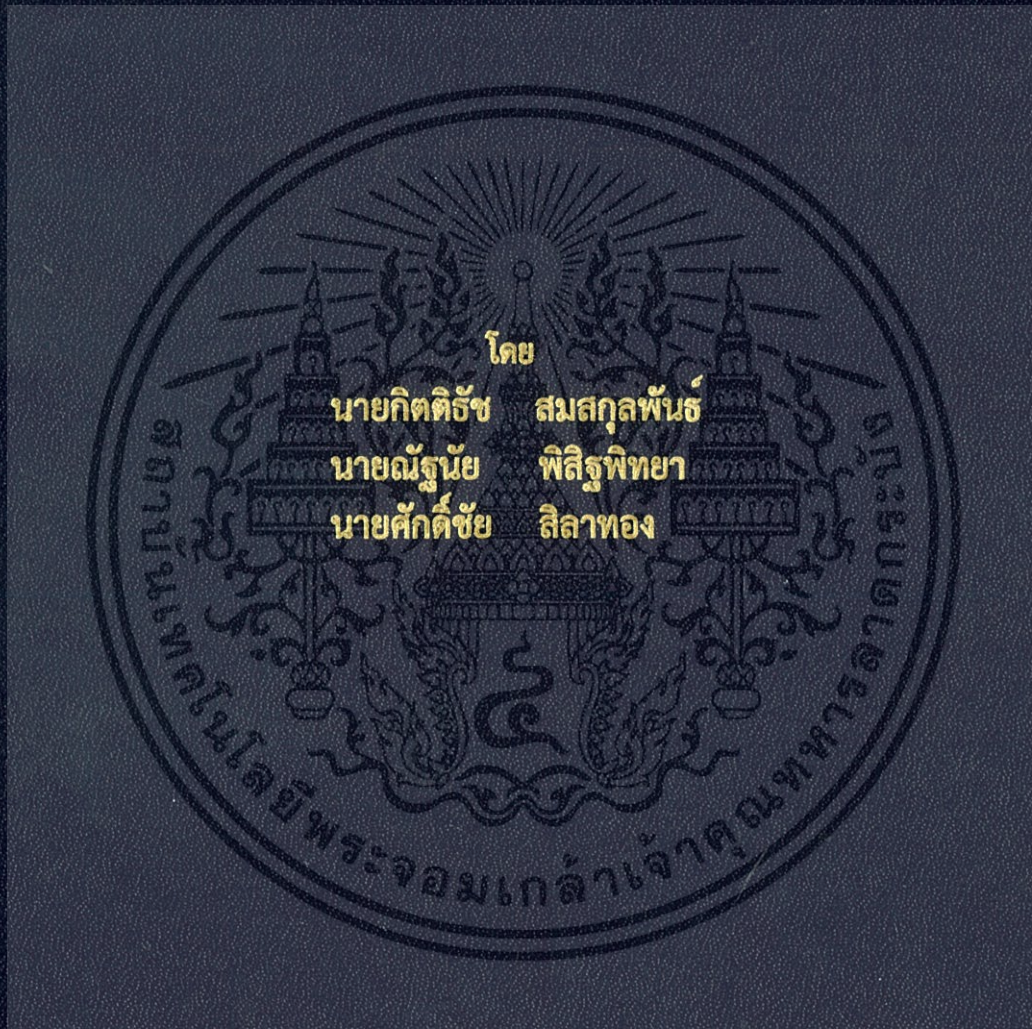


ระบบสื่อสารข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้า
DATA COMMUNICATION VIA AC POWERLINE



โดย

นายกิตติชัย สมสกุลพันธ์

นายณัฐนัย พิสิษฐพิทยา

นายศักดิ์ชัย สิลาทอง

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

ระบบสื่อสารข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้า
DATA COMMUNICATION VIA AC POWERLINE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบสื่อสารข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้า
DATA COMMUNICATION VIA AC POWERLINE



โดย
นายกิตติธัช สมสกุลพันธ์ 56010081
นายณัฐนัย พิสิฐพิทยา 56010401
นายศักดิ์ชัย สิลาทอง 56011199

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล

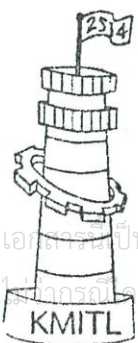
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

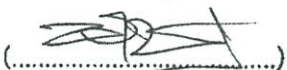
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

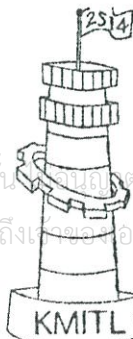


ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว


.....
อาจารย์ที่ปรึกษา

19/1/06/60

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว


.....
กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน

19/1/5/60

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ดำเนินการโดยผู้ใดจะถือว่าผิดกฎหมายและต้องรับผิดชอบต่อผู้เสียหาย
ทั้งนี้ อีกรหัสที่ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อเอกสารทุกครั้ง

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบสื่อสารข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้า

DATA COMMUNICATION VIA AC POWERLINE

ผู้จัดทำ

- | | |
|-----------------------------|----------|
| 1. นายกิตติฉัตร สมสกุลพันธ์ | 56010081 |
| 2. นายณัฐนัย พิสิฐพิทยา | 56010401 |
| 3. นายศักดิ์ชัย สีสาทอง | 56011199 |


.....
(ผศ.ดร. พิเชฐ ม่วงนวล)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ผศ.ดร. พิเชฐ ม่วงนวลที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์ได้ตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

อนึ่ง ผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์หวังเป็นอย่างยิ่งว่า ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ ให้แก่เหล่าคณาจารย์ ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้ผลงานของโครงการนี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง และขอมอบความกตัญญูทเวทิตาคุณ แต่บิดามารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์ขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

นาย กิตติธัช สมสกุลพันธ์

นาย ญัฐนัย พิสิฐพิทยา

นาย ศักดิ์ชัย สีลาทอง

ผู้จัดทำ

ระบบสื่อสารข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้า

DATA COMMUNICATION VIA AC POWERLINE

โดย	นายกิตติรัช สมสกุลพันธ์	56010081
	นายณัฐนัย พิสิฐพิทยา	56010401
	นายศักดิ์ชัย สิลาทอง	56011199

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. พิเชฐ ม่วงนวล

บทคัดย่อ

ระบบสื่อสารข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้า (DATA COMMUNICATION VIA AC POWERLINE) เป็นโครงการที่ศึกษาและจัดทำอุปกรณ์ในการส่งข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้าโดยการส่งข้อมูลดิจิทัลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ ในระยะ 100 เมตร

ABSTRACT

DATA COMMUNICATION VIA AC POWERLINE is a project for studying and creating device that sent data via powerline. By sending digital signal from microcontroller to powerline modem within 100 meter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เทคโนโลยีการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้า (POWER LINE COMMUNICATION)	3
2.2 มาตรฐานการส่งข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้า	5
2.3 ไอซี KQ-330	7
2.4 การมอดูเลตที่ใช้ในการส่งผ่านสายไฟฟ้ากำลัง	8
2.5 การสื่อสาร UNIVERSAL ASYNCHRONOUS RECEIVER TRANSMITTER (UART)	10
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MICROCONTROLLER)	12
2.7 วงจรเรโซแนนซ์ (RESONANCE CIRCUIT)	16
2.8 จอแสดงผล LCD (LCD DISPLAY)	17
2.9 หม้อแปลงไอโซเลตติ้ง (ISOLATING TRANSFORMER)	19
2.10 วงจรกรองความถี่ (FILTER CIRCUIT)	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
บทที่ 3	การออกแบบและการจัดทำปฏิญานិพนธ์	22
	3.1 การออกแบบ	22
	3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	33
	3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	33
บทที่ 4	ผลการทดลอง	35
	4.1 สัญญาณข้อมูลดิจิทัลที่ต้องการส่ง	35
	4.2 สัญญาณ FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING) ที่มีอตุเลขันได้	36
	4.3 สัญญาณ FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING) ที่ได้จากวงจรขยาย	42
	4.4 สัญญาณข้อมูลดิจิทัลที่รับได้	45
	4.5 การแสดงค่าที่รับได้ผ่านทาง SERIAL MONITOR ทางฝั่งรับ	48
	4.6 การแสดงค่าที่รับได้ผ่านทางจอ LCD ทางฝั่งรับ	49
	4.7 การทดสอบอัตราการผิดพลาดของข้อมูล (BYTES ERROR RATE)	50
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	53
	5.1 สรุปผล	53
	5.2 ข้อเสนอแนะ	53
บรรณานุกรม		54
ภาคผนวก ก	โค้ด ARDUINO ในส่วนส่งค่าจากไมโครคอนโทรเลอร์ไปยังอุปกรณ์ เพาเวอร์ไลน์โมเด็ม	55
ภาคผนวก ข	โค้ด ARDUINO ในส่วนรับค่าจากอุปกรณ์เพาเวอร์ไลน์โมเด็มไปยัง ไมโครคอนโทรเลอร์และแสดงผลผ่านทางจอ SERIAL MONITOR	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค โค้ด ARDUINO ในส่วนรับค่าจากอุปกรณ์เพาเวอร์ไลน์โมเด็มไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลผ่านทางจอ LCD	59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	2
2.1	7
2.2	8
2.3	9
2.4	10
2.5	10
2.6	11
2.7	11
2.8	15
2.9	15
2.10	16
2.11	16
2.12	18
2.13	19
2.14	21
3.1	22
3.2	23
3.3	24
3.4	25
3.5	26
3.6	27
3.7	27
3.8	28
3.9	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.10	แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมฝั่งรับ	30
3.11	การต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์เพาเวอร์ไลน์โมเด็ม และจอ LCD ทางฝั่งรับ	31
3.12	แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมฝั่งรับเมื่อเพิ่มส่วนจอ LCD	32
4.1	สัญญาณข้อมูลดิจิทัลที่ส่งจากเครื่องออสซิลโลสโคป	35
4.2	สัญญาณ FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING) ที่วัดได้เทียบกับสัญญาณดิจิทัลที่ส่ง	36
4.3	สัญญาณ FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING) ที่วัดได้เทียบกับสัญญาณดิจิทัลที่ส่งเมื่อขยายเข้า	37
4.4	ความกว้างของสัญญาณดิจิทัล	38
4.5	ความกว้างของสัญญาณ FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING)	39
4.6	สัญญาณ FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING) ส่วนที่เป็นความถี่ต่ำ	40
4.7	สัญญาณ FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING) ส่วนที่เป็นความถี่สูง	41
4.8	สเปกตรัมของสัญญาณ FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING)	42
4.9	สัญญาณ FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING) ที่ถูกขยายทางฝั่งส่ง	43
4.10	สัญญาณ FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING) ที่รับได้โดยอุปกรณ์เพาเวอร์ไลน์โมเด็ม	44
4.11	สัญญาณ FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING) ที่ถูกลดระดับทางฝั่งรับ	45
4.12	สัญญาณดิจิทัลที่รับได้	46
4.13	สัญญาณดิจิทัลที่รับได้เทียบกับสัญญาณดิจิทัลที่ส่ง	46
4.14	สัญญาณดิจิทัลที่รับได้เทียบกับสัญญาณดิจิทัลที่ส่งเมื่อเพิ่มระยะอีก 10 เมตร	47
4.15	ส่งคำว่า “PROJECT” อย่างต่อเนื่อง	48
4.16	ค่าที่รับได้ผ่านทาง SERIAL MONITOR	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.17	ส่งคำว่า “PROJECT” อย่างต่อเนื่อง	49
4.18	ค่าที่รับได้ผ่านทางจอ LCD	49
4.19	ทดสอบส่งข้อมูลตัวอักษร “A” จำนวน 1000 ตัวอักษรที่ระยะ 10 เมตร	50
4.20	ทดสอบรับข้อมูลตัวอักษร “A” จำนวน 1000 ตัวอักษรที่ระยะ 10 เมตร	51
4.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทดสอบกับอัตราการผิดพลาดของข้อมูล	52



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายละเอียดของขาต่างๆของ KQ-330	7
2.2 ตารางขาของจอ LCD 16X2 แบบ PARALLEL	14
2.3 ตารางขาของจอ LCD 16X2 แบบ I2C	18
4.1 ผลการทดสอบอัตราการผิดพลาดของข้อมูลที่ระยะต่างๆ	51



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน ระบบเครือข่ายมีบทบาทสำคัญมาก เพราะมีการใช้งานคอมพิวเตอร์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากต้องการที่จะเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เหล่านั้นเพื่อสื่อสารกัน ในการโอนย้ายข้อมูลระหว่างกัน เพื่อเพิ่มความสามารถของระบบให้มากขึ้น แล้วต้องการใช้ทรัพยากรต่างๆร่วมกัน เช่น หน่วยประมวลผล, หน่วยความจำ, หน่วยจัดเก็บข้อมูล, โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีราคาแพงและไม่สามารถจัดหาให้ทุกคนได้ เช่น เครื่องพิมพ์ เครื่องสแกนเนอร์ (scanner) ทำให้ลดต้นทุนของระบบลงได้ และสะดวกในการร่วมใช้ข้อมูล การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อช่วยให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถติดต่อกันแต่ละเครื่องได้นั้น จะต้องติดตั้งสายสัญญาณต่าง ๆ หลายอย่าง ทำให้เสียเวลา เสียค่าใช้จ่ายมากมาย และหากต้องการเปลี่ยนจุดในการใช้งานต้องติดตั้งสายสัญญาณใหม่ จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มสำหรับการร้อยถอน ซึ่งสายไฟฟ้ามักมีการติดตั้งเพื่อจ่ายไฟให้กับคอมพิวเตอร์อยู่แล้ว

ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการศึกษา Powerline Communication และสร้างอุปกรณ์ในการติดต่อสื่อสารผ่านทางสายไฟฟ้าขึ้นมา แต่อุปกรณ์นี้เป็นเพียงต้นแบบเพราะมีความเร็วในการส่งที่ต่ำ แต่ทั้งนี้อุปกรณ์นี้สามารถนำไปต่อยอดเพื่อสร้างอุปกรณ์ที่มีความเร็วสูงขึ้นได้ และยังสามารถนำไปใช้เป็นแอปพลิเคชันต่างๆ อาทิเช่น ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

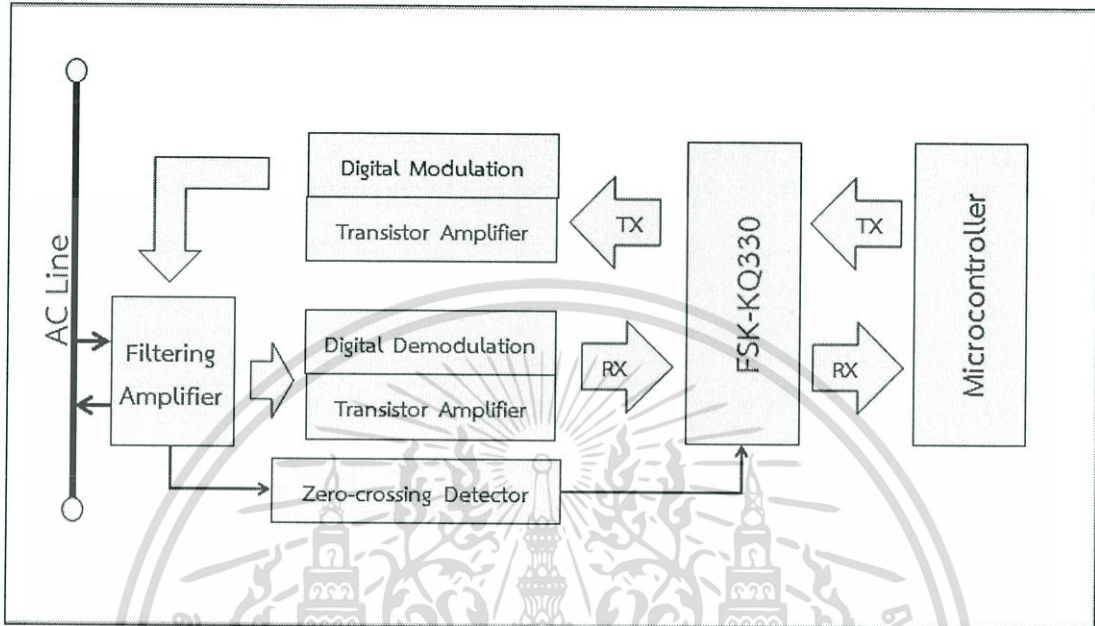
- 1) เพื่อศึกษาการรับ-ส่งสัญญาณผ่านทางสายไฟฟ้า
- 2) เพื่อศึกษามาตรฐานการส่งสัญญาณผ่านทางสายไฟฟ้า
- 3) เพื่อศึกษาเครือข่ายการสื่อสารข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

จัดทำวงจรที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้า โดยการมอดูเลชันสัญญาณแบบ FSK (Frequency Shift Keying) บนคลื่นพาห์แล้วส่งไปทางสายไฟฟ้า ทั้งนี้จะต้องมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนคัปปลิง (coupling) เพื่อทำหน้าที่อินเทอร์เฟสระหว่างสายไฟฟ้ากับอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ ในระยะ 100 เมตร ซึ่งจะทำให้การสื่อสารเป็นไปตามมาตรฐานเดียวกันทั้งด้านรับและส่ง



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะเป็นการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับรายละเอียดและแสดงเนื้อหาที่ใช้ในการทำโครงการปริญญาโทซึ่งประกอบด้วยหัวข้อสำคัญต่างๆดังนี้

2.1 เทคโนโลยีการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้ากำลัง (Power line communication)

เทคโนโลยีการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้ากำลัง (Power line communication) หรือ PLC คือการสื่อสารข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าโดยการมอดูเลตสัญญาณ (modulate) กับคลื่นพาห้ (carrier) ที่เป็นสัญญาณไฟฟ้าความถี่ต่างๆ การใช้งาน PLC มีทั้งในส่วนของการสื่อสารข้อมูลผ่านสายส่งแรงดันสูง (High Voltage), สายกระจายแรงดันปานกลาง (Medium Voltage) และสายจำหน่ายแรงดันต่ำ (Low Voltage) ที่เชื่อมต่อไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทั่วไปจะมีการใช้งาน PLC แยกกันในแต่ละส่วน แต่ก็มีกรณีที่มีการใช้งานข้ามส่วนหรือระดับของแรงดัน อัตราเร็วและการครอบคลุมของ PLC มีหลายระดับขึ้นอยู่กับย่านความถี่ของคลื่นพาห้ที่ใช้งาน การใช้คลื่นพาห้ความถี่สูงจะทำให้อัตราเร็วของ PLC เพิ่มขึ้นแต่พื้นที่ครอบคลุม (coverage) จะลดลง ตัวอย่างเช่น การใช้งาน PLC ความเร็วสูง (Mbps) ผ่านสายไฟฟ้าภายในอาคารจะมีพื้นที่ครอบคลุมจำกัดเพียงประมาณ 1 ชั้น ในขณะที่การใช้งาน PLC ความเร็วปานกลาง (kbps) ส่งข้อมูลผ่านสายส่งแรงดันสูงเพื่อวัดคุมระบบไฟฟ้าจะสามารถใช้งานได้เป็นระยะทางหลายไมล์ ดังนั้นจึงสามารถแบ่งประเภทของเทคโนโลยี PLC ออกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามย่านความถี่ของคลื่นพาห้ที่ใช้งานได้ดังนี้

2.1.1 Broadband PLC หรือ Broadband over Power lines (BPL)

การใช้งาน PLC ในย่านความถี่ HF/VHF (1.8-250 MHz) มีอัตราบิต (Bit rate) สูงสุดถึงระดับ Gbps ถูกประยุกต์ใช้เพื่อให้บริการบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ต (Broadband Internet) ผ่านสายไฟฟ้ากำลัง หรือ โครงข่ายในบ้าน (Home Networking) โดยผู้ใช้เพียงเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ากับ BPL โมเด็ม และเสียบปลั๊กไฟก็สามารถใช้งานบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ต (Broadband Internet) ได้ทันที นอกจากนี้เทคโนโลยี BPL ยังถูกใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสารและเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในบ้านเพื่อจัดสร้างเป็น Home Networking โดยไม่จำเป็นต้องเดินสายเคเบิลเพิ่มเติม อย่างไรก็ตาม การใช้งาน BPL มีข้อจำกัดที่สำคัญ ได้แก่ สัญญาณรบกวน

ภายในสายไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการปิดเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ หรืออุปกรณ์ตามอาคาร เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณ BPL และในทางกลับกันสัญญาณ BPL จะเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนไปยังระบบสื่อสารอื่น ๆ ที่ใช้งานย่านความถี่ในย่านเดียวกัน เช่น ระบบวิทยุสมัครเล่น, ระบบสื่อสารของทหาร, ระบบวิทยุควบคุมการบิน ฯลฯ เนื่องจากสายไฟฟ้าทำตัวเสมือนเป็นสายอากาศและไม่สามารถป้องกันการแพร่กระจายคลื่นความถี่ได้ จึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานขีดจำกัดกำลังส่งของสัญญาณ BPL นอกจากนี้ สัญญาณ BPL ไม่สามารถข้ามหม้อแปลงได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ coupler เพื่อช่วย bypass สัญญาณ BPL ข้ามหม้อแปลง จากข้อจำกัดต่าง ๆ ดังกล่าว ทำให้การใช้งาน BPL เพื่อให้บริการ Broadband Internet มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนค่อนข้างสูง เนื่องจากการใช้งาน BPL มีระยะครอบคลุมที่จำกัด จึงจำเป็นต้องใช้ ตัวทวนสัญญาณ (Repeater) จำนวนมาก รวมถึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ Coupler ในกรณีที่ต้องการกระจายสัญญาณ BPL ข้ามระดับแรงดัน

2.1.2 Narrowband PLC

การใช้งาน PLC ในย่านความถี่ VLF/LF/MF (3-600 kHz) มี Bit rate ในช่วง 10-500 kbps ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานวัดคุมในระบบไฟฟ้าอย่างแพร่หลาย เช่น Automatic Meter Reading (AMR), Load Control, Remote Connection, Switchgear Control, Protection Relay และ Energy Management เป็นต้น

2.1.3 การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน (Home control)

การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ หรืออุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศภายในบ้าน เช่น เครื่องเสียงโทรทัศน์ ระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในบ้าน การรักษาความปลอดภัยภายในบ้าน โดยใช้กล้องวิดีโอ (surveillance video camera) ตลอดจนระบบที่เรียกว่าบ้านอัจฉริยะ (Home Automation) สามารถใช้เทคโนโลยี PLC ได้โดยไม่ต้องเดินสายควบคุมใหม่ ในการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมนี้ จะส่งสัญญาณคลื่นพาหะที่มีความถี่ระหว่าง 20 – 200 kHz เข้าไปในสายไฟฟ้า โดยเครื่องส่งจะผสมสัญญาณดิจิทัลไปด้วย ส่วนที่เครื่องรับแต่ละเครื่องในระบบจะมีฟังก์ชันบอกตำแหน่งซึ่งสามารถควบคุมได้โดยสัญญาณที่ส่งมา และถูกถอดรหัสที่เครื่องรับ อุปกรณ์นี้ใช้เสียบกับเต้ารับไฟฟ้าที่บ้านได้เลย ซึ่งปัจจุบันมีการกำหนดมาตรฐานโดยบรรดาบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์อย่างหลากหลาย ซึ่งบางครั้งอาจทำงานร่วมกันไม่ได้

2.2 มาตรฐานการส่งข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้า

แพ็คเกจที่ทำให้การใช้งาน PLC เป็นไปอย่างกว้างขวางล่าช้าไป โดยเฉพาะการสื่อสาร บรอดแบนด์ หลายปีที่ผ่านมาการวิจัยและพัฒนาทำให้เกิดอุปกรณ์ PLC จากบริษัทและพันธมิตรต่างๆ มีการพัฒนาข้อกำหนด PLC อุตสาหกรรม และประชาสัมพันธมิตรเทคโนโลยี PLC ความเร็วสูง จะมีมาตรฐานของรูปแบบเทคโนโลยีต่างๆ กัน ต่อมาจึงได้มีกระบวนการสร้างมาตรฐานที่มีแบบแผน

บริษัทต่างๆและพันธมิตร เสนอข้อกำหนด PLC เช่น X-10, CE บัส และ Lonworks สื่อสารที่ความเร็วต่ำ ต่อมาได้เสนอการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงขึ้นสำหรับโครงข่ายภายในอาคาร คล้ายกับการแอดเซสอินเทอร์เน็ตรองรับโดย Homeplug, DSL, OPERA (Open PLC European Research Alliance) และพานาโซนิค รวมทั้งมีมาตรฐาน PLC ของคณะกรรมการ IEEE เช่นเดียว ITU

2.2.1 มาตรฐานที่อัตราข้อมูลต่ำ

2.2.1.2 ระบบควบคุมและคำสั่ง X-10 PLC

ผลิตภัณฑ์ PLC ที่เพิ่มอย่างกว้างขวาง โดยใช้โพรโทคอลความเร็วต่ำ X-10 ในการส่งและรับสัญญาณบนสายไฟฟ้าเพื่อควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น สวิตช์เปิด-ปิดสำหรับแสงหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าและสวิตช์ปรับความสว่าง ในทางปฏิบัติ โพรโทคอล X-10 จะใส่ข้อมูล 1 หรือ 2 บิต โดยใช้ BPSK ที่ซีโรครอสซิงของไซเคิลคู่สาย PLC มีอัตราข้อมูลสูงสุด 120 bps สำหรับ 60 Hz

2.2.1.3 มาตรฐาน CE บัส PLC

มาตรฐาน CE บัส (เรียกว่า ANSI/EAI-600) พัฒนาโดยกลุ่มบริษัทที่สร้างมาตรฐานการสื่อสารอัตโนมัติสำหรับบ้าน ตัวกลางการสื่อสารไร้สายประกอบด้วย IEEE 802.11 อินฟราเรดโครงข่ายโทรศัพท์ที่ใช้สาย (HomePNA) เช่นเดียวกับทางเลือก PLC

2.2.1.4 ข้อกำหนด LonWorks PLC

พัฒนาโดย Echelon Corporation สำหรับอาคารอัตโนมัติและสมาร์ทกริดที่ใช้ PLC ในทำนองเดียวกับสายดีเกิลยวคู่และ IP อินเทอร์เน็ต ทำงานของ LonWorks บนช่องสัญญาณ PLC ตามการมอดูเลตแบนด์แคบในช่วงความถี่ 115-132 kHz มีอัตราข้อมูล 3-6 bps ข้อกำหนด LonWorks เป็นไปตามมาตรฐาน ANSI/IEC 709-1.2 และมาตรฐาน ISO/IEC 14908-1.3

2.2.2 มาตรฐานอุตสาหกรรม PLC อัตราเร็วสูง

2.2.2.1 มาตรฐาน HomePlug

ปี ค.ศ. 2000 กลุ่มบริษัทได้เสนอรูปแบบ HomePlug สำหรับโครงข่าย PLC ในบ้าน สมาชิก HPPA (HomePlug Powerline Alliance) ประกอบด้วย 3Com, AMD, Cisco, Compaq, Conexant, Enikia, Intel, Intellon, Motorola, Panasonic, S3 's Diamond Multimedia, Tandy/RadioShack และ Texas Instruments ข้อกำหนดแรกคือ HomePlug 1.0 มีอัตราเร็ว 14 Mbps ชั้นกายภาพใช้ CSMA/CA และ MAC มีการอัปเดตเป็นข้อกำหนด HomePlug 1.0.1 ที่เปลี่ยนแปลงชั้นกายภาพ สนับสนุนข้อมูลที่อัตรา 80 Mbps และใช้ CSMA MAC ปี ค.ศ.2005 HomePlug AV 1.0 รองรับความเร็ว 200 Mbps โดยเปลี่ยนแปลงชั้นกายภาพ และใช้ไฮบริดจ์ CSMA TDMA MAC สำหรับ LAN สื่อประสมในบ้าน

2.2.2.2 มาตรฐาน HomePlug 1.0

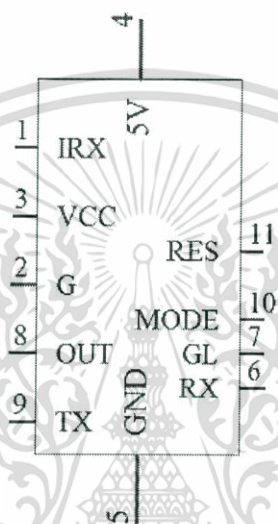
ใช้ OFDMA 84 คลื่นพาร์ย่อย ในย่านความถี่ 4-28 MHz โดยหลีกเลี่ยงการแทรกสอดซึ่งทำงานในย่านความถี่ของผู้คุมกฎอื่น ข้อกำหนด HomePlug กำหนดความถี่ด้วยการลดทอนแอมพลิจูดของคลื่นพาร์ BPSK และ QPSK ตามคุณภาพช่องสัญญาณ จะประมาณคุณภาพช่องสัญญาณในแต่ละช่วงคลื่นพาร์และแมปโทนเพื่อกำหนดคลื่นพาร์ที่ใช้ส่งและไม่ส่งข้อมูล ชนิดการมอดูเลตและรหัสแก้ไขความผิดพลาดใช้รหัส RS (Reed Solomon)/คอนโวลูชัน ที่อัตรา $\frac{1}{2}$ หรือ $\frac{3}{4}$ ในโหมด ROBO (ROBurst mOdulation) กำหนดการส่งข่าวสาร การจัดการ ที่ต่อสู้กับอัตราข้อมูลที่ช้าลง โดยใช้รหัสแก้ไขความผิดพลาดที่ดี และเดเวอร์ซิติทางเวลา

2.2.2.3 มาตรฐาน HomePlug 1.0.1 ตามเทอร์โบ 80 Mbps

จะใส่ในการสำรวจไปยังไหนเพื่อให้ Intellon เป็นเวอร์ชันเทอร์โบของข้อกำหนด HomePlug 1.0.1 และสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ที่ความเร็ว 80 Mbps เทียบกับ 14 Mbps ของ HomePlug 1.0.1 การเพิ่มความเร็วจากการใช้การมอดูเลตในอันดับที่สูงกว่าของ BPSK และ QPSK ตามข้อกำหนด HomePlug 1.0 โครงสร้าง PPDU และ MAC ในข้อกำหนดเทอร์โบเสมือนกับ HomePlug 1.0 และพบในอัตราข้อมูล TPC 40 Mbps

2.3 ไอซี KQ-330

kq-330 คือไอซีที่ทำหน้าที่เป็นโมเด็มสำหรับส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้ากระแสสลับ โดยการรับข้อมูลดิจิทัลแล้วนำมาถอดสัญญาณกับคลื่นพาห์ ในรูปแบบการมอดูเลตแบบ Frequency Shift Keying (FSK) สามารถส่งข้อมูลในอัตราความเร็ว 9600 Baud rate ใช้ไฟเลี้ยงขนาด 5 VDC โดยมีจำนวนขาที่ใช้ในการต่อใช้งานทั้งหมด 11 ขา



รูปที่ 2.1 ขาของไอซี kq-330

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของขาต่างๆของ kq-330

สัญลักษณ์	หมายเลขขา	คำอธิบาย
IRX	1	รับสัญญาณ FSK ขาเข้า
G	2	กราวนด์
VCC	3	ไฟเลี้ยงไอซี 5 VDC
5V	4	ไฟเลี้ยงไอซี 5 VDC
GND	5	กราวนด์
RX	6	ขารับสัญญาณดิจิทัล
GL	7	ขาวงจรตรวจจับศูนย์

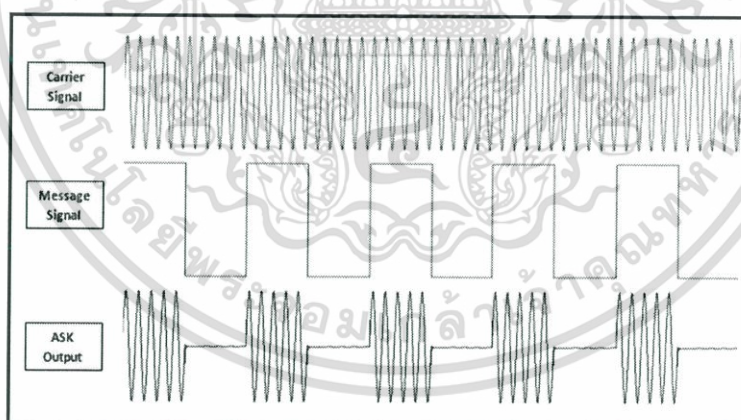
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์	หมายเลขขา	คำอธิบาย
OUT	8	ส่งสัญญาณ FSK ขาออก
TX	9	ขาส่งสัญญาณดิจิทัล
MODE	10	กำหนดโหมด
RES	11	ขา RESET

2.4 การมอดูเลตที่ใช้ในการส่งผ่านสายไฟฟ้ากำลัง

2.4.1 การมอดูเลตทางแอมพลิจูด (Amplitude – Shift Keying: ASK)

การมอดูเลตวิธีนี้ ความถี่ของคลื่นพาห์ (Carrier Wave) ซึ่งสัญญาณแบบอนาล็อก ส่งผ่านตัวกลางสื่อสารคงที่ ลักษณะของสัญญาณที่มอดูเลต เมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูลดิจิทัล มีค่าเป็น “1” ขนาดของคลื่นพาห์จะสูงกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น “0” ขนาดของคลื่นพาห์จะต่ำกว่าปกติ การมอดูเลตแบบ ASK มักจะไม่ค่อยได้รับความนิยม เนื่องจากจะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย

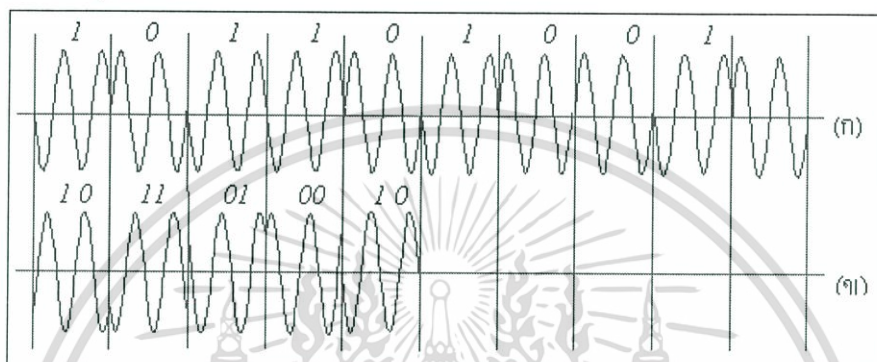


รูปที่ 2.2 การมอดูเลตทางแอมพลิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การมอดูเลตทางเฟส (Phase-shift Keying: PSK)

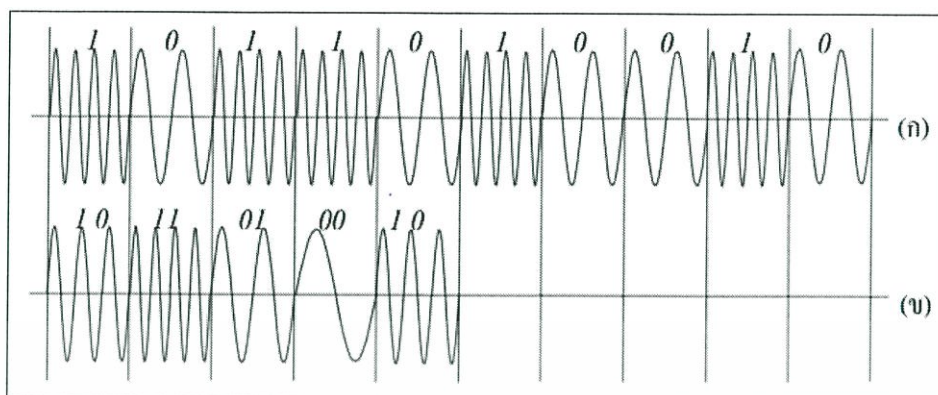
เป็นการเปลี่ยนเฟสของคลื่นพาห์ ตามการเปลี่ยนบิตข้อมูล ในกรณีของไบนารี PSK เป็นการเปลี่ยนเฟสของสัญญาณพาห์ทั้งสองเฟส โดยจะเป็นการกลับเฟส คือ ให้ความแตกต่างของเฟสมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ก) และเมื่อมอดูเลตแบบ M-ary PSK จะได้สัญญาณในรูปที่ 2.3 (ข) ซึ่งเป็น 4-array PSK



รูปที่ 2.3 การมอดูเลตทางเฟส

2.4.3 การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency – Shift Keying: FSK)

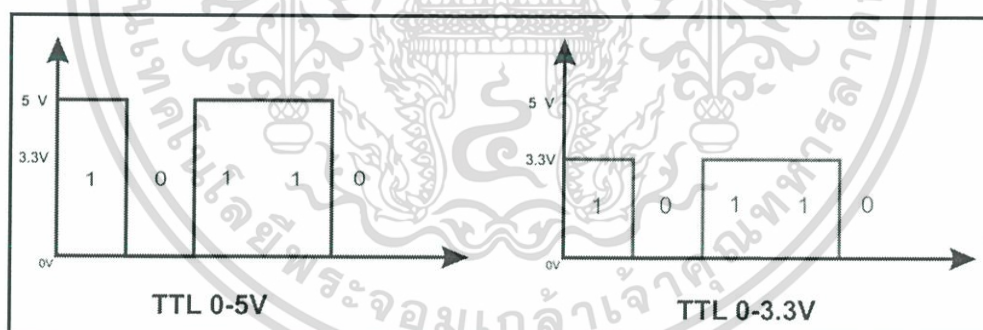
เป็นการเปลี่ยนความถี่ของคลื่นพาห์ ทำนองเดียวกับ ASK การเปลี่ยนแปลงความถี่ เนื่องจากการมอดูเลตด้วยสัญญาณดิจิทัล จะทำให้คลื่นพาห์ของสัญญาณเปลี่ยนไปเป็นความถี่ที่แน่นอนในลักษณะของการเลื่อนความถี่ ถ้าเป็นการมอดูเลตแบบไบนารี FSK คือมีคอมบิเนชันของบิตข้อมูล 0 กับ 1 ก็จะทำให้สัญญาณพาห์เปลี่ยนไปเป็นความถี่สองความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก) และเมื่อใช้หลายความถี่เพื่อแทนคอมบิเนชันของบิตข้อมูลที่มากขึ้น จะทำให้ความถี่ของพาหะเปลี่ยนไปหลายความถี่ ได้เป็นการมอดูเลตแบบ M-ary FSK ดังรูปที่ 2.4 (ข) ซึ่งเป็นกรณี 4 FSK ทำให้ได้อัตราบิตที่สูงขึ้นกว่า M-ary FSK แต่การใช้หลายความถี่ในการแทนคอมบิเนชันของบิตข้อมูล เช่นนี้ ทำให้แบนด์วิดท์ของสัญญาณที่มอดูเลตกว้างขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ต่างกับกรณีของ M-ary ASK ที่ยังคงเป็นความถี่เดียว ทำให้แบนด์วิดท์ของสัญญาณที่มอดูเลตแล้ว ไม่กว้างมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การมอดูเลตแบบ FSK นี้จึงมักนิยมใช้กันในการส่งสัญญาณที่มีอัตราบิตไม่สูงนักเช่น 800,1200 บิตต่อวินาที



รูปที่ 2.4 การมอดูเลตทางความถี่

2.5 การสื่อสาร Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)

อุปกรณ์ TTL (Transistor-Transistor Logic) กำหนดระดับแรงดันขึ้นในยุคแรกๆ เพื่อใช้ระหว่าง ทรานซิสเตอร์ กับ ทรานซิสเตอร์ ภายในวงจรรวม (IC) โดย TTL จะใช้ระดับแรงดันอยู่ที่ 0 – 5 V แต่ในปัจจุบันมีอุปกรณ์หลายชนิดที่ทำงานในช่วง 0 – 3.3 V (เรียกแรงดันระดับนี้ว่า LVTTTL) ซึ่งผู้ใช้ควรต้องตรวจสอบจาก Datasheet ของอุปกรณ์ที่ใช้เสียก่อนว่าเป็นระดับแรงดันแบบใด เพราะหากใช้ผิดจะทำให้อุปกรณ์เสียหาย



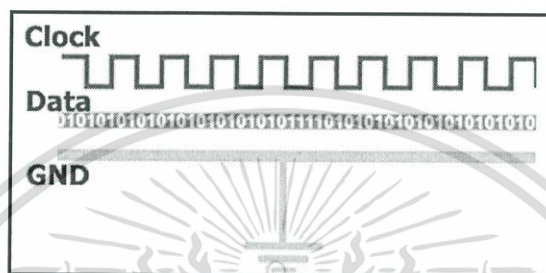
รูปที่ 2.5 ระดับแรงดัน TTL และ LVTTTL

UART ย่อมาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งในการสื่อสารอนุกรมจะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส (Synchronous)

เป็นรูปแบบที่ใช้วิธีส่งข้อมูล โดยใช้สัญญาณนาฬิกา (Clock) มาเป็นตัวกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูล การส่งข้อมูลแบบนี้ เป็นการรับส่งที่ค่อนข้างมีคุณภาพ และส่งได้ด้วยความเร็วสูง มีโอกาสที่ข้อมูลจะสูญหายระหว่างการส่งน้อย ตัวอย่างการส่งข้อมูลลักษณะนี้ เช่น I2C, I2S, SPI ข้อเสียของการส่งข้อมูลแบบนี้คือ ต้องใช้สายสัญญาณมากขึ้นสำหรับการส่งสัญญาณนาฬิกาไปด้วย



