

อุปกรณ์ตรวจสอบสายและวัดหาความยาวสายวิธี TDR
Electric Wire Discontinuity Check and Length Measurement
Using Time Domain Reflectometry (TDR) Technique



โดย
นายอภิศักดิ์ บางมณี
นายอลงกรณ์ อุทรพันธุ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 50357
วัน,เดือน,ปี 13 พ.ค. 2547

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตรวจสอบสภาพสายและวัดหาความยาวสายวิธี TDR
Electric Wire Discontinuity Check and Length Measurement
Using Time Domain Reflectometry (TDR) Technique



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2545

ภาควิชาสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **อุปกรณ์ตรวจสอบสภาพสายและวัดหาความยาวสายวิธี TDR**

Electric Wire Discontinuity Check and Length Measurement

Using Time Domain Reflectometry (TDR) Technique

ผู้จัดทำ

1. นายอภิศักดิ์ บางมณี 43015242

2. นายอลงกรณ์ อุทรพันธุ์ 43015243




อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ จิตธิภูมิ บุญพิกล้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตรวจสอบสภาพสายและวัดหาความยาวสายวิธี TDR

Electric Wire Discontinuity Check and Length Measurement

Using Time Domain Reflectometry (TDR) Technique

นายอภิศักดิ์ บางมณี 43015242

นายอลงกรณ์ อุทรพันธุ์ 43015243

อาจารย์ อธิธิภูมิ บุญพิงค์ (อาจารย์ที่ปรึกษา)

บทคัดย่อ

โครงการนี้เสนอการออกแบบเครื่องตรวจหาตำแหน่งความไม่ต่อเนื่องของสายเคเบิลทั่วไป และวัดหาความยาวสายโดยวิธี Time Domain Reflectometry หรือ TDR ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้ สัญญาณทางไฟฟ้าจะถูกส่งไปตามสาย และเมื่อกระทบบริเวณที่ไม่ต่อเนื่องของสายหรือบริเวณที่คุณสมบัติของสายแตกต่างกัน จะเกิดการสะท้อนกลับ และเวลาหน่วงของสัญญาณสะท้อนกลับที่ต่างไปจากสัญญาณเริ่มต้น จะถูกตรวจวัด และนำมาคำนวณหาตำแหน่งที่ไม่ต่อเนื่อง ซีด และ ความยาวสาย ส่วนหลักของระบบ ได้แก่ ส่วนสร้างสัญญาณเริ่มต้น ภาคตรวจจับพัลส์ และภาค

แสดงผล

โครงการนี้มีผู้ร่วมงาน 2 ท่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electric Wire Discontinuity Check and Length Measurement

Using Time Domain Reflectometry (TDR) Technique

Mr. APISAK BANGMANEE

Mr. ALONGKORN UTORNPUN

Dr. ITTIBHOOM BOONPIKUM(Advisor)

Academic Year 2003

Abstract

This project present a design Electric wire discontinuity check and length measurement System using Time Domain Reflectometry (TDR) technique. Input signal is transmitted through the target wire and would be reflected back form the discontinuity location of the wire. The transmitted/reflected delay time would be infromation to calculate or discontinuity location and wire length. The system incloudes signal generator , pulse detector and display.

The project are two people as team work.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนในการทำโครงการ	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีสายส่ง Transmission Lines Theory	3
2.1 ชนิดของสายรับส่ง	3
2.2 หลักการทำงาน	13
บทที่ 3 Time Domain Reflectometry (TDR)	18
3.1 หลักการทำงานของ TDR	18
3.2 สัญญาณสามารถสะท้อนกลับได้อย่างไร	18
3.3 สัญญาณที่ส่งไป	20
3.4 รูปร่างและขนาดของสัญญาณที่จะสะท้อนกลับ	22
บทที่ 4 หลักการทำงานและบล็อกไดอะแกรม	25
4.1 ส่วน TDR	26
4.1.1 ภาคกำเนิดพัลส์	26
4.1.2 ภาคตรวจจับพัลส์	28
4.1.3 ภาครวมสัญญาณ	29
4.1.4 ภาคแปลงสัญญาณพัลส์	30
4.2 ส่วนประมวลผล	31
4.2.1 ภาค Sampling สัญญาณ	31
4.2.2 ภาคนับจำนวน clock	32
4.2.3 ภาค Check connect	33
4.2.4 ภาค Check short/Open	34
4.2.5 ภาคประมวลผล	35
4.2.5.1 คุณสมบัติทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	35
4.2.5.2 รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 วงจรและการทดลองวงจร	51
5.1 ส่วน TDR	51
5.1.1 ภาคกำเนิดพัลส์	51
5.1.2 ภาคตรวจจับพัลส์	54
5.1.2.1 ตรวจจับพัลส์บวก	55
5.1.2.2 ตรวจจับพัลส์ลบ	56
5.1.3 ภาครวมสัญญาณ	59
5.1.4 ภาคแปลงสัญญาณพัลส์	61
5.2 ส่วนประมวลผล	63
5.2.1 ภาคกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 20 MHz	63
5.2.2 ภาค Sampling สัญญาณ	64
5.2.3 ภาคนับจำนวน Clock	65
5.2.4 ภาค CK_Connect	66
5.2.5 ภาค Check Short/Open	68
5.2.6 ภาคประมวลผล	70
5.2.6.1 คีย์อินเตอร์เฟส	70
5.2.6.2 การอินเตอร์เฟสจอแสดงผล แอลซีดี	71
5.2.6.3 การอินเตอร์เฟสข้อมูล	71
5.2.6.4 คุณสมบัติทางฮาร์ดแวร์ของวงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์	72
บทที่ 6 ซอฟต์แวร์ และฟังก์ชันการใช้งาน	73
6.1 ซอฟต์แวร์	73
6.1.1 Flow chart การทำงานของโปรแกรม	73
6.1.2 Flow chart การกดสวิตช์ Menu และ Test	74
6.1.3 Flow Chart อ่านค่าสภาวะ และประมวลผล	75
6.1.4 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการอ่านค่าสภาวะและประมวลผล	76
6.1.4.1 การ Check Connect	76
6.1.4.2 เช็คสภาวะของสายเคเบิลว่าชำรุดแบบช็อต หรือ ขาด	79
6.1.4.3 เช็คขอบเขตของสัญญาณจากขา Ck pulse down	80

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.1.5 การหาค่าตัวคูณคงที่ของสายเคเบิลที่นำมาทดสอบ	81
6.2 ฟังก์ชันการใช้งาน	82
บทที่ 7 การทดสอบการทำงาน	84
7.1 ทดสอบการใช้งานของเครื่อง	84
บทที่ 8 สรุปผลและแนวทางการพัฒนา	85
8.1 สรุปภาพรวมทั้งหมด	85
8.2 ผลการออกแบบ	85
8.3 แนวทางการพัฒนา	86
หนังสืออ้างอิง	
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 วงจรเทียบเท่าของสายรับส่งในหนึ่งหน่วยความยาว	3
รูปที่ 2.2 Characteristic Impedance	4
รูปที่ 2.3 สายที่มีความยาวแน่นอนต่อปลายจั่วด้วย $Z_L = Z_0$	4
รูปที่ 2.4 วงจรเทียบเท่าสำหรับการคำนวณหา สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ	5
รูปที่ 2.5 การส่งสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไปให้โหลดผ่านสายรับส่ง	7
รูปที่ 2.6 การลดทอนของกระแสไฟในแต่ละส่วนของสายรับส่ง	8
รูปที่ 2.7 สัมพันธ์ภาพทางแอมพลิจูดของความถี่พื้นฐานและฮาร์โมนิกที่สองของสัญญาณที่ต้นทางและปลายทาง	10
รูปที่ 2.8 ผลของการส่งสัญญาณเสียงคำพูดผ่านสายรับส่ง	11
รูปที่ 2.9 สัมพันธ์ภาพทางเฟสของความถี่พื้นฐานและฮาร์โมนิกที่สองของสัญญาณที่ต้นทางและปลายทาง	11
รูปที่ 2.10 สัมพันธ์ภาพทางเฟสเมื่อองค์ประกอบความถี่ถูกเลื่อนเฟสด้วยจำนวนเป็นปฏิภาค โดย ตรงกับความถี่ ($\beta \alpha r$)	12
รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลของสายส่งไฟฟ้าโดยประมาณ	13
รูปที่ 2.12 คลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าชั่วขณะ	14
รูปที่ 2.13 อิมพีแดนซ์ของการชำรุดในสายเคเบิล	16
รูปที่ 2.14 อิมพีแดนซ์ของการชำรุดในสายเคเบิล	17
รูปที่ 3.1 วงจรเทียบเท่าของสายตัวนำในหนึ่งหน่วยความยาว	19
รูปที่ 3.2 การเคลื่อนที่ของสัญญาณในสายดี	19
รูปที่ 3.3 การเคลื่อนที่ของสัญญาณในสายเสีย	20
รูปที่ 3.4 Sine Squared Pulse	20
รูปที่ 3.5 รูปร่างของสัญญาณสะท้อนกลับ	22
รูปที่ 3.6 ขนาดของสัญญาณสะท้อนกลับ	23
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมภาคกำเนิดพัลส์	26
รูปที่ 4.2 พัลส์เอาต์พุตที่เกิดจากภาคกำเนิดสัญญาณพัลส์	26
รูปที่ 4.3 ลักษณะที่เกิดการซ้อนทับระหว่างพัลส์ที่ส่งออกไปกับพัลส์สะท้อนกลับ	27

(สายขาด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 ลักษณะที่เกิดการซ้อนทับระหว่างพัลส์ที่ส่งออกไปกับพัลส์สะท้อนกลับ (สายช็อต)	27
รูปที่ 4.5 แสดงคาบเวลาพัลส์สะท้อนกลับที่มากกว่าคาบเวลาพัลส์ส่ง	27
รูปที่ 4.6 บล็อกไดอะแกรม ภาควัดจิบสัญญาณพัลส์	28
รูปที่ 4.7 ลักษณะของการสะท้อนกลับของพัลส์	28
รูปที่ 4.8 แสดง เอาต์พุตของภาควัดจิบพัลส์ กรณีสายปลายเปิดหรือขาด	29
รูปที่ 4.9 แสดง เอาต์พุตของภาควัดจิบพัลส์ กรณีสายปลายปิดหรือช็อต	29
รูปที่ 4.10 บล็อกไดอะแกรม ภาควัดรวมสัญญาณ	29
รูปที่ 4.11 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของภาควัดรวมสัญญาณ กรณีสายขาด	30
รูปที่ 4.12 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของภาควัดรวมสัญญาณ กรณีสายช็อต	30
รูปที่ 4.13 บล็อกไดอะแกรม ภาควัดแปลงสัญญาณพัลส์	30
รูปที่ 4.14 อินพุตและเอาต์พุตของภาควัดแปลงสัญญาณพัลส์	31
รูปที่ 4.15 บล็อกไดอะแกรม ภาควัด Sampling สัญญาณ	31
รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะของสัญญาณในภาควัด Sampling สัญญาณ	32
รูปที่ 4.17 บล็อกไดอะแกรมของภาควัดนับจำนวน Clock	32
รูปที่ 4.18 บล็อกไดอะแกรมของภาควัด Check Connect	33
รูปที่ 4.19 ผลการทดลอง กรณีไม่ได้ต่อสายทดสอบ	33
รูปที่ 4.20 ผลการทดลอง กรณีต่อสายทดสอบ	34
รูปที่ 4.21 บล็อกไดอะแกรมของภาควัด Check Short/Open	34
รูปที่ 4.22 บล็อกไดอะแกรม ภาควัดประมวลผล	35
รูปที่ 4.23 แสดงการจัดตำแหน่งขาต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	37
รูปที่ 4.24 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	39
รูปที่ 4.25 แสดงโครงสร้างของหน่วยความจำ	41
รูปที่ 4.26 การจัดหน่วยความจำและตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษต่างๆ	42
รูปที่ 4.27 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโมดูล LCD แบบอักษร	44
รูปที่ 4.28 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของระบบ	50
รูปที่ 5.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	51

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.3 รูปสัญญาณที่ขา I ของ 7414	52
รูปที่ 5.4 พัลส์เอาต์พุต (Pulse Test) ที่ส่งเข้าไปในสายทดสอบ	53
รูปที่ 5.5 ลักษณะการสะท้อนกลับ กรณีสายขาด	53
รูปที่ 5.6 ลักษณะการสะท้อนกลับ กรณีสายช็อต	53
รูปที่ 5.7 วงจรตรวจจับพัลส์บวก	55
รูปที่ 5.8 ผลการทดลองภาคตรวจจับพัลส์บวก กรณีสายขาด	55
รูปที่ 5.9 ผลการทดลองภาคตรวจจับพัลส์บวก กรณีสายช็อต	56
รูปที่ 5.10 วงจรตรวจจับพัลส์ลบ	56
รูปที่ 5.11 ผลการทดลองส่วนตรวจจับพัลส์ลบ กรณีสายขาด	57
รูปที่ 5.12 ผลการทดลองส่วนตรวจจับพัลส์ลบ กรณีสายช็อต	57
รูปที่ 5.13 แสดงความแตกต่างความกว้างของพัลส์ที่ค่า V_{ref} ไม่เท่ากัน	58
รูปที่ 5.14 วงจรรวมสัญญาณ	59
รูปที่ 5.15 ผลการทดลองภาครวมสัญญาณ กรณีสายขาด	59 - 60
รูปที่ 5.16 ผลการทดลองภาครวมสัญญาณ กรณีสายช็อต	60
รูปที่ 5.17 วงจรภาคแปลงสัญญาณพัลส์	61
รูปที่ 5.18 ผลการทดลองภาคแปลงพัลส์เป็นเอาต์พุตของส่วน TDR	62
รูปที่ 5.19 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 20 MHz	63
รูปที่ 5.20 รูปสัญญาณนาฬิกา 20 MHz	63
รูปที่ 5.21 วงจร Sampling สัญญาณ	64
รูปที่ 5.22 ผลการทดลองสัญญาณภาค Sampling	64
รูปที่ 5.23 วงจรนับจำนวน Clock	65
รูปที่ 5.24 วงจร Check Connect	66
รูปที่ 5.25 ผลการทดลองใน กรณีที่ไม่ได้ต่อสายทดสอบ	67
รูปที่ 5.26 ผลการทดลองใน กรณีที่ต่อสายทดสอบ	67 - 68
รูปที่ 5.27 วงจร Check Short/Open	68
รูปที่ 5.28 ผลการทดลองสัญญาณเอาต์พุตกรณีสายขาด	69
รูปที่ 5.29 ผลการทดลองสัญญาณเอาต์พุตกรณีสายช็อต	69

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.31 การอินเตอร์เฟสจอแอลซีดีเข้ากับ MCS-51	71
รูปที่ 5.32 โครงสร้างการอินเตอร์เฟสกับ MCS - 51	72
รูปที่ 6.1 Flow chart การทำงานของโปรแกรม	73
รูปที่ 6.2 Flow chart การกดสวิทช์ menu และ test	74
รูปที่ 6.3 การ โหลดข้อมูลค่าคงที่ของสายเคเบิลมาเก็บไว้ใน RAM	75
รูปที่ 6.4 Flow chart การอ่านค่าสถานะและประมวลผล	76
รูปที่ 6.5 การ Check Connect	77
รูปที่ 6.6 Flow chart การเช็คสัญญาณที่ขา Ck connect	78
รูปที่ 6.7 แสดงการเกิดของสัญญาณ Ck short/open	79
รูปที่ 6.8 แสดง Flow chart การเช็ค สายเคเบิลช็อต หรือ ขาด	79
รูปที่ 6.9 แสดงที่มาของ Ck pulse down , ตำแหน่ง Clear counter และ Read counter	80
รูปที่ 6.10 Flow chart การเช็คขอบบาสงของ Pulse จุดที่ Clear counter และ Read counter	80
รูปที่ 6.11 ด้านหน้าของเครื่อง	82

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูล MCS - 51	36
ตารางที่ 4.2 แสดงหน้าที่พิเศษของแต่ละขาของพอร์ต P3	38
ตารางที่ 4.3 แสดงผลความสัมพันธ์ในการทำงานของขา RS,R/W, และ E ของโมดูล LCD	
แบบอักษร	45
ตารางที่ 5.1 หน้าที่ของคีย์และการต่อเข้ากับพอร์ตของ MCS-51	70
ตารางที่ 7.1 แสดงผลการทดสอบสาย PVC	84
ตารางที่ 7.2 แสดงผลการทดสอบสาย Drop wire	84
ตารางที่ 8.1 ระยะเวลาต่ำสุด - สูงสุด ที่เกิดจากตัวเก็บประจุค่าต่าง	86



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ขึ้นมามากมาย เพื่อให้สามารถนำมาช่วยลดความยุ่งยาก ลดเวลา และเพิ่มความสะดวกรวดสบาย อุปกรณ์ตรวจสอบสภาพสายและวัดหาระยะทางด้วยวิธี TDR ก็เป็นอุปกรณ์อีกอย่างหนึ่งที่จะช่วยลดเวลาและความยุ่งยาก ในการตรวจหาจุดชำรุดของสาย จากการที่ได้เห็นช่างซ่อมสายโทรศัพท์ที่ตรวจเช็คหาจุดเสียหายของสายเคเบิล ซึ่งต้องตัดสายเช็คเป็นช่วงๆ เพื่อเช็คสัญญาณทำให้สายเกิดจุดต่อเพิ่มขึ้นซึ่งเสียเวลาและมีความยุ่งยาก ถ้าเราสามารถรู้ว่าจุดเสียหายของสายเคเบิลอยู่ตำแหน่งประมาณเท่าใด ก็จะทำให้ลดเวลาในการตรวจเช็คจุดเสียหายของสายเคเบิล ในปัจจุบันเครื่องวัดหาระยะทางและตรวจสอบสภาพของสายมีราคาแพงมาก และมีการผลิตขึ้นที่ต่างประเทศ ทางผู้ทำโครงการจึงเกิดแนวความคิดในการสร้าง อุปกรณ์ตรวจสอบสภาพสายและวัดหาระยะทางด้วยวิธี TDR ที่มีต้นทุนต่ำขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างอุปกรณ์วัดหาระยะทางความไม่ต่อเนื่องของสาย และพยายามลดต้นทุนในการสร้างให้ต่ำที่สุด

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้สามารถบอกสาเหตุและระยะทางของจุดเสียเท่านั้น ความสามารถในการวัดยังอยู่ในขอบเขตที่จำกัด

1.4 ขั้นตอนในการทำโครงการ

1. ศึกษาธรรมชาติของพัลส์เมื่อส่งไปในสาย
2. ศึกษาหลักการ Time Domain Reflectometry
3. สร้างบล็อกไดอะแกรมการทำงานส่วน TDR ของโครงการ
4. คำนวณหาวงจรของบล็อกไดอะแกรมแต่ละส่วน
5. ทดลองวงจรแต่ละส่วน
6. ปรับปรุงวงจรเพื่อให้มีเอาต์พุตออกตามต้องการ

7. ศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ออกแบบส่วนแสดงผล โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
9. ทดลองการทำงานของส่วนแสดงผล
10. ทดสอบการทำงานทั้งระบบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพของโครงการให้สามารถใช้งานได้สะดวก มีความเที่ยงตรงในการวัด และลดค่าใช้จ่ายในการสร้าง และสามารถนำโครงการไปใช้งานแสดงผลเป็นผลระยะทางได้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีสายส่ง

TRANSMISSION LINE THEORY

2.1 ชนิดของสายรับส่ง

2.1.1 สายรับส่งที่ใช้ในงานโทรคมนาคม แบ่งเป็นชนิดกว้าง ๆ ได้ 3 ชนิด

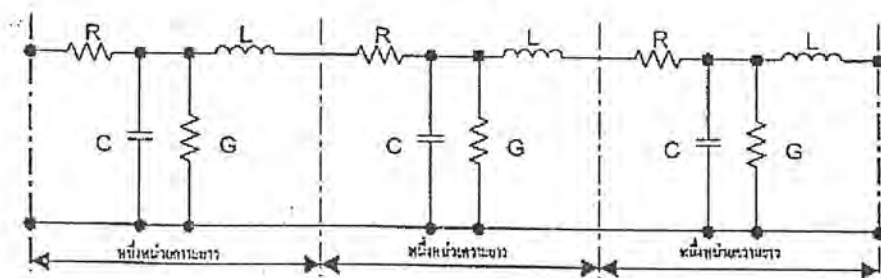
1. Open-wire line
2. Multipair cable
3. Coaxial cable

2.1.2 ค่าคงตัวปฐมภูมิ (Primary constant) ของสายรับส่ง

สายรับส่งแต่ละชนิดจะมีสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า ค่าคงตัวปฐมภูมิ (Primary constants) แสดงต่อกระแสไฟสัญญาณที่ไหลผ่านรวม 4 อย่างด้วยกันคือ

1. Series Resistance แทนด้วย R เป็น Effective resistance ของลวดตัวนำในสายคู่หนึ่ง ๆ กำหนดค่าเป็นโอห์มต่อหนึ่งหน่วยความยาว เช่น หนึ่ง Loop Mile
2. Series Inductance แทนด้วย L เป็นค่า Inductance ซึ่งลวดตัวนำแสดงต่อกระแสไฟสัญญาณที่ไหลผ่าน กำหนดค่าเป็นเฮนรี่ต่อหนึ่งหน่วยความยาว
3. Shunt Capacitance แทนด้วย C เป็นค่า Capacitance ระหว่างลวดตัวนำของสายคู่หนึ่ง ๆ กำหนดค่าเป็นฟาราดต่อหนึ่งความยาว
4. Shunt Conductance แทนด้วย G เป็นส่วนกลับของการรั่วไหลระหว่างลวดตัวนำของสายคู่หนึ่ง ๆ ผ่านทางฉนวน กำหนดค่าเป็นโมห์ต่อหนึ่งความยาว

สำหรับสายรับส่งที่มีความสม่ำเสมอ ค่าคงตัวปฐมภูมิ ทั้ง 4 อย่าง คือ R L C และ G ของสายรับส่งจะกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวของสาย และอาจเขียนเป็นวงจรเทียบเท่าในแต่ละหน่วยความยาวของสายรับส่งได้ดังรูปที่ 2.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.1 วงจรเทียบเท่าของสายรับส่งในหนึ่งหน่วยความยาว
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของ R L C และ G ในหนึ่งหน่วยความยาวของสายรับส่ง ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับลักษณะ การสร้างและวัสดุที่ใช้ในการสร้าง นอกจากยังขึ้นอยู่กับความถี่ อุณหภูมิ ภาวะของอากาศ

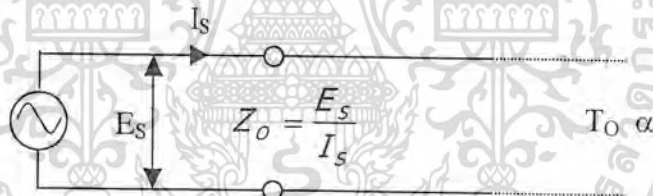
2.1.3 ค่าคงตัวทุติยภูมิ (Secondary constants) ของสายรับส่ง

ผลรวมของค่าคงตัวปฐมภูมิของสายรับส่ง คือ R L C และ G จะมีผลแสดงต่อกระแสไฟ สัญญาณที่ไหลผ่านในลักษณะต่าง ๆ กัน พอจำแนกออกเป็นคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เรียกว่า ค่าคง ตัวทุติยภูมิ (Secondary constants) ได้ใหญ่ ๆ 2 อย่างคือ

1. Characteristic Impedance แทนด้วย Z_0
2. Propagation Constant แทนด้วย γ

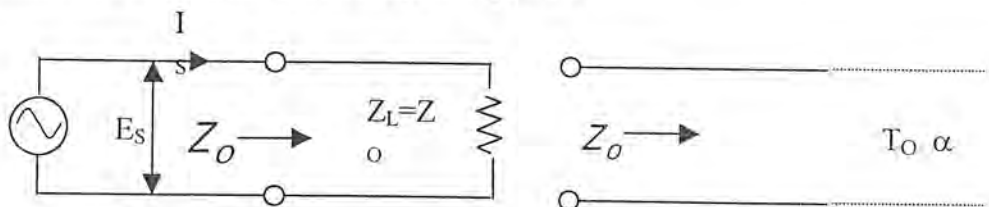
2.1.4 Characteristic Impedance

Characteristic Impedance ของสายรับส่งคือค่าอิมพีแดนซ์ ที่วัดได้ที่ปลายด้วยส่งของสาย เมื่อสายรับส่งนั้นยาวไม่มีที่สิ้นสุด (Infinity)



รูปที่ 2.2 Characteristic Impedance

การใช้สายรับส่งที่มีความยาวไม่มีที่สิ้นสุด เป็นสิ่งอ้างอิงสำหรับการกำหนดค่า Z_0 ของสายรับส่งใด ๆ นั้น ก็เพราะเหตุว่าเมื่อเราส่งสัญญาณไปในสายที่มีความยาวไม่มีที่สิ้นสุด กระแสไฟสัญญาณ (หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) ที่เคลื่อนไปจะอ่อนกำลังลงเรื่อย ๆ และหมดไปในที่สุด ไม่มีส่วนใดสะท้อนกลับไปยังต้นทางอีกสายรับส่งที่มีความยาวไม่มีที่สิ้นสุดนั้น ไม่อาจมีจริง ได้ในทางปฏิบัติ แต่เราสามารถทำให้สายที่มีความยาวแน่นอน มีคุณลักษณะทาง Characteristic Impedance เหมือนกับสายที่ยาวไม่มีที่สิ้นสุดได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สายที่มีความยาวแน่นอนต่อปลายด้วย $Z_L = Z_0$ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากฝ่าฝืนจะดำเนินการตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

จากรูปที่ 2.3 ถ้าเราตัดสายรับส่งที่จุด B เมื่อมองไปทางขวาของจุด B สายที่เหลืออยู่ก็ยังคงมีความยาวไม่มีที่สิ้นสุด นั่นคือที่จุด B มองไปทางขวาจะเห็นอิมพีแดนซ์เป็น Z_0 เหมือนอย่างเดิม ดังนั้น ถ้าเราต่อปลายขั้ว (Terminate) ของสายที่มีความยาวแน่นอนทางด้านซ้ายของจุด B ด้วยอิมพีแดนซ์ที่มีค่าเท่ากับ Z_0 ของสายรับส่งแล้วอิมพีแดนซ์ของสายที่ปลายด้านส่งจะมีค่าเป็น Z_0 เช่นเดียวกัน คือ

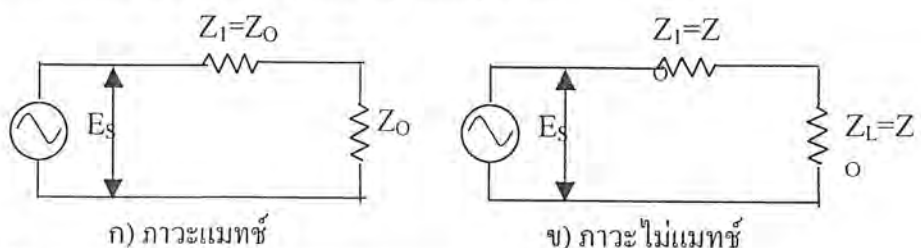
สายที่มีความยาวแน่นอน ถ้าต่อปลายขั้ว ที่ปลายด้านหนึ่งด้วยอิมพีแดนซ์ที่มีค่าเท่ากับ Z_0 ของสายช่วยสั้นนั้น (จาก A ถึง B) มีผลทางไฟฟ้าคล้ายกับว่าสายนั้นยาวไม่มีที่สิ้นสุดในข้อที่ว่า สัญญาณที่ส่งจากต้นทางเมื่อเคลื่อนไปถึงโหลด (Load) หรือตัวรับสัญญาณมันจะถูกดูดกลืนหมด ไม่มีส่วนใดสะท้อนกลับค่า Z_0 ของสายส่งไม่ขึ้นอยู่กับความยาวและสามารถคำนวณค่าในนามของค่าคงตัวปฐมภูมิ ได้ดังนี้

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

เมื่ออิมพีแดนซ์ของโหลด Z_L มีค่าเท่ากับ Z_0 ของสายรับส่งสัญญาณที่ส่งจากปลายด้านส่ง เมื่อไปถึงโหลดที่ปลายด้านรับ พลังงานของสัญญาณที่ไปถึงจะถ่ายเทให้แก่โหลด Z_L หมดสิ้น ไม่มีพลังงานใด ๆ สะท้อนกลับ ภาวะเช่นนี้กล่าวว่า อิมพีแดนซ์ของโหลดแมทช์ (แมทช์) กับ พลังงานของสัญญาณที่ไปถึง Z_L บางส่วนจะสะท้อนกลับ การสะท้อนกลับโดยทั่วไปเกิดจากอัตราส่วนระหว่าง กำลังสะท้อนกลับโหลดในภาวะไม่แมทช์ต่อกำลังคืนที่โหลดในภาวะ แมทช์และเรียกว่า สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection coefficient) คือ

$$\text{สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ} = \frac{\text{กำลังสะท้อนกลับจากโหลดในภาวะ Mismatch}}{\text{กำลังที่โหลดในสภาวะ Match}}$$

ค่าดังกล่าวสามารถคำนวณในนามของ Z_0 และ Z_L ได้ดังรูปที่ 2.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 2.4 วจจรเทียบเท่าสำหรับการคำนวณหา สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสถานะ แมทช์	กำลังที่โหลดได้รับ = $\frac{E}{2}$
ในสถานะ ไม่แมทช์	กำลังที่โหลดได้รับ = $E \frac{Z_L}{Z_o + Z_L}$
กำลังสะท้อนกลับจึงเท่ากับ	$\frac{E}{2} - E \frac{Z_L}{Z_o + Z_L}$

$$\begin{aligned} \text{สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ} &= \frac{\frac{E}{2} - E \frac{Z_L}{Z_o + Z_L}}{\frac{E}{2}} \\ &= 1 - \frac{2Z_L}{Z_o + Z_L} \end{aligned}$$

นั่นคือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ = $\frac{Z_o - Z_L}{Z_o + Z_L}$ หรือ $\frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o}$

จากสมการที่ 4 ถ้า $Z_L = Z_o$ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ จะเท่ากับ 0 คือไม่มีการสะท้อนกลับ ถ้า $Z_L = 0$ (เปิดวงจร) หรือ $Z_L = \infty$ (เบ็ดวงจร) สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ จะเท่ากับ 1 คือมีการสะท้อนกลับหมด

2.1.5 Return Loss

ในงานด้านโทรคมนาคม วิธีการที่นิยมใช้กันเพื่อกำหนดความมากน้อยของการไม่แมทช์ระหว่าง Z_o ของโหลดก็คือ Return Loss คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังงานที่โหลดได้รับในสถานะแมทช์ ตัวกำลังงานที่สะท้อนกลับในสถานะ ไม่แมทช์ คิดในหน่วย dB และสามารถคำนวณในนามของ Z_o และ Z_L จากรูปที่ได้ดังนี้

ในสถานะแมทช์ กำลังงานที่โหลดได้รับ = $\frac{E^2}{4Z_o}$

ในสถานะไม่แมทช์ กำลังงานที่โหลดได้รับ = $\frac{E^2 Z_L}{(Z_L + Z_o)}$

กำลังงานที่โหลดได้รับ = $\frac{E^2}{4Z_o} - \frac{E^2 Z_L}{(Z_L + Z_o)}$

$$\frac{\text{กำลังงานที่โหลดในสถานะแมทช์}}{\text{กำลังงานสะท้อนกลับจากโหลด}} = \frac{\frac{E^2}{4Z_o}}{\frac{E^2}{4Z_o} - \frac{E^2 Z_L}{(Z_L + Z_o)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการขออนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{(Z_L - Z_0)^2}{(Z_L + Z_0)^2}$$

ในทางปฏิบัติไม่อาจมีการแมทช์ อย่างสมบูรณ์ระหว่าง Z_L และ Z_0 ได้จึงย่อมจะมีการสะท้อนกลับอยู่บ้าง ในงานโทรคมนาคม ถ้า Return Loss มีค่าต่ำเกินไป ผลอันไม่พึงปรารถนาเช่น echo และ singing อาจเกิดขึ้นได้

2.1.6 Propagation Constants ของสายรับส่ง



รูปที่ 2.5 การส่งสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไปให้โหลดผ่านสายรับส่ง

จากรูปที่ 2.5 แสดงวงจรเทียบเท่าของการส่งสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไปยังโหลดซึ่งมีอินพีแดนซ์เท่ากับ Z_0 ผ่านสายรับส่ง ซึ่งแบ่งเป็นส่วน ๆ จำนวนหนึ่ง Series Impedance เท่ากับ $R+j\omega L$ และ Shunt Admittance เท่ากับ $G+j\omega C$ ในแต่ละส่วนของสายจะมีผลแสดงต่อกระแสไฟสัญญาณ (หรือแรงดัน) ที่ไหลผ่านมันไปดังนี้

1. กระแสไฟสัญญาณ(หรือแรงดัน) จะถูกลดทอนในแต่ละส่วนของสายรับส่งเป็นจำนวนเท่ากันๆ กล่าวคือ

กระแสไฟด้านส่ง ที่ไหลเข้าสายรับส่งส่วนที่ 1 จะถูกลดทอนด้วย Series Impedance และถูกลดทอนทางผ่าน Shunt Admittance เหลือกระแสไฟ I_1 ที่ไหลไปเข้าส่วนที่ 2 เป็นจำนวนน้อยลงโดยสมมุติว่า

