

เครื่องวัดระยะและจุดเสี้ยวของสายเคเบิล

Time Domain Reflectometer



โดย
นายจิตติศักดิ์ หอทอง
นายจิราพัฒน์ มณีไชย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

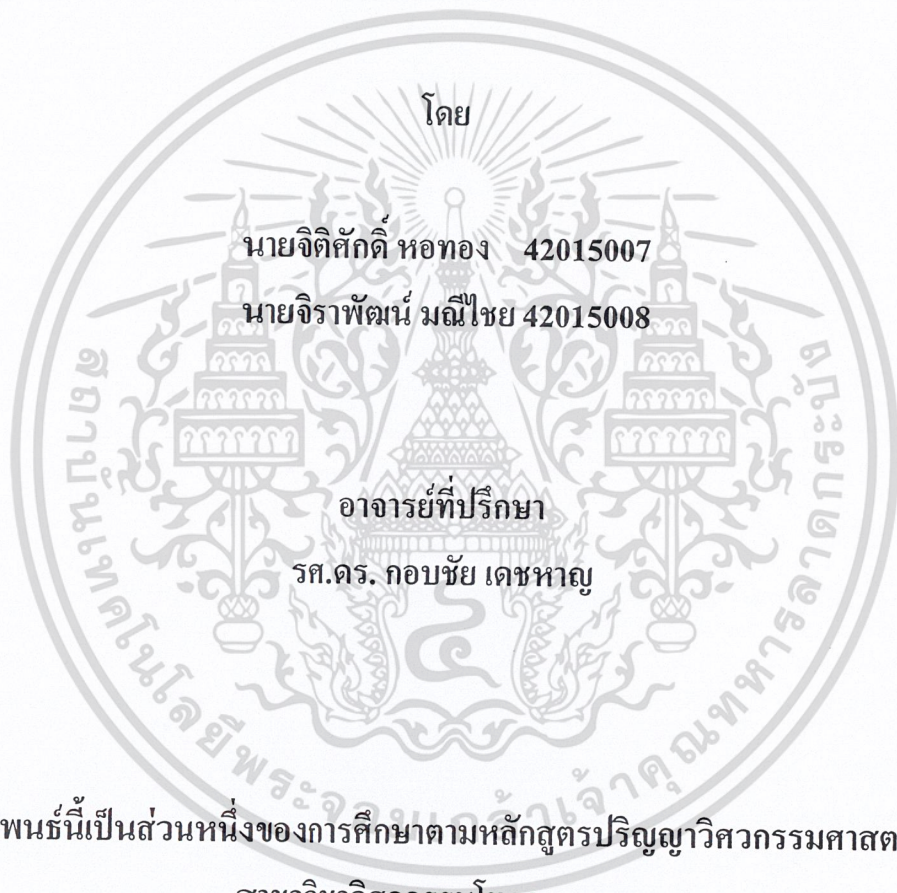
2611
จ 466ด
9746

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **46469**
วัน, เดือน, ปี: **2 เม.ย. 2546**

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

เครื่องวัดระยะและจุดเสี้ยวของสายเคเบิล

Time Domain Reflectometer



โดย

นายจิตศักดิ์ หอทอง 42015007

นายจิราพัฒน์ มณีไชย 42015008

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดระยะและจุดเสี้ยวของสายเคเบิล

Time Domain Reflectometer

ผู้จัดทำ

1. นายจิตติศักดิ์ หอทอง 42015007

2. นายจิราพัฒน์ มณีไทย 42015008

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ)



เครื่องวัดระยะและจุดเสียของสายเคเบิล

Time Domain Reflectometer

โดย นายจิตศักดิ์ หอทอง 42015007
นายจิราพัฒน์ มณีไชย 42015008

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบสร้าง Time Domain Reflectometer(TDR)ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับวัดระยะ และจุดเสียของสายเคเบิล โดยอาศัยหลักการการสะท้อนกลับของคลื่น โดยการส่งพัลส์ เข้าไปในสายเคเบิล เมื่อพบปลายสายหรือจุดที่ชำรุดคลื่นจะสะท้อนกลับมา ช่วงเวลาที่คลื่นเดินทางไปและกลับจะนำมาคำนวณเป็นระยะของจุดที่สายชำรุด ซึ่งลักษณะที่คลื่นสะท้อนกลับมากจะเป็นตัวบอกลักษณะการชำรุดของสาย ซึ่งจะใช้การประมวลผลทางดิจิทัลทำให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำ

ABSTRACT

This project presents the Time Domain Reflectometer (TDR). It is equipment for measure distances and fault point of transmission line. TDR utilizing the principle of wave reflection by transmitted pulse signal into transmission line when found end of line or fault point, pulse signal will reflect. Time propagating on a line indicated distances and type of reflect wave indicated type of damage. This project has utilized the digital technology in processing so it can make result exactly.

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	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 ทฤษฎีสายส่งไฟฟ้า	2
2.1.1 สายส่ง	2
2.1.2 พารามิเตอร์กระจายของสายส่ง	2
2.1.3 ชนิดของสายส่งและค่าพารามิเตอร์	4
2.1.4 อิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะของสายส่ง	10
2.1.5 ค่าคงตัวของการแพร่ของสายส่ง	12
2.1.6 ความยาวและความเร็วของคลื่นบนสายส่ง	13
2.1.7 ความเร็วของคลื่นที่แพร่ไปตามสายส่ง	14
2.1.8 ค่าคงตัวการลดทอน	16
2.1.9 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน	17
2.2 ความรู้เบื้องต้นสำหรับ TDR	18
2.2.1 หลักการทำงานของ TDR	19
2.2.2 สัญญาณที่ส่งเข้าไปในสาย	21
2.2.3 รูปร่างและสัญญาณสะท้อนกลับ	22
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	24
บล็อกไดอะแกรมรวมของระบบ	24
3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	24
3.2 วงจรเลือกสัญญาณ	25
3.3 วงจรจับสัญญาณ	26
3.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ	26
3.5 วงจรรวมสัญญาณ	27
3.6 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ	28
3.7 วงจรคูณสัญญาณ	30
3.8 วงจรนับ	30
3.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์	32
3.10.1 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์	33
3.10.2 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต	35
3.10.3 ความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์	36
3.11 จอแสดงผล	36
3.11.1 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD	36
3.11.2 รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD ในโครงการ	37
3.11.3 คำสั่งควบคุม LCD	38
3.11.4 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่ LCD	41
3.11.5 จังหวะการทำงานของ LCD	41
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	43
4.1 การออกแบบวงจร	43
4.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	43
4.1.2 วงจรเลือกสัญญาณ	47
4.1.3 วงจรจับสัญญาณ	48
4.1.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ	51
4.1.4.1 วงจรตรวจจับพัลส์บวก	51
4.1.4.2 วงจรตรวจจับพัลส์ลบ	52
4.1.5 วงจรรวมสัญญาณ	53
4.1.6 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ	54
4.1.7 วงจรคูณสัญญาณ	57
4.1.8 วงจรนับ	59
4.1.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	59
4.1.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์	60
4.1.10.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์	60
4.1.10.2 ส่วนของซอฟต์แวร์	61
4.1.11 จอแสดงผล	64
4.2 ผลการทดลองและค่าความผิดพลาด	65
บทที่ 5 วิจารณ์และสรุป	67
5.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	67
5.2 วงจรเลือกสัญญาณ	67

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ	68
5.5 วงจรรวมสัญญาณ	68
5.6 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ	68
5.7 วงจรคูณสัญญาณ	69
5.8 วงจรนับ	69
5.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	69
5.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์	69
5.11 สรุปผลการทดลอง	69
5.12 แนวทางการพัฒนา	70

บรรณานุกรม



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณและ โหลดถูกต้องเข้าด้วยกัน ด้วยคู่สายสั้น ๆ	2
2.2 วงจรเสมือนของสายส่ง	3
2.3 ภาพตัดสนามแม่เหล็ก (H) และสนามไฟฟ้า (E) ของสายส่งแบบคู่ขนานกันแบบโคแอกเซียล	4
2.4 สายส่งคู่สำเร็จรูปที่จำหน่ายในท้องตลาด	4
2.5 สายส่งเส้นคู่ที่หุ้มด้วยสายไดอิเล็กทริก	5
2.6 สายส่งแบบต่างๆ	5
2.7 สายส่งแบบเส้นคู่	6
2.8 สายโคแอกเซียล	7
2.9 สายส่งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำที่ไม่เท่ากัน	8
2.10 สายส่งแบบ โคแอกเซียลที่มีตัวนำ 2 ตัว	9
2.11 สายส่งชนิดพิเศษแบบที่ 1	9
2.12 สายส่งชนิดพิเศษแบบที่ 2	9
2.13 แทนวงจรมีเสมือนของสายส่งยาว Δx ด้วยวงจรสมมาตรแบบ T	10
2.14 การส่งสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไปให้โหลดผ่านสายส่ง	12
2.15 การลดทอนของกระแสไฟในแต่ละส่วนของสายส่ง	12
2.16 การเคลื่อนที่ของสัญญาณในสายดี	20
2.17 การเคลื่อนที่ของสัญญาณในสายเสีย	20
2.18 รูปสัญญาณพัลส์ที่ส่งเข้าไปในสาย	21
2.19 รูปร่างของสัญญาณสะท้อนกลับ	22
2.20 ขนาดของสัญญาณสะท้อนกลับ	23
3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	24
3.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเลือกสัญญาณ	25
3.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรจับสัญญาณ	26
3.4 บล็อกไดอะแกรม ของวงจรตรวจจับสัญญาณ	26
3.5 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรวมสัญญาณ	27
3.6 บล็อกไดอะแกรมของวงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ	28
3.7 บล็อกไดอะแกรมของวงจรคูณสัญญาณ	30
3.8 บล็อกไดอะแกรมของวงจรมับ	30
3.9 บล็อกไดอะแกรมของวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล	31
3.10 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89S8252	34
3.11 การจัดขาของจอแสดงผล	37
3.12 บล็อกไดอะแกรมรวม	37

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 kHz	43
4.2 ผลการทดลองในส่วนของวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 kHz	44
4.3 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	45
4.4(ก) สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (100 nsec)	45
4.4(ข) สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (0.4 μ sec)	46
4.4(ค) สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (3.5 μ sec)	46
4.5 สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ทั้งหมด	47
4.6 วงจรเลือกสัญญาณ	47
4.7 สัญญาณพัลส์ 3.5 μ sec ที่ผ่านวงจรเลือกสัญญาณ	48
4.8 วงจรจับสัญญาณ	49
4.9 สัญญาณพัลส์ขนาด 3.5 μ sec เมื่อผ่านวงจรจับสัญญาณ	49
4.10 สัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเมื่อปลายสายทดสอบเปิด	50
4.11 สัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเมื่อปลายสายทดสอบลัดวงจร	50
4.12 วงจรตรวจจับพัลส์บวก	51
4.13 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์บวก เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต	51
4.14 วงจรตรวจจับพัลส์ลบ	52
4.15 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์ลบ เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต	52
4.16 วงจรรวมสัญญาณ	53
4.17 สัญญาณที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณ	53
4.18 วงจรของ D-Flip Flop ที่ทำการแปลงเป็น T-Flip Flop	54
4.19 วงจรทั้งหมดของวงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ	54
4.20 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip Flop 1 หรือวงจรตรวจจับเวลา	55
4.21 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip Flop 2 หรือวงจรตรวจสอบสายดีหรือเสีย	56
4.22 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip Flop 3 หรือวงจรตรวจสอบเปิดหรือลัดวงจร	56
4.23 วงจรคูณสัญญาณ และวงจรผลิตสัญญาณความถี่ 12 MHz	57
4.24 สัญญาณจากออสซิลเลเตอร์ ความถี่ 24 MHz	57
4.25 สัญญาณ 12 MHz หลังจากวงจรหารความถี่	58
4.26 ผลการทดสอบวงจรคูณสัญญาณ	58
4.27 วงจรนับสัญญาณ	59
4.28 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล	60
4.29 (ก) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรม	62
4.29 (ข) โฟลว์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรม (ต่อ)	63

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.30 ข้อความที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลเมื่อเริ่มทำงาน	64
4.31 ข้อความที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลขณะรอทำการทดสอบ	64
4.32 ข้อความเมื่อทดสอบแล้วสายไม่ชำรุด	64
4.33 ข้อความเมื่อสายเกิดการลัดวงจร	64
4.34 ข้อความเมื่อสายเกิดการขาด	64
4.35 วงจรรวมทั้งหมดของโครงการ	66



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสาย	6
3.1 เงื่อนไขการตรวจจับการเสียบของสายจากในส่วนวงจรตรวจสอบสายดีหรือเสีย	29
3.2 เงื่อนไขการตรวจจับชนิดการเสียบของสายจากในส่วนวงจรตรวจสอบสายเปิดหรือลัดวงจร	29
3.3 รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชที่ใช้งานในปัจจุบัน	32
3.4 ชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของ LCD	38
4.1 Truth Table ของ IC #74HC123	44
4.2 ค่า R และ C ในวงจรวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	45
4.3 ผลการทดลองจากเครื่องวัด	65



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในการหาระยะจุดเสียดของสายส่ง ณ ตำแหน่งใด ๆ ในอดีต จะต้องใช้เครื่องมือวัดที่อาศัยหลักการ ลูป (Loop) และ บริดจ์ (Bridge) แล้วเทียบความยาวสายจากค่าความต้านทานที่วัดได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดยังอยู่ในระดับที่สูง ซึ่งในปัจจุบันได้มีการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Time Domain Reflectometer (TDR) มาช่วยในการวัดซึ่งให้ค่าความถูกต้องแม่นยำมาก ซึ่งเครื่องมือชนิดนี้ อาศัยหลักการการสะท้อนของสัญญาณที่ส่งเข้าไปในสาย โดยเมื่อพบจุดที่สายชำรุดสัญญาณที่สะท้อน กลับมาจะสามารถนำไปประมวลผล ทำให้ทราบระยะที่ชำรุดของสายได้

1.2 วัตถุประสงค์

โครงการนี้ได้จัดทำขึ้น เพื่อความต้องการที่จะพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการหาจุดเสียดของสายส่ง โดยใช้อุปกรณ์พื้นฐาน นำมาประยุกต์ใช้เพื่อทำให้มีต้นทุนต่ำที่สุด โดยเราสามารถตัดฟังก์ชันการทำงาน บางอย่างที่ไม่จำเป็นออกไปได้ และสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องจริง ที่มีราคา ค่อนข้างสูง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ในการทำโครงการนี้เป็นการพัฒนาโครงการเดิมให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น มีความถูกต้องแม่นยำ โดยสามารถบอกชนิดของการชำรุดได้ถูกต้องมากขึ้น ฟังก์ชันการทำงานมีความสะดวกเพิ่มมากขึ้นรวมถึง ทำให้มีขนาดที่กระทัดรัดลงด้วย

1.4 ขั้นตอนในการทำโครงการ

1. ศึกษาธรรมชาติของพัลส์เมื่อส่งเข้าไปในสายส่ง
2. ศึกษาการใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ตระกูล MCS-51
3. สร้างบล็อกไดอะแกรมการของโครงการทั้งหมดอย่างละเอียด
4. ออกแบบวงจรให้ได้ตามเป้าหมายของแต่ละบล็อก
5. นำแต่ละส่วนที่ออกแบบไว้มาสร้างเป็นวงจรและทดสอบการทำงาน
6. นำวงจรทั้งหมดมาต่อร่วมกัน และทดสอบการทำงานร่วมกัน
7. นำผลการทดสอบมาประเมินพร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น
8. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการนี้สามารถจะนำไปใช้ในงานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความถูกต้องแม่นยำใกล้เคียงกับเครื่องต้นแบบและใช้ต้นทุนในการสร้างต่ำที่สุด เพื่อที่จะไม่ต้องซื้อเครื่องต้นแบบที่มีราคาสูง

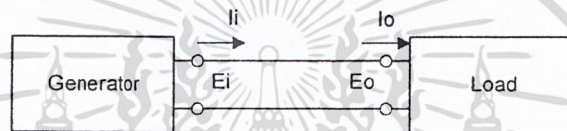
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีสายส่งไฟฟ้า (Electric Transmission Line Theory)

2.1.1 สายส่ง (Transmission Lines)

การส่งพลังงานไฟฟ้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง สามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีหนึ่งโดยการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น การส่งสัญญาณวิทยุ และวิธีที่สองก็โดยการส่งพลังงานผ่านตัวนำ แบบต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่าสายส่ง ซึ่งสายส่งนี้จะเป็นตัวนำทาง ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่ออุปกรณ์สองชุดถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันด้วยคู่สายสั้นๆ และความถี่ที่ใช้เป็นความถี่ย่านเสียง เรามักไม่คำนึงถึงความต้านทานในตัวสาย และถือว่า I_i เท่ากับ I_o , E_i เท่ากับ E_o



รูปที่ 2.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณและ โหลดถูกต่อเข้าด้วยกัน ด้วยคู่สายสั้นๆ

แต่ถ้าหากความถี่ที่ใช้เป็นความถี่วิทยุและคู่สายที่ต่อมีความยาวพอสมควร [$>0.1\lambda$] จะปรากฏว่า I_o แตกต่างจาก I_i และ E_o แตกต่างจาก E_i ทั้งขนาด (Amplitude) และ เฟส (phase)

สายโทรศัพท์ก็มีลักษณะทำนองเดียวกัน ถึงแม้ว่าสัญญาณที่ใช้เป็นความถี่ย่านเสียง แต่เมื่อสายมีความยาว ก็จะทำให้กระแส และแรงดันของสัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและเฟสตลอดความยาว

2.1.2 พารามิเตอร์กระจายของสายส่ง (Distributed Parameter)

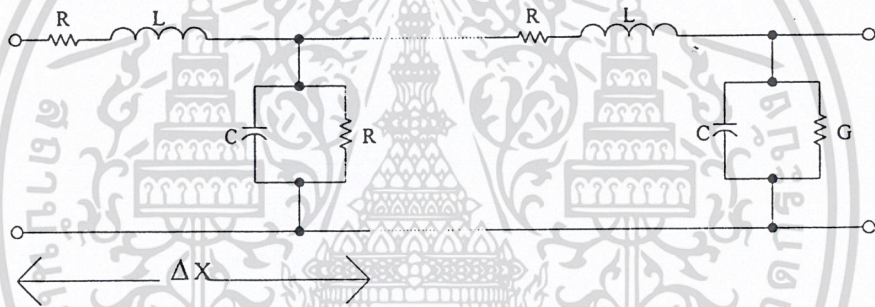
เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของสายส่งชนิดเบื้องต้น จะประกอบด้วยสายตรงสองเส้นขนานกัน ด้วยขนาดและระยะคงที่ แยกจากกันด้วยอากาศหรือฉนวน เราเรียกว่าสายขนาน (Parallel wire) ตัวสายทำมาจากวัสดุตัวนำเช่น ทองแดงหรือ อลูมิเนียม ซึ่งโดยคุณสมบัติแล้วจะมีความต้านทานในตัว และเนื่องจากสายมีขนาดคงที่ ฉะนั้นความต้านทานก็จะมีค่าคงที่ตลอดต่อหน่วยความยาว

ที่ความถี่วิทยุพลังงานบางส่วนจะถูกแพร่กระจายจากสายส่งในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อันเป็นพลังงานที่สูญเปล่า หรือเท่ากับว่าความต้านทานของสายมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้านทานของการแพร่กระจาย (Radiation Resistance) ความต้านทานอันนี้หาได้จากค่าของกำลังการแพร่กระจายหารด้วยขนาดของกระแสในสายยกกำลังสอง อย่างไรก็ตามการแพร่กระจายจากสายคู่ขนานจะไม่เกิดขึ้นหากว่าช่วงห่างระหว่างสายทั้งสองน้อยกว่า $1/10$ ของความยาวคลื่นมาก และในที่นี้เราถือว่าไม่มีการแพร่กระจายจากสายส่ง ดังนั้นความต้านทานของการแพร่กระจายก็ตัดทิ้งได้

เมื่อกระแสไหลผ่านสายทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ซึ่งสนามแม่เหล็กนี้จะเชื่อมความเหนี่ยวนำ ด้วยรูปแบบคงที่ตลอดสาย ผลจากการเหนี่ยวนำของเส้นแรงแม่เหล็ก ทำให้เกิดการหน่วงเหนี่ยวการไหลของกระแสเท่ากับมีอินดักแตนซ์ (Inductance) ต่ออนุกรมกับความต้านทานในสาย

สาเหตุที่กระแสอินพุทกับกระแสเอาต์พุทของสายแตกต่างกัน เนื่องจากมีค่าแอดมิทแตนซ์ (Admittance) อยู่ระหว่างคู่สายซึ่งเราอาจจะมองไม่ชัดเจน ถึงค่าแอดมิทแตนซ์ ที่ต่อคร่อมระหว่างสายทั้งสอง ค่าแอดมิทแตนซ์ประกอบด้วยอุปกรณ์สองอย่าง อย่างแรกคือ ค่าความจุ (Capacitance) ซึ่งเกิดขึ้นเพราะสายทั้งสองวางขนานใกล้กันอยู่ระหว่างไดอิเล็กตริก (dielectric) ส่วนอย่างที่สอง เนื่องจากระหว่างสายทั้งสองซึ่งมีไดอิเล็กตริกกันอยู่นั้น ไม่ได้เป็นฉนวนที่สมบูรณ์ จึงมีการรั่วไหลของ กระแสระหว่างสายทั้งสองได้ จึงเท่ากับมีตัวนำต่อคร่อมระหว่างสาย

ฉะนั้นเราจึงสามารถเขียนวงจรเสมือนของสายส่ง ที่สายสั้นที่สุดความยาวเท่ากับ ΔX ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นรูปแบบที่คงที่เหมือนกันตลอดความยาวของสาย และค่าของพารามิเตอร์แบบกระจายต่างๆ เหล่านี้จะเป็นค่าหน่วยต่อความยาวของสาย เช่น หน่วยต่อความยาว 1 ไมล์ หรือ 1 เมตร เป็นต้น



รูปที่ 2.2 วงจรเสมือนของสายส่ง

พารามิเตอร์แบบกระจาย มีอยู่ 4 ตัวดังนี้

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

L : คือค่าอินดักแตนซ์ต่อหน่วยความยาวของสาย ซึ่งเท่ากับผลรวมอินดักแตนซ์ทั้งสองเส้นต่อหน่วยความยาว (H/m)

G : คือค่าคอนดักแตนซ์ ระหว่างสายต่อหน่วยความยาว (mho/m)

C : คือค่าความจุระหว่างสายต่อหน่วยความยาว (F/m)

สำหรับค่า G และค่า C เป็นค่าที่เกิดขึ้นระหว่างสายทั้งสอง จึงไม่ได้เป็นผลรวมของทั้งสองเส้นเหมือนค่า R และ L

ถ้าหากเรากำหนดให้ Z เป็นค่าอิมพีแดนซ์รวมต่อหน่วยความยาวของสาย และ Y เป็นค่าแอดมิทแตนซ์ต่อหน่วยความยาวของสาย จะได้ว่า

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

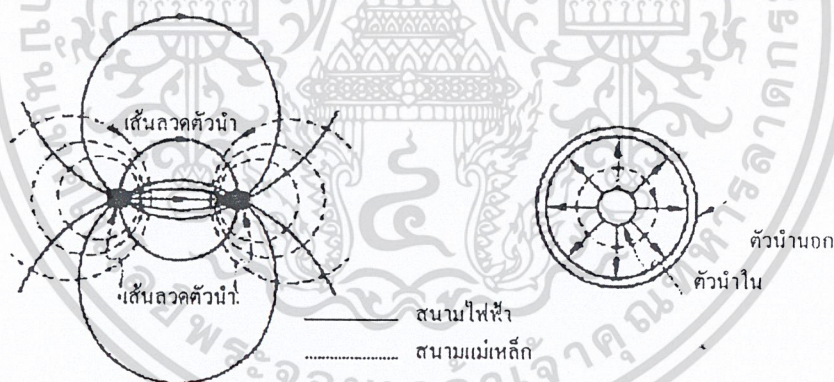
$$Y = G + j\omega C \quad (2.2)$$

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

2.1.3 ชนิดของสายส่งและค่าพารามิเตอร์

ชนิดของสายส่งนอกจากแบบสายคู่ขนานแล้วยังมีสายส่งอีกแบบ เรียกว่า โคแอกเชียล (coaxial) ซึ่งประกอบด้วยสายตัวนำสองเส้น สายกลมขนาดเล็ก (inner conductor) จะวางอยู่ด้านในสายกลมใหญ่ (outer conductor) ที่มีลักษณะเป็นท่อกลวง เส้นในถูกวางให้อยู่ในตำแหน่ง ศูนย์กลาง โดยมีฉนวนบึงคับไว้ตลอด หรือเป็นแผ่นฉนวนบางไว้เป็นระยะๆ

ข้อดีของสายโคแอกเชียลก็คือสนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า ไม่มีการแผ่กระจายออกนอกสาย ดังแสดงในรูปที่ 2.3 แต่ก็มีข้อเสียตรงที่โค้งงอลำบาก ดังนั้นจึงมีการสร้างสายโคแอกเชียลชนิดที่อ่อนตัวง่ายอีกแบบ โดยตัวนำเส้นในจะใช้เป็นเส้นฝอยเส้นเล็กๆ รวมกันแทนที่จะเป็นสายเส้นแข็งเส้นเดียว และหุ้มด้วยพลาสติกโพลีเอทไทลีน (Polyethylene) ซึ่งพลาสติกอันนี้จะทำหน้าที่เป็นไดอิเล็กตริกและกั้นอยู่ระหว่างตัวนำด้านในกับด้านนอก และตัวนำด้านนอกประกอบด้วย สายถักเส้นเล็กๆ ถักรอบไดอิเล็กตริกแล้วหุ้มด้วยพลาสติก โพลีไวนิล



รูปที่ 2.3 ภาพตัดแสดงสนามแม่เหล็ก (H) และสนามไฟฟ้า (E) ของสายส่งแบบคู่ขนานกับแบบ โคแอกเชียล



รูปที่ 2.4 สายส่งเส้นคู่สำเร็จรูปที่กำหนดในท้องถิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.4 แสดงสายส่งเส้นคู่ที่ผลิตเพื่อจำหน่ายทั่วไป สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างสายอากาศ และเครื่องรับโทรทัศน์ที่ใช้ทั่วไปตามบ้านเรือน สายส่งจะมีลักษณะเป็นเส้นลวดตัวนำหุ้มฉนวนเหมือนสายไฟฟ้าที่ใช้งานทั่วไป ระหว่างสายไฟฟ้า มีแถบฉนวนชนิดเดียวกับที่ใช้หุ้มเส้นลวดตัวนำยึดสายไฟฟ้าทั้งสองห่างออกจากกันให้สม่ำเสมอไปตามความยาว สายส่งสำเร็จรูปเหล่านี้โดยทั่วไป จะมีอิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะ 300 โอห์ม ใช้งานได้ดีจนถึงย่าน VHF ข้อเสียของสายส่งเส้นคู่ที่เห็นได้ชัดคือถูกรบกวนด้วยสัญญาณภายนอกได้ง่าย ตลอดจนถูกรบกวน ด้วยสภาพแวดล้อมเชิงไฟฟ้า และเชิงแม่เหล็กที่อยู่รอบๆ สายส่ง เช่น เมื่ออยู่ใกล้ตัวนำโลหะอื่นหรือพื้นโลก ฯลฯ อาจทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทั้งเชิงประจุและแม่เหล็กระหว่างสายส่งกับสภาพภายนอกได้ง่าย

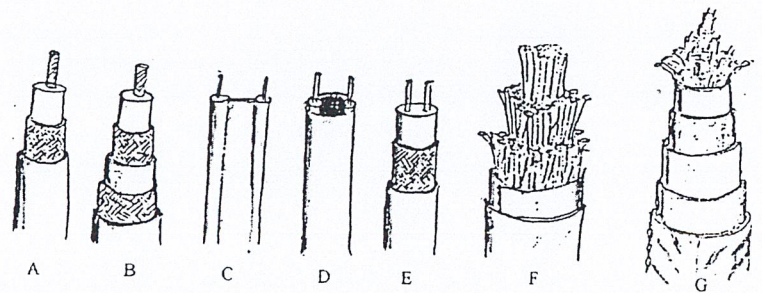


รูปที่ 2.5 สายส่งเส้นคู่ที่หุ้มด้วยสาร ไดอิเล็กทริก

ในรูปที่ 2.5 แสดงภาพตัดขวางของสายส่งเส้นคู่ที่หุ้มด้วยสายไดอิเล็กทริก ภายนอกสุดอาจหุ้มด้วยตัวนำโลหะอีกชั้นหนึ่งเรียกว่ามีการชีลด์ (shield) สายส่งเพื่อป้องกันการรบกวนจากสัญญาณภายนอก ตัวนำโลหะที่หุ้มชั้นนอกโดยมากมักทำด้วยเส้นลวดตัวนำเล็กๆ นำมาถักติดกันเป็นผืนเดียวกันและหุ้มด้วยชั้นนอกไว้ ทำให้สายส่งมีลักษณะอ่อน (flexible) สามารถดัดโค้งไปมาได้ง่าย

