

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ
RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION



โดย

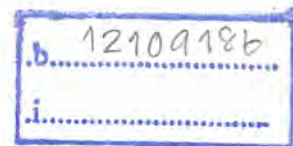
นางสาวจุฬาลักษณ์	ศรียริยวัฒน์	48010142
นางสาวหุตินันท์	จันทร์ปลุก	48010212
นางสาวกัญญาพัชร	ไตรศักดิ์สุริยันต์	48010417
นายพิชญ์	บุญยะลิน	48010610

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.
จ 684 ร
ธธ 1

พศ. ประภากร สุวรรณะ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104155
วัน,เดือน,ปี 3 ต.ค. 2552



ปริญญาโทสำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ

ผู้จัดทำ

- | | | |
|---------------------|--------------------|----------|
| 1. นางสาวจุฬาลักษณ์ | ศรีอริยวัฒน์ | 48010142 |
| 2. นางสาวชุตินันท์ | จันทร์ปลูก | 48010212 |
| 3. นางสาวภิญญาพัชร | ไตรศักดิ์สุริยันต์ | 48010417 |
| 4. นายพิชญ์ | บุญยะดิน | 48010610 |



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ประภากร สุวรรณะ)

16 / มีค / 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ

นางสาว จุฬาลักษณ์ ศรีอริยวัฒน์ รหัส 48010142

นางสาว ชุติพันธ์ จันทรปลุก รหัส 48010212

นางสาว ภิญญาพัชร ไตรศักดิ์สุริยันต์ รหัส 48010417

นาย พิชญ์ บุญยกะถิน รหัส 48010610

ผศ. ประภากร สุวรรณะ อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นกรออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่เป็นระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งประกอบด้วย เครื่องอ่านรหัส และส่วนป้ายชื่อ โดยการทำงานนั้น เครื่องอ่านจะทำหน้าที่ส่งกำลังงานในรูปของแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังป้ายชื่อ เพื่อใช้เป็นพลังงานในวงจรต่างๆบนป้ายชื่อ โดยเครื่องอ่านจะมีกำลังส่งสูงสุดประมาณ 1.2Watt แต่ที่ใช้จริงคือประมาณ 490 mWatt ซึ่งเครื่องอ่านจะประกอบไปด้วยส่วนของวงจรถูกานิตความถี่ 13.56 MHz และส่วนของวงจรเพาเวอร์แอมป์ที่ทำการแมตซ์กับเสาอากาศที่มองเป็นโหลด 50 โอห์ม ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการส่งพลังงานไปให้กับเครื่องลูกข่ายในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านทางขดลวดของเครื่องอ่าน และในส่วนของเครื่องลูกข่ายจะส่งข้อมูลจาก CPU ที่มี Bit Rate 106 kbit/s ไปทำการมอดูเลตได้ทั้งแบบ ASK และ PSK โดยมีคลื่นพาห้รอง ความถี่ 847.5 kHz (ตามมาตรฐาน ISO15693 สำหรับ ASK และ ISO14443 สำหรับ PSK) เพื่อส่งด้วยวิธีการ Load Modulation ไปยังเครื่องอ่าน และในส่วนของเครื่องลูกข่ายจะรับพลังงานจากเครื่องอ่านผ่านทางขดลวดและวงจรเรโซแนนซ์ แล้วนำมาทำการเร็คตีไฟร์ด้วยวงจรแบบบริดจ์ก่อนจะส่งไปยังวงจรรักษาระดับแรงดันเพื่อให้จ่ายแรงดันไฟตรง 5V เพื่อไปเลี้ยงวงจรของเครื่องลูกข่าย ให้สามารถทำงานได้

จากนั้นจะแบ่งสัญญาณบนขดลวดของเครื่องรับ เพื่อนำไปทำการดีมอดูเลตด้วยวิธีเร็นซ์เพื่อที่จะทำให้สามารถดีมอดูเลตได้ทั้งแบบ ASK และ PSK ได้ในเวลาเดียวกัน โดยเริ่มจากการผ่านวงจรเอ็นเวลอป ดีเท็กเตอร์ที่ $f_c = 1.3\text{MHz}$ เพื่อกำจัดความถี่ 13.56 MHz ทิ้ง และทำการกู้คืนคลื่นพาห้รองด้วยวงจรสแควลิ่งลูป แล้วหารสองเพื่อนำคลื่นพาห้รอง 847.5 kHz กลับมา จากนั้นจะส่งไปที่ตัวมอดูเลต ASK และ PSK เพื่อที่จะได้ข้อมูลกลับคืนมาและส่งไปที่ซีพียูของตัวอ่านเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับ ระบบรักษาความปลอดภัย ต่อไป

Radio Frequency Identification

Miss Julaluk Sriariyawat ID.48010142

Miss Chutinan Janplueak ID.48010212

Miss Pinyapach Traisaksuriyan ID.48010417

Mr. Pich Boonyakalin ID.48010610

Assoc. Prapakorn Suwanna Advisor

Abstract

This project is designing and build systematic of radio frequency identification (RFID) which compose of reader and tag. In the operation, reader will generate an electro-magnetic wave and propagate it into tag and tag use this source to be own supply to provide every circuit in tag. Reader have a maximum power of 1.2 watt, but use only 0.490 watt in this project. The reader is a combination of 13.56MHz oscillator and power amplifier that matched with reader coil that visualize into $Z = 50$ ohm that can deliver power to tag in an electro-magnetic form through a reader coil. Tag will send a 106 kbit/s of data to modulate in ASK and PSK mode that have a 847.5kHz of sub-carrier (followed a standard of ISO15693 for ASK and ISO14443 for PSK) and send it into reader with load-modulation method. Tag will receive a power from tag coil through resonance circuit and rectified with bridge rectify circuit and deliver to regulator circuit for regulate into 5volt of Vcc to provide all system in tag to work functional.

And then, some data on reader coil will be divided to demodulator circuit with coherent method to demodulate both ASK and PSK in same time. At first there is a envelope detector with $f_c=1.3$ MHz to annihilate 13.56MHz and recover sub-carrier with squaring loop and divide with 2 to recover 847.5kHz sub-carrier. Then, send to ASK and PSK demodulator to recover data and send to reader CPU to process with an application of Access System.

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยี RFID	1
1.2 ความถี่ของคลื่นพาหะ	3
บทที่ 2 เทคโนโลยี Automatic Identification ชนิดต่างๆ	7
2.1 เทคโนโลยี Barcode	8
2.2 เทคโนโลยี Optical Character Recognition	9
2.3 เทคโนโลยี Biometric	10
2.4 เทคโนโลยี Smartcard	13
2.5 เทคโนโลยี RFID	15
บทที่ 3 ชนิดและประเภทของ RFID	16
3.1 ลักษณะของอุปกรณ์ RFID	16
3.2 ขนาดข้อมูล (Data Quantity)	17
3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)	17
3.4 การจัดการลำดับคำสั่ง (Sequence)	19
3.5 แหล่งพลังงาน (Power Supply)	19
3.6 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency Range)	19
3.7 ประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID	20
3.8 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID	24
3.9 หลักการทำงานพื้นฐานในการติดต่อสื่อสาร	26
บทที่ 4 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ	35
4.1 ส่วนประกอบของระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ	35
4.2 ลักษณะการทำงานของระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ	35
4.3 การสื่อสารแบบไร้สาย	37
4.4 เทคนิคการมอดูเลต	37
4.5 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์	40
4.6 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง	40
4.7 ขั้นตอนการทำงานระหว่าง เครื่องลูกข่าย และ เครื่องอ่าน	42
4.8 ลักษณะการทำงานรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

4.9 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing	44
4.10 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	48
4.11 คุณลักษณะของการกำทอน และค่าคุณภาพของการกำทอน(Quality Factor,Q)	49
4.12 วงจรเรโซแนนซ์	51
4.13 การป้อนกลับแบบลบ	54
4.14 วงจรดีเทกเตอร์ AM	61
4.15 บัฟเฟอร์เวิร์ด ฟิลเตอร์	65
บทที่ 5 ทฤษฎีเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูล	68
5.1 การตรวจสอบการผิดพลาดของข้อมูล	68
5.2 รูปแบบการสื่อสารที่ใช้	75
5.3การออกแบบรูปแบบการสื่อสาร	81
บทที่ 6 การออกแบบวงจรในส่วนของ Reader และ Tag	85
6.1 การออกแบบวงจรในส่วนของ Reader	85
6.2 การออกแบบวงจรในส่วนของ Tag	97
บทที่ 7 ผลการทดลอง	100
7.1 เครื่องอ่าน (Reader)	100
7.2 เครื่องลูกข่าย	109
7.3 ส่วน Application	111
บทที่ 8 ผลการทดลอง	114
8.1 ผลการทดสอบ Load Regulatio	114
8.2 ผลการทดสอบ Line Regulation	117
8.3 รูปสัญญาณ ณ จุดต่างๆ ของพาวเวอร์แอมป์	119
8.4 รูปสัญญาณส่วนต่างๆ บนแท็ก	121
8.5 Spectrum Analyzer เหนือ Reader Coil	125
บทที่ 9 สรุปผลการทดลอง	127
9.1 บทสรุป	127
9.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน	128
9.3 แนวทางการแก้ไขและการนำไปประยุกต์ใช้งาน	128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

9.4 แนวทางการปรับปรุง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน

129

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 ตัวอย่างระบบ Auto – ID ในแต่ละประเภท	4
รูปที่ 2.1 เครื่องอ่านรหัส Barcode ที่มีใช้งานในปัจจุบัน	8
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างโครงสร้างการเข้ารหัส Barcode ตามมาตรฐาน EAN (European Article Number)	9
รูปที่ 2.3 อุปกรณ์อ่านข้อมูลแบบมาตรฐาน OCR (Optical Character Recognition)	10
รูปที่ 2.4 เครื่องอ่านข้อมูลแบบ Fingerprint อ่านและบันทึกข้อมูลจากลายนิ้วมือ	12
รูปที่ 2.5 อุปกรณ์เครื่องรับส่งข้อมูลแบบ RFID	15
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID แบบ Dish	18
รูปที่ 3.4 โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก ซึ่งตัวบรรจุภัณฑ์ ที่เคลือบเป็นพลาสติกมีความหนาเพียง 3 มิลลิเมตรเท่านั้น	21
รูปที่ 3.5 โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่าย RFID แบบติดตั้งลงในหน้าสัมผัสโลหะ	22
รูปที่ 3.6 เครื่องลูกข่ายแบบพวงกุญแจ	23
รูปที่ 3.7 นาฬิกาข้อมือติดตั้งเครื่องลูกข่าย RFID ใช้แบบการติดต่อสื่อสารแบบไร้การสัมผัส เพื่อตรวจยืนยันตัวตนผู้ใช้งาน	23
รูปที่ 3.8 การเปรียบเทียบการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์ RFID แต่ละมาตรฐาน	25
รูปที่ 3.9 ลักษณะการทำงานทางเทคนิคของอุปกรณ์ RFID ประเภท EAS แบบใช้คลื่นความถี่วิทยุ	27
รูปที่ 3.10 (ซ้าย) โครงสร้างโดยทั่วไปของระบบสายอากาศเพื่อใช้ตรวจสอบอุปกรณ์ ในลักษณะประตู ความสูงทั่วไปประมาณ 1.2-1.6 เมตร	29
รูปที่ 3.10 (ขวา) อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายที่ติดอยู่กับสินค้าต่างๆ	29
รูปที่ 3.11 โครงสร้างภายในวงจรไฟฟ้าของเครื่องลูกข่าย แบบที่ใช้กับความถี่ไมโครเวฟ	30
รูปที่ 3.12 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ EAS แบบใช้ความถี่คลื่น ไมโครเวฟ	30
รูปที่ 3.13 มาตรฐาน EAS แบบใช้การหารความถี่	31
รูปที่ 4.1 แผนผังการทำงานของระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ	36
รูปที่ 4.2 การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล	37
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการทำ ASK	38
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการทำ FSK	38

สารบัญรูป

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการทำ PSK	38
รูปที่ 4.6 รูปแสดงผลของ Load Modulation โดยวิธี ASK	39
รูปที่ 4.7 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential	44
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและคุณภาพการกำทอนของวงจรอนุกรม R-L-C	49
รูปที่ 4.9 วงจรเรโซแนนซ์ที่ใช้ LC	51
รูปที่ 4.10 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	52
รูปที่ 4.11 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์	53
รูปที่ 4.12 แผนผังของวงจรขยายที่มีการป้อนกลับแบบลบ	55
รูปที่ 4.13 Series-Shunt feedback	56
รูปที่ 4.14 Shunt-Shunt feedback	57
รูปที่ 4.15 Shunt-Series feedback	58
รูปที่ 4.16 Series-Series feedback	59
รูปที่ 4.17 แสดงผลตอบสนองเชิงขนาดระหว่างวงจรที่มีและไม่มีป้อนกลับ อย่างไรก็ตามวงจรขยายโดยทั่วไปจะมีโพลมากกว่า 1 ตัว	60
รูปที่ 4.18 แสดงผลตอบสนองเชิงขนาดและเฟสของวงจรขยายที่มีโพล 3 โพล	61
รูปที่ 4.19 หลักการใช้ไดโอดเป็นตัวดีเทกเตอร์สัญญาณ AM	63
รูปที่ 4.20 วงจรดีเทกเตอร์สัญญาณ AM	64
รูปที่ 4.21 หลักการกรองความถี่ IF	64
รูปที่ 4.22 แสดงทรานเฟอร์ฟังก์ชันของบัทเทอร์ฟิลเตอร์ ออร์เดอร์ 1 – 5	66
รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างการนับจำนวนบิตที่เกิดการผิดพลาด	68
รูปที่ 5.2 แสดงการทำ parity bit ที่ตัวส่งข้อมูลและตัวรับข้อมูล	69
รูปที่ 5.3 แสดง block diagram ของการรับส่งข้อมูลตามหลักการเข้ารหัสแบบ CRC	73
รูปที่ 5.4 การรับส่งข้อมูลได้โดยปรกติ	76
รูปที่ 5.5 กรณีที่มีการสูญหายของข้อมูลที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งสัญญาณ	77
รูปที่ 5.6 กรณีที่เกิดการสูญหายไปของสัญญาณ ACK ใดๆ	78
รูปที่ 5.7 การเกิดคิเลย์์ของสัญญาณ ACK	80
รูปที่ 5.8 แสดงการรับส่งข้อมูลแบบ Piggybacking	81
รูปที่ 5.9 แบบข้อมูล tag ส่งไปให้แก่ reader	82

สารบัญรูป

รูปที่ 5.10 การรับส่งสัญญาณ โดยปรกติ	82
รูปที่ 5.11 การเกิดการสูญหายของสัญญาณที่ tag ส่งออกไป	83
รูปที่ 5.12 การผิดพลาดระหว่างการรับส่งข้อมูล	84
รูปที่ 6.1 Block diagram แสดงการทำงานของวงจรในส่วนของ Reader	85
รูปที่ 6.2 วงจร Oscillator และ Power Amplifier	86
รูปที่ 6.3 Network C ₂ จาก Application Note AN26	89
รูปที่ 6.4 การเปลี่ยนรูปความต้านทานแบบขนานไปเป็นอนุกรม	90
รูปที่ 6.5 วงจร matching load 50 Ω	91
รูปที่ 6.6 วงจรถอครหัส	92
รูปที่ 6.7 วงจร Envelope Detector	92
รูปที่ 6.8 วงจรขยายแรงดันป้อนกลับแบบลบแบบ Parallel Output Series Input (POSI)	93
รูปที่ 6.9 วงจรสร้างคลื่นสัญญาณ Sub-carrier 847.5 kHz	94
รูปที่ 6.10 วงจรถอครหัสบิตข้อมูล	95
รูปที่ 6.11 วงจรเลือกสัญญาณข้อมูล	96
รูปที่ 6.12 บล็อกไคอะแกรมของวงจร Tag	97
รูปที่ 6.13 วงจร Tag	98
รูปที่ 7.1 แสดงวงจรทางดิจิทัล ในส่วนของเครื่องอ่าน	101
รูปที่ 7.2 Main Program	102
รูปที่ 7.3 Interrupt Vector	103
รูปที่ 7.4 Interrupt Service Routine	103
รูปที่ 7.5 โปรแกรม ตรวจสอบแฟลช	104
รูปที่ 7.6 โปรแกรมมัลติเพิลิเคชัน และ Checksum	104
รูปที่ 7.7 โปรแกรมย่อย ตรวจสอบคีย์แพค	105
รูปที่ 7.8 โปรแกรมย่อย เก็บค่าจากคีย์แพค	106
รูปที่ 7.9 โปรแกรมย่อย การกดคีย์ '*' และ '#'	106
รูปที่ 7.10 โปรแกรมย่อย เกี่ยวกับข้อมูล	107
รูปที่ 7.11 โปรแกรมย่อย การเปลี่ยนรหัสผ่าน	108
รูปที่ 7.12 แสดงวงจรทางดิจิทัล ในส่วนของเครื่องลูกข่าย	109

สารบัญรูป

รูปที่ 7.13 โปรแกรมหลัก ของเครื่องลูกข่าย	110
รูปที่ 7.14 แสดงวงจรทางดิจิทัล ในส่วน Application	115
รูปที่ 7.15 โปรแกรมหลัก ของ Application	116
รูปที่ 7.16 โปรแกรมย่อย ของ Application เพื่อกำหนดจำนวนรอบของมอเตอร์	117
รูปที่ 8.1 กราฟ load Regulation ที่ระยะต่างๆ เมื่อ Reader ใช้ P_{MIN}	115
รูปที่ 8.2 กราฟ load Regulation ที่ระยะต่างๆ เมื่อ Reader ใช้ $0.5P_{MAX}$	116
รูปที่ 8.3 แสดง Load Regulation ที่ระยะต่างๆ เมื่อ Reader ใช้ P_{MAX}	117
รูปที่ 8.4 กราฟ Line Regulation ที่ระยะต่างๆ	118
รูปที่ 8.5 คลื่น 13.56 MHz จาก Power AMP ที่เชื่อมต่อ Reader Coil (P_{MIN})	119
รูปที่ 8.6 คลื่น 13.56 MHz จาก Power AMP ที่เชื่อมต่อ Reader Coil ($0.5P_{MAX}$)	119
รูปที่ 8.7 คลื่น 13.56 MHz จาก Power AMP ที่เชื่อมต่อ Reader Coil (P_{MAX})	120
รูปที่ 8.8 สัญญาณจุด R/2 ที่จะนำไปทำการ Demod	120
รูปที่ 8.9 สัญญาณจาก Tag Coil ASK และ PSK ตามลำดับ	121
รูปที่ 8.10 สัญญาณจาก CPU และสัญญาณ Sub carrier ก่อนนำไป AND และ XOR	121
รูปที่ 8.11 ข้อมูล Tag ที่เกิดจากข้อมูลจาก PIC16f628 ร่วมกับ Sub-carrier ด้วย XOR Gate (PSK)	122
รูปที่ 8.12 ข้อมูล Tag ที่เกิดจากข้อมูลจาก PIC16f628 ร่วมกับ Sub-carrier ด้วย And Gate (ASK)	122
รูปที่ 8.13 sub carrier พร้อมทั้ง data ของ PSK และ ASK	123
รูปที่ 8.14 คลื่น 1.6MHz ที่เกิดจากการคูณกันเองของ Sub carrier	123
รูปที่ 8.15 ข้อมูลหลังจากการ demod แล้ว (ด้วย XOR gate)	124
รูปที่ 8.16 ปรับปรุงสัญญาณจากรูปที่ 17 ให้มีความเหลี่ยมมากขึ้นก่อนเข้า multiplexer	124
รูปที่ 8.17 PSK ที่ระยะ 5 CM (ก่อน CPU จะได้รับพลังงานไม่พอ)	125
รูปที่ 8.18 PSK ที่ระยะ 2 CM (ก่อนเกิดการ oscillate)	125
รูปที่ 8.19 ASK ที่ระยะ 5 CM (ก่อน CPU จะได้รับพลังงานไม่พอ)	126
รูปที่ 8.20 ASK ที่ระยะ 2 CM (ก่อนเกิดการ oscillate)	126
รูปที่ 8.21 แสดงสัญญาณฮาร์โมนิกที่ 2 ของ 13.56MHz ซึ่งมีข้อมูลปรากฏอยู่ด้วยเช่นกัน	126

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	ย่านความถี่ต่างๆของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุและการใช้งาน	5
ตารางที่ 3.1	ย่านความถี่วิทยุสำหรับระบบ EAS แบบใช้ความถี่คลื่นวิทยุ	28
ตารางที่ 4.1	ความถี่มาตรฐานกับ RFID tags แบบ ต่างๆ ที่มา : “RFID Overview”, Greg Leeming, Intel Corporation, 2004	41
ตารางที่ 4.2	ความหลากหลายของชิปที่ใช้บันทึกข้อมูลในเครื่องฉลาก RFID แยกตามประเภท	46
ตารางที่ 4.3	แสดงผลการทำงานของ RFID ที่ความถี่ย่านต่างๆ	47
ตารางที่ 4.4	ค่าแสดงคุณลักษณะของการก่อกำทอนของวงจร R-L-C	50
ตารางที่ 4.5	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของพหุนามบีทเดอริเวิร์ด ที่ออร์เคอร์ต่างๆ	67
ตารางที่ 6.1	ตารางแสดงค่าตัวแปรของ TAG	88
ตารางที่ 6.2	ตารางแสดงค่า r กับ $(NI)_{rms}$ ที่ได้จากการแทนค่าในสูตร	88
ตารางที่ 8.1	แสดง load Regulation ที่ระยะต่างๆ เมื่อ Reader ใช้ P_{MIN}	114
ตารางที่ 8.2	แสดง load Regulation ที่ระยะต่างๆ เมื่อ Reader ใช้ $0.5P_{MAX}$	115
ตารางที่ 8.3	แสดง load Regulation ที่ระยะต่างๆ เมื่อ Reader ใช้ P_{MAX}	116
ตารางที่ 8.4	แสดง Line Regulation ที่ระยะต่างๆ	117

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยี RFID

RFID หรือระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification) คือระบบชี้เฉพาะอัตโนมัติ (Automatic Identification) ที่ใช้สัญญาณวิทยุพลังงานต่ำเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล แบบไร้สาย (Wireless) องค์ประกอบในระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ จะมีหลักๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกคือ ฉลากหรือป้ายขนาดเล็กซึ่งถือว่าเป็นเครื่องลูกข่ายที่จะถูกผนึกอยู่กับวัตถุที่เราสนใจ โดยฉลากนี้จะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุนั้นๆเอาไว้ ฉลากดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า ทรานสปอนเดอร์ (Transponder , Transmitter&Responder) หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า “เครื่องลูกข่าย” (Tag) ส่วนที่สองคืออุปกรณ์สำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในเครื่องลูกข่าย มีชื่อเรียกอย่างรวมๆว่า ทรานสซีฟเวอร์ (Transceiver , Transmitter&Receiver) หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่า “เครื่องอ่าน” (Reader) ทั้งสองส่วนจะสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุ สัญญาณนี้ผ่านได้ทั้งโลหะและอโลหะแต่ละไม่สามารถติดต่อกับเครื่องอ่านให้อ่านได้โดยตรง เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุ แสดงถึงความต้องการข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากป้าย ป้ายจะตอบข้อมูลกลับและเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องอ่านจะติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านสายเครือข่าย LAN (Local Area Network) หรือส่งผ่านทางความถี่วิทยุจากทั้งอุปกรณ์มีสายและอุปกรณ์ไร้สาย

โดยหลักการทำงานนั้นจะใช้คลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency) ในการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูล (Reader) หรือ เครื่องเขียนข้อมูล (Writer) โดยการมอดดูเลชั่น (Modulation) ข้อมูลที่ต้องการส่งเข้ากับคลื่นพาห์ (Carrier) แล้วแพร่กระจายคลื่นวิทยุผ่านสายอากาศ (Antenna) ออกไป

ในส่วนของป้ายหรือแท็กนั้นจะรับเอาคลื่นวิทยุที่ประกอบด้วย คลื่นพาห์และข้อมูลเข้ามาทางสายอากาศ และทำการแปลงคลื่นวิทยุดังกล่าวไปเป็นพลังงานไฟฟ้ายังผลให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในสามารถส่งข้อมูลจำเพาะที่แสดงถึง “Identity” กลับมาประมวลผลที่ตัวอ่านได้ การรับส่งสัญญาณระหว่างแท็กกับตัวอ่านไม่จำเป็นต้องอยู่ในแนวเส้นตรง นอกจากนี้เครื่องอ่านของ RFID สามารถจำและประมวลผลแท็กส์ พร้อมกันได้เป็นร้อยๆอันเลยทีเดียว

ในส่วนปัจจุบันแท็กส์ ของ RFID ถูกทำขึ้นเป็นวงจรรวมแล้วต่อเข้ากับสายอากาศโดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไอซี แล้วส่งเข้าไปในสายอากาศ ขนาดของแท็กส์มีตั้งแต่เท่ากับเมล็ดข้าวจนถึงเท่ากับก้อนอิฐ โดยแท็กส์จะมีอยู่สองชนิดด้วยกันคือ แบบพาสซีฟ (ไม่ใช่แบตเตอรี่) และแบบ

แอกทิฟ (ใช้แบตเตอรี่ในตัวสำหรับการทำงาน) ส่วนความเร็วและช่วงของการส่งผ่านข้อมูลจะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณวิทยุ, ขนาดของเสาอากาศ รวมทั้งกำลังงานของเอาต์พุท แท็กส์เป็นไปได้อ่านแบบอ่านได้อย่างเดียว หรือทั้งอ่านและเขียน หรือแบบรวมกันทั้งสองแบบโดยข้อมูลบางอย่างจะถูกเก็บไว้อย่างถาวรในแท็กส์อย่างเช่น ซีเรียลนัมเบอร์ ส่วนหน่วยความจำที่เหลือจะถูกไว้ใช้ภายหลังโดยอาจใช้เพื่อเข้ารหัสข้อมูลหรืออาจใช้สำหรับอัปเดตข้อมูล

ระบบนั้น RFID ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการใช้กับงานที่ระบบฉลากแบบบาร์โค้ดไม่สามารถใช้งานได้โดย จุดเด่นที่สำคัญของ RFID Tags เปรียบเทียบกับ Barcode คือ

- สามารถอ่านข้อมูลได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว ไม่ต้องมีการสัมผัสกับ Tag
- สามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี หรือสามารถอ่านค่าได้ในขณะที่วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ เช่น สินค้าที่กำลังเคลื่อนที่อยู่บนสายพานการผลิต
- ทนต่อความเปียกชื้น แร่งสนั่นสะเทือน การกระทบกระแทก
- สามารถอ่านและบันทึกข้อมูลได้หลายครั้ง สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ Tim Page 4/18
- สามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่างเช่น น้ำ, พลาสติก, กระจก หรือ วัสดุทึบแสงอื่นๆ ในขณะที่ บาร์โค้ดทำไม่ได้
- สามารถอ่านข้อมูลของผลิตภัณฑ์ได้พร้อมกันครั้งละ หลายๆชิ้น ในขณะที่ Barcode อ่านได้เพียงทีละชิ้น

ปัจจุบันมีการนำ RFID มาใช้งานกันในงานหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นบัตรชนิดต่างๆ เช่น บัตรประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรสำหรับผ่านเข้า-ออกห้องพัก บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรจอดรถในสลากรของสินค้าหรือแม้แต่ใช้ฝังลงในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ เป็นต้น การนำ RFID มาใช้งานก็เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบการผ่านเข้าออกบริเวณใดบริเวณหนึ่งหรือเพื่ออ่านหรือเก็บข้อมูลเอาไว้ ยกตัวอย่างในกรณีที่เป็นสลากรสินค้า RFID ก็จะถูกนำมาใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า เพื่อให้สามารถทราบที่มาที่ไปของสินค้าชิ้นนั้นๆได้เป็นต้น สำหรับรูปแบบของเทคโนโลยี RFID ที่ใช้ในการดังกล่าวก็มีทั้งแบบสมาร์ทการ์ดที่สามารถถูกเขียนและอ่านข้อมูลออกมาได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่านบัตรหรือคอนแทคเลสสมาร์ทการ์ด, เหรียญ, ป้าย หรือสลากรที่มีขนาดเล็กจนสามารถแทรกกระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษหรือฝังเอาไว้ในตัวสัตว์ได้เลยทีเดียว การใช้บัตรอัจฉริยะ (Smart Card) และระบบตรวจสอบรหัสโดยใช้ความถี่วิทยุ (RFID) เป็นที่ยอมรับอย่างสูงว่า RFID เป็นเทคโนโลยีที่เอื้ออำนวยต่อการใช้งานที่ต้องการ การบ่งบอก

เอกลักษณ์แตกต่างหรือข้อมูลจำเพาะของแต่ละบุคคล ที่สามารถทำงานได้ถูกต้องแม่นยำ รวดเร็วและมีไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเป็นอัตโนมัติกว่าระบบตรวจสอบรหัสในระบบอื่นๆ เช่น รหัสแบบแท่ง (Barcode) การใช้งานที่ง่ายและยังเพิ่มขีดความสามารถในการให้บริการเสริมในเชิงพาณิชย์ด้านต่างๆ อีกทั้งยังสอดคล้องกับเทคโนโลยีทางการเก็บข้อมูลคอมพิวเตอร์ยังผลให้การขยายตัวของการใช้งาน RFID กับ Smart Card สูงขึ้นอย่างก้าวกระโดด

1.2 ความถี่ของคลื่นพาหะ

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างแต่ละประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่คลื่นพาหะของระบบ RFID โดยมีสามกลุ่มใหญ่ๆคือ กลุ่มในประเทศยุโรปและแอฟริกา (Region 1) กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region 2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออกไกลและออสเตรเลีย (Region 3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ความถี่ต่างๆให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก อย่างไรก็ตาม ความถี่ของคลื่นพาหะที่นิยมใช้งาน ในย่านความถี่ต่ำ ย่านความถี่ปานกลางและย่านความถี่สูงก็คือ 125 kHz , 13.56 MHz และ 2.45 GHz นอกจากนี้รัฐบาลของแต่ละประเทศโดยทั่วไปจะมีการออกกฎหมายเกี่ยวกับระเบียบการใช้งานย่านความถี่ต่างๆรวมถึงกำลังส่งของระบบ RFID ด้วย

1.2.1 มาตรฐาน Standardization

เนื่องจากการที่กำหนดมาตรฐานออกมาใช้ในประเทศอย่างเป็นทางการแล้วจะส่งผลให้เทคโนโลยี RFID ในประเทศมีการพัฒนาช้าตามไปด้วย ซึ่งมาตรฐานของ RFID สามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนได้แก่

คลื่นความถี่ (RF spectrum) : คลื่นความถี่ที่จะใช้สำหรับอุปกรณ์ RFID นี้ค่อนข้างยากที่จะกำหนดให้เป็นมาตรฐานสากล เนื่องจากแต่ละประเทศเป็นเจ้าของและเป็นผู้ควบคุมการใช้คลื่นความถี่เอง ดังนั้น จึงขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศที่จะเป็นผู้พิจารณาจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับการใช้งานประเทศต่างๆ

มาตรฐาน RFID (RFID Standard) : บริษัทผู้ผลิตต่างๆ ได้พัฒนาและผลิตระบบ RFID ออกมาโดยมีมาตรฐานที่ใช้ในการส่งถ่ายข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กส์ที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความต้องการของตลาดเป็นสำคัญ

อย่างไรก็ตาม หลายองค์กรได้ตระหนักถึงปัญหาเรื่องมาตรฐานนี้ และได้เริ่มมีการพัฒนาระบบมาตรฐานขึ้นมาทั้งในยุโรปและอเมริกา ตัวอย่างเช่น หน่วยงาน ANSI's X3T6 ซึ่งประกอบไปด้วยผู้ผลิตและผู้ใช้งานระบบ RFID ในอเมริกาได้กำลังทำการพัฒนามาตรฐานของระบบ RFID ที่ความถี่ 2.45 GHz ขึ้นมา

- The International Organization for standards : ISO ก็ได้มีมาตรฐานเกี่ยวกับการใช้ระบบ RFID กับงานอุตสาหกรรมออกมาแล้ว คือ ISO 111784 และ 111785

- The Electronic Product Code (EPC Global) เป็นองค์กรที่เกิดจากความร่วมมือระหว่าง the Uniform Code Council (UCC) และ EAN International โดยได้รับการสนับสนุนจากภาคอุตสาหกรรม ทำหน้าที่ในการกำหนด และพัฒนามาตรฐานรหัสของสินค้าอิเล็กทรอนิกส์และโครงข่าย มาตรฐาน EPC นี้เป็นมาตรฐานเปิด (Open standard) พัฒนาขึ้นโดย the Auto-ID Center ซึ่งได้รับทุนจากบริษัทขนาดใหญ่หลายบริษัท ได้แก่ บริษัท Coca-Cola , Intel , Wal-Mart และ Philips Semiconductors เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้ราคาอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ลดต่ำลงจนอยู่ในระดับที่สามารถนำ RFID ไปติดไว้กับสินค้ารายชิ้นนั้นได้



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างระบบ Auto-ID ในแต่ละประเภท

คลื่นพาหะและมาตรฐานของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างแต่ละประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่คลื่นพาหะของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ โดยมีสามกลุ่มใหญ่ๆคือ กลุ่มประเทศในยุโรปและแอฟริกา (Region 1), กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region 2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันทางกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไกลและออสเตรเลีย (Region 3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ความถี่ต่างๆให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก

ตารางที่ 1.1 ย่านความถี่ต่างๆของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุและการใช้งาน

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz มาตรฐานความถี่ที่ใช้งานกัน โดยทั่วไปคือ 125 kHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ -ต้นทุนไม่สูง -ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ -ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	-Access Control -ปศุสัตว์ -ระบบคกงคลัง -รถยนต์
ย่านความถี่กลาง 10-15MHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งาน ทั่วไปคือ 13.56 MHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลปานกลาง -ราคามีแนวโน้มถูกลงในอนาคต -ความเร็วในการอ่านข้อมูลปานกลาง -ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	- Access Control - สมาร์ทการ์ด
ย่านความถี่สูง 850 – 950 MHz 2.4-5.8 GHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งาน ทั่วไปคือ 2.45 GHz	- ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (10เมตร) -ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง -ราคาแพง	- รถไฟ - ระบบเก็บค่าผ่านทาง

อย่างไรก็ตาม ความถี่ของคลื่นพาหะที่นิยมใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ย่านความถี่ปานกลาง และย่านความถี่สูงก็คือ 125kHz , 13.56MHz และ 2.45GHz ตามลำดับดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 1.1 นอกจากนี้รัฐบาลของแต่ละประเทศ โดยทั่วไปจะมีการออกกฎหมายเกี่ยวกับระเบียบการใช้งานย่านความถี่ต่างๆ รวมถึงกำลังส่งของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุด้วย

ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้ว ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดและมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วนระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้คลื่นพาหะย่านความถี่ต่ำก็จะมีการส่งข้อมูลต่ำและราคาก็จะลดหลั่นลงตามไปด้วย

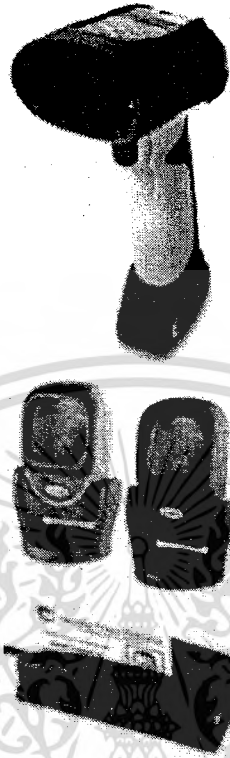


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เทคโนโลยี Automatic Identification ชนิดต่างๆ

เทคโนโลยีแสดงตัวตนอัตโนมัติหรือที่เรียกเป็นศัพท์ทางวิชาการว่า Automatic Identification หรือ Auto-ID เป็นสิ่งที่ได้รับการพัฒนามาเป็นเวลานาน รวมทั้งยังมีการนำมาประยุกต์ใช้งานในชีวิตประจำวันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นแวดวงอุตสาหกรรม ระบบคลังสินค้า ร้านค้าปลีก โรงงาน หรือแม้กระทั่งในสายการผลิตของอุตสาหกรรมทั่วไป วัตถุประสงค์หลักของเทคโนโลยี Auto-ID มีขึ้นเพื่อใช้แสดงตัวตนของมนุษย์ สัตว์ สินค้า หรือแม้กระทั่งวัตถุดิบในกระบวนการผลิตจะเห็นว่าบรรดามาตรฐาน Auto-ID ต่าง ๆ ที่มีกำลังคิดค้นขึ้นมาล้วนมีความสำคัญในการอำนวยความสะดวกในการทำธุรกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบันทึกระบบฐานข้อมูลอย่างรวดเร็ว แทนที่จะต้องใช้การนับหรือจดบันทึกโดยมนุษย์ อันอาจมีโอกาที่จะเกิดการผิดพลาดได้อยู่เสมอ ๆ นอกจากเทคโนโลยี Barcode แล้วยังมีเทคโนโลยี Auto-ID อีกประเภทหนึ่งซึ่งเป็นที่คุ้นเคยในการใช้งานประจำวัน นั่นก็คือเทคโนโลยีสมาร์ทการ์ด (smartcard) ซึ่งอยู่ในรูปของบัตรพลาสติก ภายในบัตรบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับบริการใช้งานของผู้ถือการ์ด ตัวอย่างเช่น แผ่น SIM (Subscriber Identity Module) ที่ใช้บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับเลขหมาย และรหัสรับต่าง ๆ สำหรับใช้ติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นการใช้งานมาตรฐาน Auto-ID ที่ได้รับความแพร่หลายมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเริ่มมีการเปิดตัวมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM (Global System for Mobile Communication) ที่มีการกำหนดให้ใช้แผ่น SIM กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งต่อมามีพัฒนาต่อยอดไปเป็น U-SIM (Universal SIM) เมื่อเทคโนโลยีเครือข่ายได้พัฒนาไปเป็นมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 อันเป็นที่ทราบกันดีดังที่ได้กล่าวถึงได้มาตรฐาน Auto-ID หรือเทคโนโลยีแสดงตนแบบอัตโนมัติมีอยู่หลายชนิด เพื่อเป็นการเปรียบเทียบมาตรฐาน RFID กับมาตรฐานแบบอื่น ๆ สามารถจำแนกประเภทของเทคโนโลยี ตามความแตกต่างของเทคโนโลยีแบ่งออกได้เป็น 5 เทคโนโลยีใหญ่ ๆ คือ มาตรฐาน Barcode มาตรฐาน OCR มาตรฐาน Smartcard มาตรฐาน RFID และมาตรฐาน Biometric ซึ่งประเภทหลังนี้ยังสามารถจำแนกย่อยออกเป็น 2 มาตรฐานคือ มาตรฐาน Fingerprint และมาตรฐานตรวจสอบเสียง (voice Recognition)



รูปที่ 2.1 เครื่องอ่านรหัส Barcode ที่มีใช้งานในปัจจุบัน

2.1 เทคโนโลยี Barcode

Barcode เป็นเทคโนโลยีในการแสดงตัวตน หรือ Auto-ID ที่มีอายุเก่าแก่มากที่สุด โดยได้รับการประดิษฐ์มากขึ้นเมื่อกว่า 20 ปีที่แล้ว และยังคงได้รับการยอมรับใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน แนวคิดของมาตรฐาน Barcode คือการใช้รหัสซึ่งประกอบด้วยแถบสีดำเข้ม (bar) ซึ่งมีความกว้างยาวต่าง ๆ พิมพ์เรียงตัวกันโดยมีช่องว่าง (gap) ซึ่งมีความกว้างแตกต่างกันเช่นเดียวกันขึ้นระหว่างแต่ละแถบสี ทั้งนี้มีการกำหนดมาตรฐานเพื่อใช้รหัสแทนตัวอักษรและตัวเลขต่าง ๆ โดยนำรหัสแถบสัญลักษณ์ไปปิดไว้หรือพิมพ์ไว้บนสินค้า หรือฉลากสินค้าต่าง ๆ อย่างน้อยที่คุ้นตาผู้อ่านมากที่สุดก็คือการพิมพ์สัญลักษณ์ Barcode ไว้บนปกหลังหนังสือต่าง ๆ การอ่านค่ารหัส Barcode กระทำโดยใช้เครื่องอ่านรหัส ซึ่งมีทั้งเครื่องยิงเหมือนปืน ชนิดตั้งประจำที่หรือแบบเครื่องอ่านบัตรชนิดรูด ดังแสดงในรูปที่ 2.1

เนื่องจากต้องมีการกำหนดมาตรฐานในการแทนค่าและอ่านรหัส Barcode ประกอบกับมีมาตรฐานต่าง ๆ ได้รับการกำหนดใช้งานมากกว่า 10 มาตรฐาน ทำให้การอ่านค่ารหัส Barcode บนฉลากสินค้าต่าง ๆ ให้ถูกต้องจึงต้องใช้มาตรฐานที่ต้องตรงกันกับมาตรฐานต้นทางที่ใช้เขียนรหัส

ต่าง ๆ ในแวดวงอุตสาหกรรมทั่วโลกมีการยอมรับใช้งานมาตรฐาน Barcode ที่สำคัญอยู่มาตรฐานกรค่า
ไม่วากณมีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่ง ชื่อว่ามาตรฐาน European Article Number หรือ EAN ซึ่งได้รับการคิดค้นขึ้นมาสำหรับใช้ในธุรกิจจำหน่ายสินค้า เพื่อใช้ในห้างสรรพสินค้าและร้านค้าต่าง ๆ ตั้งแต่ พ.ศ. 2419 ปัจจุบันมาตรฐาน Barcode ที่ปรากฏอยู่ข้างฉลากสินค้าต่าง ๆ ก็เป็นไปตามข้อกำหนด EAN ดังกล่าวนี โดยตัวรหัสจะประกอบด้วยข้อมูลทั้งหมด 13 หลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.2

รหัสประเทศ		รหัสบริษัท					รหัสสินค้า					CD
4	0	1	2	3	4	5	0	8	1	5	0	9
FRG		Company Name Address, City					Music CD-ROM Modern Dog					

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างโครงสร้างการเข้ารหัส Barcode ตามมาตรฐาน EAN (European Article Number)

ส่วนประกอบของรหัส Barcode แบบ EAN สามารถแยกได้ออกเป็นข้อมูล 3 ส่วนหลัก ๆ คือ 2 หลักแรกเป็นรหัสใช้แทนผู้ผลิต (Country Identifier) 5 หลักถัดมาเป็นรหัสแทนชื่อบริษัทซึ่งเมื่อเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐานที่ใช้ก็เก็บรายชื่อบริษัทแล้ว ก็จะสามารถทราบถึงที่อยู่และหมายเลขติดต่อต่าง ๆ ได้ และอีก 5 รหัสต่อไปจะเป็นเลขที่หรือลำดับที่ของสินค้าที่มีการผลิต ส่วนข้อมูลหลักสุดท้ายใช้เป็นหลักตรวจสอบ ซึ่งมีอัลกอริทึมที่ใช้คำนวณค่า เพื่อป้องกันการทำรหัสปลอมโดยค่าตัวเลขในแต่ละหลักก็ได้ตั้งแต่ 0-9 นอกจากรหัสแบบ EAN แล้ว ยังมีมาตรฐาน Barcode ชนิดอื่น ๆ ซึ่งมีการใช้งานในเฉพาะกลุ่มดังนี้

2.1.1 รหัสแบบ Codabar : ใช้ในแวดวงการแพทย์ หรือวงการที่เกี่ยวกับความปลอดภัยต่าง ๆ เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น

2.1.2 รหัสแบบ 2/5 interleaved : ใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ , ตู้คอนเทนเนอร์ สำหรับขนส่งสินค้า และอุตสาหกรรมหนักต่าง ๆ

2.1.3 รหัส 39 : ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในสายกระบวนการผลิตต่าง ๆ เครื่องหมายขนส่งสินค้า (Logistic), มหาวิทยาลัย และห้องสมุด

2.2 เทคโนโลยี Optical Character Recognition

เป็นเทคโนโลยี Auto-ID คั้งเดิมอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับการคิดค้นและใช้งานมาตั้งแต่ พ.ศ. 2510 แนวคิดง่ายของเทคโนโลยี Optical Character Recognition หรือเรียกง่าย ๆ ว่า OCR ก็คือ การออกแบบตัวอักษรและตัวเลขภาษาอังกฤษให้มีรูปแบบ (Font) เฉพาะตัวที่สามารถอ่านได้ด้วยสายตาตามนุษย์ และอ่านได้ด้วยเครื่องอ่าน OCR ที่ได้รับการออกแบบขึ้นมาสำหรับใช้งานในเชิงเอกสารเป็นเอกสารทงส่วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พาณิชย์ รูปที่ 2.3 เป็นตัวอย่างเครื่องอ่านรหัส OCR ที่มีการใช้งานในแวดวงต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นธนาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเลขหมายที่ปรากฏอยู่ตอนช่วงล่างของเช็ค (Cheque) แต่ละใบที่เป็นรหัสแบบ OCR ทั้งสิ้น นอกจากนี้ยังมีการใช้งานในแวดวงบริหารและจัดการอื่น ๆ



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์อ่านข้อมูลแบบมาตรฐาน OCR (Optical Character Recognition)

ข้อจำกัดของมาตรฐาน OCR ที่ทำให้ไม่ได้รับความนิยมใช้งานแพร่หลายก็คือราคาต้นทุนและความเที่ยงตรงของเครื่องอ่านรหัส OCR ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้รหัส Auto-ID แบบอื่น ๆ แล้วพบว่าเครื่องอ่านรหัสมาตรฐาน OCR มีราคาแพงกว่า และยังมี ความซับซ้อนในการใช้งานเฉพาะกลุ่มดังเช่นที่ปรากฏในกรณีของธนาคารเท่านั้น และอยากที่ผลักดันให้มาตรฐานดังกล่าวได้รับการยอมรับในวงกว้าง ซ้ำร้ายการใช้งานมาตรฐาน OCR ก็ยังคงมีข้อจำกัดเช่นเดียวกับมาตรฐานแบบ Barcode คือต้องมีการสัมผัสหรืออ่านค่าข้อมูลครั้งละชั้นทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการธุรกิจแบบเดียวกัน

2.3 เทคโนโลยี Biometric

เป็นมาตรฐานเทคโนโลยี Auto-ID แบบใช้การสัมผัสเช่นเดียวกับมาตรฐาน Barcode และ OCR ซึ่งความหมายของการสัมผัสนั้น อาจหมายถึงการสัมผัสกันตรง ๆ หรือใช้ลำแสงสัมผัสกันก็ได้ สำหรับเทคโนโลยี Biometric นั้นได้รับการออกแบบภายใต้ปรัชญาความเชื่อที่ว่า รหัสที่ดีที่สุดซึ่งสามารถใช้แทนตัวตนที่มีชีวิต เช่น คนหรือสัตว์ นั้นควรจะเป็นลักษณะทานกายภาพที่มีความเป็นเอกลักษณ์ของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละคนหรือแต่ละตัว โดยไม่มีทางที่จะมีรูปแบบที่เหมือนกันได้ ทำให้เทคโนโลยีการแสดงตัวตนในตระกูล Biometric นั้นเหมาะสำหรับการใช้ตรวจสอบเฉพาะกับตัวมีชีวิตเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยี Biometric มีแตกแขนงออกเป็นเทคโนโลยี Auto-ID เฉพาะทาง 2 ประเภท คือ การตรวจสอบโดยใช้ลายนิ้วมือ ด้วยเทคโนโลยี Fingerprint และการตรวจสอบโดยใช้เสียงพูดหรือ Voice Recognition ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

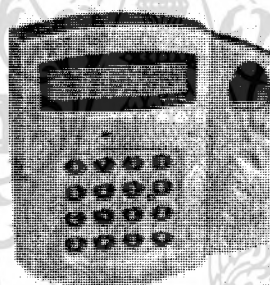
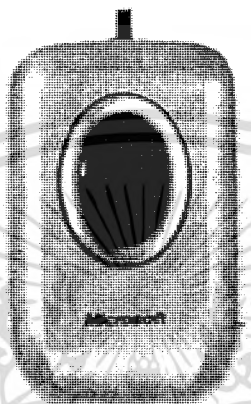
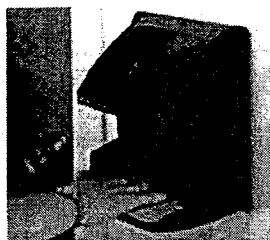
2.3.1 เทคโนโลยี Fingerprint

เป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นจากการผสมผสานศาสตร์ทางด้านอาชญวิทยา โดยแต่เดิมแวดวงการสอนมีการตั้งทฤษฎีการวิเคราะห์ลายนิ้วมือ เพื่อหาผู้ต้องสงสัยหรือผู้ต้องหามาดำเนินคดี ทำให้พบว่าลายนิ้วมือของมนุษย์แต่ละคนมีลักษณะเฉพาะตัว ไม่มีการซ้ำซ้อนกัน การตรวจสอบลายนิ้วมือทำได้ตั้งแต่การตรวจสอบโดยตรงจากลายนิ้วมือของบุคคลแต่ละคน ไปจนถึงการพิสูจน์จากร่องรอย ลายนิ้วมือที่ปรากฏอยู่ตามวัตถุต่าง ๆ ที่ผู้ต้องสงสัยได้แตะต้องไว้

ต่อมาจึงได้มีการผลิตเซ็นเซอร์พิเศษ ที่ใช้สแกนลายนิ้วมือของแต่ละบุคคล แล้วทำการเข้ารหัสพร้อมทั้งบันทึกเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล เมื่อต้องการเปรียบเทียบหรือตรวจสอบลายนิ้วมือ ก็เพียงให้บุคคลวางนิ้วมือลงบนเครื่องอ่าน เครื่องก็จะทำการอ่านค่าลายนิ้วมือเพื่อตรวจสอบกับรูปแบบที่มีการเก็บบันทึกไว้ หากพบว่าตรงกันก็จะดำเนินคดีตามที่โปรแกรมวางไว้ เช่น เปิดประตู เป็นต้น

2.3.2 เทคโนโลยี Voice Recognition

นอกจากการใช้ข้อมูลทางกายภาพ เช่น ลายนิ้วมือในการแสดงตัวตนแล้ว เสียงพูดของมนุษย์ ยังสามารถทำหน้าที่เป็นรหัสเพื่อใช้แทนตัวตนได้เป็นอย่างดี ซึ่งนับตั้งแต่วงการอิเล็กทรอนิกส์ได้มีการพัฒนาระบบจัดเก็บเสียงพูดในรูปแบบดิจิทัล พร้อมคิดค้นเทคโนโลยีประมวลผลเชิงดิจิทัล (Digital Signal Processing หรือ DSP) แล้วก็ยังทำให้ความต้องการที่จะเก็บข้อมูลเสียง เพื่อทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับต้นแบบ เป็นไปได้อย่างปราศจากข้อผิดพลาด



รูปที่ 2.4 เครื่องอ่านข้อมูลแบบ Fingerprint อ่านและบันทึกข้อมูลจากลายนิ้วมือ

หลักการทำงานของเทคโนโลยีตรวจสอบโดยใช้เสียงพูดก็ไม่ต่างจากกรณีของ Fingerprint กล่าวคือมีการเก็บบันทึกเสียงพูดของบุคคลไว้ เมื่อต้องการใช้งาน เช่น เปิดประตูโดยใช้รหัสผ่าน ผู้ใช้งานจะต้องพูด ผ่านไมโครโฟน โดยใช้ประโยคมาตรฐานที่มีการกำหนดไว้ (Predefined sentence) เสียงพูดที่ผ่านไมโครโฟนจะเข้าสู่กระบวนการแปลงสัญญาณเป็นดิจิทัล เพื่อเข้าสู่การประมวลผลหารูปแบบและ โครงสร้างของรหัสเสียงพูด ซึ่งต่อมาจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบที่มีการบันทึกเก็บไว้ก่อนหน้า หากพบว่ามึรูปแบบและ โครงสร้างของรหัสเสียงพูด ซึ่งต่อมาจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบที่มีการบันทึกเก็บไว้ก่อนหน้า หากพบว่ามึรูปแบบตรงกัน ก็จะแจ้งเตือนใจให้ดำเนินการตามความต้องการได้

เทคโนโลยีแบบ Biometric นั้น เหมาะสำหรับการใช้งานเพื่อแสดงตัวตนของสิ่งมีชีวิต และ

ยังถือว่าใช้เวลาในการดำเนินการอยู่พอสมควร ไม่อาจนำไปประยุกต์ใช้กับแวดวงอื่น ๆ ได้ อนาคต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเทคโนโลยีแบบ Biometric นั้น เหมาะสำหรับการใช้งานเพื่อแสดงตัวตนของสิ่งมีชีวิต และยังถือว่าใช้เวลาในการดำเนินการอยู่พอสมควร ไม่อาจนำไปประยุกต์ใช้กับงานบางกลุ่มเท่านั้น จึงไม่เข้าข่ายที่จะเป็นเทคโนโลยีทางเลือกสำหรับการจัดการอุตสาหกรรมยุคใหม่

2.4 เทคโนโลยี Smartcard

เทคโนโลยี Smartcard เริ่มปรากฏสู่สายตาผู้คนทั่วโลก ในปี พ.ศ. 2527 กับ การใช้งานในรูปแบบของบัตรโทรศัพท์ที่สามารถเติมเงินได้ ซึ่งกลไกการทำงานของบัตร Smartcard นับจากอดีตถึงปัจจุบันก็ยังมี รูปแบบเช่นเดิม กล่าวคือเมื่อมีการใช้งานตัวบัตรซึ่งมีหน้าสัมผัสที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะสัมผัสเข้ากับเครื่องอ่าน ซึ่งมีลักษณะเป็นขา (pin) โดยหน้าสัมผัสบนแผ่น Smartcard จะมีอยู่หลายชุด แต่ละชุดจะส่งสัญญาณฐานเวลา (clock) จากเครื่องอ่าน ป้อนส่งผ่านหน้าสัมผัสที่เกี่ยวข้องไปยังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายใน พร้อมเริ่มทำการรับส่งข้อมูลผ่านหน้าสัมผัสที่เป็นช่องสื่อสารแบบอนุกรม (I/O) Post : Input-Output) ตัวอย่างของบัตร Smartcard ที่มีการใช้งานทั่วไป

ข้อดีของเทคโนโลยีแบบ Smartcard ก็คือ สามารถป้องกันความลับของข้อมูลที่บันทึกอยู่ภายในแผ่นได้ โดยการอ่านค่าข้อมูลจะต้องใช้เครื่องอ่านที่ได้รับการออกแบบมาโดยเฉพาะ ยิ่งไปกว่านั้นในกรณีของ Smartcard ที่มีการใช้งานในบางกิจการ โดยเฉพาะกับแผ่น SIM ที่ใช้ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM นั้น จะมีการปิดกั้นไม่ให้บุคคลภายนอกเข้าไปอ่านข้อมูลที่เป็นรหัสในการยืนยันเลขหมาย (Authentication Key) ได้เลย แม้ว่าจะใช้เครื่องอ่านแผ่น SIM ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นอยางดีเพียงใดก็ตามจึงทำให้มีความนิยมใช้งานเทคโนโลยี Smartcard ในวงการการเงินและการธนาคารกันอย่างแพร่หลาย ข้อมูลจากผู้ผลิต Smartcard รายหนึ่งระบุว่าในพ.ศ.2535 เพียงปีเดียว มียอดการใช้งาน Smartcard สูงถึง 200 ล้านแผ่นทั่วโลกและในพ.ศ. 2538 ยอดการใช้งาน Smartcard เพิ่มสูงขึ้น 600 ล้านแผ่น โดยในจำนวนนี้แบ่งเป็น Smartcard แบบธรรมดา 500 ล้านแผ่น และเป็น Smartcard ที่ฝังอุปกรณ์ไมโครโปรเซสเซอร์ไว้อีก 100 ล้านแผ่น ถือเป็นตลาดที่มีอัตราการเติบโตสูงที่สุดในแวดวงอุตสาหกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์

