



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง อุปกรณ์ TDR แบบมัลติเพล็กซ์

Multiplex Time Domain Reflectometer Device

นามผู้วิจัย นายประวิทย์ บุญเอก

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( รองศาสตราจารย์ณัฐกานา หอมทรัพย์, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรระ จงบุรี, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

อุปกรณ์ TDR แบบมัลติเพล็กซ์

Multiplex Time Domain Reflectometer Device

โดย

นายประวิทย์ บุญเอก

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวิทย์ บุญเอก 2554: อุปกรณ์ TDR แบบมัลติเพล็กซ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตร  
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์  
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ณัฐกานา หอมทรัพย์, Ph.D. 55 หน้า

โครงการวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเรื่องการศึกษาและสร้างอุปกรณ์ Multiplex Time Domain Reflectometer (MTDR) ที่ใช้ในการตรวจหาจุดเสียของสายนำสัญญาณ โดยอาศัยหลักการ Time Domain Reflectometry (TDR) กล่าวคือสัญญาณทางไฟฟ้าจะถูกส่งไปตามสายนำสัญญาณและเมื่อกระทบบริเวณที่คุณสมบัติของสายนำสัญญาณแตกต่างกันไป จะเกิดการสะท้อนกลับ เวลาหน่วงของสัญญาณสะท้อนกลับที่ต่างไปจากสัญญาณเริ่มต้น จะถูกตรวจวัดและนำมาคำนวณหาตำแหน่งของจุดเสีย โดยอุปกรณ์ MTDR ได้นำวิธี Multiplex เข้ามาใช้ ทำให้สามารถตรวจสอบสายนำสัญญาณได้มากถึง 4 คู่สายในการวัดแต่ละครั้ง นอกจากนี้ยังมีการปรับย่านการวัดให้เหมาะสมอัตโนมัติ ทำให้สะดวกและมีความแม่นยำในการตรวจหาจุดเสียของสายนำสัญญาณต่างๆ โดยเฉพาะสายนำสัญญาณในระบบเครือข่าย เช่น Unshielded Twisted Pair (UTP) และ Shielded Twisted Pair (STP) เป็นต้น อันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำรุงรักษาระบบสายนำสัญญาณ

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Pravit Boonek 2011: Multiplex Time Domain Reflectometer Device. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Nuttaka Homsup, Ph.D. 55 pages.

This research aims to study of Multiplex Time Domain Reflectometer (MTDR), which locates cracks in the transmission line by using the concept of a Time Domain Reflectometry (TDR). By the concept, a test signal is sent into the cable under test. When it reaches fault, the signal will reflect to the transmitter. The delay of the reflected signal is then used to calculate the position of fault. The MTDR invokes a Multiplexing technique which is capable to detect faults as many as 4 pairs in one test. Additionally, the invented equipment can automatically adjust the range of measurement. This eases operating the system and also increases the accuracy, especially the cable in the network, for instance, Unshielded Twisted Pair (UTP) and Shielded Twisted Pair (STP), which is essential to the cable maintenance.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ฉัตรกุล หอมทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรระ จงบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิจัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประยุกต์ อาคาร 60 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการค้นคว้าวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการโทรคมนาคม โรงเรียนช่างฝีมือทหารที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ และสายนำสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบ

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจผู้วิจัยมาโดยตลอด

ประวิทย์ บุญเอก

ตุลาคม 2554

## สารบัญ

## หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	11
อุปกรณ์	11
วิธีการ	14
ผลและวิจารณ์	47
ผล	47
วิจารณ์	50
สรุปและข้อเสนอแนะ	51
สรุป	51
ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	52
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	55

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณสมบัติของสาย UTP ชนิด Category 5 Ethernet (CAT5e)	19
2	การเชื่อมต่อสาย UTP มาตรฐาน TIA/EIA-568-A และ TIA/EIA-568-B	20
3	ตารางความจริงดีฟลิปฟลอป	24
4	ตารางความจริงออร์เกต (Or-Gate)	25
5	ผลการทดสอบสาย UTP CAT5e ยาว 100 เมตร	47
6	ผลการทดสอบสาย RG-58 C/U	50

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะสายนำสัญญาณแบบบาลานซ์	3
2	ลักษณะสายนำสัญญาณแบบอับบาลานซ์	4
3	โครงสร้างทางไฟฟ้าของสายนำสัญญาณ	5
4	สายที่มีความยาวแน่นอนต่อปลายด้วย $Z_L = Z_0$	6
5	Oscilloscope รุ่น DS102C	11
6	มัลติมิเตอร์ KYORITSU รุ่น 1109	11
7	การใช้ความกว้างพัลส์ที่แตกต่างกันในการตรวจหาจุดเสีย	15
8	การสะท้อนกลับของสัญญาณกรณีสายขาดและสายลัดวงจร	16
9	ลักษณะของสาย Unshielded Twisted Pair (UTP)	18
10	ลักษณะของคอนเน็คเตอร์ชนิด RJ-45 และเต้าเสียบ	20
11	การเชื่อมต่อสายแบบ TIA/EIA-568-A และ TIA/EIA-568-B	20
12	สัญลักษณ์วงจร Schmitt Trigger	21
13	คุณสมบัติวงจร Schmitt Trigger	21
14	วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	22
15	ดีฟลิปฟลอป	23
16	สัญลักษณ์ของออร์เกต	24
17	บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ MTDR	25
18	แหล่งจ่ายไฟสำหรับอุปกรณ์ MTDR	27
19	วงจรภาคมัลติเพล็กซ์ (Multiplex)	27
20	การทำงานของภาคมัลติเพล็กซ์	28
21	วงจรภาคกำเนิดพัลส์	29
22	สัญญาณพัลส์ที่ได้จากตัวเก็บประจุขนาด 47 pF	30
23	สัญญาณพัลส์ที่ได้จากตัวเก็บประจุขนาด 1 nF	30
24	สัญญาณพัลส์ที่ได้จากตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF	30
25	ลักษณะสัญญาณสะท้อนกลับกรณีปลายสายเปิด	31
26	ลักษณะสัญญาณสะท้อนกลับกรณีปลายสายลัดวงจร	31

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	วงจรตรวจจับพัลส์บวก	32
28	วงจรตรวจจับพัลส์ลบ	33
29	วงจรรวมพัลส์	33
30	วงจรแปลงสัญญาณพัลส์	34
31	วงจรตรวจสอบ Short/Open	34
32	วงจรภาคดีเทคเตอร์	35
33	สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรตรวจจับพัลส์บวกกรณีสายขาด	36
34	เปรียบเทียบสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับพัลส์บวกและวงจรตรวจจับพัลส์ลบ	36
35	สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรตรวจจับพัลส์บวกกรณีสายลัดวงจร	37
36	สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรตรวจจับพัลส์ลบกรณีสายลัดวงจร	38
37	สัญญาณเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณพัลส์	38
38	สัญญาณเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณพัลส์เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต	39
39	สัญญาณพัลส์คาวน์	40
40	สัญญาณเอาต์พุตของภาคดีเทคเตอร์	40
41	วงจรภาคเคาน์เตอร์	41
42	สัญญาณนาฬิกาความถี่ 20 MHz	41
43	สัญญาณเอาต์พุตของวงจรแฮมป์ลิง กรณีเกิดจุดเสียที่ระยะ 20 เมตร	42
44	ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 8 และจอ LCD	43
45	การแสดงผลการวัดสายนำสัญญาณของจอ LCD	43
46	อุปกรณ์ MTDR	44
47	โฟลว์ชาร์ตการทำงานของอุปกรณ์ MTDR	45
48	ลักษณะการต่อสายทดสอบเข้ากับอุปกรณ์ MTDR	46
49	การแสดงผลการตรวจสอบสายนำสัญญาณ ของอุปกรณ์ MTDR	46
50	กราฟแสดงผลการวัดของอุปกรณ์ MTDR โดยการกำหนดค่า $V_p$ ต่างกัน	49

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AWG	=	American Wire Gauge
CAT	=	Category
CLR	=	Clear
CLK	=	Clock
EIA	=	Electronic Industries Alliance
IC	=	Integrated Circuit
LAN	=	Local Area Network
LCD	=	Liquid Crystal Display
MCU	=	Micro Controller Unit
MHz	=	Megahertz
MTDR	=	Multiplex Time Domain Reflectometer
nF	=	nano farad
Np	=	neper
Op-Amp	=	Operational Amplifiers
PC	=	Personal Computer
pF	=	pico farad
PS	=	Preset
RG	=	Radio Guide
RISE	=	Reduce Instruction Set Computer
RJ	=	Registered Jack
STP	=	Shielded Twisted Pair
TDR	=	Time Domain Reflectometer
TIA	=	Telecommunications Industry Association
UTP	=	Unshielded Twisted Pair
V <sub>p</sub>	=	Velocity of propagation

# อุปกรณ์ TDR แบบมัลติเพล็กซ์

## Multiplex Time Domain Reflectometer Device

### คำนำ

ในการตรวจสอบสภาพของสายนำสัญญาณเบื้องต้นนั้น โดยทั่วไปผู้ที่ทำการตรวจสอบจะใช้อุปกรณ์พื้นฐานคือมัลติมิเตอร์ทำการตรวจสอบ แต่มัลติมิเตอร์นั้นจะไม่สามารถตรวจหาได้ว่าสายนำสัญญาณนั้นเกิดการลัดวงจรหรือขาดที่ระยะทางเท่าใด อีกทั้งมีคุณลักษณะที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานหรือไม่ ซึ่งถ้าหากนำไปใช้อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ต่างๆได้

การจะตรวจสอบคุณสมบัติของสายนำสัญญาณให้มีความถูกต้องและแม่นยำสูง จะต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Time Domain Reflectometer (TDR) โดยอุปกรณ์นี้สามารถตรวจสอบหาความยาวของสายรวมถึงคุณสมบัติของสายนำสัญญาณว่ามีการขาดหรือลัดวงจรเกิดขึ้นภายในสายนำสัญญาณหรือไม่ หากเกิดขึ้นเกิดที่ระยะทางเท่าใดจากจุดทดสอบ โดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับของสัญญาณพัลส์ทดสอบ กล่าวคือเมื่อทำการส่งสัญญาณพัลส์ทดสอบเข้าไปในสายนำสัญญาณเมื่อพัลส์ทดสอบไปถึงจุดที่คุณสมบัติของสายเปลี่ยนไปจากเดิมเช่นสายขาดหรือลัดวงจร สัญญาณทดสอบจะสะท้อนกลับในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป จากนั้นทำการประมวลผลจากเวลาที่ส่งพัลส์ทดสอบจนถึงเวลาที่สัญญาณสะท้อนกลับมาจากจุดที่เกิดปัญหานั้นห่างออกไปจากจุดทดสอบเป็นระยะทางเท่าใด แต่โดยส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์ TDR นี้มีข้อจำกัดคือราคาที่สูงรวมทั้งการวัดจะทำได้เพียงทีละ 1 คู่สาย

ดังนั้นเพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวผู้ทำการวิจัยจึงได้ศึกษาและสร้างอุปกรณ์ TDR โดยนำการมัลติเพล็กซ์เข้ามาร่วมโดยอุปกรณ์ Multiplex Time Domain Reflectometer (MTDR) นี้สามารถตรวจสอบสายนำสัญญาณได้ทีละ 4 คู่สาย เพื่อที่จะได้มีความสะดวกและประหยัดเวลาหากจะต้องตรวจสอบสายนำสัญญาณที่มีหลายคู่สายเช่น สายเคเบิลโทรศัพท์ สายระบบ Local Area Network (LAN) เป็นต้น

## วัตถุประสงค์

เป้าหมายหลักของโครงการวิทยานิพนธ์นี้คือ ผู้ศึกษาสามารถสร้างอุปกรณ์ MTDR แบบมัลติเพล็กซ์ที่ใช้ในการตรวจหาจุดเสียของสายนำสัญญาณที่ใช้งานง่ายและต้นทุนต่ำ โดยที่บุคคลผู้มีความรู้ด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปสามารถศึกษาและนำไปประยุกต์ออกแบบสร้างใช้งานได้ด้วยตัวเอง ทั้งนี้โครงการมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรภายในของอุปกรณ์ Multiplex Time Domain Reflectometer (MTDR) ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ออกแบบอุปกรณ์ MTDR ให้ตรวจวัดสายนำสัญญาณได้ 4 คู่สายในการวัดแต่ละครั้ง เพื่อตรวจสอบสายในระบบเครือข่ายซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสาย UTP และ STP อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบสายนำสัญญาณประเภทอื่นๆได้
3. ออกแบบอุปกรณ์ MTDR ให้มีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำและมีความสะดวกในการใช้งานมากที่สุด ในขณะที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานที่ดี โดยอาศัยอุปกรณ์ที่หาได้ภายในประเทศ

## การตรวจเอกสาร

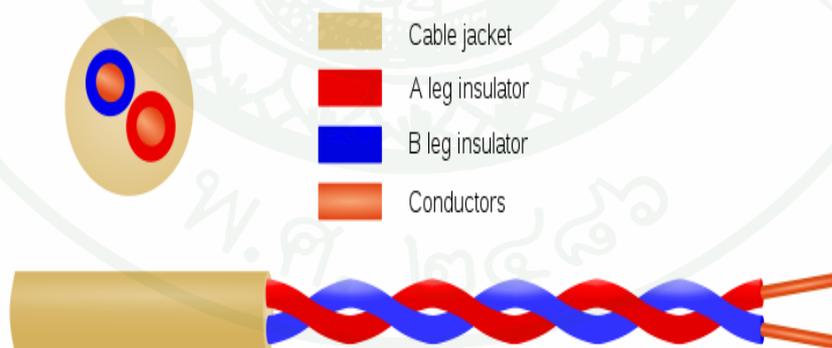
### 1. สายนำสัญญาณ (Transmission Line)

สายนำสัญญาณ (Transmission Line) คือสายที่ใช้ส่งพลังงานไฟฟ้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งโครงสร้างหลักของสายนำสัญญาณประกอบด้วยคู่ตัวนำสองเส้นที่แยกจากกันโดยมีฉนวนคั่นไว้

### 2. ชนิดของสายนำสัญญาณ

โดยพื้นฐานของสายนำสัญญาณที่ใช้ยังสามารถแบ่งได้ 2 ชนิดคือ สายนำสัญญาณแบบบาลานซ์ (Balance Line) และสายนำสัญญาณแบบอับบาลานซ์ (Unbalance Line) (วิสันต์, 2537)

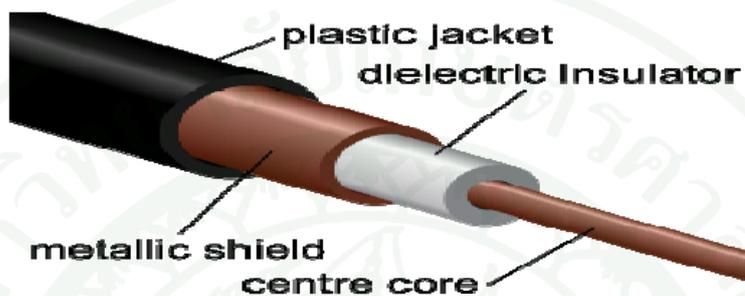
2.1 สายนำสัญญาณแบบบาลานซ์ (Balance Line) จัดเป็นสายนำสัญญาณ ที่มีตัวนำ 2 เส้น มีลักษณะเหมือนกัน วางต่อขนานกัน โดยมีตัวกลางหรือสารไดอิเล็กตริก (Dielectric) กั้นกลางอยู่ เช่น สายแบบตีเกลียว สายแบบโอเพ่นไวร์ (Open Wire) สายแบบทวินลีด (Twin Lead) เป็นต้น สายนำสัญญาณแบบบาลานซ์มีลักษณะดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะสายนำสัญญาณแบบบาลานซ์

ที่มา: Wikipedia (2011a)

2.2 สายนำสัญญาณแบบอับบาลานซ์ (Unbalance Line) เป็นสายนำสัญญาณที่มีตัวนำสองเส้น โดยมีลักษณะต่างกัน ที่นิยมใช้กันมากคือสายโคแอกเซียล (Coaxial Cable) โดยสายชนิดนี้มีคุณลักษณะดีกว่าสายแบบบาลานซ์ในแง่ที่สามารถป้องกันการแพร่ของพลังงานจากภายในสายนำสัญญาณออกสู่ภายนอกได้และป้องกันไม่ให้คลื่นจากภายนอกสายแทรกเข้ามาได้ ทำให้สามารถนำสายนำสัญญาณไปติดตั้งใกล้กับโลหะได้ สายนำสัญญาณแบบอับบาลานซ์มีลักษณะดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะสายนำสัญญาณแบบอับบาลานซ์

ที่มา: Wikipedia (2011b)

### 3. คุณลักษณะต่างๆ ของสายนำสัญญาณ

3.1 ค่าคงตัวปฐมภูมิ (Primary Constant) ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางไฟฟ้าจะพบว่าประกอบไปด้วยองค์ประกอบทั้งหมด 4 อย่าง (พิชัย, 2536)

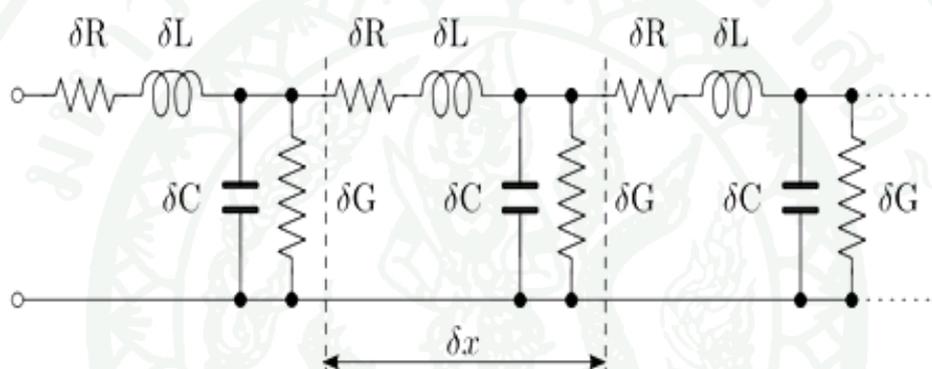
3.1.1 Series Resistance แทนด้วยสัญลักษณ์ (R) เป็นค่าความต้านทานของตัวนำ และมักใช้เป็นค่ารวมของสายนำสัญญาณทั้งสองเส้น กำหนดค่าเป็น โอห์ม (Ohm) ต่อหนึ่งหน่วยความยาว

3.1.2 Series Inductance แทนด้วยสัญลักษณ์ (L) มีค่าขึ้นอยู่กับพื้นที่ตัดขวางของตัวนำ กำหนดค่าเป็นเฮนรี่ (Henry) ต่อหนึ่งหน่วยความยาว

3.1.3 Shunt Conductance แทนด้วยสัญลักษณ์ (G) เป็นค่าความต้านทานของฉนวน เนื่องจากมีกระแสบางส่วนรั่วไหลระหว่างตัวนำทั้งสองเส้น กำหนดค่าเป็นโมห์ (Mho) ต่อหนึ่งหน่วยความยาว