รูปที่ 2.6 การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส

2.5.2 การสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

เป็นการส่งข้อมูลที่ไม่ต้องใช้สัญญาณนาฬิกา (Clock) มาเป็นตัวกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูลแต่ใช้วิธีกำหนดรูปแบบ (Format) การรับส่งข้อมูลขึ้นมาแทน และอาศัยการกำหนดความเร็วของการรับและส่ง ที่เท่ากันทั้งฝั่งรับและฝั่งส่ง ข้อดีของการใช้อะซิงโครนัส คือสามารถสื่อสารแบบ Full Duplex ที่รับและส่งได้ในเวลาเดียวกัน แต่อะซิงโครนัส มีโอกาสที่ข้อมูลจะสูญหายขณะรับส่งข้อมูล หรือ รับส่งข้อมูลผิดพลาดได้มากกว่าแบบซิงโครนัส

สรุปคือ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) หมายถึงรูปแบบการส่งข้อมูล ที่ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้รับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสโดยมีรูปแบบดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

เริ่มต้นจาก Start บิต เป็นลอจิก 0 จากนั้นจะตามด้วยข้อมูล (Data) ที่ส่ง แล้วจะถูกปิดด้วย Stop บิต เป็นลอจิก 1

2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller)

เป็นอุปกรณ์ไอซี (Integrated Circuit) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ สามารถรับค่าเข้าไปแล้วทำการประมวลผล ส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิทัลออกมา เพื่อนำไปใช้งานได้ตามต้องการ ประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (Central Processing Unit), หน่วยความจำ (Memory), ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต(Port) และวงจรให้กำเนิดสัญญาณนาฬิกา โดยโครงงานนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno r3

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอด ทั้งตัวบอร์ดหรือโปรแกรม

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ เช่น Arduino X Bee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย

2.6.1 คำสั่งโปรแกรมของ Arduino

จะใช้ Library ของภาษา C/C++ ในการเขียนโปรแกรม ซึ่งภาษา C++ มีรายละเอียดดังนี้

2.6.1.1 คำสั่ง void setup

หน้าที่ของฟังก์ชัน setup() ในอาร์ดูโนคือ ใช้ทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมน้อย สำหรับใช้บรรจุ คำสั่งต่างๆ ที่ใช้สำหรับการกำหนดการทำงานของระบบหรือกำหนดคุณสมบัติของการทำงานให้กับอุปกรณ์ ต่างๆซึ่งคำสั่งทั้งหมดที่บรรจุไว้ภายใต้ฟังก์ชันของ setup() นี้ จะถูกเรียกขึ้นมาทำงานเพียงรอบเดียวคือตอนเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม (หลังการรีเซ็ตให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มต้นทำงาน) เท่านั้น โดยคำสั่งที่นิยม บรรจุไว้ในฟังก์ชันส่วนนี้ได้แก่ คำสั่งกำหนดโหมดการทำงานของ Digital Pin หรือคำสั่งสำหรับกำหนด คุณสมบัติของพอร์ตสื่อสารอนุกรม เป็นต้น

2.6.1.2 คำสั่ง void loop

หน้าที่ของฟังก์ชัน loop() ในอาร์ดูโนคือ ใช้ทำหน้าที่เป็นส่วนของโปรแกรมหลัก สำหรับใช้บรรจุ คำสั่งควบคุมการทำงานต่างๆ ของโปรแกรมที่ต้องการใช้โปรแกรมทำงาน โดยคำสั่งที่บรรจุไว้ในฟังก์ชันนี้จะถูก เรียกขึ้นมาทำงานซ้ำๆ กันตามลำดับและเงื่อนไขที่กำหนดไว้

2.6.1.3 คำสั่ง if...else

คำสั่ง if...else ใช้สำหรับการตรวจสอบเงื่อนไขที่มีหลายทางเลือกเพิ่มขึ้นอีก 1 ทางเลือก คำสั่ง if...else แบบ 2 ทางเลือก มีความหมายว่า ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงให้ทำตามเงื่อนไขของ if ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จให้ทำตามเงื่อนไขของ else จะเห็นได้ว่าโปรแกรมจะมีทางเลือกในการทำงานที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 1 ทาง รวมเป็น 2 ทาง โดยทางเลือกแรกเป็นทางเลือกที่โปรแกรมจะทำงานเมื่อเงื่อนไขเป็นจริง ส่วนทางเลือกที่ 2 เป็นทางเลือก ที่จะให้โปรแกรมทำงานเมื่อเงื่อนไขเป็นเท็จ

2.6.1.4 คำสั่ง Serial.print (data) และ Serial.println (data)

คำสั่งนี้ใช้ทำหน้าที่สำหรับสั่งให้ข้อมูลออกไปยังพอร์ตสื่อสารอนุกรมอย่างต่อเนื่องในลักษณะของการ แสดงข้อมูล ตัวแปรหรือข้อความต่างๆ ที่กำหนดไว้ในพารามิเตอร์ภายในวงเล็บ () ออกทางพอร์ตสื่อสาร อนุกรม (พร้อมแสดงผลบนหน้าจอ หากบอร์ดอาร์ดูโนต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์) กลุ่มคำสั่ง Serial.print และ Serial.println โดยทั้ง 2 กลุ่มคำสั่งจะมีรูปแบบการใช้งานและให้ผลการ ทำงานที่เหมือนกัน แต่ต่างกันที่ Serial.println จะมีการเติมค่ารหัสขึ้นบรรทัดใหม่ (0x0D, 0x0A) ปิดท้ายการ ทำงานของคำสั่งไปด้วย แต่ส่วนอื่นๆจะเหมือนกันหมด

2.6.2 ชนิดและประเภทของตัวแปร

ชนิดและประเภทของตัวแปรในภาษาซีแบ่งเป็น 5 ชนิด แสดงดังตารางที่ 2.2

2.6.2.1 คำสั่ง Char

ใช้เก็บข้อมูลที่เป็นตัวอักษร (Character) เก็บข้อมูลที่เป็นเลข จำนวนเต็มได้ 256 คำ

2.6.2.2 คำสั่ง int

ใช้เก็บข้อมูลที่เป็นเลขจำนวนเต็ม (Integer) เก็บข้อมูลที่เป็นเลขจำนวนเต็มได้ 6,553
ค่า

2.6.2.3 คำสั่ง Float

ใช้เก็บข้อมูลที่เป็นเลขทศนิยมแบบ Single Precision

2.6.2.4 คำสั่ง Double

ใช้เก็บข้อมูลที่เป็นเลขทศนิยมแบบ Double Precision ซึ่งสามารถเก็บค่าตัวเลข
ทศนิยมที่มีความละเอียดและถูกต้องมากกว่าแบบ float ถึง 2 เท่า

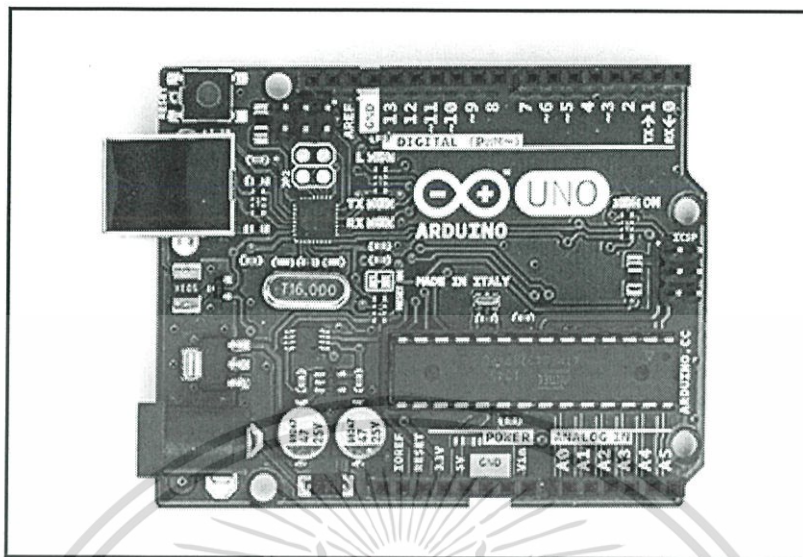
2.6.2.5 คำสั่ง Void

ใช้เก็บตัวแปรที่ไม่มีค่า

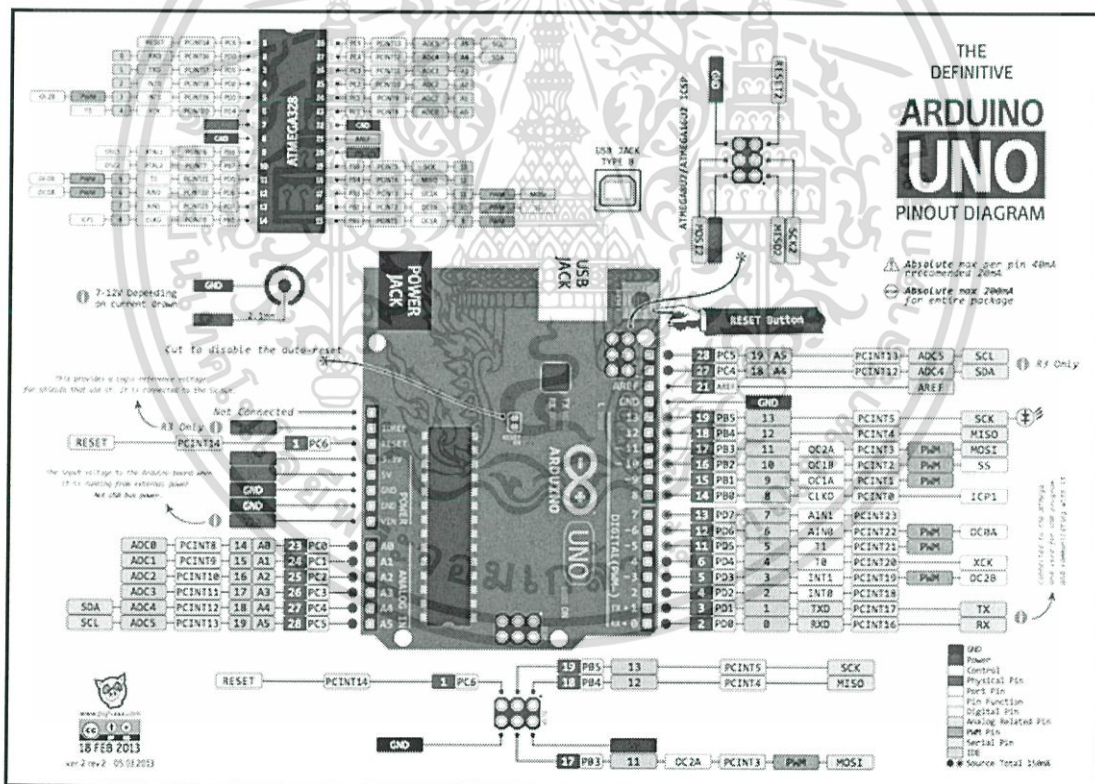
ตารางที่ 2.2 ชนิดของตัวแปรในภาษาซี

ชนิดตัวแปร	จำนวนบิต	ค่าข้อมูลที่เก็บได้
char	8	-128 ถึง +127
int	16	-32,768 ถึง +32,767
float	32	3.4E-38 ถึง 3.4E+38
double	64	1.7E-308 ถึง +1.7E+308
void	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 บอร์ด Arduino Uno r3



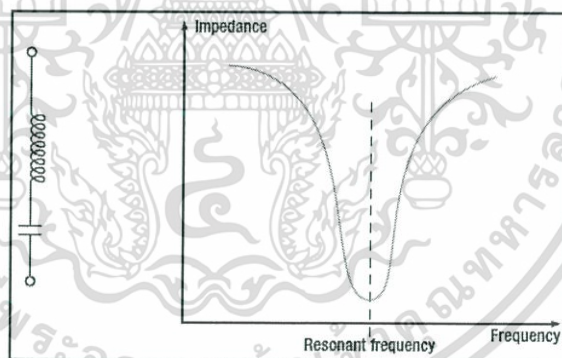
รูปที่ 2.9 Diagram ตำแหน่งขาของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

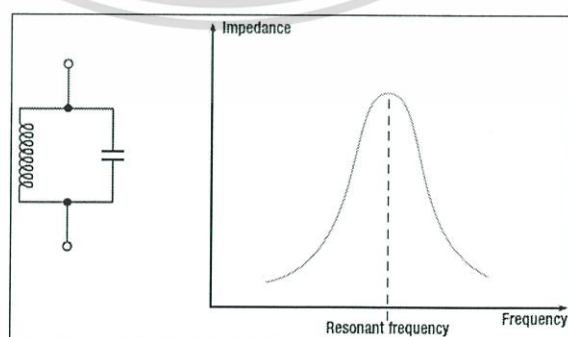
2.7 วงจรเรโซแนนซ์ (resonance circuit)

เรโซแนนซ์ (resonance) เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ที่เกิดขึ้นไม่เฉพาะกับวงจรไฟฟ้าเท่านั้น หากแต่เกิดกับวัตถุสิ่งของตามธรรมชาติทั่วๆ ไป เช่น เมื่อเคาะวัตถุอันหนึ่ง วัตถุนั้นจะเกิดเสียงดังที่สุดที่ความถี่หนึ่งเท่านั้น โดยความถี่จะเปลี่ยนไปตามรูปร่างมวลหรือโครงสร้างของวัตถุนั้นเช่น สายซอหรือสายกีตาร์เส้นเล็กจะให้ความถี่สูงหรือเสียงแหลมกว่าสายเส้นใหญ่ เป็นต้น การที่วัตถุนั้นหนึ่งให้เสียงได้ดีที่ความถี่หนึ่ง เนื่องจากวัตถุนั้นสั่นได้ดีที่ความถี่นั้น ซึ่งเรียกความถี่ที่วัตถุนั้นสั่นได้ดีที่ความถี่ตามธรรมชาตินี้เรียกว่า ความถี่เรโซแนนซ์

ในวงจรไฟฟ้านั้นการเกิดเรโซแนนซ์ก็คือ การเกิดปรากฏการณ์ที่แรงดันที่จ่ายให้ วงจรกับกระแสรวมในวงจรเกิดเฟสต่างกัน (in phase) ดังนั้นที่จุดเรโซแนนซ์อิมพีแดนซ์ในวงจรจะมีเพียง ค่าความต้านทานเท่านั้น วงจรเรโซแนนซ์เป็นวงจรที่เกิดจากการนำ C และ L มาต่อร่วมกัน สามารถต่อได้สองแบบคือแบบอนุกรมและแบบขนาน ที่ความถี่หนึ่งที่ทำให้ค่า XC และ XL เท่ากัน ค่าความถี่นั้นเราเรียกว่า ความถี่เรโซแนนซ์ การต่อแบบอนุกรมทำให้คุณสมบัติของวงจรมีค่า Impedance ต่ำที่ความถี่เรโซแนนซ์ ทำให้กระแสไหลได้สูงสุด ตรงข้ามหากต่อแบบขนานจะทำให้คุณสมบัติของวงจรจะมีค่า Impedance สูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ ทำให้กระแสไหลได้ต่ำสุด



รูปที่ 2.10 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม



รูปที่ 2.11 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 จอแสดงผล LCD (LCD Display)

2.8.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับจอแสดงผล

จอ LCD (Liquid Crystal Display) เป็นจอแสดงผลรูปแบบหนึ่งที่ยิมนำมาใช้งานกับระบบสมองกลฝังตัวอย่างแพร่หลาย จอ LCD มีทั้งแบบแสดงผลเป็นตัวอักษรเรียกว่า Character LCD ซึ่งมีการกำหนดตัวอักษรหรืออักขระที่สามารถแสดงผลไว้ได้อยู่แล้ว และแบบที่สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพหรือสัญลักษณ์ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานเรียกว่า Graphic LCD นอกจากนี้บางชนิดเป็นจอที่มีการผลิตขึ้นมาใช้เฉพาะงาน ทำให้มีรูปแบบและรูปร่างเฉพาะเจาะจงในการแสดงผล เช่น นาฬิกาดิจิทัล เครื่องคิดเลข หรือ หน้าปัดวิทยุ เป็นต้น

2.8.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของ LCD

โครงสร้างของ LCD ทั่วไปจะประกอบขึ้นด้วยแผ่นแก้ว 2 แผ่นประกบกันอยู่ โดยเว้นช่องว่างตรงกลางไว้ 6-10 ไมโครเมตร ผิวด้านในของแผ่นแก้วจะเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้าแบบใสเพื่อใช้แสดงตัวอักษร ตรงกลางระหว่างตัวนำไฟฟ้าแบบใสกับผลึกเหลวจะมีชั้นของสารที่ทำให้โมเลกุลของผลึกรวมตัวกันในทิศทางที่แสงส่องมากระทบเรียกว่า Alignment Layer และผลึกเหลวที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นแบบ Magnetic โดย LCD สามารถแสดงผลให้เรามองเห็นได้ทั้งหมด 3 แบบด้วยกันคือ

2.8.2.1 แบบใช้การสะท้อนแสง (Reflective Mode)

LCD แบบนี้ใช้สารประเภทโลหะเคลือบอยู่ที่แผ่นหลังของ LCD ซึ่ง LCD ประเภทนี้เหมาะกับการนำมาใช้งานในที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ

2.8.2.2 แบบใช้การส่งผ่าน (Transitive Mode)

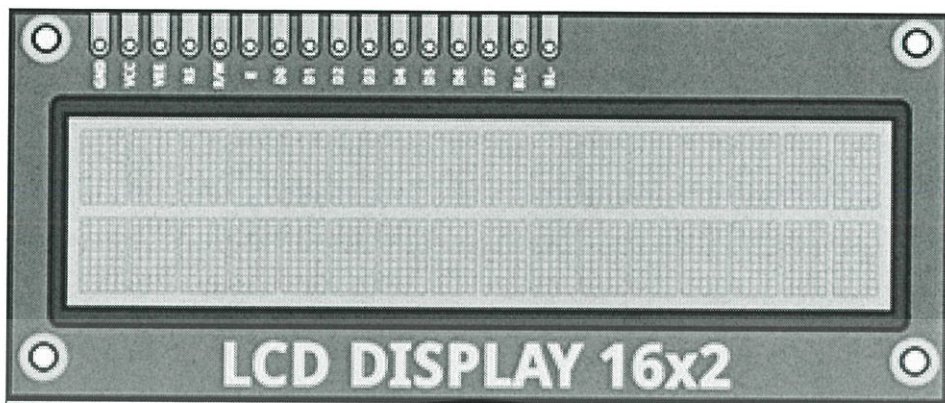
LCD แบบนี้วางหลอดไฟไว้ด้านหลังจอ เพื่อให้การอ่านค่าที่แสดงผลทำได้ชัดเจน

2.8.2.3 แบบส่งผ่านและสะท้อน (Transflective Mode)

LCD แบบนี้เป็นการนำเอาข้อดีของจอแสดงผล LCD ทั้ง 2 แบบมารวมกัน

2.8.3 ชนิดของ Character LCD

2.8.3.1 แบบ Parallel มี 16 ขา



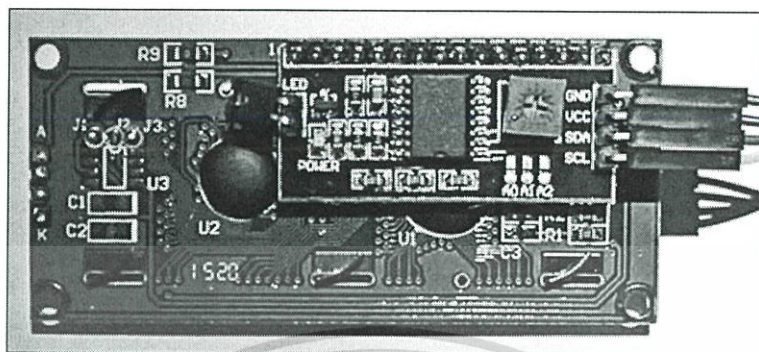
รูปที่ 2.12 Character LCD แบบ Parallel มี 16 ขา

ตารางที่ 2.3 ตารางขาของจอ LCD 16x2 แบบ Parallel

หมายเลข	สัญลักษณ์	คำอธิบาย
1	GND	Ground
2	VCC	+5VDC
3	VEE	LCD Control สำหรับความเข้มของตัวอักษร
4	RS	Register Select เป็นขาอินพุตสำหรับเลือกเขียนอ่านข้อมูลในรีจิสเตอร์
5	R/W	Read/Write เป็นขาอินพุตสำหรับเลือกโหมดเขียนหรืออ่านข้อมูล
6	E	Enable เป็นขาอินพุตสำหรับสัญญาณ Pulse เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูล
7	D0	Data Pins 8-bit
8	D1	
9	D2	
10	D3	
11	D4	
12	D5	
13	D6	
14	D7	
15	BL+	เป็นขา Vcc สำหรับ LED backlight (5V)
16	BL-	เป็นขา Gnd สำหรับ LED backlight (Gnd)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3.2 แบบ I2C มี 4 ขา