เทคโนโลยี Smartcard ก็ยังมีข้อเสียที่ไม่สามารถแก้ไขได้อยู่ นั่นก็คือการใช้งานที่เป็นแบบสัมผัส ซึ่งทำให้ Smartcard มีอายุการใช้งานที่จำกัด อันเนื่องมาจากการสึกหรอหรือขีด หรือความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแผ่นตัวนำไฟฟ้าที่อยู่บนหน้าสัมผัสของ Smartcard นอกจากนี้เครื่องอ่านก็มักจะมีปัญหาการทำงานผิดพลาด และมีต้นทุนในการบำรุงรักษาที่ค่อนข้างสูง ในการใช้งานบางประเภท เช่น ตู้โทรศัพท์สาธารณะ เครื่องอ่านก็ไม่สามารถตรวจสอบและป้องกันการลักลอบปลอมแปลงบัตรได้อีกด้วย

เทคโนโลยี Smartcard สามารถออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบทั่วไปที่มีเฉพาะหน่วยความจำสำหรับบันทึกข้อมูลหรือที่มีการฝังไมโครโปรเซสเซอร์ไว้สำหรับใช้ประมวลผล ในที่นี้จึงขอกล่าวถึงรูปแบบสถาปัตยกรรมภายในของ Smartcard ทั้งสองแบบพอสังเขปดังนี้

2.4.1 Smartcard แบบ Memory Card

หัวใจหลักของ Smartcard แบบนี้อยู่ที่หน่วยความจำแบบ EEPROM (Electric Erasable and Programmable Read Only Memory) ซึ่งจะทำกรอ่านและเขียนข้อมูลตามเงื่อนไขที่ได้รับจากเครื่องอ่าน ในทางปฏิบัติผู้ให้บริการย่อมสามารถกำหนดได้ว่าจะให้มีการเข้ารหัสข้อมูล (Ciphering) ก่อนทำการเขียนหรืออ่านได้ เพื่อป้องกันการลักลอบแอบอ่านข้อมูลโดยบุคคลภายนอกที่ใช้เครื่องอ่านเลียนแบบ ทั้งนี้ดำเนินการโดยการโปรแกรมกำหนดให้หน่วยจัดการแอดเดรสข้อมูลและลอจิกในการรักษาความปลอดภัย (Address and Security Logic) รู้และสามารถเข้าไประหัสที่ตรงกันกับเครื่องอ่านที่เป็นของผู้ให้บริการ

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแผ่น Smartcard ลักษณะนี้มีเพียงหน่วยความจำอยู่ภายในเพียงอย่างเดียว จึงไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในบริการที่มีความซับซ้อนได้มากเท่า Smartcard แบบที่มีไมโครโปรเซสเซอร์อยู่ภายใน การใช้งาน Smartcard แบบนี้จึงต้องมีการกำหนดจุดประสงค์ที่ชัดเจนแน่นอน เช่น ใช้เป็นบัตรเอทีเอ็ม, บัตรโทรศัพท์สาธารณะแบบเติมเงิน ฯลฯ แต่ก็มีข้อดีที่ต้นทุนต่อบัตรแต่ละใบค่อนข้างต่ำจึงมีที่ใช้งานค่อนข้างกว้างในธุรกิจที่ต้องการต้นทุนต่อบัตรต่ำ

2.4.2 Smartcard แบบติดตั้งไมโครโปรเซสเซอร์อยู่ภายใน

เป็นบัตร Smartcard ที่มีโครงสร้างภายในที่ซับซ้อนกว่าแบบแรก เริ่มจากการติดตั้งวงจรประมวลผลส่วนกลาง หรือไมโครโปรเซสเซอร์ไว้ภายใน พร้อมทั้งมีการบรรจุระบบปฏิบัติการ (Operating System หรือ OS) ไว้ภายในหน่วยความจำ ROM การทำงานที่ไม่แตกต่างไปจากเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วเครื่องหนึ่งทีเดียว ระบบปฏิบัติการที่ติดตั้งลงใน Smartcard แบบนี้เป็นระบบปฏิบัติการมาตรฐานที่ผลิตขึ้นโดยผู้ออกแบบแผ่น ไม่สามารถลบหรือแก้ไขได้ และมีอยู่เหมือนกันใน Smartcard แต่ละใบ โดยไม่คำนึงว่า Smartcard แต่ละใบนั้นจะถูกนำไปใช้กับบริการหรือแอปพลิเคชันแบบใดส่วนความแตกต่างในการใช้งานนั้น จะถูกกำหนดโดยโปรแกรมที่เขียนขึ้นโดยผู้นำไปใช้งาน และจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำแบบ EEPROM การอ่านและเขียนข้อมูลลงบนหน่วยความจำแบบ EEPROM นี้ จะได้รับการควบคุมโดยระบบปฏิบัติการที่บันทึกอยู่ใน ROM โครงสร้างสถาปัตยกรรม ภายในสำหรับ Smartcard แบบมีไมโครโปรเซสเซอร์นี้มีความคล่องตัวสำหรับการใช้งานมาก ตัวอย่างที่พบเห็นได้ในปัจจุบันก็คือ แผ่น SIM ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่าง ๆ ที่ต้องมีไมโครโปรเซสเซอร์ภายใน ช่วยทำหน้าที่คำนวณและประมวลผลเกี่ยวกับการใช้งานระบบ

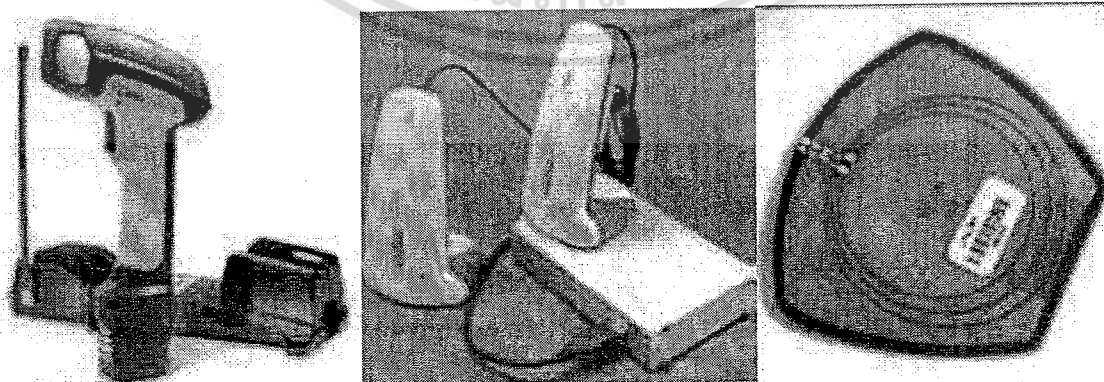
เครือข่าย เริ่มจากฟังก์ชันพื้นฐาน อย่างการตรวจยืนยันการใช้งาน (Authentication Process) ที่แผ่น
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษานั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนเว็บไซต์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIM จะต้องรับรหัสจากเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มาทำการประมวลผล ก่อนทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่คำนวณได้กับผลลัพธ์ที่ได้จากเครือข่ายและยิ่งไปกว่านั้น ในปัจจุบันแผ่น SIM รุ่นใหม่ ๆ ยังสามารถรองรับการประมวลผลแอปพลิเคชันใหม่ๆ อย่าง โปรแกรม Java2ME อีกด้วย เท่ากับว่า บัตร Smartcard แบบที่มีไมโครโปรเซสเซอร์อยู่ภายใน สามารถบันทึกแอปพลิเคชันหรือโปรแกรมการใช้งานต่างๆ มากกว่า 1 โปรแกรมไว้ในบัตรใบเดียวกัน

2.5 เทคโนโลยี RFID

อันที่จริงแล้ว เทคโนโลยี RFID มีรูปแบบการทำงานที่คล้ายคลึงกับเทคโนโลยี Smartcard อยู่มาก ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมภายใน ที่มีการจัดเก็บและบันทึกข้อมูลลงบนหน่วยความจำบนแผ่นพลาสติก ซึ่งในกรณีของ RFID แผ่นบันทึกข้อมูลอาจมีรูปแบบแตกต่างกันไปไม่จำเป็นต้องเป็นแบบเครดิตเสมอไปและเพื่อความสะดวกในการเรียกขาน จึงขอเรียกแผ่นบันทึกข้อมูลในกรณีของ RFID ว่า “เครื่องลูกข่าย” หรือภาษาอังกฤษว่า Transponder อย่างไรก็ตาม ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน (ซึ่งยังคงหมายถึงเครื่องอ่านและเขียนข้อมูล) ทำให้ต้องมีการหาทางส่งพลังงานไฟฟ้าไปป้อนให้กับเครื่องลูกข่ายในรูปแบบอื่น ในกรณีนี้จึงเกิดแนวคิดในการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคเพื่อส่งทั้งข้อมูลสัญญาณฐานเวลา และพลังงานไฟฟ้าที่จะไปปรากฏเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรภายในเครื่องลูกข่าย ไปในรูปแบบของเครื่องวิทยุผ่านตัวนำที่เป็นอากาศ

เทคโนโลยี RFID จึงเป็นการผสมผสานศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าหลายประการเข้าด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารโดยใช้คลื่นวิทยุ การส่งพลังงานผ่านคลื่นวิทยุโดยใช้ทฤษฎีของเรดาร์ เทคโนโลยีโทรคมนาคม ฯลฯ ซึ่งผลที่ได้ทำให้เกิดนวัตกรรมใหม่ทางเทคโนโลยีสำหรับการแสดงตัวตนโดยไม่ใช้การสัมผัส



รูปที่ 2.5 อุปกรณ์เครื่องรับส่งข้อมูลแบบ RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ชนิดและประเภทของ RFID

เนื่องจากเทคโนโลยี RFID สามารถนำไปใช้งานได้กับการแสดงตัวตนอัตโนมัติได้หลากหลายรูปแบบ ส่งผลให้เกิดความต้องการใช้งานในปริมาณมาก และมีความหลากหลายในรูปแบบใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นในวงการอุตสาหกรรม อุปกรณ์อำนวยความสะดวก ระบบรักษาความปลอดภัย การติดตามสัตว์ ฯลฯ ความหลากหลายแห่งการประยุกต์ใช้งานนี้เอง ที่มีผลทำให้อุปกรณ์ RFID ที่มีการผลิตออกจำหน่ายในท้องตลาด จำต้องมีความแตกต่างกัน ทั้งในด้านการออกแบบ เทคโนโลยีที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล การใช้งานความถี่ อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล ฯลฯ แต่ยังคงหลักการพื้นฐานในการทำงานดังได้กล่าวมาในบทความตอนที่แล้วทุกประการ

ดังนั้น ก่อนตัดสินใจเลือกใช้อุปกรณ์ RFID เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน ผู้ใช้งานจึงจำเป็นต้องศึกษาความแตกต่างทั้งทางเทคนิค และคุณลักษณะของอุปกรณ์ RFID แต่ละชนิด เพื่อให้สามารถตัดสินใจนำมาใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่สุด

3.1 ลักษณะของอุปกรณ์ RFID

อุปกรณ์ RFID ทั้งเครื่องลูกข่าย (Transponder) หรือเครื่องอ่าน (Reader) ไม่ว่าจะเป็นรุ่นใดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด จะมีรูปแบบการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง ระหว่างการรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex (FDX) / Half Duplex (HDX) กับแบบ Sequential (SEQ) ซึ่งทั้งสองแบบมีหลักการการทำงานที่แตกต่างกันดังนี้

3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ FDX/HDX

เครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณข้อมูลออกตลอดเวลา ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านทางคลื่นวิทยุ ไปจ่ายให้กับบรรดาเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในอาณาบริเวณการใช้งานด้วย และเนื่องจากความแรงของคลื่นสัญญาณความถี่วิทยุที่เครื่องลูกข่ายส่งออกมา มีกำลังส่งต่ำ ทำให้มีแนวโน้มว่าสัญญาณอาจส่งไปไม่ถึงเครื่องอ่าน หรืออาจส่งไปถึงแต่มีระดับสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ด้วย เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นของตนเอง ทำให้ส่งสัญญาณออกมาได้สูงกว่า ดังนั้นจึงต้องมีมาตรการในการสร้างความแตกต่างของสัญญาณคลื่นวิทยุ ที่มีการส่งมาจากเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่อง ให้มีเอกลักษณ์ (Identity) ที่แตกต่างกัน เพื่อให้เครื่องอ่านสามารถแยกแยะแหล่งที่มาได้อย่างถูกต้อง โดยใช้มอดูเลตสัญญาณแบบ Load Modulation

3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ SEQ

เป็นการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID ที่กำหนดให้เครื่องอ่านมีการหยุดส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเป็นช่วง ๆ ค่อยเนื่อง หรือเป็นรายคาบเวลาสม่ำเสมอ ช่วงเวลาที่ไม่มี การส่งสัญญาณออกจากเครื่องอ่านนี้เอง ที่จะเป็นจังหวะให้เครื่องลูกข่ายทำการส่งสัญญาณกลับมา ยังเครื่องอ่าน ถือเป็นการสร้างฐานเวลา (Timing) สำหรับใช้อ้างอิงภายในระบบสื่อสารแบบ RFID ที่ประกอบไปด้วยเครื่องอ่านและกลุ่มของเครื่องลูกข่ายที่มีความเที่ยงตรงมาก แต่การรับส่งข้อมูล แบบนี้มีข้อจำกัดอยู่ที่ประเด็นของการจ่ายพลังงานให้กับเครื่องลูกข่าย เนื่องจากในช่วงเวลาที่เครื่อง อ่านหยุดส่งสัญญาณนั้น บรรดาเครื่องลูกข่ายทั้งหลายก็จะไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้าที่ส่งผ่านทาง คลื่นวิทยุไปด้วย ทำให้ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เก็บประจุไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ขนาดเล็กไว้ในเครื่อง ลูกข่าย ที่นำมาใช้กับการรับส่งข้อมูลแบบนี้

3.2 ขนาดข้อมูล (Data Quantity)

โดยทั่วไปอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID จะมีขนาดของหน่วยความจำ หรือที่นิยมเรียกกันว่า ขนาดความจุข้อมูล (Data Capacity) ไล่ขนาดตั้งแต่ไม่กี่ไบต์ไปจนถึงหลาย ๆ กิโลไบต์ อย่างไรก็ตาม ยังมีเครื่องลูกข่าย RFID อีกกลุ่มหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาให้มีขนาดความจุเพียง 1 บิต (1 bit transponder) ซึ่งเครื่องลูกข่ายแบบนี้มักมีราคาประหยัด และมีจุดประสงค์ในการนำไปใช้งานเพียง เพื่อการจับสถานะภาพเท่านั้น อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายแบบ 1 บิตนี้ ก็มีบทบาทการใช้งาน ที่กว้างขวางมาก โดยเฉพาะในการประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับตรวจเฝ้ามอง (Monitoring) หรือใช้ เป็นอุปกรณ์ส่งรหัสสัญญาณอย่างง่าย ๆ โดยมีราคาค่าต้นทุนที่ประหยัดมาก ๆ เนื่องจากเครื่องลูกข่าย แบบ 1 บิต ไม่ต้องการการติดตั้งชิปประมวลผลไว้ภายในแต่อย่างใด

ตัวอย่างการใช้งานเครื่องลูกข่าย RFID แบบ 1 บิต ที่เห็นกันทั่วไปก็คือ การผลิตเป็น อุปกรณ์ชิ้นเล็ก ๆ สำหรับใช้ติดกับสินค้าภายในร้านค้าหรือห้างสรรพสินค้าต่าง ๆ โดยสถานะ ข้อมูล 1 บิต ในเครื่องลูกข่ายแต่ละชิ้นที่ยังไม่มีการขายอาจถูกกำหนดค่าเป็นลอจิก “1” ซึ่งจะถูก แปลงค่าเป็น “0” หรือ ถูกแกะออกจากสินค้าเมื่อมีการชำระเงินผ่านแคชเชียร์แล้ว ดังนั้นในกรณีที่มี ผู้หยิบฉวยสินค้าที่ติดแถบเครื่องลูกข่าย RFID นี้ออกจากร้านโดยพลการ เครื่องอ่านที่ได้รับการ ติดตั้งตามทางเข้าออก ก็จะตรวจพบว่ามีเครื่องลูกข่ายอยู่ในรัศมีทำการ และจะส่งสัญญาณไปยัง ระบบเตือนภัยทันที

3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)

การจำแนกประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID ตามขีดความสามารถในการ โปรแกรมข้อมูล สามารถแบ่งออกได้เป็นเครื่องลูกข่ายที่ไม่สามารถ โปรแกรมได้ ซึ่งภายในจะมีการเขียนข้อมูลที่อาจ เป็นรหัสเลขหมายใด ๆ ตามที่ได้รับคำสั่งจ้างทำมาตั้งแต่สายการผลิต และไม่สามารถเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้ไขได้ อีกประการหนึ่งเป็นเครื่องลูกข่าย RFID ที่สามารถทำการ โปรแกรมข้อมูลผ่านทางเครื่องอ่านได้ ซึ่งสามารถจำแนกเครื่องลูกข่ายประเภทนี้ออกเป็น 3 ชนิด ตามเทคโนโลยีหน่วยความจำที่นำมาใช้งาน

3.3.1 ยุคความจำแบบ EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)

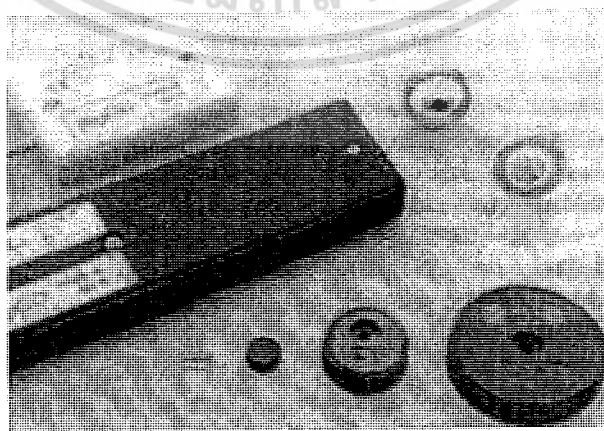
เป็นชนิดที่พบมากที่สุดในบรรดาเครื่องลูกข่ายโดยทั่วไป แต่ก็มีข้อด้อยในเรื่องของการกินกระแสไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูง ในขณะที่กำลังบันทึกข้อมูล ประกอบกับมีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนครั้งที่สามารถบันทึกข้อมูล ซึ่งส่วนใหญ่สามารถเขียนข้อมูลได้ในช่วง 100,000 – 1,000,000 ครั้งเท่านั้น

3.3.2 ยุคความจำแบบ FRAM (Ferromagnetic Random Access Memory)

ใช้พลังงานไฟฟ้าในการขณะเขียนข้อมูลต่ำกว่าแบบ EEPROM ประมาณ 100 เท่า แต่มีอายุการใช้งานในการเขียนข้อมูลใหม่ต่ำกว่าแบบ EEPROM ถึง 1,000 เท่า นอกจากนั้นความยุ่งยากในการผลิตเครื่องลูกข่าย RFID ที่ใช้หน่วยความจำแบบนี้ ก็มีผลทำให้อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายชนิดนี้ไม่ได้รับความนิยมใช้งานแพร่หลายเหมือนแบบอื่น ๆ

3.3.3 ยุคความจำแบบ SRAM (Static Random Access Memory)

มีคุณสมบัติพิเศษในเรื่องของความรวดเร็วในการบันทึกข้อมูล เหมาะสำหรับการใช้บันทึกข้อมูลแอปพลิเคชันต่าง ๆ ที่อาจจำเป็นสำหรับการใช้งานในบางกรณี แต่เนื่องจากหน่วยความจำแบบนี้ต้องการกระแสไฟเลี้ยง เพื่อรักษาข้อมูลอยู่ตลอดเวลา จึงต้องมีการออกแบบให้มีแบตเตอรี่สำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับหน่วยความจำชนิดนี้ ส่งผลให้ขนาดของเครื่องลูกข่ายค่อนข้างใหญ่และเหมาะกับการใช้งานเฉพาะกรณีเท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน **รูปที่ 3.1** อุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID แบบ Dish ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การจัดการลำดับคำสั่ง (Sequence)

ในกรณีของเครื่องลูกข่ายที่สามารถโปรแกรมได้นั้น ก็มีเทคนิคที่ใช้ในการจัดการประมวลผลข้อมูลให้เลือกพิจารณาเป็นประเด็นทางเทคนิคอีก ทั้งนี้สามารถแยกชนิดของเทคโนโลยีประมวลผลออกเป็น การประมวลผลโดยการกำหนดเงื่อนไขตายตัว (State Machine) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นตายตัว แล้วบันทึกลงบนชิปประมวลผล เป็นการจัดการที่มีข้อจำกัดค่อนข้างมาก เนื่องจากไม่สามารถลือเขียนโปรแกรมใหม่ได้ หากรูปแบบการใช้งานเปลี่ยนแปลงไป ทำให้มีการคิดค้นตั้งอุปกรณ์ประมวลผลแบบไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ลงในเครื่องลูกข่าย ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานสามารถเขียนโปรแกรมแก้ไขการทำงานได้ตามต้องการ โดยภายในชิปไมโครโปรเซสเซอร์จะได้รับการติดตั้งระบบปฏิบัติการ (Operating System หรือ OS) และโปรแกรมแอปพลิเคชันใช้งานพื้นฐานต่าง ๆ ลงไปตั้งแต่อยู่ในโรงงานผลิต ทำให้ผู้ใช้งานมีเครื่องมือเครื่องมือสำหรับการเขียนโปรแกรมใช้งานภายในเครื่องลูกข่ายได้อย่างคล่องตัว

3.5 แหล่งพลังงาน (Power Supply)

เป็นคุณสมบัติทางเทคนิคที่มีความสำคัญมากในการพิจารณาเลือกใช้เครื่องลูกข่าย RFID โดยสามารถจำแนกประเภทของเครื่องลูกข่ายออกเป็น 2 กลุ่มคือ แบบพาสซีฟ (Passive Transponder) ซึ่งเป็นเครื่องลูกข่ายที่ไม่ต้องการแหล่งจ่ายไฟบรรจุไว้ภายในตัว แต่จะอาศัยการแปลงสัญญาณพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องอ่านมาเป็นไฟเลี้ยงเพียงอย่างเดียว กับอีกประการหนึ่งคือ แบบแอคทีฟ (Active Transponder) ซึ่งต้องการระบบจ่ายไฟภายในตัวเครื่องลูกข่ายเพื่อใช้ป้อนจ่ายให้กับชิปประมวลผลที่ติดตั้งอยู่ภายใน

3.6 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency Range)

เป็นคุณสมบัติสำคัญอีกประการหนึ่งในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID ทั้งระบบ โดยความหมายของความถี่ใช้งาน (Operating Frequency) ในมาตรฐาน RFID นั้นจะหมายถึง คลื่นความถี่วิทยุเครื่องอ่านทำการส่งออกไปเท่านั้น โดยจะไม่สนใจว่าเครื่องลูกข่ายจะส่งคลื่นความถี่ในย่านใดตอบกลับมา ยิ่งในบางกรณีเครื่องลูกข่ายอาจมีการส่งคลื่นความถี่กลับมาเป็นค่าความถี่เดียวกับที่เครื่องอ่านส่งออกไป โดยแยกแยะความแตกต่างกันด้วยเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ Load Modulation ประเด็นของคลื่นความถี่จากเครื่องลูกข่าย จึงไม่ใช่สาระสำคัญในการนำมาพิจารณาย่านความถี่ใช้งานของอุปกรณ์ RFID สามารถกำหนดแบ่งออกได้เป็น 3 ย่านคือ

3.6.1 ย่าน LF (Low Frequency) ตั้งแต่ 30 – 300 kHz

3.6.2 ย่าน HF (High Frequency) / RF (Radio Frequency) ตั้งแต่ 3-30 MHz

3.6.3 ย่าน UHF (Ultra High Frequency) / Microwave ตั้งแต่ 300MHz และมากกว่า

3 GHz ขึ้นไป ตามลำดับไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

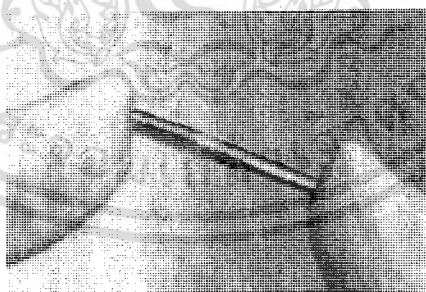
3.7 ประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID

3.7.1 เครื่องลูกข่ายแบบจานและเหรียญ (Disk and coin)

เป็นแบบที่พบเห็นกันมากที่สุด โดยเครื่องลูกข่ายจะถูกบรรจุเหรียญ และมีการเคลือบป้องกันไว้เป็นอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องลูกข่ายชนิดนี้มีตั้งแต่ไม่กี่มิลลิเมตรไปจนถึง 10 เซนติเมตร โดยทั่วไปจะมีการเจาะรูตรงกึ่งกลางของจานเพื่อใช้สำหรับการขันน็อตหรือสกรูในกรณีของการยึดติดตั้งอุปกรณ์อื่นๆ สำหรับวัสดุที่ใช้ในการเคลือบผิวมัน จะใช้สารจำพวก Polystyrol หรือเรซินอีพ็อกซี่ เพื่อให้เครื่องลูกข่ายสามารถทำงานได้ในย่านอุณหภูมิที่ค่อนข้างกว้าง

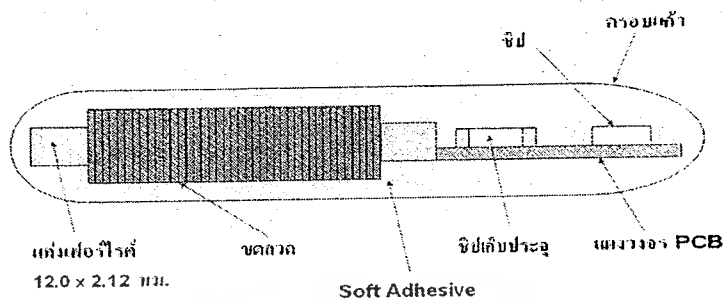
3.7.2 เครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว (Glass Housing)

เป็นเครื่องลูกข่ายที่ได้รับการพัฒนาและผลิตขึ้นสำหรับใช้ฝังไว้ใต้ผิวหนังของสัตว์เพื่อใช้ในการติดตามข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแวดวงสัตวศาสตร์และการสาธารณสุข ตัวกระเปาะแก้วมีขนาดความยาวในช่วง 12 – 32 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ภายในบรรจุไมโครเวฟที่ติดตั้งอยู่บนแผงวงจร (PCB – Printed Circuit Board) พร้อมชิปเก็บประจุไฟฟ้าสำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับไมโครชิป ในขณะที่ไม่มีสัญญาณคลื่นวิทยุส่งออกมาจากเครื่องอ่านที่อยู่ใกล้เคียง หรือสัตว์ที่ฝังอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID แบบนี้ เดินทางไปในพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณจากเครื่องลูกข่าย นอกจากนั้นบนแผงวงจรยังมีขดลวดที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุมีความหนาเพียง 0.03 มิลลิเมตร พันอยู่บนแท่งเฟอร์ไรท์ โครงสร้างเหล่านี้ได้รับการหุ้มห่อด้วยของเหลวรักษาสภาพ (Soft Adhesive) เพื่อป้องกันการขยับเขยื้อนของชิ้นส่วนต่างๆ



รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายระยะใกล้ของเครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว (Glass Transponder) ขนาด 32 มิลลิเมตรสำหรับใช้งานติดตั้งบนตัวสัตว์ (ภาพประกอบจาก Texas Instruments)

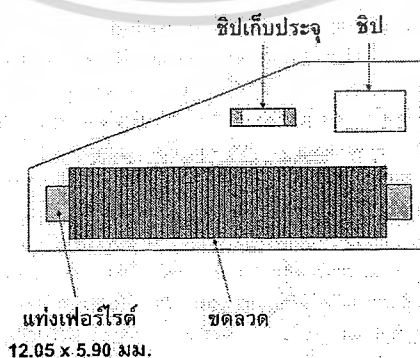
อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของสัตว์ที่ติดตั้งเครื่องลูกข่าย โครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้วมีโครงสร้างแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว

3.7.3 เครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก (Plastic Housing)

นิยมเรียกกันในชื่อย่อว่า PP (Plastic Package) เครื่องลูกข่ายแบบนี้มีขนาดบาง และสามารถนำไปติดตั้งประกอบกับผลิตภัณฑ์หลาย ๆ ประเภทที่พบเห็นทั่วไปก็คือ การนำเครื่องลูกข่ายแบบ PP ติดตั้งฝังอยู่กับพวงกมูญเจอร์ยนต์ในลักษณะของพวงกมูญเจอร์ยนต์ (Electronic Immobilization System) โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่ายแบบ PP นี้ แทบจะไม่แตกต่างจากเครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ต่างกันเพียงส่วนของขดลวดและแท่งเฟอร์ไรต์ที่มีความยาวมากกว่าแบบกระเปาะแก้ว ซึ่งมีผลทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดนี้ มีรัศมีทำการที่กว้างไกลกว่า ข้อดีที่เหนือกว่าอีกสองประการก็คือ เครื่องลูกข่ายแบบ PP มีพื้นที่สำหรับติดตั้งไมโครชิปที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งย่อหมายถึงขีดความสามารถในการประมวลผลที่สูงกว่า และยังทนทานต่อการเสียดสีในระดับที่สูงมาก ๆ ดังเช่นการสั่นสะเทือนภายในรถยนต์โดยสารทั่วไป ยิ่งไปกว่านั้น เครื่องลูกข่ายแบบ PP ยังได้รับการยอมรับในแง่ของเสถียรภาพและความคงทน ไม่ว่าจะเป็นการทนต่ออุณหภูมิที่ผันแปรค่อนข้างสูง และการตกหล่นกระแทกต่าง ๆ



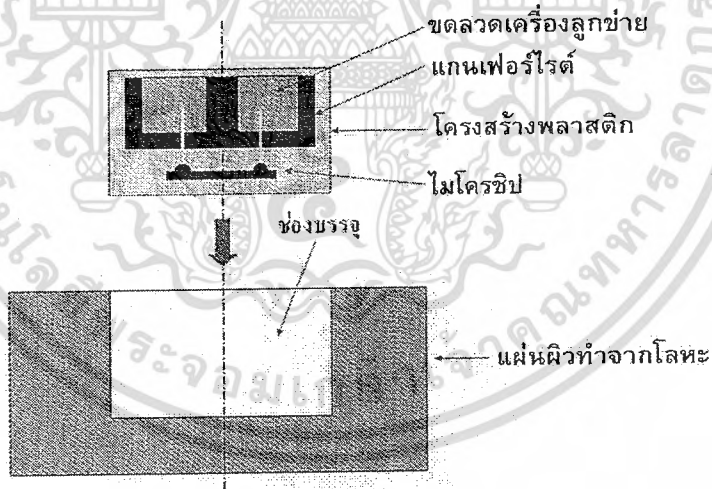
รูปที่ 3.4 โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก ซึ่งตัวบรรจุภัณฑ์ที่เคลือบเป็น

พลาสติกมีความหนาเพียง 3 มิลลิเมตรเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.4 เครื่องลูกข่ายสำหรับใช้เฉพาะกิจ

เป็นเครื่องลูกข่าย RFID อีกประเภทหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ สำหรับใช้งานในกรณีเฉพาะกิจ โดยมีการคิดค้นและพัฒนาเพื่อบรรจุเครื่องลูกข่ายลงในโครงสร้างและหน้าสัมผัสที่เป็นโลหะ ขดลวดสำหรับรับส่งสัญญาณของเครื่องลูกข่ายจะถูกพันกับแกนเฟอร์ไรท์ รูปทรงตัว U ไมโครชิปที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณจะถูกติดตั้งอยู่บนแกนด้านนอกของแกนเฟอร์ไรท์ และเชื่อมต่อกับขดลวดรับส่งสัญญาณ โดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เพื่อเป็นการออกแบบให้เครื่องลูกข่ายประเภทนี้มีเสถียรภาพในการใช้งานท่ามกลางสภาพแวดล้อมพิเศษต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นสถานที่ที่มีความร้อนสูง หรือมีแรงสั่นสะเทือนมาก ชุดเครื่องลูกข่ายและแกนเฟอร์ไรท์จะได้รับการบรรจุลงในโครงสร้างโลหะ แล้วเทเคลือบยึดไม่ให้มีการเคลื่อนไหว โดยใช้เรซินอีพ็อกซี่ รูปที่ 3.6 เป็นตัวอย่างในรูปแบบหนึ่งของเครื่องลูกข่ายแบบเฉพาะกิจ ซึ่งได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้ติดตั้งกับเครื่องจักรกลแบบควบคุมด้วยระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือ CNC (Computer Numerical Control) การออกแบบรูปลักษณะภายนอกที่เป็นบรรจุภัณฑ์ของเครื่องลูกข่ายชนิดนี้ สามารถทำได้หลากหลายตามความจำเป็น และเหมาะสมในการใช้งาน



รูปที่ 3.5 โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่าย RFID แบบติดตั้งลงในหน้าสัมผัสโลหะ

3.7.5 เครื่องลูกข่ายแบบพวงกุญแจ (Key and Key fob)

เครื่องลูกข่าย RFID สามารถได้รับการพัฒนาให้อยู่ในรูปของกุญแจแบบพิเศษที่ใช้ในการเปิดประตู หรือใช้กับระบบรักษาความปลอดภัยต่าง ๆ ซึ่งพวงกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้ไม่มีลูกกุญแจ แต่กลับทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งอาจมีการนำเข้ารหัสเพื่อใช้ในการยืนยันเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวคนบุคคล โครงสร้างของเครื่องลูกข่ายประเภทนี้ ทำจากพลาสติกซึ่งฉีดขึ้นรูปให้มีลักษณะและรูปทรงเป็นแบบพวงกุญแจ เครื่องลูกข่ายประเภทนี้ได้รับความนิยมใช้งานเป็นอุปกรณ์แสดงตนสำหรับผ่านเข้าออกอาคารสำนักงานและสถานที่ต่าง ๆ โดยมีตัวอย่างรูปทรงดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องลูกข่ายแบบพวงกุญแจ

3.7.6 เครื่องลูกข่ายแบบนาฬิกา

ผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นนาฬิกาสวมใส่ข้อมือ และเป็นอุปกรณ์แสดงตัวตนในลักษณะช่องเซ็นเซอร์แบบไร้การสัมผัส (Contactless Sensor) เพื่อผ่านเข้าสู่จุดเล่นสกีสำหรับนักสกีทั้งหลาย ซึ่งต่อมาผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ ก็เริ่มได้รับความนิยมใช้งานมากขึ้น ในงานรักษาความปลอดภัย โดยเฉพาะการยืนยันตนเพื่อผ่านประตูหรือช่องทางเข้าต่าง ๆ โครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายประเภทนาฬิกา ประกอบไปด้วยเฟรมสายอากาศเชื่อมต่ออยู่กับแผงวงจรพิมพ์ขนาดเล็กที่จัดรูปทรงให้สามารถบรรจุลงไปในนาฬิกาข้อมือได้ ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 นาฬิกาข้อมือติดตั้งเครื่องลูกข่าย RFID ใช้แบบการติดต่อสื่อสารแบบไร้การสัมผัส เพื่อตรวจยืนยันตัวผู้ใช้งาน

3.8 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID

หลักพื้นฐานที่ผู้ใช้งานเทคโนโลยี RFID ที่พึงทราบ เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้ประเภทของอุปกรณ์ให้ได้ตรงกับความต้องการใช้งานให้มาก และสอดคล้องที่สุด โดยจะใช้หลักเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกใช้งานจากปัจจัย 4 ประการด้วยกัน คือ ความถี่ที่ใช้งาน ระยะทำการ ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย และขนาดของหน่วยความจำ

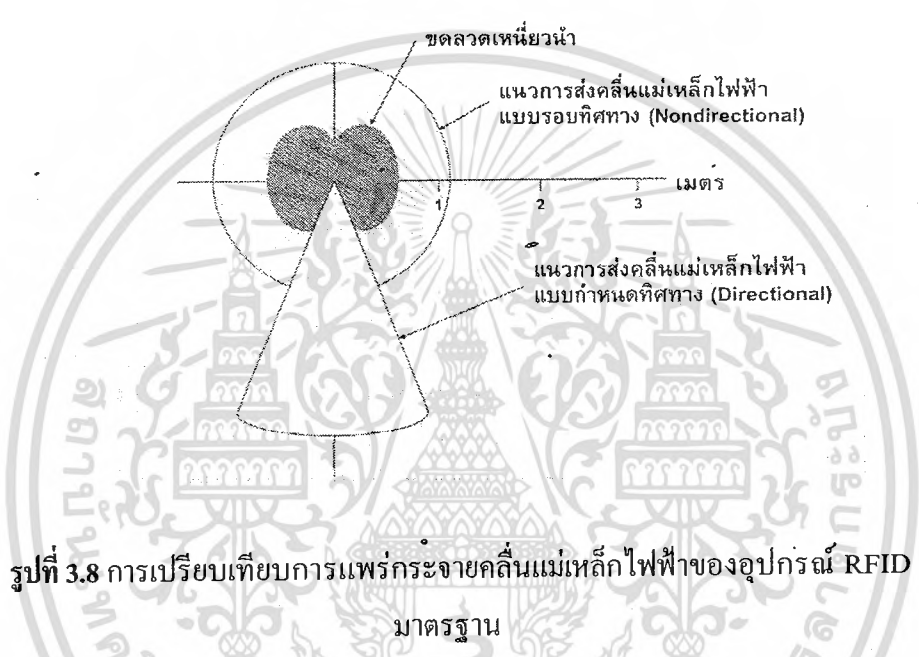
3.8.1 ความถี่ใช้งาน

อุปกรณ์ RFID ที่ใช้งานอ่านความถี่ในช่วง 100 kHz-30 MHz จะใช้รูปแบบส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องรับเป็นแบบเหนี่ยวนำ ในขณะที่อุปกรณ์ RFID ที่มีการสื่อสารโดยใช้ความถี่ย่านไมโครเวฟซึ่งอยู่ในช่วง 2.45 – 5.8 KHz จะใช้การส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแทน ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องทำความเข้าใจกับพฤติกรรมการแพร่กระจายของอุปกรณ์ RFID ที่เลือกใช้ให้ดี และให้เหมาะสมกับรูปแบบการนำไปใช้งาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด ส่วนการเลือกใช้อ่านความถี่ไมโครเวฟนั้น โดยทั่วไปจะให้ผลดีในเรื่องของระยะทางที่ไกลกว่าการเหนี่ยวนำ โดยใช้คลื่นความถี่ต่ำ แต่อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายที่ทำงานในย่านความถี่ไมโครเวฟนั้นต้องการแบตเตอรี่สำรองไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องลูกข่ายไม่สามารถอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องอ่านผ่านทางคลื่นความถี่วิทยุเพียงอย่างเดียว ทำให้ต้องมีขนาดใหญ่และมีข้อจำกัดในการพกพาหลาย ๆ ประการ สิ่งที่ควรพิจารณาประการหนึ่งสำหรับการใช้งานอุปกรณ์ RFID ในย่านความถี่ต่ำก็คือ การที่ระบบอาจเหนี่ยวนำ ทำให้มีความนิยมใช้งานการสื่อสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟแทนในกรณีของการใช้งานภายในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะโรงงานประกอบรถยนต์

3.8.2 ระยะทำการ

ปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องโดยตรงต่อระยะทำการในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID สามารถจำแนกได้ 3 ประเภท คือ ตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย ระยะขั้นต้นระหว่างเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องกับเครื่องอ่าน ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไป แล้วแต่ประเภทของการใช้งาน ความเร็วของการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่าย และความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่าย และความเร็วในการอ่านและเขียนข้อมูลของเครื่องลูกข่าย ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถอธิบายให้เห็นภาพได้ง่ายๆ โดยให้คิดถึงเครื่องลูกข่ายแบบ Smartcard ไร้การสัมผัสเพื่อผ่านเข้าออกช่องทางสู่รถไฟฟ้าใต้ดินระบบในลักษณะนี้ไม่ต้องการความเที่ยงตรงของตำแหน่งเครื่องลูกข่ายมากนักเนื่องจากในทางปฏิบัติ ผู้โดยสารทุกคนต้องนำบัตรมาแตะในระยะเวลาที่เกือบๆ จะสัมผัสกับเครื่องอ่านอยู่แล้ว สิ่งที่ต้องการให้ความสำคัญกลับเป็นระยะห่างขั้นต้นต่ำที่ยอมให้เครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้กัน ซึ่งในที่นี้ก็คือระยะห่างของผู้โดยสารปัจจุบัน โดยผู้โดยสารคนถัดไปที่กำลังเดินตามมา เพื่อให้มั่นใจว่า สัญญาณ

ที่ส่งออกจากเครื่องอ่านเพื่อกระตุ้นให้เกิดไฟเลี้ยงในบัตรใบปัจจุบันที่อยู่ใกล้เครื่องอ่านมากที่สุดจะไม่ถูกส่งไปไกลจนถึงบัตรของผู้โดยสารคนถัดไป มิฉะนั้นจะทำให้เครื่องลูกข่ายในบัตรทั้งสองใบส่งสัญญาณออกมาพร้อมกันทำให้เกิดปัญหาข้อมูลชนกันได้โดยทั่วไปเมื่อพิจารณาถึงระยะที่ผู้โดยสารสองคนจะมีโอกาสอยู่ใกล้ที่สุดแล้ว ก็ต้องทำให้ต้องออกแบบเครื่องอ่าน RFID ให้ส่งสัญญาณออกมาในระยะทางไม่เกิน 5-10 เซนติเมตร



รูปที่ 3.8 การเปรียบเทียบการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์ RFID แต่ละมาตรฐาน

ในกรณีของการติดตั้งเครื่องลูกข่าย RFID ลงในตัวถังรถยนต์ที่อยู่ในระบบการผลิต เพื่อใช้บอกลำดับและแสดงตัวตนเมื่อเข้าสู่กระบวนการต่างๆ เช่น การชุบสี การยึมนี้อัด เป็นต้น โดยทั่วไปจะเลือกใช้เครื่องลูกข่ายที่ทำงานในย่านความถี่ไมโครเวฟ อันเนื่องมาจากมีความต้านทานต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งรูปแบบของการกระจายคลื่นดังรูปที่ 3.8 โดยสัญญาณที่ส่งออกจะเป็นคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีทิศทาง (Directional) แต่โดยธรรมชาติของการแพร่กระจายในทิศทางตรงแล้วที่ด้านหลังของสายอากาศยังมีสัญญาณที่ไม่พึงประสงค์ที่เป็นสัญญาณรอบทิศทาง (Nondirectional) ปรากฏอยู่ แม้ขนาดความแรงจะมีรัศมีเพียงเล็กน้อย แต่หากนึกถึงกระบวนการผลิตที่เป็นลักษณะสายพาน เมื่อรถยนต์คันแรกวิ่งผ่านไปแล้วยังมีสัญญาณส่งย้อนกลับมา และเกิดการแทรกสอดกับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทางตรงของรถยนต์คันถัดมาก็จะทำให้เกิดปัญหาทันที ในกรณีนี้จึงมีการศึกษาพฤติกรรมการแพร่กระจายคลื่นให้ชัดเจนเพื่อกำหนดระยะห่างของเครื่องลูกข่าย และยังเป็นกำหนดยุทธศาสตร์และตำแหน่งการยิงสัญญาณของเครื่องอ่านให้เหมาะสมด้วย

3.8.3 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย

การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ประกอบไปด้วยการตรวจยืนยันจากเครื่องลูกข่าย และการเข้ารหัสข้อมูลที่จะถูกส่งผ่านทางคลื่นวิทยุ เป็นสิ่งที่ต้องการพิจารณาและผู้ออกแบบต้องตัดสินใจวางข้อกำหนดให้ชัดเจนก่อนเลือกใช้อุปกรณ์ RFID อย่างไรก็ตามผู้ออกแบบควรศึกษาขอบเขตของการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี RFID นั้นๆ โดยเปรียบเทียบกับความต้องการใช้งานด้วยว่า กระบวนการหรือความต้องการใช้งานในกรณีนั้นๆ จำเป็นต้องใช้มาตรการรักษาความปลอดภัยหรือไม่ หรือหากต้องการใช้จะเป็นเพียงระดับใด เพื่อให้การลงทุนเป็นไปอย่างเหมาะสม

3.8.4 ขนาดของหน่วยความจำ

หน่วยความจำแบบ EEPROM นิยมใช้งาน RFID ที่มีการถ่ายถอดข้อมูลแบบเหนี่ยวนำ โดยมีขนาดหน่วยความจำสำหรับใช้งานในช่วง 16 ไบต์ หรือ 8 กิโลไบต์ ในขณะที่หน่วยความจำแบบ SRAM ที่มักจะมาพร้อมกับแบตเตอรี่สำรองไฟฟ้า จะได้รับความนิยมใช้ในการถ่ายถอดข้อมูลโดยใช้คลื่นความถี่ย่านไมโครเวฟ ขนาดของหน่วยความจำจะอยู่ระหว่าง 256 ไบต์ ถึง 64 กิโลไบต์

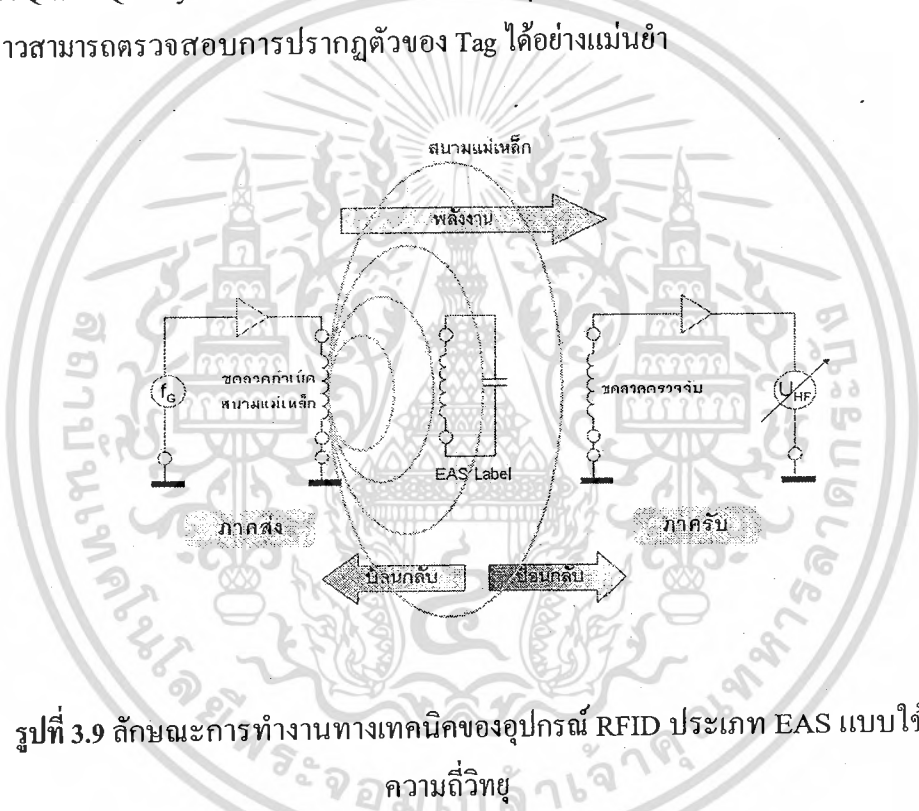
3.9 หลักการทำงานพื้นฐานในการติดต่อสื่อสาร

หลักการทำงานพื้นฐานในการติดต่อสื่อสาร ทั้งการแลกเปลี่ยนข้อมูลและการรับส่งพลังงานระหว่างเครื่องลูกข่าย (Transponder) และเครื่องรับ (Reader) โดยข้อกำหนดมาตรฐาน RFID มีการจำแนกประเภทของมาตรฐานทางเทคนิคในการติดต่อสื่อสารออกตามลักษณะการทำงานของเครื่องลูกข่าย อันได้แก่ระบบแบบ 1 บิต ซึ่งส่วนใหญ่มีการนำไปใช้งานประเภท EAS (Electronic Article Surveillance) แบบ Full Duplex / Half Duplex และแบบ Sequential โดยแต่ละแบบจะมีรูปแบบและเทคนิคการทำงานที่แตกต่างกันออกไป

3.9.1 EAS แบบใช้ความถี่คลื่นวิทยุ (Radio Frequency)

ใช้หลักการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของระดับความแรงสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ เมื่อมีการนำอุปกรณ์ Tag เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ตรวจสอบ ซึ่งอาจจะเป็นทางเข้าออกของห้างสรรพสินค้าที่มีการติดตั้งเครื่องอ่านไว้ หลักการทำงานของเทคโนโลยีชนิดนี้ ในการสร้างสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) กระแสสลับ ซึ่งจะส่งผลให้สร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่คลื่นวิทยุจากเครื่องอ่าน ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่าเครื่องส่ง สัญญาณคลื่นวิทยุดังกล่าวจะปกคลุมพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบอยู่ตลอดเวลา เมื่อมีการนำ Tag ซึ่งได้รับการออกแบบให้ภายในมีวงจรการทำงานแบบ LC resonant กล่าวคือมีการติดตั้งขดลวด (Inductor มีค่าเป็นเฮนรี่ เขียนแทนด้วย L และคาปาซิเตอร์ (Capacitor มีคเป็นฟารัด เขียนแทนด้วย C) เพื่อทำให้เกิดการก้ำทอน (หรือรีโซแนนต์) ขยายสัญญาณที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งซึ่งคำนวณได้จากค่า L และ C หากค่าความถี่ก้ำทอน (Resonant Frequency) ของอุปกรณ์ Tag (เขียนแทนด้วย FR) มีค่าตรงกับความถี่คลื่นวิทยุจากภาคส่ง (เขียน

แทนด้วย FG) ก็จะมีผลทำให้อิมพีแดนซ์ของขดลวดกำเนิดสนามแม่เหล็กที่ภาคส่งตกลง ส่งผลให้ผลแรงดันไฟฟ้า จุดดังกล่าวลดลงเล็กน้อย ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กตกลงเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวอ่านสัญญาณหรือภาครับตรวจพบความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ก็จะหมายความว่าอุปกรณ์ Tag ปรากฏอยู่ในพื้นที่แพร่กระจายสัญญาณ การเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มของสนามแม่เหล็กจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องส่งอุปกรณ์-Tag - ขดลวดของเครื่องรับ และยังขึ้นอยู่กับค่า Q หรือ Quality Factor ของวงจร LC ภายในอุปกรณ์ Tag มีค่าสูงก็จะทำให้ระบบ EAS แบบดังกล่าวสามารถตรวจสอบการปรากฏตัวของ Tag ได้อย่างแม่นยำ



รูปที่ 3.9 ลักษณะการทำงานทางเทคนิคของอุปกรณ์ RFID ประเภท EAS แบบใช้คลื่นความถี่วิทยุ

อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าจะให้ความสำคัญกับการจัดวางระบบหรือมีการออกแบบอุปกรณ์ Tag ให้มีความเที่ยงตรงมากเพียงใดการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น เมื่อมีการนำ Tag เข้าไปในพื้นที่ตรวจสอบก็อยู่ในระดับที่ต่ำมาก ๆ จนหลายครั้งทำให้เครื่องรับไม่สามารถตรวจจับได้ เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีการกำหนดให้ภาคกำเนิดสัญญาณย่านความถี่ 8.2 MHz อยู่ตลอดเวลา แต่จะลดและเพิ่มความถี่ในลักษณะของการกวาด ส่วนจะกวาดลงไปถึงความถี่ต่ำไปถึงเท่าใด และสูงถึงเท่าใด ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดมาตรฐานของแต่ละย่านความถี่ใช้งาน ในกรณีดังกล่าวจะกำหนดให้เป็น $8.2 \text{ MHz} + 10\%$ นั้นหมายถึงเครื่องส่งจะไล่กวาดส่งสัญญาณ (FG) ที่ความถี่ 7.38 MHz จนถึง 9.20 MHz

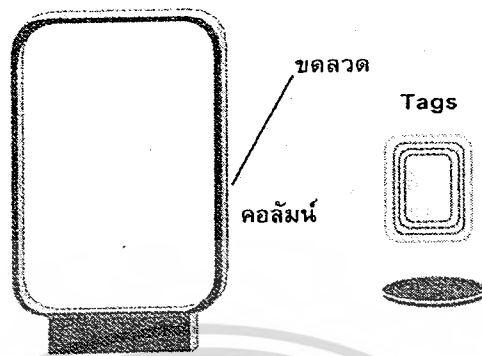
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.1 ย่านความถี่วิทยุสำหรับระบบ EAS แบบใช้ความถี่คลื่นวิทยุ

	ระบบที่ 1	ระบบที่ 2	ระบบที่ 3	ระบบที่ 4
ความถี่(เมกะเฮิรตซ์)	1.86 – 2.18	7.44 – 8.73	7.30 – 8.70	7.40 – 8.60
คลื่นความถี่กวาด (เฮิรตซ์)	141	141	85	85

สมมติว่ามีการติดตั้งอุปกรณ์ Tag ที่มีความถี่กำหนด (FR) เท่ากับ 8.2 MHz เข้ามาในพื้นที่ตรวจจับเมื่อเครื่องส่งกวาดสัญญาณมาตรฐานกับความถี่ 8.2 MHz ก็จะทำให้เกิดการกำทอน(Resonate) ส่งผลให้ระดับความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุที่ความถี่ 8.2 MHz นั้นลดลงอย่างผิดปกติ เรียกว่าเกิด Dip ซึ่งแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับเพียงเล็กน้อย แต่ก็เครื่องรับสามารถตรวจสอบได้เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความแรงที่เปลี่ยนแปลงต่อเนื่องตลอดเมื่อเครื่องส่งกวาดส่งสัญญาณในความถี่ช่วง อ ความเปลี่ยนแปลงของระดับความแรงดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ซึ่งเกิดจากวงจร LC ภายในอุปกรณ์ Tag เมื่ออยู่ในพื้นที่ความถี่ต่าง ๆ

อุปกรณ์ Tag ที่ใช้กับระบบ EAS แบบใช้ความถี่คลื่นวิทยุนี้มักจะได้รับ การออกแบบให้ประกบติดกับสินค้าแบบตายตัว เช่น อยู่ในรูปแบบของสติ๊กเกอร์ ซึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ดังนั้นเมื่อมีการนำสินค้าที่ติดตั้ง Tag มาชำระเงินที่แคชเชียร์แล้ว พนักงานขายก็จะทำการลบสถานะของ Tag จากสภาพไวงาน (Active State) ไปเป็นเฉื่อยงาน (Deactivate State) ซึ่งก็หมายถึงทำให้ Tag หมดสภาพการใช้งาน ด้วยการนำสินค้าที่ติดอุปกรณ์ Tag ดังกล่าวไปจ่อกับเครื่องลบสถานะ ซึ่งจะส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กที่มีความแรงเพียงพอที่จะทำให้สายตัวเก็บประจุที่อยู่ภายในวงจร LC ของอุปกรณ์ Tag ไปได้ ซึ่งโดยทั่วไปจะออกแบบให้ตัวเก็บประจุภายในอุปกรณ์ Tag สามารถลัดวงจรตัวเองได้เมื่อถูกกระตุ้นจากสนามแม่เหล็กของเครื่องลบสถานะ นั่นก็ย่อมหมายความว่าอุปกรณ์ Tag ที่ถูกลบสถานะไปแล้วจะไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไป และจะไม่มีผลตอบสนองใดๆ ต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปรากฏในพื้นที่ตรวจสอบอีกต่อไป ซึ่งในทางปฏิบัติก็คือผู้ที่ชำระเงินแล้วสามารถนำสินค้าออกจากร้านค้าได้โดยอุปกรณ์ Tag ดังกล่าวจะไม่ทำปฏิกิริยากับระบบ EAS ที่ประตูทางออกอีกต่อไป สัญญาณกันขโมยก็จะไม่ทำงาน



