

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

RFID

Radio Frequency Identification



**ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550**

11949364
b.....
f.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่เชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RFID

Radio Frequency Identification

โดย

นายพิชาชาญ รัตตัญญู 47015177

นายเอกลักษณ์ แซ่มชื่น 47015198

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ประภากร สุวรรณะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2550

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง RFID (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION)

จัดทำโดย

1. นายพิชชาชญ รัตติคุณ รหัสประจำตัว 4715177
2. นายเอกลักษณ์ แซ่มชื่น รหัสประจำตัว 4715198

.....

(ศส.ประภากร สุวรรณะ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยี RFID

โดย นายพิชาชาญ รัตตัญญู รหัส 47015177
นายเอกลักษณ์ แซ่มชื่น รหัส 47015198
อาจารย์ที่ปรึกษาผศ.ประภากร สุวรรณะ
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยี RFID ได้รับความนิยมในการใช้งานในแวดวงต่างๆอย่างกว้างขวางอันเป็นผลมาจากความสะดวกในการใช้งาน รวมถึงศักยภาพในการส่งข้อมูล อีกทั้งยังมีรูปแบบการใช้งาน ในลักษณะของการของการส่งข้อมูลแบบไร้การสัมผัส ซึ่งแตกต่างจากระบบ Auto ID (Automatic Identification) แบบอื่น “เนื่องจาก Auto ID แบบอื่นยังมีข้อเสียที่ไม่สามารถแก้ไขได้ อยู่ นั่นคือ การใช้งานที่เป็นแบบสัมผัสซึ่งทำให้มีอายุการใช้งานที่จำกัด เนื่องจากการสึกหรอ ทำให้เกิดความเสียหายเกิดขึ้นกับแผ่นตัวนำไฟฟ้าที่อยู่บนหน้าสัมผัส” ขานความถี่ในการใช้งานใช้ย่าน LF (Low Frequency) ที่ความถี่ 125 kHz โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มาประยุกต์ใช้งาน ในการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่าย (Transponder) และเครื่องอ่าน (Reader) โครงการนี้เน้น การศึกษา การทำงานของ การส่งพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูก และ การรับส่งข้อมูลเพื่อให้ เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานในด้านการบันทึกข้อมูลต่างๆเพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Radio Frequency Identification

Mr. Pichachar Ruttunyoo ID.47015177

Mr. Akkluk Chamchuen ID.47015198

Mr. Prapakorn Suwanna Advisor

Education Year 2007

ABSTRACT

Nowaday, RFID is being used in various fields widely since it's convenience and capacity in transferring information as well as it's non-touching qualification which differs from other Automatic Identification systems. Since other Automatic Identification systems have a problem which can not be solved, that is they are the touching systems. So, the life time of them will be limited because there are to be worn out to a plate on the surface. The Low frequency at 125 kHz with PIC Microcontroller will be applied to use in transferring information between Transponder and Reader. This Thesis emphasises on power transferring from Reader to Transponder and Transferring-Receiving information. As a result, this will be very useful for recording data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดีนั้น ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา คือ อาจารย์ประภากร สุวรรณะที่ได้ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการทำ ปริญญาบัตร ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้กับทางคณะผู้จัดทำทั้งในอดีตและปัจจุบัน รวมทั้งผู้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำปริญญาบัตรตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้ที่เป็นแรงบันดาลใจอันสำคัญยิ่ง รวมถึง กำลังใจที่ได้รับเสมอมาจากคุณพ่อ คุณแม่ อีกทั้งญาติพี่น้องของทางคณะผู้จัดทำ ทำให้คณะผู้จัดทำ มีความมานะพากเพียรทำปริญญาบัตรฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ. ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นายพิชชาชาญ รัตติยบุญ

นายเอกลักษณ์ แซ่มชื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	
ABSTRACT	
กิตติมากรรมประกาศ	
สารบัญรูปภาพ	
สารบัญตาราง	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงาน	1
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขตของ โครงการงาน	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 ส่วนประกอบของระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ	2
2.1.1 เครื่องลูกข่าย	3
2.1.1.1 เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟ	3
2.1.1.2 เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟ	3
2.1.2 ประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID	4
2.1.2.1 เครื่องลูกข่ายแบบงานและเหรียญ	4
2.1.2.2 เครื่องลูกข่ายแบบกระดาษแก้ว	4
2.1.2.3 เครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก	4
2.1.2.4 เครื่องลูกข่ายสำหรับใช้เฉพาะกิจ	4
2.1.2.5 เครื่องลูกข่ายแบบพวงกุญแจ	4
2.1.2.6 เครื่องลูกข่ายแบบนาฬิกา	5
2.1.2.7 เครื่องลูกข่ายมาตรฐาน ID-1 และ Smartcard	
แบบใช้การสัมผัส	5
2.1.2.8 เครื่องลูกข่ายแบบ Smart label	5
2.1.2.9 เครื่องลูกข่ายแบบขดลวดบนชิป	5
2.2 เครื่องอ่าน	5
2.3 คุณลักษณะของอุปกรณ์ระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)	หน้า
2.8.1.1 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายัง เครื่องอ่าน	23
2.9 เครื่องลูกข่ายแบบ Surface Acoustic Wave	24
บทที่ 3 ไมโครคอนโทรลเลอร์	24
3.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877	24
3.1.1 คุณสมบัติของหน่วยประมวลผลกลางภายใน PIC16F877	25
3.1.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ เพอริเฟอรัล(peripheral) PIC16F877	26
3.1.3 คุณสมบัติอื่นๆ	26
3.2 สถาปัตยกรรมของ PIC16F877	27
3.3 การจัดขาของ PIC16F877	28
3.3.1 กลุ่มสัญญาณนาฬิกามี 2 ขา	29
3.3.2 กลุ่มขาคววมุม มี 1 ขา	29
3.3.3 กลุ่มขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต	29
3.3.3.1 พอร์ต A มีขนาด 6 บิต	31
3.3.3.2 พอร์ต B เป็นลักษณะแบบ Port แบบสองทิศทาง	31
3.3.3.3 พอร์ต C เป็นลักษณะแบบ Port แบบ สองทิศทาง	33
3.3.3.4 พอร์ต D จะเป็น port ขนาด 8 bits	35
3.3.3.5 พอร์ต E จะมีทั้งหมด 3 ขา	35
บทที่ 4 การมอดูเลทสัญญาณแบบดิจิตอล	36
4.1 บทนำ	36
4.2 การมอดูเลทสัญญาณดิจิตอล	36
4.2.1 การมอดูเลทดิจิตอลทางขนาด	36
4.2.2 การมอดูเลทดิจิตอลทางเฟส	37
4.2.3 การมอดูเลทดิจิตอลทางความถี่	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)	หน้า
4.2.3.1 ชนิดที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบ ฟูลดูเพล็กซ์	39
4.2.3.2 ชนิดที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบ ฮาล์ฟดูเพล็กซ์	40
4.3 วงจรเรโซแนนซ์ ค่าประสิทธิภาพ Q และแบนด์วิดท์	41
4.3.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	41
4.3.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	44
4.4 ค่าประสิทธิภาพ (Q) และแบนด์วิดท์	45
4.5 การกำหนดขอบเขตของค่าประสิทธิภาพ	46
บทที่ 5 การออกแบบและการคำนวณ READER และ TAG	47
5.1 Reader Coil Driver/ Modulator	47
5.2 Demodulator	48
5.3 Tag	48
5.4 การออกแบบ Rectangular Loop Tag Coil 125 kHz	49
5.5 วิธีการคำนวณค่า Coil ในวงจร แท็ก	49
บทที่ 6 โปรแกรมการของติดต่อ	53
6.1 เครื่องอ่าน	53
6.1.1 ส่วนของวงจรของเครื่องอ่าน	53
6.1.2 ส่วนของโปรแกรมเครื่องอ่าน	56
6.2 เครื่องรับ	63
6.2.1 ส่วนของโปรแกรมเครื่องอ่าน	65
บทที่ 7 การทดลอง และ สรุปผล	70
7.1 การทดลอง ในส่วนของเพาเวอร์แอมป์ 125kHz	70
7.2 การทดลอง Tag Voltage Regulator	73
7.3 การทดลองส่งผ่านกำลังจาก Reader TO TAG	75
สรุปผลการทดลอง	77
ภาคผนวก	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex และ Half Duplex	7
รูปที่ 2.2 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย เป็นการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน	10
รูปที่ 2.3 สัญญาณข้อมูลที่ถูกบรรจุอยู่ในไซด์แบนด์ของความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน กับเครื่องลูกข่าย RFID	13
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างวงจรที่ใช้สำหรับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบ Load Modulation with Sub carrier ติดตั้งอยู่ในเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling	14
รูปที่ 2.5 แสดงหลักการทำงานส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย RFID ไปยังเครื่องอ่านโดยใช้เทคโนโลยี Modulated reflection cross-section	16
รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบการสัมผัสของบัตรพลาสติกที่เป็นเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling กับเครื่องอ่าน	18
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างและการทำงานของระบบ RFID แบบ Electrical Coupling	19
รูปที่ 3.1 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877	27
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการจัดขขาของ ไอซี	28
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของ PIN RA3-RA0 และ RA5	30
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมของ PIN RA4/TOCK1	30
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของ PIN RB3-RB0	31
รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของ PIN RB7-RB4	32
รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของพอร์ต C	34
รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมของพอร์ต D	35
รูปที่ 4.1 แสดงรูปการมอดูเลตดิจิตอลทางขนาด	37
รูปที่ 4.2 แสดงการมอดูเลตดิจิตอลทางเฟส	37
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณในแบบ BPSK	38
รูปที่ 4.4 แสดงการมอดูเลตทางดิจิตอล	39
รูปที่ 4.5 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลตแบบ FSK ในการส่งข้อมูลแบบพูลดูเพล็กซ์	39
รูปที่ 4.6 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลตแบบ FSK	40
รูปที่ 4.7 แสดงการประมาณค่าความกว้างแถบของแบบ FSK	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)	หน้า
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	42
รูปที่ 4.9 แสดงวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม	44
รูปที่ 4.10 ค่าประสิทธิภาพกับรูปแบบการมอดูเลต	46
รูปที่ 5.1 Reader Coil Driver/ Modulator	47
รูปที่ 5.2 วงจร Demodulator	48
รูปที่ 5.3 วงจรรวมของ Tag ก่อนที่จะส่งไปยังภาคไมโครคอนโทรลเลอร์	48
รูปที่ 5.4 SQUARE LOOP COIL ของ Tag	49
รูปที่ 7.1 แสดงวงจร เพาเวอร์แอมป์ และวงจร Modulator และวงจรหารความถี่	70
รูปที่ 7.2 ภาพแสดง สัญญาณที่วัดคร่อมขา RL	71
รูปที่ 7.3 ภาพแสดงสัญญาณ 125 kHz ของวงจรหารความถี่	71
รูปที่ 7.4 รูปสัญญาณเปรียบเทียบข้อมูลจาก เครื่องลูกข่าย 1010101010 กับ สัญญาณที่ได้ จาก ภาคคีมอคูเลเตอร์	72
รูปที่ 7.5 รูปสัญญาณเปรียบเทียบข้อมูลจาก เครื่องลูกข่าย 1100000000 กับ สัญญาณที่ได้ จากภาคคีมอคูเลเตอร์	72
รูปที่ 7.6 แสดงวงจร Regulator	73
รูปที่ 7.7 แสดงภาพ TAG ที่ทำการทดลอง	75
รูปที่ 7.8 สัญญาณที่วัดได้จาก COIL TO TAG	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ฟังก์ชันของพอร์ต A	31
ตารางที่ 3.2 ฟังก์ชันของพอร์ต B	33
ตารางที่ 3.3 ฟังก์ชันของพอร์ต C	34
ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพในการพันขดลวด โดยจำนวนรอบที่แตกต่างกัน	52
ตารางที่ 7.1 $R_3 = 15K\Omega$	73
ตารางที่ 7.2 R_3 เป็น LM 334	73
ตารางที่ 7.3 ที่ $RL = 833 \Omega$	74
ตารางที่ 7.4 ที่ $RL = 1.667 K \Omega$	74
ตารางที่ 7.5 ค่า $RL = 860 \Omega$	76



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1ความเป็นมา

เทคโนโลยี RFID หรือในชื่อเต็มว่า Radio Frequency Identification เป็นเทคโนโลยีที่มีการผสมผสานศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าหลาย ๆ ประการเข้าด้วยกัน ว่าจะเป็นการสื่อสารโดยใช้คลื่นวิทยุ, การส่งพลังงานผ่านคลื่นวิทยุโดยใช้เทคโนโลยีของเรดาร์ , เทคโนโลยีโทรคมนาคม ซึ่งผลที่ได้ทำให้เกิดนวัตกรรมใหม่ทางเทคโนโลยีสำหรับการแสดงตัวตนโดยไม่ใช้การสัมผัส ที่พลิกโฉมสังคมมนุษย์ไปอย่างสิ้นเชิงสิ่งที่เริ่มมีกระแสตอบรับอย่างกว้างขวางในแทบทุกภาคธุรกิจทั่วโลก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

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

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.สามารถทำงานในระยะใกล้ๆ ประมาณ 0-5 เซนติเมตร
- 2.เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานระบบเทคโนโลยี Auto-ID
3. สามารถรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย
4. เครื่องอ่านสามารถอ่านข้อมูลได้เที่ยงตรง
5. ไม่มีผลกระทบที่เกิดจากสิ่งสกปรก ทำให้มีผลต่อการอ่านข้อมูลได้
6. มีความเร็วในการอ่านข้อมูล

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. สามารถรับและแสดงข้อมูล ออกมาจากเครื่องอ่านได้
2. ส่งถ่ายกำลังงานไปยังเครื่องลูกข่าย โดยที่เครื่องลูกข่ายสามารถทำงานได้
- 3.เครื่องลูกข่ายสามารถทำงานได้ในระยะใกล้ๆ ประมาณ 0-5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ (RFID) ย่อมาจาก Radio Frequency Identification เป็นระบบแสดงตัวตนผ่านของวัตถุ ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปีค.ศ. 1980 เพื่อวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำไปใช้งานแทนระบบบาร์โค้ด (Barcode) โดยจุดเด่นของระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ ก็อยู่ตรงการอ่านข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย (Tag) ได้หลายๆ เครื่องลูกข่ายแบบไร้สัมผัส และสามารถ อ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทกและสามารถจะอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ในเครื่องลูกข่าย

2.1 ส่วนประกอบของระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ

ในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ จะมีองค์ประกอบหลักๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือเครื่องลูกข่าย ที่ใช้ติดกับวัตถุต่างๆ ที่เราต้องการ โดยเครื่องลูกข่ายที่ว่าจะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ เอาไว้ ส่วนที่สองก็คือเครื่องสำหรับอ่านหรือเขียน(Reader) ข้อมูลภายในเครื่องลูกข่ายด้วย คลื่นความถี่วิทยุ เพื่อความเข้าใจจึงขอเปรียบเทียบกับระบบบาร์โค้ด เพื่อให้เห็นภาพชัดเจน เครื่องลูกข่าย ในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ ก็คือ ตัวบาร์โค้ดที่ติดกับฉลากของสินค้าและเครื่องอ่านในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ ก็คือเครื่องอ่านบาร์โค้ด (Scanner) โดยข้อแตกต่างของทั้งสองระบบคือระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุจะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่านหรือเขียนส่วน ระบบรหัสแท่งจะใช้แสงเลเซอร์ในการอ่าน โดยข้อเสียของระบบบาร์โค้ด คือหลักการ อ่านเป็น การใช้แสงในการอ่านรหัสแท่งซึ่งจะต้องอ่านรหัสแท่งที่ไม่มีอะไรปกปิดหรือต้องอยู่ใน เส้นตรงเดียวกับลำแสงที่ยิงจากเครื่องสแกน และอ่านวัตถุได้ที่ละชิ้น ในระยะใกล้ๆ แต่ระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุจะแตกต่าง โดยสามารถอ่านเครื่องลูกข่ายได้ โดยไม่ต้องเห็นเครื่องลูกข่าย หรือเครื่องลูกข่ายนั้นซ่อนอยู่ภายในวัตถุและไม่จำเป็นต้องอยู่ในเส้นตรงกับคลื่น เพียง อยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้ และการอ่านเครื่องลูกข่ายในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุยังสามารถอ่านได้หลายๆ เครื่องลูกข่ายในเวลาเดียวกัน

2.1.1 เครื่องลูกข่าย

โครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ขดลวดขนาดเล็ก ซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ(Antenna)สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของไมโครชิพ (Microchip) ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุเช่นรหัสสินค้า โดยทั่วไปตัวเครื่อง ลูกข่ายอาจอยู่ในชนิดทั้งเป็น กระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างต่างๆ กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำมาไปติด และมีหลายรูปแบบ เช่น ขนาดเท่าบัตรเครดิต เหรียญ กระดุม ฉลากสินค้า แคปซูล เป็นต้น แต่โดยหลักการออกแบบเครื่องลูกข่าย ที่มีใช้งานกันอยู่นั้นจะมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ๆ โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในเรื่องของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและ หลักการทำงาน ซึ่งจะขอลำถึงและอธิบายแยกเป็นหัวข้อดี

2.1.1.1 เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag)

เครื่องลูกข่ายชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้เครื่องลูกข่ายทำงาน โดยปกติ โดยเครื่องลูกข่ายชนิดนี้มีฟังก์ชันการทำงานทั่วไปทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในเครื่องลูกข่ายได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำแท็กเข้าไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (seal) ที่ตัวเครื่องลูกข่ายจึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของเครื่องลูกข่ายให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟนี้จะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกลสูงสุดถึง 6 เมตร ซึ่งไกลกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แม้เครื่องลูกข่ายชนิดนี้จะมีข้อคืออยู่หลายข้อแต่ก็มีข้อเสียอยู่ด้วยเหมือนกัน เช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด

2.1.1.2 เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)

จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายในหรือไม่จำเป็นต้องรับแหล่งจ่ายไฟใด ๆ เพราะจะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว)หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ Transceiver จึงทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตร ซึ่งเป็นระยะการอ่านที่สั้น มีหน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่าน

ข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟเป็นที่นิยมมากกว่า ไอซีของเครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ ไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน

2.1.2 ประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID

อุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID ประเภทต่างๆ ที่มีการผลิตใช้งานในกิจการต่างๆ ในปัจจุบัน โดยแยกกล่าวตามความแตกต่างของโครงสร้างและการออกแบบเป็นสำคัญตามด้วยตัวอย่างประเภทของการประยุกต์ใช้งาน

2.1.2.1 เครื่องลูกข่ายแบบจานและเหรียญ (Disk and coin)

เครื่องลูกข่ายจะถูกบรรจุอยู่ในโครงสร้างทรงกลมคล้ายจานหรือเหรียญและมีการเคลือบป้องกันไว้เป็นอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องลูกข่ายชนิดนี้มีตั้งแต่ไม่กี่มิลลิเมตร ไปจนถึง 10 เซนติเมตร

2.1.2.2 เครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว (Glass housing)

เป็นเครื่องลูกข่ายที่ได้รับการพัฒนาและผลิตขึ้นสำหรับใช้ฝังไว้ใต้ผิวหนังของสัตว์เพื่อใช้ในการติดตามข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแวดวงสัตวศาสตร์และการสาธารณสุข ตัวกระเปาะแก้วมีขนาดความยาวในช่วง 12-32 มิลลิเมตร

2.1.2.3 เครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก (Plastic housing)

นิยมเรียกกันในชื่อย่อว่า PP (Plastic Package) ได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในกิจการอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีความต้องการเฉพาะรูปแบบ เครื่องลูกข่ายแบบนี้มีขนาดบางและสามารถนำไปติดตั้งประกอบกับผลิตภัณฑ์หลายๆ ประเภทที่พบเห็นทั่วไปก็คือการนำเครื่องลูกข่ายแบบ PP ติดตั้งฝังอยู่กับพวงกุญแจรถยนต์ในลักษณะของพวงกุญแจอัจฉริยะ (Electronic immobilization system)

2.1.2.4 เครื่องลูกข่ายสำหรับใช้เฉพาะกิจ

เป็นเครื่องลูกข่าย RFID อีกประเภทหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ สำหรับใช้งานในกรณีเฉพาะกิจ โดยมีการคิดค้นและพัฒนาเพื่อบรรจุเครื่องลูกข่ายลงในโครงสร้างและหน้าสัมผัสที่เป็นโลหะ

2.1.2.5 เครื่องลูกข่ายแบบพวงกุญแจ (Key and Key fob)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องลูกข่าย RFID สามารถได้รับการพัฒนาให้อยู่ในรูปของกฎเฉพาะพิเศษที่ใช้ในการเปิดปิดประตู หรือใช้กับระบบรักษาความปลอดภัยต่างๆ ซึ่งพวกกฎเฉพาะอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้ไม่มีกฎเฉพาะ แต่กลับทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณข้อมูลต่างๆ ซึ่งอาจมีการนำเข้ารหัสเพื่อใช้ในการยืนยันตัวตนบุคคล

2.1.2.6 เครื่องลูกข่ายแบบนาฬิกา

เครื่องลูกข่ายแบบนาฬิกาได้รับการคิดค้นและพัฒนาตั้งแต่ พ.ศ. 2533-2535 โดยบริษัทสัญชาติออสเตรียที่มีชื่อว่า Sky-Data โดยผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นนาฬิกาสวมใส่ข้อมือและใช้เป็นอุปกรณ์แสดงตัวตนในลักษณะช่องเซ็นเซอร์แบบไร้การสัมผัส (Contact less sensor) เพื่อผ่านเข้าสู่จุดเล่นสกีสำหรับนักสกีทั้งหลาย

2.1.2.7 เครื่องลูกข่ายมาตรฐาน ID-1 และ Smartcard แบบไร้การสัมผัส

เครื่องลูกข่ายแบบ ID-1 มีรูปลักษณ์ภายนอกไม่ต่างจากบัตรเครดิตหรือบัตรโทรศัพท์ทั่วไป โดยมีขนาดประมาณ 85.72 คูณ 54.03 มิลลิเมตร ความหนา 0.76 มิลลิเมตร เป็นเครื่องลูกข่ายที่ได้รับการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ด้วยคุณสมบัติพิเศษก็คือระยะทำการรับส่งสัญญาณที่เหนือกว่าเครื่องลูกข่ายแบบอื่นๆ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากพื้นที่หน้าตัดที่กว้างมากของตัวบัตร ทำให้สามารถจัดวางระบบสายอากาศที่มีแกนขนาดใหญ่ช่วยเพิ่มรัศมีทำการขึ้นได้อีกมาก