3.1.4 Shunt Capacitance แทนด้วยสัญลักษณ์ (C) เป็นของทั้งฉนวนและตัวนำ กำหนดค่าเป็นฟารัด (Farad) ต่อหนึ่งหน่วยความยาว

ค่าทั้ง 4 นี้มีค่าขึ้นอยู่กับขนาดทางฟิสิกส์ของตัวนำ และชนิดของฉนวนที่ใช้ นอกจากนี้ค่า R และ G ยังขึ้นกับความถี่ของคลื่นที่เดินทางในสายอีกด้วย ถ้านำมาเขียนวงจรสมมูลของสายนำสัญญาณจะพบว่าจะมีการกระจายของค่าทั้ง 4 นี้ตลอดความยาวของสายนำสัญญาณ โดยค่า R และ L ต่ออนุกรมกัน และค่า C และ G ต่อขนานกัน ซึ่งแสดงโครงสร้างทางไฟฟ้าของสายนำสัญญาณ ได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โครงสร้างทางไฟฟ้าของสายนำสัญญาณ

ที่มา: Wikipedia (2011c)

3.2 ค่าคงตัวทุติยภูมิ (Secondary Constant) คือคุณสมบัติต่างๆ ของสายนำสัญญาณ ซึ่งเมื่อมีการป้อนสัญญาณเข้ามาภายในสายนำสัญญาณจะพิจารณาจากค่า 4 ค่า (วิสันต์, 2537) ดังต่อไปนี้

3.2.1 อิมพีแดนซ์ลักษณะ (Characteristic Impedance) แทนด้วยสัญลักษณ์  $Z_0$  คือค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้ที่ปลายด้านส่งของสายเมื่อสายนำสัญญาณนั้นมีความยาวไม่มีที่สิ้นสุด การที่ใช้สายนำสัญญาณที่มีความยาวไม่มีที่สิ้นสุดเป็นสิ่งอ้างอิงสำหรับการกำหนดค่า  $Z_0$  ของสายรับส่งใดๆ นั้น ก็เพราะว่าเมื่อทำการส่งสัญญาณไปในสายนำสัญญาณที่มีความยาวไม่มีที่สิ้นสุด คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนไปจะอ่อนกำลังลงเรื่อยๆ และหมดไปในที่สุด ไม่มีส่วนใดสะท้อนกลับไปยังต้นทางอีก โดยสายนำสัญญาณที่มีความยาวไม่มีที่สิ้นสุดนั้น ไม่อาจมีจริงได้ในทางปฏิบัติ แต่เรา

สามารถทำให้สายที่มีความยาวที่แน่นอนนั้นมีคุณลักษณะเหมือนกับสายที่มีความยาวไม่มีที่สิ้นสุดได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 สายที่มีความยาวแน่นอนต่อปลายขั้วด้วย  $Z_L = Z_0$

สายที่มีความยาวแน่นอนถ้าต่อปลายขั้ว (Terminate) ที่ปลายด้านหนึ่งด้วยอิมพีแดนซ์ที่มีค่าเท่ากับ  $Z_0$  ของสายนำสัญญาณนั้นๆ จะทำให้มีผลทางไฟฟ้าคล้ายกับว่าสายนำสัญญาณนั้นมีความยาวไม่มีที่สิ้นสุด อันเนื่องมาจากสัญญาณที่ส่งจากต้นทางเมื่อสัญญาณนั้นเคลื่อนไปถึงโหลด (Load) หรือตัวรับสัญญาณมันจะถูกดูดกลืนหมด ทำให้ไม่มีส่วนใดสะท้อนกลับมายังต้นทางอีก โดยค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณนั้นมีสมการดังนี้

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (1)$$

กรณีสายไม่มีการสูญเสีย (Lossless Line)

$$Z_0 = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

กรณีสายไม่มีความเพี้ยน (Distortionless Line)

$$Z_0 = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3)$$

3.2.2 ค่าคงตัวการลดทอน (Attenuation Constant) แทนด้วย  $\alpha$  กล่าวคือเมื่อมีกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าไหลบนสายนำสัญญาณ จะพบว่าขนาดของกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าจะถูกลดทอนหรือลดลงไปเรื่อยๆ เนื่องมาจากเกิดการสูญเสียภายในสายนำสัญญาณ โดยค่าคงตัวการลดทอนของสายนำสัญญาณมีหน่วยเป็นเนเปอร์ต่อเมตร (Np/m) และมีสมการดังนี้

$$\alpha = \frac{R}{2Z_0} + \frac{GZ_0}{2} \quad (4)$$

ค่าคงตัวการลดทอนจะมีค่าไม่คงที่ แต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น มีอยู่ 2 ตัวแปรที่มีผลคือ การสูญเสียเนื่องจากตัวนำซึ่งเป็นสัดส่วนรากที่สองของความถี่ และการสูญเสียเนื่องจากฉนวนซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่

โดยทั่วไปแล้วขนาดของการสูญเสียเนื่องจากตัวนำจะมากกว่าการสูญเสียเนื่องจากฉนวนมาก ทำให้ค่าการสูญเสียเนื่องจากฉนวนสามารถละทิ้งได้ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าคงตัวการลดทอนเป็นสัดส่วนรากที่สองของความถี่ สำหรับการใช้งานในย่านความถี่สูงค่าการสูญเสียของสายนำสัญญาณจะมีค่าน้อยมาก จนเราละทิ้งได้ ทำให้สายนำสัญญาณในย่านความถี่นี้จัดว่าไม่มีการสูญเสียเลย

3.2.3 ค่าคงตัวเฟส (Phase Constant) แทนด้วย  $\beta$  กล่าวคือเมื่อมีกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าไหลบนสายนำสัญญาณจะมีผลต่อเฟสคือ ทำให้เกิดเฟสที่ตามหลัง (Lag) กับเฟสเริ่มต้น ณ จุดส่ง ค่าคงตัวเฟสมีหน่วยเป็นเรเดียน (Radian) หรือองศาต่อระยะทาง 1 เมตร โดยค่าคงตัวเฟสของสายนำสัญญาณมีสมการดังนี้

$$\beta = \omega\sqrt{LC} \quad (5)$$

ค่าคงตัวการแพร่กระจาย (Propagation Constant) แทนด้วย  $\gamma$  ประกอบด้วยส่วนจริง  $\alpha$  และส่วนจินตภาพ  $\beta$  ของสายนำสัญญาณ ซึ่งส่วนจริง  $\alpha$  คือ ค่าคงตัวการลดทอน (Attenuation Constant) ในหน่วยเนเปอร์ต่อเมตร (Np/m) และส่วนจินตภาพ  $\beta$  คือค่าคงตัวเฟส (Phase Constant) ในหน่วยเรเดียนต่อเมตร (rad/m) (นิรันดร์, 2551) โดยค่าคงตัวการแพร่กระจายของสายนำสัญญาณมีสมการดังนี้

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (6)$$

กรณีสายไม่มีการสูญเสีย

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(j\omega L)(j\omega C)} = j\omega\sqrt{LC} \quad (7)$$

กรณีสายไม่มีความเพี้ยน

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{RG} + j\omega\sqrt{LC} \quad (8)$$

3.2.4 ความเร็วเฟส (Phase Velocity) แทนด้วย  $V_p$  คือค่าความเร็วเฟสของสายนำสัญญาณ เป็นความเร็วที่กระแสหรือแรงดันไฟฟ้าเดินทางไปบนสายนำสัญญาณ โดยที่คลื่นรูปไซน์ (Sine Wave) เดินทางด้วยความเร็วหนึ่งความยาวคลื่นต่อรอบ ซึ่งความเร็วเฟสมีสมการดังนี้

$$V_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (9)$$

#### 4. สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient)

Dunlop and Smith (1994) อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าที่สะท้อนกลับจากโหลด (Load) กับส่วนที่เดินทางมาโหลด เรียกอัตราส่วนนี้ว่า สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient) ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\rho = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (10)$$

การต่อด้วยโหลดที่มีค่าเท่ากับ  $Z_0$  ของสายนำสัญญาณ กรณีนี้พลังงานที่ส่งจากแหล่งกำเนิดไปยังโหลดจะถูกดูดกลืนหายไปทั้งหมด ไม่มีการสะท้อนของพลังงานกลับไปแหล่งกำเนิดทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานจากสายนำสัญญาณ เรียกได้ว่าการถ่ายทอดพลังงานอย่างสมบูรณ์

การต่อด้วยโหลดที่มีค่าไม่เท่ากับ  $Z_0$  ของสายนำสัญญาณ กรณีนี้พลังงานที่มาถึงโหลดจะไม่ถูกดูดกลืนจนหมด ทำให้เหลือพลังงานบางส่วนสะท้อนกลับไปยังแหล่งกำเนิด โดยการสะท้อนกลับของสัญญาณจากโหลดจะมากหรือน้อยนั้นถูกกำหนดในรูปของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection Coefficient) ซึ่งจะบ่งบอกถึงความสามารถในการสะท้อนกลับของสัญญาณที่จุดนั้นๆ โดยเปรียบเทียบสัญญาณที่สะท้อนกลับกับสัญญาณที่ส่งไป

จากสมการสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient) จะเห็นว่ามีค่าขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์ที่จุดเสียว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยแค่ไหน โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง  $-1$  ถึง  $1$  ดังการพิสูจน์ดังนี้

กรณีที่จุดเสียมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนไปเป็นศูนย์ (สาย Short กั้นสนิท)

จากสมการที่ (10)

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

แทนค่า  $Z_L = 0$

$$\rho = \frac{0 - Z_0}{0 + Z_0} \quad (11)$$

$$\rho = \frac{-Z_0}{+Z_0} \quad (12)$$

$$\rho = -1 \quad (13)$$

ซึ่งจะพบว่า สัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าเป็น “-1” หมายความว่าสัญญาณสามารถสะท้อนกลับได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และเป็น Negative Return Pulse

กรณีจุดเสียมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนไปเป็นอนันต์ (Infinity) (สายขาดทั้ง 2 เส้น)

จากสมการที่ (10)

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

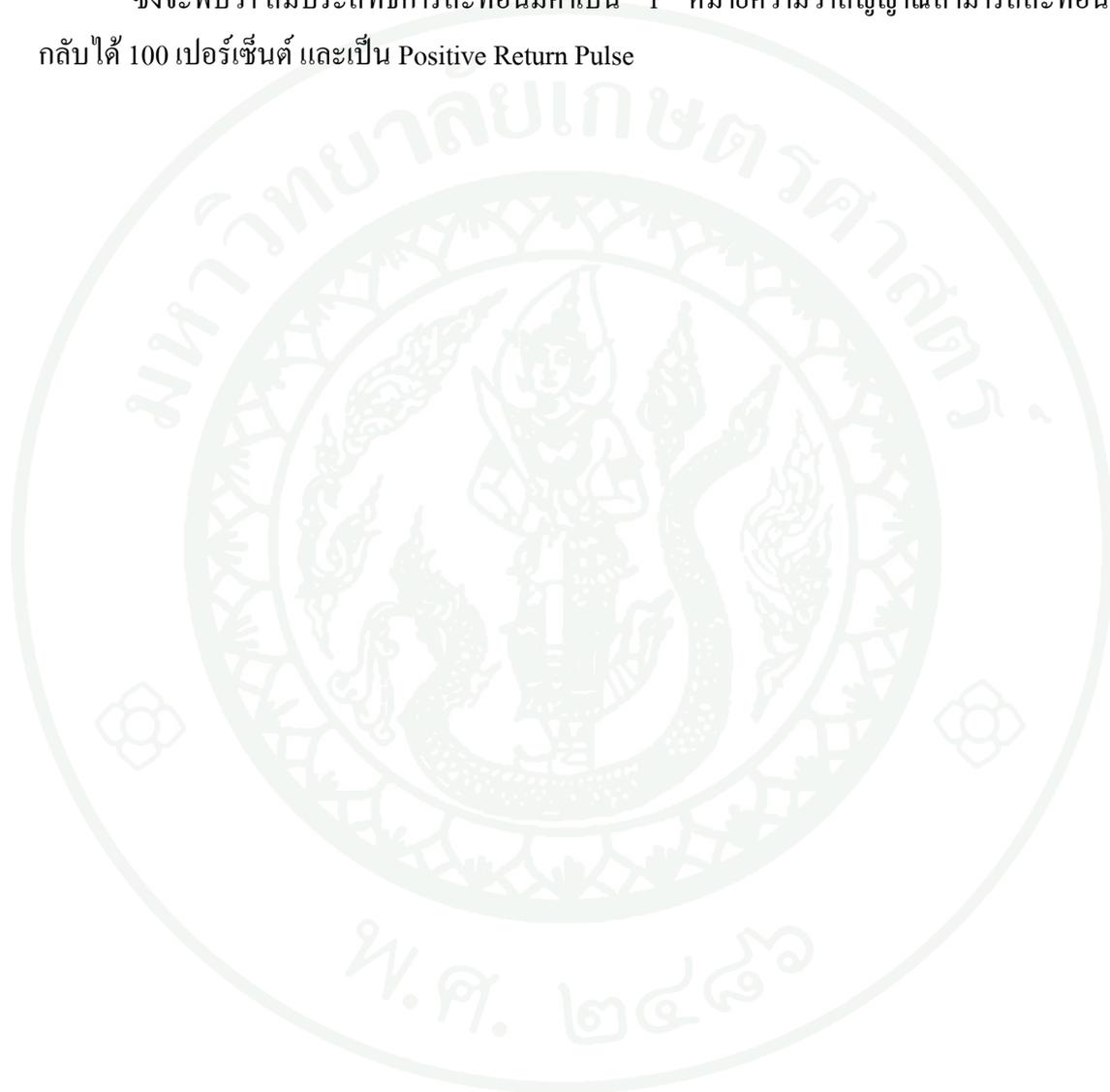
แทนค่า  $Z_L = \infty$

$$\rho = \frac{\infty - Z_0}{\infty + Z_0} \quad (14)$$

$$\rho = \frac{\infty}{\infty} \quad (15)$$

$$\rho = 1 \quad (16)$$

ซึ่งจะพบว่า สัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าเป็น “ 1 ” หมายความว่าสัญญาณสามารถสะท้อนกลับได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และเป็น Positive Return Pulse



## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. เครื่องมือวัด

1.1 เครื่องแสดงคลื่นกระแสไฟฟ้า (Oscilloscope) ผลิตภัณฑ์ของบริษัท RIGOL รุ่น DS1052E



ภาพที่ 5 Oscilloscope รุ่น DS102C

1.2 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า หรือมัลติมิเตอร์ ผลิตภัณฑ์ของบริษัท KYORITSU รุ่น 1109



ภาพที่ 6 มัลติมิเตอร์ KYORITSU รุ่น 1109

## 2. อุปกรณ์การทดสอบ

- 2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ (Personal Computer: PC)
- 2.2 CAT-5 Unshielded Twisted Pair (UTP) และ RJ-45 Connector
- 2.3 RG-58 C/U

## 3. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

- 3.1 Relay เบอร์ A5W-K
- 3.2 Transistor เบอร์ A1015
- 3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เบอร์ ATmega8
- 3.4 จอ LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด
- 3.5 Integrated Circuit (IC)
  - 3.5.1 SN74HCT14N
  - 3.5.2 SN74HC04N
  - 3.5.3 LT1715
  - 3.5.6 SN74HC74N
  - 3.5.7 SN74HC393N
  - 3.5.8 SN74HC32N

## 4. รายละเอียดทางเทคนิคพอสั่งของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับใช้ออกแบบวงจร

4.1 A5W-K เป็นซิกแนลสวิทช์รีเลย์ (Signal Switching Relay) ทนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 5 โวลต์ ความต้านทานของขดลวด 178 โอห์ม สามารถทนกระแสสูงสุด 2 แอมแปร์ ทนต่อความถี่สูงสุด 6 มิลลิวินาที อุณหภูมิการใช้งานอยู่ระหว่าง -45 ถึง 85 องศาเซลเซียส (Fujitsu Components, 2005)

4.2 A1015 เป็นทรานซิสเตอร์แบบพีเอ็นพี (PNP Transistor) ทนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ประมาณ 50 โวลต์ สามารถขับกระแสอย่างต่อเนื่อง (Collector Current) ได้ประมาณ 150 มิลลิแอมแปร์ ขับกระแสสูงสุดชั่วขณะ (Peak Collector Current) ที่ 200 มิลลิแอมแปร์ กระแสผ่านขาเบสสูงสุด (Peak Base Current) ที่ 200 มิลลิแอมแปร์ (Philips Semiconductors, 1999)

4.3 ATmega 8 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบ 8 บิตอีกตระกูลหนึ่งที่ผลิตโดยบริษัท ATMEL มีสถาปัตยกรรมภายในแบบ Reduce Instruction Set Computer (RISC) คือการประมวลผลมีความเร็ว 1 คำสั่งต่อ 1 clock หรือกล่าวได้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ยูนิต Micro Controller Unit (MCU) สามารถประมวลคำสั่งได้ 1 Mbps / MHz และภายในได้รวบรวมวงจรสนับสนุนการทำงานของ MCU เช่น Analog to Digital, Universal Asynchronous Receiver Transmitters (UART) และวงจรอื่นๆ ซึ่งวงจรสนับสนุนการทำงานเหล่านี้ทำให้ MCU สามารถทำงานได้หลายรูปแบบโดยใช้อุปกรณ์ต่อรวมภายนอกน้อยมาก โดย ATmega 8 ก็เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์หนึ่งที่อยู่ในตระกูล AVR (ประจัน, 2549)

4.4 SN74HCT14N เป็นอินเวอร์เตอร์ชนิดที่ริกเกอร์ ชนิดที่มีคุณสมบัติ Hysteresis ทำให้ทนต่อสัญญาณรบกวนได้มากขึ้น ทั้งนี้เมื่อใช้กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 4.5 โวลต์ แรงดันเทรสโวลต์ด้านสูง (VTH+) ประมาณ 2.5 โวลต์ แรงดันเทรสโวลต์ด้านต่ำ (VTH-) ประมาณ 1.6 โวลต์ ค่าหน่วงเวลา (Propagation Delay) ประมาณ 12 นาโนวินาที มีค่า Rise Time และ Fall Time ประมาณ 6 นาโนวินาที (Texas Instruments, 2008)

4.5 SN74HC04N เป็นอินเวอร์เตอร์อีกชนิดหนึ่ง เมื่อใช้กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 4.5 โวลต์ แรงดันเอาต์พุตด้านสูง (VOH) ประมาณ 4.4 โวลต์ ค่าหน่วงเวลา (Propagation Delay) ประมาณ 12 นาโนวินาที มีค่า Rise Time และ Fall Time ประมาณ 6 นาโนวินาที (Texas Instruments, 2005)

4.6 LT1715 เป็นไอซีเปรียบเทียบแรงดันความถี่สูง เมื่อใช้กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่  $V_{cc} = 4.5$  โวลต์  $V_{ee} = -4.5$  โวลต์ สามารถขับกระแสเอาต์พุตอย่างต่อเนื่องได้ 20 มิลลิแอมป์ ค่าหน่วงเวลา (Propagation Delay) ประมาณ 4 นาโนวินาที อุณหภูมิการใช้งานอยู่ระหว่าง -40 ถึง 85 องศาเซลเซียส (Linear Technology Corporation, 2001)

