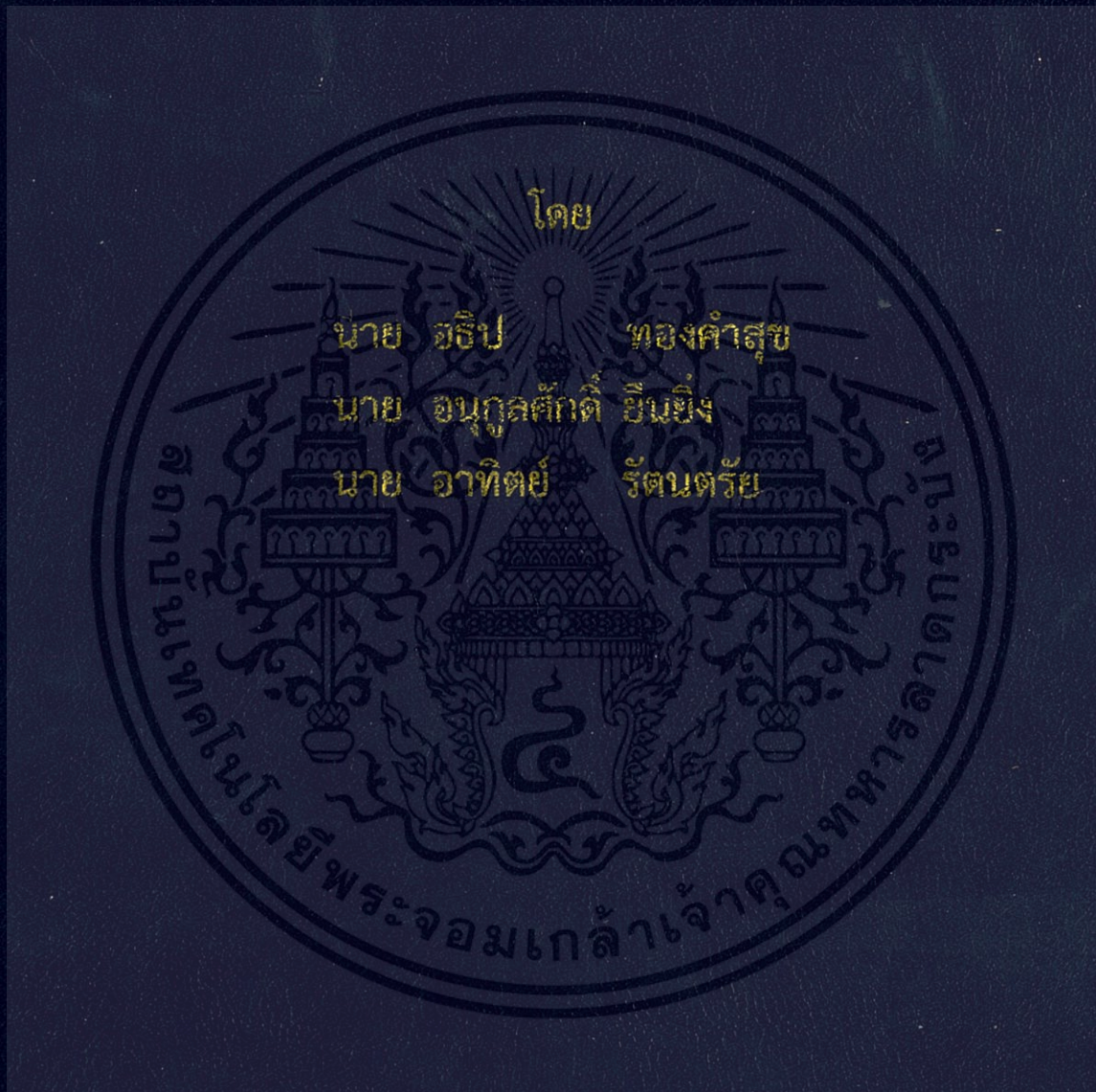


ระบบสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า
Power Line Communication System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

ระบบสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า
Power Line Communication System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER LINE COMMUNICATION SYSTEM



A PAPER SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

1. นาย อธิป ทองคำสุข
2. นาย อนุกุลศักดิ์ ยืนยิ่ง
3. นาย อาทิตย์ รัตน์ตรัย



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า

นาย อธิป ทองคำสุข
นาย อนุกุลศักดิ์ ยืนยิ่ง
นาย อาทิตย์ รัตนตรัย
ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

โครงการนี้พัฒนาระบบสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ากำลังซึ่งสามารถส่งข้อมูลผ่านสายเคเบิลไฟฟ้าได้ ตัวแปลงการส่งและตัวรับถูกพัฒนาขึ้นเพื่อการสื่อสารและถูกใช้เพื่อควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าระยะไกล ข้อดีของวิธีนี้คือราคาถูก วิธีการง่ายต่อการใช้และสามารถส่งข้อมูลระยะไกลได้ จากผลการจำลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในความสำเร็จในการสื่อสารแบบดิจิทัล และความคงทนต่อสัญญาณรบกวนแบบแลนดอม (random)



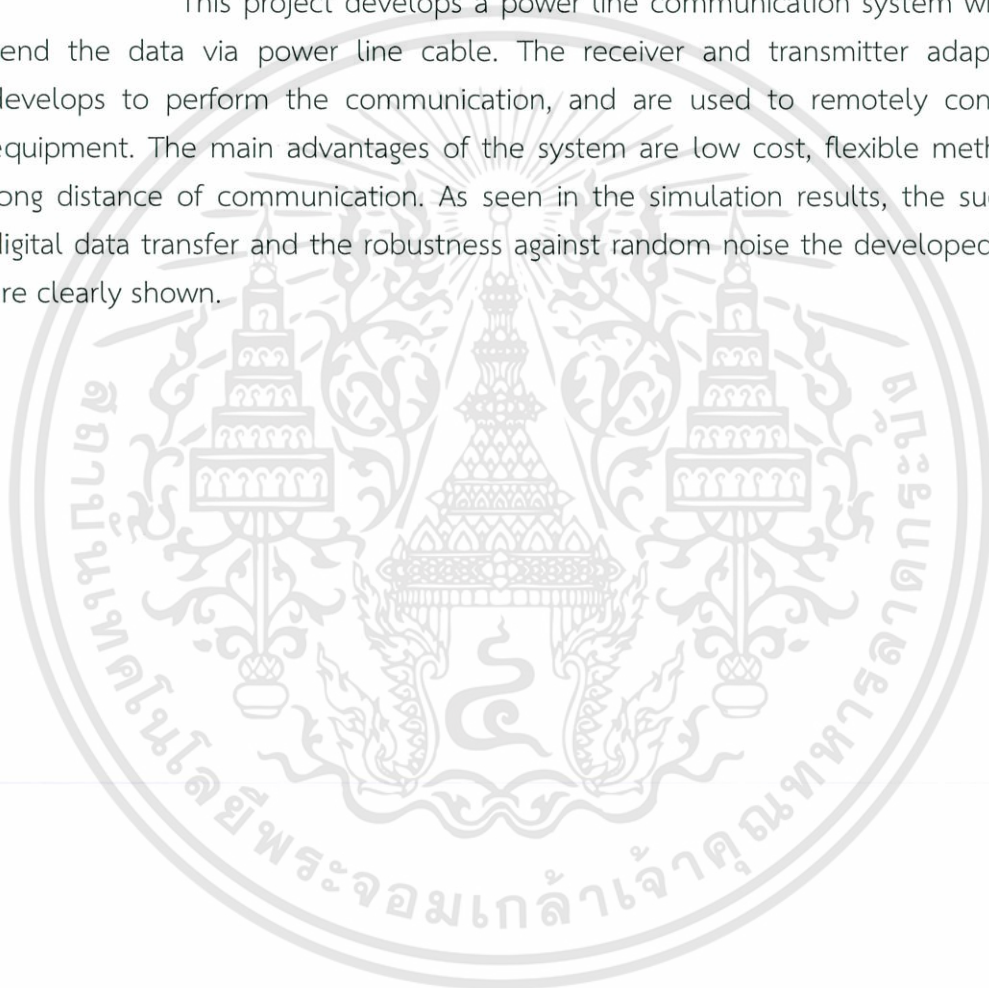
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power Line Communication System

Atip	Thongkumsuk
Anukoonsank	Yuenying
Athit	Rattana-trai
Dr. Somyot	Kaitwanidvilai supervisor
Year 2012	

ABSTRACT

This project develops a power line communication system which can send the data via power line cable. The receiver and transmitter adapters are developed to perform the communication, and are used to remotely control the equipment. The main advantages of the system are low cost, flexible method and long distance of communication. As seen in the simulation results, the success of digital data transfer and the robustness against random noise the developed system are clearly shown.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษาคือ ผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดี สม่ำเสมอตลอดมา และต้องขอบคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ และประสบการณ์ รวมถึงเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้ยืมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงานและเพื่อนๆ ที่ได้ให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือต่างๆ รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องที่ไม่ได้เอ่ยนาม

ตลอดระยะเวลาในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ซึ่งให้ความรัก ความเมตตา ความห่วงใย และเป็นกำลังใจ รวมถึงสนับสนุนด้านเงินทุนให้กับผู้จัดทำจนสำเร็จ รวมทั้งญาติพี่น้องที่คอยให้กำลังใจ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
2.1.1 ความเป็นมา ของการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (PLC)	4
2.2 เทคโนโลยีที่นำมาประยุกต์เข้ากับโครงการ	5
2.2.1 เทคโนโลยีการส่งสัญญาณผ่านสายไฟฟ้าแบบ X-10	5
2.2.2 แถบความถี่สัญญาณการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Bandwidth of AC PLC)	6
2.3 หลักการสื่อสารผ่านสายส่งกำลังไฟฟ้า	6
2.4 การสื่อสารข้อมูล (Data Communication)	6
2.4.1 องค์ประกอบของการสื่อสาร	7
2.5 การสื่อสารแบบดิจิทัล	8
2.5.1 หน่วยของข้อมูลและหน่วยของสัญญาณ	8
2.5.2 อัตราบอด (Baud Rate)	9

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.3 คุณสมบัติพิเศษของสัญญาณดิจิทัล	9
2.5.4 การส่งผ่านข้อมูลดิจิทัล (Digital Transmission)	10
2.5.7 วิธีของการส่งและเทคนิค (Transmission Mode Techniques)	13
2.6 การมอดูเลตเชิงขนาด (Amplitude Modulation: AM)	14
2.6.1 ดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index)	16
2.7 การสื่อสารดิจิทัลแบบแบนด์พาส (Band pass digital communication)	18
2.7.1 การมอดูเลตทางแอมพลิจูด (Amplitude-shift Keying: ASK)	18
2.8 การส่งสัญญาณแบบเบสแบนด์ (Baseband Transmission)	21
2.8.1 การมอดูเลตสัญญาณแบบเบสแบนด์	21
2.8.2 ชนิดของพัลส์มอดูเลต	21
2.8.2.1 การมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์ (Pulse Amplitude Modulation)	22
2.8.2.2 การมอดูเลตแบบช่วงกว้างพัลส์และการมอดูเลต ตำแหน่งพัลส์ (Pulse Duration Modulation and Pulse Position Modulation)	23
2.9 การสร้างสัญญาณคืนจากการมอดูเลตเชิงขนาด (Demodulation)	26
2.9.1 การสร้างสัญญาณคืนโดยออคัยกรอบ (Envelope Detector)	26
2.9.2 การสร้างสัญญาณคืนโดยใช้ซิงโครนัสดีเทคเตอร์ (Synchronous Detector)	28
บทที่ 3 ผลการทดลองและการออกแบบ	30
3.1 ผลการทดลอง	30
3.1.1 การทดลองภาคส่งสัญญาณ	30
3.1.2 การทดลองภาครับสัญญาณ	34
3.2 การออกแบบระบบ	38
3.2.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์	38
3.2.1.1 วงจรมอดูเลต (Modulation)	38
3.2.1.2 วงจรดีมอดูเลต (Demodulation)	39
3.3 การออกแบบฮาร์ดแวร์	42
3.3.1 วงจรฝั่งส่งสัญญาณข้อมูล	42
3.3.2 วงจรฝั่งส่งสัญญาณข้อมูล	43
3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์	44
3.3.1 การทำงานของรวมระบบในส่วนของ ฝั่งส่งสัญญาณข้อมูล และฝั่งรับสัญญาณข้อมูล	45
3.3.2 การทำงานติดต่อกันระหว่างอุปกรณ์ฝั่งส่งสัญญาณ และอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณ	46

บทที่ 4	ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง	47
4.1	การทดลองและผลการทดลองทางด้านฮาร์ดแวร์	47
4.1.1	เปรียบเทียบสัญญาณข้อมูลจากวงจรฝั่งส่งสัญญาณ	47
4.1.2	ทดลองการเปรียบเทียบข้อมูลจากวงจรฝั่งส่งสัญญาณและฝั่งรับสัญญาณ	52
4.1.2.1	ทดสอบวงจรฝั่งส่งสัญญาณ	52
4.1.2.2	ทดสอบวงจรฝั่งรับสัญญาณ	54
4.1.3	ทดลองการส่งสัญญาณข้อมูลและรับสัญญาณข้อมูลผ่านสายส่งกำลัง	56
4.1.4	ทดสอบอุปกรณ์โดยทำการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า และส่งข้อมูลผ่านสายไฟในสถานที่จริง	57
4.1.5	ทดสอบอุปกรณ์โดยทำการโดยการเพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูล	58
บทที่ 5	สรุปและวิจารณ์	64
5.1	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองของโครงการ	64
5.2	ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไขปัญหา	64
5.3	แนวทางการพัฒนาโครงการในอนาคต	65
บรรณานุกรม		66
ภาคผนวก		67
ภาคผนวก ก.	คู่มือการใช้งาน	68
ภาคผนวก ข.	อุปกรณ์ที่นำมาใช้	69
ภาคผนวก ค.	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง	74

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 สถาปัตยกรรมระบบ	2
รูปที่ 2.1 ภาพจำลองการ เปิด/ ปิด อุปกรณ์ใช้ไฟฟ้า	4
รูปที่ 2.2 ลักษณะการส่งข้อมูลของโพลีคอคอล X-10	5
รูปที่ 2.3 แถบความถี่สัญญาณการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Bandwidth of AC PLC)	6
รูปที่ 2.4 หลักการสื่อสารผ่านสายส่งกำลังไฟฟ้า	6
รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของการสื่อสาร	7
รูปที่ 2.6 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่ไม่ได้ใช้พาริตีบิต	11
รูปที่ 2.7 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่ใช้พาริตีบิต	11
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างในการส่ง	12
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างในการส่ง	12
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการใช้อักขระซิง 2 ตัวในการสื่อสารแบบซิงโครนัส	13
รูปที่ 2.11 แสดงการตัดแฉวของบิตออกเป็นกลุ่มๆ ละ 8 บิต	13
รูปที่ 2.12 การส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัส	13
รูปที่ 2.13 การส่งผ่านข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	13
รูปที่ 2.14 วงจรสร้างสัญญาณมอดูเลตทางขนาดแบบแบนด์	14
รูปที่ 2.15 แสดงสเปคตรัมสัญญาณของการมอดูเลตเชิงขนาด	15
รูปที่ 2.16 การมอดูเลตเชิงขนาด แสดงสัญญาณในโดเมนเวลา	16
รูปที่ 2.17 การมอดูเลตแบบปกติ (50%) การมอดูเลต 100% และการมอดูเลตที่เกินขนาด (150%)	17
รูปที่ 2.18 (ก) Binary ASK (BASK)	19
รูปที่ 2.18 (ข) Multi level (4-ary) amplitude shift keying (4-ary ASK)	20
รูปที่ 2.18 สัญญาณ ASK	20
รูปที่ 2.19 ระบบการส่งสัญญาณแบบเบสแบนด์	21
รูปที่ 2.20 แสดงสัญญาณการมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์	22
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างของการมอดูเลตแบบ PPM และ PDM	24
รูปที่ 2.22 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งของการมอดูเลตแบบ PPM	25
รูปที่ 2.23 วงจรดีเทคเตอร์โดยใช้กรอบสัญญาณข้อมูล	26
รูปที่ 2.24 วงจรดีมอดูเลเตอร์แบบซิงโครนัสดีเทคเตอร์	28
รูปที่ 3.1 วงจรมอดูเลตชัน (modulation)	30
รูปที่ 3.2 กราฟสัญญาณ Binary Input	31
รูปที่ 3.3 กราฟสัญญาณพาหะ (Carrier Signal) ภาคส่ง	32
รูปที่ 3.4 กราฟการมอดูเลตทางขนาด (Amplitude-Shift Keying: ASK)	32

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.5 กราฟการจำลองสัญญาณรบกวนในสายไฟฟ้า	33
รูปที่ 3.6 กราฟสัญญาณมอดูเลตที่เกิดการรบกวนในสายไฟฟ้า	33
รูปที่ 3.7 วงจรดีมอดูเลตแบบซิงโครนัสดีเทคเตอร์ (Synchronous Detector)	34
รูปที่ 3.8 กราฟสัญญาณ Input ของระบบ	35
รูปที่ 3.9 กราฟสัญญาณพาหะ (Carrier Signal) ภาครับ	36
รูปที่ 3.10 กราฟสัญญาณที่ผ่านวงจรคูณ cross product 1	36
รูปที่ 3.11 กราฟสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ	37
รูปที่ 3.12 กราฟสัญญาณที่ผ่านวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator)	37
รูปที่ 3.13 วงจรมอดูเลตสัญญาณ	38
รูปที่ 3.14 วงจรดีมอดูเลตสัญญาณ	39
รูปที่ 3.15 กราฟสัญญาณมอดูเลต	40
รูปที่ 3.16 กราฟสัญญาณมอดูเลตคูณกับสัญญาณพาหะ	40
รูปที่ 3.17 กราฟสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ	41
รูปที่ 3.18 สัญญาณที่ผ่านวงจรเปรียบเทียบ	41
รูปที่ 3.19 วงจรส่งสัญญาณข้อมูลผ่านสายส่งกำลัง	42
รูปที่ 3.20 วงจรส่งสัญญาณข้อมูลผ่านสายส่งกำลัง	43
รูปที่ 4.1 สัญญาณข้อมูลแสดงการเปิดอุปกรณ์ในอุปกรณ์รับสัญญาณตัวที่ 1	48
รูปที่ 4.2 สัญญาณข้อมูลแสดงการปิดอุปกรณ์ในอุปกรณ์รับสัญญาณตัวที่ 1	48
รูปที่ 4.3 สัญญาณข้อมูลแสดงการเปิดอุปกรณ์ในอุปกรณ์รับสัญญาณตัวที่ 2	49
รูปที่ 4.4 สัญญาณข้อมูลแสดงการปิดอุปกรณ์ในอุปกรณ์รับสัญญาณตัวที่ 2	49
รูปที่ 4.5 สัญญาณข้อมูลแสดงการเปิดอุปกรณ์ในอุปกรณ์รับสัญญาณตัวที่ 3	50
รูปที่ 4.6 สัญญาณข้อมูลแสดงการปิดอุปกรณ์ในอุปกรณ์รับสัญญาณตัวที่ 3	50
รูปที่ 4.7 สัญญาณข้อมูลแสดงการเปิดอุปกรณ์ในอุปกรณ์รับสัญญาณตัวที่ 4	51
รูปที่ 4.8 สัญญาณข้อมูลแสดงการปิดอุปกรณ์ในอุปกรณ์รับสัญญาณตัวที่ 4	51
รูปที่ 4.9 สัญญาณคลื่นพาหะ	52
รูปที่ 4.10 สัญญาณข้อมูลและสัญญาณ PPM	53
รูปที่ 4.11 สัญญาณข้อมูลที่ทำการมอดูเลต	53
รูปที่ 4.12 สัญญาณข้อมูลที่รับจากสายส่งกำลังและสัญญาณข้อมูลที่ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ	54

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณข้อมูลที่ผ่านวงจรรองความถี่ต่ำ และสัญญาณข้อมูลที่ผ่านวงจรเปรียบเทียบแรงดัน	55
รูปที่ 4.14 สัญญาณคำสั่งเปิด (On)	55
รูปที่ 4.15 สัญญาณคำสั่งปิด (Off)	56
รูปที่ 4.16 การส่งข้อมูลด้วยวงจรส่งสัญญาณ โดยผ่านสายไฟ 220 โวลต์	56
รูปที่ 4.17 การติดตั้งระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านพักอาศัย	57
รูปที่ 4.18 ทดสอบส่งสัญญาณ 1 เฮิร์ตซ์	58
รูปที่ 4.19 ทดสอบส่งสัญญาณ 10 เฮิร์ตซ์	58
รูปที่ 4.20 ทดสอบส่งสัญญาณ 20 เฮิร์ตซ์	59
รูปที่ 4.21 ทดสอบส่งสัญญาณ 30 เฮิร์ตซ์	59
รูปที่ 4.22 ทดสอบส่งสัญญาณ 40 เฮิร์ตซ์	60
รูปที่ 4.23 ทดสอบส่งสัญญาณ 50 เฮิร์ตซ์	60
รูปที่ 4.24 ทดสอบส่งสัญญาณ 100 เฮิร์ตซ์	61
รูปที่ 4.25 ทดสอบส่งสัญญาณ 150 เฮิร์ตซ์	61
รูปที่ 4.26 ทดสอบส่งสัญญาณ 200 เฮิร์ตซ์	62
รูปที่ 4.27 ทดสอบส่งสัญญาณ 250 เฮิร์ตซ์	62
รูปที่ 4.28 ทดสอบส่งสัญญาณ 300 เฮิร์ตซ์	63
รูปที่ ก.1 การติดตั้งอุปกรณ์ฝั่งส่งสัญญาณและฝั่งรับสัญญาณ	68
รูปที่ ข.1 หน้าต่างโปรแกรม Keil uVison 3 เมื่อเลือกไฟล์ที่มีอยู่แล้วโดยจะมีรายละเอียดของโค้ดภาษาซี	72
รูปที่ ข.2 การ compilerใช้ในการสร้างไฟล์เลขฐาน 16 (.HEX) เพื่อที่จะใช้ BURN เข้าสู่ Microcontroller	72
รูปที่ ข.3 หน้าต่างโปรแกรม ISP Flash Programmer 3.0a	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ากำลัง (PLC) เป็นเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารโดยผ่านระบบนำจ่ายกระแสไฟฟ้าหรือสายไฟฟ้าที่มีใช้ตามบ้านเรือนทั่วไปทั้งที่เป็นระบบจ่ายไฟฟ้าแรงต่ำ (LV distribution cable) หรือระบบจ่ายไฟฟ้าแรงปานกลาง (MV distribution cable) เทคโนโลยี PLC เป็นเทคโนโลยีที่ใช้สายไฟฟ้าในระบบจ่ายไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมเพื่อให้บริการรับส่งข้อมูลไม่ว่าจะเป็นข้อมูลความเร็วต่ำ (narrowband PLC) เช่นการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านการเฝ้าระวังรักษาความปลอดภัยภายในบ้านและใช้ในการควบคุม

การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศภายในบ้านเช่น เครื่องเสียงโทรทัศน์ระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในบ้าน การรักษาความปลอดภัยภายในบ้านโดยใช้กล้องวิดีโอ (surveillance video camera) ตลอดจนระบบที่เรียกว่า Home Automation สามารถใช้เทคโนโลยี PLC ได้โดยไม่ต้องเดินสายควบคุมใหม่ ในการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมนี้จะส่งสัญญาณคลื่นพาห์ (carrier wave) ที่มีความถี่ระหว่าง 20 – 200 กิโลเฮิร์ตซ์เข้าไปในสายไฟฟ้าผ่านเครื่องส่งและจะผสมสัญญาณดิจิทัลไปด้วย ส่วนที่เครื่องรับแต่ละเครื่องในระบบจะมีฟังก์ชันบอกตำแหน่งซึ่งสามารถควบคุมได้โดยสัญญาณที่ส่งมาและถูกถอดรหัสที่เครื่องรับ อุปกรณ์นี้ใช้เสียบกับเต้าเสียบไฟฟ้าที่บ้านได้เลยซึ่งปัจจุบันมีการกำหนดมาตรฐานโดยบรรดาบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์อย่างหลากหลายซึ่งบางครั้งอาจทำงานร่วมกันไม่ได้ ใช้เป็นโครงข่ายภายในบ้าน (Home Networking) เป็นการนำเทคโนโลยี PLC มาประยุกต์ใช้งานในลักษณะเช่นเดียวกับโครงข่ายคอมพิวเตอร์ภายในบ้าน อาคารชุดหรือในอาคารสำนักงานขนาดเล็ก เป็นต้น มาตรฐานของการใช้สายไฟฟ้าเป็นโครงข่ายภายในอาคารดังกล่าวนี้มีการพัฒนาโดยบรรดาผู้ผลิตอุปกรณ์ที่รวมตัวกันเป็นกลุ่มอย่างหลากหลายซึ่งโครงข่ายดังกล่าวสามารถใช้งานได้ในระยะทางใกล้มักไม่เกิน 100 เมตร และเพียงแต่เสียบอุปกรณ์ PLC modem ในเต้าเสียบไฟฟ้าที่มีอยู่โดยไม่ต้องเดินสายเคเบิลใหม่

1.2 วัตถุประสงค์

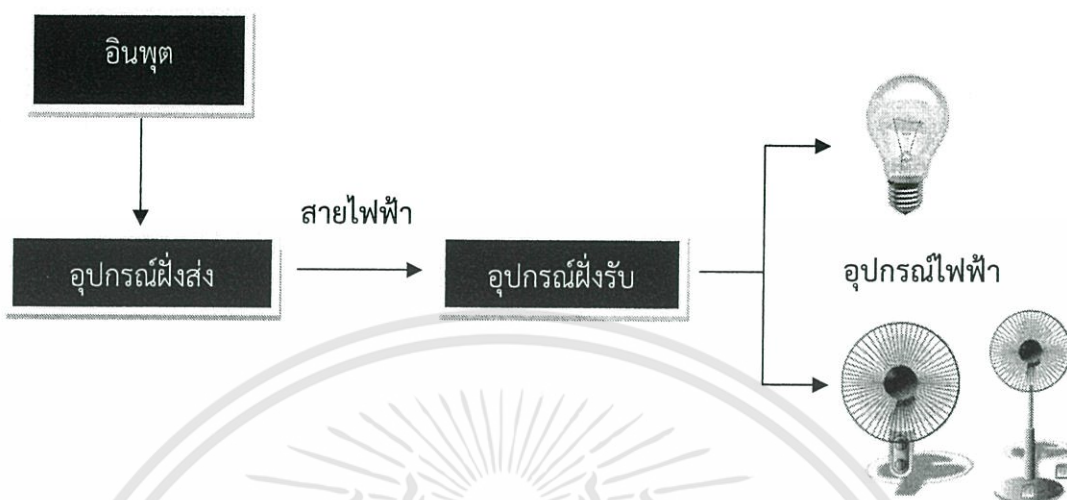
1. เพื่อช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านได้
2. เพื่อความสะดวกสบายในการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตามที่ต้องการ
3. เพื่อพัฒนาระบบสื่อสารภายในอาคารที่พักอาศัย
4. เพื่อให้เห็นถึงประโยชน์และข้อได้เปรียบของการสื่อสารผ่านทางสายไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อื่นๆโดยการเพิ่มส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านทางสายไฟฟ้าเข้าไปในอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้ว เพื่อใช้การสื่อสารผ่านทางสายไฟฟ้าเป็นทางเลือกแทนการติดตั้งสายเคเบิลใหม่ได้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- ระบบสามารถแสดงถึงการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า ในรูปของการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า
- ระบบสามารถไม่เกิดสัญญาณรบกวนในระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถนำระบบนี้ไปใช้กับสถานที่ต่างๆ ได้แก่ บ้านพักอาศัย หอพัก อาคารพาณิชย์ เป็นต้น



รูปที่ 1.1 สถาปัตยกรรมระบบ [1]

ประกอบไปด้วยฝั่งส่งสัญญาณที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการส่งสัญญาณผ่านสายไฟฟ้าเพื่อรับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1.4.1 การวางแผนการทำงาน

- เลือกและเสนอหัวข้อของโครงการ
- ศึกษาการทำงานของระบบเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (PLC)
- ศึกษาวิธีในการติดต่อสื่อสาร
- เลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการและดำเนินการจัดซื้อ
- ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้

1.4.2 การวิเคราะห์ความต้องการของระบบ

- วิเคราะห์การออกแบบวงจรด้วยโปรแกรม Matlab
- วิเคราะห์การออกแบบลายวงจร ด้วยโปรแกรม Proteus
- ศึกษารูปแบบโปรแกรมที่เหมาะสมเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์

1.4.3 การทดลองการใช้งาน

- ทำการทดสอบและแก้ไข
- จัดทำเอกสารและคู่มือการใช้งาน
- สรุปรายงานผลการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน									
	2555							2556		
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1.เสนอหัวข้อโครงการ	↔									
2.ศึกษาหลักการทำงานของระบบ PLC	↔									
3.ศึกษาวิธีในการติดต่อสื่อสาร		↔								
4.ศึกษาและจัดซื้ออุปกรณ์			↔							
5.ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์			↔							
6.ออกแบบวงจรจาก Matlab					↔					
7.ออกแบบลายวงจรจาก Proteus						↔				
8.ศึกษาโปรแกรมที่เหมาะสม							↔			
9.การทดสอบและแก้ไข								↔		
10.จัดทำเอกสารและสรุปผลทดลอง									↔	

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- ระบบที่พัฒนาขึ้น สามารถนำมาใช้ได้อาคารบ้านเรือน ที่พักอาศัย สถานที่ที่อยู่ในขอบเขตของโครงการได้จริง อย่างเกิดประโยชน์
- สามารถนำระบบไปพัฒนาเพื่อควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายเครื่องได้ตลอดเวลาและอัตโนมัติ
- สามารถนำระบบไปพัฒนาให้มีการสื่อสารในรูปแบบอื่น เช่น การสื่อสารในรูปแบบเสียง การสื่อสารในรูปแบบภาพ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

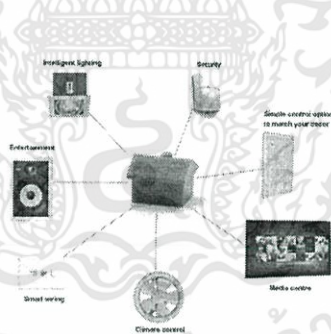
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ความเป็นมา ของการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (PLC)

เนื่องจากในปัจจุบันระบบเครือข่ายที่ใช้กันอยู่ทั่วไป มีอยู่หลากหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารผ่านสายเคเบิลต่างๆ เช่น ใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) สายแลน (LAN) เป็นต้น หรือจะเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย เช่น ไวเลสเน็ตเวิร์ค (Wireless network) สื่อสารผ่านดาวเทียม และในปัจจุบันยังมีการสื่อสารอีกรูปแบบที่เรียกว่า การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ากำลัง หรือสายไฟ 220 โวลต์

ในโครงงานนี้จะกล่าวถึงการสื่อสารผ่านสายไฟ 220 โวลต์ ในรูปของการควบคุมการเปิดและปิด อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น โตรัทศน์ เครื่องเสียง ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เป็นต้นไม่ว่าจะอยู่ในบ้านเรือน หอพัก หรือ หน่วยงานต่างๆ โดยการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมจะทำการผสมคลื่นพาห้ (carrier wave) ที่ความถี่ระหว่าง 20 – 200 กิโลเฮิร์ตซ์ เข้าไปในสายไฟฟ้าผ่านเครื่องส่งจะมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลไปบนสายไฟฟ้า ส่วนฝั่งรับในระบบจะมี address ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยสัญญาณที่ส่งมาและจะถูกถอดรหัสที่เครื่องรับจะมีผลให้อุปกรณ์สามารถสื่อสารกันได้ โดยของระบบนี้ไม่ต้องมีการเดินสายในการสื่อสารใดๆขึ้นใหม่ ซึ่งการส่งในรูปแบบนี้เป็นการส่งข้อมูลในรูปของการมอดูเลตระหว่างสัญญาณคลื่นพาห้ที่เป็นอนาล็อกเข้ากับข้อมูลที่เป็นดิจิตอล ซึ่งก็คือ ข้อมูลที่เป็นบิต 0 และ 1 โดยมีหลักการคือการใช้ความถี่ในการส่งสัญญาณคลื่นพาห้ที่มีความถี่สูง 120 กิโลเฮิร์ตซ์ ส่งเข้าไปในสายไฟ 220 โวลต์ ที่มีความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จึงทำให้ข้อมูลสามารถส่งผ่านไปยังอุปกรณ์ฝั่งรับคำสั่งได้

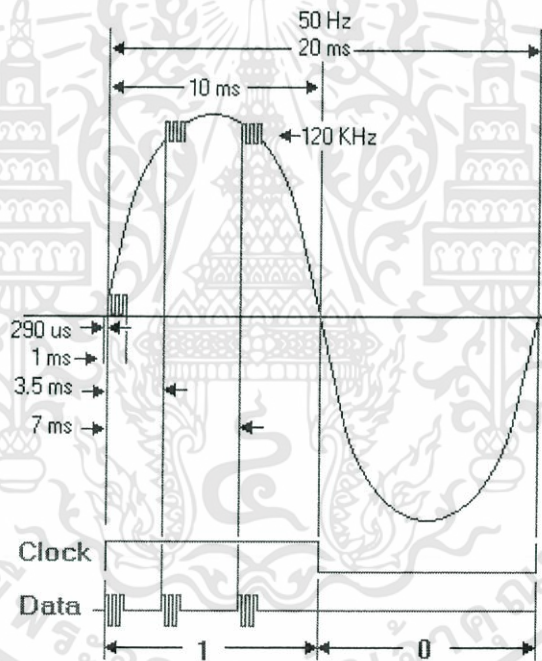


รูปที่ 2.1 ภาพจำลองการ เปิด/ ปิด อุปกรณ์ใช้ไฟฟ้า [2]

2.2 เทคโนโลยีที่นำมาประยุกต์เข้ากับโครงงาน

2.2.1 เทคโนโลยีการส่งสัญญาณผ่านสายไฟฟ้าแบบ X-10

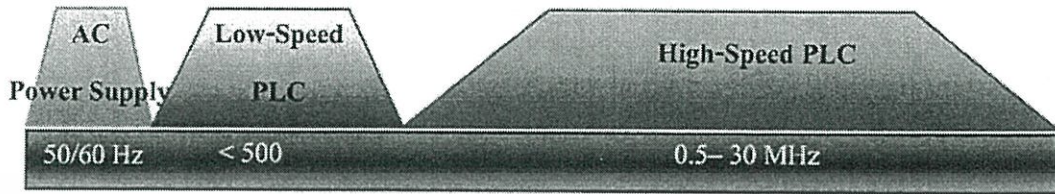
คือ โปโตคอลลในการสื่อสารที่ได้เลือกเข้ามาประยุกต์ใช้ในโครงงานนี้โดย X-10 เป็นโปรโตคอลลที่ใช้ในการสื่อสารผ่านสายไฟกำลัง โดยมีหลักการทำงานคือ X-10 จะทำการส่งข้อมูลควบคู่ไปกับสัญญาณความถี่สูง 120 กิโลเฮิร์ตซ์คร่อมไปกับความถี่ของสัญญาณ 50 เฮิร์ตซ์ของสายไฟกำลัง โดยไม่รบกวนการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ซึ่งข้อมูลจะส่งในรูปแบบเลขไบนารีโดยที่บิต 1 ของข้อมูลจะส่งในช่วงความถี่สูง 120 กิโลเฮิร์ตซ์และบิต 0 จะไม่ส่งสัญญาณใดๆลักษณะของสัญญาณ X-10 จะเริ่มส่งตามสัญญาณนาฬิกาที่ตำแหน่งจุดตัดศูนย์ (Zero Crossing point) ของไฟฟ้ากระแสสลับ โดยค่าของข้อมูลไบนารี 1 จะส่งสัญญาณที่มีความถี่ 120 กิโลเฮิร์ตซ์จำนวน 3 ลูกหลังจากจุดตัดศูนย์โดยไม่จำเป็นว่าจะเป็นการขึ้นหรือขบขาลงและค่าของข้อมูลไบนารี 0 จะเป็นการเว้นว่างของสัญญาณดังนั้นใน 1 ไซเคิลของไฟฟ้ากระแสสลับ จะสามารถส่งข้อมูลได้ 2 บิตดังรูปที่ 2.2 โดยสัญญาณของข้อมูลที่ส่งจะไม่มีผลต่อการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า จึงทำให้สามารถส่งข้อมูลถึงกันโดยไม่ไปรบกวนระบบต่างๆ ภายในสถานที่ตรวจสอบ



รูปที่ 2.2 ลักษณะการส่งข้อมูลของโปโตคอลล X-10 [3]

2.2.2 แลบบความถี่สัญญาณการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Bandwidth of AC PLC)

แลบบความถี่สัญญาณการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 3 ย่าน ดังรูป 2.3

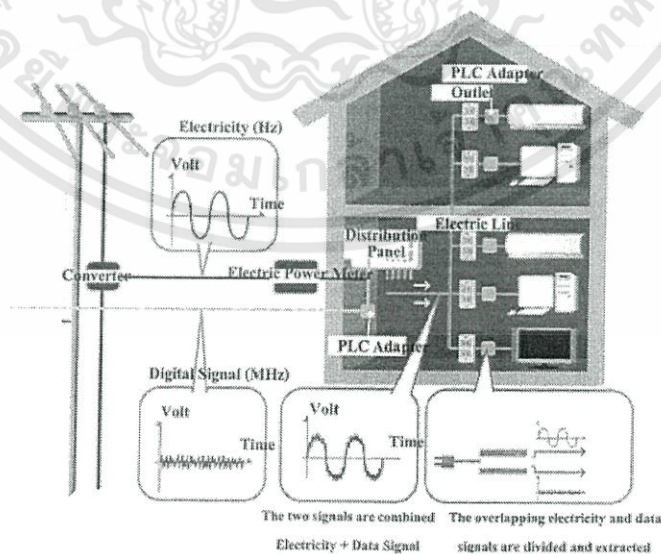


รูปที่ 2.3 แลบบความถี่สัญญาณการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Bandwidth of AC PLC) [4]

- ความถี่ 50/60 เฮิรตซ์ เป็นความถี่ที่ใช้ในแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลังกระแสสลับ ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละประเทศ โดยประเทศไทยใช้ความถี่ 50 เฮิรตซ์
- ความถี่ < 500 กิโลเฮิรตซ์ เป็นย่านความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลที่มีความเร็วต่ำ เช่น ควบคุมการปิด - เปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน เป็นต้น
- ความถี่ 0.5 - 30 เมกะเฮิรตซ์ เป็นย่านความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลที่ต้องการความเร็ว เช่น การส่งข้อมูลมัลติมีเดีย เป็นต้น

2.3 หลักการสื่อสารผ่านสายส่งกำลังไฟฟ้า

ระบบการสื่อสารผ่านสายส่งกำลังไฟฟ้า เป็นการส่งสัญญาณข้อมูลรวมกับสัญญาณไฟฟ้าที่วิ่งอยู่ในสายส่งกำลังไฟฟ้า โดยทำการมอดูเลตสัญญาณทั้งสองเข้าด้วยกัน ซึ่งความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นความถี่พาห้ (Carrier) ในการรับ-ส่ง ข้อมูล จากต้นทางไปปลายทาง และจากปลายทางกลับมาต้นทาง



รูปที่ 2.4 หลักการสื่อสารผ่านสายส่งกำลังไฟฟ้า [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

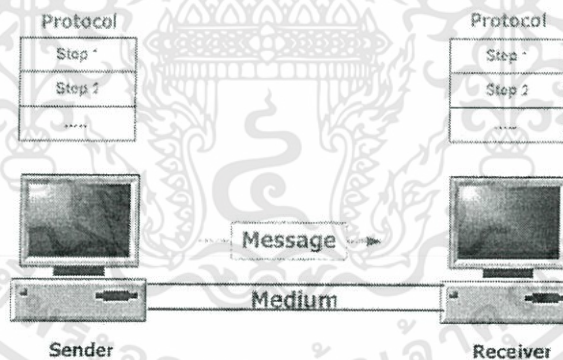
2.4 การสื่อสารข้อมูล (Data Communication)

ความหมายของการสื่อสารข้อมูล เป็นการแลกเปลี่ยนข่าวสาร หรือข้อมูลกันระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสาร โดยมีสื่อกลางในการโอนถ่ายข้อมูล เช่น สายทองแดง ดาวเทียม เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น การสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สองเครื่องด้วยการใช้สายเคเบิลเป็นตัวกลางในการสื่อสาร โดยการสื่อสารข้อมูลนี้มีทั้งการสื่อสารระยะใกล้หรือแบบโลคอล (Local) กรณีที่อุปกรณ์การสื่อสารต่างๆ อยู่ในบริเวณตึก อาคารเดียวกัน และการสื่อสารระยะไกลหรือแบบรีโมต (Remote) ซึ่งอุปกรณ์การสื่อสารจะไกลกัน หรือต่างพื้นที่ คุณสมบัติพื้นฐานของการสื่อสารข้อมูลประกอบด้วย

1. ความถูกต้องของการส่ง (Delivery) หมายถึง ข้อมูลจะต้องไปถึงปลายทางได้อย่างถูกต้องและไปยังปลายทางตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการ
2. ความถูกต้องของข้อมูล (Accuracy) หมายถึง ข้อมูลที่ไปถึงปลายทางนั้นจะต้องเหมือนกับที่ต้นทางส่งไป มีความถูกต้องและแน่นอน อีกทั้งยังต้องส่งสัญญาณเตือนให้รับทราบในกรณีที่การส่งข้อมูลในขณะนั้นไม่ถูกต้อง สูญหาย หรือไม่สามารถใช้งานได้
3. เวลาที่เหมาะสม (Timesliness) หมายถึง เวลาที่ใช้ในการเดินทางของข้อมูลนั้นต้องมีระยะเวลาที่เหมาะสมไม่นานจนเกินไป ที่สามารถนำไปใช้งานเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์โดยปราศจากนัยสำคัญว่าเกณฑ์การหน่วงเวลา

2.4.1 องค์ประกอบของการสื่อสาร

ในการสื่อสารข้อมูลนั้นมีองค์ประกอบสำคัญอยู่ 5 อย่าง ดังนี้



รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของการสื่อสาร [6]

1. ข้อมูลข่าวสาร (Message) คือ ข้อมูลหรือสารสนเทศต่างๆ ที่ต้องการสื่อสาร สามารถเป็นได้ทั้ง ข้อความ ตัวเลข ภาพ เสียง หรือ วิดีโอ เป็นต้น
2. ผู้ส่ง (Sender) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งข้อมูลได้ เช่น คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ กล้อง เป็นต้น
3. ผู้รับ (Receiver) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับข้อมูล เช่น คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ กล้อง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สื่อกลางรับ - ส่ง (Medium) คือ เส้นทางหรือสื่อกลางที่ใช้ในการนำส่งข้อมูลระหว่างผู้ส่งและผู้รับ โดยสื่อกลางรับ - ส่งข้อมูลมีทั้งแบบมีสาย เช่น สายคู่ตีเกลียว สายใยแก้วนำแสง สายไฟฟ้ากำลัง เป็นต้น และแบบไร้สาย เช่น คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ เป็นต้น

5. โปโตคอล (Protocol) คือ กฎเกณฑ์ ระเบียบ หรือข้อกำหนดต่างๆของการสื่อสาร ที่กำหนดขึ้นมาเพื่อเป็นข้อตกลงสำหรับโดยเป็นมาตรฐานในการกำหนดบทบาท หน้าที่ที่ในการสื่อสารข้อมูลให้ตรงกัน บทบาทสำคัญของโปโตคอลก็เพื่อให้อุปกรณ์ทั้งสองฝั่งสามารถสื่อสารเข้าใจตรงกัน และผลของการสื่อสารระหว่างกันเป็นไปตามขั้นตอนที่ถูกต้อง ดังนั้น ก่อนที่ผู้ส่งและผู้รับจะสามารถติดต่อกันได้นั้น จะต้องสร้างข้อตกลงของการสื่อสารกันก่อนเพื่อที่จะให้สามารถเข้ากันได้ เช่น สมมติว่าคนไทยต้องการพูดคุยกับคนต่างชาติ จะต้องมีการตกลงกันก่อนว่าในการสื่อสารกันนั้นจะใช้ภาษาอะไร เพื่อที่จะพูดจาภาษาเดียวกันและเข้าใจตรงกัน เป็นต้น