2.1.2.8 เครื่องลูกข่ายแบบ Smart label

เป็นเครื่องลูกข่าย RFID บางที่สุดที่ได้รับการออกแบบเป็นกระดาษบางๆ สามารถงอหรือทาบได้ โดยขดลวดสำหรับรับส่งสัญญาณจะถูกออกแบบเป็นแถบพอลิฟอสฟอริกความหนาเพียง 0.1 มิลลิเมตร โดยใช้ขบวนการผลิตแบบพิมพ์สกรีน โคนทั่วไปแถบพอลิเหล่านี้จะถูกเคลือบชั้นหนึ่งโดยเยื่อกระดาษและทับอีกชั้นหนึ่งด้วยสารยึดเกาะ เพื่อป้องกันการฉีกขาด

2.1.2.9 เครื่องลูกข่ายแบบขดลวดบนชิป (Coil-on-chip)

เครื่องลูกข่าย RFID ชนิดนี้มีความแตกต่างจากเครื่องลูกข่ายแบบอื่นๆ ซึ่งมีการแยกส่วนระหว่างเครื่องลูกข่ายกับขดลวดหรือสายอากาศอย่างชัดเจน แต่สำหรับเครื่องลูกข่ายแบบขดลวดบนชิปนั้นจะรวมส่วนที่เป็นขดลวดสายอากาศและตัววงจรประมวลผลเข้าด้วยกัน

2.2 เครื่องอ่าน (Reader)

โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือการเชื่อมต่อเพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลลงในเครื่องลูกข่ายด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วย เสาอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับ ส่งสัญญาณภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล จำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปเครื่องอ่านจะประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาครับสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

โดยทั่วไปหน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในโปรแกรม จะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล(Decoding) ที่ได้รับ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะขนาด และรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็กหรือติดผนัง จนถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size)

2.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์ระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ

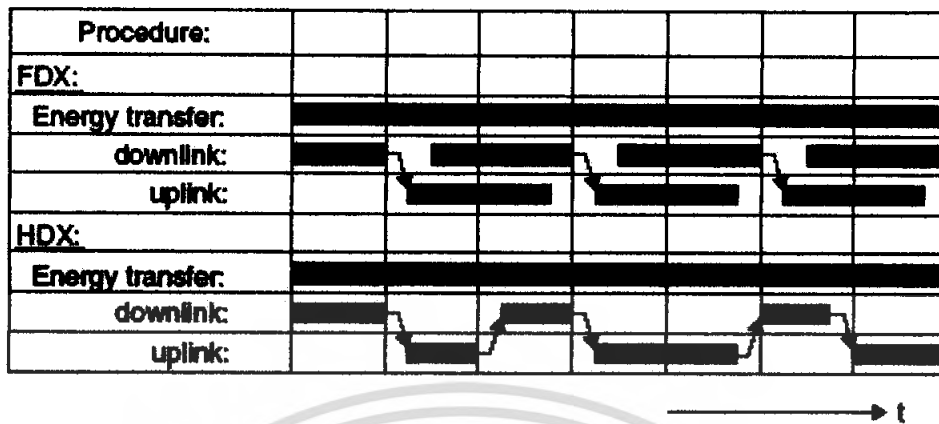
2.3.1 ลักษณะการทำงาน (Operation type)

อุปกรณ์ระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ (RFID) ทั้งเครื่องลูกข่าย (Transponder) หรือเครื่องอ่าน (Reader) จะมีรูปแบบการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งระหว่างการรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex (FDX) / Half Duplex (HDX)

2.3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex (FDX)

เครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณข้อมูลออกตลอดเวลา ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านทางคลื่นวิทยุ ไปจ่ายให้กับเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในบริเวณการใช้งานด้วย และเนื่องจากความแรงของคลื่นสัญญาณความถี่วิทยุที่เครื่องลูกข่ายส่งออกมามีกำลังส่งต่ำ ทำให้มีแนวโน้มว่าสัญญาณอาจส่งไปไม่ถึงเครื่องอ่าน หรืออาจส่งไปถึงแต่มีระดับสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ด้วย เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นของตนเองทำให้ส่งสัญญาณออกมาได้สูงกว่าดังนั้นจึงต้องมีมาตรการในการสร้างความแตกต่างของสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีการส่งออกมาจากเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่อง ให้มีเอกลักษณ์ (Identity) ที่แตกต่างกัน เพื่อให้เครื่องอ่านสามารถแยกแยะแหล่งที่มาได้อย่างถูกต้อง โดยใช้มอดูเลตสัญญาณแบบ Load Modulation ซึ่งการสื่อสารแบบ Full Duplex เครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่ายได้ตลอดเวลา การส่งสัญญาณจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย (Downlink) และการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกับมายังเครื่องอ่าน (Uplink) สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex และ Half Duplex

2.3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ Half Duplex (HDX)

การสื่อสารแบบ Half Duplex เครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา ซึ่งการส่งสัญญาณจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย (Downlink) และการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังเครื่องอ่าน (Uplink) จะต้องมีการกำหนดจังหวะผลัดการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ดังรูปที่ 2.1

2.3.2 ขนาดข้อมูล (Data quantity)

โดยทั่วไปอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID จะมีขนาดของหน่วยความจำ หรือที่นิยมเรียกกันว่าขนาดความจุข้อมูล (Data capacity) ไล่ขนาดตั้งแต่ไม่กี่ไบต์ไปจนถึงหลายๆ กิโลไบต์ ตัวอย่างเครื่องลูกข่าย RFID อีกกลุ่มหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาให้มีขนาดความจุเพียง 1 บิต (1-bit transponder) ซึ่งเครื่องลูกข่ายแบบนี้มักมีราคาประหยัดและมีจุดประสงค์ในการนำไปใช้งานเพียงเพื่อการแจ้งสถานะภาพเท่านั้น

2.3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)

การจำแนกประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID ตามขีดความสามารถในการโปรแกรมข้อมูล สามารถแบ่งออกได้เป็นเครื่องลูกข่ายที่ไม่สามารถโปรแกรมได้ ซึ่งภายในจะมีการเขียนข้อมูลที่อาจเป็นรหัสเลขหมายใดๆ ตามที่ใครรับคำสั่งจ้างทำมาตั้งแต่สายการผลิตและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ อีกประเภทหนึ่งเป็นเครื่องลูกข่าย RFID ที่สามารถทำการโปรแกรมข้อมูลผ่านทางเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ่านได้ การจัดการลำดับคำสั่ง (Sequence) ในกรณีของเครื่องลูกข่ายที่สามารถโปรแกรมได้นั้น ก็มีเทคนิคที่ใช้ในการจัดการประมวลผลข้อมูลให้เล็กลงพิจารณาเป็นเรื่องทางเทคนิค

2.3.4 แหล่งพลังงาน (Power supply)

เป็นคุณสมบัติทางเทคนิคที่มีความสำคัญมากในการพิจารณาเลือกใช้เครื่องลูกข่าย RFID ทั้งนี้สามารถจำแนกประเภทของเครื่องลูกข่ายออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แบบพาสซีฟ (Passive transponder) ซึ่งเป็นเครื่องลูกข่ายที่ไม่ต้องการแหล่งจ่ายไฟบรรจุไว้ภายในตัว แต่จะอาศัยการแปลงสัญญาณพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องอ่านมาเป็นไฟเลี้ยงเพียงอย่างเดียว กับอีกประเภทหนึ่ง คือ แบบแอคทีฟ (Active transponder) ซึ่งต้องการระบบจ่ายไฟภายในเครื่องลูกข่ายเพื่อใช้ป้อนจ่ายให้กับชิปประมวลผลที่ติดตั้งอยู่ภายใน

2.3.5 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency range)

ความหมายของความถี่ใช้งาน (Operating Frequency) ในมาตรฐาน RFID นั้นจะหมายถึงคลื่นความถี่วิทยุที่เครื่องอ่านทำการส่งออกไปเท่านั้น โดยจะไม่สนใจว่าเครื่องลูกข่ายจะส่งคลื่นความถี่ในย่านใดตอบกลับมา ยิ่งในบางกรณีเครื่องลูกข่ายอาจมีการส่งคลื่นความถี่กลับมาเป็นค่าความถี่เดียวกับที่เครื่องอ่านส่งออกไป โดยแยกแยะความแตกต่างกันด้วยเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ Load modulation ประเด็นของคลื่นความถี่จากเครื่องลูกข่ายจึงไม่ใช่สาระสำคัญในการนำมาพิจารณา ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ จะอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสาร โดยทั่วไปมีความถี่ใช้งาน สำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุแบ่งออกได้เป็น 3 ย่าน หลักได้แก่

- ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency : LF) ต่ำกว่า 150 kHz
- ย่านความถี่สูง (High Frequency : HF) 13.56 MHz
- ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) 433/868/915 MHz

ในแง่การใช้งาน 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ (LF ระยะอ่านประมาณ 10-20 เซนติเมตร และ HF ระยะอ่านประมาณ 1 เมตร) เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่ การตรวจหาและเก็บประวัติในสัตว์ ส่วนย่าน UHF จะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (UHF ระยะอ่านประมาณ 1-10 เมตร) เช่น ระบบเก็บค่าบริการทางด่วน และในปัจจุบันระบบ RFID กำลังถูกวิจัยและพัฒนาในย่านความถี่ไมโครเวฟที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

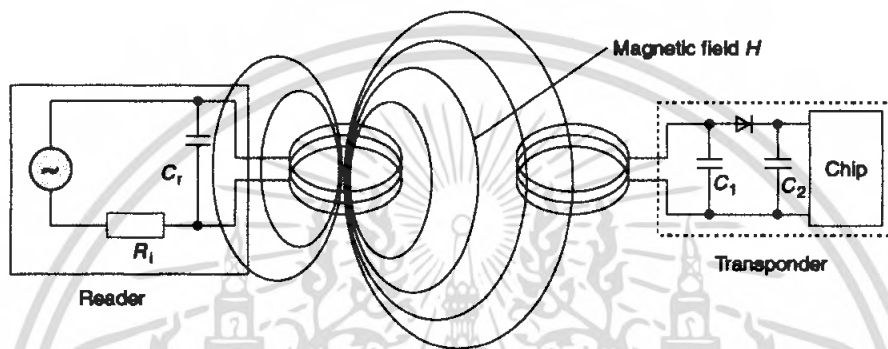
ความถี่ 2.4 GHz และความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้งานที่ต้องการระยะอ่านที่ไกลกว่า 10 เมตรเป็นต้นในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้วระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด และมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วนระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุที่ใช้คลื่นพาหะในอีก 2 ย่านความถี่แรกจะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่นกันไป

2.3.6 วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน

โดยมากมักจะใช้วิธีการมอดูเลตทางแอมพลิจูดหรือใช้การมอดูเลตทางแอมพลิจูดบวกกับการเข้ารหัสแมนเชสเตอร์ (Manchester encoded AM) แต่ทว่าในปัจจุบันก็มีเครื่องลูกข่ายที่ใช้การมอดูเลตแบบอื่นๆ ด้วย เช่น การมอดูเลชันแบบเฟสชิฟต์คีย์อิง (Phase Shift Keying : PSK) เฟรียควเ็นซี ชิฟต์คีย์อิง (Frequency Shift Keying : FSK) หรือการใช้การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation : FM) ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน จะได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้งาน เช่น เมื่อความถี่ใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ความยาวของเสาอากาศ (เป็นเส้นตรง) ที่เหมาะสมก็คือ 22.12 เมตร แน่แน่นอนว่าในทางปฏิบัติคงไม่สามารถนำเสาอากาศที่ใหญ่ขนาดนั้นมาใช้งานกับเครื่องลูกข่ายขนาดเล็กได้ สายอากาศที่ดูจะเหมาะสมจะใช้ร่วมกับเครื่องลูกข่ายมากที่สุดก็คือ สายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็กหรือที่มีชื่ออย่างเป็นทางการว่าสายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (Magnetic dipole Antenna) รูปแบบของสายอากาศแบบนี้จะมีอยู่หลากหลายทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันแกนอากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เป็นวงรูปที่ทำขึ้นจากลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้งที่เป็นรูปแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะและประเภทของงานด้วยเช่นกันนอกจากการรับส่งข้อมูลแล้วสายอากาศก็ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่องลูกข่ายด้วย โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของไมเคิล ฟาราเดย์ เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็ก (จากเครื่องอ่าน) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของเครื่องลูกข่าย เมื่อเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันในระยะ 0.16 เท่าของความยาวของคลื่นพาหะที่ใช้ เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า Transformer-type Coupling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์แบบเดียวกับการเกิดแรงดัน ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ในทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Transformer) จะเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของเครื่องลูกข่าย

2.4 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Inductive Coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็ก โครงสร้างของเครื่องลูกข่าย ประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือชิปที่เก็บบันทึกข้อมูลต่างๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ



รูปที่ 2.2 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย เป็นการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน

2.4.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย

เนื่องจากการทำงานของเครื่องลูกข่ายนั้นเป็นแบบพาสซีฟ (Passive operation) คือไม่มีแหล่งพลังงานภายในเป็นของตัวเอง จึงจำเป็นต้องรับพลังงาน (Energy) มาจากเครื่องอ่านโดยตรง ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่าน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ก่อดังสูงสามารถแพร่กระจายไปในพื้นที่ใช้งาน และสามารถตกกระทบขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้อย่างเหมาะสม ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกจากรีดเดอร์นั้นมีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ซึ่งโดยทั่วไปวางห่างกันในหลักไม่มากนัก

เทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling ส่วนใหญ่ใช้ความถี่ต่ำเพียง 125 kHz หรืออาจจะต่ำกว่า ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีความยาวคลื่นสูงมากถึง 2,400 เมตร จึงไม่มีปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไปจนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบนหรือถูกกลทอนจากผนังอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ หากพิจารณาถึงพื้นที่ใช้งานโดยทั่วไปที่มีได้ไกลหรือกว้างมากนัก

สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะตกกระทบขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่าย ก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อนๆ ขึ้นบนขดลวด ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากระบวนการเรกติไฟร์ โดยตัวเก็บประจุและไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับอุปกรณ์ชิป การออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ C1 ซึ่งจะต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด L เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่กำทอน (Resonant frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องลูกข่าย เปรียบเทียบการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองในรูปที่ 2.4 จะเทียบได้กับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวด 2 ชุด แต่ขดลวดทั้งสองมิได้พันอยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกัน กลายเป็นใช้อากาศซึ่งมีคุณสมบัติในการนำพาสัญญาณที่เลวร้ายกว่าแกนแม่เหล็กมากๆ

ดังนั้นในการออกแบบระบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่าน และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่เครื่องลูกข่าย มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย

เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงมากขึ้น จะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงใช้จำนวนรอบในการพันลดลงเช่นกัน ตัวอย่างเช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 125 kHz จะต้องมีการพันขดลวดสายอากาศที่เครื่องลูกข่ายในช่วง 100-1,000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 MHz ก็จะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวดจะเหลือเพียง 3-10 รอบเท่านั้น ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายลงได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จะส่งผลให้แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่สูงลดลงเมื่อเทียบกับการใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ทำให้จำกัดระยะทางในการใช้งานมากขึ้น การเลือกใช้อุปกรณ์ Inductive Coupling จึงต้องพิจารณาทั้งขนาดของเครื่องลูกข่ายและระยะทางที่ต้องการใช้งานตรวจจับเป็นสำคัญ เพื่อใช้กำหนดเลือกย่านความถี่ที่เหมาะสมของอุปกรณ์ใช้งาน

สิ่งที่พึงให้ความสนใจเกี่ยวกับการออกแบบระบบ RFID แบบ Inductive Coupling ก็คือพฤติกรรมการกินกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ชิปที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องลูกข่าย เนื่องจากค่อนข้างมีความหลากหลายและสัมพันธ์กับรูปแบบในการนำไปประยุกต์ใช้งาน การเลือกค่าความถี่พื้นฐานในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายระยะทางพื้นที่ใช้งาน และขนาดของอุปกรณ์อื่นเนื่องมาจากจำนวนรอบของขดลวดสายอากาศ จึงจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับประเภทของการใช้งานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

2.4.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องรูดข้ายมายังเครื่องอ่าน

มาตรฐาน RFID แบบ Inductive Coupling กำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลจากเครื่องรูดข้ายมายังเครื่องอ่าน หรือ Uplink Communication โดยใช้เทคโนโลยีที่เป็นการส่งกระจายคลื่นความถี่วิทยุคือ Load Modulation จะมีหลักการทำงานดังนี้

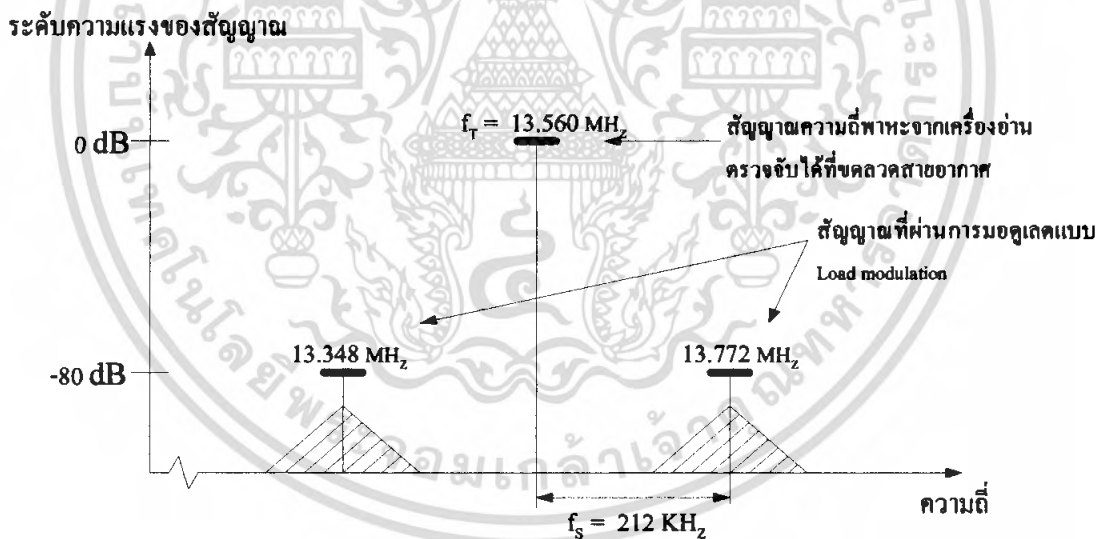
2.4.2.1 เทคโนโลยี Load Modulation

พฤติกรรมในการส่งพลังงานและสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและขดลวดของเครื่องรูดข้ายมีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากการทำงานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่อย่างใด หากแต่เพียงตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานเป็นอากาศไม่ใช่โลหะหรือแท่งแม่เหล็กคังเช่นที่พบเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป แต่การใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดทั้งสองนั้น จะทำได้ก็ต่อเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและเครื่องรูดข้ายห่างกันไม่เกิน 0.16 เท่าของค่าความยาวคลื่น ($\frac{\lambda}{2\pi}$) ซึ่งหากใช้ความถี่ที่ใช้ความถี่ในย่าน 125 kHz ที่มีความยาวคลื่น 2,400 เมตร ก็จะหมายความว่า จะวางเครื่องรูดข้ายกับเครื่องอ่านห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน 0.16 คูณ 2,400 = 384 เมตร

หากมีการนำเครื่องรูดข้ายซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ (LC) ตรงกันกับค่าความถี่เรโซแนนซ์ของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่มีการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน เครื่องรูดข้ายย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้ว เครื่องอ่านจะมองเห็นเครื่องรูดข้ายเป็นโหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ ZT ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน การเปลี่ยนแปลงใดๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ ZT ที่เครื่องอ่านอย่างแน่นอน เนื่องจากในแง่ของวงจร เรโซแนนซ์ ที่เกิดจากขดลวด (L) และตัวเก็บประจุ (C) บนเครื่องรูดข้าย ย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ตกกระทบ และ ไม่มีการจ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับค่าความถี่เท่ากับศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เสมือน ZT นี้ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน โดยปริยาย ซึ่งเป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลจากเครื่องรูดข้ายมา เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Load Modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half Duplex หรือ Full Duplex นั้นขึ้นอยู่กับกรออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณซึ่งเป็นเรื่องที่ลงรายละเอียดไปในการออกแบบ

2.4.2 เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier

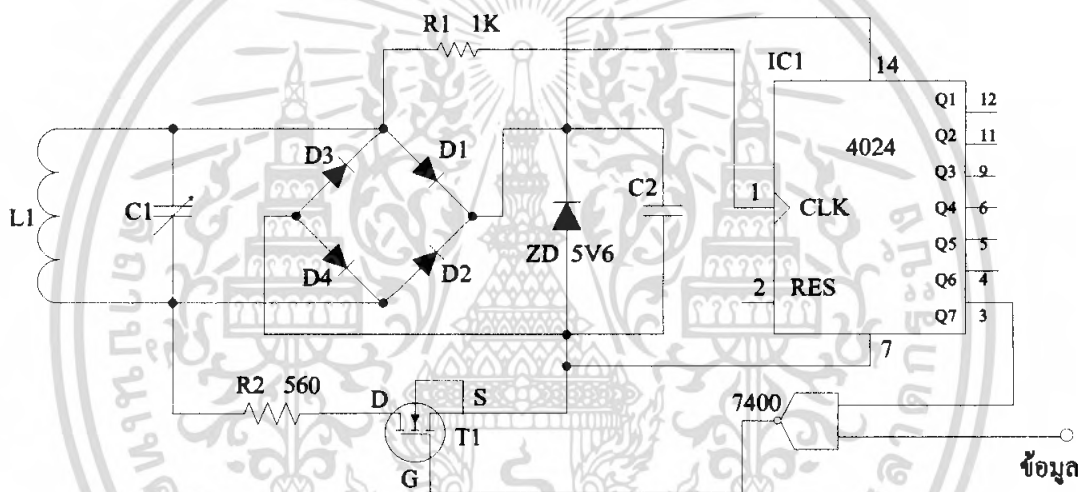
เนื่องจากระดับความสามารถในการถ่ายทอด (Coupling) สัญญาณระหว่างขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่าย และเครื่องอ่านค่อนข้างต่ำ การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันสัญญาณที่เกิดขึ้นบนขดลวดของเครื่องอ่าน อันมีผลมาจากการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย ย่อมอยู่ในระดับที่ต่ำมากจนบางครั้งอาจไม่สามารถตรวจจับได้ เป็นผลให้เกิดปัญหา ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน หากคิดในแง่ของการออกแบบ วงจรเพื่อตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ก็ต้องกล่าวว่า สัญญาณดังกล่าวมีระดับความแตกต่าง ระหว่างตัวสัญญาณจริงกับสัญญาณรบกวนต่ำมาก การใช้เทคโนโลยี Load Modulation โดยทั่วไปย่อมมีโอกาสตรวจจับข้อมูล ได้ผิดพลาดง่ายมาก จึงเป็นที่มาของการออกแบบเทคนิคการตรวจจับข้อมูลแบบ Load Modulation with sub carrier ซึ่งมีหลักการคล้ายคลึงกับการรับส่งวิทยุ AM ในวงจรภายในเครื่องลูกข่าย จะทำการมอดูเลตสัญญาณ ทำให้ปรากฏคลื่นความถี่ไซด์แบนด์ หรือความถี่ข้างเคียงอันมีค่าเท่ากับ $f_r \pm f_s$ โดย f_r คือ ความถี่ในการติดต่อสื่อสาร ระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 สัญญาณข้อมูลที่ถูกบรรจุอยู่ในไซด์แบนด์ของความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน กับเครื่องลูกข่าย RFID