4.7 SN74HC74N เป็นฟลิปฟล็อปชนิดดี ที่มี 4 อินพุตคือ อินพุตดี (D) อินพุตซีแอลเค (CLK) อินพุตพรีเซต (PS) และอินพุตเคลียร์ (CLR) เมื่อใช้กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 4.5 โวลต์ แรงดันเอาต์พุตด้านสูง (VOH) ประมาณ 4.4 โวลต์ ค่าหน่วงเวลา (Propagation Delay) ประมาณ 15 นาโนวินาที (Texas Instruments, 2004)

4.8 SN74HC393N เป็นไอซีเคาน์เตอร์ขนาด 4 บิต เมื่อใช้กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 4.5 โวลต์ แรงดันเอาต์พุตด้านสูง (VOH) ประมาณ 4.4 โวลต์ ค่าหน่วงเวลา (Propagation Delay) ประมาณ 13 นาโนวินาที ความถี่สัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่สามารถตอบสนองได้คือ 25 MHz (Texas Instruments, 2005)

4.9 SN74HC32N เป็นไอซีออร์เกต 2 อินพุต เมื่อใช้กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 4.5 โวลต์ แรงดันเอาต์พุตสูงสุด (VOH) ประมาณ 4.4 โวลต์ ค่าหน่วงเวลา (Propagation Delay) ประมาณ 8 นาโนวินาที (Texas Instruments, 2006)

4.10 LM7805 เป็นไอซีควบคุมแรงดันชนิด Positive Voltage Regulator ใช้งานในช่วงแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตตั้งแต่ 7 โวลต์ ถึง 20 โวลต์ ควบคุมให้ขนาดแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตมีค่าคงที่เท่ากับ 5 โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสไหลได้ประมาณ 1 แอมแปร์ (Nation Semiconductor, 2000)

## วิธีการ

1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีต่างๆ เพื่อนำไปใช้ออกแบบอุปกรณ์
2. ออกแบบบล็อกไดอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์
3. ออกแบบวงจรตามบล็อกไดอะแกรมที่กำหนดไว้ และทดสอบการทำงาน
4. ประกอบอุปกรณ์ MTDR และทดสอบการใช้งาน

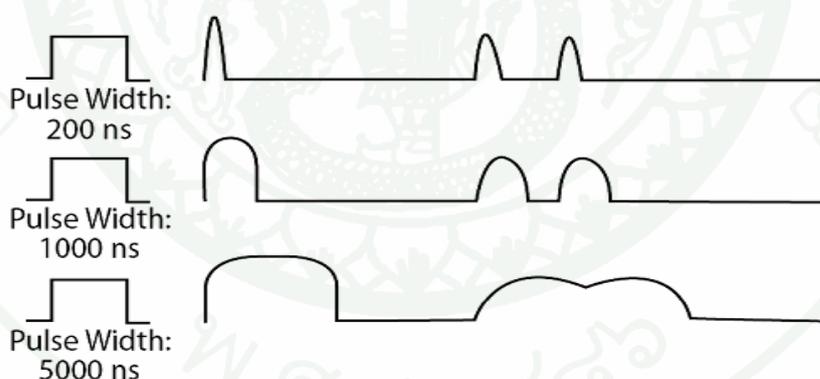
### 1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีต่างๆ เพื่อนำไปใช้ออกแบบอุปกรณ์

#### 1.1 ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ Time Domain Reflectometer (TDR)

Time Domain Reflectometer (TDR) เป็นเครื่องมือวัดหาจุดเสียของสายชนิดหนึ่ง ซึ่งทำงานโดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับของสัญญาณที่ส่งไป กล่าวคือสัญญาณทางไฟฟ้าจะถูกส่งไป

ตามสายนำสัญญาณและเมื่อกระทบบริเวณที่คุณสมบัติของสายนำสัญญาณแตกต่างกันไปจะเกิดการสะท้อนกลับ เวลาหนึ่งของสัญญาณสะท้อนกลับที่ต่างไปจากสัญญาณเริ่มต้น จะถูกตรวจวัดและนำมาคำนวณหาตำแหน่งของจุดเสียซึ่งแตกต่างจากระบบเก่าอย่างสิ้นเชิง โดยในอดีตเครื่องมือวัดหาตำแหน่งเสียของสายนำสัญญาณจะใช้หลักการของ Bridge ซึ่งจะวัดค่าความต้านทานหรือค่าความจุไฟฟ้าของสายนำสัญญาณ ส่วนอุปกรณ์ TDR จะใช้วิธีส่งสัญญาณไปในคู่สายและสัญญาณที่ส่งไปนี้จะสะท้อนตรงตำแหน่งที่มีเหตุเสีย อันเนื่องมาจากสภาพและคุณสมบัติของสายเปลี่ยนไป ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณตรงตำแหน่งนั้นไม่แมทช์กับค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสาย (Tomi, 2010)

ขนาดความกว้างพัลส์ (Pulse Width) แต่ละขนาดจะให้ผลการวัดที่ดีในระยะเวลาต่างกัน สัญญาณขนาดแคบๆ จะถูกใช้ในการวัดสายนำสัญญาณระยะสั้น เพื่อให้สามารถแยกสัญญาณที่ส่งไปและสะท้อนกลับได้อย่างชัดเจนไม่ซ้อนทับกัน แต่สัญญาณที่มีความกว้างของพัลส์แคบนี้จะไม่สามารถวัดหาจุดเสียของสายนำสัญญาณที่มีระยะทางไกลๆ ได้ ดังนั้นในระยะทางที่ไกลขึ้นจะต้องใช้ความกว้างพัลส์ที่กว้างขึ้นเรื่อยๆ ตามความเหมาะสม (อภิศักดิ์ และ อลงกรณ์, 2545) ซึ่งการใช้ความกว้างพัลส์ที่แตกต่างกันในการตรวจหาจุดเสียแสดงดังภาพที่ 7

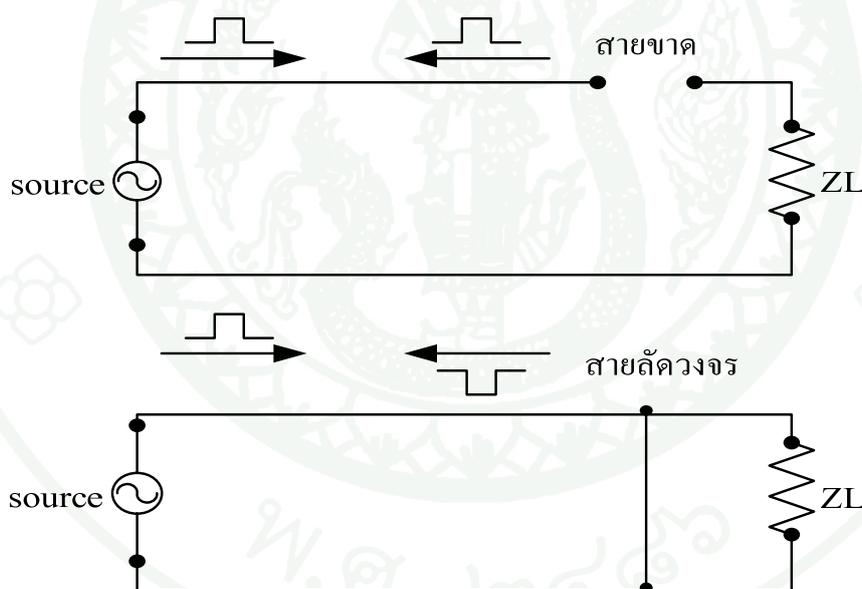


ภาพที่ 7 การใช้ความกว้างพัลส์ที่แตกต่างกันในการตรวจหาจุดเสีย

โดยปกติแล้วสายนำสัญญาณแต่ละชนิดจะมีค่าอิมพีแดนซ์คงที่ตลอดความยาวสาย ซึ่งประกอบด้วยค่า Resistance (R) , Inductance (L) , Capacitance (C) และ Conductance (G) กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นถ้าส่งสัญญาณเข้าไปในสาย สัญญาณก็จะสามารถเคลื่อนที่ถึงปลายทางได้ โดยปราศจากการสะท้อนกลับ แต่ถ้าตรงส่วนหนึ่งส่วนใดของสายมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุต่างๆ จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณตรงตำแหน่งนี้ได้

เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าสัญญาณสามารถสะท้อนกลับได้ตรงตำแหน่งอิมพีแดนซ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไป และการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์นั้นเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ เปลี่ยนแปลงไปในทางเพิ่มขึ้นหรือลดลง สิ่งเหล่านี้จะส่งผลให้เกิดการสะท้อนที่แตกต่างกัน

กรณีที่อิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงไปในทางเพิ่มขึ้น สัญญาณที่สะท้อนกลับมามีลักษณะเดียวกันกับสัญญาณที่ส่งไปหรือที่เรียกว่า Positive Return Pulse แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทางลดลง สัญญาณที่สะท้อนกลับมามีลักษณะที่ตรงกันข้ามกับสัญญาณที่ส่งไปหรือเรียกว่า Negative Return Pulse จากสาเหตุที่แตกต่างดังกล่าวทำให้เราสามารถที่จะวิเคราะห์ลักษณะของเหตุเสียที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากเหตุเสียแต่ละชนิดทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่แตกต่างกัน เหตุเสียที่ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้นคือเหตุเสียแบบ Series Fault อันได้แก่สายขาด หลวม หรือเกิดออกไซด์ที่จุดต่อ และเหตุที่ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ลดลงคือเหตุเสียแบบ Shunt Fault อันได้แก่สายลัดวงจรและแตะดิน โดยการสะท้อนกลับทั้ง 2 แบบแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การสะท้อนกลับของสัญญาณกรณีสายขาดและสายลัดวงจร

จากการศึกษาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการทำงานต่างๆ ของอุปกรณ์ตรวจหาตำแหน่งเสียของสายนำสัญญาณ ทำให้ทราบว่าการทำงานที่จะทำให้อุปกรณ์ MTDR ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถแสดงระยะทางที่เกิดจุดเสียได้อย่างแม่นยำ ต้องใช้สมการที่มีความเกี่ยวข้องในการทำโครงการวิจัยดังนี้

สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient:  $\rho$ ) (Dunlop and Smith, 1994)

$$\text{จากสมการที่ (10)} \quad \rho = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

เมื่อ

$Z_L$  คือ Load Impedance ( $\Omega$ )

$Z_0$  คือ Characteristic Impedance ( $\Omega$ )

สมการนี้ใช้ในการตรวจสอบว่าสายนำสัญญาณที่ทำการทดสอบนั้นขาดหรือลัดวงจร โดยหากสายนำสัญญาณขาดสัญญาณที่สะท้อนกลับจะเป็น Positive Return Pulse และหากสายนำสัญญาณลัดวงจรสัญญาณที่สะท้อนกลับจะเป็น Negative Return Pulse

ความเร็วในการแพร่กระจายคลื่น (Velocity of Propagation:  $V_p$ )

(Agilent Technologies, 2006)

$$V_p = \frac{v_c}{\sqrt{e_r}} \quad (17)$$

เมื่อ

$v_c$  คือ ความเร็วของคลื่นในอากาศ ประมาณ  $3 \times 10^8$  (m/sec)

$e_r$  คือ Dielectric Constant

สมการความเร็วในการแพร่กระจายคลื่นนี้ใช้ในการตรวจสอบว่าสายนำสัญญาณชนิดนั้นๆ สัญญาณทางไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ภายในสายนำสัญญาณด้วยความเร็วเท่าใด ซึ่งจะใช้ประกอบในการคำนวณหาระยะทางที่เกิดจุดเสียของสายนำสัญญาณ โดยสมการความเร็วในการแพร่กระจายคลื่นนี้เป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วของแสงที่เดินทางในอากาศซึ่งมีค่าประมาณ  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที หารด้วยรากที่สองของค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ซึ่งก็คือฉนวนที่ใช้หุ้มสายนำสัญญาณประเภทนั้นๆ โดยถ้าหากผู้ที่ทำการตรวจสอบสายนำสัญญาณกำหนดค่านี้ผิด จะทำให้การคำนวณหาระยะทางที่เกิดจุดเสียผิดพลาด

ระยะทางที่เกิดจุดเสีย (Distance to Fault:  $D$ ) (Agilent Technologies, 2006)

$$D = V_p \times \frac{T}{2} \quad (18)$$

เมื่อ

$V_p$  คือ ความเร็วในการแพร่กระจายคลื่น (m/sec)

$T$  คือ ช่วงเวลาที่สัญญาณทดสอบเดินทางไปและกลับ (sec)

ระยะทางที่เกิดจุดเสียภายในสายนำสัญญาณนี้ สาเหตุที่ต้องหารด้วย 2 เพราะช่วงเวลาที่สัญญาณทดสอบเดินทางไปและกลับนั้น มีระยะเป็นสองเท่าของระยะทางที่เกิดจุดเสีย

## 1.2 ศึกษาคุณลักษณะสายที่จะทำการทดสอบคือสาย Unshielded Twisted Pair (UTP)

สาย UTP มีลักษณะเป็นสายทองแดง 4 คู่โดยมีการตีเกลียวแต่ละคู่คือ คู่สีส้มตีเกลียวกับสีขาว ไฟตีเกลียวกับฟ้าขาว เขียวตีเกลียวกับเขียวขาว และสีน้ำตาลตีเกลียวกับน้ำตาลขาว สายทองแดงที่ใช้นำสัญญาณจะมีค่ามาตรฐานที่เรียกว่า American Wire Gauge (AWG) เช่นสาย UTP Category 5 Ethernet (CAT 5e) อาจผลิตจากสายทองแดง AWG24 หรือ UTP CAT 6 อาจผลิตจากสายทองแดง AWG23

การตีเกลียวเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดจากสัญญาณภายในสายเอง (Crosstalk) ยังมีจำนวนรอบการตีเกลียวต่อระยะทางมากเท่าใด ก็ยิ่งป้องกันปัญหาการเกิด Crosstalk ได้มากขึ้น ทำให้สามารถทำงานที่ความถี่สูงขึ้นได้ ซึ่งลักษณะของสาย UTP แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ลักษณะของสาย Unshielded Twisted Pair (UTP)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของสาย UTP ชนิด Category 5 Ethernet (CAT5e)

Property	Nominal Value	Unit
Characteristic impedance@100MHz	100	$\Omega$
Nominal Characteristic impedance@100MHz	100	$\Omega$
DC-Loop resistance	$\leq 0.188$	$\Omega/m$
Propagation speed	0.64	c
Propagation delay	4.80-5.30	ns/m
Delay skew < 100MHz	< 0.20	ns/m
Capacitance at 800 Hz	52	pF/m
Inductance	525	nH/m
Cutoff frequency	50323	Hz
Max tensile load, during installation	100	N
Wire size	AWG-24 ( 0.205 mm <sup>2</sup> )	
Insulation thickness	0.245	mm
Maximum current per conductor	0.577	A
Temperature operating	-55 to +60	$^{\circ}C$

ที่มา: Wikipedia (2011d)

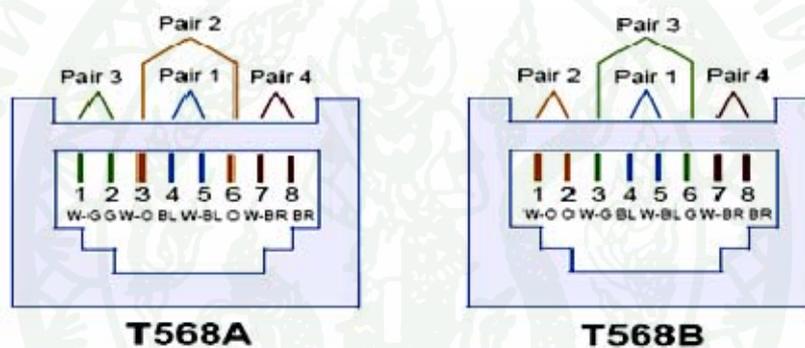
### 1.3 ศึกษาวิธีการเชื่อมโยงสัญญาณเครือข่ายอีเทอร์เน็ตมาตรฐาน 10Base-T

10Base-T เป็นมาตรฐานหนึ่งที่ใช้สำหรับสื่อสัญญาณ และเชื่อมโยงสัญญาณเครือข่ายอีเทอร์เน็ต (Ethernet Network) มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ 10 ล้านบิตต่อวินาที (10Mbps) ด้วยสัญญาณเบสแบนด์ (Base Band) ถูกเข้ารหัสข้อมูลแบบ Manchester Line Coding โดยส่วนมากจะใช้สายส่งทองแดงตีเกลียวแบบ Unshielded Twisted Pair (UTP) เป็นสายส่งสัญญาณ โดยที่ด้านปลายของสายส่งทั้งสองด้านจะต่อเข้ากับคอนเน็กเตอร์ชนิด RJ-45 ที่มีจำนวน 8 ขา และต้องใช้ต่อเข้ากับเต้าเสียบ RJ-45 ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ลักษณะของคอนเน็กเตอร์ชนิด RJ-45 และเต้าเสียบ

มาตรฐาน 10Base-T ในการเชื่อมต่อสายนำสัญญาณเข้ากับคอนเน็กเตอร์ RJ-45 มี 2 แบบคือ TIA/EIA-568-A และ TIA/EIA-568-B ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การเชื่อมต่อสายแบบ TIA/EIA-568-A และ TIA/EIA-568-B

ที่มา: Fiber Optics for sale co. (2007)

ตารางที่ 2 การเชื่อมต่อสาย UTP มาตรฐาน TIA/EIA-568-A และ TIA/EIA-568-B

Pin	T568A Pair	T568B Pair	Wire	T568A Color	T568B Color
1	3	2	tip	white/green strip	white/orange strip
2	3	2	ring	green solid	orange solid
3	2	3	tip	white/orange strip	white/green strip
4	1	1	ring	blue solid	blue solid
5	1	1	tip	white/blue strip	white/blue strip
6	2	3	ring	orange solid	green solid

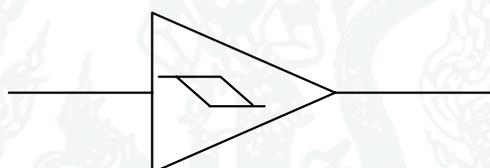
## ตารางที่ 2 (ต่อ)

Pin	T568A Pair	T568B Pair	Wire	T568A Color	T568B Color
7	4	4	tip	white/brown strip	white/brown strip
8	4	4	ring	brown solid	brown solid