2.5 การสื่อสารแบบดิจิทัล

2.5.1 หน่วยของข้อมูลและหน่วยของสัญญาณ

ในทางทฤษฎีของข้อมูล (Information Theory) นั้นวิธีธรรมชาติที่สุดที่ใช้กำหนดปริมาณของข้อมูลที่บรรจุอยู่ในสถานะของข่าวสาร (Message State) หรือในสัญลักษณ์ (Symbol) หรือในรหัส (Code) ต่างๆ นั้น ได้ใช้วิธีการกำหนดโดยการติดต่อกาลอการิทึม (Logarithm) ของความเป็นไปได้ (Probability) ของการเกิดสถานะของข่าวสารหรือสัญลักษณ์นั้นๆ กล่าวคือ ถ้าสัญลักษณ์ S_i มีโอกาสที่จะเกิดขึ้นเท่ากับ P_i แล้วปริมาณของข้อมูลปริมาณ (Information) I_i ที่มีอยู่ในสัญลักษณ์ S_i นั้นจะกำหนดได้โดย

$$I_i = -\log_a(P_i) \quad (2.1)$$

ค่าหน่วย (Unit) ของ I_i ขึ้นอยู่กับค่าฐานลอการิทึมที่ใช้อยู่ในสมการ (1) ถ้า $a = e$ ($e = 2.71828\dots$) I_i ก็จะมีหน่วยเป็น Nit (Nature Information Unit) แต่ถ้า $a = 2$, I_i ก็จะมีหน่วยเป็น Bit (Binary Information Unit) ถ้าสัญลักษณ์ที่ใช้อยู่ทั้งหมดมี n ตัว ปริมาณของข้อมูลที่เฉลี่ยอยู่ในสัญลักษณ์แต่ละตัว

$$I_{AV} = -\sum_{i=1}^n p_i I_i \quad (2.2)$$

$$I_{AV} = -\sum_{i=1}^n p_i \log_a p_i \quad (2.3)$$

สำหรับการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิทัล สถานะของสัญญาณที่ใช้มีเพียงสองสถานะเท่านั้นที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งช่วงเวลาที่กำหนดนี้นิยมเรียกกันว่า ช่องของเวลา (Timer Slot) สถานะทั้งสองของสัญญาณดิจิทัลนั้นนิยมกล่าวกันว่าง่ายๆ คือสถานะ “1” และสถานะ “2” หรือมักที่จะเรียกกันให้ง่ายขึ้นไปอีกว่า 0 และ 1 จะเห็นว่าถ้าเราตั้งสมมติฐานว่าสถานะ 0 หรือ 1 นั้นมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้เท่าๆ กันในแต่ละช่วงเวลานั้น ซึ่งใช้สำหรับส่งสัญญาณนั้นแล้วค่าปริมาณข้อมูลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสัญญาณดิจิทัลที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยในแต่ละเวลานั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3) ได้ว่ามีค่าเท่ากับ 1 บิต เพราะฉะนั้นสำหรับสัญญาณดิจิทัลแล้ว จึงเป็นการที่สะดวกจะบอกว่าสัญญาณดิจิทัลนั้นจะมีข้อมูลบรรจุอยู่มากน้อยเท่าใด โดยเพียงสังเกตจากจำนวนช่องของเวลาที่ใช้ส่งสัญญาณดิจิทัลดังกล่าวนี้ทั้งนี้เพราะว่า 1 ช่องเวลานั้นมีข้อมูลเฉลี่ยอยู่เท่ากับ 1 บิต ดังนั้นถ้าสัญญาณดิจิทัลที่เราสนใจอยู่นั้นใช้ช่องเวลาทั้งหมดอยู่เท่าใดก็เท่ากับว่าข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่ในสัญญาณดิจิทัลนั้นมีอยู่เท่ากัน ด้วยสาเหตุดังกล่าวนี้เองหน่วยบิตจึงได้ถูกขยายมาใช้เป็นหน่วยร่วมของปริมาณต่างๆ 3 อย่าง คือ หน่วยของสัญญาณข้อมูล (bit : Information Unit) หน่วยของสัญญาณดิจิทัล (bit : Bit Binary Unit) และหลักของเลขฐานสอง (bit : Binary Unit) คือ ถ้ามีการกล่าวว่าคุณสมบัติของเครื่องหนึ่งมีอัตราการส่งข้อมูล (Bit Rate) เท่ากับ m , bit/s เราอาจตีความหมายได้ 3 อย่างพร้อมกันคือ

- มีข้อมูลที่ถูกส่งออกไปจากอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นปริมาณข้อมูล m บิตใน 1 วินาที
- มีสัญญาณดิจิทัลถูกส่งออกไปในช่องสัญญาณจำนวน m ช่องใน 1 วินาที
- มีเลขฐานสองถูกส่งออกไปเป็นจำนวน m หลักหรือ m ตัวใน 1 วินาที

หน่วยของข้อมูลดิจิทัลที่พบบ่อยอยู่เสมอไปอีกอย่างหนึ่งคือ ไบต์ (Byte) ไบต์เป็นหน่วยของข้อมูลที่มีค่าเท่ากับ 8 บิต (8 bit = 1 Byte)

2.5.2 อัตราบอด (Baud Rate)

อัตราบอดเป็นหน่วยสำหรับบอกอัตราการส่งสัญญาณต่อวินาทีหรือเป็นหน่วยที่บอกถึงอัตราการเกิดของอนุภาคสัญญาณ (Signaling Element) ต่อวินาที แสดงจำนวนของสัญญาณแต่ละหน่วยในหนึ่งหน่วยวินาที ซึ่งถูกตั้งชื่อตาม Baudot ซึ่งเป็นผู้บุกเบิกการสื่อสารชาวฝรั่งเศส ในการส่งแบบไบนารีและเป็นสิ่งเดียวกับบิตต่อวินาที (bps) แต่ทั้งสองคำนี้มีความหมายแตกต่างกัน มีจุดที่น่าสังเกตคือ อัตราบอด และ bps อ้างถึงอัตราที่บิตภายในหนึ่งเฟรมถูกส่งช่องว่างระหว่างเฟรมอาจมีความยาวแปรเปลี่ยนได้

2.5.3 คุณสมบัติพิเศษของสัญญาณดิจิทัล

สัญญาณระบบดิจิทัลสามารถนำมาใช้สื่อสารแทนสัญญาณอนาล็อก โดยการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วนำไปเข้ารหัสหรือดัดแปลงให้เหมาะสมกับการส่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีในการส่งสัญญาณ ข้อดีของสัญญาณดิจิทัลที่สำคัญคือ

- สัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise) ในระบบอนาล็อกนั้นสัญญาณรบกวน (Noise) และสัญญาณสอดแทรก (Interference) สามารถเข้าไปผสมและผ่านไปยังผู้รับได้ง่าย กล่าวคือในระหว่างการส่งถ้ามีการขยายสัญญาณข้อมูลก็จะมีสัญญาณรบกวนเหล่านั้นไปด้วย แต่ในระบบดิจิทัลนั้น สัญญาณรบกวนอยู่ในรูปของระดับแรงดัน 0 (Low) และ 1 (High) ถ้าสัญญาณรบกวนมีขนาดไม่มากพอที่จะทำให้สัญญาณจริงเปลี่ยนระดับได้ก็จะมีผลถึงผู้รับ และสัญญาณดิจิทัลจะทนต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าสัญญาณอนาล็อกเมื่อถูกรบกวนโดยสัญญาณต่างๆ แม้สัญญาณดิจิทัลจะถูกสัญญาณอื่นรบกวนเป็นอย่างมากก็ตามแต่ถ้าสัญญาณรบกวนนั้นมีค่าความแรงสูงสุดไม่เกินระดับเทรซโซลต์ (เทรซโซลต์ คือระดับที่พอดีเท่ากับครึ่งหนึ่งของความแรงสัญญาณระหว่างสถานะบิต 0 และ 1) ความผิดเพี้ยนของสัญญาณก็จะไม่ค่อยเกิดขึ้น

ในการรับสัญญาณเครื่องรับสามารถที่จะสร้างสัญญาณดิจิทัลขึ้นมาใหม่ (Regeneration) ได้ทั้งนี้เพราะว่า เครื่องรับสัญญาณดิจิทัลจะใช้การตัดสินใจเพียงแต่ว่าระดับของสัญญาณที่เข้ามานั้นมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าระดับเทรชโฮลด์ โดยถ้าสัญญาณที่เข้ามามีระดับสูงกว่าระดับเทรชโฮลด์แล้ว เครื่องรับจะบันทึกค่าของสัญญาณนั้นว่าเป็น 1 บิต และถ้าระดับสัญญาณที่เข้ามา มีระดับน้อยกว่าเครื่องรับก็จะบันทึกสัญญาณนั้นเป็น 0 บิต ดังนั้นโดยวิธีการนี้เราจะเห็นได้ว่าตราบไต่ที่สัญญาณรบกวนนั้นมีความแรงสูงสุดไม่เกินระดับเทรชโฮลด์แล้วเครื่องรับก็จะสามารถสร้างสัญญาณดิจิทัลขึ้นมาใหม่ให้เหมือนกับสัญญาณต้นกำเนิดเดิมที่ส่งมาได้

อย่างไรก็ตามสำหรับสัญญาณอนาล็อกนั้นถ้าถูกรบกวนโดยสัญญาณแล้ว สัญญาณรบกวนจะมีอิทธิพลเป็นอย่างมาก ซึ่งจะทำให้สัญญาณกลมกลืนส่วนของสัญญาณอนาล็อกที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยจะเห็นได้ว่าสำหรับกรณีเช่นนี้ การที่จะสร้างสัญญาณอนาล็อกทางเครื่องรับขึ้นมาใหม่ เพื่อที่จะให้เหมือนกับสัญญาณอนาล็อก ต้นกำเนิดเดิมจากเครื่องส่งนั้นตามธรรมดาแล้วย่อมเป็นไปได้ไม่ได้เลย ซึ่งสัญญาณของอนาล็อกที่เครื่องรับพอจะนำกลับคืนมาได้และจะเห็นได้ว่าผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณพอสมควร

- ง่ายต่อการเข้ารหัส (Encode) ในกรณีที่ให้ข้อมูลนั้นเป็นความลับเราสามารถเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลได้ง่ายกว่าสัญญาณแบบอนาล็อกทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยของข้อมูลที่เราส่งไป
- สะดวกต่อการมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) สัญญาณแบบดิจิทัลนี้สามารถทำการมัลติเพล็กซ์ได้เลย ไม่เหมือนกับสัญญาณแบบอนาล็อก และสามารถทำการมัลติเพล็กซ์ได้หลายรูปแบบซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการในการรับส่งข้อมูลของผู้ส่งและผู้รับเอง แต่ถึงอย่างไรก็ตามการสื่อสารระบบดิจิทัลนั้นมีข้อเสียอยู่บ้าง คือขนาดของแบนด์วิดท์เพิ่มมากขึ้นกว่าเดิมในการส่งแบบอนาล็อก สัญญาณดิจิทัลมีการอ้างอิงกับเวลาและมีต้นทุนเพิ่มมากขึ้นในการสร้างสัญญาณดิจิทัล

2.5.4 การส่งผ่านข้อมูลดิจิทัล (Digital Transmission)

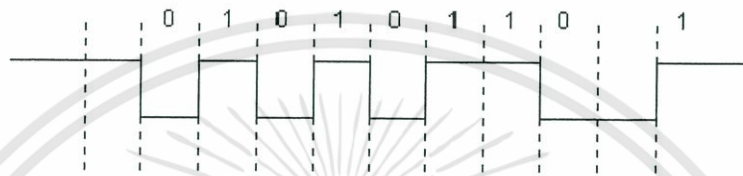
การส่งผ่านข้อมูลด้วยวิธีการนี้สัญญาณดิจิทัลจะถูกส่งไปในระยะทางที่จำกัดก่อนที่การลดทอนจะทำอันตรายต่อองค์ประกอบของข้อมูล ดังนั้นเพื่อให้การส่งสามารถทำได้เป็นระยะทางไกลๆ เราจึงใช้ตัวทวนสัญญาณ (Repeater) เพื่อกู้สัญญาณดั้งเดิมกลับคืนมา โดยที่ตัวทวนสัญญาณเมื่อได้รับสัญญาณดิจิทัลแล้วก็จะทำการกู้รูปแบบของบิต 1 และ 0 กลับคืนมาอีกครั้งและส่งต่อออกไปใหม่ซึ่งทำให้สามารถเอาชนะการลดทอนลงไปได้

ในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะหันมาใช้ในการสื่อสารแบบดิจิทัลแทนระบบอนาล็อกมากขึ้นแม้ว่าจะมีการลงทุนในระบบอนาล็อกมาก่อนอย่างมากก็ตาม เหตุผลที่สำคัญก็คือ

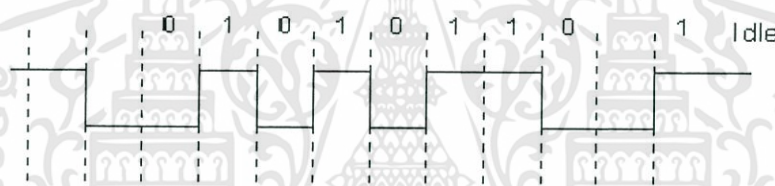
- เทคโนโลยีดิจิทัลมีการพัฒนาเทคโนโลยีของวงจรดิจิทัลให้ก้าวหน้ามากขึ้น ทำให้ราคาและขนาดของวงจรมีขนาดเล็กลง ในขณะที่เครื่องมือทางอนาล็อกไม่ได้มีขนาดลดลงและไม่ค่อยมีการพัฒนาเท่าไร
- คุณภาพของข้อมูลของการส่งผ่านข้อมูลทางดิจิทัลจะใช้ตัวทวนสัญญาณแทนการขยายสัญญาณ ทำให้อิทธิพลของสัญญาณรบกวนไม่ถูกสะสม ทำให้เราสามารถส่งข้อมูลไประยะทางไกลๆ แม้ว่าคุณภาพของสายจะไม่ดีมากก็ตามความจุของการใช้งานมีมากทำให้สิ้นเปลืองในการสร้างทางเดินของการส่งผ่านข้อมูลที่มีแบนด์วิดท์กว้างมากๆ เช่น ช่องสัญญาณดาวเทียม และเส้นใยแก้วนำแสง ดังนั้นเราจึงนำการมัลติเพล็กซ์เข้ามาใช้งานความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัว คือ

สัญญาณดิจิทัลมีกระบวนการในการเข้ารหัสและถอดรหัสซึ่งผู้ที่ไม่ทราบรหัสของเราก็ไม่สามารถเข้าใจในข้อมูลที่เราส่งได้ การส่งผ่านข้อมูลแบบดิจิทัลสามารถแบ่งออกได้เป็นแบบหลักๆ ดังต่อไปนี้

- การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Transmission) การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็น การสื่อสารแบบระบุจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุด (Start-Stop Transmission) ลักษณะของสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกันจะประกอบไปด้วย บิตเริ่มต้น (start bit) บิตของข้อมูลที่สื่อสาร (transmission data) จำนวน 8 บิต บิตตรวจข้อผิดพลาด (parity bit) และบิตสิ้นสุด (stop bit) สำหรับบิตตรวจข้อผิดพลาดจะใช้หรือไม่ใช้ก็ได้ ดังนั้นสัญญาณจึงต้องประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อย 3 ส่วน ดังรูป



รูปที่ 2.6 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่ไม่ได้ใช้พาริตีบิต [7]



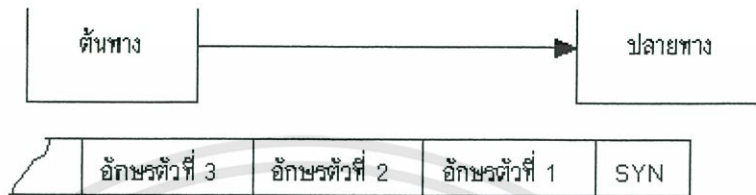
รูปที่ 2.7 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่ใช้พาริตีบิต [7]

จากรูปจะเห็นว่าขณะที่ไม่มีข้อมูลส่งออกมาสถานะของการส่งจะเป็นแบบว่าง (Idle) ซึ่งจะมีระดับของสัญญาณเป็น 1 ตลอดเวลา เพื่อความแน่ใจว่าปลายทาง หรือฝ่ายรับยังคงติดต่อกับต้นทาง หรือฝ่ายส่งอยู่ เมื่อเริ่มจะส่งข้อมูลสัญญาณของอะซิงโครนัสจะเป็น 0 หนึ่งช่วงสัญญาณนาฬิกา ซึ่งบิตนี้เราเรียกว่าบิตเริ่มต้น ตามหลังของบิตเริ่มต้นจะเป็นบิตข้อมูลสำหรับ 1 ตัวอักษร ตามหลังบิตข้อมูลก็จะเป็นบิตตรวจข้อผิดพลาด แล้วจะตามด้วยบิตสิ้นสุด ถ้าไม่ใช่บิตตรวจข้อผิดพลาด ตามหลังบิตข้อมูลก็จะเป็นบิตสิ้นสุดเลย หลังจากนั้นถ้าไม่มีข้อมูลส่งออกมาสัญญาณจะกลับไปอยู่ที่สถานะแบบว่างอีก เพื่อรอการส่งข้อมูลต่อไป

จะเห็นว่าการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสนี้ มีลักษณะเป็นไปทีละตัวอักษร และสัญญาณที่ส่งออกมา มีบางส่วนเป็นบิตเริ่มต้น บิตสิ้นสุด และบิตตรวจข้อผิดพลาด ทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลต่อวินาทีน้อยลงไป เนื่องจากต้อง สูญเสียช่องทางการสื่อสารให้กับ บิตเริ่มต้น บิตสิ้นสุด และบิตตรวจข้อผิดพลาด (ถ้ามีใช้) ตลอดเวลา การสื่อสาร แบบอะซิงโครนัสนี้มักใช้ในการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์รอบข้าง

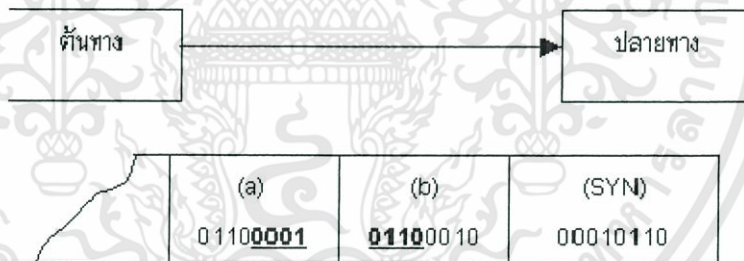
- การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission) การสื่อสารแบบซิงโครนัส จะทำการจัดกลุ่มของข้อมูลเป็นกลุ่มๆ และทำการส่งข้อมูลทั้งกลุ่มไปพร้อมกันในทีเดียว เราเรียกกลุ่มของข้อมูลนี้ว่า บล็อกของข้อมูล (Block of Data) ซึ่งตัวอักษรตัวแรก และตัวถัดไปที่อยู่ใน

บล็อกเดียวกันจะไม่มีอะไรมาคั่นเหมือนอย่างแบบอะซิงโครนัส ที่ต้องใช้บิตเริ่มต้น และบิตสิ้นสุดคั่นทุกๆ ตัวอักษร แต่จะมีข้อมูลเริ่มต้นซึ่งเป็นลักษณะของบิตพิเศษที่ส่งมาเพื่อให้รูว่านั้นคือ จุดเริ่มต้นของกลุ่มตัวอักษรที่กำลังส่งเรียงกันเข้ามา เช่น อักขระซิง (SYN character) โดยที่อักขระซิงมีรูปแบบบิต คือ 00010110 ตัวอย่างของการส่งแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างในการส่ง [7]

จากรูปเมื่อปลายทางตรวจพบอักขระซิง หรือ 00010110 แล้วจะทราบได้ทันทีว่าบิตที่ตามมาคือบิตตัวอักษรแต่ละตัว แต่การใช้อักขระซิงเพียงตัวเดียวอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ เช่น ถ้าเราส่งตัวอักษร b และตัวอักษร a ติดต่อกันไป ซึ่งตัวอักษร b มีรูปแบบบิตคือ 01100010 และตัวอักษร a มีรูปแบบบิตคือ 01100001 การส่งจะแสดงได้ดังรูป

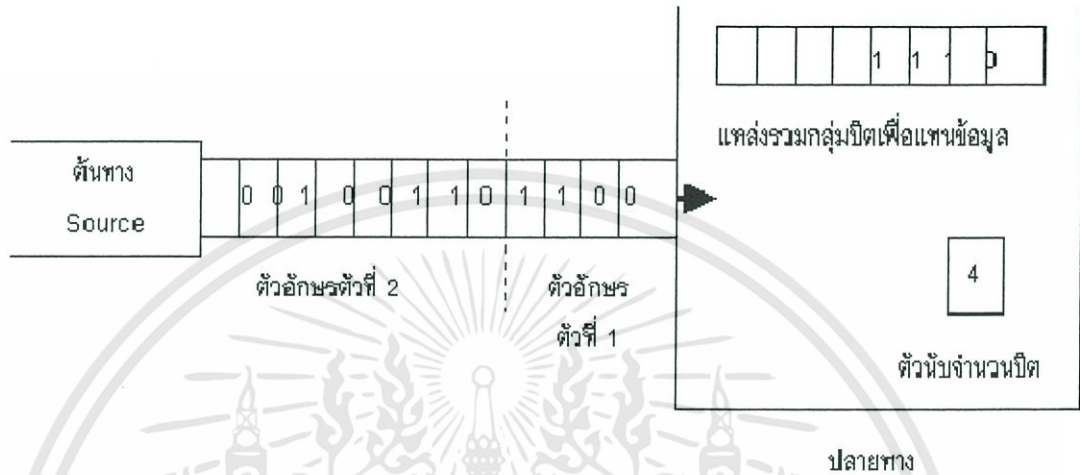


รูปที่ 2.9 ตัวอย่างในการส่ง [7]

จะเห็นว่าเครื่องปลายทางจะตรวจพบอักขระซิงระหว่างบิตของตัวอักษร b และตัวอักษร a ทำให้เข้าใจว่าบิตต่อไปจะเป็นบิตของกลุ่มข้อมูล ซึ่งจะทำให้การรับข้อมูลนั้นเกิดผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นจึงแก้ปัญหาด้วยการใช้อักขระซิง 2 ตัวต่อกันเป็นลักษณะของบิตพิเศษที่บอกให้ทราบว่า เป็นจุดเริ่มต้นบิตของกลุ่มข้อมูล ตัวอย่างของการใช้อักขระซิง 2 ตัวในการสื่อสารแบบซิงโครนัส และการตัดแฉวของบิตข้อมูลออกเป็นกลุ่มทีละ 8 บิต เพื่อแทนข้อมูลแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการใช้อักขระซิง 2 ตัวในการสื่อสารแบบซิงโครนัส [7]

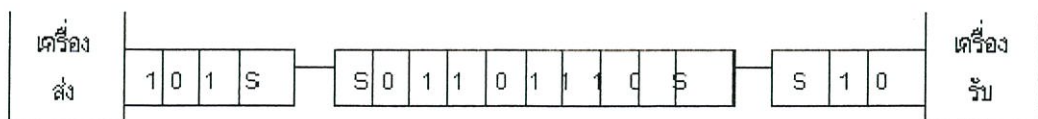


รูปที่ 2.11 แสดงการตัดแฉวของบิตออกเป็นกลุ่มๆ ละ 8 บิต [7]

เห็นว่าการส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัสนั้นส่วนมากแล้ว ตลอดทางของสายส่งจะใช้ส่งผ่านข้อมูลเต็มตลอดทั้งสาย แต่การส่งผ่านข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั้นสายส่งจะขาดความต่อเนื่องของสัญญาณข้อมูลที่ส่งผ่าน หรือถ้ามีสัญญาณข้อมูลที่ส่งผ่านต่อเนื่องกันเต็มตลอดทั้งสายแล้ว ก็จะมีสูญเสียช่องทางในการส่งไปกับการส่งบิตเริ่มต้น และบิตสิ้นสุดของแต่ละตัวอักษร



รูปที่ 2.12 การส่งผ่านข้อมูลแบบซิงโครนัส [7]



รูปที่ 2.13 การส่งผ่านข้อมูลแบบอะซิงโครนัส [7]

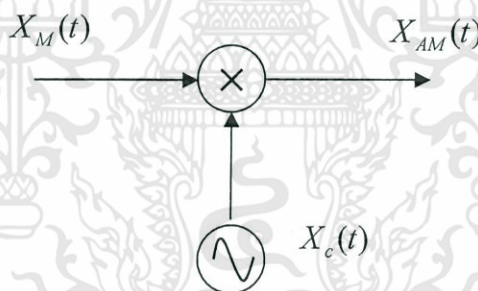
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.7 วิธีของการส่งและเทคนิค (Transmission Mode Techniques)

- การส่งสัญญาณทางเดียว (Simplex หรือ One - Way Transmission) การส่งสัญญาณแบบนี้ในเวลาเดียวกันจะส่งได้เพียงทางเดียวเท่านั้น ถึงแม้ว่าตัวส่งจะมีสัญญาณช่องทางก็ตามซึ่งมักจะเรียกการส่งสัญญาณทางเดียวนี้ว่า ซิมเพล็กซ์ ผู้ส่งสัญญาณจะส่งได้ทางเดียวโดยที่ผู้รับจะไม่สามารถโต้ตอบได้ เช่น การส่งวิทยุกระจายเสียง การแพร่ภาพโทรทัศน์
- การส่งสัญญาณกึ่งคู่ (Half - Duplex หรือ Either - Way) การส่งสัญญาณแบบนี้เมื่อผู้ส่งได้ทำการส่งสัญญาณไปแล้ว ผู้รับก็จะรับสัญญาณนั้นหลังจากนั้นผู้รับก็สามารถรับมาเป็นผู้ส่งสัญญาณแทน ส่วนผู้ส่งเดิมก็ปรับมาเป็นผู้รับแทนสลับกันได้ แต่ไม่สามารถส่งสัญญาณพร้อมกันในเวลาเดียวกันได้ จึงเรียกรูปแบบการส่งสัญญาณแบบนี้ว่า ฮาร์ฟดูเพล็กซ์ (Half - Duplex หรือ HD) เช่น วิทยุสนามที่ตำรวจใช้
- การส่งสัญญาณทางคู่ (Full - Duplex หรือ Both Way Transmission) เป็นแบบวิธีของการส่งสัญญาณเดินทางผ่านตัวกลางในการส่งได้ทั้งสองทิศทางในเวลาเดียวกัน เช่น โทรศัพท์

2.6 การมอดูเลตเชิงขนาด (Amplitude Modulation: AM)

เมื่อกำหนดให้ สัญญาณข้อมูลคือ $X_m(t) = A_m \cos(\omega_m t)$ สัญญาณพาห้คือ $X_c(t) = A_c \cos(\omega_c t)$



รูปที่ 2.14 วงจรสร้างสัญญาณมอดูเลตทางขนาดแบบแบนด์

ดังนั้นสัญญาณมอดูเลตเชิงขนาด จะเขียนได้สมการดังนี้

$$\begin{aligned}
 X_{AM}(t) &= \{A_c + X_m(t)\} \cos(\omega_c t) \\
 &= \{A_c + A_m \cos(\omega_m t)\} \cos(\omega_c t) \\
 &= \{A_c \{1 + \frac{A_m}{A_c} \cos(\omega_m t)\}\} \cos(\omega_c t) \\
 &= \{A_c \{1 + \mu_{AM} \cos(\omega_m t)\}\} \cos(\omega_c t) \\
 &= \{A_c \{1 + \overline{m}(t)\}\} \cos(\omega_c t)
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $\mu_{AM} = \frac{A_m}{A_c}$ คือ ดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index)

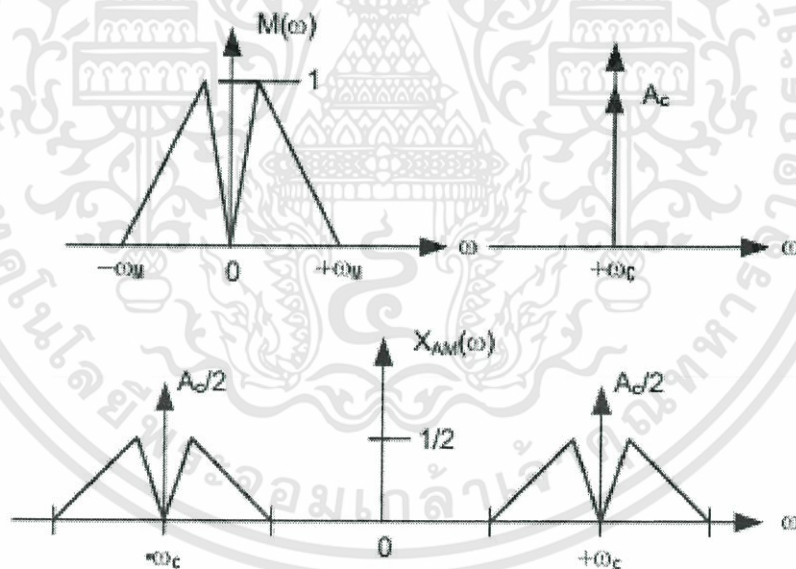
$\bar{m}(t) = \mu_{AM} \cos(\omega_m t)$ คือ สัญญาณเบสแบนด์บรรทัดฐาน (Normalized Baseband) การมอดูเลตแบบนี้ได้ จากการบวกสัญญาณคลื่นพาห้ที่มีขนาดใหญ่กับสัญญาณ DSB-SC สมการของสัญญาณที่มอดูเลตแล้วจะเขียนได้ เป็น

$$\begin{aligned} X_{AM}(t) &= A_c \cos(\omega_c t) + m(t) \cos(\omega_c t) \\ &= \{A_c + m(t)\} \cos(\omega_c t) \\ &= \frac{A_c}{2} (e^{j\omega_c t} + e^{-j\omega_c t}) + \frac{m(t)}{2} (e^{j\omega_c t} + e^{-j\omega_c t}) \end{aligned} \quad (2.5)$$

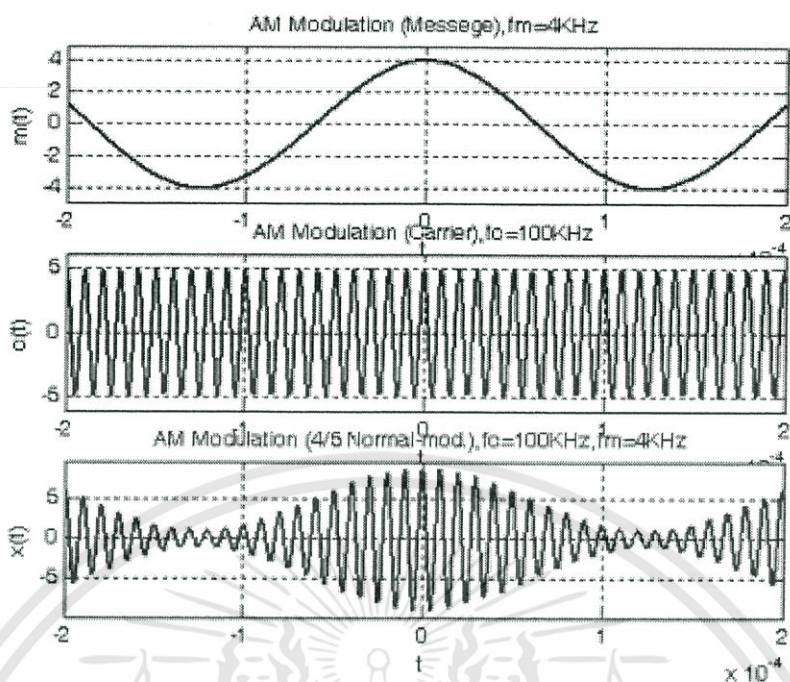
ดังนั้นผลที่ได้จึงเป็นการมอดูเลตแบบแอมพลิจูด โดยสามารถที่จะเขียนสเปกตรัมได้เป็น

$$X_{AM}(\omega) = \frac{A_c}{2} \delta(\omega - \omega_c) + \frac{A_c}{2} \delta(\omega + \omega_c) + \frac{1}{2} M(\omega - \omega_c) + \frac{1}{2} M(\omega + \omega_c) \quad (2.6)$$

จะเห็นว่าสเปกตรัมของสัญญาณที่มอดูเลตแล้วนั้นมีส่วนของความถี่คลื่นพาห้ปรากฏอยู่ อย่างชัดเจน



รูปที่ 2.15 แสดงสเปกตรัมสัญญาณของการมอดูเลตเชิงขนาด [8]

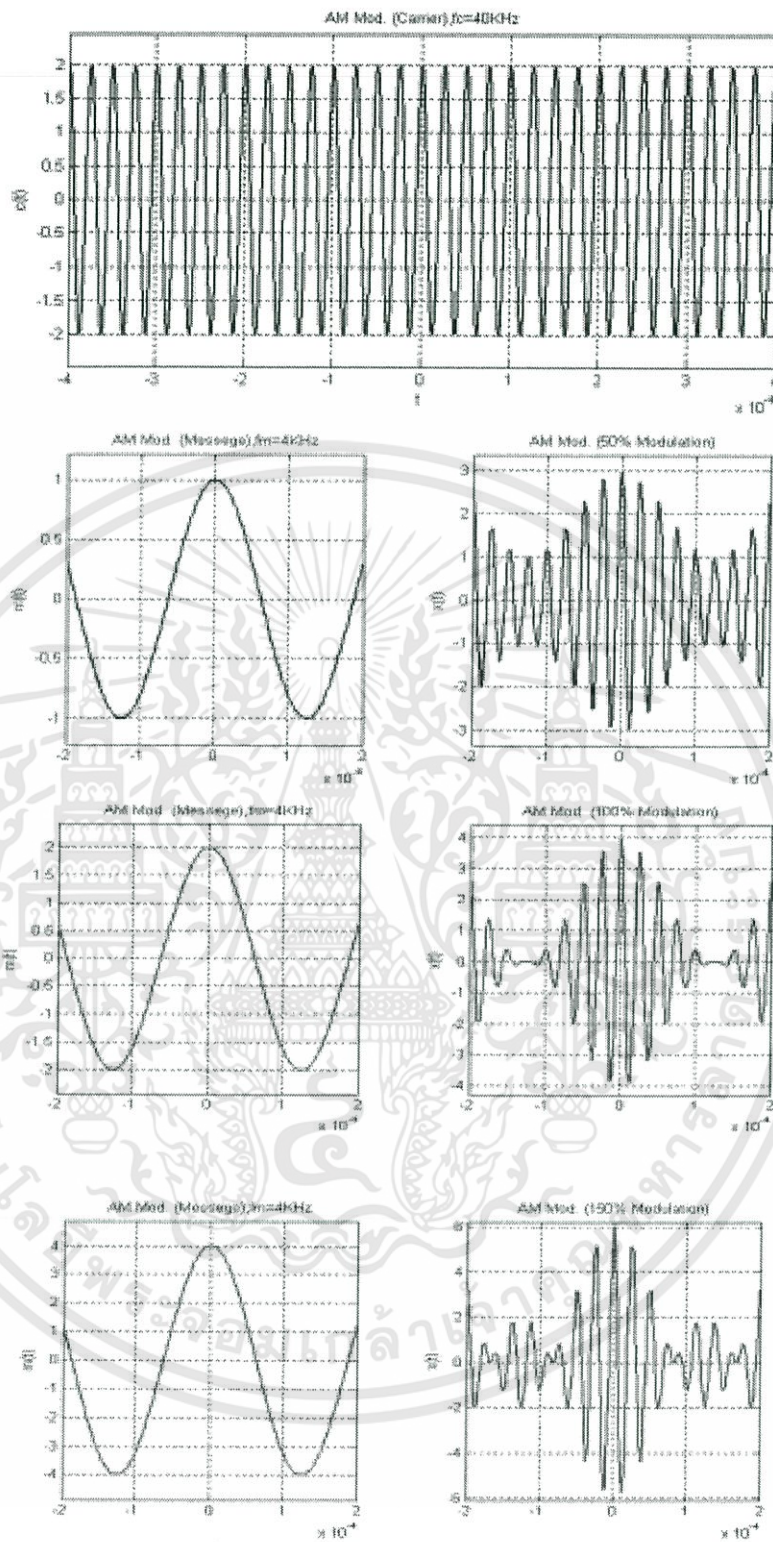


รูปที่ 2.16 การมอดูเลตเชิงขนาด แสดงสัญญาณในโดเมนเวลา [8]

2.6.1 ดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index)

จากสมการ (2.4) จะได้ $\mu_{AM} = \frac{A_m}{A_c}$ ซึ่งแสดงถึงสัดส่วนของขนาดสูงสุดของ

สัญญาณข้อมูลต่อสัญญาณพาห้จะเรียกว่า ดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index) ซึ่งอาจบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ ก็ได้ หาก $A_c = 1$ แล้ว $|A_m|$ จะบอกค่าดัชนีการมอดูเลต โดยถ้าหาก $|\overline{m(t)}| < 1$ หรือ $\mu < 1$ ก็จะถือว่าเป็นมอดูเลตแบบปกติ และ $|\overline{m(t)}| > 1$ หรือ $\mu > 1$ ก็จะถือว่าเป็นมอดูเลตเกินขนาด (Over-modulation) การมอดูเลตที่เกินขนาดจะทำให้สัญญาณคลื่นพาห้ กลับเฟส



รูปที่ 2.17 การมอดูเลตแบบปกติ (50%) การมอดูเลต 100% และการมอดูเลตที่เกินขนาด (150%) [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

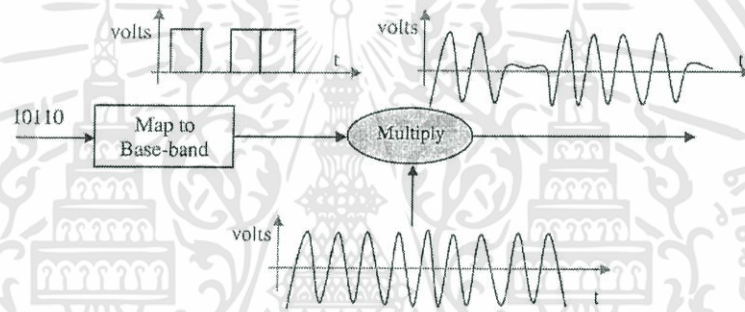
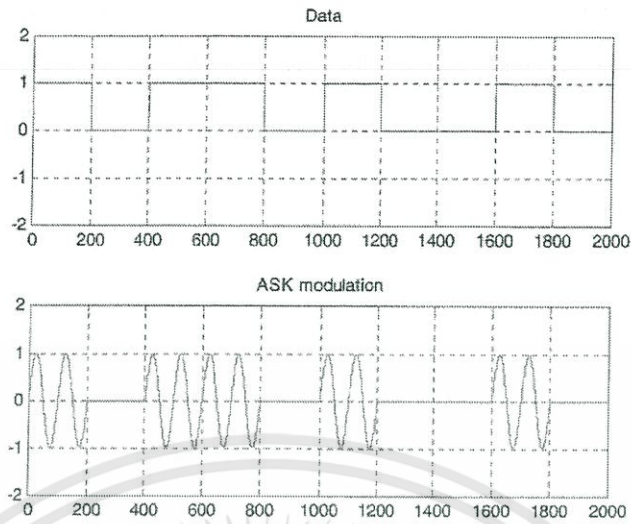
2.7 การสื่อสารดิจิทัลแบบแบนด์พาส (Band pass digital communication)

การสื่อสารข้อมูลดิจิทัลบนช่องสัญญาณต่างๆ ในบางช่องสัญญาณก็ไม่เหมาะสม เช่น การส่งสัญญาณดิจิทัลเข้าช่องสัญญาณอนาล็อก ที่คุ้นเคยกัน คือ ช่องสัญญาณกำลังไฟฟ้าซึ่งออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับส่งกำลังงานไฟฟ้า เมื่อนำมาใช้ส่งสัญญาณดิจิทัล จะต้องเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลนั้นให้เหมาะสมกับช่องสัญญาณ เทคนิคที่นำมาใช้เปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลให้เหมาะสมกับช่องสัญญาณอนาล็อก คือ การมอดูเลชัน โดยสัญญาณพาห้เป็นตัวพาสัญญาณข้อมูลผ่านเข้าช่องสัญญาณ และ นอกจากการเปลี่ยนสัญญาณให้เหมาะสมกับช่องสัญญาณแล้ว เทคนิคการมอดูเลชันยังให้ความเร็วที่สูงขึ้นในช่องสัญญาณที่มีความกว้างแถบ (Bandwidth) จำกัดเท่าเดิมซึ่งเทคนิคการมอดูเลชัน คือ การเปลี่ยนแปลงขนาด ความถี่ และเฟสของสัญญาณพาห้ (Carried signal) โดยสัญญาณดิจิทัลที่ต้องการมอดูเลตมีขนาดแน่นอนเป็นระดับ สัญญาณพาห้จะถูกเปลี่ยนขนาด ความถี่ หรือเฟส เป็นระดับที่แน่นอนจึงเรียกว่าเป็นการเปลี่ยน (shift) โดยเมื่อเปลี่ยนขนาด ความถี่ หรือเฟสไปตามบิตข้อมูลที่เข้ามาก็จะเรียกว่า Amplitude - shift Keying; ASK, Frequency - shift Keying; FSK, Phase - shift Keying; PSK ตามลำดับการเลือกวิธีการมอดูเลตรูปแบบต่างๆ นั้นจะพิจารณาสิ่งเหล่านี้

- ความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด (Maximum data rate)
- ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดต่ำที่สุด (Minimum probability of symbol error)
- กำลังในการส่งต่ำที่สุด (Minimum transmitted power)
- แบนด์วิดท์ช่องสัญญาณน้อยที่สุด (Minimum channel bandwidth)
- การทนต่อสัญญาณรบกวนมากที่สุด (Maximum resistance to interfering signal)
- ความยุ่งยากของวงจรน้อยที่สุด (Minimum circuit complexity)

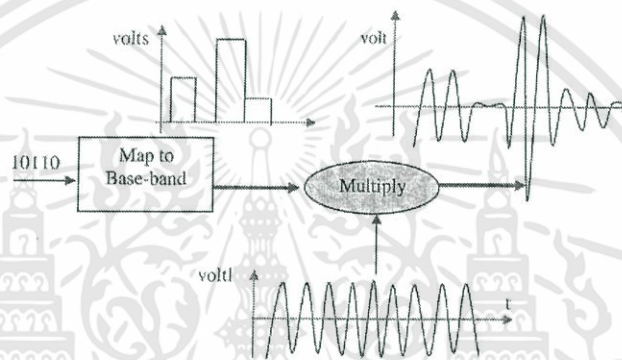
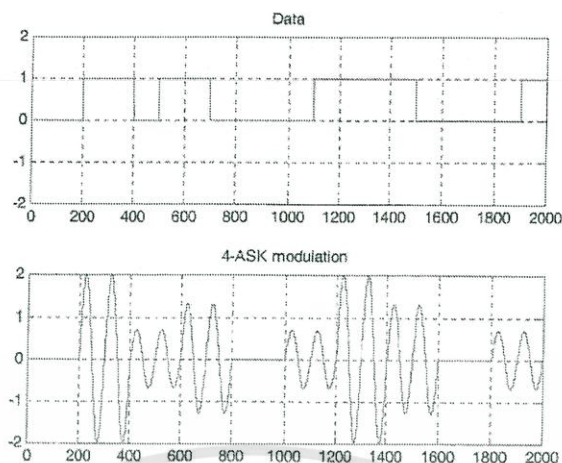
2.7.1 การมอดูเลตทางแอมพลิจูด (Amplitude-shift Keying: ASK)

เป็นการเปลี่ยนขนาดของสัญญาณพาห้ ซึ่งการเปลี่ยนเป็นระดับที่แน่นอน เช่น การเปลี่ยนตามบิตข้อมูล '0', '1' จะได้สัญญาณที่แน่นอนสองระดับเรียกว่า การมอดูเลตแบบ binary ASK ในกรณีที่ใช้ระดับสูงสุดแทนข้อมูล '1' และระดับสัญญาณพาห้เป็นศูนย์ เมื่อข้อมูลเป็น '1' และระดับสัญญาณพาห้เป็นศูนย์ เมื่อข้อมูลเป็น '0' จะเรียกว่า การมอดูเลตแบบ on-off keying: OOK ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (ก)



รูปที่ 2.18 (ก) Binary ASK (BASK) [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



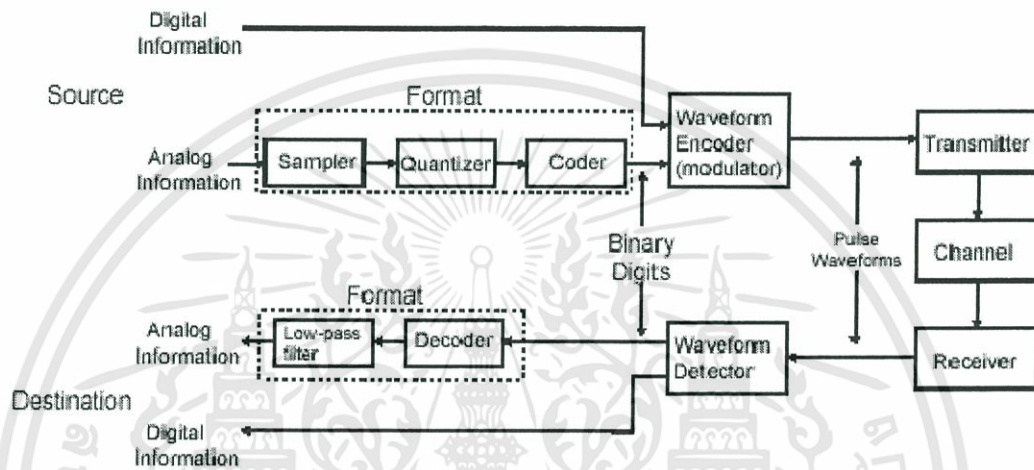
รูปที่ 2.18 (ข) Multi level (4-ary) amplitude shift keying (4-ary ASK)

