซอร์ไดโอดจะต้องมีการตรวจวัดระดับโฟตอน (photodetecter) รวมอยู่ในโครงสร้างด้วย

หัวอ่านเลเซอร์ที่กำเนิดแสงเลเซอร์ เป็นสารกึ่งตัวนำประเภทเซมิคอนดักเตอร์ สร้างจาก P-N Type โดยใช้หัวอ่านแสง ( Pick up ) ยิงแสงขึ้นไปแล้วสะท้อนกลับ ลงมายังเซ็นเซอร์ไดโอด ซึ่งจะทำหน้าที่รับแสง ที่อยู่ภายในหัวอ่าน ( Pick up )




รูปที่ 2.11 โครงสร้างภายใน OTDR เบื้องต้น

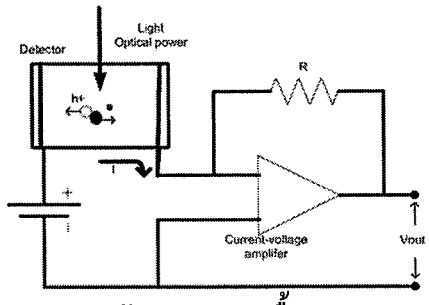
### 2.2.2 โฟโต้ดีเทคเตอร์

โฟโต้ดีเทคเตอร์(photo detecter) หรือโฟโต้เซนเซอร์(photo senser) เป็นอุปกรณ์วัดปริมาณความเข้มแสง สามารถเปลี่ยนสัญญาณแสงให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้โดยการดูดกลืนพลังงานของโฟตอนไปใช้ในการกระตุ้นให้สารหรือวัสดุมีการปลดปล่อยพาหะอิสระทำให้เกิดการนำไฟฟ้าขึ้น Photodetector มีด้วยกันหลายชนิดและการนำไปใช้งานที่แตกต่างกัน

#### 2.2.2.1 หลักการพื้นฐาน

Photdetector เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณแสงที่ตกกระทบตัวเครื่องให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้า เช่น ศักย์หรือกระแส Photodetector หลายๆ ชนิดจะทำการแปลงสัญญาณนี้โดยการสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮลอิสระ (electron-hole pairs) ขึ้นจากการดูดกลืนโฟตอน อิเล็กตรอนอิสระนี้จะเกิดขึ้นในแถบการนำและโฮลอิสระเกิดในแถบวาเลนซ์ พาหะอิสระเหล่านี้จะเกิดการเลื่อนในอุปกรณ์วัดจนสร้างสนามไฟฟ้าและทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า (photocurrent, Iph) ประจุไฟฟ้า (e) ที่

เกิดขึ้นทั้งหมดจะถูกเก็บสะสมรวบรวมไว้ที่วงจรภายนอกหรือประจุไว้ในแบตเตอรี่ หลักการทำงานพื้นฐานของ Photodetector เป็นไปดังรูป




รูปที่ 2.12 แสดงหลักการทำงานพื้นฐาน Photodetector

**2.2.2.2 ประเภทของ Photodetector**

Photodetector สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ได้อย่างหลากหลายตามแต่การนำไปใช้งาน แต่โดยทั่วไปแล้วจะสามารถแบ่งได้ดังนี้ Photoresistor, Photovoltaic cell, Photodiode และ Photomultiplier Tube

Photoresistor หรือ Light Dependent Resistor (LDR)

Photoresistor เป็นอุปกรณ์ที่ค่าความต้านทานมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบมีการเปลี่ยนแปลง โดยจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มแสงมีค่าเพิ่มขึ้น Photoresistor ทำมาจากสารกึ่งตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะผลิตจาก Cadmium Sulfide (CdS) ซึ่งมีความไวในช่วงแสงขาว หรือมีส่วนประกอบของ Lead Sulfide (PbS), Lead Selenide (PbSe) และ Lead Telluride (PbTe) ที่มีความไวในช่วงอินฟราเรด Photodetector ชนิดนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อแสงที่ตกกระทบมีความถี่เพียงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์กระโดดไปยังแถบการนำกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระที่สามารถนำกระแสไฟฟ้า ที่อุณหภูมิห้องจำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นจะถูกจำกัด แต่เมื่อเพิ่มความเข้มแสง การนำไฟฟ้าก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น และเวลาในการตอบสนองจะขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของพาหะ ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 50 มิลลิวินาที Photoresistor มีราคาไม่แพงมากนัก มีขนาดเล็ก และนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น มิเตอร์วัดแสงของกล้องถ่ายรูปสัญญาณเตือนความปลอดภัย หรือไฟตามท้องถนนที่เปิด-ปิดได้อย่างอัตโนมัติตามระดับความเข้มของแสงอาทิตย์ เป็นต้น

Photovoltaic cell หรือ Solar cell

เซลล์สุริยะ เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก (Photoelectric Effect) ในการให้กำเนิดกระแสไฟฟ้าจากแสงสว่าง โดยส่วนประกอบหลัก คือ ซิลิกอนที่ถูกโดป (การเพิ่มสาร

เพียงเล็กน้อยเข้าไปในสารกึ่งตัวนำเพื่อให้มีลักษณะเฉพาะตามต้องการ) ด้วยสารที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน เป็น 5 เช่น อาร์เซนิก หรือ ฟอสฟอรัส จนได้เป็นสารที่ เรียกว่า n-type หรือสารที่มีวาเลนซ์ อิเล็กตรอนเป็น 3 เช่น โบรอนจนได้เป็น p-type

กระแสไฟฟ้าที่ได้จากPhotodetector ประเภทนี้จะเป็นกระแสตรงที่สามารถประจุเข้าแบตเตอรี่หรือทำการแปลงสัญญาณให้เป็นกระแสสลับได้ด้วยอินเวอร์เตอร์ เซลล์สุริยะมีการนำไปใช้ในการให้พลังงานกับอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย เช่น ดาวเทียมเครื่องคิดเลข ป้ายโฆษณา อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วๆ ไปในบ้าน หรือป้อนกลับเข้าสู่ระบบ เป็นต้น เซลลสุริยะมีทั้งแบบที่ทำมาจากซิลิกอนผลึกเดี่ยว แบบหลายๆ ผลึกและที่ไม่เป็นผลึก โดยแบบผลึกเดี่ยวจะให้ประสิทธิภาพมากที่สุดแต่จะมีราคาแพงมากที่สุด

Photodiode เป็นอุปกรณ์ประเภทหนึ่งของ Photode tector มักใช้ตรวจวัดความเข้มแสงในงานทางด้านวิทยาศาสตร์และในอุตสาหกรรมที่ต้องการความแม่นยำสูง สารกึ่งตัวนำที่นิยมนำมาทำเป็น Photodiode ได้แก่ ซิลิกอน อินเดียมแกลเลียมอะเซไนด์เจอร์มาเนียม แกลเลียมไนไตรด์ และซิลิกอนคาร์ไบด์

อุปกรณ์วัดประเภทนี้มีลักษณะเป็น p-n junction ได้แก่ PN Photodiode, PIN Photodiode และ Avalanche Photodiode (APD) โดย Photodiode อย่างง่ายที่สุดคือแบบ PN ซึ่งสามารถ ทำงานได้ 2 แ บบ คือ Photovoltaic Mode ซึ่งจะทำงานได้โดยไม่ต้องใส่ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มเข้าไป และ Photoconductive Mode ซึ่งทำงานได้เมื่อมีการป้อนศักย์ไฟฟ้าในลักษณะ reverse bias สำหรับการตอบสนองนั้น ในแบบ Photoconductive Mode จะให้ผลที่รวดเร็วกว่า เพราะมีชั้น depletion region ที่กว้างกว่าและสนามไฟฟ้าที่แรงกว่า เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนประจุพาหะไปยังขั้วไฟฟ้าลดลง แต่มีข้อเสียตรงที่จะมีสัญญาณรบกวนเมื่อมีกระแสรั่วไหล

คุณสมบัติของตัวรับแสงที่ดีที่ปลายด้าน output ของเส้นใยแสงจะต้องมีอุปกรณ์รับแสงเพื่อแปลง information ที่บรรจุมาในสัญญาณแสง อุปกรณ์ชิ้นแรกของเครื่องรับก็คือ photo detector ซึ่งจะรับรู้กำลังงานแสงที่มาตกกระทบและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า เนื่องจากสัญญาณแสงที่ออกมาจากปลายของเส้นใยแสงมีกำลังอ่อนมาก (เนื่องจากการลดทอนในเส้นใยแสง) ดังนั้น photo detector จะต้องมีความสามารถในการทำงานสูง คุณสมบัติของตัวรับแสงที่เหมาะสมกับระบบเส้นใยแสงคือ

1. มีการตอบสนอง (response) หรือการรับรู้ (sensitivity) ส่งต่อแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งาน

2. มี noise ต่ำ

3. มี bandwidth เพียงพอสำหรับ data rate สูง ๆ

4. ไม่ควรแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิ

5. มีขนาดเหมาะสมกับเส้นใยแสง

6. มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์อื่น ๆ

7. อายุการใช้งานยาวนาน

อุปกรณ์ Photodetector มีหลายชนิด เช่น Photomultipliers based photoconductors , phototransistors และ photodiodes แต่อย่างไรก็ตาม ตัวรับแสงเหล่านี้บางตัวมีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามต้องการ photomultiplier ประกอบด้วย photocathode และ electron multiplier รวมอยู่ในหลอดสูญญากาศ มีอัตราการขยายสูง และ noise ต่ำ แต่มีขนาดใหญ่ต้องการแรงดันไฟฟ้าสูงจึงไม่เหมาะสมกับระบบเส้นใยแสง สำหรับ photodetector ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ photodiode เป็นตัวรับแสงที่เหมาะสมกับระบบเส้นใยแสงเพราะมีขนาดเล็ก วัสดุที่ใช้เหมาะสมมีความไวสูง และการตอบสนองเร็ว photodiodes ที่ใช้งานมี 2 ชนิดคือ

- PIN diode
- APD (avalanche photodiode) พีไอเอ็นหมายถึงว่าในระหว่างสารกึ่งตัวนำ P-type และ N-type มีสารกึ่งตัวนำที่เรียกว่า อินทรินสิค(Intrinsic) คั่นอยู่ซึ่กระแสดริฟท์ (Driff Current) นั้นเกิดขึ้นในดีพลีชันโซน และผลของสนามไฟฟ้าทำให้มีการตอบสนองเร็ว แต่ในทางตรงกันข้ามกระแสดิฟฟิวชัน(Diffusion Current) ที่เกิดขึ้นภายนอกดีพลีชันโซนนั้นมีการตอบสนองช้า ดังนั้นถ้าความกว้างของดีพลีชันโซนยิ่งกว้างมากขึ้นเท่าใด ประสิทธิภาพควอนตัม(Quantum Efficiency) และความเร็วในการตอบสนองความถี่ดียิ่งขึ้น ความกว้างของดีพลีชันโซนนี้ถ้าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและโฮลของ P-type และ N-typeยิ่งต่ำจะยิ่งกว้าง ดังนั้นสารกึ่งตัวนำแบบอินทรินสิคที่คั่นระหว่าง P-type และ N-type จึงมีหน้าทีทำให้ความกว้างของดีพลีชันโซนกว้างขึ้นนั้นเอง เนื่องจากโฟโต้ไดโอด ที่ใช้ในระบบการสื่อสารนั้นโดยทั่วไปต้องการความเร็วในการตอบสนองสูง ดังนั้นส่วนใหญ่จะใช้พีไอเอ็น โฟโต้ไดโอด

ส่วนเอพีดีนั้น ใช้ปฏิกิริยาการขยาย(avalanche) ของอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำเป็นอุปกรณ์รับแสงที่ให้กระแสจำนวนมาก เนื่องจากได้รับพลังงานจำนวนมากกว่าผลต่างของพลังงานของคอนดัคชั่นแบนด์ กับวาเลนซ์แบนด์ จากผลนี้ทำให้สามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนที่อยู่ในวาเลนซ์แบนด์ และทำให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮลใหม่ออกมาอีก เมื่อกระบวนการนี้เกิดอย่างต่อเนื่องกัน จำนวนของอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากมาย(Avalanche Multiplication) ผลนี้ทำให้กระแสถูกขยายนั้นเอง

# บทที่ 3

# การคำนวณและการแก้ไข

## บล็อกไดอะแกรมของระบบ

บล็อกไดอะแกรมรวมของระบบประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1) วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator)

3.2) วงจรกำเนิดสัญญาณ (Selector)

3.3) วงจรขับสัญญาณ (Line Driver)

3.4) วงจรตรวจจับสัญญาณ (Pulse Detector)

3.5) วงจรรวมสัญญาณ (Summing Circuit)

3.6) วงจรจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ (Time & Status Detector)

3.7) วงจรคูณสัญญาณ (Multiplier)

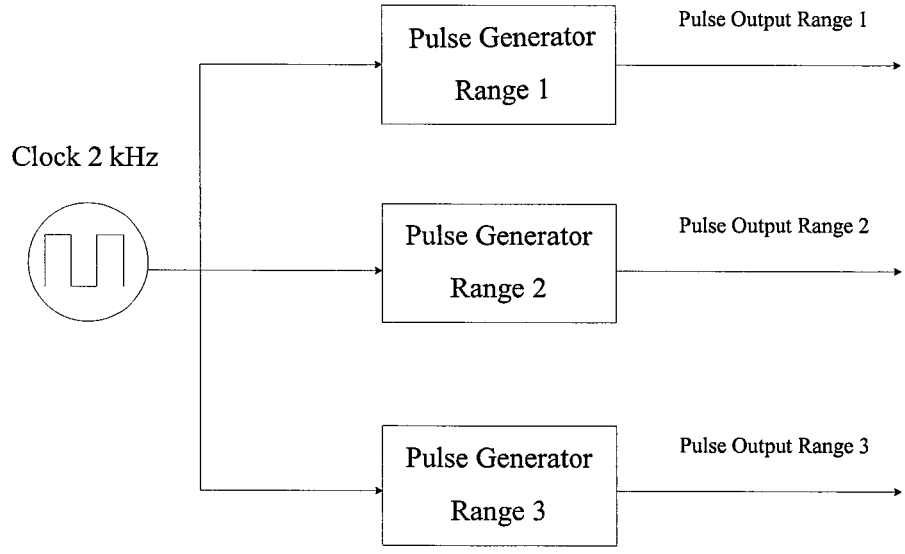
3.8) วงจรนับ (Counter)

3.9) วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D Converter)

3.10)ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro Controller Unit)

3.11)จอแสดงผล (Liquid Crystal Display Module)

### 3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (#74HC123, #555)




รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

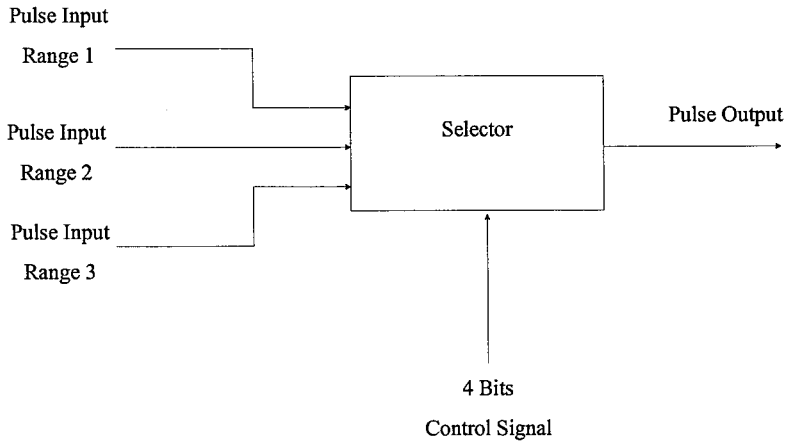
ในส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ จะทำหน้าที่ผลิตสัญญาณพัลส์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ย่านตามความเหมาะสมดังนี้ 0.1 μsec, 0.4 μsec, 3.5 μsec เหตุผลที่เลือกใช้ย่านความกว้างของพัลส์ดังนี้เพราะว่ายึดเอาค่าของบริษัทผู้ผลิต TDR เป็นหลัก เนื่องจากมีความเชื่อถือได้สูง และเหตุผลที่จะต้องทำการแบ่งออกเป็นย่านดังกล่าวเพื่อให้เหมาะสมกับระยะทางหรือความยาวของสายส่งที่จะทำการทดสอบเพื่อให้ง่ายต่อการนำมาประกอบผลในขั้นตอนต่อไป โดยมีการใช้สัญญาณอินพุตเป็นพัลส์ปกติที่ผลิตความถี่ที่ 2 kHz เป็นตัวควบคุมจังหวะการกำเนิดสัญญาณเอาต์พุต

ซึ่งความกว้างของพัลส์นี้จะมีผลต่อการวัดระยะทางรวมถึงขีดความสามรถในการวัด นั่นคือระยะทางที่ใกล้ที่สุดที่จะทำการวัดขึ้นอยู่กับความกว้างพัลส์ ถ้าต้องการให้เครื่องมือสามารถวัดได้ในระยะใกล้ๆ ความกว้างของพัลส์จะต้องมีความแคบมากๆ ถ้าความกว้างของพัลส์ ไม่เหมาะสมกับระยะทางของสายส่งที่จะทำการทดสอบแล้วจะทำให้เกิดการซ้อนทับกันระหว่างคลื่นที่ทำการส่งไป (Travelling Wave) กับคลื่นที่สะท้อนกลับมาจากสายส่ง (Reflected wave) ถ้าเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้นเราจะไม่สามารถนำสัญญาณไปวิเคราะห์หรือนำไปประมวลผลได้

ซึ่งในส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ นี้จะใช้ IC #74LS123 โดยจะสามารถผลิตเอาต์พุต เป็นลักษณะ Monostable Multivibrator โดยอาศัยสัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 kHz ป้อนเข้าวงจรเป็น สัญญาณนาฬิกาควบคุมจังหวะการกำเนิดสัญญาณเอาต์พุต ได้ตามที่เราต้องการ ในส่วนของวงจรที่จะแบบในบทต่อไป

ส่วนของในวงจร กำเนิดสัญญาณนาฬิกา 2 kHz ที่เป็นตัวกำหนดจังหวะการกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตนั้น เราจะใช้ IC #555 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณ

**3.2 วงจรเลือกสัญญาณ (#74150)**

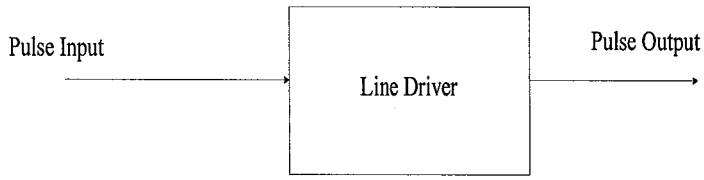



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเลือกสัญญาณ

ในส่วนของวงจรเลือกสัญญาณ นั้นเราจะใช้ทำหน้าที่ควบคุมการปล่อยพัลส์ไปสู่ส่วนของวงจรขับสัญญาณแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะควบคุมด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยในส่วนของวงจรนี้จะรับสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ เข้ามาทั้ง 4 สัญญาณ แต่จะส่งสัญญาพัลส์ออกไปเพียงอันเดียว โดยกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตได้จากสัญญาณ ควบคุมที่มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์

ซึ่งในส่วนของวงจรเลือกสัญญาณนี้เราได้ใช้ IC #74150 ซึ่งเป็น IC เลือกสัญญาณแบบ 4 บิต

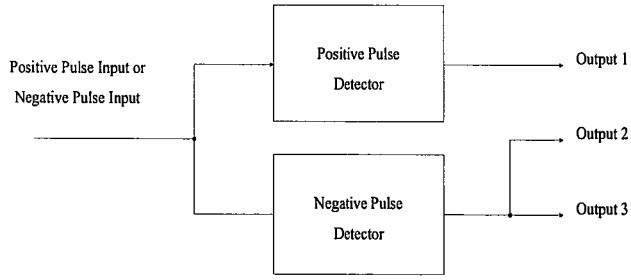
**3.3 วงจรขับสัญญาณ (#LM6365, #LH0002)**




รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรขับสัญญาณ

วงจรขับสัญญาณจะทำหน้าที่ในการขับสัญญาณพัลส์ที่ถูกสร้างจากส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ผ่านวงจรเลือกสัญญาณเพื่อเพิ่มกำลังส่งให้กับพัลส์ขาส่ง (Traveling Wave) ที่จะทำหน้าที่เข้าไปในสายส่งที่จะทำหน้าที่ทดสอบเนื่องจากในส่วนของวงจรกำเนิดพัลส์นั้นมีกำลังส่งต่ำเกินไป เพราะถ้าส่งโดยไม่ผ่านวงจรขับสัญญาณ จะทำให้สัญญาณที่ส่งไปได้ไม่ไกลและไม่สะท้อนกลับมา และยังต้องการให้ระดับของพัลส์ที่จะสะท้อนกลับมา (Reflected Wave) มีระดับสูงขึ้นเพื่อที่จะได้ง่ายต่อการตรวจจับสัญญาณ ซึ่งในส่วนนี้เราได้ใช้ IC LM6365 เป็นตัวขยายสัญญาณ และใช้ LH0002 เป็นตัวจับสัญญาณ เนื่องจากสามารถให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีรูปร่างตามที่เราต้องการ

