

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เทคโนโลยี RFID
TECNOLOGY RFID



โดย
นายดิเรก นำทับทิมทอง
นายศรายุทธ ชื่นใจดี
นายอนุภาพ สะอาดนัก

รฟ.
๕๕๔๗
๕๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72622
วัน,เดือน,ปี.. 21 ส.ย. 2550

b. 117 ๙๐๔๔๒
i.....

ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยี RFID
TECNOLOGY RFID



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2549

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เทคโนโลยี RFID

ผู้จัดทำ

1. นายศิเรก นำทับทิมทอง รหัส 47015167
2. นายศรายุทธ ชื่นใจดี รหัส 47015184
3. นายอนุภาพ สะอาดนัก รหัส 47015196

ลงชื่อ อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผ.ศ. ประภากร สุวรรณะ)
..... / ๑๕ / ๒๕๕๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยี RFID

นายคิเรก นำทับทิมทอง รหัส 47015167

นายศรายุทธ ชื่นใจดี รหัส 47015184

นายอนุภาพ สะอาดนัก รหัส 47015196

ผศ.ประภากร สุวรรณะ(อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ ฉบับนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูลแบบ ไร้สาย (Wireless Lan) หรือที่เรียกกันว่า RFID (Radio Frequency Identification) ซึ่งจะใช้งานที่ความถี่ 13.56 MHz ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของเครื่องอ่าน (Reader) และ ส่วนของลูกข่าย (Transponder or Tag) ส่วนของเครื่องอ่านประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) มอดคูเลเตอร์ (Modulator) ดีมอดคูเลเตอร์ (Demodulator) PA (Power Amplifier) เป็นตัวส่งพลังงานที่จะติดต่อสื่อสารซึ่งจะใช้กำลังงานในการส่งขนาด 3 วัตต์ และจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ควบคุมการทำงานของเครื่องอ่านซึ่งจะใช้ PIC แบบ EEPROM และในส่วนของลูกข่ายประกอบด้วยโหลดมอดคูเลเตอร์ (Load Modulator) และ ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะใช้ PIC เช่นเดียวกัน โดยจะได้รับพลังงานมาจากการถ่ายเทพลังงานจากเครื่องอ่าน จ่ายให้กับส่วนของวงจรของลูกข่าย ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลจะติดต่อกันอยู่ในรูปแบบของพอร์ตอนุกรม (Serial Port) โดยเครื่องอ่านจะทำการถอดรหัสเอาแต่ข้อมูลที่ต้องการนำไปใช้งาน

RFID TECHNOLOGY

Mr. Dierk Numtubtimthong ID. 47015167

Mr. Salayut Chuenjidee ID. 47015184

Mr. Anuphat Saardnak ID. 47015194

Assist. Prof. Prapakorn Suwanna Advisor

Educational Year 2006

ABSTRACT

This project is a study of wireless system communication called RFID. So, a frequency at 13.56 MHz is used. This system consists of 2 main parts, reader and transponder or tag. The reader consists of Power supply, Modulator, Demodulator and Power amplifier that can transmit power 3 Watts and PIC family Microcontroller will be used to control the reader. The Transponder consists of load modulator. Similarly to the reader, PIC microcontroller will to be used the control device too but the energy will be transmitted from the reader. In communication between Reader and Transponder both serial ports of PIC must be used to send and receive data with the Reader. The reader will decode and extract data to be used later.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยเพราะได้รับความเมตตาและความอนุเคราะห์จาก ผ.ศ. ประภากร สุวรรณะ และอาจารย์ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเพื่ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองและปฏิบัติงาน ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง หากขาดบุคคลดังกล่าวแล้วผู้จัดทำคงไม่สามารถที่จะทำงานชิ้นนี้สำเร็จลงได้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้จัดทำขอบอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ทั้งที่เอ่ยนามและมิได้เอ่ยนาม และหวังว่าปริญญาบัตรฉบับนี้คงจะพอเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจ และเริ่มศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง RFID เพื่อเป็นการนำไปใช้หรือนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

หัวข้อ	หน้าที่
บทคัดย่อ	
ABSTRACT	
กิตติกรรมประกาศ	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโรงงาน	2
1.2 ขอบเขตของโครงการ	2
1.3 วิธีดำเนินงาน	2
1.4 เนื้อหาโดยสังเขปของปริญญานีพนธ์ฉบับนี้	3
บทที่ 2 เทคโนโลยี Automatic Identification ชนิดต่าง	4
2.1 เทคโนโลยี Barcode	5
2.2 เทคโนโลยี Optical Character Recognition	7
2.3 เทคโนโลยี Biometric	8
2.3.1 เทคโนโลยี Fingerprint	8
2.3.2 เทคโนโลยี Voice Recognition	9
2.4 เทคโนโลยี Smartcard	10
2.4.1 Smartcard แบบ Memory Card	11
2.4.2 Smartcard แบบติดตั้งไมโครโปรเซสเซอร์อยู่ภายใน	12
2.5 เทคโนโลยี RFID	12
บทที่ 3 ชนิดและประเภทของ RFID	14
3.1 ลักษณะของอุปกรณ์ RFID	14
3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ FDX/HDX	14
3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ SEQ	15
3.2 ขนาดข้อมูล (Data Quantity)	15
3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้าที่
3.3.1 ชุดความจำแบบ EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)	16
3.3.2 ชุดความจำแบบ FRAM (Ferromagnetic Random Access Memory)	16
3.3.3 ชุดความจำแบบ SRAM (Static Random Access Memory)	16
3.4 การจัดการลำดับคำสั่ง (Sequence)	17
3.5 แหล่งพลังงาน (Power Supply)	18
3.6 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency Range)	18
3.7 ประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID	18
3.7.1 เครื่องลูกข่ายแบบงานและเหรียญ (Diak and coin)	18
3.7.2 เครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว (Glass Housing)	19
3.7.3 เครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก (Plastic Housing)	20
3.7.4 เครื่องลูกข่ายสำหรับใช้เฉพาะกิจ	21
3.7.5 เครื่องลูกข่ายแบบพวงกุญแจ (Key and Key fob)	22
3.7.6 เครื่องลูกข่ายแบบนาฬิกา	23
3.8 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID	23
3.8.1 ความถี่ใช้งาน	23
3.8.2 ระยะทำการ	24
3.8.3 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย	26
3.8.4 ขนาดของหน่วยความจำ	26
3.9 หลักการทำงานพื้นฐานในการติดต่อสื่อสาร	26
3.9.1 EAS แบบใช้ความถี่คลื่นวิทยุ (Radio Frequency)	26
3.9.2 EAS แบบใช้ความถี่คลื่นไมโครเวฟ (Microwave)	29
3.9.3 EAS แบบใช้การหารความถี่ (Frequency Divider)	32
3.9.4 EAS แบบใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Type)	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้าที่
3.9.5 EAS แบบ Acoustomagnetic	35
บทที่ 4 มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน และเครื่องลูกข่ายของเทคโนโลยี RFID	37
4.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling	38
4.1.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	38
4.1.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	40
4.1.2.1 เทคโนโลยี Load Modulation	40
4.1.2.2 เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier	41
4.1.2.3 เทคโนโลยี Subharmonic Procedure	43
4.2 เทคโนโลยี Electromagnetic backscatter Coupling	44
4.2.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	45
4.2.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	45
4.3 เทคโนโลยี Close Coupling	46
4.3.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	47
4.3.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	48
4.4 เทคโนโลยี Electrical Coupling	48
4.4.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	49
4.4.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	50
4.4.3 การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่าน ไปสู่เครื่องลูกข่าย	50
4.5 เครื่องลูกข่ายที่ใช้การสื่อสารแบบ Sequential	50
4.5.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	51
4.5.1.1 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	53
4.5.2 เครื่องลูกข่ายแบบ Surface Acoustic Wave	54
4.6 ข้อกำหนดมาตรฐานด้านความถี่	56

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้าที่
บทที่ 5 การมอดูเลทสัญญาณแบบดิจิทัล	58
5.1 บทนำ	58
5.2 การมอดูเลทสัญญาณดิจิทัล	58
5.2.1 การมอดูเลทดิจิทัลอแอมพลิจูด (Amplitude Shift Keying; ASK)	58
5.2.2 การมอดูเลทดิจิทัลอเฟส (Phase Shift Keying; PSK)	59
5.2.3 การมอดูเลทดิจิทัลอความถี่ (Frequency Shift Keying; FSK)	60
5.2.3.1 ชนิดที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)	61
5.2.3.2 ชนิดที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex)	62
5.3 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน (Parallel Transmission)	63
5.4 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Transmission)	63
5.4.1 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission)	64
5.4.2 การส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส (Asynchronous Transmission)	65
5.5 วงจรเรโซแนนซ์ (Resonance)	68
5.5.1 ผลของวงจรเรโซแนนซ์ต่อวงจรกระแสตรง	69
5.5.2 แรงดันกระแสสลับกับวงจรเรโซแนนซ์	72
5.5.3 เรโซแนนซ์อนุกรม (Series resonance)	73
5.5.4 วงจรเรโซแนนซ์ขนาน (Parallel resonance circuit)	76
บทที่ 6 การออกแบบและการคำนวณ	81
6.1 ส่วนของวงจร Oscillator	81
6.2 เพาเวอร์แอมป์ (Power Amplifier) 30 dB ในส่วนของเทอมที่ 1	82
6.2.1 การคำนวณในส่วนของวงจรภาคขับ (Driver)	84
6.2.2 Matching ระหว่างภาค Driver กับภาค Power Amplifier	85

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้าที่
6.2.3 Matching Output ของภาค Power Amplifier	86
6.3 เพาเวอร์แอมป์ (Power Amplifier) ในส่วนของเทอมที่ 2	88
6.3.1 ส่วนของภาค Driver	88
6.3.2 ส่วนของภาค Power	89
6.3.3 ส่วนของวงจร MATCHING	90
6.3.4 วงจร Sub Carrier Demod	93
6.4 Load 50 ohm	95
6.5 N-TURN SQUARE LOOP COIL WITH MULTILAYER ของ Reader	96
6.6 วงจรและการออกแบบของเครื่องถูข่าย	98
6.6.1 ส่วนของวงจรเครื่องถูข่าย	98
6.6.2 ส่วนของวงจรหารความถี่	99
6.7 N-TURN SQUARE LOOP COIL WITH MULTILAYER ของ Tag	100
บทที่ 7 โปรแกรมการติดต่อสื่อสารข้อมูล	102
7.1 เครื่องอ่าน	102
7.1.1 ส่วนของวงจรของเครื่องอ่าน	102
7.1.2 ไฟซาร์จการทำงานของเครื่องอ่าน	103
7.1.3 ส่วนของโปรแกรมของเครื่องอ่าน	104
7.2 เครื่องถูข่าย	112
7.2.1 ส่วนของวงจรถูข่าย	112
7.2.2 ไฟซาร์จการทำงานของเครื่องถูข่าย	113
7.2.3 ส่วนของโปรแกรมของเครื่องถูข่าย	114
บทที่ 8 การทดลอง	117
8.1 ทดลองภาค drive ในส่วนของวงจร Power Amplifier	117

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้าที่
8.2 ทดลองภาคขยายในส่วนของวงจร Power Amplifier	121
8.3 ทดลองวงจร Power Amplifier	126
8.4 ทดลองวงจร Oscillator	132
8.5 ทดลองวงจร Oscillator ป้อนให้กับวงจร Power Amplifier	135
8.6 ทำการทดลองวัดการรับส่งพลังงานของเครื่องส่งและเครื่องรับ	137
บทที่ 9 บทสรุปและวิจารณ์	144
9.1 ปัญหาในการทำงาน	144
9.2 แนวทางในการพัฒนา	148
ภาคผนวก	
หนังสืออ้างอิง	

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้าที่
รูปที่ 1.1 แสดงระบบของเทคโนโลยี RFID	1
รูปที่ 2.1 เครื่องอ่านรหัส Barcode ที่มีใช้งานในปัจจุบัน	5
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างโครงสร้างการเข้ารหัส Barcode ตามมาตรฐาน EAN (European Article Number)	6
รูปที่ 2.3 อุปกรณ์อ่านข้อมูลแบบมาตรฐาน OCR (Optical Character Recognition)	7
รูปที่ 2.4 เครื่องอ่านข้อมูลแบบ Fingerprint อ่านและบันทึกข้อมูลจากลายนิ้วมือ	9
รูปที่ 2.5 อุปกรณ์เครื่องรับส่งข้อมูลแบบ RFID	13
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID แบบ Dish	17
รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายระยะใกล้ของเครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว (Glass Transponder) ขนาด 32 มิลลิเมตรสำหรับใช้งานติดตั้งบนตัวสัตว์	19
รูปที่ 3.3 โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว	20
รูปที่ 3.4 โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก ซึ่งตัวบรรจุภัณฑ์ที่เคลือบเป็นพลาสติกมีความหนาเพียง 3 มิลลิเมตรเท่านั้น	21
รูปที่ 3.5 โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่าย RFID แบบติดตั้งลงในหน้าสัมผัสโลหะ	22
รูปที่ 3.6 เครื่องลูกข่าย RFID แบบพวงกุญแจ	22
รูปที่ 3.7 นาฬิกาข้อมือติดตั้งเครื่องลูกข่าย RFID ใช้แบบการติดต่อสื่อสารแบบไร้การสัมผัส เพื่อตรวจยืนยันตัวตนผู้ใช้งาน	23
รูปที่ 3.8 การเปรียบเทียบการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าของอุปกรณ์ RFID แต่ละมาตรฐาน	25
รูปที่ 3.9 ลักษณะการทำงานทางเทคนิคของอุปกรณ์ RFID ประเภท EAS แบบใช้คลื่นความถี่วิทยุ	27
รูปที่ 3.10 (ซ้าย) โครงสร้างโดยทั่วไปของระบบสายอากาศเพื่อใช้ตรวจสอบอุปกรณ์ในลักษณะ ประตู ความสูงโดยทั่วไปประมาณ 1.20-1.60 เมตร (ขวา) อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายที่ติดอยู่กับสินค้าต่างๆ	29

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
รูปที่ 3.11 โครงสร้างภายในวงจรไฟฟ้าของเครื่องลูกข่าย แบบที่ใช้กับความถี่ไมโครเวฟ	31
รูปที่ 3.12 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ EAS แบบใช้ความถี่คลื่น ไมโครเวฟ	31
รูปที่ 3.13 มาตรฐาน EAS แบบใช้การหาความถี่	32
รูปที่ 4.1 แสดงความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential	37
รูปที่ 4.2 เทคโนโลยี Inductive Coupling กับการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน	39
รูปที่ 4.3 สัญลักษณ์ข้อมูลที่ถูกรหัสใน ไซค์แบนด์ของความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย RFID	42
รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างที่ใช้สำหรับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบ Load Modulation with subcarrier ที่ติดตั้งอยู่ในเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling	43
รูปที่ 4.5 แสดงหลักการการทำงานส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย RFID ไปยังเครื่องอ่านโดยใช้เทคโนโลยี Modulated reflection cross-section	45
รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบการสัมผัสของบัตรพลาสติกที่เป็นเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling กับเครื่องอ่าน	47
รูปที่ 4.7 แสดง โครงสร้างและการทำงานของระบบ RFID แบบ Electrical Coupling	49
รูปที่ 4.8 แสดง โครงสร้างของเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW	54
รูปที่ 4.9 แสดงย่านความถี่ต่างๆ ที่ได้กำหนดให้ใช้กับเทคโนโลยี RFID	56
รูปที่ 5.1 แสดงรูปการมอดูเลตดิจิตอลทางขนาด	59
รูปที่ 5.2 แสดงการมอดูเลตดิจิตอลทางเฟส	59
รูปที่ 5.3 แสดงสัญญาณในแบบ BPSK	60
รูปที่ 5.4 แสดงการมอดูเลตทางดิจิตอล	61
รูปที่ 5.5 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลตแบบ FSK ในการส่งข้อมูลแบบพูลคูเพิลลิ่ง	61
รูปที่ 5.6 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลตแบบ FSK	62
รูปที่ 5.7 แสดงการประมาณค่าความกว้างแถบของแบบ FSK	62
รูปที่ 5.8 การส่งข้อมูลแบบขนาน	63

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
รูปที่ 5.9 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม	64
รูปที่ 5.10 แสดงการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส	64
รูปที่ 5.11 แสดงรูปข้อมูลแบบซิงโครนัส	65
รูปที่ 5.12 แสดงการส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส	66
รูปที่ 5.13 แสดงรูปแบบข้อมูลแบบอซิงโครนัส	66
รูปที่ 5.14 แสดง Series resonance circuit	69
รูปที่ 5.15 แสดง Paralell resonance circuit	69
รูปที่ 5.16 แสดงช่วงเวลาที่ 1	69
รูปที่ 5.17 แสดงช่วงเวลาที่ 2	70
รูปที่ 5.18 แสดงช่วงเวลาที่ 3	70
รูปที่ 5.19 แสดงช่วงเวลาที่ 4	71
รูปที่ 5.20 แสดงช่วงเวลาที่ 5	71
รูปที่ 5.21 ผลของ L และ C ที่มีต่อกระแสสลับที่ความถี่ต่างๆ	72
รูปที่ 5.22 แสดงวงจรเรโซแนนซ์	73
รูปที่ 5.23 แสดงทิศทางการไหลของกระแสของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ	75
รูปที่ 5.24 แสดงเฟสเซอร์ไคอะแกรมของกระแสและแรงดันของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ	75
รูปที่ 5.25 แสดงการเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ของวงจร R-L-C แบบขนาน	76
รูปที่ 5.26 แสดงวงจรสภาวะเรโซแนนซ์ของวงจร R-L-C แบบขนานในทางปฏิบัติ	78
รูปที่ 5.27 แสดงกราฟค่าของแอดมิตแตนซ์	79
รูปที่ 5.28 แสดงสภาวะของคาปาซิทีฟซ์เซปแดนซ์	80
รูปที่ 6.1 แสดงส่วนของวงจร Oscillator	81
รูปที่ 6.2 Power Amplifier	82
รูปที่ 6.3 ภาค Driver	84
รูปที่ 6.4 Matching ระหว่าง Driver กับ Power Amplifier	87

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
รูปที่ 6.5 Matching Output ของภาค Power Amplifier	87
รูปที่ 6.6 แสดงส่วนของภาค Driver	88
รูปที่ 6.7 แสดงส่วนของภาค Power	89
รูปที่ 6.8 แสดงรูปของ COIL ในลักษณะแนวนอนและแนวตั้ง	90
รูปที่ 6.9 แสดงตัวอย่างของวงจรเมทซิ่ง	91
รูปที่ 6.10 แสดงตัวอย่างของวง BAND REJECT FILTER	91
รูปที่ 6.11 แสดงตัวอย่างของวง MATCHING / BAND REJECT FILTER	92
รูปที่ 6.12 แสดงส่วนของวงจร MATCHING READER COIL	93
รูปที่ 6.13 แสดงส่วนของวงจร Sub Carrier	94
รูปที่ 6.14 แสดงส่วนของวงจร Comparator	94
รูปที่ 6.15 Load 50 โอห์ม	95
รูปที่ 6.16 SQUARE LOOP COIL ของ Reader	96
รูปที่ 6.17 วงจรของเครื่องลูกข่าย	98
รูปที่ 6.18 วงจรหารความถี่	99
รูปที่ 6.19 SQUARE LOOP COIL ของ Tag	100
รูปที่ 7.1 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องอ่าน	102
รูปที่ 7.2 แสดงไฟซาร์จการทำงานของเครื่องอ่าน	103
รูปที่ 7.3 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องลูกข่าย	112
รูปที่ 7.4 แสดงไฟซาร์จการทำงานของเครื่องลูกข่าย	113
รูปที่ 8.1 แสดงสัญญาณภาค drive ที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50Ω ที่กระแส 50mA	117
รูปที่ 8.2 แสดงสัญญาณภาค drive ที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50Ω ที่กระแส 100 mA	119
รูปที่ 8.3 แสดงสัญญาณภาค drive ที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50Ω ที่กระแส 150 mA	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
รูปที่ 8.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของพลังงานที่วัดได้(W) กับกำลังขับที่ Input (dB) ของภาค drive ในส่วนของวงจร Power Amplifier ที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50 Ω ที่กระแสค่าต่างๆ	121
รูปที่ 8.5 แสดงสัญญาณภาคขยายที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50 Ω ที่กระแส 50 mA	122
รูปที่ 8.6 แสดงสัญญาณภาคขยายที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50 Ω ที่กระแส 100 mA	123
รูปที่ 8.7 แสดงสัญญาณภาค drive ที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50 Ω ที่กระแส 150 mA	125
รูปที่ 8.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของพลังงานที่วัดได้ (W) กับกำลังขับที่ Input (dB) ของภาคขยาย ในส่วนของวงจร Power Amplifier ที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50 Ω ที่กระแส ค่าต่างๆ	126
รูปที่ 8.9 แสดงสัญญาณวงจร Power Amplifier ที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50 Ω ที่กระแส 50 mA	127
รูปที่ 8.10 แสดงสัญญาณวงจร Power Amplifier ที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50 Ω ที่กระแส 100 mA	128
รูปที่ 8.11 แสดงสัญญาณวงจร Power Amplifier ที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50 Ω ที่กระแส 150 mA	129
รูปที่ 8.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของพลังงานที่วัดได้(W) กับกำลังขับที่ Input (dB) ของวงจร Power Amplifier ที่ต่อกับ โหลด Impedance เท่ากับ 50 Ω ที่กระแสค่าต่างๆ	130
รูปที่ 8.13 แสดงส่วนของวงจร Oscillator	132
รูปที่ 8.14 แสดงสัญญาณวงจร Oscillator ที่ตำแหน่งที่ 1 (ขา C ของ Q ₁)	133
รูปที่ 8.15 แสดงสัญญาณวงจร Oscillator ที่ตำแหน่งที่ 2 (หลังวงจร Low Pass Filter)	134
รูปที่ 8.16 แสดงสัญญาณวงจร Oscillator ที่ตำแหน่งที่ 3 (ขา E ของ Q ₁)	134
รูปที่ 8.17 แสดงสัญญาณวงจร Oscillator ที่ตำแหน่งที่ 4 (Output ของวงจร Oscillator)	134
รูปที่ 8.18 แสดงสัญญาณวงจร Oscillator ที่ตำแหน่งที่ 5 (ขา C ของ Q ₃)	135

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
รูปที่ 8.19 แสดงสัญญาณวงจร Oscillator ที่ป้อนให้กับวงจร Power Amplifier ที่กระแสเท่ากับ 50 mA	135
รูปที่ 8.20 แสดงสัญญาณวงจร Oscillator ที่ป้อนให้กับวงจร Power Amplifier ที่กระแสเท่ากับ 100 mA	136
รูปที่ 8.21 แสดงสัญญาณวงจร Oscillator ที่ป้อนให้กับวงจร Power Amplifier ที่กระแสเท่ากับ 150 mA	136
รูปที่ 8.22 แสดงสัญญาณที่วัดด้วยเครื่อง Spectrum Analyzer ที่ Sub Carrier Modulation ในขณะที่มีเครื่องลูกข่ายในบริเวณขดลวดของเครื่องอ่าน (ยังไม่มีบัตรลูกข่ายเข้ามาในบริเวณที่ทำการส่งพลังงาน)	141
รูปที่ 8.23 แสดงสัญญาณที่ Sub Carrier Modulation ในขณะที่มีเครื่องลูกข่ายเข้ามาในบริเวณขดลวดของเครื่องอ่าน (ยังไม่มีข้อมูล)	141
รูปที่ 8.24 แสดงสัญญาณที่วัดด้วยเครื่อง Spectrum Analyzer ที่ Sub Carrier Modulation ในขณะที่มีเครื่องลูกข่ายเข้ามาในบริเวณขดลวดของเครื่องอ่าน (ขณะมีข้อมูลส่งมาด้วย)	142
รูปที่ 8.25 แสดงสัญญาณที่ Sub Carrier Modulation ในขณะที่มีเครื่องลูกข่ายเข้ามาในบริเวณขดลวด ของเครื่องอ่าน (ขณะมีข้อมูลส่งมาด้วย) ก่อนเข้าวงจร Low Pass Filter	142
รูปที่ 8.26 แสดงการวัด Sub Carrier ของสัญญาณ Sub Carrier Modulation ในขณะที่มีเครื่องลูกข่าย	143
รูปที่ 9.1 แสดงจุดวัดสัญญาณที่วงจร SUB CARRIER	145
รูปที่ 9.2 แสดงผลของสัญญาณรบกวนมาจากความถี่ 13.56 MHz ที่วงจร SUB CARRIER	145
รูปที่ 9.3 แสดงผลของสัญญาณรบกวนจากความถี่ 13.56 MHz ที่ส่งผลกระทบ ต่อ คิจิตอลมิเตอร์	146
รูปที่ 9.4 แสดงการวางของ โพลบที่บริเวณของขดลวดของเครื่องส่ง ในขณะที่ไม่มีการวัดสัญญาณ	146

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่	
รูปที่ 9.5	แสดงผลของสัญญาณรบกวนจากความถี่ 13.56 MHz อันเป็นผลมาจากการวางโพลบ	147
รูปที่ 9.6	แสดงการวางของโพลบที่ใกล้กับบริเวณของขดลวดของเครื่องส่งในขณะที่ไม่มีการวัดสัญญาณ	147



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
ตารางที่ 3.1 ยานความถี่วิทยุสำหรับระบบ EAS แบบใช้ความถี่คลื่นวิทยุ	28
ตารางที่ 8.1 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของภาค drive ที่กระแส 50 mA	118
ตารางที่ 8.2 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของภาค drive ที่กระแส 100 mA	119
ตารางที่ 8.3 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของภาค drive ที่กระแส 150 mA	120
ตารางที่ 8.4 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของภาคขยาย ที่กระแส 50 mA	122
ตารางที่ 8.5 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของภาคขยาย ที่กระแส 100 mA	124
ตารางที่ 8.6 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของภาคขยาย ที่กระแส 150 mA	125
ตารางที่ 8.7 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของวงจร Power Amplifier ที่กระแส 50 mA	127
ตารางที่ 8.8 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของวงจร Power Amplifier ที่กระแส 100 mA	129
ตารางที่ 8.9 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของวงจร Power Amplifier ที่กระแส 150 mA	130
ตารางที่ 8.10 แสดงตารางการรับส่งพลังงานระหว่างเรื่องส่งและเครื่องรับที่กระแสไบอัสที่ภาค Power ของวงจร PA เท่ากับ 0 mA	137
ตารางที่ 8.11 แสดงตารางการรับส่งพลังงานระหว่างเรื่องส่งและเครื่องรับที่กระแสไบอัสที่ภาค Power ของวงจร PA เท่ากับ 50 mA	138

สารบัญตาราง(ต่อ)

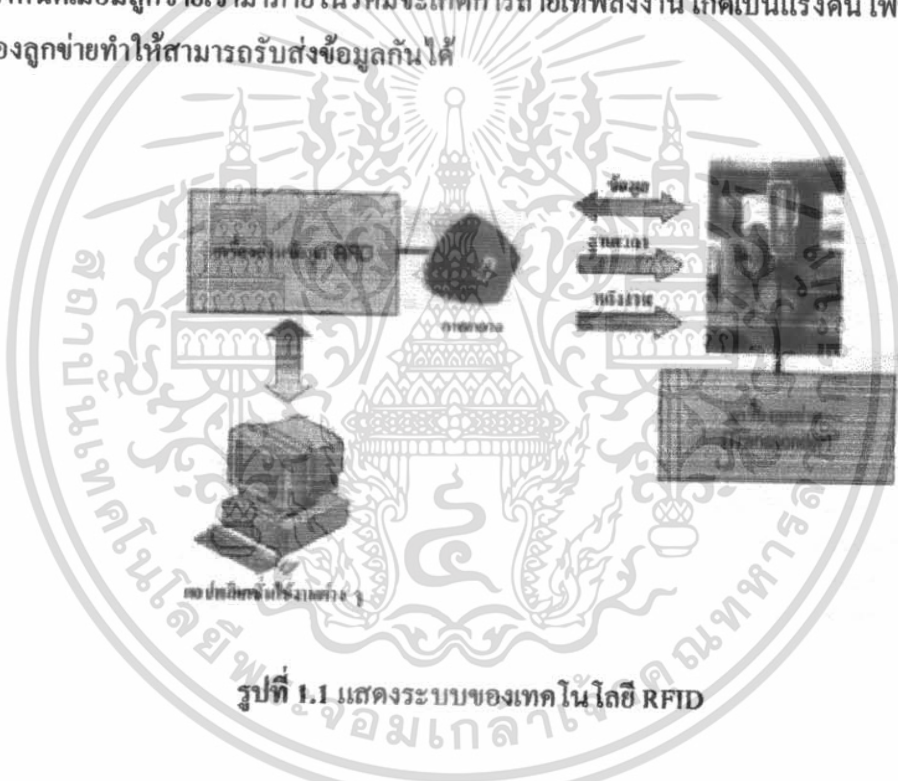
ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 8.12 แสดงตารางการรับส่งพลังงานระหว่างเรื่องส่งและเครื่องรับที่กระแสไบอัส ที่ภาค Power ของวงจร PA เท่ากับ 50 mA	139
ตารางที่ 8.13 แสดงตารางการรับส่งพลังงานระหว่างเรื่องส่งและเครื่องรับที่กระแสไบอัส ที่ภาค Power ของวงจร PA เท่ากับ 150 mA	140



บทที่ 1

บทนำ

เทคโนโลยี RFID เป็นระบบชี้เฉพาะอัตโนมัติ (Automatic/ Identification) แบบไร้สาย (Wireless) ระบบนี้จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์สองส่วนคือ ส่วนของเครื่องอ่านและส่วนของลูกข่าย โดยการทำงานนั้นคือเครื่องอ่านจะทำหน้าที่จ่ายกำลังงานในรูปคลื่นความถี่วิทยุ 13.56 MHz ภายในรัศมีที่กำหนดเมื่อมีลูกข่ายเข้ามาภายในรัศมีจะเกิดการถ่ายเทพลังงาน เกิดเป็นแรงดันไฟฟ้าจ่ายให้กับวงจรของลูกข่ายทำให้สามารถรับส่งข้อมูลกันได้



รูปที่ 1.1 แสดงระบบของเทคโนโลยี RFID

ปัจจุบันการใช้บัตรอัจฉริยะ (Smart Card) และระบบตรวจสอบรหัสโดยใช้ความถี่วิทยุ (RFID) เป็นที่ยอมรับอย่างสูงว่าเป็นเทคโนโลยีที่เอื้ออำนวยต่อการใช้งานที่ต้องการการรับรองความแตกต่าง หรือข้อมูลเฉพาะของแต่ละบุคคลที่สามารถทำงานได้ถูกต้องแม่นยำรวดเร็วและมีความเป็นอัตโนมัติกว่าระบบตรวจสอบรหัสในระบบอื่น ๆ เช่น รหัสแบบแท่ง (Bar Code) การใช้งานที่ง่ายและยังเพิ่มขีดความสามารถในการให้บริการเสริมในเชิงพาณิชย์ด้านต่าง ๆ อีกทั้งยังสอดคล้องกับเทคโนโลยีทางการเก็บข้อมูลคอมพิวเตอร์ยังผลให้การขยายตัวของการใช้งาน RFID/ Smart Card สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นที่ยอมรับว่าเทคโนโลยี RFID ยังเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่สำหรับประเทศไทย จึงมีการนำเข้าสู่เทคโนโลยี RFID จากต่างประเทศ เข้ามาใช้ในประเทศไทยซึ่งเรื่องราคาก็ย่อมสูงเช่นเดียวกัน กับความต้องการของเทคโนโลยี แต่เมื่อมองในแง่ของผลประโยชน์ที่จะ ได้รับก็ยังคงถือว่าคุ้มค่ากับการลงทุน จึงเกิดแนวคิดที่จะศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีเกี่ยวกับ RFID เพื่อที่จะลดต้นทุนของเทคโนโลยีดังกล่าว จากการนำเข้ามาจากต่างประเทศ และเพื่อให้สามารถนำประยุกต์ให้ใช้กับงานทางด้านต่าง ๆ ได้แพร่หลาย ขึ้น

1.1 วัตถุประสงค์ของโรงงาน

- 1.1.1 เพื่อศึกษาและเรียนรู้ถึงการ ใช้งานของเทคโนโลยี RFID
- 1.1.2 เพื่อศึกษาและเรียนรู้ถึงเทคนิคในการรับส่งข้อมูล
- 1.1.3 เพื่อศึกษาและเรียนรู้ถึงระบบต่าง ๆ พร้อมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน
- 1.1.4 สร้าง และทดสอบวงจรทั้งทาง เครื่องอ่าน และบัตรลูกข่าย

1.2 ขอบเขตของโครงการ

- 1.2.1 สามารถติดต่อรับส่งพลังงานระหว่างเครื่องอ่านกับบัตรลูกข่ายได้ โดยมีการจำลองการทำงานของเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายโดยการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมของ ไมโครคอนโทรเลอร์แล้ว แสดงผลที่ได้ออกมาทาง LCD เพื่อเช็คความถูกต้องของข้อมูล
- 1.2.2 ทำการทดลองเครื่องส่ง PA เพื่อทำการส่งถ่ายพลังงานจากเครื่องอ่าน ไปยังเครื่องลูกข่าย เพื่อหาระยะ และพลังงานที่สามารถทำให้เครื่องลูกข่ายทำงานได้
- 1.2.3 ได้รับความรู้และแนวทางในการรับส่งข้อมูล รวมถึงพลังงานที่ใช้ของบัตรลูกข่าย

1.3 วิธีดำเนินงาน

- 1.3.1 ศึกษาในระบบต่าง ๆ เกี่ยวกับเทคโนโลยี RFID
- 1.3.2 ศึกษาและเขียนโปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์เพื่อใช้เก็บข้อมูล และอ่านข้อมูล โดยมีการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม
- 1.3.3 ทำการทดลองในส่วนต่าง ๆ ของระบบ อันได้แก่ ทดลองรับส่งข้อมูล โดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม ทดลองเครื่องส่ง PA ทดลองส่งพลังงานให้กับเครื่องลูกข่ายที่ระยะต่างๆ

1.4 เนื้อหาโดยสังเขปของปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้

1.4.1 บทที่ 1 บทนำ

1.4.2 บทที่ 2 เทคโนโลยี Automatic Identification ชนิดต่าง

1.4.3 บทที่ 3 ชนิดและประเภทของ RFID

1.4.4 บทที่ 4 มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน

1.4.5 บทที่ 5 การมอดูเลทสัญญาณแบบดิจิทัล

1.4.6 บทที่ 6 การออกแบบและการคำนวณ

1.4.7 บทที่ 7 โปรแกรมการติดต่อสื่อสารข้อมูล

1.4.7 บทที่ 8 การทดลอง

1.4.8 บทที่ 9 สรุปและวิเคราะห์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เทคโนโลยี Automatic Identification ชนิดต่าง

เทคโนโลยีแสดงตัวตนอัตโนมัติหรือที่เรียกเป็นศัพท์ทางวิชาการว่า Automatic Identification หรือ Auto-ID เป็นสิ่งที่ได้รับการพัฒนามาเป็นเวลานาน รวมทั้งยังมีการนำมาประยุกต์ใช้งานในชีวิตประจำวันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นแวดวงอุตสาหกรรม ระบบคลังสินค้า ร้านค้าปลีก โรงงาน หรือแม้กระทั่งในสายการผลิตของอุตสาหกรรมทั่วไป วัตถุประสงค์หลักของเทคโนโลยี Auto-ID มีขึ้นเพื่อใช้แสดงตัวตนของมนุษย์ สัตว์ สินค้า หรือแม้กระทั่งวัตถุดิบในกระบวนการผลิต

จะเห็นว่าบรรดามาตรฐาน Auto-ID ต่าง ๆ ที่มีการคิดค้นขึ้นมาล้วนมีความสำคัญในการอำนวยความสะดวกในการทำธุรกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบันทึกระบบฐานข้อมูลอย่างรวดเร็ว แทนที่จะต้องใช้นับหรือจดบันทึกโดยมนุษย์ อันอาจมีโอกาสที่จะเกิดการผิดพลาดได้อยู่เสมอ ๆ นอกจากนี้เทคโนโลยี Barcode แล้ว ยังมีเทคโนโลยี 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 อันเป็นที่ทราบกันดี

ดังได้กล่าวถึงแล้วได้มาตรฐาน 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 พิมพ์เรียงตัวกัน โดยมีช่องว่าง (gap) ซึ่งมีความกว้างแตกต่างกันเช่นเดียวกันขึ้นระหว่างแต่ละแถบสี ทั้งนี้มีการกำหนดมาตรฐานเพื่อใช้รหัสแทนตัวอักษรและตัวเลขต่าง ๆ โดยนำรหัสแถบสัญลักษณ์ไปปิดไว้หรือพิมพ์ไว้บนสินค้า หรือฉลากสินค้าต่าง ๆ อย่างน้อยที่คุ้นตาผู้อ่านมากที่สุดก็คือ การพิมพ์สัญลักษณ์ Barcode ไว้บนปกหลังหนังสือต่าง ๆ การอ่านค่ารหัส Barcode กระทำโดยใช้เครื่องอ่านรหัส ซึ่งมีทั้งเครื่องยิงเหมือนปืน ชนิดตั้งประจำที่หรือแบบเครื่องอ่านบัตรชนิดรูด ดังแสดงในรูปที่

2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากต้องมีการกำหนดมาตรฐานในการแทนค่าและอ่านรหัส Barcode ประกอบกับมีมาตรฐานต่าง ๆ ได้รับการกำหนดใช้งานมากกว่า 10 มาตรฐาน ทำให้การอ่านค่ารหัส Barcode บนฉลากสินค้าต่าง ๆ ให้ถูกต้องจึงต้องใช้มาตรฐานที่ต้องตรงกันกับมาตรฐานต้นทางที่ใช้เขียนรหัสต่าง ๆ ในแวดวงอุตสาหกรรมทั่วโลกมีการยอมรับใช้งานมาตรฐาน Barcode ที่สำคัญอยู่มาตรฐานหนึ่ง ชื่อว่ามาตรฐาน European Article Number หรือ EAN ซึ่งได้รับการคิดค้นขึ้นมาสำหรับใช้ในธุรกิจจำหน่ายสินค้า เพื่อใช้ในห้างสรรพสินค้าและร้านค้าต่าง ๆ ตั้งแต่ พ.ศ. 2419 ปัจจุบันมาตรฐาน Barcode ที่ปรากฏอยู่ข้างฉลากสินค้าต่าง ๆ ก็เป็นไปตามข้อกำหนด EAN ดังกล่าวนี้ โดยตัวรหัสจะประกอบด้วยข้อมูลทั้งหมด 13 หลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.2

Country identifier		Company identifier					Manufacturer's item number					CD
4	0	1	2	3	4	5	0	8	1	5	0	9
FRG		Company Name 1 Road Name 80001 Munich					Chocolate Rabbit 100 g					

รูปที่ 2.2 ตัวอย่าง โครงสร้างการเข้ารหัส Barcode ตามมาตรฐาน EAN (European Article Number)

ส่วนประกอบของรหัส Barcode แบบ EAN สามารถแยกได้ออกเป็นข้อมูล 3 ส่วนหลัก ๆ คือ 2 หลักแรกเป็นรหัสใช้แทนผู้ผลิต (Country Identifier) 5 หลักถัดมาเป็นรหัสแทนชื่อบริษัทซึ่งเมื่อเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐานที่ใช้ก็จะทราบชื่อบริษัทแล้ว ก็จะทราบถึงที่อยู่และหมายเลขติดต่อต่าง ๆ ได้ และอีก 5 รหัสต่อไปจะเป็นเลขที่หรือลำดับที่ของสินค้าที่มีการผลิต ส่วนข้อมูลหลักสุดท้ายใช้เป็นหลักตรวจสอบ ซึ่งมีอัลกอริทึมที่ใช้คำนวณค่า เพื่อป้องกันการทำรหัสปลอม โดยค่าตัวเลขในแต่ละหลักมีได้ตั้งแต่ 0-9 นอกจากรหัสแบบ EAN แล้ว ยังมีมาตรฐาน Barcode ชนิดอื่น ๆ ซึ่งมีการใช้งานโดยเฉพาะกลุ่มดังนี้

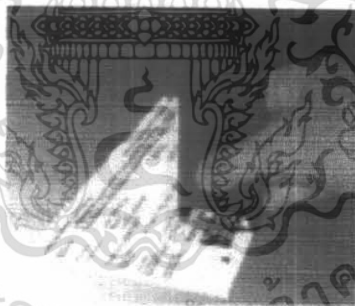
2.1.1 รหัสแบบ Codabar : ใช้ในแวดวงการแพทย์ หรือวงการที่เกี่ยวกับความปลอดภัยต่าง ๆ เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น

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

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

2.2 เทคโนโลยี Optical Character Recognition

เป็นเทคโนโลยี Auto-ID ดั้งเดิมอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับการคิดค้นและใช้งานมาตั้งแต่ พ.ศ. 2510 แนวคิดง่าย ๆ ของเทคโนโลยี Optical Character Recognition หรือเรียกง่าย ๆ ว่า OCR ก็คือ การออกแบบตัวอักษรและตัวเลขภาษาอังกฤษให้มีรูปแบบ (Font) เฉพาะตัวที่สามารถอ่านได้ด้วยสายตามนุษย์ และอ่านได้ด้วยเครื่องอ่าน OCR ที่ได้รับการออกแบบขึ้นมาสำหรับใช้งานในเชิงพาณิชย์ 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 ที่ทำให้ไม่ได้รับความนิยมใช้งานแพร่หลายก็คือราคาต้นทุน และความเที่ยงตรงของเครื่องอ่านรหัส OCR ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้รหัส Auto-ID แบบอื่น ๆ แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าเครื่องอ่านรหัสมาตรฐาน OCR มีราคาแพงกว่า และยังมีความซับซ้อนในการใช้งานเฉพาะกลุ่ม ดังเช่นที่ปรากฏในกรณีของธนาคารเท่านั้น และอยากที่ผลักดันให้มาตรฐานดังกล่าว ได้รับการยอมรับ ในวงกว้าง ซ้ำรายการใช้งานมาตรฐาน OCR ก็ยังคงมีข้อจำกัดเช่นเดียวกับมาตรฐานแบบ Barcode คือ ต้องมีการสัมผัสหรืออ่านค่าข้อมูลครั้งละชิ้นทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการธุรกิจแบบเดียวกัน

2.3 เทคโนโลยี Biometric

เป็นมาตรฐานเทคโนโลยี Auto-ID แบบใช้การสัมผัสเช่นเดียวกับมาตรฐาน Barcode และ OCR ซึ่งความหมายของการสัมผัสนั้น อาจหมายถึงการสัมผัสกันตรง ๆ หรือใช้ถ้าแสงสัมผัสกันก็ได้ สำหรับเทคโนโลยี Biometric นั้นได้รับการออกแบบภายใต้ปรัชญาความเชื่อที่ว่า รหัสที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถใช้แทนตัวตนที่มีชีวิต เช่น คนหรือสัตว์ นั้นควรจะเป็นลักษณะทางกายภาพที่มีความเป็น เอกเทศของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละคนหรือแต่ละตัว โดยไม่มีทางที่จะมีรูปแบบที่เหมือนกันได้ ทำให้เทคโนโลยีการแสดงตัวตนในตระกูล Biometric นั้นเหมาะ สำหรับการใช้ตรวจสอบ เฉพาะกับวังมีชีวิตเท่านั้น

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

2.3.1 เทคโนโลยี Fingerprint

เป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นจากการผสมผสานศาสตร์ทางด้านอาชญาวิทยา โดยแต่เดิมแวดวง การสอบสวนมีการตั้งทฤษฎีการวิเคราะห์ลายนิ้วมือ เพื่อหาผู้ต้องสงสัยหรือผู้ต้องหามาดำเนินคดี ทำให้พบว่าลายนิ้วมือของมนุษย์แต่ละคนมีลักษณะเฉพาะตัว ไม่มีการซ้ำซ้อนกัน การตรวจสอบลายนิ้วมือทำได้ตั้งแต่การตรวจสอบ โคนตรงจากลายนิ้วมือของบุคคลแต่ละคน ไปจนถึงการพิสูจน์จากร่องรอยลายนิ้วมือที่ปรากฏอยู่ตามวัตถุต่าง ๆ ที่ผู้ต้องสงสัยได้แตะต้องไว้

ต่อมาจึงได้มีการผลิตเซ็นเซอร์พิเศษ ที่ใช้สแกนลายนิ้วมือของแต่ละบุคคล แล้วทำการเข้ารหัส พร้อมทั้งบันทึกเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล เมื่อต้องการเปรียบเทียบหรือตรวจสอบลายนิ้วมือ ก็เพียงให้บุคคลวางนิ้วมือลงบนเครื่องอ่าน เครื่องก็จะทำการอ่านค่าลายนิ้วมือเพื่อตรวจสอบกับรูปแบบที่มีการเก็บบันทึกไว้ หากพบว่าตรงกันก็จะดำเนินคดีตามที่โปรแกรมวางไว้ เช่น เปิดประตู เป็นต้น

2.3.2 เทคโนโลยี Voice Recognition

นอกจากการใช้ข้อมูลทางกายภาพ เช่น ลายนิ้วมือในการแสดงตัวตนแล้ว เสียงพูดของมนุษย์ยังสามารถทำหน้าที่เป็นรหัสเพื่อใช้แทนตัวตนได้เป็นอย่างดี ซึ่งนับตั้งแต่วงการอิเล็กทรอนิกส์ได้มีการพัฒนาระบบจัดเก็บเสียงพูดในรูปแบบดิจิทัล พร้อมเทคนิคเทคโนโลยีประมวลผลเชิงดิจิทัล (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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียงพูดที่ผ่านไมโครโฟนจะเข้าสู่กระบวนการแปลงสัญญาณเป็นดิจิทัลเพื่อเข้าสู่การประมวลผลหารูปแบบและโครงสร้างของรหัสเสียงพูด ซึ่งต่อมาจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบที่มีการบันทึกเก็บไว้ก่อนหน้านี้ หากพบว่ามีรูปแบบและโครงสร้างของรหัสเสียงพูด ซึ่งต่อมาจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบที่มีการบันทึกเก็บไว้ก่อนหน้านี้ หากพบว่ามีรูปแบบตรงกัน ก็จะเข้าเงื่อนไขให้ดำเนินการตามความต้องการได้

เทคโนโลยีแบบ Biometric นั้น เหมาะสำหรับการใช้งานเพื่อแสดงตัวตนของสิ่งมีชีวิต และยังถือว่าใช้เวลาในการดำเนินการอยู่พอสมควร ไม่อาจนำไปประยุกต์ใช้กับแวดวงอื่น ๆ ได้ อนาคตของเทคโนโลยีแบบ Biometric นั้น เหมาะสำหรับการใช้งานเพื่อแสดงตัวตนของสิ่งมีชีวิต และยังถือว่าใช้เวลาในการดำเนินการอยู่พอสมควร ไม่อาจนำไปประยุกต์ใช้กับงานบางกลุ่มเท่านั้น จึงไม่เข้าข่ายที่จะเป็นเทคโนโลยีทางเลือกสำหรับการจัดการอุตสาหกรรมยุคใหม่

2.4 เทคโนโลยี Smartcard

เทคโนโลยี Smartcard เริ่มปรากฏสู่สายตาผู้คนทั่วโลก ในปี พ.ศ. 2527 กับการใช้งานในรูปแบบของบัตรโทรศัพท์ที่สามารถเติมเงินได้ ซึ่งกลไกการทำงานของบัตร Smartcard นั้นจากอดีตถึงปัจจุบันก็ยังมีรูปแบบเช่นเดิม กล่าวคือเมื่อมีการใช้งานตัวบัตรซึ่งมีหน้าสัมผัสที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะสัมผัสเข้ากับเครื่องอ่าน ซึ่งมีลักษณะเป็นขา (pin) โดยหน้าสัมผัสบนแผ่น Smartcard จะมีอยู่หลายชุด แต่ละชุดจะส่งสัญญาณฐานเวลา (clock) จากเครื่องอ่าน ป้อนส่งผ่านหน้าสัมผัสที่เกี่ยวข้องไปยังวงจรถอนิกสติกภายใน 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 ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นอย่างดีเพียงใดก็ตามจึงทำให้มีความนิยมใช้งานเทคโนโลยี Smartcard ในวงการการเงินและการธนาคารกันอย่างแพร่หลาย ข้อมูลจากผู้ผลิต Smartcard รายหนึ่งระบุว่าในพ.ศ. 2535 เพียงปีเดียว มียอดการใช้งาน Smartcard สูงถึง 200 ล้านแผ่นทั่วโลกและในพ.ศ. 2538 ยอดการใช้งาน Smartcard เพิ่มขึ้นถึง 600 ล้านแผ่น โดยในจำนวนนี้แบ่งเป็น Smartcard แบบธรรมดา 500 ล้านแผ่น และเป็น

Smartcard ที่ฝังอุปกรณ์ไมโครโปรเซสเซอร์ไว้อีก 100 ล้านแผ่น ถือเป็นตลาดที่มีอัตราการเติบโตสูงที่สุดในแวดวงอุตสาหกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์

เทคโนโลยี Smartcard ก็ยังมีข้อเสียที่ไม่สามารถแก้ไขได้อยู่ นั่นก็คือการใช้งานที่เป็นแบบสัมผัส ซึ่งทำให้ Smartcard มีอายุการใช้งานที่จำกัด อันเนื่องมาจากการสึกหรอผิวขูด หรือความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแผ่นตัวนำไฟฟ้าที่อยู่บนหน้าสัมผัสของ Smartcard นอกจากนี้เครื่องอ่านก็มักจะมีปัญหาการทำงานผิดพลาด และมีต้นทุนในการบำรุงรักษาที่ค่อนข้างสูง ในการใช้งานบางประเภท เช่น ผู้โทรศัพท์สาธารณะ เครื่องอ่านก็ไม่สามารถตรวจสอบและป้องกันการลักลอบปลอมแปลงบัตรได้อีกด้วย

เทคโนโลยี Smartcard สามารถออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบทั่วไปที่มีเฉพาะหน่วยความจำสำหรับบันทึกข้อมูลหรือที่มีการฝังไมโครโปรเซสเซอร์ไว้สำหรับใช้ประมวลผล ในที่นี้จึงขอกกล่าวถึงรูปแบบสถาปัตยกรรมภายในของ Smartcard ทั้งสองแบบพอสังเขปดังนี้

2.4.1 Smartcard แบบ Memory Card

หัวใจหลักของ Smartcard แบบนี้อยู่ที่หน่วยความจำแบบ EEPROM (Electric Erasable and Programmable Read Only Memory) ซึ่งจะทำให้การอ่านและเขียนข้อมูลตามเงื่อนไขที่ได้รับจากเครื่องอ่านในทางปฏิบัติผู้ให้บริการย่อมสามารถกำหนดได้ว่าจะให้มีการเข้ารหัสข้อมูล (Ciphering) ก่อนทำการเขียนหรืออ่านได้ เพื่อป้องกันการลักลอบแอบอ่านข้อมูลโดยบุคคลภายนอกที่ใช้เครื่องอ่านเขียนแบบ ทั้งนี้ดำเนินการโดยการโปรแกรมกำหนดให้หน่วยจัดการแอดเดรสข้อมูลและลอจิกในการรักษาความปลอดภัย (Address and Security Logic) รู้และสามารถเข้ารหัสที่ตรงกันกับเครื่องอ่านที่เป็นของผู้ให้บริการ

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

2.4.2 Smartcard แบบติดตั้งไมโครโปรเซสเซอร์อยู่ภายใน

เป็นบัตร Smartcard ที่มีโครงสร้างภายในที่ซับซ้อนกว่าแบบแรก เริ่มจากการติดตั้งวงจรประมวลผลส่วนกลาง หรือไมโครโปรเซสเซอร์ไว้ภายใน พร้อมทั้งมีการบรรจุระบบปฏิบัติการ (Operating System หรือ OS) ไว้ภายในหน่วยความจำ ROM การทำงานที่ไม่แตกต่างไปจากเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วเครื่องหนึ่งที่เดียว ระบบปฏิบัติการที่ติดตั้งลงใน Smartcard แบบนี้เป็นระบบปฏิบัติการมาตรฐานที่ผลิตขึ้น โดยผู้ออกแบบแผ่น 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 ช่วยทำหน้าที่คำนวณและประมวลผลเกี่ยวกับการใช้งานระบบเครือข่าย เริ่มจากฟังก์ชันพื้นฐาน อย่างการตรวจยืนยันการใช้งาน (Authentication Process) ที่แผ่น SIM จะต้องรับรหัสจากเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มาทำการประมวลผล ก่อนทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่คำนวณได้กับผลลัพธ์ที่ได้จากเครือข่ายและยิ่งไปกว่านั้น ในปัจจุบันแผ่น SIM รุ่นใหม่ ๆ ยังสามารถรองรับการประมวลผลแอปพลิเคชันใหม่ๆ อย่าง โปรแกรม Java2ME อีกด้วย เท่ากับว่าบัตร Smartcard แบบที่มีไมโครโปรเซสเซอร์อยู่ภายใน สามารถบันทึกแอปพลิเคชันหรือโปรแกรมการใช้งานต่าง ๆ มากกว่า 1 โปรแกรมไว้ในบัตรใบเดียวกัน

2.5 เทคโนโลยี RFID

อันที่จริงแล้ว เทคโนโลยี RFID มีรูปแบบการทำงานที่คล้ายคลึงกับเทคโนโลยี Smartcard อยู่มาก ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมภายใน ที่มีการจัดเก็บและบันทึกข้อมูลลงบนหน่วยความจำบนแผ่นพลาสติก ซึ่งในกรณีของ RFID แผ่นบันทึกข้อมูลอาจมีรูปแบบแตกต่างกันไปไม่จำเป็นต้องเป็นแบบเรขาคณิตเสมอไปและเพื่อความสะดวกในการเรียกขาน จึงขอเรียกแผ่นบันทึกข้อมูลในกรณีของ RFID ว่า “เครื่องลูกข่าย” หรือภาษาอังกฤษว่า Transponder อย่างไรก็ตาม ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน (ซึ่งยังคงหมายถึงเครื่องอ่านและเขียนข้อมูล) ทำให้ต้องมีการหาทางส่งพลังงานไฟฟ้าไปป้อนให้กับเครื่องลูกข่ายในรูปแบบอื่น ในกรณีนี้จึงเกิดแนวคิดใน

การกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคเพื่อส่งทั้งข้อมูลสัญญาณฐานเวลา และพลังงานไฟฟ้าที่จะไปปรากฏเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรภายในเครื่องดูข่าย ไปในรูปแบบของเครื่องวิทยุผ่านตัวนำที่เป็นอากาศ

เทคโนโลยี RFID จึงเป็นการผสมผสานศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าหลายประการเข้าด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารโดยใช้คลื่นวิทยุ การส่งพลังงานผ่านคลื่นวิทยุโดยใช้ทฤษฎีของเรดาร์ เทคโนโลยีโทรคมนาคม ฯลฯ ซึ่งผลที่ได้ทำให้เกิดนวัตกรรมใหม่ทางเทคโนโลยีสำหรับการแสดงตัวตนโดยไม่ใช้การสัมผัส



รูปที่ 2.5 อุปกรณ์เครื่องรับส่งข้อมูลแบบ RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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 พิมพ์เรียงตัวกัน โดยมีช่องว่าง (gap) ซึ่งมีความกว้างแตกต่างกันเช่นเดียวกันขึ้นระหว่างแต่ละแถบสี ทั้งนี้มีการกำหนดมาตรฐานเพื่อใช้รหัสแทนตัวอักษรและตัวเลขต่าง ๆ โดยนำรหัสแถบสัญลักษณ์ไปปิดไว้หรือพิมพ์ไว้บนสินค้า หรือฉลากสินค้าต่าง ๆ อย่างน้อยที่คุ้นตาผู้อ่านมากที่สุดก็คือ การพิมพ์สัญลักษณ์ Barcode ไว้บนปกหลังหนังสือต่าง ๆ การอ่านค่ารหัส Barcode กระทำโดยใช้เครื่องอ่านรหัส ซึ่งมีทั้งเครื่องยิงเหมือนปืน ชนิดตั้งประจำที่หรือแบบเครื่องอ่านบัตรชนิดรูด ดังแสดงในรูปที่