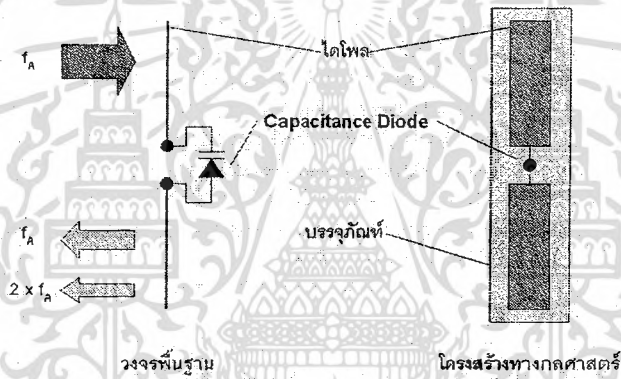
รูปที่ 3.10 (ซ้าย) โครงสร้างโดยทั่วไปของระบบสายอากาศเพื่อใช้ตรวจสอบอุปกรณ์ในลักษณะ
ประตู ความสูงทั่วไปประมาณ 1.2-1.6 เมตร (ขวา) อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายที่ติดอยู่กับสินค้าต่างๆ

3.9.2 EAS แบบใช้ความถี่คลื่นไมโครเวฟ (Microwave)

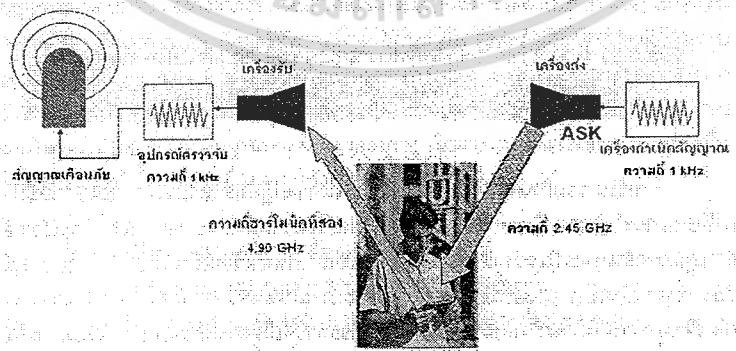
ระบบ EAS แบบใช้ความถี่คลื่นไมโครเวฟ มีหลักการทำงานที่แตกต่างจากชนิดแรก ตรงที่อาศัยหลักการสร้างสัญญาณฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Signal) แล้วทำการตรวจสอบการปรากฏของสัญญาณฮาร์โมนิกส์ ซึ่งมีความถี่ที่แตกต่างจากค่าความถี่คลื่นที่ถูกส่งออกจากเครื่องส่ง ทำให้เกิดความเที่ยงตรงในการตรวจจับเครื่องลูกข่าย และการทำงานของระบบก็มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบใช้ความถี่วิทยุแต่ก็มีต้นทุนที่สูง ทำให้ต้องมีการนำกลับมาใช้ซ้ำเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าที่สุด หลักการทำงานของระบบพื้นฐานทางฟิสิกส์ เมื่อมีการป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave) ผ่านเข้าไปในอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีลักษณะการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น จะทำให้เกิดการสร้างสัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐานที่เป็นสัญญาณเดิม เรียกว่าความถี่ฮาร์โมนิกส์ซึ่งประกอบไปด้วยความถี่ $2 \times 2 = 4 \text{ GHz}$ $3 \times 2 = 6 \text{ GHz}$ $4 \times 2 = 8 \text{ GHz}$ ไปจนถึงอนันต์ แต่ในขณะที่เดียวกันระดับความแรงของสัญญาณฮาร์โมนิกส์เหล่านี้ก็ลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับสัญญาณต้นฉบับเดิม หรือก็คือพลังงานที่บรรจุอยู่ในสัญญาณคลื่นต้นฉบับจะถูกแบ่งไปให้กับฮาร์โมนิกอื่นๆ คือไดโอดในอุดมคติจะไม่ทำให้สัญญาณต้นทางเกิดการสูญเสียพลังงาน ระดับความแรงของสัญญาณ 10 โวลต์ ก็จะถูกกระจายแบ่งไปให้กับฮาร์โมนิกส์ค่าต่างๆ ยิ่งฮาร์โมนิกส์ที่สูงๆ ก็จะได้รับสัญญาณน้อยลง แต่เมื่อนำระดับพลังงานของสัญญาณทุกฮาร์โมนิกส์มารวมกันก็จะได้พลังงานเท่ากับสัญญาณขาเข้าทุกประการ เครื่องลูกข่ายแบบ 1 บิต ที่ผลิตใช้กับความถี่คลื่นไมโครเวฟนั้นสามารถผลิตขึ้นได้ง่ายๆ โดยนำอุปกรณ์ Capacitance Diode มาเชื่อมกับไดโพล (Dipole) หรือแกนรับสัญญาณที่มีลักษณะเดียวกับสายอากาศรับสัญญาณทั่วไป พร้อมทั้งปรับมุมให้รับสัญญาณต้นฉบับที่ถูกสร้างจากอุปกรณ์ภาคส่งของระบบ EAS ดังแสดงในรูปที่ 3.15 การ

เอ็กซิมส์... ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบของเครื่องลูกข่าย สำหรับใช้ในกิจการแต่ละประเภทต้องพิจารณาถึงความถี่ที่ต้องการนำไปใช้ด้วย สำหรับความถี่ที่ใช้งานในทางปฏิบัติสำหรับระบบ EAS นั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปตามภูมิภาค โดยในทวีปยุโรปจะใช้ความถี่ 2.45 – 506 GHz ส่วนภูมิภาคอื่นๆ จะเพิ่มความถี่ 915 MHz เข้ามาเป็นตัวเลือกเพิ่มเมื่อมีการนำเครื่องลูกข่ายเข้ามาภายในพื้นที่ตรวจจับซึ่งมีการส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่ตรงกันกับย่านการทำงานก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเวียนภายในเครื่องลูกข่าย โดยผ่านไดโอดที่อยู่ภายใน และเริ่ม มีการผลิตสัญญาณฮาร์โมนิกส์เลียนแบบสัญญาณต้นฉบับที่ได้รับออกมา ในการใช้งานโดยทั่วไปมักจะสนใจเฉพาะสัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่สองและสามเท่านั้น ฮาร์โมนิกส์ที่สูงกว่าจะไม่ได้ได้รับความสนใจนัก เนื่องจากมีความแรงของสัญญาณต่ำ



รูปที่ 3.11 โครงสร้างภายในวงจรไฟฟ้าของเครื่องลูกข่าย แบบที่ใช้กับความถี่ไมโครเวฟ

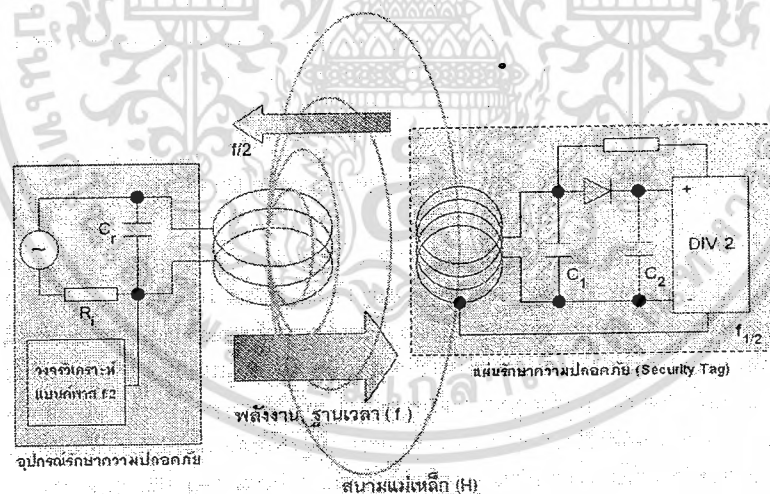


รูปที่ 3.12 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ EAS แบบใช้ความถี่คลื่นไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ EAS แบบใช้ความถี่คลื่นไมโครเวฟทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz เพื่อป้องกันความสับสนในกรณีที่มีสัญญาณจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ พลัดหลงเข้ามาในพื้นที่ตรวจจับ โดยทั่วไปมักจะมีการนำสัญญาณความถี่วิทยุมาตรฐานมาทำการมอดูเลตกับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ เพื่อให้สัญญาณที่ต้องการนำไปใช้งานมีความแตกต่างจากสัญญาณรบกวนอื่นๆ

เป็นเทคโนโลยี EAS อีกประเภทหนึ่งที่นิยมนำไปใช้งานกับระบบตรวจจับที่ใช้ความถี่ในย่าน 100-135.5 kHz โดยภายในตัวอุปกรณ์ Tag จะประกอบด้วย แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์พิเศษหรือไมโครชิปและวงจร Resonance เพื่อใช้กำหนดค่าความถี่กำหนดลักษณะเดียวกับเทคโนโลยี EAS แบบที่ใช้ความถี่คลื่นวิทยุ โดยส่วนที่เป็นขดลวดจะพันอยู่รอบแกนทองแดง พร้อมทั้งได้รับการเคลือบอย่างดี จากนั้นจึงนำมาเชื่อมต่อกับตัวเก็บประจุ (Capacitor) เนื่องจากมีส่วนประกอบทั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และแผงวงจรประมวลผลแบบไมโครชิป อุปกรณ์ Tag ประเภทนี้จึงได้รับการออกแบบให้มีการหุ้มห่อเป็นอย่างดีด้วยตัวเคลือบพลาสติก และถือเป็น Hand Tag ซึ่งพนักงานขายจะดึงออกจากสินค้าเมื่อมีการชำระเงินซื้อสินค้า เพื่อนำกลับอุปกรณ์ Tag มาใช้ใหม่



รูปที่ 3.13 มาตรฐาน EAS แบบใช้การหารความถี่

หลักการการทำงานของ EAS ชนิดนี้ เริ่มจากการที่ไมโครชิปได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำของขดลวดภายในอุปกรณ์ Tag สัญญาณความถี่คลื่นที่ป้อนให้กับไมโครชิปจะถูกหารค่าลงเหลือครึ่งหนึ่ง เช่น เครื่องส่งทำการส่งสัญญาณด้วยความถี่ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ เมื่อสัญญาณดังกล่าวถูกส่งเข้ามายังไมโครชิปก็จะถูกหารจนเหลือความถี่เพียง 60 kHz สัญญาณดังกล่าวจะถูกเอ็กสตรีนเป็นสัญญาณพลังงานที่ส่งไปใช้ในการแจ้งเตือนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติไหนไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้อนย้อนกลับไปยังขดลวดของอุปกรณ์ Tag เพื่อส่งกลับคืนผ่านทางอากาศไปให้กับเครื่องอ่านซึ่งเป็นอุปกรณ์ตัวเดียวกันกับเครื่องส่ง ซึ่งเท่ากับเป็นหลักการตายตัวสำหรับเครื่องส่งว่าเมื่อใดที่มีอุปกรณ์ Tag ปรากฏขึ้นในพื้นที่ตรวจจับซึ่งมีสัญญาณความถี่คลื่นจากเครื่องส่งครอบคลุมอยู่ เครื่องส่งจะได้รับสัญญาณความถี่คลื่นที่มีค่าต่ำกว่าความถี่ที่ตนส่งออกไป 2 เท่า โดยทั่วไปจะมีการนำสัญญาณคลื่นวิทยุที่จะส่งออกจากเครื่องส่งไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณตายตัว ไม่ว่าจะด้วยเทคโนโลยี ASK หรือ PSK เพื่อให้สัญญาณที่ใช้ในการตรวจจับมีรูปแบบแตกต่างจากสัญญาณรบกวนจากสิ่งแวดล้อม เป็นหลักการเดียวกันกับที่ใช้ในกรณีของอุปกรณ์ EAS แบบใช้ความถี่คลื่นไมโครเวฟ

3.9.4 EAS แบบใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave)

เป็นมาตรฐาน EAS ที่ทำงานโดยอาศัยความเข้มของสนามแม่เหล็ก ในย่านความถี่ต่ำมากๆ ช่วง 10 Hz ถึง 20 kHz อุปกรณ์ Tag ในกรณีนี้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ (Strip) ผลิตจากโลหะไร้สัณฐาน (Amorphous Metal) ซึ่งหัวใจสำคัญของเทคนิคการใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ในกรณีนี้อยู่ที่พฤติกรรมของอุปกรณ์ Tag ซึ่งมีคุณสมบัติตอบสนองสนามแม่เหล็ก โดยพฤติกรรมตอบสนองดังกล่าวก็เป็นไปเช่นเดียวกับโลหะทั่วไปในโลก นั่นคือเมื่อมีการเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กซึ่งผลิตขึ้นจากเครื่องส่งก็จะมีผลทำให้ความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแผ่น Tag บาง ๆ เหล่านี้เพิ่มตาม ยกเว้นว่าหากมีการเพิ่มหรือลดความเข้มของสนามแม่เหล็กจนเกินค่า ๆ หนึ่ง ซึ่งเรียกกันว่า “จุดความเข้มแม่เหล็กอิ่มตัว” หรือ Saturation Point ก็จะพบว่าขนาดความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็กจะคงที่ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกต่อไป เมื่อทำการลดความเข้มของสนามแม่เหล็กลง ฟลักซ์แม่เหล็กบน Tag จะเริ่มลดลง แต่การลดลงนั้นจะช้ากว่าอัตราการเพิ่มขึ้นในช่วงเพิ่มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลมาจากการที่มีอำนาจหลักแม่เหล็กตกค้างอยู่บนอุปกรณ์ Tag จนกระทั่งเมื่อทำการเปลี่ยนทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปเป็นทิศทางตรงข้าม ฟลักซ์แม่เหล็กบนอุปกรณ์ Tag ก็จะค่อย ๆ ลดลงจนเป็นค่าศูนย์ จากนั้นจึงจะค่อย ๆ เพิ่มค่าในทิศทางตรงข้ามจนเข้าถึงจุดความเข้มแม่เหล็กอิ่มตัวอีกครั้ง โดยสามารถเขียนกราฟแสดงพฤติกรรมตอบสนองระหว่างความเข้มของสนามแม่เหล็ก และฟลักซ์แม่เหล็กบนอุปกรณ์ Tag

หากเพิ่มค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้มากขึ้นกว่าจุดความเข้มแม่เหล็กอิ่มตัวไปเรื่อยๆ ก็อาจมีผลทำให้อำนาจแม่เหล็กของโลหะไร้สัณฐานภายในตัว Tag เสื่อมสภาพโดยมีค่าฟลักซ์แม่เหล็กค้างอยู่ที่ระดับอิ่มตัว ไม่แปรเปลี่ยนตามความเข้มของสนามแม่เหล็กอีกต่อไป มีผลทำให้ไม่สามารถใช้อุปกรณ์ Tag นั้นได้ต่อไป เป็นหลักการในการลบสถานะของอุปกรณ์ Tag ในกรณีที่มีการชำระเงินซื้อสินค้าที่ติดตั้ง Tag ตัวนั้นเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

เมื่อได้รับทราบพฤติกรรมโดยทั่วไปของอุปกรณ์ Tag ชนิดนี้แล้ว ก็จะสามารถทำความเข้าใจหลักการการทำงานของระบบ EAS แบบใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าไม่ยากนัก หัวใจสำคัญของระบบตรวจจับดังกล่าวอยู่ที่อุปกรณ์เครื่องส่งซึ่งจะทำการสร้างสนามแม่เหล็ก H ที่เปลี่ยนแปลงทิศทาง (หรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสนามแม่เหล็กเปลี่ยนขั้วอยู่ตลอดเวลา)

โดยมาตรฐาน EAS ชนิดนี้จึงกำหนดให้เครื่องส่งทำการส่งคลื่นแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงถึงระดับที่ทำให้อุปกรณ์ Tag อิมตัว แล้วทำการเปลี่ยนทิศทางโดยฉับพลัน ไม่มีการค่อยๆลดระดับความเข้มลง ซึ่งเมื่อพิจารณาพฤติกรรมของความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กที่สัมพันธ์กับอำนาจแม่เหล็กที่สะสมอยู่ในตัว Tag จะเห็นว่าฟลักซ์จะค่อย ๆ ลดลงและเปลี่ยนทิศทางตามความเข้มสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงทิศทางไปก่อนหน้าแล้ว การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของฟลักซ์ภายในตัวอุปกรณ์ Tag นี้เองที่เป็นหัวใจสำคัญทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถตรวจจับได้โดยอุปกรณ์ตรวจจับที่ติดตั้งอยู่ภายในเครื่องส่ง หรืออาจจะติดตั้งต่างหาก และเนื่องจากคุณสมบัติของการสะสมอำนาจแม่เหล็กภายในโลหะไร้สัณฐานเหล่านี้ ล้วนเป็นแบบไม่เชิงเส้น (non-linear) นั่นคือเส้นทางการตอบของฟลักซ์ที่มีการต่อ การเพิ่มและลดสนามแม่เหล็ก มีเส้นทางต่างกัน กรณีนี้จึงทำให้เกิดการสร้างสัญญาณฮาร์มอนิกสจากสัญญาณต้นฉบับที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องส่งเพิ่มขึ้น แต่โดยทั่วไปการตรวจจับอุปกรณ์ Tag ด้วยเทคนิคชนิดนี้จะสนใจพิจารณาเฉพาะความถี่ต้นฉบับ ซึ่งมักเรียกว่าสัญญาณความถี่หลัก (Main Signal) และสัญญาณความถี่เพิ่มเติม (Additional Signal) ที่เกิดจากพฤติกรรมตอบสนองของฟลักซ์แม่เหล็กภายในตัว Tag ต่อระดับความเข้มของสนามแม่เหล็ก สมมติว่าสัญญาณหลักถูกส่งออกจากอุปกรณ์เครื่องส่งด้วยความถี่ $f_s = 20 \text{ kHz}$ ผลจากการเปลี่ยนทิศทางสนามแม่เหล็กอย่างฉับพลัน ทำให้อุปกรณ์ Tag กำเนิดสัญญาณเพิ่มเติมขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงระดับของ ฟลักซ์แม่เหล็กเป็นค่า $f_1 = 3.5 \text{ kHz}$ และ $f_2 = 5.3 \text{ kHz}$ สัญญาณความถี่คลื่นเหล่านี้จะเกิดการแทรกสอดและลดทอนกันเกิดเป็นความถี่อนุพันธ์ (Derivative Frequency) ใหม่จำนวนมาก แต่ที่อยู่ในความสนใจและสามารถตรวจจับได้ด้วยอุปกรณ์เครื่องรับจะเป็นความถี่อนุพันธ์ลำดับแรก ซึ่งประกอบด้วย

$$f_1 + f_2 = f_1 + 2 = 8.80 \text{ kHz}$$

$$f_1 - f_2 = f_1 - 2 = 1.8 \text{ kHz}$$

$$f_s + f_1 = f_s + 1 = 3.52 \text{ kHz}$$

ลักษณะภายนอกของอุปกรณ์ Tag สำหรับเทคโนโลยี EAS แบบนี้ มักเป็นแถบสติ๊กเกอร์บางๆ สามารถประกบติดกับสินค้าหรือสิ่งของที่ต้องการตรวจสอบ และแกะลอกออกได้ง่าย ส่วนใหญ่มีความยาวตั้งแต่ไม่กี่เซนติเมตรจนถึง 20 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นระบบแบบเดี่ยวที่ทำงานใน

ย่านความถี่ต่ำมาก ๆ จึงไม่เกิดผลกระทบจากการนำไปติดตั้งใช้งานกับสินค้าที่เป็นโลหะ ซึ่งมักส่ง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนจนทำให้ระบบ EAS ที่ใช้ความถี่สูง ๆ ทำงานผิดพลาด อย่างไรก็ตามมาตรฐานชนิดนี้ก็ยังมีจุดอ่อนในเรื่องของตัว Tag เองที่จะต้องติดตั้งให้ถูกทิศทาง ส่วนใหญ่กำหนดให้ติดตั้งในแนวตั้ง เพื่อให้โลหะไร้สัญญาณตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กจากเครื่องส่งได้ดีที่สุด ดังได้กล่าวแล้วว่า การลบสถานะของ Tag หรือทำให้ Tag ไม่สามารถใช้งานได้อีก ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการชำระเงินค่าสินค้าและร้านค้ายินยอมให้ลูกค้านำสินค้าติดตั้ง Tag แบบดังกล่าวออกจากร้านค้าได้สามารถทำได้ง่าย ๆ โดยการนำสินค้าที่ติดตั้ง Tag ไปวางจ่อกับแม่เหล็กถาวรที่มีระดับความเข้มสูง ๆ เพื่อให้โลหะไร้สัญญาณภายในอุปกรณ์ Tag เกิดการอิ่มตัว กลายเป็นแม่เหล็กถาวรไปโดยปริยาย และไม่สามารถเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็กตามสนามแม่เหล็กที่ปรากฏ ณ บริเวณพื้นที่ตรวจจับ ณ ประตูทางออกอีกต่อไป

3.9.5 EAS แบบ Acoustomagnetic

อุปกรณ์ Tag ที่ใช้ในระบบ EAS แบบนี้มีลักษณะเป็นบรรจุภัณฑ์แบบพลาสติก โดยทั่วไปมีขนาดกว้าง 8-14 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับการออกแบบ ยาว 40 มิลลิเมตร และสูงเพียงหนึ่งมิลลิเมตรเท่านั้น ภายในบรรจุแผ่นโลหะ 2 ชั้น ชั้นหนึ่งเป็นแผ่นโลหะแม่เหล็กถาวรติดตั้งตายตัวไว้กับกล่องพลาสติก อีกชั้นหนึ่งเป็นแผ่นโลหะไร้สัญญาณ ติดตั้งในลักษณะที่สามารถสั่นไหวได้ หลักการทำงานของระบบ EAS แบบ Acoustomagnetic มาจากความเป็นจริงที่ว่า โลหะบางประเภทที่จัดว่าเป็น Ferromagnetic metal ตัวอย่างเช่น นิกเกิลและเหล็ก จะมีขนาดที่ยืดหดได้เมื่อนำมาวางไว้ในสนามแม่เหล็ก H เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Magnetostriction หลักการทำงานของระบบ EAS ชนิดนี้จึงเป็นการนำเอาข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมาใช้ในการออกแบบ โดยกำหนดให้เครื่องส่งทำการส่งสนามแม่เหล็ก H เป็นช่วง ๆ สนามแม่เหล็กจะแพร่กระจายครอบคลุมพื้นที่ตรวจจับ เมื่อมีการนำอุปกรณ์ Tag ที่ทำงานในย่านความถี่เดียวกับการส่งสนามแม่เหล็กดังกล่าวเข้ามา ก็จะมีผลทำให้โลหะไร้สัญญาณภายในตัว Tag เกิดจากกำทอนและสั่นไหว โดยจะสั่นไหวต่อเนื่องไปอีกระยะหนึ่งแม้จะหยุดส่งสนามแม่เหล็กไปแล้ว อันเป็นผลมาจากแท่งแม่เหล็กถาวรที่ติดตั้งอยู่ร่วมกันนั่นเอง ซึ่งการสั่นไหวภายในอุปกรณ์ Tag นั้นก็จะก่อให้เกิดคลื่นแม่เหล็กอ่อนที่มีความถี่เดียวกับคลื่นแม่เหล็กที่มีการป้อนมาจากอุปกรณ์เครื่องส่ง การออกแบบเครื่องรับเพื่อทำการตรวจจับอุปกรณ์ Tag จึงทำได้ง่าย เพราะเพียงตรวจสอบดูช่วงเวลาที่ไม่มีการส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กจากเครื่องส่ง ว่ายังมีสัญญาณตกค้างเหลืออยู่หรือไม่ หากมีก็เท่ากับว่ามีอุปกรณ์ Tag ที่ยังไม่ถูกลบสถานะปรากฏอยู่ในพื้นที่ตรวจสอบ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามีการลักลอบนำสินค้าที่ยังไม่ได้ชำระเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ออกจากร้าน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

4.1 ส่วนประกอบของระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

ในระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุนั้น จะมีองค์ประกอบหลักๆอยู่ 3 ส่วน คือ

4.1.1 ทรานสปอนเดอร์, ป้าย (Transponder / Tag) หรือเรียกกันว่าเครื่องลูกข่าย โดยใช้ติดกับวัตถุต่างๆที่เราต้องการ โดยมีโครงสร้างภายในประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ส่วนของวงจรที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลของวัตถุ และขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับ-ส่ง สัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของวงจร เป็นป้ายชนิดแบบพาสซีฟ (Passive) โดยเป็นป้ายแบบที่ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายภายนอกใดๆ เพราะภายในป้ายจะมีวงจรกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็กเป็นแหล่งจ่ายไฟอยู่ในตัว ทำให้การอ่านข้อมูลได้ไม่ไกลมากนัก โดยระยะการอ่านของข้อมูลจะขึ้นอยู่กับกำลังงานของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้

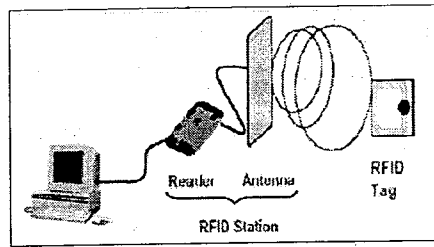
4.1.2 เครื่องสำหรับอ่าน/เขียนข้อมูลภายในป้าย (Interrogator / Reader) ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยเครื่องอ่านจะทำหน้าที่เชื่อมต่อเพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูลลงในป้ายด้วยสัญญาณความถี่วิทยุภายในเครื่องอ่านประกอบด้วยเสาอากาศที่ทำด้วยขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับ-ส่งสัญญาณ ภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ วงจรควบคุมการอ่านและการเขียนข้อมูลซึ่งมักจะเป็นวงจรจำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์

4.1.3 ระบบประยุกต์ใช้งาน รวมถึงระบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ประยุกต์ใช้งาน หรือระบบฐานข้อมูล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบการใช้งานที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบข้อมูลสินค้า ระบบบริหารงานบุคคล

4.2 ลักษณะการทำงานของระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ เป็นระบบที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่า เครื่องลูกข่าย(ป้าย) และตัวอ่านข้อมูล ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่ง มาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่อยู่ในตัวรับข้อมูล ดังแผนผังการทำงานของระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ในรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แผนผังการทำงานของระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

การประยุกต์ใช้งาน ระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ จะมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกับบาร์โค้ด (Bar code) และยังสามารถรองรับความต้องการอีกหลายอย่างที่บาร์โค้ดไม่สามารถตอบสนองได้ เนื่องจากบาร์โค้ดจะเป็นระบบที่อ่านได้อย่างเดียว ไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่อยู่บนบาร์โค้ดได้ แต่เครื่องลูกข่ายของระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ จะสามารถทั้งอ่านและบันทึกข้อมูลได้ ดังนั้นเราจึงสามารถเปลี่ยนแปลง หรือทำการบันทึกข้อมูลที่อยู่ในเครื่องลูกข่ายได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

ข้อดีของระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ อีกอย่างก็คือ เครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูลสามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่างเช่น น้ำ, พลาสติก, กระดาษ หรือวัสดุทึบแสงอื่นๆ ในขณะที่บาร์โค้ดทำไม่ได้

4.2.1 วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน

โดยมากมักจะใช้วิธีการมอดูเลตทางแอมพลิจูดหรือใช้การมอดูเลตทางแอมพลิจูดบวกกับการเข้ารหัสแมนเชสเตอร์ (Manchester encoded AM) แต่ทว่าในปัจจุบันก็มีเครื่องลูกข่ายที่ใช้การมอดูเลตแบบอื่นๆ ด้วย เช่น การมอดูเลชันแบบเฟสชิฟต์คีย์อิง (Phase Shift Keying : PSK) เฟรเควนซีชิฟต์คีย์อิง (Frequency Shift Keying : FSK) หรือการใช้การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation : FM)

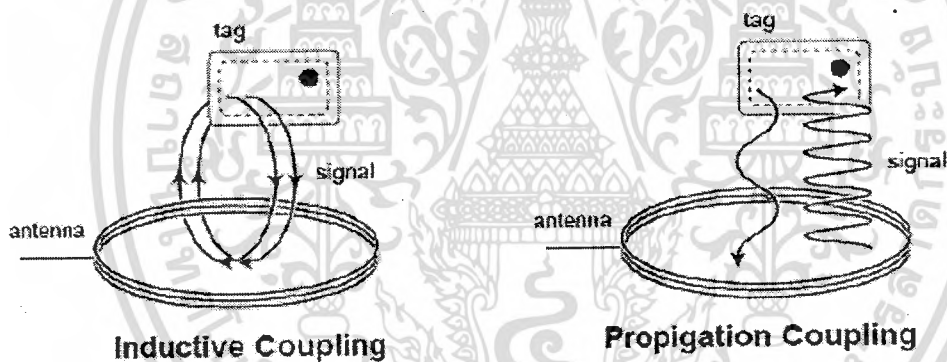
ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน จะได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้งาน แน่นอนว่าในทางปฏิบัติคงไม่สามารถนำเสาอากาศที่ใหญ่ขนาดนั้นมาใช้งานกับเครื่องลูกข่ายขนาดเล็กได้ สายอากาศที่จะเหมาะจะใช้ร่วมกับเครื่องลูกข่ายมากที่สุดก็คือ สายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็กหรือที่มีชื่ออย่างเป็นทางการว่าสายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (Magnetic dipole Antenna) รูปแบบของสายอากาศแบบนี้ก็จะมียูทหลากหลายทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันแกนอากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เป็นวงลูปที่ทำขึ้นจากสายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้งที่เป็นรูปแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะและประเภทของงานด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการรับส่งข้อมูลแล้วสายอากาศก็ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่องลูกข่ายด้วย โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของไมเคิล ฟาราเดย์ เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็ก (จากเครื่องอ่าน) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของเครื่องลูกข่าย

4.3 การสื่อสารแบบไร้สาย

การสื่อสารข้อมูลของระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ คือระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูล จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุโดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) กับ วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation Coupling) ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล

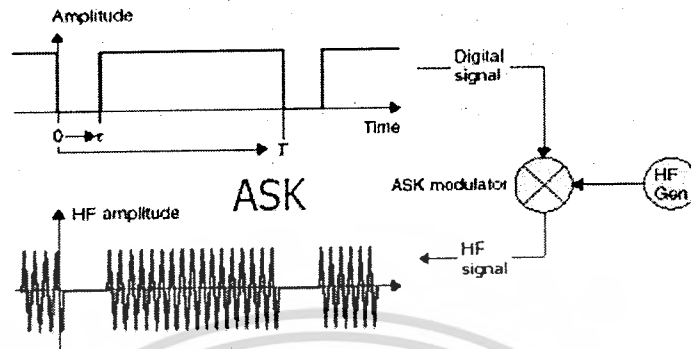
4.4 เทคนิคการมอดูเลต

เทคนิคการมอดูเลตข้อมูลเข้ากับคลื่นพาหะก็มีด้วยกันหลายวิธี เช่น ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) หรือ PSK (Phase Shift Keying) ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบจะเลือกให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท

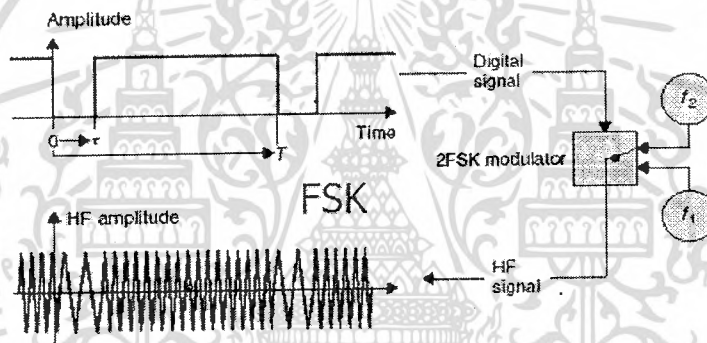
การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (ASK) ความถี่ของคลื่นพาหะ (Carrier Wave) ซึ่งทำหน้าที่นำสัญญาณอนาล็อกผ่านตัวกลางสื่อสารนั้นจะคงที่ ลักษณะของสัญญาณมอดูเลตเมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูลดิจิทัลมีค่าเป็น 1 ขนาดของคลื่นพาหะจะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ขนาดของคลื่นพาหะจะตกลงกว่าปกติ การมอดูเลต ASK มักจะไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะจะถูก

รบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย

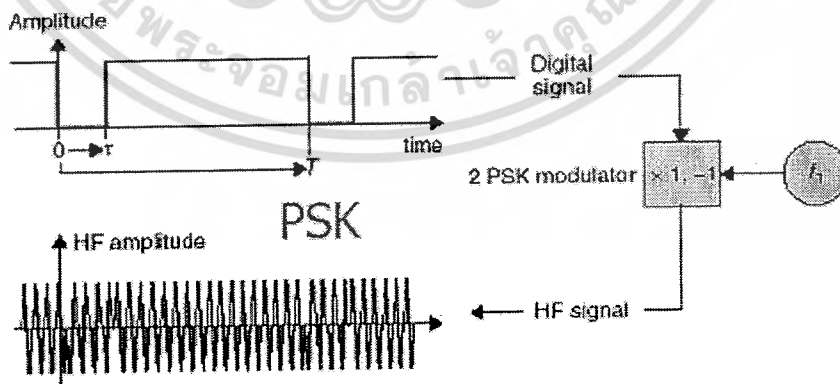
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการทำ ASK

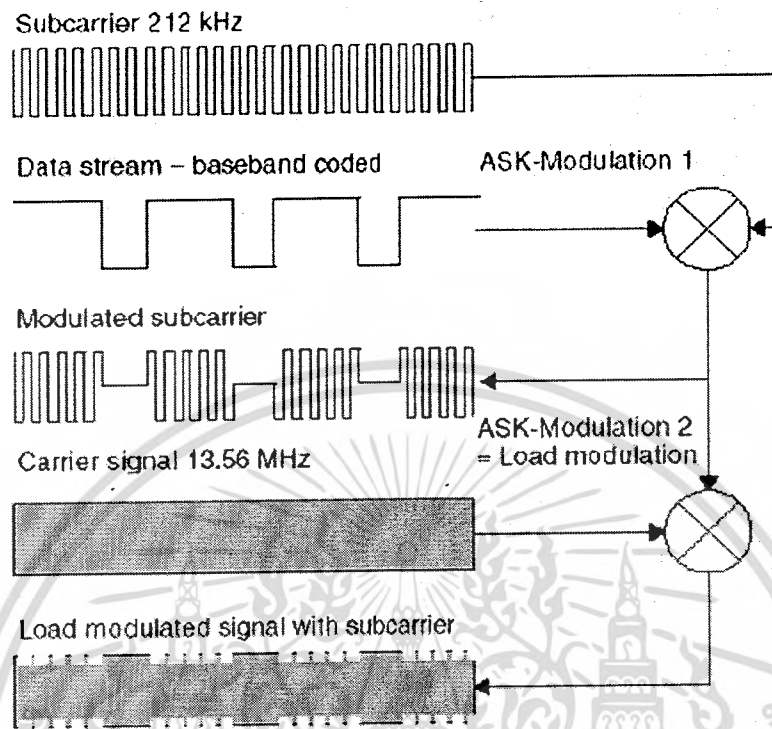


รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการทำ FSK



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการทำ PSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 รูปแสดงผลของ Load Modulation โดยวิธี ASK

การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK) ในการมอดูเลตแบบFSK ขนาดของคลื่นพาห์จะไม่เปลี่ยนแปลงที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาห์นั้นคือ เมื่อบิตมีค่าเป็น 1 ความถี่ของคลื่นพาห์จะสูงกว่าปกติและเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นพาห์ก็จะต่ำกว่าปกติ

การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK) หลักการของPhase Keying (PSK) คือ ค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาห์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ที่เปลี่ยนคือ เฟสของสัญญาณกล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะของบิตจาก 1 ไปเป็น 0 หรือเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน (Shift) ไป 180 องศาด้วย หลักการPSK สามารถทำได้ทั้งแบบ 2 เฟส (0,90,180 และ 270 องศา)และแบบ 8 เฟส(0,45,90,135,180,225,270 และ 315 องศา) ในการมอดูเลตเพื่อเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกทั้ง 3 แบบ วิธีการแบบPSK จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุดได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุดแต่วงจรการทำงานจะยุ่งยากกว่าและราคาสูงกว่า

4.5 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์

อัตราการรับส่งข้อมูล (Data Transfer Rate) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาหะ โดยปกติถ้าความถี่ของคลื่นพาหะยิ่งสูง อัตราการรับส่งข้อมูลก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ส่วนการเลือกแบนด์วิดท์หรือย่านความถี่นั้นก็จะมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลเช่นกัน โดยมีหลักว่า แบนด์วิดท์ควรจะมีความกว้างกว่าอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อยสองเท่า ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้แบนด์วิดท์ในช่วง 2.4-2.5 GHz ก็จะสามารถรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลได้ถึงประมาณ 2 megabits ต่อวินาที เป็นต้น แต่การใช้แบนด์วิดท์ที่กว้างเกินไปก็อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนมาก หรือทำให้ S/N Ratio ต่ำลงนั่นเอง ดังนั้นการเลือกใช้แบนด์วิดท์ให้ถูกต้องก็เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณา

4.6 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะการรับส่งข้อมูลในระบบการสื่อสารเฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator Power) กำลังส่งของเครื่องลูกข่าย (Tag Power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆรอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่มีความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบการสื่อสารเฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบต่อระยะการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของเครื่องลูกข่ายที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา

ถึงแม้ในทางเทคนิคเราจะสามารถทำให้ตัวอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากแค่ไหนก็ได้ แต่โดยทั่วไปก็จะถูกจำกัดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่ ดังนั้นในระบบการนี้ เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ โดยทั่วไปจะมีกำลังส่งเพียงระหว่าง 100 -500 mW

พารามิเตอร์	ย่านความถี่ต่ำ(LF)	ย่านความถี่สูง(HF)			ย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF)	ย่านไมโครเวฟ
		13.56 MHz	13.56 MHz	PJM13.56 MHz(*)		
ความถี่	125-143 kHz	13.56 MHz	13.56 MHz	PJM13.56 MHz(*)	868-915 MHz	2.45 – 5.8 GHz
ส่วนแบ่งตลาด(**)	74%	17%		เริ่มใช้งานปี2003	6%	3%
ระยะในการอ่าน	ถึง 1.2 m	0.7-1.2m	ถึง 1.2m	ถึง 1.2m	ถึง 4m (***)	ถึง 15m (****)
Coupling	Magnetic	Magnetic			Electro Magnetic	Electro Magnetic
ความเร็วในการอ่าน	ไม่เร็วมาก	น้อยกว่า 1-5 วินาที (5 s for 32KB)	ปานกลาง (0.5m/s)	เร็วมาก(4m/s)	เร็ว	เร็วมาก
สภาวะที่ขึ้น	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ	มีผลกระทบ	มีผลกระทบ
มาตรฐาน ISO	11784/85 และ 14223	14443 A+B+C	18000-3.1/15693	18000-3.2	18000-6 และ EPC C0/C1/CIG2	18000-4
การประยุกต์ใช้งาน	Access, immobilizer,gas, laundry	Smart cards : identification, electronic ID, ticketing	Library, ticketing for big events, good logistics, tracking/tracking, Palletts' registration	Baggage handing at airports, boarding pass, postal, pharmacy	Palletts' registration, trucks registry , trailer tracking	Road tolling, container tracking
<p>ที่มา : (*) Phase jitter modulation , (**) VDC - Report 2002 , worldwide shipments of RFID transponders(units), (***) I n U.S.A. , (****) Active transponder with battery</p>						

ตารางที่ 4.1 ความถี่มาตรฐานกับ RFID tags แบบ ต่างๆ ที่มา : “RFID Overview”, Greg Leeming, Intel Corporation, 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ขั้นตอนการทำงานระหว่าง เครื่องลูกข่าย และ เครื่องอ่าน

- ตัวเครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณวิทยุอย่างต่อเนื่องหรือเป็นจังหวะ และรอคอยสัญญาณตอบจากตัว RFID tag

- เมื่อ RFID tag ได้รับสัญญาณคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากเครื่องอ่านในระดับที่เพียงพอ ก็จะทำเหมียวนาเพื่อสร้างพลังงานป้อนให้ RFID tag ทำงาน โดย tag จะสร้างสัญญาณนาฬิกาเพื่อกระตุ้นให้วงจรภาคดิจิทัลใน tag ทำงาน

- ข้อมูลที่ถูกมอดูเลตจะถูกส่งไปยังขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ เพื่อส่งไปยังเครื่องอ่าน (Reader)

- เครื่องอ่านจะสามารถตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูด (Envelope Detector) และใช้ พีค ดีเทกเตอร์ (Peak Detector) ในการแปลงสัญญาณที่ มอดูเลตแล้วจาก tag

- เครื่องอ่านจะถอดรหัสข้อมูลและส่งไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมต่อไป

4.8 ลักษณะการทำงานรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ

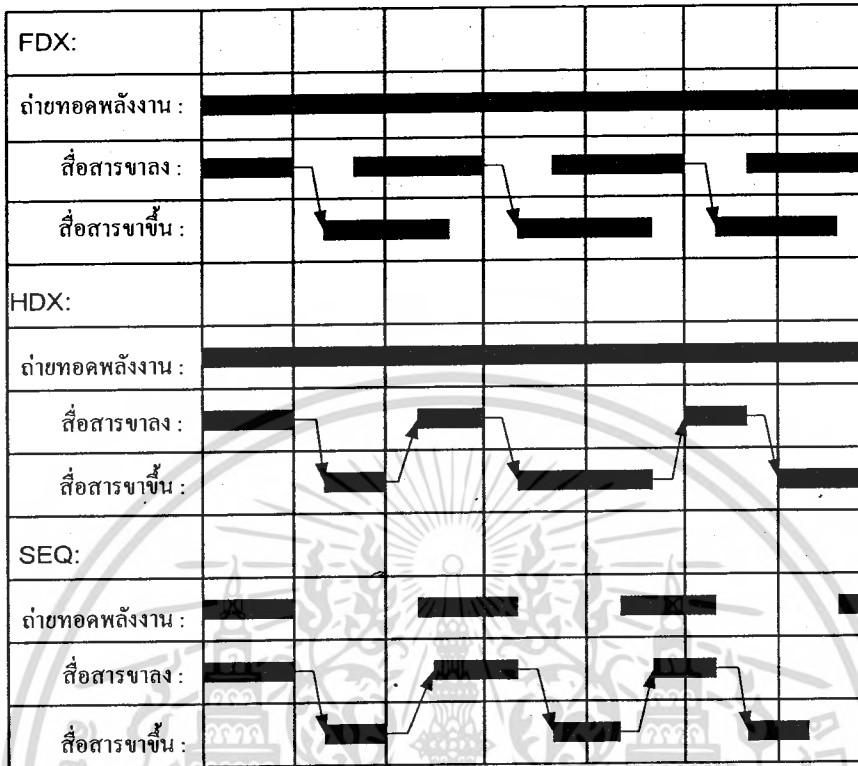
ถ้าแบ่งตามลักษณะการทำงานรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุได้อีก 2 ประเภท คือ มาตรฐาน RFID แบบที่ใช้การสื่อสารแบบ Full Duplex / Half Duplex และแบบ Sequential ซึ่งรูปแบบการสื่อสารทั้ง 3 ประเภทนี้มีความแตกต่างจากมาตรฐาน RFID ประเภท 1 บิต ที่ใช้เทคโนโลยีง่ายๆ ในการตรวจจับ โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องลูกข่าย เช่น การใช้วงจรออสซิลเลเตอร์กระตุ้น หรือการใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภท ไดโอด หรือวัสดุประเภทโลหะไว้สัญญาณซึ่งมีคุณสมบัติการตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กเฉพาะตัว แล้วตรวจจับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติโดยแทนเสมือนหนึ่งการเปลี่ยนสถานะลอจิกของอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID จาก “0” เป็น “1” หรือในทางกลับกัน

สำหรับอุปกรณ์ RFID ประเภทที่จะกล่าวถึงในบทความตอนนี้มีรูปแบบโครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายและรูปแบบการทำงานที่ซับซ้อนกว่ากรณีของระบบ RFID แบบ 1 บิต กล่าวคือมีการติดตั้งชิป (Chip) ซึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับบันทึกข้อมูลต่างๆ ไว้ภายในตัวเครื่องลูกข่ายซึ่งโดยทั่วไปขนาดความจุในการเก็บบันทึกข้อมูลของชิปเหล่านี้มีตั้งแต่หลักร้อยไบต์ไปจนถึงหลายๆ กิโลไบต์ ขึ้นอยู่กับความต้องการนำไปใช้งานเป็นสำคัญ นอกจากนั้นรูปแบบในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านก็มีความแตกต่างกันออกไปตามกลวิธี ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานออกได้ตามรูปที่ 4.7 อันประกอบไปด้วยการสื่อสารแบบ Full Duplex ซึ่งเครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่ายได้ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย (Downlink) และการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังเครื่องอ่าน (Uplink) สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ต่างจากการสื่อสารแบบ Half Duplex ซึ่งแม้เครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา แต่ก็ต้องมีการกำหนดจังหวะผลักดันรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย สำหรับการสื่อสารแบบสุดท้ายคือ Sequential นั้น จะมีการจำกัดเวลาในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไปให้เครื่องลูกข่ายในลักษณะพัลส์ (Pulse) หรือก่อนพลังงานที่ส่งออกในแต่ละช่วงเวลาและใช้การปรากฏขึ้นของพลังงานไฟฟ้าหรือพัลส์เป็นสัญญาณกำหนดให้มีการส่งข้อมูล Downlink ส่วนช่วงที่ไม่มีพลังงานปรากฏอยู่จะเป็นการส่งสัญญาณ Uplink

สิ่งที่ยังคงความสับสนในแวดวงเทคโนโลยี RFID ปัจจุบันก็คือ ผู้ผลิตอุปกรณ์จำนวนมากยังไม่สามารถตกลงกันได้ในเรื่องของการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคของอุปกรณ์ RFID ที่มีการทำงานแบบ Half Duplex และ Sequential เนื่องจากหากไม่พิจารณาถึงความแตกต่างในเรื่องของการส่งพลังงานไฟฟ้าแล้ว รูปแบบการทำงานรับส่งข้อมูลของเทคโนโลยีทั้งสองแบบมีความเหมือนกันทุกประการ จกก่อให้เกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนในวงกว้างจนถึงขนาดที่ผู้ผลิตอุปกรณ์บางรายประกาศว่ามาตรฐานในการรับส่งข้อมูลมีอยู่เพียง 2 ประเภท คือ Full Duplex และ Half Duplex โดยเข้าใจว่ามาตรฐานแบบใดที่ใช้การส่งพลังงานแบบพัลส์นั้นก็คือระบบแบบ Half Duplex ส่วนมาตรฐานแบบใดที่มีการส่งพลังงานอยู่ตลอดเวลาเป็นมาตรฐานแบบ Full Duplex ซึ่งเป็นสิ่งที่คลาดเคลื่อนจากมาตรฐานทางเทคนิค และผู้เขียนขอทำความเข้าใจที่ถูกต้องโดยยึดหลักในการรับส่งข้อมูลประกอบกับแนวทางในการส่งพลังงานดังได้กล่าวถึงข้างต้นเป็นสำคัญ



รูปที่ 4.7 ความแตกต่างของกรสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential

4.9 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing

เมื่อทำความเข้าใจกับรูปแบบในการรับส่งข้อมูลแล้ว ผู้เขียนจะขอก้าวถึงมาตรฐานการสื่อสาร RFID แบบ Duplexing ซึ่งสามารถจำแนกตามรูปแบบการทำงานได้ 4 ประเภท อันได้แก่เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling, Electromagnetic backscatter Coupling, Close Coupling และเทคโนโลยี Electrical Coupling ซึ่งจะขอก้าวแต่ เทคโนโลยี แบบ Inductive Coupling

4.9.1 เทคโนโลยี แบบ Inductive Coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็ก โครงสร้างของเครื่องลูกข่ายประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือชิปที่ใช้เก็บข้อมูลต่างๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ ทั้งนี้จะกล่าวถึงเทคนิคในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องลูกข่ายเพื่อเลี้ยงให้อุปกรณ์ชิปสามารถทำงานได้ก่อนจะกล่าวถึงเทคนิคที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

4.9.2 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เนื่องจากการทำงานของเครื่องลูกขายนั้นเป็นแบบพาสซีฟ (Passive operation) กล่าวคือ ไม่มีแหล่งพลังงานภายในเป็นของตนเอง จึงจำเป็นต้องรับพลังงาน (Energy) มาจากเครื่องอ่าน โดยตรง ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่าน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำลังสูง สามารถตกกระทบขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้อย่างเหมาะสม

ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกมาจากเครื่องอ่านนี้มีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ซึ่งโดยทั่วไปมักวางห่างกันเป็นหลักไม่กี่มิลลิเมตร ในขณะที่เทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling ส่วนใหญ่ใช้ความถี่ต่ำเพียง 135 กิโลเฮิร์ตซ์หรืออาจจะต่ำกว่า ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีความยาวคลื่นสูงมากถึง 2,400 เมตร

สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะตกกระทบขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่าย ก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อนๆ ขึ้นบนขดลวดดังกล่าว ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากระบวนการเรกติไฟร์โดยตัวเก็บประจุและไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับอุปกรณ์ชิป ทั้งนี้หัวใจของการออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ C1 ซึ่งจะต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด L เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่กำทอน (Resonance Frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องลูกข่าย

สิ่งที่ผู้ออกแบบอุปกรณ์เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling ให้ความสำคัญมากที่สุดก็คือ การออกแบบขดลวดทั้งที่เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายให้สามารถถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าให้แก่กันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด หากเปรียบเทียบการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองมิได้พันอยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกัน กลับกลายเป็นใช้อากาศ ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำพาสัญญาณที่เลวร้ายกว่าแกนแม่เหล็กมากๆ

ดังนั้นในการออกแบบระบบแบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่าน และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่เครื่องลูกข่าย มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย

เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงมากขึ้น จะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงใช้จำนวนรอบในการพันลดลงเช่นกัน เช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 135 กิโลเฮิร์ตซ์ จะต้องมีการพันขดลวดอากาศที่เครื่องลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วง 100-1,000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ก็จะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวดจะเหลือเพียง 3-10 รอบเท่านั้น

	หน่วยความจำ (ไบต์)	ระยะห่างสูงสุด ในการเขียน/ อ่าน	การกิน กระแสไฟฟ้า	ความถี่ใช้งาน	การประยุกต์ใช้งาน
ASIC#1	6	15 cm.	10 mA	120 kHz	ใช้กับสัตว์
ASIC#2	32	13 cm.	600 mA	120 kHz	สายการผลิต, ตรวจสอบการ เข้าออก
ASIC#3	256	2 cm.	6mA	128 kHz	ขนส่งสาธารณะ
ASIC#4	256	0.5cm.	< 1 mA	4 MHz	สายการผลิต, ขนส่งสาธารณะ
ASIC#5	256	< 2cm.	1mA	4/13.56 kHz	สายการผลิต
ASIC#6	256	100 cm.	500mA	125kHz	ตรวจสอบการ เข้าออก
ASIC#7	2048	0.3 cm.	< 10 mA	4.91MHz	ชิปการ์ดแบบไร้ การสัมผัส
ASIC#8	1024	10 cm.	< 1 mA	13.56MHz	ขนส่งสาธารณะ
ASIC#9	8	100 cm.	<1 mA	125 kHz	สายการผลิต
ASIC#10	128	100 cm.	< 1 mA	125 kHz	ตรวจสอบการ เข้าออก

ตารางที่ 4.2 ความหลากหลายของชิปที่ใช้บันทึกข้อมูลในเครื่องลูกข่าย RFID แยกตามประเภทของการประยุกต์ใช้งาน เปรียบเทียบกับการกินกระแสไฟฟ้าและคุณลักษณะด้านอื่นๆ

ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายลงได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จะส่งผลให้แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่สูงลดลงเมื่อเทียบกับการใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ทำให้จำกัดระยะทางในการใช้งานมากขึ้น การเลือกใช้อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน RFID แบบ Inductive Coupling กำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน หรือ Uplink Communication โดยใช้เทคโนโลยีตัวเลือกที่เป็นการส่งกระจายคลื่นความถี่วิทยุออกเป็น 3 ประเภท คือ Load Modulation, Load Modulation with subcarrier และ Subharmonic procedure ซึ่งจะขออธิบายแค่ Load Modulation

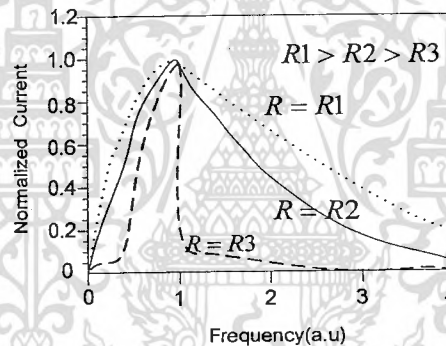
- เทคโนโลยี Load Modulation

ดังได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่าพฤติกรรมในการส่งพลังงานและสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและขดลวดของเครื่องลูกข่ายมีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากการทำงานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่อย่างใด หากแต่เพียงตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานเป็นอากาศมิใช่โลหะหรือแท่งแม่เหล็กดังเช่นที่พบเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป อย่างไรก็ตามการใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดทั้งสองนั้น จะทำได้ก็ต่อเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายห่างกันไม่เกิน 0.16 เท่าของค่าความยาวคลื่น (0.16) ซึ่งหากคิดกรณีที่ใช้ความถี่ในย่าน 135 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่มีความยาวคลื่น 2,400 เมตร ก็จะหมายความว่า จะวางเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่านห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน $0.16 * 2,400 = 384$ เมตร

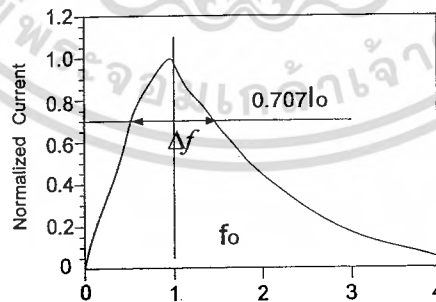
หากมีการนำเครื่องลูกข่ายซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ (LC) ตรงกันกับค่าความถี่กำหนดของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่มีการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน เครื่องลูกข่ายย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาใจแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้วเครื่องอ่านจะมองเห็นเครื่องลูกข่ายเป็นโหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ ZT ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน การเปลี่ยนแปลงใดๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ ZT ที่เครื่องอ่านมองเห็นอย่างแน่นอน เนื่องจากในของวงจร Resonant ที่เกิดจากขดลวด (L) และตัวเก็บประจุ (C) บนเครื่องลูกข่ายย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ตกกระทบ และไม่มีการจ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับความถี่เท่ากับศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เสมือน ZT นี้ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านโดยปริยาย ซึ่งนั่นเองที่เป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมา เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Load Modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half Duplex หรือ Full Duplex นั้นก็สุดแท้แต่การออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณซึ่งเป็นเรื่องที่ลงรายละเอียดไปในการออกแบบ