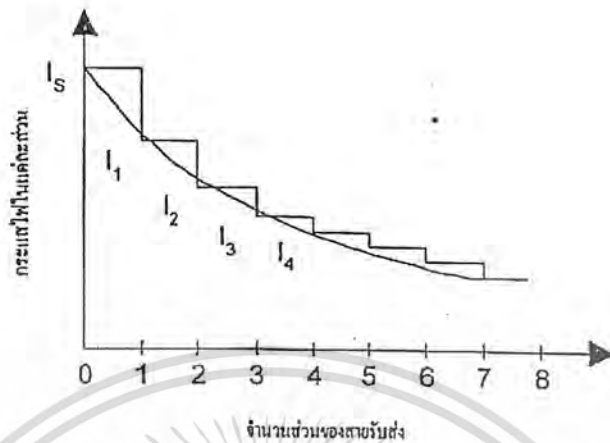
$$\frac{I_S}{I_1} = K$$

ในที่นั่นเองเดียวกัน

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

$$\frac{I_S}{I_1} = K \text{ และต่อๆ ไป}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การลดทอนของกระแสไฟในแต่ละส่วนของสายรับส่ง

จากรูปที่ 2.6 แสดงการลดทอนของกระแสไฟในแต่ละส่วนของสายรับส่ง ในกรณีที่เราแทนแต่ละส่วนของสายรับส่งด้วย Primary Constant R, L, C และ G ที่เป็นกลุ่มก้อน (LUMP) ดังในรูปที่การลดลงของกระแสไฟผ่านสายรับส่งจะเป็นขั้น ๆ โดยมี $\frac{I_s}{I_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{I_2}{I_3} = K$ ดังแสดงด้วยกราฟเส้นเต็ม

ในทางปฏิบัติ ค่าคงตัวปฐมภูมิ R, L, C และ G ของสายรับส่งจะไม่เป็นกลุ่มก้อนแต่จะกระจาย (Distribute) ไปด้วย การลดลงของกระแสไฟจะเป็นขั้นละน้อยมาก ทำให้กราฟของกระแสไฟลดลงอย่างสม่ำเสมอซึ่งแสดงด้วยเส้นประ

2. กระแสไฟสัญญาณ (หรือคลื่น) จะถูกเลื่อนเฟสในแต่ละส่วนของสายรับส่งเป็นจำนวนเท่า ๆ กัน เพราะคลื่นต้องการเวลาในการเดินทางจำนวนหนึ่งในการเดินทางผ่านไป คุณสมบัติซึ่งสายรับส่งมีต่อสัญญาณที่ส่งผ่านมันในเรื่องการลดทอนกำลัง (Attenuation) และการเลื่อนเฟส (Phase Shift) ในแต่ละส่วนของหนึ่งหน่วยความยาว เราเรียกว่า Propagation Constant ซึ่งแทนด้วย γ

$$\gamma = \ln \frac{I_s}{I_1} = \ln \frac{I_1}{I_2}$$

เนื่องจาก I_1 น้อยกว่า I_s และ I_1 มีเฟสตามหลัง I_s ดังนั้น γ ซึ่งเท่ากับ $\ln \frac{I_s}{I_1}$ จะประกอบด้วยส่วน 2 ส่วน ส่วนหนึ่งเป็นค่าตัวเลขจริงแสดงจำนวนของการลดทอนกำลังและอีกส่วนหนึ่งเป็นค่า Imaginary แสดงจำนวนการเลื่อนเฟสของสัญญาณระหว่าง I_s และ I_1 นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma = \ln \frac{I_2}{I_1}$$

$$= \alpha + j\beta$$

- α เรียกว่า Attenuation constant กำหนดไว้เป็น Neper หรือ DB ต่อหนึ่งหน่วยความยาว เช่น 1 ไมล์ เป็นต้น
- β เรียกว่า Phase constant กำหนดไว้เป็นเรเดียนต่อหนึ่งหน่วยความยาวเช่น 1 ไมล์ เป็นต้น Phase velocity

อัตราเร็วในการเดินทางของกระแสไฟสัญญาณไปบนสายรับส่ง สามารถคำนวณได้ไม่ยากนักสำหรับกระแสไฟสัญญาณความถี่ f (เป็น Hz) และความยาวคลื่น (เป็นไมล์) เราได้

อัตราเร็ว $V_p = \text{ความถี่} \times \text{ความยาวคลื่น}$

$$V_p = f \cdot \lambda \text{ ไมล์ต่อวินาที}$$

เนื่องจากในระยะทาง λ ไมล์มี Phase shift 2π เรเดียน ดังนั้น Phase shift ต่อไมล์คือ β จึงเท่ากับ $2\pi/\lambda$ หรือ $\lambda = 2\pi/\beta$

$$V_p = f \cdot \lambda$$

$$= f \cdot 2\pi/\beta$$

$$V_p = 2\pi f/\beta$$

สายรับส่ง (Transmission Lines) เป็นอุปกรณ์อย่างหนึ่งที่ใช้ในการนำส่งสัญญาณ เช่น เสียงสนทนาทางโทรศัพท์ เสียงดนตรี สัญญาณโทรเลขโทรศัพท์ ในรูปของพลังงานไฟฟ้า จากที่หนึ่งที่อยู่ไกลออกไปสัญญาณดังกล่าวจัดอยู่ในจำพวกคลื่นผสม (Complex wave) เพราะมีองค์ประกอบความถี่ต่าง ๆ อยู่มาก จากความรู้ที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนที่ 1 พึงเห็นได้ว่า องค์ประกอบความถี่ต่างของสัญญาณคลื่นที่ส่งผ่านสายรับส่งรับส่งรับจะได้รับอิทธิพลดังนี้

- การลดทอนกำลัง (Attenuation) ในความถี่ต่าง ๆ ไม่เท่ากัน
- อัตราเร็วในการเดินทางของสัญญาณในความถี่ต่าง ๆ ไม่เท่ากันเป็นผลให้สัญญาณที่ได้รับ ณฑลยทางผิดเพี้ยนจากที่ส่งมาจากต้นทาง ดังจะได้นำมากล่าวต่อไป ความเพี้ยนของสัญญาณที่ส่งผ่านทางสายรับส่ง

2.1 สัญญาณคลื่นผสม (Complex Wave) หนึ่ง ๆ ประกอบด้วยความถี่ต่าง ๆ รวมกันอยู่ ความถี่ต่าง ๆ เหล่านี้ มีความสัมพันธ์ทางแอมพลิจูดและเฟสระหว่างกันแน่นอน ซึ่งแสดงออกให้เห็นเป็นรูปคลื่นผลลัพธ์ในลักษณะหนึ่งของมัน

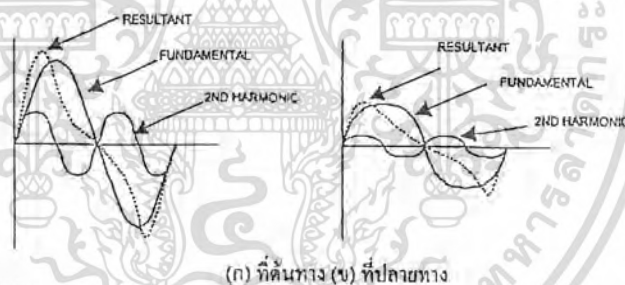
2.2 ในการส่งสัญญาณคลื่นผสมจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ถ้าองค์ประกอบความถี่ต่าง ๆ

ที่ได้รับความสัมพันธ์ทางแอมพลิจูดและเฟสระหว่างกันเหมือนกับที่ส่งมาเราก็กล่าวว่าการรับส่งสัญญาณนั้น ไม่มีความเพี้ยน (Distortion) รูปคลื่นผลลัพธ์ยังคงเหมือนเดิมต่ออาจมีขนาดหรือความแรงต่ำลงหรือสูงขึ้นกว่าเดิมได้แล้วแต่สภาพของวงจรรับส่ง

2.3 ในทางตรงข้าม ถ้าวางจรรับส่งมีอิทธิพลต่อแอมพลิจูดและเฟสขององค์ประกอบความถี่ต่าง ๆ ในคลื่นผสมไม่เท่ากัน สัญญาณที่ได้รับย่อมจะมีความเพี้ยนเกิดขึ้น รูปคลื่นผลลัพธ์จะแตกต่างหรือผิดรูปไปจากสัญญาณที่ส่งมาจากต้นทาง

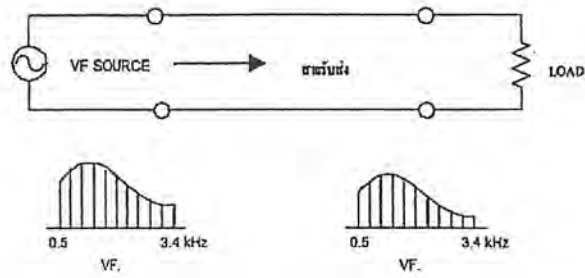
2.4 ในการส่งสัญญาณคลื่นผสมผ่านสายรับส่งนี้ องค์ประกอบทางความถี่สูง ๆ จะถูกลดทอนกำลังมากกว่าความถี่ต่ำ ๆ และอัตราเร็วในการเดินทางของสัญญาณความถี่ต่าง ๆ ไม่เท่ากัน ทำให้สัญญาณที่ได้รับความเพี้ยนเกิดขึ้น ความเพี้ยนนี้จำแนกออกได้ 2 ประการคือ

1) Frequency หรือ Amplitude Distortion ความเพี้ยนนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการลดทอนกำลังของสายรับส่งเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ของสัญญาณขึ้นเป็นผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดขององค์ประกอบความถี่ต่าง ๆ ในคลื่นผสมที่ได้รับ ณ ปลายทางแตกต่างจากที่เป็นอยู่ ณ ต้นทาง



รูปที่ 2.7 สัมพันธ์ภาพทางแอมพลิจูดของความถี่พื้นฐานและฮาร์โมนิกที่สองของสัญญาณที่ต้นทางและปลายทาง

- เพื่อให้เห็นผลของ Frequency distortion ของสมมติง่าย ๆ ว่าสัญญาณคลื่นผสมต้นทางมีองค์ประกอบความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency) และฮาร์โมนิกที่สอง ดังแสดง ในรูปที่ 2.7 ก) สังเกตรูปคลื่นผลลัพธ์ไว้ เมื่อสัญญาณนี้ถูกส่งผ่านทางสายรับส่งความถี่ทั้งสองจะแตกต่างกัน
- กับที่ต้นทางดังแสดงรูปที่ 2.7ข) จงสังเกตว่ารูปคลื่นผลลัพธ์ที่ได้มีแตกต่างจากที่ส่งมานั้นคือมีความเพี้ยนเกิดขึ้น

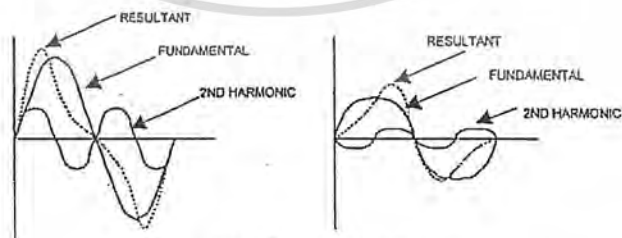


รูปที่ 2.8 ผลของการส่งสัญญาณเสียงคำพูดผ่านสายรับส่ง

รูปที่ 2.8 แสดงผลของการส่งสัญญาณเสียงคำพูด (V.F. หรือ Speech) ผ่านสายรับส่ง รูปข้างใต้ V.F. source แสดงสัมพันธภาพทางแอมพลิจูดขององค์ประกอบความถี่ต่าง ๆ ในย่าน 0.3 – 3.4 KHz ของเสียงคำพูด เมื่อส่งผ่านรับส่งไป องค์ประกอบความถี่สูง ๆ จะถูกลดทอนมาก ดังแสดงในรูปข้างใต้โหนด การสูญเสียกำลังในองค์ประกอบความถี่สูง ๆ เช่นนี้ เป็นผลให้ความเข้าใจในการรับฟังรู้เรื่องทางโทรศัพท์ลดลงไป เพราะการรับฟังรู้เรื่องทางโทรศัพท์นั้นส่วนใหญ่อาศัยองค์ประกอบทางความถี่สูงเป็นสำคัญดังได้กล่าวมาแล้วในบทเรียน Speech and hearing

Frequency distortion จะยิ่งมีมากขึ้น เมื่อทางสายมีความยาวมากขึ้น ทั้งนี้ เพราะความแตกต่างของการแตกต่างของการลดทอนกำลังระหว่างปลายความถี่ต่ำและสูงจะยิ่งมีมากขึ้น

2) Phase distortion ความเพี้ยนเกิดขึ้นเนื่องจากองค์ประกอบความถี่ต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นผสมเดินทางผ่านสายรับส่งจากต้นทางพร้อมกัน แต่มันจะไปถึงปลายทางในเวลาต่างกัน นั่นคือ สัมพันธภาพทางเฟสขององค์ประกอบความถี่ต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นผสมที่ได้รับ ณ ปลายทางจะแตกต่างจากที่มีอยู่ ณ ต้นทาง เป็นต้นผลให้เกิดความเพี้ยนขึ้น



(ก) ที่ต้นทาง (ข) ที่ปลายทาง

รูปที่ 2.9 สัมพันธภาพทางเฟสของความถี่พื้นฐานและฮาร์โมนิกที่สองของสัญญาณที่ต้นทางและปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

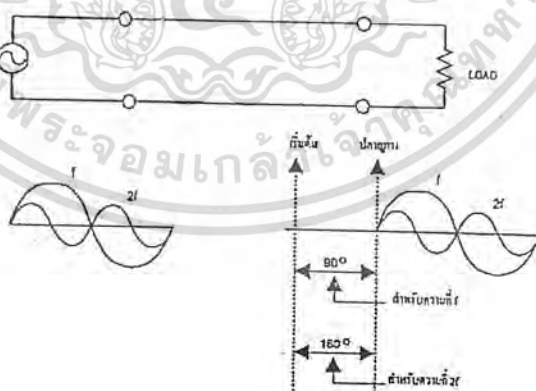
รูปที่ 2.9 ก) แสดงสัมพันธ์ภาพทางเฟสขององค์ประกอบความถี่พื้นฐานและฮาร์โมนิกที่สองของสัญญาณที่ต้นทาง สังเกตรูปคลื่นผลลัพธ์ไว้ เมื่อสัญญาณนี้ถูกส่งผ่านสายรับส่ง องค์ประกอบความถี่สูง (ณ ที่นี้คือฮาร์โมนิกที่สอง) จะเดินทางไปได้เร็วกว่าทางความถี่ต่ำ ที่ปลายทางสัมพันธ์ภาพทางเฟสขององค์ประกอบความถี่ทั้งสองจะแตกต่างจากที่ต้นทางดังแสดงที่รูปที่ 2.9 ข) จึงสังเกตว่ารูปคลื่นผลลัพธ์ที่ได้รับนี้แตกต่างไปจากที่ส่งมานั้นคือ มีความเพี้ยน เกิดขึ้น

- Phase distortion มีผลต่อการรับส่งสัญญาณคทรศัพท์ที่น้อยมากไม่ต้องคำนึงถึงก็ได้ ทั้งนี้เพราะ

- 1) หูมนุษย์เราไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงทางเฟสของสัญญาณ
- 2) ความถี่ของเสียงคำพูดมีย่านแคบคือ จาก 300-340 Hz

ความแตกต่างในเรื่องอัตราเร็วระหว่างความถี่ดังกล่าวมีน้อยมากอย่างไรก็ดี สำหรับการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ซึ่งเป็นในลักษณะของ Wave Transmission นั้น การผิดเพี้ยนของรูปคลื่นผลลัพธ์ย่อมหมายถึงคุณภาพของภาพที่ได้รับจะเลวลง ดังนั้นทั้ง Frequency และ Phase distortion จะมีผลกระทบต่อคุณภาพของการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยตรง

- Phase distortion จะไม่เกิดขึ้นหากว่าองค์ประกอบความถี่ต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นผสมที่ผ่านทางสายเดินทางในอัตราเร็วเท่ากันองค์ประกอบความถี่ต่าง ๆ จะเดินทางในอัตราเร็วเท่ากัน ถ้าถูกเลื่อนเฟส (Phase shift) ด้วยจำนวนเป็นปฏิกภาคโดยตรงกับความถี่ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.10



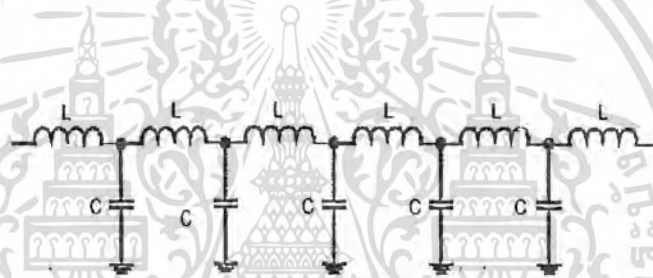
รูปที่ 2.10 สัมพันธ์ภาพทางเฟสเมื่อองค์ประกอบความถี่ถูกเลื่อนเฟสด้วยจำนวนเป็นปฏิกภาค โดยตรงกับความถี่ ($\beta \propto f$)

ในรูปที่ 2.10 ความถี่ f ถูกเลื่อนเฟสหรือล่าช้าไป 90° จากเวลาเริ่มต้นและความถี่ $2f$ ถูกเลื่อนเฟสไป 180° (เป็น 2 เท่า เหมือนกับความถี่ที่เพิ่มขึ้น) ซึ่งเหมือนกับว่าองค์ประกอบความถี่ทั้งสองเดินทางไปถึงปลายทางพร้อมกัน จึงไม่มี Phase distortion

2.2 หลักการทำงาน

2.2.1 ค่าคงที่ของสายส่งไฟฟ้าโดยประมาณ

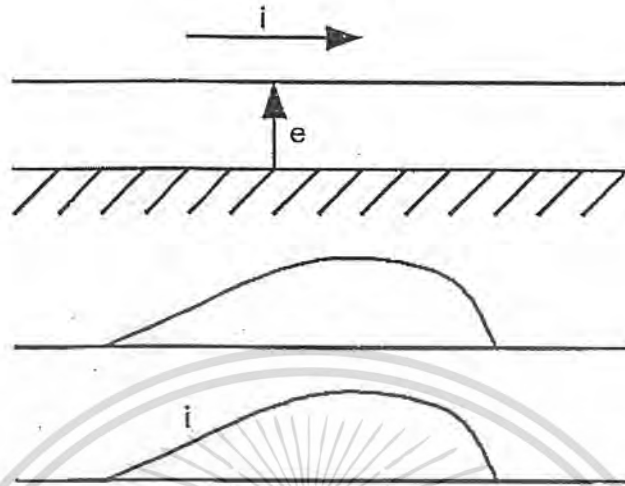
วงจรของสายส่งกำลังไฟฟ้าแบบไม่คิดกำลังสูญเสีย (R) จะประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญคือความจุไฟฟ้า (C) และความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) เล็ก ๆ เป็นจำนวนมากต่อกัน โดยมีความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) ต่ออนุกรมและมีความจุไฟฟ้า (C) ต่อขนานเป็นระยะตลอดความยาวของสายไฟฟ้างรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลของสายส่งไฟฟ้าโดยประมาณ

2.2.2 คลื่นแรงดันและคลื่นกระแสไฟฟ้าชั่วขณะ

เมื่อสายส่งไฟฟ้าได้รับแรงดันเสถียรจะเกิดการอัดประจุและคายประจุส่งต่อไปตลอดแนวยาวของสายส่งไฟฟ้าแต่ละจุดคือคลื่นกระแสนั้นจุดที่คลื่นของแรงดันปรากฏอยู่จะมีคลื่นของกระแสด้วยและมีทิศทางการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลของสายส่งไฟฟ้าโดยประมาณ

2.2.3 เสรีจิมพีแดนซ์

กรณีคลื่นที่ (Travelling wave) อัตราส่วนของคลื่นแรงดันและคลื่นกระแสในสายส่งไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ $\sqrt{\frac{Z}{Y}}$ เรียกว่า Characteristic Impedance หรือ Surge Impedance (Z_0) ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับความยาวของสาย

ถ้า e เป็นคลื่นแรงดันชั่วขณะ (Volt)

I เป็นคลื่นกระแสชั่วขณะเมื่อมีแรงดันปรากฏที่จุดเดียวกัน (A)

ดังนั้น
$$Z_0 = \frac{e}{i} = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (2.1)$$

กรณีเป็นสายส่งกำลังไฟฟ้าแบบไม่คิดกำลังสูญเสีย

($R = G = 0$) จะได้
$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.2)$$

เมื่อ Z_0 เป็นเสรีจิมพีแดนซ์ (Ω)

L เป็นค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (เหนือต่อหน่วยความยาว)

C เป็นค่าความจุไฟฟ้า (ฟาร์ตต่อหน่วยความยาว)

2.2.4) ความเร็วของการคลื่นเคลื่อนที่

ความเร็วของคลื่นเคลื่อนที่ในอากาศมีค่าโดยประมาณเท่ากับความเร็วแสงคือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
$$v = 3 \times 10^8 \text{ m/sec} \quad (2.3)$$

ต่างจากความเร็วคลื่นขนสายส่งไฟฟ้าที่มีตัวนำเป็นสื่อเมื่อ v เป็นความเร็วคลื่นเคลื่อนที่บนตัวนำจนวนที่มีค่าเปอร์มิตติวิตี (ϵ_r) ความเร็วคลื่นจะแปรผกผันกับค่ารากที่สองของเปอร์มิตติวิตีของฉนวนหุ้มสายโดยทั่วไปมีค่าเปอร์มิตติวิตีอยู่ระหว่าง 3-8 ดังนั้นความเร็วคลื่นเคลื่อนที่ในสายเคเบิลคือ

$$= \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ m/s} \quad (2.4)$$

ดังนั้นเมื่อคลื่นเดินทางในสายเคเบิลที่มีค่าเปอร์มิตติวิตีต่างกัน จะมีความเร็วในการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันออกไป

2.25) สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ในสายเคเบิลที่มีค่าอิมพีแดนซ์ (Z_0) ในกรณีสายส่งเคเบิลไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากเกิดการชำรุด จะทำให้การสะท้อนกลับและการส่งผ่านของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection Coefficient : ρ) และสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Transmission Coefficient : τ)

$$\rho = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.5)$$

$$\tau = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.6)$$

กรณีสายส่งเป็นแบบ Series fault เมื่อ Z_s เป็นค่าอิมพีแดนซ์ที่จุด X ของสายเคเบิลดังแสดงในรูปที่ 2.3 สมมติว่า Z_L เป็นค่าอิมพีแดนซ์ที่มองจาก โหลด ไปยังสายเคเบิล

$$Z_L = Z_s + Z_0 \quad (2.7)$$

จากสมการที่ (2.5) และ (2.6) จะได้

$$\rho = \frac{Z_s}{Z_L + 2Z_0} \quad (2.8)$$

$$\tau = \frac{2(Z_s - Z_0)}{Z_L + 2Z_0} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

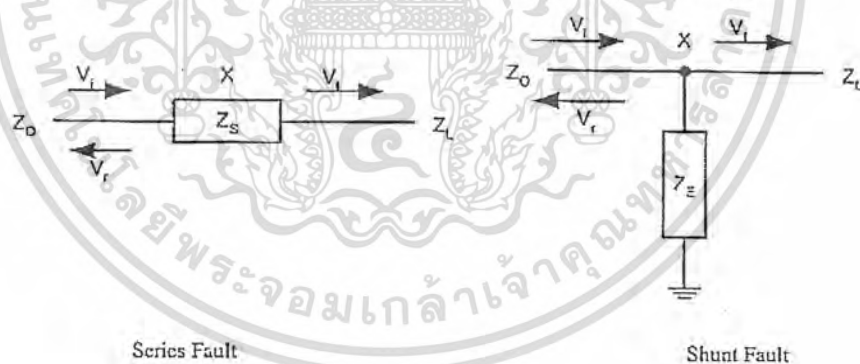
กรณีสายส่งเป็นแบบ Shunt fault เมื่อ Z_E เป็นค่าอิมพีแดนซ์ที่จุด X ของสายเคเบิลดังแสดงในรูปที่ 2.3 สมมุติว่า Z_L เป็นค่าอิมพีแดนซ์ที่มองจาก โหลด ไปยังสายเคเบิล

$$Z_L = (Z_E // Z_O) = \frac{Z_E Z_O}{Z_L + Z_O} \quad (2.10)$$

จากสมการที่ (2.5) และ (2.6) จะได้

$$\rho = \frac{-Z_O}{2Z_E + Z_O} \quad (2.11)$$

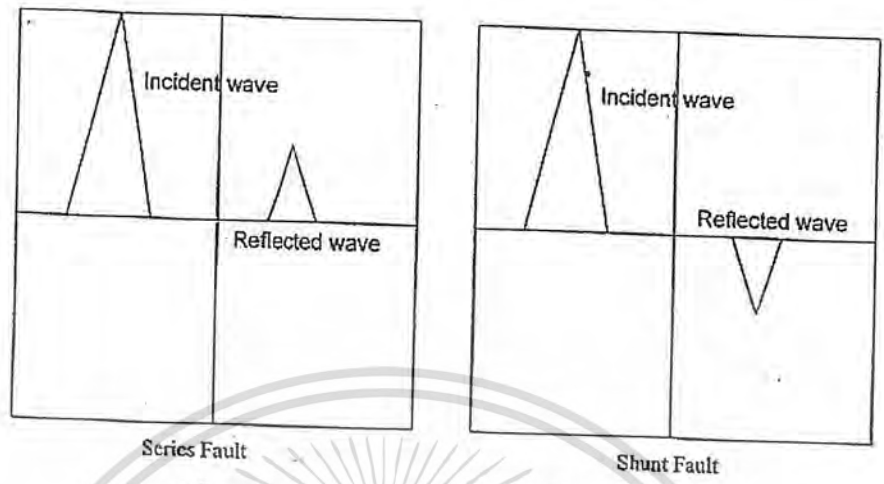
$$\tau = \frac{2Z_E}{2Z_E + Z_O} \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.13 อิมพีแดนซ์ ของการชำรุดในสายเคเบิล

เมื่อ V_1 คือ Incident Voltage ที่จุดชำรุด จะได้ค่า reflection Voltage (V_R) มีค่าเท่ากับ ρV_1 และค่าของ Transmission Voltage (V_T) เท่ากับ τV_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 อิมพีแดนซ์ของการชำรุดในสายเคเบิล

2.26) การหาตำแหน่งสายชำรุด

การหาตำแหน่งและการตรวจจับชนิดของความชำรุดของสายเคเบิล กรณีสายเคเบิลเป็นแบบปลายสายเปิด (เปิดวงจร) อิมพีแดนซ์ Series Fault (Z_s) มีค่าเท่ากับ ∞ จากสมการที่ 2.8 จะได้สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับมีค่าเป็น 1 และกรณีสายเคเบิลเป็นแบบปลายสายปิด (ปิดวงจร) อิมพีแดนซ์ Shunt Fault (Z_c) มีค่าเท่ากับ 0 จากสมการที่ 2.11 จะได้สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับมีค่าเป็น -1 ในการหาตำแหน่งและตรวจจับชนิดความชำรุดของสายเคเบิลนี้ใช้วิธีการส่งคลื่นพัลส์เข้าไปในช่วงเวลา T (sec) นับจากส่งคลื่นพัลส์เข้าไป ดังนั้นสามารถหาระยะทางที่เกิดการชำรุดได้จาก

$$D = \frac{T}{2} \times v = \frac{T}{2} \times \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon_r}} \tag{2.13}$$

เมื่อ D คือระยะทางที่เกิดความชำรุด (m)

T คือช่วงเวลาของคลื่นเดินทาง (sec)

v คือความเร็วในการเดินทางของคลื่นในสายประมาณ $v = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon_r}}$ (m/sec)

ϵ_r คือค่าเปอร์มิตติวิตีของสายเคเบิล

โดยที่ถ้าเป็นการชำรุดเนื่องจากสายขาดคลื่นสะท้อนจะมีเฟสเดียวกับคลื่นพัลส์ที่ส่งเข้าไป และถ้าเป็นกรณีสายลัดวงจรคลื่นจะมีเฟสกลับกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

Time Domain Reflectometer (TDR)

3.1 หลักการทำงานของ TDR

TDR (Time Domain Reflectometer) เป็นเครื่องมือวัดหาตำแหน่งเสียของสายตัวนำชนิดหนึ่ง ซึ่งทำงานโดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับของสัญญาณ (Pulse Echo) ดังนั้นบางครั้งอาจจะเรียกเครื่องมือชนิดนี้ว่า Pulse Echo Tester บ้างหรือ Pulse Reflection Instrument บ้าง

เครื่องมือชนิดนี้ได้ใช้เทคนิคใหม่ในการวัดระยะหาตำแหน่งเสียของสายตัวนำ ซึ่งแตกต่างจากระบบเก่าอย่างสิ้นเชิง เดิมเครื่องมือวัดหาตำแหน่งเสียของเคเบิลใช้หลักการของ Bridge ซึ่งจะวัดค่าความต้านทานหรือค่าความจุไฟฟ้าของสาย TDR จะใช้วิธีส่งสัญญาณไปในคู่สาย และสัญญาณที่ส่งไปนี้จะสะท้อนตรงตำแหน่งที่มีเหตุเสีย เนื่องจากสภาพและคุณสมบัติทางสายตรงตำแหน่งนี้มีการเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ค่าของอิมพีแดนซ์ตรงตำแหน่งนี้ไม่แมตช์ (Mismatch) กับอิมพีแดนซ์ของสาย (characteristic Impedance or Cable Impedance)

เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของสัญญาณ (Propagation Time) สามารถนำมาคำนวณหาระยะทางจากจุดวัดถึงจุดเสียได้ดังนี้

$$\text{Distance to Fault} = \frac{\text{Propagation Velocity} \times \text{Propagation Time}}{2} \quad (3.1)$$

โดยที่ Distance to Fault คือระยะทางจากจุดวัดถึงจุดเสีย

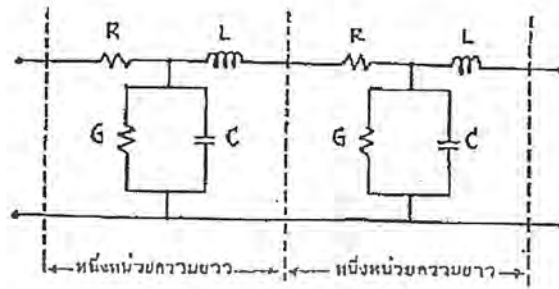
Propagation Velocity คือความเร็วในการเคลื่อนที่ของสัญญาณ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเคเบิล โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 180 m/ μ s ถึง 230 m/ μ s

Propagation Time คือเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของสัญญาณทั้งหมด ตั้งแต่ออกไปและสะท้อนกลับมา

สรุปแล้วจะเห็นว่าระยะทางจากจุดวัดถึงจุดเสียก็คือครึ่งหนึ่งของระยะทางทั้งหมดที่สัญญาณเคลื่อนที่ไปและสะท้อนกลับ

3.2 สัญญาณสามารถสะท้อนกลับได้อย่างไร

โดยปกติแล้วสายตัวนำแต่ละชนิดจะมีสมบัติทางไฟฟ้าที่เรียกว่า คงคงตัวปฐมภูมิ 4 ตัวด้วยกัน อันได้แก่ ค่า Resistance (R), Inductance (L), Capacitance (C) และ Conductance (G) กระจายอย่างเอกสารถเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ส่วนสมมติตลอดความยาวของสาย ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 วงจรเทียบเท่าของสายตัวนำในหนึ่งหน่วยความยาว

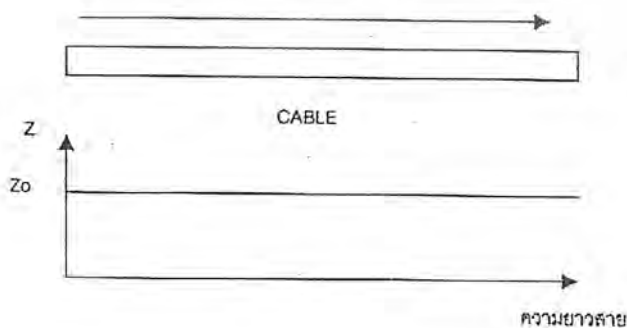
และค่า ค่าคงตัวปฐมนิยาม S ทั้ง 4 ตัวนี้จะก่อให้เกิดคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เรียกว่า ค่าคงตัว
 ทฤษฎีที่มีผลต่อสัญญาณไฟฟ้าที่ไหลผ่านในลักษณะที่ต่าง ๆ กัน พอจะจำแนก ค่าคงตัวทฤษฎี
 นี้ได้ 2 อย่างใหญ่ๆ คือ

Characteristic Impedance (Z_0) และ Propagation Constants (γ)

Characteristic Impedance หมายถึงอิมพีแดนซ์ของสาย (Cable Impedance) แต่ละชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับ
 ค่า ค่าคงตัวปฐมนิยาม และค่าที่แต่ไม่ขึ้นกับความยาว

