



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาและออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์รับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสง

Design and Implementation of a Data Transceiver via Visible Light Beam

นามผู้วิจัย นายสันติ ผาสุข

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรระ จงบุรี, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ณัฏฐา หอมทรัพย์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบศิริ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สืบศิริ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาและออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์รับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสง

Design and Implementation of a Data Transceiver via Visible Light Beam

โดย

นายสันติ ภาสุข

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สันติ ผาสุข 2554: การศึกษาและออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์รับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสง แบบจุดต่อจุดสำหรับใช้เชื่อมต่อเครือข่ายอีเทอร์เน็ตมาตรฐาน 10Base-T เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในกรณีต้องการหลีกเลี่ยงปัญหาอุปสรรคจากการติดตั้งพาดสายเคเบิล และปัญหาการรบกวนคลื่นความถี่วิทยุ ชุดอุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างขึ้นประกอบด้วยตัวส่งและตัวรับ ด้านตัวส่งจะทำหน้าที่แปลงจากสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงโดยใช้ไดโอดเปล่งแสง หรือเลเซอร์พอยเตอร์ ด้านตัวรับจะทำหน้าที่เปลี่ยนจากสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยใช้ฟีนโฟโตไดโอด (PIN Photodiode) จากนั้นขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier) และสร้างรูปสัญญาณสี่เหลี่ยมกลับคืนจากสัญญาณที่สูญเสียความถี่สูงด้วยวงจรฟิฟอร์เรนซิเอเตอร์ (Differentiator) ตัวรับยังสามารถแก้ปัญหาจากการที่สัญญาณข้อมูลของอีเทอร์เน็ตจะถูกส่งออกมาเป็นช่วงสั้นๆ ซึ่งจะทำให้ค่าเฉลี่ยแรงดันดีซีของสัญญาณมีค่าไม่คงที่ โดยการเปลี่ยนสัญญาณให้อยู่ในรูปของ Polar Signal เพื่อรักษาระดับแรงดันค่าเฉลี่ยดีซีก่อนส่งเข้าสู่วงจรหิมิทริกเกอร์ (Schmitt trigger) ซึ่งทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ของข้อมูลขึ้นใหม่ (Pulse Regenerator) จากผลการทดสอบใช้งานชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นพบว่ามีค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่ยอมรับได้เมื่อความสว่างของสัญญาณแสงอยู่ในช่วงตั้งแต่ 15-200 ลักส์ และจะไม่สามารถเชื่อมต่อข้อมูลได้เมื่อความสว่างของสัญญาณแสงต่ำกว่า 10 ลักส์หรือสูงกว่า 800 ลักส์ ในสภาวะทำงานปกติ ความเร็วของการรับส่งดาวน์โหลดและอัปโหลดอยู่ที่ 6,846 kbps และ 7,388 kbps ตามลำดับ จากการทดสอบวัดค่า Packet Loss โดยใช้คำสั่ง Ping บนเครือข่ายอีเทอร์เน็ตที่ระยะทางประมาณ 360 เมตร มีแพคเกจของข้อมูลสูญหายจำนวน 4 แพคเกจจากทั้งหมด 2,350 แพคเกจ คิดเป็นอัตราการสูญหายของเฟรมข้อมูลเท่ากับร้อยละ 0.17

Sunti Pahsoog 2011: Design and Implementation of a Data Transceiver via Visible Light Beam. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Wachira Chongburee, Ph.D. 91 pages.

This research presents a design and implementation of a point to point data transceiver via visible light beam for 10Base-T, a standard of Ethernet transmission links. It is aimed to be used in the situations that cable wiring and radio interfering are the problems. The designed equipment consists of a transmitter and a receiver. The transmitter converts the electrical signal to a light signal by using either a light emitting diode or a 5 mW laser pointer. The receiver converts light signal back to an electrical signal by a PIN photodiode. Then the signal is amplified by a differential amplifier and reshaped to a rectangular waveform by a differentiator amplifier. The receiver also resolves the problem that the burst Ethernet waveform contains inconsistent DC component by changing it to a polar waveform to maintain the DC level before passing to the Schmitt trigger, a pulse regenerating circuit. The experimental results show that the receiving system works with acceptable errors when the received light intensity is in range of 15-200 lux. The system completely fails when the received light intensity is less than 10 lux or greater than 800 lux. In a workable operating environment, the speed test results for Internet traffic are 6,846 kbps downlink and 7,388 kbps uplink. The packet loss tested by using the Ping command shows that the at a distance of about 360 meters, the packet loss in an Ethernet network are 4 out of a total of 2,350 packets tested, or 0.17%

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรระ จงบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ณัฐภา หอมทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำชี้แนะแนวทาง ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ได้มอบความรู้และทักษะเพิ่มเติมอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างงานถึงประดิษฐ์หรือใช้สำหรับแก้ปัญหาในเชิงวิศวกรรมต่อไป

ขอขอบคุณบริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด ผู้ให้โอกาสรวมถึงสนับสนุนทุนการศึกษา และขอขอบคุณเว็บไซต์ Google.com ที่ได้ใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาค้นคว้าข้อมูลประกอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ และครูบาอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน และปลูกฝังให้เชื่อในเหตุและผลอันเป็นพื้นฐานแห่งการเรียนรู้ของปัจเจกชนทั้งมวล

สันติ ผาสุข

มีนาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	10
อุปกรณ์	10
วิธีการ	15
ผลและวิจารณ์	81
ผล	81
วิจารณ์	83
สรุปและข้อเสนอแนะ	84
สรุป	84
ข้อเสนอแนะ	85
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	87
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	91

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 การเชื่อมต่อสาย UTP ตามมาตรฐาน TIA/EIA-568-A และ TIA/EIA-568-B	16
2 คุณสมบัติของสาย UTP ชนิด Category 5 (CAT 5)	17
3 ผลการวัดค่า Packet Loss ที่ค่าความสว่างของแสงปริมาณต่างๆ	76
4 ผลการทดสอบวัดค่าความผิดพลาดข้อมูล (Packet Loss) ที่ระยะทาง 360 เมตร	79

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 หลักการสื่อสารสัญญาณเสียงด้วยคลื่นแสงอาทิตย์ผ่านตัวกลางอากาศของอเล็กซานเดอร์ เกรแฮม เบลล์ (Alexander Graham Bell's)	5
2 รูปแบบการทดลองเชื่อมโยงเครือข่ายอินเทอร์เน็ตของ Khumsat et al.	8
3 แสดงเครื่องมือวัดสำหรับใช้ในโครงการ	10
4 ตัวอย่างวัสดุประกอบการสร้างชุดอุปกรณ์	11
5 ลักษณะของคอนเน็กเตอร์ชนิด RJ45	15
6 การเชื่อมต่อสายแบบ TIA/EIA-568-A และ TIA/EIA-568-B	16
7 ลักษณะของสาย Unshielded Twisted Pair (UTP)	18
8 หลักการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลแบบ Manchester Line Coding	18
9 ย่านความถี่คลื่นแสงบนแถบ Electromagnetic Spectrum	20
10 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมส่องแสงและระยะทาง	21
11 ลักษณะหลักการสื่อสารทางแสง	22
12 ลักษณะการกล้ำสัญญาณแบบ OOK และแบบ ASK	23
13 วงจรเทียบเท่าของโฟโตไดโอด	26
14 ความสัมพันธ์ระหว่าง Gain, Reverse Bias และ Dark Current ของ Avalanche Photodiode	27
15 Photodiode Pre-amplifier ชนิด Voltage Amplifier	29
16 ลักษณะวงจร Photodiode Pre-amplifier ชนิด High Impedance Integrating	29
17 ลักษณะของ Photodiode Pre-amplifier แบบ Transimpedance	30
18 ตัวอย่างลักษณะของ Photodiode Pre-amplifier แบบ Transimpedance Amplifier โดยการใช้ออฟแอมป์	30
19 ตัวอย่างลักษณะการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจร Differential Amplifier	31
20 ตัวอย่างลักษณะการใช้ออฟแอมป์เป็นวงจร Differential Amplifier	31
21 การตอบสนองต่อรูปสัญญาณต่างๆของวงจรดิฟเฟอเรนเชียลเอเตอร์	32
22 ตัวอย่างวงจรดิฟเฟอเรนเชียลเอเตอร์ชนิดพาสซีฟ	33
23 ตัวอย่างวงจรดิฟเฟอเรนเชียลเอเตอร์ชนิดแอคทีฟ	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
24 ตัวอย่างวงจร RC Coupling	34
25 สัญลักษณ์วงจร Schmitt Trigger	35
26 คุณสมบัติของวงจร Schmitt Trigger	35
27 รูปสัญญาณไฟฟ้าที่ผ่านวงจร Schmitt Trigger	36
28 ลักษณะวงจร Wheatstone Bridge	37
29 ภาพรวมของโครงการและจำนวนชิ้นงานที่จะออกแบบสร้าง	39
30 ภาพวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Power Supply Circuit)	40
31 การเชื่อมต่อขาสัญญาณของมาตรฐาน 10 Base-T ผ่านคอนเน็กเตอร์ RJ-45	41
32 ลักษณะการเชื่อมต่อสาย UTP สำหรับส่งแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยังชุดอุปกรณ์รับและส่งแสงไปตามสาย UTP	41
33 ลักษณะของไอซีควบคุมแรงดันไฟฟ้าตระกูล 78XX	42
34 ลักษณะของวิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบ Bypassing	43
35 ลักษณะของวิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบ Decoupling	43
36 วงจรควบคุมแรงดันแหล่งจ่ายไฟฟ้า	44
37 การต่อวงจรแยกสายสัญญาณในกล่องชิ้นงาน 1236-Splitter@Box	45
38 Transmitter Block Diagram	45
39 รูปสัญญาณ Normal Link Pulse (NLP) ขณะไม่มีการส่ง Ethernet Frame	46
40 รูปสัญญาณไฟฟ้า Normal Link Pulse (NLP) เมื่อขยายทางแกนเวลา	46
41 รูปสัญญาณไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้นของการส่งเฟรมข้อมูลอีเทอร์เน็ต	47
42 วงจร Differential Line Receiver	48
43 วงจรปรับแต่งความถี่สัญญาณพัลส์	50
44 วงจรกำเนิดคลื่นความถี่พัลส์ 5 MHz	51
45 ผลการวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่สร้างจากวงจรกำเนิดความถี่พัลส์	52
46 วงจรขับแอลอีดี (LED Driver Circuit)	53
47 Transmitter Circuit Diagram	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
48 แสดงชุดอุปกรณ์ตัวส่งสัญญาณแสง (Transmitter Module) ที่ได้สร้างขึ้น	55
49 จุดทดสอบวัดรูปสัญญาณไฟฟ้าที่ภาควงจรต่างๆของตัวส่ง	55
50 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่จุดวัด TP1	56
51 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่จุดวัด TP2	56
52 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่จุดวัด TP3	57
53 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่จุดวัด TP4	57
54 Receiver Block Diagram	58
55 วงจร Photodiode Pre-amplifier	59
56 วงจรคิเพอร์เรนชีเอเตอร์โดยใช้ไอซี UA733	60
57 วงจร Limiting Amplifier	61
58 การกำหนดจุดแรงดันอ้างอิงไฟฟ้าสำหรับตรวจจับข้อมูล "0" และ "1"	62
59 วงจร Pulse Regenerator โดยใช้ไอซี SN74HC14N	62
60 แรงดันอ้างอิงไฟฟ้าที่จุด V_{TH} และ V_{TL} ของ SN74HC14N	63
61 รูปสัญญาณไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้น (Preamble) การส่ง Ethernet Frame	64
62 วงจร Differential Line Driver Circuit	65
63 Receiver Circuit Diagram	66
64 แสดงชุดอุปกรณ์ตัวรับสัญญาณแสง (Receiver Module) ที่ได้สร้างขึ้น	67
65 ตำแหน่งจุดวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่ภาควงจรต่างๆของตัวรับแสง	67
66 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า ที่จุด TP1	68
67 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า ที่จุด TP2	68
68 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า ที่จุด TP3	69
69 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า ที่จุด TP4	69
70 รูป Eye pattern ที่จุด TP4 ของวงจรตัวรับแสง	70
71 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า ที่จุด TP5	70
72 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า ที่จุด TP6	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
73 จุดวัดสัญญาณเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบ	72
74 เปรียบเทียบรูปคลื่นขณะส่งเฉพาะสัญญาณ Normal Link Pulse (NLP)	72
75 เปรียบเทียบรูปคลื่นขณะส่งสัญญาณ NLP เมื่อขยายทางแกนเวลา	73
76 เปรียบเทียบรูปคลื่นขณะส่งสัญญาณในช่วงเริ่มต้นของ Ethernet Frame	73
77 เปรียบเทียบรูปคลื่นขณะส่งสัญญาณในช่วงสิ้นสุดของ Ethernet Frame	74
78 ผลการทดสอบวัดค่าความผิดพลาดข้อมูลที่ค่าความสว่างปริมาณ ต่างๆ	75
79 ผลการทดสอบเชื่อมโยงข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านคลื่นแสงที่ระยะทาง 40 เซนติเมตร	77
80 ผลการทดสอบวัดค่าความเร็วรับส่งข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต	77
81 ผลการทดสอบการเชื่อมโยงข้อมูลเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านแสงที่ระยะ 360 เมตร	78
82 ผลการใช้คำสั่ง Ping ทดสอบการเชื่อมโยงเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านลำคลื่นแสงที่ระยะทาง 360 เมตร	79
83 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Packet Loss ความสว่างของสัญญาณแสง และ ความสว่างของแสงข้างเคียง (Ambient Noise)	81

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ASK	=	Amplitude Shift Keying
APD	=	Avalanche Photodiode
AWG	=	American Wire Gauge
ADSL	=	Asymmetric Digital Subscriber Line
BER	=	Bit Error Rate
CMOS	=	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
CMRR	=	Common Mode Rejection Ratio
DCE	=	Data Circuit-Termination Equipment
DTE	=	Data Terminal Equipment
EIRP	=	Equivalent Isotropically Radiated Power
FSO	=	Free Space Optics
IR	=	Infrared
kbps	=	kilobit per second
LAN	=	Local Area Network
LASER	=	Light Amplify Stimulate Emission Ray
LED	=	Light Emitting Diode
LOS	=	Line Of Sight
Mbps	=	Megabit per second
MOSFET	=	Metal Oxide Field Effect Transistor
MODEM	=	Modulator and Demodulator
NRZ	=	Non Return to Zero
NLP	=	Normal Link Pulse
NICs	=	Network Interface Cards
NASA	=	National Aeronautics and Space Administration
OP-AMP	=	Operational Amplifiers
OOK	=	On-Off Keying
OWC	=	Optical Wireless Communication
PC	=	Personal Computer

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

PLL	=	Phase Lock Loop
PPM	=	Pulse Position Modulation
POE	=	Power Over Ethernet
pF	=	pico farad
RMS	=	Root Mean Square
RSSI	=	Received Signal Strength Indicator
SNR	=	Signal to Noise Ratio
TIA	=	Transimpedance Amplifier
UTP	=	Unshielded Twisted Pair
WAN	=	Wide Area Network
WLAN	=	Wireless Local Area Network

การศึกษาและออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์รับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสง

Design and Implementation of a Data Transceiver via Visible Light Beam

คำนำ

ปัจจุบันปริมาณความต้องการใช้งานผ่านระบบสื่อสารไร้สายมีปริมาณมากขึ้น เนื่องมาจากระบบสื่อสารไร้สายจะช่วยลดปัญหาอุปสรรคจากการติดตั้งสายเคเบิล อย่างเช่นปัญหาจากการขุดเจาะ ปัญหาการไม่มีสิทธิ์พาดผ่านสายเคเบิล รวมถึงปัญหาจากต้นทุนในการติดตั้ง แต่อย่างไรก็ตามคลื่นความถี่วิทยุเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงต้องมีระเบียบกฎเกณฑ์ในการจัดสรรคลื่นความถี่ไว้สำหรับกิจการต่างๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดคลื่นความถี่รบกวนซึ่งกันและกัน อย่างเช่นประกาศคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง เครื่องวิทยุคมนาคมและสถานวิทยุคมนาคมที่ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต ซึ่งได้มีข้อกำหนดให้เครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้ความถี่วิทยุ 2,400-2,500 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) มีกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent Isotropically Radiated Power: E.I.R.P.) ไม่เกิน 100 มิลลิวัตต์ (สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, 2550) ทั้งนี้เพื่อควบคุมพื้นที่การกระจายคลื่นไม่ให้เกิดการรบกวนต่อผู้ใช้อย่างอื่นในบริเวณใกล้เคียง ผลทำให้ไม่สามารถใช้งานในระยะทางไกลๆได้ และหากมีการปรับปรุงเกณฑ์อัตราการใช้ของสายอากาศให้สูงขึ้นก็อาจจะทำให้กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกมีค่าสูงเกิน 100 มิลลิวัตต์ และเสี่ยงต่อการละเมิดพระราชบัญญัติวิทยุคมนาคม ประกอบกับเครื่องวิทยุคมนาคมบางประเภทที่ได้รับยกเว้นไม่ต้องรับใบอนุญาตนี้มีแนวโน้มเพิ่มปริมาณมากขึ้นจนอาจจะก่อให้เกิดปัญหาคลื่นรบกวนซึ่งกันและกันมากขึ้นในอนาคต ในขณะที่คลื่นแสงซึ่งจัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ไม่ก่อให้เกิดการรบกวนต่อคลื่นความถี่วิทยุ และสามารถนำมาใช้สำหรับเป็นคลื่นพาหะในระบบสื่อสารโทรคมนาคมชนิดไร้สายได้ ตัวอย่างระบบสื่อสารทางแสงผ่านตัวกลางอากาศ เช่น ระบบรีโมทคอนโทรลทีวี (Television Remote Control) ที่ใช้แสงอินฟราเรด และระบบ Free Space Optics เป็นต้น

Free Space Optics (FSO) หรือ Optical Wireless Communication (OWC) คือการรับ-ส่งข้อมูลข่าวสารด้วยคลื่นแสงผ่านตัวกลางอากาศหรือผ่านชั้นบรรยากาศ ซึ่งจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของระบบสื่อสารแบบไร้สายที่สามารถรองรับปริมาณการรับและส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูง และด้วยคุณสมบัติของคลื่นแสงที่ไม่สามารถเดินทางผ่านวัตถุทึบแสง รวมถึงความสามารถในการบังคับ

ทิศทางการกระจายของแสงที่ทำได้ง่ายกว่าการควบคุมทิศทางของคลื่นความถี่วิทยุ จึงทำให้สามารถควบคุมพื้นที่ใช้งานได้สะดวกและข้อมูลมีความปลอดภัยสูงกว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุ

ปัจจุบันเทคโนโลยีระบบ Free Space Optics (FSO) สามารถรองรับความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลได้หลายพันล้านเมกะบิตต่อวินาที (Gbps) และมีระยะทางการรับ-ส่งได้ไกลหลายกิโลเมตร ผลิตภัณฑ์ FSO โดยส่วนใหญ่จะใช้อุปกรณ์ชนิดเลเซอร์ไดโอด (Laser Diode) เป็นตัวกำเนิดแสงที่อยู่ในย่านความถี่อินฟราเรด (Near-Infrared) และใช้อะวาแลนซ์โฟโตไดโอด (Avalanche Photodiode) ซึ่งมีเกณฑ์ขยายทางแสงสูงเป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแสง และบางผลิตภัณฑ์จะมีระบบควบคุมทิศทางลำแสง (Tracking Control) ให้ตรงจุดตลอดเวลาแม้มีการเคลื่อนตัวของจุดติดตั้งอุปกรณ์ หรือจากการหักเหเปลี่ยนทิศทางของแสง ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีความซับซ้อนและยังมีราคาสูง จึงมีอุปสรรคต่อผู้ใช้งานระดับทั่วไปในการเข้าถึงผลิตภัณฑ์ชนิดนี้

ด้วยที่มาของปัญหาอุปสรรคข้างต้น จึงได้นำมาสู่การทำวิทยานิพนธ์นี้ โดยจะทำการศึกษาทดลอง และออกแบบพัฒนาเพื่อให้สามารถสร้างระบบสื่อสารทางแสงแบบไร้สายที่มีราคาถูกและง่ายต่อการออกแบบสร้างเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับเชื่อมโยงเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบจุดต่อจุดที่ความเร็วรับ-ส่งข้อมูล 10 Mbps ด้วยการใช้อเลเซอร์พอยเตอร์ขนาดกำลังส่งประมาณ 5 มิลลิวัตต์ ที่นำมาจากปากกาเลเซอร์เป็นตัวกำเนิดสัญญาณแสงในย่านสีแดง

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ประกอบด้วย 4 ส่วน ในส่วนแรกจะเป็นเรื่องการตรวจเอกสาร ซึ่งจะกล่าวถึงประวัติของการสื่อสารทางแสงผ่านตัวกลางอากาศ ผลิตภัณฑ์ของ FSO และวิธีการที่เคยมีผู้ได้ทดลองออกแบบสร้างมาก่อนหน้านี้

ในส่วนที่สองจะเป็นเรื่องอุปกรณ์และวิธีการ ซึ่งในส่วนนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ประกอบในการศึกษาทดลอง ขั้นตอนการดำเนินงาน การวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่จุดต่างๆในวงจร และการทดสอบประเมินประสิทธิภาพการทำงานชุดอุปกรณ์ การวัดหาค่าความผิดพลาดข้อมูล (Packet Loss) ในสภาวะความสว่างของสัญญาณแสงและแสงรบกวนข้างเคียงในปริมาณต่างๆ รวมถึงการทดสอบใช้งานเชื่อมโยงเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ระยะทางประมาณ 360 เมตร

ในส่วนที่สาม ผลและวิจารณ์ ในส่วนนี้จะนำเสนอถึงผลการทดลองในลักษณะต่างๆในรูปของภาพ ตาราง และกราฟ เพื่อแสดงผลที่ได้จากการทดลอง

ในส่วนที่สี่ จะเป็นการสรุปและเสนอแนะ โดยจะสรุปสาระสำคัญของการทดลองและผลที่ได้ รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นพร้อมข้อเสนอแนะในการแก้ปัญหา เพื่อนำผลการออกแบบและทดลองนำไปปรับปรุงหรือประยุกต์ใช้งานต่อไป

และท้ายสุดนี้หวังว่าเนื้อหารายงานในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจศึกษาหลักการสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับรับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสงในราคาถูกลงได้ โดยคาดหวังว่าผู้ศึกษาจะได้เข้าใจถึงวิธีการการรับส่งสัญญาณบนเครือข่ายอีเทอร์เน็ตบนมาตรฐาน 10Base-T หลักการสื่อสารทางแสง และการออกแบบชุดอุปกรณ์สื่อสารทางแสงผ่านอากาศได้ด้วยตัวเอง เพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้งานสำหรับเชื่อมโยงเครือข่ายอีเทอร์เน็ต เครือข่ายอินเทอร์เน็ต และเครือข่ายสื่อสารข้อมูลอื่นๆต่อไป

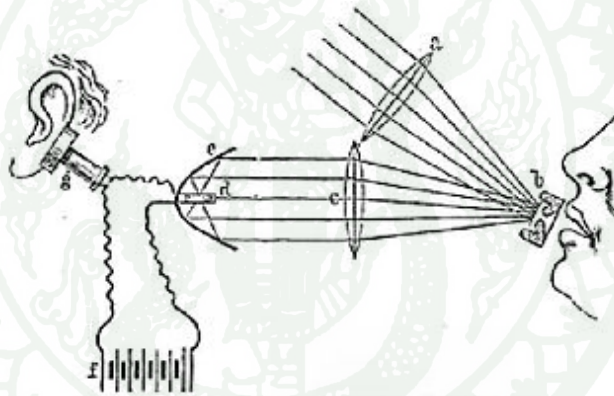
วัตถุประสงค์

เป้าหมายหลักของโครงการวิทยานิพนธ์คือผู้ศึกษาสามารถสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่อเครือข่ายอีเทอร์เน็ตแบบไร้สายระหว่าง 2 สถานีโดยการส่งคลื่นแสงผ่านตัวกลางอากาศและสามารถรองรับความเร็วรับและส่งข้อมูลที่ประมาณ 10 Mbps ได้ในระยะทางอย่างต่ำ 300 เมตร ด้วยวิธีการออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์ที่ง่ายและใช้ต้นทุนต่ำ โดยที่บุคคลผู้มีความรู้ด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปสามารถศึกษาและนำไปประยุกต์ออกแบบสร้างใช้งานได้ด้วยตัวเอง ทั้งนี้โครงการมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อให้ผู้ศึกษาได้เข้าใจถึงวิธีการออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์รับและส่งข้อมูลแบบไร้สายทางแสงผ่านตัวกลางอากาศ
2. เพื่อให้ผู้ศึกษาสามารถลงมือปฏิบัติออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่อข้อมูลบนเครือข่ายอีเทอร์เน็ตได้
3. เพื่อนำชุดอุปกรณ์ที่ได้จากการออกแบบไปประยุกต์ใช้ในกรณีที่ต้องการหลีกเลี่ยงปัญหาและข้อจำกัดจากการใช้คลื่นความถี่วิทยุ และอุปสรรคจากการลงทุนติดตั้งพาดสายเคเบิล
4. เพื่อพัฒนาความสามารถในการพึ่งตนเอง

การตรวจเอกสาร

เมื่อปี ค.ศ. 1880 นักวิทยาศาสตร์ชื่ออเล็กซานเดอร์ เกรแฮม เบลล์ (Alexander Graham Bell's) ได้สร้างอุปกรณ์ที่ชื่อว่าโฟโตโฟน (Photo-phone) และได้สาธิตการส่งสัญญาณเสียงด้วยลำคลื่นแสงอาทิตย์ผ่านตัวกลางอากาศที่ระยะทางไกลประมาณ 213 เมตร (Wikipedia, 2009a) ด้วยการใช้เลนส์รวมแสงอาทิตย์ร่วมกับแผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm) โดยที่ด้านส่งประกอบด้วยเลนส์รวมแสงและแผ่นไดอะแฟรม ซึ่งแผ่นไดอะแฟรมนี้จะสั่นไปตามสัญญาณเสียงที่พูด และเมื่อแผ่นไดอะแฟรมสั่นก็จะทำให้มุมสะท้อนของแสงเปลี่ยนแปลงไป ผลทำให้ความเข้มของแสงที่ฝั่งรับแสงจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย และส่งผลให้สัญญาณไฟฟ้าที่ด้านรับเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มของแสงซึ่งจะถูกเปลี่ยนจากสัญญาณไฟฟ้า และสุดท้ายเปลี่ยนเป็นสัญญาณเสียงเข้าสู่หูฟัง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 หลักการส่งสัญญาณเสียงด้วยลำคลื่นแสงอาทิตย์โดยผ่านตัวกลางอากาศของอเล็กซานเดอร์ เกรแฮม เบลล์ (Alexander Graham Bell's)

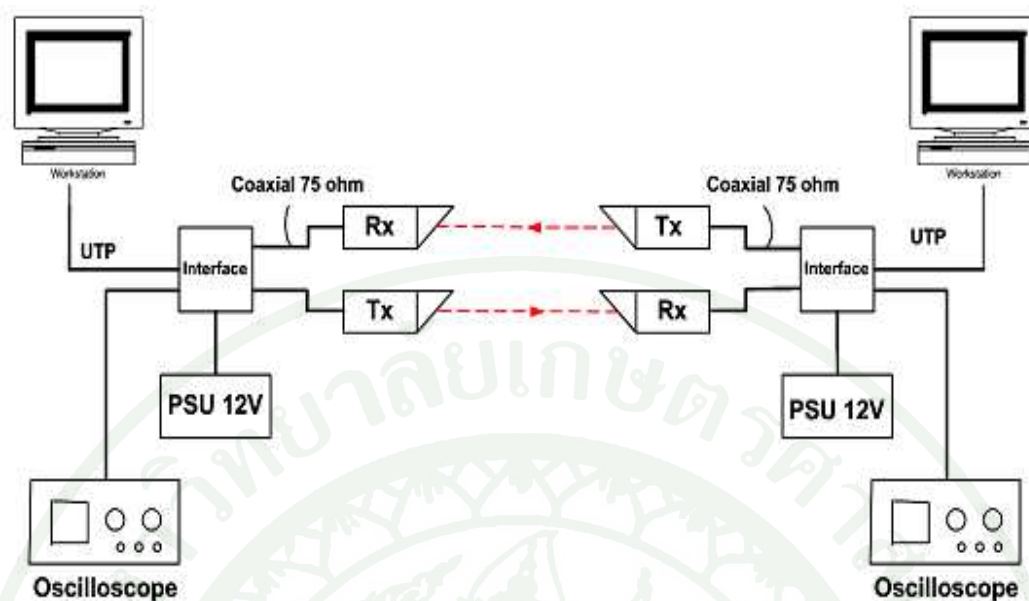
ที่มา: Wikipedia (2009a)

หลังจากมีการค้นพบตัวกำเนิดแสงเลเซอร์ (LASER) เมื่อปีประมาณ 1960 องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (The National Aeronautics and Space Administration: NASA) ได้พัฒนาระบบสื่อสารทางแสงผ่านตัวกลางอากาศและนำไปใช้งานด้านอวกาศสำหรับติดต่อสื่อสารระหว่างดาวเทียม ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นของการใช้งานระบบ FSO (CableFree Solutions Limited, 2009)

ปัจจุบันระบบ FSO ได้ถูกนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์สำหรับเชื่อมโยงเครือข่ายระหว่างจุดต่อจุด มีอัตราการรับส่งข้อมูลถึง 10 Gbps โดยส่วนมากอุปกรณ์เหล่านี้จะใช้เลเซอร์ไดโอดเป็นตัวกำเนิดแสงโดยใช้ที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร หรือ 1550 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า และในภาครับจะใช้อุปกรณ์รับแสงชนิด Avalanche Photodiode (APD) ซึ่งเป็นอุปกรณ์รับแสงที่มีอัตราการขยายทางแสงสูงสามารถใช้ตรวจจับปริมาณความเข้มของแสงต่ำๆ ได้ดี ผลผลิตจาก FSO เหล่านี้ค่อนข้างจะมีความซับซ้อนในการออกเพื่อชดเชยการเปลี่ยนแปลงของสถานะแวดล้อมเช่น การควบคุมอุณหภูมิให้แก่ตัวกำเนิดแสง การควบคุม빔ลำแสงให้ตรงจุดตลอดเวลาแม้มีการเคลื่อนตัวของจุดติดตั้งอุปกรณ์ ทำให้อุปกรณ์เหล่านี้มีราคาสูง ซึ่งเป็นอุปสรรคในการนำมาใช้งานสำหรับผู้ใช้งานโดยทั่วไป