**3.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ (#LM710)**




รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรม ของวงจรตรวจจับสัญญาณ

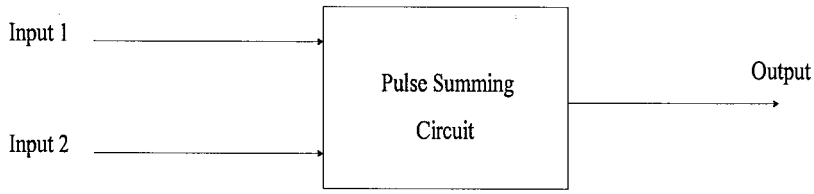
วงจรจับสัญญาณ ส่วนนี้จะทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณพัลส์ทั้งขาส่ง (Traveling Wave) และสัญญาณที่สะท้อนกลับมา (Reflected Wave) ซึ่งสัญญาณต่างๆ ที่ออกจากวงจรสัญญาณขับสัญญาณรวมถึงสัญญาณสะท้อนกลับจะถูกตรวจจับจากส่วนของวงจรตรวจจับสัญญาณซึ่งจะประกอบไปด้วย ตัวตรวจจับพัลส์บวก (Positive Pulse Detector) และตัวตรวจจับพัลส์ลบ (Negative Pulse Detector) และเมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามาในวงจรต่ำหรือสูงกว่าแรงดันเปรียบเทียบ (Voltage Reference) ที่ตั้งไว้วงจรตรวจจับนี้จะให้เอาต์พุตออกมาซึ่งเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2 จะถูกส่งไปกับวงจรรวมสัญญาณต่อไป ส่วนเอาต์พุต 3 จะถูกส่งไปวง T-Flip Flop 2 เพื่อทำการแยกลักษณะของการชำรุด

ลักษณะการตรวจจับจะใช้ OP-AMP ที่ต่อเป็นวงจร Comparator โดยจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณบวกและสัญญาณลบดังนั้นในภาคนี้จะต้องมีการปรับแต่งระดับของแรงดันเปรียบเทียบเพื่อใช้เป็นแรงดันอ้างอิงในการตรวจจับสัญญาณคลื่นที่เป็นทั้งคลื่นบวกและคลื่นลบให้ได้

เนื่องจากว่าสัญญาณที่สะท้อนกลับมามีระดับของแอมพลิจูดที่ต่ำมาก แต่ว่าจะไม่ทำการปรับแรงดันเปรียบเทียบให้อยู่ที่ระดับศูนย์ เพราะว่าถ้าทำเช่นนั้นจะทำให้ระดับของสัญญาณรบกวน (Noise Signal) ถูกตรวจจับไปด้วย ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดความผิดพลาดเป็นอย่างมาก เนื่องจากจะทำให้เราไม่สามารถตรวจหาสัญญาณที่แท้จริงได้ เราจึงต้องมีการออกแบบ

ส่วนในวงจรนี้เราใช้ IC #LM710 ซึ่งเป็นตัวจับสัญญาณ

### 3.5 วงจรรวมสัญญาณ (#74HC32)



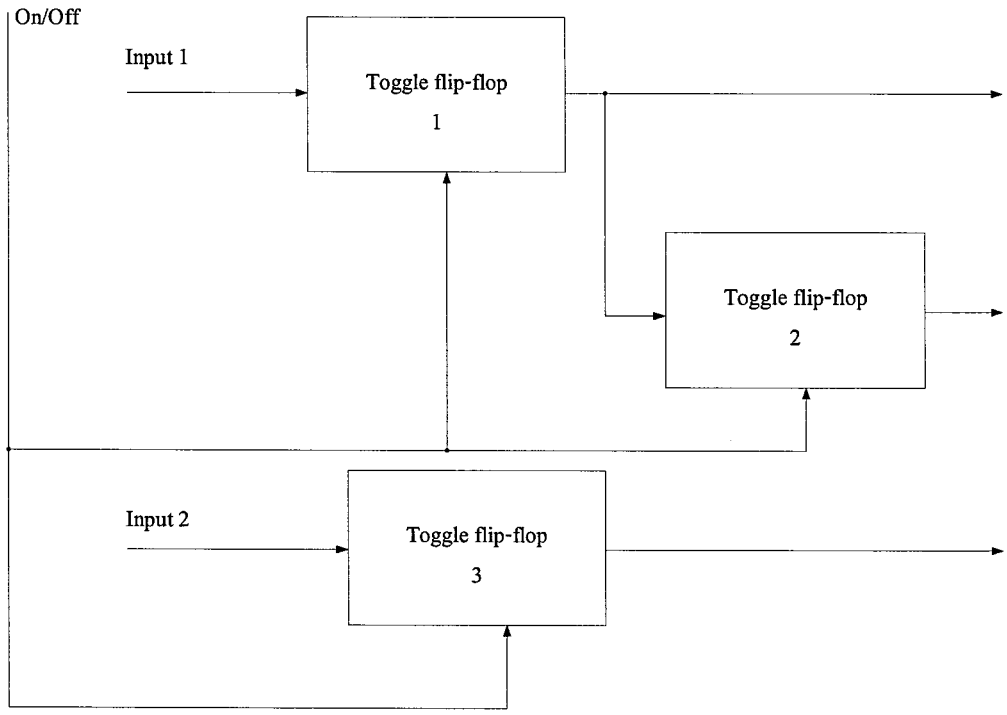

รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรวมสัญญาณ

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณ 2 สั ญญาณทีส่งมาจากภาคตรวจจับสัญญาณ 2 สัญญาณที่ส่งมาจากภาคตรวจสัญญาณ เพื่อนำสัญญาณเหล่านี้มาทำการรวมกันทางแกนเวลา

(Time Domain) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในส่วนของภาคนี้จะรับ อินพุตมาจากในส่วนของวงจรตรวจจับพัลส์บวก และวงจรตรวจจับพัลส์ลบซึ่งทั้งสองวงจรนี้จะไม่มีโอกาสให้เอาต์พุตพร้อมกันได้เด็ดขาด เช่นเมื่อส่งสัญญาณพัลส์บวกเข้าไปในสาย วงจรตรวจจับพัลส์บวกจะทำงาน แต่วงจรตรวจจับพัลส์ลบจะไม่ทำงาน จำทำให้สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ของวงจรรวมสัญญาณมีเป็นพัลส์บวกค่าหนึ่งตามตามลักษณะสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับพัลส์บวก และเมื่อพัลส์นั้นสะท้อนกลับมา ซึ่งอาจจะเป็นได้ว่าเป็นพัลส์บวกหรือพัลส์ลบก็ตาม จะทำให้เอาต์พุตที่วงจรรวมสัญญาณมีค่าออกมาเป็นพัลส์บวกอีกเช่นเดียวกัน ตามลักษณะสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์บวกหรือลบซึ่งจะทำให้เอาต์พุตของวงจรนี้เป็นสัญญาณที่เรียงกันและมีระยะห่างเกิดขึ้นของพัลส์ที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับความยาวของสายที่ทำการทดสอบ

โดยในส่วนนี้เราใช้ IC #74HC32 ซึ่งเป็น OR-GATE นำมาใช้มาวงจรเพราะมีลักษณะการให้สัญญาณเอาต์พุตตามที่เราต้องการ

**3.6 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ (#74HC74, #74HC14)**




รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของวงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ

ในภาคนี้เราแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ T-Flip Flop 1 หรือส่วนของวงจรตรวจจับเวลา ซึ่งจะมีหน้าที่คือแปลงระยะห่างระหว่างพัลส์ 2 ลูก ซึ่งได้รับสัญญาณมาจากในส่วนของวงจรรวมสัญญาณคือพัลส์ขาส่งกับพัลส์สะท้อนกลับให้เป็นพัลส์ลูกเดียวที่มีความกว้างของพัลส์เท่ากับระยะห่างระหว่างพัลส์ 2 ลูกนี้ เพราะ T-Flip Flop จะเปลี่ยนสถานะเมื่อมีพัลส์บวกเข้ามา ซึ่งก็คือเมื่อเอาต์พุตจากวงจรรวมสัญญาณลูกแรกเข้ามา T-Flip Flop จะเปลี่ยนสถานะจาก “1” เป็น “0” ไปจนกระทั่งมีเอาต์พุตจากวงจรรวมสัญญาณอีกตัวหนึ่งมาจะทำให้ T-Flip Flop จะเปลี่ยนสถานะ “1” เป็น “0” จะทำให้ได้เอาต์พุตจากวงจร T-Flip Flop เป็นลักษณะสัญญาณพัลส์ลูกเดียวซึ่งความกว้างของพัลส์นั้น ก็คือระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนไปและกลับ ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จะส่งไป ยังวงจรคูณสัญญาณ เพื่อจะนำไปประมวลผลต่อไป และยังเป็นสัญญาณที่ส่งไปยังวงจรกำเนิดสัญญาณ เพื่อเป็นตัวกำหนดการเริ่มและหยุดนับของวงจรนับ และก็ส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวกำหนดการเริ่มรับตำแหน่งและเคลียร์ข้อมูล

T-Flip Flop 2 จะทำหน้าที่คือตรวจสอบสถานะของสายว่าชำรุดหรือไม่โดยการรับค่ามาจากส่วนของ T-Flip Flop 1 เพราะถ้า T-Flip Flop 1 ทำงานแสดงว่า สายมีการชำรุดแต่ถ้า T-Flip Flop 1 ไม่ทำงานหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาลง แสดงว่าสายนั้นไม่ชำรุด ซึ่งเราได้ใช้ขอบขาลงของสัญญาณจากวงจรว่าสายชำรุด แต่ถ้า T-Flip Flop 2 เป็น “0” แสดงว่าสายไม่ชำรุดและส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลต่อไป ซึ่งแสดงสถานะได้ดังตาราง

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการตรวจจับการเสียของสายจากในส่วนวงจรตรวจสอบสายดีหรือเสีย

| เหตุการณ์ | Out T-Flip Flop 2 | Logic |
|---|---|---|
| สายชำรุด | พัลส์ 5V | “1” |
| สายไม่ชำรุด | พัลส์ 0V | “0” |

ส่วน T-Flip Flop 3 จะมีหน้าที่คือตรวจสอบสถานะของสายว่าเป็นการชำรุดแบบไหน เพื่อส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงผลต่อไป ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยเมื่อส่งสัญญาณพัลส์เข้าไปในสาย วงจรตรวจจับสัญญาณลบจะไม่ทำงานคือจะให้เอาต์พุต สถานะเป็น “0” ซึ่งจะทำให้ T-Flip Flop คงค่าสถานะเดิมไว้คือ “0” และเมื่อพัลส์ที่สะท้อนกลับมามีค่าเป็นบวก ทำให้ในส่วนของวงจรตรวจจับพัลส์ลบไม่ทำงานทำให้ T-Flip Flop คงค่าสถานะเดิมไว้คือ “0” เช่นเดิม แต่ถ้า

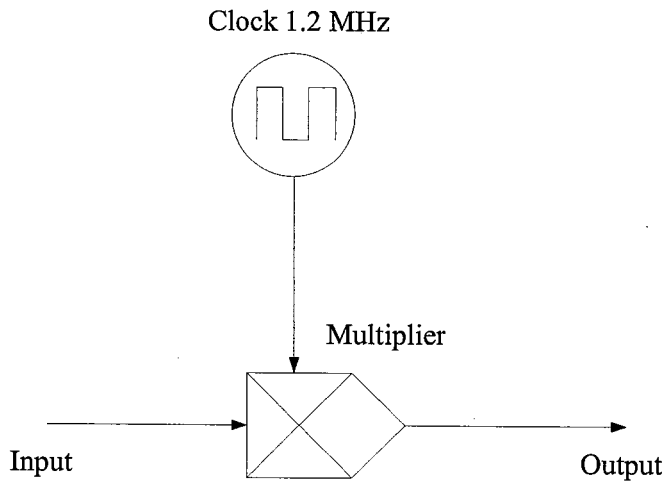
พัลส์ที่สะท้อนกลับมาเป็นพัลส์ลบ จะทำให้วงจรตรวจจับพัลส์ลบทำงานให้ T-Flip Flop เปลี่ยนสถานะเป็น “1” ซึ่งจะทำให้เราสามารถทราบได้ว่าสายมีการชำรุดแบบไหนได้ดังตาราง

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการตรวจจับชนิดการเสียของสายในวงจรตรวจสอบสายเปิดหรือลัดวงจร

| เหตุการณ์ | Out put T-Flip flop 2 | Logic |
|---|---|---|
| ลัดวงจร | พัลส์ 5V | “1” |
| วงจรขาด | พัลส์ 0V | “0” |

ในส่วนของวงจร T-Flip Flop นี้ในทางปฏิบัติแล้วจะนำเอา Data-Flip Flop หรือ JK-Flip Flop มาทำการดัดแปลงให้สามรถทำงานเป็น T-Flip Flop เนื่องจากว่าในท้องตลาดจะไม่มี IC ที่มีโครงสร้างภายในเป็น T-Flip Flop ซึ่งในส่วนนี้เราได้ใช้ D-Flip Flop มาทำการแปลงซึ่งก็คือ IC #74HC74

**3.7 วงจรคูณสัญญาณ (#74LS08, #74HC393, Oscillator 24 MHz, #74HC14)**



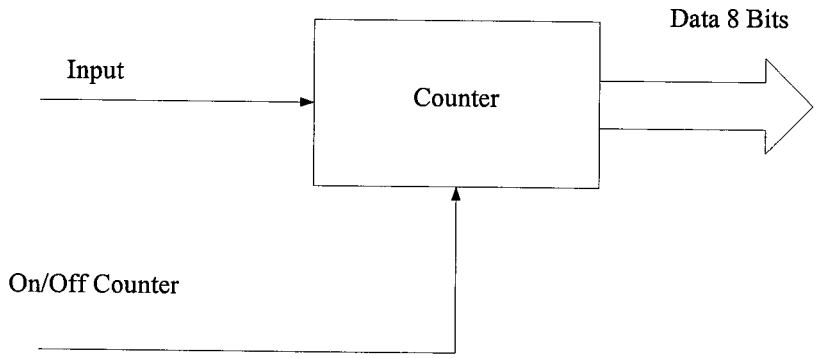

รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของคูณสัญญาณ

ในส่วนนี้อินพุตของระบบคือสัญญาณพัลส์ที่รับเข้ามาจาก T-Flip Flop 1 ซึ่งเป็นพัลส์ที่มีความกว้างเท่ากับเวลาที่แตกต่างกันของพัลส์ขาส่ง และพัลส์ที่สะท้อนกลับ สัญญาณพัลส์ลูกนี้ จะผ่านเข้ามายังวงจรคูณสัญญาณ โดยมีสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยม (Square pulse) ความถี่ 12 MHz เป็น

ตัวคูณ กับสัญญาณพัลส์ที่รับเข้ามา ดังนั้นเราจึงกล่าวได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตของ T-Flip Flop 1 เมื่อผ่านระบบนี้แล้ว ความกว้างของพัลส์จะถูกระบบนี้แบ่งความกว้างของพัลส์ออกเป็น พัลส์ลูกเล็กๆ จำนวนหนึ่ง และสัญญาณเอาต์พุตที่ได้นี้ จะถูกนำไปประมวลผลยังภาคต่อไป

ในส่วนนี้เราใช้ IC #74LS08 ซึ่งเป็นวงจร AND Gate 2 อินพุต และใช้ Oscillator 24 MHz แล้วใช้ IC หารความถี่ #74HC393 มาเป็นตัวหารความถี่ให้เหลือ 12 MHz

**3.8 วงจรนับ (#74HC393)**



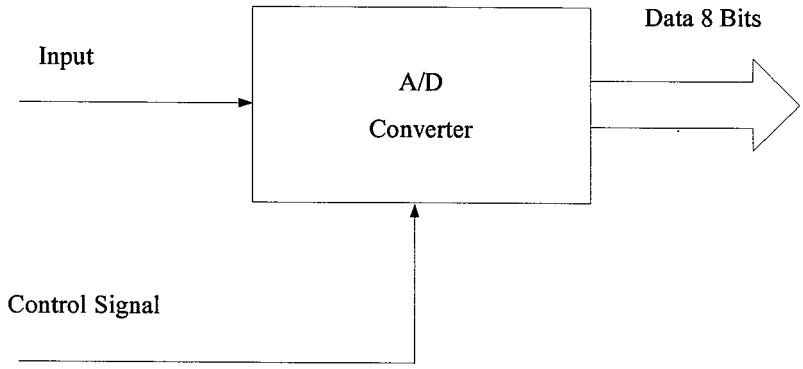

รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมของวงจรนับ

การทำงานในส่วนนี้จะทำหน้าที่นับสัญญาณอินพุต ซึ่งในที่นี้จะเป็นสัญญาณที่ได้จากการคูณระหว่างสัญญาณที่ได้จาก T-Flip Flop 1 กับสัญญาณนาฬิกาความถี่ 12 MHz โดยที่วงจรภาคนับจะทำการนับทุกๆ ช่วงการคูณสัญญาณ นั่นคือวงจรนับจะนับเฉพาะช่วงที่เกิดระยะห่างของพัลส์ขาส่งและพัลส์สะท้อนกลับเท่านั้น ช่วงอื่นๆ จะเป็นลอจิก “0” และจะทำการนับใหม่ เมื่อทำการส่งสัญญาณพัลส์ขาส่งออกไปและสิ้นสุดการนับเมื่อมีพัลส์สะท้อนกลับมา ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าวงจรจะทำการเริ่มนับใหม่ทุกๆ 0.5 ms

ส่วนสัญญาณ On/Off Counter นั้นเราใช้สัญญาณจากวงจร T-Flip Flop 1 เพื่อเป็นตัวบอกให้เริ่มนับและหยุดนับ เพราะถ้าทำการป้อนสัญญาณที่ได้จากการคูณเข้าไปนับโดยตรงจะเกิดปัญหาคือ การนับจะไม่เป็นระเบียบและไม่สามารถหาค่าเอาต์พุตที่จะนำไปประมวลผลได้ เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีสัญญาณหนึ่งเป็นตัวบอกให้วงจรเริ่มนับและหยุดนับ ดังนั้นสัญญาณที่จะนำมาทำงานนี้จะต้องมีความสัมพันธ์กับระยะห่างของพัลส์ขาส่งและพัลส์สะท้อนกลับด้วย

เพื่อให้การนับมีความถูกต้องแม่นยำและมีความผิดพลาดให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งในส่วนของวงจรนี้เราใช้ IC #74HC393 ซึ่งเป็น IC 8 Bits Counter มาใช้

**3.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (#ADC 0820)**




รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

การทำงานในส่วนนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่สะท้อนกลับมาให้เป็นข้อมูลแบบดิจิตอล ขนาด 8 บิต เพื่อที่จะส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผลต่อไป โดยสัญญาณอินพุต จะเป็นสัญญาณที่ส่งเข้าไปในสายและสัญญาณที่สะท้อนกลับมา โดยสัญญาณควบคุมก็คือสัญญาณจาก T-Flip Flop 1 ซึ่งนำมาควบคุมจังหวะการเขียนหรืออ่านข้อมูลนั้นเอง ซึ่งจะใช้ขอบขาลงเป็นตัวควบคุมจังหวะการอ่านของ A/D

ในส่วนนี้เราได้ใช้ IC #ADC 0820 มาใช้ ซึ่งจะให้เอาต์พุตขนาด 8 บิตออกมา โดย IC ตัวนี้จะสามารถแปลงสัญญาณได้ทั้งบวกและลบและมีความไวในการแปลงข้อมูลค่อนข้างสูง

**3.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (AT89s8252 )**

**คุณสมบัติทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 อนุกรม AT89xx**

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม
- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์

- ไทเมอร์/เคาร์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท
- สามมารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายในชิป
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ SPI สำหรับในอนุกรม AT89Sxx
- มีวอตช์ด็อกไทเมอร์ในตัว สำหรับในอนุกรม AT89Sxx

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชที่งานกันในปัจจุบัน

| เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ | หน่วยความจำโปรแกรม | หน่วยความจำข้อมูล | จำนวนไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต |
|---|---|---|---|
| AT89C1051 | แบบแฟลชขนาด 1 กิโลไบต์ | แรม 64 ไบต์ | 1 |
| AT89C2051 | แบบแฟลชขนาด 2 กิโลไบต์ | แรม 128 ไบต์ | 2 |
| AT89C51 | แบบแฟลชขนาด 4 กิโลไบต์ | แรม 128 ไบต์ | 2 |
| AT89C52 | แบบแฟลชขนาด 8 กิโลไบต์ | แรม 256 ไบต์ | 3 |
| AT89C55 | แบบแฟลชขนาด 20 กิโลไบต์ | แรม 256 ไบต์ | 3 |
| AT89S8252 | แบบแฟลชขนาด 8 กิโลไบต์ | แรม 256 ไบต์ อีอีพรอม 2 กิโลไบต์ | 3 |
| AT89S53 | แบบแฟลชขนาด 12 กิโลไบต์ | แรม 256 ไบต์ | 3 |

