

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดสาธิต TDR

TDR DEMONSTRATION KIT



โดย

นายณรงค์พล ทงโคธร

นายไพบุลย์ อำนวยชัยวัฒน์

นายภรเมศ ยอดชล

รฟ.
ธษ 2198
2550

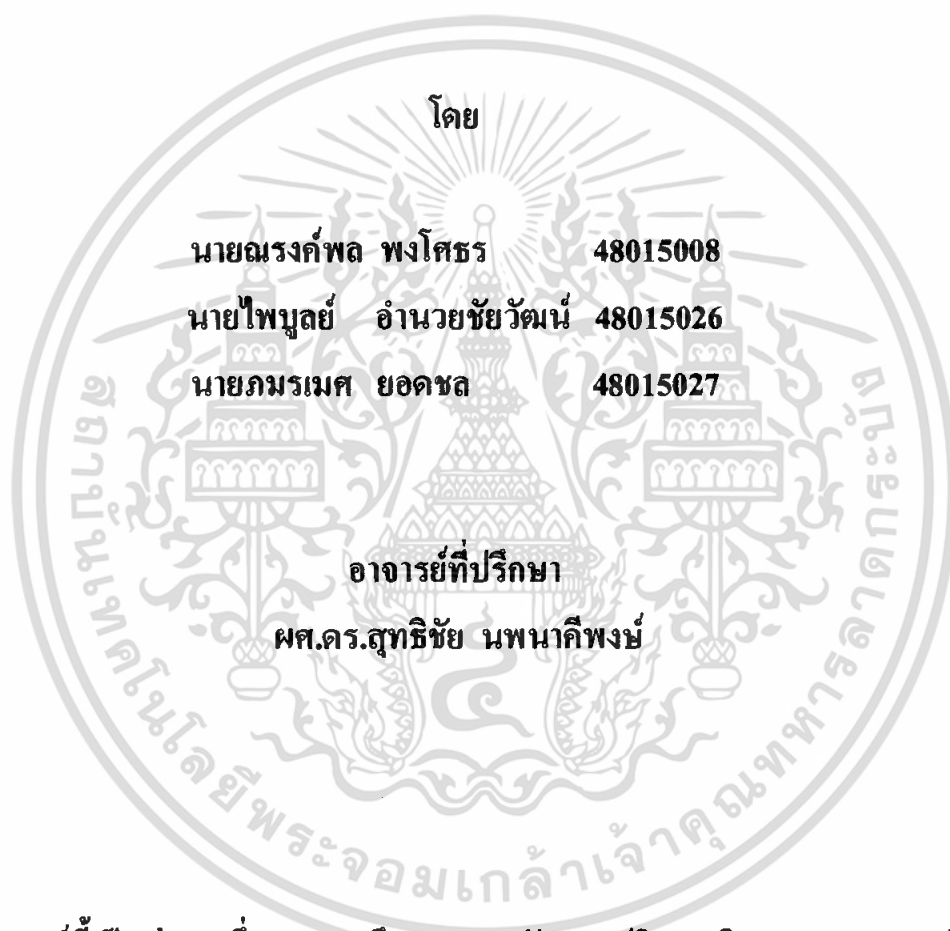
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 83295
วัน,เดือน,ปี..... 11 ส.ค. 2551

b...114.652.1.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดสาธิต TDR
TDR DEMONSTRATION KIT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดสาธิต TDR

TDR DEMONSTRATION KIT

ผู้จัดทำ

1.นายณรงค์พล พงโศธร 48015008

2.นายไพบุลย์ อำนวยชัยวัฒน์ 48015026

3.นายภมรเมศ ยอดชล 48015027



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. สุทธิชัย นพนาคีพงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดสาริต TDR

TDR DEMONSTRATION KIT

โดย นายณรงค์พล พงไศธร 48015008

นายไพบุลย์ อำนวยชัยวัฒน์ 48015026

นายภมรเมศ ยอดชล 48015027

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาศิพงษ์

บทคัดย่อ

การสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง เข้ามามีบทบาทในการสื่อสารปัจจุบัน และมีการประยุกต์ใช้งานต่างๆ สำหรับในโครงการนี้ นำเสนอชุดสาริต TDR เพื่อหาค่าการสูญเสียของเส้นใยแก้วนำแสงและการสูญเสียจากจุดเชื่อมต่ออยู่ในค่าที่ยอมรับได้ การหาตำแหน่งที่ผิดปกติ อาทิเช่น การแตกหักของเส้นใยแก้วนำแสง หรือรอยต่อที่เกิดขึ้นหลังจากการติดตั้ง

ABSTRACT

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์และข้อกำหนดในการทำวิทยานิพนธ์	1
1.3 โครงสร้างวิทยานิพนธ์	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ชนิดของสายส่ง	2
2.1.1 สายคู่แบบบิด (Two Line Twisted or Twisted Pair)	2
2.1.2 สายโคแอกเชียล (Coaxial)	2
2.1.3 สายคู่ขนาน (Parallel Spaced or Open-Wire Line)	2
2.1.4 สายคู่ชีลด์ (Two Wire Space and Shielded)	2
2.2 พารามิเตอร์กระจายของสายส่ง (Distributed Parameter)	3
2.3 อิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะของสายส่ง (Characteristic impedance)	10
2.4 ค่าคงตัวของการแพร่ (Propagation Constants) ของสายส่ง	12
2.5 ความยาวและความเร็วของคลื่นจรบนสายส่ง	14
2.6 ความเร็วของคลื่นที่แพร่ไปตามสายส่ง	15
2.7 ค่าคงตัวการลดทอน	18
2.8 การต่อโหลดเข้ากับสายนำสัญญาณ	19
2.8.1 กรณีแมทช์กับสาย	19
2.8.2 กรณีไม่แมทช์กับสาย	19
2.8.2.1 กรณีลัดวงจร	20
2.8.2.2 กรณีเปิดวงจร	20
2.9 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและอัตราส่วนหนึ่งของแรงดัน	21
2.10 ความรู้เบื้องต้นสำหรับ TDR (Time Domain Reflectometer)	22
2.10.1 หลักการทำงานของ TDR	22
2.10.2 สัญญาณสามารถสะท้อนกลับได้อย่างไร	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.10.3 สัญญาณที่ส่งไป (Sending Pulse)	25
2.10.4 รูปร่างและขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับ	27
บทที่ 3 การคำนวณและการแก้ไข	
3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (#74HC123, #555)	30
3.2 วงจรเลือกสัญญาณ (#74150)	31
3.3 วงจรจับสัญญาณ (#LM6365, #LH0002)	32
3.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ (#LM710)	32
3.5 วงจรรวมสัญญาณ (#74HC32)	34
3.6 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ (#74HC74, #74HC14)	36
3.7 วงจรคูณสัญญาณ (#74LS08, #74HC393, Oscillator 24 MHz, #74HC14)	38
3.8 วงจรนับ (#74HC393)	39
3.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (#ADC 0820)	40
3.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (AT89S8252)	40
3.10.1 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 89S8252	42
3.10.2 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต	44
3.10.3 ความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์	47
3.11 จอแสดงผล	47
3.11.1 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD	48
3.11.2 รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD ในโครงการ	49
3.11.3 คำสั่งควบคุม LCD	50
3.11.4 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่โมดูล LCD	53
3.11.5 จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล	54
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 การออกแบบวงจร	56
4.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	56
4.1.2 วงจรเลือกสัญญาณ	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.1.3 วงจรจับสัญญาณ	51
4.1.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ	64
4.1.4.1 วงจรตรวจจับพัลส์บวก (Positive Detector)	64
4.1.4.2 วงจรตรวจจับพัลส์ลบ (Negative Pulse Detector)	65
4.1.5 วงจรรวมสัญญาณ	66
4.1.6 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ	67
4.1.7 วงจรคูณสัญญาณ	70
4.1.8 วงจรนับ	72
4.1.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	73
4.1.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์	73
4.1.10.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์	74
4.1.10.2 ส่วนของซอฟต์แวร์	74
4.1.11 จอแสดงผล	77
บทที่ 5 วิจารณ์และสรุป	
5.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	80
5.2 วงจรเลือกสัญญาณ	80
5.3 วงจรจับสัญญาณ	80
5.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ	81
5.5 วงจรรวมสัญญาณ	81
5.6 วงจรตรวจจับเวลา และตรวจสอบสถานะ	81
5.7 วงจรคูณสัญญาณ	81
5.8 วงจรนับ	82
5.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	82
5.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์	82
5.11 สรุปผลการทดลอง	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง

หน้า

5.12 แนวทางการพัฒนา

83

บรรณานุกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงชนิดต่างๆของสาย	3
รูปที่ 2.2 วงจรเสมือนของสายส่ง	4
รูปที่ 2.3 สายส่งเส้นคู่	6
รูปที่ 2.4 สายโคแอกเชียล	7
รูปที่ 2.5 สายส่งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำที่ไม่เท่ากัน	8
รูปที่ 2.6 สายส่งแบบ โคแอกเชียลที่มีตัวนำ 2 ตัว	9
รูปที่ 2.7 สายส่งชนิดพิเศษแบบที่ 1	9
รูปที่ 2.8 สายส่งชนิดพิเศษแบบที่ 2	10
รูปที่ 2.9 แทนวงจรเสมือนของสายส่งยาว ΔX ด้วยวงจรสมมาตรแบบ T	11
รูปที่ 2.10 การส่งสายสัญญาณจากแหล่งกำเนิด ไปให้โหลดผ่านสายส่ง	12
รูปที่ 2.11 การลดทอนของกระแสไฟในแต่ละส่วนของสายส่ง	13
รูปที่ 2.12 แสดงกรณีไม่แมทซ์กับสายนำสัญญาณ	20
รูปที่ 2.13 แสดงวงจรเทียบเท่าของสายตัวนำในหนึ่งหน่วยความยาว	24
รูปที่ 2.14 แสดงการเคลื่อนที่ของสัญญาณ ในสายตี	24
รูปที่ 2.15 แสดงการเคลื่อนที่ของสัญญาณในสายเลีย	25
รูปที่ 2.16 แสดงสัญญาณที่ส่งไปในสาย	26
รูปที่ 2.17 แสดงรูปร่างของสัญญาณสะท้อนกลับ	27
รูปที่ 2.18 แสดงขนาดของสัญญาณสะท้อนกลับ	28
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	30
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเลือกสัญญาณ	31
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรจับสัญญาณ	32
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรม ของวงจรตรวจจับสัญญาณ	32
รูปที่ 3.5 แสดงคาบเวลาพัลส์สะท้อนกลับที่มากกว่าคาบเวลาพัลส์ส่ง	33
รูปที่ 3.6 ลักษณะการสะท้อนเอาต์พุตของภาคตรวจจับพัลส์	33
รูปที่ 3.7 แสดงเอาต์พุตของภาคตรวจจับพัลส์ กรณีสายปลายเปิด	34
รูปที่ 3.8 แสดงเอาต์พุตของภาคตรวจจับพัลส์ กรณีสายปลายปิดหรือชอร์ต	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.9 บล็อกไคอะแกรมของวงจรรวมสัญญาณ	34
รูปที่ 3.10 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของภาครวมสัญญาณ กรณีสายขาด	35
รูปที่ 3.11 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของภาครวมสัญญาณ กรณีสายช็อต	35
รูปที่ 3.12 บล็อกไคอะแกรมของวงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ	36
รูปที่ 3.13 บล็อกไคอะแกรมของคูณสัญญาณ	38
รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะของสัญญาณในภาค Sampling สัญญาณ	38
รูปที่ 3.15 บล็อกไคอะแกรมของวงจรมับ	39
รูปที่ 3.16 บล็อกไคอะแกรมของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล	40
รูปที่ 3.17 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89S8252	44
รูปที่ 3.18 แสดงโครงสร้างของหน่วยความจำ	47
รูปที่ 3.19 บล็อกไคอะแกรมการทำงานของโมดูล LCD แบบอักษร	49
รูปที่ 3.20 การจัดขาของจอแสดงผล	50
รูปที่ 3.21 บล็อกไคอะแกรมรวม	55
รูปที่ 4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	57
รูปที่ 4.2 ผลการทดลองในส่วนของวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา	58
รูปที่ 4.3 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	59
รูปที่ 4.4(ก) สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (100 nsec)	59
รูปที่ 4.4(ข) สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (0.4 μ sec)	60
รูปที่ 4.4(ค) สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (3.5 μ sec)	60
รูปที่ 4.5 สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ทั้งหมด	61
รูปที่ 4.6 วงจรเลือกสัญญาณ	61
รูปที่ 4.7 สัญญาณพัลส์ 3.5 μ sec ที่ผ่านวงจรเลือกสัญญาณ	62
รูปที่ 4.8 วงจรจับสัญญาณ	63
รูปที่ 4.9 สัญญาณพัลส์ขนาด 3.5 μ sec เมื่อผ่านวงจรจับสัญญาณ	63
รูปที่ 4.10 สัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเมื่อปลายสายทดสอบเปิด	64
รูปที่ 4.11 สัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเมื่อปลายสายทดสอบลัดวงจร	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปร่างภาพ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.12 วงจรตรวจจับพัลส์บวก	65
รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์บวก เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต	66
รูปที่ 4.14 วงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ลบ	66
รูปที่ 4.15 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์บวก เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต	67
รูปที่ 4.16 วงจรรวมสัญญาณ	67
รูปที่ 4.17 สัญญาณที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณ	68
รูปที่ 4.18 วงจรของ D-Flip Flop ที่ทำการแปลงเป็น T-Flip Flop	68
รูปที่ 4.19 วงจรทั้งหมดของวงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ	69
รูปที่ 4.20 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip flop 1 หรือวงจรตรวจจับสัญญาณ	69
รูปที่ 4.21 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip Flop 2 หรือวงจรตรวจสอบสายดีหรือเสีย	70
รูปที่ 4.22 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip Flop 3 หรือวงจรตรวจสอบเปิดหรือลัดวงจร	71
รูปที่ 4.23 วงจรคูณสัญญาณและวงจรผลิตสัญญาณความถี่ 12 MHz	71
รูปที่ 4.24 สัญญาณจากออสซิลเลเตอร์ ความถี่ 24 MHz	72
รูปที่ 4.25 สัญญาณ 12 MHz หลังจากวงจรหารความถี่	72
รูปที่ 4.26 ผลการทดสอบวงจรคูณสัญญาณ	73
รูปที่ 4.27 วงจรนับสัญญาณ	73
รูปที่ 4.28 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	74
รูปที่ 4.29 (ก) โฟลว์ชาร์ท การทำงานของโปรแกรม	76
รูปที่ 4.29 (ข) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรม (ต่อ)	77
รูปที่ 4.30 ข้อความที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลเมื่อเริ่มทำงาน	78
รูปที่ 4.31 ข้อความที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลขณะรอทำการทดสอบ	78
รูปที่ 4.32 ข้อความเมื่อทดสอบแล้วสายไม่ชำรุด	78
รูปที่ 4.33 ข้อความเมื่อสายเกิดการลัดวงจร	78
รูปที่ 4.34 ข้อความเมื่อสายเกิดการขาด	78
รูปที่ 4.35 วงจรรวมทั้งหมดของโครงการ	79

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายส่ง	5
ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการตรวจจับการเสียบของสายจากในส่วนวงจรตรวจสอบสายดีหรือเสีย	37
ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการตรวจจับชนิดการเสียบของสายในวงจรตรวจสอบสายเปิดหรือลัดวงจร	37
ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชที่งานกันในปัจจุบัน	41
ตารางที่ 3.4 ชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของ LCD	50
ตารางที่ 4.1 Truth Table ของ IC #74HC123	58
ตารางที่ 4.2 ค่า R และ C ในวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารในระบบสายนำสัญญาณ ได้มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในการสื่อสารโทรคมนาคมและบริการต่างๆ ถ้าหากเกิดปัญหาเกี่ยวกับสายนำสัญญาณก็อาจทำให้การสื่อสารเกิดการหยุดชะงักได้ วิทยานิพนธ์นี้จึงได้จำลองการสาธิตการทำงานการตรวจเช็คสายนำสัญญาณ ว่าสายยังใช้งานได้คืออยู่หรือไม่ หรือเกิดการขาดภายในโดยที่ตาเราไม่สามารถมองเห็นได้

1.2 วัตถุประสงค์และข้อกำหนดในการทำวิทยานิพนธ์

เครื่อง TDR จะส่งคลื่น pulse ที่มีความกว้างแคบๆ เข้าไปในสายนำสัญญาณซึ่งแสงบางส่วนจะกระเจิง (scatter) บางส่วนจะกลับมามีที่ต้นสายและจะถูกตรวจจับด้วยตัวดีเทคเตอร์ ภายในตัว TDR โดยระยะเวลาที่แตกต่างกันระหว่างจากที่เริ่มส่งพัลส์จนถึงเวลาที่รับสัญญาณได้จะถูกคำนวณ จากผลต่างของเวลาเริ่มต้นกับเวลาสุดท้ายของตัวดีเทคเตอร์รับสัญญาณได้ คูณกับค่าของ C จาก

$$\text{สมการ } \text{distance} = C * (d2 - d1)$$

โดยที่ distance คือ ระยะทาง หน่วย m

C คือ ความเร็วของแสง $3 * 10^{exp8}$ 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 TDR เพื่อทำความเข้าใจการทำงานโดยใช้ต้นทุนในการสร้างต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชนิดของสายส่ง

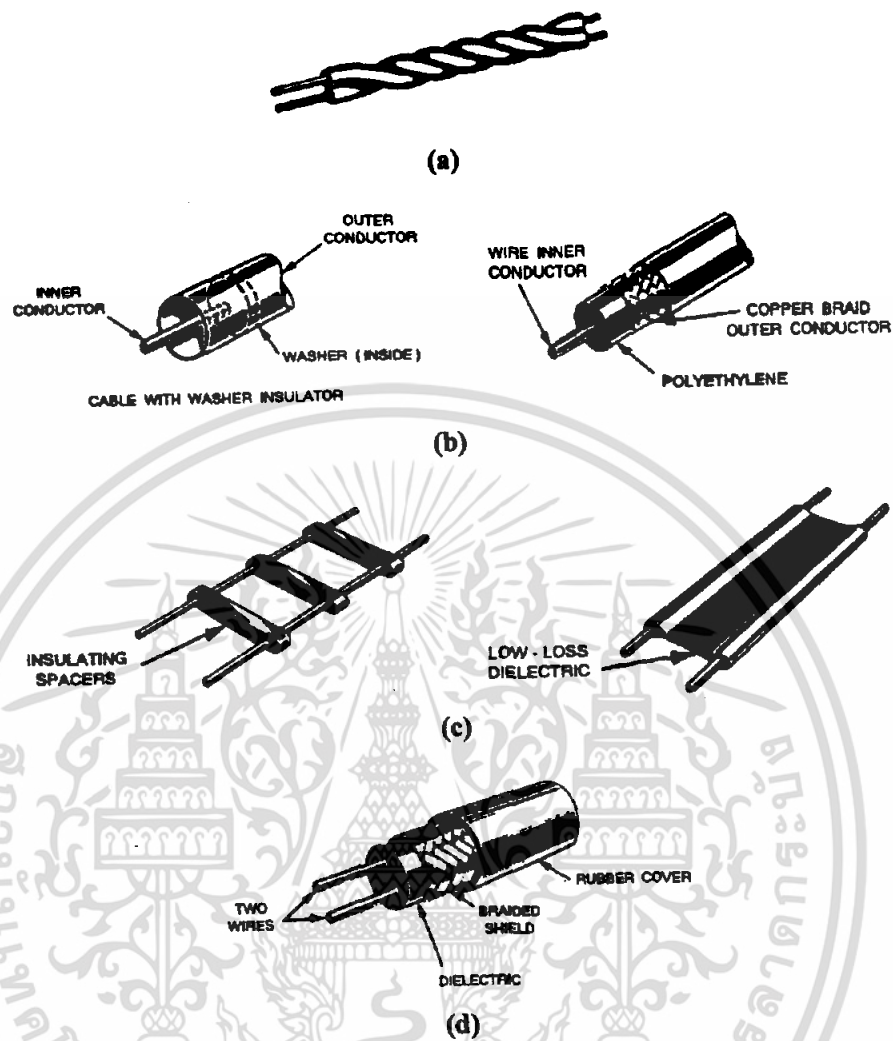
รูปแบบพื้นฐานของสายส่งมีดังนี้

2.1.1 สายคู่แบบบิด (Two Line Twisted or Twisted Pair) จะเป็นสายที่นิยมใช้มากในการส่งถ่ายพลังงานหรือสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไปยังโหลด โดยที่สายแบบนี้จะไม่ส่งสัญญาณที่มีความถี่สูง เพราะจะเกิดความสูญเสียมาก (losses) อันเนื่องมาจากฉนวนที่หุ้มไว้ และเมื่อสายมีความถี่เพิ่มขึ้นก็ยิ่งจะทำให้เกิดความสูญเสียมากขึ้นด้วย ซึ่งมีทั้งแบบไม่มีฉนวนและชนิดอิมพีแดนซ์ต่ำ

2.1.2 สายโคแอกเซียล (Coaxial) ประกอบด้วยลวดตัวนำภายใน ตรงแกนกลางและตัวนำภายนอกเป็นรูปทรงกระบอกมีฉนวนกั้นกลาง ส่วนใหญ่จะใช้กับเครื่องส่งในย่านความถี่ VHF, UHF ข้อดีของสายโคแอกเซียล คือ ความสูญเสียของการกระจายพลังงานน้อย ความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีอยู่ภายในช่วงระหว่างตัวนำเท่านั้น แต่ก็มีข้อเสียตรงที่โค้งงอลำบาก ดังนั้นจึงมีการสร้างสายโคแอกเซียลชนิดที่อ่อนตัวง่ายอีกแบบ โดยตัวนำเส้นในจะใช้เป็นเส้นฟอยล์เส้นเล็กๆ รวมกันแทนที่จะเป็นสายเส้นแข็งเส้นเดียว และหุ้มด้วยพลาสติกโพลีเอทไทลีน (Polyethylene) ซึ่งพลาสติกอันนี้จะทำหน้าที่เป็นไดอิเล็กทริก (Dielectric) และกั้นอยู่ระหว่างตัวนำด้านในกับด้านนอก และตัวนำด้านนอกประกอบด้วย สายถักเส้นเล็กๆ ถักรอบ ไดอิเล็กทริกแล้วหุ้มด้วยพลาสติกโพลีวินิล (Polyvinyl)

2.1.3 สายคู่ขนาน (Parallel Spaced or Open-Wire Line) ประกอบด้วยตัวนำสองอันวางขนานกันห่างด้วยระยะทางเท่ากันโดยตลอด โดยใช้ฉนวนวางกั้นเป็นช่วงๆ เท่ากันตลอด เรียกว่า Bar Insulated สายที่หุ้มฉนวนตลอดแนวขนาดของตัวนำทั้งสองซึ่งเรียกว่า Twin Lead หรือ สายริบบอน (Ribbon) โดยที่สายชนิดนี้สามารถนำไปใช้เป็นสายอากาศโทรทัศน์ได้ด้วย

2.1.4 สายคู่ชีลด์ (Two Wire Space and Shielded) ประกอบด้วยตัวนำสองตัวแยกออกจากกัน และจะถูกหุ้มด้วยทองแดงเป็นชีลด์ ข้อดี คือ ตัวนำทั้งสองจะสมดุลกันเมื่อเทียบกับกราวด์ค่าตัวเก็บประจุระหว่างตัวนำแต่ละตัว โดยมีฉนวนกั้นสม่ำเสมอตลอดความยาว



รูปที่ 2.1 แสดงชนิดต่างๆของสาย

- (a) สายคู่แบบบิด
- (b) สายโคแอกเชียล
- (c) สายคู่ขนาน
- (d) สายคู่ชิลด์

2.2 พารามิเตอร์กระจายของสายส่ง (Distributed Parameter)

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของสายส่งชนิดเบื้องต้น จะประกอบด้วยสายตรงสองเส้นขนานกัน ด้วยขนาดและระยะคงที่ แยกจากกันด้วยอากาศหรือ ฉนวน เราเรียกว่า สายขนาน (Parallel Wire) ตัวสายทำมาจากวัสดุตัวนำ เช่น ทองแดงหรือ อลูมิเนียม ซึ่งโดยคุณสมบัติแล้วจะมีความต้านทานในตัว และเนื่องจากสายมีขนาดคงที่ ฉะนั้นความต้านทานก็คงที่ตลอดต่อหน่วยความยาว

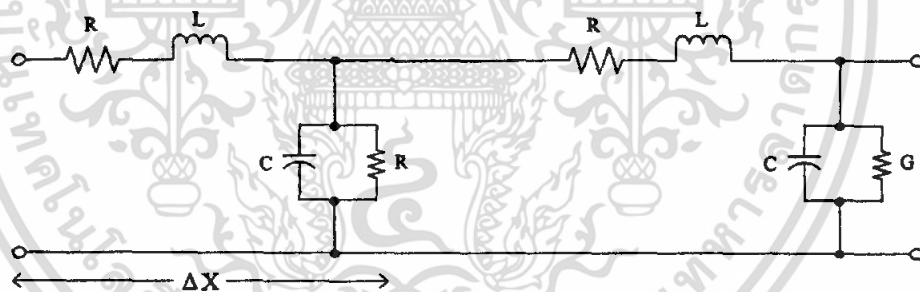
ที่ความถี่วิทยุ พลังงานบางส่วนจะถูกแพร่กระจายจากสายส่งในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอันเป็นพลังงานที่สูญเปล่า หรือเท่ากับว่าความต้านทานของสายมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้านทานของการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่กระจาย (Radiation Resistance) ความต้านทานอันนี้หาได้จากค่าของการกำลังการแพร่กระจายหารด้วยขนาดกระแสในสายขงกำลังสอง อย่างไรก็ตามการแพร่กระจายจากสายคู่ขนานจะไม่เกิดขึ้นหากว่าช่วงห่างระหว่างสายทั้งสองน้อยกว่า $1/10$ ของความยาวคลื่นมาก และในที่นี้เราถือว่าไม่มีการแพร่กระจายจากสายส่ง ดังนั้นความต้านทานของการแพร่กระจายก็ตัดทิ้งได้

เมื่อมีกระแสไหลผ่านสายทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ซึ่งสนามแม่เหล็กนี้จะเชื่อมความเหนี่ยวนำด้วยรูปแบบคงที่ตลอดสาย ผลจากการเหนี่ยวนำของเส้นแรงแม่เหล็ก ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำการไหลของกระแสเท่ากับมีอินдукแตนซ์ (Inductance) ต่ออนุกรมกับความต้านทานภายในสาย

สาเหตุที่กระแสอินพุตกับกระแสเอาต์พุตของสายแตกต่างกัน เนื่องมาจากมีค่าแอมพิทแตนซ์อยู่ระหว่างคู่สายซึ่งเราอาจจะมองไม่ชัดเจน ถึงค่าแอมพิทแตนซ์ที่ต่อคร่อมระหว่างสายทั้งสองค่าแอมพิทแตนซ์ประกอบด้วย ค่าความจุ ซึ่งเกิดจากสายทั้งสองวางขนานใกล้กันอยู่ระหว่างไดอิเล็กทริก ส่วนที่สองเนื่องจากระหว่างสายทั้งสอง ซึ่งมีไดอิเล็กทริกกันอยู่นั้น ไม่ได้เป็นฉนวนที่สมบูรณ์ จึงมีการรั่วไหลของกระแสระหว่างสายทั้งสองได้ จึงเท่ากับมีตัวนำต่อคร่อมระหว่างสาย

ฉะนั้นเราจึงสามารถเขียนวงจรเสมือนของสายส่ง ที่สายสั้นที่สุดของความยาวเท่ากับ ΔX ดังรูป 2.2 ซึ่งเป็นรูปแบบที่คงที่เหมือนกันตลอดความยาวของสาย และค่าของพารามิเตอร์แบบกระจายต่างๆ เหล่านี้ จะเป็นค่าหน่วยความยาวของสาย



รูปที่ 2.2 วงจรเสมือนของสายส่ง

พารามิเตอร์แบบกระจายมีอยู่ 4 ตัวดังนี้

R : คือค่าความต้านทานต่อหน่วยความยาวของสาย ซึ่งเท่ากับผลรวมความต้านทานทั้งสองเส้นต่อหน่วยความยาว ohm/m (Ω/m)

L : คืออินдукแตนซ์ต่อหน่วยความยาวของสาย ซึ่งเท่ากับผลรวมอินдукแตนซ์ทั้งสองเส้นต่อหน่วยความยาว (H/m)

G : คือค่าคอนดักแตนซ์ ระหว่างสายต่อหน่วยความยาว (mho/m)

C : คือความจุระหว่างสายต่อหน่วยความยาว (F/m)

สำหรับค่า G และค่า C เป็นค่าที่เกิดขึ้นระหว่างสายทั้งสอง จึงไม่ได้เป็นผลรวมของทั้งสองเส้น

เหมือนค่า R และ L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากเรากำหนดให้ Z เป็นค่าอิมพีแดนซ์รวมต่อหน่วยความยาวต่อสาย และ Y เป็นค่าแอดมิตแตนซ์ต่อหน่วยความยาวของสาย จะได้ว่า

$$Z = R + j\omega L \quad (2.1)$$

$$Y = G + j\omega C \quad (2.2)$$

โดย Z มีหน่วยเป็น โอห์ม/เมตร(ohm/m), Y มีหน่วยเป็น โมห์/เมตร(mho/m) หรือซีเมนต์/เมตร (S/m) ซึ่งโดยที่ $Z \neq \frac{1}{Y}$

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆต่อหน่วยความยาวของสายส่ง ได้แก่ R, L, G และ C นั้นขึ้นอยู่กับสายส่งแต่ละชนิดไม่ใช่เฉพาะสายคู่ขนานเท่านั้น แต่ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ในสายแต่ละชนิดอาจแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับลักษณะ โครงสร้างและคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ ซึ่งโดยปกติบริษัทผู้ผลิต จะบอกถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาให้ ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.1