ด้วยเหตุที่ผลิตภัณฑ์ FSO มีราคาสูง เป็นอุปสรรคต่อการนำมาใช้งานสำหรับบุคคลทั่วไป ดังกล่าวข้างต้น เมื่อปี ค.ศ. 2001 Mr. Mikulas Patocka, Mr. Petr Kulhavy, Mr. Martin Pergel และ Mr. Karel Kulhavy ได้ออกแบบชุดระบบอุปกรณ์สำหรับเชื่อมโยงเครือข่ายอีเทอร์เน็ตผ่านลำคลื่นแสงที่ไม่ต้องใช้เทคโนโลยีการผลิตในขั้นสูงและสามารถสร้างได้เองในราคาต่ำ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในนามของ RONJA ซึ่งย่อมาจากคำว่า Reasonable Optical Near Joint Access ซึ่งชุดอุปกรณ์นี้สามารถรองรับอัตราการรับ-ส่งข้อมูลที่ 10 Mbps ใช้เทคนิคการกล้ำสัญญาณทางแสงแบบเปิดปิด (On-Off-Keying: OOK) และใช้เทคนิคการส่งสัญญาณแสงกระพริบที่มีความถี่ 1 MHz ในขณะที่ไม่มีการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์เครือข่าย (Network Card) และใช้สายโคแอกเซียล (Coaxial) เป็นสายส่งระหว่างกล่องอุปกรณ์ตัวรับ-ส่งแสงกับกล่องอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ (Interface Box) ซึ่งชุดอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ตัวส่ง (Transmitter) ตัวรับ (Receiver) และตัวเชื่อมต่อสัญญาณ (Interface Box) โดยที่ตัวส่งจะใช้หลอดแอลอีดีชนิดกำลังสูง (High Power LED) ร่วมกับเลนส์รวมแสงทำหน้าที่บีบรวมลำแสงให้มีมุมกระจายแสงมีขนาดเล็กลงเพื่อให้สามารถส่งสัญญาณแสงได้ระยะทางไกลขึ้น ด้านตัวรับแสงจะใช้เลนส์ทำหน้าที่รวมแสงให้ตกลงบนตัวอุปกรณ์ฟิโนไดโอด (PIN Photodiode) เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนจากสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และสำหรับตัวเชื่อมต่อสัญญาณ (Interface Box) จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณและเชื่อมต่อเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ในเครือข่ายอีเทอร์เน็ตซึ่งเป็นสัญญาณชนิดดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Signal) ไปเป็นสัญญาณแบบลอจิก หรือ TTL รวมถึงทำหน้าที่แทรก (ด้านส่ง) และแยกออก (ด้านรับ) สัญญาณพัลส์ความถี่ 1 MHz ในช่วงขณะที่ไม่มีการส่งข้อมูลออกมาจากอุปกรณ์เครือข่าย (Wikipedia 2009b ; Ronja Twibrightlabs 2009)

ในปี ค.ศ.2006 โดย Mr.Phanumas Khumsat, Mr. Noppadol Wattanapisit แห่งมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา และ Mr. Karel Kulhavey ชาวสาธารณรัฐเช็ก ได้ตีพิมพ์บทความชื่อเรื่อง “Low-Cost Laser-Based Wireless Optical Transceiver for 10-Mbps Ethernet Link” ซึ่งได้เสนอแนวทางการออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับเชื่อมโยงเครือข่ายอีเทอร์เน็ตแบบไร้สายด้วยคลื่นแสงที่ใช้ต้นทุนต่ำ โดยด้านตัวส่ง ได้ใช้แสงเลเซอร์ที่นำมาจากตัวอุปกรณ์เลเซอร์พอยน์เตอร์ (Laser Pointer) ขนาดกำลังส่งประมาณ 5 มิลลิวัตต์ ที่ความยาวคลื่น 635 นาโนเมตร มาใช้เป็นตัวกำเนิดสัญญาณแสงสำหรับเชื่อมโยงเครือข่ายอีเทอร์เน็ต (Ethernet) แบบจุดต่อจุดได้ในระยะทางประมาณ 300 เมตร ที่ความเร็วรับ-ส่งข้อมูลถึง 10 Mbps (Mr.Khumsat et al., 2006) โดยใช้หลักการแทรกส่งสัญญาณความถี่ 1 MHz ในช่วงขณะที่ไม่มีการส่งข้อมูลออกมาจากอุปกรณ์ในโครงข่าย เพื่อใช้ประโยชน์ของสัญญาณความถี่ 1MHz นี้สำหรับการเล็งทิศทางในช่วงขั้นตอนของการปรับทิศทางอุปกรณ์ระหว่างตัวรับและตัวส่ง รวมถึงเพื่อช่วยรักษาจุดทำงานของวงจรให้คงที่ปราศจากสภาวะ Transeint State และทางด้านตัวรับแสงจะใช้เลนส์ (Lens) รวมแสงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร เป็นตัวทำหน้าที่รวมแสงให้ไปตกที่ตัวอุปกรณ์รับแสงซึ่งใช้พินโฟโตไดโอด (PIN Photodiode) เพื่อเปลี่ยนจากสัญญาณแสงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้วงจรชนิด Resistive-feedback Transimpedance Amplifier และใช้วงจร Differentiator Amplifier ทำหน้าที่ยกระดับสัญญาณความถี่สูงเพื่อสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมกลับคืนจากการสูญเสียความถี่สูงของช่องสัญญาณในภาคก่อนหน้า จากนั้นขยายสัญญาณด้วยวงจร Limiting Amplifier เพื่อขยายสัญญาณให้มีขนาดคงที่ค่าหนึ่งก่อนส่งให้วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Regenerator Circuit) ซึ่งอยู่ในส่วนของวงจรในตัวอินเตอร์เฟซ (Interface Box) ผ่านทางสายส่งชนิดโคแอกเซียล (Coaxial Transmission Line) โดยที่วงจรในภาคอินเตอร์เฟซนี้จะทำหน้าที่แปลงระหว่างสัญญาณลอจิก หรือ TTL ไปเป็นสัญญาณชนิด Differential signal เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์เครือข่ายผ่านทางสาย UTP นอกจากนี้ในภาคอินเตอร์เฟซจะมีวงจรซึ่งทำหน้าที่แทรกและแยกออกสัญญาณพัลส์ของความถี่ 1 MHz ที่ได้แทรกส่งในช่วงขณะที่ไม่มีการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ในเครือข่าย โดยมีรูปแบบการทดลองเชื่อมโยงเครือข่ายอีเทอร์เน็ตดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 รูปแบบการทดลองเชื่อมโยงเครือข่ายใยแก้วนำแสงของ Khumsat et al.

ที่มา: Khumsat et al. (2006)

จากการศึกษาแนวทางที่มีผู้ดำเนินการออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์เชื่อมโยงเครือข่ายใยแก้วนำแสงแบบจุดต่อจุดชนิดอย่างง่ายและใช้ต้นทุนต่ำที่ผ่านมานั้น พบว่าจะใช้หลักการแทรกส่งสัญญาณพัลส์เพื่อกระพริบแสงที่มีความถี่ประมาณ 1 MHz ในช่วงขณะที่ไม่มีการส่งข้อมูลออกมาจากอุปกรณ์ในเครือข่าย ซึ่งด้วยหลักการนี้จะมีผลทำให้ทางภาครับจะต้องเพิ่มเติมวงจรเพื่อทำหน้าที่แยกสัญญาณความถี่ 1MHz นี้ออก ผลทำให้วงจรมียังคงมีความซับซ้อน มีขนาดใหญ่ สิ้นเปลืองการใช้พลังงานไฟฟ้า รวมถึงจะมีแสงสว่างรบกวนทางสายตาตลอดเวลาแม้ในช่วงขณะที่ไม่มีการส่งข้อมูล

ดังนั้นในการศึกษาออกแบบชุดอุปกรณ์สำหรับรับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสงขึ้นใหม่นี้ จะได้ศึกษาถึงวิธีการเพื่อให้สามารถสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับเชื่อมโยงเครือข่ายใยแก้วนำแสงแบบจุดต่อจุดที่ใช้ต้นทุนต่ำ สามารถรองรับความเร็วการรับและส่งข้อมูลที่ 10 Mbps โดยที่ระบบไม่ต้องแทรกส่งสัญญาณพัลส์เพื่อกระพริบแสงที่มีความถี่ 1 MHz ในช่วงขณะที่ไม่มีการส่งข้อมูล เพื่อลดความซับซ้อนของวงจรในส่วนที่ทำหน้าที่แทรกและแยกสัญญาณความถี่ 1 MHz ซึ่งน่าจะช่วยให้วงจรมีขนาดเล็กลง ลดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าและสามารถ

ออกแบบสร้างใช้งานได้ง่ายขึ้น รวมถึงจะช่วยลดปริมาณแสงสว่างที่จะก่อให้เกิดการรบกวนทางสายตาในขณะที่ไม่มีการส่งข้อมูล



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องมือวัด

- 1.1 เครื่องแสดงคลื่นกระแสไฟฟ้า (Oscilloscope) ผลิตกันซ์ของบริษัท RIGOL รุ่น DS1022C
- 1.2 เครื่องวัดแสง (LUX Meter) รุ่น MLM-1010
- 1.3 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า หรือ มัลติมิเตอร์



ภาพที่ 3 แสดงเครื่องมือวัดสำหรับใช้ในโครงการ

2. อุปกรณ์ประกอบการทดสอบใช้งานบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

- 2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ (Personal Computer: PC)
- 2.2 Network Interface Card (NIC) หรือการ์ดแลน (LAN Card)
- 2.3 ADSL Router MODEM ผลิตกันซ์ของ GMesh รุ่น GM-301
- 2.4 Wi-Fi Router ผลิตกันซ์ของ Linksys
- 2.5 CAT-5 Unshield Twisted Pair (UTP) และ RJ-45 Connector

3. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

- 3.1 Photodiode เบอร์ SFH203
- 3.2 MOSFET เบอร์ BF908WR
- 3.3 Transistor เบอร์ PH2369
- 3.4 Light Emitting Diode (LED) เบอร์ HPWT MD00
- 3.5 Integrated Circuit (IC)
 - 3.5.1 DS26LS31
 - 3.5.2 DS26LS32
 - 3.5.3 TC1411
 - 3.5.4 74HC14
 - 3.5.5 OPA355
 - 3.5.6 LM7812
 - 3.5.7 LM7805
 - 3.5.8 LF353

4. วัสดุประกอบอื่นๆ

- 4.1 ท่อน้ำพีวีซี ขนาด 80 มิลลิเมตร
- 4.2 ขาตั้งกล่อง
- 4.3 เลนส์รวมแสง



ภาพที่ 4 ตัวอย่างวัสดุประกอบการสร้างชุดอุปกรณ์

5. รายละเอียดทางเทคนิคพอสังเขปของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับใช้ออกแบบวงจร

5.1 SFH203 เป็นโฟโตไดโอดชนิด PIN Photodiode มีค่าประจุแฝงประมาณ 11 pF (ขณะไม่มีแรงดันรีเวิร์สไบแอส) Rise Time และ Fall Time (ที่รีเวิร์สไบแอส 20 โวลต์) ประมาณ 5 นาโนวินาที (ns) ทนแรงดันรีเวิร์สไบแอสสูงสุด 50 โวลต์ ตรวจจับสัญญาณแสงในช่วงความยาวคลื่น 440 -1100 นาโนเมตร อุณหภูมิช่วงทำงานอยู่ในช่วง 40 ถึง 100 องศาเซลเซียส ความไวรับแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร มีค่ากระแสมืด (Dark current) (เมื่อแรงดันไฟฟ้าป้อนกลับมีค่า 20 โวลต์) ที่ประมาณ 1 นาโนแอมแปร์ (Siemens Semeconductor, 1996)

5.2 BF908WR เป็นมอสเฟต (MOSFET) ชนิดดีพลีชัน (Depletion Type) แบบเอ็นแชนแนล มี จำนวนขาเกท 2 ขา (N-channel dual-gate MOS-FET) มีค่าฟอร์เวิร์ดทรานเฟอร์ แอดมิตแตนซ์ (Forward Transfer Admittance) 43 มิลลิซีเมนต์ (mS) , อุณหภูมิช่วงทำงานได้ถึง 150 องศาเซลเซียส กระแสเดรน (Drain Current) 40 มิลลิแอมแปร์ (mA) ทนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Drain-Source Voltage) ประมาณ 12 โวลต์ Noise Figure ประมาณ 1.5 เดซิเบล (dB) , ค่าความจุที่ขาเกท ประมาณ 3.1 พิโกฟารัด (pF) (NXP Semecoductors, 1995)

5.3 PH2369 เป็นทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็น (NPN Transistor) ทนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ประมาณ 15 โวลต์ สามารถขับกระแสอย่างต่อเนื่อง (Collector Current) ได้ประมาณ 200 มิลลิแอมแปร์ ขับกระแสสูงสุดชั่วขณะ (Peak Collector Current) ที่ 300 มิลลิแอมแปร์ กระแสผ่านขาเบสสูงสุด (Peak Base Current) ที่ 100 มิลลิแอมแปร์ (NXP Semiconductors, 2004)

5.4 DS26LS31 ถูกออกแบบใช้งานสำหรับเป็น Differential Line Driver ส่งข้อมูลชนิดดิจิทัลผ่านสายส่งสัญญาณชนิดบาลานซ์ (Balanced Lines) สัญญาณเอาต์พุตเป็นแบบยูนิโพลาร์ (Unipolar Signal) มีค่าหน่วงเวลา (Delay Time) ประมาณ 10 นาโนวินาที รองรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ทนค่าแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Supply Voltage) ที่ 7 โวลต์ กระแส Output ลัดวงจรสูงสุด 150 มิลลิแอมแปร์ (National Semiconductor, 1998)

5.5 DS26LS32 ถูกออกแบบสำหรับใช้งาน Differential Line Receiver รองรับการใช้งานในมาตรฐาน RS-422 และ RS-426 ค่าความไวสัญญาณอินพุต (Input Sensitivity) ที่ประมาณ 200 มิลลิโวลต์ ช่วงรับสัญญาณอินพุต (Input Voltage Range) ในช่วง +/-7 โวลต์ มีค่า Hysteresis

ประมาณ 100 มิลลิโวลต์ รองรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Supply Voltage) ที่ 7 โวลต์ (National Semiconductor, 1999)

5.6 TC1411 เป็นไอซีที่ถูกออกแบบเพื่อรองรับการใช้งานเป็นตัวขับ (Driver) หรือตัวกันชน (Buffer) ให้แก่อุปกรณ์ชนิด CMOS รองรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (VCC) ได้ตั้งแต่ 4.5 โวลต์ จนถึง 16 โวลต์ มีค่า Rise Time และ Fall Time ประมาณ 25 นาโนวินาที มีความสามารถในการขับกระแสได้ถึง 1 แอมแปร์ (Peak Output Current) และมีค่า Delay Time ประมาณ 30 นาโนวินาที (Microchip, 2006)

5.7 SN74HC14N เป็นอินเวอร์เตอร์ชนิดที่มีคุณสมบัติ Hysteresis ทำให้ทนต่อสัญญาณรบกวนได้มากขึ้น ทั้งนี้เมื่อใช้กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 4.5 โวลต์ จะมีค่าแรงดันเทรสโวลต์ด้านสูง (VTH+) ประมาณ 2.5 โวลต์ แรงดันเทรสโวลต์ด้านต่ำ (VTH-) ประมาณ 1.6 โวลต์ ค่าหน่วงเวลา (Propagation Delay) ประมาณ 12 นาโนวินาที มีค่า Rise Time และ Fall Time ประมาณ 8 นาโนวินาที (Texas Instruments, 2004)

5.8 OPA355 เป็น Op-Amp ชนิด CMOS มี Unity-Gain Bandwidth ประมาณ 450MHz ค่าอัตราสลูว์ (Slew Rate) ที่ 360V/uS มีค่า Noise Figure ที่ 5.8nV/Hz ต้องการกระแสไบแอสอินพุตต่ำประมาณ 3 พิโกแอมแปร์ (pA) ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่แรงดันตั้งแต่ 2.5 โวลต์ ถึง 5 โวลต์ (Texas Instruments, 2002)

5.9 HPWT MD00 เป็นไดโอดเปล่งแสง (LED) ชนิด Super Flux ให้แสงสีแดงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 635 นาโนเมตร มีค่า DC Forward Current 70 mA ค่า Forward Voltage ประมาณ 2.6 โวลต์ อุณหภูมิช่วงทำงาน (Operating Temperature Range) ตั้งแต่ -40 จนถึง 100 องศาเซลเซียส ทนแรงดัน Reverse Voltage ประมาณ 10 โวลต์ มีค่า Speed of Respond ที่ 20 นาโนวินาที (nS) และ View angle ประมาณ 30 องศา (Philips Lumileds Lighting Company, 2007)

5.10 UA733 เป็น Differential Video Amplifier มีแบนด์วิดท์ 200 MHz มีขาอินพุต (Differential Input) 2 ขา และขาเอาต์พุต (Differential output) 2 ขา กระแสเอาต์พุต 10 มิลลิแอมป์ (Texas Instruments, 2004)

5.11 Laser Pointer ขนาดกำลังส่งประมาณ 5 มิลลิวัตต์ กำเนิดแสงในย่านแสงสีแดง (ความยาวคลื่น 635 นาโนเมตร) ซึ่งนำมาจากปากกาแสง หรือจากเลเซอร์พอยเตอร์

5.12 LM7812 เป็นไอซีควบคุมแรงดันชนิด Positive Voltage Regulator ใช้งานในช่วง แรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตตั้งแต่ 15 โวลต์ ถึง 27 โวลต์ ควบคุมให้ขนาดแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต มีค่าคงที่เท่ากับ 12 โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสโหลดได้ประมาณ 1 แอมแปร์ (National Semiconductor, 2000)

5.13 LM7805 เป็นไอซีควบคุมแรงดันชนิด Positive Voltage Regulator ใช้งานในช่วง แรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตตั้งแต่ 7 โวลต์ ถึง 20 โวลต์ ควบคุมให้ขนาดแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตมี ค่าคงที่เท่ากับ 5 โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสโหลดได้ประมาณ 1 แอมแปร์ (National Semiconductor, 2000)

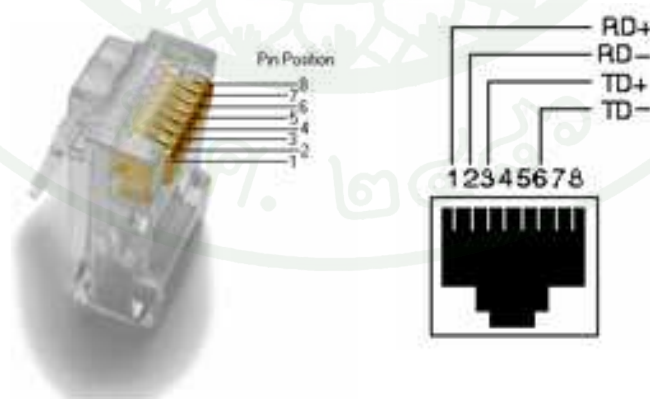
วิธีการ

1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องต่อการนำไปใช้ออกแบบชุดอุปกรณ์
2. กำหนดภาพรวมโครงการและจำนวนชิ้นงานที่จะออกแบบสร้าง
3. ออกแบบชิ้นงาน
4. ทดสอบวัดผลการใช้งานของชุดอุปกรณ์รับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสง

1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องต่อการนำไปใช้ออกแบบชุดอุปกรณ์

1.1 ศึกษาวิธีการการเชื่อมโยงสัญญาณเครือข่ายอีเทอร์เน็ตมาตรฐาน 10Base-T

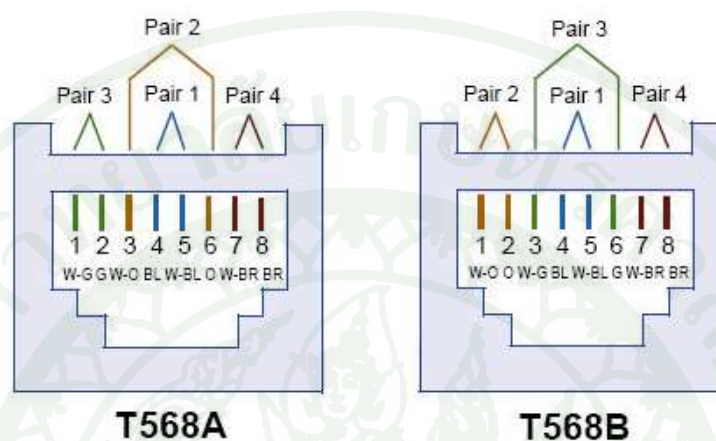
10Base-T เป็นมาตรฐานหนึ่งที่ใช้สำหรับสื่อสัญญาณเชื่อมโยงเครือข่ายอีเทอร์เน็ต (Ethernet Network) มีความเร็วรับ-ส่งข้อมูลที่ 10 ล้านบิตต่อวินาที (10Mbps) ด้วยสัญญาณเบสแบนด์ (Base Band) ถูกเข้ารหัสข้อมูลแบบ Manchester Line Coding โดยส่วนมากจะใช้สายส่งทองแดงตีเกลียวแบบ Unshielded Twisted Pair (UTP) เป็นสายส่งสัญญาณ โดยที่ด้านปลายของสายส่งทั้งสองด้านจะถูกต่อเข้ากับคอนเน็คเตอร์ชนิด RJ45 ซึ่งมีจำนวน 8 ขา ดังแสดงภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ลักษณะของคอนเน็คเตอร์ชนิด RJ45

ที่มา: wikipedia (2010c)

มาตรฐาน 10Base-T จะใช้สายส่งสัญญาณข้อมูลเพียง 2 คู่ คือที่ต่อมาจาก ขา 1 กับขา 2 และจากขา 3 กับขา 6 โดยใช้สำหรับรับข้อมูลหนึ่งคู่ และใช้สำหรับส่งข้อมูลอีกหนึ่งคู่ มาตรฐานการเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้ากับคอนเน็คเตอร์ RJ 45 มี 2 แบบคือ TIA/EIA-568-A และ TIA/EIA-568-B ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การเชื่อมต่อสายแบบ TIA/EIA-568-A และ TIA/EIA-568-B

ที่มา: Fiber optics for sale co. (2010)

ตารางที่ 1 การเชื่อมต่อสาย UTP ตามมาตรฐาน TIA/EIA-568-A และ TIA/EIA-568-B

Pin	TIA/EIA-568-A	TIA/EIA-568-B
1	เขียวสลับขาว	ส้มสลับขาว
2	เขียว	ส้ม
3	ส้มสลับขาว	เขียวสลับขาว
4	น้ำเงิน	น้ำเงิน
5	น้ำเงินสลับขาว	น้ำเงินสลับขาว
6	ส้ม	เขียว
7	น้ำตาลสลับขาว	น้ำตาลสลับขาว
8	น้ำตาล	น้ำตาล

ที่มา: Wikipedia (2010c)

สาย UTP ที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ จะมีจำนวนสายทั้งหมด 8 เส้น ตีเกลียวกัน 4 คู่ ปลายสายทั้งสองด้านจะเชื่อมต่อด้วยคอนเน็กเตอร์ชนิด RJ45 ลักษณะดังแสดงใน ภาพที่ 7 ยกตัวอย่างชนิดของสาย UTP เช่น ชนิด Category 3 (CAT3) Category 4 (CAT-4) Category 5 (CAT-5) และ Category 6 (CAT-6) ตัวอย่างคุณสมบัติของสาย UTP ชนิด Category 5 (CAT-5) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของสาย UTP ชนิด Category 5 (CAT 5)

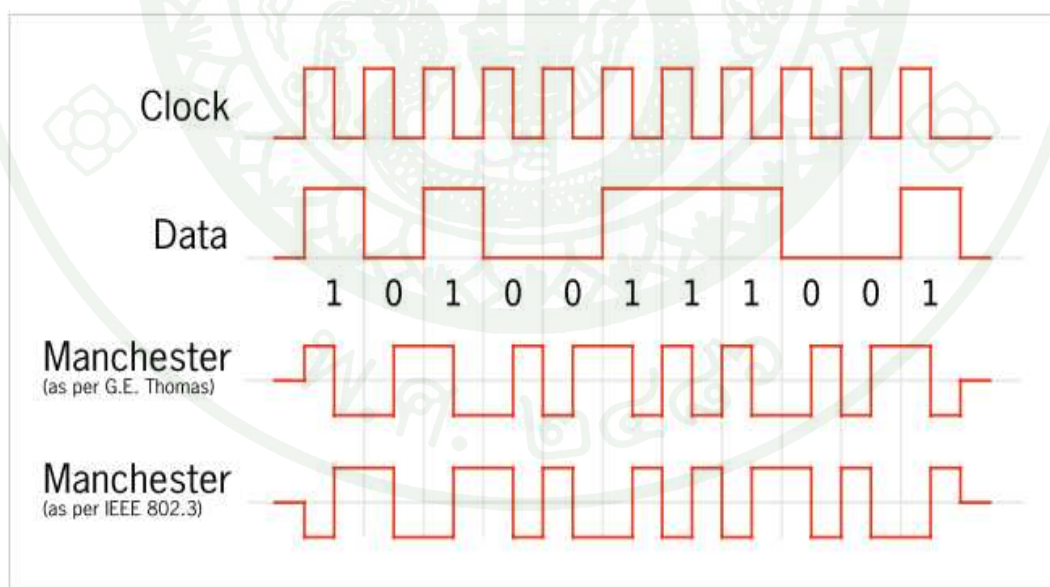
Property	Nominal Value	Tolerance	Unit
Characteristic impedance @ 100MHz	100	±15	Ω
Nominal characteristic impedance @ 100 MHz	100	±5	Ω
DC-Loop resistance	≤0.188		Ω / m
Propagation speed	0.64		c
Propagation delay	4.80-5.30		ns/m
Delay skew < 100 MHz	<0.2		ns/m
Capacitance at 800 Hz	52		pF/m
Inductance	525		nH/m
Cutoff frequency	50,323		Hz
Max tensile load , During installation	100		N
Wire size	AWG-24 (0.205 mm ²)		
Isolation thickness	0.245		mm
Maximum current per conductor	0.577		A
Temperature operating	-55 to +60		°C

ที่มา: Wikipedia (2010d)



ภาพที่ 7 ลักษณะของสาย Unshielded Twisted Pair (UTP)

มาตรฐาน 10Base-T จะเข้ารหัสทางสายแบบ Manchester Line Coding ซึ่งเป็นวิธีการเข้ารหัสข้อมูลโดยการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณไฟฟ้าในช่วงกลางของบิต เช่นรหัส “1” จะเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณไฟฟ้าจาก +V ไปเป็น -V และรหัส “0” จะเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณไฟฟ้าจาก -V ไปเป็น +V ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 หลักการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลแบบ Manchester Line Coding

ที่มา: Wikipedia (2010e)

1.2 ศึกษาคุณสมบัติของแสง

แสงมีความเร็วประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที มีมวลเข้าใกล้ศูนย์ ถูกจัดให้อยู่ในรูปของพลังงาน เดินทางเป็นเส้นตรงเมื่อผ่านตัวกลางที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Uniform) หรือที่มีค่าดัชนีการหัก (Refraction Index) เท่ากัน แสงไม่สามารถเดินทางผ่านวัตถุทึบแสง มีคุณสมบัติเป็นทั้งอนุภาคและคลื่น ในเวลาเดียวกัน

แสงมีคุณสมบัติเป็นอนุภาค เราเรียกอนุภาคของแสงว่าโฟตอน (Photon) ซึ่งอธิบายได้จากผลปรากฏการของโฟโตอิเล็กตริก (Photoelectric Effect) คือเมื่ออนุภาคของแสงวิ่งไปชนกับผิวของโลหะและทำให้โลหะจะส่งอิเล็กตรอนออกมา อนุภาคแสงเป็นก้อนพลังงานก้อนหนึ่งมีค่าดังสมการที่ 1

$$E = hf \quad (1)$$

โดยที่ h = ค่าคงที่ของพลังค์ มีค่าเท่ากับ 6.626×10^{-34} จูลวินาที ($J \cdot s$)

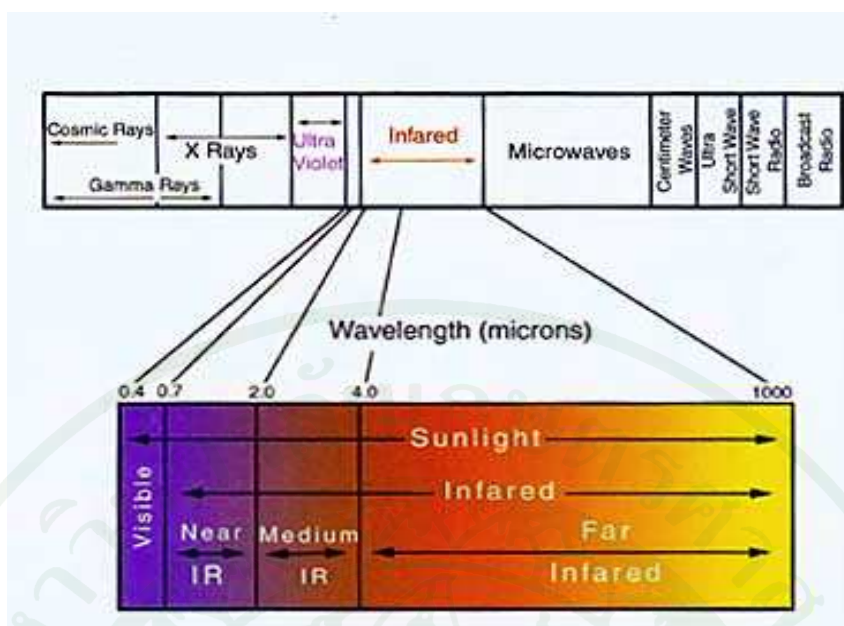
f = ความถี่ของแสง มีหน่วยเป็นเฮิร์ตซ์ (Hz) คำนวณได้จากสมการที่ 2

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

c = ความเร็วคลื่นแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที

λ = ค่าความยาวคลื่น มีหน่วยเป็นเมตร

แสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่นชนิดตามขวาง ระนาบการสั่นของสนามแม่เหล็กตั้งฉากกับระนาบการสั่นของสนามไฟฟ้า และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น รวมถึงมีการเลี้ยวเบนและแทรกสอดตามคุณสมบัติของคลื่น การแพร่กระจายของแสงในที่ว่างเปล่า (Free-Space Propagation) มีสภาพเหมือนกับการแพร่กระจายของคลื่นความถี่วิทยุ คลื่นแสงมีช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 1 นาโนเมตร จนถึง 1 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ระหว่างคลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟกับย่านความถี่รังสีเอ็กซ์ (X-Ray) บนแถบ Electromagnetic Spectrum คลื่นแสงแบ่งออกเป็น 3 ย่าน คือย่าน Ultraviolet, Visible Light และ Infrared ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ย่านความถี่คลื่นแสงบนแถบ Electromagnetic Spectrum

ที่มา: Creighton university medical center School of medicine (2010)

Visible Light คือคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 380 นาโนเมตร ถึง 780 นาโนเมตร ซึ่งมนุษย์สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ทั้งนี้แสงที่มองเห็นเป็นแสงสีขาว (Light White) จากการค้นพบของ เซอร์ ไอแซค นิวตัน ในปี ค.ศ. 1661 นั้นแท้ที่จริงแล้ว แสงสีขาวนี้ ประกอบไปด้วยสี จำนวน 7 สี คือ แดง (Red) เหลือง (Yellow) ส้ม (Orange) เขียว (Green) น้ำเงิน (Blue) คราม Indigo และ ม่วง (Violet) แสงที่มองเห็น เป็นสีต่าง ๆ นี้ เกิดจากความยาวคลื่น และความถี่ที่ต่างกัน โดยความยาวคลื่น (Wavelength) เป็นตัวกำหนดสี (Hue) และ Amplitude เป็นตัวกำหนดความสว่างของสี (Brightness) สีต่างๆที่มองเห็นมีช่วงความยาวคลื่นดังนี้

แสงสีม่วง (Violet) 380 - 450 นาโนเมตร

แสงสีน้ำเงิน (Blue) 450 - 490 นาโนเมตร

แสงสีเขียว (Green) 490 - 560 นาโนเมตร

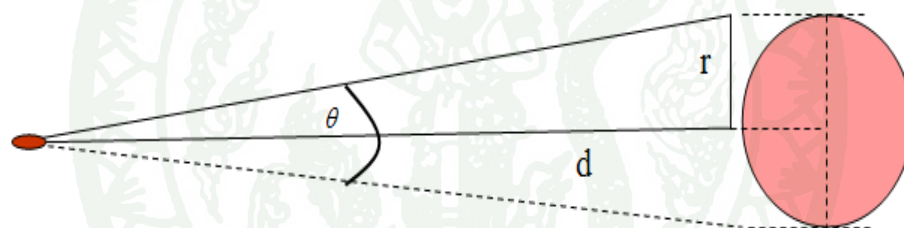
แสงสีเหลือง (Yellow) 560 - 590 นาโนเมตร.