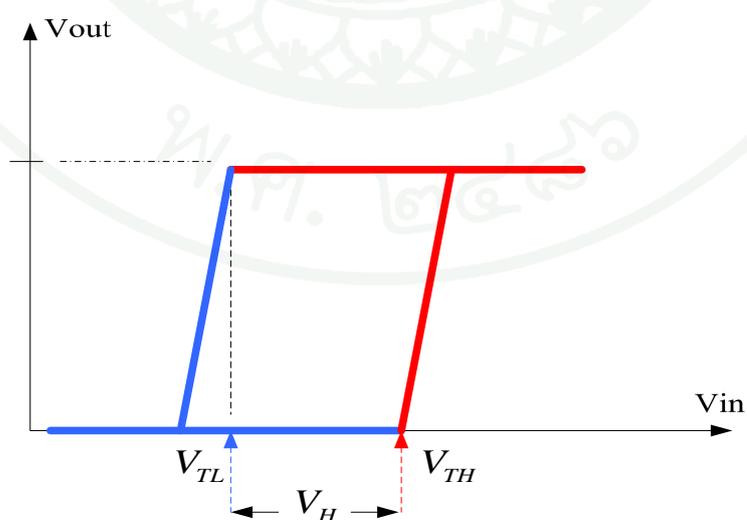
ที่มา: Wikipedia (2011e)

### 1.4 ศึกษาคุณสมบัติวงจร Schmitt Trigger

วงจร Schmitt Trigger เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าชนิดหนึ่ง มีคุณสมบัติช่วยลดสัญญาณรบกวนในระบบ โดยมีสัญลักษณ์วงจรดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 สัญลักษณ์วงจร Schmitt Trigger



ภาพที่ 13 คุณสมบัติวงจร Schmitt Trigger

วงจร Schmitt Trigger จะมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่มีจุดทริกเกอร์ 2 จุดที่จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงคือ Trigger Low ( $V_{TL}$ ) และ Trigger High ( $V_{TH}$ ) การที่สัญญาณเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อสัญญาณอินพุตเพิ่มและลดต่างจุดกัน ซึ่งเรียกพฤติกรรมนี้ว่าฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) และค่าความกว้างของฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Width :  $V_H$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$V_H = V_{TH} - V_{TL} \quad (19)$$

เมื่อ

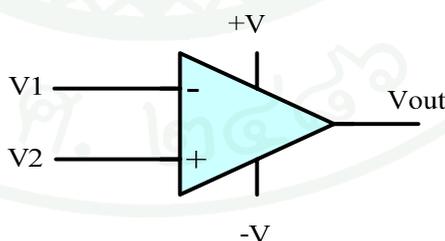
$V_H$  = Hysteresis Width

$V_{TH}$  = Trigger High

$V_{TL}$  = Trigger Low

### 1.5 ศึกษาวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator)

วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณระหว่างแรงดันอินพุตที่ป้อนให้ทางขากลับเฟส (Inverting Input) แทนด้วย  $V_1$  กับแรงดันอินพุตที่ป้อนให้ทางขาที่ไม่กลับเฟส (Non-Inverting Input) แทนด้วย  $V_2$  ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้จะเป็นออปแอมป์ (Op-Amp) วงจรเปรียบเทียบแรงดันแสดงดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

โดยแรงดันเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน จะมีเฟสเป็นไปตามแรงดันอินพุตที่มีขนาดสัญญาณมากกว่าดังสมการ

$$V_o = A_{OL} \times (V_2 - V_1) \quad (20)$$

เมื่อ

$V_o$  คือ แรงดันเอาต์พุต

$A_{OL}$  คือ อัตราขยายแรงดันรูปเปิด

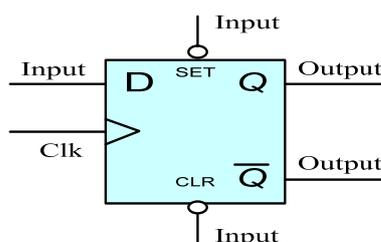
$V_1$  คือ แรงดันอินพุตที่ป้อนให้ทางจากกลับเฟส

$V_2$  คือ แรงดันอินพุตที่ป้อนให้ทางขาที่ไม่กลับเฟส

ซึ่งอัตราขยายแรงดันรูปเปิดจะมีค่าสูงมากในทางปฏิบัติประมาณ 100,000 เท่า ทำให้ขนาดสัญญาณของแรงดันเอาต์พุตที่ออกมามีค่าสูงมากเช่นกัน แต่เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตสูงสุดของออปแอมป์นั้นถูกจำกัดด้วยระดับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่ป้อนให้กับออปแอมป์เอง ดังนั้นเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบกับแรงดันนี้จึงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่สองสถานะคือ  $V_o = +V$  เมื่อ  $V_2$  มากกว่า  $V_1$  และ  $V_o = -V$  เมื่อ  $V_2$  น้อยกว่า  $V_1$

#### 1.6 ศึกษาการทำงานของดีฟลิปฟลอป (D-Flip Flop)

ดีฟลิปฟลอป (D-Flip Flop) ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในงานด้านวงจรเลื่อนข้อมูล และวงจรเก็บข้อมูลชั่วคราว คือชนิดทีทีแอล (TTL) เบอร์ 7474 ประกอบด้วย 4 อินพุตคือ อินพุตดี (D) อินพุตซีแอลเค (CLK) อินพุตพรีเซต (PS) และอินพุตเคลียร์ (CLR) ส่วนเอาต์พุตมี 2 เอาต์พุตคือ เอาต์พุตคิว  $Q$  และเอาต์พุตคิวบาร์  $\bar{Q}$  ส่วนอินพุตพิเศษ 2 อินพุตคือพรีเซตและเคลียร์นั้น มีชื่อเฉพาะว่า “อะซิงโครนัสอินพุต” ที่เป็นเช่นนี้เพราะการทำงานของอินพุตทั้ง 2 จะทำงานทันทีเมื่อได้รับลอจิก “0” โดยไม่สนใจว่าอินพุตอื่นมีข้อมูลอยู่หรือไม่ (นักثر, 2541) ซึ่งลักษณะของดีฟลิปฟลอปแสดงดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ดีฟลิปฟลอป

### ตารางที่ 3 ตารางความจริงดีฟลิปฟล็อป

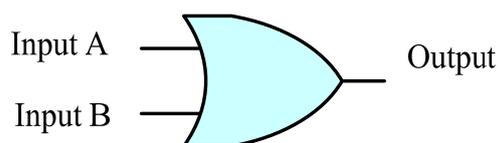
INPUTS				OUTPUTS	
$\overline{PRE}$	$\overline{CLR}$	$CLK$	$D$	$Q$	$\overline{Q}$
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H $\uparrow$	H $\uparrow$
H	H	$\uparrow$	H	H	L
H	H	$\uparrow$	L	L	H
H	H	L	X	$Q_0$	$\overline{Q_0}$

ที่มา: Texas Instruments (2005)

หมายเหตุ ช่วงที่ใช้งานคือ  $\overline{PRE}$  และ  $\overline{CLR}$  มีอินพุตเป็น H หรือ 1

#### 1.7 ศึกษาการทำงานของออร์เกต (Or -Gate)

ออร์เกต เป็นเกตที่มีอินพุตตั้งแต่ 2 อินพุตขึ้นไป และมี 1 เอาต์พุต โดยจะให้เอาต์พุตเป็น “1” เมื่ออินพุตตัวใดตัวหนึ่งมีค่าเป็น 1 และกรณีอินพุตทุกตัวมีค่าเป็น 0 ค่าเอาต์พุตจะเป็น “0” โดยโครงการวิทยานิพนธ์นี้ใช้ SN74HC32N ซึ่งเป็นไอซีออร์เกต 2 อินพุต ใช้กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 5 โวลต์ แรงดันเอาต์พุตสูงสุด (VOH) ประมาณ 4.4 โวลต์ และมีค่าหน่วงเวลา (Propagation Delay) ประมาณ 8 นาโนวินาที ซึ่งสัญลักษณ์ของออร์เกตแสดงดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 สัญลักษณ์ของออร์เกต

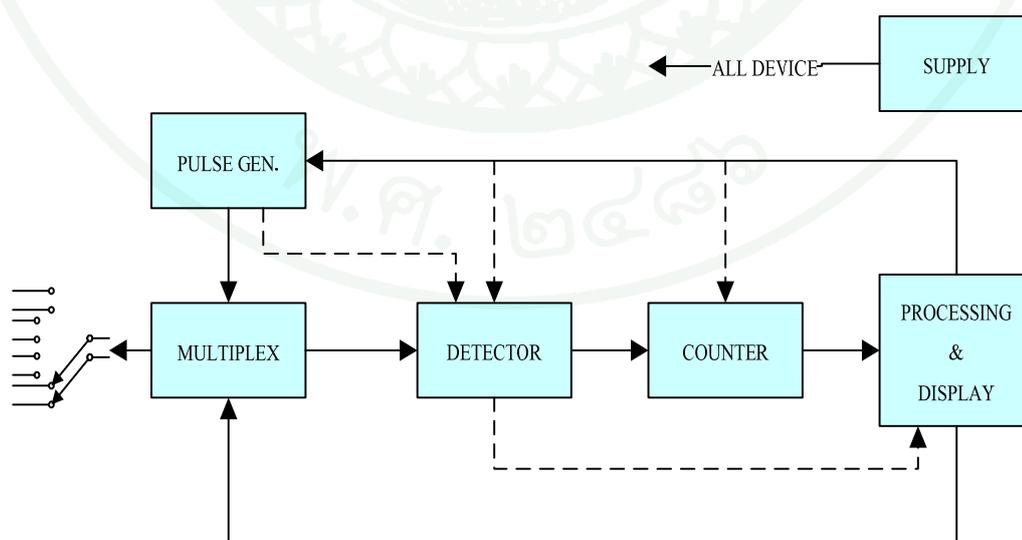
ตารางที่ 4 ตารางความจริงออร์เกต (Or-Gate)

Input A	Input B	Output (A+B)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

ที่มา: Wikipedia (2011f)

## 2. ออกแบบบล็อกไดอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์

จากการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะนำมาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ MTDR ทำให้ผู้ทำโครงการวิทยานิพนธ์ทราบว่า เพื่อให้อุปกรณ์ MTDR สามารถทำงานตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ดังนั้นอุปกรณ์ MTDR ต้องประกอบไปด้วยวงจรภาคต่างๆ ดังนี้คือ ภาคแหล่งจ่ายไฟ (Supply) ภาคกำเนิดพัลส์ (Pulse Generator) ภาคมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) ภาคดีเทคเตอร์ (Detector) ภาคเคาน์เตอร์ (Counter) และภาคประมวลผลและแสดงผล (Processing and Display) โดยบล็อกไดอะแกรมแสดงดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ MTDR

ภาคแหล่งจ่ายไฟ (Supply) ทำหน้าที่กำเนิดไฟกระแสตรงแรงดัน +/- 5 โวลต์ ให้กับภาคต่างๆ ของอุปกรณ์ MTDR

ภาคกำเนิดพัลส์ (Pulse Generator) ทำหน้าที่กำเนิดพัลส์ความถี่ที่เหมาะสม เพื่อส่งเข้าไปในสายที่ทำการทดสอบ อีกทั้งส่งสัญญาณควบคุมไปยังภาคตรวจจับสัญญาณเพื่อให้ถอดสัญญาณได้ถูกต้อง ซึ่งการเปลี่ยนความถี่ของพัลส์จะถูกรักษาควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ในภาคประมวลผลและแสดงผล

ภาคมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) ทำหน้าที่เปลี่ยนคู่สายที่ทำการทดสอบจากคู่สายที่ 1 ถึงคู่สายที่ 4 และเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุในภาคกำเนิดพัลส์ ซึ่งควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ในภาคประมวลผลและแสดงผล

ภาคดีเทคเตอร์ (Detector) ทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมาในสายทดสอบ แล้วทำการแปลงสัญญาณนั้นให้เป็นสัญญาณลูกเดียวกัน โดยสัญญาณใหม่นี้คือระยะทางที่สัญญาณเดินทางไปและกลับจากจุดทดสอบถึงจุดที่เสียของสายนำสัญญาณ อีกทั้งยังทำการตรวจสอบว่าสายที่ทำการทดสอบนั้นขาดหรือลัดวงจร

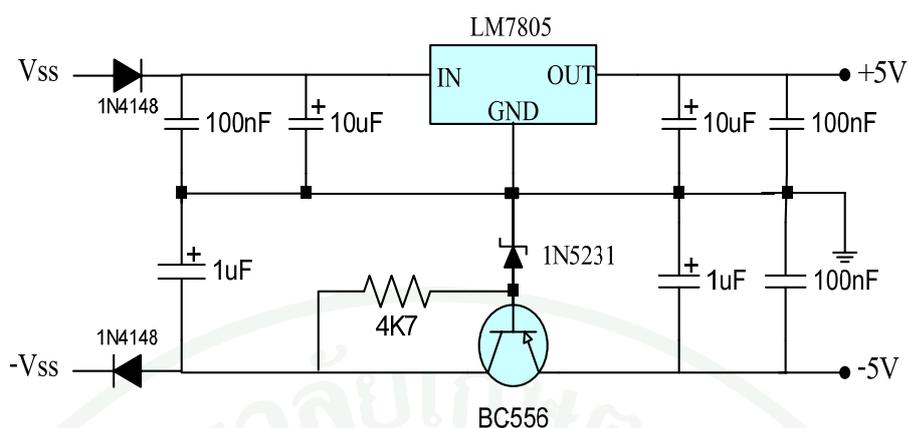
ภาคเคาน์เตอร์ (Counter) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ได้จากภาคตรวจจับสัญญาณให้เป็นสัญญาณนาฬิกา (Clock) แล้วทำการนับจำนวนพัลส์ของสัญญาณนาฬิกานั้น

ภาคประมวลผลและแสดงผล (Processing and Display) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของภาคต่างๆ ให้ทำงานสัมพันธ์กัน และประมวลผลสัญญาณที่ได้จากภาคตรวจจับสัญญาณและภาคเคาน์เตอร์ แปลงเป็นอาการที่เสียและระยะทางที่เกิดจุดเสียแสดงที่จอ Liquid Crystal Display (LCD)

### 3. ออกแบบและประกอบวงจรตามบล็อกไดอะแกรมที่กำหนดไว้ พร้อมทั้งทดสอบการทำงาน

#### 3.1 ออกแบบและประกอบวงจรภาคแหล่งจ่ายไฟ

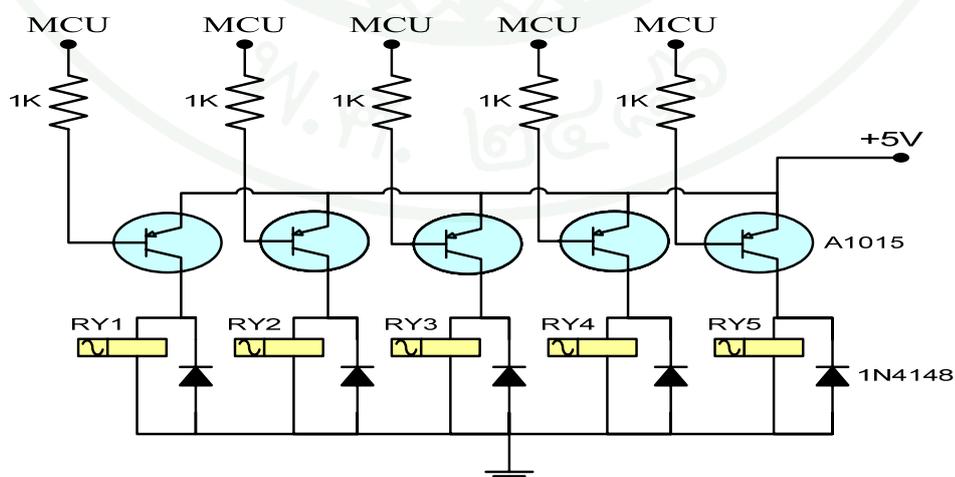
ทำการออกแบบวงจรในส่วนของวงจรภาคแหล่งจ่ายไฟ โดยใช้อุปกรณ์เป็น IC LM7805 และซีเนอร์ไดโอด 1N5231 เป็นหลัก ลักษณะวงจรภาคแหล่งจ่ายไฟแสดงดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 แหล่งจ่ายไฟสำหรับอุปกรณ์ MTDR

วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟนี้ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟกระแสตรงให้มีเอาต์พุตคงที่  $\pm 5$  โวลต์ โดยใช้ไอซี LM7805 เป็นตัวควบคุมแรงดันด้านบวก และใช้ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) 1N5231 เป็นตัวควบคุมแรงดันด้านลบ และเพื่อให้แรงดันไฟมีความคงที่ซึ่งต้องการกรองกระแสและแรงดันด้วยตัวเก็บประจุก่อน เพื่อให้แรงดันมีเสถียรภาพมากที่สุด เพราะถ้าหากแรงดันที่จ่ายให้กับวงจรต่างๆ ไม่คงที่อาจจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทำงานของอุปกรณ์ และอาจจะส่งผลทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นก่อนที่จะนำไปจ่ายแรงดันให้กับวงจรต่างๆ ต้องมั่นใจว่าแรงดันที่ออกจากวงจรภาคแหล่งจ่ายไฟมีค่าคงที่

### 3.2 ออกแบบและประกอบวงจรภาคมัลติเพล็กซ์ (Multiplex)



ภาพที่ 19 วงจรภาคมัลติเพล็กซ์ (Multiplex)

ภาคมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) นี้จะใช้ซิกแนลสวิทช์ริงรีเลย์ (Signal Switching Relay) ในการเปลี่ยนช่องสัญญาณที่ทำการวัด และค่าตัวเก็บประจุของภาคกำเนิดพัลส์ ซึ่งรีเลย์แต่ละตัวจะถูกต้องพร้อมด้วยไดโอด 1N4148 เพื่อรักษาเสถียรภาพของการทำงาน โดยที่รีเลย์ RY4 และ RY5 จะใช้เป็นตัวเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุขนาด 47 pF ขนาด 1 nF และขนาด 4.7 nF ของภาคกำเนิดพัลส์ ส่วนรีเลย์ RY1 RY2 และ RY3 จะเป็นตัวกำหนดเส้นทางของช่องสัญญาณที่ทำการวัดคือ คู่สายที่ 1 คู่สายที่ 2 คู่สายที่ 3 และคู่สายที่ 4 โดยการทำงานของรีเลย์นี้จะถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ในภาคประมวลผลและแสดงผล แต่เนื่องจากกระแสจากไมโครคอนโทรลเลอร์ต่ำเกินไปที่จะทำให้รีเลย์ทำงานได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการขยายกระแสก่อนโดยใช้ทรานซิสเตอร์ A1015 ซึ่งการทำงานของภาคมัลติเพล็กซ์นี้แสดงดังภาพที่ 20

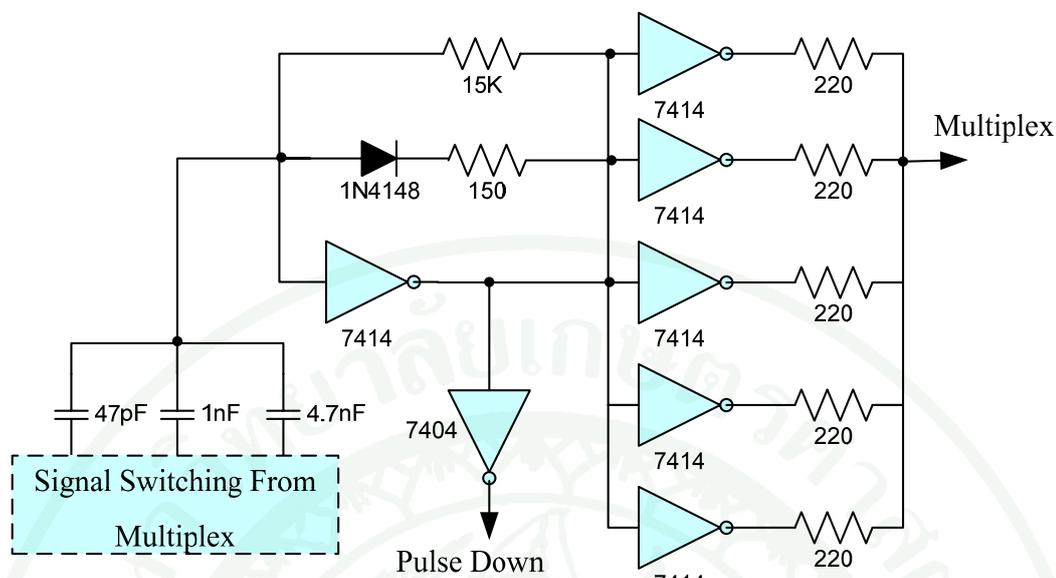


ภาพที่ 20 การทำงานของภาคมัลติเพล็กซ์

จากภาพที่ 20 สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้คือ ในขณะที่รีเลย์เลื่อนตำแหน่งมาที่สายนำสัญญาณคู่ที่ 1 ภาคกำเนิดสัญญาณพัลส์ จะส่งสัญญาณพัลส์ความถี่ที่ได้จากตัวเก็บประจุตัวที่ 1 (47 pF) เข้าไปในสายนำสัญญาณเพื่อตรวจหาจุดเสีย หากไม่สามารถตรวจหาจุดเสียได้ภาคกำเนิดพัลส์ก็จะส่งสัญญาณพัลส์ความถี่ที่ได้จากตัวเก็บประจุตัวที่ 2 (1 nF) เข้าไปในสายนำสัญญาณ หากยังไม่สามารถตรวจหาจุดเสียได้อีก ภาคกำเนิดพัลส์จะส่งสัญญาณพัลส์ความถี่ที่ได้จากตัวเก็บประจุตัวที่ 3 (4.7 nF) เข้าไปในสายนำสัญญาณ จากนั้นรีเลย์จะเลื่อนตำแหน่งมาที่สายนำสัญญาณคู่ที่ 2 ในขณะที่ภาคกำเนิดพัลส์ก็จะส่งสัญญาณพัลส์ความถี่ที่ได้จากตัวเก็บประจุตัวที่ 1 จากตัวเก็บประจุตัวที่ 2 และจากตัวเก็บประจุตัวที่ 3 เป็นเช่นนี้จนครบ 4 คู่สายและวนการทำงานแบบนี้ไปเรื่อยๆ

### 3.3 ออกแบบและประกอบวงจรภาคกำเนิดพัลส์

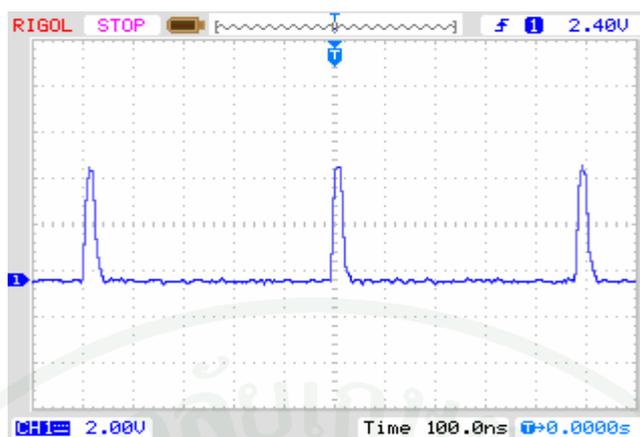
ทำการออกแบบวงจรในส่วนของวงจรภาคกำเนิดสัญญาณพัลส์ โดยใช้อุปกรณ์เป็น IC SN74HCT14N ซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์ชนิดที่ทรigger เป็นหลัก ลักษณะวงจรภาคกำเนิดพัลส์แสดงดังภาพที่ 21



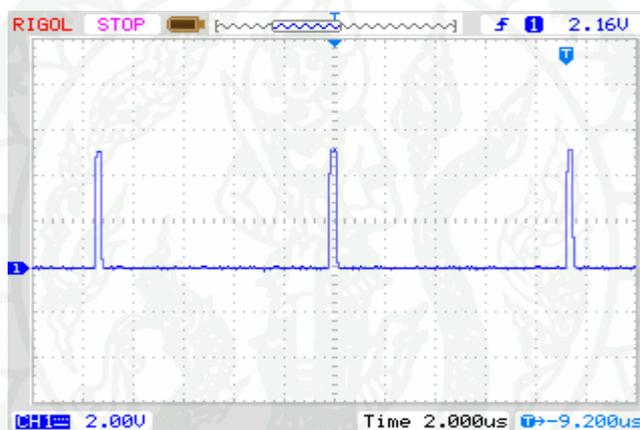
ภาพที่ 21 วงจรภาคกำเนิดพัลส์

ภาคกำเนิดพัลส์นี้จะทำการผลิตความถี่พัลส์ ซึ่งมีลักษณะเป็นพัลส์ต่อเนื่องส่งไปยังภาคมัลติเพล็กซ์เพื่อทำการตรวจหาจุดเสียของสายนำสัญญาณ โดยความถี่พัลส์ที่ส่งไปนั้นจะมีความถี่ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุ โดยในวงจรภาคกำเนิดพัลส์นี้ประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุขนาด 47 pF ขนาด 1 nF และขนาด 4.7 nF ซึ่งการที่ต้องมีตัวเก็บประจุขนาดแตกต่างกันเพราะว่า ตัวเก็บประจุแต่ละค่าจะให้ความกว้างพัลส์ (Pulse Width) และระยะเวลาห่างพัลส์ (Pulse Time) แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้เหมาะสมสำหรับวัดสายนำสัญญาณที่มีระยะทางแตกต่างกันด้วย ส่วนพัลส์ดาวน์ (Pulse Down) จะใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงในการหาระยะทางที่เกิดจุดเสียในภาคดีเทคเตอร์ (Detector)

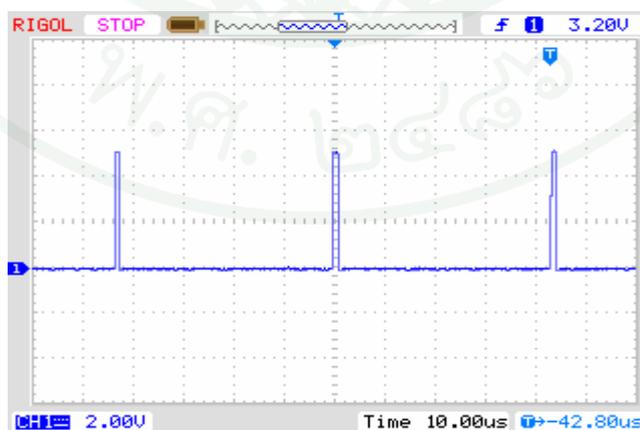
เมื่อทำการประกอบวงจรในส่วนของภาคกำเนิดพัลส์เสร็จแล้ว เพื่อเป็นการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ว่าวงจรในส่วนของภาคกำเนิดพัลส์นี้สามารถทำงานได้หรือไม่ และรูปแบบของสัญญาณที่ได้จากตัวเก็บประจุไฟฟ้าขนาด 47 pF ขนาด 1 nF และขนาด 4.7 nF มีรูปแบบของสัญญาณเป็นอย่างไรและเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ ผู้วิจัยจึงได้ทำการวัดสัญญาณที่ได้จากภาคกำเนิดพัลส์ในขณะที่รีเลย์ต่อกับตัวเก็บประจุขนาด 47 pF ขนาด 1 nF และขนาด 4.7 nF ได้ผลดังภาพที่ 22-24



ภาพที่ 22 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากตัวเก็บประจุขนาด 47 pF



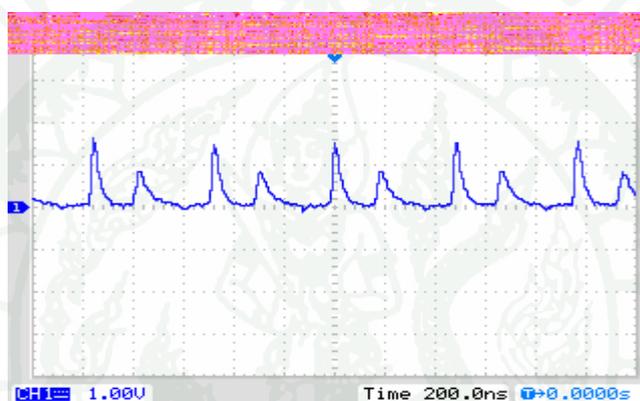
ภาพที่ 23 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากตัวเก็บประจุขนาด 1 nF



ภาพที่ 24 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากตัวเก็บประจุขนาด 4.7 nF

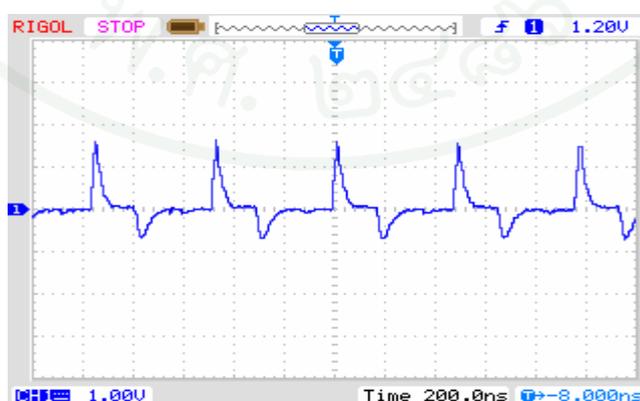
จากภาพที่ 22-24 จะเห็นว่าสัญญาณพัลส์ที่ได้จากตัวเก็บประจุขนาด 47 pF จะให้ความกว้างพัลส์และคาบเวลาระหว่างพัลส์น้อยที่สุดซึ่งเหมาะสำหรับใช้วัดสายนำสัญญาณที่มีความยาวน้อย ส่วนสัญญาณที่ได้จากตัวเก็บประจุไฟฟ้าขนาด 1 nF และขนาด 4.7 nF จะให้ความกว้างพัลส์และคาบเวลาระหว่างพัลส์มากขึ้นตามลำดับ ซึ่งจะใช้สำหรับวัดสายนำสัญญาณที่มีความยาวมากขึ้นตามลำดับเช่นกัน

ขั้นตอนต่อไป ต่อสายนำสัญญาณ UTP ความยาวสายนำสัญญาณ 20 เมตร โดยเปิดปลายสายไว้ และวัดสัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมา ได้สัญญาณดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ลักษณะสัญญาณสะท้อนกลับกรณีปลายสายเปิด

จากนั้นทำการลัดวงจรปลายสาย แล้ววัดสัญญาณที่ส่งไปและสะท้อนกลับมาได้สัญญาณดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ลักษณะสัญญาณสะท้อนกลับกรณีปลายสายลัดวงจร

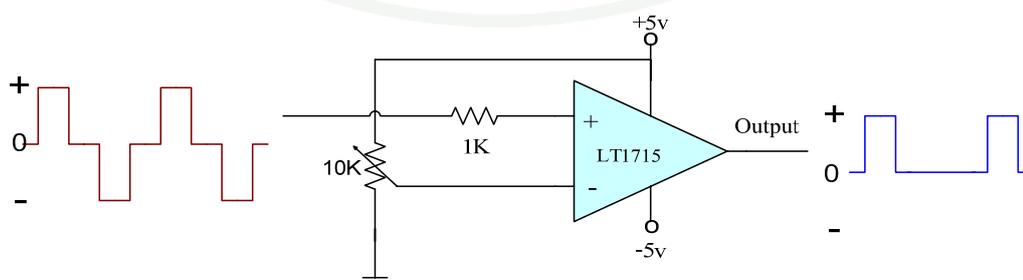
จากภาพที่ 25-26 จะพบว่าสัญญาณพัลส์ที่สะท้อนกลับมากภายในสายนำสัญญาณในกรณีปลายสายเปิดหรือสายขาดสัญญาณพัลส์จะอินเฟส (In Phase) กับพัลส์ที่ส่ง ส่วนสัญญาณพัลส์ที่สะท้อนกลับมากภายในสายนำสัญญาณในกรณีปลายสายปิดหรือลัดวงจร สัญญาณพัลส์นั้นจะเอาต์ออฟเฟส (Out of Phase) กับพัลส์ที่ส่ง ซึ่งเป็นไปตามสมการสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient)

### 3.4 ออกแบบและประกอบวงจรภาคดีเทคเตอร์ (Detector)

ในส่วนของภาคดีเทคเตอร์ (Detector) นี้ต้องประกอบไปด้วยวงจรที่จำเป็นในการทำงานของอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้

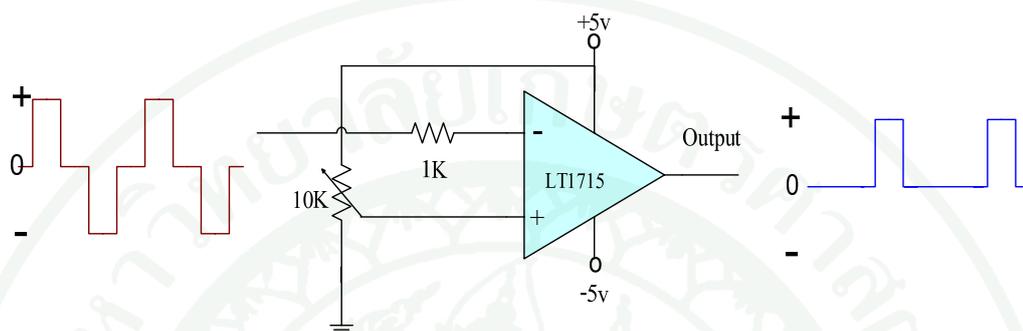
วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันจากการสะท้อนกลับของสัญญาณกับแรงดันอ้างอิง ซึ่งวงจรเปรียบเทียบแรงดันธรรมดาสามารถให้เอาต์พุตที่ผิดพลาดได้เมื่อแรงดันอินพุตมีค่าน้อยมากๆ หรือเมื่ออินพุตเปลี่ยนช้ากว่าเอาต์พุตมากๆ ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนจากเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ส่งต่อไปยังอินพุต ดังนั้นในโครงการวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้ไอซี LT1715 ซึ่งเป็นไอซีเปรียบเทียบแรงดันแบบฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis) โดยวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือวงจรตรวจจับพัลส์บวก และวงจรตรวจจับพัลส์ลบ

วงจรตรวจจับพัลส์บวก เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดยสัญญาณที่สะท้อนกลับจากสายทดสอบจะต่อที่ขานอนอินเวอร์ตติ้ง (Non Inverting) โดยผ่านตัวต้านทานขนาด 1 กิโลโอห์ม ส่วนที่ขานอินเวอร์ตติ้ง (Inverting) จะต่อกับตัวต้านทานแบบปรับค่าขนาด 10 กิโลโอห์มเพื่อใช้สำหรับปรับกำหนดแรงดันอ้างอิง ซึ่งวงจรตรวจจับพัลส์บวกแสดงดังภาพที่ 27



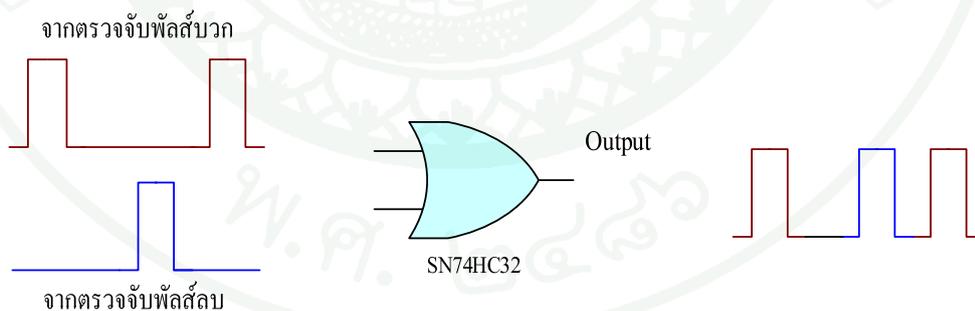
ภาพที่ 27 วงจรตรวจจับพัลส์บวก

วงจรตรวจจับพัลส์ลบ เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดยสัญญาณที่สะท้อนกลับจากสายทดสอบจะต่อที่ขาอินเวอร์ตติ้ง (Inverting) โดยผ่านตัวต้านทานขนาด 1 กิโลโอห์ม ส่วนที่ขา non-inverting (Non Inverting) จะต่อกับตัวต้านทานแบบปรับค่าขนาด 10 กิโลโอห์มเพื่อใช้สำหรับปรับกำหนดแรงดันอ้างอิง ซึ่งวงจรตรวจจับพัลส์ลบแสดงดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 วงจรตรวจจับพัลส์ลบ

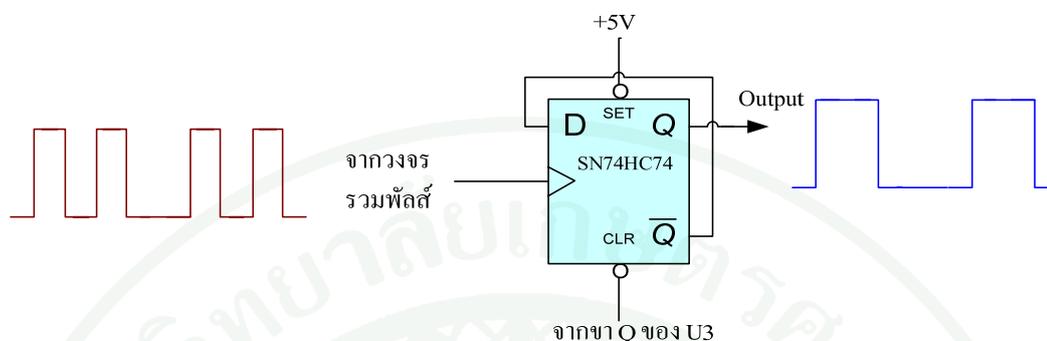
วงจรรวมพัลส์ ทำหน้าที่รวมสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์บวก และวงจรตรวจจับพัลส์ลบให้เป็นสัญญาณในแกนเวลาเดียวกัน โดยใช้ไอซีออร์เกต (Or-Gate) แบบ 2 อินพุต ซึ่งวงจรรวมพัลส์แสดงดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 วงจรรวมพัลส์