รูปที่ 2.18 สัญญาณ ASK [9]

ส่วนรูปที่ 2.21 (ข) เป็นการเปลี่ยนระดับสัญญาณพาหะเป็น 4 ระดับ ซึ่งจะทำให้สามารถแทนบิตข้อมูลได้สองบิตในแต่ละระดับของสัญญาณพาหะ เรียกว่า การมอดูเลตแบบ M-ary - ASK โดยที่ $M = 4$ และจะพบว่าในรูปที่ 2.21 (ก) กรณี binary ASK การเปลี่ยนแปลงพาหะแต่ละครั้ง หมายถึง มีบิตข้อมูลหนึ่งบิตถูกส่งออกไปหรือรับเข้ามา ตามในกรณี รูปที่ 2.21 (ข) การเปลี่ยนแปลงสัญญาณพาหะแต่ละครั้งแสดงว่ามีบิตข้อมูลสองบิตถูกส่งออกไปหรือรับเข้ามาแสดงให้เห็นว่าจำนวนบิตข้อมูลที่เท่ากัน กรณี M-ary ASK จะใช้จำนวนการเปลี่ยนแปลงสัญญาณพาหะน้อยครั้งกว่า หมายถึงการส่งได้เร็วขึ้น ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณพาหะนี้เรียกว่า บอด (baud) นิยามเป็นอัตราเร็วของสัญลักษณ์มีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วบิต คือ ถ้าหนึ่งสัญลักษณ์ คือหนึ่งบิต อัตราเร็วบิตเท่ากับบอด เช่น กรณี binary ASK แต่ ถ้าหนึ่งสัญลักษณ์เท่ากับ 2 บิต เช่น 4-ary ASK อัตราเร็วบิตก็จะมากกว่าบอด เนื่องจากกรณีนี้บอดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณพาหะมีค่าเท่ากับทั้งกรณี binary ASK และ 4-ary ASK ถ้าส่งสัญญาณนี้ไปใช้ช่องสัญญาณหนึ่งจะพบว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณทั้งสองแทบจะไม่ต่างกันแต่ได้อัตราบิตที่ต่างกันด้วยวิธีนี้จึงทำให้สามารถส่งข้อมูลที่มีอัตราบิตสูงไปในช่องสัญญาณที่มี แบนด์วิดท์แคบได้

2.8 การส่งสัญญาณแบบเบสแบนด์ (Baseband Transmission)

การจัดรูปแบบสัญญาณดิจิทัลโดยที่แต่ละพัลส์แทนด้วยสัญญาณที่รูปร่างต่างกันไป เช่น “0” แทนด้วยสัญญาณไฟฟ้าแรงดันต่ำ และ “1” แทนด้วยสัญญาณไฟฟ้าแรงดันสูง แต่หากจะนำสัญญาณดิจิทัลส่งผ่านช่องสัญญาณเพื่อให้สามารถรับและส่งในระบบเบสแบนด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น เราจำเป็นจะต้องพิจารณารูปแบบของสัญญาณที่เหมาะสม ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงรูปแบบของสัญญาณแบบต่างๆ วิเคราะห์ลักษณะของสัญญาณ เพื่อพิจารณาข้อดีข้อเสียของสัญญาณในแต่ละแบบ



รูปที่ 2.19 ระบบการส่งสัญญาณแบบเบสแบนด์ [12]

2.8.1 การมอดูเลตสัญญาณแบบเบสแบนด์

เป็นการมอดูเลตสัญญาณที่ได้จากการจัดรูปแบบก่อนไม่ว่าจะเป็นการชักตัวอย่างหรือการจัดระดับสัญญาณให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม ก่อนจะทำการส่งผ่านช่องสัญญาณโดยตรงซึ่งไม่ต้องทำการผสมข้อมูลเข้าไปกลับสัญญาณคลื่นพาห้ แต่จะต้องพิจารณาช่องสัญญาณที่ทำการส่งและวิธีจัดรูปแบบสัญญาณ การเลือกรูปแบบการมอดูเลต ขึ้นอยู่กับปัจจัย

- 1) ชนิดช่องสัญญาณ
- 2) แบนวิดท์
- 3) ประสิทธิภาพของระบบที่ต้องการ
- 4) ความต้านทานต่อสัญญาณรบกวน

2.8.2 ชนิดของพัลส์มอดูเลต

วิธีการมอดูเลตโดยใช้พัลส์โดยผ่านขบวนการชักตัวอย่างนั้นมีวิธีการหลักสามวิธีคือ

- 1) การมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์ (Pulse Amplitude Modulation ย่อว่า PAM)
- 2) การมอดูเลตแบบช่วงกว้างพัลส์ (PulseDuration Modulation ย่อว่า PDM) หรืออาจเรียกวิธีนี้ว่า Pulse Width Modulation (ย่อว่า PWM)
- 3) การมอดูเลตตำแหน่งพัลส์ (Pulse Position Modulation ย่อว่า PPM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้หากมีการนำสัญญาณพัลส์ผ่านขบวนการควอนไทซ์เราสามารถที่จะสร้างสัญญาณมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ หรือที่เรียกย่อว่า PCM ซึ่งเป็นวิธีการมอดูเลตที่ใช้กันในระบบโทรศัพท์โดยทั่วไป และยังมีวิธีการอื่น ๆ ที่มีหลักการเช่นเดียวกับระบบ PCM อีกอาทิเช่น การมอดูเลตแบบเดลต้า (DM) และ การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ผลต่าง (DPCM) เป็นต้น

2.8.2.1 การมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์ (Pulse Amplitude Modulation)

วิธีการมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์ (PAM) นั้น จะเป็นการส่งสัญญาณพัลส์ที่มีแอมพลิจูดแปรผันตามขนาดของสัญญาณข่าวสารที่เป็นสัญญาณต่อเนื่อง โดยสัญญาณพัลส์ที่ส่งจะมีระยะห่างของพัลส์สม่ำเสมอ โดยอาจเป็นพัลส์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (rectangular pulse) หรืออาจเป็นรูปทรงอื่น ซึ่งวิธีการสร้างสัญญาณมอดูเลตแบบ PAM สามารถทำได้โดยการใช้วงจรชกตัวอย่างในทางปฏิบัติเช่น การชกตัวอย่างแบบแบนยอตราบ ดังแสดงในรูปที่ 2.19 สัญญาณมอดูเลต $s(t)$ มีรูปแบบดังนี้

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_s)h(t - nT_s) \quad (2.7)$$

โดยที่ $h(t)$ เป็นพัลส์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากที่มีความกว้างของพัลส์ (aperture) T และ T_s เป็นช่วงของการชกตัวอย่าง สำหรับสเปกตรัมของสัญญาณมอดูเลตจะมีรูปแบบเป็น

$$s(f) = f_a \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(f - nf_s)H(f) \quad (2.8)$$

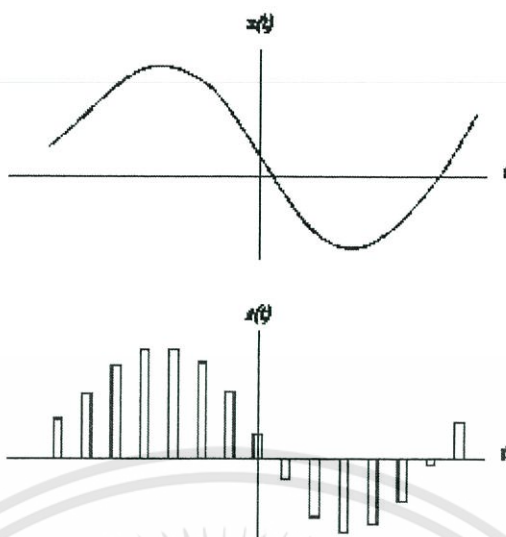
โดยที่ $H(f)$ เป็นผลการแปลงฟูริเยร์ของสัญญาณพัลส์ $h(t)$ ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$H(f) = T \sin c(fT) \exp(-j\pi fT) \quad (2.9)$$

จากสมการ 2.8 เราจะเห็นได้ว่าสัญญาณมอดูเลต PAM จะมีผลให้สัญญาณข่าวสาร $x(t)$ มีแอมพลิจูดผิดเพี้ยนไปและจะเกิดการประวิงเวลามีค่า $T=2$ ดังนั้นการดีมอดูเลต (demodulation) สัญญาณ PAM นั้นจะมีภาครับซึ่งประกอบด้วยวงจรรองแบบผ่านต่ำต่อเรียงกับตัวปรับเท่า ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ซึ่งตัวปรับเท่านี้จะมีการตอบสนองเชิงแอมพลิจูดเป็น

$$\frac{1}{|H(f)|} = \frac{1}{T \sin c(fT)} = \frac{\pi f}{\sin(\pi f)} \quad (2.10)$$

ในทางปฏิบัติแล้วค่า $T=T_s$ จะมีค่าน้อยกว่า 0.1 จึงทำให้ค่าความเพี้ยนทางแอมพลิจูด (amplitude distortion) ของสัญญาณมอดูเลต PAM จะมีค่าน้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจทำให้เราสามารถที่จะตัดส่วนของตัวปรับเท่าออกจากภาครับได้



รูปที่ 2.20 แสดงสัญญาณการมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์

ช่องสัญญาณ สำหรับการส่งสัญญาณ PAM นั้นจะต้องมีแบนด์วิดท์ที่กว้างทั้งนี้ เพราะ สัญญาณพัลส์ที่จะมีค่าความกว้างของพัลส์น้อย ซึ่งจะทำให้แบนด์วิดท์ของสัญญาณ PAM กว้างกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณข่าวสาร นอกจากนี้ประสิทธิภาพของสัญญาณมอดูเลต PAM ต่อการป้องกันสัญญาณรบกวนนั้นไม่ดีไปกว่าการส่งสัญญาณข่าวสารอนาล็อกโดยตรง จึงทำให้ระบบการมอดูเลตแบบ PAM ไม่เป็นที่นิยมสำหรับการส่งข้อมูลระยะไกล แต่อย่างไรก็ตามระบบ PAM เป็น ขบวนการแรกของการสร้างสัญญาณมอดูเลตแบบ PCM ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน และยังเป็นแนวทางใน การส่งสัญญาณในระบบมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา ซึ่งสามารถส่งสัญญาณหลายสัญญาณผ่านใน ช่องสัญญาณเดียวกันได้

2.8.2.2 การมอดูเลตแบบช่วงกว้างพัลส์และการมอดูเลต ตำแหน่งพัลส์

(Pulse Duration Modulation and Pulse Position Modulation)

การปรับปรุงประสิทธิภาพของการป้องกันสัญญาณรบกวนของการมอดูเลตแบบ PAM ได้โดยการใช้คุณสมบัติอื่นๆของพัลส์มาเป็นตัวระบุค่าจากการชักตัวอย่าง (sample value) ของสัญญาณข่าวสาร แทนที่จะใช้แอมพลิจูด อย่างสัญญาณมอดูเลต PAM ซึ่งวิธีการที่นิยมคือ การมอดูเลตแบบช่วงกว้างพัลส์ (PDM) และการมอดูเลต ตำแหน่งพัลส์ (PPM) โดยการมอดูเลตแบบ PDM จะสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีแอมพลิจูดคงที่แต่จะมีความกว้างของพัลส์แปรผันตามแอมพลิจูดของ สัญญาณข่าวสาร ส่วนการมอดูเลตแบบ PPM จะสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีทั้งแอมพลิจูดและความกว้าง คงที่ แต่ตำแหน่งเริ่มต้นของพัลส์จะต่างกัน โดยจะมีตำแหน่งเริ่มต้นใกล้เคียงกับตำแหน่งของการชัก ตัวอย่างถ้าแอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสารน้อย และจะมีตำแหน่งเริ่มต้นห่างจากตำแหน่งชักตัวอย่าง มากขึ้นหากแอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสารมีค่าสูง ตัวอย่างของการมอดูเลตแบบ PDMและ PPM สามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2.21 การมอดูเลตแบบ PDM นั้นจะต้องการกำลังส่งของสัญญาณพัลส์ แปรผันตามความกว้างของสัญญาณพัลส์ซึ่งพัลส์ที่มีความกว้างมากจะต้องการกำลังส่งที่มากขึ้น จึง ทำให้การมอดูเลตแบบ PDM ไม่มีความเหมาะสมในการทำงานนัก ดังนั้นหากต้องการสร้างสัญญาณ มอดูเลตโดยใช้พัลส์ที่มีประสิทธิภาพในแง่ของการป้องกันสัญญาณรบกวนที่ดีกว่าระบบ PAM เราจะ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกใช้วิธีการมอดูเลตแบบ PPM เพราะวิธีนี้ต้องการ กำลังส่งน้อยกว่าวิธีแบบ PDM ซึ่งสัญญาณมอดูเลต PPM นั้นสามารถที่จะแสดงได้ในรูปแบบดังนี้

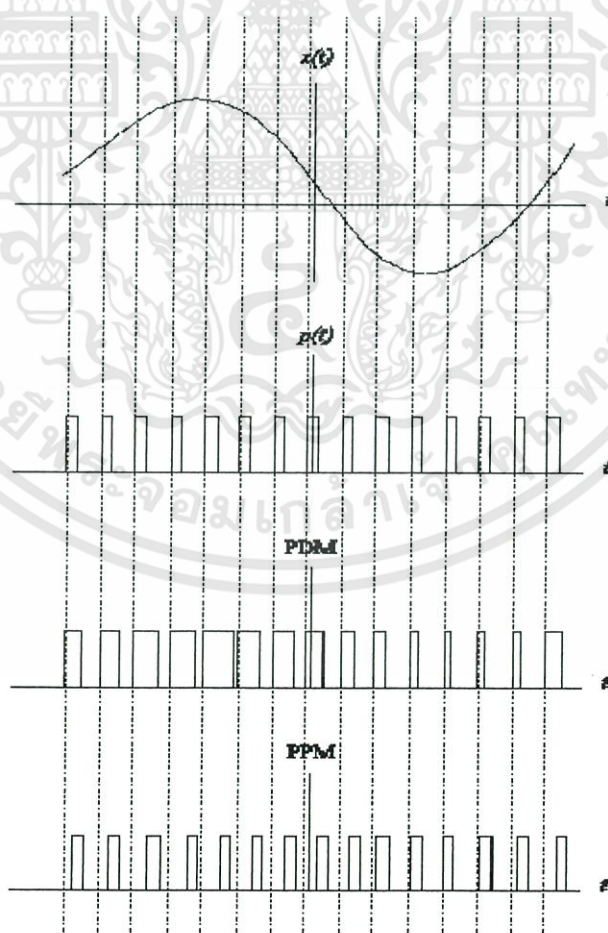
$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(t - nT_s - k_p x(nT_s)) \quad (2.11)$$

โดยที่ k_p เป็นค่าความไว (sensitivity) ของตัวมอดูเลต ตำแหน่งพัลส์ (pulse position modulator) และ $h(t)$ เป็นพัลส์รูปทรงสี่เหลี่ยม เพื่อไม่ให้สัญญาณพัลส์ที่จะส่งเกิดการเหลื่อมกัน (overlapping) สัญญาณพัลส์ $h(t)$ จะต้องมีรูปแบบดังนี้

$$h(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } |t| \leq \frac{t_u}{2} - k_p |x(t)|_{\max} \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (2.12)$$

จึง ทำให้เรามีเงื่อนไขค่าความไวของตัวมอดูเลต ตำแหน่งพัลส์ดังนี้

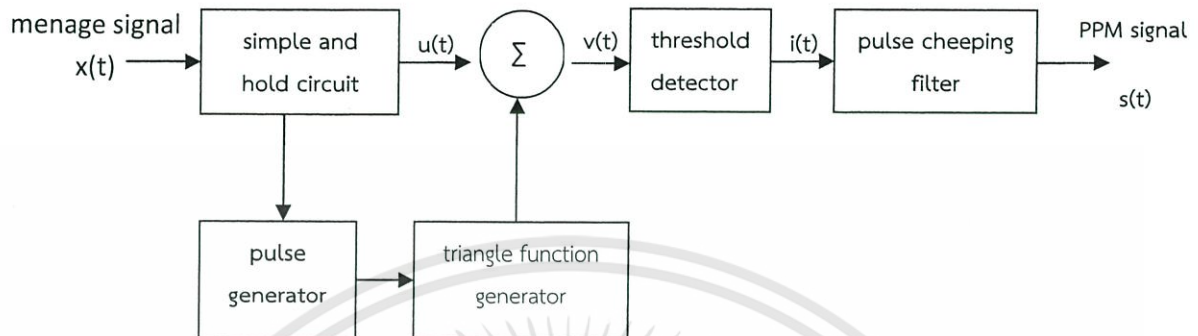
$$k_p |x(t)|_{\max} < \frac{t_u}{2} \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างของการมอดูเลตแบบ PPM และ PDM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือค่าความกว้างของพัลส์มากที่สุดที่จะทำให้ไม่เกิดการเหลื่อมกันจะมีค่าเป็น $T_s = 2$ ซึ่งหากสัญญาณพัลส์ $h(t)$ เป็นไปตามเงื่อนไขของสมการ และสัญญาณมอดูเลต $s(t)$ มีอัตราการซึกตัวอย่างที่เหมาะสมแล้วเราจะสามารถที่จะสร้างสัญญาณข่าวสาร $x(t)$ กลับคืนมาได้



รูปที่ 2.22 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งของการมอดูเลตแบบ PPM

ภาคส่งของระบบ PPM จะสามารถแสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.22 ซึ่งเราสามารถอธิบายขั้นตอนการสร้างสัญญาณมอดูเลต PPM ดังนี้ ในขั้นตอนแรกสัญญาณมอดูเลต PAM จะถูกสร้างจากสัญญาณข่าวสาร $x(t)$ โดยผ่านวงจรซึกตัวอย่างค้ำไว้ ซึ่งสัญญาณมอดูเลต PAM ที่ได้จะเป็นรูปคลื่นบันได (staircase waveform) $u(t)$ จากนั้นจะนำสัญญาณ $u(t)$ มารวมกับสัญญาณรูปคลื่นฟันเลื่อย (saw tooth waveform) ซึ่งจะได้สัญญาณรวม $v(t)$ สัญญาณ $v(t)$ นี้จะถูกนำเข้าตัวตรวจจับเทรตโฮลด์ (threshold detector) เพื่อสร้างสัญญาณอิมพัลส์ (impulse) ที่ตำแหน่งซึ่งสัญญาณผ่านศูนย์ (zero crossing) จากค่าบวกเป็นค่าลบ จะทำให้ได้อนุกรมของสัญญาณอิมพัลส์ $i(t)$ ซึ่งสัญญาณมอดูเลต PPM, $s(t)$ สามารถที่จะสร้างจากสัญญาณอิมพัลส์ $i(t)$ นี้ได้โดยการนำสัญญาณมากระตุ้นวงจรกรองที่มีผลตอบสนองอิมพัลส์เป็นสัญญาณพัลส์ $h(t)$

สำหรับภาครับของระบบ PPM จะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้ ขั้นตอนแรกเป็นการแปลงสัญญาณมอดูเลต PPM ให้อยู่ในรูปของสัญญาณมอดูเลต PDM ซึ่งสัญญาณมอดูเลต PDM ที่ได้จะถูกส่งเข้าไปยังวงจรถอดรหัสที่จะได้สัญญาณออกจากวงจรเป็นสัญญาณ PAM ซึ่งเราสามารถที่จะสร้างสัญญาณข่าวสาร $x(t)$ กลับคืนมาได้โดยการใช้วงจรถอดรหัสของการมอดูเลตแบบ PAM ที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมาระบบการมอดูเลตโดยใช้พัลส์ที่กล่าวผ่านมายังเป็นระบบอนาลอกนั้นซึ่งเป็นที่นิยม ทั้งนี้เนื่องจากระบบการมอดูเลตแบบนี้สามารถที่จะนำระบบมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลามาใช้ได้ แต่เมื่อวิวัฒนาการทางระบบเทคโนโลยีดิจิตอลมีความก้าวหน้าขึ้น ระบบการมอดูเลตเหล่านี้ได้ถูกแทนที่โดยการมอดูเลตที่ใช้ระบบดิจิตอลอาทิเช่น ระบบ PCM

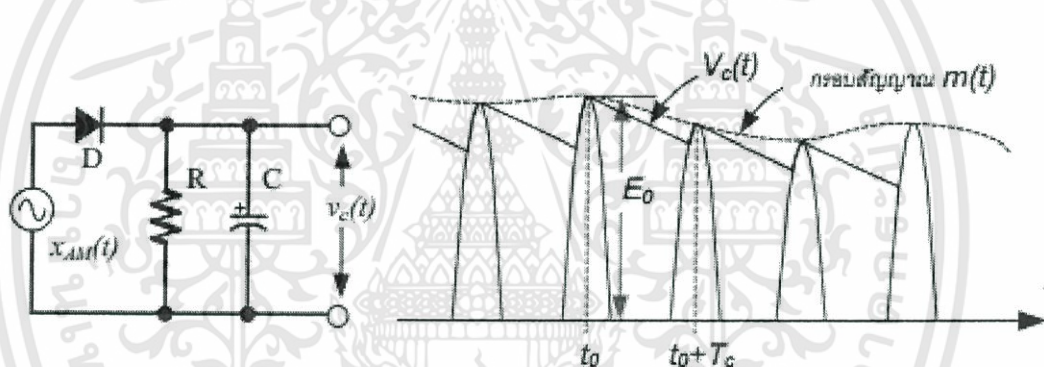
2.9 การสร้างสัญญาณคืนจากการมอดูเลตเชิงขนาด (Demodulation)

2.9.1 การสร้างสัญญาณคืนโดยอาศัยกรอบ (Envelope Detector)

วิธีการนี้ได้รับความนิยมค่อนข้างสูงเพราะง่ายและค่อนข้างประหยัดวงจร ประกอบด้วยไดโอด ตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน หลักการก็คือ จะพยายามต่อยอดของสัญญาณคลื่นพาหะทุกๆ ยอดเข้าด้วยกันซึ่งก็ ทำให้ได้สัญญาณ $m(t)$ นั่นเอง ดังนั้นการคายประจุจะต้องเหมาะสมกับระยะคาบและขนาดของการเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะ โดยสรุปก็คือ ดัชนีการมอดูเลตต้องไม่สูงมาก โดยที่ความถี่ของคลื่นพาหะต้องสูงกว่าความถี่ของสัญญาณข้อมูลมากๆ เพื่อให้ได้การสร้างสัญญาณคืนที่ดีที่สุด ค่าเวลาคงตัว RC ค่าดัชนีการมอดูเลต (μ) และความถี่คลื่นพาหะ (ω_m) ต้องมีความสัมพันธ์ คือ

$$RC \leq \frac{1}{\omega_m} \frac{\sqrt{1-\mu^2}}{\mu} \tag{2.14}$$

ดังสามารถแสดงได้ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.23 วงจรดีเทคเตอร์โดยใช้กรอบสัญญาณข้อมูล [10]

จากแรงดันเริ่มต้นคือ E_0 (คือให้ ตัวเก็บประจุถูกประจุจนแรงดัน E_0) สมการการคายประจุก็คือ

$$V_c(t) = E_0 e^{-t/RC} \tag{2.15}$$

เมื่อให้ ระยะห่างระหว่างคลื่นสัญญาณพาหะ (คือคาบเวลา) ที่ติดกันคือ T_c โดยที่ $T_c = \frac{1}{f_c}$ โดย

$\omega_c = 2\pi f_c$ และให้ค่าคงตัวของการคายประจุมากกว่า T_c หรือ $RC \gg 1/\omega_c$ แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุสามารถที่จะประมาณว่าลดลงอย่างเป็นเชิงเส้น หรือ

$$V_c(t) = E_0 - \frac{E_0 t}{RC} \tag{2.16}$$

และหากต้องการให้ $V_c(t)$ สามารถเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับ $m(t)$ จะต้องให้ การคายประจุต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นานพอที่จะทำให้ยอดของสัญญาณคลื่นพาหะต่อกันได้ แต่ต้องไม่มากไปจนทำให้สัญญาณความถี่ต่ำ (กรอบ) เสื่อมรูปไป

$$(1 + \mu \cos \omega_m t_o) \left(1 - \frac{T_c}{RC}\right) \leq 1 + \mu \cos \{\omega_m (t_o + T_c)\} \quad (2.17)$$

เนื่องจากความถี่คลื่นพาหะจะสูงกว่าความถี่ของสัญญาณข้อมูลมาก (หรือ $\omega_c \gg \omega_m$) ดังนั้น

$$\begin{aligned} (1 + \mu \cos \{\omega_m (t_o + T_c)\}) &= 1 + \mu \cos(\omega_m t_o + \omega_m T_c) \\ &= 1 + \mu \cos \omega_m t_o \cos \omega_m T_c - \mu \sin \omega_m t_o \sin \omega_m T_c \\ &= 1 + \mu \cos \omega_m t_o - \mu \omega_m T_c \sin \omega_m t_o \end{aligned} \quad (2.18)$$

ดังนั้นจากสมการ (2.11) จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} \{1 + \mu \cos(\omega_m t_o)\} \left(1 + \frac{T_c}{RC}\right) &\leq 1 + \mu \cos(\omega_m t_o) - \mu \omega_m T_c \sin(\omega_m t_o) \\ 1 - \frac{T_c}{RC} + \mu \cos(\omega_m t_o) - \mu \frac{T_c}{RC} \cos(\omega_m t_o) &\leq 1 + \mu \cos(\omega_m t_o) - \mu \omega_m T_c \sin(\omega_m t_o) \\ -\frac{T_c}{RC} - \mu \frac{T_c}{RC} \cos(\omega_m t_o) &\leq -\mu \omega_m T_c \sin(\omega_m t_o) \\ \frac{1}{RC} \{1 + \mu \cos(\omega_m t_o)\} &\geq \mu \omega_m \sin(\omega_m t_o) \end{aligned}$$

หรือ
$$\frac{1}{RC} \geq \omega_m \left(\frac{\mu \cos(\omega_m t_o)}{1 + \mu \omega_m \sin(\omega_m t_o)} \right) \quad (2.19)$$

จาก
$$\frac{1}{RC} \{1 + \mu \cos(\omega_m t_o)\} \geq \mu \omega_m \sin(\omega_m t_o)$$

เขียนได้เป็น
$$\frac{1}{RC} + \frac{1}{RC} \mu \cos(\omega_m t_o) \geq \mu \omega_m \sin(\omega_m t_o)$$

หรือ

$$\mu(\omega_m \sin \omega_m t_o) - \frac{1}{RC} \cos(\omega_m t_o) < \frac{1}{RC} \quad (2.20)$$

หรือ
$$\mu \sqrt{\omega_m^2 + \left(\frac{1}{RC}\right)^2} \sin(\omega_m t_0 - \tan^{-1} \frac{1}{\omega_m RC}) \leq \frac{1}{RC}$$

เนื่องจากสมการนี้ต้องเป็นจริงที่ทุกค่าของ t_0 ดังนั้น (ให้พจน์ไซน์มีค่าสูงสุด)

$$\mu \sqrt{\omega_m^2 + \left(\frac{1}{RC}\right)^2} \leq \frac{1}{RC}$$

หรือ ก็คือ

$$\mu^2 [\omega_m^2 + \left(\frac{1}{RC}\right)^2] \leq \left(\frac{1}{RC}\right)^2$$

ซึ่งจะทำให้ได้

$$\mu^2 \omega_m^2 + \frac{\mu^2}{(RC)^2} \leq \left(\frac{1}{RC}\right)^2$$

$$\mu^2 \omega_m^2 \leq \frac{1 - \mu^2}{(RC)^2}$$

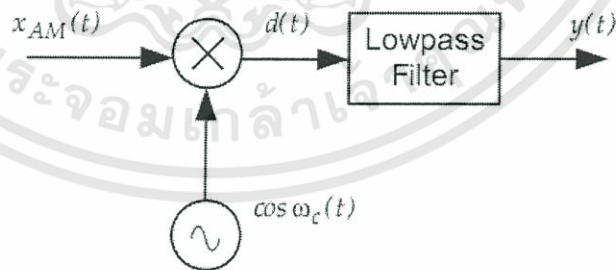
หรือ

$$RC \leq \frac{1}{\omega_m} \frac{\sqrt{1 - \mu^2}}{\mu}$$

(2.21)

2.9.2 การสร้างสัญญาณคีนโดยใช้ซิงโครนัสดีเทคเตอร์ (Synchronous Detector)

วงจรซิงโครนัสดีเทคเตอร์ดังแสดงดังรูปสามารถที่จะใช้ในดามมอดูเลตสัญญาณเอเอ็ม $X_{AM}(t) = \{A_c + m(t)\} \cos(\omega_c t)$ โดยไม่ขึ้นกับค่า A_c



รูปที่ 2.24 วงจรดีมอดูเลเตอร์แบบซิงโครนัสดีเทคเตอร์ [11]

จากรูป

$$d(t) = X_{AM}(t) \cos(\omega_c t)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= \{A_c + m(t)\} \cos^2(\omega_c t) \\
 &= \frac{1}{2}\{A_c + m(t)\} + \frac{1}{2}\{A_c + m(t)\} \cos(2\omega_c t)
 \end{aligned}$$

เมื่อผ่านวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ

$$y(t) = \frac{1}{2}\{A_c + m(t)\} = \frac{1}{2}A_c + \frac{1}{2}m(t)$$

เทอมที่เป็นสัญญาณไฟตรง $\frac{1}{2}A_c$ สามารถที่จะกำจัดโดยใช้ตัวเก็บประจุคั่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ผลการทดลองและการออกแบบ

3.1 ผลการทดลอง

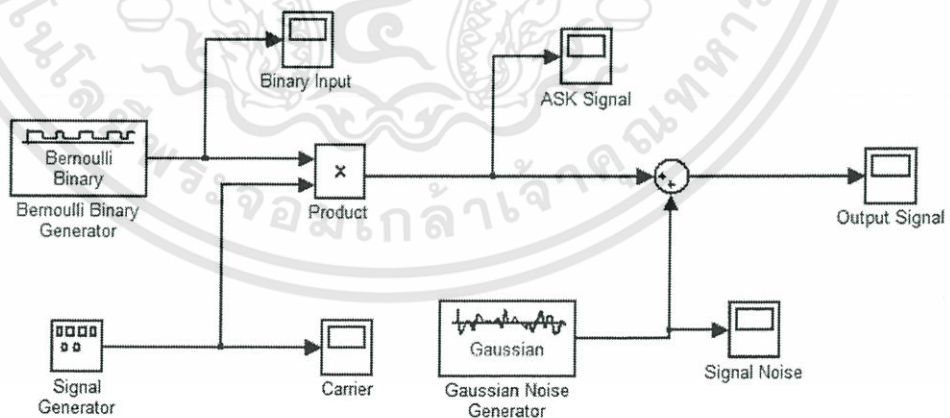
ในการทดลองของโครงการการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ากำลัง (Power Line Communication) จะเป็นการศึกษาหลักการที่ใช้ในการสื่อสารในที่นี่ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ ในส่วนภาคส่งสัญญาณโดยการมอดูเลต (Modulation) ระหว่างสัญญาณข้อมูลเข้ากับสัญญาณพาหะ (Carrier Signal) และภาครับสัญญาณโดยการ (Demodulation) เป็นการแปลงสัญญาณที่รับมาให้กลับเป็นสัญญาณข้อมูลเหมือนเดิม เพื่อแสดงการสื่อสารกันระหว่างภาครับและภาคส่ง

3.1.1 การทดลองภาคส่งสัญญาณ

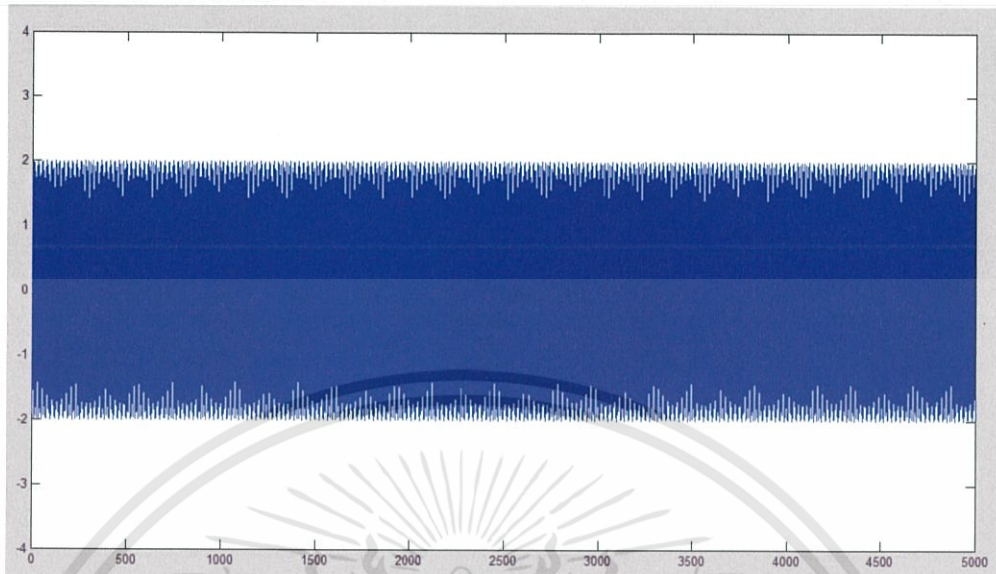
การทดลองส่วนของภาคส่งสัญญาณ โดยการมอดูเลตทางขนาด (Amplitude-Shift Keying: ASK) เป็นลักษณะของการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัล กับ สัญญาณพาหะ (Carrier Signal) โดยเป็นการเปลี่ยนขนาดของสัญญาณพาหะ ซึ่งการเปลี่ยนเป็นระดับที่แน่นอน เช่น การเปลี่ยนตามบิตข้อมูล '0' '1' จะได้สัญญาณที่แน่นอนสองระดับ เรียกว่าเป็นการมอดูเลตแบบ binary ASK ในกรณีที่ใช้ระดับสูงสุดแทนข้อมูล '1' และระดับสัญญาณพาหะเป็นศูนย์เมื่อข้อมูลเป็น '0' จะเรียกว่าเป็นการมอดูเลตแบบ on-off keying; OOK

การทดลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ในส่วนของภาคส่งมีส่วนประกอบดังรูปที่ 3.1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. Bernoulli Binary Generator จำลองเป็นสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่ง
2. Signal Generator จำลองเป็นสัญญาณพาหะ (Carrier Signal)
3. cross product จำลองเป็นวงจรคูณ (Modulation)
4. Gaussian Noise Generator จำลองเป็นสัญญาณรบกวนในสายไฟ



รูปที่ 3.1 วงจรมอดูเลตขั้น (modulation)

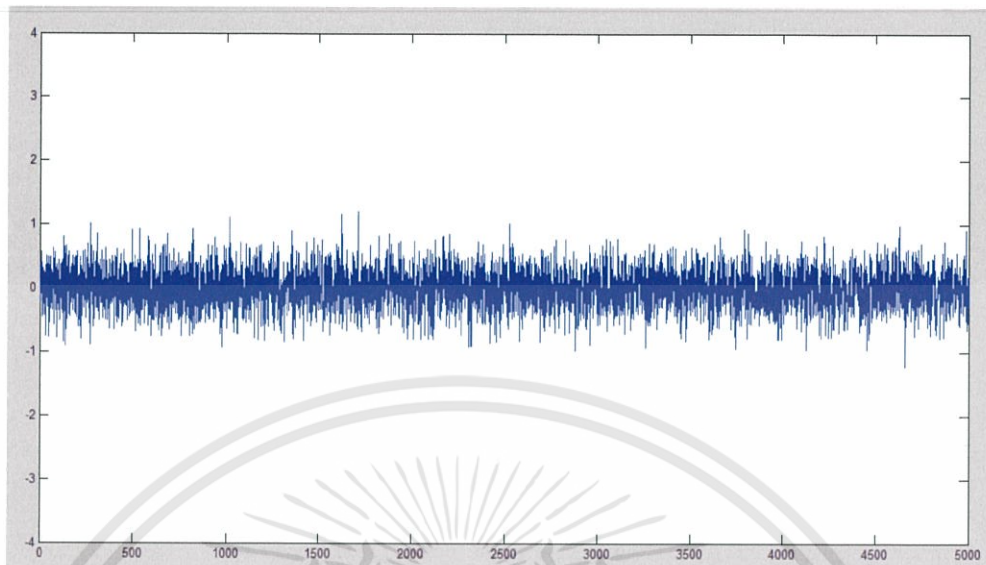


รูปที่ 3.3 กราฟสัญญาณพาหะ (Carrier Signal) ภาดส่ง



รูปที่ 3.4 กราฟการมอดูเลตทางขนาด (Amplitude-Shift Keying: ASK)

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นว่าสัญญาณมอดูเลตเกิดการเปลี่ยนขนาดของสัญญาณพาหะซึ่งเป็นการเปลี่ยนระดับที่แน่นอน เช่น การเปลี่ยนตามบิตข้อมูล '0' '1' จะได้สัญญาณที่แน่นอนสองระดับดังรูป ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี



รูปที่ 3.5 กราฟการจำลองสัญญาณรบกวนในสายไฟฟ้า



รูปที่ 3.6 กราฟสัญญาณมอดูเลตที่เกิดการรบกวนในสายไฟฟ้า

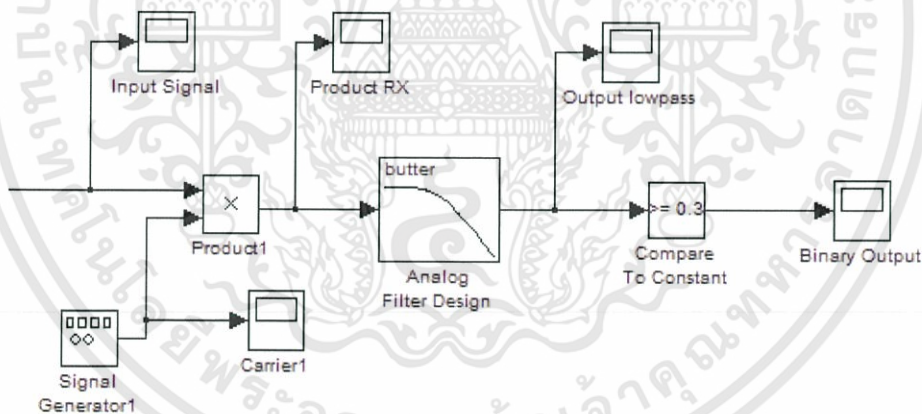
จากรูปที่ 3.6 เป็นกราฟที่จำลองโดยการใส่สัญญาณรบกวนเข้าไปในกราฟรูปที่ 3.4 ซึ่งในทางปฏิบัติในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นจะมีสัญญาณรบกวนในสายไฟฟ้า ดังนั้นจึงทำการจำลองให้เสมือนจริง

3.1.2 การทดลองภาครับสัญญาณ

ในส่วนของภาครับจะทำหน้าที่แยกสัญญาณคลื่นพาหะออกให้เหลือเพียงสัญญาณข้อมูล เราเรียกวิธีการแยกสัญญาณนี้ว่าการดีมอดูเลต (Demodulation) โดยใช้วิธีซิงโครนัสดีเทคเตอร์ (Synchronous Detector) จะมีหลักการทำงานคือ ทำการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของสัญญาณมอดูเลตแบบ ASK ที่รับมาและใช้สัญญาณพาหะอ้างอิงที่มีความถี่และเฟสตรงกันกับสัญญาณพาหะเดิมที่ใช้ในการมอดูเลต

การทดลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ในส่วนของภาครับมีส่วนประกอบดังรูปที่ 3.7 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. สัญญาณมอดูเลตทางขนาด (Amplitude-Shift Keying: ASK) เป็นสัญญาณ Input ของระบบ
2. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) จำลองเป็นสัญญาณพาหะอ้างอิงที่มีความถี่และเฟสเท่าเดิมในตอนมอดูเลต
3. Analog Filter Design จำลองเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ เพื่อกรองสัญญาณความถี่สูงหรือความถี่พาหะออกจากสัญญาณข้อมูล
4. Compare To Constant จำลองเป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล 1 บิต



รูปที่ 3.7 วงจรดีมอดูเลตแบบซิงโครนัสดีเทคเตอร์ (Synchronous Detector)

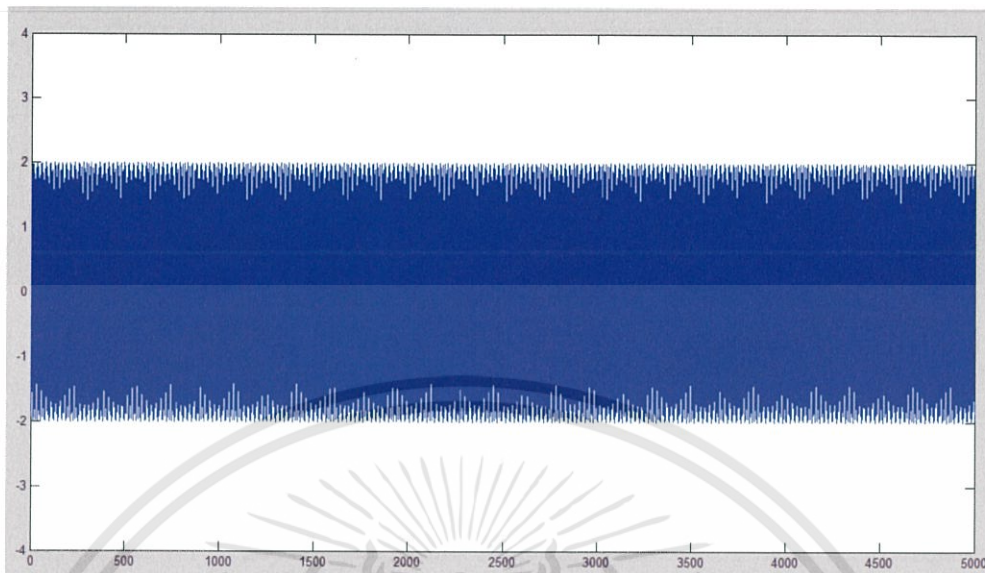
ขั้นตอนการทดลอง

1. นำสัญญาณมอดูเลตทางขนาด (Amplitude-Shift Keying: ASK) เป็นอินพุทของ วงจรคูณสัญญาณ โดย cross product 1
2. ทำการสร้างสัญญาณพาหะ (Carrier Signal) จาก เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) โดยค่า $\omega_c = 1000 \text{ rad/sec}$ จะได้ความถี่คลื่นพาหะเป็น $f_c = 1.57 \text{ KHz}$ ซึ่งมีค่าเท่ากับสัญญาณตอนมอดูเลต
3. นำสัญญาณที่ผ่านวงจรคูณสัญญาณมากรองความถี่สูงออกโดยผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ เพื่อให้เหลือแต่ความถี่สัญญาณข้อมูลโดยให้ความถี่คัทออฟ (cut off)
4. เมื่อเหลือแต่ความถี่ของสัญญาณข้อมูลก็จะนำสัญญาณที่ได้มาผ่านวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล 1 บิต

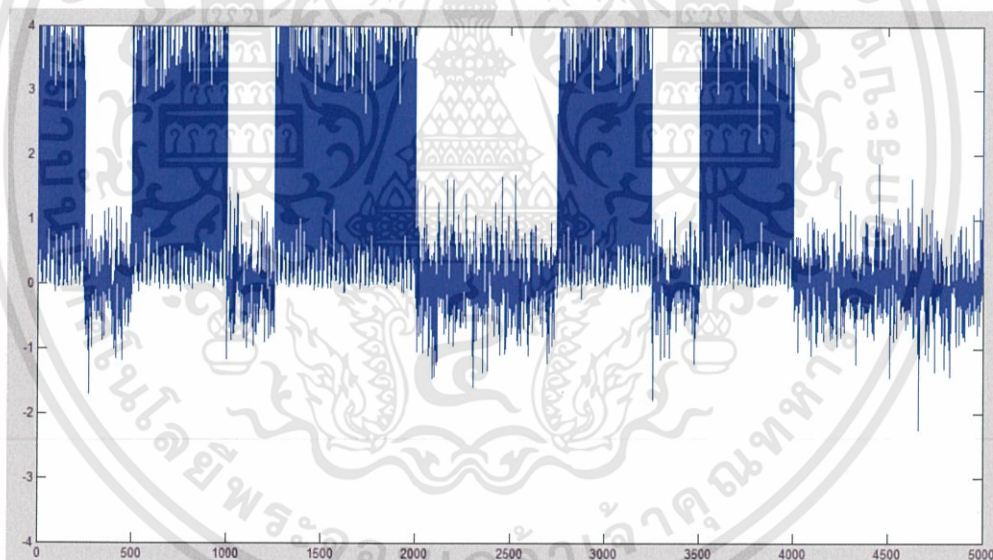
รูปกราฟผลการทดลองภาครับสัญญาณจากสโคป (Scope)