รูปที่ 2.13 Character LCD แบบ I2C มี 4 ขา

ตารางที่ 2.4 ตารางขาของจอ LCD 16x2 แบบ I2C

หมายเลข	สัญลักษณ์	คำอธิบาย
1	GND	Ground
2	VCC	+5VDC
3	SDA	Serial Data
4	SCL	Serial Clock

2.9 หม้อแปลงไอโซเลติง (Isolating Transformer)

หม้อแปลงชนิดนี้จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าด้านนอกเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าเช่น หม้อแปลงที่ใช้กับโต๊ะทดลองของห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิแยกออกจากกัน เมื่อเกิดข้อบกพร่องในการทดลองหรือเกิดการลัดวงจร จะเกิดความรุนแรงน้อยกว่าเมื่อไม่มีหม้อแปลง สาเหตุมาจากการยุบตัวของเส้นแรงแม่เหล็กทำให้เกิดการอาร์กที่รุนแรง นับเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันระบบไฟฟ้าชนิดหนึ่ง

2.10 วงจรกรองความถี่ (Filter Circuit)

วงจรกรองความถี่ คือวงจรที่เลือกความถี่ให้ผ่านไปได้ โดยใช้คุณสมบัติของ RLC ที่มีการตอบสนองต่อความถี่ต่างกัน วงจรกรองความถี่นิยมใช้งานวงจรของวิทยู ที่ใช้การตัดความถี่คลื่นพาออกไป หรือใช้ในวงจรดีมอดูเลตของโทรทัศน์ หากในวงจรเครื่องเสียง ก็จะใช้เลือกความถี่ให้

เหมาะสมกับลำโพงที่จะใช้งาน หรือปรับแต่งความถี่ที่ผ่านได้ เพื่อให้ระบบเสียงโดยรวมสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

2.10.1 คุณสมบัติของ RLC ที่มีผลกับความถี่

2.10.1.1 ตัวต้านทาน (R : Resistor)

คุณสมบัติของ R คือต้านทานกระแสไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อมีการใช้งานไฟฟ้ากระแสสลับ ก็มีความถี่เหมือนกับไฟฟ้ากระแสตรง โดย

$$XR = R \quad (2.1)$$

2.10.1.2 ตัวเหนี่ยวนำ (L : Inductor)

คุณสมบัติของ L คือจะยอมให้ความถี่ต่ำผ่านเท่านั้น ยิ่งความถี่สูงมากเท่าใด ความต้านทานภายในตัวของมันก็จะยิ่งสูงขึ้น สูตรการคำนวณคือ

$$XL = 2\pi fL \quad (2.2)$$

2.10.1.3 ตัวเก็บประจุ (C : Capacitor)

คุณสมบัติโดยปกติของตัวเก็บประจุ จะยอมให้ความถี่สูงผ่าน สูตรการหาความต้านทานของ C เมื่ออยู่ในไฟฟ้ากระแสสลับ คือ

$$XC = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.3)$$

2.10.2 การแบ่งประเภทของวงจรกรองความถี่

2.10.2.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

จะตัดความถี่ที่สูงกว่าความถี่ที่กำหนดทิ้งไป (ความถี่ที่กำหนด จะถูกเรียกว่าความถี่ตัดผ่าน)

2.10.2.2 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter)

จะยอมให้ความถี่ที่สูงกว่าที่กำหนดทิ้งไป และจะตัดความถี่ที่กำหนดทิ้งไป

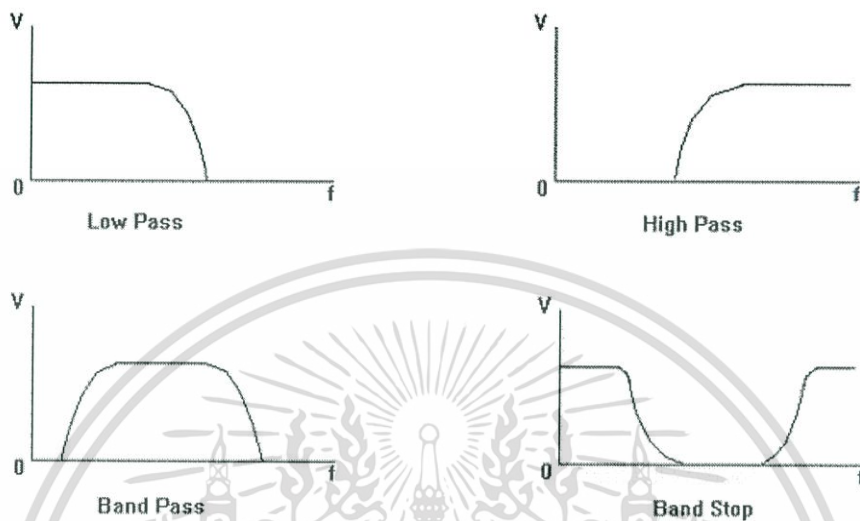
2.10.2.3 วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter)

จะตัดความถี่ให้ผ่านไปได้ช่วงหนึ่งเริ่มจากที่กำหนด และสิ้นสุดที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2.4 วงจรหยุดแถบความถี่ผ่าน (Band Stop Filter)

จะยอมให้ความถี่ที่นอกเหนือจากความถี่ที่กำหนดไว้ผ่านไปได้



รูปที่ 2.14 วงจรกรองความถี่แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

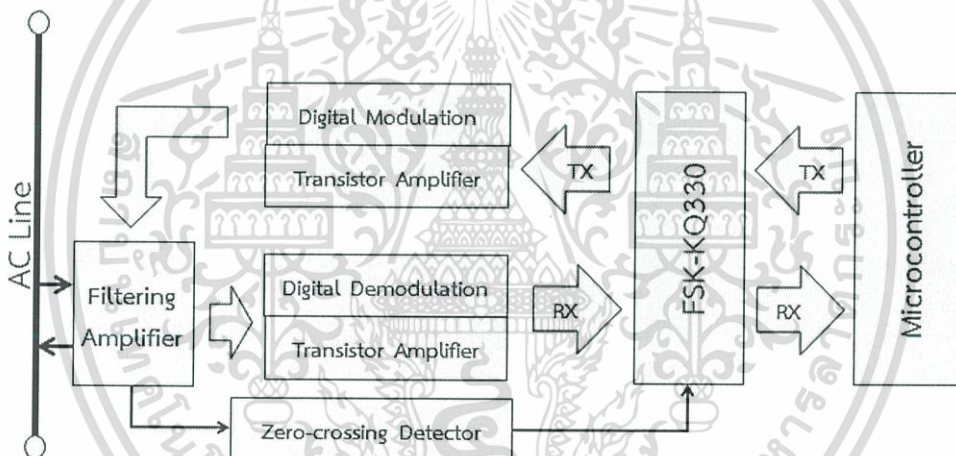
การออกแบบและการจัดทำปริญญาานิพนธ์

3.1 การออกแบบ

แบ่งในส่วนการออกแบบออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนฮาร์ดแวร์ และ ส่วนซอฟต์แวร์ โดยจะแสดงรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ส่วนฮาร์ดแวร์

การสร้างอุปกรณ์เพาเวอร์ไลน์โมเด็ม(Powerline modem) จะมีหลักการทำงานตามบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.1

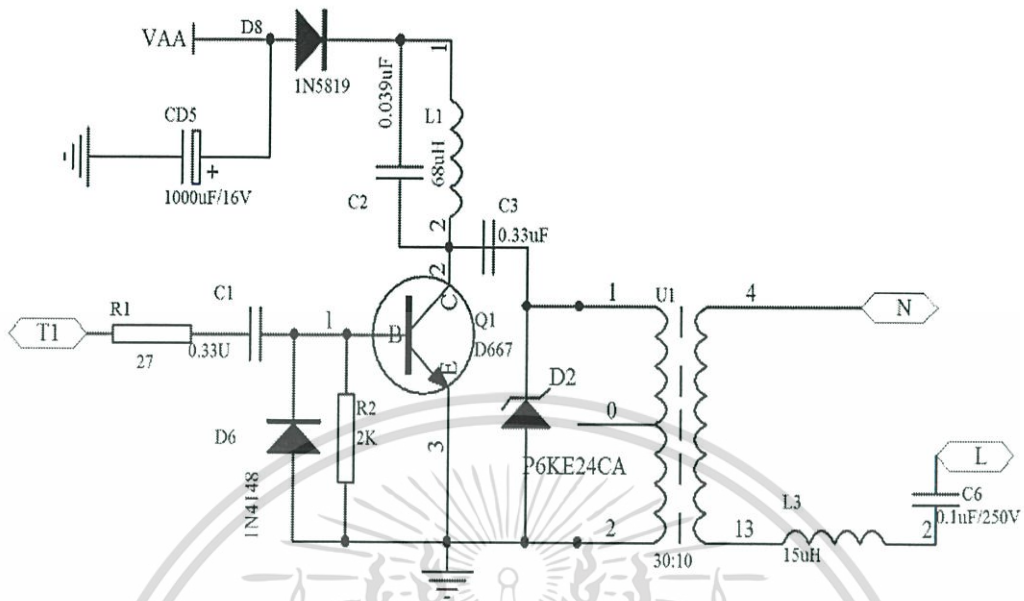


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์

การทำงานเริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าจากคอมพิวเตอร์แล้วส่งไปที่อุปกรณ์เพาเวอร์ไลน์โมเด็ม วงจรจะทำการมอดูเลตสัญญาณและทำการขยายก่อนส่งออกไปยังสายไฟฟ้า ทางฝั่งรับจะทำการกรองและดีมอดูเลตสัญญาณออกมาแล้วส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงผล โดยอุปกรณ์เพาเวอร์ไลน์โมเด็มจะประกอบด้วยฮาร์ดแวร์ส่วนต่างๆ ดังนี้

3.1.1.1 วงจรส่งข้อมูล (The data transmitting circuit)

วงจรหลักจะประกอบด้วยส่วนขยายด้วยทรานซิสเตอร์ วงจรเรโซแนนซ์ และวงจร transformer isolation จะช่วยให้รูปสัญญาณคงที่และไม่มีสัญญาณรบกวน



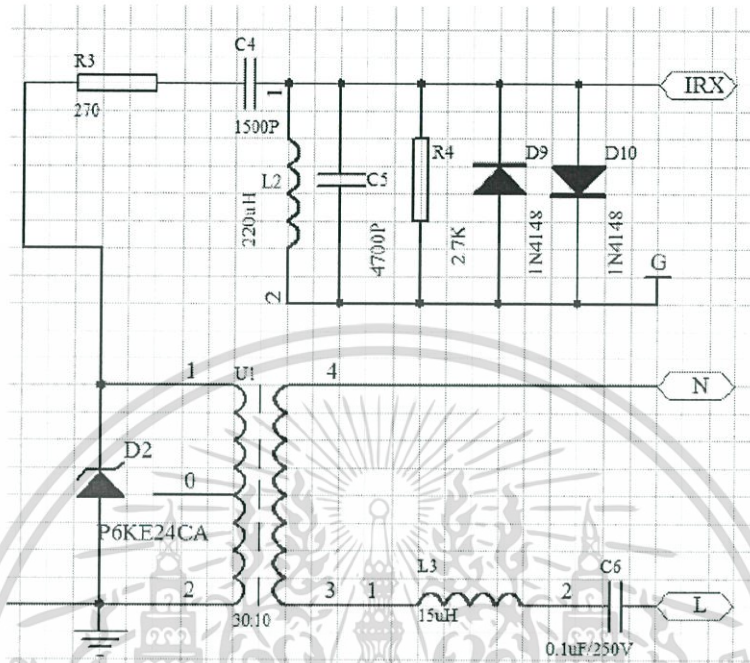
รูปที่ 3.2 วงจรส่งข้อมูล

ในระบบการสื่อสารข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้า หน้าที่ของวงจรส่งข้อมูลดังรูปที่ 3.1 อธิบายได้ดังนี้ สัญญาณที่ออกมาจากขาที่ 8 ของ FSK-KQ330 Module จะเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม และแยกเป็นคู่เพื่อส่งผ่านสายไฟฟ้าหลังจากที่ผ่านส่วนขยายและส่วนตรวจจับแล้วหน้าที่ของ ตัวต้านทาน (R1) และตัวเก็บประจุ (C1) คือจำกัดกระแส ทราานซิสเตอร์(Q1)ทำหน้าที่ ขยายสัญญาณ ขดลวด (L1) และตัวเก็บประจุ (C2) รวมกันเป็นวงจรเรโซแนนซ์ ส่วนประกอบต่างๆ ของวงจรจะสามารถแปลงสัญญาณขาออกที่ขาที่ 8 ของ FSK-KQ330 Module เป็นคลื่นรูปไซน์ได้ ดังนั้นสัญญาณจะถูกขยายโดยทรานซิสเตอร์(Q1) หม้อแปลงจะทำหน้าที่แยกสัญญาณรบกวน และเพิ่มกระแส

3.1.1.2 วงจรรับข้อมูล (The data receiving circuit)

วงจรหลักจะประกอบด้วยส่วนขยายด้วยไดรไอโอด วงจรเรโซแนนซ์ The transformer isolation circuit และวงจร zero-crossing detection วงจรรับข้อมูลจะเชื่อมต่อกับสายไฟฟ้า และส่งสัญญาณไปยังโมดูล หน้าที่หลักของวงจรรับข้อมูลคือการตรวจจับเมื่อสัญญาณถูกตรวจจับ และขยายFSK-KQ330 Moduleจะระบุสถานะปกติ

1) วงจรรับข้อมูล

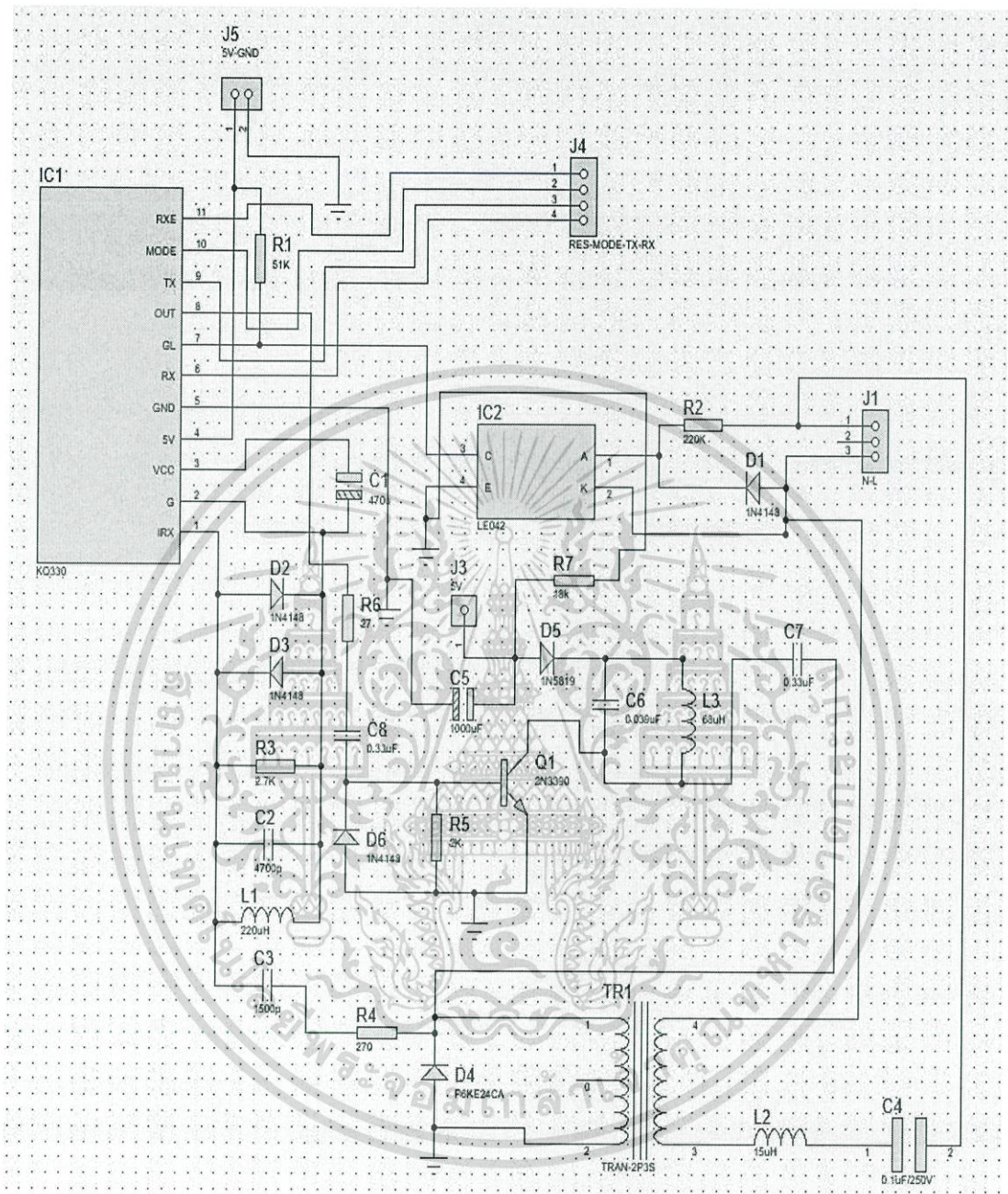


รูปที่ 3.3 วงจรรับข้อมูล

การทำงานของวงจรรับข้อมูลดังรูปที่ 3.2 อธิบายได้ดังนี้ สัญญาณจากสายไฟฟ้าจะผ่านเข้ามาและถูกรับที่ขา 1 ของ FSK-KQ330 Module หลังจากผ่านวงจรที่อยู่รอบข้าง วงจรที่อยู่รอบข้างจะทำหน้าที่เป็นวงจรเรโซแนนซ์ เพื่อกำหนดความถี่ กล่าวคือจะใช้ FSK-KQ330 Module เพื่อระบุความถี่ หลังจากเกิด interrupt ที่ The transformer isolation circuit และวงจรเรโซแนนซ์ กำหนดความถี่และขยายสัญญาณ จะใช้ diode 2 ตัวกรองสัญญาณที่มีขนาดใหญ่เกิน 0.7V ออก เพื่อป้องกัน FSK-KQ330 Module ขดลวด(L3)และตัวเก็บประจุ(C6)ประกอบเป็นวงจรเรโซแนนซ์ จะสามารถทำให้สัญญาณที่ต้องการเกิดเรโซแนนซ์ ได้ หน้าที่ของวงจรเรโซแนนซ์คือขยายและตรวจจับสัญญาณ ขดลวด(L2)และตัวเก็บประจุ(C5)ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเพิ่มเติมและตรวจจับสัญญาณที่ผิดปกติออก

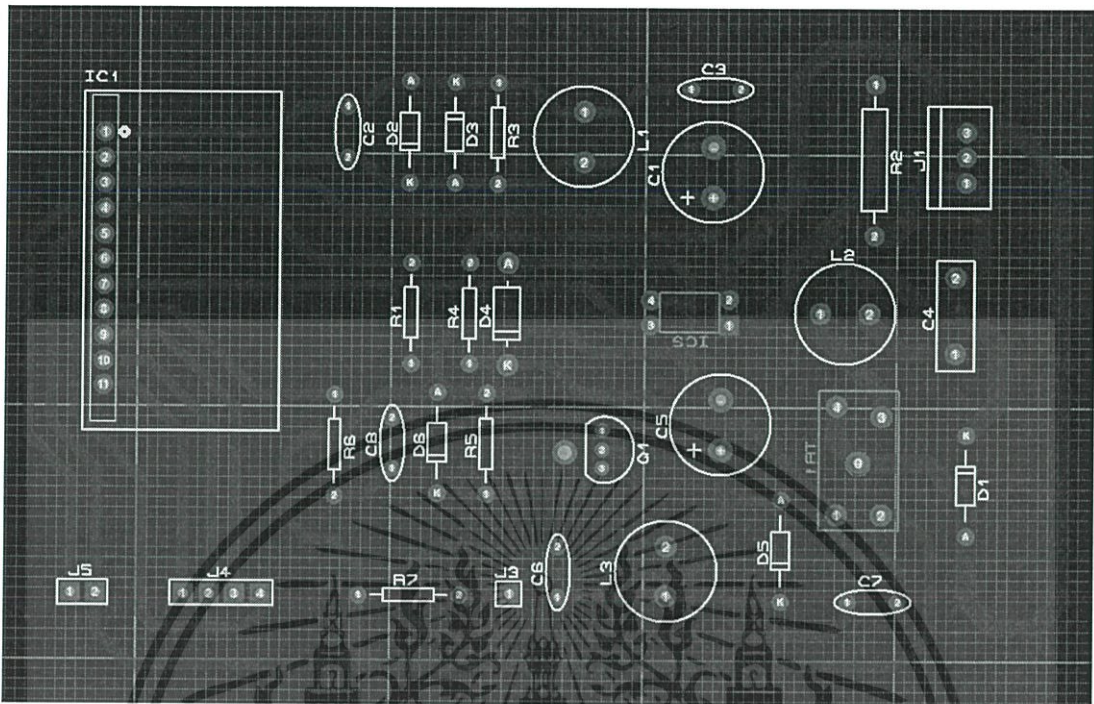
2) Zero-crossing detecting circuit

ทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณคลื่นรูปไซน์จากสายไฟฟ้า เมื่อสัญญาณไซน์ผ่านจุดศูนย์ ข้อมูลจะส่งได้เสถียรและแอมพลิจูดไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก วงจรสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