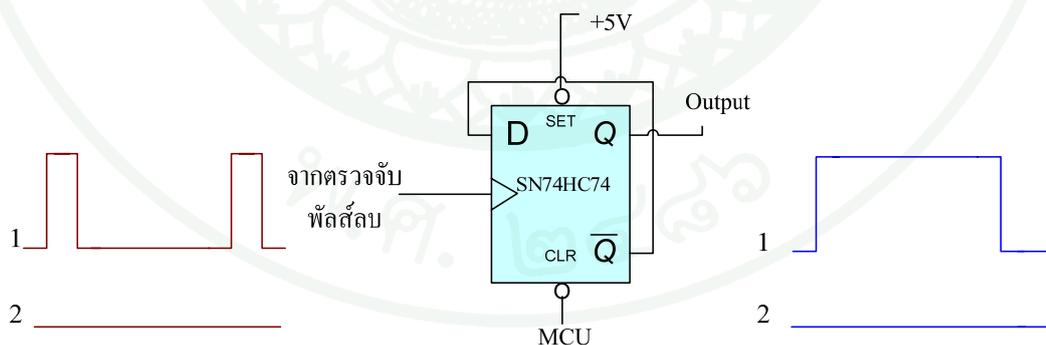
วงจรแปลงสัญญาณพัลส์ทำหน้าที่แปลงสัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรรวมพัลส์ให้เป็นสัญญาณลูกเดียวกัน โดยใช้ไอซี SN74HC74 การทำงานของวงจรแปลงสัญญาณพัลส์จะทำงานที่

ขอบขาขึ้น (Active High) โดยลักษณะของพัลส์ลูกใหม่ที่ได้จะเท่ากับระยะทางที่เกิดจุดเสี้ยวของสายนำสัญญาณที่ทำการทดสอบ ลักษณะของวงจรแปลงสัญญาณพัลส์แสดงดังภาพที่ 30



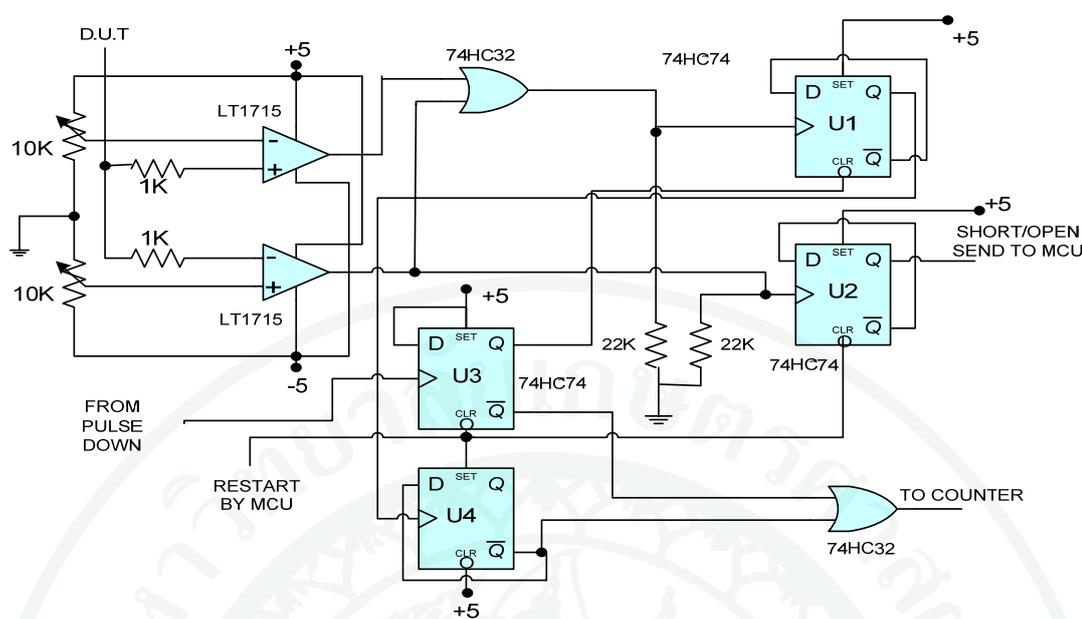
ภาพที่ 30 วงจรแปลงสัญญาณพัลส์

วงจรตรวจสอบ Short/Open โดยใช้ไอซี SN74HC74 วงจรนี้จะทำการรับสัญญาณจากวงจรตรวจจับพัลส์ลบ ซึ่งถ้าสายนำสัญญาณที่ทดสอบลัดวงจรจะมีพัลส์มาที่อินพุตของวงจรและทำให้ที่เอาต์พุตมีสถานะเป็น “ 1 ” แต่หากสายนำสัญญาณที่ทำการทดสอบขาดจะไม่มีสัญญาณพัลส์มาที่อินพุตของวงจร และทำให้ที่เอาต์พุตมีสถานะเป็น “ 0 ” ซึ่งวงจรตรวจสอบ Short/Open แสดงดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 วงจรตรวจสอบ Short/Open

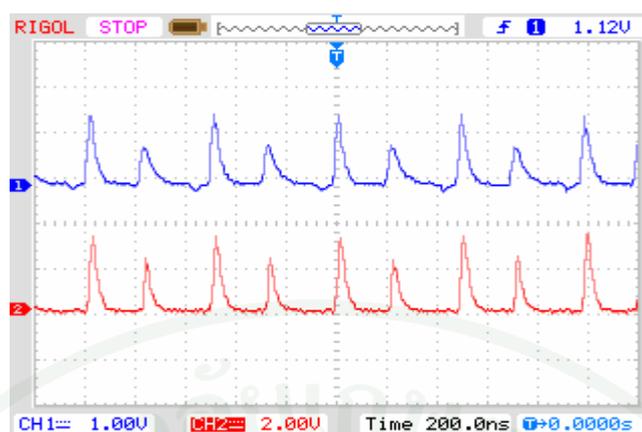
เมื่อนำวงจรต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับภาคดีเทคเตอร์ (Detector) มาประกอบรวมกันเป็นอุปกรณ์ จะทำให้ภาคดีเทคเตอร์ มีลักษณะวงจรแสดงดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 วงจรภาคดีเทคเตอร์

การทำงานของภาคดีเทคเตอร์นี้ เมื่อมีสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากสายนำสัญญาณที่ทำการทดสอบ สัญญาณจะถูกตรวจจับด้วยวงจรตรวจจับพัลส์บวกและลบโดยใช้ไอซี LT1715 จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกส่งไปยังวงจรรวมสัญญาณพัลส์ โดยใช้ออร์เกตทำการรวมสัญญาณให้เป็นสัญญาณในแกนเวลาเดียวกัน ซึ่งก็คือสัญญาณพัลส์ที่ส่งออกไปและพัลส์ที่สะท้อนกลับมา อันเกิดจากการขาดหรือลัดวงจรของสายนำสัญญาณ จากนั้นจะส่งเข้าวงจรแปลงสัญญาณพัลส์ เพื่อแปลงสัญญาณพัลส์จากวงจรรวมสัญญาณพัลส์ให้เป็นพัลส์ลูกเดียวกัน โดยใช้ดีฟลิปฟลอป U1 ซึ่งความกว้างของพัลส์ลูกใหม่นี้คือระยะที่จะนำไปคำนวณหาระยะทางที่ถูกต้องต่อไป จากนั้นนำสัญญาณจากขา Q ของดีฟลิปฟลอป U3 ที่รับสัญญาณจาก Pulse Down มาทริกที่ขาเคลียร์ของดีฟลิปฟลอป U1 เพื่อป้องกันความผิดพลาด ส่วนเอาต์พุตที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณพัลส์นี้ จะถูกส่งเข้าดีฟลิปฟลอป U4 เพื่อทำการปิดเปิดสัญญาณให้ได้สัญญาณที่ต้องการ ส่วนดีฟลิปฟลอป U2 เป็นวงจรตรวจสอบว่าสายขาดหรือสายลัดวงจร โดยถ้าสายขาดขา Q จะส่งพัลส์ “ 0 ” หากลัดวงจรจะส่งพัลส์เป็น “ 1 ” ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการประมวลผลต่อไป

เมื่อประกอบวงจรภาคดีเทคเตอร์แล้ว ทำการทดสอบการทำงานของภาคดีเทคเตอร์โดยต่อสายนำสัญญาณความยาว 20 เมตรในลักษณะปลายเปิด ซึ่งที่ระยะนี้ซิกแนลสวิตซ์รีเลย์จะต่อกับตัวเก็บประจุขนาด 47 pF จากนั้นทำการวัดสัญญาณอินพุตเปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับพัลส์บวก ได้ผลออกมาดังภาพที่ 33

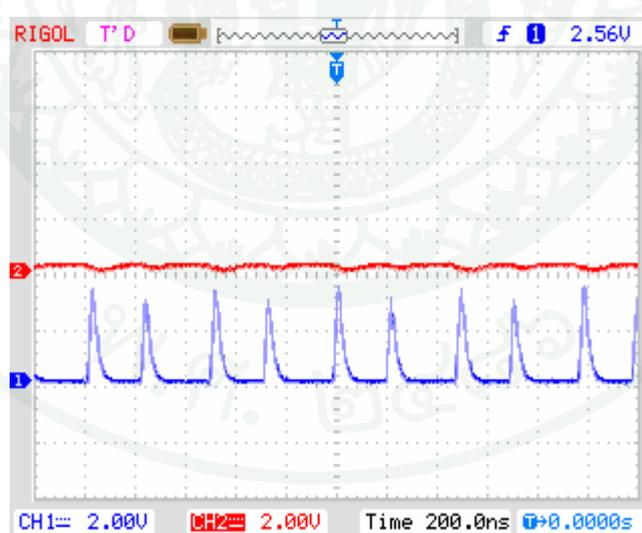


ภาพที่ 33 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรตรวจจับพัลส์บวกกรณีสายขาด

หมายเหตุ บน (สีน้ำเงิน) สัญญาณอินพุตวงจรตรวจจับพัลส์บวก

ล่าง (สีแดง) สัญญาณเอาต์พุตวงจรตรวจจับพัลส์บวก

จากนั้นทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับพัลส์บวกเปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับพัลส์ลบ ได้ผลออกมาดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 เปรียบเทียบสัญญาณเอาต์พุตวงจรตรวจจับพัลส์บวกและวงจรตรวจจับพัลส์ลบ

หมายเหตุ บน (สีแดง) สัญญาณเอาต์พุตวงจรตรวจจับพัลส์ลบ

ล่าง (สีน้ำเงิน) สัญญาณเอาต์พุตวงจรตรวจจับพัลส์บวก

จากภาพที่ 33-34 จะเห็นว่าในกรณีสายที่ทำการทดสอบขาด สัญญาณพัลส์ที่ส่งไปและที่สะท้อนกลับมาจะอินเฟสกัน (In Phase) และเมื่อสัญญาณนี้ถูกตรวจจับด้วยวงจรตรวจจับพัลส์บวกและวงจรตรวจจับพัลส์ลบจะทำให้มีสัญญาณเอาต์พุตเฉพาะวงจรตรวจจับพัลส์บวกเท่านั้น ส่วนวงจรตรวจจับพัลส์ลบจะมีเอาต์พุตเป็นศูนย์

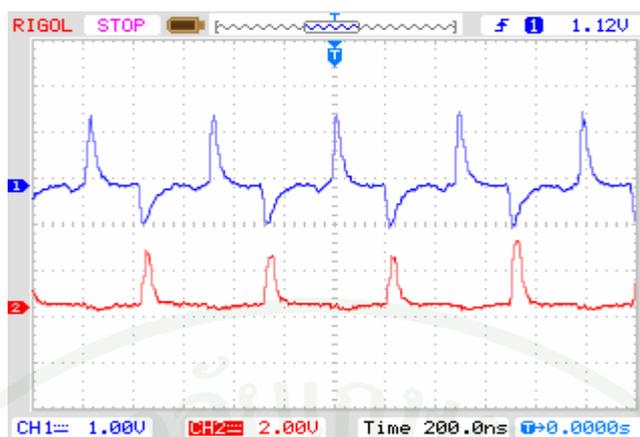
ขั้นตอนต่อไปทำการลัดวงจรสายนำสัญญาณความยาว 20 เมตร ซึ่งที่ระยะนี้สวิทซ์ซึ่งรีเลย์จะต่อกับตัวเก็บประจุขนาด 47 pF เช่นกัน จากนั้นทำการวัดสัญญาณอินพุตที่เข้ามายังวงจรตรวจจับพัลส์บวกเปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับพัลส์บวก ได้ผลออกมาดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรตรวจจับพัลส์บวกกรณีสายลัดวงจร

หมายเหตุ บน (สีน้ำเงิน) สัญญาณอินพุตวงจรตรวจจับพัลส์บวก  
ล่าง (สีแดง) สัญญาณเอาต์พุตวงจรตรวจจับพัลส์บวก

ขั้นตอนต่อไปในขณะที่ทำการลัดวงจรของสายนำสัญญาณความยาว 20 เมตรอยู่นั้น ได้ทำการวัดสัญญาณอินพุตที่เข้ามายังวงจรตรวจจับพัลส์ลบเปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับพัลส์ลบ ได้ผลออกมาดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรตรวจจับพัลส์ลบกรณีสายลัดวงจร

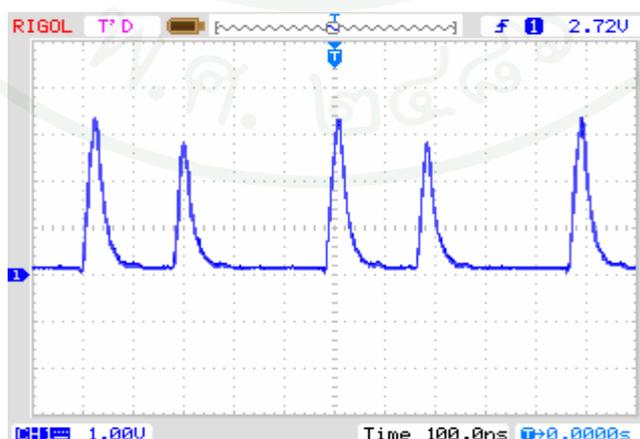
หมายเหตุ บน (สีน้ำเงิน) สัญญาณอินพุตวงจรตรวจจับพัลส์ลบ

ล่าง (สีแดง) สัญญาณเอาต์พุตวงจรตรวจจับพัลส์ลบ

จากภาพที่ 35-36 จะเห็นว่าในกรณีสายที่ทำการทดสอบลัดวงจร สัญญาณพัลส์ที่ส่งไปและที่สะท้อนกลับมาจะเอาต์ออฟเฟสกัน (Out of Phase) และเมื่อสัญญาณนี้ถูกตรวจจับด้วยวงจรตรวจจับพัลส์บวกจะได้เอาต์พุตเฉพาะพัลส์ส่ง ส่วนวงจรตรวจจับพัลส์ลบจะมีเอาต์พุตเฉพาะพัลส์ที่สะท้อนกลับ

จากนั้นทำการวัดสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณพัลส์ ได้สัญญาณดัง

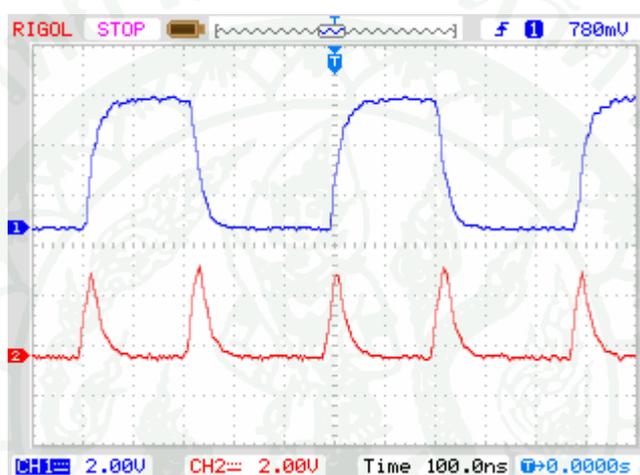
ภาพที่ 37



ภาพที่ 37 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณพัลส์

จากภาพที่ 37 สัญญาณที่ได้นี้คือระยะทางที่เกิดจุดเสียดของสายนำสัญญาณ แต่สัญญาณนี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ ต้องทำการแปลงสัญญาณพัลส์ก่อน ซึ่งสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณพัลส์นี้ไม่ว่าสายนำสัญญาณที่ทำการทดสอบจะขาดหรือลัดวงจร หากระยะทางที่ขาดหรือลัดวงจรเท่ากันจะทำให้ได้สัญญาณเหมือนกัน

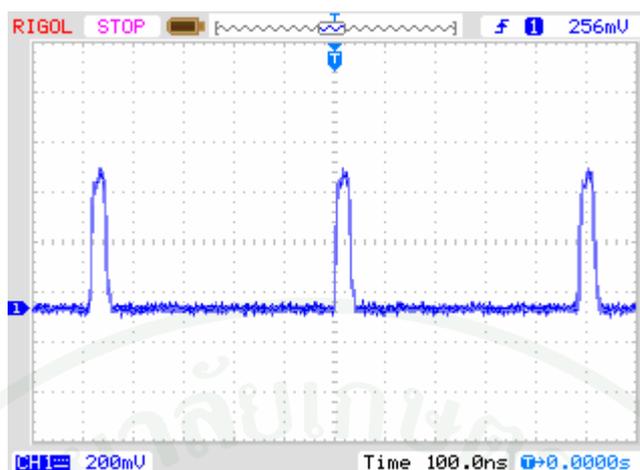
จากนั้นทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณพัลส์เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต ซึ่งก็คือสัญญาณเอาต์พุตของวงจรรวมสัญญาณพัลส์ ได้ผลออกมาดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 สัญญาณเอาต์พุตวงจรแปลงสัญญาณพัลส์เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต

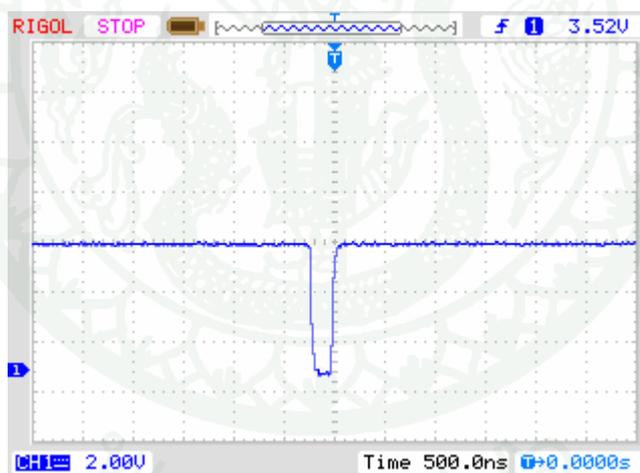
หมายเหตุ บน (สีน้ำเงิน) สัญญาณเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณพัลส์  
ล่าง (สีแดง) สัญญาณอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณพัลส์

โดยการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณพัลส์นี้อาจจะเกิดข้อผิดพลาดได้ เนื่องจากการทำงานที่ความถี่สูงและไม่มีสัญญาณที่ใช้ในการอ้างอิงในการทำงาน ดังนั้นเพื่อให้การทำงานของวงจรแปลงสัญญาณพัลส์นี้ทำงานได้อย่างถูกต้อง วงจรแปลงสัญญาณพัลส์จะถูกควบคุมการทำงานโดยสัญญาณพัลส์ดาวน์โหลด (Pulse Down) ที่ส่งมาจากภาคกำเนิดพัลส์ โดยสัญญาณพัลส์ดาวน์โหลดนี้มีลักษณะเหมือนกับสัญญาณที่ได้จากภาคกำเนิดสัญญาณพัลส์ในขณะที่ซิกแนลสวิทช์รีเลย์ต่อกับตัวเก็บประจุไฟฟ้าค่าใดๆ ซึ่งในขณะที่ทำการทดสอบสายนำสัญญาณความยาว 20 เมตรนี้ ซิกแนลสวิทช์รีเลย์ต่อกับตัวเก็บประจุขนาด 47 pF ได้ลักษณะของสัญญาณพัลส์ดาวน์โหลด (Pulse Down) แสดงดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 สัญญาณพัลส์ควาร์

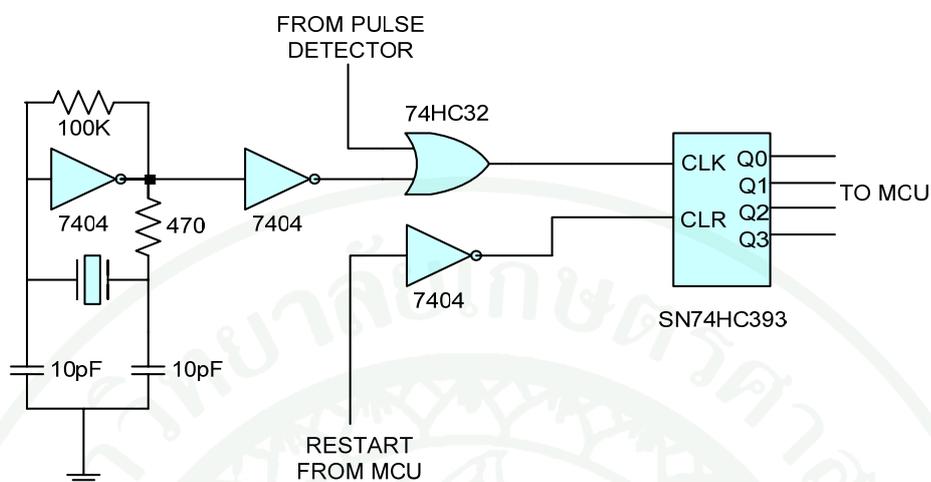
ขั้นตอนต่อไปทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของภาคดีเทคเตอร์ที่จะส่งต่อไปยังภาคเคาน์เตอร์ ที่ได้จากสายทดสอบยาว 20 เมตร มีลักษณะดังภาพที่ 40



ภาพที่ 40 สัญญาณเอาต์พุตของภาคดีเทคเตอร์

จากภาพที่ 38-40 อธิบายได้ดังนี้คือ เมื่อนำสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับพัลส์บวก และวงจรตรวจจับพัลส์ลบ มาเข้าวงจรรวมสัญญาณพัลส์จะทำให้ได้สัญญาณใหม่ ซึ่งสัญญาณนี้จะมีระยะห่างของพัลส์เท่ากับระยะทางที่เกิดจุดเสีย และนำสัญญาณที่ได้นี้ไปแปลงเป็นพัลส์ลูกเดียวที่วงจรแปลงสัญญาณพัลส์ซึ่งควบคุมการทำงานโดยสัญญาณพัลส์ควาร์ เพื่อส่งไปยังภาคเคาน์เตอร์ต่อไป

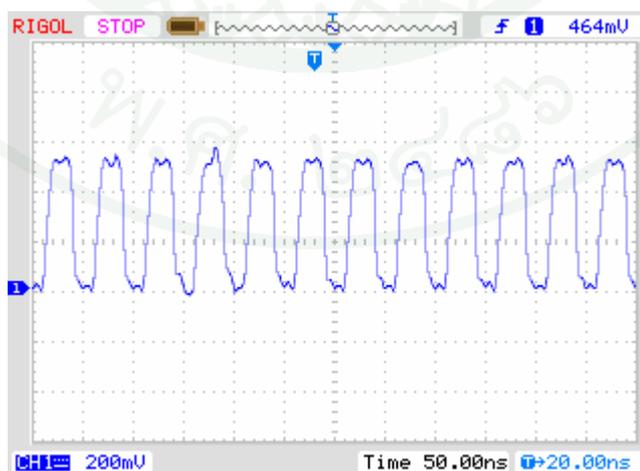
### 3.5 ออกแบบและประกอบวงจรภาคเคาน์เตอร์ (Counter)



ภาพที่ 41 วงจรภาคเคาน์เตอร์

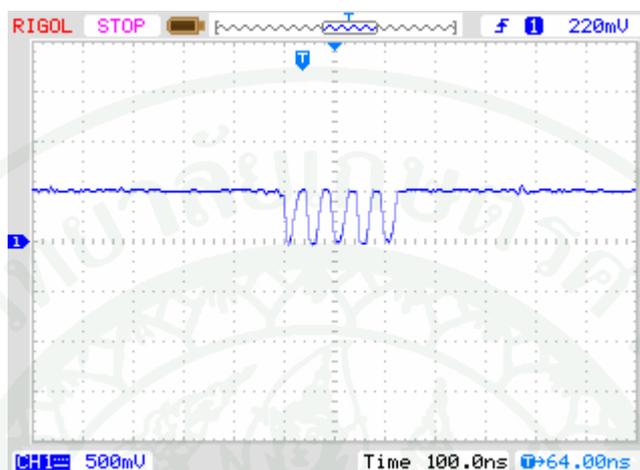
ภาคเคาน์เตอร์ (Counter) จะทำการแซมปลิ่ง (Sampling) สัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาความถี่ 20 MHz กับเอาต์พุตของภาคดีเทกเตอร์ โดยใช้ออร์เกต แล้วนำจำนวนสัญญาณ Clock ที่ได้ไปเข้าวงจรนับซึ่งเป็นไอซีเคาน์เตอร์ขนาด 4 บิต โดยควบคุมการเคลียร์วงจรนับโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

เมื่อประกอบวงจรแล้วทำการวัดสัญญาณนาฬิกาความถี่ 20 MHz ได้ดังภาพที่ 42



ภาพที่ 42 สัญญาณนาฬิกาความถี่ 20 MHz

จากนั้นต่อสายทดสอบความยาว 20 เมตร แล้ววัดสัญญาณเอาต์พุตของออร์เกตซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรแฮมปลิงระหว่างเอาต์พุตของวงจรดีเทคเตอร์และสัญญาณนาฬิกา 20 MHz ได้สัญญาณแสดงดังภาพที่ 43

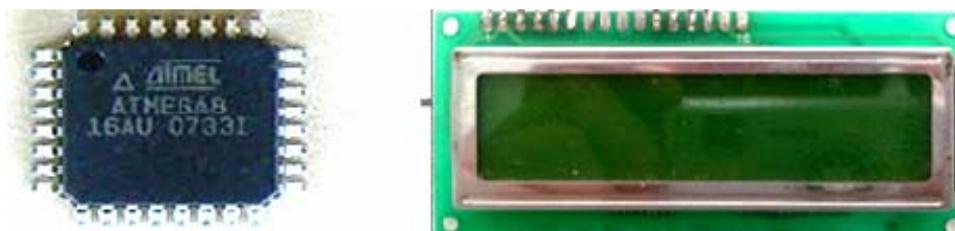


ภาพที่ 43 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรแฮมปลิง กรณีเกิดจุดเสียที่ระยะ 20 เมตร

จากภาพที่ 43 สัญญาณนี้จะส่งเข้าไปที่วงจรนับเพื่อนับจำนวน Clock โดยใช้ไอซีเกาน์เตอร์ SN74HC393 ทำการนับจำนวน Clock จากนั้นจะส่งสัญญาณไปยังภาคประมวลผลและแสดงผลเพื่อคำนวณหาระยะทางและลักษณะของจุดเสียต่อไป

### 3.6 ออกแบบและประกอบวงจรภาคประมวลผลและแสดงผล

ภาคประมวลผลและแสดงผลนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega 8 แบบ TQFP จำนวน 32 ขา ทำการประมวลผลและควบคุมการทำงานของระบบ และแสดงผลผ่านทางจอ LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 8 แบบ TQFP มีจุดเด่นคือมีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ มีสถาปัตยกรรมภายในเป็นแบบ Reduced Instruction Set Computer (RISC) คือใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูกในการปฏิบัติงานใน 1 คำสั่ง ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 8 และจอ LCD ที่ใช้ในโครงการวิทยานิพนธ์นี้มีลักษณะดังภาพที่ 44



ภาพที่ 44 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 8 และจอ LCD

จอ LCD จะแสดงสถานะของสายนำสัญญาณที่ทำการวัดว่าขาดหรือลัดวงจรที่ระยะทางเท่าใด ซึ่งถ้าสายนำสัญญาณขาดจอ LCD จะแสดงสถานะเป็น “ P ” และถ้าสายนำสัญญาณลัดวงจรจะแสดงสถานะเป็น “ S ” พร้อมทั้งแสดงคู่สายที่วัดและระยะทางที่เกิดจุดเสีย ซึ่งแสดงดังภาพที่ 45

P1:0025m	S2:0043m
S3:0037m	P4:0100m

ภาพที่ 45 การแสดงผลการวัดสายนำสัญญาณของจอ LCD

จากภาพที่ 45 สามารถอธิบายได้ดังนี้ คู่สายที่ 1 สายนำสัญญาณขาดที่ระยะ 25 เมตร คู่สายที่ 2 สายนำสัญญาณลัดวงจรที่ระยะ 43 เมตร คู่สายที่ 3 สายนำสัญญาณลัดวงจรที่ระยะ 37 เมตร และคู่สายที่ 4 สายนำสัญญาณขาดที่ระยะ 100 เมตร

โดยค่าที่แสดงระยะทางที่เกิดจุดเสียในอุปกรณ์ MTDR ผ่านทางจอ LCD ได้จากสมการดังนี้

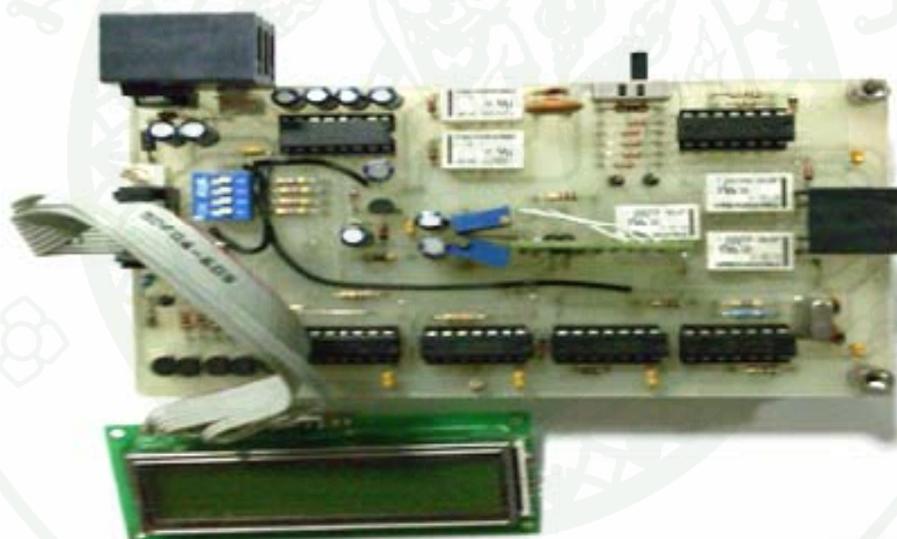
$$D_R = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5}{5} \quad (21)$$

$D_R$  = ระยะทางที่แสดงออกจอ LCD (เมตร)

$D_1, D_2, D_3, D_4, D_5$  = ระยะทางที่ได้จากการแซมปลิ่งครั้งที่ 1 ถึง 5  
จากการวัด 1 ครั้ง (เมตร)

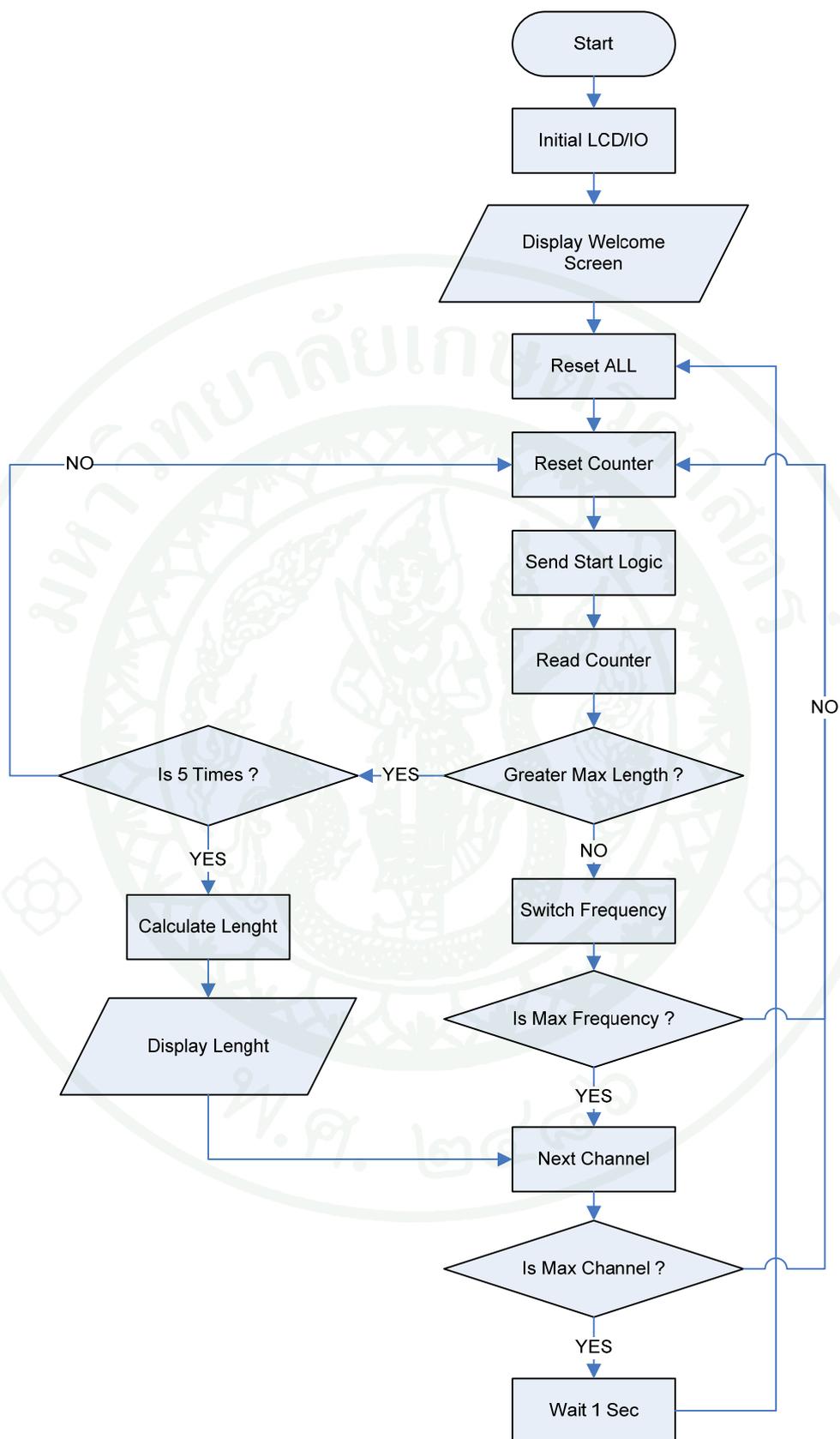
#### 4. ประกอบอุปกรณ์ MTDR และทดสอบการใช้งาน

จากวงจรภาคต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟ (Supply) ที่ทำหน้าที่กำเนิดไฟกระแสตรงแรงดัน +/- 5 โวลต์ วงจรภาคกำเนิดพัลส์ (Pulse Generator) ที่ทำหน้าที่กำเนิดพัลส์ความถี่ วงจรภาคมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนคู่สายที่ทำกรวัด วงจรภาคดีเทคเตอร์ (Detector) ที่ทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณที่ส่งไปและสัญญาณที่สะท้อนกลับมาในสายทดสอบ วงจรภาคเคาน์เตอร์ (Counter) ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรภาคตรวจจับสัญญาณ ให้เป็นสัญญาณนาฬิกา และวงจรภาคประมวลผลและแสดงผล (Processing and Display) ซึ่งทำหน้าที่แสดงลักษณะและระยะทางที่เกิดจุดเสีย อีกทั้งควบคุมการทำงานของภาคต่างๆ ให้ทำงานสัมพันธ์กัน เมื่อนำวงจรภาคต่างๆ ที่กล่าวมานั้นมาประกอบกันเข้าเป็นอุปกรณ์ MTDR จะมีลักษณะดังภาพที่ 46



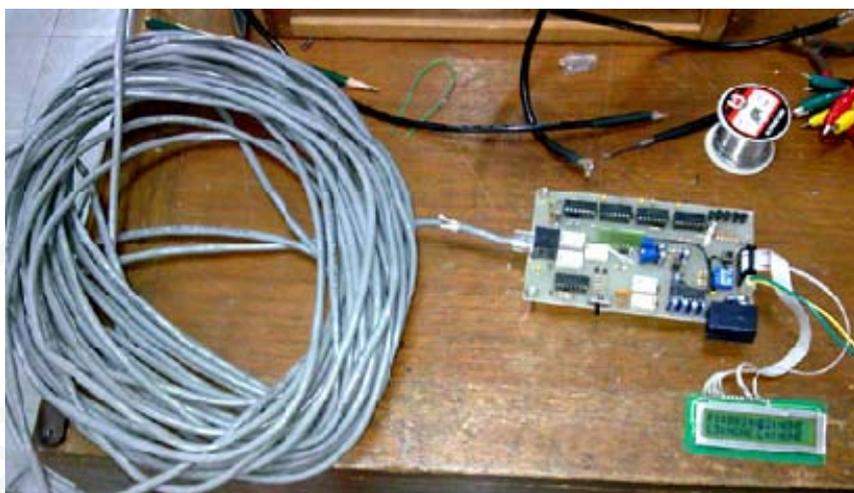
ภาพที่ 46 อุปกรณ์ MTDR

โดยอุปกรณ์ MTDR นี้มีขั้นตอนในการทำงานแสดงดังภาพที่ 47

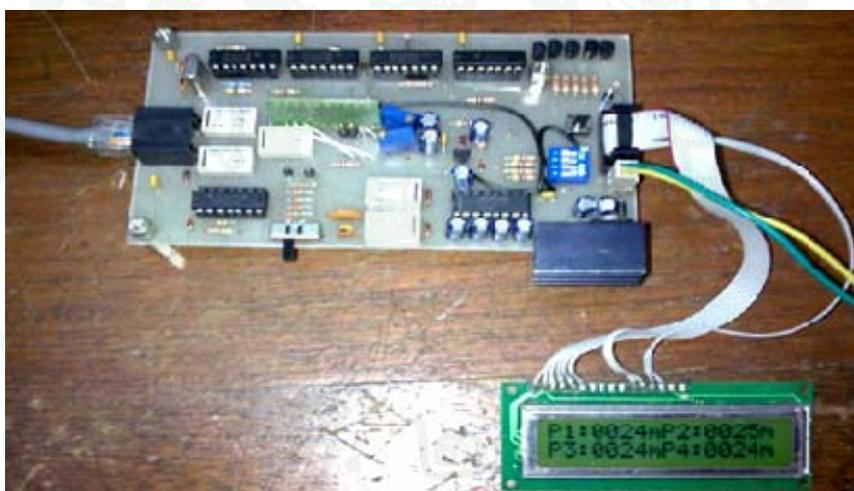


ภาพที่ 47 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของอุปกรณ์ MTDR

จากนั้นนำอุปกรณ์ MTDR ไปทดสอบการทำงานจริง โดยทำการตรวจหาจุดเสียของสาย UTP CAT5e ความยาว 24 เมตร โดยลักษณะการต่อสายทดสอบเข้ากับอุปกรณ์ MTDR แสดงดัง ภาพที่ 48 และการแสดงผลการตรวจสอบแสดงดังภาพที่ 49