รูปที่ 3.8 กราฟสัญญาณ Input ของระบบ



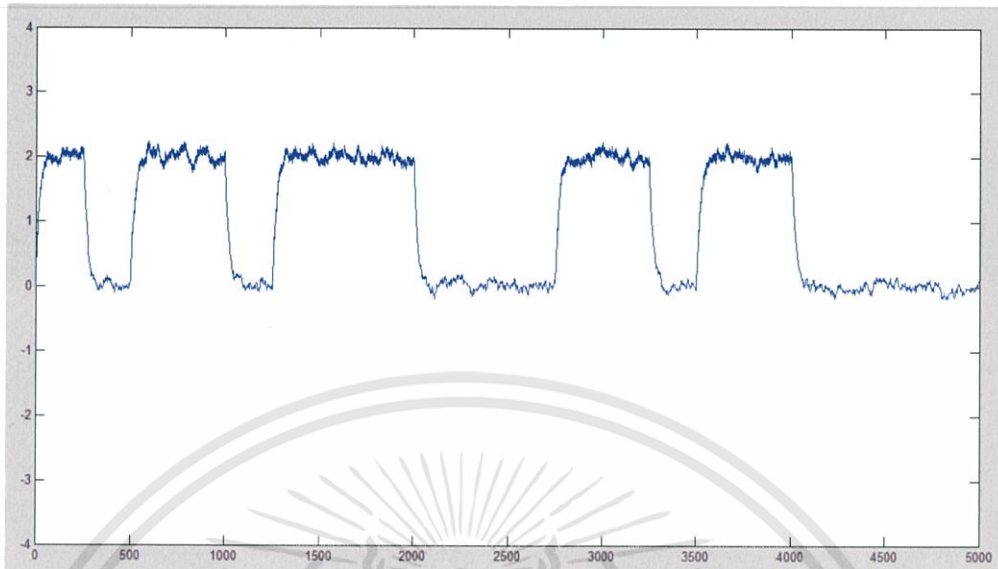
รูปที่ 3.9 กราฟสัญญาณพาหะ (Carrier Signal) ภาครับ



รูปที่ 3.10 กราฟสัญญาณที่ผ่านวงจรรคูณ cross product 1

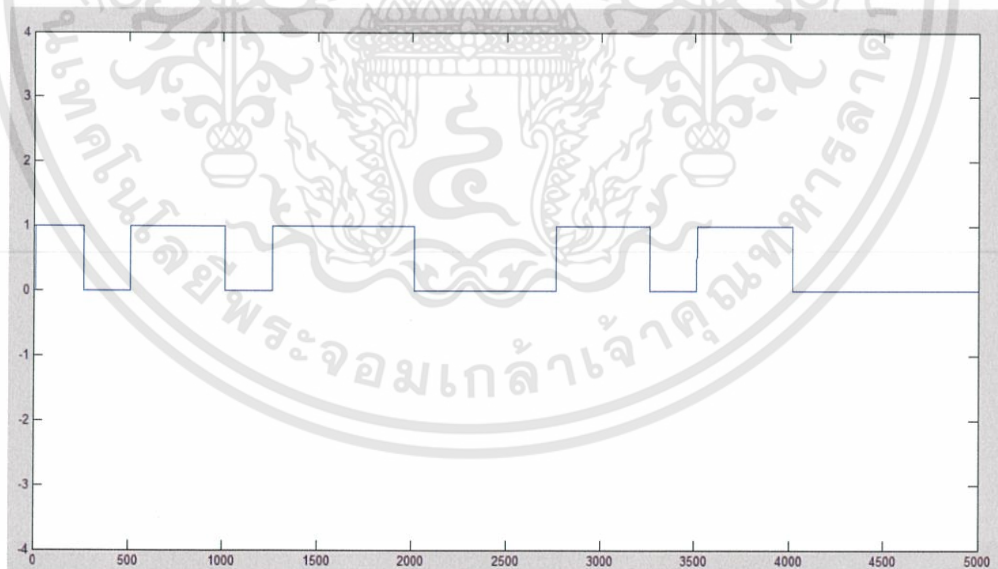
จากรูปที่ 3.10 เป็นกราฟมอดูเลตทางขนาดมารวมกับสัญญาณพาหะอีกครั้งหนึ่ง เพื่อที่จะเรียกความถี่เบสแบนด์หรือความถี่ข้อมูลกลับคืนมา ซึ่งดังรูปที่ 3.10 จะเห็นว่าลักษณะกราฟจะ ยกขึ้นมาและมีลักษณะเหมือนกันสัญญาณข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 กราฟสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ

จากรูปที่ 3.11 จะเห็นว่าเมื่อได้ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำมาแล้วนั้นลักษณะกราฟใกล้เคียงกับสัญญาณข้อมูลมาก โดยวงจรกรองความถี่ต่ำจะกรองความถี่สูงออกจนทำให้เหลือเพียงความถี่ข้อมูล



รูปที่ 3.12 กราฟสัญญาณที่ผ่านวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นว่าข้อมูลที่รับทั้งสิ้น 20 บิต คือ 10110111000110110000 จะเห็นว่าข้อมูลที่ตรงกับข้อมูลที่ส่ง

3.2 การออกแบบระบบ

การออกแบบระบบนั้นจะต้องคำนึงถึงขอบเขตของโครงการ ความสมบูรณ์ และปัญหาที่จะเกิดขึ้นในการดำเนินงาน ซึ่งหลักการในการออกแบบ ต้องมีกระบวนการเป็นระบบและกระทำตามขั้นตอน ใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมกับชิ้นงาน และใช้อุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

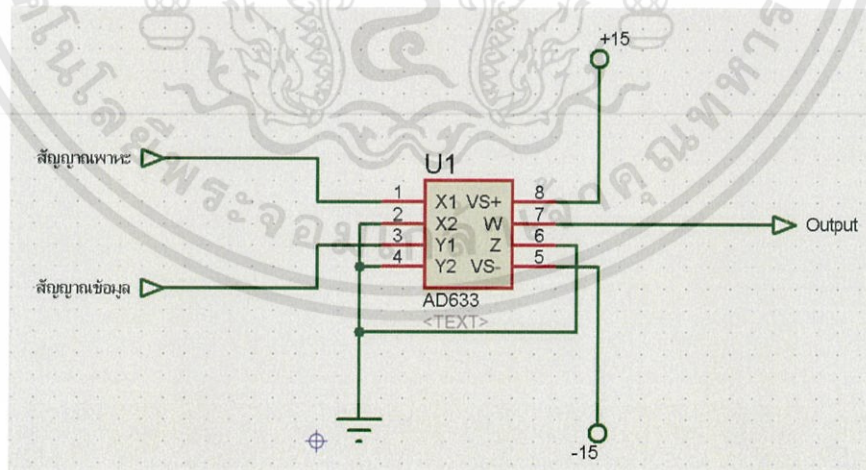
3.2.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์

อุปกรณ์ฝั่งส่งสัญญาณและฝั่งรับสัญญาณ จะประกอบไปด้วยวงจรหลักอยู่ 5 วงจร ซึ่งแต่ละวงจรจะทำหน้าที่แตกต่างกันไปตามขั้นตอนการทำงาน ได้แก่

- วงจรมอดูเลต (Modulation)
- วงจรดีมอดูเลต (Demodulation)
 - วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)
 - วงจรเปรียบเทียบ (Comparator)
- วงจรจ่ายไฟ (Power Supply)

3.2.1.1 วงจรมอดูเลต (Modulation)

เป็นวงจรใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลมีวิธีการออกแบบดังนี้ จากรูปวงจรดังแสดงใน รูปที่ 3.13 เป็นวงจรมอดูเลตที่ใช้ไอซี AD633 เป็นตัวคูณสัญญาณโดยจะเป็นการคูณกันระหว่างสัญญาณพาหะ (Carrier Signal) กับสัญญาณข้อมูล

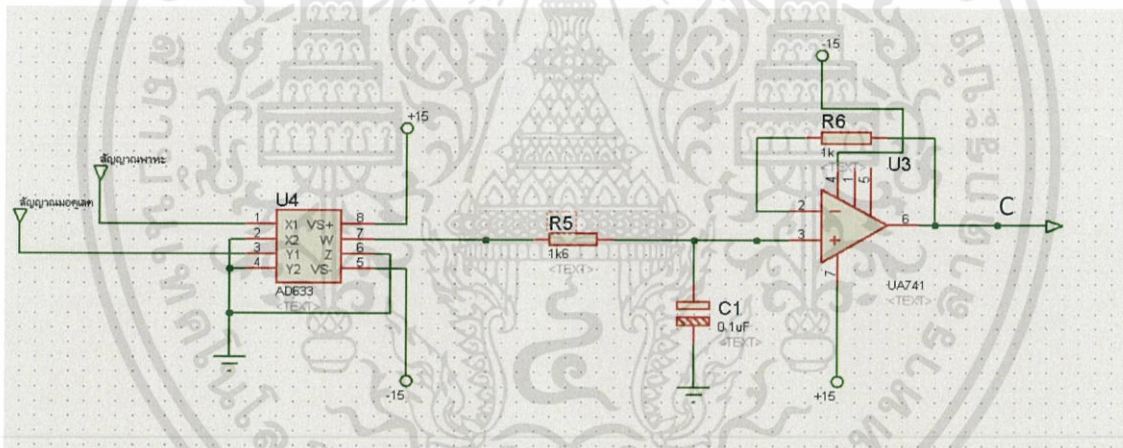


รูปที่ 3.13 วงจรมอดูเลตสัญญาณ

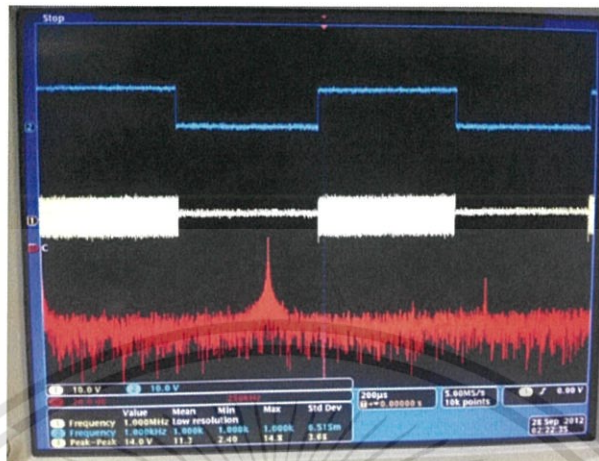
จากรูปที่ 3.13 เป็นการใช้อิซี AD633 มาทำการมอดูเลตสัญญาณพาหะกับสัญญาณข้อมูล ซึ่งสัญญาณพาหะจะป้อนเข้าไปยังขา 1 (X1) ของอิซี AD633 แล้วสัญญาณข้อมูลป้อนไปยังขา 3 (Y1) ของอิซี เพื่อผ่านวงจรคูณสัญญาณของทั้งสองสัญญาณ จะได้เอาต์พุตที่ออกมาที่ขา 7 (W) ดังรูป 3.15 เป็นสัญญาณมอดูเลต เพื่อให้สัญญาณพาหะที่มีความถี่สูงเป็นตัวพาสัญญาณข้อมูลไปสู่อุปกรณ์ฝั่งรับข้อมูล

3.2.1.2 วงจรดีมอดูเลต (Demodulation)

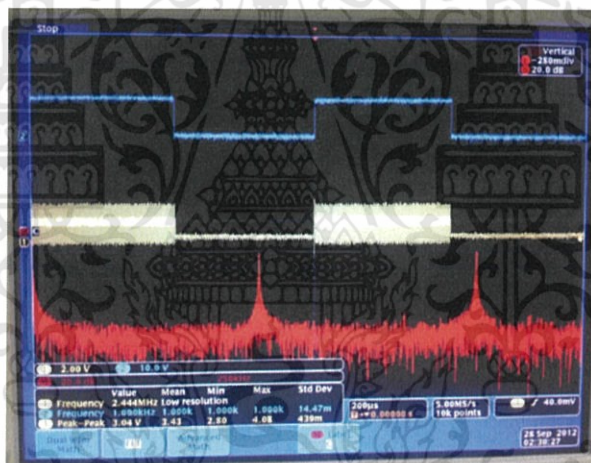
เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณมอดูเลตให้กลับมาเป็นสัญญาณข้อมูลโดยมีวิธีการออกแบบดังนี้ จากรูปวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.14 เป็นวงจรดีมอดูเลตโดยใช้วิธีซิงโครนัสดีเทคเตอร์ (Synchronous Detector) โดยจะมีทั้งหมด 3 วงจร คือ ใช้อิซี AD633 ทำหน้าที่คูณระหว่างสัญญาณมอดูเลตรับมาที่ขา 3 (Y1) กับสัญญาณพาหะรับมาที่ขา 1 (X1) ได้สัญญาณที่มีความถี่เบสแบนด์ออกมาที่ขา 7 (W) แสดงดังรูป 3.16 ส่งสัญญาณผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low pass Filter) แสดงดังรูปที่ 3.17 จะเห็นว่าสัญญาณพาหะถูกกรองออกไปจะเหลือเพียงแต่สัญญาณข้อมูล จากนั้นสัญญาณก็จะผ่านวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) โดยจะมีหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้ได้สัญญาณข้อมูลกลับคืนมา



รูปที่ 3.14 วงจรดีมอดูเลตสัญญาณ



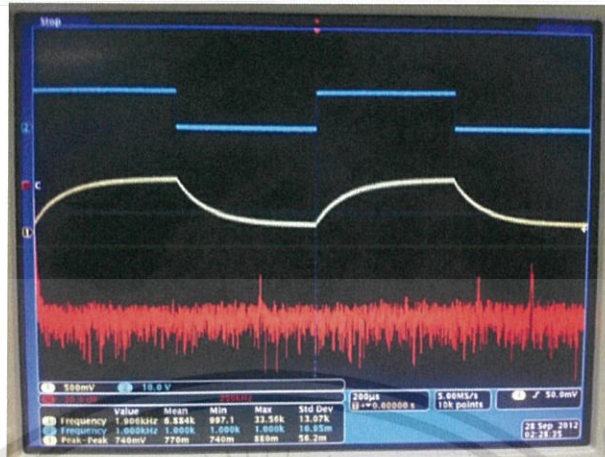
รูปที่ 3.15 กราฟสัญญาณมอดูเลต



รูปที่ 3.16 กราฟสัญญาณมอดูเลตคูณกับสัญญาณพาหะ

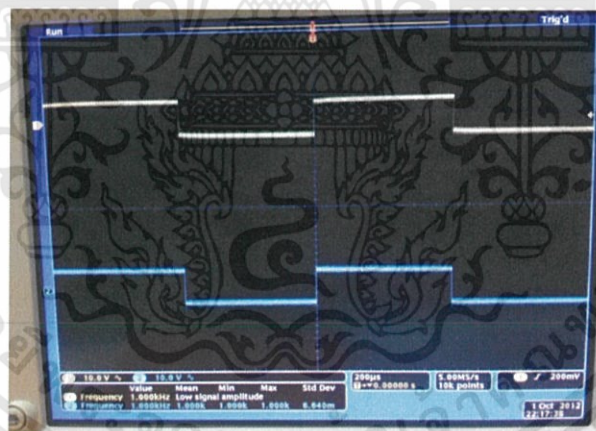
จากรูปที่ 3.16 เป็นกราฟมอดูเลตทางขนาดมารวมกับสัญญาณพาหะอีกครั้งหนึ่ง เพื่อที่จะเรียกความถี่เบสแบนด์หรือความถี่ข้อมูลกลับคืนมา ซึ่งดังรูปที่ 3.16 จะเห็นว่าลักษณะกราฟจะ ยกขึ้นมาและมีลักษณะเหมือนกันสัญญาณข้อมูล ดังนั้นจากทางทดลองพบว่าในทางปฏิบัติตรงกับใน ทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 กราฟสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ

จากรูปที่ 3.17 จะเห็นว่าเมื่อได้ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำมาแล้วนั้นลักษณะกราฟใกล้เคียงกับสัญญาณข้อมูลมาก โดยวงจรกรองความถี่ต่ำจะกรองความถี่สูงออกจนทำให้เหลือเพียงความถี่ข้อมูล



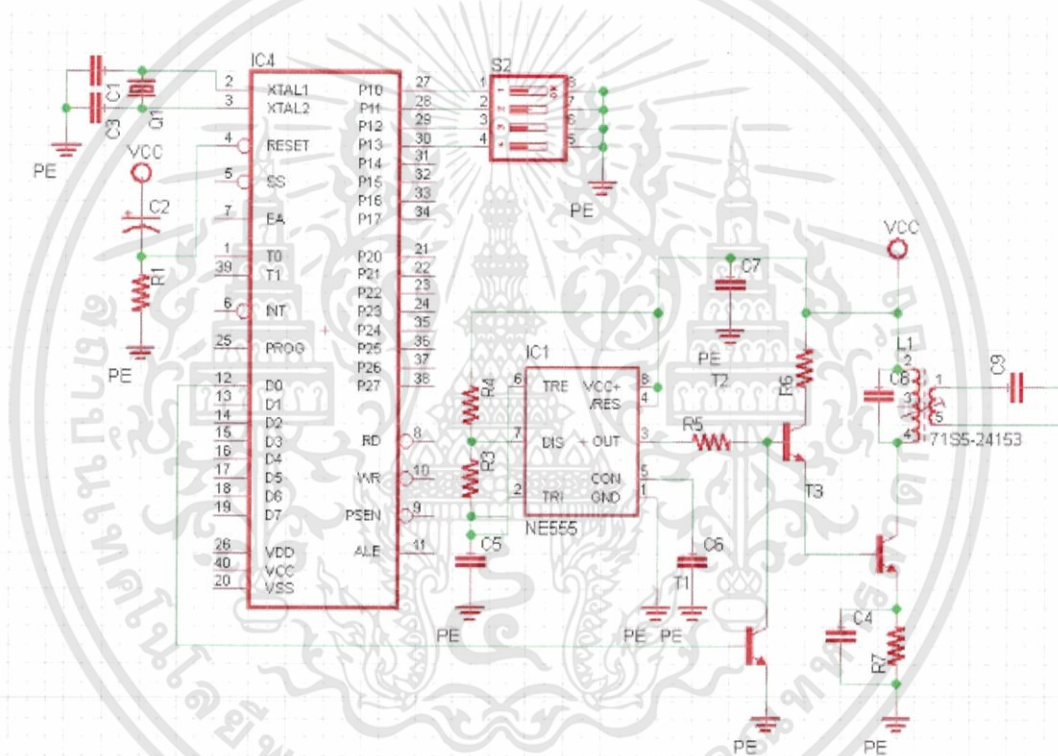
รูปที่ 3.18 สัญญาณที่ผ่านวงจรเปรียบเทียบ

จากรูปที่ 3.18 จะเห็นว่าเมื่อผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำแล้วนำมาผ่านวงจรเปรียบเทียบเพื่อที่จะให้ได้สัญญาณข้อมูลเหมือนกันสัญญาณข้อมูลที่ส่งมา

3.3 การออกแบบฮาร์ดแวร์

3.3.1 วงจรฝั่งส่งสัญญาณข้อมูล

เป็นวงจรที่ใช้ในการส่งข้อมูลผ่านเข้าไปในสายไฟ 220 โวลต์โดยไม่มีการรบกวนใดๆ ต่อเครื่องใช้ไฟฟ้า การส่งข้อมูลมีหลักการในการส่งคือ จะส่งข้อมูลในรูปแบบการมอดูเลตระหว่างสัญญาณข้อมูลแบบดิจิตอลเข้ากับสัญญาณพาหะความถี่ 140 กิโลเฮิรตซ์ ที่สร้างขึ้นมาจากไอซี NE555 ข้อมูลดิจิตอลนั้นจะมีลักษณะเลขไบนารี เช่น 11010 10000 ซึ่งจะมีลักษณะบิตที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับคำสั่งและที่อยู่ของอุปกรณ์

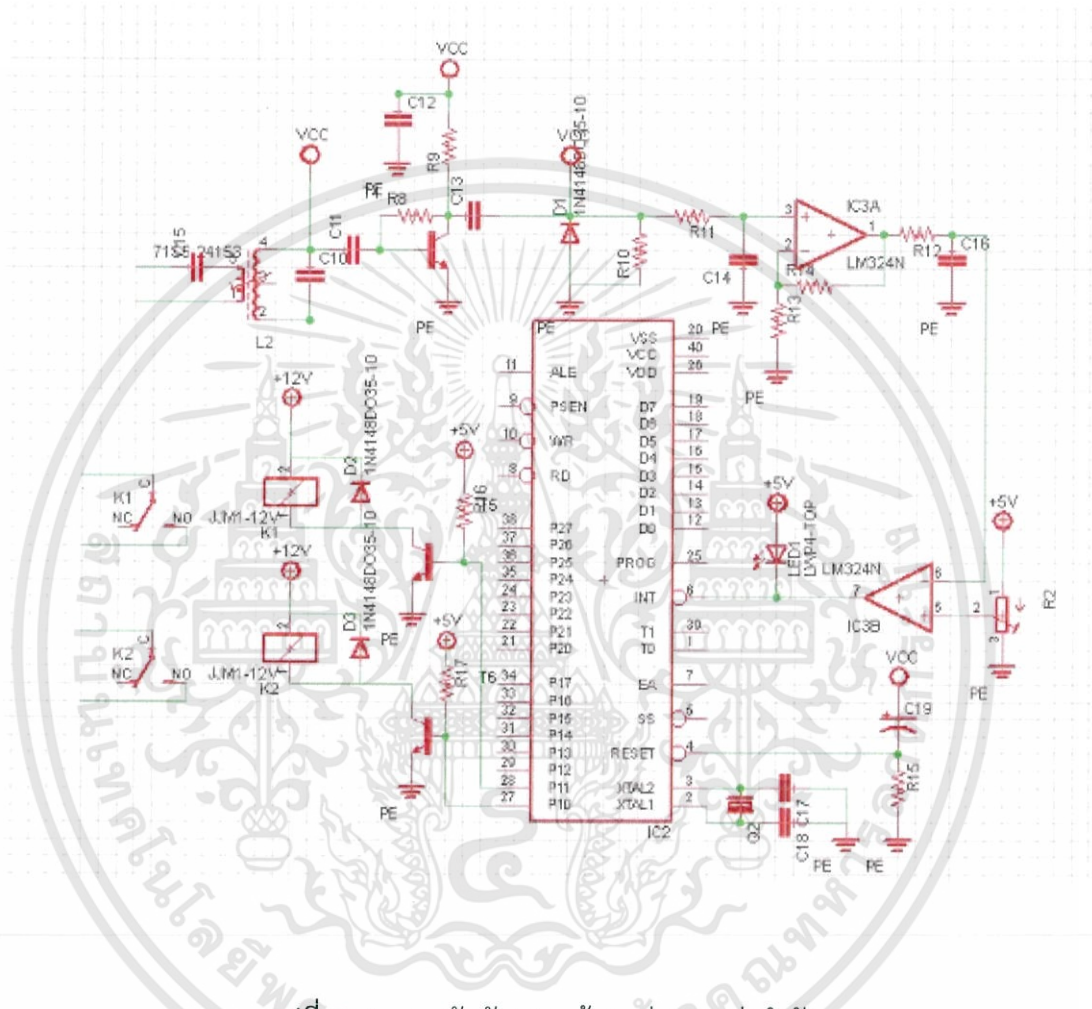


รูปที่ 3.19 วงจรส่งสัญญาณข้อมูลผ่านสายส่งกำลัง

จากรูป 3.19 เป็นวงจรฝั่งส่งสัญญาณข้อมูลจะประกอบไปด้วย วงจรกำเนิดสัญญาณพาหะจากไอซี NE555 ที่ความถี่ 140 กิโลเฮิรตซ์ ส่งไปที่ทรานซิสเตอร์ (T1) เพื่อที่จะทำการมอดูเลตกับสัญญาณข้อมูลที่ส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังภาคการผ่านสัญญาณที่ทรานซิสเตอร์ (T3) ซึ่งทำหน้าที่ผสมสัญญาณ 140 กิโลเฮิรตซ์ เข้ากับสัญญาณความถี่ 50 เฮิรตซ์ของสายไฟ 220 โวลต์ ผ่านเข้าสู่หม้อแปลง TR2 ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่ใช้ส่งผ่านสัญญาณเข้าไปในสายส่งกำลัง

3.3.2 วงจรฝังส่งสัญญาณข้อมูล

เป็นวงจรที่ใช้ในการรับข้อมูลจากสายไฟ 220 โวลต์ เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อออกคำสั่งในการเปิด-ปิดอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าต่อไป



รูปที่ 3.20 วงจรรับสัญญาณข้อมูลผ่านสายส่งกำลัง

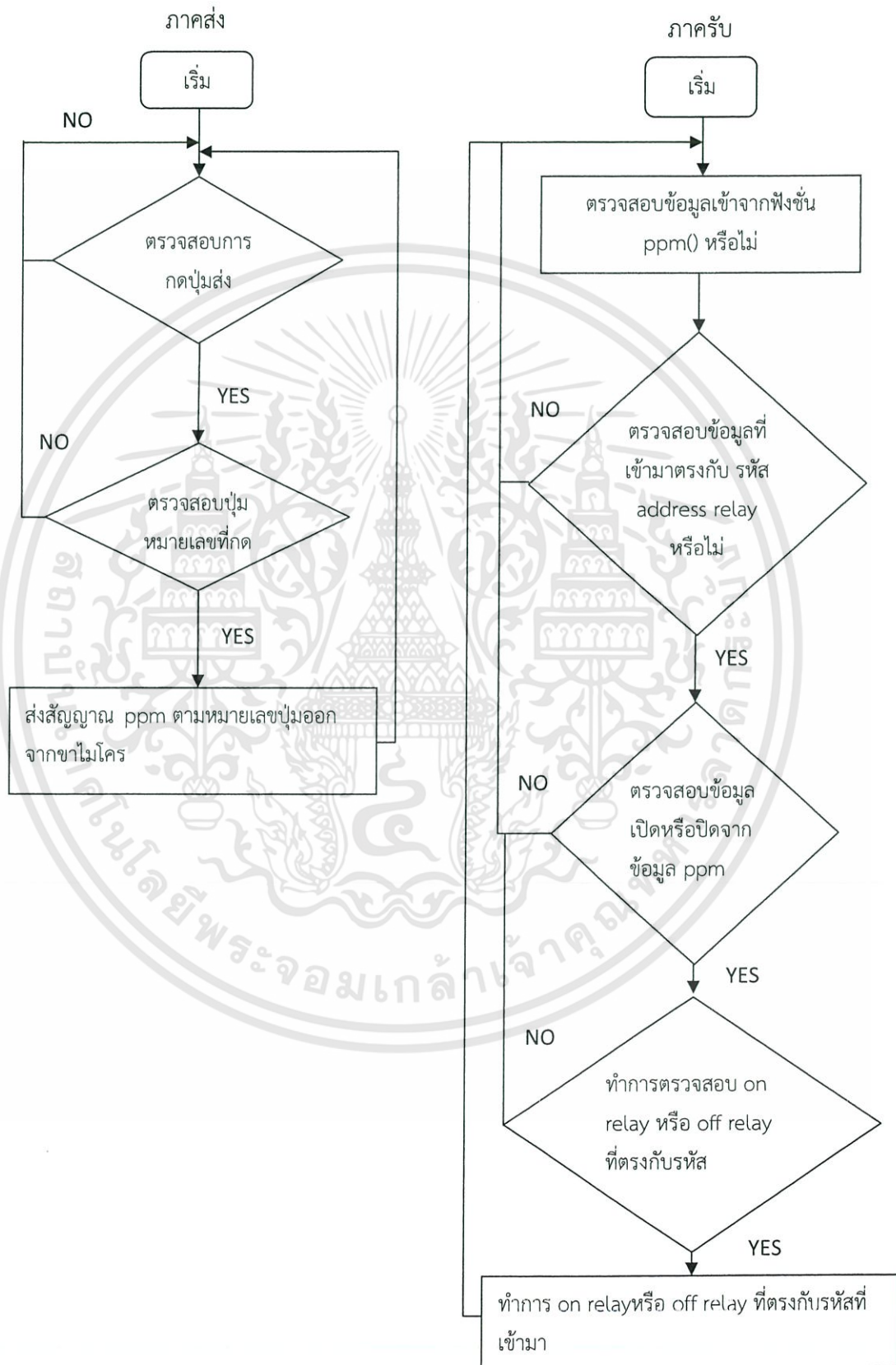
วงจรรับข้อมูลจากสายส่งกำลัง หม้อแปลงความถี่ทำหน้าที่รับสัญญาณข้อมูลจากสายส่ง ซึ่งเป็นสัญญาณพาหะที่มีข้อมูลรวมอยู่ด้วยจะถูกขยายสัญญาณด้วยทรานซิสเตอร์ Q1 จากนั้นสัญญาณจะผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อกรองความถี่คลื่นพาหะออกจากสัญญาณข้อมูลเป็นหลักการตีมอดูเลต โดยจะสร้างสัญญาณคีนโดยอาศัยกรอบ (Envelope Detector) จะได้สัญญาณข้อมูลที่มีขนาดไม่แน่นอน จากนั้นก็นำสัญญาณผ่านวงจรเปรียบเทียบโดยใช้ไอซี LM324N เพื่อให้สัญญาณมีค่าแรงดันที่แน่นอนและปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้เพื่อควบคุมแรงดันให้อยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ ในลักษณะของเลขไบนารีแล้วส่งข้อมูลเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลและสั่งงานต่อไป

3.4 การออกแบบซอฟต์แวร์

ระบบจะเริ่มการทำงานจากการที่วงจรส่งสัญญาณข้อมูล ออกไปยังวงจรรับสัญญาณ ข้อมูลจากนั้นทำการถอดรหัสเพื่อควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า โดย MCS51 จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณในการปิด - เปิดและแอตเดรส ของแต่ละตัวที่ต้องการจะควบคุม จากนั้นจะส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้า โดยอยู่ในรูปแบบที่เป็นสัญญาณความถี่สูงคร่อมไปบนสัญญาณความถี่ต่ำ 50 เฮิร์ตซ์ ของกระแสไฟฟ้า 220 โวลต์ ต่อมาวงจรรับสัญญาณข้อมูลจะทำการตรวจจับและรับสัญญาณเข้ามาเพื่อถอดรหัสและส่งให้รีเลย์ทำงาน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะมีการออกแบบในส่วนซอฟต์แวร์ที่แตกต่างกันไปตามลักษณะการทำงานของระบบ ดังหัวข้อต่อไปนี้

- การทำงานของรวมระบบในส่วนของ ฝั่งส่งสัญญาณข้อมูล และฝั่งรับสัญญาณข้อมูล
- การทำงานติดต่อกันระหว่างอุปกรณ์ฝั่งส่งสัญญาณข้อมูลและอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณ

3.4.1 การทำงานของรวมระบบในส่วนของ ฝั่งส่งสัญญาณข้อมูล และฝั่งรับสัญญาณข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า, ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของระบบนี้จะเริ่มจากอุปกรณ์ฝั่งส่งสัญญาณเริ่มทำงานโดยจะทำการตรวจสอบการกดปุ่มส่งหรือไม่ ถ้าตรวจสอบว่ามีการส่งสัญญาณเปิด - ปิดที่มีขนาด 5 บิตคือ 11010 หมายถึงคำสั่งการเปิดอุปกรณ์ ถ้าหากสัญญาณที่ส่งออกมาเป็น 11110 หมายถึงคำสั่งการปิดอุปกรณ์ เพื่อให้อุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณข้อมูลทราบ จากนั้นจะตีเลข และทำการตรวจสอบปุ่มหมายเลขที่กด เนื่องจากปุ่มหมายเลขแต่ละช่องนั้นได้ตั้งแอดเดรสไม่เหมือนกัน เช่นช่องหมายเลข 0 จะมีรหัสแอดเดรสขนาด 5 บิต คือ 10000 หมายเลข 1 มีรหัสแอดเดรส คือ 00001 เป็นต้น จากนั้นก็จะมอดูเลตสัญญาณส่งผ่านสายไฟฟ้าไปยังฝั่งรับสัญญาณ

ในส่วนอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณนั้นจะเริ่มทำงานโดยการรอรับสัญญาณที่ส่งมาจากอุปกรณ์ฝั่งส่งสัญญาณ เมื่ออุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณได้รับข้อมูล 5 บิตแรกแล้วจะนำมาเช็คบิต ที่ได้รับว่ามีคำสั่งให้อุปกรณ์นั้นให้ทำอะไร เช่นถ้าได้รับข้อมูลเป็น 11010 แสดงว่าให้ทำการเปิดอุปกรณ์ แต่ถ้าหากเช็คบิตแล้วว่าข้อมูลที่ส่งมาเป็น 11110 แสดงว่าให้ทำการปิดอุปกรณ์ หลังจากทำการเช็คบิต อีกครั้งเพื่อตรวจสอบว่าตรงกับแอดเดรสหรือช่องหมายเลขใดที่จะต้องการเปิด-ปิดอุปกรณ์ เมื่อเช็คแล้วว่าตรง จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการสั่งให้รีเลย์ทำงานได้

3.4.2 การทำงานติดต่อกันระหว่างอุปกรณ์ฝั่งส่งสัญญาณ และอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณ

การติดต่อกันระหว่างอุปกรณ์ฝั่งส่งสัญญาณ และอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณ จะเริ่มโดยฝั่งส่งสัญญาณจะทำการส่งรหัสแรกขนาด 5 บิต มีค่าเท่ากับ 11010 หรือ 11110 ไปให้กับอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณทุกตัว ตามด้วยส่งค่าแอดเดรสเริ่มจากหมายเลขช่องที่ต้องการ เช่น หมายเลข 0 ส่งค่าเท่ากับ 10000 หมายเลข 1 ส่งค่าเท่ากับ 00001 เป็นต้น ซึ่งสัญญาณข้อมูลที่ส่งไปนั้นจะมีลักษณะสัญญาณเป็นรูปพัลส์ เมื่ออุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณได้รับข้อมูล 5 บิตแรกแล้วจะนำมาเช็คบิต ที่ได้รับว่าเป็น 11010 หรือ 11110 ซึ่งเป็นรหัสแสดงการเปิด-ปิดอุปกรณ์ แล้วตามด้วยข้อมูลอีก 5 บิตซึ่งเป็นแอดเดรส จากนั้นจะนำเอาข้อมูลแอดเดรสขนาด 5 บิต ที่ได้รับมานั้นเช็คบิต อีกครั้งว่าตรงกับแอดเดรสตัวมันเองหรือไม่ ถ้าหากไม่ตรงก็จะทำการทิ้งข้อมูลนั้นไปแล้วกลับไปทำตั้งแต่กระบวนการแรกใหม่ แต่ถ้าหากเช็คบิต แล้วตรงกับแอดเดรสของตัวเองก็จะทำการสั่งรีเลย์ปิดหรือเปิดวงจร ในส่วนการทำงานของอุปกรณ์ฝั่งส่งสัญญาณ เมื่อได้ส่งรหัสปิด - เปิดและแอดเดรสแล้วจะไปเริ่มทำงานใหม่อีกครั้งเมื่อมีการป้อนอินพุตให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

บทที่ 4

ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองของโครงการจะแบ่งออกเป็นรูปแบบต่างๆโดยใช้อุปกรณ์ทั้งฝั่งส่งสัญญาณ ข้อมูลและฝั่งรับสัญญาณข้อมูลในการทดลอง เช่น การตรวจสอบการทำงานของวงจรต่างๆ เมื่อรวมเข้าด้วยกัน แล้วว่าสามารถทำงานร่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่อย่างไร ทดสอบการรับส่งข้อมูลแต่ละตัว ทดสอบการทำงานในสถานที่ต่างๆตามขอบเขตของโครงการ เป็นต้น ในส่วนของซอฟต์แวร์ โปรแกรมที่ใช้ควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะแบ่งเป็น ฝั่งส่งสัญญาณข้อมูล ฝั่งรับสัญญาณข้อมูล โดยจะมีรายละเอียดการทดลองและผลการทดลองดังต่อไปนี้

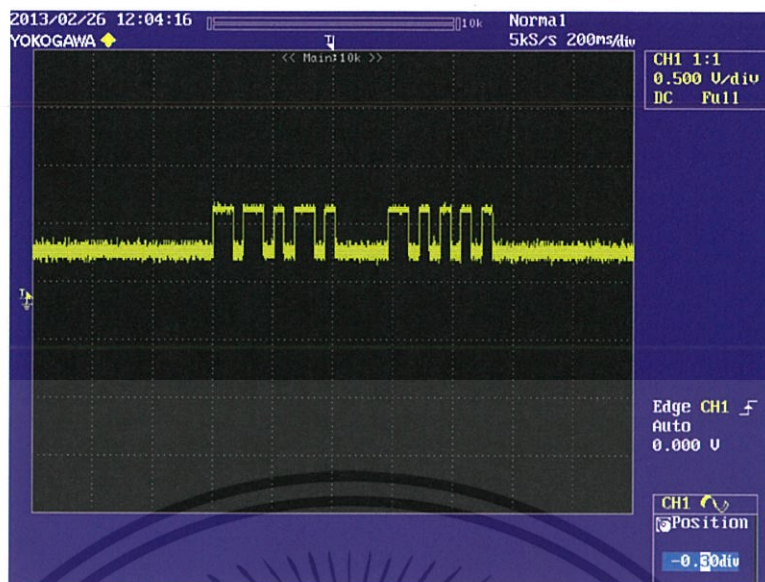
4.1 การทดลองและผลการทดลองทางด้านฮาร์ดแวร์

การทดลองทางด้านฮาร์ดแวร์ของโครงการนี้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดลอง การทดสอบ อุปกรณ์ และสามารถดำเนินงานได้ มีดังต่อไปนี้

- ทดลองการเปรียบเทียบข้อมูล ก่อนผ่านเข้าวงจร และสัญญาณที่ออกจากวงจร
- ทดลองการส่งข้อมูลและรับข้อมูล โดยมีการส่งข้อมูลผ่านสายไฟ 220 โวลต์
- ทดสอบอุปกรณ์โดยทำการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าและส่งข้อมูลผ่านสายไฟในสถานที่จริง

4.1.1 ทดลองการเปรียบเทียบข้อมูลจากวงจรฝั่งส่งสัญญาณ และฝั่งรับสัญญาณ

การปฏิบัติงานในโครงการนี้จึงได้ทำการทดสอบการส่งข้อมูลจากวงจร โดยทำการป้อนสัญญาณข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าที่วงจรมอดูเลตของอุปกรณ์ในระบบส่งสัญญาณข้อมูล โดยสัญญาณข้อมูลในช่วง 5 บิตแรกนั้นเป็นรหัสเพื่อแสดงถึงการเปิด-ปิดอุปกรณ์และ 5 บิตต่อมานั้นเป็นแอดเดรสของแต่ละตัวที่ต้องการควบคุม ซึ่งลักษณะสัญญาณข้อมูลที่ส่งออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะเป็นสัญญาณพัลส์ ในส่วนของสัญญาณคลื่นพาหะที่ยังไม่มีการมอดูเลตกันได้เกิดจากไอซี NE555



รูปที่ 4.1 สัญญาณข้อมูลแสดงการเปิดอุปกรณ์ในอุปกรณ์รับสัญญาณตัวที่ 1

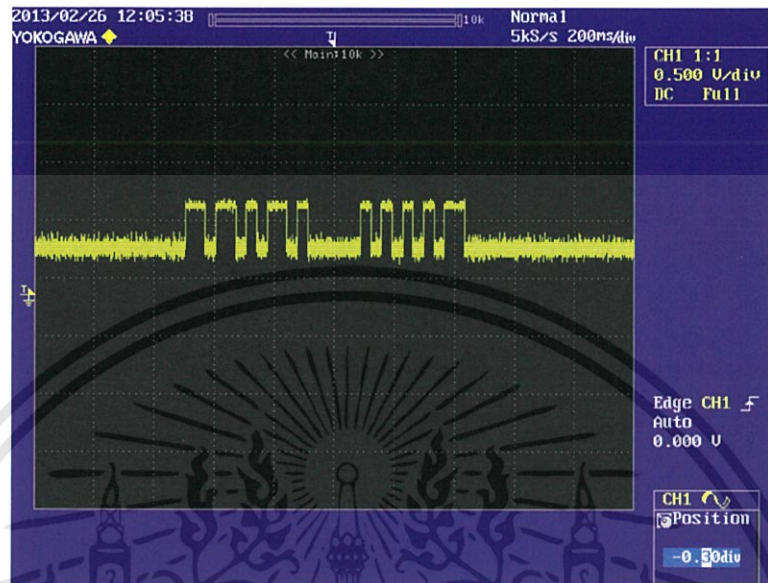
จากรูป 4.1 กราฟแสดงสัญญาณข้อมูลซึ่งในช่วง 5 บิตแรกคือ 11010 นั้นได้แสดงถึงการเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ในอีก 5 บิตต่อมาคือ 10000 นั้นแสดงถึงแอดเดรสของอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณตัวที่ 1 ซึ่งสัญญาณข้อมูลในรูปนั้นจะเป็นพัลส์ก่อนที่จะมามอดูเลตกับสัญญาณพาหะ



รูปที่ 4.2 สัญญาณข้อมูลแสดงการปิดอุปกรณ์ในอุปกรณ์รับสัญญาณตัวที่ 1

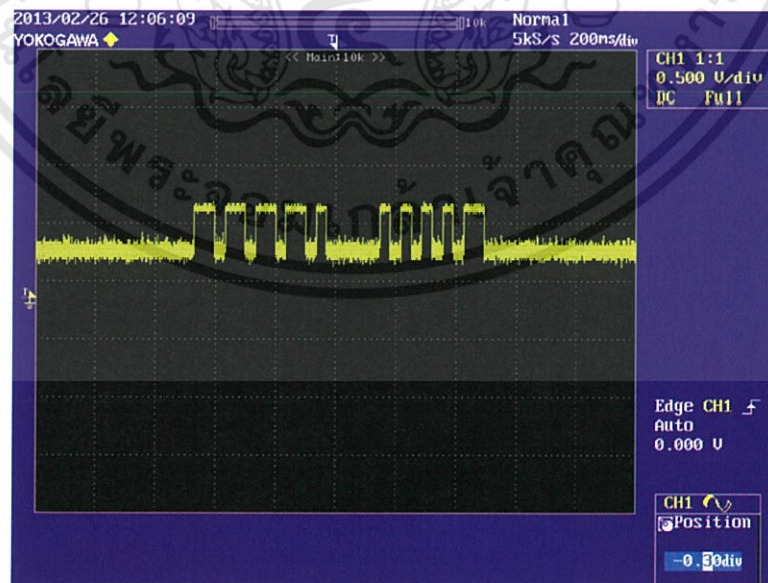
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.2 กราฟแสดงสัญญาณข้อมูลซึ่งในช่วง 5 บิตแรกคือ 11110 นั้นได้แสดงถึงการปิดอุปกรณ์ ในอีก 5 บิตต่อมาคือ 10000 นั้นแสดงถึงแอดเดรสของอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณตัวที่ 1 ซึ่งสัญญาณข้อมูลในรูปนั้นจะเป็นพัลส์ก่อนที่จะมามอดูเลตกับสัญญาณพาหะ



รูปที่ 4.3 สัญญาณข้อมูลแสดงการเปิดอุปกรณ์ในอุปกรณ์รับสัญญาณตัวที่ 2

จากรูป 4.3 กราฟแสดงสัญญาณข้อมูลซึ่งในช่วง 5 บิตแรกคือ 11010 นั้นได้แสดงถึงการเปิดอุปกรณ์ ในอีก 5 บิตต่อมาคือ 00001 นั้นแสดงถึงแอดเดรสของอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณตัวที่ 2 ซึ่งสัญญาณข้อมูลในรูปนั้นจะเป็นพัลส์ก่อนที่จะมามอดูเลตกับสัญญาณพาหะ



รูปที่ 4.4 สัญญาณข้อมูลแสดงการปิดอุปกรณ์ในอุปกรณ์รับสัญญาณตัวที่ 2

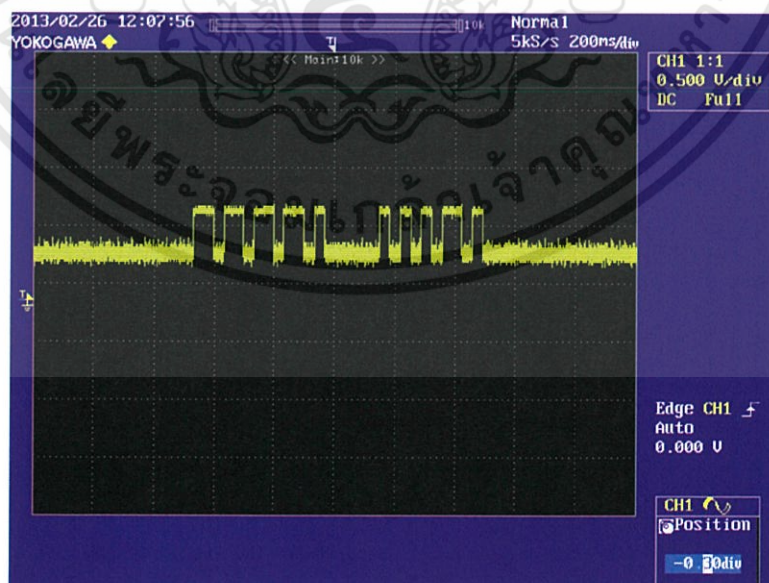
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.4 กราฟแสดงสัญญาณข้อมูลซึ่งในช่วง 5 บิตแรกคือ 11110 นั้นได้แสดงถึงการปิดอุปกรณ์ ในส่วนอีก 5 บิตต่อมาคือ 00001 นั้นแสดงถึงแอดเดรสของอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณตัวที่ 2 ซึ่งสัญญาณข้อมูลในรูปนั้นจะเป็นพัลส์ก่อนที่จะมามอดูเลตกับสัญญาณพาหะ