แสงสีส้ม (Orange) 590 - 630 นาโนเมตร

แสงสีแดง (Red) 630 - 780 นาโนเมตร

การวัดปริมาณของพลังงานแสงมีอยู่ 2 แบบคือ Radiometry และ Photometry ซึ่งการวัดแบบ Radiometry คือการวัดปริมาณของพลังงานแสงทั้งหมดที่แผ่ออกมาโดยไม่คำนึงถึงช่วงของความยาวคลื่นแสง และสำหรับการวัดแบบ Photometry เป็นการวัดแบบเชิงภาพ หมายถึงการวัดพลังงานเฉพาะในย่านที่สายตาสารสามารถรับรู้ได้เท่านั้น จะไม่คำนึงถึงการแผ่พลังงานในช่วงของความยาวคลื่นอื่น (Robert and Edward, 1993) ตัวอย่างระบบหน่วยวัดปริมาณแสงในระบบเมตริก เช่น ค่าความส่องสว่าง (Illuminance หรือ Illumination) มีหน่วยวัดเป็นลักซ์ (lux) ค่าของฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous flux) มีหน่วยวัดเป็นลูเมน (lumen) ค่าความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous intensity) มีหน่วยวัดเป็นแคนเดลา (candela) และค่าของความยาวคลื่น (Wavelength) มีหน่วยวัดเป็นเมตร (meter)

ลักษณะของการแผ่กระจายของลำคลื่นแสง (Beam Divergence) แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมส่องแสงและระยะทาง

พื้นที่ตกกระทบแสงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมุมส่องแสงและระยะทาง โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3

$$r = d \times \tan(\theta / 2) \quad (3)$$

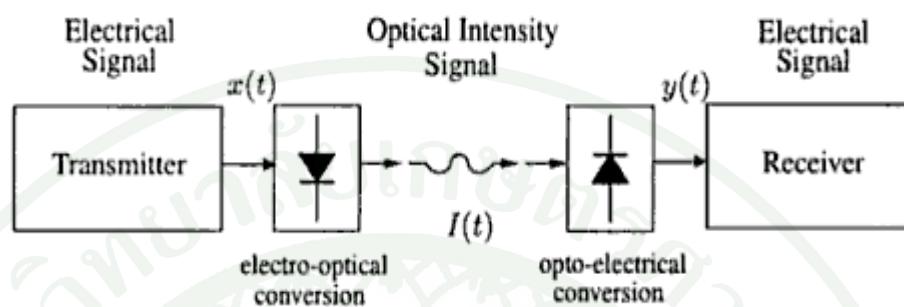
เมื่อ d คือระยะทางระหว่างจุดส่งแสงกับจุดรับแสง หน่วยเป็นเมตร

r คือรัศมีของแสงที่ตกกระทบบนจุดรับแสง หน่วยเป็นเมตร

θ คือ Beam Divergence หน่วยเป็นเรเดียน

1.3 ศึกษาหลักการสื่อสารทางแสง

พื้นฐานหลักการสื่อสารทางแสงมีลักษณะดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ลักษณะหลักการสื่อสารทางแสง

ที่มา: Steve (2005)

พื้นฐานหลักการสื่อสารทางแสง โดยด้านส่ง (Transmitter) จะทำหน้าที่เปลี่ยนจากสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณแสง (Electrical to Optical Conversion) จากนั้นส่งผ่านช่องสัญญาณ เช่น ผ่านทางเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) หรือผ่านตัวกลางอากาศ (Free Space) และเมื่อแสงเดินทางถึงด้านรับ ด้านรับก็จะทำหน้าที่เปลี่ยนจากสัญญาณแสงกลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า (Optical-Electrical Conversion) และนำไปผ่านขบวนการทางสัญญาณไฟฟ้าต่อไป

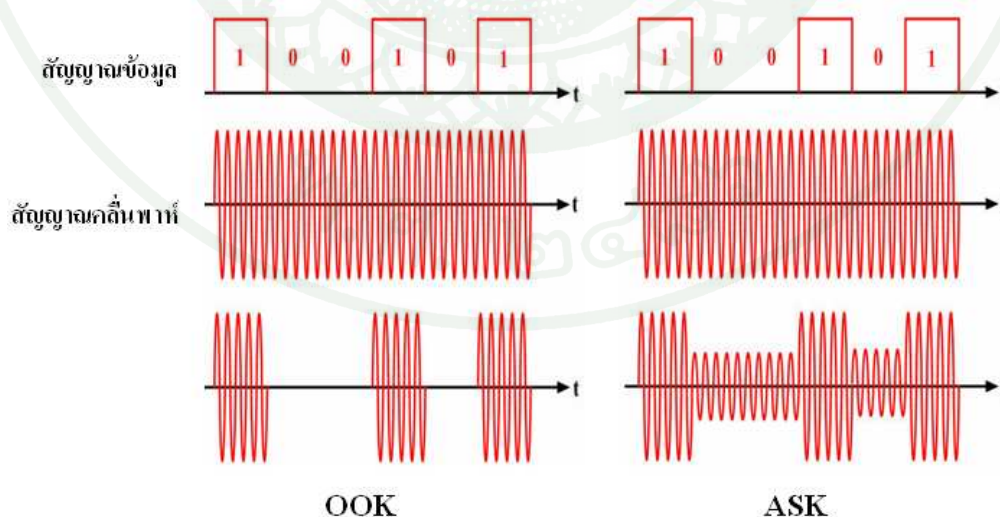
วิธีการกล้ำสัญญาณแสง (Light Modulation Technique)

กระบวนการส่งสัญญาณข่าวสารเพื่อส่งผ่านตัวกลางหรือช่องสัญญาณต่างๆในระบบสื่อสารโทรคมนาคมเราเรียกว่า การกล้ำสัญญาณ (Modulation) ซึ่งมีหลายวิธีการ ยกตัวอย่างเช่น การกล้ำทางแอมพลิจูด (Amplitude Modulation) การกล้ำทางเฟส (Phase Modulation) และการกล้ำทางความถี่ (Frequency Modulation) แต่เนื่องจากในปัจจุบันการกำเนิดคลื่นแสงยังไม่สามารถกำเนิดคลื่นแสงที่เป็นแสงชนิดอาพันธ์ (Coherence Light) ซึ่งเป็นแสงที่มีค่าความถี่เพียงความถี่เดียวได้ ด้วยเหตุนี้จึงยังไม่สามารถที่จะกล้ำสัญญาณข่าวสารเข้ากับสัญญาณแสงในลักษณะการผสมทางความถี่ (Frequency Modulation) หรือทางเฟสได้ (Phase Modulation) ดังนั้น

โดยส่วนใหญ่จึงใช้วิธีการกล้ำสัญญาณทางความเข้ม (Intensity Modulation) ซึ่งการกล้ำสัญญาณด้วยวิธีนี้จะไม่เกิดแถบความถี่ข้างเคียง (Upper Sidebands and Lower Sidebands) พลังงานแสงที่ส่งออกไปจะเป็นพลังงานรวมของทุกความถี่ ทางด้านตัวรับจะตรวจจับสัญญาณด้วยการใช้วิธีที่เรียกว่า Direct Detection Technique

การกล้ำสัญญาณทางความเข้ม (Intensity Modulation) คือการที่ทำให้ความเข้มหรือความสว่างของแสงเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของสัญญาณข่าวสารที่เข้ามา เป็นลักษณะการกล้ำสัญญาณในลักษณะเดียวกันกับการกล้ำสัญญาณทางแอมพลิจูด (Amplitude Modulation: AM) ตัวอย่างหนึ่งที่ใช้ในการกล้ำสัญญาณแสงเช่น การกล้ำสัญญาณแบบแอมพลิจูดแบบเปิดปิด (On-Off Keying: OOK)

ON Off Keying (OOK) เป็นวิธีการกล้ำสัญญาณ (Modulation) ชนิดหนึ่งของ Amplitude Shift Keying: ASK แต่ทั้งนี้วิธี OOK จะแตกต่างไปจากวิธี ASK เล็กน้อย คือวิธีของ OOK จะไม่มีการส่งพลังงานออกไปในทุกบิตของข้อมูล แต่จะส่งพลังงานเฉพาะบิตที่เป็น “1” หรือ “0” อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ผลทำให้วิธีการการกล้ำสัญญาณแบบ OOK เป็นวิธีการกล้ำสัญญาณที่ง่าย ไม่สลับซับซ้อนและช่วยให้ประหยัดการส่งพลังงาน แต่มีข้อด้อยคือมีโอกาสถูกรบกวนได้ง่าย ลักษณะความแตกต่างของการกล้ำสัญญาณแบบ OOK และแบบ ASK ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ลักษณะการกล้ำสัญญาณแบบ OOK และแบบ ASK

1.4 ศึกษาคุณสมบัติอุปกรณ์กำเนิดแสง (Light Source)

อุปกรณ์กำเนิดแสง (Light Source) ที่ใช้ในงานด้านสื่อสารโทรคมนาคม มี 2 ชนิด หลักๆ คือ ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode: LED) และ Laser Diode

ไดโอดเปล่งแสง (LED) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ จัดอยู่ในจำพวกอุปกรณ์ไดโอด สามารถเปล่งแสงเมื่อถูกไบอัสทางไฟฟ้าในทิศทางไปข้างหน้า (Forward Bias) สีของแสงที่เปล่งออกมาจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุกึ่งตัวนำที่นำมาใช้ผลิต LED สามารถเปล่งแสงได้ในช่วงอัลตราไวโอเลต ช่วงแสงที่มองเห็น และช่วงอินฟราเรด ผู้พัฒนา LED ขึ้นเป็นคนแรกคือ นิก โฮโลนยัค (Nick Holonyak Jr.) แห่งบริษัทเจเนรัล อิเล็กทริก (General Electric Company) โดยได้พัฒนาไดโอดเปล่งแสงในช่วงแสงที่มองเห็น และสามารถใช้งานในเชิงปฏิบัติได้เป็นครั้งแรก เมื่อ ค.ศ. 1962 กำลังความเข้มแสงของ LED จะแปรผันตรงกับกระแสไหลผ่านในตัว LED โดยจะอยู่ในลักษณะเป็นเชิงเส้น (Linear) เมื่ออยู่ในช่วงค่ากลางๆ แต่หากมีกระแสไหลผ่านน้อยเกินไปหรือสูงเกินไป จะทำให้กำลังของแสง (Optical Power) จะอยู่ในช่วงไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear) โดยจะสังเกตได้ว่าหากอยู่ในช่วงที่กระแสไหลผ่านมากเกินไป ซึ่ง ณ ช่วงนี้แม้ว่าจะเพิ่มกระแสขึ้นไปอีกแต่ความสว่างกลับไม่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการเพิ่มของกระแส นอกจากนี้ความสว่างของหลอด LED จะเปลี่ยนแปลงไปตามพารามิเตอร์บางตัว เช่นเมื่อเรากำหนดให้กระแสไหลเข้า LED มีค่าคงที่ แต่แสงที่เปล่งออกมาก็จะแปรเปลี่ยนตามพารามิเตอร์อื่นด้วย เช่นค่าของอุณหภูมิ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นประสิทธิภาพของการให้กำลังแสงของ LED จะลดลงประมาณ 0.5 % เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส ข้อดีของ LED คือ ใช้งานง่าย มีราคาถูก อายุการใช้งานยาวนาน และมีผลต่ออุณหภูมิน้อยกว่า ข้อเสียของ LED คือ รองรับการใช้งานที่ความถี่สูงได้ไม่ดี บีบอัดแสงกว้างทำให้แสงเดินทางได้ไม่ไกล (Wikipedia, 2010a)

LASER ย่อมาจากคำว่า Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation ได้ถูกค้นคว้าวิจัยขึ้นเป็นครั้งแรกเมื่อเดือนพฤษภาคม ปี 1960 โดย ทีโอดอร์ ไมแมน (Theodore Maiman) ที่สถาบันวิจัย ฮิวจ์ (Hughes Research Laboratories) LASER เป็นอุปกรณ์ที่กำเนิดลำแสงที่มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างไปจากการกำเนิดแสงโดยทั่วไป LASER เป็นเทคโนโลยีที่รวมกันระหว่างกลศาสตร์ควอนตัมกับอุณหพลศาสตร์ พลังงานแสงเลเซอร์มีคุณสมบัติที่หลากหลาย ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการออกแบบ LASER ส่วนมากจะเป็นลำแสงที่มีขนาดเล็ก มีการเบี่ยงเบนน้อย (Low-divergence beam) และสามารถระบุนความยาวคลื่นได้ง่าย ทุกวันนี้ LASER กลายเป็นอุปกรณ์ที่มีใช้งานกันอย่างแพร่หลาย อย่างเช่น ในเครื่องเล่นวีซีดี (VCD Player)

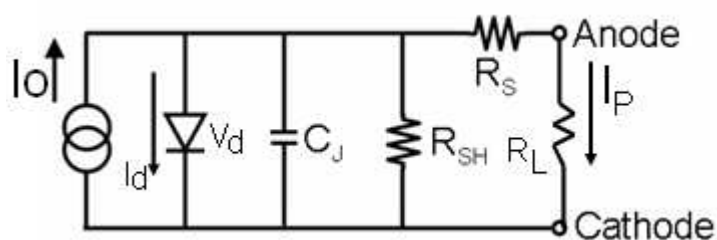
และเครื่องเล่น ดีวีดี (DVD Player) เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Barcode Scanner) อุปกรณ์ตัดโลหะด้วย เลเซอร์ รวมถึงงานทางด้านด้านวิทยาศาสตร์ ด้านอุตสาหกรรม ด้านการแพทย์ หรือแม้กระทั่งด้านการทหาร สำหรับในงานระบบสื่อสารโทรคมนาคมแบบดิจิทัล (Digital Communication) การปล่อยกระแสเข้าไปในตัวอุปกรณ์ Laser จะกำหนดให้สัญญาณแสงด้าน Output มี 2 ระดับ โดยอาจจะกำหนดค่ากระแสให้เป็นช่วง Threshold ค่าหนึ่งในขณะข้อมูลเป็น "0" และ กำหนดให้เป็นค่ากระแส ในช่วง Saturate ในขณะข้อมูลเป็น "1" ข้อดีของ LASER คือ สามารถรองรับการใช้งานที่ความถี่สูงได้ บีมลำแสงแคบ แสงเดินทางไปได้ไกล แต่มีข้อเสียคือ ยุ่งยากต่อการใช้งาน กำลังแสงมีผลกระทบต่ออุณหภูมิ และมีราคาแพง (wikipedia, 2010b)

1.5 ศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแสง (Photo Detector)

Photo Detector คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจจับสัญญาณแสง ซึ่งมันจะทำหน้าที่เปลี่ยนจากสัญญาณแสงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อุปกรณ์เซนเซอร์แสง (Light Sensor) Photo Detector มีหลายชนิดยกตัวอย่างเช่น ตัวต้านทานไวแสง (Light Dependent Resistors: LDR) โฟโตเซลล์ (Photo Cell) โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) ตัวตรวจจับแสงทวีคูณแบบหลอดสูญญากาศ (Photomultiplier tubes: PMT) และ โฟโตไดโอด (Photodiode) เป็นต้น

แม้ว่า Phototransistor และ Photodarlington จะมีอัตราขยายที่สูงกว่า PIN Photodiode แต่การตอบสนองความถี่ใช้งานได้ประมาณเพียง 150 kHz และมีสัญญาณรบกวนสูง ทั้งนี้โดยส่วนใหญ่อุปกรณ์รับแสงที่ถูกใช้งานในด้านสื่อสารโทรคมนาคมจะเป็นชนิดพินโฟโตไดโอด (PIN Photodiode) และอะวาลันซ์โฟโตไดโอด (Avalanche Photodiode: APD)

โฟโตไดโอด (Photodiode) จัดเป็นอุปกรณ์ประเภทไดโอด ซึ่งประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด N-Type และ P-Type แบ่งตามโครงสร้างออกเป็นชนิดต่างๆ เช่น พีเอ็นจังก์ชันโฟโตไดโอด (PN Junction Photodiode) พินโฟโตไดโอด (PIN Photodiode) และ อะวาลันซ์โฟโตไดโอด (Avalanche Photodiode) อุปกรณ์เหล่านี้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแสงที่ตอบสนองต่อการใช้งานที่ความถี่สูงได้ดี ซึ่งเหมาะแก่การใช้งานในด้านระบบสื่อสารโทรคมนาคม



ภาพที่ 13 วงจรเทียบเท่าของโฟโตไดโอด

$$I_p = I_o - I_d \quad (4)$$

$$I_p = I_o - I_s (e^{qv_d/kT} - 1) \quad (5)$$

เมื่อ k เป็นค่าคงที่ของ BOLTZMANN มีค่าเท่ากับ 1.381×10^{-23} Ws/K

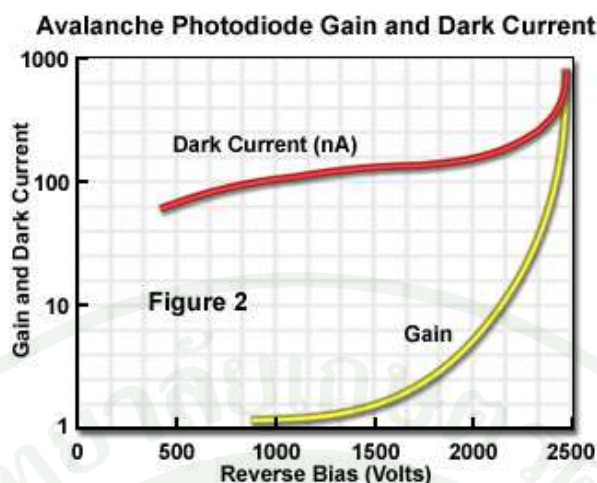
T อุณหภูมิ (Absolute Temperature) มีค่าประมาณ 300K (เคลวิน) ที่อุณหภูมิห้อง

v_d เป็น Junction Voltage มีหน่วยเป็นโวลต์

I_s เป็น Reverse Saturation Current มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Mark, 2003)

พินโฟโตไดโอด (PIN Photodiode) เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแสงที่มีชั้นสารกึ่งตัวนำ intrinsic กั้นอยู่ระหว่างสารชนิดพี (P) และเอ็น (N) ทำให้มีผลช่วยลดค่าประจุแฝง (Parasitic Capacitance) ระหว่างรอยต่อพีและเอ็น จึงทำให้พินโฟโตไดโอดสามารถตอบสนองต่อความถี่สูงได้ดีขึ้นมากกว่าชนิด PN Junction Photodiode

อะวาลานช์โฟโตไดโอด (Avalanche Photodiode: AVD) เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแสงที่มีอัตราการขยายแสงในตัวเองสูงกว่าชนิด PIN Photodiode แต่ในการใช้งานมันต้องการแรงดันไฟฟ้า Revers Bias ที่มีค่าสูงตั้งแต่ 10 โวลต์จนถึง 2,000 โวลต์ ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายแสงและแรงดันไฟฟ้า Revers Bias ดังแสดงในภาพที่ 14 (Wikipedia, 2010c)



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่าง Gain, Reverse Bias และ Dark Current ของ Avalanche Photodiode

ที่มา: Olympus America Inc. (2009)

ความแตกต่างระหว่าง Avalanche Photodiode (APD) กับ PIN Photodiode คือ APD จะมีอัตราเกณฑ์การขยายภายในตัวเองสูงกว่า PIN Photodiode จึงทำให้มีความไว (Sensitivity) การรับแสงสูง แต่ APD มีราคาแพงกว่า 5 ถึง 10 เท่า และต้องการแรงดัน Reverse Bias Voltage ที่ค่าสูงหลายร้อยโวลต์ ในขณะที่ PIN Photodiode ต้องการต่ำเพียง 10-50 โวลต์

ตัวอย่างคุณสมบัติต่างๆของ Photodiode ที่จะใช้เป็นตัวเลือกให้ตรงกับวัตถุประสงค์การใช้งาน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

Responsivity เป็นตัวเลขบ่งบอกถึงอัตราส่วนระหว่างจำนวนกระแสที่เกิดขึ้นต่อพลังงานแสงที่ตกกระทบบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้สร้างและความยาวคลื่นที่ตกกระทบบ

Capacitance เป็นค่าเก็บประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในรอยต่อของสารพี (P) และเอ็น (N) ของตัว Photodiode ทั้งนี้สามารถลดค่านี้ลงได้โดยการป้อนแรงดัน Reverse Bias Voltage

Rise Time คือช่วงระยะเวลาที่ตัวโฟโตไดโอดสร้างกระแสได้ตั้งแต่ 10% จนถึง 90 % ของระดับกระแสสูงสุด ทั้งนี้สามารถวัดระยะเวลาของ Rise Time นี้ได้โดยการป้อนแรงดัน Reverse Bias Voltage

Dark Current คือค่ากระแสรั่วไหลในขณะที่ไม่มีความเข้มแสงเข้ามาตกกระทบบน ซึ่งจะเกิดขึ้นในโหมดการใช้งานแบบ Photoconductive Mode หรือเมื่อมีแรงดัน Reverse Bias Voltage

1.6 ศึกษาคุณสมบัติวงจร Photodiode Preamplifier

Photodiode Preamplifier โดยทั่วไปจะมี 3 ลักษณะ คือ 1. Voltage Amplifier 2. High-impedance Integrating และ 3. Transimpedance Amplifier

1.6.1 Voltage Amplifier เป็นวงจรที่ออกแบบง่ายและราคาถูก แต่มีประสิทธิภาพต่ำ สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจะถูกสร้างขึ้นโดยใช้กระแสที่ได้จากตัวโฟโตไดโอดและนำไปไหลผ่านตัวต้านทานไฟฟ้า จากนั้นขยายสัญญาณต่อด้วยวงจรขยายแรงดัน มีลักษณะดังภาพที่ 15 ข้อจำกัดของวงจรขยายชนิดนี้คือหากต้องการให้วงจรมีอัตราเกนต่อการขยายสูงขึ้นจะต้องเพิ่มค่าความต้านทาน R_L ดังสมการที่ 6 ซึ่งเป็นผลทำให้วงจรมีค่าตอบสนองความถี่ที่ต่ำลง ดังสมการที่ 7

$$V_o = I_p \times R_L \quad (6)$$

เมื่อ I_p คือกระแสไฟฟ้าที่ถูกสร้างจากโฟโตไดโอด มีหน่วยเป็นแอมแปร์

R_L คือค่าความต้านทานโหลด มีหน่วยเป็นโอห์ม

ผลการตอบสนองต่อสัญญาณความถี่ดังสมการ ที่ 7

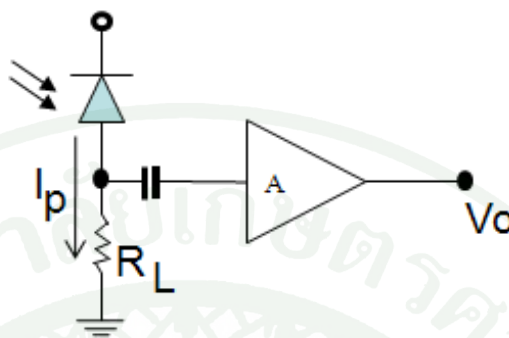
$$BW = \frac{1}{2\pi R_L C_p} \quad (7)$$

เมื่อ BW คือผลตอบสนองต่อความถี่ มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)

R_L คือ ค่าความต้านทานโหลด มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

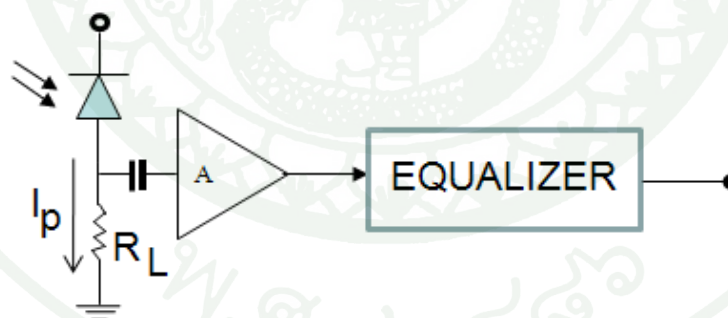
C_p คือ ค่าความจุแฝงในตัวโฟโตไดโอด มีหน่วยเป็นฟารัด (F)

(Mark, 2003)



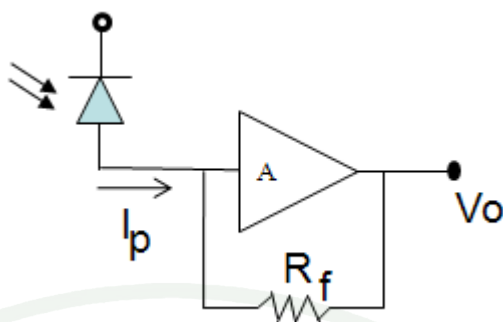
ภาพที่ 15 Photodiode Preamplifier ชนิด Voltage Amplifier

1.6.2 High-impedance Integrating วงจรมีลักษณะคล้ายกับชนิด Voltage Amplifier แต่แก้ปัญหาเรื่องมีแบนด์วิดท์ต่ำด้วยการเพิ่มวงจรชดเชยความถี่ในภาคขยายที่อยู่ถัดไป ข้อดีคือมีสัญญาณรบกวนต่ำ ข้อเสียคือมีค่า Dynamic Range ต่ำกว่าชนิดอื่น มักถูกใช้สำหรับในกรณีต้องการรับส่งสัญญาณแบบจุดต่อจุดที่ความแรงสัญญาณคงที่ วงจรมีลักษณะดังภาพที่ 16

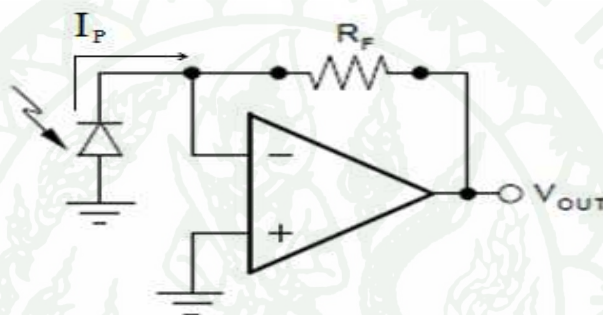


ภาพที่ 16 ลักษณะวงจร Photodiode Pre-amplifier ชนิด High Impedance Integrating

1.6.3 Transimpedance Amplifier เป็นวงจรที่ใช้การป้อนกลับเพื่อลดค่า Input Impedance ทำให้ตอบสนองต่อความถี่สูงได้ดีขึ้น และมีค่า Dynamic Range สูง เป็นวงจรที่นิยมใช้กันมากในภาควงจรรับแสง (Robert J.Hoss., Edward A.Iacy) ตัวอย่างลักษณะวงจรดังภาพที่ 17 และ 18



ภาพที่ 17 ลักษณะของ Photodiode Pre-amplifier แบบ Transimpedance



ภาพที่ 18 ตัวอย่างลักษณะของ Photodiode Pre-amplifier แบบ Transimpedance Amplifier โดยใช้ออฟแอมป์

ในกรณีใช้ออฟแอมป์เป็นวงจร Photodiode Pre-amplifier แบบ Transimpedance Amplifier ดังตัวอย่างในภาพที่ 18 ซึ่งจะมีขนาดของสัญญาณเอาต์พุตดังสมการที่ 8 (Mark, 2003)

$$V_o = I_p \times R_f \quad (8)$$

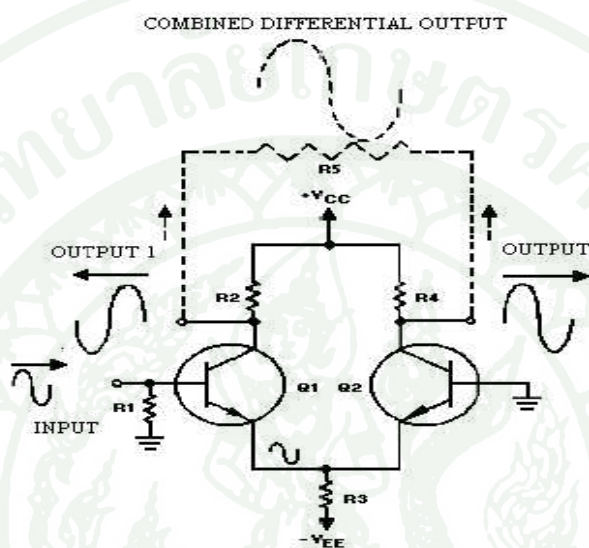
และมีแบนด์วิดท์ดังสมการที่ 9 และ 10

$$f_{bw} = \frac{A_{eff}}{f_{bw} 2\pi R_f C_P} \quad (9)$$

$$f_{bw} = \left(\frac{A_{eff}}{2\pi R_f C_P} \right)^{1/2} \quad (10)$$

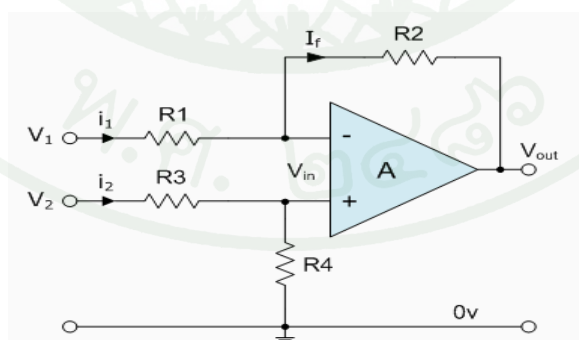
1.7 ศึกษาคุณสมบัติวงจรขยายสัญญาณแตกต่าง (Differential Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณความแตกต่างจะมีจุดเด่นในเรื่องของการมีสัญญาณรบกวนต่ำ มีอัตราขยายสัญญาณสูง ซึ่งมักจะถูกใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณในภาคแรก (Front end) ตัวอย่างลักษณะวงจรขยายสัญญาณชนิดดิฟเฟอเรนเชียลแสดงในภาพที่ 19 และ 20



ภาพที่ 19 ตัวอย่างลักษณะการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจร Differential Amplifier

ที่มา: Electronics Engineering Training Series (2010)



ภาพที่ 20 ตัวอย่างลักษณะการใช้โอพแอมป์เป็นวงจร Differential Amplifier

ที่มา: Electronis Tutorial (2010)

การคำนวณขนาดสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรในภาพที่ 20 ดังสมการที่ 11

$$V_{out} = -V_1 \frac{R_3}{R_1} + V_2 \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) \quad (11)$$

สำหรับกรณีที่ $R_1 = R_3$ และ $R_2 = R_4$ จะได้ขนาดสัญญาณเอาต์พุตดังสมการที่ 12

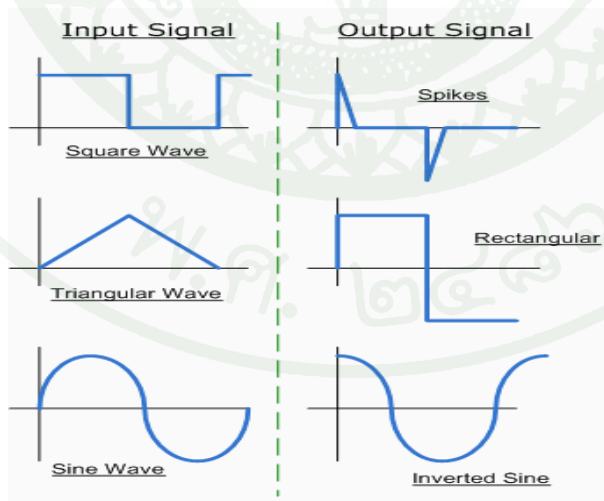
$$V_{out} = (V_2 - V_1) \frac{R_2}{R_1} \quad (12)$$

และในกรณีที่ $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ จะได้ขนาดสัญญาณเอาต์พุตดังสมการที่ 13