สำหรับสายเคเบิลโทรศัพท์โดยปรกติจะประกอบด้วยคู่สายจำนวนหลายๆคู่ แต่ละคู่จะพันตีเกลียวตลอดความยาวของสาย ซึ่งการพันตีเกลียว จะช่วยลดการรบกวนข้ามระหว่างคู่สาย (cross talk) ให้ลดน้อยลง แต่ละคู่สายอาจมีกระดาษหุ้มเป็นฉนวน แล้วรวมคู่สายทั้งหมด ห่อหุ้มด้วยอลูมิเนียมหรือตะกั่ว จากนั้นก็หุ้มด้วยพลาสติกอีกชั้นหนึ่ง

สายส่งมีอีกมากมายหลายชนิด ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.6 ซึ่งแต่ละชนิดมีพื้นฐานมาจากสายคู่ขนานหรือสายโคแอกเชียลทั้งนั้น



รูปที่ 2.6 สายส่งแบบต่างๆ

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ต่อหน่วยความยาวของสายส่งได้แก่ R, L, G และ C นั้นมีขึ้นกับสายส่งทุกชนิดไม่ใช่เฉพาะคู่ขนานเท่านั้น แต่ค่าของมันในสายแต่ละชนิดอาจแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ ซึ่งโดยปกติบริษัทผู้ผลิต จะบอกถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาให้ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.1

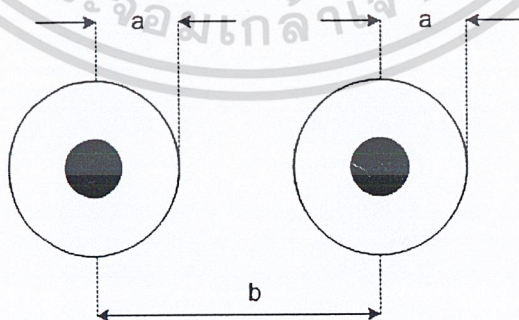
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายส่ง

Type	Gauge mils	S p a c i n g inch	Loop constant/mile			
			R (ohms)	L (mH)	C (μ F)	G (μ mhos)
Open wire	104	12	10.15	3.66	0.00837	0.29
Open wire	104	18	10.15	3.93	0.00797	0.29
Open wire	165	12	4.11	3.37	0.00915	0.29
Open wire	165	18	4.11	3.64	0.00863	0.29
P a p e r insulate	19*		85.8	1	0.062	1.5
Cable pair	16*		42.1	1	0.062	1.5

* AWG

แต่ถ้าเราทราบคุณสมบัติของวัสดุและลักษณะโครงสร้างของสายก็สามารถหาค่าพารามิเตอร์ได้โดยอาศัยสมการจากทฤษฎีสถนามแม่เหล็กไฟฟ้า ได้ดังนี้

สายส่งเส้นคู่



รูปที่ 2.7 สายส่งเส้นคู่

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

เมื่อ

ϵ_d คือสภาพยอมได้ (Permittivity) ของสารที่อยู่รอบสายส่ง

μ_d คือสภาพให้ซึมได้ (Permeability) ของสารที่อยู่รอบสายส่ง

σ_d คือสภาพนำไฟฟ้า (Conductivity) ของสารที่อยู่รอบสายส่ง

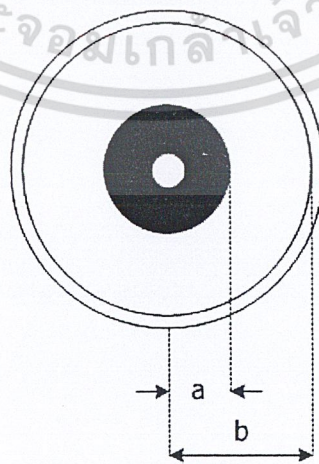
σ_c คือสภาพนำไฟฟ้าของตัวนำที่ใช้ทำสายส่ง

เนื่องจากตัวนำที่ใช้ทำสายส่งไม่ใช่ตัวนำสมบูรณ์ (Perfect conductor) ผลของปรากฏการณ์ทางผิว (skin effect) จะเพิ่มค่า L อีก

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

เมื่อ μ_c คือ สภาพให้ซึมได้ของตัวนำที่ใช้ทำสายส่ง

สายส่งโคแอกเซียล



รูปที่ 2.8 สายโคแอกเซียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$L = \frac{\mu_d}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad (2.9)$$

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

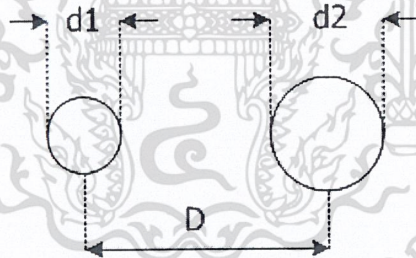
$$R = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\omega\mu_c}{2\sigma_c}} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right) \quad (2.11)$$

โดยที่ค่าคงตัวที่มีดรรชนีล่างเป็น d จะเป็นค่าคงตัวของสารไดอิเล็กทริกที่คั่นตัวนำ และค่าคงตัวที่มีดรรชนีล่างเป็น C จะเป็นค่าคงตัวของตัวนำที่ใช้ทำสายส่ง และผลของปรากฏการณ์ทางผิวจะทำให้ L มีค่าเพิ่มขึ้นอีก

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

สายส่งในรูปแบบอื่นๆ

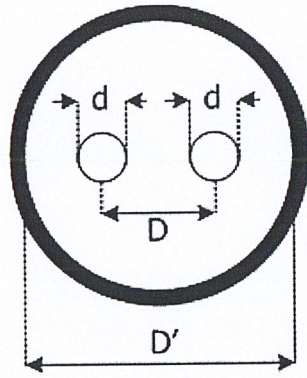
สายส่งในรูปแบบอื่นๆ ที่แสดงสูตรการคำนวณข้างล่างนี้ ได้สมมติว่าสารไดอิเล็กทริกที่อยู่รอบๆ เป็นอากาศที่ไม่มีความสูญเสีย ค่าที่คำนวณได้ของ C มีหน่วยเป็น pF/m และ L มีหน่วยเป็น $\mu\text{H}/\text{m}$



รูปที่ 2.9 สายส่งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำที่ไม่เท่ากัน

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

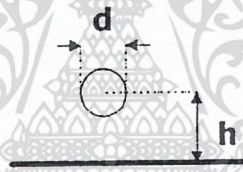
$$L = 0.4 \ln \frac{2D}{\sqrt{d_1 d_2}} \quad (2.14)$$



รูปที่ 2.10 สายส่งแบบโคแอกเชียลที่มีตัวนำ 2 ตัว

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

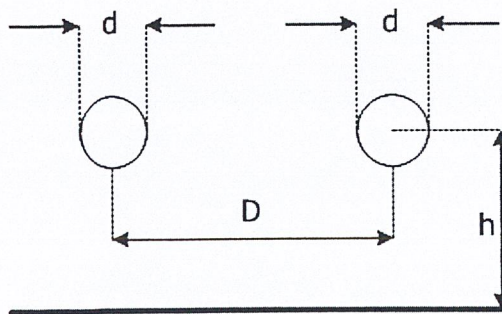
$$L = 0.4 \ln \left(\frac{2D D'^2 - D^2}{d D'^2 + D^2} \right) \tag{2.16}$$



รูปที่ 2.11 สายส่งชนิดพิเศษแบบที่ 1

$$C = \frac{55}{\ln \frac{4h}{d}} \tag{2.17}$$

$$L = 0.2 \ln \frac{4h}{d} \tag{2.18}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ 2.12 สายส่งชนิดพิเศษแบบที่ 2 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.1.4 อิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะของสายส่ง (Characteristic impedance)

พลังงานของสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่สายส่งอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งพลังงานจะถูกถ่ายทอดสู่โหลดเต็มที่ต่อเมื่ออิมพีแดนซ์ของโหลดแมทช์กับสาย และหากไม่แมทช์จะเกิดการสะท้อนกลับของพลังงานบางส่วนในรูปของคลื่นสะท้อน (reflected wave)

หากพิจารณาจากสายส่งสมมุติที่มีความยาวไม่มีที่สิ้นสุด (infinite line) เมื่อเราป้อนสัญญาณเข้าทางอินพุตสัญญาณจะไม่มีโอกาสถึงปลายทางเอาที่พูดเลย จึงไม่มีการสะท้อนกลับ ฉะนั้นอัตราส่วนของแรงดัน ต่อกระแส ณ. จุดใดๆ ของสายจะมีค่าคงที่ คือ ไม่เกี่ยวกับระยะตำแหน่ง เราเรียกอัตราส่วนนี้ว่า Z_0 (characteristic impedance)

สำหรับสายที่มีความยาวจำกัด (finite line) ถ้าต่อโหลด Z_L ให้มีค่าเท่ากับ Z_0 จะปรากฏเหมือนกับสายที่มีความยาวไม่มีที่สิ้นสุด คือ ไม่มีการสะท้อนกลับเพราะพลังงานถูกถ่ายทอดสู่โหลดเต็มที่

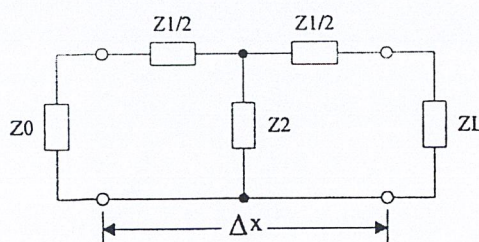
จึงกล่าวได้ว่า อิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะ คืออัตราส่วนระหว่างแรงดันต่อกระแส ณ. จุดใดๆ ของสายส่งที่ไม่มีการสะท้อนกลับของสัญญาณ

จากวงจรเสมือน (Equivalent) ของสายที่มีความยาว Δx ค่าของอินดักแตนซ์รวมคือ $L\Delta x$ ค่าความต้านทานรวมคือ $R\Delta x$ ค่าคอนดักแตนซ์คือ $G\Delta x$ และค่าความจุคือ $C\Delta x$ ดังนั้นจากสมการที่ 2.1 และ 2.2 จะได้ว่า

$$Z_{\Delta x} = (R + j\omega L)\Delta x \quad (2.21)$$

$$Y_{\Delta x} = (G + j\omega C)\Delta x \quad (2.22)$$

เพื่อให้สะดวกขึ้นเราจึงจัดให้อยู่ในรูปของวงจรสมมาตรแบบ T ดังในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แทนวงจรเสมือนของสายส่งยาว Δx ด้วยวงจรสมมาตรแบบ T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เมื่อพิจารณาจากคำจำกัดความถ้าเราให้ Z_0 เป็น Input impedance ของสายและ $Z_L = Z_0$, หาก $\Delta x \rightarrow 0$, Z_0 นี้ก็คือ characteristic impedance นั่นเอง

$$Z_{in} = Z_0 = Z_L = \frac{Z_1}{2} + \frac{Z_2 + \left(\frac{Z_1}{2} + Z_0\right)}{\frac{Z_1}{2} + Z_2 + Z_0}$$

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

แทนค่า 2.23, 2.24 ใน 2.25

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z\Delta x}{Y\Delta x} + \frac{Z^2\Delta x}{4}}$$

$$= \sqrt{\frac{Z}{Y} \left[1 + \frac{ZY\Delta x}{4} \right]}$$

$$Z_0 = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \sqrt{\frac{Z}{Y} \left[1 + \frac{ZY\Delta x^2}{4} \right]}$$

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

แทนค่า 2.21, 2.22 ใน 2.26 จะได้

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

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

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

และที่ความถี่สูงหรือในกรณีสายส่งไม่มีการสูญเสียเลย (lossless line) จะทำให้ $R \ll \omega L$ และ $G \ll \omega C$ เราจะได้ว่า

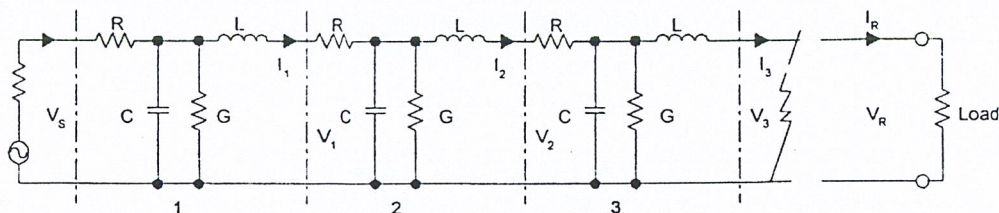
$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.29)$$

จะเห็นได้ว่าสองกรณีหลังนี้เป็นค่าจริงไม่มีค่า j จึงไม่ต้องเกี่ยวกับความถี่ และเฉพาะในช่วงระหว่างกรณีนี้เท่านั้นที่ค่า Z_0 เป็นค่าจำนวนเชิงซ้อน (complex) ขึ้นอยู่กับความถี่ด้วย

ในทางปฏิบัติเราใช้สมการที่ 2.29 หาค่า Z_0 สำหรับสายคู่ขนาน เมื่อความถี่ 20 KHz ขึ้นไป ส่วนสายโคแอกเซียลเมื่อความถี่ 200 KHz ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ค่าคงตัวของการแพร่ (Propagation Constants) ของสายส่ง



รูปที่ 2.14 การส่งสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไปยังโหลดผ่านสายส่ง

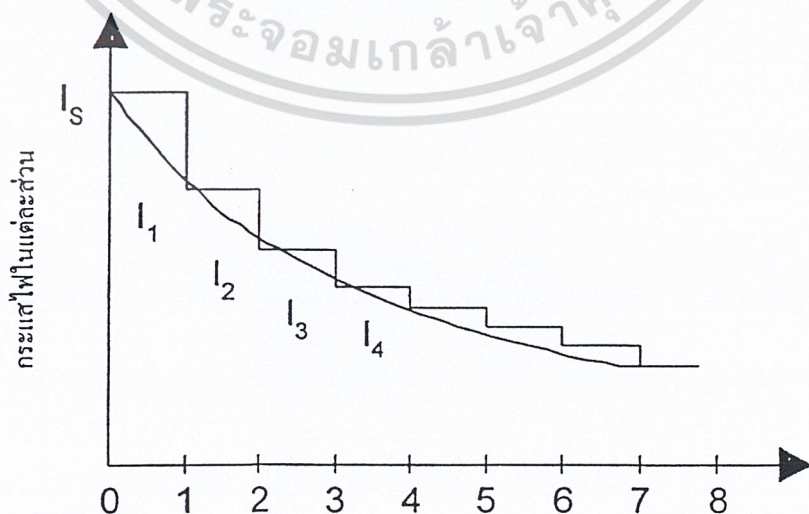
จากรูปที่ 2.14 แสดงวงจรเทียบเท่าของการส่งสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไปยังโหลดซึ่งมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ Z_0 ผ่านสายรับส่ง ซึ่งแบ่งเป็นส่วนๆ จำนวนหนึ่ง ความต้านทานที่ต่ออนุกรม (Series Impedance) เท่ากับ $R + j\omega L$ และ ความนำไฟฟ้าที่ต่อขนาน (Shunt Admittance) เท่ากับ $G + j\omega C$ ในแต่ละส่วนของสายจะมีผลแสดงต่อกระแสไฟสัญญาณ (หรือแรงดัน) ที่ไหลผ่านมันไปดังนี้

1. กระแสไฟสัญญาณ (หรือแรงดัน) จะถูกลดทอนในแต่ละส่วนของสายรับส่งเป็นจำนวนเท่าๆ กัน กล่าวคือ กระแสไฟด้านส่ง ที่ไหลเข้าสายรับส่งส่วนที่ 1 จะถูกลดทอนด้วย Series Impedance และถูกลดผ่าน Shunt Admittance เหลือกระแสไฟ I_1 ที่ไหลไปเข้าส่วนที่ 2 เป็นจำนวนน้อยลง โดยสมมุติว่า $\frac{I_s}{I_1} = K$ ซึ่งในทำนองเดียวกัน

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

$$\frac{I_2}{I_3} = K \quad \text{และต่อๆ ไป}$$

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



รูปที่ 2.15 การลดทอนของกระแสไฟในแต่ละส่วนของสายส่ง

จากรูปที่ 2.15 แสดงการลดทอนของกระแสไฟในแต่ละส่วนของสายรับส่ง ในกรณีที่เราแทนแต่ละส่วนของสายรับส่งด้วย R, L, C และ G ที่เป็นกลุ่มก้อน (Lump) ดังในรูป การลดลงของกระแสไฟผ่านสายรับส่งจะเป็นขั้น ๆ โดยมี $\frac{I_s}{I_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{I_2}{I_3} = K$ ดังแสดงด้วยกราฟเส้นที่เป็นขั้นบันได

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

2. กระแสไฟสัญญาณ (หรือกำลังดัน) 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 $\ln \frac{I_s}{I_1}$ จะประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนหนึ่งเป็นค่าตัวเลขจริงแสดงจำนวนของการลดทอนกำลังและอีกส่วนหนึ่งเป็นค่าจินตภาพ (Imaginary) แสดงจำนวนการเลื่อนเฟสของสัญญาณระหว่าง I_s และ I_1 นั่นคือ

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

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

ซึ่งมีค่าเท่ากับ

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

- α เรียกว่า ค่าคงตัวของการลดทอน (Attenuation Constant) กำหนดไว้เป็น Neper หรือ dB ต่อหนึ่งหน่วยความยาว เช่น 1 ไมล์

- β เรียกว่า ค่าคงตัวของเฟส (Phase Constant) กำหนดไว้เป็นเรเดียนต่อหนึ่งหน่วยความยาว เช่น 1 ไมล์ เป็นต้น

2.1.6 ความยาวและความเร็วของคลื่นจรบนสายส่ง

เมื่อมองดูคลื่นจรไปตามสายส่งที่เวลาขณะใดขณะหนึ่ง ระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุด 2 จุดตามความยาวของคลื่นที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงครบหนึ่งรอบคลื่นพอดี หรือระยะทางที่เฟสของคลื่นเปลี่ยนไป 2π เรเดียน เราเรียกระยะทางนี้ว่าความยาวคลื่น (wavelength) เมื่อ β เป็นค่าที่บอกการเปลี่ยนแปลงของเฟสในคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความยาว ถ้าเราให้ λ เป็นความยาวคลื่น ความสัมพันธ์ของความยาวคลื่น

$$\beta\lambda = 2\pi$$

นั่นคือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในที่ปรึกษาฯ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเวลาผ่านไป เราจะสังเกตเห็นคลื่นจรเคลื่อนที่ไปตามความยาวของสายส่ง ด้วยความเร็ว (Velocity) ค่าหนึ่งซึ่งเราสามารถวัดได้โดยหารระยะทางที่เฟสที่คงที่เฟสหนึ่งของคลื่นเดินทางไปได้ในหนึ่งหน่วยเวลา ถ้าพิจารณาคลื่นจรตกกระทบที่เวลา $t = t_1$ ที่จุด $x = x_1$ เฟสที่เวลาและจุดนี้คือ $\omega t_1 - \beta x_1$ เมื่อเวลาผ่านไปเป็น t_2 เฟสเดิมนี้จะต้องย้ายไปอยู่จุดใหม่ให้จุดนี้เป็น x_2 ดังนั้นที่จุด x_2 ที่เวลา t_2 จะมีเฟสเป็น $\omega t_2 - \beta x_2$ และตามสมการมีเฟส $\omega t_2 - \beta x_2$ ดังนั้น

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

เฟสคงที่นี้เคลื่อนที่ไปได้ระยะทาง $x_2 - x_1$ ในเวลา $t_2 - t_1$ จะได้ความเร็ว

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

ปกติแล้วมักจะใช้ v เป็นสัญลักษณ์แทนความเร็ว แต่เนื่องจากจะไปตรงกับสัญลักษณ์ของแรงดันจึงเลี่ยงมาใช้สัญลักษณ์ U แทน

เมื่อแทน ω และ β

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

ความเร็วที่หาได้นี้เป็นความเร็วของเฟสที่คงที่ของคลื่นจร เราเรียกความเร็วนี้ว่าความเร็วเฟส (Phase velocity) ถ้าเครื่องกำเนิดให้สัญญาณเชิงซ้อนซึ่งประกอบด้วยสัญญาณไซน์ฮาร์โมนิกหลายๆ ความถี่แล้วเราจึงจะมองเห็นรูปแบบคลื่นรวมของสัญญาณเชิงซ้อนที่เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วซึ่งแตกต่างจากความเร็วเฟสอีกด้วย ซึ่งเราเรียกว่าความเร็วกลุ่ม (group velocity)

2.1.7 ความเร็วของคลื่นที่แพร่ไปตามสายส่ง

ความเร็วของคลื่นที่แพร่หรือเคลื่อนที่ไปตามความยาวของสายส่งจะเป็นค่าคงที่ ความถี่และค่าคงตัวของสัญญาณบนสายส่งจะมีความสัมพันธ์ที่ขึ้นกับความเร็ว ดังนี้

$$u = \frac{\omega}{\beta} \quad (2.34)$$

ω ขึ้นอยู่กับสัญญาณที่ใช้ว่ามีความถี่เท่าไร ซึ่งขึ้นอยู่กับเครื่องกำเนิด ω เป็นค่าคงที่ที่กำหนดโดยผู้ใช้แต่ค่าคงตัวเฟสเป็นค่าที่ขึ้นกับสายส่ง เกี่ยวข้องกับระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ไปเมื่อเทียบกับเวลาที่สัญญาณเปลี่ยนไปหนึ่งรอบ นั่นคือความถี่ของสัญญาณ

เพื่อให้การวิเคราะห์ในที่นี้ง่ายขึ้น ให้เริ่มด้วยสายส่งไร้ความสูญเสีย จากสมการค่าคงตัวการแพร่สมการที่ 2.30 และ 2.31 จะได้ว่า

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

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

$$\beta = \omega\sqrt{LC} \quad (2.35)$$

เมื่อแทน 2.35 ใน 2.34 จะพบว่า

$$u = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.36)$$

เมื่อแทนค่า L และ C ไม่ว่าสายส่งนั้น จะเป็นสายเส้นคู่หรือสายส่งโคแอกเซียลก็ตามจะพบว่า

$$u = \frac{1}{\sqrt{\mu_d \varepsilon_d}} \quad (2.37)$$

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

ปกติแล้วการบอกสภาพให้ซึมได้และสภาพยอมได้ของสารใดๆ มักจะระบุได้ดีกว่าหรือเร็วกว่าสุญญากาศเป็นเท่า ดังนี้

$$\mu_d = \mu_r \mu_0 \quad (2.38)$$

$$\varepsilon_d = \varepsilon_r \varepsilon_0 \quad (2.39)$$

μ_r เรียกว่าสภาพให้ซึมได้สัมพัทธ์ (Relative permeability) ของสาร ใช้นิยามว่าสารนี้มีสภาพให้ซึมได้เป็นกี่เท่าของสุญญากาศ สำหรับสุญญากาศ μ_r มีค่าเท่ากับ 1

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

ε_r เรียกว่าค่าคงตัวไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ (Relative dielectric constant) ของสาร มีค่าเท่ากับ 1 สำหรับสุญญากาศ

ε_0 คือสภาพยอมได้ของสุญญากาศ มีค่า 8.854 pF/m

เช่น สารพอลิเอทิลีนมีค่า $\varepsilon_r = 2.2$ หมายความว่าสารนี้มีสภาพยอมได้ต่อสนามไฟฟ้าดีกว่าสุญญากาศ 2.2 เท่า ตามปกติแล้วสารไดอิเล็กทริกที่เป็นฉนวนไฟฟ้าโดยทั่วไปจะไม่ใช่สารแม่เหล็กและจะมีสภาพให้ซึมได้ของสารใกล้เคียงกับสุญญากาศ จึงมี $\mu_r = 1$

เมื่อแทน μ_d และ ε_d ลงในสมการที่ 2.37 จะได้ความเร็วของคลื่นที่แพร่ไปตามความยาวของสายส่ง ดังนี้

$$u = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r \mu_0 \varepsilon_0}} \quad (2.40)$$

ดังนั้นความเร็วของคลื่น ที่เคลื่อนที่ไปตามความยาวของสายส่งซึ่งมีสุญญากาศอยู่รอบๆ ตัวนำที่ทำสายส่งจะมีค่า

$$u_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} \quad (2.41)$$

ซึ่งมีค่าเท่ากับความเร็วของแสงหรือความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ

$$u_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} = \frac{1}{\sqrt{400\pi \times 10^{-9} \times 8.854 \times 10^{-12}}} \cong 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$u = \frac{u_0}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \quad (2.42)$$

โดยทั่วไป ฉนวนไฟฟ้าเป็นสารไดอิเล็กทริกที่มีค่า $\mu_r \approx 1$ เราจึงสามารถหาความเร็ว ของคลื่นที่ แพร่ไปตามความยาวของสายส่ง โดยเฉพาะสายส่งเส้นคู่และสายส่งโคแอกเชียลได้ดังนี้

$$u = \frac{u_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ m/s} \quad (2.43)$$

ตัวประกอบความเร็ว (Velocity factor) บางครั้งอาจเรียกว่าอัตราส่วนความเร็ว (Velocity ratio) ของสายส่งคือค่าที่ใช้บอกว่าการเคลื่อนบนสายส่งมีความเร็วเป็นกี่เท่าของความเร็วของแสงหรือคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าในสุญญากาศ ดังนี้

$$VF = \frac{u}{u_0} = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \quad (2.44)$$

หรือ

$$VF = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.45)$$

เนื่องจากสาร ไดอิเล็กทริก โดยทั่วไปจะมีค่า ϵ_r มากกว่า 1 จึงทำให้ VF มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า สายส่งที่มีบริเวณโดยรอบของตัวนำ ที่ใช้ทำสายส่งเป็นสารไดอิเล็กทริก นอกเหนือจากเป็นสุญญากาศ แล้ว ความเร็วของคลื่นที่ไปตามความยาวของสายส่งจะมีความเร็วต่ำกว่าความเร็วของแสงในสุญญากาศ

2.1.8 ค่าคงตัวการลดทอน

ในความเป็นจริงแล้วจะไม่มีสายส่งไร้ความสูญเสีย เพียงแต่ถ้าภายใต้เงื่อนไขบางกรณีสามารถ พิจารณาสายส่งให้เสมือนว่าไร้ความสูญเสียได้ เช่น กรณีความถี่สูงในย่านความถี่วิทยุ ฯลฯ ส่วนในย่าน ความถี่ต่ำ เช่น ความถี่ในย่านความถี่เสียงในสายโทรศัพท์ ความถี่ 50 Hz ในระบบไฟฟ้ากำลัง ฯลฯ จะไม่ สามารถพิจารณาภายใต้เงื่อนไขนี้ได้ และจะต้องวิเคราะห์ตามสมการที่ไม่มีการสมมติ

การระบุว่าสายส่งไร้ความสูญเสีย จะมีความหมายว่าค่าคงตัวการลดทอน α มีค่าเท่ากับศูนย์แต่ สายส่งในความเป็นจริงแล้ว ถึงแม้จะใกล้เคียงสายส่งไร้ความสูญเสีย แต่ค่าคงตัวการลดทอนก็ไม่ได้เป็น ศูนย์ เพียงแต่อาจมีค่าต่ำมาก ถึงกระนั้นก็ตาม ถ้าสายส่งที่ใช้งานมีความยาวพอสมควรก็จะพบว่าการสมมติ ว่าการลดทอนเป็นศูนย์อาจผิดไปจากความเป็นจริงได้มาก ดังนั้นแม้การลดทอนมีค่าต่ำมากก็ยังคงต้องนำ มาคำนวณด้วย ในกรณีที่สายส่งมีความยาวมาก ในขณะที่อิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะและความเร็วคลื่นจร บนสายส่งที่หาได้จากการสมมติว่าเป็นสายส่งไร้ความสูญเสียยังคงใช้ได้อยู่

พลังงานในสัญญาณ ไฟฟ้าขณะที่เคลื่อนที่ไปตามความยาวของสายส่งก่อนถึงโหลด อาจมีบาง ส่วนเปลี่ยนรูปพลังงานไปเป็นอย่างอื่น ในแง่ของสัญญาณไฟฟ้าที่เราต้องการนั้นถือว่าเป็นการสูญเสียไป ในสายส่งอาจเป็นไปได้สามทาง คือ เกิดการแผ่พลังงาน (Radiation) ออกนอกสายส่ง เกิดความร้อนขึ้นใน ตัวนำ (Conductor heating) และเกิดความร้อนขึ้นในตัวสาร ไดอิเล็กทริก (Dielectric heating)

การสูญเสียเนื่องจากเกิดการแผ่พลังงาน ตัวสายส่งจะทำตัวเหมือนกับเป็นสายอากาศ (Antenna) จะมีพลังงานบางส่วนในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรอบตัวนำของสายส่งแผ่เคลื่อนวงกระจาย ไกลออก

เอกสารนี้ไปในอากาศรอบๆ จึงดูเหมือนว่ามีพลังงานส่วนหนึ่งแผ่จากสายส่งออกไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ค่า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายส่งเส้นคู่จะมีการสูญเสียเนื่องจากการแผ่พลังงานมากกว่าสายส่งโคแอกเซียล การแผ่พลังงานจะยิ่งมากถ้าระยะห่างระหว่างตัวนำทั้งสองที่ใช้ทำสายส่งยิ่งมาก การหาค่าความสูญเสียเนื่องจากการแผ่พลังงานโดยการวิเคราะห์คำนวณทำได้ยาก โดยทั่วไปจะหาโดยวิธีการวัดความสูญเสียจะยิ่งมากถ้าความถี่ใช้งานสูงขึ้น การสูญเสียอันเนื่องมาจากการเกิดความร้อนขึ้นในตัวนำ บางครั้งเรียกว่าการสูญเสีย I^2R จะแปรผันโดยตรงกับกระแสที่กำลังไหลอยู่ในตัวนำ ในขณะที่เดียวกัน ความสูญเสียนี้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความถี่การใช้งานสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้ เกิดจากสิ่งที่เรียกว่าปรากฏการณ์ทางผิว (Skin effect) กล่าวคือเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลไปตามตัวนำ กระแสจะมารวมกันอยู่ได้ผิวของตัวนำ ยิ่งลึกจากผิวตัวนำเข้าไปกระแสจะยิ่งน้อยลง ความถี่ที่สูงขึ้นกระแสก็จะยิ่งขึ้นมาอยู่ได้ผิวมาก จึงทำให้ความต้านทานของสายส่งต่อหนึ่งหน่วยความยาวไม่คงที่เมื่อเทียบกับความถี่ของสัญญาณ

สำหรับการสูญเสียอันเนื่องมาจากการเกิดความร้อนขึ้นในตัวสารไดอิเล็กทริกที่อยู่รอบๆ สายส่งนั้นจะแปรผันโดยตรงกับแรงดันที่เกิดขึ้นบนสายไดอิเล็กทริกและตามความถี่ อย่างไรก็ตามจะไม่มี ความสูญเสียกรณีนี้ในสุญญากาศ รวมทั้งในอากาศที่ไม่มีความชื้นก็จะมี ความสูญเสียกรณีนี้ต่ำมาก สายส่งสองเส้นที่มีตัวนำที่เท่ากัน สายส่งที่ใช้อากาศเป็นสาร ไดอิเล็กทริก จะมีความสูญเสียเนื่องจากการเกิดความร้อนขึ้นในตัวสาร ไดอิเล็กทริกต่ำกว่าเมื่อใช้สาร ไดอิเล็กทริกชนิดอื่นๆ

ดังนั้นค่าคงตัวการลดทอนของสายส่งจึงไม่คงที่ เมื่อเทียบกับความถี่ ผู้ผลิตมักจะเป็นผู้ให้ค่าคงตัวการลดทอนมาในรูปความสูญเสียเป็นหน่วยเดซิเบลต่อหน่วยความยาวบนตารางหรือกราฟ พร้อมกับระบุความถี่ แต่เนื่องจากมักมีค่าต่ำ จึงอาจให้มาเป็นหน่วยเดซิเบลต่อความยาวมากๆ เช่น เป็นเดซิเบลต่อหนึ่งพันเมตร ฯลฯ ก็ได้

2.1.9 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection Coefficient) และ อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR)

ในกรณีที่สายส่งมีทั้ง คลื่นที่เดินทางอยู่ (Traveling wave) และ คลื่นที่สะท้อนกลับ (Reflected wave) ปนกันอยู่ ซึ่งก็คือสายส่งที่เกิดการชำรุดหรือสายส่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะของสายส่งมีค่าไม่เท่ากันทั้งสายหรือเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งในการแสดงคุณสมบัติการสะท้อนกลับ ณ จุดใดจุดหนึ่งนั้น แสดงโดยอัตราส่วนระหว่างคลื่นทั้งสอง และเรียกว่า สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ซึ่งจะได้ว่า

$$\rho = \frac{V_r}{V_i} \tag{2.46}$$

V_r คือคลื่นที่สะท้อนกลับมา ณ จุดนั้นๆ
 V_i คือคลื่นที่เดินทางหรือตกกระทบบที่จุดนั้นๆ

และมีค่าเท่ากับ

$$\rho = \frac{Z_R - Z_0}{Z_R + Z_0} \tag{2.47}$$

Z_R คือค่า อิมพีแดนซ์ ณ จุดนั้นๆ
 Z_0 คือค่า อิมพีแดนซ์ลักษณะเฉพาะของสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งถ้าเราพิจารณาสมการที่ 2.47 จะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดใดๆ ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปมากแค่ไหน โดยปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 เช่น

- ถ้า $Z_R = Z_0$ คือกรณีที่มีอิมพีแดนซ์เท่ากันทั้งสาย จะทำให้ $\rho = 0$ คือไม่มีการสะท้อนกลับของสัญญาณเกิดขึ้น

- ถ้า $Z_R = 0$ คือกรณีที่เกิดโหลดมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือเกิดการลัดวงจรภายในสายส่งสัญญาณ จะทำให้ $\rho = -1$ คือ สัญญาณสะท้อนกลับ 100% เนื่องจาก $V_r = -V_i$ จึงเป็นคลื่นสะท้อนกลับแบบลบ (Negative return pulse)

- ถ้า $Z_R = \infty$ คือกรณีที่เกิดโหลดมีค่าเท่ากับอนันต์ หรือเกิดการขาดของสายส่งสัญญาณ จะทำให้ $\rho = 1$ คือ สัญญาณสะท้อนกลับ 100% เนื่องจาก $V_r = V_i$ จึงเป็นคลื่นสะท้อนกลับแบบบวก (Positive return pulse)

ในสายส่ง ณ ที่จุดใดๆ ก็ตามผลรวมของ Traveling wave และ Reflected wave นี้ดูเหมือนว่าจะเป็นคลื่นเดียวที่อยู่กับที่ โดยไม่ค้ำนิ่งถึงเวลา ซึ่งเรียกคลื่นนี้ว่า คลื่นนิ่ง (Standing wave) ซึ่งอัตราส่วนของแรงดันสูงสุดต่อแรงดันต่ำสุด เรียกว่า อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_i + V_r}{V_i - V_r} \quad (2.50)$$

และจะมีสัมพันธ์กับค่าของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับดังนี้

จากสมการ 2.50 จะได้

$$VSWR = \frac{1 + \frac{V_r}{V_i}}{1 - \frac{V_r}{V_i}}$$

จากสมการ 2.46 จะได้ว่า

$$VSWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \quad (2.51)$$

$$|\rho| = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (2.52)$$

2.2 ความรู้เบื้องต้นสำหรับ TDR (Time Domain Reflectometer)

TDR เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการบ่งบอกตำแหน่งจุดเสียหายของสายเคเบิล ซึ่งมีเป็นเวลานานแล้ว และยังคงเป็นวิธีการที่รวดเร็วและถูกต้องมากที่สุด ในอดีตจะมีเพียงบริษัทใหญ่ๆ และวิศวกรในระดับสูงเท่านั้นที่มีโอกาสได้ใช้เครื่องมือนี้ เนื่องจากความซับซ้อนในการใช้งานและอุปกรณ์ที่มีราคาแพง ในช่วงต้นปี 1980 TDR ได้เริ่มที่จะนำมาใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง จังๆ เมื่อบริษัท Riser Bond Instruments ได้พยายามที่จะพัฒนา TDR รุ่นแรกขึ้นและทำต่อเรื่อยๆ มาจนกระทั่งปัจจุบัน TDR ระบบดิจิทัล ได้เป็นเครื่องมือระดับมาตรฐานสำหรับช่างเทคนิคระดับต้นไปแล้ว

เครื่องมือชนิดนี้ได้ใช้เทคนิคใหม่ในการวัดระยะหาตำแหน่งเสียหายของสายตัวนำ ซึ่งแตกต่างจากระบบเก่าอย่างสิ้นเชิง เดิมเครื่องมือวัดหาตำแหน่งเสียหายของสายเคเบิลใช้หลักการของ บริดจ์ (Bridge) ซึ่งจะ

เอกสารนี้วัดค่าความต้านทานหรือค่าความจุไฟฟ้าของสาย แต่ TDR จะทำงานคล้ายกับสัญญาณ เรดาร์ โดยจะทำการส่งคลื่นไฟฟ้าออกไปหาตำแหน่งเสียหาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งสัญญาณพัลส์ เข้าไปในสายเคเบิล เมื่อเดินทางไปถึงปลายสายหรือพบจุดเสียของสายเคเบิล เนื่องจากสภาพและคุณสมบัติทางสายตรงตำแหน่งนี้มีการเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ตรงตำแหน่งนั้นไม่แมทช์ (Mismatch) กับอิมพีแดนซ์ของสาย (Characteristic Impedance or Cable Impedance) สัญญาณพัลส์ที่ส่งไปนั้นก็จะสะท้อนกลับมาที่เครื่องวัด แล้วก็จะทำการตรวจสอบเวลาที่สัญญาณเดินทางไปและกลับ แล้วทำการแปลงช่วงเวลานี้ให้เป็นระยะทางต่อจากนั้นก็ทำการแสดงผลต่อไป บางครั้งอาจจะเรียกเครื่องมือชนิดนี้ว่า Pulse Echo Tester หรือ Pulse Reflection Instrument

เราสามารถแบ่งชนิดของ TDR ออกเป็น 2 ประเภทตามการแสดงผล ดังนี้

1. ชนิดแสดงผลโดยใช้รูปคลื่นจริงที่สะท้อนกลับให้ปรากฏบนจอภาพ วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันในรูปแบบแรกๆ โดยจะแสดงรูปพัลส์ที่ส่งออกไปและที่สะท้อนกลับบนหน้าจอ จากนั้นผู้วัดจึงนำรูปสัญญาณที่วัดได้ไปประมวลผลเพื่อทราบตำแหน่งจุดเสีย หรือชนิดของการเสียหายที่เกิดขึ้นต่อไป

2. ชนิดแสดงผลโดยใช้ตัวเลขในการบอกตำแหน่งระยะทางของจุดเสีย วิธีนี้ในปัจจุบันนิยมใช้กันมาก เพราะสามารถบ่งบอกความเสียหายได้เลยและสามารถเข้าใจได้ง่ายและรวดเร็ว เพราะได้นำเทคโนโลยีด้านดิจิทัลเข้ามาช่วยในการประมวลผลและแสดงผล นอกจากนี้ยังสามารถแสดงชนิดของการเสียหายอื่นๆ ได้อีก เช่น เกิดการ ช็อค หรือ ขาด ที่จุดเสีย และสภาวะที่เกิดเป็นแบบ อิมพีแดนซ์สูง หรือ อิมพีแดนซ์ต่ำ

ในวิธีที่ 1 สามารถบ่งบอกข้อมูลได้มากกว่าวิธีที่ 2 แต่วิธีที่ 2 สามารถทำงานได้ง่ายและสะดวกกว่ามาก ดังนั้นเครื่องมือส่วนใหญ่จึงใช้แบบวิธีที่ 2 นี้

นอกจากนี้ TDR สามารถตรวจวัดตัวนำโลหะประเภท สายคู่และสายโคแอกเซียลได้ และยังสามารถที่จะตรวจวัดความเสียหายเพียงเล็กน้อย ที่เกิดขึ้นกับสายเคเบิลได้ เช่น ตัวนำที่เสื่อมสภาพ การสึกกร่อนจากน้ำ ฉนวนที่หุ้มตัวนำเกิดการเสียหาย ฯลฯ ได้ และแม้ว่าเครื่องมือที่เราใช้อยู่ในปัจจุบันนี้จะง่ายและถูกต้องก็ตาม เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการทำงานเช่นเดียวกับอุปกรณ์อื่นๆ เราควรทำความเข้าใจหลักการการทำงานของ TDR ให้ลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น

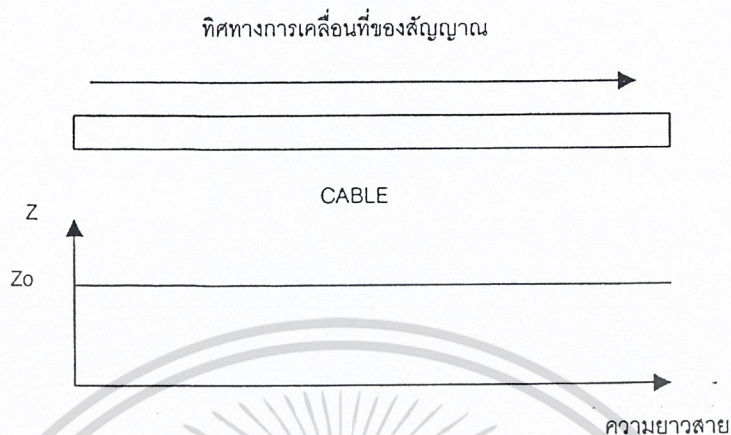
2.2.1 หลักการทำงานของ TDR

เมื่อตัวนำ 2 เส้นนำมาวางใกล้กัน จะก่อให้เกิดค่าอิมพีแดนซ์ขึ้น TDR จะตรวจหาค่าอิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุเช่น ความเสียหายของสาย, ความสึกกร่อนจากน้ำ, ชนิดของสายเคเบิลที่เปลี่ยนแปลงไป ฉนวนที่คั่นอยู่ระหว่างตัวนำทั้งสองเราเรียกว่า ไดอิเล็กทริก ค่าอิมพีแดนซ์ของสายขึ้นอยู่กับค่าระยะห่างระหว่างตัวนำและค่าของไดอิเล็กทริกนี้ ถ้าสายถูกคั่นด้วยระยะทางที่คงที่และค่าไดอิเล็กทริกที่คงที่แล้ว สายเคเบิลจะมีค่าอิมพีแดนซ์ที่คงที่ และถ้าค่าระยะห่างไม่แน่นอน ค่าของฉนวนเปลี่ยนแปลงไป จะส่งผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายเปลี่ยนแปลงไปด้วย

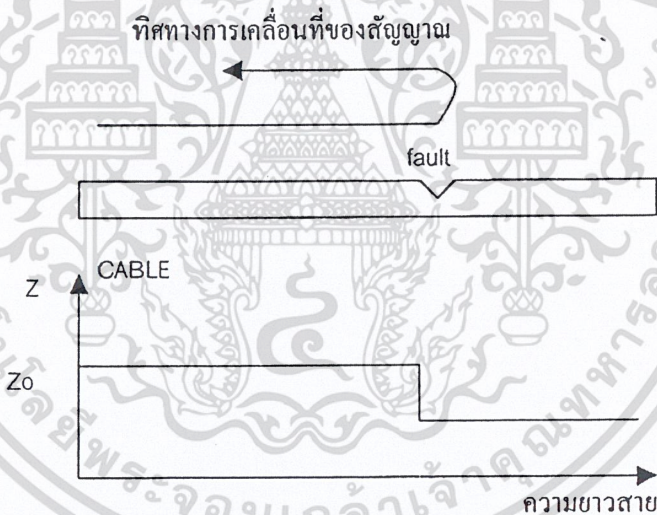
โดยปกติแล้วสายส่งสัญญาณแต่ละชนิดจะมีค่าอิมพีแดนซ์คงที่ตลอดความยาวสายเนื่องจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายมีค่าคงที่ ดังนั้นถ้าเราทำการส่งสัญญาณตรวจสอบเข้าไปในสาย สัญญาณจะ

เอกสารนี้เคลื่อนที่ไปตลอดความยาวสายโดยจะไม่มี การสะท้อนกลับมาของสัญญาณเลย และถ้าหากว่าส่วนใดของค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายส่งสัญญาณที่มีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งหมายถึงตำแหน่งที่สายส่งสัญญาณเกิดการชำรุด จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณที่ตำแหน่งนั้นๆ



รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่ของสัญญาณในสายดี



รูปที่ 2.17 การเคลื่อนที่ของสัญญาณในสายเสีย

TDR จะทำการส่งพัลส์เข้าไปในสายเคเบิล และตรวจวัดสัญญาณที่สะท้อนกลับ ถ้าตำแหน่งใดของสายที่อิมพีแดนซ์เกิดการเปลี่ยนแปลง จะทำให้สัญญาณเกิดการสะท้อนกลับมายัง TDR จากนั้นจึงนำสัญญาณที่สะท้อนกลับมา ไปประมวลผลและแสดงออกมาให้ทราบได้ ระยะทางจากจุดวัดถึงจุดเสียของสาย สามารถนำมาคำนวณหาระยะทางจากจุดวัดถึงจุดเสียได้ตามสมการ

$$D = \frac{U \times T_p}{2} \tag{2.53}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

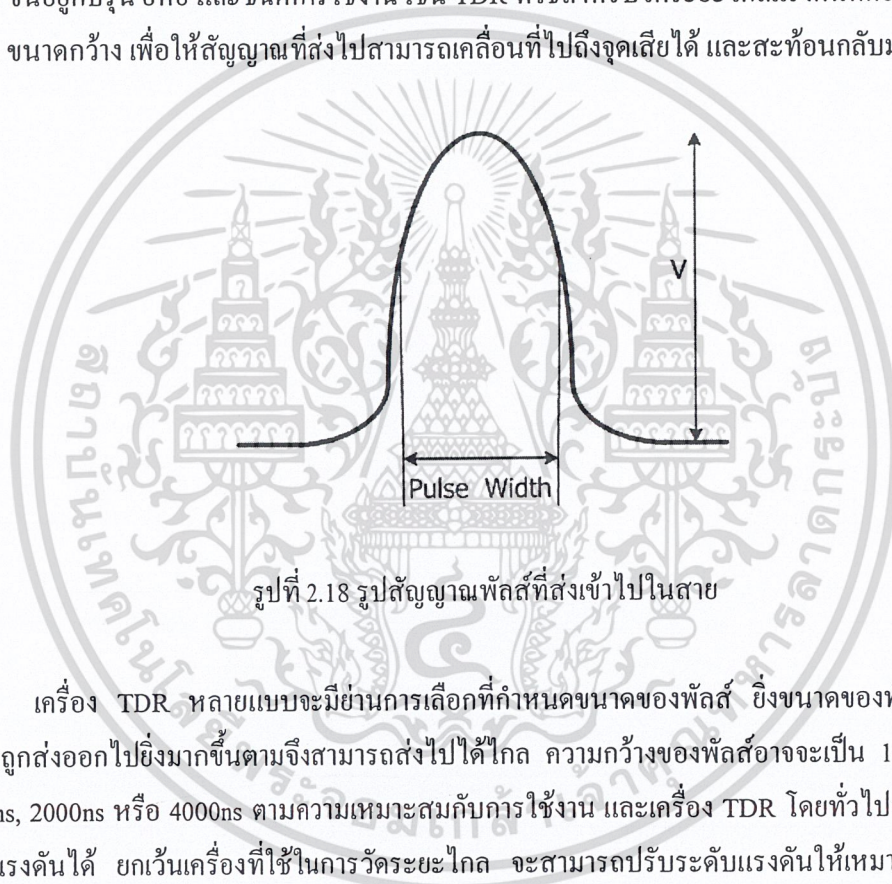
เมื่อ D คือ ระยะทางจากจุดที่วัดถึงจุดที่เสีย

U คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของสัญญาณ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของสายส่งสัญญาณ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2.43 โดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง $180m / \mu s$ ถึง $230m / \mu s$

T_p คือ เวลาที่สัญญาณใช้ในการเคลื่อนที่ภายในสาย ตั้งแต่ส่งสัญญาณออกไปจนสะท้อนกลับมา

2.2.2 สัญญาณที่ส่งเข้าไปในสาย

สัญญาณที่ใช้ในการทดสอบส่งเข้าไปในสายส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณ Sine-Squared Pulse ซึ่งมีขนาดแรงดันประมาณ $10-30 V_{peak}$ และขนาดความกว้างของสัญญาณพัลส์ (Pulse Width) อยู่ในช่วง $10 ns - 2 \mu s$ ขึ้นอยู่กับรุ่น ยี่ห้อ และชนิดการใช้งาน เช่น TDR ที่ใช้สำหรับวัดระยะไกลแรงดันที่ต้องใช้สูง Pulse Width ขนาดกว้าง เพื่อให้สัญญาณที่ส่งไปสามารถเคลื่อนที่ไปถึงจุดเสียได้ และสะท้อนกลับมายังเครื่อง



รูปที่ 2.18 รูปสัญญาณพัลส์ที่ส่งเข้าไปในสาย

เครื่อง TDR หลายแบบจะมีย่านการเลือกที่กำหนดขนาดของพัลส์ ยิ่งขนาดของพัลส์กว้างพลังงานที่ถูกส่งออกไปยิ่งมากขึ้นตามจึงสามารถส่งไปได้ไกล ความกว้างของพัลส์อาจจะเป็น $10 ns, 100ns, 1000ns, 2000ns$ หรือ $4000ns$ ตามความเหมาะสมกับการใช้งาน และเครื่อง TDR โดยทั่วไปจะไม่สามารถปรับแรงดันได้ ยกเว้นเครื่องที่ใช้ในการวัดระยะไกล จะสามารถปรับระดับแรงดันให้เหมาะสมในแต่ละระยะของการวัดได้

ขนาดความกว้างของสัญญาณที่ส่งไปจะถูกกำหนดไว้อย่างเหมาะสมในแต่ละ ระยะของการวัด เนื่องจากสัญญาณแต่ละขนาดให้ผลการวัดที่ดีในระยะต่างๆ กัน สัญญาณขนาดแคบๆ จะถูกใช้ในการวัดสายระยะสั้น เพื่อให้สามารถแยกสัญญาณที่ส่งไปและสะท้อนกลับได้อย่างชัดเจน ไม่ซ้อนทับกัน TDR ที่มีสัญญาณขนาดแคบมากเท่าไรก็สามารถวัดระยะจุดเสียได้ไกลขึ้นเท่านั้น แต่ถ้าสัญญาณขนาดความกว้างของพัลส์ต่ำสุดไม่แคบพอ ในบางครั้งจะมีปัญหาในการวัดหาตำแหน่งเสียเพราะถ้าจุดวัดอยู่ใกล้กับจุดเสียมากๆ จะทำให้สัญญาณที่ส่งออกไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับเกิดการซ้อนทับกันทำให้การประมวลผลเกิดความผิดพลาดได้

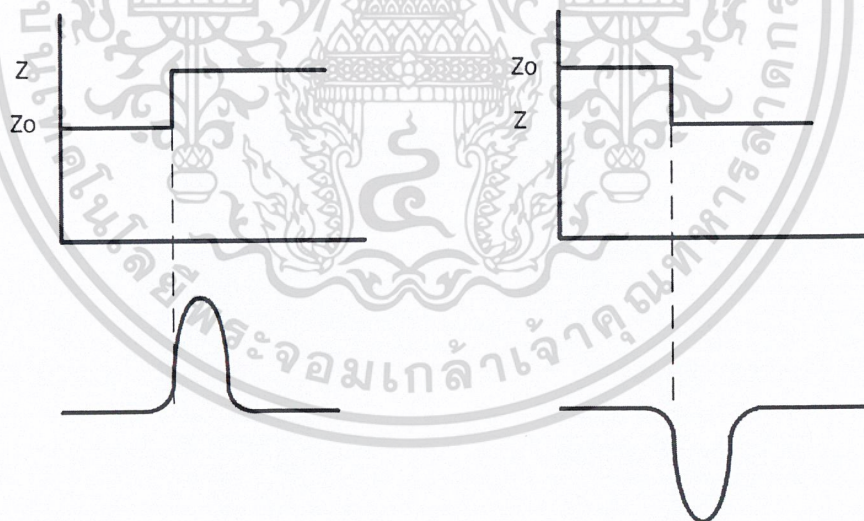
พัลส์ที่มีขนาดเล็กจะมีพลังงานน้อยกว่าพัลส์ที่มีขนาดใหญ่ สำหรับการวัดสายระยะไกลต้องใช้พัลส์ที่มีพลังงานมาก ขนาดความกว้างของพัลส์ก็ต้องมากขึ้นตาม เพื่อที่สามารถส่งไปได้ไกลถึงจุดที่อาจเกิดความเสียหายและสามารถที่จะสะท้อนกลับมายังเครื่องวัดได้ ดังนั้นในการวัดระยะจุดเดียวของสายเคเบิลเราจึงต้องเลือกขนาดความกว้างของพัลส์ให้เหมาะสมกับความยาวของสายเคเบิล เพื่อที่จะทำให้พัลส์ที่ถูกส่งออกไปมีพลังงานเหลือเพียงพอที่จะสะท้อนกลับมายังเครื่องวัด ถ้าเราใช้พัลส์ที่มีขนาดเล็กส่งไปในสายระยะยาว สัญญาณจะถูกลดทอนภายในสายจนทำให้สัญญาณไม่มีพลังงานเหลือเพียงพอที่จะสะท้อนกลับมาที่เครื่องวัด

เพราะฉะนั้นการเลือกความกว้างของพัลส์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพราะเราจะต้องเลือกให้เหมาะสมโดยจะต้องคำนึงถึงระยะที่ใช้วัดและค่าการลดทอนภายในสายทั้งสองอย่างควบคู่กันไป

ในทางปฏิบัติงานจริง เมื่อต้องการตรวจสอบสายเคเบิลที่ยาวมากๆ ให้เริ่มจากการเลือกขนาดของพัลส์ที่มีขนาดกว้างเล็กที่สุด และเพิ่มความกว้างไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพบตำแหน่งที่ชำรุด

2.2.3 รูปร่างและสัญญาณสะท้อนกลับ

สัญญาณที่สะท้อนกลับมานั้นจะสะท้อนกลับมาได้ตรงตำแหน่งที่อิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงไป และการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์เกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือเปลี่ยนแปลงไปในทางที่เพิ่มขึ้น หรือ ลดลง สิ่งเหล่านี้จะส่งผลให้เกิดการสะท้อนที่แตกต่างกัน



ก) พัลส์สะท้อนกลับแบบบวก

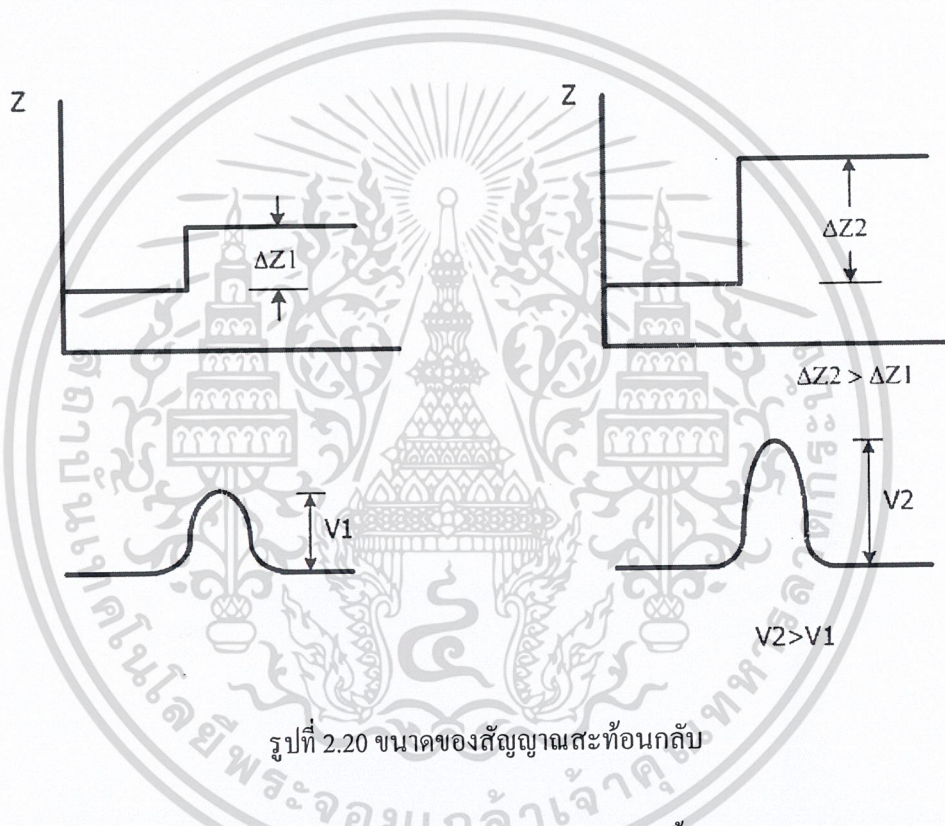
ข) พัลส์สะท้อนกลับแบบลบ

รูปที่ 2.19 รูปร่างของสัญญาณสะท้อนกลับ

จะเห็นว่ากรณีที่อิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่เพิ่มขึ้น สัญญาณที่สะท้อนกลับมามีลักษณะเดียวกับสัญญาณที่ส่งไปหรือที่เรียกว่า พัลส์สะท้อนกลับแบบบวก (Positive Return Pulse) แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทางลดลงสัญญาณที่สะท้อนกลับจะมีลักษณะที่ตรงกันข้ามกับสัญญาณที่ส่งไปหรือที่เรียกว่า พัลส์สะท้อนกลับแบบลบ (Negative Return Pulse) จากเหตุผลที่แตกต่างดังกล่าว ทำให้เราสามารถที่จะวิเคราะห์ลักษณะของเหตุเสียที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากเหตุเสียแต่ละชนิดทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่ต่างกัน เหตุเสียที่ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้น คือเหตุเสียแบบ Series Fault อันได้แก่ สายขาด, หลวม หรือเกิดออกไซด์ที่จุดต่อ และเหตุเสียที่ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ลดลงคือเหตุเสียแบบ Shunt Fault อันได้แก่ สายลัดวงจร, สายแตะดิน เป็นต้น

อิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปนอกจากจะมีผลต่อลักษณะของสัญญาณที่สะท้อนกลับแล้วยังมีผลต่อขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับอีกด้วยดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ขนาดของสัญญาณสะท้อนกลับ

จะเห็นว่าขนาดของสัญญาณสะท้อนกลับจะมากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยเพียงใด ถ้าอิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงไปมากก็จะทำให้ขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับมีค่ามาก แต่ถ้าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับก็น้อยลงไปด้วย หรืออาจกล่าวได้ว่าขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับจะแสดงให้เห็นว่าสัญญาณนั้นสามารถสะท้อนกลับได้ดีเพียงใด ในทางปฏิบัติจะเห็นว่ากรณีที่เหตุเสียเกิดขึ้นไม่รุนแรง สัญญาณจะสะท้อนกลับมาเพียงเล็กน้อย จะทำให้ยากต่อการวัดหาตำแหน่งเสีย เนื่องจากอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

โดยทั่วไปการสะท้อนกลับของสัญญาณจะมากหรือน้อยจะถูกกำหนดในรูปของสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient) ซึ่งจะบ่งบอกถึงความสามารถในการสะท้อนกลับของสัญญาณที่จุดนั้นๆ

โดยเปรียบเทียบสัญญาณที่สะท้อนกลับมากับสัญญาณที่ส่งไป ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นๆ

บทที่ 3

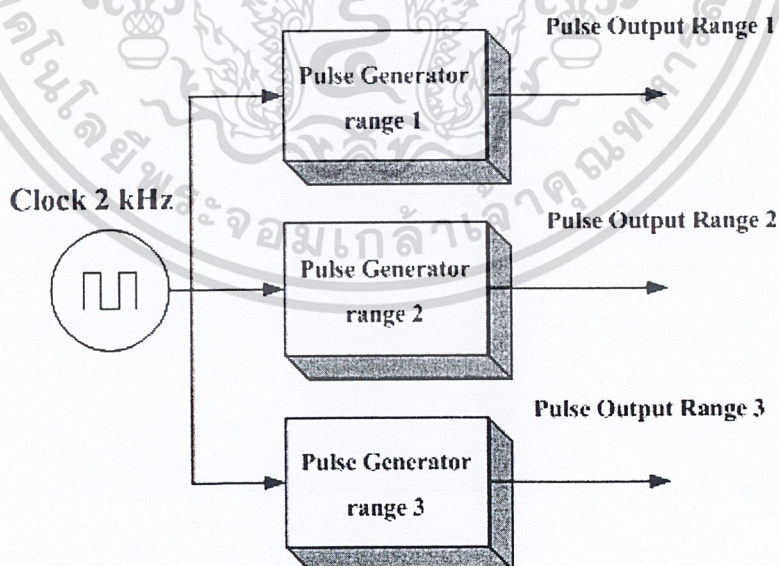
การคำนวณและการสร้าง

บล็อกไดอะแกรมของระบบ

บล็อกไดอะแกรมรวมของระบบประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

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

3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (#74HC123, #555)



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

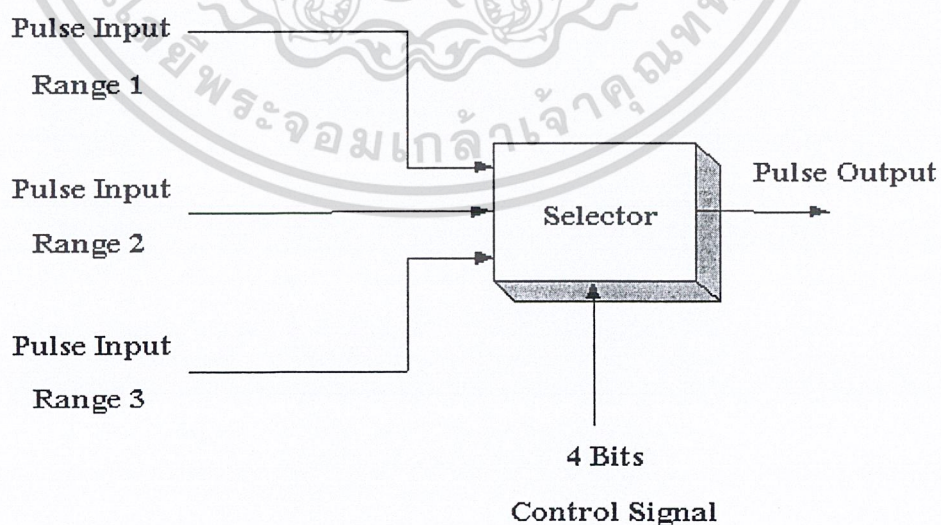
ในส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ จะทำหน้าที่ผลิตสัญญาณพัลส์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ย่านตามความเหมาะสมดังนี้ 0.1 μsec , 0.4 μsec , 3.5 μsec เหตุผลที่เลือกใช้ย่านความกว้างของพัลส์ดังนี้เพราะว่าขีดเอาค่าของบริษัทผู้ผลิต TDR เป็นหลัก เนื่องจากมีความเชื่อถือได้สูง และเหตุผลที่จะต้องทำการแบ่งออกเป็นย่านดังกล่าวเพื่อให้เหมาะสมกับระยะทางหรือความยาวของสายส่งที่จะทำการทดสอบเพื่อ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

ซึ่งความกว้างของพัลส์นี้จะมีผลต่อการวัดระยะทางรวมถึงขีดความสามารถในการวัด นั่นคือระยะทางที่ใกล้ที่สุดและไกลที่สุดที่จะทำการวัดขึ้นอยู่กับความกว้างของพัลส์ ถ้าต้องการให้เครื่องมือสามารถวัดได้ในระยะทางใกล้ ๆ ความกว้างของพัลส์จะต้องมีความแคบมากๆ ถ้าความกว้างของพัลส์ ไม่เหมาะสมกับระยะทางของสายส่งที่จะทำการทดสอบแล้วจะทำให้เกิดการซ้อนทับกันระหว่างคลื่นที่ทำการส่งไป (Traveling Wave) กับคลื่นที่สะท้อนกลับมาจากสายส่ง (Reflected wave) ถ้าเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้นเราจะไม่สามารถนำสัญญาณไปวิเคราะห์หรือนำไปประมวลผลได้

ซึ่งในส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ นี้ จะใช้ IC #74LS123 โดยจะสามารถผลิตเอาต์พุตเป็นลักษณะ Monostable Multivibrator โดยอาศัยสัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 KHz ป้อนเข้าวงจรเป็น สัญญาณนาฬิกาควบคุมจังหวะการกำเนิดสัญญาณเอาต์พุต ได้ตามที่เรากำลังต้องการตามที่เรากำลังต้องการ ในส่วนของวงจรที่จะออกแบบจะกล่าวถึงในบทต่อไป

ส่วนของในวงจร กำเนิดสัญญาณนาฬิกา 2 KHz ที่เป็นตัวกำหนดจังหวะการเกิดสัญญาณเอาต์พุต นั้น เราจะใช้ IC #555 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณ

3.2 วงจรเลือกสัญญาณ (#74150)

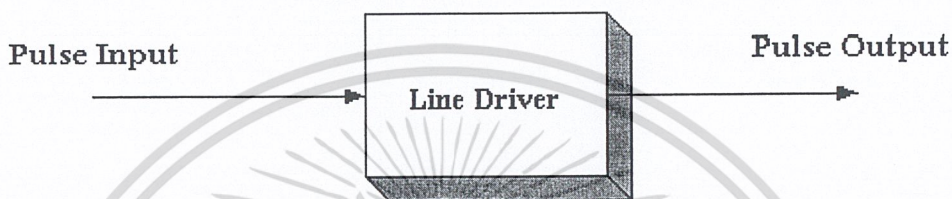


รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเลือกสัญญาณ

ในส่วนของวงจรเลือกสัญญาณ นั้น เราจะใช้ทำหน้าที่ควบคุมการปล่อยพัลส์ไปสู่ส่วนของวงจรขับสัญญาณแบบออตโนมัต ซึ่งจะควบคุมด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยในส่วนนี้ของวงจรนี้จะรับสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ เข้ามาทั้ง 4 สัญญาณ แต่จะส่งสัญญาณพัลส์ออกไปเพียงอันเดียว โดยกำหนดสัญญาณเอาต์พุตได้จากสัญญาณ ควบคุมที่มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์

ซึ่งในส่วนนี้ของวงจรเลือกสัญญาณนี้เราได้ใช้ IC #74150 ซึ่งเป็น IC เลือกสัญญาณแบบ 4 บิต

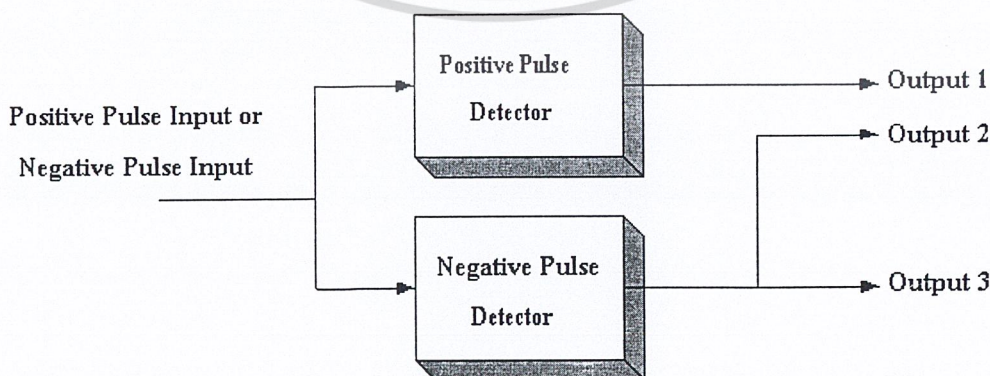
3.3 วงจรขับสัญญาณ (#LM6365, #LH0002)



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรขับสัญญาณ

วงจรขับสัญญาณจะทำหน้าที่ในการขับสัญญาณพัลส์ที่ถูกสร้างจากส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ผ่านวงจรเลือกสัญญาณเพื่อเพิ่มกำลังส่งให้กับพัลส์ขาส่ง (Traveling Wave) ที่จะทำการส่งเข้าไปในสายส่งที่จะทำการทดสอบเนื่องจากในส่วนของวงจรกำเนิดพัลส์นั้นมีกำลังส่งต่ำเกินไป เพราะถ้าส่งโดยไม่ผ่านวงจรขับสัญญาณ จะทำให้สัญญาณที่ส่งไปส่งไปได้ไม่ไกลและไม่สะท้อนกลับมา และยังต้องการให้ระดับของพัลส์ที่จะสะท้อนกลับมา (Reflected Wave) มีระดับสูงขึ้นเพื่อที่จะได้ง่ายต่อการตรวจจับสัญญาณ ซึ่งในส่วนนี้เราได้ใช้ IC LM6365 เป็นตัวขยายสัญญาณ และใช้ LH0002 เป็น ตัวขับสัญญาณ เนื่องจากสามารถให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีรูปร่างตามที่เรากำลังต้องการ

3.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ (#LM710)



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรม ของวงจรตรวจจับสัญญาณ

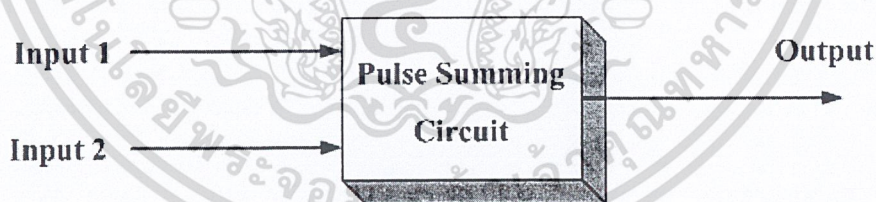
วงจรตรวจจับสัญญาณ ส่วนนี้จะทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณพัลส์ที่ขาส่ง (Traveling Wave) และสัญญาณพัลส์ที่สะท้อนกลับมา (Reflected Wave) ซึ่งสัญญาณต่างๆ ที่ออกจากวงจรจับสัญญาณรวมถึงสัญญาณสะท้อนกลับจะถูกตรวจจับจากส่วนของวงจรตรวจจับสัญญาณซึ่งจะประกอบไปด้วย ตัวตรวจจับพัลส์บวก (Positive Pulse Detector) และตัวตรวจจับพัลส์ลบ (Negative Pulse Detector) และเมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามาในวงจรต่ำหรือสูงกว่าแรงดันเปรียบเทียบ (Voltage Reference) ที่ตั้งไว้วงจรตรวจจับนี้จะให้เอาต์พุตออกมาซึ่งเอาต์พุต 1 และ เอาต์พุต 2 จะถูกส่งไปวงจรรวมสัญญาณต่อไป ส่วนเอาต์พุต 3 จะถูกส่งไปวงจร T-Flip Flop 2 เพื่อทำการแยกลักษณะของการชำระของ

ลักษณะการตรวจจับจะใช้ OP-AMP ที่ต่อเป็นวงจร Comparator โดยจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณบวกและสัญญาณลบค่านั้นในภาคนี้จะต้องมีการปรับแต่งระดับของ แรงดันเปรียบเทียบเพื่อใช้เป็นแรงดันอ้างอิงในการตรวจจับสัญญาณคลื่นที่เป็นทั้งคลื่นบวกและคลื่นลบให้ได้

เนื่องจากว่าสัญญาณที่สะท้อนกลับมามีระดับของแอมพลิจูดที่ต่ำมาก แต่เราจะไม่ทำการปรับแรงดันเปรียบเทียบให้อยู่ที่ระดับศูนย์ เพราะว่าถ้าทำเช่นนั้นแล้วจะทำให้ระดับของสัญญาณรบกวน (Noise Signal) ถูกตรวจจับไปด้วย ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดความผิดพลาดเป็นอย่างมากเนื่องจากจะทำให้เราไม่สามารถตรวจหาสัญญาณที่แท้จริงได้ เราจึงต้องมีการออกแบบและปรับแต่งให้ แรงดันเปรียบเทียบ อยู่ในระดับที่เหมาะสมที่สุด

ส่วนในวงจรนี้ เราใช้ IC #LM710 ซึ่งเป็นตัวตรวจจับสัญญาณ

3.5 วงจรรวมสัญญาณ (#74HC32)



รูปที่ 3.5 บล็อกโคอะแกรมของวงจรรวมสัญญาณ

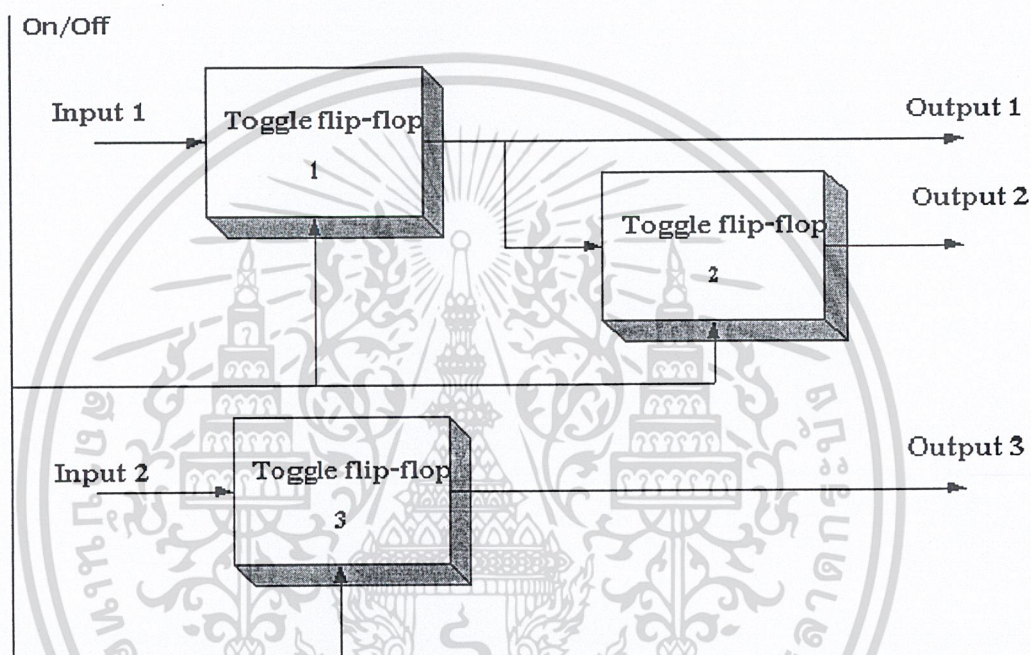
ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณ 2 สัญญาณที่ส่งมาจากภาคตรวจจับสัญญาณ เพื่อนำสัญญาณเหล่านี้มาทำการรวมกันทางแกนเวลา (Time Domain) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในส่วนของภาคนี้จะรับ อินพุตมาจากในส่วนของวงจรตรวจจับพัลส์บวก และวงจรตรวจจับพัลส์ลบซึ่งทั้งสองวงจรนี้จะไม่มีโอกาสให้เอาต์พุตพร้อมกันได้เด็ดขาด เช่นเมื่อส่งสัญญาณพัลส์บวกเข้าไปในสาย วงจรตรวจจับพัลส์บวกจะทำงาน แต่วงจรตรวจจับพัลส์ลบจะไม่ทำงาน จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ของวงจรรวมสัญญาณมีเป็นพัลส์บวกค่าหนึ่งตามลักษณะสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับพัลส์บวก และเมื่อพัลส์นั้นสะท้อนกลับ

มา ซึ่งอาจจะเห็นได้ว่าเป็นพัลส์บวกหรือพัลส์ลบก็ตาม จะทำให้เอาต์พุตที่วงจรรวมสัญญาณมีค่าออกมา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นพัลส์บวกอีกเช่นเดียวกัน ตามลักษณะสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์บวกหรือลบ ซึ่งจะทำให้เอาต์พุตของวงจรนี้เป็นสัญญาณที่เรียงกันและมีระยะห่างเกิดขึ้น ซึ่งระยะห่างของพัลส์ที่เกิดขึ้นนี้จะมีส่วนกับความยาวของสายที่ทำการทดสอบ

โดยในส่วนนี้เราใช้ IC #74HC32 ซึ่งเป็น OR-GATE นำมาใช้ในวงจรเพราะมีลักษณะการให้สัญญาณเอาต์พุตตามที่เรากำลังต้องการ

3.6 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ (#74HC74, #74HC14)



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของวงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ

ในภาคนี้แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ T-Flip Flop 1 หรือส่วนของวงจรตรวจจับเวลา ซึ่งจะมีหน้าที่คือแปลงระยะห่างระหว่างพัลส์ 2 ลูก ซึ่งได้รับสัญญาณมาจากในส่วนของวงจรรวมสัญญาณ คือ พัลส์ข้างส่งกับพัลส์สะท้อนกลับให้เป็นพัลส์ลูกเดียวที่มีความกว้างของพัลส์เท่ากับระยะห่างระหว่างพัลส์ 2 ลูกนี้ เพราะ T-Flip Flop จะเปลี่ยนสถานะเมื่อมีพัลส์บวกเข้ามา ซึ่งก็คือเมื่อเอาต์พุตจากวงจรรวมสัญญาณลูกแรกเข้ามา T-Flip Flop จะเปลี่ยนสถานะจาก "0" เป็น "1" ไปจนกระทั่งมีเอาต์พุตจากวงจรรวมสัญญาณอีกตัวหนึ่งมาจะทำให้ T-Flip Flop จะเปลี่ยนสถานะจาก "1" เป็น "0" จะทำให้ได้เอาต์พุตจากวงจร T-Flip Flop เป็นลักษณะสัญญาณพัลส์ลูกเดียวซึ่งความกว้างของพัลส์นั้น ก็คือระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนไปและกลับ ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จะส่งไป ยังวงจรคูณสัญญาณ เพื่อจะนำไปประมวลผลต่อไป และยังเป็นสัญญาณที่ส่งไปยังวงจรกำเนิดสัญญาณ เพื่อเป็นตัวกำหนดการเริ่มและหยุดนับของวงจรมานับ และก็จะส่งไปไมโคร

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T-Flip Flop 2 จะมีหน้าที่คือตรวจสอบสถานะของสายว่าชำรุดหรือไม่โดยการรับค่ามาจากส่วน
ของ T-Flip Flop 1 เพราะถ้า T-Flip Flop 1 ทำงานแสดงว่า สายมีการชำรุดแต่ถ้า T-Flip Flop 1 ไม่ทำงาน
หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาลง แสดงว่าสายนั้นไม่ชำรุด ซึ่งเราได้ใช้ขอบขาของสัญญาณ
จากวงจร T-Flip Flop 1 เป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนสถานะของ T-Flip Flop 2 ซึ่งถ้า T-Flip Flop 2 เป็น “1”
แสดงว่าสายชำรุด แต่ถ้า T-Flip Flop 2 เป็น “0” แสดงว่า สายไม่ชำรุด และส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์
เพื่อประมวลผลต่อไป ซึ่งแสดงสถานะได้ดังตาราง

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการตรวจจับการเสียบของสายจากในส่วนวงจรตรวจสอบสายดีหรือเสีย

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

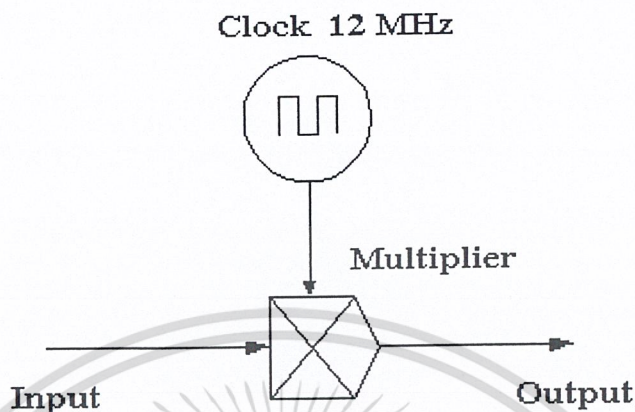
ส่วน T-Flip Flop 3 จะมีหน้าที่คือตรวจสอบสถานะของสายว่าเป็นการชำรุดแบบไหน เพื่อส่งไป
ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงผลต่อไป ซึ่งจะสามารถตรวจสอบได้โดยเมื่อส่งสัญญาณพัลส์เข้าไปใน
สาย วงจรตรวจจับสัญญาณลบจะไม่ทำงานคือจะให้เอาต์พุต สถานะเป็น “0” ซึ่งจะทำให้ T-Flip Flop คง
ค่าสถานะเดิมไว้คือ “0” และเมื่อ พัลส์ที่สะท้อนกลับมามีค่าเป็นบวก ทำให้ในส่วนของวงจรตรวจจับพัลส์
ลบไม่ทำงานทำให้ T-Flip Flop คงค่าสถานะเดิมไว้คือ “0” เช่นเดิม แต่ถ้าพัลส์ที่สะท้อนกลับมาเป็นพัลส์
ลบ จะทำให้วงจรตรวจจับพัลส์ลบทำงานทำให้ T-Flip Flop เปลี่ยนสถานะเป็น “1” ซึ่งจะทำให้เรา
สามารถทราบได้ว่าสายมีการชำรุดแบบไหนได้ดังตาราง

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการตรวจจับชนิดการเสียบของสายจากในส่วนวงจรตรวจสอบสายเปิดหรือลัดวงจร

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

ในส่วนของวงจร T-Flip Flop นี้ในทางปฏิบัติแล้วจะนำเอา Data-Flip Flop หรือ JK-Flip Flop มา
ทำการดัดแปลงให้สามารถทำงานเป็น T-Flip Flop เนื่องจากว่าในท้องตลาดจะไม่มี IC ที่มีโครงสร้าง
ภายในเป็น T-Flip Flop ซึ่งในส่วนนี้เราได้ใช้ D-Flip Flop มาทำการแปลงซึ่งก็คือ IC #74HC74

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

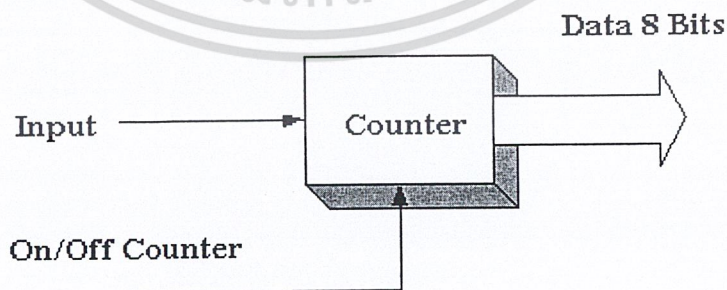


รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของวงจรมคูณสัญญาณ

ในส่วนนี้อินพุตของระบบคือสัญญาณพัลส์ที่รับเข้ามาจาก T-Flip Flop 1 ซึ่งเป็นพัลส์ที่มีความกว้างเท่ากับเวลาที่แตกต่างกันของพัลส์ข้าง และพัลส์ที่สะท้อนกลับ สัญญาณพัลส์สูงนี้ จะผ่านเข้ามายังวงจรมคูณสัญญาณ โดยมีสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยม (Square pulse) ความถี่ 12 MHz เป็นตัวคูณ กับสัญญาณพัลส์ที่รับเข้ามา ดังนั้นเราจึงกล่าวได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตของ T-Flip Flop 1 เมื่อผ่านระบบนี้แล้ว ความกว้างของพัลส์จะถูกระบบนี้แบ่งความกว้างของพัลส์ออกเป็น พัลส์ลูกเล็ก ๆ จำนวนหนึ่ง และสัญญาณเอาต์พุตที่ได้นี้ จะถูกนำไปประมวลผลยังภาคต่อไป

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

3.8 วงจรนับ (#74HC393)



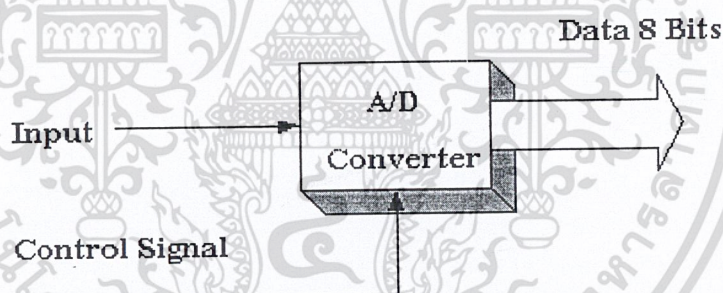
รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมของวงจรมนับ

การทำงานในส่วนนี้จะทำหน้าที่นับสัญญาณ อินพุต ซึ่งในที่นี้จะนับสัญญาณที่ได้จากการคูณระหว่างสัญญาณที่ได้จาก T-Flip Flop 1 กับสัญญาณนาฬิกาความถี่ 12 MHz โดยที่ วงจรภาคนับจะทำการนับทุกๆ ช่วงการคูณสัญญาณ นั่นคือวงจรนับจะนับเฉพาะช่วงที่เกิดระยะห่างของพัลส์ขาส่งและพัลส์สะท้อนกลับเท่านั้น ช่วงอื่นๆ จะเป็นลอจิก “0” และจะทำการนับใหม่ เมื่อทำการส่งสัญญาณพัลส์ขาส่งออกไปและสิ้นสุดการนับเมื่อมีพัลส์สะท้อนกลับมา ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าวงจรจะทำการเริ่มนับใหม่ทุกๆ 0.5 ms

ส่วนสัญญาณ On/Off Counter นั้นเราใช้สัญญาณจากวงจร T-Flip Flop 1 เพื่อเป็นตัวบอกให้เริ่มนับและหยุดนับ เพราะถ้าเราทำการป้อนสัญญาณที่ได้จากการคูณเข้าไปนับโดยตรงจะเกิดปัญหาคือ การนับจะไม่เป็นระเบียบและไม่สามารถหาค่าเอาต์พุตที่จะนำไปประมวลผลได้ เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีสัญญาณหนึ่งเป็นตัวบอกให้วงจรเริ่มนับและหยุดนับ ดังนั้นสัญญาณที่จะนำมาทำงานนี้ได้จะต้องมีความสัมพันธ์กับระยะห่างของพัลส์ขาส่งและพัลส์สะท้อนกลับด้วย เพื่อให้การนับมีความถูกต้องแม่นยำและมีความผิดพลาดให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ซึ่งในส่วนของวงจรนี้เราใช้ IC #74HC393 ซึ่งเป็น IC 8 Bits Counter มาใช้

3.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (#ADC 0820)



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมของวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล

การทำงานในส่วนนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่สะท้อนกลับมาให้เป็นข้อมูลแบบดิจิตอล ขนาด 8 บิต เพื่อที่จะส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผลต่อไป โดยสัญญาณอินพุตจะเป็นสัญญาณที่ส่งเข้าไปในสายและมีสัญญาณที่สะท้อนกลับมา โดยสัญญาณควบคุมก็คือสัญญาณจาก T Flip-Flop 1 ซึ่งนำมาควบคุมจังหวะการเขียนหรืออ่านข้อมูลนั่นเอง ซึ่งจะใช้ขอบขาลงเป็นตัวควบคุมจังหวะการอ่านของ A/D

ในส่วนนี้เราได้ใช้ IC #ADC 0820 มาใช้ ซึ่งจะให้อาต์พุตขนาด 8 บิตออกมา โดย IC ตัวนี้ จะสามารถ แปลงสัญญาณได้ทั้ง บวกและลบและมีความไวในการแปลงข้อมูลค่อนข้างสูง

3.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (AT89S8252)

คุณสมบัติทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 อนุกรม AT89xx

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม
- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายในชิป
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ SPI สำหรับในอนุกรม AT89Sxx
- มีวอตช์ด็อกไทมเมอร์ในตัว สำหรับในอนุกรม AT 89Sxx

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS -51 แบบแฟลชที่ ใช้งานในปัจจุบัน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10.1 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 89S8252

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.16 โดยมีรายละเอียดขั้นต้น ดังนี้

ขา Vcc ใช้สำหรับต่อไปเลี้ยง 5 Volt

ขา GND เป็นขาราวด์ สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ

ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตพีแวนซ์สูง สามารถใช้งานในขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ พอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานให้เป็นได้ทั้งขาติดต่อแอดเดรสและขาติดต่อข้อมูล

ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นไปได้ทั้งอินพุตเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 1 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อ นอกจากนี้ ในอนุกรม AT89Sxx จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทมเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทมเมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ

ขาพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นไปได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 2 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อ ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย จึงมีอินพุต อิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15)

ขาพอร์ต 3 (P3.0 –P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นไปได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 3 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต ก็สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อ ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดดังนี้

P3.0 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD

P3.1 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD

P3.2 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณอินเทอร์ปต์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา INT0

P3.3 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณอินเทอร์ปต์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขา INT1

P3.4 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา T0

P3.5 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขา T1

P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

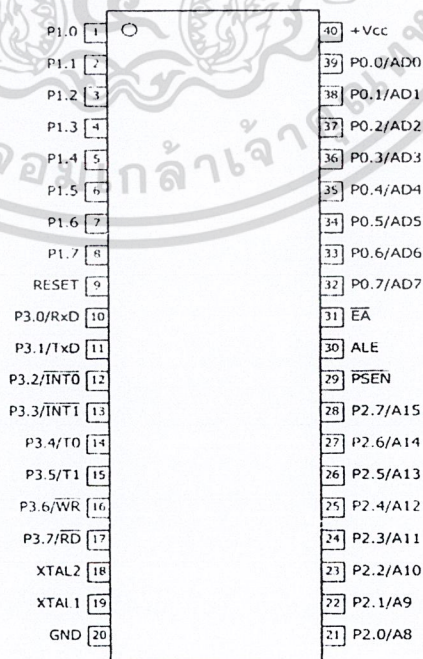
ขา Reset ใช้ในการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซ็ต สถานะที่ขานี้ต้องอยู่ในระดับ รีเซ็ตอย่างน้อย 2 แมกซ์ซีไนเซกิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปยังปกติ

ขา ALE/PROG (Address Latch Enable/ Program Pulse อินพุต) เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นขานี้ยังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการโปรแกรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบอีอีพรอม

ขา PSEN (Program Store Enable) ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้งในแต่ละแมกซ์ซีไนเซกิล แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขานี้จะไม่มีสัญญาณใดๆ ออกมา

ขา EA /Vpp (External Access Enable/ Programming Voltage อินพุต) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอก หรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น “0” เป็น “1” การเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าหากขานี้นอกจากนี้ที่ขานี้ยังใช้เป็นขาอินพุต สำหรับแรงดันไฟสูง สำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบเฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรม +12 Volt

ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับต่อคริสตอล เพื่อการสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์



3.10.2 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต

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

การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

เนื่องจากพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องทำความเข้าใจถึงการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล “1” มาที่แต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการใช้งานเป็นอินพุต เพื่อหยุดการทำงานของเฟตที่ใช้ในการขับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้นๆ ทำให้ขาสัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อเข้ากับวงจรพูลอัพภายในโดยตรง ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น “1” สามารถรับสัญญาณลอจิก “0” จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย สัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจะถูกส่งเข้ามาแล้วเก็บไว้ในวงจรถับพัลส์ภายในพอร์ต แล้วรอให้ซีพียูมาอ่านค่าเข้าไป เมื่อเป็นเช่นนี้ อุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ควรกำหนดในสถานะลอจิก “0” จะดีและสะดวกที่สุด (ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์อินพุตที่เชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์แทบทั้งหมดทำงานที่ลอจิก “0” แล้ว)

การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต

โดยปกติแล้ว ขาพอร์ตจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้ว ดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลออกไปได้อย่างง่ายดายและตรงไปตรงมา กล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูล “0” ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้เขียนข้อมูล “0” ไปยังวงจรถับพัลส์ ซึ่งก็จะส่งต่อไปขับเฟต ทำให้เฟตทำงาน ที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงานก็จะเกิดลอจิก “0” ขึ้น ในทางที่ขาพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรพูลอัพภายในเกิดเป็นลอจิก “1” ที่ขาพอร์ตนั้น ซึ่งก็จะคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมาก เพียงแต่แตกต่างกันที่กระบวนการในการเคลื่อนย้ายข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุตจะมีสัญญาณมาอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์ แต่ถ้าเป็นเอาต์พุตจะไม่มีมาอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์แต่อย่างใด เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอาต์พุต

การอ่านค่าลอจิกจากพอร์ต

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตได้ 2 ลักษณะ คือ อ่านค่าจากพอร์ตโดยตรง และอ่านจากวงจรถับพัลส์ของแต่ละพอร์ต ในกรณีที่พอร์ตต่อกับขาเบสของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และขาอิมิตเตอร์ต่อลงกราวด์หากมีการส่งข้อมูล 1 ไปยังทรานซิสเตอร์ จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานสถานะลอจิกที่ขพอร์ตจะเป็น 0 เนื่องจากเมื่อทรานซิสเตอร์ทำงาน จะเสมือนว่าขาพอร์ต นั้นถูกต่อลงกราวด์ทำให้หากอ่านค่าลอจิกที่ขาพอร์ต จะได้ผลตรงกันข้ามกับที่ส่งออกมา แต่ถ้าหากทำงานอ่านค่าลอจิกที่วงจรถับพัลส์จะได้ค่าที่ตรงกับค่าที่ต้องการส่งจริง ดังนั้น ในการอ่านค่าลอจิกจากพอร์ต จึงต้องเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่นำมาต่อด้วย

3.10.3 ความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการทำงาน 1 รอบ หรือ 1 แมกซ์ซินไซเกิล ซึ่พียูในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 จะใช้เวลา 12 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา นั่นคือ เวลาในการทำงาน 1 ซิกเกิลมีค่าเท่ากับ 1 ms หรือมีความเร็วในการทำงานภายใน 1 MHz ในกรณีที่ใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกา 12 MHz ถ้าต้องการทราบความเร็วของการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 สามารถหาได้จาก ค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาหารด้วย 12 และถ้าต้องการหาค่าเวลารอบ 1 รอบของการทำงานหรือ 1 แมกซ์ซินไซเกิล สามารถทำได้โดยการหาส่วนกลับของความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.11 จอแสดงผล

รายละเอียดเกี่ยวกับ โมดูล LCD (Liquid Crystal Display)

ในโมดูล LCD ที่ใช้กันโดยทั่วๆ ไปมีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

1. ตัวแสดงผล (Display) ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็น โดยอาศัยแสงจากภายนอก ซึ่งจะปิดและเปิดตัวเองกับแสงในส่วนของที่เป็นตัวกระจกบรรจุผลึก
2. ตัวควบคุม (Controller) เป็นตัวรับข้อมูลภายนอก มาควบคุมการทำงานของมดูล LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิปควบคุมโดยเฉพาะ ชิพที่นิยมใช้คือเบอร์ HD61830 และ HD44780 โดย HD44780 จะใช้ควบคุม LCD อักษร ส่วน LCD61830 ใช้ควบคุม LCD แบบกราฟฟิก
3. ตัวขับ (Driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุม มาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูล ตามที่กำหนด ชิพที่ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวขับนี้ ได้แก่ เบอร์ HD44100H และ MSM5259 เป็นต้น

3.11.1 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD

ในโครงงานนี้เราใช้ LCD แบบอักษร จึงขอยกตัวอย่าง โครงสร้างและการใช้งาน LCD อักษรที่ใช้ชิพเบอร์ HD44780 เป็นตัวควบคุม ซึ่งประกอบไปด้วย

1. บัฟเฟอร์อินพุตเอาต์พุต (Buffer อินพุต output) เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อรับส่งข้อมูล กับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อที่จะถ่ายทอดข้อมูลเข้าออกภายในตัวควบคุม
2. รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register: IR) เป็นรีจิสเตอร์ใช้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก เพื่อถ่ายทอดไปยังหน่วยความจำ ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลแสดงผล หรือนำข้อมูลไปสร้างตัวอักษรเพิ่มเติมในแรมเก็บตัวอักษร
3. แรมเก็บข้อมูลแสดงผล (Display Data Ram: DDRAM) เป็นหน่วยความจำที่มีหน้าที่เก็บข้อมูลทีมาจากรีจิสเตอร์ DR ตัวควบคุมจะนำข้อมูลใน DDRAM ไปเปิดตาราง (look up-table) ของตัวอักษรที่เก็บไว้ในหน่วยความจำรวมและแรมเก็บตัวอักษร เพื่อที่จะนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล
4. รมเก็บตัวอักษร (Character Generator ROM: CGROM) เป็นหน่วยความจำที่รวมที่ใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ที่สามารถอ่านออกไปแสดงที่ตัวแสดงผลได้ มีขนาด 7200 บิต โดยจะถูกอ่านค่าของข้อมูลใน DDRAM

5. แรมเก็บตัวอักษร (Character Generator RAM: CGRAM) เป็นหน่วยความจำแรมที่ใช้เก็บตัวอักษรใน CGRAM ไม่เพียงพอ มีขนาด 512 บิต การเขียนและอ่านค่าไปใช้นั้นทำได้เช่นเดียวกับ CGRAM คือเขียนข้อมูลลงใน DDRAM แล้วตัวควบคุมจะมาอ่านค่าจาก CGRAM เอง

6. แฟล็ก BUSY เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แจ้งสถานะการทำงานของตัวควบคุมให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่า ตัวควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งหรือไม่ ดังนั้นก่อนการส่งข้อมูลหรือคำสั่งมายังตัวควบคุมต้องตรวจสอบสถานะของแฟล็กBUSY นี้เสียก่อน

3.11.2 รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD ในโครงการ

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

ขา 1 Vss ต่อลงกราวด์

ขา 2 Vdd ต่อไฟเลี้ยง +5v

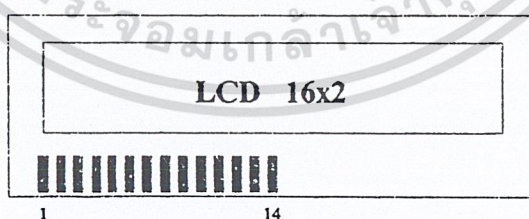
ขา 3 V0 เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

ขา 4 RS เป็นขาอินพุต ใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผลในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งสำหรับบริจิสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลสำหรับบริจิสเตอร์ DR โดยถ้าขานี้เป็น “0” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง และถ้าเป็น “1” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลสำหรับการแสดงผล

ขา 5 R/W เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ LCD ถ้าเป็น “0” เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูล

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

ขา 7-14 เป็นขาที่ใช้เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอกมีขนาด 8 บิต



รูปที่ 3.11 การจัดขาของจอแสดงผล

3.11.3 คำสั่งควบคุม LCD

ในการเขียนคำสั่งควบคุม LCD เราต้องกำหนดลอจิกให้กับขา RS และ R/W ในลักษณะที่ต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 3.4 ชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของ LCD

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

1. คำสั่งเคลียร์ตัวแสดงผล (clear display)

มีข้อมูลคำสั่งเป็น 01H เป็นคำสั่งที่ใช้เขียนข้อมูลช่องว่าง หรือ space เข้าไปใน DDRAM ทั้งหมด เมื่อควบคุมเอ็กซีคิวต์คำสั่งนี้ จะทำการกำหนดแอดเดรสของ DDRAM เป็น 0 เคอร์เซอร์จะกลับไปอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายมือสุดของจอแสดงผล แล้วเซตบิต I/D ให้เป็น “1”

2. คำสั่ง RETURN HOME

ต้องกำหนดให้บิต 1 ของข้อมูล “1” เป็นคำสั่งให้เคอร์เซอร์เคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งซ้ายสุดของจอแสดงผล แต่ข้อมูลบนจอไม่เปลี่ยนแปลง อาจจะให้คำสั่งเป็น 01H หรือ 02H ก็ได้

3. คำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล (entry mode set)

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

บิต S เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดลักษณะของการแสดงผล เมื่อมีการป้อนข้อมูล ถ้าหากบิต S เป็น “1” ตัวเคอร์เซอร์ จะอยู่กับที่ แต่ตัวอักษรข้อมูลเดิมจะถูกดันไปทางซ้าย แต่ถ้าหากบิตนี้เป็น “0” เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ เคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ

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

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

4. คำสั่งควบคุมการแสดงผล

MSB					LSB		
0	0	0	0	1	D	C	B

บิต D ใช้ควบคุมการเปิด ปิด จอแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น “1” จะเป็นการเปิดจอแสดงผลถ้าเป็น “0” จะเป็นการปิดจอแสดงผล

บิต C ใช้ควบคุมการแสดงตัวเคอร์เซอร์บนจอแสดงผล ถ้าต้องการให้มีเคอร์เซอร์แสดงผลบนจอแสดงผล ต้องกำหนดให้เป็นบิต “1” ถ้ากำหนดให้เป็น “0” จะเป็นการปิดหรือไม่แสดงเคอร์เซอร์

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

5. คำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร

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

การควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และตัวอักษรบนจอแสดงผลขึ้นอยู่กับกำหนบบิต S/C และ R/L ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

S/C	R/L	ลักษณะการเลื่อน	ข้อมูลคำสั่ง
0	0	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย	10H-13H
0	1	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา	14H-17H
1	0	เลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางซ้าย	18H-1BH
1	1	เลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางขวา	1CH-1FH

6. คำสั่งกำหนดฟังก์ชันการทำงาน

MSB					LSB		
0	0	1	DL	N	F	*	*

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

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

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

ข้อมูลคำสั่งที่ใช้บ่อยคือ 38H เป็นการกำหนดให้โมดูล LCD ทำงานในแบบ 8 บิตแสดงผล 2 บรรทัด และเลือกความละเอียด 5x7 จุด

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

7. คำสั่งเลือกแอดเดรสของ CGRAM

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

8. คำสั่งเลือกแอดเดรสของ DDRAM

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

9. คำสั่งอ่านแฟล็ก BUSY และแอดเดรส

MSB

LSB

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

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

เมื่อต้องการอ่านแฟล็กต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “1” แต่สัญญาณที่ขา RS ยังต้องเป็น “0” เพราะข้อมูลนี้เป็นข้อมูลคำสั่ง

นอกจากนี้ ยังใช้เป็นคำสั่งอ่านข้อมูลแอดเดรสของ CGRAM และ DDRAM ด้วย โดยบิต 0-6 เป็นค่าของข้อมูลของแอดเดรสที่ต้องการอ่าน

3.11.4 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่โมดูล LCD

ในการเขียนข้อมูลเพื่อควบคุมให้โมดูล LCD แสดงผลตามที่ผู้ใช้งานต้องการ ต้องส่งคำสั่ง (instruction) แล้วกำหนดโหมดการทำงานให้แก่โมดูล LCD ก่อน จากนั้นจึงค่อยส่งข้อมูล (data) ที่ต้องการแสดงผลเนื่องจากบัสข้อมูลของโมดูล LCD มี 8 เส้น คือ D0-D7 และใช้เป็นทางผ่านของ ทั้งคำสั่ง และข้อมูล ดังนั้นในการส่งคำสั่งและข้อมูลจึงต้องการกำหนดสัญญาณลอจิกที่ขา RS ถ้าหากที่ขา RS ได้ลอจิก “0” หมายความว่า ข้อมูลที่ป้อนให้แก่โมดูล LCD ขณะนั้นเป็นคำสั่ง ในทางตรงข้ามหากขา RS ได้รับลอจิก “1” ข้อมูลที่ป้อนให้ขณะนั้นเป็นข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผล

เมื่อต้องการเขียนข้อความหรืออ่านข้อมูลใน CGRAM และ DDRAM เริ่มต้นต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน โดยใช้คำสั่งเลือกแอดเดรส จากนั้นกำหนดให้ขา RS เป็น “1” เพื่อแจ้งให้ตัวควบคุมภายในโมดูล LCD ทราบว่าข้อมูลที่ปรากฏต่อไปนี้เป็นข้อมูลปกติไม่ใช่คำสั่ง

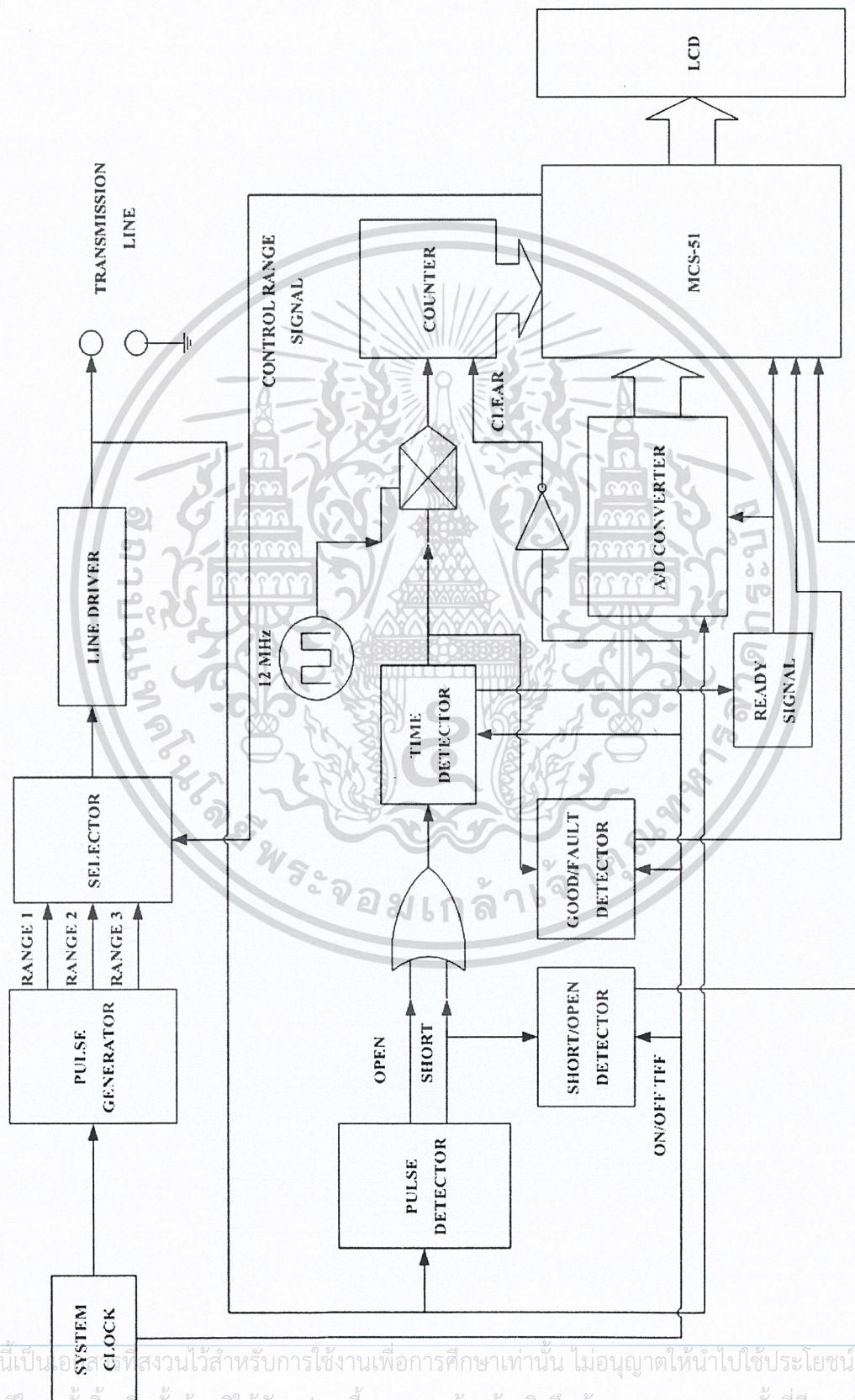
ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “1” ข้อมูลขนาด 8 บิต (หรือ 4 บิต) ก็จะปรากฏบนบัสข้อมูล โดยข้อมูลที่อ่านออกมาได้ จะเป็นข้อมูลจากแอดเดรสของ CGRAM หรือ DDRAM ตามต้องการ

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

3.11.5 จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล

ในการติดต่อกับโมดูล LCD จะต้องมีกำหนดระยะเวลาหลังจากที่ทำการส่งรหัสคำสั่งหรือข้อมูล เนื่องจากต้องรอให้คอนโทรลเลอร์ภายใน LCD โมดูล แปลความหมายของรหัสคำสั่งและทำงานตามคำสั่งให้เรียบร้อยก่อน จากนั้นจึงจะรับข้อมูลหรือดำเนินการต่อไป

ดังนั้น ในการใช้งาน ผู้เขียนโปรแกรมต้องมีโปรแกรมเพื่อหน่วงเวลารอให้ LCD โมดูล พร้อมทำงานด้วย โดยเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้แก่ LCD ต้องรอประมาณ 100 ms เพื่อให้ LCD ทำการเตรียมความพร้อม หลังจากนั้นก็จะกำหนดลอจิกให้กับขา RS และหน่วงเวลาอีกประมาณ 2 ms เพื่อให้คอนโทรลเลอร์ของ LCD แปลความหมายของลอจิกที่ขา RS ว่าเป็นรหัสข้อมูลจะแสดงผลหรือคำสั่ง จากนั้นจะเป็นการส่งข้อมูลมารอที่ขาบัสข้อมูล D0-D7 ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการส่งสัญญาณพัลส์ไปที่ขา E เพื่อให้ LCD รับเอาข้อมูลจากบัสเข้าไป โดยพัลส์ที่ป้อนที่ขา E จะต้องเป็นพัลส์ขอบขาขึ้น จากนั้นก็ทำการหน่วงเวลา 2 ms



รูปที่ 3.12 บล็อกไดอะแกรมรวม

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

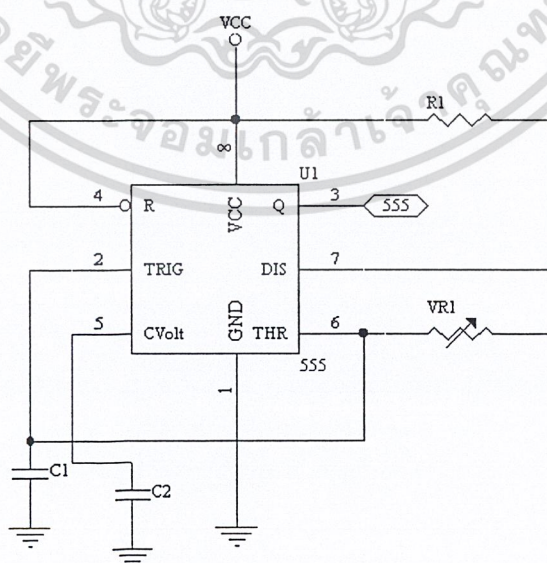
4.1 การออกแบบวงจร

วงจรจะแบ่งเป็น

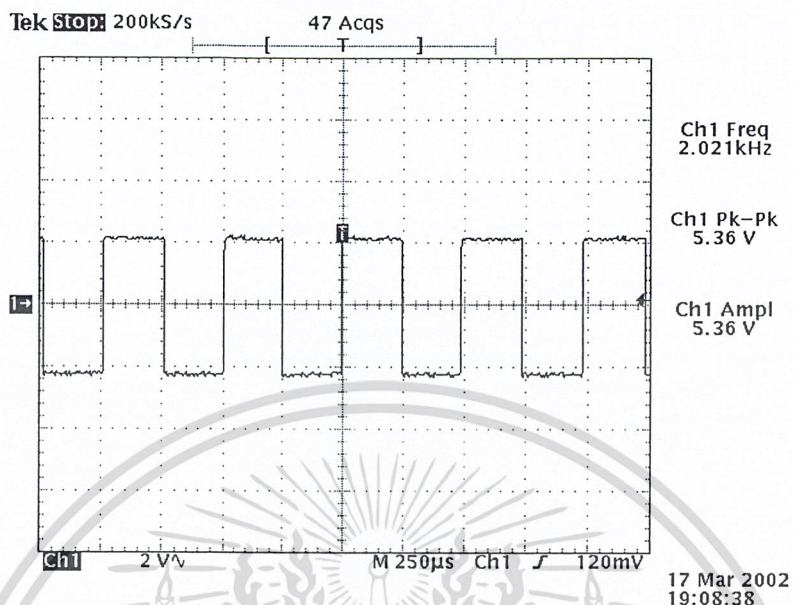
- 1) วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (#74HC123, #555)
- 2) วงจรเลือกสัญญาณ (#74150, #74LS04)
- 3) วงจรจับสัญญาณ (#LM6365, #LH0002)
- 4) วงจรตรวจจับสัญญาณ (#LM710)
- 5) วงจรรวมสัญญาณ (#74HC32)
- 6) วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ (#74HC74, #74HC14)
- 7) วงจรคูณสัญญาณ (#74LS08, #74HC393, Oscillator 24 MHz, #74HC14)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

4.1.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

ในวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นี้จะต้องใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 kHz มาเป็นตัวควบคุมจังหวะการเกิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งเราใช้ IC #555 มาเป็นตัวสร้างสัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 kHz ดังรูป



และเมื่อเราทำการปรับแต่งวงจรเพื่อให้ได้ค่าตามต้องการแล้วจะให้พัลส์เอาต์พุตดังรูป



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองในส่วนของวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 kHz

และส่วนของวงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณพัลส์ นี้ จะใช้ IC #74LS123 ผลิตเอาต์พุตเป็นลักษณะ Monostable Multivibrator โดยอาศัยสัญญาณนาฬิกาความถี่ 2 kHz ป้อนเข้าวงจรเป็น สัญญาณ สัญญาณนาฬิกา ควบคุมจังหวะการกำเนิดสัญญาณเอาต์พุต

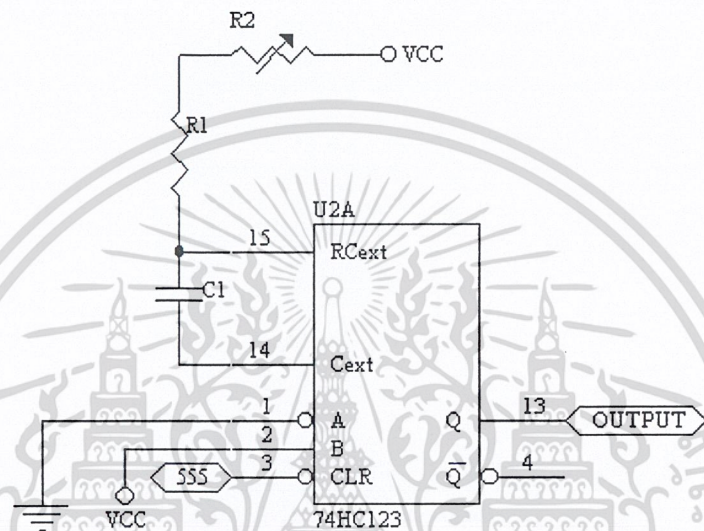
โดยสัญญาณเอาต์พุตของ IC #74LS123 กำหนดได้ตาม Truth Table ด้านล่าง

ตารางที่ 4.1 Truth Table ของ IC #74HC123

i/p			o/p	
CLR	A	B	Q	\bar{Q}
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	L	↑	⌋	⌋
H	↑	H	⌋	⌋
↑	L	H	⌋	⌋