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (3.2)$$

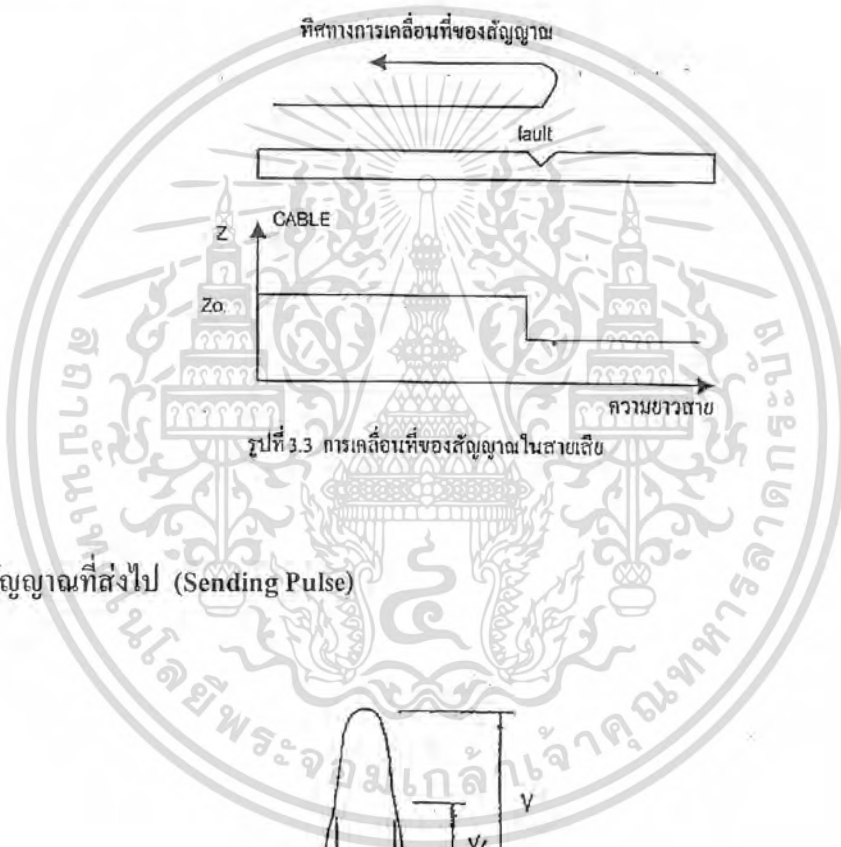
ทิศทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณ



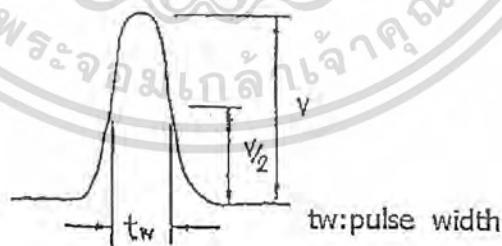
รูปที่ 3.2 การเคลื่อนที่ของสัญญาณในสายตี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแล้วสายเคเบิลแต่ละชนิดจะมีค่าอิมพีแดนซ์คงที่ตลอดความยาวสาย เนื่องจากค่าค่าคงตัวปฐมภูมิ มีการกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นถ้าเราส่งสัญญาณไปในสาย สัญญาณก็จะสามารถเคลื่อนที่ถึงปลายทางได้โดยปราศจากการสะท้อนกลับ แต่ถ้าตรงส่วนหนึ่งส่วนของสาย มีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปซึ่งอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากมีสาเหตุเสียเกิดขึ้นหรือมีการเพิ่มเติมอุปกรณ์อย่างอื่นเข้าไป ก็จะทำให้ค่าของอิมพีแดนซ์ตรงตำแหน่งนี้ไม่แมทช์กับอิมพีแดนซ์ของสาย และจะทำให้เกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณตรงตำแหน่งนี้ได้



3.3 สัญญาณที่ส่งไป (Sending Pulse)



รูปที่ 3.4 Sine Squared Pulse

สัญญาณที่ TDR ใช้ในการทดสอบคู่สายโดยส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณ Sine-Squared Pulse ซึ่งมีขนาดแรงดันประมาณ 10-30 V_{peak} และขนาดความกว้างของสัญญาณ *(Pulse Width) อยู่ในช่วง 10 ns - 2μs ขึ้นอยู่กับรุ่น ยี่ห้อ และชนิดการใช้งาน เช่น TDR ที่ใช้สำหรับวัดสายระยะ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไกลแรงดันที่ต้องใช้สูง Pulse width ขนาดกว้าง เพื่อให้สัญญาณที่ส่งไปสามารถเคลื่อนที่ไปถึงจุดเสียบได้ และสะท้อนกลับมายังเครื่องได้

เครื่อง TDR โดยทั่วไปจะไม่สามารถปรับแรงดันได้ ยกเว้นเครื่องที่ใช้ในการวัดระยะไกล (Long haul) จะสามารถปรับระดับแรงดันให้เหมาะสมในแต่ละระยะของการวัด (Range) ได้ เช่น เครื่อง Echometer ของ HDW elektronik รุ่น T 03/5 ในระยะที่ 1 (1600 เมตร) จะใช้แรงดัน 40 V ระยะที่ 2 (16 กิโลเมตร) ใช้แรงดัน 60 V ระยะที่ 3 (160 กิโลเมตร) ใช้แรงดัน 75 V ทำให้ TDR รุ่นนี้สามารถวัดสายในระยะใกล้และระยะไกลได้

ขนาด Pulse Width ของสัญญาณที่ส่งไปจะถูกกำหนดไว้อย่างเหมาะสมในแต่ละ Range เนื่องจากสัญญาณแต่ละขนาดให้ผลการวัดที่ดีในระยะต่าง ๆ กัน สัญญาณขนาดแคบ ๆ จะถูกใช้ในการวัดสายระยะสั้น เพื่อให้สามารถแยกสัญญาณที่ส่งไปและสะท้อนกลับได้อย่างชัดเจน ไม่ซ้อนทับกัน TDR ที่มีสัญญาณขนาดแคบมากเท่าไรก็สามารถวัดระยะจุดเสียบได้ไกลขึ้นเท่านั้น แต่ถ้ามีสัญญาณขนาด Pulse Width ต่ำสุดไม่แคบพอ ในบางครั้งจะมีปัญหาในการวัดตำแหน่งเสียบถ้าจุดวัดอยู่ใกล้กับจุดเสียบมาก ๆ ใน Range ที่สูงขึ้น Pulse Width จะกว้างขึ้นเรื่อย ๆ ตามความเหมาะสม เพื่อให้สัญญาณไปได้ไกลมากที่สุด เนื่องจากสัญญาณ Sine - Squared Pulse จะประกอบไปด้วยสัญญาณความถี่ต่าง ๆ มากมาย และสัญญาณขนาดแคบ (Narrow) จะมีกลุ่มความถี่สูงกว่าสัญญาณขนาดกว้าง (Wide) ดังนั้นเมื่อส่งไปในสายย่อมมีการลดทอนของสัญญาณ (Attenuation Loss) ที่มากกว่า สัญญาณจึงไปได้ไม่ไกล

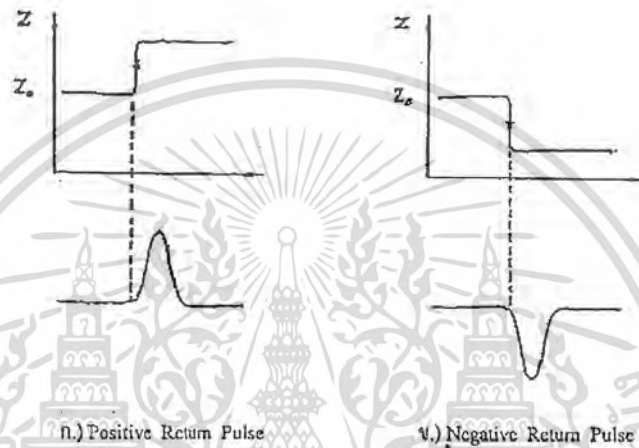
เราพบว่าถ้านำ TDR ไปวัดค่าสายที่มี Loading Coil TDR จะบอกระยะ Loading coil ตัวแรก แต่ไม่สามารถมองเห็นจุดเสียบ ถ้าจุดเสียบเหล่านั้นอยู่หลัง Loading coil เพราะสัญญาณที่ TDR ส่งไปไม่สามารถผ่าน Loading coil ไปได้และจะสะท้อนกลับหมดที่ Loading coil เนื่องจากเกิดการไม่แมตช์กันของอิมพีแดนซ์ อย่างรุนแรง Loading coil ทำให้อิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้น สัญญาณที่สะท้อนกลับมาจึงเป็น Positive Return Pulse เช่นเดียวกับกรณีสายขาด และนอกจากนี้สัญญาณที่ TDR ส่งไปประกอบไปด้วยกลุ่มความถี่สูงมากมาย สูงกว่าค่า Cut-off Frequency ของ Loading coil (3.4kHz) ดังนั้นสัญญาณจึงไม่สามารถผ่าน Loading coil ไปได้

จากปัญหาดังกล่าว TDR สามารถหาตำแหน่งเสียบได้ในกรณีเหตุเสียบอยู่ก่อน Loading coil เท่านั้น ถ้าเหตุเสียบอยู่ระหว่าง Loading coil จะทำอย่างไร อาจต้องใช้เครื่องมือแบบ Bridge หรือ TDR ที่ได้รับการออกแบบพิเศษ สามารถวัดผ่าน Loading coil ได้ โดยเปลี่ยนสัญญาณที่ส่งไปเป็นสัญญาณ Sine Pulse ที่มีค่าความถี่ต่ำกว่า Cut-off Frequency ของ Loading coil ดังนั้นจึงสามารถผ่าน Loading coil ไปได้เช่นเดียวกับสัญญาณเสียงพูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 รูปร่างและขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับ

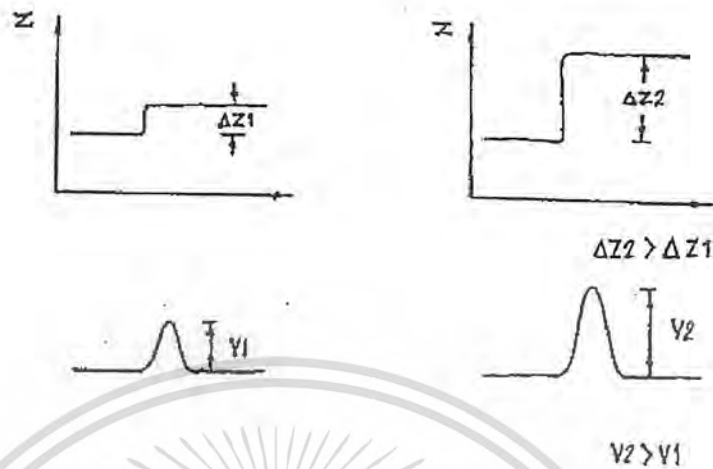
เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าสัญญาณสะท้อนกลับได้ตรงตำแหน่งที่อิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงไปและการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์นั้นเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ เปลี่ยนแปลงไปในทางเพิ่มขึ้น หรือลดลง สิ่งเหล่านี้จะส่งผลให้เกิดการสะท้อนที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.5 รูปร่างของสัญญาณสะท้อนกลับ

จะเห็นว่ากรณีที่อิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงไปในทางเพิ่มขึ้น สัญญาณที่สะท้อนกลับมามีลักษณะเดียวกันกับสัญญาณที่ส่งไปหรือที่เรียกว่า Positive Return Pulse แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทางลดลงสัญญาณที่สะท้อนกลับมามีลักษณะที่ตรงกันข้ามกับสัญญาณที่ส่งไปหรือเรียกว่า Negative Return Pulse จากสาเหตุที่แตกต่างกันดังกล่าว ทำให้เราสามารถที่จะวิเคราะห์ลักษณะของเหตุเสียที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากเหตุเสียแต่ละชนิดทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่ต่างกัน เหตุเสียที่ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้น คือเหตุเสียแบบ series Fault อันได้แก่ สายขาด, หลวม หรือเกิดออกไซด์ที่จุดต่อ และเหตุเสียที่ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ลดลงคือเหตุเสียแบบ Shunt Fault อันได้แก่ สายลัดวงจร และแตะดิน

อิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปนอกจากจะมีผลต่อลักษณะของสัญญาณที่สะท้อนกลับแล้วยังมีผลต่อขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับอีกด้วย



รูปที่ 3.6 ขนาดของสัญญาณสะท้อนกลับ

จะเห็นว่าขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับมากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยเพียงใด ถ้าอิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงไปมากก็จะทำให้ขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับมีค่ามาก แต่ถ้าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับก็น้อยลงไปด้วย หรืออาจกล่าวได้ว่าขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับจะแสดงให้เห็นว่าสัญญาณสามารถสะท้อนกลับได้ดีเพียงใด ในทางปฏิบัติจะเห็นว่ากรณีที่หะดะเสียเกิดขึ้นไม่รุนแรง สัญญาณจะสะท้อนกลับมาเพียงเล็กน้อย จะทำให้ยากต่อการวัดหาตำแหน่งเสียเนื่องจากอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

โดยทั่วไปการสะท้อนกลับของสัญญาณจะมากหรือน้อยจะถูกกำหนดในรูปของสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient) ซึ่งจะบ่งบอกถึงความสามารถในการสะท้อนกลับของสัญญาณที่จุดนั้น โดยเปรียบเทียบสัญญาณที่สะท้อนกลับมากับสัญญาณที่ส่งไปดังนี้

$$\rho = \frac{E^-}{E^+}$$

E^- = Reflected Voltage

E^+ = Sending Pulse Voltage

และมีค่าความสัมพันธ์กับค่าอิมพีแดนซ์ดังนี้

$$\rho = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ $Z_L + Z_0$ นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Z_L = \text{Fault Impedance}$

$Z_0 = \text{Characteristic Impedance}$

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า สัมประสิทธิ์การสะท้อนของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดเสียบที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยแค่ไหน โดยปกติค่า (จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ตัวอย่างเช่น # ในกรณีที่จุดเสียบมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนไปเป็น 0Ω (สาย Short กันสนิท)

$$\rho = \frac{0 - Z_0}{0 + Z_0} = -1$$

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

ถ้าเป็นสายตีค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่าเท่ากับ Z_0 ตลอดแนวความยาวสาย ดังนั้น

$$\rho = \frac{Z_0 - Z_0}{Z_0 + Z_0} = 0$$

ค่า (จึงมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งหมายความว่าไม่มีการสะท้อนกลับเลย

ในกรณีจุดเสียบมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนไปเป็น (สายขาดทั้ง 2 เส้น)

$$\rho = \frac{\infty - Z_0}{\infty + Z_0} = 1$$

บทที่ 4

หลักการทํางาน และ บล็อกไดอะแกรม

ประกอบไปด้วย 2 ส่วน

1. ส่วน TDR

- 1.1 ภาคกำเนิดพัลส์
- 1.2 ภาคตรวจจับพัลส์
- 1.3 ภาครวมสัญญาณ
- 1.4 ภาคแปลงสัญญาณพัลส์

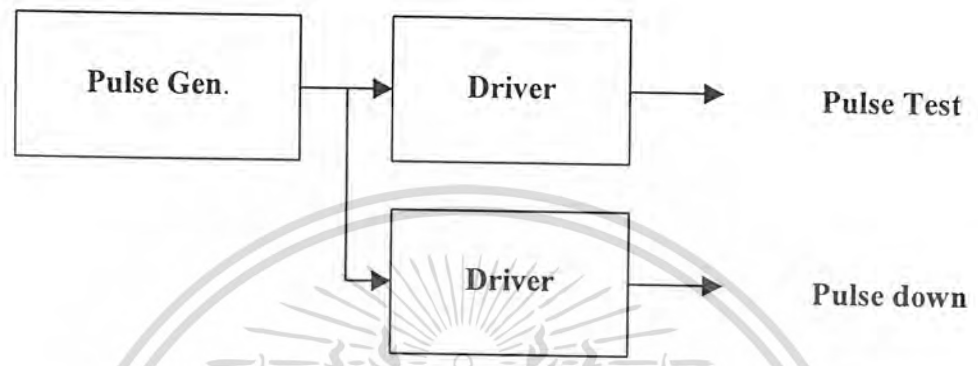
2. ส่วนประมวลผล

- 2.1 ภาคกำเนิดสัญญาณนาฬิกา
- 2.2 ภาค Sampling สัญญาณ
- 2.3 ภาคนับจำนวน Clock
- 2.4 ภาค Check Connect
- 2.5 ภาค Check Short/Open
- 2.6 ภาคประมวลผล



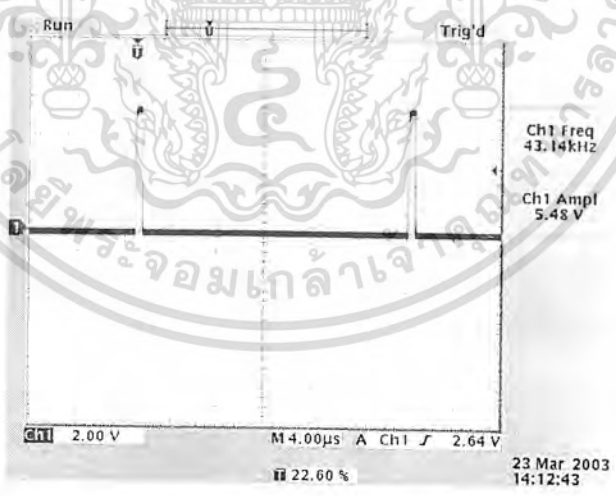
4.1 ส่วน TDR

4.1.1. ภาคกำเนิดพัลส์



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมภาคกำเนิดพัลส์

ในภาคนี้จะทำหน้าที่ผลิตสัญญาณพัลส์เป็นพัลส์ต่อเนื่องที่มีค่าความกว้างและความถี่ ส่งเข้าไปในสายทดสอบ ตัวอย่างพัลส์ที่ส่งเข้าไปยังสายทดสอบตามรูปที่ 4.2



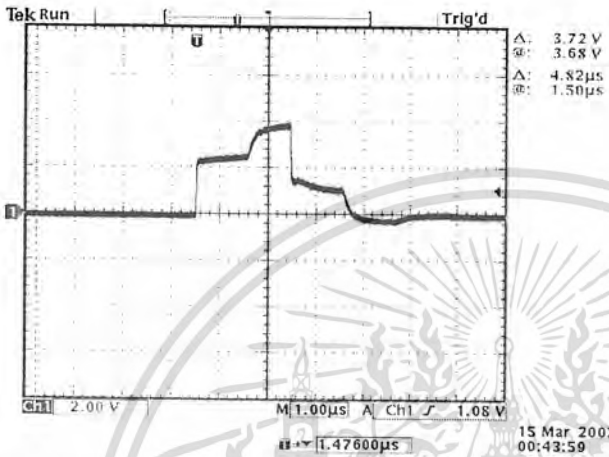
รูปที่ 4.2 พัลส์เอาต์พุตที่เกิดจากภาคกำเนิดสัญญาณพัลส์

ระยะทางระหว่างพัลส์แต่ละลูกและความกว้างของพัลส์ที่ส่งออกไปมีผลต่อการวัดหาความยาวของสายวัดที่ระยะทางต่างๆ จะเป็นตัวบอกระยะที่สั้นที่สุดและยาวที่สุดที่พัลส์นี้จะวัดได้

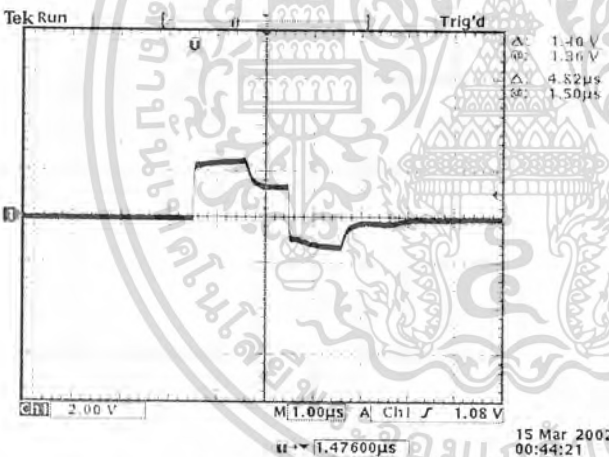
- ระยะทางระหว่างพัลส์แต่ละลูกจะบอกถึงระยะทางสูงสุดที่สามารถวัดได้
- ความกว้างของพัลส์จะบอกถึงระยะทางต่ำสุดที่สามารถวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ว่าความลับและจะถูกรื้อถอนออกทันทีเมื่ออนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งถ้าสร้างพัลส์ส่งที่มีความกว้างมากเกินไปวัดหาความยาวสายที่มีความยาวสั้นจะไม่สามารถวัดหาความยาวได้ เพราะจะเกิดการซ้อนทับกันดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 เป็นตัวอย่างการซ้อนทับของพัลส์



รูปที่ 4.3 ลักษณะที่เกิดการซ้อนทับระหว่างพัลส์ที่ส่งออกไปกับพัลส์สะท้อนกลับ (สายขาด)



รูปที่ 4.4 ลักษณะที่เกิดการซ้อนทับระหว่างพัลส์ที่ส่งออกไปกับพัลส์สะท้อนกลับ (สายช็อต)

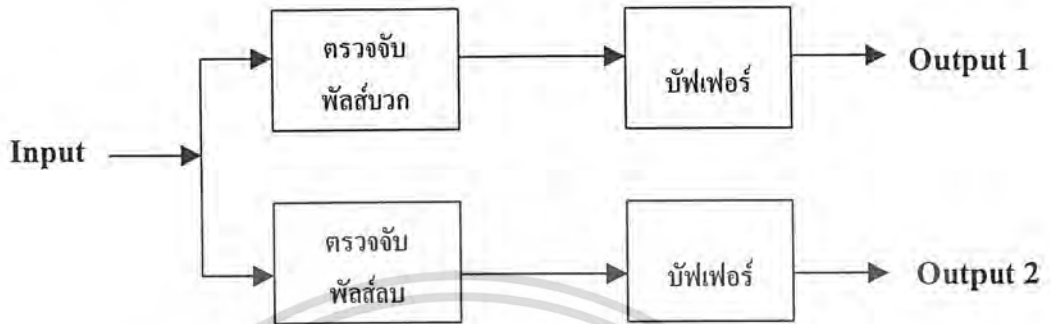
ในทางตรงกันข้ามถ้านำพัลส์ที่มีความกว้างแคบไปวัดหาความยาวสายที่มีความยาวมากจะไม่สามารถวัดหาความยาวได้เพราะจะเกิดการลดทอนสัญญาณ และระยะทางระหว่างพัลส์ส่งกับพัลส์สะท้อนห่างกันมาก นอกจากนั้นคาบเวลาของพัลส์ก็มีผลต่อการวัดหาความยาวสาย ถ้าคาบเวลาในการสะท้อนกลับของสายมากกว่าคาบเวลาของพัลส์ส่ง พัลส์สะท้อนกลับจะไปอยู่หน้าพัลส์ส่งจะทำให้การวัดหาระยะทางไม่ถูกต้อง ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงคาบเวลาพัลส์สะท้อนกลับที่มากกว่าคาบเวลาพัลส์ส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2. ภาคตรวจจับพัลส์



รูปที่ 4.6 บล็อกไดอะแกรม ภาคตรวจจับสัญญาณพัลส์

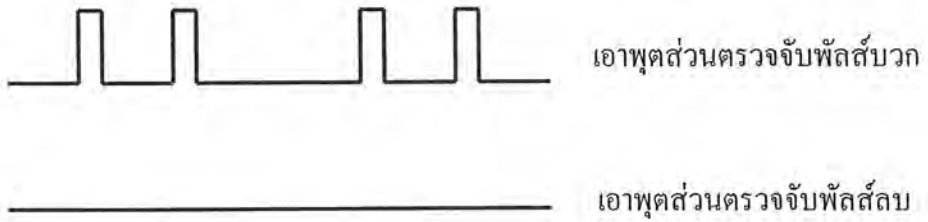
ภาคตรวจจับพัลส์ทำหน้าที่ ตรวจจับพัลส์ทั้งส่งและพัลส์สะท้อนกลับ จากการสะท้อนกลับของพัลส์มี 2 ลักษณะ คือการสะท้อนกลับทางบวกเกิดจากสายปลายเปิดและการสะท้อนกลับทางลบเกิดจากสายปลายปิด ทำให้ภาคตรวจจับพัลส์แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

- ส่วนตรวจจับพัลส์บวก
- ส่วนตรวจจับพัลส์ลบ



รูปที่ 4.7 ลักษณะของการสะท้อนกลับของพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิที่จะเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงแหล่งเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



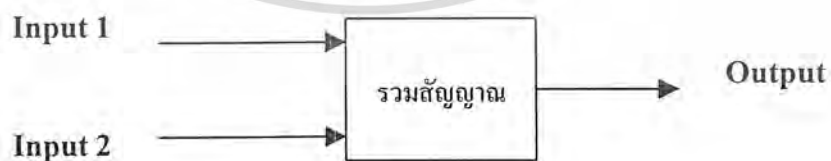
รูปที่ 4.8 แสดง เอาต์พุตของภาคตรวจจับพัลส์ กรณีสายปลายเปิดหรือขาด



รูปที่ 4.9 แสดง เอาต์พุตของภาคตรวจจับพัลส์ กรณีสายปลายปิดหรือชอร์ต

จากรูปที่ 4.9 ในส่วนของตรวจจับพัลส์ลบเอาต์พุตจะกลับเฟสกับอินพุตเพื่อจะสามารถนำพัลส์ไปรวมกับเอาต์พุตของส่วนตรวจจับพัลส์บวก หลังจากนั้นนำพัลส์เอาต์พุตทั้งสองไปผ่านบัฟเฟอร์เพื่อปรับเสถียรภาพแล้วนำไปผ่านภาครวมสัญญาณ

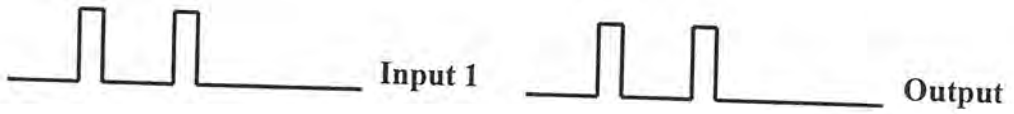
4.1.3. ภาครวมสัญญาณ



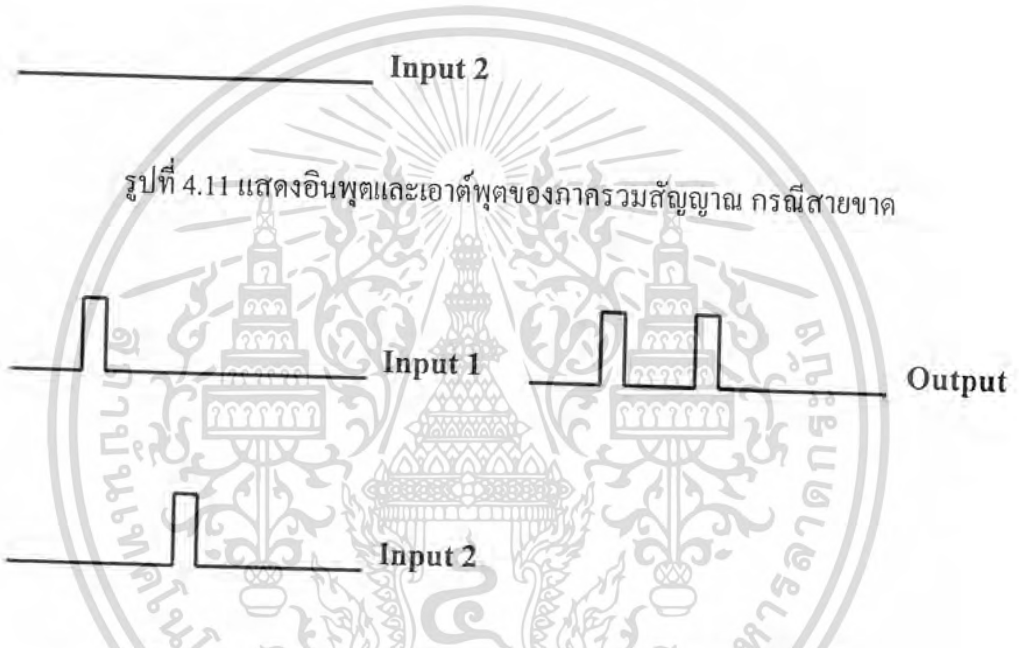
รูปที่ 4.10 บล็อกไดอะแกรม ภาครวมสัญญาณ

ภาคนี้จะทำหน้าที่รวมสัญญาณ 2 สัญญาณ ซึ่งเป็นสัญญาณเอาต์พุตทั้งสองจากภาคตรวจจับพัลส์ทั้งบวกและลบมารวมกันในแกนของเวลา ซึ่งเอาต์พุตของภาคนี้จะรวมกันเป็น 2 ลูก และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดเป็นระยะทางของคลื่น ซึ่งระยะทางนี้จะเป็นสัดส่วนกับระยะทางของสาย ดังรูปที่ 4.11 และ รูปที่ 4.12



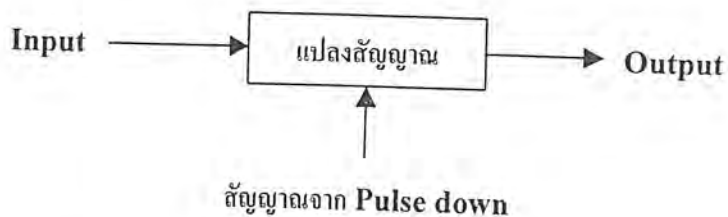
รูปที่ 4.11 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของภาครวมสัญญาณ กรณีสายขาด



รูปที่ 4.12 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของภาครวมสัญญาณ กรณีสายช็อต

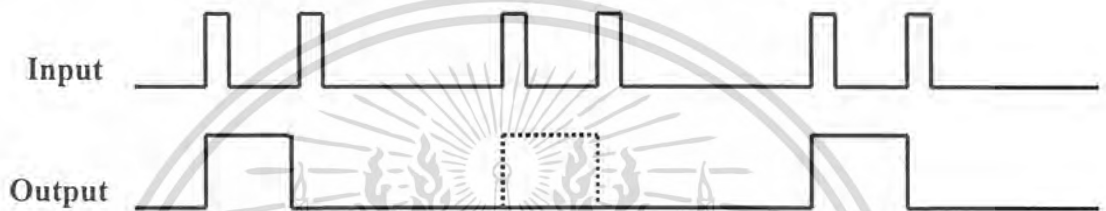
จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 จะเห็นว่าเอาต์พุตที่ได้จากการรวมสัญญาณไม่ว่าจะเป็นสายขาด หรือช็อต ก็จะได้เอาต์พุตออกมาเท่ากัน

4.1.4. ภาคแปลงสัญญาณพัลส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 4.13 ปลือกไดอะแกรม ภาคแปลงสัญญาณพัลส์ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคนี้จะทำหน้าที่ แปลงพัลส์ 2 ลูก (ขาส่งและสะท้อนกลับ) ให้เป็นพัลส์ลูกเดียวกัน ความกว้างของพัลส์ลูกใหม่ที่แปลงแล้ว จะมีความกว้างของพัลส์เท่ากับระยะทางระหว่างพัลส์ขาส่งกับพัลส์สะท้อนกลับ ซึ่งก็จะเป็นสัดส่วนกับระยะทางของสายที่นำมาทดสอบ แต่เนื่องจากการทริกสัญญาณของภาคแปลงสัญญาณซึ่งใช้ D-FF ไม่แน่นอน ทำให้ได้เอาต์พุตในบางครั้งจะได้เอาต์พุตกลับเฟส จึงแก้ไขโดยนำสัญญาณจาก Pulse down มาช่วยเคลียร์ D-FF ทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตดังรูปที่ 4.14 พัลส์จะหายลูกเว้นลูก แต่ไม่มีผลต่อการวัดหาระยะทาง

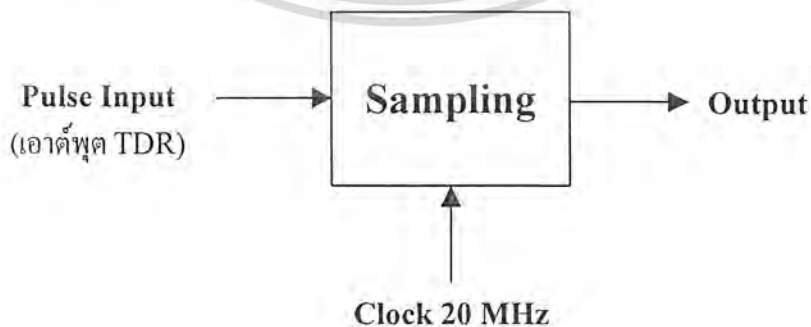


รูปที่ 4.14 อินพุตและเอาต์พุตของภาคแปลงสัญญาณพัลส์

ซึ่งสัญญาณในรูปที่ 4.14 เป็นสัญญาณเอาต์พุตของส่วน TDR จะนำไป Sampling กับสัญญาณนาฬิกา 20 MHz และนำไปนับ Clock ก่อนจะนำไปประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

4.2 ส่วนประมวลผล

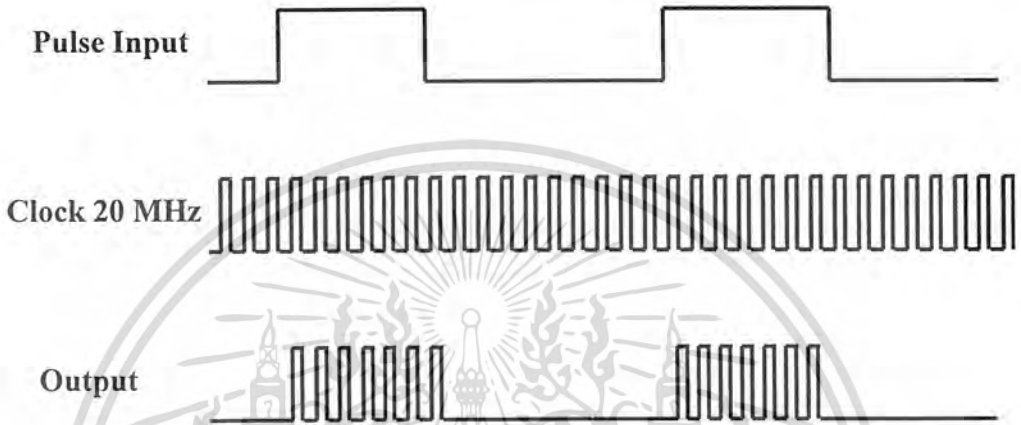
4.2.1 ภาค Sampling สัญญาณ



รูปที่ 4.15 บล็อกไดอะแกรมภาค Sampling สัญญาณ

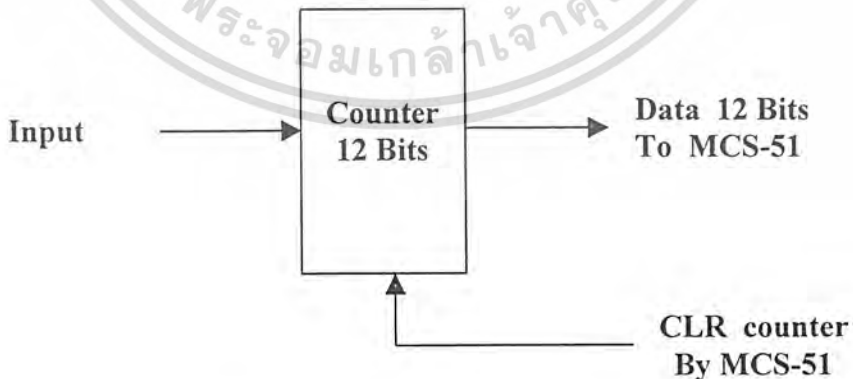
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคนี้ทำหน้าที่ Sampling สัญญาณเอาต์พุตจากภาคแปลงพัลส์ (เอาต์พุตของส่วน TDR) กับสัญญาณนาฬิกา 20 MHz สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะเป็นพัลส์ลูกเล็ก ๆ จำนวนหนึ่ง ในช่วงความกว้างของพัลส์อินพุต (เอาต์พุต TDR) ซึ่งจำนวนพัลส์ลูกเล็กจะขึ้นอยู่กับความกว้างของพัลส์อินพุต



รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะของสัญญาณในภาค Sampling สัญญาณ จากนั้นนำสัญญาณเอาต์พุตไปผ่านวงจรมับ (Counter) เพื่อนับจำนวน clock

4.2.2 ภาคนับจำนวน clock

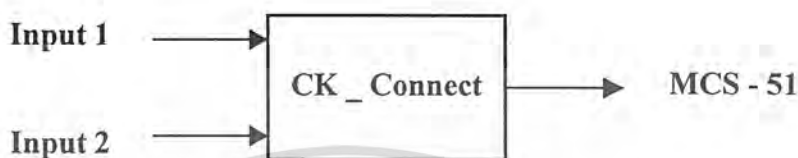


รูปที่ 4.17 บล็อกไดอะแกรมของภาคนับจำนวน Clock

การทำงานของภาคนับจำนวน Clock ที่ได้จากการภาค Sampling สัญญาณ โดยจะนับ Clock ทุก ๆ ช่วงของการ Sampling คือจะนับเฉพาะช่วงที่เกิดระยะห่างระหว่างพัลส์สูงและพัลส์ต่ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

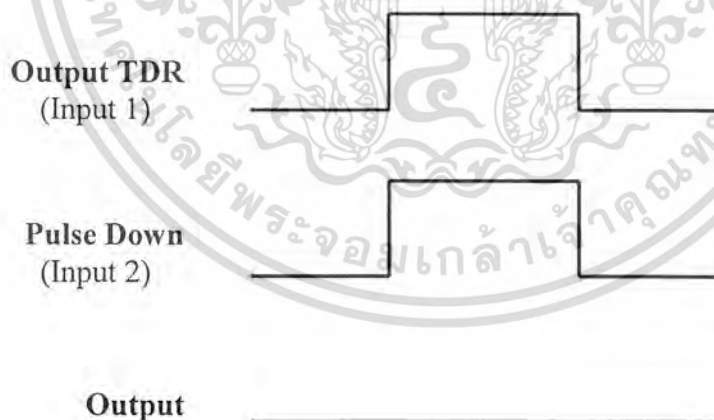
สะท้อนกลับเท่านั้น โดยจะใช้ Counter 12 Bits และควบคุมขาเคสีย์โดย MCS-51

4.2.3 ภาด Check connect



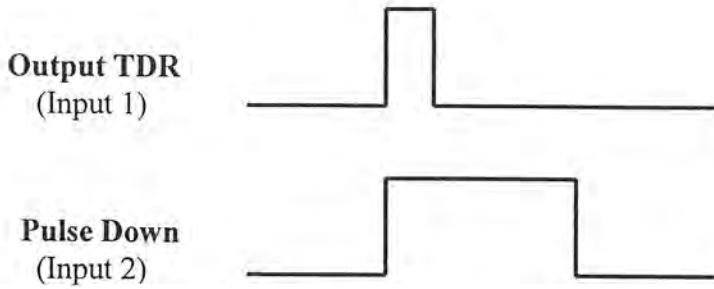
รูปที่ 4.18 บล็อกไดอะแกรมของภาด Check Connect

ภาคนี้ทำหน้าที่เช็คว่ามีการต่อสายทดสอบหรือไม่ จะทำการลบสัญญาณ Input 1 (เอาต์พุตจากส่วน TDR) กับ Input 2 (สัญญาณ Pulse down) และส่งสัญญาณเอาต์พุตไปประมวลผลยังไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) ถ้าไม่มีการต่อสายทดสอบจะไม่มีสัญญาณเอาต์พุตออกมา แต่ถ้ามีการต่อสายทดสอบจะมีสัญญาณเอาต์พุตออกมา ได้ผลการทดลองตามรูปที่ 4.19 และ รูปที่ 4.20



รูปที่ 4.19 ผลการทดลอง กรณีไม่ได้ต่อสายทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ผลการทดลอง กรณีต่อสายทดสอบ

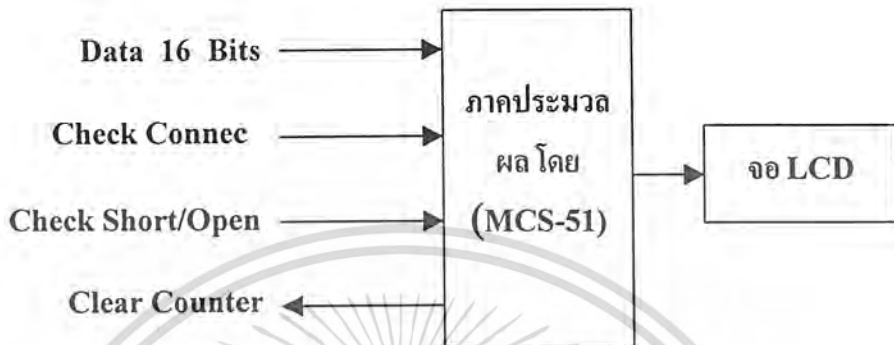
4.2.4 ภาค Check short/Open



รูปที่ 4.21 บล็อกไดอะแกรมของภาค Check Short/Open

ภาคนี้จะทำหน้าที่เช็คสายทดสอบช็อตหรือไม่ จะรับสัญญาณ Input 1 เป็นสัญญาณจากภาคตรวจจับฟัลส์สลับ ถ้าสายทดสอบช็อตจะสัญญาณเอาต์พุตออกมาแต่ถ้าสายทดสอบขาดจะไม่มีสัญญาณเอาต์พุตออกมา และนำสัญญาณเอาต์พุตไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลออกมาว่าสายทดสอบช็อตหรือสายขาด ส่วน Pulse down จะคอยเคลียร์สถานะของภาค Check Short ก่อนจะรับสัญญาณอินพุต

4.2.5 ภาคประมวลผล



รูปที่ 4.22 บล็อกไดอะแกรม ภาคประมวลผล

ภาคประมวลผลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 89C51RD2 ในการประมวลผล และแสดงผลทางจอ LCD

4.2.5.1 คุณสมบัติทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต
- มีวงจรรอสซิงเกิลเดเตอร์และวงจรมลิตสัญญาณนาฬิกาภายในไอซี
- มีขาสัญญาณอินพุตเอาต์พุตจำนวน 32 บิต
- สามารถเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอก (external data memory) โดยอ้างตำแหน่งแอดเดรสได้ถึง 64 K

- สามารถเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (external program memory) โดยอ้างตำแหน่งแอดเดรสได้ถึง 64 K

- มีหน่วยความจำโปรแกรมในตัว (on-chip program memory) ขนาด 4K โดยเฉพาะเบอร์ 8052จะมีหน่วยความจำภายในส่วนนี้ถึง 8K สำหรับเบอร์ 8031 และ 8032 จะไม่มีหน่วยความจำในส่วนนี้

- มีหน่วยความจำข้อมูลในตัว (on-chip data memory) ขนาด 128 ไบต์ โดยเฉพาะเบอร์ 8032 และ 8052 จะมีหน่วยความจำภายในส่วนนี้ถึง 256 ไบต์

- หน่วยความจำข้อมูลภายในบางส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ด้วย ทำให้การควบคุมหรือการตรวจสอบสถานะบิตทำได้ง่าย ส่งผลให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่ายไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ (time/counters) ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว โดยเฉพาะเบอร์ 8032 หรือ 8052 จะมีไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ จำนวน 3 ตัว

- การอินเทอร์รัปต์สามารถทำได้จาก 5 แหล่งกำเนิด โดยเฉพาะเบอร์ 8032 และ 8052 จะทำการอินเทอร์รัปต์ได้จาก 6 แหล่งกำเนิด โดยการอินเทอร์รัปต์ยังสามารถจัดระดับความสำคัญได้เป็น 2 ระดับ

- มีพอร์ตสื่อสารอนุกรมภายในตัวเอง ซึ่งทำงานเป็นแบบฟูลดูเพล็กซ์ (full duplex)

- มีคำสั่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และทางตรรกศาสตร์

- คำสั่งโดยส่วนใหญ่ใช้เวลาในการทำงานเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้คริสตอลความถี่ 12 เมกะเฮิร์ต

- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ เพียงชุดเดียว

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูล MCS - 51

ชื่อเบอร์	หน่วยความจำภายใน		จำนวนไทมเมอร์/เคาน์เตอร์	จำนวนอินเทอร์รัปต์
	เก็บโปรแกรม	เก็บข้อมูล		
8052AH	8K x 8 ROM	256 x 8 RAM	3 x 16-Bit	6
8051AH	4K x 8 ROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8051	4K x 8 ROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8032AH	ไม่มี	256 x 8 RAM	3 x 16-Bit	6
8031AH	ไม่มี	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8031	ไม่มี	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8751H	4K x 8 EPROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8751H-12	4K x 8 EPROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5

โครงสร้างภายในของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.19 สำหรับหน้าที่การใช้งานของแต่ละขามีดังนี้

- ขา Vcc เป็นขาป้อนแรงดันไฟเลี้ยง +5 V

- ขา Vss เป็นขากาวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขาพอร์ต 0 (Port 0) มี 8 ขา ได้แก่ขา P_{0,0}-P_{0,7} เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้ขาพอร์ตเหล่านั้นอยู่ในสถานะปล่อยลอย ซึ่งในสถานะนี้เองที่สามารถนำไปใช้เป็นพอร์ตอินพุตอิมพีแดนซ์สูงได้ นอกจากพอร์ตนี้ก็จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วมันยังถูกใช้งานในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกด้วย โดยทำหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสไบต์ค่า (A₀-A₇) ซึ่งจะใช้งานเป็นแบบมัลติเพล็กซ์กับการรับส่งข้อมูลขนาด 8 บิต (D₀-D₇)



รูปที่ 4.23 แสดงการจัดตำแหน่งขาต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

- ขาพอร์ต 1 (Port 1) มี 8 ขา ได้แก่ขา P_{1,0}- P_{1,7} เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากนี้สำหรับเบอร์ 8032 และ 8052 ขาพอร์ต P1.0 และ P1.1 จะถูกนำมาใช้งานเป็นขา T2 และ T2EX ตามลำดับด้วย

- ขาพอร์ต 2 (Port 2) มี 8 ขา ได้แก่ขา P_{2,0}- P_{2,7} เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากพอร์ตนี้ก็จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วมันยังถูกใช้งานในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกด้วย โดยทำหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งแอดเดรส

ไบต์สูง (A8-A15) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขาพอร์ต 3 (Port 3) มี 8 ขา ได้แก่ขา P_{3,0} - P_{3,7} เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากนี้พอร์ตนี้ยังใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วมันยังถูกใช้งานในหน้าที่พิเศษต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงหน้าที่พิเศษของแต่ละขาของพอร์ต P3

ขาพอร์ต	หน้าที่พิเศษ
P _{3,0}	RXD (serial input port)
P _{3,1}	TXD (serial output port)
P _{3,2}	INT0 (external interrupt 0)
P _{3,3}	INT1 (external interrupt 1)
P _{3,4}	T0 (Timer 0 external input)
P _{3,5}	T1 (Timer 1 external input)
P _{3,6}	WR (external data memory write strobe)
P _{3,7}	RD (external data memory read strobe)

- ขารีสต (RST) ใช้สำหรับการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยขารีสตต้องคงสถานะเป็น 1 อย่างน้อยนาน 2 เมกซีคล็อก ในขณะที่ยังทำงานอยู่

- ขา ALE/PROG เป็นขาสัญญาณเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการแลตช์ (latch) ค่าตำแหน่งแอดเดรสไบต์ต่ำ (Address Latch Enable) เมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก นอกจากนี้ขานี้ยังทำหน้าที่เป็นอินพุตรับพัลส์ในการโปรแกรม (program pulse input) ในส่วนของหน่วยความจำ EPROM สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในเป็น EPROM

- ขา PSEN (Program store Enable) ทำหน้าที่เป็นสัญญาณสโตรบเพื่ออ่านคำสั่งจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอก ขานี้จะส่งสัญญาณสโตรบจำนวน 2 ครั้ง ในแต่ละเมกซีคล็อก แต่ในขณะที่ติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะไม่มีส่งสัญญาณสโตรบแต่อย่างใด

- ขา EA/VPP (External Access enable/VPP) เป็นขาสำหรับเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในหรือจากภายนอก โดยถ้ามีสถานะเป็น 0 จะหมายถึงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับ

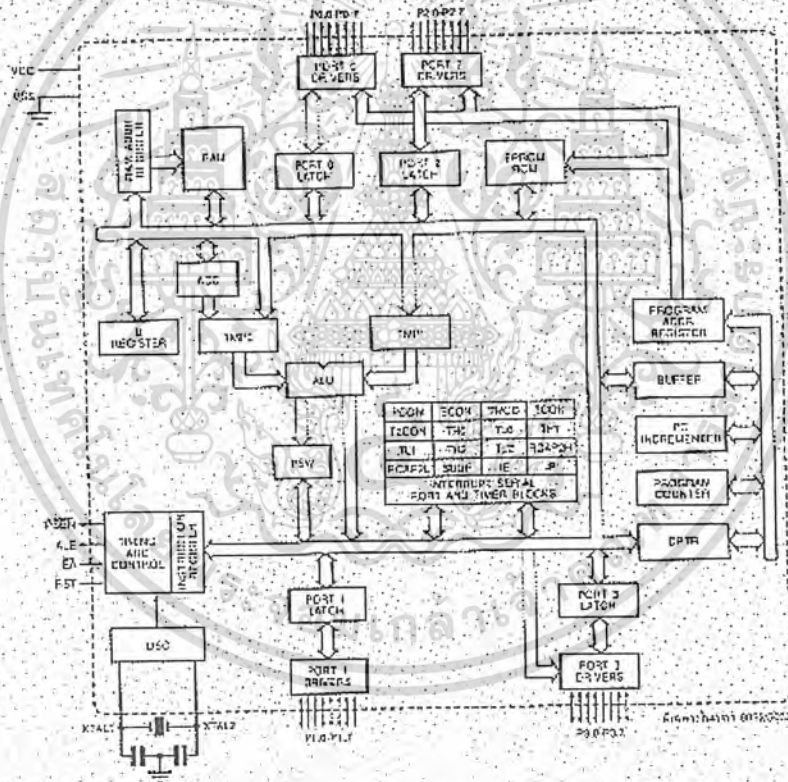
เอกสารนี้เป็นคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกที่ตำแหน่งแอดเดรส 0-0FFFH (0-1FFFH ถ้าเป็นเบอร์ 8052) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามถ้าเป็นบิตป้องกัน (security bit) ในหน่วยความจำ EPROM ถูกโปรแกรมไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะไม่รับคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกเลย นอกจากนี้ขานี้ยังทำหน้าที่รับแรงดันไฟสำหรับโปรแกรม (Vpp) ขนาด 21 โวลต์ เพื่อใช้ในระหว่างการโปรแกรม EPROM

- ขา XTAL1 และ ขา XTAL2 เป็นขาอินพุตและขาเอาต์พุตของวงจรถ่ายอินเวอร์ตออสซิลเลเตอร์แอมพลิไฟเออร์ (inverting oscillator amplifier) สำหรับใช้ต่อร่วมกับคริสตัลภายนอก

โครงสร้างภายในของ MCS-51

โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แสดงดังในรูปที่ 4.24 โดยส่วนที่มีเครื่องหมายดอกจัน (*) จะมีเฉพาะในเบอร์ 8032 และ 8052 เท่านั้น



รูปที่ 4.24 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

การจัดหน่วยความจำ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำโปรแกรมจะใช้สำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งบางเบอร์จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้อยู่ภายในตัว โดยอาจจะมีขนาดไม่เท่ากันหรือเป็นหน่วยความจำต่างชนิดกัน เช่น บางเบอร์เป็น ROM และบางเบอร์เป็น EPROM และบางเบอร์อาจไม่มีหน่วยความจำในส่วนนี้เลย โปรแกรมการทำงานจะถูกเก็บไว้ยังหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมด

สำหรับหน่วยความจำข้อมูลจะใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือค่าตัวแปรต่างๆ จากการทำงานของโปรแกรม ซึ่งใน MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้อยู่จำนวนหนึ่ง แต่อาจมีขนาดมากน้อยต่างกันไปในแต่ละเบอร์ สำหรับการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำทั้งในส่วนของหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลแสดงไว้ดังรูปที่ 4.25

หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมภายในและหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก หน่วยความจำโปรแกรมภายในจะถูกเลือกใช้งานถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 1 โดยจะถูกใช้งานในช่วงแอดเดรส 0-0FFFH (หรือช่วงแอดเดรส 0-1FFFH ในเบอร์ 8052) นอกเหนือจากช่วงแอดเดรสนี้จะใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมด ในกรณีตรงกันข้ามถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 0 ในช่วงแอดเดรส 0-0FFFH (หรือช่วงแอดเดรส 0-1FFFH ในเบอร์ 8052) จะถูกใช้จากหน่วยความจำภายนอก หรือกล่าวได้ว่าถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 0 จะเป็นการเลือกใช้งานหน่วยความจำภายนอกทั้งหมดตลอดช่วงแอดเดรส

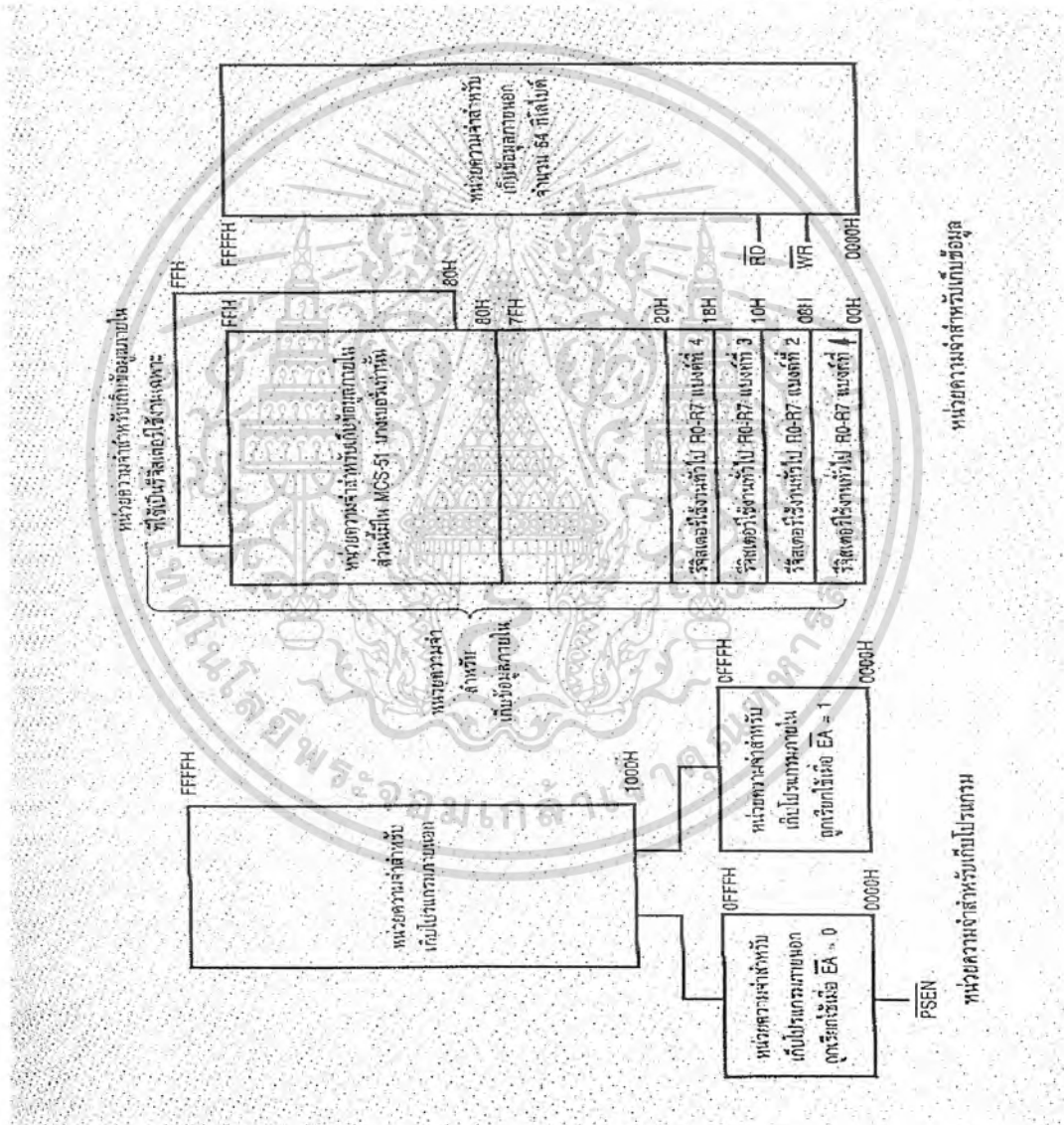
หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลภายในและหน่วยความจำข้อมูลภายนอก สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในยังแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนย่อยคือ ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปและส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษหรือ SFR (Special Function Register) โดยส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปจะถูกใช้สำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปและค่าตัวแปรต่าง ๆ จากการทำงานของโปรแกรม ส่วนรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษจะถูกใช้งานเป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานและบอกสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์เป็นอย่างน้อย และบางเบอร์มีถึงขนาด 256 ไบต์

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (SFR)

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษมีบทบาทอย่างมากในการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และทำให้การเขียนโปรแกรมสามารถเขียนได้สะดวกมากขึ้น รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษทำหน้าที่สำคัญคือควบคุมการทำงานในส่วนต่าง ๆ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์และทำหน้าที่แสดงสถานะการทำงาน ซึ่งรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษบางตัวยังสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต (bit addressable) ด้วยดังแสดงรูปการจัดหน่วยความจำและตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษต่างๆ ในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.25 แสดง โครงสร้างของหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่ง แอสเซมบลี	(MSB)	บิตแอสเซมบลี								(LSB)	รีจิสเตอร์ หน้าที่พิเศษ
0F8H	FF	FE	FD	FC	FB	FA	F9	F8			I0CON
0F0H	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F0			B
0E0H	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E0			ACC
0D0H	CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	F3	P			PSW
0CDH	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0			TH2
0CCH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต										TL2
0CBH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต										RCAP2H
0CAH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต										RCAP2L
0C8H	TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	OT2	OP/RL2			T2CON
	CF	CE	CD	CC	CB	CA	C9	C8			
0B8H	PCT	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PXD				IP
	BF	-	BD	BC	BB	BA	B9	B8			
0B0H	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E0			P3
0A8H	EA	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0				IE
	AF	-	AD	AC	AB	AA	A9	A8			
0A0H	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0			P2
99H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต										SBUF
98H	SM0	SM1	SM2	REN	T88	R88	T1	R1			SCON
	8F	8E	8D	8C	8B	8A	89	88			
90H	87	86	85	84	83	82	81	80			P1
8DH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต										TH1
8CH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต										TH0
8BH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต										TL1
8AH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต										TL0
89H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต										TMOD
88H	TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0			TCON
	8F	8E	8D	8C	8B	8A	89	88			
87H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต										PCON
83H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต										DPH
82H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต										DPL
81H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต										SP
80H	87	86	85	84	83	82	81	80			P0

รูปที่ 4.26 การจัดหน่วยความจำและตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป

รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปมีไว้สำหรับให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถนำข้อมูลไปพักได้ชั่วคราว หรือใช้งานทั่วไปได้ตามต้องการ ซึ่งรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปนี้มีอยู่ด้วยกัน 8 ตัวคือรีจิสเตอร์ R0-R7 โดยรีจิสเตอร์ทั้ง 8 ตัวถูกจัดให้อยู่รวมกันและมีให้เลือกใช้ทั้ง 4 แบนด์ (bank) นั่นคือมีรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปถึง 32 ตัวให้ใช้งาน เพียงแต่การเลือกรีจิสเตอร์ R0-R7 ในแบนด์ใดแบนด์หนึ่งจะถูกกำหนดจากบิต RS0, RS1 ในรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ PSW ดังนั้นการเลือกใช้จึงเลือกได้เพียงแบนด์เดียวในขณะใดขณะหนึ่ง อย่างไรก็ตามค่าข้อมูลที่เก็บไว้ในรีจิสเตอร์แบนด์ใดก็ตามที่มีชื่อเดียวกันแต่อยู่คนละแบนด์จะไม่มีผลซึ่งกันและกันเลย ทำให้ผู้เขียนโปรแกรมใช้งานรีจิสเตอร์ทั่วไปนี้ได้ทั้ง 32 ตัวอย่างเต็มที่และไม่ยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม

4.2.5.2 รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD

ในโมดูล LCD จะมีส่วนประกอบหลัก ๆ 3 ส่วน ดังนี้

ตัวแสดงผล (display) ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็น โดยอาศัยแสงจากภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีมุมในการมองข้อมูลที่แสดงผลบนจอ LCD

ตัวควบคุม (controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาควบคุมการทำงานของโมดูล LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิปควบคุม โดยเฉพาะชิปที่นิยมใช้คือ เบอร์ HD44780 และ HD61830 โดย HD44780 จะใช้ควบคุม LCD แบบอักษร ส่วน HD61830 จะใช้ควบคุม LCD แบบกราฟิก

ตัวขับ (driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูลตามที่กำหนด ชิปที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ได้แก่ เบอร์ HD44100H และ MSM5259

โครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD

ในการใช้งานโมดูล LCD จำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมให้ดีเสียก่อน ขอยกตัวอย่างโมดูล LCD แบบอักษร เพราะสามารถเข้าใจได้ง่าย จากรูปที่ 4.27 เป็นบล็อกไดอะแกรมภายในของชิปควบคุม LCD เบอร์ HD44780 ซึ่งใช้ในโมดูล LCD แบบอักษร ประกอบด้วย

บิต การเขียนและอ่านค่าไปใช้นั้นทำได้เช่นเดียวกับ CGROM คือ เขียนข้อมูลลงใน DDRAM แล้วตัวควบคุมจะมาอ่านค่าจาก CGRAM เอง

แฟล็ก BUSY เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แจ้งสถานะการทำงานของตัวควบคุมให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่าตัวควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งหรือไม่ ดังนั้นก่อนการส่งข้อมูลหรือคำสั่งมายังตัวควบคุมต้องตรวจสอบสถานะของแฟล็ก BUSY นี้ก่อน

ตารางที่ 4.3 แสดงผลความสัมพันธ์ในการทำงานของขา RS,R/W, และ E ของโมดูล LCD แบบอักษร

RS	R/W	E	การทำงาน
0	0		เขียนคำสั่ง
0	1		อ่านสถานะของโมดูล LCD
1	0		เขียนข้อมูล
1	1		อ่านข้อมูล

โมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด (LCD 16x1)

สำหรับโมดูล LCD ที่ยกมาใช้ในการทดลอง เป็นขนาด 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด เนื่องจากราคาถูก ง่าย และเป็นโมดูล LCD ที่มีโครงสร้างเป็นมาตรฐาน มีผู้ผลิตหลายราย และมีการระบุเบอร์แตกต่างกันออกไปตามผู้ผลิต อาทิ LM020L ของฮิตาชิ, DMC-16117A ของคอปเท็กซ์ (Optrex) แต่อย่างไรก็ตามการคอนโทรลเลอร์ที่ใช้คือเบอร์ HD44750 ของฮิตาชิ

โมดูล LCD ขนาด 16x1 มีขาต่อใช้งานทั้งสิ้น 14 ขา มีการจัดขาจัดรูป สำหรับรายละเอียดของการทำงานแต่ละขามีดังนี้

V_{SS} (ขา 1) : ต่อกราวด์

V_{SS} (ขา 2) : ต่อไฟเลี้ยง + 5 โวลต์

V_{SS} (ขา 3) : เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

RS (ขา 4) : เป็นขาอินพุตใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผลในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งสำหรับรีจิสเตอร์ IR หรือเป็นคำสั่งของข้อมูลรีจิสเตอร์ DR โดยถ้าขาเป็น “0” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าขาเป็น “1” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลสำหรับการแสดงผล

R/W (ขา 5) : เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูล LCD ถ้าเป็น “0” เป็นการกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E (ขา 6) : เป็นขาสำหรับรับสัญญาณ พัลส์เอ็นเอเบิลโมดูล LCD ให้ทำงาน

D0-D7 (ขา 7-14) : เป็นขาที่ใช้เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอก ขนาด 8 บิต หนึ่งขา RS,R/W, และ E จะใช้งานร่วมกัน โดยมีความสัมพันธ์แสดงในตาราง

คำสั่งควบคุมโมดูล LCD

ในการเขียนคำสั่งลงในตัวควบคุม แน่แน่นอนว่าต้องกำหนดให้ขา RS และ R/W เป็น “0” แล้วเขียนคำสั่งตามไป คำสั่งควบคุมโมดูล LCD ของชิปควบคุม HD44780 ที่สำคัญมี 10 คำสั่ง ดังนี้

1. คำสั่งเคลียร์ตัวแสดงผล (clear display) มีข้อมูลคำสั่ง 01H เป็นคำสั่งที่ใช้เขียนข้อมูลช่องว่าง หรือ space เข้าไปใน DDRAM ทั้งหมด เมื่อตัวควบคุมเอ็กซ์ซิวิตคำสั่งนี้ จำทำการกำหนดแอดเดรสของ DDRAM เป็น 0 เคอร์เซอร์จะกลับไปอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายมือสุดของจอแสดงผล แล้วเซตบิต I/D ให้เป็น “1”
2. คำสั่ง Return home ต้องกำหนดให้บิต 1 ของข้อมูลเป็น “1” เป็นคำสั่งให้เคอร์เซอร์เคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งซ้ายสุดของจอแสดงผล แต่ข้อมูลบนจอแสดงผลไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือ ข้อมูลคำสั่งของคำสั่งนี้จะเป็น 02H หรือ 03H ก็ได้
3. คำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล (Entry mode Set) มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต7 บิต6 บิต5 บิต4 บิต3 บิต2 บิต1 บิต0

0	0	0	0	0	1	I/D	S
---	---	---	---	---	---	-----	---

บิต S เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดทิศทางของการแสดงผล เมื่อมีการป้อนข้อมูล ถ้าหากบิต S เป็น “1” เมื่อเกิดข้อมูลใหม่บนจอแสดงผล ตัวเคอร์เซอร์จะอยู่กับที่ แต่ตัวอักษรข้อมูลเดิมจะถูกดันไปทางซ้าย แต่ถ้าหากบิตนั้นเป็น “0” เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ตัวเคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ

บิต I/D เป็นบิตที่กำหนดว่า เมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้ว แอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้นหรือลดลงหนึ่งแอดเดรส โดยถ้าบิตเป็น “1” แอดเดรสของ DDRAM จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าบิตเป็น “0” แอดเดรสจะลดลง

ดังนั้น ข้อมูลคำสั่งที่เกิดขึ้นสำหรับคำสั่งนี้ได้แก่ 04H-07H (4 ข้อมูลคำสั่ง) ที่จะใช้บ่อยคือ 06H หมายถึง กำหนดให้เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ เคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ และแอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ให้รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คำสั่งควบคุมการแสดงผลมีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
0	0	0	0	1	C	D	B

บิต D ใช้ควบคุมการเปิดปิดจอแสดงผล ถ้าบิตเป็น “1” จะเป็นการเปิดหน้าจอแสดงผล แต่ถ้าบิต เป็น “0” จะเป็นการปิดจอแสดงผล

บิต C ใช้ควบคุมการแสดงผลตัวเคอร์เซอร์บนจอแสดงผล ถ้าต้องการให้มีเคอร์เซอร์แสดงผล ต้องกำหนดให้บิต เป็น “1” แต่ถ้ากำหนดให้บิต เป็น “0” จะเป็นการปิดเคอร์เซอร์หรือไม่แสดงผลเคอร์เซอร์

บิต B ใช้ควบคุมการกะพริบของเคอร์เซอร์ ถ้าบิต เป็น “1” เคอร์เซอร์จะกะพริบ ดังนั้นจะมีข้อมูลคำสั่งได้ตั้งแต่ 08H-0FH (8 รูปแบบคำสั่ง) ที่ใช้บ่อยคือ 0CH เป็นการสั่งให้แสดงผล แต่ไม่แสดงเคอร์เซอร์ และ 0FH เป็นการสั่งให้เปิดจอแสดงผล แสดงเคอร์เซอร์ และคำสั่งเคอร์เซอร์กะพริบ

5. คำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

การควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษรบนจอแสดงผล ขึ้นอยู่กับการกำหนดบิต S/C และ R/L ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

S/C	R/L	ลักษณะการเลื่อน	ข้อมูลคำสั่ง
0	0	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย	10H+13H
0	1	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา	14H-17H
1	0	เลื่อนตัวอักษรไปทางซ้าย	18H-1BH
1	1	เลื่อนตัวอักษรไปทางขวา	1C-1FH

6. คำสั่งกำหนดฟังก์ชันการทำงานมีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่ง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัทฯ ได้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต7 บิต6 บิต5 บิต4 บิต3 บิต2 บิต1 บิต0

0	0	1	DL	N	F	*	*
---	---	---	----	---	---	---	---

บิต DL ใช้กำหนดจำนวนบิตที่ใช้ติดต่อส่งผ่านข้อมูล ถ้าบิตนี้เป็น “0” จะเป็นการติดต่อแบบ 4 บิต แต่ถ้าบิตเป็น “1” จะเป็นแบบ 8 บิต

บิต N ใช้กำหนดจำนวนบรรทัดของการแสดงผล ถ้าเป็น “0” จะแสดงผล 1 บรรทัด ถ้าเป็น “1” จะแสดงผล 2 บรรทัด ในกรณีที่จอแสดงผลสามารถแสดงผลได้มากกว่า 2 บรรทัด และต้องการให้แสดงผลมากกว่า 2 บรรทัด ก็กำหนดบิต N นี้ให้เป็น “1” จุดที่น่าสังเกตคือ โมดูล LCD แบบ 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด แม้จะมีบรรทัดการแสดงผลเพียง 1 บรรทัด แต่จะต้องกำหนด N ให้เป็น “1” เนื่องจากแอดเดรสของ DDRAM แบ่งเป็น 2 ช่อง คือ 00H และ 40H

บิต F ใช้เลือกความละเอียดของตัวอักษรให้การแสดงผล ถ้าบิตเป็น “0” จะเป็นการแสดงผลแบบ 5x7 จุด และถ้าเป็น “1” จะเป็นการแสดงผลแบบ 5x10 จุด

ข้อมูลคำสั่งที่ใช้บ่อยคือ 38H เป็นการกำหนดให้โมดูล LCD ทำงานในแบบ 8 บิต แสดงผล 2 บรรทัด และเลือกความละเอียดเป็น 5x7 จุด

7. คำสั่งเลือกแอดเดรสของ CGRAM

เมื่อต้องการกำหนดแอดเดรสของ CGRAM ต้องกำหนดบิต 7 เป็น “0” บิต เป็น “1” ส่วนอีก 6 บิตที่เหลือจะแทนด้วยค่าแอดเดรสของ CGRAM จะต้องทำการกำหนดแอดเดรสด้วยคำสั่งนี้ ก่อนที่จะอ่านหรือเขียนข้อมูลให้ CGRAM โดยแอดเดรสของ CGRAM อยู่ระหว่าง 00H-3FH

8. คำสั่งเลือกแอดเดรสของ DDRAM

ใช้ในการเลือกแอดเดรสของ DDRAM ก่อนที่จะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูล โดยบิต 7 ต้องเป็น “1” และข้อมูลอีก 7 บิตที่เหลือจะเป็นค่าแอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 8CH-0FFH ทั้งนี้จำนวนแอดเดรสขึ้นกับการกำหนดสถานะที่บิต N ด้วย หากบิต N เป็น “0” แอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 80H-0CFH และถ้าบิต N เป็น “1” แอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 8CH-87H และ 0C0H-0c7H

9. คำสั่งอ่านเฟล็ก BUSY และแอดเดรสมีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่ง ดังนี้

บิต7 บิต6 บิต5 บิต4 บิต3 บิต2 บิต1 บิต0

BF	A	A	A	A	A	A	A
----	---	---	---	---	---	---	---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นคำสั่งที่ให้อ่านเฟล็ก BUSY (BF) โดยเฟล็กนี้จะเป็นตัวบอกสถานะของตัวควบคุม LCD ว่าพร้อมจะรับข้อมูลอยู่หรือไม่ถ้าหากบิต BF เป็น “0” แสดงว่าตัวควบคุม LCD พร้อมรับข้อมูลหรือคำสั่ง แต่ถ้าเป็น “1” แสดงว่าขณะนี้ตัวควบคุม LCD ยังอยู่ในกระบวนการทำงานภายใน หรือกำลังประมวลผลข้อมูลอยู่ ยังไม่พร้อมรับข้อมูลหรือคำสั่ง เมื่อต้องการอ่านเฟล็ก ต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “1” ด้วย แต่ถ้าสัญญาณที่ RS ยังต้องเป็น “0” อยู่เพราะข้อมูลนี้เป็นข้อมูลคำสั่ง นอกจากนี้ยังใช้เป็นคำสั่งอ่านข้อมูลแอดเดรสของ CGRAM และ DDRAM ด้วย โดยบิต 0 ถึงบิต 6 เป็นค่าข้อมูลของแอดเดรสที่ต้องการอ่าน

การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่โมดูล LCD

ในการเขียนข้อมูลเพื่อควบคุมให้ โมดูล LCD แสดงผลตามที่ผู้ใช้ต้องการ ต้องส่งคำสั่ง (Instruction) แล้วกำหนดโหมดการทำงานให้แก่โมดูล LCD ก่อน จากนั้นจึงค่อยส่งข้อมูล (Data) ที่ต้องการแสดงผลเนื่องจากบิตข้อมูลของโมดูล LCD มี 8 เส้นคือ D0-D7 และใช้เป็นทางผ่านของทั้งคำสั่งและข้อมูล ดังนั้นในการส่งคำสั่งและข้อมูลจึงต้องอาศัยการกำหนดสัญญาณลอคิกที่ขา RS ถ้าหากที่ขา RS ได้ลอคิก “0” หมายความว่า ข้อมูลที่ป้อนให้แก่โมดูล LCD ในขณะนั้นเป็นคำสั่ง ในทางตรงกันข้าม ถ้าหาก RS ได้รับลอคิก “1” ข้อมูลที่ป้อนให้ในขณะนั้นเป็นข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผล

ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “1” ข้อมูลขนาด 8 บิต (หรือ 4 บิต) ก็จะปรากฏบนบัสข้อมูล โดยข้อมูลที่อ่านออกมาได้จะเป็นข้อมูลจากแอดเดรสของ CGRAM หรือ DDRAM ตามที่ต้องการ

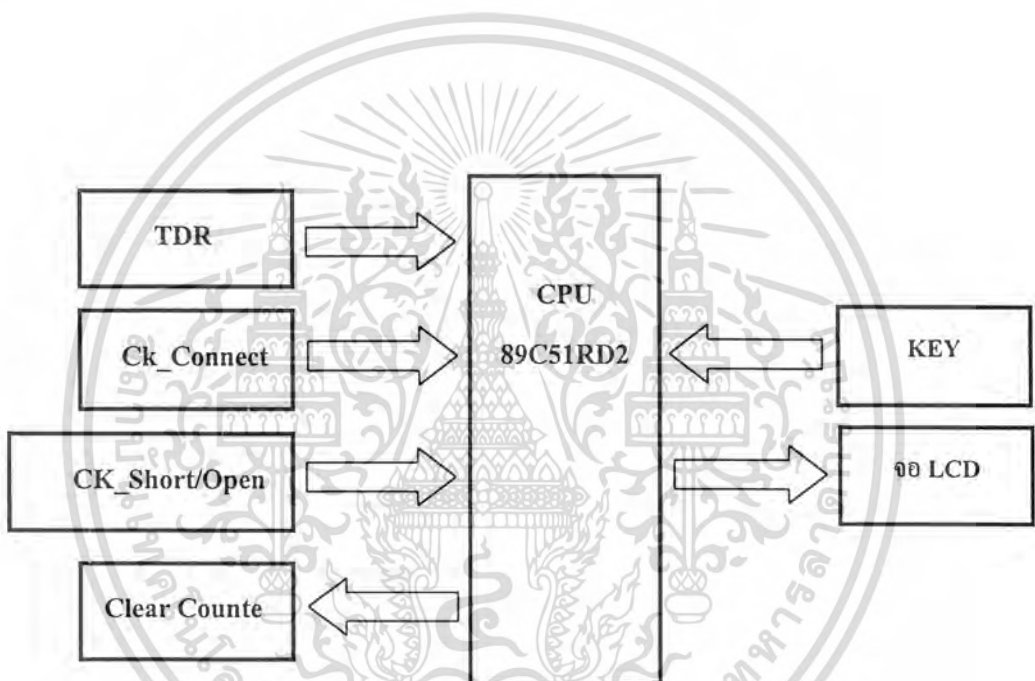
ในกรณีที่ต้องการเขียนข้อมูลเมื่อกำหนดแอดเดรสและป้อนลอคิก “1” ให้ขา RS แล้ว ต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “0” ข้อมูลที่อยู่บนบัสข้อมูลจะถูกเขียนลงในรีจิสเตอร์ DR จากนั้นจึงถ่ายทอดลงใน DDRAM ต่อไป

จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล

ในการติดต่อกับ LCD โมดูล จะต้องมีการหน่วงเวลาหลังจากที่ทำการส่งรหัสคำสั่งหรือข้อมูล เนื่องจากต้องรอให้คอนโทรลเลอร์ภายใน LCD โมดูล แปลความหมายของรหัสคำสั่งและทำงานตามคำสั่งให้เรียบร้อยก่อนจากนั้นจึงจะรับข้อมูลหรือดำเนินการต่อไป

ดังนั้น ในการใช้งาน โมดูล LCD ผู้เขียนโปรแกรมต้องมีโปรแกรมเพื่อหน่วงเวลารอให้ โมดูล LCD พร้อมทำงานด้วย โดยเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้ โมดูล LCD ต้องรอประมาณ 10 มิลลิวินาที เพื่อให้ โมดูล LCD ทำงานเตรียมความพร้อมหรืออินิเชียล (initial) หลังจากนั้นก็จะกำหนดคลอ

จิกให้แกขา RS ของโมดูล LCD แล้วต้องหน่วงเวลาอีกประมาณ 2 มิลลิวินาทีเพื่อให้คอนโทรลเลอร์ในโมดูล LCD แปลความหมายของลอจิกที่ขา RS ว่า ข้อมูลต่อไปที่จะได้รับนั้น เป็นรหัสคำสั่งหรือข้อมูลที่ต้องการแสดงผล จากนั้นจะเป็นการส่งข้อมูลมาที่บัสข้อมูล D0-D7 (กรณีที่ทำงานในโหมด 8 บิต) ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการส่งสัญญาณพัลส์ไปที่ขา E เพื่อเอินเอเบิลโมดูล LCD ให้รับข้อมูลจากบัสข้อมูลเข้าไปโดยพัลส์ที่ป้อนเข้าไปที่ขา E ของโมดูล LCD ต้องเป็นพัลส์ขอบขาขึ้นจากนั้นทำการหน่วงเวลา 2 มิลลิวินาที



รูปที่ 4.28 แสดงอินพุตและเอาต์พุตของระบบ

สามารถสรุปการทำงานทั้งหมดของระบบได้ดังรูปที่ 4.28 ซึ่งแสดงอินพุตและเอาต์พุตของระบบโดยรวมทำให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทำงานและการทดลองวงจร

ประกอบไปด้วย 2 ส่วน

1. ส่วน TDR

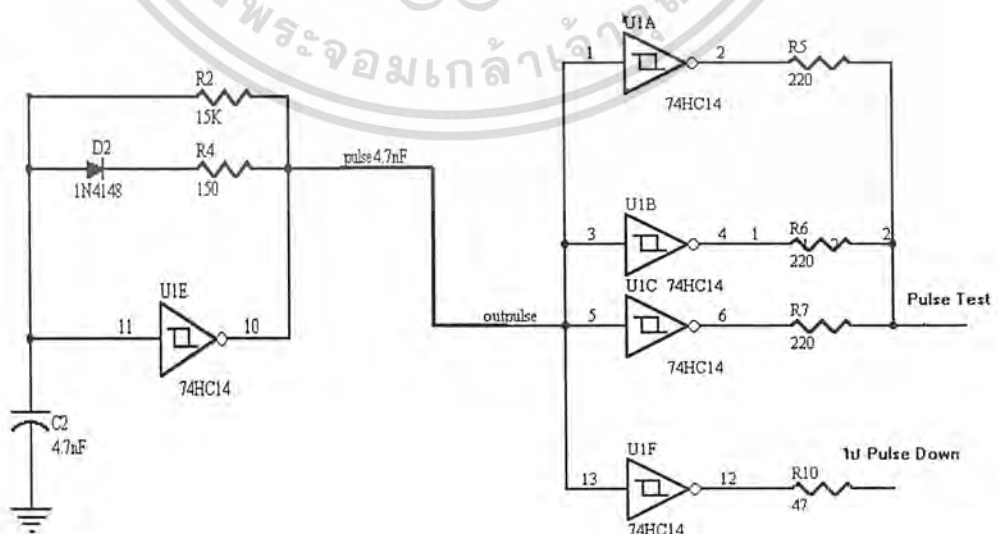
- 1.1 ภาคนำเน็ดพัลส์ (74HC14) และ Pulse down
- 1.2 ภาคนำเน็ดพัลส์ (LM710)
- 1.3 ภาครวมสัญญาณ (74HC32)
- 1.4 ภาคนำเน็ดสัญญาณ (74LS74)

2. ส่วนประมวลผล

- 2.1 ภาคนำเน็ด Clock ความถี่ 20 MHz (74HC04 , คริสตอล 20 MHz)
- 2.2 ภาคนำเน็ด Sampling สัญญาณ (74HC08)
- 2.3 ภาคนำเน็ดจำนวน Clock (74LS244)
- 2.4 ภาคนำเน็ด Check Connect (74LS74)
- 2.5 ภาคนำเน็ด Check Short (74LS74)
- 2.6 ภาคนำเน็ดประมวลผล (MCS-51 เบอร์ 89C51RD2)

5.1. ส่วน TDR

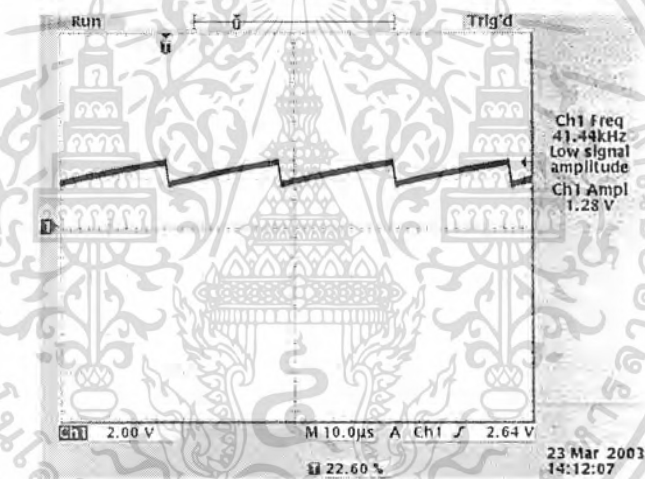
5.1.1. ภาคนำเน็ดสัญญาณพัลส์



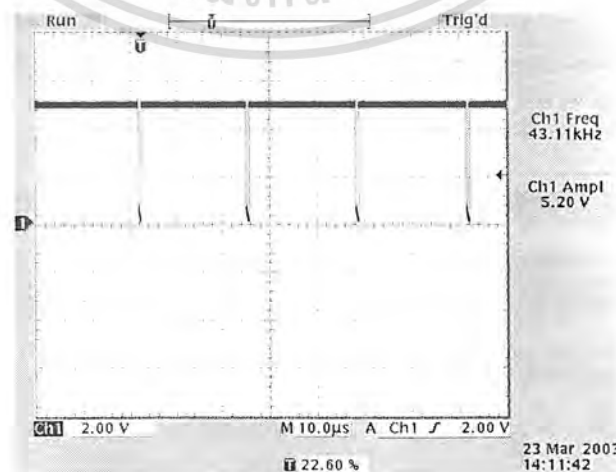
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 5.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ดึงนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรนี้ประกอบด้วย ไอซี 74HC14 (ขมิพทริกเกอร์) , ไดโอด 1N4148 , ความต้านทาน 150Ω , $15 K\Omega$ และ ตัวเก็บประจุ วงจรจะผลิตความถี่พัลส์ ลักษณะเป็นพัลส์ต่อเนื่อง โดยที่คาบเวลาระหว่างพัลส์แต่ละลูกจะเป็นตัวกำหนดความยาวต่ำสุดและสูงสุดที่สามารถวัดได้ สามารถกำหนดได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวเก็บประจุ ซึ่งถ้าตัวเก็บประจุมีค่ามากจะได้คาบเวลาของพัลส์มีค่ามากจะใช้ในการวัดสายที่มีความยาวมาก ส่วนตัวเก็บประจุที่มีค่าน้อยจะได้คาบเวลาของพัลส์ลดน้อยลงจะใช้ในการวัดสายที่มีความยาวของสายน้อยลง

จากวงจรรูปที่ 5.1 จะได้สัญญาณเป็นรูปสามเหลี่ยม (วัดที่ขา 11 ของ 7414) ตามรูปที่ 5.2 จากนั้นก็จะผ่านเกตขมิพทริกเกอร์จะได้สัญญาณเอาต์พุตที่จุด Pulse 4.7 PF (วัดที่ขา 10 ของ 7414) ตามรูปที่ 5.3 มีลักษณะเป็นพัลส์แตกกลับเฟส จากนั้นก็ผ่านเกตขมิพทริกเกอร์อีกครั้งจะทำให้สัญญาณกลับเฟสเกิดเป็นพัลส์ขึ้นมา ซึ่งเป็นพัลส์ที่ส่งไปในสายทดสอบ (Pulse Test) ตามรูปที่ 5.4

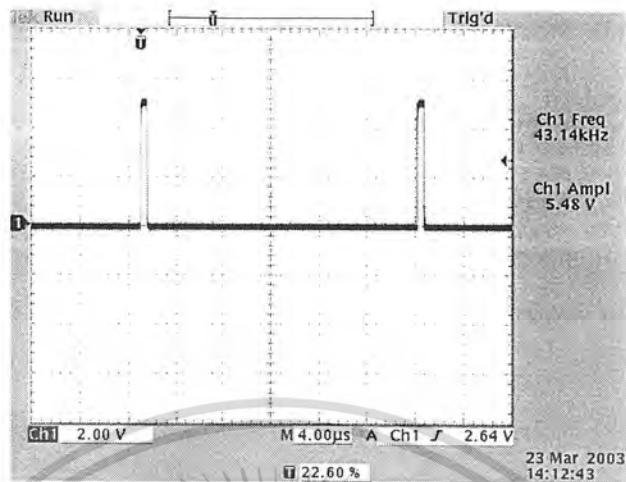


รูปที่ 5.2 สัญญาณที่ขา 11 ของ 7414



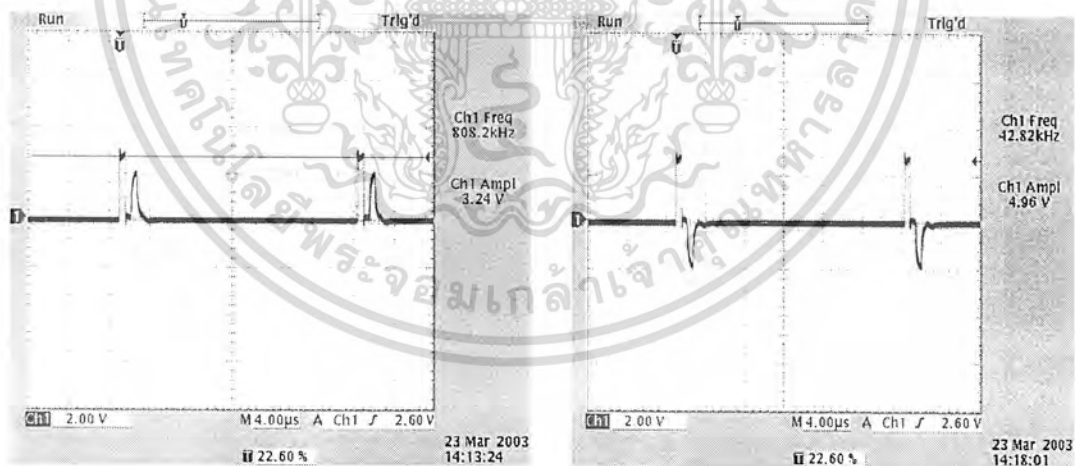
รูปที่ 5.3 รูปสัญญาณที่ขา 10 ของ 7414

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 พัลส์เอาต์พุต (Pulse Test) ที่ส่งเข้าไปในสายทดสอบ

เมื่อส่งพัลส์เข้าไปในสายทดสอบเมื่อไปกระทบจุดที่ไม่ต่อเนื่องของสาย (จุดขาดหรือจุดช็อต) จะเกิดการสะท้อนกลับของพัลส์ดังรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 พัลส์ด้านหน้าเป็นพัลส์ส่ง ส่วนพัลส์ด้านหลังเป็นพัลส์สะท้อน



รูปที่ 5.5 ลักษณะการสะท้อนกลับ กรณีสายขาด รูปที่ 5.6 ลักษณะการสะท้อนกลับ กรณีสายช็อต

ตัวอย่างการคำนวณหาระยะต่ำสุดและสูงสุดของพัลส์ส่งที่สามารถวัดได้
จากสมการ (3.1)

$$\text{Distance to Fault} = \frac{\text{Propagation Velocity} \times \text{Propagation Time}}{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S = \frac{c \cdot T}{\sqrt{\epsilon_r} \cdot 2}$$

ระยะทางต่ำสุดที่สามารถวัดได้ จะขึ้นอยู่กับความกว้างพัลส์ที่ส่งออกไปในสาย จากการทดลองใช้ $C = 4.7 \text{ nF}$ จะได้ความกว้างพัลส์ส่ง 0.4 usec ดังนั้นคลื่นที่สะท้อนกลับต้องมีคาบเวลามากกว่า 0.4 usec จะสามารถหาระยะทางต่ำสุดมากกว่า

$$S = \frac{3 \times 10^8}{1.725} \cdot \frac{0.4 \times 10^{-6}}{2} \quad ; \text{ค่า } \epsilon_r \text{ จากบทที่ 6}$$

$$S = 34.782 \text{ เมตร}$$

ระยะทางสูงสุดที่สามารถวัดได้ จะขึ้นอยู่กับคาบเวลาหนึ่งลูกคลื่นของพัลส์ส่งออกไปในสาย จากการทดลองใช้ $C = 4.7 \text{ nF}$ จะได้คาบเวลาของพัลส์เท่ากับ 25 usec (ความถี่เท่ากับ 40 KHz) จะสามารถหาระยะทางสูงสุดไม่เกิน

$$\text{คาบเวลาที่พัลส์สะท้อนกลับมาได้} = 25 \text{ usec} - 0.4 \text{ usec} = 24.6 \text{ usec}$$

$$S = \frac{3 \times 10^8}{1.725} \cdot \frac{24.6 \times 10^{-6}}{2} \quad ; \text{ค่า } \epsilon_r \text{ จากบทที่ 6}$$

$$S = 2,139 \text{ เมตร}$$

ส่วน Pulse Down จะมีสัญญาณเหมือนกับ Pulse Test จะถูกนำไปใช้ในวงจร 3 วงจร คือ

- วงจรภาคแปลงสัญญาณ และ วงจรภาค CK_Short/Open เพื่อใช้ในการเคลียร์การทำงานของวงจร
- วงจรภาค CK_Connect เพื่อนำไปลบกับสัญญาณเอาต์พุตของส่วน TDR

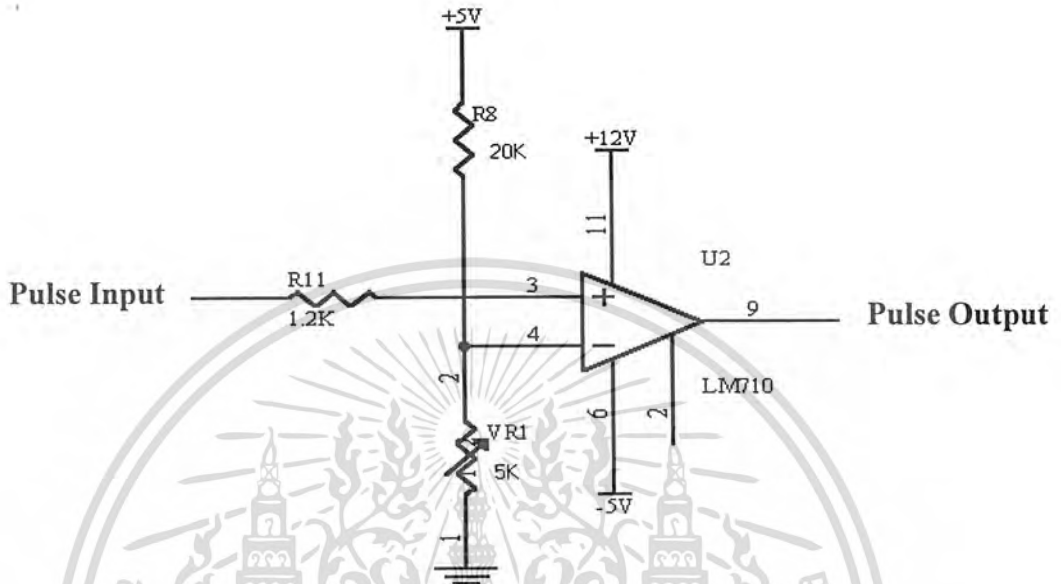
5.1.2. ภาคตรวจจับพัลส์ (LM710)

การทำงานภาคนี้ใช้ OP-Amp เบอร์ LM 710 เป็นโอซีคอมพาราเตอร์ ในภาคตรวจจับพัลส์ ใช้วิธีการเปรียบเทียบแรงดันในการตรวจจับพัลส์ จากการสะท้อนกลับของพัลส์ 2 กรณีดังกล่าวทำ

ให้แบ่งภาคตรวจจับพัลส์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

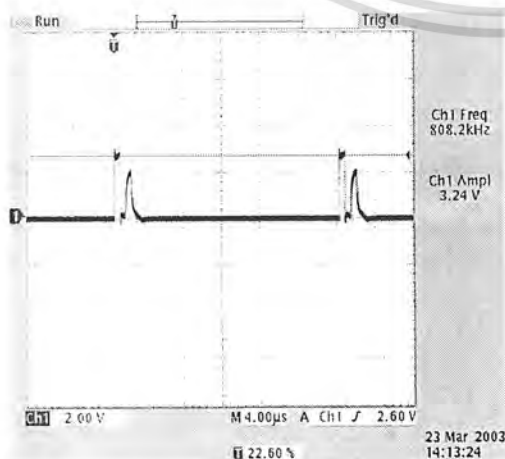
5.1.2.1 ส่วนตรวจจับพัลส์บวก



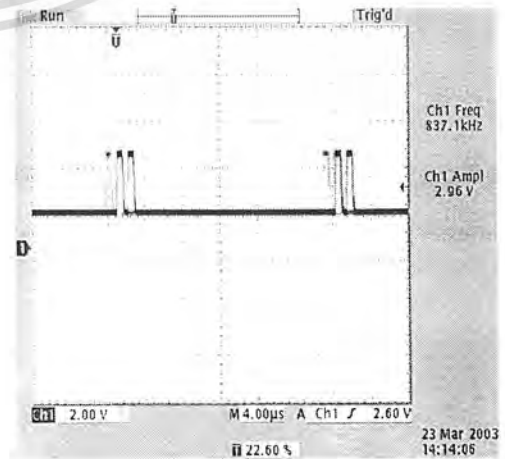
รูปที่ 5.7 วงจรตรวจจับพัลส์บวก

ในรูปที่ 5.7 เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันต่อแบบนอนอินเวอร์ต ใช้ OP-AMP เบอร์ LM710 ตัวต้านทาน R1 มีค่าคงที่ 20K ส่วน R2 ตัวต้านทานปรับค่าได้ 5K เพื่อใช้ในการปรับค่าแรงดันเปรียบเทียบ (V_{ref}) กับแรงดันอินพุต

จากนั้นทำการทดลองป้อนพัลส์ความกว้าง 0.4 μs (ใช้ตัวเก็บประจุค่า 4.7 nF) เข้าไปในสาย PVC ขนาดความยาว 100 เมตร ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.9

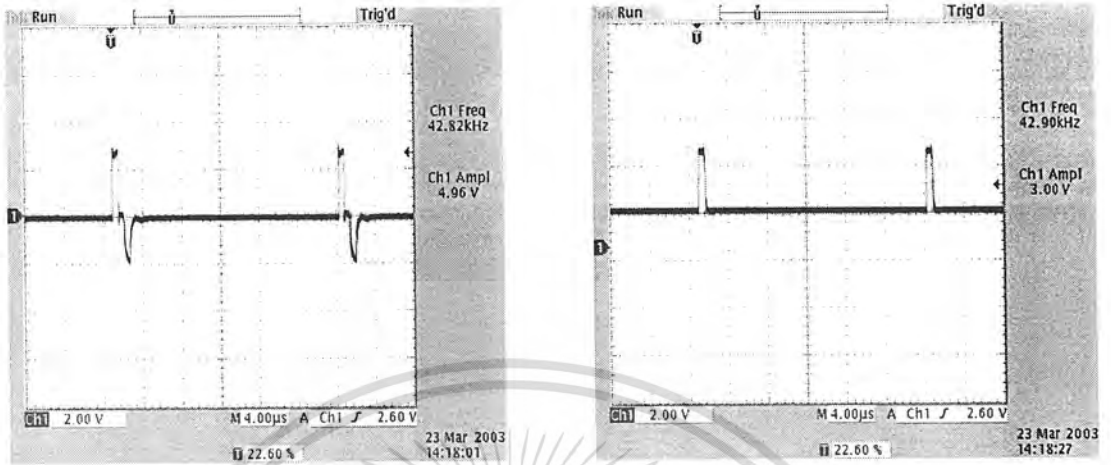


อินพุต



เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.8 ผลการทดลองภาคตรวจจับพัลส์บวก กรณีสายขาด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



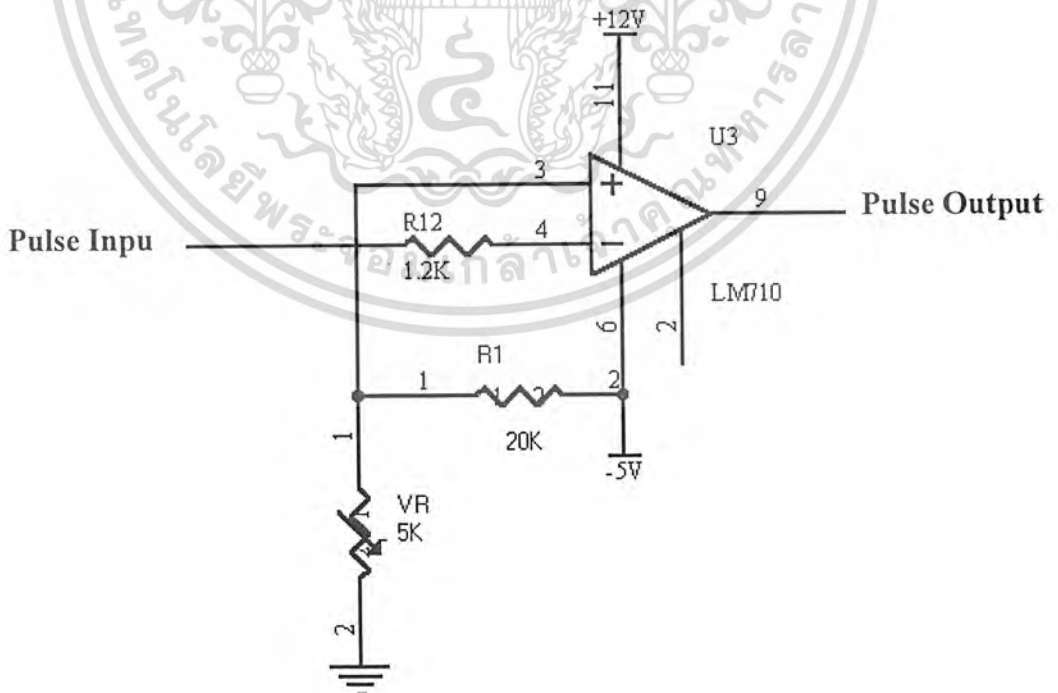
อินพุต

เอาต์พุต

รูปที่ 5.9 ผลการทดลองภาคตรวจจับพัลส์บวก กรณีสายช้อต

จากนั้นได้นำสัญญาณเอาต์พุตไปผ่านบัฟเฟอร์ (74244) เพื่อปรับเสถียรภาพของพัลส์

5.1.2.2 ส่วนตรวจจับพัลส์ลบ

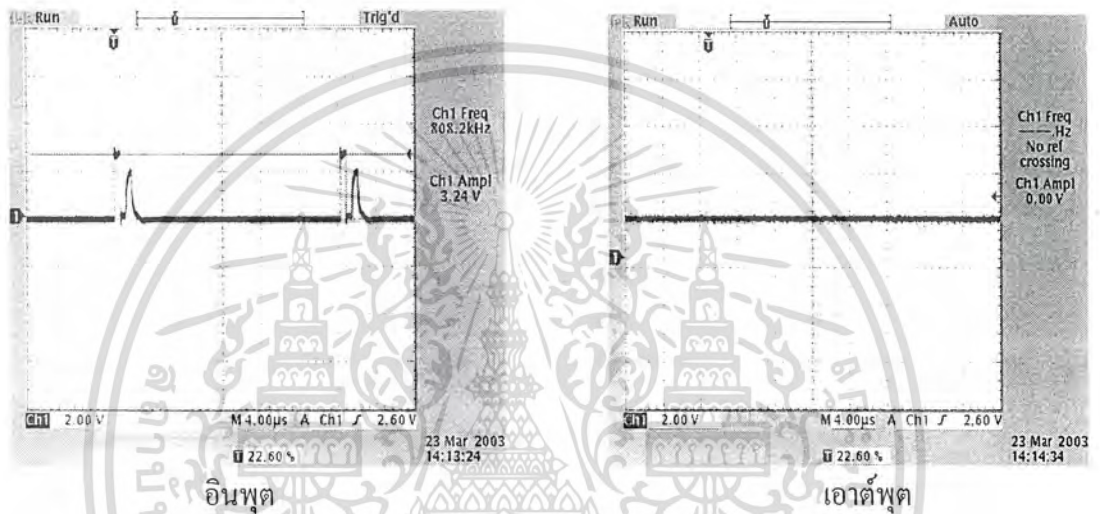


รูปที่ 5.10 วงจรตรวจจับพัลส์ลบ

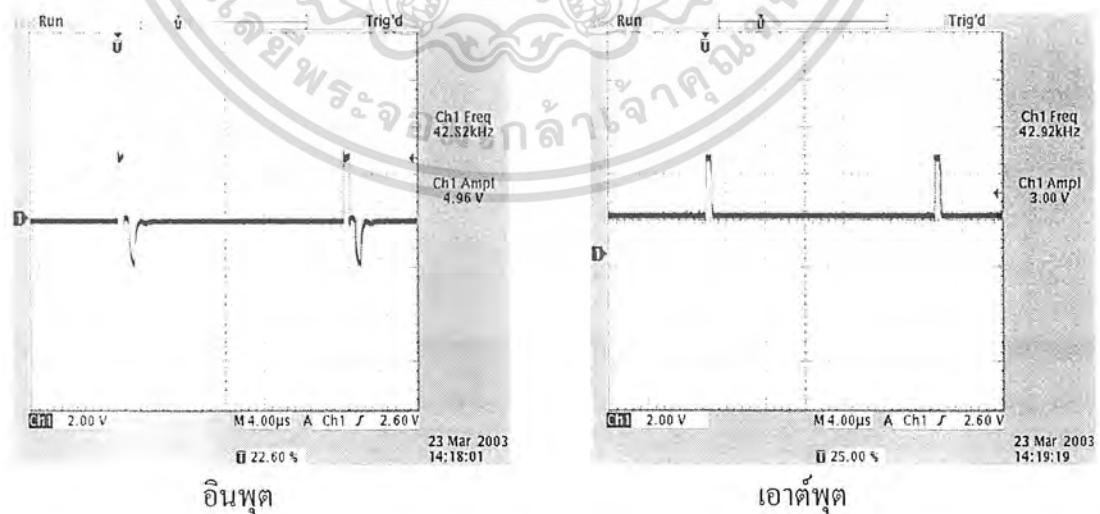
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 5.10 เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันต่อแบบอินเวอร์ตติ้ง ใช้ OP-AMP เบอร์ LM710 ตัวต้านทาน R1 มีค่าคงที่ 20K ส่วนตัวต้านทานปรับค่าได้ใช้ VR 5K เพื่อใช้ในการปรับค่าแรงดันเปรียบเทียบ (Vref) กับแรงดันอินพุต