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \quad (13)$$

1.8 ศึกษาคุณสมบัติวงจรดิฟเฟอเรนเชียล (Differentiator)

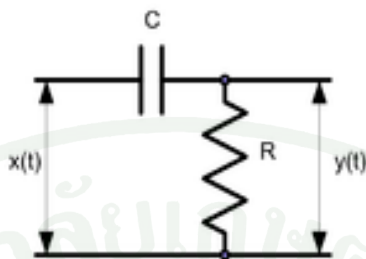
ดิฟเฟอเรนเชียลมีลักษณะเป็นวงจรกรองความถี่สูง มี 2 ชนิด คือพาสซีฟ และชนิดแอคทีฟ มีคุณสมบัติตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 การตอบสนองต่อรูปสัญญาณต่างๆของวงจรดิฟเฟอเรนเชียล

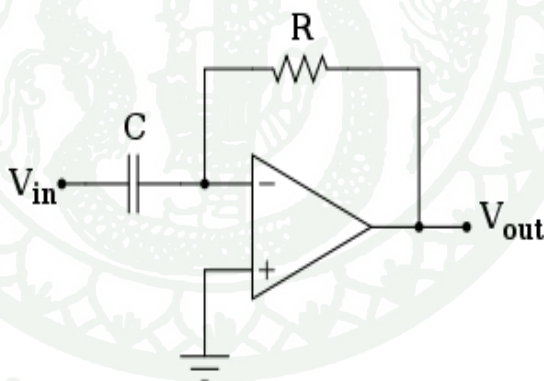
ที่มา: Electronis Tutorial (2010)

ดิฟเฟอเรนเชียลดิฟเฟอเรนเชียลพาสซีฟ (Passive Differentiator Circuit) เป็นวงจรที่สร้างมาจากอุปกรณ์พาสซีฟ อย่างเช่นตัวต้านทานไฟฟ้า ตัวเก็บประจุไฟฟ้า และตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า ตัวอย่างวงจรมีลักษณะในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ตัวอย่างวงจรดิฟเฟอเรนเชียลพาสซีฟ

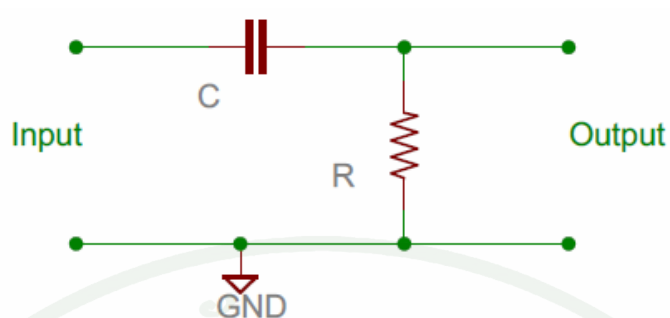
ดิฟเฟอเรนเชียลดิฟเฟอเรนเชียลแอคทีฟ (Active Differentiator Circuit) เป็นวงจรที่ถูกสร้างมาจากอุปกรณ์แอคทีฟอย่างเช่นทรานซิสเตอร์ (Transistor) เฟต (FET) และ ออฟแอมป์ (Op-Amp) เป็นต้น ตัวอย่างวงจรดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 ตัวอย่างวงจรดิฟเฟอเรนเชียลแอคทีฟ

1.9 ศึกษาคุณสมบัติวงจรการเชื่อมต่อแบบอาร์ซี (RC Coupling)

RC Coupling เป็นการส่งผ่านสัญญาณระหว่าง Stage ของวงจร โดยใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor) และตัวต้านทานไฟฟ้า (Resistor) ดังภาพที่ 24 การเลือกใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้า ให้เลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่า Capacitive reactance (X_c) น้อยกว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าอย่างน้อย 10 เท่า ($X_c \ll R$) จึงจะไม่เกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณที่ถูกส่งผ่าน



ภาพที่ 24 ตัวอย่างวงจร RC Coupling

ค่า X_c สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 14

$$X_c = \frac{1}{2\pi fc} \quad (14)$$

เมื่อ X_c คือ Capacitive Reactance หน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

f คือ ความถี่ของสัญญาณ หน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)

C คือ ค่าตัวเก็บประจุ (Capacitance) หน่วยเป็นฟารัด (F)

ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจร RC Coupling เป็นดังนี้

$$H(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (15)$$

$$H(j\omega) = \frac{ZR}{ZR + ZC} \quad (16)$$

$$H(j\omega) = \frac{R}{R + \frac{1}{j2\pi fc}} \quad (17)$$

$$H(j\omega) = \frac{R}{R + \frac{1}{j2\pi fc}} \cdot \frac{j2\pi fc}{j2\pi fc} \quad (18)$$

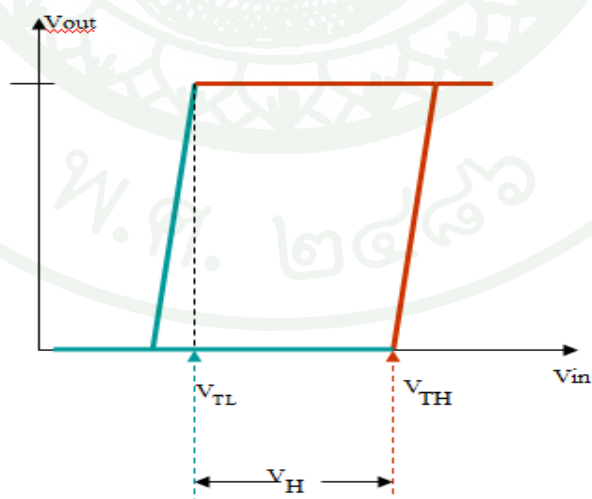
$$H(j\omega) = \frac{j2\pi Rfc}{j2\pi Rfc + 1} \quad (19)$$

1.10 ศึกษาคุณสมบัติวงจร Shcmitt trigger

วงจร Shcmitt trigger เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าชนิดหนึ่ง มีคุณสมบัติช่วยลดสัญญาณรบกวนในระบบ สัญญาณวัจรงดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 สัญลักษณ์วัจรง Shcmitt trigger



ภาพที่ 26 คุณสมบัติของวัจรง Schmitt trigger

วงจร Schmitt Trigger จะมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่เป็นจุดทริกเกอร์ 2 จุด ที่จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลง คือ Trigger Low (V_{TL}) และ Trigger High (V_{TH}) การที่สัญญาณเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อสัญญาณอินพุตเพิ่มและเมื่อสัญญาณอินพุตลดที่ต่างจุดกัน ซึ่งเรียกพฤติกรรมนี้ว่าฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) และค่าความกว้างของฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Width : V_H) คำนวณได้จากสมการที่ 20

$$V_H = V_{TH} - V_{TL} \text{ โวลต์} \quad (20)$$

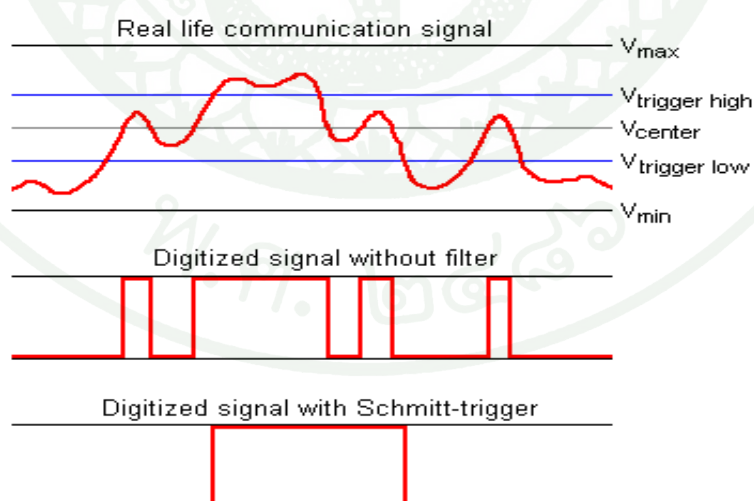
เมื่อ

$$V_H = \text{Hysteresis Width}$$

$$V_{TL} = \text{Trigger Low}$$

$$V_{TH} = \text{Trigger High}$$

จากคุณสมบัติของวงจร Schmitt Trigger ที่มีจุดทริกเกอร์ 2 จุดมีค่าต่างกันนี้ ทำให้การเปลี่ยนแปลงทางด้านเอาต์พุตจะมีสถานะเสถียรมากขึ้น และทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดีขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 27

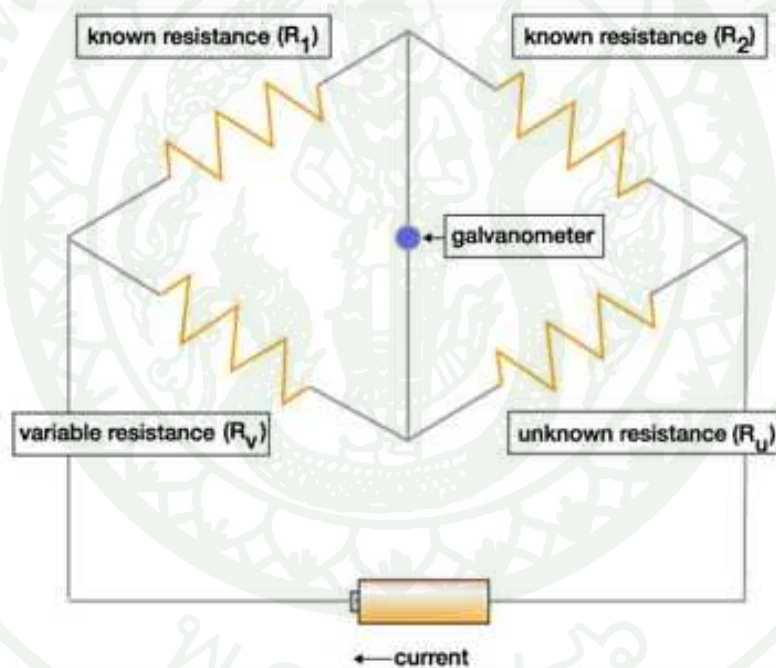


ภาพที่ 27 รูปสัญญาณไฟฟ้าที่ผ่านวงจร Schmitt Trigger

ที่มา: Lammert Bies (2010)

1.11 ศึกษาคุณสมบัติวงจร Wheatstone Bridge

Wheatstone Bridge เป็นวงจรเปรียบเทียบค่าความต้านทานไฟฟ้าที่แม่นยำ คิดค้นโดย Samuel Hunter Christie ในปี 1833 และต่อมาได้ปรับปรุงจนมีการใช้งานอย่างแพร่หลายโดย Charles Wheatstone ในปี 1843 วงจร Wheatstone Bridge จะถูกใช้งานใน 2 ลักษณะ คือ ใช้ตรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ไม่ทราบค่า และ ใช้ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) วงจร Wheatstone Bridge มีลักษณะดังภาพที่ 28 กล่าวคือหากวงจรอยู่ในสภาวะสมดุลคือเมื่อ $R_1/R_2 = R_v/R_u$ หรือ $R_1 \cdot R_u = R_2 \cdot R_v$ ผลก็คือจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ (Galvanometer) ซึ่ง ณ จุดนี้ทำให้ทราบค่าความต้านทานไฟฟ้าตัวที่ไม่ทราบค่าที่อยู่ในวงจร Wheatstone Bridge ได้



ภาพที่ 28 ลักษณะวงจร Wheatstone Bridge

ที่มา: AnaesthesiaUK (2010)

2. กำหนดภาพรวมโครงการและจำนวนชิ้นงานที่จะออกแบบสร้าง

หลังจากที่ได้ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องต่อการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์ อย่างเช่นการศึกษาวิธีการสื่อสารสัญญาณของอุปกรณ์ในเครือข่ายอีเทอร์เน็ตบนมาตรฐาน 10Base-T และ หลักการสื่อสารทางแสง จากนั้นจึงได้กำหนดภาพรวมโครงการและจำนวนชิ้นงานที่จะออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลผ่านลำคลื่นแสงแบบจุดต่อจุด (Point to Point) เพื่อนำมาใช้เป็นทางเลือกหรือทดแทนการใช้คลื่นวิทยุ หรือการใช้สาย Unshielded Twisted Pair (UTP) ซึ่งจะมีจำนวนชิ้นงานที่จะต้องออกแบบสร้างเป็นจำนวนทั้งหมด 10 ชิ้น ดังแสดงในภาพที่ 29 โดยมีรายละเอียดดังนี้

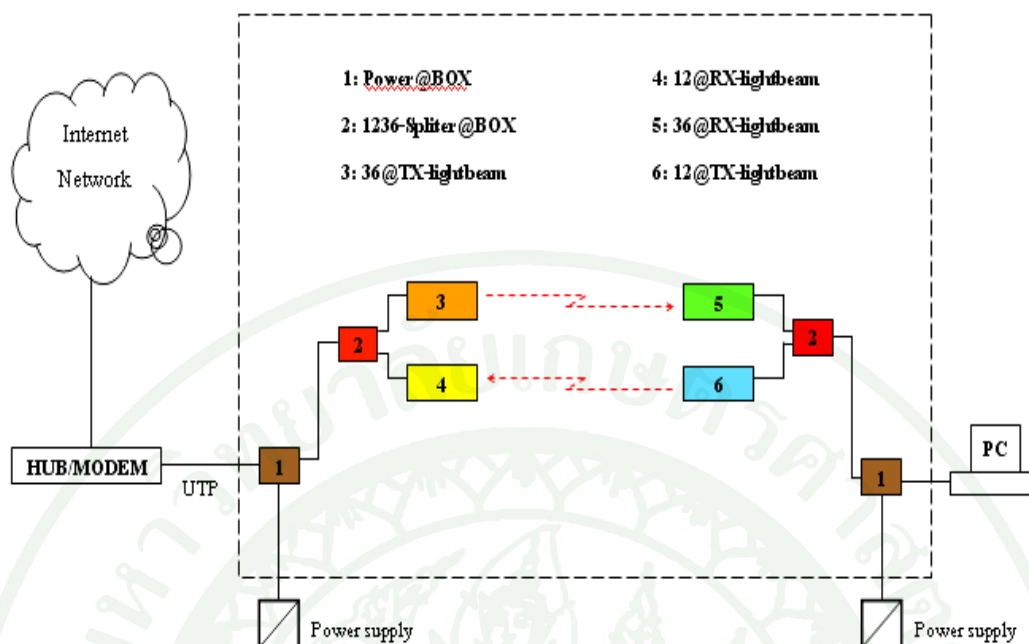
2.1 ชุดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Power Supply) ขนาด 21 โวลต์ จำนวน 2 ชิ้น

2.2 ชุดวงจรสำหรับป้อนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ชุดรับและชุดส่งสัญญาณแสง จำนวน 2 ชิ้น โดยตั้งชื่อชิ้นงานว่า "Power@BOX"

2.3 ชุดวงจรแยกสัญญาณระหว่างคู่สายสัญญาณ Downlink และ Uplink จำนวน 2 ชิ้น โดยตั้งชื่อชิ้นงานว่า "1236-Splitter@BOX"

2.4 ชุดอุปกรณ์ส่งสัญญาณแสง จำนวน 2 ชิ้น โดยตั้งชื่อชิ้นงานว่า "12@TX-Lightbeam" และ "36@TX-Lightbeam"

2.5 ชุดอุปกรณ์รับสัญญาณแสง จำนวน 2 ชิ้น โดยตั้งชื่อชิ้นงานว่า "12@RX-Lightbeam" และ "36@RX-Lightbeam"



ภาพที่ 29 ภาพรวมของโครงการและจำนวนชิ้นงานที่จะออกแบบสร้าง

3. ออกแบบชิ้นงาน

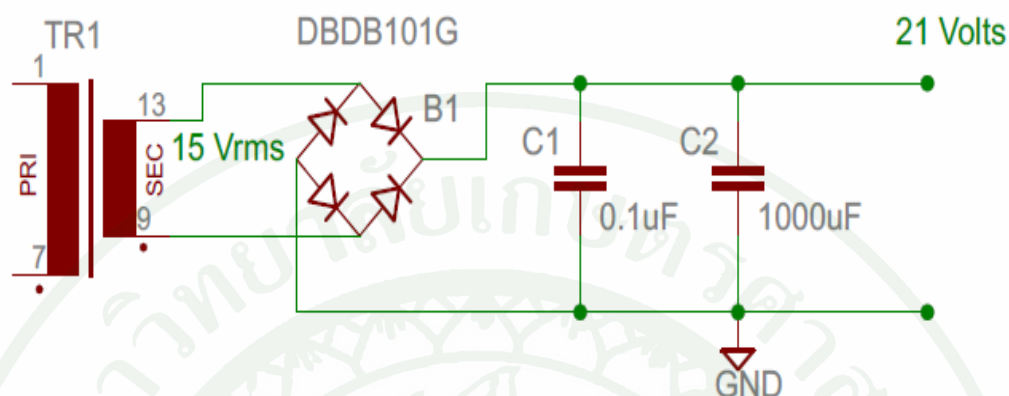
หลังจากได้กำหนดภาพรวมของโครงการและจำนวนชิ้นอุปกรณ์ที่จะออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์รับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสง ต่อไปจะได้ดำเนินการออกแบบสร้างชิ้นงานดังกล่าวข้างต้น ดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบภาควจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Power Supply)

ภาคแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่จะทำหน้าที่จะจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ขนาดประมาณ 21 โวลต์ดีซี และจ่ายกระแสให้แก่โหลดได้อย่างต่ำที่ประมาณ 800 มิลลิแอมแปร์ (mA)

วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Power Supply) ที่สามารถสร้างเองได้ง่ายและมีราคาถูก ยกตัวอย่างเช่นวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแบบฮาร์ฟเวฟเรกติไฟเออร์ (Half-Wave Rectifier) ฟูลเวฟเรกติไฟเออร์ (Full-Wave Rectifier) และบริดจ์เรกติไฟเออร์ (Bridge Rectifier) เป็นต้น สำหรับการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการได้เลือกใช่วงจรแปลงกระแสชนิด บริดจ์เรกติไฟเออร์ โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Primary) 220 โวลต์อาร์เอ็มเอส (RMS) และแรงดันด้านขาออก (Secondary) ที่ 15 โวลต์อาร์เอ็มเอส (RMS) ต่อ

ผ่านเข้าไดโอดบริดจ์เรกติไฟเออร์ และกรองแรงดันไฟฟ้าด้วยตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor) ขนาด 1,000 ไมโครฟารัด และ 0.1 ไมโครฟารัด โดยมีลักษณะการต่อวงจรดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 ภาพวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Voltage Power Supply Circuit)

การคำนวณแรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์เรกติไฟเออร์ ได้ดังนี้

$$V_{out} = V_{rms} \sqrt{2} \text{ โวลต์} \quad (21)$$

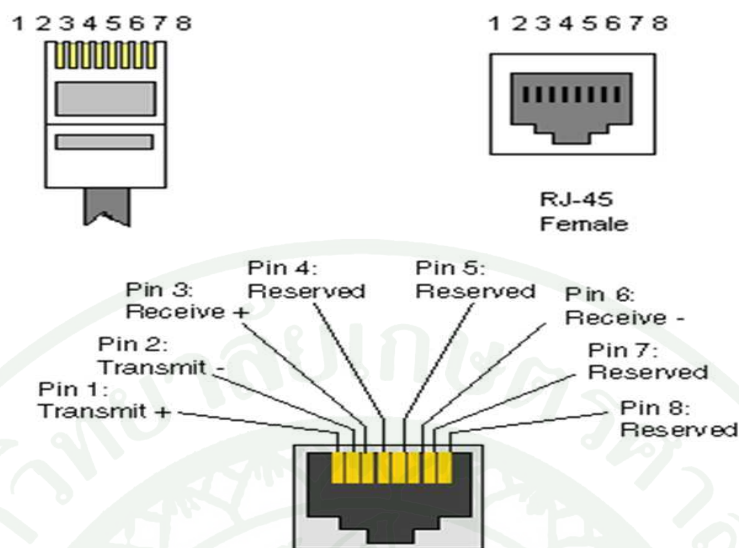
$$V_{out} = 15 * \sqrt{2} \text{ โวลต์} \quad (22)$$

$$V_{out} = 21.21 \text{ โวลต์} \quad (23)$$

3.2 การออกแบบวิธีการป้อนแรงดันไฟฟ้าไปยังชุดอุปกรณ์ผ่านทางสาย UTP

วิธีการส่งแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยังชุดอุปกรณ์รับและส่งสัญญาณแสงโดยการส่งไปตามสายส่ง Unshielded Twisted Pair (UTP)

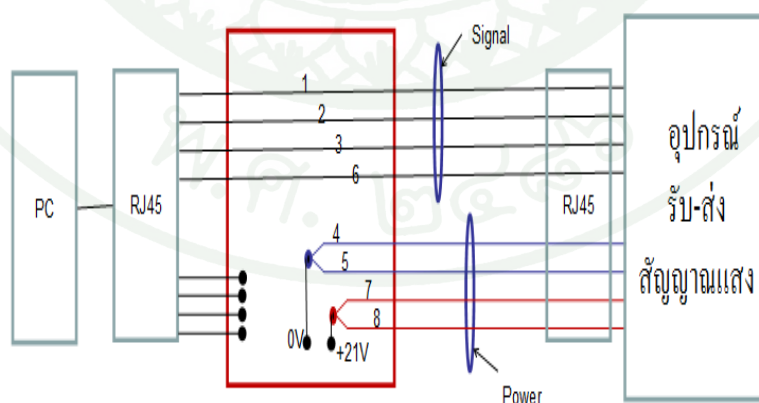
เนื่องจากสายนำสัญญาณโดยทั่วไปของมาตรฐาน 10Base-T จะเป็นสายแบบตีเกลียวชนิด UTP และปลายสายจะต่อผ่านคอนเน็คเตอร์ชนิด RJ45 ซึ่งจะมีจำนวนทั้งหมด 8 เส้น แต่ในจำนวนสาย UTP ทั้ง 8 เส้นนี้จะมีการใช้งานสำหรับสื่อสัญญาณเพียง 2 คู่ คือ คู่สายของเส้นที่ 1 กับ 2 และ คู่สายของเส้นที่ 3 กับ 6 ดังแสดงในภาพที่ 31



ภาพที่ 31 การเชื่อมต่อมาตรฐานของมาตรฐาน 10 Base-T ผ่านคอนเน็กเตอร์ RJ-45

ที่มา: Elec-intro.com (2009)

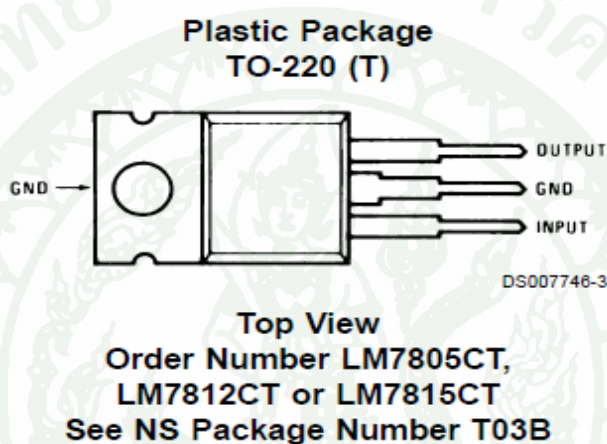
จากภาพที่ 31 จะมีคู่สายที่ไม่ได้ใช้งานจำนวน 2 คู่ คือคู่สายของเส้นที่ 4 กับ 5 และคู่สายของเส้นที่ 7 กับ 8 ดังนั้นจึงได้นำคู่สายที่ไม่ได้ใช้งาน มาใช้สำหรับส่งแรงดันแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปเลี้ยงวงจรชุดส่งและชุดรับแสง โดยมีลักษณะการต่อวงจรดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 ลักษณะการเชื่อมต่อสาย UTP สำหรับส่งแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยังชุดอุปกรณ์รับและส่งแสงไปตามสาย UTP

3.3 การออกแบบวงจรควบคุมแรงดันแหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power Supply Voltage Regulator)

เนื่องจากขนาดแรงดันแรงดันไฟฟ้าที่ส่งมาตามสาย UTP จะมีขนาดประมาณ 15 ถึง 21 โวลต์ดีซี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหลือเท่ากับที่อุปกรณ์ชุดรับและชุดส่งสัญญาณแสงต้องการ ซึ่งอยู่ที่ขนาดแรงดัน 12 โวลต์ และ 5 โวลต์ โดยได้เลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าตระกูล 78xx คือ 7812 และ 7805 ซึ่งมีจำนวนขาใช้งาน 3 โดยอุปกรณ์มีลักษณะรูปร่างดังภาพที่ 33

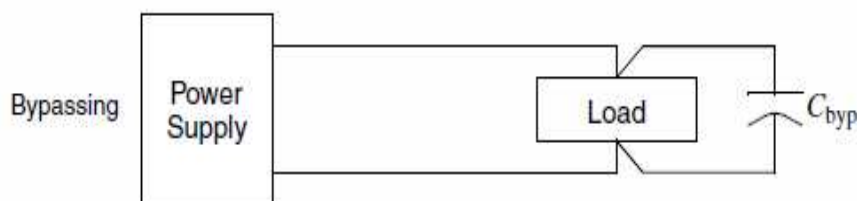


ภาพที่ 33 ลักษณะของไอซีควบคุมแรงดันไฟฟ้าตระกูล 78XX

ที่มา: National semicunductors (2000)

ทั้งนี้ในภาควงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้า ได้เพิ่มอุปกรณ์สำหรับช่วยลดสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นจากภาคแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า ซึ่งวิธีการลดสัญญาณรบกวนในวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ามี 2 วิธีคือ Bypassing และ Decoupling

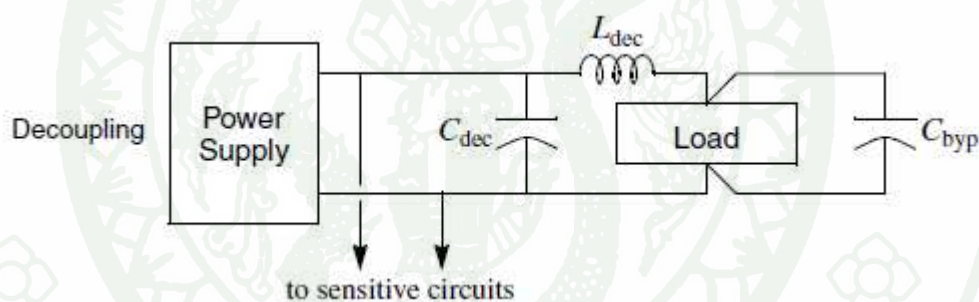
วิธีการ Bypassing เป็นการลดปริมาณกระแสรบกวนที่มีความถี่สูง โดยการวางตัวเก็บประจุ (Capacitor) คร่อมโหลด ดังลักษณะในรูปที่ 34



ภาพที่ 34 ลักษณะของวิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบ Bypassing

ที่มา: Ken (2004)

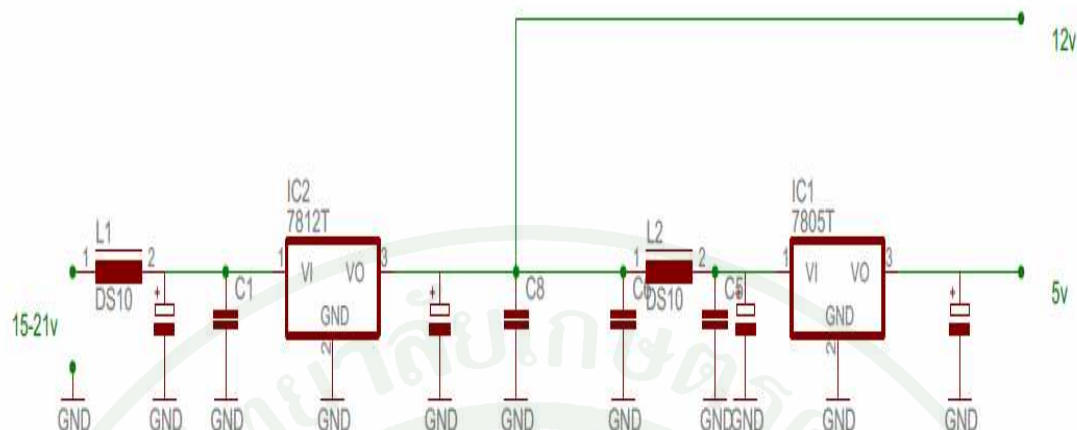
วิธีการ Decoupling ใช้หลักการแยกโหลดวงจรออกเป็นส่วนๆ โดยใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านกันระหว่างแต่ละโหลดวงจร เพื่อป้องกันการรบกวนความถี่สูงจากวงจรหนึ่งไปสู่อีกวงจรหนึ่ง มีลักษณะดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 ลักษณะของวิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบ Decoupling

ที่มา: Ken (2004)

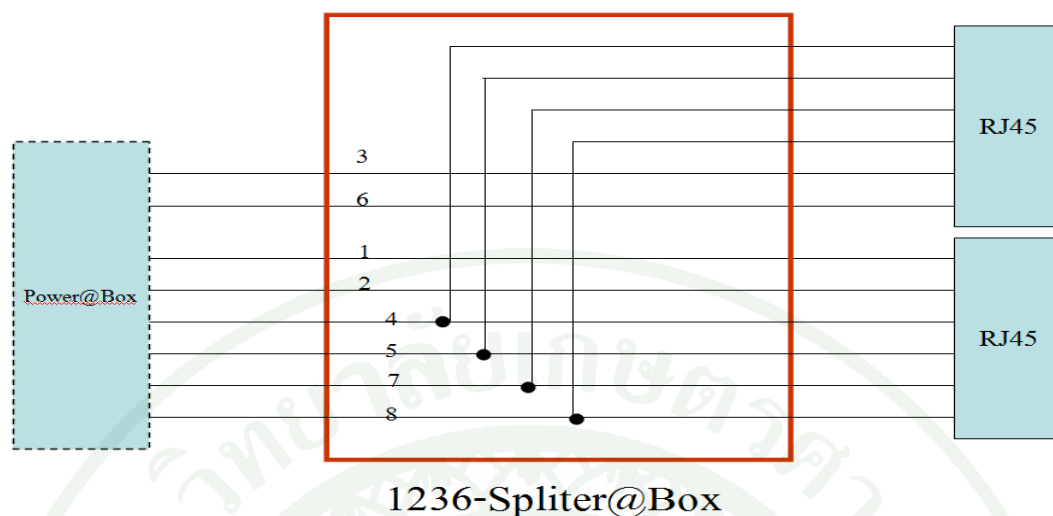
การออกแบบวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าในโครงการโดยการใช้ ไอซีเรกูเลเตอร์เบอร์ 7812 และ 7805 ซึ่งมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด ร่วมกับตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor) และขดลวดเหนี่ยวนำไฟฟ้าเพื่อทำหน้าที่ช่วยลดสัญญาณรบกวน โดยวงจรมีลักษณะดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 วงจรควบคุมแรงดันแหล่งจ่ายไฟฟ้า

3.4 การออกแบบวงจรแยกสายสัญญาณ Down link และ Up link (ชิ้นงาน 1236-Splitter@BOX)