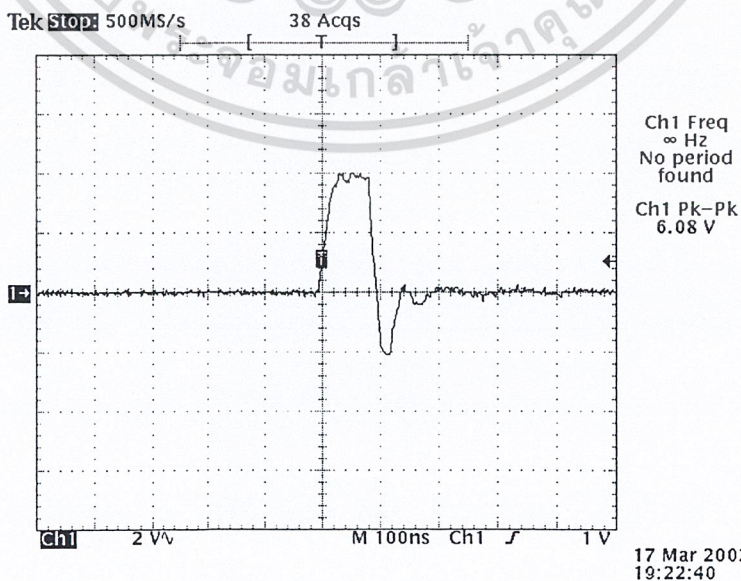
ตารางที่ 4.2 ค่า R และ C ในวงจรวงจรถ้าเนตสัญญาณพัลส์

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

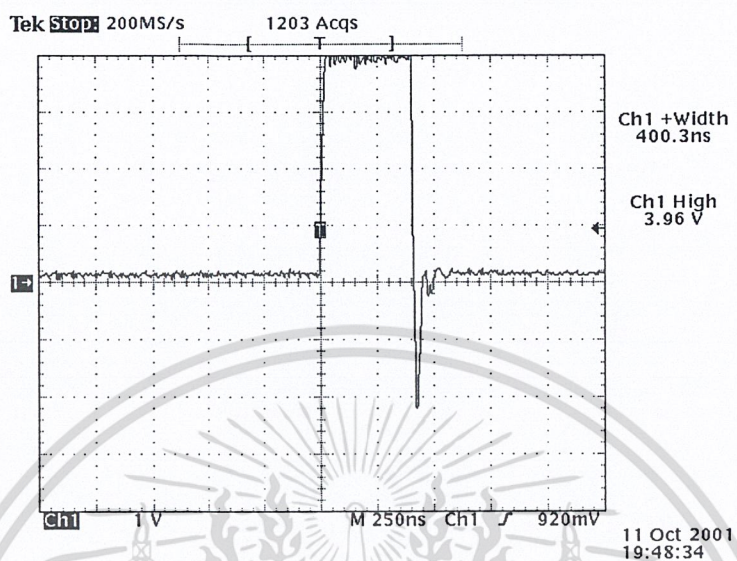


รูปที่ 4.3 วงจรถ้าเนตสัญญาณพัลส์

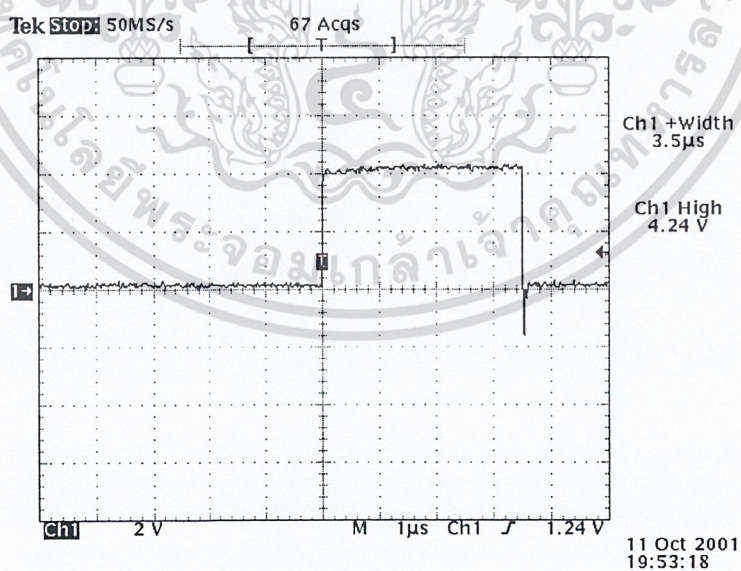
หลังจากที่ทำการออกแบบวงจรแล้ว เราจะทำการปรับแต่ง โดยทำการปรับ VR เพื่อให้ได้ค่าความกว้างของพัลส์ตามที่เรากำหนดจะได้ผลการทดลองตามรูปที่ 4.4(ก), 4.4(ข) และ 4.4 (ค)



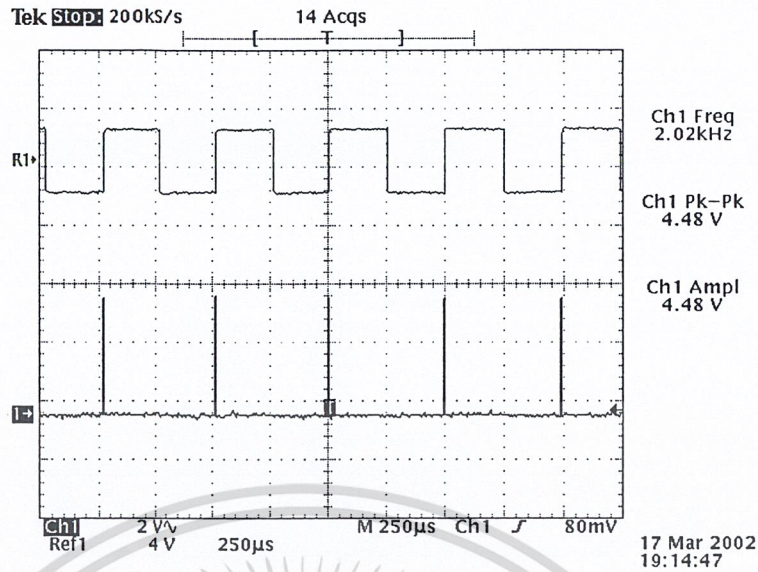
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 4.4(ก) สัญญาณของวงจรถ้าเนตสัญญาณพัลส์ (100 nsec) ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4(ข) สัญญาณของวงจรถ่ายเก็บสัญญาณพัลส์ (0.4 μ sec)



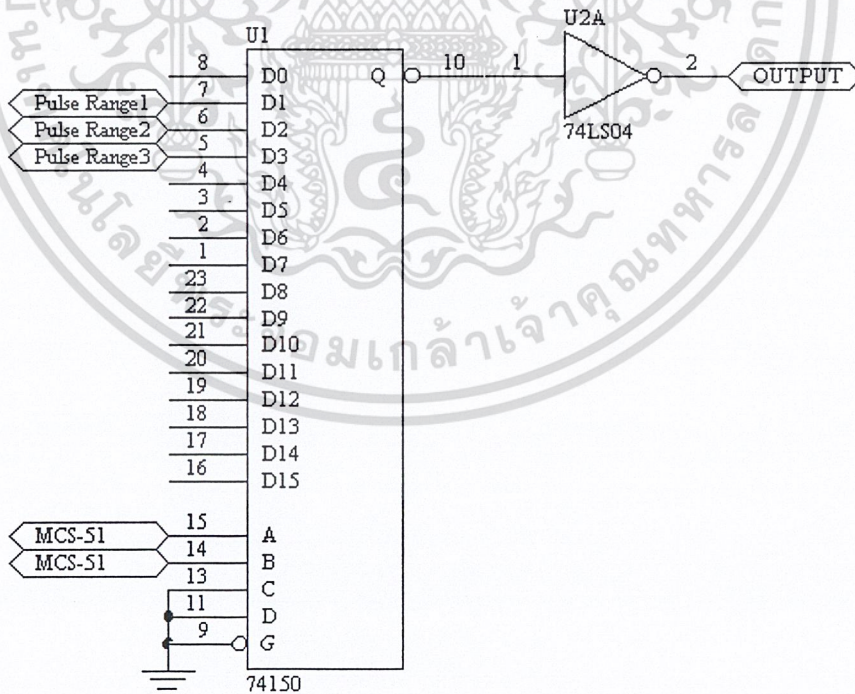
รูปที่ 4.4(ค) สัญญาณของวงจรถ่ายเก็บสัญญาณพัลส์ (3.5 μ sec)



รูปที่ 4.5 สัญญาณของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ทั้งหมด

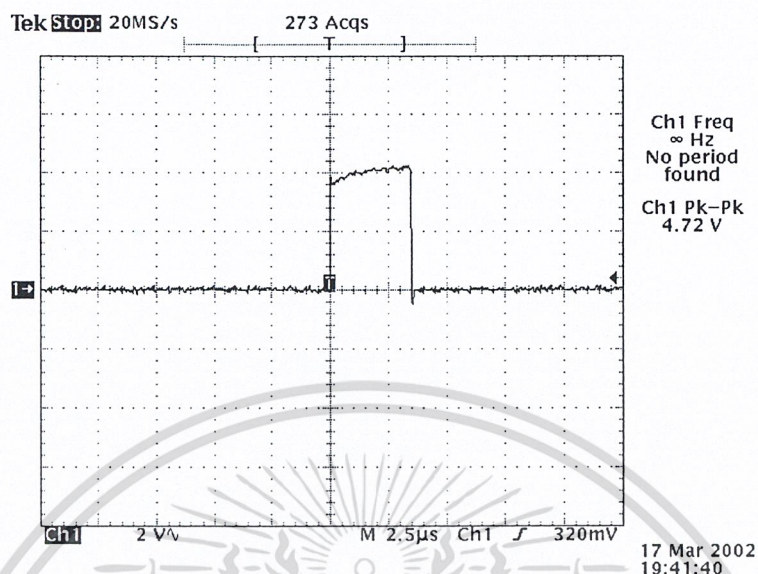
4.1.2 วงจรเลือกสัญญาณ

ในวงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดสัญญาณพัลส์ที่จะส่งไปยังวงจรขับสัญญาณ ซึ่งจะควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม ในส่วนนี้จะใช้ IC #74150 ซึ่งจะทำการต่อวงจรดังรูป



รูปที่ 4.6 วงจรเลือกสัญญาณ

ซึ่งจะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7

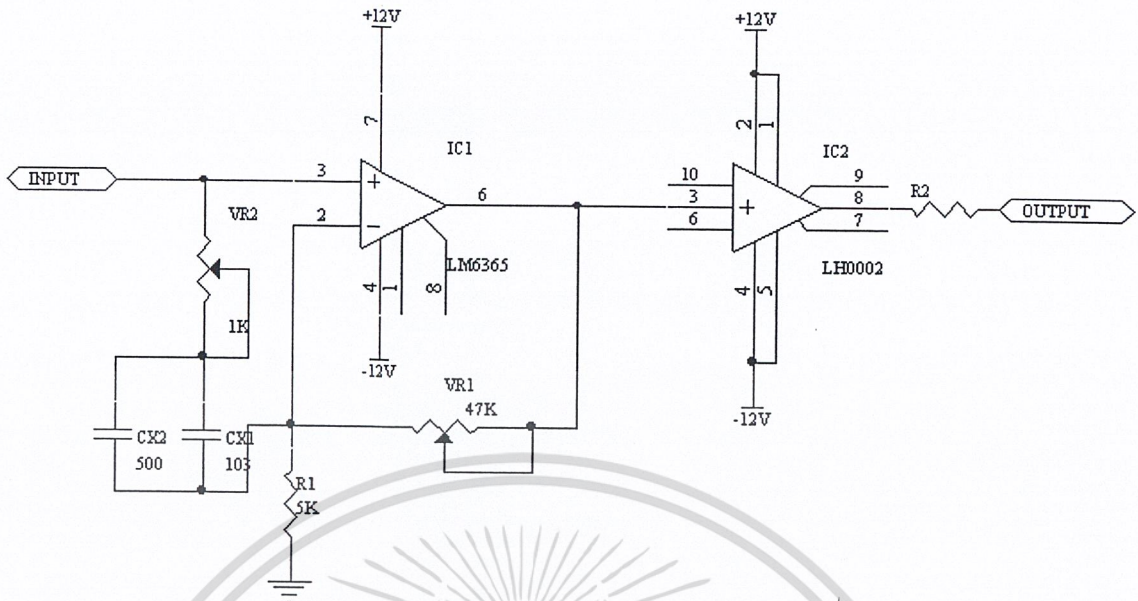


รูปที่ 4.7 สัญญาณพัลส์ 3.5 μsec ที่ผ่านวงจรถอดสัญญาณ

เนื่องจาก IC ตัวนี้จะให้เอาต์พุตที่มีลักษณะกลับเฟส 180 องศาจึงจำเป็นต้องใส่ NOT-Gate เพื่อให้เอาต์พุตมีลักษณะกลับมามากเดิม ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่า เอาต์พุตที่ได้ของวงจรถอดสัญญาณจะมีลักษณะใกล้เคียงกับอินพุตที่มาจากส่วนของวงจรถอดสัญญาณพัลส์แต่ว่ารูปร่างของสัญญาณจะยังไม่ดีนัก ซึ่งถ้าเราส่งเข้าไปในสายจะทำให้เกิดการผิดพลาดขึ้น โดยเราสามารถปรับแต่งให้มีลักษณะที่สวยงามพร้อมที่จะส่งเข้าไปในสายได้จากในส่วนตัวต่อไป

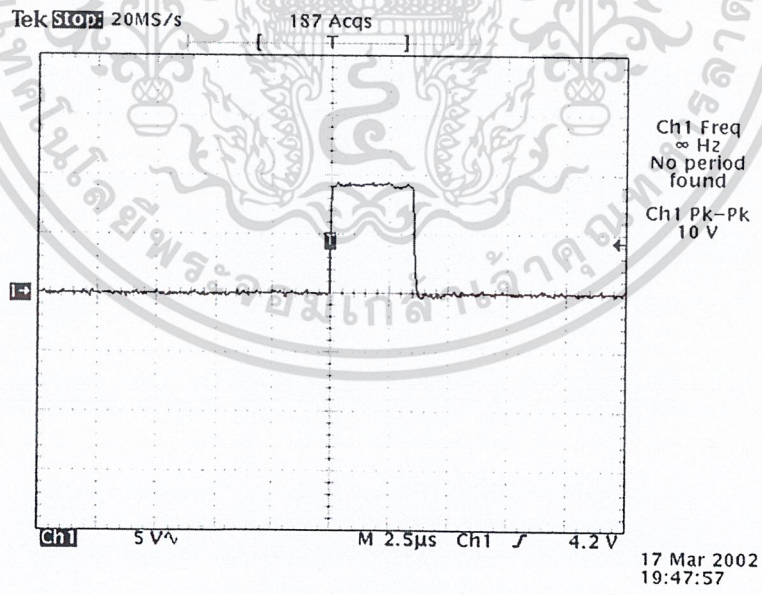
4.1.3 วงจรขับสัญญาณ

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



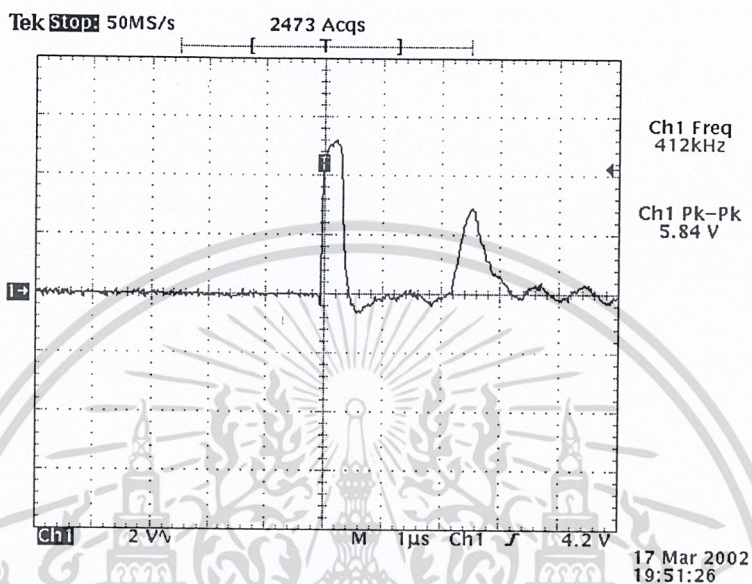
รูปที่ 4.8 วงจรขับสัญญาณ

สัญญาณพัลส์เมื่อผ่านวงจรขับสัญญาณแล้วจะได้สัญญาณ ดังรูปที่ 4.9

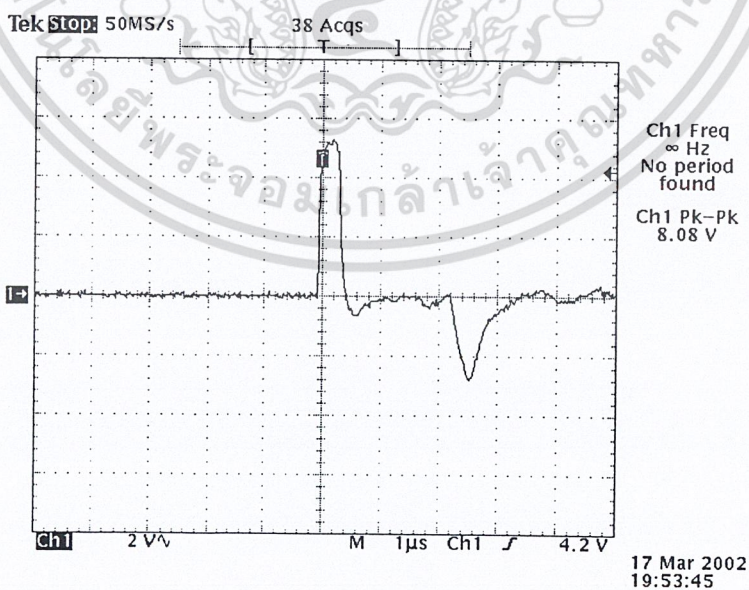


รูปที่ 4.9 สัญญาณพัลส์ขนาด 3.5 µsec เมื่อผ่านวงจรขับสัญญาณ

จากรูปจะเห็นได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตจะมีแรงดันเพิ่มขึ้นและมีลักษณะของพัลส์ที่สูงขึ้นกว่าเดิม เนื่องมาจากการปรับแต่งวงจรให้เอาต์พุตออกมามีลักษณะที่สอดคล้องรูป เมื่อทำการต่อกับสายทดสอบจะได้ผลการทดลองดังรูป



รูปที่ 4.10 สัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเมื่อปลายสายทดสอบเปิด



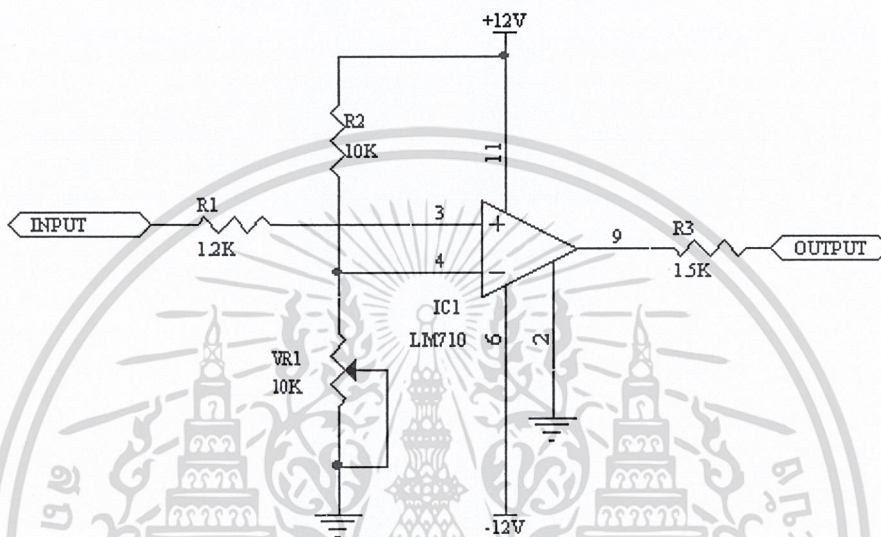
รูปที่ 4.11 สัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเมื่อปลายสายทดสอบลัดวงจร

4.1.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ

การทำงานของวงจรในส่วนนี้จะใช้ OP-AMP เบอร์ LM710 ซึ่งจะทำงานในลักษณะของวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) สัญญาณซึ่งจะแบ่งออกเป็น

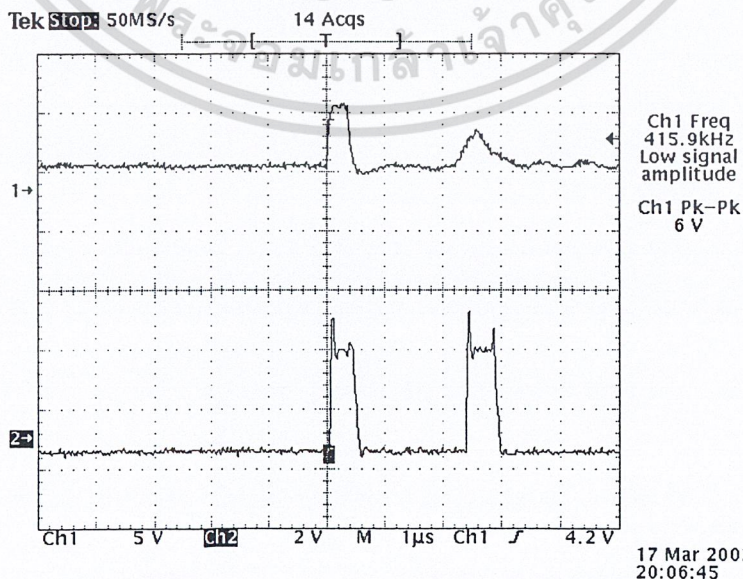
4.1.4.1 วงจรตรวจจับพัลส์บวก (Positive Pulse Detector)

วงจรจะทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับแรงดันที่ตั้งไว้ ถ้ามีค่ามากกว่า วงจรนี้จะให้เอาต์พุตที่มีค่า 5 V โดยในการออกแบบเราได้ออกแบบให้มีการปรับแต่งได้ง่ายดังรูป



รูปที่ 4.12 วงจรตรวจจับพัลส์บวก

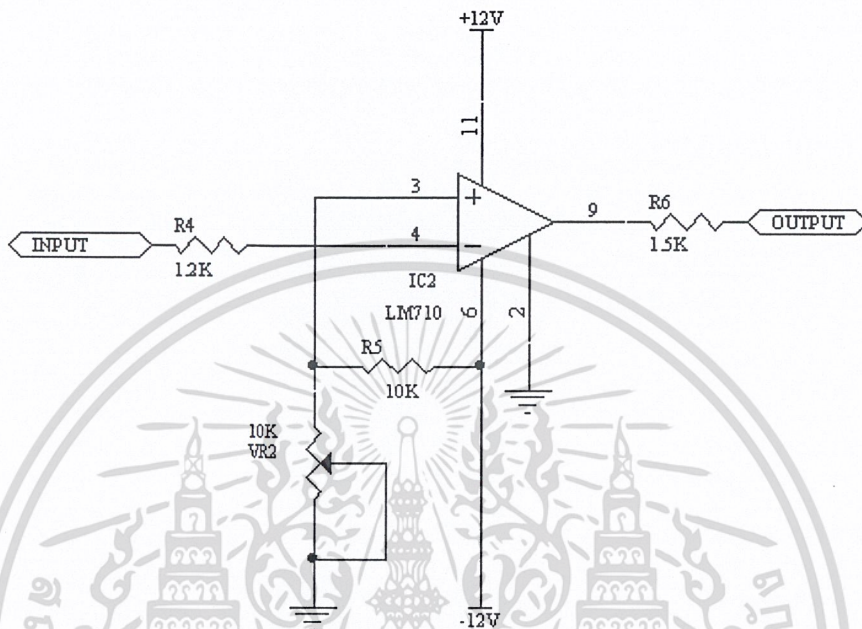
เมื่อเราทำการปรับแต่งและทำการทดสอบโดยการส่งสัญญาณเข้าไปในสายและทำการเปิดปลายสายจะได้ผลการทดลองดังรูป



รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์บวก เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต

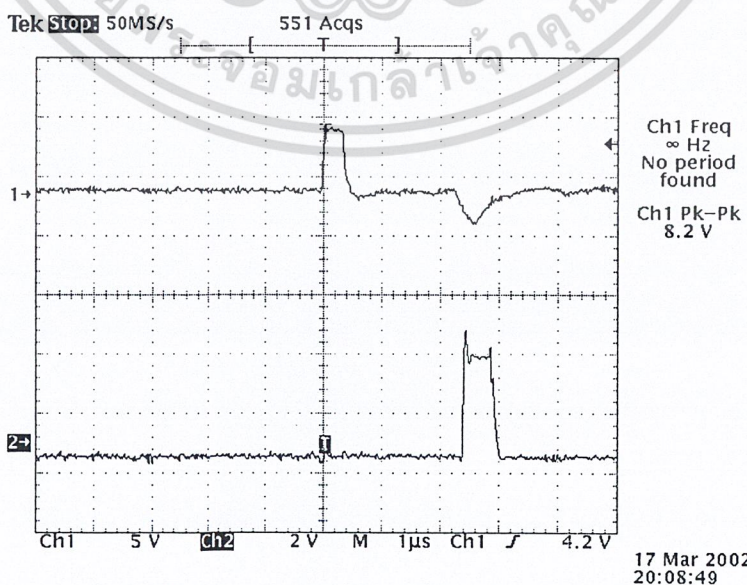
4.1.4.2 วงจรตรวจจับพัลส์ลบ (Negative pulse Detector)

วงจรจะทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับแรงดันที่ตั้งไว้ ถ้ามีค่าน้อยกว่า วงจรนี้จะให้เอาต์พุตที่มีค่า 5 V โดยเราได้ใช้ช่วงจรรยาณะเดียวกับวงจรตรวจจับพัลส์บวก เพียงแต่เปลี่ยนขาของอินพุตและขาของแรงดันเปรียบเทียบเท่านั้น ซึ่งจะได้วงจรดังรูป



รูปที่ 4.14 วงจรตรวจจับพัลส์ลบ

เมื่อเราทำการปรับแต่งและทำการทดลอง โดยการส่งสัญญาณเข้าไปในสายและทำการลัดวงจรปลายสายจะได้ผลการทดลองดังรูป

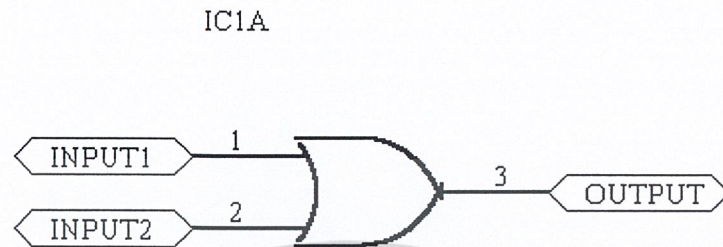


รูปที่ 4.15 สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์บวก เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เขียนได้เขียนขึ้นนี้ขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 วงจรรวมสัญญาณ

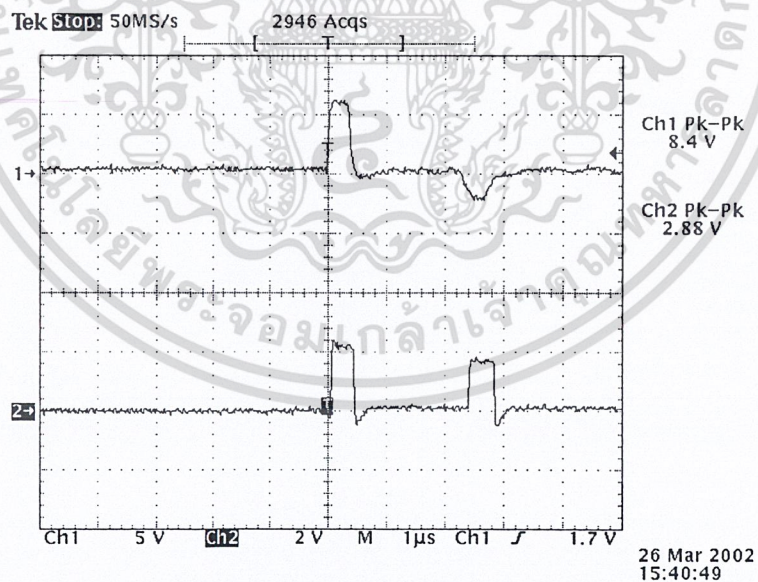
ในส่วนนี้จะทำหน้าที่การรวมสัญญาณและแปลงสัญญาณพัลส์โดยที่วงจรรวมสัญญาณจะใช้ IC # 74HC32 ซึ่งมีโครงสร้างภายในเป็น OR-Gate เป็นตัวทำงานซึ่งจะมีวงจรดังรูป



74HC32

รูปที่ 4.16 วงจรรวมสัญญาณ

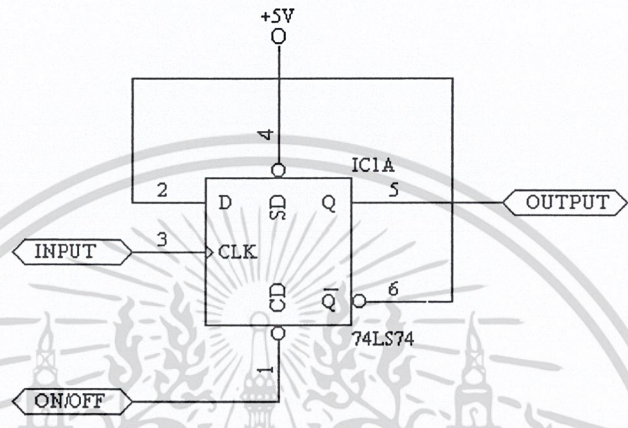
เมื่อจ่ายสัญญาณเข้าไปในวงจร โดยให้รวมสัญญาณจากวงจรตรวจจับพัลส์บวกและวงจรตรวจจับพัลส์ลบเข้าด้วยกันจะได้ผลการทดลองดังรูป