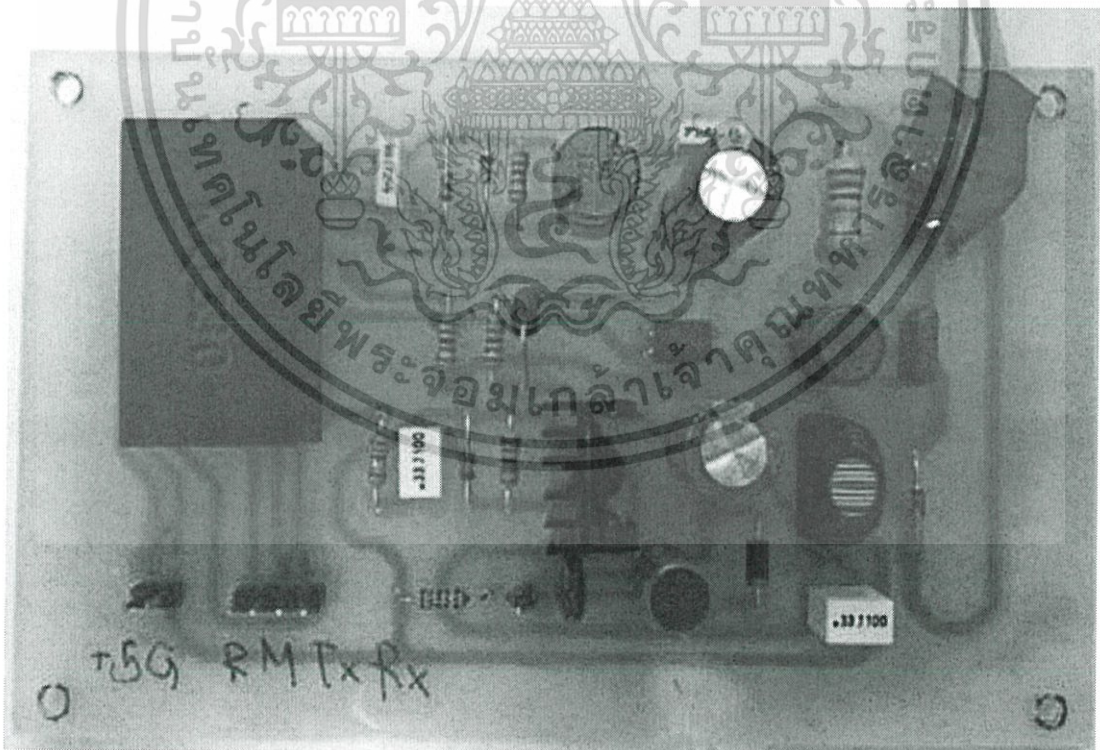


รูปที่ 3.5 ลายวงจร Schematic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ลายวงจร PCB



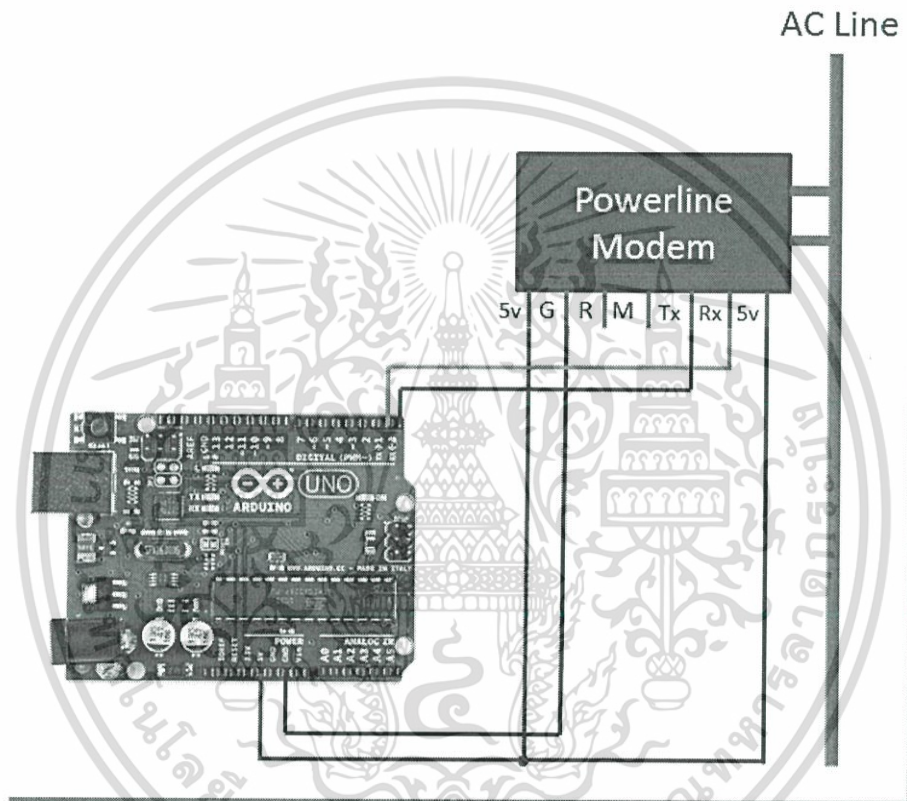
รูปที่ 3.7 บอร์ดวงจรที่ทำเสร็จสิ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกใช้ในควบคุมการส่งและรับข้อมูล โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้คือ Arduino Uno R3

ทำการต่อไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับอุปกรณ์เพาเวอร์ไลน์โมเด็ม ทั้งฝั่งส่งและฝั่งรับ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.8 การต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์เพาเวอร์ไลน์โมเด็ม ทั้งฝั่งส่งและฝั่งรับ

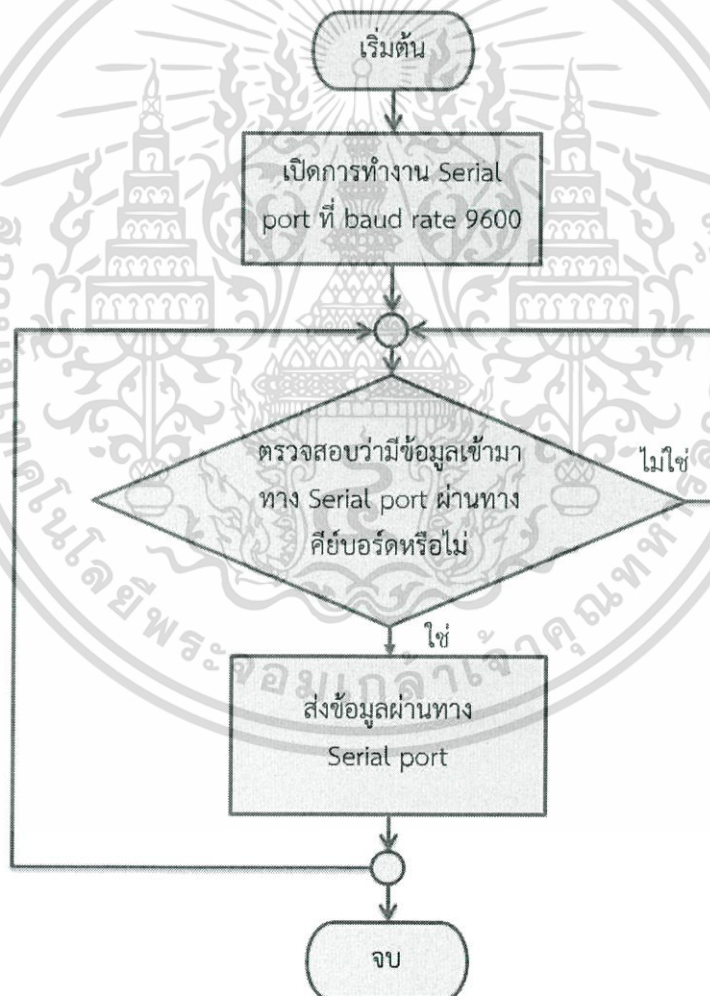
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ส่วนซอฟต์แวร์

ในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องใช้โปรแกรม Arduino IDE เพื่อกำหนดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งทางด้านส่งและด้านรับ โดยการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ทั้งในด้านส่งและด้านรับจะแสดงเป็นแผนภาพได้ดังนี้

3.1.2.1 การทำงานของโปรแกรมฝั่งส่ง

การทำงานเริ่มจากเปิดการทำงานของ Serial port และตรวจสอบว่ามีข้อมูลเข้ามาทาง Serial port หรือไม่ โดยข้อมูลที่เข้ามานี้จะมาจากการพิมพ์ผ่านทางคีย์บอร์ด เมื่อมีข้อมูลเข้ามาจะทำการส่งข้อมูลนั้นออกไปทาง Serial port

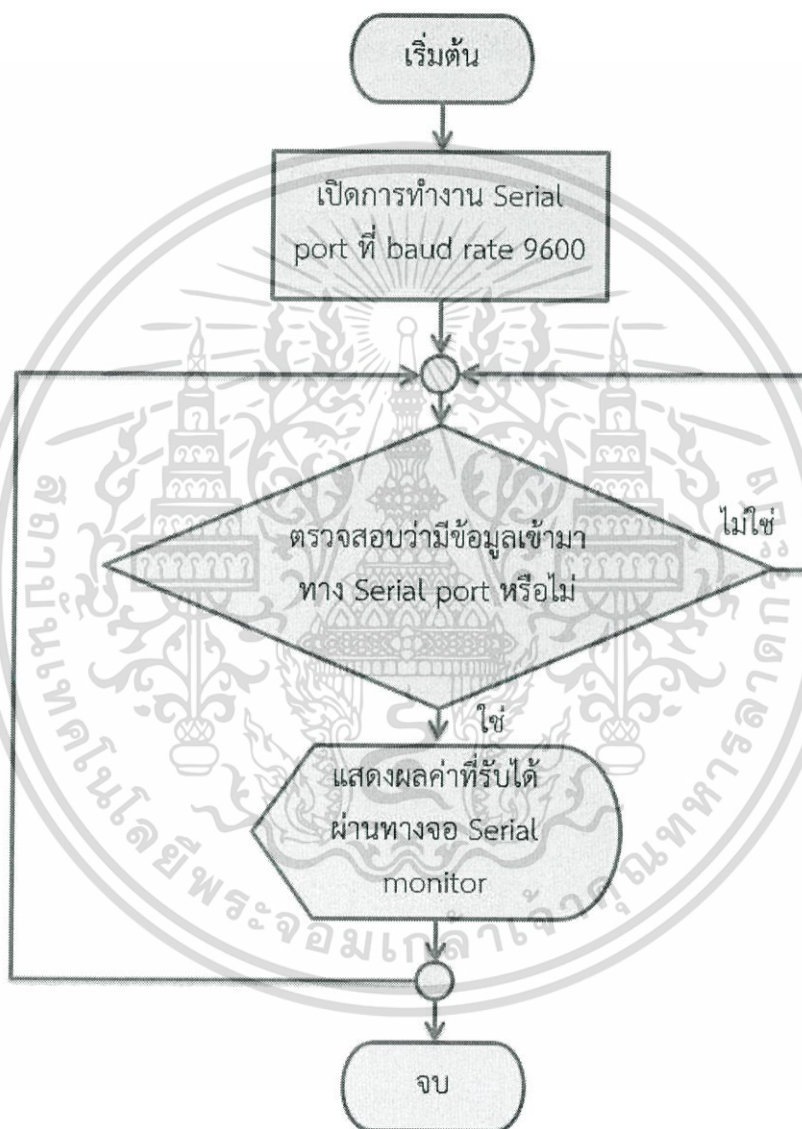


รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมฝั่งส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 การทำงานของโปรแกรมฝั่งรับ

การทำงานเริ่มจากเปิดการทำงานของ Serial port จากนั้นตรวจสอบว่ามีข้อมูลเข้ามาทาง Serial port หรือไม่ ถ้ามีให้แสดงค่าผ่านทางจอ Serial monitor ของโปรแกรม Arduino IDE ถ้าไม่มีให้กลับไปตรวจสอบใหม่



รูปที่ 3.10 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมฝั่งรับ

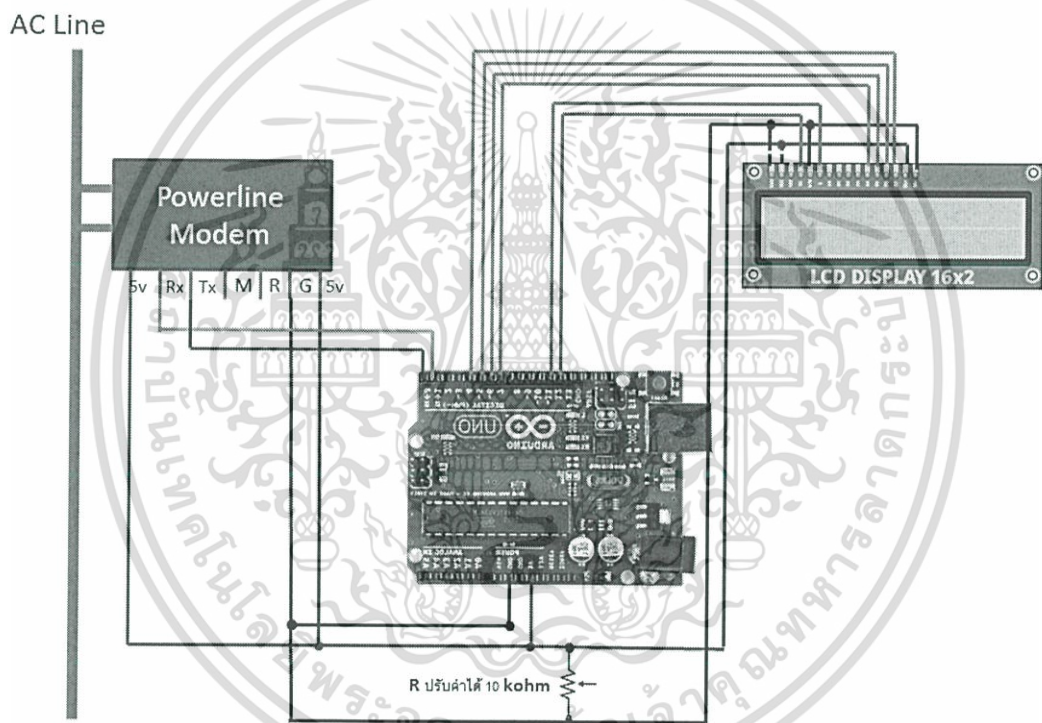
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ส่วนนำไปประยุกต์ใช้

เนื่องจากการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าที่ได้จัดทำขึ้นนั้น สามารถส่งข้อมูลได้ในระยะไมไกลนัก จึงได้คิดที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับป้ายจอ LCD โดยทำการส่งข้อความจากคอมพิวเตอร์ไปขึ้นจอ LCD ผ่านทางสายไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้องทำการเพิ่มส่วนการทำงานของจอ LCD ทางฝั่งรับดังนี้

3.1.3.1 การเชื่อมต่อจอ LCD เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ทางฝั่งรับ

ทำการเชื่อมต่อจอ LCD เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ทางฝั่งรับดังรูปที่ 3.10

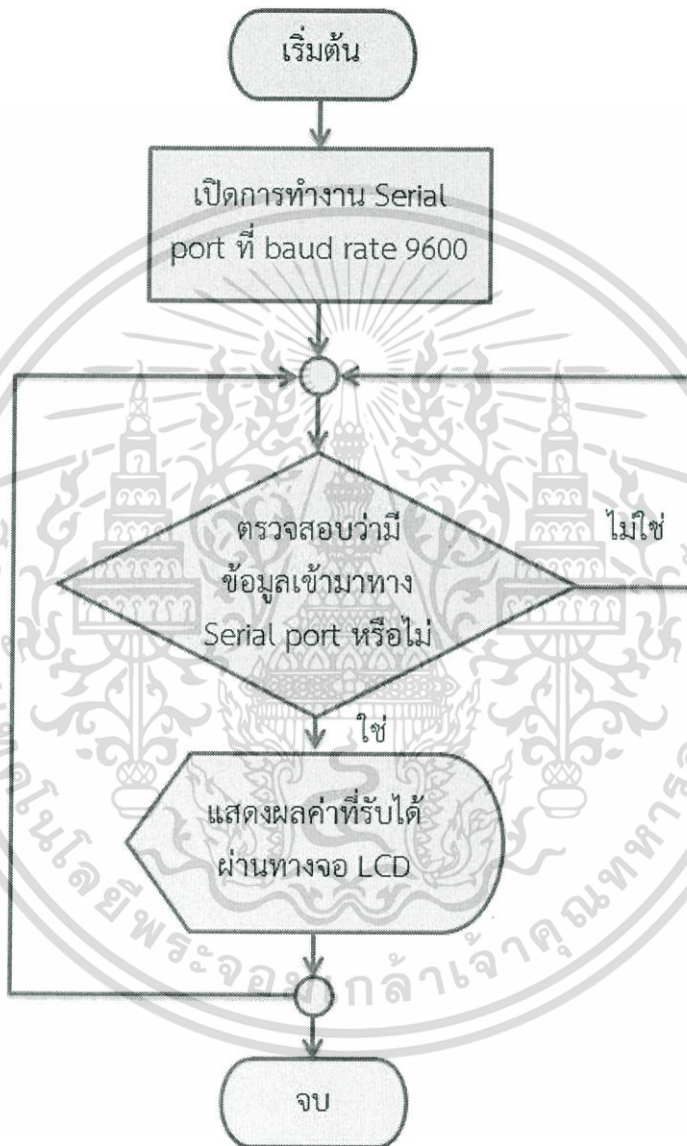


รูปที่ 3.11 การต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์เพาเวอร์ไลน์โมเด็ม และจอ LCD ทางฝั่งรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.2 การทำงานของโปรแกรมทางฝั่งรับ

การทำงานเริ่มจากเปิดการทำงานของ Serial port จากนั้นตรวจสอบว่ามีข้อมูลเข้ามาทาง Serial port หรือไม่ ถ้ามีให้แสดงค่าผ่านทางจอ LCO ถ้าไม่มีให้กลับไปตรวจสอบใหม่



รูปที่ 3.12 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมฝั่งรับเมื่อเพิ่มส่วนจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 อุปกรณ์ด้านฮาร์ดแวร์

เพื่อใช้ในการทดสอบและเก็บผลการทดลองทางด้านฮาร์ดแวร์ ได้แก่

3.2.1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์(Computer)

3.2.1.2 ออสซิลโลสโคป

3.2.1.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.1.4 เพาเวอร์ไลน์โมเด็ม

3.2.2 อุปกรณ์ด้านซอฟต์แวร์

โปรแกรมที่ต้องใช้ในเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้แก่

3.2.2.1 Arduino IDE

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 วัดสัญญาณข้อมูลดิจิทัลที่ต้องการส่ง

โดยใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่ส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ก่อนที่จะนำไปมอดูเลตโดยอุปกรณ์เพาเวอร์ไลน์โมเด็ม เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณที่รับได้ทางฝั่งรับ

3.3.2 วัดสัญญาณ FSK ที่มอดูเลตได้

โดยใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตโดยอุปกรณ์เพาเวอร์ไลน์โมเด็ม เพื่อดูลักษณะของสัญญาณ

3.3.3 วัดสัญญาณ FSK ที่ได้จากวงจรขยาย

โดยใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณ FSK ก่อนและหลังผ่านวงจรขยายทั้งทางฝั่งส่งและฝั่งรับ

3.3.4 วัดสัญญาณข้อมูลดิจิทัลที่รับได้

โดยใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่ผ่านการตีมอดูเลตแล้วโดยอุปกรณ์เพาเวอร์ไลน์โมเด็ม ทางฝั่งรับ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ส่งมาทางฝั่งส่ง

3.3.5 ผลการแสดงผลค่าที่รับได้ผ่านทางจอ Serial monitor ทางฝั่งรับ

โดยใช้จอ Serial monitor ในการแสดงผลค่าที่รับได้ทางฝั่งรับ

3.3.6 ผลการแสดงผลค่าที่รับได้ผ่านทางจอ LCD ทางฝั่งรับ

โดยใช้จอ LCD ในการแสดงผลค่าที่รับได้ทางฝั่งรับ

3.3.7 วัดอัตราการผิดพลาดของข้อมูลที่ระยะต่างๆ

โดยทำการทดสอบอัตราการผิดพลาดของการส่งข้อมูลที่ระยะต่างๆ และทำการคำนวณค่าอัตราการผิดพลาดของข้อมูล