รูปที่ 4.5 สัญญาณข้อมูลแสดงการเปิดอุปกรณ์ในอุปกรณ์รับสัญญาณตัวที่ 3

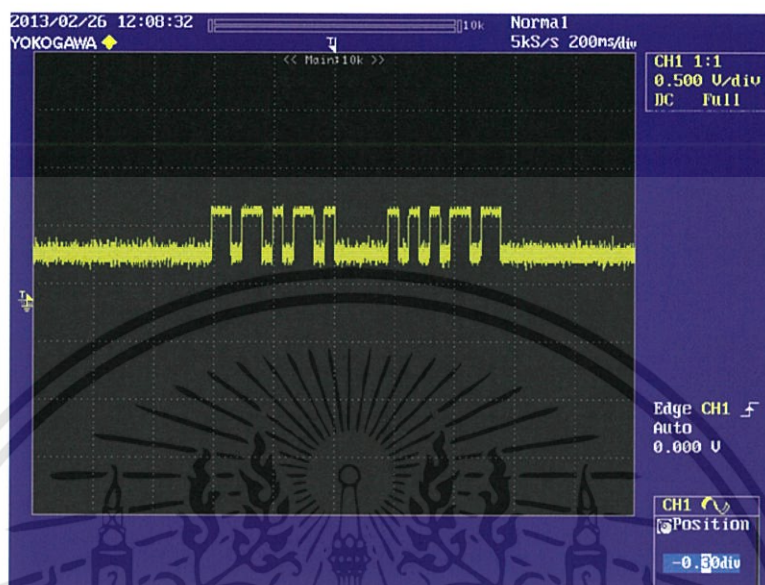
จากรูป 4.5 กราฟแสดงสัญญาณข้อมูลซึ่งในช่วง 5 บิตแรกคือ 11010 นั้นได้แสดงถึงการเปิดอุปกรณ์ ในส่วนอีก 5 บิตต่อมาคือ 00010 นั้นแสดงถึงแอดเดรสของอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณตัวที่ 3 ซึ่งสัญญาณข้อมูลในรูปนั้นจะเป็นพัลส์ก่อนที่จะมามอดูเลตกับสัญญาณพาหะ



รูปที่ 4.6 สัญญาณข้อมูลแสดงการปิดอุปกรณ์ในอุปกรณ์รับสัญญาณตัวที่ 3

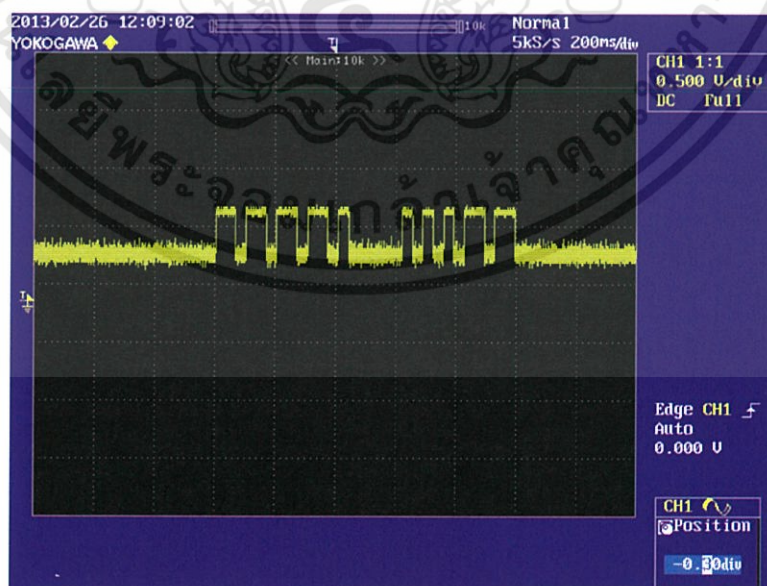
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.6 กราฟแสดงสัญญาณข้อมูลซึ่งในช่วง 5 บิตแรกคือ 11110 นั้นได้แสดงถึงการปิดอุปกรณ์ ในอีก 5 บิตต่อมาคือ 00010 นั้นแสดงถึงแอดเดรสของอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณตัวที่ 3 ซึ่งสัญญาณข้อมูลในรูปแบบนั้นจะเป็นพัลส์ก่อนที่จะมามอดูเลตกับสัญญาณพาหะ



รูปที่ 4.7 สัญญาณข้อมูลแสดงการเปิดอุปกรณ์ในอุปกรณ์รับสัญญาณตัวที่ 4

จากรูป 4.7 กราฟแสดงสัญญาณข้อมูลซึ่งในช่วง 5 บิตแรกคือ 11010 นั้นได้แสดงถึงการเปิดอุปกรณ์ ในอีก 5 บิตต่อมาคือ 00011 นั้นแสดงถึงแอดเดรสของอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณตัวที่ 4 ซึ่งสัญญาณข้อมูลในรูปแบบนั้นจะเป็นพัลส์ก่อนที่จะมามอดูเลตกับสัญญาณพาหะ



รูปที่ 4.8 สัญญาณข้อมูลแสดงการปิดอุปกรณ์ในอุปกรณ์รับสัญญาณตัวที่ 4

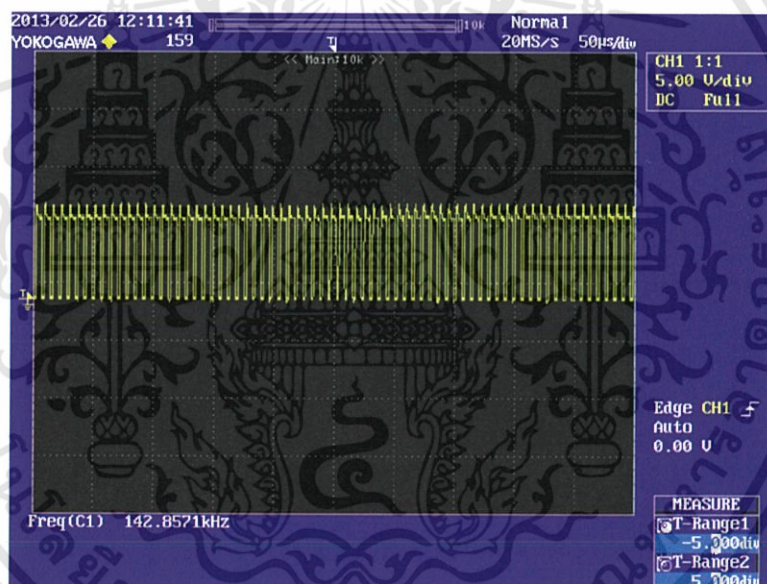
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.8 กราฟแสดงสัญญาณข้อมูลซึ่งในช่วง 5 บิตแรกคือ 11110 นั้นได้แสดงถึงการปิดอุปกรณ์ ในส่วนอีก 5 บิตต่อมาคือ 00011 นั้นแสดงถึงแอดเดรสของอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณ ตัวที่ 4 ซึ่งสัญญาณข้อมูลในรูปนั้นจะเป็นพัลส์ก่อนที่จะมามอดูเลตกับสัญญาณพาหะ

4.1.2 ทดลองการเปรียบเทียบข้อมูลจากวงจรฝั่งส่งสัญญาณ และฝั่งรับสัญญาณ

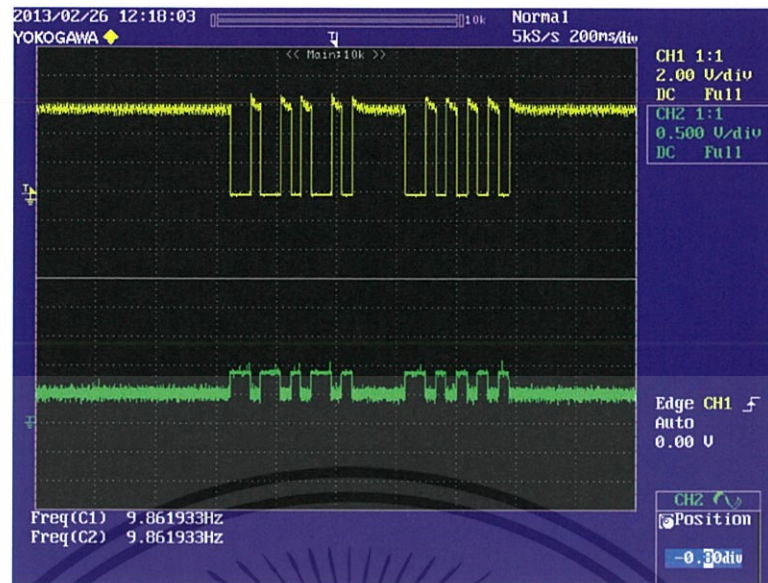
การปฏิบัติงานในโครงงานนี้จึงได้ทำการทดสอบการส่งข้อมูลจากวงจร โดยทำการป้อนสัญญาณข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าที่วงจรมอดูเลตของอุปกรณ์ในระบบส่งสัญญาณข้อมูล โดยสัญญาณข้อมูลในช่วง 5 บิตแรกนั้นเป็นรหัสเพื่อแสดงถึงการเปิด-ปิดอุปกรณ์และ 5 บิตต่อมานั้นเป็นแอดเดรสของแต่ละตัวที่ต้องการควบคุมอุปกรณ์ฝั่งรับ ซึ่งลักษณะสัญญาณข้อมูลที่ส่งออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะเป็นสัญญาณพัลส์

4.1.2.1 ทดสอบวงจรฝั่งส่งสัญญาณ (Emitter)



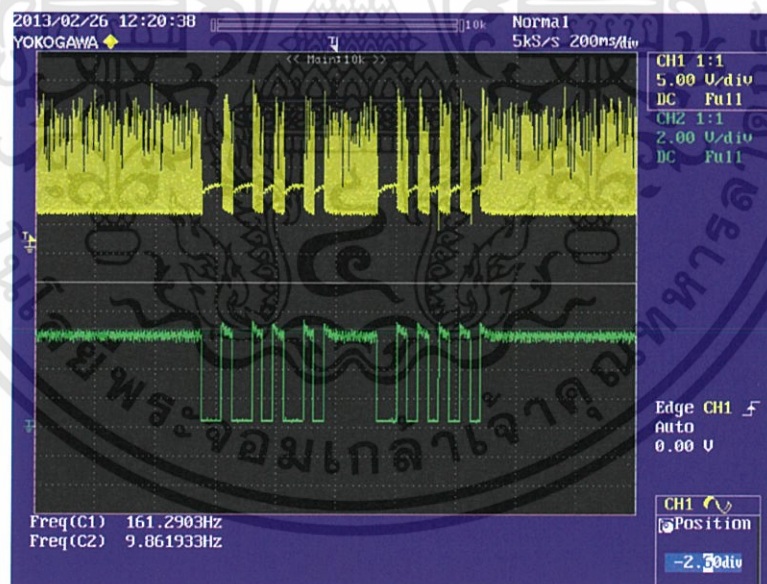
รูปที่ 4.9 สัญญาณคลื่นพาหะ

จากรูป 4.9 กราฟแสดงสัญญาณคลื่นพาหะที่สร้างจากไอซี NE555 ซึ่งมีหน้าที่ในการสร้างสัญญาณความถี่พาหะที่ความถี่ 140 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อทำหน้าที่พาหะสัญญาณข้อมูลส่งไปในสื่อกลางคือสายไฟกำลังเพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนที่มีอยู่ในสายไฟฟ้า



รูปที่ 4.10 สัญญาณข้อมูลและสัญญาณ PPM

จากรูป 4.10 (ล่าง) คือสัญญาณข้อมูลที่ส่งงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์ออกที่ขา P1.0 เพื่อส่งต่อไปยังวงจรถ่ายสัญญาณและกลับเฟสเพื่อเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณ PPM ดังรูป 4.10 (บน)



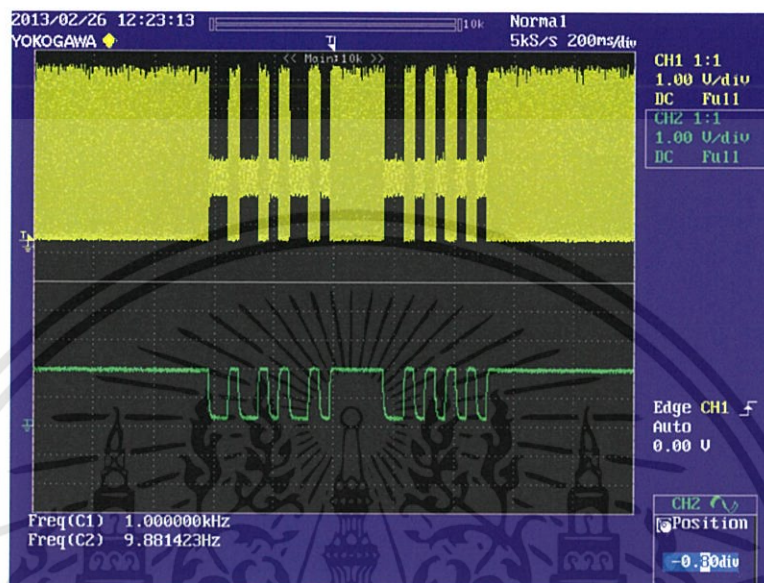
รูปที่ 4.11 สัญญาณข้อมูลที่ทำการมอดูเลต

จากนั้นทำการวัดสัญญาณที่ขา 3 ของหม้อแปลง IF จะได้กราฟสัญญาณที่มีการมอดูเลตกันระหว่างสัญญาณข้อมูลและสัญญาณคลื่นพา ดังกราฟสัญญาณที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าสัญญาณข้อมูลที่มีการมอดูเลตแล้วได้เปลี่ยนความถี่เป็น 140 กิโลเฮิร์ตซ์ จากรูปที่ 4.11 (บน) คือกราฟแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

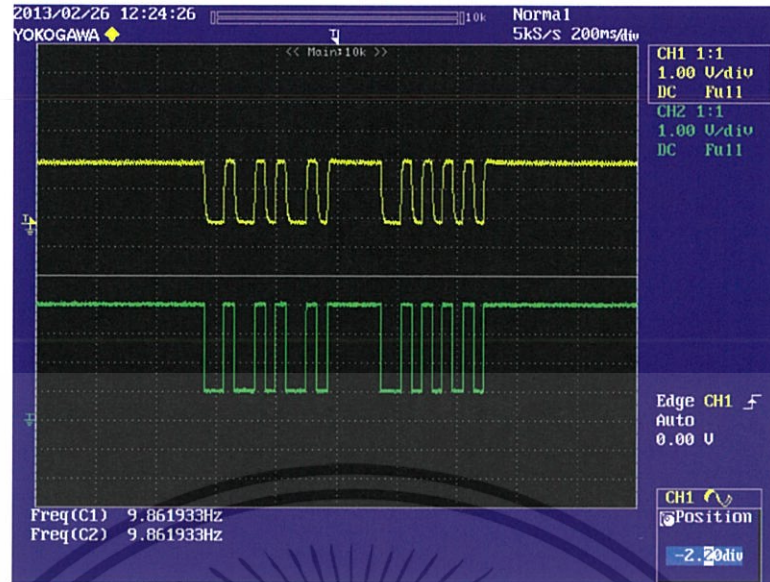
สัญญาณมอดูเลต ซึ่งสัญญาณที่ได้รับนั้นจะนำออกไปยังระบบไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ เพื่อส่งไปยังฝั่งรับสัญญาณ และจากรูป 4.11 (ล่าง) คือสัญญาณ PPM ที่เกิดจากคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์

4.1.2.2 ทดสอบวงจรฝั่งรับสัญญาณ (Receiver)



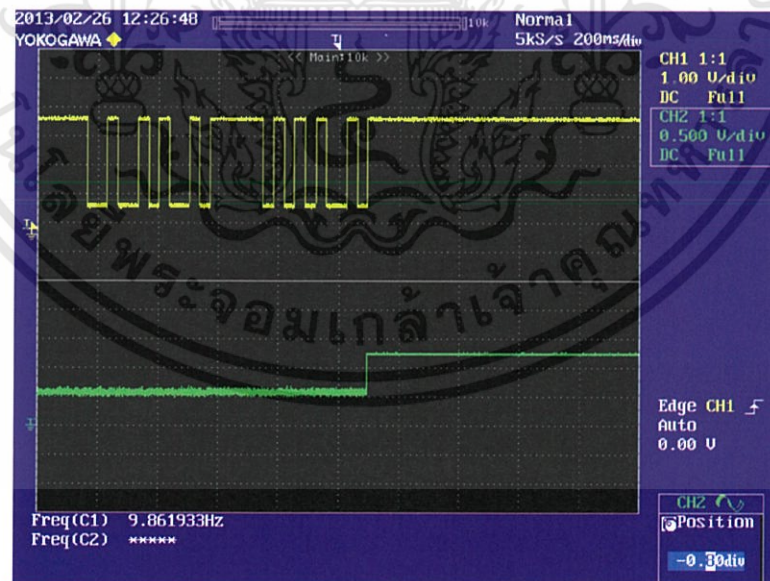
รูปที่ 4.12 สัญญาณข้อมูลที่ได้รับจากสายส่งกำลังและสัญญาณข้อมูลผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ

กราฟสัญญาณในช่องที่ 1 (รูปที่4.12) เป็นสัญญาณมอดูเลตที่รับมาจากสายส่งกำลัง เพื่อนำสัญญาณเข้าวงจรกรองความถี่ต่ำ จากนั้นใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่ขาคาปาซิเตอร์ซึ่งเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ ซึ่งทำหน้าที่กรองความถี่สูงออกจากสัญญาณข้อมูลที่ได้รับจากสายส่งกำลัง ดังกราฟสัญญาณในช่องสัญญาณที่ 2 (รูปที่4.12) จะพบว่ารูปสัญญาณเริ่มมีการดีมอดูเลต กลับมาให้ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงที่ส่งมา



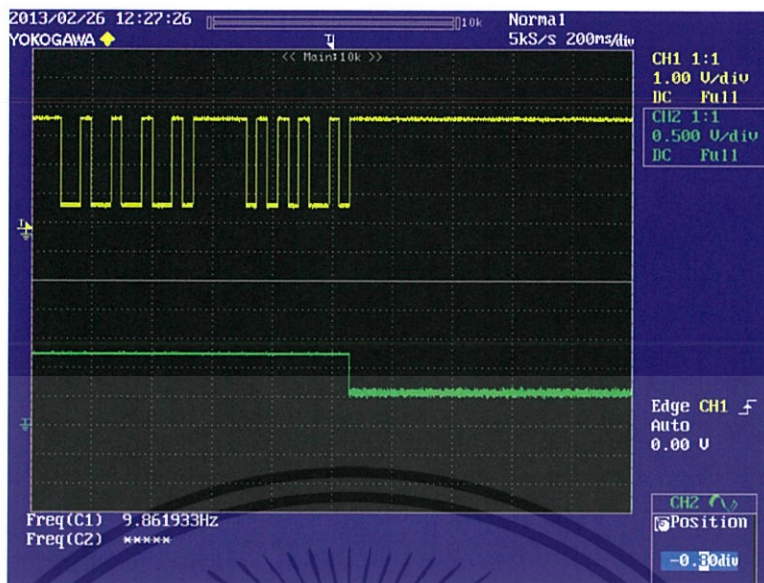
รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณข้อมูลที่ผ่านมาวงจรรองความถี่ต่ำและสัญญาณข้อมูลที่ผ่านมาวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

จากนั้นนำสัญญาณที่ผ่านวงจรรองความถี่ต่ำ ดังกราฟสัญญาณในช่องสัญญาณที่ 1 (รูปที่ 4.13) เข้าวงจรเปรียบเทียบแรงดัน เพื่อทำการเปรียบเทียบแรงดัน ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เหมือนกับสัญญาณข้อมูลที่ส่งมาในตอนแรก ดังกราฟสัญญาณในช่องสัญญาณที่ 2 (รูปที่ 4.13) แล้วสัญญาณที่ได้นั้นเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผล จะเห็นว่าสัญญาณที่ได้นั้นจะเหมือนกับสัญญาณที่รับมาจากฝั่งส่งสัญญาณดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.14 สัญญาณคำสั่งเปิด (On)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 สัญญาณคำสั่งปิด (Off)

4.1.3 ทดลองการส่งสัญญาณข้อมูลและรับสัญญาณข้อมูลผ่านสายส่งกำลัง



รูปที่ 4.16 การส่งข้อมูลด้วยวงจรส่งสัญญาณ โดยผ่านสายไฟ 220 โวลต์

จากรูปที่ 4.16 เป็นการส่งข้อมูลโดยทำการป้อนสัญญาณข้อมูลเข้าที่อุปกรณ์ฝั่งส่งสัญญาณ ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการต่อสายไฟ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ เข้าที่จุดเชื่อมต่อสายไฟ 220 โวลต์ ของวงจรส่งสัญญาณ ดังรูปที่ 4.16 ตรวจสอบดูว่าไฟแอลอีดีที่ฝั่งรับสัญญาณทั้งสองตัวนั้นติดเหมือนกันหรือไม่ ถ้าไม่ติดอาจจะต้องปรับ ค่าความต้านทานปรับค่าได้เพื่อปรับระดับแรงดันที่เข้าไอซี comparator ซึ่งผลที่ได้คือสามารถส่งถึงกันได้ และสัญญาณที่ได้ในฝั่งส่งสัญญาณข้อมูลนั้นเหมือนกันกับฝั่งรับสัญญาณข้อมูล แต่พบว่าเมื่ออุปกรณ์อยู่ในระยะที่ห่างกันมากๆ เช่น 20-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30 เมตร จะต้องทำการปรับแรงดันในส่วนของตัวต้านทานปรับค่าได้ในวงจรรับสัญญาณข้อมูลให้เพิ่มแรงดันมากขึ้น

4.1.4 ทดสอบอุปกรณ์โดยทำการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าและส่งข้อมูลผ่านสายไฟในสถานที่จริง

เนื่องจากโครงการนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์เพื่ออำนวยความสะดวกในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังนั้นในเรื่องของการใช้งานจริงจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึง จึงต้องมีการตรวจสอบระบบการส่งข้อมูลที่ได้ผ่านทางสายส่งกำลัง ที่มีการเดินสายอยู่แล้วภายในตัวอาคาร บ้านเรือนหรือสถานที่ต่างๆที่จะมีการนำระบบตรวจสอบนี้มาใช้

ดังนั้นจึงต้องมีการนำอุปกรณ์ไปทดสอบในสถานที่จริง ว่าสามารถทำการส่งข้อมูลผ่านสายไฟได้จริง ได้ผลการใช้ในการควบคุมได้จริง ในโครงการนี้จึงได้ทำการนำอุปกรณ์ไปติดตั้งเพื่อทดสอบระบบตรวจสอบการใช้งาน ภายในอาคารบ้านเรือน ที่อยู่ในขนาดมาตรฐาน เช่น บ้านพักอาศัย อาคารพาณิชย์ หอพักขนาดเล็ก เป็นต้น



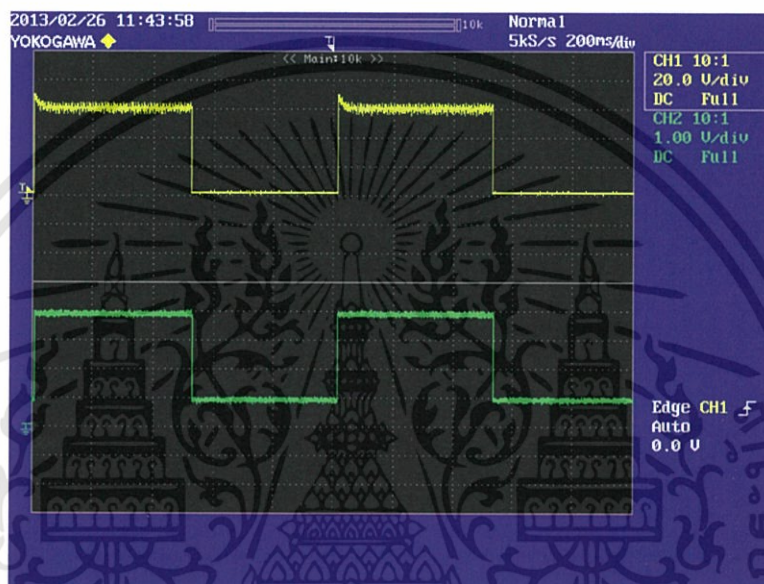
รูปที่ 4.17 การติดตั้งระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านพักอาศัย

จากรูป 4.17 จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ในระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถที่จะติดตั้งและทำการส่งข้อมูลที่ได้ผ่านระบบสายส่งกำลัง ภายในบ้านขนาดมาตรฐานหนึ่งหลังได้ และไม่มีสัญญาณรบกวนใดๆ มารบกวนกับสัญญาณข้อมูลที่ส่งไปในระบบไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์

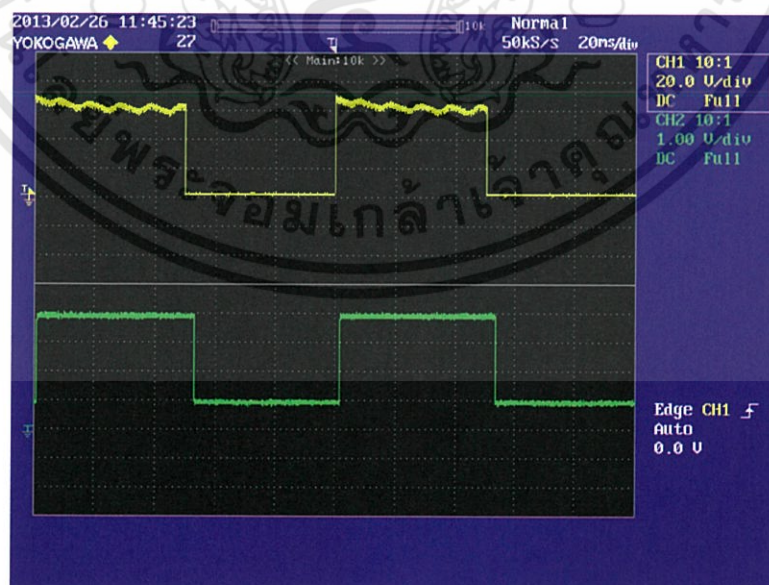
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ทดสอบอุปกรณ์โดยการเพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูล

เนื่องจากการสื่อสารผ่านสายส่งกำลังเป็นการสื่อสารรูปแบบใหม่ ที่มีการนำระบบที่มีอยู่เดิมในการส่งกำลังไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ในการส่งข้อมูล ในการทดสอบนี้เพื่อทดสอบความถูกต้องในการส่งข้อมูลโดยการส่งสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave) โดยจะทำการจำลองเป็นสัญญาณข้อมูลเพื่อส่งผ่านไปยังสายส่งกำลัง โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณฝั่งส่ง (ช่องสัญญาณที่ 1) กับ สัญญาณฝั่งรับ (ช่องสัญญาณที่ 2) โดยทำการเพิ่มความถี่ในการส่งดังนี้ 1 เฮิรตซ์, 10 เฮิรตซ์, 20 เฮิรตซ์, 30 เฮิรตซ์, 40 เฮิรตซ์, 50 เฮิรตซ์, 100 เฮิรตซ์, 150 เฮิรตซ์, 200 เฮิรตซ์, 250 เฮิรตซ์ และ 300 เฮิรตซ์ แสดงรูปสัญญาณดังต่อไปนี้

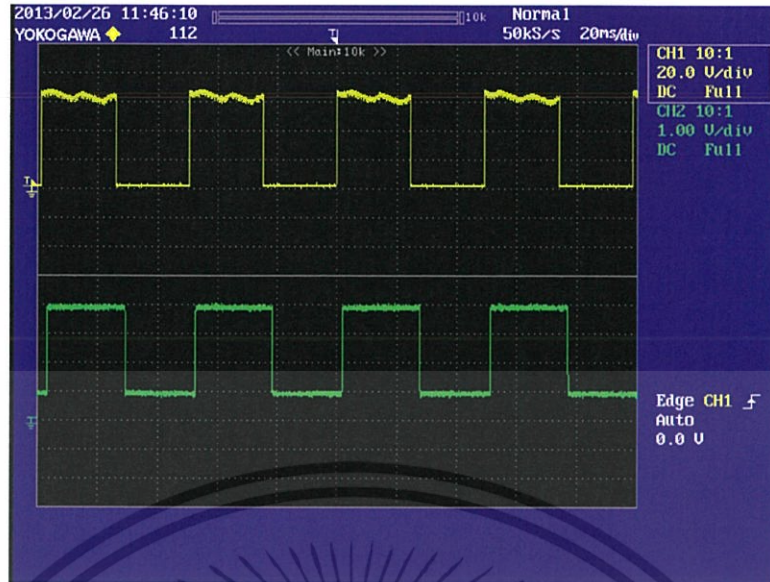


รูปที่ 4.18 ทดสอบส่งสัญญาณ 1 เฮิรตซ์

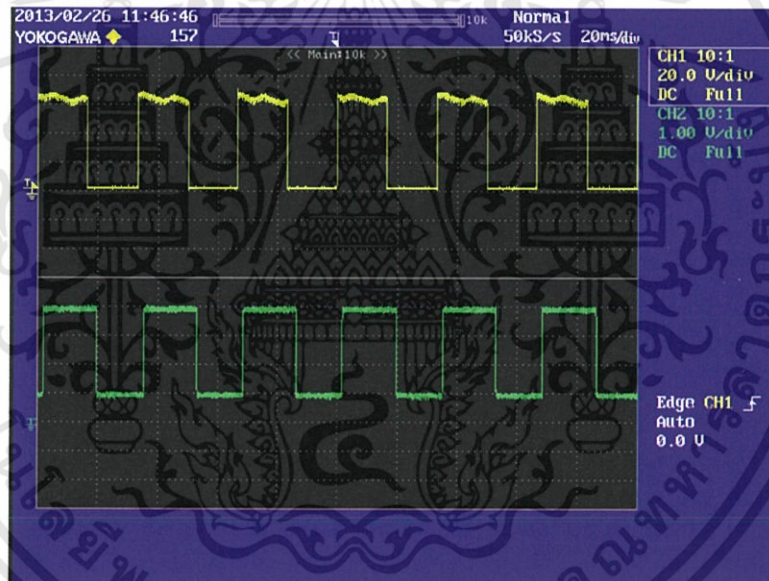


รูปที่ 4.19 ทดสอบส่งสัญญาณ 10 เฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

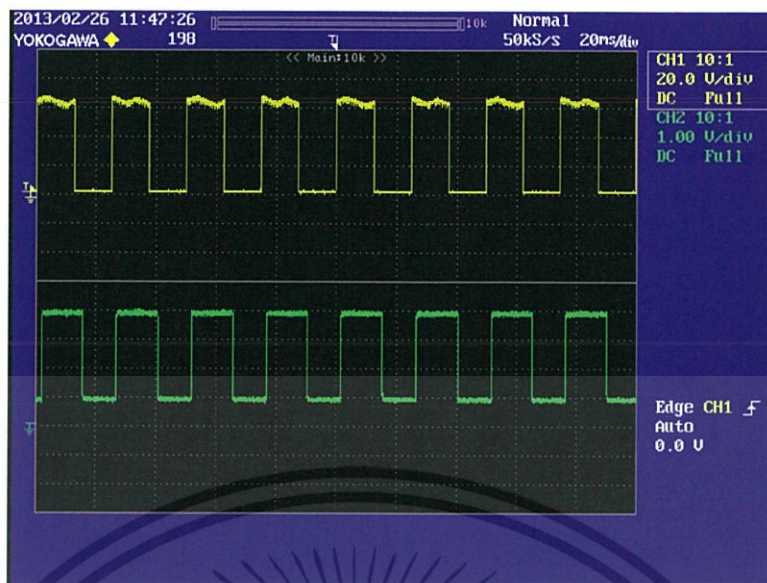


รูปที่ 4.20 ทดสอบส่งสัญญาณ 20 เฮิร์ตซ์

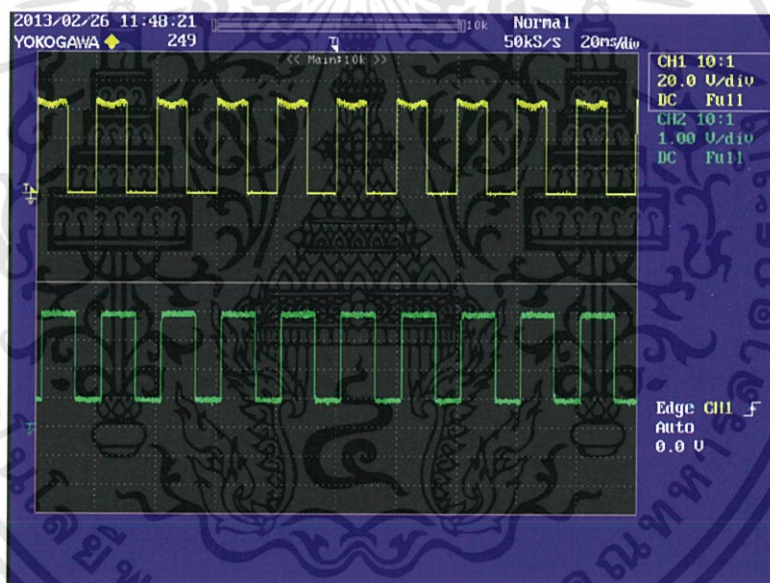


รูปที่ 4.21 ทดสอบส่งสัญญาณ 30 เฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

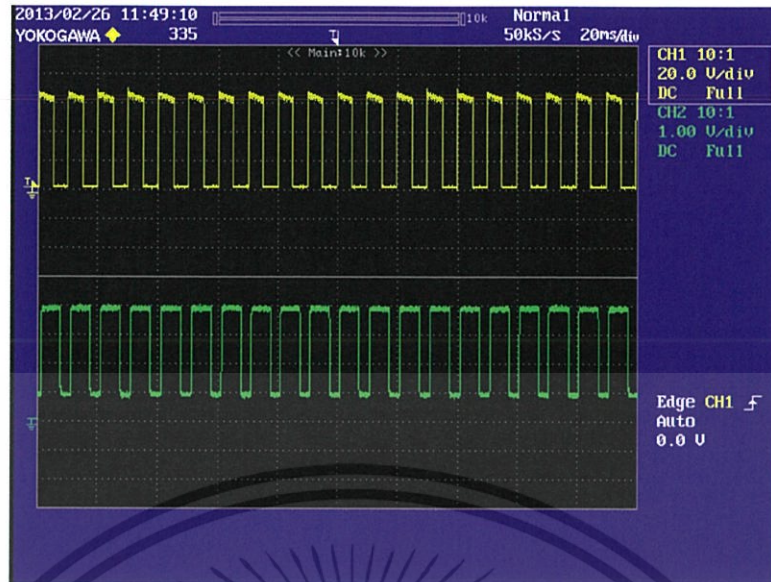


รูปที่ 4.22 ทดสอบส่งสัญญาณ 40 เฮิร์ตซ์

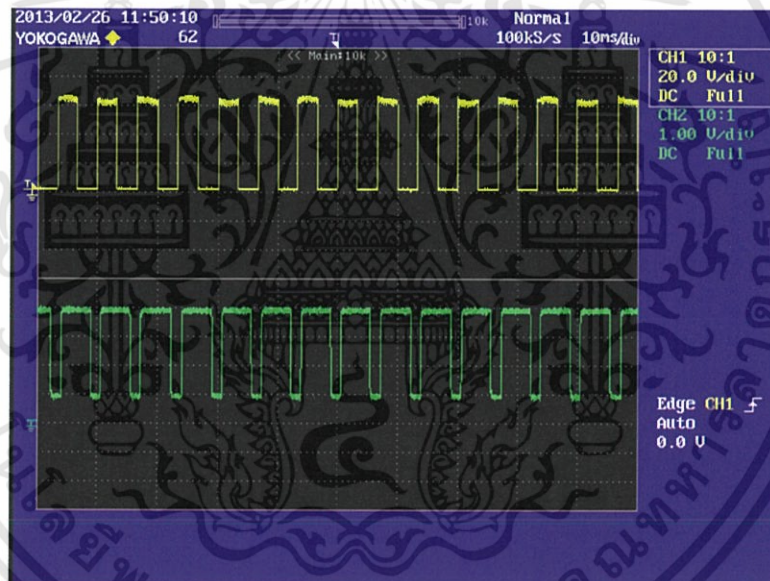


รูปที่ 4.23 ทดสอบส่งสัญญาณ 50 เฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

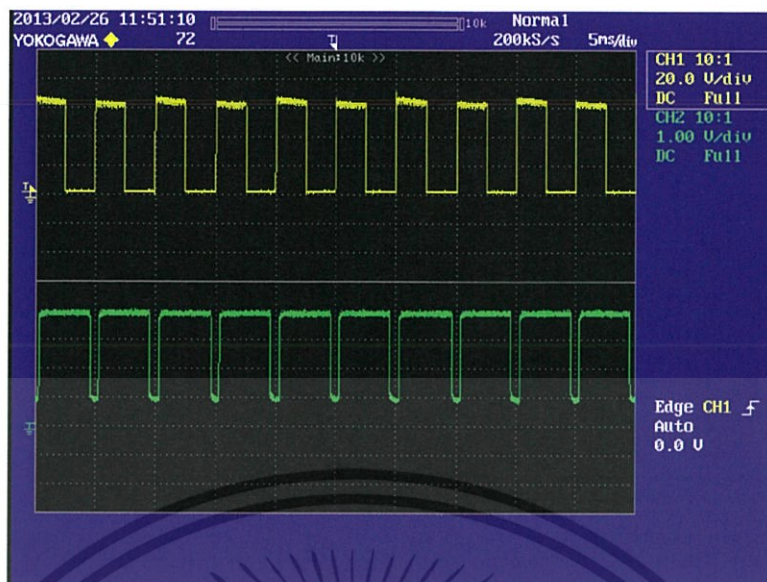


รูปที่ 4.24 ทดสอบส่งสัญญาณ 100 เฮิร์ตซ์

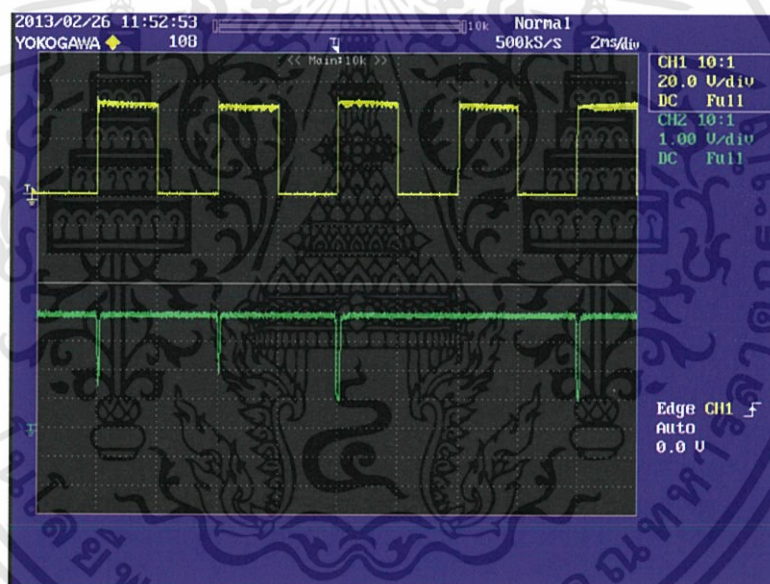


รูปที่ 4.25 ทดสอบส่งสัญญาณ 150 เฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

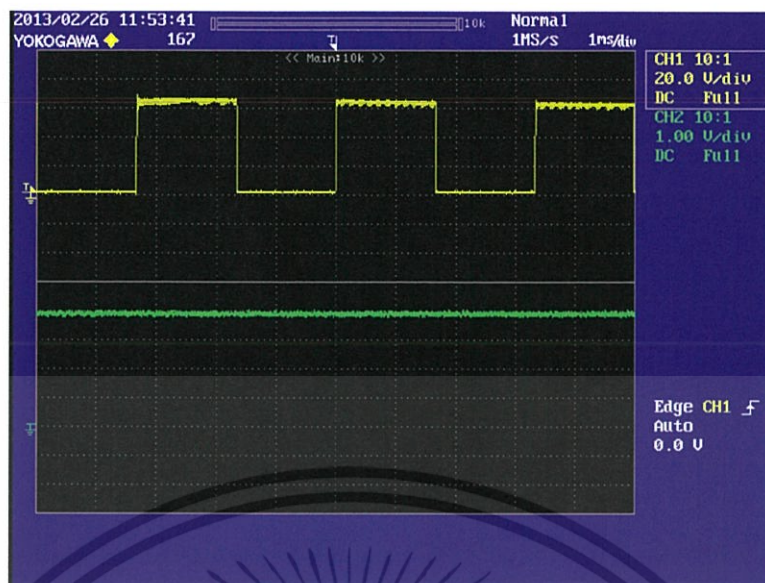


รูปที่ 4.26 ทดสอบส่งสัญญาณ 200 เฮิรตซ์



รูปที่ 4.27 ทดสอบส่งสัญญาณ 250 เฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 ทดสอบส่งสัญญาณ 300 เฮิร์ตซ์

สรุปจากการส่งสัญญาณช่วงความถี่ 150 เฮิร์ตซ์ ถึง 300 เฮิร์ตซ์ จะพบว่าสัญญาณข้อมูลฝั่งรับเกิดความคลาดเคลื่อนในส่วนของบิตศูนย์ ซึ่งมีผลจากสัญญาณข้อมูลมีค่าความถี่ใกล้เคียงกับสัญญาณญาณพาหะของอุปกรณ์ฝั่งส่ง ส่งผลให้เมื่อผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำจะทำให้กล่องสัญญาณข้อมูลบางส่วนออกทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของข้อมูลขึ้น

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองของโครงการ

จากการทดลอง ในด้านการส่งสัญญาณสามารถทดสอบการส่งสัญญาณระหว่างกันด้วย อุปกรณ์ฝั่งส่งสัญญาณและอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณผ่านสายไฟฟ้าในสถานที่ต่างๆจริงได้ สามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ แต่เนื่องจากในประเทศไทยมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับประชาชนได้ใช้กันอยู่หลายรูปแบบ เช่น ระบบไฟ 1 เฟส ที่นิยมใช้กันภายในบ้านเรือน และยังมีระบบไฟฟ้าอีกระบบหนึ่ง คือ ระบบไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งระบบไฟฟ้า 3 เฟส นี้จะนิยมใช้กันในสถานที่ที่มีการใช้กระแสไฟฟ้ามากๆ เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรม โรงแรม อาคารขนาดใหญ่ เป็นต้น และลักษณะของการจ่ายกระแสไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าของระบบไฟ 3 เฟส จะเป็นการจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบสี่เส้น คือ จ่ายกระแสไฟฟ้า 3 เส้น และกราวด์ 1 เส้น ทำให้สามารถแยกส่วนการใช้กระแสไฟกันได้ ซึ่งการแยกส่วนการใช้กระแสไฟกันได้ ทำให้เกิดผลกระทบต่อ การส่งข้อมูลของสัญญาณ เนื่องจากการส่งข้อมูลนั้นข้อมูลจะวิ่งอยู่ในเฉพาะระบบไฟในเฟสเดียวกันเท่านั้น ถึงจะสามารถรับส่งข้อมูลกัน ได้ แต่เนื่องจากโครงการนี้ได้ออกแบบระบบมาเพื่อใช้งานภายในบ้านพักอาศัยและสถานที่ดังที่กล่าวไว้ในขอบเขตของโครงการ ซึ่งเป็นสถานที่ที่ระบบจ่ายกระแสไฟเป็นระบบไฟ 2 เฟสเป็นส่วนใหญ่ จากการทดลองใช้งานอุปกรณ์ในสถานที่จริง ยังมีปัญหาบางอย่างที่ทำให้อุปกรณ์ไม่สามารถทำงานได้ดี เช่น ปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน ปัญหาเรื่องสายไฟภายในอาคารไม่ได้มาตรฐาน ข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่นำมาทดลอง และ อุปกรณ์ยังไม่สามารถส่งสัญญาณได้ในระยะไกล จึงต้องทำการศึกษาและพัฒนาการใช้งานของอุปกรณ์ต่อไป

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไขปัญหา

ปัญหา

- อุปกรณ์บางอย่างไม่สามารถหาซื้อได้ตามร้านทั่วไป
- เนื่องจากเป็นวงจรที่ทำงานร่วมกับไฟฟ้า 220 โวลต์ จึงอาจก่อให้เกิดอันตรายได้
- ปัญหาเนื่องจากระบบไฟของสถานที่ที่นำระบบไปใช้เป็นระบบไฟ 3 เฟส