จากนั้นได้ทำการทดลองป้อนพัลส์โดยใช้ตัวเก็บประจุค่า 4.7 nF ทดสอบกับสาย PVC 100 เมตร ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12



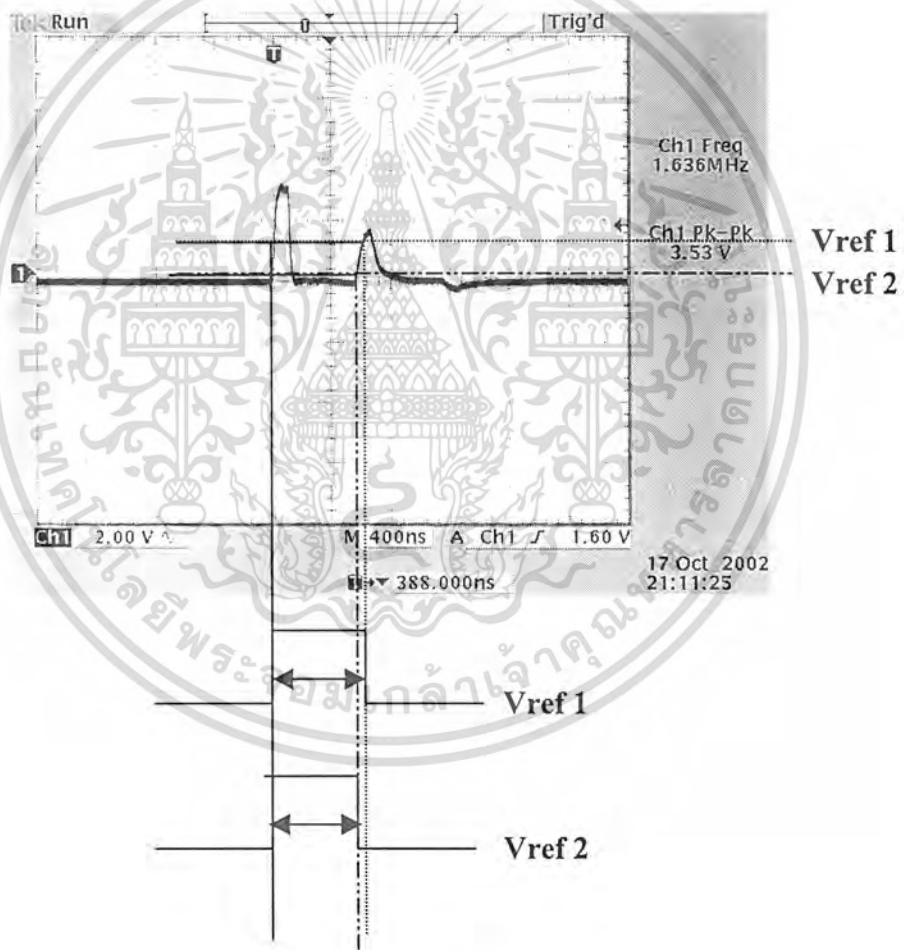
รูปที่ 5.11 ผลการทดลองส่วนตรวจจับพัลส์ลบ กรณีสายขาด



รูปที่ 5.12 ผลการทดลองส่วนตรวจจับพัลส์ลบ กรณีสายชื้อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 จากนั้นได้นำสัญญาณเอาต์พุต ไปผ่านบัฟเฟอร์ (74244) เพื่อปรับเสถียรภาพ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลไป และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

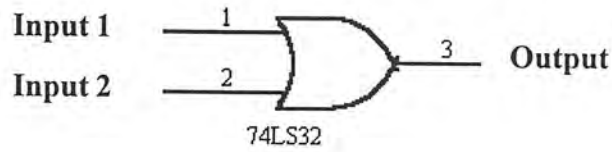
หมายเหตุ การปรับค่า Vref จะต้องพยายามปรับให้มีค่าต่ำสุด ทั้งนี้เพื่อต้องการให้วงจรเริ่มเปรียบเทียบแรงดันกับค่าแรงดันอินพุตที่ส่วนฐานของพัลส์อินพุต เพราะลักษณะของพัลส์สะท้อนกลับจะมีรูปร่างคล้าย ๆ อิมพัลส์ คือความกว้างของพัลส์สะท้อนในแต่ละส่วนไม่เท่ากัน ซึ่งจะทำให้คาบเวลาในการเริ่มการตรวจจับพัลส์ไม่ตรงกัน ดังรูปที่ 5.13 เนื่องจากว่าจะมีผลต่อการนำไป Sampling สัญญาณ จะทำให้ได้จำนวน Clock ไม่เท่ากัน ก็จะทำให้ระยะทางที่วัดคาดเคลื่อน ดังนั้นจะต้องปรับค่า Vref ให้มีค่าต่ำที่สุดที่วงจรจะสามารถตรวจจับพัลส์ได้ (ใช้ VR 2 ขึ้น เพื่อปรับค่า Vref ของวงจรตรวจจับพัลส์บวกและพัลส์ลบให้เปลี่ยนแปลงไปพร้อมกัน)



รูปที่ 5.13 แสดงความแตกต่างความกว้างของพัลส์ที่ค่า Vref ไม่เท่ากัน

จากรูปที่ 5.13 จะเห็นว่าคาบเวลาของพัลส์ของ Vref 1 และ Vref2 ไม่เท่ากัน ถ้าตั้งค่า Vref ไว้สูง (Vref 1) จะได้คาบเวลาของพัลส์มากกว่าการตั้งค่า Vref ไว้ต่ำ (Vref 2) เป็นสิ่งที่ต้องการ เอกสารนี้ไว้ระมัดระวังในการวัดสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

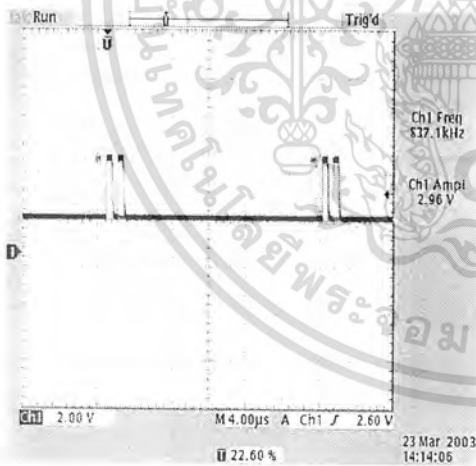
5.1.3 ภาครวมสัญญาณ



รูปที่ 5.14 วงจรรวมสัญญาณ

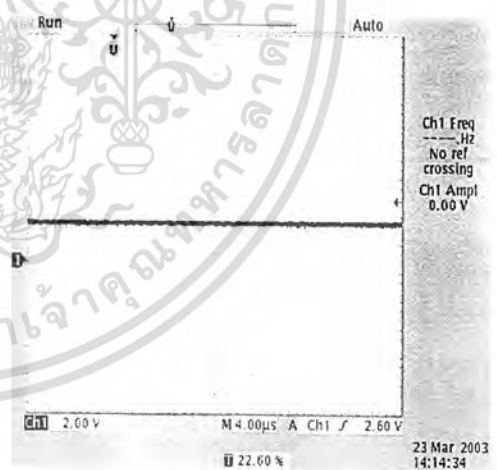
วงจรนี้จะทำหน้าที่รวมสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากภาคตรวจจับพัลส์บวก (Input 1) และภาคตรวจจับพัลส์ลบ (Input 2) มารวมเป็นสัญญาณเดียวกัน โดยใช้ไอซี (7432) OR gate เป็นการบวกสัญญาณ

ทำการทดลองกับสาย PVC 100 เมตร ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.15 และรูปที่ 5.16



Input 1

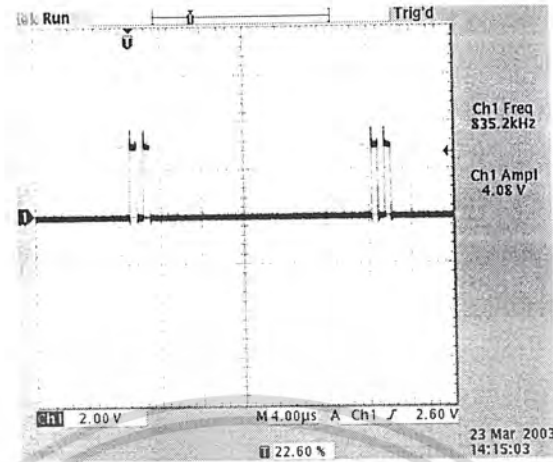
(เอาต์พุต ภาคตรวจจับพัลส์บวก)



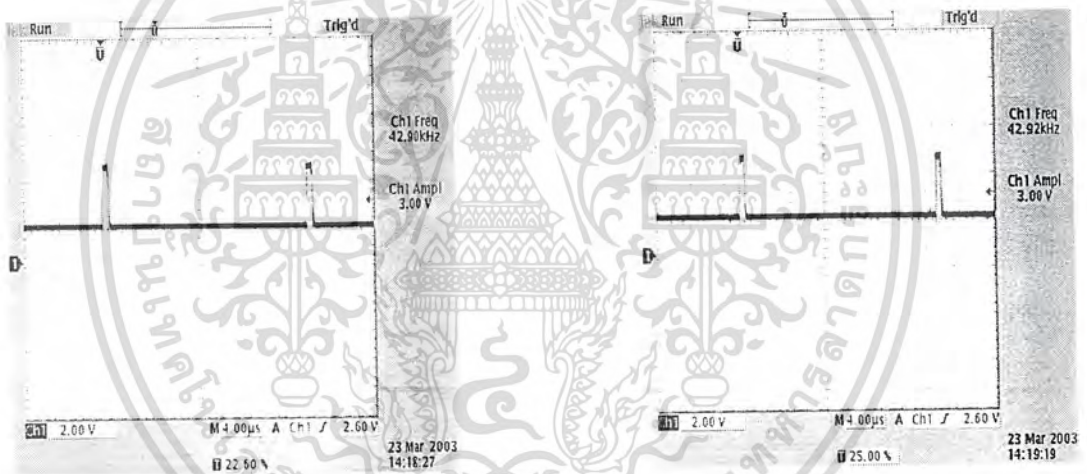
Input 2

(เอาต์พุต ภาคตรวจจับพัลส์ลบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอาต์พุตของภาครวมสัญญาณ
รูปที่ 5.15 ผลการทดลองภาครวมสัญญาณ กรณีสาขา

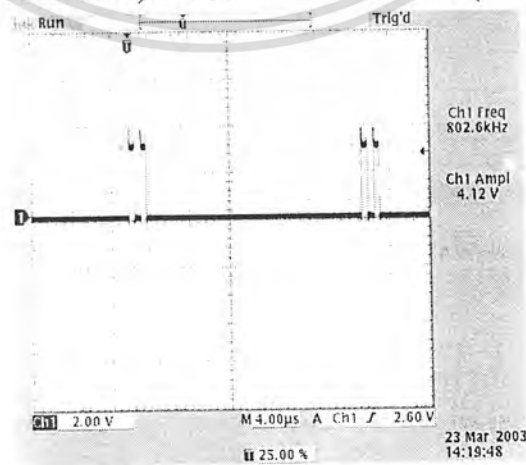


Input 1

Input 2

(เอาต์พุต ภาครวมจับพัลส์บวก)

(เอาต์พุต ภาครวมจับพัลส์ลบ)

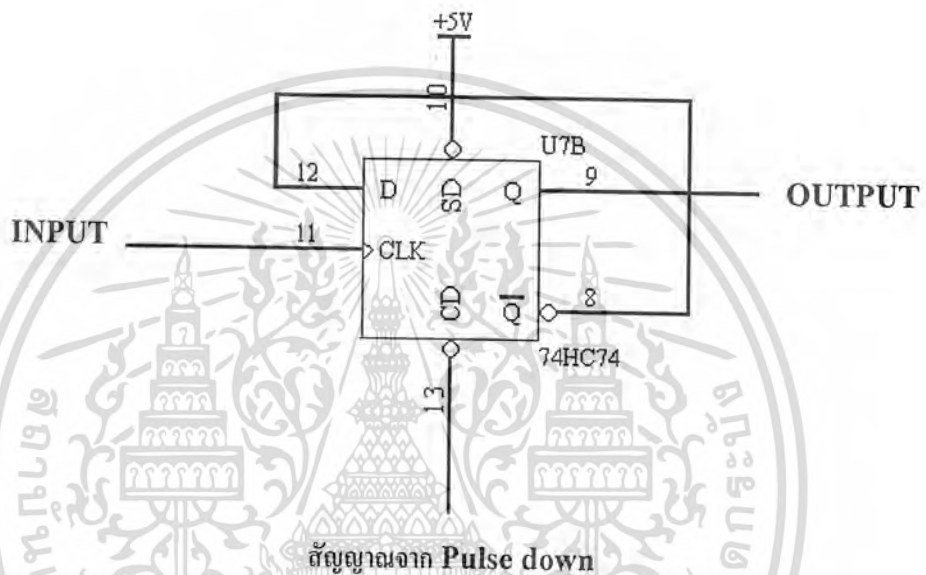


เอาต์พุตของภาครวมสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในวงจำกัดของงานวิจัยและไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากภาครวมสัญญาณ กรณีสาขาข้อใด
รูปที่ 5.16 ผลการทดลองภาครวมสัญญาณ กรณีสาขาข้อใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาต์พุตของภาครวมสัญญาณไม่ว่าจะเป็นการทดสอบกับสายปลายเปิด(ขาด)หรือสายปลายปิด (ชอร์ต) สัญญาณเอาต์พุตจะมีขนาดและรูปสัญญาณเหมือนกัน

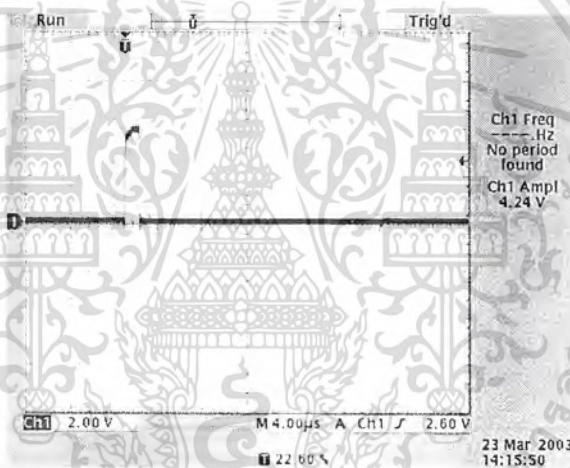
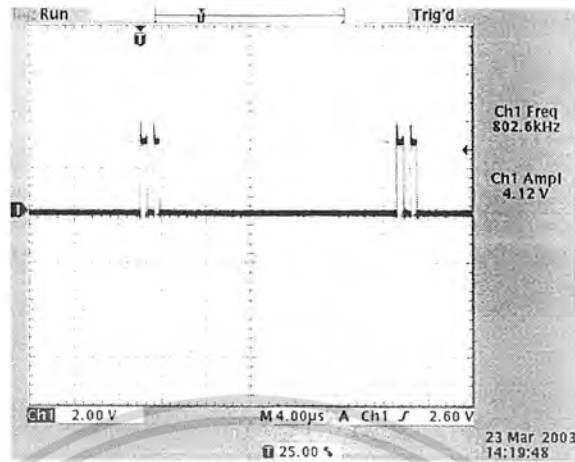
5.1.4 ภาคแปลงสัญญาณพัลส์



รูปที่ 5.17 วงจรภาคแปลงสัญญาณพัลส์

วงจรนี้จะทำหน้าที่แปลงพัลส์ตั้งและพัลส์สะท้อนกลับให้เป็นพัลส์ลูกเดียวกัน ซึ่งความกว้างของพัลส์ลูกใหม่นี้ก็คือ ระยะเวลาความยาวของสายขาดหรือชอร์ต โดยใช้ไอซี 7474 D-Flip Flop เป็นตัวทำงาน การทำงานคือ แปลงพัลส์ที่ออกจาก ภาครวมสัญญาณที่มีพัลส์ออกมา 2 ลูกให้เป็นคลื่นลูกเดียว คือ ลูกแรกเป็นพัลส์ที่ส่งเข้าไป และพัลส์ลูกที่สองเป็นพัลส์สะท้อนกลับ ซึ่งเกิดจากสายขาดหรือชอร์ตก็ได้เพราะพัลส์ถูกแปลงเป็นพัลส์บวกเรียบร้อยแล้ว แต่เนื่องจากการทริกสัญญาณที่ D-Flip Flop ตัวที่สองไม่แน่นอน ทำให้เอาต์พุตไม่เหมือนกับที่กล่าวมาข้างต้น แก้ไขโดยนำสัญญาณจากภาคกำเนิดพัลส์มาทริกที่ D-Flip Flop ตัวแรกและนำเอาเอาต์พุตไปเคลียร์ที่ D-Flip Flop ตัวที่สอง ผลการทดลองดังรูปที่ 5.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



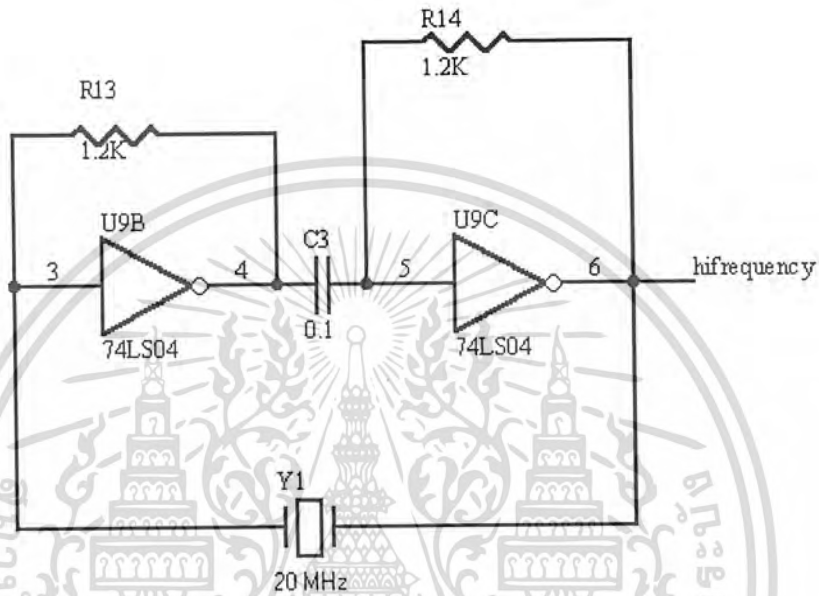
รูปที่ 5.18 ผลการทดลองภาคแปลงพัลส์เป็นเอาต์พุตของส่วน TDR

จากรูปที่ 5.18 เป็นภาคแปลงพัลส์ซึ่งก็คือสัญญาณเอาต์พุตของส่วน TDR หลังจากนั้นนำสัญญาณเอาต์พุตไปยังส่วนประมวลผล โดยจะนำสัญญาณเอาต์พุตไปคูณกับสัญญาณนาฬิกา 20 MHz จะได้พัลส์สูงเล็กๆ จำนวนหนึ่ง แล้วนำไปนับจำนวนพัลส์จะได้ข้อมูลเป็น Data 12 Bits (ขึ้นอยู่กับการ Counter ที่ใช้นับ) จากนั้นส่งไปประมวลผลหาระยะทางด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) รายละเอียดอธิบายในส่วนประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

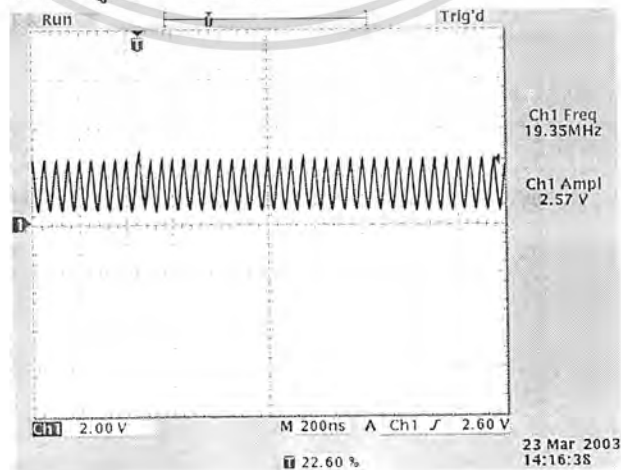
5.2 ส่วนประมวลผล

5.2.1 ภาคกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 20 MHz



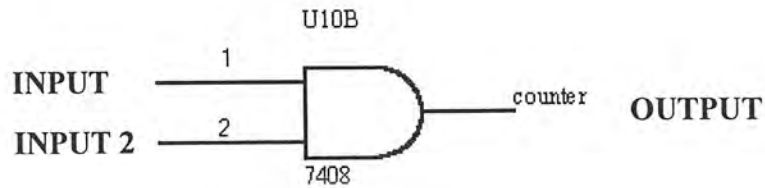
รูปที่ 5.19 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 20 MHz

วงจรมีหน้าที่ผลิตสัญญาณนาฬิกา 20 MHz เพื่อนำไป Sampling กับสัญญาณเอาต์พุตของส่วน TDR ในภาค Sampling สัญญาณ รูปในวงจรใช้ไอซี 7404 (Not gate) ต่ออนุกรมกัน โดยมีตัวเก็บประจุต่อขึ้นอยู่ตรงกลาง ตัวต้านทานจะทำหน้าที่ไบอัสไฟ DC ให้เกต ตัวเก็บประจุจะเป็นตัวคัปปลิงสัญญาณ ความถี่ของวงจรถูกขึ้นอยู่กับการเลือกค่าของคริสตัล



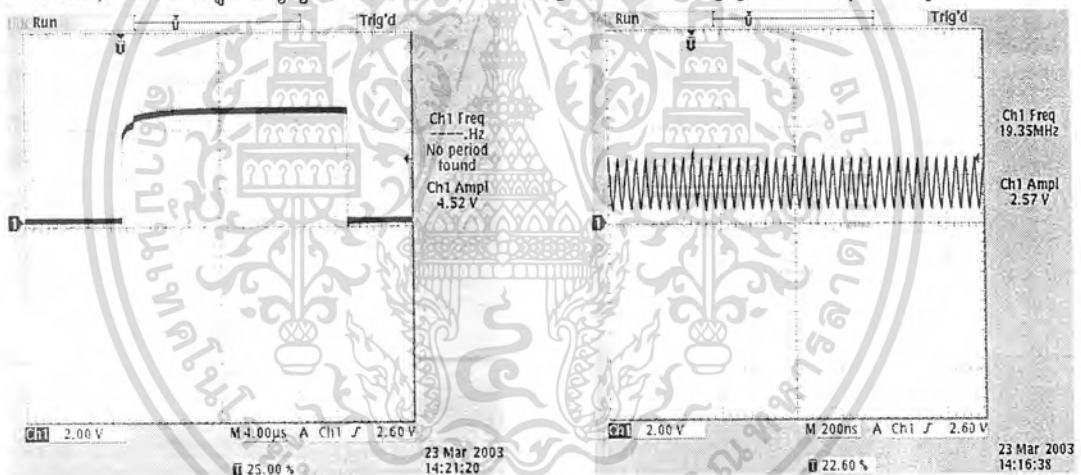
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 5.20 รูปสัญญาณนาฬิกา 20 MHz
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 ภาค Sampling สัญญาณ



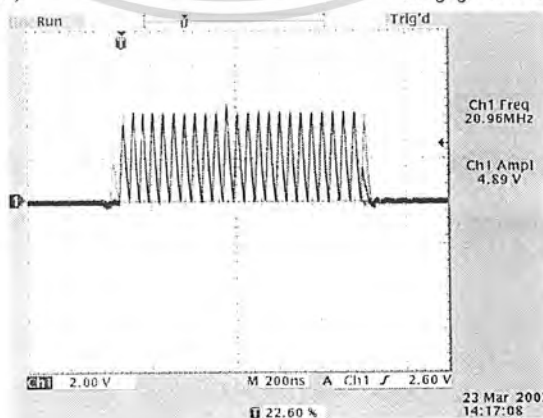
รูปที่ 5.21 วงจร Sampling สัญญาณ

วงจรนี้จะ Sampling สัญญาณ Input 1 (เอาต์พุตจากส่วน TDR) กับ Input 2 (สัญญาณนาฬิกา 20 MHz) โดยการคูณสัญญาณ ใช้ไอซี 7408 (and gate) จะได้สัญญาณเอาต์พุตตามรูปที่ 5.22



Input 1
(เอาต์พุต TDR)

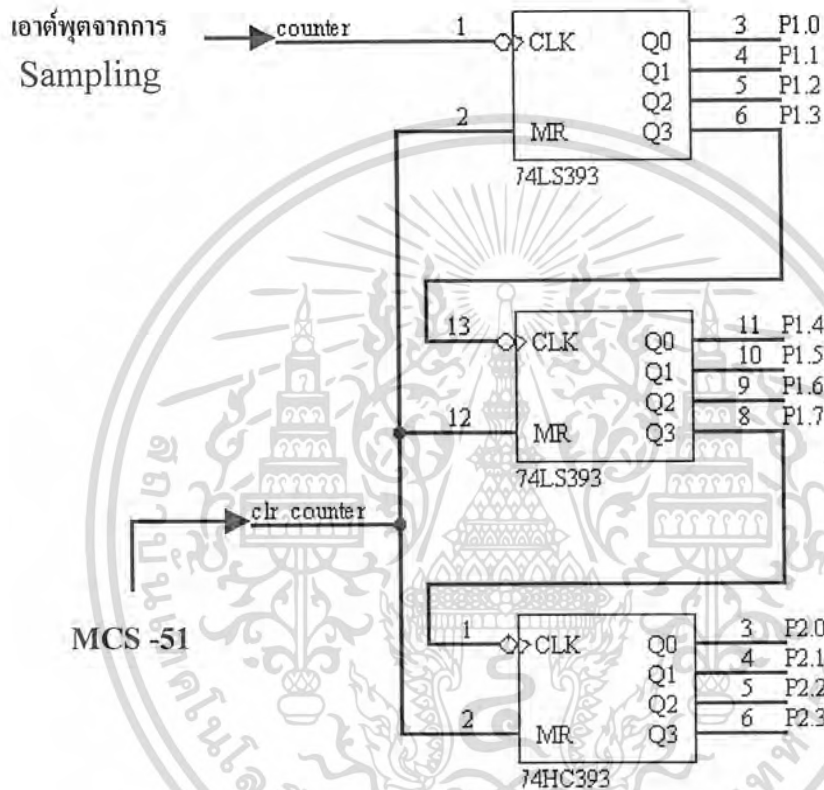
Input 2
(สัญญาณนาฬิกา 20 MHz)



สัญญาณ เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 5.22 ผลการทดลองสัญญาณภาค Sampling ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 ภาคนับจำนวน Clock

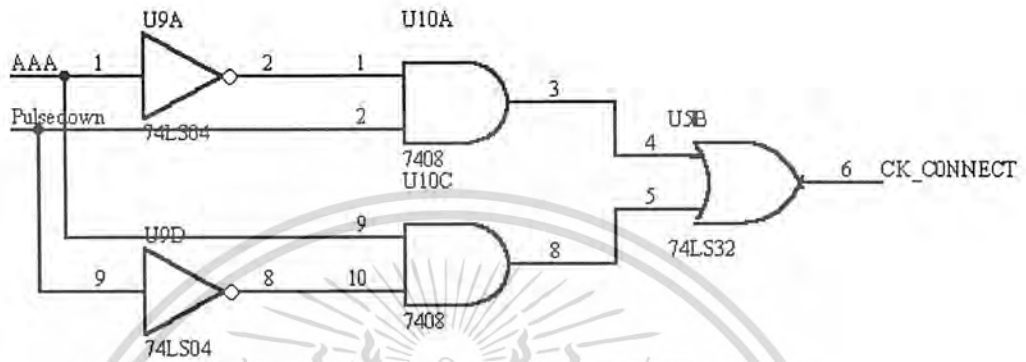


รูปที่ 5.23 วงจรนับจำนวน Clock

วงจรมีจะนับจำนวน Clock ออกมาเป็นข้อมูล 12 บิต โดยใช้ไอซี 74393 เป็น Counter ขนาด 4 บิต จำนวน 3 ตัวต่อกัน และจะถูกควบคุมขาเคลียร์โดยไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 ภาค CK_Connect

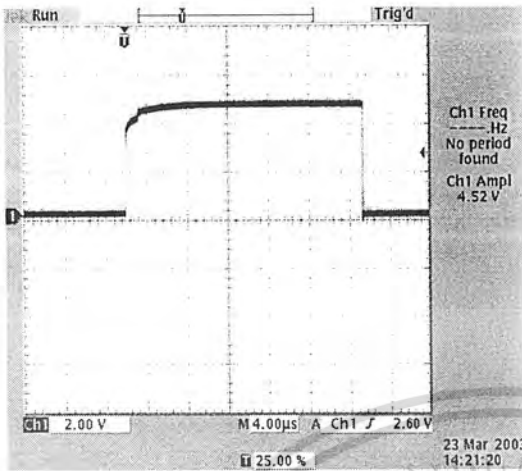


รูปที่ 5.24 วงจร Check Connect

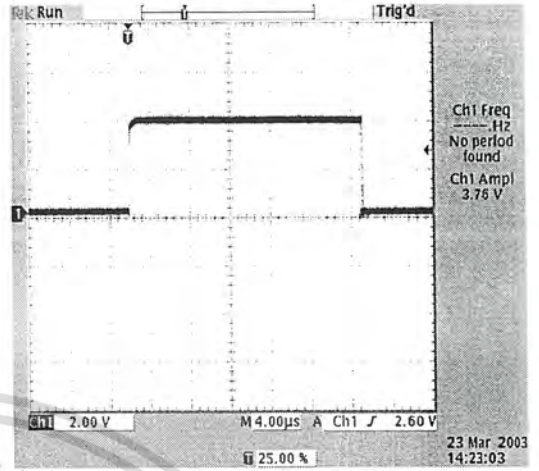
วงจรมีหน้าที่ลบลสัญญาณเอาต์พุตของ TDR กับสัญญาณ Pulse Down เพื่อที่จะนำสัญญาณเอาต์พุตไปใช้ในการ CK_Connect โดยส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลการต่อสายหรือไม่ต่อสาย หลักการคือ ถ้าสัญญาณทั้งสองมีคาบเวลาเท่ากัน จะได้เอาต์พุตเป็นศูนย์ นั่นคือยังไม่มีมีการต่อสายทดสอบ แต่ถ้าสัญญาณทั้งสองมีคาบเวลาไม่เท่ากัน จะได้เอาต์พุตเป็นหนึ่ง แสดงว่ามีการต่อสายทดสอบ หรือก็คือ เหมือนกันออกหนึ่ง ต่างกันออกศูนย์ ซึ่งเป็นเอาต์พุตของ Exclusive or gate แต่เนื่องจากวงจรใช้งานในภาคอื่นที่ผ่านมามีเกทต่าง ๆ ตามรูปวงจรที่ 5.24 เหลืออยู่ จึงนำมาต่อกันให้ได้เอาต์พุตออกมาเหมือนกับ Exclusive or gate จะทำให้ไม่ต้องเพิ่มอุปกรณ์ขึ้นมา จึงนำเกทที่เหลือจากวงจรอื่น ๆ มาต่อตามสมการข้างล่างจะได้วงจรดังรูปที่ 5.24

$$\bar{A}B + A\bar{B}$$

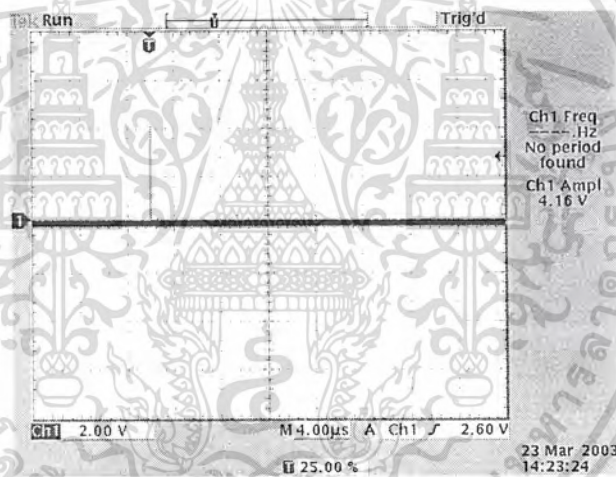
ผลการทดลองการ Check Connect ตามรูปที่ 5.25