ภาพที่ 48 ลักษณะการต่อสายทดสอบเข้ากับอุปกรณ์ MTDR



ภาพที่ 49 การแสดงผลการตรวจสอบสายนำสัญญาณของอุปกรณ์ MTDR

## ผลและวิจารณ์

### ผล

จากการทดลองในข้างต้นที่กล่าวมา เพื่อพิสูจน์ว่าอุปกรณ์ MTDR สามารถใช้งานได้จริง ได้นำอุปกรณ์ไปทำการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการโทรคมนาคมโรงเรียนช่างฝีมือทหาร ทำการทดสอบโดยต่อสาย Category 5 Enhance (CAT5e) UTP ความยาวสาย 100 เมตร โดยมีคุณสมบัติดังนี้  $V_p = 66$  เปอร์เซ็นต์ อิมพีแดนซ์ 100 โอห์ม ทำการวัดความยาวสายทั้ง 4 คู่ในขณะที่ปลายเปิดและปลายปิดแล้วบันทึกค่าที่อ่านได้ ต่อมาทำการตัดสายนำสัญญาณแล้วทำตามขั้นตอนเดิมทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนความยาวสายนำสัญญาณเหลือ “0” ซึ่งแสดงผลการทดสอบในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบสาย UTP CAT5e ยาว 100 เมตร

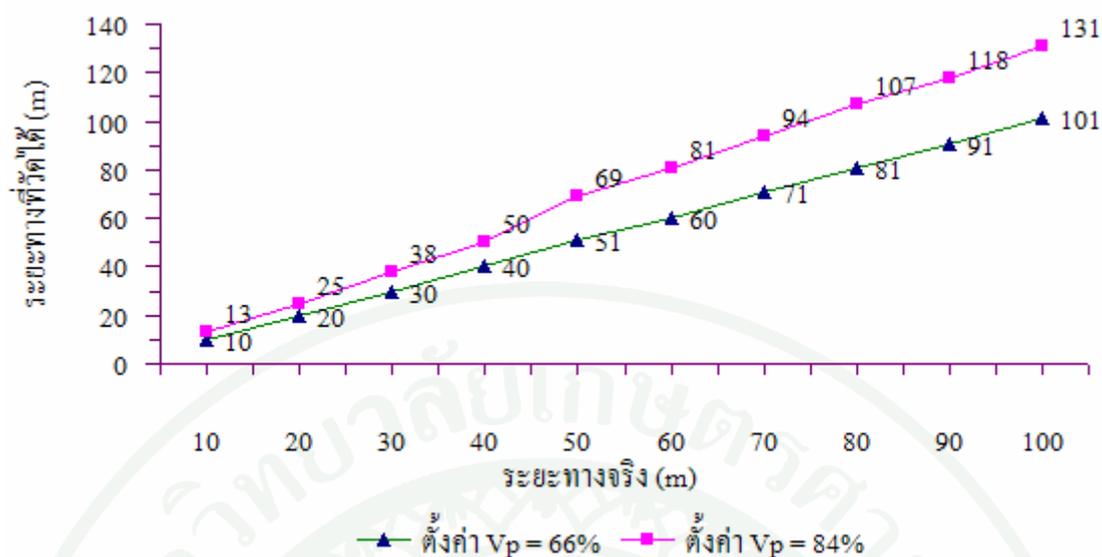
ความยาวจริง(m)	วัดได้เฉลี่ย(Open)				วัดได้เฉลี่ย(Short)				หมายเหตุ	
	คู่1 - คู่4	คู่1	คู่2	คู่3	คู่4	คู่1	คู่2	คู่3		คู่4
100		101	101	101	101	101	101	101	101	C2 ทำงาน
95		96	96	96	96	96	96	96	96	-
90		91	91	91	91	91	91	91	91	-
85		85	85	85	85	85	85	85	85	-
80		81	81	81	81	81	81	81	81	-
75		75	75	75	75	75	75	75	75	-
70		71	71	71	71	71	71	71	71	-
65		66	66	66	66	66	66	66	66	-
60		60	60	60	60	61	61	61	61	-
55		55	55	55	55	55	55	55	55	-
50		51	51	51	51	51	51	51	51	-
45		47	47	47	47	47	47	47	47	C2 ทำงาน
40		40	40	40	40	40	40	40	40	-
38		39	39	39	39	39	39	39	39	-
35		35	35	35	35	35	35	35	35	-

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ความยาวจริง(m)	วัดได้เฉลี่ย(Open)				วัดได้เฉลี่ย(Short)				หมายเหตุ
	คู่1 - คู่4	คู่1	คู่2	คู่3	คู่4	คู่1	คู่2	คู่3	
33	33	33	33	33	33	33	33	33	-
30	30	30	30	30	30	30	30	30	-
28	28	28	28	28	28	28	28	28	-
25	25	25	25	25	25	25	25	25	-
23	23	23	23	23	24	24	24	24	-
20	20	20	20	20	20	20	20	20	-
18	20	20	20	20	20	20	20	20	-
15	15	15	15	15	15	15	15	15	-
13	15	15	15	15	15	15	15	15	-
10	10	10	10	10	10	10	10	10	-
8	10	10	10	10	10	10	10	10	-
5	5	5	5	5	5	5	5	5	-
3	5	5	5	5	5	5	5	5	C1 ทำงาน
0	0	0	0	0	0	0	0	0	C1,C2,C3 ทำงาน

จากตารางที่ 5 พบว่า ถ้าระยะทางที่เกิดจุดเสียอยู่ระหว่าง 20 เมตรถึง 100 เมตร อุปกรณ์ MTDR สามารถตรวจพบจุดเสียพร้อมทั้งแสดงระยะทางที่เกิดจุดเสียได้ใกล้เคียงระยะจริง แต่ถ้าหากว่าระยะทางที่เกิดจุดเสียมีระยะทางอยู่ระหว่าง 3 เมตรถึง 19 เมตร จะเกิดความคลาดเคลื่อนประมาณ 2 เมตร สาเหตุเกิดจากความกว้างพัลส์ของสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก เมื่อประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีระยะทางเท่ากับ 5 เมตร

โดยขณะที่ใช้อุปกรณ์ MTDR ทำการทดสอบสาย UTP CAT5e ความยาว 100 เมตรนั้น ผู้ทำการวิจัยได้ทำการเปลี่ยนค่า Velocity of Propagation ( $V_p$ ) จาก 66 เปอร์เซ็นต์ เปลี่ยนเป็น 84 เปอร์เซ็นต์ และบันทึกผลควบคู่ไปด้วย ซึ่งสามารถเขียนเป็นแผนภูมิได้ดังภาพที่ 50



ภาพที่ 50 กราฟแสดงผลการวัดของอุปกรณ์ MTDR โดยการกำหนดค่า  $V_p$  ต่างกัน

จากภาพที่ 50 จะพบว่าถ้าหากผู้ทำการทดสอบสายนำสัญญาณกำหนดค่า  $V_p$  ที่ถูกต้อง จะทำให้อุปกรณ์ MTDR สามารถประมวลผล และแสดงผลระยะทางที่เกิดจุดเสียผ่านทางจอ LCD ได้อย่างถูกต้อง หรืออาจเกิดความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ถ้าหากว่าผู้ทำการทดสอบสายนำสัญญาณทำการกำหนดค่า  $V_p$  ที่ไม่ถูกต้อง เมื่อนำอุปกรณ์ MTDR นี้ไปใช้ในการตรวจวัดหา ระยะทางที่เกิดจุดเสียของสายนำสัญญาณ จะทำให้ผลที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อน ซึ่งหากจุดเสียมีระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ระยะทางที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้นก่อนที่จะนำอุปกรณ์ MTDR ไปใช้ตรวจสอบสายนำสัญญาณ ผู้ทำการวัดควรจะศึกษาก่อนว่าสายนำสัญญาณชนิดนั้นๆ มีค่า  $V_p$  เท่าใด เพื่อให้ผลการตรวจวัดได้ระยะทางที่ถูกต้องมากที่สุด

จากนั้นทำการทดสอบวัดสายนำสัญญาณชนิดอื่น โดยเลือกทดสอบสายนำสัญญาณแบบโคแอกเชียล ซึ่งใช้สายโคแอกเชียลชนิด RG-58 C/U ความยาว 100 เมตร 200 เมตรและ 300 เมตร ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้  $V_p = 66$  เปอร์เซ็นต์ อิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบสาย RG-58 C/U

ความยาวจริง (m)	ความยาวที่วัดได้ (m)		% Error	
	OPEN	SHORT	OPEN	SHORT
100	102	102	2	2
200	203	203	1.5	1.5
300	303	303	1	1

จากตารางที่ 6 เมื่อนำอุปกรณ์ MTDR มาตรวจวัดหาระยะทางที่เกิดจุดเสียบของสายนำสัญญาณแบบโคแอกเซียลชนิด RG-58 C/U ความยาว 100 เมตร 200 เมตรและ 300 เมตร พบว่าที่ระยะทาง 100 เมตรจะเกิดค่าผิดพลาดทั้งกรณีสายขาดและลัดวงจร 2 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะทาง 200 เมตรจะเกิดค่าผิดพลาดทั้งกรณีสายขาดและลัดวงจร 1.5 เปอร์เซ็นต์ และที่ระยะทาง 300 เมตรจะเกิดค่าผิดพลาดทั้งกรณีสายขาดและลัดวงจร 1 เปอร์เซ็นต์

### วิจารณ์

จากโครงการวิทยานิพนธ์นี้พบว่าอุปกรณ์ MTDR สามารถตรวจหาระยะทางที่เกิดจุดเสียบของสายนำสัญญาณในระบบเครือข่าย โดยเฉพาะสาย UTP ได้ดี และสามารถตรวจวัดหาจุดเสียบของสายนำสัญญาณประเภทอื่นๆ ได้ และจากการที่นำวิธีการมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) เข้ามาใช้ ทำให้สามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบสายนำสัญญาณในระบบเครือข่ายได้ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งอุปกรณ์ MTDR นี้ยังมีการปรับย่านการวัดอัตโนมัติ ทำให้บุคคลทั่วไปสามารถใช้อุปกรณ์ MTDR นี้ในการตรวจหาจุดเสียบของสายนำสัญญาณได้ด้วยตัวเอง

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

อุปกรณ์ MTDR นี้มีความแม่นยำในการแสดงระยะทางและลักษณะอาการเสียของสายนำสัญญาณ สามารถตรวจวัดสายนำสัญญาณชนิดต่างๆ ได้ ความยาวสายนำสัญญาณต่ำสุดที่สามารถวัดได้คือ 5 เมตรที่ความยาว 3-44 เมตร ชุดรีเลย์จะต่อกับตัวเก็บประจุขนาด 47 pF อัดโนมัติ ที่ความยาว 45 เมตรเป็นต้นไปชุดรีเลย์จะต่อกับตัวเก็บประจุขนาด 1 nF อัดโนมัติ แต่ถ้าหากไม่มีการปรับอิมพีแดนซ์ระหว่างเอาต์พุต (Output) ของอุปกรณ์ MTDR และสายนำสัญญาณที่ทำการตรวจวัดให้เท่ากันจะทำให้รูปร่างของสัญญาณเปลี่ยนไป รวมถึงการกำหนดค่า  $V_p$  ที่ไม่ถูกต้องจะส่งผลให้ค่าที่อ่านได้ไม่ถูกต้องเช่นกัน

จากโครงการวิทยานิพนธ์นี้ ผู้ที่สนใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ได้อย่างมากมาย เช่น ใช้ในการตรวจสอบการรั่วไหลของสารเคมีในโรงงานอุตสาหกรรม ใช้ในการตรวจสอบการลัดลอบตัดสายไฟของการไฟฟ้า และใช้ในการตรวจสอบการรั่วซึมและแยกตัวของอุโมงค์ เป็นต้น

### ข้อเสนอแนะ

1. หากต้องการความถูกต้องของระยะทาง ควรเพิ่มความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้สูงขึ้น แต่ต้องคำนึงถึงอุปกรณ์อื่นๆที่สามารถตอบสนองต่อความถี่สูงได้หรือไม่
2. หาอุปกรณ์ชนิดอื่นมาแทนซิกแนลสวิทช์รีเลย์ เพื่อแก้ไขไม่ให้เกิดเสียงในขณะที่ใช้งานและลดขนาดของแผ่นวงจรและตัวอุปกรณ์ต่างๆ ให้มีขนาดเล็กลงโดยยังคงความถูกต้องของการแสดงผล เพื่อความสะดวกในการใช้งาน
3. เพิ่มคีย์แพด (Keypad) ให้สามารถเลือก  $V_p$  ที่ถูกต้องได้อย่างสะดวกในการวัดสายนำสัญญาณประเภทต่างๆ รวมทั้งการปรับค่าอิมพีแดนซ์ให้เป็นแบบอัดโนมัติ

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

นภัทร์ วัฒนเทพินทร์. 2541. วงจรดิจิทัล 2 (ลอจิกเชิงลำดับ). พิมพ์ครั้งที่ 1. สกายบุ๊กส์, ปทุมธานี.

นิรันดร์ คำประเสริฐ. 2551. วิศวกรรมไมโครเวฟ. ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, กรุงเทพฯ.

ประจัน พลังสันติกุล. 2549. การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ด้วยภาษา C กับ WinAVR (C Compiler). แอพซอพต์เทค, กรุงเทพฯ.

พิชัย ภัคดีพานิชเจริญ. 2536. ทฤษฎีและการใช้งานความถี่ย่านไมโครเวฟ. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

วิสันต์ อาชาเดโชพล. สายอากาศและเทคนิคการติดตั้ง. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

อภิศักดิ์ บางมณี และ อลงกรณ์ อุทรพันธุ์. 2545. อุปกรณ์ตรวจสอบสภาพสายและวัดหาความยาวสาย วิธี TDR. ปรินญาณินพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Agilent Technologies. 2006. **Time Domain Reflectometry Theory**. Available Source: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5966-4855E.pdf>, January 15, 2010.

Dunlop, J. and D.G. Smith. 1994. **Telecommunications Engineering**. 3 ed. Chapman&Hall, U.S.A..

Fiber Optics for sale co. 2007. **What does the TIA/EIA-568-B Standard Cover**. Available Source: <http://www.fiberoptics4sale.com/wordpress/what-does-the-tiaeia-568-b-standard-cover-2/>, March 2, 2010.

Fujitsu Components. 2005. **Miniature Relay 2 Pole-1 To 2A**. Available Source: <http://datasheet.octopart.com/A-5W-K-Fujitsu-datasheet-11535.pdf>, February 23, 2010.

- Linear Technology Coporation. 2001. **LT1715 4ns, 150MHz Dual Comparator with Independent Input/Output Supplies**. Available Source:  
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/lineartechnology/1715f.pdf>, March 4, 2010.
- National Semiconductor. 2000. **LM78XX Series Voltage Regulators**. Available Source:  
<http://pdfdata.datasheetsite.com/web/533324/LM7812CT.pdf>, January 28, 2010.
- Philips Semiconductors. 1999. **2PA1015 PNP general purpose transistor**. Available Source:  
[http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/50/157039\\_DS.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/50/157039_DS.pdf), April 11, 2010.
- Texas Instruments Incorporated. 1998. **SN54HC393, SN74HC393 Dual 4-Bit Binary Counters**. Available Source:  
[http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/105/334024\\_DS.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/105/334024_DS.pdf), March 9, 2010.
- \_\_\_\_\_. 2004. **SN74HC74-Q1 Dual D-Type Positive-Edge-Triggered Flip-Flops With Clear and Preset**. Available Source:  
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/2/0480ptrkc3at9cowy3aq615y16fy.pdf>,  
March 30, 2010.
- \_\_\_\_\_. 2005. **SN54HC04, SN74HC04 Hex Inverters**. Available Source:  
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/7/0y80fhzguapf133yaqlk5pf1espy.pdf>, May  
8, 2010.
- \_\_\_\_\_. 2006. **SN54HC32, SN74HC32 Quadruple 2-Input Positive-OR Gates**. Available  
Source: [http://datasheet.octopart.com/SN74HC32D-Texas-Instruments-datasheet-  
8443024.pdf](http://datasheet.octopart.com/SN74HC32D-Texas-Instruments-datasheet-8443024.pdf), March 25, 2010.
- \_\_\_\_\_. 2008. **SN54HCT14, SN74HCT14 Hex Schmitt-Trigger Inverters**. Available  
Source: [http://datasheet.octopart.com/SN74HCT14N-Texas-Instruments-datasheet-  
151466.pdf](http://datasheet.octopart.com/SN74HCT14N-Texas-Instruments-datasheet-151466.pdf), February 12, 2010.

Tomi Engdahl. 2010. **Time Domain Reflectometer (TDR)**. Available Source:

<http://www.epanorama.net/circuits/tdr.html>, January 31, 2010.

Wikipedia. n.d. **Balanced Line**. Available Source:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Balanced\\_line](http://en.wikipedia.org/wiki/Balanced_line), January 23, 2011a.

\_\_\_\_\_. n.d. **Coaxial Cable**. Available Source:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Coaxial\\_cable](http://en.wikipedia.org/wiki/Coaxial_cable), January 23, 2011b.

\_\_\_\_\_. n.d. **Primary line constants**. Available Source:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Primary\\_line\\_constants](http://en.wikipedia.org/wiki/Primary_line_constants), January 27, 2011c.

\_\_\_\_\_. n.d. **Category 5 Cable**. Available Source:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Category\\_5\\_cable](http://en.wikipedia.org/wiki/Category_5_cable), February 8, 2011d.

\_\_\_\_\_. n.d. **TIA/EIA-568-A**. Available Source:

<http://en.wikipedia.org/wiki/TIA/EIA-568-A>, February 10, 2011e.

\_\_\_\_\_. n.d. **Or Gate**. Available Source: [http://en.wikipedia.org/wiki/OR\\_gate](http://en.wikipedia.org/wiki/OR_gate), February 15, 2011f.

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นายประวิทย์ บุญเอก
วัน เดือน ปี ที่เกิด	7 เมษายน 2519
สถานที่เกิด	อำเภอศรีเทพ จังหวัดเพชรบูรณ์
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (โทรคมนาคม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	พนักงานระดับ 7
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-