การแก้ปัญหา

- ต้องสร้างอุปกรณ์ขึ้นมาเอง โดยคำนึงถึงการใช้งานจริงของอุปกรณ์
- ต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษและสวมอุปกรณ์ป้องกัน
- ทำการตรวจสอบระบบไฟในสถานที่นั้นและทำการติดตั้งอุปกรณ์ให้อยู่ในระบบไฟในเฟสเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการพัฒนาโครงงานในอนาคต

เนื่องจากโครงงานนี้ได้ใช้เทคโนโลยีในการส่งข้อมูลผ่านสายไฟมาเป็นสื่อกลางในการรับส่งข้อมูล ซึ่งในโลกปัจจุบันกระแสไฟฟ้าได้เป็นทรัพยากรที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการใช้ชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นสถานที่ไหนๆ ก็มีไฟฟ้าเข้าถึง โครงงานนี้จึงเป็นที่น่าจะนำมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์อย่างมาก ซึ่งแนวทางในการพัฒนาสามารถนำไปใช้ได้หลายๆ ด้าน เช่น นำไปเพิ่มส่วนของคำสั่งควบคุมการเปิดปิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่ออุปกรณ์ตัวใดเกิดปัญหาขึ้นซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากการใช้กระแสที่ผิดปกติก็สามารถสั่งปิดอุปกรณ์นั้นได้ตามที่ต้องการ ยังพัฒนาในส่วนของการตั้งเวลาเปิด - ปิด อุปกรณ์ไฟฟ้าตามเวลาที่เรารต้องการ การนำระบบไปพัฒนาเพื่อใช้งานในการรับส่งข้อมูลระหว่างเพื่อนบ้านหรือข้างเคียง เช่น การสั่งการทางด้านการเตือนภัย การขอความช่วยเหลือ เป็นต้น โดยต้องพัฒนาการส่งข้อมูลให้ได้ระยะที่ไกลขึ้นและมีความปลอดภัยในการรับส่งข้อมูลที่ดีขึ้น ซึ่งระบบนี้จะทำให้เกิดความสะดวกสบาย ประหยัดค่าใช้จ่าย ได้เป็นอย่างมาก จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีในการส่งข้อมูลผ่านสายไฟ Power Line นี้ สามารถนำไปพัฒนาให้เกิดประโยชน์ได้หลากหลายด้าน จึงเป็นที่น่านำไปพัฒนาต่อเป็นอย่างยิ่ง



บรรณานุกรม

- [1] Thailand Energy and environment network [Online] Available:
http://teenet.cmu.ac.th/emac/emacnews_newspaper_details.php?id=80
- [2] Seminar Paper [Online] Available:
<http://www.seminarpaper.com/2012/08/power-line-communication-plc.html>
- [3] Thai Microtron [Online] Available: <http://www.thaimicrotron.com/X10/X10-MainPage.htm>
- [4] Panasonic Global [Online] Available: <http://panasonic.net/pcc/products/plc/whats/>
- [5] Internet Tahi [Online] Available: <http://www.internetthai.com/network.html>
- [6] สถาบันนวัตกรรมพัฒนากระบวนการเรียนรู้ [Online] Available:
[http://www3.ipst.ac.th/research/assets/web/mahidol/computer\(10\)/network/net_datacom2.htm](http://www3.ipst.ac.th/research/assets/web/mahidol/computer(10)/network/net_datacom2.htm)
- [7] Networksky [Online] Available: <http://networksky.comyr.com/homenetwork%2019.html>
- [8] Maximize your knowledge [Online] Available: <http://wara.com/article-899.html>
- [9] การมอดูเลตดิจิตอลเชิงขนาด(Amplitude Shift Keying) [Online] Available:
<http://dc193.4shared.com/doc/teb8UBn4/preview.html>
- [10] The Envelope Detector [Online] Available: http://www.st-andrews.ac.uk/~jcg/Scots_Guide/RadCom/part9/page2.html
- [11] WIKIBOOKS [Online] Available: http://en.wikibooks.org/wiki/Communication_Systems/AM_Receivers
- [12] การมอดูเลต / ดีมอดูเลตและการส่งสัญญาณแบบเบสแบนด์ [Online] Available:
<http://www.kmitl.ac.th/~dslabs/linkinmainpage/advancetopicdownload/chapter4.pdf>



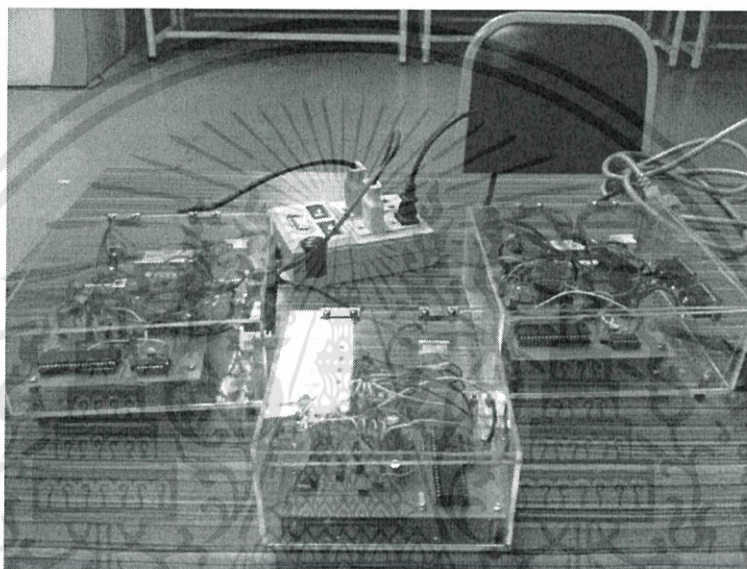
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

คู่มือการใช้งาน

1. การติดตั้งอุปกรณ์

ระบบการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยส่งข้อมูลผ่านสายไฟ จะมีอยู่ด้วยกันสองส่วนหลักๆ คือ ส่วนของอุปกรณ์ฝั่งส่งสัญญาณข้อมูล และฝั่งรับสัญญาณข้อมูลสองตัว โดยจะอธิบายการติดตั้งอุปกรณ์ในฝั่งส่งสัญญาณข้อมูลและฝั่งรับสัญญาณข้อมูล ตามขั้นตอน



รูปที่ ก.1 การติดตั้งอุปกรณ์ฝั่งส่งสัญญาณและฝั่งรับสัญญาณ

1.1 อุปกรณ์ฝั่งส่งสัญญาณ

- นำอุปกรณ์ฝั่งส่งสัญญาณเสียบต่อเข้ากับปลั๊กไฟฟ้า 220 โวลต์ ภายในบ้าน
- เปิดสวิตช์ใช้งานให้กับอุปกรณ์ส่งสัญญาณข้อมูล

1.2 อุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณ

- เชื่อมต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุมเข้ากับอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณ
- นำอุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณเสียบต่อเข้ากับปลั๊กไฟฟ้า 220 โวลต์ ภายในบ้าน
- ตรวจสอบดูว่าไฟแอลอีดีที่ฝั่งรับสัญญาณทั้งสองตัวนั้นติดเหมือนกันหรือไม่ ถ้าไม่ติดอาจจะต้องปรับ ค่าความต้านทานปรับค่าได้เพื่อปรับระดับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. อุปกรณ์ที่นำมาใช้

อุปกรณ์ที่นำมาใช้และการออกแบบโครงงาน

อุปกรณ์ที่ได้นำมาใช้ในการประกอบการทำงานนี้ นั้นมีอยู่ด้วยกันหลากหลายรูปแบบหลายลักษณะ และแต่ละส่วนจะมีหน้าที่ที่ทำงานต่างกัน เพื่อให้การทำงานสามารถดำเนิน และปฏิบัติไปได้อย่างต่อเนื่อง และได้ผลที่แม่นยำ จึงต้องอาศัยอุปกรณ์ที่มีคุณภาพ ทนต่อสภาวะ และปัญหาต่างๆ ที่มีผลต่อระบบได้ดี ซึ่งให้โครงงานมีความสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ เราจึงมีการแบ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานนี้ออกเป็น 2 ส่วน คือ อุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์และอุปกรณ์ทางด้านซอฟต์แวร์ โดยจะมีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังนี้

1. อุปกรณ์ในส่วนของฮาร์ดแวร์

1.1 Microcontroller เบอร์ MCS 51 เบอร์ 89S52

คือ Microcontroller ขนาด 40 ขา ที่ใช้ในการควบคุมระบบประมวลผลฝั่งส่งสัญญาณ และฝั่งรับสัญญาณ ซึ่ง MCS 51 เบอร์ 89S52 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีคุณสมบัติเด่น ไอซีเบอร์นี้ คือ เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของบริษัท ATMEL เป็นไอซีที่ใช้การโปรแกรมแบบ ISP โดยจะต้องวงจรที่ใช้สำหรับโปรแกรมเพียงไม่กี่ตัวเช่นใช้ IC 20 ขา 1 ตัว ยกตัวอย่างเบอร์ 74HC244, 74HC245 หรือ 74HC541 หลังจากนั้นถ้าต้องการโปรแกรมไอซี ก็จะติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตขนาน เมื่อเขียนโปรแกรมแล้วสามารถโหลดข้อมูลที่เป็น HEX File ลงมาที่บอร์ดโดยไม่ต้องถอดชิปไอซีออกจากบอร์ดทดลอง และไม่ต้องใช้เครื่องโปรแกรมจากภายนอกเพิ่มเติม หลังจากนั้นสามารถทำการทดสอบโปรแกรมได้ทันที

1.2 ตัวต้านทาน (Resistor)

ตัวต้านทานเป็นอุปกรณ์ที่สามารถจำกัดจำนวนกระแสไฟฟ้าตามค่าที่ต้องการ ซึ่งตัวต้านทานจะมีด้วยกันหลายค่า ชนิดของตัวต้านทานได้แก่ คาร์บอน ฟิล์มคาร์บอนและขดลวดเป็นต้น มีหน่วยเป็นโอห์ม

1.3 ตัวเก็บประจุ (Capacitor)

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้ มีการนำไปใช้ในวงจรกรองแรงดัน วงจรกรองความถี่ ใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณ เป็นต้น ชนิดของตัวเก็บประจุ ได้แก่ เซรามิก ไมลาร์ อิเล็กโตรไลต์ โพลีเอสเตอร์ แทนทาลัม และแก้ว เป็นต้น ค่าของตัวเก็บประจุไฟฟ้ามีหน่วยเป็นฟารัด

1.4 ไดโอด (Diode)

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำกระแสได้ ถ้าให้แรงดันตกคร่อมที่ตัวไดโอดตามค่าที่ตัวไดโอดนั้นกำหนด ไดโอดจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้เพียงทางเดียว ไดโอดแต่ละตัวจะมีอัตราการทนแรงดันที่แตกต่างกัน และมีความเร็วในการทำงานแตกต่างกัน

1.5 ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode)

เป็นไดโอดชนิดพิเศษที่สร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่รักษาแรงดันให้คงที่ มีโครงสร้างเหมือนไดโอดธรรมดาทั่วไป แต่ไดโอดธรรมดาทั่วไปเมื่อทำการไบอัสกลับจนถึงค่าแรงดันเบรกดาวน์จะทำให้เกิดการเสียหายได้ ซีเนอร์ไดโอดเป็นไดโอดที่ผลิตจากสารซิลิกอนที่มีปริมาณความหนาแน่นของสารเจือปนในส่วนทั้งสองของสารพีและเอ็นมีค่าสูงกว่าปกติ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจะทำให้ค่าแรงดันเบรกดาวน์สูง และค่าแรงดันเบรกดาวน์หรือแรงดันซีเนอร์สามารถกำหนดได้ด้วยการควบคุมความหนาแน่นของสารเจือปนและเมื่อให้ไบอัสกลับจะสามารถทนกระแสย้อนกลับได้สูง โดยไดโอดไม่เสียหาย แรงดันที่ตกคร่อมตัวซีเนอร์ไดโอดจะเป็นตัวควบคุมและรักษาแรงดันให้คงที่

1.6 ทรานซิสเตอร์ (Transistor)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ 3 ชั้น อาจจะเป็นแบบ NPN หรือ PNP มีสามขา เรียกว่า Base, Emitter และ Collector มีหลักการทำงาน คือ มีกระแสไฟฟ้าเพียงเล็กน้อย ที่ไหลผ่านขา Base ไปยังขา Emitter สามารถควบคุมกระแสปริมาณที่ไหลผ่านขา Emitter ไปยังขา Collector ได้ สามารถทำหน้าที่เป็นทั้งอุปกรณ์ขยายสัญญาณและสวิตช์ควบคุมสัญญาณได้

1.7 LED (Light Emitter Diode)

จะเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าให้เป็นแสงได้โดยตรง แสงที่เปล่งออกมามีสีเดียว (มี Range ของความยาวคลื่นที่แคบ) แสงที่เปล่งออกมาเพิ่มขึ้นตามกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน จนถึงระดับหนึ่งจะร้อนจัดและชำรุด ในโครงงานนี้เราใช้ LED ในการทดลองเบื้องต้นในการทดสอบส่งสัญญาณหากันของอุปกรณ์ฝั่งรับและฝั่งส่ง

1.8 หม้อแปลง IF (IF Transformer) ประเภท PLC

ใช้สำหรับแปลงความถี่ ซึ่งอยู่ระหว่างความถี่วิทยุและความถี่เสียง หม้อแปลงนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้ความถี่ปานกลางผ่านได้ความถี่เดียวแล้วแต่จะกำหนด

1.10 Regulator (อุปกรณ์รักษาแรงดัน)

ใช้สำหรับรักษาระดับแรงดันทางไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่พอดีกับวงจรที่ต้องการ เช่น ระดับแรงดัน 5 โวลต์, -5 โวลต์, 12 โวลต์, -12 โวลต์ เป็นต้น ลักษณะของอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีอยู่สามขาคือ Vin, Vout และ ADJ ซึ่งแต่ละขาทำหน้าที่ที่แตกต่างกันคือ ขา Vin จะรับแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจรซึ่งจะมีย่านของแรงดันที่รับได้แตกต่างกันไปในแต่ละเบอร์ของ Regulator ขา Vout จะเป็นขาที่ส่งแรงดันออกไปเพื่อใช้งานซึ่งจะมีค่าระดับแรงดันแตกต่างกันไปตามเบอร์ของ Regulator และขา ADJ เป็นขาที่สำหรับต่อลงกราวด์ของวงจร

1.11 Bridge Rectifier (Bridge Diode)

คือไดโอดที่ต่อกันแบบ Bridge แล้วห่ออยู่ในตัวถังเดียวกัน มีขาออกมาให้ใช้งานทั้งหมด 4 ขา ลดความยุ่งยากในการเอาไดโอด 4 ตัวมาใช้งาน ใช้ในวงจรการแปลงแรงดันกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง

1.12 OP AMP (Operator Amplifier)

มันคืออุปกรณ์ขยายสัญญาณ สัญลักษณ์จะเป็นรูป 3 เหลี่ยมหันหัวไปทางขวา ปกติ 1 ตัวจะมีขาที่ใช้ได้ 5 ขา 2 ขาพาไฟเลี้ยง $+,-2$ ขา เป็นตัวที่ขยายเกนด้าน $+$ และ $-$ อย่างละขา และอีกขาเป็นด้านขาออก เกน (gain) การขยายจริงๆในทางทฤษฎีจะมีค่าเท่ากับอนันต์แต่มนทางปฏิบัติก็แล้วแต่การออกแบบวงจรรวมภายใน ที่เราเอามาใช้กันจะควบคุมเกนการขยายโดยให้สัญญาณเข้าที่ขั้ว $+$ และ $-$ ซึ่งจะมีวิธีการเลือกอุปกรณ์ RLC เพื่อควบคุมเกนทีในแต่ละย่านความถี่

1.13 ตัวแปลงกระแส (Current Transformer)

คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดกระแส โดยใช้หลักการในการเหนี่ยวนำกระแสระหว่างขดลวดที่พันอยู่ที่แกน Current กับสายไฟ 220 โวลต์ เพื่อเหนี่ยวนำกระแสเข้ามาใช้ ซึ่งถือเป็นส่วนประกอบหลักๆของโครงงาน

1.14 Transformer (หม้อแปลง)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงไฟ AC จาก 220 โวลต์ ให้เหลือน้อยลงตามต้องการ ในโครงงานนี้จะใช้กำลังไฟฟ้า AC ที่ 9 โวลต์ เพื่อนำไปป้อนเข้ากับวงจรแปลงไฟ AC เป็น DC แล้วนำไปจ่ายให้กับวงจรต่อไป

1.15 อุปกรณ์แปลงพอร์ตจาก USB เป็น RS232

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงพอร์ต จากพอร์ตที่เป็น USB ไปเป็นพอร์ต RS232 แต่ถ้าคอมพิวเตอร์มีพอร์ต RS232 อยู่แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องใช้

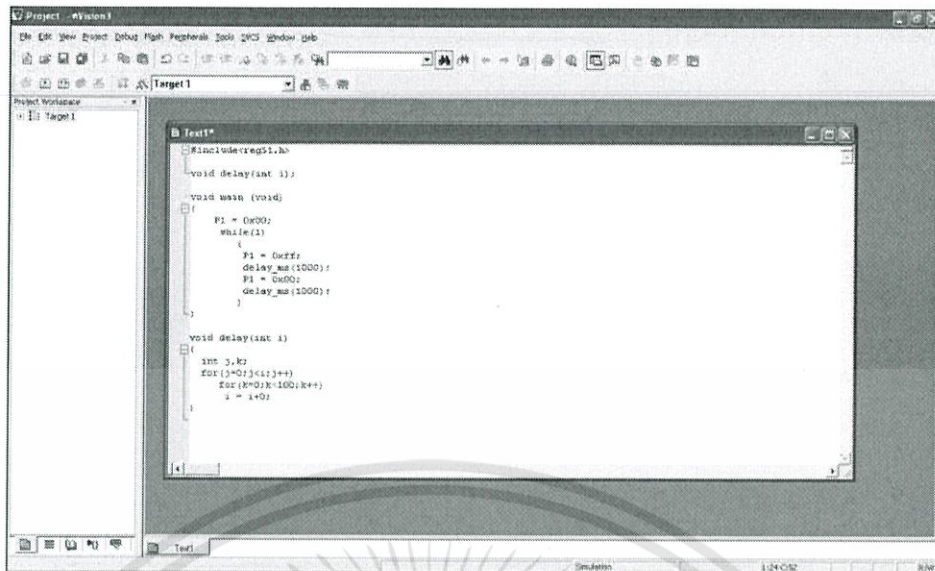
1.16 คอมพิวเตอร์

ใช้ในการแสดงผลและประมวลผลข้อมูล ติดตั้งโปรแกรมที่ใช้เป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน เก็บข้อมูล และเปรียบเทียบการใช้งาน

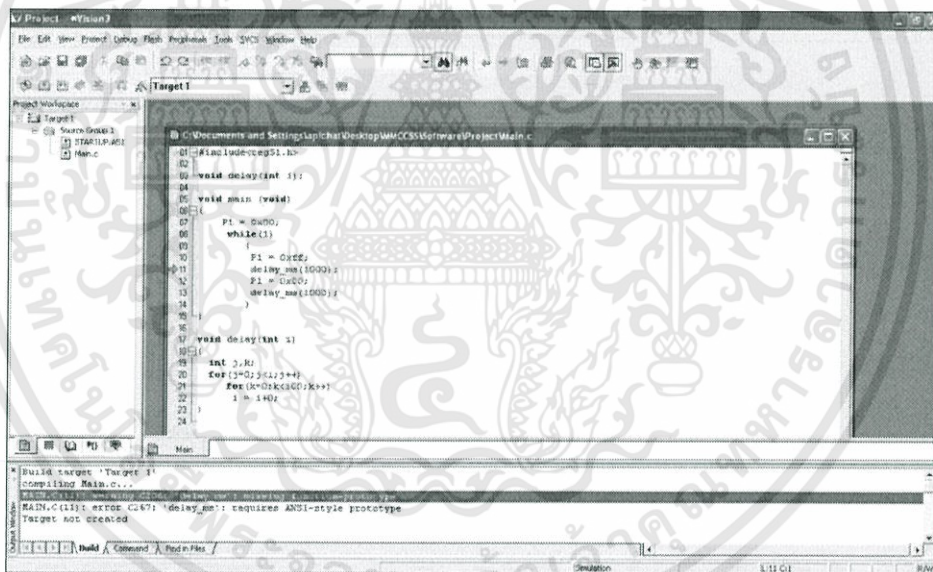
2. อุปกรณ์ในส่วนของซอฟต์แวร์

2.1 Keil uVision3

โปรแกรม Keil uVison 3 หรือบางที่เรียกว่า Keil C51 เป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นโดยบริษัท Keil Software จะช่วยเขียนโปรแกรม C51 ได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยเราสามารถแปลงภาษา C51 เป็นโค้ด HEX ได้เลย



รูปที่ ข.1 หน้าต่างโปรแกรม Keil uVision 3 เมื่อเลือกไฟล์ที่มีอยู่แล้ว โดยจะมีรายละเอียดของโค้ดภาษาซี

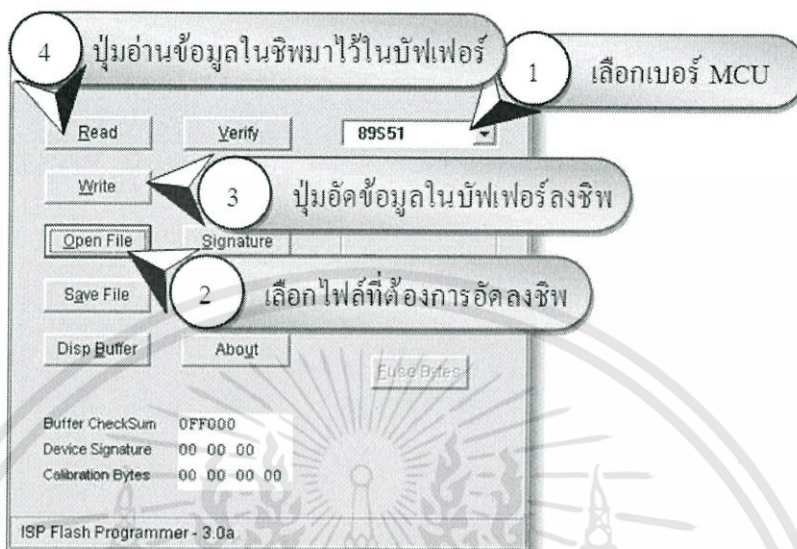


รูปที่ ข.2 การ compiler ใช้ในการสร้างไฟล์เลขฐาน 16 (.HEX) เพื่อที่จะใช้ BURN เข้าสู่ Microcontroller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ISP Flash Programmer 3.0a

ISP Flash Programmer 3.0a มีไว้เพื่อนำไฟล์ข้อมูล (ในรูป .Hex) จากการ compiler ของโปรแกรม Keil uVison 3 ของเราไปเบิร์นใส่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ ข.3 หน้าต่างโปรแกรม ISP Flash Programmer 3.0a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA TRANSISTOR SILICON NPN EPITAXIAL TYPE (PCT PROCESS)

2SC1815

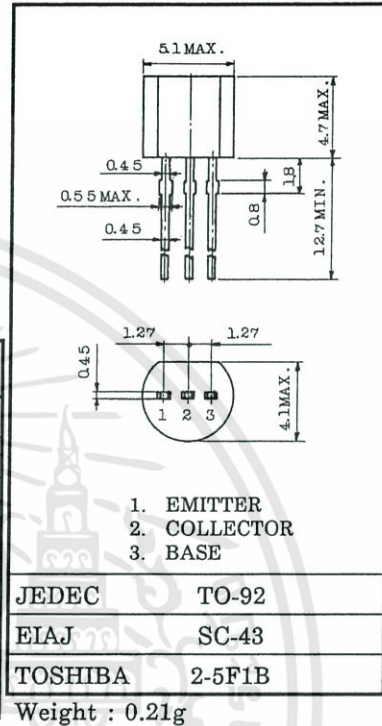
AUDIO FREQUENCY GENERAL PURPOSE AMPLIFIER APPLICATIONS.
DRIVER STAGE AMPLIFIER APPLICATIONS.

Unit in mm

- High Voltage and High Current
: $V_{CE0} = 50V$ (Min.), $I_C = 150mA$ (Max.)
- Excellent h_{FE} Linearity
: $h_{FE(2)} = 100$ (Typ.) at $V_{CE} = 6V$, $I_C = 150mA$
: $h_{FE} (I_C = 0.1mA) / h_{FE} (I_C = 2mA) = 0.95$ (Typ.)
- Low Noise : $NF = 1dB$ (Typ.) at $f = 1kHz$
- Complementary to 2SA1015 (O, Y, GR class)

MAXIMUM RATINGS ($T_a = 25^\circ C$)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	60	V
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	50	V
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	5	V
Collector Current	I_C	150	mA
Base Current	I_B	50	mA
Collector Power Dissipation	P_C	400	mW
Junction Temperature	T_j	125	$^\circ C$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55~125	$^\circ C$



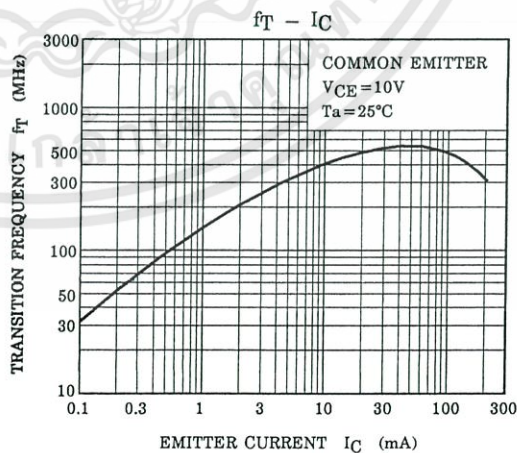
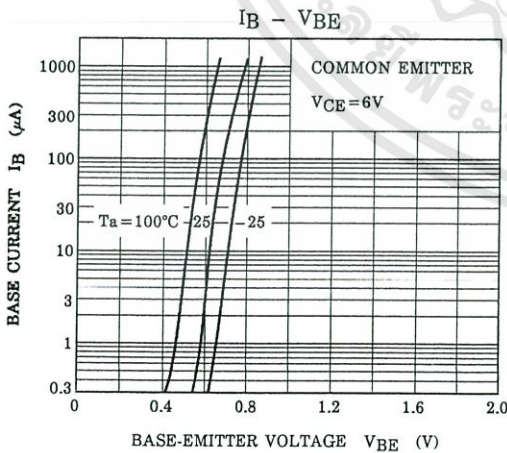
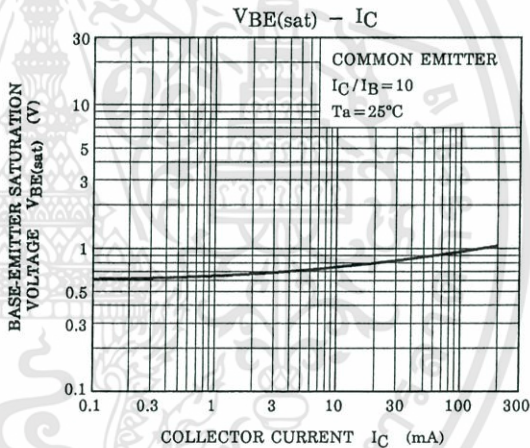
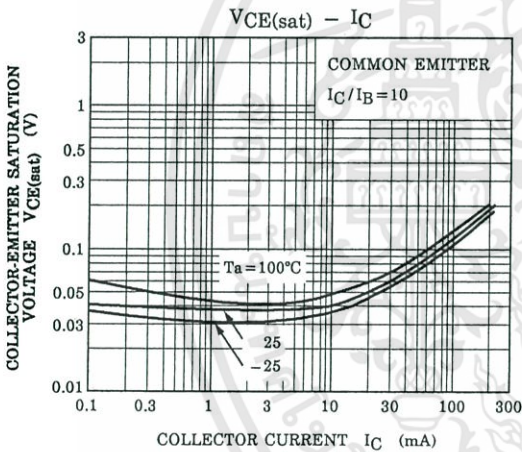
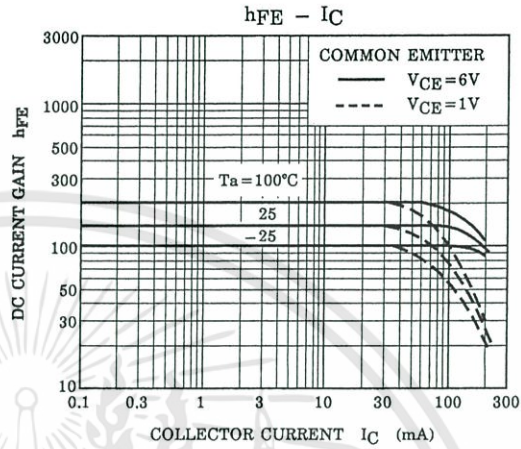
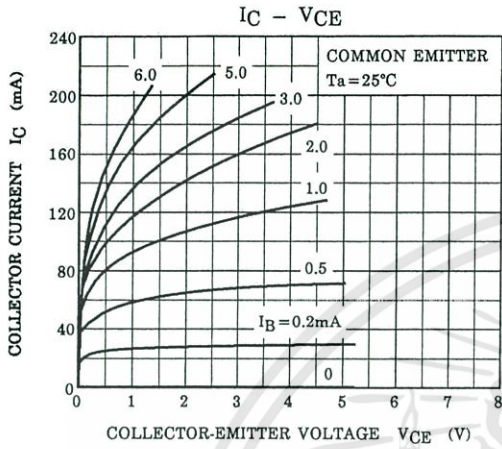
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_a = 25^\circ C$)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Collector Cut-off Current	I_{CBO}	$V_{CB} = 60V, I_E = 0$	—	—	0.1	μA
Emitter Cut-off Current	I_{EBO}	$V_{EB} = 5V, I_C = 0$	—	—	0.1	μA
DC Current Gain	$h_{FE(1)}$ (Note)	$V_{CE} = 6V, I_C = 2mA$	70	—	700	
	$h_{FE(2)}$	$V_{CE} = 6V, I_C = 150mA$	25	100	—	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 100mA, I_B = 10mA$	—	0.1	0.25	V
Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$	$I_C = 100mA, I_B = 10mA$	—	—	1.0	V
Transition Frequency	f_T	$V_{CE} = 10V, I_C = 1mA$	80	—	—	MHz
Collector Output Capacitance	C_{ob}	$V_{CB} = 10V, I_E = 0, f = 1MHz$	—	2.0	3.5	pF
Base Intrinsic Resistance	$r_{bb'}$	$V_{CE} = 10V, I_E = -1mA$ $f = 30MHz$	—	50	—	Ω
Noise Figure	NF	$V_{CE} = 6V, I_C = 0.1mA$ $f = 1kHz, R_G = 10k\Omega$	—	1.0	10	dB

Note : h_{FE} Classification 0 : 70~140 Y : 120~240 GR : 200~400 BL : 350~700

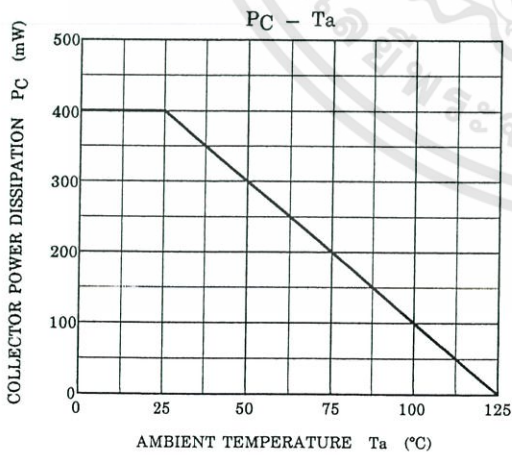
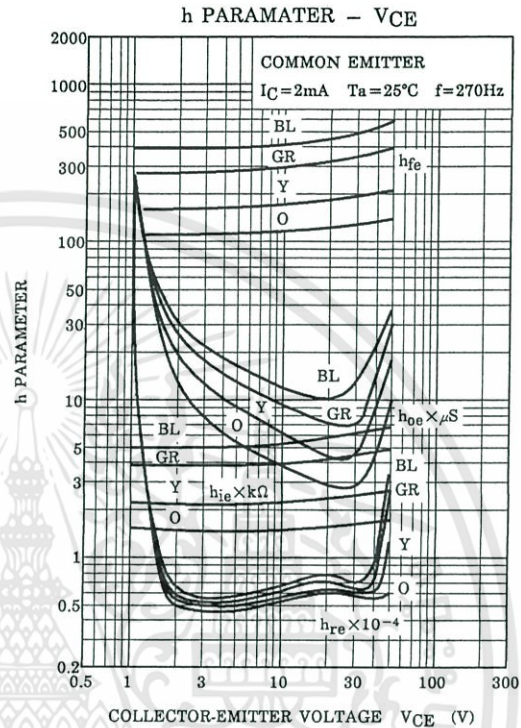
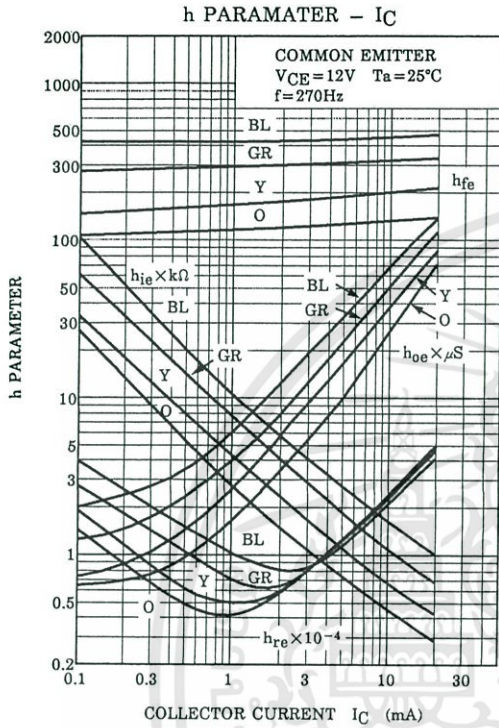
961001EAA2

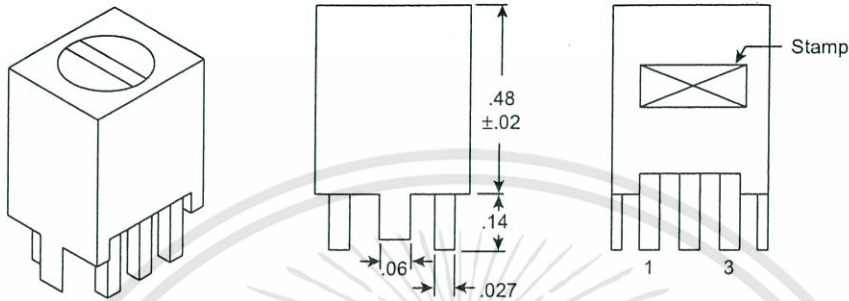
● TOSHIBA is continually working to improve the quality and the reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to observe standards of safety, and to avoid situations in which a malfunction or failure of a TOSHIBA product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook.



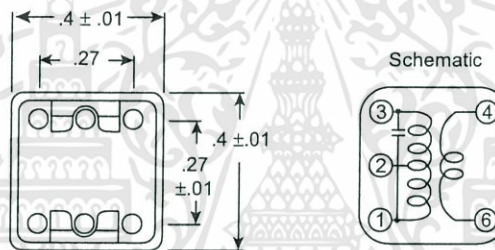
961001EAA2'

● The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
● The information contained herein is subject to change without notice.





Dimensions (In.)



Specifications:

- Type: Sub-miniature
- Mounting: PC

Mouser Stock No.	Application (Typical) (IF)	Impedance		Unload Q Value	Tuning Capacitance	Inductance	Turns			Cap Color
		Pri.	Sec.				(1-2)	(2-3)	(4-6)	
Center Frequency: 455KHz ±3%										
42IF101	1st	60KΩ	600Ω	80±20%	180PF+5pF (ext.)	680uH	70	87	7	Yel
42IF102	2nd	30KΩ	500Ω	80±20%	180PF+5pF (ext.)	680uH	98	57	7	White
42IF103	3rd	20KΩ	6KΩ	75±20%	180PF+5pF (ext.)	680uH	103	50	27	Black
Center Frequency: 10.7MHz ±3%										
42IF122	2nd & 3rd	15KΩ	300Ω	80 min.	47PF+5pF (ext.)	4.5uH	7	7	1	Brown
42IF123	1st	25KΩ	4KΩ	95±20%	47PF+5pF (ext.)	4.5uH	5	9	2	Green
42IF129	2nd & 3rd	15KΩ	100Ω	100±20%	30PF	7.4uH	12	6	1	Black

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/ SA534/LM2902

DESCRIPTION

The LM124/SA534/LM2902 series consists of four independent, high-gain, internally frequency-compensated operational amplifiers designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages.

UNIQUE FEATURES

In the linear mode, the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.

The unity gain crossover frequency and the input bias current are temperature-compensated.

FEATURES

- Internally frequency-compensated for unity gain
- Large DC voltage gain: 100dB
- Wide bandwidth (unity gain): 1MHz (temperature-compensated)
- Wide power supply range Single supply: $3V_{DC}$ to $30V_{DC}$ or dual supplies: $\pm 1.5V_{DC}$ to $\pm 15V_{DC}$
- Very low supply current drain: essentially independent of supply voltage (1mW/op amp at $+5V_{DC}$)
- Low input biasing current: $45nA_{DC}$ (temperature-compensated)
- Low input offset voltage: $2mV_{DC}$ and offset current: $5nA_{DC}$
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage: $0V_{DC}$ to $V_{CC}-1.5V_{DC}$ swing

PIN CONFIGURATION

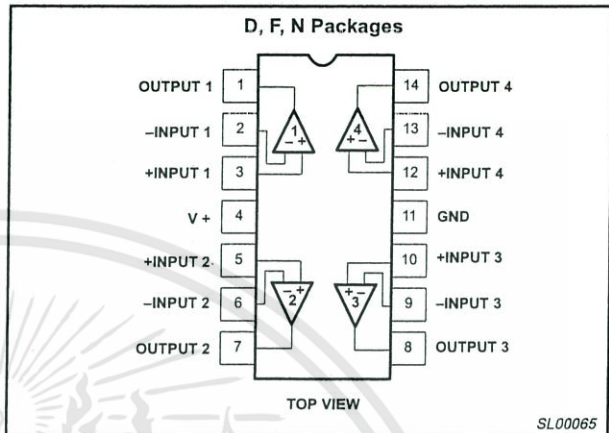


Figure 1. Pin Configuration

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-55°C to +125°C	LM124N	SOT27-1
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-55°C to +125°C	LM124F	0581B
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-25°C to +85°C	LM224N	SOT27-1
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-25°C to +85°C	LM224F	0581B
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-25°C to +85°C	LM224D	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0°C to +70°C	LM324N	SOT27-1
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	0°C to +70°C	LM324F	0581B
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0°C to +70°C	LM324D	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0°C to +70°C	LM324AN	SOT27-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0°C to +70°C	LM324AD	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40°C to +85°C	SA534N	SOT27-1
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	-40°C to +85°C	SA534F	0581B
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-40°C to +85°C	SA534D	SOT108-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-40°C to +125°C	LM2902D	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40°C to +125°C	LM2902N	SOT27-1

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V_{CC}	Supply voltage	32 or ± 16	V_{DC}
V_{IN}	Differential input voltage	32	V_{DC}
V_{IN}	Input voltage	-0.3 to +32	V_{DC}
P_D	Maximum power dissipation, $T_A=25^\circ\text{C}$ (still-air) ¹		
	N package	1420	mW
	F package	1190	mW
	D package	1040	mW
	Output short-circuit to GND one amplifier ² $V_{CC}<15V_{DC}$ and $T_A=25^\circ\text{C}$	Continuous	
I_{IN}	Input current ($V_{IN}<-0.3V$) ³	50	mA
T_A	Operating ambient temperature range		
	LM324/A	0 to +70	$^\circ\text{C}$
	LM224	-25 to +85	$^\circ\text{C}$
	SA534	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
	LM2902	-40 to +125	$^\circ\text{C}$
	LM124	-55 to +125	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage temperature range	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
T_{SOLD}	Lead soldering temperature (10sec max)	300	$^\circ\text{C}$

NOTES:

- Derate above 25°C at the following rates:
F package at $9.5\text{mW}/^\circ\text{C}$
N package at $11.4\text{mW}/^\circ\text{C}$
D package at $8.3\text{mW}/^\circ\text{C}$
- Short-circuits from the output to V_{CC+} can cause excessive heating and eventual destruction. The maximum output current is approximately 40mA, independent of the magnitude of V_{CC} . At values of supply voltage in excess of $+15V_{DC}$ continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction.
- This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input bias clamps. In addition, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This action can cause the output voltages of the op amps to go to the $V+$ rail (or to ground for a large overdrive) during the time that the input is driven negative.

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC}=5V$, $T_A=25^\circ C$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM124/LM224			LM324/SA534/LM2902			UNIT
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_{OS}	Offset voltage ¹	$R_S=0\Omega$		± 2	± 5		± 2	± 7	mV
		$R_S=0\Omega$, over temp.			± 7			± 9	
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Temperature drift	$R_S=0\Omega$, over temp.		7			7		$\mu V/^\circ C$
I_{BIAS}	Input current ²	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$		45	150		45	250	nA
		$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$, over temp.		40	300		40	500	
$\Delta I_{BIAS}/\Delta T$	Temperature drift	Over temp.		50			50		$\mu A/^\circ C$
I_{OS}	Offset current	$I_{IN(+)}-I_{IN(-)}$		± 3	± 30		± 5	± 50	nA
		$I_{IN(+)}-I_{IN(-)}$, over temp.			± 100			± 150	
$\Delta I_{OS}/\Delta T$	Temperature drift	Over temp.		10			10		$\mu A/^\circ C$
V_{CM}	Common-mode voltage range ³	$V_{CC}\leq 30V$	0		$V_{CC}-1.5$	0		$V_{CC}-1.5$	V
		$V_{CC}\leq 30V$, over temp.	0		$V_{CC}-2$	0		$V_{CC}-2$	
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_{CC}=30V$	70	85		65	70		dB
V_{OUT}	Output voltage swing	$R_L=2k\Omega$, $V_{CC}=30V$, over temp.	26			26			V
V_{OH}	Output voltage high	$R_L\leq 10k\Omega$, $V_{CC}=30V$, over temp.	27	28		27	28		V
V_{OL}	Output voltage low	$R_L\leq 10k\Omega$, over temp.		5	20		5	20	mV
I_{CC}	Supply current	$R_L=\infty$, $V_{CC}=30V$, over temp.		1.5	3		1.5	3	mA
		$R_L=\infty$, over temp.		0.7	1.2		0.7	1.2	
A_{VOL}	Large-signal voltage gain	$V_{CC}=15V$ (for large V_O swing), $R_L\geq 2k\Omega$	50	100		25	100		V/mV
		$V_{CC}=15V$ (for large V_O swing), $R_L\geq 2k\Omega$, over temp.	25			15			
	Amplifier-to-amplifier coupling ⁵	$f=1kHz$ to $20kHz$, input referred		-120			-120		dB
PSRR	Power supply rejection ratio	$R_S\leq 0\Omega$	65	100		65	100		dB
I_{OUT}	Output current source	$V_{IN+}=+1V$, $V_{IN-}=0V$, $V_{CC}=15V$	20	40		20	40		mA
		$V_{IN+}=+1V$, $V_{IN-}=0V$, $V_{CC}=15V$, over temp.	10	20		10	20		
	sink	$V_{IN-}=+1V$, $V_{IN+}=0V$, $V_{CC}=15V$	10	20		10	20		
		$V_{IN-}=+1V$, $V_{IN+}=0V$, $V_{CC}=15V$, over temp.	5	8		5	8		
		$V_{IN-}=+1V$, $V_{IN+}=0V$, $V_O=200mV$	12	50		12	50		
I_{SC}	Short-circuit current ⁴		10	40	60	10	40	60	mA
GBW	Unity gain bandwidth			1			1		MHz
SR	Slew rate			0.3			0.3		$V/\mu s$
V_{NOISE}	Input noise voltage	$f=1kHz$		40			40		nV/\sqrt{Hz}
V_{DIFF}	Differential input voltage ³				V_{CC}			V_{CC}	V

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

 $V_{CC}=5V$, $T_A=25^\circ C$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM324A			UNIT
			Min	Typ	Max	
V_{OS}	Offset voltage ¹	$R_S=0\Omega$		± 2	± 3	mV
		$R_S=0\Omega$, over temp.			± 5	
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Temperature drift	$R_S=0\Omega$, over temp.		7	30	$\mu V/^\circ C$
I_{BIAS}	Input current ²	$I_{IN}(+)$ or $I_{IN}(-)$		45	100	nA
		$I_{IN}(+)$ or $I_{IN}(-)$, over temp.		40	200	
$\Delta I_{BIAS}/\Delta T$	Temperature drift	Over temp.		50		$\mu A/^\circ C$
I_{OS}	Offset current	$I_{IN}(+)-I_{IN}(-)$		± 5	± 30	nA
		$I_{IN}(+)-I_{IN}(-)$, over temp.			± 75	
$\Delta I_{OS}/\Delta T$	Temperature drift	Over temp.		10	300	$\mu A/^\circ C$
V_{CM}	Common-mode voltage range ³	$V_{CC}\leq 30V$	0		$V_{CC}-1.5$	V
		$V_{CC}\leq 30V$, over temp.	0		$V_{CC}-2$	V
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_{CC}=30V$	65	85		dB
V_{OUT}	Output voltage swing	$R_L=2k\Omega$, $V_{CC}=30V$, over temp.	26			V
V_{OH}	Output voltage high	$R_L\leq 10k\Omega$, $V_{CC}=30V$, over temp.	27	28		V
V_{OL}	Output voltage low	$R_L\leq 10k\Omega$, over temp.		5	20	mV
I_{CC}	Supply current	$R_L=\infty$, $V_{CC}=30V$, over temp.		1.5	3	mA
		$R_L=\infty$, over temp.		0.7	1.2	
A_{VOL}	Large-signal voltage gain	$V_{CC}=15V$ (for large V_O swing), $R_L\geq 2k\Omega$	25	100		V/mV
		$V_{CC}=15V$ (for large V_O swing), $R_L\geq 2k\Omega$, over temp.	15			V/mV
	Amplifier-to-amplifier coupling ⁵	$f=1kHz$ to $20kHz$, input referred		-120		dB
PSRR	Power supply rejection ratio	$R_S\leq 0\Omega$	65	100		dB
I_{OUT}	Output current source	$V_{IN+}=+1V$, $V_{IN-}=0V$, $V_{CC}=15V$	20	40		mA
		$V_{IN+}=+1V$, $V_{IN-}=0V$, $V_{CC}=15V$, over temp.	10	20		
	Output current sink	$V_{IN-}=+1V$, $V_{IN+}=0V$, $V_{CC}=15V$	10	20		mA
		$V_{IN-}=+1V$, $V_{IN+}=0V$, $V_{CC}=15V$, over temp.	5	8		
I_{SC}	Short-circuit current ⁴	$V_{IN-}=+1V$, $V_{IN+}=0V$, $V_O=200mV$	12	50		μA
			10	40	60	
V_{DIFF}	Differential input voltage ³				V_{CC}	V
GBW	Unity gain bandwidth			1		MHz
SR	Slew rate			0.3		V/ μs
V_{NOISE}	Input noise voltage	$f=1kHz$		40		nV/ \sqrt{Hz}

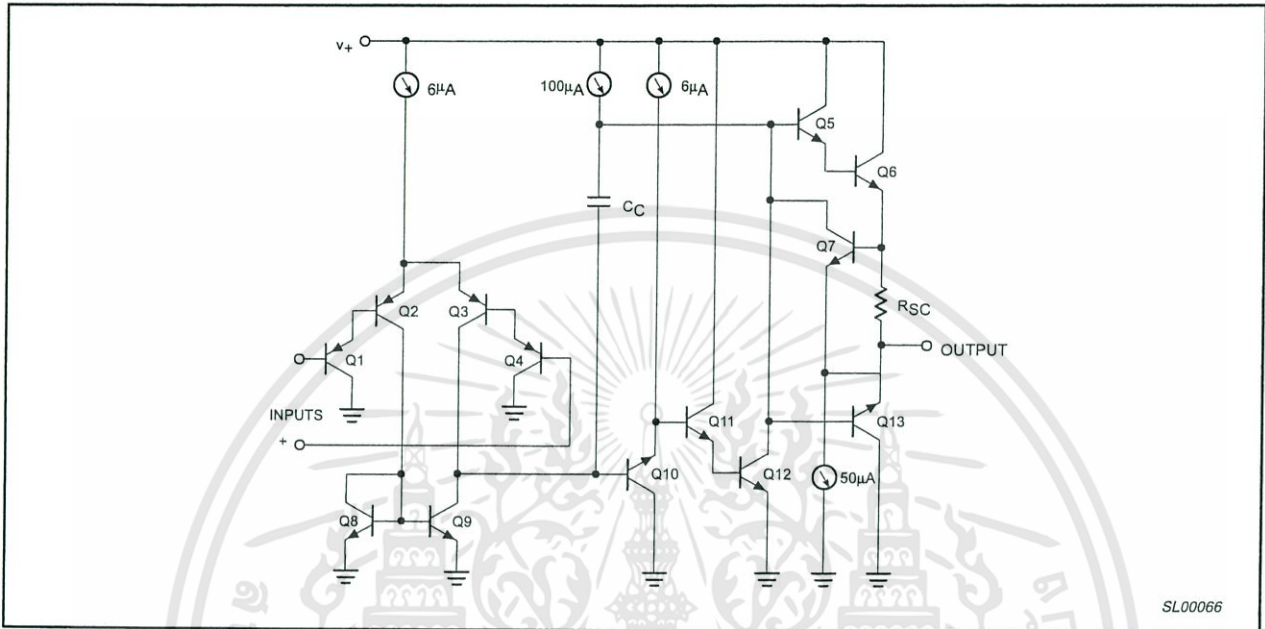
NOTES:

- $V_O = 1.4V_{DC}$, $R_S=0\Omega$ with V_{CC} from 5V to 30V and over full input common-mode range ($0V_{DC}+$ to $V_{CC}-1.5V$).
- The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
- The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is $V_{CC}-1.5$, but either or both inputs can go to +32V without damage.
- Short-circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V_{CC} . At values of supply voltage in excess of +15V_{DC}, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.
- Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of coupling increases at higher frequencies.

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

EQUIVALENT CIRCUIT



SL00066

Figure 2. Equivalent Circuit

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

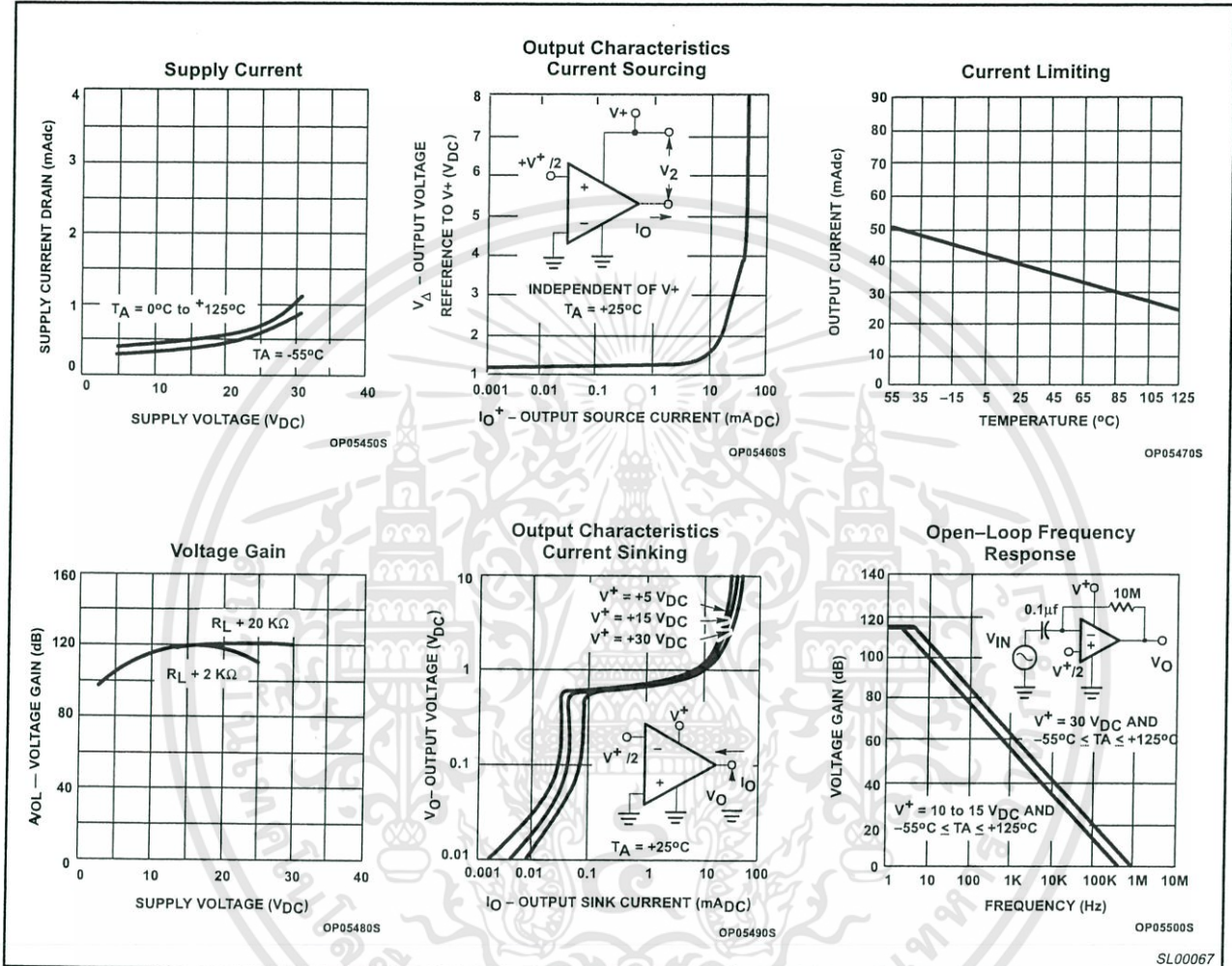


Figure 3. Typical Performance Characteristics

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Continued)

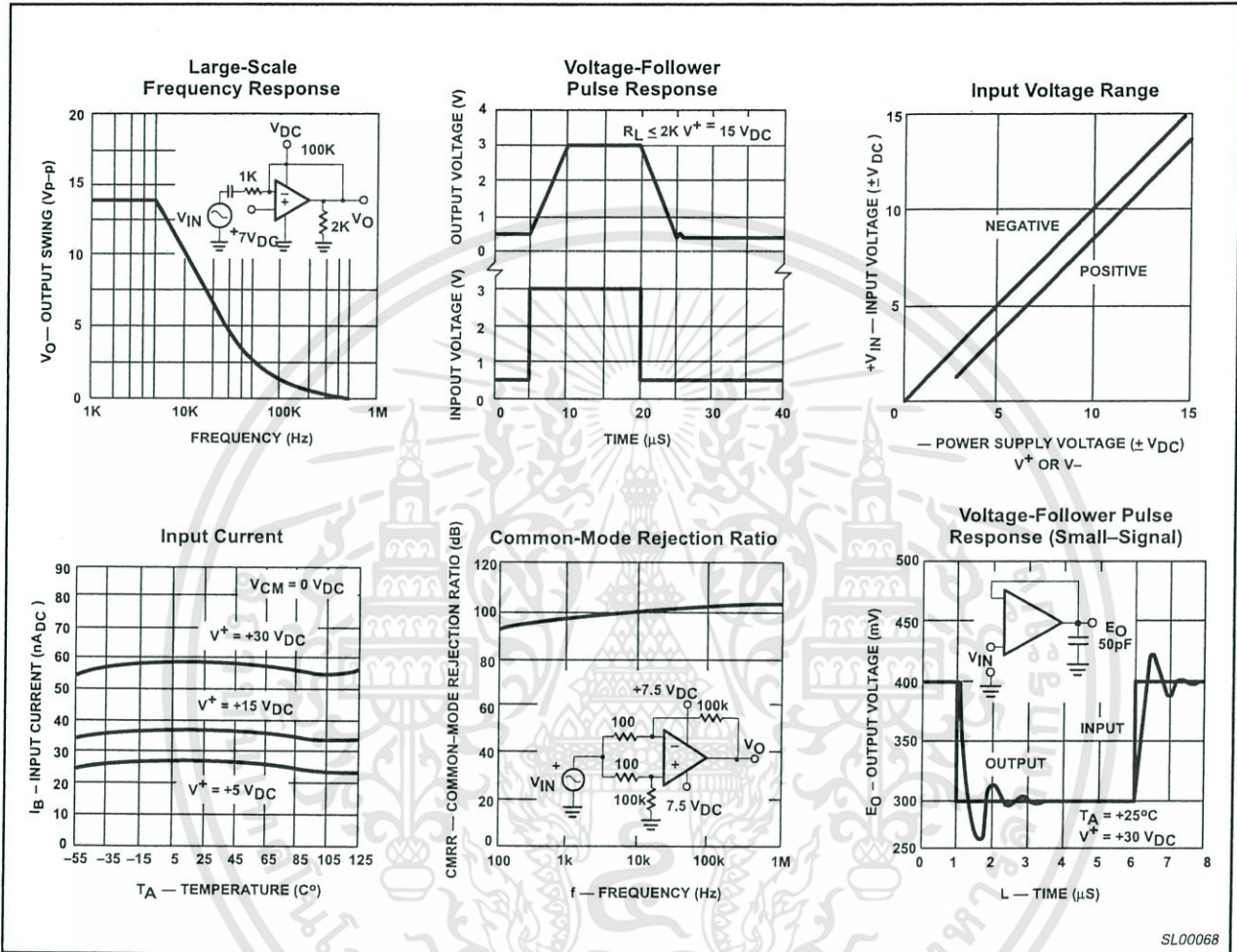


Figure 4. Typical Performance Characteristics (cont.)

TYPICAL APPLICATIONS

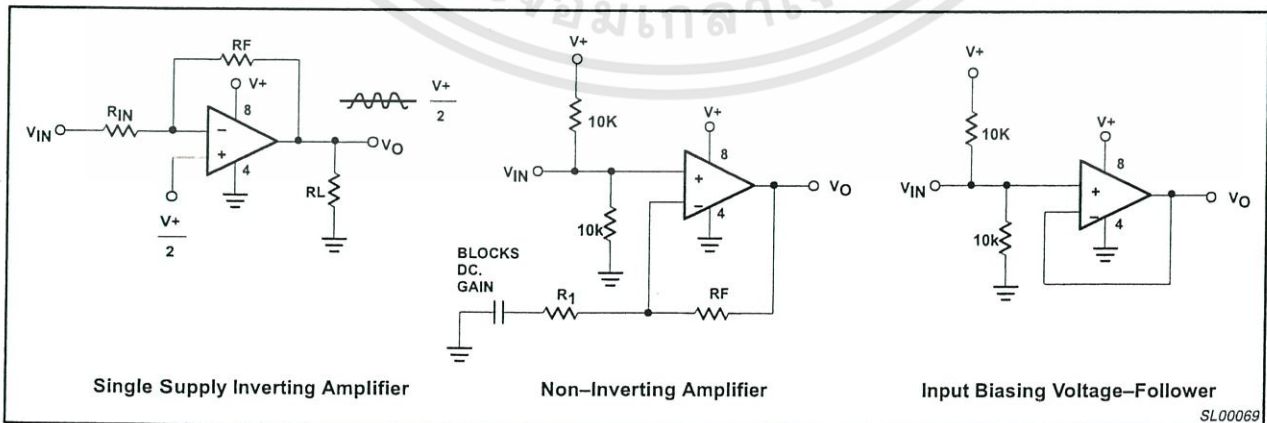


Figure 5. Typical Applications

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



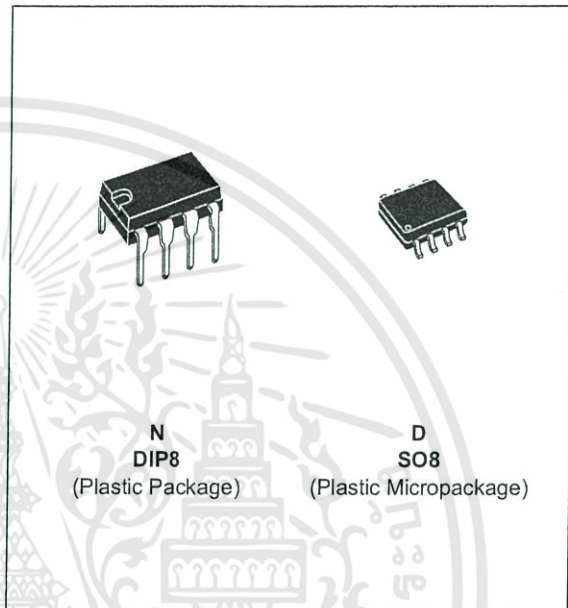
NE555 SA555 - SE555

GENERAL PURPOSE SINGLE BIPOLAR TIMERS

- LOW TURN OFF TIME
- MAXIMUM OPERATING FREQUENCY GREATER THAN 500kHz
- TIMING FROM MICROSECONDS TO HOURS
- OPERATES IN BOTH ASTABLE AND MONOSTABLE MODES
- HIGH OUTPUT CURRENT CAN SOURCE OR SINK 200mA
- ADJUSTABLE DUTY CYCLE
- TTL COMPATIBLE
- TEMPERATURE STABILITY OF 0.005% PER°C

DESCRIPTION

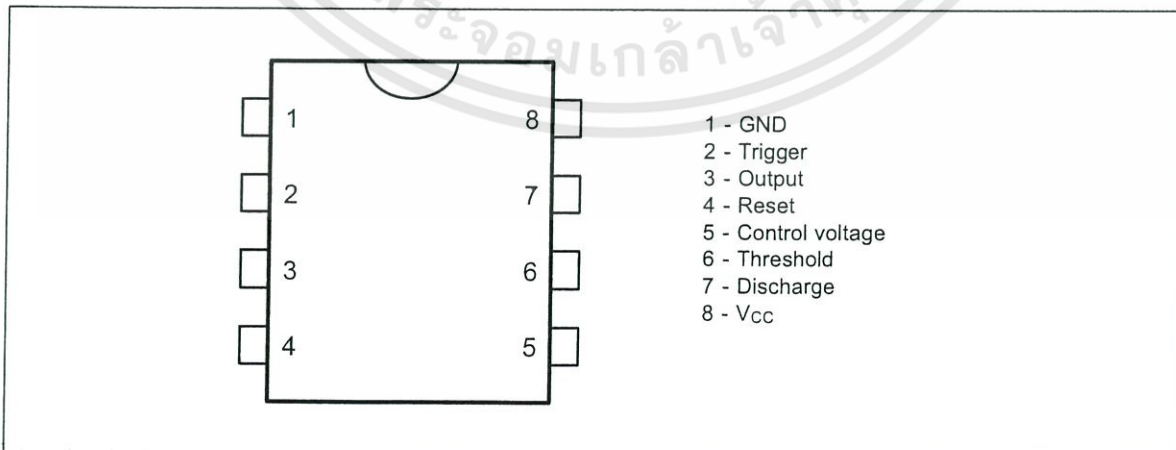
The NE555 monolithic timing circuit is a highly stable controller capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For a stable operation as an oscillator, the free running frequency and the duty cycle are both accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output structure can source or sink up to 200mA. The NE555 is available in plastic and ceramic minidip package and in a 8-lead micropackage and in metal can package version.



ORDER CODES

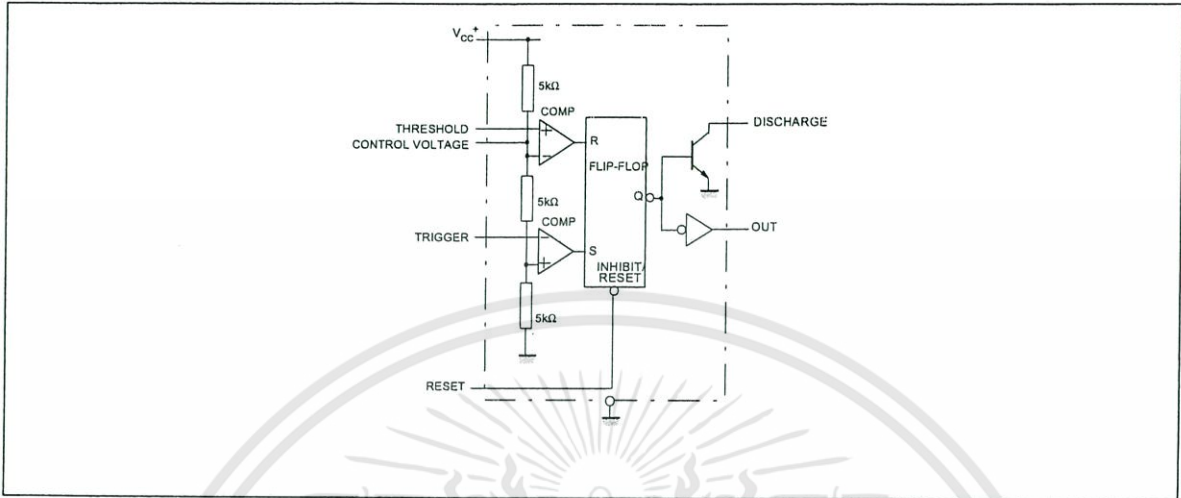
Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
NE555	0°C, 70°C	•	•
SA555	-40°C, 105°C	•	•
SE555	-55°C, 125°C	•	•

PIN CONNECTIONS (top view)

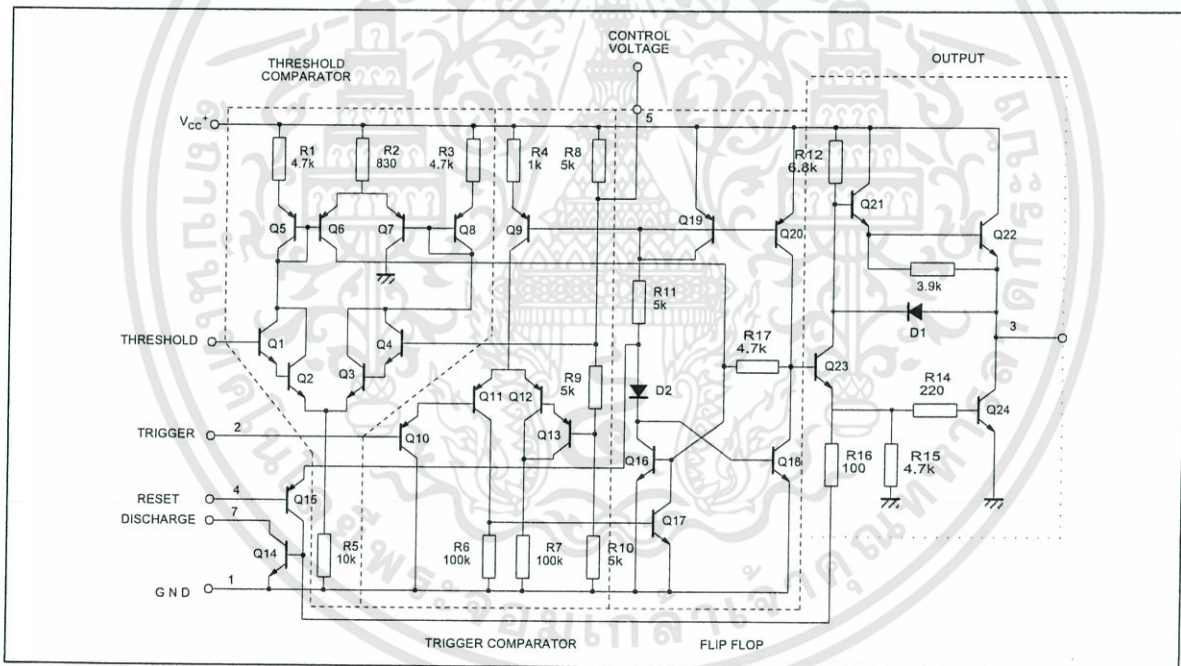


NE555/SA555/SE555

BLOCK DIAGRAM



SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	18	V
T _{oper}	Operating Free Air Temperature Range	0 to 70 -40 to 105 -55 to 125	°C
T _j	Junction Temperature	150	°C
T _{stg}	Storage Temperature Range	-65 to 150	°C

OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	SE555	NE555 - SA555	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	4.5 to 18	4.5 to 18	V
$V_{th}, V_{trig}, V_{cl}, V_{reset}$	Maximum Input Voltage	V_{CC}	V_{CC}	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$T_{amb} = +25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	SE555			NE555 - SA555			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
I_{CC}	Supply Current ($R_L \infty$) (- note 1)							mA
	Low State $V_{CC} = +5\text{V}$		3	5		3	6	
	High State $V_{CC} = +15\text{V}$		10	12		10	15	
	Timing Error (monostable) ($R_A = 2\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$)							% ppm/ $^{\circ}\text{C}$ %/V
	Initial Accuracy - (note 2)		0.5	2		1	3	
	Drift with Temperature		30	100		50		
	Drift with Supply Voltage		0.05	0.2		0.1	0.5	
	Timing Error (astable) ($R_A, R_B = 1\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, $V_{CC} = +15\text{V}$)							% ppm/ $^{\circ}\text{C}$ %/V
	Initial Accuracy - (note 2)		1.5			2.25		
	Drift with Temperature		90			150		
	Drift with Supply Voltage		0.15			0.3		
V_{CL}	Control Voltage level							V
	$V_{CC} = +15\text{V}$ $V_{CC} = +5\text{V}$	9.6 2.9	10 3.33	10.4 3.8	9 2.6	10 3.33	11 4	
V_{th}	Threshold Voltage							V
	$V_{CC} = +15\text{V}$ $V_{CC} = +5\text{V}$	9.4 2.7	10 3.33	10.6 4	8.8 2.4	10 3.33	11.2 4.2	
I_{th}	Threshold Current - (note 3)		0.1	0.25		0.1	0.25	μA
V_{trig}	Trigger Voltage							V
	$V_{CC} = +15\text{V}$ $V_{CC} = +5\text{V}$	4.8 1.45	5 1.67	5.2 1.9	4.5 1.1	5 1.67	5.6 2.2	
I_{trig}	Trigger Current ($V_{trig} = 0\text{V}$)		0.5	0.9		0.5	2.0	μA
V_{reset}	Reset Voltage - (note 4)	0.4	0.7	1	0.4	0.7	1	V
I_{reset}	Reset Current							mA
	$V_{reset} = +0.4\text{V}$ $V_{reset} = 0\text{V}$		0.1 0.4	0.4 1		0.1 0.4	0.4 1.5	
V_{OL}	Low Level Output Voltage							V
	$V_{CC} = +15\text{V}$, $I_{O(sink)} = 10\text{mA}$		0.1	0.15		0.1	0.25	
	$I_{O(sink)} = 50\text{mA}$		0.4	0.5		0.4	0.75	
	$I_{O(sink)} = 100\text{mA}$		2	2.2		2	2.5	
	$I_{O(sink)} = 200\text{mA}$		2.5			2.5		
	$V_{CC} = +5\text{V}$, $I_{O(sink)} = 8\text{mA}$		0.1	0.25		0.3	0.4	
$I_{O(sink)} = 5\text{mA}$		0.05	0.2		0.25	0.35		
V_{OH}	High Level Output Voltage							V
	$V_{CC} = +15\text{V}$, $I_{O(source)} = 200\text{mA}$	13	12.5			12.5		
	$I_{O(source)} = 100\text{mA}$		13.3		12.75	13.3		
	$V_{CC} = +5\text{V}$, $I_{O(source)} = 100\text{mA}$	3	3.3		2.75	3.3		

- Notes :
1. Supply current when output is high is typically 1mA less.
 2. Tested at $V_{CC} = +5\text{V}$ and $V_{CC} = +15\text{V}$.
 3. This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for +15V operation the max total is $R = 20\text{M}\Omega$ and for 5V operation the max total $R = 3.5\text{M}\Omega$.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	SE555			NE555 - SA555			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
$I_{dis(off)}$	Discharge Pin Leakage Current (output high) ($V_{dis} = 10V$)		20	100		20	100	nA
$V_{dis(sat)}$	Discharge pin Saturation Voltage (output low) - (note 5) $V_{CC} = +15V, I_{dis} = 15mA$ $V_{CC} = +5V, I_{dis} = 4.5mA$		180 80	480 200		180 80	480 200	mV
t_r t_f	Output Rise Time Output Fall Time		100 100	200 200		100 100	300 300	ns
t_{off}	Turn off Time - (note 6) ($V_{reset} = V_{CC}$)		0.5			0.5		μs

Notes : 5. No protection against excessive Pin 7 current is necessary, providing the package dissipation rating will not be exceeded.
6. Time measured from a positive going input pulse from 0 to $0.8 \times V_{CC}$ into the threshold to the drop from high to low of the output trigger is tied to threshold.

Figure 1 : Minimum Pulse Width Required for Trigering

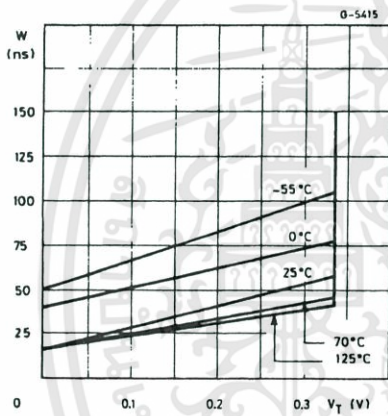


Figure 2 : Supply Current versus Supply Voltage

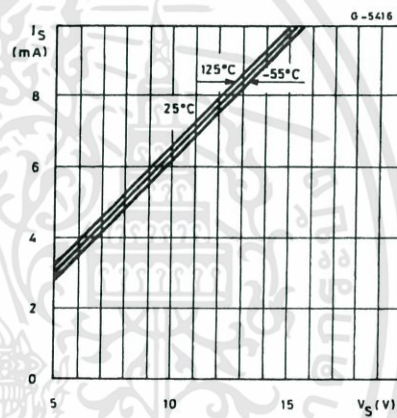


Figure 3 : Delay Time versus Temperature

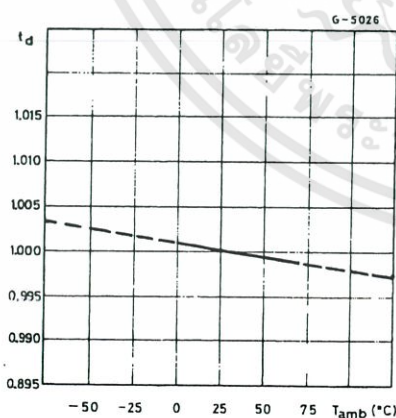


Figure 4 : Low Output Voltage versus Output Sink Current

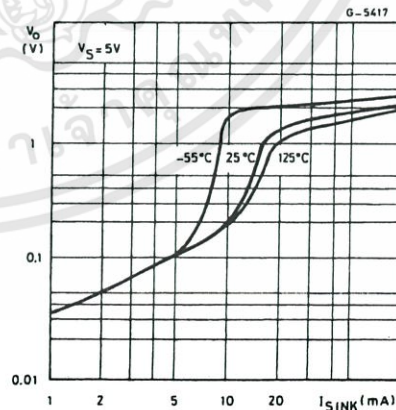


Figure 5 : Low Output Voltage versus Output Sink Current

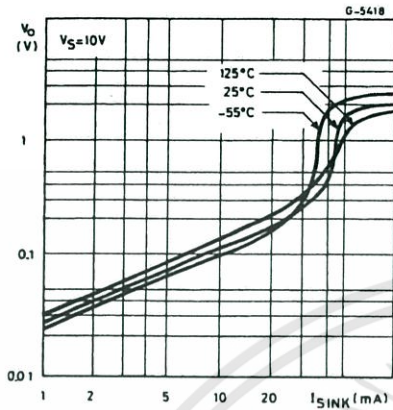


Figure 6 : Low Output Voltage versus Output Sink Current

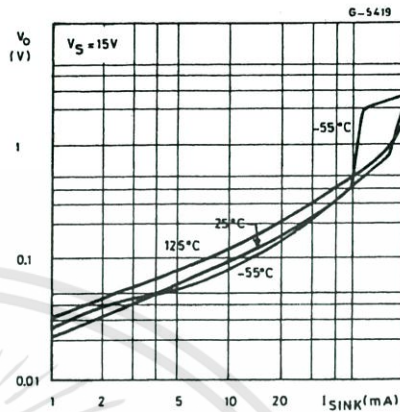


Figure 7 : High Output Voltage Drop versus Output

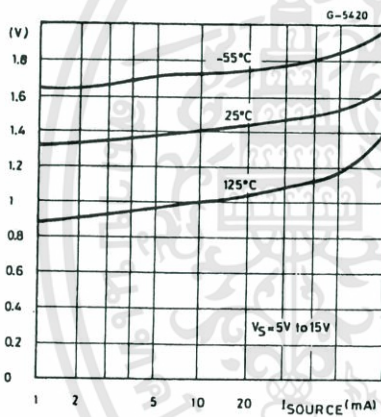


Figure 8 : Delay Time versus Supply Voltage

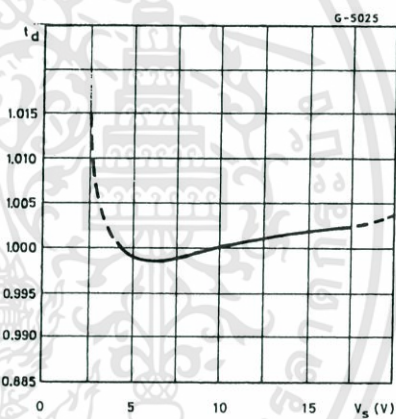
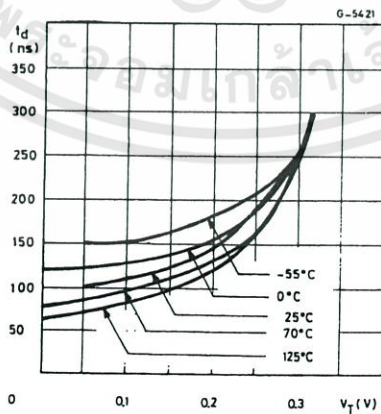


Figure 9 : Propagation Delay versus Voltage Level of Trigger Value

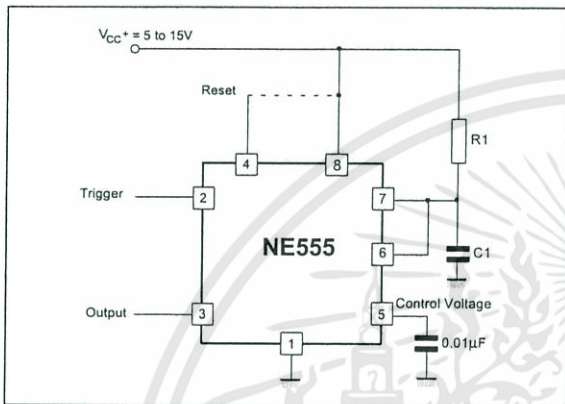


APPLICATION INFORMATION

MONOSTABLE OPERATION

In the monostable mode, the timer functions as a one-shot. Referring to figure 10 the external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer.

Figure 10



The circuit triggers on a negative-going input signal when the level reaches $1/3 V_{cc}$. Once triggered, the circuit remains in this state until the set time has elapsed, even if it is triggered again during this interval. The duration of the output HIGH state is given by $t = 1.1 R_1 C_1$ and is easily determined by figure 12.

Notice that since the charge rate and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply. Applying a negative pulse simultaneously to the reset terminal (pin 4) and the trigger terminal (pin 2) during the timing cycle discharges the external capacitor and causes the cycle to start over. The timing cycle now starts on the positive edge of the reset pulse. During the time the reset pulse is applied, the output is driven to its LOW state.

When a negative trigger pulse is applied to pin 2, the flip-flop is set, releasing the short circuit across the external capacitor and driving the output HIGH. The voltage across the capacitor increases exponentially with the time constant $\tau = R_1 C_1$. When the voltage across the capacitor equals $2/3 V_{cc}$, the comparator resets the flip-flop which then discharge the capacitor rapidly and drives the output to its LOW state.

Figure 11 shows the actual waveforms generated in this mode of operation.

When Reset is not used, it should be tied high to avoid any possibly or false triggering.

Figure 11

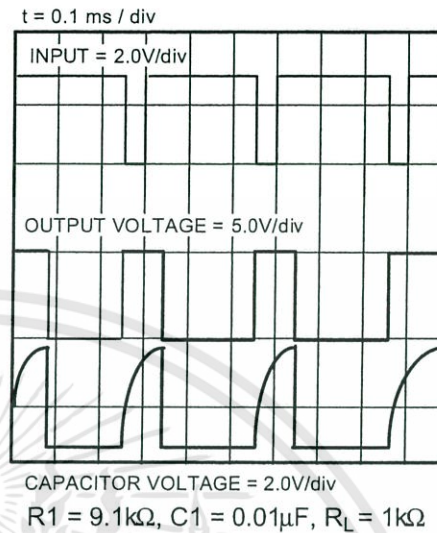
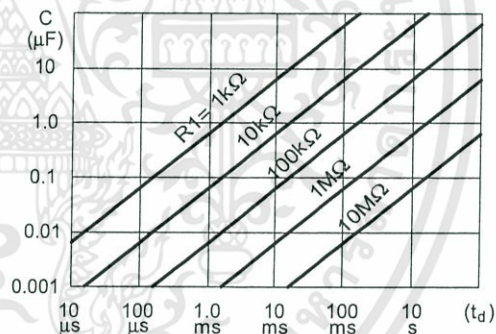


Figure 12



ASTABLE OPERATION

When the circuit is connected as shown in figure 13 (pin 2 and 6 connected) it triggers itself and free runs as a multivibrator. The external capacitor charges through R_1 and R_2 and discharges through R_2 only. Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.

In the astable mode of operation, C_1 charges and discharges between $1/3 V_{cc}$ and $2/3 V_{cc}$. As in the triggered mode, the charge and discharge times and therefore frequency are independent of the supply voltage.

Figure 13

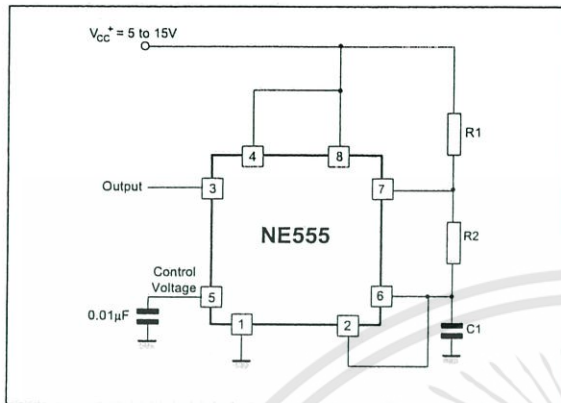


Figure 14 shows actual waveforms generated in this mode of operation.

The charge time (output HIGH) is given by :

$$t_1 = 0.693 (R_1 + R_2) C_1$$

and the discharge time (output LOW) by :

$$t_2 = 0.693 (R_2) C_1$$

Thus the total period T is given by :

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_1 + 2R_2) C_1$$

The frequency of oscillation is them :

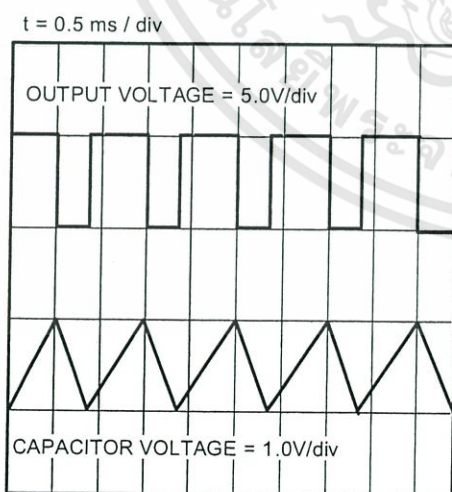
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2) C_1}$$

and may be easily found by figure 15.

The duty cycle is given by :

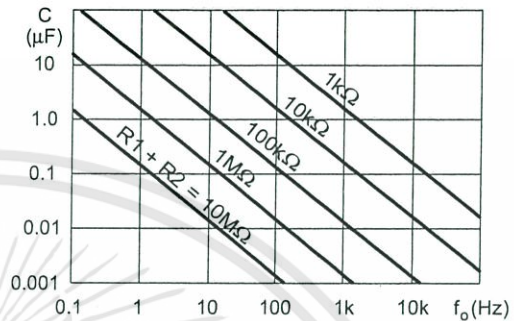
$$D = \frac{R_2}{R_1 + 2R_2}$$

Figure 14



$R_1 = R_2 = 4.8k\Omega$, $C_1 = 0.1\mu F$, $R_L = 1k\Omega$

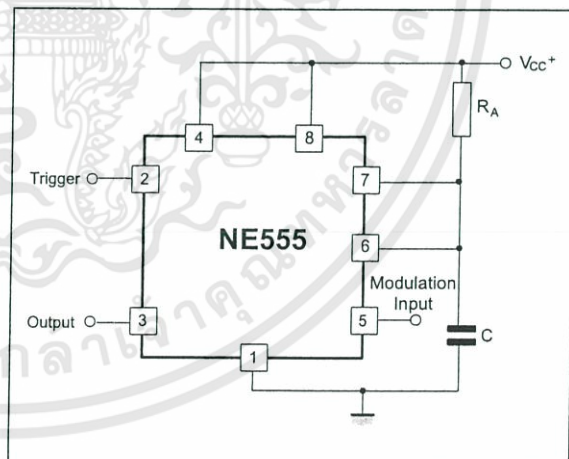
Figure 15 : Free Running Frequency versus R_1 , R_2 and C_1



PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. Figure 16 shows the circuit.

Figure 16 : Pulse Width Modulator.



LINEAR RAMP

When the pullup resistor, R_A , in the monostable circuit is replaced by a constant current source, a linear ramp is generated. Figure 17 shows a circuit configuration that will perform this function.

Figure 17.

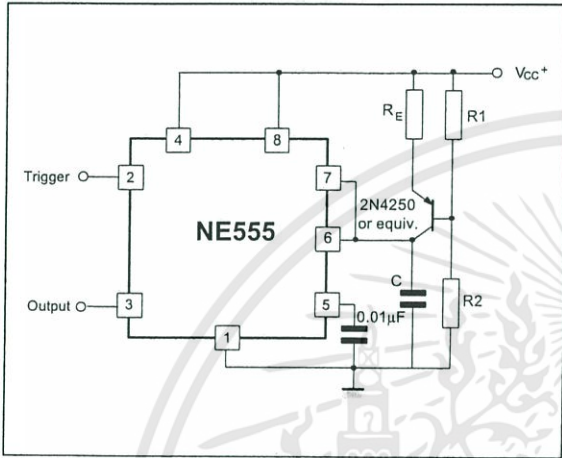
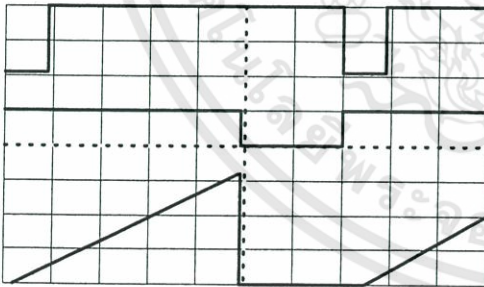


Figure 18 shows waveforms generated by the linear ramp.

The time interval is given by :

$$T = \frac{(2/3 V_{CC} R_E (R_1 + R_2) C)}{R_1 V_{CC} - V_{BE} (R_1 + R_2)} \quad V_{BE} = 0.6V$$

Figure 18 : Linear Ramp.



$V_{CC} = 5V$
 Time = 20µs/DIV
 $R_1 = 47k\Omega$
 $R_2 = 100k\Omega$
 $R_E = 2.7k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top trace : input 3V/DIV
 Middle trace : output 5V/DIV
 Bottom trace : output 5V/DIV
 Bottom trace : capacitor voltage 1V/DIV

50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle the resistors R_A and R_E may be connected as in figure 19. The time period for the output high is the same as previous,

$$t_1 = 0.693 R_A C.$$

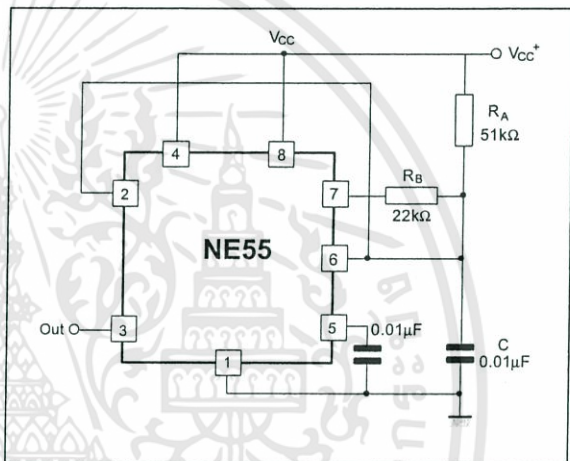
For the output low it is $t_2 =$

$$\left[\frac{R_A R_B}{(R_A + R_B)} \right] C \ln \left[\frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A} \right]$$

Thus the frequency of oscillation is $f = \frac{1}{t_1 + t_2}$

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater

Figure 19 : 50% Duty Cycle Oscillator.