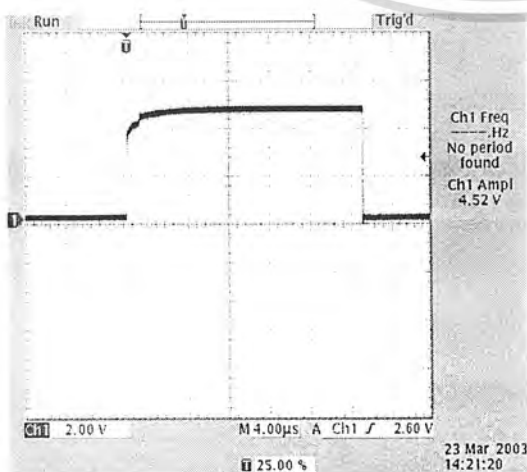
Input 1
(Pulse down)



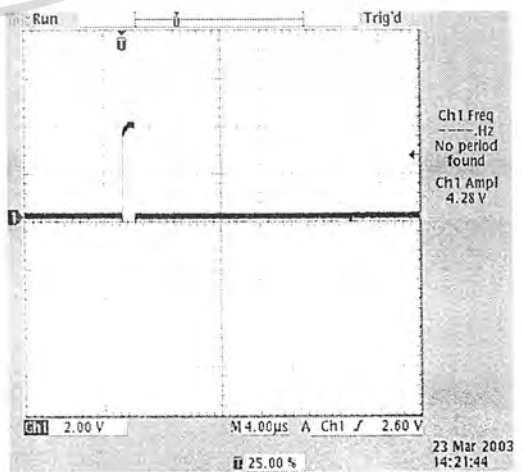
Input 2
(เอาต์พุตจากภาคแปลงสัญญาณพัลส์)



สัญญาณเอาต์พุตการ Check connect
รูปที่ 5.25 ผลการทดลองใน กรณีที่ไม่ได้ต่อสายทดสอบ

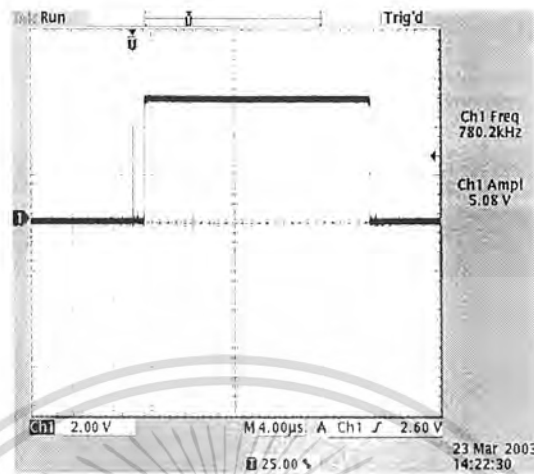


Input 1
(Pulse down)



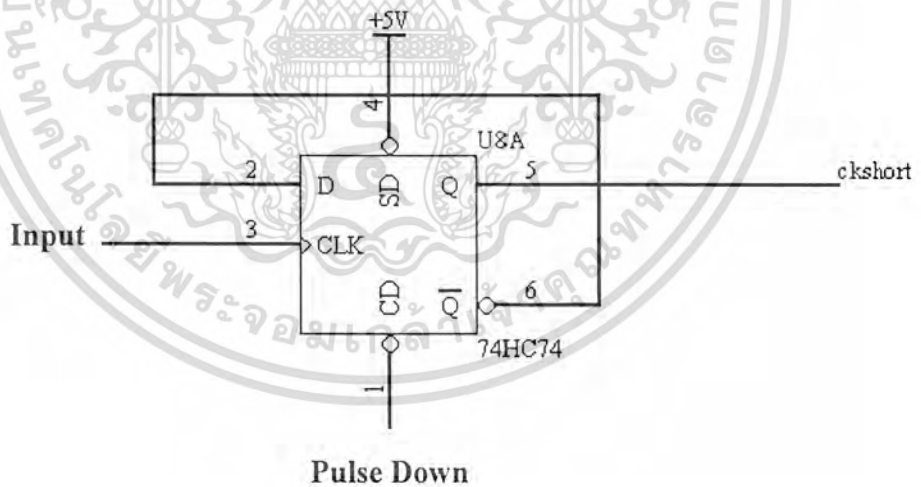
Input 2
(เอาต์พุตจากภาคแปลงสัญญาณพัลส์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สัญญาณเอาต์พุตการ Check connect
รูปที่ 5.26 ผลการทดลองใน กรณีที่ต่อสายทดสอบ

5.2.5 ภาค Check Short/Open



รูปที่ 5.27 วงจร Check Short/Open

วงจรมีไว้ใช้ ไอซี 7474 D-FlipFlop ซึ่งขาเคลียร์จะถูกเคลียร์ให้เป็นศูนย์โดย Pulse Down เมื่อมีอินพุตเข้ามาจะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นหนึ่งทุกครั้ง ที่ขา CLK จะรับสัญญาณอินพุตจากภาคตรวจจับพัลส์ลบ จากสัญญาณเอาต์พุตของภาคตรวจจับพัลส์ (ดูรูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12) เมื่อสายช็อตจะมีสัญญาณเอาต์พุตออก (รูปที่ 5.12) แต่ถ้าสายขาดจะไม่มีสัญญาณเอาต์พุตออกมา (ดูรูปที่ 5.11) เพราะฉะนั้นทุกครั้งที่มีสายช็อตจะมีสัญญาณเอาต์พุตของ D-FlipFlop ออกมาไม่ต่างกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกาเดินทางไป

หรือสถานะเป็นหนึ่ง แต่ถ้าสายขาดก็จะมีสัญญาณเอาต์พุตของ D-FlipFlop ออกมาหรือสถานะเป็นศูนย์ จึงนำวิธีการนี้มาใช้ในการเช็คสภาพสายว่าช็อตหรือขาด และก็นำไปประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงผล



รูปที่ 5.28 ผลการทดลองสัญญาณเอาต์พุตกรณีสายขาด

รูปที่ 5.29 ผลการทดลองสัญญาณเอาต์พุตกรณีสายช็อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.6 ภาคประมวลผล

การวางจรมไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์อินเทอร์เฟซ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. การอินเทอร์เฟซคีย์
2. การอินเทอร์เฟซจอแสดงผล แอลซีดี
3. การอินเทอร์เฟซข้อมูล

5.2.6.1 คีย์อินเทอร์เฟซ

คีย์ที่ใช้ในการทำงานจะมี 3 คีย์ ดังรูปที่ 5.30



รูปที่ 5.30 แสดงการวางตำแหน่งคีย์บนหน้าปัด

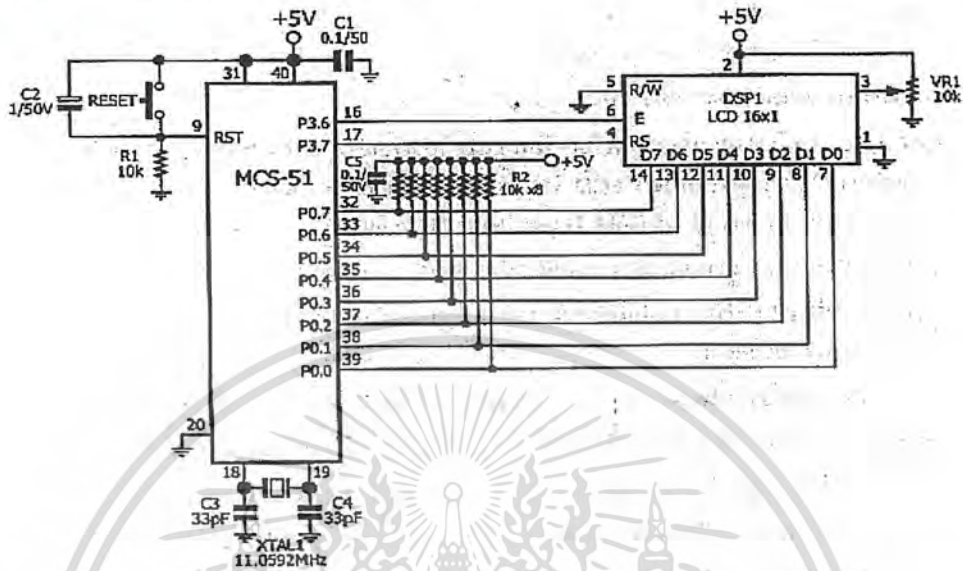
คีย์ทั้ง 3 คีย์ เป็นสวิตช์แบบกดคลิกปล่อยดับ ซึ่งจะต่อเข้ากับพอร์ตของ MCS-51 และหน้าที่การทำงานของทั้ง 3 คีย์ ตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 หน้าที่ของคีย์และการต่อเข้ากับพอร์ตของ MCS-51

คีย์	ชื่อคีย์	หน้าที่ของคีย์	การต่อพอร์ต MCS-51
คีย์ 1	RESET	รีเซ็ตการทำงานของ MCS-51	ขารีเซ็ต
คีย์ 2	MENU	เลือกสายทดสอบซึ่งเป็นการเปลี่ยนค่าไดอิล็กตริก	P3.2
คีย์ 3	TEST	ทดสอบสาย	P3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.6.2 การอินเตอร์เฟสจอแสดงผล แอลซีดี



รูปที่ 5.31 การอินเตอร์เฟสจอแอลซีดีเข้ากับ MCS-51

การอินเตอร์เฟสจอแสดงผล แอลซีดี ต้องวงจรตามรูปที่ 5.31 ข้อมูลการประมวลผลของ MCS-51 จะไปแสดงบนจอ แอลซีดี ผ่านพอร์ต P0.0 - P0.7 (ขา32 - ขา39) ของ MCS-51 ไปยังพอร์ต D0-D7 (ขา7-ขา14) ของจอแอลซีดี ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมการทำงานของจอแอลซีดีโดยการต่อผ่านพอร์ต P3.6 (ขา16) และ P3.7 (ขา17) ของ MCS-51 ไปควบคุมขา E (ขา6) และ RS (ขา4) ของจอแอลซีดี

5.2.6.3 การอินเตอร์เฟสข้อมูล

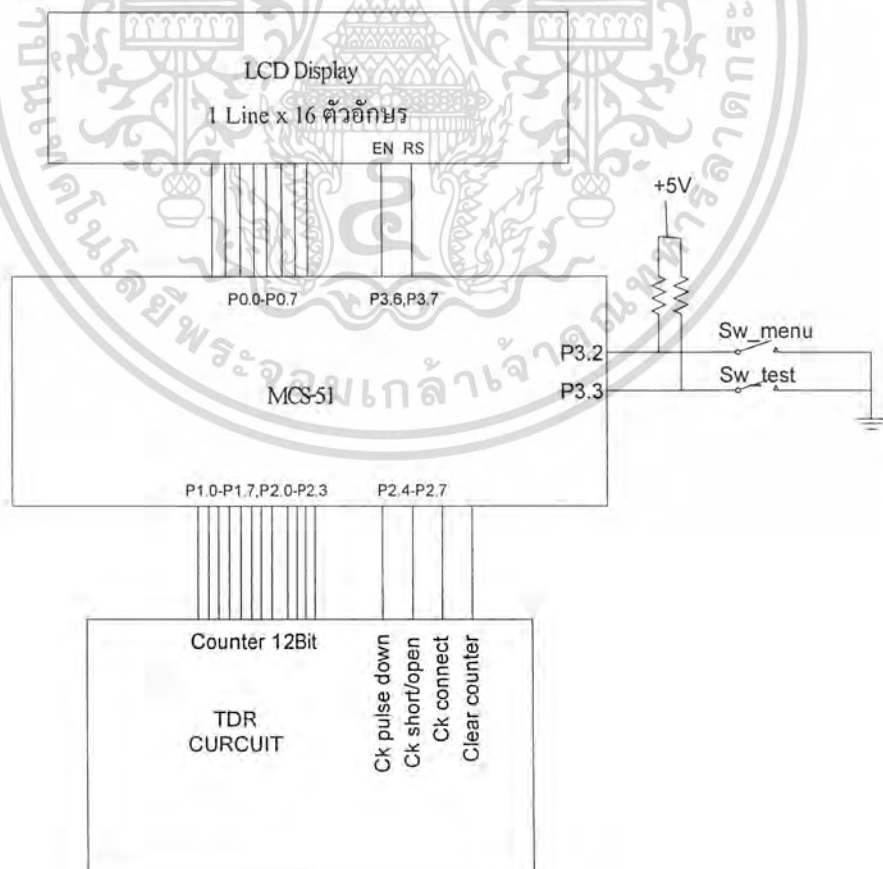
แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

1. ข้อมูลจากภาคนับจำนวน Clock (Data 12 บิต) ส่วนนี้จะใช้การคำนวณหาระยะทาง
 - อินเตอร์เฟสกับ พอร์ต P1.0 - P1.7 และ P2.0 - P2.3
2. ข้อมูลจากภาค CK_Short/Open ส่วนนี้ใช้ในการตรวจสอบว่าเป็นสายขาดหรือช็อต
 - อินเตอร์เฟสกับ พอร์ต P2.5
3. ข้อมูลจากภาค CK_Connect ส่วนนี้ใช้ในการเช็คว่ามี การต่อสายทดสอบหรือไม่
 - อินเตอร์เฟสกับ พอร์ต P2.6
4. การควบคุมขาเคลียร์ของภาคแปลงสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.6.4 คุณสมบัติทางฮาร์ดแวร์ของวงจรมโครคอนโทรลเลอร์

CPU	89C51RD2 (40 pin - Dip of MCS-51)		
สัญญาณนาฬิกา	11.0592 MHz		
หน่วยความจำ	64 Kbyte (Flash memory ภายใน CPU)		
พอร์ต	พอร์ต P0.1 - P0.7	อินเตอร์เฟสกับ	LCD
	พอร์ต P1.0 - P1.7 และ P2.0 - P2.3	อินเตอร์เฟสกับ	Counter
	พอร์ต P2.4	อินเตอร์เฟสกับ	Pulse Down
	พอร์ต P2.5	อินเตอร์เฟสกับ	CK_Short/Open
	พอร์ต P2.6	อินเตอร์เฟสกับ	CK_Connect
	พอร์ต P2.7	อินเตอร์เฟสกับ	ขาเคลียร์ของ Counter
	พอร์ต P3.2	อินเตอร์เฟสกับ	สวิตช์ MENU
	พอร์ต P3.3	อินเตอร์เฟสกับ	สวิตช์ TEST
CONNECTOR	16 pin (พอร์ต P1 และ พอร์ต P2) และ 16 pin (พอร์ต P0)		

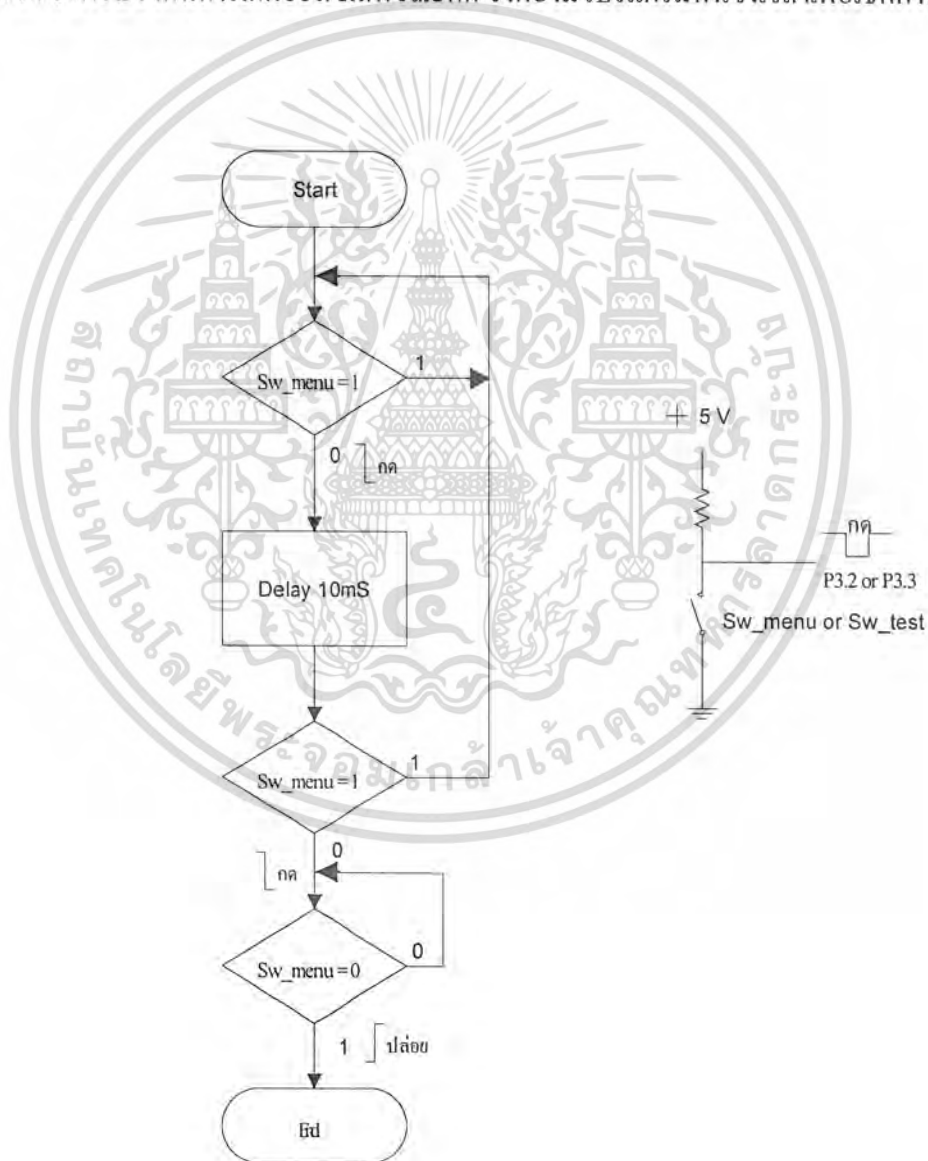


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับดูเท่านั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 5.32 โครงสร้างการอินเตอร์เฟสกับ MCS - 51
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.1 เป็นผังการทำงานของโปรแกรมการทำงานอย่างคร่าว ๆ ซึ่งมีสวิตช์ Menu สำหรับเลือกชนิดของสายเคเบิลที่ใช้ทดสอบและสวิตช์ Test เพื่ออ่านค่าและประมวลผล

6.1.2 Flow chart การกดสวิตช์ Menu และ Test

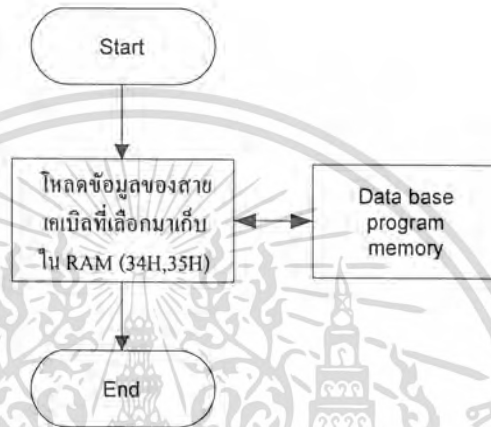
ในขณะที่ ยังไม่กดสวิตช์ ไมโครโปรเซสเซอร์ จะอ่านค่าที่ P3.2 และ P3.3 ได้ 1 (5V) เมื่อกดจะอ่านได้ 0 เพื่อป้องกันการเกิดออสซิลเลชันขณะกด จึงต้องมีโปรแกรมหน่วงเวลาเพื่อเช็คการกด



รูปที่ 6.2 Flow chart การกดสวิตช์ Menu และ Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดสวิทช์ Menu เลือกชนิดของสายเคเบิลที่ใช้วัด ค่าคงที่ที่เป็นตัวคูณกับจำนวน Clock ซึ่งเก็บอยู่ใน Data base ในส่วนของ Program memory ก็จะถูกดึงมาเก็บไว้ในแรม ตำแหน่งที่ 34H และ 35H



รูปที่ 6.3 การโหลดข้อมูลค่าคงที่ของสายเคเบิลมาเก็บไว้ใน RAM

6.1.3 Flow Chart อ่านค่าสถานะ และประมวลผล

ในการอ่านค่าสถานะของวงจรจะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

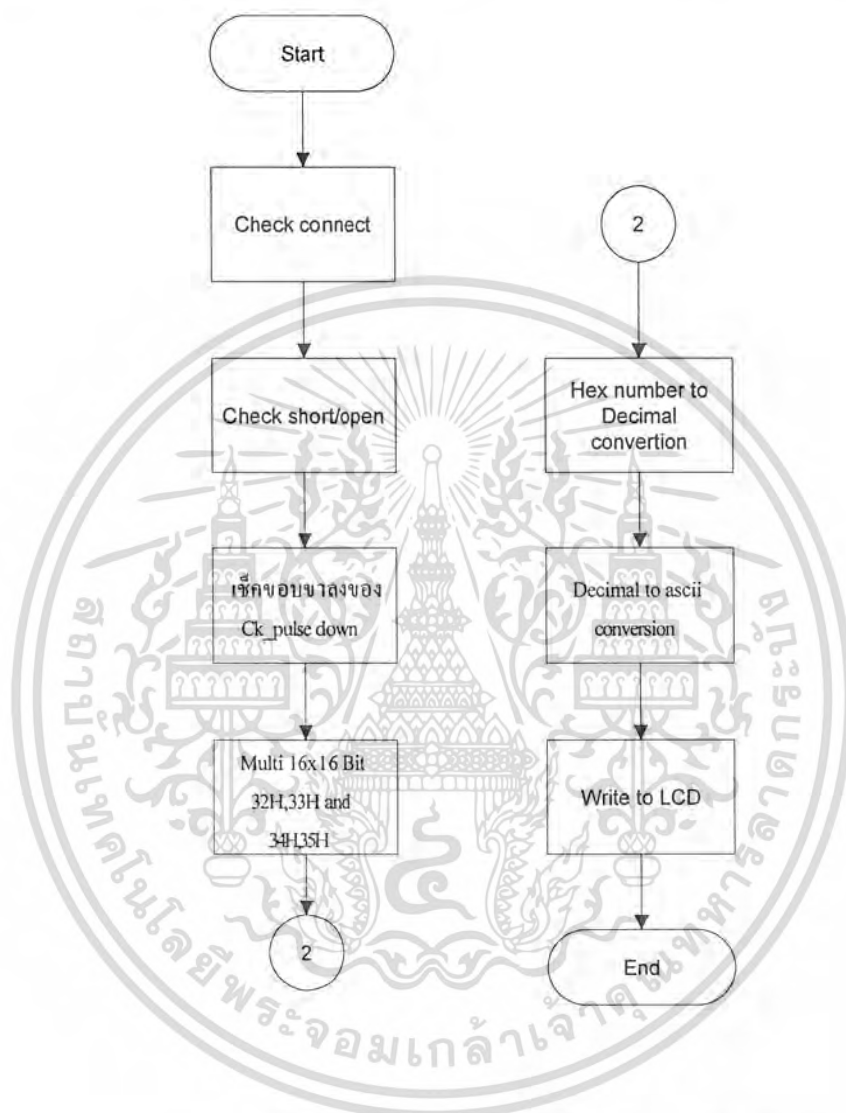
- Check connect เช็การต่อสายเคเบิลที่ใช้วัด
- Check short/open เช็คสถานะของสายเคเบิลว่าชำรุดแบบช็อต หรือ ขาด
- เช็คขอบขาลงของสัญญาณจากขา Ck pulse down เพื่อส่งสัญญาณเคลียร์ให้ Counter และ อ่านค่าจาก Counter เมื่อเจอขอบขาลงของคาบเวลาต่อไป

ในส่วนของการประมวลผลจะเกิดขึ้นหลังจากอ่านค่าสถานะทั้ง 3 ผ่านแล้ว ซึ่งจะดึงค่าตัวคูณคงที่ของสายเคเบิลขนาด 16 Bit จาก RAM มาคูณ กับค่าที่อ่านได้จาก Counter ขนาด 12 Bit ซึ่งใช้ โปรแกรมย่อยที่สามารถคูณได้ถึง 16Bit x 16Bit ต่อจากนั้น จะผ่านเข้าโปรแกรมย่อย Hex number to decimal conversion เพื่อแปลงเลขฐานสิบหก ให้อยู่ในรูป DEC หลังจากนั้นจะถูกแปลงเป็น ASCII โดยโปรแกรมย่อย Decimal to ascii conversion ซึ่งค่าที่ได้จะถูกเก็บไว้ใน RAM ตำแหน่ง 36H-3DH ก่อน ซึ่งตัวเลขที่ใช้เป็นค่าตัวคูณคงที่ของสายเคเบิลมีจุดทศนิยม 3 ตำแหน่ง

ตามหลักสุดท้ายของการคำนวณจะถูกตัดออกก่อนแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.4 จะแสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการอ่านค่าสถานะและประมวลผล



จากรูปที่ 6.4 Flow chart การอ่านค่าสถานะและประมวลผล

6.1.4 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการอ่านค่าสถานะและประมวลผล

6.1.4.1 การ Check Connect

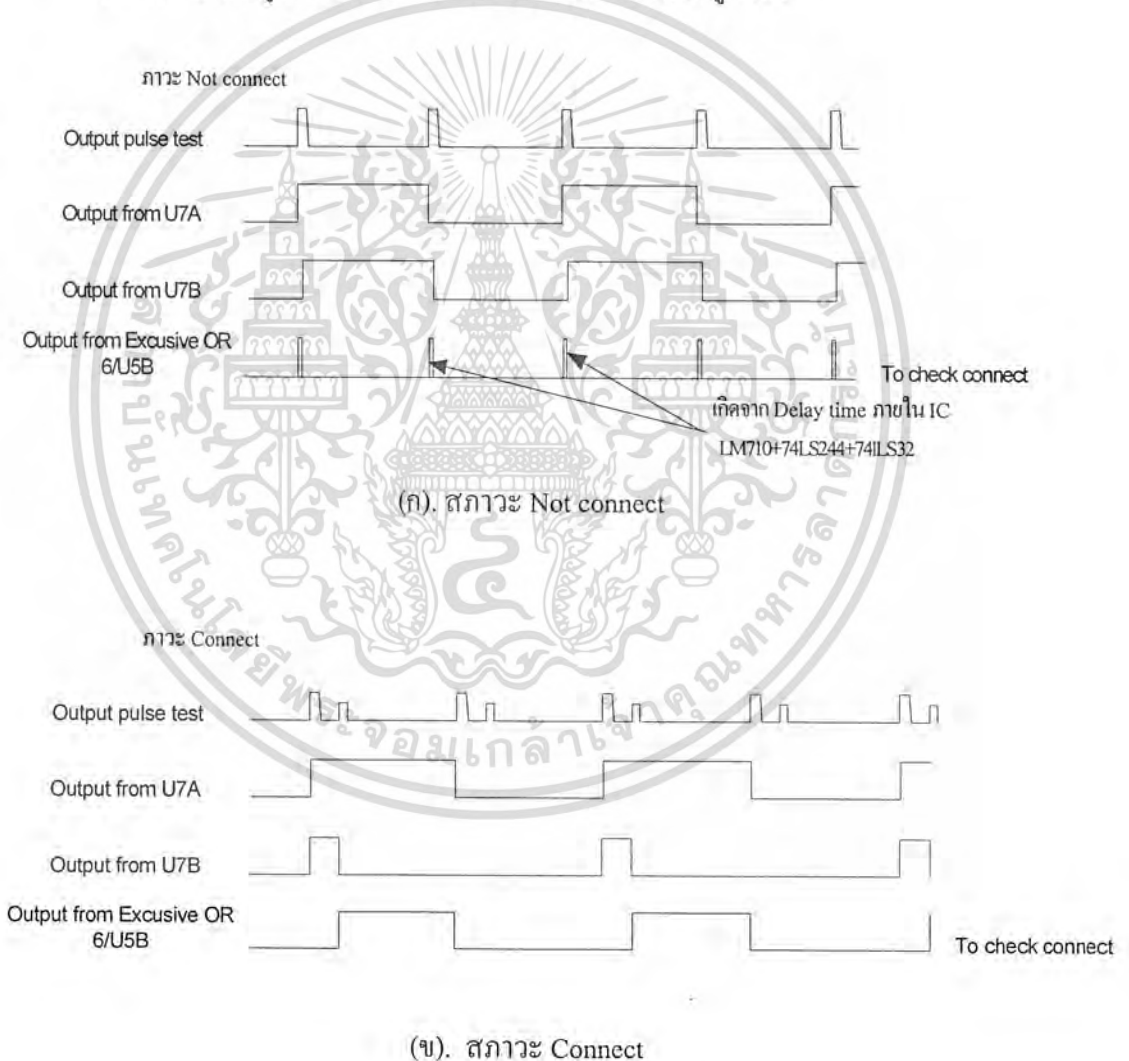
การตรวจสอบ ว่าได้ต่อสายเคเบิลที่นำมาวัดแล้วหรือยัง จะได้จากการอ่านค่าที่ Ck connect จากวงจร TDR ดังแสดงในรูปที่ 6.5 (ก). แสดงลักษณะสัญญาณในภาวะ Not connect จะยังคงมี Pulse ที่แคบมากๆ เกิดขึ้น(ถ้าไม่มี Delay เกิดขึ้นในอุปกรณ์ Pulse นี้จะ ไม่มี) ส่วนในรูปที่ 6.5 (ข).

