

ระบบชี้เฉพาะคลื่นวิทยุ

RADIO FREQUENCY IDENTIFICATIONS

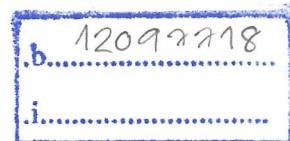


โดย

นายชนะวัฒน์	อรรถกรวงศ์
นางสาวธัญพร	ศรีดี
นางสาวพิไลพร	วงษ์กัณหา
นางสาวภาวิณี	จรูญพันธุ์

๒๗.
ค ๔๒๑๖
๒๕๕๑

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 103100
วัน,เดือน,ปี 27 ส.ค. 2552



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

ระบบชี้เฉพาะคลื่นวิทยุ
RADIO FREQUENCY IDENTIFICATIONS

โดย

นายระนะวัฒน์	อรรถกรวงศ์	รหัส 48010374
นางสาวธัญพร	ศรีดี	รหัส 48010377
นางสาวพิไลพร	วงษ์กัณหา	รหัส 48010626
นางสาวภาวินี	จรรยาพันธุ์	รหัส 48010682

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ประภากร สุวรรณะ

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2551

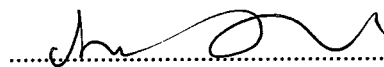
ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบชี้เฉพาะคลื่นวิทยุ (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATIONS)

ผู้จัดทำ

1. นายชนะวัฒน์ อรรถกรวงศ์
2. นางสาวธัญพร ศรีดี
3. นางสาวพิไลพร วงษ์กัณหา
4. นางสาวภาวิณี จรุงพันธุ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ประภากร สุวรรณะ)

ระบบชี้เฉพาะคลื่นวิทยุ

นาย ธีระวัฒน์ อรรถกรวงศ์ รหัส 48010374
นางสาว ชันยพร ศรีดี รหัส 48010377
นางสาวพิไลพร วงษ์กัณหา รหัส 48010626
นางสาวภาวิณี จรูญพันธุ์ รหัส 48010682
ผศ. ประภากร สุวรรณะ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

เทคโนโลยี RFID เป็นเทคโนโลยีแสดงตัวตนที่มีการส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ ซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง

โครงการนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบ สร้าง และทำการทดลองการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นวิทยุ เรียกว่า RFID (Radio Frequency Identifications) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ เครื่องอ่าน และเครื่องลูกข่าย โดยได้ออกแบบให้ใช้งานที่ความถี่ 125 กิโลเฮิร์ต แบบ SEQ ASK mod ที่มีการทำงานแบบกำหนดช่วงเวลาในการรับส่งพลังงาน คือ มีการส่งพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่ายสลับกับการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังเครื่องอ่าน โดยข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารนั้นมาจากไมโครชิพของเครื่องลูกข่าย เมื่อเครื่องอ่านได้รับข้อมูลจะทำการนำข้อมูลที่ส่งไปยังไม่โครชิพและแสดงผลออกทางจอแสดงผล

RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION

Mr. Thanawat Auttakonwong ID. 48010374

Miss Thunyaporn Sridee ID. 48010377

Miss Pilaiporn Wongkanha ID. 48010626

Miss Pawinee Jaroonphan ID. 48010682

Asst. Prof. Prapakorn Suwanna Advisor

Educational Year 2008

Abstract

RFID technology are used to transfer information via radio frequency. There are a continually development and applied to use in various fields.

This Project's study about design, construct and experiment produces of communication called RFID. This system contains as Reader and Transponder or TAG. So, a frequency at 125 kHz is used and SEQ ASK mod. It'll be worked on each period setting time that value will be sent and received data between Reader And Transponder. The data communication is generated by Transponder's microship. When the Reader has gotten the data, it'll process that data and send out to LCD.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

อาจารย์ ประภากร สุวรรณะ (อาจารย์ที่ปรึกษา) ที่ให้การอุปการะในการให้คำปรึกษา และแนะนำเกี่ยวกับโครงการ ระบบชี้เฉพาะคลื่นวิทยุ และทางภาคอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้ยืมใช้เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ในการทดลอง ตลอดจนสั่งสอนให้ความรู้จนสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในการทำโครงการครั้งนี้

คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้ความเป็นห่วง และให้การสนับสนุนทางการเงินตลอดมาจนทำให้โครงการนี้สำเร็จโดยสมบูรณ์ได้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีในโครงการนี้ ผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	
Abstract	
กิตติกรรมประกาศ	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ	1
1.5 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับระบบ RFID	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 โครงสร้างระบบแสดงตัวตนแบบ RFID	3
2.3 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing	8
2.4 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Sequential	18
2.5 ข้อกำหนดมาตรฐานด้านความถี่	25
บทที่ 3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	30
3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC	30
3.2 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC)	31
บทที่ 4 การมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัล	35
4.1 กล่าวนำ	35
4.2 การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัล	35
4.3 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน (Parallel Transmission)	40
4.4 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Transmission)	40
4.5 วิธีการรับและส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน	45
4.6 การเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester)	48

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 การออกแบบและการคำนวณวงจรเครื่องลูกข่ายและวงจรเครื่องอ่าน	49
5.1 การออกแบบวงจรเครื่องลูกข่าย (TAG)	49
5.2 การออกแบบวงจรเครื่องอ่าน (READER)	56
บทที่ 6 โปรแกรมการติดต่อสื่อสารข้อมูล	62
6.1 การโปรแกรมข้อมูลเครื่องอ่าน	63
6.2 การโปรแกรมข้อมูลเครื่องลูกข่าย	66
บทที่ 7 การทดลองและผลการทดลอง	69
7.1 Line Regulations	69
7.2 การตรวจสอบสัญญาณข้อมูลที่ขา 8 ของ PIC16F628A	74
บทที่ 8 บทสรุป	75

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับระบบ RFID	
รูปที่ 2.1 โครงสร้างอย่างง่ายของระบบการใช้งานมาตรฐาน	3
รูปที่ 2.2 การจำแนกประเภทอุปกรณ์ RFID ตามลักษณะการทำงานทางเทคนิค	5
รูปที่ 2.3 แสดงความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential	6
รูปที่ 2.4 เทคโนโลยี Inductive Coupling กับการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน	9
รูปที่ 2.5 ตัวอย่าง RFID แบบ Inductive coupling	10
รูปที่ 2.6 ตัวอย่าง Tags ประเภทต่าง ๆ	11
รูปที่ 2.7 ตัวอย่าง Reader ประเภทต่าง ๆ	11
รูปที่ 2.8 โครงสร้างวงจรเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายที่ใช้เทคนิคการตรวจจับสัญญาณข้อมูลแบบ Load Modulation with Subcarrier	14
รูปที่ 2.9 สัญญาณข้อมูลที่ถูกรับรจอยู่ในโวลต์แบนด์ของความถี่พื้นฐาน ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่าง เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID	15
รูปที่ 2.10 วงจรที่ใช้สำหรับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบ Load Modulation with Subcarrier ติดตั้งอยู่ในเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductiven Coupling	16
รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Electromagnetic backscatter coupling มีการติดตั้งแบตเตอรี่ไว้สำหรับจ่ายไฟให้กับไมโครชิพ	17
รูปที่ 2.12 หลักการทำงานส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย RFID ไปยังเครื่องอ่าน โดยใช้เทคโนโลยี Modulate Reflection Cross – Section	18
รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling สำหรับมาตรฐานแบบ Duplexing กับแบบ Sequential	21
รูปที่ 2.14 โครงสร้างวงจรภายในของเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Sequential ประเภท Inductive Coupling (ข้อมูลจากบริษัท Texas Instrument)	22
รูปที่ 2.15 แสดงระดับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนตัวเก็บประจุ C ตลอดวงจรการทำงานของเครื่องลูกข่าย RFID มาตรฐาน Sequential	23

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.16 โครงสร้างของเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW	24
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW (ข้อมูลจาก Siemens AG)	25
รูปที่ 2.18 ย่านความถี่ต่าง ๆ ที่ได้รับการกำหนดให้ใช้งานกับเทคโนโลยี RFID	27
รูปที่ 2.19 ประมาณขอดการจำหน่ายเครื่องลูกข่าย RFID ทั่วโลก แบ่งตาม ย่านความถี่การใช้งาน	27
บทที่ 3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	
รูปที่ 3.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครโปรเซสเซอร์	31
บทที่ 4 การมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิตอล	
รูปที่ 4.1 แสดงรูปการมอดูเลตดิจิตอลทางขนาด	36
รูปที่ 4.2 แสดงการมอดูเลตดิจิตอลทางเฟส	36
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณในแบบ BPSK	37
รูปที่ 4.4 แสดงการมอดูเลตทางดิจิตอล	38
รูปที่ 4.5 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลตแบบ FSK ในการส่ง ข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์	38
รูปที่ 4.6 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลตแบบ FSK	39
รูปที่ 4.7 แสดงการประมาณค่าความกว้างแถบของแบบ FSK	39
รูปที่ 4.8 การส่งข้อมูลแบบขนาน	40
รูปที่ 4.9 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม	40
รูปที่ 4.10 แสดงการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส	41
รูปที่ 4.11 แสดงรูปข้อมูลแบบซิงโครนัส	42
รูปที่ 4.12 แสดงการส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส	43
รูปที่ 4.13 แสดงรูปแบบข้อมูลแบบอซิงโครนัส	43
รูปที่ 4.14 การมอดูเลตในรูปแบบต่าง ๆ	46
รูปที่ 4.15 แสดงการเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester)	48
บทที่ 5 การออกแบบและการคำนวณวงจรเครื่องลูกข่ายและวงจรเครื่องอ่าน	
รูปที่ 5.1 วงจรเครื่องลูกข่าย	49

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 5.2 ขนาดของเครื่องลูกข่าย	51
รูปที่ 5.3 วงจรเครื่องอ่าน	56
รูปที่ 5.4 วงจรเครื่องอ่านส่วนสร้างสัญญาณ Sequential	59
รูปที่ 5.5 วงจรเครื่องอ่านส่วน Demodulator และ Comparator	60
รูปที่ 5.3 วงจรเครื่องอ่านส่วน Envelope Detector และ Low Pass Filter	61
บทที่ 6 โปรแกรมการติดต่อสื่อสารข้อมูล	
รูปที่ 6.1 การจำลองการทำงานของวงจรเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย	62
รูปที่ 6.2 วงจรเครื่องอ่าน	63
รูปที่ 6.3 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องอ่าน	64
รูปที่ 6.4 วงจรเครื่องลูกข่าย	66
รูปที่ 6.5 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องลูกข่าย	67
บทที่ 7 การทดลองและผลการทดลอง	
รูปที่ 7.1 กราฟแสดงแรงดันที่ได้หลัง Regulator ที่ระยะต่างๆ โดย V_{in} 12 Volt	70
รูปที่ 7.2 กราฟแสดงแรงดันที่ได้หลัง Regulator ที่ระยะต่างๆ โดย V_{in} 13 Volt	71
รูปที่ 7.3 กราฟแสดงแรงดันที่ได้หลัง Regulator ที่ระยะต่างๆ โดย V_{in} 14 Volt	72
รูปที่ 7.4 กราฟแสดงแรงดันที่ได้หลัง Regulator ที่ระยะต่างๆ โดย V_{in} 15 Volt	73
รูปที่ 7.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า V_{out} หลัง Regulator ที่ระยะต่างๆ	73
รูปที่ 7.6 ภาพสัญญาณที่วัดได้ที่ขา 8 ของ PIC16F628A	74

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับระบบ RFID	
ตารางที่ 2.1 ความหลากหลายของไมโครชิปที่ใช้บันทึกข้อมูลในเครื่องลูกข่าย RFID แยกตามประเภทของ การประยุกต์ใช้งาน	12
ตารางที่ 2.2 การกำหนดพื้นที่และความวิฤตที่ห้ามใช้กับเทคโนโลยี RFID ในประเทศเยอรมัน	29
บทที่ 3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	
ตารางที่ 3.1 Microcontroller PIC	34
บทที่ 5 การออกแบบและการคำนวณวงจรเครื่องลูกข่ายและวงจรเครื่องอ่าน	
ตารางที่ 5.1 ค่าของ L_p , C_p , $r_{P(AC)}$ ที่ n ค่าต่างๆ ความถี่ 125 kHz	53
ตารางที่ 5.2 ค่าของ r_{TOT} , BW_{TAG} , Q_L และ nQ_L ที่ n ค่าต่างๆ ความถี่ 125 kHz	54
บทที่ 7 การทดลองและผลการทดลอง	
ตารางที่ 7.1 ผลการทดลอง Line Regulations ที่ระยะต่างๆ โดยที่มี $V_{in} = 12$ Volt	69
ตารางที่ 7.2 ผลการทดลอง Line Regulations ที่ระยะต่างๆ โดยที่มี $V_{in} = 13$ Volt	70
ตารางที่ 7.3 ผลการทดลอง Line Regulations ที่ระยะต่างๆ โดยที่มี $V_{in} = 14$ Volt	71
ตารางที่ 7.4 ผลการทดลอง Line Regulations ที่ระยะต่างๆ โดยที่มี $V_{in} = 15$ Volt	72

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

เทคโนโลยี RFID หรือในชื่อเต็มว่า Radio Frequency Identification เป็นเทคโนโลยีที่มีการผสมผสานศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าหลาย ๆ ประการเข้าด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารโดยใช้คลื่นวิทยุ การส่งพลังงานผ่านคลื่นวิทยุโดยใช้เทคโนโลยีของเรดาร์ เทคโนโลยีโทรคมนาคม ซึ่งผลที่ได้ทำให้เกิดนวัตกรรมใหม่ทางเทคโนโลยีสำหรับการแสดงตัวตนโดยไม่ใช้การสัมผัส ที่จะพลิกโฉมสังคมมนุษย์ไปอย่างสิ้นเชิงดังที่เริ่มมีกระแสตอบรับอย่างกว้างขวางในแทบทุกภาคธุรกิจทั่วโลก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาเป็นเครื่องรับส่งข้อมูลแบบไร้การสัมผัส
2. เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของเทคโนโลยี Auto-ID (Automatic Identification)

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทำงานในระยะใกล้ ๆ ประมาณ 0-5 เซนติเมตร
2. เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานระบบเทคโนโลยี Auto-ID
3. สามารถรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องถูกข่าย
4. เครื่องอ่านสามารถอ่านข้อมูลได้เที่ยงตรง
5. ไม่มีผลกระทบที่เกิดจากสิ่งสกปรก ทำให้มีผลต่อการอ่านข้อมูลได้
6. มีความเร็วในการอ่านข้อมูล
7. สามารถเก็บข้อมูลได้มาก

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. สามารถรับและแสดงข้อมูล ออกมาจากเครื่องอ่านได้
2. สามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องถูกข่ายได้
3. เครื่องถูกข่ายสามารถเก็บข้อมูลที่เครื่องอ่านส่งมาได้
4. เครื่องถูกข่ายสามารถส่งข้อมูลกลับมาแสดงผลที่เครื่องอ่านได้

1.5 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่จะใช้ในการพัฒนาระบบ เช่น ศึกษาระบบ RFID ไมโครคอนโทรลเลอร์และซอฟต์แวร์ที่จะใช้ทำงาน
2. กำหนดขอบเขตโครงการ
3. วางแผนการทำงานและกำหนดระยะเวลาของการทำงานด้านต่าง ๆ
4. นำความรู้ที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ มาวิเคราะห์และทำการทดลอง
5. ทดสอบระบบที่ได้ทำขึ้นมา และบันทึกผลการทดสอบ
6. สรุปการทำงานของซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ผลที่ได้จากการทำโครงการนี้ และแนวทางในการพัฒนาโครงการนี้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับระบบ RFID

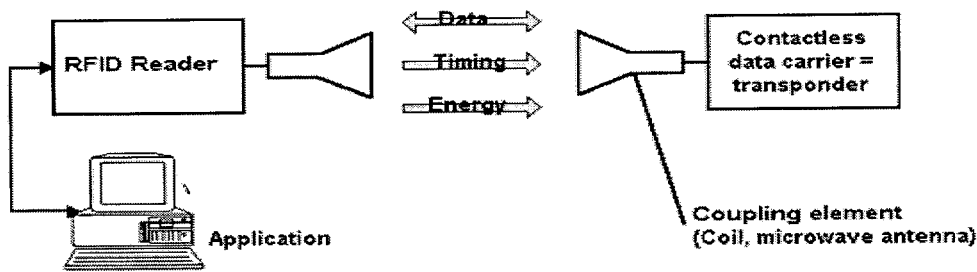
2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาของปริณญาณิพนธ์ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่นำมาใช้ในการทำโครงการ โดยจะประกอบไปด้วยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในโครงสร้างระบบ

2.2 โครงสร้างระบบแสดงตัวตนแบบ RFID

เครื่องลูกข่าย หรือ Transponder อาจได้รับการออกแบบให้มีรูปแบบต่าง ๆ ได้หลากหลาย จะถูกออกแบบให้มีขนาดรูปร่างเหมาะสม ที่จะติดปะ หรือผูกอยู่กับ สินค้าต่าง ๆ ที่จะต้องการตรวจนับหรือติดตามโดยใช้เทคโนโลยี RFID

เครื่องอ่านข้อมูลจะเรียกว่า Reader หรือ Interrogator ทำหน้าที่อ่านหรือทั้งอ่านทั้งเขียนส่งไปยังเครื่องลูกข่าย โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ ทั้งนี้ในกระบวนการสื่อสารและคลื่นความถี่ที่ได้มาตรฐาน RFID มีอยู่หลายประเภทดังจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างอย่างง่ายของระบบการใช้งานมาตรฐาน

โดยทั่วไปภายในเครื่องอ่านจะมีการติดตั้งวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งส่วนที่เป็นภาครับและภาค ส่งคลื่นความถี่วิทยุ, วงจรควบคุมการทำงาน (Control Unit) และส่วนควบต่อ (Coupling) สำหรับติด ต่อสื่อสารกับเครื่องลูกข่าย ทั้งนี้จะต้องไม่ลืมว่าการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายมิได้เป็นไปเพียงเพื่อการแลกเปลี่ยนข้อมูลเพียงอย่างเดียว แต่ยังรวมถึงการถ่ายทอด

พลังงานผ่านคลื่นความถี่วิทยุเพื่อที่จะให้เครื่องลูกข่ายรับและแปลงสภาพไปเป็นพลังงานไฟฟ้า สำหรับป้อนให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในด้วย นอกจากนี้เครื่องอ่านโดยทั่วไปยังได้รับการออกแบบให้มีอินเทอร์เฟซ หรือจุดเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ภายนอก ไม่ว่าจะเป็นมาตรฐานRS 232 ,RS 485หรือในอนาคตยังอาจจะมีการเชื่อมต่อแบบUBSให้ใช้งานได้อย่างง่ายดาย ซึ่งจุดเชื่อมต่อเหล่านี้ถือเป็นหัวใจสำคัญที่จะนำข้อมูลที่อ่านได้นำมาใช้ควบคุมหรือดำเนินการที่สอดคล้องกับธุรกิจหรือจุดประสงค์ของผู้ออก แบบต่อไป

เนื่องจากเทคโนโลยีRFIDสามารถนำไปใช้งานได้กับการแสดงตัวตนอัตโนมัติได้หลากหลายรูปแบบ ส่งผลให้เกิดความต้องการใช้งานในปริมาณมากและมีความหลากหลายในรูปแบบการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นวงการอุตสาหกรรม อุปกรณ์อำนวยความสะดวก ระบบรักษาความปลอดภัย การติดตามสัตว์ ฯลฯ ความหลากหลายแห่งความประยุกต์ใช้งานนี้เองที่มีผลทำให้อุปกรณ์RFID ที่มีการผลิตออกจำหน่ายในท้องตลาดจำเป็นต้องมีความแตกต่างกันทั้งในด้านการออกแบบ เทคโนโลยีที่ใช้ในการรับส่ง การเลือกใช้อ่านความถี่ อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล ฯลฯ

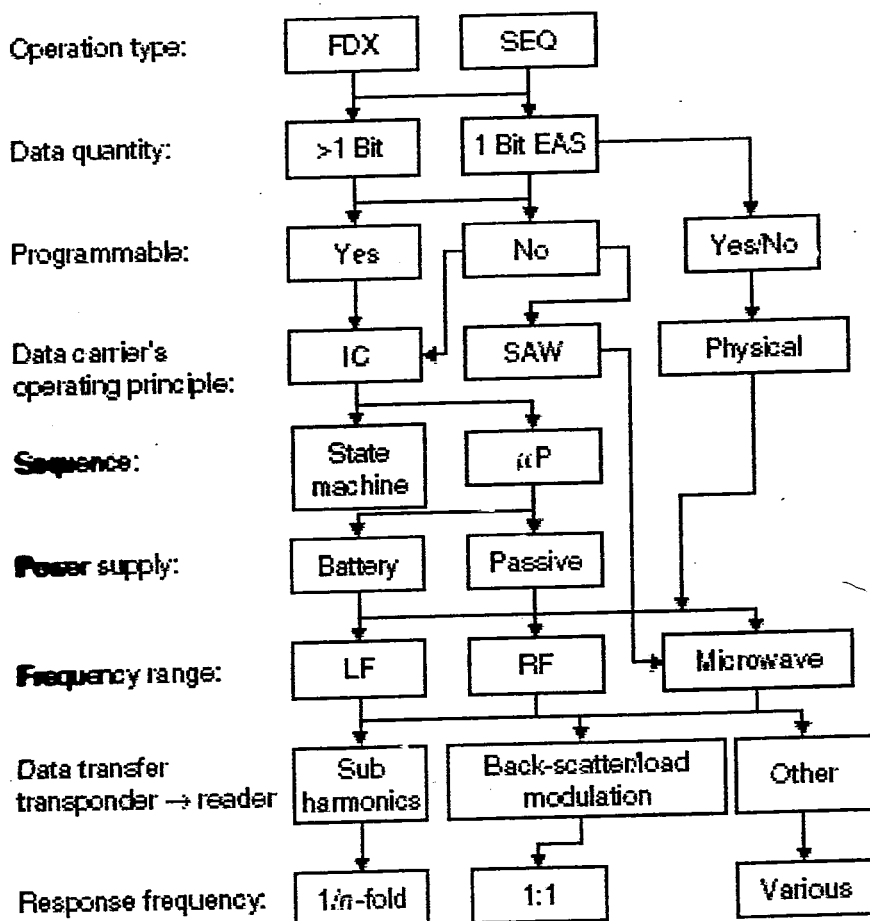
ดังนั้นก่อนตัดสินใจเลือกใช้อุปกรณ์RFID เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน ผู้ใช้งานจึงจำเป็นต้องศึกษาความแตกต่างทั้งทางเทคนิค และคุณลักษณะของอุปกรณ์RFID แต่ละชนิดเพื่อให้สามารถตัดสินใจนำมาใช้งานตามวัตถุประสงค์ รูปที่ 2.1 แสดงความหลากหลายของอุปกรณ์ RFID ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด โดยจำแนกออกตามคุณลักษณะต่างๆในทางเทคนิค ทั้งนี้จะขอกล่าวถึงคุณ ลักษณะที่สำคัญซึ่งมักใช้จัดทำเป็นข้อกำหนดทางเทคนิคในแวดวงต่างๆซึ่งประกอบไปด้วยคุณ สมบัติดังต่อไปนี้

คุณลักษณะของการทำงาน(Operation type) หรือเครื่องอ่าน(Reader) ไม่ว่าจะเป็นรุ่นใดที่จำหน่ายในท้องตลาดจะมีรูปแบบการทำงานอย่างไรอย่างหนึ่งระหว่างการรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex (FDX) / Half Duplex(HDX) กับแบบ Sequential(SEQ) ซึ่งทั้งสองแบบมีหลักการทำงานที่ แตกต่างกันดังนี้

การรับส่งแบบข้อมูลแบบFDX/HDX เครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณข้อมูลออกตลอดเวลา ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านทางคลื่นวิทยุไปจ่ายให้กับบรรดาเครื่องลูกข่าย ที่อยู่ในอาณาบริเวณการใช้งานด้วย และเนื่องจากความแรงของคลื่นสัญญาณความถี่วิทยุที่เครื่องลูกข่ายส่ง ออกมามีกำลังส่งต่ำ ทำให้มีแนวโน้มว่าสัญญาณส่งออกไปไม่ถึงเครื่องอ่าน หรืออาจส่งไปถึงแต่มีระดับสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ด้วย เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน ซึ่งมีแหล่ง จ่ายไฟฟ้าเป็นของตนเองทำให้ส่งสัญญาณออกมาได้สูงกว่า ดังนั้นจึงต้องมีมาตรการในการสร้างความแตกต่างของสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีการส่งออกมาจากเครื่องลูกข่ายแต่ละ

เครื่อง ให้มีเอกลักษณ์ (Identify) ที่แตกต่างกันเพื่อให้เครื่องอ่านสามารถแยกแยะแหล่งที่มาได้อย่างถูกต้อง โดยใช้การมอดูเลตสัญญาณแบบ Load Modulation

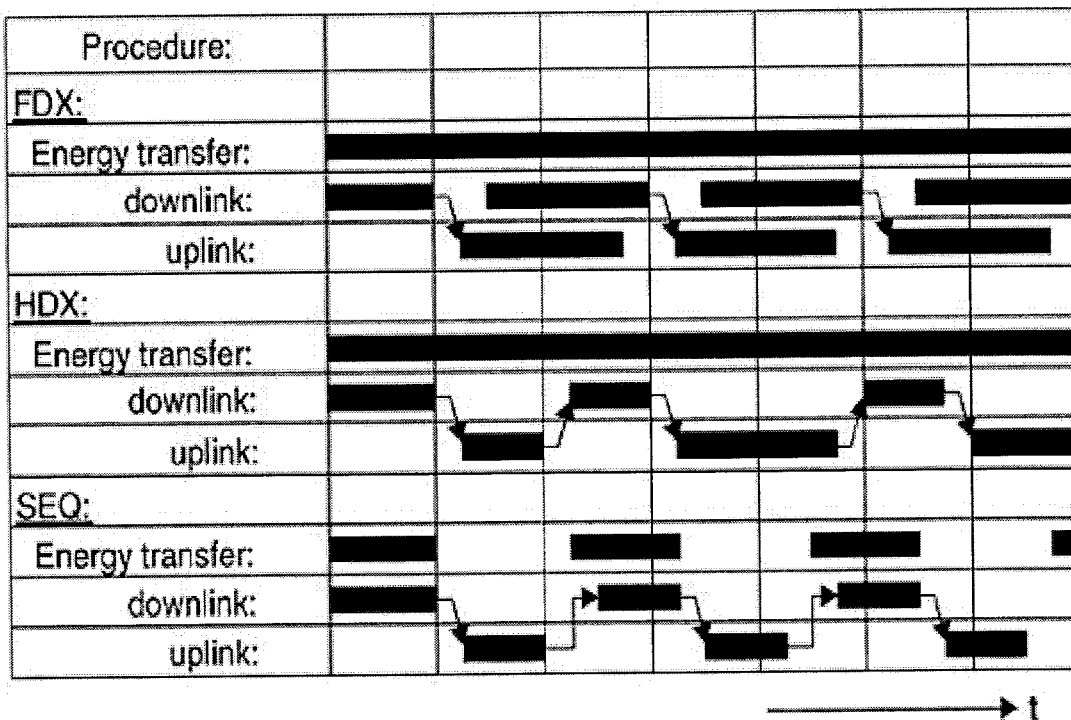
การรับส่งข้อมูลแบบSEQเป็นการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายRFIDที่กำหนด ให้เครื่องอ่านมีการหยุดส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเป็นช่วงๆต่อเนื่องหรือเป็นรายคาบเวลาสม่ำเสมอ ช่วงเวลาที่ไม่มีการส่งสัญญาณออกจากเครื่องอ่านนี้เอง ที่จะเป็นจังหวะให้เครื่องลูกข่ายทำการส่งสัญญาณกลับมายังเครื่องอ่านถือ เป็นการสร้างฐานเวลา (Timing) สำหรับใช้อ้างอิงภายในระบบสื่อสารแบบ RFID ที่ประกอบไปด้วยเครื่องอ่านและกลุ่มของเครื่องลูกข่ายที่มีความเที่ยงตรงมาก แต่การรับส่งข้อมูลแบบนี้มีข้อจำกัดอยู่ที่ประเด็นของการจ่ายพลังงานให้กับเครื่องลูกข่าย เนื่องจากในช่วงเวลาที่เครื่องอ่านหยุดส่งสัญญาณนั้นบรรดาเครื่องลูกข่ายทั้งหลาย ก็จะไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้าที่ส่งผ่านทางคลื่นวิทยุไปด้วย ทำให้ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เก็บประจุไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ขนาดเล็กไว้ในเครื่องลูกข่าย ที่นำมาใช้กับการรับส่งข้อมูลแบบนี้



รูปที่ 2.2 การจำแนกประเภทอุปกรณ์ RFID ตามลักษณะการทำงานทางเทคนิค

2.2.1 การรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย

ใช้การส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ซึ่งเครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงานทางไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่าย (Downlink) และการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังเครื่องอ่าน (Uplink) สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ต่างจากการศึกษาแบบ Half Duplex ซึ่งแม้เครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปกับเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา แต่ก็ต้องมีการกำหนดจังหวะผลัดกันในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย สำหรับการสื่อสารแบบสุดท้ายก็คือ Sequential นั้น จะมีการกำจัดเวลาในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านให้ไปยังเครื่องลูกข่ายในลักษณะของพัลส์ (Pulse) หรือก้อนพลังงานที่ส่งออกในแต่ละช่วงเวลาและใช้การปรากฏขึ้นของพลังงานไฟฟ้าหรือพัลส์นี้เป็นสัญญาณกำหนด ให้มีการส่งข้อมูล Downlink ส่วนช่วงที่ไม่มีพลังงานปรากฏอยู่จะเป็นการส่งสัญญาณ Uplink



รูปที่ 2.3 แสดงความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential

2.2.2 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)

การจำแนกประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID ตามขีดความสามารถในการโปรแกรมข้อมูลสามารถแบ่งออกได้เป็น เครื่องลูกข่ายที่ไม่สามารถโปรแกรมได้ ซึ่งภายในจะมีการเขียนข้อมูลที่อาจเป็นรหัสเลขหมายใดๆ ตามที่ได้รับคำสั่งจ้างทำมาตั้งแต่สายการผลิตและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ อีกประการหนึ่งเป็นเครื่องลูกข่าย RFID ที่สามารถทำการโปรแกรมข้อมูลผ่านทางเครื่องอ่านได้ ซึ่งสามารถจำแนกเครื่องลูกข่ายประเภทนี้ออกเป็น 3 ชนิด ตามเทคโนโลยีหน่วยความจำที่นำมาใช้งาน

2.2.3 หน่วยความจำแบบ EERPOM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)

เป็นชนิดที่พบมากที่สุดในการบรรดาเครื่องลูกข่ายโดยทั่วไป แต่ก็มีข้อด้อยในเรื่องของการกินกระแสไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงในขณะที่บันทึกข้อมูล ประกอบกับมีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนครั้งที่สามารถเขียนข้อมูลได้ในช่วง 100,000 – 1,000,000 ครั้งเท่านั้น

2.2.4 ย่านความถี่ที่ใช้งาน (Frequency Range)

เป็นคุณสมบัติสำคัญอีกประการหนึ่งในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID ทั้งระบบ โดยความหมายของความถี่ใช้งาน (Operating frequency) ในมาตรฐาน RFID นั้นจะหมายถึงคลื่นความถี่วิทยุที่เครื่องอ่านทำการส่งออกไปเท่านั้น โดยจะไม่สนใจว่าเครื่องลูกข่ายจะส่งคลื่นความถี่ในย่านใดตอบกลับมา ยิ่งในบางกรณีเครื่องลูกข่ายอาจมีการส่งคลื่นความถี่กลับมาเป็นค่าความถี่เดียวกับที่เครื่องอ่านส่งออกไป โดยแยกแยะความแตกต่างกันด้วยเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ Load Modulation ประเด็นของคลื่นความถี่จากเครื่องลูกข่ายจึงไม่ใช่สาระสำคัญในการนำมาพิจารณา ย่านความถี่ใช้งานของอุปกรณ์ RFID เราสามารถกำหนดแบ่งออกได้เป็น 3 ย่าน คือ

ย่าน LF (Low Frequency) ตั้งแต่ 30 – 300 กิโลเฮิร์ตซ์

ย่าน HF (High Frequency) / RF (Radio Frequency) ตั้งแต่ 3 – 30 เมกะเฮิร์ตซ์

ย่าน UHF (Ultra High Frequency) / Microwave ตั้งแต่ 300 เมกะเฮิร์ตซ์ – 3

กิกะเฮิร์ตซ์ และมากกว่า 3 กิกะเฮิร์ตซ์ขึ้นไป ตามลำดับ

2.3 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing

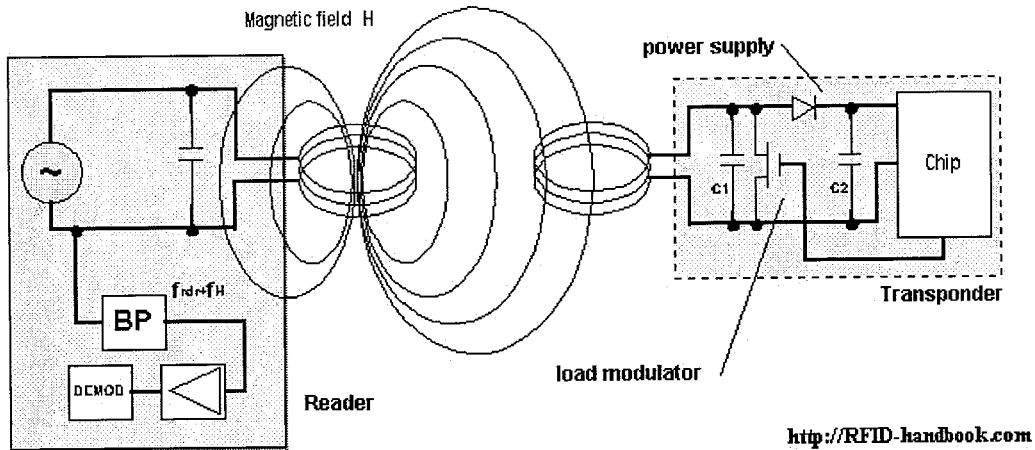
เมื่อทำความเข้าใจกับรูปแบบในการรับส่งข้อมูลแล้ว จะขอก้าวถึงมาตรฐานการสื่อสาร RFID แบบ Duplexing ซึ่งสามารถจำแนกตามรูปแบบการทำงานได้ 4 ประเภท อันได้แก่ เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling , Electromagnetic Backscatter Coupling , Close Coupling และ เทคโนโลยี Electrical Coupling ก่อนที่จะกล่าวถึงมาตรฐานการสื่อสารแบบ Sequential เป็นอันดับถัดไป

2.3.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็ก โครงสร้างของเครื่องลูกข่าย ประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือไมโครชิพที่ใช้เก็บข้อมูลต่าง ๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ ทั้งนี้จะกล่าวถึงเทคนิคในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องลูกข่ายเพื่อเลี้ยงให้ไมโครชิพสามารถทำงานได้ก่อนจะกล่าวถึงเทคนิคที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.4

2.3.1.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เนื่องจากการทำงานของเครื่องลูกข่ายนั้นเป็นแบบพาสซีฟ (Passive operation) กล่าวคือไม่มีแหล่งจ่ายพลังงานภายในเป็นของตนเอง จึงจำเป็นต้องรับพลังงาน (Energy) มาจากเครื่องอ่าน โดยตรงดังแสดงในรูปที่ 2.4 ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่าน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำลังสูงสามารถแพร่กระจายไปในพื้นที่ใช้งาน และสามารถตกกระทบขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้อย่างเหมาะสม ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกมาจากเครื่องอ่านนี้มีค่ามากกว่า ระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ซึ่งโดยทั่วไปมักวางห่างกันในหลักที่ไม่ไกลนัก ในขณะที่เทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling ส่วนใหญ่ ใช้ความถี่ต่ำเพียง 135 กิโลเฮิร์ตซ์หรืออาจจะต่ำกว่านั้น ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีความยาวคลื่นสูงมากถึง 2,400 เมตร แม้ในบางระบบที่ความถี่สูงในย่าน 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ก็ยังกำเนิดคลื่นสัญญาณที่มีความยาวคลื่นถึง 22.1 เมตร จึงไม่เป็นที่ปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไปจนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบนหรือถูกกลทอนจากผนังอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ หากพิจารณาพื้นที่ใช้งานโดยทั่วไปที่มีได้ไกลหรือกว้างใหญ่มากนัก



รูปที่ 2.4 เทคโนโลยี Inductive Coupling กับการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน

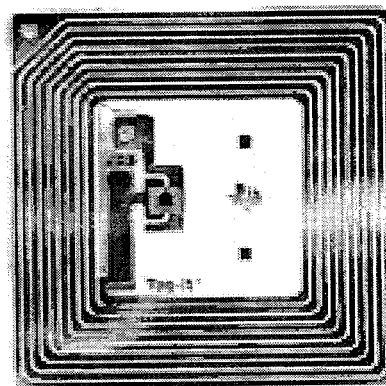
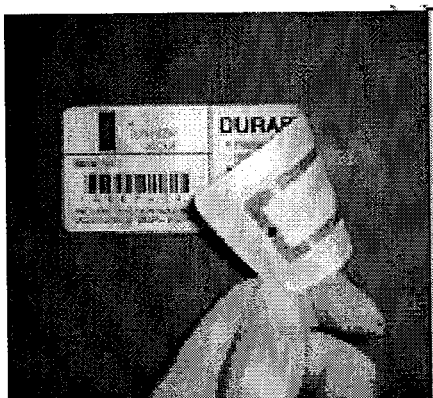
สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่ง จะตกกระทบขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อนๆ ขึ้นบนขดลวดดังกล่าว ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากับขบวนการเรกติไฟร์ โดยตัวเก็บประจุและไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงป้อนกลับให้กับไมโครชิพ ทั้งนี้หัวใจของการออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าตัวเก็บประจุ C1 ซึ่งต้องมีค่าสัมพันธ์กับความเหนี่ยวนำของขดลวด(L) เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่กำทอน (Resonant Frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องลูกข่าย ดังที่ได้เคยกล่าวถึงในกรณีของอุปกรณ์ RFID แบบ 1 บิตไปแล้ว สิ่งที่ผู้ออกแบบอุปกรณ์เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling ให้ความสำคัญมากที่สุดก็คือ การออกแบบขดลวดทั้งเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ให้สามารถถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าให้แก่กัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด หากจินตนาการเปรียบเทียบการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองในรูปที่ 2.4 จะเทียบได้กับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวด 2 ชุด หากแต่ขดลวดทั้งสองไม่ได้พันอยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกัน กลับกลายเป็นใช้อากาศซึ่งมีคุณสมบัติในการนำพาสัญญาณที่เลวร้ายกว่าแกนแม่เหล็กมากๆ

ดังนั้นในการออกแบบระบบแบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุด จึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ที่เหมาะสม ต่อการส่งกระจายพลังงานจำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่าน และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่เครื่องลูกข่าย มุมติดตั้งและระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย

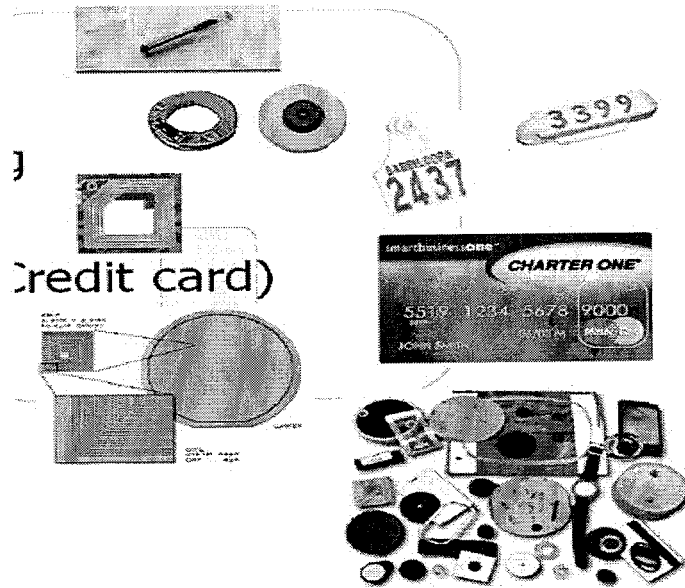
เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงมากขึ้น จะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงใช้จำนวนรอบในการพันลดลงเช่นกัน

ตัวอย่างเช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 135 กิโลเฮิร์ตซ์ จะต้องมีการพันขดลวดสายอากาศที่เครื่อง ลูกข่ายในช่วง 100 – 1,000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ก็จะสามารถ ลดจำนวนรอบของขดลวดเหลือเพียง 3–10 รอบเท่านั้น ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถลดขนาดของ อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายลงได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จะส่งผลให้แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่สูงลดลงเมื่อเทียบกับการใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ทำให้จำกัดระยะทาง ในการใช้งานมากขึ้น การเลือกใช้อุปกรณ์ Inductive Coupling จึงต้องพิจารณาทั้งขนาดของเครื่อง ลูกข่ายและระยะทางต้องใช้งานตรวจสอบเป็นสำคัญเพื่อใช้กำหนดเลือกย่านความถี่ที่เหมาะสมของ อุปกรณ์ใช้งาน ดังรูปที่ 2.5 เป็นตัวอย่างของเครื่องอ่านข้อมูล RFID แบบ Inductive Coupling ซึ่ง จะเห็นว่ามีการผลึกขดลวดลงไปบนบรรจุภัณฑ์ทำให้มีขนาดเล็กกะทัดรัดเหมาะสำหรับการติดตั้ง ใช้งานในพื้นที่จำกัด

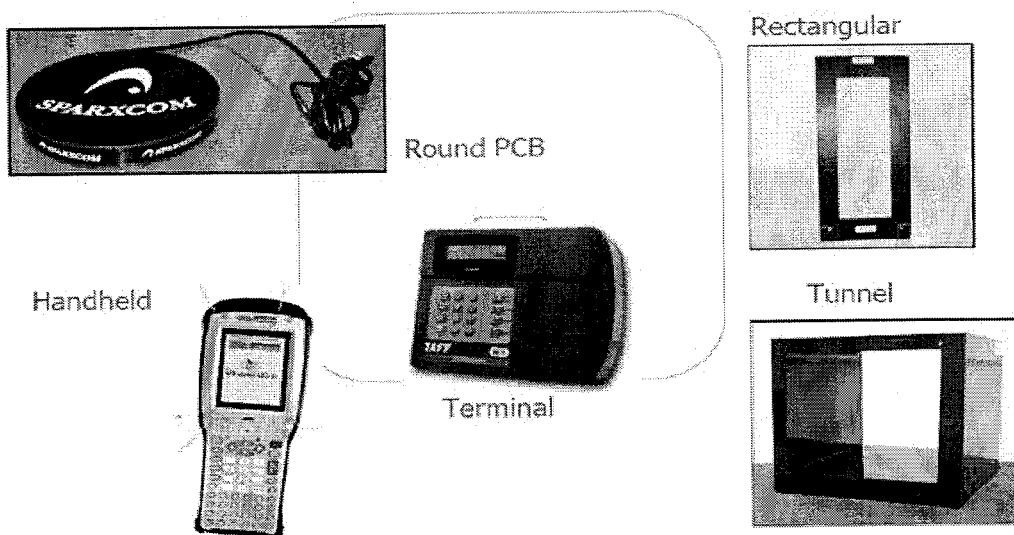
สิ่งที่พึงให้ความสนใจเกี่ยวกับการออกแบบระบบRFID แบบInductive Coupling ก็คือ พฤติกรรมการกินกระแสไฟฟ้าของไมโครชิพ ที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องลูกข่าย เนื่องจากค่อนข้างมีความ หลากหลายและสัมพันธ์กับรูปแบบในการนำไปประยุกต์ใช้งาน การเลือกค่าความถี่พื้นฐานในการ คิด ต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย ระยะพื้นที่ใช้งานและขนาดของอุปกรณ์อื่น เนื่องมาจากจำนวนรอบของขดลวดสายอากาศ จึงจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับประเภทของการใช้งาน อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ตาราง 2.1 เป็นการแสดงจำแนกประเภทของไมโครชิพ(ASIC)รุ่นต่างๆ ซึ่ง ผู้เขียนไม่ขอเปิด เผยรุ่นและยี่ห้อ โดยเปรียบเทียบขนาดหน่วยความจำ การกินกระแสไฟฟ้า และ คุณสมบัติอื่นๆ ทั้งนี้การเลือกใช้งานไมโครชิพ ASIC นั้นจะต้องขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการ นำไปประยุกต์ใช้งานเป็นสำคัญ



รูปที่ 2.5 ตัวอย่าง RFID แบบ Inductive coupling

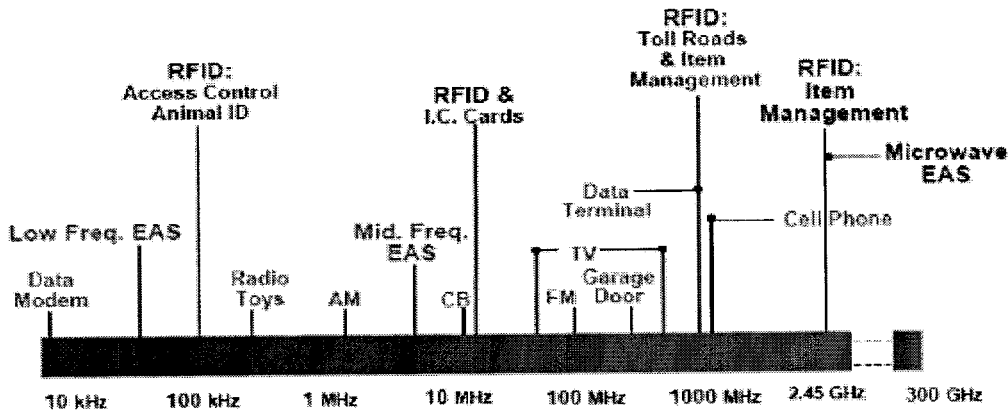


รูปที่ 2.6 ตัวอย่าง Tags ประเภทต่าง ๆ



รูปที่ 2.7 ตัวอย่าง Reader ประเภทต่าง ๆ

ตารางที่ 2.1 ความหลากหลายของไมโครชิปที่ใช้บันทึกข้อมูลในเครื่องลูกข่าย RFID แยกตามประเภทของการประยุกต์ใช้งาน



ย่านความถี่		ระยะทาง	การใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency: LF)	125-134 kHz	18 นิ้ว	ปลุสดีวี หรือ ป้ายสินค้ากันขโมยที่อ่านในระยะใกล้ หรือระบบกันขโมยรถยนต์
ย่านความถี่สูง (High Frequency: HF)	13.553-13.567 MHz	3 ฟุต อ่านได้เร็ว (10-100 ป้ายต่อวินาที)	ห้องสมุด, สมาร์ทการ์ด ระบบติดตามหนังสือ ระบบปิดเปิดประตู
ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency: UHF)	400-1000 MHz (สหรัฐอเมริกาใช้ 433 MHz)	10 -30 ฟุต อ่านได้เร็วมาก (100-1000 ป้ายต่อวินาที)	ตู้สินค้า รถบรรทุก แท่นยกสินค้า (pallet)
ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave Frequency)	2.45 GHz, 5.8 GHz	>30 ฟุต	อุปกรณ์ไร้สาย

2.3.1.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

มาตรฐาน RFID แบบ Inductive Coupling กำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน หรือ Uplink Communication คือ Load Modulation, Load Modulation with subcarrier และ Subharmonic Procedure ซึ่งผู้เขียนไม่ขอแปลความหมายเป็นไทย แต่จะอธิบายหลักการทำงานของเทคโนโลยีตัวเล็กทั้ง 3 ประเภทเพื่อเข้าใจโดยสังเขปดังนี้

2.3.2 เทคโนโลยี Load Modulation

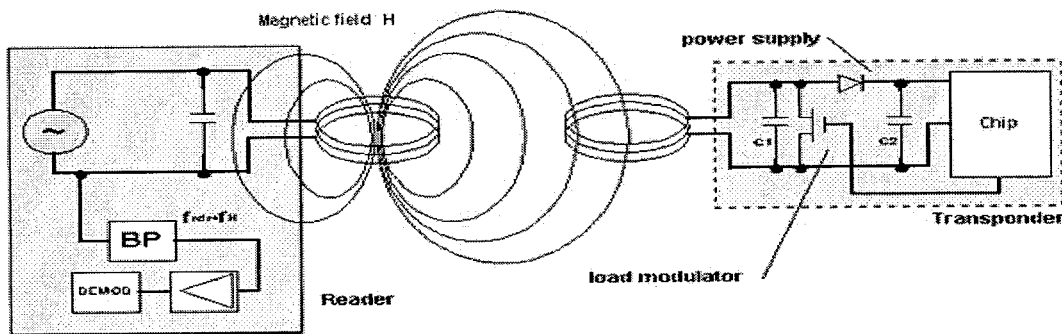
ดังที่ได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่าพฤติกรรมในการส่งพลังงาน และสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและขดลวดของเครื่องลูกข่ายมีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่อย่างใดหากแต่เพียงตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานเป็นอากาศมิใช่โลหะหรือแท่งแม่เหล็กดังเช่นที่มองเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป อย่างไรก็ตามการใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายห่างกันไม่เกิน 135 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่มีความยาวคลื่น 2,400 เมตร ก็จะหมายความว่า จะวางเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน $0.16 \times 2,400 = 384$ เมตร

หากมีการนำเครื่องลูกข่าย ซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ (LC) ตรงกันกับค่าความถี่กำหนดของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่การแพร่กระจาย สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน เครื่องลูกข่ายย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้ว เครื่องอ่านจะมองเห็นเครื่องลูกข่ายเป็น โหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์ Z_L ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน การเปลี่ยนแปลงใดๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ Z_L ที่เครื่องอ่านมองเห็นอย่างแน่นอนเนื่องจากในแง่ของวงจร รีโซแนนซ์ ที่เกิดจากขดลวด(L) และตัวเก็บประจุ(C) บนเครื่องลูกข่ายย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ตกกระทบ และไม่มีการจ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ตกกระทบ และไม่มี การจ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เสมือน Z_L นี้ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านโดยปริยาย ซึ่งนี่เองที่เป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมา เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Load Modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half Duplex หรือ Full Duplex ก็สุดแท้แต่การออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณซึ่งเป็นเรื่องที่ยังรายละเอียดไปในการออกแบบและ ผู้เขียนไม่ขอนำมากล่าวถึง ณ ที่นี้

2.3.3 เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier

เนื่องจากระดับความสามารถในการถ่ายทอด (Coupling) สัญญาณระหว่างขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านค่อนข้างต่ำ อันเนื่องมาจากเหตุผลที่กล่าวไปแล้ว การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันสัญญาณที่เกิดขึ้นบนขดลวดของเครื่องอ่านอันมีผลมาจากการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านค่อนข้างต่ำมากๆ จนบางครั้งอาจไม่สามารถตรวจจับได้ เป็นผลให้เกิดปัญหาในการส่งข้อมูลในทิศทาง Uplink ในทางปฏิบัติสำหรับระบบ RFID แบบ Inductive

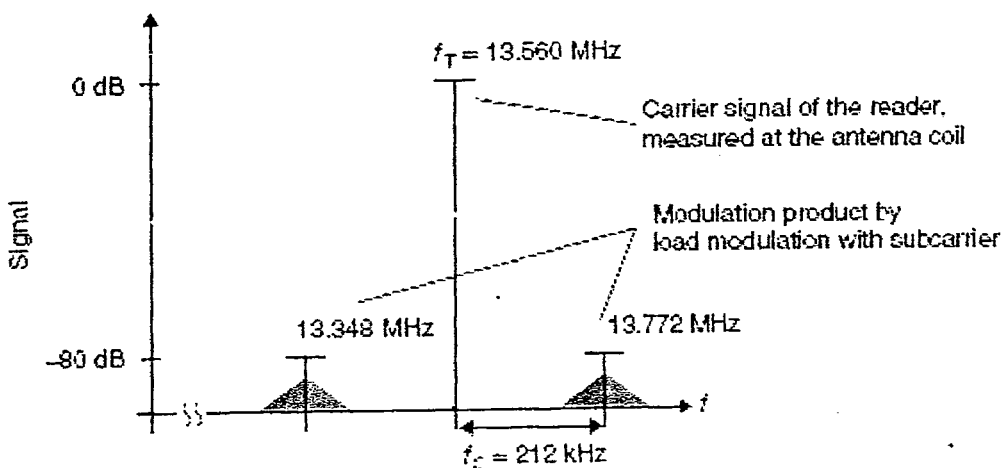
Coupling ที่ใช้ความถี่ 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ สมมุติว่ามีแรงดันปรากฏที่ขดลวดของเครื่องอ่านสูงถึง 100 โวลต์ (สูงเช่นนี้เกิดจากปรากฏการณ์กำทอน) จะพบว่าเมื่อมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย กลับมายังเครื่องอ่าน ความเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นเหนือแรงดัน 100 โวลต์ บนขดลวดของเครื่องอ่านจะมีค่าสูงอย่างมากไม่เกิน 10 มิลลิโวลต์ ซึ่งถือว่าต่ำกว่าแรงดันพื้นฐาน บนขดลวดถึง 10,000 เท่าหรือหากคิดในแง่ของการออกแบบวงจรเพื่อตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวก็ต้องกล่าวว่ามีระดับความแตกต่างระดับตัวสัญญาณจริงกับสัญญาณรบกวนต่ำมาก เพียง 80 เดซิเบลเท่านั้น ที่กล่าวเช่นนั้นก็เพราะโอกาสที่จะเกิดสัญญาณรบกวน เช่นการกระเพื่อมโดยธรรมชาติของแรงดันไฟฟ้า 100 โวลต์ ในพิกัด ± 10 มิลลิโวลต์ เป็นไปได้สูงมาก การใช้เทคโนโลยี Load Modulation โดยทั่วไปย่อมมีโอกาสตรวจจับข้อมูลได้ ผิดพลาดง่ายมาก จึงเป็นที่มาของการออกแบบเทคนิค การตรวจจับข้อมูลแบบ Load Modulation with Subcarrier ซึ่งมีหลักการคล้ายคลึงกับการรับวิทยุ AM (Amplitude Modulation) โดยมี ตัวอย่างวงจรเครื่องรับและเครื่องลูกข่ายดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โครงสร้างวงจรเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายที่ใช้เทคนิคการตรวจจับสัญญาณข้อมูลแบบ Load Modulation with Subcarrier

เนื่องจากปัญหาในเรื่องของขนาดแรงดันสัญญาณข้อมูลที่ต่ำมากๆ ทำให้ต้องออกแบบวงจรตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ซับซ้อนและมีต้นทุนสูงมากจึงมีการปรับปรุงรูปแบบการตรวจสอบสัญญาณโดยใช้เทคนิค Load Modulation with Subcarrier ซึ่งในกรณีที่มีการส่งข้อมูลจำนวนมากๆซึ่งหากมองในแง่ของการส่งของเครื่องอ่านย้อนกลับมายังเครื่องลูกข่ายจะ

เห็นการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าด้วยความถี่ค่าหนึ่งสมมุติว่าเป็น f_s ในกรณีนี้จะพบว่า พฤติกรรมในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่านไม่ต่างจากการส่งกระจายสัญญาณ คลื่นวิทยุแบบ AM แต่อย่างไรก็ตาม กล่าวคือมีความต้องการส่งข้อมูลข่าวสารในแบนด์วิดท์ช่วง f_s ซึ่งเป็นค่าความถี่ต่ำโดยใช้ความถี่คลื่นพาหะที่เป็นความถี่สูงกว่ามาก ๆ ซึ่งในกรณีของอุปกรณ์ RFID นั้นก็คือความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายนั่นเอง หากมีการนำอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ซึ่งมีคุณสมบัติในการรวมสัญญาณดังเช่นที่ใช้กันในเครื่องรับ-ส่งคลื่นวิทยุมาต่อในวงจรภายในเครื่องลูกข่าย ก็จะทำให้เกิดการมอดูเลตสัญญาณ ทำให้ปรากฏคลื่นความถี่ไซด์แบนด์(Sideband) หรือความถี่ข้างเคียง อันมีค่าเท่ากับ $f_r + f_s$ และ $f_r - f_s$ โดย f_r ก็คือความถี่ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน และเครื่องลูกข่าย RFID นั้นเอง รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2.9

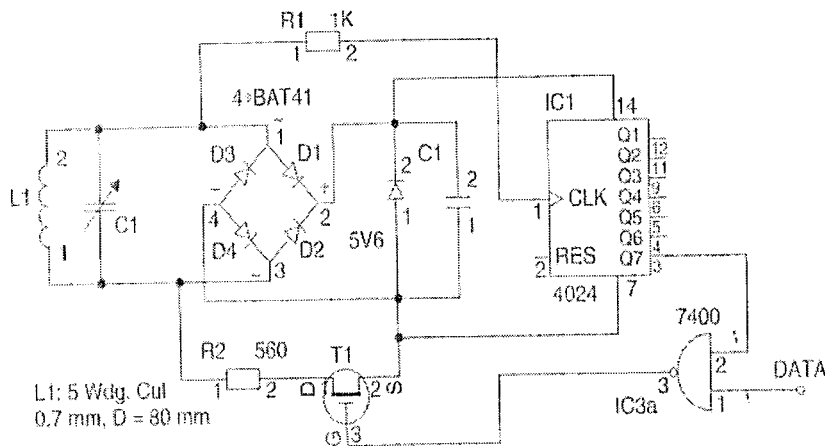


รูปที่ 2.9 สัญญาณข้อมูลที่ถูกบรรจุอยู่ในไวต์แบนด์ของความถี่พื้นฐาน ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่าง เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID

เมื่อเป็นเช่นนี้ การตรวจจับสัญญาณที่ปรากฏบนเครื่องอ่านก็จะง่ายขึ้น โดยเพียงแค่ทำการติดตั้งอุปกรณ์แยกกรองความถี่ (Bandpass Filter) ที่ขดลวดของเครื่องอ่าน โดยสามารถเลือกเฉพาะสัญญาณในไซด์แบนด์ด้านใดด้านหนึ่งที่ต้องการ ($f_r \pm f_s$) จากนั้นจึงนำสัญญาณที่กรองออกมาไปทำการขยายแล้วทำการดีมอดูเลตก็จะได้สัญญาณข้อมูลที่ส่งออกมาจากเครื่องลูกข่าย โดยไม่มีปัญหาการผิดพลาดจากการตรวจจับและไม่ต้องใช้วงจรตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระดับ

แรงดันไฟฟ้าที่ซับซ้อนอีกแต่อย่างใด และเนื่องจากข้อมูลที่มีการส่งออกมาจากเครื่องลูกข่ายไปยังเครื่องอ่าน แท้จริงแล้วเป็นลำดับข้อมูลแบบไบนารีที่สถานะเพียง “ 1 “ หรือ “ 0 “ จึงสามารถเลือกใช้รูปแบบการมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิตอลได้หลากหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็น ASK (Amplitude Shift Keying) , FSK (Frequency Shift Keying) หรือ PSK (Phase Shift Keying)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความถี่ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่านทำให้ต้องมีกั้นแบนด์วิดท์สำหรับการรับส่งข้อมูลไว้ค่อนข้างสูงดังตัวอย่างในรูปที่ 2.9 ซึ่งต้องกันแบนด์วิดท์รอบความถี่พื้นฐานมากถึง 212 กิโลเฮิร์ตซ์ ทำให้ไม่สามารถใช้เทคโนโลยี Load Modulation with Subcarrier ได้กับระบบRFID ที่ใช้ความถี่ต่ำในการสื่อสารข้อมูล ข้อกำหนดมาตรฐาน RFID จึงระบุว่าสามารถใช้เทคโนโลยีดังกล่าวได้เฉพาะกับมาตรฐานRFID แบบ Inductive Coupling ที่ความถี่ 6.78 เมกะเฮิร์ตซ์, 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ และ 27.125 เมกะเฮิร์ตซ์ เท่านั้น รูปที่ 2.10 เป็นตัวอย่างวงจรจริงที่ใช้ในการสร้างสัญญาณไซด์แบนด์บนอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย



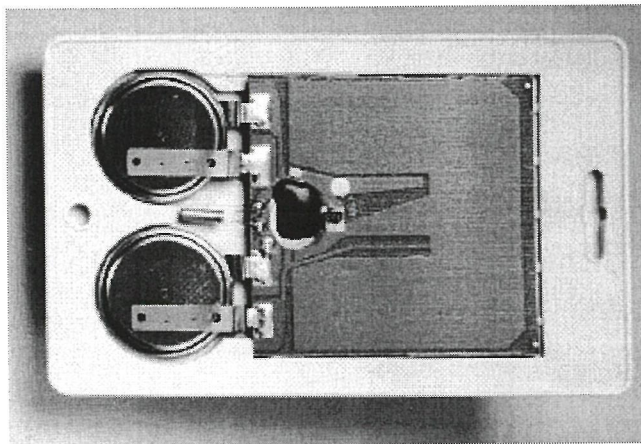
รูปที่ 2.10 วงจรที่ใช้สำหรับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบ Load Modulation with Subcarrier ติดตั้งอยู่ในเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling

2.3.4.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

ข้อมูลในตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าการใช้คลื่นความถี่ย่านต่าง ๆ ในการรับส่งสัญญาณระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน RFID นั้นมีข้อจำกัดในเรื่องระยะทาง ซึ่งจะต้อง

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ควบคุมไม่ให้ค่าการลดทอนสัญญาณของอากาศเกินกว่า 40 เดซิเบล นั่นหมายความว่าหากใช้ความถี่ย่าน 868 เมกะเฮิร์ตซ์ ระยะห่างสูงสุดที่ยอมให้มีได้ระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน RFID จะต้องไม่เกินกว่า 3 เมตร ซึ่งในการใช้ความถี่สูงขึ้นเป็น 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ ระยะทางก็จะลดลงเป็นไม่เกิน 1 เมตร ซึ่งในทางปฏิบัติถือว่าเป็นเรื่องเสี่ยงมาก เนื่องจากการประยุกต์ใช้งานระบบ RFID ที่ต้องการระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Electromagnetic Backscatter Coupling ขึ้น เพื่อให้สามารถใช้งานอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายประเภทนี้ก็ไม่มีไรมาก เพียงแต่ทำการติดตั้งแบตเตอรี่สำหรับใช้ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับไมโครชิพบนเครื่องลูกข่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.11 โดยไมโครชิพได้รับการออกแบบมาเพื่อช่วยประหยัดการดึงกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ โดยกำหนดให้เข้าโหมดการประหยัดไฟทันทีที่อยู่นอกพื้นที่ หรืออยู่ห่างไกลจากเครื่องอ่านจนไม่ได้รับสัญญาณใดๆ และจะกลับสู่สภาพทำงานอีกครั้ง เมื่อตรวจจับสัญญาณจากเครื่องอ่านได้ แบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องลูกข่ายจะมีหน้าที่เพียงป้อนแรงดันไฟเลี้ยงให้กับไมโครชิพเท่านั้นแต่มิได้ถูกใช้ไปสำหรับการส่งสัญญาณข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน



รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Electromagnetic backscatter coupling มีการติดตั้งแบตเตอรี่ไว้สำหรับจ่ายไฟให้กับไมโครชิพ

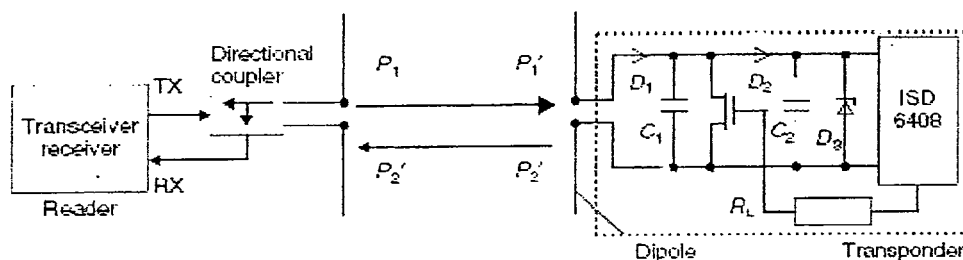
2.3.4.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

เทคนิคที่ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับไปยังเครื่องอ่าน ในกรณีนี้จะใช้เทคโนโลยีเดียวกันกับที่ใช้ในวงจรเรดาห์ซึ่งโดยหลักการทั่วไปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งไปกระทบกับวัตถุต่างๆ จะสะท้อนกลับมายังเครื่องส่งได้ หากวัตถุนั้นมีขนาดใหญ่กว่าครึ่งหนึ่งของค่าความยาวคลื่น ส่วนที่ว่าจะสะท้อนได้ดีมากหรือไม่ขึ้น ขึ้นอยู่กับความสามารถใน

การสะท้อนสัญญาณหรือ Reflection Cross – Section ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับความถี่กำหนดของ วัตถุ นั้น ๆ ซึ่งในกรณีของเทคโนโลยี RFID ก็คือสายอากาศของเครื่องลูกขายนั่นเองว่าตรงกับ ความถี่ของคลื่นตกกระทบหรือไม่

รูปที่ 2.12 สามารถอธิบายเทคโนโลยีการส่งสัญญาณโดยใช้เทคโนโลยี Modulate Reflection Cross – Section ได้เป็นอย่างดี สมมติให้เครื่องอ่านทำการส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ P_1 ผ่านสายอากาศออกไปยังไปเครื่องลูกข่ายสัญญาณส่วนหนึ่งย่อมปรากฏตกกระทบที่สายอากาศ ของเครื่องลูกข่าย สมมติว่ามีขนาดความแรง P_1' สัญญาณดังกล่าวเป็นสัญญาณความถี่สูง (HF) และถูกนำไปผ่านกระบวนการกรองแรงดันโดยวงจรเรกติไฟร์ด้วยไดโอด D_1 และ D_2 ซึ่งวงจร ส่วนนี้เองที่ทำหน้าที่เป็นเหมือนสะพานไฟ สำหรับ “จ่าย “ หรือ “หยุดจ่ายไฟ “ ให้กับไมโครชิพ ในกรณีที่เครื่องลูกข่ายอยู่นอกพื้นที่ตรวจสอบ

สัญญาณ P_1' ส่วนหนึ่งจะสะท้อนสายอากาศของเครื่องลูกข่ายกลับไป โดยอาจมีขนาด ความแรงลดลง เรียกแทนว่าสัญญาณ P_2 ซึ่งเครื่องลูกข่ายจะใช้สัญญาณนี้เองเป็นคลื่นพาหะใน การส่งข้อมูลข่าวสารจากไมโครชิพไปยังเครื่องอ่าน โดยในทางปฏิบัติจะติดตั้งโหลด (R_L) ไว้ ขนานกับสายอากาศของเครื่องลูกข่าย เมื่อมีการส่งข้อมูล “ 0/1 “ จากไมโครชิฟออกไป โหลด P_2 เปลี่ยนแปลงไปตามค่าข้อมูลไบนารีที่ต้องการส่งกลับไปยังเครื่องรับ สัญญาณ P_2 นี้จะเดินทาง ย้อนผ่านอากาศเปิดกลับไปยังสายอากาศของเครื่องอ่านปรากฏเป็นสัญญาณ P_2' สัญญาณที่ได้รับนี้ จะถูกป้อนผ่านวงจรแยกทิศทางสัญญาณ (Directional Coupler) ที่เครื่องอ่านเพื่อป้อนเข้าสู่ ภากรับของเครื่องอ่าน ทั้งนี้ค่าสัดส่วนระหว่างสัญญาณ P_1 / P_2 นั้นค่าสำคัญที่จะกำหนดความไว และความเที่ยงตรงในการส่งข้อมูลข่าวสาร โดยสามารถคำนวณได้จากสมการการทำงานของเร คทาห์โดยทั่วไป



รูปที่ 2.12 หลักการทำงานส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย RFID ไปยังเครื่องอ่านโดยใช้เทคโนโลยี

Modulate Reflection Cross – Section

2.4 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Sequential

มาตรฐาน RFID อีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการส่งข้อมูลจำนวนมากกว่า 1 บิต แต่มีรูปแบบการทำงานที่แตกต่างจากมาตรฐานแบบ Duplexing เพราะว่ามาตรฐานแบบ Sequential มีลักษณะการทำงานเฉพาะตัว กล่าวคือมีการกำหนดช่วงเวลาในการส่งข้อมูลและพลังงานจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่าย แยกออกจากช่วงที่เครื่องลูกข่ายทำการส่งข้อมูลกลับมา ซึ่งหมายความว่าเครื่องลูกข่าย RFID ชนิดนี้จะต้องสามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ภายในตัวเพื่อใช้สำหรับส่งข้อมูลย้อนกลับมายังเครื่องอ่านได้ โดยสามารถจำแนกรูปแบบการทำงานออกได้เป็น 2 ประเภทคือ เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling และ Surface Acoustic Wave Transponder

2.4.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling

2.4.1.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายที่ใช้ในเทคโนโลยีสื่อสาร Sequential แบบ Inductive Coupling ได้รับการออกแบบให้ใช้งานในย่านความถี่ 135 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยสามารถมองว่าอากาศที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคู่ (Couple) ระหว่างขดลวดรับส่งของเครื่องอ่านและขดลวดรับส่งของเครื่องลูกข่ายทำหน้าที่เป็นเหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้า ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่าย แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นบนขดลวดของเครื่องลูกข่ายจะถูกนำไปกรองระดับ (Rectifier) เพื่อให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับใช้ป้อนให้กับวงจรไฟฟ้าและชิปประมวลผลบนเครื่องลูกข่าย เนื่องจากเครื่องอ่านมีการส่งพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่ายเฉพาะช่วงเวลาหนึ่งๆ มิได้ส่งพลังงานตลอดเหมือนดังเช่นมาตรฐาน RFID แบบ Duplexing เครื่องลูกข่ายจึงต้องได้รับการออกแบบให้สามารถเหนี่ยวนำพลังงานในย่านความถี่ใช้งานมากที่สุด ซึ่งในทางปฏิบัติหมายถึงการออกแบบค่าของขดลวดสายอากาศสำหรับเครื่องลูกข่ายให้มีคุณภาพสูงสุดและเพื่อให้สะดวกในการปรับแต่งค่า ตัวเก็บประจุในวงจรรีโซแนนซ์ของเครื่องลูกข่ายให้ตรงกับความถี่ใช้งานสูงสุด จึงนิยมออกแบบ ไมโครชิพบนเครื่องลูกข่ายให้มีค่าตัวเก็บประจุที่สามารถปรับแต่งได้ (On – Chip Trimming Capacitor) ทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งานในทางสัมพัทธ์มากขึ้น

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากหลักการทำงานของมาตรฐาน RFID แบบ Sequential ที่เครื่องลูกข่ายจะได้รับการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้า โดยการเหนี่ยวนำผ่านทางคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากเครื่องอ่านเฉพาะช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เท่านั้น พลังงานที่ได้รับทั้งหมดจะต้องถูกส่งไปประจุ (Charge up) บนตัวเก็บประจุภายในวงจรการทำงานและไม่โครชิพ เพื่อทำงานในช่วงที่เครื่องลูกข่ายต้องส่ง

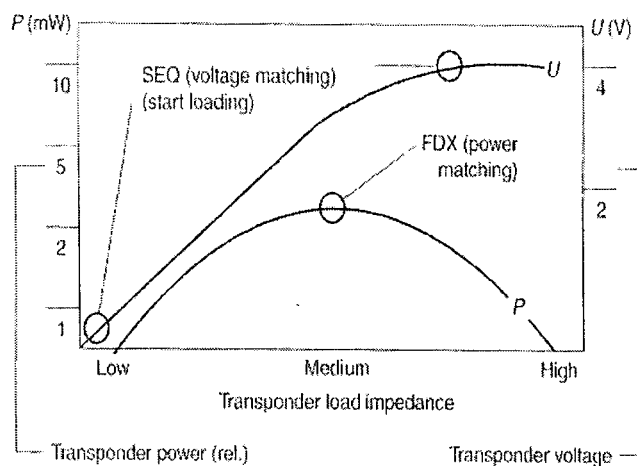
ข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน และเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับที่ไม่มีการป้อนพลังงานไฟฟ้ามาจากเครื่องอ่าน ดังนั้นไมโครชิพบนเครื่องลูกข่ายจึงต้องมีความสามารถในการปรับการทำงานแบบกินไฟน้อย (Stand - by) ในช่วงเวลาที่มีการรับพลังงานไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาจากเครื่องอ่านและมีการประจุตัวเก็บประจุหลังจากช่วงเวลาการเก็บประจุไฟฟ้าผ่านไป ประกอบกับไม่มีการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านอีก ไมโครชิพก็จะปรับการทำงานมาเพื่อพร้อมส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องอ่าน สิ่งสำคัญในการออกแบบเครื่องลูกข่ายก็คือคำนวณค่าตัวเก็บประจุที่สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอสำหรับให้เครื่องลูกข่ายใช้ในระหว่างการส่งข้อมูล

โดยที่ V_{max} และ V_{min} คือระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดที่อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายสามารถทำได้ I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไมโครชิพภายในเครื่องลูกข่ายต้องใช้ในขณะที่ทำงาน และ t เป็นช่วงเวลาที่เครื่องลูกข่ายใช้เพื่อการส่งข้อมูลกลับไปให้เครื่องอ่าน ดังนั้นหากทดลองแทนค่าตัวอย่างโดยให้ $I = 5 \mu A$, $t = 20 \text{ ms}$, $V_{max} = 4.5 \text{ V}$, $V_{min} = 3.5 \text{ V}$ จะสามารถคำนวณค่า C ที่ต้องการใช้ในอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายได้มีค่าเป็น $C = 100 \text{ nF}$

ความแตกต่างระหว่างมาตรฐาน RFID แบบ Duplexing กับแบบ Sequential โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling เช่นเดียวกันนั้น มีแสดงในรูปที่ 2.13 สำหรับมาตรฐานแบบ Duplexing นั้นเนื่องจากเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายต่างทำการส่งความถี่วิทยุได้ต่อกันตลอดเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน Sequential ที่ค่าโวลตจิมพีแดนซ์ส่วนใหญ่มีผลมาจากค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุบนเครื่องลูกข่ายมีค่าน้อยจนเป็นศูนย์ ในช่วงเริ่มต้นวงจรการส่งข้อมูล (เริ่มจากเครื่องอ่านส่งข้อมูลออกมาก่อน) ทำให้ไม่มีกำลังไฟฟ้า แต่ค่าอิมพีแดนซ์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งขึ้นสูงสุดและมีผลทำให้แรงดันตกคร่อมวงจรเครื่องลูกข่ายมีค่าสูงสุด เมื่อใกล้ถึงช่วงสิ้นสุดการส่งข้อมูลจากเครื่องอ่าน(ซึ่งตัวเก็บประจุเก็บพลังงานไว้สูงสุด) ในขณะที่มาตรฐานแบบ Duplexing นั้นถือว่าค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเครื่องลูกข่ายมีค่าอยู่ประมาณกึ่งกลางของอิมพีแดนซ์ตามแบบมาตรฐาน Sequential ที่มีการแปรเปลี่ยนค่าขึ้นลงตามวงจรการใช้งาน ส่งผลให้แรงดันสูงสุดที่พึงปรากฏบนวงจรเครื่องลูกข่ายตามมาตรฐาน Sequential สูงกว่าแบบมาตรฐาน Duplexing ประมาณ 2 เท่า ทั้งนี้ถือว่าการเปรียบเทียบนั้นเกิดขึ้นโดยใช้ค่า L และ C เดียวกันทุกประการ เพียงแต่เปลี่ยนรูปแบบการทำงานระหว่างแบบ Duplexing กับแบบ Sequential เท่านั้น

เมื่อเป็นเช่นนี้จึงเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่พึงเกิดขึ้นบนเครื่องลูกข่ายRFID แบบ Inductive Coupling มาตรฐาน Sequential จะมีมากกว่ามาตรฐาน Duplexing ส่งผลให้เกิดข้อได้เปรียบในเรื่องของกำลังส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุจากเครื่องลูกข่ายแบบ Sequential ที่ได้ระยะทาง ไกลกว่าแบบ Duplexing อย่างไรก็ตามข้อได้เปรียบดังกล่าวก็ต้องแลกมาด้วยความ

ละเอียดอ่อนในการออกแบบและเลือกใช้องค์ประกอบที่นำมาสร้างเป็นวงจรเครื่องลูกข่าย ไม่ว่าจะ เป็นประเภทการเลือกของขดลวดสายอากาศ (L) และค่าตัวเก็บประจุ (C) ที่ใช้ทั้งเก็บ แรงดันไฟฟ้าและทำงานร่วมกับขดลวดเพื่อเป็นวงจรรีโซแนนท์กำเนิดสัญญาณคลื่นวิทยุส่งข้อมูล กลับไปยังเครื่องอ่าน



รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling สำหรับมาตรฐานแบบ Duplexing กับแบบ Sequential

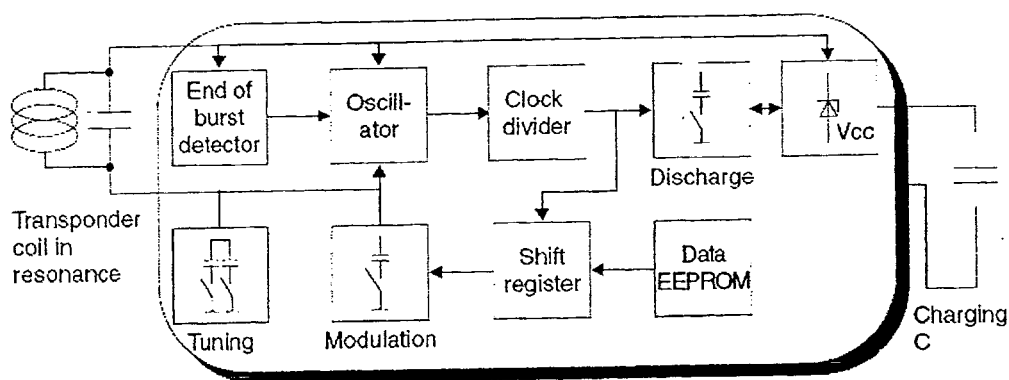
2.4.1.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

การทำงานของวงจรไฟฟ้าบนเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลาด้วยกัน คือเมื่อเริ่มมีการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่าย อันมีทั้งการส่งข้อมูลและพลังงานไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่เรียกว่า “ช่วงประจุไฟฟ้า” หรือ Charging Phase ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดประจุไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุ C ดังรูปที่ 2.15 จากที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้าอยู่เลยจนค่อย ๆ มีไฟฟ้ามากขึ้น และเมื่อสิ้นสุดช่วงของการส่งสัญญาณจากเครื่องอ่าน วงจรถอดรหัสข้อมูลในรูปที่ 2.15 จะตรวจพบการอ้อมตัวของแรงดันไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุ C ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ก็จะสั่งให้วงจรออสซิลเลเตอร์ทำการสร้างสัญญาณความถี่วิทยุเดียวกันกับที่เครื่องอ่านส่งมาในช่วงแรก พร้อมกับส่งไมโครชิฟ

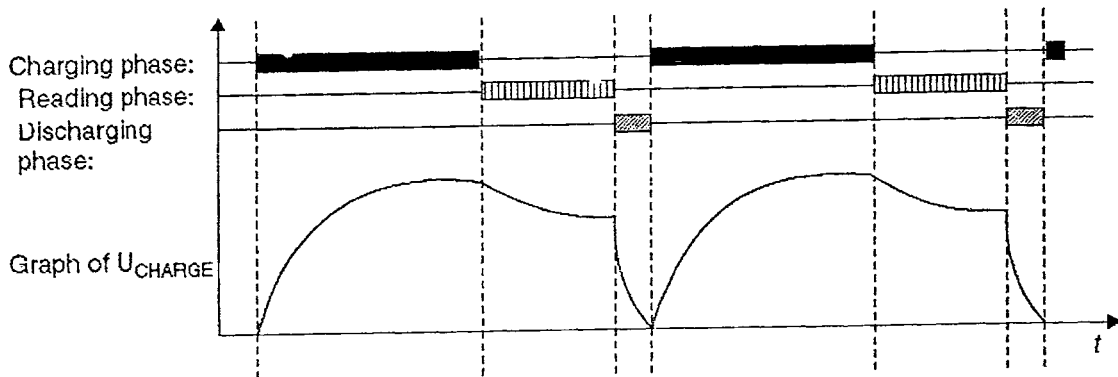
บนเครื่องลูกข่ายเริ่มทำการส่งข้อมูล ข้อมูลที่ส่งออกมาจากไมโครชิพจะถูกนำไปมอดูเลตกับคลื่นความถี่ที่เครื่องลูกข่ายสร้างขึ้น

เครื่องอ่านจะตรวจพบความแรงของสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่ส่งออกมาจากเครื่องลูกข่าย และจะเริ่มต้นรับข้อมูลที่เครื่องลูกข่ายส่งกลับมา เนื่องจากไมโครชิพบนเครื่องลูกข่ายเริ่มมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เก็บสะสมไว้ในตัวเก็บประจุ C ลดลง ซึ่งหากออกแบบขนาดของตัวเก็บประจุไว้ให้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าพอติดกับช่วงเวลาในการส่งข้อมูลก็จะทำให้กระบวนการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปยังเครื่องอ่านเสร็จสิ้นตรงตามเวลา เรียกช่วงเวลาที่ สอง นี้ว่า “ ช่วงการส่งข้อมูล “ หรือ Reading Phase หลังจากช่วงเวลานี้ผ่านไปแล้ววงจรจะคายประจุไฟฟ้าที่เหลือค้างอยู่บนตัวเก็บประจุ C ออกให้หมดส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏบนเครื่องลูกข่ายมีค่าเป็นศูนย์อีกครั้ง และเป็นการรีเซตการทำงานของไมโครชิพให้อยู่ในโหมดเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง

เนื่องจากเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling มาตรฐาน Sequential กำหนดให้เครื่องลูกข่ายส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องอ่านโดยใช้ความถี่วิทยุค่าเดียวกับที่เครื่องอ่านส่งออกมาในช่วงประจุไฟฟ้า เป็นการผลัดกันส่งความถี่ค่าเดียวกัน จึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเอาชนะสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งได้สูงถึง 20 เดซิเบล เมื่อเทียบกับกรณีของมาตรฐานแบบ Duplexing ซึ่งเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายต่างส่งความถี่คนละค่าสวนทางต่อเนื่องกันตลอดเวลา หมายความว่าเมื่อใช้เทคโนโลยีแบบ Sequential แล้วจะทำให้เพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายได้มากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 2.14 โครงสร้างวงจรภายในของเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Sequential ประเภท Inductive Coupling (ข้อมูลจากบริษัท Texas Instrument)

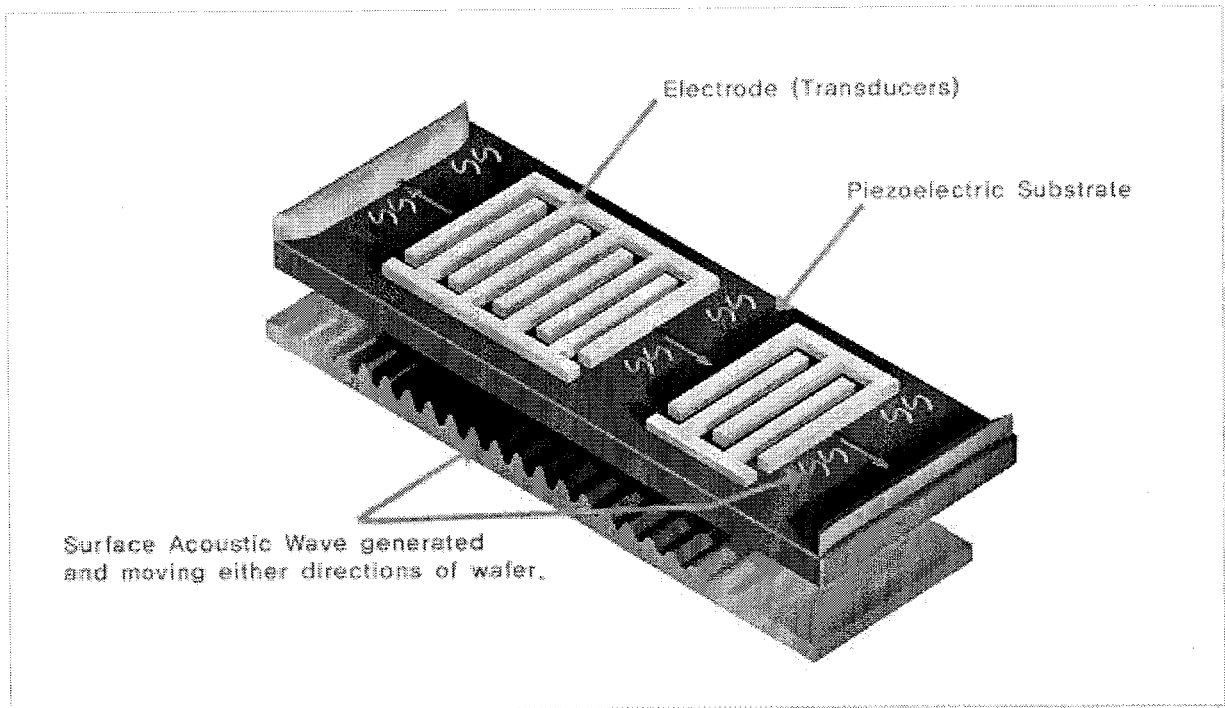


รูปที่ 2.15 แสดงระดับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนตัวเก็บประจุ C ตลอดวงจรการทำงานของเครื่องลูกข่าย RFID มาตรฐาน Sequential

2.4.2 เครื่องลูกข่ายแบบ Surface Acoustic Wave

มีชื่อเรียกย่อ ๆ ว่า SAW เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการ Piezoelectric และการแพร่กระจายของคลื่นความถี่เสียงบนพื้นผิววิหตุ การทำงานของอุปกรณ์เพียสโซอิเล็กทริก ซึ่งผลิตจากการนำผลึกคริสตอลที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ หากมีการเปลี่ยนแปลงในรูปร่างของผลึกคริสตอลก็จะมีผลทำให้เกิดอุปกรณ์เพียสโซอิเล็กทริกผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาได้ และในทางกลับกันหากมีการกระตุ้นผลึกเพียสโซอิเล็กทริกด้วยแรงดันไฟฟ้า ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในรูปร่างและขนาดของผลึกคริสตอลได้ การกระตุ้นผลึกเพียสโซอิเล็กทริกทำได้ดีที่ย่านความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งตามมาตรฐานทั่วไปใช้ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์เป็นค่าหลัก

หลักการทำงานของเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW ใช้พฤติกรรมของเพียสโซอิเล็กทริกดังกล่าว โดยมีการสร้างแผ่นรอง (Substrate) ที่ผลิตขึ้นจากผลึกเพียสโซอิเล็กทริกคริสตอลมาดีเป็นแผ่นบางยาว จากนั้นจึงทำการติดตั้งแถบรหัสเครื่องลูกข่าย (Transducer) และแถบสะท้อนสัญญาณ (Reflector) ซึ่งเป็นแผ่นอิเล็กโทรด ลงบนแผ่นรองซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัสดุประเภทลิเทียมไนโอเบต (Lithium Niobate) หรือ ลิเทียมแทนทาลเตต (Lithium Tantalate) การติดตั้งแผ่นอิเล็กโทรดกระทำโดยผ่านกระบวนการ Protolithographic แบบเดียวกับการยิงสารตัวนำบนแผ่นรองในกระบวนการผลิตไมโครชิปทั่วไป



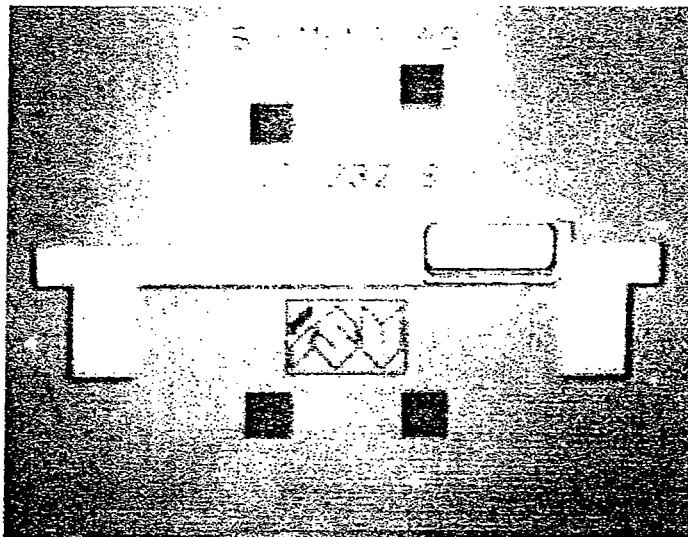
รูปที่ 2.16 โครงสร้างของเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW

รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างของเครื่องลูกข่ายแบบ SAW ซึ่งจะเห็นว่าในส่วนของแถบรหัสเครื่องลูกข่ายมีการจัดวางเป็นลักษณะเป็นรหัสเรียกว่า Interdigital Transducer ติดตั้งอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งของแผ่นรอง โดยขอบบนและขอบล่างของแถบรหัสจะเชื่อมต่อกับแถบยึด (Bar) ซึ่งเป็นอิเล็กโทรดเช่นเดียวกัน และมีการเชื่อมต่อไปยังสายอากาศแบบไดโพลเพื่อดักสัญญาณคลื่นวิทยุที่ได้รับมาจากเครื่องอ่าน และยังใช้เป็นสายอากาศสำหรับส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องอ่านอีกด้วย ช่องว่างระหว่างปลายของ Interdigital Transducer แต่ละคู่จะเหนี่ยวนำให้เพียโซอิเล็กทริกทำการแปลงสัญญาณไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำมาจากสัญญาณที่ถูกส่งมาโดยเครื่องส่ง ให้อยู่ในรูปของคลื่นพื้นผิว (Acoustic Surface Wave) ที่จะเดินทางแพร่กระจายไปบนแผ่นรอง และแปลงคลื่นผิวให้กลับไปในรูปของสัญญาณไฟฟ้า