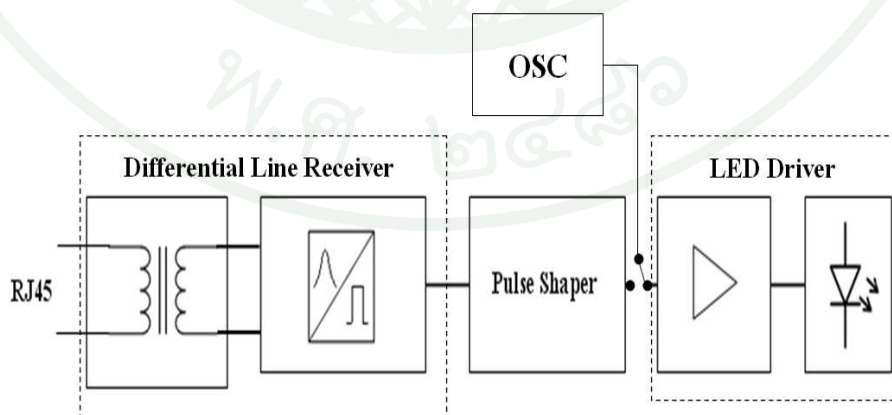
เพื่อแยกสายสัญญาณข้อมูลจากสาย UTP พร้อมกับเชื่อมต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยังชุดอุปกรณ์รับและส่งสัญญาณแสงให้ถูกต้อง ทั้งนี้การเชื่อมต่อสัญญาณของ 10Base-T ผ่านทางคอนเน็กเตอร์ชนิด RJ45 นั้น หากอุปกรณ์เป็นชนิด Data Circuit-termination Equipment (DCE) จะใช้สายที่ต่อมาจากขา 3 และขา 6 เป็นคู่สายสำหรับส่งข้อมูล และจะใช้สายที่ต่อมาจากขา 1 และขา 2 เป็นคู่สายสำหรับรับข้อมูล และในทางกลับกันหากอุปกรณ์เป็นชนิด Data Terminal Equipment (DTE) จะใช้สายที่ต่อกับขา 3 และขา 6 เป็นคู่สายสำหรับรับข้อมูล และจะใช้สายที่ต่อกับขา 1 และขา 2 เป็นคู่สายสำหรับส่งข้อมูล ดังนั้นสายสัญญาณที่เชื่อมต่อมาจากขา 3 และขา 6 จากอุปกรณ์ ADSL Router MODEM จะต้องถูกส่งต่อไปยังชุดอุปกรณ์ส่งสัญญาณแสงชุด 36TX-Beam Transmitter และ สายสัญญาณที่เชื่อมต่อมาจากขา 1 และขา 2 จะต้องถูกส่งต่อไปยังชุดอุปกรณ์รับสัญญาณแสงชุด 12RX-Beam Receiver และสำหรับในอีกด้านหนึ่ง สายสัญญาณที่เชื่อมต่อมาจากขา 3 และขา 6 จากเครื่องคอมพิวเตอร์ จะเชื่อมต่อต่อไปยังชุดอุปกรณ์รับสัญญาณแสงชุด 36RX-Beam Receiver และสายสัญญาณที่เชื่อมต่อมาจากขา 1 และขา 2 จะเชื่อมต่อต่อไปยังชุดอุปกรณ์ส่งสัญญาณแสงชุด 12TX-Beam Receiver โดยการออกแบบวงจรมีลักษณะดังภาพที่ 37 และได้กำหนดชื่อเรียกชิ้นงานนี้ว่า “1236-Splitter@Box”



ภาพที่ 37 การต่อวงจรแยกสายสัญญาณในกล่องชิ้นงาน 1236-Splitter@Box

3.5 การออกแบบภาคส่งสัญญาณแสง (ชิ้นงาน “36@TX-Lightbeam”)

ภาคส่งสัญญาณแสงจะทำหน้าที่เชื่อมต่อและแปลงสัญญาณชนิด Differential Signal จากสายส่ง UTP ไปเป็นสัญญาณชนิด TTL และจากนั้นจะแปลงจากสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณแสง ในการออกแบบได้แบ่งภาคส่งสัญญาณแสงออกเป็นภาควงจรต่างๆ 4 ส่วน คือ ภาควงจร Differential Line Receiver ภาควงจร Pulse Shaper ภาควงจรขับแอลอีดี (LED Driver) และ ภาควงจรกำเนิดความถี่สัญญาณพัลส์ (Pulse Oscillator) ดังแสดงในภาพที่ 38

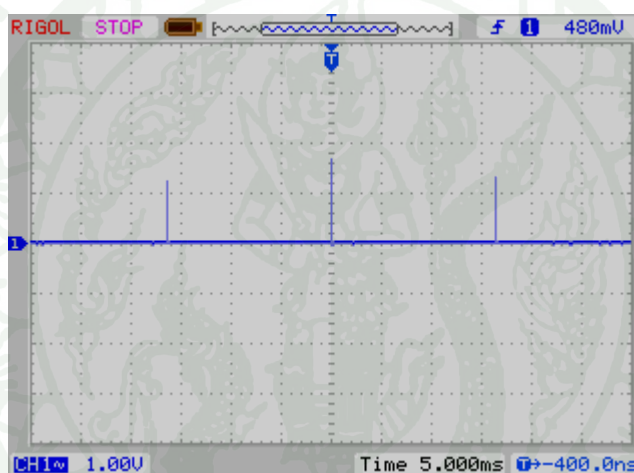


ภาพที่ 38 Transmitter Block Diagram

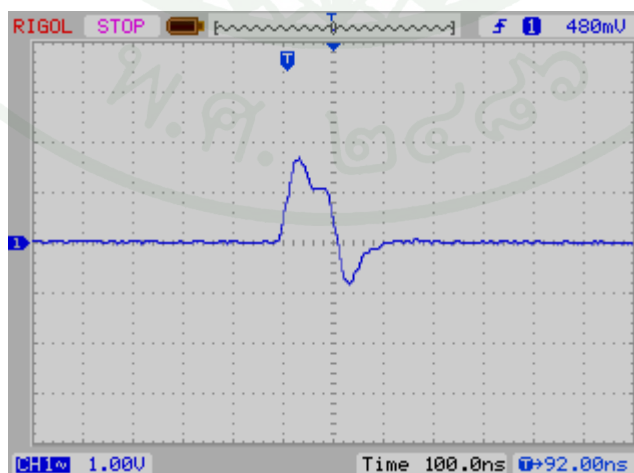
3.5.1 การออกแบบภาควงจร Differential Line Receiver

วงจร Differential Line Receiver ทำหน้าที่เชื่อมต่อและแปลงสัญญาณจากชนิด Differential Line Signal ที่ขนาดแรงดันประมาณ ± 1 โวลต์ ไปเป็นสัญญาณ ลอจิกพัลส์ หรือ สัญญาณ TTL ที่ขนาดแรงดันประมาณ 5 โวลต์ และ 0 โวลต์ เพื่อป้อนสัญญาณไปยังภาควงจร ถัดไป

จากผลการวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าบนสาย UTP ที่เชื่อมต่อเข้าวงจร Differential Line Receiver ด้วยเครื่องออสซิลอโคป (Oscilloscope) ซึ่งรูปสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้มี ลักษณะดังภาพที่ 39 ถึง 41

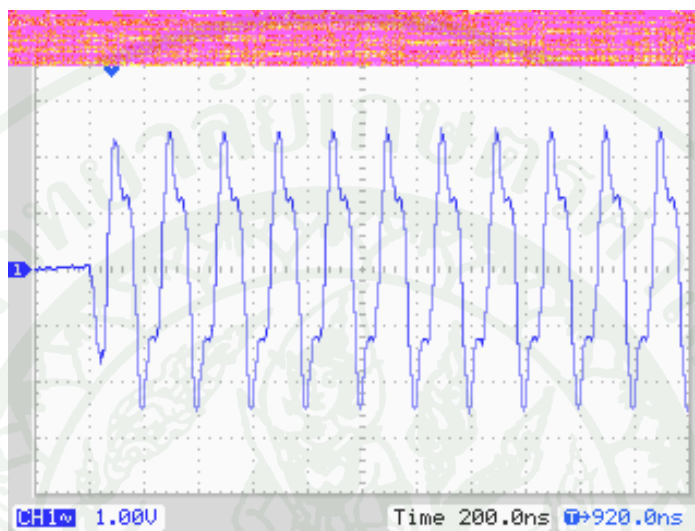


ภาพที่ 39 รูปสัญญาณ Normal Link Pulse (NLP) ขณะไม่มีการส่ง Ethernet Frame



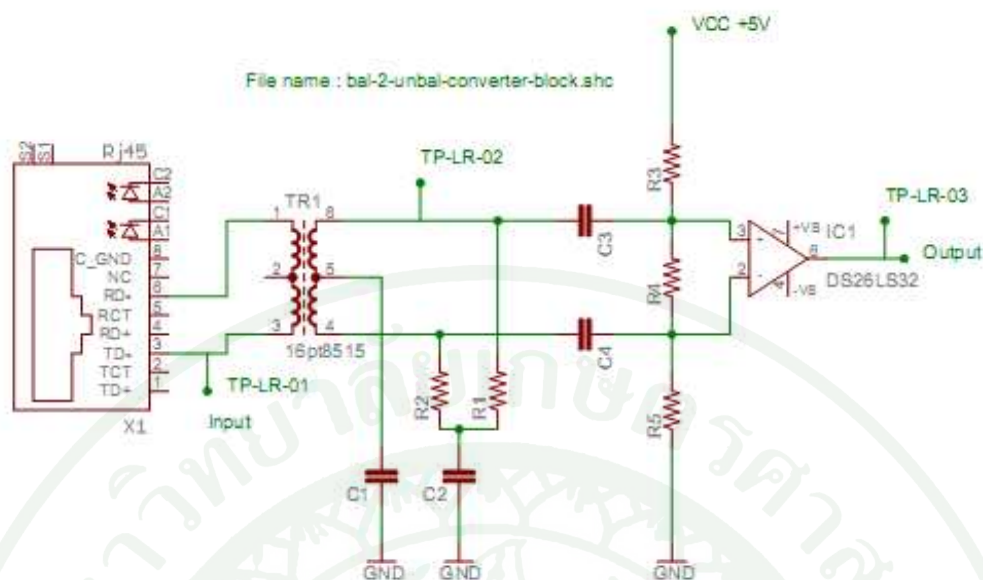
ภาพที่ 40 รูปสัญญาณไฟฟ้า Normal Link Pulse (NLP) เมื่อขยายทางแกนเวลา

จากภาพที่ 39 และ 40 จะเห็นว่า ในขณะที่ไม่มีการส่งข้อมูล อุปกรณ์ ADSL Router Modem จะส่งสัญญาณพัลส์ที่มีขนาดความกว้างประมาณ 100 นาโนวินาที ทุกๆ 16 มิลลิวินาที เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อของสายสัญญาณ และเมื่อมีการเริ่มส่งข้อมูล จะมีรูปร่างสัญญาณไฟฟ้าดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 รูปร่างสัญญาณไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้นของการส่งเฟรมข้อมูลอีเทอร์เน็ต

จากรูปสัญญาณไฟฟ้าในภาพ 41 เป็นรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ ADSL Modem รุ่น Gmesh GM-301 ที่ส่งมาตามสายส่ง UTP ซึ่งจะเป็นสัญญาณชนิด Polar Signal มีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ประมาณ ± 2.5 โวลต์ ซึ่งสัญญาณในลักษณะนี้ยังไม่สามารถที่จะนำไปขับภาควงจรขับแอลอีดี (LED Driver) ได้โดยตรง ดังนั้นจึงใช้อุปกรณ์ DS26LS32 ซึ่งเป็น Differential Line Receiver ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณจาก Polar Signal ที่ขนาด ± 2.5 โวลต์ ไปเป็นสัญญาณชนิด TTL ที่ประมาณ 0 โวลต์และ 5 โวลต์ โดยวงจร Differential Line Receiver ที่ได้ออกแบบมีลักษณะดังภาพที่ 42



ภาพที่ 42 วงจร Differential Line Receiver

เนื่องจากในกรณีที่ไม่มีสัญญาณใดๆเข้ามา สถานะที่ขา 3 (เอาต์พุต) ของ ไอซี DS26LS32 จะไม่อยู่ในสถานะเสถียร อาจจะแกว่งไปตามสัญญาณรบกวนได้ง่าย และทำให้ชุดอุปกรณ์ทำงานผิดพลาด ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงต้องกำหนดค่าความแตกต่างแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตของ DS26LS32 ที่ขา 2 ให้สูงกว่าที่ขา 1 ประมาณ 200 mV เพื่อให้สถานะของขา 3 (เอาต์พุต) มีสถานะเสถียรในช่วงขณะที่ไม่ได้รับสัญญาณข้อมูล (National Semiconductor, 1992)

การคำนวณค่าความต้านทาน R3, R4 และ R5 ในวงจร Differential Line Receiver ซึ่งจะเป็นตัวทำหน้าที่ป้องกันการเกิด Failsafe Biasing ได้ดังนี้

จากภาพที่ 42 และกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติมดังนี้

เมื่อใช้กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาดเท่ากับ 5 โวลต์

ต้องการแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน R4 เท่ากับ 200 mV

กำหนดให้ R_3 และ R_5 มีค่าเท่ากัน และกำหนดให้ R_4 มีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ของสาย UTP คือประมาณ 100 โอห์ม ดังนั้นจะได้สมการเป็น

$$\frac{5}{(R_3 + 100 + R_5)} \times R_4 = 0.2 \quad (24)$$

กำหนดให้ R_5 เท่ากับ R_3 จะได้สมการใหม่เป็น

$$\frac{5}{(2R_3 + 100)} \times 100 = 0.2 \quad (25)$$

$$500 = (2R_3 + 100)0.2 \quad (26)$$

$$(0.4R_3 + 20) = 500 \quad (27)$$

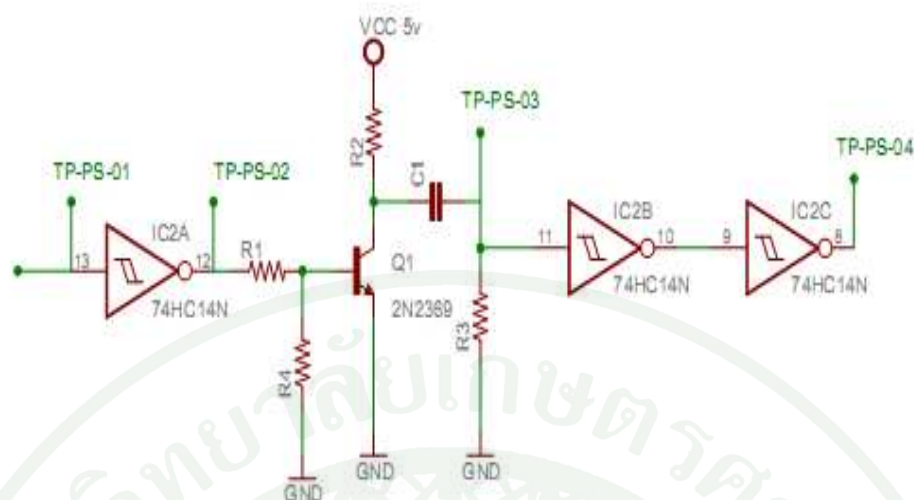
$$R_3 = \frac{480}{0.4} \quad (28)$$

จากสมการที่ 27 จะได้ค่า $R_3 = 1200$ โอห์ม

และจะได้ $\therefore R_5 = 1200$ โอห์ม

3.5.2 การออกแบบวงจร Pulse Shaper

เนื่องจากสัญญาณขาออก (Output) จากวงจร Differential Line Receiver นั้นจะมีความกว้างของพัลส์ในสถานะ High และ Low มีค่าต่างกันเล็กน้อย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ข้อมูลให้มีค่าใกล้เคียงกันก่อนที่จะส่งไปยังวงจรขับแอลอีดี (LED Driver) โดยการใช้คุณสมบัติของไอซี เบอร์ SN74HC14N ซึ่งเป็น Inverter ที่มีคุณสมบัติ Hysteresis ร่วมกับการใช้คุณสมบัติของ 2N2369 ซึ่งมีค่า Turn-on Time และ Turn-Off Time ไม่เท่ากัน (9 ns และ 13 ns ตามลำดับ) เพื่อทำการปรับความกว้างของพัลส์ช่วงที่อยู่สถานะ High และ Low ให้มีค่าเท่ากันตามที่ต้องการ โดยการทดลองปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานของ R_1 และ R_4 วงจรมีลักษณะในภาพที่ 43



ภาพที่ 43 วงจรปรับแต่งความกว้างสัญญาณพัลส์

การคำนวณหาค่าความต้านทาน R_2 ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่ากระแสคอลเลกเตอร์ของ Q_1 สามารถคำนวณได้ดังนี้

เมื่อกำหนดให้

กระแสคอลเลกเตอร์สูงสุด (Maximum Collector Current) ที่ประมาณ 20 มิลลิแอมแปร์

แรงดันแหล่งจ่ายไฟฟ้า (V_{cc}) เท่ากับ 12 โวลต์

V_{CE} ขณะอิ่มตัว (Saturate) เท่ากับ 0.2 โวลต์

ดังนั้น สามารถคำนวณหา R_2 ในวงจรภาพที่ 43 ได้ดังสมการที่ 29 และ 30

$$R_2 = \frac{V_{cc} - V_{ce(sat)}}{I_{c(max)}} \quad (29)$$

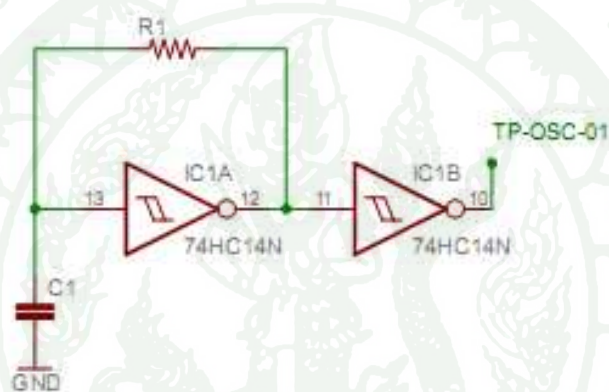
$$R_2 = \frac{(12 - 0.2)V}{20mA} \quad (30)$$

จากสมการที่ 30 จะได้ค่าความต้านทาน $R_2 = 590K\Omega$

3.5.3 การออกแบบวงจรกำเนิดความถี่พัลส์ (Pulse Oscillator)

เพื่อให้สามารถสังเกตเห็นบีมลำแสงในขั้นตอนการติดตั้งขณะปรับแต่งทิศทางระหว่างตัวรับและตัวส่งแสงให้อยู่ในแนวตรงกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์เพื่อให้มีแสงกระพริบสำหรับใช้เล็งทิศทางและใช้วัดความสว่างสัญญาณแสงในขั้นตอนของการวัดและทดสอบอุปกรณ์

การออกแบบวงจรกำเนิดความถี่พัลส์ โดยใช้คุณสมบัติของไอซี SN74HC14N ซึ่งเป็น Inverter ชนิดมีค่า Hysteresis โดยวงจรมีลักษณะดังภาพที่ 44



ภาพที่ 44 วงจรกำเนิดคลื่นความถี่พัลส์ 5 MHz

การออกแบบคำนวณหาค่าอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในวงจรกำเนิดคลื่นความถี่พัลส์ ดังภาพที่ 44 ได้ดังนี้

กำหนดเงื่อนไขความต้องการเพิ่มเติมดังนี้

ต้องการกำเนิดความถี่พัลส์ที่ความถี่ประมาณ 5 MHz

ใช้ตัวเก็บประจุ (C1) มีค่าเท่ากับ 470 pF

จากเงื่อนไขข้างต้นสามารถคำนวณหาค่า R1 ตามสมการที่ 31

จากสูตร
$$f = \frac{1}{0.8RC} \quad (31)$$

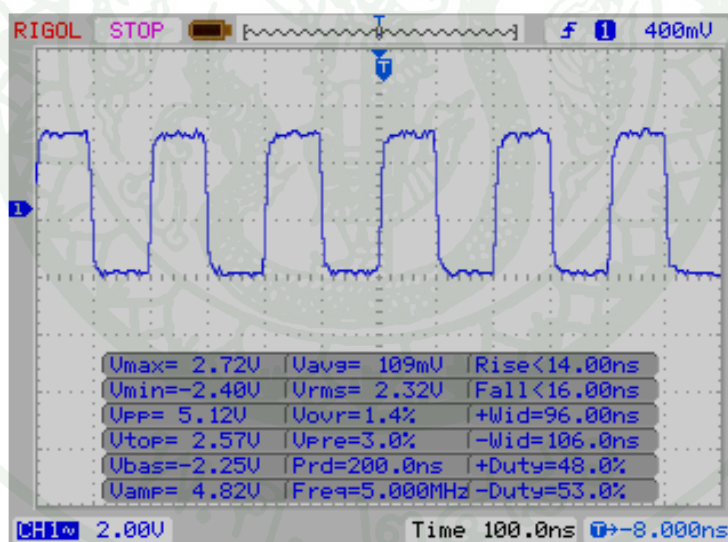
ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่า R_1 ได้จากสมการที่ 32

$$R_1 = \frac{1}{0.8 \times f \times C} \quad (32)$$

$$R_1 = \frac{1}{0.8 \times 4 \times 10^6 \times 470 \times 10^{-12}} \quad (33)$$

จากสมการที่ 33 จะได้ค่าความต้านทานไฟฟ้า $R_1 = 1K\Omega$

หลังจากทดลองประกอบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ และทำการวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า ได้ผลแสดงดังภาพที่ 45

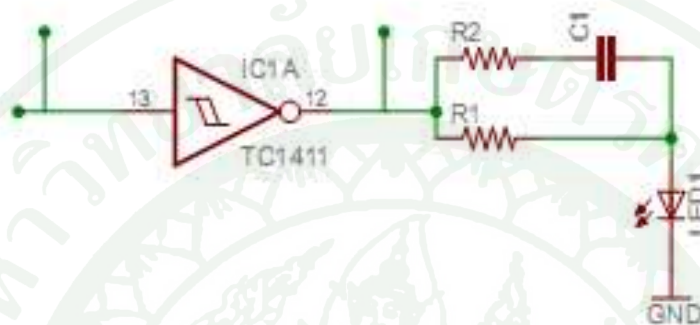


ภาพที่ 45 ผลการวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่สร้างจากวงจรกำเนิดความถี่พัลส์

3.5.4 การออกแบบภาควงจรขับแอลอีดี (LED Driver)

วงจร LED Driver จะทำหน้าที่ขับกระแสให้แก่อุปกรณ์กำเนิดแสงให้ได้อย่างน้อย 200 mA ที่ความถี่พัลส์ 20 Mbps เพื่อทำการเปลี่ยนจากสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณแสง โดยการใช้ LED หรือ Laser Pointer เป็นตัวกำเนิดแสง

การออกแบบภาควงจรขับแอลอีดี (LED Driver) โดยการใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ TC1411 ซึ่งเป็น High Speed MOSFET Driver ที่สามารถใช้กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ถึง 20 โวลต์ สามารถขับกระแสสูงสุดได้ถึง 1 แอมแปร์ มีค่า Rise Time และ Fall Time ประมาณ 25 นาโนวินาที (Microchip, 2006) โดยวงจรมีลักษณะดังภาพที่ 46



ภาพที่ 46 วงจรขับแอลอีดี (LED Driver Circuit)

จากวงจรในภาพที่ 46 สามารถคำนวณหาค่าความต้านทาน R1 ซึ่งเป็นตัวควบคุมปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวแอลอีดี โดยกำหนดเงื่อนไขความต้องการใช้งานดังนี้

แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (V_{cc}) มีค่าเท่ากับ 5 โวลต์

ขับกระแสให้แก่ LED มีค่าไม่เกิน 100 มิลลิแอมแปร์

แรงดัน Forward Bias ตกคร่อม LED ประมาณ 2.6 โวลต์

จากเงื่อนไขและคุณสมบัติของอุปกรณ์ดังกล่าวข้างต้น สามารถคำนวณหาค่า R1 ได้ดังสมการที่ 34

$$R_L = \frac{V_{cc} - V_f}{I_d} \quad (34)$$

เมื่อ

V_f = แรงดันฟอร์เวิร์ดไบแอส LED หน่วยเป็นโวลต์

$$I_d = 100 \text{ มิลลิแอมแปร์}$$

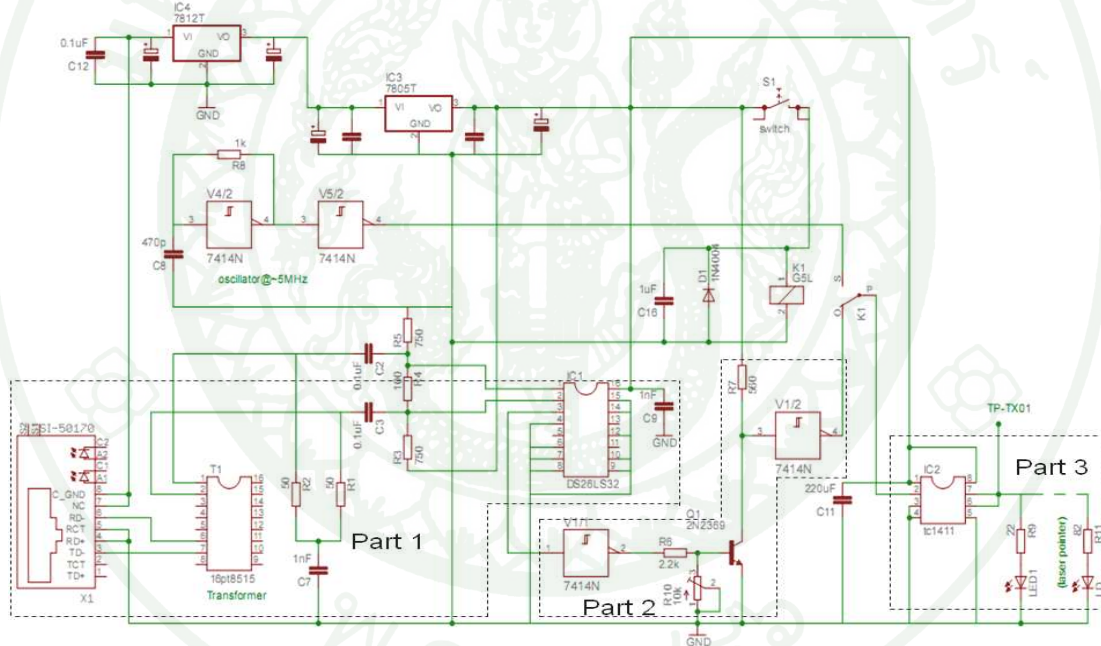
$$V_{cc} = 5 \text{ โวลต์}$$

ดังนั้นจะได้

$$R_L = \frac{(12 - 2.6)V}{100mA} = 94 \text{ โอห์ม} \quad (35)$$

3.5.5 นำวงจรส่วนต่างๆของภาคส่งมารวมกันเป็นภาควงจรส่งสัญญาณแสง ได้ดัง

ภาพที่ 47



ภาพที่ 47 Transmitter Circuit Diagram

สรุปหลักการทำงานของวงจรตัวส่งสัญญาณแสงตามวงจรในภาพที่ 47 พอสังเขปดังนี้

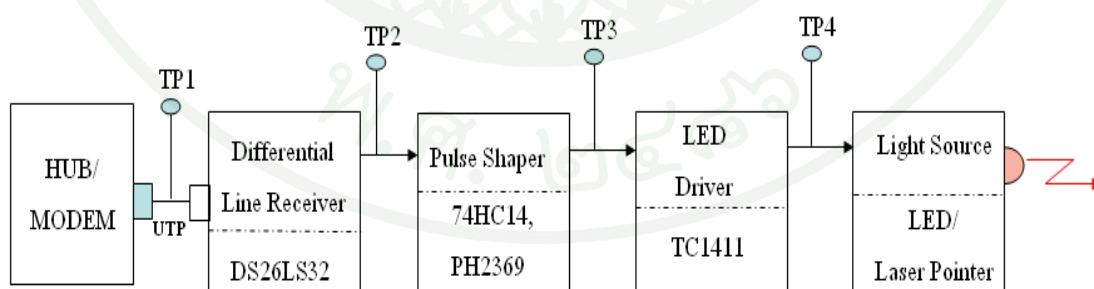
16PT8515 ซึ่งเป็น Pulse Transformer ทำหน้าที่เป็น Isolator พร้อมกับส่งผ่านสัญญาณที่มาจากสาย UTP ผ่านทางคอนเน็กเตอร์ RJ-45 และส่งไปยังอุปกรณ์ DS26LS32 เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนจากสัญญาณ Differential Polar Signal ไปเป็นสัญญาณชนิด TTL จากนั้นส่งต่อไปยัง

อุปกรณ์ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ตัวที่หนึ่งซึ่งนำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ จากนั้นส่งต่อไปยังอุปกรณ์ PH2369 และ อินเวอร์เตอร์ ตัวที่สองเพื่อร่วมกันทำงานเป็นวงจร Pulse Shaper และเมื่อวงจร Pulse Shaper ปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์จนได้ค่าที่เหมาะสมแล้วก็จะส่งต่อไปยังอุปกรณ์ TC1411 เพื่อทำหน้าที่ขับกระแสให้แก่ LED เพื่อเปลี่ยนจากสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง โดยมีตัวต้านทาน R11 เป็นตัวควบคุมกระแสให้แก่ LED



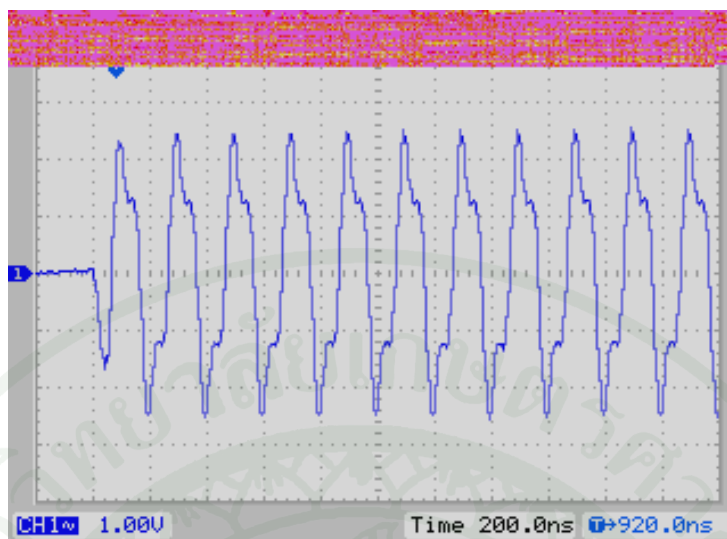
ภาพที่ 48 แสดงชุดอุปกรณ์ตัวส่งสัญญาณแสง (Transmitter module) ที่ได้สร้างขึ้น

หลังจากที่ได้ประกอบชุดอุปกรณ์ตัวส่งสัญญาณแสงเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นได้นำไปวัดรูปสัญญาณไฟฟ้าที่จุดต่างๆของวงจร ดังภาพที่ 49



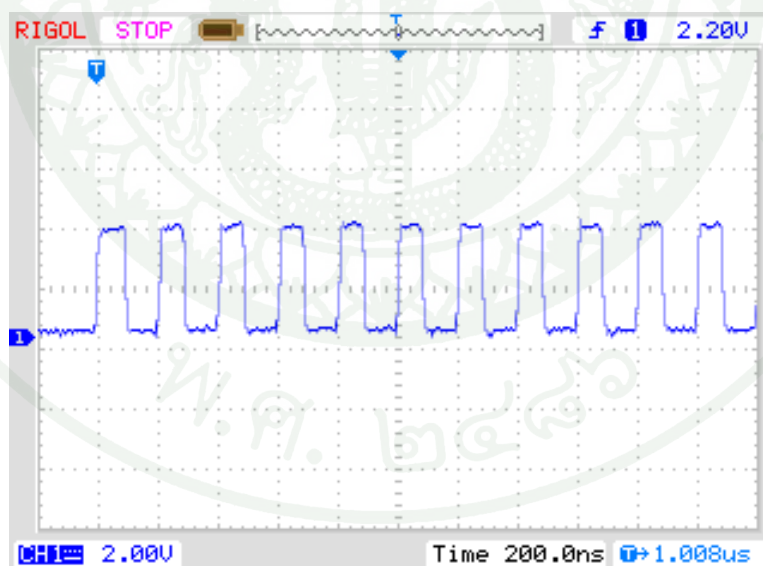
ภาพที่ 49 จุดทดสอบวัดรูปสัญญาณไฟฟ้าที่จุดภาควงจรต่างๆของตัวส่ง

ผลการวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าตามจุดต่างๆของภาควงจรส่งสัญญาณแสง ได้ผลแสดงดังภาพที่ 50 ถึง 53



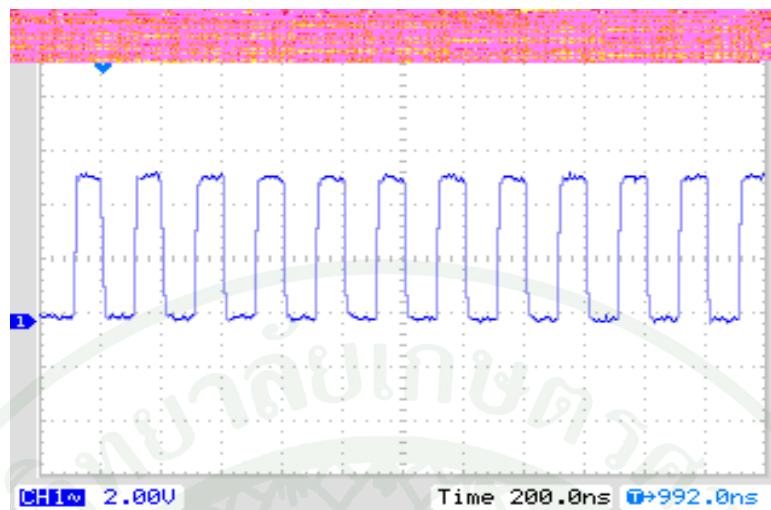
ภาพที่ 50 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่จุดวัด TP1

หมายเหตุ เป็นรูปสัญญาณไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้นของการส่ง Ethernet Frame ซึ่งวัดที่ขาอินพุตของ DS26LS32 ในวงจรภาพที่ 47



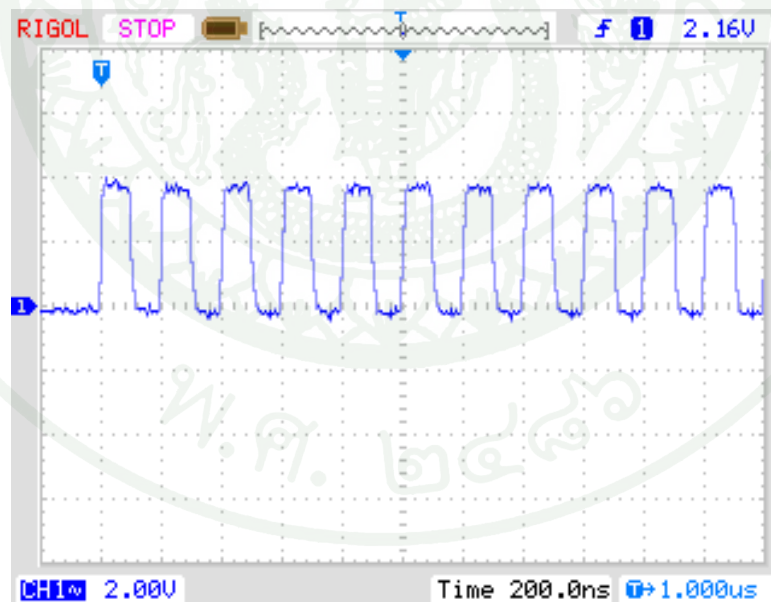
ภาพที่ 51 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่จุดวัด TP2

หมายเหตุ รูปสัญญาณไฟฟ้าหลังจากถูกแปลงจากสัญญาณ Differential Line Signal ไป เป็นสัญญาณ TTL ซึ่งพอสังเกตเห็นได้ว่าขนาดความกว้างของพัลส์ช่วงสถานะ High จะแคบกว่าสถานะ Low เล็กน้อย



ภาพที่ 52 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่จุดวัด TP3

หมายเหตุ หลังจากสัญญาณถูกปรับแต่งความกว้างพัลส์ พอสังเกตเห็นได้ว่าขนาดความกว้างของพัลส์ช่วง High และ Low มีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับในภาพที่ 51

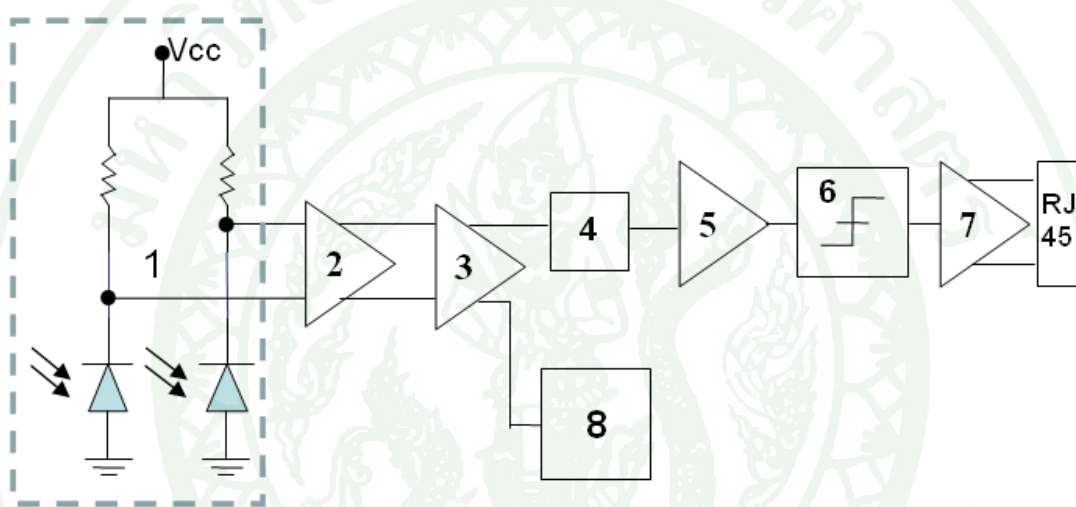


ภาพที่ 53 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่จุดวัด TP4

หมายเหตุ เป็นรูปสัญญาณไฟฟ้าที่ขับให้แก่อุปกรณ์กำเนิดแสง

3.6 การศึกษาและออกแบบภาควงจรรับสัญญาณแสง

ภาควงจรรับสัญญาณแสง (Receiver) จะทำหน้าที่เปลี่ยนจากสัญญาณแสงกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า (Light to Electrical Converter) ขยายสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ให้มีขนาดสูงขึ้น (Amplifier) ทำการตรวจจับสัญญาณข้อมูล (Pulse Detector) และสร้างรูปสัญญาณไฟฟ้าให้มีรูปร่างกลับคืนเหมือนทางด้านส่ง โดยการออกแบบภาควงจรรับสัญญาณแสงได้แบ่งส่วนต่างๆออกเป็น 8 ส่วน ตามภาพที่ 54



ภาพที่ 54 Receiver Block Diagram

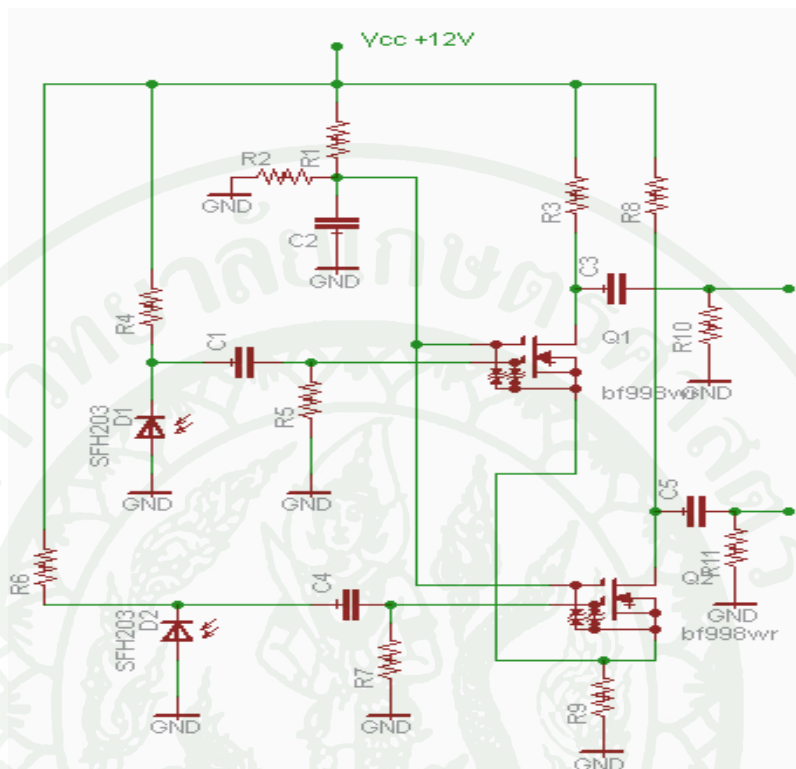
จาก Receiver Block Diagram ดังภาพที่ 54 สามารถนำไปออกแบบวงจรในแต่ละส่วนได้ดังนี้

3.6.1 การออกแบบวงจร Photodiode Pre-amplifier

สัญญาณแสงจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าพร้อมทั้งถูกขยายสัญญาณให้มีขนาดสูงขึ้น โดยวงจร Photodiode Pre-Amplifier

การออกแบบภาควงจรร Photodiode Preamplifier ที่ใช้ในโครงการจะเป็นการต่อวงจรพินโฟโตไดโอด (SFH203) ร่วมกับตัวต้านทานไฟฟ้าในลักษณะ Wheatstone Bridge และขยายสัญญาณความแตกต่างด้วยวงจรดิฟเฟอเรนเชียลแอมพลิไฟเออร์ (Differential Amplifier)

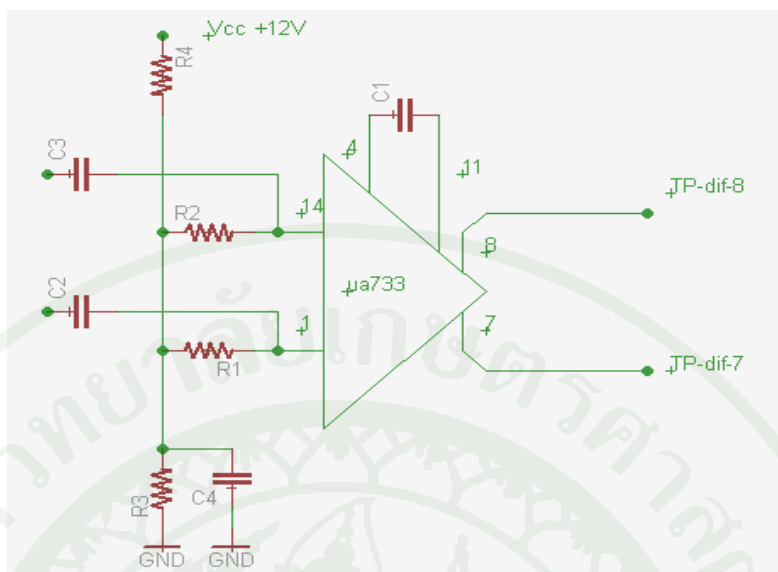
โดยใช้ MOSFET เบอร์ BF908WR ซึ่งเป็น MOSFET ประเภท Depletion Type ชนิด Dual Gate N-Channel (Philips Semiconductors, 1995) โดยวงจรมีลักษณะดังภาพที่ 55



ภาพที่ 55 วงจร Photodiode Pre-amplifier

3.6.2 การออกแบบภาควงจร Differentiator

เนื่องจากวงจรในภาค Photodiode Pre-Amplifier จะมีคุณสมบัติเป็นวงจรอินทิเกรเตอร์ หรือ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ทำให้สัญญาณรูปพัลส์เหลี่ยมสูญเสียความถี่สูงไป จึงมีผลทำให้สัญญาณไฟฟ้ารูปสี่เหลี่ยมเปลี่ยนรูปไปเป็นสัญญาณไฟฟ้ารูปสามเหลี่ยม ดังนั้นในการสร้างสัญญาณให้กลับคืนเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมเหมือนเดิมโดยการใช้คุณสมบัติของวงจร Differentiator ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) ในการออกแบบวงจร Differentiator นี้ได้ใช้ Op-Amp เบอร์ UA733 ซึ่งเป็น Fully Differential Amplifier ต่อร่วมกับตัวต้านทานไฟฟ้าและตัวเก็บประจุไฟฟ้าเพื่อประกอบเป็นวงจรแอกติฟฟิเฟอเรนเชียล เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณพร้อมทั้งเปลี่ยนรูปร่างสัญญาณจากรูปสามเหลี่ยมให้กลับมาเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม โดยวงจรมีลักษณะดังภาพที่ 56



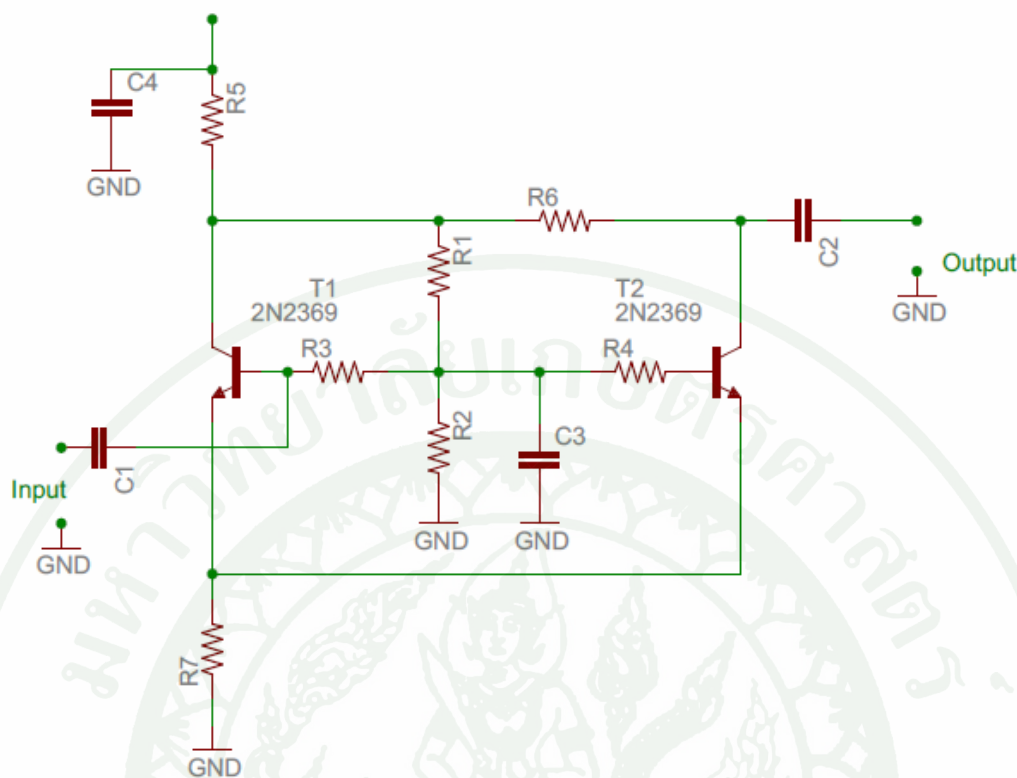
ภาพที่ 56 วงจรดิฟเฟอเรนเชียลโดยใช้ ไอซี UA733

การทำงานของวงจร ดิฟเฟอเรนเชียล ตัวต้านทาน R3 และ R4 จะทำหน้าที่เป็นวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider) เพื่อกำหนดจุดแรงดันดิซีให้ขาอินเวอร์ตติ้งและขาอินเวอร์ตติ้งของ UA733 มีค่าเท่ากันที่ประมาณ ครึ่งหนึ่งของแรงดันแหล่งจ่ายไฟฟ้า ($V_{CC}/2$) ตัวเก็บประจุ C2 กับ R1 และ C3 กับ R2 ทำหน้าที่เป็นวงจร RC Coupling และเป็นวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) ตัวเก็บประจุ C1 ต่อคร่อม ระหว่างขา 4 และ ขา 11 ของ UA733 เพื่อกำหนดให้ UA733 ทำงานในโหมดของวงจรดิฟเฟอเรนเชียล (Texas Instruments, 1993)

3.6.3 การออกแบบภาควงจร Limiting Amplifier

ภาควงจร Limiting Amplifier จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณพัลส์จนได้ระดับแรงดันสูงสุดที่ประมาณ ± 2.5 โวลต์ ก่อนส่งไปยังวงจร Pulse Regenerator

การออกแบบภาควงจร Limiting Amplifier โดยการใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ PH2369 ต่อในลักษณะวงจรขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier) และถูกไบแอสให้ทำงานในโหมดสวิทช์ (Switching Mode) เพื่อให้มีสัญญาณขาออกเพียง 2 สถานะคือปิด (ON) และเปิด (OFF) และจะส่งผลให้ค่าแรงดันขาออกมีค่าแอมพลิจูดสูงสุดคงที่อยู่ที่ค่าระดับที่ตั้งไว้ โดยวงจรมีลักษณะดังภาพที่ 57

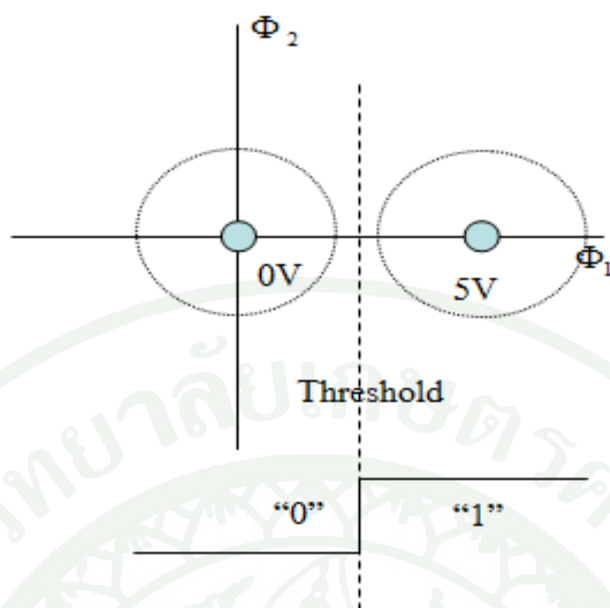


ภาพที่ 57 วงจร Limiting Amplifier

3.6.4 การออกแบบวงจร Pulse Regenerator

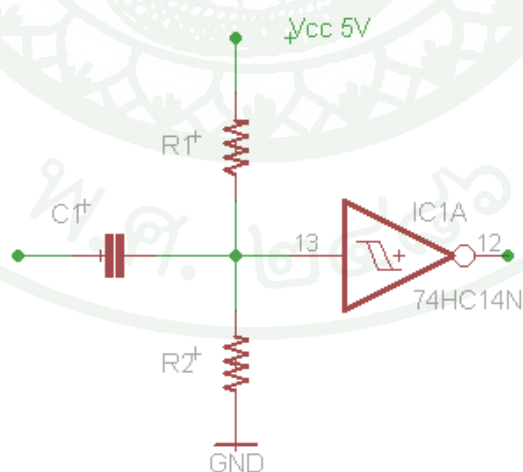
วงจร Pulse Regenerator จะทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณข้อมูลพร้อมกับสร้างสัญญาณพัลส์ข้อมูลขึ้นมาใหม่ โดยการใช้หลักการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า (Voltage Comparator)

เนื่องจากอุปกรณ์ทางด้านส่งจะส่งสัญญาณแสงโดยใช้วิธีการกล้ำสัญญาณแสงแบบ On-Off Keying (OOK) ซึ่งจะมีระดับแรงดันไฟฟ้าแทนรหัสข้อมูลจำนวน 2 ค่าคือ “0” และ “1” โดยได้กำหนดแรงดันไฟฟ้าที่ขนาดศูนย์โวลต์แทนด้วยข้อมูลที่เป็น “0” และที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 5 โวลต์แทนด้วยข้อมูลที่เป็น “1” ดังนั้นเพื่อหาจุดอ้างอิงในการตัดสินใจว่าสัญญาณที่ได้รับเข้ามานั้นเป็นสัญญาณของข้อมูลที่จะเป็น “0” หรือ “1” โดยการกำหนดจุดระดับแรงดันอ้างอิงไฟฟ้าที่มีค่าอยู่ระหว่างกลางของค่าระดับแรงดันไฟฟ้าที่แทนด้วย “0” และ “1” คือที่ประมาณ 2.5 โวลต์ เพื่อให้มีอัตราการผิดพลาดของข้อมูลต่ำที่สุด



ภาพที่ 58 การกำหนดจุดแรงดันอ้างอิงไฟฟ้าสำหรับตรวจจับข้อมูล "0" และ "1"

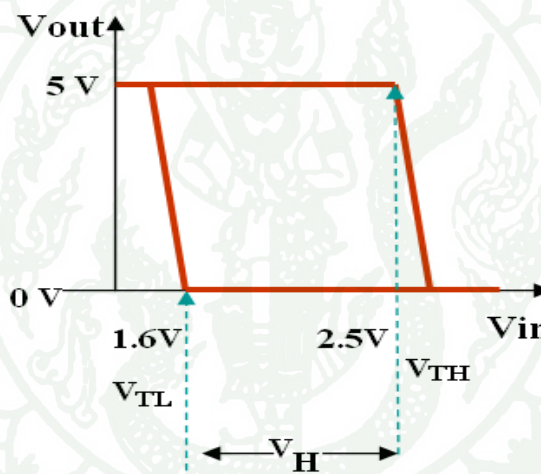
วงจร Pulse Regenerator ที่ใช้ในโครงการได้เลือกใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดยใช้ไอซีเบอร์ SN74HC14N ซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์ ที่มีคุณสมบัติ Hysteresis ต่อกับวงจรยกระดับแรงดันสัญญาณ (R1 และ R2) ประกอบเป็นวงจร Pulse Regenerator ดังวงจรในภาพที่ 59



ภาพที่ 59 วงจร Pulse Regenerator โดยใช้ไอซี SN74HC14N

หลักการทำงานของวงจร Pulse Regenerator ตัวต้านทาน R1 และ R2 ทำหน้าที่เป็นวงจรแบ่งแรงดันเพื่อยกระดับแรงดันสัญญาณจาก ± 2.5 โวลต์ไปเป็น 0 โวลต์ กับ 5 โวลต์ เพื่อเป็นสัญญาณอินพุตให้แก่ SN74HC14N โดยที่ SN74HC14N จะมีระดับแรงดันไฟฟ้าทางขาออก (Output) เป็น “1” เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขาเข้าต่ำกว่า 1.6 โวลต์ และ ระดับแรงดันไฟฟ้าทางขาออก (Output) เป็น “0” เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขาเข้าสูงกว่า 2.5 โวลต์ (Texas Instruments incorporated, 2004)

จากคุณสมบัติของ SN74HC14N ซึ่งมีค่า V_{th} (High Trigger) ประมาณ 2.5 โวลต์ ดังนั้นสัญญาณรบกวนที่เข้ามาจะต้องมีค่าไม่เกิน 2.5 โวลต์ หากสัญญาณรบกวนมีค่าสูงกว่า 2.5 โวลต์ จะทำให้วงจรสร้างสัญญาณพัลส์รบกวนขึ้นในระบบ



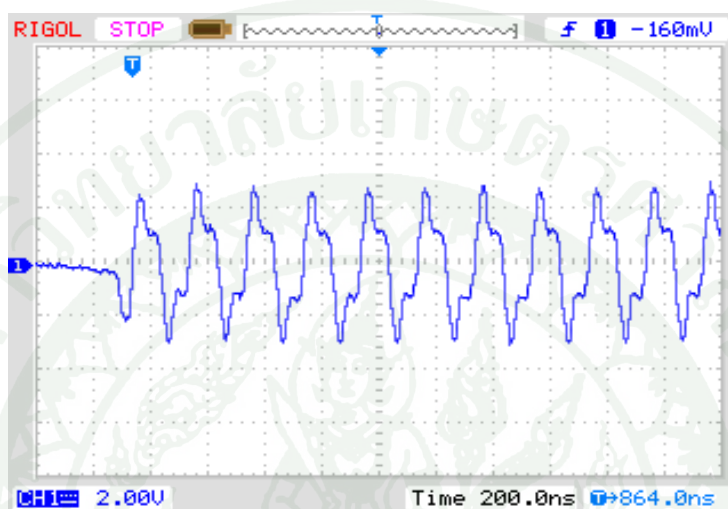
ภาพที่ 60 แรงดันอ้างอิงไฟฟ้าที่จุด V_{TH} และ V_{TL} ของ SN74HC14N

3.6.5 การออกแบบภาควงจร Differential Line Driver

ภาควงจร Differential Line Driver จะทำหน้าที่สร้างรูปสัญญาณ Differential Line Signal และส่งไปตามสายส่งชนิด Unshielded Twisted Pair (UTP) บนมาตรฐานอีเทอร์เน็ต 10Base-T ที่อัตราความเร็ว รับ-ส่งข้อมูล 10Mbps ที่ขนาดแอมพลิจูดประมาณ ± 2.5 โวลต์

การส่งสัญญาณไฟฟ้าของมาตรฐาน 10Base-T เป็นการส่งสัญญาณไฟฟ้าโดยใช้วิธีการเข้ารหัสทางสาย แบบ Manchester Line Coding ซึ่งรูปสัญญาณไฟฟ้าจะเป็นแบบ Polar

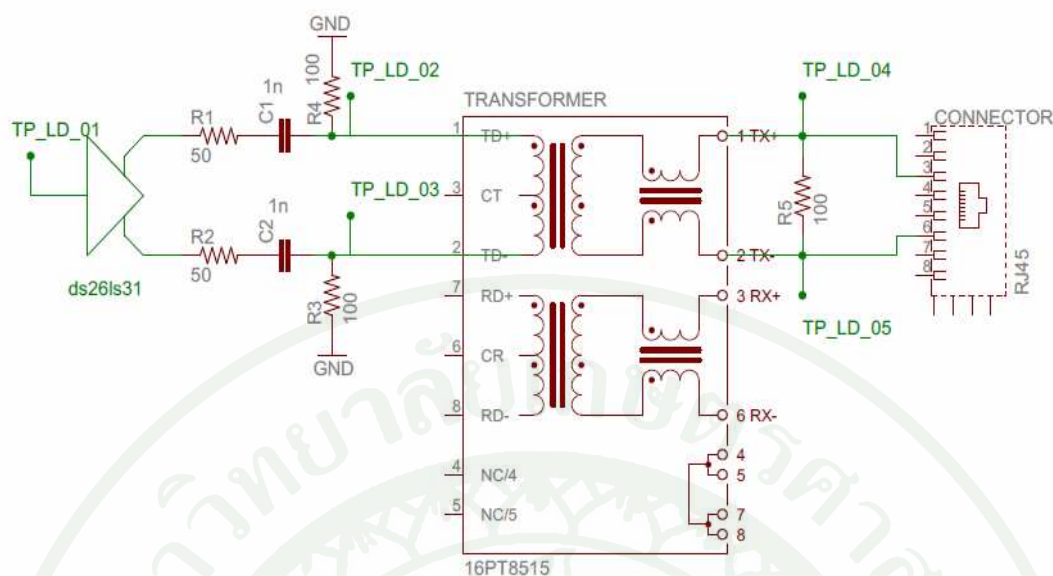
Signal มีขนาดแอมพลิจูดประมาณ ± 2.5 โวลต์ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วิธีการส่งผ่านสัญญาณ (Coupling) โดยการใช้อุปกรณ์ Pulse Transformer ซึ่งจากตัวอย่างรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าของอีเทอร์เน็ตเฟรมบนมาตรฐาน 10 Base-T ที่วัดได้จาก ADSL Router Modem ผลผลิตกันท์ของ GMesh รุ่น GM-301 มีลักษณะดังภาพที่ 61



ภาพที่ 61 รูปสัญญาณไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้น (Preamble) การส่ง Ethernet Frame

หมายเหตุ: วัดสัญญาณบนสาย UTP ที่เชื่อมต่อกับ ADSL Router Modem ซึ่งเป็นผลผลิตกันท์ของ GMesh รุ่น GM-301

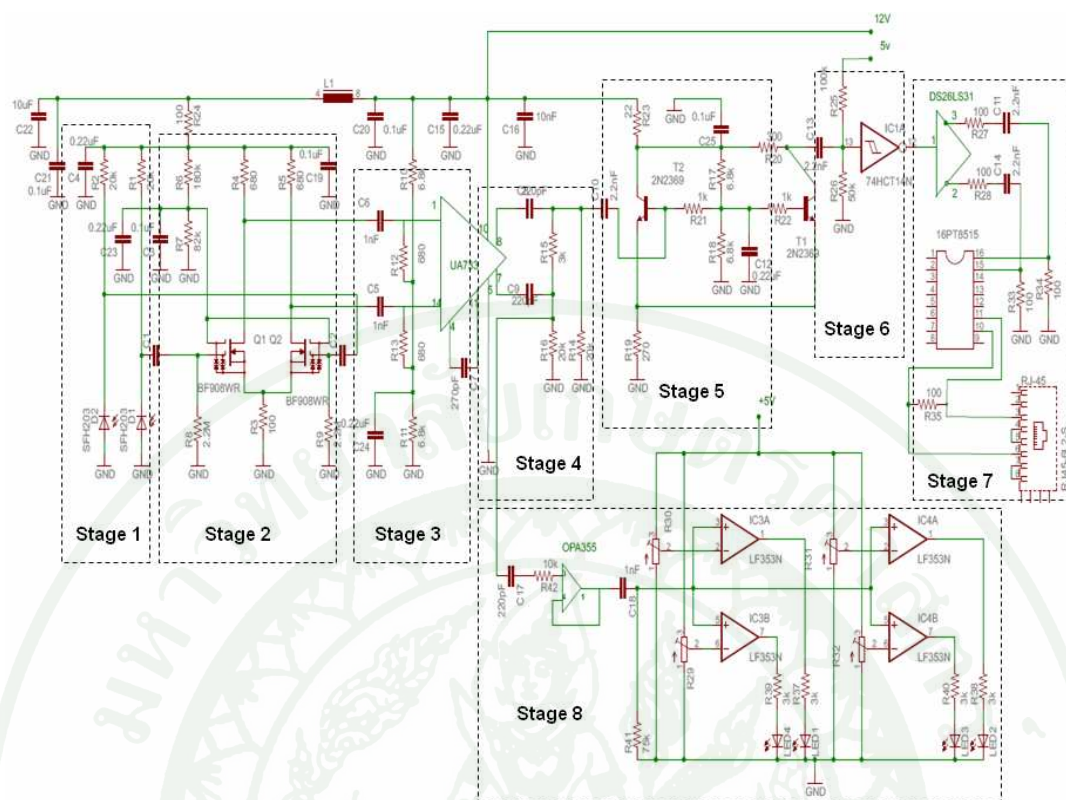
การออกแบบวงจร Differential Line Driver โดยการใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ DS26LS31 ซึ่งถูกออกแบบให้ใช้งานเป็น Differential Line Driver แต่ทั้งนี้เนื่องจากรูปสัญญาณที่เอาต์พุตของ DS26LS31 เป็นชนิดยูนิโพลาร์ (Unipolar Signal) ดังนั้นจึงต้องใช้วงจร RC Network ทำการปรับแต่งสัญญาณให้อยู่ในรูปสัญญาณไฟฟ้าชนิด Polar Signal คือจัดขั้วของสัญญาณให้มีทั้งขั้วบวกและลบ จากนั้นทำการการส่งสัญญาณผ่านอุปกรณ์ Pulse Transformer เบอร์ 16PT8515 และป้อนเข้าสู่สายส่งสัญญาณชนิด UTP ผ่านคอนเน็กเตอร์ชนิด RJ-45 ออกไปยังอุปกรณ์ในเครือข่ายอีเทอร์เน็ต วงจร Differential Line Driver มีลักษณะดังภาพที่ 62