แสดงลักษณะสัญญาณในภาวะ Connect จะมี Pulse เกิดขึ้นกว้างมากขึ้นอยู่กับความยาวของสายที่นำมาวัดถ้าสายยาว Pulse จะแคบลงมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมจึงต้องเช็คความเป็นหนึ่งของ Pulse ซึ่งในโปรแกรมตั้งไว้ 8 uS (ต้องเป็นหนึ่งนานกว่า 8uS) และจะต้องมีการเช็คให้ตลอดความกว้างของคาบเวลา ซึ่ง Pulse test จะมีความกว้างประมาณ 25 uS ซึ่งในโปรแกรมกำหนด ลูปไว้ 100 รอบ ซึ่ง 1 ลูปจะใช้เวลาประมาณ 4 uS ดังนั้นใน 100 รอบจะครอบคลุม pulse test เป็น $100 \times 4 / 25 = 8$ คาบ ถ้ายังเป็น 0 ถือว่าไม่มีการต่อสายเคเบิลและเช็ค Pulse เป็น 1 น้อยกว่า 8uS จำนวน 5 รอบถือว่าเป็น 0 หรือไม่มีการต่อสายเคเบิล นอกจากข้างต้นถือว่าเป็น 1 หรือต่อสายเคเบิลแล้ว

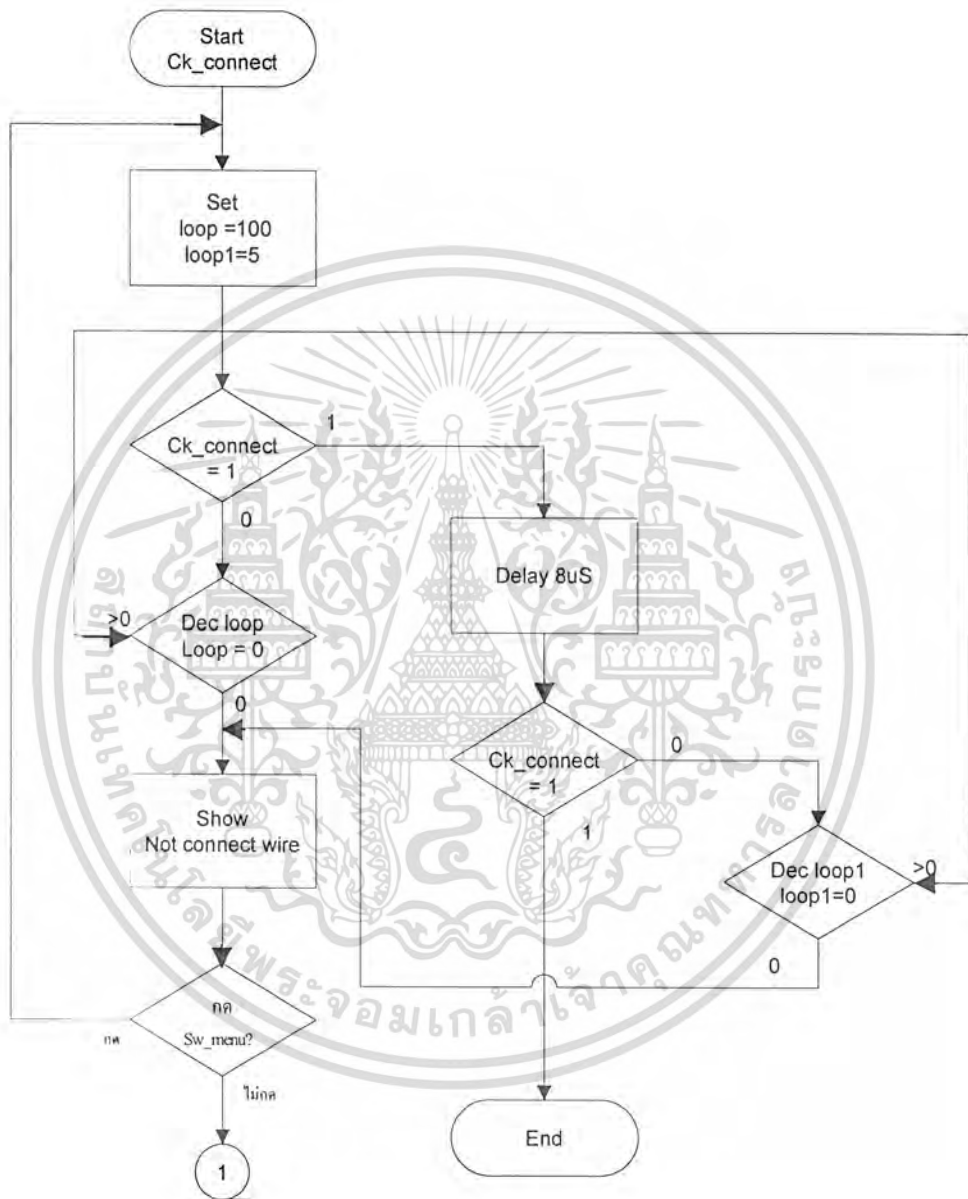
จากการที่ได้วน ลูปหลายรอบเพื่อความแน่นอนว่าผลที่วัดถูกต้อง



รูปที่ 6.5 การ Check Connect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.6 แสดง Flow chart การเช็คสัญญาณที่ขา Ck connect จากวงจร TDR

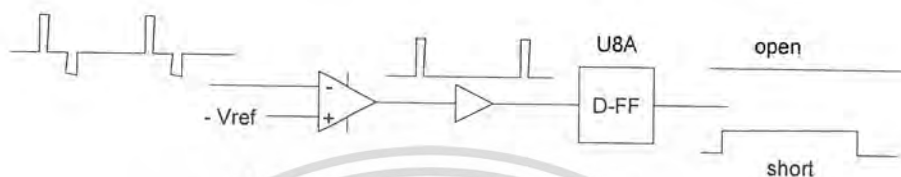


รูปที่ 6.6 Flow chart การเช็คสัญญาณที่ขา Ck connect

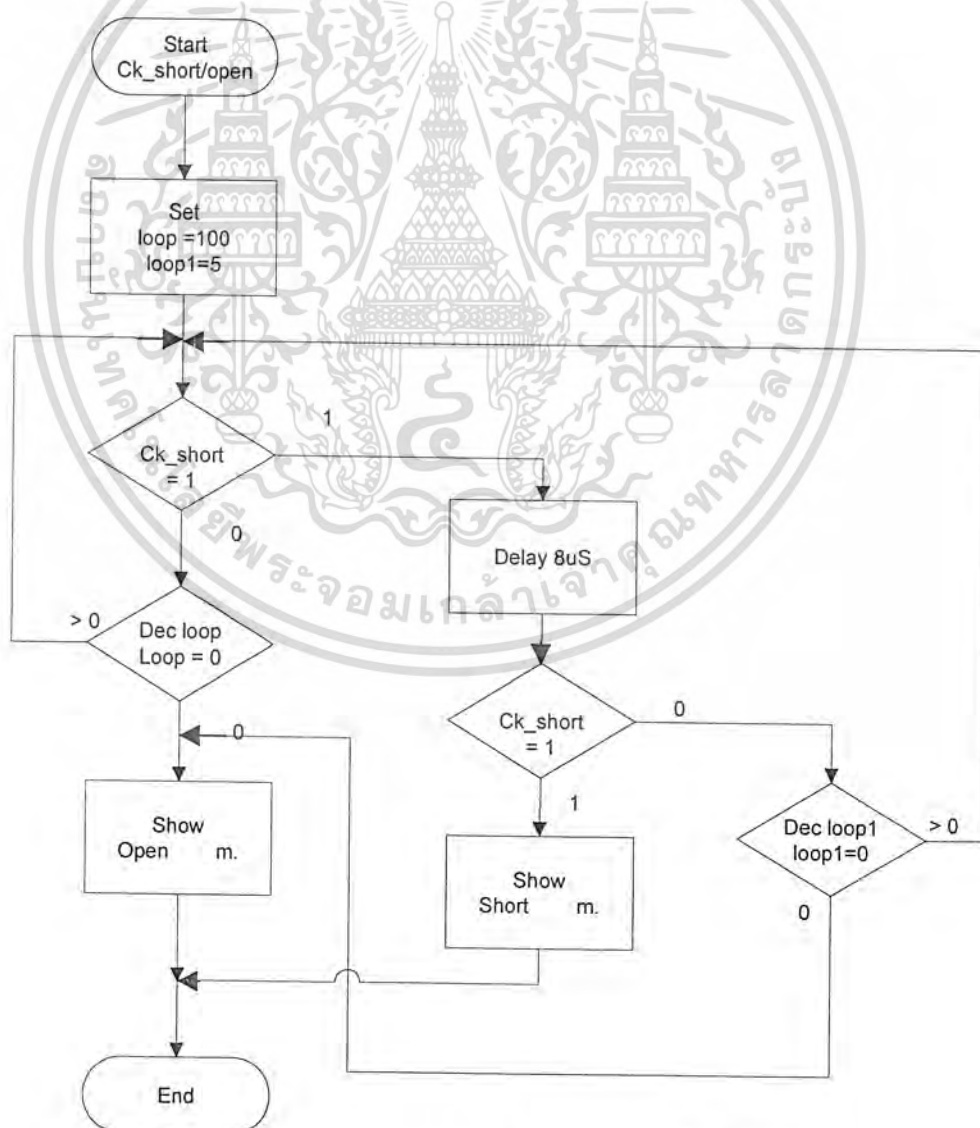
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.4.2 เช็สถานะของสายเคเบิลว่าชำรุดแบบชอร์ต หรือ ขาด

สัญญาณเช็คว่าสายเคเบิลชอร์ต หรือ ขาดจะได้จาก D-FF ที่รวม Pulse ที่ได้จากตัวตรวจจับ ด้านลบดังรูปที่ 6.7 จะเห็นว่าถ้าสายเคเบิลขาดจะไม่เกิด Pulse ออกมาหรือเป็นศูนย์



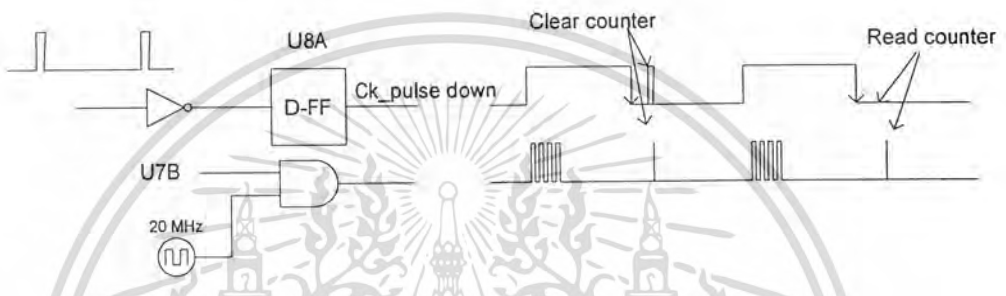
รูปที่ 6.7 แสดงการเกิดของสัญญาณ Ck short/open



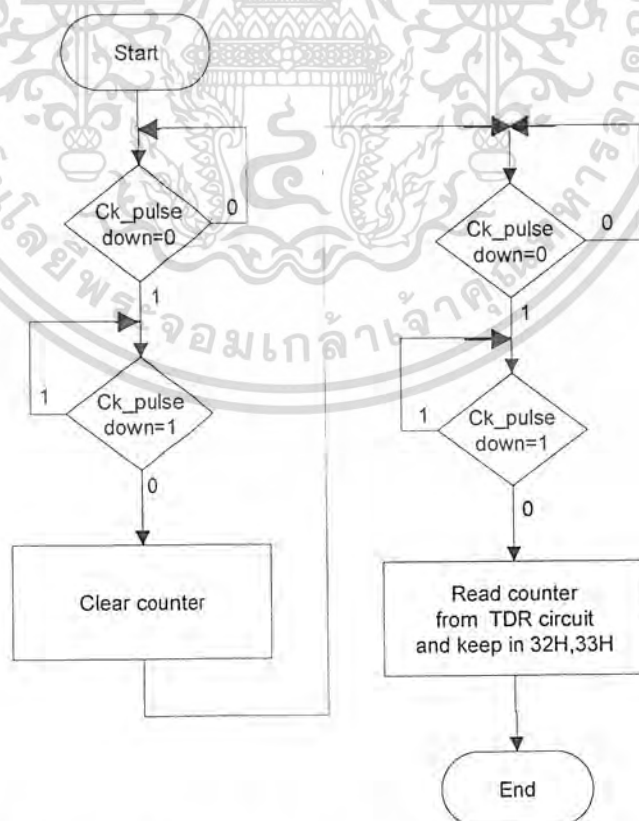
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.4.3 เช็คขอบขาลงของสัญญาณจากขา Ck pulse down

การเช็คขอบขาลงของขา Ck pulse down เพื่อ ทำการ Clear counter และ Read counter ซึ่งต้องทำการเช็คในเวลาต่อเนื่องกัน สัญญาณนี้ได้จากการรวม Pulse ของ Pulse test ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.9 และ Flow chart การเช็คขอบขาลงของ Pulse จุดที่ Clear counter และ Read counter ในรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.9 แสดงที่มาของ Ck pulse down ตำแหน่ง Clear counter และ Read counter



รูปที่ 6.10 Flow chart การเช็คขอบขาลงของ Pulse จุดที่ Clear counter และ Read counter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.5 การหาค่าตัวคูณคงที่ของสายเคเบิลที่นำมาทดสอบ

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าไดอิเล็กตริกของสายทดสอบ (Drop Wire)

- อุปกรณ์ทดสอบ 1. สาย PVC ขนาด 100 เมตร
2. อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณพัลส์
3. ออสซิลโลสโคป(Oscilloscope)

1. ทำการป้อนพัลส์โดยปรับให้มีความกว้าง 0.4 usec ป้อนเข้าไปในสายทดสอบ
2. ทำการวัดคาบเวลาในการเดินทางของพัลส์ (T) ที่เดินทางไปและกลับในสายทดสอบได้เท่ากับ

$$T = 1.15 \text{ usec}$$

จาก $S = vt$; m.

โดย $= \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$; $t = \frac{T}{2}$

$$s = \left(\frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon_r}} \right) \left(\frac{T}{2} \right) \quad \text{แทนค่า } s = 100 \text{ m}, T = 1.15 \text{ usec}$$

$$100 = \frac{(3 \times 10^8)}{\sqrt{\epsilon_r}} \left(\frac{1.15 \times 10^{-6}}{2} \right)$$

$$\sqrt{\epsilon_r} = 1.725$$

จะได้ค่าไดอิเล็กตริกของสายทดสอบ PVC เป็น $\sqrt{\epsilon_r} = 1.725$

ขั้นตอนที่ 2 การหาค่าความยาวของสายทดสอบต่อสัญญาณ Clock 1 ลูก

จาก $S = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \frac{T}{2}$

$$s = \frac{3 \times 10^8}{1.725} \cdot \frac{T}{2}$$

$$s = 86.9565 \times 10^6 \cdot T$$

เนื่องจาก T คือจำนวน Clock (n) คูณกับหนึ่งคาบเวลาของ Clock ซึ่งมีความถี่ 20 MHz

ดังนั้น $T = n \cdot \frac{1}{f_{\text{Clock}}}$

$$T = n \cdot \frac{1}{20 \times 10^6}$$

$$T = n(0.05 \times 10^{-6}) \quad \text{sec}$$

เพราะฉะนั้น $s = 86.9565 \times 10^6 \times 0.05 \times 10^{-6} \quad \text{m.}$

$$s = (4.348)_{10} \times n \quad \text{m.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อจากนั้นจะแปลงค่าคงที่ $(4.348)_{10}$ เป็นเลขฐานสิบหก โดยจะคูณ 1000 เข้าไปก่อน
แปลงเป็นฐานสิบหก เป็น $4.348 \times 1000 = (4348)_{10} = (10FC)_{16}$

เป็น $s = (10FC)_{16} (n)_{16}$

จะได้สูตรสำเร็จเป็น $(s)_{16} = (10FC)_{16} (n)_{16}$

$(10FC)_{16}$ คือค่าตัวคูณคงที่จะถูกเก็บไว้ใน Program memory

$(n)_{16}$ คือค่าของจำนวน Clock ที่อ่านได้จาก Counter จะถูกเก็บไว้ในแรมของ
MCS-51

$(s)_{16}$ คือค่าระยะทางที่วัดได้ ค่านี้ในโปรแกรมจะตัด 3 หลักสุดท้ายที่เป็นจุด
ทศนิยมออก

ในการคำนวณหาค่าตัวคูณคงของสายทดสอบอื่นๆ ก็จะใช้วิธีเดียวกันนี้ ซึ่งจากกา
คำนวณหาค่าตัวคูณคงของสาย Drop Wire ได้ค่าไดอิเล็กตริก $\sqrt{\epsilon_r} = 1.815$

ดังนั้น $s = 4.167(n)$ m.

หรือ $(s)_{16} = (1047)_{16} (n)_{16}$

6.2 ฟังก์ชันการใช้งาน



รูปที่ 6.11 ด้านหน้าของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการใช้งาน

เมื่อเปิดเครื่องครั้งแรกเครื่องจะเริ่ม TEST การทำงานของ ICPU และ LCD มีข้อความปรากฏว่า

TESTING MPU&LCD.

ค้างอยู่ประมาณ 2 วินาที จากนั้นจะปรากฏข้อความ

WELCOME TO

TDR DETECOR

จากนั้นกดสวิทช์ MENU จะปรากฏข้อความว่า

****SELECT CABLE****

ต่อจากนั้นจึงทำการกดสวิทช์ MENU เพื่อเลือกชนิดของสายทดสอบ (DROP WIRE , PVC) การกดสวิทช์ MENU จะเป็นลักษณะการหมุนวนไปเรื่อยๆ ตัวอย่างหน้าจอการแสดงผลชนิดของสายทดสอบ

PVC

เมื่อเลือกชนิดสายที่ต้องการจะทดสอบแล้ว จึงทำการกดสวิทช์ TEST จอหน้าจะแสดงระยะทางและสภาพของสายว่า ชี้อดหรือขาด

OPEN 100.0 m.

ถ้าต้องการเปลี่ยนชนิดของสายทดสอบ ให้กดสวิทช์ MENU ค้าง 2 วินาที และทำตามขั้นตอนข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การทดสอบการทำงาน

7.1 ทดสอบการใช้งานของเครื่อง

นำเครื่องไปทดสอบกับสาย PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 mm และสาย Drop wire ได้ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7.1 และตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.1 แสดงผลการทดสอบสาย PVC

ความยาวสาย (เมตร)	สายขาด		สายฉีก	
	ระยะที่วัดได้	ค่าผิดพลาด	ระยะที่วัดได้	ค่าผิดพลาด
100	100	0 %	100 - 104	0 - 4 %
200	200 - 204	0 - 2 %	200 - 208	0 - 4 %

ตารางที่ 7.2 แสดงผลการทดสอบสาย Drop wire

ความยาวสาย (เมตร)	สายขาด		สายฉีก	
	ระยะที่วัดได้	ค่าผิดพลาด	ระยะที่วัดได้	ค่าผิดพลาด
200	195 - 200	(-2.5) - 0 %	195 - 200	(-2.5) - 0 %
400	395 - 400	(-1.5) - 0 %	400	0 %
600	600 - 604	0 - 0.66 %	600 - 604	0 - 0.66 %
800	804 - 808	0.5 - 1 %	808 - 812	1 - 1.5 %
1000	1016 - 1020	1.6 - 2 %	1016 - 1020	1.6 - 2 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

สรุปผลและแนวทางการพัฒนา

8.1 สรุปภาพรวมทั้งหมด

อุปกรณ์ตรวจสอบสภาพสายและวัดหาความยาวด้วยวิธี TDR เพื่อตรวจหาตำแหน่งความไม่ต่อเนื่องของสายเคเบิลทั่วไป โดยใช้วิธีการสะท้อนกลับของพัลส์ เมื่อไปกระทบบริเวณที่ไม่ต่อเนื่องของสายหรือบริเวณที่คุณสมบัติของสายแตกต่างกัน และเวลาหน่วงของสัญญาณระหว่างสัญญาณพัลส์เริ่มต้นกับพัลส์สะท้อนมาประมวลผลหาระยะทางและบอกสภาพของสายทดสอบว่าขาด/ช้อด ซึ่งสามารถวัดหาระยะที่ไม่ต่อเนื่อง ในช่วง 50 – 2,000 เมตร โดยมีค่าผิดพลาดไม่เกิน 4 % ซึ่งค่าผิดพลาดเกิดขึ้นจาก

8.1.1 ภาคตรวจจับพัลส์

ปัญหาที่พบคือ การปรับค่าแรงดันเปรียบเทียบ (Vref) ซึ่งจะต้องปรับให้ได้ค่าต่ำสุด ตามที่กล่าวมาในบทที่ 5

8.2 ผลการออกแบบ

1. แสดงผลทางจอ แอลซีดี โดยบอกระยะทางที่จุดเสียและชนิดของการเสีย(ขาด/ช้อด)
2. ตรวจหาระยะทางด้วยการนับจำนวนพัลส์แล้วคำนวณโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS - 51 เบอร์ 89C51RD2
3. ปุ่มกดควบคุมการทำงาน 3 ปุ่ม คือ MENU, RESET, TEST
4. ไฟเลี้ยงในวงจรมี 3 ระดับ คือ - 5V , +5V , +12V
5. พัลส์ส่ง
 - มีขนาดแรงดัน + 5V.
 - คาบเวลา 25 usec หรือ 40 KHz
 - ความกว้างของพัลส์ 0.4 usec
6. ชนิดของสายทดสอบมี 2 ชนิด คือ PVC และ Drop wire
7. ระยะทางที่สามารถวัดได้ช่วงประมาณ 50 - 2,000 เมตร

8.3 แนวทางการพัฒนา

1. ระยะเวลาในการวัด การเพิ่มความสามารถในการวัดระยะทางสั้น ๆ ได้ และการทำให้สามารถวัดระยะทางไกล ๆ ได้ จากที่กล่าวมาแล้วว่าระยะเวลาในการวัดขึ้นอยู่กับค่าตัวเก็บประจุตามตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 ระยะเวลาต่ำสุด - สูงสุด ที่เกิดจากตัวเก็บประจุค่าต่าง ๆ

ค่าตัวเก็บประจุ	ความกว้างพัลส์	คาบเวลา	ความถี่	ช่วงระยะทางต่ำสุด-สูงสุด
47 pF	0.08 μ s	0.36 μ S	2.77 MHz	7.1216 - 32.0472 เมตร
220 pF	0.12 μ s	1.3 μ S	769.23 KHz	0.6824 - 115.726 เมตร
1 nF	0.15 μ s	5.6 μ S	178.51 KHz	13.3531 - 498.51 เมตร
4.7 nF	0.4 μ s	25 μ S	40.0 KHz	35.608 - 2225.5 เมตร
22 nF	2.00 μ s	120 μ S	8.32 KHz	1178.04 - 10682.4 เมตร

แนวทางแรก คือการทำให้วงจรสามารถปรับย่านการวัดที่ระยะทางต่าง ๆ ได้ โดยการปรับย่านการวัดที่ค่าตัวเก็บประจุตามตารางที่ 8.1 อาจจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการปรับย่านการวัดโดยอัตโนมัติ (Auto range)

แนวทางที่สอง คือการเพิ่มระดับแรงดันของพัลส์ส่งเพื่อสามารถวัดระยะทางที่ไกล ๆ ได้ เนื่องจากว่าที่ระยะทางไกลระดับแรงดันที่สะท้อนกลับมาจะมีระดับต่ำซึ่งอาจทำให้ภาคตรวจจับพัลส์ไม่สามารถตรวจจับพัลส์ได้

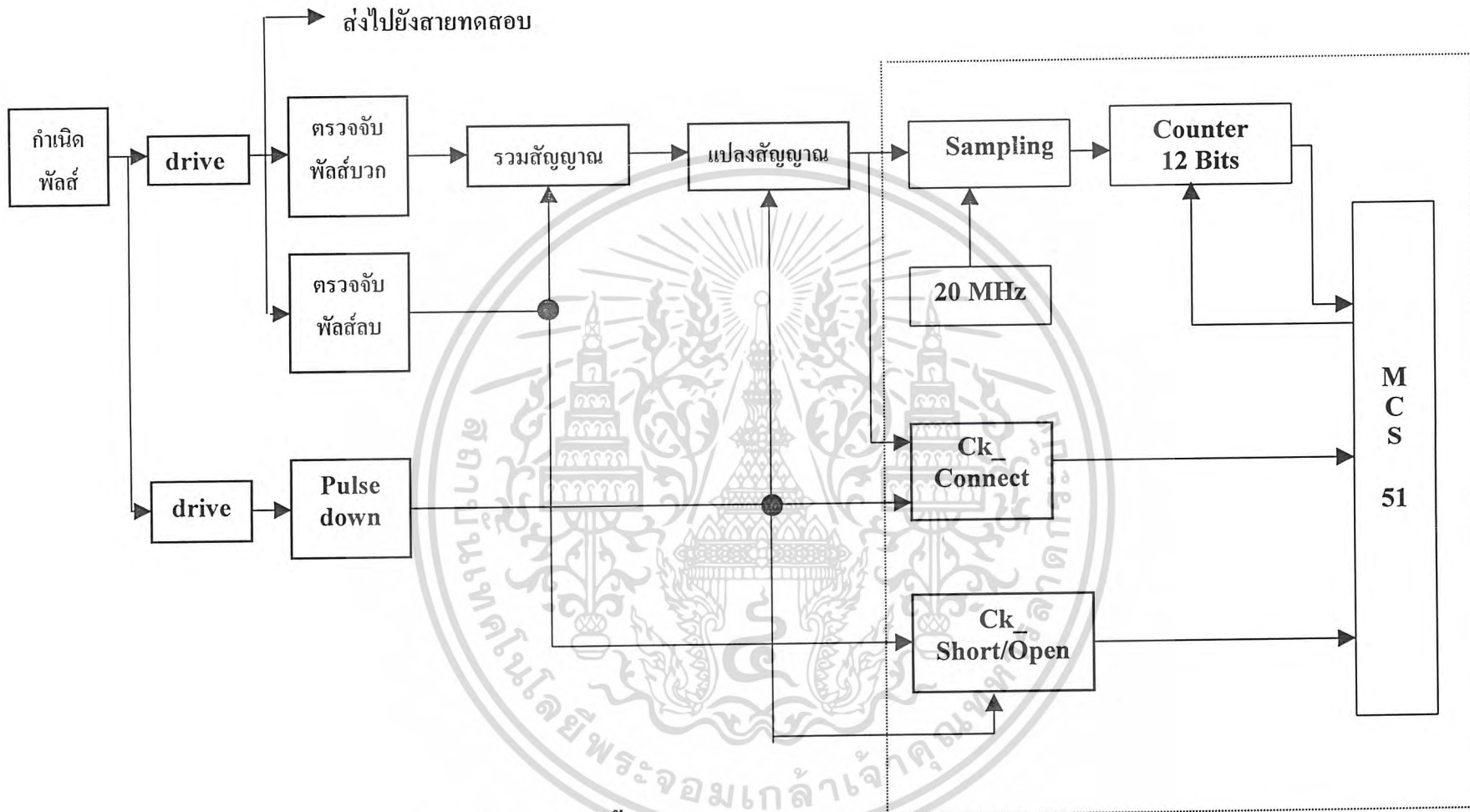
2. เพิ่มประเภทของสายที่จะวัด
3. สร้างสัญญาณนาฬิกาให้มีความถี่สูงขึ้นเพื่อลดระยะทางต่อClock 1 ลูก ให้น้อยลง จะทำให้ค่าความผิดพลาดลดลง หรือหาวิธีการอื่นในการนำคาบเวลามาประมวลผลหาระยะทาง
4. ออกแบบให้สามารถตรวจสอบสายที่เกิดการ แตะ , รั่ว (ไม่เฉพาะสายชื้อตหรือขาดเท่านั้น) โดยอาจนำค่าอิมพีแดนซ์มาใช้

หนังสืออ้างอิง

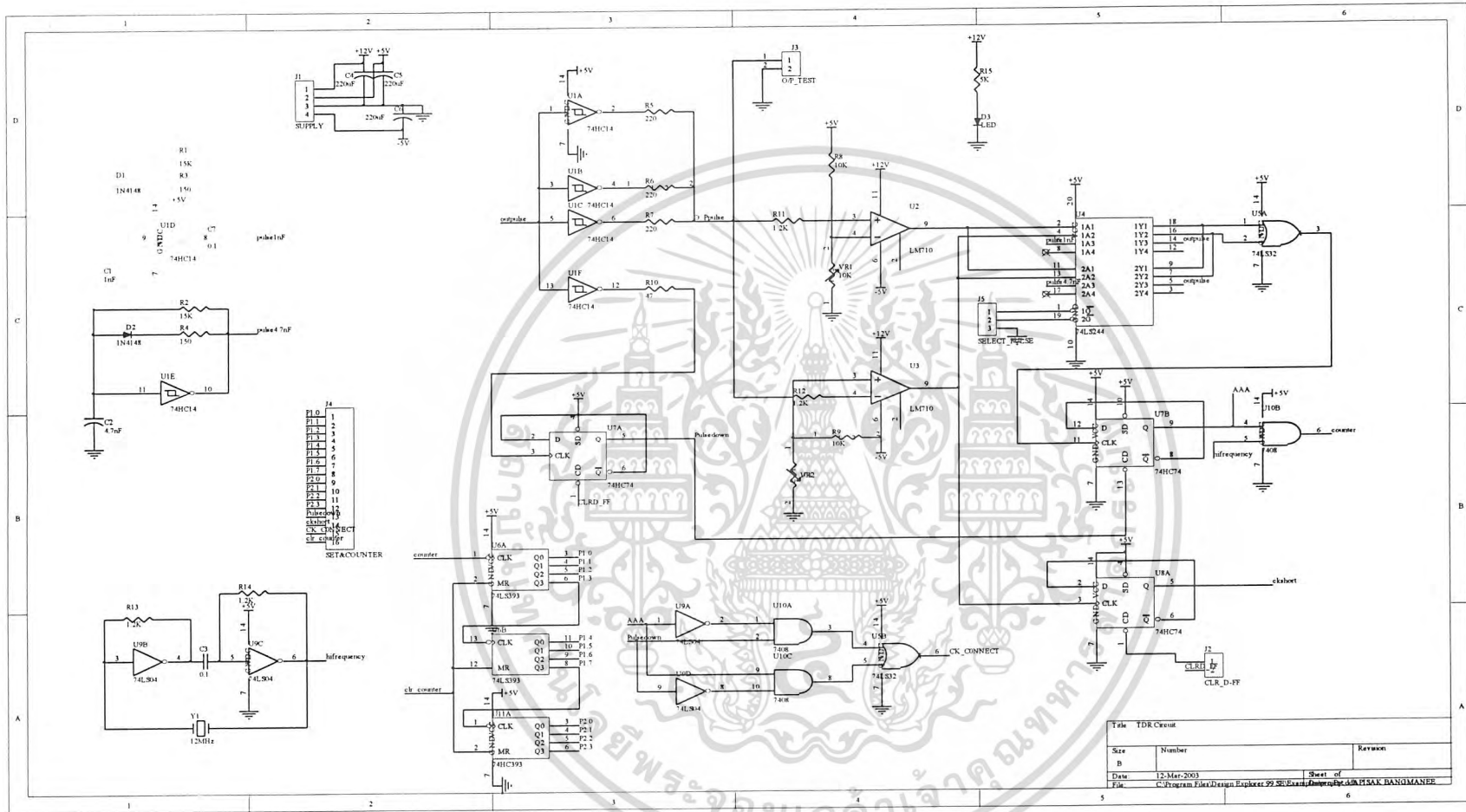
1. ถวิล กิ่งทอง , ทฤษฎีโครงข่ายไฟฟ้าและสายส่ง , คณะวิศวกรรมศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , หน้า 1-83
2. วิรัตน์ อาจเนียม และ อนันต์ ทองเดช , อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์หาจุดเสียของสายเคเบิล , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์
4. เรียน/เล่นวงจรดิจิทัล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

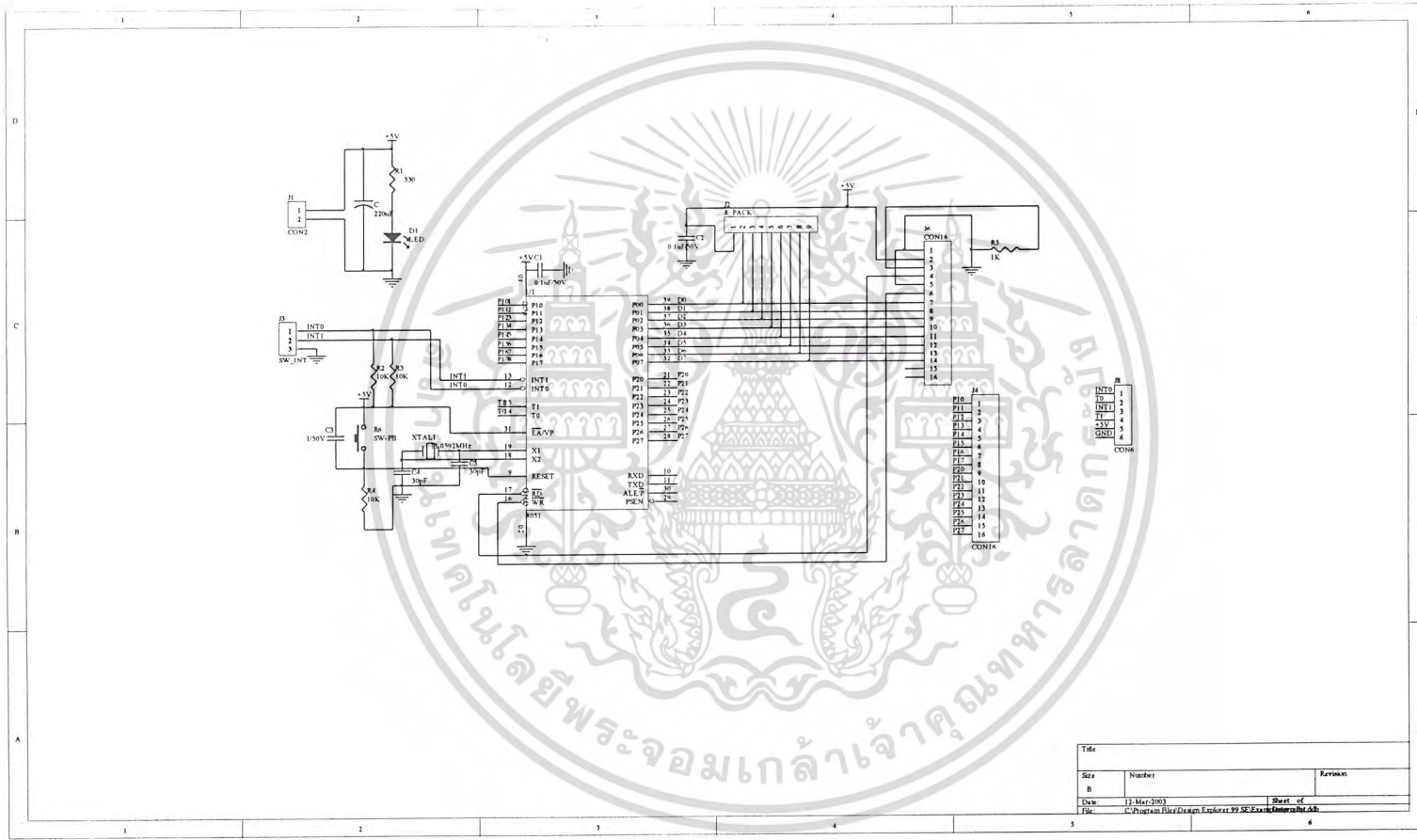


Block diagram ทั้งหมด



วงจรทางด้านฮาร์ดแวร์

Title YDR Count		
Size	Number	Revision
B	12-Mar-2003	Sheet of
File C:\Program Files\Design Explorer 99 SP3\Example\Project\4bit\4bit.SAK_BANDIMANEE		



วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

Title		
Size	Number	Revision
B		
Date:	13-Mar-2003	Sheet of
File:	C:\Program Files\Cadsoft\Engsoft\99 SE\Exam\exam1.dwg	

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ที่เป็นกำลังใจให้และส่งเสริมคุณตลอดการศึกษา
ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท อาจารย์ อธิธิภูมิ บุญพิศา ให้คำแนะนำใน
การทำโครงการนี้ ทำให้โครงการสำเร็จลงได้ด้วยดี
ขอขอบคุณ อาจารย์ วัฒนา ที่ให้คำแนะนำในการทำโครงการนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้