เมื่อเป็นเช่นนี้ การตรวจจับสัญญาณที่ปรากฏบนเครื่องอ่านก็จะง่ายมากขึ้น โดยเพียงแค่ทำการติดตั้งอุปกรณ์แยกกรองความถี่ (Band pass filter) ที่ขดลวดของเครื่องอ่าน โดยสามารถเลือกเฉพาะสัญญาณในไซด์แบนด์ด้านใดด้านหนึ่งที่ต้องการ จากนั้นจึงนำสัญญาณที่กรองออกมาทำการขยายแล้วทำการดีมอดูเลตก็จะได้สัญญาณข้อมูลที่ส่งออกมาจากเครื่องลูกข่าย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความถี่ในการส่งข้อมูล จากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน ทำให้ต้องมีการกันแบนด์วิดท์

สำหรับการรับส่งข้อมูลไว้ก่อนข้างสูง ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.4 ซึ่งต้องกันแบนด์วิดธ์รอบความถี่ พื้นฐานมากถึง 212 กิโลเฮิร์ตซ์ ทำให้ไม่สามารถใช้เทคโนโลยีนี้ ได้กับ ระบบ RFID ที่ใช้ความถี่ต่ำ ในการสื่อสารข้อมูลได้ ข้อกำหนดมาตรฐาน RFID ระบุว่าสามารถใช้เทคโนโลยีดังกล่าว ได้เฉพาะ กับมาตรฐาน RFID แบบ Inductive Coupling ที่ความถี่ 6.78 MHz , 13.56MHz และ 27.125 MHz เท่านั้น รูปที่ 2.5 เป็นตัวอย่างวงจรจริงที่ใช้ในการ สร้างสัญญาณ ไซค์เบนค์ บนอุปกรณ์เครื่องถูก ข่าย



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างวงจรที่ใช้สำหรับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบ Load Modulation with Sub carrier ติดตั้งอยู่ในเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling

2.4.2.3 เทคโนโลยี Subharmonic Procedure

เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในกรณีที่ใช้งานระบบ RFID ในย่านความถี่ต่ำ และไม่สามารถ นำเทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier มาใช้งานได้ เทคโนโลยีเป็นการนำสัญญาณข้อมูลที่ เครื่องลูกข่ายต้องการส่งกลับไปยังเครื่องอ่านมาทำการป้อนผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการทำงาน แบบไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อทำให้เกิดการกระจายสัญญาณออกเป็นสัญญาณฮาร์โมนิกย่อยๆ หรืออาจใช้ การป้อนกลับสัญญาณที่ต้องการจะส่งออกไปผ่านวงจรหารความถี่เพื่อให้เกิดสัญญาณข้อมูลที่บรรจุ ข้อมูลข่าวสารเหมือนสัญญาณต้นฉบับ แต่มีความถี่ลดลง 2 เท่า จึงนำสัญญาณใหม่ที่มีความถี่ต่ำลงนี้ ไปผ่านเข้าสู่วงจรภาคมอดูเลตสัญญาณ เพื่อป้อนเข้าสู่ขดลวดของเครื่องลูกข่าย ให้มีการส่งผ่านอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับไปยังเครื่องอ่าน โดยทั่วไปแล้วมักนิยมใช้เทคโนโลยี Subharmonic Procedure กับระบบ RFID ที่ย่านความถี่ 128 KHz ซึ่งย่อมาหมายความว่าเครื่องลูกข่ายชนิดนี้จะส่งสัญญาณข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่านที่ความถี่ครึ่งหนึ่งคือ 64 KHz การแยกแยะสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายกับแรงดันไฟฟ้าที่ล้นปรากฏขึ้นที่ขดลวดสายอากาศของเครื่องรับสามารถทำได้ง่าย โดยการใช้วงจรแยกกรองความถี่เช่นเดียวกับในกรณีของเทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier

2.5 เทคโนโลยี Electromagnetic backscatter Coupling

เริ่มต้นจากการพิจารณาสมการอธิบายพฤติกรรมการแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุ โดยสมมติให้ตัวกลางในการส่งกระจายเป็นอากาศเปิด ซึ่งมีค่าการลดทอนสัญญาณแบบมาตรฐาน หรือ free space path loss แทนค่าเป็น aF โดยค่าการลดทอนสัญญาณแปรผันโดยตรงกับระยะทาง r ระหว่างสายอากาศของเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน อัตราขยายกำลัง (GT) ของสายอากาศเครื่องลูกข่าย อัตราขยายกำลัง (GR) ของสายอากาศเครื่องอ่าน และความถี่ f ที่ใช้งาน ตามสมการต่อไปนี้

$$aF = -147.6 + 20 \log (r) + 20 \log (f) - 10 \log (GT) - 10 \log (GR)$$

เมื่อนำสมการดังกล่าวมาคำนวณง่าย ๆ โดยประเมินว่าชิปที่อยู่ภายในเครื่องลูกข่ายจะทำงานได้โดยปกติต้องได้รับพลังงานไฟฟ้าป้อนเข้าประมาณ $5 \mu W$ หากคิดว่าวงจรเรกติไฟร์ซึ่งทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาจากคลื่นความถี่ที่รับได้ สายอากาศของเครื่องลูกข่ายมีเสถียรภาพในการกรองไฟ (หมายความว่า เชื่อใจได้ว่ากรองได้ราบเรียบมากน้อยเพียงใด) ประมาณ 5 – 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำงานในย่านความถี่ UHF และไมโครเวฟ และคิดว่ามีความสูญเสียในระบบกรองแรงดันไฟฟ้าของเครื่องลูกข่าย 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าปกติ ก็เท่ากับว่าจะต้องมีพลังงานไฟฟ้ามาปรากฏอยู่ที่สายอากาศของเครื่องลูกข่าย (P_r) อย่างน้อย $50 \mu W$ ซึ่งเมื่อคิดย้อนสมการกลับไปคำนวณหาค่าพลังงานที่จะต้องส่งออกมาจากสายอากาศของเครื่องรับ (P_t) ก็จะพบว่า มีค่าเท่ากับ 0.5 วัตต์ เป็นอย่างน้อย ซึ่งการที่จะสรุปว่าระบบ RFID จะทำงานได้โดยเสถียรภาพนั้น จะต้องอยู่บนเงื่อนไขที่ว่าค่าการลดทอนสัญญาณของอากาศที่ใช้เป็นตัวกลางไม่ควรจะมีค่าเกินกว่า 40 dB (คำนวณจาก $P_r/P_t = 10 \log (10,000 / 1)$)

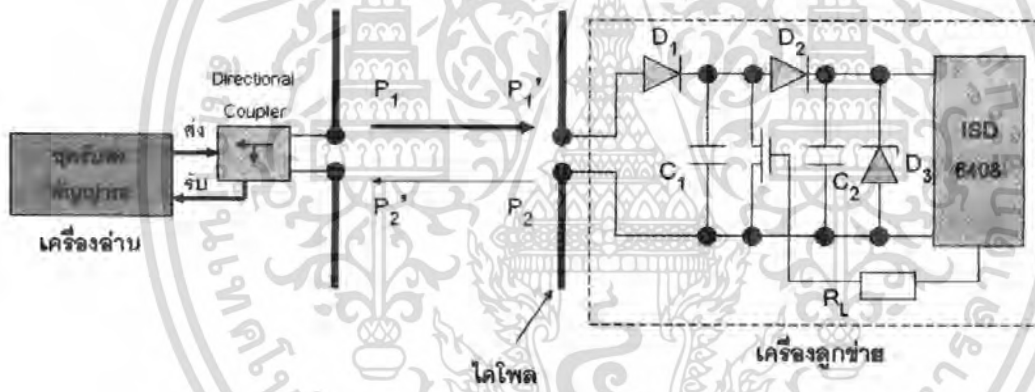
2.5.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

การใช้คลื่นความถี่ย่านต่าง ๆ ในการรับส่งสัญญาณระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน RFID นั้น มีข้อจำกัดในเรื่องระยะทาง ซึ่งจะต้องควบคุมมิให้ค่าการลดทอนสัญญาณของอากาศมีเกินกว่า 40 dB นั้นหมายความว่า หากใช้ความถี่ย่าน 868 MHz ระยะห่างสูงสุดที่ยอมให้มีได้ระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน RFID จะต้องไม่เกินกว่า 3 เมตร และหากใช้ความถี่สูงขึ้นเป็น 2.45 GHz ระยะทางก็จะลดลงเป็นไม่เกิน 1 เมตร ซึ่งในทางปฏิบัติถือว่าเป็นเรื่องเสี่ยงมาก เนื่องจากมีการ

ประยุกต์ใช้งานระบบ RFID ที่ต้องการระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องรับมากกว่าค่าดังกล่าว

2.5.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

เทคนิคที่ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับไปยังเครื่องอ่านในกรณีนี้จะใช้เทคโนโลยีที่มีชื่อว่า Modulated reflection cross-section ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเดียวกันกับที่ใช้ในวงการเรดาร์ ซึ่งโดยหลักการทั่วไปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งไปกระทบกับวัตถุต่าง ๆ จะสะท้อนกลับมายังเครื่องส่งได้ หากวัตถุนั้นมีขนาดใหญ่กว่าครึ่งหนึ่งของค่าความยาวคลื่น ส่วนที่ว่าจะสะท้อนได้ดีมากหรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการสะท้อนสัญญาณ หรือ reflection cross-section ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับความถี่กำหนดของวัตถุนั้น ๆ ซึ่งในกรณีของเทคโนโลยี RFID ก็คือ สายอากาศของเครื่องลูกข่ายนั่นเอง ว่าตรงกับความถี่ของคลื่นตกกระทบหรือไม่



รูปที่ 2.5 แสดงหลักการทำงานส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย RFID ไปยังเครื่องอ่านโดยใช้เทคโนโลยี Modulated reflection cross-section

รูปที่ 2.5 แสดงสามารถอธิบายเทคโนโลยีการส่งสัญญาณ โดยใช้เทคโนโลยี Modulated reflection cross-section ได้เป็นอย่างดี สมมติให้เครื่องอ่านทำการส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ P_1 ผ่านสายอากาศออกไปยังเครื่องลูกข่าย สัญญาณส่วนหนึ่งข้อมปรากฏและตกกระทบที่สายอากาศของเครื่องลูกข่าย สมมติว่ามีขนาดความแรง P_1' สัญญาณดังกล่าวเป็นสัญญาณความถี่สูง (HF) และถูกนำไปผ่านกระบวนการกรองแรงดันโดยวงจรเรกติไฟร์ด้วยไดโอด D_1 และ D_2 ซึ่งวงจรส่วนนี้เองที่ทำหน้าที่เป็นเหมือนสะพานไฟ สำหรับ “จ่าย” หรือ “หยุดจ่ายไฟ” ให้กับไมโครชิปในกรณีที่เครื่องลูกข่ายอยู่นอกพื้นที่ตรวจสอบ

สัญญาณ P_1' ส่วนหนึ่งจะสะท้อนสายอากาศของเครื่องลูกข่ายกลับไป โดยอาจมีขนาดความเอกลสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

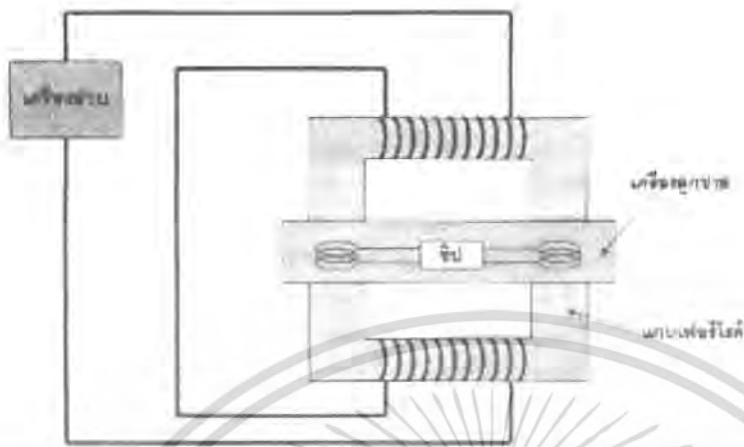
แรงลดลง เรียกแทนว่าสัญญาณ P2 ซึ่งเครื่องลูกข่ายจะใช้สัญญาณนี้เองเป็นคลื่นพาหนะในการส่งข้อมูลข่าวสารจากไมโครชิปกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยในทางปฏิบัติจะติดตั้งโหลด (RL) ไว้ขนานสายอากาศของเครื่องลูกข่าย เมื่อมีการส่งข้อมูล “0/1” จากไมโครชิปออกไป โหลด RL จะเปลี่ยนค่าไปตามลำข้อมูลและจะมีผลทำให้ลักษณะทางกายภาพของคลื่นสะท้อน P2 เปลี่ยนแปลงไปตามค่าข้อมูล โบนารีที่ต้องการส่งกลับไปยังเครื่องรับสัญญาณ P2 นี้จะเดินทางย้อนผ่านอากาศเปิดกลับไปยังสายอากาศของเครื่องอ่านปรากฏเป็นสัญญาณ P2' สัญญาณที่ได้รับนี้จะถูกป้อนผ่านวงจรแยกทิศทางสัญญาณ (Directional Coupler) ที่เครื่องอ่านเพื่อป้อนเข้าสู่ภาครับของเครื่องอ่าน ทั้งนี้ค่าสัดส่วนระหว่างสัญญาณ P1/P2 นั้น ค่าสำคัญที่จะกำหนดความไวและความเที่ยงตรงในการส่งข้อมูลข่าวสาร โดยสามารถคำนวณได้จากสมการการทำงานของเรคท์โดยทั่วไป

2.6 เทคโนโลยี Close Coupling

เป็นเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปยังเครื่องอ่าน RFID ในระยะทางสั้น ๆ ช่วง 0.1 ถึง 1 เซนติเมตร โดยในทางปฏิบัติจะพบมากในกรณีของระบบขนส่งมวลชน เช่น ระบบรถไฟฟ้า MRT ในประเทศไทย ซึ่งผู้โดยสารหยิบบัตรพลาสติกซึ่งเป็นเครื่องลูกข่าย RFID ลักษณะนี้ไปแตะหรือจ่อกับเครื่องอ่าน เพื่อให้เครื่องอ่านตรวจสอบหมายเลขบัตร หรือบางระบบอาจมีการเขียนอ่านข้อมูลวงเงินคงเหลือ ก่อนจะพิจารณาว่าอนุญาตให้ผู้โดยสารผ่านเข้าสู่ระบบขนส่งมวลชนหรือไม่ ในทางเทคนิคนิยมเรียกรูปแบบการใช้งานแบบนี้ว่า “touch & go”

2.6.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เมื่อมีการสอดหรือวางบัตรพลาสติกที่เป็นเครื่องลูกข่าย RFID ชนิดนี้เข้าไปในหรืออยู่บนเครื่องอ่าน ในทางเทคนิคจะหมายถึง การวางตำแหน่งขดลวดของเครื่องลูกข่ายให้อยู่ในระยะทำการ โดยมีอากาศเป็นตัวกลางกั้นระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านในระยะสั้น ๆ เท่านั้น ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4.6 ในกรณีนี้ขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านจะทำหน้าที่เป็นเสมือนขดลวดปฐมภูมิ ในขณะที่ขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะเป็นคั้งเช่นขดลวดทุติยภูมิ เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ภายในเครื่องอ่านจะมีการกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงเพื่อป้อนผ่านขดลวดปฐมภูมิ ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กความเข้มสูงเหนี่ยวนำผ่านช่องว่างของอากาศไปทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นบนขดลวดทุติยภูมิบนเครื่องลูกข่าย ก่อให้เกิดการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ไมโครชิป



รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบการสัมผัสของบัตรพลาสติกที่เป็นเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling กับเครื่องอ่าน

เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นบนขดลวดทุกขดขดจะมีค่าแปรผันโดยตรงกับความถี่ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยมกำหนดความถี่ใช้งานให้สูงที่สุดเท่าที่เทคโนโลยีจะสามารถรองรับได้ ซึ่งในปัจจุบันก็ได้ความถี่ในย่าน 1 ถึง 10 MHz นอกจากนั้นยังมีการเลือกใช้วัสดุประเภทเฟอร์ไรท์มาทำเป็นแกนสำหรับพันขดลวดของเครื่องอ่าน เนื่องจากเฟอร์ไรท์มีค่าความสูญเสียของการนำพาสนามแม่เหล็กต่ำกว่าวัสดุประเภทอื่นๆ และเนื่องจากคุณสมบัติที่ดีที่สุดในการถ่ายทอดพลังงาน เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling หรือเทคโนโลยี RFID ที่ใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสาร เทคโนโลยีแบบ Close Coupling จึงได้รับความนิยมใช้งานมากที่สุดสำหรับเครื่องลูกข่ายที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงๆ เพื่อป้องกันให้กับไมโครชิป ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถป้องกันกำลังไฟให้กับไมโครชิปที่กินไฟมากถึง 10 มิลลิวัตต์ ได้อย่างไม่มีปัญหาใด ๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้การวางข้อกำหนดทางกลศาสตร์และทางไฟฟ้าของแผ่นเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling ไว้ตามมาตรฐาน ISO 10536

2.6.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling มายังเครื่องอ่านนั้น สามารถทำได้สองวิธีด้วยกัน คือ ใช้เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในกรณีมาตรฐานแบบ Inductive Coupling หรืออาจใช้เทคโนโลยี Capacitive Coupling ซึ่งอาศัยประโยชน์จากระยะห่างที่ค่อนข้างสั้นระหว่างขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน โดยมีการติดตั้งแผ่นตัวเก็บประจุ (Plate Capacitor) ทั้งที่บัตรพลาสติกบนเครื่องลูกข่าย และบนเครื่องอ่านในลักษณะที่ให้หน้าสัมผัสคู่ปลิง (Coupling Surface) ของทั้งเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านอยู่ในแนวเดียวกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในยามที่มีการสัมผัสหรือสอดเครื่องลูกข่ายเข้าไปในเครื่องอ่าน แล้วใช้การเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเป็น ตัวส่งผ่านข้อมูลจากไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายผ่านสนามไฟฟ้าไปสู่เครื่องอ่าน

2.7 เทคโนโลยี Electrical Coupling

เป็นเทคโนโลยี RFID ชนิด Full Duplex/Half Duplex อีกประเภทหนึ่งที่ใช้หลักการสร้าง สนามไฟฟ้า (Electric field) ขึ้นจากเครื่องอ่านแล้วใช้คุณสมบัติของสนามไฟฟ้าในระยะทางใกล้ๆ สายอากาศของเครื่องอ่าน ซึ่งออกแบบให้มีลักษณะเป็นแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ ในการสร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เกิดขึ้นบนสายอากาศของเครื่องลูกข่ายที่มีการจัดสร้างเป็นแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ เช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.7 แสดง โครงสร้างและการทำงานของระบบ RFID แบบ Electrical Coupling

2.7.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

จากรูปที่ 4.7 เครื่องอ่านได้รับการออกแบบให้ต่อเชื่อมต่อสายอากาศที่มีลักษณะเป็น อิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ โดยทั่วไปมักทำจากแผ่นโลหะหรือแผ่นพอลิโพลีเอทิลีน จากนั้นจึงทำการป้อน แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง เข้าสู่แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของแผ่น อิเล็กทรอนิกส์ที่มีค่าความเหนี่ยวนำภายใน (L) และค่าคาปาซิแตนซ์ (เทียบได้กับตัวเก็บประจุ) ระหว่าง แผ่นอิเล็กทรอนิกส์กับกราวด์หรือพื้นโลก จึงทำให้เกิดวงจรเสมือนของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่เทียบได้กับ วงจร LC ซึ่งมีความถี่กำทอน (Resonant Frequency) เป็นคุณสมบัติประจำตัว หากทำการป้อน สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่ตรงกันกับความถี่กำทอนของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ ก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้า เยื่อสารเป็นเอกสารหนังสือสำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติหนาเปโซประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ปรากฏขึ้นบนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์นั้นมึระดับสูงขึ้นมา อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์เรโซแนนท์ ซึ่งเป็าหมายในการใช้งานจริง มักกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าบนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์เทียบกับกราวด์มีค่าสูงตั้งแต่หลักร้อยถึงหลักพันโวลต์แรงดันดังกล่าว ก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์กับกราวด์ที่อยู่รอบ ๆ

เมื่อนำเครื่องลูกข่ายที่ได้รับการออกแบบให้มีสายอากาศ 2 ชุดเป็นแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ขนาดเล็กกว่าเข้ามาอยู่ในพื้นที่ใช้งานอันมีสนามไฟฟ้าจากเครื่องอ่านปรากฏอยู่ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์บนและแผ่นส่งของเครื่องลูกข่ายดังแสดงในรูปที่ 4.7 ก่อให้เกิดกระแสไหลเวียนอยู่ภายในวงจรของเครื่องลูกข่ายเพื่อไปเลี้ยงให้กับไมโครชิป