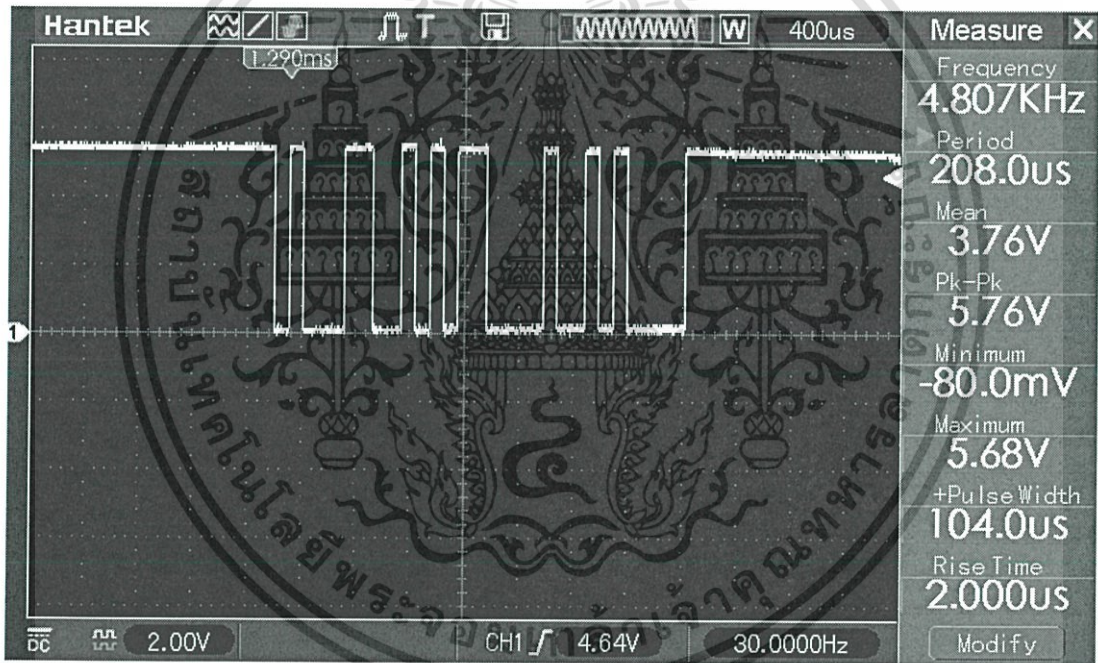


บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 สัญญาณข้อมูลดิจิทัลที่ต้องการส่ง

ในการทดลองการส่งสัญญาณผ่านสายไฟฟ้าต้องหาตัวอย่างข้อมูลในการส่งซึ่งตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ จะใช้สัญญาณที่กำหนดจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้โปรโตคอลแบบ UART โดยการทดลองจะใช้ทำการส่งข้อมูลเลข “1” จากไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อนำออสซิลโลสโคปไปวัดสัญญาณ ได้สัญญาณดิจิทัลดังรูปที่ 4.1



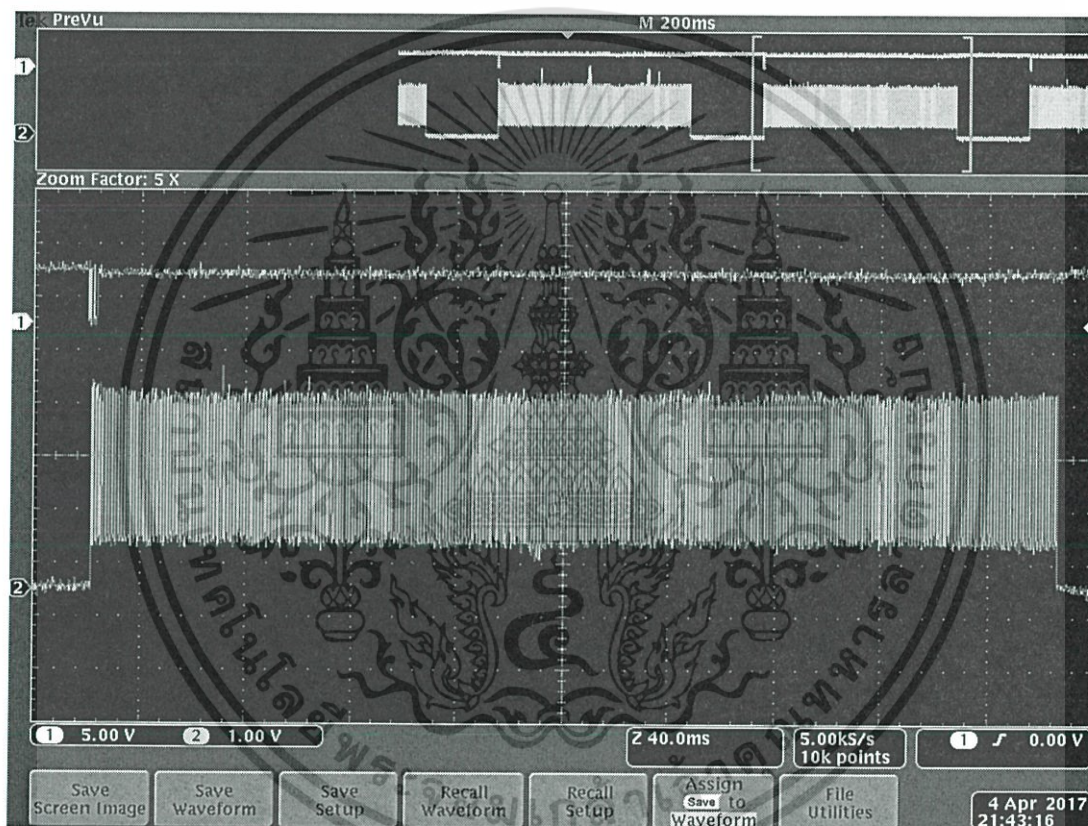
รูปที่ 4.1 สัญญาณข้อมูลดิจิทัลที่ส่งจากเครื่องออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ที่มอดูเลตได้

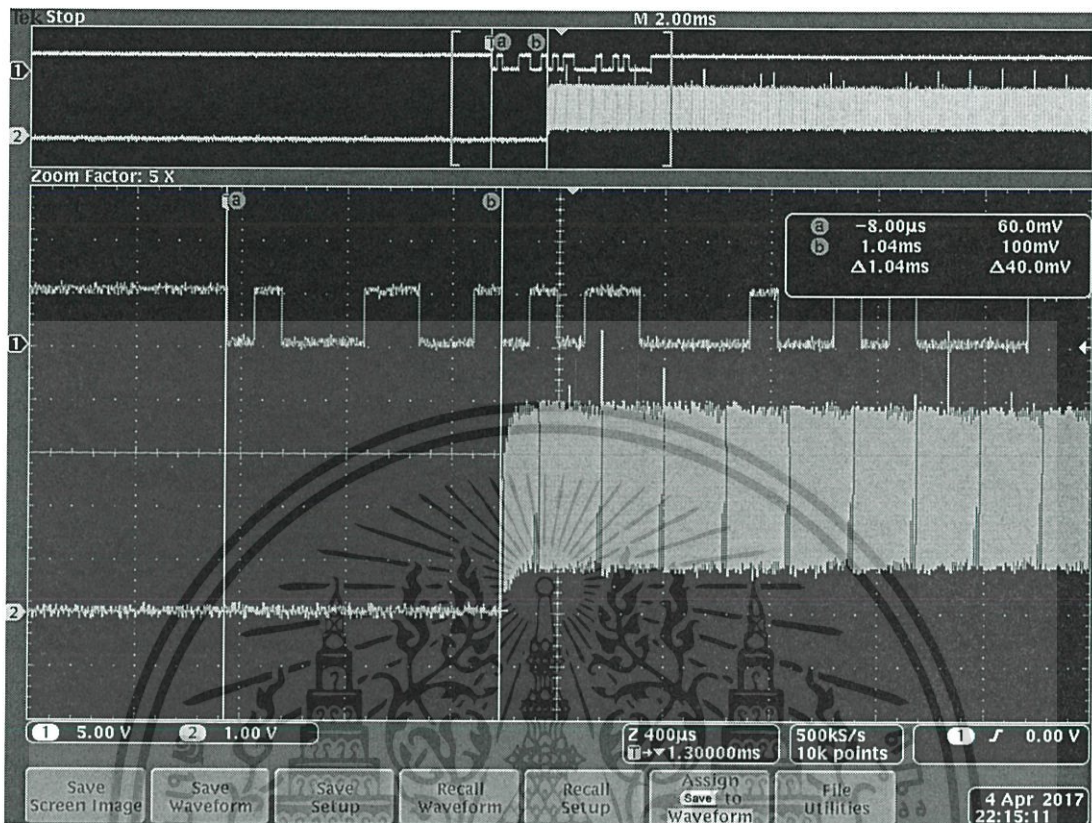
4.2.1 สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) เมื่อเทียบกับสัญญาณดิจิทัลที่ส่ง

สัญญาณดิจิทัลจะถูกลมอดูเลตให้เป็นสัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) โดยอุปกรณ์เพาเวอร์ไลน์โมเด็ม เมื่อนำออสซิลโลสโคป CH.2(สัญญาณล่าง) ไปวัดสัญญาณ จะได้สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ที่วัดได้เทียบกับสัญญาณดิจิทัลที่ส่ง

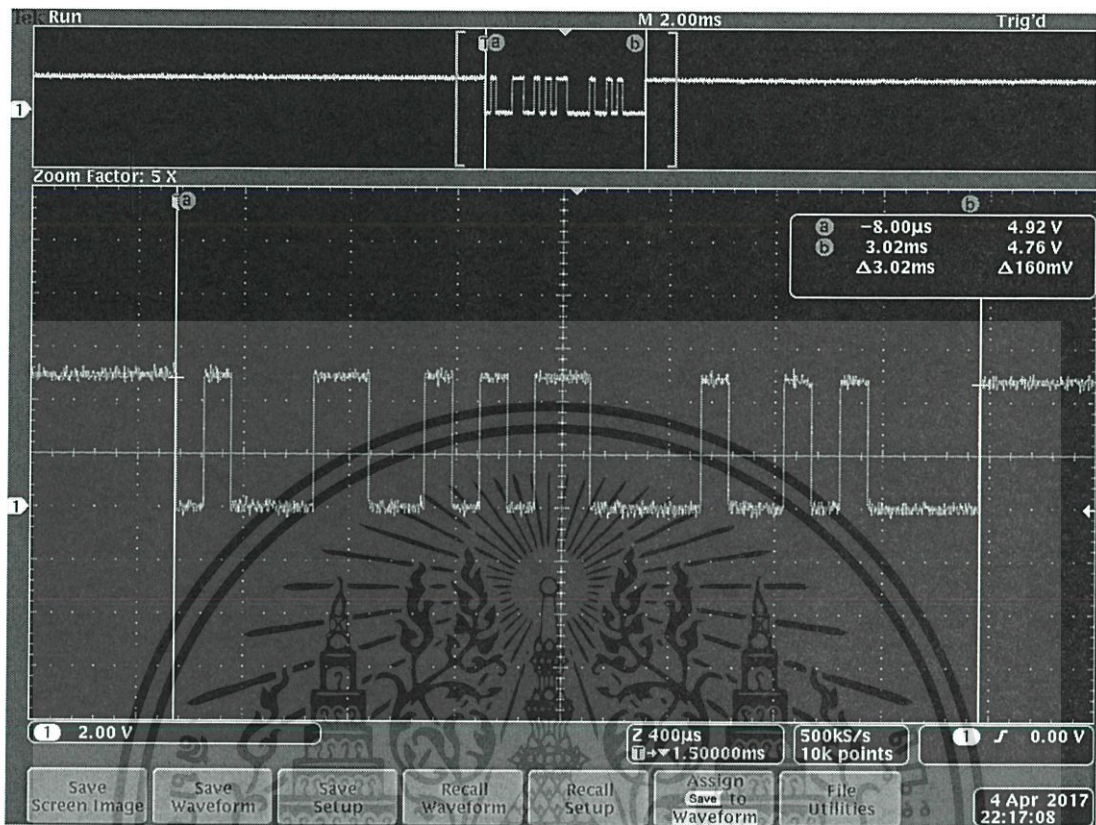
ส่วนสัญญาณ CH.1(สัญญาณบน) คือสัญญาณดิจิทัลก่อนที่จะมอดูเลต เมื่อซูมเข้าไปจะเห็นเป็นสัญญาณดิจิทัลดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ที่วัดได้เทียบกับสัญญาณดิจิทัลที่ส่งเมื่อขยาย เมื่อขยายเข้าไปจะเห็นว่าอุปกรณ์เพาเวอร์ไลน์ไม่เต็ม จะใช้เวลาในการมอดูเลตเป็นเวลาเท่ากับ 1.04 มิลลิวินาที

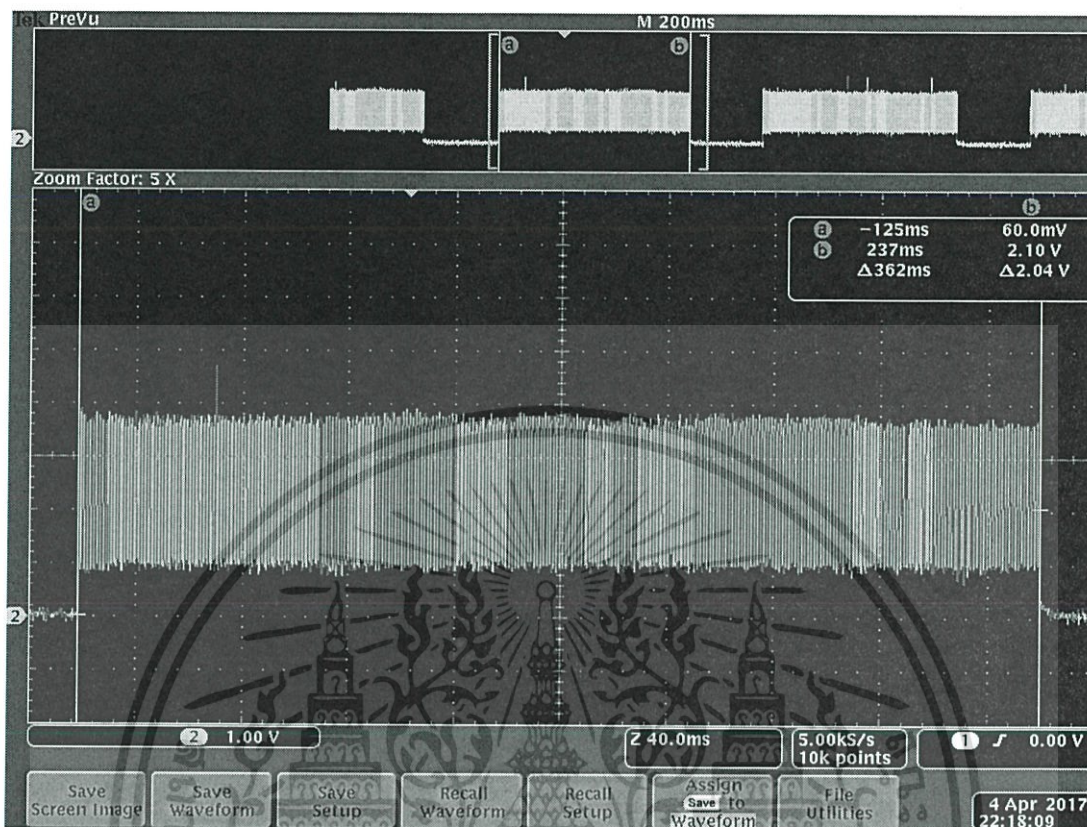
4.2.2 ความกว้างของสัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) เมื่อเทียบกับสัญญาณดิจิทัลที่ส่ง

ใช้ออสซิลโลสโคปวัดความกว้างของสัญญาณดิจิทัลได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความกว้างของสัญญาณดิจิทัล

จากรูปวัดความกว้างของสัญญาณดิจิทัลได้เท่ากับ 3.02 มิลลิวินาทีและใช้ออสซิลโลสโคปวัดความกว้างของสัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ได้ดังรูปที่ 4.5

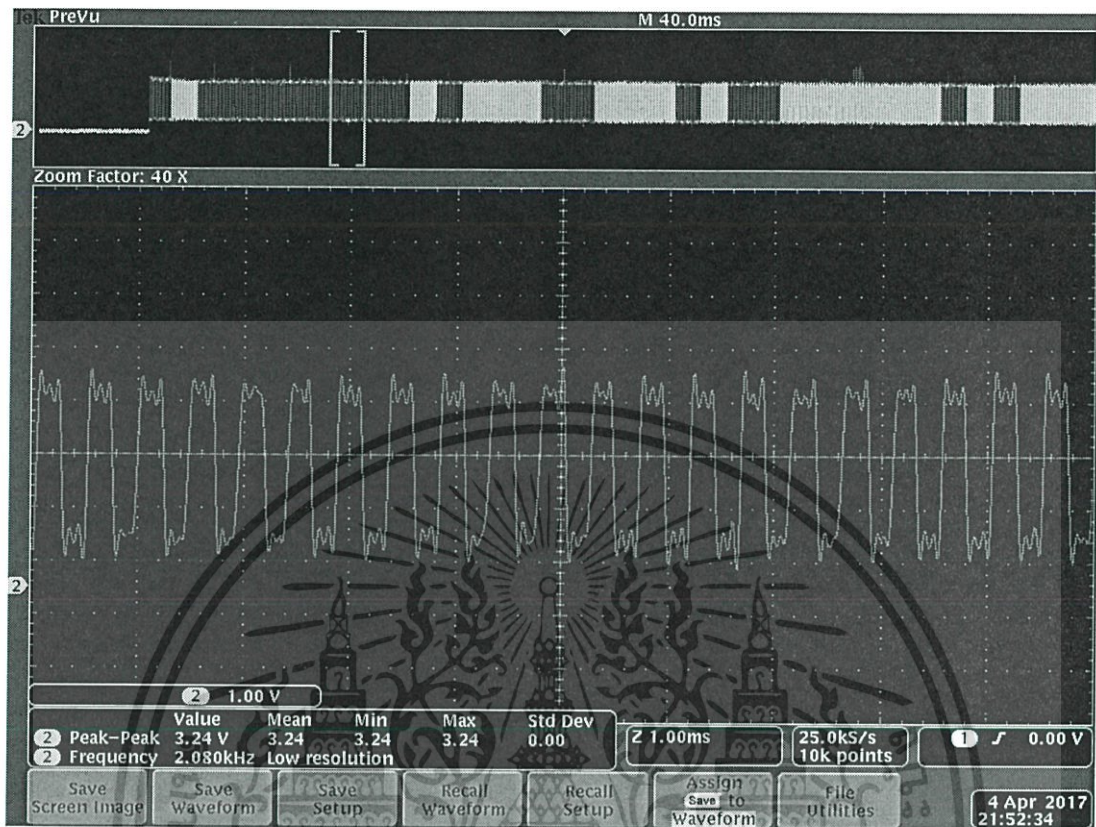


รูปที่ 4.5 ความกว้างของสัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying)

จากรูปวัดความกว้างของสัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ได้เท่ากับ 362 มิลลิวินาที