4.11 คุณลักษณะของการกำทอน และค่าคุณภาพของการกำทอน(Quality Factor,Q)

เมื่อพิจารณาคุณลักษณะของการกำทอนของวงจร R-L-C แล้วจะเห็นว่าเป็นการเปลี่ยนแปลง(ดูด/คาย) พลังงานโดยฉับพลัน ซึ่งปัจจัยหลักของการดูด/คาย นี้ก็คือความสามารถในการเก็บพลังงาน(ของ L,C) และความสามารถในการใช้พลังงาน (ของ R) ถ้านำวงจร R-L-C แบบอนุกรมมาหาการตอบสนองความถี่ของกระแสที่ไหลในวงจรที่มีค่า L,C คงที่ และเปลี่ยนค่า R แล้วจะได้รับความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.5(ก) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในวงจรที่มีค่า R สูง ในทางทฤษฎีได้กำหนดคุณภาพของการกำทอนเป็นค่า Factor ที่เรียกว่า Quality Factor หรือ Q Factor ด้วยคำจำกัดคืออัตราส่วนระหว่างพลังงานที่สูญเสียต่อพลังงานที่เก็บได้ หรือ อัตราส่วนระหว่างช่วงความถี่ที่พลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง (Δf) ต่อความถี่กำทอน (f_0) ดังแสดงในรูปที่ 2.5(ข) จากนิยามดังกล่าวสามารถหา Q Factor ตามสมการข้างล่างนี้



(ก) Normalized Current ที่ค่าต่างๆ



(ข) คุณลักษณะที่ใช้ในการหาคุณภาพของการกำทอน

รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและคุณภาพการกำทอนของวงจรอนุกรม R-L-C

จาก $Q =$ พลังงานที่เก็บได้ต่อพลังงานที่สูญเสีย

$$Q = \frac{|V_L|}{|V_R|} = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \frac{L}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \tag{4.1}$$

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{f_0}{\Delta f} \tag{4.2}$$

โดยมักจะใช้สมการที่ 2.1 ในการออกแบบอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในวงจร และจะใช้สมการที่ 2.2 ในการหา(วัด) ค่า Q Factor จากการทดลองวัดการตอบสนองความถี่

ที่กล่าวมานี้ทั้งหมดจะเป็นการวิเคราะห์หาค่าคงที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะการกำหนดของวงจร R-L-C ที่ต่อแบบขนานจะมีขั้นตอนในการวิเคราะห์คล้ายกับการวิเคราะห์ที่กล่าวมาโดยใช้คุณสมบัติ Duality ของ วงจรไฟฟ้า นั่นคือ

- เปลี่ยนการต่อแบบอนุกรมเป็นการต่อแบบขนาน
- เปลี่ยนค่า Impedance เป็นค่า Admittance
- เปลี่ยน Current เป็น Voltage นั่นเอง

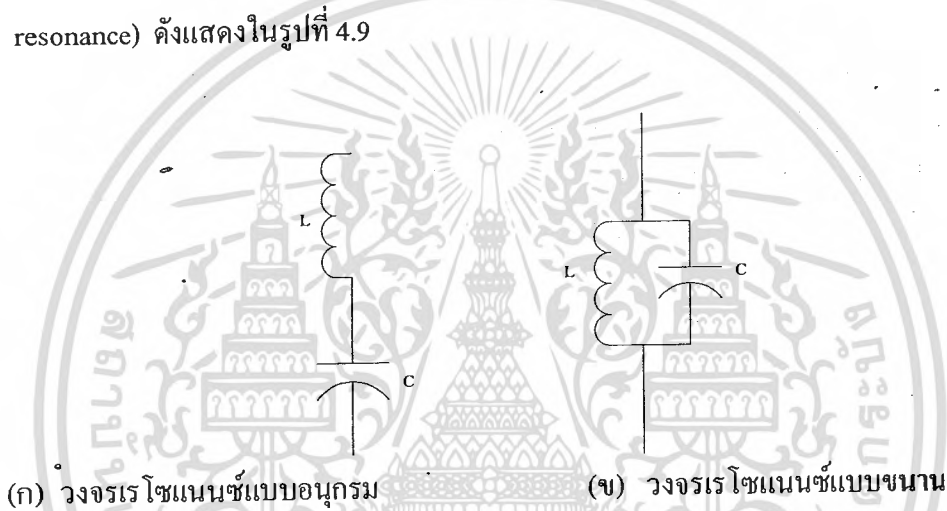
กล่าวโดยย่อได้คือในกรณีวงจร R-L-C แบบขนานนั้นเราใช้แหล่งจ่ายกระแสโดยมีความต้านทาน ขนานกับ L และ C ที่ Resonance frequency จะทำให้ค่า Admittance ของวงจรต่ำสุดเท่ากับ $1/R$ และมีผลทำให้ค่าศักดาที่คร่อม L และ C มีค่าสูงสุด และคุณภาพของการตอบสนองหรือค่า Q Factor สามารถดูได้จากการตอบสนองทางความถี่ของค่าศักดาที่คร่อม L และ C นั่นเอง คุณสมบัติต่างๆ ของการกำหนดของวงจร R-L-C สามารถนำมาเขียนสรุปได้ตามตารางที่ 4.4

คุณสมบัติ	วงจรอนุกรม	วงจรขนาน
ความถี่กำหนด Resonance Frequency	$\frac{1}{\sqrt{LC}}$	$\frac{1}{\sqrt{LC}}$
ช่วงความถี่ที่พลังงาน 50 % (B) Half-power(-3dB) Bandwidth	$\frac{R}{L}$	$\frac{1}{RC}$
ค่าคุณภาพของการกำหนด(Q)	$\frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$	$R \sqrt{\frac{C}{L}}$

ตารางที่ 4.4 ค่าแสดงคุณลักษณะของการกำหนดของวงจร R-L-C

4.12 วงจรเรโซแนนซ์

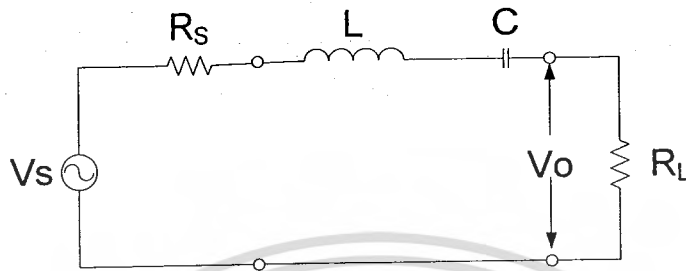
วงจรเรโซแนนซ์(resonance) เป็นวงจรที่ต่อร่วมกันระหว่างตัวเก็บประจุ (C) กับขดลวดเหนี่ยวนำ (L) บางคนอาจเรียกวงจรแบบนี้ด้วยชื่ออื่น เช่น วงจรจูน (tune) วงจรแท็งก์ (tank) เป็นต้น วงจรเรโซแนนซ์ถูกนำมาใช้ในเครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุต่างๆไป ด้วยวัตถุประสงค์ให้วงจรเรโซแนนซ์เป็นตัวเลือกความถี่ และให้เป็นตัวกำหนดความถี่ที่กำเนิดขึ้น ให้เป็นตัวกั้นความถี่หรือให้เป็นทางผ่านของความถี่แล้วแต่กรณี วงจรเรโซแนนซ์แบบใช้ขดลวดร่วมกับตัวเก็บประจุ มีอยู่ 2 แบบคือ วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม(series resonance) และวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน(parallel resonance) ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 วงจรเรโซแนนซ์ที่ใช้ LC

ธรรมชาติของวงจรเรโซแนนซ์จะยอมให้ความถี่ค่าหนึ่งผ่านได้ดี เรียกว่า ความถี่เรโซแนนซ์ เมื่อป้อนความถี่เรโซแนนซ์แก่วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม กระแสจะผ่านได้มากที่สุด โดยมีแรงดันตกคร่อมวงจรค่าที่สูงสุด ถ้าป้อนความถี่เรโซแนนซ์แก่วงจรเรโซแนนซ์ขนาน กระแสจะผ่านได้น้อยที่สุด โดยมีแรงดันตกคร่อมวงจรสูงที่สุด โดยปกติวงจรเรโซแนนซ์จะต้องมีแบนด์วิดท์ที่ยอมให้ความถี่ข้างเคียงกับความถี่เรโซแนนซ์ทั้งด้านสูงและด้านต่ำผ่านไปในช่วงหนึ่ง ความถี่เรโซแนนซ์จึงหมายถึงความถี่ที่ผ่านวงจรตลอดแบนด์วิดท์ ซึ่งอาจจะกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์นั้นๆ

4.12.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series Resonance)



รูปที่ 4.10 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

จากวงจรในรูปที่ 4.10 ได้

$$\begin{aligned} \frac{V_o(s)}{V_s(s)} &= H(s) = \frac{R_L}{R_s + sL + \frac{1}{sC} + R_L} \\ &= \frac{sCR_L}{s^2LC + sc(R_s + R_L) + 1} \left[\frac{1}{LC} \right] \left[\frac{1}{LC} \right] \\ &= \frac{\frac{sR_L}{L} \left[\frac{R_s + R_L}{R_s + R_L} \right]}{s^2 + s \left(\frac{R_s + R_L}{L} \right) + \frac{1}{LC}} \\ \frac{V_o(s)}{V_s(s)} &= \frac{\frac{R_L}{R_s + R_L} s \left(\frac{R_s + R_L}{L} \right)}{s^2 + s \left(\frac{R_s + R_L}{L} \right) + \frac{1}{LC}} \end{aligned}$$

จะได้ Passband gain : $K = \frac{R_L}{R_s + R_L}$

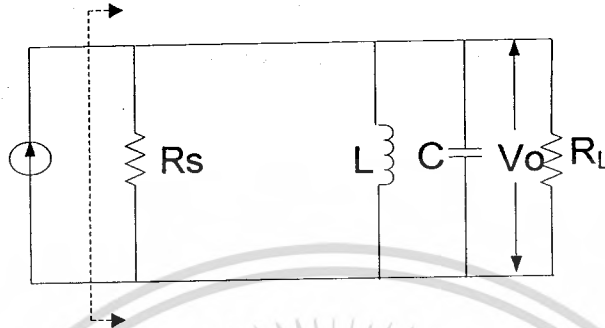
ความถี่ศูนย์กลาง : $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{R/S}$

-3 dB Bandwidth : $BW = \frac{R_s + R_L}{L} \quad \text{R/S}$

และ $Q_p = \frac{\sqrt{b}}{a} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \times \frac{L}{R_s + R_L} = \frac{1}{R_s + R_L} \sqrt{\frac{L}{C}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์ (Parallel Resonance or Tank circuit)



รูปที่ 4.11 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์

จากวงจรในรูปที่ 2.8 R_s จะขนานอยู่กับ R_L ดังนั้น

$$R_{Total} = R_s // R_L$$

อิมพีแดนซ์ของวงจรแทงค์ : Z_{tank} จะมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} (Z_{tank})^{-1} &= \frac{1}{R_T} + \frac{1}{sL} + sC \\ &= \frac{sL + R_L + s^2 L R_T C}{sL R_T} \end{aligned}$$

จะได้

$$Z_{tank} = \frac{sL R_T}{sL + R_T + s^2 L R_T C} \left[\frac{1}{LCR_T} \right] \left[\frac{1}{LCR_T} \right]$$

$$= \frac{s \frac{1}{C} \left[\frac{R_T}{R_T} \right]}{s^2 + s \left(\frac{1}{R_T C} \right) + \frac{1}{LC}}$$

$$= \frac{R_T \cdot s \left[\frac{1}{R_T C} \right]}{s^2 + s \left(\frac{1}{R_T C} \right) + \frac{1}{LC}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักการของสมการ Band pass filter ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรขนาน RLC จะมีค่าสูงสุดที่ความถี่ $\omega_p : \omega_p \approx 1/\sqrt{b}$

$$\omega |_{Z_{\tan kMAX}} = \omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

และค่าของอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ $1/\sqrt{b} = 1/\sqrt{LC}$ จะมีค่าเท่ากับ $K : K = R_T$ หรือ

$$Z_{MAX} = R_T$$

ในขณะที่ $Z_{\tan k}$ มีค่าสูงสุด ค่าของแรงดัน V_o ที่คร่อม Tank ก็จะมีค่าสูงสุด เช่นเดียวกันและค่า -3 dB Bandwidth จะมีค่าเป็น $\frac{1}{R_T C}$

หมายเหตุ รูปทั่วไปของฟังก์ชัน Band pass filter ที่มีอัตราขยาย K เท่า จะเป็น

$$Gain_{BPF} = \frac{Kas}{s^2 + as + b} = \frac{K \frac{\omega_p}{Q_p} s}{s^2 + \frac{\omega_p}{Q_p} s + \omega_p^2}$$

โดยที่

K = Passband gain

ω_p = ความถี่ศูนย์กลางของ BPF

4.13 การป้อนกลับแบบลบ

4.13.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของการป้อนกลับแบบลบ

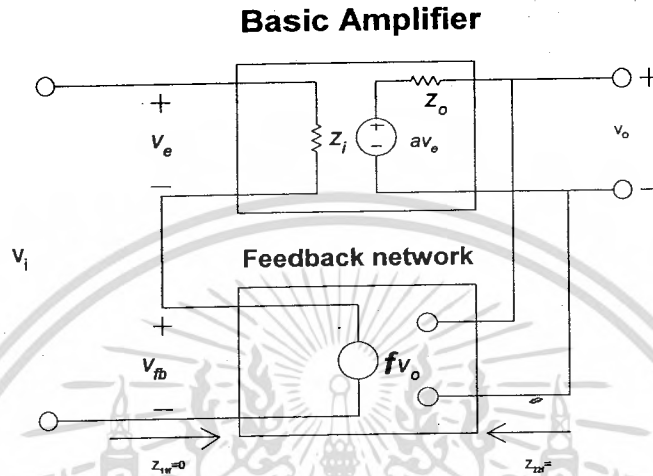
การป้อนกลับโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือการป้อนกลับแบบลบและแบบบวก วงจรขยายที่ใช้การป้อนกลับแบบลบมีข้อดีอยู่หลายประการ เช่น

- วงจรขยายจะมีเสถียรภาพต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ในวงจร และอุณหภูมิภายนอก
- สามารถกำหนดหรือเปลี่ยนแปลงอินพุต-เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรได้ตามต้องการ
- ลดการผิดเพี้ยนของสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.13.2 รูปแบบของการป้อนกลับแบบลบ (Negative feedback Configurations)

4.13.2.1 Series-Shunt feedback



รูปที่ 4.13 Series-Shunt feedback

ในอุดมคติค่า $Z_{if} = 0$ และ $Z_{of} = \infty$ ถ้ากำหนดให้

Z_i = อินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรที่ไม่มีการป้อนกลับ

Z_o = เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรที่ไม่มีการป้อนกลับ

Z_{if} = อินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรที่มีการป้อนกลับ

Z_{of} = เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรที่มีการป้อนกลับ

f = feedback factor อัตราส่วนระหว่าง v_{fb} กับ v_o

จากรูปที่ 4.13 เราสามารถหาอัตราส่วนระหว่างแรงดัน v_o กับกระแส i_i ได้ดังสมการ

$$\frac{v_o}{i_i} = (1 + af)Z_i \tag{3}$$

ซึ่งก็คือ อินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรที่มีการป้อนกลับ

เช่นเดียวกับเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรซึ่งสามารถหาได้คือ

$$\frac{v_o}{i_o} = \frac{Z_o}{1 + af} \tag{4}$$

และฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) กำหนดโดย

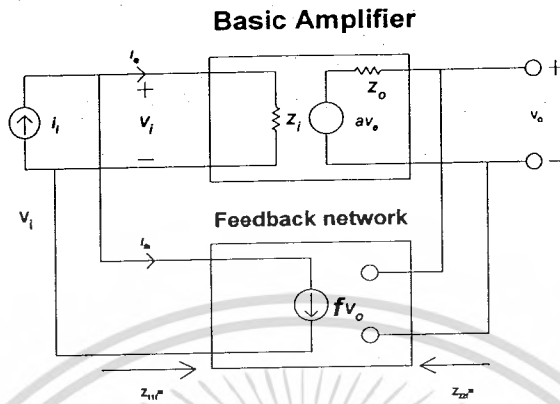
$$\frac{v_o}{v_i} = A_f = \frac{a}{1 + af} = \text{อัตราขยายของวงจรที่มีการป้อนกลับ} \tag{5}$$

สรุปได้ว่าวงจรแบบ Series-Shunt เป็น voltage amplifier เนื่องจากมีอินพุตและเอาต์พุต

อิมพีแดนซ์ที่ต่ำและสูงตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.13.2.2 Shunt-Shunt feedback



รูปที่ 4.14 Shunt-Shunt feedback

ถ้าวงจรเป็นอุดมคติ $Z_{in} = \infty$ และ $Z_{out} = \infty$ วงจรที่อาศัยการป้อนกลับในลักษณะนี้จะพิจารณาอัตราขยายลูปปิด A_f เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับกระแสอินพุตซึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$\frac{v_o}{i_i} = A_f = \frac{a}{1 + af} \tag{6}$$

เมื่อ $f = i_f/v_o = \text{transconductance}$ และอินพุต-เอาต์พุตอิมพีแดนซ์จะน้อยลงทั้งคู่ตั้งสมการ

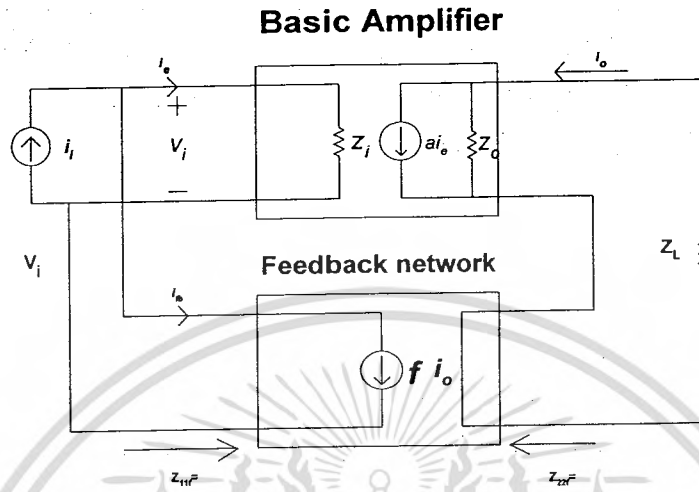
$$Z_{if} = Z_i / (1 + af)$$

และ

$$Z_{of} = Z_o / (1 + af) \tag{7}$$

สรุปโดยรวมของวงจรแบบ Shunt-Shunt feedback วงจรเป็น transresistance amplifier เนื่องจากฟังก์ชันถ่ายโอนถูกกำหนดโดย v_o/i_i และอินพุต-เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่ต่ำ

4.13.2.3 Shunt-Series feedback



รูปที่ 4.15 Shunt-Series feedback

ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นอัตราส่วนระหว่างกระแสเอาต์พุตและอินพุต ถ้ากำหนดให้ $Z_o \gg Z_L$

จะได้

$$\frac{i_o}{i_i} = A = \frac{a}{1+af} \tag{8}$$

เมื่อ

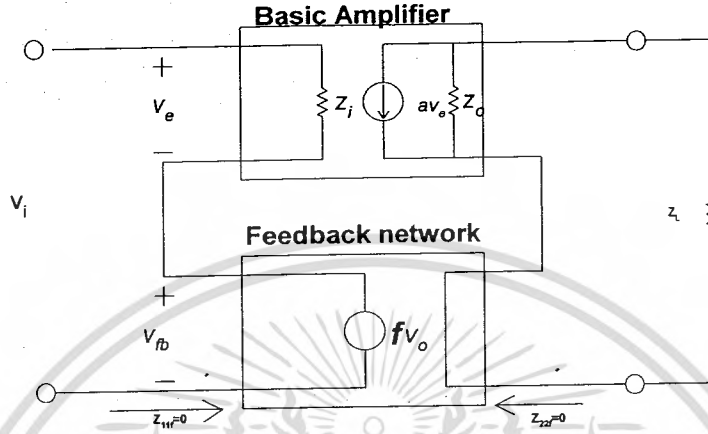
$$f = \frac{i_{fb}}{i_o} \tag{9}$$

และ

$$\begin{aligned} Z_{if} &= Z_i / (1+af) \\ Z_{of} &= Z_o (1+af) \end{aligned} \tag{10}$$

ดังนั้นวงจรขยายแบบ Shunt-Series จะเป็น current amplifier เนื่องจากอินพุตอิมพีแดนซ์ที่สูง และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่ต่ำนั่นเอง

4.13.2.4 Series-Series feedback



รูปที่ 4.16 Series-Series feedback

เมื่อกำหนดให้ $Z_o \gg Z_L$ ฟังก์ชันถ่ายโอนกำหนดโดยอัตราส่วนระหว่างกระแส i_o และ แรงดัน v_i

$$\frac{i_o}{v_i} = A = \frac{a}{1 + af} \quad (10)$$

เมื่อ $f = \frac{v_{fb}}{i_o} \quad (11)$

และ $Z_{if} = Z_i(1 + af)$
 $Z_{of} = Z_o(1 + af) \quad (12)$

สรุปโดยรวมวงจรแบบ Series-Series feedback เป็นวงจร transconductance amplifier เนื่องจากวงจรมีอินพุตและเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่สูงขึ้นเมื่อได้รับการป้อนกลับนั่นเอง

4.13.3 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรขยายที่ใช้การป้อนกลับแบบลบ (Frequency response of Negative feedback amplifier)

ในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นว่า วงจรขยายที่อาศัยการป้อนกลับแบบลบจะมีอัตราขยายต่ำลง และแบนด์วิธที่กว้างขึ้น ก่อนอื่นพิจารณาวงจรขยายอย่างง่ายที่มีโพล 1 ตัว และมีอัตราขยายรูปปิด A_f ที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ดังสมการ

$$A_f(s) = \frac{a_0}{(1 + a_0 f)} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{s}{p_1} \cdot \frac{1}{1 + a_0 f}\right)} \quad (13)$$

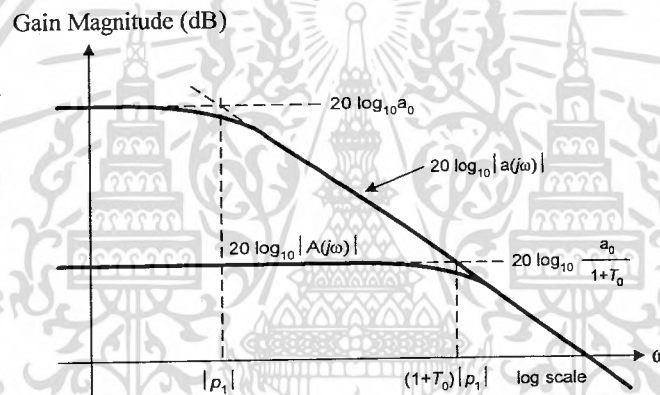
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_f(s) = \frac{A_0}{s} \frac{1}{1 - \frac{s}{p_1(1+T_0)}} \quad (14)$$

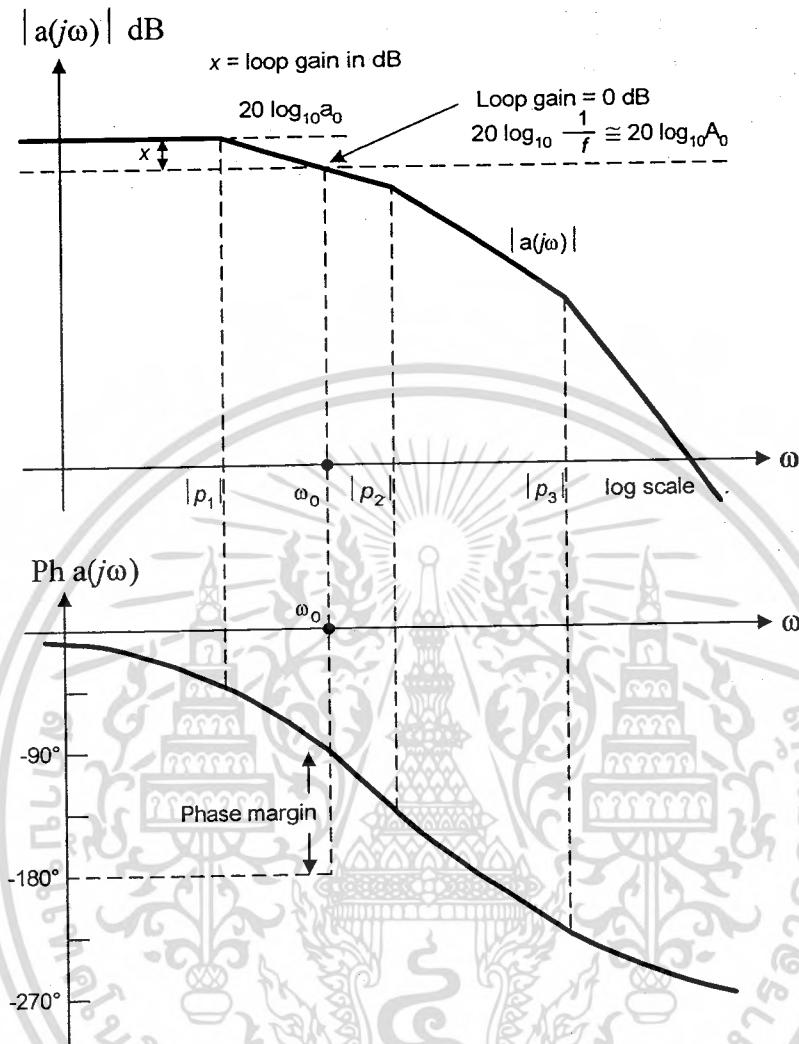
โดยที่ $A_0 = \text{low frequency gain} = \frac{a_0}{1+T_0}$

และ $T_0 = a_0 f = \text{low frequency loop gain}$

จากสมการจะเห็นว่า อัตราขยายของวงจรที่มีการป้อนกลับจะมีค่าต่ำลง และแบนด์วิธที่กว้างขึ้น ซึ่งแสดงดังกราฟรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงผลตอบสนองเชิงขนาดระหว่างวงจรที่มีและไม่มี การป้อนกลับ อย่างไรก็ตามวงจรขยายโดยทั่วไปจะมีโพลมากกว่า 1 ตัว



รูปที่ 4.18 แสดงผลตอบสนองเชิงขนาดและเฟสของวงจรขยายที่มีโพล 3 โพล

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นว่าเฟสจะเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น และถ้ามีการป้อนกลับเกิดขึ้นในวงจรอาจทำให้วงจรไม่เสถียรได้ จาก **Nyquist Criterion** อาจจะสรุปอย่างง่ายได้ว่า ถ้าขนาดของลูปเกน $|T(j\omega)|$ มากกว่า 1 ที่เฟส $\angle T(j\omega)$ เท่ากับ -180 องศาแล้ววงจรขยายจะไม่เสถียร

4.14 วงจรดีเทกเตอร์ AM

วงจรดีเทกเตอร์ AM (AM detector) หรือวงจร AM คีมอดูเลเตอร์ (AM demodulator) เป็นวงจรตรวจจับสัญญาณเสียง (AF) หรือวงจรแยกเอาสัญญาณเสียงหรือข้อมูลข่าวสารที่มอดูเลตแบบ AM อยู่กับสัญญาณ IF ออก การตรวจจับสัญญาณเสียงจากสัญญาณ AM จะใช้ไดโอดแบบจุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

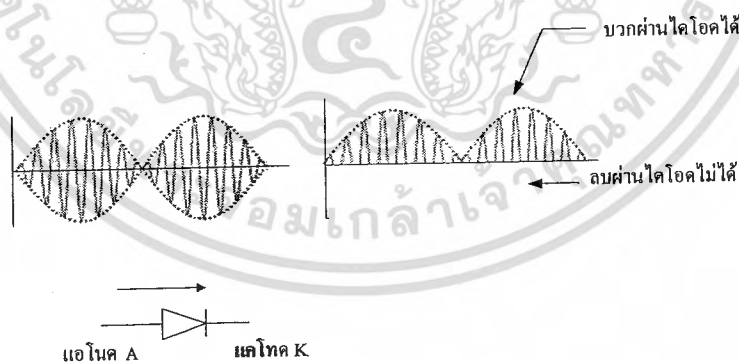
สัมผัส (point contact) ที่สามารถทำงานได้กับความถี่สูงและมีแรงดันตกคร่อมต่ำ โดยทั่วๆ ไป จะเรียกกันว่า เจอร์เมเนียมไดโอด (germanium diode) เพราะใช้ธาตุเจอร์เมเนียมเป็นสารกึ่งตัวนำ ตัวอย่างเบอร์ไดโอดที่นำมาใช้ เช่น 1N34A, 1N60 และ 0A70 เป็นต้น

1) การไบแอสไดโอด

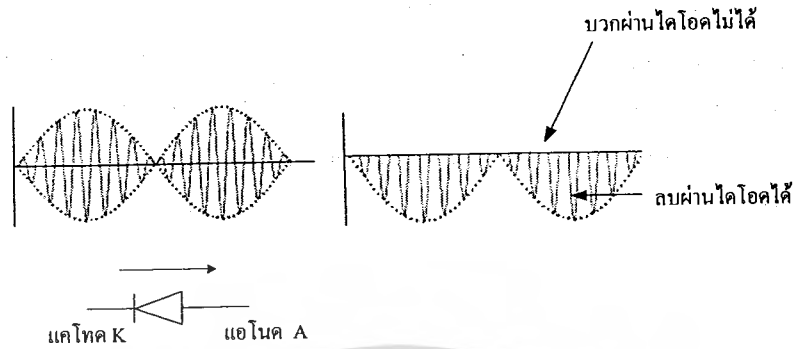
การไบแอสตรง (forward bias) หมายถึงภาวะที่ไดโอดนำกระแสจะมีกระแสไหลจากแอโนดไปยังแคโทด โดยการจะให้แรงดันที่แอโนดมีศักย์เป็นบวกสูงกว่าแคโทด และในกรณีที่ป้อนไฟสลับความถี่ต่างๆ เข้าที่แอโนด กระแสที่ผ่านไดโอดได้จะปรากฏเฉพาะซีกบวกเท่านั้น จึงเรียกว่าใช้ไดโอดตัดแยกคลื่นหรือดีเทกเอาเฉพาะซีกบวก

ถ้าหากเรากลับขั้วไดโอดแล้วป้อนไฟเข้าทางด้านแคโทด การทำให้แคโทดเกิดไบแอสตรงที่ขาคะโทดจะต้องมีศักย์ไฟลบสูงกว่าแอโนด กระแสไฟลบจึงจะผ่านจากแคโทดไปยังแอโนดได้หรือถ้าป้อนไฟสลับความถี่ต่างๆ เข้าที่แคโทดของไดโอด กระแสที่ผ่านจากแคโทดไปยังแอโนดได้จะปรากฏเฉพาะซีกลบเท่านั้น ซึ่งเรียกว่าใช้ไดโอดตัดแยกคลื่นหรือดีเทกเอาเฉพาะคลื่นซีกลบ

การไบแอสกลับ (reverse bias) หมายถึงภาวะที่ไดโอดไม่นำกระแสหรือกั้นกระแสไว้ในขณะที่ขาคะโทดเป็นลบและขาคะโทดเป็นบวก ในขณะนี้จะไม่มีการไหลผ่านไดโอดเลย ถ้าหากป้อนสัญญาณความถี่กระแสสลับให้ไดโอดช่วงที่เป็นไบแอสกลับสัญญาณจะหายไปหมดทั้งแถบดังรูปที่ 4.12 (ก) คลื่นซีกลบหายไป (ข) คลื่นซีกบวกหายไป



(ก) ไดโอดตัดคลื่นซีกบวก



(ข) ไดโอดตัดคลื่นซีกลบ

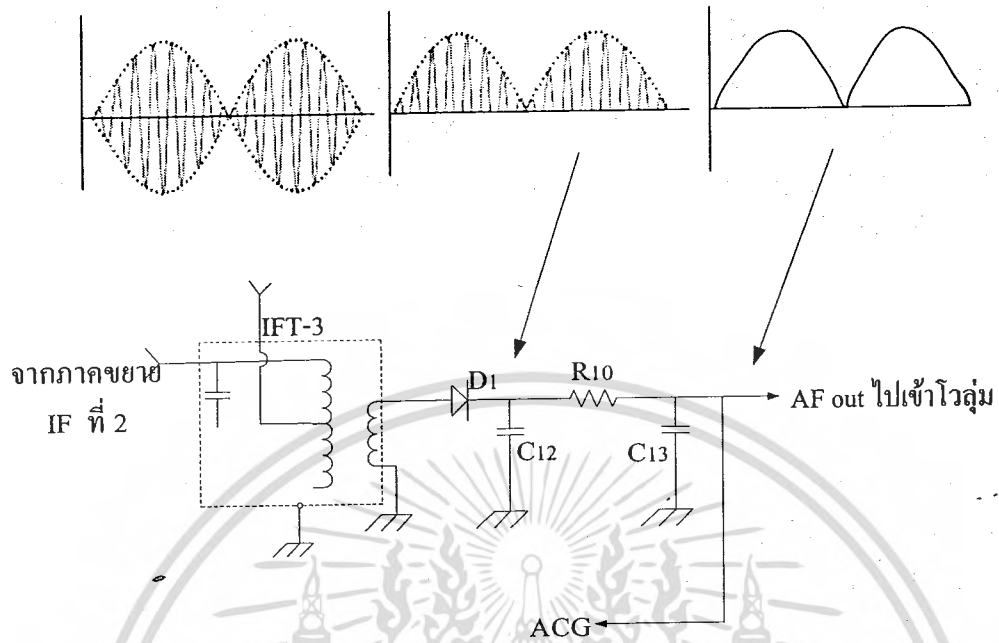
รูปที่ 4.19 หลักการใช้ไดโอดเป็นตัวดีเทกเตอร์สัญญาณ AM

2) การใช้ไดโอดดีเทกเตอร์

สัญญาณ AM ที่จะนำมาเข้าวงจรเพื่อตัดแยกเอาสัญญาณเสียงนั้นเป็นสัญญาณ IF ความถี่ 455 kHz แอมพลิจูดด้านบนซีกบวกมียอดไม่สม่ำเสมอและแอมพลิจูดด้านล่างซีกลบก็เช่นเดียวกัน การที่แอมพลิจูดของสัญญาณไม่สม่ำเสมอเกิดจากการมอดูเลตสัญญาณเสียงจากสถานีส่ง

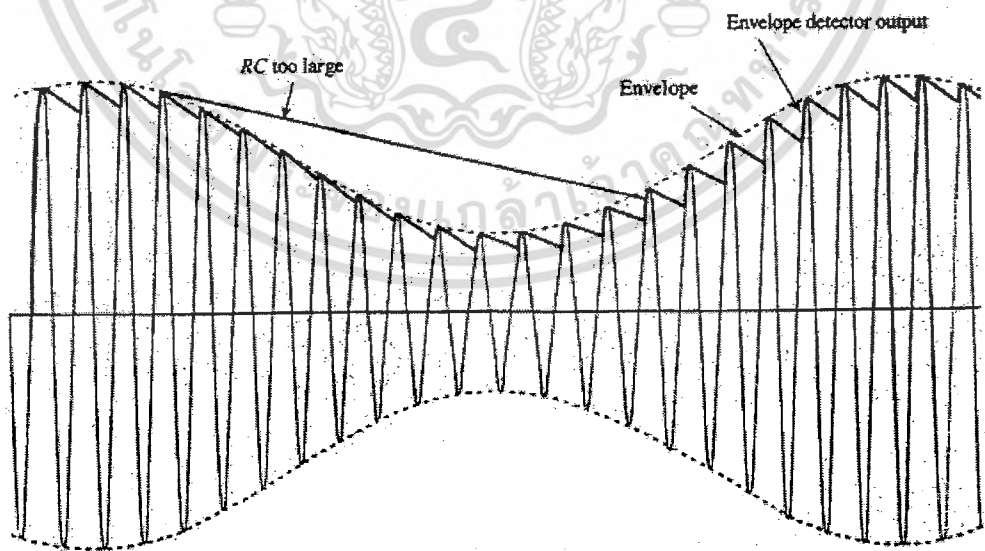
หลักการทำงานตามรูปที่ 2.20 สัญญาณ IF จากขดลวดปฐมภูมิของ IFT-3 ป้อนเข้าขาแอโนดของไดโอด D1 แรงดันซีกบวกที่เป็นไปแอสตรงจะผ่านไดโอด D1 ไปได้ ส่วนแรงดันซีกลบถูกกั้นไว้เพราะเป็นไปแอสกลับ สัญญาณที่ตัดแยกได้ทางบวกจะเข้าวงจรฟิลเตอร์ C12, R10, C13 เพื่อขจัดความถี่ IF และเหลือสัญญาณเสียงหรือ AF ออกไปเข้าโวลุ่ม และเข้าวงจรขยายเสียงต่อไปสัญญาณ AF อีกส่วนหนึ่งจะนำไปป้อนเป็นแรงดัน AGC

ลักษณะการแยกสัญญาณเสียงออกจากคลื่น IF ของ AM โดยใช้วงจรดีเทกเตอร์นี้ใช้วิธีเดียวกับการเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (half wave rectifier) ผิดกันแต่ไดโอดที่ใช้แยกสัญญาณเสียงนี้จะเป็นแบบความถี่สูงจะมีแรงดันตกคร่อมตัวต่ำ และวงจรที่ใช้กรองสัญญาณจะใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าต่ำ



รูปที่ 4.20 วงจรดีเทกเตอร์สัญญาณ AM

3) หลักการกรองความถี่ IF



รูปที่ 4.21 หลักการกรองความถี่ IF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 เราตัดแยกสัญญาณ IF ได้คลื่นซีกบวก ความถี่ของยอดสัญญาณมีค่า 455 kHz เนื่องจากเป็นคลื่นไซน์จึงมีช่องว่างระหว่างคลื่นแต่ละลูก ยอดคลื่นแต่ละลูกห่างกัน 1/455 ms นั่นคือแรงดันไฟบวกที่เราตัดแยกมาได้ทางด้านบวกนี้จะมีช่วงที่ไฟบวกขาดหายไปเป็นเวลา 1/455 ms เมื่อนำสัญญาณนี้ผ่านเข้ากรองด้วย C12, R10, C13 จะทำหน้าที่เก็บประจุในช่วงยอดบวกและคายประจุเต็มลงไปในช่วงที่แรงดันขาดไป ก็จะทำให้แรงดันบวกมียอดสม่ำเสมอตามแนวสัญญาณ AF มากขึ้น แล้วความถี่ 455 kHz ก็จะหายไป เพราะถูกเก็บและคายโดย C12, C13 ค่าการเก็บและคายประจุของวงจรซีฟิลเตอร์(RC filter) ต้องมีค่าพอดีที่จะคายประจุให้เต็มช่องว่าง แต่ในทางปฏิบัติจะใช้ค่าสูงขึ้นเล็กน้อย เพื่อกรองสัญญาณความถี่สูงให้ได้สัญญาณเสียงที่มีความนุ่มนวลมากขึ้น ค่า RC ที่มากเกินไปจะทำให้ระยะเวลาในการเก็บประจุและคายประจุมาก แอมพลิจูดด้านบวกและลบจะผิดเพี้ยนมาก แต่ถ้าค่า RC มีค่าน้อยเกินไปการเก็บและคายประจุลงในช่องว่างของความถี่ IF ก็จะไม่เต็ม ซึ่งไม่สามารถกรองความถี่สูงได้จะมีสัญญาณรบกวนทางความถี่สูงออกมาด้วย สัญญาณเสียงที่ได้จะอยู่บนไฟตรงขั้วบวกและถ้าหากการตัดแยกสัญญาณได้สัญญาณซีกลบ เมื่อนำวงจรฟิลเตอร์แล้วสัญญาณเสียงที่ออกมา ก็จะอยู่บนไฟตรงขั้วลบ

4.15 บัทเตอร์เวิร์ด ฟิลเตอร์

บัทเตอร์เวิร์ด ฟิลเตอร์ เป็นการออกแบบอิเล็กทรอนิกส์ฟิลเตอร์แบบหนึ่ง ซึ่งการออกแบบแบบนี้จะทำให้มีการตอบสนองความถี่ในช่วง pass band ที่เรียบ จึงมักมีคนเรียกชื่อว่า 'Maximally flat magnitude ฟิลเตอร์'

4.15.1 ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน

เหมือนกับฟิลเตอร์ทั่วไปของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ที่สามารถเปลี่ยนรูปให้เป็นวงจรกรองความถี่สูงผ่านได้

ซึ่งค่าอัตราขยาย $G(\omega)$ ของฟิลเตอร์แบบบัทเตอร์เวิร์ดอันดับ n นั้น สามารถแสดงได้ในเทอมของทรานเฟอร์ฟังก์ชัน $H(s)$ ได้ดังนี้

$$G^2(\omega) = |H(j\omega)|^2 = \frac{G_0^2}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}}$$

โดยที่

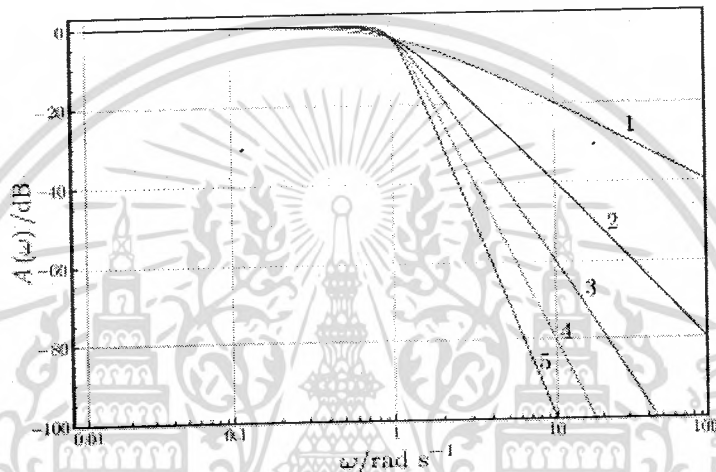
n = อันดับของฟิลเตอร์

ω_c = ความถี่คutoff โดยมีค่าประมาณ -3dB จากพาสแบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G_0 = ความอัตรายายไฟตรง (อัตรายายที่ความถี่เท่ากับ 0)

จะเห็นได้ว่า ถ้าออร์เดอร์ n ของฟิลเตอร์เข้าสู่ส่วนนัต สมการอัตรายายจะมีค่าเข้าสู่สมการ Rectangle โดยค่าความถี่ที่ต่ำกว่า ω_c จะผ่านไปด้วยค่าอัตรายายเท่ากับ G_0 แต่ถ้าความถี่มีค่ามากกว่า ω_c จะถูกลดทอนลงจนหมด จะยิ่งออร์เดอร์ที่ต่ำลงเรื่อย ค่าความคมของ slope จะน้อยลงเรื่อยๆ ดังรูป



รูปที่ 4.22 แสดงทรานเฟอ์ฟังก์ชันของบัทเทอร์ฟิลเตอร์ ออร์เดอร์ 1-5

จากนั้นเราจะทำการประมาณค่าทรานเฟอ์ฟังก์ชัน $H(s)$ ด้วย $s = \alpha + j\omega$ ซึ่งถ้าเราแทนค่า $s = j\omega$ ใน $H(s)H(-s)$ จะมีค่าเท่ากับ $|H(-j\omega)|^2$ ดังนี้

$$H(s)H(-s) = \frac{G_0^2}{1 + \left(\frac{-s^2}{\omega_c^2}\right)^n}$$

โดยจะเห็นว่าตำแหน่งของโพลในสมการดังกล่าว จะปรากฏอยู่ในวงกลมที่มีรัศมี เท่ากับ ω_c ในลักษณะที่มีระยะห่างเท่าๆกัน ซึ่งตัวทรานเฟอ์ฟังก์ชันเอง สามารถระบุค่าของโพลค่าจริงลบ ในระนาบ s-plane ได้ โดยโพลที่ k สามารถระบุตำแหน่งได้ดังนี้

$$-\frac{s_k^2}{\omega_c^2} = (-1)^{\frac{1}{n}} = e^{\frac{j(2k-1)\pi}{n}} \quad k = 1, 2, 3, \dots, n$$

เราสามารถเปลี่ยนรูปของทรานเฟอ์ฟังก์ชัน โดยแทนเทอมของโพลข้างต้นได้ว่า

$$H(s) = \frac{G_0}{\prod_{k=1}^n (s - s_k)/\omega_c}$$

4.15.2 การนอร์มัลไลซ์พหุนามบัทเตอร์เวิร์ด

เราจะเห็นว่าพหุนามบัทเตอร์เวิร์ดสามารถเขียนได้ในรูปเชิงซ้อนตามสมการด้านบน แต่โดยมากเรามักจะเขียนด้วยสัมประสิทธิ์ค่าจริง โดยการคูณคู่เชิงซ้อนกับคอนจูเกตของตัวเอง ซึ่งเรามักจะทำการนอร์มัลไลซ์ก่อน โดยให้ค่า $\omega_c = 1$ แล้วสามารถเขียนเป็นรูปทั่วไปได้ ดังนี้

$$B_n(s) = \prod_{k=1}^{\frac{n}{2}} \left[s^2 - 2s \cos \left(\frac{2k + n - 1}{2n} \pi \right) + 1 \right] \text{ for } n \text{ even}$$

$$B_n(s) = (s + 1) \prod_{k=1}^{\frac{n-1}{2}} \left[s^2 - 2s \cos \left(\frac{2k + n - 1}{2n} \pi \right) + 1 \right] \text{ for } n \text{ odd}$$

โดยเราสามารถแสดงตารางของออร์เดอร์ต่างๆ ของบัทเตอร์เวิร์ดได้ดังตาราง

n	Factors of Polynomial $B_n(s)$
1	$(s + 1)$
2	$s^2 + 1.4142s + 1$
3	$(s + 1)(s^2 + s + 1)$
4	$(s^2 + 0.7654s + 1)(s^2 + 1.8478s + 1)$
5	$(s + 1)(s^2 + 0.6180s + 1)(s^2 + 1.6180s + 1)$
6	$(s^2 + 0.5176s + 1)(s^2 + 1.4142s + 1)(s^2 + 1.9319s + 1)$
7	$(s + 1)(s^2 + 0.4450s + 1)(s^2 + 1.2470s + 1)(s^2 + 1.8019s + 1)$
8	$(s^2 + 0.3902s + 1)(s^2 + 1.1111s + 1)(s^2 + 1.6629s + 1)(s^2 + 1.9616s + 1)$

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของพหุนามบัทเตอร์เวิร์ด ที่ออร์เดอร์ต่างๆ

บทที่ 5

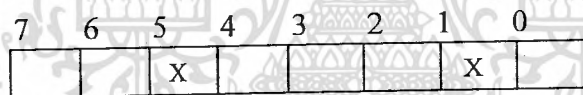
ทฤษฎีเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูล

5.1 การตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล

ความผิดพลาดของข้อมูล (Error) ที่อาจจะเกิดขึ้นในหน่วยของข้อมูลระหว่างการส่งจากต้นทางไปยังปลายทางเนื่องจากสัญญาณรบกวน (Noise) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจาก "0" เป็น "1" หรือจาก "1" เป็น "0" ได้

ประเภทของความผิดพลาดของข้อมูลมี 2 ประเภท

- 1) การเกิดการผิดพลาดเพียง 1 บิต (Single bit error) ในหนึ่งหน่วยข้อมูลจะเกิดความผิดพลาดแค่ 1 บิตเท่านั้น
- 2) การเกิดการผิดพลาดหลายบิต (Burst error) ในหนึ่งหน่วยข้อมูลจะเกิดการผิดพลาดขึ้นในจำนวนที่มากกว่า 1 บิต โดยการนับจำนวนบิตที่เกิดความผิดพลาดในกรณีนี้จะนับโดยเริ่มนับ 1 จากตำแหน่งที่เกิดการผิดพลาดบิตแรกไปจนถึงตำแหน่งที่เกิดการผิดพลาด ณ ตำแหน่งสุดท้าย



เกิดการผิดพลาดของข้อมูลจำนวน 5 บิต

รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างการนับจำนวนบิตที่เกิดการผิดพลาด

วิธีการตรวจสอบว่าข้อมูลมีข้อผิดพลาดหรือไม่ฝ่ายส่งข้อมูลจะมีการสร้างรหัสตรวจสอบความผิดพลาด (Error control code) มาใส่ไว้ที่ส่วนท้ายของข้อมูล วิธีการสร้างรหัสตรวจสอบมีได้ 2 ประเภท

2.1 Error detection เป็นวิธีที่ทำการตรวจหาความผิดพลาดของข้อมูลแต่ระบุตำแหน่งบิตที่เกิดการผิดพลาดไม่ได้ จะแก้ไขความผิดพลาดทำได้โดยขบวนการแจ้งร้องขอการส่งข้อมูลเดิมเข้ามาใหม่ (Retransmission) เช่น VRC, LRC, Check sum, CRC

2.2 Error correction วิธีที่ทำการตรวจหาความผิดพลาดของข้อมูลที่สามารถระบุตำแหน่งของบิตที่เกิดการผิดพลาดได้ แต่จะมีความแม่นยำเฉพาะกรณีที่เกิดการผิดพลาดของข้อมูลเพียง 1 บิต เช่น Hamming Code, Hagelberger Code, Bose - Chaudhuri Code

ในส่วนของโครงงานนี้จะใช้งานส่วนของ Error detection เท่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของ CRC จะไม่ขอลงรายละเอียดในส่วนของ Error correction

5.1.1 VRC (Vertical Redundancy Check) หรือ Parity check

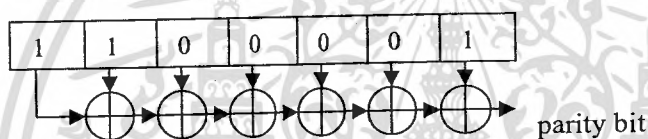
เป็นวิธีการแทรกบิตตรวจสอบ (Parity Bit) ต่อท้ายหนึ่งหน่วยข้อมูล ในการแทรกบิตตรวจสอบสามารถทำได้ 2 วิธี

Even parity : การทำให้จำนวนบิต “ 1 ” ในหนึ่งหน่วยข้อมูลมีจำนวนคู่

Odd parity : การทำให้จำนวนบิต “ 1 ” ในหนึ่งหน่วยข้อมูลมีจำนวนคี่

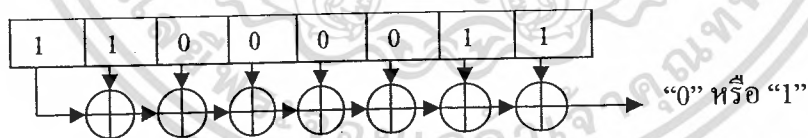
เช่นในกรณีของ ข้อมูล 101010 มีparity bit แบบ even parity เป็น 0 แต่แบบ odd parity เป็น 1

การสร้าง parity bit ที่ตัวส่งข้อมูล



การทำ parity bit แบบนี้จะได้ เป็นแบบ Even parity bit ถ้าต้องการ ทำ Odd parity bit จะทำได้โดยการ ใส่ Not gate ในกรณีนี้กำหนดให้สัญลักษณ์ \oplus เป็นการทำให้ exclusive or

การทำ VRC checker แบบ Even parity bit ที่ตัวรับข้อมูล



ในกรณีที่ เป็น even parity bit ถ้าค่าที่ออกมาเป็น “0” แล้วแสดงว่าไม่เกิดการผิดพลาดของข้อมูล

รูปที่ 5.2 แสดงการทำ parity bit ที่ตัวส่งข้อมูลและตัวรับข้อมูล

ข้อเสียของการทำ VRC จำไม่สามารถตรวจสอบการเกิดของความผิดพลาดของข้อมูลเมื่อจำนวนบิตที่ผิดพลาดเป็นจำนวนคู่ แต่จะสามารถตรวจสอบการเกิดข้อผิดพลาดของข้อมูลเมื่อเกิดการผิดพลาดเป็นจำนวนคี่ได้

5.1.2 LRC (Longitudinal Redundancy check) หรือ Two-dimension parity check

เป็นการสร้างบิตตรวจสอบ (Parity bit) ในแนวตั้งด้วยการนำเอาข้อมูลในแนวนอนมาคำนวณค่า parity bit และนำมาเขียนลงที่ท้ายของข้อมูลในแนวนอน ต่อไปเป็นการคำนวณค่าของ parity bit ในแนวตั้งหรือเป็นการทำ exclusive or กับข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งแนวเดียวกัน จะได้รหัสตรวจสอบของ LRC เป็นคำตอบ ในการส่งข้อมูลออกไปจะต้องส่งข้อมูลทั้งหมดไปพร้อมกับรหัสตรวจสอบ LRC ที่ถูกเพิ่มไปที่ท้ายของข้อมูล

	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	
ข้อมูลที่จะถูกส่งออกไป	1110011	1101110	0011100	
นำมาจัดเรียงเป็น	กลุ่ม 1	1110011		
	กลุ่ม 2	1101110		
	กลุ่ม 3	0011100		
LRC		0000001		
	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	LRC
ข้อมูลทั้งหมดที่จะส่งออกไป	1110011	1101110	0011100	0000001
เมื่อข้อมูลทั้งหมดได้ถูกรับมาจะต้องนำมาจัดเรียงใหม่ได้เป็น				
	กลุ่ม 1	1110011		
	กลุ่ม 2	1101110		
	กลุ่ม 3	0011100		
LRC		0000001		
ค่าของข้อมูลที่ทำกรตรวจสอบ		0000000		

จากการที่ตัวรับได้นำเอาข้อมูลทั้งหมดมาทำการตรวจเช็คโดยวิธีการเดิมเพียงแต่ต้องนำเอารหัสตรวจสอบ LRC มาทำการคิดด้วย เมื่อได้คำตอบแล้วนั้นพบว่าคำตอบเท่ากับ 0 แสดงว่าไม่เกิดการผิดพลาดของข้อมูลในการส่งข้อมูล แต่ถ้าคำตอบมีค่าไม่เท่ากับ 0 แสดงว่า เกิดการผิดพลาดของข้อมูลในการส่ง

ข้อดีของการเข้ารหัสแบบ LRC คือความเป็นไปได้ที่จะเกิดการตรวจพบการผิดพลาดแบบ burst error ในจำนวนที่มากกว่าจำนวนบิตของ LRC

ข้อเสียของการทำการเข้ารหัสแบบ LRC จะคล้ายกับการเข้ารหัสแบบ VRC คือเมื่อเกิดการผิดพลาดในแนวตั้งเป็นจำนวนคู่ LRC จะไม่สามารถที่การตรวจสอบการผิดพลาดของข้อมูลได้

5.1.3 Check sum

การเข้ารหัสแบบนี้จะทำการแบ่งรหัสข้อมูลออกมาเป็นส่วนๆละเท่าๆกันโดยปรกติแล้วนั้นจะแบ่งเป็นส่วนๆละ 16 บิต และนำแต่ละส่วนนั้นมาทำการบวกกันแบบ binary summation และเมื่อได้ผลลัพธ์แล้วนั้นจะนำไปทำ one complement ในการส่งข้อมูลจะส่งข้อมูลเดิมและเพิ่มเอาส่วนของรหัสตรวจสอบการผิดพลาดแบบ check sum เข้าไปที่ส่วนท้าย