**3.10.1 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 89S8252**

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.16 โดยมีรายละเอียดขั้นต้น ดังนี้

ขา Vcc ใช้ต่อไปเลี้ยง 5 Vlot

ขา GND เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ

ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต

สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล ''1'' ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานในขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้น พอร์ตนี้ยังถูกใช้งานติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานให้เป็นได้ทั้งขาติดต่อแอดเดรสและขาติดต่อข้อมูล

ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นไปได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 1 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล ''1''ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อ นอกจากนั้นในอนุกรม AT89Sxx จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทเมอร์ 2 ในในขณะที่ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการข้อมูลโปรแกรมในระบบ

ขาพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นไปได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 2 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล ''1'' ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อ ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15)

ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นไปได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 3 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล ''1'' ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อ ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะ

ปล่อยลอย จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดดังนี้

P3.0 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD

P3.1 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD

P3.2 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณอินเทอรัปต์ภายนอกช่องที่ 0 หรือขา $\overline{INT0}$

P3.3 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณอินเทอรัปต์ภายนอกช่องที่ 0 หรือขา $\overline{INT1}$

P3.4 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา T0

P3.5 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขา T1

P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

ขา Reset ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อ รีเซต สถานะที่ขา

นี้ต้องอยู่ในระดับ รีเซตอย่างน้อย 2 แมชชีนไซเคิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างปกติ

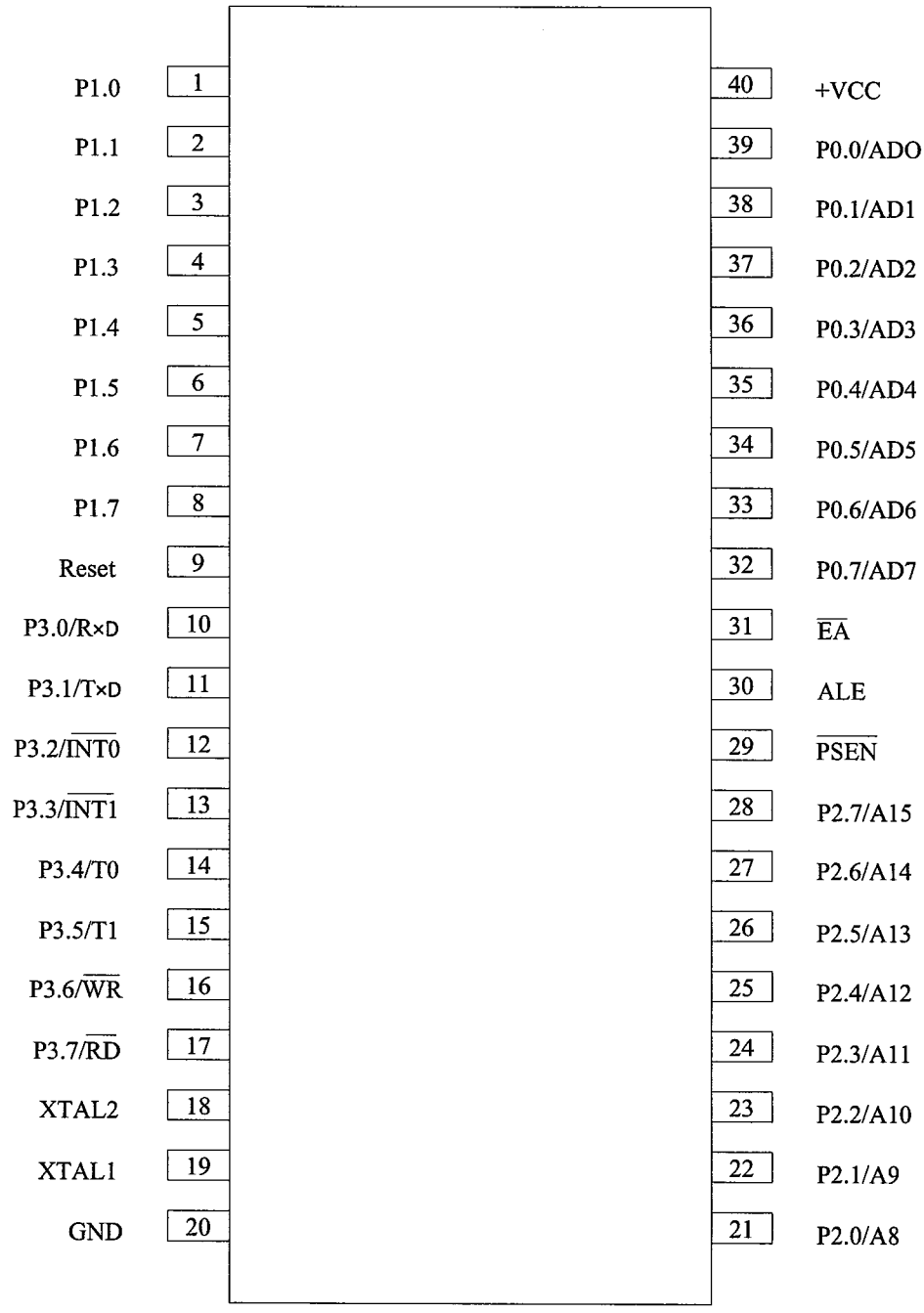
ขา $\overline{ALE}$/PROG (Address Latch Enable/Program Pulse อินพุต) เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตซ์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นยังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการโปรแกรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบอีอีพรอม

ขา $\overline{PSEN}$ (Program Store Enable) ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้งในแต่ละแมชชีนไซเคิล แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขานี้จะไม่มีการส่งสัญญาณใดๆออกมา

ขา $\overline{EA}$/Vpp(External Access Enable/Programming Voltage อินพุต) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอก หรือภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น ''0'' เป็น ''1'' การเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าหากขานี้ยังใช้เป็นขาอินพุต สำหรับแรงดันไฟสูง สำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายใน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบเฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรม +12 Volt

ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับต่อคริสตอล เพื่อการสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์




รูปที่ 3.10 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89S8252

**3.10.2 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต**

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีพอร์ตให้ใช้งานทั้งสิ้น 4 พอร์ตคือพอร์ต 0 ถึง 3 แต่ละพอร์ตมีขนาด 8 บิต เป็นพอร์ต แบบ 2 ทิศทาง กล่าวคือ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตสำหรับรับสัญญาณข้อมูลเข้า และเอาต์พุตสำหรับสัญญาณข้อมูลเข้า และเอาต์พุตสำหรับสัญญาณข้อมูลออก ทุกพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลชมีวงจรแลตช์และวงจนขับ ตลอดจนบัฟเฟอร์อินพุตในตัว

**การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต**

เนื่องจากพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องทำความเข้าใจถึงการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล ''1'' มาที่แต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการใช้งานเป็นอินพุต เพื่อหยุดการทำงานของเฟตที่ใช้ในการขับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้นๆ ทำให้ขาสัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อเข้ากับวงจรพูลอัปภายในโดยตรง ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น ''1'' สามารถรับสัญญาณลอจิก ''0'' จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย สัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจะถูกส่งเข้ามาแล้วเก็บไว้ในวงจรบัฟเฟอร์ในพอร์ต แล้วรอให้ซีพียูมาอ่านค่าเข้าไป เมื่อเป็นเช่นนี้ อุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ควรกำหนดในสภาวะลอจิก ''0'' จะและสะดวกที่สุด (ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์อินพุตที่เชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์แทบทั้งหมดทำงานที่ลอจิก ''0'' แล้ว)

**การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต**

โดยปกติแล้ว ขาพอร์ตจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้ว ดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลออกไปได้อย่างง่ายดายและตรงไปตรงมา กล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูล ''0'' ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้เขียนข้อมูล ''0'' ไปยังวงจรแลตช์ ซึ่งก็จะส่งไปขับเฟต ทำให้เฟตทำงาน ที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงานก็จะเกิดลอจิก ''0'' ขึ้นในทางที่ขาพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรพูลอัปภายในเกิดเป็นลอจิก ''1'' ที่ขอพอร์ตนั้น ซึ่งก็จะคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมากเพียงแต่แตกต่างกันที่กระบวนการในการเคลื่อนย้ายข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุตจะมีสัญญาณมาอ่านที่บัฟเฟอร์ แต่ถ้าเป็นเอาต์พุตจะไม่มีการอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์แต่อย่างใด เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอาต์พุต

**การอ่านค่าลอจิกจากพอร์ต**

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถอ่านค่าลอจิกพอร์ตได้ 2 ลักษณะ คือ อ่านค่าจากพอร์ตโดยตรง และอ่านจากวงจรแลตซ์ของแต่ละพอร์ต ในกรณีที่พอร์ตต่อกับขาเบสของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และขาอิมิตเตอร์ต่อลงกราวด์หากมีการส่งข้อมูล 1 ไปยังทรานซิสเตอร์ จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในสถานะลอจิกที่ขาพอร์ตจะเป็น 0 เนื่องจากเมื่อทรานซิสเตอร์ทำงาน จะเสมือนว่าขาพอร์ต นั้นถูกต่อลงกราวด์ทำให้หากอ่านค่าลอจิกที่ขาพอร์ตจะได้ผลตรงกันข้ามกับที่ส่งออกมา แต่ถ้าหากทำงานอ่านค่าลอจิกที่วงจรแลตซ์จะได้ค่าที่ตรงกับค่าที่ต้องการส่งจริง ดังนั้น ในการอ่านค่าลอจิกจากพอร์ต จึงต้องเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่นำมาต่อด้วย

**3.10.3 ความร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์**

ในการทำงาน 1 รอบ หรือ 1 แมชชีนไซเคิล ซีพียูไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้เวลา 12 คาบเวลาในการทำงาน 1 ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 1 ms หรือมีความร็วในการทำงานภายใน 1 MHz ในกรณีที่ใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกา 12 MHz ถ้าต้องการทราบความเร็วของการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถหาได้จาก ค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาหารด้วย 12 และถ้าต้องการหาค่าเวลารอบ 1 รอบของการทำงานหรือ 1 แมชชีนไซเคิล สามารถทำได้โดยการหาส่วนกลับของความเร็ว ในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

**3.11 จอแสดงผล**

รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD (Liquid Crystal Display)

ในโมดูล LCD ที่ใช้กันโดยทั่วๆ ไปมีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

1. ตัวแสดงผล (Display) ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็น โดยอาศัยแสงจากภายนอก ซึ่งจะปิดและเปิดตัวเองกับแสงในส่วนของที่เป็นตัวกระจกบรรจุผลึก
2. ตัวควบคุม (Controller) เป็นตัวรับข้อมูลภายนอก มาควบคุมการทำงานของข้อมูล LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิบควบคุมโดยเฉพาะ ชิปที่นิยมใช้ คือ เบอร์ HD61830 และ HD44780 โดย HD44780 จะควบคุม LCD อักขระ ส่วน LCD61830 ใช้ควบคุม LCD แบบกราฟฟิก

3. ตัวขับ (Driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุม มาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูลตามที่กำหนด ชิปที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ ได้แก่ เบอร์ HD44100 และ MSM5259 เป็นต้น

**3.11.1 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD**

ในโครงงานนี้เราใช้ LCD แบบอักขระ จึงขอยกตัวอย่างโครงสร้างและการใช้งาน LCD อักขระที่ใช้ชิปเบอร์ HD44780 เป็นตัวควบคุม ซึ่งประกอบไปด้วย

1. บัฟเฟอร์อินพุตเอาต์พุต (Buffer และ Output) เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอกเพื่อที่จะถ่ายทอดข้อมูลเข้าออกภายในตัวควบคุม
2. รีจีสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register : IR) เป็นรีจีสเตอร์ใช้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกเพื่อถ่ายทอดแต่ไปยังหน่วยความจำ ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลแสดงผล หรือนำข้อมูลไปสร้างตัวอักษรเพิ่มเติมในแรมเก็บตัวอักษร
3. แรมเก็บข้อมูลแสดงผล (Display Data Ram : DDRAM) เป็นหน่วยความจำที่มีหน้าที่เก็บข้อมูลที่มาจากรีจีสเตอร์ DR ตัวควบคุมจะนำข้อมูลใน DDRAM ไปเปิดตาราง (look up-table) ของตัวอักษรที่เก็บไว้ในหน่วยความจำรอมและแรมเก็บตัวอักษรเพื่อที่จะนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล
4. รอมเก็บตัวอักษร (Character Generator ROM : CGROM) เป็นหน่วยความจำที่รอมใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรหรือสัญญาลักษณ์ที่สามารถอ่านออกไปแสดงที่ตัวแสดงผลได้ มีขนาด 7200 บิต โดยจะถูกอ่านค่าของข้อมูลใน DDRAM
5. แรมเก็บตัวอักษร (Character Generator RAM : CGRAM) เป็นหน่วยความจำที่รอมใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรใน CGRAM ไม่เพียงพอ มีขนาด 512 บิต การเขียนและการอ่านไปใช้นั้นทำได้เช่นเดียวกับ CGRAM คือเขียนข้อมูลลงใน DDRAM แล้วตัวควบคุมจะมาอ่านค่าจาก CGRAM เอง
6. แฟลก BUSY เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แจ้งสถานการณ์ทำงานของตัวควบคุมให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่า ตัวควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งหรือไม่ ดังนั้นก่อนการส่งข้อมูลหรือคำสั่งมายังตัวควบคุมต้องตรวจสอบสถานะของแฟลก BUSY นี้เสียก่อน

### 3.11.2 รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD ในโครงงาน

โมดูล LCD ที่ใช้ในโครงสร้างนี้ ได้อ้างอิงในโมดูล DMC 162 ซึ่งเป็น LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด มีขาต่อใช้งานทั้งสิ้น 14 ขา

ขา 1 Vss ต่อลงกราวด์

ขา 2 Vdd ต่อไฟเลี้ยง +5v

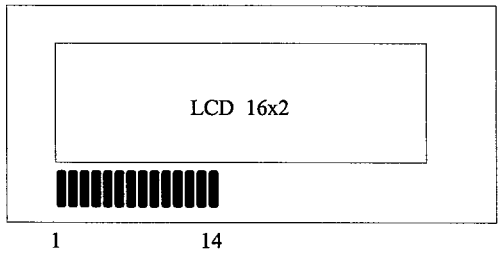
ขา 3 Vo เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

ขา 4 Vs เป็นขาอินพุต ใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผลในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งสำหรับรีจีสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลสำหรับรีจีสเตอร์ DR โดยถ้าขานี้เป็น ''0'' ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง และถ้าเป็น ''1'' ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลสำหรับการแสดงผล

ขา 5 R/W เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ LCD ถ้าเป็น ''0'' จะเป็นการกำหนดการเขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น ''1'' จะเป็นการอ่านข้อมูล

ขา 6 E เป็นขาที่สั่งให้ LCD ทำงาน ถ้าเป็น ''1'' จะเป็นการสั่งให้ทำงาน ส่วน ''0'' เป็นการหยุดทำงาน

ขา 7-14 เป็นขาที่ใช้เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอกมีขนาด 8 บิต




รูปที่ 3.11 การจัดขาของจอแสดงผล

### 3.11.3 คำสั่งควบคุม LCD

ในการเขียนคำสั่งควบคุม LCD เราต้องกำหนดลอจิกให้กับขา RS และ R/W ในลักษณะที่ต่างกันซึ่งสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 3.4 ชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของ LCD

| คำสั่ง | รหัส | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | RS | R/W | D7 | D6 | D5 | D4 | D3 | D2 | D1 | D0 |
| Clear display | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Return home | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | * |
| Entry mode set | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | I/D | S |
| Display on/off control | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | D | C | B |
| Cursor or display shift | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | S/C | R/L | * | * |
| Function set | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | DL | N | F | * | * |
| Set CGRAM address | 0 | 0 | 0 | 1 | ACG | | | | | |
| Set DDRAM address | 0 | 0 | 1 | ADD | | | | | | |
| Read busy flag & address | 0 | 1 | AC | | | | | | | |
| Write data to CG or DD RAM | 1 | 0 | Write Data | | | | | | | |
| Read data from CG or DD RAM | 1 | 1 | Read Data | | | | | | | |

1. คำสั่งเคลียร์ตัวแสดงผล (clear display)

มีข้อมูลคำสั่งเป็น 01H เป็นคำสั่งที่ใช้เขียนข้อมูลช่องว่าง หรือ space เข้าไปใน DDRAM ทั้งหมดเมื่อควบคุมเอ็กซีคิวต์คำสั่งนี้ จะทำการกำหนดแอดเดรสของ DDRAM เป็น 0 เคอร์เซอร์จะกลับไปอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายมือสุดของจอแสดงผล แล้วเซตบิต I/D ให้เป็น ''1''

2. คำสั่ง RETURN HOME

ต้องกำหนดให้บิต 1 ของข้อมูล ''1'' เป็นคำสั่งให้เคอร์เซอร์เคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งซ้ายสุดของจอแสดงผล แต่ข้อมูลบนจอไม่เปลี่ยนแปลง อาจจะให้คำสั่งเป็น 01H หรือ 02H ก็ได้

3. คำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล (entry mode set)

| MSB | | | | | | | LSB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | I/D | S |

บิต S เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดลักษณะของการแสดงผล เมื่อมีการป้อนข้อมูล ถ้าหากบิต S เป็น ''1'' ตัวเคอร์เซอร์ จะอยู่กับ แต่ละตัวอักษรข้อมูลเดิมจะถูกดันไปทางซ้าย แต่ถ้าหากบิตนี้เป็น ''0'' เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ เคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ

บิต I/D เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดว่า เมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้ว ทำให้แอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้นหรือลดลงหนึ่งแอดเดรส โดยถ้าบิตนี้เป็น ''1'' แอดเดรสของ DDRAM จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเป็น "0" จะลดลง

ดังนั้น ข้อมูลคำสั่งที่เกิดขึ้นสำหรับคำสั่งนี้ได้แก่ 04H-07H และที่ใช้บ่อยคือ 06H หมายถึง กำหนดให้เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ เคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวา และแอดเดรสของ DDRRAM จะเพิ่มขึ้น

4. คำสั่งควบคุมการแสดงผล

| MSB | | | | | | | LSB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | D | C | B |

บิต D ใช้ควบคุมการเปิด ปิด จอแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น ''1'' จะเป็นการเปิดจอแสดงผลถ้าเป็น ''0'' จะเป็นการปิดจอแสดงผล

บิต C ใช้ควบคุมการแสดงเคอร์เซอร์บนจอแสดงผล ถ้าต้องการให้มีการเคอร์เซอร์แสดงผลบนจอแสดงผล ต้องกำหนดให้เป็นบิต ''1'' ถ้ากำหนดให้เป็น ''0'' จะเป็นการปิดหรือไม่แสดงเคอร์เซอร์

บิต B ใช้ควบคุมการกระพริบของเคอร์เซอร์ ถ้าบิตนี้ปืน ''1'' เคอร์เซอร์จะกระพริบดังนั้นจะมีข้อมูลคำสั่งได้ตั้งแต่ 08H-0FH แต่ที่ใช้บ่อยคือ 0CH เป็นการสั่งให้เปิดจอแสดงผล แต่ไม่แสดงเคอร์เซอร์และ 0FH เป็นการเปิดจอแสดงผล แสดงเคอร์เซอร์และสั่งให้เคอร์เซอร์กระพริบ

5. คำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร

| MSB | | | | | | | LSB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | S/C | R/L | * | * |

การควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และตัวอักษรบนจอแสดงผลขึ้นอยู่กับการกำหนดขนาดบิต S/C และ R/L ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

| S/C | R/L | ลักษณะการเลื่อน | ข้อมูลคำสั่ง |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย | 10H-13H |
| 0 | 1 | เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา | 14H-17H |
| 1 | 0 | เลื่อนอักษรใหม่ไปทางซ้าย | 18H-1BH |
| 2 | 1 | เลื่อนอักษรใหม่ไปทางขวา | 1CH-1FH |

6. คำสั่งกำหนดฟังก์ชันการทำงาน

| MSB | | | | | | | LSB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 | DL | N | F | * | * |

บิต DL ใช้กำหนดจำนวนบิตที่ใช้ติดต่อการผ่านข้อมูล ถ้าบิตนี้เป็น “0” จะเป็นการติดต่อแบบ 4 บิต แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นแบบ 8 บิต

บิต N ใช้กำหนดบรรทัดของการแสดงผล ถ้าเป็น 0 จะแสดงผล 1 บรรทัด ถ้าเป็น “1” จะแสดง 2 บรรทัด ในกรณีที่จอแสดงผลสามารถแสดงได้มากกว่า 2 บรรทัด และต้องการให้แสดงผลมากกว่า 2 บรรทัด ก็กำหนดบิต N ให้เป็น”1”