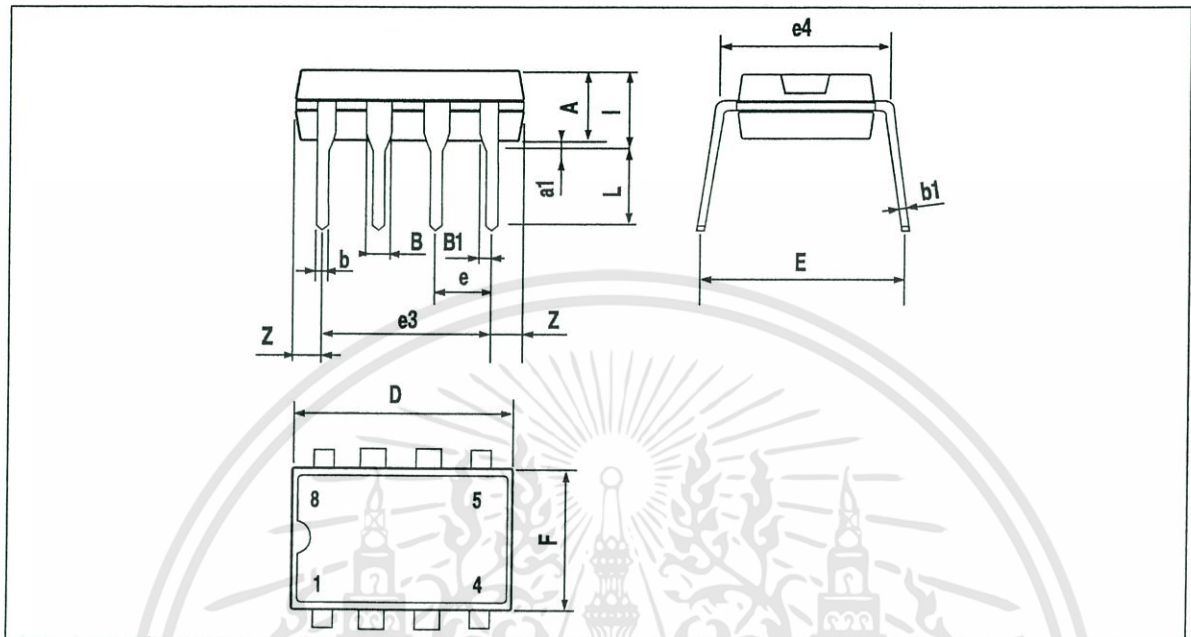


than $1/2 R_A$ because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to $1/3 V_{CC}$ and trigger the lower comparator.

ADDITIONAL INFORMATION

Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is $0.1\mu F$ in parallel with $1\mu F$ electrolytic.

PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC DIP

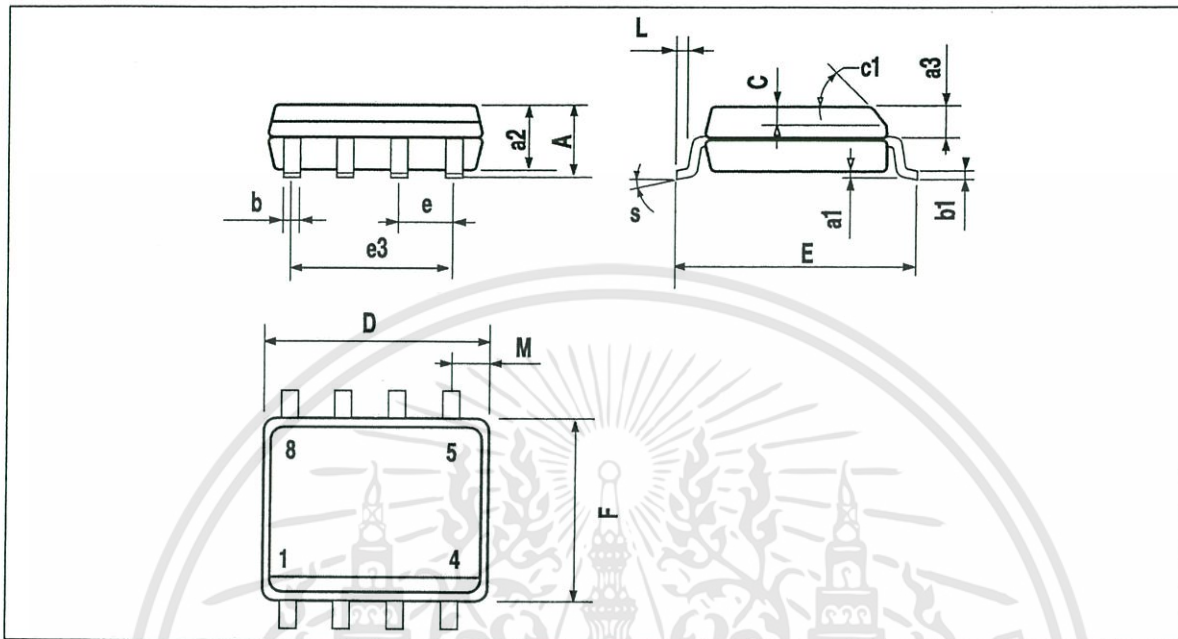


PM-DIP8 EPS

Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
a1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54			0.100	
e3		7.62			0.300	
e4		7.62			0.300	
F			6.6			0.260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060

DIP8 TBL

PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



PM-SC08.EPS

Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.010
a2			1.65			0.065
a3	0.65		0.85	0.026		0.033
b	0.35		0.48	0.014		0.019
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C	0.25		0.5	0.010		0.020
c1			45° (typ.)			
D	4.8		5.0	0.189		0.197
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		3.81			0.150	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.6			0.024
S			8° (max.)			

SO8.TBL

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a trademark of STMicroelectronics

© 1998 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - France - Germany - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Mexico - Morocco
The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

ORDER CODE :



This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PC817 Series

High Density Mounting Type Photocoupler

* Lead forming type (I type) and taping reel type (P type) are also available. (PC817I/PC817P)
 ** TÜV (VDE0884) approved type is also available as an option.

■ Features

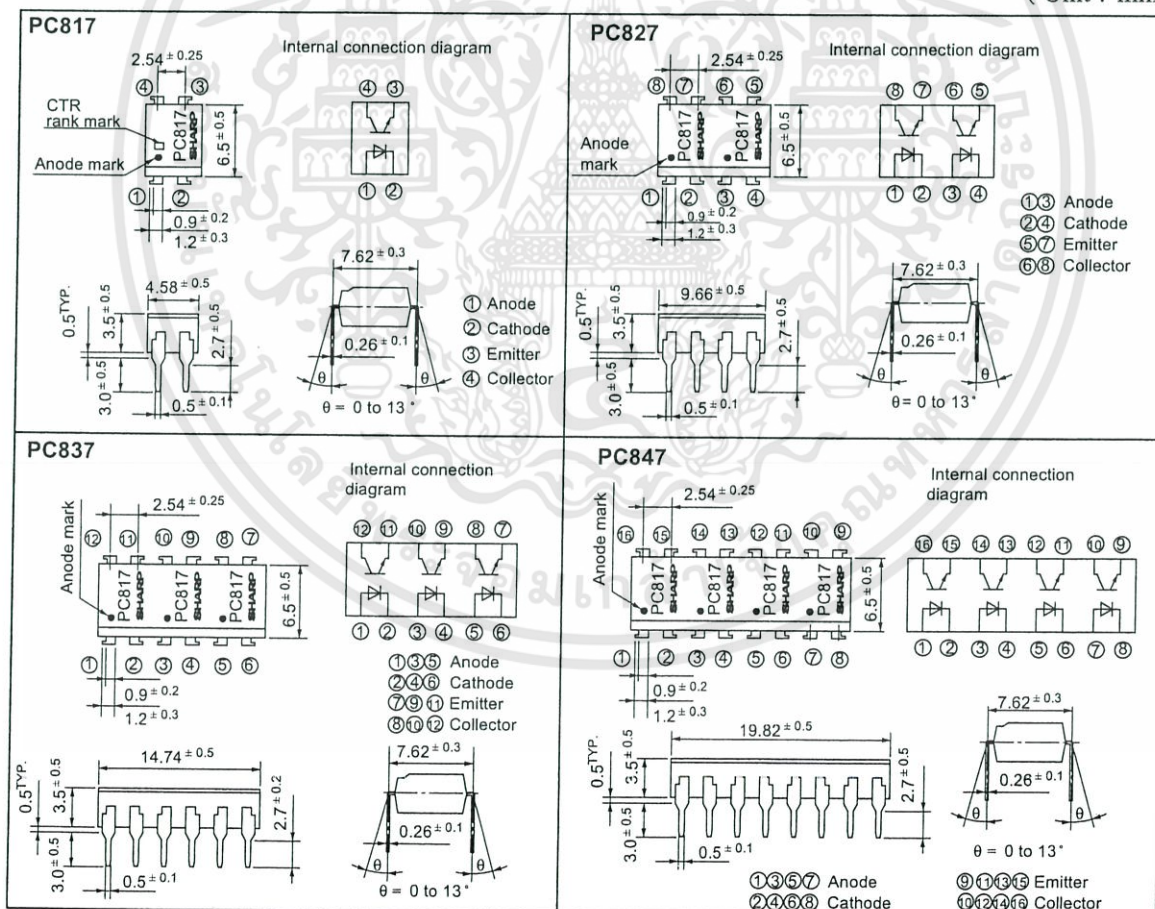
1. Current transfer ratio
 (CTR: MIN. 50% at $I_F = 5\text{mA}$, $V_{CE} = 5\text{V}$)
2. High isolation voltage between input and output (V_{iso} : 5 000V_{rms})
3. Compact dual-in-line package
 PC817 : 1-channel type
 PC827 : 2-channel type
 PC837 : 3-channel type
 PC847 : 4-channel type
4. Recognized by UL, file No. E64380

■ Applications

1. Computer terminals
2. System appliances, measuring instruments
3. Registers, copiers, automatic vending machines
4. Electric home appliances, such as fan heaters, etc.
5. Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

■ Outline Dimensions

(Unit : mm)



"In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that occur in equipment using any of SHARP's devices, shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest version of the device specification sheets before using any SHARP's device."

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่การณืใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำป้ไปใช้

Absolute Maximum Ratings

(Ta = 25°C)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Input	Forward current	I _F	50 mA
	*1 Peak forward current	I _{FM}	1 A
	Reverse voltage	V _R	6 V
	Power dissipation	P	70 mW
Output	Collector-emitter voltage	V _{CEO}	35 V
	Emitter-collector voltage	V _{ECO}	6 V
	Collector current	I _C	50 mA
	Collector power dissipation	P _C	150 mW
	Total power dissipation	P _{tot}	200 mW
*2 Isolation voltage	V _{iso}	5 000	V _{rms}
Operating temperature	T _{opr}	-30 to +100	°C
Storage temperature	T _{stg}	-55 to +125	°C
*3 Soldering temperature	T _{sol}	260	°C

*1 Pulse width <= 100μs, Duty ratio : 0.001

*2 40 to 60% RH, AC for 1 minute

*3 For 10 seconds

Electro-optical Characteristics

(Ta = 25°C)

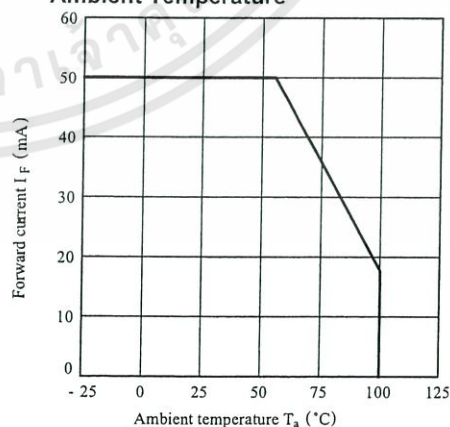
Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Input	Forward voltage	V _F I _F = 20mA	-	1.2	1.4	V
	Peak forward voltage	V _{FM} I _{FM} = 0.5A	-	-	3.0	V
	Reverse current	I _R V _R = 4V	-	-	10	μA
	Terminal capacitance	C _t V = 0, f = 1kHz	-	30	250	pF
Output	Collector dark current	I _{CEO} V _{CE} = 20V	-	-	10 ⁻⁷	A
	*4 Current transfer ratio	CTR I _F = 5mA, V _{CE} = 5V	50	-	600	%
Transfer characteristics	Collector-emitter saturation voltage	V _{CE(sat)} I _F = 20mA, I _C = 1mA	-	0.1	0.2	V
	Isolation resistance	R _{iso} DC500V, 40 to 60% RH	5 x 10 ¹⁰	10 ¹¹	-	Ω
	Floating capacitance	C _f V = 0, f = 1MHz	-	0.6	1.0	pF
	Cut-off frequency	f _c V _{CE} = 5V, I _C = 2mA, R _L = 100Ω, -3dB	-	80	-	kHz
			Response time	Rise time	t _r	-
	Fall time	t _f	-	3	18	μs

*4 Classification table of current transfer ratio is shown below.

Model No.	Rank mark	CTR (%)
PC817A	A	80 to 160
PC817B	B	130 to 260
PC817C	C	200 to 400
PC817D	D	300 to 600
PC8*7AB	A or B	80 to 260
PC8*7BC	B or C	130 to 400
PC8*7CD	C or D	200 to 600
PC8*7AC	A, B or C	80 to 400
PC8*7BD	B, C or D	130 to 600
PC8*7AD	A, B, C or D	80 to 600
PC8*7	A, B, C, D or No mark	50 to 600

* : 1 or 2 or 3 or 4

Fig. 1 Forward Current vs. Ambient Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 2 Collector Power Dissipation vs. Ambient Temperature

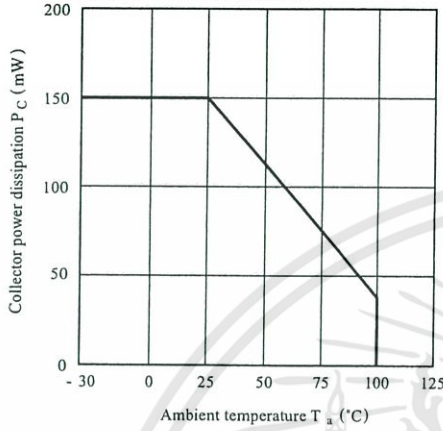


Fig. 3 Peak Forward Current vs. Duty Ratio

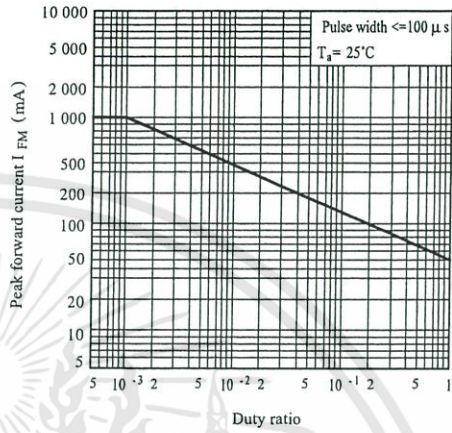


Fig. 4 Current Transfer Ratio vs. Forward Current

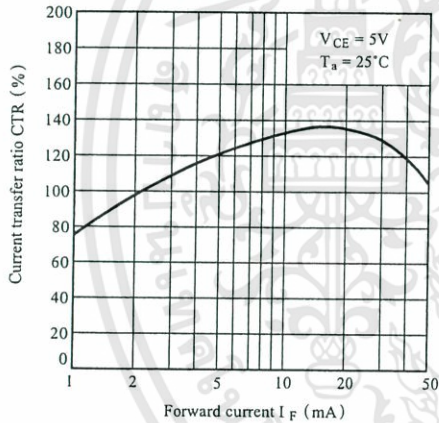


Fig. 5 Forward Current vs. Forward Voltage

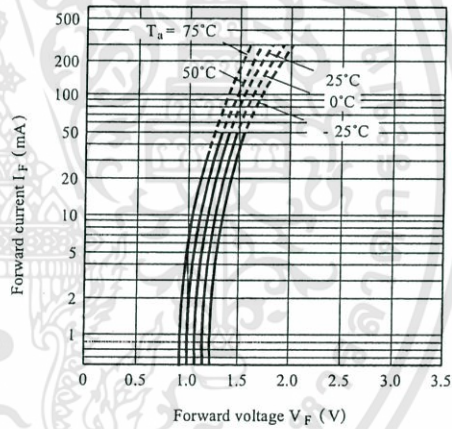


Fig. 6 Collector Current vs. Collector-emitter Voltage

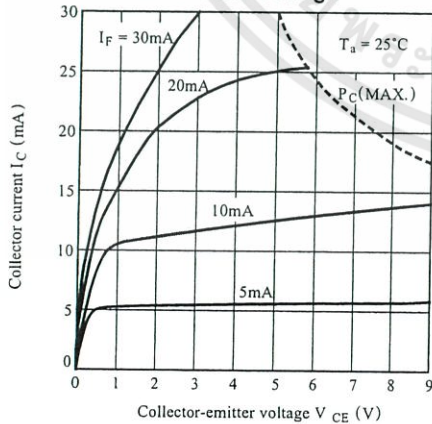


Fig. 7 Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature

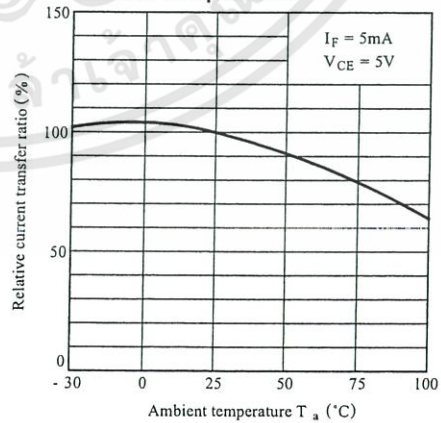


Fig. 8 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Ambient Temperature

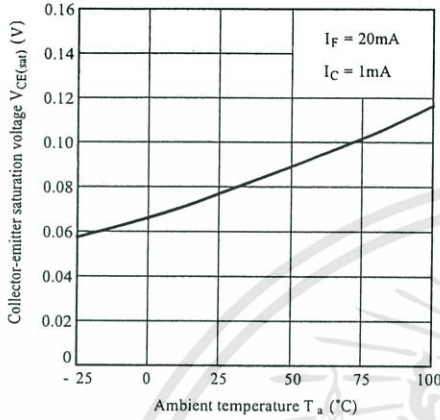


Fig. 9 Collector Dark Current vs. Ambient Temperature

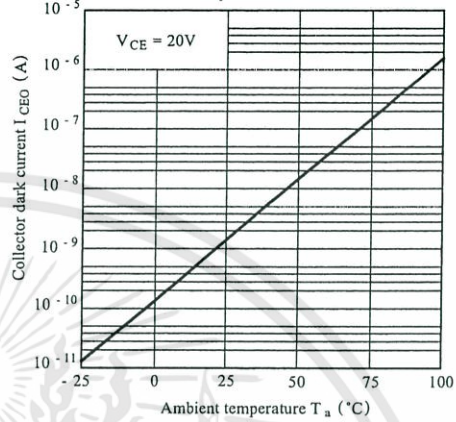


Fig.10 Response Time vs. Load Resistance

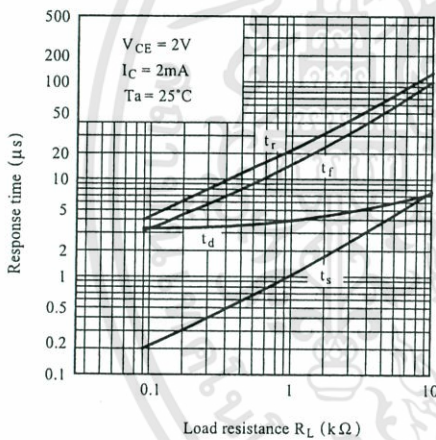
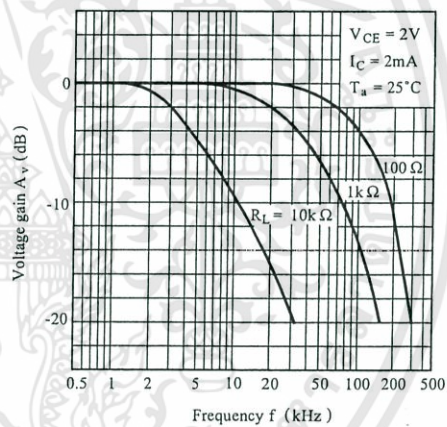
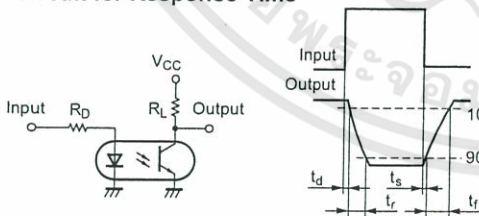


Fig.11 Frequency Response



Test Circuit for Response Time



Test Circuit for Frequency Response

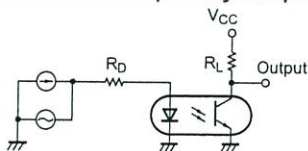
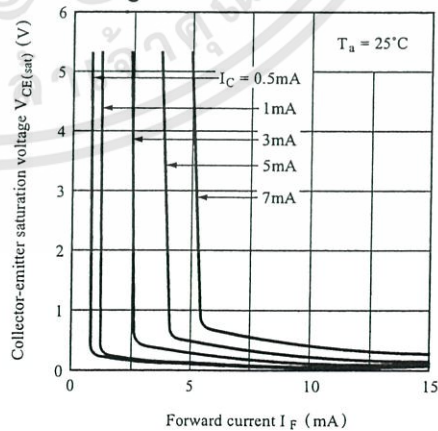


Fig.12 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Forward Current



● Please refer to the chapter “Precautions for Use”

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า

Power Line Communication system

อธิป ทองคำสุข อนุฤกษ์ศักดิ์ ยืนอึ้ง และ อาทิตย์ รัตนศรี
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร 02-329-8000 ต่อ 3925

บทคัดย่อ

โครงการนี้พัฒนาระบบสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ากำลังซึ่งสามารถส่งข้อมูลผ่านสายเคเบิลไฟฟ้าได้ ตัวแปลงการส่งและตัวรับถูกพัฒนาขึ้นเพื่อการสื่อสารและถูกใช้เพื่อควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าระยะไกล ข้อดีของวิธีนี้คือราคาถูก วิธีการง่ายต่อการใช้และสามารถส่งข้อมูลระยะไกลได้ จากผลการจำลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในความสำเร็จในการสื่อสารแบบดิจิทัล และความคงทนต่อสัญญาณรบกวนแบบแลนดอม (random)

คำสำคัญ: การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ากำลัง

Abstract

This project develops a power line communication system which can send the data via power line cable. The receiver and transmitter adapters are develops to perform the communication, and are used to remotely control the equipment. The main advantages of the system are low cost, flexible method and long distance of communication. As seen in the simulation results, the success of digital data transfer and the robustness against random noise the developed system are clearly shown.

Keyword: Power Line Communication (PLC)

1. บทนำ

เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (PLC) คือการสื่อสารข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าโดยการใส่สัญญาณ (modulate) คลื่นพาห้ (carrier) ไปกับสัญญาณไฟฟ้าการใช้งานการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ามีทั้งในส่วนของการสื่อสารข้อมูลผ่านสายส่งแรงดันสูง (High Voltage), สายกระจายแรงดันปานกลาง (Medium Voltage) และสายจำหน่ายแรงดันต่ำ (Low Voltage) โดยทั่วไปจะมีการใช้งานการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าแยกกันในแต่ละส่วน แต่ก็มีความที่การใช้งานข้ามส่วนหรือระดับของแรงดัน อัตราเร็วและพื้นที่ครอบคลุมของการใช้งานการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ามีหลายระดับขึ้นอยู่กับย่านความถี่ของคลื่นพาห้ที่ใช้งาน การใช้คลื่นพาห้ความถี่สูงจะทำให้อัตราเร็วของการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแต่พื้นที่ครอบคลุม

จะลดลง ตัวอย่างเช่น การใช้งานการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าความเร็วสูง (Mbps) ผ่านสายไฟฟ้าภายในอาคารจะมีพื้นที่ครอบคลุมจำกัดเพียงประมาณ 1 ชั้น ในขณะที่การใช้งาน การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าความเร็วปานกลาง (kbps) ส่งข้อมูลผ่านสายส่งแรงดันสูงเพื่อวัตถุประสงค์ระบบไฟฟ้าจะสามารถใช้งานได้เป็นระยะทางหลายไมล์ ดังนั้นจึงสามารถแบ่งประเภทของเทคโนโลยีการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ากำลังออกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามย่านความถี่ของคลื่นพาห้ที่ใช้งานได้ดังนี้

1.1 การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าความถี่ต่ำ (Narrowband PLC)

เป็นการใช้งานการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าในย่านความถี่ต่ำ (3-600 kHz) มีอัตราการส่งข้อมูลในช่วง 10-500 kbps ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานวัดคุมในระบบไฟฟ้าอย่างแพร่หลาย เช่น ควบคุมคอมพิวเตอร์ระยะไกล (Remote Connection), ระบบป้องกัน (Protection Relay) และ การจัดการพลังงาน (Energy Management) รวมถึงเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลที่สำคัญของระบบมิเตอร์อัจฉริยะ (Advanced Metering Infrastructure) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) ในอนาคต

1.2 การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าความถี่สูง (Broadband PLC)

เป็นการใช้งานการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าในย่านความถี่สูง (1.8-250 MHz) มีอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดถึงระดับ Gbps ถูกประยุกต์ใช้เพื่อให้บริการเทคโนโลยีการส่งข้อมูลความเร็วสูงผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Broadband Internet) ผ่านสายไฟฟ้า หรือ ระบบเครือข่ายไฟฟ้าภายในบ้าน (Home Networking) โดยผู้ใช้เพียงเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ากับอุปกรณ์สื่อสารผ่านสายไฟฟ้าความเร็วสูงและเสียบปลั๊กไฟก็สามารถใช้งานอินเทอร์เน็ตได้ทันทีโดยไม่ต้องเดินสายเคเบิลเพิ่มเติมอย่างไรก็ตาม การใช้งานเทคโนโลยีการส่งข้อมูลความเร็วสูงผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Broadband Internet) มีข้อจำกัดที่สำคัญซึ่ง ได้แก่ สัญญาณรบกวนภายในสายไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งส่งผลกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

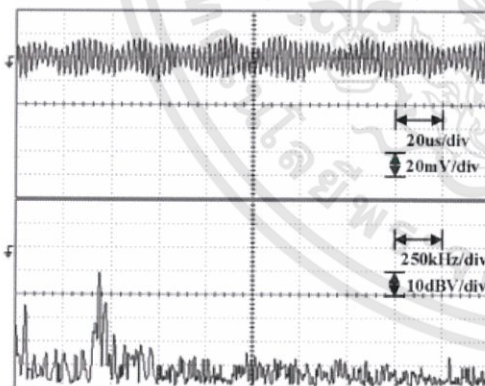
ต่อคุณภาพของสัญญาณการส่งข้อมูลความเร็วสูงผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (BPL) และในทางกลับกันสัญญาณการส่งข้อมูลความเร็วสูงผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (BPL) จะเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนไปยังระบบสื่อสารอื่นๆ ที่ใช้งานย่านความถี่เดียวกัน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

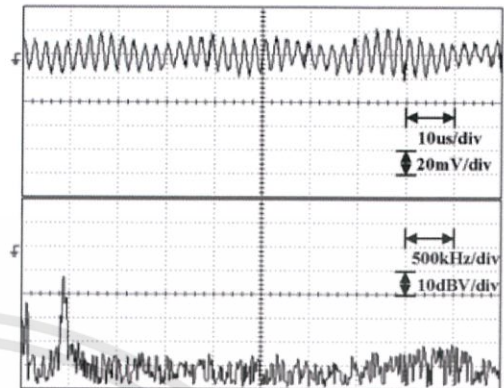
2.1 วิเคราะห์สัญญาณรบกวนในสายไฟฟ้ากำลัง

ในการรับ-ส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้ากำลังนั้นต้องทำการศึกษา ระดับสัญญาณรบกวนและช่วงความถี่ของสัญญาณรบกวนภายในระบบก่อน (Tanaka, 1988)[1] เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงช่วงความถี่ที่มีระดับสัญญาณรบกวนสูง และเพื่อเลือกช่วงความถี่ของคลื่นพาหะที่จะใช้มอดูเลตสัญญาณข้อมูลให้สามารถส่งผ่านสายไฟฟ้ากำลังได้ทำการวัดสัญญาณรบกวนที่มีอยู่ในระบบสายส่งกำลังด้วยออสซิลโลสโคปในช่วงความถี่ต่างๆสัญญาณรบกวนที่มีในระบบสายส่งกำลังวัดได้(รูปที่ 1และ2)ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวน ความถี่ตั้งแต่0-5MHz

จากการวิเคราะห์สัญญาณรบกวนจะเห็นว่าช่วงความถี่400-700kHzมีระดับสัญญาณรบกวนที่สูงคือประมาณ20-50dBV ทำให้ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นความถี่ของคลื่นพาหะของระบบรับส่งสัญญาณส่วนความถี่ตั้งแต่ 1-5MHzนั้นมีระดับสัญญาณรบกวนประมาณ10-18dBVเท่านั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นความถี่ของคลื่นพาหะของระบบรับส่งสัญญาณ และนำมามอดูเลตสัญญาณข้อมูลเข้าไปในสายไฟฟ้า



รูปที่ 1 สัญญาณรบกวน 0-2.5 kHz

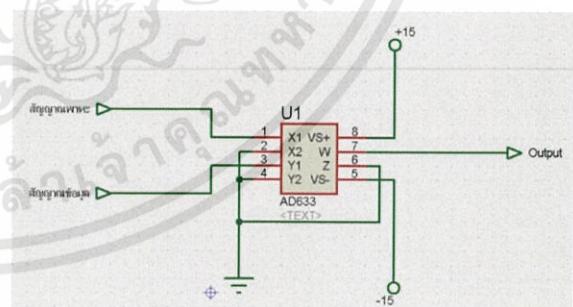


รูปที่ 2 สัญญาณรบกวน 0-5 kHz

2.2 การมอดูเลตสัญญาณ

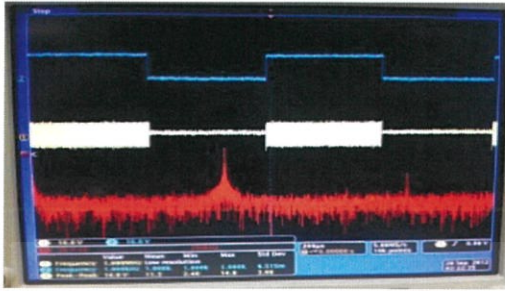
จากการวิเคราะห์สัญญาณรบกวนภายในระบบทำให้สามารถเลือกใช้คลื่นพาหะความถี่ในช่วง 140 กิโลเฮิร์ตซ์ เนื่องจากทำให้สามารถส่งสัญญาณไปได้ไกลกว่าเมื่อเทียบกับความถี่ที่สูงกว่า นอกจากนี้สามารถหาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาใช้สร้างวงจรรับส่งได้ง่ายโดยใช้ไอซี AD633 เป็นวงจรมอดูเลตสัญญาณโดยมีวงจรใช้งานในภาคส่งสัญญาณ (รูปที่ 3) มีผลการทดลองวงจร (รูปที่ 4)

จากรูปที่ 4 สัญญาณที่ 1 คือสัญญาณข้อมูล (Data) สัญญาณที่ 2 คือสัญญาณมอดูเลต (Modulation) กับสัญญาณพาหะ (carrier) 140 กิโลเฮิร์ตซ์ และสัญญาณที่ 3 คือสัญญาณในรูปแกนความถี่ (Frequency domain)

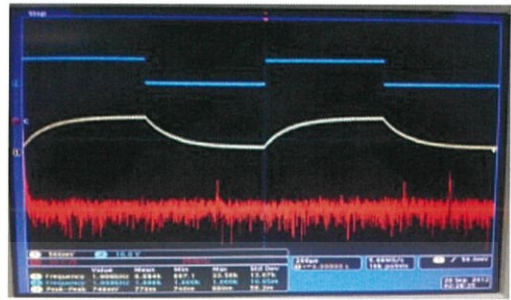


รูปที่ 3 วงจรมอดูเลตสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 สัญญาณมอดูเลต



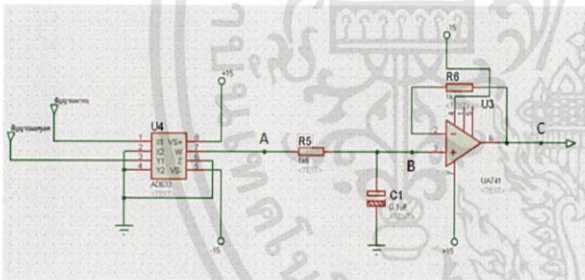
รูปที่ 7 สัญญาณคิมมอดูเลตที่จุด B

2.3 การคิมมอดูเลตสัญญาณ

วงจรรับสัญญาณข้อมูล (รูปที่ 5) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่รับมา ให้กลับเป็นสัญญาณข้อมูลโดยวงจรประกอบด้วยไอซี AD633 ทำหน้าที่เป็น วงจรคูณสัญญาณเพื่อให้ความถี่สัญญาณข้อมูลหรือความถี่เบสแบนด์ กลับคืน (รูปที่ 6) วงจรกรองความถี่ต่ำ (Lowpass Filter) ทำหน้าที่กรอง ความถี่ของสัญญาณพาหะออกจากสัญญาณข้อมูล (รูปที่ 7) และวงจร เปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) มีหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแอนาลอกเป็น สัญญาณดิจิทัล (รูปที่ 8) เพื่อให้ได้สัญญาณข้อมูลกลับคืนมา

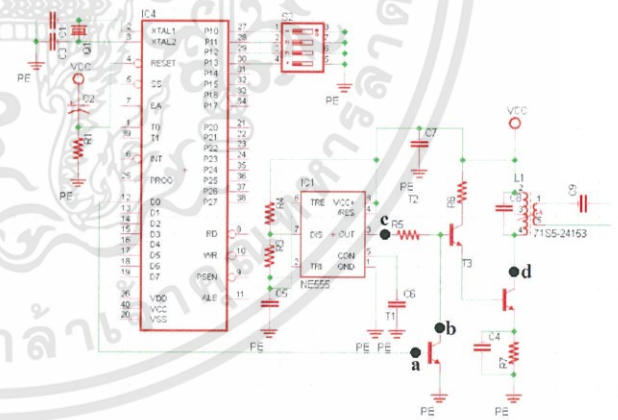


รูปที่ 8 สัญญาณคิมมอดูเลตที่จุด C

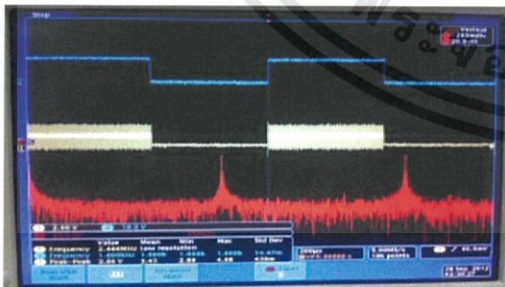


รูปที่ 5 วงจรคิมมอดูเลตสัญญาณ

3. การส่งสัญญาณผ่านสายส่งกำลัง



รูปที่ 9 วงจรส่งสัญญาณผ่านสายส่งกำลัง



รูปที่ 6 สัญญาณคิมมอดูเลตที่จุด A

เป็นวงจรที่ออกแบบให้ส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้า 220 โวลต์โดยไม่มี การรบกวนใดๆต่อเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยหลักการส่งคือ จะส่งข้อมูลใน รูปแบบการมอดูเลตระหว่างสัญญาณข้อมูลแบบดิจิทัลกับสัญญาณคลื่นพา ความถี่ 140 กิโลเฮิรตซ์ ที่สร้างขึ้นจากไอซี NE555 ข้อมูลดิจิทัล นั้นจะเป็น ลักษณะของเลขไบนารี เช่น 11010 10000

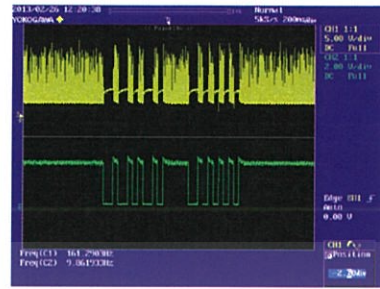
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์สัญญาณรบกวนและการทดสอบการส่งสัญญาณที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าสามารถใช้ความถี่คลื่นพาหะ 100 – 250 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อมอดูเลตกับสัญญาณข้อมูลได้ในที่นี้ได้เลือกใช้ความถี่ 140 กิโลเฮิร์ตซ์เนื่องจากเป็นช่วงความถี่ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าและสามารถส่งสัญญาณไปได้ไกลกว่าเมื่อเทียบกับความถี่ที่สูงกว่าโดยอาศัยหลักการที่ว่าในย่านความถี่สูงสายส่งจะมีคุณสมบัติคล้ายอินดักเตอร์ ซึ่งหากมีความถี่สูงขึ้นจะทำให้อิมพีแดนซ์สูงขึ้นตามด้วย จึงทำให้ระดับสัญญาณข้อมูลที่ส่งออกไปมีขนาดเล็กลง นอกจากนี้การทำงานของวงจรที่ความถี่ 140 กิโลเฮิร์ตซ์ นั้นสามารถหาอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้สร้างวงจรได้ง่าย

สัญญาณที่จุด a (รูปที่ 10 ส่วน) ของวงจรส่งสัญญาณเป็นสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่งไปยังสายส่งกำลังจากรูปจะเห็นว่าขนาดสัญญาณมีขนาดเล็กจึงต้องใช้ทรานซิสเตอร์ในการขยายสัญญาณที่จุด b (รูปที่ 10 บน) เพื่อขยายขนาดสัญญาณให้มีความแรงพอในการส่งผ่านสายส่งกำลัง

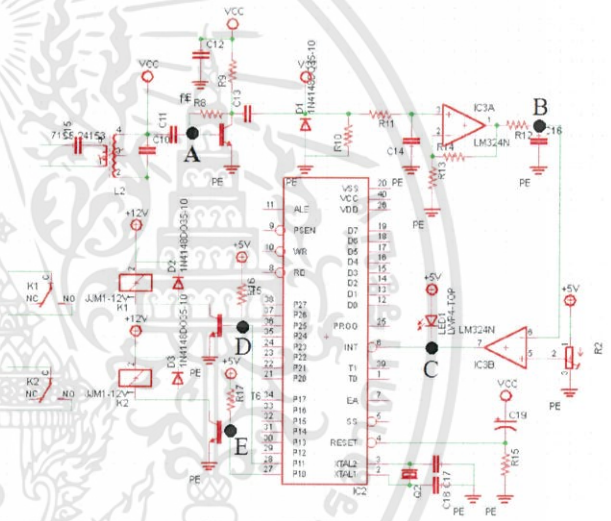
สัญญาณที่จุด c (รูปที่ 11) ของวงจรส่งสัญญาณเป็นสัญญาณคลื่นพาหะที่สร้างจากไอซี NE555 ที่มีความถี่ 140 กิโลเฮิร์ตซ์

สัญญาณที่จุด d (รูปที่ 12) ของวงจรส่งสัญญาณผ่านสายส่งกำลังเป็นสัญญาณมอดูเลตที่ถูกขยายสัญญาณ โดยทรานซิสเตอร์และหม้อแปลงความถี่ทางด้านหัตถิคุณิของหม้อแปลงต่อเข้ากับสายส่งกำลัง

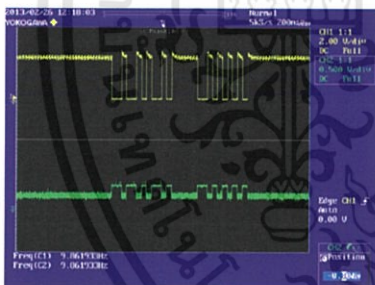


รูปที่ 12 สัญญาณมอดูเลตส่งผ่านสายส่งกำลังที่จุด d

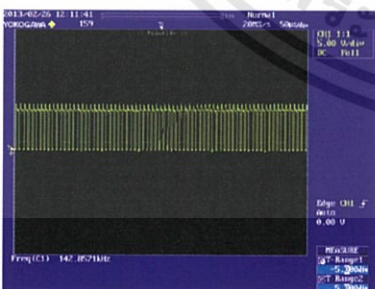
4. การรับสัญญาณจากสายส่งกำลัง



รูปที่ 13 วงจรรับสัญญาณจากสายส่งกำลัง



รูปที่ 10 สัญญาณข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จุด a และ b



รูปที่ 11 สัญญาณคลื่นพาหะที่จุด c

วงจรรับข้อมูลจากสายส่งกำลัง (รูปที่ 13) หม้อแปลงความถี่ทำหน้าที่รับสัญญาณข้อมูลจากสายส่งซึ่งเป็นสัญญาณพาหะที่มีข้อมูลรวมอยู่ด้วยจะถูกขยายสัญญาณด้วยทรานซิสเตอร์ Q1 จากนั้นสัญญาณจะผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อกรองความถี่คลื่นพาหะออกจากสัญญาณข้อมูลเป็นหลักการตีมอดูเลต โดยจะสร้างสัญญาณคืน โดยอาศัยกรอบ (Envelope Detector) จะได้สัญญาณข้อมูลที่มีขนาดไม่แน่นอนจากนั้นก็นำสัญญาณผ่านวงจรเปรียบเทียบโดยใช้ไอซี LM324N เพื่อให้สัญญาณมีค่าแรงดันที่แน่นอนในลักษณะของเลขไบนารีแล้วส่งข้อมูลเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลและสั่งงานต่อไป

สัญญาณที่จุด A (รูปที่ 14 บน) ของวงจรรับสัญญาณจากสายส่งกำลังเป็นสัญญาณมอดูเลตระหว่างสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณพาหะที่วงจรรับได้จากสายส่งกำลัง

สัญญาณที่จุด B (รูปที่ 14 ล่าง) ของวงจรรับสัญญาณจากสายส่งกำลังเป็นสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองความถี่เพื่อกรองความถี่พาหะออกจากสัญญาณข้อมูล

สัญญาณที่จุด C (รูปที่ 15 ล่าง) ของวงจรรับสัญญาณจากสายส่งกำลังเป็นสัญญาณที่ผ่านวงจรเปรียบเทียบแรงดันเพื่อให้สัญญาณมีระดับแรงดันที่แน่นอนเพื่อส่งสัญญาณเป็นเลข ไบนารีให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

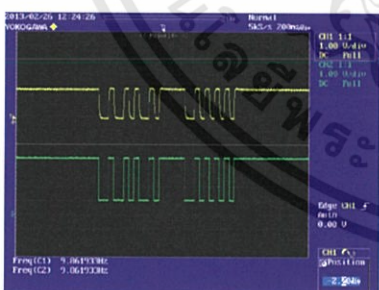
สัญญาณที่จุด D และ E (รูปที่ 16) ของวงจรภาครับสัญญาณจากสายส่งกำลังเป็นสัญญาณคำสั่งให้รีเลย์ทำงานเพื่อเปิดอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้า

สัญญาณที่จุด D และ E (รูปที่ 17) ของวงจรภาครับสัญญาณจากสายส่งกำลังเป็นสัญญาณคำสั่งให้รีเลย์ทำงานเพื่อปิดอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้า

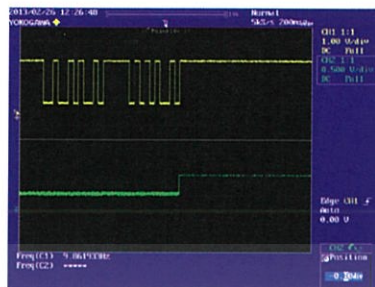
จากการรับและส่งข้อมูลผ่านสายส่งกำลังโดยใช้วงจรที่ได้ นำเสนอนี้สัญญาณข้อมูลที่ได้รับ (รูปที่ 15) จะเหมือนกับสัญญาณที่ส่งมาจากวงจรส่งสัญญาณ (รูปที่ 10) ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าการรับส่งข้อมูลไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นทำให้เหมาะในการนำระบบนี้ไปประยุกต์ใช้ในครัวเรือนหรือในโรงงานอุตสาหกรรมบางแห่งได้



รูปที่ 14 สัญญาณข้อมูลจากสายส่งกำลังที่จุด A และ B



รูปที่ 15 สัญญาณข้อมูลจากสายส่งกำลังที่จุด B และ C



รูปที่ 16 สัญญาณคำสั่งเปิดที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จุด D และ E



รูปที่ 17 สัญญาณคำสั่งปิดที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จุด D และ E

5. สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์และทดสอบระดับสัญญาณรบกวนภายในสายไฟฟ้า ทำให้ทราบระดับและช่วงความถี่ของสัญญาณรบกวนที่มีอยู่ภายในสายไฟฟ้าเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับระบบสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าทำให้สามารถเลือกความถี่ของคลื่นพาหะเพื่อนำไปใช้สำหรับกรอกแบบวงจรรับและส่งต่อไปได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณความช่วยเหลือจากผศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่คอยสนับสนุนเครื่องมือวัดต่างๆที่ใช้ในการทดลองและเพื่อนๆ ที่ได้ให้คำแนะนำ และคอยให้ความช่วยเหลือต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Tanaka,M.1988.High frequency noise powerspectrum,impedance and transmission loss of powerline in Japan on intra building power line communication. IEEE Transactions on Consumer Electronics 34(2): 321-326

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียนบทความ



ชื่อ-สกุล นายอริป ทองคำสุข
ประวัติการศึกษา
ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
ศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ-สกุล นายอนุกุลศักดิ์ ยืนยง
ประวัติการศึกษา
ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
ศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ชื่อ-สกุล อาทิจัย รัตนศรี
ประวัติการศึกษา
ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
ศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้