ที่ฝ่ายรับนั้นจะทำกระบวนการเดียวกันกับฝ่ายส่งคือมีการแบ่งข้อมูลออกมาเป็นส่วนๆให้ได้ไม่ปริมาณที่เท่ากันกับที่ฝ่ายส่งแบ่งและเริ่มการเข้ารหัสแบบ check sum โดยนำเอาข้อมูลทั้งหมดมาบวกกันพร้อมกับรหัสตรวจสอบนั้นๆ และเมื่อได้รับค่าของรหัสตรวจสอบนั้นแล้วให้นำมาทำ one complement ถ้าผลลัพธ์ของการทำ one complement นั้นได้มีค่าเท่ากับ “0” แสดงว่าไม่ได้เกิดการผิดพลาดของข้อมูลขึ้นแต่ถ้าคำตอบมีค่าไม่เท่ากับ “0” แสดงว่าเกิดการผิดพลาดในระหว่างการส่งข้อมูล

เช่น มีข้อมูล 10101001 00111001 จำนวน check sum โดยการนำมาแบ่งเป็นส่วนๆแล้วทำการบวกกันตามหลัก binary summation

ข้อมูลส่วนที่ 1	10101001	
ข้อมูลส่วนที่ 2	00111001	
ผลลัพธ์การบวก	<u>11100010</u>	
ทำ one complement	00011101	รหัส check sum
ทำการส่งข้อมูล	10101001 00111001	00011101

ที่ฝ่ายรับทำการตรวจสอบโดยวิธีเดียวกัน	
ข้อมูลส่วนที่ 1	10101001
ข้อมูลส่วนที่ 2	00111001
รหัส check sum	00011101
ผลลัพธ์การบวก	<u>11111111</u>
ทำ one complement	00000000

ถ้าผลลัพธ์สุดท้ายของการทำ one complement นั้นมีค่าเท่ากับ “0” แสดงว่าไม่เกิดการผิดพลาดของข้อมูลขึ้น แต่ถ้าผลลัพธ์สุดท้ายมีค่าไม่เท่ากับ “0” แสดงว่าเกิดการผิดพลาดในการส่งข้อมูลขึ้นจะต้องมีการร้องขอการให้มีการส่งข้อมูลเดิมมาใหม่

ข้อเสียของการเข้ารหัสแบบ Check sum นั้นจะตรวจสอบความผิดพลาดได้ต่อเมื่อค่าของบิตที่ข้อมูลที่ถูกส่งออกไป ณ ตำแหน่งใดๆในแวนอนที่ถูกแบ่งนั้นผิดพลาดจาก “1” เป็น “0” หรือจาก “0” เป็น “1” และบิตข้อมูล ณ ตำแหน่งใดเดียวกันในแนวตั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าที่ทำให้ค่าของผลบวก ณ ตำแหน่งในแนวตั้งนั้นๆมีค่าคงเดิมแสดงว่าที่ฝ่ายรับนั้นจะสามารถตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลได้

5.1.4 CRC (Cyclic Redundancy Check)

หลักการของ CRC จะเป็นการนำเอาหลักการหารเลขฐานสอง (modulo 2 division) เข้ามาร่วมกับหลักทฤษฎีของโพลีโนเมียล (Polynomial Function)

โดยการสมมติให้

$P(x)$ เป็นฟังก์ชันโพลีโนเมียลของที่มีความยาวเท่ากับ k บิต

$F(x)$ เป็นฟังก์ชันโพลีโนเมียลของข้อมูลที่ได้มีการใส่รหัสตรวจสอบแล้วและมีความยาวเท่ากับ m บิต

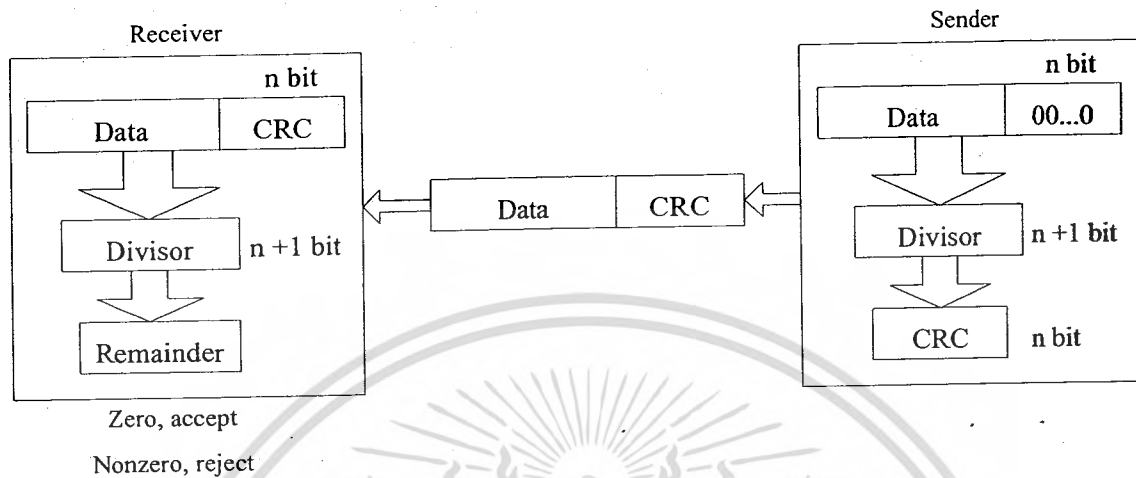
$R(x)$ เป็นฟังก์ชันโพลีโนเมียลที่ได้จากเศษการหารของ $x^n [P(x)]$ ด้วย $G(x)$ ก็คือตรวจสอบความผิดพลาดของ CRC มีความยาวเท่ากับ n บิต โดยที่ $n < m$

$G(x)$ เป็นฟังก์ชันโพลีโนเมียลของ CRC generator ที่มีจำนวนบิตเท่ากับ $n+1$ บิต

สามารถหาความสัมพันธ์ของฟังก์ชันโพลีโนเมียลต่างๆได้จากสมการ

$$F(x) = x^n [P(x)] + R(x)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แสดง block diagram ของการรับส่งข้อมูลตามหลักการเข้ารหัสแบบ CRC

จาก block diagram ของ CRC นั้นจะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลักคือ

- 1) การนำเอาข้อมูลมาเพิ่ม "0" เข้าไปต่อท้ายส่วนของข้อมูลเป็นจำนวน n บิตและให้ใช้หลักการที่จะกำหนดตัวหารที่จะได้กล่าวถึงต่อไปมากำหนดค่าของตัวหารที่มีขนาด $n+1$ บิต
- 2) ทำการตั้งหาร โดยการนำเอาข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาเป็นตัวตั้งและทำการหารโดยใช้การตัวหารที่ได้กำหนดเอาไว้แล้วจะได้ผลลัพธ์เป็นรหัสตรวจสอบ CRC จำนวน n บิต
- 3) นำรหัส CRC ที่ได้ไปแทนที่ "0" ที่ส่วนท้ายของข้อมูลเดิมและส่งข้อมูลที่ได้มีการเพิ่มรหัส CRC ที่ส่วนท้ายแล้ว ไปให้แก่ฝ่ายรับ

ที่ฝ่ายรับนั้นจะทำการรับส่งข้อมูลมาพร้อมกับรหัส CRC ที่ต่อท้ายไว้มาทำการตั้งหารด้วยตัวหารที่มีค่าเท่ากับตัวส่ง ถ้าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเท่ากับ "0" ถือว่าไม่เกิดการผิดพลาดของข้อมูลเกิดขึ้น

หลักการการสร้างตัวหาร (CRC generator)

- 1) เทอมแรกและเทอมสุดท้ายของ $G(x)$ จะต้องเป็น "1" เสมอ
- 2) จำนวนบิตของ $G(x)$ จะต้องมากกว่าจำนวนบิตของรหัส CRC 1 บิตเสมอ
- 3) กำลังสูงสุดของ $G(x)$ มีค่าได้เท่ากับ n
- 4) ตามหลักการของพหุนามเมียมแล้ว $G(x)$ จะต้องไม่สามารถถูกหารด้วย X ลงตัว

เนื่องจาก ถ้าเกิดการผิดพลาดของข้อมูลแบบ single bit error โดยการสมมุติให้ $E(x)$ เป็นรหัสที่เกิด
ไม่วาระใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผิดพลาดในขณะที่กำลังส่งข้อมูล กำหนดให้มีค่าเท่ากับ $E(x) = X^l$ และ I คือตำแหน่งที่เกิดการผิดพลาดขึ้นและเมื่อ $G(x)$ มีความยาวมากกว่า 1 บิตแล้วจะทำให้ค่าของ $G(x)$ ไม่สามารถหาร $E(x)$ ได้ลงตัว

5) ค่าของ $G(x)$ จะต้องสามารถหารได้ด้วย $X + 1$ ลงตัวเพื่อที่จะทำให้สามารถตรวจสอบ burst error และมีจำนวนบิตของข้อมูลที่ผิดพลาดเป็นเลขคี่ได้ เช่น $E(x) = x^5 + x^2 + 1$ ถ้าให้ $x+1$ เป็นตัวประกอบร่วมกับ $G(x)$ ได้จะสามารถตรวจสอบข้อผิดพลาดได้ทั้งหมด

มีการกำหนดค่าของ $G(x)$ ไว้เป็นมาตรฐานดังนี้

$$\text{CRC-8; } G(x) = x^8 + x^2 + x + 1$$

$$\text{CRC-10; } G(x) = x^{10} + x^9 + x^5 + x^4 + x^2 + 1$$

$$\text{CRC-12; } G(x) = x^{12} + x^{11} + x^9 + x^2 + x^1 + 1$$

$$\text{CRC-16; } G(x) = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

$$\text{CRC-CCITT; } G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

ตัวอย่างการเข้ารหัส CRC

$$P(x) = 1100110 \text{ จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปโพลีโนเมียลได้เป็น } x^5 + x^4 + x + 1$$

$$G(x) = 11001 \text{ จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปโพลีโนเมียลได้เป็น } x^4 + x^3 + 1$$

$$x^4[P(x)] = x^4[x^5 + x^4 + x + 1] = x^9 + x^8 + x^5 + x^4 = 1100110000$$

วิธีการคิดแบบโพลีโนเมียล

วิธีการคิดแบบ binary 2 division

$$\begin{array}{r} x^5 + 1 \\ x^4 + x^3 + 1 \overline{) x^9 + x^8 + x^5 + x^4} \\ \underline{x^9 + x^8 + x^5} \\ x^4 \\ \underline{x^4 + x^3 + 1} \\ \underline{x^3 + 1} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 100001 \\ 11001 \overline{) 1100110000} \\ \underline{11001} \\ 0000 \\ \underline{11001} \\ 0001 \\ \underline{0001} \end{array}$$

การเข้ารหัสแบบ CRC เป็นวิธีที่สามารถตรวจสอบการเกิดความผิดพลาดของข้อมูลเป็นจำนวนคี่ได้และสามารถที่จะตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลที่มีจำนวนบิตที่ผิดพลาดในจำนวนที่เท่ากับหรือที่มีค่าน้อยกว่าจำนวนบิตของรหัส CRC ยังมีความเป็นไปได้ที่สูงมากที่จะตรวจสอบการเกิด burst error ที่มีความยาวมากกว่าคิกรหัสของโพลีโนเมียล

5.2 รูปแบบการสื่อสารที่ใช้

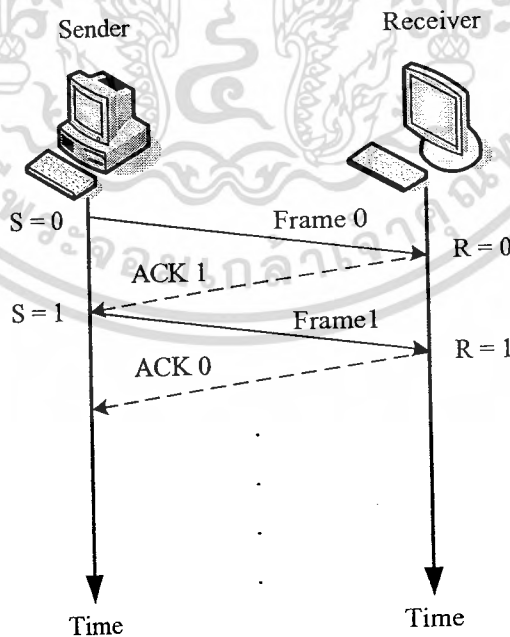
รูปแบบที่ใช้ในการสื่อสารกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์สองตัวได้นำเอาหลักการเบื้องต้นของ Stop-and-wait ARQ ไปดัดแปลงเป็นรูปแบบที่ใช้ในการสื่อสารกันจริงๆจะต้องทราบหลักการเบื้องต้นอันนี้ก่อน

- อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจะยังคงเก็บรักษาข้อมูลที่ได้ส่งไปแล้วนั้นเอาไว้ก่อนเพื่อป้องกันในกรณีที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณพบว่าข้อมูลที่ส่งมานั้นเกิดการผิดพลาดของข้อมูลหรือเกิดการสูญหายไปของข้อมูล อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจะทำการส่งสัญญาณมาขอให้ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณส่งข้อมูลเดิมกลับไปให้ใหม่
- ในกรณีของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณมาได้ตรวจพบว่าสัญญาณที่ได้รับมานั้นมีความผิดพลาดของข้อมูลอยู่จะไม่นำเอาข้อมูลนั้นไปประมวลผลอื่นๆต่อไป และจะส่งสัญญาณ no acknowledge กลับไปที่ให้แก่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเพื่อเป็นการขอให้มีการส่งข้อมูลเดิมกลับมาอีกครั้ง
- ตัวของข้อมูลที่ได้ถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆแล้วนั้นจะมีการระบุลำดับของแต่ละส่วนเอาไว้ด้วยเลข 0, 1 เรียงสลับกันไปเรื่อยๆ โดยที่ข้อมูลที่ “ 0 ” นั้นจะมีสัญญาณตอบรับที่ได้รับมาจากอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณ เป็นสัญญาณ ACK1 เพื่อเป็นการบ่งบอกได้ว่ามีารรับเอาข้อมูลที่ “ 0 ” อย่างถูกต้องสมบูรณ์แล้วและต้องการให้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณส่งข้อมูลที่ “ 1 ” มาให้แก่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณ
- โดยที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจะมีเลขที่ระบุถึงข้อมูลที่ได้ออกไปแล้ว (กำหนดเป็นตัวแปร S) ว่าส่งข้อมูลที่เท่าใดออกไป ในกรณีของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจะมีเลขที่ระบุถึงข้อมูลที่ต้องการจะรับข้อมูลที่เท่าไร (กำหนดเป็นตัวแปร R)

- อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจะเริ่มการจับเวลาเมื่อภายหลังการส่งข้อมูลออกไปแล้วถ้าอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณไม่มีการส่งสัญญาณ ACK ออกมาตามระยะเวลาที่ได้กำหนดเอาไว้แล้วให้แก่ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจะถือว่าข้อมูลที่ส่งไปนั้นเกิดการสูญหายขึ้นและจะทำการส่งข้อมูลเดิมซ้ำออกไป

จากการรับส่งข้อมูลที่เกิดขึ้นนั้นจะสามารถแยกเป็นกรณีต่างๆได้ 4 กรณีหลักๆคือ ในกรณีที่ไม่ได้เกิดการสูญหายไปของข้อมูลเลยถือว่าเป็นการรับส่งข้อมูลได้โดยปกติ , ในกรณีที่เกิดการสูญหายของข้อมูล , ในกรณีที่เกิดการสูญหายไปของสัญญาณ ACK สุดท้ายเป็นกรณีที่เกิดจากการที่สัญญาณ ACK นั้นได้ถูกทำให้ล่าช้าออกไป

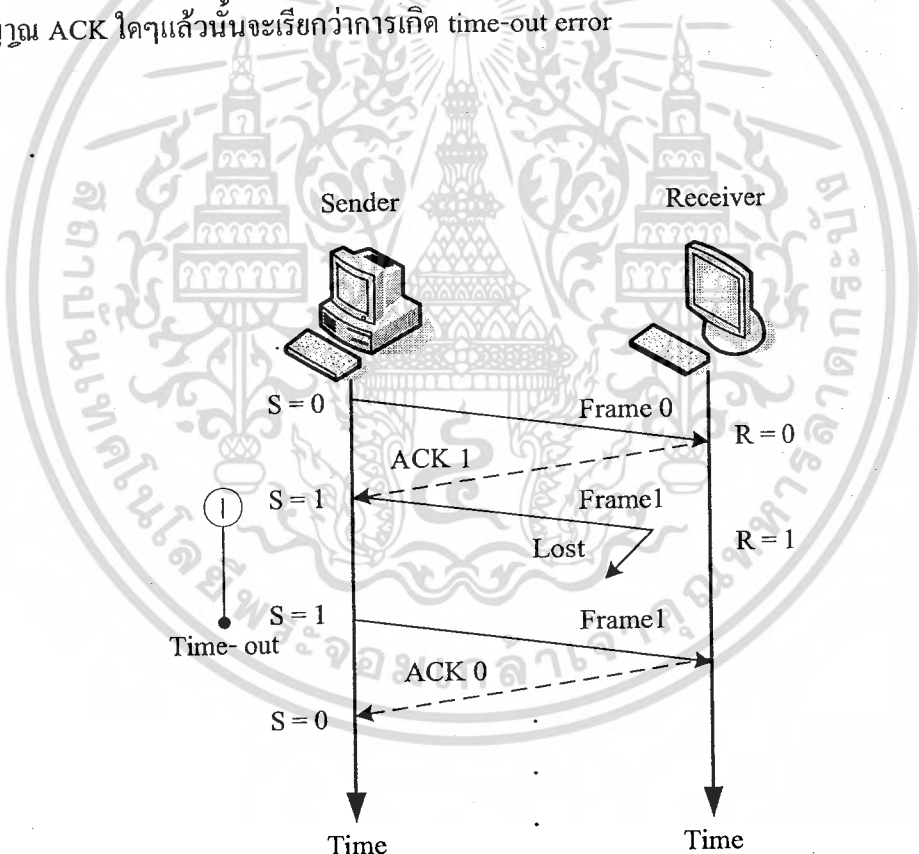
ในกรณีที่ไม่ได้เกิดการสูญหายไปของข้อมูลเลยถือว่าเป็นการรับส่งข้อมูลได้โดยปรกตินั้น อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจะส่งข้อมูลลำดับที่ “0” ออกไปหาอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณและรอรับสัญญาณ ACK 1 เมื่ออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณรับ ACK 1 แล้วจะส่งข้อมูลลำดับที่ “0” ไปให้แก่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณและเป็นอย่างนี้เรื่อยๆโดยที่ทุกๆสัญญาณ ACK ที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณได้รับมานั้นจะต้องได้รับก่อนที่จะหมดช่วงเวลาที่กำหนดเอาไว้แล้ว



รูปที่ 5.4 การรับส่งข้อมูลได้โดยปรกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนกรณีที่เกิดการสูญหายของข้อมูลที่เกิดขึ้นระหว่างการรับและส่งสัญญาณที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจะไม่นำเอาข้อมูลนั้นๆ ไปประมวลผลและจะไม่ส่งสัญญาณใดๆตอบรับกลับไปให้แก่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งเลขสัญญาณดังรูปที่ 5.5 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณส่งข้อมูลลำดับที่ " 1 " ออกไปแต่เกิดการสูญหายของข้อมูลนั้นๆ และอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณยังรอรับข้อมูลลำดับที่ " 1 " นั้นอยู่จึงยังไม่ได้ส่งสัญญาณใดๆกลับมาหาอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณ เมื่ออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณส่งข้อมูลลำดับที่ " 1 " ไปจนกระทั่งเลยช่วงเวลาที่ยอมรับสัญญาณ ACK 0 จากอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณมานั้นตัวอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจะส่งข้อมูลเดิมกลับไปให้แก่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณอีกครั้ง การที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณต้องส่งข้อมูลเดิมกลับไปให้แก่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณเมื่อเลยช่วงเวลาที่ยอมรับสัญญาณ ACK ใดๆแล้วนั้นจะเรียกว่าการเกิด time-out error



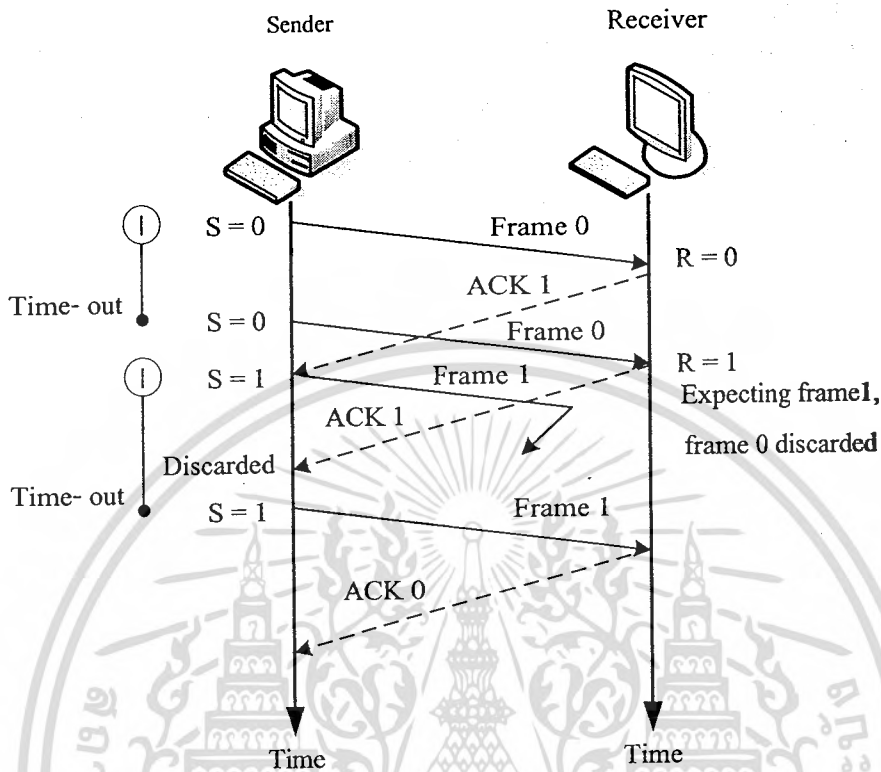
รูปที่ 5.5 กรณีที่มีการสูญหายของข้อมูลที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งสัญญาณ

ในกรณีที่เกิดการสูญหายไปของสัญญาณ ACK ใดๆ หรือเกิดการผิดพลาดขึ้นที่สัญญาณ ACK ที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณ โดยที่ในรูป 5.6 เกิดการสูญหายไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจนและส่งข้อมูลลำดับที่ “0” ซ้ำไปให้แก่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณ เมื่ออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณยังมีค่าของ $R = 1$ อยู่หมายความว่าอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณ ต้องการรับข้อมูลลำดับที่ “1” อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจะไม่นำเอาข้อมูลลำดับที่ “0” ไปพิจารณาและส่งสัญญาณ ACK 1 กลับไป

จากรูป 5.7 แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณได้รับทั้ง ACK 0 ที่เกิดจากปัญหาทางการรับสัญญาณ ACK ของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณ หรือการรับข้อมูลของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณและสัญญาณ ACK 1 ที่ได้รับภายหลังการที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณได้รับข้อมูลลำดับที่ “0” แต่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจะไม่นำเอา ACK 1 ที่ได้รับมาพิจารณา

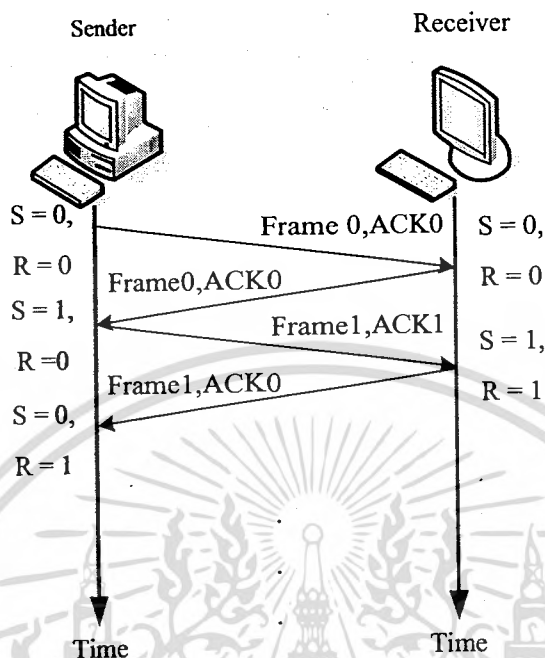
จากกรณีที่ 4 นั้นเห็นว่ามีความจำเป็นที่ระดับลำดับของข้อมูลและลำดับของ ACK ถ้าจากรูปที่ 5.7 พบว่าถ้าสัญญาณ ACK 1 ที่ได้รับมาซ้ำไปนั้น อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณได้ส่งข้อมูลลำดับที่ “1” ออกไป แต่เกิดความการสูญหายไปของข้อมูลลำดับที่ “1” ได้เพียงส่งออกไป ถ้าสัญญาณ ACK ไม่ได้ระดับเอาไว้ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจะตีความหมายของ ACK 1 ที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณได้ส่งมาภายหลังการได้รับข้อมูลลำดับที่ “0” ว่าอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณได้รับข้อมูลลำดับที่ “1” ที่เพิ่งส่งออกไปแล้วนั้นโดยสมบูรณ์แต่จริงๆแล้ว ACK 1 ที่รับมานั้นเป็น ACK 1 ที่เกิดจากการตอบรับว่ามีการรับข้อมูลลำดับที่ “1” ก่อนหน้านั้นนานแล้ว เพียงแต่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณได้รับ ACK 1 ล่าช้าเกินไปเท่านั้น จะเห็นได้ว่าการกำหนดถึงลำดับของสัญญาณ ACK ก็มีความสำคัญ



รูปที่ 5.7 การเกิดดีเลย์ของสัญญาณ ACK

จากโปรโตคอลของส่วนที่ได้กล่าวถึงไปแล้วนั้นเป็นส่วนของการรับส่งข้อมูลเพียงทิศทางเดียวเท่านั้นจริงๆแล้วในระบบนี้จะเป็นการรับส่งข้อมูลกันระหว่างอุปกรณ์ 2 ตัวที่อาจเป็นการสื่อสารแบบ 2 ทิศทาง Full duplex หรือเป็นการสื่อสารแบบช่องทางเดียวแบบ half duplex ในกรณีนี้ อุปกรณ์ทั้งสองตัวจะต้องมีตัวแปรทั้ง 2 ตัวคือ S และ R ที่จะระบุลำดับของข้อมูลที่ต้องการทั้งการรับส่งข้อมูล

รูปแบบการรับส่งข้อมูลแบบ Piggybacking เป็นวิธีการที่รวมข้อมูลที่ต้องการส่งเข้ากับสัญญาณ ACK จากรูป 5.8 อุปกรณ์ที่ 1 และ 2 มีข้อมูลที่ต้องการส่งไปให้อีกฝ่ายรับรู้ จะมีการส่งข้อมูลไปพร้อมกับสัญญาณ ACK รวมเข้าไปในการส่งข้อมูลเพียงครั้งเดียว



รูปที่ 5.8 แสดงการรับส่งข้อมูลแบบ Piggybacking

5.3 การออกแบบรูปแบบการสื่อสาร

ในระบบของ RFID นั้นเป็นการสื่อสารระหว่าง Reader และ Tag โดยการผ่านตัวกลางคืออากาศดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดการสูญหายของข้อมูล ดังนั้นทางด้านของตัวอ่านจะต้องมีกระบวนการบางอย่างเพื่อตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ซึ่งในที่นี้ได้ใช้วิธีส่งบิตตรวจสอบแบบ Checksum ต่อท้ายเฟรมของข้อมูล เพื่อเอาไว้ใช้ในการตรวจสอบ ซึ่งในโครงการนี้ได้กำหนดหัวข้อของงานในเชิงที่จะนำเอาชิ้นงานไปใช้งานจริงอย่างคร่าวๆได้โดยให้เครื่องอ่าน RFID อยู่ที่ประตูทำหน้าที่เปิดปิดประตูและให้ผู้ใช้ได้นำเอาบัตรมาใกล้ภายในระยะสื่อสารจะเกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่าง เครื่องอ่าน RFID และบัตรของผู้ใช้ ถ้าผู้จะสามารถผ่านเข้าไปได้ต่อเมื่อบัตรมีแอดแตรสถูกต้องเครื่องอ่าน RFID จะทำการปลดล๊อคของประตู

โดยในโครงการนี้ตัว Tag จะทำหน้าที่เพียงการส่งข้อมูลออกมาเมื่อได้รับพลังงาน โดยไม่สนถึงความถูกต้องที่เครื่องรับ จะรับได้ โดยจะทำเพียงส่งเข้าไปเรื่อยๆ เท่านั้น เราจึงได้เลือก CPU ที่มี i/o port ต่ำกว่าบนเครื่องอ่าน คือใช้เบอร์ 16F628 ซึ่งเป็น CPU PIC 16bit และมี 15 i/o port และบนเครื่องอ่าน จะต้องรองรับการทำงานของ Module LCD คีย์แพด การสื่อสารแบบอนุกรม รวมทั้งต้องทำการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกอีกด้วย จึงเลือกใช้ CPU เบอร์ PIC16F877 ซึ่งเป็น CPU PIC 16bit และมี 33 i/o port

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการส่งข้อมูลระหว่าง tag และ reader ที่ใช้จริง มีขนาดเฟรมข้อมูลขนาด 13 ไบต์ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.9 นี้

Flag	Address (4byte)	Data (4byte)	Reserved(3byte)	Checksum
------	-----------------	--------------	-----------------	----------

รูปที่ 5.9 แบบข้อมูล tag ส่งไปให้แก่ reader

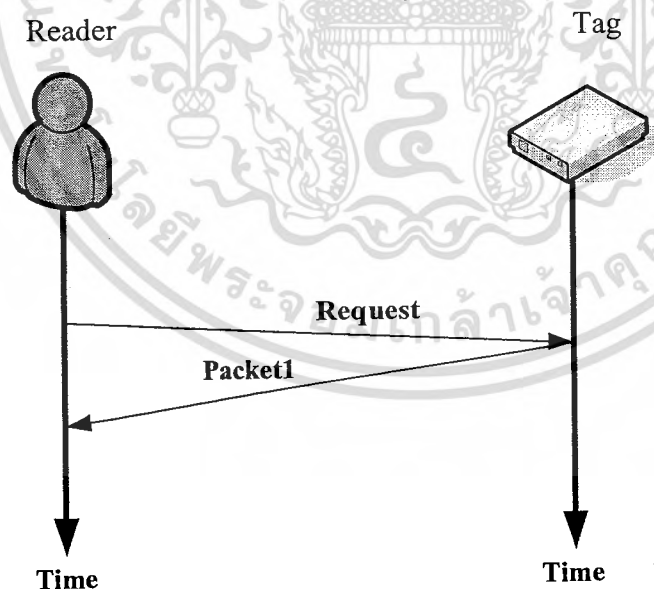
Flag : เป็นไบต์ที่บอกลถึงการเริ่มต้นของข้อมูล มีค่าเท่ากับ b'01111110'

Address : เป็นตัวกำหนดถึงที่อยู่ของเครื่องอ่าน ซึ่งจะมีเฉพาะแต่ละเครื่องอ่าน ซึ่งในที่นี้อาจเทียบได้กับ Password

Data : ข้อมูลของผู้ใช้บน Tag ซึ่งในที่นี้มีไว้สำหรับใส่ชื่อที่เป็นดั่งอักษรแบบ ASCII

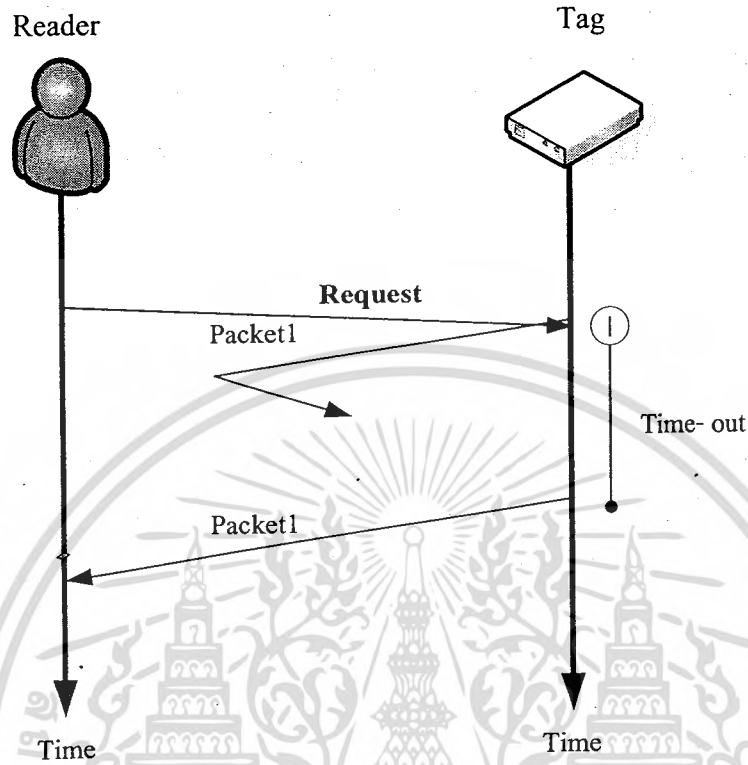
Reserved : เป็นไบต์ข้อมูลที่สงวนเอาไว้ใช้ต่อไปในภายภาคหน้า ซึ่งอาจจะเก็บ ชื่อแผนก ชั้นที่ทำงาน หรือ ข้อมูลทางด้านความปลอดภัยต่างๆ

Checksum : มีไว้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล



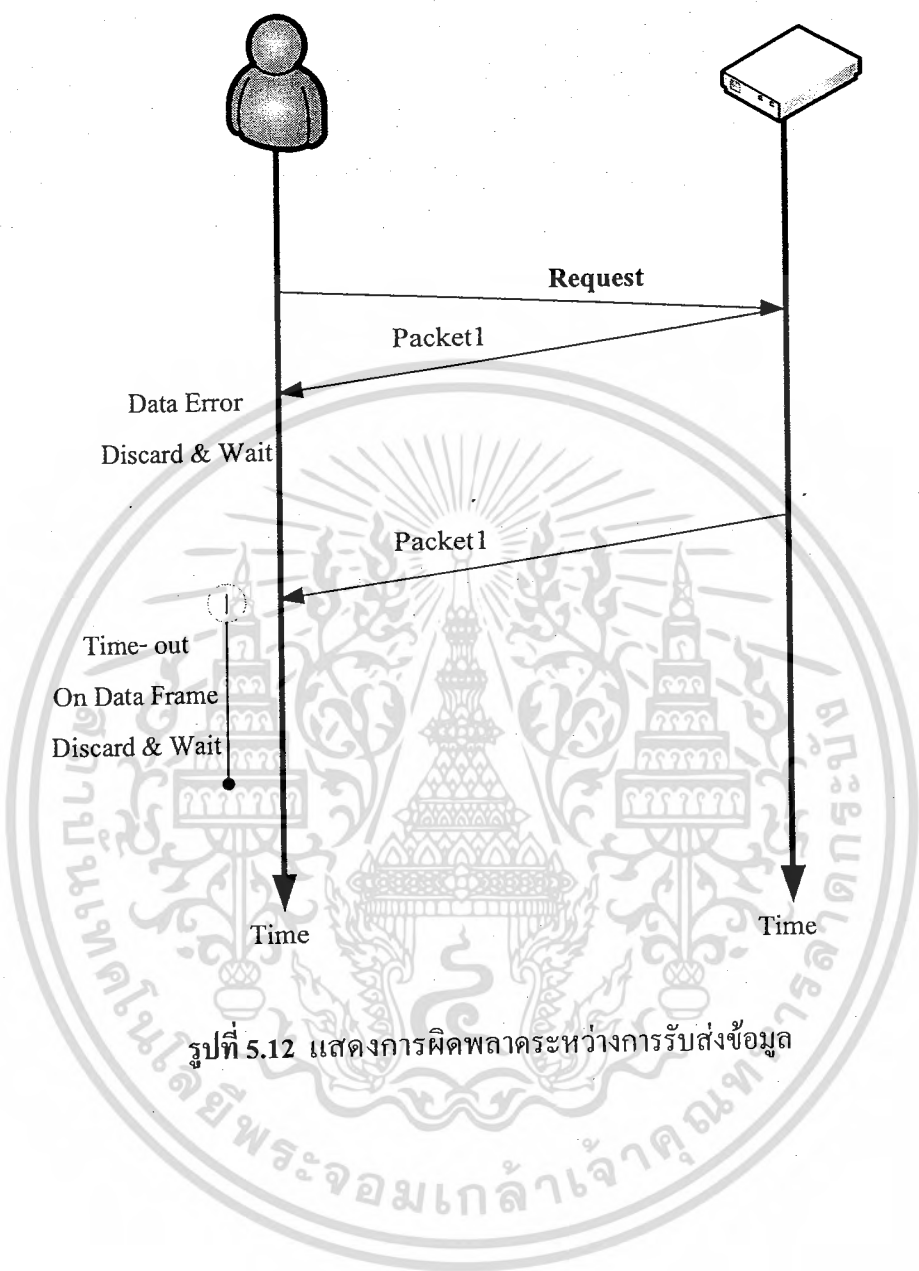
รูปที่ 5.10 แสดงการรับส่งสัญญาณโดยปรกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 การเกิดการสูญหายของสัญญาณที่ tag ส่งออกไป

เมื่อ Reader ได้รับข้อมูลที่ผิดพลาดมา จะทำการ discard ข้อมูลนั้นทิ้งไป และรอการส่งขอ
 มวล ในรอบใหม่ของ Tag หรือข้อมูลบางไบต์ในเฟรมมาไม่ครบ ก็จะทำให้การจับเวลา และถ้าเกินเวลา
 ที่กำหนด จำทำการ Discard และรอการส่งข้อมูลรอบใหม่



รูปที่ 5.12 แสดงการผิดพลาดระหว่างการรับส่งข้อมูล

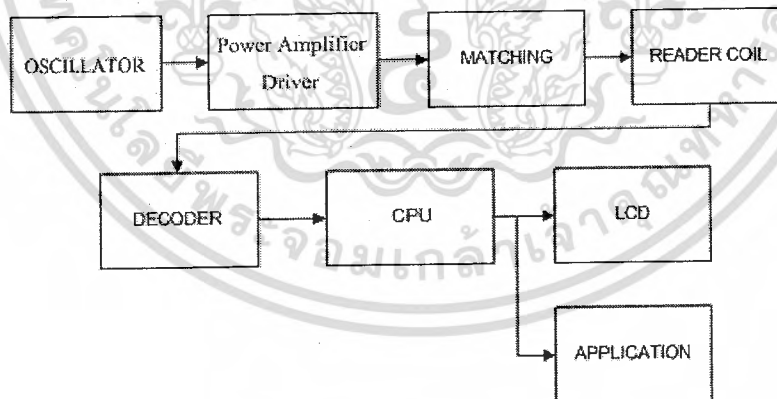
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การออกแบบวงจรในส่วนของ Reader และ Tag

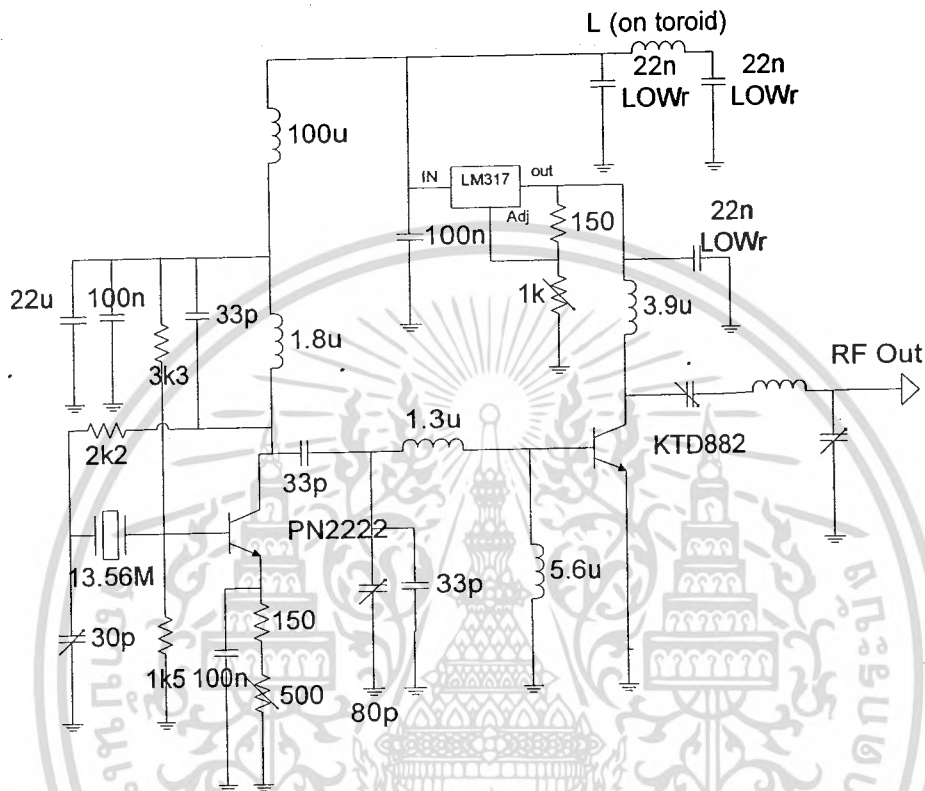
6.1 การออกแบบวงจรในส่วนของ Reader

วงจรในส่วนของ Reader นั้น ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญต่างๆคือ ส่วนของ Oscillator , Power Amplifier , Matching Circuit , Reader Coil , Demodulator และ Application Circuit มีหลักการทำงานคร่าวๆโดยสร้างสัญญาณ Carrier ความถี่ 13.56 MHz ด้วยวงจร Oscillator แล้วนำสัญญาณที่ได้มาผ่านวงจร Power Amplifier เพื่อขยายสัญญาณให้มีกำลังมากพอที่จะส่งผ่านอากาศไปสู่ Tag ซึ่งหลังจากขยายสัญญาณแล้วก็จะผ่านวงจรในส่วนของ Matching Circuit เพื่อให้เกิดการส่งผ่านกำลังงานได้สูงสุด(Maximum Power Transfer) แล้วจึงขับกำลังงานผ่าน Reader Coil ซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็นสายอากาศ ส่งข้อมูลผ่านอากาศไปสู่ Tag และ Tag ส่งข้อมูลผ่านมายัง Reader ซึ่งสัญญาณที่ Reader รับมาจะได้ผ่านวงจร Demodulator เพื่อถอดข้อมูลออกจาก Carrier และ Sub-carrier แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ออกไปใช้งานในวงจร Application Circuit ต่อไป



รูปที่ 6.1 Block diagram แสดงการทำงานของวงจรในส่วนของ Reader

6.1.1 วงจร Oscillator และ Power Amplifier Driver



รูปที่ 6.2 วงจร Oscillator และ Power Amplifier

จากรูปจะแบ่งวงจรออกเป็น 2 ส่วน คือ วงจร Oscillator ที่ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณ Carrier ที่มีความถี่ 13.56 MHz ซึ่งจะมีตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ขาอิมิตเตอร์ ใช้ในการปรับกระแส I_{CSAT} และ วงจรที่สองเป็นวงจร Power Amplifier ใช้ในการขยายกำลังของสัญญาณที่ได้จากวงจร Oscillator ให้มีขนาดมากพอที่จะสามารถจ่ายกำลังงานส่งผ่าน Reader Coil ไปยัง Tag ได้ ซึ่งวงจรในส่วนนี้ สามารถปรับกำลังที่ใช้จ่ายสัญญาณได้ด้วยการปรับค่าไฟเลี้ยงจาก Output ของ LM317

6.1.2 การคำนวณหาค่า $(NI)_{rms}$ ของวงจรรีบ Reader Coil

จากสมการที่ 10 Number of turns and current (Ampere – Turns) ของ AN710 Antenna circuit design for RFID application หน้าที่ 5 ของ Microchip

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

โดยที่ $S = \text{Tag loop Area (cm}^2) = (5 \times 8) \text{ cm}^2 = 4 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

$\cos \alpha$ กำหนดให้เท่ากับ 0.95 เพื่อเป็นค่ามูเนื่อเหลือของการวาง Tag (Margin $\alpha = 18^\circ$)

$V_{TAG(rms)} = 7.8 \text{ V}_{rms}$ ในโหมด continuous

$f = 13.56 \text{ MHz}$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$

เมื่อแทนค่าลงในสูตร จะได้ว่า

$$(NI)_{rms} = \frac{38.34(a^2 + r^2)^{1.5}}{(nQ_L)_{TAG} a^2}$$

จาก Loop Reader Coil ขนาด $(3 \times 6) \text{ inch}^2$

$$a = \text{Read Radius} = \frac{3 \text{ inch}}{2} = 38 \times 10^{-3} \text{ m}$$

TAG Parameters				
n	C_p (PF)	Q_L	BW (KHz)	nQ_L
1	693.5	17.10	693.2	17.10
2	175.5	5.583	2429	11.17
3	78.76	2.589	5238	7.766

ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงค่าตัวแปรของ TAG

ในที่นี้ใช้ Tag Coil $n = 2$ รอบ เพราะฉะนั้นได้ค่า $(nQ_L)_{TAG} = 11.17$
 เมื่อคูณกับค่าเผื่อเหลือ (Margin factor = 0.9) จะได้ $(nQ_L)_{TAG} = 0.9 \times 11.17 = 10.00$
 แทนค่า $(nQ_L)_{TAG}$ กับค่า a จะได้ว่า

$$(NI)_{rms} = 2655(0.038^2 + r^2)^{1.5}$$

โดยค่า $(NI)_{rms}$ จะมีความสัมพันธ์กับค่า r ดังตาราง

r (cm)	$(NI)_{rms}$: A-T
0	0.1457
1	0.1611
2	0.2102
3	0.3013

ตารางที่ 6.2 ตารางแสดงค่า r กับ $(NI)_{rms}$ ที่ได้จากการแทนค่าในสูตร

ซึ่งในโครงการนี้ต้องการ Reader ที่สามารถอ่าน Tag ได้ที่ระยะ $r = 3\text{cm}$ จะได้ค่า

$$(NI)_{rms} = 0.3013 \text{ A-T} \text{ ที่ Loop Reader Coil ขนาด } (3 \times 6) \text{ inch}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N = 1.8 \text{ รอบ} , R_T = 20 \Omega \quad (Q = 5)$$

$$I = 0.3013/1.8 = 0.1674 \text{ A}_{rms}$$

$$P = 560.4 \text{ mW}$$

ซึ่งเป็นกำลังงานที่ต่ำที่สุดที่ Reader จ่ายให้กับ Tag แล้ว Tag ยังสามารถทำงานได้

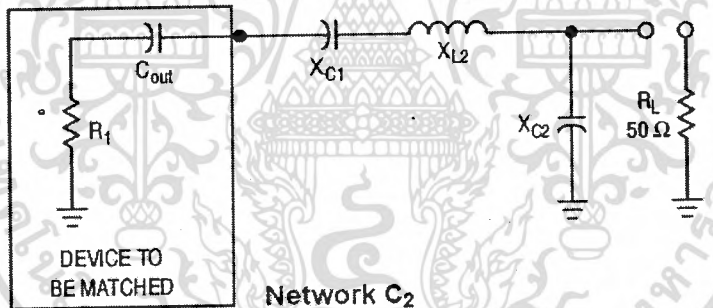
ดังนั้นเพื่อให้กำลังงานที่ Reader จ่ายให้กับ Tag มีความเพียงพอ จึงใช้กำลังงานสูงสุด

$P = 1.2 \text{ W}$ ที่ $V_{cc} = 9.5 \text{ V}$ variable (จะใช้ IC LM317 เป็นอุปกรณ์ในการปรับค่า V_{cc})

จะได้ $V_{cc} - V_{sat} = 8.5 \text{ V}$

6.1.3 การคำนวณการ Matching Output Impedance ไปยังโหลด 50 Ω

ในโครงงานนี้จะใช้ Network C_2 จาก Application Note AN267 (Matching Network Designs with Computer Solutions)



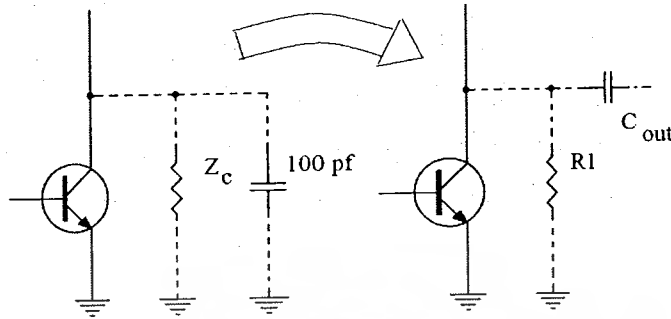
รูปที่ 6.3 Network C_2 จาก Application Note AN267

จากเอาต์พุตของวงจรในส่วน Power Amplifier ที่ขาคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ KTD

882 จะเสมือนว่ามีค่า Output Impedance (Z_c) ขนานอยู่กับ 2 เท่าของค่า C_{ob} ($C_{ob} = 50\text{pF}$)

คือ $Z_c \parallel 100\text{pF}$

โดยที่ $Z_c = \frac{(V_{CCMAX} - V_{SAT})^2}{2P_{OMAX}} = \frac{8.5^2}{2(1.2)} = 30.104\Omega$



รูปที่ 6.4 การเปลี่ยนรูปความต้านทานแบบขนานไปเป็นอนุกรม

สำหรับ Network C_2 จะมี Output Impedance (R_1) อนุกรมกับ C_{out} จึงจำเป็นที่จะต้องแปลงค่า Output Impedance (Z_c) กับ C 100pF ด้วยสมการใน Application Note AN267 สมการการแปลงค่าความต้านทานที่ขนานกัน เป็นความต้านทานที่อนุกรมกัน

$$R_s = \frac{R_p}{1 + (R_p/X_p)^2}$$

$$X_s = R_s \frac{R_p}{X_p}$$

$$X_{C_{100pF}} = X_p = \frac{1}{2\pi(13.56MHz)(100pF)} = 117.37\Omega$$

แทนค่าในสูตรจะได้

$$R_1 = R_s = \frac{30}{1 + (30/117.37)^2} = 28.16\Omega \approx 28\Omega$$

$$X_{C_{out}} = X_s = \frac{(28.16)(30)}{117.37} = 7.2\Omega$$

จากตารางของ Network C_2 ทำการ Matching กับค่าความต้านทาน 50Ω เมื่อ $R_1 = 28\Omega$

และใช้ $Q = 5$ จะได้ว่า $X_{C1} = 140, X_{C2} = 56.41, X_{L2} = 164.82$

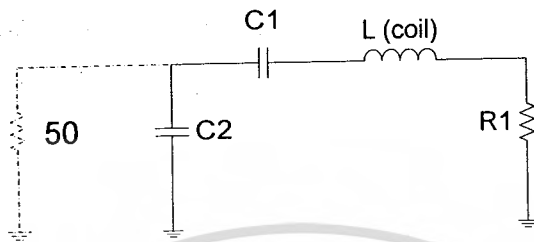
$$C_1 = \frac{1}{2\pi(13.56M)(140)} = 83.84pF$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi(13.56M)(56.41)} = 208.07pF$$

$$L_2 = \frac{164.82}{2\pi(13.56MHz)} = 1.93\mu H$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.4 การคำนวณหาค่า L ของ Reader Coil ที่ 13.56 MHz และการ Match Coil



รูปที่ 6.5 วงจร matching load 50 Ω

สำหรับ Reader Coil 1.8 รอบ วัดค่าได้ดังนี้

$$L_{\text{low freq}} = 1.45 \mu\text{H} \quad , \quad Q = 0.5829 \quad \text{ที่ } f = 2 \text{ kHz}$$

$$f_{\text{self res}} = 57.2 \text{ MHz}$$

ซึ่งใน Coil จะมี L ขนาดอยู่กับ C_p

$$C_p = \frac{1}{(2\pi f_{\text{self res}})^2 \times L_{\text{low freq}}} = 5.34 \text{ pF}$$

$$X_L = Z_{13.56\text{MHz}} = X_{L_{\text{low freq}}} \parallel X_{C_p} = j123.54 \parallel -j2197.96 = 116.9941 \Omega$$

$$L_{13.56\text{MHz}} = 1.373 \mu\text{H}$$

จากการใช้ $Q=5$ และ $X_L = 116.9941 \Omega$ เมื่อนำไปเปิดตารางจาก Application Note AN267

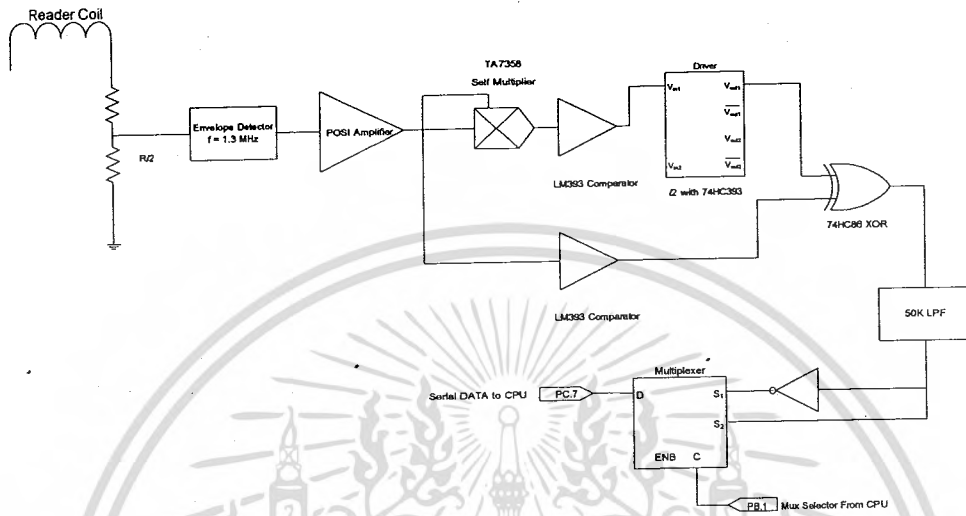
สำหรับ 3 Network C_2 จะได้ว่า

$$X_{C1} = 90 \Omega \quad ; \quad C_1 = 130.41 \text{ pF}$$

$$X_{C2} = 37.5 \Omega \quad ; \quad C_1 = 312.99 \text{ pF}$$

$$R_1 = 18 \Omega$$

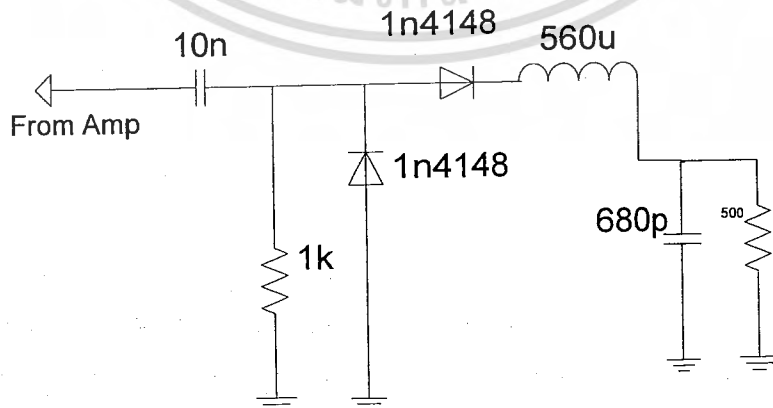
6.1.5 วงจรถอดรหัส (Demodulator)