ภาพที่ 62 วงจร Differential Line Driver Circuit

การทำงานของวงจร Differential Line Driver จากภาพที่ 62 สัญญาณไฟฟ้าขาเข้าซึ่งเป็นชนิด TTL ป้อนเข้าสู่ขา 1 ของ DS26LS31 และมีสัญญาณขาออกที่ขา 2 และขา 3 ซึ่งเป็นสัญญาณชนิด Unipolar ซึ่งต่างเฟสกันอยู่ 180 องศา จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งผ่านไปยัง R1, R2, C1 และ C2 ซึ่งต่อวงจรร่วมกันเป็นวงจร RC Differentiator หรือวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนจากสัญญาณ Unipolar เป็นชนิด Polar ที่มีขนาดสัญญาณประมาณ ± 2.5 โวลต์ และส่งผ่านสัญญาณไปยัง Pulse Transformer เบอร์ 16PT8515 ทำหน้าที่แยกวงจรทางไฟฟ้า (Isolator) พร้อมกับคับปลิ่งสัญญาณไปยังสาย UTP ผ่านทางคอนเน็กเตอร์ชนิด RJ-45

3.6.6 หลังจากได้ออกแบบภาควงจรต่างๆของตัวรับแสงและนำมาประกอบรวมกันเป็นวงจรตัวรับแสง ดังแสดงในภาพที่ 63



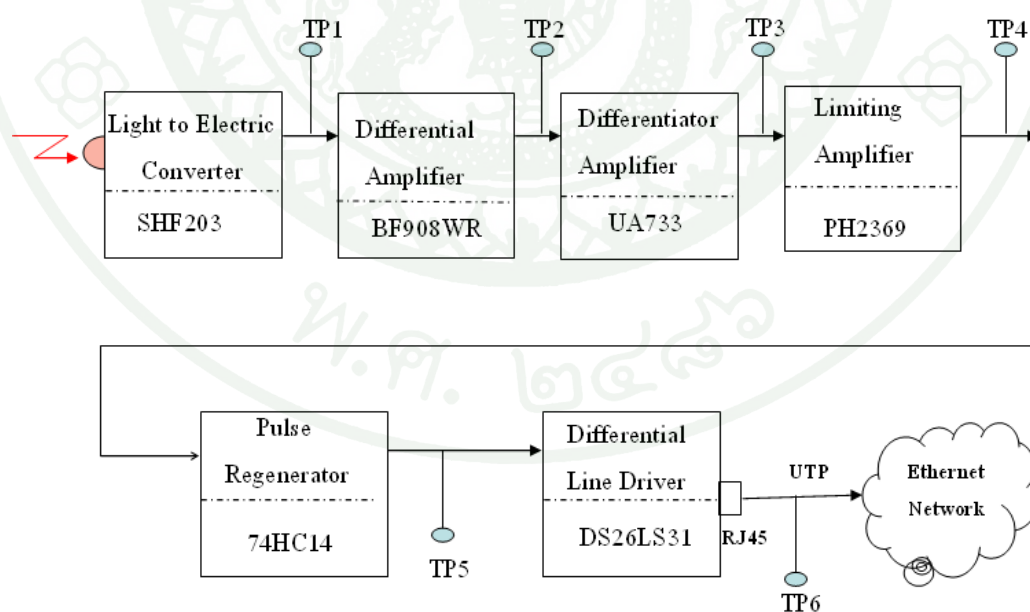
ภาพที่ 63 Receiver Circuit Diagram

หลักการทำงานของวงจรรับแสง (Receiver Circuit) ตามภาพที่ 63 อุปกรณ์รับแสงซึ่งใช้ฟิโนโตไดโอด PD1 และ PD2 (เบอร์ SFH203) ถูกต่อร่วมกับตัวต้านทานไฟฟ้า R1 และ R2 ในลักษณะเป็น Wheatstone Bridge ทำหน้าที่เป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นส่งค่าความแตกต่างแรงดันที่เกิดขึ้นไปขยายด้วย MOSFET Q1 และ Q2 (เบอร์ BF908WR) ซึ่งต่อวงจรร่วมกันเป็นลักษณะวงจรดิฟเฟอเรนเชียลแอมพลิไฟเออร์ จากนั้นสัญญาณถูกส่งผ่านไปยังอุปกรณ์ UA733 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรแอกติฟดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์เพื่อขยายและสร้างสัญญาณให้กลับคืนเป็นรูปสัญญาณสี่เหลี่ยม สัญญาณถูกส่งผ่านเข้าวงจร RC Passive Differentiator และวงจรลิมิตติ้งแอมพลิไฟเออร์ ซึ่งมี Q3 และ Q4 (PH2369) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณพัลส์ให้มีขนาดสูงขึ้นจนได้ค่าประมาณ ± 2.5 โวลต์ ก่อนต่อไปยัง SN74HC14N ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจร Pulse Regenerator เพื่อกำเนิดสัญญาณพัลส์ข้อมูลขึ้นใหม่ และในภาคสุดท้ายอุปกรณ์ DS26LS31 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจร Differential Line Driver เพื่อขับสัญญาณชนิด Differential Line Signal ผ่านทางพัลส์ทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Pulse Transformer) เบอร์ 16PT8515 เข้าสู่สาย UTP ผ่านคอนเน็กเตอร์ชนิด RJ-45 ไปยังอุปกรณ์ในเครือข่ายอีเทอร์เน็ตต่อไป ทั้งนี้ชุดอุปกรณ์ตัวรับสัญญาณ (Receiver Module) ที่ได้สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 64



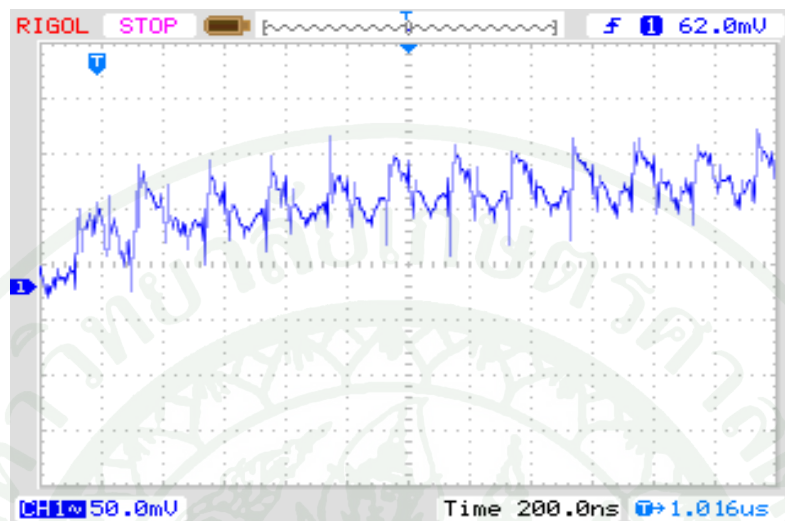
ภาพที่ 64 แสดงชุดอุปกรณ์ตัวรับสัญญาณแสง (Receiver Module) ที่ได้สร้างขึ้น

3.6.7 หลังจากที่ได้ประกอบภาควงจรรับสัญญาณแสงเสร็จแล้ว จึงได้นำไปทดสอบ วัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าตามจุดต่างๆของภาควงจร ตามภาพที่ 65



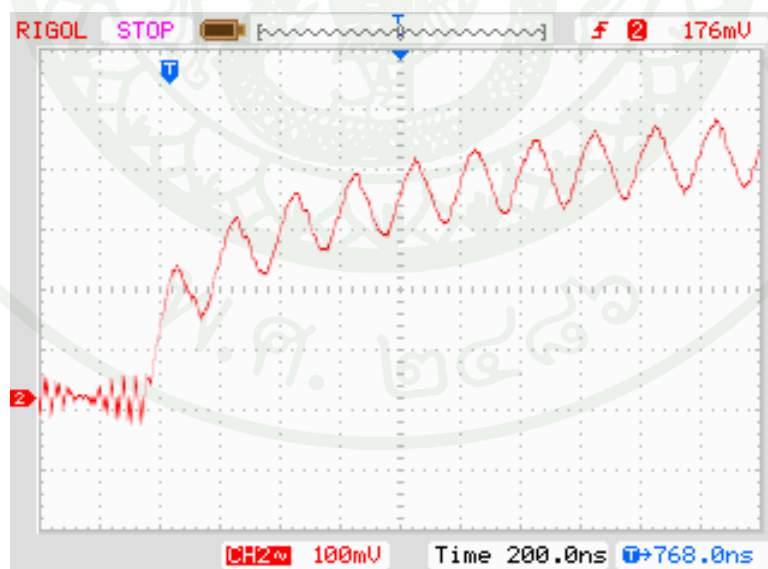
ภาพที่ 65 ตำแหน่งจุดวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่ภาควงจรต่างๆของตัวรับแสง

ผลการวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าจากตำแหน่งต่างๆของวงจรตัวรับแสง แสดง
ได้ดังรูปที่ 66-72



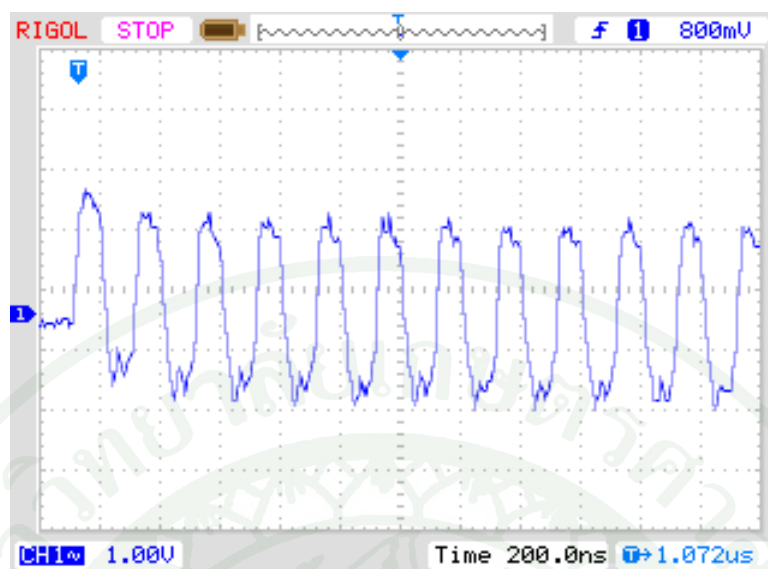
ภาพที่ 66 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า ที่จุด TP1

หมายเหตุ วัดที่จุดอินพุตของวงจร Differential Amplifier (BF908WR)



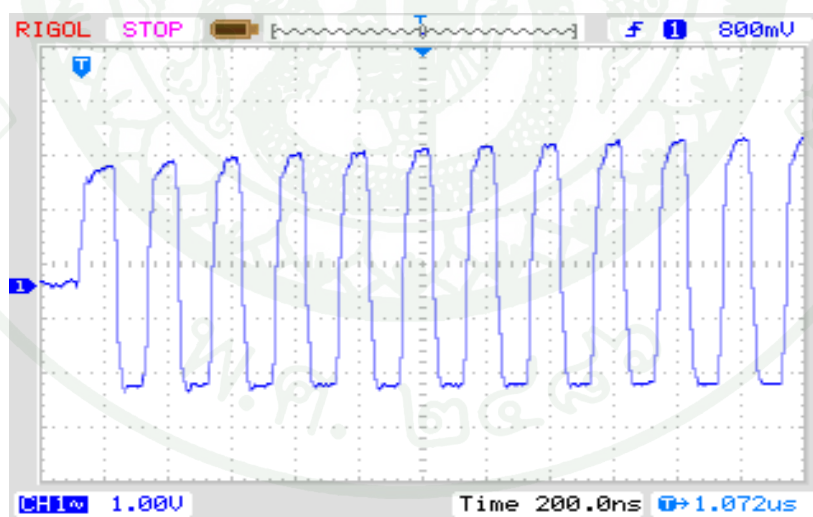
ภาพที่ 67 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า ที่จุด TP2

หมายเหตุ รูปสัญญาณไฟฟ้าที่จุดเอาต์พุตของวงจร Differential Amplifier (BF908WR)



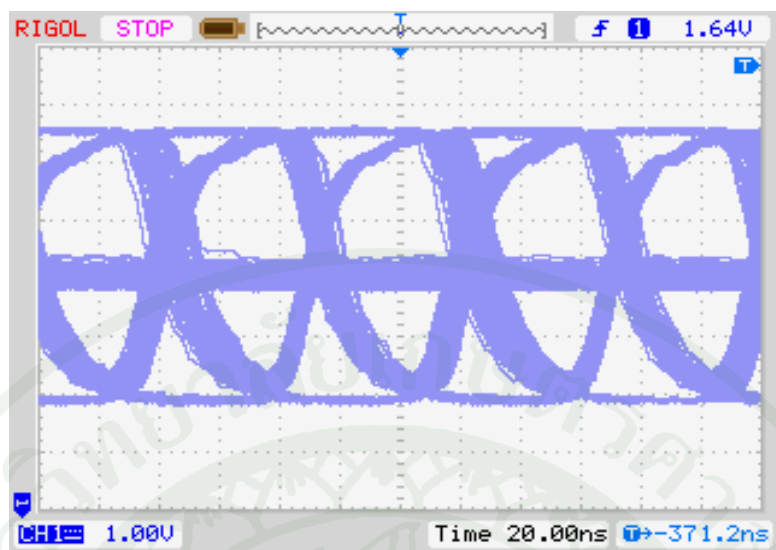
ภาพที่ 68 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า ที่จุด TP3

หมายเหตุ รูปสัญญาณไฟฟ้าที่จุดเอาต์พุตของเอาต์พุตของ UA733



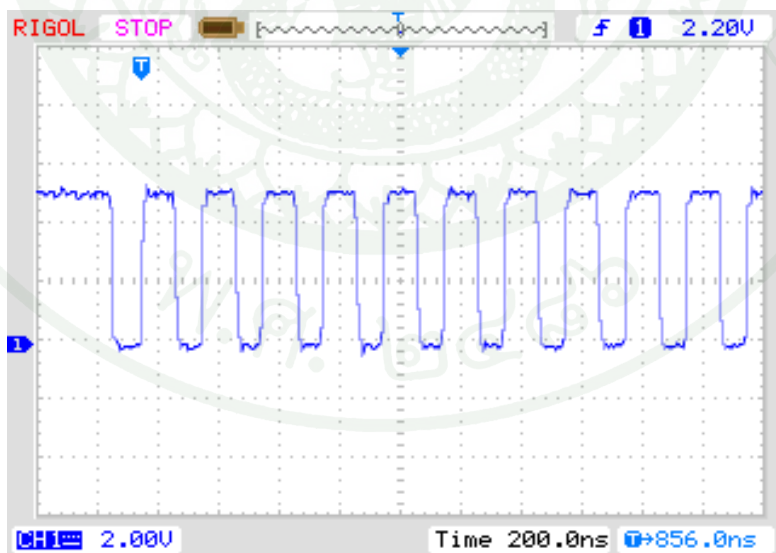
ภาพที่ 69 รูปสัญญาณไฟฟ้า ที่จุด TP4

หมายเหตุ รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่จุดเอาต์พุตของวงจร Limiting Amplifier



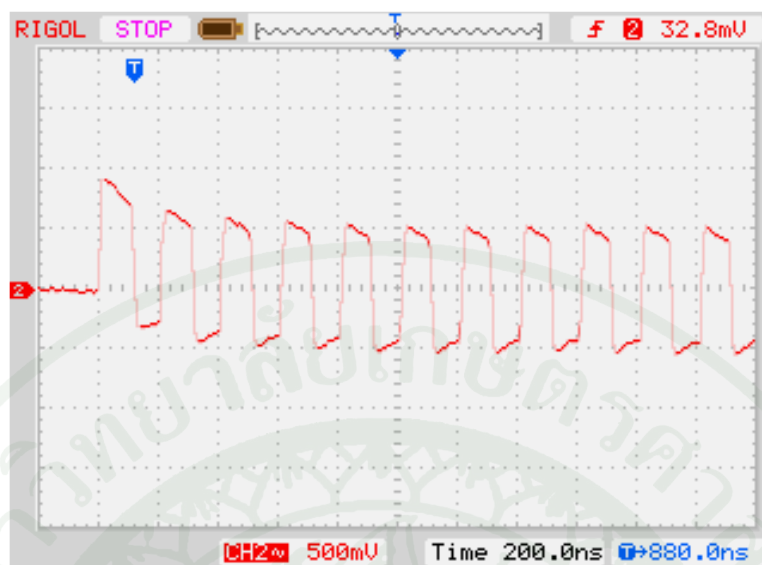
ภาพที่ 70 รูป Eye pattern ที่จุด TP4 ของวงจรตัวรับแสง

หมายเหตุ วัดที่จุดเอาต์พุตของวงจร Limiting Amplifier



ภาพที่ 71 รูปสัญญาณไฟฟ้า ที่จุด TP5

หมายเหตุ วัดที่จุดเอาต์พุตของวงจร Pulse Regenerator



ภาพที่ 72 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า ที่จุด TP6

หมายเหตุ วัดที่จุดเอาต์พุตของวงจร Differential Line Driver

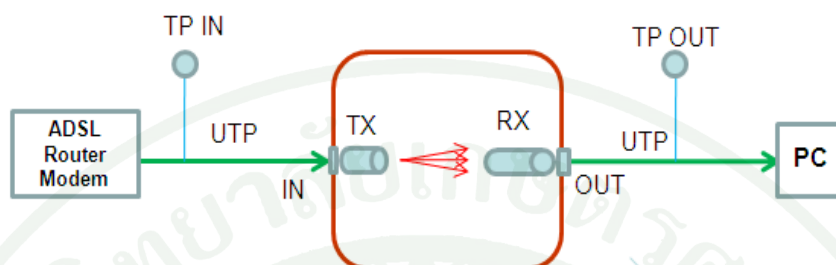
4. ทดสอบวัดผลการใช้งานของชุดอุปกรณ์รับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสง

เพื่อทดสอบผลการสร้างรูปสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ (Output Signal) จากชุดอุปกรณ์ตัวรับสัญญาณแสงเปรียบเทียบกับสัญญาณขาเข้า (Input Signal) ของชุดอุปกรณ์ตัวส่งสัญญาณแสง เพื่อหาความผิดเพี้ยนของสัญญาณ จากนั้นนำไปทดสอบเพื่อหาค่าความสว่างของสัญญาณแสงที่มากที่สุดและต่ำสุดที่ชุดอุปกรณ์รับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสงยังคงสามารถใช้เชื่อมโยงเครือข่ายข้อมูลได้ รวมถึงหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของแสงกับจำนวนค่าความผิดพลาดของการรับ-ส่งข้อมูล (Packet Loss) และสุดท้ายการทดสอบใช้งานเชื่อมโยงเครือข่ายอีเทอร์เน็ตและอินเทอร์เน็ต ทั้งในระยะใกล้และระยะไกล โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

4.1 การทดสอบเปรียบเทียบ เพื่อหาความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นใหม่จากชุดอุปกรณ์รับสัญญาณแสงกับสัญญาณก่อนเข้าสู่ชุดอุปกรณ์ส่งสัญญาณแสง ดังแสดงในภาพที่ 73

ขั้นตอนการทดสอบ

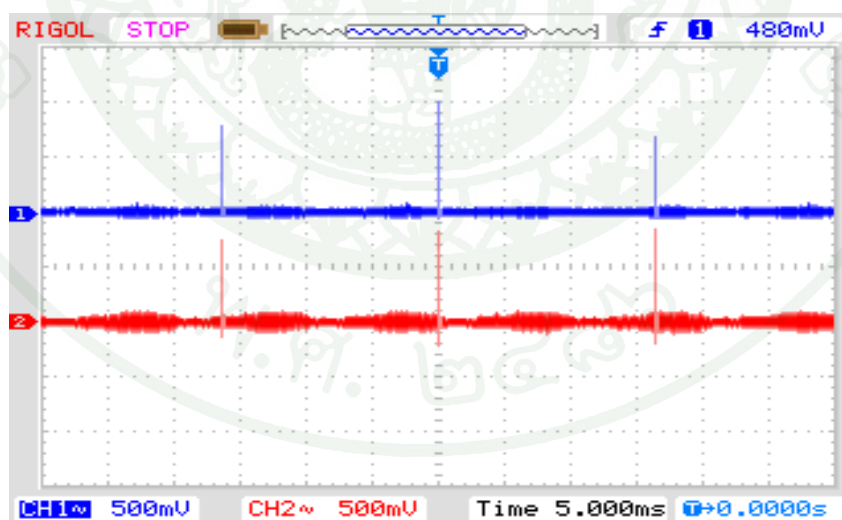
4.1.1 ใช้ Chanal 1 ของเครื่องแสดงรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า(Oscilloscope) วัดสัญญาณ ที่ด้านอินพุตของอุปกรณ์ตัวส่งสัญญาณแสง (Transmitter) และใช้ Chanal 2 วัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจร Differential Line Driver ของอุปกรณ์ตัวรับสัญญาณแสง (Receiver) ดังรูปที่ 73



ภาพที่ 73 จุดวัดสัญญาณเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบ

4.1.2 วัดและบันทึกรูปสัญญาณในช่วงต่างๆของการส่งข้อมูล Ethernet Frame

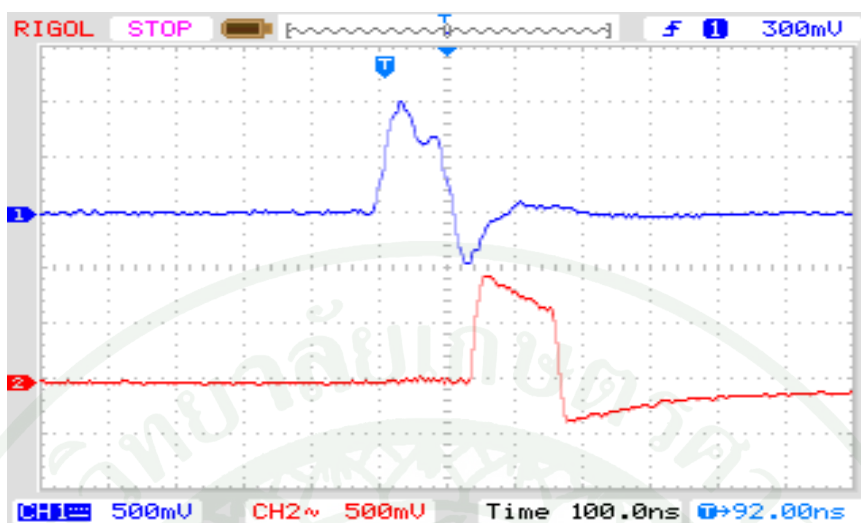
ผลการวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่จุดอินพุต และเอาต์พุต ของชุดอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสง ได้ผลแสดงดังรูปที่ 74-77



ภาพที่ 74 เปรียบเทียบรูปคลื่นขณะส่งเฉพาะสัญญาณ Normal Link Pulse (NLP)

หมายเหตุ บน (สีน้ำเงิน) เป็นสัญญาณขาเข้า (Input)

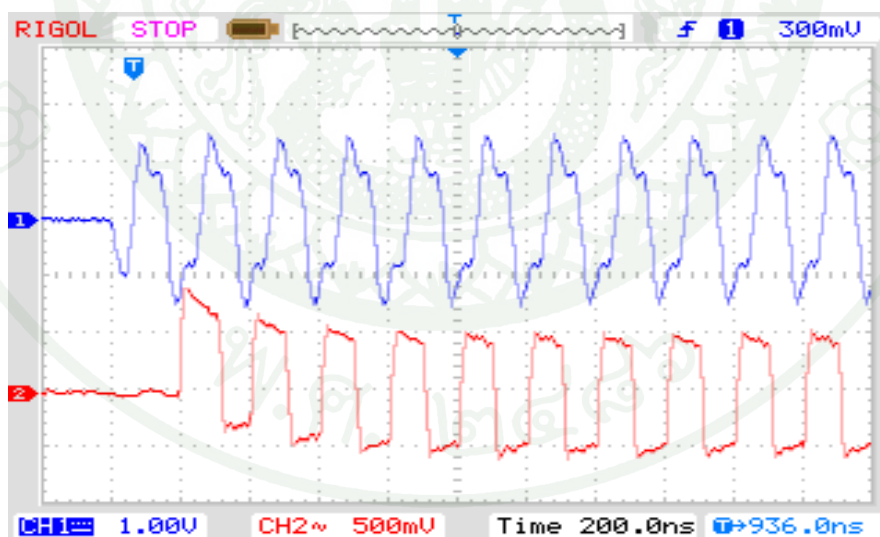
ล่าง (สีแดง) เป็นสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นใหม่จากชุดอุปกรณ์รับแสง



ภาพที่ 75 เปรียบเทียบรูปคลื่นขณะส่งสัญญาณ NLP เมื่อขยายทางแกนเวลา

หมายเหตุ บน (สีน้ำเงิน) เป็นสัญญาณขาเข้า (Input)

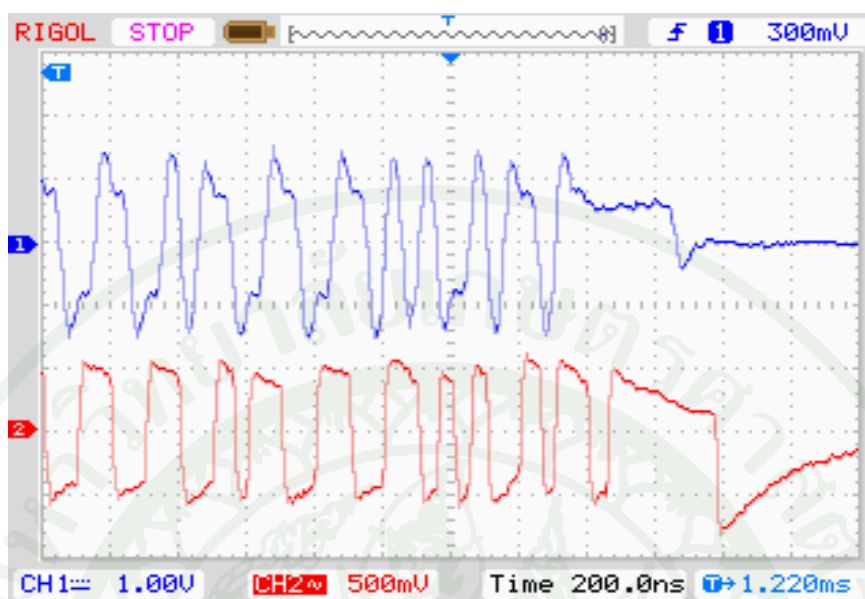
ล่าง (สีแดง) เป็นสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นใหม่จากชุดอุปกรณ์รับแสง



ภาพที่ 76 เปรียบเทียบรูปคลื่นขณะส่งสัญญาณในช่วงเริ่มต้นของ Ethernet Frame

หมายเหตุ บน (สีน้ำเงิน) เป็นสัญญาณขาเข้า (Input)

ล่าง (สีแดง) เป็นสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นใหม่จากชุดอุปกรณ์รับแสง



ภาพที่ 77 เปรียบเทียบรูปคลื่นขณะส่งสัญญาณในช่วงสิ้นสุดของ Ethernet Frame

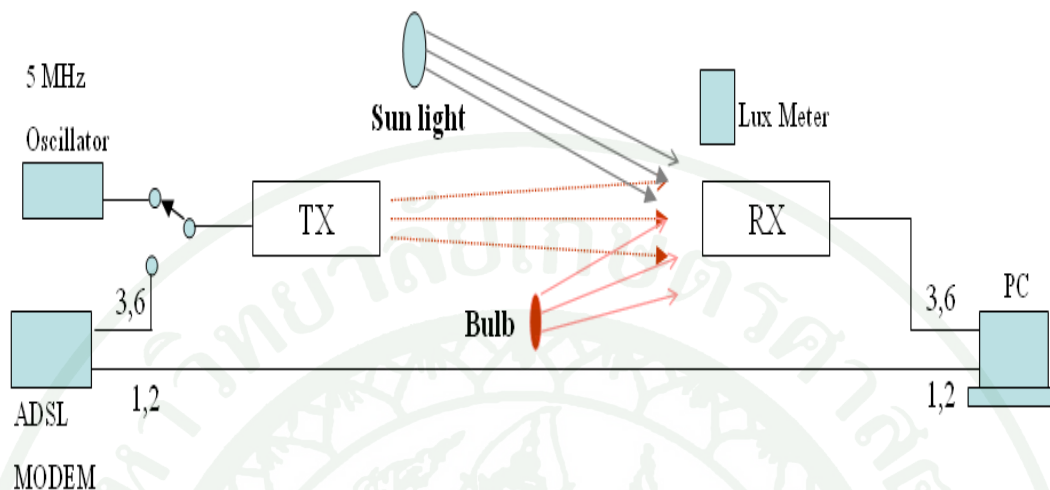
หมายเหตุ บน (สีน้ำเงิน) เป็นสัญญาณขาเข้า (Input)

ล่าง (สีแดง) เป็นสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นใหม่จากชุดอุปกรณ์รับแสง

4.2 การทดสอบเพื่อหาค่าความสว่างของสัญญาณแสงที่มากที่สุดและต่ำสุดที่ชุดอุปกรณ์รับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสงยังคงสามารถใช้งานได้ พร้อมกับหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของสัญญาณแสงกับจำนวนความผิดพลาดของข้อมูลเมื่อมีค่าปริมาณความส่องสว่างของแสงรบกวนข้างเคียงที่ปริมาณต่างๆ

ขั้นตอนการทดสอบ

4.2.1 กำหนดรูปแบบการทดสอบดังภาพที่ 78



ภาพที่ 78 ฟังการทดสอบวัดค่าความผิดพลาดข้อมูลที่ค่าความสว่างปริมาณ ต่างๆ

- 4.2.2 ใช้หลอดไฟฟ้าชนิดไส้ขนาด 100 วัตต์เพื่อสร้างสัญญาณแสงรบกวนข้างเคียง (Ambient Noise) พร้อมบันทึกผล ลงในตารางที่ 3
- 4.2.3 เลือกใช้ตัวส่งแสงที่ใช้ LED เป็นตัวกำเนิดแสง
- 4.2.4 กดสวิทช์เลือกส่งคลื่นแสงที่มาจากวงจรกำเนิดความถี่พัลส์ 5 MHz
- 4.2.5 ใช้อุปกรณ์วัดแสง (Lux meter) รุ่น MLM -1010 วัดความสว่างของแสงพร้อมบันทึกผลลงในตารางที่ 3
- 4.2.6 กดสวิทช์เลือกส่งคลื่นแสงที่รับสัญญาณข้อมูลมาจากอุปกรณ์ ADSL MODEM รุ่น GM-301
- 4.2.7 ใช้คำสั่ง Ping จากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยัง IP Address (192.168.1.1) ของอุปกรณ์ ADSL MODEM เพื่อทดสอบหาค่า Packet Loss พร้อมวัดผล ลงในตารางที่ 3
- 4.2.8 เปลี่ยนตำแหน่งระยะทางของตัวส่งสัญญาณแสงเพื่อปรับค่าความสว่างของสัญญาณแสงส่องไปยังตัวรับแสงพร้อมบันทึกค่าลงในตารางที่ 3
- 4.2.9 เปลี่ยนตำแหน่งระยะทางของหลอดไฟฟ้าที่สร้างแสงรบกวนข้างเคียง เพื่อปรับค่าความสว่างของแสงรบกวนข้างเคียงที่ส่องไปยังตัวรับแสงพร้อมบันทึกค่าลงในตารางที่ 3

4.2.10 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 4.2.2 ถึง 4.2.11 จนกระทั่งทราบค่าความสว่างของสัญญาณแสงที่มากที่สุดและน้อยสุดที่ชุดอุปกรณ์รับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสงนี้ยังไม่สูญเสียสัญญาณ Normal Link Pulse (NLP) หรือไม่สามารถเชื่อมโยงเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้