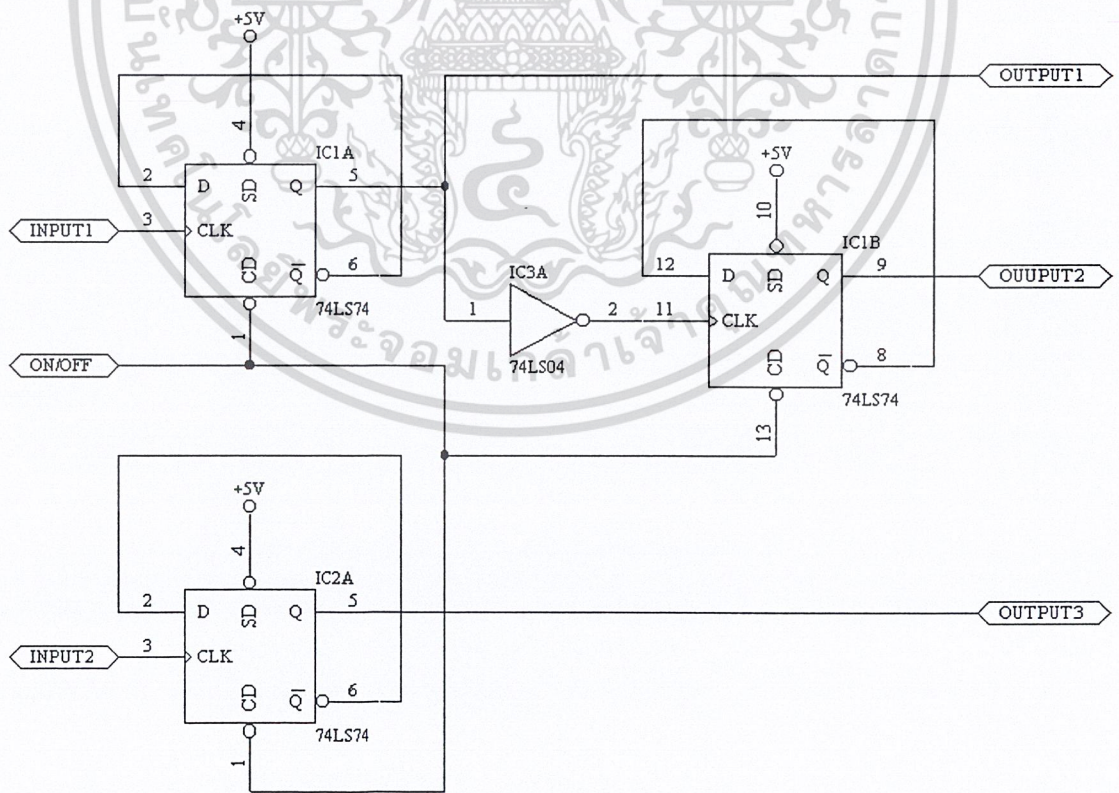
รูปที่ 4.17 สัญญาณที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณ

4.1.6 วงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ

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



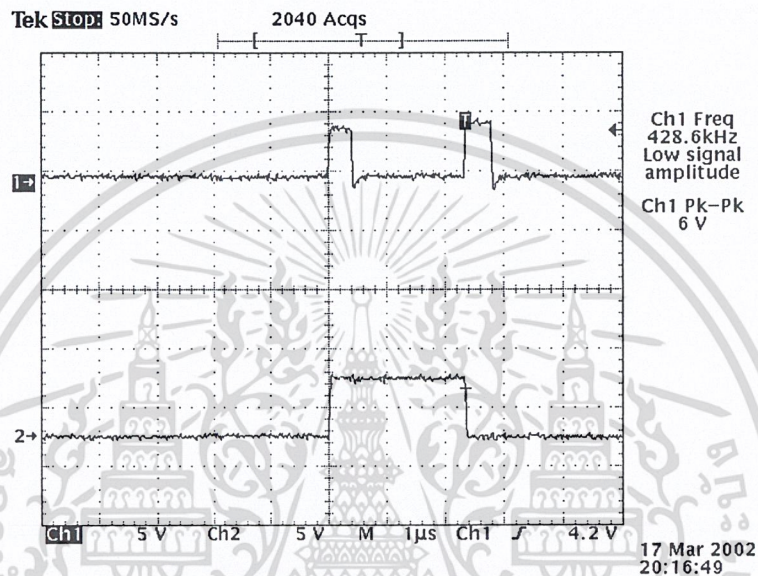
รูปที่ 4.18 วงจรของ D-Flip Flop ที่ทำการแปลงเป็น T-Flip Flop



รูปที่ 4.19 วงจรทั้งหมดของวงจรตรวจจับเวลาและวงจรตรวจสอบสถานะ

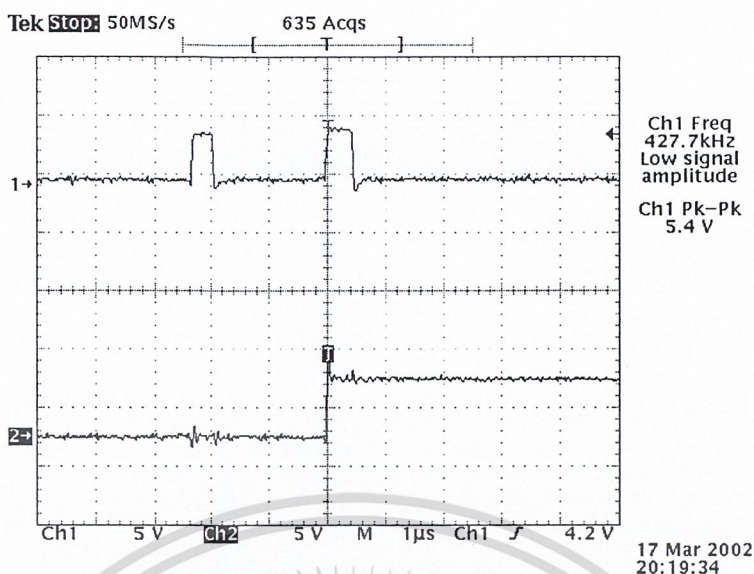
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ขอสงวนสิทธิ์ในชื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T-Flip Flop 1 จะรับเอาต์พุตจากภาครวมสัญญาณโดยตรง เพื่อทำการแปลงสัญญาณพัลส์ ดังนั้นไม่ว่าจะทำการลัดวงจรหรือเปิดปลายสายทดสอบจะมีสัญญาณพัลส์สองลูกวิ่งผ่านมายัง T-Flip Flop 1 เสมอ กล่าวคือ พัลส์ลูกแรกจะเป็นพัลส์ขาส่ง และพัลส์ลูกที่สองจะเป็นพัลส์ที่สะท้อนกลับมาจากสายส่ง ซึ่งอาจจะเกิดจากกรณี Short หรือ Open ก็ได้ แต่มันได้ถูกแปลงเป็นพัลส์บวกเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจะมีพัลส์สองลูกวิ่งเข้ามาอินพุตของ T-Flip Flop และได้เอาต์พุตเป็นพัลส์หนึ่งลูกที่มีความกว้างเท่ากับระยะห่างของพัลส์อินพุตทั้งสองลูก



รูปที่ 4.20 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip Flop 1 หรือวงจรตรวจจับเวลา

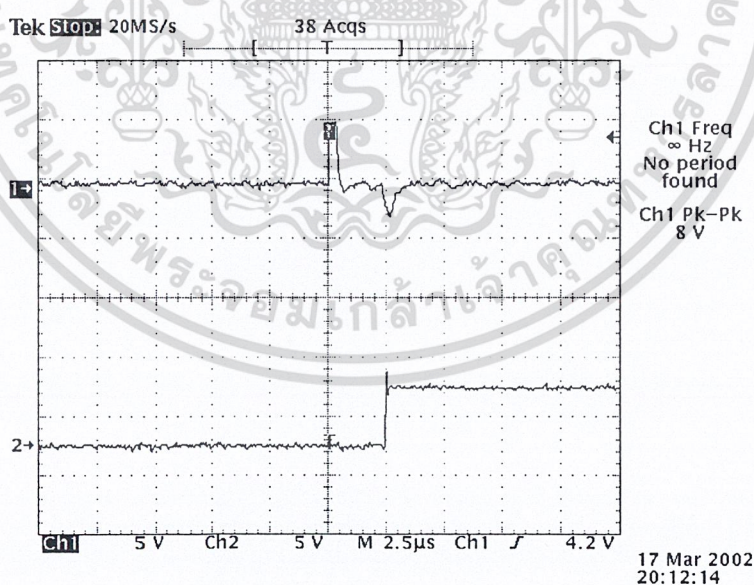
T-Flip Flop 2 จะรับเอาต์พุตจาก T-Flip Flop 1 มาอีกทีหนึ่ง ซึ่งจะทำหน้าที่ตรวจว่าสายชำระหรือดีโดยถ้ามีพัลส์จากวงจรรวมสัญญาณเพียงลูกเดียว T-Flip Flop 1 จะเป็นเป็นลอจิก “1” ไปตลอดจนกระทั่ง off T-Flip Flop แต่ถ้ามีสัญญาณจากวงจรรวมสัญญาณ 2 ลูก จะทำให้ได้สัญญาณที่ T-Flip Flop 1 มีขอบขาลง โดย T-Flip Flop 2 นี้จะต้องนำสัญญาณเอาต์พุตของ T-Flip Flop 1 มากลับรูปร่างสัญญาณเสียก่อน เพราะว่าเมื่อมีขอบขาลงของวงจร T-Flip Flop 1 จะทำให้เอาต์พุตที่วงจร T-Flip Flop 2 เปลี่ยนสถานะจาก “0” เป็น “1” ทำให้เราตรวจสอบได้ว่า สายดีหรือเสียนั่นเอง



รูปที่ 4.21 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip Flop 2 หรือวงจรตรวจสอบสายดีหรือเสีย

จะเห็นได้ว่าเมื่อมีพัลส์สูงที่ 2 ของวงจรรวมสัญญาณมา เอาต์พุตที่ T-Flip Flop 2 จะเป็น “1” ทันที ซึ่งแสดงได้ว่าสายเสียนั่นเอง โดยเราจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์มาทำการตรวจสอบเพื่อที่จะประมวลผลต่อไป

ส่วน T-Flip Flop 3 จะรับอินพุตมาจากส่วนตรวจจับพัลส์ลบโดยตรง เพราะฉะนั้น T-Flip Flop 2 จะทำงานเมื่อมีการ ลัดวงจรปลายสายทดสอบเท่านั้น

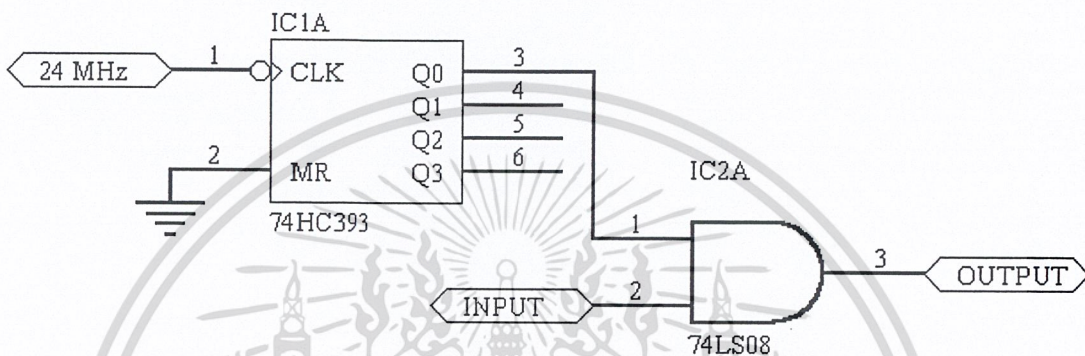


รูปที่ 4.22 สัญญาณที่ได้จากวงจร T-Flip Flop 3 หรือวงจรตรวจสอบเปิดหรือลัดวงจร

จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อมีสัญญาณพัลส์ลบเข้ามา T-Flip Flop 3 จะทำงานและให้เอาต์พุตเป็น ลอจิก “1” ซึ่งเราจะต้องไปทำการตรวจสอบอีกทีหนึ่ง โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวประมวลผล

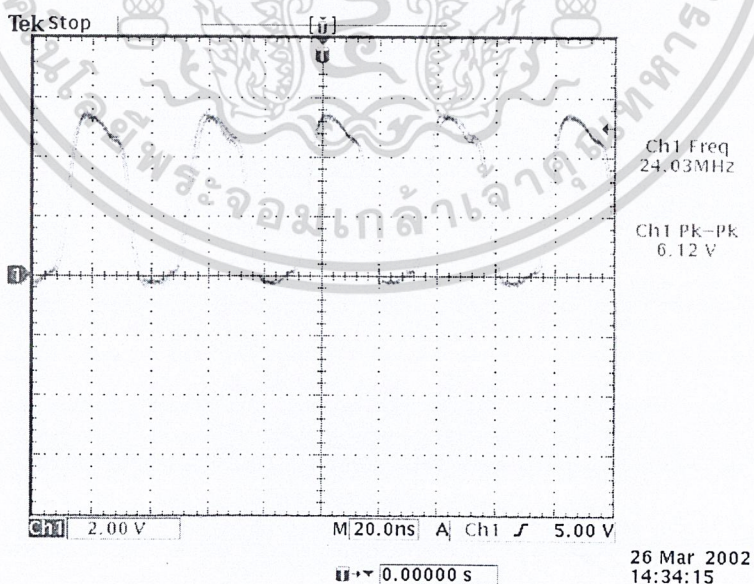
4.1.7 วงจรคูณสัญญาณ

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



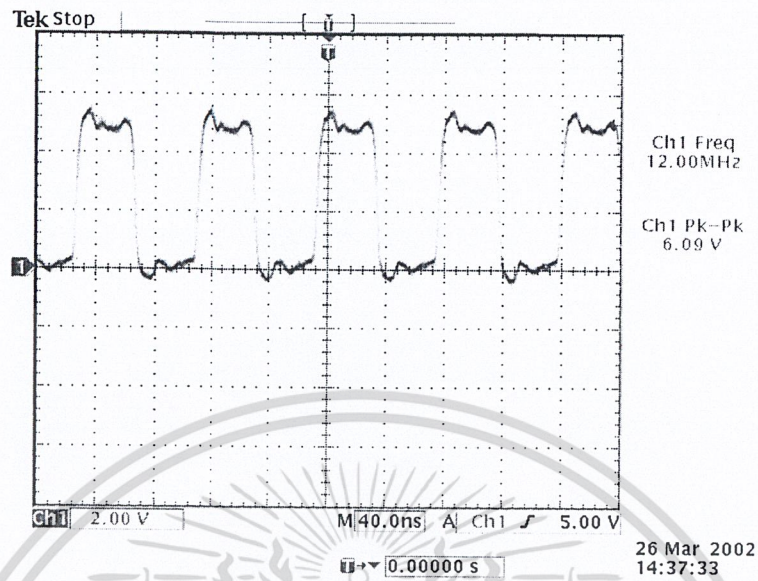
รูปที่ 4.23 วงจรคูณสัญญาณ และวงจรผลิตสัญญาณความถี่ 12 MHz

ในส่วนของ Oscillator ที่ผลิตสัญญาณ 24 MHz นั้น สามารถผลิตสัญญาณออกมาได้ดังรูป



รูปที่ 4.24 สัญญาณจากออสซิลเลเตอร์ ความถี่ 24 MHz

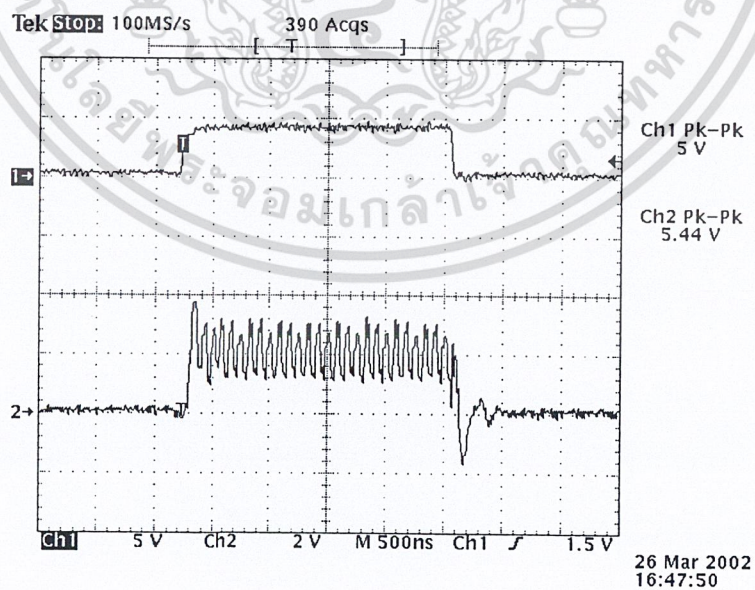
และเมื่อสัญญาณ 24 MHz ผ่านวงจรหารความถี่จะได้สัญญาณ 12 MHz ดังรูป



รูปที่ 4.25 สัญญาณ 12 MHz หลังจากวงจรหารความถี่

จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ผ่านวงจรหารความถี่มานั้นจะมีประสิทธิภาพดีเหมาะแก่การให้นำไปคูณกับสัญญาณอินพุต เพราะมีรูปร่างที่ค่อนข้างชัดเจน

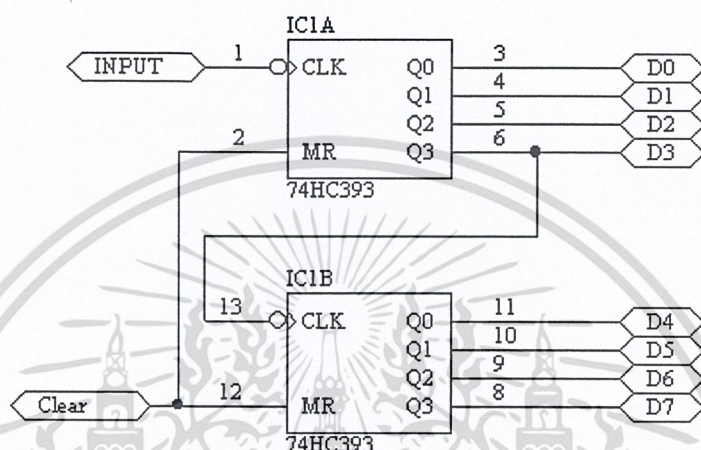
เราได้ทดสอบวงจรคูณสัญญาณ โดยการป้อน อินพุตเป็นสัญญาณที่มีความกว้าง 2.4 μ sec คูณกับความถี่ 12 MHz ได้ผลออกมาดังรูป



รูปที่ 4.26 ผลการทดสอบวงจรคูณสัญญาณ

4.1.8 วงจรนับ

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่นับพัลส์ลูกเล็กๆ ที่เกิดจากวงจรคูณ และจะนำค่าไปประมวลผล และเนื่องจากการนับจะต้องนับเฉพาะในช่วงที่มีพัลส์อินพุต “1” เกิดขึ้นและจะนับในช่วงขอบขาขึ้นของพัลส์และขอบขาลงของพัลส์เท่านั้น และเราใช้สัญญาณเคลียร์จากวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา 2 kHz เป็นตัวควบคุมการเคลียร์ ในส่วนนี้เราจะใช้ IC #74HC393 เป็นตัวนับสัญญาณซึ่งจะได้วงจรดังรูป

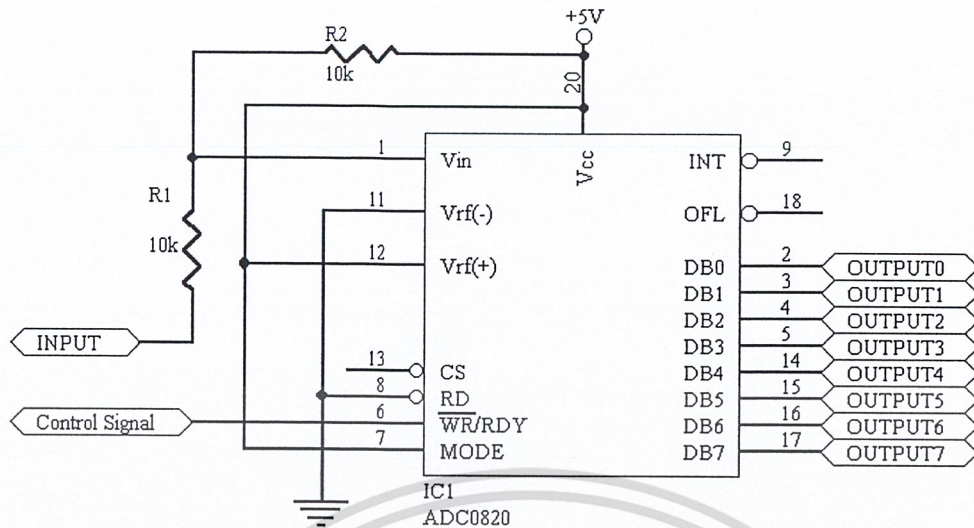


รูปที่ 4.27 วงจรนับสัญญาณ

ในส่วนนี้ค่าที่วงจรถับ นับได้จะถูกส่งต่อไปยังส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลต่อไป เพราะฉะนั้น เาต์พุตของวงจรถับจึงมีความสำคัญมาก และจะต้องกำหนดเวลาในการเริ่มรับข้อมูล และเวลาในการเคลียร์ข้อมูลให้สัมพันธ์กัน ไม่เช่นนั้นจะเกิดความผิดพลาดมาก

4.1.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

ในส่วนของวงจรถับ เราได้ใช้ IC เบอร์ ADC 0820 ซึ่งให้เอาต์พุตขนาด 8 บิตและสามารถควบคุมจังหวะการอ่านค่าได้จากส่วนของ วงจรตรวจจับเวลาได้เลยซึ่งจะใช้ขอบขาขึ้นในการอ่านค่าซึ่งเอาต์พุตของวงจรถับจะส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะประมวลผลคำนวณหาค่า VSWR และ Reflection Coefficient และแสดงผลไปยัง จอแสดงผลต่อไป ซึ่งมีวงจรดังรูป



รูปที่ 4.28 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

4.1.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ในโครงการนี้มีหน้าที่หลักๆ อยู่ 6 ประการคือ

1. ตรวจสอบสัญญาณจาก สวิตช์ เพื่อเริ่มทำงาน
2. ตรวจสอบสัญญาณความพร้อมในการเริ่มรับค่าเพื่อนำมาประมวลผลหรือเปลี่ยน Range
3. ตรวจสอบว่าสายที่นำมาต่อชำรุดหรือไม่
4. ตรวจสอบชนิดของความเสียหายที่เกิดขึ้นว่าเป็นแบบ ลัดวงจรหรือขาด
5. คำนวณหาระยะทางจากจุดที่ทำการวัดไปถึงจุดที่ชำรุดว่ามีระยะเท่าไรจากวงจรมับ
6. คำนวณหาค่าแรงดันที่สะท้อนกลับมาเพื่อนำมาคำนวณหาค่า VSWR และ Reflection Coefficient จากวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล

ซึ่งจากหน้าที่ทั้งหมดนี้เราสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ส่วนของฮาร์ดแวร์
2. ส่วนของซอฟต์แวร์

4.1.10.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์ ในส่วนของฮาร์ดแวร์เราได้ทำการต่อ อุปกรณ์กับพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ดังนี้

พอร์ต 0 ต่อเข้ากับวงจรมับ

พอร์ต 1 ต่อเข้ากับวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล

พอร์ต 2 ต่อเข้ากับ LCD

พอร์ต 3.0 ต่อเข้ากับขาสัญญาณเช็คสายชำรุดหรือไม่ชำรุด

พอร์ต 3.1 ต่อเข้ากับขาสัญญาณสายลัดวงจรหรือขาด

พอร์ต 3.2 ต่อเข้ากับขาสัญญาณแสดงความพร้อมในการรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ต 3.3 ต่อเข้ากับสัญญาณเลือก Range บิตที่ 1

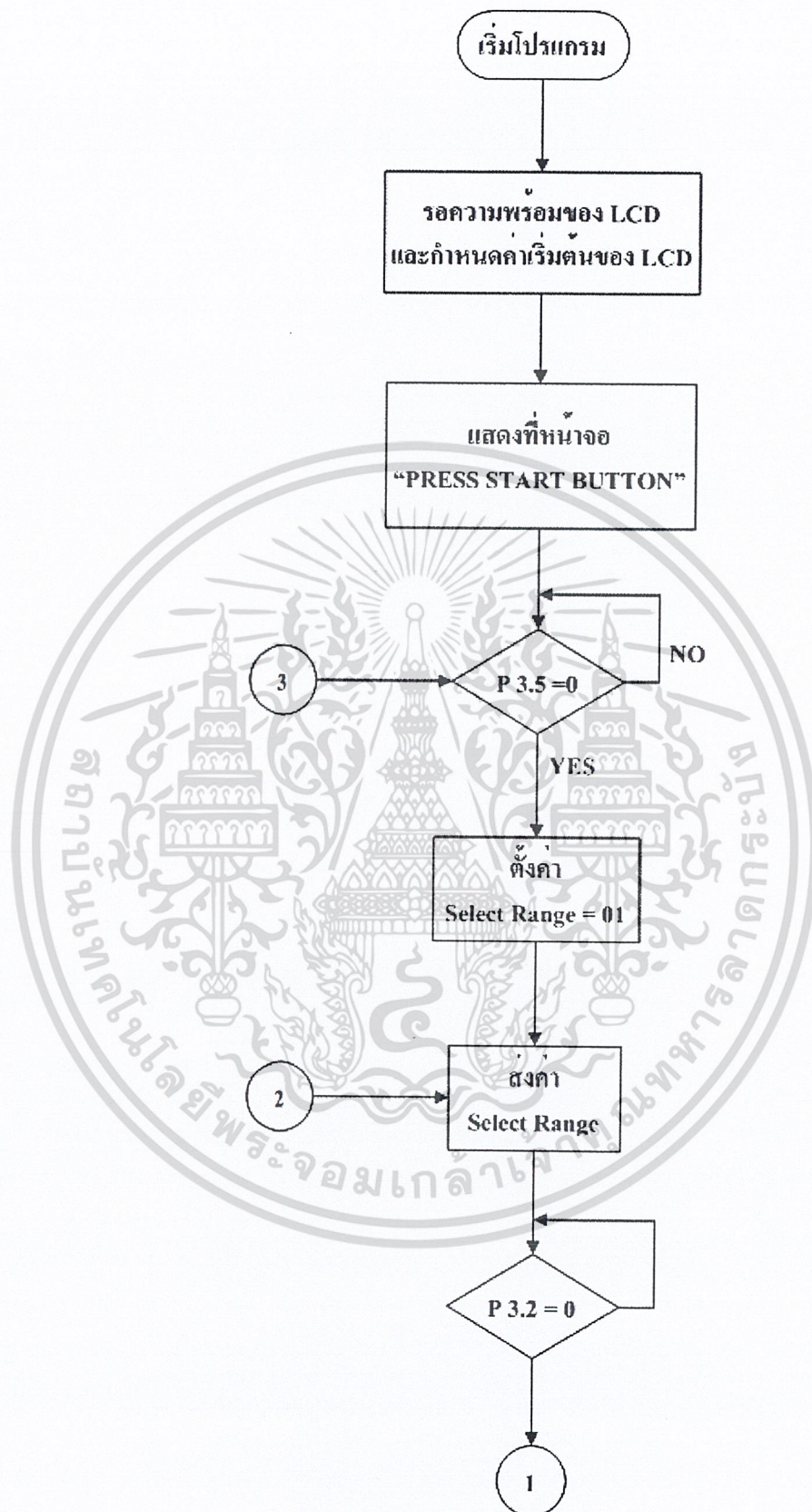
พอร์ต 3.4 ต่อเข้ากับสัญญาณเลือก Range บิตที่ 0