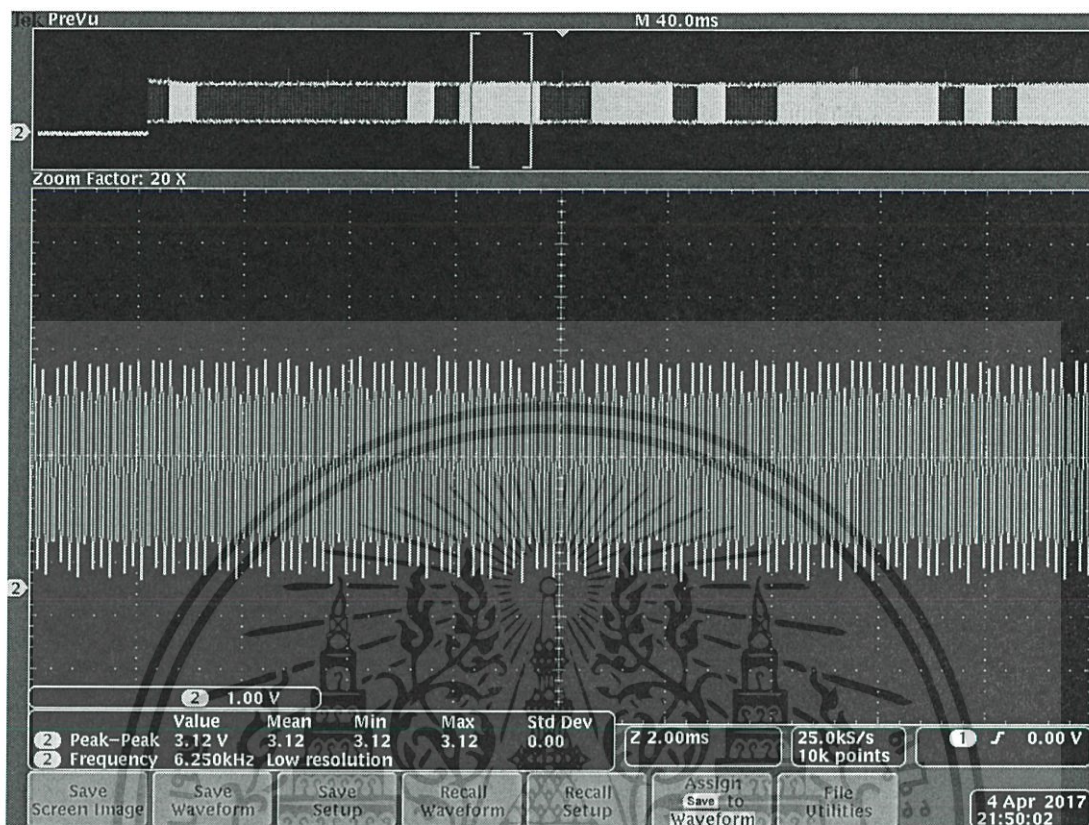
4.2.3 ความถี่ของสัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying)

สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) จะประกอบด้วยสัญญาณความถี่ต่ำและสัญญาณความถี่สูง โดยสัญญาณความถี่ต่ำจะตรงกับบิต 0 ของสัญญาณดิจิทัลที่ส่ง ส่วนสัญญาณความถี่สูงจะตรงกับบิต 1 ของสัญญาณดิจิทัลที่ส่ง เมื่อนำออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ได้สัญญาณความถี่ต่ำและสัญญาณความถี่สูงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ส่วนที่เป็นความถี่ต่ำ
จากรูปที่ 4.6 วัดความถี่ของสัญญาณได้เท่ากับ 2.08 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

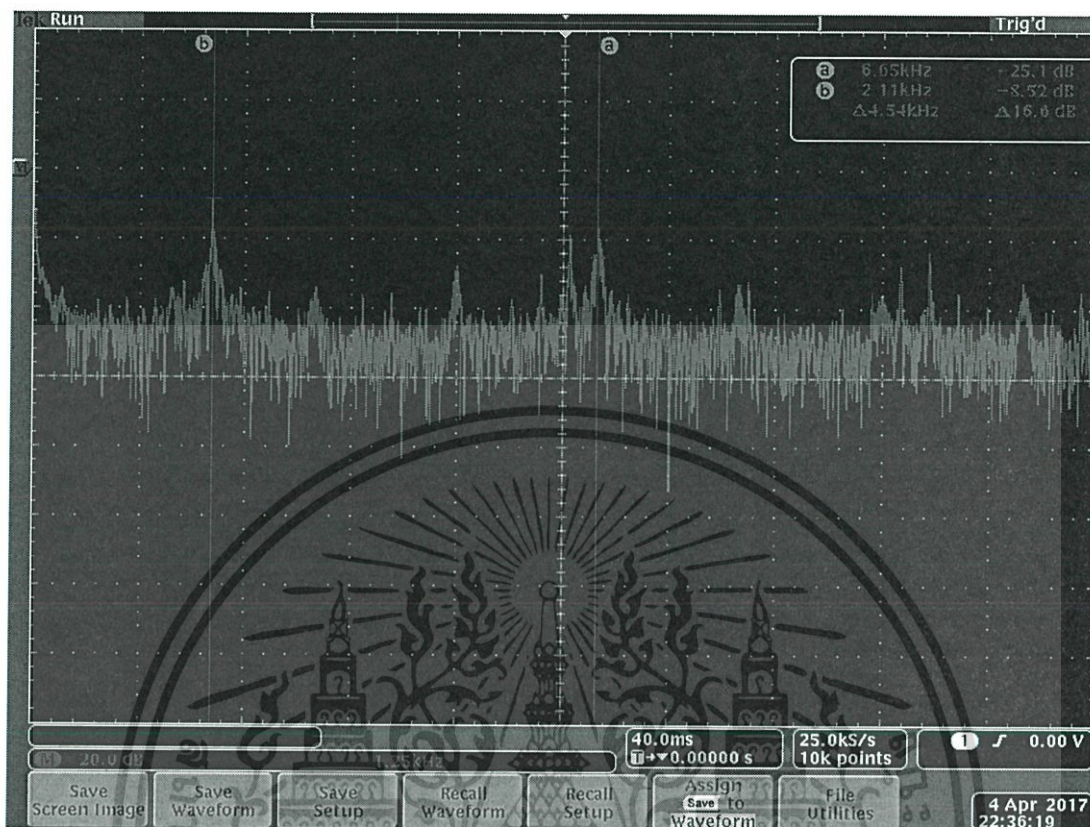


รูปที่ 4.7 สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ส่วนที่เป็นความถี่สูง

จากรูปที่ 4.7 วัดความถี่ของสัญญาณได้เท่ากับ 6.25 kHz

4.2.4 สเปกตรัมของสัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying)

ทำการวัดสเปกตรัมของสัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) โดยใช้
ออสซิลโลสโคปได้สเปกตรัมดังรูปที่ 4.8

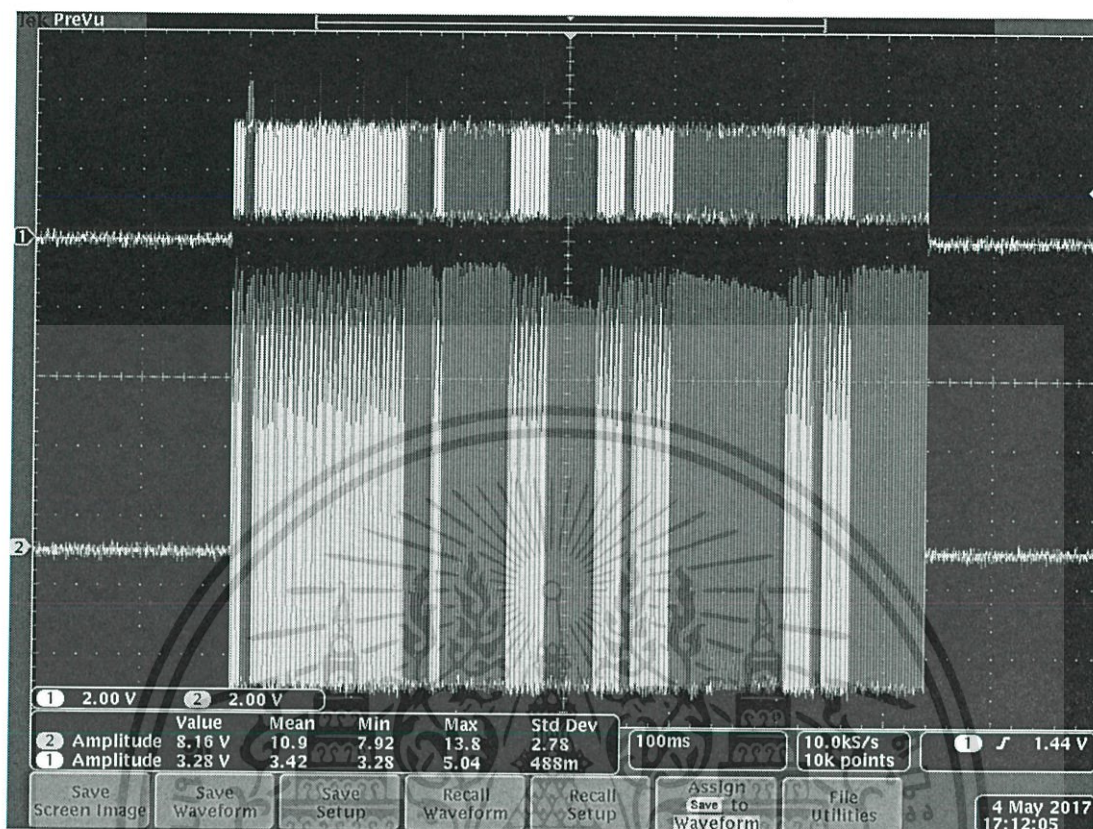


รูปที่ 4.8 สเปกตรัมของสัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying)
จากรูปที่ 4.8 วัดสเปกตรัมของสัญญาณได้เท่ากับ 2.11 kHz และ 6.65 kHz

4.3 สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ที่ได้จากวงจรขยาย

4.3.1 สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ที่ถูกขยายทางฝั่งส่ง

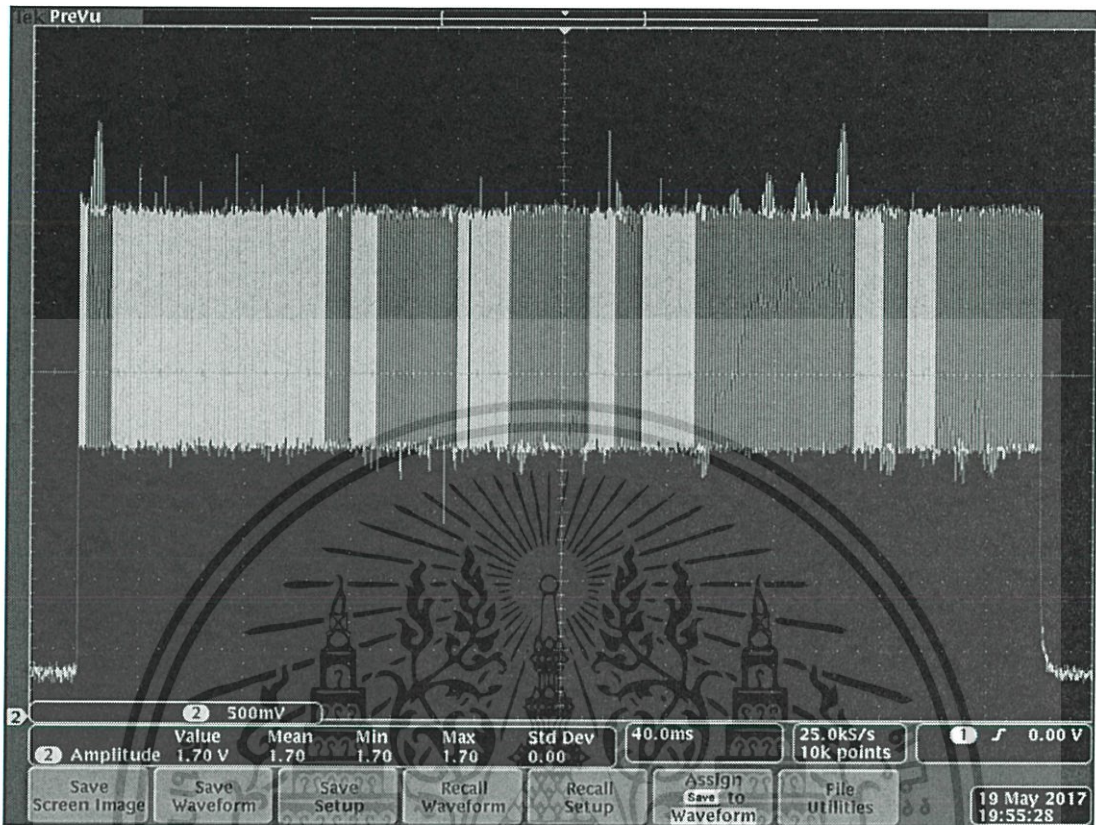
สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) จะถูกขยายโดยวงจรไทรโอดเพื่อเตรียมพร้อมที่จะส่งไปยังสายไฟฟ้าเพราะในสายไฟฟ้าจะมีสัญญาณรบกวนมาก จึงต้องขยายสัญญาณเพื่อทำให้อุปกรณ์ฝั่งรับตรวจจับสัญญาณได้ง่ายขึ้น เมื่อนำออสซิลโลสโคปไปวัดสัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ได้สัญญาณเดิมและสัญญาณที่ถูกขยายดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ที่ถูกขยายทางฝั่งส่ง
จากรูปที่ 4.9 CH.1(สัญญาณบน)สัญญาณเดิมและCH.2(สัญญาณล่าง)สัญญาณที่ถูก
ขยาย

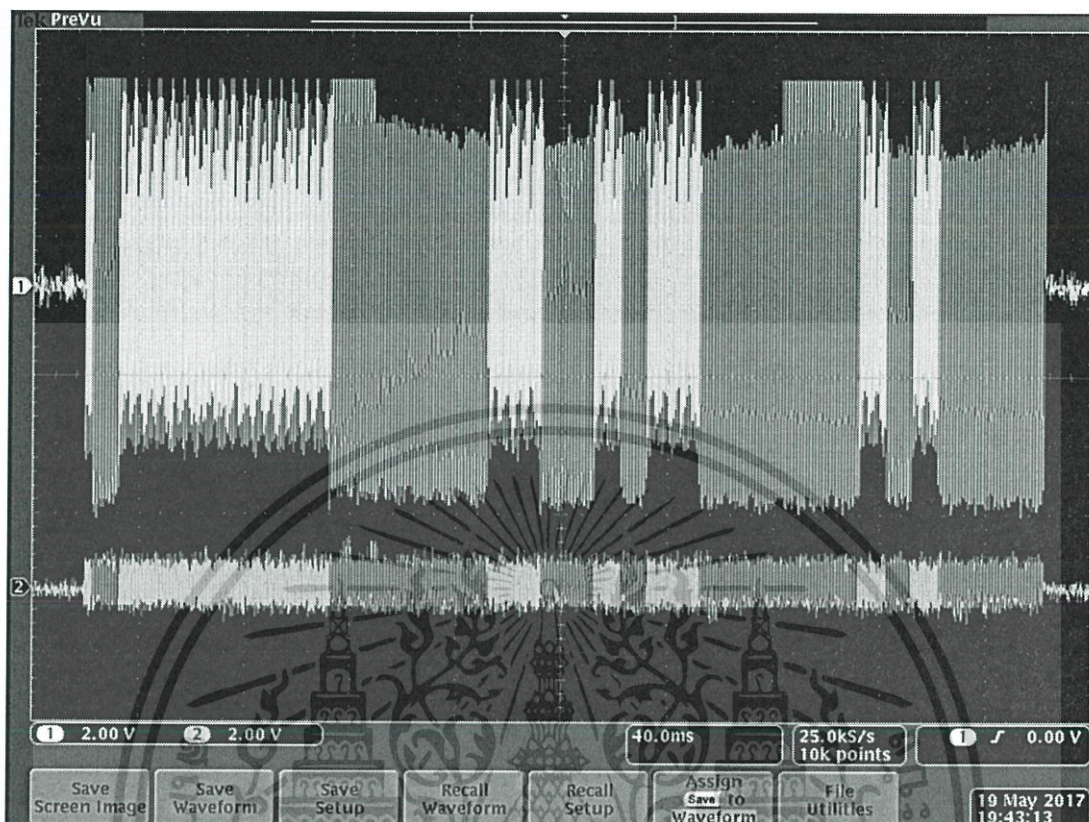
4.2 สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ที่ถูกลดระดับทางฝั่งรับ

สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ที่รับได้จากสายไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 4.10 และจะถูกลดระดับโดยวงจรจำกัดกระแสเพื่อป้องกันไอซีเสียหายและเมื่อนำออสซิลโลสโคปไปวัด สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) จะได้สัญญาณที่รับได้และสัญญาณที่ถูกลดระดับดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ที่รับได้โดยอุปกรณ์เพาเวอร์ไลน์โมเด็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

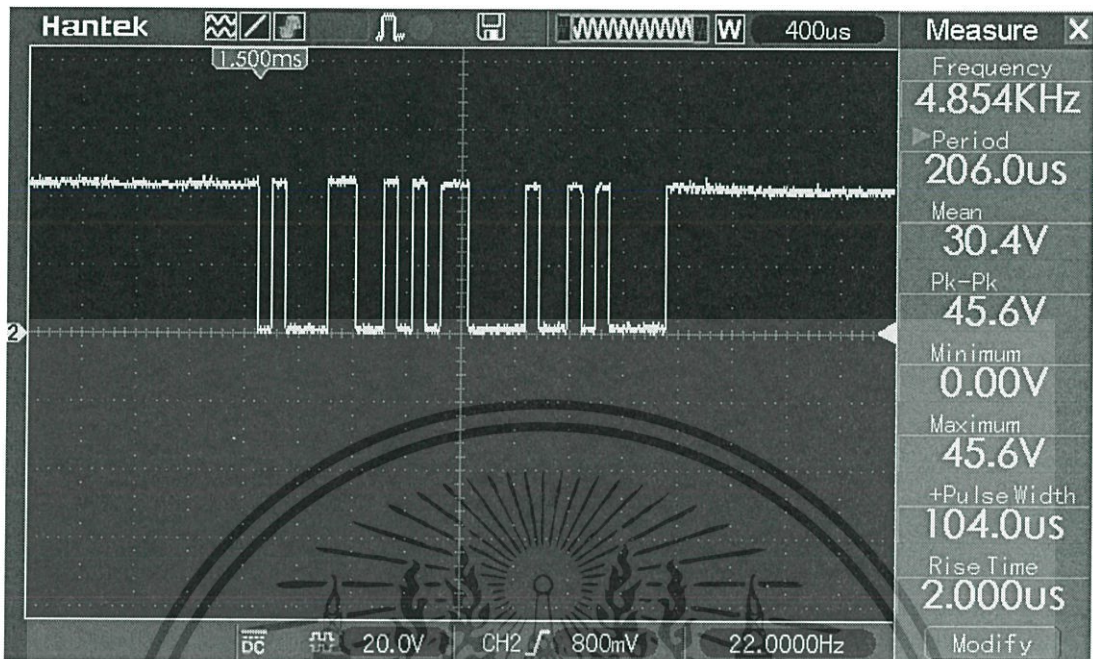


รูปที่ 4.11 สัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ที่ถูกลดระดับทางฝั่งรับ
จากรูปที่ 4.11 CH.1 (สัญญาณบน)สัญญาณที่รับได้และCH.2 (สัญญาณล่าง)สัญญาณ
ที่ถูกลดระดับ

4.4 สัญญาณข้อมูลดิจิทัลที่รับได้

4.4.1 สัญญาณข้อมูลดิจิทัลที่รับได้

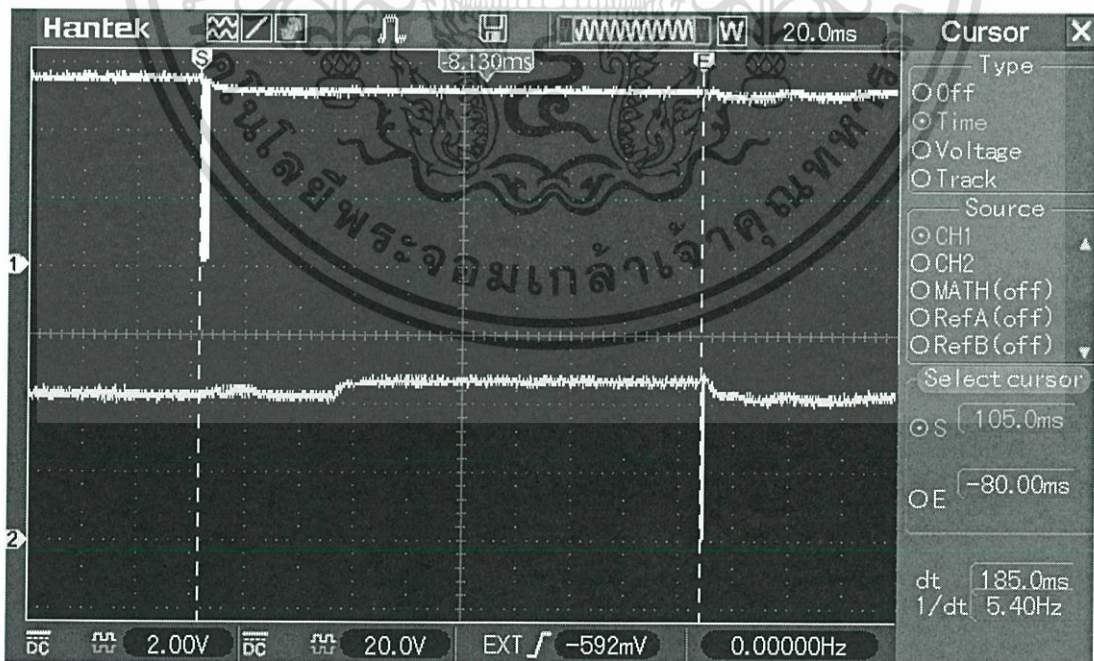
เมื่อสัญญาณ FSK (Frequency Shift Keying) ที่ส่งมา เข้ามายังอุปกรณ์เพาเวอร์
ไลน์โมเด็มฝั่งรับ จะถูกตีมอดูเลตกลับเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้ฮอสซิลอสโคปวัดสัญญาณได้ดังรูป
ที่ 4.12