หลักการการทำงานของเครื่องลูกข่าย SAW เป็นดังนี้ เมื่อเครื่องอ่านทำการส่งคลื่นความถี่วิทยุมา ยังเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW สัญญาณที่ได้รับจะตกกระทบสายอากาศไดโพลพร้อมกัน ได้รับการแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณไฟฟ้าจะถูกส่งต่อมายังอิเล็กโทรดที่ทำหน้าที่เป็น Interdigital Transducer ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่อยู่ระหว่างช่องว่างของอิเล็กโทรด และก่อให้เกิดเป็นคลื่นพื้นผิวซึ่งความถี่ตรงกันกับความถี่ของคลื่นที่ส่งออกมาจากเครื่องอ่านแพร่กระจายไปตลอดแนวความยาวของแผ่นรอง ซึ่ง

โดยทั่วไปความเร็วในการแพร่กระจายของคลื่นผิวจะเร็วถึง 3,000 ถึง 4,000 เมตรต่อวินาที ตลอดระยะทางของการเคลื่อนที่ของคลื่นพื้นผิวนั้นคลื่นจะวิ่งไปกระทบกับแถบสะท้อน สัญญาณ ซึ่งเป็นกลุ่มอิเล็กโทรดที่วางเรียงไปตามความยาวของแผ่นรอง คลื่นกระทบกับแถบสะท้อน สัญญาณขึ้นไค่ก่อนก็จะสะท้อนสัญญาณตัวแรกย้อนกลับมาถึง Interdigital Transducer และเกิดการแปลงคลื่นพื้นผิวกลับไปเป็นกระแสไฟฟ้า และส่งผ่านสายอากาศไดโพลไปเป็นคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งย่อมต้องเป็นความถี่เดียวกันกับความถี่เครื่องอ่านที่เครื่องอ่านส่งออกมาในช่วงแรก เครื่องอ่านจะได้รับสัญญาณนั่นเองที่จะกำหนดช่วงห่างระหว่างการส่งข้อมูลย้อนกลับ และกลายเป็นรูปแบบข้อมูล ไบนารีที่จะใช้ติดต่อกับเครื่องอ่าน

เนื่องจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นพื้นผิวบนแผ่นรองมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยทั่วไปเครื่องอ่านจะได้รับสัญญาณย้อนกลับมาจากเครื่องลูกข่ายหลังจากที่เครื่องอ่านได้ทำการส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุออกไปภายในเวลา 1.5 มิลลิวินาที ซึ่งโดยปกติเครื่องอ่านจะส่งเฉพาะความถี่สั้น ๆ ที่เรียกว่า Scanning pulse เพื่อให้ไปตกกระทบกับบรรดาเครื่องลูกข่ายรายงานตัวกลับมา โดยมีรูปแบบเปรียบเทียบได้คล้าย ๆ กับการทำงานของระบบเรดาร์ที่ใช้ในกิจกรรมการบินเวลาหน่วง 1.5 มิลลิวินาที นับว่าเหมาะสมเพียงพอที่เครื่องอ่านจะใช้กำหนดเงื่อนไข และกลไกการส่งและอ่านข้อมูลได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW (ข้อมูลจาก Siemens AG)

ปริมาณข้อมูลที่สามารบบันทึกไว้บนเครื่องลูกข่ายแบบ SAW นั้นแท้จริงแล้วคือจำนวน

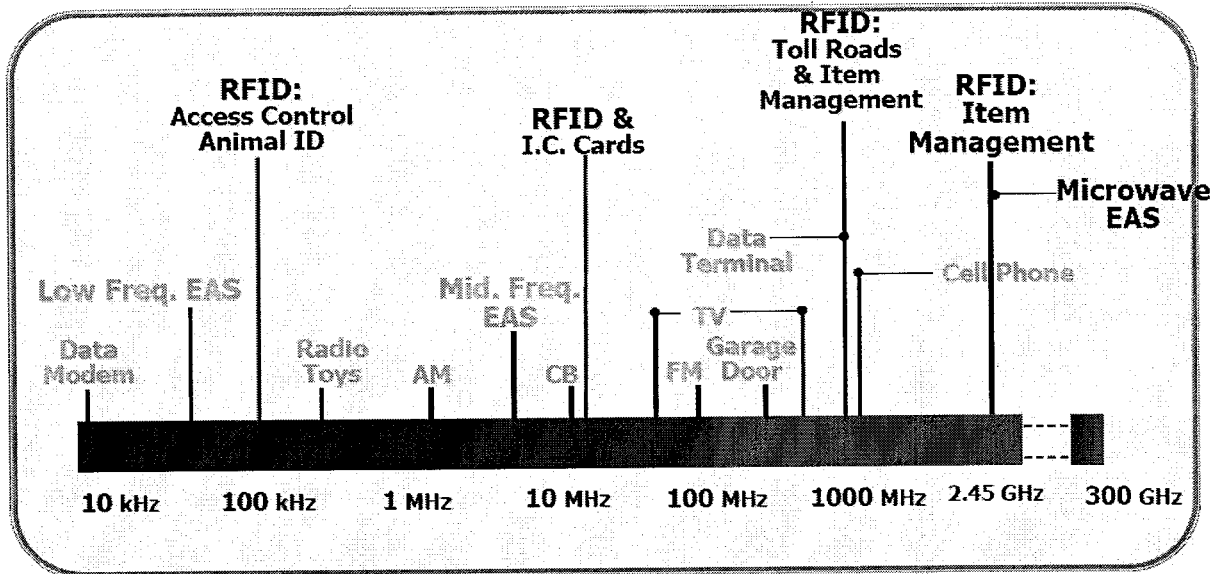
แถบสะท้อนสัญญาณที่สามารถติดตั้งลงบนแผ่นรองนั่นเอง ในทางปฏิบัติสามารถกำหนดให้เครื่อง ลูกข่ายแบบ SAW เก็บข้อมูลได้ในช่วง 16-32 บิต โดยไม่ทำให้แผ่นรองมีขนาดยาวเกินไปเพื่อ รองรับจำนวนบิตข้อมูลที่มากกว่านี้ และมีผลทำให้เวลาหน่วงที่ต้องเสียไปกับการรอคอยการ สะท้อนสัญญาณจากบิตข้อมูลที่อยู่ท้ายสุดต้องเนิ่นนานเกินไป ด้วยปริมาณข้อมูลที่กล่าวนี้ทำให้ เครื่องลูกข่ายสามารถส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่านได้เทียบเท่ากับอัตราเร็วในการสื่อสาร 500 กิโลบิตต่อวินาที นอกจากนั้นในเรื่องของระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายสำหรับ เทคโนโลยี RFID แบบ SAW นั้น หากใช้งานที่ความถี่มาตรฐาน 2.45 กิกะเฮิรตซ์ก็สามารถหวัง ได้ที่ระยะ 1-2 เมตร รูปที่ 2.17 เป็นตัวอย่างเครื่องลูกข่ายแบบ SAW ของบริษัทซีเมนส์จำกัด ที่ติดตั้งสายอากาศในรูปแบบของแผ่นโลหะบาง (Microstrip line) สำหรับแผ่นรองที่เป็นเพียส โซอิเล็ทริกนั้นจะถูกบรรจุอยู่ในกรอบโลหะเพื่อป้องกันการรบกวนจากความถี่ภายนอก

2.5 ข้อกำหนดมาตรฐานด้านความถี่

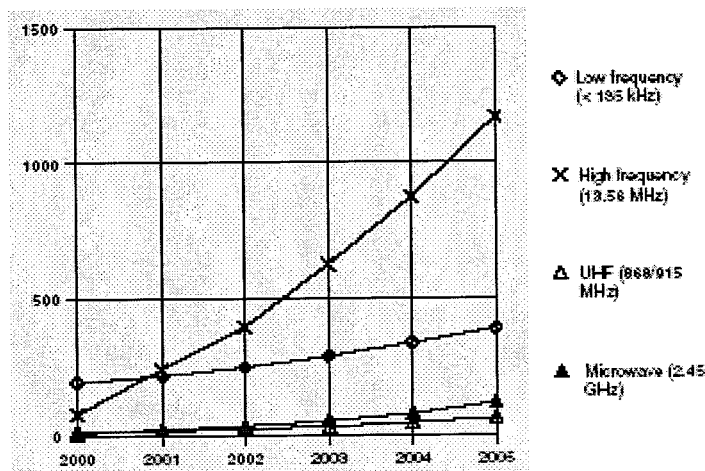
เนื่องจากเทคโนโลยี RFID ใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นสื่อกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่าง เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย จึงจำเป็นที่จะต้องออกมาตรฐานควบคุมการป้องกันมิให้อุปกรณ์ RFID ส่งผลกระทบต่อระบบสื่อสารและโทรคมนาคมอื่น ๆ ที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ได้รับการ จัดสรรอยู่ก่อนแล้ว ไม่ว่าจะเป็นระบบรับส่งวิทยุและโทรทัศน์ เครื่องข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ วิทยุ ตำรวจ เครื่องข่ายวิทยุสื่อสาร วิทยุเดินเรือ และระบบวิทยุการบิน รูปที่ 2.18 แสดงถึงย่านความถี่ คลื่นวิทยุที่ได้รับการจัดสรรโดยองค์กรสากลทางด้านการศึกษาเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ โดยมีการกำหนดเพิ่มย่านความถี่สำหรับใช้งานกับระบบ RFID ดังแสดงในกราฟแท่ง ทั้งนี้มี ข้อสรุปการใช้ย่านความถี่ ISM (Industry – Scientific Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่สากลสำหรับ ใช้ในวงการอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สำหรับเทคโนโลยี RFID นอกจากนั้นยังมี ความเป็นไปได้ที่จะนำความถี่ในย่านต่ำกว่า 135 กิโลเฮิรตซ์ (ยุโรป) และต่ำกว่า 400 กิโลเฮิรตซ์ (ทวีปอเมริกาและญี่ปุ่น) มาใช้กับเทคโนโลยีรับส่งสัญญาณ RFID แบบ Inductive Couple เป็นพิเศษอีกด้วย

โดยสรุป ย่านความถี่ที่ได้รับการจัดสรรให้ใช้งานกับเทคโนโลยี RFID ประกอบด้วยย่าน ต่าง ๆ ต่อไปนี้ คือ 0-135 กิโลเฮิรตซ์ และย่านความถี่ ISM ซึ่งประกอบด้วย 6.78 เมกะเฮิรตซ์ , 13.5 เมกะเฮิรตซ์ , 27.125 เมกะเฮิรตซ์ , 40.68 เมกะเฮิรตซ์ , 433.92 เมกะเฮิรตซ์ , 869.0 เมกะเฮิรตซ์ , 915.0 เมกะเฮิรตซ์ , 2.45 กิกะเฮิรตซ์ , 5.8 กิกะเฮิรตซ์ และ 24.125 กิกะเฮิรตซ์ ทั้งนี้มีการเก็บรวบรวม ข้อมูลการจัดจำหน่ายอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID ที่มีการผลิตขึ้นใช้งานกับย่านความถี่ต่าง ๆ กัน โดยเป็นข้อมูลยอดจำหน่ายตั้งแต่พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2548 สำหรับทั่วโลก ดังแสดงในรูปที่ 2.18

การเลือกใช้เทคโนโลยี RFID จะได้รับผลกระทบจากเครือข่ายสื่อสารหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ด้วย สามารถแจกแจงอธิบายได้ต่อไปนี้



รูปที่ 2.18 ย่านความถี่ต่าง ๆ ที่ได้รับการกำหนดให้ใช้งานกับเทคโนโลยี RFID



รูปที่ 2.19 ประมาณยอดการจำหน่ายเครื่องฉลาก RFID ทั่วโลก แบ่งตามย่านความถี่การใช้งาน

- ความถี่ย่าน 9 – 135 กิโลเฮิร์ต

สำหรับความถี่ในย่านที่ต่ำกว่า 135 กิโลเฮิร์ตนั้นได้รับความสนใจใช้งานจากกิจการต่าง ๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นระบบวิทยุการบิน ระบบนำร่องต่าง ๆ การส่งสัญญาณฐานเวลา รวมไปถึงกิจการทางทหาร ทั้งนี้เพราะเป็นคลื่นความถี่ต่ำ มีความยาวคลื่นสูงสามารถส่งกระจายสัญญาณไปได้เป็นระยะทางไกล ๆ ถึง 1,000 กิโลเมตร โดยใช้เงินลงทุนต่ำ เนื่องจากการมอดูเลตสัญญาณความถี่ต่ำ ไม่ต้องใช้เทคโนโลยีเครื่องส่งที่ซับซ้อน เหมือนการส่งสัญญาณวิทยุความถี่สูง การใช้งานเทคโนโลยี RFID ในย่านความถี่นี้ มีโอกาสก่อความถี่ให้กับระบบวิทยุต่าง ๆ ที่มีการใช้งานอยู่ก่อนหน้าเกิดปัญหาได้ ตัวอย่างเช่น ในประเทศเยอรมันมีมาตรฐานการส่งสัญญาณคลื่นความถี่ 77.5 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อใช้กระจายฐานเวลาให้กับเครือข่ายสื่อสารโทรคมนาคมต่าง ๆ พบว่าหากมีการนำอุปกรณ์ RFID ที่ทำงานในย่านความถี่ดังกล่าวไปใช้งานในบริเวณที่มีเครื่องรับฐานเวลาอยู่ในระยะหลายร้อยเมตร จะเกิดการก่อความถี่ทำให้ระบบไม่สามารถตรวจหาฐานเวลาได้กลายเป็นปัญหาต่อระบบที่มีการใช้งานอยู่ก่อนหน้า

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในทวีปยุโรปจึงได้มีการออกข้อกำหนดใบอนุญาตมาตรฐาน 220 ZV 122 ขึ้นเพื่อใช้กำหนดย่านความถี่หวงห้ามในช่วง 70 ถึง 119 กิโลเฮิร์ต มิให้นำไปใช้กับกิจการด้าน RFID ใด ๆ นอกจากนั้นในประเทศเยอรมันซึ่งเป็นหนึ่งในประเทศที่มีการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุสำหรับกิจการต่าง ๆ ก็ได้มีการประกาศห้ามใช้ความถี่ดังกล่าวในตารางที่ 2.3 สำหรับเทคโนโลยี RFID โดยมีการกำหนดพื้นที่ห้ามใช้งานในเมืองต่าง ๆ ซึ่งวิธีการและข้อปฏิบัติดังกล่าวถือเป็นแบบอย่างที่ดีในการวางข้อกำหนด (Regulation) สำหรับใช้ควบคุมมาตรฐาน RFID ในประเทศอื่น ๆ

- ความถี่ย่าน 6.78 เมกะเฮิร์ต

เป็นย่านความถี่สำหรับคลื่นสั้น (Shortwave) มีคุณสมบัติในการแพร่กระจายได้ไกลหลายร้อยกิโลเมตรในช่วงเวลากลางวัน และในยามค่ำก็สามารถส่งสัญญาณได้ไกลมากขึ้น บางครั้งถึงขั้นส่งได้ข้ามทวีป จึงได้รับการนำไปใช้งานในกิจการกระจายเสียง ระบบตรวจสอบอากาศ และระบบวิทยุการบิน ในแง่ของเทคโนโลยี RFID นั้น ในหลาย ๆ ประเทศได้มีการแบ่งย่านความถี่ดังกล่าวบางส่วนออกเป็นย่าน ISM ในปัจจุบันความถี่ 6.78 เมกะเฮิร์ตได้รับการรับรองสภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union หรือ ITU) สำหรับให้ใช้งานกับเทคโนโลยี RFID สำหรับการออกใบอนุญาตย่านความถี่ใช้งานดังกล่าวในยุโรปก็ได้มีข้อกำหนด CEP/ERC PEC 70 – 03 เพื่อใช้ควบคุมอย่างชัดเจน

- ความถี่ย่าน 13.56 เมกะเฮิร์ต

เป็นย่านความถี่ที่อยู่ในช่วงกึ่งกลางของย่านวิทยุคลื่นสั้น มีคุณสมบัติพิเศษในการแพร่กระจายสัญญาณ ได้ไกลในระดับข้ามทวีปแม้ในช่วงเวลากลางวัน ดังนั้นจึงยังมีความนิยมใช้งานความถี่ย่านนี้สำหรับการสื่อสารโทรคมนาคม เช่น เครือข่ายวิทยุของวงการข่าว และเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมแบบPoint – to – Point นอกจากนี้ยังพบการใช้งานความถี่ย่านดังกล่าวสำหรับกิจการ ISM บางประเภทนอกเหนือจากการใช้งานเทคโนโลยี RFID อีกเช่น ระบบควบคุมจากระยะไกล ของเล่นที่ใช้ในการบังคับทางวิทยุ รวมถึงวิทยุติดตามตัว (Pager) บางระบบ

ตารางที่ 2.2 การกำหนดพื้นที่และความถี่ที่ห้ามใช้กับเทคโนโลยี RFID ในประเทศเยอรมัน

f (kHz)	Class	Location	Call
16.4	FX	Mainflingen	DMA
18.5	FX	Burlage	DHO35
23.4	FX	Mainflingen	DMB
28.0	FC	Burlage	DHO36
36.0	FC	Burlage	DHO37
46.2	FX	Mainflingen	DCF46
47.4	FC	Cuxhafen	DHJ54
53.0	FX	Mainflingen	DCF53
55.2	FX	Mainflingen	DCF55
69.7	FX	Königswusterhausen	DKQ
71.4	AL	Coburg	—
74.5	FX	Königswusterhausen	DKQ2
77.5	Time	Mainflingen	DCF77
85.7	AL	Brilon	—
87.3	FX	Bonn	DEA
87.6	FX	Mainflingen	DCF87
94.5	FX	Königswusterhausen	DKQ3
97.1	FX	Mainflingen	DCF97
99.7	FX	Königswusterhausen	DIU
100.0	NL	Westerland	—
103.4	FX	Mainflingen	DCF23
105.0	FX	Königswusterhausen	DKQ4
106.2	FX	Mainflingen	DCF26
110.5	FX	Bad Vilbel	DCF30
114.3	AL	Stadtkyll	—
117.4	FX	Mainflingen	DCF37
117.5	FX	Königswusterhausen	DKQ5
122.5	DGPS	Mainflingen	DCF42
125.0	FX	Mainflingen	DCF45
126.7	AL	Portens, LORAN-C. coastal navigation	—
128.6	AL	Zeven, DECCA. coastal navigation	—
129.1	FX	Mainflingen, EVU remote control transmitter	DCF49
131.0	FC	Kiel (military)	DHJ57
131.4	FX	Kiel (military)	DHJ57

บทที่ 3

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ปัจจุบันเครื่องใช้ไฟฟ้าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตลอดจนระบบโรงงานอุตสาหกรรม จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในเป็นตัวควบคุมเกือบทั้งหมด ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์กลายเป็นอีกหนึ่งอุปกรณ์ที่ผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำหลาย ๆ บริษัทให้ความสนใจ และมีการแข่งขันสูงมาก อุปกรณ์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมมีมากมายหลายชนิด เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน

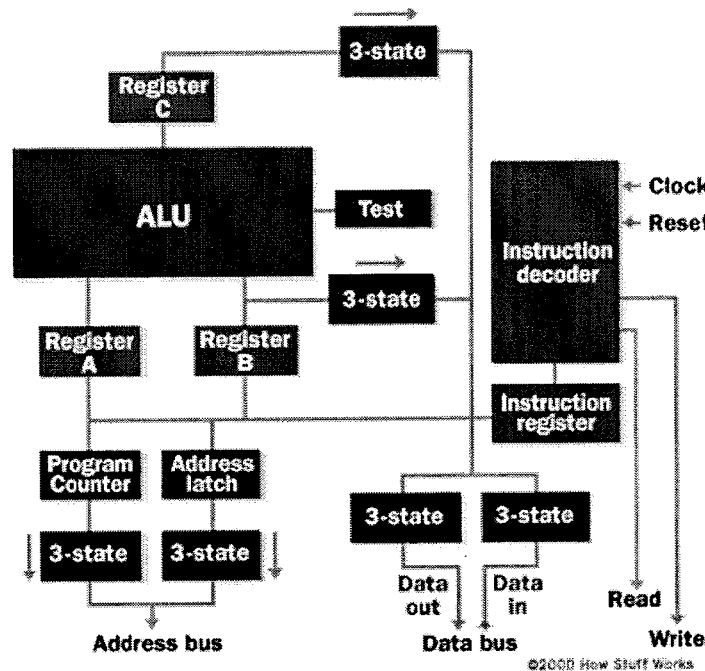
3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

3.1.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่งซึ่งภายในประกอบด้วยวงจรอื่น ๆ หลายวงจรและทำงานร่วมกัน เช่น หน่วยประมวลผลกลาง (CPU : Central Processing Unit) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU : Arithmetic Logic Unit) วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) หน่วยความจำ (Memory : ROM , RAM) วงจรรับสัญญาณอินพุต และขับสัญญาณเอาต์พุต (I/O port) เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ดีเนื่องจากสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานได้อย่างอิสระตามความต้องการของเรา

3.1.2 ข้อแตกต่างระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้กันอยู่ปัจจุบัน เช่น ซีพียูเบอร์ Z80 จะไม่มีหน่วยความจำ RAM, ROM และ Port อยู่ในตัวชิป ทำให้ต้องต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเพิ่มและต้องใช้ ICs ขยายพอร์ตเพิ่มเติม ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีวงจรอยู่ในตัวชิป เช่น หน่วยความจำ RAM, ROM และ I/O Port เป็นต้น ดังนั้นในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์จึงมีขนาดเล็กกว่าและราคาต่ำกว่าระบบไมโครโปรเซสเซอร์



รูปที่ 3.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครโปรเซสเซอร์

3.2 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC)

Microcontroller PIC มีโครงสร้างลักษณะทั้ง 8 pins , 14 pins , 18 pins , 28 pins , 40 pins ซึ่งมีให้เลือกใช้มาก ขึ้นอยู่กับว่าจะเลือกใช้ขนาด Memory เท่าใดให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ทำ โดยสามารถแบ่งหน่วยความจำได้ 3 แบบ คือ

- 1) หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช (FLASH Program Memory) มีขนาดความจุ 1 ถึง 32 kwords
 - 2) หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory RAM) มีความจุถึง 256 bytes
- Microcontroller PIC 16F877 มีพอร์ตใช้งานทั้งสิ้น 5 พอร์ต คือ PortA 6 bit , PortB 8 bit , PortC 8 bit , PortD 8 bit และ PortE 3 bit เป็นพอร์ตแบบมี 2 ทิศทาง คือ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต และยังเป็นพอร์ตที่สามารถแปลงสัญญาณ ADC (Analog to Digital Converter) ได้อีกด้วย Microcontroller PIC มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้
- มีพอร์ต I/O ขนาด 3 bit, 6 bit, 8 bit จำนวน 5 พอร์ต
 - มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช 1 ถึง 32 kwords
 - มีหน่วยความจำข้อมูลแรม (RAM) 64 ถึง 1536 byte
 - มีหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม (EEPROM) 256 byte

- Timer / Counter
 - Timer 0 ขนาด 8 bit
 - Timer 1 ขนาด 16 bit
 - Timer 2 ขนาด 8 bit
- มีกระแสซิงก์และกระแสซอร์ส (High Sink / Source Current) 25 mA
- มีวงจรแปลงสัญญาณ Analog to Digital Converter 10 bit
- มีวงจรสื่อสารแบบอนุกรมทั้ง SPI และ PC (Master / Slave)
- มีวงจร Pulse Width Modulation (PWM) ความละเอียดสูงถึง 10 bit
- มีหน่วยความจำแบบ Flash สามารถเขียนและลบได้มากกว่า 100,000

ครั้ง

3.2.1 หน่วยประมวลผลกลาง (CPU : Central Processing Unit)

CPU เปรียบเทียบได้กับสมองของคนเรานั้นเอง เพราะการคำนวณต่าง ๆ เกิดขึ้นที่นี้ CPU ประกอบด้วยวงจรต่าง ๆ หลายวงจร เช่น วงจรควบคุมเวลาและระบบการทำงาน (Timing and Control Unit) ซึ่งจะทำหน้าที่จัดการทั้งหมดของวงจรทั้งประมวลผลและควบคุมตามคำสั่งที่ได้รับ การคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU : Arithmetic and Logic Unit) โดยจะทำหน้าที่คำนวณและประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรถอดรหัสคำสั่ง (Instruction Decoder) จะทำหน้าที่แปลงคำสั่งทั้งหมดให้เป็นภาษาเครื่อง (Machine Language) วงจรควบคุมการทำงานของ Counter (Program Counter) วงจรควบคุมสัญญาณนาฬิกา (Oscillator) ตลอดจนหน่วยความจำภายใน Register, Adder, Subtraction, Buffer และอื่น ๆ ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและการประมวลของ CPU เป็นต้น

3.2.2 หน่วยความจำ (Memory Unit)

ในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นต้องคำนึงถึงชนิดของหน่วยความจำและวิธีการเข้าถึงด้วย ซึ่งต่างจากการเขียนบน PC ที่สนใจเพียงชนิดของตัวแปรว่าจะใช้เก็บข้อมูลประเภทใด สำหรับหน่วยความจำในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC นั้นจะมีหน่วยความจำในการใช้งาน 3 ประเภทดังนี้

3.2.2.1 หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช (FLASH Program Memory)

หน่วยความจำแบบแฟลช (Flash ROM) ในปัจจุบันนี้หน่วยความจำชนิดนี้ได้ถูกนำมาใช้กับ Microcontroller หลายบริษัทหลายรุ่น โดยมีคุณสมบัติในการเขียนโปรแกรมและลบโปรแกรมได้มากกว่า 100,000 ครั้ง ซึ่งการทำงานจะมีความเร็วสูงมากเหมาะกับการพัฒนางานที่มีขนาดใหญ่

3.2.2.2 หน่วยความจำโปรแกรม (Data Memory RAM)

หน่วยความจำในส่วนนี้มีไว้ใช้ในการเก็บข้อมูลขณะทำการประมวลผลของโปรแกรมสามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้ในมีไฟเลี้ยง แต่เมื่อไม่จ่ายไฟเลี้ยงข้อมูลต่าง ๆ จะหายไป หากหน่วยความจำนี้ไม่พอใช้งานจะต้องต่อหน่วยความจำแรมภายนอกเพิ่ม (External RAM หรือ Data Memory) ปัจจุบันเทคโนโลยีก้าวหน้าขึ้นมาก ชิปบางตัวจะมีการบรรจุหน่วยความจำประเภท Data Memory เข้าไปในชิปเลย

3.2.2.3 หน่วยความจำแบบอีอีพรอม (EEPROM Data Memory)

หน่วยความจำแบบ EEPROM เป็นหน่วยความจำที่สามารถเขียนและลบโปรแกรมด้วยกระแสไฟฟ้าในหน่วยความจำถาวรของ PROM (Programmable Read Only Memory) โดยภายในมีการพัฒนาให้ RAM (Random Access Memory) ที่มีหน่วยความจำชั่วคราวให้เก็บข้อมูลได้ถาวรแบบหน่วยความจำ ROM (Read Only Memory) โดยสามารถเขียนและลบโปรแกรมจำนวนหลาย ๆ ครั้งได้

3.2.3 พอร์ตอินพุต / เอาท์พุต (I/O port)

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีพอร์ตสำหรับติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกแล้วแต่วัตถุประสงค์ในการใช้งานและคุณสมบัติของพอร์ต โดยสามารถติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกทำหน้าที่เป็นอินพุตได้เช่น Pushbutton, Keypad, Sensor, LCD, Timer / Counter ตลอดจนการแปลงสัญญาณ Analog to Digital Converter เป็นต้น

Microcontroller PIC ถูกพัฒนามาเพื่อใช้งานด้านอุตสาหกรรมโดยมีการผลิตมากมายหลายชนิดหลายรุ่นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ โดยจะขอยกตัวอย่าง Microcontroller PIC บางรุ่น ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 Microcontroller PIC

เบอร์ Device	หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory)	หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)		อินพุท/เอาต์พุท (I/O Port)	ไทมเมอร์/คานต์เตอร์ (Timer/Counter)
	Flash Memory (kwords)	RAM (bytes)	EEPROM (bytes)		
PIC12F629	1	64	128	8	2
PIC12F675	1	64	128	8	2
PIC16F630	1	64	128	14	2
PIC16F676	1	64	128	14	2
PIC16F628	2	224	128	18	3
PIC16F872	2	128	64	28	3
PIC16F871	2	128	64	40	3
PIC16F873	4	192	128	28	3
PIC16F876	8	368	256	28	3
PIC16F877	8	368	256	40	3
PIC16F877A	8	368	256	40	3
PIC18F242	16	768	256	28	4
PIC18F252	32	1,536	252	28	4
PIC18F442	16	768	256	40	4
PIC18F452	32	1,536	256	40	4
PIC18F458	32	1,536	256	40	4

บทที่ 4

การมอดูเลทสัญญาณแบบดิจิทัล

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะทำการอธิบายเนื้อหาเกี่ยวกับการมอดูเลทสัญญาณแบบดิจิทัล ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การมอดูเลทแบบ ASK, FSK, และ PSK ซึ่งแต่ละวิธีจะอาศัยหลักการทำงานที่แตกต่างกันออกไป ในบทนี้เราจะเน้นเนื้อหาเกี่ยวกับการมอดูเลทแบบ ASK เพราะเกี่ยวข้องกับโครงการที่ได้จัดทำ ซึ่งจะอธิบายโดยละเอียดดังกล่าวต่อไปนี้

4.2 การมอดูเลทสัญญาณดิจิทัล

การมอดูเลทข้อมูลที่เป็นดิจิทัลจะมีหลักการพื้นฐานที่สำคัญอยู่ 3 แบบด้วยกันคือ

1. การมอดูเลทดิจิทัลทางขนาด (Amplitude Shift Keying ; ASK)
2. การมอดูเลทดิจิทัลทางเฟส (Phase Shift Keying ; PSK)
3. การมอดูเลทดิจิทัลทางความถี่ (Frequency Shift Keying ; FSK)

จากสมการทางคณิตศาสตร์ของคลื่นรูปไซน์ที่เราใช้เป็นพาหะ

$$e = A \sin(\omega t + \phi)$$

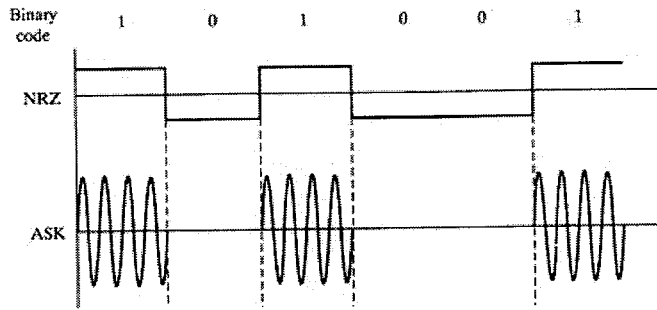
คุณสมบัติประจำตัวของคลื่นรูปไซน์ที่สำคัญจะมีอยู่ 3 ประการ