บิต F ใช้เลือกความละเอียดของตัวอักษรให้การแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น ”0” จะเป็นการแสดงผลแบบ 5×7 และถ้าเป็น “1” จะแสดงผลเป็น 5×10 จุด

ข้อมูลคำสั่งที่ใช้บ่อยคือ 38H เป็นการกำหนดให้โมดูล LCD ทำงานในแบบ 8 บิตแสดงผล 2 บรรทัด และเลือกความละเอียด 5×7 จุด

จุดที่น่าสังเกตคือ โมดูล LCD แบบ 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด แม้จะมีบรรทัดการแสดงผลเพียง 1 บรรทัด แต่จะต้องกำหนด N ให้เป็น ‘’1“ เนื่องจากแอดเดรสของ DDRAM แบ่งออกเป็น 2 ช่องคือ 00H และ 40H

7. คำสั่งเลือกแอดเดรสของ CGRAM

เมื่อต้องการกำหนดแอดเดรสของ CGRAM ต้องกำหนดให้เป็น บิต 7 เป็น “0” บิต 6 เป็น “1” ส่วนอีก 6 บิตที่เหลือ จะแทนด้วยค่าแอดเดรสของ CGRAM จะต้องทำการกำหนดแอดเดรสด้วยคำสั่งนี้ก่อนที่อ่านหรือเขียนข้อมูลให้ CGRAM โดยแอดเดรสของ CGRAM อยู่ระหว่าง 00H-3FH

8. คำสั่งเลือกแอดเดรสของ DDRAM

ใช้ในการเลือกแอดเดรสของ DDRAM ก่อนที่จะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูล โดยบิต 7 ต้องเป็น “1” และข้อมูลอีก 7 บิตที่เหลือ จะเป็นค่าแอดเดรสของ DDRAM ซึ่งแอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 8CH-0FFH ทั้งนี้จำนวนแอดเดรสยังขึ้นอยู่กับสถานะที่บิต N ด้วย หากบิต N เป็น “0” แอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 80H-0CFH และถ้าบิต N เป็น ”1” แอดเดรสของ DDRAM จะมี 2 ช่วงคือ 8CH-87H และ 0C0H-0C7H

9. คำสั่งอ่านแฟลก BUSY และแอดเดรส

| MSB | | | | | | | LSB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BF | A | A | A | A | A | A | A |

เป็นคำสั่งที่ใช้อ่านแฟลก BUSY (BF) โดยแฟลกนี้จะเป็นตัวบอกสถานะของตัวควบคุม LCD ว่าพร้อมจะรับข้อมูลอยู่หรือไม่ ถ้าหากบิต BF เป็น “0” แสดงว่าตัวควบคุม LCD พร้อมรับข้อมูลหรือคำสั่ง แต่ถ้าเป็น “1” แสดงว่า ขณะนี้ตัวควบคุม LCD ยังอยู่ในกระบวนการทำงานภายใน หรือกำลังประมวลผลข้อมูลอยู่ ยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่ง

เมื่อต้องการอ่าแฟลชต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “1” แต่สัญญาณที่ขา RS ยังต้องเป็น “0” เพราะข้อมูลนี้ปีนี้ข้อมูลคำสั่ง

นอกจากนี้ ยังใช้เป็นคำสั่งอ่านข้อมูลแอดเดรสของ CGRAM และ DDRAM ด้วย โดยบิต 0-6 เป็นค่าของข้อมูลของแอดเดรสที่ต้องการอ่าน

### 3.11.4 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่โมดูล LCD

ในการเขียนข้อมูลเพื่อควบคุมให้โมดูล LCD แสดงผลตามที่ผู้ใช้งานต้องการ ต้องส่งคำสั่ง (instruction) แล้วกำหนดโหมดการทำงานให้แก่โมดูล LCD ก่อน จากนั้นจึงค่อยส่งข้อมูล (data) ที่ต้องการแสดงผลเนื่องจากบัสของโมดูล LCD มี 8 เส้น คือ D0-D7 และใช้เป็นทางผ่านของทั้งคำสั่งและข้อมูล ดังนั้นในการส่งคำสั่งและข้อมูลจึงต้องกำหนดสัญญาณลอจิกที่ขา RS ถ้าหากที่ขา RS ได้ลอจิก “0” หมายความว่า ข้อมูลที่ป้อนให้แก่โมดูล LCDขณะนั้นเป็นคำสั่งในทางตรงกันข้ามหากขา RS ได้รับลอจิก “1” ข้อมูลที่ป้อนให้ในขณะนั้นเป็นข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผล

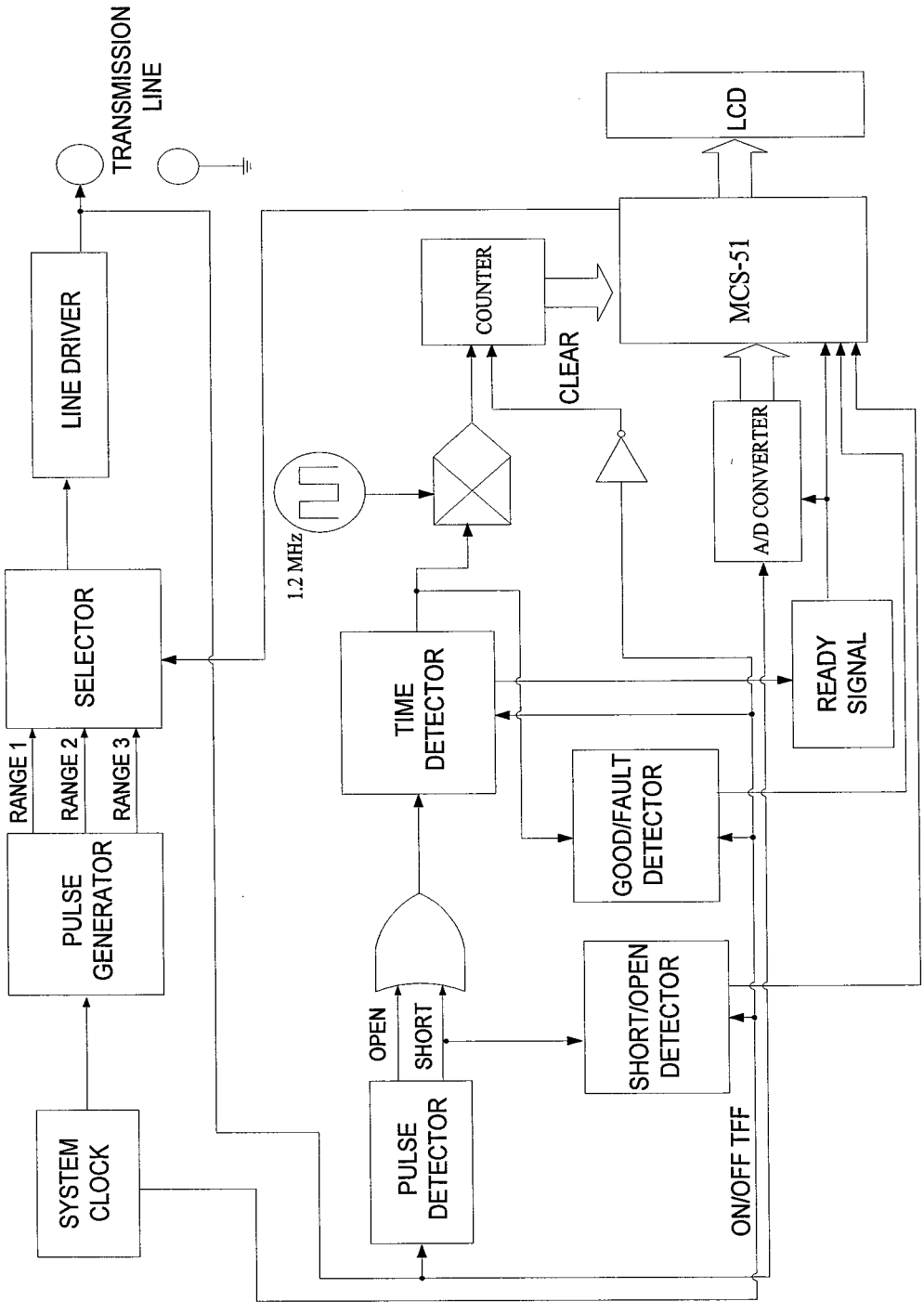
เมื่อต้องเขียนข้อความหรืออ่านข้อมูลใน CGRAM และ DDRAM เริ่มต้นต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการอ่านหรือขึ้นก่อน โดยใช้คำสั่งเลือกแอดเดรส จากนั้นกำหนดให้ขา RS เป็น “1” เพื่อแจ้งให้ตัวควบคุมภายในโมดูล LCD ทราบว่าข้อมูลที่ปรากฏต่อไปนี้เป็นข้อมูลปกติไม่ใช่คำสั่ง

ในกรณีที่ต้องการเขียนข้อมูล เมื่อกำหนดแอดเดรสและป้อนลอจิก “1” ให้ขา RS แล้วกำหนดให้ขา R/W เป็น “0” ข้อมูลที่อ่านบนบัสข้อมูลจะถูกเขียนลงในรีจีสเตอร์ DR จากนั้นจึงถ่ายทอดลงใน DDRAM ต่อไป

### 3.11.5 จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล

ในการติดต่อกับโมดูล LCD จะต้องมีการหน่วงเวลาหลังจากที่ทำการส่งรหัสคำสั่งหรือข้อมูลเนื่องจากต้องรอให้คอนโทรลเลอร์ภายใน LCD โมดูล แปลความหมายของรหัสคำสั่งและทำงานตามคำสั่งให้เรียบร้อยก่อน จากนั้นจึงจะรับข้อมูลหรือดำเนินการต่อไป

ดังนั้น ในการใช้งาน ผู้เขียนโปรแกรมต้องมีโปรแกรมเพื่อหน่วงเวลารอให้ LCD โมดูลพร้อมทำงานด้วย โดยเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้ LCD ต้องรอประมาณ 100 mS เพื่อให้ LCD ทำการเตรียมความพร้อม หลังจากนั้นก็จะกำหนดลอจิกให้กับขา RS และหน่วงเวลาอีกประมาร 2 mS เพื่อให้คอนโทรลเลอร์ของ LCD แปลความหมายของลอจิกที่ขาRS ว่าเป็นรหัสข้อมูลจะแสดงผลหรือคำสั่งจากนั้นจะเป็นการส่งข้อมูลมารอที่ขาบัสข้อมูล D0-D7 ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการส่งสัญญาณพัลส์ไปที่ขา E เพื่อทำให้ LCD รับเอาข้อมูลจากบัสเข้าไป โดยพัลส์ที่ป้อนที่ขา E จะต้องเป็นพัลส์ขอบขาขึ้น จากนั้นก็ทำการหน่วงเวลา 2 mS




รูปที่3.12 บล็อกไดอะแกรมรวม

# บทที่ 4

## การทดลองและผลการทดลอง

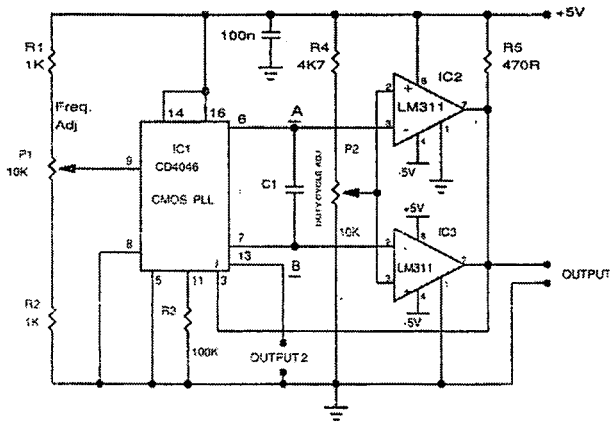
### 4.1 การออกแบบวงจร

**วงจรจะแบ่งเป็น**

1) วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (#74HC123, #555)
2) วงจรเลือกสัญญาณ (#74150, #74LS04)
3) วงจรขับสัญญาณ (#LM6365, #LH0002)
4) วงจรตรวจสัญญาณ (#LM710)
5) วงจรรวมสัญญาณ (#74HC32)
6) วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ (#74HC74, #74HC14)
7) วงจรคูณสัญญาณ (#74LS08, #74HC393 ,Oscillator 24 MHz, #74HC14)
8) วงจรนับ (#74HC393)
9) วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (#ADC 0820)
10) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (AT89S8252)
11) จอแสดงผล

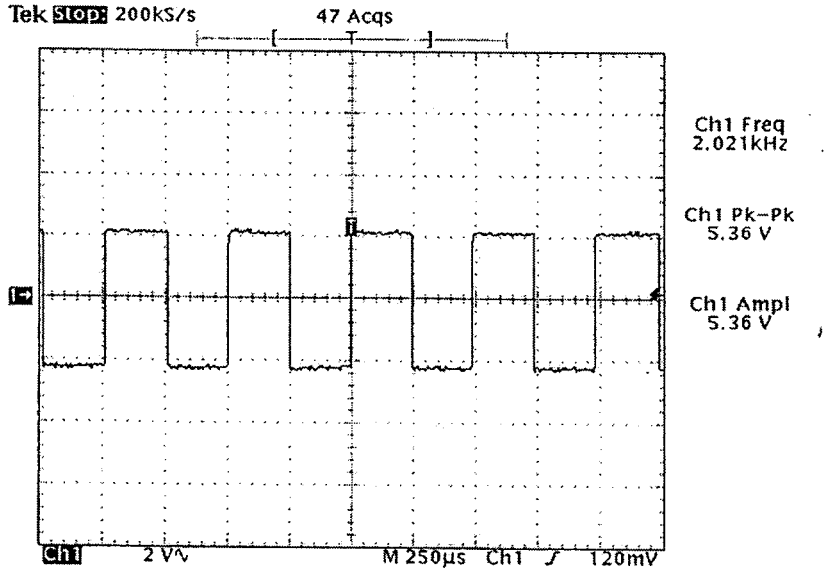
#### 4.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

ในวงจรกำเนิดสัญญาณนี้เป็นตัวควบคุมจังหวะการเกิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งเราใช้ IC #555 มาเป็นตัวสร้างสัญญาณนาฬิกา ดังรูป



รูปที่ 4.1วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

และเมื่อเราทำการปรับแต่งวงจรเพื่อให้ได้ค่าตามต้องการแล้วจะให้พัลส์เอาต์พุตดังรูป




รูปที่ 4.2 ผลการทดลองในส่วนของวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา

และส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ นี้จะใช้ IC #74LS123 ผลิตเอาต์พุตเป็นลักษณะ Monostable Multivibrator โดยอาศัยสัญญาณนาฬิกา ป้อนเข้าวงจรเป็นสัญญาณนาฬิกา ควบคุมจังหวะการกำเนิดสัญญาณเอาต์พุต

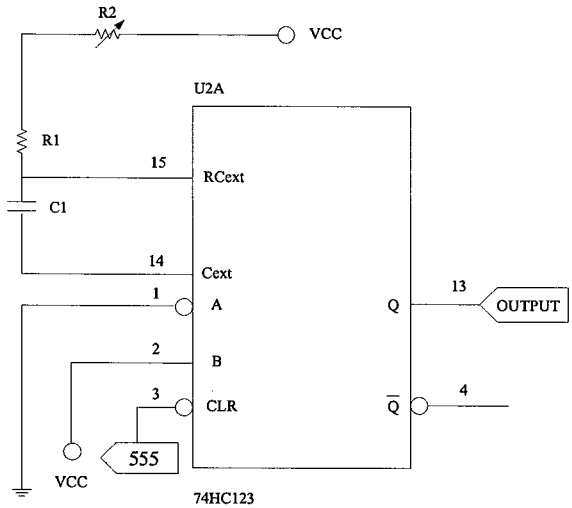
โดยสัญญาณเอาต์พุตของ IC #74LS123 กำหนดได้ตาม Truth Table ด้านล่าง

ตารางที่ 4.1 Truth Table ของ IC #74HC123

| i/p | | | o/p | |
|---|---|---|---|---|
| CLR | A | B | Q | $\bar{Q}$ |
| L | X | X | L | H |
| X | H | X | L | H |
| X | X | L | L | H |
| H | L | ↑ | ⎍ | ⎍ |
| H | ↑ | H | ⎍ | ⎍ |
| ↑ | L | H | ⎍ | ⎍ |

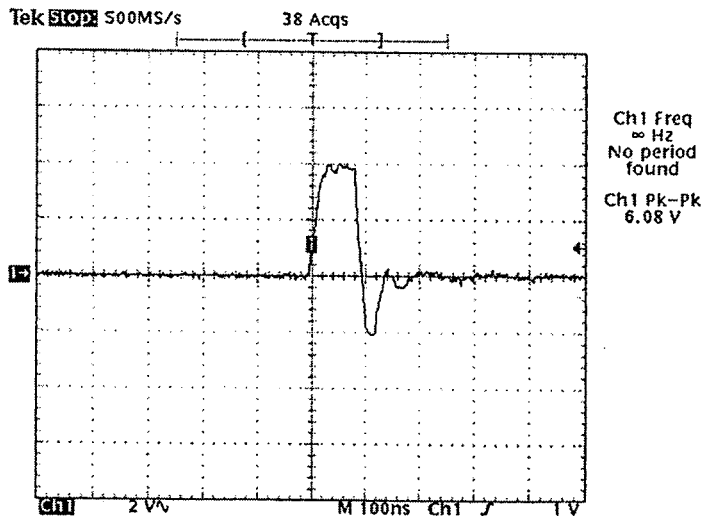
ตารางที่ 4.2 ค่า R และ C ในวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

| Pulse Width | R | VR | Cx |
|---|---|---|---|
| 100 nsec | 3.3 K | 2K | 50 pF |
| 0.4 µsec | 7.5 K | 5K | 50 pF |
| 3.5 µsec | 82 K | 50K | 50 PF |

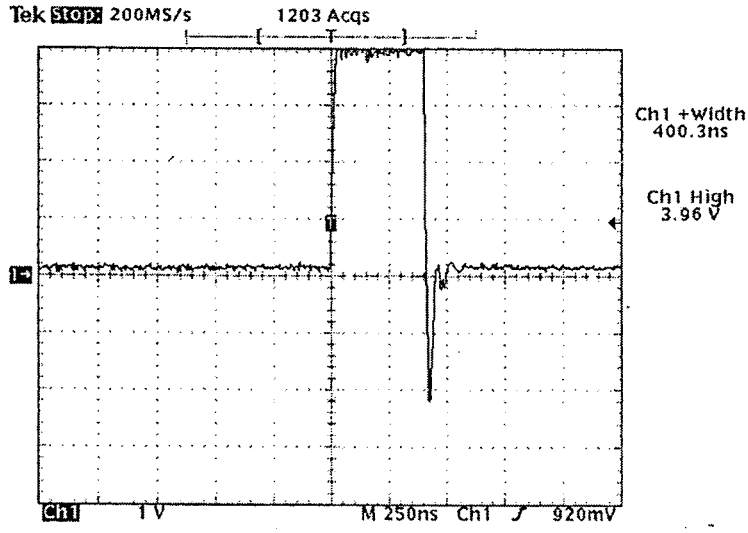



รูปที่ 4.3 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

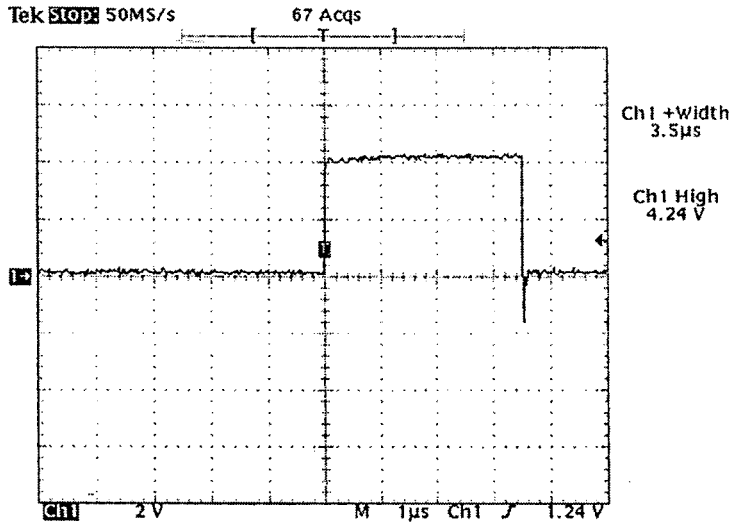
หลังจากที่ทำการออกแบบวงจรแล้ว เราจะทำการหรับแต่ง โดยทำการปรับ VR เพื่อให้ได้ค่าความกว้างของพัลส์ตามที่เรากำหนดจะได้ผลตามรูปที่ 4.4 (ก), 4.4 (ข), และ4.4 (ค)



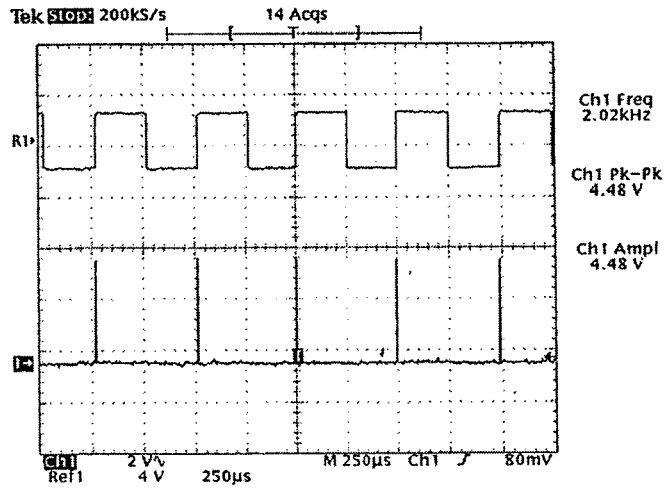
รูปที่ 4.4(ก) สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (100 nsec)




รูปที่ 4.4(ข) สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (0.4 µsec)



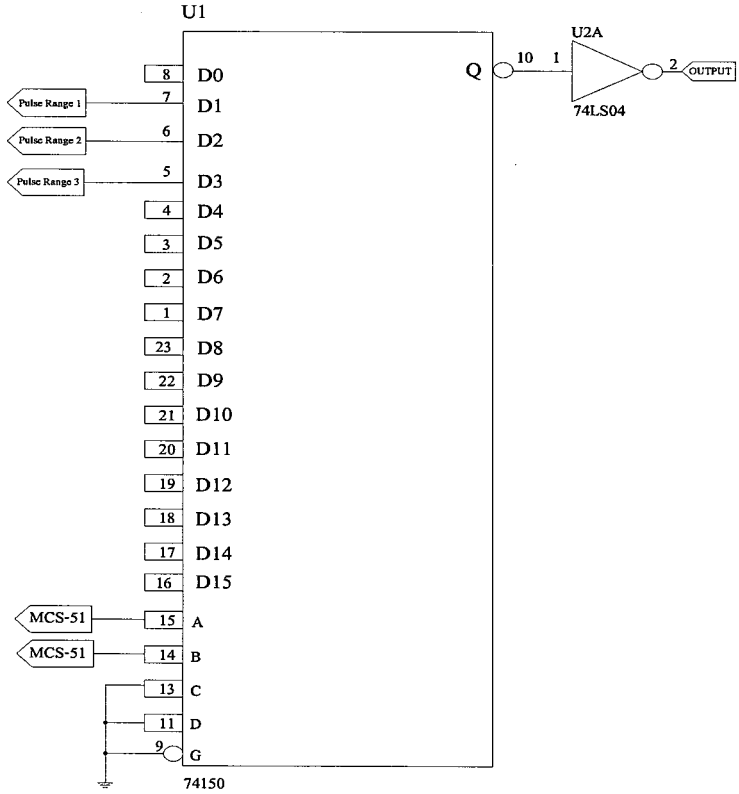

รูปที่ 4.4(ค) สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (3.5 µsec)




รูปที่ 4.5 สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ทั้งหมด

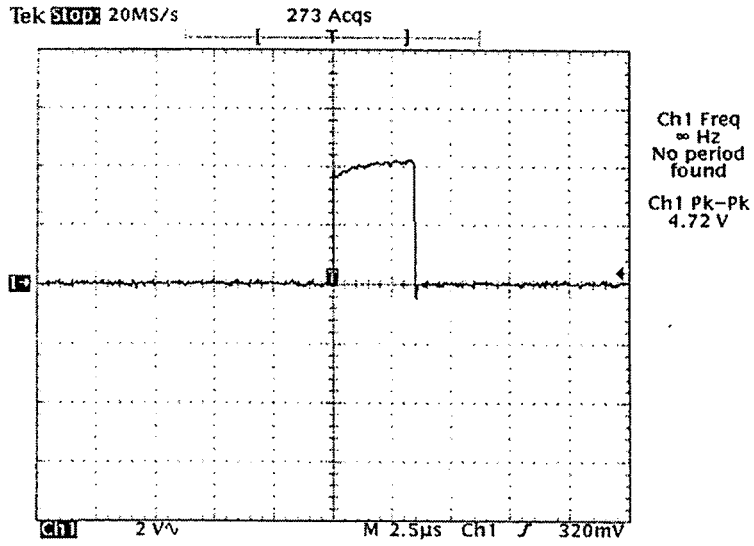
### 4.1.2 วงจรเลือกสัญญาณ

ในวงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดสัญญาณพัลส์ที่จะส่งไปยังวงจรขับสัญญาณ ซึ่งจะควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม ในส่วนนี้จะใช้ IC #74150 ซึ่งจะทำการต่อวงจรดังรูป




รูปที่ 4.6 วงจรเลือกสัญญาณ

ซึ่งจะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7

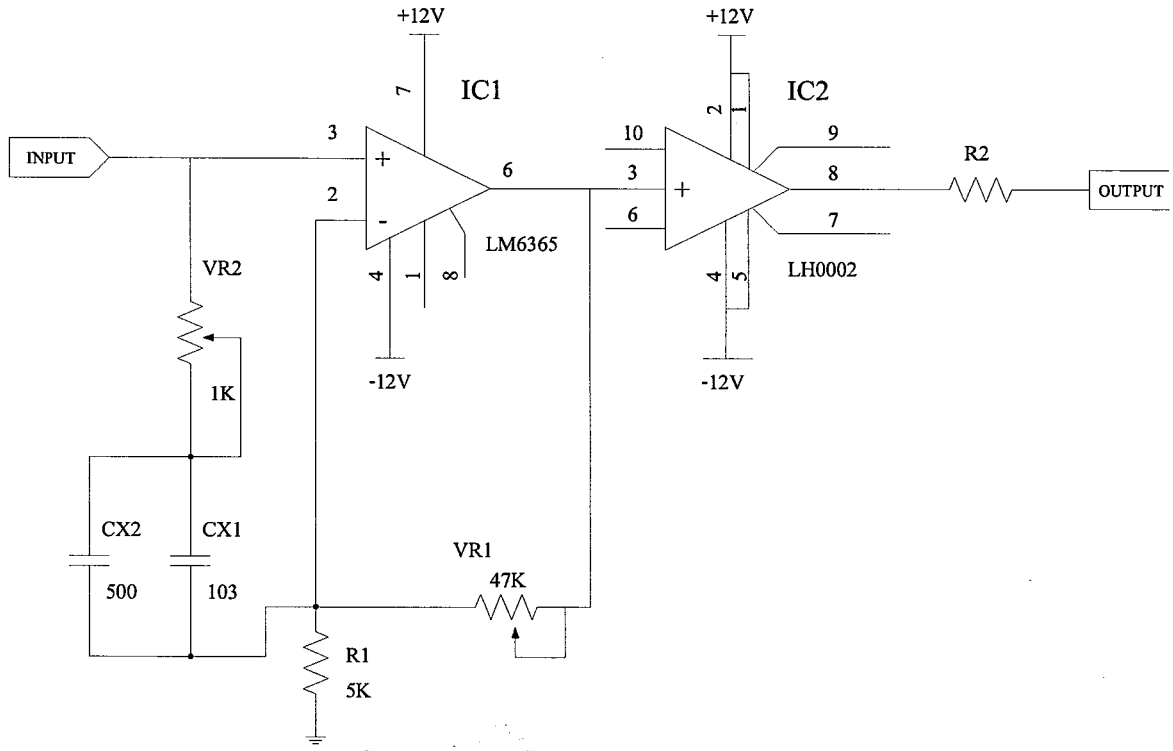



รูปที่ 4.7 สัญญาณพัลส์ 3.5 µsec ที่ผ่านวงจรเลือกสัญญาณ

เนื่องจาก IC ตัวนี้จะให้เอาต์พุตที่มีลักษณะกลับเฟส 180 องศาจึงจำเป็นต้องใส่ NOT-Gate เพื่อให้เอาต์พุตมีลักษณะกลับมาดังเดิม ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่า เอาต์พุตที่ได้ของวงจรเลือกสัญญาณจะมีลักษณะใกล้เคียงกับอินพุตที่มาจากส่วนของวงจรกำเนิดพัลส์แต่ว่ารูปร่างของสัญญาณจะยังไม่ดีนัก ซึ่งถ้าเราส่งเข้าไปในสายจะทำให้เกิดการผิดพลาดขึ้น โดยเราสามารถปรับแต่งให้มีลักษณะที่สวยงามพร้อมที่จะส่งเข้าไปในสายได้จากในส่วนต่อไป

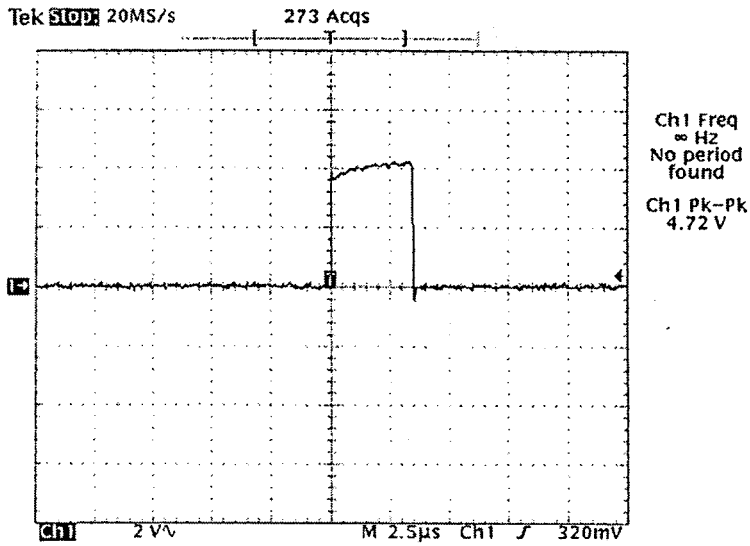
**4.1.3 วงจรขับสัญญาณ**

ในส่วนของวงจรนี้จะทำหน้าที่ขยายพัลส์ให้มีความแรงเพิ่มขึ้นจากเดิมเพื่อทำการส่งเข้าไปในสายเพื่อให้ได้ระยะทางที่ไกลขึ้น และเป็นส่วนที่สำคัญมากของโครงงานนี้ เพราะถ้าสัญญาณที่ออกไปจากส่วนของวงจรนี้ไม่ดี หรือมีลักษณะไม่ได้ตามที่ต้องการ จะทำให้ไม่สามารถตรวจจับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาได้ หรืออาจจะตรวจจับได้ค่าที่ผิดพลาดซึ่งเราไม่ต้องการ โดยในส่วนนี้เราจะต้องปรับแต่งให้ละเอียดที่สุด ซึ่งในส่วนนี้เราจะใช้ IC เบอร์ LM6365 และ LH0002 ซึ่งจะทำการต่อวงจรดังรูปที่ 4.8




รูปที่ 4.8 วงจรขับสัญญาณ

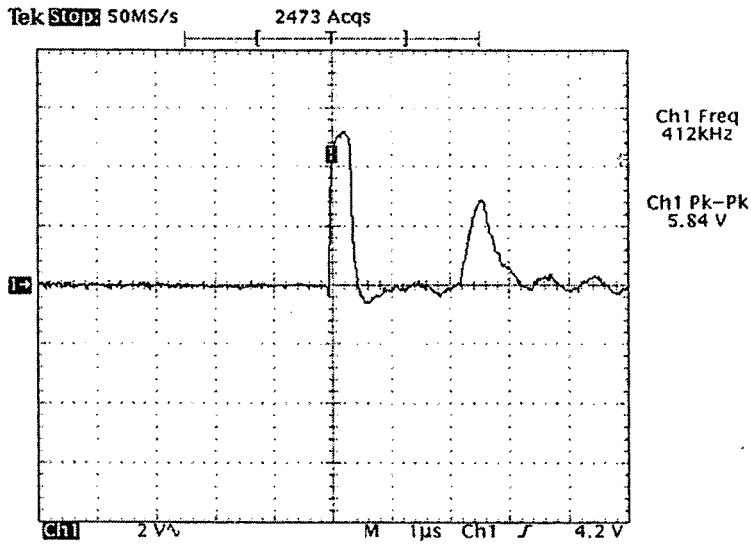
สัญญาณพัลส์เมื่อผ่านวงจรขับสัญญาณแล้วจะได้สัญญาณ ดังรูปที่ 4.9



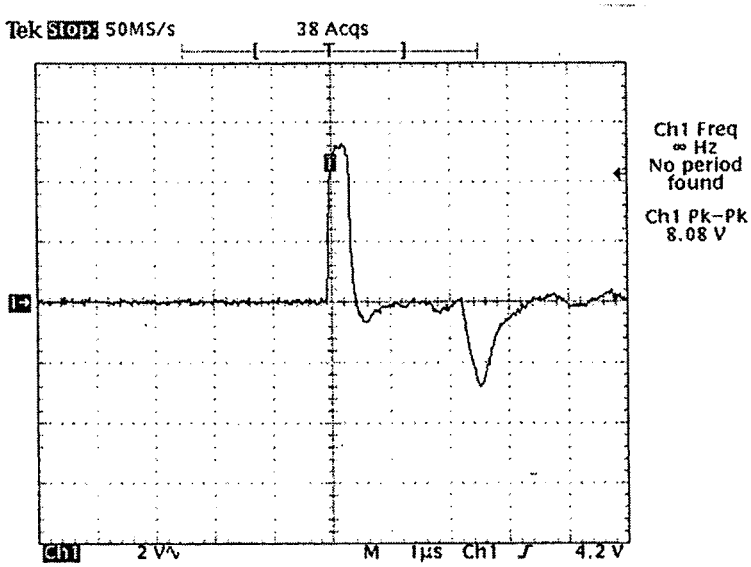

รูปที่ 4.9 สัญญาณพัลส์ขนาด 3.5 µsec เมื่อผ่านวงจรขับสัญญาณ

จากรูปจะเห็นได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตจะมีแรงดันเพิ่มขึ้นและมีลักษณะของพัลส์ดีขึ้นกว่าเดิม เนื่องมาจากการปรับต่างวงจรให้เอาต์พุตออกมามีลักษณะดีที่สุดดังรูป

เมื่อทำการต่อกับสายทดสอบจะได้ผลการทดลองดังรูป




รูปที่ 4.10 สัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเมื่อปลายสายทดสอบเปิด



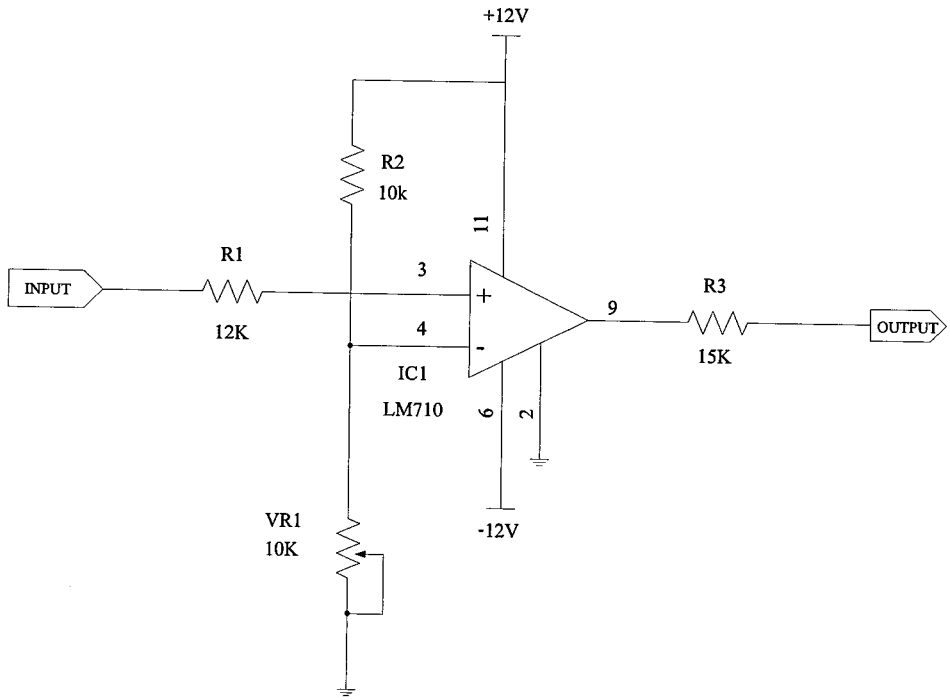

รูปที่ 4.11สัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเมื่อปลายสายทดสอบลัดวงจร

**4.1.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ**

การทำงานของวงจรในส่วนนี้จะใช้ OP-AMP เบอร์ LM710 ซึ่งจะทำหน้าที่ในลักษณะของวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) สัญญาณซึ่งจะแบ่งออกเป็น

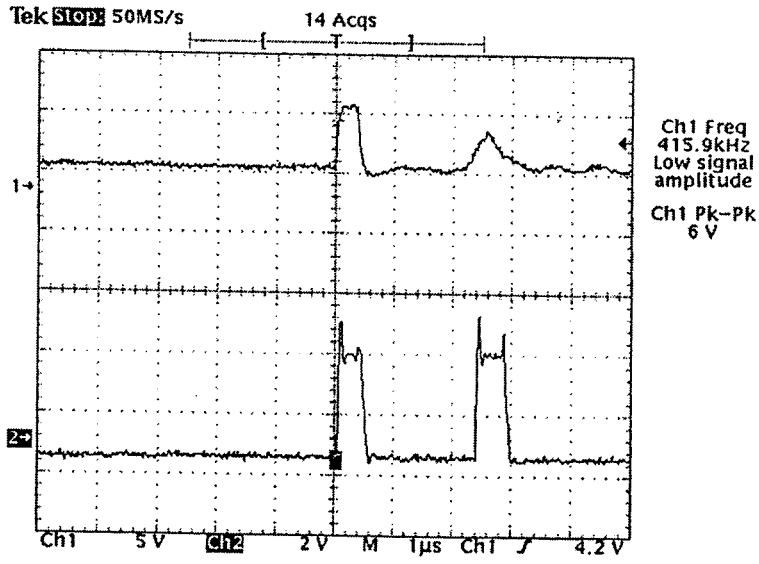
#### 4.1.4.1 วงจรตรวจจับพัลส์บวก (Positive Detector)

วงจรจะทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับแรงดันที่ตั้งไว้ ถ้ามีค่ามากกว่า วงจรนี้จะให้เอาต์พุตทีมีค่า 5 V โดยในการออกแบบเราได้ออกแบบให้มีการปรับแต่งได้ง่ายดังรูป




รูปที่ 4.12 วงจรตรวจจับพัลส์บวก

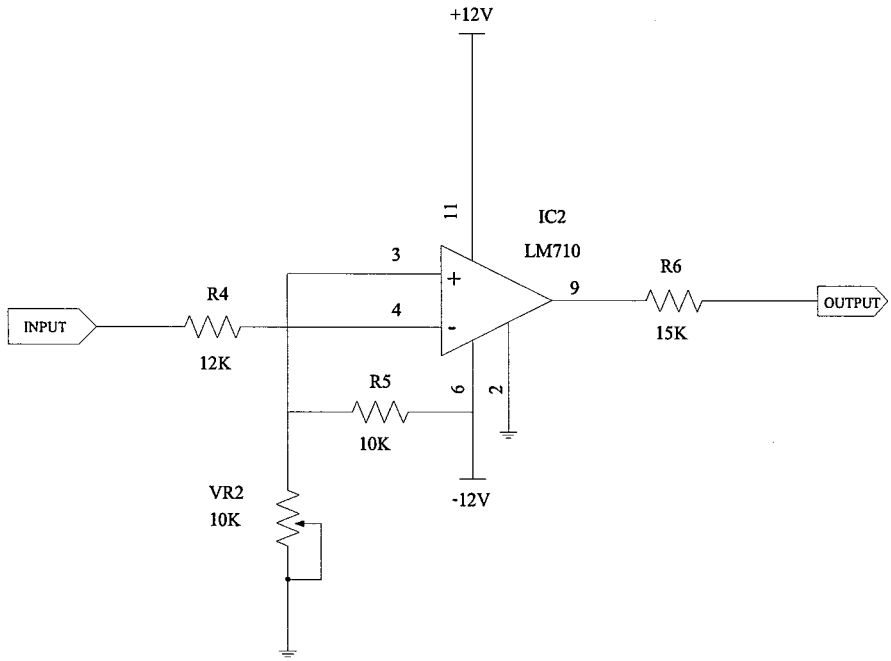
เมื่อเราทำการปรับแต่งและทำการทดลองโดยการส่งสัญญาณเข้าไปในสายและทำการเปิดปลายสายได้ผลการทดลองดังรูป




รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์บวก เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต

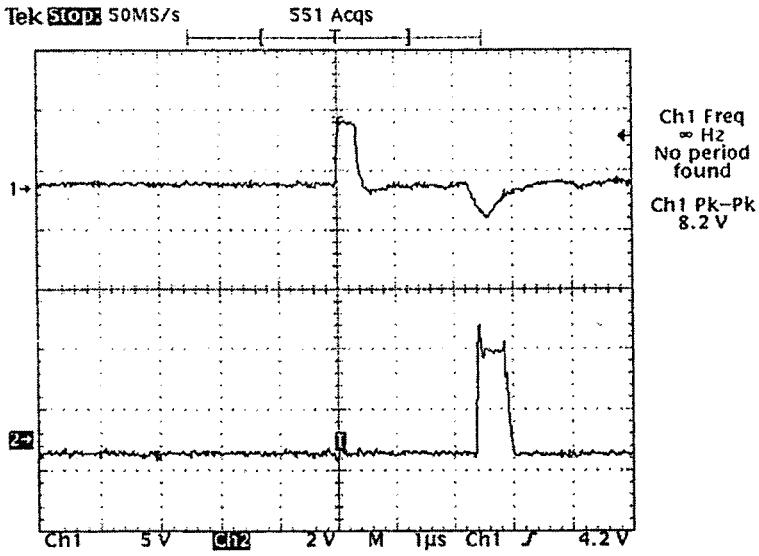
### 4.1.4.2 วงจรตรวจจับพัลส์บวก (Negative Pulse Detector)

วงจรจะทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับแรงดันที่ตั้งไว้ ถ้ามีค่าน้อยกว่า วงจรนี้จะให้เอาต์พุตที่มีค่า 5 V โดยเราได้ใช้วงจรลักษณะเดียวกับวงจรตรวจจับพัลส์บวก เพียงแต่เปลี่ยนขาของอินพุตและขาของแรงดันเปรียบเทียบเท่านั้น ซึ่งจะได้วงจรดังรูป




รูปที่ 4.14 วงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ลบ

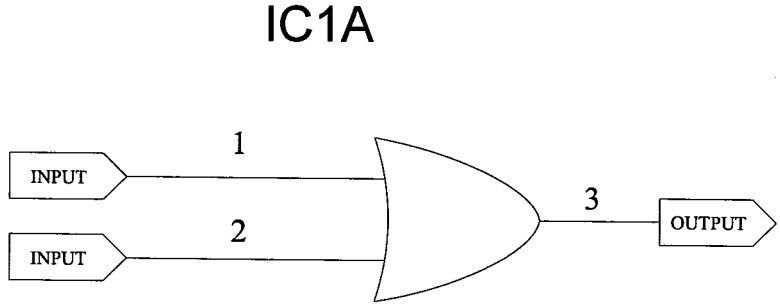
เมื่อเราทำการรับแต่งและทำการทดลองโดยส่งสัญญาณเข้าไปในสายและทำการลัดวงจรปลายสายจะได้ผลการทดลองดังรูป




รูปที่ 4.15 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์บวก เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต

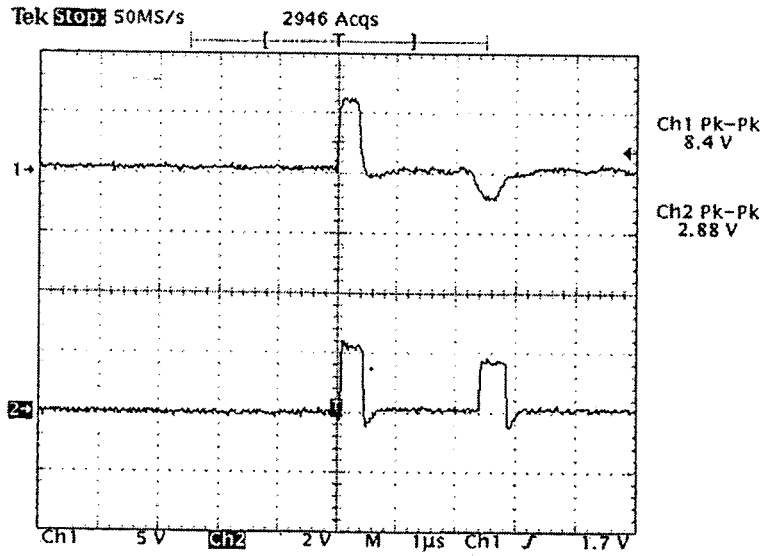
**4.1.5 วงจรรวมสัญญาณ**

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่การรวมสัญญาณและแปลงสัญญาณพัลส์โดยที่วงจรรวมสัญญาณจะใช้ IC #74HC32 ซึ่งมีโครงสร้างภายในเป็น OR-Gate เป็นตัวทำงานซึ่งจะมีวงจรดังรูป




รูปที่ 4.16 วงจรรวมสัญญาณ

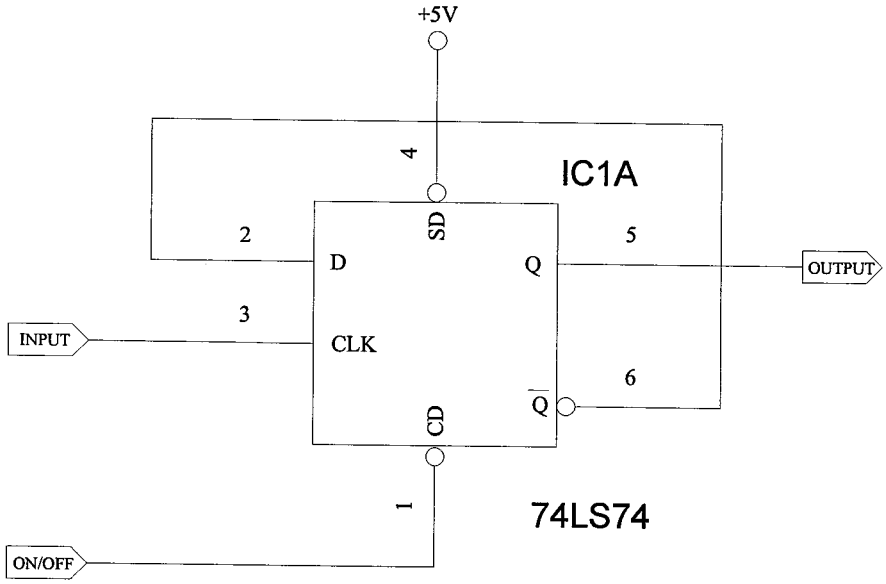
เมื่อจ่ายสัญญาณเข้าไปในวงจร โดยให้รวมสัญญาณจากวงจรจรวจจับพัลส์บวกและวงจรตรวจจับพัลส์ลบเข้าด้วยกันจะได้ผลการทดลองดังรูป



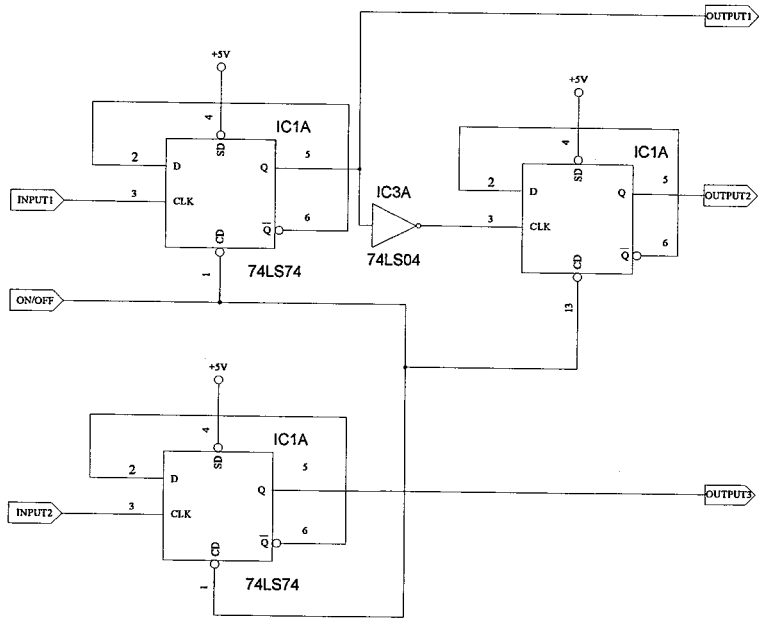

รูปที่ 4.17 สัญญาณที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณ

**4.1.6 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ**

วงจรนี้จะเป็นวงจรตรวจจับเวลาที่คลื่นใช้เดินทางไปและกลับในวงจรนี้จะทำการแปลง D-Flip Flop เบอร์ #74HC74 ให้ทำหน้าที่เป็น T-Flip Flop โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ชุด โดย T-Flip Flop 1 จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณพัลส์หลังจากวงจรตรวจจับสัญญาณ ให้กลายเป็นสัญญาณพัลส์ลูกเดียวเพื่อที่จะส่งไปวงจรคูณสัญญาณต่อไป ส่วน T-Flip Flop 2 จะทำหน้าที่ในกรณีเมื่อสายนั้นเสีย ส่วน T-Flip Flop 3 จะทำหน้าที่เป็นการเสียในกรณี ลัดวงจรปลายสายเท่านั้น



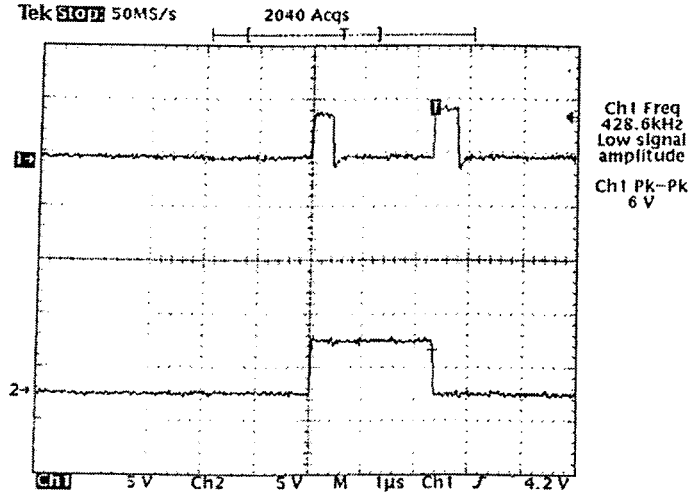

รูปที่ 4.18 วงจรของ D-Flip Flop ที่ทำการแปลงเป็น T-Flip Flop




รูปที่ 4.19 วงจรทั้งหมดของวงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ

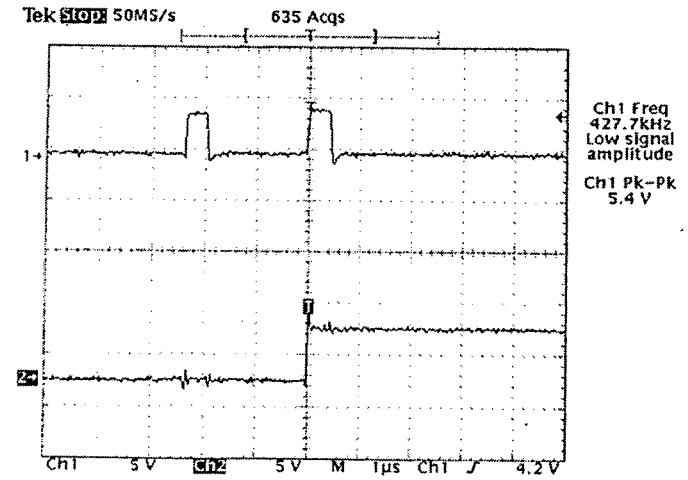
T-Flip Flop 1 จะรับสัญญาณเอาต์พุตจากภาครวมสัญญาณโดยตรง เพื่อทำการแปลงสัญญาณพัลส์ ดังนั้นไม่ว่าจะทำการลัดวงจรหรือเปิดปลายสายทดสอบจะมีสัญญาณพัลส์สองลูกวิ่งผ่านมายัง T-Flip Flop 1 เสมอ กล่าวคือ พัลส์ลูกแรกจะเป็นพัลส์ขาส่ง และพัลส์ลูกที่สองจะเป็นพัลส์ที่สะท้อนกลับมาจากสายส่งซึ่งอาจจะเกิดกรณี Short หรือ Open ก็ได้ แต่มันได้ถูกแปลงเป็น

พัลส์บวกเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจะมีพัลส์สองลูกวิ่งเข้ามาอินพุตของ T-Flip flop และได้เอาต์พุตเป็นพัลส์หนึ่งลูกที่มีความกว้างเท่ากับระยะห่างของพัลส์อินพุตทั้งสองลูก




รูปที่ 4.20 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip flop 1 หรือวงจรตรวจจับสัญญาณ

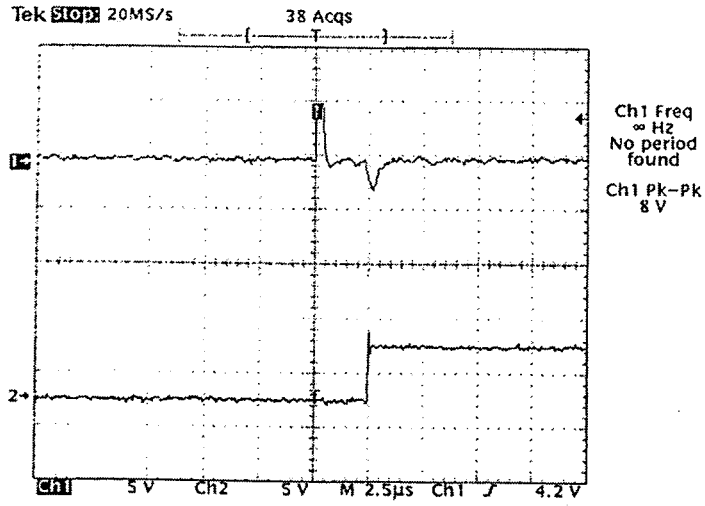
T-Flip Flop 2 จะรับเอาต์พุตจาก T-Flip Flop 1 มาอีกที่หนึ่ง ซึ่งจะทำหน้าที่ตรวจว่าสายชำรุดหรือดีโดยถ้ามีพัลส์จากวงจรรวมสัญญาณเพียงลูกเดียว T-Flip Flop 1 จะเป็นลอจิก “1” ไปตลอดจนกระทั่ง off T-Flip Flop แต่ถ้ามีสัญญาณจากวงจรรวมสัญญาณ 2 ลูก จะทำหน้าที่ให้ได้สัญญาณที่ T-Flip Flop 1มีขอบขาลง โดย T-Flip Flop 2 นี้จะต้องนำสัญญาณเอาต์พุตของ T-Flip Flop 1 มากลับรูปร่างสัญญาณเสียก่อนเพราะว่าเมื่อมีขอบขาลงของวงจร T-Flip Flop 1 จะทำให้เอาต์พุตที่วงจร T-Flip Flop 2 เปลี่ยนสถานะจาก “0” เป็น “1” ทำให้เราตรวจสอบได้ว่า สายดีหรือเสียนั่นเอง




รูปที่ 4.21 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip Flop 2 หรือวงจรตรวจสอบสายดีหรือเสีย

จะเห็นได้ว่าเมื่อมีพัลส์ลูกที่ 2 ของวงจรรวมสัญญาณมา เอาต์พุตที่ T-Flip Flop 2 จะเป็น "1" ทันที ซึ่งแสดงได้ว่าสายเสียนั่นเอง โดยเราจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์มาทำการตรวจสอบเพื่อที่จะประมวลผลต่อไป

ส่วน T-Flip Flop 3 จะรับอินพุตมาจากส่วนตรวจจับพัลส์ลบโดยตรงเพราะฉะนั้น T-Flip Flop 2 จะทำงานเมื่อมีการ ลัดวงจรปลายสายทดสอบเท่านั้น

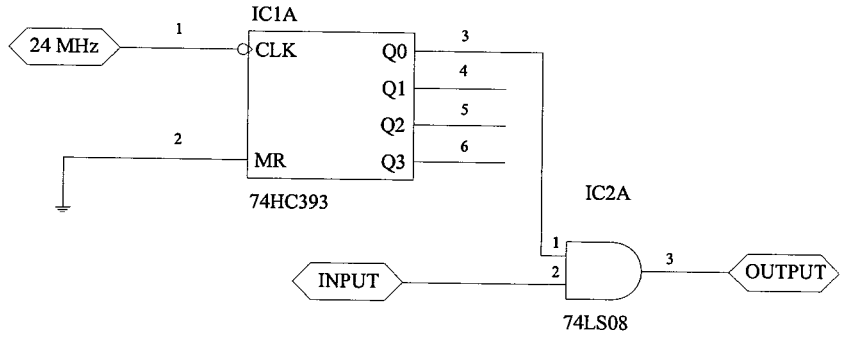



รูปที่ 4.22 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip Flop 3 หรือวงจรตรวจสอบเปิดหรือลัดวงจร

จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อมีสัญญาณพัลส์ลบเข้ามา T-Flip Flop 3 จะทำงานและให้เอาต์พุตเป็นลอจิก "1" ซึ่งเราจะต้องไปทำการตรวจสอบอีกทีหนึ่ง โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวประมวลผล

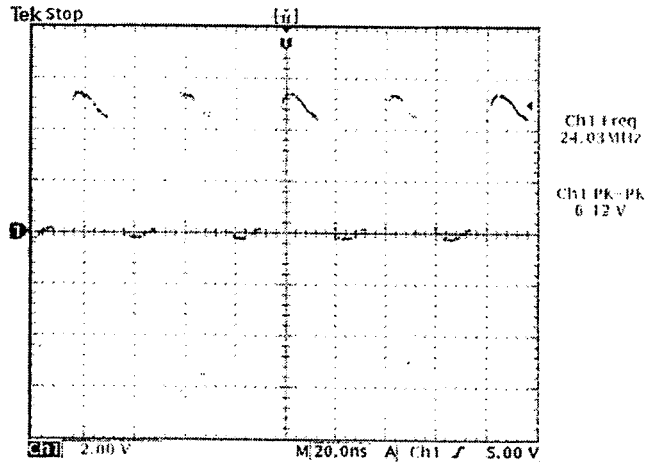
**4.1.7 วงจรคูณสัญญาณ**

เนื่องจากการทำงานของวงจรนี้จะมีลักษณะเป็นการรับอินพุตเป็นพัลส์ที่มีความกว้างค่าหนึ่ง (ความกว้างเท่ากับระยะห่างของพัลส์ขาส่งและพัลส์สะท้อนกลับ) มาคูณกับพัลส์ที่มีความถี่สูงกวา และได้เอาต์พุตเป็นลักษณะพัลส์อินพุตที่ถูกแบ่งเป็นลูกเล็กๆ เพื่อทำการป้อนให้กับวงจรนับต่อไป ในส่วนนี้เราจะใช้ IC #74LS08 ซึ่งเป็น AND-Gate มาเป็นตัวคูณสัญญาณจากวงจรผลิตสัญญาณความถี่ 12 MHz ซึ่งเราได้ใช้ออสซิลเลเตอร์ 24 MHz มาเข้าสู่วงจรหาความถี่ ซึ่งก็คือ IC 74HC393 ซึ่งเป็น IC นับ โดยเราป้อนอินพุตและใช้เอาต์พุตที่บิต 1 จะได้ความถี่ 12 MHz ตามที่เราต้องการ วงจรเป็นดังรูป



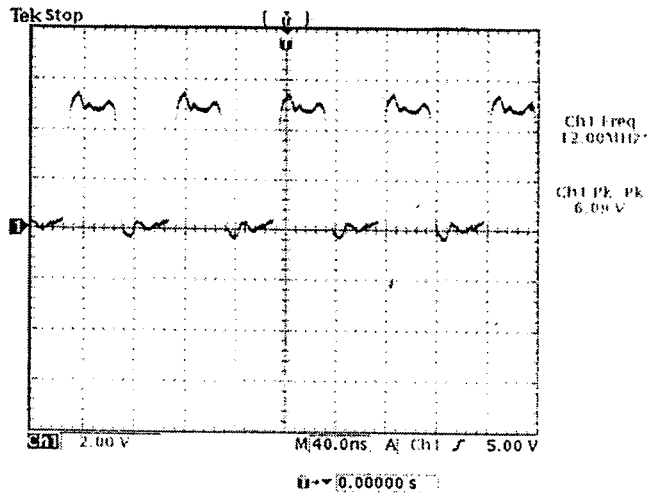

รูปที่ 4.23 วงจรคูณสัญญาณและวงจรผลิตสัญญาณความถี่ 12 MHz

ในส่วนของ Oscillator ที่ผลิตสัญญาณ 24 MHz นั้นสามารถผลิตสัญญาณออกมาได้ดังรูป




รูปที่ 4.24 สัญญาณจากออสซิลเลเตอร์ ความถี่ 24 MHZ

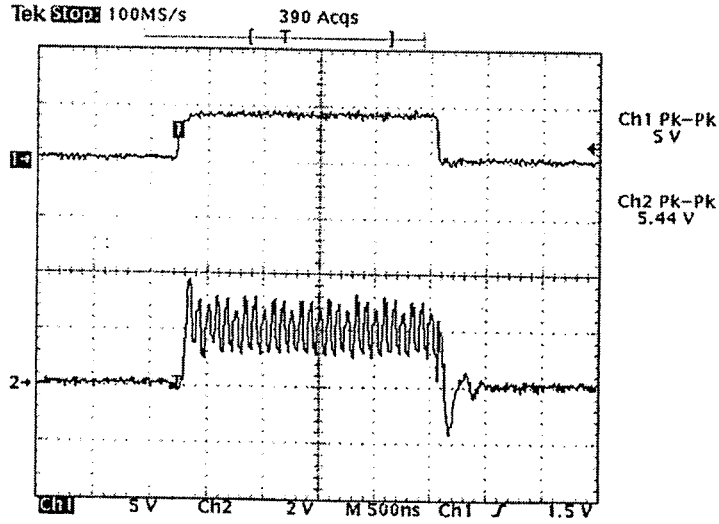
และเมื่อสัญญาณ 24 MHz ผ่านวงจรหารความถี่จะได้สัญญาณ 12 MHz ดังรูป