รูปที่ 6.6 วงจรถอดรหัส

วงจรที่ใช้ในการถอดรหัสนี้จะแบ่งสัญญาณที่ได้จากส่วนของ Reader Coil มาเป็นสัญญาณ input โดยวงจรถอดรหัสนี้จะแบ่งได้เป็นส่วนต่างๆ คือ

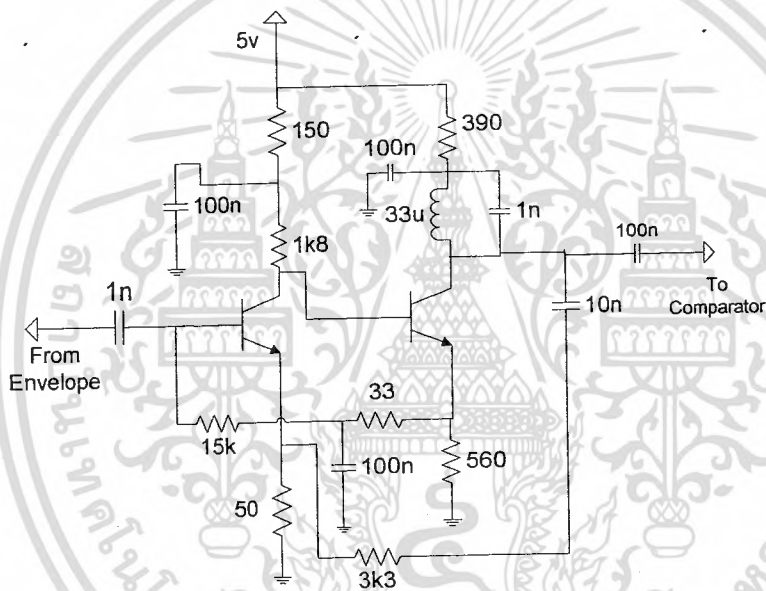
1. วงจร Envelope Detector



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 6.7 วงจร Envelope Detector กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองความถี่สูง 13.56 MHz ออกไป เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีความถี่ 847.5 kHz (Sub-carrier) ที่ทำการเข้ารหัสกับบิตข้อมูลออกมา โดยวงจรนี้จะใช้การกรองแบบ Low Pass Filter order 3 ($n = 3$) ของ Butterworth ที่ความถี่ 1.35 MHz และ R_L 300 Ω ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่มีความถี่ 850 kHz มีอัตราการลดทอน 0.5 dB และสัญญาณที่ความถี่ 13.5 MHz มีอัตราการลดทอน 60 dB

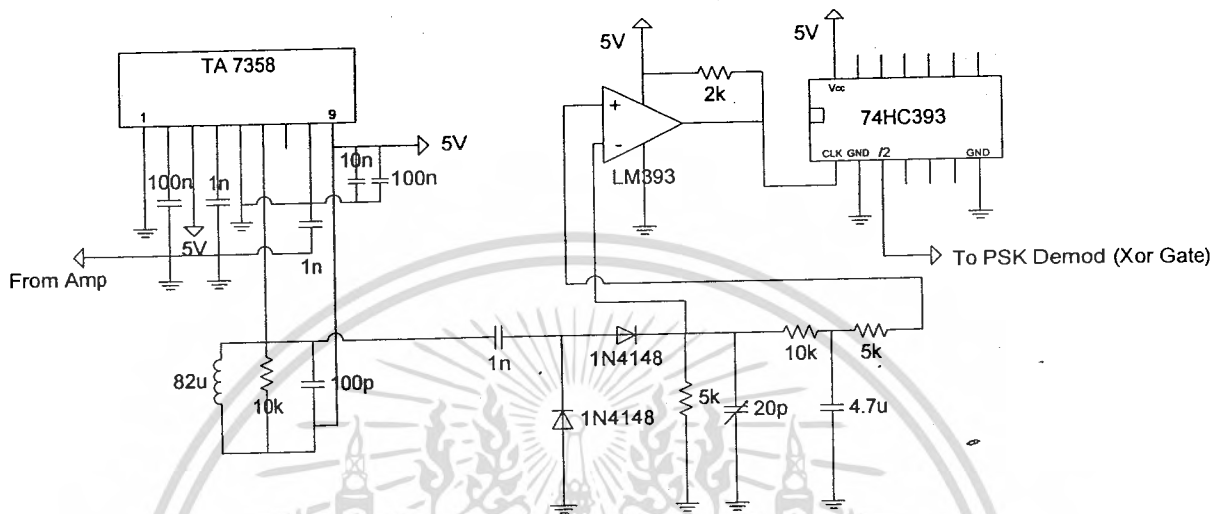
2. วงจรขยายแรงดันที่มีการป้อนกลับแบบลบแบบ Parallel Output Series Input (POSI)



รูปที่ 6.8 วงจรขยายแรงดันป้อนกลับแบบลบแบบ Parallel Output Series Input (POSI)

โดยวงจรนี้จะทำหน้าที่ในการขยายแรงดันของสัญญาณที่ได้รับมาจากวงจร Envelope Detector โดยมีอัตราขยายแรงดันของวงจร (A_{vcc}) ประมาณ 55 เท่า สำหรับค่า LC ที่ขาคอลเล็กเตอร์ ซึ่งเป็นทางออกของวงจร สมมติว่ามีความต้านทาน R_L ในภาคต่อไปประมาณ 1 k Ω ที่ความถี่ Sub-carrier 847.5 kHz กำหนดให้มี Bandwidth 400 KHz จะได้ค่า $C = 1nF$ และ $L = 33 \mu H$

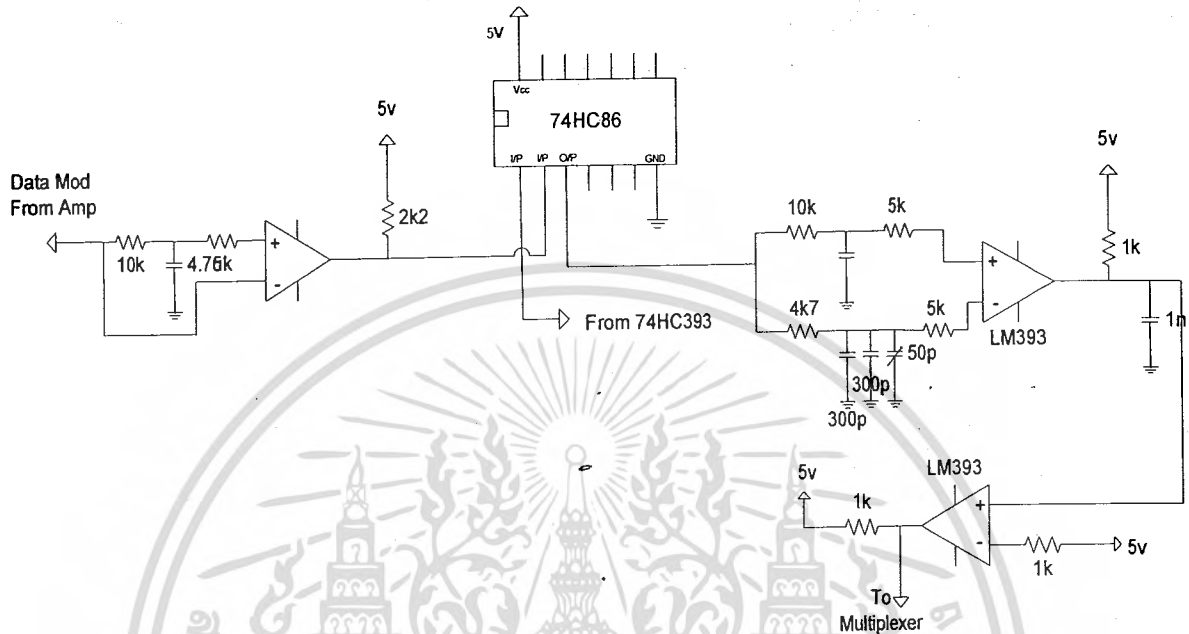
3. วงจรการสร้างคลื่นสัญญาณ Sub-carrier 847.5 kHz



รูปที่ 6.9 วงจรสร้างคลื่นสัญญาณ Sub-carrier 847.5 kHz

สาเหตุที่ต้องมีการสร้างคลื่นสัญญาณ Sub-carrier เนื่องจากสัญญาณ Sub-carrier นี้ต้องนำไปใช้ในการ Demodulate จึงจำเป็นที่จะต้องมียุทธตรงกัน เพื่อจะได้ถอดรหัสข้อมูลจาก Tag แบบ PSK ได้อย่างถูกต้อง โดยวงจรนี้เริ่มจากการนำสัญญาณที่ผ่านการกรองความถี่สูงและมีแรงดันที่มากเพียงพอ มาทำการคูณกันเอง (Mix signal) ด้วย IC TA7358 จะได้สัญญาณที่มีความถี่เป็น 2 เท่าของความถี่สัญญาณเดิม ซึ่งก็คือ สัญญาณที่มีความถี่ประมาณ 1.695 แต่เนื่องจากสัญญาณที่ได้มีขนาดเล็กมาก จึงนำมาขยายขนาดของสัญญาณด้วย IC LM393 ที่มีการป้อนแรงดันอ้างอิงที่ขาบวก แล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ไปป้อนเข้า IC 74HC393 ที่เป็นตัวหารสัญญาณความถี่ 1.695 MHz ไปเป็นสัญญาณความถี่ 847.5 kHz แต่อาจจะมีการกลับเฟสหรือมีเฟสเดียวกันกับสัญญาณแรกก็ได้ ซึ่งสัญญาณนี้ก็คือ สัญญาณ Sub-carrier นั้นเอง

4. วงจรถอดรหัสบิตข้อมูล



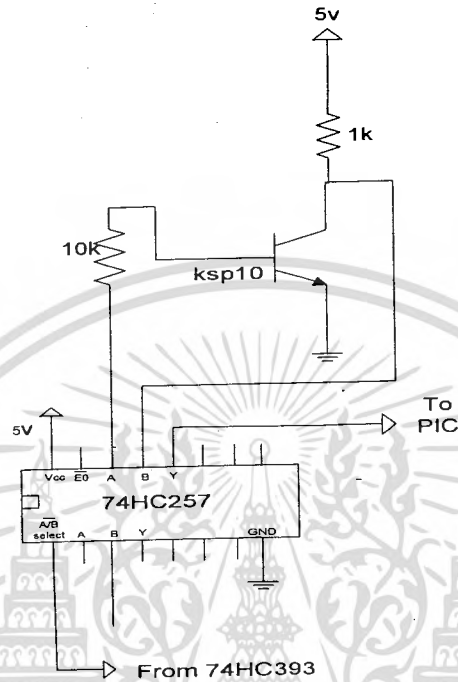
รูปที่ 6.10 วงจรถอดรหัสบิตข้อมูล

บิตข้อมูลนั้นจะได้จากการทำการถอดรหัสสัญญาณด้วยการทำ Exclusive-Or สัญญาณ Sub-carrier ที่มีการเข้ารหัสกับบิตข้อมูลแบบ PSK กับ สัญญาณ Sub-carrier ที่สร้างขึ้น

ในการทำ Exclusive-Or สัญญาณที่ทางเข้านั้นต้องมีแรงดันที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงได้มีการนำสัญญาณ Sub-carrier ที่มีการเข้ารหัสกับบิตข้อมูลแบบ PSK ที่มีขนาดประมาณ 60 mV มาขยายขนาดให้มีค่าประมาณ 5 V ด้วย IC LM393 แล้วจึงนำไป Exclusive-Or กับสัญญาณ Sub-carrier ที่สร้างขึ้น ด้วย IC 74HC86 ซึ่ง output ที่ได้จะเป็นบิตข้อมูลที่จะมีการกลับเฟสหรือไม่เฟสเดียวกัน โดยขึ้นอยู่กับสัญญาณ Sub-carrier ที่นำมาป้อนเป็น input ว่ามีการกลับเฟสหรือไม่

จากบิตข้อมูลที่ถอดรหัสออกมาได้นั้น ยังมีสัญญาณรบกวนที่มีความถี่ 1.695 MHz และ 847.5 kHz ออกมาด้วย ดังนั้นจึงมีการทำวงจรกรองให้ข้อมูลเท่านั้นที่สามารถผ่านมาได้ คือ วงจร Low Pass Filter ที่ความถี่ 50 kHz และแรงดันอ้างอิงที่สามารถปรับค่าที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ข้อมูลที่ต้องการเท่านั้น ด้วย IC LM393

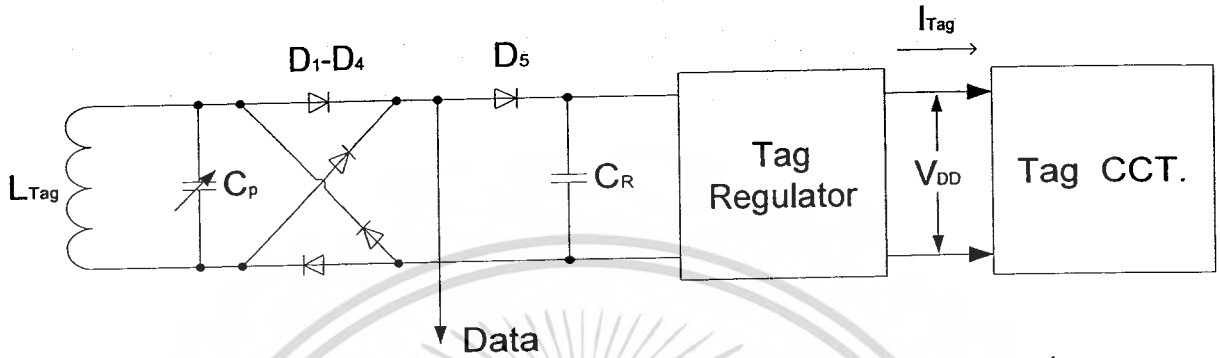
6.1.6 ตัวเลือกสัญญาณข้อมูล



รูปที่ 6.11 วงจรเลือกสัญญาณข้อมูล

เนื่องจากสัญญาณข้อมูลที่ถอดรหัสมาได้ นั้นอาจมีการกลับเฟส จึงต้องมีการใช้ตัว Multiplexer (IC 74HC257) มาเลือกสัญญาณที่สามารถใช้งานได้ โดยสัญญาณข้อมูลที่ป้อนเข้าไป เป็น input นั้นจะใช้สัญญาณข้อมูลที่ถอดรหัสมาได้ กับสัญญาณดังกล่าวที่นำมากลับเฟสด้วย ทรานซิสเตอร์ KSP10 โดยมีสัญญาณจาก CPU (PIC16F877) เป็นตัวเลือกสัญญาณที่จะนำไปใช้ต่อไป

6.2 การออกแบบวงจรในส่วนของ Tag



รูปที่ 6.12 บล็อกไดอะแกรมของวงจร Tag

จากรูปแสดงให้เห็นส่วนประกอบหลักของวงจรฝั่ง Tag โดย L_{Tag} เป็นขดลวดซึ่งทำหน้าที่เป็นเสาอากาศรับ-ส่งสัญญาณระหว่าง Reader และ Tag ส่วน C_p ทำหน้าที่เป็นวงจรรีโซแนนซ์ร่วมกับ L_{Tag} ที่ความถี่ 13.56 MHz และเนื่องจาก Tag ที่ใช้เป็นชนิด Passive ไม่มีแหล่งจ่ายพลังงานอยู่ภายใน แต่จะใช้การเหนี่ยวนำพลังงาน (อยู่ในรูปของกระแสสลับ) จาก Reader ผ่านเข้ามาทาง L_{Tag} จึงจำเป็นที่จะต้องมียวจรเรกติไฟร์ (D_1-D_4) เพื่อทำหน้าที่แปลงไฟสลับให้เป็นไฟตรง จากนั้นจึงนำแรงดันที่ได้ไปผ่านวงจรเรกกูเลเตอร์ที่มี HT7150 เป็นตัวควบคุมแรงดันให้คงที่ที่ 5 V เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์ต่างๆบน Tag โดยจะมี zener diode ป้อนกันไม่ให้มีแรงดันที่ทางเข้าของ HT7150 เกิน 18 V

6.2.1 คำนวณหาค่า C_p จาก Tag Coil

สำหรับ Tag Coil 2 รอบ จะวัดค่าได้ดังนี้

$$L_{low\ freq} = 840\text{ nH} \quad , \quad Q = 0.0297 \quad \text{ที่ } f = 2\text{ kHz}$$

$$f_{self\ res} = 97.5\text{ MHz}$$

ซึ่งใน Coil จะมี L ขนานอยู่กับ C_p

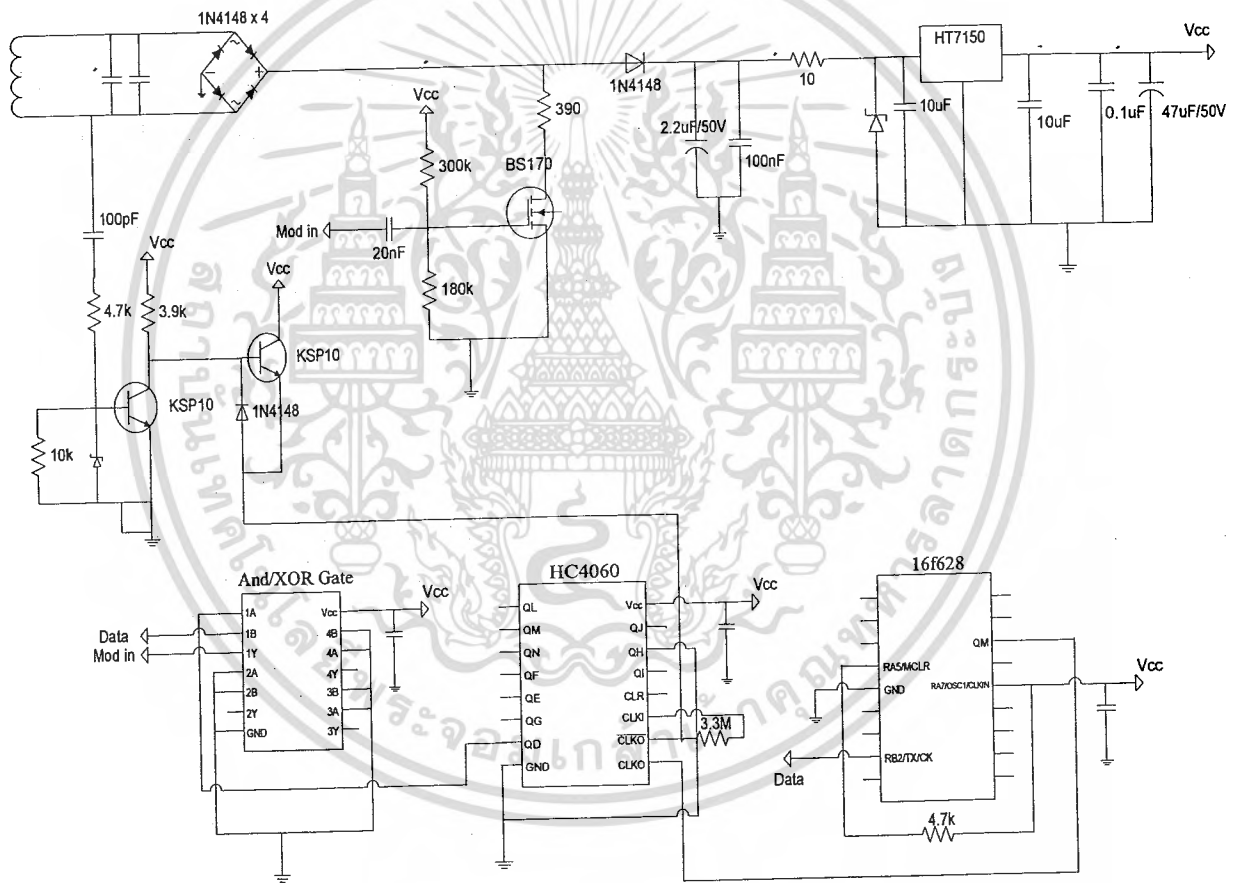
$$C = \frac{1}{(2\pi f_{selfres})^2 \times L_{lowfreq}} = 3.1721 pF$$

$$X_L = Z_{13.56MHz} = X_{L_{lowfreq}} \parallel X_C = j71.568 \parallel -j3.7001k = 70.2\Omega$$

$$L_{13.56MHz} = 824.06nH$$

$$C_{p13.56MHz} = 167.17 pF$$

6.2.2 วงจรทั้งหมดในส่วนของ Tag



รูปที่ 6.13 วงจร Tag

วงจรในส่วนของ Tag จะแบ่งเป็นส่วนย่อยๆดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วงจร Recovery Carrier หรือ วงจร Buffer

เมื่อมีสัญญาณความถี่ 13.56 MHz เหนี่ยวนำมาที่ Tag Coil สัญญาณนี้จะถูกนำไปเข้าวงจรที่ประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์ NPN (KSP10) 2 ตัวที่ทำหน้าที่เป็นทั้ง Recovery Carrier 13.56 MHz และ Buffer กันแรงดันที่มีขนาดมากเกินไปเข้าสู่วงจร โดยการขยายขนาดสัญญาณด้วยสภาวะอิ่มตัว โดย Output ของวงจรมีจะเป็นสัญญาณที่มีความถี่ 13.56 MHz ที่มีขนาด 0-5 V เพื่อนำไปป้อนเป็น Clock ให้กับอุปกรณ์ตัวต่างๆ

2. วงจร Regulator 5 V

จากสัญญาณที่รับมาได้จาก Tag Coil จะนำไปเข้าวงจร Bridge Rectifier จากนั้นจะผ่าน diode และ ความต้านทาน 10 โอห์ม ซึ่งมีไว้สำหรับวัดกระแสที่ Tag ใช้ทั้งหมด โดยจะมี Zener diode คอยควบคุมให้แรงดันที่จ่ายเข้าไปที่ตัว Regulate มีค่าคงที่ที่ไม่เกิน 18 V จากนั้นสัญญาณนี้จะมาเข้าที่ตัวควบคุมแรงดันคงที่ 5 V (HT7150) เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์ตัวต่างๆ ในวงจร

3. วงจรภาคดิจิทัล

วงจรในส่วนภาคดิจิทัลนี้ประกอบไปด้วย ตัวอุปกรณ์ 3 ตัว ได้แก่ ตัวหารความถี่ (IC HC4060) ใช้ในการหารสัญญาณ Carrier ความถี่จาก 13.56 MHz ไปเป็นสัญญาณ Sub-carrier ที่มีความถี่ 847.5 kHz ตัวที่สองเป็น CPU (PIC 16F628) มีหน้าที่ส่งข้อมูลที่ต้องการจะส่งไปที่ Reader ออกมา และตัวที่สามเป็นตัวที่ทำหน้าที่ในการ Modulate สัญญาณ Sub-carrier กับ ข้อมูล โดยตัวนี้จะใช้แตกต่างกันสำหรับการ Modulate แต่ละแบบ ได้แก่ AND Gate (IC 74HC08) สำหรับการ Modulate แบบ ASK และ Exclusive-Or Gate (IC 74HC86) สำหรับการ Modulate แบบ PSK จากนั้นนำสัญญาณ Sub-carrier ที่ทำการ Modulate กับข้อมูลแล้ว ไปเข้าที่ขา Gate ของ MOSFET (BS170) เพื่อให้สัญญาณนี้ไป Modulate อยู่บนสัญญาณ carrier ที่ส่งผ่านไปยัง Reader

บทที่ 7

การออกแบบวงจร ในส่วนของซอฟต์แวร์

การประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยี RFID นั้นจะมึการทำงานที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่องอ่าน และส่วนของเครื่องลูกข่าย ในส่วนของเครื่องอ่านจะทำหน้าที่ตรวจสอบสถานะของเครื่องลูกข่าย ว่าใช่เครื่องลูกข่ายในระบบหรือไม่ ถ้าไม่ก็จะไม่มีการแลกเปลี่ยนข้อมูล แต่ถ้าใช่ก็จะทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย

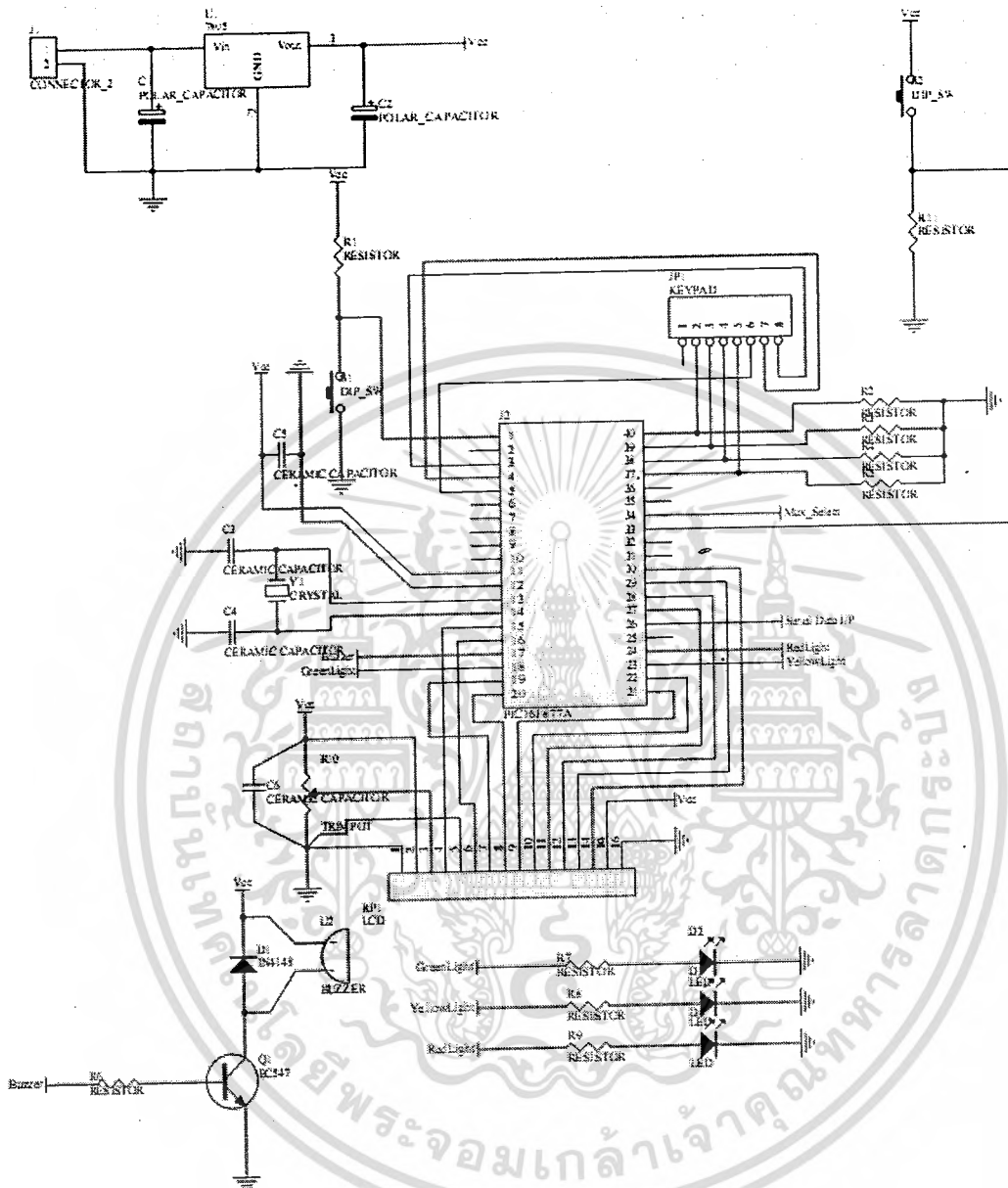
และในส่วนของเครื่องลูกข่ายจะทำหน้าที่ส่งข้อมูลในหน่วยความจำของตน ให้กับเครื่องอ่าน เมื่อได้รับพลังงาน โดยมีหน้าที่การทำงานดังนี้

7.1 เครื่องอ่าน (Reader)

7.1.1 ส่วนวงจรของเครื่องอ่าน

ในส่วนของเครื่องอ่านนั้น ได้มีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล PIC เบอร์ PIC16F877A ในการรับข้อมูลอนุกรมที่ได้มีการถอดรหัสข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย และได้มีการเพิ่มเติมให้สามารถทำงานแบบพึ่งตัวเอง (Stand Alone) ได้อีกด้วย โดยจะมีคุณสมบัติคร่าวๆ ดังนี้

1. สามารถรับข้อมูลพอร์ตอนุกรมได้ ในแบบอินเทอร์รัพท์
2. รองรับการอ่านข้อมูลได้กับเครื่องลูกข่ายทั้งแบบ ASK และ PSK
3. สามารถใช้คีย์-แพด ในการใส่รหัสผ่านได้
4. สามารถทำการเปลี่ยนรหัสผ่านได้
5. มีไฟแสดงสถานะ (OK , Verify , และ Deny)
6. แสดงผลด้วยจอ LCD ขนาด 16 x 2 line

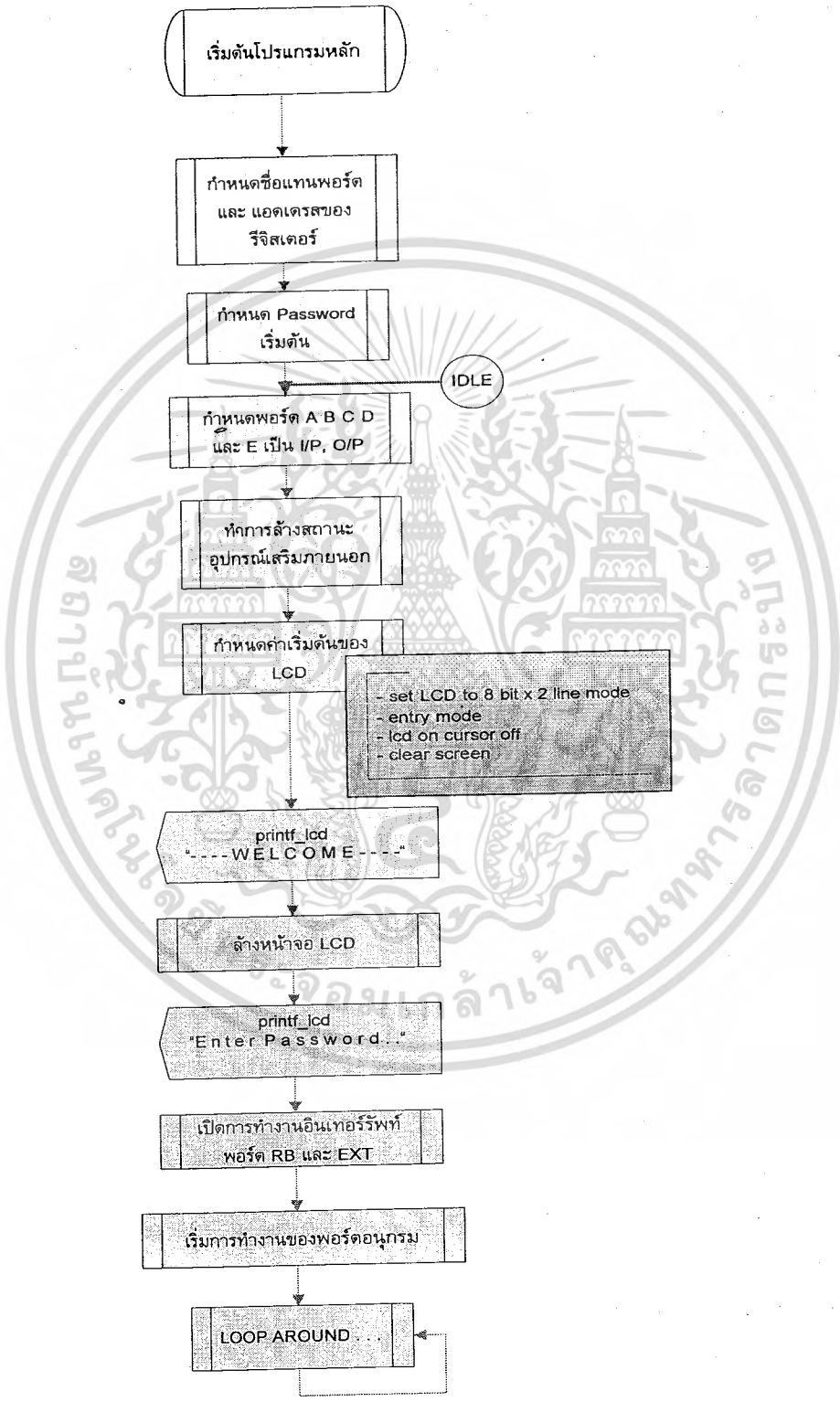


รูปที่ 7.1 แสดงวงจรทางดิจิทัล ในส่วนของเครื่องอ่าน

โดยหลักการทำงานในส่วนของวงจรดิจิทัลนี้ จะได้แสดงไว้ในโฟลวชาร์จ ต่อไป

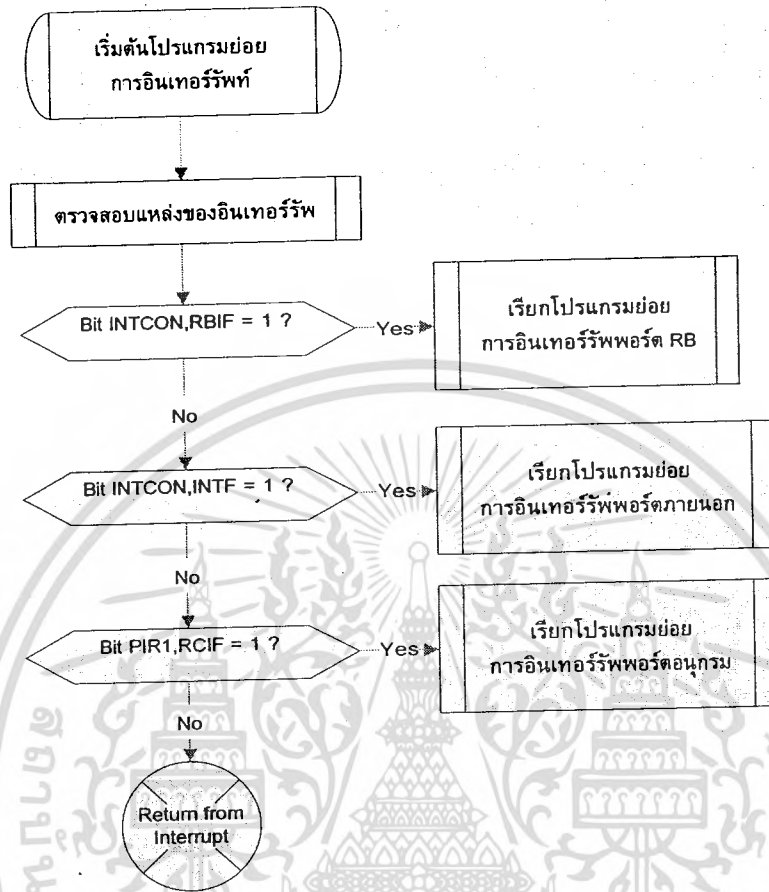
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.2 โฟลวชาร์ตการทำงานของเครื่องอ่าน

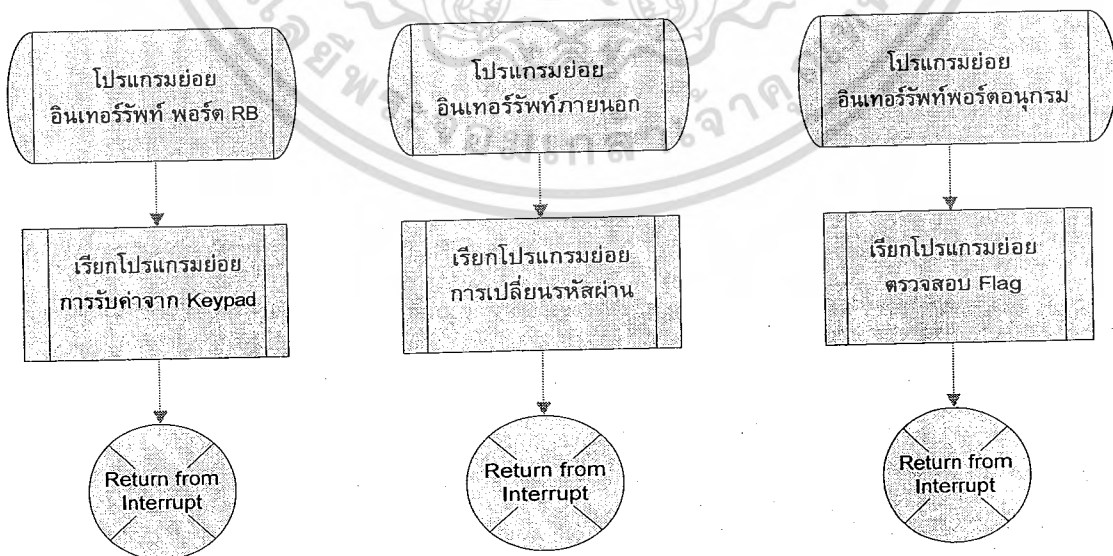


รูปที่ 7.2 Main Program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ที่ปรึกษาเท่านั้น! ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

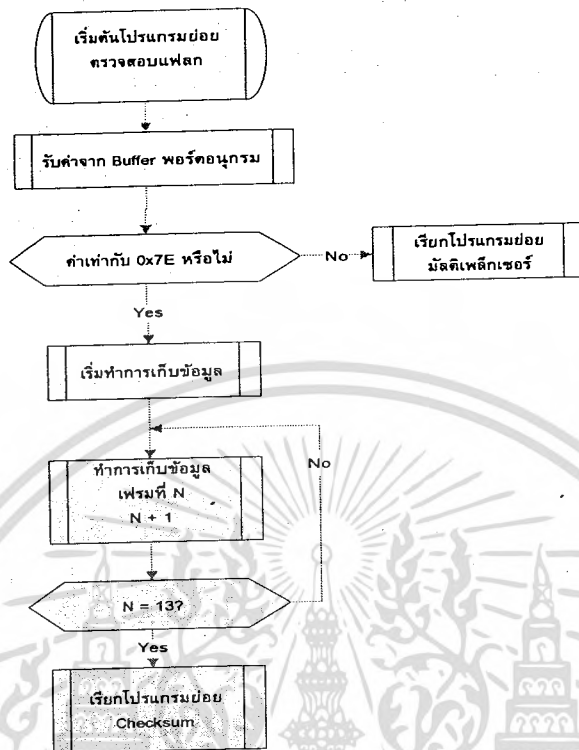


รูปที่ 7.3 Interrupt Vector

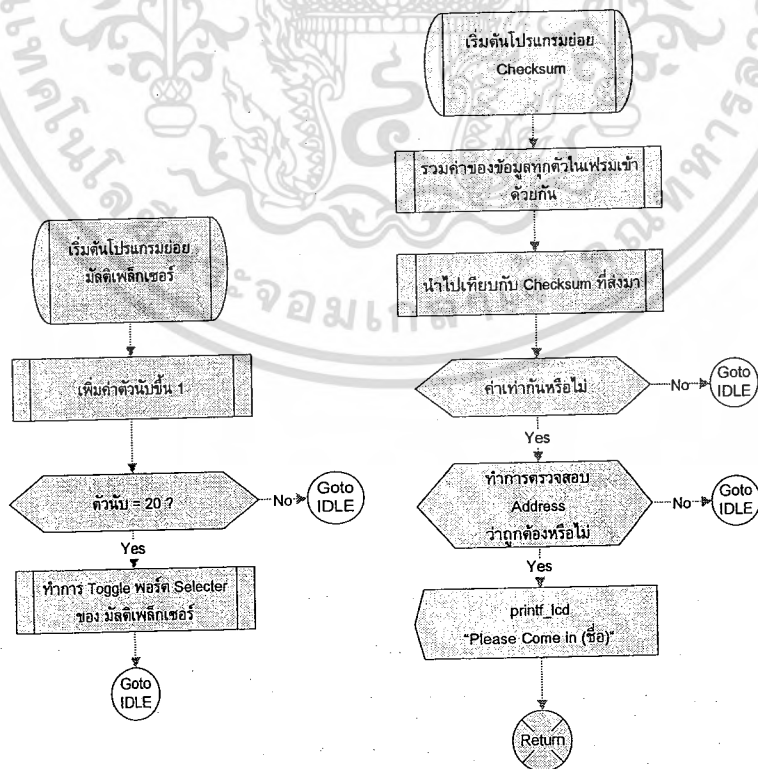


รูปที่ 7.4 Interrupt Service Routine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

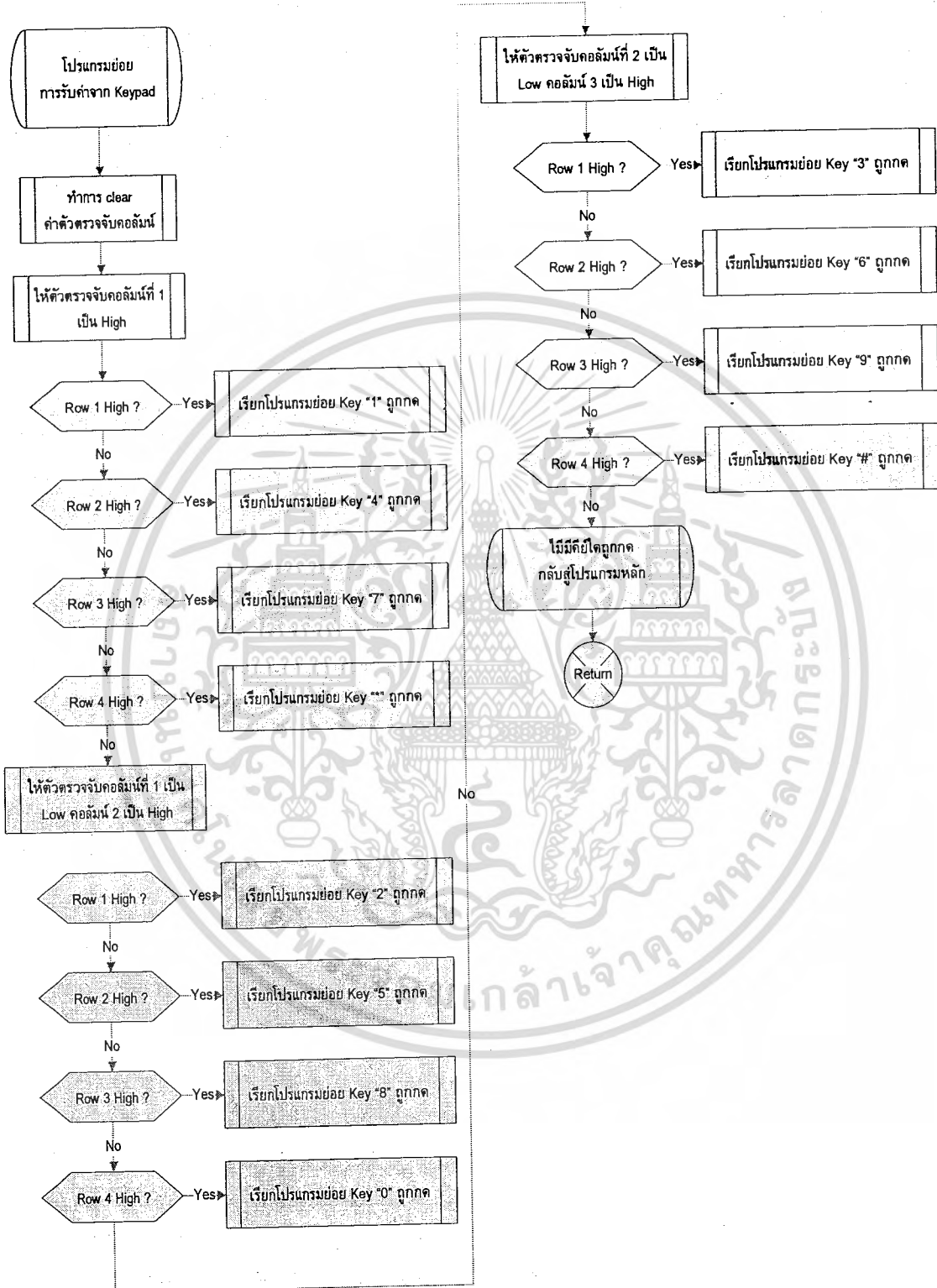


รูปที่ 7.5 โปรแกรม ตรวจสอบแฟลก



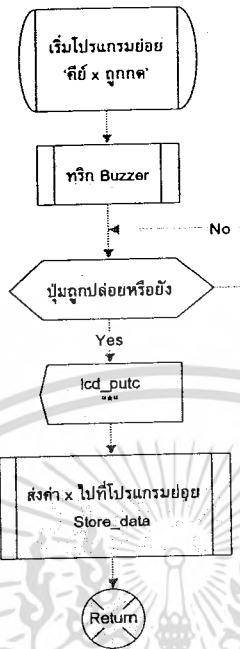
รูปที่ 7.6 โปรแกรม มัลติเพล็กซ์เซอร์ และ Checksum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในงานวิจัยและเผยแพร่ให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

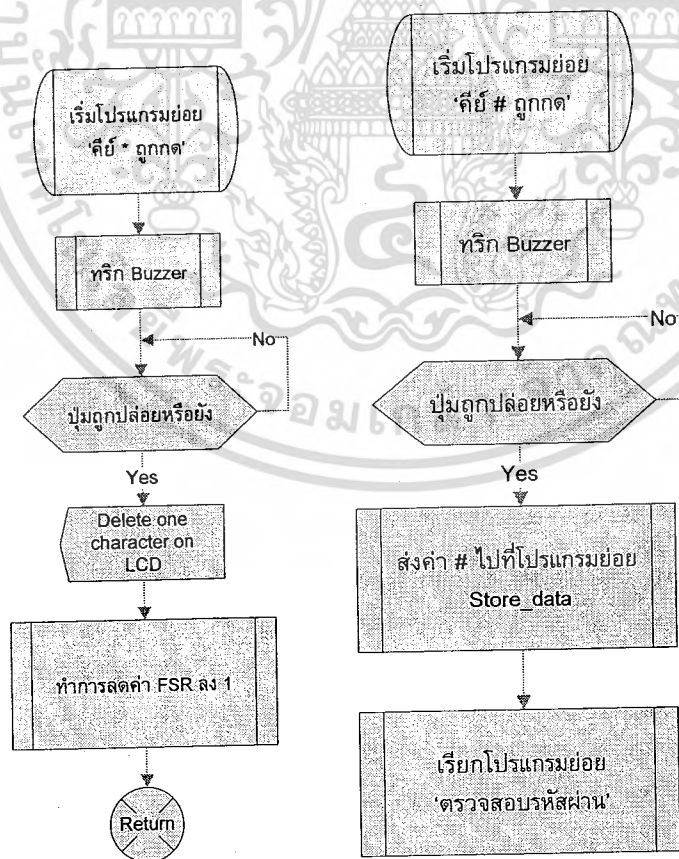


รูปที่ 7.7 โปรแกรมย่อย ตรวจสอบคีย์แพด

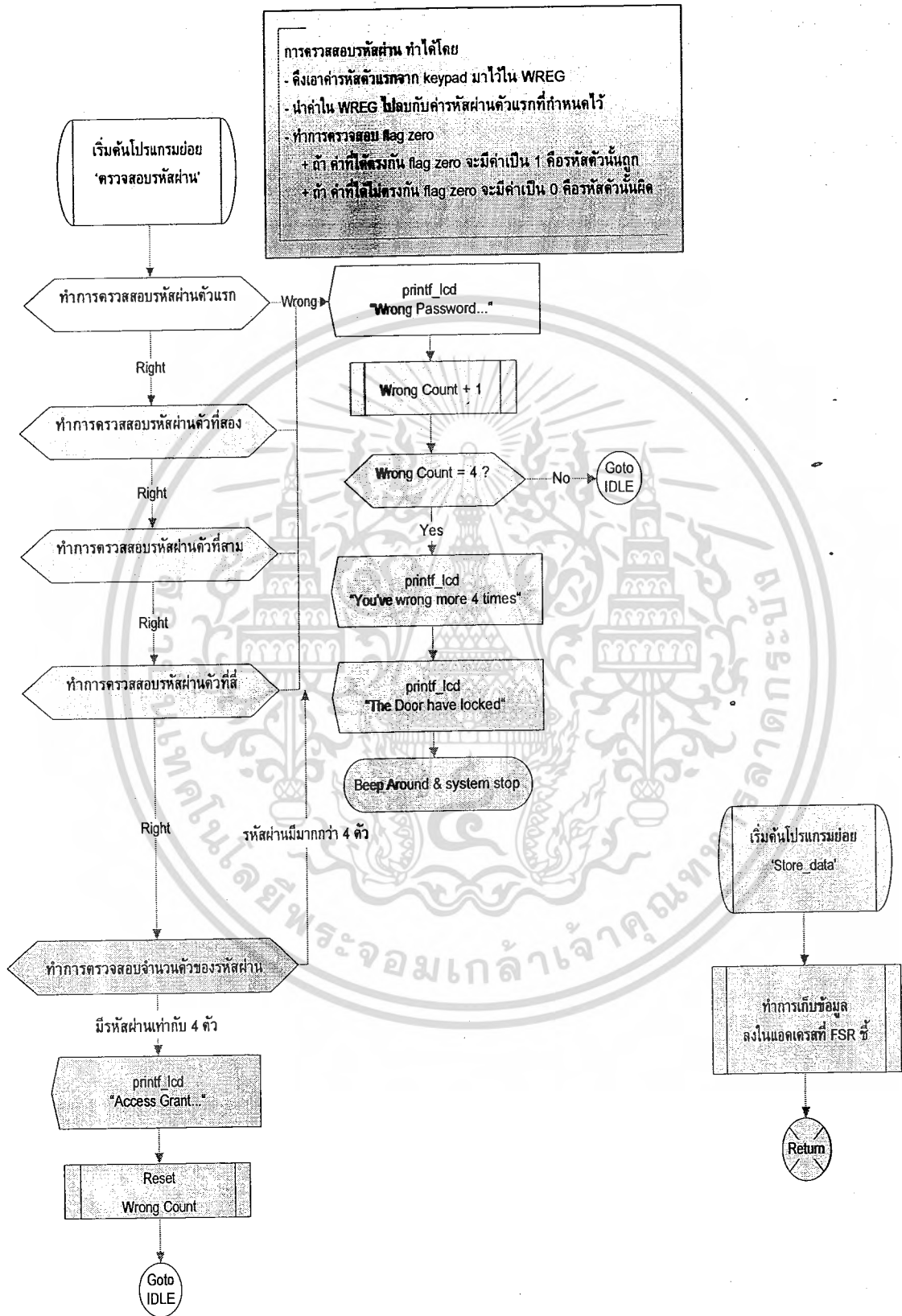
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



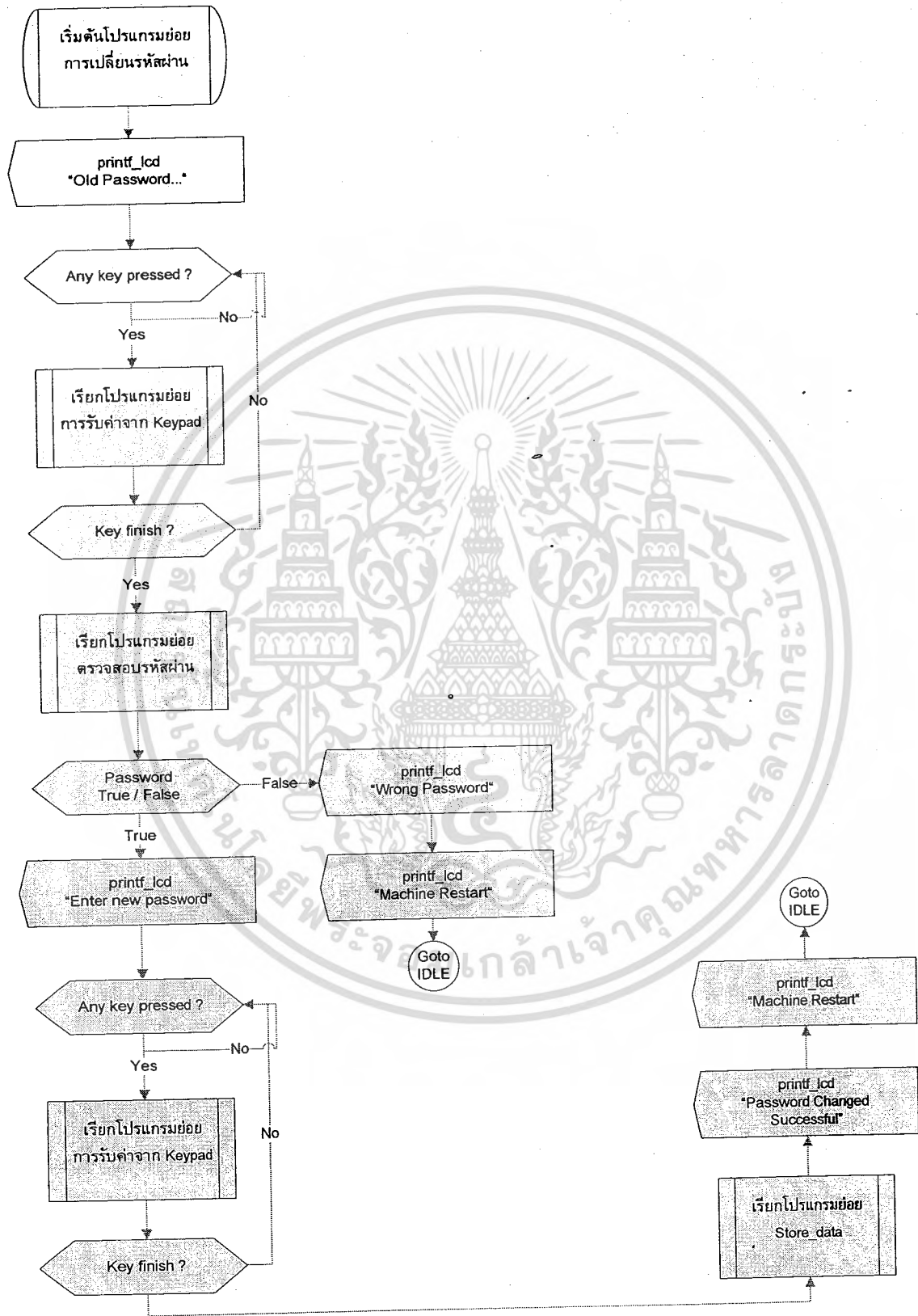
รูปที่ 7.8 โปรแกรมย่อย เก็บค่าจากคีย์แพด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 7.9 โปรแกรมย่อย การกดคีย์ '*' และ '#' ไม่ให้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 7.10 โปรแกรมย่อย เกี่ยวกับข้อมูล ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

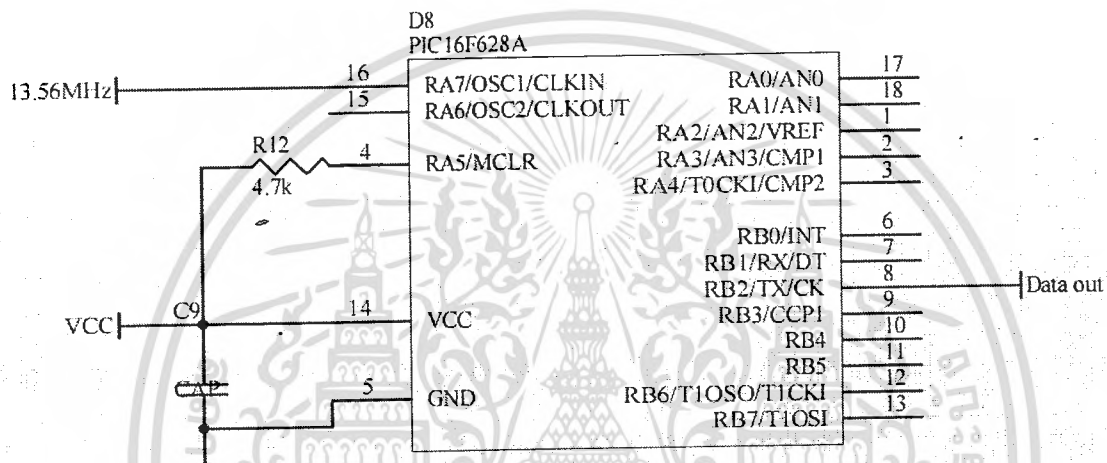


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 7.11 โปรแกรมย่อย การเปลี่ยนรหัสผ่าน เมื่อผู้ดูแลระบบกดปุ่มให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 เครื่องลูกข่าย