Type	Gauge miles	Spacig inch	Loop constant/mile			
			R(ohms)	L(mH)	C(μ F)	G(μ ohm)
Open Wire	104	12	10.15	3.66	0.00837	0.29
Open Wire	104	18	10.15	3.93	0.00797	0.29
Open Wire	165	12	4.11	3.37	0.00915	0.29
Open Wire	165	18	4.11	3.64	0.00863	0.29
Paper insulate	19*		85.8	1	0.062	1.5
Cable pair	16*		42.1	1	0.062	1.5

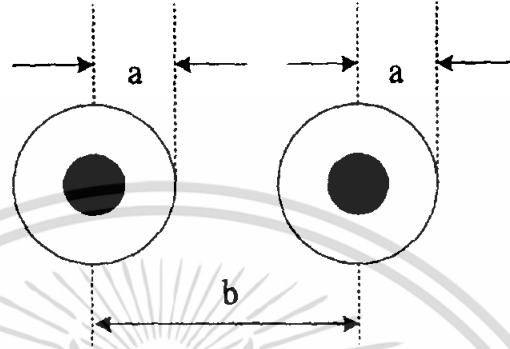
*AWG

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าเราทราบคุณสมบัติของวัสดุและลักษณะโครงสร้างของสายก็สามารถหาค่าพารามิเตอร์ได้ โดยอาศัยสมการจากทฤษฎีสถานแม่เหล็กไฟฟ้า ได้ดังนี้

สายส่งเส้นคู่



รูปที่ 2.3 สายส่งเส้นคู่

$$C = \frac{\pi \epsilon_d}{\cosh^{-1}(b/2a)}$$

$$= \frac{\pi \epsilon_d}{\ln(b/a)} \quad \text{ถ้า } a^2/b^2 \ll 1 \quad (2.3)$$

$$L = \frac{\mu_d}{\pi} \cosh^{-1}\left(\frac{b}{2a}\right)$$

$$= \frac{\mu_d}{\pi} \ln\left(\frac{b}{2a}\right) \quad \text{ถ้า } a^2/b^2 \ll 1 \quad (2.4)$$

$$G = \frac{\pi \sigma_d}{\cosh^{-1}(b/2a)}$$

$$= \frac{\pi \sigma_d}{\ln(b/a)} \quad \text{ถ้า } a^2/b^2 \ll 1 \quad (2.5)$$

$$R = \frac{1}{\pi a} \sqrt{\frac{\omega \mu_c}{2 \sigma_c}} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

ϵ_d คือ สภาพยอมได้ (Permittivity) ของสารที่อยู่รอบสายส่ง

μ_d คือ สภาพให้ซึมได้ (Permeability) ของสารที่อยู่รอบสายส่ง

σ_d คือ สภาพนำไฟฟ้า (Conductivity) ของสารที่อยู่รอบสายส่ง

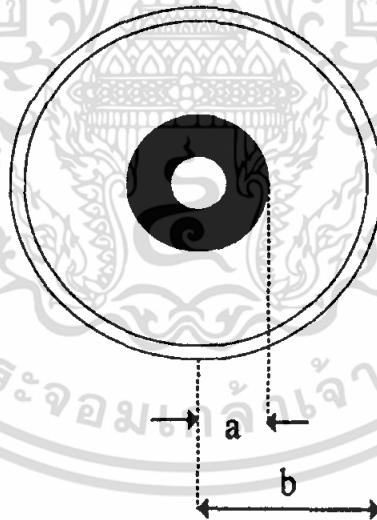
σ_c คือ สภาพนำไฟฟ้าของตัวนำที่ใช้สายส่ง

เนื่องจากตัวนำที่ใช้ทำสายส่งไม่ใช่ตัวนำสมบูรณ์ (Perfect conductor) ผลของปรากฏการณ์ทางผิว (Skin Effect) จะเพิ่มค่า L อีก

$$L_i = \frac{1}{\pi a} \sqrt{\frac{\mu_c}{2\omega\sigma_c}} \quad (2.7)$$

เมื่อ μ_c คือ สภาพให้ซึมได้ของตัวนำที่ใช้ทำสายส่ง

สายส่งโคแอกเซียล



รูปที่ 2.4 สายโคแอกเซียล

$$C = \frac{2\pi\epsilon_d}{\ln(b/a)} \quad (2.8)$$

$$L = \frac{\mu_d}{\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G = \frac{2\pi\sigma_d}{\ln(b/a)} \quad (2.10)$$

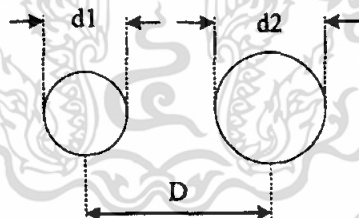
$$R = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\omega\mu_c}{2\sigma_c}} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right) \quad (2.11)$$

โดยที่ค่าคงตัวที่มีครรรชนีล่างเป็น d จะเป็นค่าคงตัวของสาร ไดอิเล็กทริกที่คั่นตัวนำ และค่าคงตัวที่มีครรรชนีล่างเป็น C จะเป็นค่าคงตัวนำที่ใช้ทำสายส่ง และผลของปรากฏการณ์ทางผิวจะทำให้ L มีค่าเพิ่มขึ้นอีก

$$L_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu_c}{2\omega\sigma_c}} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right) \quad (2.12)$$

สายส่งในรูปแบบอื่นๆ

สายส่งในรูปแบบอื่นๆ ที่แสดงสูตรการคำนวณข้างล่างนี้ได้สมมติว่าสาร ไดอิเล็กทริกที่อยู่รอบๆ เป็นอากาศที่ไม่มีความสูญเสีย ค่าที่คำนวณได้ของ C มีหน่วยเป็น pF/m และ L มีหน่วยเป็น $\mu H / m$

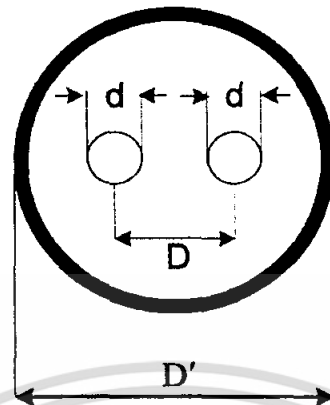


รูปที่ 2.5 สายส่งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำที่ไม่เท่ากัน

$$C = \frac{27.5}{\ln \frac{2D}{\sqrt{d_1 d_2}}} \quad (2.13)$$

$$L = 0.4 \ln \frac{2D}{\sqrt{d_1 d_2}} \quad (2.14)$$

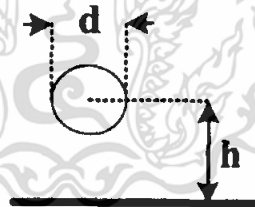
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 สายส่งแบบโคแอกเชียลที่มีตัวนำ 2 ตัว

$$C = \frac{27.5}{\ln\left(\frac{2D D'^2 - D^2}{d D'^2 + D^2}\right)} \quad (2.15)$$

$$L = 0.4 \ln\left(\frac{2D D'^2 - D^2}{d D'^2 + D^2}\right) \quad (2.16)$$

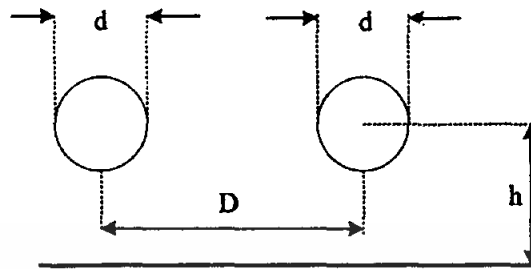


รูปที่ 2.7 สายส่งชนิดพิเศษแบบที่ 1

$$C = \frac{55}{\ln\frac{4h}{d}} \quad (2.17)$$

$$L = 0.2 \ln\frac{4h}{d} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 สายส่งชนิดพิเศษแบบที่ 2

$$C = \frac{27.5}{\ln\left(\frac{2D}{d\sqrt{1+\left(\frac{D}{2h}\right)^2}}\right)} \quad (2.19)$$

$$L = 0.4 \ln \frac{2D}{d\sqrt{1+\left(\frac{D}{2h}\right)^2}} \quad (2.20)$$

2.3 อิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะของสายส่ง (Characteristic impedance)

พลังงานของสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่สายส่งอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งพลังงานจะถูกถ่ายทอดสู่โหลดเต็มที่ต่อเมื่ออิมพีแดนซ์ของโหลดแมตซ์กับสาย และหากไม่แมตซ์จะเกิดการสะท้อนกลับของพลังงานบางส่วนในรูปของคลื่นสะท้อน (Reflected Wave)

หากพิจารณาจากสายส่งสมมติที่มีความยาวไม่มีที่สิ้นสุด เมื่อเราป้อนสัญญาณเข้าทางอินพุต สัญญาณจะไม่มีโอกาสถึงปลายทางเอาต์พุตเลย จึงไม่มีการสะท้อนกลับ ฉะนั้นอัตราส่วนของแรงดัน ต่อ กระแส ณ จุดใดๆ ของสายจะมีค่าคงที่ คือ ไม่เกี่ยวกับระยะตำแหน่ง เราเรียกอัตราส่วนนี้ว่า Z_0 (Characteristic impedance)

สำหรับสายที่มีความยาวจำกัดถ้าต่อโหลด Z_L ให้มีค่าเท่ากับ Z_C จะปรากฏเหมือนกับสายที่มีความยาวไม่มีที่สิ้นสุด คือ ไม่มีการสะท้อนกลับเพราะพลังงานถูกถ่ายทอดสู่โหลดเต็มที่

จึงกล่าวได้ว่าอิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะคือ อัตราส่วนระหว่างแรงดันต่อกระแส ณ จุดใดๆ ของสายส่งที่ไม่มีการสะท้อนกลับของสัญญาณ

จากวงจรเสมือน (Equivalent) ของสายที่มีความยาว ΔX ค่าของอินดักแตนซ์รวม คือ $L\Delta X$ ค่าความต้านทานรวมคือ $R\Delta X$ ค่าคอนดักแตนซ์คือ $G\Delta X$ และค่าความจุคือ $C\Delta X$ ดังนั้นจากสมการที่

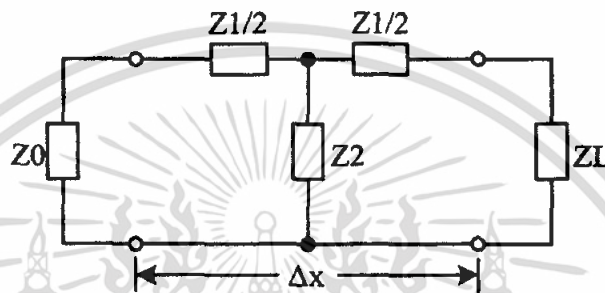
2.1 และ 2.2 จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z\Delta X = (R + j\omega L)\Delta X \quad (2.21)$$

$$Y\Delta X = (G + j\omega C)\Delta X \quad (2.22)$$

เพื่อให้สะดวกขึ้นเราจึงจัดให้อยู่ในรูปของวงจรสมมาตรแบบ T ดังในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แทนวงจรเสมือนของสายส่งยาว ΔX ด้วยวงจรสมมาตรแบบ T

$$Z_1 = Z\Delta X \quad (2.23)$$

$$Z_2 = \frac{1}{Y\Delta X} \quad (2.24)$$

เมื่อพิจารณาจากคำจำกัดความถ้าเราให้ Z_0 เป็น Input impedance ของสายและ $Z_L = Z_0$, หาก $\Delta X \rightarrow 0$, Z_0 นี้ก็คือ Characteristic impedance นั้นเอง

$$Z_0 = \sqrt{Z_1 Z_2 + \frac{Z_1^2}{4}} \quad (2.25)$$

แทนค่าสมการที่ 2.23 และสมการที่ 2.24 ลงในสมการที่ 2.25 จะได้

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าสมการที่ 2.21 และสมการที่ 2.22 ลงในสมการที่ 2.26 จะได้

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (2.27)$$

ที่ความถี่ต่ำซึ่ง $R \gg \omega L$ และ $G \gg \omega C$ เราจะได้ว่า

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R}{G}} \quad (2.28)$$

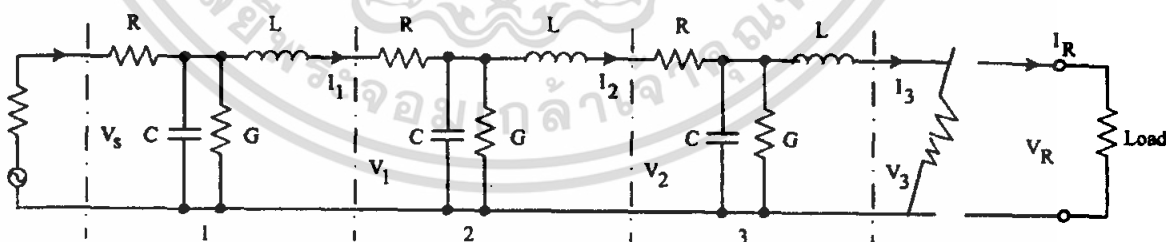
และที่ความถี่สูงหรือในกรณีสายส่งไม่มีการสูญเสีย (Lossless Line) จะทำให้ $R \ll \omega L$ และ $G \ll \omega C$ เราจะได้ว่า

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.29)$$

จะเห็นว่าสองกรณีหลังนี้เป็นค่าจริงไม่มีค่า j จึงไม่ต้องเกี่ยวกับความถี่ และเฉพาะในช่วงระหว่างกรณีนี้เท่านั้น ที่ค่า Z_0 เป็นค่าจำนวนเชิงซ้อน (Complex) ขึ้นอยู่กับความถี่ด้วย

ในทางปฏิบัติเราใช้สมการที่ 2.29 หาค่า Z_0 สำหรับสายคู่ขนาน เมื่อความถี่ 20kHz ขึ้นไป ส่วนสายโคแอกเซียล เมื่อความถี่ 200kHz ขึ้นไป

2.4 ค่าคงตัวของการแพร่ (Propagation Constants) ของสายส่ง



รูปที่ 2.10 การส่งสายสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไปยังโหลดผ่านสายส่ง

จากรูปที่ 2.10 แสดงวงจรเทียบเท่าของการส่งสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไปยังโหลด ซึ่งอิมพีแดนซ์เท่ากับ Z_0 ผ่านสายรับส่ง ซึ่งแบ่งเป็นส่วนๆ จำนวนหนึ่ง ความต้านทานที่ต่ออนุกรมเท่ากับ $R + j\omega L$ และความนำไฟฟ้าที่ต่อขนานเท่ากับ $G + j\omega C$ ในแต่ละส่วนของสายจะมีผลแสดงต่อกระแสไฟสัญญาณ (หรือแรงดัน) ที่ไหลผ่านมันไปดังนี้

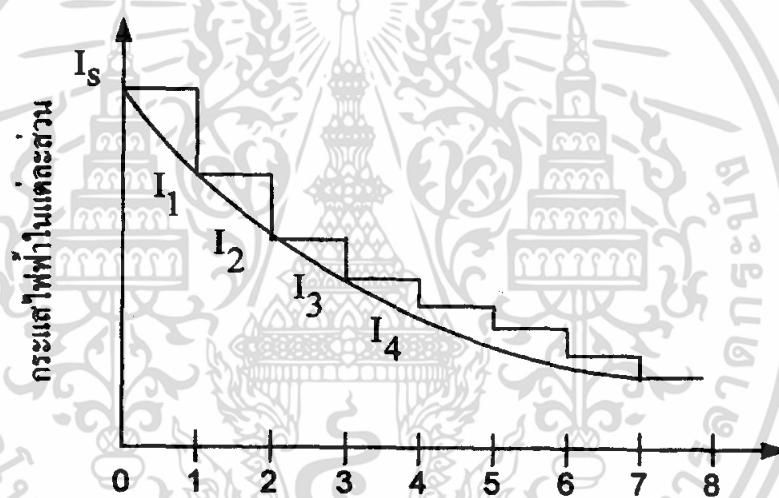
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กระแสไฟฟ้าสัญญาณ(หรือแรงดัน) จะถูกลดทอนในแต่ละส่วนของสายรับส่งเป็นจำนวนเท่าๆกัน กล่าวคือ กระแสไฟฟ้านำส่ง ที่ไหลเข้าด้านรับส่งส่วนที่1 จะถูกลดทอนด้วย Series Impedance และ ถูกลดผ่าน Shunt Admittance เหลือกระแสไฟ I_1 ที่ไหลไปเข้าส่วนที่2เป็นจำนวนน้อยลง โคนสมมติว่า $\frac{I_s}{I_1} = K$ ซึ่งในทำนองเดียวกัน

$$\frac{I_1}{I_2} = K$$

$$\frac{I_2}{I_3} = K \quad \text{และต่อไป}$$

$$\frac{I_s}{I_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{I_2}{I_3} = \dots = K$$



รูปที่ 2.11 การลดทอนของกระแสไฟฟ้าในแต่ละส่วนของสายส่ง

จากรูปที่ 2.11 แสดงการลดทอนของกระแสไฟฟ้าในแต่ละส่วนของสายรับส่ง ในกรณีที่เราแทนแต่ละส่วนของสายรับส่งด้วย R,L,C และ G ที่เป็นกลุ่มก้อน(Lump) ดังในรูปการลดลงของกระแสไฟผ่านสายรับส่งจะเป็นขั้นๆ โดยมี $\frac{I_s}{I_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{I_2}{I_3} = \dots = K$ ดังแสดงด้วยกราฟเส้นที่เป็นขั้นบันได

ในทางปฏิบัติ ค่า R,L,C และ G ของสายส่งจะไม่เป็นกลุ่มก้อนแต่จะกระจาย(Distribute) ไปด้วย การลดลงของกระแสไฟจะเป็นขั้นละน้อยมาก ทำให้กราฟของกระแสไฟลดลงอย่างสม่ำเสมอแสดงด้วยเส้นโค้งดังรูป

2. กระแสไฟสัญญาณ จะถูกเลื่อนเฟสในแต่ละส่วนของสายรับส่งเป็นจำนวนเท่าๆกัน เพราะคลื่นต้องการเวลาในการเดินทางจำนวนหนึ่งในการเดินทางผ่านไป คุณสมบัติซึ่งสายรับส่งมีคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผ่านมันในเรื่องการลดทอนกำลัง (Attenuation) และการเลื่อนเฟส (Phase Shift) ในแต่ละส่วนของหนึ่งหน่วยความยาว เราเรียกว่า Propagation Constants ซึ่งแทนด้วย γ โดยที่ $\gamma = \ln \frac{I_1}{I_2} = \ln \frac{I_2}{I_3}$

เนื่องจาก I_1 น้อยกว่า I_s และมีเฟสตามหลัง I_s ดังนั้น γ ซึ่งเท่ากับ $\ln \frac{I_s}{I_1}$ จะประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนหนึ่งเป็นค่าตัวเลขจริงแสดงจำนวนของการลดทอนกำลัง และอีกส่วนหนึ่งเป็นค่าจินตภาพแสดงจำนวนการเลื่อนเฟสของสัญญาณระหว่าง I_s และ I_1 นั่นคือ $\gamma = \ln \frac{I_s}{I_1}$ แล้วจะได้

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (2.30)$$

ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (2.31)$$

- α เรียกว่า ค่าคงตัวของ การลดทอน (Attenuation Constants) กำหนดไว้เป็น Neper หรือ dB ต่อหนึ่งหน่วยความยาวเช่น Neper/km เป็นต้น

- β เรียกว่า ค่าคงตัวของเฟส (Phase Constants) กำหนดไว้เป็นเรเดียนต่อหนึ่งหน่วยความยาวเช่น Radian/km เป็นต้น

2.5 ความยาวและความเร็วของคลื่นจรบนสายส่ง

เมื่อมองดูคลื่นจรไปตามจรไปตามสายส่งที่เวลาขณะใดขณะหนึ่ง ระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุด 2 จุดตามความยาวของคลื่นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงครบรอบหนึ่งรอบพอดี หรือระยะทางที่เฟสของคลื่นเปลี่ยนไป 2π เรเดียน เราเรียกระยะทางนี้ว่าความยาวคลื่นเมื่อ β เป็นค่าที่บอกการเปลี่ยนแปลงของเฟสในคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความยาว ถ้าเราให้ λ เป็นความยาวคลื่น ตามบทนิยามของความยาวคลื่น

$$\beta\lambda = 2\pi \quad \text{หรือ} \quad \beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.32)$$

เมื่อเวลาผ่านไป เราจะสังเกตเห็นคลื่นจรเคลื่อนที่ไปตามความยาวของสายส่ง ด้วยความเร็วค่าหนึ่งซึ่งเราสามารถวัดได้คดยหาระยะทางที่เฟสหนึ่งของคลื่นเดินทางไปได้ในหนึ่งหน่วยเวลา ถ้าพิจารณา

คลื่นจรตกกระทบที่เวลา $t = t_1$ ที่จุด $x = x_1$ เฟสที่เวลาและจุดนี้ คือ $\omega t_1 - \beta x_1$ เมื่อเวลาผ่านไปเป็น t_2 เฟสเดิมนี้จะต้องย้ายไปอยู่จุดใหม่ให้จุดนี้เป็น x_2 ดังนั้นที่จุด x_2 ที่เวลา t_2 จะมีเฟสเป็น $\omega t_2 - \beta x_2$ ดังนั้น

$$\omega t_2 - \beta x_2 = \omega t_1 - \beta x_1 \quad (2.33)$$

เฟสคงที่นี้เคลื่อนที่ไปได้ระยะทาง x_2, x_1 ในเวลา t_2, t_1 จะได้ความเร็ว

$$u = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\omega}{\beta} \quad (2.34)$$

ปกติแล้วมักจะใช้ V เป็นสัญลักษณ์แทนความเร็ว แต่เนื่องจากจะไปตรงกับสัญลักษณ์ของแรงดันจึงเลยมาใช้สัญลักษณ์ U แทน

เมื่อ ω และ β

$$u = \frac{2\pi f}{\beta} = \lambda f \quad (2.35)$$

ความเร็วที่หาได้เป็นความเร็วของเฟสที่คงที่ของคลื่นจร เราเรียกความเร็วนี้ว่า ความเร็วเฟส (Phase Velocity) ถ้าเครื่องกำเนิดให้สัญญาณเชิงซ้อนซึ่งประกอบด้วยสัญญาณไซน์นูชอยด์หลายๆความถี่ แล้วเรายังจะมองเห็นรูปแบบคลื่นรวมของสัญญาณเชิงซ้อนที่เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วซึ่งแตกต่างจากความเร็วเฟสอีกด้วย ซึ่งเราเรียกว่าความเร็วกลุ่ม (Group Velocity)

2.6 ความเร็วของคลื่นที่แพร่ไปตามสายส่ง

ความเร็วของคลื่นที่แพร่หรือเคลื่อนที่ไปตามความยาวของสายส่งจะเป็นค่าคงที่ ความถี่และค่าคงตัวของสัญญาณบนสายส่งจะมีความสัมพันธ์ที่ขึ้นอยู่กับความเร็ว ดังนี้

$$u = \frac{\omega}{\beta} \quad (2.36)$$

ω ขึ้นอยู่กับสัญญาณที่ใช้ว่ามีความถี่เท่าไร ซึ่งขึ้นอยู่กับเครื่องกำเนิดความถี่เป็นค่าที่กำหนดโดยผู้ใช้ แต่ค่าคงตัวเฟสเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับสายส่ง เกี่ยวข้องกับระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ไปเมื่อเทียบกับเวลาที่สัญญาณเปลี่ยนไปหนึ่งรอบ นั่นคือ ความถี่ของสัญญาณ

เพื่อให้การวิเคราะห์ในที่นี้ง่ายขึ้น ให้เริ่มด้วยสายส่งไร้ความสูญเสีย จากสมการค่าคงตัวการแพร่ ในสมการที่ 2.30 และ 2.31 จะได้ว่า

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (2.37)$$

ถ้าการใช้มีเงื่อนไขที่ทำให้ $R \ll \omega L$ และ $G \ll \omega C$ เราจะพบว่า

$$\beta = \omega\sqrt{LC} \quad (2.38)$$

เมื่อแทนสมการที่ 2.38 ลงในสมการที่ 2.36 จะได้ว่า

$$u = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.39)$$

เมื่อแทนค่า L และ C ไม่ว่าสายส่งนั้น จะเป็นสายเส้นคู่หรือสายส่ง โคแอกเชียลก็ตามจะได้ว่า

$$u = \frac{1}{\sqrt{\mu_d \epsilon_d}} \quad (2.40)$$

โดยที่ μ_d คือสภาพให้ซึมได้ของสารที่อยู่รอบตัวนำที่ใช้ทำสายส่ง ใช้อธิบายสายส่งทางแม่เหล็ก และ ϵ_d คือสภาพยอมได้ของสารที่อยู่รอบตัวนำที่ใช้ทำสายส่ง ใช้อธิบายสมบัติทางไฟฟ้าจากสมการนี้พบว่าความเร็วของคลื่นที่แพร่ไปตามสายส่งขึ้นกับสมบัติของสารที่อยู่รอบๆ ตัวนำที่ใช้ทำสายส่งไม่ขึ้นกับตัวนำที่ใช้ทำสายส่ง เพราะว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น กระจายอยู่ภายนอกของตัวนำที่ใช้ทำสายส่ง และคลื่นเคลื่อนที่ไปในสารที่อยู่รอบๆ โดยทิศทางเคลื่อนที่ที่ถูกรักษา (Guide) ไปในทิศทางตามความยาวของตัวนำของสายส่ง

ปกติแล้วการบอกสภาพให้ซึมได้และสภาพยอมได้สารใดๆ มักจะระบุได้ดีกว่าหรือเลวกว่า สหุณอากาศเป็นก็เท่า ดังนี้

$$\mu_d = \mu_r \mu_0 \quad (2.41)$$

$$\epsilon_d = \epsilon_r \epsilon_0 \quad (2.42)$$

μ_r เรียกว่า สภาพให้ซึมได้สัมพัทธ์ (Relative permeability) ของสาร ใช้บอกว่าสารนี้มีสภาพให้ซึมได้เป็นกี่เท่าของสหุณอากาศสำหรับสหุณอากาศ μ_r มีค่าเท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μ_0 คือสภาพให้ซึมได้ของสุญญากาศมีค่า $4\pi \times 10^{-7}$ H/m

ϵ_r เรียกว่าค่าคงตัวไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ (Relative dielectric constant) ของสารซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 สำหรับของสุญญากาศ

ϵ_0 คือสภาพยอมได้ของสุญญากาศมีค่า 8.854 pF/m

เช่น สารพอลิเอทิลีน มีค่า $\epsilon_r = 2.2$ หมายความว่าสารนี้มีสภาพยอมได้ต่อสนามไฟฟ้าดีกว่าสุญญากาศ 2.2 เท่า ตามปกติแล้วสารไดอิเล็กทริกที่เป็นฉนวนไฟฟ้าโดยทั่วไปจะไม่ใช่สารแม่เหล็กและจะมีสภาพให้ซึมได้ของสารใกล้เคียงกับสุญญากาศ จึงมี $\mu_r = 1$

เมื่อแทน μ_d และ ϵ_d ลงในสมการที่ 2.40 จะได้ความเร็วของคลื่นที่แพร่ไปตามความยาวของสายส่ง ดังนี้

$$u = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r \mu_0 \epsilon_0}} \quad (2.43)$$

ดังนั้นความเร็วของคลื่น ที่เคลื่อนที่ไปตามความยาวของสายส่งซึ่งมีสุญญากาศอยู่รอบๆตัวนำที่ทำสายส่งจะมีค่า

$$u_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (2.44)$$

ซึ่งมีค่าเท่ากับความเร็วของแสงหรือความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ

$$u_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = \frac{1}{\sqrt{400\pi \times 10^{-9} \times 8.854 \times 10^{-12}}} \cong 3.10^8 \text{ m/s}$$

ดังนั้นเขียนสมการ 2.44 ได้ใหม่คือ

$$u = \frac{u_0}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \quad (2.45)$$

โดยทั่วไป ฉนวนไฟฟ้าเป็นสารไดอิเล็กทริกที่มีค่า $\mu_r \cong 1$ เราจึงสามารถหาความเร็วของคลื่นที่แพร่ไปตามความยาวของสายส่ง โดยเฉพาะสายส่งเส้นคู่และสายโคแอกเซียล ได้ดังนี้

$$u = \frac{\mu_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ m/s} \quad (2.46)$$

ตัวประกอบความเร็ว (Velocity Factor : VF) บางครั้งอาจเรียกว่า อัตราส่วนความเร็ว (Velocity Ratio) ของสายส่ง คือ ค่าที่ใช้บอกว่าคลื่นบนสายส่งมีความเร็วเป็นกี่เท่าของความเร็วของแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ ดังนี้

$$VF = \frac{u}{u_0} = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \text{ m/s} \quad (2.47)$$

$$VF = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.48)$$

เนื่องจากสาร ไดอิเล็กทริก โดยทั่วไปจะมีค่า ϵ_r มากกว่า 1 จึงทำให้ VF มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าสายส่งที่มีบริเวณโดยรอบของตัวนำที่ใช้ทำสายส่งเป็นสาร ไดอิเล็กทริก นอกเหนือจากเป็นสุญญากาศแล้ว ความเร็วของคลื่นที่ไปตามความยาวของสายส่งจะมีความเร็วต่ำกว่าความเร็วของแสงในสุญญากาศ

2.7 ค่าคงตัวการลดทอน

ในความเป็นจริงแล้วจะไม่มีสายส่งที่ไม่เกิดความสูญเสีย เพียงแต่ว่าภายใต้เงื่อนไขบางกรณีสามารถพิจารณาสายส่งให้เสมือนว่าไม่มีความสูญเสียได้ เช่น กรณีความถี่สูงในย่านความถี่วิทยุ ส่วนในย่านความถี่ต่ำ เช่น ความถี่ในย่านความถี่เสียงในสายโทรศัพท์ ในระบบไฟฟ้ากำลัง จะไม่สามารถพิจารณาเงื่อนไขนี้ได้ และจะต้องวิเคราะห์ตามสมการที่ไม่มีการสมมติ