2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากต้องมีการกำหนดมาตรฐานในการแทนค่าและอ่านรหัส Barcode ประกอบกับมีมาตรฐานต่าง ๆ ได้รับการกำหนดใช้งานมากกว่า 10 มาตรฐาน ทำให้การอ่านค่ารหัส Barcode บนฉลากสินค้าต่าง ๆ ให้ถูกต้องจึงต้องใช้มาตรฐานที่ต้องตรงกันกับมาตรฐานต้นทางที่ใช้เขียนรหัสต่าง ๆ ในแวดวงอุตสาหกรรมทั่วโลกมีการยอมรับใช้งานมาตรฐาน Barcode ที่สำคัญอยู่มาตรฐานหนึ่ง ชื่อว่ามาตรฐาน European Article Number หรือ EAN ซึ่งได้รับการคิดค้นขึ้นมาสำหรับใช้ในธุรกิจจำหน่ายสินค้า เพื่อใช้ในห้างสรรพสินค้าและร้านค้าต่าง ๆ ตั้งแต่ พ.ศ. 2419 ปัจจุบันมาตรฐาน Barcode ที่ปรากฏอยู่ข้างฉลากสินค้าต่าง ๆ ก็เป็นไปตามข้อกำหนด EAN ดังกล่าวนี้ โดยตัวรหัสจะประกอบด้วยข้อมูลทั้งหมด 13 หลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.2

Country identifier		Company identifier					Manufacturer's item number					CD
4	0	1	2	3	4	5	0	8	1	5	0	9
FRG		Company Name 1 Road Name 80001 Munich					Chocolate Rabbit 100 g					

รูปที่ 2.2 ตัวอย่าง โครงสร้างการเข้ารหัส Barcode ตามมาตรฐาน EAN (European Article Number)

ส่วนประกอบของรหัส Barcode แบบ EAN สามารถแยกได้ออกเป็นข้อมูล 3 ส่วนหลัก ๆ คือ 2 หลักแรกเป็นรหัสใช้แทนผู้ผลิต (Country Identifier) 5 หลักถัดมาเป็นรหัสแทนชื่อบริษัทซึ่งเมื่อเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐานที่ใช้ก็จะทราบชื่อบริษัทแล้ว ก็จะทราบถึงที่อยู่และหมายเลขติดต่อต่าง ๆ ได้ และอีก 5 รหัสต่อไปจะเป็นเลขที่หรือลำดับที่ของสินค้าที่มีการผลิต ส่วนข้อมูลหลักสุดท้ายใช้เป็นหลักตรวจสอบ ซึ่งมีอัลกอริทึมที่ใช้คำนวณค่า เพื่อป้องกันการทำรหัสปลอม โดยค่าตัวเลขในแต่ละหลักมีได้ตั้งแต่ 0-9 นอกจากรหัสแบบ EAN แล้ว ยังมีมาตรฐาน Barcode ชนิดอื่น ๆ ซึ่งมีการใช้งานโดยเฉพาะกลุ่มดังนี้

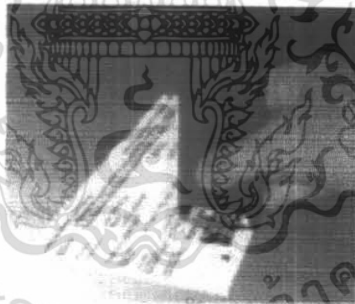
2.1.1 รหัสแบบ Codabar : ใช้ในแวดวงการแพทย์ หรือวงการที่เกี่ยวกับความปลอดภัยต่าง ๆ เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น

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

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

2.2 เทคโนโลยี Optical Character Recognition

เป็นเทคโนโลยี Auto-ID ดั้งเดิมอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับการคิดค้นและใช้งานมาตั้งแต่ พ.ศ. 2510 แนวคิดง่าย ๆ ของเทคโนโลยี Optical Character Recognition หรือเรียกง่าย ๆ ว่า OCR ก็คือ การออกแบบตัวอักษรและตัวเลขภาษาอังกฤษให้มีรูปแบบ (Font) เฉพาะตัวที่สามารถอ่านได้ด้วยสายตามนุษย์ และอ่านได้ด้วยเครื่องอ่าน OCR ที่ได้รับการออกแบบขึ้นมาสำหรับใช้งานในเชิงพาณิชย์ 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 ที่ทำให้ไม่ได้รับความนิยมใช้งานแพร่หลายก็คือราคาต้นทุน และความเที่ยงตรงของเครื่องอ่านรหัส OCR ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้รหัส Auto-ID แบบอื่น ๆ แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าเครื่องอ่านรหัสมาตรฐาน OCR มีราคาแพงกว่า และยังมีความซับซ้อนในการใช้งานเฉพาะกลุ่ม ดังเช่นที่ปรากฏในกรณีของธนาคารเท่านั้น และอยากที่ผลักดันให้มาตรฐานดังกล่าว ได้รับการยอมรับ ในวงกว้าง ซ้ำรายการใช้งานมาตรฐาน OCR ก็ยังคงมีข้อจำกัดเช่นเดียวกับมาตรฐานแบบ Barcode คือ ต้องมีการสัมผัสหรืออ่านค่าข้อมูลครั้งละชิ้นทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการธุรกิจแบบเดียวกัน

2.3 เทคโนโลยี Biometric

เป็นมาตรฐานเทคโนโลยี Auto-ID แบบใช้การสัมผัสเช่นเดียวกับมาตรฐาน Barcode และ OCR ซึ่งความหมายของการสัมผัสนั้น อาจหมายถึงการสัมผัสกันตรง ๆ หรือใช้ถ้าแสงสัมผัสกันก็ได้ สำหรับเทคโนโลยี Biometric นั้นได้รับการออกแบบภายใต้ปรัชญาความเชื่อที่ว่า รหัสที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถใช้แทนตัวตนที่มีชีวิต เช่น คนหรือสัตว์ นั้นควรจะเป็นลักษณะทางกายภาพที่มีความเป็น เอกเทศของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละคนหรือแต่ละตัว โดยไม่มีทางที่จะมีรูปแบบที่เหมือนกันได้ ทำให้เทคโนโลยีการแสดงตัวตนในตระกูล Biometric นั้นเหมาะ สำหรับการใช้ตรวจสอบ เฉพาะกับวงมีชีวิตเท่านั้น

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

2.3.1 เทคโนโลยี Fingerprint

เป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นจากการผสมผสานศาสตร์ทางด้านอาชญาวิทยา โดยแต่เดิมแวดวง การสอบสวนมีการตั้งทฤษฎีการวิเคราะห์ลายนิ้วมือ เพื่อหาผู้ต้องสงสัยหรือผู้ต้องหามาดำเนินคดี ทำให้พบว่าลายนิ้วมือของมนุษย์แต่ละคนมีลักษณะเฉพาะตัว ไม่มีการซ้ำซ้อนกัน การตรวจสอบลายนิ้วมือทำได้ตั้งแต่การตรวจสอบ โคนตรงจากลายนิ้วมือของบุคคลแต่ละคน ไปจนถึงการพิสูจน์จากร่องรอยลายนิ้วมือที่ปรากฏอยู่ตามวัตถุต่าง ๆ ที่ผู้ต้องสงสัยได้แตะต้องไว้

ต่อมาจึงได้มีการผลิตเซ็นเซอร์พิเศษ ที่ใช้สแกนลายนิ้วมือของแต่ละบุคคล แล้วทำการเข้ารหัส พร้อมทั้งบันทึกเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล เมื่อต้องการเปรียบเทียบหรือตรวจสอบลายนิ้วมือ ก็เพียงให้บุคคลวางนิ้วมือลงบนเครื่องอ่าน เครื่องก็จะทำการอ่านค่าลายนิ้วมือเพื่อตรวจสอบกับรูปแบบที่มีการเก็บบันทึกไว้ หากพบว่าตรงกันก็จะดำเนินคดีตามที่โปรแกรมวางไว้ เช่น เปิดประตู เป็นต้น

2.3.2 เทคโนโลยี Voice Recognition

นอกจากการใช้ข้อมูลทางกายภาพ เช่น ลายนิ้วมือในการแสดงตัวตนแล้ว เสียงพูดของมนุษย์ยังสามารถทำหน้าที่เป็นรหัสเพื่อใช้แทนตัวตนได้เป็นอย่างดี ซึ่งนับตั้งแต่วงการอิเล็กทรอนิกส์ได้มีการพัฒนาระบบจัดเก็บเสียงพูดในรูปแบบดิจิทัล พร้อมเทคนิคเทคโนโลยีประมวลผลเชิงดิจิทัล (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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียงพูดที่ผ่านไมโครโฟนจะเข้าสู่กระบวนการแปลงสัญญาณเป็นดิจิทัลเพื่อเข้าสู่การประมวลผลหารูปแบบและโครงสร้างของรหัสเสียงพูด ซึ่งต่อมาจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบที่มีการบันทึกเก็บไว้ก่อนหน้านี้ หากพบว่ามีรูปแบบและโครงสร้างของรหัสเสียงพูด ซึ่งต่อมาจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบที่มีการบันทึกเก็บไว้ก่อนหน้านี้ หากพบว่ามีรูปแบบตรงกัน ก็จะเข้าเงื่อนไขให้ดำเนินการตามความต้องการได้

เทคโนโลยีแบบ Biometric นั้น เหมาะสำหรับการใช้งานเพื่อแสดงตัวตนของสิ่งมีชีวิต และยังถือว่าใช้เวลาในการดำเนินการอยู่พอสมควร ไม่อาจนำไปประยุกต์ใช้กับแวดวงอื่น ๆ ได้ อนาคตของเทคโนโลยีแบบ Biometric นั้น เหมาะสำหรับการใช้งานเพื่อแสดงตัวตนของสิ่งมีชีวิต และยังถือว่าใช้เวลาในการดำเนินการอยู่พอสมควร ไม่อาจนำไปประยุกต์ใช้กับงานบางกลุ่มเท่านั้น จึงไม่เข้าข่ายที่จะเป็นเทคโนโลยีทางเลือกสำหรับการจัดการอุตสาหกรรมยุคใหม่

2.4 เทคโนโลยี Smartcard

เทคโนโลยี Smartcard เริ่มปรากฏสู่สายตาผู้คนทั่วโลก ในปี พ.ศ. 2527 กับการใช้งานในรูปแบบของบัตรโทรศัพท์ที่สามารถเติมเงินได้ ซึ่งกลไกการทำงานของบัตร Smartcard นั้นจากอดีตถึงปัจจุบันก็ยังมีรูปแบบเช่นเดิม กล่าวคือเมื่อมีการใช้งานตัวบัตรซึ่งมีหน้าสัมผัสที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะสัมผัสเข้ากับเครื่องอ่าน ซึ่งมีลักษณะเป็นขา (pin) โดยหน้าสัมผัสบนแผ่น Smartcard จะมีอยู่หลายชุด แต่ละชุดจะส่งสัญญาณฐานเวลา (clock) จากเครื่องอ่าน ป้อนส่งผ่านหน้าสัมผัสที่เกี่ยวข้องไปยังวงจรถอนิกสีกทรอนิกส์ภายใน 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 ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นอย่างดีเพียงใดก็ตามจึงทำให้มีความนิยมใช้งานเทคโนโลยี Smartcard ในวงการการเงินและการธนาคารกันอย่างแพร่หลาย ข้อมูลจากผู้ผลิต Smartcard รายหนึ่งระบุว่าในพ.ศ.2535 เพียงปีเดียว มียอดการใช้งาน Smartcard สูงถึง 200 ล้านแผ่นทั่วโลกและในพ.ศ. 2538 ยอดการใช้งาน Smartcard เพิ่มขึ้นถึง 600 ล้านแผ่น โดยในจำนวนนี้แบ่งเป็น Smartcard แบบธรรมดา 500 ล้านแผ่น และเป็น

Smartcard ที่ฝังอุปกรณ์ไมโครโปรเซสเซอร์ไว้อีก 100 ล้านแผ่น ถือเป็นตลาดที่มีอัตราการเติบโตสูงที่สุดในแวดวงอุตสาหกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์

เทคโนโลยี Smartcard ก็ยังมีข้อเสียที่ไม่สามารถแก้ไขได้ยู่ นั่นก็คือการใช้งานที่เป็นแบบสัมผัส ซึ่งทำให้ Smartcard มีอายุการใช้งานที่จำกัด อันเนื่องมาจากการสึกหรอผิวขูด หรือความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแผ่นตัวนำไฟฟ้าที่อยู่บนหน้าสัมผัสของ Smartcard นอกจากนี้เครื่องอ่านก็มักจะมีปัญหาการทำงานผิดพลาด และมีต้นทุนในการบำรุงรักษาที่ค่อนข้างสูง ในการใช้งานบางประเภท เช่น ผู้โทรศัพท์สาธารณะ เครื่องอ่านก็ไม่สามารถตรวจสอบและป้องกันการลักลอบปลอมแปลงบัตรได้อีกด้วย

เทคโนโลยี Smartcard สามารถออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบทั่วไปที่มีเฉพาะหน่วยความจำสำหรับบันทึกข้อมูลหรือที่มีการฝังไมโครโปรเซสเซอร์ไว้สำหรับใช้ประมวลผล ในที่นี้จึงขอกกล่าวถึงรูปแบบสถาปัตยกรรมภายในของ Smartcard ทั้งสองแบบพอสังเขปดังนี้

2.4.1 Smartcard แบบ Memory Card

หัวใจหลักของ Smartcard แบบนี้อยู่ที่หน่วยความจำแบบ EEPROM (Electric Erasable and Programmable Read Only Memory) ซึ่งจะทำให้การอ่านและเขียนข้อมูลตามเงื่อนไขที่ได้รับจากเครื่องอ่านในทางปฏิบัติผู้ให้บริการย่อมสามารถกำหนดได้ว่าจะให้มีการเข้ารหัสข้อมูล (Ciphering) ก่อนทำการเขียนหรืออ่านได้ เพื่อป้องกันการลักลอบแอบอ่านข้อมูลโดยบุคคลภายนอกที่ใช้เครื่องอ่านเขียนแบบ ทั้งนี้ดำเนินการโดยการโปรแกรมกำหนดให้หน่วยจัดการแอดเดรสข้อมูลและลอจิกในการรักษาความปลอดภัย (Address and Security Logic) รู้และสามารถเข้ารหัสที่ตรงกันกับเครื่องอ่านที่เป็นของผู้ให้บริการ

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแผ่น Smartcard ลักษณะนี้มีเพียงหน่วยความจำอยู่ภายในเพียงอย่างเดียว จึงไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในบริการที่มีความซับซ้อนได้มากเท่า Smartcard แบบที่ไมโครโปรเซสเซอร์อยู่ภายใน การใช้งาน Smartcard แบบนี้จึงต้องมีการกำหนดจุดประสงค์ที่ชัดเจนแน่นอน เช่น ใช้เป็นบัตรเอทีเอ็ม, บัตรโทรศัพท์สาธารณะแบบเติมเงิน ฯลฯ แต่ก็มีข้อดีที่ต้นทุนต่อบัตรแต่ละใบค่อนข้างต่ำจึงมีที่ใช้งานค่อนข้างกว้าง ในธุรกิจที่ต้องการต้นทุนต่อบัตรต่ำ

2.4.2 Smartcard แบบติดตั้งไมโครโปรเซสเซอร์อยู่ภายใน

เป็นบัตร Smartcard ที่มีโครงสร้างภายในที่ซับซ้อนกว่าแบบแรก เริ่มจากการติดตั้งวงจรประมวลผลส่วนกลาง หรือไมโครโปรเซสเซอร์ไว้ภายใน พร้อมทั้งมีการบรรจุระบบปฏิบัติการ (Operating System หรือ OS) ไว้ภายในหน่วยความจำ ROM การทำงานที่ไม่แตกต่างไปจากเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วเครื่องหนึ่งที่เดียว ระบบปฏิบัติการที่ติดตั้งลงใน Smartcard แบบนี้เป็นระบบปฏิบัติการมาตรฐานที่ผลิตขึ้น โดยผู้ออกแบบแผ่น 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 ช่วยทำหน้าที่คำนวณและประมวลผลเกี่ยวกับการใช้งานระบบเครือข่าย เริ่มจากฟังก์ชันพื้นฐาน อย่างการตรวจยืนยันการใช้งาน (Authentication Process) ที่แผ่น SIM จะต้องรับรหัสจากเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มาทำการประมวลผล ก่อนทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่คำนวณได้กับผลลัพธ์ที่ได้จากเครือข่ายและยิ่งไปกว่านั้น ในปัจจุบันแผ่น SIM รุ่นใหม่ ๆ ยังสามารถรองรับการประมวลผลแอปพลิเคชันใหม่ๆ อย่าง โปรแกรม Java2ME อีกด้วย เท่ากับว่าบัตร Smartcard แบบที่มีไมโครโปรเซสเซอร์อยู่ภายใน สามารถบันทึกแอปพลิเคชันหรือโปรแกรมการใช้งานต่าง ๆ มากกว่า 1 โปรแกรมไว้ในบัตรใบเดียวกัน

2.5 เทคโนโลยี RFID

อันที่จริงแล้ว เทคโนโลยี RFID มีรูปแบบการทำงานที่คล้ายคลึงกับเทคโนโลยี Smartcard อยู่มาก ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมภายใน ที่มีการจัดเก็บและบันทึกข้อมูลลงบนหน่วยความจำบนแผ่นพลาสติก ซึ่งในกรณีของ RFID แผ่นบันทึกข้อมูลอาจมีรูปแบบแตกต่างกันไปไม่จำเป็นต้องเป็นแบบเรขาคณิตเสมอไปและเพื่อความสะดวกในการเรียกขาน จึงขอเรียกแผ่นบันทึกข้อมูลในกรณีของ RFID ว่า “เครื่องลูกข่าย” หรือภาษาอังกฤษว่า Transponder อย่างไรก็ตาม ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน (ซึ่งยังคงหมายถึงเครื่องอ่านและเขียนข้อมูล) ทำให้ต้องมีการหาทางส่งพลังงานไฟฟ้าไปป้อนให้กับเครื่องลูกข่ายในรูปแบบอื่น ในกรณีนี้จึงเกิดแนวคิดใน

การกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคเพื่อส่งทั้งข้อมูลสัญญาณฐานเวลา และพลังงานไฟฟ้าที่จะไปปรากฏเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรภายในเครื่องดูข่าย ไปในรูปแบบของเครื่องวิทยุผ่านตัวนำที่เป็นอากาศ

เทคโนโลยี RFID จึงเป็นการผสมผสานศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าหลายประการเข้าด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารโดยใช้คลื่นวิทยุ การส่งพลังงานผ่านคลื่นวิทยุโดยใช้ทฤษฎีของเรดาร์ เทคโนโลยีโทรคมนาคม ฯลฯ ซึ่งผลที่ได้ทำให้เกิดนวัตกรรมใหม่ทางเทคโนโลยีสำหรับการแสดงตัวตนโดยไม่ใช้การสัมผัส



รูปที่ 2.5 อุปกรณ์เครื่องรับส่งข้อมูลแบบ RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 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 และเนื่องจากความแรงของคลื่นสัญญาณความถี่วิทยุที่เครื่องลูกข่ายส่งออกมามีกำลังส่งต่ำ ทำให้มีแนวโน้มว่าสัญญาณอาจส่งไปไม่ถึงเครื่องอ่าน หรืออาจส่งไปถึงแต่มีระดับสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ด้วย เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นของตนเอง ทำให้ส่งสัญญาณออกมาได้สูงกว่า ดังนั้นจึงต้องมีมาตรการในการสร้างความแตกต่างของสัญญาณคลื่นวิทยุ ที่มีการส่ง

มาจากเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่อง ให้มีเอกลักษณ์ (Identity) ที่แตกต่างกัน เพื่อให้เครื่องอ่านสามารถแยกแยะแหล่งที่มาได้อย่างถูกต้อง โดยใช้มอดูเลตสัญญาณแบบ Load Modulation

3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ SEO

เป็นการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID ที่กำหนดให้เครื่องอ่านมีการหยุดส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเป็นช่วง ๆ ต่อเนื่อง หรือเป็นรายคาบเวลาสม่ำเสมอ ช่วงเวลาที่ไม่มีการส่งสัญญาณออกจากเครื่องอ่านนี้เอง ที่จะเป็นจังหวะให้เครื่องลูกข่ายทำการส่งสัญญาณกลับมายังเครื่องอ่าน ถือเป็น การสร้างฐานเวลา (Timing) ถ้าหากใช้อ้างอิงภายในระบบสื่อสารแบบ RFID ที่ประกอบไปด้วยเครื่องอ่านและกลุ่มของเครื่องลูกข่ายที่มีความเที่ยงตรงมาก แต่การรับส่งข้อมูลแบบนี้มีข้อจำกัดอยู่ที่ประเด็นของการจ่ายพลังงานให้กับเครื่องลูกข่าย เนื่องจากในช่วงเวลาที่เครื่องอ่านหยุดส่งสัญญาณนั้น บรรดาเครื่องลูกข่ายทั้งหลายก็จะไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้าที่ส่งผ่านทางคลื่นวิทยุไปด้วย ทำให้ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เก็บประจุไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ขนาดเล็กไว้ในเครื่องลูกข่าย ที่นำมาใช้กับการรับส่งข้อมูลแบบนี้

3.2 ขนาดข้อมูล (Data Quantity)

โดยทั่วไปอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID จะมีขนาดของหน่วยความจำ หรือที่นิยมเรียกกันว่าขนาดความจุข้อมูล (Data Capacity) ได้ขนาดตั้งแต่ไม่กี่ไบต์ไปจนถึงหลาย ๆ กิโลไบต์ อย่างไรก็ตาม ยังมีเครื่องลูกข่าย RFID อีกกลุ่มหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาให้มีขนาดความจุเพียง 1 บิต (1 bit transponder) ซึ่งเครื่องลูกข่ายแบบนี้มักมีราคาประหยัด และมีจุดประสงค์ในการนำไปใช้งานเพียงเพื่อการจับสถานะภาพเท่านั้น อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายแบบ 1 บิตนี้ ก็มีบทบาทการใช้งานที่กว้างขวางมาก โดยเฉพาะในการประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับตรวจสอบเฝ้ามอง (Monitoring) หรือใช้เป็นอุปกรณ์ส่งรหัสสัญญาณอย่างง่าย ๆ โดยมีราคาค่าต้นทุนที่ประหยัดมาก ๆ เนื่องจากเครื่องลูกข่ายแบบ 1 บิต ไม่ต้องการการติดตั้งชิปประมวลผลไว้ภายในแต่อย่างใด

ตัวอย่างการใช้งานเครื่องลูกข่าย RFID แบบ 1 บิต ที่เห็นกันทั่วไปก็คือ การผลิตเป็นอุปกรณ์ชิ้นเล็ก ๆ สำหรับใช้ติดกับสินค้าภายในร้านค้าหรือห้างสรรพสินค้าต่าง ๆ โดยสถานะข้อมูล 1 บิต ในเครื่องลูกข่ายแต่ละชิ้นที่ยังไม่มีการขายอาจถูกกำหนดค่าเป็นลอจิก “1” ซึ่งจะถูกแปลงค่าเป็น “0” หรือ ถูกแกะออกจากสินค้าเมื่อมีการชำระเงินผ่านแคชเชียร์แล้ว ดังนั้นในกรณีที่มีผู้หยิบฉวยสินค้าที่

ติดแถบเครื่องลูกข่าย RFID นี้ออกจากร้านโดยพลการ เครื่องอ่านที่ได้รับการติดตั้งตามทางเข้าออก ก็ จะตรวจพบว่ามีเครื่องลูกข่ายอยู่ในรัศมีทำการ และจะส่งสัญญาณไปยังระบบเตือนภัยทันที

3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)

การจำแนกประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID ตามขีดความสามารถในการโปรแกรมข้อมูล สามารถแบ่งออกได้เป็นเครื่องลูกข่ายที่ไม่สามารถโปรแกรมได้ ซึ่งภายในจะมีการเขียนข้อมูลที่อาจ เป็นรหัสเลขหมายใด ๆ ตามที่ได้รับคำสั่งข้างทำมาตั้งแต่สายการผลิต และไม่สามารถเปลี่ยนแปลง แก้ไขได้ อีกประการหนึ่งเป็นเครื่องลูกข่าย RFID ที่สามารถทำการโปรแกรมข้อมูลผ่านทางเครื่อง อ่านได้ ซึ่งสามารถจำแนกเครื่องลูกข่ายประเภทนี้ออกเป็น 3 ชนิด ตามเทคโนโลยีหน่วยความจำที่ นำมาใช้งาน

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

เป็นชนิดที่พบบ่อยที่สุดในบรรดาเครื่องลูกข่ายโดยทั่วไป แต่ก็มีข้อด้อยในเรื่องของการกิน กระแสไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงในขณะที่กำลังบันทึกข้อมูล ประกอบกับมีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนครั้งที่ สามารถบันทึกข้อมูล ซึ่งส่วนใหญ่สามารถเขียนข้อมูลได้ในช่วง 100,000 – 1,000,000 ครั้งเท่านั้น

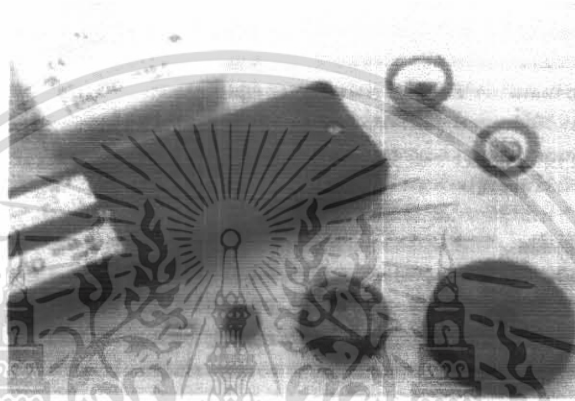
3.3.2 ยุคความจำแบบ FRAM (Ferromagnetic Random Access Memory)

ใช้พลังงานไฟฟ้าในการขณะเขียนข้อมูลต่ำกว่าแบบ EEPROM ประมาณ 100 เท่า แต่มีอายุ การใช้งานในการเขียนข้อมูลใหม่ต่ำกว่าแบบ EEPROM ถึง 1,000 เท่า นอกจากนั้นความยุ่งยากใน การผลิตเครื่องลูกข่าย RFID ที่ใช้หน่วยความจำแบบนี้ ก็มีผลทำให้อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายชนิดนี้ไม่ได้รับ ความนิยมใช้งานแพร่หลายเหมือนแบบอื่น ๆ

3.3.3 ยุคความจำแบบ SRAM (Static Random Access Memory)

มีคุณสมบัติพิเศษในเรื่องของความรวดเร็วในการบันทึกข้อมูล เหมาะสำหรับการใช้บันทึก ข้อมูลแอปพลิเคชันต่าง ๆ ที่อาจจำเป็นสำหรับการใช้งานในบางกรณี แต่เนื่องจากหน่วยความจำแบบนี้ ต้องการกระแสไฟเลี้ยง เพื่อรักษาข้อมูลอยู่ตลอดเวลา จึงต้องมีการออกแบบให้มีแบตเตอรี่สำหรับจ่าย

ไฟเลี้ยงให้กับหน่วยความจำชนิดนี้ ส่งผลให้ขนาดของเครื่องถูกขยับค่อนข้างใหญ่และเหมาะกับการใช้งานเฉพาะกรณีเท่านั้น



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์เครื่องถูกถ่าย RFID แบบ Dish

3.4 การจัดการลำดับคำสั่ง (Sequence)

ในกรณีของเครื่องถูกถ่ายที่สามารถโปรแกรมได้นั้น ก็มีเทคนิคที่ใช้ในการจัดการประมวลผลข้อมูลให้เล็กลงพิจารณาเป็นประเด็นทางเทคนิคอีก ทั้งนี้สามารถแยกชนิดของเทคโนโลยีประมวลผลออกเป็น การประมวลผลโดยการกำหนดเงื่อนไขตายตัว (State Machine) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นตายตัว แล้วบันทึกลงบนชิปประมวลผล เป็นการจัดการที่มีข้อจำกัดค่อนข้างมาก เนื่องจากไม่สามารถถือเขียนโปรแกรมใหม่ได้ หากรูปแบบการใช้งานเปลี่ยนแปลงไป ทำให้มีการคิดค้นตั้งอุปกรณ์ประมวลผลแบบไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ลงในเครื่องถูกถ่าย ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานสามารถเขียนโปรแกรมแก้ไขการทำงานได้ตามต้องการ โดยภายในชิปไมโครโปรเซสเซอร์จะได้รับการติดตั้งระบบปฏิบัติการ (Operating System หรือ OS) และโปรแกรมแอปพลิเคชันใช้งานพื้นฐานต่าง ๆ ลงไปตั้งแต่อยู่ในโรงงานผลิต ทำให้ผู้ใช้งานมีเครื่องมือสำหรับเขียนโปรแกรมใช้งานภายในเครื่องถูกถ่ายได้อย่างคล่องตัว

72622

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 แหล่งพลังงาน (Power Supply)

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

3.6 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency Range)

เป็นคุณสมบัติสำคัญอีกประการหนึ่ง ในการเลือกใช้อุปกรณ์ 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 KHz

3.6.3 ย่าน UHF (Ultra High Frequency) / Microwave ตั้งแต่ 300MHz และมากกว่า 3 GHz ขึ้นไป ตามลำดับ

3.7 ประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID

3.7.1 เครื่องลูกข่ายแบบจานและเหรียญ (Disk and coin)

เป็นแบบที่พบเห็นกันมากที่สุด โดยเครื่องลูกข่ายจะถูกบรรจุอยู่ในโครงสร้างทางกลม คล้ายจานหรือเหรียญ และมีการเคลือบป้องกันไว้เป็นอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องลูกข่ายชนิดนี้มีตั้งแต่ไม่กี่มิลลิเมตร ไปจนถึง 10 เซนติเมตร โดยทั่วไปจะมีการเจาะรูตรงกึ่งกลางของจานเพื่อใช้สำหรับการขันน็อตหรือสกรู ในกรณีของการยึดติดตั้งอุปกรณ์อื่นๆ สำหรับวัสดุที่ใช้ในการเคลือบผิว

นั้น จะใช้สารจำพวก Polystyrol หรือเรซินอีพ็อกซี่ เพื่อให้เครื่องลูกข่ายสามารถทำงานได้ในย่านอุณหภูมิที่ค่อนข้างกว้าง

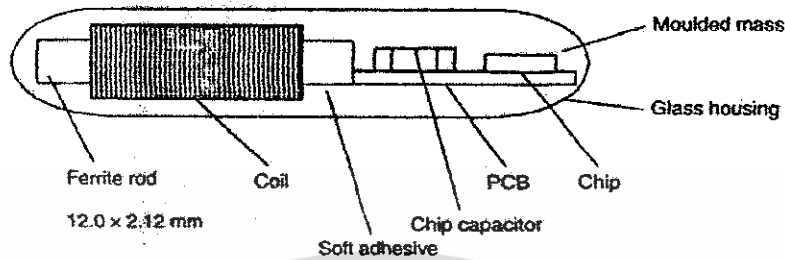
3.7.2 เครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว (Glass Housing)

เป็นเครื่องลูกข่ายที่ได้รับการพัฒนาและผลิตขึ้นสำหรับใช้ฝังไว้ใต้ผิวหนังของสัตว์ เพื่อใช้ในการติดตามข้อมูล 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) เพื่อป้องกันการขยับเขยื้อนของชิ้นส่วนต่าง ๆ



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

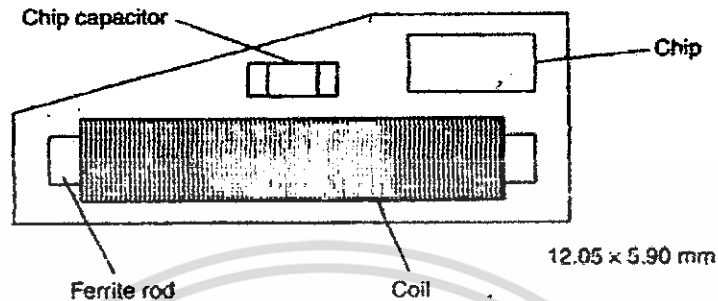
อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของสัตว์ที่ติดตั้งเครื่องลูกข่าย โครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้วมีโครงสร้างแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว

3.7.3 เครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก (Plastic Housing)

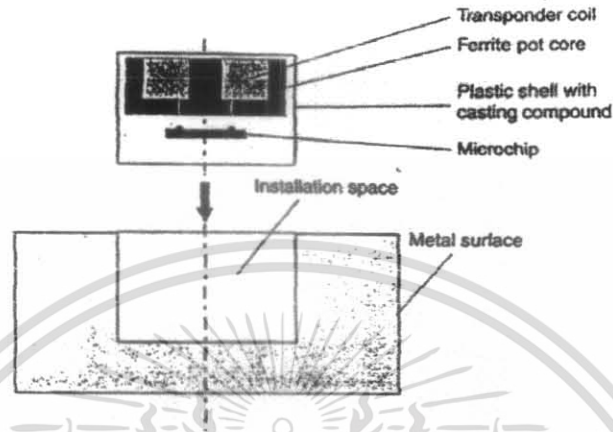
นิยมเรียกกันในชื่อย่อว่า PP (Plastic Package) เครื่องลูกข่ายแบบนี้มีขนาดบาง และสามารถนำไปติดตั้งประกอบกับผลิตภัณฑ์หลาย ๆ ประเภทที่พบเห็นทั่วไปก็คือ การนำเครื่องลูกข่ายแบบ PP ติดตั้งฝังอยู่กับพวงกุญแจรถยนต์ในลักษณะของพวงกุญแจอัจฉริยะ (Electronic Immobilization System) โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่ายแบบ PP นี้ เทียบจะไม่แตกต่างจากเครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ต่างกันเพียงส่วนของขดลวดและแท่งเฟอร์ไรท์ที่มีความยาวมากกว่าแบบกระเปาะแก้ว ซึ่งมีผลทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดนี้ มีประสิทธิภาพที่กว้างไกลกว่า ข้อดีที่เหนือกว่าอีกสองประการก็คือ เครื่องลูกข่ายแบบ PP มีพื้นที่สำหรับติดตั้งไมโครชิปที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งย่อมหมายถึงขีดความสามารถในการประมวลผลที่สูงกว่า และยังสามารถทนต่อการเสียดสีในระดับที่สูงมาก ๆ ดังเช่นการสั่นสะเทือนภายในรถยนต์โดยสารทั่วไป ยิ่งไปกว่านั้น เครื่องลูกข่ายแบบ PP ยังได้รับการยอมรับในแง่ของเสถียรภาพและความคงทน ไม่ว่าจะเป็นการทนต่ออุณหภูมิที่ผันแปรค่อนข้างสูง และการตกหล่นกระแทกต่าง ๆ



รูปที่ 3.4 โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก ซึ่งตัวบรรจุภัณฑ์ที่เคลือบเป็นพลาสติกมีความหนาเพียง 3 มิลลิเมตรเท่านั้น

3.7.4 เครื่องลูกข่ายสำหรับใช้เฉพาะกิจ

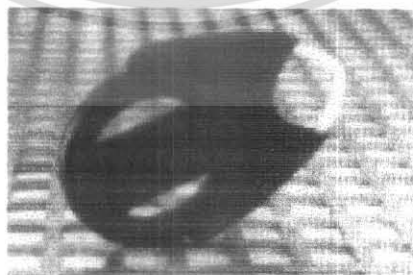
เป็นเครื่องลูกข่าย RFID อีกประเภทหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ สำหรับใช้งานในกรณีเฉพาะกิจ โดยมีการคิดค้นและพัฒนาเพื่อบรรจุเครื่องลูกข่ายลงในโครงสร้างและหน้าสัมผัสที่เป็นโลหะ ขดลวดสำหรับรับส่งสัญญาณของเครื่องลูกข่ายจะถูกพันกับแกนเฟอร์ไรท์ รูปทรงตัว U ไมโครชิปที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณจะถูกติดตั้งอยู่บนแกนด้านนอกของแกนเฟอร์ไรท์ และเชื่อมต่อกับขดลวดรับส่งสัญญาณโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เพื่อเป็นการออกแบบให้เครื่องลูกข่ายประเภทนี้ มีเสถียรภาพในการใช้งานท่ามกลางสภาพแวดล้อมพิเศษต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นสถานที่ที่มีความร้อนสูงหรือมีแรงสั่นสะเทือนมาก ชุดเครื่องลูกข่ายและแกนเฟอร์ไรท์จะได้รับการบรรจุลงในโครงสร้างโลหะแล้วเทเคลือบยึดไม่ให้มีการเคลื่อนไหว โดยใช้เรซินอีพ็อกซี่ รูปที่ 3.6 เป็นตัวอย่างในรูปแบบหนึ่งของเครื่องลูกข่ายแบบเฉพาะกิจ ซึ่งได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้ติดตั้งกับเครื่องจักรกลแบบควบคุมด้วยระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือ CNC (Computer Numerical Control) การออกแบบรูปลักษณะภายนอกที่เป็นบรรจุภัณฑ์ของเครื่องลูกข่ายชนิดนี้ สามารถทำได้หลากหลายตามความจำเป็น และเหมาะสมในการใช้งาน



รูปที่ 3.5 โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่าง RFID แบบติดตั้งลงในหน้าสัมผัสโลหะ

3.7.5 เครื่องลูกข่างแบบพวงกุญแจ (Key and Key fob)

เครื่องลูกข่าง RFID สามารถได้รับการพัฒนาให้อยู่ในรูปของกุญแจแบบพิเศษที่ใช้ในการเปิดประตู หรือใช้กับระบบรักษาความปลอดภัยต่าง ๆ ซึ่งพวงกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้ไม่มีลูกกุญแจ แต่กลับทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งอาจมีการนำเข้ารหัสเพื่อใช้ในการยืนยันตัวตนบุคคล โครงสร้างของเครื่องลูกข่างประเภทนี้ ทำจากพลาสติกซึ่งฉีดขึ้นรูปให้มีลักษณะและรูปทรงเป็นแบบพวงกุญแจ เครื่องลูกข่างประเภทนี้ได้รับความนิยมใช้งานเป็นอุปกรณ์แสดงตนสำหรับผ่านเข้าออกอาคารสำนักงานและสถานที่ต่าง ๆ โดยมีตัวอย่างรูปทรงดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องลูกข่าง RFID แบบพวงกุญแจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.6 เครื่องลูกข่ายแบบนาฬิกา

ผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นนาฬิกาสวมใส่ข้อมือ และใช้เป็นอุปกรณ์แสดงตัวตนในลักษณะช่องเซ็นเซอร์แบบไร้การสัมผัส (Contactless Sensor) เพื่อผ่านเข้าสู่ลู่วิ่งสำหรับนักศึกษาทั้งหลาย ซึ่งต่อมาผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ ก็เริ่มได้รับความนิยมใช้งานมากขึ้น ในงานรักษาความปลอดภัย โดยเฉพาะการยืนยันตนเพื่อผ่านประตูหรือช่องทางเข้าต่าง ๆ โครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายประเภทนาฬิกา ประกอบไปด้วยเฟรมสายอากาศเชื่อมต่ออยู่กับแผงวงจรพิมพ์ขนาดเล็กที่จัดรูปทรงให้สามารถบรรจุลงไปในนาฬิกาข้อมือได้ ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 นาฬิกาข้อมือติดตั้งเครื่องลูกข่าย RFID ใช้แบบการติดต่อสื่อสารแบบไร้การสัมผัส เพื่อตรวจยืนยันตัวผู้ใช้งาน

3.8 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID

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

3.8.1 ความถี่ใช้งาน

อุปกรณ์ RFID ที่ใช้งานย่านความถี่ในช่วง 100 KHz ถึง 30 MHz จะใช้รูปแบบส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องรับเป็นแบบเหนี่ยวนำ (Inductive Coupling) ในขณะที่

อุปกรณ์ RFID ที่มีการสื่อสารโดยใช้ความถี่ย่านไมโครเวฟซึ่งอยู่ในช่วง 2.45 – 5.8 KHz จะใช้การส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแทน ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องทำความเข้าใจกับพฤติกรรมและการแพร่กระจายของอุปกรณ์ RFID ที่เลือกใช้ให้ดี และให้เหมาะสมกับรูปแบบการนำไปใช้งาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด

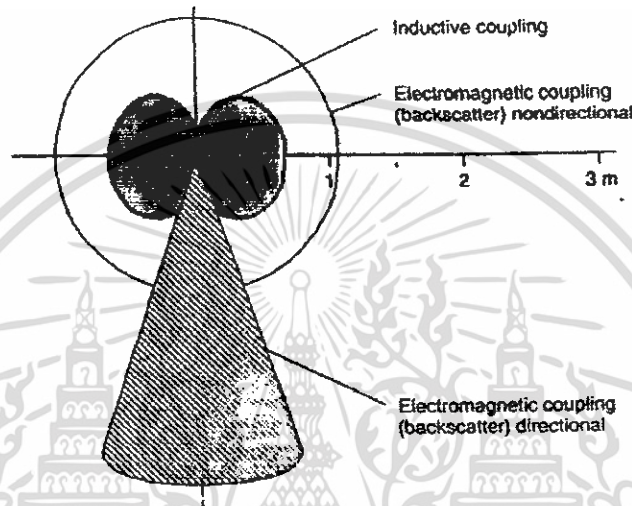
ส่วนการเลือกย่านความถี่ไมโครเวฟนั้น โดยทั่วไปจะให้ผลดีในเรื่องของระยะทางที่ไกลกว่าการเหนี่ยวนำ โดยใช้คลื่นความถี่ต่ำ แต่อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายที่ทำงานในย่านไมโครเวฟนั้นต้องการแบตเตอรี่สำรองไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องลูกข่ายไม่สามารถอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องอ่านผ่านทางคลื่นความถี่วิทยุเพียงอย่างเดียว ทำให้ต้องมีขนาดใหญ่และมีข้อจำกัดในการพกพาหลายประการ

สิ่งที่ควรพิจารณาประการหนึ่ง สำหรับการใช้งานอุปกรณ์ RFID ในย่านความถี่ต่ำก็คือ การที่ระบบอาจถูกรบกวนจากการเดินเครื่องมอเตอร์ที่อยู่ใกล้เคียงได้ เนื่องจากการรับส่งข้อมูลที่ใช้การเหนี่ยวนำ ทำให้มีความนิยมใช้งานการสื่อสารโดยใช้คลื่น ไมโครเวฟแทนในกรณีของการใช้งานภายในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะ โรงงานประกอบรถยนต์

3.8.2 ระยะทำการ

ปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้อง โดยตรงต่อระยะทำการในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID สามารถจำแนกได้ 3 ประเภท คือ ตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย ระยะชั้นต่ำระหว่างเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องกับเครื่องอ่าน ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไป แล้วแต่ประเภทของการใช้งาน ความเร็วของการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่าย และความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่าย และความเร็วในการอ่านและเขียนข้อมูลของเครื่องลูกข่าย ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถอธิบายให้เห็นภาพได้ง่ายๆ โดยให้คิดถึงเครื่องลูกข่ายแบบ Smartcard ไร้การสัมผัสเพื่อผ่านเข้าออกช่องทางประตูไฟฟ้าได้คิดระบบในลักษณะนี้ไม่ต้องการความเที่ยงตรงของตำแหน่งเครื่องลูกข่ายมากนักเนื่องจากในทางปฏิบัติ ผู้โดยสารทุกคนต้องนำบัตรมาแตะ ในระยะที่เกือบๆ จะสัมผัสกับเครื่องอ่านอยู่แล้ว สิ่งที่ควรให้ความสำคัญกลับเป็นระยะห่างชั้นต่ำที่ยอมให้เครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้กัน ซึ่งในที่นี้ก็คือ ระยะห่างของผู้โดยสารปัจจุบัน โดยผู้โดยสารคนถัดไปที่กำลังเดินตามมา เพื่อให้มั่นใจว่า สัญญาณที่ส่งออกจากเครื่องอ่านเพื่อกระตุ้นให้เกิดไฟเลี้ยงในบัตรใบปัจจุบันที่อยู่ใกล้เครื่องอ่านมากที่สุดจะ ไม่ถูกส่งไปไกลจนถึงบัตรของผู้โดยสารคนถัดไป มิฉะนั้นจะทำให้เครื่องลูกข่ายในบัตรทั้งสองใบส่งสัญญาณออกมาพร้อมกันทำให้เกิดปัญหาข้อมูลชน

กันได้โดยทั่วไปเมื่อพิจารณาถึงระยะที่ผู้โดยสารสองคนจะมีโอกาสอยู่ใกล้ที่สุดแล้ว ก็ต้องทำให้ต้องออกแบบเครื่องอ่าน RFID ให้ส่งสัญญาณออกมาในระยะทางไม่เกิน 5-10 เซนติเมตร



รูปที่ 3.8 การเปรียบเทียบการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์ RFID แต่ละมาตรฐาน

ในกรณีของการติดตั้งเครื่องลูกข่าย RFID ลงในตัวถังรถยนต์ที่อยู่ในกระบวนการผลิต เพื่อใช้บอกลำดับและแสดงตัวตนเมื่อเข้าสู่กระบวนการต่างๆ เช่น การชุบสี การยัดน้ำอัด เป็นต้นโดยทั่วไปจะเลือกใช้เครื่องลูกข่ายที่ทำงานในย่านความถี่ไมโครเวฟ อันเนื่องมาจากมีความต้านทานต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งรูปแบบของการกระจายคลื่นดังรูปที่ 3.8 โดยสัญญาณที่ส่งออกจะเป็นคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีทิศทาง (Directional) แต่โดยธรรมชาติของการแพร่กระจายในทิศทางตรงแล้วที่ด้านหลังของสายอากาศยังมีสัญญาณที่ไม่พึงประสงค์ที่เป็นสัญญาณรอบทิศทาง (Nondirectional) ปรากฏอยู่ แม้ขนาดความแรงจะมีรัศมีเพียงเล็กน้อย แต่นักถึงกระบวนการผลิตที่เป็นลักษณะสายพาน เมื่อรถยนต์คันแรกวิ่งผ่านไปแล้วยังมีสัญญาณส่งย้อนกลับมา และเกิดการแทรกสอดกับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทางตรงของรถยนต์คันถัดมาก็จะทำให้เกิดปัญหาทันที ในกรณีนี้จึงมีการศึกษาพฤติกรรมของการแพร่กระจายคลื่นให้ชัดเจนเพื่อกำหนดระยะห่างของเครื่องลูกข่าย และยังเป็นกำหนดยุทธศาสตร์และตำแหน่งการยิงสัญญาณของเครื่องอ่านให้เหมาะสมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.3 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย

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

3.8.4 ขนาดของหน่วยความจำ

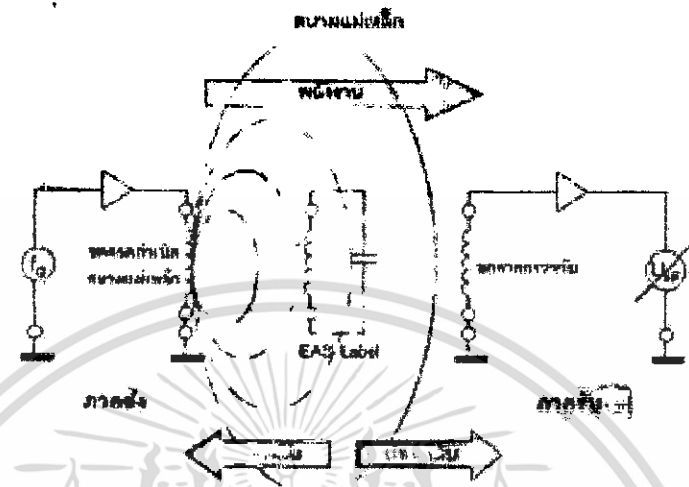
หน่วยความจำแบบ EEPROM มักจะนิยมใช้งานในระบบ RFID ที่มีการถ่ายทอดข้อมูลแบบเหนี่ยวนำโดยมีขนาดหน่วยความจำสำหรับใช้งานในช่วง 16 ไบต์ หรือ 8 กิโลไบต์ ในขณะที่หน่วยความจำแบบ SRAM ที่มักจะมาพร้อมกับเบตเตอรี่สำรองไฟฟ้า จะได้รับความนิยมใช้ในการถ่ายทอดข้อมูลโดยใช้คลื่นความถี่ย่านไมโครเวฟ ขนาดของหน่วยความจำจะอยู่ระหว่าง 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 ซึ่งอาจจะเป็นทางเข้าออกของห้างสรรพสินค้า ที่มีการติดตั้งเครื่อง



รูปที่ 3.9 ลักษณะการทำงานทางเทคนิคของอุปกรณ์ RFID ประเภท EAS แบบใช้คลื่นความถี่วิทยุ

อ่านไว้ หลักการทำงานของเทคโนโลยีชนิดนี้ ใช้การสร้างสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) กระแสสลับ ซึ่งจะส่งผลให้สร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่คลื่นวิทยุจากเครื่องอ่าน ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า เครื่องส่ง สัญญาณคลื่นวิทยุดังกล่าวจะปกคลุมพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบอยู่ตลอดเวลา เมื่อมีการนำ Tag ซึ่งได้รับการออกแบบให้ภายในมีวงจรการทำงานแบบ LC resonant กล่าวคือมีการติดตั้งขดลวด (Inductor มีค่าเป็นเฮนรี่ เขียนแทนด้วย L และคาปาซิเตอร์ (Capacitor มีค่าเป็นฟารัด เขียนแทนด้วย C) เพื่อทำให้เกิดการก้ำทอน (หรือรีโซแนนซ์) ขยายสัญญาณที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งซึ่งคำนวณได้จากค่า L และ C หากค่าความถี่ก้ำทอน (Resonant Frequency) ของอุปกรณ์ Tag (เขียนแทนด้วย FR) มีค่าตรงกับ ความถี่คลื่นวิทยุจากภาคส่ง (เขียนแทนด้วย FG) ก็จะมีผลทำให้อิมพีแดนซ์ของขดลวดกำเนิด สนามแม่เหล็กที่ภาคส่งตกลง ส่งผลให้ผลแรงดันไฟฟ้า ณ จุดดังกล่าวลดลงเล็กน้อย ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้ ความเข้มของสนามแม่เหล็กตกลงเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวอ่านสัญญาณหรือภาครับตรวจพบความ เปลี่ยนแปลงของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ก็จะหมายความว่ามียุภัณฑ์ Tag ปรากฏอยู่ในพื้นที่ แพร่กระจายสัญญาณ การเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มของสนามแม่เหล็กจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ปัจจัยหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นระยะทางระหว่างขดลวดของเครื่องส่งอุปกรณ์-Tag - ขดลวดของ เครื่องรับ และยังขึ้นอยู่กับค่า Q หรือ Quality Factor ของวงจร LC ภายในอุปกรณ์ Tag มีค่าสูงก็จะทำ ให้ระบบ EAS แบบดังกล่าวสามารถตรวจสอบการปรากฏตัวของอุปกรณ์ Tag ได้แม่นยำ

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

ตารางที่ 3.1 ย่านความถี่วิทยุสำหรับระบบ EAS แบบใช้ความถี่คลื่นวิทยุ

	ระบบ 1	ระบบ 2	ระบบ 3	ระบบ 4
ความถี่ (เมกะเฮิรตซ์)	1.85-2.12	7.44-8.73	7.38-8.78	7.40-8.80
คลื่นความถี่กวาด (เฮิรตซ์)	144	141	85	85

สมมติว่ามีการนำสินค้าซึ่งติดตั้งอุปกรณ์ Tag ที่มีความถี่กำหนด (FR) เท่ากับ 8.2 MHz เข้ามาในพื้นที่ตรวจจับเมื่อเครื่องส่งกวาดส่งสัญญาณมาตรงกับความถี่ 8.2 MHz ก็จะมีผลทำให้เกิดการกำทอน (Resonate) ส่งผลให้ระดับความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุที่ความถี่ 8.2 MHz นั้นลดลงอย่างผิดปกติ เรียกว่าเกิด Dip ซึ่งแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับเพียงเล็กน้อย แต่ก็เครื่องรับสามารถตรวจสอบได้เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความแรงที่เปลี่ยนแปลงต่อเนื่องตลอดเมื่อเครื่องส่งกวาดส่งสัญญาณในความถี่ช่วง อื่นๆ ความเปลี่ยนแปลงของระดับความแรงดังกล่าวนั้นขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ซึ่งเกิดจากวงจร LC ภายในอุปกรณ์ Tag เมื่ออยู่ในพื้นที่ความถี่ต่าง ๆ

อุปกรณ์ Tag ที่ใช้กับระบบ EAS แบบใช้ความถี่คลื่นวิทยุนี้มักจะได้รับการออกแบบให้ประกบติดกับสินค้าแบบตายตัว เช่น อยู่ในรูปแบบของสติ๊กเกอร์ ซึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ดังนั้นเมื่อมีการนำสินค้าที่ติดตั้ง Tag มาชำระเงินที่แคชเชียร์แล้ว พนักงานขายก็จะทำการลบสถานะของ Tag จากสภาพไวงาน (Active State) ไปเป็นเฉื่อยงาน (Deactivate State) ซึ่งก็หมายถึงทำให้ Tag หมดยุติการใช้งาน ด้วยการนำสินค้าที่ติดอุปกรณ์ Tag ดังกล่าวไปอยู่กับเครื่องลบสถานะ ซึ่งจะส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กที่มีความแรงเพียงพอที่จะทำลายตัวเก็บประจุที่อยู่ภายในวงจร LC ของอุปกรณ์ Tag ได้ ซึ่ง

โดยทั่วไปจะออกแบบให้ตัวเก็บประจุภายในอุปกรณ์ Tag สามารถลัดวงจรตัวเองได้เมื่อถูกกระตุ้นจากสนามแม่เหล็กของเครื่องลบสถานะ นั่นก็ขอมหมายความว่าอุปกรณ์ Tag ที่ถูกลบสถานะ ไปแล้วจะไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไป และจะ ไม่มีผลตอบสนองใด ๆ ต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปรากฏในพื้นที่ตรวจสอบอีกต่อไป ซึ่งในทางปฏิบัติก็คือผู้ที่ชำระเงินแล้วสามารถนำสินค้าออกจากร้านค้าได้โดยอุปกรณ์ Tag ดังกล่าวจะไม่ทำปฏิกิริยากับระบบ EAS ที่ประตูทางออกอีกต่อไป สัญญาณกันขโมยก็จะไม่ทำงาน



รูปที่ 3.10 (ซ้าย) โครงสร้างโดยทั่วไปของระบบสายอากาศเพื่อใช้ตรวจสอบอุปกรณ์ในลักษณะประตู ความสูงโดยทั่วไปประมาณ 1.20-1.60 เมตร (ขวา) อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายที่ติดอยู่กับสินค้าต่างๆ

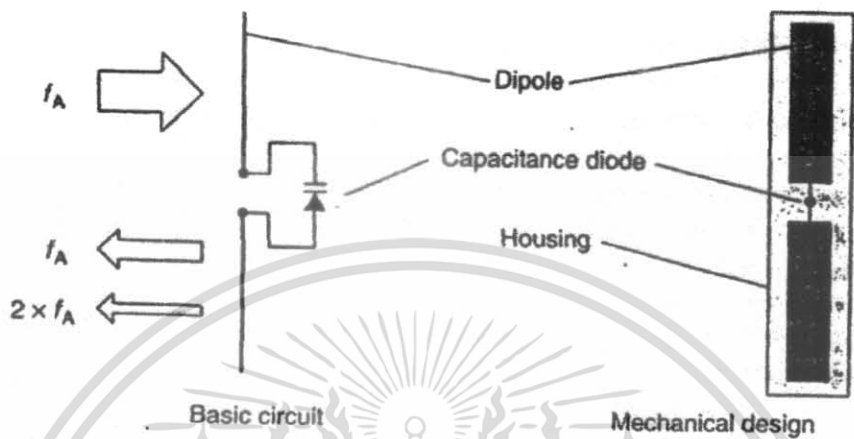
3.9.2 EAS แบบใช้ความถี่คลื่นไมโครเวฟ (Microwave)

ระบบ EAS แบบที่ใช้ความถี่ไมโครเวฟ มีหลักการการทำงานที่แตกต่างจากชนิดแรก ตรงที่อาศัยหลักการสร้างสัญญาณฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Signal) แล้วทำการตรวจสอบการปรากฏของสัญญาณฮาร์โมนิกส์ ซึ่งมีความถี่ที่แตกต่างจากค่าความถี่คลื่นที่ถูกส่งออกจากเครื่องส่ง ทำให้เกิดความเที่ยงตรงในการตรวจจับเครื่องลูกข่าย และการทำงานของระบบก็มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบใช้ความถี่วิทยุแต่ก็มีต้นทุนที่สูง ทำให้ต้องมีการนำกลับมาใช้ซ้ำเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าที่สูงสุดหลักการการทำงานของระบบพื้นฐานทางฟิสิกส์ เมื่อมีการป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave) ผ่านเข้าไปในอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีลักษณะการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น จะทำให้เกิดการสร้างสัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่มีความถี่เป็นจำนวน

เท่าของความถี่มูลฐานที่เป็นสัญญาณเดิม เรียกว่าความถี่ฮาร์โมนิกส์ซึ่งประกอบไปด้วยความถี่ $2 \times 2 = 4 \text{ GHz}$ $3 \times 2 = 6 \text{ GHz}$ $4 \times 2 = 8 \text{ GHz}$ ไปจนถึงอนันต์

แต่ในขณะที่เดียวกันระดับความแรงของสัญญาณฮาร์โมนิกส์เหล่านี้ก็ลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับสัญญาณต้นฉบับเดิม หรือก็คือพลังงานที่บรรจุอยู่ในสัญญาณคลื่นต้นฉบับจะถูกแบ่งไปให้กับฮาร์โมนิกส์อื่นๆ คือไดโอดในอุดมคติจะไม่ทำให้สัญญาณต้นทางเกิดการสูญเสียพลังงาน ระดับความแรงของสัญญาณ 10 โวลต์ ก็จะถูกกระจายแบ่งไปให้กับฮาร์โมนิกส์ค่าต่างๆ ยิ่งฮาร์โมนิกส์ที่สูงๆ ก็จะได้รับสัญญาณน้อยลง แต่เมื่อนำระดับพลังงานของสัญญาณทุกฮาร์โมนิกส์มารวมกันก็จะ ได้พลังงานเท่ากับสัญญาณขาเข้าทุกประการ

เครื่องลูกข่ายแบบ 1 บิต ที่ผลิตใช้กับความถี่คลื่นไมโครเวฟนั้นสามารถผลิตขึ้นได้ง่ายๆ โดยนำอุปกรณ์ Capacitance Diode มาเชื่อมกับ ไดโพล (Dipole) หรือแกนรับสัญญาณที่มีลักษณะเดียวกับสายอากาศรับสัญญาณทั่วๆ ไป พร้อมทั้งปรับมุมให้รับสัญญาณต้นฉบับที่ถูกสร้างจากอุปกรณ์ภาคส่งของระบบ EAS ดังแสดงในรูปที่ 3.15 การออกแบบของเครื่องลูกข่าย สำหรับใช้ในกิจการแต่ละประเภท ต้องพิจารณาถึงความถี่ที่ต้องการนำไปใช้ด้วย สำหรับความถี่ที่ใช้งานในทางปฏิบัติสำหรับระบบ EAS นั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปตามภูมิภาค โดยในทวีปยุโรปจะใช้ความถี่ 2.45 – 506 GHz ส่วนภูมิภาคอื่นๆ จะเพิ่มความถี่ 915 MHz เข้ามาเป็นตัวเลือกเพิ่มเมื่อมีการนำเครื่องลูกข่ายเข้ามาภายในพื้นที่ตรวจจับซึ่งมีการส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่ตรงกันกับย่านการทำงานก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเวียนภายในเครื่องลูกข่าย โดยผ่านไดโอดที่อยู่ภายใน และเริ่ม มีการผลิตสัญญาณฮาร์โมนิกส์เลียนแบบสัญญาณต้นฉบับที่ได้รับออกมา ในการใช้งานโดยทั่วไปมักจะสนใจเฉพาะสัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่สองและสามเท่านั้น ฮาร์โมนิกส์ที่สูงกว่าจะไม่ได้รับความสนใจนัก เนื่องจากมีความแรงของสัญญาณต่ำ



รูปที่ 3.11 โครงสร้างภายในวงจรไฟฟ้าของเครื่องลูกข่าย แบบที่ใช้กับความถี่ไมโครเวฟ



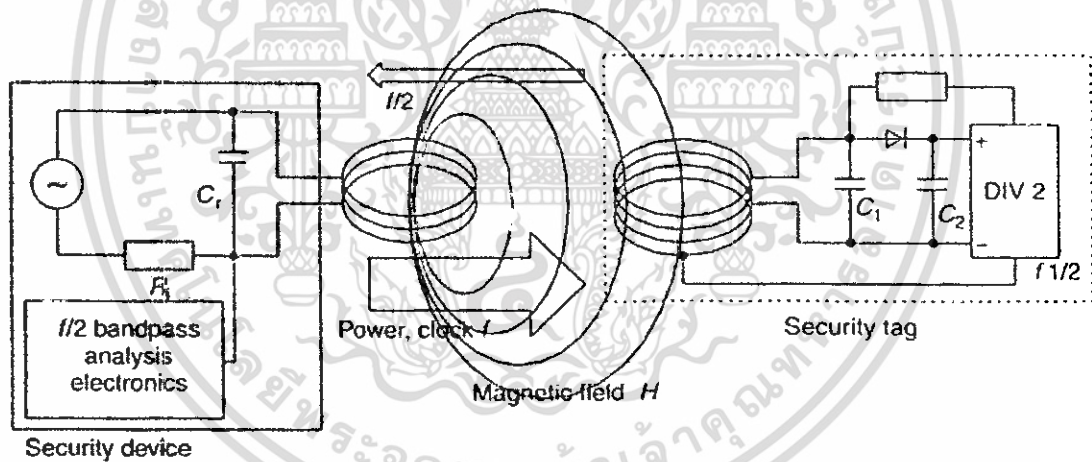
รูปที่ 3.12 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ EAS แบบใช้ความถี่คลื่นไมโครเวฟ

รูปที่ 3.12 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ EAS แบบใช้ความถี่คลื่นไมโครเวฟทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz เพื่อป้องกันความสับสนในกรณีที่มีสัญญาณจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ พลัดหลงเข้ามาในพื้นที่ตรวจจับ โดยทั่วไปมักจะมีการนำสัญญาณความถี่วิทยุมาตรฐานมาทำการมอดูเลตกับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ เพื่อให้สัญญาณที่ต้องการนำไปใช้งานมีความแตกต่างจากสัญญาณรบกวนอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.3 EAS แบบใช้การหารความถี่ (Frequency Divider)

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



รูปที่ 3.13 มาตรฐาน EAS แบบใช้การหารความถี่

หลักการทำงานของมาตรฐาน EAS ชนิดนี้ เริ่มจากการที่ไมโครชิปได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำของขดลวดภายในอุปกรณ์ Tag สัญญาณความถี่คลื่นที่ป้อนให้กับไมโครชิปจะถูกหารค่าลงเหลือครึ่งหนึ่ง เช่น เครื่องส่งทำการส่งสัญญาณด้วยความถี่ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ เมื่อสัญญาณดังกล่าวถูกส่งเข้ามายังไมโครชิปก็จะถูกหารจนเหลือความถี่เพียง 60 KHz สัญญาณดังกล่าวจะถูกป้อนย้อนกลับไปยังขดลวดของอุปกรณ์ Tag เพื่อส่งกลับคืนผ่านทางอากาศไปให้กับเครื่องอ่านซึ่งเป็น

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

3.9.4 EAS แบบใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Type)

เป็นมาตรฐาน EAS ที่ทำงานโดยอาศัยความเข้มของสนามแม่เหล็ก ในย่านความถี่ต่ำมาก ๆ ช่วง 10 Hz ถึง 20 KHz อุปกรณ์ Tag ในกรณีนี้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ (Strip) ผลิตจากโลหะไร้สัณฐาน (Amorphous Metal) ซึ่งหัวใจสำคัญของเทคนิคการใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ในกรณีนี้อยู่ที่พฤติกรรมของอุปกรณ์ Tag ซึ่งมีคุณสมบัติตอบสนองของสนามแม่เหล็ก โดยพฤติกรรมการตอบสนองดังกล่าวก็เป็นไปเช่นเดียวกับโลหะทั่วไปในโลก นั่นคือเมื่อมีการเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก ซึ่งผลิตขึ้นจากเครื่องส่งก็จะมีผลทำให้ความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแผ่น Tag บาง ๆ เหล่านี้เพิ่มตาม ยกเว้นว่าหากมีการเพิ่มหรือลดความเข้มของสนามแม่เหล็กจนเกินค่า ๆ หนึ่ง ซึ่งเรียกกันว่า “จุดความเข้มแม่เหล็กอิ่มตัว” หรือ Saturation Point ก็จะพบว่าขนาดความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็กจะคงที่ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกต่อไป เมื่อทำการลดความเข้มของสนามแม่เหล็กลง ฟลักซ์แม่เหล็กบน Tag จะเริ่มลดลง แต่การลดลงนั้นจะช้ากว่าอัตราการเพิ่มขึ้นในช่วงเพิ่มสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลมาจากการที่มีอำนาจฟลักซ์แม่เหล็กตกค้างอยู่บนอุปกรณ์ Tag จนกระทั่งเมื่อทำการเปลี่ยนทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปเป็นทิศทางตรงข้าม ฟลักซ์แม่เหล็กบนอุปกรณ์ Tag ก็จะค่อย ๆ ลดลงจนเป็นค่าศูนย์ จากนั้นจึงจะค่อย ๆ เพิ่มค่าในทิศทางตรงข้ามจนเข้าถึงจุดความเข้มแม่เหล็กอิ่มตัวอีกครั้ง โดยสามารถเขียนกราฟแสดงพฤติกรรมการตอบสนองระหว่างความเข้มของสนามแม่เหล็ก และฟลักซ์แม่เหล็กบนอุปกรณ์ Tag

หากเพิ่มค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กให้มากขึ้นกว่าจุดความเข้มแม่เหล็กอิ่มตัว ไปเรื่อย ๆ ก็อาจมีผลทำให้อำนาจแม่เหล็กของโลหะ ไร้สัณฐานภายในตัว Tag เสื่อมสภาพโดยมีค่าฟลักซ์แม่เหล็กค้างอยู่ที่ระดับอิ่มตัว ไม่แปรเปลี่ยนตามความเข้มของสนามแม่เหล็กอีกต่อไป มีผลทำให้ไม่สามารถใช้ อุปกรณ์ Tag นั้น ได้ต่อไป เป็นหลักการในการลบสถานะของอุปกรณ์ Tag ในกรณีที่มีการชำระเงินซื้อสินค้าที่ติดตั้ง Tag ตัวดังกล่าวเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

เมื่อได้รับทราบพฤติกรรมโดยทั่วไปของอุปกรณ์ Tag ชนิดนี้แล้ว ก็จะสามารถทำความเข้าใจหลักการการทำงานของระบบ EAS แบบใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ไม่ยากนัก หัวใจสำคัญของระบบตรวจจับดังกล่าวอยู่ที่อุปกรณ์เครื่องส่งซึ่งจะทำการสร้างสนามแม่เหล็ก H ที่เปลี่ยนแปลงทิศทาง (หรืออาจเรียกอีกอย่าง

โดยมาตรฐาน EAS ชนิดนี้จึงใจกำหนดให้เครื่องส่งทำการส่งคลื่นแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงถึงระดับที่ทำให้อุปกรณ์ Tag อิ่มตัว แล้วทำการเปลี่ยนทิศทางโดยฉับพลัน ไม่มีการค่อย ๆ ลดระดับความเข้มลง ซึ่งเมื่อพิจารณาพฤติกรรมของความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กที่สัมพันธ์กับอำนาจแม่เหล็กที่สะสมอยู่ในตัว Tag จะเห็นว่าฟลักซ์จะค่อย ๆ ลดลงและเปลี่ยนทิศทางตามความเข้มสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงทิศทางไปก่อนหน้าแล้ว การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของฟลักซ์ภายในตัวอุปกรณ์ Tag นี้เองที่เป็นหัวใจสำคัญทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถตรวจจับได้โดยอุปกรณ์ตรวจจับที่ตั้งคั้งอยู่ภายในเครื่องส่ง หรืออาจจะติดตั้งต่างหาก

และเนื่องจากคุณสมบัติของการสะสมอำนาจแม่เหล็กภายในโลหะ วัสดุฐานเหล่านี้ ล้วนเป็นแบบไม่ใช้เชิงเส้น (non-linear) นั่นคือเส้นทางการตอบของฟลักซ์ที่มีต่อการเพิ่มและลดสนามแม่เหล็ก มีเส้นทางการต่างกัน กรณีนี้จึงทำให้เกิดการสร้างสัญญาณฮาร์มอนิกต่างจากสัญญาณต้นฉบับที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องส่งเพิ่มขึ้น แต่โดยทั่วไปการตรวจจับอุปกรณ์ Tag ด้วยเทคนิคชนิดนี้จะสนใจพิจารณาเฉพาะความถี่ต้นฉบับ ซึ่งมักเรียกว่าสัญญาณความถี่หลัก (Main Signal) และสัญญาณความถี่เพิ่มเติม (Additional Signal) ที่เกิดจากพฤติกรรมตอบสนองของฟลักซ์แม่เหล็กภายในตัว Tag ต่อระดับความเข้มของสนามแม่เหล็ก

สมมติว่าสัญญาณหลักถูกส่งออกจากอุปกรณ์เครื่องส่งด้วยความถี่ $f_s = 20 \text{ KHz}$ ผลจากการเปลี่ยนทิศทางสนามแม่เหล็กอย่างฉับพลัน ทำให้อุปกรณ์ Tag กำเนิดสัญญาณเพิ่มเติมขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงระดับของ ฟลักซ์แม่เหล็กเป็นค่า $f_1 = 3.5 \text{ KHz}$ และ $f_2 = 5.3 \text{ KHz}$ สัญญาณความถี่คลื่นเหล่านี้จะเกิดการแทรกสอดและลดทอนกันเกิดเป็นความถี่อนุพันธ์ (Derivative Frequency) ใหม่จำนวนมาก แต่ที่อยู่ในความสนใจและสามารถตรวจจับได้ด้วยอุปกรณ์เครื่องรับจะเป็นความถี่อนุพันธ์ลำดับแรก ซึ่งประกอบด้วย

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

$$f_1 - f_2 = f_1-2 = 1.80 \text{ KHz}$$

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

ลักษณะภายนอกของอุปกรณ์ Tag สำหรับเทคโนโลยี EAS แบบนี้โดยมักเป็นแถบสติ๊กเกอร์บาง ๆ สามารถประกบติดกับสินค้าหรือสิ่งของที่ต้องการตรวจสอบ และแกะลอกออกได้ง่าย ส่วนใหญ่มีความยาวตั้งแต่ไม่กี่เซนติเมตรจนถึง 20 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นระบบแบบเดี่ยวที่ทำงานในย่านความถี่ต่ำมาก ๆ จึงไม่เกิดผลกระทบจากการนำไปติดตั้งใช้งานกับสินค้าที่เป็นโลหะ ซึ่งมักส่งสัญญาณรบกวนจนทำให้ระบบ EAS ที่ใช้ความถี่สูง ๆ ทำงานผิดพลาด อย่างไรก็ตามมาตรฐานชนิดนี้ก็ยังมีจุดอ่อนในเรื่องของตัว Tag เองที่จะต้องติดตั้งให้ถูกทิศทาง ส่วนใหญ่กำหนดให้ติดตั้งในแนวตั้ง เพื่อให้โลหะไร้สัญญาณตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กจากเครื่องส่งได้ดีที่สุด

ดังได้กล่าวแล้วว่า การลบสถานะของ Tag หรือทำให้ Tag ไม่สามารถใช้งานได้อีก ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการชำระสินค้าและร้านค้ายินยอมให้ลูกค้านำสินค้าที่ติดตั้ง Tag แบบดังกล่าวออกจากร้านค้าได้ สามารถทำได้ง่าย ๆ โดยการนำสินค้าที่ติดตั้ง Tag ไปวางจ่อกับแม่เหล็กถาวรที่มีระดับความเข้มสูง ๆ เพื่อให้โลหะไร้สัญญาณภายในอุปกรณ์ Tag เกิดการอึดตัว กลายเป็นแม่เหล็กถาวรไปโดยปริยาย และไม่สามารถเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็กตามสนามแม่เหล็กที่ปรากฏ ณ บริเวณพื้นที่ตรวจจับ ณ ประตูทางออกอีกต่อไป

3.9.5 EAS แบบ Acoustomagnetic

อุปกรณ์ Tag ที่ใช้ในระบบ EAS แบบนี้มีลักษณะเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกโดยทั่วไปมีขนาดกว้าง 8 – 14 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับการออกแบบ ยาว 40 มิลลิเมตร และสูงเพียงหนึ่งมิลลิเมตรเท่านั้น ภายในบรรจุแผ่นโลหะ 2 ชั้น ชั้นหนึ่งเป็นแผ่นโลหะแม่เหล็กถาวรติดตั้งตายตัวไว้กับกล่องพลาสติก อีกชั้นหนึ่งเป็นแผ่นโลหะไร้สัญญาณ ติดตั้งในลักษณะที่สามารถสั่นไหวได้ หลักการทำงานของระบบ EAS แบบ Acoustomagnetic มาจากความเป็นจริงที่ว่าโลหะบางประเภทที่จัดว่าเป็น Ferromagnetic metal ตัวอย่างเช่น นิกเกิลและเหล็ก จะมีขนาดที่ขีดยหดได้เมื่อนำมาวางไว้ในสนามแม่เหล็ก H เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Magnetostriction

หลักการทำงานของระบบ EAS ชนิดนี้จึงเป็นการนำเอาข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมาใช้ในการออกแบบ โดยกำหนดให้เครื่องส่งทำการส่งสนามแม่เหล็ก H เป็นช่วง ๆ สนามแม่เหล็กจะแพร่กระจายครอบคลุมพื้นที่ตรวจจับ เมื่อมีการนำอุปกรณ์ Tag ที่ทำงานในย่านความถี่เดียวกับการส่งสนามแม่เหล็กดังกล่าวเข้ามา ก็จะมีผลทำให้โลหะไร้สัญญาณภายในตัว Tag เกิดจากกำทอนและสั่นไหว โดยจะสั่นไหวต่อเนื่อง ไปอีกระยะหนึ่งแม่จะหยุดส่งสนามแม่เหล็กไปแล้ว อันเป็นผลมาจากแท่งแม่เหล็กถาวรที่ติดตั้งอยู่ร่วมกันนั่นเอง ซึ่งการสั่นไหวภายในอุปกรณ์ Tag นั้นก็จะก่อให้เกิดคลื่น

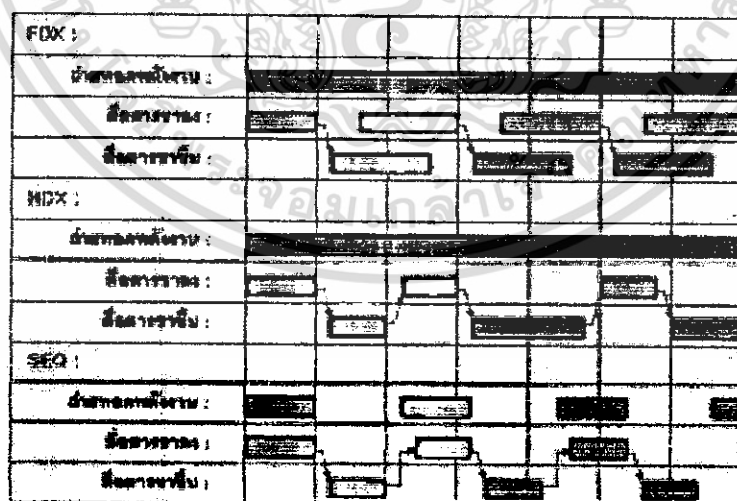
แม่เหล็กอ่อนที่มีความถี่เดียวกันกับคลื่นแม่เหล็กที่มีการป้อนมาจากอุปกรณ์เครื่องส่ง การออกแบบเครื่องรับเพื่อทำการตรวจจับอุปกรณ์ Tag จึงทำได้ง่าย เพราะเพียงตรวจสอบดูช่วงเวลาที่ไม่มีการส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กจากเครื่องส่ง ว่ายังมีสัญญาณตกค้างเหลืออยู่หรือไม่ หากมีก็เท่ากับว่ามีอุปกรณ์ Tag ที่ยังไม่ถูกลบสถานะปรากฏอยู่ในพื้นที่ตรวจสอบ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามีการลักลอบนำสินค้าที่ยังไม่ได้ชำระเงินออกจากร้าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน
และเครื่องฉลากของเทคโนโลยี RFID

นอกจากมาตรฐาน RFID ประเภท 1 บิต ซึ่งมีการนำไปใช้งานในกิจการประเภท Electronic Article Surveillance (EAS) ดังได้กล่าวถึงในบทความตอนที่แล้ว ยังมีระบบ RFID ที่มีขีดความสามารถในการทำงานที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพในการใช้งานซึ่งเน้นการจัดเก็บและตรวจสอบข้อมูลที่มีปริมาณมาก โดยแบ่งลักษณะการทำงานรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุได้อีก 2 ประเภท คือ มาตรฐาน RFID แบบที่ใช้การสื่อสารแบบ Full Duplex / Half Duplex และแบบ Sequential ซึ่งรูปแบบการสื่อสารทั้ง 3 ประเภทนี้มีความแตกต่างจากมาตรฐาน RFID ประเภท 1 บิต ที่ใช้เทคโนโลยีง่ายๆ ในการตรวจจับโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องฉลาก เช่น การใช้งานออสซิลเลเตอร์กระตุ้น หรือการใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภท ไดโอด หรือวัสดุประเภทโลหะไร้สัมฐานซึ่งมีคุณสมบัติการตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กเฉพาะตัว แล้วตรวจจับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติโดยแทนเสมือนหนึ่งการเปลี่ยนสถานะลอจิกของอุปกรณ์เครื่องฉลาก RFID จาก “0” เป็น “1” หรือในทางกลับกัน



รูปที่ 4.1 แสดงความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย (Downlink) และการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมาที่เครื่องอ่าน (Uplink) สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ต่างจากการสื่อสารแบบ Half Duplex ซึ่งแม้เครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา แต่ก็ต้องมีการกำหนดจังหวะผลัดกันรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย สำหรับการสื่อสารแบบสุดท้ายคือ Sequential นั้น จะมีการจำกัดเวลาในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไปให้เครื่องลูกข่ายในลักษณะของพัลส์ (Pulse) หรือก่อนพลังงานที่ส่งออกไปแต่ละช่วงเวลาและใช้การปรากฏขึ้นของพลังงานไฟฟ้าหรือพัลส์นี้เป็นสัญญาณกำหนดให้มีการส่งข้อมูล Downlink ส่วนช่วงที่ไม่มีพลังงานปรากฏอยู่จะเป็นการส่งสัญญาณ Uplink

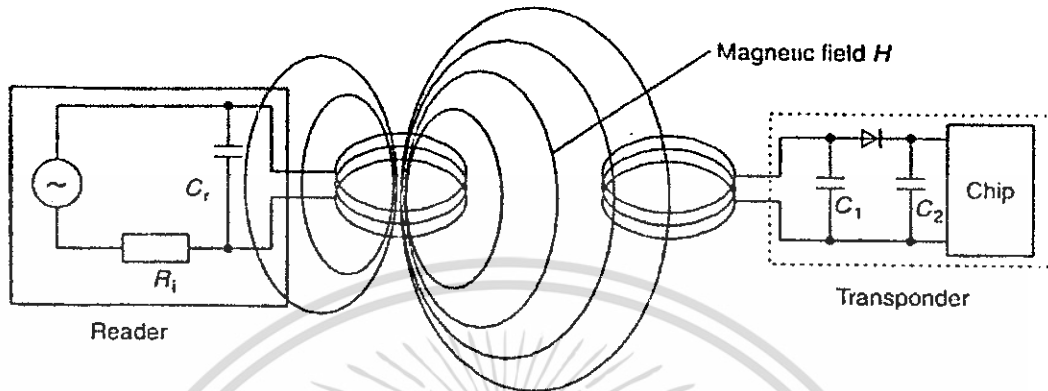
เพื่อทำความเข้าใจกับรูปแบบในการรับส่งข้อมูลแล้ว จะขอกล่าวถึงมาตรฐานการสื่อสาร RFID แบบ Duplexing ซึ่งสามารถจำแนกตามรูปแบบการทำงานได้ 4 ประเภท อันได้แก่เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling, Electromagnetic backscatter Coupling, Close Coupling และเทคโนโลยี Electrical Coupling

4.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็ก โครงสร้างของเครื่องลูกข่ายประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือชิปที่ใช้เก็บบันทึกข้อมูลต่าง ๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ ทั้งนี้ผู้เขียนจะกล่าวถึงเทคนิคในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องลูกข่ายเพื่อเลี้ยงให้อุปกรณ์ชิปสามารถทำงานได้ก่อนจะกล่าวถึงเทคนิคที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

4.1.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เนื่องจากการทำงานของเครื่องลูกข่ายนั้นเป็นแบบพาสซีฟ (Passive operation) กล่าวคือไม่มีแหล่งพลังงานภายในเป็นของตนเอง จึงจำเป็นต้องรับพลังงาน (Energy) มาจากเครื่องอ่านโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่าน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำลังสูงสามารถแพร่กระจายไปในพื้นที่ใช้งาน และสามารถตกกระทบขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 4.2 เทคโนโลยี Inductive Coupling กับการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน

ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกมาจากเครื่องอ่านนี้มีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ซึ่งโดยทั่วไปมีกวางห่างกันเป็นหลักไม่มากนัก ในขณะที่เทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling ส่วนใหญ่ใช้ความถี่ต่ำเพียง 135 KHz หรืออาจจะต่ำกว่า ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีความยาวคลื่นสูงมากถึง 2,400 เมตร แม้ในบางระบบที่ความถี่ใช้ความถี่สูงในย่าน 13.56 GHz ก็ยังกำเนิดคลื่นสัญญาณที่มีความยาวคลื่นถึง 22.1 เมตร จึงไม่มีปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไปจนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบนหรือถูกกลทอนจากผนังอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ หากพิจารณาถึงพื้นที่ใช้งาน โดยทั่วไปที่มีได้ไกลหรือกว้างใหญ่มากนัก

สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะตกกระทบขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อน ๆ ขึ้นบนขดลวดดังกล่าว ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากระบวนการเรกติไฟร์โดยตัวเก็บประจุไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับอุปกรณ์ชิป ทั้งนี้หัวใจของการออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ CI ซึ่งจะต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด (L) เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่กำทอน (Resonant frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องลูกข่าย

เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงมากขึ้น จะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงใช้จำนวนรอบในการพันลดลงเช่นกัน ตัวอย่างเช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 135 KHz จะต้องมีการพันขดลวดสายอากาศที่เครื่องลูกข่าย

ในช่วง 100 – 1,000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 MHz ก็จะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวดจะเหลือเพียง 3 – 10 รอบ

4.1.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

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

4.1.2.1 เทคโนโลยี Load Modulation

ดังได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่าพฤติกรรมในการส่งพลังงานและสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและขดลวดของเครื่องลูกข่าย มีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากการทำงานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่อย่างใด หากแต่เพียงตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานเป็นอากาศมิใช่โลหะหรือแท่งแม่เหล็กดังเช่นที่พบเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป อย่างไรก็ตาม การใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดทั้งสองนั้น จะทำได้ก็ต่อเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายห่างกันไม่เกิน 0.16 เท่าของค่าความยาวคลื่น (0.16λ) ซึ่งหากคิดกรณีที่ใช้ความถี่ในย่าน 135 KHz ที่มีความยาวคลื่น 2,400 เมตร ก็จะหมายความว่า จะวางเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่านห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน $0.16 \times 2,400 = 384$ เมตร

หากมีการนำเครื่องลูกข่ายซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ (LC) ตรงกันกับค่าความถี่กำหนดของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่มีการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน เครื่องลูกข่ายย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้วเครื่องอ่านจะมองเห็นเครื่องลูกข่ายเป็นโหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ ZT ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน การเปลี่ยนแปลงใดๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ ZT ที่เครื่องอ่านมองเห็นอย่างแน่นอน เนื่องจากในแง่ของวงจร Resonant ที่เกิดจากขดลวด (L) และตัวเก็บประจุ (C) บนเครื่องลูกข่ายย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ตกกระทบ และไม่มีการจ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับความถี่

เท่ากับศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เสมือน ZT นี้ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านโดยปริยาย ซึ่งนี่เองที่เป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมา เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Load Modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half Duplex หรือ Full Duplex นั้นก็สุดแต่การออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณ ซึ่งเป็นเรื่องที่ต้องรายละเอียดไปในการออกแบบ

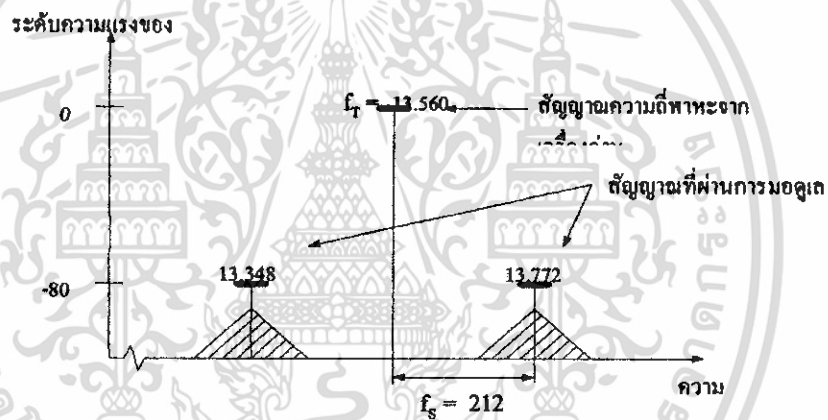
4.1.2.2 เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier

เนื่องจากระดับความสามารถในการถ่ายเท (Coupling) สัญญาณระหว่างขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านค่อนข้างต่ำ อันเนื่องมาจากเหตุผลที่ได้กล่าวไปแล้ว การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันสัญญาณที่เกิดขึ้นบนขดลวดของเครื่องอ่าน อันมีผลมาจากการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายย่อมอยู่ในระดับที่ต่ำมาก ๆ จนบางครั้งอาจไม่สามารถตรวจจับได้ เป็นผลให้เกิดปัญหาในการส่งข้อมูลในทิศทาง Uplink ในทางปฏิบัติสำหรับระบบ RFID แบบ Inductive Coupling ที่ใช้ความถี่ 13.56 MHz สมมติว่ามีแรงดันปรากฏที่ขดลวดของเครื่องอ่านสูงถึง 100 โวลต์ (ที่สูงเช่นนี้ส่วนใหญ่เกิดจากการปรากฏการณ์กำหนด) จะพบว่าเมื่อมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังเครื่องอ่าน ความเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นเหนือแรงดัน 100 โวลต์ บนขดลวดของเครื่องอ่านจะมีค่าสูงอย่างมากก็ไม่เกิน 10 มิลลิโวลต์ ซึ่งถือว่าต่ำกว่าแรงดันพื้นฐานบนขดลวดถึง 10,000 เท่า

หรือหากคิดในแง่ของการออกแบบวงจรเพื่อตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ก็ต้องกล่าวว่าสัญญาณดังกล่าวมีระดับความแตกต่างระหว่างตัวสัญญาณจริงกับสัญญาณรบกวนต่ำมาก เพียง 80 เดซิเบล เท่านั้น ที่กล่าวเช่นนั้นก็เพราะโอกาสที่จะเกิดสัญญาณรบกวน เช่นการกระเพื่อมโดยธรรมชาติของแรงดันไฟฟ้า 100 โวลต์ ในพิสัย ± 10 มิลลิโวลต์ เป็นไปได้สูงมาก การใช้เทคโนโลยี Load Modulation โดยทั่วไปย่อมมีโอกาสตรวจจับข้อมูลได้ผิดพลาดง่ายมาก จึงเป็นที่มาของการออกแบบเทคนิคการตรวจจับข้อมูลแบบ Load Modulation with subcarrier ซึ่งมีหลักการคล้ายคลึงกับการรับส่งวิทยุ AM (Amplitude Modulation)

เนื่องจากปัญหาในเรื่องของขนาดแรงดันสัญญาณข้อมูลที่ต่ำมาก ๆ ทำให้ต้องออกแบบวงจรตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ซับซ้อนและมีต้นทุนสูงมาก จึงมีการปรับปรุงรูปแบบการตรวจจับสัญญาณโดยใช้เทคนิค Load Modulation with subcarrier ซึ่งในกรณีที่มีการส่งข้อมูลจำนวนมาก ๆ ซึ่งหากมองในแง่ของเครื่องอ่านย้อนกลับมายังเครื่องลูกข่าย จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าด้วยความถี่ค่าหนึ่ง

กล่าวคือมีความต้องการส่งข้อมูลข่าวสารในแบนด์วิดท์ช่วง f_s ซึ่งเป็นค่าความถี่ต่ำ โดยใช้ความถี่คลื่นพาหะที่เป็นความถี่สูงๆ ซึ่งในกรณีของอุปกรณ์ RFID นั้นก็คือความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกขายนั่นเอง หากมีการนำอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ซึ่งมีคุณสมบัติในการรวมสัญญาณ ดังเช่นที่ใช้กันในเครื่องรับ-ส่งคลื่นวิทยุมาต่อในวงจรภายในเครื่องลูกข่าย ก็จะทำให้เกิดการมอดูเลตสัญญาณ ทำให้ปรากฏคลื่นความถี่ไซด์แบนด์ (Sideband) หรือความถี่ข้างเคียงอันมีค่าเท่ากับ $f_T + f_s$ และ $f_T - f_s$ โดย f_T ก็คือ ความถี่ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID นั้นเอง รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 4.3

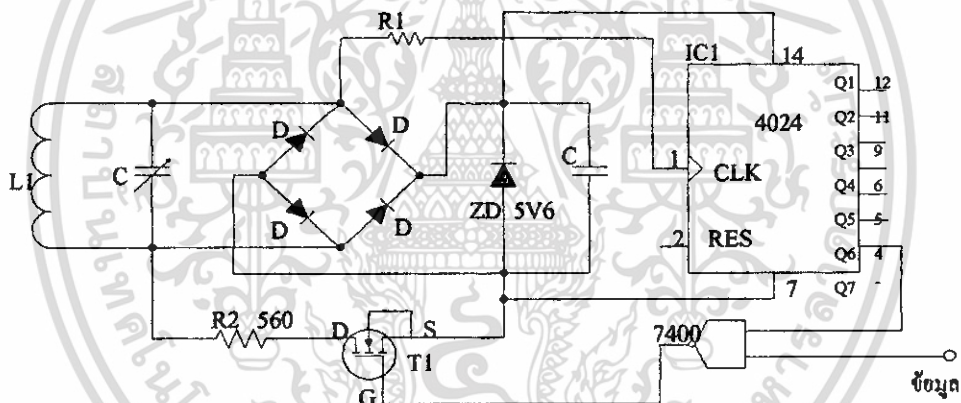


รูปที่ 4.3 สัญญาณข้อมูลที่ถูกบรรจุในไซด์แบนด์ของความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย RFID

เมื่อเป็นเช่นนี้ การตรวจจับสัญญาณที่ปรากฏบนเครื่องอ่านก็จะง่ายมากขึ้น โดยเพียงแต่ทำการติดตั้งอุปกรณ์แยกกรองความถี่ (Bandpass filter) ที่ขดลวดของเครื่องอ่าน โดยสามารถเลือกเฉพาะสัญญาณในไซด์แบนด์ด้านใดด้านหนึ่งที่ต้องการ ($f_T \pm f_s$) จากนั้นจึงนำสัญญาณที่กรองออกมาไปทำการขยายแล้วทำการดีมอดูเลต ก็จะได้สัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องลูกข่าย โดยไม่มีปัญหาการผิดพลาดจากการตรวจจับ และ ไม่ต้องใช้วงจรตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ซับซ้อนอีกแต่อย่างใด และเนื่องจากข้อมูลที่มีการส่งออกมาจากเครื่องลูกข่ายไปยังเครื่องอ่าน แท้จริงแล้วเป็นลำข้อมูลไบนารีที่สถานะเพียง “1” หรือ “0” จึงสามารถเลือกใช้รูปแบบการมอดูเลตสัญญาณ

แบบดิจิทัลได้หลากหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็น ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) หรือ PSK (Phase Shift Keying)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อดีในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน ทำให้ต้องมีการกันแบนด์วิดท์สำหรับการรับส่งข้อมูลไว้ค่อนข้างสูง ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.3 ซึ่งต้องกันแบนด์วิดท์รอบความถี่พื้นฐานมากถึง 212 KHz ทำให้ไม่สามารถใช้เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier ได้กับระบบ RFID ที่ใช้ความถี่ต่ำในการสื่อสารข้อมูล ข้อกำหนดมาตรฐาน RFID จึงระบุว่าสามารถใช้เทคโนโลยีดังกล่าวได้เฉพาะกับมาตรฐาน RFID แบบ Inductive Coupling ที่ความถี่ 6.78 MHz, 23.56 MHz และ 27.125 MHz เท่านั้น รูปที่ 4.4 เป็นตัวอย่างวงจรจริงที่ใช้ในการสร้างสัญญาณไซค์แบนด์บนอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย



รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างที่ใช้สำหรับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบ Load Modulation with subcarrier ที่ติดตั้งอยู่ในเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling

4.1.2.3 เทคโนโลยี Subharmonic Procedure

เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในกรณีที่ใช้งานระบบ RFID ในย่านความถี่ต่ำ และไม่สามารถนำเทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier มาใช้งานได้ เทคโนโลยีเป็นการนำสัญญาณข้อมูลที่เครื่องลูกข่ายต้องการส่งกลับไปยังเครื่องอ่านมาทำการป้อนผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อทำให้เกิดการกระจายสัญญาณออกเป็นสัญญาณฮาร์โมนิกย่อยๆ หรืออาจใช้

การป้อนกลับสัญญาณที่ต้องการจะส่งออกไปผ่านยังวงจรหารความถี่เพื่อให้เกิดสัญญาณข้อมูลทีบรรจข้อมูลข่าวสารเหมือนสัญญาณต้นฉบับ แต่มีความถี่ลดลง 2 เท่า จึงนำสัญญาณใหม่ที่มีความถี่ต่ำลงนี้ไปผ่านเข้าสู่วงจรภาคมอดูเลตสัญญาณ เพื่อป้อนเข้าสู่ชุดควบคุมของเครื่องลูกข่าย ให้มีการส่งผ่านอากาศกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยทั่วไปแล้วมักนิยมใช้เทคโนโลยี Subharmonic Procedure กับระบบ RFID ที่ย่านความถี่ 128 KHz ซึ่งย่อหมายความว่าเครื่องลูกข่ายชนิดนี้จะส่งสัญญาณข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่านที่ความถี่ครึ่งหนึ่งคือ 64 KHz การแยกแยะสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายกับแรงดันไฟฟ้าที่ล้วนปรากฏขึ้นที่ชุดควบคุมสายอากาศของเครื่องรับสามารถทำได้ง่าย โดยการใช้วงจรแยกกรองความถี่ เช่นเดียวกับในกรณีของเทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier

4.2 เทคโนโลยี Electromagnetic backscatter Coupling

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

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

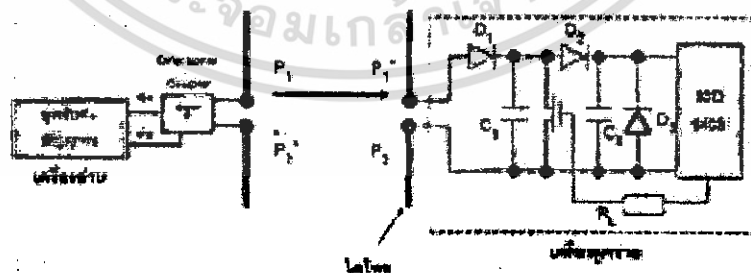
เมื่อนำสมการดังกล่าวมาคำนวณง่าย ๆ โดยประเมินว่าชิปที่อยู่ภายในเครื่องลูกข่ายจะทำงานได้โดยปกติต้องได้รับพลังงานไฟฟ้าป้อนเข้าประมาณ $5 \mu\text{W}$ หากคิดว่าวงจรเรกติไฟร์ซึ่งทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาจากคลื่นความถี่ที่รับได้ ณ สายอากาศของเครื่องลูกข่ายมีเสถียรภาพในการกรองไฟ (หมายความว่าเชื่อใจได้ว่ากรองได้ราบเรียบมากน้อยเพียงใด) ประมาณ 5 – 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำงานในย่านความถี่ UHF และ ไมโครเวฟ และคิดว่ามีความสูญเสียในระบบกรองแรงดันไฟฟ้าของเครื่องลูกข่าย 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าปกติ ก็เท่ากับว่าจะต้องมีพลังงานไฟฟ้ามาปรากฏอยู่ที่สายอากาศของเครื่องลูกข่าย (P_r) อย่างน้อย $50 \mu\text{W}$ ซึ่งเมื่อคิดย้อนสมการกลับไปคำนวณหาค่าพลังงานที่จะต้องส่งออกมาจากสายอากาศของเครื่องรับ (P_t) ก็จะพบว่า มีค่าเท่ากับ 0.5 วัตต์ เป็นอย่างน้อย ซึ่งการที่จะสรุปว่าระบบ RFID จะทำงานได้โดยเสถียรภาพนั้น จะต้องอยู่บนเงื่อนไขที่ว่าค่าการลดทอนสัญญาณของอากาศที่ใช้เป็นตัวกลางไม่ควรมีค่าเกินกว่า 40 dB (คำนวณจาก $P_r/P_t = 10 \log(10,000/1)$)

4.2.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

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

4.2.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

เทคนิคที่ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับไปยังเครื่องอ่านในกรณีนี้จะใช้เทคโนโลยีที่มีชื่อว่า Modulated reflection cross-section ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเดียวกันกับที่ใช้ในวงการเรดาร์ ซึ่งโดยหลักการทั่วไปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งไปกระทบกับวัตถุต่าง ๆ จะสะท้อนกลับมายังเครื่องส่งได้ หากวัตถุนั้นมีขนาดใหญ่กว่าครึ่งหนึ่งของค่าความยาวคลื่น ส่วนที่ว่าจะสะท้อนได้ดีมากหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับความสามารถในการสะท้อนสัญญาณ หรือ reflection cross-section ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับความถี่ค่าทอนของวัตถุนั้น ๆ ซึ่งในกรณีของเทคโนโลยี RFID ก็คือ สายอากาศของเครื่องลูกข่ายนั่นเอง ว่าตรงกับความถี่ของคลื่นตกกระทบหรือไม่



รูปที่ 4.5 แสดงหลักการทำงานส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย RFID ไปยังเครื่องอ่าน โดยใช้เทคโนโลยี Modulated reflection cross-section

รูปที่ 4.5 แสดงสามารถอธิบายเทคโนโลยีการส่งสัญญาณโดยใช้เทคโนโลยี Modulated reflection cross-section ได้เป็นอย่างดี สมมติให้เครื่องอ่านทำการส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ P1 ผ่านสายอากาศออกไปยังเครื่องลูกข่าย สัญญาณส่วนหนึ่งย่อมปรากฏและตกกระทบที่สายอากาศของเครื่องลูกข่าย สมมติว่ามีขนาดความแรง P1' สัญญาณดังกล่าวเป็นสัญญาณความถี่สูง (HF) และถูกนำไปผ่านกระบวนการกรองแรงดัน โดยวงจรเรกติไฟร์ด้วยไดโอด D1 และ D2 ซึ่งวงจรส่วนนี้เองที่ทำหน้าที่เป็นเหมือนสะพานไฟ สำหรับ “จ่าย” หรือ “หยุดจ่ายไฟ” ให้กับไมโครชิปในกรณีที่เครื่องลูกข่ายอยู่นอกพื้นที่ตรวจสอบ

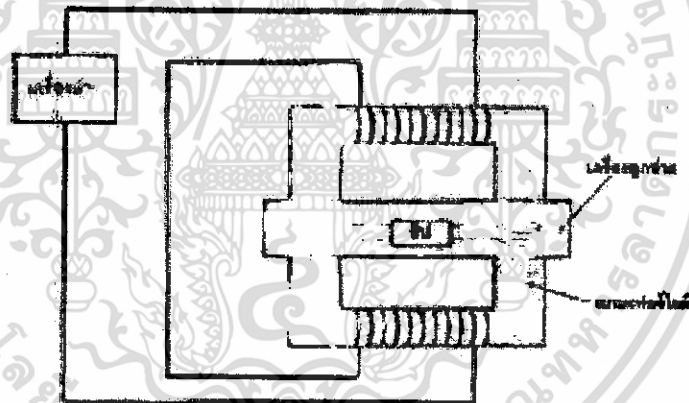
สัญญาณ P1' ส่วนหนึ่งจะสะท้อนสายอากาศของเครื่องลูกข่ายกลับไป โดยอาจมีขนาดความแรงลดลง เรียกแทนว่าสัญญาณ P2 ซึ่งเครื่องลูกข่ายจะใช้สัญญาณนี้เองเป็นคลื่นพาหนะในการส่งข้อมูลข่าวสารจากไมโครชิปกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยในทางปฏิบัติจะติดตั้งโหลด (RL) ไร้ขั้วบนสายอากาศของเครื่องลูกข่าย เมื่อมีการส่งข้อมูล “0/1” จากไมโครชิปออกไป โหลด RL จะเปลี่ยนค่าไปตามลำข้อมูลและจะมีผลทำให้ลักษณะทางกายภาพของคลื่นสะท้อน P2 เปลี่ยนแปลงไปตามค่าข้อมูล ไบนารีที่ต้องการส่งกลับไปยังเครื่องรับสัญญาณ P2 นี้จะเดินทางย้อนผ่านอากาศเปิดกลับไปยังสายอากาศของเครื่องอ่านปรากฏเป็นสัญญาณ P2' สัญญาณที่ได้รับนี้จะถูกป้อนผ่านวงจรแยกทิศทางสัญญาณ (Directional Coupler) ที่เครื่องอ่านเพื่อป้อนเข้าสู่ภาครับของเครื่องอ่าน ทั้งนี้ค่าสัดส่วนระหว่างสัญญาณ P1/P2 นั้น ค่าสำคัญที่จะกำหนดความไวและความเที่ยงตรงในการส่งข้อมูลข่าวสาร โดยสามารถคำนวณได้จากสมการการทำงานของเรคทา์โดยทั่วไป

4.3 เทคโนโลยี Close Coupling

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

4.3.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

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



รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบการสัมผัสของบัตรพลาสติกที่เป็นเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling กับเครื่องอ่าน

เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นบนขดลวดทุติยภูมิมีค่าแปรผันโดยตรงกับความถี่ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยมกำหนดความถี่ใช้งานให้สูงที่สุดเท่าที่เทคโนโลยีจะสามารถรองรับได้ ซึ่งในปัจจุบันก็ได้ความถี่ในย่าน 1 ถึง 10 MHz นอกจากนั้นยังมีการเลือกใช้วัสดุประเภทเฟอร์ไรท์มาทำเป็นแกนสำหรับพันขดลวดของเครื่องอ่าน เนื่องจากเฟอร์ไรท์มีค่าความสูญเสียของการนำพาสนามแม่เหล็กต่ำกว่าวัสดุประเภทอื่น

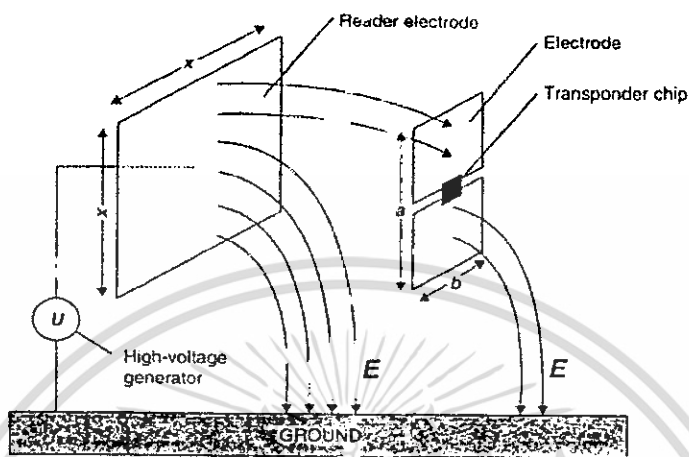
ๆ และเนื่องจากคุณสมบัติที่ดีที่สุดในการถ่ายทอดพลังงาน เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling หรือเทคโนโลยี RFID ที่ใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสาร เทคโนโลยีแบบ Close Coupling จึงได้รับความนิยมใช้งานมากที่สุดสำหรับเครื่องลูกข่ายที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงๆ เพื่อป้อนให้กับไมโครชิป ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถป้อนกำลังไฟให้กับไมโครชิปที่กินไฟมากถึง 10 มิลลิวัตต์ ได้อย่างไม่มีปัญหาใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้การวางข้อกำหนดทางกลศาสตร์และทางไฟฟ้าของแผ่นเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling ไว้ตามมาตรฐาน ISO 10536

4.3.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling มายังเครื่องอ่านนั้น สามารถทำได้สองวิธีด้วยกัน คือใช้เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในกรณีมาตรฐานแบบ Inductive Coupling หรืออาจใช้เทคโนโลยี Capacitive Coupling ซึ่งอาศัยประโยชน์จากระยะห่างที่ค่อนข้างสั้นระหว่างขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน โดยมีการติดตั้งแผ่นตัวเก็บประจุ (Plate Capacitor) ทั้งที่บัตรพลาสติกบนเครื่องลูกข่าย และบนเครื่องอ่านในลักษณะที่ให้หน้าสัมผัสปะปิ้ง (Coupling Surface) ของทั้งเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านอยู่ในแนวเดียวกัน ในยามที่มีการสัมผัสหรือสอดเครื่องลูกข่ายเข้าไปในเครื่องอ่าน แล้วใช้การเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเป็นตัวส่งผ่านข้อมูลจาก ไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายผ่านสนามไฟฟ้าไปสู่เครื่องอ่าน

4.4 เทคโนโลยี Electrical Coupling

เป็นเทคโนโลยี RFID ชนิด Full Duplex/Half Duplex อีกประเภทหนึ่งที่ใช้หลักการสร้างสนามไฟฟ้า (Electric field) ขึ้นจากเครื่องอ่านแล้วใช้คุณสมบัติของสนามไฟฟ้าในระยะทางใกล้ๆ สายอากาศของเครื่องอ่าน ซึ่งออกแบบให้มีลักษณะเป็นแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ ในการสร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เกิดขึ้นบนสายอากาศของเครื่องลูกข่ายที่มีการจัดสร้างเป็นแผ่นอิเล็กทรอนิกส์เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.7 แสดง โครงสร้างและการทำงานของระบบ RFID แบบ Electrical Coupling

4.4.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

จากรูปที่ 4.7 เครื่องอ่านได้รับการออกแบบให้ต่อเชื่อมต่อสายอากาศที่มีลักษณะเป็น อิเล็กโทรดขนาดใหญ่ โดยทั่วไปมักทำจากแผ่นโลหะหรือแผ่นฟอยล์โลหะ จากนั้นจึงทำการป้อน แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง เข้าสู่แผ่นอิเล็กโทรด เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของแผ่น อิเล็กโทรดที่มีค่าความเหนี่ยวนำภายใน (L) และค่าคาปาซิแตนซ์ (เทียบได้กับตัวเก็บประจุ) ระหว่าง แผ่นอิเล็กโทรดกับกราวด์หรือพื้นโลก จึงทำให้เกิดวงจรเสมือนของแผ่นอิเล็กโทรดที่เทียบได้กับ วงจร LC ซึ่งมีความถี่กำทอน (Resonant Frequency) เป็นคุณสมบัติประจำตัว หากทำการป้อน สัญญาณแรงดัน ไฟฟ้าที่มีความถี่ตรงกันกับความถี่กำทอนของแผ่นอิเล็กโทรด ก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้า ที่ปรากฏขึ้นบนแผ่นอิเล็กโทรดนั้นมีระดับสูงขึ้นมา อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ ซึ่ง เป้าหมายในการใช้งานจริง มักกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าบนแผ่นอิเล็กโทรดเทียบเท่ากับกราวด์มีค่าสูง ตั้งแต่หลักร้อยถึงหลักพัน โวลต์แรงดันดังกล่าว ก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดกับ กราวด์ที่อยู่รอบ ๆ

เมื่อนำเครื่องถูกข่ายที่ได้รับการออกแบบให้มีสายอากาศ 2 ชุดเป็นแผ่นอิเล็กโทรดขนาดเล็ก กว่า เข้ามายู่ในพื้นที่ใช้งานอันมีสนามไฟฟ้าจากเครื่องอ่านปรากฏอยู่ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้ เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดแผ่นบนและแผ่นล่างของเครื่องถูกข่ายดังแสดงในรูปที่ 4.7 ก่อให้เกิดกระแสไหลเวียนอยู่ภายในวงจรของเครื่องถูกข่ายเพื่อ ไปเลี้ยงให้กับไมโครชิป

4.4.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องถูกข่ามายังเครื่องอ่าน

เมื่อมีการนำเครื่องถูกข่ามาไว้ในพื้นที่ใช้งาน อันหมายถึงบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าจากแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องอ่านปรากฏอยู่ จะมีผลทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องถูกข่า (RL) มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความถี่กำหนด โดยมีการแบ่งแรงดันไฟฟ้าผ่านมาทางค่าคาปาซิแตนซ์ CR-T ดังแสดงในรูปที่ 14 อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ RMod ซึ่งเครื่องถูกข่าใช้ในการส่งสัญญาณไบนารีที่เป็นข้อมูลป้อนกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยผ่านทางทราบดีคิวิตซ์เพื่อเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ RMod ซึ่งจะทำให้พฤติกรรมการสะท้อนสัญญาณผ่านทางวงจรแบ่งแรงดันมีค่าเปลี่ยนแปลงไป เช่น เมื่อเครื่องถูกข่าต้องการส่งข้อมูลไบนารีบิตใดบิตหนึ่งที่มีค่าเป็น "0" ก็จะทำการเปิดวงจรสวิตซ์ซึ่งออกทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องถูกข่าเป็น RL ตามปกติ ในขณะที่จะปิดวงจรเพื่อเพิ่มค่า RMod ในกรณีที่ต้องการส่งบิตข้อมูลที่มีค่า "1" ทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องถูกข่าลดลง ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการมอดูเลตสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุจากการเปลี่ยนแปลงอินพุตอิมพีแดนซ์นี้ โดยทำให้เกิดผลการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันและสามารถตรวจจับได้ที่แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องอ่าน ซึ่งก็คือ สายอากาศภาครับนั่นเอง ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้ก็จัดได้ว่าเป็นการส่งข้อมูลแบบ Load Modulation ประเภทหนึ่ง

4.4.3 การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องถูกข่า

สำหรับเทคโนโลยี RFID แบบ Full Duplex/Half Duplex แต่ละประเภท สำหรับการส่งข้อมูลในทิศทาง Downlink จากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องถูกข่า นั้น จะใช้วิธีการเดียวกันทั้งสิ้น คือการมอดูเลตสัญญาณที่เครื่องอ่านต้องการส่งไปยังเครื่องถูกข่าโดยตรง โดยไม่สนใจว่ารูปแบบการสื่อสารนั้นจะเป็นแบบ Full Duplex หรือ Half Duplex และไม่มีประเด็นเกี่ยวข้องกับความถี่ที่ใช้งานทั้งสิ้น สำหรับเทคโนโลยีที่สามารถใช้ในการมอดูเลตสัญญาณในทิศทาง Downlink สามารถทำได้ทั้งแบบ ASK, FSK และ PSK แต่ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดอันเนื่องมาจากรวดเร็วและสะดวกในการออกแบบวงจรควบคุมก็คือการมอดูเลตแบบ ASK

4.5 เครื่องถูกข่าที่ใช้การสื่อสารแบบ Sequential

มาตรฐาน RFID อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลจำนวนมากกว่า 1 บิต แต่มีรูปแบบการทำงานที่แตกต่างจากมาตรฐานแบบ Duplexing ที่ผู้เขียนกล่าวถึงไปในตอนที่แล้ว ก็คือมาตรฐานแบบ Sequential ซึ่งมีลักษณะการทำงานเฉพาะตัว กล่าวคือมีการกำหนดช่วงเวลาในการส่ง

ทั้งข้อมูลและพลังงานจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่ายแยกออกจากช่วงที่เครื่องลูกข่ายทำการส่งข้อมูลกลับมา ซึ่งหมายความว่าเครื่องลูกข่าย RFID ชนิดนี้จะต้องสามารถเก็บรักษาพลังงานไฟฟ้าไว้ภายในตัว เพื่อใช้สำหรับส่งข้อมูลย้อนกลับมายังเครื่องอ่านได้ โดยสามารถจำแนกรูปแบบการทำงานออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling และ Surface Acoustic Wave Transponder อันมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

4.5.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

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

เนื่องจากหลักการทำงานของมาตรฐาน RFID แบบ Sequential ที่เครื่องลูกข่ายจะได้รับการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำผ่านทางคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากเครื่องอ่านเฉพาะช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เท่านั้น พลังงานที่ได้รับทั้งหมดจะต้องถูกส่งไปประจุ (Charge up) ตัวเก็บประจุภายในวงจรของเครื่องลูกข่าย เพื่อสะสมพลังงานไว้ให้เพียงพอสำหรับใช้ป้อนให้กับวงจรการทำงานและไมโครชิปเพื่อทำงานในช่วงที่เครื่องลูกข่ายต้องส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน และเป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ไม่มี การป้อนพลังงานไฟฟ้ามาจากเครื่องอ่าน ดังนั้นไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายจึงต้องมีความสามารถในการปรับการทำงานเป็นแบบกินไฟน้อย (Stand-by) ในช่วงเวลาที่มีการรับพลังงานไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาจากเครื่องอ่านและมีการประจุตัวเก็บประจุ หลังจากช่วงเวลาการเก็บประจุพลังงานผ่านไป ประกอบ

กับไม่มีการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านอีก ไมโครชิปก็จะปรับการทำงานมาเพื่อพร้อมส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องอ่าน สิ่งสำคัญในการออกแบบเครื่องลูกข่ายก็คือ การคำนวณค่าตัวเก็บประจุที่สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอสำหรับให้เครื่องลูกข่ายใช้ในระหว่างการส่งข้อมูล

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

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

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

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

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

4.5.1.1 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

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

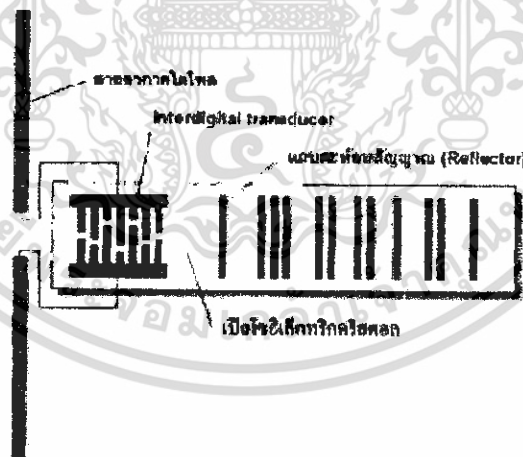
เครื่องอ่านจะตรวจพบระดับความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องลูกข่าย และจะเริ่มค้นรับข้อมูลที่เครื่องลูกข่ายส่งกลับมา เนื่องจากไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายเริ่มมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เก็บสะสมไว้ในตัวประจุ C เรื่อย ๆ ทำให้เกิดการกินกระแสไฟฟ้า และระดับไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ C ลดลง ซึ่งหากออกแบบขนาดของตัวเก็บประจุไว้ให้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้พอดีกับช่วงเวลาในการส่งข้อมูล ก็จะทำให้กระบวนการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปสู่เครื่องอ่านเสร็จสิ้นตรงตามเวลา เรียกช่วงเวลาที่ลงนี้ว่า “ช่วงการส่งข้อมูล” หรือ Reading Phase หลังจากช่วงเวลานี้ไปแล้ว วงจรคายประจุ ก็จะทำการคายประจุไฟฟ้าที่เหลือค้างอยู่บนตัวเก็บประจุ C ออกให้หมด ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏบนเครื่องลูกข่ายมีค่าเป็นศูนย์อีกครั้ง และเป็นการรีเซ็ตการทำงานของไมโครชิปให้อยู่ในโหมดเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง

เนื่องจากเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling มาตรฐาน Sequential กำหนดให้เครื่องลูกข่ายส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยใช้ความถี่วิทยุค่าเดียวกับที่เครื่องอ่านส่งออกมาในช่วงประจุไฟฟ้า เป็นการผลัดกันส่งความถี่ค่าเดียวกัน จึงทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเอาชนะสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่างการส่ง ได้สูงขึ้นไปถึง 20 dB เมื่อเทียบกับกรณีของมาตรฐานแบบ Duplexing

ซึ่งเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายต่างส่งความถี่คนละค่า ส่วนทางต่อเนื่องกันตลอดเวลา หมายความว่าเมื่อใช้แบบเทคโนโลยีแบบ Sequential แล้ว จะทำให้เพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายได้มากขึ้นนั่นเอง

4.5.2 เครื่องลูกข่ายแบบ Surface Acoustic Wave

หลักการการทำงานของเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW ใช้พฤติกรรมของเปียโซอิเล็กทริกดังกล่าว โดยมีการสร้างแผ่นรอง (Substrate) ที่ผลิตขึ้นจากผลึกเปียโซอิเล็กทริกคริสตอล มาตีเป็นแผ่นบางยาว จากนั้นจึงทำการติดตั้งแถบรหัสเครื่องลูกข่าย (Transducer) และแถบสะท้อนสัญญาณ (Reflector) ซึ่งเป็นแผ่นอิเล็กโทรดลงบนแผ่นรอง ซึ่งส่วนใหญ่ผลิตจากวัสดุประเภทลิเทียมไนโอเบต (Lithium niobate) หรือ ลิเทียมแทนทาลเตด (Lithium Tantalate) การติดตั้งแผ่นอิเล็กโทรดกระทำโดยผ่านกระบวนการ Photolithographic แบบเดียวกันการยิงสารตัวนำลงบนแผ่นรองในกระบวนการผลิตไมโครชิปทั่วไป



รูปที่ 4.8 แสดงโครงสร้างของเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW

หลักการการทำงานของเครื่องลูกข่าย SAW เป็นดังนี้ เมื่อเครื่องอ่านทำการส่งคลื่นความถี่วิทยุมายังเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW สัญญาณที่ได้รับจะตกกระทบสายอากาศโคโรนา พร้อมกับ

ได้รับการแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณไฟฟ้าจะถูกส่งต่อมาขงอิเล็คโทรดที่ทำหน้าทีเป็น Interdigital Transducer ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างของแผ่นเปียโซอิเล็กทริกที่อยู่ระหว่างช่องว่างของอิเล็คโทรด และก่อให้เกิดเป็นคลื่นพื้นผิว ซึ่งมีความถี่ตรงกันกับความถี่คลื่นที่ส่งออกมาจากเครื่องอ่าน แพร่กระจายไปตลอดแบบความยาวของแผ่นรอง ซึ่งโดยทั่วไปความเร็วในการแพร่กระจายของคลื่นพื้นผิวจะเร็วถึง 3,000 ถึง 4,000 เมตรต่อวินาที ตลอดระยะทางของการเคลื่อนที่ของคลื่นพื้นผิวนั้น คลื่นจะวิ่งไปกระทบกับแถบสะท้อนสัญญาณ ซึ่งเป็นกลุ่มอิเล็คโทรดที่วางเรียงไปตามความยาวของแผ่นรอง คลื่นกระทบกับแถบสะท้อนสัญญาณขึ้นไคก่อนก็จะสะท้อนย้อนกลับไปยัง Interdigital Transducer ดังนั้นในภาพรวม หลังจากที่เครื่องอ่านหยุดส่งสัญญาณออกมา ก็จะเป็นช่วงเวลาพอดีกับที่คลื่นสะท้อนแรกที่กระทบกับแถบสะท้อนสัญญาณตัวแรก ย้อนกลับมาถึง Interdigital Transducer และเกิดการแปลงคลื่นพื้นผิวกลับไปเป็นกระแสไฟฟ้า และส่งผ่านสายอากาศโคโรลไปเป็นคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งข้อมติต้องเป็นความถี่เดียวกันกับความถี่ที่เครื่องอ่านส่งออกมาในช่วงแรก เครื่องอ่านจะได้รับสัญญาณสะท้อนกลับมาในลักษณะของรหัส โดยการเรียงตัวของแถบสะท้อนสัญญาณนั่นเอง ที่จะกำหนดช่วงห่างระหว่างการส่งข้อมูลย้อนกลับและกลายเป็นรูปแบบข้อมูล ไบนารีที่จะใช้ติดต่อกับเครื่องอ่าน

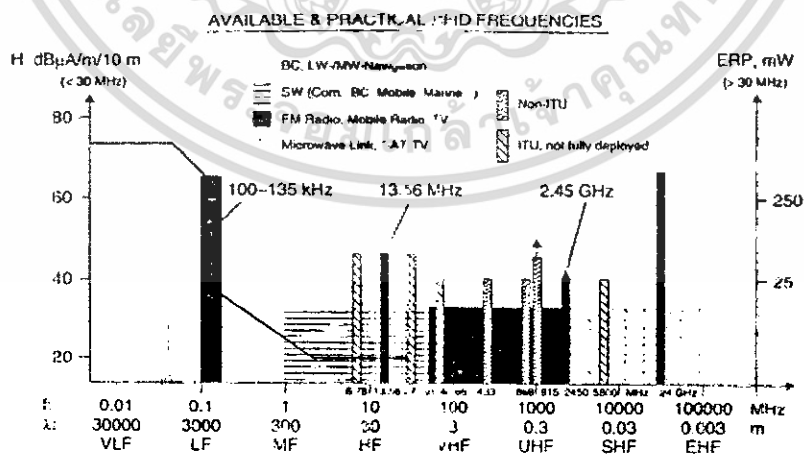
เนื่องจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นพื้นผิวบนแผ่นรอง มีค่าค่อนข้างต่ำ (อย่าลืมว่าความเร็วในการแพร่กระจายของคลื่นกับความถี่ของคลื่นเป็นคนละสิ่งกัน) โดยทั่วไปเครื่องอ่านจะได้รับสัญญาณย้อนกลับมาจากเครื่องลูกข่ายหลังจากที่เครื่องอ่านได้ทำการส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุออกไปภายในเวลา 1.5 มิลลิวินาที ซึ่งโดยปกติเครื่องอ่านจะส่งเฉพาะความถี่สั้น ๆ ที่เรียกว่า Scanning pulse เพื่อให้ไปตกกระทบกับบรรดาเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในพื้นที่ใช้งาน และปล่อยให้เครื่องลูกข่ายรายงานตัวกลับมา โดยมีรูปแบบเปรียบเทียบได้คล้าย ๆ กับการทำงานของระบบเรดาร์ที่ใช้ในกิจการการบิน เวลาหน่วง 1.5 มิลลิวินาทีนับว่าเหมาะสมเพียงพอกับที่เครื่องอ่านจะใช้กำหนดเงื่อนไขและกลไกการส่งและอ่านข้อมูลได้อย่างเหมาะสม

ปริมาณข้อมูลที่สามารถบันทึกไว้บนเครื่องลูกข่ายแบบ SAW นั้น แท้จริงก็คือจำนวนแถบสะท้อนสัญญาณที่สามารถติดตั้งลงบนแผ่นรองได้นั่นเอง ในทางปฏิบัติสามารถกำหนดให้เครื่องลูกข่ายแบบ SAW เก็บข้อมูลได้ในช่วง 16 – 32 บิต โดยไม่ทำให้แผ่นรองต้องมึนขนาดยาวเกินไป เพื่อรองรับจำนวนบิตข้อมูลที่มากกว่านี้ และมีผลทำให้เวลาหน่วงที่ต้องเสียไปกับการรอคอยการสะท้อนสัญญาณจากบิตข้อมูล (หรือแผ่นสะท้อนสัญญาณ) ที่อยู่ท้ายสุดต้องเนิ่นนานเกินไป ด้วยปริมาณข้อมูลตามที่กล่าวนี้จะทำให้เครื่องลูกข่ายสามารถส่งข้อมูล ไปยังเครื่องอ่านได้เทียบเท่ากับอัตราเร็วในการ

สื่อสาร 500 กิโลบิตต่อวินาที นอกจากนั้นในเรื่องของระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย สำหรับเทคโนโลยี RFID แบบ SAW นั้น หากใช้งานที่ความถี่มาตรฐาน 2.45 GHz ก็สามารถหวังได้ที่ระยะทาง 1-2 เมตร

4.6 ข้อกำหนดมาตรฐานด้านความถี่

เนื่องจากเทคโนโลยี RFID ใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นสื่อกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย จึงจำเป็นที่จะต้องออกมาตรฐานควบคุมเพื่อป้องกันมิให้อุปกรณ์ RFID ส่งผลกระทบต่อระบบสื่อสารและโทรคมนาคมอื่นๆ ที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ได้รับการจัดสรรอยู่ก่อนแล้ว ไม่ว่าจะเป็นระบบรับส่งวิทยุและโทรทัศน์ เครื่องข่ายวิทยุสื่อสาร วิทยุเดินเรือ และระบบวิทยุการบิน รูปที่ 4.9 แสดงถึงย่านความถี่คลื่นวิทยุที่ได้รับการจัดสรร โดยองค์กรสากลทางด้านกิจการสื่อสารนานาชาติ เพื่อใช้ในกิจการต่างๆ โดยมีกำหนดเพิ่มย่านความถี่สำหรับใช้งานกับระบบ RFID ดังแสดงโดยกราฟแท่ง ทั้งนี้มีข้อสรุปให้ใช้ย่านความถี่ SIM (Industry-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่สากลสำหรับใช้ในวงการอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สำหรับเทคโนโลยี RFID นอกจากนั้นยังมีความเป็นไปได้ที่จะนำความถี่ในย่านต่ำกว่า 135 กิโลเฮิร์ตซ์ (ยุโรป) และต่ำกว่า 400 กิโลเฮิร์ตซ์ (ทวีปอเมริกาและญี่ปุ่น) มาใช้กับเทคโนโลยีการรับส่งสัญญาณ RFID แบบ Inductive Couple เป็นพิเศษอีกด้วย



รูปที่ 4.9 แสดงย่านความถี่ต่างๆ ที่ได้กำหนดให้ใช้กับเทคโนโลยี RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสรุปย่านความถี่ที่ได้รับการจัดสรรให้ใช้งานกับเทคโนโลยี RFID ประกอบได้ด้วยย่านต่าง ๆ ต่อไปนี้ คือ 0 – 135 KHz และย่านความถี่ ISM ซึ่งประกอบด้วย 6.78 MHz 13.56 MHz 27.125 MHz 40.68 MHz 433.92 MHz 869.0 MHz 915.0 MHz 2.45 GHz 5.8 GHz และ 24.125 GHz ทั้งนี้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลการจัดจำหน่ายอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID ที่มีการผลิตขึ้นใช้งานกับย่านความถี่ต่าง ๆ กัน โดยเป็นข้อมูลขอจำหน่ายตั้งแต่ พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2548 สำหรับทั่วโลก การเลือกใช้เทคโนโลยี RFID แบบต่าง ๆ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อย่านความถี่ที่เลือกใช้นั้น จำเป็นที่ผู้ใช้งานจะต้องเข้าใจและพิจารณาถึงผลกระทบที่อุปกรณ์ RFID จะส่งผลกระทบต่อเครือข่ายสื่อสารหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่มีการใช้งานในย่านความถี่เดียวกัน รวมถึงอุปกรณ์ RFID จะได้รับผลกระทบจากเครือข่ายสื่อสารหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัล

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะทำการอธิบายเนื้อหาเกี่ยวกับการมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัล ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีเช่น การมอดูเลตแบบ ASK, FSK และ PSK ซึ่งแต่ละวิธีจะอาศัยหลักการทำงานที่แตกต่างกันออกไป ในบทนี้จะเน้นเนื้อหาเกี่ยวกับการมอดูเลตแบบ ASK เพราะเกี่ยวข้องกับ โครงการที่ได้จัดทำ ซึ่งจะอธิบายโดยละเอียดดังกล่าวต่อไปนี้

5.2 การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัล

การมอดูเลตข้อมูลที่เป็นดิจิทัลจะมีหลักการพื้นฐานอยู่ 3 แบบด้วยกันคือ

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

จากสมการทางคณิตศาสตร์ของคลื่นรูปไซน์ที่เราใช้เป็นพาหะ

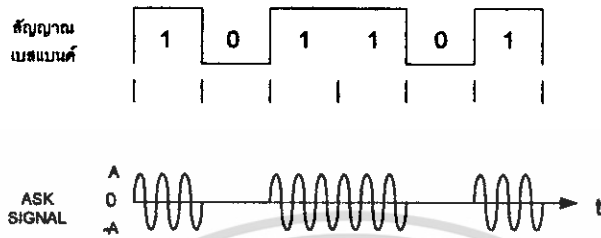
$$e = A \sin(\omega t + \phi)$$

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

5.2.1 การมอดูเลตดิจิทัลทางขนาด (Amplitude Shift Keying; ASK)

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

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



รูปที่ 5.1 แสดงรูปการมอดูเลตคิจิตอลทางขนาด

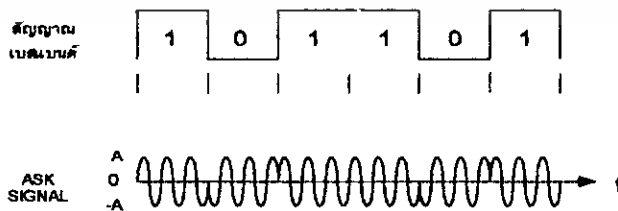
การมอดูเลตคิจิตอลทางขนาดจัดว่ามีประสิทธิภาพต่ำสุด และมีความผิดพลาดในการส่งข้อมูลและใช้ในสายสื่อสารที่ต้องการความเร็วของข้อมูลต่ำ (น้อยกว่า 100 บิต/นาท) ส่วนหลักการอื่นๆของ ASK จะเหมือนกับแบบ AM

5.2.2 การมอดูเลตคิจิตอลทางเฟส (Phase Shift Keying; PSK)

การมอดูเลตคิจิตอลทางเฟสจะใช้เฟสของสัญญาณอนาลอกแทนสัญญาณคิจิตอล สัญญาณลอจิก "1" จะให้เฟสของสัญญาณอนาลอกเฟสหนึ่ง ในขณะที่เดียวกันสัญญาณลอจิก "0" ก็จะทำให้เฟสของสัญญาณอนาลอกอีกเฟสหนึ่ง ถ้าสัญญาณพาหะเป็นดังสมการที่ 1 ดังนั้นสัญญาณ PSK จะกำหนดให้เป็น (ในกรณีที่ตั้งครั้งละหนึ่งบิต)

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

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

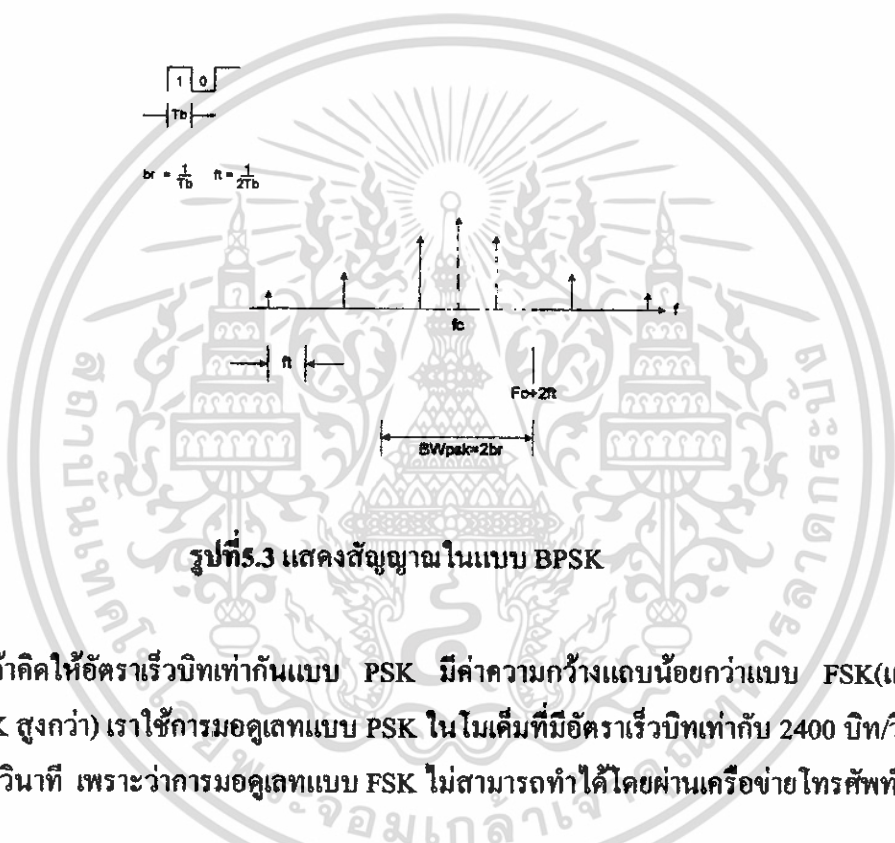


รูปที่ 5.2 แสดงการมอดูเลตคิจิตอลทางเฟส

รูปแบบที่ง่ายที่สุดของการออกแบบ PSK คือ Binary PSK (BPSK) แสดงดังรูปที่ 4.3 ที่ค่าเฟสของสัญญาณจะมี 2 ค่า คือ 0 องศา และ 180 องศาสมการของสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตแล้วได้เป็น

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

เมื่อ V_b แทนค่าสถานะของบิตคือ "1" และ "0"



รูปที่ 5.3 แสดงสัญญาณในแบบ BPSK

ถ้าคิดให้อัตราเร็วบิตเท่ากับแบบ PSK มีค่าความกว้างแถบน้อยกว่าแบบ FSK (แต่ราคาของวงจร PSK สูงกว่า) เราใช้การมอดูเลตแบบ PSK ในโมเด็มที่มีอัตราเร็วบิตเท่ากับ 2400 บิต/วินาที และ 4800 บิต/วินาที เพราะว่าการมอดูเลตแบบ FSK ไม่สามารถทำได้โดยผ่านเครือข่ายโทรศัพท์

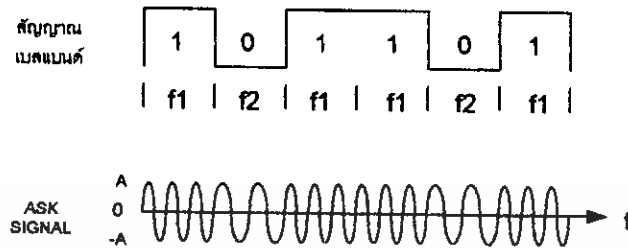
5.2.3 การมอดูเลตดิจิตอลทางความถี่ (Frequency Shift Keying; FSK)

การมอดูเลตดิจิตอลทางความถี่เมื่อข้อมูลเป็นลอจิก "1" ก็จะ ได้รับสัญญาณอนาลอกความถี่หนึ่ง และเมื่อเป็นลอจิก "0" ก็จะ ได้รับสัญญาณอนาลอกอีกแบบหนึ่ง ถ้าสัญญาณพาหะเป็นดังสมการที่ 1 ดังนั้นกรณีของการมอดูเลตแบบ FSK ความถี่ของคลื่นพาหะจะมี 2 ความถี่ เช่น ความถี่ f_1 สำหรับสัญญาณที่เป็นลอจิก "1" และความถี่ f_2 สำหรับสัญญาณที่เป็นลอจิก "0" แสดงสมการข้างล่าง

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

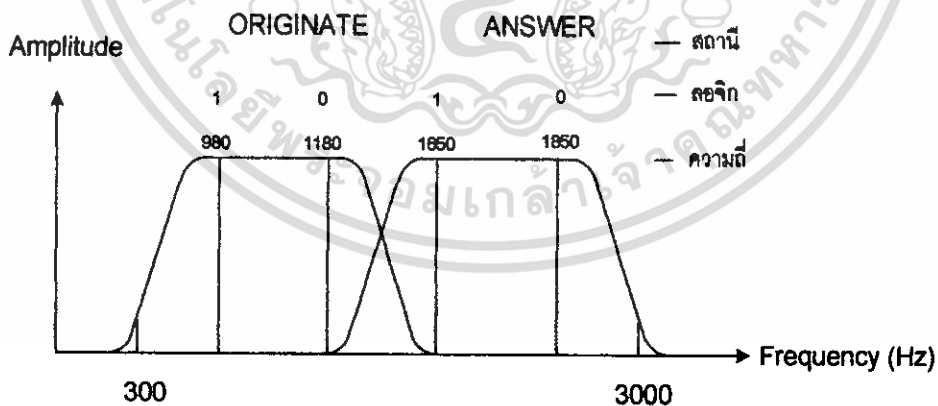


รูปที่ 5.4 แสดงการมอดูเลททางดิจิทัล

ในการส่งข้อมูลแบบ FSK ที่ใช้งานจริง สมการแบ่งได้ 2 แบบ

5.2.3.1 ชนิดที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)

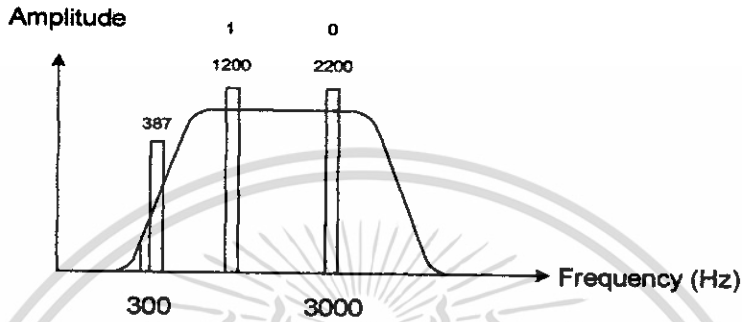
การส่งข้อมูลแบบนี้จะแบ่งแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณเสียงออกเป็น 2 แบนด์เท่าๆกัน โดยแบนด์หนึ่งใช้ในการส่งข้อมูล ส่วนอีกแบนด์หนึ่ง จะใช้ในการรับข้อมูล ทำให้สามารถส่งข้อมูล เข้าไปในสายได้พร้อมๆ กัน ผลตอบสนองความถี่สำหรับการส่งข้อมูลแบบนี้



รูปที่ 5.5 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลทแบบ FSK ในการส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์

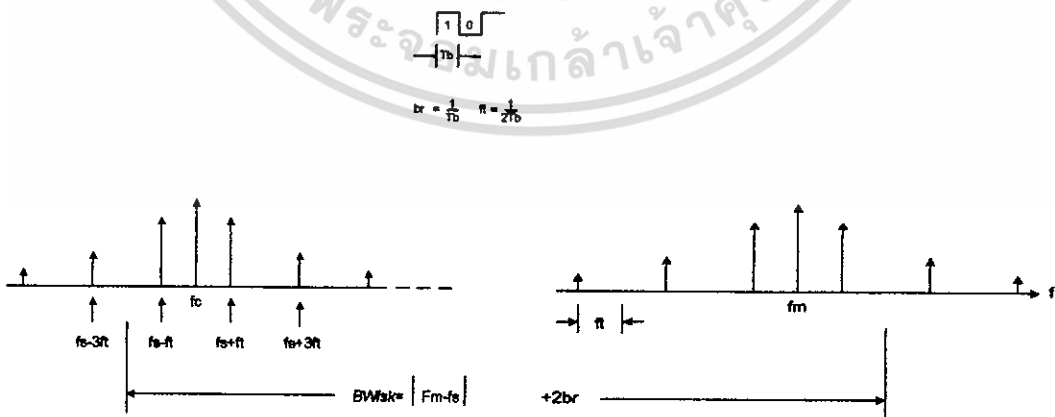
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3.2 ชนิดที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์(Half Duplex)



รูปที่ 5.6 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลทแบบ FSK

ในการส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ การส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ จะมีแบนด์วิดท์ 2 แบนด์เหมือนกัน แต่ความกว้างของแบนด์วิดท์ทั้งสองจะไม่เท่ากัน แบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าจะใช้การส่งข้อมูล ส่วนแบนด์วิดท์ที่แคบจะใช้ในการส่งสัญญาณแนะนำควบคุม(Supervisory Signal) ของตัวรับ ไปยังตัวส่งเพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพการส่งข้อมูลว่าถูกต้องหรือไม่ เราเรียกแบนด์วิดท์แบบนี้ว่า ช่องสัญญาณย้อนกลับ (Reverse Channel) ผลตอบสนองความถี่ของการรับส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ แสดงดังรูปที่ 5.6 เราสามารถที่จะอธิบายความหมายของความกว้างแถบ (bandwidth) ในแบบ FSK ได้ โดยพิจารณารูปที่ 5.7



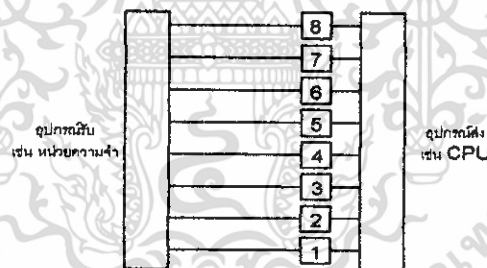
รูปที่ 5.7 แสดงการประมาณค่าความกว้างแถบของแบบ FSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน(Parallel Transmission)

ลักษณะการส่งข้อมูลแบบขนาน ทำให้ได้โดยการส่งข้อมูลออกมาทีละ 1 ไบต์ คือ 8 บิต จากอุปกรณ์ส่งไปยังอุปกรณ์รับตัวกลางระหว่าง 2 เครื่อง จะต้องมีช่องทางใช้ข้อมูลเดินทางอย่างน้อย 8 ช่องทาง โดยมากจะเป็นสายขนานให้กระแสไฟฟ้าวิ่งมากกว่าจะเป็นตัวกลางชนิดอื่น เนื่องจากมีสัญญาณสูญหายไปกับความต้านทานของสายระยะทางระหว่าง 2 เครื่องไม่ควรจะเกิน 100 ฟุต ปัญหาที่เกิดขึ้นหากระยะทางของสายมากกว่านี้ก็คือ ระดับของกราวด์ในทางไฟฟ้าที่จุดรับผิดไปจากจุดส่งทำให้เกิดการผิดพลาดในการรับสัญญาณลอจิกทางฝ่ายรับ

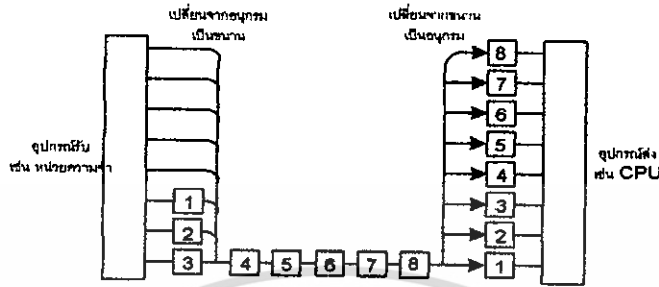
นอกจากสายที่เป็นทางเดินของข้อมูลแล้วอาจจะมีทางเดินของสัญญาณควบคุมอื่นๆ อีกเป็นต้นว่า บิทที่บอกพาริตีของสัญญาณ เพื่อเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดของการรับสัญญาณที่ปลายทาง หรือสายที่ควบคุมการโต้ตอบ(Hand snake)จะเห็นได้ว่าการส่งแบบขนานส่วนมากจะทำในระยะใกล้ๆ เนื่องจากจะต้องมีช่องทางเดินของสัญญาณมากกว่า 8 สายและอุปกรณ์ที่ติดต่อแบบขนานกับคอมพิวเตอร์ก็เห็นจะได้แก่เครื่องพิมพ์ดังกล่าวมาแล้ว



รูปที่ 5.8 การส่งข้อมูลแบบขนาน

5.4 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม(Serial Transmission)

การส่งข้อมูลแบบอนุกรมข้อมูลถูกส่งออกมาทีละบิตระหว่างจุดส่งและจุดรับ จะเห็นว่าการส่งข้อมูลแบบนี้จะช้ากว่าแบบขนาน เพราะตัวกลางการสื่อสารต้องการเพียงช่องเดียวหรือสายเพียงคู่เดียว ค่าใช้จ่ายในสื่อกลางจะต้องถูกกว่าแบบขนานอย่างแน่นอน สำหรับการส่งระยะทางไกลๆ โดยเฉพาะเมื่อเรามีระบบการสื่อสารทางโทรศัพท์ไว้ใช้งานอยู่แล้วย่อมจะเป็นการประหยัดกว่าที่จะทำการติดต่อสื่อสารทีละ 8 ช่องแบบขนาน



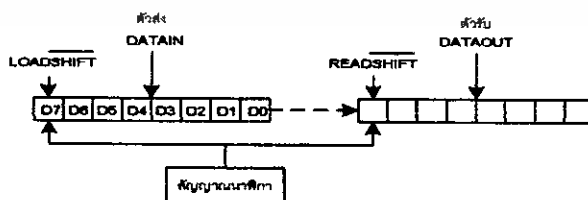
รูปที่ 5.9 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

จากรูปที่ 5.9 แสดงให้เห็นการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจากจุดส่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นอนุกรมเสียก่อนแล้วค่อยทยอยส่งออกทีละบิตไปยังจุดรับ ณ จุดที่ได้รับต้องมีกลไกในการเปลี่ยนข้อมูลที่ส่งมาทีละบิตให้เป็นสัญญาณแบบขนานซึ่งลงตัวพอดีนั่นคือบิต “1” ลงที่บิตข้อมูลเส้นที่ 1 พอดีการที่จะทำให้แปลงสัญญาณจากอนุกรมทีละบิตให้ลงพอดีนั่นจำเป็นจะต้องมีลักษณะการส่งที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการผิดพลาดในการรับ ลักษณะการส่งที่เหมาะสมแบ่งเป็น 2 แบบคือ

- การส่งข้อมูลแบบ ซิงโครนัส
- การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

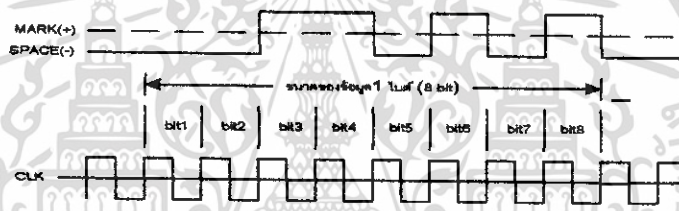
5.4.1 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission)

การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการส่งข้อมูลแบบสัมพันธ์ หมายถึงการที่ด้านรับอ่านข้อมูลเข้ามาในจังหวะเดียวกับภาคส่ง โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกำหนดจังหวะการทำงานของรีจิสเตอร์ทั้งสองให้ทำงานสัมพันธ์กัน วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะติดตั้งภายในด้านส่ง



รูปที่ 5.10 แสดงการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

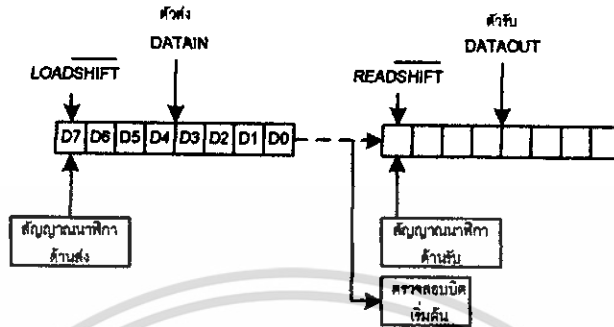
นอกจากนี้เมื่อจังหวะเวลาถูกตั้งให้ซิงค์กับด้านรับแล้ว ข้อมูลที่ถูกส่งไปบนทางติดต่อในแบบ บิตต่อบิตต่อเนื่องกัน ไปอาศัยช่วงเวลาระหว่างบิตต่อบิตมีค่าเท่ากัน โดยไม่ต้องมีบิตเริ่มหรือบิตจบคอย กำกับทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลมีสูง นอกจากนี้ทางด้านรับต้องมีวงจรเฟสล็อกคูล (PLL) ทำหน้าที่ รับข้อมูลจังหวะเวลาจากด้านส่งและสร้างสัญญาณนาฬิกาขึ้นใหม่ในด้านรับเพื่อให้เกิดการซิงค์ขึ้น ข้อมูลแบบสัมพันธ์นี้จะถูกจัดการให้อยู่ในรูปของชุดข้อมูล(block of data)ที่มีลักษณะพิเศษ คือ ช่วง ระยะเวลาระหว่างตัวอักษรด้วยกันจะ ไม่มี ทำให้การส่งข้อมูลเป็น ไปอย่างต่อเนื่อง และข้อเสียคือ การ ที่ต้องมีสัญญาณนาฬิกาขนานไปกับข้อมูลทำให้ต้องการทางติดต่อช่องที่สองเพิ่ม โดยเฉพาะกรณี ระยะทางไกลๆ เป็นการยากมากที่จัดหาทางติดต่อแยกต่างหากสำหรับสัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 5.11 แสดงรูปข้อมูลแบบซิงโครนัส

5.4.2 การส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส (Asynchronous Transmission)

การส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการส่งข้อมูลแบบไม่สัมพันธ์ จะแตกต่างกับแบบซิงโครนัส ตรงที่ไม่จำเป็นต้องมีการซิงโครนัสกันตลอดเวลาบนทางติดต่อข้อมูล โดยจะซิงค์ก็ต่อเมื่อมีข้อมูลที่จะรับหรือส่งเท่านั้น ในการที่จะส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัสการส่งตัวอักษรสามารถเริ่มจากเวลาใดก็ได้เมื่อสายว่าง แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้ระบบสามารถที่จะทำงานได้จะต้องมีสถานะบางอย่างที่จะใช้บอกกับเครื่องรับให้รู้ว่า ในช่วงเวลาใดกำลังมีข้อมูลตัวอักษรปรากฏอยู่บนสาย สถานะที่ใช้บอกนั้นก็คือ บิตเริ่มต้น บิตเริ่มต้น ไม่ใช่บิตข้อมูลแต่เป็นสัญญาณควบคุมที่จุดเริ่มต้น สถานะของสายส่งข้อมูลจะเปลี่ยนจาก "1" (Mark) มาเป็น "0" (Space) และ ถัดจากบิตเริ่มต้นก็จะบิตตัวอักษร ซึ่งจะเป็นเนื้อหาของข้อมูลของตัวอักษรแต่ละตัวที่ถูกส่งบิตที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด (LSB) จะถูกส่งตามบิตเริ่มต้นออกมา และหลังจากบิตข้อมูลส่งออกมาครบแล้วจะตามด้วย บิตสุดท้าย โดยที่สถานะของสายส่งข้อมูลจะถูกส่งบังคับกลับเป็นมาร์ค (Mark) อีกครั้งหนึ่ง หน้าที่ของบิตสิ้นสุดก็เพื่อบอกการสิ้นสุดของข้อมูลที่รับส่ง โดยมีขนาด 1-2 บิต



รูปที่ 5.12 แสดงการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

จากการที่กำหนดให้ช่วงเวลาของบิตสิ้นสุด (Stop bit) มีค่าระหว่าง 1-2 บิต ก็เพื่อกรณีบิตสุดท้ายของตัวอักษรตัวเก่า มีสถานะเป็นสเปซ (Space) “1” แล้วสถานะเริ่มต้นของบิตเริ่มต้นที่สังเกตจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของสายจากมาร์ค (Mark) “0” มาเป็นสเปซ (Space) “1” ก็จะไม่มีความชัดเจน สำหรับรูปสัญญาณในวิธีแบบอะซิงโครนัส



รูปที่ 5.13 แสดงรูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

เนื่องจากการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสการเพิ่มบิตลงในข้อมูล ทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลช้ากว่าแบบซิงโครนัส การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสเหมาะสำหรับงานประเภทการป้อนข้อมูลเข้าเพื่อส่ง มีลักษณะไม่ต่อเนื่องอย่างเช่น จากแป้นพิมพ์ (Key board) ส่วนในการส่งไฟล์ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่หลายๆ ควรใช้วิธีแบบซิงโครนัสบิตเริ่มต้น (Start bit) ในโปรโตคอลของการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส กำหนดให้สถานะมาร์ค (Mark State) เป็นสัญญาณลอจิก 1 เมื่อทางด้านส่งข้อมูลก็จะต้องส่งบิตเริ่มต้น โดยแทนด้วยสถานะสเปซ(Space State)หรือสัญญาณลอจิก 0 จำนวน 1 บิตไปก่อน

ซึ่งจะทำให้ทางด้านรับตีเท็กซ์ (Detect) สถานะของสายส่งได้ว่าขณะนั้นสายส่งกำลังมีข้อมูลส่งมา สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นและมีผลต่อสัญญาณข้อมูลก็คือสไปค์ (Spike) ทำให้สถานะลิจิกของสายส่งมีช่วงเวลาสั้นเกินไป ทำให้ทางด้านรับไม่สามารถตีเท็กซ์สถานะของสายส่งหรือสถานะของบิทเริ่มต้นได้ ดังนั้นส่วนใหญ่ทางด้านรับจะมีส่วนของวงจรสไปค์ คีเทคชั่น (Spike Detection) ซึ่งทำหน้าที่สุ่มจับสัญญาณสถานะของสายส่งด้วยความถี่ของการสุ่มค่าหนึ่งในระหว่างบิทต่อบิท ซึ่งอาจจะเป็น 2.4 หรือ 16 ครั้งในระหว่าง 1 บิทก็ได้ดังนั้นสรุปได้ว่า หน้าที่ของบิทเริ่มต้นนั้นจะเป็นตัวบอกข้อมูลเริ่มต้นตรงไหน และเมื่อใช้ร่วมกับบิทหยุด ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปก็จะทำให้ทราบได้ว่าข้อมูลสิ้นสุดตรงไหน โดยความกว้างของบิทเริ่มต้นนี้จะมีความกว้างเท่ากับ 1 บิทก็หลังจากที่ด้านรับสามารถตีเท็กซ์สัญญาณบิทเริ่มต้นได้แล้ว ก็จะทำการตรวจสอบสถานะของซีพรี จิสเตอร์ให้พร้อมที่จะรับข้อมูลได้ โดยบิทของข้อมูลจะมีจำนวนบิทข้อมูลเป็น 5, 6, 7, หรือ 8 บิทขึ้นกับจำนวนคาร์แรกเตอร์ที่ใช้ดังแสดงตามตารางต่อไปนี้

นอกจากนี้รหัสต่างๆ ที่ใช้อาจจะแทนด้วย 5 บิท ซึ่งเป็นมาตรฐานของรหัส Buadot โดยประกอบด้วยกลุ่มของคาร์แรกเตอร์ต่างๆ จำนวน 32 คาร์แรกเตอร์และถ้าเป็นรหัส 7 บิท จะประกอบไปด้วยกลุ่มของคาร์แรกเตอร์ จำนวน 128 คาร์แรกเตอร์ ซึ่งเป็นมาตรฐานของรหัส ASCH และใช้กันแพร่หลายมาก นอกจากนี้ยังมีรหัสขนาด 8 บิท หรือมาตรฐานของรหัส EBCDIC โดยมาตรฐานนี้ประกอบด้วยกลุ่มของคาร์แรกเตอร์ 256 คาร์แรกเตอร์เป็นต้น

บิทพาริตี (Parity bit) บิทนี้จะทำหน้าที่ในการบอกให้ส่วนรับข้อมูลทราบว่า ข้อมูลที่รับเข้ามาผิดหรือไม่ (โดยบิทนี้จะทำหน้าที่ในการบอกให้ด้านรับทราบว่าข้อมูลที่ส่งมาแต่ละ ไบท์นั้น มีจำนวนบิทที่เป็น "1" อยู่เป็นจำนวนคี่ หรือจำนวนคู่ เช่น ข้อมูล 54H = 01010111 จะมีจำนวนบิทที่เป็น "1" อยู่เป็นจำนวนคี่เป็นต้น ซึ่งบิทที่ใช้ในการตรวจสอบนี้ เราเรียกว่า บิทพาริตี) บิทพาริตีนี้จะถูกส่งออกมาพร้อมกับบิทข้อมูล ซึ่งบิทนี้จะเป็ "1" หรือ "0" นั้นขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ส่งออกมาว่ามีจำนวนบิทที่เป็น "1" เป็นจำนวนคี่หรือคี่ และยังขึ้นอยู่กับอุปกรณ์รับส่งข้อมูลด้วยว่าถูกออกแบบไว้ให้รับส่งบิทพาริตีในลักษณะของพาริตีคู่หรือคี่อีกด้วย

ในกรณีที่อุปกรณ์รับส่งออกแบบไว้ให้เป็นพาริตีคู่ อุปกรณ์ส่งข้อมูลจะทำการส่งพาริตีบิทเป็นลิจิก 1 ออกไปเมื่อจำนวนบิทที่เป็น 1 ของข้อมูลเป็นจำนวนคี่ และจะทำการส่งพาริตีบิทเป็นลิจิก 0 เมื่อจำนวนบิทที่เป็น 1 ของข้อมูลเป็นจำนวนคู่ (คือทำจำนวนบิทที่เป็น 1 ของข้อมูลเมื่อรวมกับพาริตีแล้วเป็นจำนวนคี่นั่นเอง) สำหรับในกรณีของพาริตีคี่ก็เช่นกัน คือ พาริตีบิทจะเป็น 1 ในกรณีที่จำนวนบิทที่เป็น 1 ของข้อมูลเป็นจำนวนคู่และจะเป็น 0 ในกรณีที่จำนวนบิทที่เป็น 1 ของข้อมูลเป็นจำนวนคี่ในกรณีนี้สมมุติว่าอุปกรณ์ถูก

ออกแบบไว้สำหรับพาริตีคู่ และเราต้องการที่จะส่งข้อมูลออกไปให้กับส่วนรับข้อมูลเป็นจำนวน 2 ไบท์ คือ 54H และ 55H เมื่อเราส่งข้อมูล 54H ออกไปซึ่งมีจำนวนบิตที่เป็น 1 เป็นจำนวนคี่ ดังนั้นในกรณีนี้ อุปกรณ์ส่งข้อมูลก็จะทำการส่งพาริตีบิตออกเป็นลอจิก 1 ตามออกมาด้วย เพื่อให้จำนวนบิตที่เป็น 1 ของข้อมูล (54H) รวมกับพาริตีบิตแล้วได้เป็นจำนวนคู่ส่วนข้อมูล (55H) จำนวนบิตที่เป็น 1 นั้นจำนวนคู่อยู่แล้ว ดังนั้นอุปกรณ์ส่งข้อมูลก็จะส่งพาริตีบิตเป็น 0 ให้กับส่วนรับข้อมูลสำหรับส่วนรับข้อมูลนั้น เมื่อรับเข้ามาแล้วก็จะตรวจสอบสัญญาณว่าจำนวนบิตที่เป็น 1 ของข้อมูลรวมกับพาริตีบิตนั้นเป็นจำนวนคู่หรือไม่ ถ้าหากว่าเป็นจำนวนคี่ก็แสดงว่าข้อมูลที่ได้รับเข้ามานี้ก็มีความผิดพลาดเกิดขึ้น

สิ่งสำคัญอีกสิ่งหนึ่งก็คือ ถ้าอุปกรณ์ส่งข้อมูลทำการส่งในลักษณะพาริตีคู่ หรือคี่ก็ตามส่วนรับข้อมูลก็ต้องทำการรับในลักษณะพาริตีคู่หรือคี่เดียวกับอุปกรณ์ส่งข้อมูลด้วย เช่น ในกรณีที่อุปกรณ์ส่งข้อมูลทำการส่งข้อมูลในลักษณะพาริตีคู่ อุปกรณ์การส่งข้อมูลก็ต้องทำการรับข้อมูลในลักษณะของพาริตีคู่ด้วยเป็นต้น

บิตสิ้นสุดข้อมูล (Stop bit) บิตสุดท้ายที่เพิ่มเข้าไปนี้ จะใช้ในการตรวจสอบจุดสิ้นสุดของข้อมูล บิตนี้จะถูกเพิ่มเข้าไปหลังพาริตีบิต ถ้าอุปกรณ์รับข้อมูลตรวจสอบไม่พบบิตนี้ ก็แสดงว่าข้อมูลที่รับเข้านั้นเกิดข้อผิดพลาดขึ้นมาในแต่ละ ไบท์นั้น ไมโครมีแต่ข้อมูล 8 บิต (ในกรณีที่ 1 ไบท์ มี 8 บิต) เท่านั้น แต่อาจจะมีได้ถึง 12 บิต หรือมากกว่าก็ได้

5.5 วงจรเรโซแนนซ์ (Resonance)

ในวงจรที่ประกอบด้วย R-L-C เมื่อปรับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟสลับที่ป้อนให้กับวงจรจะพบว่าที่ความถี่ค่าหนึ่ง ค่าของ X_L จะเท่ากับ X_C ดังนั้นค่ารีแอกทีฟ และคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ จึงหักล้างกันหมดไป ผลของอิมพีแดนซ์ในวงจรจะเหลือเพียงค่ารีซิสทีฟ (R) นั่นคือค่าอิมพีแดนซ์จะเท่ากับรีซิสทีฟ ($Z=R$) สภาวะดังกล่าวเรียกว่า “สภาวะเรโซแนนซ์”

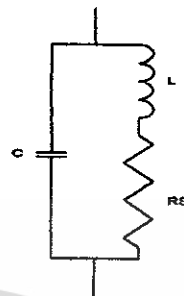
วงจรเรโซแนนซ์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- Series resonance circuit ดังรูปที่ 5.14
- Parallel resonance circuit ดังรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.14

แสดง Series resonance circuit



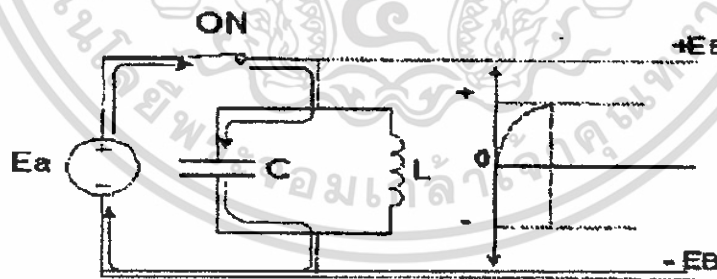
รูปที่ 5.15

แสดง Paralell resonance circuit

5.5.1 ผลของวงจรเรโซแนนซ์ต่อวงจรกระแสตรง

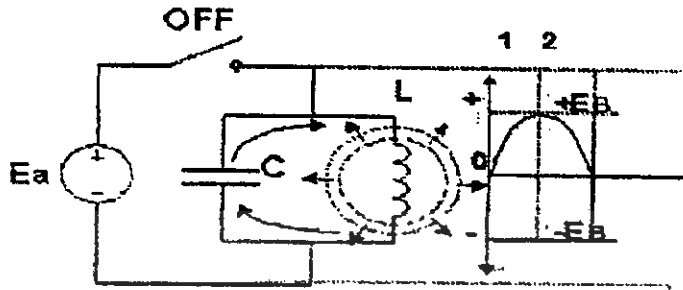
เมื่อจ่ายแรงดันกระแสตรงให้แก่วงจรเรโซแนนซ์ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อระดับแรงดัน ที่ตกคร่อมในวงจรกลายเป็นกระแสสลับตกคร่อมในวงจร โดยค่าความถี่ที่เกิดขึ้นจากการที่สร้างวงจรกระแสสลับของวงจรเรโซแนนซ์ มีลักษณะของวงจรดังแสดงในรูป

ลักษณะการสร้างสัญญาณกระแสสลับของวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน



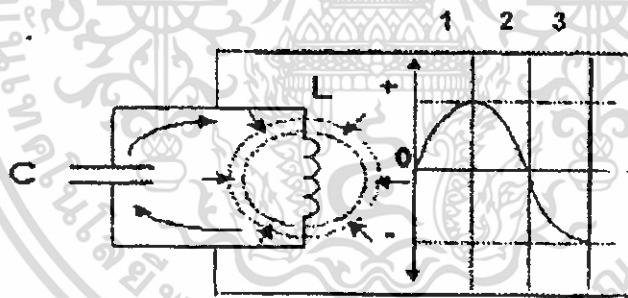
รูปที่ 5.16 แสดงช่วงเวลา ที่ 1

รูปที่ 5.16 ช่วงเวลา ที่ 1 เมื่อเปิดสวิตช์ ตัวเก็บประจุ (Capacitor) จะทำการเก็บประจุเกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสูงขึ้นจนเท่ากับแหล่งจ่าย



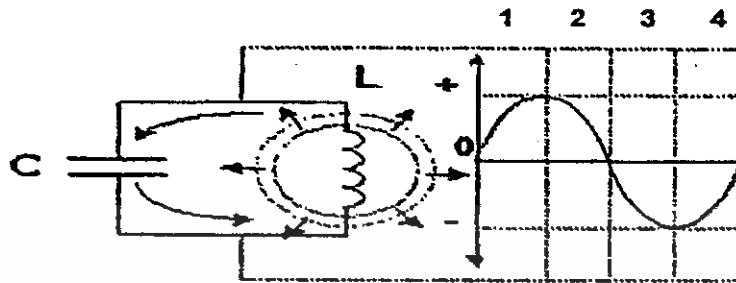
รูปที่ 5.17 แสดงช่วงเวลาที่ 2

รูปที่ 5.17 ช่วงเวลาที่ 2: เมื่อเปิดสวิตช์ ตัวเก็บประจุ (Capacitor) จะคายประจุให้ขดลวด เกิดเส้นแรงแม่เหล็กที่รอบขดลวด ซึ่งทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (Capacitor) ลดต่ำลงจาก $+E_b$ ลงเป็น 0



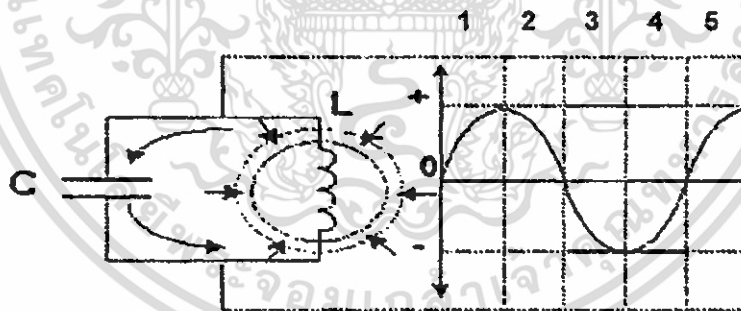
รูปที่ 5.18 แสดงช่วงเวลาที่ 3

รูปที่ 5.18 ช่วงเวลาที่ 3: เมื่อตัวเก็บประจุ (Capacitor) คายประจุให้ขดลวดหมดแล้ว เส้นแรงแม่เหล็กที่พองตัวรอบๆ ขดลวดจะยุบตัวลงตัดกับขดลวด เกิดกระแสเหนี่ยวนำตนเองจ่ายจากขดลวดไปอัดประจุเข้าตัวเก็บประจุ (Capacitor) ทางแผ่นเพลทด้านล่าง ซึ่งทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (Capacitor) ในทิศทางตรงกันข้ามกับช่วงเวลาที่ 1 คือ แผ่นเพลทด้านบนมีค่าแรงดันเป็นลบ และด้านล่างมีแรงดันเป็นบวก



รูปที่ 5.19 แสดงช่วงเวลา ที่ 4

รูปที่ 5.19 ช่วงเวลา ที่ 4 เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กขบตัวหมดแล้ว จะไม่มีกระแสไหลจากขดลวดไปอัดประจุตัวเก็บประจุ (Capacitor) จะทำให้ ตัวเก็บประจุทำการคายประจุนั้นกลับไปขดลวดอีก โดยส่งจากแผ่นเพลทด้านล่างไปให้ปลายขดลวดคังกล่าวผ่านขึ้นไปด้านบน จึงเกิดเส้นแรงแม่เหล็กฟองตัวรอบๆ ขดลวดขึ้นอีก แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุขู่จึงลดต่ำลงเรื่อยๆจนเป็น 0 เมื่อตัวเก็บประจุคายประจุหมดแล้ว จากช่วงเวลา ที่ 1 - 4 จะเป็นแรงดันกระแสสลับครบ 1 รอบ ตกคร่อมวงจรรีโซแนนซ์



รูปที่ 5.20 แสดงช่วงเวลา ที่ 5

รูปที่ 5.20 ช่วงเวลา ที่ 5: เมื่อตัวเก็บประจุ (Capacitor) คายประจุหมดแล้ว เส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดจะขบตัว เกิดกระแสเหนี่ยวนำตัวเอง จ่ายเข้าไปอัดตัวเก็บประจุ (Capacitor) ทางแผ่นเพลทด้านบน ซึ่งทำให้แผ่นเพลทด้านบนมีแรงดันเป็นบวก และแผ่นเพลทด้านล่างมีแรงดันเป็นลบ เกิดเป็นส่วนกระแสสลับในช่วงต่อไป

ค่าความถี่ รีโซแนนซ์ หาได้จาก
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ Hz} \dots\dots\dots (2.5)$$

5.5.2 แรงดันกระแสสลับกับวงจรเรโซแนนซ์

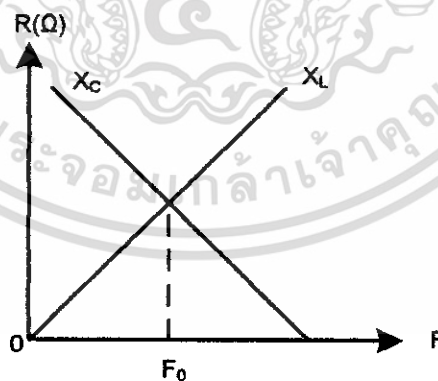
วงจรเรโซแนนซ์ประกอบด้วยตัวเก็บประจุ (Capacitor) และขดลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งมีผลต่อกระแสไฟฟ้าสลับตรงกันข้ามกัน กล่าวคือ ตัวเก็บประจุจะมีค่าความต้านทานต่อไฟกระแสสลับ ในส่วนแปรผกผันต่อความถี่ คือค่าความถี่สูงจะผ่านตัวเก็บประจุได้ดี ค่าความต้านทานต่อกระแสสลับของตัวเก็บประจุ (Capacitor)(X_C) หาได้จาก

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad \Omega \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

สำหรับขดลวดเหนี่ยวนำ จะมีคุณสมบัติต้านไฟกระแสสลับในทางตรงกันข้ามกับตัวเก็บประจุ (Capacitor) คือมีส่วนโดยตรงกับความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อนผ่าน ซึ่งเป็นดังสมการ

$$X_L = 2\pi f L \quad \Omega \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้กับวงจรเรโซแนนซ์ จะเกิดผลอย่างไรขึ้นอยู่กับลักษณะของวงจรเรโซแนนซ์เป็นแบบอนุกรมหรือขนาน แต่ผลที่เหมือนกันคือ ถ้าค่าความถี่สูงค่า X_L จะมากและค่า X_C จะต่ำ ซึ่งจะเห็นว่าค่า X_L และ X_C จะมีค่าที่สวนทางกัน ดังนั้นหากมีค่าความถี่ที่ทำให้ X_L และ X_C มีค่าเท่ากันจะทำให้ค่ารีแอกแตนซ์หักล้างกันหมดจึงเหลือเฉพาะค่าความต้านทาน (R) ซึ่งค่าความถี่ที่ทำให้เกิดผลดังกล่าวเราเรียกว่าค่าความถี่ เรโซแนนซ์ (f_0)



รูปที่ 5.21 ผลของ L และ C ที่มีต่อกระแสสลับที่ความถี่ต่างๆ

จากสภาวะดังกล่าวนี้ จะเกิดกับ R-L-C ทั้งวงจรอนุกรมและวงจรขนาน ซึ่งเมื่อเกิดแล้วจะทำให้ภายในวงจรมีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นอย่างไร

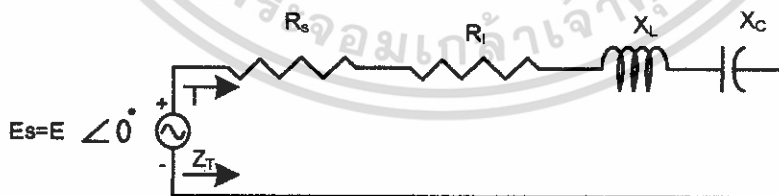
จากขอบเขตของตัวกระทำทั้งสามที่มีความแตกต่างกัน คือ R-L-C ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะค่าความเหนี่ยวนำ (Inductanc) และค่าความจุ (Capacitanc) ที่มีผลของความถี่เข้ามาเกี่ยวข้อง เมื่อพิจารณาช่วงความถี่สูงจะพิจารณาค่าความเหนี่ยวนำเป็นส่วนสำคัญ ฉะนั้นค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้ภายในวงจรจะออกในรูปของค่าความเหนี่ยวนำ แต่ถ้าพิจารณาช่วงความถี่ต่ำโดยจะพิจารณาค่าความจุกก็ดูได้ว่าภายในวงจรนั้นแสดงผลของค่าความจุออกมา แต่ถ้าภายในวงจรแสดงค่าของความต้านทานออกมา นั่นคือจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุนั้นมีค่าเท่ากัน ความถี่ที่ทำให้เกิดสภาพเช่นนี้เรียกว่า ความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance frequency :f)

ซึ่งวงจร R-L-C ที่ทำให้เรโซแนนซ์เป็นค่าของกำลังไฟฟ้าสูงสุด คือค่าของกำลังใช้งาน (Active power) และกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent power) มีค่าเท่ากัน เมื่อค่าของกระแสและแรงดันภายในวงจรอินเฟสกัน (Inphase = 0°)

ความถี่เรโซแนนซ์สามารถเกิดได้ทั้งวงจรอนุกรม และวงจรขนาน โดยจะพิจารณาแต่ละชนิดดังนี้

5.5.3 เรโซแนนซ์อนุกรม (Series resonance)

จากวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม ดังรูป เมื่อเกิดความถี่เรโซแนนซ์แล้วจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุมีค่าเท่ากัน จะได้ว่า



รูปที่ 5.22 แสดงวงจรเรโซแนนซ์

ฉะนั้น

$$X_L = X_C$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\omega_r = 2\pi f$$

$$2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$f_r =$ ความถี่เรโซแนนซ์ (Hz)

$L =$ ค่าความเหนี่ยวนำ (H)

$C =$ ค่าความจุ (F)

ฉะนั้นค่ากระแสขณะเกิดเรโซแนนซ์

$$I = \frac{E \angle 0^\circ}{R \angle 0^\circ} = \frac{E}{R} \angle 0^\circ$$

จากสมการจะได้ค่าของกระแสมีค่าสูงสุด เนื่องมาจากค่าผลรวมอิมพีแดนซ์ (Z_T) มีค่าต่ำสุด ถ้าพิจารณาจากแรงดันและกระแสที่อินพุตจะอินเฟสขณะเรโซแนนซ์

ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ที่ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมทั้งสองตัวจะมีค่าเท่ากัน แต่จะมีทิศทางตรงกันข้าม (Out of phase)

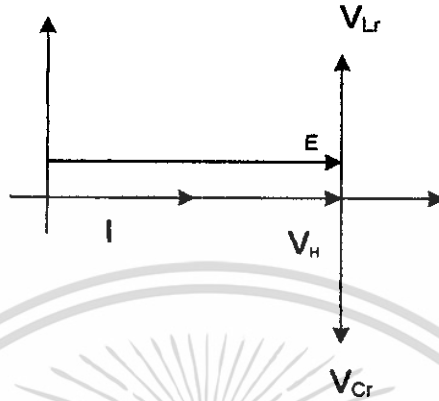
$$V_L = IX_L = (I \angle 0^\circ)(X_L \angle 90^\circ) = IX_L \angle 90^\circ$$

$$V_C = IX_C = (I \angle 0^\circ)(X_C \angle -90^\circ) = IX_C \angle -90^\circ$$

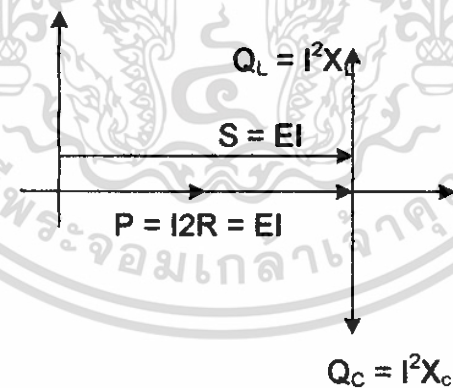
และ

$$X_L = X_C$$

$$V_{L_r} = V_{C_r}$$



รูปที่ 5.23 แสดงทิศทางการไหลของกระแสของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ
จากรูปที่ 5.15 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของกระแสและแรงดันจะได้ว่า แรงดันที่ตกคร่อมตัว
ต้านทาน V_r จะเท่าแหล่งจ่าย (E)



รูปที่ 5.24 แสดงเฟสเซอร์ไดอะแกรมของกระแสและแรงดันของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Active power} = P = I^2 R$$

และ

$$\begin{aligned} \text{Reactive power} &= Q_L = I^2 X_L \\ &= Q_C = I^2 X_C \end{aligned}$$

จากสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power triangle) ดังรูปขณะเรโซแนนซ์

$$\text{Active power} = \text{Apparent power}$$

เนื่องจาก

$$P = S$$

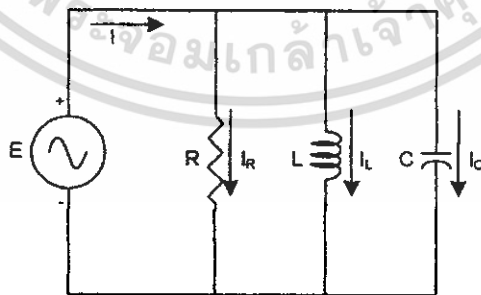
$$Q_L = Q_C$$

Power factor ; P.F. จะได้

$$PF = \cos \theta = \frac{P}{S} = 1$$

5.5.4 วงจรเรโซแนนซ์ขนาน (Parallel resonance circuit)

การเกิดสภาวะเรโซแนนซ์นั้นนอกจากวงจร R-L-C อนุกรมแล้ว ถ้านำ R-L-C มาต่อขนานก็สามารถที่จะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ได้เช่นเดียวกัน จากวงจรขนานดังรูป



รูปที่ 5.25 แสดงการเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ของวงจร R-L-C แบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่าแอดมิตแตนซ์จากวงจรขนานดังรูป

$$Y = G + j\omega C - j\frac{1}{\omega L}$$

$$= G + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)$$

ถ้ากำหนดให้ $\omega C = B_C$ และ $\frac{1}{\omega L} = B_L$

$$Y = G + j(B_C - B_L); B = B_C - B_L$$

หรือ

$$Y = G + jB$$

แต่เมื่อเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ $B_C = B_L$ ดังนั้น $B = 0$

$$Y = G + j0$$

หรือ

$$Y = G$$

ที่สภาวะเรโซแนนซ์

ความถี่ของเรโซแนนซ์วงจรถนนาน

$$\omega_r C = \frac{1}{\omega_r L}$$

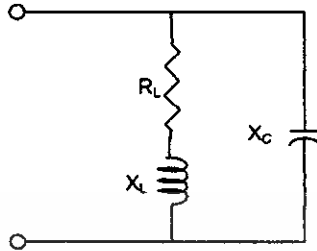
$$\omega_r^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \omega_r = 2\pi f_r$$

ดังนั้น

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ Hz}$$

แต่จากวงจรดังรูปที่ 5.17 เป็นเพียงความคิดเท่านั้น ในทางปฏิบัตินั้นค่าของขดลวดไม่ได้มีแต่
อินดัก-ทีฟรีแอกแตนซ์ แต่ยังมีค่าความต้านทานภายในอยู่ด้วย ดังนั้นการหาค่าความถี่สามารถ
กระทำได้เลยโดย



รูปที่ 5.26 แสดงวงจรสถานะเรโซแนนซ์ของวงจร R-L-C แบบขนานในทางปฏิบัติ
จากค่าอิมพีแดนซ์

$$Z_L = R_L + jX_L$$

ค่าแอดมิตแตนซ์ของวงจรดังรูป

$$\begin{aligned} Y &= \frac{1}{Z_L} + \frac{1}{X_C} = \frac{1}{R_L + jX_L} + \frac{1}{X_C} \\ &= \frac{1}{R_L + jX_L} \frac{R_L - jX_L}{R_L - jX_L} + \frac{1}{X_C} \\ &= \frac{R_L - jX_L}{R_L^2 + X_L^2} + \frac{1}{jX_C} \end{aligned}$$

จัดรูปใหม่

$$= \frac{R_L}{R_L^2 + X_L^2} - \left[\frac{jX_L}{R_L^2 + X_L^2} - \frac{1}{jX_C} \right]$$

ขณะเกิดเรโซแนนซ์จะทำให้เทอมของส่วนของจำนวนจินตภาพ (Imaginary part) มีค่า = 0
ดังนั้นขณะเกิดเรโซแนนซ์

$$\omega_r C = \frac{\omega_r L}{R_L^2 + (\omega_r L)^2}$$

หารด้วย ω_r

$$R_L^2 + (\omega_r L)^2 = \frac{L}{C}$$

$$(\omega_r L)^2 = \frac{L}{C} - R_L^2$$

$$\omega_r^2 = \frac{1}{L^2} \left[\frac{L}{C} - R_L^2 \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega_r = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{L}{C} - R_1^2} \quad \text{rad}$$

ความถี่ขณะเกิดเรโซแนนซ์ $\omega_r = 2\pi f_r$

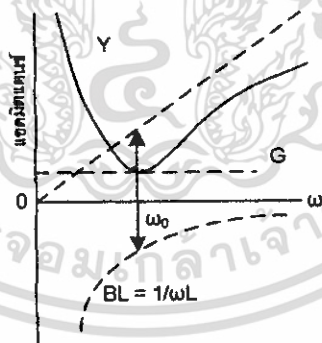
$$f_r = \frac{1}{2\pi L} \sqrt{\frac{L}{C} - R_1^2}$$

คูณด้วย $\frac{C}{L}$

$$f_r = \frac{1}{2\pi L} \sqrt{\frac{1 - R_1^2(C/L)}{(C/L)}}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{1 - R_1^2 \frac{C}{L}} \quad \text{Hz}$$

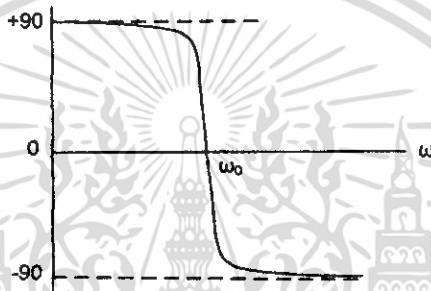
จากวงจรเรโซแนนซ์ขนานจะพิจารณาค่าความต้านทานรวมในรูปของค่าแอดมิตแตนซ์ (V_T) ซึ่งเมื่อเกิดสถานะเรโซแนนซ์จะทำให้ค่าของ $B_C = B_L$ และจะทำให้ค่า $V_T = G$ ดังรูปที่ 5.18 จากสภาวะดังกล่าวจะทำให้ค่าแอดมิตแตนซ์มีค่าต่ำสุด



รูปที่ 5.27 แสดงกราฟค่าของแอดมิตแตนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าความถี่มีค่าต่ำจะทำให้วงจรแสดงสถานะของอินคัทที่เฟสเซปแดนซ์ออกมา ซึ่งทำให้แรงดันนำหน้ากระแสหรือมีค่ามุมเป็นบวก และเมื่อมีความถี่ค่าสูงๆ หรือมากกว่าความถี่เรโซแนนซ์ f_c จะให้วงจรแสดงสถานะของคาพาซิทีฟที่เฟสเซปแดนซ์ และจะทำให้มุมต่างเฟสของวงจรมีค่าเป็นลบ คือกระแสจะนำหน้าแรงดัน ดังรูป



รูปที่ 5.28 แสดงสถานะของคาพาซิทีฟที่เฟสเซปแดนซ์ และจะทำให้มุมต่างเฟสของวงจรมีค่าเป็นลบ คือกระแสจะนำหน้าแรงดัน

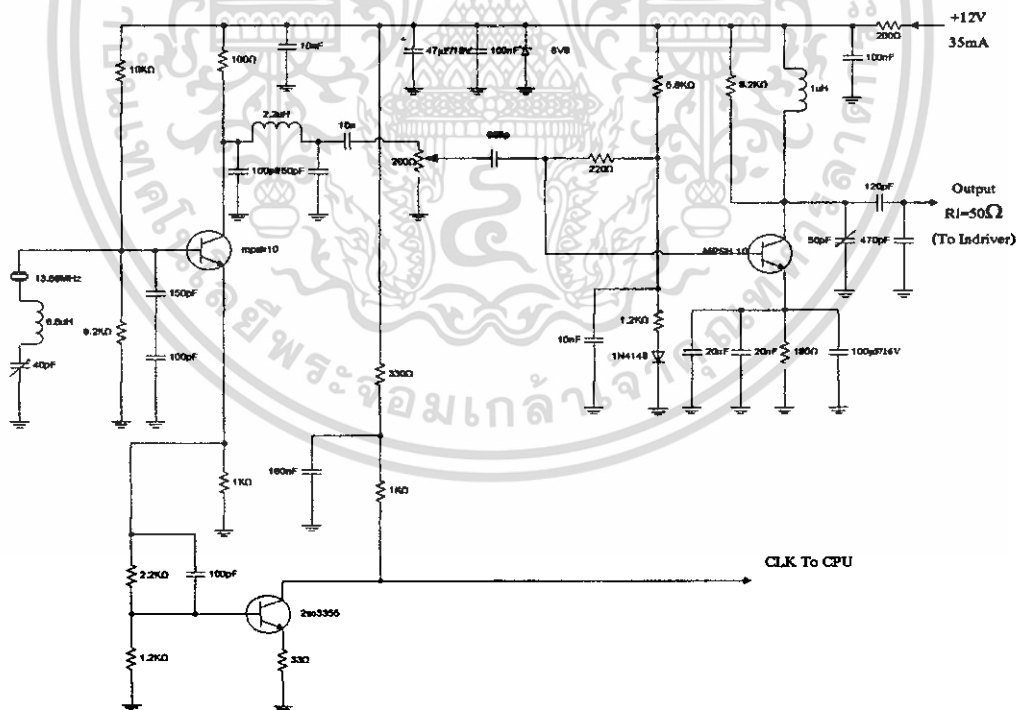
บทที่ 6

การออกแบบและการคำนวณ

เทคโนโลยี RFID เป็นระบบที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์สองส่วนคือ ส่วนของเครื่องอ่านและ ส่วนของลูกข่าย โดยการทำงานนั้นคือเครื่องอ่านจะทำหน้าที่จ่ายกำลังงานในรูปคลื่นความถี่วิทยุ 13.56 MHz ภายในรัศมีที่กำหนดเมื่อมีลูกข่ายเข้ามาภายในรัศมีจะเกิดการถ่ายเทพลังงาน เกิดเป็นแรงดัน ไฟฟ้าจ่ายให้กับวงจรของลูกข่ายทำให้สามารถรับส่งข้อมูลกันได้ โดยเราสามารถวิเคราะห์ที่ได้ที่ละส่วนของการทำงาน ได้ดังนี้

ส่วนของ READER

6.1 ส่วนของวงจร Oscillator

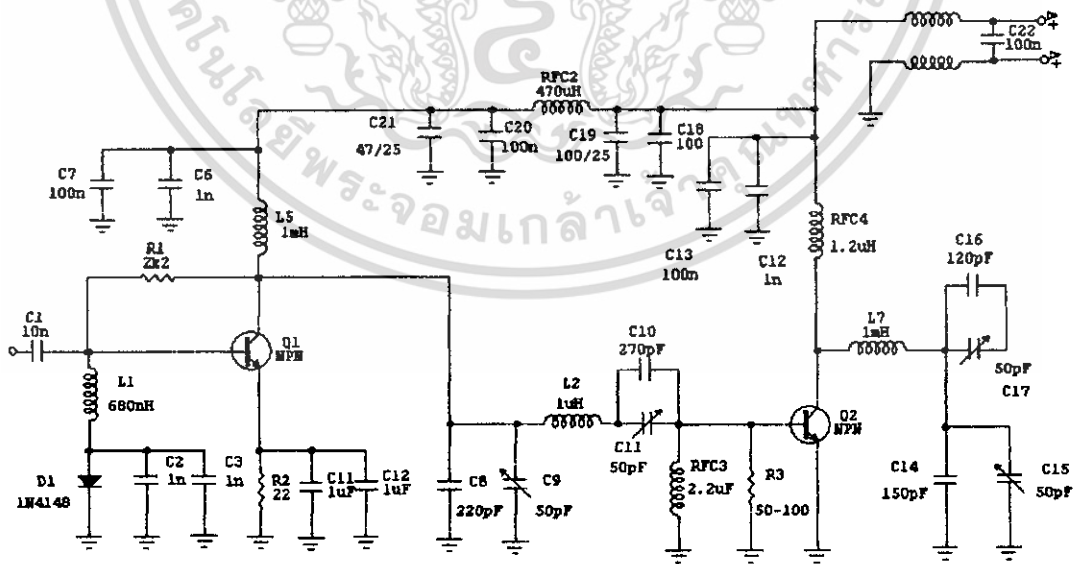


รูปที่ 6.1 แสดงส่วนของวงจร Oscillator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร Oscillator เป็นวงจรที่ใช้ป้อนความถี่ Input ให้กับวงจร PA แทนฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ โดยจะใช้คริสตอลเป็นตัวกำเนิดความถี่ที่ 13.56 MHz ต่อรวมอยู่กับ L, C เพื่อเป็นตัวช่วยในการกำเนิดความถี่และปรับความถี่ให้ตรงกับความถี่ที่ 13.56 MHz แล้วส่งเข้าไปขยายสัญญาณที่ทรานซิสเตอร์ตัวแรก ส่งต่อสัญญาณออกทางขา C โดยจะผ่านวงจรฟิลเตอร์ (หรือวงจร LPF แปรลงล่าง) ซึ่งจะช่วยปรับรูปของสัญญาณที่ได้ให้มีความคมเป็นรูปสัญญาณ Sine ที่สวขขึ้นก่อนเข้า VR ปรับค่าได้เพื่อทำการปรับขนาดของสัญญาณก่อนส่งเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 เพื่อทำการขยายสัญญาณให้สูงขึ้นได้ประมาณ 0-10 mW ผ่านวงจรเมทซิ่งที่ 50 Ω เพื่อให้สามารถส่งผ่านพลังงานได้สูงสุดระหว่างพลังงานจุดหนึ่ง ไปยังอีกจุดหนึ่ง แล้วส่งต่อไปยังภาค Driver ของวงจร Power Amplifier ในส่วนของสัญญาณที่ขา E ของทรานซิสเตอร์ตัวที่ 1 ที่จุดนี้จะสามารถวัดแรงดันได้ประมาณ 2.5 V แล้วส่งต่อไปทำการขยายที่ทรานซิสเตอร์ตัวที่ 3 สัญญาณที่ได้จากขา C จะมีลักษณะเป็นพัลส์ ความถี่ 13.56 MHz เพราะสัญญาณที่เข้ามาที่ขา B มีขนาดที่สูงเกินไฟ Bias ของทรานซิสเตอร์ ฉะนั้นสัญญาณที่ถูกขยายจะขยายได้ไม่เกินไฟ Bias ของทรานซิสเตอร์สัญญาณที่ได้จึงถูกขลิบมีลักษณะเป็นรูปพัลส์ที่ความถี่ 13.56 MHz เพื่อนำไปใช้เป็น CLK ให้กับ CPU

6.2 เพาเวอร์แอมป์(Power Amplifier) 30 dB ในส่วนของทอมที่ 1



รูปที่ 6.2 Power Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้

-Cทั้งหมดเป็นC Ceramic 50v ยกเว้น C19 , C21

-L1,L2 , RFC1,RFC2 เป็น Molded Inductor

-RFC3 อาจใช้ Molded Inductor $2.2\mu\text{H}$ หรือใช้ลวด \approx No27

-พันบนR $50\Omega - 100\Omega$ 1W 30-40 รอบ (ตัดลวด \approx 60ชม.)

-R ทุกตัว 1/4W

-RFC4 $L \geq 1.2\mu\text{H}$ ใช้ลวด \approx No26พันบน Toroid ซึ่งมีค่าคงที่

$-4\pi\text{H}/\text{Tum}^2$ 24-28รอบ(ตัดลวด \approx 45ชม.)

-L3 Air Core 13รอบ Diameter 6 มม. Coil Length \approx 13.5 มม.

-CM ใช้ลวด \approx No26พันบน Toroid $4\pi\text{H}/\text{Tum}^2$ 12-24รอบ(ตัดลวด \approx 45ชม. \times 2พันพร้อมกัน)

Final PA POMAX \approx 5W $V_{CC}=12$ 2SC1678 No Parameter

ให้ VSAT \approx 2V

$$V_{OPK} = V_{CC} - V_{CESAT}$$

$$V_{OPK} \approx 12\text{V} - 2\text{V} = 10\text{V}$$

$$R_C = \frac{(V_{OPK})^2}{2P_o} = \frac{10}{2 \times 5} = 10\Omega$$

คำนวณค่า RFC3

$$X_L = 2\pi fL$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}$$

$$= \frac{100\Omega}{2\pi(13.56\text{MHz})}$$

$$= 1.17 \mu\text{H}$$

เลือกใช้ RFC3 = 1.2 μH

คำนวณค่า RFC4

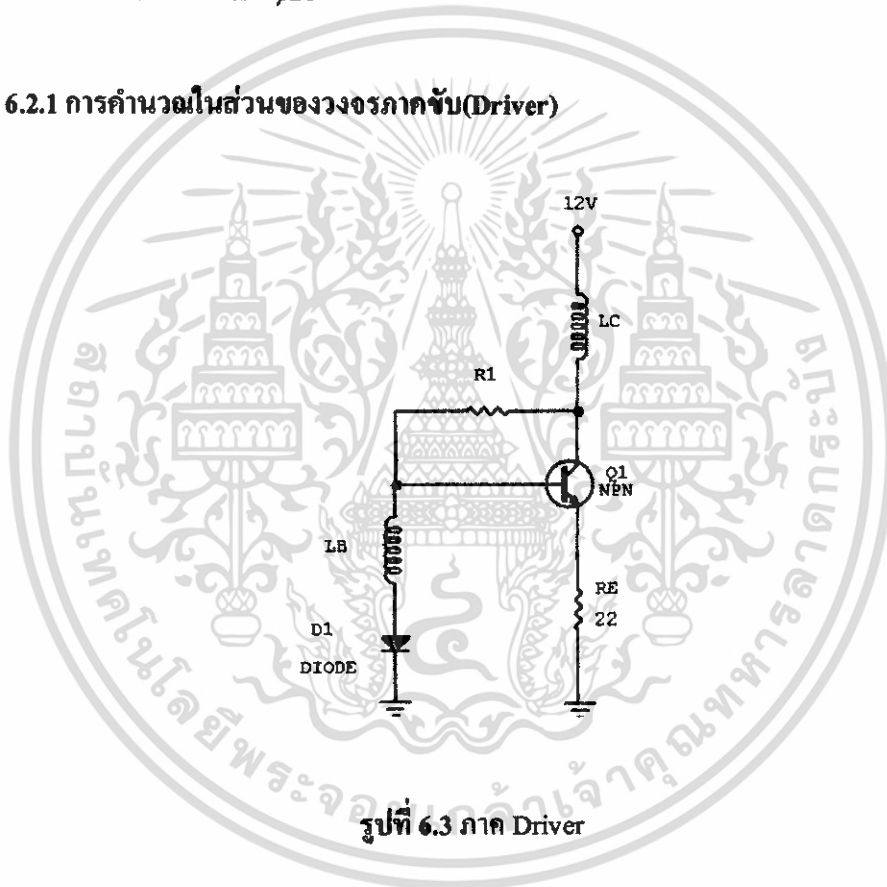
$$X_L = 2\pi fL$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{X_L}{2\pi f} \\
 &= \frac{100\Omega}{2\pi(13.56\text{MHz})} \\
 &= 1.17 \mu\text{H}
 \end{aligned}$$

เลือกใช้ RFC4 = 1.2 μH

6.2.1 การคำนวณในส่วนของวงจรภาคขับ(Driver)



รูปที่ 6.3 ภาค Driver

Driver $P_O \approx 0.15\text{W}$

$V_{CC} = 12\text{V}$ ให้ $V_{RE} + V_{SAT} \approx 3\text{V}$

จาก
$$V_{O\text{PK}} = V_{CC} - (V_{BE} + V_{CESAT})$$

$$V_{O\text{PK}} = 12\text{V} - 3\text{V} = 9\text{V}$$

$$R_C = \frac{(V_{O\text{PK}})^2}{2P_O} = 270\Omega$$

$$i_{pk}(\omega) = \frac{9\text{V}}{270\Omega} = 33.33\text{mA}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_{cp} \approx 2 i_{pk}(\omega) \approx 66.67 \text{mA}$$

$$I_{Q \text{ DC}} \approx \frac{i_{cp}}{\pi} \approx 21.22 \text{mA}$$

ให้ $V_{RE \text{ pk}} \approx 1.5 \text{V}$

$$R_E \approx 1.5 \text{V} / 66.67 \text{mA} \approx 22.5 \Omega$$

เลือก $R_E = 22 \Omega$

คำนวณค่า L_C

$$L_C = \frac{X_L}{\omega} = \frac{2.7 \text{K}\Omega}{85.15 \text{E}^6} = 31.70 \mu\text{H}$$

เลือกใช้

$$L_C = 47 \mu\text{H}$$

คำนวณค่า L_B

$$L_B = \frac{X_L}{\omega} = \frac{52.59 \Omega}{85015 \text{E}^6} = 61504 \text{ nH}$$

เลือกใช้

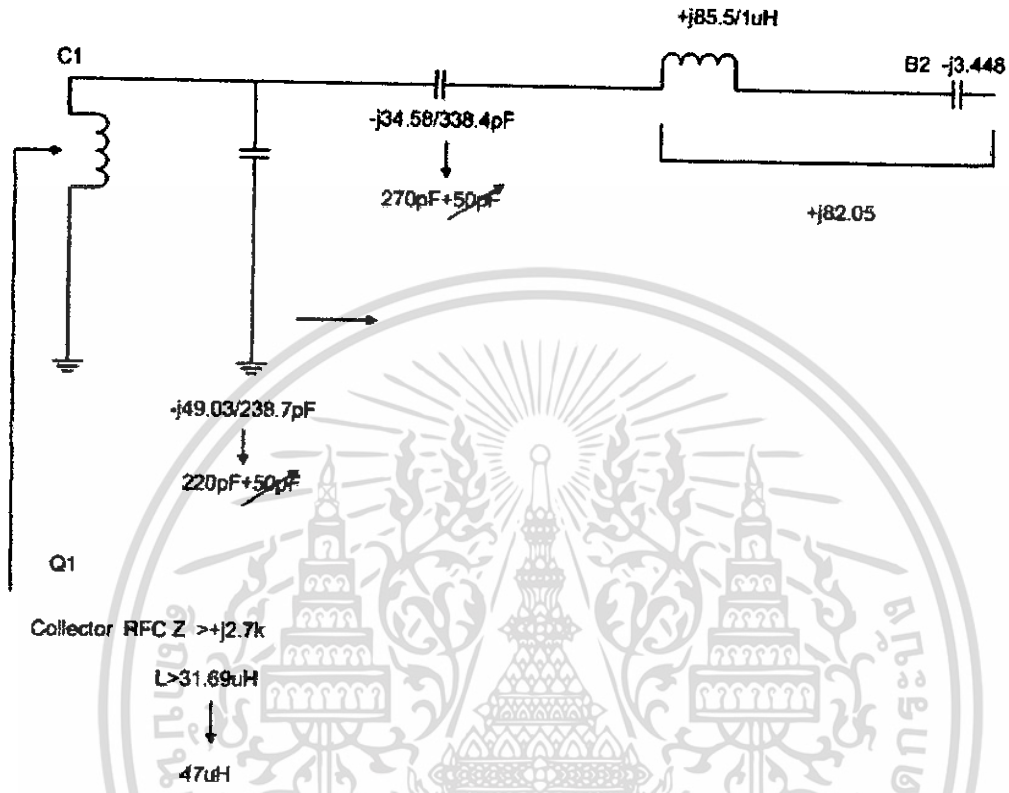
$$L_B = 680 \text{ nH}$$

6.2.2 Matching ระหว่างภาค Driver กับภาค Power Amplifier

$$270 \Omega \rightarrow 10 \Omega // -j25 = 8.621 - j3.448$$

$$\text{BW} \approx 3.39 \text{MHz} \quad (Q=4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 Matching ระหว่าง Driver กับ Power Amplifier

BASE RFC $Z > j100 \Omega$

$L > 1.17 \mu H$

สค No 27 ยาว $\approx 60 \text{cm}$

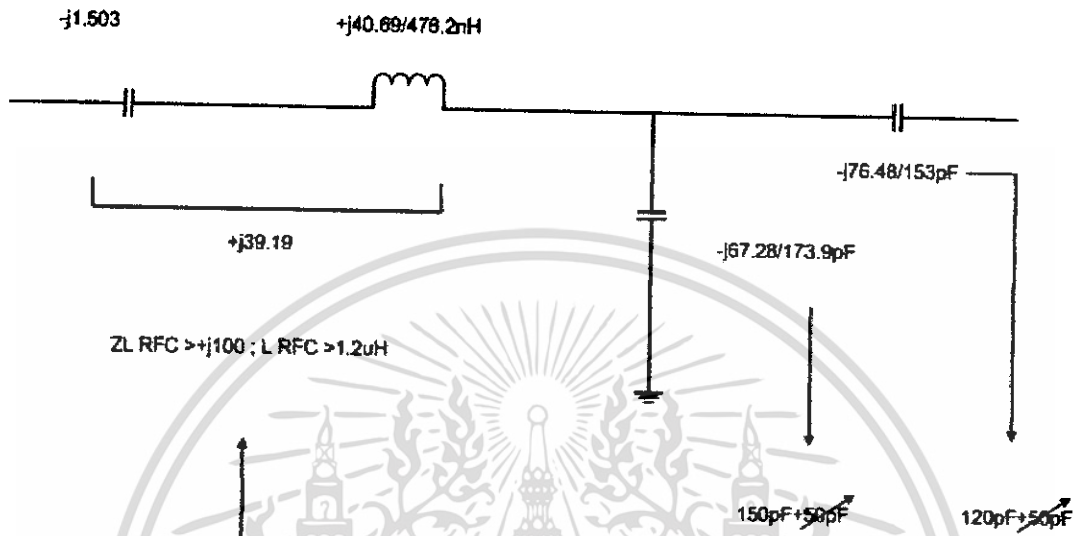
พันบน R 47-100 Ω 1W ประมาณ 30 รอบ

6.2.3 Matching Output ของภาค Power Amplifier

$10 \Omega // -j65 \rightarrow 50 \Omega$

$f = 13.6 \text{MHz}$ ให้ $BW \approx 3.39 \text{MHz}$ ($Q=4$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ZL RFC > +j100 ; L RFC > 1.2uH

Toroid แดง ≈ 24 Turns
(ตัดลวด ≈ 60cm)

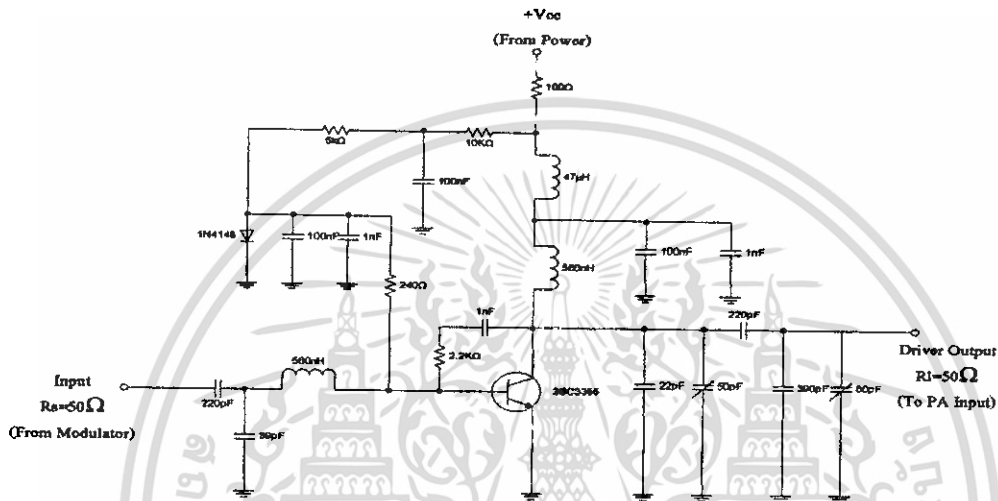
รูปที่ 6.5 Matching Output ของภาค Power Amplifier

- 470nH
- n=13
- D=6.6mm
- l=13.4mm
- (ตัดลวด ≈ 45cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 เพาเวอร์แอมป์ (Power Amplifier) ในส่วนของเทอมที่ 2

6.3.1 ส่วนของภาค Driver

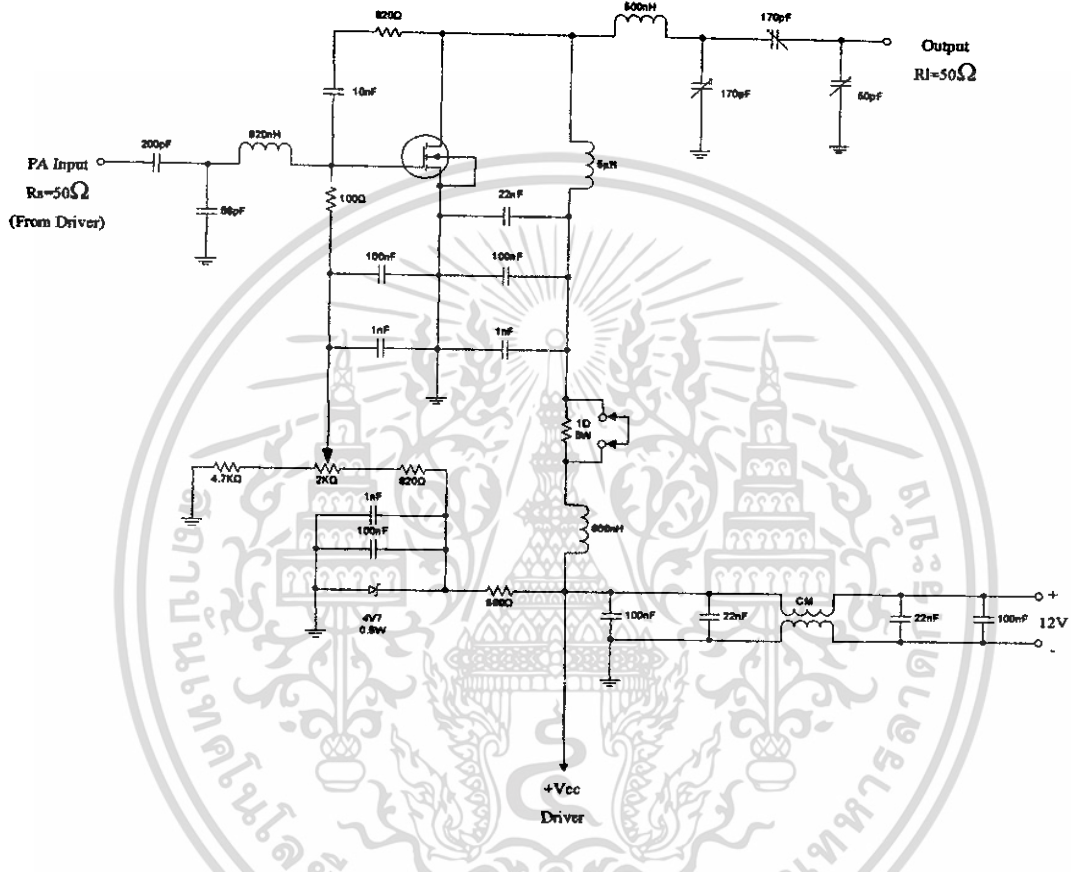


รูปที่ 6.6 แสดงส่วนของภาค Driver

เป็นส่วนที่รับสัญญาณที่มีขนาดเล็กที่ความถี่ 13.56 MHz จากวงจร Oscillator เข้ามาทำการ Driver ให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น โดยผ่านวงจรเมทซิ่งทาง Input เข้าขา B ของทรานซิสเตอร์ ออกทางขา C ผ่านวงจรเมทซิ่งพทที่จะส่งต่อไปยังภาค Power ของวงจร Power Amplifier เพื่อทำการขยายต่อไป

จะสังเกตเห็นว่าที่ไฟ Bias 12 V จะมี L ต่ออนุกรมอยู่ 2 ตัว ก็เพื่อเป็นตัวกรองสัญญาณรบกวน เพราะที่ความถี่ที่ 13.56 MHz ค่าของ L จะมีขนาดใหญ่มาก ($X_L = 2\pi fL$) สัญญาณรบกวนก็จะผ่านเข้ามาไม่ได้ ในขณะที่เดียวกันสัญญาณจากภายในก็ผ่านออกไปไม่ได้เช่นกัน

6.3.2 ส่วนของภาค Power



รูปที่ 6.7 แสดงส่วนของภาค Power

ภาค Power เป็นภาคสุดท้ายที่ทำการขยายสัญญาณ Input ที่เข้ามาให้มีขนาดแรงพอที่จะทำการส่งออกโดยใช้หลักการ อินดิวส์ของขดลวดเพื่อเป็นการส่งถ่ายพลังงาน ไปให้กับเครื่องรับ ซึ่งสัญญาณที่เข้ามาทาง Input จากภาค Driver จะผ่านวงจรเมทซ์ทาง Input เข้าขา G ของ Mosfet เพื่อทำการขยายสัญญาณ ส่งออกทางขา D ให้มีความแรงพอที่จะสามารถส่งผ่านพลังงาน ไปให้เครื่องลูกข่ายสามารถทำงานได้ ผ่านวงจรเมทซ์ทาง Output อัตราการขยายของ Mosfet สามารถกำหนดได้ด้วยการปรับ ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรปรับ Bias โดยมี VR 2 K Ω เป็นตัวปรับ I_c ไม่ให้สูงเกินไปซึ่งสามารถดูกระแส Bias ได้จากการคำนวณกระแสที่ได้จากแรงดันตกคร่อม R 1 Ω 5 W และแรงดันที่ V_c มีค่าประมาณ 4 V

ในส่วนของแรงดันไฟเลี้ยงวงจร 12 V จะต่อเข้ากับวงจร Common Mode เพื่อเป็นการลดหรือกั้นสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้ามาในวงจร ในขณะที่เดียวกันก็จะกั้นไม่ให้สัญญาณจากภายนอกออกสู่ภายนอกด้วยเช่นกัน

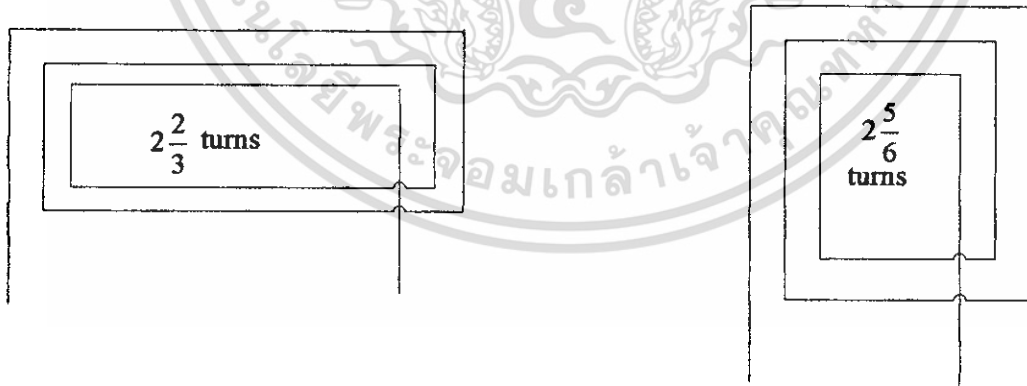
6.3.3 ส่วนของวงจร MATCHING

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ปรับ Impedance ของ Output ของวงจร Power Amplifier และ Input ของวงจร MATCHING ให้มีค่าที่เท่ากันเพื่อเป็นการถ่ายเทพลังงานให้กับ Reader Coil ไปให้ได้สูงสุด โดยที่มีการสูญเสียให้น้อยที่สุด

ส่วนของการออกแบบ 13.56 MHz Reader Coil Matching & Filter

การออกแบบในส่วนของ Reader Coil ที่จะใช้ในการส่งพลังงานและรับส่งข้อมูลกับเครื่อง

ลูกข่าย Reader Coil $2\frac{2}{3}$ turns \rightarrow $2\frac{5}{6}$ turns of (3x6)inch² Loop



รูปที่ 6.8 แสดงรูปของ COIL ในลักษณะแนวนอนและแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COIL ในลักษณะแนวนอน

$$L_e \text{ 2KHz} \approx 3.09 \mu\text{H}$$

$$f_{\text{self res}} \approx 34.6 \text{ MHz}$$

$$c_p \approx 6.847 \text{ pF}$$

$$Z_e \text{ 13.56 MHz} \approx (+j263.2 // -j1714) \Omega$$

$$\approx +j311 \Omega / 3.651 \mu\text{H}$$

Assume $L_{Rd} \text{ 13.56 MHz} \approx 3.7 \mu\text{H}$

Matching $50 \Omega \rightarrow 30 \Omega (25 \Omega + 1 \Omega + 4 \Omega)$

COIL ในลักษณะแนวตั้ง

$$L_e \text{ 2KHz} \approx 3.24 \mu\text{H}$$

$$f_{\text{self res}} \approx 37.7 \text{ MHz}$$

$$c_p \approx 5.501 \text{ pF}$$

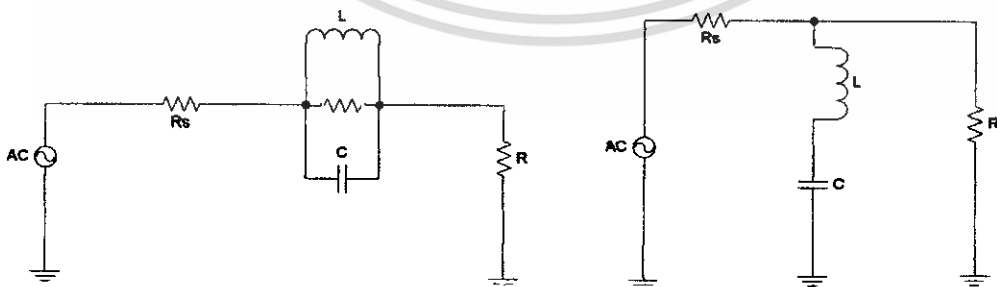
$$Z_e \text{ 13.56 MHz} \approx (+j276.0 // -j2134) \Omega$$

$$\approx +j317.1 \Omega / 3.721 \mu\text{H}$$



รูปที่ 6.9 แสดงตัวอย่างของวงจรเมตชิง

BRF



รูปที่ 6.10 แสดงตัวอย่างของวง BAND REJECT FILTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BRF แบบอนุกรม

BRJ แบบขนาน

$$BW \approx \frac{1}{2\pi c(R_s + R_L)}$$

$$BW \approx \frac{R_s // R_L}{2\pi L}$$

Notch depth $\approx 20 \text{ Log} \left(\frac{r_p + R_s + R_L}{R_s + R_L} \right) \text{ dB}$, Notch depth $\approx \frac{(R_s // R_L) + r_s}{r_s} \text{ dB}$

r_p Loss ใน L,C รวมกัน

r_s Loss ใน L,C รวมกัน

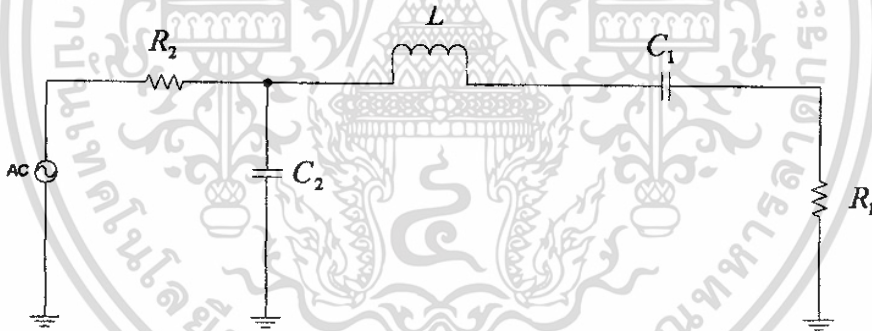
Parallel form

Series form

Ideal L, C $r_p = \infty$

Ideal L, C $r_s = 0$

Matching / BPF



รูปที่ 6.11 แสดงตัวอย่างของวง MATCHING / BAND REJECT FILTER

$$|Z_{C1}| = QR_2 \ \Omega$$

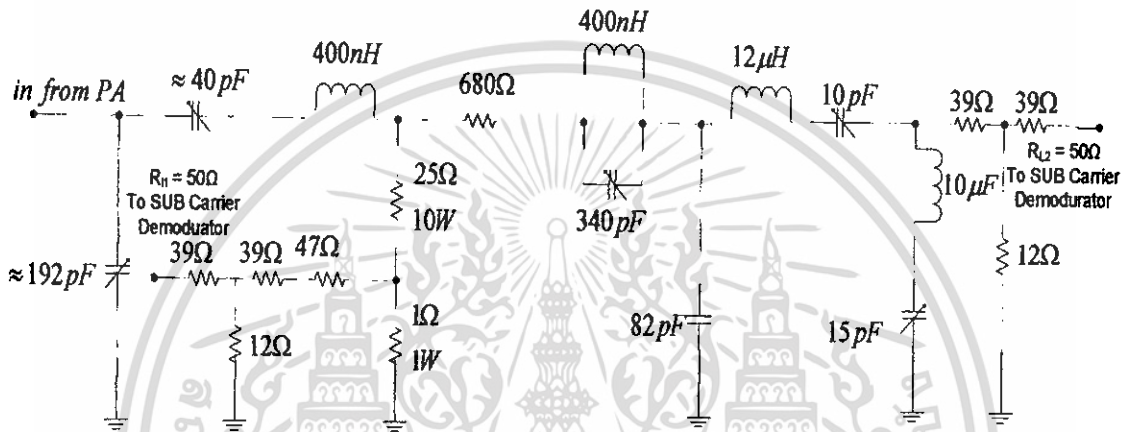
$$Q \approx \frac{f_{pk}}{(BW)_{-3dB}}$$

$$|Z_{C2}| = R_2 \sqrt{\frac{R_2}{R_2 - R_1}} \ \Omega$$

$$|Z_L| = |Z_{C1}| + \frac{R_1 R_2}{|Z_{C2}|} \ \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการที่จะนำสัญญาณบางส่วนจาก Reader Coil เมื่อส่งต่อไปยัง Sub Carrier Demodulation



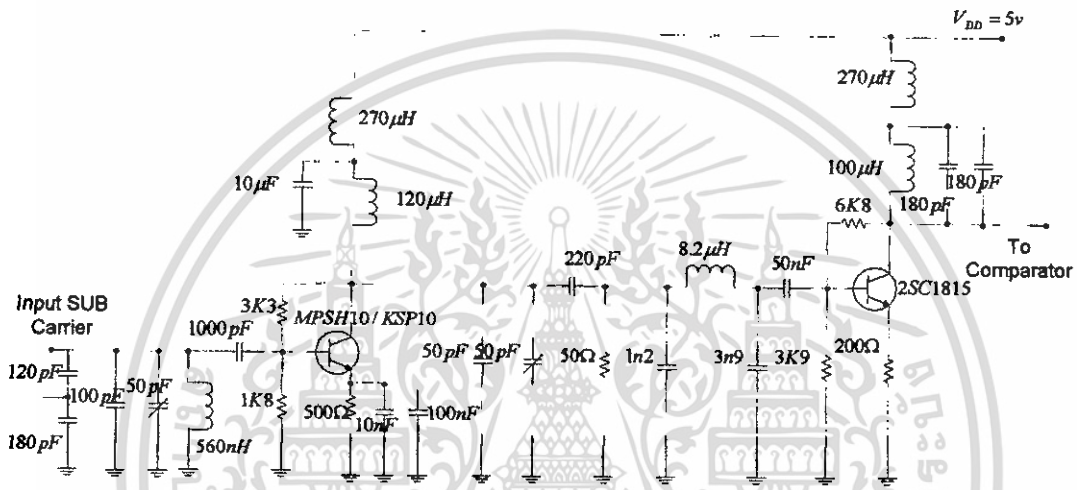
รูปที่ 6.12 แสดงส่วนของวงจร MATCHING READER COIL

เมื่อมีบัตรลูกข่ายเข้ามาในบริเวณของการส่งพลังงานของเครื่องส่งก็จะเกิดคู่ของสัญญาณ Side Band ด้านสูงและด้านต่ำขึ้น เราก็จะทำการดึงเอาส่วนของสัญญาณด้านสูงมาใช้เป็นสัญญาณ SUB Carrier นำไปทำการ Demodulator ต่อไปจุดที่จะนำไปใช้งานมีอยู่ 2 จุด ก็คือ R_{L1} และ R_{L2} ที่จุด R_{L1} จะมีสัญญาณที่สูงกว่า เพราะที่จุด R_{L2} สัญญาณที่ได้จะต้องผ่านวงจร BRF ฟิลเตอร์ และ BRF อีกหนึ่งครั้ง สัญญาณที่ได้จึงต่ำกว่า จึงนำจุด R_{L1} ไปใช้งาน

6.3.4 วงจร Sub Carrier Demod

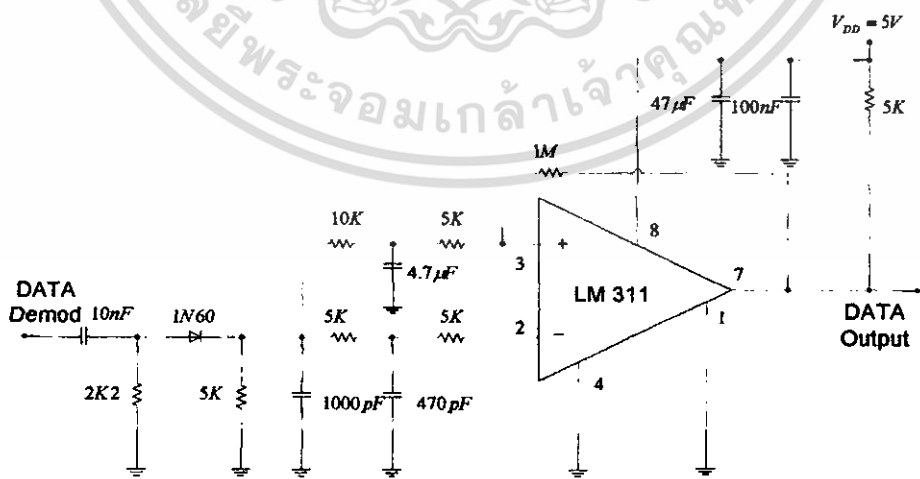
เป็นวงจรที่ใช้ในการดึงสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งมาจากเครื่องลูกข่ายออกจาก Sub Carrier ที่ใช้เป็นพาหะ ในการส่งข้อมูล โดยสัญญาณที่เข้ามาจะเป็นสัญญาณที่มี Sine Band ทั้งด้านบวกและด้านลบ ผ่านวงจรเมทซิ่งทาง Input เข้าที่ขา B ของทรานซิสเตอร์(non linear) ออกที่ขา C สัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณผลบวกผลต่าง ผ่านวงจร LPF เข้าขา B ทำการขยายสัญญาณให้แรงขึ้นส่งออกขา C ผ่าน C

คัปปลิ่ง ผ่านไดโอด DATA Demodulator เข้าวงจร Comparator ก็จะได้สัญญาณข้อมูลออกมาที่ Output ของวงจร Comparator เพื่อที่จะส่งข้อมูลที่ได้ออกไปยัง CPU ทางฝั่งของ Reader ทำการประมวลผลต่อไป



รูปที่ 6.13 แสดงส่วนของวงจร Sub Carrier

ส่วนของวงจร Comparator

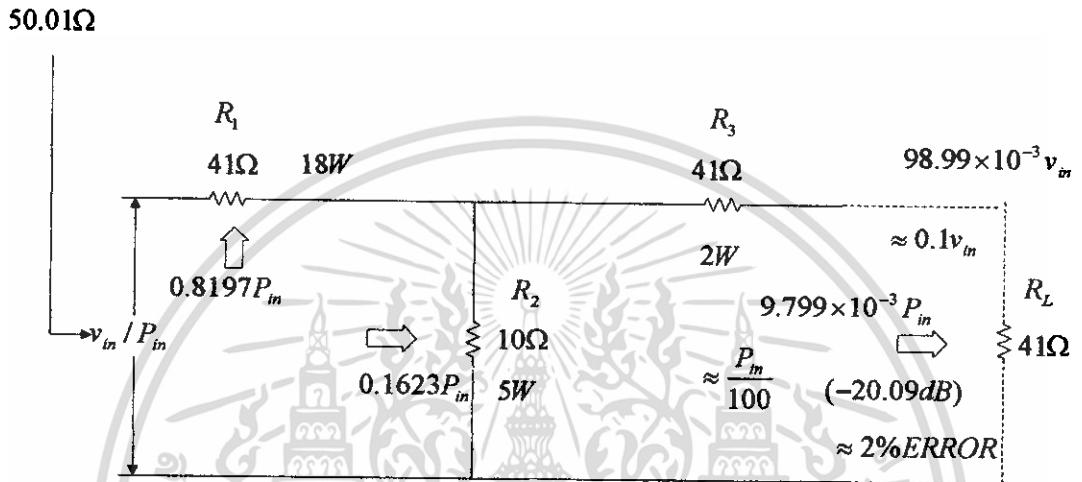


รูปที่ 6.14 แสดงส่วนของวงจร Comparator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 Load 50 ohm