รูปที่ 4.12 สัญญาณดิจิทัลที่รับได้

4.4.2 ทีเลเยอร์ของสัญญาณดิจิทัลที่รับได้เทียบกับสัญญาณดิจิทัลที่ส่ง

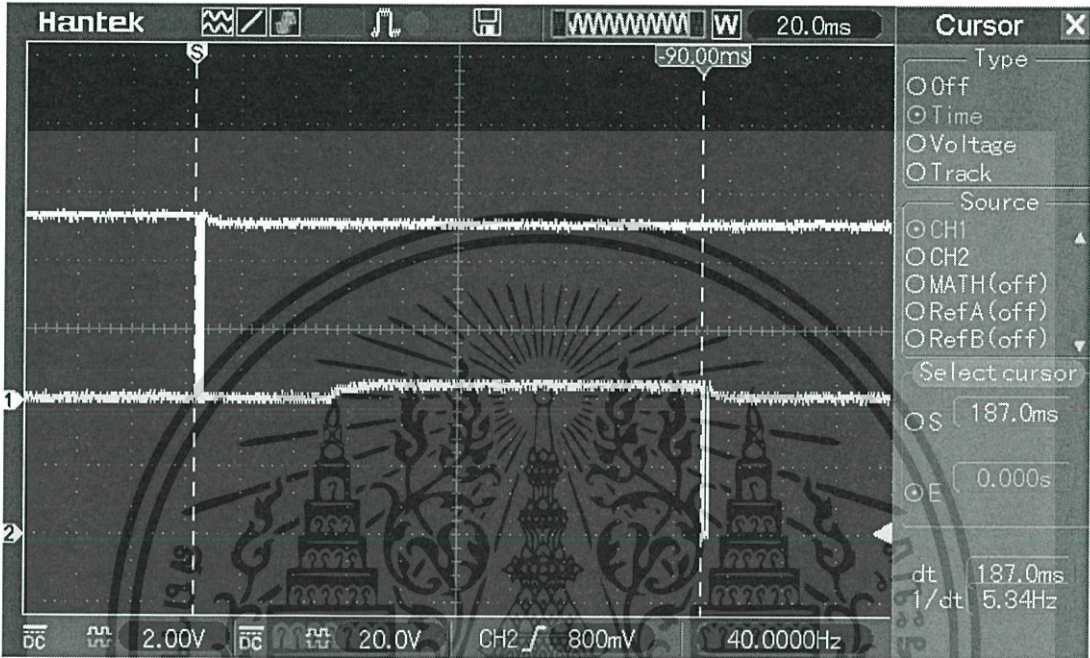
เมื่อใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณดิจิทัลที่ส่งมาเทียบกับสัญญาณดิจิทัลที่รับได้ ได้สัญญาณดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 สัญญาณดิจิทัลที่รับได้เทียบกับสัญญาณดิจิทัลที่ส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 สัญญาณข้างบนคือสัญญาณดิจิทัลที่ส่ง ส่วนสัญญาณข้างล่างคือสัญญาณดิจิทัลที่รับได้ โดยมีดีเลย์ในการรับสัญญาณอยู่ที่ 185 มิลลิวินาที จากนั้นเพิ่มความยาวของสายไฟฟ้าอีก 10 เมตร ทำการวัดดีเลย์ใหม่ได้ดังรูปที่ 4.14

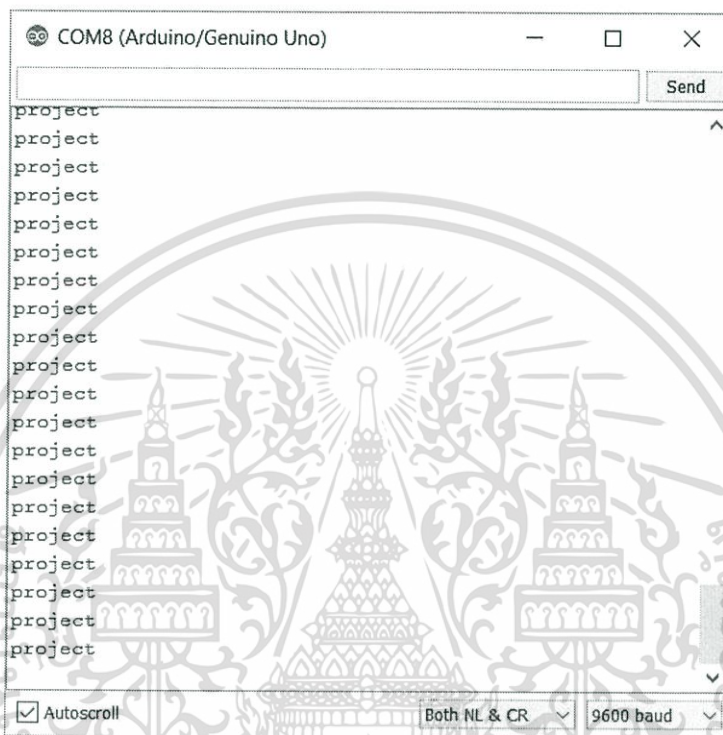


รูปที่ 4.14 สัญญาณดิจิทัลที่รับได้เทียบกับสัญญาณดิจิทัลที่ส่งเมื่อเพิ่มระยะอีก 10 เมตร

จากรูปพบว่าดีเลย์ในการรับสัญญาณอยู่ที่ 187 มิลลิวินาที เพราะฉะนั้นดีเลย์ในการรับสัญญาณเพิ่มขึ้น 2 มิลลิวินาที เมื่อเพิ่มระยะสายไฟฟ้า 10 เมตร

4.5 การแสดงค่าที่รับได้ผ่านทาง Serial monitor ทางฝั่งรับ

เมื่อทำการทดสอบโดยการส่งคำว่า “project” มาอย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 4.15 โดยให้ฝั่งรับแสดงค่าที่รับได้ผ่านทางจอ LCD ผลปรากฏว่าฝั่งรับสามารถรับและแสดงผลได้ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 ส่งคำว่า “project” อย่างต่อเนื่อง

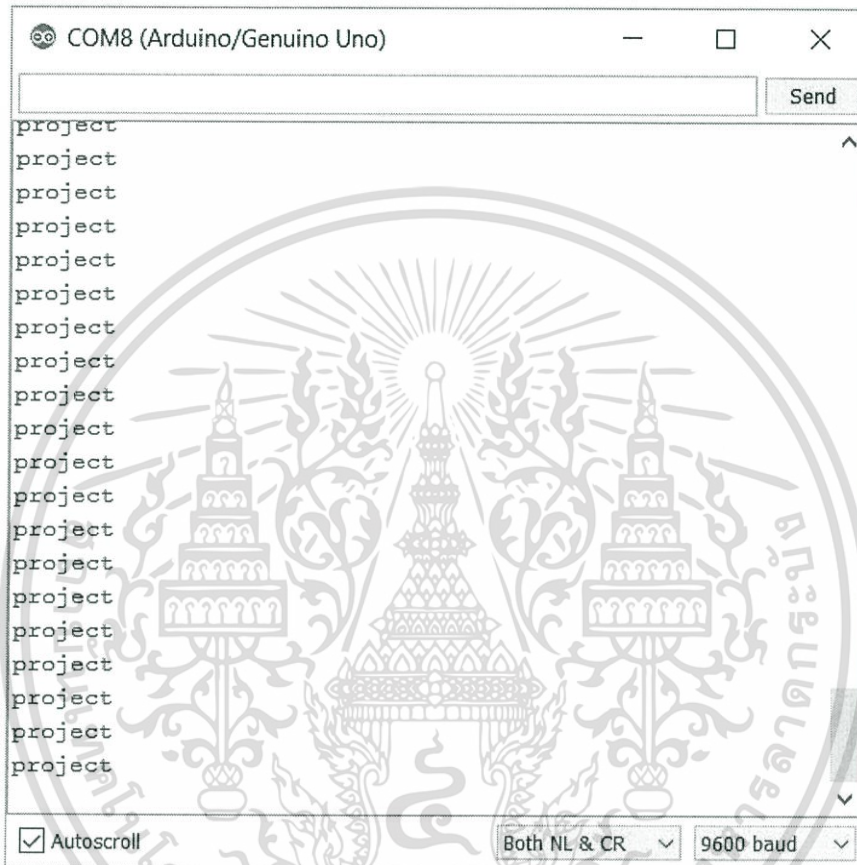


รูปที่ 4.16 ค่าที่รับได้ผ่านทาง Serial Monitor

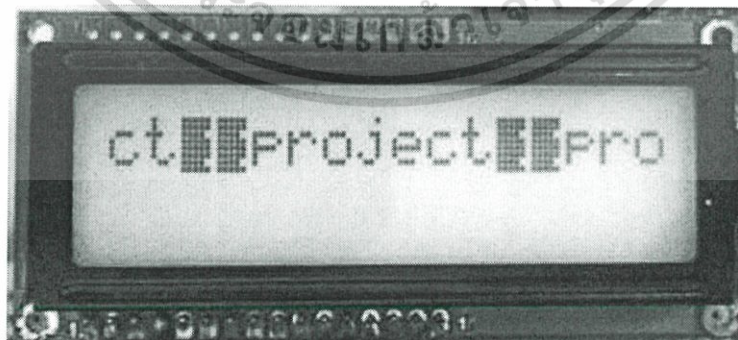
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การแสดงค่าที่รับได้ผ่านทางจอ LCD ทางฝั่งรับ

เมื่อทำการทดสอบโดยการส่งคำว่า “project” มาอย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 4.17 โดยให้ฝั่งรับแสดงค่าที่รับได้ผ่านทางจอ LCD ผลปรากฏว่าฝั่งรับสามารถรับและแสดงผลได้ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 ส่งคำว่า “project” อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4.18 ค่าที่รับได้ผ่านทางจอ LCD

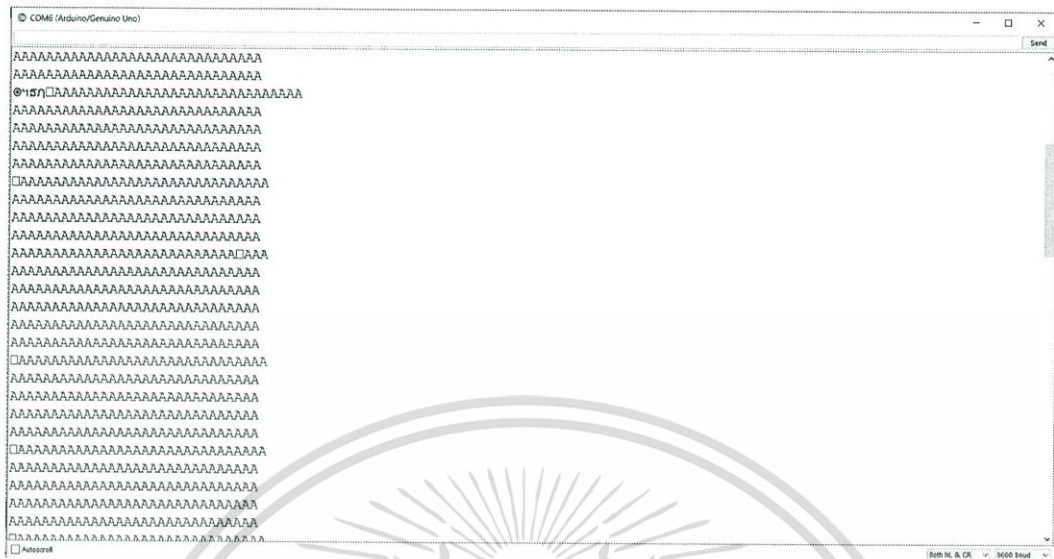
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การทดสอบอัตราการผิดพลาดของข้อมูล (Bytes Error Rate)

ทำการทดสอบอัตราการผิดพลาดของข้อมูลโดยการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์รับส่งข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้า และรับส่งข้อมูลผ่านทาง serial monitor ของโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งส่งข้อมูลเป็นตัวอักษร “A” ในรูปแบบ ASCII จำนวนชุดละ 40 ตัวอักษร ทำการส่งทั้งสิ้น 25 ชุด และทำการทดสอบตั้งแต่ระยะ 10-100 เมตร โดยเพิ่มระยะห่างขึ้นทีละ 10 เมตร ส่งข้อมูลที่อัตราความเร็ว 9600 Baud rate ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.19 และ 4.20 และจากการทดสอบสามารถสรุปอัตราการผิดพลาดของข้อมูลได้ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.19 ทดสอบส่งข้อมูลตัวอักษร “A” จำนวน 1000 ตัวอักษรที่ระยะ 10 เมตร



รูปที่ 4.20 ทดสอบรับข้อมูลตัวอักษร “A” จำนวน 1000 ตัวอักษรที่ระยะ 10 เมตร

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบอัตราการผิดพลาดของข้อมูลที่ระยะต่างๆ

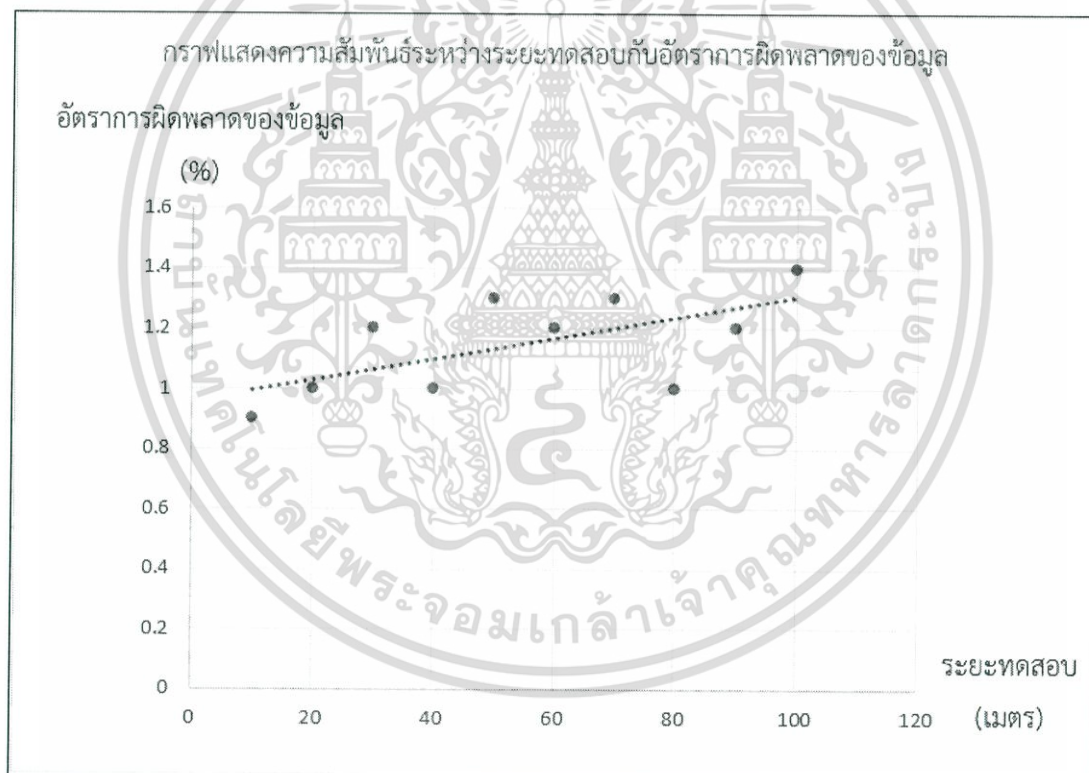
ระยะทดสอบ (เมตร)	จำนวนข้อมูลที่ส่ง (Bytes)	จำนวนข้อมูลที่ผิดพลาด (Bytes)	อัตราข้อมูลที่ผิดพลาด (%)
10	1000	9	0.9
20	1000	10	1.0
30	1000	12	1.2
40	1000	10	1.0
50	1000	13	1.3
60	1000	12	1.2
70	1000	13	1.3
80	1000	10	1.0
90	1000	12	1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบอัตราการผิดพลาดของข้อมูลที่ระยะต่างๆ (ต่อ)

ระยะทดสอบ (เมตร)	จำนวนข้อมูลที่ส่ง (Bytes)	จำนวนข้อมูลที่ผิดพลาด (Bytes)	อัตราข้อมูลที่ผิดพลาด (%)
100	1000	14	1.4

จากผลการทดสอบของตารางที่ 4.1 พบว่าข้อมูลที่ส่งนั้นมีอัตราการผิดพลาดของข้อมูลต่ำมาก ความผิดพลาดของข้อมูลนั้นจะเกิดจากสัญญาณรบกวนภายในสายไฟฟ้าเมื่อมีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ จะทำให้ข้อมูลมีความผิดพลาดมากขึ้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทดสอบกับอัตราการผิดพลาดของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการทดสอบอุปกรณ์ส่งสัญญาณข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้าพบว่าสามารถรับส่งข้อมูลได้โดยทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือฝั่งส่งและฝั่งรับที่ฝั่งส่งนั้นจะรับสัญญาณข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ซึ่งเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลดิจิทัลไปยังอุปกรณ์ส่งสัญญาณข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้า อุปกรณ์ส่งสัญญาณจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ด้วยวิธีการมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Shift Keying) แปลงข้อมูลเป็น 2 ความถี่นั่นคือ ความถี่ต่ำแทนด้วยบิต 0 และความถี่สูงแทนด้วยบิต 1 แล้วขยายสัญญาณข้อมูลเพื่อส่งสัญญาณข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้าที่ฝั่งรับนั้นเมื่อเครื่องรับรับสัญญาณข้อมูลได้จะทำการแปลงสัญญาณข้อมูลจากสัญญาณอนาล็อกให้กลับเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วทำการอ่านสัญญาณข้อมูลที่ได้รับจากนั้นจะแสดงผลผ่านทางหน้าจอ LCD

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการส่งสัญญาณผ่านทางสายไฟฟ้าสามารถรับส่งสัญญาณได้ แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการดังนี้

5.2.1 ในการส่งสัญญาณนั้นมีสัญญาณรบกวน จึงต้องรอเวลาช่วงหนึ่งเพื่อให้อุปกรณ์ส่งสัญญาณทางสายไฟฟ้ามี่จังหวะของการส่งและรับข้อมูลตรงกัน จึงจะรับข้อมูลได้

5.2.2 อุปกรณ์ส่งสัญญาณทางสายไฟฟ้านี้ มีข้อจำกัดในการส่งคือมีความเร็วอยู่ที่ 9600 baud rate ซึ่งหากต้องการความเร็วที่มากขึ้นจะต้องเปลี่ยนอุปกรณ์

บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. “มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า.”
<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2551/E/16/45.PDF>
- [2] ThaiEasyElec. “การสื่อสาร Universal Asynchronous Receiver Transmitter”
<http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics/uart-ttl-rs232-max232-max3232.html>
- [3] Hrasnica, Halid. Haidine, Abdelfatteh. and Lehnert, Ralf. Broadband Powerline Communications Networks. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England. : John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- [4] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. “วงจรรีไซแนสซ์.”
<http://montri.rmutl.ac.th/assets/circuit-week-11.pdf>
- [5] ThaiEasyElec. “การใช้งาน Character LCD Display กับ Arduino.”
<http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article>
- [6] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. “เทคนิคพื้นฐานสำหรับระบบโทรคมนาคม.”
<http://www.sut.ac.th/ist/Courses/204106/ch02.doc>
- [7] Arduitrronics. “เริ่มต้นใช้งาน Arduino UNO.”
<https://www.arduitronics.com/article/1>

ภาคผนวก ก

โค้ด Arduino ในส่วนส่งค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยัง powerline modem

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial(2, 3);
String key = "";
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:

  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  if(Serial.available()>0) {
    key = Serial.readString();
    while(!Serial.available()){
      mySerial.print(key);
      delay(500);
    }
  }
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
โค้ด Arduino ในส่วนรับค่าจาก powerline modem ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์
และแสดงผลผ่านทางจอ Serial monitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial(2, 3); // RX, TX

void setup() {
  // Open serial communications and wait for port to open:
  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);
}

void loop() { // run over and over
  if (mySerial.available()) {
    Serial.write(mySerial.read());
  }
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

โค้ด Arduino ในส่วนรับค่าจาก powerline modem ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์
และแสดงผลผ่านทางจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12, 11, 4, 5, 6, 7);

void setup() {
  // Open serial communications and wait for port to open:
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 1);
}

void loop() { // run over and over
  if (Serial.available()) {
    // wait a bit for the entire message to arrive
    delay(1500);
    // clear the screen
    lcd.clear();
    while (Serial.available()>0) {
      lcd.write(Serial.read());
    }
  }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้