รูปที่ 4.25 สัญญาณ 12 MHz หลังจากวงจรหารความถี่

จะเห็นได้ส่าสัญญาณที่ผ่านวงจรหารความถี่นั้นจะมีประสิทธิภาพดีเหมาะแก่การใช้นำไปคูณกับสัญญาณอินพุตเพราะมีรูปร่างที่ค่อนข้างชัดเจน

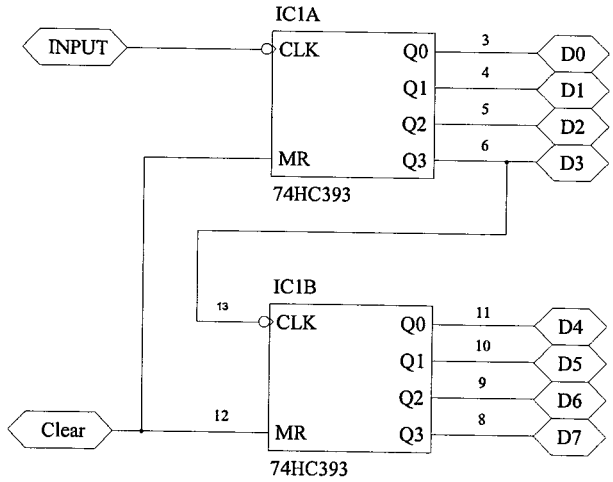
เราได้ทดสอบวงจรคูณสัญญาณ โดยการป้อนอินพุตเป็นสัญญาณที่มีความกว้าง 2.4 μsec คูณกับ ความถี่ 12 MHz ได้ผลออกมาดังรูป




รูปที่ 4.26 ผลการทดสอบวงจรคูณสัญญาณ

### 4.1.8 วงจรนับ

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่นับพัลส์ลูกเล็กๆ ที่เกิดจากวงจรคูณ และจะนำค่าไปประมวลผล และเนื่องจากการนับจะต้องนับเฉาะในช่วงที่มีพัลส์อินพุต “1” เกิดขึ้นและจะนับในช่วงขอบขาขึ้นของพัลส์และขอบขาลงของพัลส์เท่านั้น และเราใช้สัญญาณเคลียร์จากวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา 2 KHz เป็นตัวควบคุมการเคลียร์ในส่วนนี้เราจะใช้ IC #74HC393 เป็นตัวนับสัญญาณซึ่งจะได้วงจรดังรูป

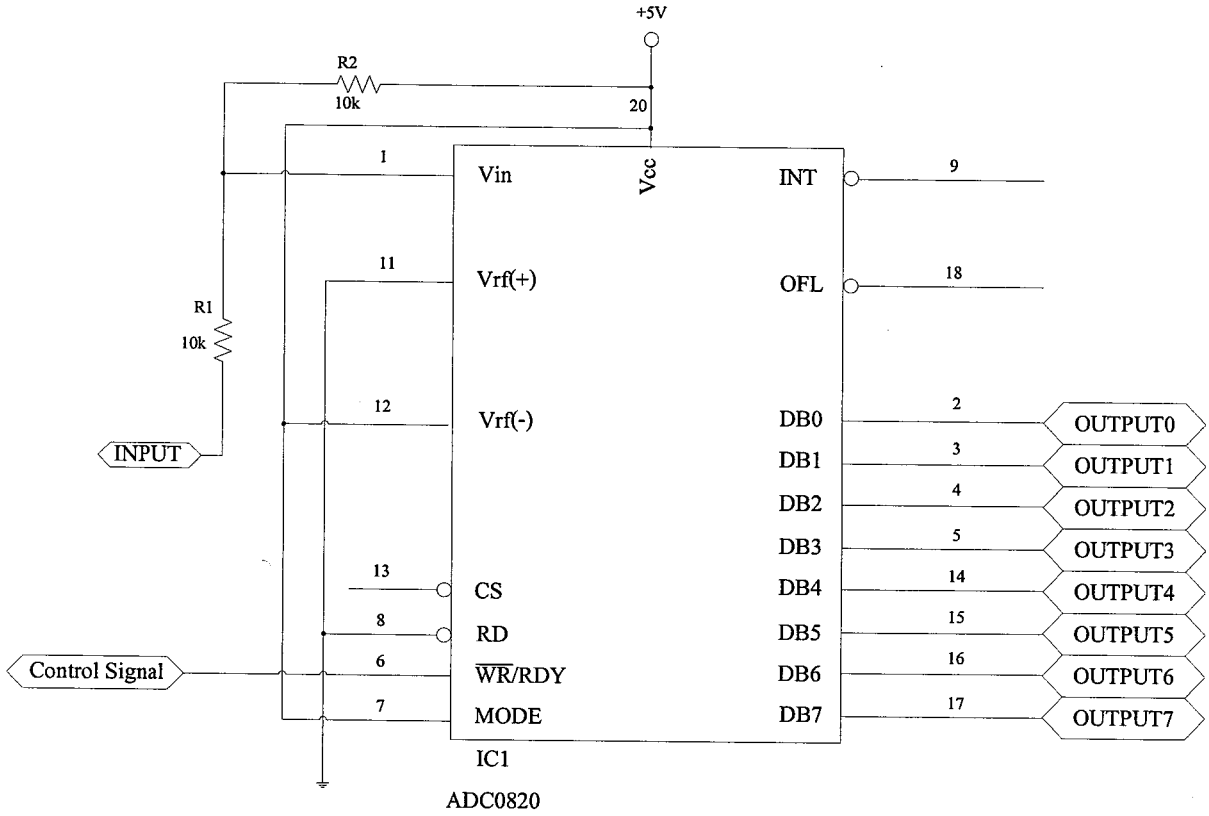


รูปที่ 4.27 วงจรนับสัญญาณ

ในส่วนนี้ค่าที่วงจรนับ นับได้จะถูกส่งต่อไปยังส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลต่อไป เพราะฉะนั้น เอาต์พุตของวงจรนี้จึงมีความสำคัญมาก และจะต้องกำหนดเวลาในการเริ่มรับข้อมูลและเวลาในการเคลียร์ข้อมูลให้สัมพันธ์กัน ไม่เช่นนั้นจะเกิดความผิดพลาดมาก

**4.1.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล**

ในส่วนของวงจรนี้เราได้ใช้ IC เบอร์ ADC 0820 ซึ่งให้เอาต์พุตขนาด 8 บิตและสามารถควบคุมจังหวะการอ่านค่าได้จากส่วนของ วงจรตรวจจับเวลาได้เลยซึ่งจะได้ขอบขาขึ้นในการอ่านค่าซึ่งเอาต์พุตของวงจรนี้ส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะประมวลผลคำนวณหาค่า VSWR และ Reflection Coefficient และแสดงผลไปยัง จอแสดงผลต่อไป ซึ่งมีวงจรดังรูป




รูปที่ 4.28 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

**4.1.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์**

ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ในโครงงานนี้มีหน้าที่หลักๆ อยู่ 6 ประการคือ

1. ตรวจจับสัญญาณจากสวิตช์เพื่อเริ่มการทำงาน

2.ตรวจรับสัญญาณความพร้อมในการเริ่มรับค่าเพื่อนำมาประมวลผลหรือเปลี่ยน Range

3.ตรวจสอบว่าสายที่นำมาต่อชำรุดหรือไม่

4.ตรวจสอบชนิดของความเสียหายที่เกิดขึ้นว่าเป็นแบบ ลัดวงจรหรือขาด

5.คำนวณหาระยะทางจากจุดที่ทำการวัดไปถึงจุดที่ชำรุดว่ามีระยะเท่าไรจากวงจรนับ

6.คำนวณหาค่าแรงดันที่สะท้อนกลับมาเพื่อนำมาคำนวณหาค่า VSWR และ Reflection Coefficient จากวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล

ซึ่งจากหน้าที่ทั้งหมดนี้เราสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ส่วนใหญ่ คือ

1.ส่วนของฮาร์ดแวร์

2.ส่วนของซอร์ฟแวร์

**4.1.10..1 ส่วนของฮาร์ดแวร์** ในส่วนของฮาร์ดแวร์เราได้ทำการต่อ อุปกรณ์กับพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ดังนี้

พอร์ต 0 ต่อเข้ากับวงจรนับ

พอร์ต 1 ต่อเข้ากับวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล

พอร์ต 2 ต่อเข้ากับ LCD

พอร์ต 3.0 ต่อเข้ากับขาสัญญาณเช็คสายชำรุดหรือไม่ชำรุด

พอร์ต 3.1 ต่อเข้ากับขาสัญญาณสายลัดวงจรหรือขาด

พอร์ต 3.2 ต่อเข้ากับขาสัญญาณแสดงความพร้อมในการับค่า

พอร์ต 3.3 ต่อเข้ากับสัญญาณเลือก Range บิตที่ 1

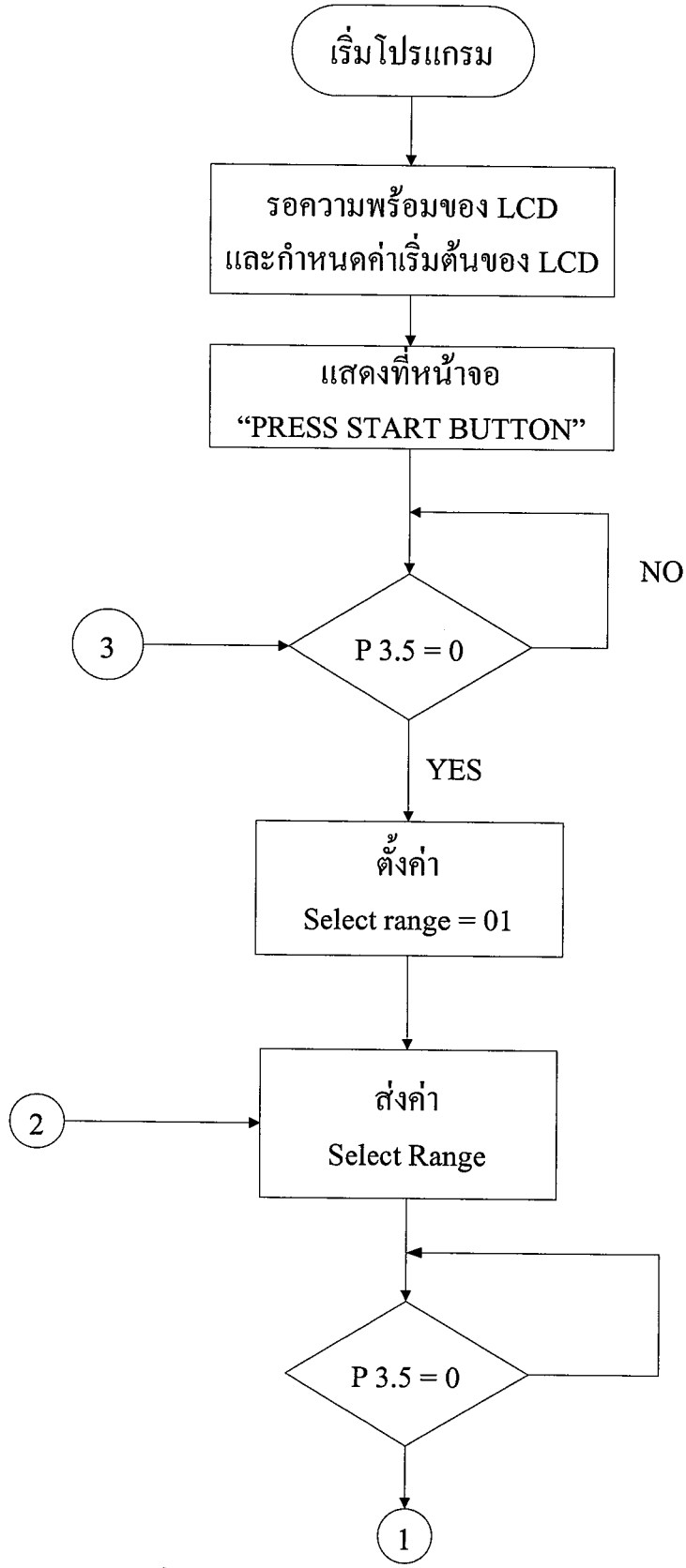
พอร์ต 3.4 ต่อเข้ากับสัญญาณเลือก Range บิตที่ 0

พอร์ต 3.5 ต่อเข้ากับ สวิตช์ Test

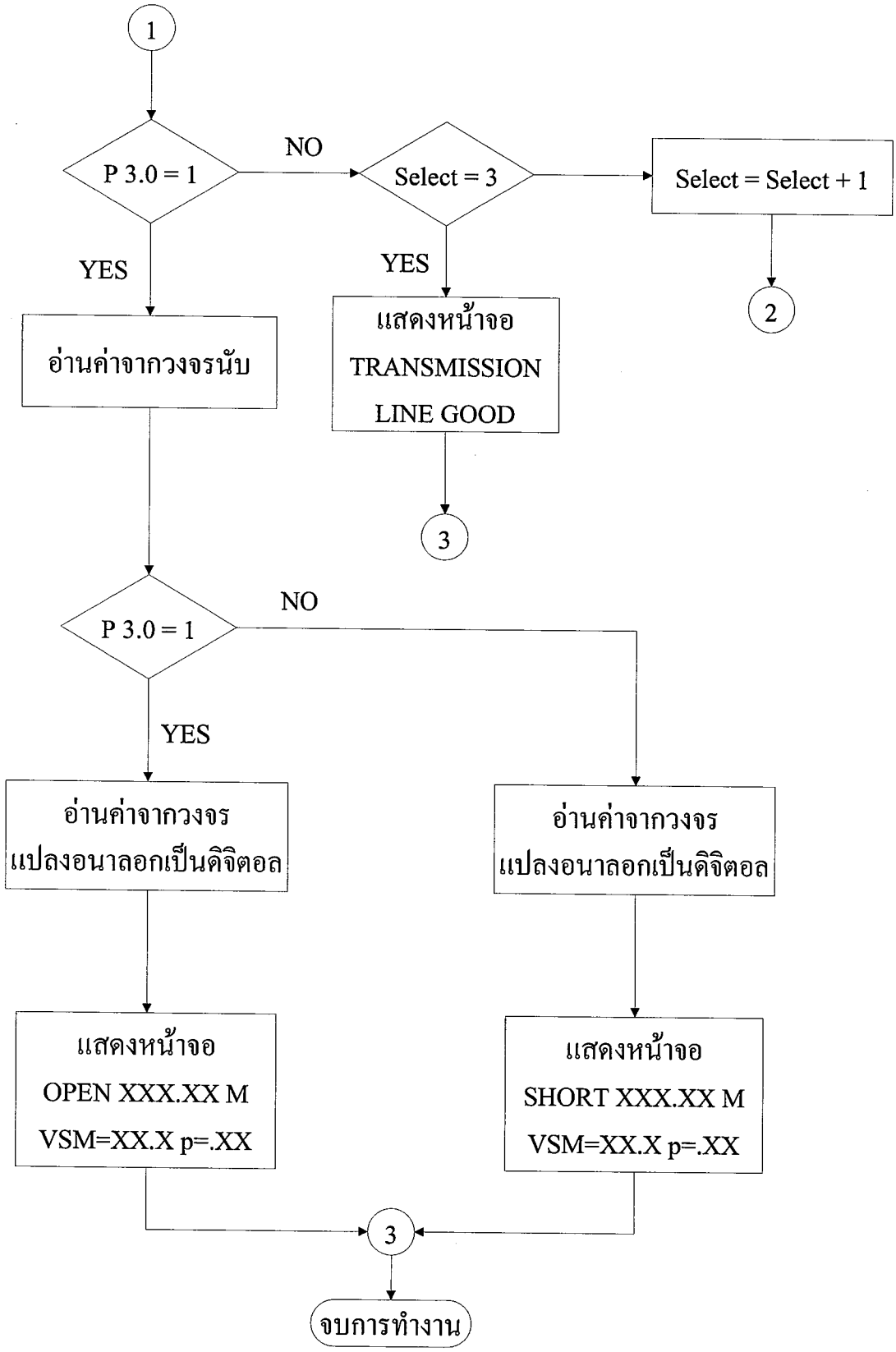
อุปกรณ์ทั้งหมดที่ต่อเข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกควบคุมโดยซอร์ฟแวร์อีกทีหนึ่ง

**4.1.10.2 ส่วนของซอร์ฟแวร์** ในส่วนนี้เราได้เขียนโปรแกรมควบคุมฮาร์ดแวร์โยใช้ภาษาแอสแซมบลีในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานและมี Flow Chart ดังรูปที่ 4.21

ในส่วนช่องโปรแกรมนี้จะเริ่มต้นด้วยการ กำหนดต่างๆ ให้ LCD แล้วทำการโชว์หน้าจอว่า "PRESS TEST BUTTON" จากนั้นจึงรอสัญญาณจากสวิตช์เพื่อทำการเริ่มรับค่าและคำนวณ เมื่อทำการกดสวิตช์ จะเป็นสัญญาณลอจิก "0" และจะทำการกำหนดค่าที่ส่งไปยังวงจร Selector เป็น "01" แล้วจึงทำการส่ง จากนั้นจะทำการรอรับสัญญาณพร้อมที่จะรับค่า ที่พอร์ต 3.2 เมื่อที่พอร์ตนี้เป็นลอจิก "0" โปรแกรมจะทำการเช็คค่าที่พอร์ต 3..0 ถ้าเป็นลอจิก "0" จะทำการเช็คค่าที่ส่งไปยัง Selector ว่าเท่ากับ 3 หรือยังแล้วแสดงว่า "TRANSMISSION LINE GOOD" แล้วกลับไปรอรับค่าจากสวิตช์เช่นเดิมเพื่อทำการวัดครั้งใหม่ต่อไป ถ้าตอนอ่านค่าที่พอร์ต 3.0 เป็นลอจิก "1" แสดงว่าสายชำรุด โปรแกรมจะทำการไปอ่านค่าที่ วงจรนับเพื่อที่จะนำมาประมวลผลต่อไป แล้วจำไปทำการเช็คค่าที่ พอร์ต 3.1 ซึ่งเป็นการเช็คสัญญาณว่าสายลัดวงจรหรือขาด หลังจากเช็คแล้วจะไปทำการรับค่าที่วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล เพื่อที่จะนำมาประมวลผล หา ค่า VSWR และ Reflection Coefficient แล้วจึงแสดงผล หลังจากแสดงผล ก็จะทำการรอรับสัญญาณจากสวิตช์ เพื่อทำการเริ่มทดสอบสายใหม่ หรือถ้าไม่ทดสอบก็จบโปรแกรม




รูปที่ 4.29 (ก) โฟวร์ชาร์ท การทำงานของโปรแกรม




รูปที่ 4.29 (ข) โฟวร์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรม (ต่อ)

**4.1.11 จอแสดงผล**

ในด้านของการแสดงผลนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะแสดงออกทางจอแสดงผลผลึกเหลว (LCD) ซึ่งทำการต่อควบคุมไว้ที่พอร์ต 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะมีลำดับการแดสงผลดังนี้

1. เมื่อเริ่มการทำงานจอแสดงผลจะประกฏข้อความดังนี้

| PRESS TEST<br>BUTTON |
|---|

รูปที่ 4.30 ข้อความที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลเมื่อเริ่มทำงาน

2. เมื่อทำการกดปุ่ม TEST หน้าจอจะเปลี่ยนเป็นข้อความดังนี้

| PLEASE WAIT |
|---|

รูปที่ 4.31 ข้อความที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลขณะรอทำการทดสอบ

3. ในช่วงนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลทุกลำดับขั้นของโปรแกรมทั้งหมดแล้วทำการแสดงผลถ้าสายที่ทดสอบไม่เสียจะแสดงผลดังนี้

| TRANSMISSION<br>LINE GOOD |
|---|

รูปที่ 4.32 ข้อความเมื่อทดสอบแล้วสายไม่ชำรุด

แต่ถ้าสายชำรุดแล้วประมวลผลออกมาแล้วจะแสดงผลดังนี้

| SHORT XXX.XX M<br>VSWR=XX.X p=.XX |
|---|

รูปที่ 4.33 ข้อความเมื่อสายเกิดการลดวงจร

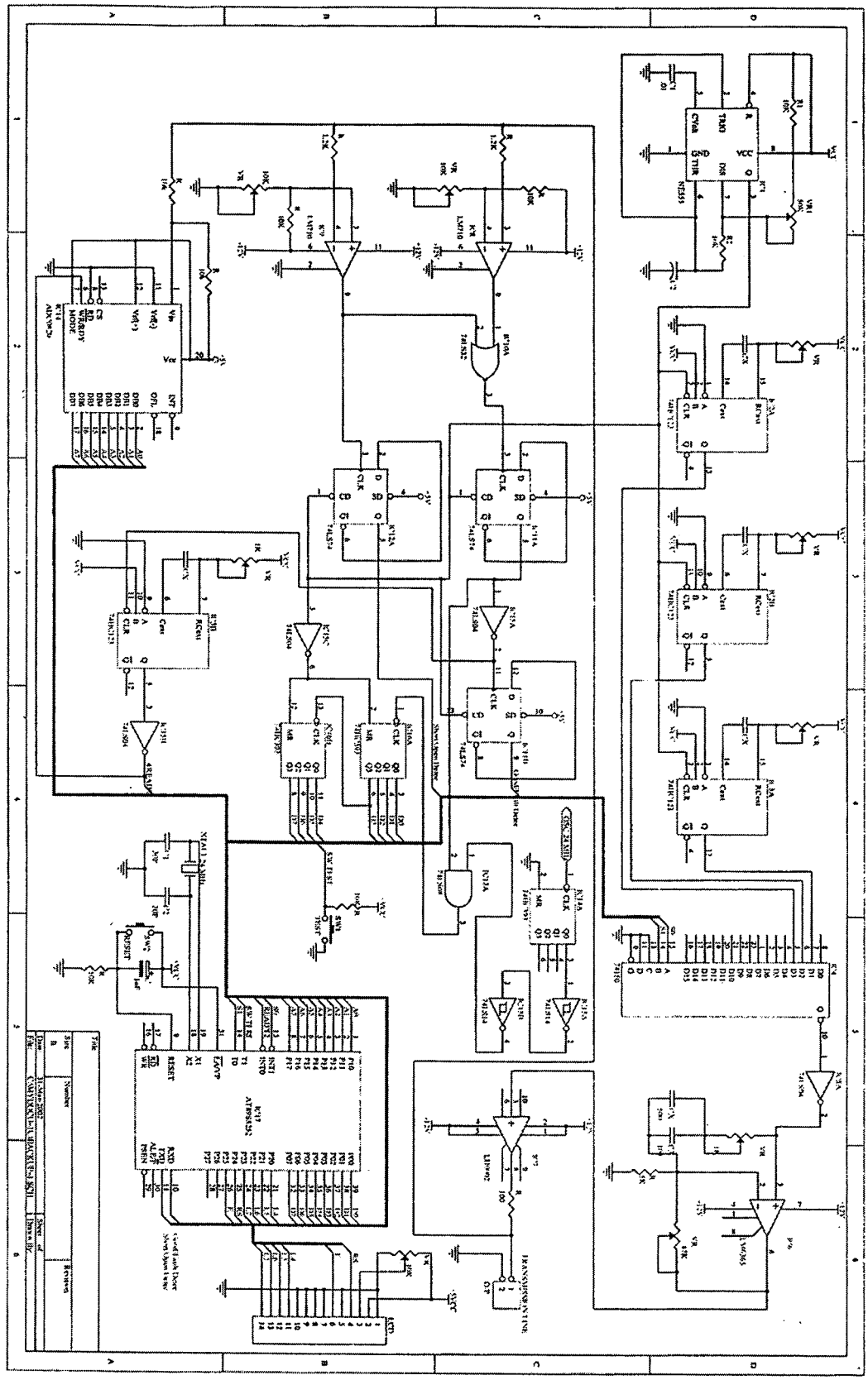
| OPEN XXX.XX M<br>VSWR=XX.X p=.XX |
|---|

รูปที่ 4.34 ข้อความเมื่อสายเกิดการขาด

### 4.2 ผลการทดลองและค่าความผิดพลาด

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองจากเครื่องวัด

| ระยะความยาวสาย (m) | ระยะความยาวสายและค่า VSWR และ Reflection Coefficient ที่วัดได้ จากเครื่องวัด | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | OPEN | | | | SHORT | | | |
| | ค่าที่วัดได้ | ค่าความผิดพลาด (%) | | | ค่าที่วัดได้ | ค่าความผิดพลาด (%) | | |
| 20 | 20.82 | 4.1 | | | 20.82 | 4.1 | | |
| 50 | 48.58 | 2.8 | | | 48.58 | 2.8 | | |
| 70 | 69.4 | 0.8 | | | 69.4 | 0.8 | | |
| 100 | 104.1 | 4.1 | | | 104.1 | 4.1 | | |
| 120 | 124.92 | 4.1 | | | 124.92 | 4.1 | | |
| 150 | 152.68 | 1.7 | | | 152.68 | 1.7 | | |
| 200 | 194.32 | 2.8 | | | 194.32 | 2.8 | | |
| 250 | 242.9 | 2.8 | | | 242.9 | 2.8 | | |
| 300 | 305.36 | 1.7 | | | 305.36 | 1.7 | | |
| 350 | 347 | 0.8 | | | 347 | 0.8 | | |
| 400 | 388.64 | 2.8 | | | 388.64 | 2.8 | | |
| 450 | 430.28 | 4.5 | | | 430.28 | 4.5 | | |
| 500 | 492.74 | 1.4 | | | 492.74 | 1.4 | | |
| 550 | 541.32 | 1.5 | | | 548.26 | 0.3 | | |
| 600 | 589.9 | 1.6 | | | 589.9 | 1.6 | | |
| 650 | 645.42 | 0.7 | | | 645.42 | 0.7 | | |
| 700 | 707.88 | 1.1 | | | 707.88 | 1.1 | | |
| 750 | 742.58 | 0.9 | | | 770.34 | 2.7 | | |
| 800 | 791.16 | 1.1 | | | 818.92 | 2.3 | | |
| 900 | 909.14 | 1 | | | 929.96 | 3.3 | | |
| 1000 | 1013.2 | 1.3 | | | 1041 | 4.1 | | |



รูปที่ 4.35 วงจรรวมทั้งหมดของโครงงาน

# บทที่ 5
# วิจารณ์และสรุป

ในการวิเคราะห์นี้จะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในแต่ละภาค โดยจะแสดงปัญหาและแนวทางการแก้ไขของวงจรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยในการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น

1. วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์
2. วงจรเลือกสัญญาณ
3. วงจรขับสัญญาณ
4. วงจรตรวจจับสัญญาณ
5. วงจรรวมสัญญาณ
6. วงจรตรวจจับเวลาและตรวจสอบสถานะ
7. วงจรคูณสัญญาณ
8. วงจรนับ
9. วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล
10. ไมโครคอนโทรลเลอร์

**5.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์**

ในส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นี้เป็นส่วนหลักของเครื่องมือนี้ โดยในการสร้างเราใช้ IC #74HC123 มาเป็นตัวกำเนิดพัลส์ ซึ่งเราแบ่งย่านการวัดออกเป็น 3 ย่าน โดยยึดเอาค่าตามความเหมาะสมเป็นหลัก และเราก็ได้ทำการสร้างวงจรเพื่อผลิตสัญญาณพัลส์ให้ได้ออกมาตามที่เราต้องการส่วนพัลส์ที่ออกมานั้นถึงแม้ว่าขอบขาลงจะเกิดการสวิง แต่ก็ไม่ค่อยมีผลต่อความผิดพลาดเท่าใดหนักเพราะเราสามารถไปปรับแต่งที่วงจรอื่นได้ ซึ่งโดยรวมแล้วในของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นี้ไม่มีปัญหาอะไรเป็นไปตามที่ต้องการ

**5.2 วงจรเลือกสัญญาณ**

ในส่วนของวงจร Selector นี้เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นตัวเลือกระดับความกว้างของพัลส์โดยทำการควบคุมจากไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเราจะได้ใช้ IC#74150 มาใช้ซึ่งเป็น IC Selector แบบ 4 บิท แต่ในที่นี้เราใช้แค่เลือกอินพุต 3ตัวเท่านั้น ซึ่งในส่วนของวงจรนี้ก็ไม่มีปัญหาอะไรและตัว IC#74150 นี้สามารถเลือกได้ถึง 16 ค่า เพราะฉะนั้นเราจึงสามารถเพิ่มหรือลดย่านการวัดได้ตามที่เราต้องการ

**5.3 วงจรขับสัญญาณ**

ในส่วนนี้มีความยุ่งยากมากในเรื่องของการเลือก Line Driver ซึ่ง Line Driver บางตัวให้ค่าเอาต์พุทมีค่าต่ำทำให้ส่งสัญญาณพัลส์ไปได้ไกลเท่าไหร่นัก และไม่สามารถตรวจจับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาได้ โดยส่วนนี้เราได้เลือกใช้ Line Driver เบอร์ LM6365 และ LH0002 ซึ่งจะให้ค่าเอาต์พุตที่สูงมากและสัญญาณไม่มีการผิดเพี้ยนเมื่อเทียบกับ Line Driver ตัวอื่นที่ทดสอบมา โดยเราสามารถปรับแต่งรูปสัญญาณพัลส์จากวงจรได้ตามที่เราต้องการ ซึ่งยังเป็นปัญหาอยู่จะต้องแก้ไขและปรับปรุงต่อไปซึ่งในส่วนของวงจรขับสัญญาณนี้มีความสำคัญค่อนข้างมากต่อโครงงานนี้ เพราะถ้าสัญญาณที่ออกมาจากส่วนของวงจรนี้ไม่ดีพอ จะทำให้วงจรตรวจจับตรวจจับสัญญาณได้ยากและทำให้เกิดการผิดเพี้ยนขึ้นได้ จึงต้องให้ความสำคัญกับส่วนของวงจรนี้ค่อนข้างมาก

**5.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ**

ส่วนนี้จะมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อความถูกต้องของสัญญาณที่ทำการวัด ซึ่งเป็นส่วนของการตรวจจับสัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมา จึงมีความผิดพลาดไม่ได้ซึ่งเราใช้ IC #LM710 ซึ่งเป็น IC Comparator มาใช้ในการตรวจจับสัญญาณ โยเราต้องทำการปรับค่าแรงดันเปรียบเทียบไว้ เมื่อสัญญาณที่ส่งเข้ามาหรือสะท้อนกลับมามีค่ามากหรือน้อยกว่าค่าที่เราตั้งไว้ ก็จะให้เอาต์พุตมีค่า 5 V ออกมาซึ่งจะต้องส่งไปสัญญาณติอไปในส่วนของวงจรนี้ก็มีผลต่อการทดลองค่อนข้างมาก เพราะสัญญารที่สะท้อนกลับมาไม่ได้เป็นพัลส์สี่เหลี่ยม แต่เป็นพัลส์ที่มีลักษณะคล้ายๆ กับสัญญาณซายน์ ซึ่งในส่วนของการตรวจจับนี้ถ้าเราตั้งการตรวจจับสัญญาณไว้สูงเกินไปก็จะทำให้ ตรวจจับได้ช้าหรือจับไม่ได้เลยทำให้เกิดการผิดเพี้ยนขึ้น แต่ถ้าเราตั้งการตรวจจับไว้ต่ำเกินไปก็จะทำให้อาจจะตรวจจับสัญญาณรบกวนได้ ซึ่งจะทำให้ผลการทดลองนั้นผิดพลาด เพราะฉะนั้นในส่วนของวงจรนี้เราจะต้องทำการทดสอบหลายๆครั้ง แล้วปรับให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

**5.5 วงจรรวมสัญญาณ**

เป็นวงจรรวมสัญญาณ ที่รับสัญญาณจากในส่วนของวงจรตรวจจับสัญญาณ ซึ่งเราได้ใช้ IC#74HC32 ซึ่งเป็น OR-Gate 2อินพุทมาเป็นตัวรวมสัญญาณ เนื่องจากในส่วนของวงจรนี้ไม่ต้องมีการปรับแต่งอะไร ก็สามารถใช้งานได้ตามต้องการ

**5.6 วงจรตรวจจับเวลา และตรวจสอบสถานะ**

เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณพัลส์ที่รับเข้ามาให้กลายเป็นพัลส์ลูกเดียวเพื่อจะนำไปทำการประมวลผล ซึ่งในที่นี้เราได้ใช้ D-Flip Flop มาทำการแปลงเป็น T-Flip Flop เพราะเนื่องมาจากตามปกติแล้ว IC ที่เป็น T-Flip Flop จะไม่มี ซึ่งวงจรพวกนี้ถ้าเราทำการต่อวงจรแบบถูกต้องแล้วและใช้งานอย่างถูกวิธี แต่ก็จะมีปัญหาตรงที่รูปร่างของสัญญาณเอาต์พุตน่าจะเป็นพัลส์

สี่เหลียม แต่ก็ไม่ได้ตามต้องการเท่าใดนัก จึงทำให้ในส่วนของวงจรคูณและวงจรนับไม่เป็นไปตามที่ต้องการเท่าใด ซึ่งในส่วนนี้มีผลต่อความผิดพลาดหลักของการประมวลผลระยะทางของสายค่อนข้างมาก ถ้าสัญญาณที่ออกจากวงจรส่วนนี้เป็นไปตามที่ต้องการ คิดว่าจะไม่มีความผิดพลาดจากการประมวลผลระยะทางหรือมีน้อย

**5.7 วงจรคูณสัญญาณ**

เป็นวงจรที่ใช้ในการคูณสัญญาณพัลส์ที่ส่งมาจาก T-Flip Flop กับ Clock ความถี่สูงเพื่อที่จะส่งไปให้กับวงจรนับทำการนับสัญญาณต่อไป ซึ่งในส่วนนี้เราได้ใช้ IC#74LS08 ซึ่งเป็น AND-Gate เป็นตัวคูณสัญญาณ โดยเราจะเห็นได้ว่าในส่วนของวงจรคูณสัญญาณนี้ไม่มีปัญหาอะไรเลย แต่จะมีปัญหาหลักตรงที่ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่จะนำมาคูณกับ สัญญาณส่วนตรวจจับเวลา ซึ่งจะได้ค่าตามที่เราต้องการนั้นยากเพราะ ในโครงการนี้ต้องการทดสอบสายให้ได้ไกลกว่า 1 กิโลเมตรIC#74HC393 ซึ่งเป็น IC นับ แต่เราได้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นวงจรหารความถี่ และได้ผลที่ดีด้วย แต่ว่าจะมีการรบกวนได้ง่ายจึงต้องระวังในส่วนนี้

ค่าของสัญญาณนาฬิกาจะมีผลต่อการทดลองเป็นอย่างมากเพราะถ้าค่าเพี้ยนไปมากก็จะทำให้การคำนวณหรือการประมวลผลนั้นผิดพลาดไปมาก จึงต้องเน้นและระวังในส่วนนี้มากเป็นพิเศษ

**5.8 วงจรนับ**

ในส่วนของวงจรนับสัญญาณซึ่งได้จากวงจรคูณสัญญาณและจึงทำการส่งไปให้ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเราได้ใช้ IC#74HC393 4บิต counter 2ตัว มาต่ออนุกรมกันทำให้ได้เอาท์พุตเป็น 8บิต ซึ่งจะนำค่าที่ได้นี้ไปประมวลผลอีกทีหนึ่งซึ่งในส่วนนี้ไม่มีปัญหาอะไร

**5.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล**

ในส่วนนี้จำเป็นจะต้องเลือกเบอร์ IC ที่จะใช้ให้เหมาะสมเพราะ วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลเป็นวงจรที่มีการประมวลผลค่อนข้างช้าจึงจำเป็นต้องเลือกให้ดี เพราะถ้าช้าเกินไป จะประมวลผลสัญญาณที่เราต้องการไม่ได้ เราจึงจำเป็นต้องเลือก ที่มีความเร็วสูงและควบคุมได้ง่าย ในส่วนนี้ก็ไม่มีปัญหาอะไร

**5.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์**

ในส่วนนี้ฮาร์ดแวร์จะไม่มีปัญหาอะไรแต่จะมีปัญหาตรง ซอร์ฟแวร์มากกว่าเพราะเราจะต้องปรับแต่งให้ทำงานให้สัมพันธ์กับส่วนของวงจรที่เราออกแบบให้มากที่สุด เพื่อที่จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งในส่วนนี้เราสามารถแก้ไขและทำการทดสอบได้หลายครั้ง เพราะตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถแก้ไขโปรแกรมได้หลายครั้งเพราะเป็นแบบแฟลช และการต่อฮาร์ดแวร์ค่อนข้างสะดวก

**5.11 สรุปผลการทดลอง**

จากการทดลองและวัดค่าเอาท์พุตของแต่ละภาครวมทั้งการเก็บข้อมูลของสัญญาณต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

จากตารางที่4.3 จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดจะไม่ค่อยคงที่ทั้งนี้เนื่องมาจากหลายส่วนคือ

ส่วนของวงจรขับสัญญาณ เพราะจะเป็นส่วนของอุปกรณ์ที่เหมาะสมได้ยากมาก เพราะแต่ละตัวจะเหมาะสมกับสายที่ไม่เหมือนกันจึงต้องทดลองกันมากเป็นพิเศษ และต้องปรับแต่งวงจรภาคตรวจจับสัญญาณให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญมาก

ส่วนของสัญญาณนาฬิกา ซึ่งมีผลต่อค่าความผิดพลาดค่อนข้างมากเพราะยิ่งมีค่ามากเท่าใดก็จะทำให้วัดได้ละเอียดมากขึ้นเท่านั้น แต่ว่าถ้าสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ค่อนข้างสูงจะหาวงจรหรืออุปกรณ์ได้ยาก และจะมีความเพี้ยนของสัญญาณค่อนข้างสูง เราจึงต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม

จากในส่วนของสัญญาณนาฬิกาเมื่อเรานำมาคูณกับสัญญาณที่เราตรวจจับเวลาได้และผ่านเข้าสู่วงจรนับนั้น ลักษณะของสัญญาณที่ทำการคูณเสร็จแล้วเกิดเพี้ยนไปเล็กน้อยทำให้สัญญาณที่เข้าสู่วงจรนับเกิดการเพี้ยนไป ซึ่งจากลักษณะของสัญญาณนาฬิกานั้น ถ้าสัญญาณนาฬิกาความถี่สูงเมื่อวงจรนับทำการนับพลาดไป1ลูก ก็จะผิดพลาดน้อย แต่ถ้าสัญญาณที่มีความถี่ต่ำเมื่อวงจรนับทำการนับพลาดไป1ลูกก็จะผิดพลาดสูงตามไปด้วย

ซึ่งจากผลการทดลองในโครงการนี้จะเห็นได้ว่า ค่าความผิดพลาดจะไม่คงที่ ซึ่งเกิดมาจากวงจรนับทำการนับผิดพลาดนั่นเอง เพราะสัญญาณที่ได้จากหลายๆวงจรนั้น มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นมาบ้างทำให้ไม่ได้รูปร่างของสัญญาณตามที่ต้องการ

ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะมีปัญหาตรงส่วนตรวจจับสัญญาณต่างๆ เพราะในโครงการนี้ทำการวัดแบบอัตโนมัติ จึงทำการตรวจจับสัญญาณหลายครั้งจึงต้องเขียนโปรแกรมให้สัมพันธ์กับสัญญาณเหล่านี้ด้วย ซึ่งตรงในส่วนนี้เราจึงต้องศึกษา ทำความเข้าใจวงจรต่างๆ เพื่อให้ง่ายในการเขียนโปรแกรมและ ออกแบบวงจร

**5.12 แนวทางการพัฒนา**

จากการทำโครงการนี้ทำให้คิดว่าแนวทางการพัฒนาต่อไปได้หลายแบบ

1. พยายามหา Line Driver ที่เหมาะสมให้ได้ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่ส่งเข้าไปในสายได้ตามต้องการซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยลง
2. ในส่วนของวงจรตรวจจับสัญญาณ หากสามารถหาวงจรที่ตรวจจับสัญญาณได้เร็จและให้เอาท์พุตที่ชัดเจนจะทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยลง

3. ควรมีการแบ่งย่านความถี่ของสัญญาณนาฬิกาหลายๆย่านให้เหมาะสมกับการวัด เช่น ถ้าในระยะไกลควรใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่น้อยกว่าระยะใกล้ เพื่อทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยลง
4. ถ้า วัดสายได้หลายประเภท ควรจะมีการรับค่าตัวเลข ของค่าสภาพยอม และค่าสภาพซึมได้ แล้วนำไปประมวลผล ซึ่งจะต้องใช้โปรแกรมควบคุม จะทำให้ครอบคลุมเครือข่ายของการวัดได้มากขึ้น

# บรรณานุกรม


1. กิตติพัฒน์ ตันตระรุ่งโรจน์, ดร.ทฤษฎีสายส่งไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร: วิทยพัฒน์,2541.
2. ถวิล กิ่งทอง. ทฤษฎีโครงข่ายไฟฟ้าและสายส่ง. พิมพ์ครั้งที่7. 2538(ม.ป.ท)
3. สมยศ จุณณะปิยะ,รศ. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51. กรุงเทพมหานคร: พิมพ์ครั้งที่3. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง,2543.
4. บริษัท อีทีที,Dot Matrix LCD Module, กรุงเทพฯ.
5. ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตวิไล, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51. กรุงเทพมหานคร: อิโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.
6. ปรีชา ยุพาพิน, เครือข่ายใยแก้วนำแสง,สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร,2541