2.7.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

เมื่อมีการนำเครื่องลูกข่ายมาไว้ในพื้นที่ใช้งาน อันหมายถึงบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าจากแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ของเครื่องอ่านปรากฏอยู่ จะมีผลทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่าย (RL) มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความถี่ค่าทอน โดยมีการแบ่งแรงดันไฟฟ้าผ่านมาจากคาปาซิเตอร์ CR-T ดังแสดงในรูปที่ 14 อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ RMod ซึ่งเครื่องลูกข่ายใช้ในการส่งสัญญาณ โบนารีที่เป็นข้อมูลป้อนกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยผ่านทางทรานซิสเตอร์เพื่อเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ RMod ซึ่งจะทำให้พฤติกรรมการสะท้อนสัญญาณผ่านทางวงจรแบ่งแรงดันมีค่าเปลี่ยนแปลงไป เช่นเมื่อเครื่องลูกข่ายต้องการส่งข้อมูล โบนารีบิตใดบิตหนึ่งที่มีค่าเป็น "0" ก็จะมีการเปิดวงจรสวิตช์ซึ่งออกทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่ายเป็น RL ตามปกติ ในขณะที่จะปิดวงจรเพื่อเพิ่มค่า RMod ในกรณีที่ต้องการส่งบิตข้อมูลที่มีค่า "1" ทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่ายลดลง ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการมอดูเลตสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุจากการเปลี่ยนแปลงอินพุตอิมพีแดนซ์นี้ โดยทำให้เกิดผลการเปลี่ยนแปลงระดับเรดคันและสามารถตรวจจับได้ที่แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ของเครื่องอ่าน ซึ่งก็คือ สายอากาศภาครับนั่นเอง ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้ก็จัดได้ว่าเป็นการส่งข้อมูลแบบ Load Modulation ประเภทหนึ่ง

2.7.3 การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่าย

สำหรับเทคโนโลยี RFID แบบ Full Duplex/Half Duplex แต่ละประเภท สำหรับการส่งข้อมูลในทิศทาง Downlink จากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่ายนั้น จะใช้วิธีการเดียวกันทั้งสิ้น คือการมอดูเลตสัญญาณที่เครื่องอ่านต้องการส่งไปยังเครื่องลูกข่ายโดยตรง โดยไม่สนใจว่ารูปแบบการสื่อสารนั้นจะเป็นแบบ Full Duplex หรือ Half Duplex และไม่มีประเด็นเกี่ยวข้องกับความถี่ที่ใช้งานทั้งสิ้น สำหรับเทคโนโลยีที่สามารถใช้ในการมอดูเลตสัญญาณในทิศทาง Downlink สามารถทำได้ทั้งแบบASK, FSK และ PSK แต่ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดอันเนื่องมาจากรางวัลและความสะดวกในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบวงจรควบคุมก็คือการมอดูเลตแบบ ASK

2.8 เครื่องลูกข่ายที่ใช้การสื่อสารแบบ Sequential

มาตรฐาน RFID อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลจำนวนมากกว่า 1 บิต แต่มีรูปแบบการทำงานที่แตกต่างจากมาตรฐานแบบ Duplexing ที่ผู้เขียนกล่าวถึงไปในตอนที่แล้ว ก็คือมาตรฐานแบบ Sequential ซึ่งมีลักษณะการทำงานเฉพาะตัว กล่าวคือมีการกำหนดช่วงเวลาในการส่งทั้งข้อมูลและพลังงานจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่ายแยกออกจากช่วงที่เครื่องลูกข่ายทำการส่งข้อมูลกลับมา ซึ่งหมายความว่าเครื่องลูกข่าย RFID ชนิดนี้จะต้องสามารถเก็บรักษาพลังงานไฟฟ้าไว้ในตัว เพื่อใช้สำหรับส่งข้อมูลย้อนกลับมายังเครื่องอ่านได้ โดยสามารถจำแนกรูปแบบการทำงานออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling และ Surface Acoustic Wave Transponder อันมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

2.8.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายที่ใช้เทคโนโลยีสื่อสาร Sequential แบบ Inductive Coupling ได้รับการออกแบบให้ใช้งานที่ย่านความถี่ 135 KHz โดยสามารถมองว่าอากาศที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคู่ (Coupled) ระหว่างขดลวดรับส่งของเครื่องอ่านและขดลวดของเครื่องลูกข่ายทำหน้าที่เป็นเหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้า ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่าย แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ปรากฏขึ้นบนขดลวดของเครื่องลูกข่ายจะถูกนำไปกรองระดับ (Rectify) เพื่อให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับใช้ป้อนให้กับวงจรไฟฟ้าและชิปประมวลผลบนเครื่องลูกข่าย เนื่องจากเครื่องอ่านมีการส่งพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่ายเฉพาะช่วงเวลาหนึ่ง ๆ มิได้ส่งพลังงานตลอดเหมือนดังเช่นมาตรฐาน RFID แบบ Duplexing เครื่องลูกข่ายจึงต้องได้รับการออกแบบให้สามารถเหนี่ยวนำพลังงานในย่านความถี่ใช้งานให้มากที่สุด ซึ่งในทางปฏิบัติหมายถึง การออกแบบค่าของขดลวดสายอากาศสำหรับเครื่องลูกข่ายให้มีคุณภาพสูงสุด และเพื่อให้สะดวกในการปรับแต่งค่าตัวเก็บประจุในวงจร โขเนนซ์ของเครื่องลูกข่ายให้ตรงกับความถี่ใช้งานที่สุด จึงนิยมออกแบบไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายให้มีค่าตัวเก็บประจุที่สามารถปรับแต่งได้ (On-chip Trimming Capacitor) ทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติมากขึ้น

เนื่องจากหลักการทำงานของมาตรฐาน RFID แบบ Sequential ที่เครื่องลูกข่ายจะได้รับการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำผ่านทางคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากเครื่องอ่านเฉพาะช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เท่านั้น พลังงานที่ได้รับทั้งหมดจะต้องถูกส่งไปประจุ (Charge up) ตัวเก็บประจุภายในวงจรของเครื่องลูกข่าย เพื่อสะสมพลังงานไว้ให้เพียงพอสำหรับใช้ป้อนให้กับวงจรการทำงานและไมโครชิปเพื่อทำงานในช่วงที่เครื่องลูกข่ายต้องส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน และเป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การป้อนพลังงานไฟฟ้ามาจากเครื่องอ่าน ดังนั้นไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายจึงต้องมีความสามารถในการปรับการทำงานเป็นแบบกินไฟน้อย (Stand-by) ในช่วงเวลาที่มีการรับพลังงานไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาจากเครื่องอ่านและมีการประจุตัวเก็บประจุ หลังจากช่วงเวลาการเก็บประจุพลังงานผ่านไป ประกอบกับไม่มีการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านอีก ไมโครชิปก็จะปรับการทำงานมาเพื่อพร้อมส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องอ่าน สิ่งสำคัญในการออกแบบเครื่องลูกข่ายก็คือ การคำนวณค่าตัวเก็บประจุที่สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอสำหรับให้เครื่องลูกข่ายใช้ในระหว่างการส่งข้อมูล

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{It}{(V_{\max} - V_{\min})}$$

โดยที่ V_{\max} และ V_{\min} คือ ระดับแรงไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดที่อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายสามารถทำงานได้ I คือ กระแสไฟฟ้าที่ชิปภายในเครื่องลูกข่ายต้องใช้ในขณะที่ทำงาน และ t เป็นค่าช่วงเวลาที่ใช้เครื่องลูกข่ายใช้เพื่อการส่งข้อมูลกลับไปให้กับเครื่องอ่าน ดังนั้นหากทดลองแทนค่าตัวอย่าง โดยให้ $I = 5$ ไมโครแอมแปร์ $t = 20$ มิลลิวินาที $V_{\max} = 4.5$ โวลต์ และ $V_{\min} = 3.5$ โวลต์ จะสามารถคำนวณค่า C ที่ต้องใช้ในอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายได้ มีค่าเป็น $C = 100$ นาโนฟารัด

ความแตกต่างระหว่างมาตรฐาน RFID แบบ Duplexing กับแบบ Sequential โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling เช่นเดียวกันนั้น เนื่องจากเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายต่างทำการส่งความถี่วิทยุได้ต่อกันตลอดเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน Sequential ที่ค่าโหลดอิมพีแดนซ์ ซึ่งส่วนใหญ่มีผลมาจากค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุบนเครื่องลูกข่ายมีค่าน้อย จนเป็นศูนย์ในช่วงเริ่มต้นวงจรการส่งข้อมูล (เริ่มจากเครื่องอ่านส่งข้อมูลออกมาก่อน) ทำให้ไม่มีกำลังไฟฟ้า แต่ค่าอิมพีแดนซ์จะค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งขึ้นสูงสุดและมีผลทำให้แรงดันตกคร่อมวงจรเครื่องลูกข่าย มีค่าสูงสุดเมื่อใกล้ถึงช่วงสิ้นสุดการส่งข้อมูลจากเครื่องอ่าน (ซึ่งตัวเก็บประจุเก็บพลังงานไว้สูงสุด) ในขณะที่มาตรฐานแบบ Duplexing นั้นถือว่าค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเครื่องลูกข่ายมีค่าอยู่ประมาณกึ่งกลางของอิมพีแดนซ์ตามแบบมาตรฐาน Sequential ที่มีการแปรเปลี่ยนค่าขึ้นลงตามวงจรการทำงาน ส่งผลให้แรงดันสูงสุดที่พึงปรากฏบนวงจรเครื่องลูกข่ายตามมาตรฐาน Sequential สูงกว่าแบบมาตรฐาน Duplexing ประมาณ 2 เท่าด้วย ทั้งนี้ถือว่าการเปรียบเทียบนั้นเกิดขึ้นโดยใช้ค่า L และ C เดียวกันทุกประการ เพียงแต่เปลี่ยนรูปแบบการทำงานระหว่างแบบ Duplexing กับแบบ Sequential เท่านั้น

เมื่อเป็นเช่นนี้จึงเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่พึงเกิดขึ้นบนเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling มาตรฐาน Sequential จะมีมากกว่ามาตรฐาน Duplexing ส่งผลให้เกิดข้อได้เปรียบในเรื่องของกำลังส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุจากเครื่องลูกข่ายแบบ Sequential ที่ได้ระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางไกลกว่าแบบ Duplexing อย่างไรก็ตามข้อได้เปรียบดังกล่าว ก็ต้องแลกมาด้วยความละเอียดอ่อนในการออกแบบ และเลือกใช้อุปกรณ์ประกอบที่นำมาสร้างเป็นวงจรเครื่องลูกข่าย ไม่ว่าจะเป็นการเลือกประเภทของขดลวดสายอากาศ (L) และค่าตัวเก็บประจุ (C) ที่ใช้ทั้งเก็บแรงดันไฟฟ้า และทำงานร่วมกับขดลวด เพื่อเป็นวงจรโซแนนท์กำเนิดสัญญาณคลื่นวิทยุส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน

2.8.1.1 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

การทำงานของวงจรไฟฟ้าบนเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลาด้วยกัน คือเมื่อเริ่มมีการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่าย อันมีทั้งการส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ ช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่เรียกว่า “ช่วงประจุไฟฟ้า” หรือ Charging Phase ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการประจุไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุ จากที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้าอยู่เลย จนค่อย ๆ มีไฟฟ้ามากขึ้น และเมื่อสิ้นสุดช่วงการส่งสัญญาณจากเครื่องอ่าน วงจรถอดรหัสข้อมูล จะตรวจพบการอิ่มตัวของแรงดันไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุ C ก็จะส่งให้วงจรถอดรหัสข้อมูลทำงานสร้างสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ ซึ่งเป็นความถี่เดียวกันกับที่เครื่องอ่านส่งมาในช่วงแรก พร้อมกับส่งให้ไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายเริ่มทำงานส่งข้อมูล ข้อมูลที่ถูกส่งออกจากไมโครชิปจะถูกนำไปมอดูเลตกับคลื่นความถี่ที่เครื่องลูกข่ายสร้างขึ้น

เครื่องอ่านจะตรวจพบระดับความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องลูกข่ายและจะเริ่มค้นรับข้อมูลที่เครื่องลูกข่ายส่งกลับมา เนื่องจากไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายเริ่มมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เก็บสะสมไว้ในตัวประจุ C เรื่อย ๆ ทำให้เกิดการกินกระแสไฟฟ้า และระดับไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ C ลดลง ซึ่งหากออกแบบขนาดของตัวเก็บประจุไว้ให้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้พอดีกับช่วงเวลาในการส่งข้อมูล ก็จะทำให้กระบวนการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปสู่เครื่องอ่านเสร็จสิ้นตรงตามเวลา เรียกช่วงเวลาที่ طولนี้ว่า “ช่วงการส่งข้อมูล” หรือ Reading Phase หลังจากช่วงเวลานี้ไปแล้ว วงจรคายประจุ ก็จะทำการคายประจุไฟฟ้าที่เหลือค้างอยู่บนตัวเก็บประจุ C ออกให้หมด ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏบนเครื่องลูกข่ายมีค่าเป็นศูนย์อีกครั้ง และเป็นการริเริ่มการทำงาน ของไมโครชิปให้อยู่ในโหมดเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง

เนื่องจากเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling มาตรฐาน Sequential กำหนดให้เครื่องลูกข่ายส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยใช้ความถี่วิทยุค่าเดียวกับที่เครื่องอ่านส่งออกมาในช่วงประจุไฟฟ้า เป็นการผลิตกันส่งความถี่ค่าเดียวกัน จึงทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเอาชนะสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งได้สูงขึ้นถึง 20 dB เมื่อเทียบกับกรณีของมาตรฐานแบบ Duplexing ซึ่งเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายต่างส่งความถี่คนละค่า สวนทางต่อเนื่องกันตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายความว่าเมื่อใช้แบบเทคโนโลยีแบบ Sequential แล้ว จะทำให้เพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องถูกข่ายได้มากขึ้นนั่นเอง

2.9 เครื่องถูกข่ายแบบ Surface Acoustic Wave

หลักการทำงานของเครื่องถูกข่าย RFID แบบ SAW ใช้พฤติกรรมของเปียโซอิเล็กทริกดังกล่าว โดยมีการสร้างแผ่นรอง (Substrate) ที่ผลิตขึ้นจากผลึกเปียโซอิเล็กทริกคริสตอล มาตีเป็นแผ่นบางยาว จากนั้นจึงทำการติดตั้งแถบรหัสเครื่องถูกข่าย (Transducer) และแถบสะท้อนสัญญาณ (Reflector) ซึ่งเป็นแผ่นอิเล็กโทรดลงบนแผ่นรอง ซึ่งส่วนใหญ่ผลิตจากวัสดุประเภทลิเทียมไนโอเบต (Lithium niobate) หรือ ลิเทียมแทนทาลเตต (Lithium Tantalate) การติดตั้งแผ่นอิเล็กโทรดกระทำโดยผ่านกระบวนการ Photolithographic แบบเดียวกันกับการยิงสารตัวนำลงบนแผ่นรองในกระบวนการผลิตไมโครชิปทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

3.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ หน่วยประมวลผลกลาง(Central Processing Unit : CPU) ส่วนของเพอริเฟอรัล (Peripheral) และคุณสมบัติพิเศษอื่นๆ

3.1.1 คุณสมบัติของหน่วยประมวลผลกลางภายในPIC16F877

- มีคำสั่งเพียง 35 คำสั่ง ขนาด 14 บิต
- คำสั่งหนึ่งๆใช้เวลาทำงาน 1 ถึง 2 ไชเกิล
- ทำงานได้สูงสุดที่ 2 เมกกะเฮิร์ต
- ทำงานแบบ Pipe-line (มี 2 ท่อ) ทำให้ ณ เวลาหนึ่งทำงาน 2 อย่างพร้อมๆกันได้
- มีสแต็กให้ใช้ได้สูงสุด 8 ระดับ
- สัญญาณนาฬิกามีหลายโหมดให้เลือกใช้งาน คือ อาจจะใช้คริสตอล หรือ วงจรอาร์ซี ก็ได้
- มีอินพุทพอร์ตทั้งหมด 5 พอร์ต
- มีระบบตรวจระดับไฟเลี้ยง (Brown-out reset)
- มี อนุาลอกทูลิจิตอลคอนเวเตอร์ แบบ 10 บิต จำนวน 8 ช่องนำเข้า ในตัวเอง
- มีระบบ USART สำหรับต่อกับ การสื่อสารแบบ RS232
- มี ไทเมอร์เคาเตอร์ 3 ตัว
- สามารถโปรแกรมด้วยไฟ +5 โวลต์ ดีซี ได้
- มีแหล่งกำเนิดอินเตอร์ปต์ 14 แหล่งได้แก่
 1. การเปลี่ยนแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล
 2. เกิด ไทม์เอาต์ในการแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล
 3. เกิดบัลลิสต์กอลลิชัน(Bus collision) หรือการชนกันของข้อมูลในระบบบัส
 4. มีการกดปุ่มเกิดขึ้น
 5. จาก โมดูลตรวจจับหรือเปรียบเทียบ CPP
 6. จากการเปรียบเทียบแรงดันอนาลอกเป็นจริง
 7. เขียนข้อมูลในหน่วยความจำอีอีพรอมเสร็จสมบูรณ์
 8. จากสัญญาณอนาลอกภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เกิดจากการใช้โมดูลแอลซีดี
10. เมื่อตรวจพบแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่าที่กำหนด
11. มีข้อมูลเข้ามาที่พอร์ตขนานเสริมหรือ PSP
12. เมื่อพอร์ตมีการเปลี่ยนแปลงลอจิก
13. เมื่อมีการเริ่มต้นใช้งานระบบบัสSPI หรือไอสแควลซี(I2C)
14. จากการ โอเวอร์โวลท์ของไทเมอร์

-หน่วยความจำข้อมูล(data memory) เป็นแบบอีอีพรอมสามารถลบและเขียนใหม่ได้ประมาณล้านครั้งและเก็บข้อมูลได้ 40 ปี

- หน่วยความจำโปรแกรมมีโครงสร้างเป็นหน่วยความจำแบบแฟลช มีขนาด 8 กิโลเวิร์ด โดยใน 1 เวิร์ดของ PIC16F84 มีขนาด 14 บิต

- หน่วยความจำข้อมูลเป็นหน่วยความจำแบบอีอีพรอมขนาด 256 ไบต์

-หน่วยความจำแรมได้รับการกำหนดให้ทำงานรีจิสเตอร์กำหนดเพิ่มข้อมูลหรือรีจิสเตอร์ไฟล์ขนาด 368 ไบต์

3.1.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ เทอริเฟอร์ล(peripheral)ใน PIC16F877

มีขาอินพุตเอาต์พุต 13 ขา สามารถกำหนดเป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุตได้อย่างอิสระ

-กระแสซิงก์/ซอร์สของแต่ละขาอินพุตเอาต์พุตสูงที่จะขับแอลอีดีได้โดยตรง

-กระแสซิงก์สูงสุด 25 มิลลิแอมป์ต่อขา

-กระแสซอร์สสูงสุด 25 มิลลิแอมป์ต่อขา

-มีไทเมอร์/เคาเตอร์ขนาด 8บิต คือ TMRO พร้อมกับ 프리สเกลเลอร์

(prescaler)ขนาด 8 บิต ที่สามารถ โปรแกรมได้

3.1.3คุณสมบัติอื่นๆ

-มีเพาเวอร์ออนรีเซตในตัว(POR:Power-on Reset)

-มีเพาเวอร์อัปไทเมอร์ในตัว(PWRT:Power-up Timer)

-มีออสซิลเลเตอร์สตาร์ทอัปไทเมอร์(OST:Oscillator Start-up Timer)

-มีวอตช์ดีด็อก ไทเมอร์(WDT:Watch Dog Timer)พร้อมับวงจรออสซิลเลเตอร์

RC ภายในเพื่อช่วยให้การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์มีเสถียรภาพยิ่งขึ้น

-ป้องกันการคัดลอกข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรม

-มีโหมดประหยัดพลังงานหรือโหมดสลีป(Sleep mode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F877 มีการจัดสรรหน่วยความจำดังนี้

หน่วยความจำโปรแกรม มีโครงสร้างเป็นหน่วยจำแบบแฟลช มีขนาด 8 กิโลเวิร์ด โดยใน 1 เวิร์ดของ PIC16F877 มีขนาด 14 บิต

หน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม ขนาด 256 ไบต์

หน่วยความจำข้อมูลแรม ได้รับการกำหนดให้ทำงานเป็นรีจิสเตอร์กำหนดเพิ่มข้อมูลหรือรีจิสเตอร์ไฟล์ขนาด 368 ไบต์

การเข้าถึงหน่วยความจำทั้งหมดของหน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์นี้สามารถทำได้ทั้งลักษณะโดยตรง และ โดยอ้อม

3.3 การจัดขาของ PIC16F877

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 บรรจุอยู่ในตัวถัง 2 แบบ PDIP(Plastic Dual-In Line Package) ซึ่งมีลักษณะเดียวกับ ไอซีแบบตีนตะขาบที่พบเห็น โดยทั่วไป และแบบ SOIC อันเป็นตัวอย่างถึงแบบที่ใช้ติดตั้งบนผิวหน้าของแผ่นวงจรพิมพ์ ตัวถังทั้งสองแบบของ PIC16F877 มีขาต่อใช้งานทั้งสิ้น 40 ขาดังแสดงในรูป



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการจัดขาของไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถจัดขาต่อใช้งานของ PIC16F84A เป็น 4 กลุ่ม คือ

3.3.1 กลุ่มสัญญาณนาฬิกา มี 2 ขา คือ OSC1/CLKIN (ขา13) และ OSC2/CLKOUT(ขา 14)

3.3.2 กลุ่มขาควบคุม มี 1 ขา คือ ขา 4

3.3.3 กลุ่มขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต แบ่งออกเป็น 5 พอร์ต คือ

3.3.3.1 พอร์ต A มีขนาด 6 บิต

พอร์ต A มีขนาด 6 บิต ซึ่งเป็นพอร์ตที่เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต โดยต้องเลือกแบบใดแบบหนึ่ง สามารถเลือกได้จากรีจิสเตอร์ ที่มีชื่อว่า TRISA ซึ่งถ้า TRISA bit ถูกเซต เป็น '1' พอร์ต A ที่มีหมายเลขบิตเดียวกันนั้นก็ทำงานเป็นอินพุต (ทำให้ port นั้นอยู่ในสถานะ hi-impedance) ส่วนถ้า TRISA bit ถูกเซต เป็น '0' พอร์ต A ที่มีหมายเลขบิตเดียวกันนั้นก็ทำงานเป็นเอาต์พุต (พอร์ตจะอยู่ในสถานะ output latch) การอ่านค่า พอร์ต A รีจิสเตอร์คือการอ่านค่าสถานะของ ขา PORTA ในขณะนั้น ส่วนการเขียนค่าไปยังพอร์ต A คือการเขียนไปยัง latch ของ port ลักษณะการเขียนจะเป็นแบบ read-modify-write operations ซึ่งหมายความว่า ในการเขียนไปยัง port จะเริ่มด้วยการ อ่านค่า port นั้นมาก่อนแล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่า จากนั้นก็ทำการเขียนกลับไปยัง port latch อีกครั้งหนึ่งขา RA4 จะ multiplexed กับ Timer0 module clock input ซึ่งจะเรียกรวมๆ ว่า RA4/T0CKI โดยที่ ขา RA4/T0CKI จะเป็นลักษณะอินพุต แบบ Schmitt Trigger และเอาต์พุตแบบ open drain. Port RA ทั้งหมด จะมี TTL input level และมีเอาต์พุตแบบ full CMOS drivers ส่วน PORTA ขาอื่นๆ จะ multiplex กับ analog inputs และ Vref ของ A/D input ซึ่งการกำหนดการทำงานของแต่ละขา สามารถเลือกได้โดย clear หรือ set control bits ใน ADCON1 register

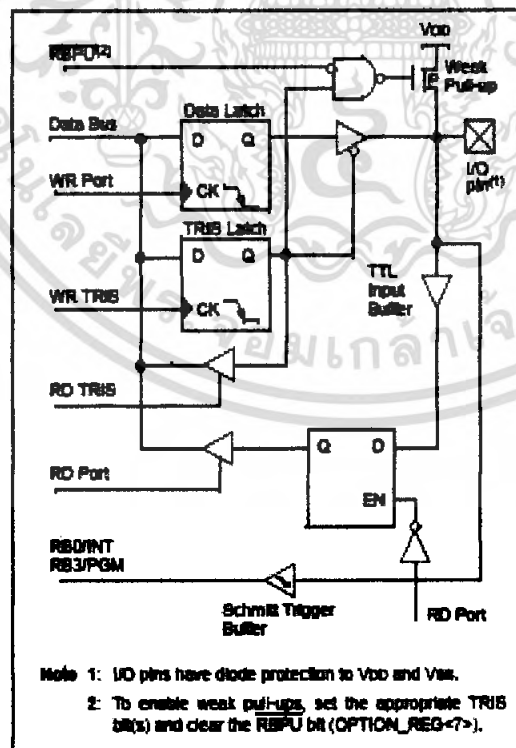
Name	Bit#	Buffer	Function
RA0/AN0	bit0	TTL	Input/output or analog input.
RA1/AN1	bit1	TTL	Input/output or analog input.
RA2/AN2	bit2	TTL	Input/output or analog input.
RA3/AN3/VREF	bit3	TTL	Input/output or analog input or VREF.
RA4/T0CKI	bit4	ST	Input/output or external clock input for Timer0. Output is open drain type.
RA5/SS/AN4	bit5	TTL	Input/output or slave select input for synchronous serial port or analog input.