10W/20dB RF Load/Attenuator



รูปที่ 6.15 Load 50 โอห์ม

$$41\ \Omega\ 18W = \frac{82\ \Omega}{6} + \frac{82\ \Omega}{6} + \frac{82\ \Omega}{6} = 41\ \Omega$$

$$10\ \Omega\ 5W = \frac{100\ \Omega}{10} = 10\ \Omega$$

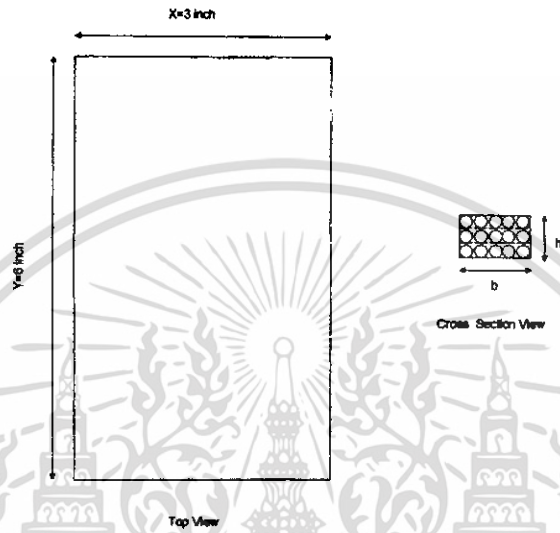
$$41\ \Omega\ 1W = \frac{82\ \Omega}{4} + \frac{82\ \Omega}{4} = 41\ \Omega$$

For $P_{in} = 10W$ $P(R1) \approx 8.197W$

$P(R2) \approx 1.623W$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 N-TURN SQUARE LOOP COIL WITH MULTILAYER ของ Reader



รูปที่ 6.16 SQUARE LOOP COIL ของ Reader

สมการในการหาจำนวนรอบของขดลวด

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

N = number of turns

$C = x + y + 2h$

x = width of coil

y = length of coil

b = width of cross section $\approx 0.2mm$

h = height (coil build up) of cross section $\approx 0.2mm$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reader Coil Drive

$$NI = \frac{2V_{rms}(a^2 + r^2)^{1.5}}{2\pi fSNQ \cos\alpha \mu_0 a^2} \quad A_{rms}$$

$$V_{rms} = 4.6V_{rms}, \quad f = 13.56\text{MHz}, \quad S \approx (5 \times 8)\text{cm}^2 = 4 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$\text{Margin: Let } \cos\alpha = 0.95$$

$$N = 2, \quad NQ_L = 8.747: \text{Margin, Let } NQ = 6$$

$$a = \text{Read Radius } a_{\min} \approx 2.5\text{cm} \approx 0.025\text{m}$$

$$r = \text{Read Range}$$

$r(\text{m/cm})$

0.1/10.0

0.05/5.0

0.04/4.0

0.03/3.0

0.02/2.0

$NI(A_{rms})$

6.604

1.053

0.6329

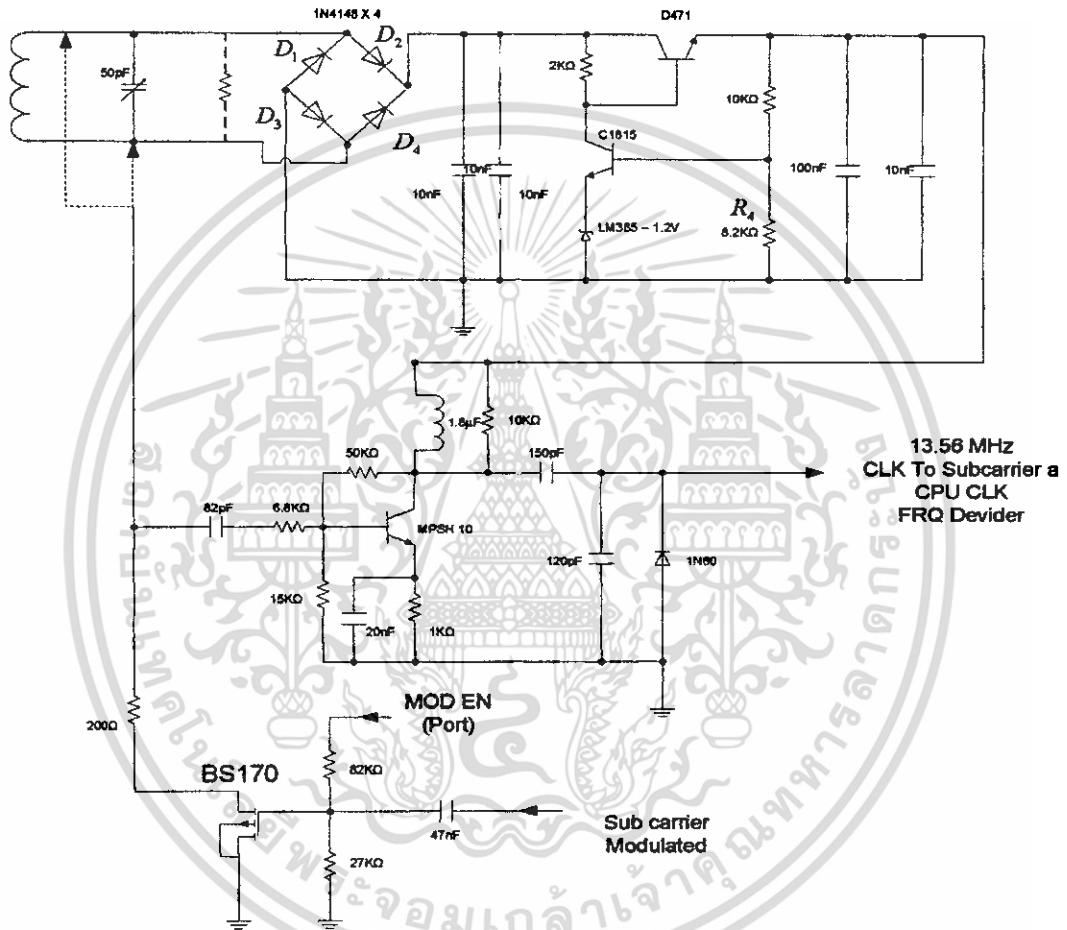
0.3591

0.1979

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6 วงจรและการออกแบบของเครื่องลูกข่าย

6.6.1 ส่วนของวงจรเครื่องลูกข่าย



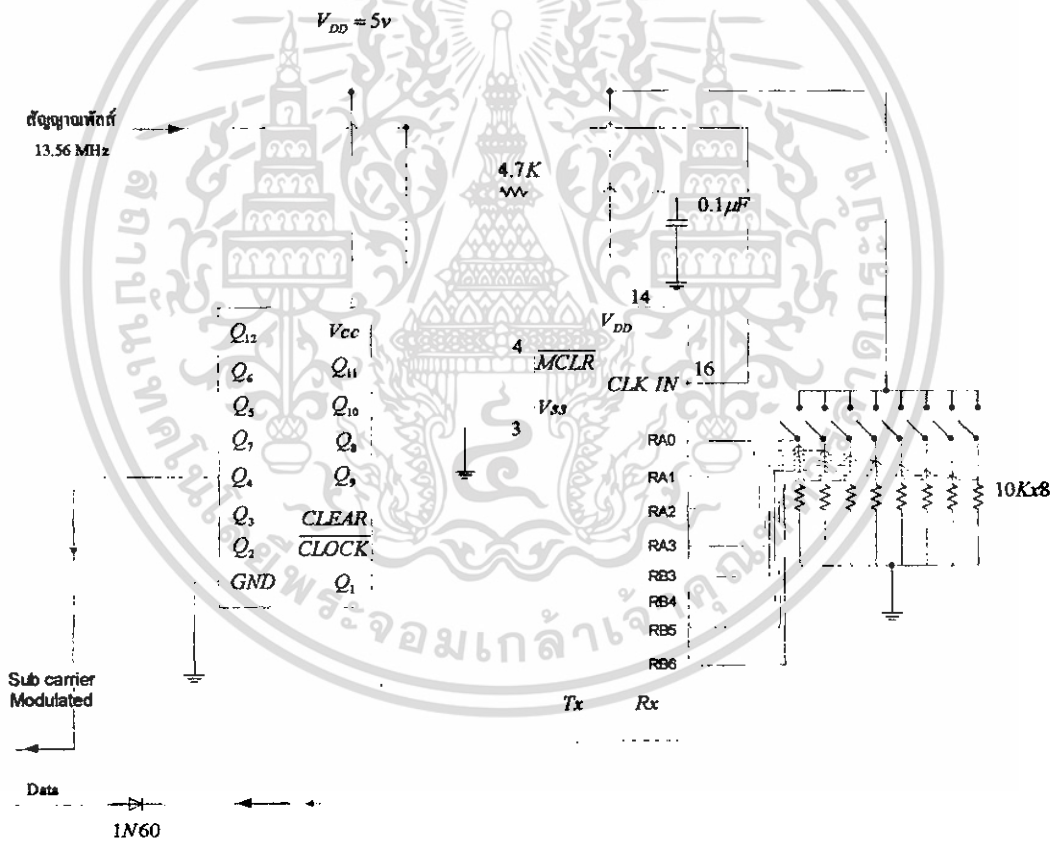
รูปที่ 6.17 วงจรของเครื่องลูกข่าย

วงจรของเครื่องลูกข่ายจะอาศัยหลักการของวงจรเรโซแนนซ์เพื่อเป็นการรับพลังงานที่ถูกส่งมาจากเครื่องส่ง ผ่านวงรีคิไฟร์ ส่งต่อไปยังวงจรเรคทูเรเตอร์ก็จะ ได้ไฟสำหรับเลี้ยงวงจรในส่วนต่างๆ ของเครื่องลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราดึงสัญญาณก่อนหน้าวงจรเรคตีไฟร์ซึ่งมีขนาดที่สูงกว่า Bias ของทรานซิสเตอร์ โดยเอามาเข้ามาทางขา B ทำการขยายออกทางขา C เราก็จะได้สัญญาณพัลส์ความถี่ 13.56 MHz เพื่อส่งต่อไปเป็น CLK ให้กับ CPU และวงจรหารความถี่ วงจรหารความถี่ก็จะทำการหารความถี่ที่ 13.56 MHz ให้เหลือ 847.5 KHz เพื่อนำมาเป็นสัญญาณ SUB Carrier Modulator รวมกับสัญญาณข้อมูลที่ได้จาก CPU โดยจะใช้ Mosfat BS170 เป็นตัว Modulator แล้วส่งสัญญาณที่ได้ออกที่ Tag Coil

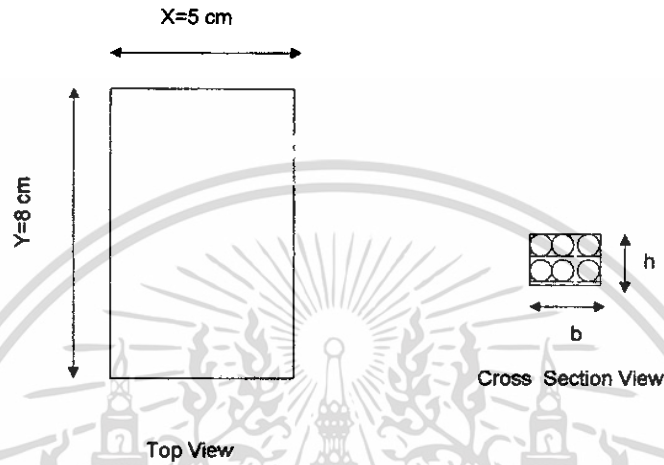
6.6.2 ส่วนของวงจรหารความถี่



รูปที่ 6.18 วงจรหารความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.7 N-TURN SQUARE LOOP COIL WITH MULTILAYER ของ Tag



รูปที่ 6.19 SQUARE LOOP COIL ของ Tag

การคำนวณ กำหนดให้ $x = 5\text{ cm}$, $y = 8\text{ cm}$

$$C = x + y + 2h$$

$$C = 5\text{ cm} + 8\text{ cm} + 2(0.2\text{ mm})$$

$$C = 5\text{ cm} + 8\text{ cm} + 2(0.02\text{ cm})$$

$$C = 13.04\text{ cm}$$

โดยใช้สมการ

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

$$FREQ = 13.56\text{ MHz}$$

$$V_{DD} = 4\text{ V} , I_{DD} \leq 15\text{ mA}$$

$$V_{DCin} = 5\text{ V} , I_{DCin} \approx 15.5\text{ mA} : P_{LOADDC} \approx 77.5\text{ mW}$$

$$V_{AC} = \frac{(5 + 1.4 + 0.1)\text{ V}}{\sqrt{2}} = 4.596\text{ V}_{rms} \approx 4.6\text{ V}_{rms}$$

$$P_{AC} = 4.6\text{ V}_{rms} I_{AC} = P_{LOADDC} = 77.5\text{ mW}$$

$$I_{AC} = 16.85\text{ mA}_{rms}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{LAC} = 4.6/16.85mA \approx 273\Omega$$

TAG SIZE Loop width = 5cm
Loop Length = 8cm

Bare wire dia = 0.3608mm

Total wire dia = 0.3913mm

$h \approx 0.3913mm$

N	$\frac{b(mm)}{l_T(mm)}$	$\frac{L_s(\mu H)}{L_p(\mu H)}$	Q_U	$\frac{r_{SAC}(\Omega)}{r_{PAC}(\Omega)}$	$R_{TOT}(\Omega)$	Q_L	$C(pF)$	$BW(MHz)$	NxQ_L
1	$\frac{0.3913}{0.2608}$	$\frac{184.3n}{184.3n}$	66.42	$\frac{0.2364}{1043}$	216.4	13.78	747.7	0.9842	13.78
2	$\frac{2.0}{0.528}$	$\frac{0.7071}{0.7072}$	125.9	$\frac{0.4786}{7585}$	263.5	4.374	194.8	3.10	8.747
3	$\frac{3.0}{0.798}$	$\frac{1.554}{1.554}$	183.0	$\frac{0.7233}{24.22K}$	270.0	2.039	88.67	6.649	6.118
4	$\frac{4.0}{1.072}$	2.700	236.8	$\frac{0.9717}{54.48K}$	271.6	1.181	51.01	11.49	4.723

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

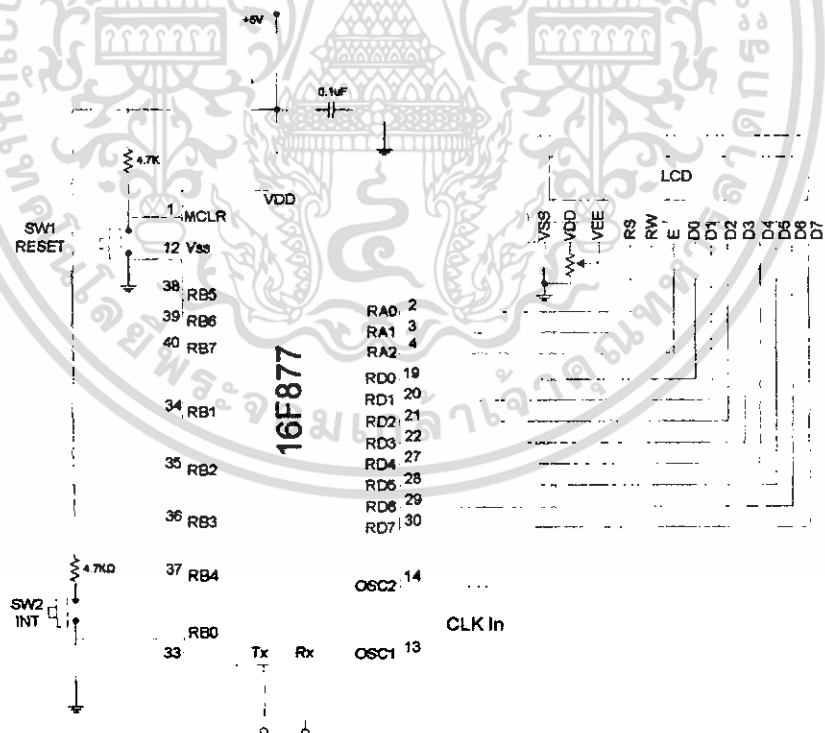
บทที่ 7

โปรแกรมการติดต่อสื่อสารข้อมูล

เทคโนโลยี RFID จะมีการทำงานที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของเครื่องอ่านและส่วน
ของเครื่องถูกข่าย ในส่วนของเครื่องอ่านจะทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากเครื่องถูกข่ายโดยมีการตรวจสอบ
ความถูกต้องของข้อมูลถ้าข้อมูลถูกต้องก็จะแสดงผลออกทางLED และส่งข้อมูลไปให้กับเครื่องถูกข่าย
ในส่วนของเครื่องถูกข่ายจะทำหน้าที่รับข้อมูลเข้ามาเก็บลงในหน่วยความจำแบบ (EEPROM) และอ่าน
ข้อมูลที่ได้ส่งให้กับเครื่องอ่าน โดยมีลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้

7.1 เครื่องอ่าน

7.1.1 ส่วนของวงจรของเครื่องอ่าน

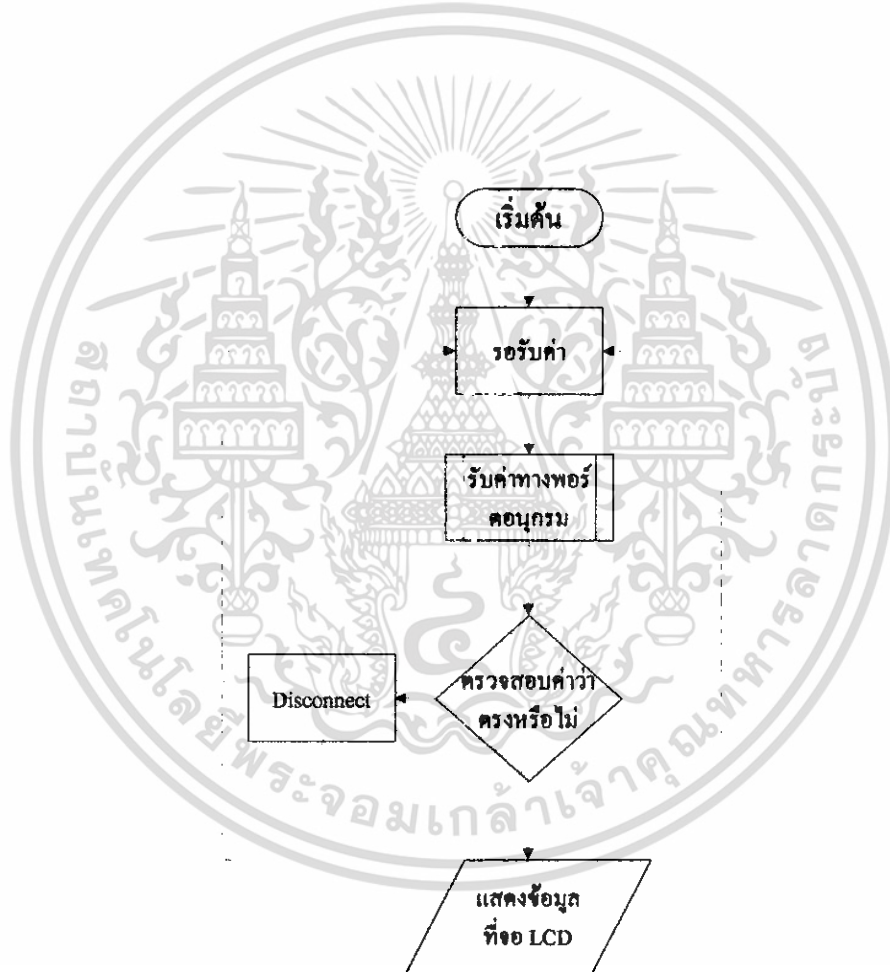


รูปที่ 7.1 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 7.1 เป็นวงจรของเครื่องอ่าน โดยที่พอร์ต B จะเป็นพอร์ตอินพุตรับสวิตช์เพื่อทำการเซตข้อมูลส่งให้เครื่องถูกข่าย ส่วนพอร์ต D จะเป็นพอร์ตเอาต์พุตส่งสัญญาณข้อมูล ไป ไชว์ที่จอ LCD และใช้พอร์ต RC6 กับ RC7 ในการส่งผ่านข้อมูลออกพอร์ตอนุกรม

7.1.2 โฟลวชาร์ตการทำงานของเครื่องอ่าน



รูปที่ 7.2 แสดงโฟลวชาร์ตการทำงานของเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.3 ส่วนของโปรแกรมของเครื่องอ่าน

```

=====
#include <16F877.h>

    #use delay (clock = 1000000)

    #fuses HS, NOWDT

#use rs232 (baud=1100, parity=N, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7)

=====
#define en pin_a2
#define rs pin_a0
#define rw pin_a1
=====define code for entry mode=====
#define ent_mod1 0x04 //address ddram --, couser follow i/d
#define ent_mod2 0x05 //address ddram --, couser no moving
#define ent_mod3 0x06 //address ddram++, couser follow i/d
#define ent_mod4 0x07 //address ddram++, couser no moving
=====define code for display on off control=====
#define on_off_mod1 0x08
#define on_off_mod2 0x09
#define on_off_mod3 0x0a
#define on_off_mod4 0x0b
#define on_off_mod5 0x0c
#define on_off_mod6 0x0d
#define on_off_mod7 0x0e
#define on_off_mod8 0x0f

===== define code for function set=====
#define f_set_mod1 0x20 //data access 4 bits, 1/8 duty, 5x7 dot
#define f_set_mod2 0x38 //data access 8 bits, 1/6 duty, 5x7 dot
#define f_set_mod3 0x30

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#define f_set_mod4 0x3c
#define f_set_mod5 0x34
=====

```

```

-----setkey-----

```

```

#define column1 pin_b5
#define column2 pin_b6
#define column3 pin_b7
#define row1 pin_b1
#define row2 pin_b2
#define row3 pin_b3
#define row4 pin_b4
#define chk pin_b0
byte show[11]= {"000000000"};
byte const data[11]= {" Data "};
byte const con[11]= {"CONNECT"};
byte const dis[11]= {"DISCONNECT"};
byte const err[12]= {" Data error"};
char k=0;
char data1 = 0x00;
unsigned char status = 0x8A;
unsigned char s_show = 0;
INT PASSWORD_EX = 0;
int status_get = 0;
#int_rda
VOID rs232_isr(VOID){
    PASSWORD_EX = GETC();
    status_get = 1;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void clk (void)
{
    output_high (en);
    delay_ms (1);
    output_low (en);
}

void clr (void)
{
    output_low (rs);
    output_low (rw);
    output_d (0x01);
    clk ();
}

void ret_hom (void)
{
    output_low (rs);
    output_low (rw);
    output_d (0x02);
    clk ();
}

void ent_mod (byte cod)
{
    output_low (rs);
    output_low (rw);
    output_d (cod);
    clk ();
}

void on_off_display (byte cod_on_off)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
output_low (rs);
output_low (rw);
output_d (cod_on_off);
clk ();
}
void f_set (byte cod_f_set)
{
output_low (rs);
output_low (rw);
output_d (cod_f_set);
clk ();
}
void set_ddram (byte add_ram)
{
output_low (rs);
output_low (rw);
output_d (add_ram);
clk ();
}
void sent_dat (byte dat)
{
output_high (rs);
output_low (rw);
output_d (dat);
clk ();
}
void main ()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
int comle;

  setup_adc_ports (NO_ANALOGS);
  setup_adc (ADC_CLOCK_DIV_2);
  setup_spi (FALSE);
  setup_psp (PSP_DISABLED);
  setup_counters (RTCC_INTERNAL, RTCC_DIV_2);
  setup_ccp1 (CCP_OFF);
  setup_ccp2 (CCP_OFF);
ENABLE_INTERRUPTS(GLOBAL);
ENABLE_INTERRUPTS(int_rda);

  output_low (en);
  ent_mod(ent_mod3); //0x06 เลื่อน Cursor ไปทางขวา
  on_off_display (on_off_mod8); //0x0F แสดงผลและ Cursor กระพริบ
  f_set (f_set_mod2); //0x38 แสดงผลแบบ 2 บรรทัด 8 bits

  clrns ();
  k = 0;
  set_ddram (status);
  while(1){
    if(status_get == 1)
    {
      if(PASSWORD_EX == 8|| PASSWORD_EX == 184 || PASSWORD_EX == 255)
      {
        k = 0;
        while(k <= 10)
        {
          sent_dat(con[k]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    delay_ms (500);
    k++;
}
if(PASSWORD_EX >= 128)
{
    show[1] = '1';
    PASSWORD_EX = PASSWORD_EX - 128;
}
if(PASSWORD_EX >= 64)
{
    show[2] = '1';
    PASSWORD_EX = PASSWORD_EX - 64;
}
if(PASSWORD_EX >= 32)
{
    show[3] = '1';
    PASSWORD_EX = PASSWORD_EX - 32;
}
if(PASSWORD_EX >= 16)
{
    show[4] = '1';
    PASSWORD_EX = PASSWORD_EX - 16;
}
if(PASSWORD_EX >= 8)
{
    show[5] = '1';
    PASSWORD_EX = PASSWORD_EX - 8;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(PASSWORD_EX >= 4)
{
    show[6] = '1';
    PASSWORD_EX = PASSWORD_EX - 4;
}
if(PASSWORD_EX >= 2)
{
    show[7] = '1';
    PASSWORD_EX = PASSWORD_EX - 2;
}
if(PASSWORD_EX >= 1)
{
    show[8] = '1';
    PASSWORD_EX = PASSWORD_EX - 1;
}
k = 0;
clr ();
while(k <= 10)
{
    sent_dat(Data[k]);
    delay_ms (500);
    k++;
}
k = 0;
clr ();
while(k <= 10)
{
    sent_dat(show[k]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

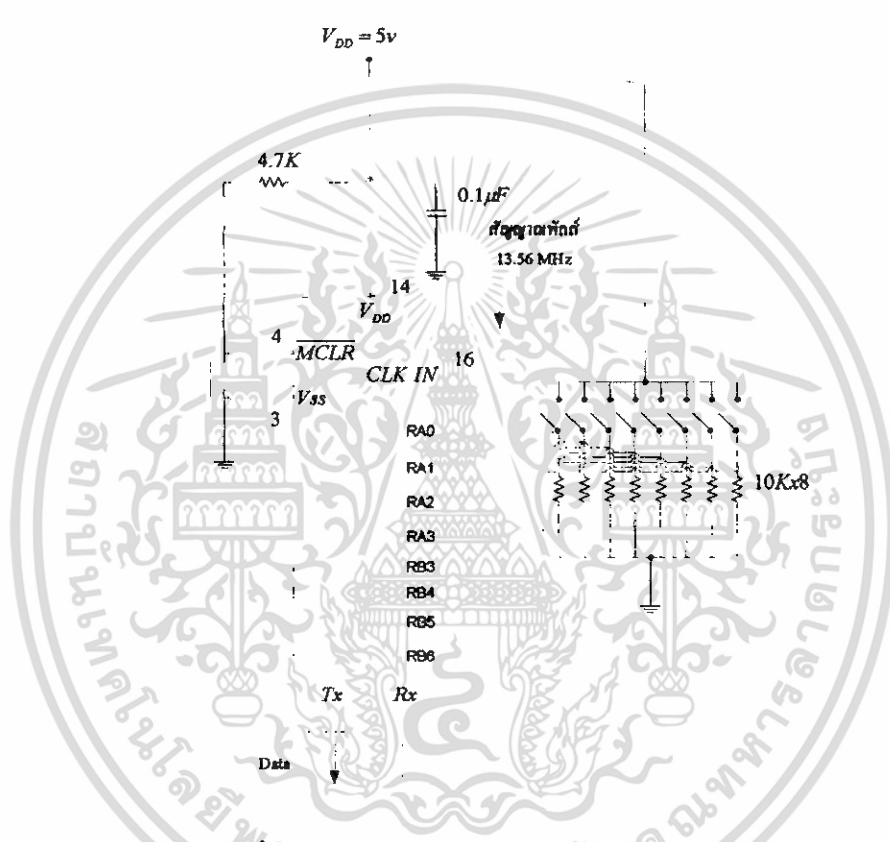
    delay_ms (500);
    k++;
}
}
else
{
    k = 0;
    while(k <= 10)
    {
        sent_dat(dis[k]);
        delay_ms (500);
        k++;
    }
    clrscr ();
    k = 0;
    while(k <= 12)
    {
        sent_dat(err[k]);
        delay_ms (500);
        k++;
    }
}
status_get = 0;
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 เครื่องลูกข่าย

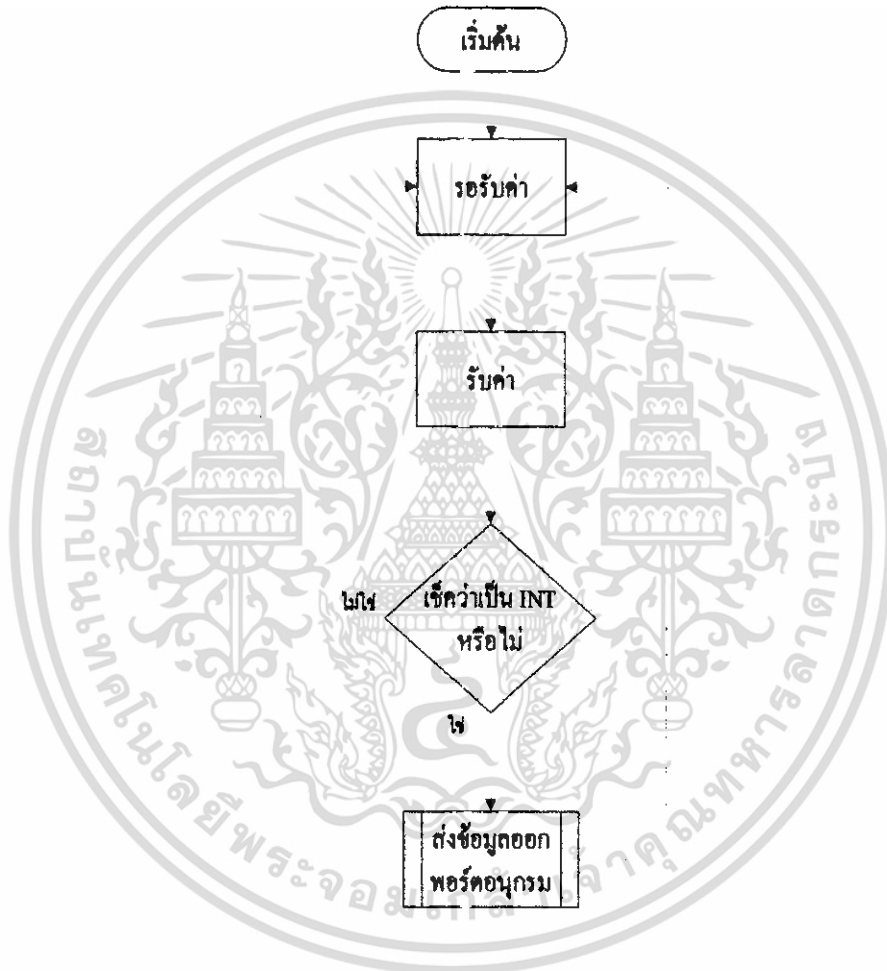
7.2.1 ส่วนของวงจรลูกข่าย



รูปที่ 7.3 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องลูกข่าย

จากรูปที่ 7.3 เป็นวงจรของเครื่องลูกข่าย โดยที่พอร์ต RB1 และ RB2 จะเป็นพอร์ตอินพุตรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรมเพื่อทำการเชื่อมต่อข้อมูลให้กับเครื่องลูกข่าย แต่ยังเป็นช่องทางในการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายอีกด้วย ส่วนพอร์ต RB4 จะเป็นพอร์ตอินพุตรับคำสั่งว่าจะให้ส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรมหรือไม่

7.2.2 โฟลวชาร์ตการทำงานของเครื่องลูกข่าย



รูปที่ 7.4 แสดงโฟลวชาร์ตการทำงานของเครื่องลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.3 ส่วนของโปรแกรมของเครื่องลูกข่าย

```

#include <16F628.h>
#define TxD PIN_B2 //use port_c6=transmitt
#define RxD PIN_B1 //use port_c7=reciver
#define CLOCK_SP 1000000
// #define CLOCK_SP 1000000 //...../2.....//
// #define CLOCK_SP 3390000 //...../4.....//
#define MAX_DATA_EEPROM 256
#fuses HS
#fuses NOLVP, NOWDT
#fuses NOPROTECT
#use delay (clock=CLOCK_SP)
#use rs232(baud=1100,xmit=TxD,rcv=RxD) //....9600...//
int PASSWORD;
#INT_EXT

VOID EXT(VOID){
    if(input(pin_a0))
    {
        PASSWORD = PASSWORD+1;
    }
    if(input(pin_a1))
    {
        PASSWORD = PASSWORD+2;
    }
    if(input(pin_a2))
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    PASSWORD = PASSWORD+4;
}
if(input(pin_a3))
{
    PASSWORD = PASSWORD+8;
}
if(input(pin_b3))
{
    PASSWORD = PASSWORD+16;
}
if(input(pin_b4))
{
    PASSWORD = PASSWORD+32;
}
if(input(pin_b5))
{
    PASSWORD = PASSWORD+64;
}
if(input(pin_b6))
{
    PASSWORD = PASSWORD+128;
}
    PUTC(PASSWORD);
}
void main(void){
    SET_TRIS_A(0X00);
    ENABLE_INTERRUPTS(GLOBAL);
    ENABLE_INTERRUPTS(INT_EXT);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ENABLE_INTERRUPTS(int_rda);  
while(1)  
{  
}  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

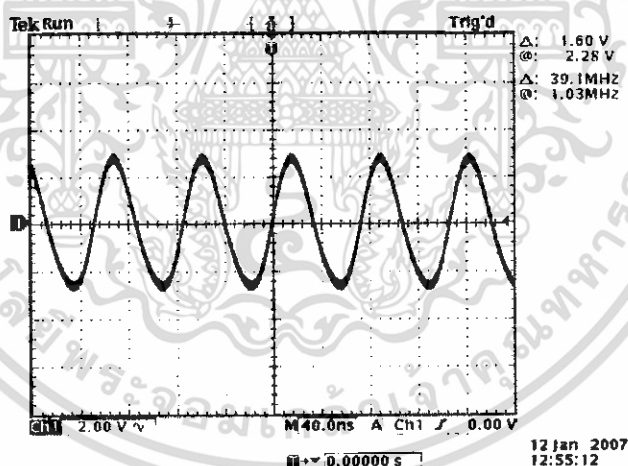
บทที่ 8

การทดลอง

8.1 ทดลองภาค drive ในส่วนของวงจร Power Amplifier

จ่ายแรงดันให้กับภาค drive ในส่วนของวงจร Power Amplifier เท่ากับ 12 V แล้วป้อนสัญญาณความถี่ที่ 13.56 MHz กำลังขับเริ่มต้นที่ 0 dB ทำการทดลองปรับแต่งส่วนของภาค drive โดยต่อกับโหลดที่มีค่า Impedance เท่ากับ 50 Ω แล้วใช้ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) วัดขนาดของสัญญาณ ทำการปรับจนแล้วสังเกตขนาดของสัญญาณจากออสซิลโลสโคปให้ได้แรงดันพีค (Peak) สูงสุด เพื่อให้ได้กำลังงานขับที่โหลดสูงสุด

ทำการทดลองที่กระแสเท่ากับ 50 mA



รูปที่ 8.1 แสดงลักษณะของสัญญาณภาค drive ที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50 Ω ที่กระแส 50 mA

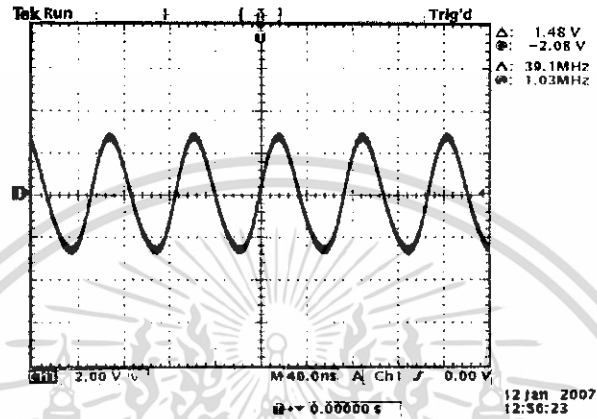
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.1 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของภาค drive ที่กระแส 50 mA

กำลังขับ (dB)	Vout(V _{pp})	Vrms (V)	Po (W)
0	4.90	1.732	0.060
1	5.72	2.022	0.082
2	6.62	2.341	0.110
3	7.20	2.546	0.130
4	7.32	2.588	0.134
5	7.50	2.652	0.141
6	7.70	2.722	0.148
7	7.76	2.744	0.151
8	7.76	2.744	0.151
9	7.76	2.744	0.151
10	7.76	2.744	0.151
11	7.76	2.744	0.151
12	7.76	2.744	0.151
13	7.76	2.744	0.151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองที่กระแสเท่ากับ 100 mA



รูปที่ 8.2 แสดงลักษณะของสัญญาณภาค drive ที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50Ω ที่กระแส 100 mA

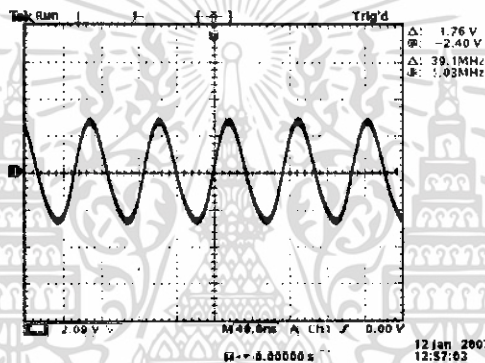
ตารางที่ 8.2 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของภาค drive ที่กระแส 100 mA

กำลังขับ (dB)	Vout(V_{pp})	Vrms (V)	Po (W)
0	4.944	1.747	0.061
1	5.84	2.065	0.085
2	6.66	2.355	0.111
3	7.22	2.553	0.130
4	7.56	2.673	0.143
5	7.62	2.694	0.145
6	7.88	2.786	0.155
7	7.88	2.786	0.155
8	7.88	2.786	0.155
9	7.88	2.786	0.155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10	7.88	2.786	0.155
11	7.88	2.786	0.155
12	7.88	2.786	0.155
13	7.88	2.786	0.155

ทำการทดลองที่กระแสเท่ากับ 150 mA



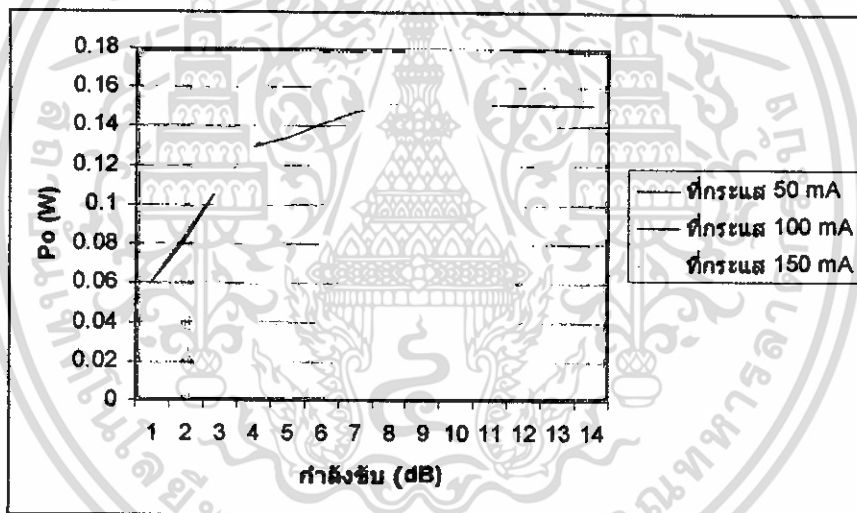
รูปที่ 8.3 แสดงลักษณะของสัญญาณภาค drive ที่ต่อกับ โหลด Impedance เท่ากับ 50 Ω ที่กระแส 150 mA

ตารางที่ 8.3 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของภาค drive ที่กระแส 150 mA

กำลังขับ (dB)	Vout(V _{pp})	Vrms (V)	Po (W)
0	4.98	1.761	0.062
1	5.94	2.100	0.088
2	6.80	2.404	0.116
3	7.26	2.567	0.132
4	7.58	2.680	0.144
5	7.74	2.737	0.150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6	7.90	2.793	0.156
7	7.90	2.793	0.156
8	7.90	2.793	0.156
9	7.90	2.793	0.156
10	7.90	2.793	0.156
11	7.90	2.793	0.156
12	7.90	2.793	0.156
13	7.90	2.793	0.156



รูปที่ 8.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของพลังงานที่วัดได้ (W) กับกำลังขับที่ Input (dB) ของภาค drive ในส่วนของวงจร Power Amplifier ที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50Ω ที่กระแส ค่าต่างๆ

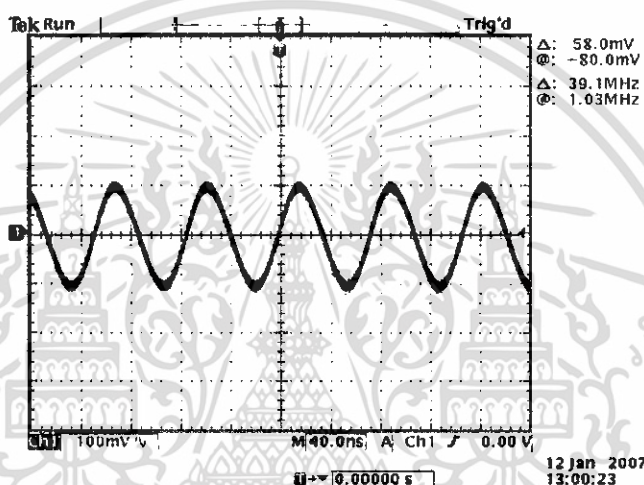
8.2 ทดลองภาคขยายในส่วนของวงจร Power Amplifier

จ่ายแรงดันให้กับภาคขยายในส่วนของวงจร Power Amplifier เท่ากับ 12 V แล้วป้อนสัญญาณความถี่ที่ 13.56 MHz กำลังขับเริ่มต้นที่ 0 dB ทำการทดลองปรับแต่งส่วนของภาคขยาย โดยต่อกับโหลดที่มีค่า Impedance เท่ากับ 50Ω แล้วใช้ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) วัดขนาดของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการปรับจนแล้วสังเกตขนาดของสัญญาณจากออสซิลโลสโคปให้ได้แรงดันพีค (Peak) สูงสุด เพื่อให้ได้กำลังงานขับที่โหลดสูงสุด

ทำการทดลองที่กระแสเท่ากับ 50 mA



รูปที่ 8.5 แสดงลักษณะของสัญญาณภาคขยายที่ต่อกับ โหลด Impedance เท่ากับ 50 Ω ที่กระแส 50 mA

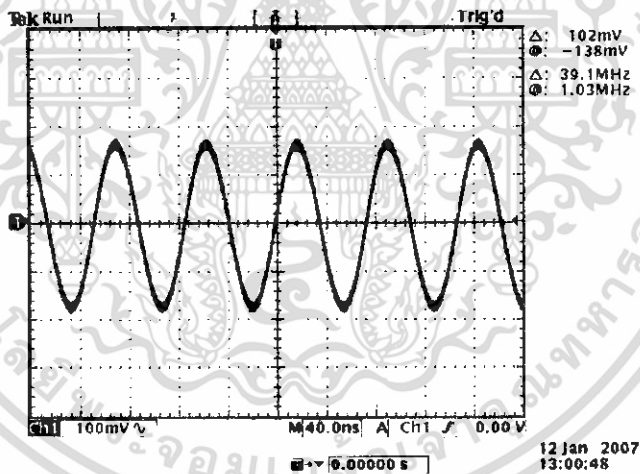
ตารางที่ 8.4 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของภาคขยาย ที่กระแส 50 mA

กำลังขับ (dB)	Vout(V _{pp})	Vrms (V)	Po (W)
0	2.55	0.902	0.016
1	2.32	0.997	0.020
2	3.17	1.121	0.025
3	3.62	1.280	0.033
4	4.03	1.425	0.041
5	4.58	1.619	0.052

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6	5.14	1.817	0.066
7	5.86	2.072	0.086
8	6.96	2.461	0.121
9	7.98	2.821	0.159
10	9.18	3.246	0.121
11	10.52	3.719	0.277
12	12.16	4.300	0.370
13	14.55	5.144	0.529

ทำการทดลองที่กระแสเท่ากับ 100 mA



รูปที่ 8.6 แสดงลักษณะของสัญญาณภาคขยายที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50Ω ที่กระแส 100 mA

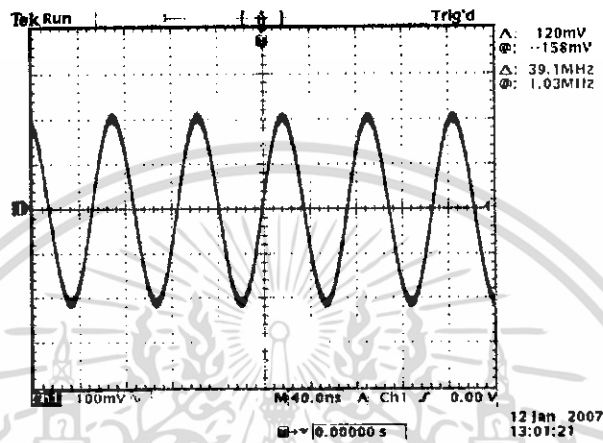
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.5 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของภาคขยาย ที่กระแส 100 mA

กำลังขับ (dB)	Vout(V _{pp})	Vrms (V)	Po (W)
0	3.81	1.347	0.036
1	4.28	1.513	0.046
2	4.80	1.697	0.058/
3	5.32	1.881	0.071
4	5.88	2.078	0.086
5	6.82	2.411	0.116
6	7.74	2.737	0.150
7	8.66	3.062	0.187
8	9.68	3.422	0.234
9	10.76	3.804	0.289
10	12.22	4.320	0.373
11	14.45	5.109	0.522
12	16.30	5.763	0.664
13	18.15	6.417	0.824

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองที่กระแสเท่ากับ 150 mA



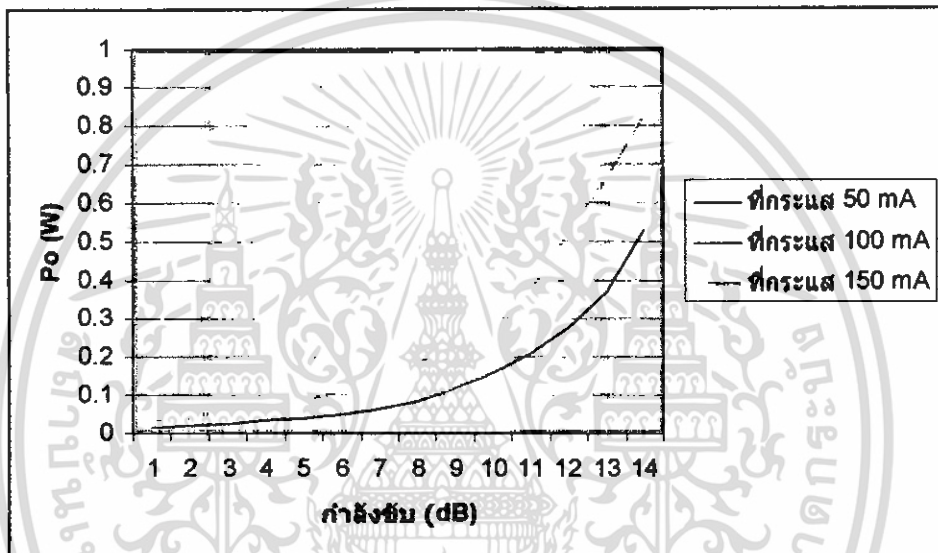
รูปที่ 8.7 แสดงลักษณะของสัญญาณภาค drive ที่ต่อกับ โหลด Impedance เท่ากับ 50Ω ที่กระแส 150 mA

ตารางที่ 8.6 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของภาคขยาย ที่กระแส 150 mA

กำลังขับ (dB)	Vout(V _{pp})	Vrms (V)	Po (W)
0	4.58	1.619	0.052
1	4.94	1.747	0.061
2	5.74	2.029	0.082
3	6.30	2.227	0.099
4	7.00	2.482	0.123
5	7.84	2.772	0.154
6	8.88	3.140	0.197
7	9.86	3.486	0.243
8	10.92	3.861	0.298
9	12.06	4.264	0.364

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10	14.20	5.020	0.504
11	15.60	5.515	0.608
12	17.35	6.134	0.753
13	19.15	6.771	0.917

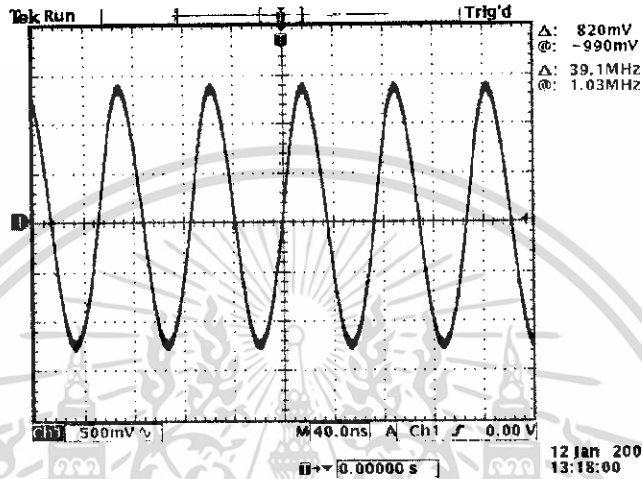


รูปที่ 8.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของพลังงานที่วัดได้ (W) กับกำลังขับที่ Input (dB) ของภาคขยาย ในส่วนของวงจร Power Amplifier ที่ต่อกับ โหลด Impedance เท่ากับ 50 Ω ที่กระแส ค่าต่างๆ

8.3 ทดลองวงจร Power Amplifier

ทำการต่อ Output ของภาค Drive เข้ากับ Input ของภาคขยาย จ่ายแรงดันให้กับวงจร Power Amplifier เท่ากับ 12 V แล้วป้อนสัญญาณความถี่ที่ 13.56 MHz กำลังขับเริ่มต้นที่ -5 dB โดยต่อกับ โหลดที่มีค่า Impedance เท่ากับ 50 Ω แล้วใช้ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) วัดขนาดของสัญญาณ ทำการปรับจนแล้วสังเกตขนาดของสัญญาณจากออสซิลโลสโคปให้ได้แรงดันพีก (Peak) สูงสุด เพื่อให้ได้กำลังงานขับที่โหลดสูงสุด

ทำการทดลองที่กระแสเท่ากับ 50 mA



รูปที่ 8.9 แสดงลักษณะของสัญญาณวงจร Power Amplifier ที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50 Ω ที่กระแส 50 mA

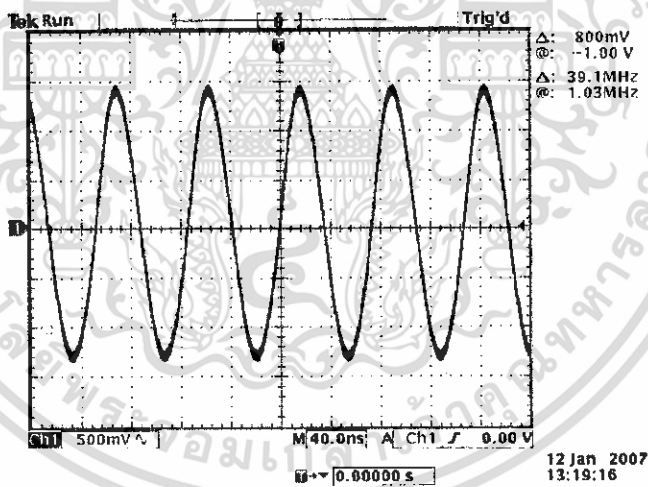
ตารางที่ 8.7 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของวงจร Power Amplifier ที่กระแส 50 mA

กำลังขับ (dB)	Vout(V _{pp})	Vrms (V)	Po (W)
-5	5.24	1.853	0.069
-4	7.68	2.715	0.147
-3	11.95	4.225	0.357
-2	18.05	6.382	0.815
-1	23.95	8.468	1.434
0	29.70	10.501	2.205
1	34.00	12.021	2.890
2	37.90	13.400	3.591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3	40.50	14.319	4.101
4	42.00	14.849	4.410
5	43.00	15.203	4.623
6	43.30	13.309	4.687
7	43.30	13.309	4.687
8	43.30	13.309	4.687
9	43.30	13.309	4.687
10	43.30	13.309	4.687

ทำการทดลองที่กระแสเท่ากับ 100 mA



รูปที่ 8.10 แสดงลักษณะของสัญญาณวงจร Power Amplifier ที่ต่อกับ โหลด Impedance เท่ากับ 50 Ω ที่กระแส 100 mA

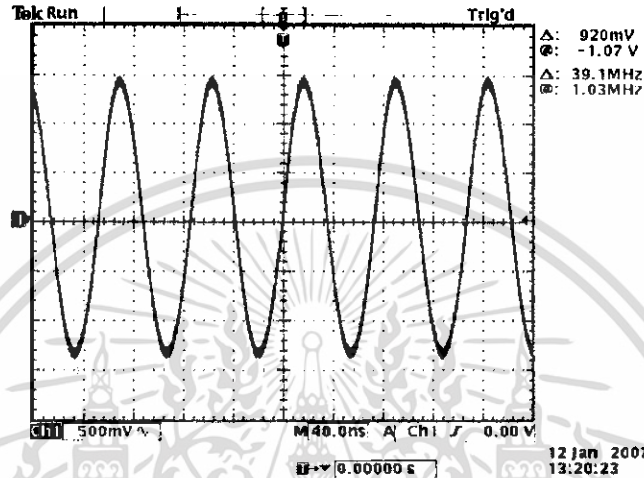
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.8 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของวงจร Power Amplifier ที่กระแส
100 mA

กำลังขับ (dB)	Vout(V _{pp})	Vrms (V)	Po (W)
-5	7.80	2.758	0.152
-4	10.60	3.748	0.281
-3	14.60	5.162	0.533
-2	21.60	7.637	1.166
-1	27.00	9.546	1.823
0	31.70	11.208	2.512
1	35.50	12.551	3.151
2	39.30	13.895	3.861
3	41.80	14.779	4.368
4	43.30	15.309	4.687
5	44.20	15.627	4.884
6	46.40	16.405	5.382
7	46.40	16.405	5.382
8	46.40	16.405	5.382
9	46.40	16.405	5.382
10	46.40	16.405	5.382

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองที่กระแสเท่ากับ 150 mA



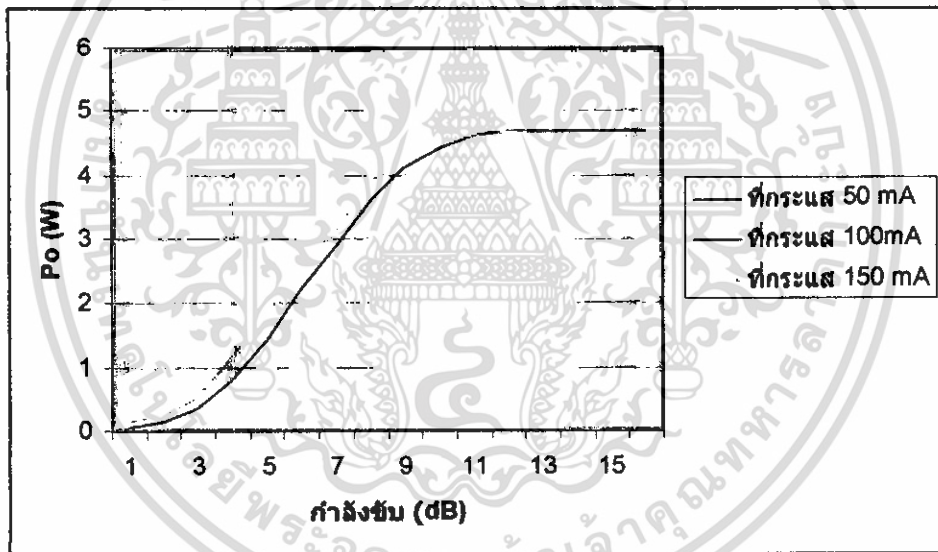
รูปที่ 8.11 แสดงลักษณะของสัญญาณวงจร Power Amplifier ที่ต่อกับ โหลด Impedance เท่ากับ 50 Ω ที่กระแส 150 mA

ตารางที่ 8.9 แสดงค่าของพลังงานที่วัดสัญญาณได้จาก Output ของวงจร Power Amplifier ที่กระแส 150 mA

กำลังขับ (dB)	Vout(V _{pp})	Vrms (V)	Po (W)
-5	9.00	3.182	0.203
-4	12.80	4.525	0.410
-3	17.40	6.125	0.757
-2	23.80	8.415	1.416
-1	28.70	10.147	2.059
0	32.70	11.561	2.673
1	36.60	12.940	3.349
2	40.20	14.213	4.040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

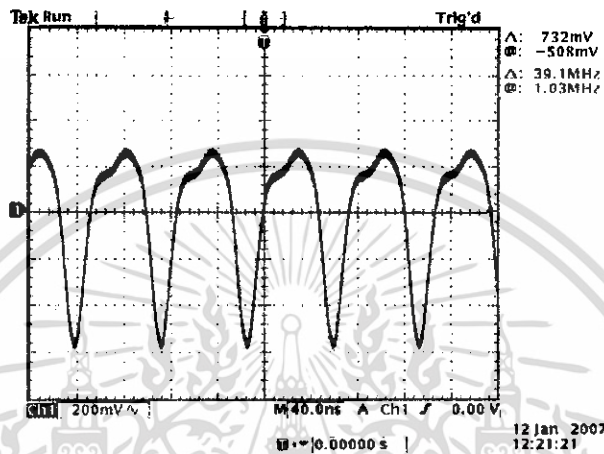
3	42.50	15.026	4.516
4	44.10	15.592	4.862
5	45.00	15.910	5.063
6	46.60	16.476	5.429
7	46.60	16.746	5.429
8	46.60	16.746	5.429
9	46.60	16.746	5.429
10	46.60	16.746	5.429



รูปที่ 8.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของพลังงานที่วัดได้ (W) กับกำลังขับที่ Input (dB) ของวงจร Power Amplifier ที่ต่อกับโหลด Impedance เท่ากับ 50Ω ที่กระแสค่าต่างๆ

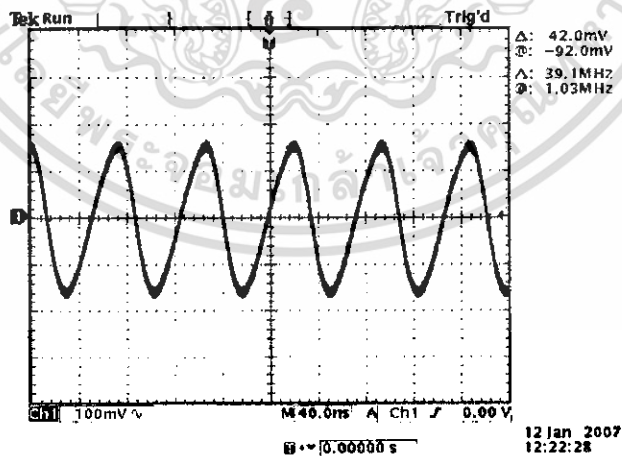
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดสัญญาณที่ตำแหน่งที่ 1 (ขา C ของ Q₁)



รูปที่ 8.14 แสดงลักษณะของสัญญาณวงจร Oscillator ที่ตำแหน่งที่ 1 (ขา C ของ Q₁)

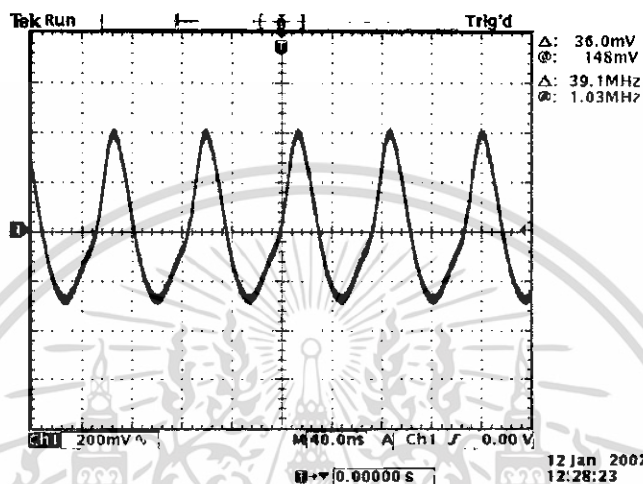
วัดสัญญาณที่ตำแหน่งที่ 2 (หลังวงจร Low Pass Filter)



รูปที่ 8.15 แสดงลักษณะของสัญญาณวงจร Oscillator ที่ตำแหน่งที่ 2 (หลังวงจร Low Pass Filter)

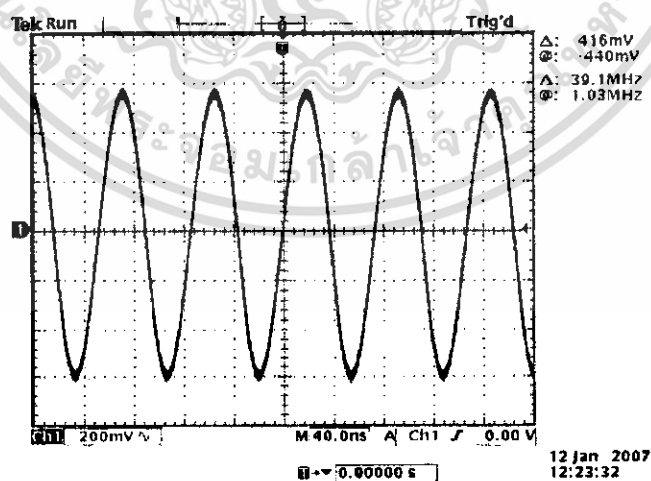
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดสัญญาณที่ตำแหน่งที่ 3 (ขา E ของ Q₁)



รูปที่ 8.16 แสดงลักษณะของสัญญาณวงจร Oscillator ที่ตำแหน่งที่ 3 (ขา E ของ Q₁)

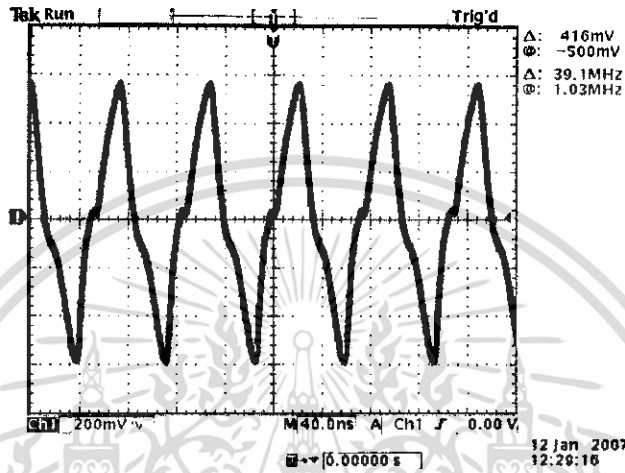
วัดสัญญาณที่ตำแหน่งที่ 4 (Output ของวงจร Oscillator)



รูปที่ 8.17 แสดงลักษณะของสัญญาณวงจร Oscillator ที่ตำแหน่งที่ 4 (Output ของวงจร Oscillator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

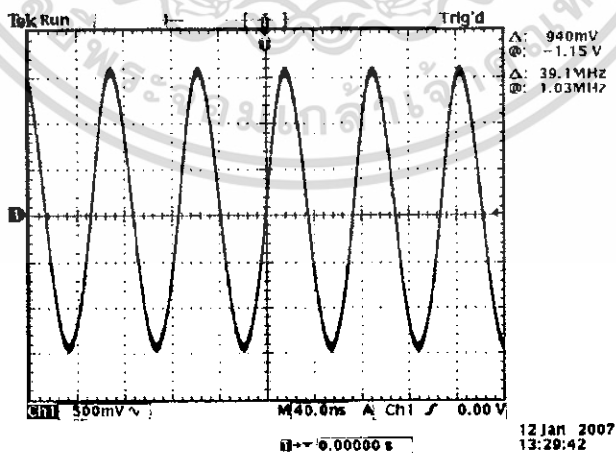
วัดสัญญาณที่ตำแหน่งที่ 5 (ขา C ของ Q₃)



รูปที่ 8.18 แสดงลักษณะของสัญญาณวงจร Oscillator ที่ตำแหน่งที่ 5 (ขา C ของ Q₃)

8.5 ทดลองวงจร Oscillator ป้อนให้กับวงจร Power Amplifier

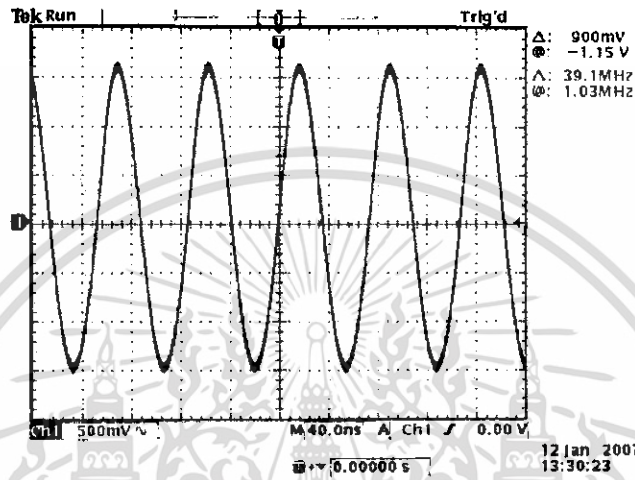
ทำการทดลองที่กระแสเท่ากับ 50 mA



รูปที่ 8.19 แสดงลักษณะของสัญญาณวงจร Oscillator ที่ป้อนให้กับวงจร Power Amplifier ที่กระแสเท่ากับ 50 mA

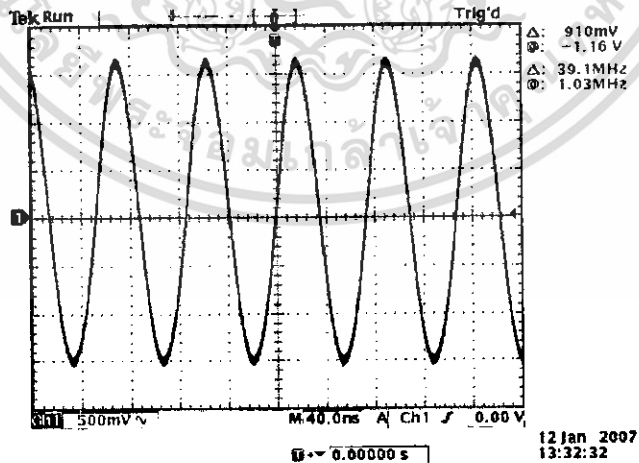
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองที่กระแสเท่ากับ 100 mA



รูปที่ 8.20 แสดงลักษณะของสัญญาณวงจร Oscillator ที่ป้อนให้กับวงจร Power Amplifier ที่กระแสเท่ากับ 100 mA

ทำการทดลองที่กระแสเท่ากับ 150 mA



รูปที่ 8.21 แสดงลักษณะของสัญญาณวงจร Oscillator ที่ป้อนให้กับวงจร Power Amplifier ที่กระแสเท่ากับ 150 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.6 ทำการทดลองวัดการรับส่งพลังงานของเครื่องส่งและเครื่องรับ

ทำการต่อไฟเลี้ยงให้กับวงจรทางด้านเครื่องส่ง ที่ประกอบไปด้วย วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ป้อนสัญญาณให้กับวงจร PA เพื่อทำการขยายสัญญาณให้มีความแรงพอ แล้วส่งออกไปยัง Reder coil เพื่อที่จะทำให้วงจรทางด้านเครื่องรับ มีพลังงานเพียงพอสำหรับการทำงานต่อไป

ทำการทดลองที่กระแสไบอัส Power ของวงจร PA เท่ากับ 0 mA

ตารางที่ 8.10 แสดงตารางการรับส่งพลังงานระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับที่กระแสไบอัสที่ภาค Power ของวงจร PA เท่ากับ 0 mA

Reder	Tage		
	ระยะทาง (cm)	Vcoupping (Vdc)	Vregcurator (Vdc)
Drive 0.200 mW ที่โหลด 50 Ω	0	10.00	4.21
	2	8.62	4.16
	4	3.93	3.23
	6	2.66	1.95
	8	1.87	1.12
	10	1.42	0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองที่กระแสไบอัสเท่ากับ 50 mA

ตารางที่ 8.11 แสดงตารางการรับส่งพลังงานระหว่างเรื่องส่งและเครื่องรับที่กระแสไบอัสที่ภาค Power ของวงจร PA เท่ากับ 50 mA

Reder	Tage		
	ระยะทาง (cm)	Vcoupping (Vdc)	Vregurator (Vdc)
Drive 0.248 mW ที่โหลด 50 Ω	0	12.64	4.34
	2	10.42	4.25
	4	4.29	3.54
	6	2.78	2.10
	8	1.94	1.30
	10	1.40	0.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองที่กระแสไบอัสเท่ากับ 100 mA

ตารางที่ 8.12 แสดงตารางการรับส่งพลังงานระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับที่กระแสไบอัสที่ภาค Power ของวงจร PA เท่ากับ 50 mA

Reder	Tage		
	ระยะทาง (cm)	Vcoupping (Vdc)	Vregurator (Vdc)
Drive 0.251 mW ที่โหลด 50 Ω	0	14.44	4.34
	2	12.63	4.36
	4	7.53	4.12
	6	3.66	3.03
	8	2.59	1.93
	10	1.88	1.29

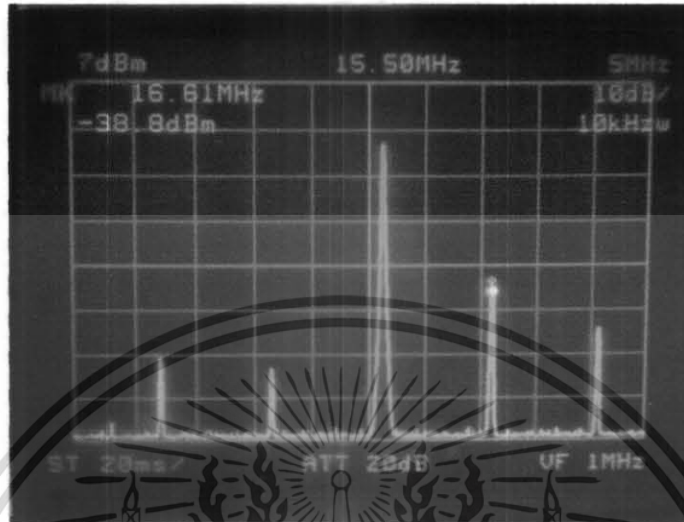
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองที่กระแสไบอัสเท่ากับ 150 mA

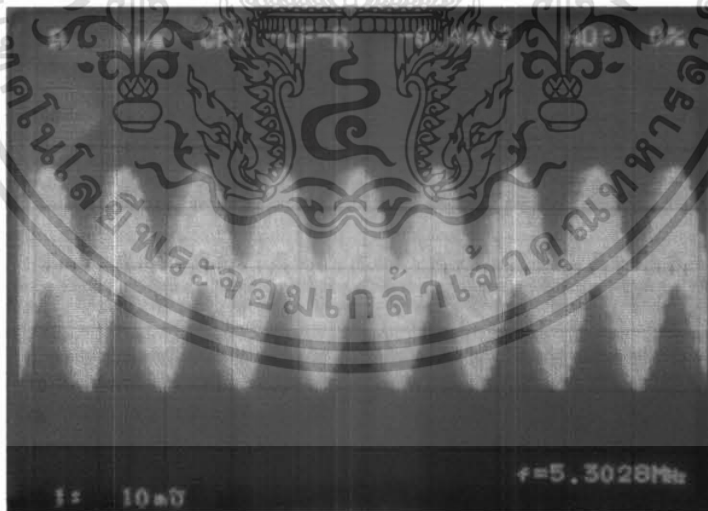
ตารางที่ 8.13 แสดงตารางการรับส่งพลังงานระหว่างเรอင့်งและเครื่องรับที่กระแสไบอัสที่ภาค Power ของวงจร PA เท่ากับ 150 mA

Reder	Tage		
	ระยะทาง (cm)	Vcoupping (Vdc)	Vrecgurator (Vdc)
Drive 0.261 mW ที่โหลด 50 Ω	0	15.95	4.38
	2	14.78	4.36
	4	8.46	4.11
	6	3.88	3.21
	8	2.77	2.21
	10	2.04	1.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

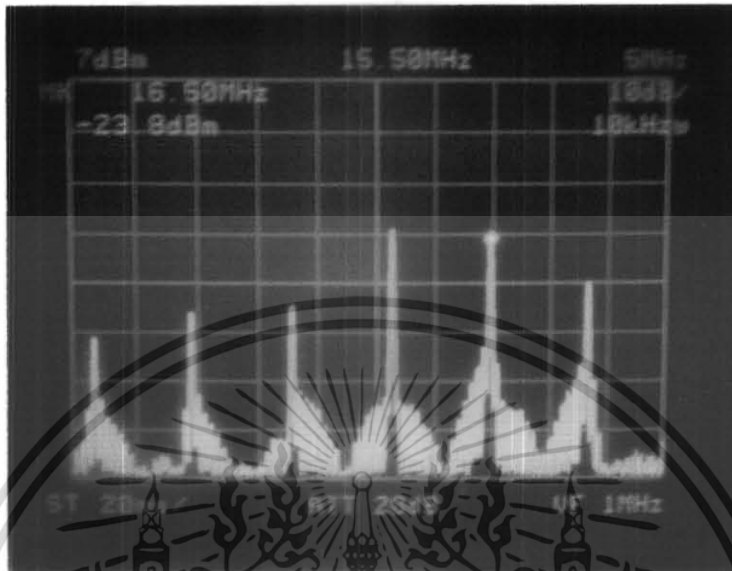


รูปที่ 8.22 แสดงสัญญาณที่วัดด้วยเครื่อง Spectrum Analyzer ที่ Sub Carrier Modulation ในขณะที่มีเครื่องถูกขยับเข้ามาในบริเวณขดลวดของเครื่องอ่าน (ยังไม่มีบัตรถูกขยับเข้ามาในบริเวณที่ทำการส่งพลังงาน)



รูปที่ 8.23 แสดงสัญญาณที่ Sub Carrier Modulation ในขณะที่มีเครื่องถูกขยับเข้ามาในบริเวณขดลวดของเครื่องอ่าน (ยังไม่มีข้อมูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

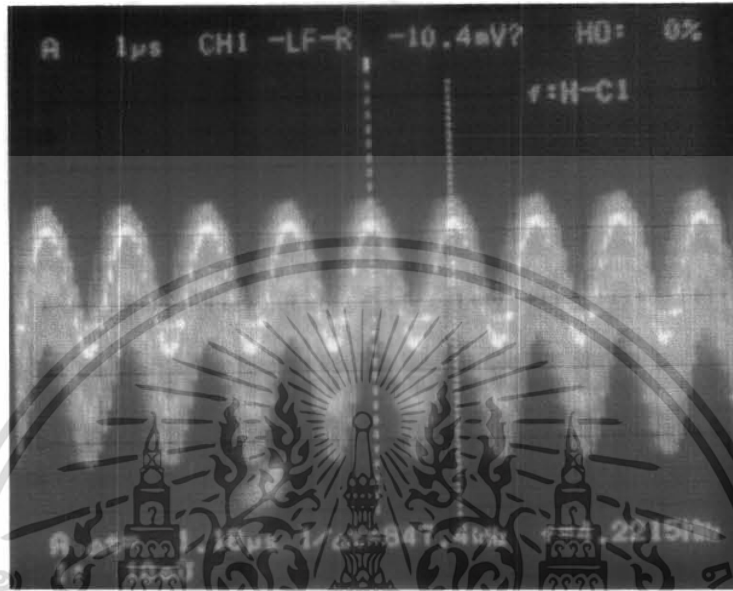


รูปที่ 8.24 แสดงสัญญาณที่วัดด้วยเครื่อง Spectrum Analyzer ที่ Sub Carrier Modulation ในขณะที่มีเครื่องลูกข่ายเข้ามาในบริเวณเขตลวดของเครื่องอ่าน (ขณะมีข้อมูลส่งมาด้วย)



รูปที่ 8.25 แสดงสัญญาณที่ Sub Carrier Modulation ในขณะที่มีเครื่องลูกข่ายเข้ามาในบริเวณเขตลวดของเครื่องอ่าน (ขณะมีข้อมูลส่งมาด้วย) ก่อนเข้าวงจร Low Pass Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.26 แสดงการวัด Sub Carrier ของสัญญาณ Sub Carrier Modulation ในขณะที่มีเครื่องถูกข่ายเข้ามาในบริเวณขดลวดของเครื่องอ่าน (ขณะมีข้อมูลส่งมาด้วย) หลังวงจร Low Pass Filter ก็จะได้ SUB ที่ 847.5 KHz ออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9 บทสรุปและวิจารณ์

ปฏิญานาพนธ์เล่มนี้ ทดลองเรื่อง RFID ใช้งานในย่านความถี่ 13.56MHz ประกอบด้วยส่วนสำคัญใหญ่ๆ 2 ส่วนคือส่วนของเครื่องอ่านและเครื่องรับ โดยเครื่องอ่านจะส่งกำลังประมาณ 5W และจะมีส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 16F877 ใช้ในการอ่านและเขียนข้อมูลที่เครื่องถูกถ่าย โดยหลักการทำงานของเครื่องอ่านจะส่งพลังงานและข้อมูลให้กับเครื่องรับ ในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และข้อมูลจะถูกมอดูเลตแบบ ASK ส่งไปยังเครื่องรับ โดยเครื่องรับจะรับพลังงานจากเครื่องส่ง ผ่านขดลวดที่วางจรเรโซแนนซ์ มาทำการเรกติไฟร์จะได้แรงดันไฟประมาณ 3.3 โวลต์ มาเลี้ยงวงจร และทำการดีมอดูเลตแบบแอมพลิจูด ส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำการประมวลผลออกมา โดยผลที่ได้ก็นำไปใช้งานได้ และยังสามารถประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆต่อไปได้

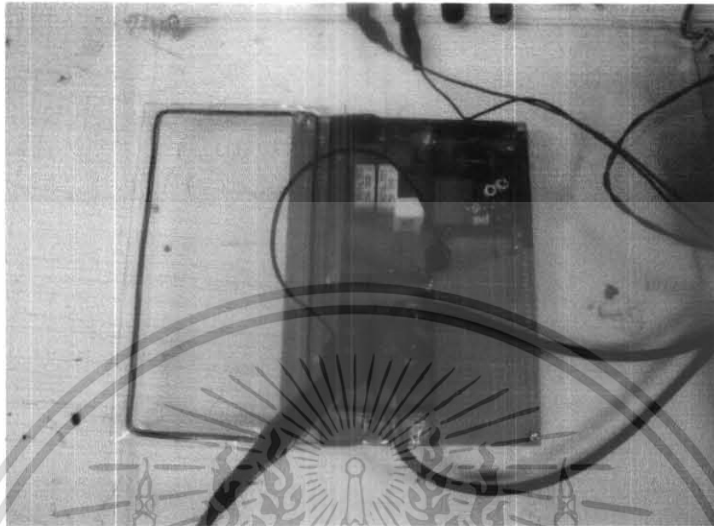
9.1 ปัญหาในการทำงาน

9.1.1 ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการพันขดลวดที่ได้จำนวนรอบและรูปแบบที่ไม่เที่ยงตรงและแน่นอนทำให้มีผลต่อการทำงานของวงจรรวมไปถึงการเข้าใจหลักการที่แน่นอนในการทำงานของวงจรตลอดจนระยะเวลาในการดำเนินงาน

9.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้จริงในวงจรมีค่าไม่ตรงกับค่าที่คำนวณ จึงต้องประยุกต์ และดัดแปลงอุปกรณ์เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด

9.1.3 ในการทำงานที่ความถี่สูงที่ 13.56 MHz การต่อสาย ไม่ว่าจะเป็นสายไฟ หรือสายสัญญาณก็ดี ถ้าสายมีความยาวจะมีผลต่อการทำงานของระบบ

9.1.4 ในการรับส่งข้อมูลจะมีผลของความถี่ที่ 13.56 MHz จะเข้ามารบกวนซึ่งจะส่งผลต่อการ Demodulator ของสัญญาณ SUB Carrier ที่เข้ามาอย่างมากทำให้ปรับแต่งวงจรมาก และข้อมูลที่ได้อาจผิดพลาดไป ดังรูปที่จะแสดงดังต่อไปนี้

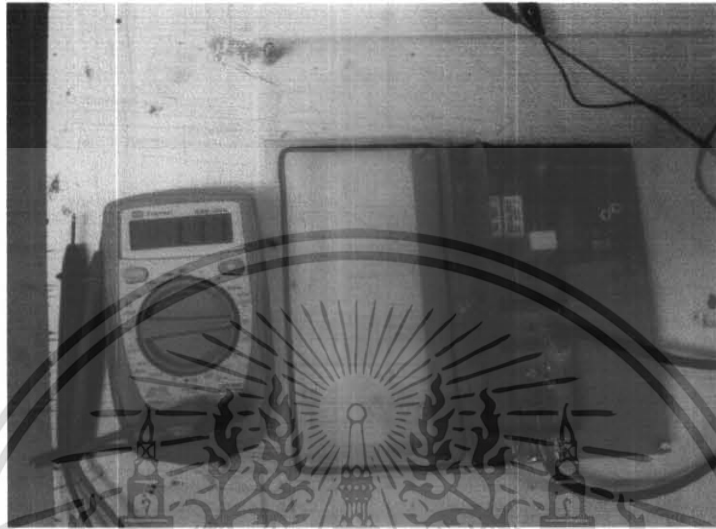


รูปที่ 9.1 แสดงจุดวัดสัญญาณที่วงจร SUB CARRIER

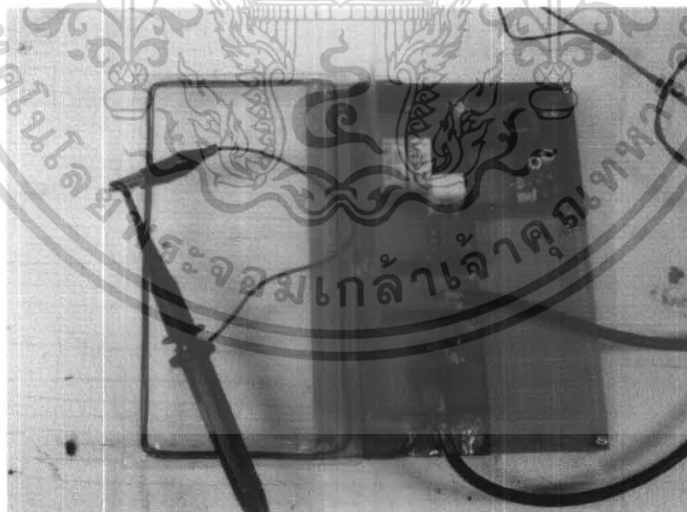


รูปที่ 9.2 แสดงผลของสัญญาณรบกวนมาจากความถี่ 13.56 MHz ที่วงจร SUB CARRIER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

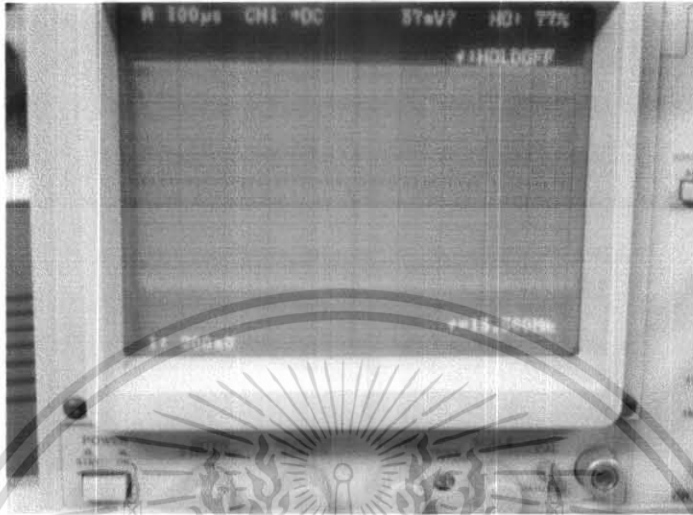


รูปที่ 9.3 แสดงผลของสัญญาณรบกวนจากความถี่ 13.56 MHz ที่ส่งผลกระทบต่อ ดิจิตอลมิเตอร์

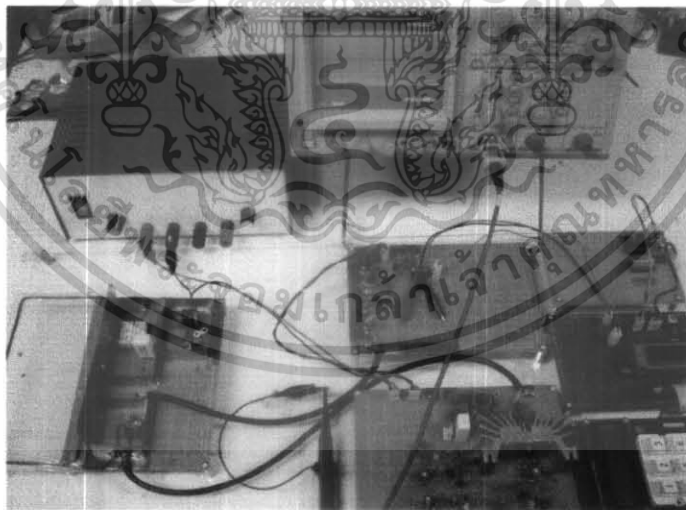


รูปที่ 9.4 แสดงการวางของ โพลบที่บริเวณของขดลวดของเครื่องส่ง ในขณะที่ไม่มีการวัดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.5 แสดงผลของสัญญาณรบกวนจากความถี่ 13.56 MHz อันเป็นผลมาจากการวางโพลบที่บริเวณของขดลวดของเครื่องส่งในขณะที่ไม่มีการวัดสัญญาณ



รูปที่ 9.6 แสดงการวางของโพลบที่ใกล้กับบริเวณของขดลวดของเครื่องส่งในขณะที่ไม่มีการวัดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ได้แสดงมาทั้งหมดก็จะสามารถที่จะทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งรวมไปถึงการออกแบบในการแก้ปัญหาของสัญญาณรบกวนในรุ่นต่อไป

9.2 แนวทางในการพัฒนา

9.2.1 ต้องแก้ไขในส่วนของสัญญาณความถี่ 13.56 MHz ที่เข้ามารบกวนรบกวนการทำงานของระบบ

9.2.2 ออกแบบวงจรการทำงานใหม่โดยยึดหลักการทำงานของระบบเดิมไว้ สิ่งที่สำคัญคือต้องพยายามลดสัญญาณรบกวนที่จะส่งผลกระทบต่อระบบให้มากที่สุด

9.2.3 ใช้อุปกรณ์สำหรับรูป ที่อยู่ในรูปแบบของวงจรรวมเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานลง เมื่อใช้พลังงานน้อยลงกำลังส่งที่ส่งไปให้กับบัตรรูดข่ายก็น้อยลงด้วย ทำให้ปัญหาที่ถูกสัญญาณรบกวนจากความแรงของเครื่องส่งน้อยลงด้วย

9.2.4 เมื่อปัญหาของสัญญาณรบกวนน้อยลงหรือหมดไป ก็สามารถที่จะออกแบบวงจรในการส่งข้อมูลจากเครื่องอ่าน ไปยังบัตรรูดข่ายได้ และบัตรรูดข่ายก็สามารถที่จะส่งข้อมูลในบัตรกลับมาเพื่อแสดงผลที่เครื่องอ่านได้เช่นเดียวกัน

9.2.5 เมื่อติดต่อบริษัทรับส่งข้อมูลกัน ได้ขั้นต่อไปก็ทำการเข้ารหัสของข้อมูลก่อนที่จะมีการรับส่งข้อมูลกันระหว่างเครื่องอ่านและบัตรรูดข่าย จะทำให้ข้อมูลที่ทำการรับส่งมีความถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น

9.3 การนำไปประยุกต์ใช้งาน

9.3.1 จากความทันสมัยของเทคโนโลยี RFID เราสามารถที่นำไปประยุกต์ใช้ในระบบโรงงานอุตสาหกรรม ห้างร้านต่างๆ หรือแม้แต่สถานศึกษาได้หลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งานด้านต่างๆ

9.3.2 สามารถนำหลักการในการทำงานของ RFID เช่นการมอดูเลท และการดีมอดูเลทนี้ไปเป็นการป้องกันข้อมูลการสื่อสารในด้านอื่นๆ ได้

9.3.3 นอกจากการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ แล้ว ระบบของเทคโนโลยี RFID ยังสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ได้กับสัตว์หรือฟาร์มปศุสัตว์ได้อีกด้วย

บรรณานุกรม

ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, “RFID”, วารสารเคมีคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 279, 2548, หน้า 156-166.

ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, “RFID”, วารสารเคมีคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 280, 2548, หน้า 167-177.

ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, “RFID”, วารสารเคมีคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 282, 2548, หน้า 164-174.

ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, “RFID”, วารสารเคมีคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 283, 2548, หน้า 151-162.

ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, “RFID”, วารสารเคมีคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 285, 2549, หน้า 148-159.

เดชฤทธิ์ มณีธรรม, สำเร็จ เต็มราม, “คัมภีร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51”, ไทยเจริญการพิมพ์, 345 หน้า, 2549

Klaus Finkenzeller, “RFID Handbook”, 2003.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

PIC16F87X Data Sheet

**28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH
Microcontrollers**



MICROCHIP

PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

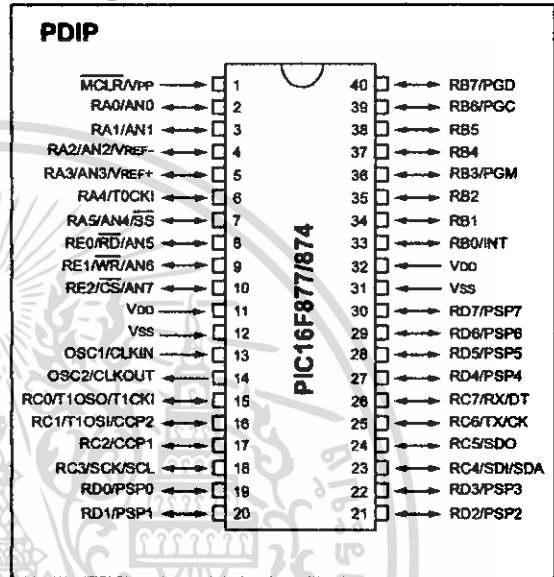
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

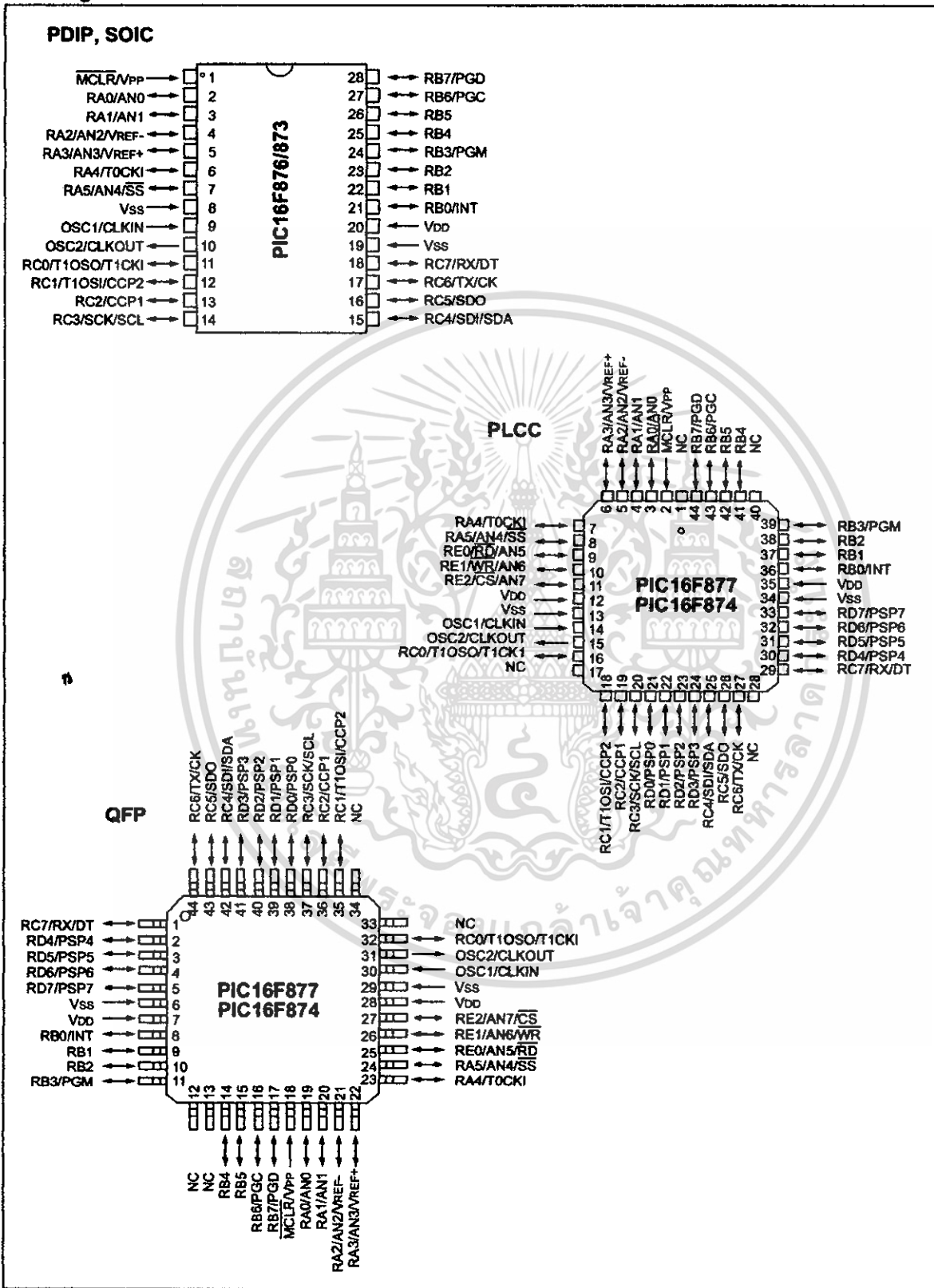


Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

PIC16F87X

Pin Diagrams



PIC16F87X

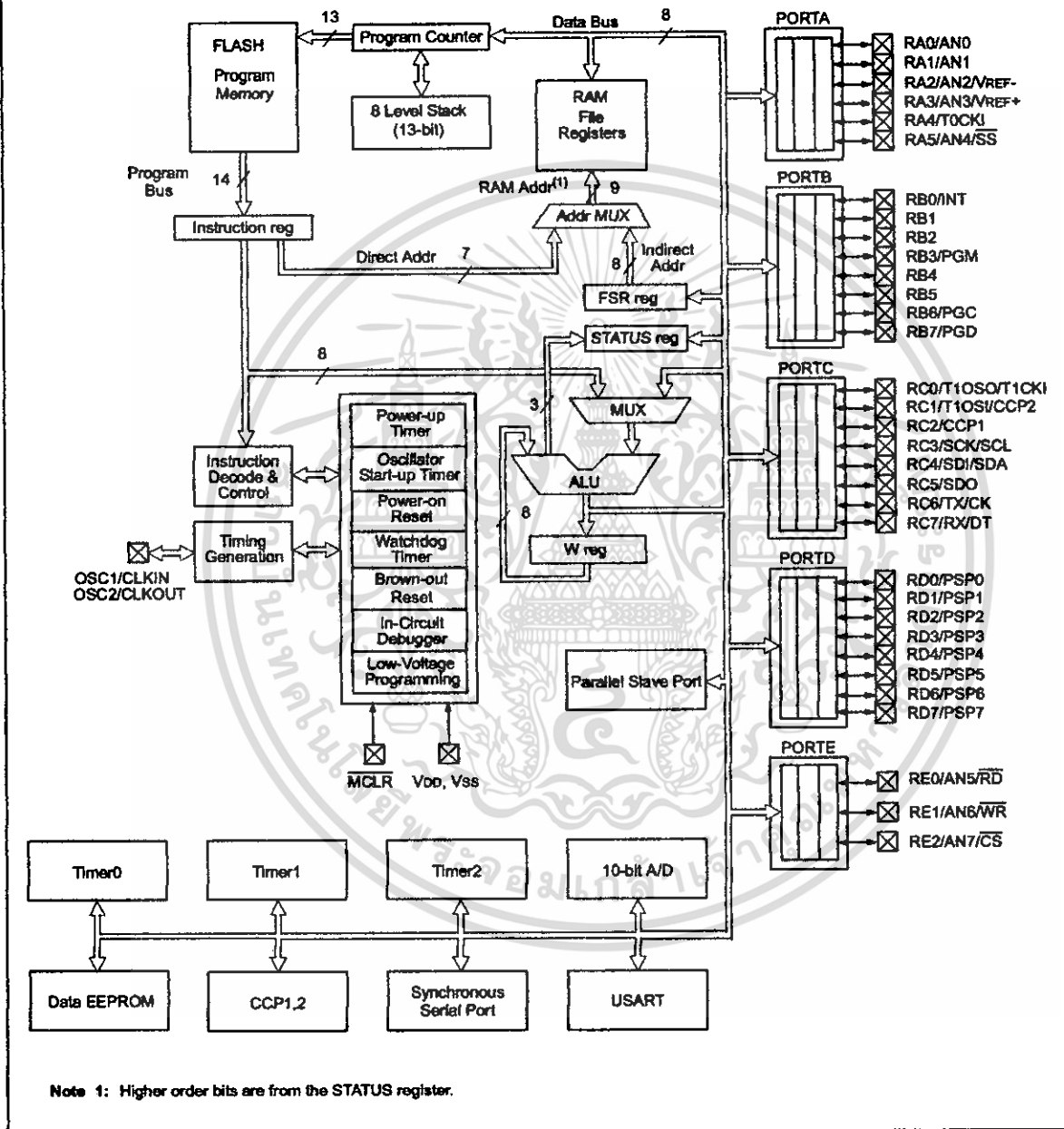
Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 instructions	35 instructions	35 instructions	35 instructions



PIC16F87X

FIGURE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 BLOCK DIAGRAM

Device	Program FLASH	Data Memory	Data EEPROM
PIC16F874	4K	192 Bytes	128 Bytes
PIC16F877	8K	368 Bytes	256 Bytes



PIC16F87X

TABLE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	SOIC Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	9	9	I	ST/CMOS ⁽³⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	10	10	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, the OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP	1	1	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
RA0/AN0	2	2	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. RA0 can also be analog input0.
RA1/AN1	3	3	I/O	TTL	RA1 can also be analog input1.
RA2/AN2/VREF-	4	4	I/O	TTL	RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage.
RA3/AN3/VREF+	5	5	I/O	TTL	RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage.
RA4/T0CKI	6	6	I/O	ST	RA4 can also be the clock input to the Timer0 module. Output is open drain type.
RA5/SS/AN4	7	7	I/O	TTL	RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
RB0/INT	21	21	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0 can also be the external interrupt pin.
RB1	22	22	I/O	TTL	
RB2	23	23	I/O	TTL	
RB3/PGM	24	24	I/O	TTL	RB3 can also be the low voltage programming input.
RB4	25	25	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB5	26	26	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB6/PGC	27	27	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock.
RB7/PGD	28	28	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.
RC0/T1OSO/T1CKI	11	11	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	12	12	I/O	ST	RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2/CCP1	13	13	I/O	ST	RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	14	14	I/O	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I ² C modes.
RC4/SDI/SDA	15	15	I/O	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I ² C mode).
RC5/SDO	16	16	I/O	ST	RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode).
RC6/TX/CK	17	17	I/O	ST	RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.
RC7/RX/DT	18	18	I/O	ST	RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
Vss	8, 19	8, 19	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	20	20	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
Note 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87X

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	13	14	30	I	ST/CMOS ⁽⁴⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	14	15	31	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP	1	2	18	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device. PORTA is a bi-directional I/O port.
RA0/AN0	2	3	19	I/O	TTL	RA0 can also be analog input0.
RA1/AN1	3	4	20	I/O	TTL	RA1 can also be analog input1.
RA2/AN2/VREF-	4	5	21	I/O	TTL	RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage.
RA3/AN3/VREF+	5	6	22	I/O	TTL	RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage.
RA4/T0CKI	6	7	23	I/O	ST	RA4 can also be the clock input to the Timer0 timer/counter. Output is open drain type.
RA5/SS/AN4	7	8	24	I/O	TTL	RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
RB0/INT	33	36	8	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0 can also be the external interrupt pin.
RB1	34	37	9	I/O	TTL	
RB2	35	38	10	I/O	TTL	
RB3/PGM	36	39	11	I/O	TTL	RB3 can also be the low voltage programming input.
RB4	37	41	14	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB5	38	42	15	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB6/PGC	39	43	16	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock.
RB7/PGD	40	44	17	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
Note 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
Note 4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T1CKI	15	16	32	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	16	18	35	I/O	ST	RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2/CCP1	17	19	36	I/O	ST	RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	18	20	37	I/O	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I ² C modes.
RC4/SDI/SDA	23	25	42	I/O	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I ² C mode).
RC5/SDO	24	26	43	I/O	ST	RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode).
RC6/TX/CK	25	27	44	I/O	ST	RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.
RC7/RX/DT	26	29	1	I/O	ST	RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
RD0/PSP0	19	21	38	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus.
RD1/PSP1	20	22	39	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD2/PSP2	21	23	40	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD3/PSP3	22	24	41	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD4/PSP4	27	30	2	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD5/PSP5	28	31	3	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD6/PSP6	29	32	4	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RD7/PSP7	30	33	5	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RE0/RD/AN5	8	9	25	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTE is a bi-directional I/O port. RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5. RE1 can also be write control for the parallel slave port, or analog input6. RE2 can also be select control for the parallel slave port, or analog input7.
RE1/WR/AN6	9	10	26	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
RE2/CS/AN7	10	11	27	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	
Vss	12,31	13,34	6,29	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11,32	12,35	7,28	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1,17,28,40	12,13,33,34	—	—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

PIC16F87X

2.0 MEMORY ORGANIZATION

There are three memory blocks in each of the PIC16F87X MCUs. The Program Memory and Data Memory have separate buses so that concurrent access can occur and is detailed in this section. The EEPROM data memory block is detailed in Section 4.0.

Additional information on device memory may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual, (DS33023).

2.1 Program Memory Organization

The PIC16F87X devices have a 13-bit program counter capable of addressing an 8K x 14 program memory space. The PIC16F877/876 devices have 8K x 14 words of FLASH program memory, and the PIC16F873/874 devices have 4K x 14. Accessing a location above the physically implemented address will cause a wraparound.

The RESET vector is at 0000h and the interrupt vector is at 0004h.

FIGURE 2-1: PIC16F877/876 PROGRAM MEMORY MAP AND STACK

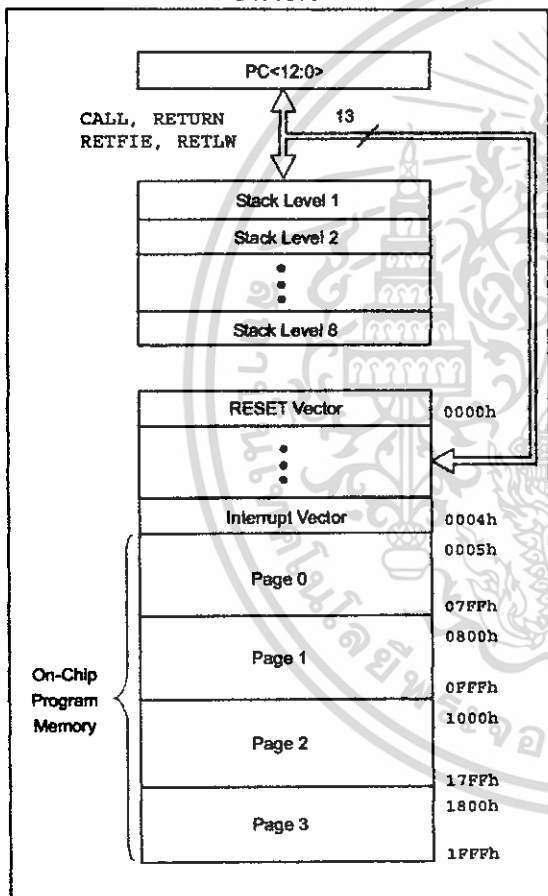
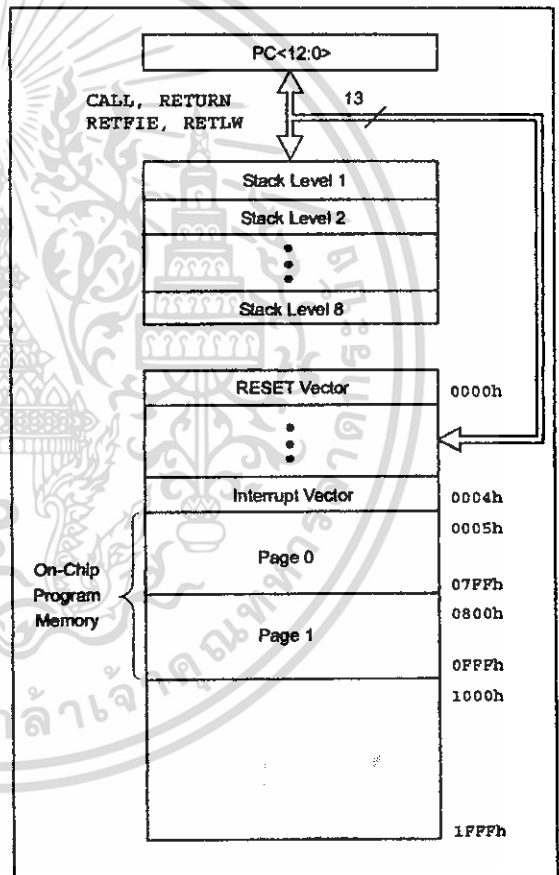


FIGURE 2-2: PIC16F874/873 PROGRAM MEMORY MAP AND STACK



PIC16F87X

2.2 Data Memory Organization

The data memory is partitioned into multiple banks which contain the General Purpose Registers and the Special Function Registers. Bits RP1 (STATUS<6>) and RP0 (STATUS<5>) are the bank select bits.

RP1:RP0	Bank
00	0
01	1
10	2
11	3

Each bank extends up to 7Fh (128 bytes). The lower locations of each bank are reserved for the Special Function Registers. Above the Special Function Registers are General Purpose Registers, implemented as static RAM. All implemented banks contain Special Function Registers. Some frequently used Special Function Registers from one bank may be mirrored in another bank for code reduction and quicker access.

Note: EEPROM Data Memory description can be found in Section 4.0 of this data sheet.

2.2.1 GENERAL PURPOSE REGISTER FILE

The register file can be accessed either directly, or indirectly through the File Select Register (FSR).



FIGURE 2-3: PIC16F877/876 REGISTER FILE MAP

File Address		File Address		File Address		File Address	
Indirect addr. ^(*)	00h	Indirect addr. ^(*)	80h	Indirect addr. ^(*)	100h	Indirect addr. ^(*)	180h
TMR0	01h	OPTION_REG	81h	TMR0	101h	OPTION_REG	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	05h	TRISA	85h		105h		185h
PORTB	06h	TRISB	86h	PORTB	106h	TRISB	186h
PORTC	07h	TRISC	87h		107h		187h
PORTD ⁽¹⁾	08h	TRISD ⁽¹⁾	88h		108h		188h
PORTE ⁽¹⁾	09h	TRISE ⁽¹⁾	89h		109h		189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch	EEDATA	10Ch	EECON1	18Ch
PIR2	0Dh	PIE2	8Dh	EEADR	10Dh	EECON2	18Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh	EEDATH	10Eh	Reserved ⁽²⁾	18Eh
TMR1H	0Fh		8Fh	EEADRH	10Fh	Reserved ⁽²⁾	18Fh
T1CON	10h		90h		110h		190h
TMR2	11h	SSPCON2	91h		111h		191h
T2CON	12h	PR2	92h		112h		192h
SSPBUF	13h	SSPADD	93h		113h		193h
SSPCON	14h	SSPSTAT	94h		114h		194h
CCPR1L	15h		95h		115h		195h
CCPR1H	16h		96h		116h		196h
CCP1CON	17h		97h	General Purpose Register 16 Bytes	117h	General Purpose Register 16 Bytes	197h
RCSTA	18h	TXSTA	98h		118h		198h
TXREG	19h	SPBRG	99h		119h		199h
RCREG	1Ah		9Ah		11Ah		19Ah
CCPR2L	1Bh		9Bh		11Bh		19Bh
CCPR2H	1Ch		9Ch		11Ch		19Ch
CCP2CON	1Dh		9Dh		11Dh		19Dh
ADRESH	1Eh	ADRESL	9Eh		11Eh		19Eh
ADCON0	1Fh	ADCON1	9Fh		11Fh		19Fh
	20h		A0h		120h		1A0h
General Purpose Register 96 Bytes		General Purpose Register 80 Bytes		General Purpose Register 80 Bytes		General Purpose Register 80 Bytes	
	7Fh	accesses 70h-7Fh	EFh F0h	accesses 70h-7Fh	16Fh 170h	accesses 70h - 7Fh	1EFh 1F0h
Bank 0		Bank 1	FFh	Bank 2	17Fh	Bank 3	

Unimplemented data memory locations, read as '0'.
* Not a physical register.

Note 1: These registers are not implemented on the PIC16F876.
Note 2: These registers are reserved, maintain these registers clear.

PIC16F87X

FIGURE 2-4: PIC16F874/873 REGISTER FILE MAP

File Address		File Address		File Address		File Address	
Indirect addr. ^(*)	00h	Indirect addr. ^(*)	80h	Indirect addr. ^(*)	100h	Indirect addr. ^(*)	180h
TMR0	01h	OPTION_REG	81h	TMR0	101h	OPTION_REG	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	05h	TRISA	85h		105h		185h
PORTB	06h	TRISB	86h	PORTB	106h	TRISB	186h
PORTC	07h	TRISC	87h		107h		187h
PORTD ⁽¹⁾	08h	TRISD ⁽¹⁾	88h		108h		188h
PORTE ⁽¹⁾	09h	TRISE ⁽¹⁾	89h		109h		189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch	EEDATA	10Ch	EECON1	18Ch
PIR2	0Dh	PIE2	8Dh	EEADR	10Dh	EECON2	18Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh	EEDATH	10Eh	Reserved ⁽²⁾	18Eh
TMR1H	0Fh		8Fh	EEADRH	10Fh	Reserved ⁽²⁾	18Fh
T1CON	10h		90h		110h		190h
TMR2	11h	SSPCON2	91h				
T2CON	12h	PR2	92h				
SSPBUF	13h	SSPADD	93h				
SSPCON	14h	SSPSTAT	94h				
CCPR1L	15h		95h				
CCPR1H	16h		96h				
CCP1CON	17h		97h				
RCSTA	18h	TXSTA	98h				
TXREG	19h	SPBRG	99h				
RCREG	1Ah		9Ah				
CCPR2L	1Bh		9Bh				
CCPR2H	1Ch		9Ch				
CCP2CON	1Dh		9Dh				
ADRESH	1Eh	ADRESL	9Eh				
ADCON0	1Fh	ADCON1	9Fh				
	20h		A0h		120h		1A0h
General Purpose Register		General Purpose Register		accesses 20h-7Fh		accesses A0h - FFh	
96 Bytes		96 Bytes					
	7Fh		FFh		16Fh		1EFh
Bank 0		Bank 1		Bank 2	170h	Bank 3	1F0h
					17Fh		1FFh

Unimplemented data memory locations, read as '0'.
 * Not a physical register.
Note 1: These registers are not implemented on the PIC16F873.
Note 2: These registers are reserved, maintain these registers clear.



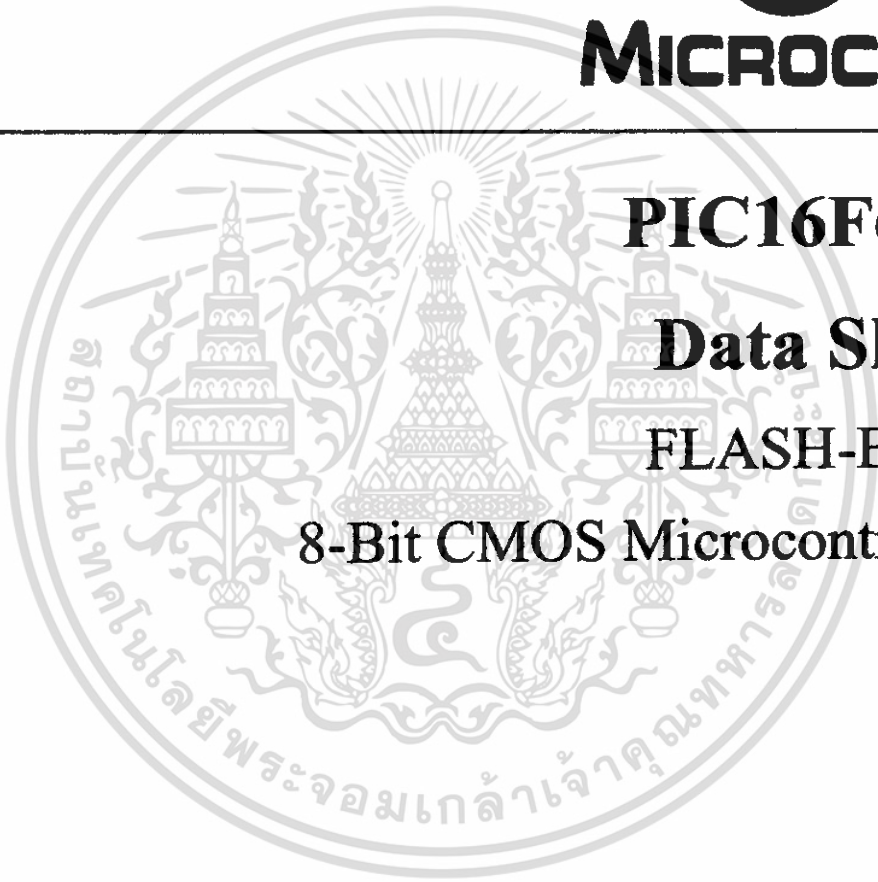
MICROCHIP

PIC16F62X

Data Sheet

FLASH-Based

8-Bit CMOS Microcontroller





MICROCHIP

PIC16F62X

FLASH-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F627
- PIC16F628

Referred to collectively as PIC16F62X

High Performance RISC CPU:

- Only 35 instructions to learn
- All single cycle instructions (200 ns), except for program branches which are two-cycle
- Operating speed:
 - DC - 20 MHz clock input
 - DC - 200 ns instruction cycle

Device	Memory		
	FLASH Program	RAM Data	EEPROM Data
PIC16F627	1024 x 14	224 x 8	128 x 8
PIC16F628	2048 x 14	224 x 8	128 x 8

- Interrupt capability
- 16 special function hardware registers
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative addressing modes

Peripheral Features:

- 16 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
- Analog comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with external crystal/clock capability
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Capture, Compare, PWM (CCP) module
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit

- Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter USART/SCI
- 16 Bytes of common RAM

Special Microcontroller Features:

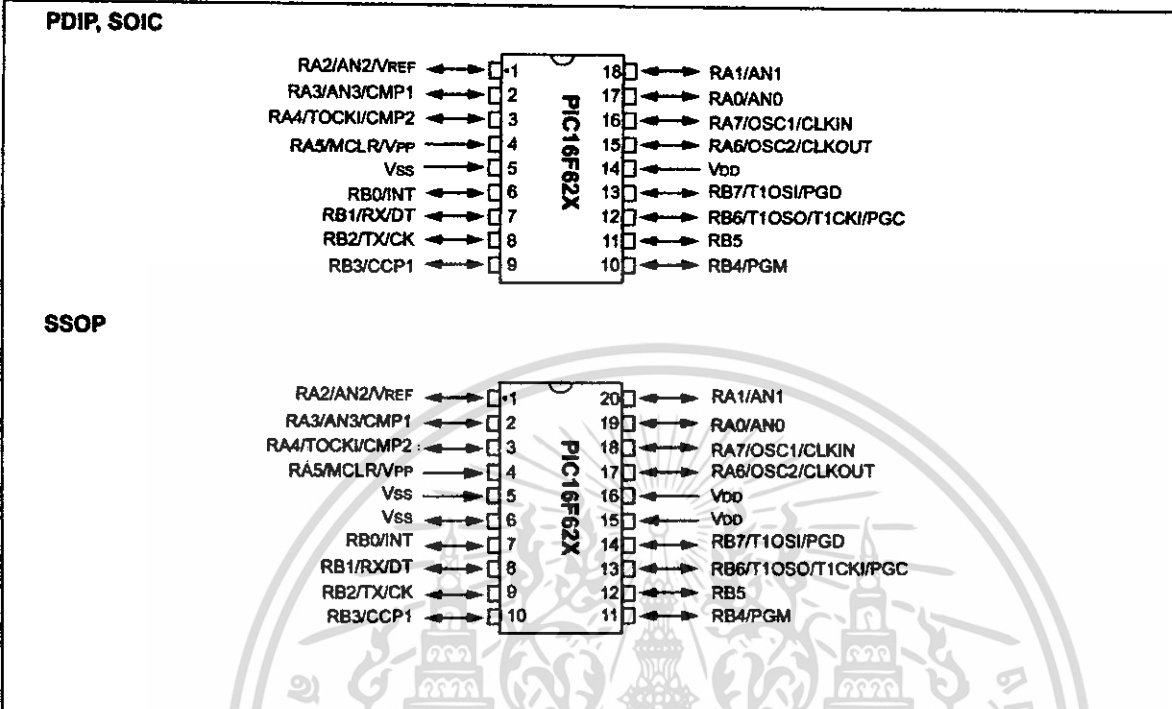
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Detect (BOD)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Multiplexed MCLR-pin
- Programmable weak pull-ups on PORTB
- Programmable code protection
- Low voltage programming
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
 - FLASH configuration bits for oscillator options
 - ER (External Resistor) oscillator
 - Reduced part count
 - Dual speed INTRC
 - Lower current consumption
 - EC External Clock input
 - XT Oscillator mode
 - HS Oscillator mode
 - LP Oscillator mode
- In-circuit Serial Programming™ (via two pins)
- Four user programmable ID locations

CMOS Technology:

- Low power, high speed CMOS FLASH technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range
 - PIC16F627 - 3.0V to 5.5V
 - PIC16F628 - 3.0V to 5.5V
 - PIC16LF627 - 2.0V to 5.5V
 - PIC16LF628 - 2.0V to 5.5V
- Commercial, industrial and extended temperature range
- Low power consumption
 - < 2.0 mA @ 5.0V, 4.0 MHz
 - 15 µA typical @ 3.0V, 32 kHz
 - < 1.0 µA typical standby current @ 3.0V

PIC16F62X

Pin Diagrams



Device Differences

Device	Voltage Range	Oscillator	Process Technology (Microns)
PIC16F627	3.0 - 5.5	(Note 1)	0.7
PIC16F628	3.0 - 5.5	(Note 1)	0.7
PIC16LF627	2.0 - 5.5	(Note 1)	0.7
PIC16LF628	2.0 - 5.5	(Note 1)	0.7

Note 1: If you change from this device to another device, please verify oscillator characteristics in your application.

2.0 ARCHITECTURAL OVERVIEW

The high performance of the PIC16F62X family can be attributed to a number of architectural features commonly found in RISC microprocessors. To begin with, the PIC16F62X uses a Harvard architecture, in which, program and data are accessed from separate memories using separate buses. This improves bandwidth over traditional Von Neumann architecture where program and data are fetched from the same memory. Separating program and data memory further allows instructions to be sized differently than 8-bit wide data word. Instruction opcodes are 14-bits wide making it possible to have all single-word instructions. A 14-bit wide program memory access bus fetches a 14-bit instruction in a single cycle. A two-stage pipeline overlaps fetch and execution of instructions. Consequently, all instructions (35) execute in a single cycle (200 ns @ 20 MHz) except for program branches.

The Table below lists program memory (FLASH, Data and EEPROM).

TABLE 2-1: DEVICE DESCRIPTION

Device	Memory		
	FLASH Program	RAM Data	EEPROM Data
PIC16F627	1024 x 14	224 x 8	128 x 8
PIC16F628	2048 x 14	224 x 8	128 x 8
PIC16LF627	1024 x 14	224 x 8	128 x 8
PIC16LF628	2048 x 14	224 x 8	128 x 8

The PIC16F62X can directly or indirectly address its register files or data memory. All Special Function registers, including the program counter, are mapped in the data memory. The PIC16F62X have an orthogonal (symmetrical) instruction set that makes it possible to carry out any operation, on any register, using any Addressing mode. This symmetrical nature, and lack of 'special optimal situations' make programming with the PIC16F62X simple yet efficient. In addition, the learning curve is reduced significantly.

The PIC16F62X devices contain an 8-bit ALU and working register. The ALU is a general purpose arithmetic unit. It performs arithmetic and Boolean functions between data in the working register and any register file.

The ALU is 8-bit wide and capable of addition, subtraction, shift and logical operations. Unless otherwise mentioned, arithmetic operations are two's complement in nature. In two-operand instructions, typically one operand is the working register (W register). The other operand is a file register or an immediate constant. In single operand instructions, the operand is either the W register or a file register.

The W register is an 8-bit working register used for ALU operations. It is not an addressable register.

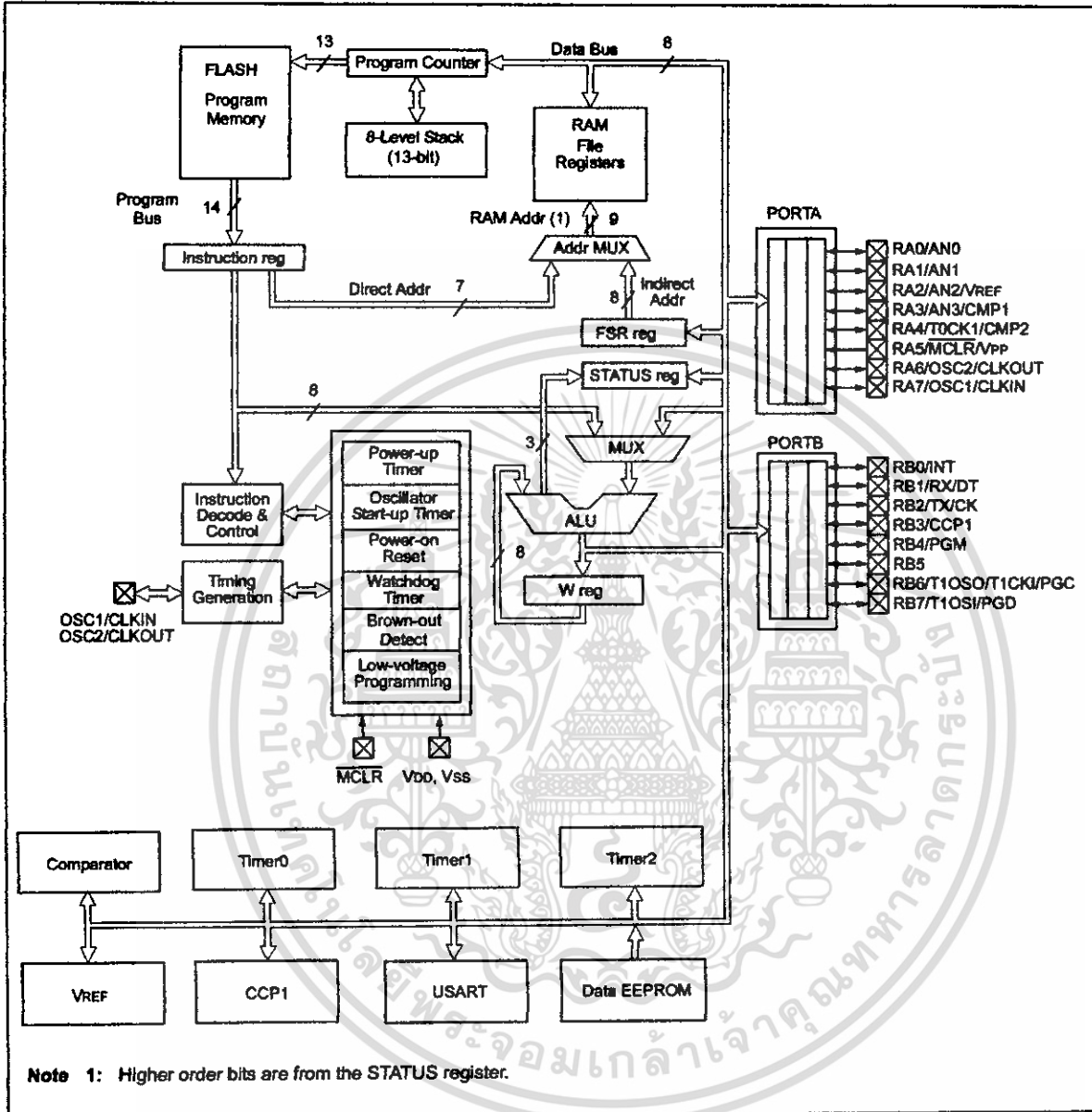
Depending on the instruction executed, the ALU may affect the values of the Carry (C), Digit Carry (DC), and Zero (Z) bits in the STATUS register. The C and DC bits operate as a Borrow and Digit Borrow out bit, respectively, bit in subtraction. See the SUBLW and SUBWF instructions for examples.

A simplified block diagram is shown in Figure 2-1, and a description of the device pins in Table 2-1.

Two types of data memory are provided on the PIC16F62X devices. Non-volatile EEPROM data memory is provided for long term storage of data such as calibration values, lookup table data, and any other data which may require periodic updating in the field. This data is not lost when power is removed. The other data memory provided is regular RAM data memory. Regular RAM data memory is provided for temporary storage of data during normal operation. It is lost when power is removed.

PIC16F62X

FIGURE 2-1: BLOCK DIAGRAM



PIC16F62X

TABLE 2-1: PIC16F62X PINOUT DESCRIPTION

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RA0/AN0	RA0	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN0	AN	—	Analog comparator input
RA1/AN1	RA1	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN1	AN	—	Analog comparator input
RA2/AN2/VREF	RA2	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN2	AN	—	Analog comparator input
	VREF	—	AN	VREF output
RA3/AN3/CMP1	RA3	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN3	AN	—	Analog comparator input
	CMP1	—	CMOS	Comparator 1 output
RA4/T0CKI/CMP2	RA4	ST	OD	Bi-directional I/O port
	T0CKI	ST	—	Timer0 clock input
	CMP2	—	OD	Comparator 2 output
RA5/MCLR/VPP	RA5	ST	—	Input port
	MCLR	ST	—	Master clear
	VPP	—	—	Programming voltage input. When configured as MCLR, this pin is an active low RESET to the device. Voltage on MCLR/VPP must not exceed VDD during normal device operation.
RA6/OSC2/CLKOUT	RA6	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	OSC2	XTAL	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode.
	CLKOUT	—	CMOS	In ER/INTRC mode, OSC2 pin can output CLKOUT, which has 1/4 the frequency of OSC1
RA7/OSC1/CLKIN	RA7	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	OSC1	XTAL	—	Oscillator crystal input
	CLKIN	ST	—	External clock source input. ER biasing pin.
RB0/INT	RB0	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	INT	ST	—	External interrupt.
RB1/RX/DT	RB1	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	RX	ST	—	USART receive pin
	DT	ST	CMOS	Synchronous data I/O.
RB2/TX/CK	RB2	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port.
	TX	—	CMOS	USART transmit pin
	CK	ST	CMOS	Synchronous clock I/O. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB3/CCP1	RB3	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	CCP1	ST	CMOS	Capture/Compare/PWM I/O

Legend: O = Output
 — = Not used
 TTL = TTL Input

CMOS = CMOS Output
 I = Input
 OD = Open Drain Output

P = Power
 ST = Schmitt Trigger Input
 AN = Analog

PIC16F62X

TABLE 2-1: PIC16F62X PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RB4/PGM	RB4	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	PGM	ST	—	Low voltage programming input pin. Interrupt-on-pin change. When low voltage programming is enabled, the interrupt-on-pin change and weak pull-up resistor are disabled.
RB5	RB5	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Interrupt-on-pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB6/T1OSO/T1CKI/PGC	RB6	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Interrupt-on-pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	T1OSO	—	XTAL	Timer1 oscillator output.
	T1CKI	ST	—	Timer1 clock input.
	PGC	ST	—	ICSP™ Programming Clock.
RB7/T1OSI/PGD	RB7	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Interrupt-on-pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	T1OSI	XTAL	—	Timer1 oscillator input. Wake-up from SLEEP on pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	PGD	ST	CMOS	ICSP Data I/O
Vss	Vss	Power	—	Ground reference for logic and I/O pins
VDD	VDD	Power	—	Positive supply for logic and I/O pins

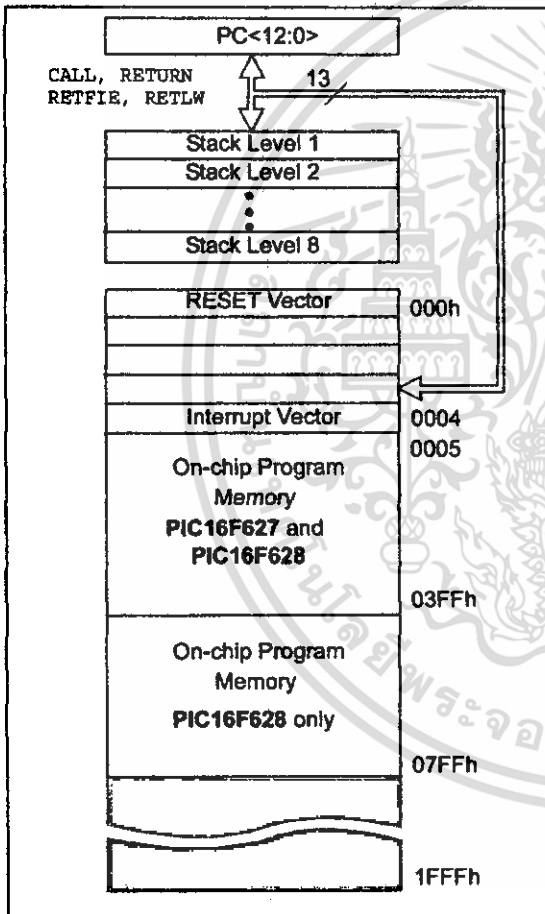
Legend: O = Output CMOS = CMOS Output P = Power
 — = Not used I = Input ST = Schmitt Trigger Input
 TTL = TTL Input OD = Open Drain Output AN = Analog

3.0 MEMORY ORGANIZATION

3.1 Program Memory Organization

The PIC16F62X has a 13-bit program counter capable of addressing an 8K x 14 program memory space. Only the first 1K x 14 (0000h - 03FFh) for the PIC16F627 and 2K x 14 (0000h - 07FFh) for the PIC16F628 are physically implemented. Accessing a location above these boundaries will cause a wrap-around within the first 1K x 14 space (PIC16F627) or 2K x 14 space (PIC16F628). The RESET vector is at 0000h and the interrupt vector is at 0004h (Figure 3-1).

FIGURE 3-1: PROGRAM MEMORY MAP AND STACK



3.2 Data Memory Organization

The data memory (Figure 3-2) is partitioned into four banks, which contain the general purpose registers and the Special Function Registers (SFR). The SFR's are located in the first 32 locations of each Bank. Register locations 20-7Fh, A0h-FFh, 120h-14Fh, 170h-17Fh and 1F0h-1FFh are general purpose registers implemented as static RAM.

The Table below lists how to access the four banks of registers:

	RP1	RP0
Bank0	0	0
Bank1	0	1
Bank2	1	0
Bank3	1	1

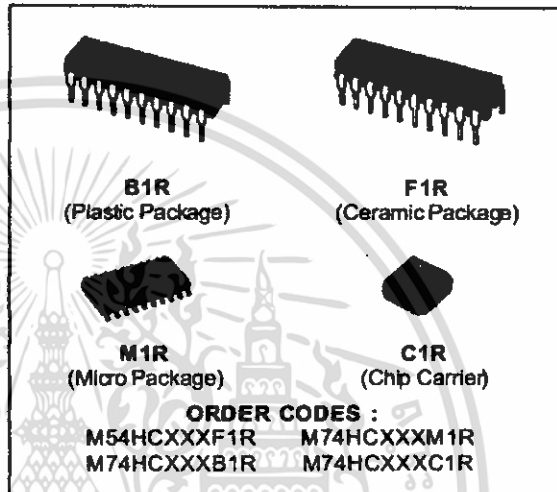
Addresses F0h-FFh, 170h-17Fh and 1F0h-1FFh are implemented as common RAM and mapped back to addresses 70h-7Fh.

3.2.1 GENERAL PURPOSE REGISTER FILE

The register file is organized as 224 x 8 in the PIC16F62X. Each is accessed either directly or indirectly through the File Select Register FSR (See Section 3.4).

HC4020 14 STAGE BINARY COUNTER
HC4040 12 STAGE BINARY COUNTER

- **HIGH SPEED**
 $f_{MAX} = 73 \text{ MHz (TYP.) at } V_{CC} = 5 \text{ V}$
- **LOW POWER DISSIPATION**
 $I_{CC} = 4 \mu\text{A (MAX.) at } T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
- **HIGH NOISE IMMUNITY**
 $V_{NIH} = V_{NIL} = 28 \% V_{CC} \text{ (MIN.)}$
- **OUTPUT DRIVE CAPABILITY**
10 LSTTL LOADS
- **SYMMETRICAL OUTPUT IMPEDANCE**
 $|I_{OH}| = I_{OL} = 4 \text{ mA (MIN.)}$
- **BALANCED PROPAGATION DELAYS**
 $t_{PLH} = t_{PHL}$
- **WIDE OPERATING VOLTAGE RANGE**
 $V_{CC} \text{ (OPR)} = 2 \text{ V to } 6 \text{ V}$
- **PIN AND FUNCTION COMPATIBLE WITH 4020B/4040B**



DESCRIPTION

The M54/74HC4020/HC4040 are high speed CMOS 14/12-STAGE BINARY COUNTER fabricated in silicon gate C²MOS technology. They have the same high speed performance of LSTTL combined with true CMOS low consumption.

A clear input is used to reset the counter to the all low level state. A high level on CLEAR accomplishes the reset function. A negative transition on the CLOCK input increments the counter by one.

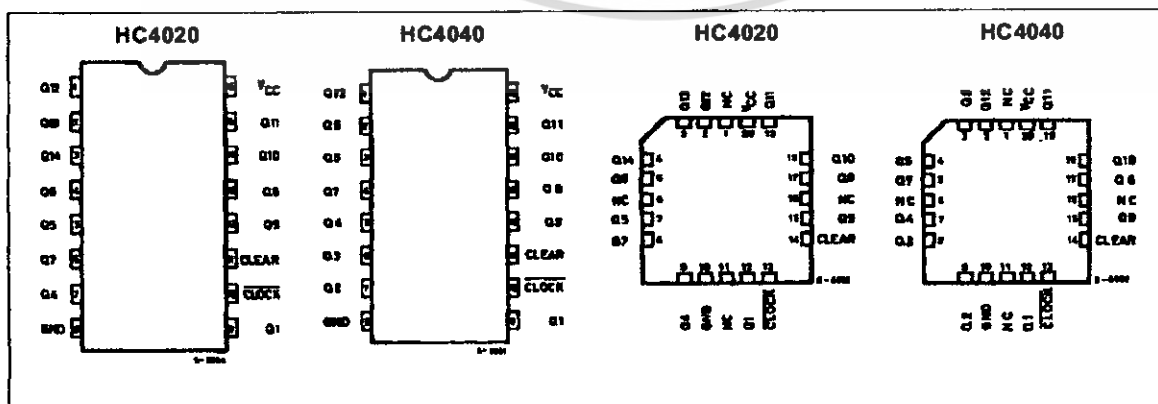
For HC4020 twelve kind of divided output are provided; 1st and 4th stage to 14th stage.

The maximum division available at last stage is $1/16384 \times f_{IN}$ at clock.

For HC4040 each division stage has an output; the final frequency is $1/4096 \times f_{IN}$.

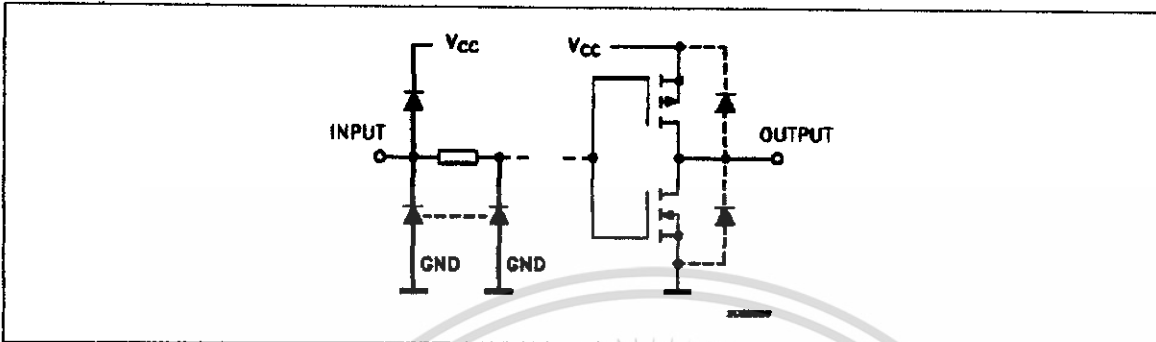
All inputs are equipped with protection circuits against static discharge and transient excess voltage.

PIN CONNECTION (top view)



M54/M74HC4020/4040

INPUT AND OUTPUT EQUIVALENT CIRCUIT



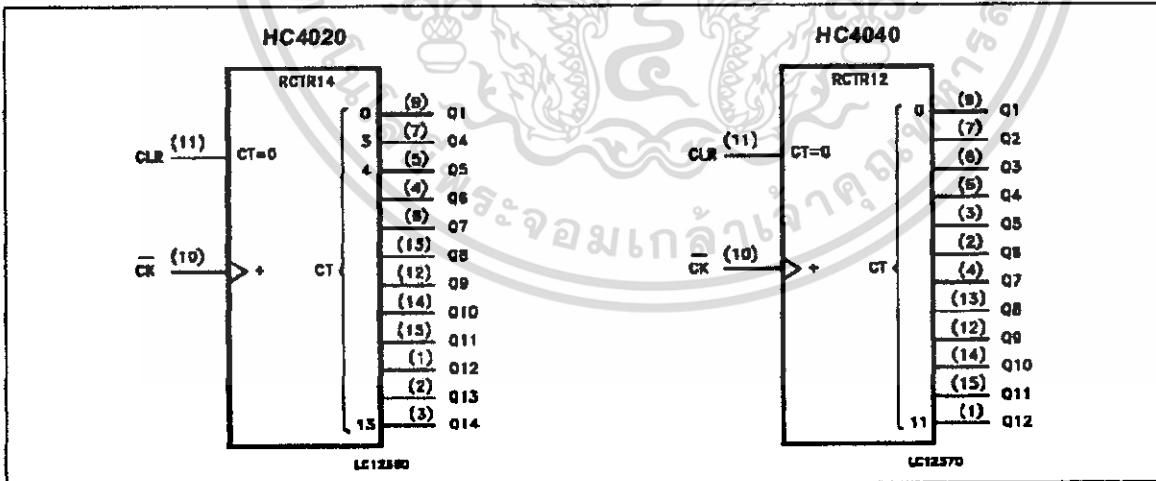
PIN DESCRIPTION (HC4020)

PIN No	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
9, 7, 6, 5, 3, 2, 4, 13, 12, 14, 15, 1	Q1, Q4 to Q14	Parallel Outputs
10	CLOCK	Clock Input (LOW to HIGH, edge triggered)
11	CLEAR	Reset Inputs
8	GND	Ground (0V)
16	Vcc	Positive Supply Voltage

PIN DESCRIPTION (HC4040)

PIN No	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
9, 7, 6, 5, 3, 2, 4, 13, 12, 14, 15, 1	Q1 to Q12	Parallel Outputs
10	CLOCK	Clock Input (LOW to HIGH, edge triggered)
11	CLEAR	Reset Inputs
8	GND	Ground (0V)
16	Vcc	Positive Supply Voltage

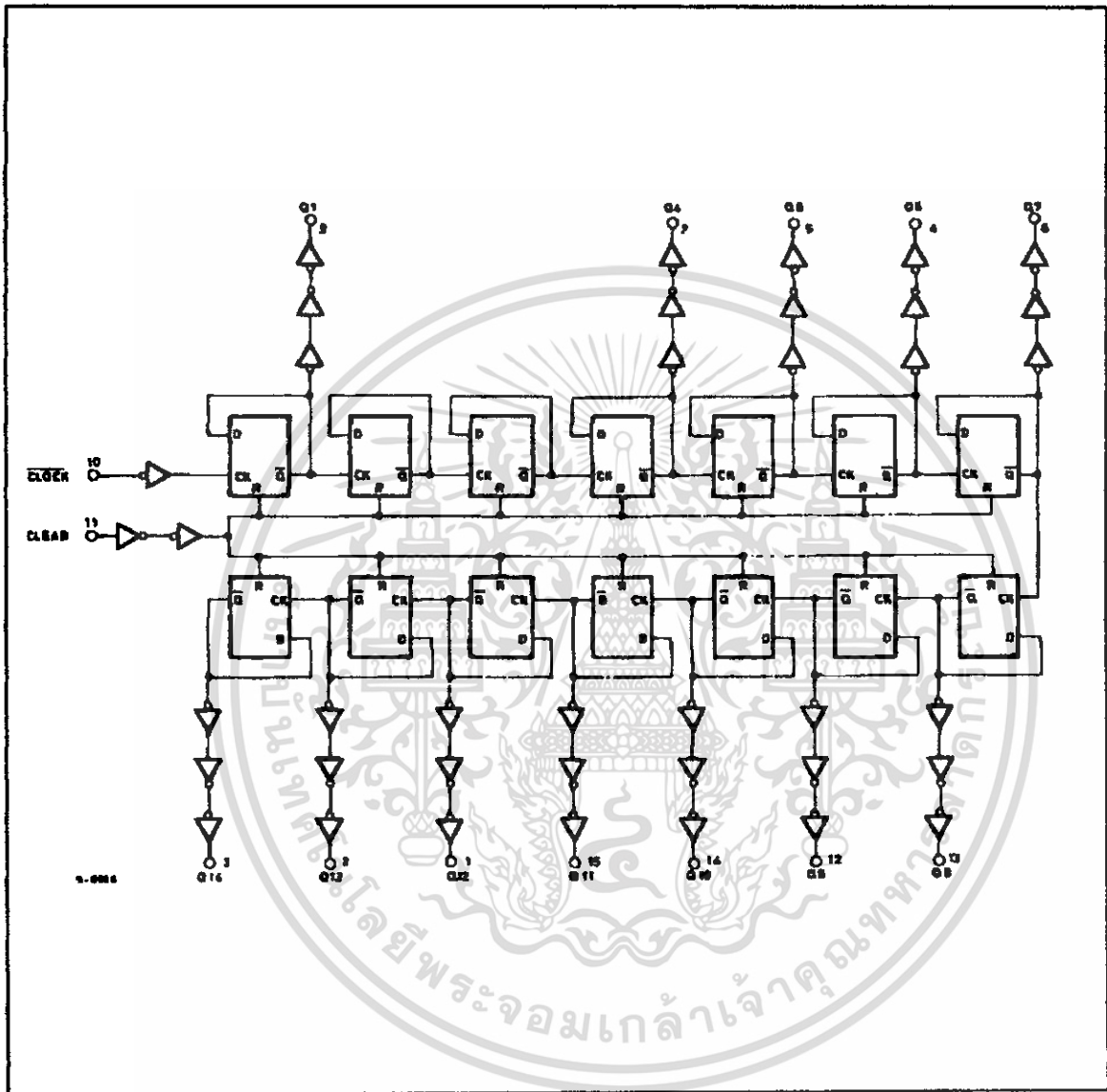
IEC LOGIC SYMBOLS



TRUTH TABLE

CLOCK	CLEAR	OUTPUT STATE
X	H	ALL OUTPUTS = "L"
	L	NO CHANGE
	L	ADVANCE TO NEXT STATE

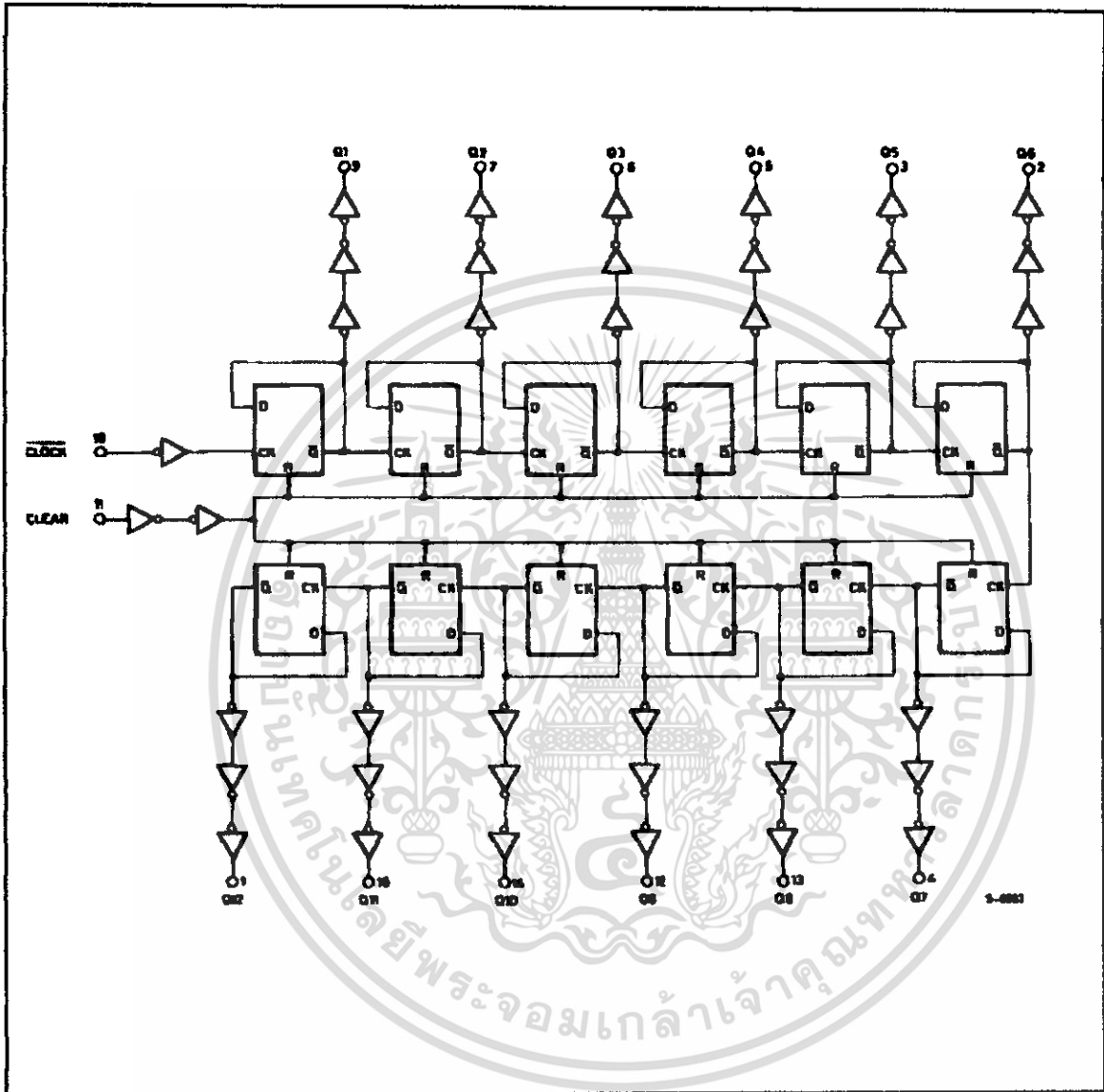
LOGIC DIAGRAM (HC4020)



9-0006

M54/M74HC4020/4040

LOGIC DIAGRAM (HC4040)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	-0.5 to +7	V
V _I	DC Input Voltage	-0.5 to V _{CC} + 0.5	V
V _O	DC Output Voltage	-0.5 to V _{CC} + 0.5	V
I _{IK}	DC Input Diode Current	± 20	mA
I _{OK}	DC Output Diode Current	± 20	mA
I _O	DC Output Source Sink Current Per Output Pin	± 25	mA
I _{CC} or I _{GND}	DC V _{CC} or Ground Current	± 50	mA
P _D	Power Dissipation	500 (*)	mW
T _{stg}	Storage Temperature	-65 to +150	°C
T _L	Lead Temperature (10 sec)	300	°C

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.
 (*) 500 mW: ± 65 °C derate to 300 mW by 10mW/°C: 65 °C to 85 °C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	Value	Unit	
V _{CC}	Supply Voltage	2 to 6	V	
V _I	Input Voltage	0 to V _{CC}	V	
V _O	Output Voltage	0 to V _{CC}	V	
T _{OP}	Operating Temperature: M54HC Series M74HC Series	-55 to +125 -40 to +85	°C °C	
t _r , t _f	Input Rise and Fall Time	V _{CC} = 2 V V _{CC} = 4.5 V V _{CC} = 6 V	0 to 1000 0 to 500 0 to 400	ns

M54/M74HC4020/4040

DC SPECIFICATIONS

Symbol	Parameter	Test Conditions		Value						Unit		
		V _{CC} (V)		T _A = 25 °C 54HC and 74HC			-40 to 85 °C 74HC		-55 to 125 °C 54HC			
				Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	Min.		Max.	
V _{IH}	High Level Input Voltage	2.0		1.5			1.5		1.5		V	
		4.5		3.15			3.15		3.15			
		6.0		4.2			4.2		4.2			
V _{IL}	Low Level Input Voltage	2.0				0.5		0.5		0.5	V	
		4.5				1.35		1.35		1.35		
		6.0				1.8		1.8		1.8		
V _{OH}	High Level Output Voltage	2.0	V _I = V _{IH} or V _{IL}	I _O = 20 μA	1.9	2.0		1.9		1.9	V	
		4.5			4.4	4.5		4.4		4.4		
		6.0			5.9	6.0		5.9		5.9		
		4.5		I _O = 4.0 mA	4.18	4.31		4.13		4.10		
		6.0			I _O = 5.2 mA	5.68	5.8		5.63			5.60
V _{OL}	Low Level Output Voltage	2.0	V _I = V _{IH} or V _{IL}	I _O = 20 μA		0.0	0.1		0.1		0.1	V
		4.5				0.0	0.1		0.1		0.1	
		6.0				0.0	0.1		0.1		0.1	
		4.5		I _O = 4.0 mA	0.17	0.26		0.33		0.40		
		6.0			I _O = 5.2 mA	0.18	0.26		0.33		0.40	
I _I	Input Leakage Current	6.0	V _I = V _{CC} or GND			±0.1		±1		±1	μA	
I _{CC}	Quiescent Supply Current	6.0	V _I = V _{CC} or GND			4		40		80	μA	

M54/M74HC4020/4040

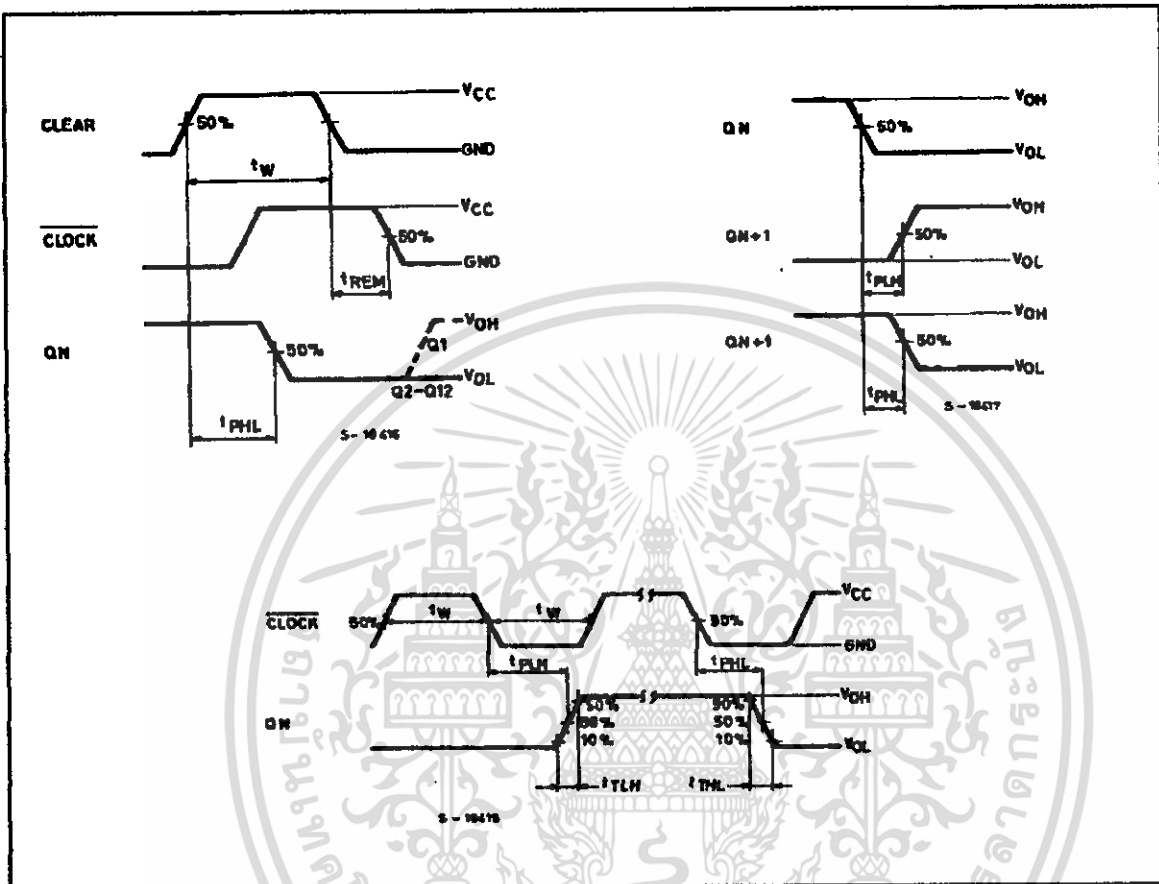
AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (C_L = 50 pF, Input t_r = t_f = 6 ns)

Symbol	Parameter	Test Conditions		Value						Unit	
		V _{CC} (V)		T _A = 25 °C 54HC and 74HC			-40 to 85 °C 74HC		-55 to 125 °C 54HC		
				Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	Min.		Max.
t _{TLH} t _{THL}	Output Transition Time	2.0			30	75		95		110	ns
		4.5			8	15		19		22	
		6.0			7	13		16		19	
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay Time (Q _n - Q _{n+1})	2.0			20	50		65		75	ns
		4.5			5	10		13		15	
		6.0			4	9		11		13	
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay Time (CLOCK Q1)	2.0	for HC4020		76	145		180		220	ns
		4.5			21	29		36		44	
		6.0			18	25		31		38	
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay Time (CLOCK Q1)	2.0	for HC4040		48	145		180		220	ns
		4.5			17	29		36		44	
		6.0			13	25		31		38	
t _{PHL}	Propagation Delay Time (CLEAR - Q _n)	2.0	for HC4020		60	140		175		210	ns
		4.5			18	28		35		42	
		6.0			15	24		30		36	
t _{PHL}	Propagation Delay Time (CLEAR - Q _n)	2.0	for HC4040		56	140		175		210	ns
		4.5			18	28		35		42	
		6.0			15	24		30		36	
f _{MAX}	Maximum Clock Frequency	2.0		6.0	15		4.8		4	MHz	
		4.5		30	65		24		20		
		6.0		35	70		28		24		
t _{w(H)} t _{w(L)}	Minimum Pulse Width (CLOCK)	2.0			40	75		95		110	ns
		4.5			8	15		19		22	
		6.0			7	13		16		19	
t _{w(H)}	Minimum Pulse Width (CLEAR)	2.0	for HC4020		32	75		95		110	ns
		4.5			8	15		19		22	
		6.0			7	13		16		19	
t _{w(H)}	Minimum Pulse Width (CLEAR)	2.0	for HC4040		70	175		220		265	ns
		4.5			19	35		44		53	
		6.0			16	30		37		45	
t _{REM}	Minimum Removal Time	2.0	for HC4020		0			0		0	ns
		4.5			0			0		0	
		6.0			0			0		0	
t _{REM}	Minimum Removal Time	2.0	for HC4040		25			30		40	ns
		4.5			5			6		8	
		6.0			5			5		7	
C _{IN}	Input Capacitance				5	10		10			pF
C _{PD} (*)	Power Dissipation Capacitance				34						pF

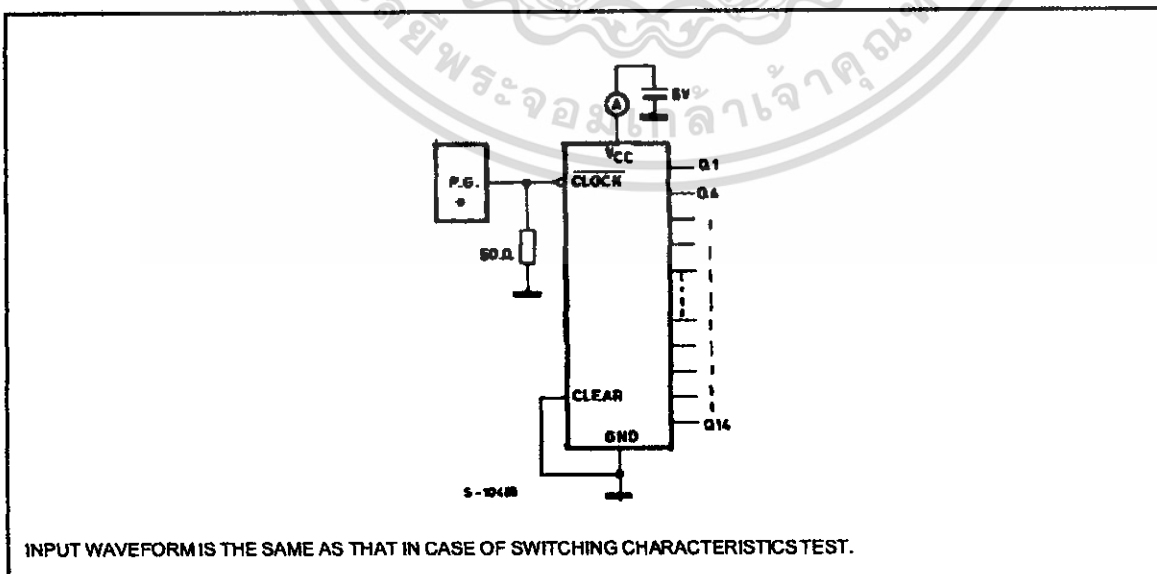
(*) C_{PD} is defined as the value of the IC's internal equivalent capacitance which is calculated from the operating current consumption without load. (Refer to Test Circuit). Average operating current can be obtained by the following equation. I_{CC(OPR)} = C_{PD} • V_{CC} • f_{IN} + I_{CC}/2 (per FLIP/FLOP)

M54/M74HC4020/4040

SWITCHING CHARACTERISTICS TEST WAVEFORM



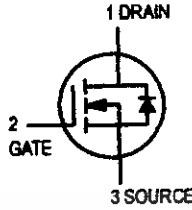
TEST CIRCUIT I_{CC} (Opr.)



INPUT WAVEFORM IS THE SAME AS THAT IN CASE OF SWITCHING CHARACTERISTICS TEST.

TMOS FET Switching

N-Channel — Enhancement



BS170



CASE 29-04, STYLE 30
TO-92 (TO-226AA)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Drain-Source Voltage	V _{DS}	60	Vdc
Gate-Source Voltage	V _{GS}	±20	Vdc
— Continuous	V _{GSM}	±40	Vpk
— Non-repetitive (t _p ≤ 50 μs)			
Drain Current(1)	I _D	0.5	Adc
Total Device Dissipation @ T _A = 25°C	P _D	350	mW
Operating and Storage Junction Temperature Range	T _J , T _{stg}	-55 to +150	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Gate Reverse Current (V _{GS} = 15 Vdc, V _{DS} = 0)	I _{GSS}	—	0.01	10	nAdc
Drain-Source Breakdown Voltage (V _{GS} = 0, I _D = 100 μAdc)	V(BR)DSS	60	90	—	Vdc

ON CHARACTERISTICS(2)

Gate Threshold Voltage (V _{DS} = V _{GS} , I _D = 1.0 mAdc)	V _{GS(Th)}	0.8	2.0	3.0	Vdc
Static Drain-Source On Resistance (V _{GS} = 10 Vdc, I _D = 200 mAdc)	r _{DS(on)}	—	1.8	5.0	Ω
Drain Cutoff Current (V _{DS} = 25 Vdc, V _{GS} = 0 Vdc)	I _{D(off)}	—	—	0.5	μA
Forward Transconductance (V _{DS} = 10 Vdc, I _D = 250 mAdc)	g _{fs}	—	200	—	mmhos

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Input Capacitance (V _{DS} = 10 Vdc, V _{GS} = 0, f = 1.0 MHz)	C _{iss}	—	—	60	pF
---	------------------	---	---	----	----

SWITCHING CHARACTERISTICS

Turn-On Time (I _D = 0.2 Adc) See Figure 1	t _{on}	—	4.0	10	ns
Turn-Off Time (I _D = 0.2 Adc) See Figure 1	t _{off}	—	4.0	10	ns

1. The Power Dissipation of the package may result in a lower continuous drain current.
2. Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2.0%.

REV 1

© Motorola, Inc. 1997



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESISTIVE SWITCHING

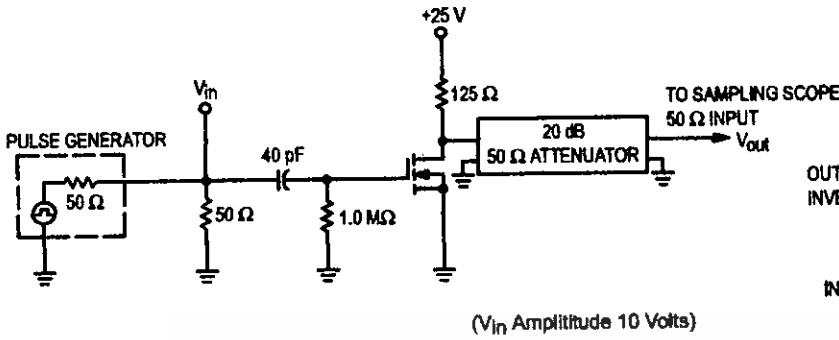


Figure 1. Switching Test Circuit

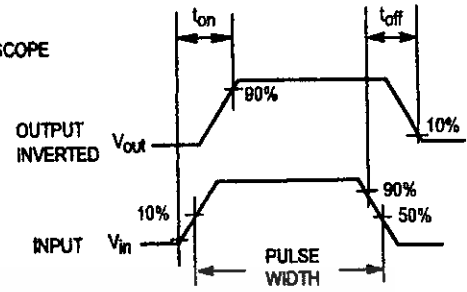


Figure 2. Switching Waveforms

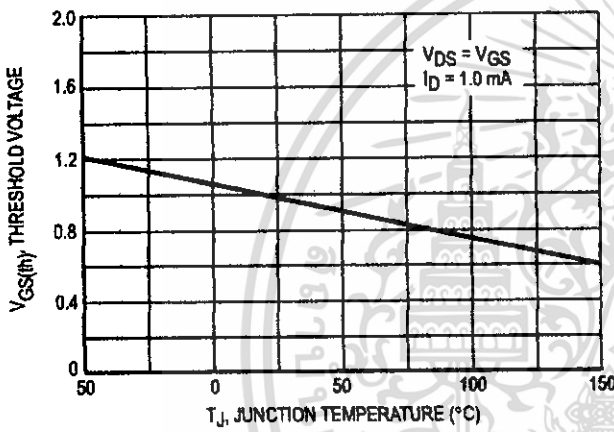


Figure 3. $V_{GS(th)}$ Normalized versus Temperature

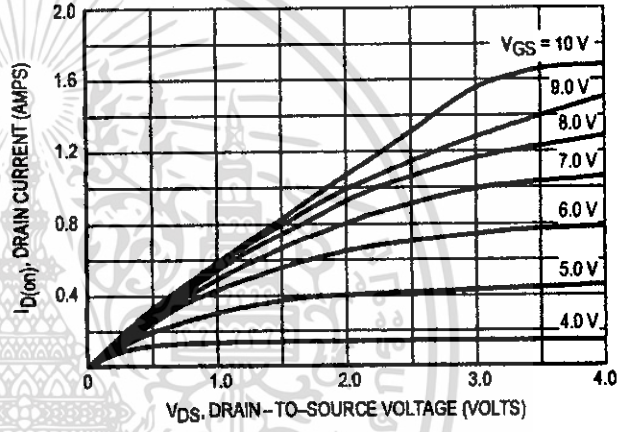


Figure 4. On-Region Characteristics

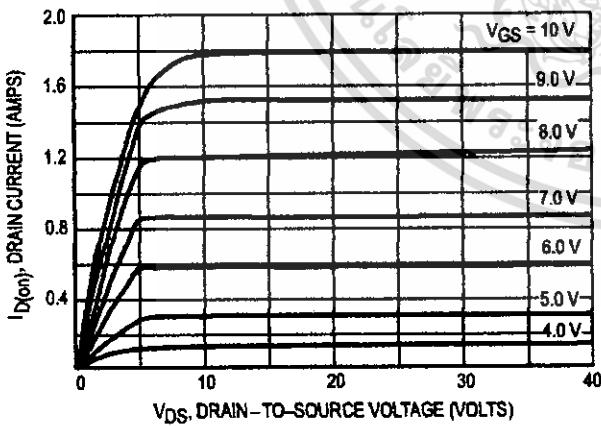


Figure 5. Output Characteristics

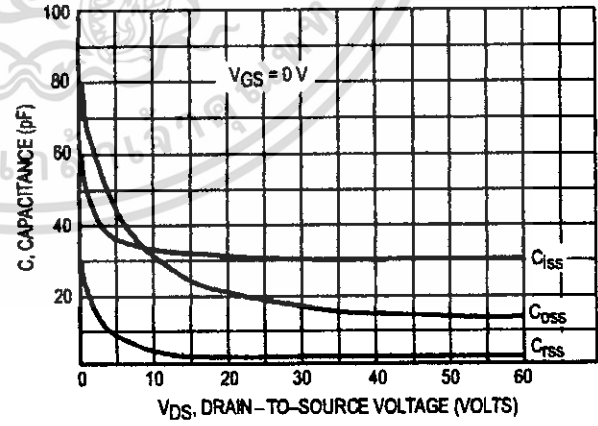
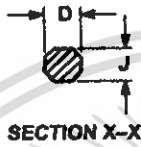
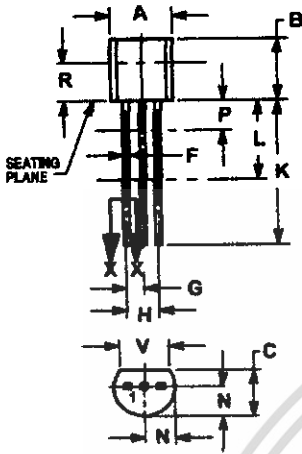


Figure 6. Capacitance versus Drain-To-Source Voltage

PACKAGE DIMENSIONS



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
 4. DIMENSION F APPLIES BETWEEN P AND L. DIMENSION D AND J APPLY BETWEEN L AND K MINIMUM. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.165	3.18	4.19
D	0.018	0.022	0.41	0.55
F	0.016	0.019	0.41	0.48
G	0.046	0.056	1.16	1.39
H	0.085	0.105	2.12	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	—	12.70	—
L	0.250	—	6.35	—
N	0.090	0.105	2.04	2.66
P	—	0.100	—	2.54
R	0.115	—	2.93	—
V	0.135	—	3.43	—

CASE 029-04
(TO-226AA)
ISSUE AD

- STYLE 30:
PRN 1. DRAIN
2. GATE
3. SOURCE