การระบุว่าสายส่งไม่มีความสูญเสีย จะมีความหมายว่า ค่าคงตัวการลดทอน α มีค่าเท่ากับศูนย์ แต่สายส่งในความเป็นจริงแล้ว ถึงแม้จะใกล้เคียงกับสายส่งที่ไม่มีความสูญเสีย แต่ค่าคงตัวการลดทอนก็ไม่ได้เป็นศูนย์ เพียงแต่อาจมีค่าต่ำมาก ถึงกระนั้นก็ตาม ถ้าสายส่งที่ใช้งานมีความยาวพอสมควรก็จะพบว่าการสมมติการลดทอนเป็นศูนย์อาจผิดไปจากความเป็นจริงได้มาก ดังนั้นแม้การลดทอนมีค่าต่ำมากก็ยังคงต้องนำมาคำนวณด้วย ในกรณีที่สายส่งมีความยาวมาก ในขณะที่อิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะและความเร็วคลื่นจรบนสายส่งที่หาได้จากการสมมติว่าเป็นสายส่งที่ไม่มีความสูญเสียยังคงใช้ได้อยู่

พลังงานในสัญญาณไฟฟ้าขณะที่เคลื่อนที่ไปตามความยาวของสายส่งก่อนถึงโหลด อาจจะมีบางส่วนเปลี่ยนรูปพลังงานไปเป็นอย่างอื่น ในแง่ของสัญญาณไฟฟ้าที่เราต้องการนั้นถือว่าเป็นการสูญเสียไปในสายส่งอาจเป็นไปได้สามทาง คือ เกิดการแผ่พลังงานออกนอกสายส่ง เกิดความร้อนขึ้นในตัวนำ

การสูญเสียเนื่องจากเกิดการแผ่พลังงานตัวสายส่ง จะทำตัวเหมือนกับสายอากาศ จะมีพลังงานบางส่วนในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรอบตัวนำของสายส่งแผ่เคลื่อนวิ่งกระจายไกลออกไปในอากาศ

นอกจากนี้ยังเป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการสูญเสียที่เรียกว่าการสูญเสียเนื่องจากการแผ่ เมื่ออยู่เหนือบะโพงเหน็ดเหน็ด การแผ่ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบๆ จึงดูเหมือนว่ามีพลังงานส่วนหนึ่งแผ่ออกจากสายส่งไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสายส่งเส้นคู่ จะมีการสูญเสียเนื่องจากการแผ่พลังงานมากกว่า สายส่ง โคแอกเซียล การแผ่พลังงานจะยิ่งมาก ถ้า ระยะห่างระหว่างตัวนำทั้งสองที่ใช้ทำสายส่งยิ่งมาก การหาค่าความสูญเสียเนื่องจากการแผ่พลังงานโดยการวิเคราะห์คำนวณทำได้ยาก โดยทั่วไปจะหาโดยวิธีการวัดความสูญเสียจะยิ่งมากถ้าความถี่ใช้งานสูงขึ้น

การสูญเสียอันเนื่องมาจากการเกิดความร้อนขึ้นในตัวนำ บางครั้งเรียกว่าการสูญเสีย โดยที่ กำลังงานแปรผันโดยตรงกับกระแสที่กำลังไหลอยู่ในตัวนำ ($P=I^2 R$) ในขณะเดียวกัน ความสูญเสียนี้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความถี่การใช้งานสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้ เกิดจากสิ่งที่เรียกว่า ปรากฏการณ์ทางผิว กล่าวคือ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลไปตามตัวนำ กระแสจะมามากขึ้นอยู่ใต้ผิวของตัวนำ ยิ่งลึกจากผิวตัวนำเข้าไปในกระแสจะยิ่งน้อยลงความถี่ยิ่งสูงขึ้นกระแสก็จะยิ่งสูงขึ้นด้วย จึงทำให้ความต้านทานของสายส่งต่อหนึ่งหน่วยความยาวไม่คงที่เมื่อเทียบกับความถี่ของสัญญาณ

สำหรับการสูญเสียอันเนื่องมาจากการเกิดความร้อนขึ้นในตัวสาร ไดอิเล็กทริกที่อยู่รอบๆ สายส่ง นั้นจะแปรผันโดยตรงกับแรงดันที่เกิดขึ้นบนสาย ไดอิเล็กทริกและความถี่ อย่างไรก็ตามจะไม่มี ความสูญเสียกรณีนี้ในสุญญากาศ รวมทั้งในอากาศที่ไม่มี ความชื้นก็จะมี ความสูญเสียกรณีนี้ต่ำมาก สายส่งสองเส้นที่มีตัวนำที่เท่ากัน สายส่งที่ใช้อากาศเป็นสาร ไดอิเล็กทริก จะมีความสูญเสีย เนื่องจากการเกิดความร้อนขึ้นในตัวสาร ไดอิเล็กทริกต่ำกว่า เมื่อใช้สารไดอิเล็กทริกชนิดอื่นๆ

ดังนั้น ค่าคงตัวการลดทอนของสายส่งจึงไม่คงที่ เมื่อเทียบกับความถี่ ผู้ผลิตมักจะเป็นผู้ให้ค่าคงตัวการลดทอนมาในรูปความสูญเสียในหน่วยเดซิเบลต่อหน่วยความยาวบนตารางหรือกราฟ พร้อมกับระบุความถี่ แต่เนื่องจากมักมีค่าต่ำ จึงอาจให้มาเป็นหน่วยเดซิเบลต่อหน่วยความยาวมากๆ เช่น เป็นเดซิเบลต่อหนึ่งพันเมตร

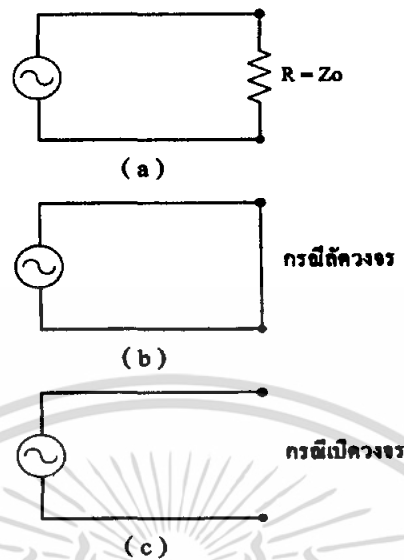
2.8 การต่อโหลดเข้ากับสายนำสัญญาณ

2.8.1 กรณีแมทซ์กับสาย

ถ้าเราต่อความต้านทานขนาดเท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายเราเรียกการต่อลักษณะนี้ว่า “แมทซ์” ในสายส่งที่แมทซ์ค่าพลังงานที่ส่งจากแหล่งกำเนิดไปยัง โหลดจะถูกดูดกลืนหายไปที โหลดหมด ไม่มีการสะท้อนพลังงานกลับไป ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียพลังงานบนสายเรียกได้ว่า มีการถ่ายทอดพลังงานอย่างสมบูรณ์

2.8.2 กรณีไม่แมทซ์กับสาย

ถ้าต่อความต้านทานที่ขนาดไม่เท่ากับ เรียกลักษณะเช่นนี้ว่า “ไม่แมทซ์”



รูปที่ 2.12 แสดงกรณีไม่แมตช์กับสายนำสัญญาณ

- (a) โหลดที่ต่อมีค่าไม่เท่ากับ Z_0
 (b) ลัดวงจร (short – circuit line)
 (c) เปิดวงจร (open – circuited line)

พลังงานที่มาถึง โหลด จะไม่ถูกดูดกลืนทั้งหมด (ต่างจากกรณี ที่พลังงานหายไปในโหลดจนหมด) ทำให้เหลือพลังงานบางส่วนสะท้อนกลับ ไปยังแหล่งกำเนิดเหมือนกับการปาดล ไปกระทบกำแพง ซึ่งการเกิดสภาวะ “ไม่แมตช์” ระหว่างสายส่งกับโหลดมากขึ้นค่าพลังงานที่สะท้อนกลับมาก็จะมากขึ้น ด้วยพลังงานทั้งหมดที่มาถึง โหลดถูกสะท้อนกลับมาหมด มี 2 กรณี คือ

2.8.2.1 กรณีลัดวงจร

กำหนดไว้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลดเท่ากับศูนย์ นั่นคือ แรงดันสะท้อนกลับมีขนาดเท่ากัน แต่มีเฟสตรงข้ามจะทำให้ผลรวมเท่ากับศูนย์ได้

2.8.2.2 กรณีเปิดวงจร

กำหนดไว้ว่ากระแสที่โหลดต้องเท่ากับศูนย์แสดงว่ากระแสที่สะท้อนกลับต้องมีเฟสต่างกับกระแสที่เดินทางมายัง โหลดอยู่ 180 องศาและมีขนาดเท่ากัน ในทำนองเดียวกันกรณีลัดวงจรค่าแรงดันไฟฟ้าที่สะท้อนกลับต้องมีเฟสเหมือนกับส่วนที่เดินทางมาจาก โหลด (ขนาดเท่ากัน) ทำให้เกิดการเสริมกันของแรงดันไฟฟ้า

สำหรับกรณีที่มีโหลดต่ออยู่และขนาด ไม่เท่ากับ Z_0 พบว่าพลังงานบางส่วนสะท้อนกลับมาจาก โหลดและมีขนาดน้อยกว่าด้วย เราแยกพิจารณาได้ 2กรณี คือ

-กรณี R น้อยกว่า Z_0 แรงดันไฟฟ้าส่วนที่สะท้อนกลับมีเฟสต่างกับที่เดินทางมา โหลดอยู่ 180 องศา แต่มีขนาดไม่เท่ากันเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าทั้งหมดไม่ได้หายไปที่ โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ เมื่อผู้เผยแพร่เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-กรณี R มากกว่า Z_0 กระแสไฟฟ้าส่วนที่สะท้อนกลับมีเฟสต่างกลับที่เดินทางมาไหลลด อยู่ 180 องศา แต่มีขนาดไม่เท่ากันเนื่องจากกระแสไฟฟ้าทั้งหมดไม่ได้หายไปไหน

2.9 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ(Reflection Coefficient)และอัตราส่วนหนึ่งของแรงดัน (Voltage Standing Wave Ratio : VSWR)

ในกรณีถ้าสายส่งมีทั้งคลื่นที่เดินทางอยู่ (Traveling Wave) และคลื่นที่สะท้อนกลับ(Reflection Wave) ปนกันอยู่ ซึ่งก็คือ สายส่งที่เกิดการชำรุดหรือสายส่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะของสายส่งที่มีค่าไม่เท่ากันทั้งสายหรือเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งในการแสดงคุณสมบัติการสะท้อนกลับ ณ จุดใดจุดหนึ่งนั้น แสดงโดยอัตราส่วนระหว่างคลื่นทั้งสอง และเรียกว่า สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ซึ่งจะได้ว่า

$$\rho = \frac{V_r}{V_i} \quad (2.49)$$

V_r คือคลื่นที่สะท้อนกลับมา ณ จุดนั้นๆ

V_i คือคลื่นที่เดินทางหรือตกกระทบที่จุดนั้นๆ

และมีค่าเท่ากับ

$$\rho = \frac{Z_R - Z_0}{Z_R + Z_0} \quad (2.50)$$

Z_R คือค่าอิมพีแดนซ์ ณ จุดนั้นๆ

Z_0 คือค่าอิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะของสาย

ซึ่งถ้าเราพิจารณา จะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดใดๆ ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปมากแค่ไหน โดยปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 เช่น

- ถ้า $Z_R = Z_0$ คือกรณีที่มีอิมพีแดนซ์เท่ากันทั้งสาย จะทำให้ $\rho = 0$ คือ ไม่มีการสะท้อนกลับของสัญญาณเกิดขึ้น

- ถ้า $Z_R = 0$ คือกรณีที่โหลดมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือเกิดการลัดวงจรภายในสายส่งสัญญาณ จะทำให้ $\rho = -1$ คือสัญญาณสะท้อนกลับ 100% เนื่องจาก $V_r = -V_i$ จึงเป็นคลื่นสะท้อนกลับแบบบวก (Negative Return pulse)

- ถ้า $Z_R = \infty$ คือกรณีที่โหลดมีค่าเท่ากับอนันต์ หรือเกิดการขาดของสายส่งสัญญาณ จะทำให้ $\rho = 1$ คือสัญญาณสะท้อนกลับ 100% เนื่องจาก $V_r = V_i$ จึงเป็นคลื่นสะท้อนกลับแบบบวก (Positive Return pulse)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสายส่ง ณ ที่จุดใดๆก็ตามผลรวมของ Traveling Wave และ Reflected Wave นี้ดูเหมือนว่าจะ เป็นคลื่นเดี่ยวที่อยู่กับที่ โดยไม่ค้ำิ่งถึงเวลา ซึ่งเรียกคลื่นนี้ว่าคลื่นนิ่ง (Standing Wave) ซึ่งอัตราส่วนของ แรงดันสูงสุดต่อแรงดันต่ำสุด เรียกว่า อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_i + V_r}{V_i - V_r} \quad (2.51)$$

และจะมีความสัมพันธ์กับค่าของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับดังนี้

$$VSWR = \frac{1 + \frac{V_r}{V_i}}{1 - \frac{V_r}{V_i}} \quad (2.52)$$

$$VSWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \quad (2.53)$$

$$|\rho| = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (2.54)$$

2.10 ความรู้เบื้องต้นสำหรับ TDR (Time Domain Reflectometer)

2.10.1 หลักการทำงานของ TDR

TDR (Time Domain Reflectometer) เป็นเครื่องมือวัดหาตำแหน่งเสียของสายตัวนำชนิดหนึ่ง ซึ่ง ทำงานโดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับของสัญญาณ (Pulse Echo) ดังนั้นบางครั้งอาจจะเรียกเครื่องมือชนิด นี้ว่า Pulse Echo Tester บ้างหรือ Pulse Reflection Instrument โดยระยะทางของพัลส์แต่ละลูกที่ส่งไปและ ความกว้างของพัลส์ที่ส่งออกไปมีผลต่อการวัดหาความยาวและสายวัดที่ระยะทางต่างๆ จะเป็นตัวบอก ระยะที่สั้นที่สุดและยาวที่สุดและยาวที่สุดที่พัลส์นี้จะวัดได้

- ระยะทางระหว่างพัลส์แต่ละลูกจะบอกถึงระยะทางสูงสุดที่สามารถวัดได้
- ความกว้างของพัลส์จะบอกถึงระยะทางต่ำสุดที่สามารถวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัลส์ที่มีความกว้างมากเกินไปวัดหาความยาวสายที่มีความยาวสั้นจะไม่สามารถวัดค่าได้ในทางตรงกันข้ามถ้าพัลส์ที่มีความกว้างแคบไปวัดหาความยาวสายที่มีความยาวมากจะไม่สามารถวัดหาความยาวได้เพราะจะเกิดการลอคทอนของสัญญาณ และระยะทางระหว่างพัลส์ส่งกับพัลส์สะท้อนห่างกันมาก นอกนั้นคาบเวลาของพัลส์จะมีผลต่อการวัดหาความยาวสาย ถ้าคาบเวลาในการสะท้อนกลับของสายมากกว่าคาบเวลาของพัลส์ส่ง พัลส์จะสะท้อนกลับจะไปอยู่หน้าพัลส์ส่งจะทำให้การวัดหาระยะทางไม่ถูกต้อง

เครื่องมือชนิดนี้ได้ใช้เทคนิคใหม่ในการวัดระยะตำแหน่งเสียบของสายตัวนำ ซึ่งแตกต่างจากระบบเก่าอย่างสิ้นเชิง เคมีเครื่องมือวัดตำแหน่งเสียบของเคเบิลใช้หลักการของ Bridge ซึ่งจะวัดค่าต้านทานหรือค่าความจุไฟฟ้าของสาย TDR จะใช้วิธีส่งสัญญาณไปในคู่สาย และสัญญาณที่ส่งไปนี้จะสะท้อนตรงที่มีเหตุเสียบ เนื่องจากสภาพและคุณสมบัติทางสายตรงตำแหน่งนี้มีการเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ค่าของอิมพีแดนซ์ตรงตำแหน่งนี้ไม่แมตช์ (Mismatch) กับอิมพีแดนซ์ของสาย (Characteristic Impedance or Cable Impedance)

เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของสัญญาณ (Propagation Time) สามารถนำมาคำนวณหาระยะทางจากจุดวัดถึงจุดเสียบได้ดังนี้

$$\text{Distance to Fault} = (\text{Propagation Velocity} \times \text{Propagation Time}) / 2$$

โดยที่ Distance to Fault คือ ระยะทางจากจุดวัดถึงจุดเสียบ

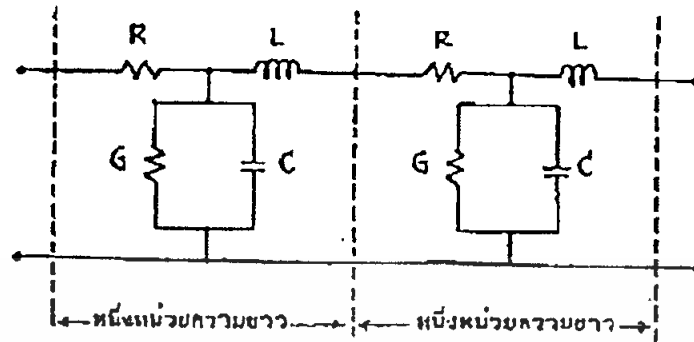
Propagation Velocity คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของสัญญาณ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดขนาดเคเบิล

Propagation Time คือ เวลาที่ใช้เคลื่อนที่สัญญาณทั้งหมดตั้งแต่ออกและสะท้อนกลับมา

สรุปแล้วจะเห็นว่าระยะทางจากจุดวัดถึงจุดเสียบก็คือครึ่งหนึ่งของระยะทางทั้งหมดที่สัญญาณเคลื่อนที่ไปและกลับ

2.10.2 สัญญาณสามารถสะท้อนกลับได้อย่างไร

โดยปกติแล้วสายตัวนำแต่ละชนิดจะมีสมบัติทางไฟฟ้าที่เรียกว่า คงตัวปฐมภูมิ 4 ตัวด้วยกันอันได้แก่ ค่า Resistance(R) , Inductance(L) , Capacitance(C) และ Conductance(G) กระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวของสาย

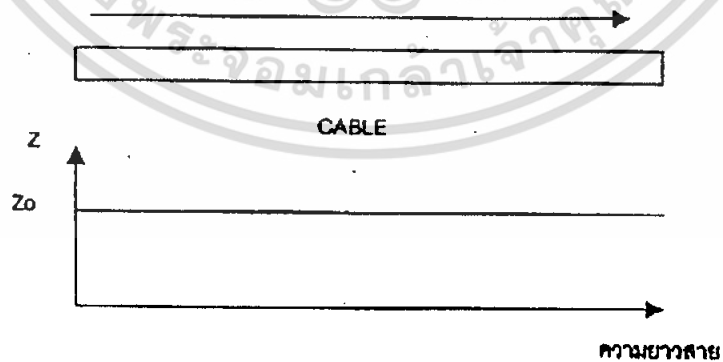


รูปที่ 2.13 แสดงวงจรเทียบเท่าของสายตัวนำในหนึ่งหน่วยความยาว

และค่าคงตัวปฐมภูมิ S ทั้ง 4 ตัวนี้จะก่อให้เกิดคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เรียกว่าค่าคงตัวทุติยภูมิ ซึ่งมีผลต่อสัญญาณไฟฟ้าที่ไหลผ่านในลักษณะที่ต่างกัน พอจะจำแนก ค่าคงตัวทุติยภูมินี้ได้ 2 อย่างใหญ่ๆ คือ Characteristic Impedance (Z_0) และ Propagation Constants (γ) Characteristic Impedance หมายถึงอิมพีแดนซ์ของสาย (Cable Impedance) แต่ละชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าคงตัวปฐมภูมิ และค่าความถี่แต่ไม่ขึ้นกับความยาว

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \tag{2.55}$$

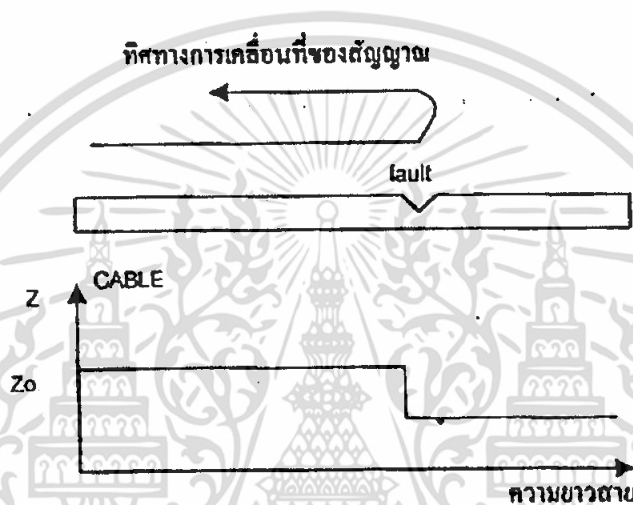
ทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณ



รูปที่ 2.14 แสดงการเคลื่อนที่ของสัญญาณในสายดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแล้วสายสัญญาณแต่ละชนิดจะมีค่าอิมพีแดนซ์คงที่ตลอดความยาวสาย เนื่องจากค่าคงตัวปฐมภูมิ มีการกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นถ้าเราส่งสัญญาณเข้าไปในสาย สัญญาณก็จะสามารถเคลื่อนที่ถึงปลายทางได้โดยปราศจากการสะท้อนกลับ แต่ถ้าตรงส่วนหนึ่งส่วนใดของสายมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปซึ่งอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากมีสาเหตุเสียเกิดขึ้นหรือมีการเพิ่มเติมอุปกรณ์อย่างอื่นเข้าไป ก็จะทำให้ค่าของอิมพีแดนซ์ตรงตำแหน่งนี้ไม่แมตช์กับอิมพีแดนซ์ของสายและจะทำให้เกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณตรงตำแหน่งนี้ได้



รูปที่ 2.15 แสดงการเคลื่อนที่ของสัญญาณในสายเสีย

2.10.3 สัญญาณที่ส่งไป (Sending Pulse)

สัญญาณที่ TDR ใช้ในการทดสอบคู่สายโดยทั่วไปจะเป็นสัญญาณ Squared Pulse ซึ่งมีขนาดแรงดัน 10-30 V สัญญาณขนาดความกว้างของสัญญาณแตกต่างกัน เช่น TDR ที่ใช้สำหรับวัดสายระยะไกล แรงดันที่ต้องใช้สูง Pulse width ขนาดกว้าง เพื่อให้สัญญาณที่ส่งไปสามารถเคลื่อนที่ไปถึงจุดเสียได้ และสะท้อนกลับมายังเครื่องได้

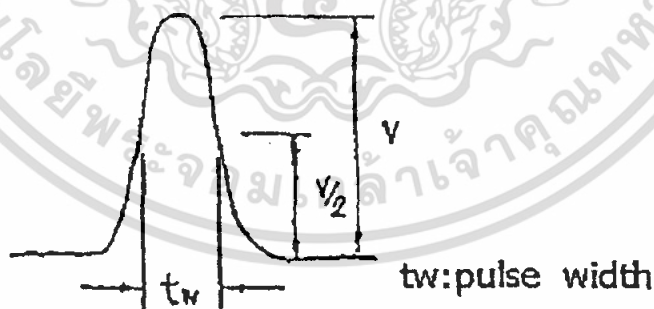
เครื่อง TDR โดยทั่วไปจะไม่สามารถปรับแรงดันได้ ยกเว้น เครื่อง TDR ที่สามารถปรับแรงดันได้จะเป็นเครื่องที่ใช้ในการวัดระยะไกล จะสามารถปรับระดับแรงดันให้เหมาะสมในแต่ละระยะการวัดเช่น เครื่อง Echometer ของ HDW electronic รุ่น T 03/5 ในระยะที่1 (1600เมตร) จะใช้แรงดัน 40V ระยะที่2(16 กิโลเมตร) ใช้แรงดัน 60V ระยะที่3 (160กิโลเมตร) ใช้แรงดัน 75V ทำให้ TDR รุ่นนี้สามารถวัดสายได้ในระยะใกล้และระยะไกล ซึ่งขนาดของ Pulse width ของสัญญาณที่ส่งไปจะถูกกำหนดไว้อย่างเหมาะสมในแต่ละ Rank เนื่องจากในแต่ละสัญญาณแต่ละขนาดให้ผลการวัดที่ดีในระยะที่ต่าง ๆ กัน สัญญาณขนาดแคบๆจะถูกใช้ในการวัดสายระยะสั้นๆ เพื่อให้สามารถแยกสัญญาณที่ส่งไปและสะท้อนกลับมายังเครื่องได้อย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชัดเจน ไม่ซ้อนทับกัน ยิ่งสัญญาณมีขนาดแคบมากเท่าไรก็สามารถวัดระยะจุดเสียได้ใกล้ขึ้นเท่านั้นแต่ถ้ามีสัญญาณขนาด Pulse width ต่ำสุดไม่แคบเพียงพอ ในบางครั้งจะมีปัญหาในการวัดหาตำแหน่งเสียถ้าจุดวัดอยู่ใกล้จุดเสียมากๆ ใน Range ที่สูงขึ้น Pulse width จะกว้างขึ้นเรื่อยๆตามความเหมาะสมเพื่อให้สัญญาณไปไกลมากที่สุด เนื่องจากสัญญาณขนาดแคบ(Narrow) จะมีกลุ่มความถี่สูงกว่าสัญญาณขนาดกว้าง(Wide) ดังนั้นเมื่อส่ง ไปในสายย่อมเกิดการลดทอนของสัญญาณ (Attenuation Loss) ที่มากกว่า สัญญาณจึงไปไม่ได้ ไม่ไกล

เราพบว่าถ้านำ TDR ไปวัดค่าสายที่มี Loading Coil TDR จะบอกระยะ Loading Coil ตัวแรก แต่ไม่สามารถมองเห็นจุดเสีย ถ้าจุดเสียเหล่านั้นอยู่หลัง Loading Coil เพราะสัญญาณที่ TDR ส่งไปไม่สามารถผ่าน Loading Coil ไปได้ และจะสะท้อนกลับหมดที่ Loading Coil เนื่องจากเกิดการไม่แมตซ์กันของอิมพีแดนซ์ อย่างรุนแรง Loading Coil ทำให้อิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้นสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจึงเป็น Positive Return Pulse เช่นเดียวกับกรณีสายขาด และนอกจากนี้สัญญาณที่ TDR ส่งไป ประกอบไปด้วยกลุ่มความถี่สูงมากมาย สูงกว่าค่า Cut-off Frequency ของ Loading Coil(3.4kHz) ดังนั้นสัญญาณจึงไม่สามารถผ่าน Loading Coil ไปได้

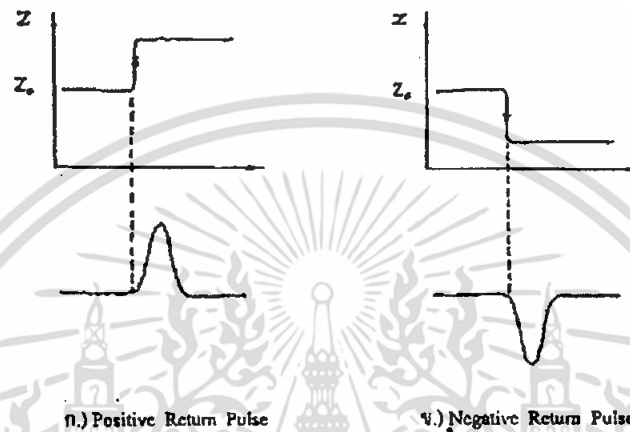
จากปัญหาดังกล่าว TDR สามารถหาตำแหน่งเสียได้ในกรณีเหตุเสียอยู่ก่อน Loading Coil เท่านั้น ถ้าเหตุเสียอยู่ระหว่าง Loading Coil จะทำอย่างไร อาจต้องใช้เครื่องมือแบบ Bridge หรือ TDR ที่ได้รับการออกแบบพิเศษ สามารถวัดผ่าน Loading Coil ได้ โดยเปลี่ยนสัญญาณที่ส่งไปเป็นสัญญาณ Sine Pulse ที่มีความถี่ต่ำกว่า Cut-off Frequency ของ Loading Coil ดังนั้นจึงสามารถผ่าน Loading Coil ไปได้ เช่นเดียวกับสัญญาณเสียงพูด



รูปที่ 2.16 แสดงสัญญาณที่ส่งไปในสาย

2.10.4 รูปร่างและขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับ

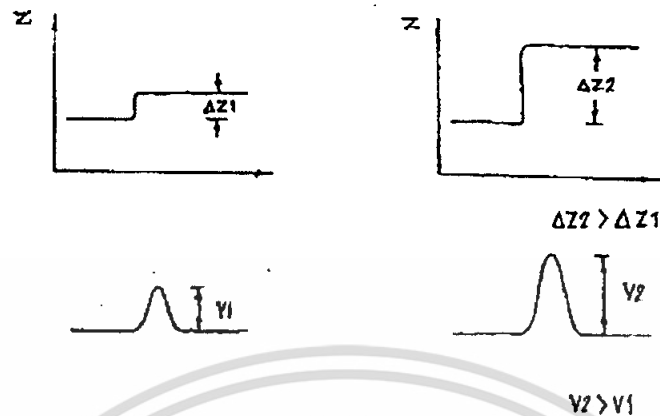
เป็นที่ทราบกันแล้วว่าสัญญาณสะท้อนกลับได้ตรงตำแหน่งที่อิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงไป และการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์นั้นเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ เปลี่ยนแปลงไปในทางเพิ่มขึ้น หรือลดลง สิ่งเหล่านี้จะส่งผลให้เกิดการสะท้อนที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.17 แสดงรูปร่างของสัญญาณสะท้อนกลับ

จะเห็นว่ากรณีที่อิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงไปในทางเพิ่มขึ้น สัญญาณที่สะท้อนกลับมาจะมีลักษณะเดียวกับสัญญาณที่ส่งไปหรือที่เรียกว่า Positive Return Pulse แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทางลดลงสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจะมีลักษณะตรงกันข้ามกับสัญญาณที่ส่งไปหรือเรียกว่า Negative Return Pulse จากสาเหตุที่แตกต่างดังกล่าว ทำให้เราสามารถจะวิเคราะห์ลักษณะของเหตุเสียที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากเหตุเสียแต่ละชนิดทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่ต่างกัน เหตุเสียที่ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้น คือเหตุเสียแบบ Series Fault อันได้แก่ สายหลวม สายขาด หรือเกิดออกไซด์ที่จุดต่อ และเหตุที่ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ลดลงคือเหตุเสียแบบ Shunt Fault อันได้แก่ สายลัดวงจร และแตะดิน

อิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปนอกจากจะมีผลต่อลักษณะของสัญญาณที่สะท้อนกลับแล้วยังมีผลต่อขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับด้วย



รูปที่ 2.18 แสดงขนาดของสัญญาณสะท้อนกลับ

จะเห็นว่าขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับมากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยเพียงใด ถ้าอิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงไปมาก ก็จะทำให้ขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับมามีค่ามาก แต่ถ้าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับมาก็จะน้อยลงตามไปด้วย หรืออาจจะกล่าวได้ว่าขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับจะแสดงให้เห็นว่าสัญญาณที่สามารถสะท้อนกลับได้ดีเพียงใด ในทางปฏิบัติจะเห็นว่ากรณีที่เกิดเสียงเกิดขึ้นไม่รุนแรง สัญญาณจะสะท้อนกลับมามากน้อย จะทำให้ยากต่อการวัดหาตำแหน่งเสียงเนื่องจากอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเท่านั้น

โดยทั่วไปการสะท้อนกลับของสัญญาณจะมากหรือน้อยจะถูกกำหนดในรูปของสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient) ซึ่งจะบ่งบอกถึงความสามารถ ในการสะท้อนกลับของสัญญาณที่จุดนั้น โดยเปรียบเทียบสัญญาณที่สะท้อนกลับมากับสัญญาณที่ส่งไปดังนั้น

$$\rho = \frac{E-}{E+} \quad (2.56)$$

E- = Reflected Voltage

E+ = Sending Pulse Voltage

และมีค่าความสัมพันธ์กับค่าอิมพีแดนซ์ดังนี้

$$\rho = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.57)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Z_L = \text{Fault Impedance}$

$Z_O = \text{Characteristic Impedance}$

จากสมการสมการข้างต้นจะเห็นว่า สัมประสิทธิ์การสะท้อนของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดเสียว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยแค่ไหน โดยปกติค่า (จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1) ตัวอย่างเช่น # ในกรณีจุดเสียมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนไปเป็น 0Ω (สาย Short กั้นสนิท)

$$\rho = \frac{0 - Z_O}{0 + Z_O} = -1 \quad (2.58)$$

ค่า (จะมีค่าเท่ากับ -1 ซึ่งหมายความว่าสัญญาณสามารถสะท้อนกลับได้ 100% เนื่องจาก $E^- = -E^+$ และเป็น Negative return pulse

ถ้าเป็นสายเคเบิลอิมพีแดนซ์จะมีค่าเท่ากับ Z_O ตลอดแนวความยาวสาย ดังนั้น

$$\rho = \frac{Z_O - Z_O}{Z_O + Z_O} = 0 \quad (2.59)$$

ค่า (จึงมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งหมายความว่าไม่มีการสะท้อนกลับเลย

ในกรณีจุดเสียมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนไปเป็น (สายขาดทั้ง 2 เส้น)

$$\rho = \frac{\infty - Z_O}{\infty + Z_O} = 1 \quad (2.60)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

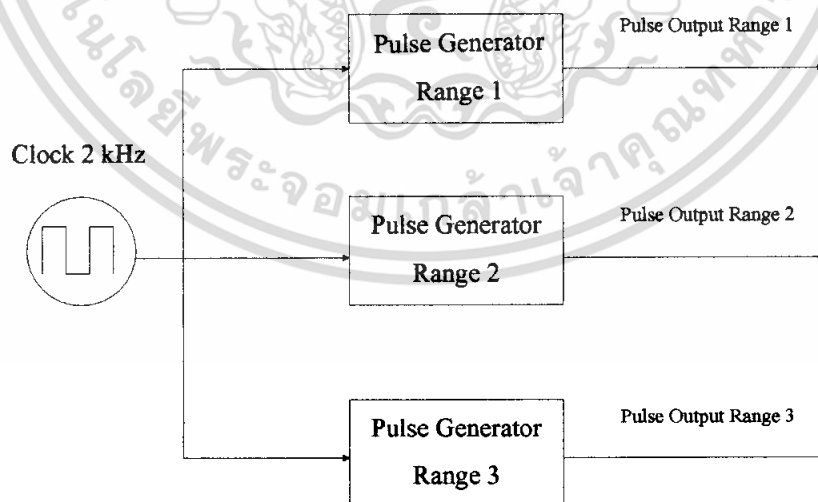
การคำนวณและการแก้ไข

บล็อกไดอะแกรมของระบบ

บล็อกไดอะแกรมรวมของระบบประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator)
- 2) วงจรกำเนิดสัญญาณ (Selector)
- 3) วงจรขับสัญญาณ (Line Driver)
- 4) วงจรตรวจจับสัญญาณ (Pulse Detector)
- 5) วงจรรวมสัญญาณ (Summing Circuit)
- 6) วงจรจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ (Time & Status Detector)
- 7) วงจรคูณสัญญาณ (Multiplier)
- 8) วงจรนับ (Counter)
- 9) วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D Converter)
- 10) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro Controller Unit)
- 11) จอแสดงผล (Liquid Crystal Display Module)

3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (#74HC123, #555)



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

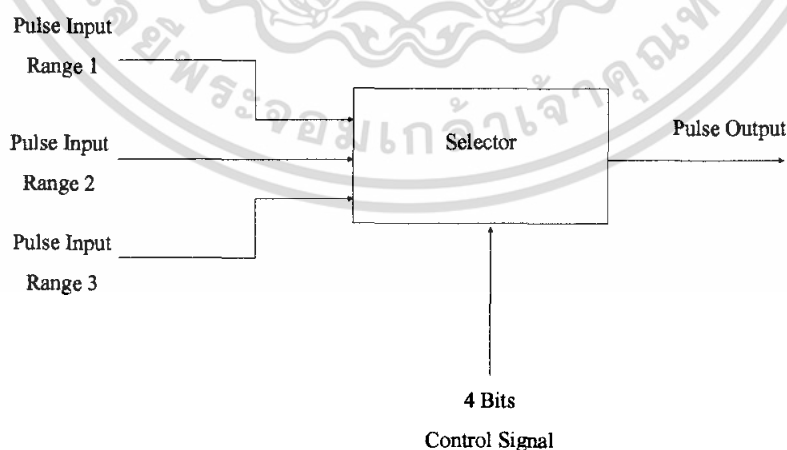
ในส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ จะทำหน้าที่ผลิตสัญญาณพัลส์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ย่านตามความเหมาะสมดังนี้ 0.1 μsec , 0.4 μsec , 3.5 μsec เหตุผลที่เลือกใช้ย่านความกว้างของพัลส์ดังนี้เพราะว่ายืดเอาค่าของบริษัทผู้ผลิต TDR เป็นหลัก เนื่องจากมีความเชื่อถือได้สูง และเหตุผลที่จะต้องทำการแบ่งออกเป็นย่านดังกล่าวเพื่อให้เหมาะสมกับระยะทางหรือความยาวของสายส่งที่จะทำการทดสอบเพื่อให้ง่ายต่อการนำมาประกอบผลในขั้นตอนต่อไป โดยมีการใช้สัญญาณอินพุต เป็นพัลส์ปกติที่ผลิตความถี่ที่ 2 kHz เป็นตัวควบคุมจังหวะการกำเนิดสัญญาณเอาต์พุต

ซึ่งความกว้างของพัลส์นี้จะมีผลต่อการวัดระยะทางรวมถึงขีดความสามารถในการวัด นั่นคือระยะทางที่ไกลที่สุดที่จะทำการวัดขึ้นอยู่กับความกว้างพัลส์ ถ้าต้องการให้เครื่องมือสามารถวัดได้ในระยะไกลๆ ความกว้างของพัลส์จะต้องมีความแคบมากๆ ถ้าความกว้างของพัลส์ ไม่เหมาะสมกับระยะทางของสายส่งที่จะทำการทดสอบแล้วจะทำให้เกิดการซ้อนทับกันระหว่างคลื่นที่ทำการส่งไป (Travelling Wave) กับคลื่นที่สะท้อนกลับมาจากสายส่ง (Reflected wave) ถ้าเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้นเราจะไม่สามารถนำสัญญาณไปวิเคราะห์หรือนำไปประมวลผลได้

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

ส่วนของในวงจร กำเนิดสัญญาณนาฬิกา 2 kHz ที่เป็นตัวกำหนดจังหวะการกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตนั้น เราจะใช้ IC #555 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณ

3.2 วงจรเลือกสัญญาณ (#74150)



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเลือกสัญญาณ

ในส่วนของวงจรเลือกสัญญาณ นั้นเราจะใช้ทำหน้าที่ควบคุมการปล่อยพัลส์ไปสู่ส่วนของวงจรขับสัญญาณแบบออต โนมิตี ซึ่งจะควบคุมด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในส่วนนี้ของวงจรนี้จะรับสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ เข้ามาทั้ง 4 สัญญาณ แต่จะส่งสัญญาณพัลส์ออกไปเพียงอันเดียว โดยกำเนิดสัญญาณเอาต์พุต ได้จากสัญญาณ ควบคุมที่มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์

ซึ่งในส่วนนี้ของวงจรเลือกสัญญาณนี้เราได้ใช้ IC #74150 ซึ่งเป็น IC เลือกสัญญาณแบบ 4 บิต

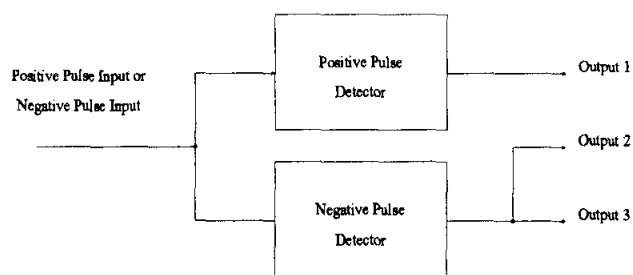
3.3 วงจรขับสัญญาณ (#LM6365, #LH0002)



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรขับสัญญาณ

วงจรขับสัญญาณจะทำหน้าที่ในการขับสัญญาณพัลส์ที่ถูกสร้างจากส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ผ่านวงจรเลือกสัญญาณเพื่อเพิ่มกำลังส่งให้กับพัลส์ขาส่ง (Traveling Wave) ที่จะทำหน้าที่เข้าไปในสายส่งที่จะทำหน้าที่ทดสอบเนื่องจากในส่วนนี้ของวงจรกำเนิดพัลส์นั้นมีความถี่สูงเกินไป เพราะถ้าส่งโดยไม่ผ่านวงจรขับสัญญาณ จะทำให้สัญญาณที่ส่งไปไม่ได้ไม่ไกลและไม่สะท้อนกลับมา และยังต้องการให้ระดับของพัลส์ที่จะสะท้อนกลับมา (Reflected Wave) มีระดับสูงขึ้นเพื่อที่จะได้ง่ายต่อการตรวจจับสัญญาณ ซึ่งในส่วนนี้เราได้ใช้ IC LM6365 เป็นตัวขยายสัญญาณ และใช้ LH0002 เป็นตัวขับสัญญาณ เนื่องจากสามารถให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีรูปร่างตามที่เรต้องการ

3.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ (#LM710)



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรม ของวงจรตรวจจับสัญญาณ

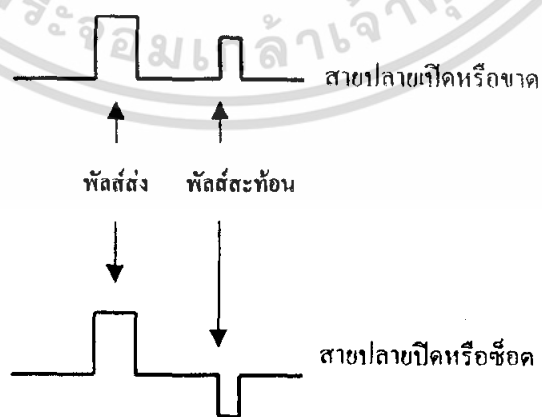
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรจับสัญญาณ ส่วนนี้จะทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณพัลส์ทั้งขาส่ง (Traveling Wave) และสัญญาณที่สะท้อนกลับมา (Reflected Wave) ซึ่งสัญญาณต่างๆ ที่ออกจากวงจรสัญญาณจับสัญญาณ รวมถึงสัญญาณสะท้อนกลับจะถูกตรวจจับจากส่วนของวงจรตรวจจับสัญญาณซึ่งจะประกอบไปด้วย ตัวตรวจจับพัลส์บวก (Positive Pulse Detector) และตัวตรวจจับพัลส์ลบ (Negative Pulse Detector) และเมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามาในวงจรต่ำหรือสูงกว่าแรงดันเปรียบเทียบ (Voltage Reference) ที่ตั้งไว้ วงจรตรวจจับนี้จะให้เอาต์พุตออกมาซึ่งเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2 จะถูกส่งไปกับวงจรรวมสัญญาณต่อไป ส่วนเอาต์พุต 3 จะถูกส่งไปวงจร T-Flip Flop 2 เพื่อทำการแยกลักษณะของการชำรุด

ลักษณะการตรวจจับจะใช้ OP-AMP ที่ต้องเป็นวงจร Comparator โดยจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณบวกและสัญญาณลบ ดังนั้น ในภาคนี้จะต้องมีการปรับแต่งระดับของแรงดันเปรียบเทียบเพื่อใช้เป็นแรงดันอ้างอิงในการตรวจจับสัญญาณคลื่นที่เป็นทั้งคลื่นบวกและคลื่นลบให้ได้

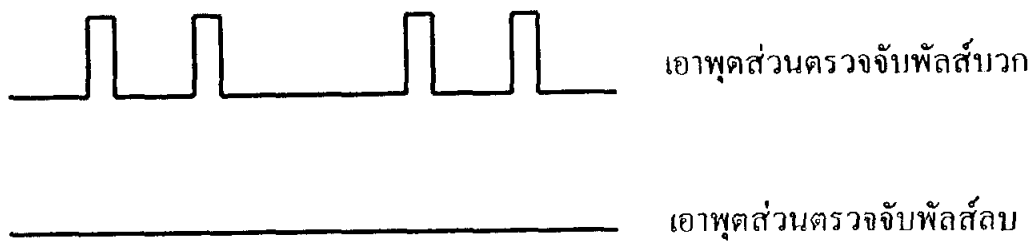
เนื่องจากว่าสัญญาณที่สะท้อนกลับมีระดับของแอมพลิจูดที่ต่ำมาก แต่ว่าจะไม่ทำการปรับแรงดันเปรียบเทียบให้อยู่ที่ระดับศูนย์ เพราะว่าถ้าทำเช่นนั้นจะทำให้ระดับของสัญญาณรบกวน (Noise Signal) ถูกตรวจจับไปด้วย ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดความผิดพลาดเป็นอย่างมากเนื่องจากจะทำให้เราไม่สามารถตรวจหาสัญญาณที่แท้จริงได้ เราจึงต้องมีการออกแบบและปรับแต่งให้แรงดันเปรียบเทียบอยู่ในระดับที่เหมาะสมที่สุด

ส่วนในวงจรนี้เราใช้ IC #LM710 ซึ่งเป็นตัวจับสัญญาณ

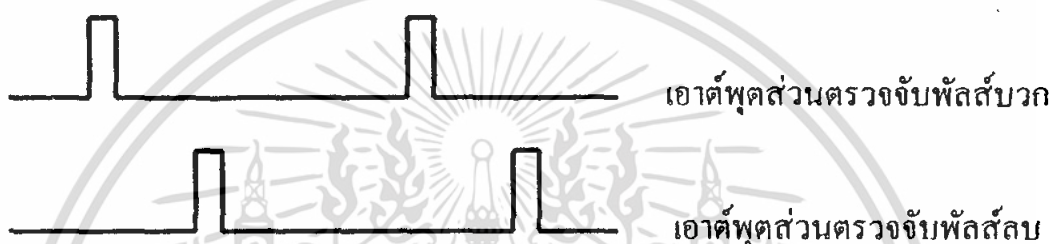


รูปที่ 3.6 ลักษณะการสะท้อนเอาต์พุตของภาคตรวจจับพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

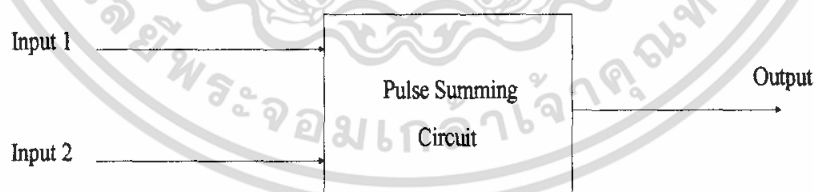


รูปที่ 3.7 แสดงเอาต์พุตของภาคตรวจจับพัลส์ กรณีสายปลายเปิด



รูปที่ 3.8 แสดงเอาต์พุตของภาคตรวจจับพัลส์ กรณีสายปลายปิดหรือชอร์ต

3.5 วงจรรวมสัญญาณ (#74HC32)



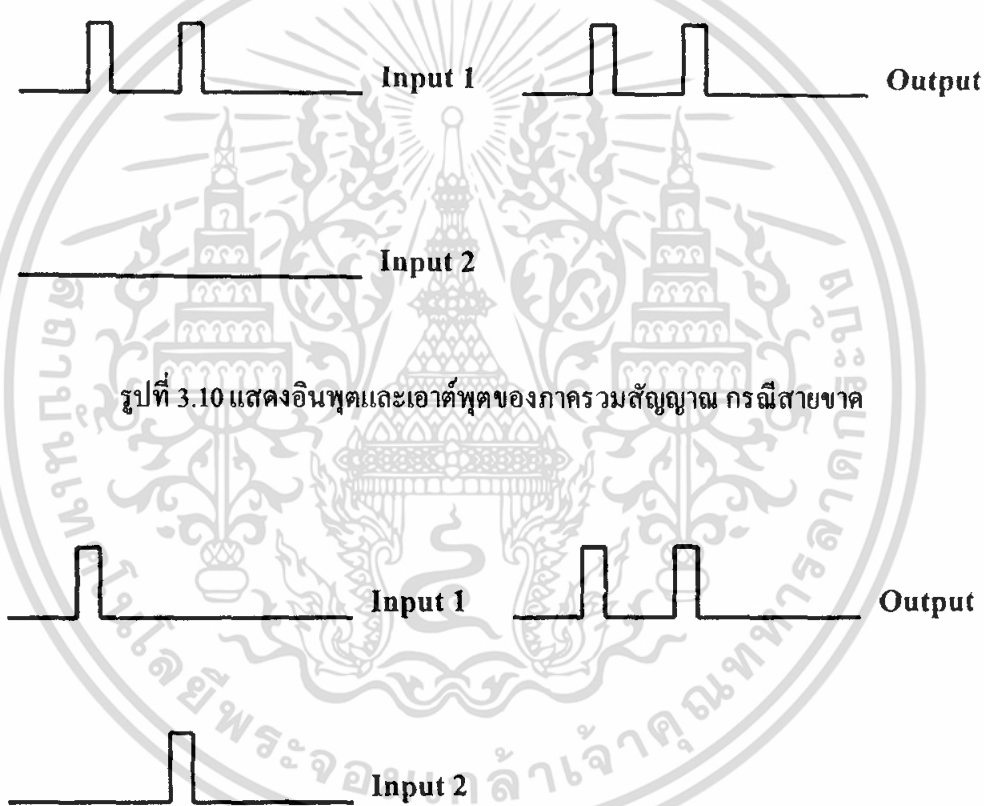
รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรวมสัญญาณ

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณ 2 สัญญาณที่ส่งมาจากภาคตรวจจับสัญญาณ 2 สัญญาณที่ส่งมาจากภาคตรวจสัญญาณ เพื่อนำสัญญาณเหล่านั้นมาทำการรวมกันทางแกนเวลา (Time Domain) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในส่วนของภาคนี้จะรับ อินพุตมาจากในส่วนของวงจรตรวจจับพัลส์บวก และวงจรตรวจจับพัลส์ลบซึ่งทั้งสองวงจรนี้จะไม่มีโอกาสให้อาต์พุตพร้อมกัน ได้เด็ดขาด เช่นเมื่อส่งสัญญาณพัลส์บวกเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปในสาย วงจรตรวจจับพัลส์บวกจะทำงาน แต่วงจรตรวจจับพัลส์ลบจะไม่ทำงาน จึงทำให้สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ของวงจรรวมสัญญาณมีเป็นพัลส์บวกค่าหนึ่งตามตามลักษณะสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับพัลส์บวก และเมื่อพัลส์นั้นสะท้อนกลับมา ซึ่งอาจจะเป็นได้ว่าเป็นพัลส์บวกหรือพัลส์ลบก็ตาม จะทำให้เอาต์พุตที่วงจรรวมสัญญาณมีค่าออกมาเป็นพัลส์บวกอีกเช่นเดียวกัน ตามลักษณะสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์บวกหรือลบซึ่งจะทำให้เอาต์พุตของวงจรมีเป็นสัญญาณที่เรียงกัน และมีระยะห่างเกิดขึ้นของพัลส์ที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับความยาวของสายที่ทำการทดสอบ

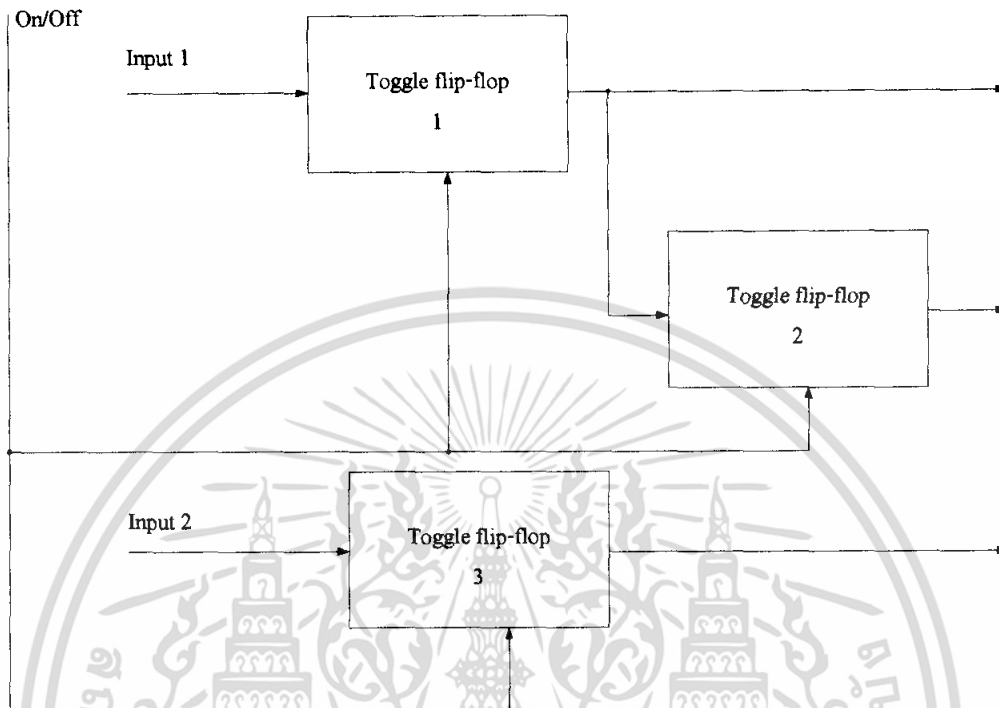
โดยในส่วนนี้เราใช้ IC #74HC32 ซึ่งเป็น OR-GATE นำมาใช้มาวงจรเพราะมีลักษณะการให้สัญญาณเอาต์พุตตามที่เรากำลังต้องการ



รูปที่ 3.11 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของภาครวมสัญญาณ กรณีสายช็อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ (#74HC74, #74HC14)



รูปที่ 3.12 บล็อกโคอะแกรมของวงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ

ในภาคนี้เราแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ T-Flip Flop 1 หรือส่วนของวงจรตรวจจับเวลา ซึ่งจะมีหน้าที่คือแปลงระยะห่างระหว่างพัลส์ 2 ลูก ซึ่งได้รับสัญญาณมาจากในส่วนของวงจรรวมสัญญาณ คือพัลส์ข้างล่างกับพัลส์สะท้อนกลับ ให้เป็นพัลส์ลูกเดียวที่มีความกว้างของพัลส์เท่ากับระยะห่างระหว่างพัลส์ 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 เพื่อเป็นตัวกำหนดการเริ่มและหยุดนับของวงจรรับ และที่ส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวกำหนดการเริ่มรับตำแหน่งและเคลียร์ข้อมูล

T-Flip Flop 2 จะทำหน้าที่คือตรวจสอบสถานะของสายว่าชำรุดหรือไม่โดยการรับค่ามาจากส่วนของ T-Flip Flop 1 เพราะถ้า T-Flip Flop 1 ทำงานแสดงว่า สายมีการชำรุดแต่ถ้า T-Flip Flop 1 ไม่ทำงานหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาด แสดงว่าสายนั้นไม่ชำรุด ซึ่งเราได้ใช้ขอบข้างของสัญญาณ

จากวงจรว่าสายชำระ แต่ถ้า T-Flip Flop 2 เป็น “0” แสดงว่าสายไม่ชำระและส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลต่อไป ซึ่งแสดงสถานะได้ดังตาราง

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการตรวจจับการเสียบของสายจากในส่วนวงจรตรวจสอบสายคีหรือเสียบ

เหตุการณ์	Out T-Flip Flop 2	Logic
สายชำระ	พัลส์ 5V	“1”
สายไม่ชำระ	พัลส์ 0V	“0”

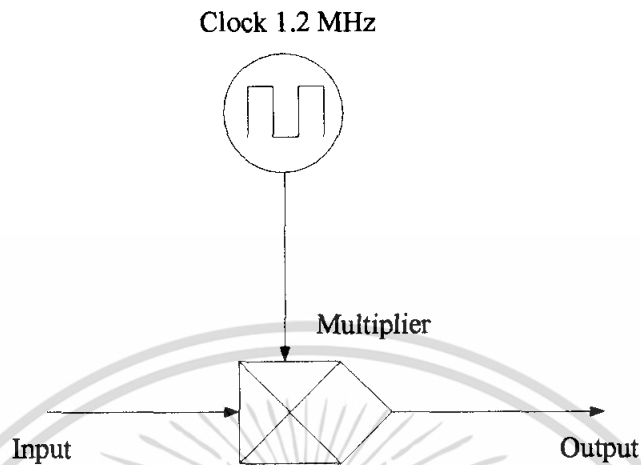
ส่วน T-Flip Flop 3 จะมีหน้าที่คือตรวจสอบสถานะของสายว่าเป็นการชำระแบบไหน เพื่อส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงผลต่อไป ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยเมื่อส่งสัญญาณพัลส์เข้าไปในสาย วงจรตรวจจับสัญญาณลบจะไม่ทำงานคือจะให้เอาต์พุต สถานะเป็น “0” ซึ่งจะทำให้ T-Flip Flop คงค่าสถานะเดิมไว้คือ “0” และเมื่อพัลส์ที่สะท้อนกลับมามีค่าเป็นบวก ทำให้ในส่วนของวงจรตรวจจับพัลส์ลบไม่ทำงานทำให้ T-Flip Flop คงค่าสถานะเดิมไว้คือ “0” เช่นเดิม แต่ถ้าพัลส์ที่สะท้อนกลับมาเป็นพัลส์ลบ จะทำให้วงจรตรวจจับพัลส์ลบทำงานให้ T-Flip Flop เปลี่ยนสถานะเป็น “1” ซึ่งจะทำให้เราสามารถทราบได้ว่าสายมีการชำระแบบ ไหน ได้ดังตาราง

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการตรวจจับชนิดการเสียบของสายในวงจรตรวจสอบสายเปิดหรือลัดวงจร

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 มาทำการดัดแปลงให้สามารถทำงานเป็น T-Flip Flop เนื่องจากว่าในท้องตลาดจะไม่มี IC ที่มีโครงสร้างภายในเป็น T-Flip Flop ซึ่งในส่วนนี้เราได้ใช้ D-Flip Flop มาทำการแปลงซึ่งก็คือ IC #74HC74

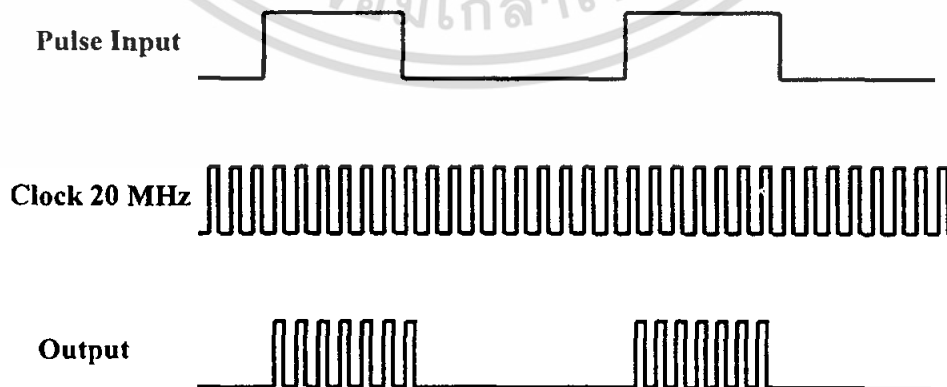
3.7 วงจรคูณสัญญาณ (#74LS08, #74HC393, Oscillator 24 MHz, #74HC14)



รูปที่ 3.13 บล็อกโคอะแกรมของคูณสัญญาณ

ในส่วนนี้อินพุตของระบบคือสัญญาณพัลส์ที่รับเข้ามาจาก T-Flip Flop 1 ซึ่งเป็นพัลส์ที่มีความกว้างเท่ากับเวลาที่แตกต่างกันของพัลส์ขาส่ง และพัลส์ที่สะท้อนกลับ สัญญาณพัลส์สัญญาณนี้จะผ่านเข้ามายังวงจรมคูณสัญญาณ โดยมีสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยม (Square pulse) ความถี่ 12 MHz เป็นตัวคูณ กับสัญญาณพัลส์ที่รับเข้ามา ดังนั้นเราจึงกล่าวได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตของ T-Flip Flop 1 เมื่อผ่านระบบนี้แล้ว ความกว้างของพัลส์จะถูกระบบนี้แบ่งความกว้างของพัลส์ออกเป็น พัลส์ลูกเล็กๆ จำนวนหนึ่ง และสัญญาณเอาต์พุตที่ได้นี้ จะถูกนำไปประมวลผลยังภาคต่อไป