ซึ่งเราสามารถเปลี่ยนแปลงหรือมอดูเลทได้ คือ แอมพลิจูด (A) ความถี่เชิงมุม (ω) และเฟส (ϕ) สัญญาณดิจิทัลเบสแบนด์เป็นรูปสามเหลี่ยมแสดงรหัสไบนารี “1” และ “0” ในการมอดูเลทสัญญาณดิจิทัลนี้ จากคุณสมบัติประจำตัวของคลื่นรูปไซน์ (คลื่นพาหะ) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้คือ แอมพลิจูด, ความถี่เชิงมุม และเฟส จะเปลี่ยนไปตามสถานะ “1” และ “0” ของสัญญาณเบสแบนด์

4.2.1 การมอดูเลทดิจิทัลทางขนาด (Amplitude Shift Keying ; ASK)

ในการมอดูเลทดิจิทัลทางขนาดบางครั้งเรียกว่า OOK (On – Off Keying) เพราะที่คลื่นพาหะถูก On/Off ตามสัญญาณที่เป็น “1” หรือ “0” ถ้าคลื่นพาหะถูกกำหนดโดยสมการที่ 1 ดังนั้นสัญญาณ ASK จะกำหนดได้เป็น

$$\begin{aligned} e &= A \sin 2\pi f_1 t && ; \text{เมื่อสถานะของบิตเป็น “1”} \\ &= 0 && ; \text{เมื่อสถานะของบิตเป็น “0”} \end{aligned}$$



รูปที่ 4.1 แสดงรูปการมอดูเลตดิจิตอลทางขนาด

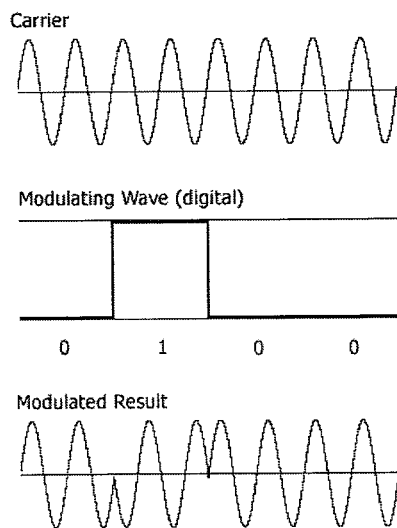
การมอดูเลตดิจิตอลทางขนาดจัดว่ามีประสิทธิภาพต่ำสุด และมีความผิดพลาดในการส่งข้อมูลและใช้ในการสื่อสารที่ต้องการความเร็วของข้อมูลต่ำ (น้อยกว่า 100 บิต/นาที่) ส่วนหลักการอื่นๆ ของ ASK จะเหมือนกับแบบ AM

4.2.2 การมอดูเลตดิจิตอลทางเฟส (Phase Shift Keying ; PSK)

การมอดูเลตดิจิตอลทางเฟสจะใช้เฟสของสัญญาณอนาล็อกแทนสัญญาณดิจิตอล สัญญาณลอจิก “1” จะให้เฟสของสัญญาณอนาล็อกเฟสหนึ่งในขณะเดียวกันสัญญาณลอจิก “0” ก็จะให้เฟสของสัญญาณอนาล็อกอีกเฟสหนึ่ง ถ้าสัญญาณพาหะเป็นดั่งสมการที่ 1 ดังนั้นสัญญาณ PSK จะกำหนดให้เป็น (ในกรณีที่ส่งครั้งละหนึ่งบิต)

$$e = A \sin 2\pi f_c t \quad ; \text{เมื่อสถานะของบิตเป็น "1"}$$

$$= A \sin (2\pi f_c t + \pi) \quad ; \text{เมื่อสถานะของบิตเป็น "0"}$$

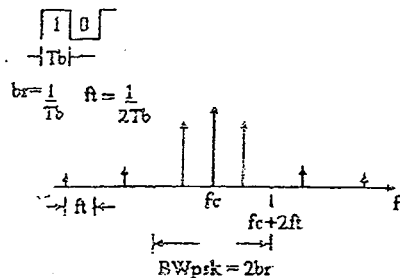


รูปที่ 4.2 แสดงการมอดูเลตดิจิตอลทางเฟส

รูปแบบที่ง่ายที่สุดของการออกแบบ PSK คือ Binary PSK (BPSK) แสดงดังรูปที่ 4.3 ที่ค่าเฟสของสัญญาณจะมีค่า 2 ค่าคือ 0 องศาและ 180 องศา สมการของสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตแล้วได้เป็น

$$V_{\text{PSK}} = V_b \sin(2\pi f_c t) + V_b \sin(2\pi f_c t + \pi)$$

เมื่อ V_b แทนค่าสถานะของบิตคือ “1” และ “0”



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณในแบบ BPSK

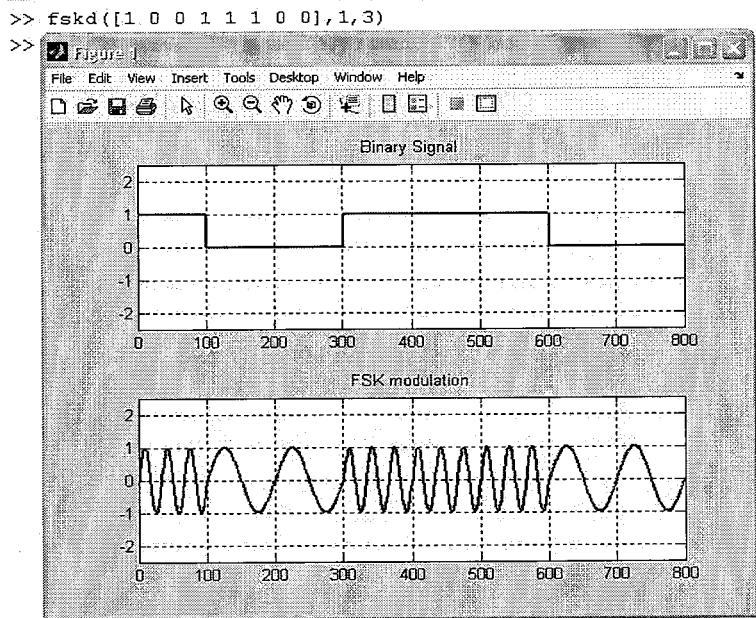
ถ้าคิดให้อัตราเร็วบิตเท่ากันแบบ PSK มีค่าความกว้างแถบน้อยกว่าแบบ FSK (แต่ราคาของวงจร PSK สูงกว่า) เราใช้การมอดูเลตแบบ PSK ในโมเด็มที่มีอัตราเร็วบิตเท่ากับ 2,400 บิต/วินาทีและ 4,800 บิต/วินาที เพราะว่าการมอดูเลตแบบ FSK ไม่สามารถทำได้โดยผ่านเครือข่ายโทรศัพท์

4.2.3 การมอดูเลตดิจิตอลทางความถี่ (Frequency Shift Keying ; FSK)

การมอดูเลตดิจิตอลทางความถี่เมื่อข้อมูลเป็นลอจิก “1” ก็จะได้รับสัญญาณอนาลอกความถี่หนึ่ง และเมื่อเป็นลอจิก “0” ก็จะได้รับสัญญาณอนาลอกอีกแบบหนึ่ง ถ้าสัญญาณพาหะเป็นดังสมการที่ 1 ดังนั้นกรณีของการมอดูเลตแบบ FSK ความถี่ของคลื่นพาหะจะมี 2 ความถี่ เช่น ความถี่ f_1 สำหรับสัญญาณที่เป็นลอจิก “1” และความถี่ f_2 สำหรับสัญญาณที่เป็นลอจิก “0” แสดงดังสมการข้างล่าง

$$e = A \sin 2\pi f_1 t \quad ; \text{เมื่อสถานะของบิตเป็น "1"}$$

$$= A \sin (2\pi f_2 t) \quad ; \text{เมื่อสถานะของบิตเป็น "0"}$$

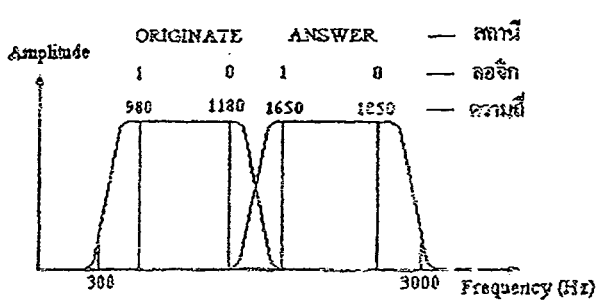


รูปที่ 4.4 แสดงการมอดูเลตทางดิจิทัล

ในการส่งข้อมูลแบบ FSK ที่ใช้งานจริง สมการแบ่งได้ 2 แบบ

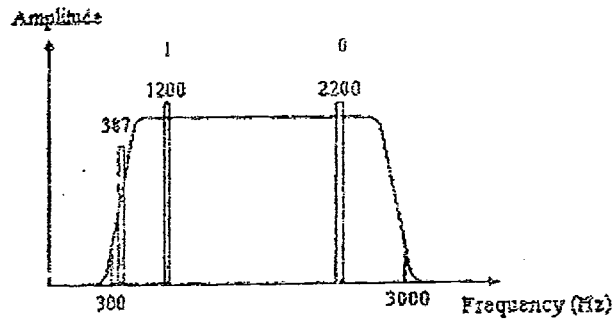
4.2.3.1 ชนิดที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระยะฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)

การส่งข้อมูลแบบนี้จะแบ่งแบนด์วิดธ์ของช่องสัญญาณเสียงออกเป็น 2 แบนด์เท่า ๆ กัน โดยแบนด์หนึ่งใช้ในการส่งข้อมูล ส่วนอีกแบนด์หนึ่งจะใช้ในการรับข้อมูล ทำให้สามารถส่งข้อมูลเข้าไปในสายได้พร้อม ๆ กัน ผลตอบสนองความถี่สำหรับการส่งข้อมูลแบบนี้



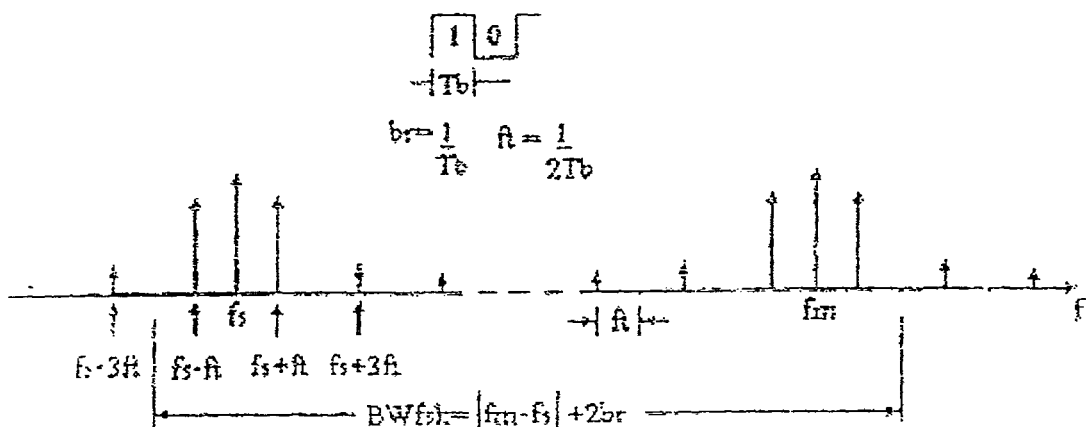
รูปที่ 4.5 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลตแบบ FSK ในการส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์

4.2.3.2 ชนิดที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex)



รูปที่ 4.6 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลตแบบ FSK

ในการส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ จะมีแบนด์วิดท์ 2 แบนด์เหมือนกัน แต่ความกว้างของแบนด์วิดท์ทั้งสองจะไม่เท่ากัน แบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าจะใช้ในการส่งข้อมูล ส่วนแบนด์วิดท์ที่แคบ จะใช้ในการส่งสัญญาณแนะนำควบคุม (Supervisory Signal) ของตัวรับไปยังตัวส่ง เพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพการส่งข้อมูลว่าถูกต้องหรือไม่ เราเรียกแบนด์วิดท์แบบนี้ว่า ช่องสัญญาณย้อนกลับ (Reverse Channel) ผลตอบสนองความถี่ของการรับส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์แสดงดังรูปที่ 4.6 เราสามารถที่จะอธิบายความหมายความกว้างแถบ (Bandwidth) ในแบบ FSK ได้โดยพิจารณารูปที่ 4.7

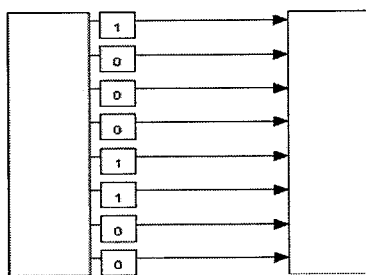


รูปที่ 4.7 แสดงการประมาณค่าความกว้างแถบของแบบ FSK

4.3 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน (Parallel Transmission)

ลักษณะการส่งข้อมูลแบบขนาน ทำได้โดยการส่งข้อมูลออกมาทีละ 1 ไบท์คือ 8 บิต จากอุปกรณ์ส่งไปยังอุปกรณ์รับ ตัวกลางระหว่างสองเครื่องจะต้องมีช่องทางให้ข้อมูลเดินทางอย่างน้อย 8 ช่องทาง โดยมากจะเป็นสายขนานให้กระแสไฟฟ้าวิ่งมากกว่าจะเป็นตัวกลางชนิดอื่น เนื่องจากมีสัญญาณสูญหายไปกับความต้านทานของสาย ระยะทางระหว่างสองเครื่องไม่ควรจะเกิน 100 ฟุต ปัญหาที่เกิดขึ้นหากระยะทางของสายมากกว่านี้ก็คือ ระดับของกราวนด์ในทางไฟฟ้าที่จุดรับผิดไปจากจุดส่ง ทำให้เกิดการผิดพลาดในการรับสัญญาณลอจิกทางฝ่ายรับ

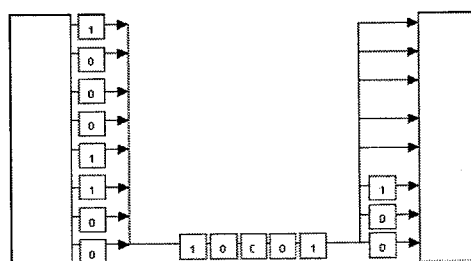
นอกจากสายที่เป็นทางเดินของข้อมูลแล้วอาจจะมีทางเดินของสัญญาณควบคุมอื่น ๆ อีก เป็นต้นว่า บิตที่บอกพาริตีของสัญญาณเพื่อเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดของการรับสัญญาณที่ปลายทาง หรือสายที่ควบคุมการโต้ตอบ (Hand Snake) จะเห็นได้ว่าการส่งแบบขนานส่วนมากจะทำในระยะใกล้ ๆ เนื่องจากจะต้องมีช่องทางเดินของสัญญาณมากกว่า 8 สายและอุปกรณ์ที่ติดต่อบนขนานกับคอมพิวเตอร์ก็เห็นจะได้แก่เครื่องคอมพิวเตอร์ดังกล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.8 การส่งข้อมูลแบบขนาน

4.4 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Transmission)

การส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลถูกส่งออกมาทีละบิตระหว่างจุดส่งและจุดรับ จะเห็นว่าการส่งข้อมูลแบบนี้จะช้ากว่าแบบขนาน เพราะตัวกลางการสื่อสารต้องการเพียงช่องเดียวหรือสายเพียงคู่เดียว ค่าใช้จ่ายในสื่อกลางจะต้องถูกกว่าแบบขนานอย่างแน่นอน สำหรับการส่งระยะทางไกล ๆ โดยเฉพาะเมื่อเรามีระบบการสื่อสารทางโทรศัพท์ไว้ใช้งานอยู่แล้วย่อมจะเป็นการประหยัดกว่าที่จะทำการติดต่อสื่อสารทีละ 8 ช่องแบบขนาน



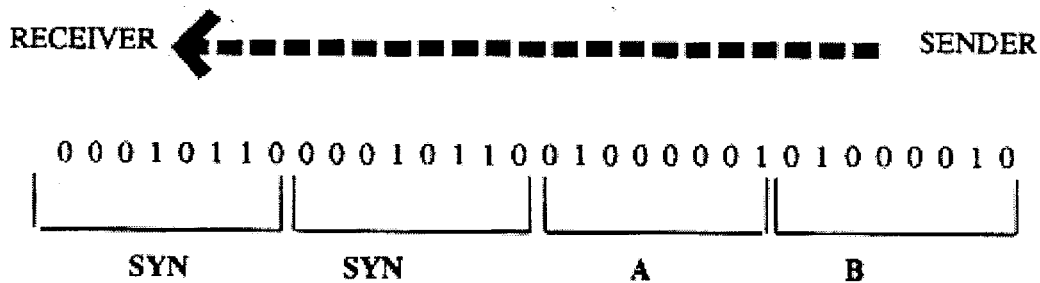
รูปที่ 4.9 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจากจุดส่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นอนุกรมเสียก่อนแล้วค่อยทยอยส่งออกไปยังจุดรับ ณ จุดที่ได้รับต้องมีกลไกในการเปลี่ยนข้อมูลที่ส่งมาทีละบิตให้เป็นสัญญาณแบบขนานซึ่งลงตัวพอดีนั่นคือ บิต “ 1 “ ลงที่บัสข้อมูลเส้นที่ 1 พอดี การที่จะทำให้แปลงสัญญาณจากอนุกรมทีละบิตให้ลงพอดีนั่น จำเป็นจะต้องมีลักษณะการส่งที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการผิดพลาดในการรับ ลักษณะการส่งที่เหมาะสมแบ่งเป็น 2 แบบคือ

- การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส
- การส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส

4.4.1 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission)

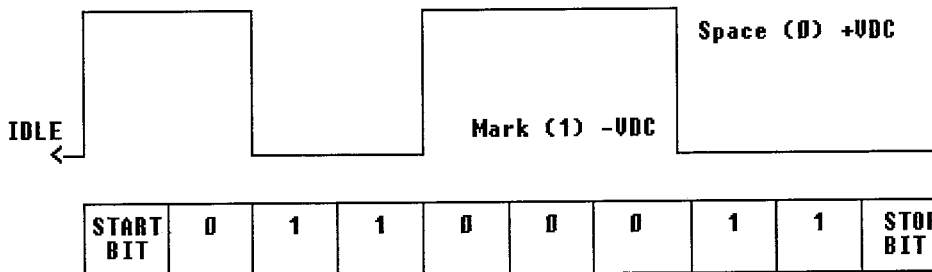
การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการส่งข้อมูลแบบสัมพันธ์ หมายถึง การที่ด้านรับอ่านข้อมูลเข้ามาในจังหวะเดียวกับภาคส่ง โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกำหนดจังหวะการทำงานของรีจิสเตอร์ทั้งสองให้ทำงานสัมพันธ์กัน จะมีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะติดตั้งภายในด้านส่ง



รูปที่ 4.10 แสดงการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

นอกจากนี้เมื่อจังหวะเวลาถูกตั้งให้ซิงค์กับด้านรับแล้ว ข้อมูลที่ถูกส่งไปบนทางติดต่อในแบบบิตต่อบิตต่อเนื่องกันไปอาศัยช่วงเวลาระหว่างบิตต่อบิตมีค่าเท่ากัน โดยไม่ต้องมีบิตเริ่มหรือบิตจบคอยกำกับ ทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลมีสูง นอกจากนี้ทางด้านรับต้องมีวงจรเฟสล็อกกลูป (PLL) ทำหน้าที่รับข้อมูลจังหวะเวลาจากด้านส่งและสร้างสัญญาณนาฬิกาขึ้นใหม่ในด้านรับเพื่อให้เกิดการซิงค์ขึ้น ข้อมูลแบบสัมพันธ์นี้จะถูกจัดการให้อยู่ในรูปของชุดข้อมูล (block of data) ที่มีลักษณะพิเศษคือ ช่วงระยะเวลาระหว่างตัวอักษรด้วยกันจะไม่มี ทำให้การส่งข้อมูล

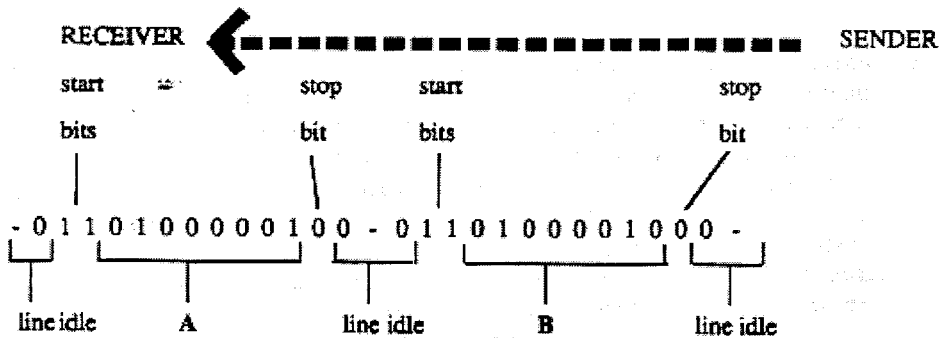
เป็นไปอย่างต่อเนื่อง และข้อเสียคือ การที่ต้องมีสัญญาณพิกางนานไปกับข้อมูลทำให้ต้องการทางติดต่อช่องที่สองเพิ่ม โดยเฉพาะกรณีระยะทางไกล ๆ เป็นการยากมากที่จะหาทางติดต่อแยกต่างหากสำหรับสัญญาณพิกาง



รูปที่ 4.11 แสดงรูปข้อมูลแบบซิงโครนัส

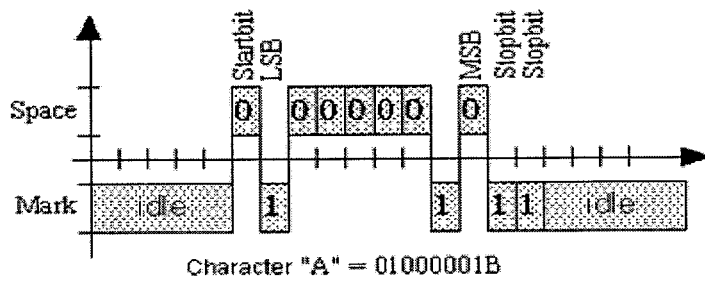
4.4.2 การส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส (Asynchronous Transmission)

การส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการส่งข้อมูลแบบไม่สัมพันธ์ จะแตกต่างกันแบบอซิงโครนัสตรงที่ไม่จำเป็นต้องมีการซิงโครนัสกันตลอดเวลาบนทางติดต่อข้อมูล โดยจะซิงค์ก็ต่อเมื่อมีข้อมูลที่จะรับหรือส่งเท่านั้น ในการที่จะส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัสการส่งตัวอักษรสามารถเริ่มจากเวลาใดก็ได้เมื่อสายว่าง แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้ระบบสามารถที่จะทำงานได้ จะต้องมีสถานะบางอย่างที่จะใช้บอกกับเครื่องรับให้รู้ว่า ในช่วงเวลาใดกำลังมีข้อมูลตัวอักษรปรากฏอยู่บนสายสถานะที่ใช้บอกนั้นก็คือบิตเริ่มต้น บิตเริ่มต้นไม่ใช่บิตข้อมูลแต่เป็นสัญญาณควบคุมที่จุดเริ่มต้นสถานะของสายส่งข้อมูลจะเปลี่ยนจาก “1” (Mark) มาเป็น “0” (Space) และถัดจากบิตเริ่มต้นก็จะเป็นบิตตัวอักษร ซึ่งจะเน้นเนื้อหาข้อมูลของตัวอักษรแต่ละตัวที่ถกส่ง บิตที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด (LSB) จะถูกส่งตามบิตเริ่มต้นออกมา และหลังจากบิตข้อมูลถูกส่งออกมาครบแล้วจะตามด้วยบิตสุดท้าย โดยที่สถานะของสายส่งข้อมูลจะถูกส่งบังคับกลับเป็นมาร์ก(Mark) อีกครั้งหนึ่ง หน้าที่ของบิตสิ้นสุดก็เพื่อบอกการสิ้นสุดของข้อมูลที่ได้รับส่งโดยมีขนาด 1 – 2 บิต



รูปที่ 4.12 แสดงการส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส

จากการที่กำหนดให้ช่วงเวลาของบิตสิ้นสุด (Stop bit) มีค่าระหว่าง 1-2 บิต ก็เพื่อกรณีบิตสุดท้ายของตัวอักษรตัวเก่ามีสถานะเป็นสเปซ (Space) “1” แล้วสถานะเริ่มต้นของบิตเริ่มต้นที่สังเกตจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของสายจากมาร์ค (Mark) “0” มาเป็นสเปซ (Space) “1” ก็จะไม่มีความชัดเจนสำหรับรูปสัญญาณในวิธีแบบอซิงโครนัส



รูปที่ 4.13 แสดงรูปแบบข้อมูลแบบอซิงโครนัส

เนื่องจากการส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัสมีการเพิ่มบิตลงในข้อมูล ทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลช้ากว่าแบบซิงโครนัส การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสเหมาะสำหรับงานประเภทการป้อนข้อมูลเข้าเพื่อส่ง มีลักษณะไม่ต่อเนื่องอย่างเช่น จากแป้นพิมพ์ (Keyboard) ส่วนในการส่งไฟล์ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ๆ ควรใช้วิธีแบบซิงโครนัส บิตเริ่มต้น (Start bit) ในโปรโตคอลของการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอซิงโครนัส กำหนดให้สถานะมาร์ค (Mark State) เป็นสัญญาณลอจิก 1 เมื่อทางด้านส่งมีการส่งข้อมูลก็ต้องส่งบิตเริ่มต้นโดยแทนด้วยสถานะสเปซ (Space State) หรือสัญญาณลอจิก 0 จำนวน 1 บิตไปก่อน ซึ่งจะทำให้ทางด้านรับดีเทกต์ (Detect) สถานะของสายส่งได้ว่าขณะนั้นสายส่งกำลังมีข้อมูลส่งมา สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นและมีผลต่อสัญญาณข้อมูลก็คือ สไปค์ (Spike) ทำให้สถานะลอจิกของสายส่งมีช่วงเวลาสั้นเกินไป ทำให้ด้านรับไม่สามารถดีเทกต์สถานะของสายส่งหรือสถานะของบิตเริ่มต้นได้ ดังนั้นส่วนใหญ่ทางด้านรับจะมีส่วนของวง

จรสไปคี้ดีเทคชัน (Spike Detection) ซึ่งทำหน้าที่สุ่มจับสัญญาณสถานะของสายส่งด้วยความถี่ของการสุ่มค่าหนึ่งในระหว่างบิตต่อบิต ซึ่งอาจจะเป็น 2, 4 หรือ 16 ครั้งในระหว่าง 1 บิตก็ได้ ดังนั้นสรุปได้ว่าหน้าที่ของบิตเริ่มต้นนั้นจะเป็นตัวบอกว่าข้อมูลเริ่มต้นตรงไหน และเมื่อใช้ร่วมกับบิตหยุดซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป ก็จะทำให้ทราบได้ว่าข้อมูลสิ้นสุดตรงไหน โดยความกว้างของบิตเริ่มต้นนี้จะมีความกว้างเท่ากับ 1 บิต หลังจากที่ได้ดำเนินการตรวจสอบดีเท็กต์สัญญาณบิตเริ่มต้นได้แล้ว ก็ทำการตรวจสอบสถานะของซีพรีจิสเตอร์ให้พร้อมที่จะรับข้อมูลได้ โดยบิตข้อมูลจะมีการจัดบิตข้อมูลเป็น 5, 6, 7 หรือ 8 บิต ขึ้นกับจำนวนคาร์แรกเตอร์ที่ใช้ดังแสดงตามตารางต่อไปนี้

นอกจากนี้รหัสต่าง ๆ ที่ใช้อาจจะแทนด้วย 5 บิต ซึ่งเป็นมาตรฐานของรหัส Buadot โดยประกอบด้วยกลุ่มของคาร์แรกเตอร์ต่าง ๆ จำนวน 32 คาร์แรกเตอร์และถ้าเป็นรหัส 7 บิต จะประกอบไปด้วยกลุ่มของคาร์แรกเตอร์จำนวน 128 คาร์แรกเตอร์ ซึ่งเป็นมาตรฐานของรหัส ASCII และใช้กันแพร่หลายมาก นอกจากนี้ยังมีรหัสขนาด 8 บิตหรือมาตรฐานของรหัส EBCDIC โดยมาตรฐานนี้ประกอบด้วยกลุ่มของคาร์แรกเตอร์ 256 คาร์แรกเตอร์ เป็นต้น

บิตพาริตี (Parity bit) นี้จะทำหน้าที่ในการบอกให้ส่วนรับข้อมูลทราบว่า ข้อมูลที่รับเข้ามาผิดหรือไม่ (โดยบิตนี้จะทำหน้าที่ในการบอกให้ส่วนรับทราบว่าข้อมูลที่ส่งมาแต่ละไบทนั้น มีจำนวนบิตที่เป็น “ 1 “ อยู่เป็นจำนวนคี่หรือจำนวนคู่ เช่น ข้อมูล 54H = 01010111 จะมีจำนวนบิตที่เป็น “ 1 “ อยู่เป็นจำนวนคี่ เป็นต้น ซึ่งบิตที่ใช้ในการตรวจสอบนี้ เราเรียกว่า บิตพาริตี) บิตพาริตีนี้จะถูกส่งออกมาพร้อมกับบิตข้อมูล ซึ่งบิตนี้จะ เป็น “ 1 “ หรือ “ 0 “ นั้นขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ส่งออกมาว่ามีจำนวนบิตที่เป็น “ 1 “ เป็นจำนวนคี่หรือคู่ และยังขึ้นอยู่กับอุปกรณ์รับส่งข้อมูลด้วยว่าถูกออกแบบไว้ให้รับส่งบิตพาริตีในลักษณะของพาริตีคู่หรือคี่อีกด้วย