พอร์ต 3.5 ต่อเข้ากับ สวิตช์ Test

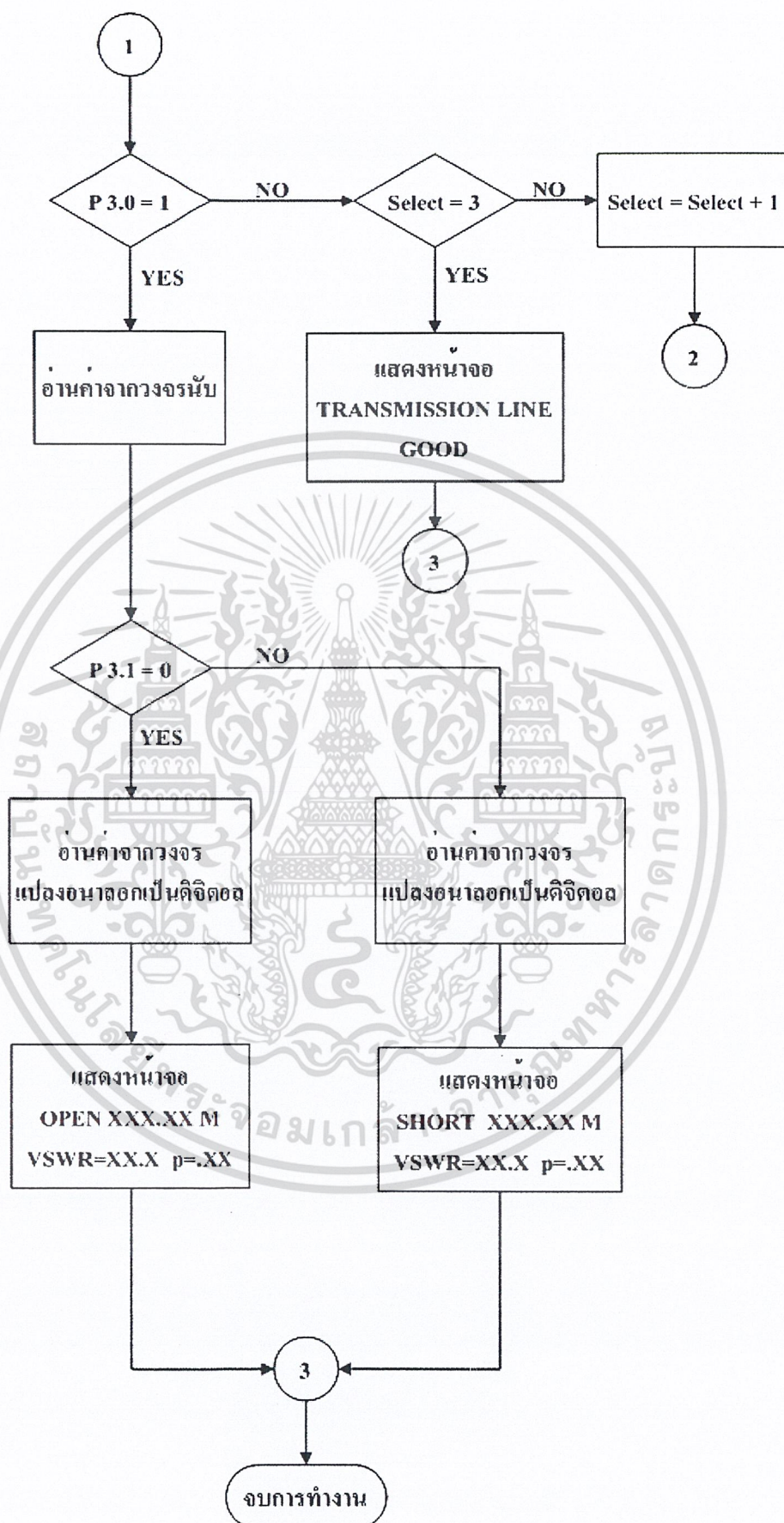
อุปกรณ์ทั้งหมดที่ต่อเข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกควบคุมโดยซอฟต์แวร์อีกทีหนึ่ง

4.1.10.2 ส่วนของซอฟต์แวร์ ในส่วนนี้เราได้เขียนโปรแกรมควบคุมฮาร์ดแวร์โดยใช้ภาษาแอสเซมบลีในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานและมี Flow Chart ดังรูปที่ 4.21

ในส่วนของโปรแกรมนี้อาจเริ่มต้นด้วยการ กำหนดค่าต่างๆ ให้ LCD แล้วทำการโชว์หน้าจอว่า “PRESS TEST BUTTON” จากนั้นจึงรอสัญญาณจากสวิตช์เพื่อทำการเริ่มรับค่าและคำนวณ เมื่อทำการกดสวิตช์ จะเป็นสัญญาณลอจิก “0” และจะทำการกำหนดค่าที่จะส่งไปยังวงจรถูกเลือก Selector ให้เป็น “01” แล้วจึงทำการส่ง จากนั้นจะทำการรอรับสัญญาณพร้อมที่จะรับค่า ที่พอร์ต 3.2 เมื่อที่พอร์ตนี้เป็น ลอจิก “0” โปรแกรมจะทำการเช็คค่าที่พอร์ต 3.0 ถ้าเป็นลอจิก “0” จะทำการเช็คค่าที่ส่งไปยัง Selector ว่าเท่ากับ 3 หรือยัง ถ้ายังให้ทำการเพิ่มค่าแล้วส่งไปใหม่ แล้วทำการเช็คค่าต่างๆ เช่นเดิม แต่ถ้าค่าที่ส่งไปยัง Selector เท่ากับ 3 แล้วให้แสดงว่า “TRANSMISSION LINE GOOD” แล้วกลับไปรอรับค่าจากสวิตช์เช่นเดิมเพื่อทำการวัดครั้งใหม่ต่อไป ถ้าตอนอ่านค่าที่พอร์ต 3.0 เป็นลอจิก “1” แสดงว่าสายชำรุด โปรแกรมจะทำการไปอ่านค่าที่ วงจรนับเพื่อที่จะนำมาประมวลผลต่อไป แล้วจึงไปทำการเช็คค่าที่ พอร์ต 3.1 ซึ่งเป็นการเช็คสัญญาณว่าสายลัดวงจรหรือขาด หลังจากเช็คแล้วจะไปทำการรับค่าที่วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล เพื่อที่จะนำมาประมวลผล หาค่า VSWR และ Reflection Coefficient แล้วจึงแสดงผล หลังจากแสดงผล ก็จะทำกรรรับสัญญาณจากสวิตช์ เพื่อทำการเริ่มทดสอบสายใหม่ หรือถ้าไม่ทดสอบก็จบ โปรแกรม



รูปที่ 4.29 (ก) โฟลว์ชาร์ท การทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 4.29(ข) โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.11 จอแสดงผล

ในด้านของการแสดงผลนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะแสดงออกทางจอแสดงผลสีเหลว (LCD) ซึ่งได้ทำการต่อควบคุมไว้ที่ พอร์ต 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะมีลำดับการแสดงผลดังนี้

1. เมื่อเริ่มการทำงานจอแสดงผลจะปรากฏข้อความดังนี้

**PRESS TEST
BUTTON**

รูปที่ 4.30 ข้อความที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลเมื่อเริ่มทำงาน

2. เมื่อทำการกดปุ่ม TEST หน้าจอจะเปลี่ยนเป็นข้อความดังนี้

PLEASE WAIT...

รูปที่ 4.31 ข้อความที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลขณะรอทำการทดสอบ

3. ในช่วงนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลทุกลำดับชั้นของโปรแกรมทั้งหมดแล้วทำการแสดงผลถ้าสายที่ทดสอบไม่เสียจะแสดงผลดังนี้

**TRANSMISSION
LINE GOOD**

รูปที่ 4.32 ข้อความเมื่อทดสอบแล้วสายไม่ชำรุด

แต่ถ้าสายชำรุดแล้วประมวลผลออกมาแล้วจะแสดงผลดังนี้

**SHORT XXX.XX M
VSWR=XX.X ρ=.XX**

รูปที่ 4.33 ข้อความเมื่อสายเกิดการลัดวงจร

**OPEN XXX.XX M
VSWR=XX.X ρ=.XX**

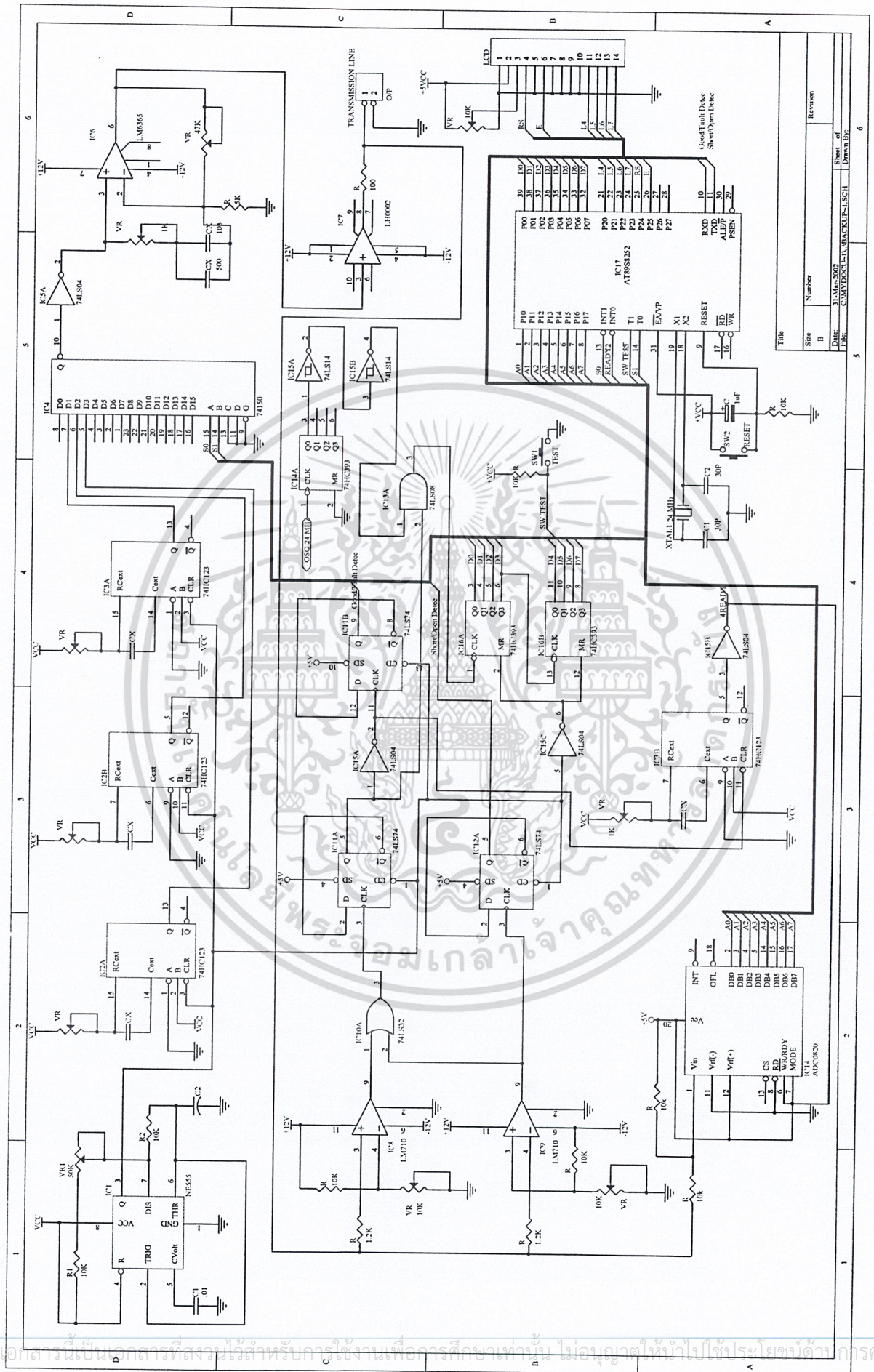
รูปที่ 4.34 ข้อความเมื่อสายเกิดการขาด

4.2 ผลการทดลองและค่าความผิดพลาด

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองจากเครื่องวัด

ระยะความยาวสาย (m)	ระยะความยาวสายและค่า VSWR และ Reflection Coefficient ที่วัดได้ จากเครื่องวัด							
	OPEN				SHORT			
	ค่าที่วัด ได้	ค่าความ ผิดพลาด (%)	VSWR	ρ	ค่าที่วัด ได้	ค่าความ ผิดพลาด (%)	VSWR	ρ
20	20.82	4.1	3.6	0.57	20.82	4.1	4.5	-0.64
50	48.58	2.8	2.8	0.48	48.58	2.8	4.1	-0.61
70	69.4	0.8	5	0.67	69.4	0.8	3.7	-0.58
100	104.1	4.1	2.2	0.39	104.1	4.1	5.4	-0.69
120	124.92	4.1	3.7	0.58	124.92	4.1	4.1	-0.61
150	152.68	1.7	2.7	0.47	152.68	1.7	4	-0.6
200	194.32	2.8	3.7	0.58	194.32	2.8	3.2	-0.53
250	242.9	2.8	2.2	0.39	242.9	2.8	2.7	-0.47
300	305.36	1.7	2.5	0.43	305.36	1.7	4.7	-0.65
350	347	0.8	2.4	0.42	347	0.8	4.7	-0.65
400	388.64	2.8	4	0.6	388.64	2.8	3	-0.51
450	430.28	4.5	5.6	0.7	430.28	4.5	4.7	-0.65
500	492.74	1.4	4	0.6	492.74	1.4	3.6	-0.57
550	541.32	1.5	2.7	0.46	548.26	0.3	3	-0.5
600	589.9	1.6	2.8	0.48	589.9	1.6	2.6	-0.45
650	645.42	0.7	2.4	0.42	645.42	0.7	3.2	-0.53
700	707.88	1.1	5.2	0.68	707.88	1.1	4.2	-0.62
750	742.58	0.9	3	0.5	770.34	2.7	2.5	-0.43
800	791.16	1.1	3.2	0.53	818.92	2.3	5.6	-0.7
900	909.14	1	3	0.5	929.96	3.3	2.7	-0.46
1000	1013.2	1.3	4	0.6	1041	4.1	3.2	-0.53

รูปที่ 4.35 วงจรรวมทั้งหมดของโครงการ



Title		Revision	
Size	Number		
B			
Date	11/11/2552	Sheet of	6
File	C:\MYDOCS\1\BACKUP\1\SE11	Sheet of	6
		Drawn By	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการ
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 วิจารณ์และสรุป

ในการวิเคราะห์นี้จะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในแต่ละภาค โดยจะแสดงปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหาของวงจรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยในการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น

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

5.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

ในส่วนของวงจรกำเนิดพัลส์นี้เป็นส่วนหลักของเครื่องมือนี้ โดยในการสร้างเราใช้ IC #74HC123 มาเป็นตัวกำเนิดพัลส์ ซึ่งเราแบ่งย่านการวัดออกเป็น 3 ย่าน โดยยึดเอาค่าตามความเหมาะสมเป็นหลัก และเราก็ได้ทำการสร้างวงจรเพื่อผลิตสัญญาณพัลส์ให้ได้ออกมาตามที่เรากำหนดไว้ โดยต้องมีการปรับแต่งวงจรบ้างเพราะในทางปฏิบัติแล้วค่าที่คำนวณกับค่าที่ออกมาได้จริงนั้นมักจะไม่ตรงตามที่ต้องการ ส่วนพัลส์ที่ออกมานั้นถึงแม้ว่าจะมีขอบขาลงจะเกิดการสวิง แต่ก็ไม่ค่อยมีผลต่อค่าความผิดพลาดเท่าใดนัก เพราะเราสามารถไปปรับแต่งที่วงจรอื่นได้ ซึ่งโดยรวมแล้วในส่วนของวงจรกำเนิดพัลส์นี้ไม่มีปัญหาอะไรเป็นไปตามที่ต้องการ

5.2 วงจรเลือกสัญญาณ

ในส่วนของวงจร Selector นี้เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นตัวเลือกระดับความกว้างของพัลส์ โดยทำการควบคุมจากไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเราได้ใช้ IC #74150 มาใช้ซึ่งเป็น IC Selector แบบ 4 บิต แต่ในที่นี้เราใช้เพียงแค่เลือกอินพุต 3 ตัวเท่านั้น ซึ่งในส่วนของวงจรมีปัญหาอะไรและตัว IC #74150 นี้สามารถเลือกได้ถึง 16 ค่า เพราะฉะนั้นเราจึงสามารถเพิ่มหรือลดย่านการวัดได้ตามที่เราต้องการ

5.3 วงจรขับสัญญาณ

ในส่วนนี้จะมีความยุ่งยากมากในเรื่องของการเลือก Line Driver ซึ่ง Line Driver บางตัวให้ค่าเอาต์พุตมีค่าต่ำทำให้ส่งสัญญาณพัลส์ไปได้ไม่ไกลเท่าไรนัก และไม่สามารถตรวจจับสัญญาณที่สะท้อน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับมาได้ โดยในส่วนนี้เราได้เลือกใช้ Line Driver เบอร์ LM6365 และ LH0002 ซึ่งจะให้ค่าเอาต์พุตที่สูงมากและสัญญาณไม่มีการผิดเพี้ยนเมื่อเทียบกับ Line Driver ตัวอื่นที่ทดสอบมา โดยเราสามารถปรับแต่งรูปสัญญาณพัลส์จากวงจรได้ตามที่เราต้องการ ซึ่งยังเป็นปัญหาอยู่จะต้องแก้ไขและปรับปรุงต่อไป ซึ่งในส่วนของวงจรขับสัญญาณนี้มีความสำคัญค่อนข้างมากต่อโครงการนี้ เพราะถ้าสัญญาณที่ออกมาจากส่วนของวงจรนี้ไม่ดีพอ จะทำให้วงจรตรวจจับตรวจจับได้ยากและทำให้เกิดการผิดพลาดขึ้นได้ จึงต้องให้ความสำคัญกับส่วนของวงจรนี้ค่อนข้างมาก

5.4 วงจรตรวจจับสัญญาณ

ส่วนนี้จะมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อความถูกต้องของสัญญาณที่ทำการวัด ซึ่งเป็นส่วนของการตรวจจับสัญญาณที่ส่ง ไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมา จึงมีความผิดพลาดไม่ได้ซึ่งเราใช้ IC #LM710 ซึ่งเป็น IC Comparator มาใช้ในการตรวจจับสัญญาณ โดยเราต้องทำการปรับค่าแรงดันเปรียบเทียบไว้ เมื่อสัญญาณที่ส่งเข้ามาหรือสะท้อนกลับมามีค่ามากหรือน้อยกว่าค่าที่เราตั้งไว้ ก็จะให้เอาต์พุตมีค่า 5 V ออกมาซึ่งจะต้องส่งไปวงจรรวมสัญญาณต่อไป ในส่วนของวงจรนี้ก็มีผลต่อการทดลองค่อนข้างมาก เพราะสัญญาณที่สะท้อนกลับมาไม่ได้เป็นพัลส์สี่เหลี่ยม แต่เป็นพัลส์ที่มีลักษณะคล้ายๆ กับสัญญาณชานน์ ซึ่งในส่วนของวงจรจับนี้ถ้าเราตั้งการตรวจจับสัญญาณไว้สูงเกินไปก็จะทำให้ ตรวจจับได้ช้าหรือจับไม่ได้เลยทำให้เกิดการผิดพลาดขึ้น แต่ถ้าเราตั้งการตรวจจับไว้ต่ำเกินไปก็จะทำให้ อาจจะไม่ตรวจจับสัญญาณรบกวนได้ ซึ่งจะทำให้ผลการทดลองนั้นผิดพลาดเพราะฉะนั้นในส่วนของวงจรนี้เราจะต้องทำการทดสอบหลายๆ ครั้ง แล้วปรับให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

5.5 วงจรรวมสัญญาณ

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

5.6 วงจรตรวจจับเวลาและตรวจสอบสถานะ

เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณพัลส์ที่รับเข้ามาให้กลายเป็นพัลส์ลูกเดียวเพื่อจะนำไปทำการประมวลผล ซึ่งในที่นี้เราได้ใช้ D-Flip Flop มาทำการแปลงเป็น T-Flip Flop เพราะเนื่องมาจากตามปกติแล้ว IC ที่เป็น T-Flip Flop จะไม่มี ซึ่งวงจรพวกนี้ถ้าเราทำการต่อวงจรแบบถูกต้องแล้วและใช้งานอย่างถูกวิธี แต่ก็จะมีปัญหาตรงที่รูปร่างของสัญญาณเอาต์พุตน่าจะเป็นสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม แต่ก็ไม่ได้ตามต้องการเท่าใดนัก จึงทำให้ในส่วนของวงจรคูณและวงจรมับไม่เป็นไปตามที่ต้องการเท่าใจ ซึ่งในส่วนนี้มีผลต่อความผิดพลาดหลักของการประมวลผลระยะทางของสายค่อนข้างมาก ถ้าสัญญาณที่ออกมาจากวงจรส่วนนี้เป็นไปตามที่ต้องการ คิดว่าน่าจะไม่มีผิดพลาดจากการประมวลผลระยะทางหรือมีน้อย

5.7 วงจรคูณสัญญาณ

เป็นวงจรที่ใช้ในการคูณสัญญาณพัลส์ที่ส่งมาจาก T-Flip Flop กับ Clock ความถี่สูงเพื่อที่จะส่งไปให้วงจรนับทำการนับสัญญาณต่อไป ซึ่งในส่วนนี้เราได้ใช้ IC #74LS08 ซึ่งเป็น AND-Gate เป็นตัวคูณสัญญาณ โดยเราจะเห็นได้ว่าในส่วนของวงจรคูณสัญญาณนี้จะไม่มีปัญหาอะไรเลย แต่จะมีปัญหาหลักตรงที่ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่จะนำมาคูณกับ สัญญาณจากส่วนตรวจจับเวลา ซึ่งจะได้ค่าตามที่เราต้องการนั้นยากเพราะ ในโครงการนี้ต้องการทดสอบสายให้ได้ไกลกว่า 1 กิโลเมตร จึงใช้ สัญญาณนาฬิกาที่ 12 MHz โดยใช้ข้อสวิตช์เตอร์นำมาหารความถี่ โดยใช้ IC #74HC393 ซึ่งเป็น IC นับ แต่เราได้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นวงจรถ่ายความถี่ และได้ผลที่ดีด้วย แต่ว่าจะมีการรบกวนได้ง่ายจึงต้องระวังในส่วนนี้

ค่าของสัญญาณนาฬิกาจะมีผลต่อผลการทดลองเป็นอย่างมากเพราะถ้าค่าเพี้ยนไปมากก็จะทำให้การคำนวณหรือการประมวลผลนั้นผิดพลาดมากไปด้วยจึงต้องเน้นและระวังในส่วนนี้มากเป็นพิเศษ

5.8 วงจรนับ

ในส่วนของวงจรเป็นวงจรถ่ายสัญญาณซึ่งเป็นสัญญาณที่ได้จากวงจรคูณสัญญาณและจึงทำการส่งไปให้ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเราได้ใช้ IC#74393 4 บิต counter 2 ตัว มาต่ออนุกรมกัน ทำให้ได้เอาต์พุตเป็น 8 บิต ซึ่งจะนำค่าที่ได้นี้ไปประมวลผลอีกทีหนึ่ง ซึ่งในส่วนนี้ไม่มีปัญหาอะไร

5.9 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล

ในส่วนนี้จำเป็นจะต้องเลือกเบอร์ IC ที่จะใช้ให้เหมาะสมเพราะ วงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอลเป็นวงจรที่มีการประมวลผลค่อนข้างช้าจึงจำเป็นต้องเลือกให้ดี เพราะถ้าช้าเกินไปจะประมวลผลสัญญาณที่เราต้องการไม่ได้เลย เราจึงจำเป็นต้องเลือก ที่มีความเร็วสูงและควบคุมได้ง่าย ในส่วนนี้ก็ไม่มีปัญหาอะไร

5.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนนี้ ฮาร์ดแวร์จะไม่มีปัญหาอะไรแต่จะมีปัญหาตรง ซอฟต์แวร์มากกว่าเพราะเราจะต้องปรับแต่งให้ทำงานสัมพันธ์กับส่วนของวงจรที่เราออกแบบให้มากที่สุด เพื่อที่จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งในส่วนนี้เราสามารถแก้ไขและทำการทดสอบได้หลายครั้ง เพราะตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถแก้ไขโปรแกรมได้หลายครั้งเพราะเป็นแบบแฟลช และการต่อฮาร์ดแวร์ก็ง่ายค่อนข้างสะดวก

5.11 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองและวัดค่าเอาต์พุตของแต่ละภาครวมทั้งการเก็บข้อมูลของสัญญาณต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดจะไม่ค่อยคงที่ทั้งนี้เนื่องมาจากหลายส่วนคือ

ส่วนของวงจรจับสัญญาณ เพราะจะเป็นส่วนที่หาอุปกรณ์ที่เหมาะสมได้ยากมาก เพราะแต่ละตัวจะเหมาะสมกับสายที่ไม่เหมือนกันจึงต้องทดลองกันมากเป็นพิเศษ และต้องปรับแต่งวงจรภาคตรวจจับสัญญาณให้ได้ค่าเหมาะสมที่สุดซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญมาก

ส่วนของสัญญาณนาฬิกา ซึ่งมีผลต่อค่าความผิดพลาดค่อนข้างมากเพราะถ้าค่ายิ่งมากเท่าใดก็จะทำให้วัดได้ละเอียดมากขึ้นเท่านั้น แต่ว่าถ้าสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ค่อนข้างสูงจะหาวงจรหรือหาอุปกรณ์ได้ยากและจะมีความเพี้ยนของสัญญาณค่อนข้างมาก เราจึงต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมไม่มากหรือน้อยจนเกินไป

จากในส่วนของสัญญาณนาฬิกาเมื่อเรานำมาคูณกับสัญญาณที่เราตรวจจับเวลาได้และผ่านเข้าสู่วงจรนับนั้น ลักษณะของสัญญาณที่ทำการคูณเสร็จแล้วเกิดเพี้ยนไปเล็กน้อยทำให้สัญญาณที่เข้าสู่วงจรนับและวงจรนับทำการนับนั้นเกิดนับเพี้ยนไปด้วย ซึ่งจากลักษณะของสัญญาณนาฬิกานั้น ถ้าสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่สูง เมื่อวงจรนับทำการนับพลาดไป 1 ลูก ก็จะผิดพลาดน้อย แต่ถ้าสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ต่ำ เมื่อวงจรนับนับพลาดไป 1 ลูก ก็จะผิดพลาดสูงตามไปด้วย

ซึ่งจากผลการทดลองของโครงการนี้จะเห็นได้ว่า ค่าความผิดพลาดจะไม่ค่อยคงที่ ซึ่งเกิดมาจากวงจรนับนับผิดพลาดนั่นเอง เพราะสัญญาณที่ได้จากวงจรหลายๆ วงจรจะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นมาบ้างทำให้ไม่ได้รูปร่างของสัญญาณตามที่เราต้องการ

ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะมีปัญหาตรงส่วนตรวจจับสัญญาณต่างๆ เพราะในโครงการนี้ทำการวัดเป็นแบบอัตโนมัติ จึงต้องทำการตรวจจับสัญญาณหลายครั้งจึงต้องเขียนโปรแกรมให้สัมพันธ์กับสัญญาณเหล่านี้ด้วย ซึ่งตรงในส่วนนี้เราจึงต้องจำเป็นที่จะต้องศึกษา หรือเข้าใจ Timing ของวงจรต่างๆ ด้วยเพื่อที่จะง่ายต่อการเขียนโปรแกรมและออกแบบวงจร

5.12 แนวทางการพัฒนา

จากการทำโครงการนี้ทำให้คิดว่ามีแนวทางการพัฒนาต่อได้หลายแบบคือ

1. พยายามหา Line Driver ที่เหมาะสมให้ได้ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่ส่งเข้าไปในสายได้ตามต้องการซึ่งจะทำให้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นน้อยลง
2. ในส่วนของวงจรตรวจจับสัญญาณ หากสามารถหาวงจรที่ตรวจจับสัญญาณได้เร็วและให้เอาต์พุตที่ชัดเจนได้ จะทำให้ความผิดพลาดเกิดขึ้นน้อยลงเช่นกัน
3. ควรมีการแบ่งย่านความถี่ของสัญญาณนาฬิกาหลายย่านให้เหมาะสมกับการวัด เช่น ถ้าในระยะทางที่ไกลความถี่สัญญาณนาฬิกาความถี่น้อยกว่าในระยะทางที่ใกล้ เพื่อทำให้ความผิดพลาดในการนับลดน้อยลงได้อีกมาก
4. ถ้าต้องการวัดสายได้หลายประเภท ควรจะมีการรับค่าตัวเลข ของค่าสภาพยอม และค่าสภาพให้ซึมได้ แล้วนำไปประมวลผล ซึ่งจะต้องใช้โปรแกรมควบคุม จะทำให้ครอบคลุมขอบข่ายของการวัดได้มากขึ้น

บรรณานุกรม

1. กิตติพัฒน์ ตันตระรุ่งโรจน์, ดร. ทฤษฎีสายส่งไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร: วิทยพัฒน์, 2541.
2. ถวิล กิ่งทอง. ทฤษฎีโครงข่ายไฟฟ้าและสายส่ง. พิมพ์ครั้งที่ 7. 2538 (ม.ป.ท.)
3. สมยศ จุณณะปิยะ,รศ. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51. กรุงเทพมหานคร: พิมพ์ครั้งที่ 3. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 2543.
4. บริษัท อีทีที, Dot Matrix LCD Module, กรุงเทพฯ.
5. ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตวิไล, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51. กรุงเทพมหานคร: อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.