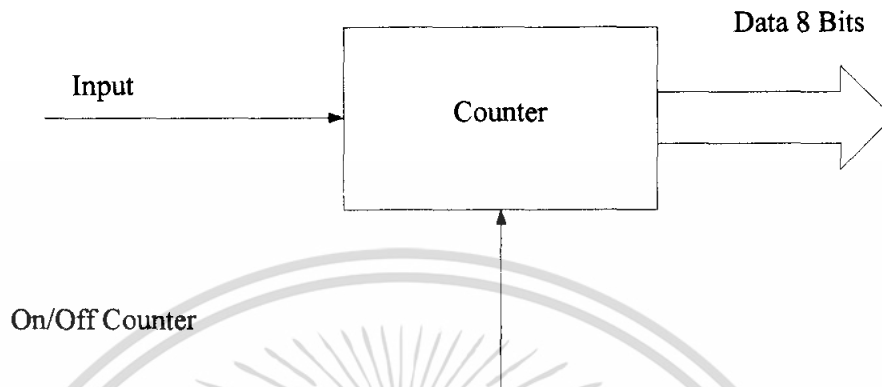
ในส่วนนี้เราใช้ IC #74LS08 ซึ่งเป็นวงจร AND Gate 2 อินพุต และใช้ Oscillator 24 MHz แล้วใช้ IC ทารความถี่ #74HC393 มาเป็นตัวหารความถี่ให้เหลือ 12 MHz



รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะของสัญญาณในภาค Sampling สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 วงจรนับ (#74HC393)

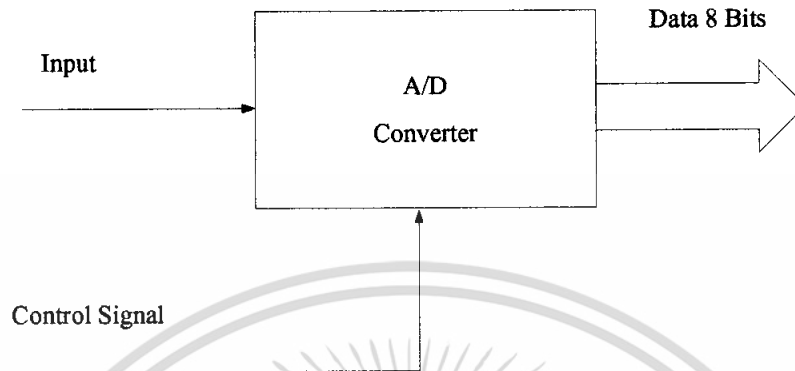


รูปที่ 3.15 บล็อกไดอะแกรมของวงจรถัด

การทำงานในส่วนนี้จะทำหน้าที่นับสัญญาณอินพุต ซึ่งในที่นี้จะเป็นสัญญาณที่ได้จากการคูณระหว่างสัญญาณที่ได้จาก T-Flip Flop 1 กับสัญญาณนาฬิกาความถี่ 12 MHz โดยที่วงจรถัดจะทำการนับทุกๆ ช่วงการคูณสัญญาณ นั่นคือวงจรถัดจะนับเฉพาะช่วงที่เกิดระยะห่างของพัลส์ขาส่งและพัลส์สะท้อนกลับเท่านั้น ช่วงอื่นๆ จะเป็นลอจิก “0” และจะทำการนับใหม่ เมื่อทำการส่งสัญญาณพัลส์ขาส่งออกไปและสิ้นสุดการนับเมื่อมีพัลส์สะท้อนกลับมา ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าวงจรถัดจะทำการเริ่มนับใหม่ทุกๆ 0.5 ms

ส่วนสัญญาณ On/Off Counter นั้นเราใช้สัญญาณจากวงจรถัด T-Flip Flop 1 เพื่อเป็นตัวบอกให้เริ่มนับและหยุดนับ เพราะถ้าทำการป้อนสัญญาณที่ได้จากการคูณเข้าไปนับ โดยตรงจะเกิดปัญหาคือ การนับจะไม่เป็นระเบียบและไม่สามารถหาค่าเอาต์พุตที่จะนำไปประมวลผลได้ เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีสัญญาณหนึ่งเป็นตัวบอกให้วงจรถัดเริ่มนับและหยุดนับ ดังนั้นสัญญาณที่จะนำมาทำงานนี้จะต้องมีความสัมพันธ์กับระยะห่างของพัลส์ขาส่งและพัลส์สะท้อนกลับด้วย เพื่อให้การนับมีความถูกต้องแม่นยำ และมีความผิดพลาดให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งในส่วนของวงจรถัดนี้เราใช้ IC #74HC393 ซึ่งเป็น IC 8 Bits Counter มาใช้

3.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (#ADC 0820)



รูปที่ 3.16 บล็อกไดอะแกรมของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

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

ในส่วนนี้เราได้ใช้ IC #ADC 0820 มาใช้ ซึ่งจะให้อาต์พุตขนาด 8 บิตออกมา โดย IC ตัวนี้ จะสามารถแปลงสัญญาณได้ทั้งบวกและลบและมีความไวในการแปลงข้อมูลค่อนข้างสูง

3.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (AT89s8252)

คุณสมบัติทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 อุนุกรม AT89xx

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม
- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายในชิป
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ SPI สำหรับในอนุกรม AT89Sxx
- มีวอตช์ดีอกไทเมอร์ในตัว สำหรับในอนุกรม AT89Sxx

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชทำงานกันในปัจจุบัน

เบอร์ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์	หน่วยความจำ โปรแกรม	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10.1 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 89S8252

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.16 โดยมีรายละเอียดขั้นต้น ดังนี้

ขา Vcc ใช้ต่อไปเลี้ยง 5 Volt

ขา GND เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ

ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็น ได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต

สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้ โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานในขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ พอร์ตนี้ยังถูกใช้งานติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานให้เป็น ได้ทั้งขาติดต่อแอดเดรสและขาติดต่อข้อมูล

ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นไปได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 1 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อ นอกจากนั้น ในอนุกรม AT89Sxx จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทมเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทมเมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการข้อมูล โปรแกรมในระบบ

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 ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดดังนี้

P3.0 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD

P3.1 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P3.3 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณอินเทอร์พต์ภายนอกช่องที่ 0 หรือขา ITT

P3.4 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา T0

P3.5 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขา T1

P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

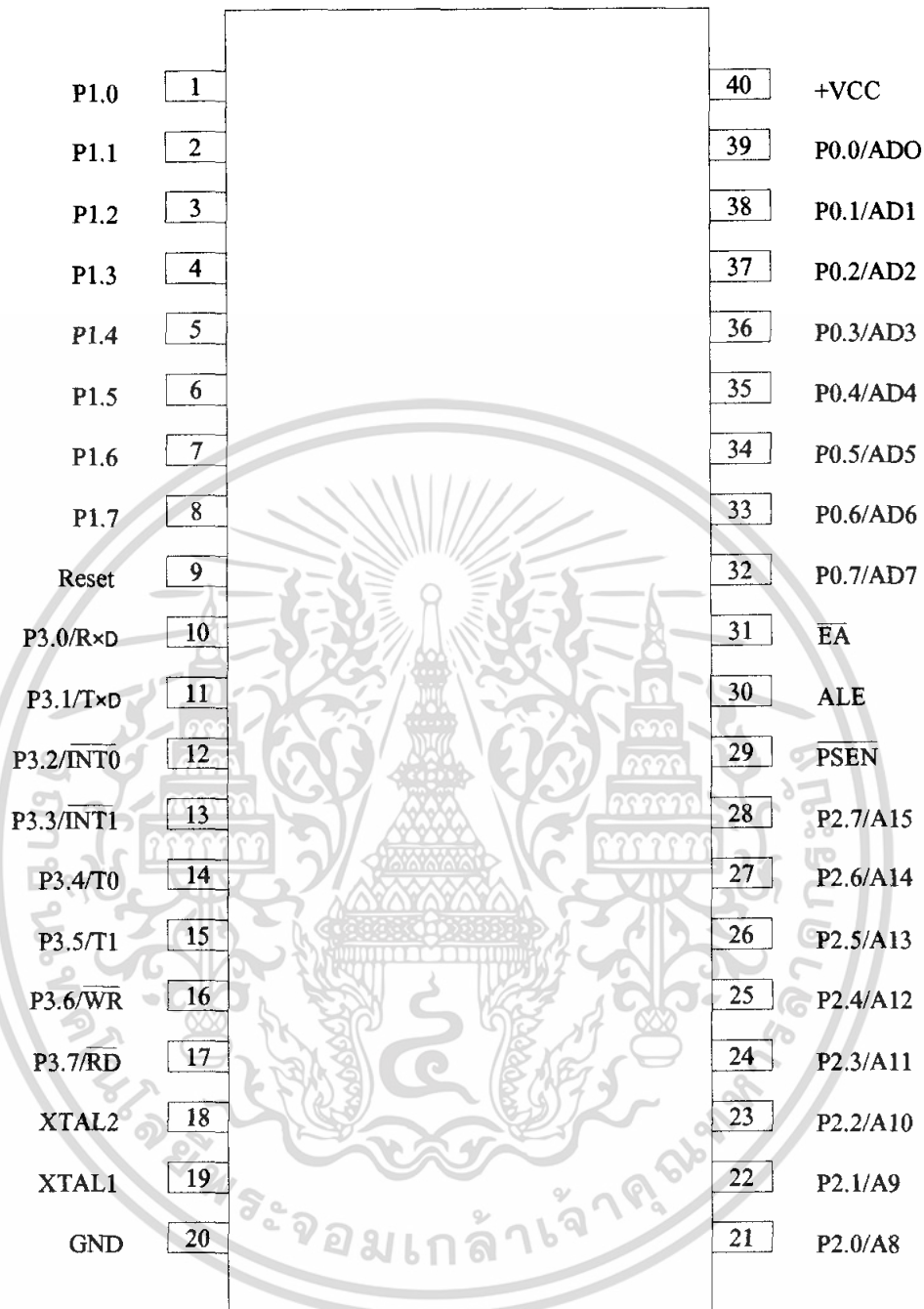
ขา Reset ใช้ในการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซ็ตสถานะที่ขา^{นี้}ต้องอยู่ในระดับ รีเซ็ตอย่างน้อย 2 แมกซ์ซินไซเคิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างปกติ

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

ขา \overline{SEN} (Program Store Enable) ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้งในแต่ละแมกซ์ซินไซเคิล แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขานี้จะไม่มีส่งสัญญาณใดๆออกมา

ขา \overline{A} /Vpp(External Access Enable/Programming Voltage อินพุต) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอก หรือภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น ‘0’ เป็น ‘1’ การเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าหากขานี้ยังใช้เป็นขาอินพุต สำหรับแรงดันไฟสูง สำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบเฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรม +12 Volt

ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับต่อคริสตัล เพื่อการสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.17 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89S8252

3.10.2 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีพอร์ตให้ใช้งานทั้งสิ้น 4 พอร์ตคือพอร์ต 0 ถึง 3 แต่ละพอร์ตมีขนาด 8 บิต เป็นพอร์ต แบบ 2 ทิศทาง กล่าวคือ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตสำหรับรับสัญญาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเข้า และเอาต์พุตสำหรับสัญญาณข้อมูลเข้า และเอาต์พุตสำหรับสัญญาณข้อมูลออกทุกพอร์ตของ ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลชมีวงจรถัดและวงจรมัลติเพล็กซ์อินพุตในตัว

การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

เนื่องจากพอร์ตทั้งหมดของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถเป็นได้ทั้งอินพุต และเอาต์พุต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องทำความเข้าใจถึงการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่ พอร์ตของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล '1' มาที่แต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการใช้งานเป็นอินพุต เพื่อหยุดการทำงานของเฟตที่ใช้ ในการขับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้นๆ ทำให้ขาสัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อเข้ากับวงจรพูลอัพภายใน โดยตรง ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น '1' สามารถรับสัญญาณลอจิก '0' จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย สัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจะถูกส่งเข้ามาแล้วเก็บไว้ในวงจรมัลติเพล็กซ์อินพุต แล้วรอให้ ซีพียูมาอ่านค่าเข้าไป เมื่อเป็นเช่นนี้ อุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ควรกำหนดในสถานะลอจิก '0' จะและสะดวกที่สุด (ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์อินพุตที่เชื่อมต่อ ไมโครคอนโทรลเลอร์แทบทั้งหมดทำงานที่ลอจิก '0' แล้ว)

การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต

โดยปกติแล้ว ขาพอร์ตจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้ว ดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูล ออกไปได้อย่างง่ายดายและตรงไปตรงมา กล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูล '0' ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้ เขียนข้อมูล '0' ไปยังวงจรถัด ซึ่งก็จะส่งไปขับเฟต ทำให้เฟตทำงาน ที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงานก็ จะเกิดลอจิก '0' ขึ้นในทางที่ขาพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรพูลอัพภายในเกิดเป็นลอจิก '1' ที่ขาพอร์ตนั้น ซึ่งก็จะคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมากเพียงแต่แตกต่างกันที่กระบวนการในการเคลื่อนย้ายข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุตจะมีสัญญาณมาอ่านที่บัฟเฟอร์ แต่ถ้าเป็นเอาต์พุตจะไม่มีมาอ่านที่บัฟเฟอร์แต่ อย่่างใด เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอาต์พุต

การอ่านค่าลอจิกจากพอร์ต

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถอ่านค่าลอจิกพอร์ตได้ 2 ลักษณะ คือ อ่าน ค่าจากพอร์ตโดยตรง และอ่านจากวงจรถัดของแต่ละพอร์ต ในกรณีที่พอร์ตต่อกับขาเบสของ ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และขาอิมิตเตอร์ต่อลงกราวด์หากมีการส่งข้อมูล 1 ไปยังทรานซิสเตอร์ จะทำให้ ทรานซิสเตอร์ทำงานในสถานะลอจิกที่ขาพอร์ตจะเป็น 0 เนื่องจากเมื่อทรานซิสเตอร์ทำงาน จะเสมือนว่า ขาพอร์ต นั้นถูกต่อลงกราวด์ทำให้หากอ่านค่าลอจิกที่ขาพอร์ต จะได้ผลตรงกันข้ามกับที่ส่งออกมา แต่ถ้า หากทำงานอ่านค่าลอจิกที่วงจรถัดจะได้ค่าที่ตรงกันกับค่าที่ต้องการส่งจริง ดังนั้น ในการอ่านค่าลอจิกจาก พอร์ต จึงต้องเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่นำมาต่อด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดหน่วยความจำ

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบ่งชนิดหรือหน้าที่ของหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำโปรแกรม (program memory) และหน่วยความจำข้อมูล (data memory)

หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมภายในและหน่วยความจำภายนอก หน่วยความจำโปรแกรมภายในจะถูกเลือกใช้งานถ้าคำสั่งสัญญาณ EA มีค่าเป็น 1 โดยจะถูกใช้งานในช่วงแอดเดรส 0-0FFFH (หรือช่วงแอดเดรส 0-1FFFH ในเบอร์ 8052) นอกเหนือจากช่วงแอดเดรสนี้จะใช้หน่วยความจำภายนอกทั้งหมด ในกรณีตรงกันข้ามถ้าคำสั่งสัญญาณ EA มีค่าเป็น 0 ในช่วงแอดเดรส 0-0FFFH (หรือช่วงแอดเดรส 0-1FFFH ในเบอร์ 8052) จะถูกใช้ในหน่วยความจำภายนอก หรือกล่าวได้ว่าถ้าคำสั่งสัญญาณ EA มีค่าเป็น 0 จะต้องการเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกทั้งหมดตลอดช่วงแอดเดรส

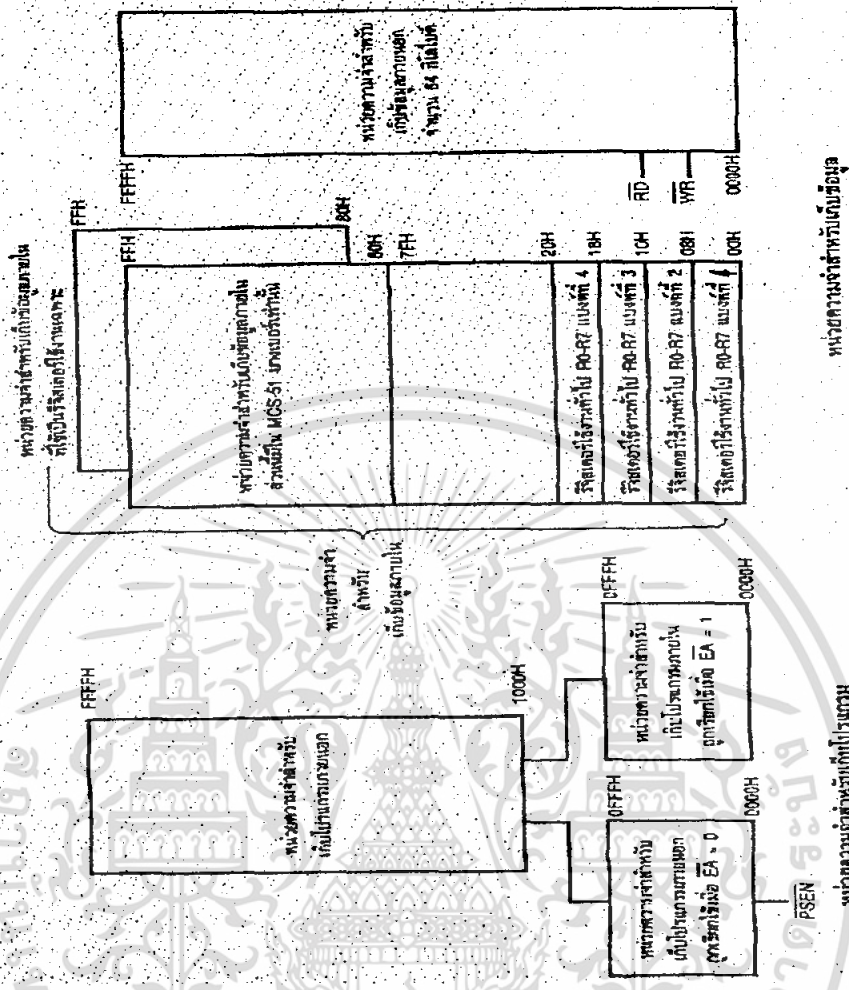
หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลภายในและหน่วยความจำข้อมูลภายนอก สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในยังแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนย่อยคือส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปและส่วนที่เป็นรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษหรือ SFR (Special Function Register) โดยส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปจะถูกใช้สำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปและค่าตัวแปรต่างๆ จากการทำงานของโปรแกรม ส่วนรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษจะถูกใช้งานเป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานและบอกสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์เป็นอย่างน้อย และบางเบอร์มีถึงขนาด 256 ไบต์

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (SFR)

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษมีบทบาทอย่างมากในการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ และทำให้การเขียนโปรแกรมสามารถเขียนได้สะดวกมากขึ้น รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษทำหน้าที่สำคัญคือควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆภายในไมโครคอนโทรลเลอร์และทำหน้าที่แสดงสถานะการทำงาน ซึ่งรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษบางตัวยังสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต (bit addressable) ด้วย ดังแสดงรูปการจัดหน่วยความจำและตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษต่างๆ ในรูป



รูปที่ 3.18 แสดงโครงสร้างของหน่วยความจำ

3.10.3 ความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการทำงาน 1 รอบ หรือ 1 แมกซีนไซเคิล ซีพียูไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้เวลา 12 คาบเวลาในการทำงาน 1 ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 1 ms หรือมีความเร็วในการทำงานภายใน 1 MHz ในกรณีที่ใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกา 12 MHz ถ้าต้องการทราบความเร็วของการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถหาได้จาก ค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาหารด้วย 12 และถ้าต้องการหาค่าเวลารอบ 1 รอบของการทำงานหรือ 1 แมกซีนไซเคิล สามารถทำได้โดยการหาส่วนกลับของความถี่ในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.11 จอแสดงผล

รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD (Liquid Crystal Display)

ในโมดูล LCD ที่ใช้กันโดยทั่วไปมีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

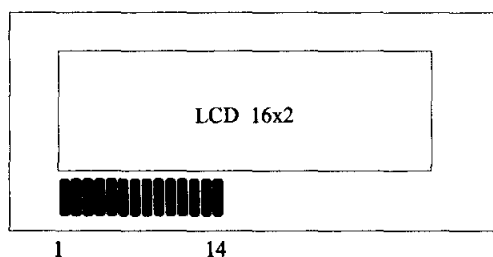
1. ตัวแสดงผล (Display) ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็น โดยอาศัยแสงจากภายนอก ซึ่งจะปิดและเปิดตัวเองกับแสงในส่วนที่เป็นตัวกระจกบรรจุผลึก
2. ตัวควบคุม (Controller) เป็นตัวรับข้อมูลภายนอก มาควบคุมการทำงานของข้อมูล LCD เช่น ภาพจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิปควบคุมโดยเฉพาะ ชิพที่นิยมใช้ คือ เบอร์ HD61830 และ HD44780 โดย HD44780 จะควบคุม LCD อักษรระ ส่วน LCD61830 ใช้ควบคุม LCD แบบกราฟฟิก
3. ตัวขับ (Driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุม มาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูล ตามที่กำหนด ชิพที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ ได้แก่ เบอร์ HD44100 และ MSM5259 เป็นต้น

3.11.1 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD

ในโครงงานนี้เราใช้ LCD แบบอักษร จึงขอยกตัวอย่าง โครงสร้างและการใช้งาน LCD อักษรที่ใช้ชิปเบอร์ HD44780 เป็นตัวควบคุม ซึ่งประกอบไปด้วย

1. บัฟเฟอร์อินพุตเอาต์พุต (Buffer และ Output) เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อรับส่งข้อมูล กับอุปกรณ์ภายนอกเพื่อที่จะถ่ายทอดข้อมูลเข้าออกภายในตัวควบคุม
2. รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register : IR) เป็นรีจิสเตอร์ใช้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกเพื่อถ่ายทอดแต่ไปยังหน่วยความจำ ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลแสดงผล หรือนำข้อมูลไปสร้างตัวอักษรเพิ่มเติมในแรมเก็บตัวอักษร
3. แรมเก็บข้อมูลแสดงผล (Display Data Ram : DDRAM) เป็นหน่วยความจำที่มีหน้าที่เก็บข้อมูลที่มาจากรีจิสเตอร์ DR ตัวควบคุมจะนำข้อมูลใน DDRAM ไปเปิดตาราง (look up-table) ของตัวอักษรที่เก็บไว้ในหน่วยความจำรวมและแรมเก็บตัวอักษร เพื่อที่จะนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล
4. รวมเก็บตัวอักษร (Character Generator ROM : CGROM) เป็นหน่วยความจำที่รวมใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ที่สามารถอ่านออกไปแสดงที่ตัวแสดงผลได้ มีขนาด 7200 บิต โดยจะถูกอ่านค่าของข้อมูลใน DDRAM
5. แรมเก็บตัวอักษร (Character Generator RAM : CGRAM) เป็นหน่วยความจำที่รวมใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรใน CGRAM ไม่เพียงพอ มีขนาด 512 บิต การเขียนและการอ่านไปใช้นั้นทำได้เช่นเดียวกับ CGRAM คือเขียนข้อมูลลงใน DDRAM แล้วตัวควบคุมจะมาอ่านค่าจาก CGRAM เอง
6. แฟล็ก BUSY เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แจ้งสถานการณการทำงานของตัวควบคุมให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่า ตัวควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งหรือไม่ ดังนั้นก่อนการส่งข้อมูลหรือคำสั่งมายังตัวควบคุมต้องตรวจสอบสถานะของแฟล็ก BUSY นี้เสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 การจัดขาของจอแสดงผล

3.11.3 คำสั่งควบคุม LCD

ในการเขียนคำสั่งควบคุม LCD เราต้องกำหนดลอจิกให้กับขา RS และ R/W ในลักษณะที่ต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

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							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำสั่งเคลียร์ตัวแสดงผล (clear display)

มีข้อมูลคำสั่งเป็น 01H เป็นคำสั่งที่ใช้เขียนข้อมูลช่องว่าง หรือ space เข้าไปใน DDRAM ทั้งหมด เมื่อควบคุมเอ็ทซีคิวต์คำสั่งนี้ จะทำการกำหนดแอดเดรสของ DDRAM เป็น 0 เคอร์เซอร์จะกลับไปอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายมือสุดของจอแสดงผล แล้วเซตบิต I/D ให้เป็น "1"

2. คำสั่ง RETURN HOME

ต้องกำหนดคให้บิต 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 DDRAM 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 ใช้ควบคุมการแสดงผลเคอร์เซอร์บนจอแสดงผล ถ้าต้องการให้มีการเคอร์เซอร์แสดงผลบนจอแสดงผล ต้องกำหนดให้เป็นบิต "1" ถ้ากำหนดให้เป็น "0" จะเป็นการปิดหรือไม่แสดงเคอร์เซอร์

บิต B ใช้ควบคุมการกระพริบของเคอร์เซอร์ ถ้าบิตนี้เป็น "1" เคอร์เซอร์จะกระพริบดังนั้นจะมีข้อมูลคำสั่งได้ตั้งแต่ 08H-0FH แต่ที่ใช้บ่อยคือ 0CH เป็นการสั่งให้เปิดจอแสดงผล แต่ไม่แสดงเคอร์เซอร์ และ 0FH เป็นการเปิดจอแสดงผล แสดงเคอร์เซอร์และสั่งให้เคอร์เซอร์กระพริบ

5. คำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร

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

การควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และตัวอักษรบนจอแสดงผลขึ้นอยู่กับข้อกำหนดขนาดบิต 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" จะแสดงผล 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 เป็นการกำหนดให้ไมโคร LCD ทำงานในแบบ 8 บิตแสดงผล 2 บรรทัด และเลือกความละเอียด 5×7 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 จะต้องทำการกำหนดแอดเดรสด้วยคำสั่งนี้ ก่อนที่อ่านหรือเขียนข้อมูลให้ 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 ทั้งนี้จำนวนแอดเดรสวิ่งขึ้นอยู่กับสถานะที่บิต 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. คำสั่งอ่านแฟล็ก BUSY และแอดเดรส

MSB							LSB
BF	A	A	A	A	A	A	A

เป็นคำสั่งที่ใช้อ่านแฟล็ก BUSY (BF) โดยแฟล็กนี้จะเป็นตัวบอกสถานะของตัวควบคุม LCD ว่าพร้อมจะรับข้อมูลอยู่หรือไม่ ถ้าหากบิต BF เป็น "0" แสดงว่าตัวควบคุม LCD พร้อมรับข้อมูลหรือคำสั่ง แต่ถ้าเป็น "1" แสดงว่าขณะนี้ตัวควบคุม LCD ยังอยู่ในกระบวนการทำงานภายใน หรือกำลังประมวลผลข้อมูลอยู่ ยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่ง

เมื่อต้องการอ่านแฟล็กต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น "1" แต่สัญญาณที่ขา RS ยังต้องเป็น "0" เพราะข้อมูลนี้เป็นข้อมูลคำสั่ง

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) ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการแสดงผลเนื่องจากบัสของ โมดูล LCD มี 8 เส้น คือ D0-D7 และ ใช้เป็นทางผ่านของทั้งคำสั่งและข้อมูล ดังนั้นในการส่งคำสั่งและข้อมูลจึงต้องกำหนดสัญญาณลอคจิกที่ขา RS ถ้าหากที่ขา RS ได้ลอคจิก “0” หมายความว่า ข้อมูลที่ป้อนให้แก่ โมดูล LCD ขณะนั้นเป็นคำสั่งในทางตรงกันข้ามหากขา RS ได้รับลอคจิก “1” ข้อมูลที่ป้อนให้ในขณะนั้นเป็นข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผล

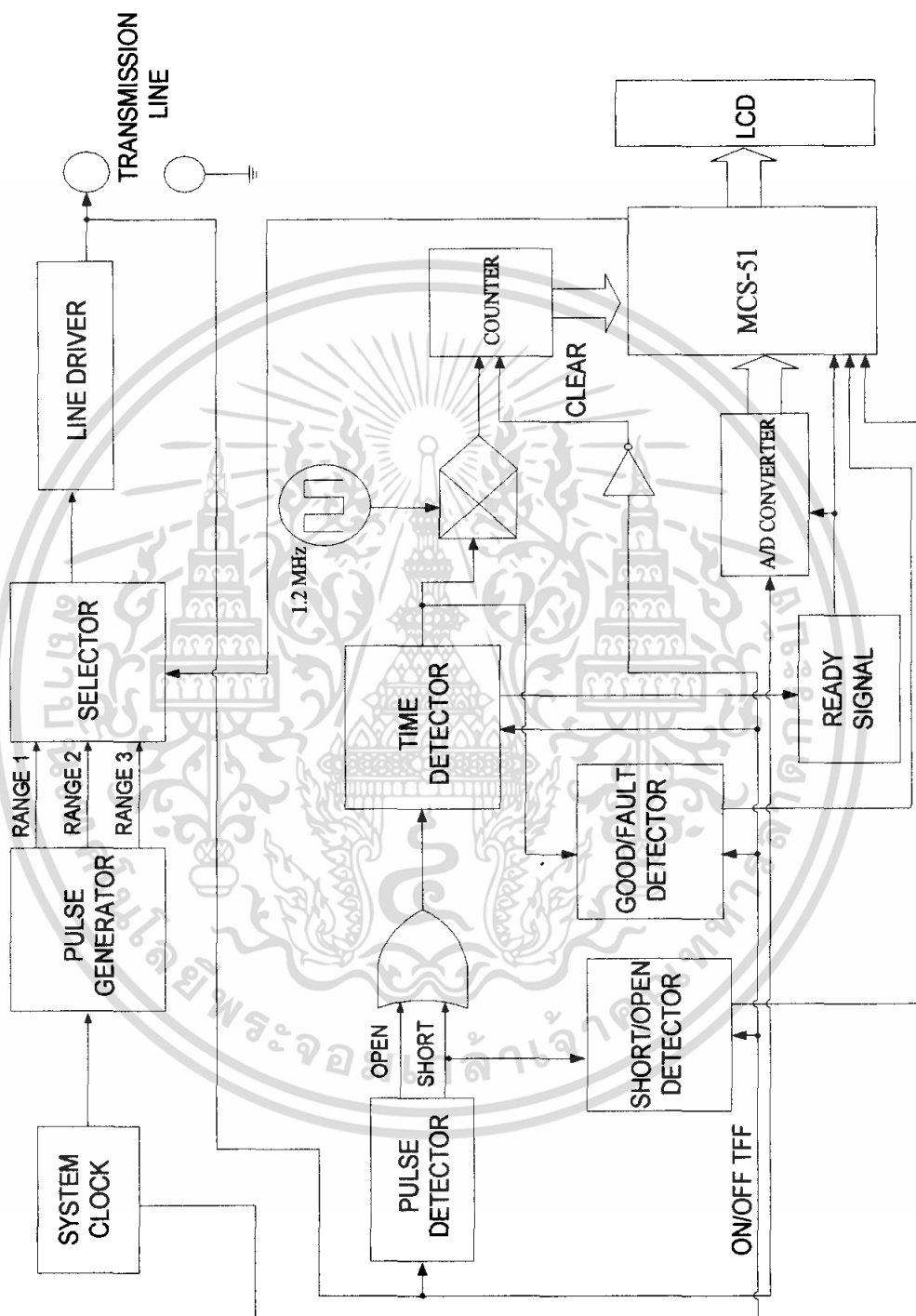
เมื่อต้องเขียนข้อความหรืออ่านข้อมูลใน CGRAM และ DDRAM เริ่มต้นต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการอ่านหรือขึ้นก่อน โดยใช้คำสั่งเลือกแอดเดรส จากนั้นกำหนดให้ขา RS เป็น “1” เพื่อแจ้งให้ตัวควบคุมภายใน โมดูล LCD ทราบว่าข้อมูลที่ปรากฏต่อไปนี้เป็นข้อมูลปกติไม่ใช่คำสั่ง

ในกรณีที่ต้องการเขียนข้อมูล เมื่อกำหนดแอดเดรสและป้อนลอคจิก “1” ให้ขา RS แล้วกำหนดให้ขา R/W เป็น “0” ข้อมูลที่อ่านบนบัสข้อมูลจะถูกเขียนลงในรีจิสเตอร์ DR จากนั้นจึงถ่ายทอกลงใน DDRAM ต่อไป

3.11.5 จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล

ในการติดต่อกับ โมดูล LCD จะต้องมีกำหนดช่วงเวลาหลังจากที่ทำการส่งรหัสคำสั่งหรือข้อมูล เนื่องจากต้องรอให้คอนโทรลเลอร์ภายใน LCD โมดูล แปลความหมายของรหัสคำสั่งและทำงานตามคำสั่งให้เรียบร้อยก่อน จากนั้นจึงจะรับข้อมูลหรือดำเนินการต่อไป

ดังนั้น ในการใช้งาน ผู้เขียน โปรแกรมต้องมีโปรแกรมเพื่อหน่วงเวลารอให้ LCD โมดูลพร้อมทำงานด้วย โดยเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้ LCD ต้องรอประมาณ 100 ms เพื่อให้ LCD ทำการเตรียมความพร้อม หลังจากนั้นก็จะกำหนดลอคจิกให้กับขา RS และหน่วงเวลาอีกประมาณ 2 ms เพื่อให้คอนโทรลเลอร์ของ LCD แปลความหมายของลอคจิกที่ขา RS ว่าเป็นรหัสข้อมูลจะแสดงผลหรือคำสั่งจากนั้นจะเป็นการส่งข้อมูลมารอที่ขาบัสข้อมูล D0-D7 ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการส่งสัญญาณพัลส์ไปที่ขา E เพื่อให้ LCD รับเอาข้อมูลจากบัสเข้าไป โดยพัลส์ที่ป้อนที่ขา E จะต้องเป็นพัลส์ขอบขาขึ้น จากนั้นก็ทำการหน่วงเวลา 2 ms



รูปที่ 3.21 บล็อกไดอะแกรมรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

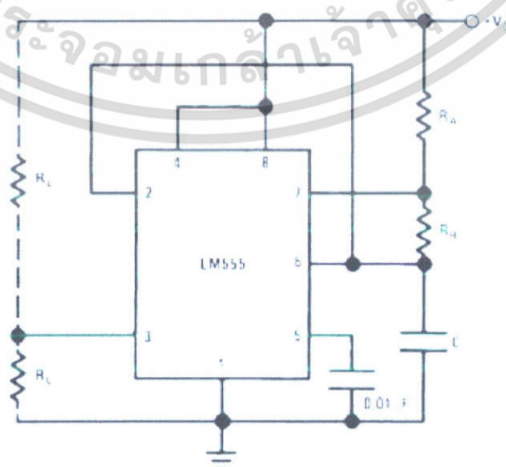
4.1 การออกแบบวงจร

วงจรจะแบ่งเป็น

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

4.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

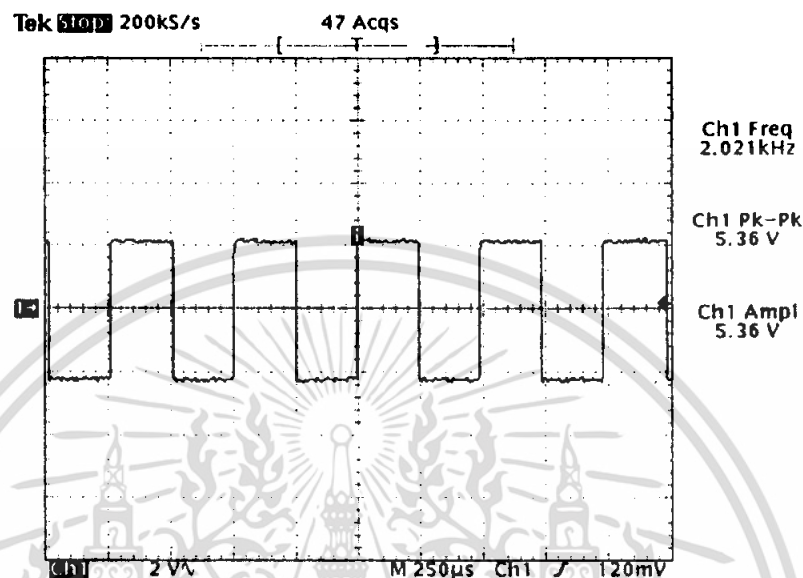
ในวงจรกำเนิดสัญญาณนี้เป็นตัวควบคุมจังหวะการเกิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งเราใช้ IC #555 มาเป็นตัวสร้างสัญญาณนาฬิกา ดังรูป



รูปที่ 4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อเราทำการปรับแต่งวงจรเพื่อให้ได้ค่าตามต้องการแล้วจะให้พัลส์เอาต์พุตดังรูป



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองในส่วนของวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา

และส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นี้จะใช้ IC #74LS123 ผลิตเอาต์พุตเป็นลักษณะ Monostable Multivibrator โดยอาศัยสัญญาณนาฬิกา ป้อนเข้าวงจรเป็นสัญญาณนาฬิกา ควบคุมจังหวะการกำเนิดสัญญาณเอาต์พุต

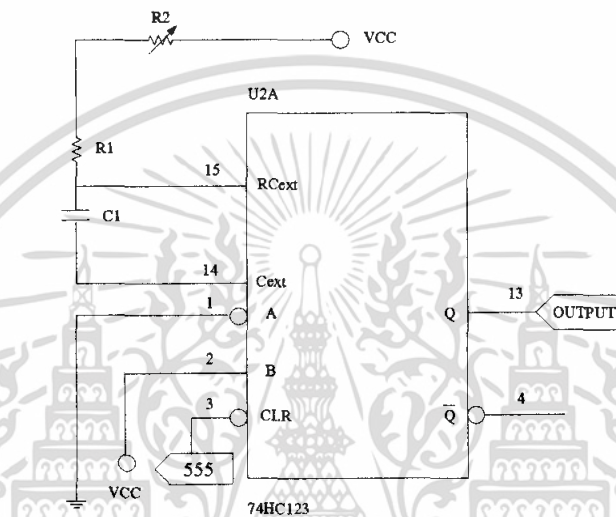
โดยสัญญาณเอาต์พุตของ IC #74LS123 กำหนดได้ตาม Truth Table ด้านล่าง
ตารางที่ 4.1 Truth Table ของ IC #74LS123

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	⌋	⌋

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

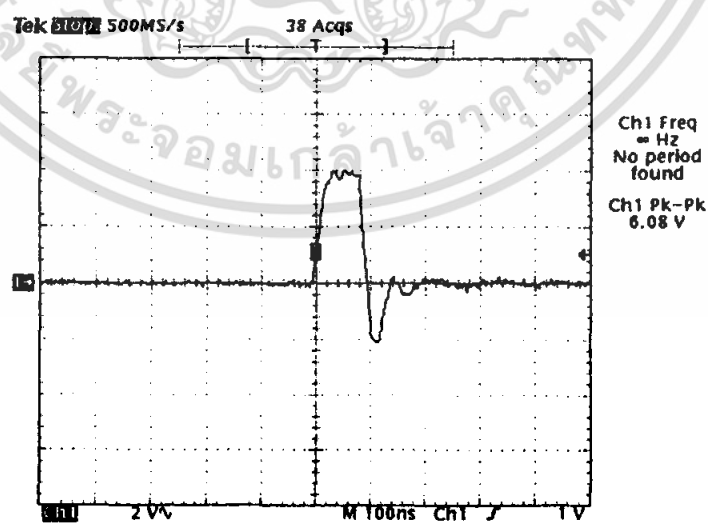
ตารางที่ 4.2 ค่า R และ C ในวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

Pulse Width	R	VR	Cx
100 nsec	3.3 K	2K	50 pF
0.4 μ sec	7.5 K	5K	50 pF
3.5 μ sec	82 K	50K	50 PF



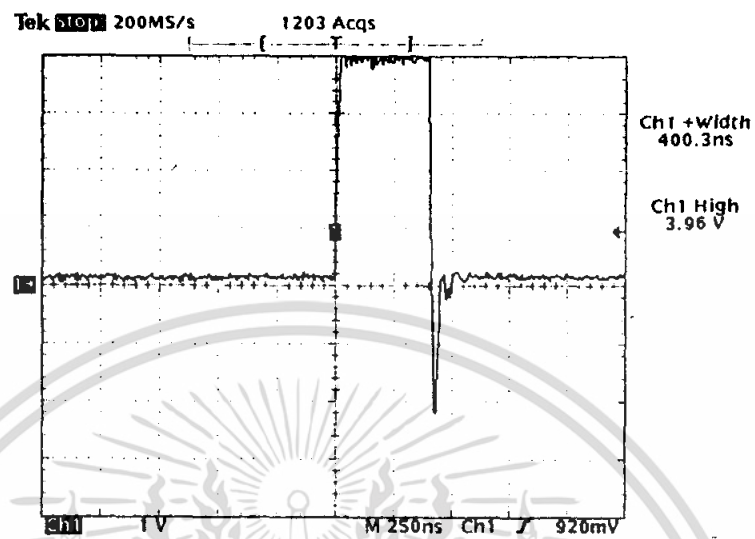
รูปที่ 4.3 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

หลังจากที่ทำการออกแบบวงจรแล้ว เราจะทำการปรับแต่ง โดยทำการปรับ VR เพื่อให้ได้ค่าความกว้างของพัลส์ตามที่เรากำหนดจะได้ผลตามรูปที่ 4.4 (ก), 4.4 (ข), และ 4.4 (ค)

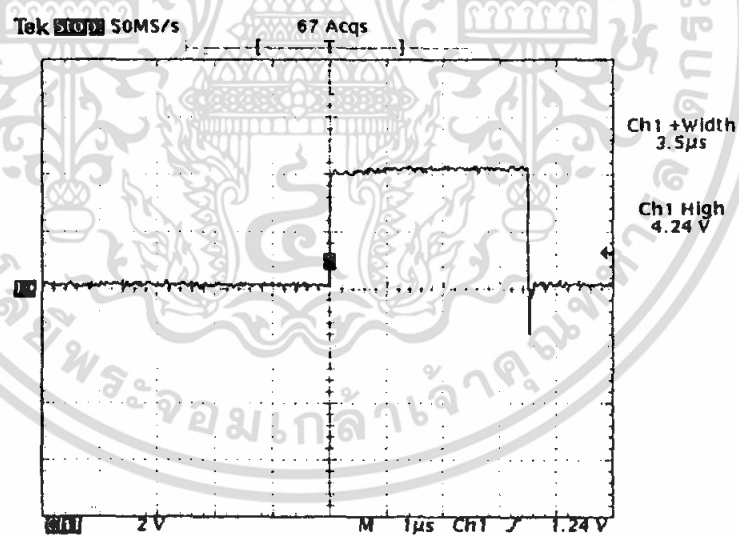


รูปที่ 4.4(ก) สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (100 nsec)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

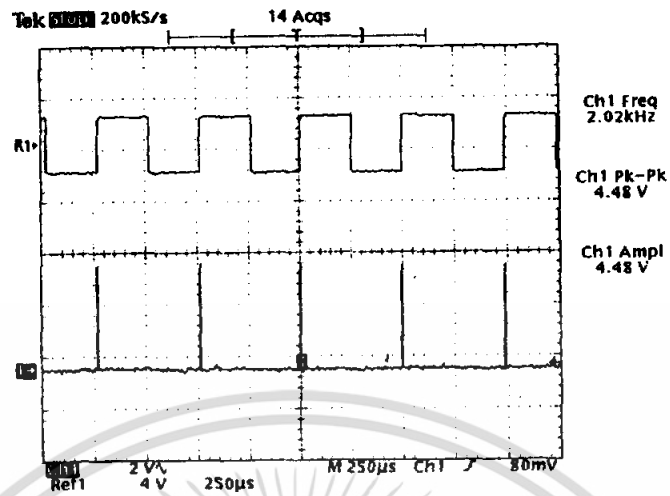


รูปที่ 4.4(ข) สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (0.4 μ sec)



รูปที่ 4.4(ค) สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (3.5 μ sec)

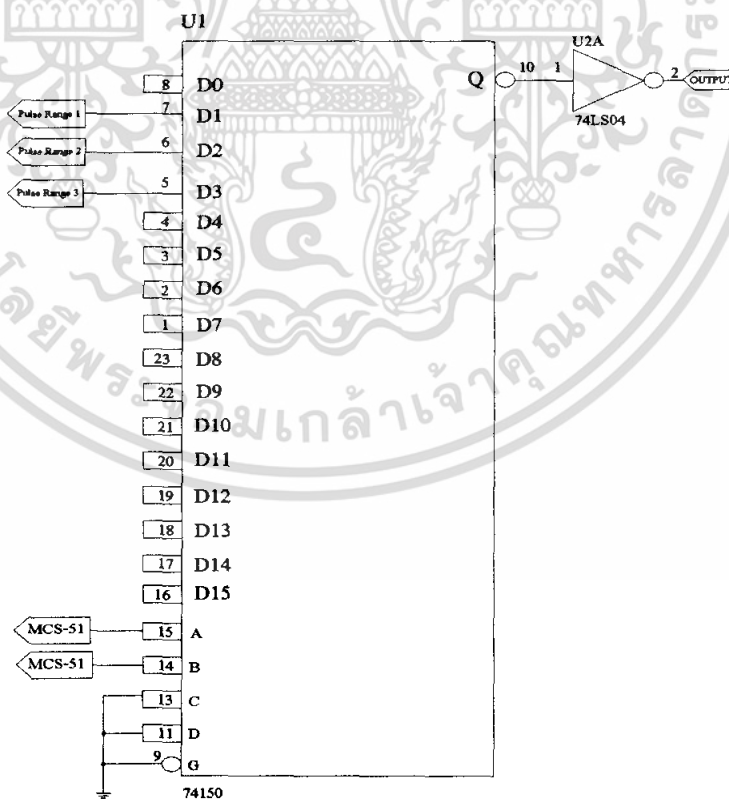
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ทั้งหมด

4.1.2 วงจรเลือกสัญญาณ

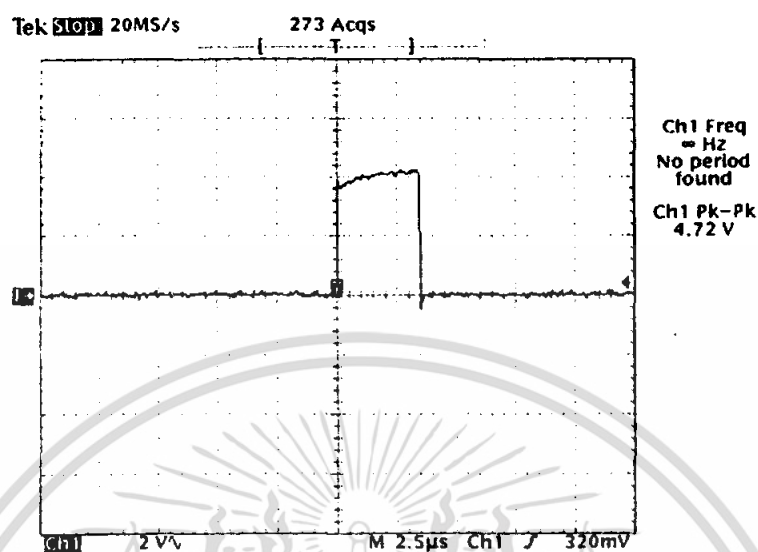
ในวงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดสัญญาณพัลส์ที่จะส่งไปยังวงจรขับสัญญาณ ซึ่งจะควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม ในส่วนนี้จะใช้ IC #74150 ซึ่งจะทำการต่อวงจรดังรูป



รูปที่ 4.6 วงจรเลือกสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7



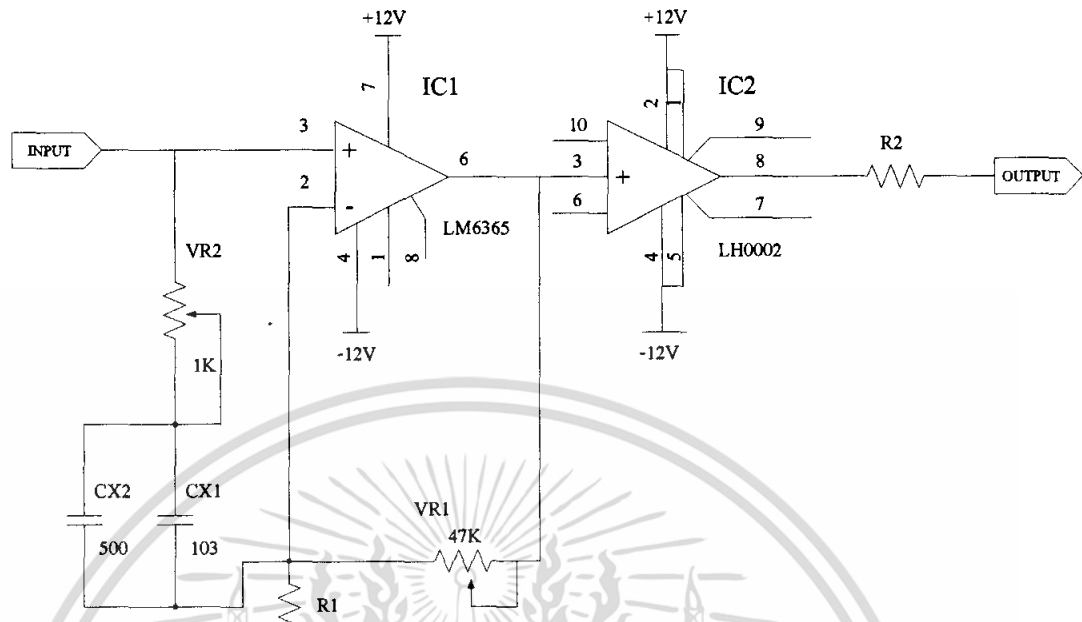
รูปที่ 4.7 สัญญาณพัลส์ 3.5 μsec ที่ผ่านวงจรถอดสัญญาณ

เนื่องจาก IC ตัวนี้จะให้เอาต์พุตที่มีลักษณะกลับเฟส 180 องศาจึงจำเป็นต้องใส่ NOT-Gate เพื่อให้เอาต์พุตมีลักษณะกลับมามีดังเดิม ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่า เอาต์พุตที่ได้ของวงจรถอดสัญญาณจะมีลักษณะใกล้เคียงกับอินพุตที่มาจากส่วนของวงจรถอดสัญญาณพัลส์แต่ว่ารูปร่างของสัญญาณจะยังไม่ดีนัก ซึ่งถ้าเราส่งเข้าไปในสายจะทำให้เกิดการผิดพลาดขึ้น โดยเราสามารถปรับแต่งให้มีลักษณะที่สวยงามพร้อมที่จะส่งเข้าไปในสายได้จากในส่วนต่อไป

4.1.3 วงจรขับสัญญาณ

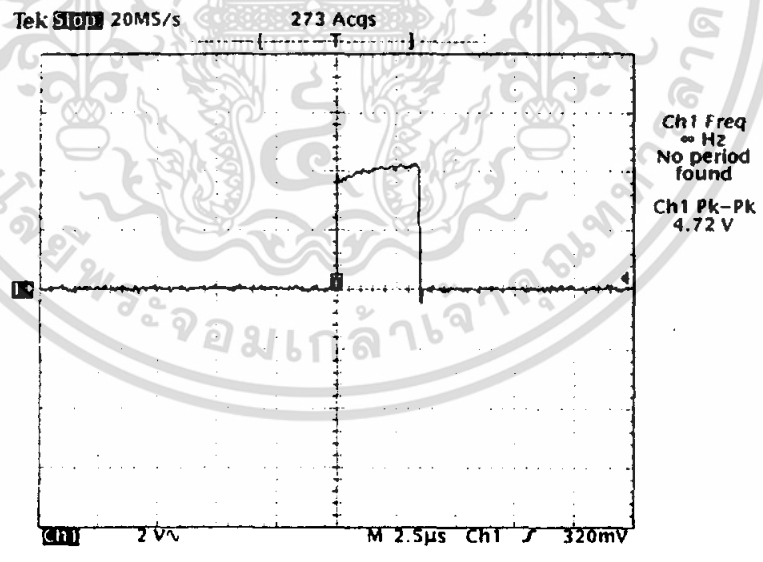
ในส่วนของวงจรมีจะทำหน้าที่ขยายพัลส์ให้มีความแรงเพิ่มขึ้นจากเดิมเพื่อทำการส่งเข้าไปในสายเพื่อให้ได้ระยะทางที่ไกลขึ้น และเป็นส่วนที่สำคัญมากของโครงการนี้ เพราะถ้าสัญญาณที่ออกไปจากส่วนของวงจรมีไม่ดี หรือมีลักษณะไม่ได้ตามที่ต้องการ จะทำให้ไม่สามารถตรวจจับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาได้ หรืออาจจะตรวจจับได้ค่าที่ผิดพลาดซึ่งเราไม่ต้องการ โดยในส่วนนี้เราจะต้องปรับแต่งให้ละเอียดที่สุด ซึ่งในส่วนนี้เราจะใช้ IC เบอร์ LM6365 และ LH0002 ซึ่งจะทำการต่อวงจรดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 วงจรขับสัญญาณ

สัญญาณพัลส์เมื่อผ่านวงจรขับสัญญาณแล้วจะได้สัญญาณ ดังรูปที่ 4.9

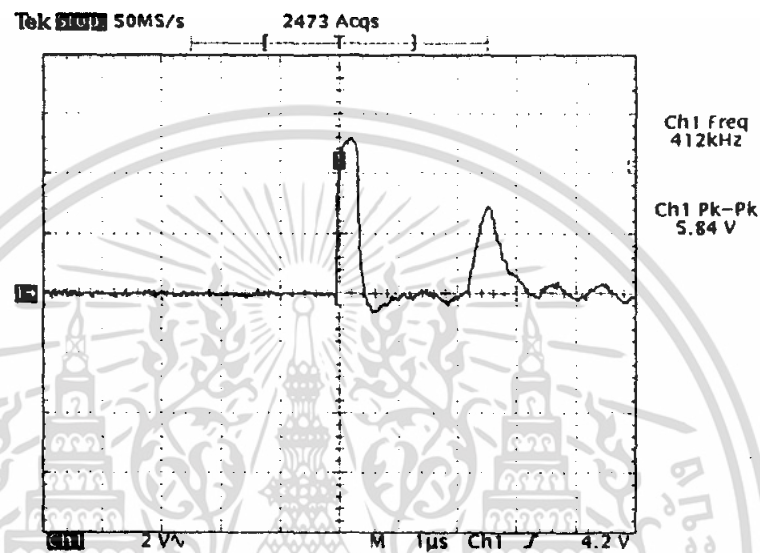


รูปที่ 4.9 สัญญาณพัลส์ขนาด 3.5 μsec เมื่อผ่านวงจรขับสัญญาณ

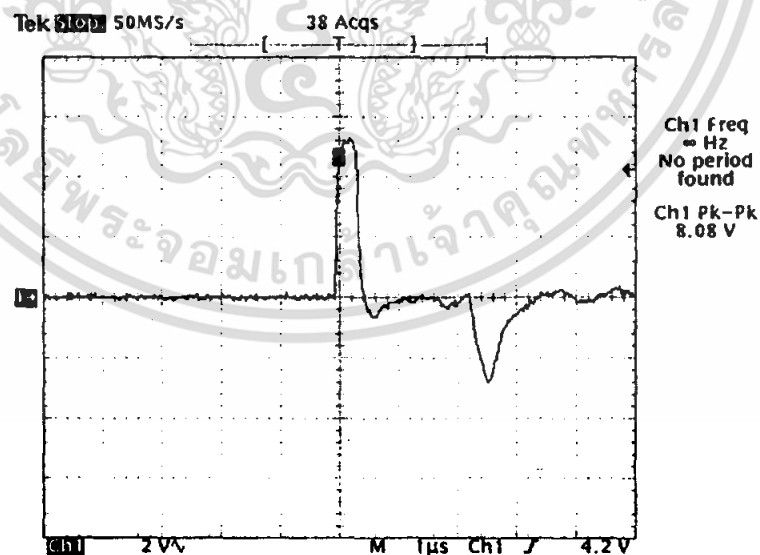
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตจะมีแรงดันเพิ่มขึ้นและมีลักษณะของพัลส์ดีขึ้นกว่าเดิม เนื่องมาจากการปรับค่าวงจรให้เอาต์พุตออกมามีลักษณะดีที่สุุดังรูป

เมื่อทำการต่อกับสายทดสอบจะได้ผลการทดลองดังรูป



รูปที่ 4.10 สัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเมื่อปลายสายทดสอบเปิด



รูปที่ 4.11 สัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเมื่อปลายสายทดสอบลัดวงจร

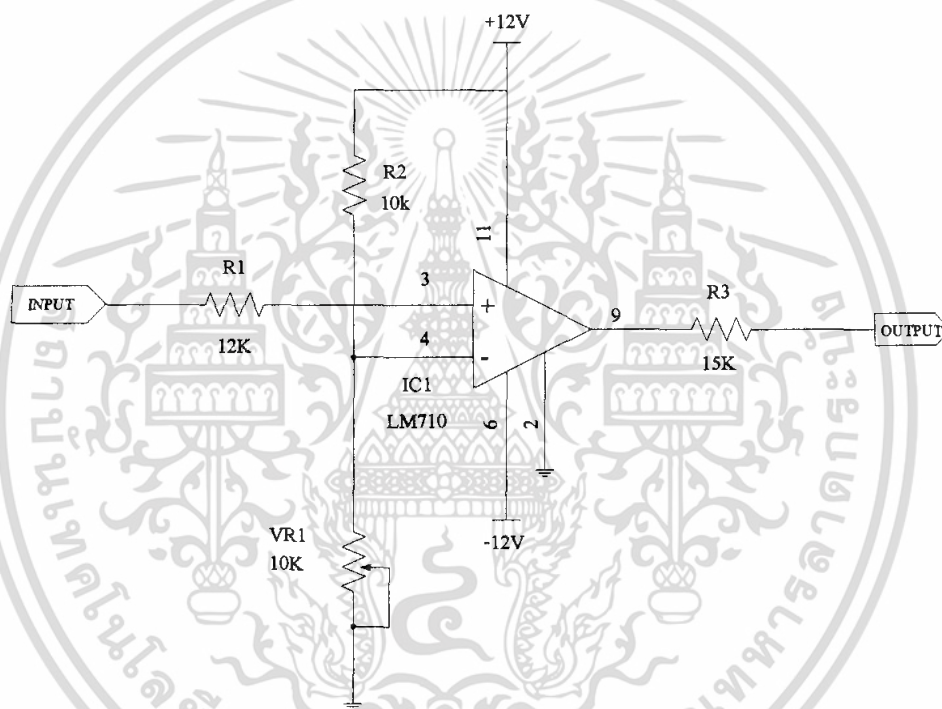
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ

การทำงานของวงจรในส่วนนี้จะใช้ OP-AMP เบอร์ LM710 ซึ่งจะทำหน้าที่ในลักษณะของวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) สัญญาณซึ่งจะแบ่งออกเป็น

4.1.4.1 วงจรตรวจจับพัลส์บวก (Positive Detector)