ในกรณีที่อุปกรณ์รับส่งออกแบบไว้ให้เป็นพาริตีคู่ อุปกรณ์ส่งข้อมูลจะทำการส่งพาริตีบิตเป็นลอจิก 1 ออกไปเมื่อจำนวนบิตที่เป็น 1 ของข้อมูลเป็นจำนวนคี่ และจะทำการส่งพาริตีบิตเป็นลอจิก 0 เมื่อจำนวนบิตที่เป็น 1 ของข้อมูลเป็นจำนวนคู่ (คือทำจำนวนบิตที่เป็น 1 ของข้อมูลเมื่อรวมกับพาริตีแล้วเป็นจำนวนคู่นั่นเอง) สำหรับในกรณีของพาริตีก็เช่นกัน คือ พาริตีบิตจะเป็น 1 ในกรณีที่จำนวนบิตที่เป็น 1 ของข้อมูลเป็นจำนวนคี่และจะเป็น 0 ในกรณีที่ เป็นจำนวนคี่ ในที่นี้จะสมมติว่าอุปกรณ์ถูกออกแบบไว้สำหรับพาริตีคู่ และเราต้องการที่จะส่งข้อมูลออกไปให้กับส่วนรับข้อมูลเป็นจำนวน 2 ไบท์ คือ 54H และ 55H เมื่อเราส่งข้อมูล 54H ออกไปซึ่งมีจำนวนบิตที่เป็น 1 เป็นจำนวนคี่ ดังนั้นในกรณีนี้ อุปกรณ์ส่งข้อมูลก็จะทำการส่งพาริตีบิตเป็นลอจิก 1 ตามออกมาด้วย เพื่อให้จำนวนบิตที่เป็น 1 ของข้อมูล (54H) รวมกับพาริตีบิตแล้วได้เป็นจำนวนคู่ ส่วน ข้อมูล 55H จำนวนบิตที่เป็น 1 นั้นมีจำนวนคู่อยู่แล้ว ดังนั้น อุปกรณ์ส่งข้อมูลก็จะส่งพาริตีบิตเป็น 0 ให้กับส่วนรับข้อมูล สำหรับส่วนรับข้อมูลนั้น เมื่อรับเข้า

มาแล้วก็จะตรวจสอบสัญญาณว่าจำนวนบิตที่เป็น 1 ของข้อมูลรวมกับพาริตีบิตนั้นเป็นจำนวนคู่หรือไม่ ถ้าหากว่าเป็นจำนวนคี่ก็แสดงว่าข้อมูลที่ได้รับเข้ามามีความผิดพลาดเกิดขึ้น

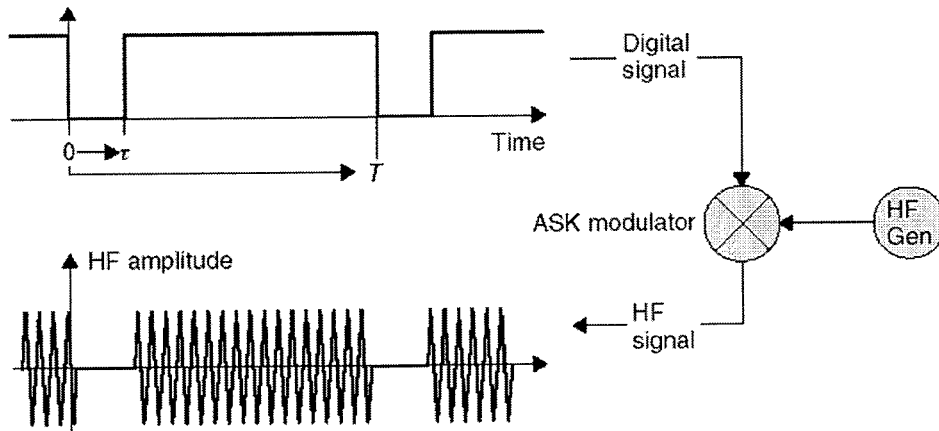
สิ่งสำคัญอีกสิ่งหนึ่งก็คือ ถ้าอุปกรณ์ส่งข้อมูลทำการส่งในลักษณะพาริตีคู่หรือคี่ก็ตาม ส่วนรับข้อมูลก็ต้องทำการรับในลักษณะพาริตีเดียวกันกับอุปกรณ์ส่งข้อมูลด้วย เช่น ในกรณีที่อุปกรณ์ส่งข้อมูลทำการส่งข้อมูลในลักษณะพาริตีคู่ อุปกรณ์การส่งข้อมูลก็ต้องทำการรับข้อมูลในลักษณะของพาริตีคู่ด้วย เป็นต้น

บิตสิ้นสุดข้อมูล (Stop bit) บิตสุดท้ายที่เพิ่มเข้าไปนี้ จะใช้ในการตรวจสอบจุดสิ้นสุดของข้อมูล บิตนี้จะถูกเพิ่มเข้าไปหลังพาริตีบิต ถ้าอุปกรณ์รับข้อมูลตรวจสอบไม่พบบิตนี้ ก็แสดงว่าข้อมูลที่ได้รับเข้ามามีเกิดการผิดพลาดขึ้นมา ในแต่ละไบนารีนั้นไม่ได้มีแต่ข้อมูล 8 บิต (ในกรณีที่ 1 ไบนารีมี 8 บิต) เท่านั้น แต่อาจจะมีได้ถึง 12 บิตหรือมากกว่าก็ได้

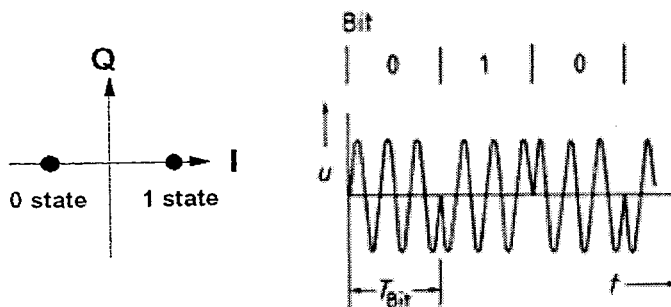
4.5 วิธีการรับและส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน

โดยมากมักจะใช้การมอดูเลตทางแอมพลิจูดหรือใช้การมอดูเลตทางแอมพลิจูดบวกกับการเข้ารหัสแมนเชสเตอร์ (Manchester encoded AM) แต่ทว่าในปัจจุบันก็มีแท็กที่ใช้การมอดูเลตแบบอื่น ๆ ด้วย เช่น การมอดูเลชันแบบเฟสชิฟต์คีย์อิง (Phase Shift Keying ; PSK) ฟรีควนซีชิฟต์คีย์อิง (Frequency Shift Keying ; FSK) หรือการใช้มอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation ; FM)

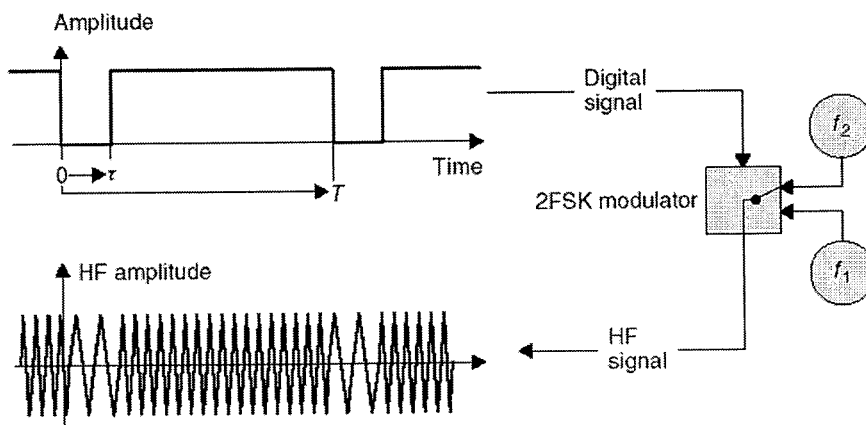
Amplitude shift keying (ASK)



Binary Phase Shift Keying (BPSK)



Frequency Shift Keying (FSK)



รูปที่ 4.14 การมอดูเลตในรูปแบบต่าง ๆ

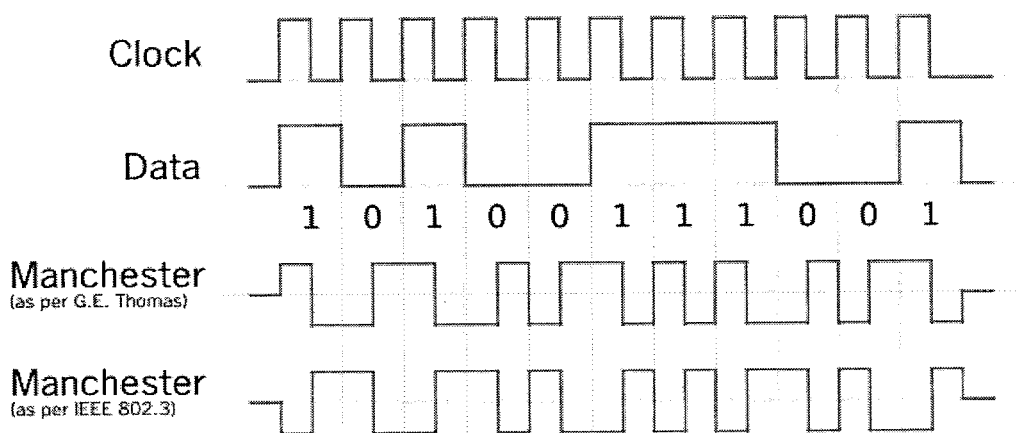
ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างแท็กกับเครื่องอ่าน จะทำได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้งาน เช่น เมื่อความถี่ใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ความยาวของเสาอากาศ (เป็นเส้นตรง) ที่เหมาะสมก็คือ 22.12 เมตร แน่แน่นอนว่าทางปฏิบัติเราคงไม่สามารถนำเสาอากาศที่ใหญ่ขนาดนั้นมาใช้งานกับแท็กขนาดเล็กของเราได้ สายอากาศนี้ที่ดูเหมาะสมจะใช้ร่วมกับแท็กมากที่สุดคือ สายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็กหรือที่มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า สายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (Magnetic dipole Antenna) รูปแบบของสายอากาศเหล่านี้ก็จะมีอยู่หลากหลายทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันบนแกนอากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เป็นวงลูปที่ทำขึ้นจากสายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้งที่เป็นลูปแบบวงกลมและแบบสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะและประเภทของงานด้วยเช่นกัน

นอกจากการรับส่งข้อมูลแล้วสายอากาศก็ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับแท็กด้วย โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของ “ไมเคิล ฟาราเดย์” เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็ก(จากเครื่องอ่าน)ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา(Time- varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของแท็ก เมื่อแท็กและเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันระยะ 0.16 เท่าของความยาวคลื่นพาหะที่ใช้ เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า Transformer- type Coupling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เดียวกับการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำระหว่างขดลวดปฐมภูมิ(Primary)และขดลวดทุติยภูมิ(Secondary) ในทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Transformer) จะเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของแท็ก

กลไกในการส่งข้อมูลของแท็กจะเกิดขึ้นโดยมีมอสเฟต T1 (ทีแทกส์) ซึ่งทำงานเป็นสวิตช์เป็นผู้ควบคุมอีกที เพราะการเปิด / ปิดที่มอสเฟต T1 จะทำให้ค่าความต้านทานของโหลดเกิดการเปลี่ยนแปลงส่งผ่านให้ค่าแรงดันตกคร่อมเสาอากาศเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งถ้าหากการเปิด / ปิดที่มอสเฟต T1 ถูกควบคุมด้วยข้อมูลที่ต้องการส่ง ก็จะทำให้เกิดการส่งข้อมูลด้วยการมอดูเลตทางแอมพลิจูดขึ้น กรรมวิธีในการส่งข้อมูลแบบนี้เรียกว่า โหลดมอดูเลชัน (Load Modulation) เนื่องจากว่าเป็นการส่งด้วยการมอดูเลตทางแอมพลิจูด เมื่อรับข้อมูลจึงต้องใช้ด้วยวงจรเ็นเวลอปดีเท็กเตอร์ (Envelope Detector) เพื่อดึงเอาส่วนขอบของสัญญาณที่รับมานั้นกลับออกมา (ซึ่งนั่นก็คือข้อมูลนั่นเอง)

4.6 การเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester)

คือการเข้ารหัสของข้อมูลดิจิทัลวิธีหนึ่ง ก่อนที่ข้อมูลซึ่งผ่านการเข้ารหัสและจะถูกส่งไปมอดูเลต เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับการซิงโครไนซ์ของข้อมูล เนื่องจากการส่งกระจายสัญญาณตามปกติ นั้น หากมีการส่งสัญญาณดิจิทัลในระดับเดียวกันเป็นช่วงยาว เช่น การส่งสัญญาณดิจิทัลที่มีค่าลอจิกเป็น 1 ออกไป 20 บิตติดต่อกันจะทำให้การซิงโครไนซ์ของข้อมูลเกิดการคลาดเคลื่อน (เพราะโดยปกติวงจรดิจิทัลจะปรับการซิงโครไนซ์ของข้อมูลได้เฉพาะในช่วงที่มีการเปลี่ยนระดับของข้อมูลจาก 1 เป็น 0 หรือจาก 0 เป็น 1) และทำให้รับข้อมูลผิดพลาด เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวจึงจะต้องมีการนำสัญญาณดิจิทัลปกติไปผ่านเข้ารหัสเสียก่อนโดยการเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์จะเปลี่ยนให้สัญญาณดิจิทัลลอจิก 0 ถูกแทนด้วยการเปลี่ยนค่าจากลอจิก 0 เป็น 1 และสัญญาณดิจิทัลลอจิก 1 เปลี่ยนค่าจากลอจิก 1 เป็น 0 ข้อดีของการเข้ารหัสแบบนี้ก็คือทำให้การเปลี่ยนระดับของข้อมูลทุก ๆ ครั้งเป็นไปอย่างแน่นอนหรือเกิดการเข้าจังหวะ (Synchronize) ป้องกันของข้อมูลนั่นเอง แต่ว่าการเข้ารหัสแบบนี้ก็มีข้อเสียอยู่คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลต้องเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า



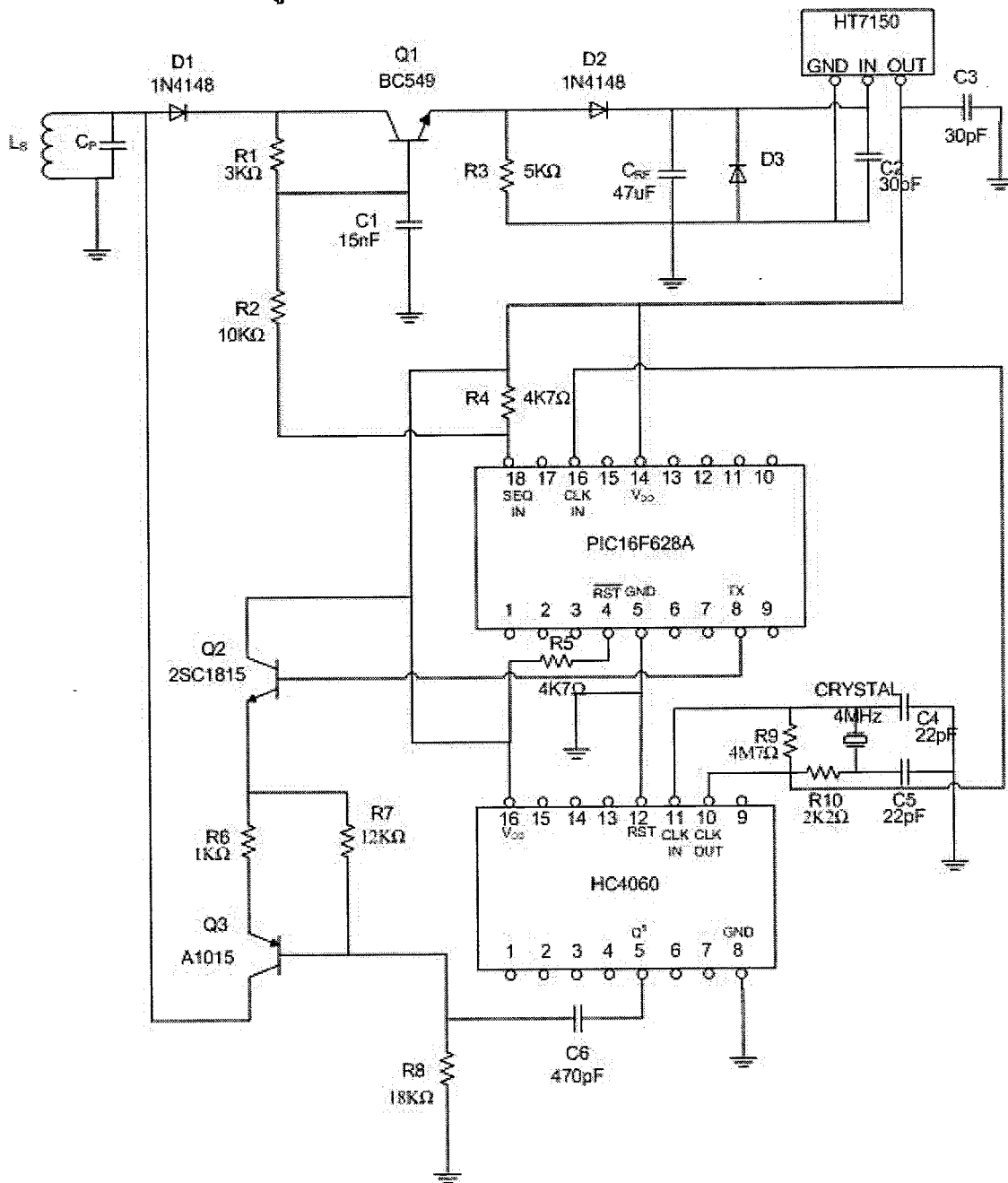
รูปที่ 4.15 แสดงการเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester)

บทที่ 5

การออกแบบและการคำนวณวงจรเครื่องลูกข่ายและวงจรเครื่องอ่าน

5.1 การออกแบบเครื่องลูกข่าย (TAG)

5.1.1 วงจรเครื่องลูกข่าย



รูปที่ 5.1 วงจรเครื่องลูกข่าย

5.1.2 การทำงานและการคำนวณของวงจรเครื่องลูกข่าย

การทำงานของเครื่องลูกข่ายเป็นแบบพาสซีฟ คือไม่มีแหล่งจ่ายพลังงานเป็นของตนเอง ต้องอาศัยพลังงานจากเครื่องอ่านโดยตรง โดยเครื่องลูกข่ายจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำ เพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน

การถ่ายทอดพลังงานเกิดจากคลื่นสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งที่เกิดจากขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านตกกระทบขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่าย และเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องลูกข่าย จึงต้องให้ความสำคัญกับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดบนเครื่องลูกข่ายและค่าตัวเก็บประจุให้สัมพันธ์กัน เพื่อให้ความถี่ก้ำก๋อน (Resonant Frequency) ตรงกับความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องอ่าน โดยมีการคำนวณค่าความเหนี่ยวนำ (หาจำนวนรอบของขดลวดที่ทำให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำที่มากที่สุด) และค่าตัวเก็บประจุ เพื่อให้ได้พลังงานสูงสุดดังนี้

การคำนวณส่วนของวงจรเครื่องลูกข่าย

หาจำนวนรอบหรือค่าของ n ที่ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำของเครื่องลูกข่าย

$$(nQ_L)_{TAG} = \text{MAXIMUM}$$

1) หากค่าความเหนี่ยวนำของเครื่องลูกข่ายโดยประมาณ : TAG Coil Inductance : L_s สามารถหาได้จากสมการ

$$L_s \approx \frac{0.0276(cn)^2}{1.908c + 9b + 10h} \quad \mu\text{H} \quad (5.1)$$

โดยที่

n คือ จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)

c คือ $x+y+2h$ (เซนติเมตร)

x คือ ความกว้างของขนาดเครื่องลูกข่ายประมาณ 5 เซนติเมตร

y คือ ความยาวของขนาดเครื่องลูกข่ายประมาณ 8 เซนติเมตร

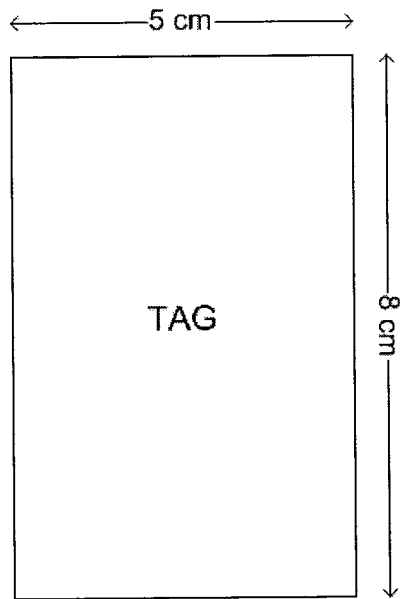
h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเบอร์ 34 (รวมฉนวนหุ้ม) ประมาณ 0.18 มิลลิเมตร

และค่า b หาได้จาก $b \approx nd + (n-1)0.1 \quad \text{mm}$

(5.2)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเบอร์ 34 (ไม่มีฉนวนหุ้ม) ประมาณ 0.16 มิลลิเมตร

หรือ 0.16×10^{-3} เมตร



รูปที่ 5.2 ขนาดของเครื่องถูกข่าย

2) หาค่า Coil Loss : r_{SAC}

2.1) หาค่าความยาวของลวดทั้งหมด : λ_T

สามารถหาได้จากสมการ

$$\lambda_T \approx 2n(x + y) \quad \text{cm} \quad (5.3)$$

2.2) หาค่า Skin Effect ของทองแดง : $\delta(f)$

สำหรับความถี่ 125 kHz ค่าของ skin depth : δ จะมีค่ามากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลวด สามารถหาได้จากสมการ

$$\delta_{\text{copper}} \approx \frac{6.6 \times 10^{-2}}{\sqrt{f}} \quad \text{m} \quad (5.4)$$

โดยที่

f คือ ความถี่ 125 kHz

ดังนั้น จะได้

$$\delta_{125 \text{ kHz}} \approx 186.7 \times 10^{-6} \quad \text{m}$$

2.3) หาค่าความต้านทานกระแสดตรงของลวดที่พื้นแบบอนุกรม : r_{SDC}

สามารถหาได้จากสมการ

$$r_{SDC} \approx \frac{\rho \lambda_T}{A_{DC}} \quad \Omega \quad (5.5)$$

โดยที่

ρ คือ สภาพต้านทานเฉลี่ยมีค่าประมาณ $1.7 \times 10^{-8} (\Omega \cdot \text{cm})$

A_{DC} คือ พื้นที่หน้าตัดของลวดเบอร์ 34 (ไม่มีฉนวนหุ้ม)

$$\text{หาได้จากสมการ} \quad A_{DC} = \frac{\pi d^2}{4} \quad m^2 \quad (5.6)$$

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเบอร์ 34 (ไม่มีฉนวนหุ้ม) ประมาณ 0.16 มิลลิเมตร หรือ 0.16×10^{-3} เมตร

2.4) หาค่าความต้านทานกระแสสลับของลวดที่พื้นแบบอนุกรม : r_{SAC}

สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ถ้า } d < 2\delta \quad r_{SAC} \approx r_{SDC} \left(1 + \frac{1}{48} \left(\frac{d}{2\delta}\right)^2\right) \quad \Omega \quad (5.7)$$

$$\text{ถ้า } d > 2\delta \quad r_{SAC} \approx \frac{\rho \lambda_T}{A_{AC}} \quad \Omega \quad (5.8)$$

$$\text{และ} \quad A_{AC} = \frac{\pi}{4} (d^2 - (d - 2\delta)^2) \quad m^2 \quad (5.9)$$

เนื่องจาก $d < 2\delta$ จึงเลือกใช้สมการ (5.6)

3) นำค่าจากข้อ 1) และ 2) มาหาค่า UNLOAD Q : Q_U

สามารถหาได้จากสมการ

$$Q_U \approx \frac{2\pi f L_S}{r_{SAC}} \quad (5.10)$$

4) นำค่าจากข้อ 1), 2) และ 3) หาค่าวงจรเสมือนของค่าความเหนี่ยวนำกับค่าความต้านทาน: L_P, r_P

แปลงค่าเป็นวงจรเสมือนจากแบบอนุกรมเป็นแบบขนาน $L_S + r_S \leftrightarrow L_P // r_P$

สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$L_P = L_S \left(1 + \frac{1}{Q_U^2}\right) \quad H \quad (5.11)$$

$$r_{P(AC)} = r_{SAC} (1 + Q_U^2) \quad \Omega \quad (5.12)$$

5) นำค่า L_P จากข้อ 4) มาคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ $C_{RESONANT}$: C_P

สามารถหาได้จากสมการ

$$C_P = \frac{1}{(2\pi f)^2 L_P} \quad F \quad (5.13)$$

6) นำค่า $r_{P(AC)}$ จากข้อ 4) มาคำนวณหาค่าของตัวต้านทาน r_{TOT}

สามารถหาได้จากสมการ

$$r_{TOT} \approx r_{P(AC)} // r_{LAC} \quad \Omega \quad (5.14)$$

โดยที่

r_{TOT} คือ ความต้านทานรวมที่เป็น Load ของวงจร Resonant

r_{LAC} คือ Equivalent Load ของ L_{TAG} ซึ่ง Load คือ วงจรทั้งหมดของ TAG มีค่า $1.2\text{ k}\Omega$

7) นำค่า C_p และ r_{TOT} จากข้อ 5) และ 6) มาหาค่า Band Width

สามารถหาได้จากสมการ

$$BW_{TAG} = \frac{1}{2\pi r_{TOT} C_p} \quad \text{Hz} \quad (5.15)$$

8) นำค่า BW_{TAG} ที่ได้จากข้อ 7) มาหาค่า LOADED $Q:Q_L$

สามารถหาได้จากสมการ

$$Q_L = f/BW_{TAG} \quad (5.16)$$

เมื่อได้ค่า Q_L แล้วจะสามารถนำไปคำนวณหา $(nQ_L)_{TAG} = \text{MAXIMUM}$ หรือหาค่าจำนวนรอบที่ทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำที่เครื่องถูกข่ายมากที่สุด

ตารางที่ 5.1 ค่าของ L_p , C_p , $r_{P(AC)}$ ที่ n ค่าต่างๆ ความถี่ 125 kHz

เริ่มจำนวนรอบที่ $n = 25$ รอบ

n	L_s (uH)	λ_T (cm)	r_{SDC} (Ω)	r_{SAC} (Ω)	Q_U	L_p (uH)	C_p (nF)	$r_{P(AC)}$ (Ω)
25	93.91	6.50	5.495	5.517	13.369	94.43	17.17	991.582
26	100.76	6.76	5.715	5.737	13.793	101.29	16.00	1097.363
27	107.81	7.02	5.935	5.958	14.211	108.34	14.96	1209.242
28	115.03	7.28	6.155	6.179	14.622	115.57	14.03	1327.256
29	122.44	7.54	6.375	6.399	15.026	122.98	13.18	1451.435
30	130.02	7.80	6.595	6.620	15.425	130.56	12.41	1581.803
31	137.77	8.06	6.815	6.841	15.817	138.32	11.72	1718.379

ตารางที่ 5.2 ค่าของ r_{TOT} , BW_{TAG} , Q_L และ nQ_L ที่ n ค่าต่างๆ ความถี่ 125 kHz
เริ่มจำนวนรอบที่ $n = 25$ รอบ

n	L_P (μH)	C_P (nF)	$r_{P(AC)}$ (Ω)	r_{TOT} (Ω)	BW_{TAG} (kHz)	Q_L	nQ_L
25	94.43	17.17	991.582	497.886	18.620	6.713	167.82
26	101.29	16.00	1097.363	523.211	19.006	6.576	170.99
27	108.34	14.96	1209.242	547.356	19.432	6.432	173.68
28	115.57	14.03	1327.256	570.309	19.895	6.283	175.92
29	122.98	13.18	1451.435	592.075	20.392	6.130	177.76
30	130.56	12.41	1581.803	612.674	20.922	5.974	179.23
31	138.32	11.72	1718.379	632.134	21.482	5.819	180.38

จากตารางได้ค่าสูงสุดของ $(nQ_L)_{TAG}$ ที่จำนวนรอบเท่ากับ 31 รอบ และได้ค่าตัวเก็บประจุที่จะทำให้เกิดการ Resonant กันที่ค่าประมาณ 10 นาโนฟารัด

เมื่อได้จำนวนขดลวดและค่าตัวเก็บประจุที่สัมพันธ์กันแล้ว จะพบว่าหากนำเครื่องลูกข่ายที่ใช้ค่าความเหนี่ยวนำและค่าตัวเก็บประจุที่คำนวณได้ มาเหนี่ยวนำพลังงานจากเครื่องอ่านไปใช้ในวงจรส่วนของเครื่องลูกข่ายจะได้สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเข้ามาที่ส่วนของตัวเก็บประจุ (C_P) จากการที่เครื่องอ่านทำการสื่อสารกับเครื่องลูกข่ายแบบ Sequential ลักษณะสัญญาณที่เข้ามาจึงเป็นสัญญาณกระแสสลับ สลับกับการที่ไม่มีสัญญาณเข้ามา เนื่องจากการส่งประเภทนี้เป็นการส่งพลังงานสลับกับการหยุดส่งพลังงาน จากนั้นแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากระบวนการกรองแรงดัน(Rectifier) แบบ Half Rectifier โดยผ่านไดโอด เพื่อให้ได้เฉพาะซีกบวกของสัญญาณ โดยหลังจากการกรองแรงดัน สัญญาณที่ได้จะมีการแบ่งสัญญาณออกเป็น 2 ทาง คือ