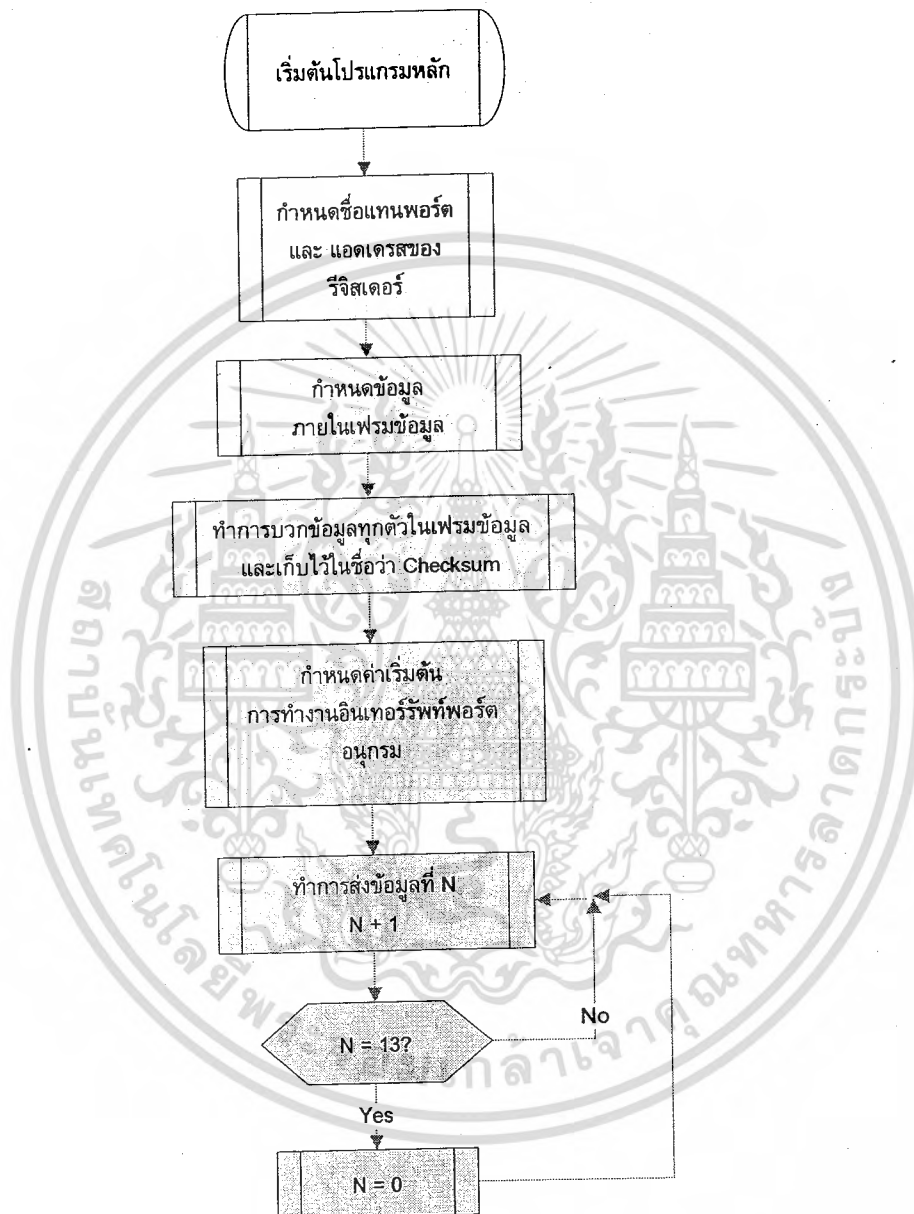
7.2.1 ส่วนวงจรของเครื่องลูกข่าย

ในส่วนของเครื่องลูกข่ายนั้น จะทำการส่งข้อมูลออกมาตลอดเวลาเมื่อได้รับพลังงาน โดยจะอาศัยสัญญาณนาฬิกาจาก Carrier recovery บทเครื่องลูกข่ายเอง



รูปที่ 7.12 แสดงวงจรทางดิจิทัล ในส่วนของเครื่องลูกข่าย

7.2.2 โฟลวชาร์ตการทำงานของเครื่องลูกข่าย

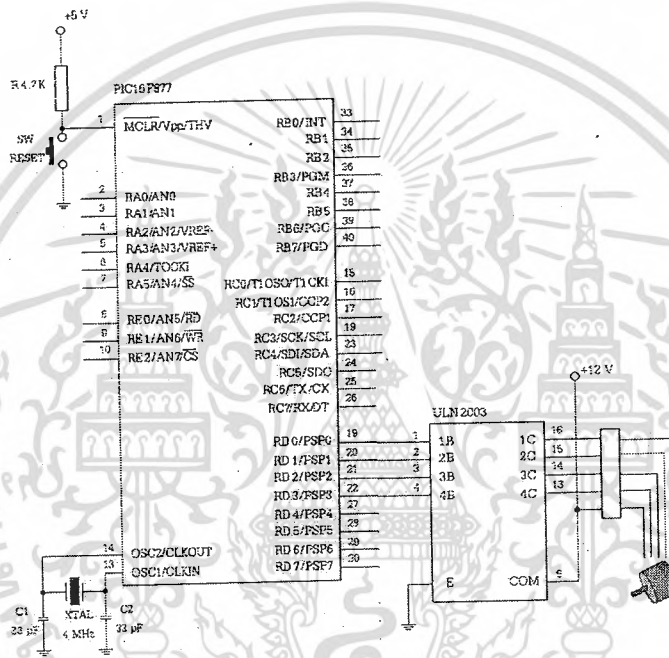


รูปที่ 7.13 โปรแกรมหลัก ของเครื่องลูกข่าย

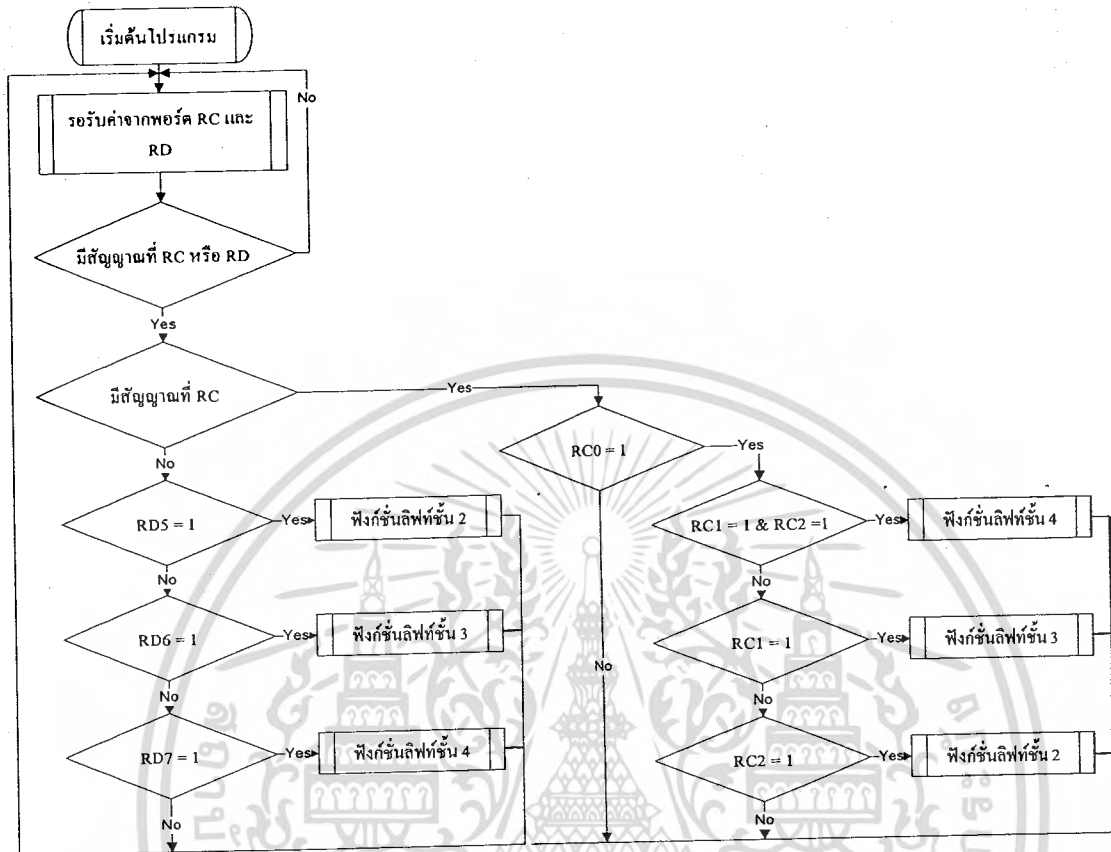
7.3 ส่วน Application

7.3.1 ส่วนของวงจรขับมอเตอร์

ส่วนของวงจรขับมอเตอร์ประกอบด้วย PIC16f877A ที่ได้รับข้อมูลจากเครื่องอ่านหรือสวิตช์ และนำข้อมูลที่ได้ออกมาตรวจสอบเพื่อนำไปควบคุมมอเตอร์ต่อไป

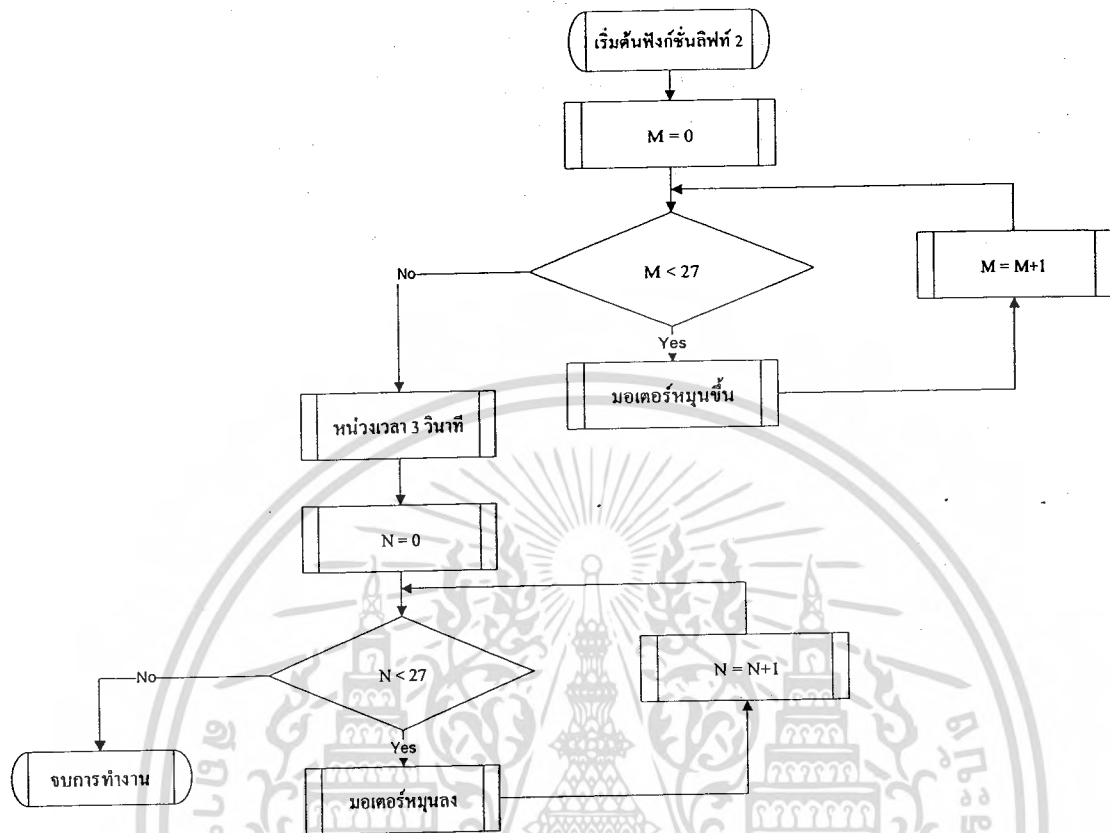


รูปที่ 7.14 แสดงวงจรทางดิจิทัล ในส่วน Application



รูปที่ 7.15 โปรแกรมหลัก ของ Application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.16 โปรแกรมย่อย ของ Application เพื่อกำหนดจำนวนรอบของมอเตอร์

บทที่ 8

ผลการทดลอง

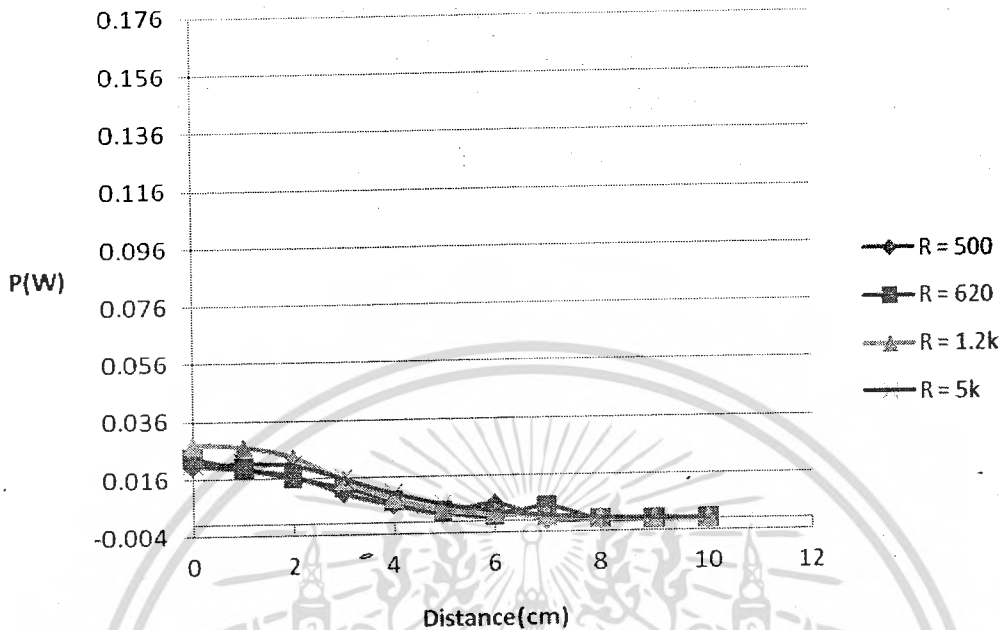
การทดสอบความสามารถในการถ่ายเทพลังงานที่ระยะห่างต่างๆ เพื่อทำการวิเคราะห์หาระยะที่มากที่สุด ที่ Tag สามารถทำงานได้ตามปกติ โดยวิเคราะห์ 3 สถานการณ์ คือ ที่ power amp ส่งกำลังงานสูงสุด ($V_{cc} = V_{ccmax}$) ส่งกำลังงานครึ่งหนึ่ง ($V_{cc} = \frac{1}{2} V_{ccmax}$) และ ส่งผ่านกำลังงานต่ำสุด ($V_{cc} = 1.2V$) โดยเริ่มจากการวัดกระแสที่ Tag แล้วทำการคำนวณหาค่ากำลัง เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของการส่งผ่าน โดยผลการทดลองที่ได้ สามารถแสดงได้ตามตาราง ข้างต้น

8.1 ผลการทดสอบ Load Regulation

$R_L(\Omega)$	ระยะทาง (cm)											
	0		1		2		3		4		5	
	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)
500	3.20	20.48	3.10	19.22	2.90	16.82	2.30	10.58	1.80	6.48	1.30	3.38
620	3.80	23.29	3.50	19.76	3.16	16.11	2.80	12.65	2.22	7.81	1.50	3.63
1.2k	5.80	28.03	5.70	27.09	5.30	23.41	4.30	15.41	3.20	8.53	2.30	4.41
5k	10.40	21.63	10.40	21.63	10.20	20.80	8.90	15.84	7.20	10.37	5.60	6.27

$R_L(\Omega)$	ระยะทาง (cm)											
	6		7		8		9		10			
	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)		
500	1.80	6.48	0.60	0.72	0.43	0.37	0.30	0.18	0.17	0.06		
620	1.10	1.95	1.80	5.23	0.56	5.06	0.40	0.26	0.25	0.10		
1.2k	1.80	2.70	1.40	1.63	0.90	0.68	0.70	0.41	0.40	0.13		
5k	4.30	3.70	3.00	1.80	2.10	0.89	1.50	0.45	1.07	0.23		

ตารางที่ 8.1 แสดง load Regulation ที่ระยะต่างๆ เมื่อ Reader ใช้ P_{MIN}



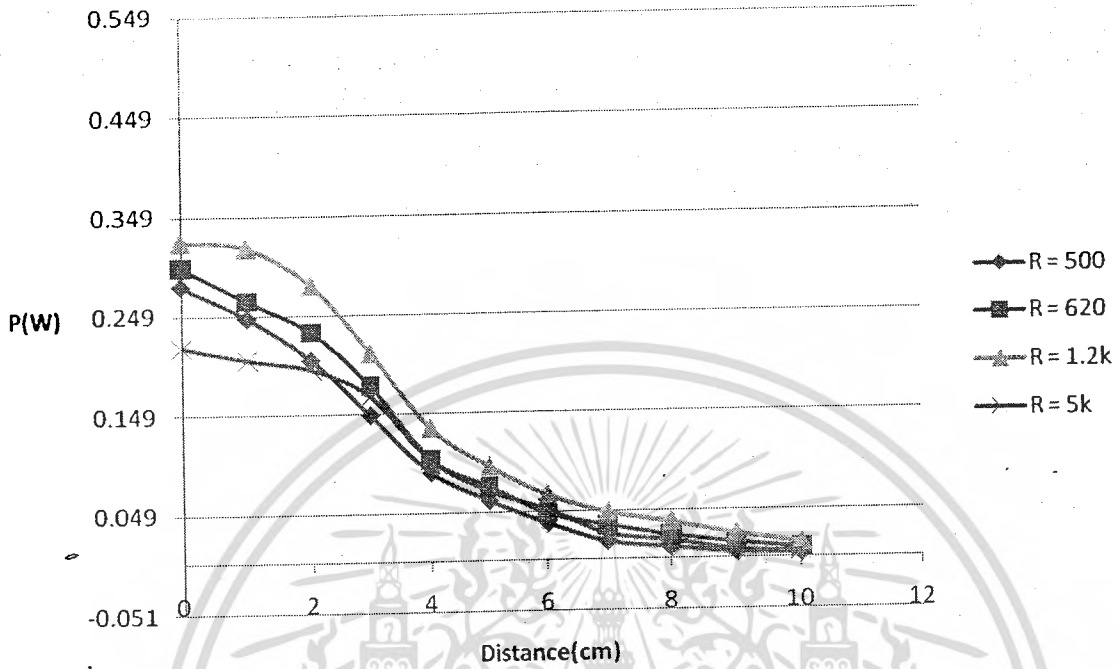
รูปที่ 8.1 กราฟ load Regulation ที่ระยะต่างๆ เมื่อ Reader ใช้ P_{MIN}

$R_L(\Omega)$	ระยะทาง (cm)											
	0		1		2		3		4		5	
	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)
500	11.80	278.5	11.10	264.4	10.10	204.0	8.60	147.9	6.70	89.8	5.50	60.5
620	13.60	298.3	12.80	264.3	12.00	232.3	10.50	177.8	8.00	103.2	6.80	74.6
1.2k	19.70	323.4	19.50	316.9	18.30	279.1	15.90	210.7	12.70	134.4	10.70	95.4
5k	33.00	217.8	32.00	204.8	31.20	194.7	28.90	167.0	22.60	102.2	18.80	70.7

$R_L(\Omega)$	ระยะทาง (cm)									
	6		7		8		9		10	
	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)	V (V_{rms})	P (mW)
500	4.30	37.0	3.00	18.0	2.40	11.5	1.70	5.8	1.55	4.8
620	5.40	47.0	4.60	34.1	3.80	23.3	3.10	15.5	2.40	9.3
1.2k	8.90	66.0	7.60	48.1	6.70	37.4	5.50	25.2	4.30	15.4
5k	16.00	51.2	11.50	26.5	9.70	18.8	6.70	9.0	5.60	6.3

ตารางที่ 8.2 แสดง load Regulation ที่ระยะต่างๆ เมื่อ Reader ใช้ $0.5P_{MAX}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



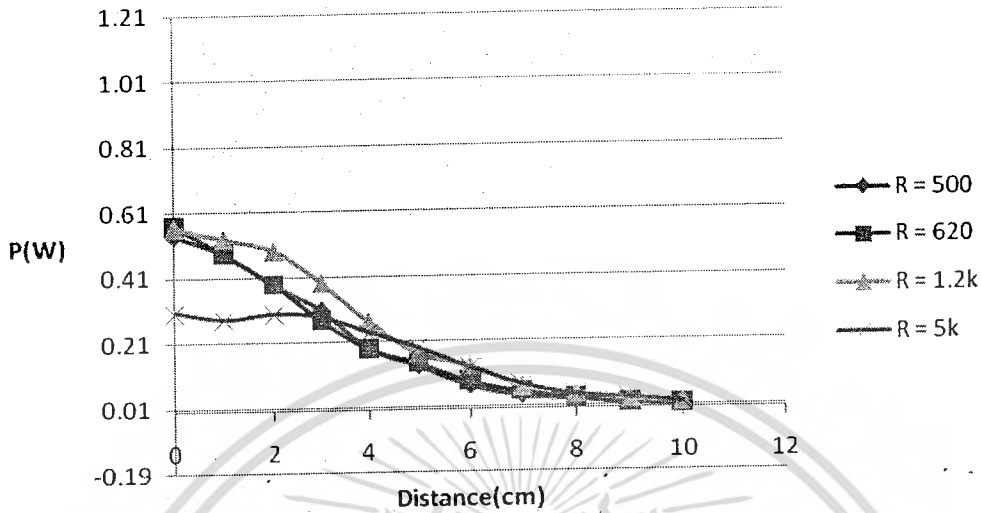
รูปที่ 8.2 กราฟ load Regulation ที่ระยะต่างๆ เมื่อ Reader ใช้ 0.5P_{MAX}

R _L (Ω)	ระยะทาง (cm)											
	0		1		2		3		4		5	
	V (V _{rms})	P (mW)	V (V _{rms})	P (mW)	V (V _{rms})	P (mW)	V (V _{rms})	P (mW)	V (V _{rms})	P (mW)	V (V _{rms})	P (mW)
500	16.4	537.9	15.5	480.5	13.9	386.4	12.4	307.5	9.7	188.2	8.2	134.5
620	18.8	570.1	17.3	482.8	15.5	387.5	13.1	276.8	18.0	188.1	9.4	142.5
1.2k	26.0	563.3	25.2	529.2	24.3	492.1	21.7	392.5	18.0	270.0	14.3	170.4
5k	39.0	304.2	37.5	281.3	38.6	298.0	37.9	287.3	34.5	238.1	30.8	189.7

R _L (Ω)	ระยะทาง (cm)											
	6		7		8		9		10			
	V (V _{rms})	P (mW)	V (V _{rms})	P (mW)	V (V _{rms})	P (mW)	V (V _{rms})	P (mW)	V (V _{rms})	P (mW)		
500	6.0	72.0	4.5	40.5	3.8	28.9	2.8	15.7	2.4	11.5		
620	7.3	86.0	5.8	54.3	4.5	32.7	3.3	17.6	2.7	11.8		
1.2k	12.6	132.3	9.0	67.5	7.2	43.2	5.7	27.1	4.4	16.1		
5k	25.3	128.0	19.5	76.1	14.6	42.6	12.9	33.3	9.6	18.4		

ตารางที่ 8.3 แสดง load Regulation ที่ระยะต่างๆ เมื่อ Reader ใช้ P_{MAX}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.3 แสดง Load Regulation ที่ระยะต่างๆ เมื่อ Reader ใช้ P_{MAX}

8.2 ผลการทดสอบ Line Regulation

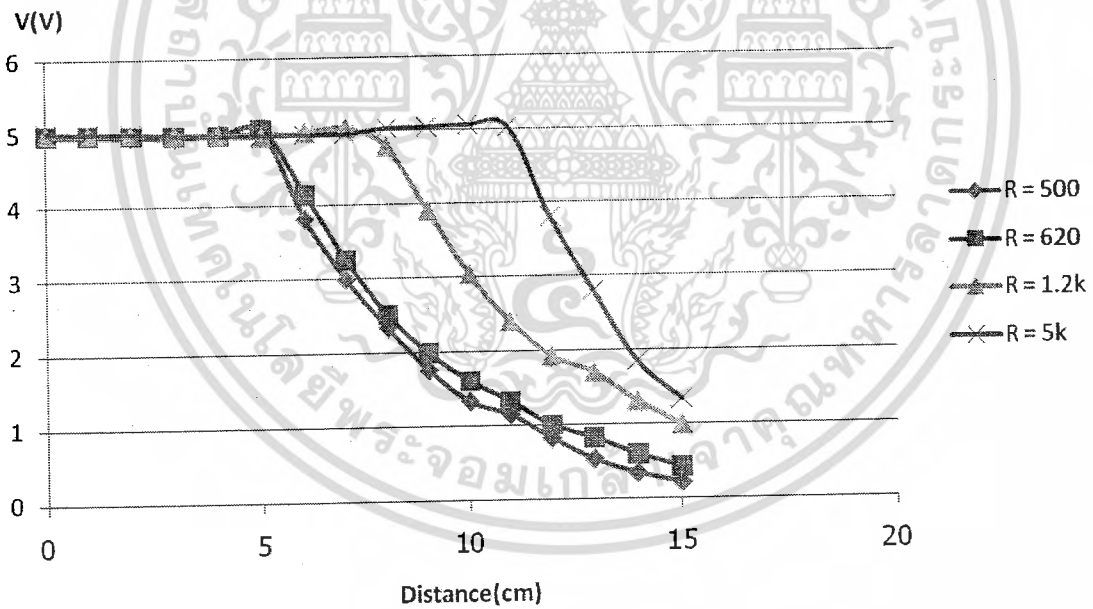
วัดความสามารถในการ regulate ไฟตรงของไอซี HT7150 ซึ่งเป็นไอซี 5 volt regulator เพื่อตรวจสอบว่าสามารถจ่ายไฟตรงให้ CPU PIC16F628 ได้อย่างเพียงพอ เนื่องจาก CPU ดังกล่าว ต้องการไฟตรง 5 volt เพื่อที่จะทำงานในความเร็วของสัญญาณนาฬิกาสูงกว่า 12 MHz

length	Vreg (V)			
	R = 500Ω	R = 620Ω	R = 1.2kΩ	R = 5kΩ
0	4.96	4.97	4.98	5.00
1	4.96	4.97	4.98	4.99
2	4.95	4.96	4.98	4.99
3	4.94	4.95	4.96	4.96
4	4.98	4.95	4.96	4.95
5	5.01	5.04	4.94	4.95
6	3.82	4.15	4.99	4.96
7	2.99	3.25	5.04	4.96
8	2.33	2.51	4.78	5.03
9	1.75	1.98	3.90	5.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

length	Vreg (V)			
	R = 500Ω	R = 620Ω	R = 1.2kΩ	R = 5kΩ
10	1.32	1.60	3.04	5.06
11	1.14	1.32	2.39	5.02
12	0.82	1.00	1.92	3.80
13	0.53	0.82	1.69	2.80
14	0.34	0.60	1.30	1.85
15	0.21	0.42	0.98	1.33

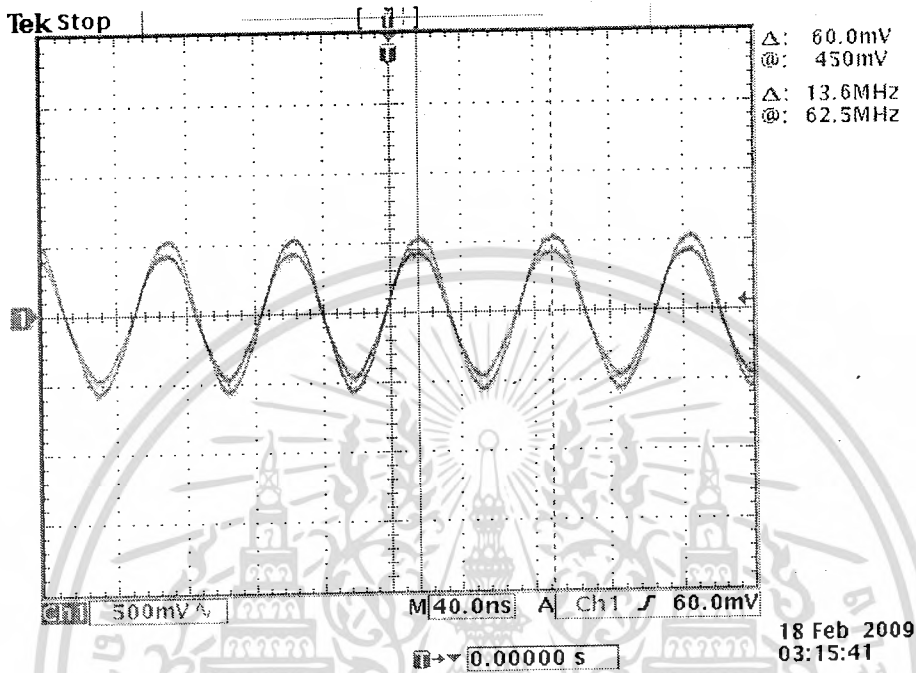
ตารางที่ 8.4 แสดง Line Regulation ที่ระยะต่างๆ



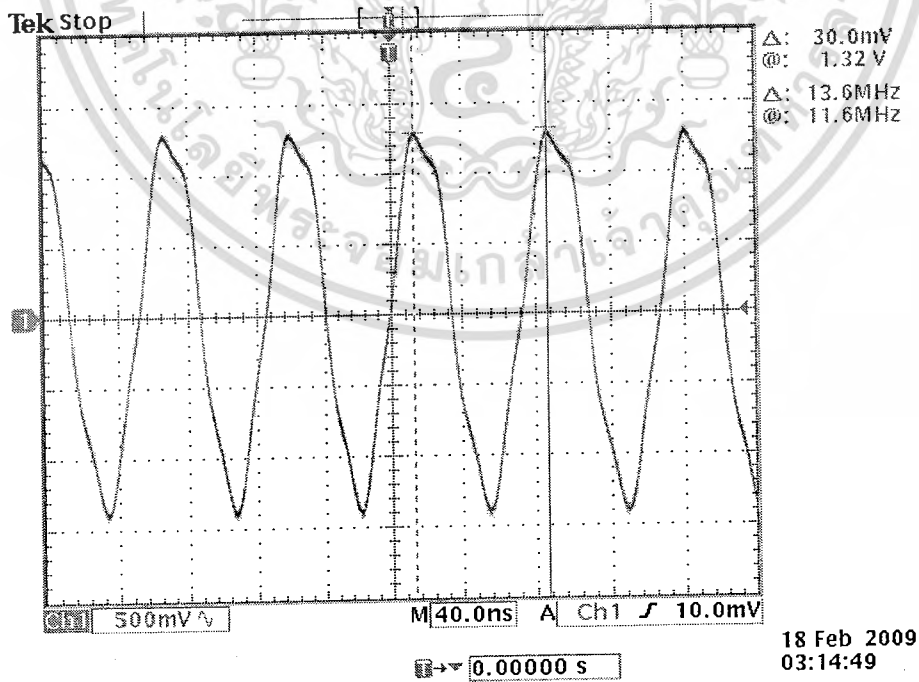
รูปที่ 8.4 กราฟ Line Regulation ที่ระยะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3 รูปสัญญาณ ณ จุดต่างๆ ของพาวเวอร์แอมป์

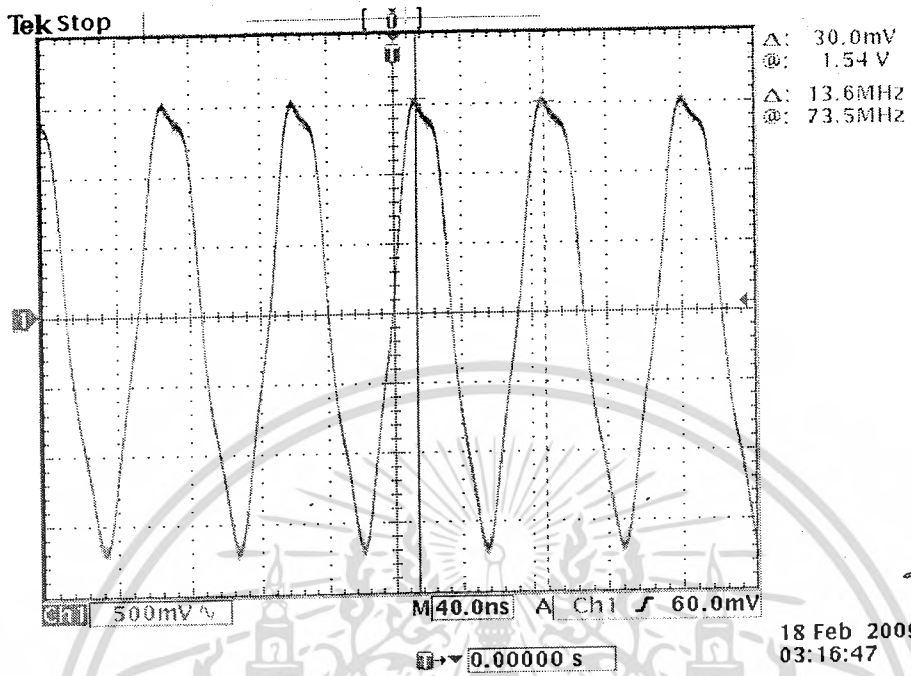


รูปที่ 8.5 คลื่น 13.56 MHz จาก Power AMP ที่เชื่อมต่อ Reader Coil (P_{MIN})

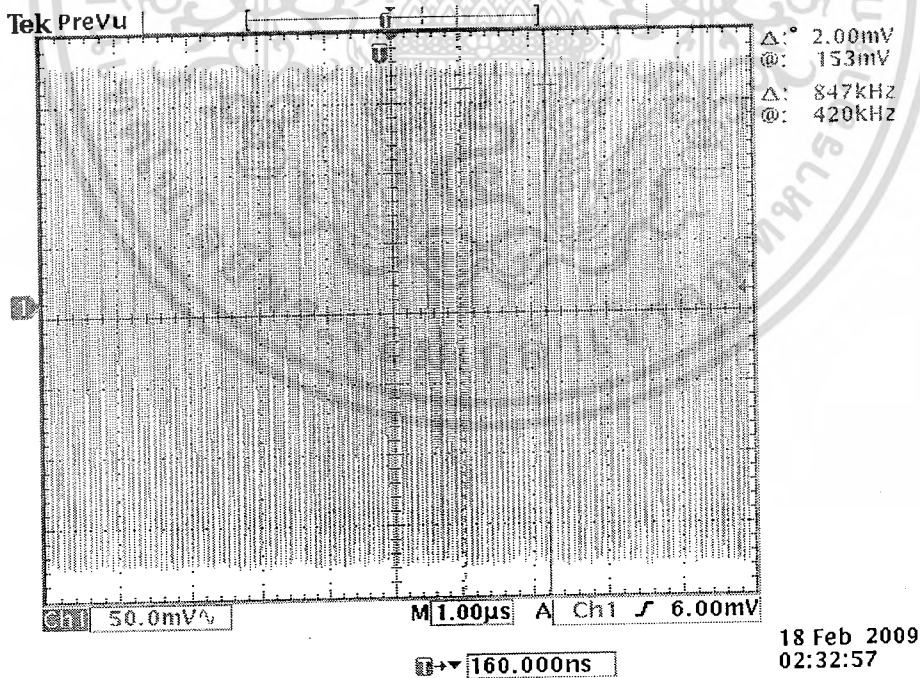


รูปที่ 8.6 คลื่น 13.56 MHz จาก Power AMP ที่เชื่อมต่อ Reader Coil ($0.5P_{MAX}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



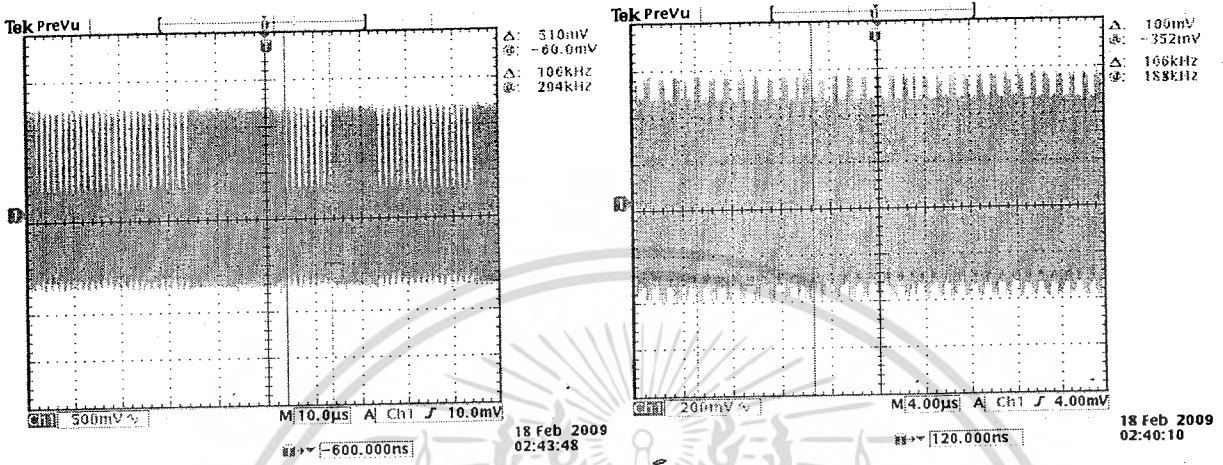
รูปที่ 8.7 คลื่น 13.56 MHz จาก Power AMP ที่เชื่อมต่อ Reader Coil (P_{MAX})



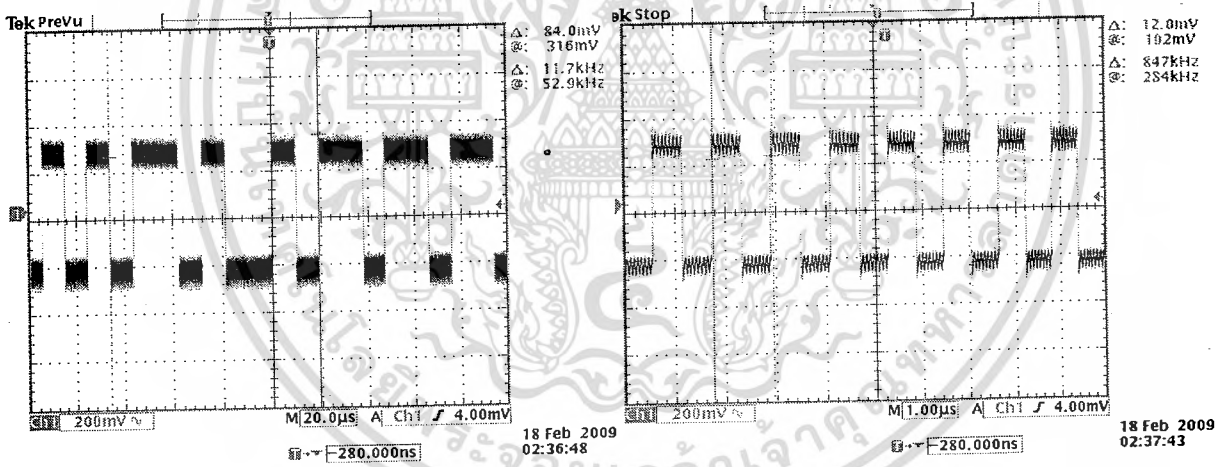
รูปที่ 8.8 สัญญาณจุด R/2 ที่จะนำไปทำการ Demod

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4 รูปสัญญาณส่วนต่างๆ บนแท็ก

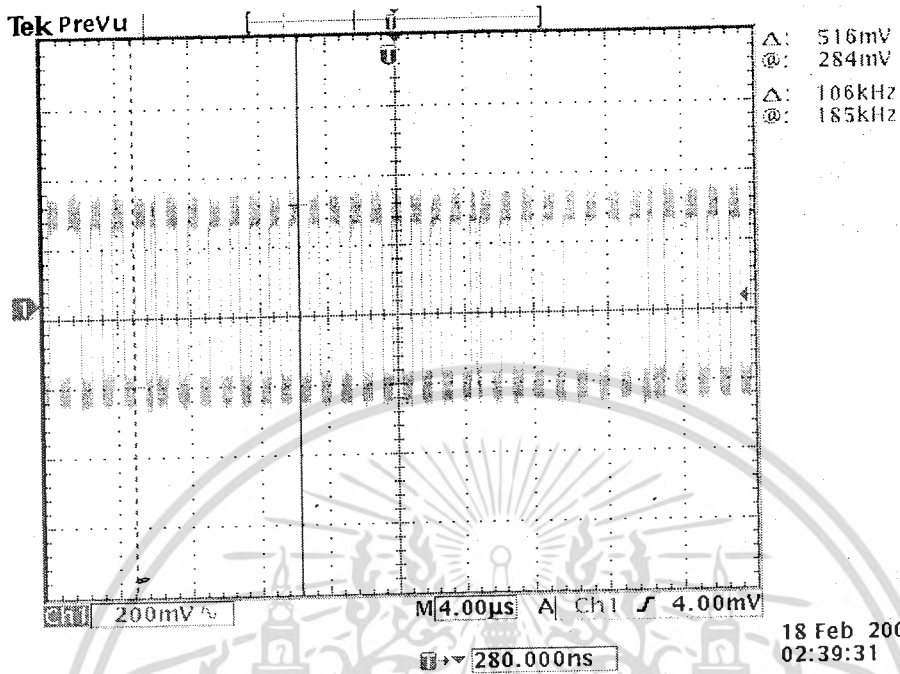


รูปที่ 8.9 สัญญาณจาก Tag Coil ASK และ PSK ตามลำดับ

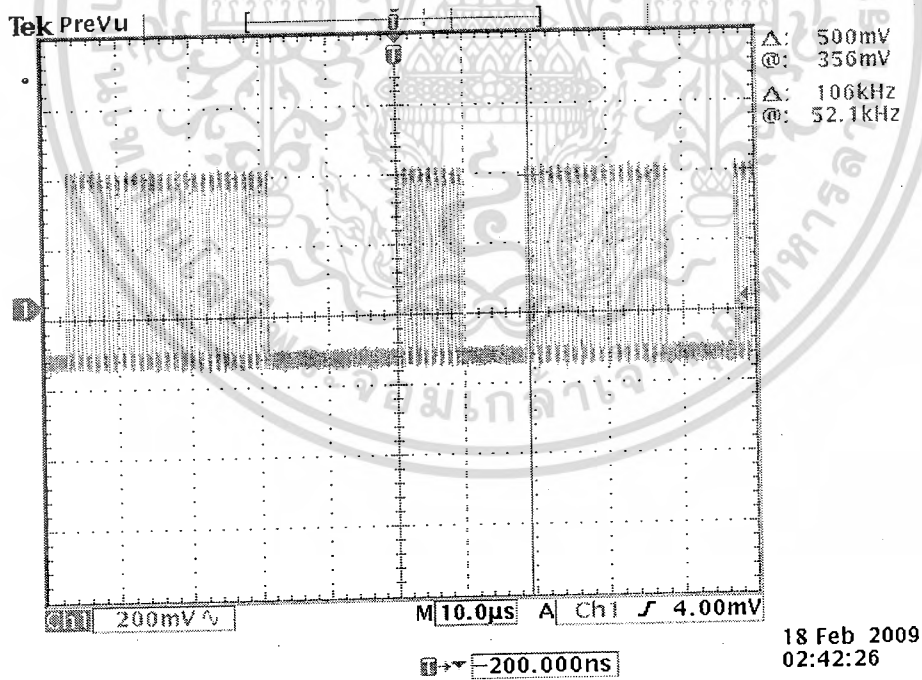


รูปที่ 8.10 สัญญาณจาก CPU และสัญญาณ Sub carrier ก่อนนำไป AND และ XOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

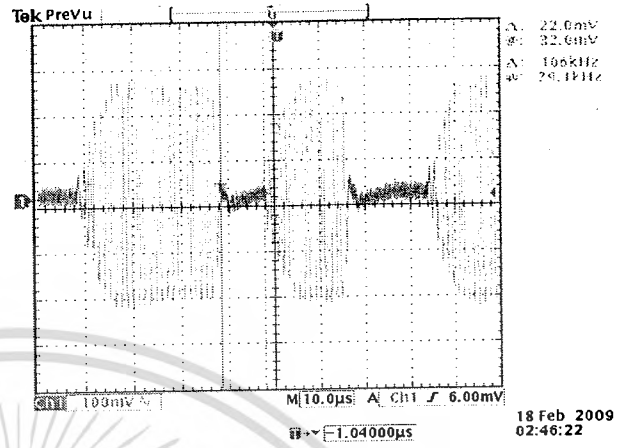
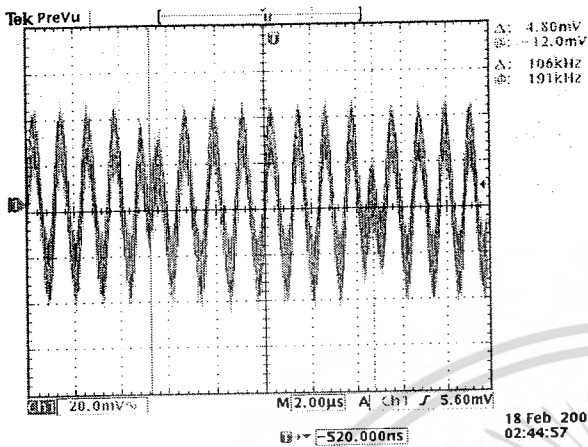


รูปที่ 8.11 ข้อมูล Tag ที่เกิดจากข้อมูลจาก PIC16f628 รวมกับ Sub-carrier ด้วย XOR Gate (PSK)

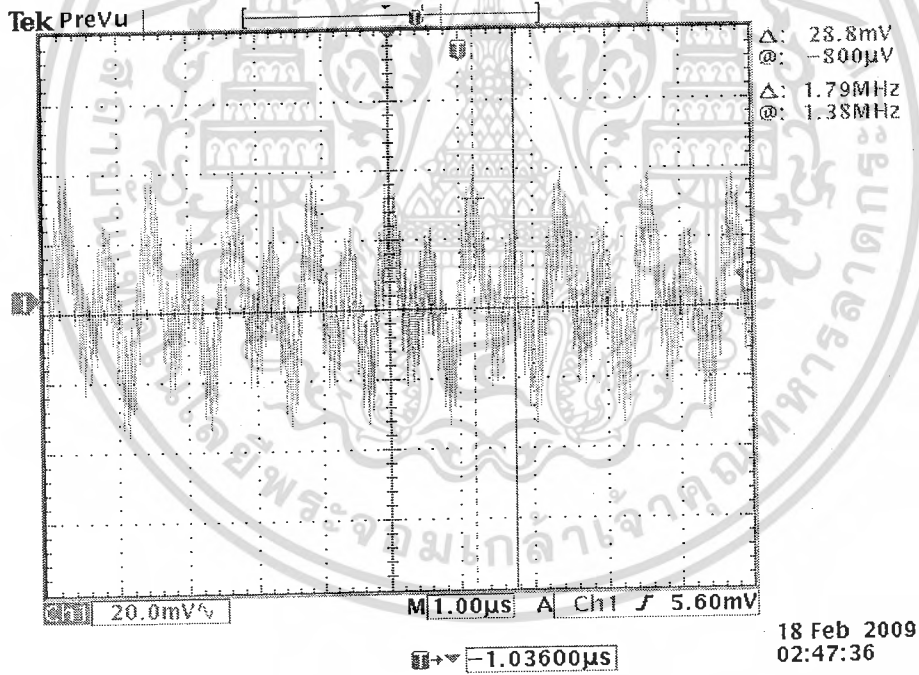


รูปที่ 8.12 ข้อมูล Tag ที่เกิดจากข้อมูลจาก PIC16f628 รวมกับ Sub-carrier ด้วย And Gate (ASK)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

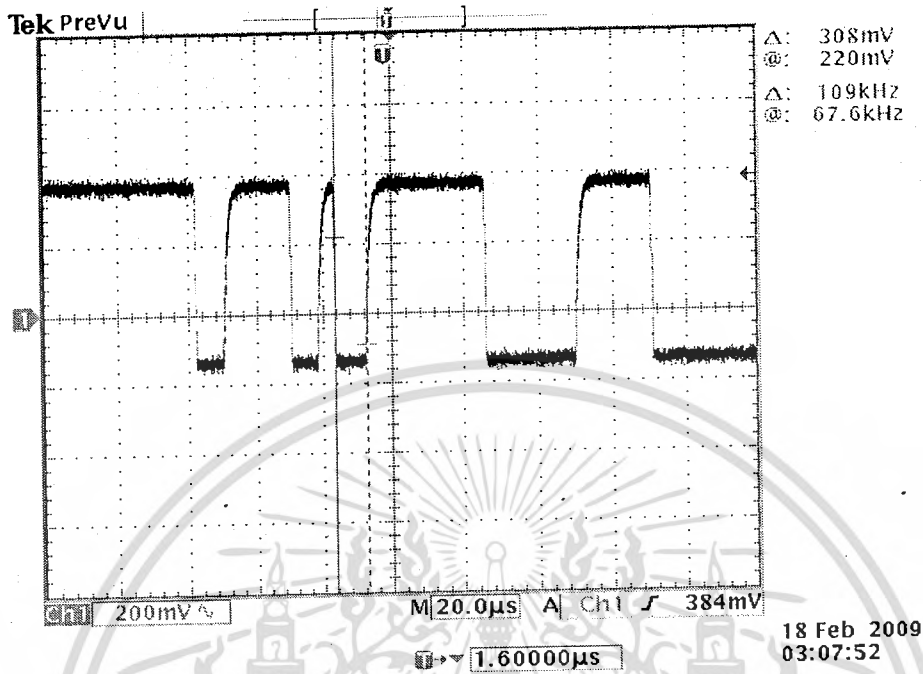


รูปที่ 8.13 sub carrier พร้อมทั้ง data ของ PSK และ ASK

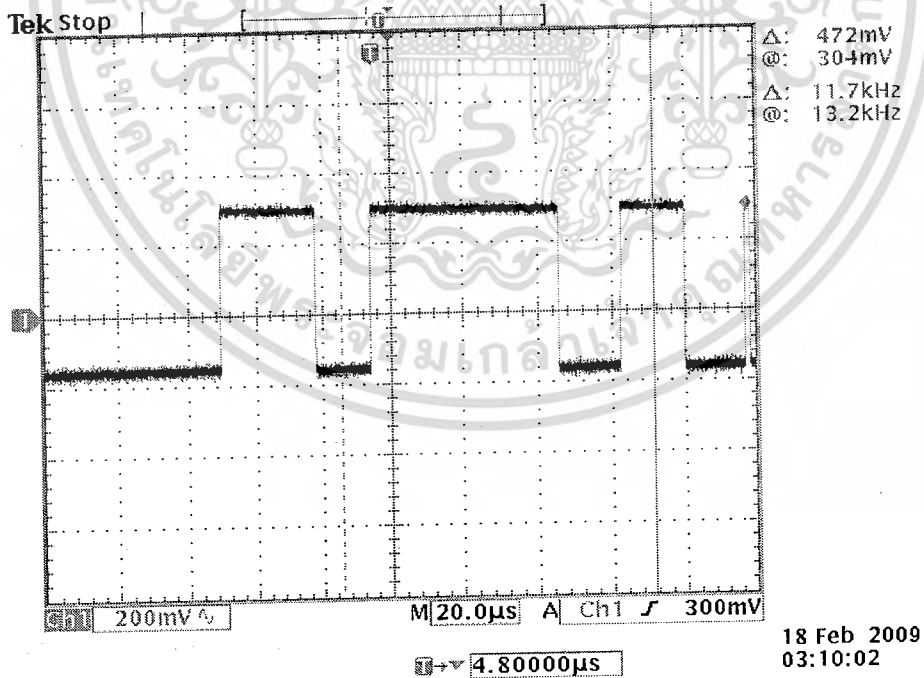


รูปที่ 8.14 คลื่น 1.6MHz ที่เกิดจากการคูณกันเองของ Sub carrier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



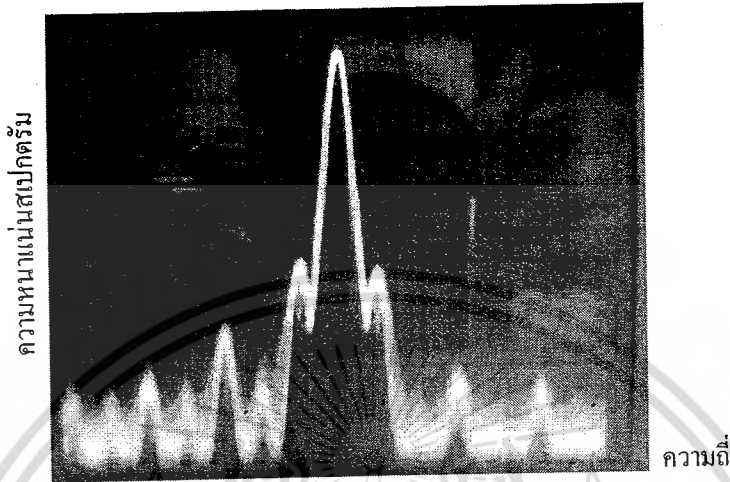
รูปที่ 8.15 ข้อมูลหลังจากการ demod แล้ว (ด้วย XOR gate)



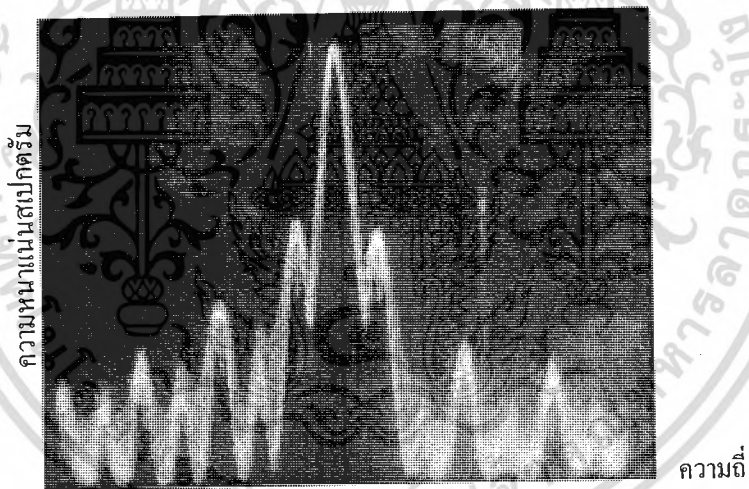
รูปที่ 8.16 ปรับปรุงสัญญาณจากรูปที่ 17 ให้มีความเหลี่ยมมากขึ้นก่อนเข้า multiplexer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.5 Spectrum Analyzer เหนือ Reader Coil



รูปที่ 8.17 PSK ที่ระยะ 5 CM (ก่อน CPU จะได้รับพลังงานไม่พอ)



รูปที่ 8.18 PSK ที่ระยะ 2 CM (ก่อนเกิดการ oscillate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9 บทสรุปและวิจารณ์