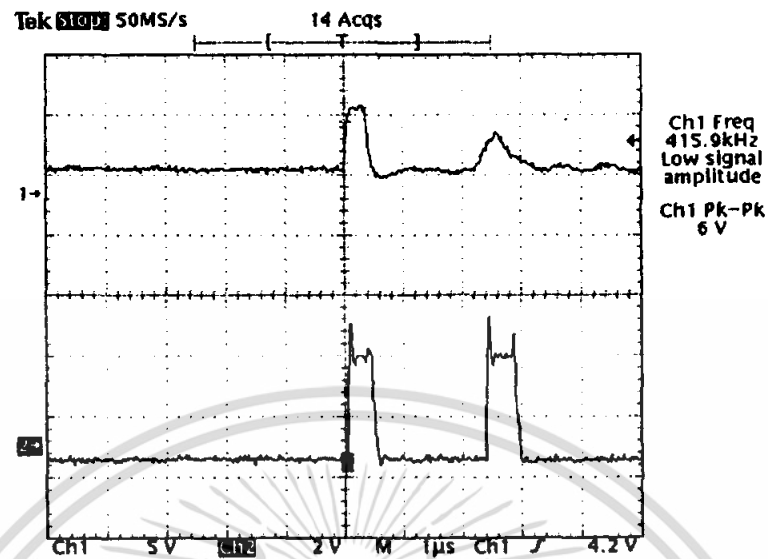
วงจรจะทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับแรงดันที่คงไว้ ถ้ามีค่ามากกว่า วงจรนี้จะให้เอาต์พุตที่มีค่า 5 V โดยในการออกแบบเราได้ออกแบบให้มีการปรับแต่งได้ง่ายดังรูป



รูปที่ 4.12 วงจรตรวจจับพัลส์บวก

เมื่อเราทำการปรับแต่งและทำการทดลองโดยการส่งสัญญาณเข้าไปในสายและทำการเปิดปลายสายได้ผลการทดลองดังรูป

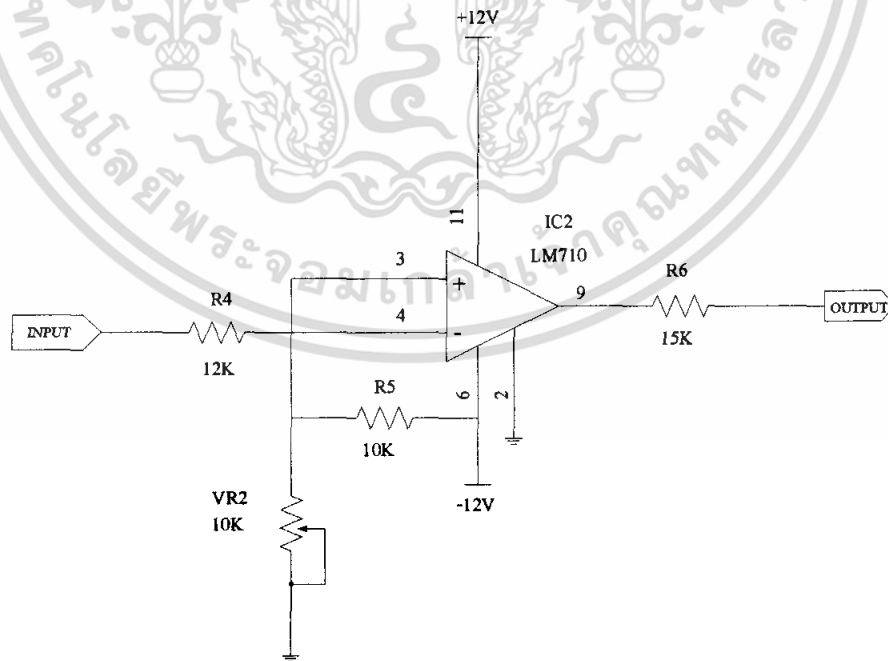
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์บวก เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต

4.1.4.2 วงจรตรวจจับพัลส์บวก (Negative Pulse Detector)

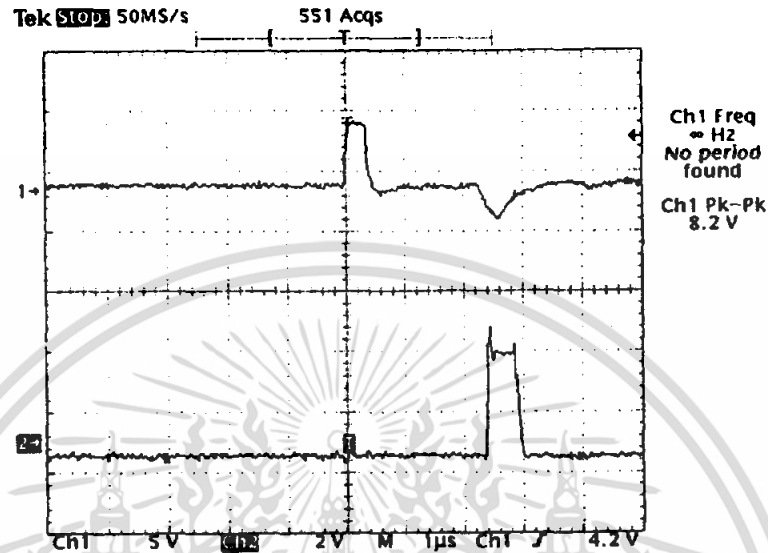
วงจรจะทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับแรงดันที่ตั้งไว้ ถ้ามีค่าน้อยกว่า วงจรนี้จะให้เอาต์พุตที่มีค่า 5 V โดยเราได้ใช้วงจรลักษณะเดียวกับวงจรตรวจจับพัลส์บวก เพียงแต่เปลี่ยนขาของอินพุตและขาของแรงดันเปรียบเทียบเท่านั้น ซึ่งจะได้วงจรดังรูป



รูปที่ 4.14 วงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

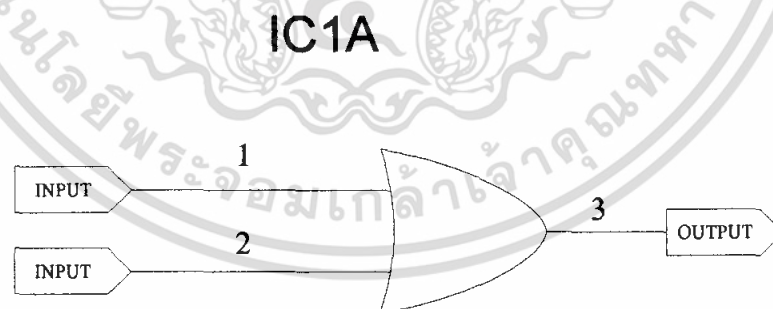
เมื่อเราทำการปรับแต่งและทำการทดลองโดยส่งสัญญาณเข้าไปในสายและทำการลัดวงจรปลายสายจะได้ผลการทดลองดังรูป



รูปที่ 4.15 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์บวก เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต

4.1.5 วงจรรวมสัญญาณ

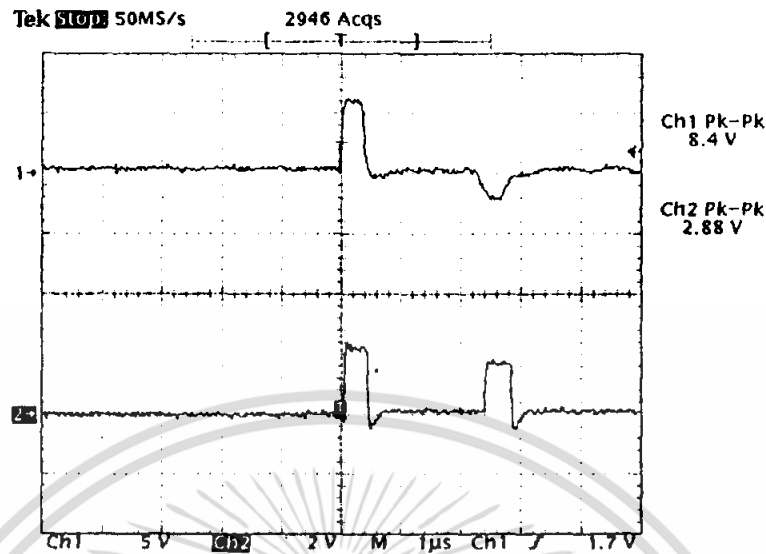
ในส่วนนี้จะทำหน้าที่การรวมสัญญาณและแปลงสัญญาณพัลส์โดยที่วงจรรวมสัญญาณจะใช้ IC #74HC32 ซึ่งมีโครงสร้างภายในเป็น OR-Gate เป็นตัวทำงานซึ่งจะมีวงจรดังรูป



รูปที่ 4.16 วงจรรวมสัญญาณ

เมื่อย้ายสัญญาณเข้าไปในวงจร โดยให้รวมสัญญาณจากวงจรตรวจจับพัลส์บวกและวงจรตรวจจับพัลส์ลบเข้าด้วยกันจะได้ผลการทดลองดังรูป

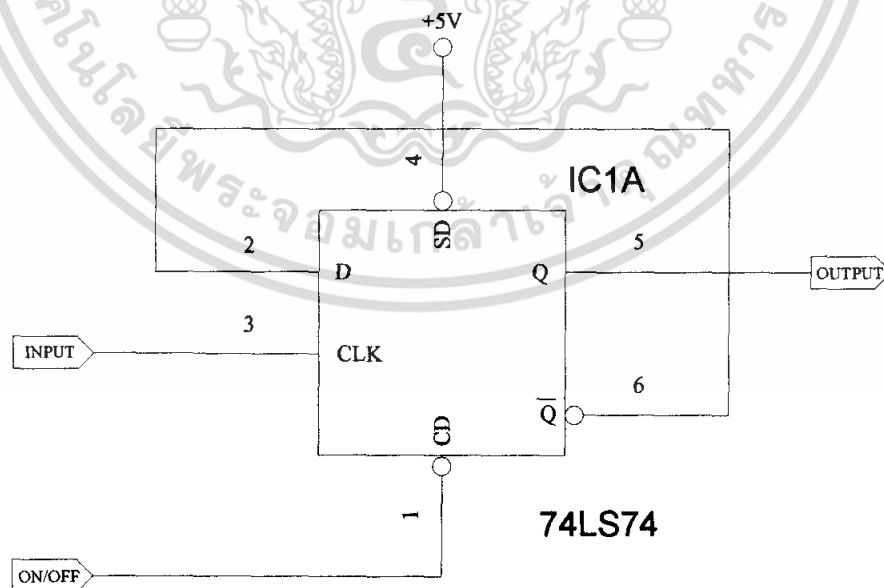
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 สัญญาณที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณ

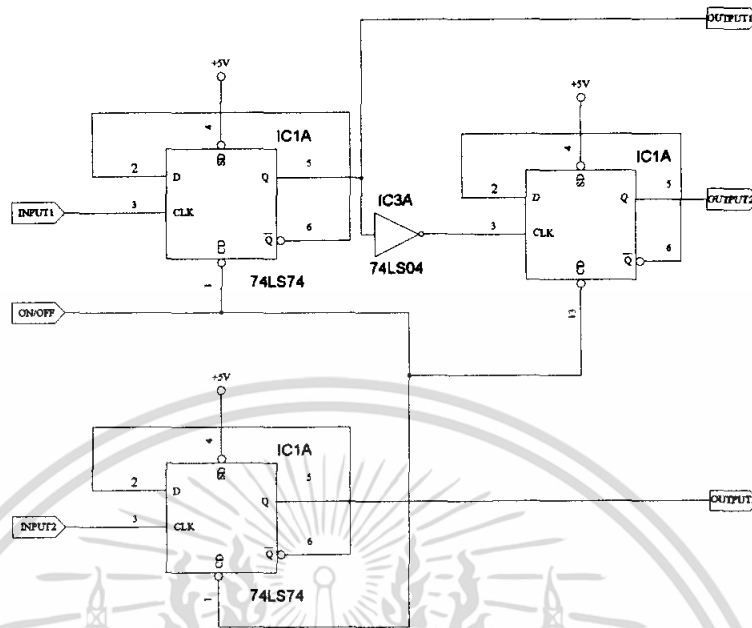
4.1.6 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ

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 ถัดวงจรปลายสายเท่านั้น



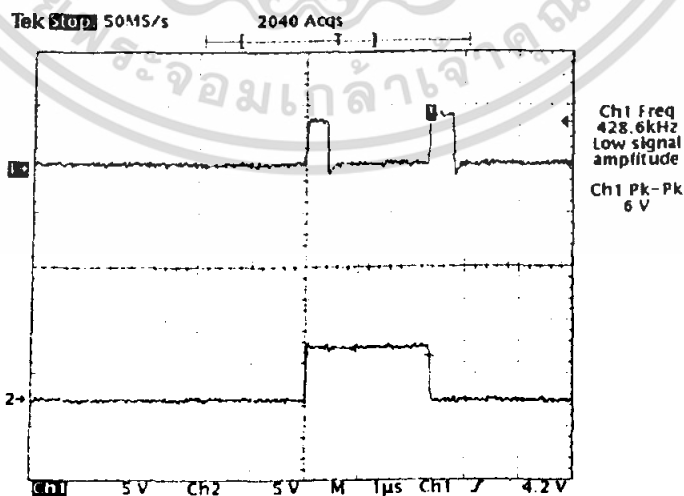
รูปที่ 4.18 วงจรของ D-Flip Flop ที่ทำการแปลงเป็น T-Flip Flop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 วงจรทั้งหมดของวงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ

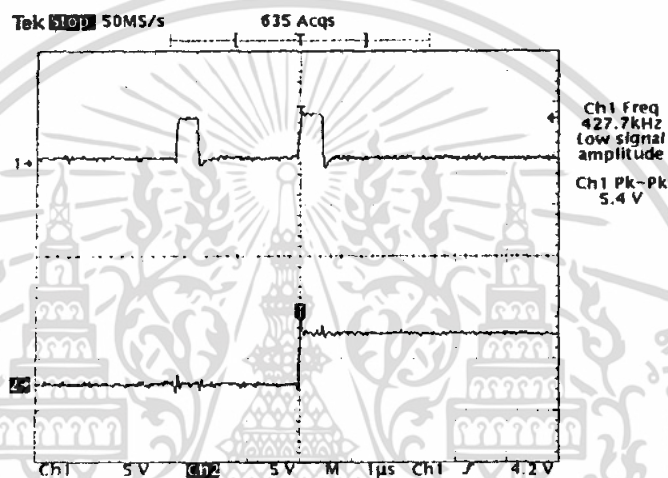
T-Flip Flop 1 จะรับสัญญาณเอาต์พุตจากภาครวมสัญญาณ โดยตรง เพื่อทำการแปลงสัญญาณพัลส์ ดังนั้นไม่ว่าจะทำการลัดวงจรหรือเปิดปลายทดสอบจะมีสัญญาณพัลส์สองลูกวิ่งผ่านมายัง T-Flip Flop 1 เสมอ กล่าวคือ พัลส์ลูกแรกจะเป็นพัลส์ขาสูง และพัลส์ลูกที่สองจะเป็นพัลส์ที่สะท้อนกลับมาจากสายส่งซึ่งอาจจะเกิดกรณี Short หรือ Open ก็ได้ แต่มันได้ถูกแปลงเป็นพัลส์บวกเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจะมีพัลส์สองลูกวิ่งเข้ามาอินพุตของ T-Flip flop และได้เอาต์พุตเป็นพัลส์หนึ่งลูกที่มีความกว้างเท่ากับระยะห่างของพัลส์อินพุตทั้งสองลูก



รูปที่ 4.20 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip flop 1 หรือวงจรตรวจจับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

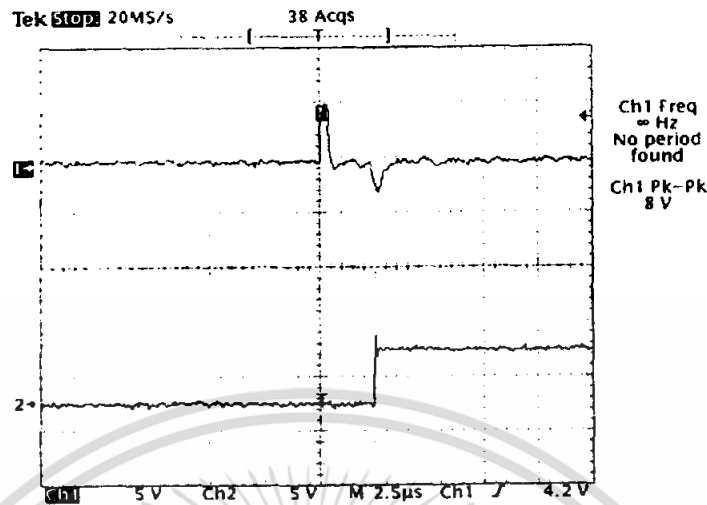
T-Flip Flop 2 จะรับเอาต์พุตจาก T-Flip Flop 1 มาอีกที่หนึ่ง ซึ่งจะทำหน้าที่ตรวจว่าสายชำระหรือ ดีโดยถ้ามีพัลส์จากวงจรรวมสัญญาณเพียงลูกเดียว T-Flip Flop 1 จะเป็นลอจิก “1” ไปตลอดจนกระทั่ง off T-Flip Flop แต่ถ้ามีสัญญาณจากวงจรรวมสัญญาณ 2 ลูก จะทำหน้าที่ให้ได้สัญญาณที่ T-Flip Flop 1 มี ขอบขาลง โดย T-Flip Flop 2 นี้จะต้องนำสัญญาณเอาต์พุตของ T-Flip Flop 1 มากลับรูปร่างสัญญาณ เสียก่อนเพราะว่าเมื่อมีขอบขาลงของวงจร T-Flip Flop 1 จะทำให้เอาต์พุตที่วงจร T-Flip Flop 2 เปลี่ยน สถานะจาก “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 ถัดวงจรปลายสายทดสอบเท่านั้น

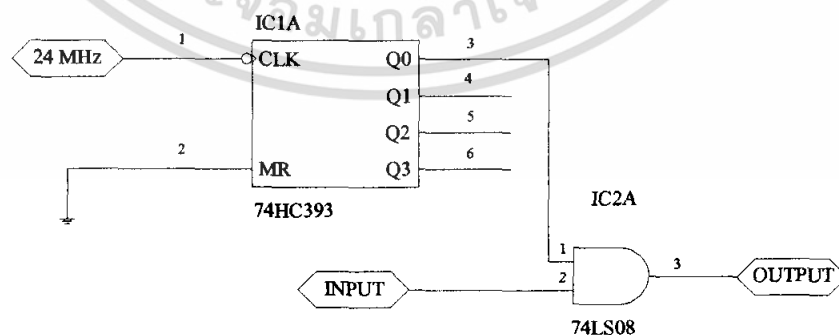


รูปที่ 4.22 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip Flop 3 หรือวงจรตรวจสอบเปิดหรือลัดวงจร

จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อมีสัญญาณพัลส์ลบเข้ามา T-Flip Flop 3 จะทำงานและให้เอาต์พุตเป็นลอจิก “1” ซึ่งเราจะต้องไปทำการตรวจสอบอีกทีหนึ่ง โดยใช้ไมโคร โปรเซสเซอร์เป็นตัวประมวลผล

4.1.7 วงจรคูณสัญญาณ

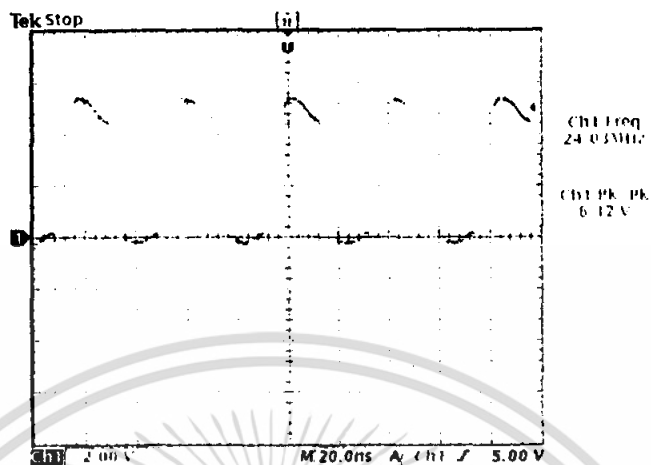
เนื่องจากการทำงานของวงจรนี้จะมีลักษณะเป็นการรับอินพุตเป็นพัลส์ที่มีความกว้างค่าหนึ่ง (ความกว้างเท่ากับระยะห่างของพัลส์ขาส่งและพัลส์สะท้อนกลับ) มาคูณกับพัลส์ที่มีความถี่สูงกว่า และได้เอาต์พุตเป็นลักษณะพัลส์อินพุตที่ถูกแบ่งเป็นลูกเล็กๆ เพื่อทำการป้อนให้กับวงจรนับต่อไป ในส่วนนี้เราจะใช้ IC #74LS08 ซึ่งเป็น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



รูปที่ 4.23 วงจรคูณสัญญาณและวงจรผลิตสัญญาณความถี่ 12 MHz

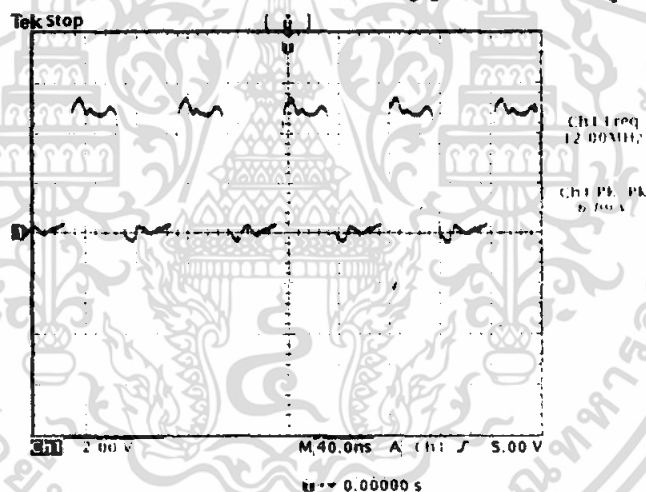
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของ Oscillator ที่ผลิตสัญญาณ 24 MHz นั้นสามารถผลิตสัญญาณออกมาได้ดังรูป



รูปที่ 4.24 สัญญาณจากออสซิลเลเตอร์ ความถี่ 24 MHz

และเมื่อสัญญาณ 24 MHz ผ่านวงจรหารความถี่จะได้สัญญาณ 12 MHz ดังรูป

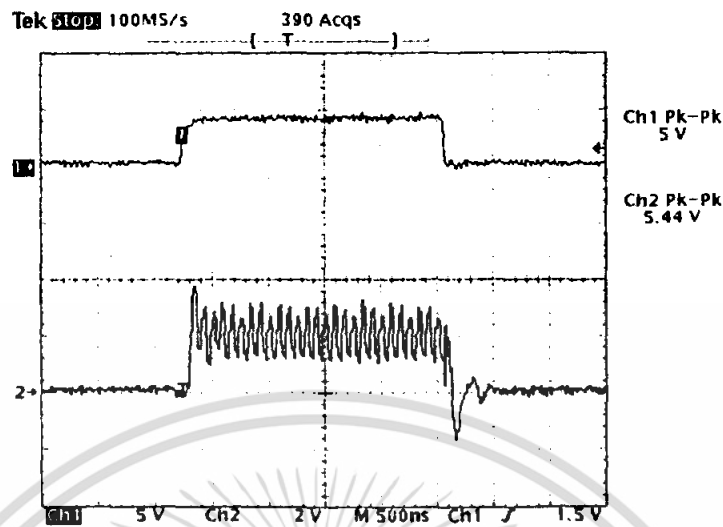


รูปที่ 4.25 สัญญาณ 12 MHz หลังจากวงจรหารความถี่

จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ผ่านวงจรหารความถี่นั้นจะมีประสิทธิภาพดีเหมาะแก่การนำไปคูณกับสัญญาณอินพุตเพราะมีรูปร่างที่ค่อนข้างชัดเจน

เราได้ทดสอบวงจรคูณสัญญาณ โดยการป้อนอินพุตเป็นสัญญาณที่มีความกว้าง 2.4 μsec คูณกับความถี่ 12 MHz ได้ผลออกมามีดังรูป

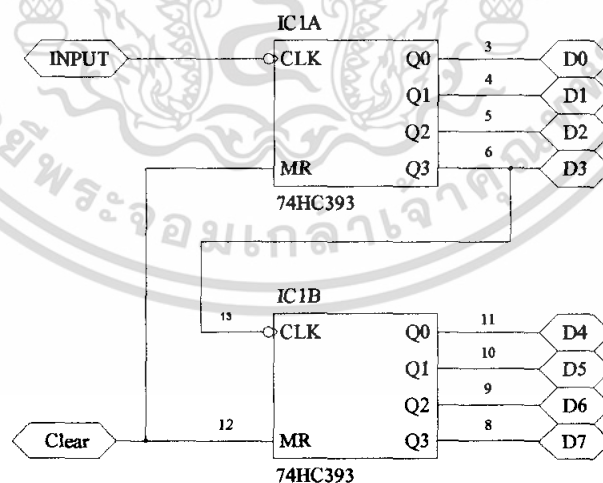
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ผลการทดสอบวงจรคูณสัญญาณ

4.1.8 วงจรนับ

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่นับพัลส์เล็กๆ ที่เกิดจากวงจรคูณ และจะนำค่าไปประมวลผล และเนื่องจากการนับจะต้องนับเฉพาะในช่วงที่มีพัลส์อินพุต “1” เกิดขึ้นและจะนับในช่วงขอบขาขึ้นของพัลส์ และขอบขาลงของพัลส์เท่านั้น และเราใช้สัญญาณเคลียร์จากวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา 2 KHz เป็นตัวควบคุมการเคลียร์ในส่วนนี้เราจะใช้ IC #74HC393 เป็นตัวนับสัญญาณซึ่งจะได้วงจรดังรูป



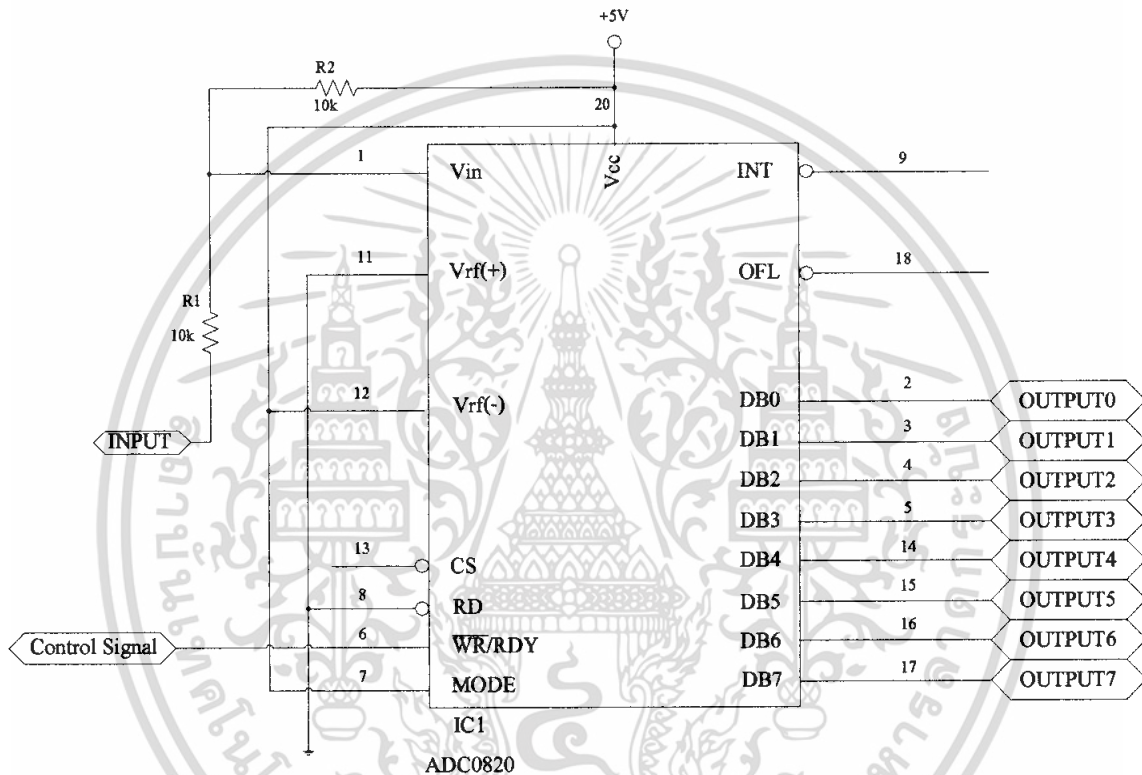
รูปที่ 4.27 วงจรนับสัญญาณ

ในส่วนนี้ค่าที่วงจรถับ นับได้จะถูกส่งต่อไปยังส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลต่อไป เพราะฉะนั้น เาต์พุตของวงจรถับจึงมีความสำคัญมาก และจะต้องกำหนดเวลาในการเริ่มรับข้อมูลและเวลาในการเคลียร์ข้อมูลให้สัมพันธ์กัน ไมเช่นนั้นจะเกิดความผิดพลาดมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

ในส่วนของวงจรนี้เราได้ใช้ IC เบอร์ ADC 0820 ซึ่งให้เอาต์พุตขนาด 8 บิตและสามารถควบคุม จังหวะการอ่านค่าได้จากส่วนของ วงจรตรวจจับเวลาได้เลยซึ่งจะได้ขอบข่ายขึ้นในการอ่านค่าซึ่งเอาต์พุต ของวงจรนี้ส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะประมวลผลคำนวณหาค่า เพื่อนำไปแสดงผลยังจอแสดงผลต่อไป ซึ่งมีวงจรดังรูป



รูปที่ 4.28 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

4.1.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ในโครงงานนี้มีหน้าที่หลักๆ อยู่ 6 ประการคือ

1. ตรวจจับสัญญาณจากสวิตช์เพื่อเริ่มการทำงาน
2. ตรวจจับสัญญาณความพร้อมในการเริ่มรับค่าเพื่อนำมาประมวลผลหรือเปลี่ยน Range
3. ตรวจสอบว่าสายที่นำมาต่อชำรุดหรือไม่
4. ตรวจสอบชนิดของความเสียหายที่เกิดขึ้นว่าเป็นแบบ ลัดวงจรหรือขาด
5. คำนวณหาระยะทางจากจุดที่ทำการวัด ไปถึงจุดที่ชำรุดว่ามีระยะเท่าไรจากวงจรนับ
6. คำนวณหาค่าแรงดันที่สะท้อนกลับมาเพื่อนำมาคำนวณหาค่า VSWR และ Reflection

Coefficient จากวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากหน้าที่ทั้งหมดนี้เราสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ส่วนใหญ่ คือ