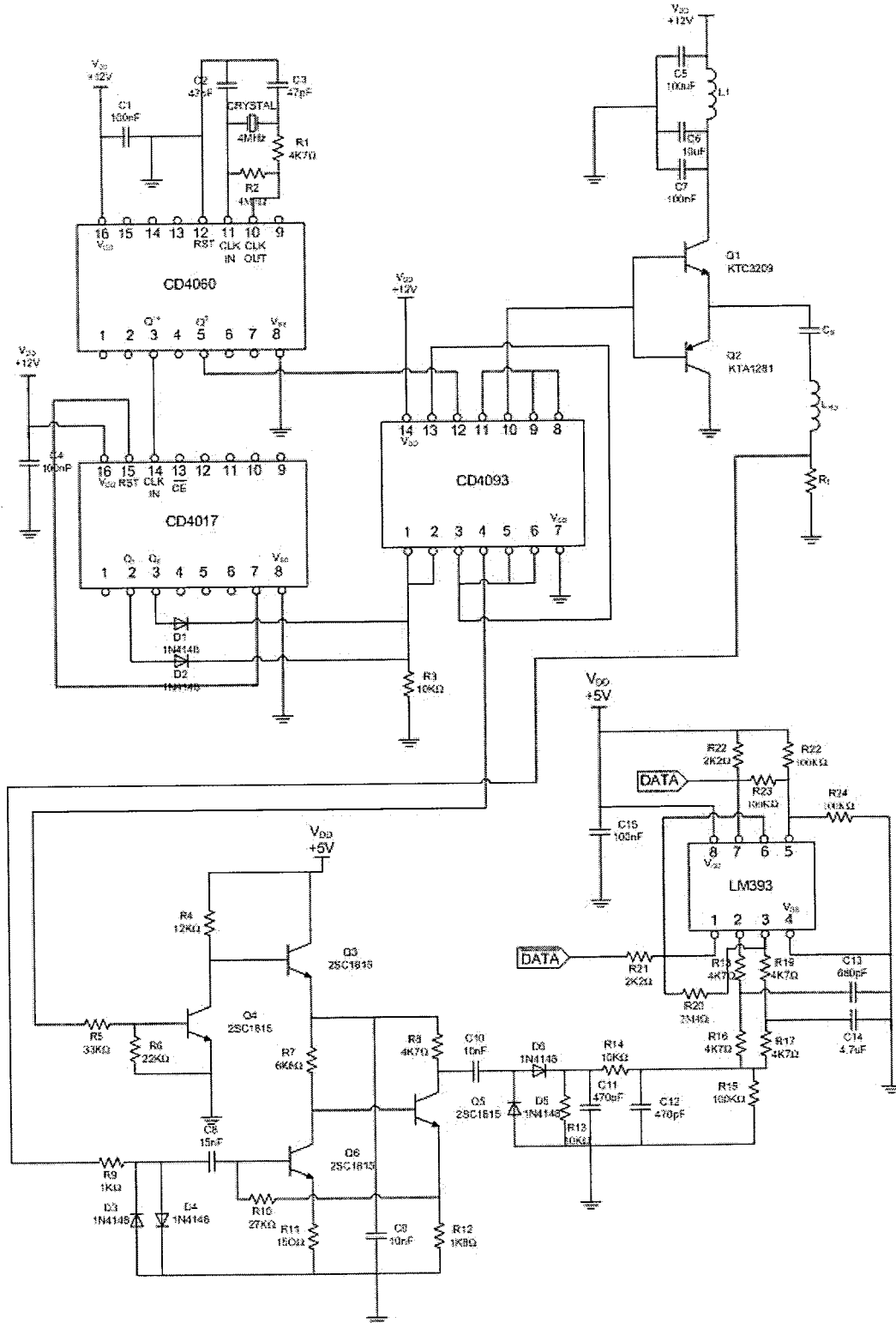
- 1) เพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน โดยสัญญาณจะผ่านทรานซิสเตอร์ BC549 ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ผ่านไดโอดไปยังทรานซิสเตอร์ HT7150 ที่จะทำการสร้างแรงดันไฟตรงคงที่ 5 โวลต์ ให้กับวงจร เนื่องจากการส่งสัญญาณแบบ Sequential ที่จะมีการส่งพลังงานให้เครื่องลูกข่ายเป็นช่วงๆ ไม่ได้มีการส่งตลอดเวลาจึงจำเป็นต้องมีการเก็บประจุ(Charge Up) ไว้ใช้ใน ช่วงที่เครื่องอ่านหยุดส่งพลังงาน จึงมีการต่อตัวเก็บประจุ (C_{RF}) เมื่อเครื่องอ่านหยุด

ส่งพลังงานตัวเก็บประจุ (C_{RF}) จะทำการคายประจุให้กับ HT7150 เพื่อสร้างแรงดันไฟตรงไปใช้ในการส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน และเพื่อป้องกันการคายประจุย้อนกลับทางเดิมจึงได้มีการต่อไดโอดเพื่อป้องกันการย้อนกลับของกระแส

- 2) เป็นสัญญาณ Sequential ส่งไปยังไมโครชิพเบอร์ PIC16F628A เพื่อเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาในการส่งข้อมูลจากไมโครชิพที่เครื่องลูกข่ายในช่วงเวลาที่เครื่องอ่านไม่ส่งพลังงานมา ไปยังเครื่องอ่าน โดยได้มีการโปรแกรมให้ไมโครชิพทำการส่งข้อมูลในช่วงที่สัญญาณที่เข้ามาเป็น Low นอกจากนี้จะมีวงจรรอสซิงเกิลเอเดเจอร์ทำการสร้างสัญญาณที่มีความถี่เช่นเดียวกับเครื่องอ่านที่ส่งมาในช่วงแรกให้กับไมโครชิพและไอซี HC4060 ที่ทำหน้าที่สร้างความถี่ 125 kHz หลังจากได้รับสัญญาณ Low ไมโครชิพจะทำการส่งข้อมูลไปมอดูเลทกับสัญญาณความถี่ 125 kHz โดยมีทรานซิสเตอร์ A1015 และ 2SC1815 ทำหน้าที่เป็น AND GATE สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลทจะถูกส่งกลับไปยังขดลวดสายอากาศเพื่อส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน และจะหยุดส่งเมื่อเครื่องอ่านมีการส่งพลังงานกลับมา เครื่องลูกข่ายจะทำการส่งข้อมูลและรับพลังงานแบบ Sequential แบบนี้เรื่อยๆ จนกว่าเครื่องลูกข่ายจะออกจากบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องอ่าน

5.2 การออกแบบเครื่องอ่าน (READER)

5.2.1 วงจรเครื่องอ่าน



รูปที่ 5.3 วงจรเครื่องอ่าน

5.2.2 การทำงานและการคำนวณของวงจรเครื่องอ่าน

จากการที่เครื่องลูกข่ายเป็นการทำงานแบบพาสซีฟ จำเป็นต้องรับพลังงานจากเครื่องอ่านโดยตรง จึงต้องมีการออกแบบขดลวดที่เป็นสายอากาศของเครื่องอ่าน ให้สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำลังส่งสามารถแพร่กระจายไปยังบริเวณพื้นที่ที่ใช้งาน และสามารถเรโซแนนซ์กับขดลวดที่เป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้เหมาะสม โดยคำนวณจำนวนขดลวดที่ให้ค่าความเหนี่ยวนำได้สูงสุดพร้อมทั้งค่าตัวเก็บประจุและค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดความถี่กำทอนที่ต้องการได้ดังนี้

การคำนวณหาค่ากระแสและกำลังขับของขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน

การหาค่ากระแสและกำลังขับนั้นจะสามารถพิจารณาโดยอาศัยจำนวนรอบของขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านด้วย หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$(NI)_{\text{rms}} = \frac{2V_{\text{TAG rms}} (a^2 + r^2)^{1.5}}{2\pi f S (nQ_L)_{\text{TAG}} \cos\alpha \mu_0 a^2} \quad \text{Amp-Turn (5.17)}$$

โดยที่

S คือ ระบายพื้นที่ของเครื่องลูกข่ายค่าประมาณ 5×8 ตารางเซนติเมตร
หรือ 4×10^{-3} ตารางเมตร

V_{TAG} คือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เครื่องลูกข่ายประมาณ 7 โวลต์ (V_{RMS})

α คือ มุมระหว่างระนาบขดลวดทั้งสอง

f คือ ความถี่ที่ใช้สื่อสาร มีค่า 125 กิโลเฮิร์ต

r คือ ระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย (เมตร)

a คือ รัศมีการส่งสัญญาณของเครื่องอ่าน

μ_0 ใช้ค่า $4\pi \times 10^{-7}$ H/m

$(nQ_L)_{\text{TAG}}$ ค่า $(nQ_L)_{\text{TAG}}$ จะใช้ค่าประมาณ $0.8(nQ_L)_{\text{TAG (MAX)}}$

และการหาค่ากำลังขับของขดลวดหาได้จากสมการ

$$P_{\text{DRIVE}} = I_{\text{RDms}}^2 R_T \quad \text{Watt} \quad (5.18)$$

โดยที่

R_T คือ ค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์ (โอห์ม)

I_{RDms} คือ กระแสที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวด

$$\text{หาได้จากสมการ} \quad I_{\text{RDms}} = (NI)_{\text{RDms}} / N_{\text{READER COIL}} \quad \text{Amp.} \quad (5.19)$$

$N_{\text{READER COIL}}$ คือ จำนวนรอบของขดลวดของเครื่องอ่าน

การคำนวณหาจำนวนรอบของขดลวด ค่าตัวเก็บประจุ และค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดการเรโซแนนซ์

1) การหาค่าจำนวนรอบของขดลวดของเครื่องอ่าน : $N_{\text{READER COIL}}$

สามารถหาได้จากสมการ

$$N_{\text{READERCOIL}} \approx \frac{n_{\text{TAG}}}{1.4 \text{ to } 1.6} \quad \text{รอบ} \quad (5.20)$$

โดยที่ n_{TAG} คือ จำนวนรอบที่ทำให้เกิด $(nQ_L)_{\text{TAG}}$ มากที่สุด

ดังนั้น จะได้ $N_{\text{READERCOIL}} \approx \frac{31}{1.6} \approx 19$ รอบ

2) การหาค่าตัวเก็บประจุ : C_s

สามารถหาได้จากสมการ

$$C_s \approx \frac{1}{4\pi^2 f^2 L_{rd}} \quad \text{F} \quad (5.21)$$

โดยที่

L_{rd} คือ ค่าความเหนี่ยวนำที่วัดได้จากขดลวดของเครื่องอ่านได้ 124 ไมโครฟารัด

f คือ ความถี่ 125 กิโลเฮิร์ต

ดังนั้น จะได้ $C_s = \frac{1}{4\pi^2 (125\text{k})^2 (124\mu)} = 13.073 \text{ nF}$

แต่เลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุ 12 นาโนฟารัดต่อขนานกับตัวเก็บประจุ 1 นาโนฟารัด

3) การหาค่าความต้านทาน : R_T

สามารถหาได้จากสมการ

$$R_T \approx 2\pi BW L_{rd} \quad \Omega \quad (5.22)$$

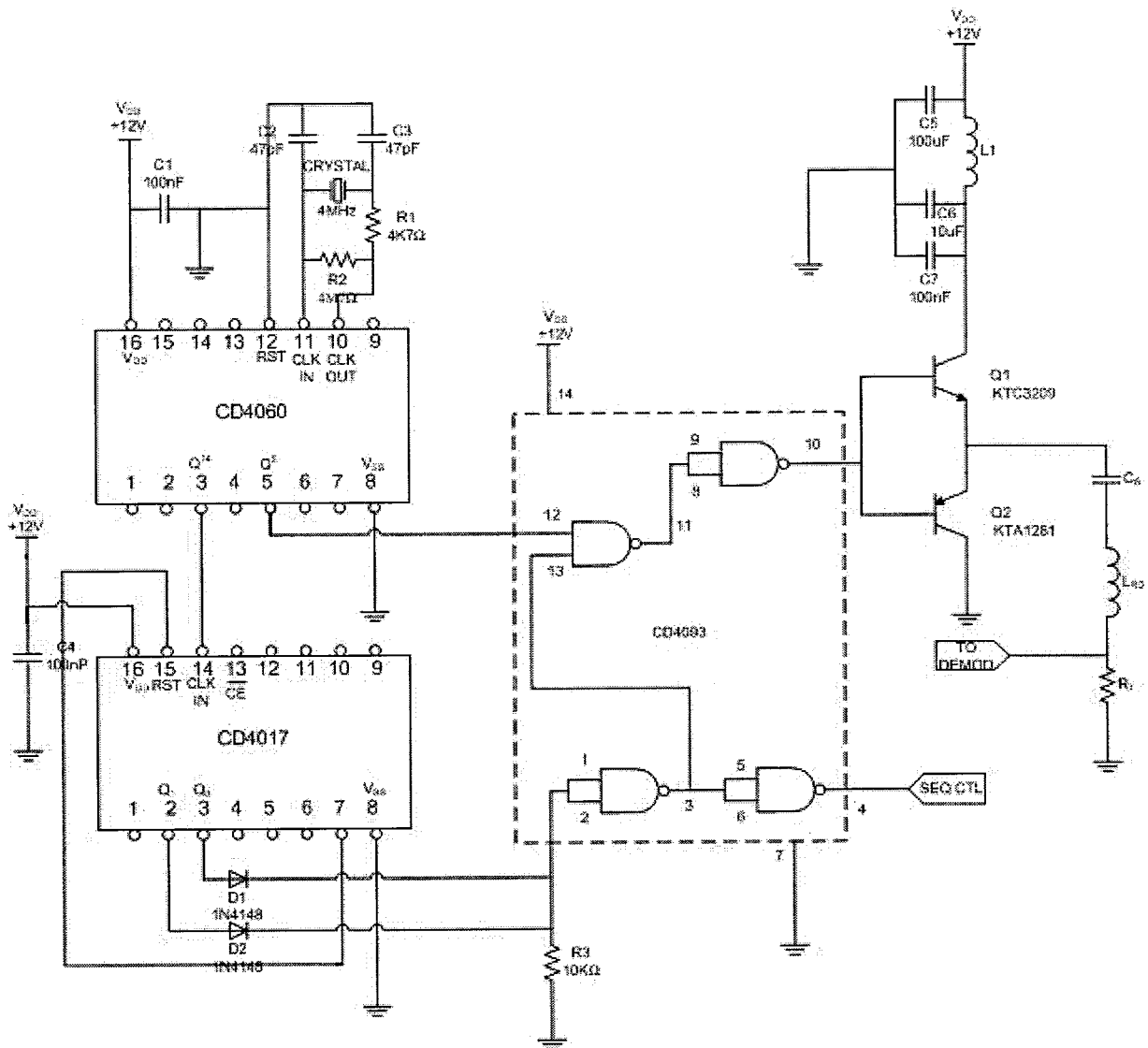
โดยที่

BW คือ แบนด์วิธของสัญญาณ

หาได้จากสมการ $BW=f/5$ Hz (5.23)

ดังนั้น จะได้ $R_T \approx 2\pi \times (125\text{k}/5) \times 124\mu \approx 19.47 \Omega$

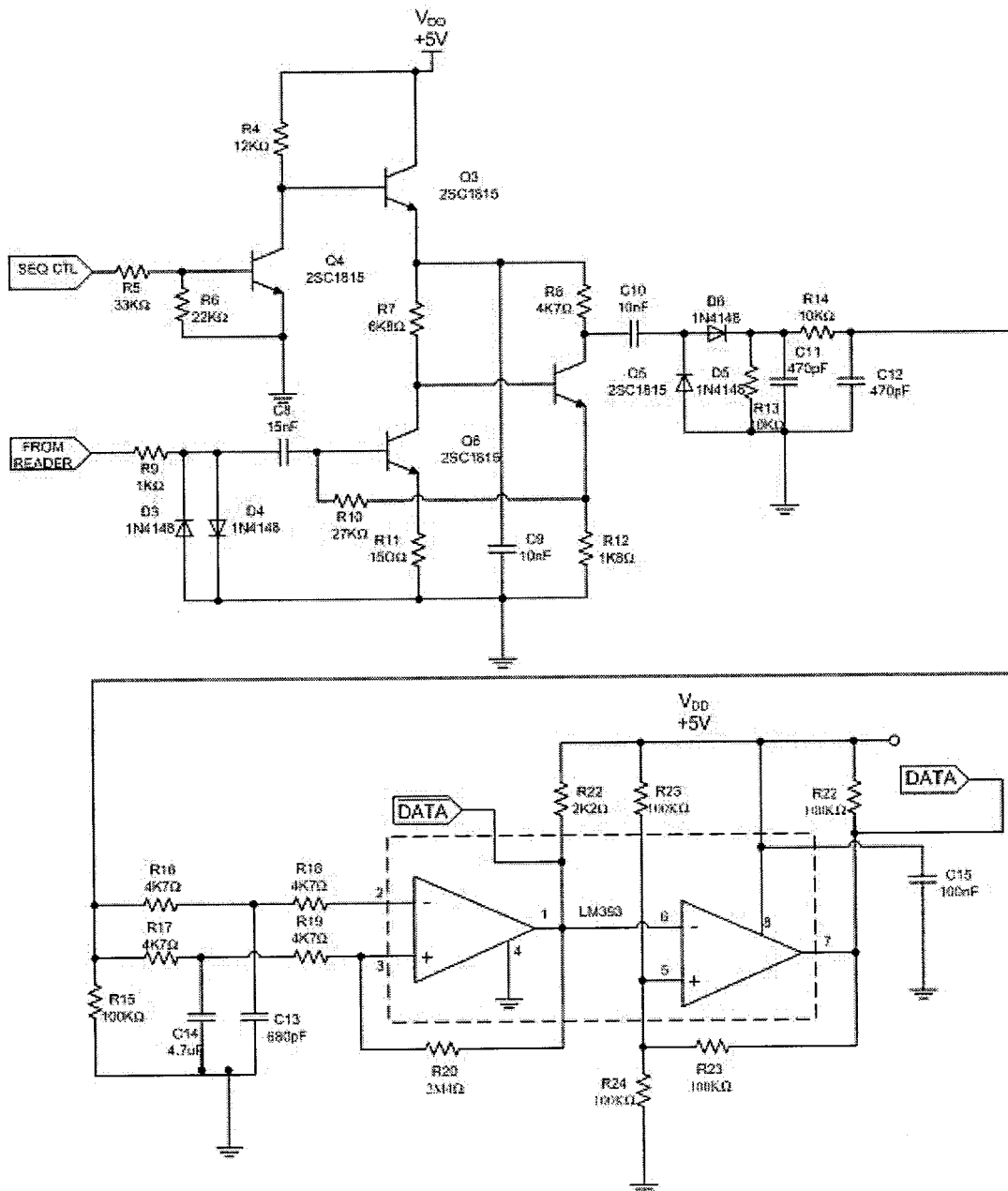
แต่เลือกใช้ค่าความต้านทานเป็น 18 โอห์ม



รูปที่ 5.4 วงจรเครื่องอ่านส่วนสร้างสัญญาณ Sequential

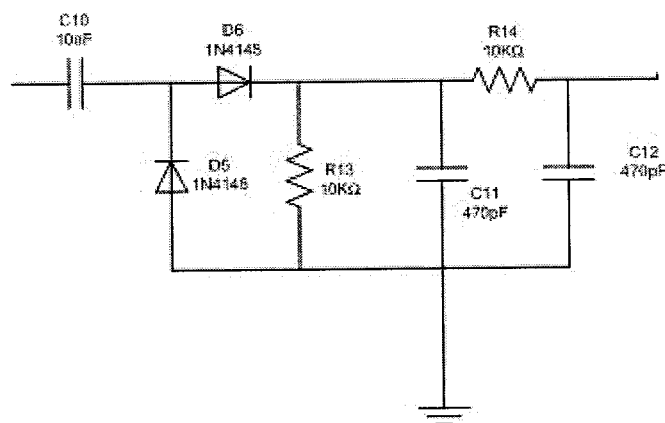
จากการคำนวณหาค่าอุปกรณ์ต่างๆ ที่ทำให้วงจรเครื่องอ่านสามารถส่งสัญญาณความถี่กำหนดที่สามารถส่งพลังงานไปยังเครื่องลูกข่ายได้มากที่สุด เนื่องจากต้องการออกแบบให้มีการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายแบบ Sequential ที่ความถี่ 125 kHz ดังนั้นเราจึงสร้างส่วนที่เป็นสัญญาณ Sequential จากไอซี CD4060 ที่ทำหน้าที่สร้างความถี่ โดยใช้วงจรออสซิลเลเตอร์สร้างสัญญาณนาฬิกาให้กับ CD4060 และ CD4060 จะส่งความถี่ขนาด 125 kHz เพื่อรอกการ NAND ต่อไป สัญญาณที่มีความถี่ 250 kHz ที่ได้จาก CD4060 อีกเส้นหนึ่งจะถูกส่งเพื่อไปทำหน้าที่เป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับไอซีเบอร์ CD4017 จากนั้นเลือกใช้สัญญาณที่ขา Q_0 กับ Q_1 เป็น

สัญญาณ shift phase ที่มีความถี่ขนาดเท่ากัน) มา OR กันด้วยไดโอดจำนวน 2 ตัว แล้วจึงนำสัญญาณที่ได้นี้ไปทำการ NAND กับสัญญาณที่มีความถี่ 125 kHz ที่ได้สร้างไว้ก่อนหน้าด้วยไอซีเบอร์ CD4093 สัญญาณจากขา 10 ของไอซี CD4093 จะถูกส่งไปยังวงจรขยายกระแสเพื่อทำการขยายกระแสในช่วง high ของสัญญาณและนำไปต่อกับส่วนของเรโซแนนซ์เพื่อให้มีพลังงานไฟฟ้ามากพอที่จะส่งไปยังเครื่องลูกข่าย



รูปที่ 5.5 วงจรเครื่องอ่านส่วน Demodulator และ Comparator

สัญญาณที่ได้จากวงจรสร้างความถี่กำหนดตรงจุดก่อนตัวต้านทานจะมีการเหนี่ยวนำสัญญาณกับเครื่องลูกข่ายในช่วงที่ที่เครื่องอ่านหยุดส่งพลังงานจะมีสัญญาณข้อมูลส่งมาจากเครื่องลูกข่าย โดยสัญญาณจากขา 4 ของไอซีเบอร์ CD4093จะส่งไปยังทรานซิสเตอร์ 2 ตัว (ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SC1815) ทำหน้าที่สวิตช์สัญญาณที่ส่งมา (ช่วง High สวิตช์จะ ON เพื่อให้ไฟกระแสตรงไหลผ่าน ส่วนช่วง Low สวิตช์จะ Off ไม่ยอมให้ไฟกระแสตรงไหลผ่าน) จากสัญญาณจุดนี้จะไปรวมกับสัญญาณข้อมูลแล้วนำสัญญาณที่ได้มาผ่านวงจรขยายสัญญาณแล้วจึงไปผ่าน C Coupling เพื่อทำการ Block DC แล้วส่งไปยังวงจร Envelope Detector ซึ่งจะทำการจับสัญญาณเฉพาะช่วงขอบสัญญาณและผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (LPF)



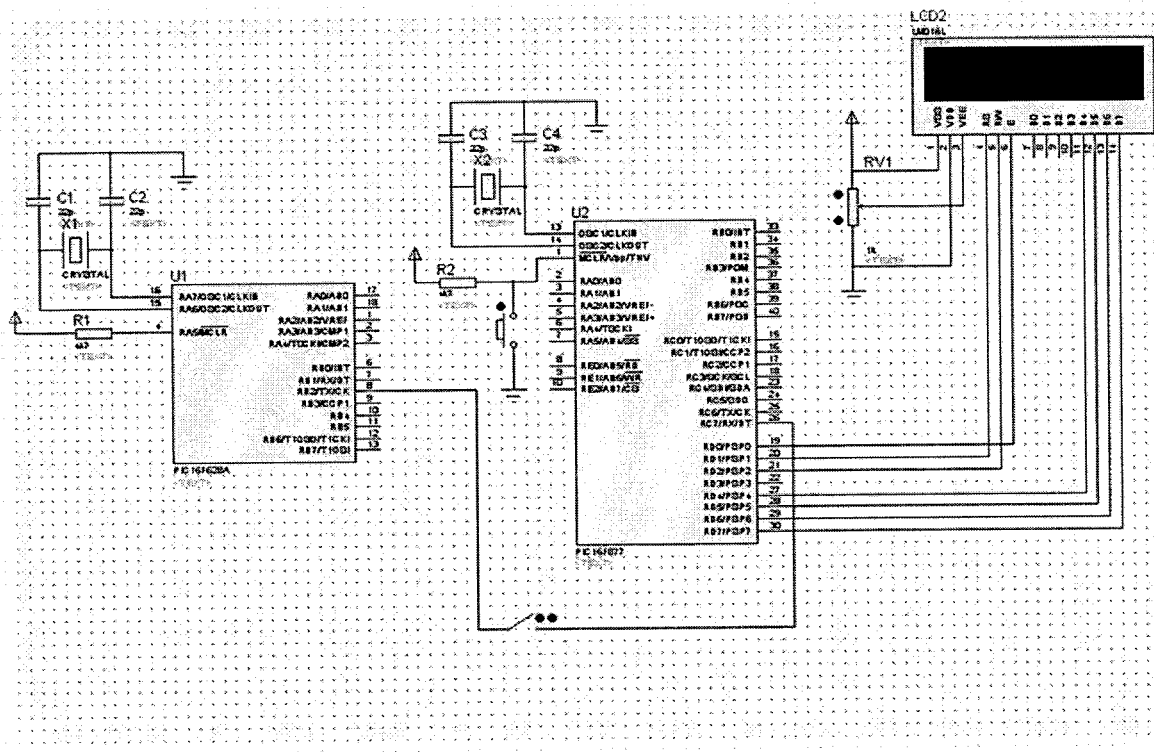
รูปที่ 5.3 วงจรเครื่องอ่านส่วน Envelope Detector และ Low Pass Filter

สัญญาณที่ได้จะถูกส่งไปยัง Op-Amp เบอร์ LM393 ซึ่งทำหน้าที่ Comparator (วงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดยเปรียบกับแรงดันอ้างอิงที่เกิดจากแรงดันค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ส่งเข้ามา) ถ้าสัญญาณข้อมูลที่เข้ามาน้อยกว่าแรงดันอ้างอิงจะทำให้แรงดันขาออกเป็นศูนย์ (O/P Low) แต่ถ้าสัญญาณข้อมูลที่เข้ามามีมากกว่าแรงดันอ้างอิงจะทำให้แรงดันที่ขาออกมีค่าเท่ากับที่แหล่งจ่ายไฟจ่ายให้กับ Op-Amp คือ 5 โวลต์ (O/P High) สัญญาณ O/P ที่ออกจาก LM393 ที่ขา 1 จะเป็นสัญญาณข้อมูลแบบกลับเฟส ($\overline{\text{DATA}}$) และสัญญาณ O/P ที่ขา 7 เป็นสัญญาณข้อมูลแบบไม่กลับเฟส (DATA) ซึ่งเราจะนำสัญญาณที่ได้จาก O/P ตรงนี้ส่งไปยังส่วนของไมโครชิพเบอร์ PIC16F877A เพื่อนำข้อมูลไปผ่านการโปรแกรมที่ได้ตั้งไว้แล้วนำไปแสดงผลทางจอ LCD

บทที่ 6

โปรแกรมการติดต่อสื่อสารข้อมูล

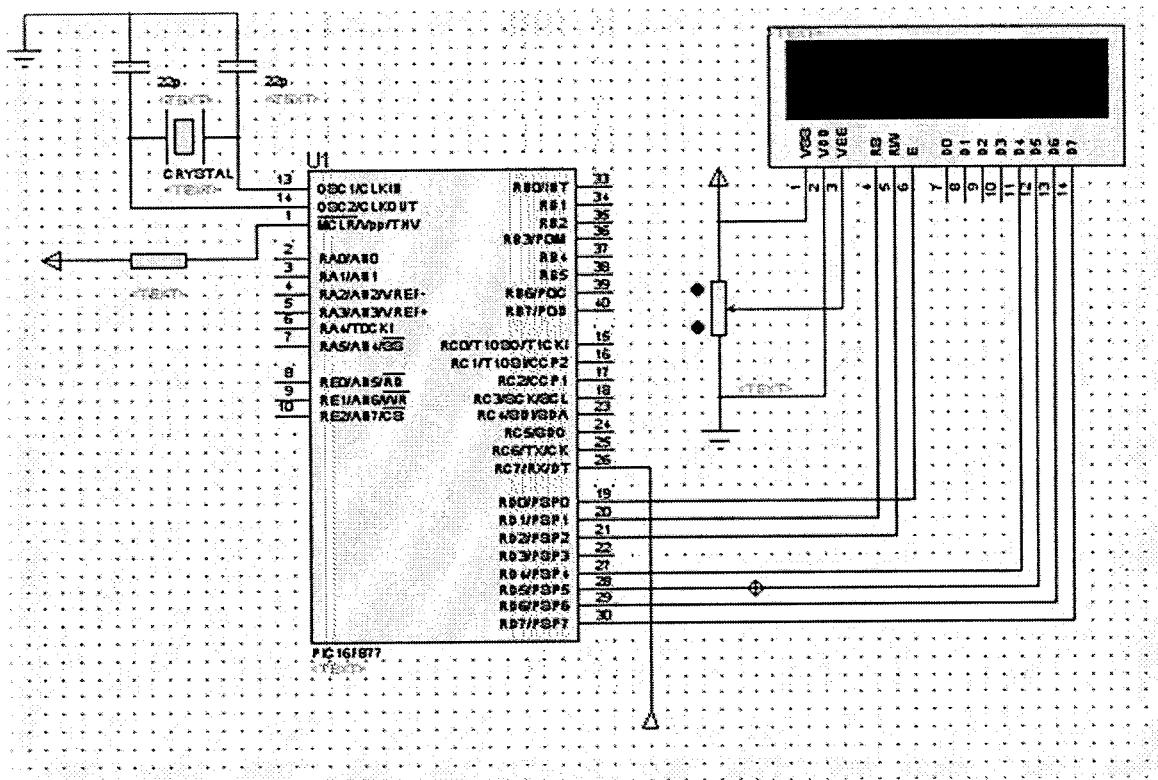
การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี RFID จะมีการทำงาน 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่องอ่าน และส่วนของเครื่องลูกข่าย โดยที่การทำงานของเครื่องอ่านจะทำการตรวจสอบว่ามีเครื่องลูกข่ายอยู่ในระบบหรือไม่ ถ้าพบเครื่องลูกข่ายอยู่ในระบบ จะทำการเชื่อมต่อและอ่านข้อมูลที่ได้จากเครื่องลูกข่ายแสดงออกทางจอ LCD แต่ถ้าไม่พบเครื่องลูกข่ายในระบบเครื่องอ่านจะอยู่ในสถานะ Stand by เพื่อรอรับข้อมูล โดยในส่วนของเครื่องลูกข่ายจะบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำและเมื่อมีการเชื่อมต่อกับเครื่องอ่าน เครื่องลูกข่ายจะทำการส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านให้อ่านข้อมูลต่อไป โดยมีการทำงานและโปรแกรมดังนี้



รูปที่ 6.1 การจำลองการทำงานของวงจรเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย

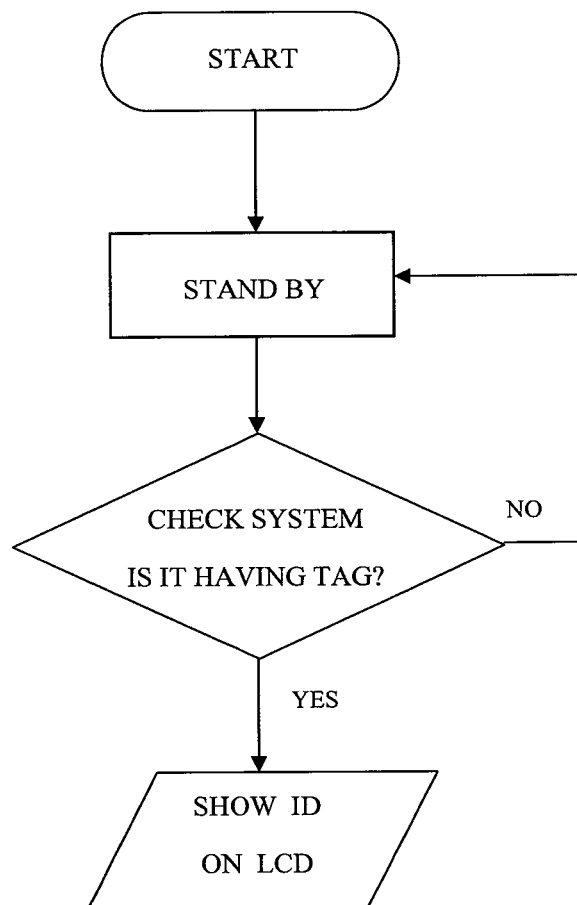
6.1 การโปรแกรมข้อมูลเครื่องอ่าน

6.1.1 วงจรเครื่องอ่าน



รูปที่ 6.2 วงจรเครื่องอ่าน

6.1.2 แผนผังการทำงานของเครื่องอ่าน (Flow Chart RFID Reader)



รูปที่ 6.3 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องอ่าน

6.1.3 โปรแกรมเครื่องอ่าน

```
#include "D:\project\program\reader_13.h"
#include "LCD.c"
unsigned char id_recv[5];

void recv_id()
{
    unsigned char x;
    for(x=0;x<5;x++)
    {
        id_recv[x]=getc();
        delay_ms(10);
    }
}

void main(void)
{
    setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
    setup_adc(ADC_OFF);
    setup_psp(PSP_DISABLED);
    setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    setup_vref(FALSE);

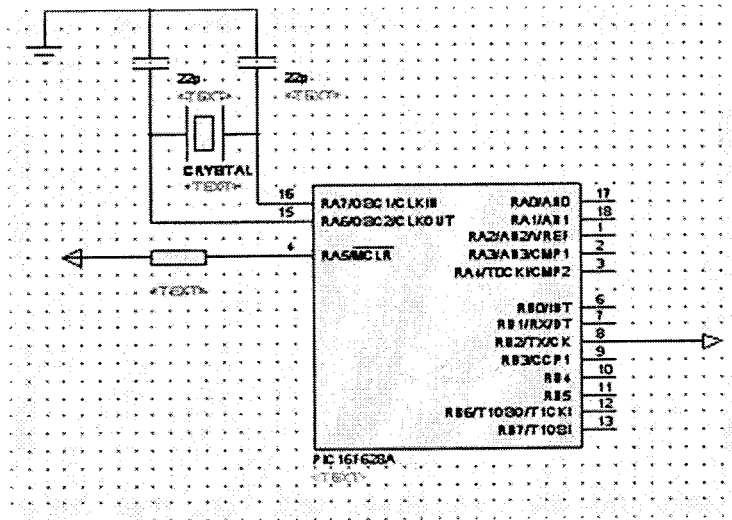
    lcd_init();\
    delay_ms(1000);

    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_putc("LOW FREQ 125 KHz");
    lcd_gotoxy(5,2);
    lcd_putc("STAND BY");

    while(1)
    {
        if(kbhit())
        {
            recv_id();
            lcd_putc("\n");
            lcd_gotoxy(6,1);
            lcd_putc("WELCOME");
            lcd_gotoxy(7,2);
            lcd_putc(id_recv[0]);
            lcd_putc(id_recv[1]);
            lcd_putc(id_recv[2]);
            lcd_putc(id_recv[3]);
            lcd_putc(id_recv[4]);
            delay_ms(3000);
        }
    }
}
```

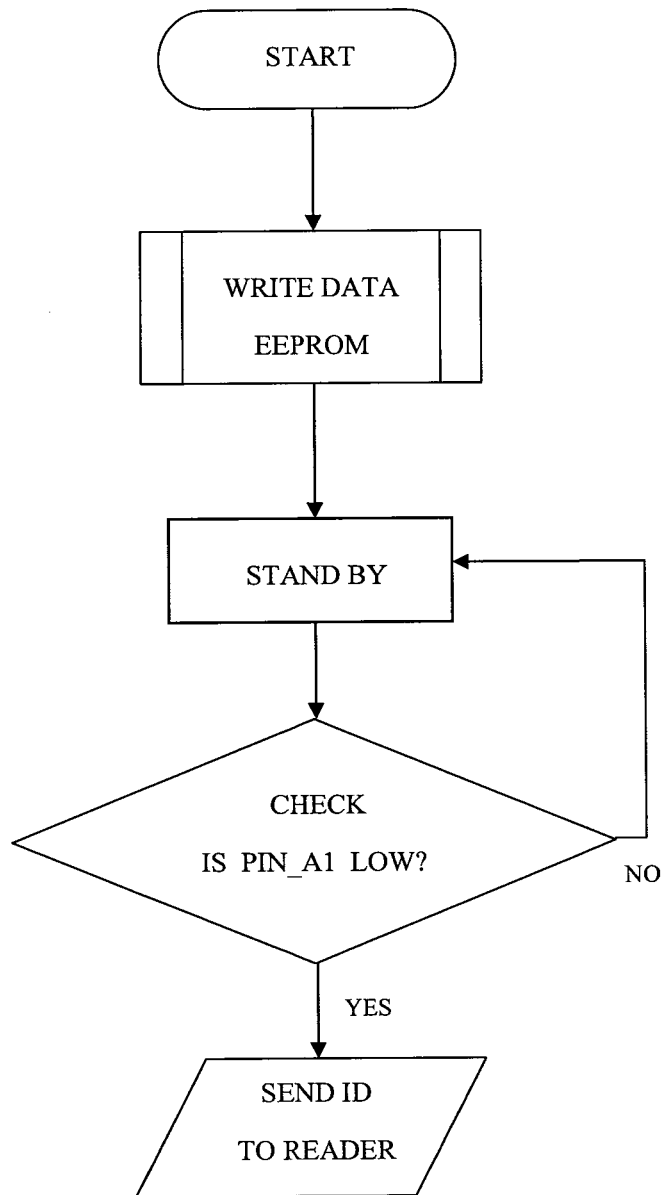
6.2 การโปรแกรมข้อมูลเครื่องลูกข่าย

6.2.1 วงจรเครื่องลูกข่าย



รูปที่ 6.4 วงจรเครื่องลูกข่าย

6.2.2 แผนผังการทำงานของเครื่องลูกข่าย (Flow Chart RFID Tag)



รูปที่ 6.5 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องลูกข่าย

6.2.3 โปรแกรมเครื่องถูกข่าย

```
#include "D:\project\program\tag_7.h"
unsigned char id[5]={0x35,0x33,0x39,0x36,0x37};
int x;

void main()
{
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    setup_vref(FALSE);

    delay_ms(1000);
    set_tris_a(0x0f);
    //%=====save ID=====%/
    write_eeprom(0,id[0]);delay_ms(20);
    write_eeprom(1,id[1]);delay_ms(20);
    write_eeprom(2,id[2]);delay_ms(20);
    write_eeprom(3,id[3]);delay_ms(20);
    write_eeprom(4,id[4]);delay_ms(20);
    delay_ms(2000);

    while(1)
    { //%=====send ID=====%/
        if(input(PIN_A1)==0)
        {
            for(x=0;x<5;x++)
            {
                id[x]=read_eeprom(x);
                delay_ms(10);
                putc(id[x]);
            }
            delay_ms(1000);
        }
    }
}
```

บทที่ 7

การทดลองและผลการทดลอง

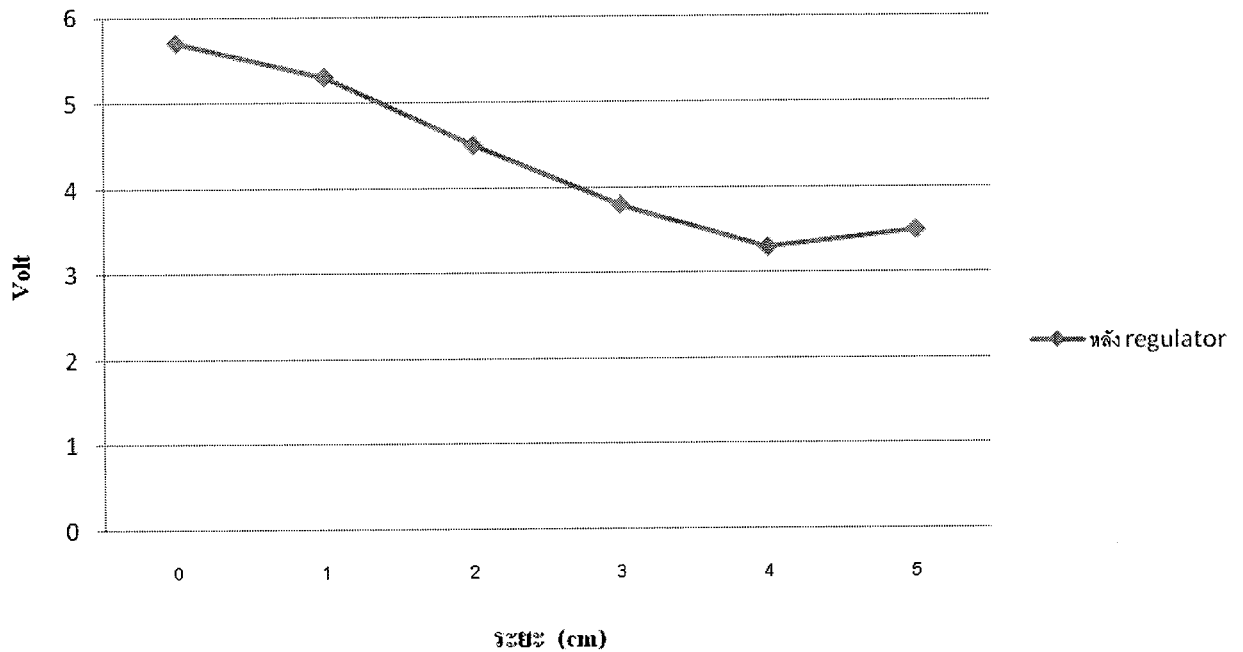
การทดสอบการทำงานของเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านทำโดยการทดลอง Line Regulations และ การตรวจสอบขาออกของข้อมูลที่เครื่องลูกข่ายกับขาออกของข้อมูลที่เครื่องอ่านส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการทดลองมีดังนี้

7.1 Line Regulations

การทดลอง Line Regulations ทำโดยการทดลองวัดความดันระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่านที่ระยะต่างๆ กัน และวัดที่แรงดันขาเข้าที่ค่าต่างๆ ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 7.1 ผลการทดลอง Line Regulations ที่ระยะต่างๆ โดยมี $V_{in} = 12 \text{ Volt}$

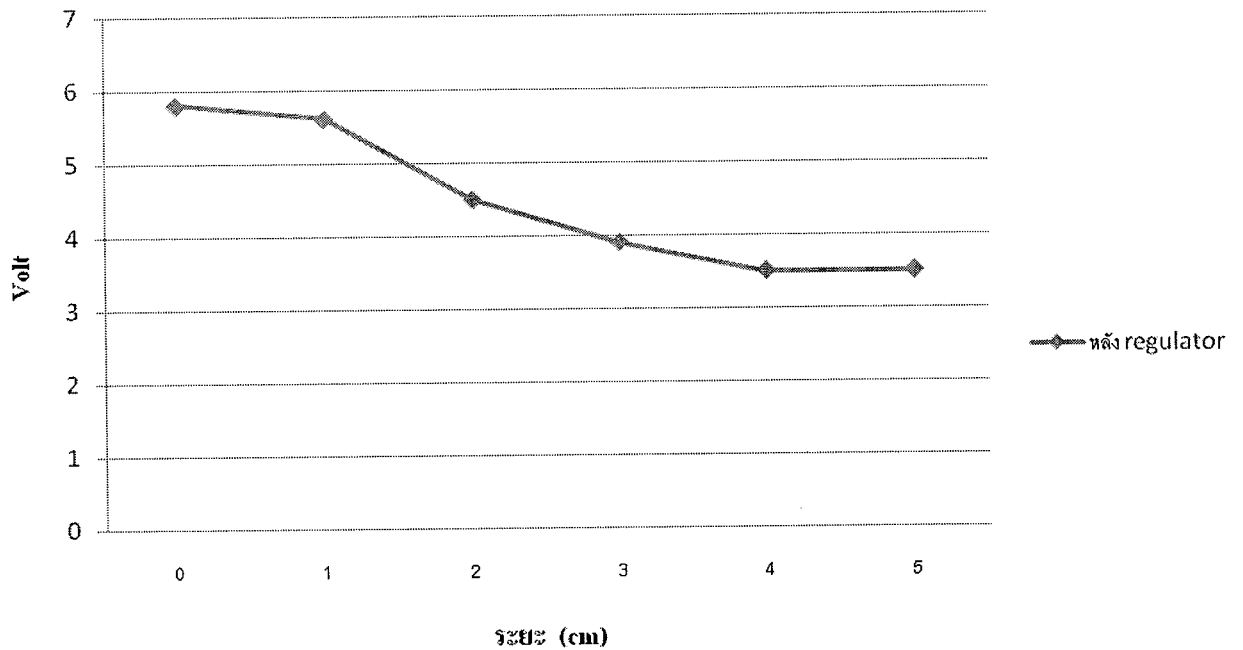
ระยะ (cm)	$V_{AC} \text{ Reader}(V_{pp})$ (คร่อม R_T)	$V_{ACI} \text{ Reader}(V_{pp})$ (คร่อม L_{RD})	$V_{DC} \text{ Tag}(V)$ (หลัง Rectifier)	$V_{DC} \text{ Tag}(V)$ (หลัง Regulator)
0	6.6	21	7.2	5.7
1	9.6	34	6.2	5.3
2	9.6	36	5.1	4.5
3	10.0	40	4.7	3.8
4	10.0	40	4.1	3.3
5	10.0	40	3.7	3.5



รูปที่ 7.1 กราฟแสดงแรงดันที่ได้หลัง Regulator ที่ระยะต่างๆ โดย V_{in} 12 Volt

ตารางที่ 7.2 ผลการทดลอง Line Regulations ที่ระยะต่างๆ โดยมี $V_{in} = 13$ Volt

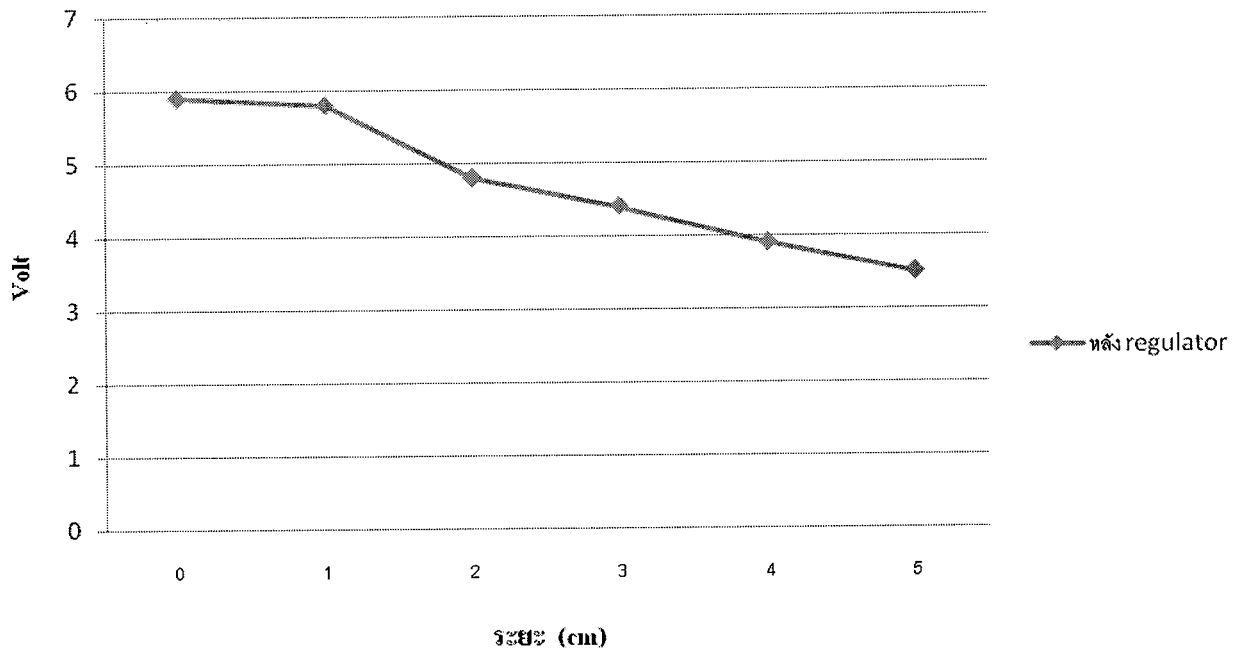
ระยะ (cm)	V_{ac} Reader(V_{pp}) (พร้อม R_T)	V_{AC} Reader(V_{pp}) (พร้อม L_{RD})	V_{DC} Tag(V) (หลัง Rectifier)	V_{DC} Tag(V) (หลัง Regulator)
0	6.8	22	7.6	5.8
1	10.0	38	6.7	5.6
2	11.0	42	5.2	4.5
3	12.0	43	5.3	3.9
4	11.0	43	4.1	3.5
5	11.0	43	3.9	3.5



รูปที่ 7.2 กราฟแสดงแรงดันที่ได้หลัง Regulator ที่ระยะต่างๆ โดย V_{in} 13 Volt

ตารางที่ 7.3 ผลการทดลอง Line Regulations ที่ระยะต่างๆ โดยที่มี $V_{in} = 14$ Volt

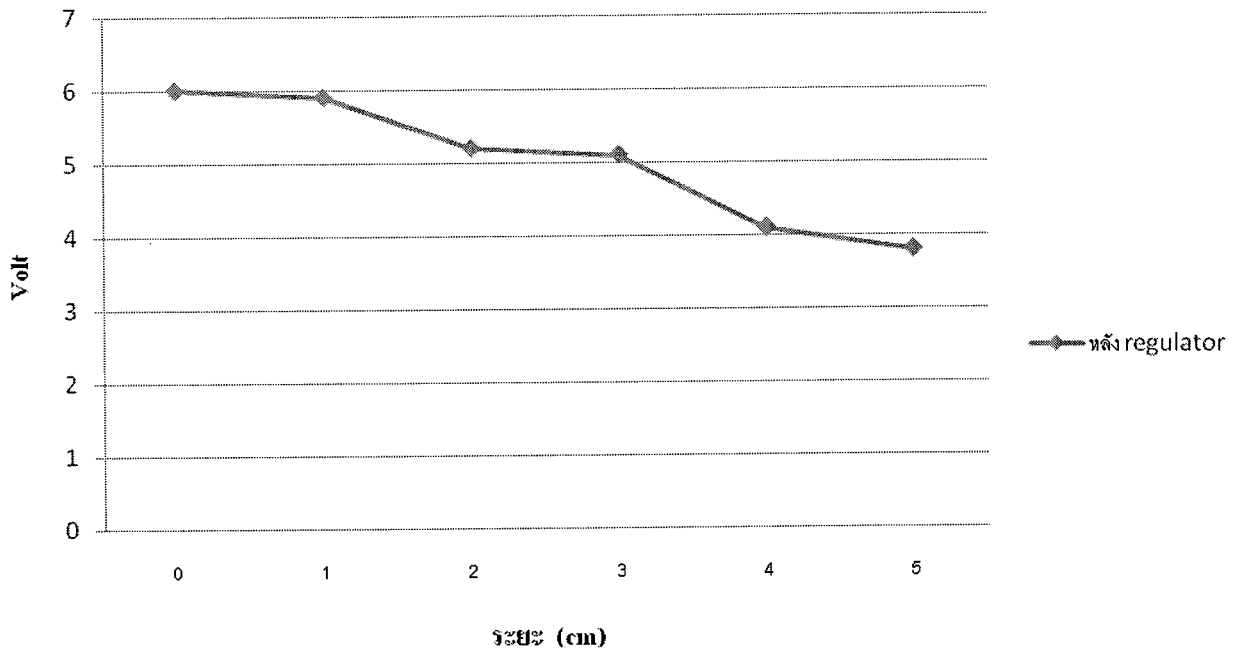
ระยะ (cm)	V_{AC} Reader(V_{p-p}) (คร่อม R_T)	V_{AC} Reader(V_{p-p}) (คร่อม L_{RD})	V_{DC} Tag(V) (หลัง Rectifier)	V_{DC} Tag(V) (หลัง Regulator)
0	7.1	23	7.9	5.9
1	10.5	41	7.0	5.8
2	11.0	46	5.9	4.8
3	12.0	46	5.6	4.4
4	12.0	47	4.5	3.9
5	12.0	47	4.0	3.5



รูปที่ 7.3 กราฟแสดงแรงดันที่ได้หลัง Regulator ที่ระยะต่างๆ โดย V_{in} 14 Volt

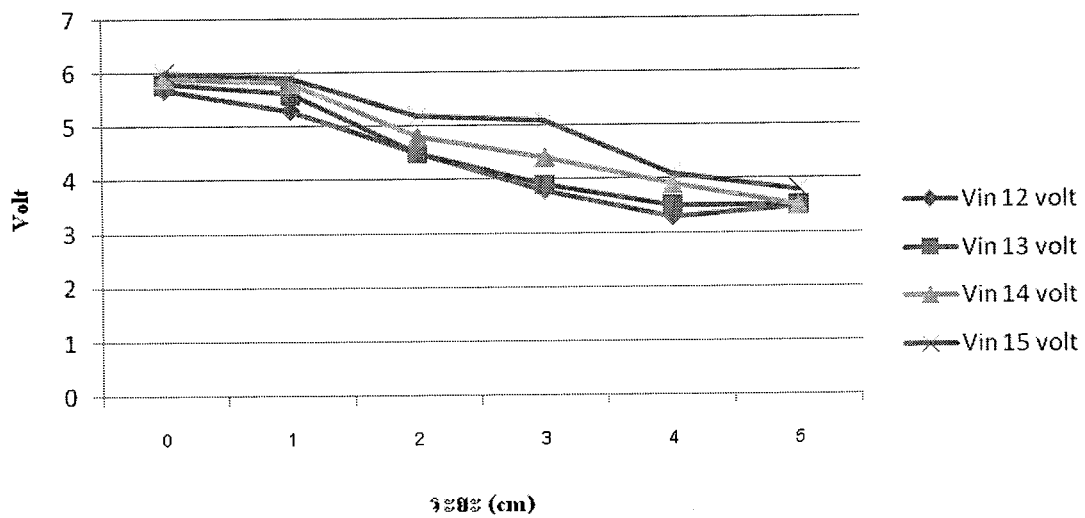
ตารางที่ 7.4 ผลการทดลอง Line Regulations ที่ระยะต่างๆ โดยที่มี $V_{in} = 15$ Volt

ระยะ (cm)	V_{AC} Reader(V_{p-p}) (คร่อม R_T)	V_{ACI} Reader(V_{p-p}) (คร่อม L_{RD})	V_{DC} Tag(V) (หลัง Rectifier)	V_{DC} Tag(V) (หลัง Regulator)
0	7.5	23	8.5	6.0
1	11.5	42	7.5	5.9
2	11.0	48	6.1	5.2
3	14.0	50	5.9	5.1
4	14.0	50	4.7	4.1
5	13.0	50	4.3	3.8



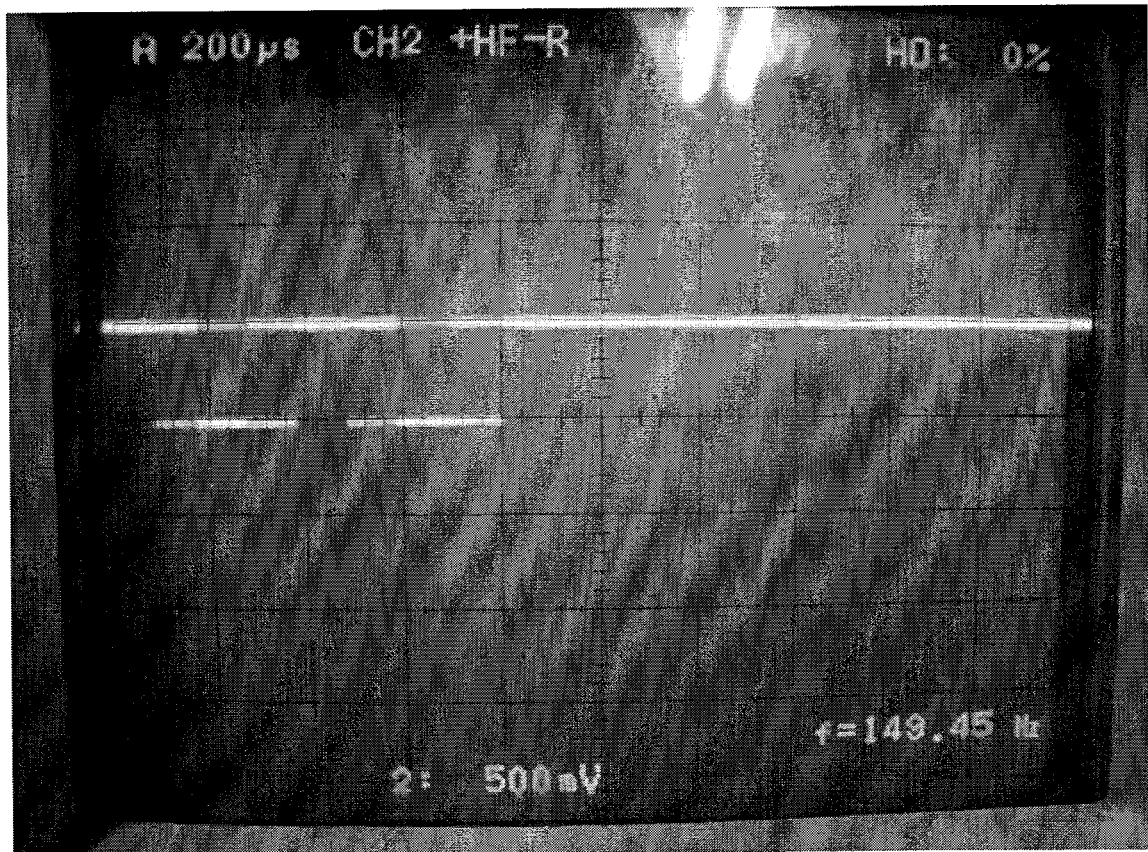
รูปที่ 7.4 กราฟแสดงแรงดันที่ได้หลัง Regulator ที่ระยะต่างๆ โดย V_{in} 15 Volt

กราฟเปรียบเทียบค่า V_{out} หลัง Regulator ที่ระยะต่างๆ



รูปที่ 7.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า V_{out} หลัง Regulator ที่ระยะต่างๆ

7.2 การตรวจสอบสัญญาณข้อมูลที่ขา 8 ของ PIC16F628A



รูปที่ 7.6 ภาพสัญญาณที่วัดได้ที่ขา 8 ของ PIC16F628A

บทที่ 8

บทสรุป

การพัฒนาาระบบชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ มิได้มีจุดประสงค์เพื่อมาแทนที่ระบบอื่นที่มี การพัฒนามาก่อนหน้า เช่นระบบบาร์โค้ด แต่เป็นการเสริมจุดอ่อนต่าง ๆ ของระบบอื่น ซึ่งแม้ว่า ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ จะเป็นระบบที่มีจุดเด่นตรงความยืดหยุ่นและข้อดีอีก มากมายในตัวเอง แต่อุตสาหกรรมของระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ กลับไม่สามารถ พัฒนาได้อย่างเต็มที่เนื่องมาจากสาเหตุที่สำคัญ คือ ความกระจัดกระจายของมาตรฐาน จากการที่ ผู้ผลิตอุปกรณ์ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ ต่างฝ่ายต่างก็ผลิตอุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐาน ของตัวเองเป็นหลักและไม่มีการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ให้แกกัน ไม่ว่าจะเป็นความถี่ที่ใช้งานหรือ โปรโตคอล

และจากการทดสอบอุปกรณ์ที่ได้สร้างขึ้นมาพบว่าอุปกรณ์ทั้งสองส่วนสามารถ ติดต่อสื่อสารข้อมูลกันได้ตามที่ต้องการ โดยฝั่งเครื่องอ่านสามารถส่งพลังงานไปให้ฝั่งเครื่องถูก ข่ายทำงานได้ และในทางกลับกันเครื่องถูกข่ายก็สามารถส่งข้อมูลซึ่งเก็บไว้ในหน่วยความจำข้อมูล กลับไปยังเครื่องอ่านได้อีกด้วย แต่ปัญหาที่พบในระหว่างการทดสอบอุปกรณ์คือ วงจรในส่วนของ การมอดูเลทและดีมอดูเลทได้ไม่ถูกต้องทุกครั้ง เนื่องจากวงจรดีมอดูเลทเป็นวงจรที่ใช้การไบอัส ทรานซิสเตอร์และการกำหนดค่าความต้านทาน เพื่อเป็นการกำหนดไบอัสนั้นจะต้องขึ้นอยู่กับค่า พลังงานที่ได้รับในแต่ละครั้งที่เครื่องถูกข่ายเข้ามาอยู่ในบริเวณที่เครื่องอ่านสามารถส่งพลังงาน ได้ ในแต่ละครั้งจะ ได้รับพลังงานไม่เท่ากันทำให้การกำหนดไบอัสทำได้ยากจึงทำให้ในส่วนของ การดี มอดูเลทไม่สามารถทำงานได้ถูกต้องทุกครั้ง

ซึ่งการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นทำได้โดยการพัฒนางจรในส่วนของ การดีมอดูเลทให้มี คุณภาพดียิ่งขึ้นเพื่อให้ผลของการส่งข้อมูลสามารถรับส่งกันได้ถูกต้องมากที่สุด