9.1 บทสรุป

ในรายงานเล่มนี้เป็นการทดลองเรื่อง RFID ที่ใช้งานในย่านความถี่ 13.56 MHz ประกอบด้วยวงจรสำคัญใหญ่ๆ 2 ส่วนคือ ส่วนของเครื่องอ่านและเครื่องรับ โดยเครื่องอ่านจะมีกำลังส่งสูงสุดประมาณ 1.2Watt แต่ที่ใช้จริงคือประมาณ 490 mWatt ซึ่งเครื่องอ่านจะประกอบไปด้วยส่วนของวงจรถูกกำเนิดความถี่ 13.56 MHz และส่วนของวงจรเพาเวอร์แอมป์ ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการส่งพลังงานไปให้กับเครื่องลูกข่ายในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านทางขดลวดของเครื่องอ่าน และในส่วนของเครื่องลูกข่ายจะส่งข้อมูลจาก CPU ที่มี Bit Rate 106 kbit/s ไปทำการมอดูเลตได้ทั้งแบบ ASK และ PSK โดยมี sub-carrier ความถี่ 847.5 kHz (ตามมาตรฐาน ISO15693 สำหรับ ASK และ ISO14443 สำหรับ PSK) เพื่อส่งไปยังเครื่องอ่าน และในส่วนของเครื่องลูกข่ายจะรับพลังงานจากเครื่องอ่านผ่านทางขดลวดและวงจรเรโซแนนซ์ แล้วนำมาทำการเรกติไฟร์ด้วยวงจรแบบบริดจ์ก่อนจะส่งไปยังวงจรรักษาระดับแรงดันเพื่อให้จ่ายแรงดันไฟตรง 5V เพื่อไปเลี้ยงวงจรของเครื่องลูกข่ายให้สามารถทำงานได้

9.1.1 วิเคราะห์เรื่องการส่งผ่านกำลังงาน

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อเครื่องลูกข่ายเข้ามาใกล้กับเครื่องอ่านมากขึ้นเท่าใดนั้น ก็จะยิ่งมีความสามารถในการส่งผ่านกำลังงานสูงมากขึ้นเรื่อยๆ โดยจะเริ่มเห็นการเพิ่มขึ้นได้ชัดในระยะต่ำกว่า 6cm และจะเพิ่มเร็วขึ้นที่ระยะ 4 cm ถึง 2 cm จากนั้นก็จะเริ่มเพิ่มขึ้นช้าลง โดยทั้งหมดนี้มีสาเหตุมาจากการที่ สายอากาศของเครื่องอ่านจะมองเห็น Tag เป็นโหลดที่เข้ามา coupling กับ Reader Coil

9.1.2 วิเคราะห์เรื่องการรักษาระดับแรงดันบน Tag

เนื่องจากว่า CPU ตระกูล PIC เมื่อทำงานที่ความถี่ของสัญญาณพิกาสสูงกว่า 12 MHz จะต้องใช้ไฟเลี้ยงเท่ากับ 5V* จึงจะสามารถทำงานได้ ดังนั้นจึงทำการทดลองว่าที่ระยะใดที่ตัว regulate สามารถจ่ายไฟตรงได้เท่ากับ 5V ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า วงจรที่ใช้งานจริง ($P_{out} = 1/2 P_{out MAX}$) สำหรับ Tag ที่โหลดเท่ากับ 10mA ($R_{load} = 500 \text{ ohm}$) ตัว regulate สามารถจ่ายไฟเลี้ยง 5V ได้ที่ระยะเท่ากับ 5 cm นั้นหมายความว่าที่ระยะ 5cm CPU จะส่งข้อมูลได้ ซึ่งในความเป็นจริง โครงการนี้ มีพิสัยการอ่านที่ 5cm เช่นกัน ซึ่งตรงกับค่าที่ได้จากการทดลอง และตัวหาร

เอกรังสีไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่จะเริ่มทำงานได้ เมื่อเทียบกับการกินกระแสบน Tag เท่ากับ 4 mA ($R_{load} = 1250 \text{ ohm}$) โดยจะสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพที่ระยะ 7 cm ซึ่งตรงกับที่สังเกตจาก spectrum analyzer เช่นกัน

*จากข้อมูลของทาง microchip

9.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

1. การคำนวณจำนวนรอบ และขนาดของตัวเหนี่ยวนำ รวมทั้งค่าความต้านทาน และค่าความจุของตัวเก็บประจุที่ได้ ไม่ตรงกับค่าอุปกรณ์ที่มีอยู่จริง จึงต้องมีการประยุกต์ และคัดแปลงอุปกรณ์ เพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้มากที่สุด

2. เนื่องจากความถี่ที่ใช้งานเป็นความถี่สูง จึงไม่สามารถต่อวงจรทดลองในโฟโต้บอร์ดได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องต่อวงจรทดลองบนแผ่นปริ้นท์อเนกประสงค์ หรือแผ่น PCB ที่ออกแบบไว้แทน ทำให้การเปลี่ยนอุปกรณ์เกิดความยุ่งยากมากกว่าการใช้ โฟโต้บอร์ด

3. สำหรับวงจรความถี่สูง ในการต่อสายไฟหรือสายสัญญาณ ถ้าสายที่ใช้มีความยาวมากจะมีผลต่อการทำงานของวงจร เนื่องจากจะมีสัญญาณความถี่สูงรบกวนได้ รวมไปถึงการออกแบบแผ่น PCB ที่ไม่ดีก็ย่อมมีผลต่อสัญญาณเช่นกัน

4. เนื่องจากออร์เคอร์ของฟิลเตอร์ และวงจรแมทซ์ซึ่งมีค่าสูง ทำให้การปรับค่าต่างๆของวงจรให้ได้ค่าที่เหมาะสม เพื่อที่จะทำให้วงจรสามารถทำงานได้ดีมีความยากมากขึ้น

5. จากการทำงาน demodulate สัญญาณทั้งแบบ PSK และ ASK นั้น ทำให้การออกแบบฟิลเตอร์ และการเลือกค่าตัวอุปกรณ์ มีความยากมากขึ้นกว่าการพิจารณาแบบเดียว

9.3 แนวทางการแก้ไขและการนำไปประยุกต์ใช้งาน

1. ในการเลือกใช้ตัวเก็บประจุเพื่อให้ได้ค่าตรงกับค่าที่คำนวณหรือนำไปใช้กับวงจรจน ควรจะใช้ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่ตัวหนึ่ง และอีกตัวควรเป็นแบบปรับค่าได้ นำมาต่อขนานกันเพื่อจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณและง่ายต่อการปรับค่า

2. ต้องทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้งานก่อนทำการบัดกรีทุกครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าเลือกใช้ อุปกรณ์ถูกต้องตามค่าที่ต้องการและควรตรวจสอบตำแหน่งขาของอุปกรณ์ที่ต้องการใช้ให้ถูกต้อง เพื่อป้องกันความผิดพลาด

3. ควรมีการคำนวณก่อนทุกครั้งที่จะทำการเลือกฟิลเตอร์และค่าอุปกรณ์ เพราะต้องใช้ค่า worse case ที่ได้มาจากทั้ง 2 โหมดร่วมกัน ในการเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.4 แนวทางการปรับปรุง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน

เราสามารถนำระบบ RFID ไปประยุกต์ใช้ในระบบโรงงานอุตสาหกรรม ห้างร้านต่างๆ หรือแม้แต่สถานศึกษาให้ได้จริงนั้น ระบบ RFID นี้จะต้องมีความถูกต้องและเที่ยงตรงมากกว่านี้ รวมทั้งต้องทำการลดข้อจำกัดต่างๆลงให้ได้มากที่สุด อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงการใช้พลังงานที่ต่ำที่สุด และสุดท้ายยังต้องคำนึงถึงความเหมาะสม สภาพแวดล้อม หรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับระเบียบการ ใช้นวัตกรรมที่วิเศษและกำลังส่งของแต่ละประเทศอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Assembly Code สำหรับ CPU บนเครื่องอ่าน

LIST P=16F877A

#INCLUDE<P16F877A.INC>

__config_HS_OSC & _WDT_OFF & _CP_OFF & _BODEN_ON & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _DEBUG_OFF

; fuse high speed osc, watchdog timer off, chip protect off, boden on, power up timer on,

; low voltage program off, debug mode off

```
#DEFINE RS PORTC,0 ; define label to port
#DEFINE E PORTC,1
#DEFINE BEEP PORTC,2
#DEFINE Right_Light PORTC,3
#DEFINE Warn_Light PORTC,4
#DEFINE Stop_Light PORTC,5
#DEFINE Mux_Pin PORTB,1
```

```
COUNT1 EQU 0x22 ; set address for used register
COUNT2 EQU 0x23
COUNT3 EQU 0x24
Time_Delay EQU 0x25
LED_Light EQU 0x26
COUNT0 EQU 0x27
W_TEMP EQU 0x28
STATUS_TEMP EQU 0x29
Second_to_dalay EQU 0x2A
Wrong_Count EQU 0x2B
FSR_TEMP EQU 0x2C
OFFSET EQU 0x2D
SIZE EQU 0x2E
mux_count EQU 0x2F
```

```
FIRST_Digit EQU 0x30
SECOND_Digit EQU 0x31
TRIRD_Digit EQU 0x32
FOURTH_Digit EQU 0x33
FIFTH_Digit EQU 0x34
```

```
FIRST_Password EQU 0x40
```

```
SECOND_Password EQU 0x41
```

```

TRIRD_Password      EQU      0x42
FOURTH_Password     EQU      0x43

Master_Address_1    EQU      0x50
Master_Address_2    EQU      0x51
Master_Address_3    EQU      0x52
Master_Address_4    EQU      0x53

Flag                EQU      0x60      ; set address for used register for rfid reciever
Address_1           EQU      0x61
Address_2           EQU      0x62
Address_3           EQU      0x63
Address_4           EQU      0x64
IDnumber_1          EQU      0x65
IDnumber_2          EQU      0x66
IDnumber_3          EQU      0x67
IDnumber_4          EQU      0x68
Misc_1              EQU      0x69
Misc_2              EQU      0x6A
Misc_3              EQU      0x6B
Check_sum           EQU      0x6C

ORG h'0000'
GOTO MAIN          ; program start -> goto main

ORG h'0004'
BCF STATUS,RP0    ; select register bank 0 for INTCON register
BCF STATUS,RP1
BTFSC INTCON,RBIF ; check interrupt overflow of PORTB
GOTO ISR_PORTB
BTFSC INTCON,INTF ; check interrupt overflow of EXTERNAL INT
GOTO ISR_RB0
BTFSC PIR1,RCIF
CALL check_flag
RETFIE

ISR_PORTB          ; interrupt service routine for PORTB

BCF INTCON,RBIE   ; disable portb interrupt to prevent any jamming
CALL Scan_Key     ; use function 'Scan_Key'

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BCF    INTCON,RBIF                ; clear interrupt flag
BSF    INTCON,RBIE                ; re-enable portb interrupt
BSF    PORTA,1                    ; initialize row check(for keypad)
BSF    PORTA,2
BSF    PORTA,3
RETFIE

```

```

ISR_RB0                                ; interrupt service routine for PORTB
BCF    INTCON,INTE                ; disable ext interrupt to prevent any jamming
CALL   Change_Password            ; call function 'Change_Password'
RETFIE

```

```

ORG    0x0020                        ; address for table

```

```

Message_1    ADDWF PCL                ; add 'Program Counter Lower' bit with offset for select character
DT           'O','l','d',' ','P','a','s','s','w','o','r','d',' ',';'
Return

```

```

Message_2    ADDWF PCL
DT           'E','n','t','e','r',' ','n','e','w',' ','P','a','s','s',';'
Return

```

```

Message_3    ADDWF PCL
DT           'W','r','o','n','g',' ','P','a','s','s','w','o','r','d',' ',';'
Return

```

```

Message_4    ADDWF PCL
DT           'M','a','c','h','i','n','e',' ','R','e','s','t','a','r','t',';'
Return

```

```

Message_5    ADDWF PCL
DT           'P','a','s','s','w','o','r','d',' ','C','h','a','n','g','e','d'
Return

```

```

Message_6    ADDWF PCL
DT           ' ',' ','S','u','c','c','e','s','s','f','u','l',' ',';'
Return

```

```

Message_7    ADDWF PCL
DT           'A','c','c','e','s','s',' ','G','r','a','n','t',' ',';'

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Return

```
Message_8    ADDWF PCL
              DT      'P','I','e','a','s','e',' ','C','o','m','e',' ','I','n',' ','
              Return
```

```
Message_9    ADDWF PCL
              DT      'E','I','e','v','a','t','e',' ','U','p',' ','t','o',' ','
              Return
```

```
ORG h'0100    ; main program address
```

```
MAIN          MOVLW "1" ; Enter Default Password Here. ...
              MOVWF FIRST_Password
              MOVLW "2"
              MOVWF SECOND_Password
              MOVLW "3"
              MOVWF TRIRD_Password
              MOVLW "4"
              MOVWF FOURTH_Password

              MOVLW 0x55
              MOVWF Master_Address_1
              MOVLW 0xAA
              MOVWF Master_Address_2
              MOVLW 0x55
              MOVWF Master_Address_3
              MOVLW 0xAA
              MOVWF Master_Address_4
```

```
CLRF Wrong_Count
```

----- Define Main Program -----

```
IDLE          BSF STATUS,RP0
              MOVLW b'11110001' ; set direction of signal on port
              CLRF TRISA
              MOVWF TRISB
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV LW b'11000000'
MOV WF TRISC
CLRF TRISD
MOV LW h'06' ; assign porta as digital i/p, o/p
MOV WF ADCON1
BCF STATUS,RP0

;BSF INTCON,GIE ; move interrupt enable to end of initialize LCD
;BSF INTCON,RBIE ; to prevent unwanted key touching
BSF PORTA,1 ; initialize row check(for keypad)
BSF PORTA,2
BSF PORTA,3
BCF Right_Light ; reset any peripheral
BCF Warn_Light
BCF Stop_Light
BCF BEEP
BCF INTCON,INTF ; clear interrupt flag
MOV LW h'30' ; set pointer to first data to store password
MOV WF FSR
GOTO initialize_LCD ; goto initialize_LCD

;----- Scan Key -----
Scan_Key ; initialize porta for key scanning
BCF PORTA,1
BCF PORTA,2
BCF PORTA,3

Polling_Scan
BSF PORTA,1 ; set bit first row of keypad
BTFSC PORTB,4 ; key '1' pressed? if no -> skip to check key 4
CALL Key1_Pressed ; pressed on key '1' call 'Key1_Pressed' function
BTFSC PORTB,5
CALL Key4_Pressed
BTFSC PORTB,6
CALL Key7_Pressed
BTFSC PORTB,7
CALL KeyStar_Pressed
MOV LW .30 ; delay for a while
CALL Dynamic_DELAY
BCF PORTA,1 ; no pressed on 1st row -> goto second row
BSF PORTA,2
BTFSC PORTB,4

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL Key2_Pressed
BTFSC PORTB,5
CALL Key5_Pressed
BTFSC PORTB,6
CALL Key8_Pressed
BTFSC PORTB,7
CALL Key0_Pressed
MOVLW .30
CALL Dynamic_DELAY
BCF PORTA,2
BSF PORTA,3
BTFSC PORTB,4
CALL Key3_Pressed
BTFSC PORTB,5
CALL Key6_Pressed
BTFSC PORTB,6
CALL Key9_Pressed
BTFSC PORTB,7
CALL KeySquare_Pressed
MOVLW .255
CALL Dynamic_DELAY
BCF PORTA,3
RETURN

```

----- initialize LCD -----

initialize_LCD

```

CALL DELAY
MOVLW b'00111000' ; set LCD to 8 bit mode, 2 line, 5x7 dot
CALL WR_INS
MOVLW b'00000110' ; Entry mode
CALL WR_INS
MOVLW b'00001100' ; LCD ON , Cursor off
CALL WR_INS
MOVLW b'00000001' ; clear data in DDRAM ( clear screen )
CALL WR_INS

```

----- write data to LCD -----

Idle_Message

```

MOVLW " " ; put character into Working register

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL WR_DATA ; call WRite_DATA to write data on LCD
MOVLW "-"
CALL WR_DATA
MOVLW "-"
CALL WR_DATA
MOVLW "-"
CALL WR_DATA
MOVLW " "
CALL WR_DATA
MOVLW "W"
CALL WR_DATA
MOVLW "E"
CALL WR_DATA
MOVLW "L"
CALL WR_DATA
MOVLW "C"
CALL WR_DATA
MOVLW "O"
CALL WR_DATA
MOVLW "M"
CALL WR_DATA
MOVLW "E"
CALL WR_DATA
MOVLW " "
CALL WR_DATA
MOVLW "-"
CALL WR_DATA
MOVLW "-"
CALL WR_DATA
MOVLW "-"
CALL WR_DATA
MOVLW 2
CALL DELAY_vary_sec
MOVLW b'00000001' ; clear data in DDRAM ( clear screen )
CALL WR_INS

MOVLW "E"
CALL WR_DATA
MOVLW "n"
CALL WR_DATA

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVLW "t"
CALL WR_DATA
MOVLW "e"
CALL WR_DATA
MOVLW "r"
CALL WR_DATA
MOVLW " "
CALL WR_DATA
MOVLW "p"
CALL WR_DATA
MOVLW "a"
CALL WR_DATA
MOVLW "s"
CALL WR_DATA
MOVLW "s"
CALL WR_DATA
MOVLW "w"
CALL WR_DATA
MOVLW "o"
CALL WR_DATA
MOVLW "r"
CALL WR_DATA
MOVLW "d"
CALL WR_DATA
MOVLW "."
CALL WR_DATA
MOVLW "."
CALL WR_DATA
MOVLW h'0D' ; move cursor to new line
CALL WR_INS
MOVLW h'0F' ; LCD On Cursor Blink
CALL WR_INS
BCF STATUS,RP0 ; enable interrupt here to prevent
BSF INTCON,GIE ; unwant keypress
BSF INTCON,RBIE
BSF INTCON,PEIE

BSF INTCON,INTE

```

initialize_serial_interrupt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BSF          INTCON,GIE          ; <-- error 19/12/2008
BSF          STATUS,RP0
MOVLW       0x07                  ;          BAUD rate 106000
MOVWF       SPBRG
CLRF        TXSTA                  ;          initial Xmit status control register
BSF         TXSTA,BRGH            ;          high speed
BCF         TXSTA,SYNC            ;          asynchronous mode

BCF         STATUS,RP0
CLRF        RCSTA                  ;          initial Rcv status control register
BSF         RCSTA,CREN            ;          continuous receive
BSF         RCSTA,RX9            ;          no 9th bit
BSF         RCSTA,SPEN           ;          serial port enable

BSF         STATUS,RP0
BSF         TXSTA,TXEN            ;          start to Xmit
BCF         STATUS,RP0
BSF         STATUS,RP0
BSF         PIE1,RCIE            ;          enable receive port int in pic interrupt
BCF         STATUS,RP0

GOTO        $                      ;          <- Loop around here

Right_Message
BSF         Right_Light          ;          Turn on Green LED
CLRF        Wrong_Count          ;          Access grant -> reset wrong count
MOVLW      '00000001'            ;          clear data in DDRAM ( clear screen )
CALL        WR_INS
MOVLW      "A"                   ;          True Message
CALL        WR_DATA
MOVLW      "c"
CALL        WR_DATA
MOVLW      "c"
CALL        WR_DATA
MOVLW      "c"
CALL        WR_DATA
MOVLW      "s"
CALL        WR_DATA
MOVLW      "s"
CALL        WR_DATA

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVLW ""
CALL WR_DATA
MOVLW "G"
CALL WR_DATA
MOVLW "r"
CALL WR_DATA
MOVLW "a"
CALL WR_DATA
MOVLW "n"
CALL WR_DATA
MOVLW "t"
CALL WR_DATA
CALL Short_BEEP ; sounded buzzer
MOVLW .255
CALL Dynamic_DELAY
CALL Short_BEEP
MOVLW .255
CALL Dynamic_DELAY
CALL Short_BEEP
CALL DELAY_1_sec
MOVLW ""
CALL WR_DATA
CALL DELAY_1_sec
MOVLW ""
CALL WR_DATA
CALL DELAY_1_sec
MOVLW ""
CALL WR_DATA
MOVLW .3 ; delay 3 sec
CALL DELAY_vary_sec
GOTO IDLE ; message showed completed -> goto IDLE state

```

Wrong_Message

```

INCF Wrong_Count,F ; wrong password -> increase wrong count
BTFSZ Wrong_Count,2 ; 4 time? -> if no continue
GOTO Stop_Message ; enter wrong password 4 time -> system locked
BSF Warn_Light ; turn on Yellow LED
MOVLW b'00000001' ; clear data in DDRAM ( clear screen )
CALL WR_INS
MOVLW "W" ; wrong message

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL WR_DATA
MOVLW "r"
CALL WR_DATA
MOVLW "o"
CALL WR_DATA
MOVLW "n"
CALL WR_DATA
MOVLW "g"
CALL WR_DATA
MOVLW " "
CALL WR_DATA
MOVLW "p"
CALL WR_DATA
MOVLW "a"
CALL WR_DATA
MOVLW "s"
CALL WR_DATA
MOVLW "s"
CALL WR_DATA
MOVLW "w"
CALL WR_DATA
MOVLW "o"
CALL WR_DATA
MOVLW "r"
CALL WR_DATA
MOVLW "d"
CALL WR_DATA
BSF BEEP
CALL DELAY_1_sec
BCF BEEP
CALL DELAY_1_sec
MOVLW "."
CALL WR_DATA
CALL DELAY_1_sec
MOVLW "."
CALL WR_DATA
CALL DELAY_1_sec
MOVLW "."
CALL WR_DATA
MOVLW .3 ; delay 3 sec

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CALL DELAY_vary_sec
GOTO IDLE
```

Stop_Message

```
BSF Stop_Light
MOVLW b'00000001' ; clear data in DDRAM ( clear screen )
CALL WR_INS
MOVLW "Y" ; stop message
CALL WR_DATA
MOVLW "o"
CALL WR_DATA
MOVLW "u"
CALL WR_DATA
MOVLW ""
CALL WR_DATA
MOVLW "v"
CALL WR_DATA
MOVLW "c"
CALL WR_DATA
MOVLW " "
CALL WR_DATA
MOVLW "W"
CALL WR_DATA
MOVLW "r"
CALL WR_DATA
MOVLW "o"
CALL WR_DATA
MOVLW "n"
CALL WR_DATA
MOVLW "g"
CALL WR_DATA
MOVLW h'0'
CALL WR_INS
MOVLW "M"
CALL WR_DATA
MOVLW "o"
CALL WR_DATA
MOVLW "r"
CALL WR_DATA
MOVLW "e"
CALL WR_DATA
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVLW " "
CALL WR_DATA
MOVLW "f"
CALL WR_DATA
MOVLW "o"
CALL WR_DATA
MOVLW "u"
CALL WR_DATA
MOVLW "r"
CALL WR_DATA
MOVLW " "
CALL WR_DATA
MOVLW "T"
CALL WR_DATA
MOVLW "i"
CALL WR_DATA
MOVLW "m"
CALL WR_DATA
MOVLW "e"
CALL WR_DATA
MOVLW "s"
CALL WR_DATA
MOVLW 2 ; delay 2 sec
CALL DELAY_vary_scc
MOVLW b'00000001' ; clear data in DDRAM ( clear screen )
CALL WR_INS
MOVLW "T"
CALL WR_DATA
MOVLW "h"
CALL WR_DATA
MOVLW "e"
CALL WR_DATA
MOVLW " "
CALL WR_DATA
MOVLW "D"
CALL WR_DATA
MOVLW "o"
CALL WR_DATA
MOVLW "o"
CALL WR_DATA

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVLW "r"
CALL WR_DATA
MOVLW " "
CALL WR_DATA
MOVLW "h"
CALL WR_DATA
MOVLW "a"
CALL WR_DATA
MOVLW "v"
CALL WR_DATA
MOVLW "e"
CALL WR_DATA
MOVLW h'CO'
CALL WR_INS
MOVLW "L"
CALL WR_DATA
MOVLW "O"
CALL WR_DATA
MOVLW "C"
CALL WR_DATA
MOVLW "K"
CALL WR_DATA
MOVLW "E"
CALL WR_DATA
MOVLW "D"
CALL WR_DATA
CALL DELAY_1_sec
MOVLW "."
CALL WR_DATA
CALL DELAY_1_sec
MOVLW "."
CALL WR_DATA
CALL DELAY_1_sec
MOVLW "."
CALL WR_DATA

```

Beep_Around

```

BSF      BEEP
BSF      Stop_Light
CALL    DELAY_1_sec

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BCF      BEEP
BCF      Stop_Light
CALL     DELAY_1_sec
GOTO     Beep_Around

```

```

;-----
;----- Serial communication ISR -----
;-----

```

check_flag

```

;MOVLW "." ; Test serial interrupt here
;CALL  WR_DATA
BSF    Warn_Light ;////////////////////
MOVF   RCREG,W
SUBLW  h'7E'
BTFSZ  STATUS,Z
GOTO   initial_store_data
BSF    Warn_Light ;////////////////////
CALL   Multiplexer
RETURN

```

initial_store_data

```
CLRF  mux_count
```

```
MOVLW h'60'
```

```
MOVWF FSR
```

```
MOVF  RCREG,W
```

```
MOVWF INDF
```

```
INCF  FSR
```

```
; store flag
```

wait_next_byte

```
BTFSZ PIR1,RCIF
```

```
GOTO  wait_next_byte
```

```
MOVF  RCREG,W
```

```
CALL  store_data
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVF   FSR,W
SUBLW  h'6D'
;      end frame ? PS : end frame is 6C but it inc before check
BTFSS  STATUS,Z
GOTO   wait_next_byte
BCF    RCSTA,CREN
CALL   CheckSUM

```

```

MOVLW  .3
CALL   DELAY_vary_sec

```

```

BSF    Warn_Light ;////////////////////

```

```

GOTO   IDLE ; ← Machine Restart

```

```

;RETURN

```

Multiplexer

```

DECFSZ mux_count

```

```

RETURN

```

```

CALL   Toggle_Mux

```

```

RETURN

```

Toggle_Mux

```

BTFSS  Mux_Pin

```

```

goto   Toggle_L2H

```

```

goto   Toggle_H2L

```

Toggle_finish

```

call   check_level_mux

```

```

MOVLW  .40

```

```

MOVWF  mux_count

```

```

RETURN

```

Toggle_H2L

```

BCF    Mux_Pin

```

```

goto   Toggle_finish

```

Toggle_L2H

```

BSF    Mux_Pin

```

```

goto   Toggle_finish

```

check_level_mux

```

btfsc  Mux_Pin

```

```

goto   turn_on

```

```

goto   turn_off

```

turn_finish

```

return

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

turn_on          bsf      Stop_Light
                 goto     turn_finish
turn_off         bcf      Stop_Light
                 goto     turn_finish

```

```

store_data      MOVWF  INDF
                 INCF   FSR,F
                 RETURN

```

----- Access Grant & write message to LCD -----

```

CheckSUM        MOVF   Address_1,W
                 ADDWF  Address_2,W
                 ADDWF  Address_3,W
                 ADDWF  Address_4,W
                 ADDWF  IDnumber_1,W
                 ADDWF  IDnumber_2,W
                 ADDWF  IDnumber_3,W
                 ADDWF  IDnumber_4,W
                 ADDWF  Misc_1,W
                 ADDWF  Misc_2,W
                 ADDWF  Misc_3,W
                 SUBWF  Check_sum,W
                 BTFSS  STATUS,Z
                 GOTO   Wrong_Address

```

```

Check_Address   MOVF   Address_1,W
                 SUBWF  Master_Address_1,W
                 BTFSS  STATUS,Z           ;         if bit 1 true check bit 2
                 GOTO   Wrong_Address     ;         if false -> re initialize serial interrupt
                 MOVF   Address_2,W
                 SUBWF  Master_Address_2,W
                 BTFSS  STATUS,Z
                 GOTO   Wrong_Address
                 MOVF   Address_3,W
                 SUBWF  Master_Address_3,W
                 BTFSS  STATUS,Z

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

```

GOTO Wrong_Address
MOVF Address_4,W
SUBWF Master_Address_4,W
BTFSS STATUS,Z
GOTO Wrong_Address
GOTO write_data_to_LCD

```

```

Wrong_Address      BSF      Stop_Light      ;////////////////////
                   BCF      Stop_Light      ;////////////////////

```

```

GOTO initialize_serial_interrupt

```

write_data_to_LCD

```

MOVLW b'00000001' ; clear data in DDRAM ( clear screen )
CALL WR_INS

```

```

BCF Warn_Light ;////////////////////
BSF Right_Light ;////////////////////

```

```

MOVLW .16 ; message size
MOVWF SIZE

```

Message_7_loop

```

CLRF OFFSET
MOVF OFFSET,W
CALL Message_7 ; message ' access grant!!!'
CALL WR_DATA

```

```

INCF OFFSET,F
DECF SIZE
BTFSS STATUS,Z
GOTO Message_7_loop
CLRF OFFSET

```

```

CALL Short_BEEP ; sounded buzzer

```

```

MOVLW .255
CALL Dynamic_DELAY

```

```

CALL Short_BEEP
MOVLW .255

```

```

CALL Dynamic_DELAY
CALL Short_BEEP

```

```

CALL DELAY_1_sec

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV LW b'00000001' ; clear data in DDRAM ( clear screen )
CALL WR_INS

MOV LW .16 ; message size
MOV WF SIZE
CLRF OFFSET
Message_8_loop MOVF OFFSET,W
CALL Message_8 ; message ' please come in '
CALL WR_DATA
INCF OFFSET,F
DECF SIZE
BTFSS STATUS,Z
GOTO Message_8_loop
CLRF OFFSET
CALL DELAY
MOV LW h'0D' ; move cursor to new line
CALL WR_INS
MOVF IDnumber_1,W
CALL WR_DATA
MOVF IDnumber_2,W
CALL WR_DATA
MOVF IDnumber_3,W
CALL WR_DATA
MOVF IDnumber_4,W
CALL WR_DATA
;MOVF Misc_1,W ; remove showed data (MISC)
;CALL WR_DATA
;MOVF Misc_2,W
;CALL WR_DATA
;MOVF Misc_3,W
;CALL WR_DATA

;MOVF Check_sum,W
;CALL WR_DATA

MOV LW .3 ; delay 3 sec
CALL DELAY_vary_sec

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Control Elevator

Message_9_loop

```
MOVLW b'00000001' ; clear data in DDRAM ( clear screen )
CALL WR_INS

MOVF Misc_1,W
MOVWF PORTE

MOVLW .16 ; message size
MOVWF SIZE
CLRF OFFSET
MOVF OFFSET,W
CALL Message_9 ; message ' enter new password '
CALL WR_DATA
INCF OFFSET,F
DECF SIZE
BTFSS STATUS,Z
GOTO Message_9_loop
CLRF OFFSET
CALL DELAY

MOVLW h'CO' ; move cursor to new line
CALL WR_INS

MOVF Misc_3,W
CALL WR_DATA
MOVLW " "
CALL WR_DATA
MOVLW "F"
CALL WR_DATA
MOVLW "I"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL WR_DATA
MOVLW "o"
CALL WR_DATA
MOVLW "o"
CALL WR_DATA
MOVLW "r"
CALL WR_DATA
MOVLW .3 ; delay 3 sec
CALL DELAY_vary_sec

```

```

RETURN

```

```

;----- Write Data to LCD(key pressed) -----

```

```

Key1_Pressed CALL Short_BEEP ; sounded buzzer
Key1_Released? BTFSC PORTB,4 ; key released?
; wait until key release to prevent multiple of data
GOTO Key1_Released?
; sent '*' character to LCD
MOVLW "*"
CALL WR_DATA
MOVLW "1" ; store '1' into digit of input password
CALL Store_Data
RETURN

Key4_Pressed CALL Short_BEEP
Key4_Released? BTFSC PORTB,5
; wait until key release to prevent multiple of data
GOTO Key4_Released?
; sent '*' character to LCD
MOVLW "*"
CALL WR_DATA
MOVLW "4"
CALL Store_Data
RETURN

```

```

Key7_Pressed CALL Short_BEEP
Key7_Released? BTFSC PORTB,6
; wait until key release to prevent multiple of data
GOTO Key7_Released?
; sent '*' character to LCD
MOVLW "*"
CALL WR_DATA
MOVLW "7"
CALL Store_Data

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                                RETURN

KeyStar_Pressed      CALL    Short_BEE                ;      key '*' pressed -> delete character
KeyStar_Released?   BTFS    PORTB,7

                                GOTO   KeyStar_Released?
                                MOVF   FSR,W          ;      move FSR to temp
                                SUBLW  h'30'          ;      first digit ? -> prevent overdeleting
                                BTFS   STATUS,Z        ;      if no (z=0) continue to delete
                                RETURN
                                ;      if yes(z=1) don't do anything and return
                                MOVLW b'00010000'     ;      move cursor to left -> delete
                                CALL   WR_INS
                                MOVLW " "
                                CALL   WR_DATA
                                MOVLW b'00010000'
                                CALL   WR_INS
                                DECF   FSR,F          ;      FSR - 1
                                RETURN

Key2_Pressed        CALL    Short_BEEP
Key2_Released?     BTFS    PORTB,4

                                GOTO   Key2_Released?
                                MOVLW "*"
                                CALL   WR_DATA
                                MOVLW "2"
                                CALL   Store_Data
                                RETURN

Key5_Pressed        CALL    Short_BEEP
Key5_Released?     BTFS    PORTB,5

                                GOTO   Key5_Released?
                                MOVLW "*"
                                CALL   WR_DATA
                                MOVLW "5"
                                CALL   Store_Data
                                RETURN

Key8_Pressed        CALL    Short_BEEP
Key8_Released?     BTFS    PORTB,6

                                GOTO   Key8_Released?

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVW  "*"
CALL  WR_DATA
MOVW  "8"
CALL  Store_Data
RETURN

```

```

Key0_Pressed  CALL  Short_BEEP
Key0_Released? BTFS  PORTB,7

```

```

GOTO  Key0_Released?
MOVW  "*"
CALL  WR_DATA
MOVW  "0"
CALL  Store_Data
RETURN

```

```

Key3_Pressed  CALL  Short_BEEP
Key3_Released? BTFS  PORTB,4

```

```

GOTO  Key3_Released?
MOVW  "+"
CALL  WR_DATA
MOVW  "3"
CALL  Store_Data
RETURN

```

```

Key6_Pressed  CALL  Short_BEEP
Key6_Released? BTFS  PORTB,5

```

```

GOTO  Key6_Released?
MOVW  "*"
CALL  WR_DATA
MOVW  "6"
CALL  Store_Data
RETURN

```

```

Key9_Pressed  CALL  Short_BEEP
Key9_Released? BTFS  PORTB,6

```

```

GOTO  Key9_Released?
MOVW  "*"
CALL  WR_DATA
MOVW  "9"
CALL  Store_Data

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RETURN

```
KeySquare_Pressed CALL Short_BEEP ; key '#' pressed -> Enter and goto next process  
KeySquare_Released? BTFSC PORTB,7
```

```
GOTO KeySquare_Released?  
MOVLW b'00001100' ; LCD ON , Cursor off  
CALL WR_INS  
MOVLW '#' ; '#' means end of password  
CALL Store_Data  
GOTO Check_Password
```

----- Store Data -----

```
Store_Data MOVWF INDF  
INCF FSR,F  
RETURN
```

----- Check Password -----

```
Check_Password MOVF FIRST_Digit,W  
SUBWF FIRST_Password,W  
BTFSS STATUS,Z ; if bit 1 true check bit 2  
GOTO Wrong_Message ; if false -> goto wrong message  
MOVF SECOND_Digit,W  
SUBWF SECOND_Password,W  
BTFSS STATUS,Z  
GOTO Wrong_Message  
MOVF TRIRD_Digit,W  
SUBWF TRIRD_Password,W  
BTFSS STATUS,Z  
GOTO Wrong_Message  
MOVF FOURTH_Digit,W  
SUBWF FOURTH_Password,W  
BTFSS STATUS,Z  
GOTO Wrong_Message  
MOVF FIFTH_Digit,W  
SUBLW '#' ; 4 bit right ? if no. it wrong  
BTFSS STATUS,Z  
GOTO Wrong_Message  
GOTO Right_Message
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

----- sub routine for LCD -----

```
WR_INS      BCF    RS
            BSF    E                ; set E
            MOVWF PORTD            ; move instruction to portd
            CALL   PULSE           ; make pulse
            RETURN
```

```
WR_DATA     BSF    RS                ; set RS,E
            BSF    E
            MOVWF PORTD            ; move data to portd
            CALL   PULSE           ; make pulse
            CALL   DELAY
            RETURN
```

```
PULSE       BCF    E
            CALL   DELAY
            BSF    E
            RETURN
```

----- Sound -----

```
Short_BEEP  BSF    BEEP
            MOVLW  .150
            CALL   Dynamic_DELAY
            BCF    BEEP
            RETURN
```

----- Delay Subroutine -----

```
DELAY       MOVLW  .30
            MOVWF  COUNT1
DEL1         CLRF   COUNT2
DEL2         DECFSZ COUNT2
            GOTO   DEL2
            DECFSZ COUNT1
            GOTO   DEL1
            RETURN
```

```
Dynamic_DELAY  MOVWF  COUNT1
DEL3           CLRF   COUNT2
DEL4           DECFSZ COUNT2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

GOTO DEL4
DECFSZ COUNT1
GOTO DEL3
RETURN

```

```

DELAY_1_sec    MOV LW .16          ;      1+1+(1+(1+(1+2)(256)+1+2)(256)+1+2)x=1000000 us -> x=3.79

```

```

MOVWF COUNT0
DEL5           CLRF  COUNT1
DEL6           CLRF  COUNT2
DEL7           DECFSZ COUNT2
GOTO DEL7
DECFSZ COUNT1
GOTO DEL6
DECFSZ COUNT0
GOTO DEL5
RETURN

```

```

DELAY_vary_sec MOVWF Second_to_dalay
DEL8           MOV LW .15
MOVWF COUNT0
DEL9           CLRF  COUNT1
DEL10          CLRF  COUNT2
DEL11          DECFSZ COUNT2
GOTO DEL11
DECFSZ COUNT1
GOTO DEL10
DECFSZ COUNT0
GOTO DEL9
DECFSZ Second_to_dalay
GOTO DEL8
RETURN

```

Next

Section

is

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optional

----- Ask Old Password -----

Change_Password

```
MOVLW b'00000001' ; clear data in DDRAM ( clear screen )
CALL WR_INS
BCF INTCON,INTF ; clear ext interrupt flag
```

reduced instruction code for writing data

to LCD

Message_1_loop

```
MOVLW .16 ; message size
MOVWF SIZE
CLRF OFFSET ; clear offset for first character
MOVF OFFSET,W
CALL Message_1 ; call table for message_1 (call for old password)
CALL WR_DATA ; write data
INCF OFFSET,F
DECF SIZE
BTFSZ STATUS,Z ; message end?
GOTO Message_1_loop
CLRF OFFSET ; reset offset
CALL DELAY
```

```
MOVLW h'C0' ; move cursor to new line
```

```
CALL WR_INS
```

```
MOVLW h'0F' ; LCD On Cursor Blink
```

```
CALL WR_INS
```

```
MOVLW b'00001110'
```

```
MOVWF PORTB
```

Scan

```
CALL Scan_Key_0 ; scan key for old password
```

```
GOTO Scan ; scan end -> if not end -> re scan
```

Scan_Key_0

```
BCF PORTA,1 ; 'scan key' (just like upper one)
```

```
BCF PORTA,2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polling_Scan_0

```
BCF          PORTA,3
BSF          PORTA,1
            BTFSC  PORTB,4
            CALL   Key1_Pressed
            BTFSC  PORTB,5
            CALL   Key4_Pressed
            BTFSC  PORTB,6
            CALL   Key7_Pressed
            BTFSC  PORTB,7
            CALL   KeyStar_Pressed
MOVLW       .30
CALL        Dynamic_DELAY
BCF          PORTA,1
BSF          PORTA,2
            BTFSC  PORTB,4
            CALL   Key2_Pressed
            BTFSC  PORTB,5
            CALL   Key5_Pressed
            BTFSC  PORTB,6
            CALL   Key8_Pressed
            BTFSC  PORTB,7
            CALL   Key0_Pressed
MOVLW       .30
CALL        Dynamic_DELAY
BCF          PORTA,2
BSF          PORTA,3
            BTFSC  PORTB,4
            CALL   Key3_Pressed
            BTFSC  PORTB,5
            CALL   Key6_Pressed
            BTFSC  PORTB,6
            CALL   Key9_Pressed
            BTFSC  PORTB,7
            CALL   KeySquare_Pressed_0
;          enter -> goto check password for 'old password asking' section
MOVLW       .255
CALL        Dynamic_DELAY
BCF          PORTA,3
RETURN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

KeySquare_Pressed_0    CALL    Short_BEEP
KeySquare_Released?_0  BTFSC  PORTB,7

                                GOTO    KeySquare_Released?_0
                                MOVLW  b'00001100' ; LCD ON , Cursor off
                                CALL    WR_INS
                                MOVLW  "#"
                                CALL    Store_Data
                                GOTO    Check_Password_0 ; check password

```

```

Check_Password_0  MOVF  FIRST_Digit,W
                                SUBWF  FIRST_Password,W
                                BTFSS  STATUS,Z ; if bit 1 true check bit 2
                                GOTO    Wrong_Message_0
                                MOVF  SECOND_Digit,W
                                SUBWF  SECOND_Password,W
                                BTFSS  STATUS,Z
                                GOTO    Wrong_Message_0
                                MOVF  TRIRD_Digit,W
                                SUBWF  TRIRD_Password,W
                                BTFSS  STATUS,Z
                                GOTO    Wrong_Message_0
                                MOVF  FOURTH_Digit,W
                                SUBWF  FOURTH_Password,W
                                BTFSS  STATUS,Z
                                GOTO    Wrong_Message_0
                                MOVF  FIFTH_Digit,W
                                SUBLW  "#" ; 4 bit right ? if no. it wrong
                                BTFSS  STATUS,Z
                                GOTO    Wrong_Message_0
                                GOTO    Change_Message

```

```

Wrong_Message_0
                                BSF    BEEP ; sounded buzzer
                                CALL    DELAY_1_sec
                                BCF    BEEP
                                MOVLW  b'00000001' ; clear data in DDRAM ( clear screen )
                                CALL    WR_INS

                                MOVLW  .16 ; message size

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVWF SIZE
CLRF OFFSET
Message_3_loop MOVF OFFSET,W
CALL Message_3 ; message ' wrong password '
CALL WR_DATA
INCF OFFSET,F
DECF SIZE
BTFSS STATUS,Z
GOTO Message_3_loop
CLRF OFFSET
CALL DELAY
CALL DELAY_1_sec
MOVLW h'CO' ; next line
CALL WR_INS
MOVLW .16 ; message size
MOVWF SIZE
CLRF OFFSET
Message_4_loop MOVF OFFSET,W
CALL Message_4 ; message ' machine restart '
CALL WR_DATA
INCF OFFSET,F
DECF SIZE
BTFSS STATUS,Z
GOTO Message_4_loop
CLRF OFFSET
MOVLW .3 ; delay 3 sec
CALL DELAY_vary_sec
GOTO IDLE

```

----- Enter new password -----

Change_Message

```

MOVLW b'00000001' ; clear data in DDRAM ( clear screen )
CALL WR_INS

MOVLW .16 ; message size
MOVWF SIZE
CLRF OFFSET

```

Message_2_loop MOVF OFFSET,W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL Message_2 ; message ' enter new password'
CALL WR_DATA
INCF OFFSET,F
DECF SIZE
BTFFS STATUS,Z
GOTO Message_2_loop
CLRF OFFSET
CALL DELAY

```

```

MOVLW h'0' ; move cursor to new line

```

```

CALL WR_INS

```

```

MOVLW h'0F' ; LCD On Cursor Blink

```

```

CALL WR_INS

```

```

MOVLW b'00001110'

```

```

MOVWF PORTB

```

```

MOVLW h'40'

```

```

MOVWF FSR

```

Scan_1

```

CALL Scan_Key_1 ; scan new password

```

```

GOTO Scan_1

```

Scan_Key_1

```

BCF PORTA,1

```

```

BCF PORTA,2

```

```

BCF PORTA,3

```

Polling_Scan_1

```

BSF PORTA,1

```

```

BTFFS PORTB,4

```

```

CALL Key1_Pressed

```

```

BTFFS PORTB,5

```

```

CALL Key4_Pressed

```

```

BTFFS PORTB,6

```

```

CALL Key7_Pressed

```

```

BTFFS PORTB,7

```

```

CALL KeyStar_Pressed_0

```

```

MOVLW .30

```

```

CALL Dynamic_DELAY

```

```

BCF PORTA,1

```

```

BSF PORTA,2

```

```

BTFFS PORTB,4

```

```

CALL Key2_Pressed

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        BTFSC PORTB,5
        CALL Key5_Pressed
        BTFSC PORTB,6
        CALL Key8_Pressed
        BTFSC PORTB,7
        CALL Key0_Pressed
    MOVLW .30
    CALL Dynamic_DELAY
    BCF PORTA,2
    BSF PORTA,3
        BTFSC PORTB,4
        CALL Key3_Pressed
        BTFSC PORTB,5
        CALL Key6_Pressed
        BTFSC PORTB,6
        CALL Key9_Pressed
        BTFSC PORTB,7
        GOTO Right_Message_0 ; password change completed
    MOVLW .255
    CALL Dynamic_DELAY
    BCF PORTA,3
    RETURN
KeyStar_Pressed_0 CALL Short_BEEP ; key '*' pressed -> delete character
KeyStar_Released?_0 BTFSC PORTB,7
        GOTO KeyStar_Released?_0
        MOVF FSR,W ; move FSR to temp
        SUBLW h'40' ; first digit ? -> prevent overdeleting
; change FSR to h'40' for 'enter new password'
        BTFSC STATUS,Z ; if no (z=0) continue to delete
        RETURN
; if yes(z=1) don't do anything and return
        MOVLW b'00010000' ; move cursor to left -> delete
        CALL WR_INS
        MOVLW " "
        CALL WR_DATA
        MOVLW b'00010000'
        CALL WR_INS
        DECF FSR,F ; FSR - 1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RETURN

Right_Message_0

```
MOVLW b'00001100' ; LCD ON , Cursor off
CALL WR_INS
CALL Short_BEEP ; sounded buzzer
MOVLW .255
CALL Dynamic_DELAY
CALL Short_BEEP
MOVLW .255
CALL Dynamic_DELAY
CALL Short_BEEP
MOVLW b'00000001' ; clear data in DDRAM ( clear screen )
CALL WR_INS
```

Message_5_loop

```
MOVWF SIZE
CLRF OFFSET
MOVF OFFSET,W
CALL Message_5 ; message ' password chaged '
CALL WR_DATA
INCF OFFSET,F
DECF SIZE
BTFSS STATUS,Z
GOTO Message_5_loop
CLRF OFFSET
CALL DELAY
MOVLW h'00' ; next line
CALL WR_INS
```

```
MOVLW .16 ; message size
MOVWF SIZE
CLRF OFFSET
```

Message_6_loop

```
MOVF OFFSET,W
CALL Message_6 ; message ' successful '
CALL WR_DATA
INCF OFFSET,F
DECF SIZE
BTFSS STATUS,Z
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```
MOVLW 5'00000001' ; clear data in DDRAM ( clear screen )
CALL WR_JNS
MOVLW 2 ; delay 2 sec
CALL DELAY_vary_sec
GOTO IDLE
```

END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Assembly Code สำหรับ CPU บนเครื่องถูกข่าย

LIST P=16F628A

#INCLUDE<P16F628A.INC>

`_config_HS_OSC & _WDT_OFF & _CP_OFF & _BODEN_ON & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _MCLRE_ON`

Flag	EQU	0x20	; set address for used register
Address_1	EQU	0x21	
Address_2	EQU	0x22	
Address_3	EQU	0x23	
Address_4	EQU	0x24	
IDnumber_1	EQU	0x25	
IDnumber_2	EQU	0x26	
IDnumber_3	EQU	0x27	
IDnumber_4	EQU	0x28	
Misc_1	EQU	0x29	
Misc_2	EQU	0x2A	
Misc_3	EQU	0x2B	
Check_sum	EQU	0x2C	
COUNT0	EQU	0x30	
COUNT1	EQU	0x31	
COUNT2	EQU	0x32	
Second_to_delay	EQU	0x40	

ORG h'0000'

GOTO MAIN

ORG h'0100'

MAIN

set_data_in_frame

MOVLW b'01111110'

MOVWF Flag

MOVLW 0x55

MOVWF Address_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVLW 0xAA
MOVWF Address_2
MOVLW 0x55
MOVWF Address_3
MOVLW 0xAA
MOVWF Address_4
MOVLW 'M'
MOVWF IDnumber_1
MOVLW 0xEF
MOVWF IDnumber_2
MOVLW 'D'
MOVWF IDnumber_3
MOVLW 'z'
MOVWF IDnumber_4
MOVLW b'00000101' ; b2 = interrupt b1b0 = floor
MOVWF Misc_1
MOVLW ''
MOVWF Misc_2
MOVLW '2' ; floor number to show
MOVWF Misc_3

MOVF Address_1,W
ADDWF Address_2,W
ADDWF Address_3,W
ADDWF Address_4,W
ADDWF IDnumber_1,W
ADDWF IDnumber_2,W
ADDWF IDnumber_3,W
ADDWF IDnumber_4,W
ADDWF Misc_1,W
ADDWF Misc_2,W
ADDWF Misc_3,W
MOVWF Check_sum

MOVLW h'20'
MOVWF FSR

```

initialize_serial_interrupt

```

BSF STATUS,RP0
MOVLW 0x07 ; BAUD rate 106000

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVWF    SPBRG
CLRF     TXSTA           ;    initial Xmit status control register
BSF      TXSTA,BRGH     ;    high speed
BCF      TXSTA,SYNC     ;    asynchronous mode
BCF      TXSTA,TX9     ;    no 9th bit

```

```

BCF      STATUS,RP0
CLRF     RCSTA          ;    initial Rcv status control register
BSF      RCSTA,SPEN    ;    serial port enable

```

```

BSF      STATUS,RP0
BSF      TXSTA,TXEN    ;    start to Xmit
BCF      STATUS,RP0

```

Continuous_send_loop

```
CALL mini_DELAY
```

```
MOVF INDF,W
```

```
MOVWF TXREG
```

wait

```
BSF STATUS,RP0
```

```
BTFSS TXSTA,TRMT ; TMRT=1=empty =0=full
```

```
GOTO wait ; if full wait until empty
```

```
BCF STATUS,RP0
```

```
INCF FSR
```

```
MOVF FSR,W
```

```
SUBLW h'2D' ; frame end address
```

```
BTFSS STATUS,Z
```

```
GOTO Continuous_send_loop ; if z=0=no zero continue to send
```

```
MOVLW h'20' ; if z=1=zero restart at first frame
```

```
MOVWF FSR
```

```
GOTO Continuous_send_loop
```

----- DELAY -----

```
mini_DELAY    movlw    .5
```

```
              movwf    COUNT1
```

```
DEL12        DECFSZ   COUNT1
```

```
              GOTO    DEL12
```

```
              RETURN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DELAY      MOVLW 10
           MOVWF COUNT1
DEL1       CLRf  COUNT2
DEL2       DECFSZ COUNT2
           GOTO  DEL2
           DECFSZ COUNT1
           GOTO  DEL1
           RETURN
```

```
Dynamic_DELAY MOVWF COUNT1
DEL3          CLRf  COUNT2
DEL4          DECFSZ COUNT2
           GOTO  DEL4
           DECFSZ COUNT1
           GOTO  DEL3
           RETURN
```

END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาษาซีสำหรับ Application

```
#include <16f877a.h>
#define CLOCK_SP 4069000
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#use delay (clock=CLOCK_SP)
```

```
int step1[4] = {0x01,0x02,0x04,0x08},step2[4] = {0x08,0x04,0x02,0x01},i,j,m;
```

```
void right2()
{
for(m=0; m<27; m++)
{
for (i=0; i<4; i++)
{
output_d(step2[i]);
delay_ms(20);
}
}
}
```

```
void left2()
{
for(m=0; m<27; m++)
{
for (j=0; j<4; j++)
{
output_d(step1[j]);
delay_ms(20);
}
}
}
```

```
void right3()
{
for(m=0; m<50; m++)
{
for (i=0; i<4; i++)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    delay_ms(20);
}
}
}
void left3()
{
for(m=0; m<50; m++)
{
for (j=0; j<4; j++)
{
output_d(step1[j]);
delay_ms(20);
}
}
}
void right4()
{
for(m=0; m<73; m++)
{
for (i=0; i<4; i++)
{
output_d(step2[i]);
delay_ms(20);
}
}
}
void left4()
{
for(m=0; m<73; m++)
{
for (j=0; j<4; j++)
{
output_d(step1[j]);
delay_ms(20);
}
}
}
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void main()
{
    delay_ms(3000);
    while (1)
    {
        if (input(PIN_C0))
        {
            if (input(PIN_C1)&&input(PIN_C2))
            {
                right4();
                delay_ms(3000);
                left4();
                delay_ms(3000);
            }
            else if (input(PIN_C1))
            {
                right3();
                delay_ms(3000);
                left3();
                delay_ms(3000);
            }
            else if (input(PIN_C2))
            {
                right2();
                delay_ms(3000);
                left2();
                delay_ms(3000);
            }
        }
        else if (input(PIN_D5))
        {
            right2();
            delay_ms(3000);
            left2();
            delay_ms(3000);
        }
        else if (input(PIN_D6))
        {
            right3();

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
delay_ms(3000);
left3();
delay_ms(3000);
}
else if (input(PIN_D7))
{
right4();
delay_ms(3000);
left4();
delay_ms(3000);
}
}
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วย เพราะได้รับความเมตตาและความอนุเคราะห์จาก ผศ.ประภากร สุวรรณะ และอาจารย์ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองและปฏิบัติงาน ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง หากขาดบุคคลดังกล่าวแล้วผู้จัดทำคงไม่สามารถที่จะทำงานชิ้นนี้สำเร็จลงได้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากรายงานฉบับนี้ ผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งที่เอ่ยนามและมิได้เอ่ยนาม และหวังว่ารายงานฉบับนี้คงจะมีประโยชน์กับผู้สนใจ และเริ่มศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง RFID เพื่อเป็นการนำไปใช้หรือนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ. ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นางสาวจุฬาลักษณ์	ศรีอริยวัฒน์
นางสาวชุตินันท์	จันทร์ปลุก
นางสาวภิญญาพัชร	ไตรศักดิ์สุริยันต์
นายพิชญ์	บุญยะสิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. รศ.เฉลิมพล น้ำค้าง, “ทฤษฎีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก”, ศูนย์หนังสือกรุงเทพ 2541
2. สันติ อัสวศรีพงษ์สร, “สนามแม่เหล็กไฟฟ้า”
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. คู่มือการทดลอง PIC16F877 & PIC18F458, บริษัท ETT
4. เรียนรู้เข้าใจสถาปัตยกรรม PIC16F877, บริษัท ETT
5. Rachel Waddington, “RFID Handbook”, (Second Edition), Jone Wilry & Sons Ltd 1999
6. Behrouz A. Forouzan, “Data Communications and Networking”, McGraw Hill, 2004
7. Klaus Finkenzeller, “RFID Handbook”, 2003.
8. AN-710 Antenna Circuit Design for RFID Application
9. AN267 Matching Network Designs with Computer Solutions, www.freescale.com
10. [http:// en.wikipedia.org/wiki/Butterworth_filter](http://en.wikipedia.org/wiki/Butterworth_filter) "Butterworth filter - Wikipedia, the free encyclopedia "