1. ส่วนของฮาร์ดแวร์
2. ส่วนของซอฟต์แวร์

4.1.10.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์ ในส่วนของฮาร์ดแวร์เราได้ทำการต่อ อุปกรณ์กับพอร์ตของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ดังนี้

พอร์ต 0 ต่อเข้ากับวงจรมัน

พอร์ต 1 ต่อเข้ากับวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล

พอร์ต 2 ต่อเข้ากับ LCD

พอร์ต 3.0 ต่อเข้ากับขาสัญญาณเช็คสายชาร์จหรือไม่ชาร์จ

พอร์ต 3.1 ต่อเข้ากับขาสัญญาณสายลัดวงจรหรือขาด

พอร์ต 3.2 ต่อเข้ากับขาสัญญาณแสดงความพร้อมในการรับค่า

พอร์ต 3.3 ต่อเข้ากับสัญญาณเลือก Range บิตที่ 1

พอร์ต 3.4 ต่อเข้ากับสัญญาณเลือก Range บิตที่ 0

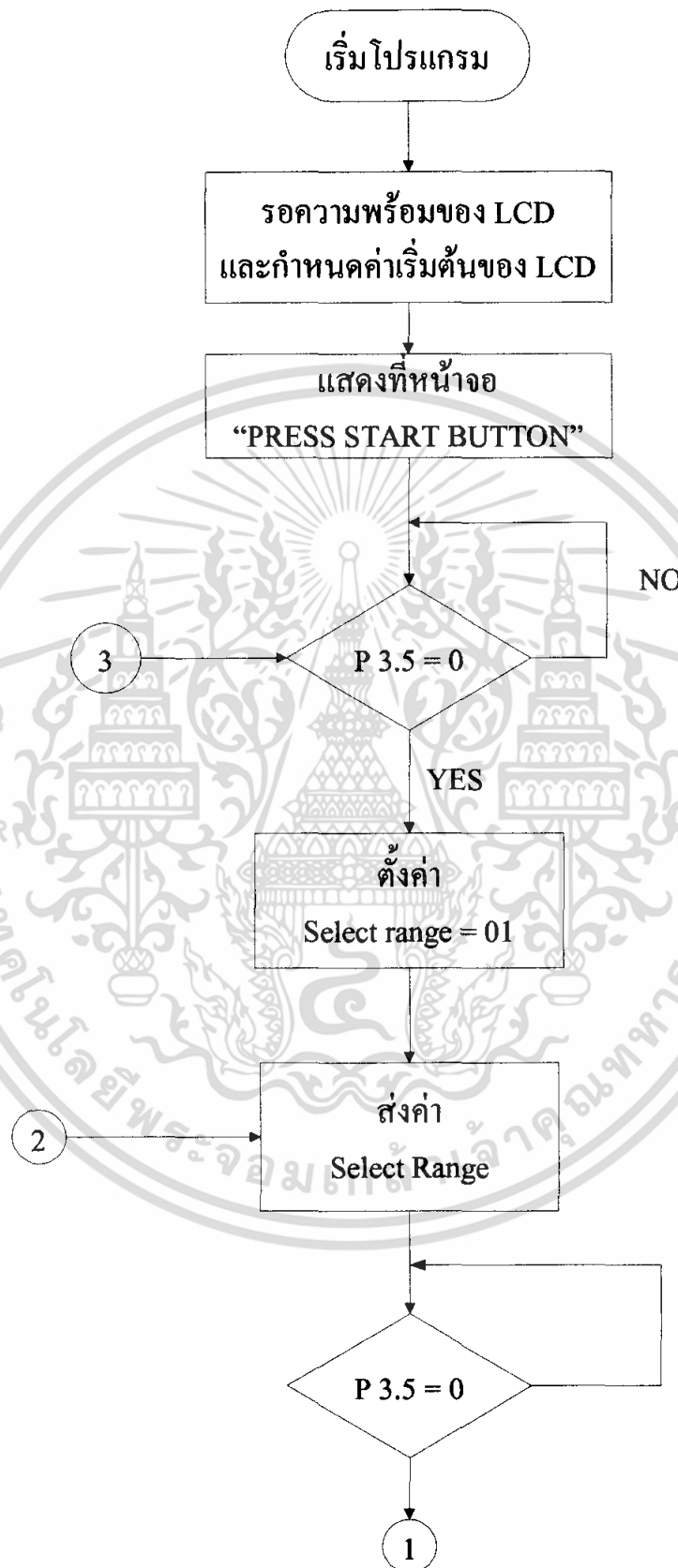
พอร์ต 3.5 ต่อเข้ากับ สวิตช์ Test

อุปกรณ์ทั้งหมดที่ต่อเข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกควบคุมโดยซอฟต์แวร์อีกทีหนึ่ง

4.1.10.2 ส่วนของซอฟต์แวร์ ในส่วนนี้เราได้เขียน โปรแกรมควบคุมฮาร์ดแวร์โดยใช้ภาษาแอสเซมบลีในการเขียน โปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานและมี Flow Chart ดังรูปที่ 4.21

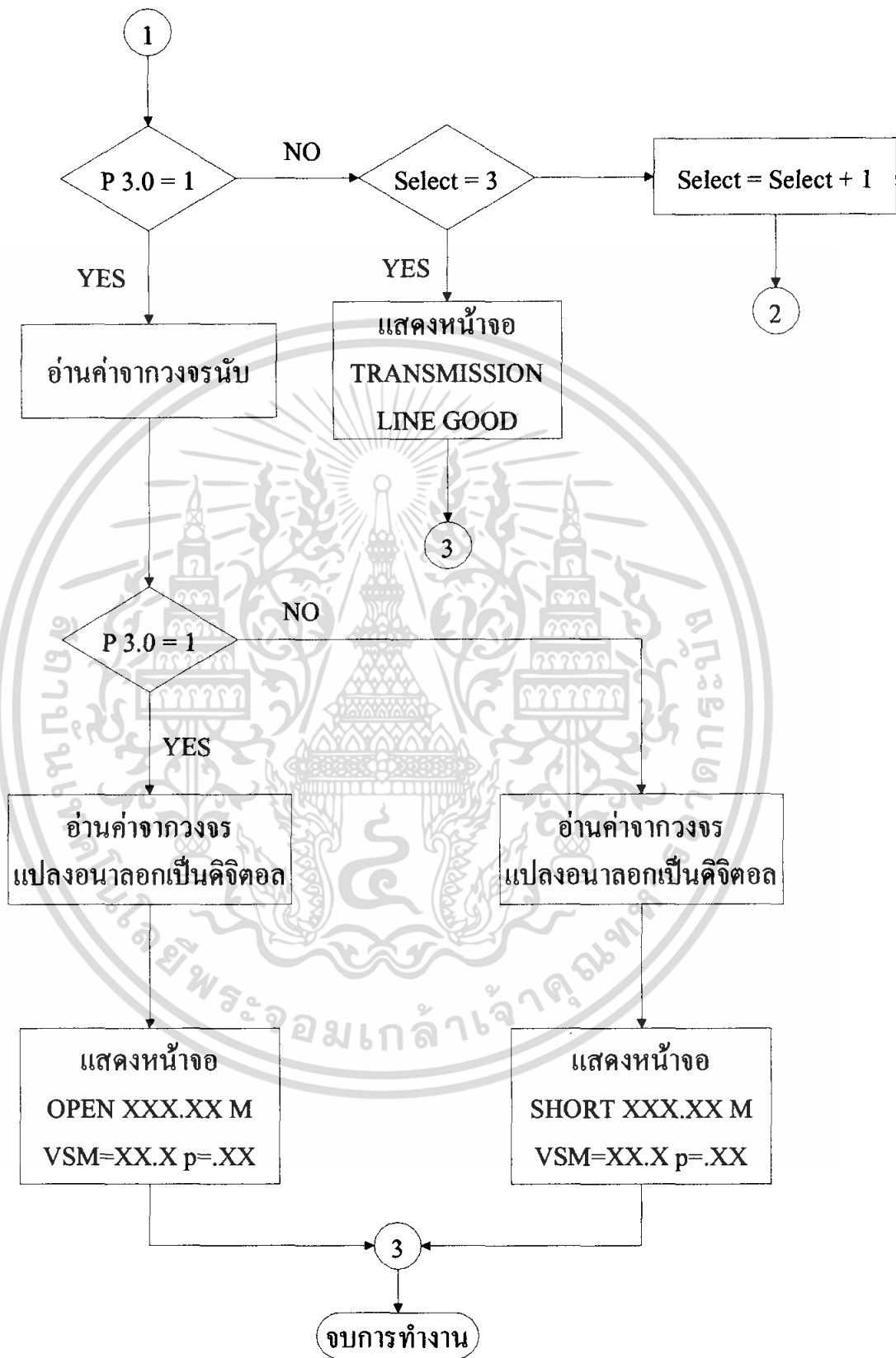
ในส่วนช่องโปรแกรมนี้จะเริ่มต้นด้วยการ กำหนดค่าๆ ให้ LCD แล้วทำการโชว์หน้าจอว่า “PRESS TEST BUTTON” จากนั้นจึงรอสัญญาณจากสวิตช์เพื่อทำการเริ่มรับค่าและคำนวณ เมื่อทำการกด สวิตช์ จะเป็นสัญญาณลอจิก “0” และจะทำการกำหนดค่าที่ส่งไปยังวงจร Selector เป็น “01” แล้วจึงทำการ ส่ง จากนั้นจะทำการรอรับสัญญาณพร้อมที่จะรับค่า ที่พอร์ต 3.2 เมื่อที่พอร์ตนี้เป็น ลอจิก “0” โปรแกรม จะทำการเช็คค่าที่พอร์ต 3.0 ถ้าเป็นลอจิก “0” จะทำการเช็คค่าที่ส่งไปยัง Selector ว่าเท่ากับ 3 หรือยังแล้ว แสดงว่า “TRANSMISSION LINE GOOD” แล้วกลับไปรอรับค่าจากสวิตช์เช่นเดิมเพื่อทำการวัดครั้งใหม่ ต่อไป ถ้าตอนอ่านค่าที่พอร์ต 3.0 เป็นลอจิก “1” แสดงว่าสายชาร์จ โปรแกรมจะทำการ ไปอ่านค่าที่ วงจร มันเพื่อที่จะนำมาประมวลผลต่อไป แล้วจึงไปทำการเช็คค่าที่ พอร์ต 3.1 ซึ่งเป็นการเช็คสัญญาณว่าสาย ลัดวงจรหรือขาด หลังจากเช็คแล้วจะ ไปทำการรับค่าที่วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล เพื่อที่จะนำมา ประมวลผล หา ค่า VSWR และ Reflection Coefficient แล้วจึงแสดงผล หลังจากแสดงผล ก็จะมีการรอ รับสัญญาณจากสวิตช์ เพื่อทำการเริ่มทดสอบสายใหม่ หรือถ้าไม่ทดสอบก็จบ โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 (ก) ไฟเวิร์ชาร์ท การทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 (ข) โปรแกรมการทำงานของไฟร์ซาร์ทการงานของโปรแกรม (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.11 จอแสดงผล

ในด้านของการแสดงผลนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะแสดงออกทางจอแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์ (LCD) ซึ่งทำการต่อควบคุมไว้ที่พอร์ต 2 ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะมีลำดับการแสดงผลดังนี้

1. เมื่อเริ่มการทำงานจอแสดงผลจะประกฎข้อความดังนี้

PRESS TEST
BUTTON

รูปที่ 4.30 ข้อความที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลเมื่อเริ่มทำงาน

2. เมื่อทำการกดปุ่ม TEST หน้าจอจะเปลี่ยนเป็นข้อความดังนี้

PLEASE WAIT

รูปที่ 4.31 ข้อความที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลขณะรอทำการทดสอบ

3. ในช่วงนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลทุกลำดับขั้นของ โปรแกรมทั้งหมดแล้วทำการแสดงผลถ้าสายที่ทดสอบ ไม่เสียจะแสดงผลดังนี้

TRANSMISSION
LINE GOOD

รูปที่ 4.32 ข้อความเมื่อทดสอบแล้วสายไม่ชำรุด

แต่ถ้าสายชำรุดแล้วประมวลผลออกมาแล้วจะแสดงผลดังนี้

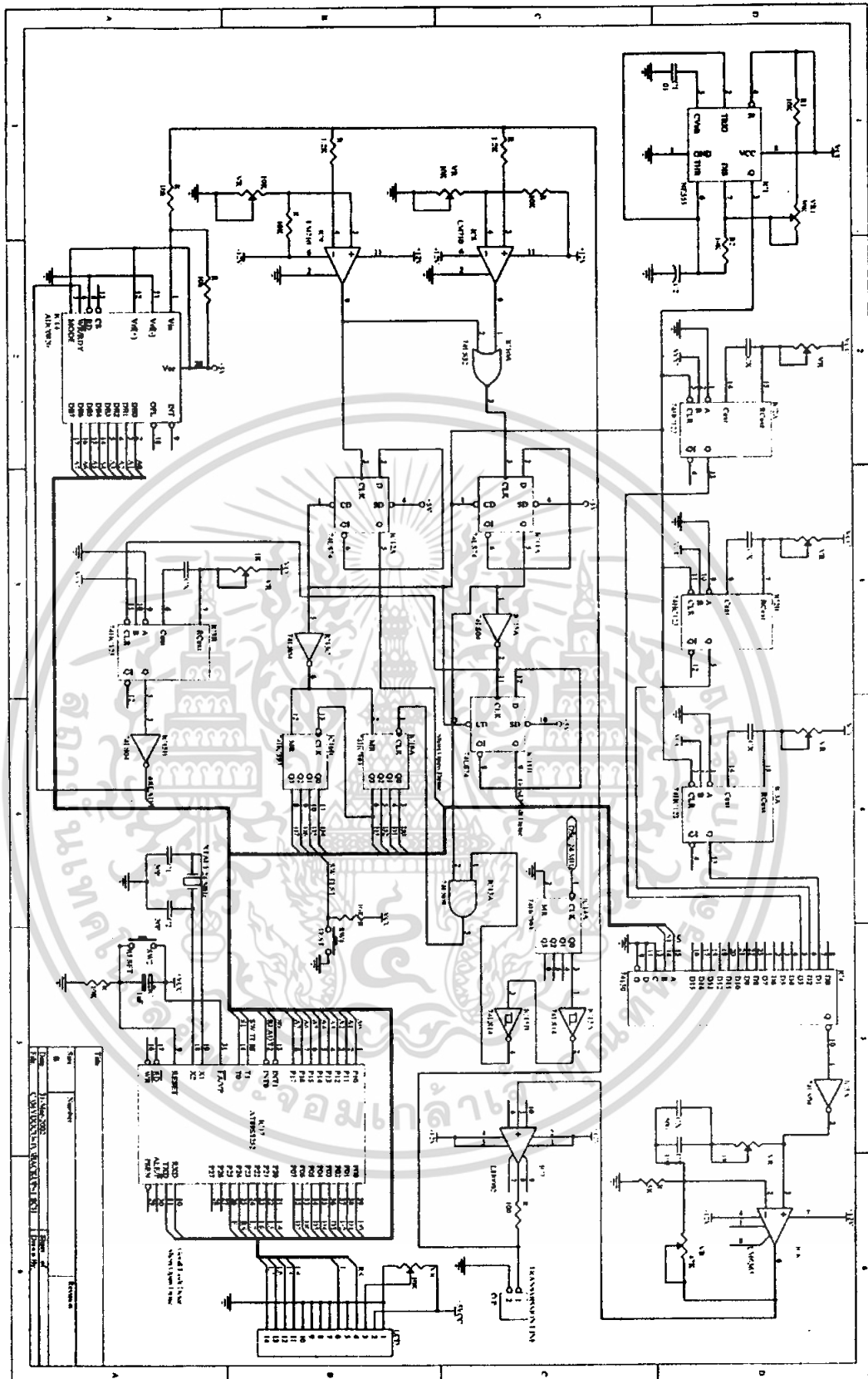
SHORT XXX.XX M

รูปที่ 4.33 ข้อความเมื่อสายเกิดการลัดวงจร

OPEN XXX.XX M

รูปที่ 4.34 ข้อความเมื่อสายเกิดการขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 วงจรรวมทั้งหมดของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิจารณ์และสรุป

ในการวิเคราะห์นี้จะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในแต่ละภาค โดยจะแสดงปัญหาและแนวทางการแก้ไขของวงจรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยในการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น

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

5.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

ในส่วนของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณพัลส์นี้เป็นส่วนหลักของเครื่องมือนี้ โดยในการสร้างเราใช้ IC #74HC123 มาเป็นตัวกำเนิดพัลส์ ซึ่งเราแบ่งย่านการวัดออกเป็น 3 ย่าน โดยยึดเอาค่าตามความเหมาะสมเป็นหลัก และเราก็ได้ทำการสร้างวงจรเพื่อผลิตสัญญาณพัลส์ให้ได้ออกมาตามที่เรต้องการส่วนพัลส์ที่ออกมาจนถึงแม้ว่าขอบขาลงจะเกิดการสวิง แต่ก็ไม่ค่อยมีผลต่อความผิดพลาดเท่าใดนักเพราะเราสามารถไปปรับแต่งที่วงจรอื่นได้ ซึ่งโดยรวมแล้วในของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณพัลส์นี้ไม่มีปัญหาอะไรเป็นไปตามที่ต้องการ

5.2 วงจรเลือกสัญญาณ

ในส่วนของวงจร Selector นี้เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นตัวเลือกระดับความกว้างของพัลส์ โดยทำการควบคุมจากไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเราจะได้ใช้ IC#74150 มาใช้ซึ่งเป็น IC Selector แบบ 4 บิต แต่ในที่นี้เราใช้แค่เลือกอินพุต 3ตัวเท่านั้น ซึ่งในส่วนของวงจรถูกเลือกนี้ไม่มีปัญหาอะไรและตัว IC#74150 นี้สามารถเลือกได้ถึง 16 ค่าเพราะฉะนั้นเราจึงสามารถเพิ่มหรือลดย่านการวัดได้ตามที่เราต้องการ

5.3 วงจรขับสัญญาณ

ในส่วนนี้มีความยุ่งยากมากในเรื่องของการเลือก Line Driver ซึ่ง Line Driver บางตัวให้ค่าเอาต์พุตมีค่าทำให้ส่งสัญญาณพัลส์ไปได้ไม่ไกลเท่าไรนัก และไม่สามารถตรวจจับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาได้ โดยส่วนนี้เราได้เลือกใช้ Line Driver เบอร์ LM6365 และ LH0002 ซึ่งจะให้ค่าเอาต์พุตที่สูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสัญญาณ ไม่มีการผิดเพี้ยนเมื่อเทียบกับ Line Driver ตัวอื่นที่ทดสอบมา โดยเราสามารถปรับแต่งรูปสัญญาณพัลส์จากวงจรได้ตามที่เราต้องการ ซึ่งยังเป็นปัญหาอยู่จะต้องแก้ไขและปรับปรุงต่อไปซึ่งในส่วนของวงจรจับสัญญาณนี้มีความสำคัญค่อนข้างมากต่อโครงการนี้ เพราะถ้าสัญญาณที่ออกมาจากส่วนของวงจรนี้ไม่ดีพอ จะทำให้วงจรตรวจจับตรวจจับสัญญาณ ได้ยากและทำให้เกิดการผิดเพี้ยนขึ้นได้ จึงต้องให้ความสำคัญกับส่วนของวงจรนี้ค่อนข้างมาก

5.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ

ส่วนนี้จะมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อความถูกต้องของสัญญาณที่ทำการวัด ซึ่งเป็นส่วนของการตรวจจับสัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมา จึงมีความผิดพลาดไม่ได้ซึ่งเราใช้ IC #LM710 ซึ่งเป็น IC Comparator มาใช้ในการตรวจจับสัญญาณ โดยเราต้องทำการปรับค่าแรงดันเปรียบเทียบไว้ เมื่อสัญญาณที่ส่งเข้ามาหรือสะท้อนกลับมามีค่ามากหรือน้อยกว่าค่าที่เราตั้งไว้ ก็จะทำให้เอาต์พุตมีค่า 5 V ออกมาซึ่งจะต้องส่งสัญญาณต่อไปในส่วนของวงจรนี้ก็มีผลต่อการทดลองค่อนข้างมาก เพราะสัญญาณที่สะท้อนกลับมาไม่ได้เป็นพัลส์สี่เหลี่ยม แต่เป็นพัลส์ที่มีลักษณะคล้ายๆ กับสัญญาณซายน์ ซึ่งในส่วนของวงจรตรวจจับนี้ถ้าเราตั้งการตรวจจับสัญญาณไว้สูงเกินไปก็จะทำให้ตรวจจับได้ช้าหรือจับไม่ได้เลยทำให้เกิดการผิดเพี้ยนขึ้น แต่ถ้าเราตั้งการตรวจจับไว้ต่ำเกินไปก็จะทำให้อาจจะตรวจจับสัญญาณรบกวนได้ ซึ่งจะทำให้ผลการทดลองนั้นผิดพลาดเพราะฉะนั้นในส่วนนี้เราจะต้องทำการทดสอบหลายๆ ครั้งแล้วปรับให้ได้อ่าที่ที่เหมาะสมที่สุด

5.5 วงจรรวมสัญญาณ

เป็นวงจรรวมสัญญาณ ที่รับสัญญาณจากในส่วนของวงจรตรวจจับสัญญาณ ซึ่งเราได้ใช้ IC#74HC32 ซึ่งเป็น OR-Gate 2อินพุตมาเป็นตัวรวมสัญญาณ เนื่องจากในส่วนของวงจรนี้ไม่ต้องการปรับแต่งอะไร ก็สามารถใช้งานได้ตามต้องการ

5.6 วงจรตรวจจับเวลา และตรวจสอบสถานะ

เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณพัลส์ที่รับเข้ามาให้กลายเป็นพัลส์ลูกเดียวเพื่อจะนำไปทำการประมวลผล ซึ่งในที่นี้เราได้ใช้ D-Flip Flop มาทำการแปลงเป็น T-Flip Flop เพราะเนื่องมาจากตามปกติแล้ว IC ที่เป็น T-Flip Flop จะไม่มี ซึ่งวงจรพวกนี้ถ้าเราทำการต่อวงจรแบบถูกต้องแล้วและใช้งานอย่างถูกต้องวิธี แต่ก็จะมีปัญหาตรงที่รูปร่างของสัญญาณเอาต์พุตซึ่งน่าจะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม แต่ก็ได้ตามต้องการเท่าใดนัก จึงทำให้ในส่วนนี้ของวงจรและวงจรนับไม่เป็นไปตามที่ต้องการเท่าใด ซึ่งในส่วนนี้มีผลต่อความผิดพลาดหลักของการประมวลผลระยะทางของสายค่อนข้างมาก ถ้าสัญญาณที่ออกมาจากวงจรส่วนนี้เป็นไปตามที่ต้องการ คิดว่าจะ ไม่มีความผิดพลาดจากการประมวลผลระยะทางหรือมีน้อย

5.7 วงจรคูณสัญญาณ

เป็นวงจรที่ใช้ในการคูณสัญญาณพัลส์ที่ส่งมาจาก T-Flip Flop กับ Clock ความถี่สูงเพื่อที่จะส่งไปที่กับวงจรนับทำการนับสัญญาณต่อไป ซึ่งในส่วนนี้เราได้ใช้ IC#74LS08 ซึ่งเป็น AND-Gate เป็นตัวคูณสัญญาณ โดยเราจะเห็นได้ว่าในส่วนนี้ของวงจรคูณสัญญาณนี้ไม่มีปัญหาอะไรเลย แต่จะมีปัญหาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักตรงที่ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่จะนำมาคูณกับ สัญญาณส่วนตรวจจับเวลา ซึ่งจะได้ค่าตามที่เราต้องการนั้นยากเพราะ ในโครงการนี้ต้องการทดสอบสายให้ได้ไกลกว่า 1 กิโลเมตร IC#74HC393 ซึ่งเป็น IC นับ แต่เราได้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นวงจรหารความถี่ และได้ผลที่ดีด้วย แต่ว่าจะมีการรบกวนได้ง่าย จึงต้องระวังในส่วนนี้

ค่าของสัญญาณนาฬิกาจะมีผลต่อการทดลองเป็นอย่างมากเพราะถ้าค่าเพี้ยน ไปมากก็จะทำให้การคำนวณหรือการประมวลผลนั้นผิดพลาดไปมาก จึงต้องเน้นและระวังในส่วนนี้มากเป็นพิเศษ

5.8 วงจรนับ

ในส่วนของวงจรรับสัญญาณซึ่งได้จากวงจรคูณสัญญาณและจึงทำการส่งไปให้ในส่วนของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเราได้ใช้ IC#74HC393 4บิต counter 2ตัว มาต่ออนุกรมกันทำให้ได้เอาท์พุทเป็น 8บิต ซึ่งจะนำค่าที่ได้นี้ไปประมวลผลอีกทีหนึ่ง

5.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล

ในส่วนนี้จำเป็นจะต้องเลือกเบอร์ IC ที่จะใช้ให้เหมาะสมเพราะ วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลเป็นวงจรที่มีการประมวลผลค่อนข้างช้าจึงจำเป็นต้องเลือกให้ดี เพราะถ้าช้าเกินไป จะประมวลผลสัญญาณที่เราต้องการไม่ได้ เราจึงจำเป็นต้องเลือก ที่มีความเร็วสูงและควบคุมได้ง่าย

5.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนนี้ฮาร์ดแวร์จะ ไม่มีปัญหาอะไรแต่จะมีปัญหาตรง ซอร์ฟแวร์มากกว่าเพราะเราจะต้องปรับแต่งให้ทำงานให้สัมพันธ์กับส่วนของวงจรที่เราออกแบบให้มากที่สุด เพื่อที่จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งในส่วนนี้เราสามารถแก้ไขและทำการทดสอบได้หลายครั้ง เพราะตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถแก้ไขโปรแกรมได้หลายครั้งเพราะเป็นแบบแฟลช และการต่อฮาร์ดแวร์ค่อนข้างสะดวก

5.11 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองและวัดค่าเอาท์พุทของแต่ละภาครวมทั้งการเก็บข้อมูลของสัญญาณต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

ส่วนของวงจรรับสัญญาณจะหาส่วนของอุปกรณ์ที่เหมาะสมได้ยากมาก เพราะแต่ละตัวจะเหมาะสมกับสายที่ไม่เหมือนกันจึงต้องทดลองกันมากเป็นพิเศษ และต้องปรับแต่งวงจรภาคตรวจจับสัญญาณให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญมาก

ส่วนของสัญญาณนาฬิกา ซึ่งมีผลต่อค่าความผิดพลาดค่อนข้างมากเพราะยังมีค่ามากเท่าใดก็จะทำให้วัดได้ละเอียดมากขึ้นเท่านั้น แต่ถ้าสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ค่อนข้างสูงจะหาวงจรหรืออุปกรณ์ได้ยาก และจะมีความเพี้ยนของสัญญาณค่อนข้างสูง เราจึงต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม

จากในส่วนของสัญญาณนาฬิกาเมื่อเรานำมาคูณกับสัญญาณที่เราตรวจจับเวลาได้และผ่านเข้าสู่วงจรรับนั้น ลักษณะของสัญญาณที่ทำการคูณเสร็จแล้วเกิดเพี้ยนไปเล็กน้อยทำให้สัญญาณที่เข้าสู่วงจรรับเกิดการเพี้ยนไป ซึ่งจากลักษณะของสัญญาณนาฬิกานั้น ถ้าสัญญาณนาฬิกาความถี่สูง เมื่อวงจรรับทำการ

นับพลาดไป1ลูก ก็จะผิดพลาดน้อย แต่ถ้าสัญญาณที่มีความถี่ต่ำเมื่อวงจรนับทำการนับพลาดไป1ลูกก็จะผิดพลาดสูงตามไปด้วย

ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะมีปัญหาตรงส่วนตรวจจับสัญญาณต่างๆ เพราะในโครงการนี้ทำการวัดแบบอัตโนมัติ จึงทำการตรวจจับสัญญาณหลายครั้งจึงต้องเขียนโปรแกรมให้สัมพันธ์กับสัญญาณเหล่านี้ด้วย ซึ่งตรงในส่วนนี้เราจึงต้องศึกษาทำความเข้าใจวงจรต่างๆ เพื่อให้ง่ายในการเขียนโปรแกรมและ ออกแบบวงจร

5.12 แนวทางการพัฒนา

จากการทำโครงการนี้ทำให้คิดว่าแนวทางการพัฒนาต่อไปได้หลายแบบ

1. พยายามหา Line Driver ที่เหมาะสมให้ได้ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่ส่งเข้าไปในสายได้ตามต้องการซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยลง
2. ในส่วนของวงจรตรวจจับสัญญาณ หากสามารถหาวงจรที่ตรวจจับสัญญาณได้เร็วและให้เอาท์พุทที่ชัดเจนจะทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยลง
3. ควรมีการแบ่งย่านความถี่ของสัญญาณนาฬิกาหลายๆย่านให้เหมาะสมกับการวัด เช่น ถ้าในระยะไกลควรใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่น้อยกว่าระยะใกล้ เพื่อทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยลง
4. ถ้า วัดสายได้หลายประเภท ควรมีการรับค่าตัวเลข ของค่าสภาพะยอม และค่าสภาพซึมได้ แล้วนำไปประมวลผล ซึ่งจะต้องใช้โปรแกรมควบคุม จะทำให้ครอบคลุมเครือข่ายของการวัดได้มากขึ้น

บรรณานุกรม

1. กิตติพัฒน์ ต้นตระกูลโรจน์, ดร. ทฤษฎีสายส่งไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร: วิทยพัฒน์, 2541.
2. ถวิล กิ่งทอง. ทฤษฎีโครงข่ายไฟฟ้าและสายส่ง. พิมพ์ครั้งที่ 7. 2538(ม.ป.ท)
3. สมยศ จุณณะปิยะ, รศ. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51. กรุงเทพมหานคร: พิมพ์ครั้งที่ 3. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 2543.
4. บริษัท อีทีที, Dot Matrix LCD Module, กรุงเทพฯ.
5. ชัยวัฒน์ ลิมพรจิตวิไล, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51. กรุงเทพมหานคร: อินเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.
6. ปรีชา ยูพาพิน, เครือข่ายใยแก้วนำแสง, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร, 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้