Legend: TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger input

ตารางที่ 3.1 ฟังก์ชันของพอร์ต A

3.3.3.2 พอร์ต B เป็นลักษณะแบบ Port แบบสองทิศทาง

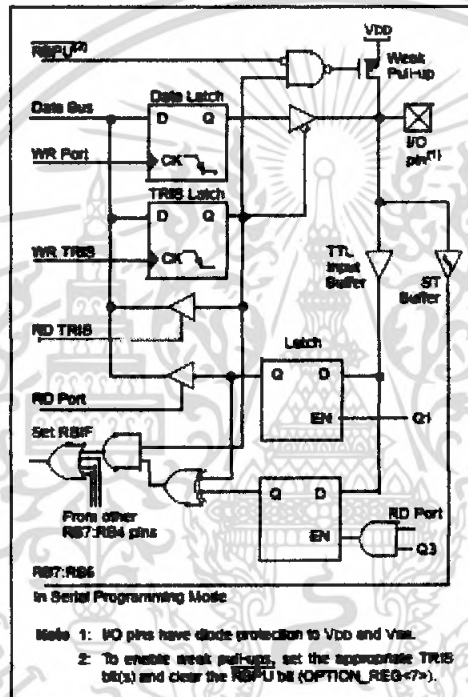
พอร์ต B เป็นลักษณะแบบ Port แบบสองทิศทาง ซึ่ง register ที่จะเป็นตัวกำหนดว่า port ใดจะเป็นแบบ input/output จะถูกกำหนดโดย TRISB register ถ้า set TRISB bit ใด (=1) PORTB ที่บิตนั้นก็จะเป็น input ถ้า clear TRISB bit ใด (=0) PORTB ที่บิตนั้นก็จะเป็น output ขาสามขาของ PORTB จะ multiplexed กับ Low Voltage Programming function ซึ่งได้แก่ RB3/PGM, RB6/PGC และ RB7/PGD



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของPIN RB3-RB0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละ port จะมี weak pull-up อยู่ภายใน (ถ้าต้องการ pull-up แข็งๆ ต้องต่อวงจรภายนอก) เราสามารถกำหนดว่าจะใช้ pull-up ภายในหรือไม่จากการ set หรือ clear RBPU (OPTION register บิต 7) โดยถ้าเรา clear RBPU จะหมายถึง เราทำการ disable pull-up ภายใน และถ้าเรากำหนดให้ PORTB เป็น OUTPUT แล้ว pull-up จะถูก disable โดยอัตโนมัติ สำหรับ พอร์ต B นั้น ขา RB4-RB7 จะมี feature เพิ่มเติมก็คือ การกำหนดให้เกิด Interrupt เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสถานะของ สัญญาณไฟฟ้าที่ขา RB4-RB7 (โดยถ้าขาใดขาหนึ่งเกิดเปลี่ยน



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของ PIN RB7-RB4

สถานะก็จะทำให้เกิด RB Port Change Interrupt ขึ้น ซึ่งจะทำให้ RBIF (INTCON.0) flag ถูก set โดยที่ Interrupt ประเภทนี้สามารถทำการ “wake” microcontroller จากสถานะ sleep mode ได้ RBIF flag จะถูก Clear ได้ 2 กรณี คือ

ทำการอ่านหรือเขียน พอร์ต B

ทำการ clear RBIF flag โดยตรง

หากเราใช้ interrupt on PORTB change แล้วไม่ควรจะ enable pull-up ของ PORTB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

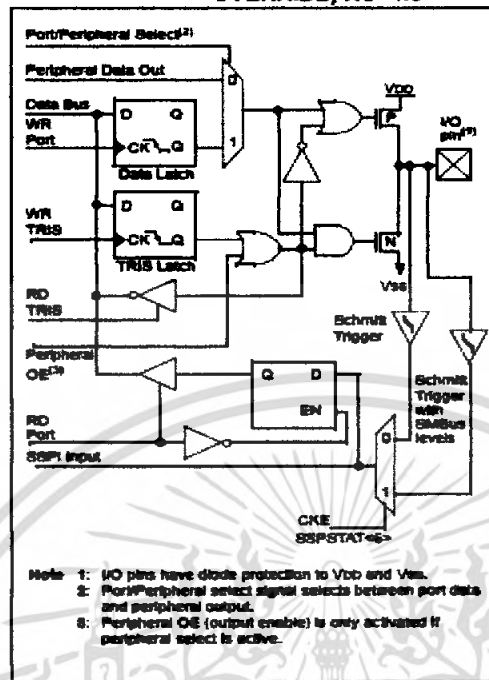
Name	Bit#	Buffer	Function
RB0/INT	bit0	TTL/ST ⁽¹⁾	Input/output pin or external interrupt input. Internal software programmable weak pull-up.
RB1	bit1	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB2	bit2	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB3/PGM ⁽²⁾	bit3	TTL	Input/output pin or programming pin in LVP mode. Internal software programmable weak pull-up.
RB4	bit4	TTL	Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up.
RB5	bit5	TTL	Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up.
RB6/PGC	bit6	TTL/ST ⁽²⁾	Input/output pin (with interrupt-on-change) or In-Circuit Debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming clock.
RB7/PGD	bit7	TTL/ST ⁽²⁾	Input/output pin (with interrupt-on-change) or In-Circuit Debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming data.

ตารางที่ 3.2 ฟังก์ชันของพอร์ต B

3.3.3.3 พอร์ต C เป็นลักษณะแบบ Port แบบสองทิศทาง

พอร์ต C เป็นลักษณะแบบ Port แบบสองทิศทาง ซึ่ง register ที่จะเป็นตัวกำหนดว่า port ใดจะเป็นแบบ input/output จะถูกกำหนดโดย TRISC register ถ้า set TRISC bit ใด (=1) PORTB ที่บิตนั้นก็จะเป็น input ถ้า clear TRISC bit ใด (=0) PORTC ที่บิตนั้นก็จะเป็น output ที่ PORTC จะมีคุณสมบัติเพิ่มเติม เช่น IIC, UART, SPI, PWM, CAPTURE ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้งาน โดยเมื่อเราทำการ enable คุณสมบัติเพิ่มเติมต่างๆ ที่ PORTC เราต้องระวังในเรื่องของการตั้งค่า TRISC ของแต่ละขาของ PORTC เพราะในการ enable คุณสมบัติบางตัวที่อยู่ PORTC (เช่น UART) ตัวมันเองก็จะทำการเปลี่ยน bit TRISC โดยอัตโนมัติ ดังนั้นไม่ควรที่จะตั้งค่า TRISC โดยตรงกับขาใดของ PORTC ที่ทำการ enable คุณสมบัติเพิ่มเติม

PORTC แต่ละ port จะ Schmitt Trigger input buffers อยู่ภายในแต่ละขา



รูปที่ 3.7 บล็อกโคอะแกรมของพอร์ต C

ลักษณะ โครงสร้างของ PORT จะแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ PORTC0-2,5-7 และอีกกลุ่มหนึ่งก็คือ PORTC3-4

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RC0/T1OSO/T1CKI	bit0	ST	Input/output port pin or Timer1 oscillator output/Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	bit1	ST	Input/output port pin or Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2/CCP1	bit2	ST	Input/output port pin or Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	bit3	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock for both SPI and I ² C modes.
RC4/SDI/SDA	bit4	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I ² C mode).
RC5/SDO	bit5	ST	Input/output port pin or Synchronous Serial Port data output.
RC6/TX/CK	bit6	ST	Input/output port pin or USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.
RC7/RX/DT	bit7	ST	Input/output port pin or USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.

ตารางที่ 3.3 ฟังก์ชันของพอร์ต C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัล

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะทำการอธิบายเนื้อหาเกี่ยวกับการมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัล ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีเช่น การมอดูเลตแบบ ASK ,FSK และ PSK ซึ่งแต่ละวิธีจะอาศัยหลักการทำงานที่ต่างกันอย่างสิ้นเชิง ในบทนี้เราจะเน้นเนื้อหาเกี่ยวกับการมอดูเลตแบบ ASK เพราะเกี่ยวข้องกับโครงการที่ได้จัดทำซึ่งจะอธิบายโดยละเอียดดังกล่าวต่อไปนี้

4.2 การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัล

การมอดูเลตข้อมูลที่เป็นดิจิทัลจะมีหลักการพื้นฐานอยู่ 3 แบบด้วยกันคือ

- 1.การมอดูเลตดิจิทัลทางขนาด (Amplitude Shift Keying; ASK)
- 2.การมอดูเลตดิจิทัลทางเฟส (Phase Shift Keying; PSK)
- 3.การมอดูเลตดิจิทัลทางความถี่ (Frequency Shift Keying; FSK)

จากสมการทางคณิตศาสตร์ของคลื่นรูปไซน์ที่เราใช้เป็นพาหะ

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

คุณสมบัติประจำตัวของคลื่นรูปไซน์ที่สำคัญจะมีอยู่ 3 ประการ ซึ่งเราสามารถเปลี่ยนแปลงหรือมอดูเลตได้ คือ แอมพลิจูด (A) ความถี่เชิงมุม (ω) และเฟส(ϕ) สัญญาณดิจิทัลแบบบิตเป็นรูปสามเหลี่ยมแสดงรหัสไบนารี “1” และ “0” ในการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลนี้ จากคุณสมบัติประจำตัวของคลื่นรูปไซน์ (คลื่นพาหะ) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้คือ แอมพลิจูด, ความถี่เชิงมุม และเฟสจะ เปลี่ยนไปตามสถานะ “1”และ “0” ของสัญญาณแบบบิต

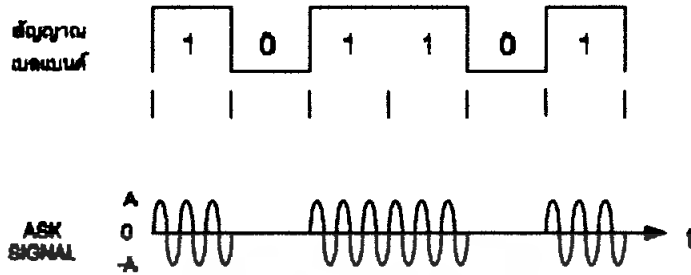
4.2.1 การมอดูเลตดิจิทัลทางขนาด (Amplitude Shift Keying; ASK)

ในการมอดูเลตดิจิทัลทางขนาดบางครั้งเรียกว่า OOK (on- off keying) เพราะว่าคลื่นพาหะถูก on / off ตามสัญญาณที่เป็น “1” หรือ “0” ถ้าคลื่นพาหะถูกกำหนดโดยสมการที่ 1 ดังนั้นสัญญาณ ASK จะกำหนดได้เป็น

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

$$= 0 \quad ; \text{เมื่อสถานะของบิตเป็น "0"}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงรูปการมอดูเลตคิจิตอลทางขนาด

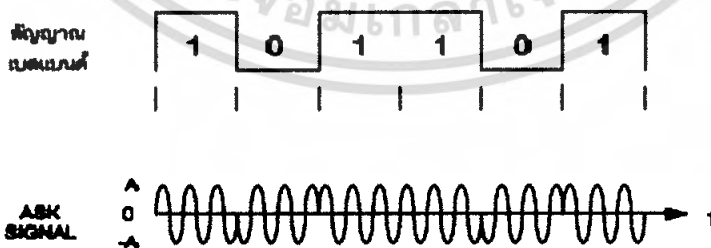
การมอดูเลตคิจิตอลทางขนาดจัดว่ามีประสิทธิภาพต่ำสุด และมีความผิดพลาดในการส่งข้อมูลและใช้ในสายสื่อสารที่ต้องการความเร็วของข้อมูลต่ำ (น้อยกว่า 100 บิต/นาติ) ส่วนหลักการอื่นๆของ ASK จะเหมือนกับแบบ AM

4.2.2 การมอดูเลตคิจิตอลทางเฟส (Phase Shift Keying; PSK)

การมอดูเลตคิจิตอลทางเฟสจะใช้เฟสของสัญญาณอนาลอกแทนสัญญาณคิจิตอล สัญญาณลอจิก “1” จะให้เฟสของสัญญาณอนาลอกเฟสหนึ่ง ในขณะที่เดียวกันสัญญาณลอจิก “0” ก็จะให้เฟสของสัญญาณอนาลอกอีกเฟสหนึ่ง ถ้าสัญญาณพาหะเป็นคังสมการที่1 คังนั้นสัญญาณ PSK จะกำหนดให้เป็น (ในกรณีทีส่งคังละหนึ่งบิต)

$$e = A \sin 2\pi fct \quad ; \text{เมื่อสถานะของบิตเป็นี้ "1"}$$

$$= A \sin(2\pi fct + \pi) \quad ; \text{เมื่อสถานะของบิตเป็นี้ "0"}$$



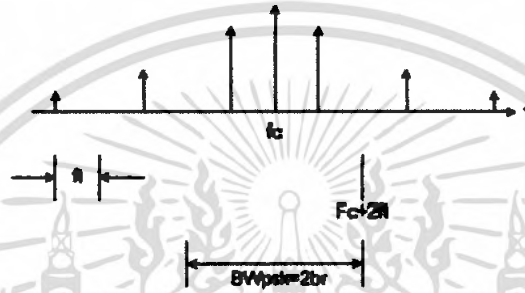
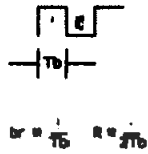
รูปที่4.2 แสดงการมอดูเลตคิจิตอลทางเฟส

รูปแบบที่ง่ายทีสุดของการออกแบบ PSKคือ Binary PSK (BPSK)แสดงคังรูปที่4.3 ทีค่าเฟสของสัญญาณจะมี 2 ค่า คือ 0 องศา และ 180 องศาสมการของสัญญาณทีได้จากการมอดูเลตแล้วได้เป็นี้

เอกสารนี้เป็เอกสารทีสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพ็การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คังแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกคังทีมีการเนาไปใช้

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

เมื่อ v_b แทนค่าสถานะของบิตคือ “1” และ “0”



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณในแบบ BPSK

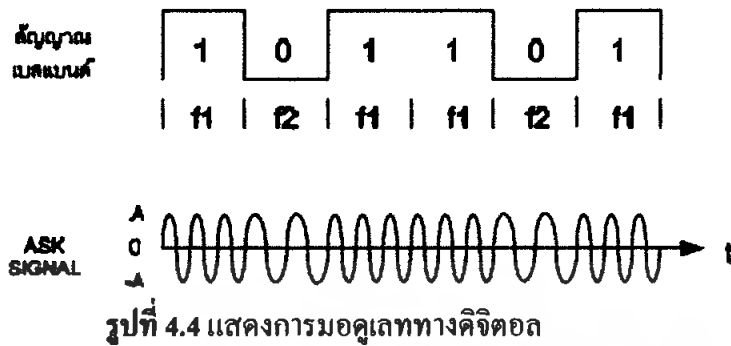
ถ้าคิดให้อัตราเร็วบิตเท่ากันแบบ PSK มีค่าความกว้างแถบน้อยกว่าแบบ FSK (แต่ราคาของวงจร PSK สูงกว่า) เราใช้การมอดูเลตแบบ PSK ใน โมเด็มที่มีอัตราเร็วบิตเท่ากับ 2400 บิต/วินาที และ 4800 บิต/วินาที เพราะว่าการมอดูเลตแบบ FSK ไม่สามารถทำได้โดยผ่านเครือข่ายโทรศัพท์

4.2.3 การมอดูเลตคิจิตอทางความถี่ (Frequency Shift Keying; FSK)

การมอดูเลตคิจิตอทางความถี่เมื่อข้อมูลเป็นลอจิก “1” ก็จะได้รับสัญญาณอนาลอกความถี่หนึ่ง และเมื่อเป็นลอจิก “0” ก็จะได้รับสัญญาณอนาลอกอีกแบบหนึ่ง ถ้าสัญญาณพาหะเป็นคังสมการที่ 1 ดังนั้นกรณีของการมอดูเลตแบบ FSK ความถี่ของคลื่นพาหะจะมี 2 ความถี่ เช่น ความถี่ f_1 สำหรับสัญญาณที่เป็นลอจิก “1” และความถี่ f_2 สำหรับสัญญาณที่เป็นลอจิก “0” แสดงสมการข้างล่าง

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

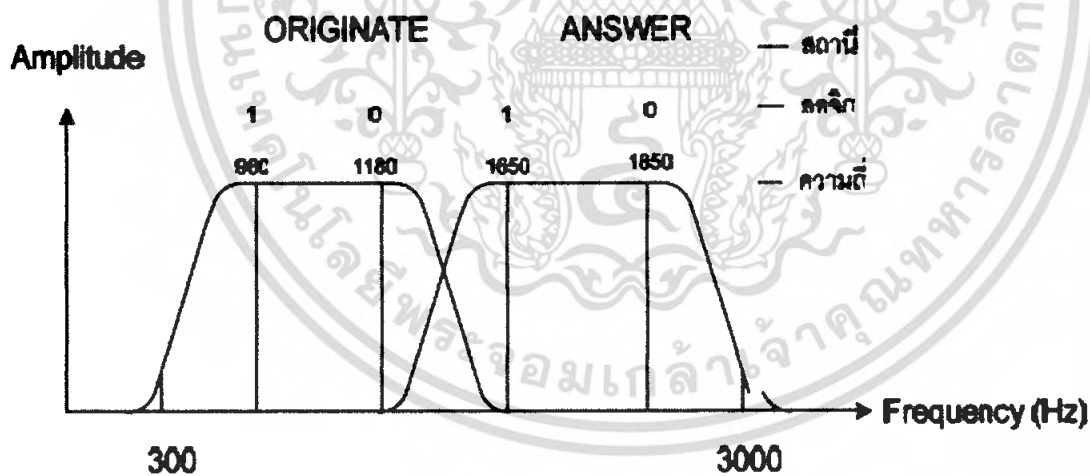
$$= A \sin 2\pi f_2 t \quad ; \text{เมื่อสถานะของบิตเป็น "0"}$$



ในการส่งข้อมูลแบบ FSK ที่ใช้งานจริง สมการแบ่งได้ 2 แบบ

4.2.3.1 ชนิดที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)

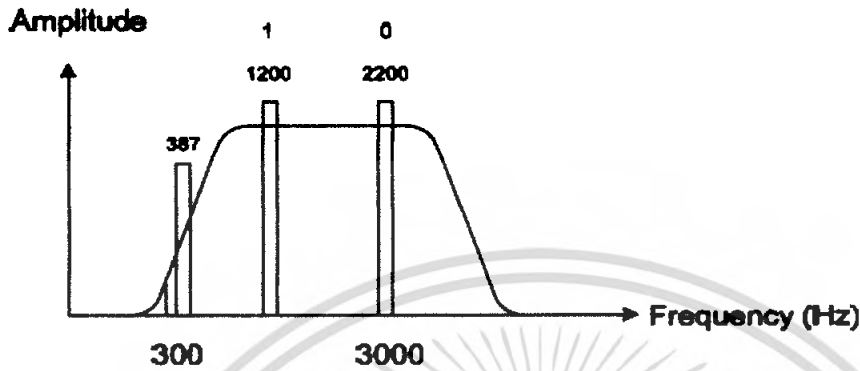
การส่งข้อมูลแบบนี้จะแบ่งแบนด์วิธของช่องสัญญาณเสียงออกเป็น 2 แบนด์
เท่าๆกัน โดยแบนด์หนึ่งใช้ในการส่งข้อมูล ส่วนอีกแบนด์หนึ่ง จะใช้ในการรับข้อมูล ทำให้สามารถ
ส่งข้อมูล เข้าไปในสายได้พร้อมๆ กัน ผลตอบสนองความถี่สำหรับการส่งข้อมูลแบบนี้



รูปที่ 4.5 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลทแบบ FSK ในการส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์

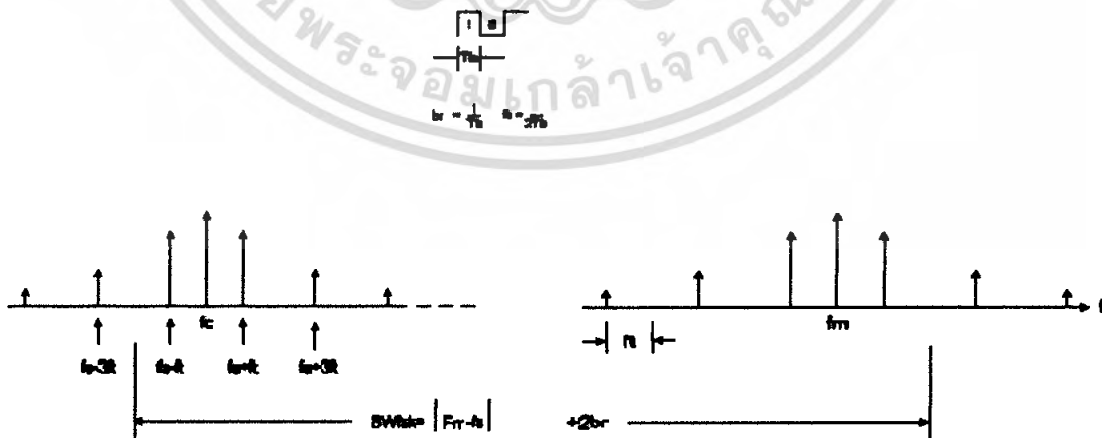
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.2 ชนิดที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์(Half Duplex)



รูปที่4.6 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลทแบบ FSK

ในการส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ การส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ จะมีแบนด์วิดท์ 2 แบนด์เหมือนกัน แต่ความกว้างของแบนด์วิดท์ทั้งสองจะไม่เท่ากัน แบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าจะใช้การส่งข้อมูลส่วนแบนด์วิดท์ที่แคบจะใช้ในการส่งสัญญาณแนะนำควบคุม(Supervisory Signal) ของตัวรับไปยังตัวส่งเพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพการส่งข้อมูลว่าถูกต้องหรือไม่ เราเรียกแบนด์วิดท์แบบนี้ว่าช่องสัญญาณย้อนกลับ (Reverse Channel) ผลตอบสนองความถี่ของการรับส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์แสดงดังรูปที่ 4.6เราสามารถที่จะอธิบายความหมายของความกว้างแถบ (bandwidth) ในแบบ FSK ได้โดยพิจารณารูปที่ 4.7



รูปที่4.7 แสดงการประมาณค่าความกว้างแถบของแบบ FSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วงจรเรโซแนนซ์ ค่าประสิทธิภาพ Q และแบนด์วิดท์

ในการประยุกต์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุสายอากาศคลวดเป็นส่วนสำคัญของวงจรเรโซแนนซ์และระยะในการอ่านของอุปกรณ์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการทำงานของวงจรเรโซแนนซ์อย่างมาก

รูปที่ 4.8 และ 4.9 แสดงตัวอย่างรูปแบบของวงจรเรโซแนนซ์ของสายอากาศคลวดและการจูนตัวเก็บประจุ ความถี่เรโซแนนซ์ (f_0) สามารถคำนวณได้จาก

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.3.1)$$

L = ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศคลวด

C = ค่าความจุไฟฟ้าที่ใช้จูน

วงจรเรโซแนนซ์สามารถที่จะมีรูปแบบเป็นแบบอนุกรม หรือ แบบขนานวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมจะมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำที่ความถี่เรโซแนนซ์ผลลัพธ์ก็จะมีกระแสที่ใช้ในวงจรมาก โดยทั่วไปจะใช้วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมสำหรับสายอากาศของเครื่องอ่าน ส่วนวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ซึ่งค่ากระแสที่ได้จะมีค่าต่ำและแรงดันจะมีค่าสูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะใช้สำหรับสายอากาศของเครื่องลูกข่าย

4.3.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานค่าอิมพีแดนซ์รวมของวงจรสามารถหาได้จากสมการ

$$Z(j\omega) = \frac{j\omega L}{(1 - \omega^2 LC) + j\frac{\omega L}{R}} \quad (4.3.2)$$

โดยที่ ω = ความถี่เชิงมุม = $2\pi f$

R = ความต้านทานโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้ไม่สนใจค่าความต้านทาน (r) ของขดลวด ค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่ามากเมื่อตัวส่วนในสมการข้างต้นมีค่ามาก และค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่าน้อยเมื่อ

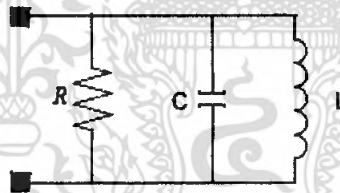
$$\omega^2 LC = 1 \quad (4.3.3)$$

เรียกว่าสภาวะเรโซแนนซ์และความถี่เรโซแนนซ์หาได้จาก

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.3.4)$$

ทำการแทนสมการที่ 4.3.3 ลงในสมการที่ 3.4 ค่าความต้านทานที่ความถี่เรโซแนนซ์จะกลายเป็น

$$Z = R \quad (4.3.5)$$



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

ค่า R และ C ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน สามารถนำมาคำนวณแบนด์วิดท์ B ของวงจรได้ดังสมการ

$$B = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4.3.5)$$

ค่าประสิทธิภาพ Q สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = \frac{f_0}{B} \quad (4.3.6)$$

โดยที่ $f_0 =$ ความถี่เรโซแนนซ์
 $B =$ แบนด์วิดท์

แทนสมการที่ 4.3.4 และ สมการที่ 4.3.5 ลงในสมการที่ 4.3.6 ค่าประสิทธิภาพ Q ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะได้ดังสมการ

$$Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} \quad (4.3.7)$$

ค่าประสิทธิภาพในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะแปรผันตรงกับค่าความต้านทานและ ค่ารากที่สองอัตราส่วนระหว่างค่าความจุกับค่าความเหนี่ยวนำในวงจร ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน จะใช้สำหรับวงจรสายอากาศของเครื่องลูกข่ายแรงดันที่ตกคร่อมในวงจรสามารถที่จะคำนวณได้จากสมการที่ 4.3.8 และ สมการที่ 4.3.7

$$V_0 = 2\pi f_0 N Q S B_0 \cos \alpha \quad (4.3.8)$$

$$= 2\pi f_0 N \left(R\sqrt{\frac{C}{L}} \right) S B_0 \cos \alpha$$

สมการข้างต้นแสดงถึงการเหนี่ยวนำแรงดันในขดลวดเครื่องลูกข่ายเป็นส่วนกลับของรากที่สองของค่าความเหนี่ยวนำ และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบและพื้นที่ผิวของขดลวด

วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานสามารถใช้ในสายอากาศแบบลูปรานฟอเมอร์ สำหรับเครื่องอ่านที่ระยะทางไกลๆอธิบายได้ในสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน แรงดันในลูปรานฟอเมอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราส่วนของจำนวนรอบ (n_2 / n_1) ของลูปรานฟอเมอร์ แม้ว่าสัญญาณมีแรงดันสูงก็ตามไม่สามารถที่จะรับสัญญาณได้ สาเหตุที่แยกสายอากาศเพื่อต้องการ สำหรับการรับสัญญาณ วงจรสายอากาศรับควรจะมีสัญญาณที่ทำการมอดูเลทของเครื่องลูกข่าย

4.3.2 วงจรโซ่เนนซ์แบบอนุกรม

วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมอย่างง่ายแสดงดังในรูปที่ 4.9 สมการแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร

คือ

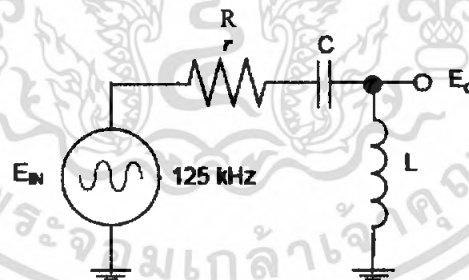
$$Z(j\omega) = r + j(X_L - X_C) \quad (4.3.9)$$

โดยที่ r = ความต้านทานของวงจร

$$X_L = 2\pi f_0 L \quad (4.3.10)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_0 C} \quad (4.3.11)$$

ค่าอิมพีแดนซ์ในสมการที่ 4.3.10 จะมีค่าลดลงเมื่อองค์ประกอบค่ารีแอกแตนซ์ทั้งสองมีค่าเท่ากัน ($X_L = X_C$) เรียกว่าสภาวะเรโซแนนซ์ ความถี่เรโซแนนซ์จะเหมือนกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรขนานตามสมการที่ 4.3.11



รูปที่ 4.9 แสดงวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

กำลังครึ่งของความถี่แบนด์วิดท์จะถูกกำหนดโดยค่า R และ L ดังสมการ

$$B = \frac{r}{2\pi L} \quad (4.3.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าประสิทธิภาพ Q ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมสามารถแสดงได้ดังนี้

$$Q = \frac{f_0}{B} = \begin{cases} \frac{\omega L}{r} = \frac{1}{\omega Cr} \\ \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}} \end{cases} \quad (4.3.13)$$

วงจรมอดเป็นรูปแบบการแบ่งแรงดัน เพราะฉะนั้นแรงดันที่ตกคร่อมในขดลวดจะคำนวณได้จากสมการ

$$V_0 = \frac{jX_L}{r + jX_L - jX_C} V_{in} \quad (4.3.14)$$

หรือ

$$\left| \frac{V_0}{V_{in}} \right| = \frac{X_L}{\sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{X_L}{r \sqrt{1 + \left(\frac{X_L - X_C}{r} \right)^2}} = \frac{Q}{\sqrt{1 + \left(\frac{X_L - X_C}{r} \right)^2}} \quad (4.3.15)$$

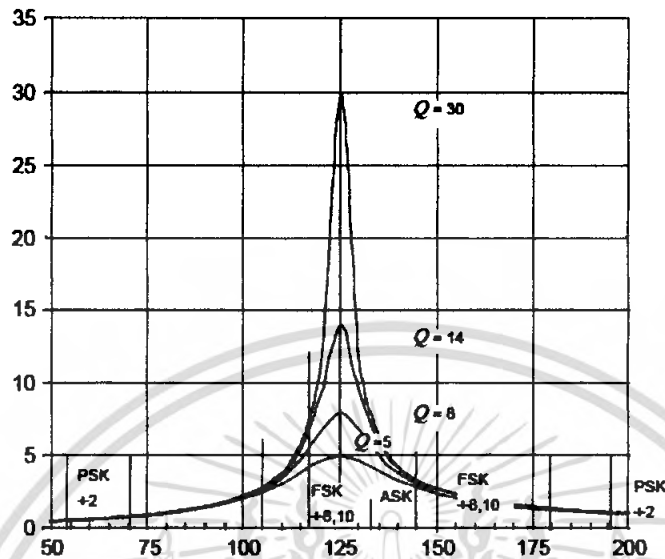
4.4 ค่าประสิทธิภาพ (Q) และแบนด์วิดท์

รูปที่ 4.3.3 แสดงการประมาณช่วงความถี่สำหรับรูปแบบรวมๆ ของการมอดแบบแอมพลิจูดชีพต์คีย์อิง (ASK), เฟรควเอนซีชีพต์คีย์อิง (FSK) และเฟสชีพต์คีย์อิง (PSK) สำหรับการกู้ของสัญญาณข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายวงจรของเครื่องอ่านต้องการแบนด์วิดท์ที่มีค่าน้อยที่สุดเป็นสองเท่าของอัตราส่วนข้อมูล ดังนั้นถ้าอัตราส่วนของข้อมูลคือ 8 kHz สำหรับสัญญาณแบบแอมพลิจูดชีพต์คีย์อิง แบนด์วิดท์จะต้องมีค่าน้อยที่สุดที่ 16 kHz สำหรับการกู้ของข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องลูกข่าย

อัตราข้อมูลสำหรับสัญญาณเฟรควเอนซีชีพต์คีย์อิง ($\div 10$) คือ 12.5 kHz ดังนั้นแบนด์วิดท์ที่ต้องการสำหรับการกู้ข้อมูลคือ 25 kHz

สำหรับสัญญาณเฟสชีพต์คีย์อิง ($\div 2$) อัตราข้อมูลคือ 62.5 kHz (ถ้าความถี่คลื่นพาห์คือ 125 kHz) ดังนั้นวงจรเครื่องอ่านต้องการแบนด์วิดท์ 125 kHz ค่าประสิทธิภาพในกรณีนี้จะเท่ากับ 1 ปัญหาในที่นี้แก้ไขโดยการแยกขดลวดส่งและขดลวดรับซึ่งขดลวดส่งสามารถออกแบบให้มีค่าประสิทธิภาพสูงและขดลวดรับสามารถออกแบบให้มีค่าประสิทธิภาพต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ค่าประสิทธิภาพกับรูปแบบการมอดูเลต

4.5 การกำหนดขอบเขตของค่าประสิทธิภาพ

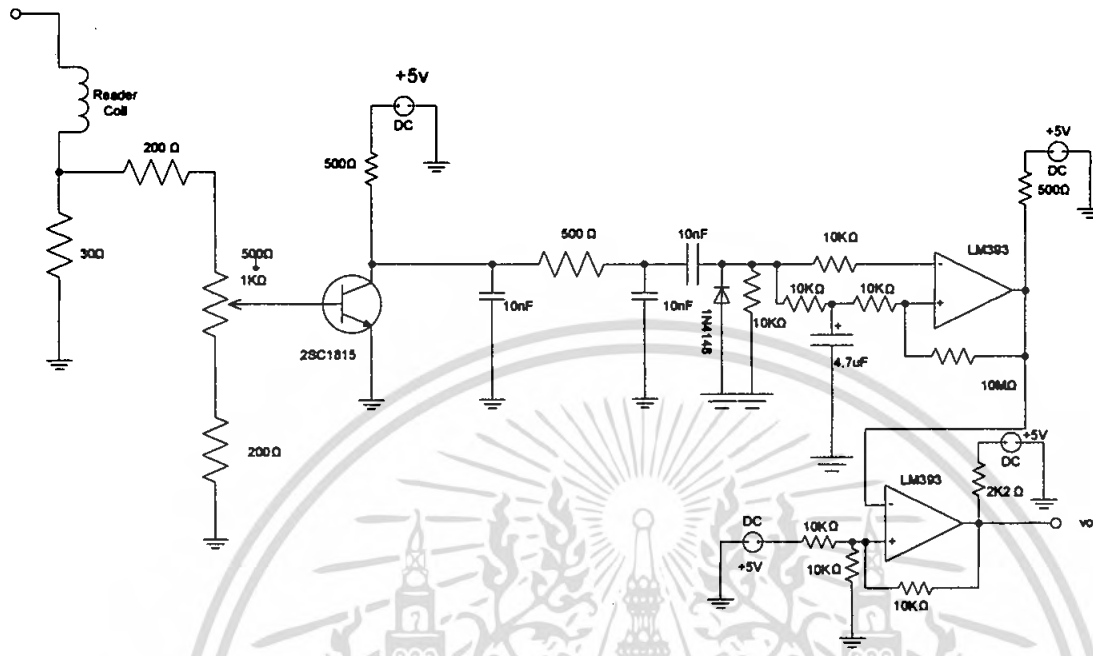
เมื่อทำการออกแบบวงจรสายอากาศของเครื่องอ่าน อาจจะต้องคิดว่าการออกแบบขดลวดจะต้องมีค่าประสิทธิภาพสูง ในที่นี้มีสามประการที่สำคัญที่เป็นข้อกำหนดขอบเขตในการพิจารณา

4.5.1 แรงดันที่สูงมากเกิดจากค่าเบรคควานอื่น ไชลูชัน ในขดลวดหรือค่าความจุที่เรโซแนนซ์ สำหรับตัวอย่าง กระแส 1 แอมป์แปรที่ไหลในขดลวด 2 mH จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขดลวด 1500 Vpp ข้อเพิ่มเติม ในกรณีของการออกแบบขดลวดเพียงรูปเดียวของตัวอ่าน การกู้สัญญาณที่ได้รับจากเครื่องลูกข่ายจะต้องกระทำที่เปอร์เซ็นต์ของแรงดันที่มีค่าสูง

4.5.2 การจูนที่เหมาะสมในช่วงวิกฤต อุปกรณ์ที่ใช้วงจรสายอากาศที่มีค่าประสิทธิภาพสูง, แรงดันสูงจะมีส่วนประกอบของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้และ มีความเสถียรภาพสูงน่าจะมีใช้ แต่โดยทั่วไปจะมีราคาแพงและยากที่จะมีใช้โดยทั่วไป

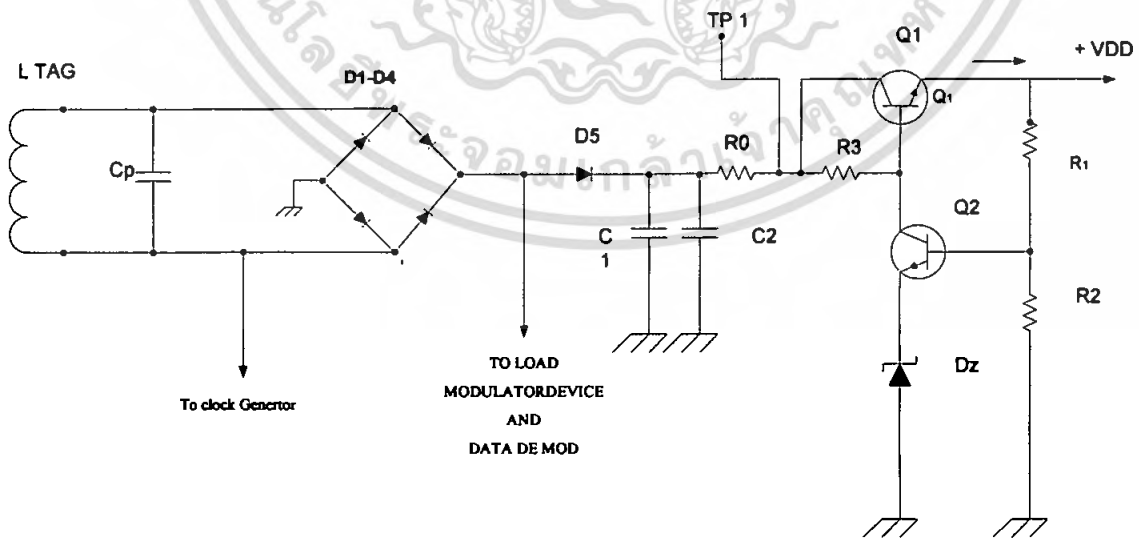
4.5.3 ค่าประสิทธิภาพของวงจรที่ได้รับมีค่าสูงค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่ย้อนกลับมาจะสัมพันธ์กับกำลังของคลื่นพาทที่ได้รับ ซึ่งสัญญาณที่ออกมาจากเครื่องลูกข่ายจะมีค่าน้อย วงจรของเครื่องอ่านอาจเกิดความสับสนได้ในการกู้สัญญาณ

5.2 Demodulator



รูปที่ 5.2 วงจร Demodulator

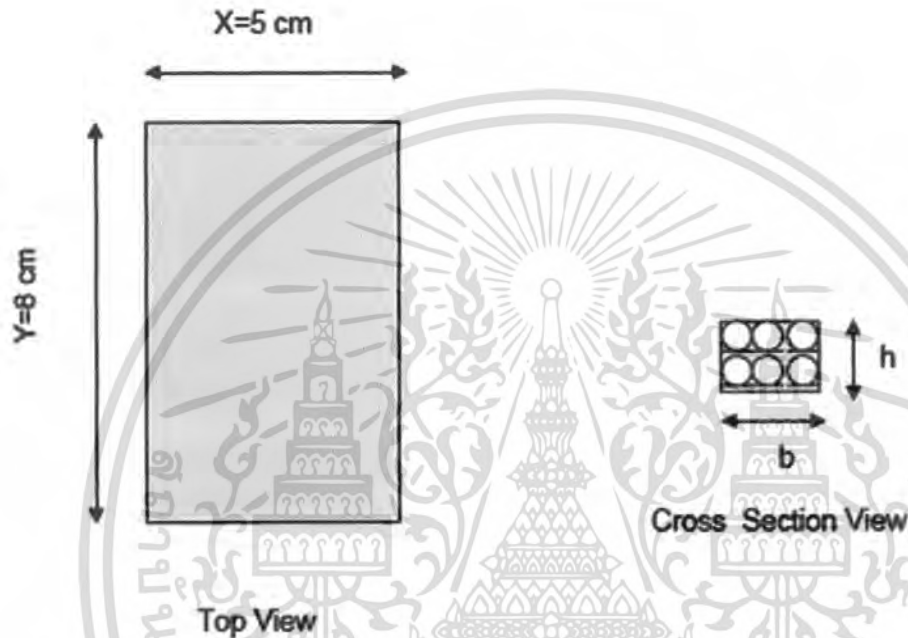
5.3 Tag



รูปที่ 5.3 วงจรรวมของ Tag ก่อนที่จะส่งไปยังภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การออกแบบ Rectangular Loop Tag Coil 125 kHz



รูปที่ 5.4 SQUARE LOOP COIL ของ Tag

5.5 วิธีการคำนวณค่า Coil ในวงจร แท็ก

$$\text{สูตรที่ใช้ในการคำนวณ } L = \frac{0.0276(CN)^2}{1.908C + 9b + 10h} \mu\text{H}$$

N = Number of turns

$$C = X + Y + 2h$$

H = Coil Height \approx wire diameter

X = Average width of coil $\approx 5.0 \text{ cm}$

Y = Average length of coil $\approx 8.0 \text{ cm}$

$$C \approx 11.9 + 2d_T \text{ cm}$$

d_T = Total wire diameter

b = width of cross section (เมื่อมีสารเคลือบที่สาย)

$$b \approx n(d_T + \underbrace{0.025}_{\text{Spacing} \approx 0.255\text{mm}})$$

d_T = Bare wire diameter + coating Thick

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d = Bare wire diameter (เมื่อไม่มีสารเคลือบที่สาย)

$$b \approx n(d+0.01) \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} 0.01 \text{ cm} &= 100 \times 10^{-3} \text{ mm} \\ &= \left(\underset{\text{Coating}}{75} + \underset{\text{Spacing}}{25} \right) \times 10^{-3} \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b_{\text{MAX}} \leq 0.6 \text{ cm}$$

δ = Skin depth

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$$

$$\mu = \mu_r \mu_o : \mu_r (\text{cu}) = 1, \mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \text{ h/m}$$

$$\sigma = \text{conductivity} \quad \sigma_{\text{cu}} \approx 5.7143 \times 10^7 (\Omega - \text{m})^{-1}$$

$$\text{หรือ } \rho = \text{Resisivity} = 1/6 = 1.75 \times 10^{-8} \Omega - \text{m}$$

$$\delta_{\text{cu}} (125 \text{ KHz}) \approx 0.187 \text{ mm}$$

$$r_{\text{DC}} = \frac{\rho \ell}{A} : \ell, A \text{ in m } \Omega$$

$$A_{\text{DC}} = \frac{\pi d^2}{4} \text{ m}^2$$

$$r_{\text{AC}} = \frac{\rho \ell}{A_{\text{AC}}}$$

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

$$\text{ถ้า } d - 2\delta \leq 0$$

$$\text{ฉะนั้นจะได้ } r_{\text{AC}} \approx \frac{\rho \ell}{A_{\text{DC}}} \left(1 + \frac{1}{48} \left(\frac{d}{2\delta} \right)^2 \right) \Omega$$

$$Q_u = \frac{2\pi f L}{r_{\text{AC}}} \quad (\text{เมื่อ } r_{\text{AC}} = \text{Series Resistance})$$

$$\text{Equivalent } r_p = r_{\text{AC}} (1 + Q_u^2)$$

$$R_{\text{LTOT}} = r_p / R_{\text{LAC}}$$

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L}$$

$$\text{BW} = \frac{1}{2\pi R_{\text{LTOT}} C} \quad \text{และ} \quad Q_{\text{LOAD}} = \frac{f}{\text{BW}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FREQ =125 Kz

$$V_{DCin} \approx 6.0V, I_{DCin} \approx 5.0mA : P_{LOADDC} \approx 30.0mW$$

$$V_{AC} \approx \frac{(6 + 2.25 + 0.1)}{\sqrt{2}} \approx 5.83V_{RMS}$$

$$R_{LAC} \approx 1132.96\Omega$$

Tag Average Size (5.0×8.0) cm²

Bare wire diam =0.16 mm

Total wire diam =0.18 mm

ใช้ขดลวดเบอร์ 34 AWG



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพในการพันขดลวด โดยจำนวนรอบที่แตกต่างกัน

n	$\frac{b(\text{mm})}{l_T(\text{m})}$	$\frac{L_s(\mu\text{H})}{L_p(\mu\text{H})}$	Q_u	$\frac{r_{SAC}(\Omega)}{r_{PAC}(\Omega)}$	R_{TOT}	QL	C (nF)	$\frac{BW(\text{kHz})}{N.Q_L}$
20	$\frac{5.5}{5.20}$	$\frac{62.53}{62.89}$	13.12	$\frac{3.74}{647.52}$	412.04	8.35	25.8	$\frac{14.97}{167}$
21	$\frac{5.78}{5.46}$	$\frac{68.36}{68.72}$	13.65	$\frac{3.93}{736.177}$	446.22	8.27	23.61	$\frac{15.11}{173.67}$
22	$\frac{6.06}{5.72}$	$\frac{74.41}{74.78}$	14.14	$\frac{4.13}{829.88}$	479.01	8.15	21.7	$\frac{15.32}{179.3}$
23	$\frac{6.34}{5.98}$	$\frac{80.66}{81.03}$	14.72	$\frac{4.30}{936.017}$	512.55	8.06	20.03	$\frac{15.51}{185.38}$
24	$\frac{6.62}{6.24}$	$\frac{87.12}{87.49}$	15.23	$\frac{4.49}{1045.96}$	543.86	7.92	18.55	$\frac{15.78}{190.08}$
25	$\frac{6.90}{6.50}$	$\frac{93.77}{94.14}$	15.73	$\frac{4.68}{1162.66}$	573.8	7.76	17.23	$\frac{16.1}{194.0}$
26	$\frac{7.18}{6.76}$	$\frac{100.6}{100.98}$	16.25	$\frac{4.86}{1288.2}$	602.8	7.60	16.07	$\frac{16.44}{197.76}$
27	$\frac{7.46}{7.02}$	$\frac{107.63}{108.01}$	16.73	$\frac{5.05}{1418.5}$	629.87	7.42	15.02	$\frac{16.83}{200.34}$
28	$\frac{7.74}{7.28}$	$\frac{114.84}{115.22}$	17.2	$\frac{5.24}{1555.44}$	655.50	7.24	14.08	$\frac{17.25}{202.72}$
29	$\frac{8.02}{7.54}$	$\frac{122.23}{122.62}$	17.70	$\frac{5.42}{1703.45}$	680.41	7.06	13.23	$\frac{17.69}{204.74}$
30	$\frac{8.3}{7.8}$	$\frac{129.79}{130.18}$	18.13	$\frac{5.62}{1852.89}$	703.06	6.87	12.46	$\frac{18.14}{206.1}$
31	$\frac{8.58}{8.06}$	$\frac{137.53}{137.92}$	18.61	$\frac{5.8}{2014.53}$	725.14	6.67	11.76	$\frac{18.67}{207.39}$
32	$\frac{8.86}{8.32}$	$\frac{145.43}{145.83}$	19.06	$\frac{5.99}{2182.05}$	745.75	6.51	11.13	$\frac{19.18}{208.32}$
33	$\frac{9.14}{8.58}$	$\frac{153.48}{153.88}$	19.49	$\frac{6.18}{2353.17}$	764.81	6.32	10.54	$\frac{19.75}{208.56}$
34	$\frac{9.42}{8.84}$	$\frac{161.70}{162.10}$	19.96	$\frac{6.36}{2540.19}$	783.50	6.15	10.01	$\frac{20.32}{209.1}$
35	$\frac{9.42}{9.1}$	$\frac{171.35}{171.75}$	20.53	$\frac{6.55}{2764.25}$	830.85	5.95	9.44	$\frac{20.95}{208.25}$

ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพในการพันขดลวด โดยจำนวนรอบที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

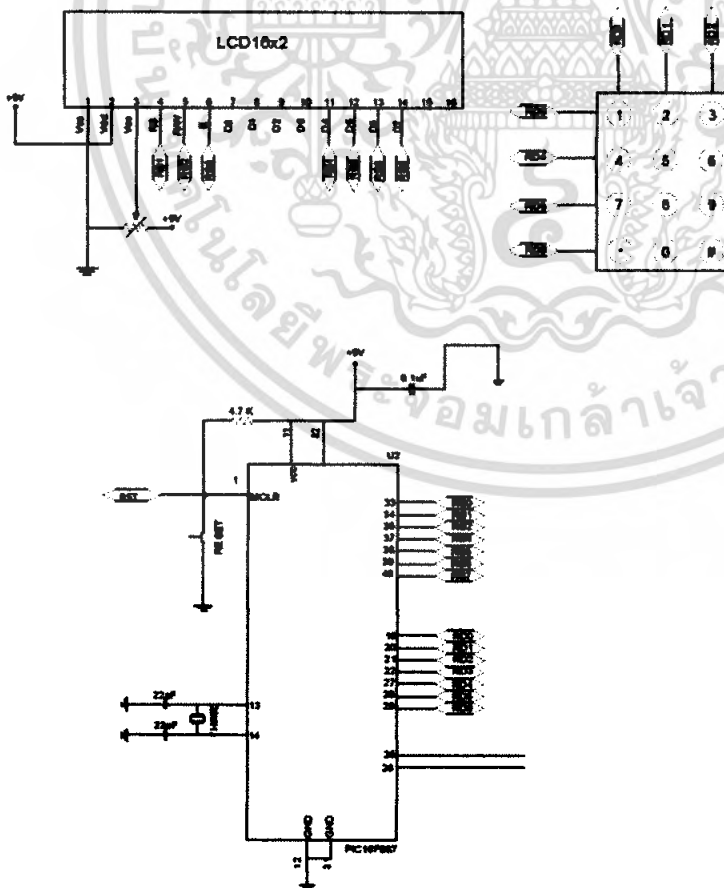
บทที่ 6 โปรแกรมการของคิคต่อ

เทคโนโลยี RFID จะมีการทำงานที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของเครื่องอ่านและส่วนของเครื่องลูกข่าย ในส่วนของเครื่องอ่านจะทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายโดยมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลถ้าข้อมูลถูกต้องก็จะแสดงผลออกทางLED และส่งข้อมูลไปให้กับเครื่องลูกข่าย ในส่วนของเครื่องลูกข่ายจะทำหน้าที่รับข้อมูลเข้ามาเก็บลงในหน่วยความจำและอ่านข้อมูลที่ได้อ่านส่งให้กับเครื่องอ่าน โดยมีลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้

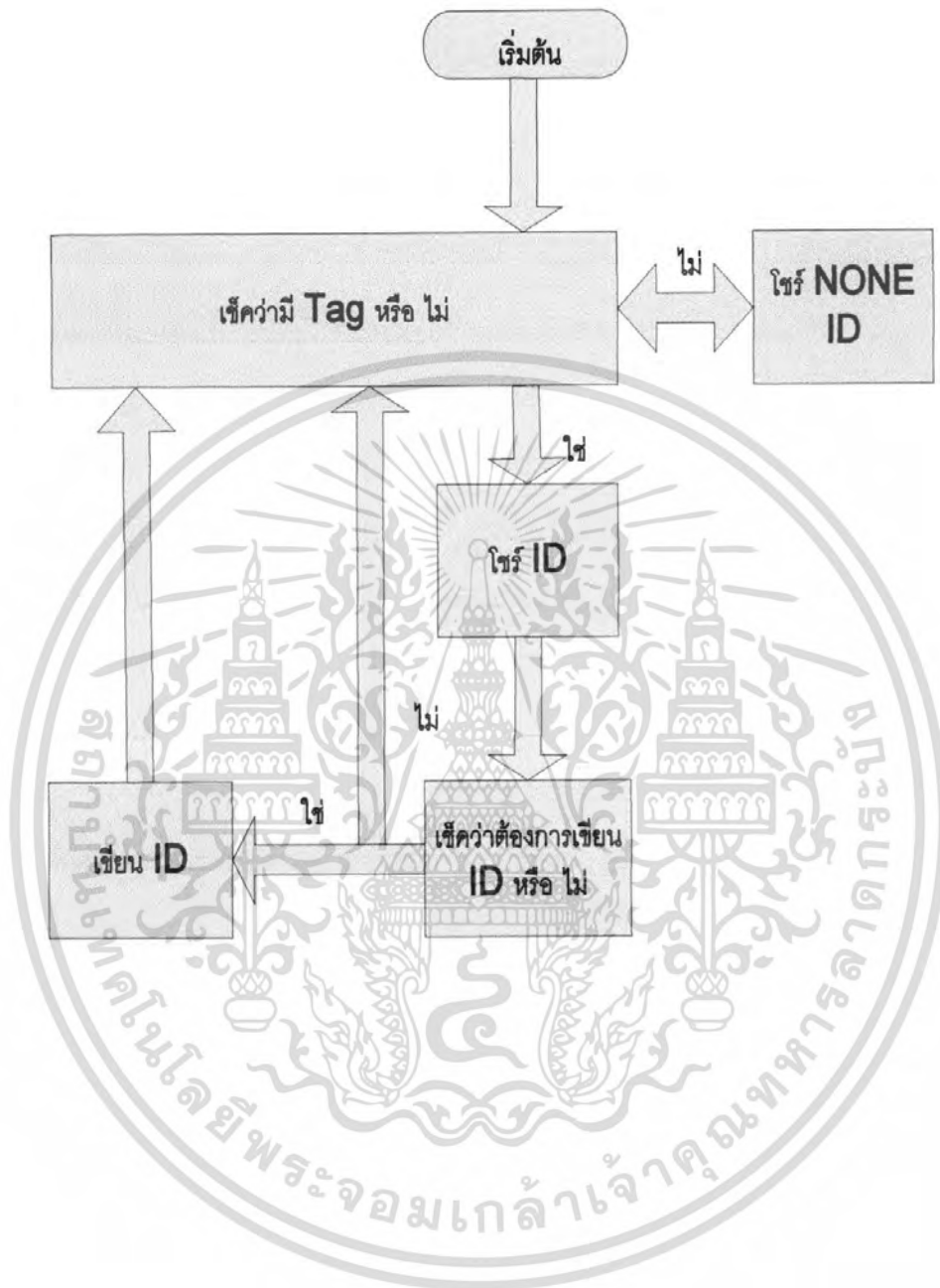
6.1 เครื่องอ่าน

6.1.1 ส่วนของวงจรของเครื่องอ่าน

ส่วนของวงจรของเครื่องอ่าน โดย พอร์ต ที่ 25 และ 26 เป็น พอร์ต ข้อมูลหลักการทำงาน

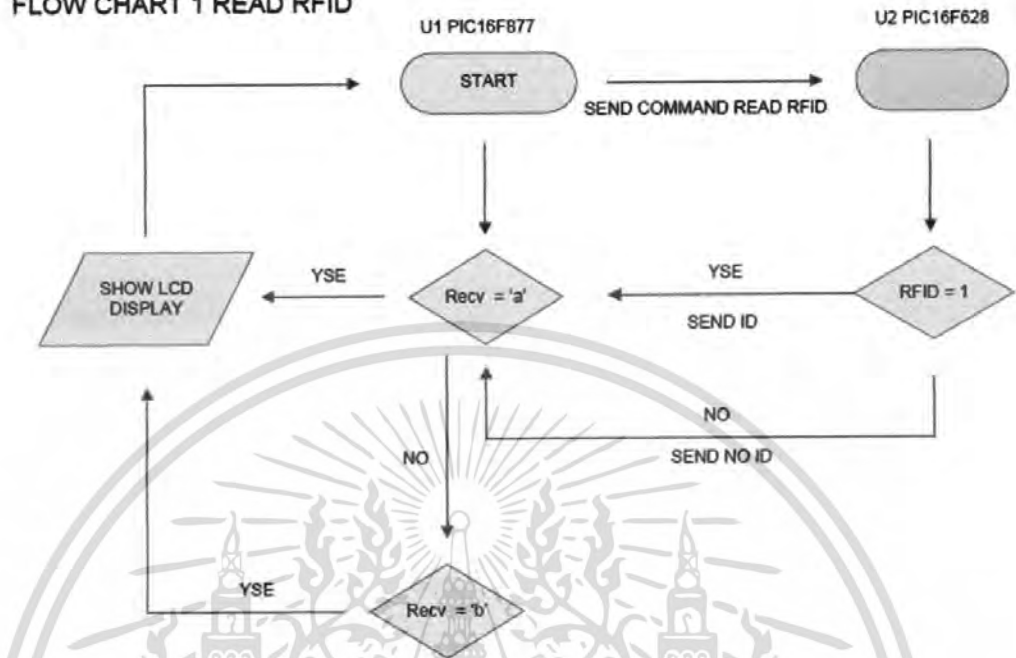


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

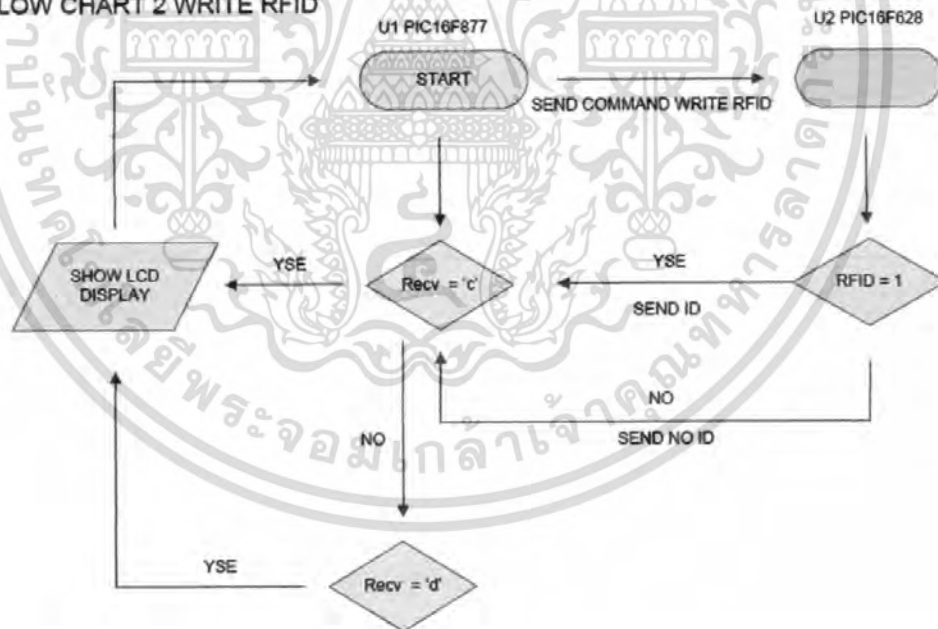


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOW CHART 1 READ RFID



FLOW CHART 2 WRITE RFID



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.2 ส่วนของโปรแกรมเครื่องอ่าน

```

#include <16F877.h>

#define TxD PIN_C6
#define RxD PIN_C7

#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOPUT

#use delay(CLOCK=20000000)

#use rs232(baud=9600,xmit=TxD,rcv=RxD)

#define use_portb_lcd // Set port LCD port b. //
#include <LCD.c> // open file LCD control. //
#use fast_io(A)

char data_code[11] = { 0x30,0x31,0x32,0x33,0x34,
                      0x35,0x36,0x37,0x38,0x39,0xFE}; // -- ascii code num "0-9" --//

// ----- FUNCTION SEND ID ----- //
unsigned char ID_send[4];
void send_id(unsigned char command)
{
    unsigned char x;
    putc('s');
    if(command==0) {putc('a');}
    if(command==1) {putc('b');}
    if(command==2) {putc('c');}
    if(command==3) {putc('d');}
    for(x=0;x<4;x++)
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if((command==0)||(command==3)) // command check RFID. //
{
    ID_send[x] = '0';
}
if((command==1)||(command==2))
{
    putc(ID_send[x]);
}
}
putc('e');
}
//-----//
//-----FUNCTION RECV ID-----//
unsigned char ID_recv[7];
void recv_id()
{
    unsigned char x;
    ID_recv[0] = getc();
    if(ID_recv[0]=='s')
    {
        for(x=1;x<7;x++)
        {
            ID_recv[x] = getc();
            if(ID_recv[x]=='e') {x = 7;}
        }
    }
}
//-----//

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// ----- MAIN PROGRAMS -----
// ----- //
void main(void)
{
    unsigned char i;
    unsigned char mode=0;
    unsigned char num[5];
    unsigned char position;
    unsigned char aa,bb,cc,dd;
    set_tris_d(0b11110000); // set port d output_port PIN D0 - D3 and
input_port PIN D4 - D7. //
    lcd_init(); delay_ms(1000);
// ----- loop while TRUE. -----
// ----- //
    while(TRUE)
    {
// ----- MODE RECV ID RFID -----
// ----- //
        if(mode==0)
        {
            lcd_command(0x01); // clear screen. //
            lcd_command(0x80); lcd_putc("RFID 125K");
            while(mode==0)
            {
                send_id(0); // command check RFID. //
                rcv_id(); // rcv command check RFID. //
                if(ID_rcv[1]=='a') // rcv command none RFID. //
                {lcd_command(0xC0); lcd_putc("NONE ID. ");}
                if(ID_rcv[1]=='b') // rcv command HAVE RFID. //
                {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    lcd_command(0xC0); lcd_putc("ID = ");
    lcd_gotoxy(6,2);
    lcd_putc(data_code[ID_recv[2]]);
    lcd_putc(data_code[ID_recv[3]]);
    lcd_putc(data_code[ID_recv[4]]);
    lcd_putc(data_code[ID_recv[5]]);
}
// ----- scan COL_2 ----- //
output_d(0x04);
if(input(pin_d7))
{
    if(input(pin_d7)) {mode=1;} // ROW_3
    while(input(pin_d7)) {delay_us(100);}
}
// ----- END SCAN COL 2 ----- //
}
}
// ----- MODE WRITE DATA ID -----
// -----
if(mode==1)
{
    lcd_command(0x01); // clear screen. //
    position = 0;
    lcd_command(0x80); lcd_putc("WRITE DATA");
    lcd_command(0xC0); lcd_putc("ID = ");
    while(mode==1)
    {
        if(position==0) {aa=10;bb=10;cc=10;dd=10;}
        if(position==1) {aa=num[0];bb=10;cc=10;dd=10;}
        if(position==2) {aa=num[0];bb=num[1];cc=10;dd=10;}
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if(position==3) {aa=num[0];bb=num[1];cc=num[2];dd=10;}
        if(position>=4)
{aa=num[0];bb=num[1];cc=num[2];dd=num[3];position=4;}

        lcd_gotoxy(6,2);
        lcd_putc(data_code[aa]);
        lcd_putc(data_code[bb]);
        lcd_putc(data_code[cc]);
        lcd_putc(data_code[dd]);
        // ----- scan COL_0 ----- //
        output_d(0x01);
        if((input(pin_d4))||(input(pin_d5))||(input(pin_d6))||(input(pin_d7)))
        {
            if(input(pin_d4)) {num[position] = 1; position++;} // ROW_0
            if(input(pin_d5)) {num[position] = 6; position++;} // ROW_1
            if(input(pin_d6)) {num[position] = 7; position++;} //
ROW_2
            if(input(pin_d7)) {position = 0;
num[0]=num[1]=num[2]=num[3]=0;} // ROW_3

        while((input(pin_d4))||(input(pin_d5))||(input(pin_d6))||(input(pin_d7)))
        {delay_us(100);}
        }
        // ----- END SCAN COL 0 ----- //
        // ----- scan COL_1 ----- //
        output_d(0x02);
        if((input(pin_d4))||(input(pin_d5))||(input(pin_d6))||(input(pin_d7)))
        {
            if(input(pin_d4)) {num[position] = 2; position++;} // ROW_0
            if(input(pin_d5)) {num[position] = 5; position++;} // ROW_1
            if(input(pin_d6)) {num[position] = 8; position++;} // ROW_2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if(input(pin_d7)) {num[position] = 0; position++;} // ROW_3

while((input(pin_d4))||(input(pin_d5))||(input(pin_d6))||(input(pin_d7)))
{delay_us(100);}

    }

// ----- END SCAN COL 1 ----- //

// ----- scan COL_2 ----- //

output_d(0x04);
if((input(pin_d4))||(input(pin_d5))||(input(pin_d6))||(input(pin_d7)))
{
    if(input(pin_d4)) {num[position] = 3; position++;} // ROW_0
    if(input(pin_d5)) {num[position] = 4; position++;} // ROW_1
    if(input(pin_d6)) {num[position] = 9; position++;} // ROW_2
    if(input(pin_d7)) { mode = 2;} // ROW_3

while((input(pin_d4))||(input(pin_d5))||(input(pin_d6))||(input(pin_d7)))
{delay_us(100);}

    }

// ----- END SCAN COL 2 ----- //

} // ----- //

// ----- MODE send ID MEMORY EEPROM ----- //

if(mode==2)
{
    lcd_command(0xC0); lcd_putc("START WRITE");
    for(i=0;i<5;i++)
    {
        ID_send[i] = num[i];
    }

    send_id(2); // command memory ID IN RFID. //

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

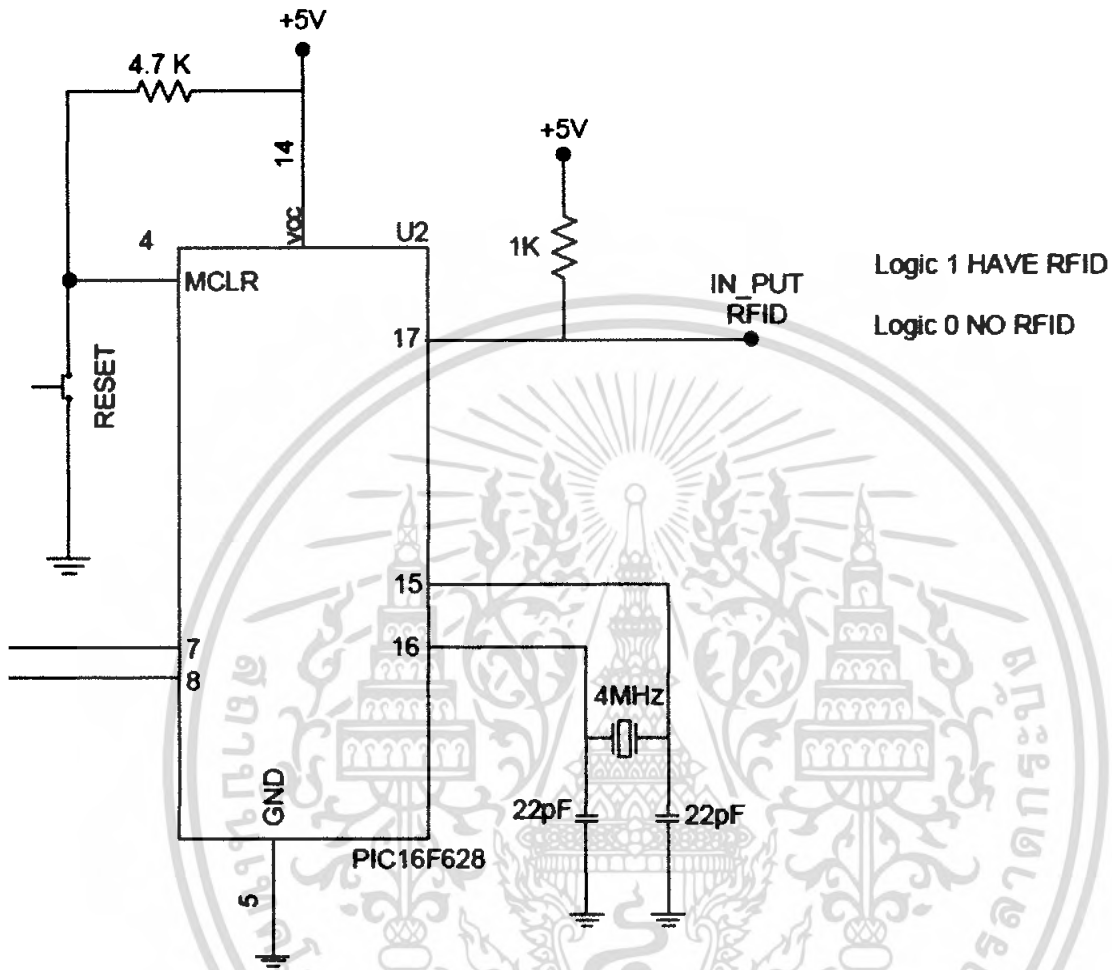
```

while(mode==2)
{
    recv_id();
    if (ID_recv[1]=='a')
    {
        lcd_command(0xC0); lcd_putc("NONE ID. ");
        delay_ms(2000);
        mode = 0;
    }
    if (ID_recv[1]=='d')
    {
        lcd_command(0xC0); lcd_putc("WRITE OK. ");
        delay_ms(2000);
        mode = 0;
    }
}
// -----//
} // ----- END loop while TRUE. ----- //
} // ----- END MAIN PROGRAMS ----- //

```

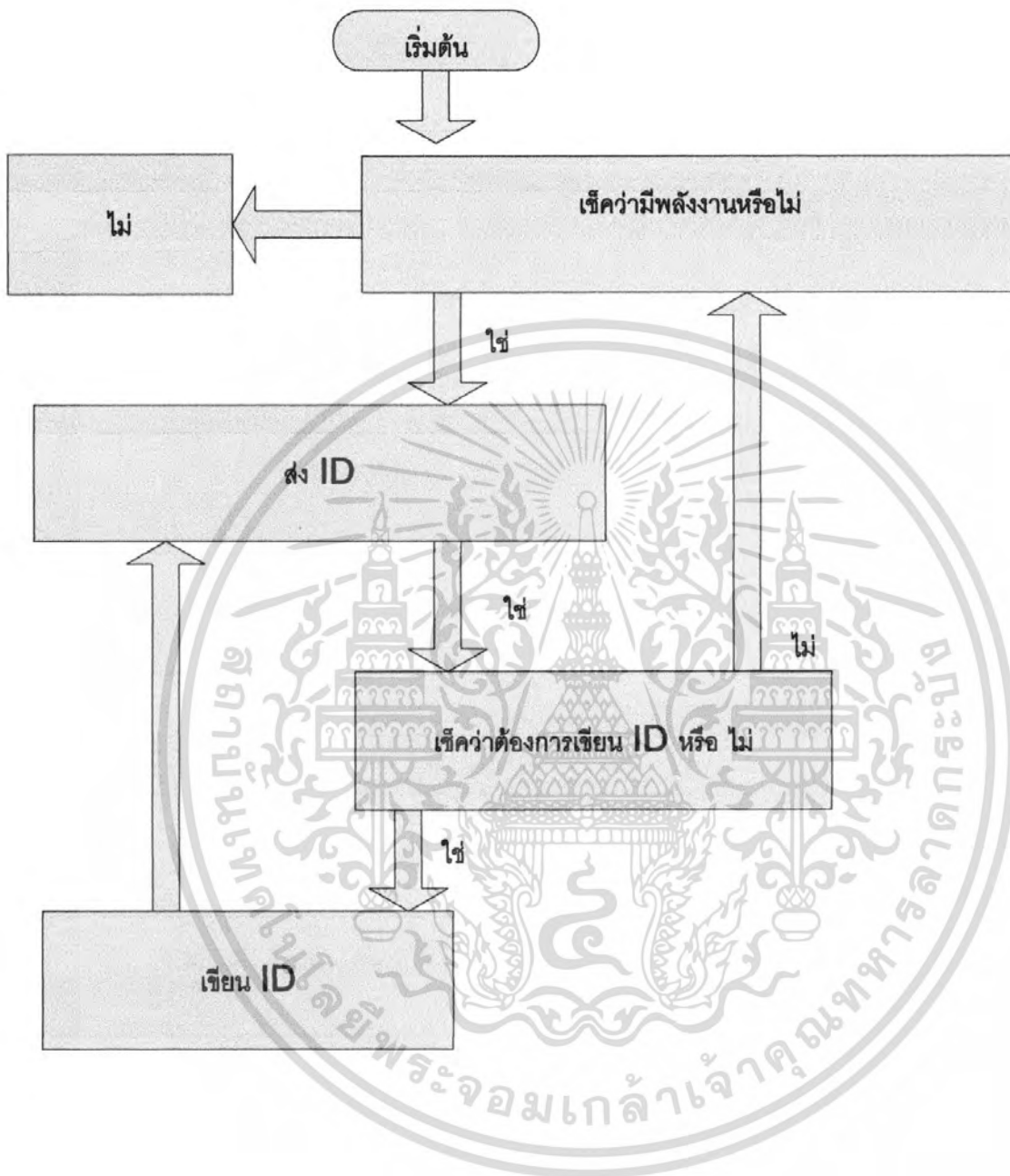
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 เครื่องรับ



โดย พอร์ต 7 และ 8 เป็นพอร์ต ข้อมูลหลักการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.1 ส่วนของโปรแกรมเครื่องอ่าน

```

#include <16F628A.h>
#include delay(clock=4000000)
#include XT,PUT,BROWNOUT,MCLR,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#include rs232(baud=9600,xmit=PIN_B2,rcv=PIN_B1)
#include fast_io(A)

// ----- FUNCTION SEND ID ----- //
unsigned char ID_send[4];
void send_id(unsigned char command)
{
    unsigned char x;
    putc('s');
    if(command==0) {putc('a');}
    if(command==1) {putc('b');}
    if(command==2) {putc('c');}
    if(command==3) {putc('d');}
    for(x=0;x<4;x++)
    {
        if((command==0)||(command==3)) // command check RFID. //
        {
            ID_send[x] = '0';
        }
        if((command==1)||(command==2))
        {
            ID_send[x] = read_eprom(x); delay_ms(20);
            putc(ID_send[x]);
        }
    }
    putc('e');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

} //----- //
//----- FUNCTION RECV ID ----- //
unsigned char ID_rcv[7];
void recv_id()
{
    unsigned char x;
    ID_rcv[0] = getc();
    if(ID_rcv[0]=='s')
    {
        for(x=1;x<7;x++)
        {
            ID_rcv[x] = getc();
            if(ID_rcv[x]=='e') {x = 7;}
        }
    }
}
//----- //

void main(void)
{
    unsigned char mode;
    unsigned char ch;
    // adder eeprom 0 ID[1] //
    // adder eeprom 1 ID[2] //
    // adder eeprom 2 ID[3] //
    // adder eeprom 3 ID[4] //
    set_tris_a(0b00000001);
    while(TRUE)
    {
//----- mode select function ----- //

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(mode==0)
{
  while(mode==0)
  {
    // ----- if HAVE RFID ----- //
    if(input(PIN_A0)==0)
    {
      while(input(PIN_A0)==0)
      {
        recv_id();
        if (ID_recv[1]=='a')
        {
          send_id(1);
        }
        if (ID_recv[1]=='c')
        {
          write_eeprom(0,ID_recv[2]); delay_ms(20);
          write_eeprom(1,ID_recv[3]); delay_ms(20);
          write_eeprom(2,ID_recv[4]); delay_ms(20);
          write_eeprom(3,ID_recv[5]); delay_ms(20);
          delay_ms(2000);
          send_id(3);
        }
      }
    }
  }
  // ----- NONE HAVE RFID ----- //
  else
  {
    recv_id();
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (ID_rcv[1]=='a') // no RFID. //
{
    send_id(0);
}
if (ID_rcv[1]=='c')
{
    send_id(0);
}
}
// ----- //
}
}
// ----- //
// ----- mode WRITE ID ----- //
if(mode==1)
{
    while(mode==1)
    {
        if(input(PIN_A0)==0)
        {
            while(input(PIN_A0)==0)
            {
                send_id(1);
                ch = getc();
                if(ch == 'B') mode=0;
            }
        }
    }
    send_id(0);
    ch = getc();
    if(ch == 'B') mode=0;
}

```

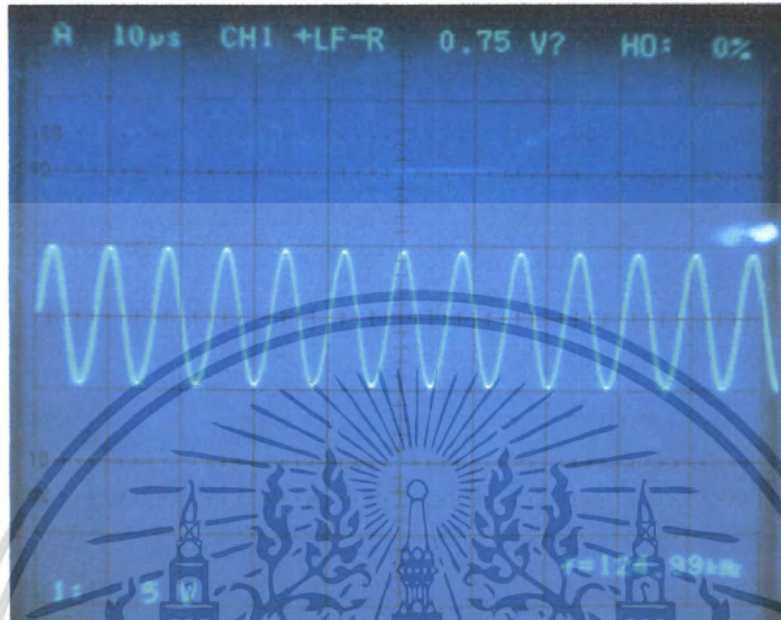
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}
// ----- //
// ----- mode rcv id ----- //
if(mode==2)
{
    while(mode==2)
    {
        rcv_id();
        ch = getc();
        if(ch=='E')
        {
            mode=0;
        }
    }
    write_eeprom(0,ID_rcv[1]); delay_ms(20);
    write_eeprom(1,ID_rcv[2]); delay_ms(20);
    write_eeprom(2,ID_rcv[3]); delay_ms(20);
    write_eeprom(3,ID_rcv[4]); delay_ms(20);
}
// ----- //
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

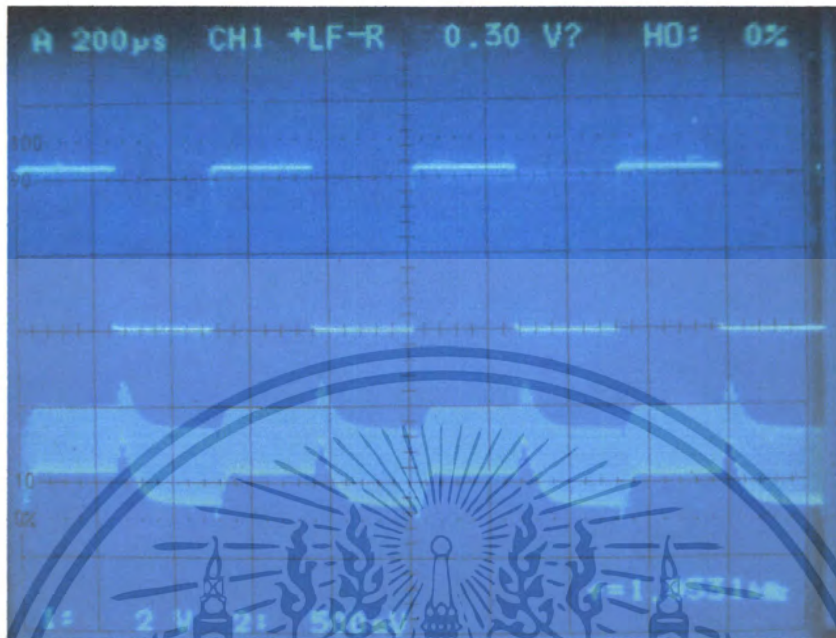


รูปที่ 7.2 ภาพแสดง สัญญาณที่วัดคร่อมขา RL

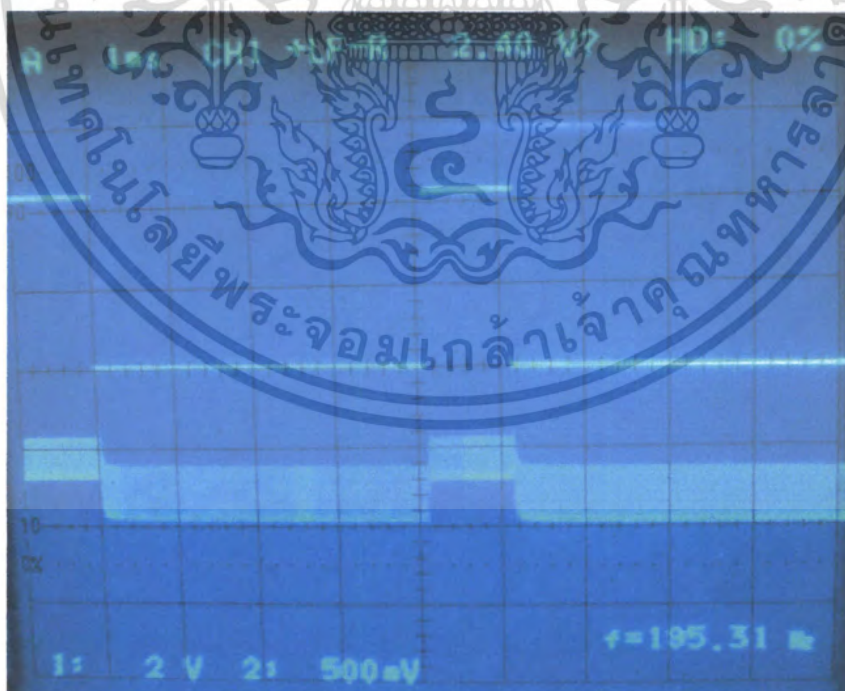


รูปที่ 7.3 ภาพแสดงสัญญาณ 125 kHz ของวงจรหารความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



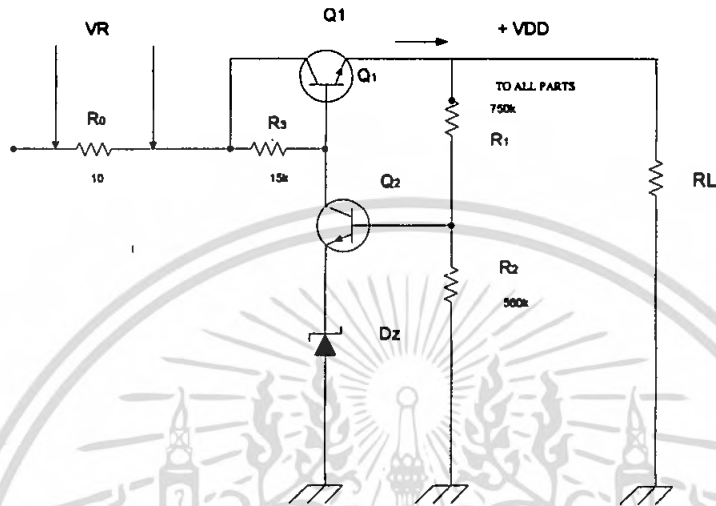
รูปที่ 7.4 รูปสัญญาณเปรียบเทียบข้อมูลจาก เครื่องลูกข่าย 10101010 กับ สัญญาณที่ได้ จาก ภาคคิมอคูเลเตอร์



รูปที่ 7.5 รูปสัญญาณเปรียบเทียบข้อมูลจาก เครื่องลูกข่าย 1100000000 กับ สัญญาณที่ได้

จากภาคคิมอคูเลเตอร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 การทดลอง Tag Voltage Regulator



รูปที่ 7.6 แสดงวงจร Regulator

โดยแบ่งออกเป็น

1. Load Regulation Test Condition

คือการทดสอบจ่ายแรงดันไฟฟ้า 7 V และทำการเปลี่ยนค่า R_L 6 ค่า คือ 5K , 2.5k , 1.667k , 1.25k , 1k , 833 Ω และทำการเปลี่ยนค่า R_3 จาก 15K เป็น LM 334 ได้ผลการทดลองดัง

ตาราง

RL	VRL(V)	VR10(mv)
1	4.36	10
2	4.35	16
3	4.35	27.1
4	4.34	35.7
5	4.33	44.4
6	4.33	52.8

ตารางที่ 7.1 $R_3 = 15K \Omega$

RL	VRL(V)	VR10(mv)
1	4.24	9.0
2	4.23	17.4
3	4.23	25.7
4	4.22	34.1
5	4.22	42.4
6	4.22	50.6

ตารางที่ 7.2 R_3 เป็น LM 334

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Line Regulator Test Condition

คือการทดลองเปลี่ยนแรงดัน จาก 7V ถึง 25 V โดยเพิ่มทีละ 3V ทำการทดลองกับค่าความต้านทาน 2 ค่า คือ 1.667K Ω และ 833 Ω ได้ผลการทดลองดังตารางด้านล่างนี้

ที่ $RL = 833 \Omega$

V_{in}	7	10	13	16	19	22	25
VRL(V)	4.34	4.57	4.75	4.94	5.1	5.3	5.5
VR10(โหม้ม)	52.8	57.5	61.4	65.4	69.9	73.9	78.2

ตารางที่ 7.3 ที่ $RL = 833 \Omega$

ที่ $RL = 1.667 K \Omega$

V_{in}	7	10	13	16	19	22	25
VRL(V)	4.36	4.58	4.79	4.98	5.16	5.3	5.6
VR10(โหม้ม)	27.2	30.3	33.5	36.4	39.3	42.3	45.4

ตารางที่ 7.4 ที่ $RL = 1.667 K \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางวัดค่าการส่งผ่านกำลังงาน Reader TO Tag

ค่า $RL = 860 \Omega$

ระยะทาง (cm)	TP 1 (V)	VRL (V)	P (mw)
0	20.1	4.23	20.8
0.5	18.1	4.23	20.8
1	15.3	4.23	20.8
1.5	9.33	4.23	20.8
2	6.17	4.23	20.8
2.5	5.13	3.82	16.96
3	4.61	3.35	13.04
3.5	4.16	2.93	9.98
4	3.57	2.35	6.42
4.5	3.16	1.94	4.37
5	2.67	1.48	3.22

ตารางที่ 7.5 ค่า $RL = 860 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง เราสามารถเราสามารถส่งข้อมูลจาก Tag ไปยัง Reader จริง โดยในการทดลองขั้นแรกเป็นการทดลองส่งผ่านกำลังงานจาก Reader ไป Tag เพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานของวงจรต่างๆของ Tag ซึ่งจากการทดลองทำให้ทราบว่าระยะทางที่วงจรยังสามารถทำงานอยู่ได้มีค่าประมาณ 0 – 2.5 cm แล้ว เราทำการทดลองการส่งข้อมูลจาก Tag ไป Reader จากการทดลอง เราสามารถส่งข้อมูลได้จริง โดยที่ข้อมูลยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเราสามารถสรุปได้ว่า วงจรที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้จริง

วิจารณ์การทดลอง

การคำนวณจำนวนรอบ และขนาดของตัวเหนี่ยวนำ เกิดความคลาดเคลื่อนจึงส่งผลให้วงจรโดยรวมได้รับผลกระทบไปด้วย

ผลของตัวอุปกรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนมีผลต่อวงจร

การปรับค่าอุปกรณ์ที่มีต้องการความละเอียดสูง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและจำนวนนักศึกษา ไม่เหมาะสมกัน

บรรณานุกรม

- ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, “RFID”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 279, 2548, หน้า 156-166.
- ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, “RFID”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 280, 2548, หน้า 167-177.
- ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, “RFID”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 282, 2548, หน้า 164-174.
- ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, “RFID”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 283, 2548, หน้า 151-162.
- ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, “RFID”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 285, 2549, หน้า 148-159.
- เชษฐธิ์ มณีธรรม, สำเร็จ เต็มราม, “คัมภีร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51”, ไทยเจริญการพิมพ์, 345 หน้า, 2549
- Klaus Finkenzeller, “RFID Handbook”, 2003.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้