4.2.11 บันทึกค่าผลการทดลองต่างๆลงในตารางที่ 3

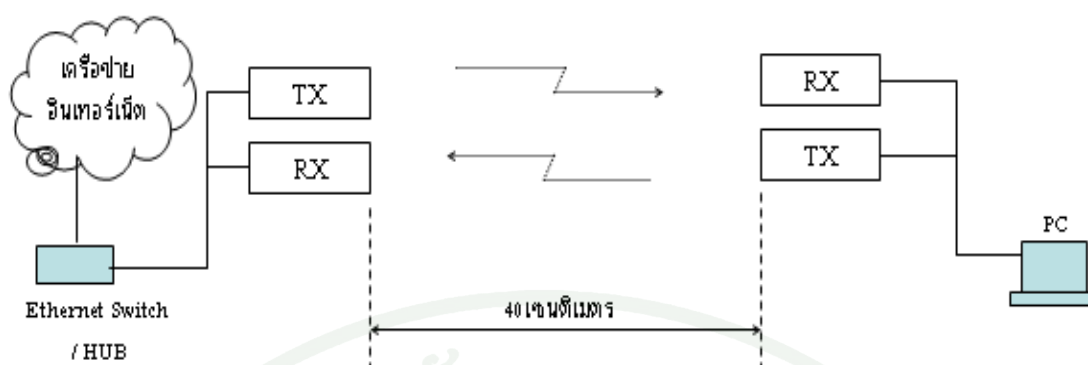
ตารางที่ 3 ผลการวัดค่า Packet Loss ที่ค่าความสว่างของแสงปริมาณต่างๆ

แสงสว่างจาก ตัวส่งสัญญาณ แสง (ลักส์)	แสงสว่างจาก หลอดไฟข้างเคียง (5 ลักส์)	แสงสว่างจาก หลอดไฟข้างเคียง (500 ลักส์)	แสงสว่างจาก หลอดไฟข้างเคียง (10,000 ลักส์)	แสงสว่างจาก ดวงอาทิตย์ (30,000 ลักส์)
เปอร์เซ็นต์การสูญเสียข้อมูล (%)				
1000	100	100	100	100
800	0.33	0.00	0.67	0.10
400	0.00	0.39	0.00	0.09
200	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.00	0.00	0.00	0.09
20	0.00	0.00	0.00	0.08
15	0.00	0.00	0.00	0.69
10	100	100	100	100

4.3 ทดสอบการใช้งานเชื่อมโยงเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในช่วงระยะทางประมาณ 40 เซนติเมตร

ขั้นตอนการทดสอบ

4.3.1 เชื่อมโยงอุปกรณ์ดังภาพที่ 79



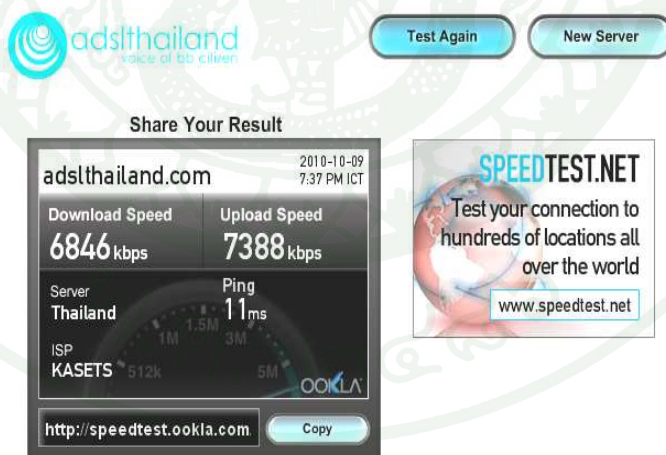
ภาพที่ 79 ผังการทดสอบเชื่อมโยงข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านคลื่นแสงที่ระยะทาง 40 เซนติเมตร

4.3.2 ใช้ชุดตัวส่งสัญญาณแสงที่ใช้แอลอีดีเป็นตัวกำเนิดแสง

4.3.3 ปรับเล็งทิศทางให้ตัวส่งและรับอยู่ในแนวเดียวกัน

4.3.4 ปรับระยะห่างระหว่างตัวส่งแสงกับตัวรับแสงที่ประมาณ 40 เซนติเมตร หรือ ปรับระยะทางเพื่อให้ความเข้มแสงอยู่ในช่วงประมาณ 20 ถึง 200 ลักส์

4.3.5 ทดลองใช้งานเชื่อมโยงเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

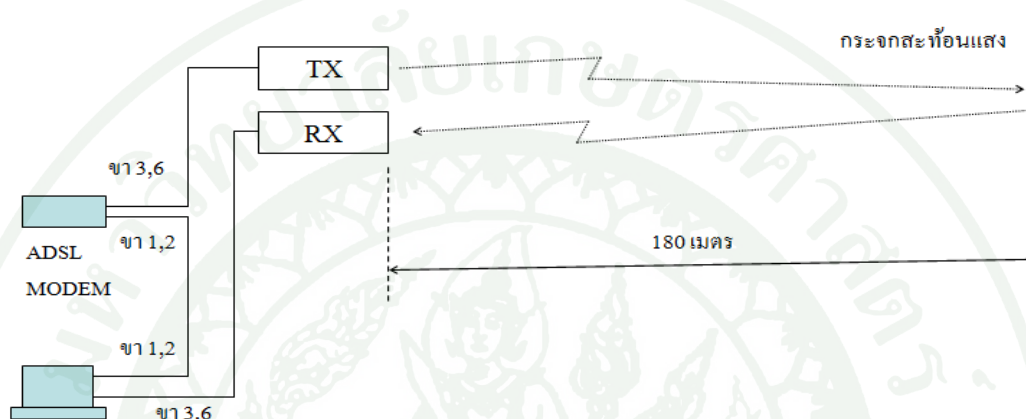


ภาพที่ 80 ผลการทดสอบวัดค่าความเร็วรับส่งข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

4.4 การทดสอบวัดค่า Packet Loss ที่ระยะทางประมาณ 360 เมตร (180*2)

ขั้นตอนการทดสอบ

4.4.1 ติดตั้งอุปกรณ์ ดังภาพที่ 81



ภาพที่ 81 ฟังการทดสอบวัดค่า Packet Loss จากการเชื่อมโยงเครือข่ายอีเทอร์เน็ตระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ ADSL MODEM ที่ระยะทาง 360 เมตร

4.4.2 ใช้ชุดตัวส่งสัญญาณแสงที่ใช้เลเซอร์พอยน์เตอร์ ขนาดกำลังส่งประมาณ 5 มิลลิวัตต์ เป็นตัวกำเนิดแสง

4.4.3 กดสวิทช์เลือกส่งสัญญาณที่มาจากวงจรกำเนิดความถี่ 5 MHz เพื่อใช้ในการตั้งปรับทิศทางลำแสงให้ตัวส่งและตัวรับอยู่ในแนวตรงกัน และวัดความเข้มแสงไม่ให้มีน้อยหรือมากเกินไปโดยการสังเกต LED Indicator ในวงจร Received Strength Signal Indicator (RSSI)

4.4.4 กดสวิทช์เลือกสัญญาณที่มาจากอุปกรณ์ ADSL MODEM

4.4.5 ใช้คำสั่ง Ping 192.168.1.1 -t ซึ่งเป็นคำสั่งทดสอบวัดค่า Packet Loss ระหว่าง Network Card ที่อยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ ADSL Router Modem

4.4.6 บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4

```

Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64

```

ภาพที่ 82 ผลการใช้คำสั่ง Ping ทดสอบการเชื่อมโยงเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านลำคลื่นแสงที่ระยะทาง 360 เมตร

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบวัดค่าความผิดพลาดข้อมูล (Packet Loss) ที่ระยะทาง 360 เมตร

ระยะทาง (เมตร)	จำนวน Packet ที่ส่ง (Packet)	จำนวน Packet ที่ ได้รับ (Packet)	จำนวน Packet ที่ สูญหาย (Packet)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย ของ Packet (%)
360	2,350	2,346	4	0.17

4.5 วัดอัตราการสิ้นเปลืองการใช้พลังงานไฟฟ้าของชุดอุปกรณ์รับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสง

ผลการวัดความสิ้นเปลืองปริมาณกระแสไฟฟ้าของภาคส่งเมื่อใช้เลเซอร์พอยเตอร์ที่นำมาจากปากกาเลเซอร์ ซึ่งมีกำลังส่งประมาณ 5 มิลลิวัตต์ จะสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าขณะไม่มีการส่งข้อมูลประมาณ 54 มิลลิแอมแปร์ และในขณะมีการส่งข้อมูลประมาณ 120 มิลลิแอมแปร์

ผลการวัดความสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าของภาครับ จะสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าขณะไม่มีการรับข้อมูล ประมาณ 100 มิลลิแอมแปร์ และในขณะที่มีการรับข้อมูล ประมาณ 117 มิลลิแอมแปร์

รวมการสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าของชุดอุปกรณ์รับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสงเมื่อใช้เลเซอร์พอยเตอร์ขนาด 5 มิลลิวัตต์ จะสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าในขณะที่ไม่มีการส่งข้อมูลประมาณ 154 มิลลิแอมแปร์ และในขณะที่มีการส่งข้อมูล ประมาณ 237 มิลลิแอมแปร์ ซึ่งหากคิดเป็นจำนวนการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมกันทั้งภาคส่งและภาครับ โดยใช้สูตรคำนวณ

$$P = I \times V \quad (35)$$

เมื่อ

P = พลังงานไฟฟ้า หน่วยเป็นวัตต์ (Watt)

I = กระแสไฟฟ้า หน่วยเป็นแอมแปร์ (Ampere)

V = แรงดันไฟฟ้า หน่วยเป็นโวลต์ (Volt)

ดังนั้นความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของชุดอุปกรณ์ เมื่อขณะไม่มีการส่งข้อมูลเท่ากับ $154 \times 10^{-3} \times 21$ หรือเท่ากับ 3.2 วัตต์ และขณะส่งข้อมูลจะเท่ากับ $237 \times 10^{-3} \times 21$ หรือเท่ากับ 5 วัตต์

ผลและวิจารณ์

ผล

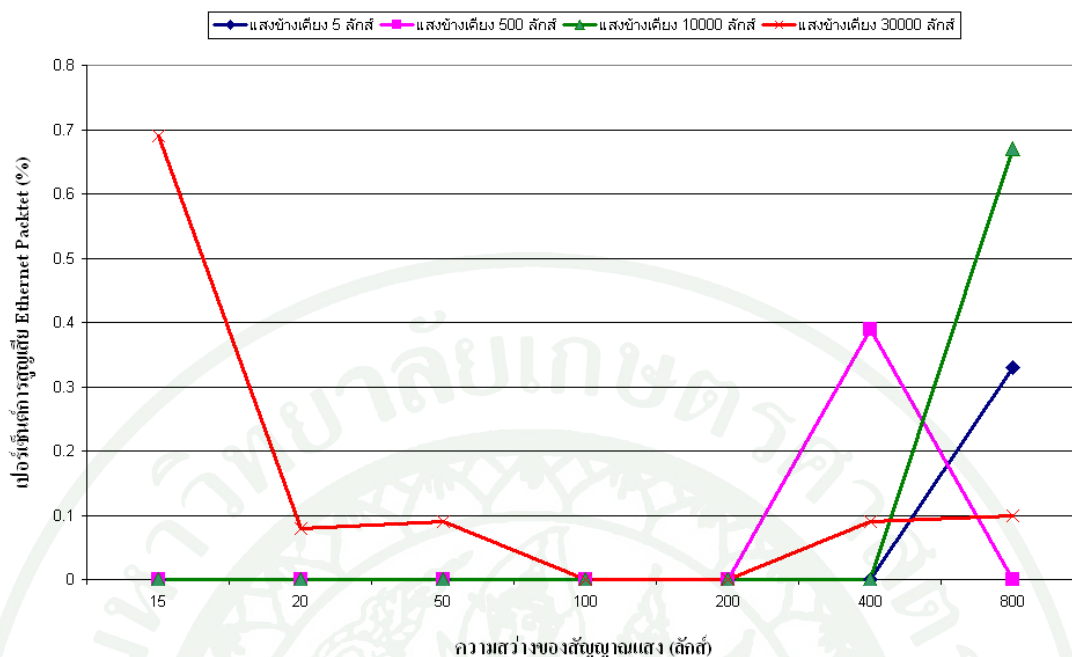
จากผลการทดสอบอุปกรณ์รับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสง พอที่จะประเมินผลได้ดังนี้

จากภาพที่ 74 แสดงให้เห็นว่าในช่วงขณะที่ไม่มีการส่งข้อมูลนั้น ชุดอุปกรณ์สามารถสร้างสัญญาณ NLP ขึ้นใหม่ได้ตรงกับทางด้านส่ง และไม่มีการสร้างสัญญาณพัลส์รบกวนขึ้น แต่ทั้งนี้พอจะสังเกตได้ว่าขนาดของสัญญาณรบกวน Noise Floor ด้านเอาต์พุต จะสูงกว่าด้านอินพุตเล็กน้อย

จากภาพที่ 75 สังเกตจากช่วงระยะเวลาที่ต่างกันของสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออก จากชุดอุปกรณ์รับและส่งสัญญาณแสง จะมีค่า Propagage delay time ประมาณ 120 นาโนวินาที (ns)

จากภาพที่ 76 และ 77 สัญญาณขาออก (Out put) ของชุดรับแสงจะแตกต่างไปจากรูปคลื่นสัญญาณด้านขาเข้า (In put) โดยเฉพาะในช่วงเริ่มต้นและช่วงสิ้นสุดของการส่งข้อมูลของ Ethernet Frame ซึ่งความผิดเพี้ยนของสัญญาณนี้ควรที่จะได้ปรับปรุงในส่วนของวงจร Differential Line Driver ต่อไป

จากภาพที่ 80 ผลการวัดค่าความเร็วการรับ-และส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตตามผังการทดสอบในภาพที่ 79 โดยทดสอบวัดความเร็วการรับส่งข้อมูลจากเว็บไซต์ <http://speedtest.adslthailand.com> ซึ่งได้ผลตัวเลขค่าความเร็วด้านรับข้อมูล (Download Speed) ที่ค่าประมาณ 6.846 Mbps และด้านส่งข้อมูล (Upload Speed) ที่ค่าประมาณ 7.388 Mbps ซึ่งชุดอุปกรณ์มีความสามารถพอที่จะรองรับการใช้งานเชื่อมโยงเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและใช้บริการอินเทอร์เน็ตได้



ภาพที่ 83 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Packet Loss ความสว่างของสัญญาณแสง และ ความสว่างของแสงข้างเคียง (Ambient Noise)

จากตารางที่ 3 และภาพที่ 83 ผลของการใช้คำสั่ง Ping เพื่อทดสอบหาค่า Packet Loss ที่ความสว่างของสัญญาณแสงมีค่าต่างๆพบว่าอุปกรณ์ชุดรับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสงนี้ทำงานได้มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อความสว่างของสัญญาณแสงอยู่ในช่วงประมาณตั้งแต่ 15 ลักส์ ถึง 200 ลักส์ ซึ่งจะมีค่า Packet Loss เป็นศูนย์ และปริมาณความสว่างของสัญญาณแสงที่มีค่า Packet Loss ต่ำกว่า 0.7 เปอร์เซ็นต์ จะอยู่ในช่วงประมาณ 15 ถึง 800 ลักส์ แต่หากความสว่างของสัญญาณแสงมีค่าต่ำกว่า 15 ลักส์ หรือสูงกว่า 800 ลักส์ จะเป็นผลทำให้ไม่สามารถเชื่อมโยงเครือข่ายได้และทำให้การใช้คำสั่ง Ping จะแจ้งข้อความ “Request Time Out” หรือ “A network cable is unplugged” แสดงขึ้นที่หน้าจอเครื่องคอมพิวเตอร์ สำหรับปริมาณความสว่างของแสงรบกวนข้างเคียงนั้น หากสังเกตจากเส้นกราฟที่แสงข้างเคียงมีค่า 30,000 ลักส์ (กราฟเส้นสีแดง) พอจะสรุปได้ว่าระบบมีแนวโน้มที่จะเกิดค่าความผิดพลาดข้อมูล (Packet Loss) สูงขึ้นเมื่อค่าความสว่างของแสงรบกวนข้างเคียงมีค่าเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4 และภาพที่ 82 ผลของการทดสอบวัดค่าอัตราการสูญเสียข้อมูลของ Ethernet Frame (Ethernet Packet Loss) ที่ระยะทางประมาณ 360 เมตร โดยใช้เลเซอร์พอยเตอร์เป็นตัวกำเนิดสัญญาณแสง และใช้คำสั่ง Ping ทดสอบไปยัง เป็น IP Address ของ ADSL Router Modem

รุ่น GM-301 ได้ผลค่าความผิดพลาดของ Packet Loss ประมาณ 0.17 % จากการส่งจำนวนทั้งหมด 2,350 Packet

วิจารณ์

จากผลการวัดรูปสัญญาณไฟฟ้าและทดลองใช้งานชุดอุปกรณ์ชุดรับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสงที่ได้ออกแบบขึ้นนี้ สรุปได้ว่าอุปกรณ์สามารถที่จะนำไปใช้สำหรับเชื่อมโยงเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบจุดต่อจุด (Point to Point) ที่ความเร็วรับส่งข้อมูล 10 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 360 เมตร ได้สำเร็จ และสามารถรองรับการใช้งานอินเทอร์เน็ตได้ตามเป้าหมาย ซึ่งคาดว่าจะสามารถนำไปพัฒนาประยุกต์ติดตั้งใช้งานได้จริงต่อไปได้ และจะเป็นประโยชน์สำหรับในกรณีที่ต้องการใช้งานที่ต้องการหลีกเลี่ยงปัญหาอุปสรรคจากการใช้คลื่นความถี่วิทยุและปัญหาของการติดตั้งพาดสายเคเบิล หรือใช้สำหรับกรณีเพื่อการศึกษา บุคคลทั่วไปที่มีความรู้ด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์น่าจะสามารถสร้างชุดอุปกรณ์นี้ด้วยตัวเองได้ เนื่องจากวงจรออกแบบที่ใช้ในโครงการไม่มีความสลับซับซ้อนมากนัก ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมความสามารถในการพึ่งพาตนเองได้ แต่ทั้งนี้ผู้ใช้งานต้องยอมรับในบางสถานะที่อาจจะไม่สามารถใช้งานได้ปกติ เช่น กรณีหมอกลงจัด ฝนตก และกรณีการที่มีคลื่นในตัวหรือการแกว่งตัวของจุดติดตั้งอุปกรณ์ชุดรับ-ส่งแสงเป็นต้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

โครงการมีเป้าหมายและวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางการศึกษาและออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับใช้เชื่อมโยงเครือข่าย Ethernet ผ่านลำคลื่นแสงแบบจุดต่อจุด (Point to Point) ในระดับแนวสายตา (Line of Sight) เพื่อเป็นตัวเลือกเพิ่มเติมในกรณีที่ต้องการหลีกเลี่ยงปัญหาอุปสรรคจากการติดตั้งระบบเชื่อมโยงทางสาย และปัญหาจากการรบกวนของระบบคลื่นวิทยุ หรือข้อจำกัดตาม พ.ร.บ. วิทยุคมนาคม ซึ่งคาดหวังว่าชุดอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้นนี้ จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้รับและส่งข้อมูลในงานด้านต่างๆต่อไปได้

การดำเนินงานโครงการได้เริ่มตั้งแต่การศึกษาระบบเชื่อมโยงเครือข่ายอีเทอร์เน็ต (Ethernet Network) และวิเคราะห์คลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้งานจริงจากระบบเครือข่ายอีเทอร์เน็ตของมาตรฐาน 10Base-T ซึ่งจะเป็สัญญาณชนิด Differential Line Signal ดังนั้นในภาคส่งจึงต้องแปลงสัญญาณจาก Differential Line Signal นี้ไปเป็นสัญญาณชนิด TTL เพื่อให้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ดิจิทัลทั่วไป และจากนั้นทำการปรับแต่งความกว้างของพัลส์และเปลี่ยนเป็นสัญญาณแสงผ่านตัวกลางอากาศโดยอุปกรณ์กำเนิดแสง ซึ่งอาจจะเป็นไดโอดเปล่งแสง (LED) หรือ เลเซอร์พอยเตอร์ที่นำมาจากปากกาเลเซอร์ สำหรับในส่วนของภาครับแสงซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนจากสัญญาณแสงกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยใช้ฟิโนโฟโตไดโอด เบอร์ SFH203 ต่อร่วมกับตัวต้านทานในลักษณะวงจร Wheastone Bridge และใช้อุปกรณ์ MOSFET เบอร์ BF908WR ประกอบเป็นวงจรขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier) เพื่อให้สัญญาณรบกวนมีค่าต่ำ และจากนั้นใช้อุปกรณ์ UA733 เป็นวงจรแอกติฟคิฟเฟอร์เรนจิเอเตอร์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณพร้อมทั้งเปลี่ยนสัญญาณจากรูปสามเหลี่ยมให้กลับเป็นสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม และเนื่องจากระบบที่ได้ออกแบบนี้ จะไม่มีการส่งแทรกสัญญาณพัลส์เสริมเข้าไปในช่วงเวลาที่อุปกรณ์เครือข่ายไม่มีการส่งข้อมูล (Idle Time) แต่จะส่งสัญญาณเฉพาะเมื่อได้รับสัญญาณจากอุปกรณ์เครือข่ายอีเทอร์เน็ต ซึ่งจะเป็นการส่งข้อมูลออกไปเป็นช่วงสั้นๆเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงเป็นเหตุทำให้ในภาครับแสงเกิดค่าเฉลี่ยดีซี (DC Component) ที่ไม่คงที่ และเกิดสภาวะ Transient State Response Time Delay และมีผลทำให้จุดทำงานของวงจรในภาครับแสงมีค่าไม่คงที่ โดยเฉพาะในช่วงเริ่มต้นของการส่งข้อมูล Ethernet Frame ซึ่งจะส่งผลทำให้วงจรตรวจจับสัญญาณพัลส์ตัดสินใจผิดพลาด จึงได้แก้ปัญหานี้ด้วยการนำสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของวงจร Differential Amplifier นี้ไปผ่านวงจร RC Passive Differentiator เพื่อเปลี่ยนจากสัญญาณชนิดยูนิโพลาร์ (Unipolar Signal) ไปเป็นสัญญาณชนิดโ

ลาร์ (Polar Signal) ซึ่งสัญญาณชนิดโพลาร์นี้จะมีแรงดันช่วงลบเท่ากับแรงดันช่วงบวกและมีการหักล้างกัน ผลทำให้ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าคงที่ตลอดเวลา และช่วยให้วงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าทำงานได้ถูกต้อง

จากผลการทดสอบวัดปริมาณแสงที่อุปกรณ์สามารถใช้งานได้ดีที่สุดจะอยู่ในช่วงประมาณ 15 ถึง 200 ลักส์ และยังคงพอสามารถใช้งานได้แต่จะมีโอกาสความผิดพลาดของข้อมูลต่ำกว่า 0.7% เมื่อความเข้มของสัญญาณแสงอยู่ในช่วง 200 ถึง 800 ลักส์ โดยที่ปริมาณแสงรบกวนที่ความถี่ต่ำกว่า 50 Hz และมีค่าไม่เกิน 30,000 ลักส์ แต่ชุดอุปกรณ์จะไม่สามารถเชื่อมโยงเครือข่ายข้อมูลได้เมื่อค่าความสว่างของสัญญาณแสงมีค่าน้อยกว่า 15 ลักส์ หรือมากกว่า 800 ลักส์

จากผลการวัดค่าความเร็วการรับ-และส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจากเว็บไซต์ <http://speedtest.adslthailand.com> ได้ผลตัวเลขค่าความเร็วด้านรับข้อมูล (Download Speed) ที่ค่าประมาณ 6846 kbps และด้านส่งข้อมูล (Upload Speed) ที่ค่าประมาณ 7388 kbps

ในส่วนสุดท้ายเป็นการสาธิตประยุกต์การใช้งานเชื่อมโยงเครือข่าย Ethernet และ Internet ที่ระยะทางประมาณ 360 เมตร ซึ่งพบว่ามียัตราการสูญเสียข้อมูล (Packet Loss) จำนวน 4 Packet จากจำนวน 2,350 Packet หรือคิดเป็นประมาณร้อยละ 0.17

จากการดำเนินงานที่ผ่านมา สามารถสรุปผลการศึกษาและออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์รับและส่งข้อมูลผ่านลำคลื่นแสงนี้ได้ว่าสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการคือสามารถเชื่อมโยงเครือข่าย และสามารถรองรับการใช้งานบริการอินเทอร์เน็ตได้ ที่ระยะทางประมาณ 360 เมตร และมีสมรรถนะเพียงพอที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์ต่อไปได้

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาในลำดับขั้นต่อไปเช่นการเพิ่มระยะทางการรับและส่งข้อมูลน่าจะทำให้ได้โดยการเพิ่มกำลังส่ง และเพิ่มขนาดของเลนส์รวมแสงให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น รวมถึงการปรับปรุงภาควงจรรับแสงในส่วนของโฟโตไดโอดปริแอมพลิไฟเออร์ให้เป็นแบบ Differential Amplifier ที่ใช้ Active Load แทนการใช้ตัวต้านทานไฟฟ้า (Passive Load) และ

สำหรับการเพิ่มความเร็วในการรับส่งข้อมูลโดยอาจจะใช้วิธี Multi Level หรือ Pulse Position Modulation (PPM)

สำหรับปัญหาอุปสรรคในการใช้งานระยะไกลคือไม่สะดวกต่อการติดตั้งชุดอุปกรณ์รับและส่งแสง โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางวันเนื่องจากมองไม่เห็นลำแสงที่จะเล็งไปยังเป้าหมาย เนื่องจากความสว่างของปมลำแสงไม่มีความสว่างพอ รวมถึงประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์อาจจะถูกลดประสิทธิภาพจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมเช่น หมอก คว้น ฝนตก แนวทิศทางของแสงอาทิตย์ และที่สำคัญคือการเคลื่อนตัวหรือสั่นไหวของจุดติดตั้ง ซึ่งอาจจะต้องพัฒนาในส่วนของวงจรควบคุมทิศทางลำแสง และควบคุมเกณฑ์การขยายสัญญาณแบบอัตโนมัติ (Automatic Gain Control: AGC) ต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. 2550. ประกาศคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง เครื่องวิทยุคมนาคมและสถานีวิทยุคมนาคมที่ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต. 29 สิงหาคม 2550

AnaesthesiaUK. 2004. **The Invasive Arterial System and Wheatstone Bridge**. Available Source: <http://www.frca.co.uk/article.aspx?articleid=336>, June 3, 2010.

CableFree Solutions limited. n.d. **FSO Technology**. Available Source: <http://www.cablefreesolutions.com/fsotechnology.htm>, February 2, 2010.

Creighton university medical center School of medicine. n.d. **What is Infrared Energy?**. Available Source: http://altmed.creighton.edu/sauna/how_it_works.htm, May 29, 2010.

Elec-intro.com. 2009. **ethernet rj45**. Available Source: <http://www.elec-intro.com/ethernet-rj45>, November 2, 2009.

Electrical Engineering Training series. n.d. **Differential Amplifier**. Available Source: http://www.tpub.com/content/neets/14180/css/14180_101.htm, June 2, 2009.

Electronics-Tutorials. n.d. **Electronics Tutorial about Differential Operational Amplifiers**. Available Source: http://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_5.html, June 1, 2010.

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/>, May 28, 2010.

Ken Kundert. 2004. **Power Supply Noise Reduction**. Available Source:

<http://www.designers-guide.org/Design/bypassing.pdf>, June 6, 2010.

Khumsat Panumas, Noppadol Wattanapisit and Karel Kulhavey. 2006. **Low-Cost-Laser-Base Wireless Optical Transceiver for 10- Mbps Ethernet Link**, p. 2. In 2006 IEEE Region 10 Conference.

Mark Johnson. 2003. **Photodetection and Measurement**. 1 ed. McGraw-Hill, U.S.A.

Microchip Technology inc. 2006. **TC1411/TC1411N, 1 A High-Speed Mosfet Drivers**.

Available Source: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21390d.pdf>, May 20, 2010.

National semiconductor. 1992. **Fail Safe Biasing of Differential Ibuses**. Available Source:

<http://www.national.com/an/AN/AN-847.pdf>, June 5, 2010.

_____. 1998. **Ds26ls31c/Ds26ls31m Quad High Speed Differential Line Driver**.

Available Source: http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/228/216165_DS.pdf, May 17, 2010.

_____. 1999. **Ds26ls32ac/Ds26ls32c/Ds26ls32m/Ds26ls33m Quad Differential Line**

Receivers. Available Source: <http://www.national.com/ds/DS/DS26LS32AC.pdf>, May 19, 2010.

_____. 2000. **LM78XX Series Voltage Regulators**. Available Source:

<http://pdfdata.datasheetsite.com/web/533324/LM7812CT.pdf>, May 20, 2010.

NXP Semiconductors. 1995. **BF908wr N-Chanel Dual-gate MOS-FET**. Available Source:

http://www.nxp.com/documents/data_sheet/BF908WR.pdf, May 14, 2010.

_____. 2004. **PH2369 NPN Switching Transistor**. Available Source:

http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PH2369.pdf, May 15, 2010.

Olympus America Inc. n.d. **Avalanche Photodiodes**. Available Source:

<http://www.olympusmicro.com/primer/digitalimaging/concepts/avalanche.html>, May 30, 2009.

Philips Lumileds Lighting Company. 2007. **Superflux LEDs Technical Datasheet DS05**.

Available Source: <http://www.philipslumileds.com/uploads/3/DS05-pdf>, May 22, 2010.

Robert J.Hoss and Edward A.lacy. 1993. **Fiber Optics**. 2 ed. prentice-Hall, U.S.A..

Ronja Twibrightlabs. n.d. Available Source: <http://ronja.twibright.com/>, May 30, 2009.

Steve Hranilovic. 2005. **Wireless Optical Communication Systems**. Springer, U.S.A..

Siemens Semiconductor Group. 1996. **SFH 203 Silicon PIN Photodiode with Very Short Switching Time**. Datasheet Catalog.com. Available Source:

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/siemens/SFH217F.pdf>, May 5, 2010.

Texas Instruments incorporated. 2002. **OPA355, 2355, 3355, 200 MHz Operational Amplifier with Shutdown**. Available Source:

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/opa3355.pdf>, May 28, 2010.

_____. 2004. **SN54HC14 SN74HC14 Hex Schmitt-Trigger Inverters**. Available Source:

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/b/0dosa061ci0slrkis3hf5etqc8fy.pdf>, June 2, 2010.

_____. 2004. **Ua733C, Ua733M Differential Video Amplifiers**. Available Source:
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/ua733.pdf>, February 5,
 2010.

Wikipedia. n.d. **Photophone**, Available Source: <http://en.wikipedia.org/wiki/Photophone>, May
 30, 2009a.

_____. n.d. **Ronja**. Available Source:
http://en.wikipedia.org/wiki/RONJA#System_Overview, February 2, 2009b.

_____. n.d. **Modular Connector**. Available Source:
http://en.wikipedia.org/wiki/Modular_connector, May 24, 2009c.

_____. n.d. **Category 5 Cable**. Available Source:
http://en.wikipedia.org/wiki/Category_5_cable, May 28, 2009d.

_____. n.d. **Manchester Code**. Available Source:
http://en.wikipedia.org/wiki/Manchester_code, May 29, 2009e.

_____. n.d. **Light-emitting Diode**. Available Source: http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode, May 30, 2010a.

_____. n.d. **Laser**. Available Source: <http://en.wikipedia.org/wiki/Laser>, May 30, 2010b.

_____. n.d. **Avalanche Photodiode**. Available Source:
http://en.wikipedia.org/wiki/Avalanche_photodiode, May 30, 2010c.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายสันติ ผาสุข
เกิดวันที่	2 กุมภาพันธ์ 2513
สถานที่เกิด	อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (ไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกร
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน)
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนพัฒนาบุคลากรจากบริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน)