

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เทคโนโลยี RFID  
TECNOLOGY RFID



โดย

นาย พันภัทร ปิตา

๗๗๗  
๗๗๗๗๗๗  
๑๗๗๗

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **72215** .....  
วัน,เดือน,ปี..... **12 ส.ย. 2550** .....

b. **117๒๑215** .....  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**เทคโนโลยี RFID**  
**TECNOLOGY RFID**

โดย



**ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**  
**สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์**  
**คณะวิศวกรรมศาสตร์**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปีการศึกษา 2549

ปริญญาโทปีการศึกษา 2549

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เทคโนโลยี RFID

ผู้จัดทำ

1. นายพันภัทร ปีตา

รหัส 47015167



ลงชื่อ .....

(ผ.ศ. ประภากร สุวรรณะ)

๒๗ / ๒๕๔๙ / ๒๕๕๐

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เทคโนโลยี RFID

โดย นาย พันภัทร ปิตา รหัส 47015254  
อาจารย์ที่ปรึกษา ศศ. ประภากร สุวรรณะ  
ประจำภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2549

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยี RFID ได้รับความนิยมในการใช้งานในแวดวงต่างๆ อย่างกว้างขวางอันเป็นผลมาจากความสะดวกในการใช้งาน รวมถึงศักยภาพในการส่งข้อมูล อีกทั้งยังมีรูปแบบการใช้งาน ในลักษณะของการส่งข้อมูลแบบไร้การสัมผัส ซึ่งแตกต่างจากระบบ Auto ID (Automatic Identification) แบบอื่น “เนื่องจาก Auto ID แบบอื่นยังมีข้อเสียที่ไม่สามารถแก้ไขได้อยู่ นั่นคือการใช้งานที่เป็นแบบสัมผัสซึ่งทำให้อายุการใช้งานที่จำกัด เนื่องจากการสึกหรอ ทำให้เกิดความเสียหายเกิดขึ้นกับแผ่นตัวนำไฟฟ้าที่อยู่บนหน้าสัมผัส” ยานความถี่ที่ใช้งานใช้ย่าน LF (Low Frequency) ที่ความถี่ 125 kHz โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มาประยุกต์ใช้งานในการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่าย (Transponder) และเครื่องอ่าน (Reader) โครงการนี้เน้นในการศึกษาการทำงาน ของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย และการรับส่งข้อมูลเพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานในด้านการบันทึกข้อมูลต่างๆ เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน

## Radio Frequency Identification

Mr. Phanphat Pita ID.47015254

Mr. Prapakorn Suwanna Advisor

Year 2006

### ABSTRACT

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

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จได้คือเพราะได้รับความเมตตาและความอนุเคราะห์จาก ผ.ศ. ประภากร สุวรรณะ และอาจารย์ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองและปฏิบัติงาน ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง หากขาดบุคคลดังกล่าวแล้วผู้จัดทำคงไม่สามารถที่จะทำงานชิ้นนี้สำเร็จลงได้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ทั้งที่เอื้อนามและมีได้เอื้อนาม และหวังว่าปริญญาบัตรฉบับนี้คงจะพอเป็นแนวทางสำหรับผู้ ที่สนใจ และเริ่มศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง RFID เพื่อเป็นการนำไปใช้หรือนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ(Abstract)	
สารบัญรูปภาพ	
สารบัญตาราง	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ	1
1.5 วิธีดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับระบบ RFID	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 โครงสร้างระบบแสดงตัวตนแบบ RFID	3
2.2.1 การรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องถูกข่า	6
2.2.2 ความสามารถในการโปรแกรม(Programmable)	7
2.2.3 หน่วยความจำแบบ EEPROM(Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)	8
2.2.4 ย่านความถี่ที่ใช้งาน(Frequency range)	8
2.3 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้ในการสื่อสารแบบ Duplexing	8
2.3.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling	8
2.3.2 เทคโนโลยี Load Modulation	13
2.3.3 เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier	13
2.3.4 เทคโนโลยี Subharmonic Procedure	16
2.3.5 เทคโนโลยี Electromagnetic backscatter Coupling	17
2.3.6 เทคโนโลยี Close Coupling	21
2.3.7 เทคโนโลยี Electrical Coupling	23
2.4 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Sequential	27
2.4.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling	27
2.4.2 เครื่องถูกข่าแบบ Surface Acoustic Wave	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5 ข้อกำหนดมาตรฐานด้านความถี่	34
<b>บทที่3 ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller)</b>	39
3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC	39
3.1.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์	39
3.1.2 ข้อแตกต่างระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์	39
3.2 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC)	40
3.2.1 หน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit)	40
3.2.2 หน่วยความจำ (Memory Unit)	41
3.2.3 พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต (I/O port)	42
<b>บทที่4 การมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัล</b>	51
4.1 บทนำ	51
4.2 การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัล	51
4.2.1 การมอดูเลตดิจิทัลทางขนาด (Amplitude Shift Keying; ASK)	51
4.2.2 การมอดูเลตดิจิทัลทางเฟส (Phase Shift Keying; PSK)	52
4.2.3 การมอดูเลตดิจิทัลทางความถี่ (Frequency Shift Keying; FSK)	53
4.3 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน(Parallel Transmission)	55
4.4 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม(Serial Transmission)	56
4.4.1 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission)	57
4.4.2 การส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส (Asynchronous Transmission)	58
4.5วิธีการรับและส่งข้อมูลระหว่างเท็กซ์และเครื่องอ่าน	61
4.6การเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์(Manchester)	62
<b>บทที่5 การออกแบบและการคำนวณ READER และ TAG</b>	64
5.1 READER	64
5.1.1 เพาเวอร์แอมป์ (Power Amplifier)	64
5.1.2 อุปกรณ์ในภาค (Power Amplifier)	64
5.1.3 วิธีการคำนวณ Reader Coil Drive (3×6) in <sup>2</sup>	64
5.1.4 Reader coil )3x6( in <sup>2</sup> Loop wire No 26 AWG	65
5.1.5 วงจรรวมของภาค Reader	67

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.2 วงจรรวมของภาค Tag	68
5.2.1 อุปกรณ์ที่สำคัญในภาค Tag	68
5.2.2 การออกแบบ Rectangular Loop Tag Coil 125 kHz	69
5.2.3 วิธีคำนวณการพันขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ	69
5.2.4 Tag Average Size $4.5 \times 7.5 \text{ cm}^2$	71
<b>บทที่ 6 โปรแกรมการติดต่อสื่อสารข้อมูล</b>	<b>72</b>
6.1 เครื่องอ่าน	72
6.1.1 ส่วนของวงจรของเครื่องอ่าน	72
6.1.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของเครื่องอ่าน	73
6.1.3 ส่วนของโปรแกรมของเครื่องอ่าน	74
6.2 เครื่องลูกข่าย	86
6.2.1 ส่วนของวงจรลูกข่าย	86
6.2.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของเครื่องลูกข่าย	87
6.2.3 ส่วนของโปรแกรมของเครื่องลูกข่าย	88
<b>บทที่ 7 การทดลอง</b>	<b>90</b>
7.1 การทดลองรับส่งพลังงานระหว่างเครื่องรับและเครื่องลูกข่าย	90
7.2 ค่าของอุปกรณ์ที่ใช้งาน	90
<b>บทที่ 8 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง</b>	<b>93</b>
8.1 สรุปผลการทดลอง	93
8.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างระบบอย่างง่าย ๆ ของการใช้งานมาตรฐาน	3
รูปที่ 2.2 การจำแนกประเภทอุปกรณ์ RFID ตามลักษณะการทำงานทางเทคนิค	6
รูปที่ 2.3 แสดงความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential	7
รูปที่ 2.4 เทคโนโลยี Inductive Coupling กับการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน	9
รูปที่ 2.5 องค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID	11
รูปที่ 2.6 โครงสร้างวงจรเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายที่ใช้เทคนิคการตรวจจับสัญญาณข้อมูล แบบ Load Modulation with subcarrier	14
รูปที่ 2.7 สัญญาณข้อมูลที่ถูกรับรจอยู่ในโวลต์แบบค้ำของความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร	15
รูปที่ 2.8 วงจรที่ใช้สำหรับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบ Load Modulation with Subcarrier ติดตั้งอยู่ในเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling	16
รูปที่ 2.9 โครงสร้างวงจรภายในอย่างง่ายของเครื่องลูกข่าย RFID ที่ทำงานแบบ Subharmonic procedure	17
รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Electromagnetic backscatter coupling	20
รูปที่ 2.11 หลักการทำงานส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย RFID ไปยังเครื่องอ่าน โดยใช้เทคโนโลยี Modulated Reflection Cross-Section	21
รูปที่ 2.12 รูปแบบการสัมผัสของบัตรพลาสติกที่เป็นเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling กับเครื่องอ่าน	22
รูปที่ 2.13 แสดง โครงสร้างและการทำงานของระบบ RFID แบบ Electrical Coupling	23
รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต้องผลิตขึ้นบนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของ เครื่องอ่าน RFID	24
รูปที่ 2.15 วงจรสมมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน RFID แบบ Electrical Coupling	25
รูปที่ 2.16 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling สำหรับมาตรฐานแบบ Duplexing กับแบบ Sequential	29
รูปที่ 2.17 โครงสร้างวงจรภายในของเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Sequential ประเภท Inductive Coupling ข้อมูลจากบริษัท Texas Instrument	31

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่2.18 แสดงระดับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนตัวเก็บประจุ C ตลอดวงจรการทำงานของ เครื่องลูกข่าย RFID มาตรฐาน Sequential	31
รูปที่2.19 โครงสร้างของเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW	32
รูปที่2.20 ตัวอย่างเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW (ข้อมูลจาก Siemens AG)	34
รูปที่2.21 ย่านความถี่ต่างๆ ที่ได้รับการกำหนดให้ใช้งานกับเทคโนโลยี RFID	35
รูปที่2.22 ประมาณขอคการจำหน่ายเครื่องลูกข่าย RFID ทั่วโลกแบ่งตามย่านความถี่การใช้งาน	36
รูปที่3.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโคร โปรเซสเซอร์	39
รูปที่3.2 โครงสร้างของพอร์ต A(RA0,RA1,RA2,RA3,RA5)	43
รูปที่3.3 โครงสร้างของพอร์ต A(RA4)	43
รูปที่3.4 โครงสร้างของพอร์ต B(RB0-RB3)	45
รูปที่3.5 โครงสร้างของพอร์ต B(RB4-RB7)	45
รูปที่3.6 โครงสร้างของพอร์ต C(RC0,RC2,RC5,RC6,RC7)	47
รูปที่3.7 โครงสร้างของพอร์ต C(RC3-RC4)	47
รูปที่3.8 โครงสร้างของพอร์ต D	48
รูปที่3.9 โครงสร้างของพอร์ต E	49
รูปที่4.1 แสดงรูปการมอดูเลทดิจิตอลทางขนาด	52
รูปที่4.2 แสดงการมอดูเลทดิจิตอลทางเฟส	52
รูปที่4.3 แสดงสัญญาณ ในแบบ BPSK	53
รูปที่4.4 แสดงการมอดูเลททางดิจิตอล	53
รูปที่4.5 ช่องสัญญาณ ในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลทแบบ FSK ในการส่งข้อมูลแบบพูลดูเพล็กซ์	54
รูปที่4.6 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลทแบบ FSK	54
รูปที่4.7 แสดงการประมาณค่าความกว้างแถบของแบบ FSK	55
รูปที่4.8 การส่งข้อมูลแบบขนาน	56
รูปที่4.9 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม	56
รูปที่4.10 แสดงการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส	57
รูปที่4.11 แสดงรูปข้อมูลแบบซิงโครนัส	57
รูปที่4.12 แสดงการส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่4.13 แสดงรูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	59
รูปที่4.14 การมอดูเลตในรูปแบบต่างๆ	61
รูปที่4.15 แสดงการเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์(Manchester)	63
รูปที่5.1 Power Amplifier	64
รูปที่5.2 วงจรสมมูลของวงจรภาคขยาย	65
รูปที่5.3 วงจรรวมของภาค Reader	67
รูปที่5.4 วงจรรวมของ Tag ก่อนที่จะส่งไปยังภาคไมโครคอนโทรลเลอร์	68
รูปที่5.5 SQUARE LOOP COILของTag	69
รูปที่6.1 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องอ่าน	72
รูปที่6.2 แสดงฟิสิกส์การทำงานของเครื่องอ่าน	73
รูปที่6.3 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องลูกข่าย	86
รูปที่6.4 แสดงฟิสิกส์การทำงานของเครื่องลูกข่าย	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความหลากหลายของไมโครชิปที่ใช้บันทึกข้อมูลในเครื่องลูกข่าย RFID แยกตามประเภทของการประยุกต์ใช้งาน เปรียบเทียบกับการกันกระแสไฟฟ้าและคุณลักษณะด้านอื่นๆ	12
ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการลดทอนสัญญาณของอากาศเปิดกับระยะทางและการแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุในย่านความถี่ต่างๆ	19
ตารางที่ 2.3 กำหนดพื้นที่และความถี่วิทยุที่ห้ามใช้กับเทคโนโลยี RFID ในประเทศเยอรมัน	38
ตารางที่ 3.1 Microcontroller PIC	42
ตารางที่ 5.1 แสดงค่า C ที่ได้จากการคำนวณ ในจำนวนขดลวดที่แตกต่างกัน	65
ตารางที่ 5.2 Reader coil Drive 125 kHz	66
ตารางที่ 5.3 ประสิทธิภาพในการพันขดลวด โดยมีจำนวนรอบที่แตกต่างกัน	71
ตารางที่ 7.1 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้ของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ที่ระยะ 0 cm.	90
ตารางที่ 7.2 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้ของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ที่ระยะ 1 cm.	91
ตารางที่ 7.3 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้ของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ที่ระยะ 2 cm.	91
ตารางที่ 7.4 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้ของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ที่ระยะ 3 cm.	92
ตารางที่ 7.5 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้ของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ที่ระยะ 4 cm.	92
ตารางที่ 7.6 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้ของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ที่ระยะ 5 cm.	93

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมา

เทคโนโลยี RFID หรือในชื่อเต็มว่า Radio Frequency Identification เป็นเทคโนโลยีที่มีการผสมผสานศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าหลายๆ ประการเข้าด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารโดยคลื่นวิทยุ, การส่งพลังงานผ่านคลื่นวิทยุโดยใช้เทคโนโลยีของเรดาร์, เทคโนโลยีโทรคมนาคม ซึ่งผลที่ได้ทำให้เกิดนวัตกรรมใหม่ทางเทคโนโลยีสำหรับการแสดงตัวตนโดยไม่ใช้การสัมผัส ที่จะพลิกโฉมสังคมมนุษย์ไปอย่างสิ้นเชิงดังที่เริ่มมีกระแสตอบรับอย่างกว้างขวางในแทบทุกภาคธุรกิจทั่วโลก

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

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

#### 1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

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

#### 1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. สามารถรับและแสดงข้อมูล ออกมาจากเครื่องอ่านได้
2. สามารถส่งข้อมูล ไปยังเครื่องลูกข่ายได้
3. เครื่องลูกข่ายสามารถเก็บข้อมูลที่เครื่องอ่านส่งมาได้
4. เครื่องลูกข่ายสามารถส่งข้อมูลกลับมาแสดงผลที่เครื่องอ่านได้

### 1.5 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่จะใช้ในการพัฒนาระบบ เช่น ศึกษาระบบRFID และศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์และซอฟต์แวร์ ที่จะใช้ทำงาน
2. กำหนดขอบเขตโครงการ
3. วางแผนการทำงานและกำหนดระยะเวลาของการทำงานด้านต่างๆ
4. นำความรู้ที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีต่างๆ มาวิเคราะห์และทำการทดลอง
5. ทดสอบระบบที่ได้ทำขึ้นมา และบันทึกผลการทดสอบ
6. สรุปการทำงานขอบซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ และผลที่ได้จากการทำโครงการนี้ รวมทั้งแนวทางในการพัฒนาโครงการนี้



## บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับระบบ RFID

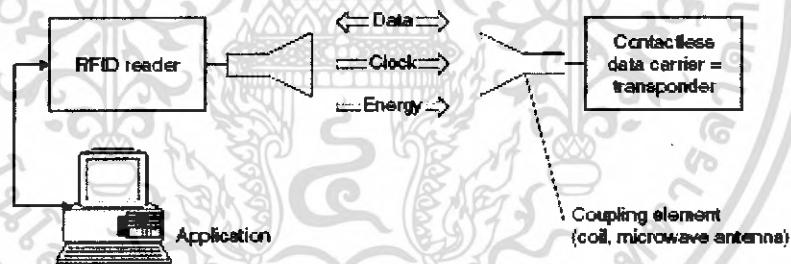
### 2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาของปริณญาณิพนธ์ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการ ที่นำมาใช้ในการประกอบ โครงงาน โดยจะประกอบไปด้วยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในโครงสร้างระบบ

### 2.2 โครงสร้างระบบแสดงตัวตนแบบ RFID

เครื่องลูกข่าย หรือ Transponder อาจได้รับการออกแบบให้มีรูปแบบต่างๆ ได้หลากหลาย ส่วน ใหญ่เครื่องลูกข่ายจะถูกออกแบบให้มีขนาดรูปร่างเหมาะสม ที่จะติดปะ หรือผูกอยู่กับ สินค้าหรือวัตถุ ต่างๆ ที่ต้องการตรวจนับหรือติดตามโดยใช้เทคโนโลยีRFID

เครื่องอ่านข้อมูลจะเรียกว่า Reader หรือ Interrogator ทำหน้าที่อ่านหรือทั้งอ่านทั้งเขียนข้อมูล ไปยังเครื่องลูกข่าย โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ ทั้งนี้ในกระบวนการสื่อสารและคลื่นความถี่ที่ใช้ตาม มาตรฐาน RFID มีอยู่หลายประเภทดังจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างระบบอย่างง่าย ๆ ของการใช้งานมาตรฐาน

โดยทั่วไปภายในเครื่องอ่านจะมีการติดตั้งวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งส่วนที่เป็นภาครับและภาคส่ง คลื่นความถี่วิทยุ , วงจรควบคุมการทำงาน (Control unit) และส่วนควบต่อ (Coupling) สำหรับติดต่อ สื่อสารกับเครื่องลูกข่าย ทั้งนี้จะต้องไม่ลืมว่าการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายนั้น มิได้เป็นไปเพียงเพื่อการแลกเปลี่ยนข้อมูลเพียงอย่างเดียวแต่ยังรวมถึงการถ่ายทอดพลังงาน (Energy)

ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อที่จะให้เครื่องลูกข่ายรับและแปลงสภาพไปเป็นพลังงานไฟฟ้าสำหรับป้อนให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในด้วย นอกจากนี้เครื่องอ่านโดยทั่วไปยังได้รับการออกแบบให้มีอินเทอร์เฟซ หรือจุดเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ภายนอก ไม่ว่าจะเป็นมาตรฐาน RS 232 , RS 485 หรือในอนาคตยังอาจจะมีเชื่อมต่อแบบ UBS ให้ใช้งานได้อย่างง่ายดาย ซึ่งจุดเชื่อมต่อเหล่านี้ถือเป็นหัวใจที่จะนำข้อมูลที่อ่านได้นำมาใช้ควบคุมหรือดำเนินการที่สอดคล้องกับธุรกิจหรือจุดประสงค์ของผู้ออกแบบระบบต่อไป

เนื่องจากเทคโนโลยี RFID สามารถนำไปใช้งานได้กับการแสดงตัวตนอัตโนมัติได้หลากหลายรูปแบบ ส่งผลให้เกิดความต้องการใช้งานในปริมาณมากและมีความหลากหลายในรูปแบบใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นวงการอุตสาหกรรม, อุปกรณ์อำนวยความสะดวก, ระบบรักษาความปลอดภัย, การติดตามสัตว์ ฯลฯ ความหลากหลายแห่งความประสงค์ใช้งานนี้เองที่มีผลทำให้อุปกรณ์ RFID ที่มีการผลิตออกจำหน่ายในท้องตลาดจำเป็นต้องมีความแตกต่างกันทั้งในด้านการออกแบบ, เทคโนโลยีที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล, การใช้งานความถี่, อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล ฯลฯ

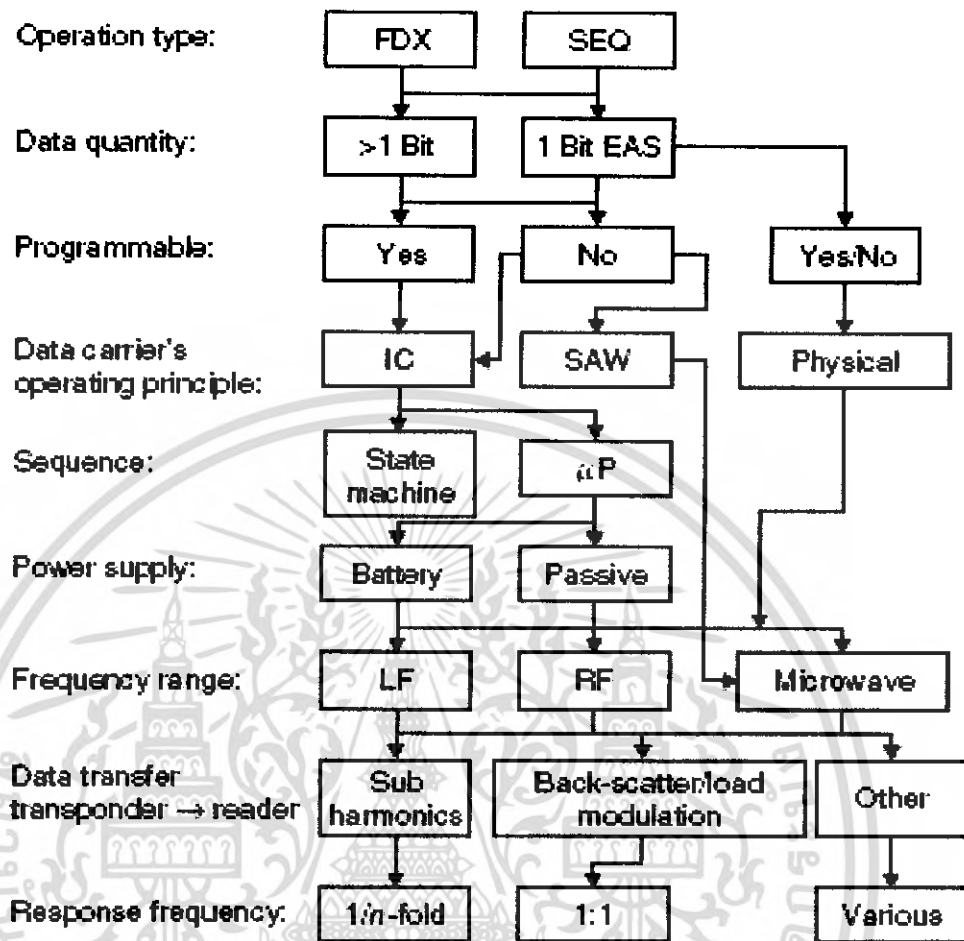
ดังนั้น ก่อนตัดสินใจเลือกใช้อุปกรณ์ RFID เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน ผู้ใช้งานจึงจำเป็นต้องศึกษาความแตกต่างทั้งทางเทคนิค และคุณลักษณะของอุปกรณ์ RFID แต่ละชนิด เพื่อให้สามารถตัดสินใจนำมาใช้งานตามวัตถุประสงค์ รูปที่ 2.1 แสดงถึงความหลากหลายของอุปกรณ์ RFID ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด โดยจำแนกออกตามคุณลักษณะด้านต่างๆในทางเทคนิค ทั้งนี้จะขอลงรายละเอียดคุณลักษณะที่สำคัญซึ่งมักใช้จัดทำเป็นข้อกำหนดทางเทคนิคในแวดวงต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วยคุณสมบัติดังต่อไปนี้

คุณลักษณะของการทำงาน(Operation type) หรือเครื่องอ่าน (Reader) ไม่ว่าจะเป็นรุ่นใดที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจะมีรูปแบบการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งระหว่างการรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex (FDX) / Half Duplex (HDX) กับแบบ Sequential (SEQ) ซึ่งทั้งสองแบบมีหลักการการทำงานที่แตกต่างกันดังนี้

การรับส่งข้อมูลแบบ FDX/HDX เครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณข้อมูลออกตลอดเวลา ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านทางคลื่นวิทยุไปยังให้กับบรรดาเครื่องลูกข่าย ที่อยู่ในอาณานิคมการใช้งานด้วย และเนื่องจากความแรงของคลื่นสัญญาณความถี่วิทยุที่เครื่องลูกข่ายส่งออกมา มีกำลังส่งต่ำ ทำให้มีแนวโน้มว่าสัญญาณส่งออกไปไม่ถึงเครื่องอ่าน หรืออาจส่งไปถึงแต่มีระดับสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ด้วย เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นของตนเองทำให้ส่งสัญญาณออกมาได้สูงกว่า ดังนั้นจึงต้องมีมาตรการในการสร้างความแตกต่างของสัญญาณ

คลื่นวิทยุที่มีการส่งออกมาจากเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่อง ให้มีเอกลักษณ์ (Identity) ที่แตกต่างกันเพื่อให้เครื่องอ่านสามารถแยกแยะแหล่งที่มาได้อย่างถูกต้อง โดยใช้มอดูเลตสัญญาณแบบ Load Modulation

การรับส่งข้อมูลแบบ SEQ เป็นการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID ที่กำหนดให้เครื่องอ่านมีการหยุดส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเป็นช่วงๆ ต่อเนื่อง หรือเป็นรายคาบเวลาสม่ำเสมอ ช่วงเวลาที่ไม่มีการส่งสัญญาณออกจากเครื่องอ่านนี้เอง ที่จะเป็นจังหวะให้เครื่องลูกข่ายทำการส่งสัญญาณกลับมายังเครื่องอ่าน ถือเป็น การสร้างฐานเวลา (Timing) สำหรับใช้อ้างอิงภายในระบบสื่อสารแบบ RFID ที่ประกอบไปด้วยเครื่องอ่านและกลุ่มของเครื่องลูกข่ายที่มีความเที่ยงตรงมาก แต่การรับส่งข้อมูลแบบนี้มีข้อจำกัดอยู่ที่ประเด็นของการจ่ายพลังงานให้กับเครื่องลูกข่าย เนื่องจากในช่วงเวลาที่เครื่องอ่านหยุดส่งสัญญาณนั้นบรรดาเครื่องลูกข่ายทั้งหลาย ก็จะไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้าที่ส่งผ่านทางคลื่นวิทยุไปด้วย ทำให้ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เก็บประจุไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ขนาดเล็กไว้ในเครื่องลูกข่าย ที่นำมาใช้กับการรับส่งข้อมูลแบบนี้

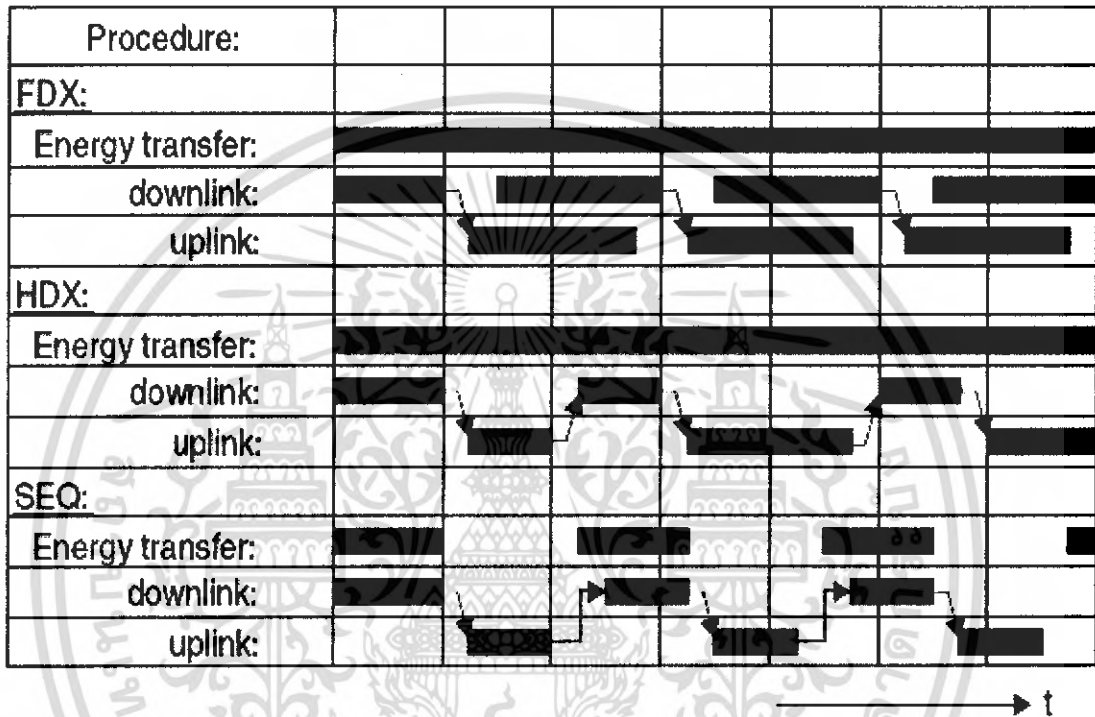


รูปที่ 2.2 การจำแนกประเภทอุปกรณ์ RFID ตามลักษณะการทำงานทางเทคนิค

### 2.2.1 การรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย

ใช้การส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ซึ่งเครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงานทางไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่าย (Downlink) และการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมาถึงเครื่องอ่าน (Uplink) สามารถกระทำได้เมื่อใดก็ได้ ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ต่างจากการสื่อสารแบบ Half Duplex ซึ่งแม้เครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา แต่ก็ต้องมีการกำหนดจังหวะผลัดกันในการรับส่งข้อมูลระหว่าง

เครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย สำหรับการสื่อสารแบบสุคท้ายก็คือ Sequential นั้น จะมีการกำจัดเวลาในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่ายในลักษณะของพัลส์ (Pulse) หรือก่อนพลังงานที่ส่งออกในแต่ละช่วงเวลา และใช้การปรากฏขึ้นของพลังงานไฟฟ้าหรือพัลส์นี้เป็นสัญญาณกำหนดให้มีการส่งข้อมูล Downlink ส่วนช่วงที่ไม่มีพลังงานปรากฏอยู่จะเป็นการส่งสัญญาณ Uplink



รูปที่ 2.3 แสดงความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential

### 2.2.2 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)

การจำแนกประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID ตามขีดความสามารถในการ โปรแกรม ข้อมูล สามารถแบ่งออกได้เป็น เครื่องลูกข่ายที่ไม่สามารถโปรแกรมได้ ซึ่งภายในจะมีการเขียนข้อมูลที่อาจเป็นรหัสเลขหมายใดๆ ตามที่ได้รับคำสั่งจ้างทำมาตั้งแต่สายการผลิตและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ อีกประการหนึ่งเป็นเครื่องลูกข่าย RFID ที่สามารถทำการโปรแกรมข้อมูลผ่านทางเครื่องอ่านได้ ซึ่งสามารถจำแนกเครื่องลูกข่ายประเภทนี้ออกเป็น 3 ชนิด ตามเทคโนโลยีหน่วยความจำที่นำมาใช้งาน

### 2.2.3 หน่วยความจำแบบ EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)

เป็นชนิดที่พบมากที่สุดในการบรรจุเครื่องลูกข่ายโดยทั่วไป แต่ก็มีข้อด้อยในเรื่องของการกินกระแสไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงในขณะที่บันทึกข้อมูล ประกอบกับมีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนครั้งที่สามารถเขียนข้อมูลได้ในช่วง 100,000 - 1,000,000 ครั้งเท่านั้น

### 2.2.4 ย่านความถี่ที่ใช้งาน (Frequency range)

เป็นคุณสมบัติสำคัญอีกประการหนึ่งในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID ทั้งระบบ โดยความหมายของความถี่ใช้งาน (Operating frequency) ในมาตรฐาน RFID นั้นจะหมายถึงคลื่นความถี่วิทยุที่เครื่องอ่านทำการส่งออกไปเท่านั้น โดยจะไม่สนใจว่าเครื่องลูกข่ายจะส่งคลื่นความถี่ในย่านใดตอบกลับมาซึ่งในบางกรณีเครื่องลูกข่าย อาจมีการส่งคลื่นความถี่กลับมาเป็นค่าความถี่เดียวกับที่เครื่องอ่านส่งออกไป โดยแยกแยะความแตกต่างกันด้วยเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ Load Modulation ประเด็นของคลื่นความถี่จากเครื่องลูกข่ายจึงไม่ใช่สาระสำคัญในการนำมาพิจารณาย่านความถี่ใช้งานของอุปกรณ์ RFID สามารถกำหนดแบ่งออกได้เป็น 3 ย่าน คือ

ย่าน LF (Low Frequency) ตั้งแต่ 30 – 300 กิโลเฮิร์ตซ์

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

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

## 2.3 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing

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

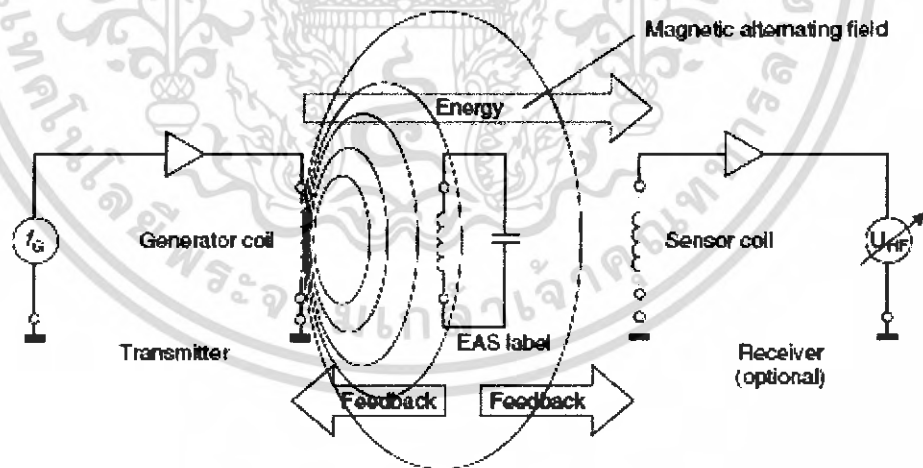
### 2.3.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็ก โครงสร้างของเครื่องลูกข่ายประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือไมโครชิปที่ใช้เก็บข้อมูลต่างๆ โดยมีขดลวดพันที่กว้างทำหน้าที่เป็น

สายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ ทั้งนี้จะกล่าวถึงเทคนิคในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องลูกข่ายเพื่อเลี้ยงให้ไมโครชิปสามารถทำงานได้ก่อนจะกล่าวถึงเทคนิคที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.4

### 2.3.1.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

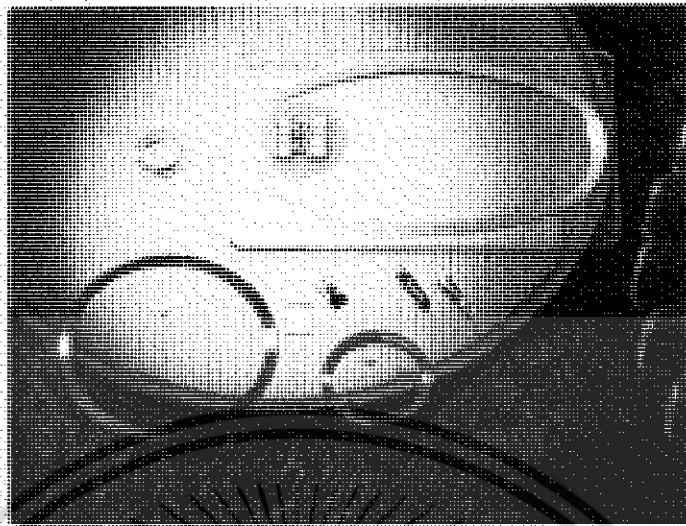
เนื่องจากการทำงานของเครื่องลูกข่ายนั้นเป็นแบบ พาสซีฟ (Passive operation) กล่าวคือไม่มีแหล่งจ่ายพลังงานภายในเป็นของตนเอง จึงจำเป็นต้องรับ พลังงาน (Energy) มาจากเครื่องอ่านโดยตรงดังแสดงในรูปที่ 2.4 ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่าน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำลังสูงสามารถแพร่กระจายไปในพื้นที่ใช้งาน และสามารถตกกระทบขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้อย่างเหมาะสม ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกมาจากเครื่องอ่านนี้มีค่ามากกว่า ระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ซึ่งโดยทั่วไปมักวางห่างกันในหลักที่ไม่ไกลนัก ในขณะที่เทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling ส่วนใหญ่ ใช้ความถี่ต่ำเพียง 135 กิโลเฮิร์ตซ์หรืออาจจะต่ำกว่านั้น ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีความยาวคลื่นสูงมาก ถึง 2,400 เมตร แม้ในบางระบบที่ความถี่สูงในย่าน 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ก็ยังกำเนิดคลื่นสัญญาณที่มีความยาวคลื่นถึง 22.1 เมตร จึงไม่เป็นปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไปจนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบนหรือถูกกลทอนจากผนังอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ หากพิจารณาพื้นที่ใช้งาน โดยทั่วไปที่มีได้ไกลหรือกว้างใหญ่มากนัก



รูปที่ 2.4 เทคโนโลยี Inductive Coupling กับการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน

สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่ง จะตกกระทบขดลวดสายอากาศของเครื่องถูกข่ายก่อให้เกิดแรงดันโหว้าขนาดอ่อนๆขึ้นบนขดลวดดังกล่าว ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากับขบวนการเรกติไฟส์ โดยตัวเก็บประจุและไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงป้อนให้กับไมโครชิป ทั้งนี้หัวใจของการออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าตัวเก็บประจุ  $C_1$  ซึ่งต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด(L) เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่กำทอน (Resonant Frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องถูกข่ายคั้งที่ได้เคยกล่าวถึงในกรณีของอุปกรณ์ RFID แบบ 1 บิตไปแล้ว สิ่งที่อยู่ออกแบบอุปกรณ์เครื่องอ่านและเครื่องถูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling ให้ความสำคัญมากที่สุดก็คือการออกขดลวดทั้งที่เครื่องอ่านและเครื่องถูกข่าย ให้สามารถถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าให้แก่กันได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด หากจินตนาการเปรียบเทียบการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองในรูปแบบที่ 2.4 จะเทียบได้กับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวด 2 ชุด หากแต่ขดลวดทั้งสองมิได้พันอยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกัน กลับกลายเป็นใช้อากาศซึ่งมีคุณสมบัติในการนำพาสัญญาณที่เลวร้ายกว่าแกนแม่เหล็กมาก

คั้งนั้นในการออกแบบระบบแบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุด จึงต้องเน้นไปที่ข่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน, จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่าน และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่เครื่องถูกข่าย, มุมคั้งคั้งและระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านแล้เครื่องถูกข่าย ทั้งนี้รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นองค์ประกอบของอุปกรณ์ RFID แบบ Inductive Coupling โดยขดลวดวงกลมที่เห็นในภาพเป็นสายอากาศของเครื่องรับ ในขณะที่ขดลวดวงรีที่เป็นของเครื่องถูกข่ายจะคั้งอยู่บนแผ่นพลาสติกการ์ดพร้อมบรรจุวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ เป็นวงจรเรกติไฟร์ร่วมกับแผงวงจรประมวลผลและเก็บบันทึกข้อมูลคั้งๆ



รูปที่ 2.5 องค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID

เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงมากขึ้น จะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงใช้จำนวนรอบในการพันลวดเช่นกัน ตัวอย่างเช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 135 กิโลเฮิร์ตซ์ จะต้องมีการพันขดลวดสายอากาศที่เครื่องลูกข่ายในช่วง 100-1,000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ก็จะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวดจะเหลือเพียง 3-10 รอบเท่านั้น ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายลงได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จะส่งผลให้แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่สูงลดลงเมื่อ เทียบกับการใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ทำให้จำกัดระยะทางการใช้งานมากขึ้น การเลือกใช้อุปกรณ์ Inductive Coupling จึงต้องพิจารณาทั้งขนาดของเครื่องลูกข่ายและระยะทางต้องใช้งาน ตรวจสอบเป็นสำคัญ เพื่อใช้กำหนดเลือกย่านความถี่ที่เหมาะสมของอุปกรณ์ใช้งานรูปที่ 4.3 เป็นตัวอย่างของเครื่องอ่านข้อมูล RFID แบบ Inductive Coupling ซึ่งจะเห็นว่ามีผลึกขดลวดลงไปบรรจุภัณฑ์ทำให้มีขนาดเล็กกระทัดรัด เหมาะสำหรับการติดตั้งใช้งานในพื้นที่จำกัด

สิ่งที่พึงให้ความสนใจเกี่ยวกับการออกแบบระบบ RFID แบบ Inductive Coupling ก็คือพฤติกรรมการกินกระแสไฟฟ้าของไมโครชิปที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องลูกข่าย เนื่องจากก่อนข้างมีความหลากหลายและสัมพันธ์กับรูปแบบในการนำไปประยุกต์ใช้งาน การเลือกค่าความถี่พื้นฐานในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย ระยะพื้นที่ใช้งานและขนาดของอุปกรณ์อันเนื่องมาจากจำนวนรอบของขดลวดสายอากาศ จึงจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับประเภทของการใช้งานอย่าง

หลีกเลี่ยงไม่ได้ ตาราง 2.1 เป็น การแสดงจำแนกประเภทของไมโครชิป (ASIC) รุ่นต่างๆ ซึ่งผู้เขียนไม่ขอเปิดเผยรุ่นและยี่ห้อโดยเปรียบเทียบขนาดหน่วยความจำ การกินกระแสไฟฟ้า และคุณสมบัติอื่นๆ ทั้งนี้ การเลือกใช้งานไมโครชิป ASIC นั้นจะต้องขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นสำคัญ

ตารางที่ 2.1 ความหลากหลายของไมโครชิปที่ใช้บันทึกข้อมูลในเครื่องลูกข่าย RFID แยกตามประเภทของการประยุกต์ใช้งาน เปรียบเทียบกับการกินกระแสไฟฟ้าและคุณลักษณะด้านอื่นๆ

	หน่วยความจำ (ไบต์)	ระยะห่างสูงสุดในการเขียน/อ่าน	การกินกระแสไฟฟ้า	ความถี่ใช้งาน	การประยุกต์ใช้งาน
ASIC#1	6	15 ซม.	10uA	120 kHz	ใช้กับสัตว์
ASIC#2	32	13 ซม.	600uA	120 kHz	สายการผลิต, ตรวจสอบการเข้าออก
ASIC#3	256	2 ซม.	6uA	128 kHz	ขนส่งสาธารณะ
ASIC#4	256	0.5 ซม.	<1mA	4 MHz	สายการผลิต,ขนส่งสาธารณะ
ASIC#5	256	<2 ซม.	<1mA	4/13.56 MHz	สายการผลิต
ASIC#6	256	100 ซม.	500uA	125 kHz	ตรวจสอบการเข้าออก
ASIC#7	2048	0.3 ซม.	<10mA	4.91 MHz	ชิปการ์ดแบบไร้การสัมผัส
ASIC#8	1024	10 ซม.	<1mA	13.56 MHz	ขนส่งสาธารณะ
ASIC#9	8	100 ซม.	<1mA	125 kHz	สายการผลิต
ASIC#10	128	100 ซม.	<1mA	125 kHz	ตรวจสอบการเข้าออก

### 2.3.2.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

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

### 2.3.2 เทคโนโลยี Load Modulation

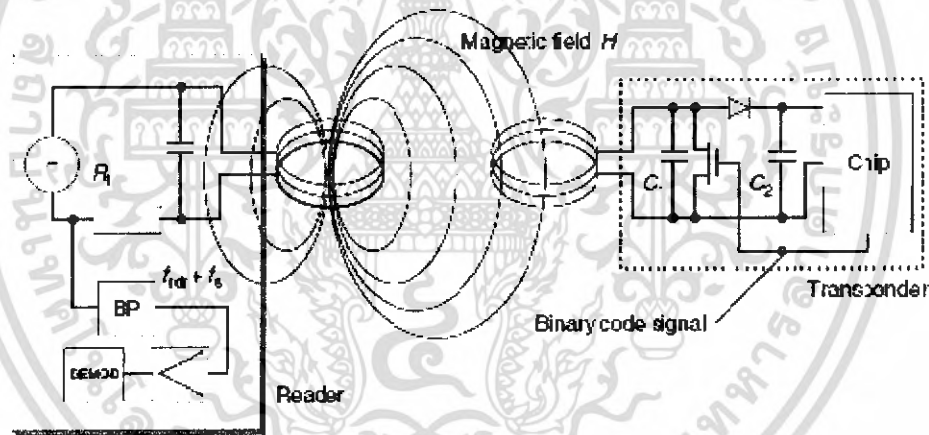
ดังได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่าพฤติกรรมในการส่งพลังงาน และสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่าน และขดลวดของเครื่องลูกข่ายมีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากการทำงานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่อย่างใด หากแต่เพียงตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานเป็นอากาศมิใช่โลหะหรือแท่งแม่เหล็กดังเช่นที่มองเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป อย่างไรก็ตามการใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายห่างกันไม่เกิน 135 กิโลเมตรซึ่งมีความยาวคลื่น 2,400 เมตร ก็จะหมายความว่า จะวางเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่านห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน  $0.16 \times 2,400 = 384$  เมตร

หากมีการนำเครื่องลูกข่าย ซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ(LC) ตรงกันกับค่าความถี่กำหนดของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่การแพร่กระจาย สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน เครื่องลูกข่ายย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำ เพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้ว เครื่องอ่านจะมองเห็นเครื่องลูกข่ายเป็น โหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์  $Z_L$  ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน การเปลี่ยนแปลงใดๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์  $Z_L$  ที่เครื่องอ่านมองเห็นอย่างแน่นอน เนื่องจากในแง่ของวงจรเรโซแนนซ์ที่เกิดจากขดลวด (L) และตัวเก็บประจุ(C) บนเครื่องลูกข่ายย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ตกกระทบ และไม่มีการจ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับความถี่เท่ากับศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลง ค่าอิมพีแดนซ์เสมือน  $Z_L$  นี้ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านโดยปริยาย ซึ่งนี่เองที่เป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมาเรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Load Modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Hair Duplex หรือ Full Duplex นั้นก็สุดแท้แต่การออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณวิ่งเป็นสิ่งที่ลงรายละเอียดไปในการออกแบบและผู้เขียน ไม่ขอนำมากล่าวถึง ที่นี่

### 2.3.3 เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier

เนื่องจากระดับความสามารถในการถ่ายทอด (Coupling) สัญญาณระหว่างขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านค่อนข้างต่ำอันเนื่องมาจากเหตุผลที่ได้กล่าวไปแล้ว การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันสัญญาณที่เกิดขึ้นบนขดลวดของเครื่องอ่าน อันมีผลมาจากกาส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านค่อนข้างต่ำมาก ๆ จนบางครั้งอาจไม่สามารถตรวจจับได้ เป็นผลให้เกิด

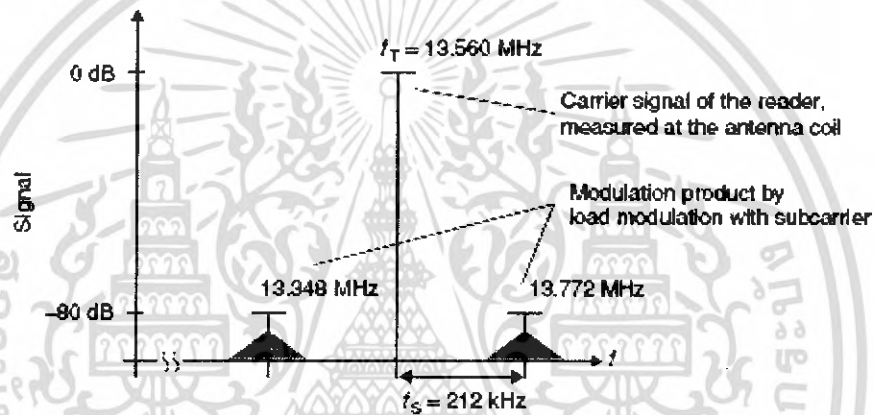
ปัญหาในการส่งข้อมูลในทิศทาง Uplink ในทางปฏิบัติสำหรับระบบ RFID แบบ Inductive Coupling ที่ใช้ความถี่ 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์สมมุติว่ามีแรงดันปรากฏที่ขดลวดของเครื่องอ่านสูงถึง 100 โวลต์ (ที่สูงเช่นนี้เกิดจากการ ปรากฏการณ์กำทอน) จะพบว่าเมื่อมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังเครื่องอ่าน ความเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นเหนือแรงดัน 100 โวลต์ บนขดลวดของเครื่องอ่านจะมีค่าสูงอย่างมากไม่เกิน 10 มิลลิโวลต์ ซึ่งถือว่าต่ำกว่าแรงดันพื้นฐานบนขดลวดถึง 10,000 เท่า หรือหากคิดในแง่ของการออกแบบวงจรเพื่อตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวก็ต้องกล่าว ว่าสัญญาณดังกล่าวมีระดับความแตกต่างระดับตัวสัญญาณจริงกับสัญญาณรบกวนต่ำมาก เพียง 80 เดซิเบลเท่านั้น ที่กล่าวเช่นนั้นก็เพราะโอกาสที่จะเกิดสัญญาณรบกวน เช่นการกระเพื่อมโดยธรรมชาติของแรงดัน ไฟฟ้า 100 โวลต์ ในพิสัย  $\pm 10$  มิลลิโวลต์ เป็นไปได้สูงมาก การใช้เทคโนโลยี Load Modulation โดยทั่วไปย่อมมีโอกาสตรวจจับข้อมูลได้ผิดพลาดง่ายมาก จึงเป็นที่มาของการออกแบบเทคนิค การตรวจจับข้อมูลแบบ Load Modulation with Subcarrier ซึ่งมีหลักการคล้ายคลึงกับการรับวิทยุ AM (Amplitude Modulation) โดยมีตัวอย่างวงจรเครื่องรับและเครื่องลูกข่ายดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างวงจรเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายที่ใช้เทคนิคการตรวจจับสัญญาณข้อมูลแบบ Load Modulation with subcarrier

เนื่องจากปัญหาในเรื่องของขนาดแรงดันสัญญาณข้อมูลที่ต่ำมากๆ ทำให้ต้องออกแบบวงจรตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ซับซ้อนและมีต้นทุนสูงมากจึงมีการปรับปรุงรูปแบบการตรวจจับสัญญาณโดยใช้เทคนิค Load Modulation with subcarrier ซึ่งในวิธีที่การส่งข้อมูลจำนวนมากๆซึ่งหาคมองในแง่ของการเครื่องอ่านย้อนกลับมายัง เครื่องลูกข่าย จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าด้วยความถี่ค่าหนึ่งสมมติว่าเป็น  $f_s$  ในกรณีนี้จะพบว่าพฤติกรรมในการส่งข้อมูลจากเครื่อง

ลูกข่ายมายังเครื่องอ่านไม่ต่างจากการส่งกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุแบบ AM แต่อย่างใด กล่าวคือมีความต้องการส่งข้อมูลข่าวสารในแบนด์วิดท์ช่วง  $f_s$  ว่าเป็นค่าความถี่ต่ำโดยใช้ความถี่คลื่นพาหะที่เป็นความถี่สูงกว่ามากๆ ซึ่งในกรณีของ อุปกรณ์ FRID นั้นก็คือความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายนั่นเอง หากมีการนอปรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ซึ่งมีคุณสมบัติในการรวมสัญญาณ ดังเช่นที่ใช้กันในเครื่องรับ-ส่ง คลื่นวิทยุมาต่อในวงจรภายในเครื่องลูกข่าย ก็จะทำให้เกิดการรวมอนุผลสัญญาณ ทำให้ปรากฏคลื่นความถี่ไซด์แบนด์ (Sideband) หรือความถี่ข้างเคียง อันมีค่าเท่ากับ  $f_T + f_s$  และ  $f_T - f_s$  โดย  $f_T$  ก็คือความถี่ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน และเครื่องลูกข่าย FRID นั้นเอง รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2.7

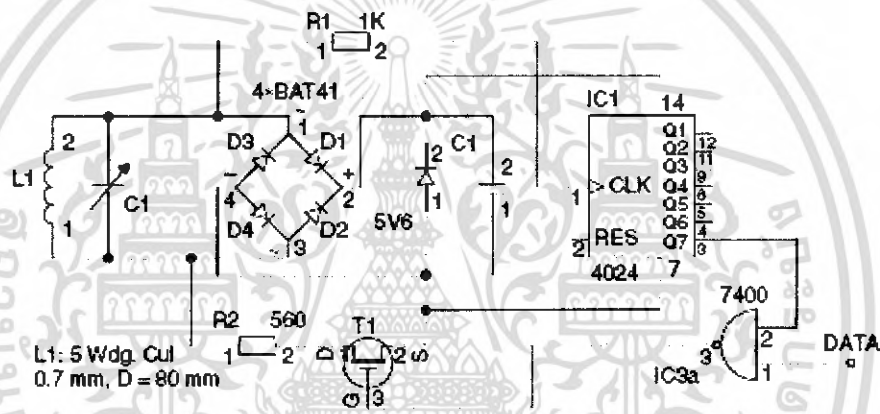


รูปที่ 2.7 สัญญาณข้อมูลที่ถูกบรรจุอยู่ในไซด์แบนด์ของความถี่พื้นฐาน ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย RFID

เมื่อเป็นเช่นนี้ การตรวจจับสัญญาณที่ปรากฏบนเครื่องอ่านก็จะง่ายขึ้น โดยเพียงแค่ทำการติดตั้งอุปกรณ์แยกรองความถี่ (Bandpass Filter) ที่ขดลวดของเครื่องอ่านโดยสามารถเลือกเฉพาะสัญญาณในไซด์แบนด์ด้านใดด้านหนึ่งที่ต้องการ ( $f_T \pm f_s$ ) จากนั้นจึงนำสัญญาณที่กรองออกมาไปขยายแล้วทำการดีมอดูเลตก็จะได้สัญญาณข้อมูลที่ส่งออกมาจากเครื่องลูกข่าย โดยไม่มีปัญหาการผิดพลาดจากการตรวจจับ และไม่ต้องใช้วงจรตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ซับซ้อนอีกแต่อย่างใด และเนื่องจากข้อมูลที่มีการส่งออกมาจากเครื่องลูกข่ายไปยังเครื่องอ่าน แท้จริงแล้วเป็นลำดับข้อมูลแบบไบนารีที่สถานะเพียง “1” หรือ “0” จึงสามารถเลือกใช้รูปแบบการมอดูเลตสัญญาณ

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

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความถี่ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่านทำให้ต้องมีการกันแบนด์วิดท์สำหรับการรับส่งข้อมูลไว้ค่อนข้างสูงดัง ตัวอย่างในรูปที่ 4.5 ซึ่งต้องกันแบนด์วิดท์รอบความถี่พื้นฐานมากถึง 212 กิโลเฮิร์ตซ์ทำให้ไม่สามารถใช้เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier ได้กับระบบ RFID ที่ใช้ความถี่ต่ำในการสื่อสารข้อมูลข้อกำหนดมาตรฐาน RFID จึงระบุว่าสามารถใช้เทคโนโลยี ดังกล่าวได้เฉพาะ กับมาตรฐาน RFID แบบ Inductive Coupling ที่ความถี่ 6.78 เมกะเฮิร์ตซ์, 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ และ 27.125 เมกะเฮิร์ตซ์เท่านั้น รูปที่ 2.8 เป็นตัวอย่างวงจรจริงที่ใช้ในการสร้างสัญญาณไซด์แบนด์บนอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย



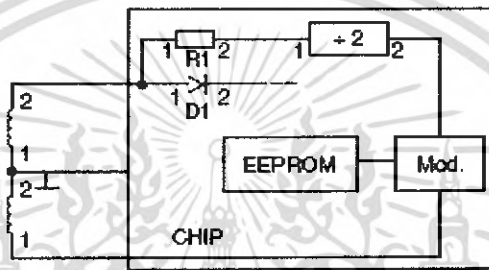
รูปที่ 2.8 วงจรที่ใช้สำหรับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบ Load Modulation with Subcarrier ติดตั้งอยู่ในเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling

### 2.3.4 เทคโนโลยี Subharmonic Procedure

เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในกรณีที่ใช้งานระบบ RFID ในย่านความถี่ และไม่สามารถนำเทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier มาใช้งานได้ เทคโนโลยีเป็นการนำสัญญาณข้อมูลที่เครื่องลูกข่ายต้องการส่งกลับไปยังเครื่องอ่านมาทำการป้อนผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีการทำงานแบบไม่มีเชิงเส้น เพื่อทำให้เกิดการกระจายสัญญาณออกเป็นสัญญาณฮาร์โมนิกย่อยๆ หรืออาจใช้การป้อนกลับสัญญาณที่ต้องการจะส่งออกไปผ่านวงจรความถี่ เพื่อให้เกิดสัญญาณข้อมูลที่บรรจุข้อมูลข่าวสารเหมือนสัญญาณต้นฉบับ แต่มีความถี่ลดลง 2 เท่า จากนั้นจึงนำสัญญาณใหม่ที่มีความถี่

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ด้านล่างนี้ไปผ่านเข้าสู่วงจรภาคมอดูเลตสัญญาณ เพื่อป้องกันเข้าสู่ขดลวดของเครื่องลูกข่ายให้มีการส่งผ่านอากาศกลับไปยังเครื่องอ่านโดยทั่วไป แล้วมักนิยมใช้เทคโนโลยี Subharmonic procedure กับระบบ RFID ที่ย่านความถี่ 128 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งข้อมหมายหมายความว่าเครื่องลูกข่ายชนิดนี้จะส่งสัญญาณข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่านที่ความถี่ครึ่งหนึ่ง คือ 64 กิโลเฮิร์ตซ์ การแยกแยะสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายกับแรงดันไฟฟ้าที่ล้นปรากฏขึ้นที่ขดลวดสายอากาศของเครื่องรับสามารถทำได้ง่าย โดยการใช้วงจรแยกกรองความถี่ เช่นเดียวกับในกรณีของเทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier



รูปที่ 2.9 โครงสร้างวงจรรายในอย่างง่ายของเครื่องลูกข่าย RFID ที่ทำงานแบบ Subharmonic procedure

รูปที่ 2.9 เป็นตัวอย่างวงจรรายในอย่างง่ายของเครื่องลูกข่ายแบบ Subharmonic procedure โดยมีการแยกขดลวดสายอากาศออกเป็นสองส่วน มีแท็ปกลาง (Center Tap) เป็นตัวแยกสัญญาณจากขดลวดด้านบน จะถูกดึงไปกรองเป็นแรงดันนำที่เล็กลงเพื่อป้อนให้กับไมโครชิปบนเครื่องลูกข่าย ในขณะที่สัญญาณซึ่งผ่านการหารความถี่ครึ่งหนึ่งจากความถี่ใช้งาน ที่ได้รับจากเครื่องอ่านนั้นจะถูกนำไปมอดูเลตกับข้อมูลที่มีการส่งออกมาจากไมโครชิป (ในที่นี้คือ EEPROM) แล้วป้อนกลับเข้าสู่ขดลวดด้านล่าง เพื่อส่งย้อนไปยังเครื่องลูกข่าย

### 2.3.5 เทคโนโลยี Electromagnetic backscatter Coupling

ในกรณีที่มีการใช้งานระบบ RFID ในระยะหวังผลที่ไกลกว่า 1 เมตรขึ้นไประยะห่างที่ห่างมากขึ้นระหว่างเครื่องลูกข่าย และเครื่องอ่าน จะทำให้เกิดการลดทอนประสิทธิภาพในการรับส่ง

สัญญาณโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการป้อนพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย ในกรณีนี้มักเรียก รูปแบบของระบบ RFID ดังกล่าว RFID พิสัยไกล (Long- Rang system) ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้ความถี่ในย่าน UHF (ultra-high Frequency) ึ่งเทียบเท่ากับความถี่ย่าน 868 เมกะเฮิร์ตซ์ในทวีปยุโรป และ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ในสหรัฐอเมริกา อีกทั้งในบางกรณียังรวมไปถึงการใช้ความถี่ในย่านไมโครเวฟอันได้แก่ 2.5 กิกะเฮิร์ตซ์ และ 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์อีกด้วยคลื่นความถี่ในย่านวิทยุเหล่านี้จัดเป็นคลื่นความถี่สูง มีค่าความยาวคลื่นสั้น ก่อให้เกิดผลดีในการออกแบบระบบสายอากาศที่มีขนาดเล็ก และยังมีสมรรถนะในการรับส่งสัญญาณที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับการใช้งานระบบ RFID ในย่านความถี่ต่ำกว่า 30 เมกะเฮิร์ตซ์ ประเด็นสำคัญก็คือจะออกแบบระบบอย่างไรเพื่อให้นั่นใจว่าเครื่องลูกข่าย RFID จะยังได้รับพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาจากคลื่นความถี่จากเครื่องอ่านในระดับที่พอเพียงจะสามารถทำงานได้โดยปกติ

เรื่องนี้คงต้องเริ่มต้นจากการพิจารณาสมการอธิบายพฤติกรรมการแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุ โดยสมมติให้ตัวกลางในการส่งกระจายเป็นอากาศเปิด ซึ่งมีค่าการลดทอนสัญญาณแบบมาตรฐาน หรือ Free Space loss path loss แทนค่าเป็น  $a_p$  โดยค่าการลดทอนสัญญาณแปรผันโดยตรงกับระยะห่าง  $r$  ระหว่างสายอากาศของเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน อัตราขยายกำลัง (GT) ของสายอากาศเครื่องลูกข่าย อัตราการขยายกำลัง (GR) ของสายอากาศเครื่องอ่าน และความถี่  $f$  ที่ใช้งาน ตามสมการต่อไปนี้

$$a_p = -147.6 + 20 \log(r) + 20 \log(f) - 10 \log(G_T) - 10 \log(G_R)$$

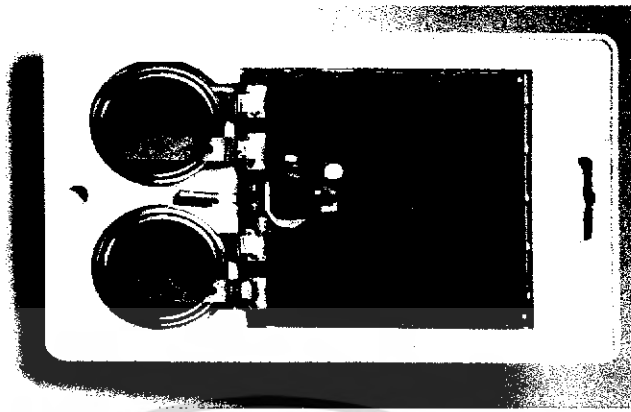
เมื่อนำสมการดังกล่าวมาคำนวณง่ายๆ โดยประเมินว่าไมโครชิปที่อยู่ภายในเครื่องลูกข่ายจะทำงานได้โดยปกติต้องได้รับพลังงานไฟฟ้าป้อนเข้าประมาณ 5 ไมโครวัตต์ หากคิดว่าวงจรเรกติไฟร์ซึ่งทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาจากคลื่นความถี่ที่รับได้ ณ สายอากาศของเครื่องลูกข่ายมีเสถียรภาพในการไฟ (หมายความว่าเชื่อใจได้ว่ากรองได้ราบเรียบมากน้อยเพียงใด) ประมาณ 5-25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำงานในย่านความถี่ UHF และไมโครเวฟ และคิดว่ามีความสูญเสียในระบบกรองแรงดันไฟฟ้าของเครื่องลูกข่ายถึง 90 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นค่าปกติ ก็เท่ากับว่าจะต้องมีพลังงานไฟฟ้ามาปรากฏอยู่ที่สายอากาศของเครื่องลูกข่าย ( $P_r$ ) อย่างน้อย 50 ไมโครวัตต์ ซึ่งเมื่อคิดย้อนสมการกลับไปคำนวณหาค่าพลังงานที่จะต้องส่งออกมาจากสายอากาศของเครื่องรับ ( $P_t$ ) ก็จะพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.5 วัตต์ เป็นอย่างน้อย ซึ่งการที่จะสรุปว่าระบบ RFID จะทำงานได้โดยเสถียรภาพนั้นจะต้องอยู่บนเงื่อนไขที่ว่าค่าการลดทอนสัญญาณของอากาศที่ใช้เป็นตัวกลางไม่ควรมีค่าเกินกว่า 40 เดซิเบล (คำนวณจาก  $P_r/P_t = 10 \log ) 10,000/1$

ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการลดทอนสัญญาณของอากาศเปิด กับระยะทางและการแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุในย่านความถี่ต่างๆ

ระยะทาง ( r )	868 MHz	915 MHz	2.45 GHz
0.3 m	18.6 dB	19.0 dB	27.6 dB
1.0 m	29 dB	29.5 dB	38.0 dB
3.0 m	38.6 dB	39.0 dB	47.6 dB
10.0 m	49.0 dB	49.5 dB	58.0 dB

2.3.5.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

ข้อมูลในตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าการใช้คลื่นความถี่ย่านต่างๆ ในการรับส่งสัญญาณระหว่างเครื่องลูกข่ายเครื่องอ่าน RFID นั้นมีข้อจำกัดในเรื่องระยะทาง ซึ่งจะต้องควบคุมมิให้ค่าการลดทอนสัญญาณของอากาศมีเกินกว่า 40 เดบีเบล นั้นหมายความว่าหากใช้ความถี่ย่าน 868 เมกะเฮิร์ตซ์ ระยะห่างสูงสุดที่ยอมให้มีได้ระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน RFID จะต้องไม่เกินกว่า 3 เมตร ซึ่งในทางใช้ความถี่สูงขึ้นเป็น 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ ระยะทางก็จะลดลงเป็นไม่เกิน 1 เมตร ซึ่งในทางปฏิบัติถือว่าเป็นเรื่องเสี่ยงมาก เนื่องจากการประยุกต์ใช้งานระบบ RFID ที่ต้องการระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่าย REID แบบ Electromagnetic Backscatter Coupling ขึ้น เพื่อให้สามารถใช้งานอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายประเภทนี้ที่ไม่มีอะไรมาก เพียงแต่ทำการติดตั้งแบตเตอรี่สำหรับใช้ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับไมโครชิปบนเครื่องลูกข่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยไมโครชิปได้รับการออกแบบมาให้ช่วยประหยัดการดึงกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ โดยกำหนดให้เข้าโหมดการประหยัดไฟทันทีที่อยู่บนพื้นที่ หรืออยู่ห่างไกลจากเครื่องอ่านจนไม่ได้รับสัญญาณใดๆ และจะกลับสู่สภาพทำงานอีกครั้ง เมื่อตรวจจับสัญญาณจากเครื่องอ่านได้ แบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องลูกข่ายจะมีหน้าที่เพียงป้อนแรงดันไฟเลี้ยงให้กับไมโครชิปเท่านั้นแต่ไม่ได้ถูกใช้ไปสำหรับการส่งสัญญาณข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน



รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Electromagnetic backscatter coupling มีการติดตั้ง แบตเตอรี่ไว้สำหรับจ่ายไฟให้กับไมโครชิป

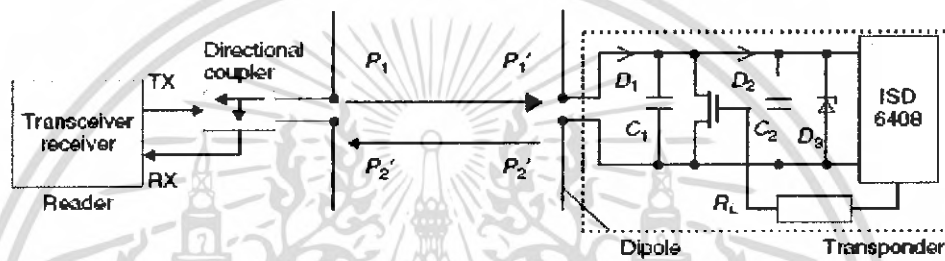
### 2.3.5.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

เทคนิคที่ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูล จากเครื่องลูกข่ายกลับไปยังเครื่องอ่านในกรณีนี้ จะใช้เทคโนโลยีเดียวกันกับที่ใช้ในวงการเรดาร์ ซึ่งโดยหลักการทั่วไปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งไป กระทบกับวัตถุต่างๆ จะสะท้อนกลับมายังเครื่องส่งได้ หากวัตถุนั้นมีขนาดใหญ่กว่าครึ่งหนึ่งของค่า ความยาวคลื่น ส่วนที่ว่าจะสะท้อนได้ดีมากหรือไม่ขึ้น ขึ้นอยู่กับ ความสามารถในการสะท้อนสัญญาณ หรือ Reflection Cross-Section ซึ่งเกี่ยวข้องกับความถี่กำทอนของวัตถุนั้นๆ ซึ่งในกรณีของ เทคโนโลยี RFID ก็คือสายอากาศของเครื่องลูกข่ายนั่นเองว่าตรงกับความถี่ของคลื่นตกกระทบหรือไม่

รูปที่ 2.11 แสดงสามารถอธิบายเทคโนโลยีการส่งสัญญาณ โดยใช้เทคโนโลยี Modulated Reflection Cross- section ได้เป็นอย่างดี สมมติให้เครื่องอ่านทำการส่งสัญญาณคลื่นความถี่ วิทยุ  $P_1$  ผ่านสายอากาศออกไปยังเครื่องลูกข่าย สัญญาณส่วนหนึ่งหนึ่งย่อมปรากฏและตกกระทบที่ สายอากาศของเครื่องลูกข่าย สมมติว่ามีขนาดความแรง  $P_1'$  สัญญาณดังกล่าวเป็นสัญญาณความถี่สูง (HF) และถูกนำไปผ่านกระบวนการกรองแรงดันโดยวงจรเรกติไฟร์ด้วยไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  ซึ่งวงจร ส่วนนี้เองที่ทำหน้าเป็นเหมือนสะพานไฟ สำหรับ “จ่าย” หรือ “หยุดจ่ายไฟ” ให้กับไมโครชิปในกรณีที่ เครื่องลูกข่ายอยู่นอกพื้นที่ตรวจสอบ

สัญญาณ  $P_1'$  ส่วนหนึ่งจะสะท้อนสายอากาศของเครื่องลูกข่ายกลับไป โดยอาจมีขนาด ความแรงลดลง เรียกแทนว่าสัญญาณ  $P_2$  ซึ่งเครื่องลูกข่ายจะใช้สัญญาณนี้เองเป็นคลื่นพาหะในการส่ง

ข้อมูลข่าวสารจากไมโครชิปไปยังเครื่องอ่าน โดยในทางปฏิบัติจะติดตั้งโหลด ( $R_L$ ) ไว้บนสายอากาศของเครื่องลูกข่าย เมื่อมีการส่งข้อมูล “0/1” จากไมโครชิปออกไป โหลด  $P_2$  เปลี่ยนแปลงไปตามค่าข้อมูลไบนารีที่ต้องการส่งกลับไปยังเครื่องรับ สัญญาณ  $P_2$  นี้จะเดินทางย้อนผ่านอากาศเปิดกลับไปยังสายอากาศของเครื่องอ่านปรากฏเป็นสัญญาณ  $P_2'$  สัญญาณที่ได้รับนี้จะถูกป้อนผ่านวงจรแยกทิศทางสัญญาณ (Directional Coupler) ที่เครื่องอ่านเพื่อป้อนเข้าสู่ภาครับของเครื่องอ่าน ทั้งนี้ค่าสัดส่วนระหว่างสัญญาณ  $P_1 / P_2$  นั้นค่าสำคัญที่จะกำหนดความเร็ว และความเที่ยงตรงในการส่งข้อมูลข่าวสาร โดยสามารถคำนวณได้จากสมการการทำงานของเรดาร์โดยทั่วไป



รูปที่ 2.11 หลักการทำงานส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย RFID ไปยังเครื่องอ่าน โดยใช้เทคโนโลยี Modulated Reflection Cross-Section

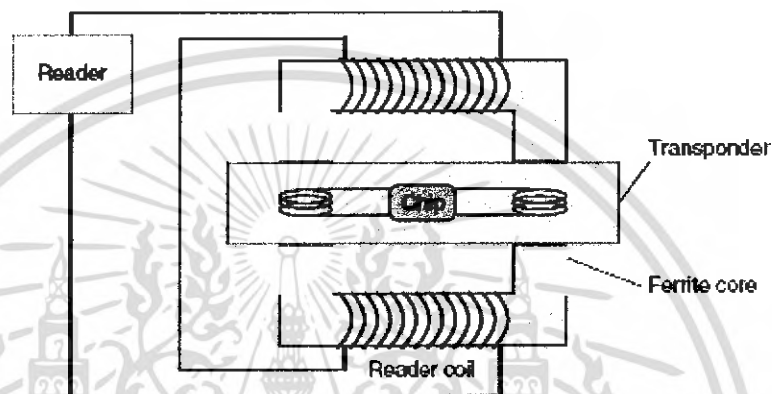
### 2.3.6 เทคโนโลยี Close Coupling

เป็นเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปยังเครื่องอ่าน RFID ในระยะทางสั้นๆ ช่วง 0.1 ถึง 1 เซนติเมตร โดยในทางปฏิบัติจะพบมากในกรณีของระบบขนส่งมวลชน เช่น ระบบรถไฟฟ้า MRT ในประเทศไทย วังผู้โดยสารหีบบัตรพลาสติกซึ่งเป็นเครื่องลูกข่าย RFID ลักษณะนี้ไปแตะหรือจ่อกับเครื่องอ่าน เพื่อให้เครื่องอ่านตรวจสอบหมายเลขบัตร หรือบางระบบอาจมีการเขียนอ่านข้อมูลวงเงินคงเหลือ ก่อนจะพิจารณาว่าอนุญาตให้ผู้โดยสารผ่านเข้าสู่ระบบขนส่งมวลชนหรือไม่ ในทางเทคนิคนิยมเรียกรูปแบบการใช้งานแบบนี้ว่า “Touch & Go”

#### 2.3.6.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เมื่อมีการสอดหรือวางบัตรพลาสติกที่เป็นเครื่องลูกข่าย RFID ชนิดนี้เข้าไปในหรืออยู่บนเครื่องอ่าน ในทางเทคนิคจะหมายถึงการวางตำแหน่งของขดลวดของเครื่องลูกข่าย ให้อยู่ในระยะทำการ โดยมีอากาศเป็นตัวกั้นระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านในระยะสั้นๆ เท่านั้น ตัวอย่างดังแสดง

ในรูปที่ 2.12 ในกรณีที่ขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะเป็นดังเช่นขดลวดขดขุติขุติขุติ เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ภายในเครื่องอ่านจะมีการกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง เพื่อป้อนผ่านขดลวดขดขุติขุติขุติ ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กความเข้มสูงเหนี่ยวนำผ่านช่องว่าง ของอากาศไปทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นบนขดลวดขดขุติขุติขุติบนเครื่องลูกข่าย ก่อให้เกิดการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ไมโครชิป



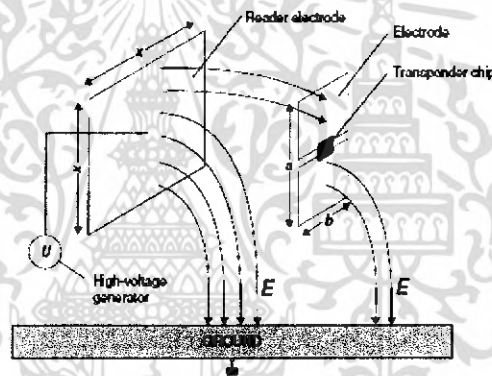
รูปที่ 2.12 รูปแบบการสัมผัสของบัตรพลาสติกที่เป็นเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling กับเครื่องอ่าน

เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้า ที่จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นบนขดลวดขดขุติขุติขุติมีค่าแปรผันโดยตรงกับความถี่ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยามกำหนดความถี่ใช้งานให้สูงที่สุดเท่าที่เทคโนโลยีจะสามารถรองรับได้ ซึ่งในปัจจุบันได้แก่ความถี่ในย่าน 1 ถึง 10 เมกะเฮิร์ตซ์ นอกจากนี้ยังมีการเลือกใช้วัสดุประเภทเฟอร์ไรท์มาทำเป็นแกนสำหรับพันขดลวดของเครื่องอ่านเนื่องจากเฟอร์ไรท์มีค่าความสูญเสียของการนำพาสนามแม่เหล็กต่ำกว่าวัสดุประเภทอื่นๆ และเนื่องจากคุณสมบัติที่ดีที่สุดในการถ่ายทอดพลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling หรือ เทคโนโลยี RFID ที่ใช้คลื่นไมโครเวฟ เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารเทคโนโลยีแบบ Close Coupling จึงได้รับความนิยมมากที่สุด สำหรับเครื่องลูกข่ายที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงๆ เพื่อป้อนให้กับไมโครชิป ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถกำลังให้กับไมโครชิปที่กินไฟมากถึง 10 มิลลิวัตต์ได้อย่างไม่มีปัญหาใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้มีการวางข้อกำหนดทางกลศาสตร์และทางไฟฟ้าของแผ่นเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling ไว้ตามมาตรฐาน ISO10536

### 2.3.6.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling มายังเครื่องอ่านนั้นสามารถทำได้ด้วย 2 วิธีด้วยกัน คือใช้เทคโนโลยี Load Modulation with Subcarrier ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในกรณีมาตรฐานแบบ Inductive Coupling หรืออาจใช้เทคโนโลยี Capacitive Coupling ซึ่งอาศัยประโยชน์จากระยะห่างที่ค่อนข้างสั้นระหว่างขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน โดยมีการติดตั้งแผ่นตัวเก็บประจุ (Plate Capacitor)

ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ทั้งที่บัตรพลาสติกบนเครื่องลูกข่าย และบนเครื่องอ่าน ในลักษณะที่ให้หน้าสัมผัสคัปปลิง (Coupling Surface) ของทั้งเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านอยู่ในแนวกันในยามที่มีการสัมผัสหรือสอดเครื่องลูกข่ายเข้าไปในเครื่องอ่าน แล้วให้การเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเป็นตัวผ่านข้อมูลจากไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายผ่านสนามไฟฟ้าไปสู่เครื่องอ่าน



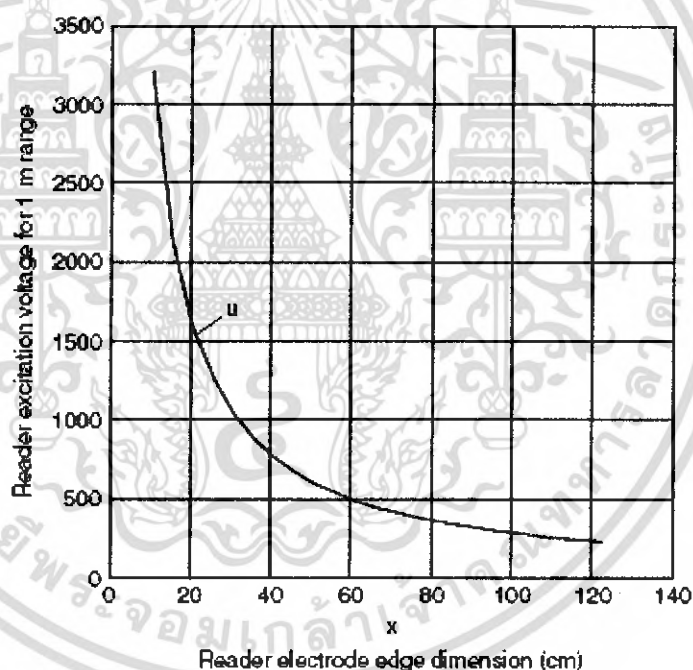
รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างและการทำงานของระบบ RFID แบบ Electrical Coupling

### 2.3.7 เทคโนโลยี Electrical Coupling

เป็นเทคโนโลยี RFID ชนิด Full Duplex/Half Duplex อีกประเภทหนึ่งที่ใช้หลักการสร้างสนามไฟฟ้า (Electric field ในระยะทางใกล้ๆ สายอากาศของเครื่องอ่านซึ่งออกแบบให้มีลักษณะเป็นแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ ในการสร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เกิดขึ้นบนสายอากาศของเครื่องลูกข่ายที่มีการจัดสร้างเป็นแผ่นอิเล็กทรอนิกส์เช่นเดียวกัน

### 2.3.7.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

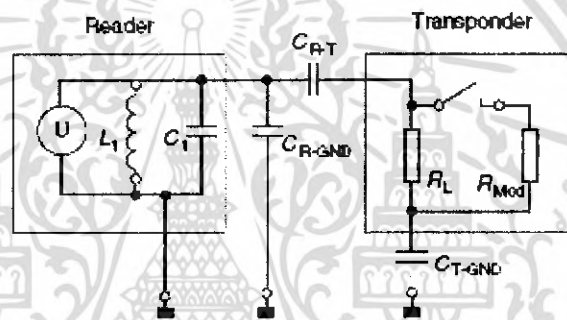
จากรูปที่ 2.14 เครื่องอ่านได้รับการออกแบบให้เชื่อมกับสายอากาศที่มีลักษณะเป็น อิเล็กโทรดขนาดใหญ่ โดยทั่วไปมักจะทำจากแผ่นโลหะหรือแผ่นฟลอยด์โลหะ จากนั้นจึงทำการป้อน แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงเข้าสู่แผ่นอิเล็กโทรด เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของแผ่น อิเล็กโทรดที่มีค่าความเหนี่ยวนำภายใน (L) และค่าคาปาซิแตนซ์ (เทียบได้กับตัวเก็บประจุระหว่างแผ่น อิเล็กโทรดกับกราวด์หรือพื้นดิน) จึงทำให้เกิดวงจรเสมือนของแผ่นอิเล็กโทรดที่เทียบได้กับวงจร LC ซึ่งมีความถี่กำทอน (Resonant Frequency) เป็นคุณสมบัติประจำตัว หากทำการป้อนสัญญาณ แรงดันไฟฟ้าที่ความถี่ตรงกันกับความถี่กำทอนของแผ่นอิเล็กโทรด ก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏขึ้น บนแผ่นอิเล็กโทรดนั้น มีระดับสูงขึ้นมากอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ ซึ่งเป้าหมายในการ ใช้งานจริงมักกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าบนแผ่นอิเล็กโทรดกับกราวด์ที่อยู่รอบๆ



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต้องผลิตขึ้นบนแผ่นอิเล็กโทรดของ เครื่องอ่าน RFID

เมื่อนำเครื่องลูกข่ายที่ได้รับการออกแบบให้มีสายอากาศ 2 ชุด เป็นแผ่นอิเล็กโทรดขนาด เล็กกว่า เข้ามาอยู่ในพื้นที่ใช้งานอันมีสนามไฟฟ้าจากเครื่องอ่านปรากฏอยู่จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้

เกิดการต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง อิเล็กโทรดแผ่นบนแผ่นล่างของเครื่องลูกข่ายดังแสดงในรูป 4.13 ก่อให้เกิดกระแสไหลเวียน อยู่ในวงจรของเครื่องลูกข่ายเพื่อไปเลี้ยงให้กับไมโครชิป รูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นถึงความระดับแรงดันไฟฟ้าที่เครื่องอ่าน จะต้องสร้างขึ้นเพื่อให้เพียงพอที่จะเหนี่ยวนำจนทำให้เกิดแรงดัน ไฟฟ้าพอเพียงแก่เครื่องลูกข่ายที่อยู่ห่างจากแผ่นอิเล็กโทรดที่เครื่องอ่านประมาณ 1 เมตร โดยกำหนดว่าแผ่นอิเล็กโทรดของเครื่องลูกข่ายมีขนาดประมาณ  $4.5 \times 7$  เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานของแผ่น Smartcard ทั่วไปใช้ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ 125 กิโลเฮิร์ตซ์ จะเห็นว่ายิ่งขนาดของแผ่นอิเล็กโทรดของเครื่องอ่านมีขนาดเล็กลงเท่าไร ก็ยิ่งต้องทำให้มีแรงดันไฟฟ้าปรากฏบนแผ่นอิเล็กโทรดสูงขึ้นเท่านั้น จึงเป็นสาเหตุที่นิยมออกแบบให้เครื่องอ่านมีอิเล็กโทรดขนาดใหญ่เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานในการส่งออก



รูปที่ 2.15 วงจรสมมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน RFID แบบ Electrical Coupling

รูปที่ 2.15 แสดงวงจรสมมูล (Equivalent Circuit) ของการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายโดยเครื่องอ่านกำเนิดแรงดันไฟฟ้าด้วยเครื่องแรงดัน  $U$  ความถี่  $f$  โดยแผ่นอิเล็กโทรดของเครื่องอ่านแสดงพฤติกรรมของวงจรเรโซแนนซ์  $L_1$  และ  $C_1$  อากาศซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายมีคุณสมบัติเป็นตัวเก็บประจุค่า  $C_{R-T}$  โดยมีค่าคาปาซิแตนซ์ระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดของเครื่องอ่านกับกราวด์  $C_{R-GND}$  และคาปาซิแตนซ์ระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดของเครื่องลูกข่ายกับกราวด์  $C_{T-GND}$  ส่วน  $R_L$  เป็นค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่าย ซึ่งตามวงจรสมมูลนี้จะมีลักษณะเป็นวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider Circuit) โดยแรงดันสุดท้ายที่จะเกิดขึ้นบนเครื่องลูกข่ายซึ่งก็คือแรงดันตกคร่อม  $R_L$  จะมีค่าขึ้นอยู่กับสัดส่วนของแรงดันที่แบ่งระหว่าง

ค่าอิมพีแดนซ์ของ  $C_{R-T}$  และ  $R_L$  นั้นเอง สมการดังกล่าวจึงเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับใช้คำนวณหาระดับแรงดัน ที่เหมาะสมในการกระตุ้นให้ไมโครชิป บนเครื่องลูกข่ายทำงานได้อย่างถูกต้อง

### 2.3.7.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

เมื่อการนำเครื่องลูกข่ายมาไว้ในพื้นที่ใช้งาน อันหมายถึงบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าจากแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องอ่านปรากฏอยู่ จะมีผลทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่าย ( $R$ ) มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความถี่กำหนด โดยมีการแบ่งแรงดันไฟฟ้าผ่านมาทางค่าคาปาซิแตนซ์  $C_{R-T}$  ดังแสดงในรูปที่ 2.15 อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์  $R_{Mod}$  ซึ่งเครื่องลูกข่ายใช้ในการส่งสัญญาณไบนารีที่เป็นข้อมูลป้อนกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยผ่านทางทรานซิสเตอร์เพื่อเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์  $R_{Mod}$  ซึ่งจะทำให้พฤติกรรมการสะท้อนสัญญาณผ่านทางวงจรแบ่งแรงดันมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเช่นเมื่อเครื่องลูกข่ายต้องการส่งข้อมูลไบนารีใดบิตหนึ่งที่มีค่าเป็น “0” ก็จะทำให้การเปิดวงจรเพื่อเพิ่มค่า  $R_{Mod}$  ในกรณีที่ต้องการส่งบิตข้อมูลที่มีค่า “1” ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่ายลดลง ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการมอดูเลตสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุจากการเปลี่ยนแปลงอินพุตอิมพีแดนซ์นี้ โดยทำให้เกิดผลการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดัน และสามารถตรวจจับได้ที่แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องอ่านซึ่งก็คือสายอากาศภาครับนั่นเอง ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้ก็จัดได้ว่าเป็นการส่งข้อมูลแบบ Load Modulation ประเภทหนึ่ง

### 2.3.7.3 การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่าย

นับตั้งแต่ได้กล่าวมาในตอนต้น อธิบายถึงหลักการในการส่งพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย และกล่าวถึงรายละเอียดถึงการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายัง เครื่องอ่าน ซึ่งถือเป็นการสื่อสารในทิศทาง Uplink สำหรับเทคโนโลยี RFID แบบ Full Duplex /Half Duplex แต่ละประเภท สำหรับการส่งข้อมูลในทิศทาง Downlink จากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่ายนั้นจะใช้วิธีการเดียวกันทั้งสิ้น คือการมอดูเลตสัญญาณที่เครื่องอ่านต้องการส่งไปยังเครื่องลูกข่ายโดยตรง โดยไม่สนใจว่ารูปแบบการสื่อสารนั้นจะเป็นแบบ Full Duplex หรือ Half Duplex และไม่มีประเด็นเกี่ยวข้องกับความถี่ที่ใช้งานทั้งสิ้นสำหรับเทคโนโลยีที่สามารถใช้ในการมอดูเลตสัญญาณในทิศทาง Downlink สามารถทำได้ทั้งแบบ ASK, FSK และ PSK แต่ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดอันเนื่องมาจากความง่ายและสะดวกในการออกแบบ วงจรควบคุมก็คือการมอดูเลตแบบ ASK

## 2.4 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Sequential

มาตรฐาน RFID อีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการส่งข้อมูลจำนวนมากกว่า 1 บิต แต่มีรูปแบบการทำงานที่แตกต่างจากมาตรฐานแบบ Duplexing เพราะว่ามาตรฐานแบบ Sequential มีลักษณะการทำงานเฉพาะตัว กล่าวคือมีการกำหนดช่วงเวลาในการส่งข้อมูลและพลังงานจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องถูกข่าย แยกออกจากช่วงที่เครื่องถูกข่ายทำการส่งข้อมูลกลับมา ซึ่งหมายความว่าเครื่องถูกข่าย RFID ชนิดนี้จะต้องสามารถเก็บรักษาพลังงานไฟฟ้าไว้ภายในตัวเพื่อใช้สำหรับส่งข้อมูล ย้อนกลับมายังเครื่องอ่านได้ โดยสามารถจำแนกรูปแบบการทำงานออกได้เป็น 2 ประเภท คือเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling และ Surface Acoustic Wave Transponder

### 2.4.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling

#### 2.4.1.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

อุปกรณ์เครื่องถูกข่ายที่ใช้ในเทคโนโลยีสื่อสาร Sequential แบบ Inductive Coupling ได้รับการออกแบบให้ใช้งานในย่านความถี่ 135 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยสามารถมองว่าอากาศที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคู่(Coupled) ระหว่างขดลวดรับส่งของเครื่องอ่านและขดลวดของเครื่องถูกข่ายทำหน้าที่เป็นเหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้า ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องถูกข่าย แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ปรากฏขึ้นบนขดลวดของเครื่องถูกข่ายจะถูกนำไปกรองระดับ (Rectify) เพื่อให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับใช้ป้อนให้กับวงจรไฟฟ้า และชิปประมวลผลบนเครื่องถูกข่าย เนื่องจากเครื่องอ่านมีการส่งพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องถูกข่ายเฉพาะช่วงเวลาหนึ่งๆ มิได้ส่งพลังงานตลอดเหมือนดังเช่นมาตรฐาน RFID แบบ Duplexing เครื่องถูกข่ายจึงต้องได้รับการออกแบบให้สามารถเหนี่ยวนำพลังงานในย่านความถี่ใช้งานมากที่สุด ซึ่งในทางปฏิบัติหมายถึงการออกแบบค่าของขดลวดสายอากาศสำหรับเครื่องถูกข่ายให้มีคุณภาพสูงสุด และเพื่อให้สะดวกในการปรับแต่งค่าตัวเก็บประจุในวงจรเรโซแนนซ์ของเครื่องถูกข่ายให้ตรงกับความถี่ใช้งานสูงสุด จึงนิยมออกแบบไมโครชิปบนเครื่องถูกข่ายให้มีค่าตัวเก็บประจุที่สามารถปรับแต่งได้ (On-Chip Trimming Capacitor) ทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้จริงในทางปฏิบัติมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากหลักการทำงานของมาตรฐาน RFID แบบ Sequential ที่เครื่องถูกข่ายจะได้รับการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้า โดยการเหนี่ยวนำผ่านทางคลื่นวิทยุที่ส่งมาจาก เครื่องอ่าน เฉพาะช่วงเวลาหนึ่งๆ เท่านั้น พลังงานที่ได้รับทั้งหมดจะต้องถูกส่งไปประจุ(Charge up)ตัวเก็บประจุภายในวงจรการทำงาน และไม่โครชิปเพื่อทำงานในช่วงที่เครื่องถูกข่ายต้องส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่อง

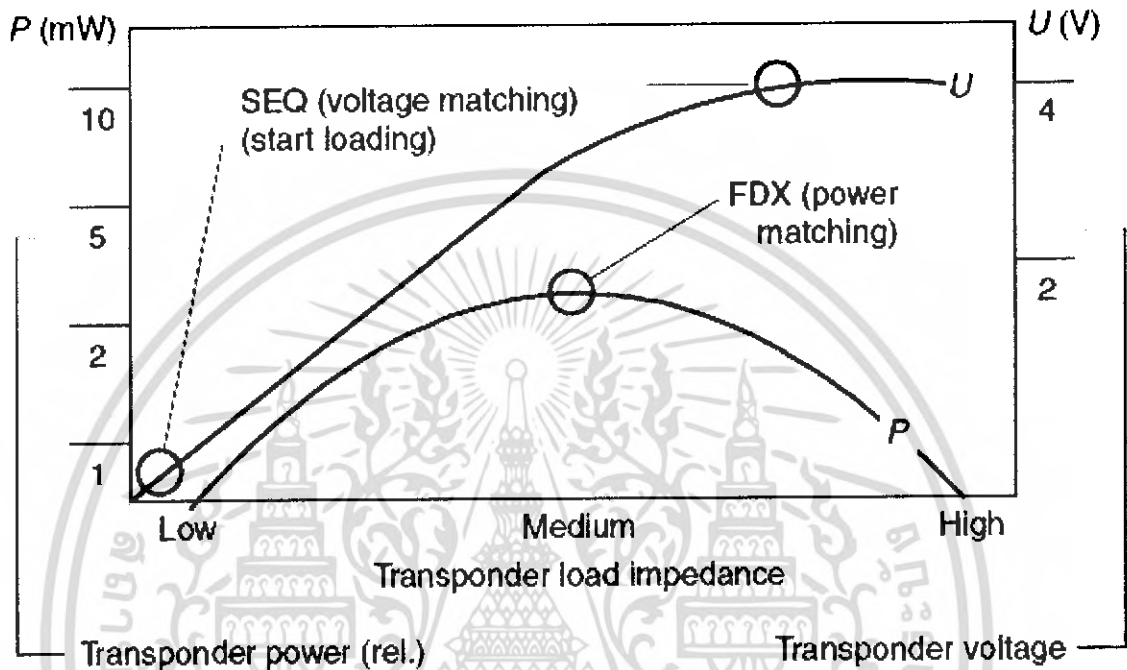
อ่าน และเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับที่ไม่มีการป้อนพลังงานไฟฟ้ามาจากเครื่องอ่านดังนั้นไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายจึงต้องมีความสามารถในการปรับการทำงานเป็นแบบกินไฟน้อย(Stand-by) ในช่วงเวลาที่มีการรับพลังงานไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาจากเครื่องอ่าน และมีการประจุตัวเก็บประจุหลังจาก ช่วงเวลาการเก็บประจุไฟฟ้าผ่านไป ประกอบกับไม่มีการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านอีก ไมโครชิปก็จะปรับการทำงานมาเพื่อพร้อมส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องอ่าน สิ่งสำคัญในการออกแบบเครื่องลูกข่ายก็คือ จำนวนค่าตัวเก็บประจุ ที่สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอสำหรับให้เครื่องลูกข่ายใช้ในช่วงการส่งข้อมูล

โดยที่  $V_{max}$  และ  $V_{min}$  คือระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดที่อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายสามารถทำงานได้  $I$  คือ กระแสไฟฟ้าที่ชิปภายในเครื่องลูกข่ายต้องใช้ในขณะที่ทำงาน และ  $t$  เป็นค่าช่วงเวลาที่เครื่องลูกข่าย ใช้เพื่อการส่งข้อมูลกลับไปให้กับเครื่องอ่าน ดังนั้นหากทดลองแทนค่าตัวอย่างโดยให้  $I = 5 \text{ uA}$  ,  $t = 20 \text{ ms}$ ,  $V_{max} = 4.5 \text{ V}$ ,  $V_{min} = 3.5 \text{ V}$ , จะสามารถคำนวณค่า  $C$  ที่ต้องการใช้ในอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายได้มีค่าเป็น  $C = 100 \text{ nF}$

ความแตกต่างระหว่างมาตรฐาน RFID แบบ Duplexing กับแบบ Sequential โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling เช่นเดียวกันนั้น มีแสดงในรูปที่ 2.16 สำหรับมาตรฐานแบบ Duplexing นั้นเนื่องจากเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายต่างทำการส่งความถี่วิทยุได้ตอบกันตลอดเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน Sequential ที่ค่าโวลตอิมพีแดนซ์ส่วนใหญ่มีผลมาจากค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุบนเครื่องลูกข่ายมีค่าน้อยจนเป็นศูนย์ ในช่วงเริ่มต้นวงจรการส่งข้อมูล (เริ่มจากเครื่องอ่านส่งข้อมูลออกมาก่อน) ทำให้ไม่มีกำลังไฟฟ้า แต่ค่าอิมพีแดนซ์จะค่อยๆเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งขึ้นสูงสุดและ มีผลทำให้แรงดันตกคล่อมวงจรเครื่องลูกข่ายมีค่าสูงสุด เมื่อใกล้ถึงช่วงสิ้นสุดการส่งข้อมูลจากเครื่องอ่าน (ซึ่งตัวเก็บประจุเก็บพลังงานไว้สูงสุด) ในขณะที่มาตรฐานแบบ Duplexing นั้นถือว่าค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเครื่องลูกข่ายมีค่าอยู่ประมาณกึ่งกลางของอิมพีแดนซ์ตามแบบมาตรฐาน Sequential ที่มีการแปรเปลี่ยนค่าขึ้นลงตามวงจรการใช้งาน ส่งผลให้แรงดันสูงสุดที่พึงปรากฏบนวงจรเครื่องลูกข่ายตามมาตรฐาน Sequential สูงกว่าแบบมาตรฐาน Duplexing ประมาณ 2 เท่า ทั้งนี้ถือว่าการเปรียบเทียบนั้นเกิดขึ้นโดยใช้ค่า  $L$  และ  $C$  เดียวกันทุกประการ เพียงแต่เปลี่ยนรูปแบบการทำงานระหว่างแบบ Duplexing กับแบบ Sequential เท่านั้น

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

แบบ Duplexing อย่างไรก็ตามข้อได้เปรียบดังกล่าวก็ด้อยลงมาด้วยความละเอียดอ่อนในการออกแบบ และเลือกใช้อุปกรณ์ประกอบที่นำมาสร้างเป็นวงจรเครื่องลูกข่าย ไม่ว่าจะเป็นการเลือกประเภทของขดลวด สายอากาศ(L) และค่าตัวเก็บประจุ(C) ที่ใช้ทั้งเก็บแรงดันไฟฟ้าและทำงานร่วมกับขดลวดเพื่อเป็น วงจรเรโซแนนซ์ที่กำเนิดสัญญาณคลื่นวิทยุส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน



รูปที่ 2.16 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling สำหรับมาตรฐานแบบ Duplexing กับแบบ Sequential

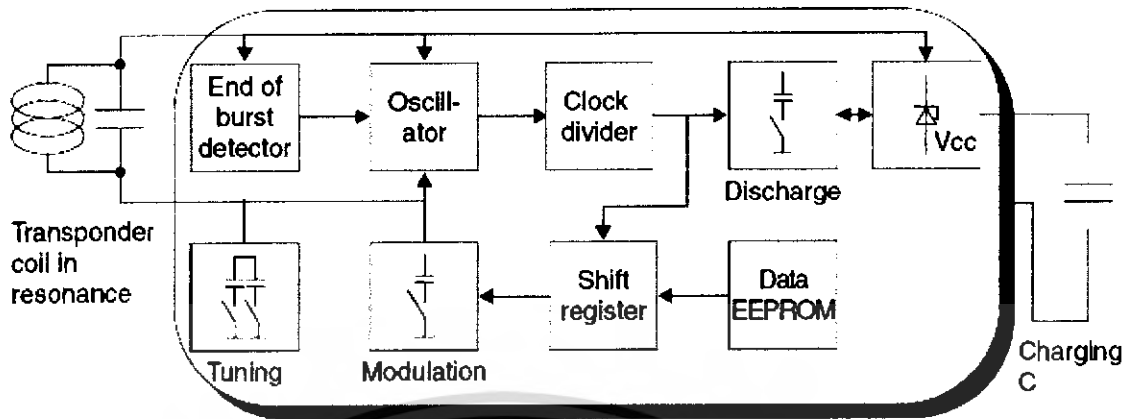
#### 2.4.1.1 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

การทำงานของวงจรไฟฟ้าบนเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลาด้วยกัน คือเมื่อเริ่มมีการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่าย อันมีทั้งการส่งข้อมูลและพลังงานไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่เรียกว่า “ช่วงประจุไฟฟ้า” หรือ Charging Phase ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดประจุไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุ C ดังรูปที่ 5.2 จากที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้าอยู่เลยจนค่อยๆมีไฟฟ้ามากขึ้น และเมื่อสิ้นสุดช่วงของการส่งสัญญาณจากเครื่องอ่าน วงจรถอดรหัสข้อมูลในรูปที่ 2.17 จะตรวจพบการอิมพัลส์ของแรงดันไฟฟ้า บนตัวเก็บประจุ C ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ก็จะสั่งให้วงจรออสซิลเลเตอร์ทำการสร้างสัญญาณความถี่วิทยุเดียวกันกับที่เครื่องอ่านส่ง

มาในช่วงแรก พร้อมกับสั่งให้ไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายเริ่มทำการส่งข้อมูล ข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากไมโครชิปจะถูกนำไปมอดูเลตกับคลื่นความถี่ที่เครื่องลูกข่ายสร้างขึ้น

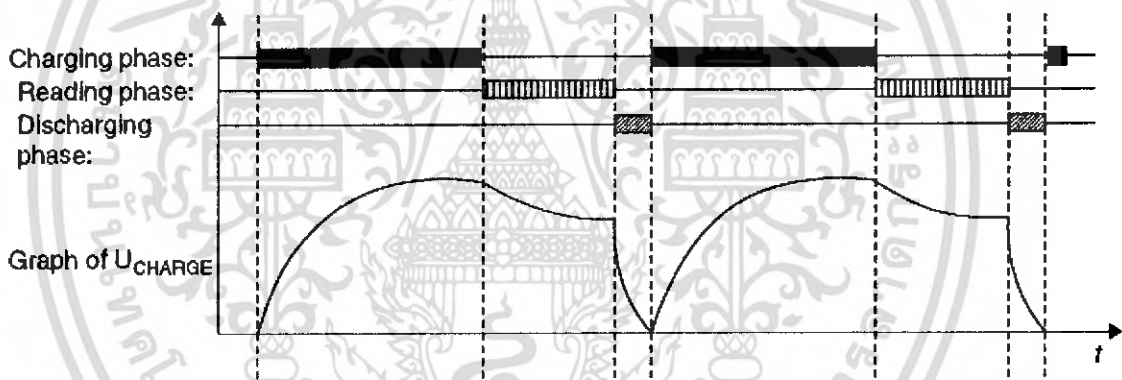
เครื่องอ่านจะตรวจพบระดับความแรงของสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่ ส่งออกมาจากเครื่องลูกข่าย และจะเริ่มค้นรับข้อมูลที่เครื่องลูกข่ายส่งกลับมา เนื่องจากไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายเริ่มมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เก็บสะสมไว้ในตัวเก็บประจุ C เรื่อยๆทำให้เกิดการกินกระแสไฟฟ้าและระดับไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ C ลดลง ซึ่งหากออกแบบขนาดของตัวเก็บประจุไว้ให้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าพอดีกับช่วงเวลาในการส่งข้อมูลก็จะทำให้กระบวนการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปสู่เครื่องอ่านเสร็จสิ้นตรงตามเวลา เรียกช่วงเวลาที่ สอง นี้ว่า “ช่วงการส่งข้อมูล” หรือ Reading Phase หลังจากช่วงเวลานี้ไปแล้ววงจรจะคายประจุ-ไฟฟ้าที่เหลือค้างอยู่บนตัวเก็บประจุ C ออกให้หมดส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏบนเครื่องลูกข่ายมีค่าเป็นศูนย์อีกครั้ง และเป็นกรณีเช่นนี้การทำงานของไมโครชิปให้อยู่ในโหมดเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง

เนื่องจากเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling มาตรฐาน Sequential กำหนดให้เครื่องลูกข่าย ส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยใช้ความถี่วิทยุค่าเดียวกับที่เครื่องอ่านส่งออกมาในช่วงประจุไฟฟ้า เป็นการผลัดกันส่งความถี่ค่าเดียวกัน จึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเอาชนะสัญญาณรบกวน ที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งได้สูงถึง 20 เดซิเบล เมื่อเทียบกับกรณีของ มาตรฐานแบบ Duplexing ซึ่งเครื่องอ่าน และเครื่องลูกข่ายต่างส่งความถี่คนละค่าสวนทางต่อเนื่องกันตลอดเวลา หมายความว่าเมื่อใช้เทคโนโลยีแบบ Sequential แล้วจะทำให้เพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายได้มากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 2.17 โครงสร้างวงจรภายในของเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Sequential ประเภท Inductive Coupling

ข้อมูลจากบริษัท Texas Instrument



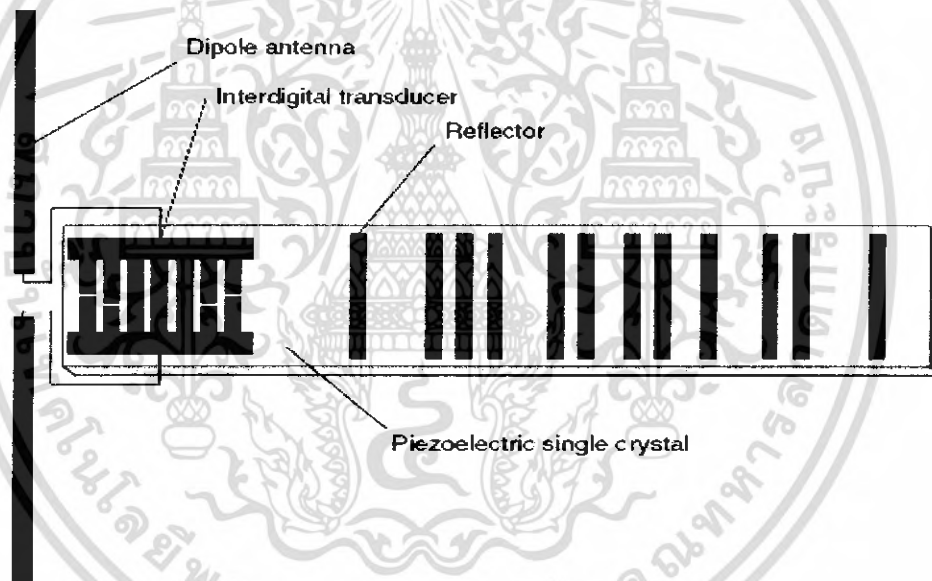
รูปที่ 2.18 แสดงระดับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนตัวเก็บประจุ C ตลอดวงจรการทำงานของเครื่องลูกข่าย RFID มาตรฐาน Sequential

#### 2.4.2 เครื่องลูกข่ายแบบ Surface Acoustic Wave

มีชื่อเรียกย่อๆว่า SAW เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้น โดยอาศัยหลักการ Piezoelectric และการแพร่กระจายของคลื่นความถี่เสียงบนพื้นผิววัสดุ การทำงานของอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกซึ่งผลิตจากการนำผลึกคริสตอลที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ หากมีการเปลี่ยนแปลงในขนาดและรูปร่างของผลึกคริสตอลก็จะมีผลทำให้เกิดอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกผลิตพลังงานไฟฟ้า

ออกมาได้ และในทางกลับกันหากมีการกระตุ้น ผลึกเพียสโซอิเล็กทริกด้วยแรงดันไฟฟ้า ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในรูปร่างและขนาดของผลึกคริสตอลได้ การกระตุ้นเพียสโซอิเล็กทริกทำได้ดีที่ย่านความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งตามมาตรฐานทั่วไปใช้ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์เป็นค่าหลัก

หลักการทำงานของเครื่องลูกข่าย REID แบบ SAW ใช้พฤติกรรมของเพียสโซอิเล็กทริกชนิดดังกล่าว โดยมีการสร้างแผ่นรอง (Substrate) ที่ผลิตขึ้นจากผลึก เพียสโซอิเล็กทริกคริสตอลมาดีเป็นแผ่นบางยาว จากนั้นจึงทำการติดตั้งแถบรหัส เครื่องลูกข่าย (Transducer) และแถบสะท้อนสัญญาณ (Reflector) ริงเป็นแผ่นอิเล็กโทรด ลงบนแผ่นรองซึ่งส่วนใหญ่ผลิตจากวัสดุประเภทลิเทียมไนโอเบต (lithium Niobate) หรือ ลิเทียมแทนทาลเตด (Lithium Tantalate) การติดตั้งแผ่นอิเล็กโทรดกระทำโดยการผ่านกระบวนการ Protolithographic แบบเดียวกับการยิงสารตัวนำบนแผ่นรองในกระบวนการผลิต ไมโครชิปทั่วไป



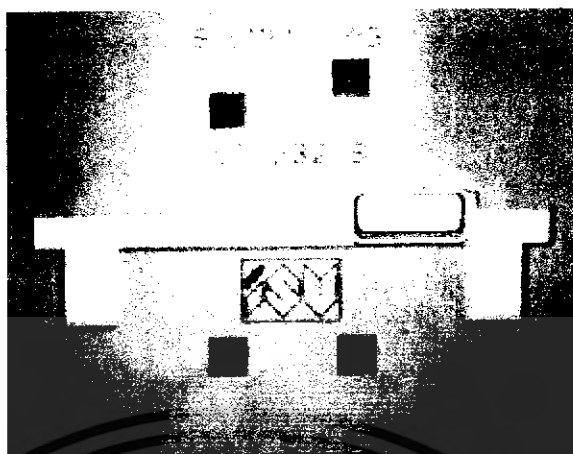
รูปที่ 2.19 โครงสร้างของเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW

รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างของเครื่องลูกข่ายแบบ SAW ซึ่งจะเห็นว่าในส่วนของแถบรหัสเครื่องลูกข่ายมีการจัดวางเป็นลักษณะคล้ายรหัสเรียกว่า Interdigital Transducer ติดตั้งอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งของแผ่นรอง โดยขอบบนและขอบล่างของแถบรหัสจะเชื่อมต่อกับแถบยึด (Bar) ซึ่งเป็น

อิเล็กทรอนิกส์เช่นเดียวกัน และมีการเชื่อมต่อไปยังสายอากาศแบบโคโพลเพื่อคัดสัญญาณคลื่นวิทยุที่ได้รับมาจากเครื่องอ่าน และยังใช้เป็นสายอากาศสำหรับส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องอ่านอีกด้วย ช่องว่างระหว่างปลายของ Interdigital Transducer แต่ละคู่จะเหนี่ยวนำให้เพียโซอิเล็กทริกทำการแปลงสัญญาณไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำมาจากสัญญาณที่ถูกส่งมาโดยเครื่องส่ง ให้อยู่ในรูปของคลื่นพื้นผิว (Acoustic Surface wave) ที่จะเดินทางแพร่กระจายไปบนแผ่นรอง และแปลงคลื่นผิวให้กลับไปอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า

หลักการการทำงานของเครื่องลูกข่าย SAW เป็นดังนี้ เมื่อเครื่องอ่าน ทำการส่งคลื่นความถี่วิทยุมายังเครื่องลูกข่าย FEID แบบ SAW สัญญาณที่ได้รับจะตกกระทบสายอากาศโคโพล พร้อมกับได้รับการแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณไฟฟ้าจะถูกส่งต่อมายังอิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่เป็น Interdigital Transducer ซึ่งจะผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่อยู่ระหว่างช่องว่างของอิเล็กทรอนิกส์ และก่อให้เกิดเป็นคลื่นพื้นผิวซึ่งความถี่ตรงกันกับความถี่คลื่นที่ส่งออกมา จากเครื่องอ่านแพร่กระจายไปตลอดแนวความยาวของแผ่นรอง ซึ่งโดยทั่วไปความเร็วในการแพร่กระจายของคลื่นผิวจะเร็วถึง 3,000 ถึง 4,000 เมตรต่อวินาที ตลอดระยะทางการเคลื่อนที่ของคลื่นพื้นผิวนั้นคลื่นจะวิ่งไปกระทบกับแถบสะท้อน สัญญาณซึ่งเป็นกลุ่มอิเล็กทรอนิกส์วิ่งเรียงไปตามความยาวของแผ่นรอง คลื่นกระทบกับแถบสะท้อนสัญญาณขึ้นไต่ก่อนก็จะสะท้อนสัญญาณตัวแรก ย้อนกลับมาถึง Interdigital Transducer และเกิดการแปลงคลื่นพื้นผิวกลับไปเป็นกระแสไฟฟ้า และส่งผ่านสายอากาศโคโพลไปเป็นคลื่นความถี่วิทยุ วึ่งย่อมต้องเป็นความถี่เดียวกันกับความถี่เครื่องอ่าน ส่งออกมาในช่วงแรกเครื่องอ่านจะได้รับสัญญาณนั่นเองที่จะกำหนดช่วงห่างระหว่างการส่งข้อมูลย้อนกลับ และกลายเป็นรูปแบบข้อมูลไบนารีที่จะใช้ติดต่อกับเครื่องอ่าน

เนื่องจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นพื้นผิวบนแผ่นรองมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยทั่วไปเครื่องอ่าน จะได้รับสัญญาณย้อนกลับมาจากเครื่องลูกข่ายหลักจากที่เครื่องอ่าน ได้ทำการส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุออกไปภายในเวลา 1.5 มิลลิวินาที ซึ่งโดยปกติเครื่องอ่านจะส่งเฉพาะความถี่สั้นๆ ที่เรียกว่า Scanning pulse เพื่อให้ไปตกกระทบกับบรรดาเครื่องลูกข่ายรายงานตัวกลับมา โดยมีรูปแบบเปรียบเทียบได้คล้ายๆ กับการทำงานของระบบเรดาร์ที่ใช้ในกิจการการบินเวลาหนึ่ง 1.5 มิลลิวินาที นับว่าเหมาะสมเพียงพอที่เครื่องอ่านจะใช้กำหนดเงื่อนไข และกลไกการส่งและอ่านข้อมูลได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW (ข้อมูลจาก Siemens AG)

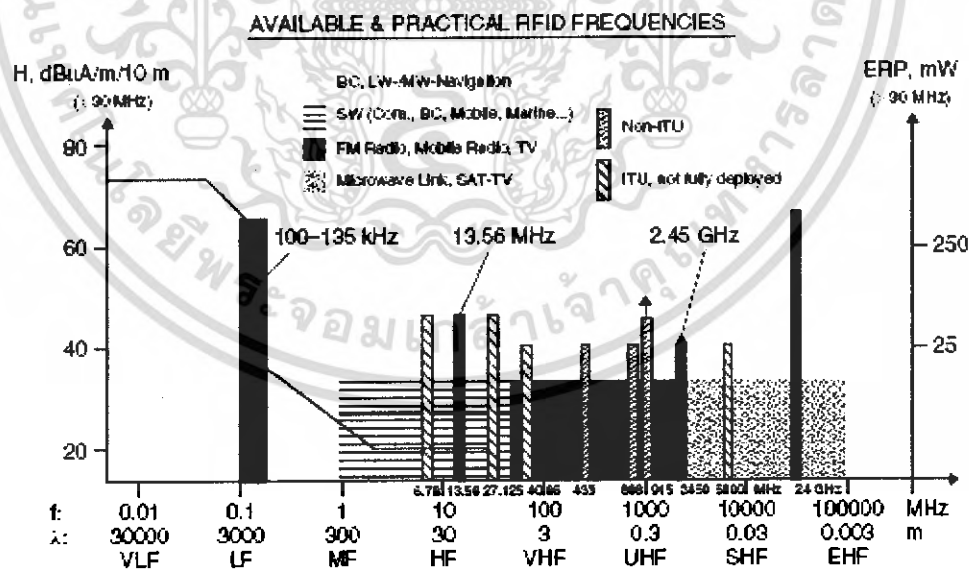
ปริมาณข้อมูลที่สามารถบันทึกไว้บนเครื่องลูกข่ายแบบ SAW นั้นแท้จริงคือจำนวนแถบสะท้อนสัญญาณที่สามารถติดตั้งลงบนแผ่นรองคั่นเอง ในทางปฏิบัติสามารถกำหนดให้เครื่องลูกข่าย แบบ SAW เก็บข้อมูลได้ในช่วง 16-32 บิต โดยไม่ทำให้แผ่นรองมีขนาดยาวเกินไปเพื่อรองรับจำนวนบิตข้อมูลที่มากกว่านี้ และมีผลทำให้เวลาหน่วงที่ต้องเสียไปกับการรอคอยการสะท้อนสัญญาณจากบิตข้อมูล ที่อยู่ท้ายสุดต้องเนิ่นนานเกินไปด้วยปริมาณข้อมูลที่กล่าวนี้ ทำให้เครื่องลูกข่ายสามารถส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่านได้เทียบเท่ากับอัตราเร็วในการสื่อสาร 500 กิโลบิตต่อวินาที นอกจากนี้ในเรื่องของระยะเวลาห่างระหว่างเครื่องอ่านกับ เครื่องลูกข่ายสำหรับเทคโนโลยี RFID แบบ SAW นั้น หากใช้งานที่ความถี่มาตรฐาน 2.45 กิกะเฮิรตซ์ก็สามารถหวังได้ที่ระยะ 1-2 เมตร รูปที่ 2.20 เป็นตัวอย่างเครื่องลูกข่ายแบบ SAW ของบริษัทวีเมนส์จำกัด ที่ติดตั้งสายอากาศในรูปแบบของแผ่นโลหะบาง (Microstrip line) สำหรับแผ่นรองที่เป็นเพียสโซอิเล็กทริกนั้น จะถูกบรรจุอยู่ในกรอบโลหะเพื่อป้องกันการรบกวน จากความถี่ภายนอก

## 2.5 ข้อกำหนดมาตรฐานด้านความถี่

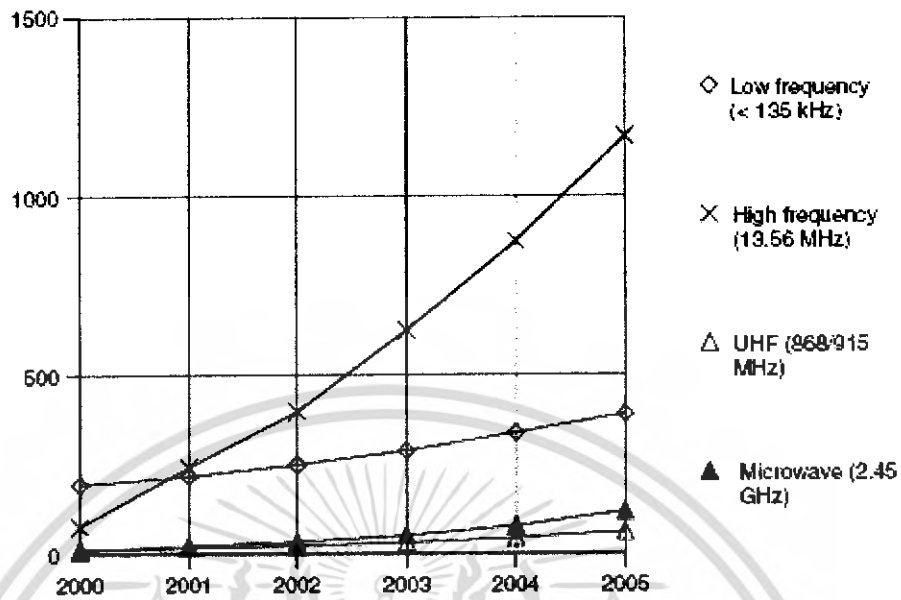
เนื่องจากเทคโนโลยี RFID ใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นสื่อกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่อง และเครื่องลูกข่าย จึงจำเป็นที่จะต้องออกมาตรฐานควบคุมการป้องกันมิให้อุปกรณ์ RFID ส่งผลกระทบต่อระบบสื่อสารและโทรคมนาคมอื่นๆ ที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ได้รับการจัดสรรอยู่ก่อนแล้ว ไม่ว่าจะ

เป็นระบบรับส่งวิทยุและโทรทัศน์ เครื่องข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ วิทยุตำรวจ เครื่องข่ายวิทยุสื่อสาร วิทยุเดินเรือ และระบบวิทยุการบิน รูปที่ 2.21 แสดงถึงย่านความถี่คลื่นวิทยุที่ได้รับการจัดสรรโดยองค์กรสากลทางด้านการสื่อสารนานาชาติ เพื่อใช้ในกิจการต่างๆโดยมีการกำหนดเพิ่มย่านความถี่สำหรับใช้งานกับระบบ RFID ดังแสดงโดยกราฟแท่ง ทั้งนี้มีข้อสรุปชี้ขานความถี่ ISM (Industry-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่สากลสำหรับใช้ในวงการอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สำหรับเทคโนโลยี RFID นอกจากนั้นยังมีความเป็นไปได้ที่จะนำความถี่ในย่านต่ำกว่า 135 กิโลเฮิร์ตซ์ (ยุโรป) และต่ำกว่า 400 กิโลเฮิร์ตซ์ (ทวีปอเมริกาและญี่ปุ่น) มาใช้กับเทคโนโลยีการรับส่งสัญญาณ RFID แบบ Inductive Couple เป็นพิเศษอีกด้วย

โดยสรุป ย่านความถี่ที่ได้รับการจัดสรรให้ใช้งานกับเทคโนโลยี RFID ประกอบด้วยย่านต่างๆต่อไปนี้เป็น 0-135 กิโลเฮิร์ตซ์ และย่านความถี่ ISM ซึ่งประกอบด้วย 6.78 เมกะเฮิร์ตซ์ , 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ , 27.125 เมกะเฮิร์ตซ์, 40.68 เมกะเฮิร์ตซ์, 433.92 เมกะเฮิร์ตซ์, 869.0 เมกะเฮิร์ตซ์, 915.0 เมกะเฮิร์ตซ์, 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์, 5.8 กิกะเฮิร์ตซ์ และ 24.125 กิกะเฮิร์ตซ์ ทั้งนี้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลการจัดจำหน่ายอุปกรณ์เครื่องข่าย RFID ที่มีการผลิตขึ้นใช้งานกับย่านความถี่ต่างๆ กัน โดยเป็นข้อมูลขอจำหน่ายตั้งแต่ พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2548 สำหรับทั่วโลก ดังแสดงในรูปที่ 2.22 การเลือกใช้เทคโนโลยี RFID จะได้รับผลกระทบจากเครื่องข่ายสื่อสารหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ด้วย ดังสามารถแจกแจงอธิบายได้ต่อไปนี้



รูปที่ 2.21 ย่านความถี่ต่างๆ ที่ได้รับการกำหนดให้ใช้งานกับเทคโนโลยี RFID



รูปที่ 2.22 ประมาณยอดการจำหน่ายเครื่องลูกข่าย RFID ทั่วโลกแบ่งตามย่านความถี่การใช้งาน

– ความถี่ย่าน 9-135 กิโลเฮิร์ตซ์

ถ้าหากความถี่ในย่านที่ต่ำกว่า 135 กิโลเฮิร์ตซ์นั้นได้รับความสนใจใช้งานจากกิจการต่างๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นระบบวิทยุการบิน ระบบนำร่องต่างๆ การส่งสัญญาณฐานเวลา รวมไปถึงกิจการทางทหาร ทั้งนี้เพราะเป็นคลื่นความถี่ต่ำ มีความยาวคลื่นสูงสามารถส่งกระจายสัญญาณไปได้เป็นระยะทางไกลๆ ถึง 1,000 กิโลเมตร โดยใช้เงินลงทุนต่ำ เนื่องจากเป็นการมอดูเลตสัญญาณความถี่ต่ำ ไม่ต้องใช้เทคโนโลยีเครื่องส่งที่สลับซับซ้อน เหมือนการส่งสัญญาณวิทยุความถี่สูง การใช้งานเทคโนโลยี RFID ในย่านความถี่นี้ มีโอกาสก่อควนให้ระบบวิทยุต่างๆ ที่มีการใช้งานอยู่ก่อนหน้าเกิดปัญหาได้ ตัวอย่างเช่น ในประเทศเยอรมันมีมาตรฐานการส่งสัญญาณคลื่นความถี่ 77.5 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อใช้กระจายฐานเวลาให้กับเครือข่ายสื่อสารโทรคมนาคมต่างๆ พบว่าหากมีการนำอุปกรณ์ RFID ที่ทำงานในย่านความถี่ดังกล่าว ไปใช้งานในบริเวณที่มีเครื่องรับฐานเวลาอยู่ในระยะหลายร้อยเมตร จะเกิดการก่อควนทำให้ระบบไม่สามารถตรวจฐานเวลาได้กลายเป็นปัญหาต่อระบบที่มีใช้งานอยู่ก่อนหน้า

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในทวีปยุโรปจึงได้มีการออกข้อกำหนดใบอนุญาต มาตรฐาน 220 ZV 122 ขึ้นเพื่อใช้กำหนดย่านความถี่หวงห้ามในช่วง 70 ถึง 119 กิโลเฮิร์ตซ์ มิให้นำไปใช้กับกิจการด้าน RFID ใดๆ นอกจากนั้นในประเทศเยอรมันซึ่งเป็นหนึ่งในประเทศที่มีการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุสำหรับกิจการต่างๆ ก็ได้มีการประกาศห้ามใช้ความถี่ดังกล่าวในตารางที่ 2.3 สำหรับเทคโนโลยี RFID โดยมีการกำหนดพื้นที่ห้ามใช้งานในเมืองต่างๆ ซึ่งวิธีการและข้อปฏิบัติดังกล่าวถือเป็นแบบอย่างที่ดีในการวางข้อกำหนด (Regulation) สำหรับใช้ควบคุมมาตรฐาน RFID ในประเทศอื่นๆ

- ความถี่ย่าน 6.78 เมกะเฮิร์ตซ์

เป็นย่านความถี่สำหรับคลื่นสั้น (Shortwave) มีคุณสมบัติในการแพร่กระจายได้ไกลหลายร้อยกิโลเมตรในช่วงเวลากลางวัน และในย่านความถี่สามารถส่งสัญญาณได้ไกลมากขึ้นบางครั้งถึงขั้นส่งได้ข้ามทวีป จึงได้รับการนำไปใช้งานในกิจการกระจายเสียง ระบบตรวจสอบอากาศ และระบบวิทยุการบิน ในแง่ของเทคโนโลยี RFID นั้น ในหลายๆ ประเทศได้มีการแบ่งย่านความถี่ดังกล่าวบางส่วนออกเป็นย่าน ISM ในปัจจุบันความถี่ 6.78 เมกะเฮิร์ตซ์ได้รับการรับรองสภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union หรือ ITU) สำหรับให้ใช้งานกับเทคโนโลยี RFID สำหรับการออกใบอนุญาต ย่านความถี่ใช้งานดังกล่าวในยุโรปก็ได้มีข้อกำหนด CEPT/ERC REC 70-03 เพื่อใช้ควบคุมอย่างชัดเจน

- ความถี่ย่าน 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์

เป็นความถี่ที่อยู่ช่วงกึ่งกลางของย่านวิทยุคลื่นสั้น (ดังแสดงในรูป 5.6) มีคุณสมบัติพิเศษในการแพร่กระจายสัญญาณได้ไกลในระดับข้ามทวีปแม้ในช่วงเวลากลางวัน ดังนั้นจึงยังมีความนิยมใช้งานความถี่ย่านนี้สำหรับการสื่อสารโทรคมนาคม เช่น เครื่องข่ายวิทยุของวงการข่าว และเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมแบบ Point-to-Point นอกจากนั้นยังพบการใช้งานความถี่ย่านดังกล่าวสำหรับกิจการ ISM บางประเภทนอกเหนือจากการใช้งานเทคโนโลยี RFID อีก เช่นระบบควบคุมจากระยะไกล ของเล่นที่ใช้การบังคับทางวิทยุ รวมถึงวิทยุติดตามตัว (Pager) บางระบบ

ตารางที่ 2.3 การกำหนดพื้นที่และความถี่วิทยุที่ห้ามใช้กับเทคโนโลยี RFID ในประเทศเยอรมัน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller)

ปัจจุบันเครื่องใช้ไฟฟ้าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตลอดจนระบบโรงงานอุตสาหกรรม จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในเป็นตัวควบคุมเกือบทั้งหมด ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์กลายเป็นอีกหนึ่งอุปกรณ์ที่ผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำหลายๆ บริษัทให้ความสนใจ และมีการแข่งขันสูงมาก อุปกรณ์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมมีมากมายหลายชนิด เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน

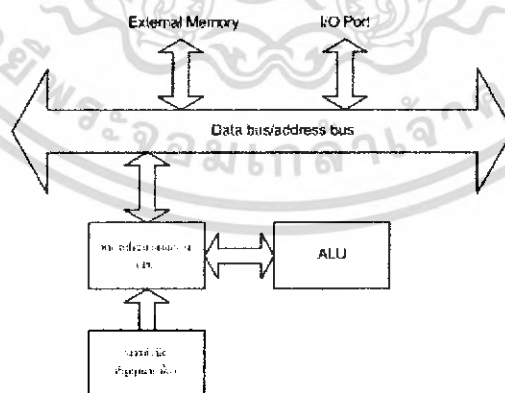
#### 3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

##### 3.1.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

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

##### 3.1.2 ข้อแตกต่างระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น ซีพียูเบอร์ Z80 จะไม่มีหน่วยความจำ RAM, ROM และ Port อยู่ในตัวชิป ทำให้ต้องต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเพิ่มและต้องใช้ ICs ขยายพอร์ตเพิ่มเติม ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีวงจรอยู่ภายในตัวชิป เช่นหน่วยความจำ RAM, ROM และ I/O Port ดังนั้น ในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์จึงมีขนาดเล็กกว่าและราคาต่ำกว่าระบบไมโครโปรเซสเซอร์



รูปที่ 3.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครโปรเซสเซอร์

### 3.2 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC)

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

1) หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช (FLASH Program Memory) มีขนาดความจุ 1 ถึง 32 k words

2) หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory RAM) มีความจุถึง 256 bytes Microcontroller PIC 16F877 มีพอร์ตใช้งานทั้งสิ้น 5 พอร์ต คือ PORTA 6 bit, PORTB 8 bit, PORTC 8 bit, PORTD 8 bit และ PORTE 3 bit เป็นพอร์ต แบบมี 2 ทิศทาง คือ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุต และ เอาต์พุต และยังเป็นพอร์ตที่สามารถแปลงสัญญาณ ADC (Analog to Digital Converter) ได้อีกด้วย Microcontroller PIC มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

- มีพอร์ต I/O ขนาด 3 bit, 6 bit, 8 bit จำนวน 5 พอร์ต
- มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช 1 ถึง 32 k words
- มีหน่วยความจำข้อมูลแรม (RAM) 64 ถึง 1536 byte
- มีหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม (EEPROM) 256 byte
- Timer/Counter
  - Timer 0 ขนาด 8 bit
  - Timer 1 ขนาด 16 bit
  - Timer 2 ขนาด 8 bit
- มีกระแสซิงก์และกระแสซอร์ส (High Sink/Source Current) 25mA
- มีวงจรแปลงสัญญาณ Analog to Digital Converter 10 bit
- มีวงจรสื่อสารแบบอนุกรมทั้ง SPI และ I<sup>2</sup>C (Master/Slave)
- มีวงจร Pulse Width Modulation (PWM) ความละเอียดสูงถึง 10 bit
- มีหน่วยความจำแบบ Flash สามารถเขียนและลบได้มากกว่า 100,000 ครั้ง

#### 3.2.1 หน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit)

CPU เปรียบเทียบได้กับสมองของคนเรานั้นเอง เพราะการคำนวณต่างๆ เกิดขึ้นที่นี้ CPU ประกอบด้วยวงจรต่างๆ หลายวงจร เช่น วงจรควบคุมเวลาและระบบการทำงาน (Timing and Control Unit) ซึ่งจะทำหน้าที่จัดการทั้งหมดของวงจรทั้งประมวลผลและควบคุมตามคำสั่งที่ได้รับ การคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU: Arithmetic and Logic Unit) โดยจะทำหน้าที่คำนวณและ

ประมวลผลทางคณิตศาสตร์และระบบลอจิก วงจรถอดรหัสคำสั่ง (Instruction Decoder) จะทำหน้าที่แปลงคำสั่งทั้งหมดให้เป็นภาษาเครื่อง (Machine Language) วงจรควบคุมการทำงานของ Counter (Program Counter) วงจรควบคุมสัญญาณนาฬิกา (Oscillator) ตลอดจนหน่วยความจำภายใน Register, Adder, Subtraction, Buffer และอื่นๆ ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและการประมวลผลของ CPU เป็นต้น

### 3.2.2 หน่วยความจำ (Memory Unit)

ในการเขียน โปรแกรมด้วยภาษาซี ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นต้องคำนึงถึงชนิดของหน่วยความจำและวิธีการเข้าถึงด้วย ซึ่งต่างจากการเขียนบน PC ที่สนใจเพียงชนิดของตัวแปรว่าจะใช้เก็บข้อมูลประเภทใดสำหรับหน่วยความจำในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC นั้น จะมีหน่วยความจำในการใช้งาน 3 ประเภทดังนี้

#### 3.2.2.1 หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช (FLASH Program Memory)

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

#### 3.2.2.2 หน่วยความจำโปรแกรม (Data Memory RAM)

หน่วยความจำในส่วนนี้มีไว้ใช้ในการเก็บข้อมูลขณะทำการประมวลผลของโปรแกรมสามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้ขณะมีไฟเลี้ยง แต่เมื่อไม่จ่ายไฟเลี้ยงข้อมูลต่างๆจะหายไป หากหน่วยความจำส่วนนี้ไม่พอใช้งานจะต้องต่อหน่วยความจำแรมภายนอกเพิ่ม (External RAM หรือ Data Memory) ปัจจุบันเทคโนโลยีก้าวหน้าขึ้นมากชิปบางตัวจะมีการบรรจุหน่วยความจำประเภท Data Memory เข้าไปในชิปเลย

#### 3.2.2.3 หน่วยความจำแบบอีอีพรอม (EEPROM Data Memory)

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

### 3.2.3 พอร์ตอินพุท/เอาต์พุท (I/O port)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีพอร์ตสำหรับติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกแล้วแต่วัตถุประสงค์ในการใช้งานและคุณสมบัติของพอร์ต โดยสามารถติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกทำหน้าที่เป็นอินพุทได้เช่น Pushbutton, Keypad, Sensor, LCD, Timer/Counter ตลอดจนการแปลงสัญญาณ Analog to Digital Converter เป็นต้น

Microcontroller PIC ถูกพัฒนามาเพื่อใช้งานด้านอุตสาหกรรมโดยมีการผลิตมากมายหลายชนิดหลายรุ่นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ โดยจะขอยกตัวอย่าง Microcontroller PIC บางรุ่น ดังตารางที่ 1.1

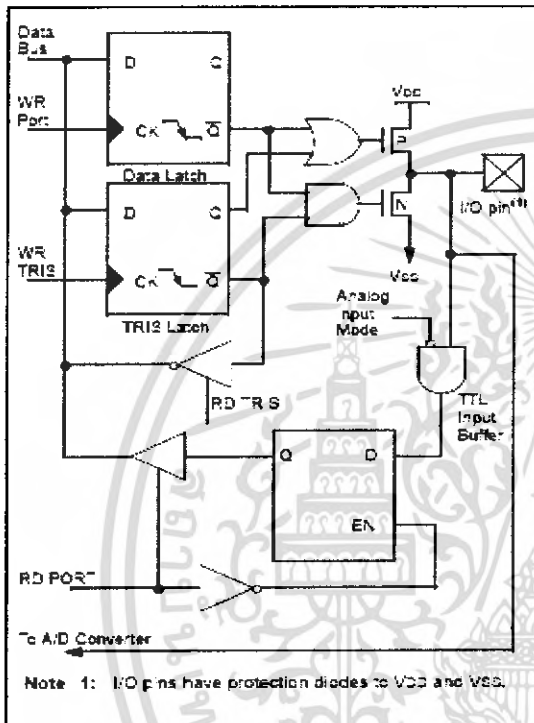
ตารางที่ 3.1 Microcontroller PIC

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

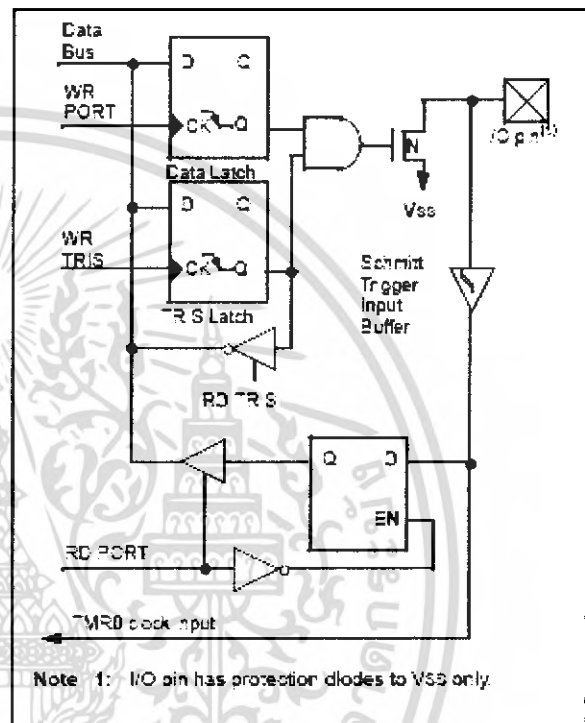
ในตัว CPU ของ Microcontroller PIC16F877 ขนาด 40Pins มีขาสัญญาณที่ใช้ติดต่อ Input/Output Port มีจำนวนขาสัญญาณทั้งสิ้น 33Pins ดังนี้

- PORTA RA0\_RA5 จำนวน 6Pins
- PORTA RB0\_RB7 จำนวน 8Pins
- PORTA RC0\_RC7 จำนวน 8Pins
- PORTA RD0\_RD7 จำนวน 8Pins
- PORTA RE0\_RE2 จำนวน 3 Pins

ขาสัญญาณแต่ละขาของ Microcontroller PIC16F877 มีหน้าที่หลักในการทำงานดังนี้



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของพอร์ต A (RA0,RA1,RA2,RA3,RA5)



รูปที่ 3.3 โครงสร้างของพอร์ต A (RA4)

1. PORT RA0\_RA5 พอร์ต A มีขาสัญญาณจำนวน 6Pins โดยเป็นขาสัญญาณใช้ติดต่อ Input/Output Port และยังทำหน้าที่เป็น Input ของสัญญาณ ADC(Analog to Digital Converter) ด้วย

RA0/AN0

-ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port

- ขาสัญญาณ Input สำหรับ ADC ช่อง0

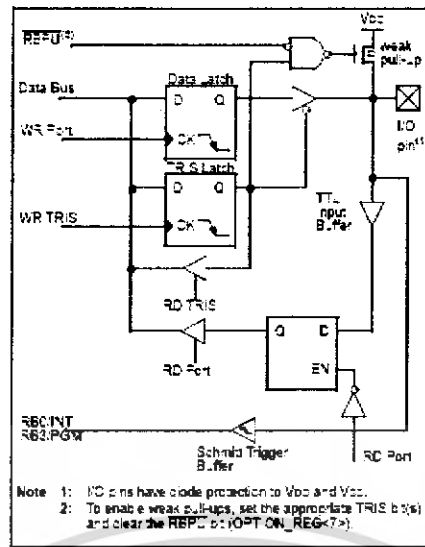
RA1/AN1

-ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port

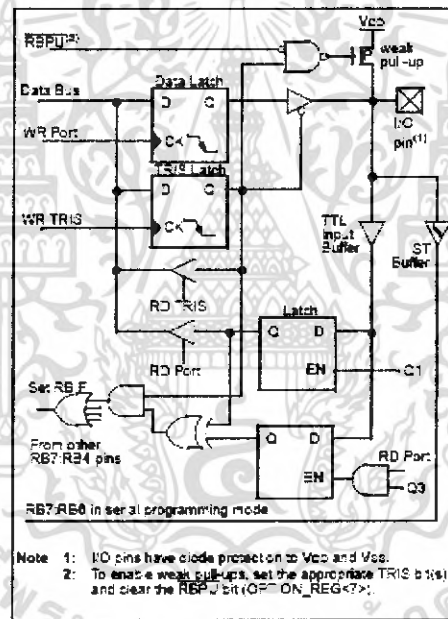
RA2/AN2	- ขาสัญญาณ Input สำหรับ ADC ช่อง1 - ขาสัญญาณติดต่อกับ Input/Output Port
RA3/AN3	- ขาสัญญาณ Input สำหรับ ADC ช่อง2 - ขาสัญญาณติดต่อกับ Input/Output Port
RA4/TOCK1/C1OUT	- ขาสัญญาณ Input สำหรับ ADC ช่อง3 - ขาสัญญาณนาฬิกา Input Timer0 - ขาสัญญาณ Output เปรียบเทียบ ADC ช่อง1
RA5/AN4/SS/	- ขาสัญญาณ Input สำหรับ ADC ช่อง 4 - ขาสัญญาณ Slave Select สื่อสาร Serial Portแบบ Synchronize - ขาสัญญาณ output เปรียบเทียบ ADC ช่อง2

2. PORTB RB0\_RB7 พอร์ต B มีจำนวน 8 pins ภายในมีวงจรพูลอัพ (R-Pull-Up) ใช้ติดต่อกับ Input/Output Port และยังสามารถทำหน้าที่เป็นสัญญาณ Input ในการ Interrupt จากภายนอกด้วย

RB0/INT	- ขาสัญญาณติดต่อกับ Input/Output Port - ขาสัญญาณ Input รับสัญญาณ Interrupt จากภายนอก
RB1	- ขาสัญญาณติดต่อกับ Input/Output Port
RB2	- ขาสัญญาณติดต่อกับ Input/Output Port
RB3/LVP	- ขาสัญญาณติดต่อกับ Input/Output Port - ขาสัญญาณ Input รับแรงดันต่ำ (5V) ถ้ามีการ Enable
RB4-RB7	- ขาสัญญาณติดต่อกับ Input/Output Port - ภายในมีวงจรพูลอัพ (R-Pull-Up) และ Interrupt Logic - ขาที่สามารถเกิด Interrupt ได้ถ้ามีการ Enable



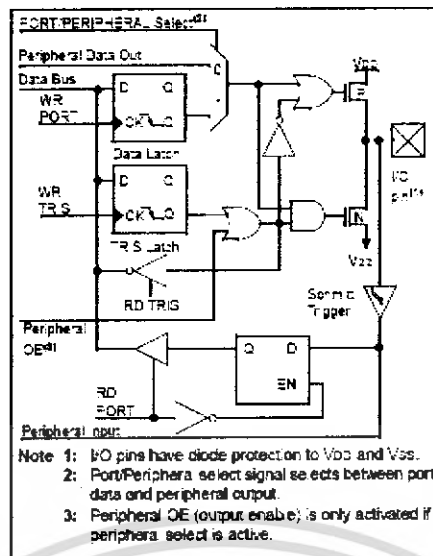
รูปที่ 3.4 โครงสร้างของพอร์ต B (RB0-RB3)



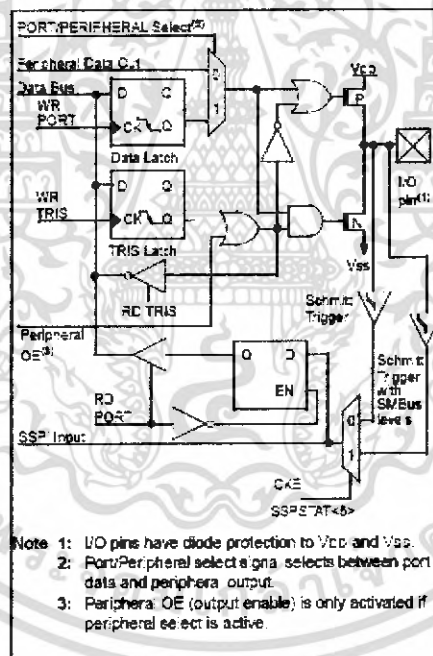
รูปที่ 3.5 โครงสร้างของพอร์ต B (RB4-RB7)

3. PORTC RC0\_RC7 พอร์ต C มีขาสัญญาณจำนวน 8 Pins โดยพอร์ตที่ติดต่อสัญญาณได้หลายรูปแบบ เช่น ติดต่อ Input/Output Port, Timer, I<sup>2</sup>C, PWM เป็นต้น

- RC0/T1OSO/TICK1
- ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port
  - ขาสัญญาณ Output วงจร Oscillator ของ Timer1
  - ขาสัญญาณ Input ของสัญญาณ Clock Timer1
- RC1/T1OSI/CCP2
- ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port
  - ขาสัญญาณ Input ของวงจร Oscillator ของ Timer1
  - ขาสัญญาณ Output วงจรเปรียบเทียบสัญญาณของ โมดูล CCP2
  - ขาสัญญาณ Output PWM
- RC3/SCK/SCL
- ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port
  - ขาสัญญาณ Clock ของวงจร SPI (SCK)
  - ขาสัญญาณ Clock ของระบบบัส I<sup>2</sup>C (SCL)
- RC4/SDI/SDA
- ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port
  - ขาสัญญาณ Input/Serial Data ของระบบ SPI (SDI)
  - ขาสัญญาณ Data ของระบบบัส I<sup>2</sup>C (SDA)
- RC5/SDO
- ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port
  - ขาสัญญาณ Output/Serial Data ของระบบ SPI (SDO)
- RC6/TxD/CK
- ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port
  - ขาสัญญาณส่ง Data/Serial Port (TxD)
  - ขาสัญญาณ Clock/Synchronize (CK)
- RC7/RxD/DT
- ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port
  - ขาสัญญาณรับ Data/serial Port (RxD)
  - ขาสัญญาณ Data/Synchronize (DT)

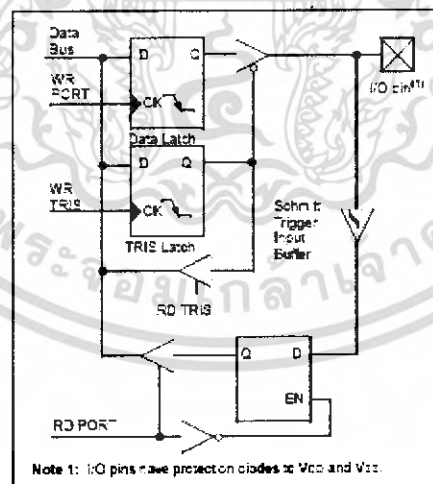


รูปที่ 3.6 โครงสร้างของพอร์ต C (RC0,RC2,RC5,RC6,RC7)



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของพอร์ต C (RC3-RC4)

4. PORTD RD0\_RD7 พอร์ต D มีขาสัญญาณจำนวน 8 Pins โดยเป็นขาสัญญาณใช้ติดต่อ Input/Output Port และยังทำหน้าที่ขยายพอร์ตแบบขนาน (PSP: Parallel Slave Port)
- |          |                                                                       |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|
| RD0/PSP0 | - ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port<br>- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานบิต 0 |
| RD1/PSP1 | - ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port<br>- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานบิต 1 |
| RD2/PSP2 | - ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port<br>- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานบิต 2 |
| RD3/PSP3 | - ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port<br>- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานบิต 3 |
| RD4/PSP4 | - ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port<br>- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานบิต 4 |
| RD5/PSP5 | - ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port<br>- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานบิต 5 |
| RD6/PSP6 | - ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port<br>- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานบิต 6 |
| RD7/PSP7 | - ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port<br>- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานบิต 7 |



รูปที่ 3.8 โครงสร้างของพอร์ต D

5. PORTE RE0\_RE2 พอร์ต E มีขาสัญญาณจำนวน 3 Pins โดยเป็นขาสัญญาณใช้ติดต่อ Input/Output Port และยังทำหน้าที่เป็น Input ของสัญญาณ ADC (Analog to Digital Converter) ด้วย

RE0/AN5/RD

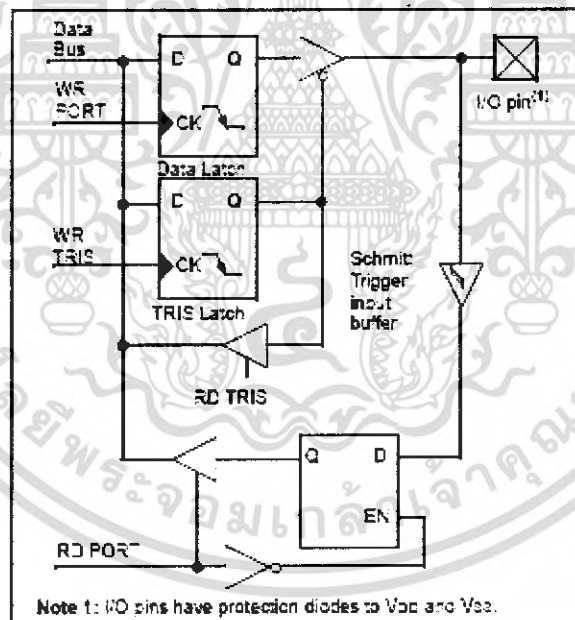
- ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port
- ขาสัญญาณ Input สำหรับ ADC ช่อง 5
- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานควบคุมการอ่าน (RD: Read)

RE1/AN6/WR

- ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port
- ขาสัญญาณ Input สำหรับ ADC ช่อง 6
- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานควบคุมการเขียน (WR: Write)

RE2/AN7/CS

- ขาสัญญาณติดต่อ Input/Output Port
- ขาสัญญาณ Input สำหรับ ADC ช่อง 7
- ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานควบคุมการเลือกอุปกรณ์ (CS: Chip Select)



รูปที่ 3.9 โครงสร้างของพอร์ต E

6. ขาสัญญาณทั่วไปจะมีหน้าที่ในการติดต่อสัญญาณดังนี้
- |              |                                                              |
|--------------|--------------------------------------------------------------|
| MCLR/Vpp     | - ขาสัญญาณสำหรับ Reset จะทำงานที่ลอจิก0 (Master Clear Input) |
|              | - ขาสัญญาณรับแรงดัน โปรแกรม (Programming Voltage)            |
| OSC1/CLK_IN  | - ขาสัญญาณสำหรับต่อ Crystal/รับสัญญาณ Clock                  |
| OSC2/CLK_OUT | - ขาสัญญาณสำหรับต่อ Crystal/รับสัญญาณ Clock                  |
| Vdd          | - ขาต่อไฟเลี้ยง (+5 V.)                                      |
| Vss          | - ขาต่อกราวด์                                                |



## บทที่ 4

### การมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัล

#### 4.1 บทนำ

ในบทนี้จะทำการอธิบายเนื้อหาเกี่ยวกับการมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัล ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีเช่น การมอดูเลตแบบ ASK,FSK และ PSK ซึ่งแต่ละวิธีจะอาศัยหลักการการทำงานที่แตกต่างกันออกไป ในบทนี้เราจะเน้นเนื้อหาเกี่ยวกับการมอดูเลตแบบ ASK เพราะเกี่ยวข้องกับโครงการที่ได้จัดทำ ซึ่งจะอธิบายโดยละเอียดดังกล่าวต่อไปนี้

#### 4.2 การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัล

การมอดูเลตข้อมูลที่เป็นดิจิทัลจะมีหลักการพื้นฐานอยู่ 3 แบบด้วยกันคือ

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

จากสมการทางคณิตศาสตร์ของคลื่นรูปไซน์ที่เราใช้เป็นพาหะ

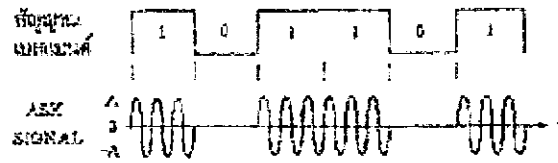
$$e = A \sin(\omega t + \phi)$$

คุณสมบัติประจำตัวของคลื่นรูปไซน์ที่สำคัญจะมีอยู่ 3 ประการ ซึ่งเราสามารถเปลี่ยนแปลงหรือมอดูเลตได้ คือ แอมพลิจูด ( $A$ ) ความถี่เชิงมุม ( $\omega$ ) และเฟส( $\phi$ ) สัญญาณดิจิทัลแบบใดเป็นรูปสามเหลี่ยมแสดงรหัสไบนารี “1” และ “0” ในการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลนี้ จากคุณสมบัติประจำตัวของคลื่นรูปไซน์ (คลื่นพาหะ) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้คือ แอมพลิจูด,ความถี่เชิงมุมและเฟสจะ เปลี่ยนไปตามสถานะ “1”และ “0” ของสัญญาณแบบใด

##### 4.2.1 การมอดูเลตดิจิทัลทางขนาด (Ampitude Shift Keying; ASK)

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

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



รูปที่ 4.1 แสดงรูปการมอดูเลตคิจิตอลทางขนาด

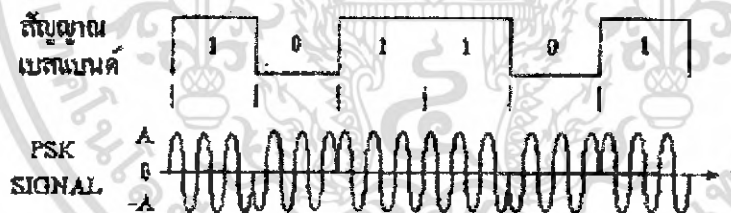
การมอดูเลตคิจิตอลทางขนาดจัดว่ามีประสิทธิภาพต่ำสุด และมีความผิดพลาดในการส่งข้อมูล และใช้ในสายสื่อสารที่ต้องการความเร็วของข้อมูลต่ำ (น้อยกว่า 100 บิต/นาทีก) ส่วนหลักการอื่นๆ ของ ASK จะเหมือนกับแบบ AM

#### 4.2.2 การมอดูเลตคิจิตอลทางเฟส (Phase Shift Keying; PSK)

การมอดูเลตคิจิตอลทางเฟสจะใช้เฟสของสัญญาณอนาลอกแทนสัญญาณคิจิตอล สัญญาณลอจิก “1” จะให้เฟสของสัญญาณอนาลอกเฟสหนึ่ง ในขณะที่เดียวกันสัญญาณลอจิก “0” ก็ จะให้เฟสของสัญญาณอนาลอกอีกเฟสหนึ่ง ถ้าสัญญาณพาหะเป็นคังสมการที่ 1 ดังนั้นสัญญาณ PSK จะกำหนดให้เป็น (ในกรณีที่ส่งครั้งละหนึ่งบิต)

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

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

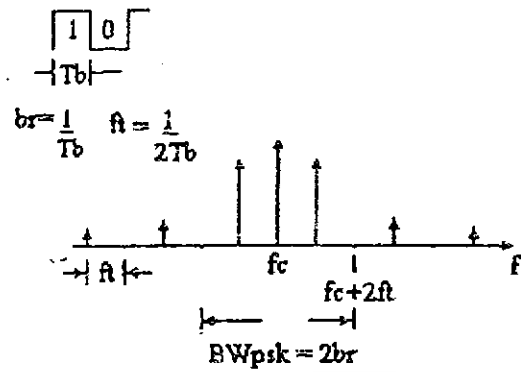


รูปที่ 4.2 แสดงการมอดูเลตคิจิตอลทางเฟส

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

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

เมื่อ  $V_b$  แทนค่าสถานะของบิตคือ “1” และ “0”



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณในแบบ BPSK

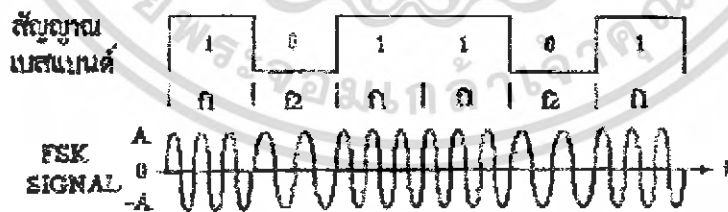
ถ้าคิดให้อัตราเร็วบิตเท่ากับแบบ PSK มีค่าความกว้างแถบน้อยกว่าแบบ FSK (แต่ราคาของวงจร PSK สูงกว่า) เราใช้การมอดูเลทแบบ PSK ในโมเด็มที่มีอัตราเร็วบิตเท่ากับ 2400 บิต/วินาที และ 4800 บิต/วินาที เพราะว่า การมอดูเลทแบบ FSK ไม่สามารถทำได้โดยผ่านเครือข่ายโทรศัพท์

#### 4.2.3 การมอดูเลทคิจิตอลทางความถี่ (Frequency Shift Keying; FSK)

การมอดูเลทคิจิตอลทางความถี่เมื่อข้อมูลเป็นลอจิก "1" ก็จะได้รับสัญญาณอนาลอกความถี่หนึ่ง และเมื่อเป็นลอจิก "0" ก็จะได้รับสัญญาณอนาลอกอีกแบบหนึ่ง ถ้าสัญญาณพาหะเป็นคังสมการที่ 4.2.1 นั้นกรณีของการมอดูเลทแบบ FSK ความถี่ของคลื่นพาหะจะมี 2 ความถี่ เช่น ความถี่  $f_1$  สำหรับสัญญาณที่เป็นลอจิก "1" และความถี่  $f_2$  สำหรับสัญญาณที่เป็นลอจิก "0" แสดงสมการข้างล่าง

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

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

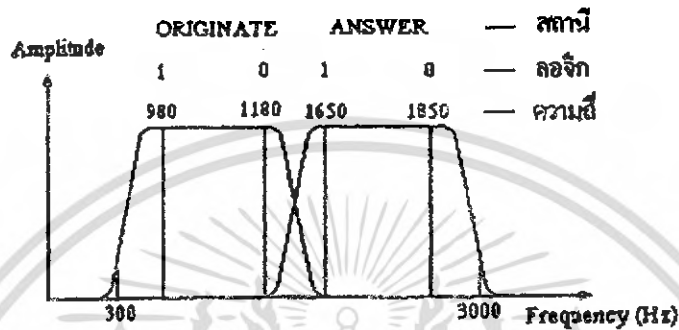


รูปที่ 4.4 แสดงการมอดูเลททางคิจิตอล

ในการส่งข้อมูลแบบ FSK ที่ใช้งานจริง สมการแบ่งได้ 2 แบบ

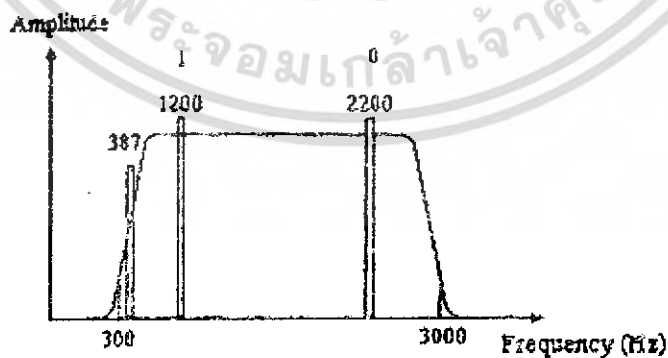
#### 4.2.3.1 ชนิดที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)

การส่งข้อมูลแบบนี้จะแบ่งแบนด์วิธของช่องสัญญาณเสียงออกเป็น 2 แบนด์เท่าๆกัน โดยแบนด์หนึ่งใช้ในการส่งข้อมูล ส่วนอีกแบนด์หนึ่ง จะใช้ในการรับข้อมูล ทำให้สามารถส่งข้อมูลเข้าไปในสายได้พร้อมๆ กัน ผลตอบสนองความถี่สำหรับการส่งข้อมูลแบบนี้



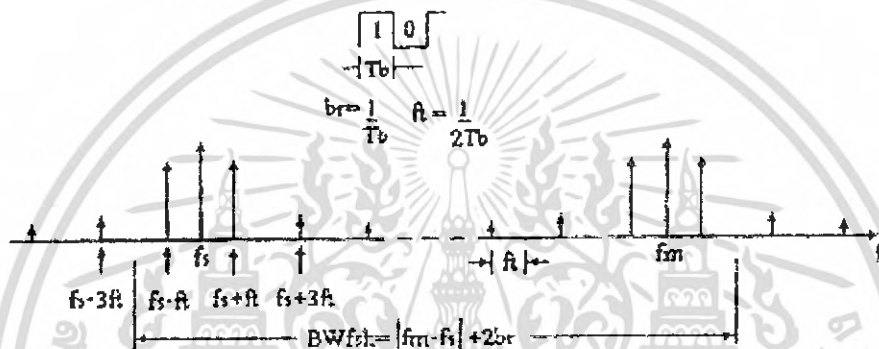
รูปที่ 4.5 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลตแบบ FSK ในการส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์

#### 4.2.3.2 ชนิดที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex)



รูปที่ 4.6 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลตแบบ FSK

ในการส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ การส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ จะมีแบนด์วิดท์ 2 แบนด์เหมือนกัน แต่ความกว้างของแบนด์วิดท์ทั้งสองจะไม่เท่ากัน แบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าจะใช้การส่งข้อมูล ส่วนแบนด์วิดท์ที่แคบจะใช้ในการส่งสัญญาณแนะนำควบคุม(Supervisory Signal) ของตัวรับไปยังตัวส่งเพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพการส่งข้อมูลว่าถูกต้องหรือไม่ เราเรียกแบนด์วิดท์แบบนี้ว่าช่องสัญญาณย้อนกลับ (Reverse Channel) ผลตอบสนองความถี่ของการรับส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ แสดงดังรูปที่ 4.6 เราสามารถที่จะอธิบายความหมายของความกว้างแถบ (bandwidth) ในแบบ FSK ได้โดยพิจารณารูปที่ 4.7

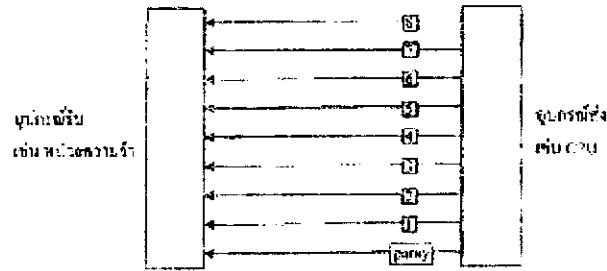


รูปที่ 4.7 แสดงการประมาณค่าความกว้างแถบของแบบ FSK

#### 4.3 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน(Parallel Transmission)

ลักษณะการส่งข้อมูลแบบขนาน ทำได้โดยการส่งข้อมูลออกมาทีละ 1 ไบต์ คือ 8 บิต จากอุปกรณ์ส่งไปยังอุปกรณ์รับตัวกลางระหว่าง 2 เครื่อง จะต้องใช้ช่องทางใช้ข้อมูลเดินทางอย่างน้อย 8 ช่องทาง โดยมากจะเป็นสายขนานให้กระแสไฟฟ้าวิ่งมากกว่าจะเป็นตัวกลางชนิดอื่น เนื่องจากมีสัญญาณสูญหายไปกับความต้านทานของสายระยะทางระหว่าง 2 เครื่องไม่ควรจะเกิน 100 ฟุต ปัญหาที่เกิดขึ้นหากระยะทางของสายมากกว่านี้ก็คือ ระดับของกราวด์ในทางไฟฟ้าที่จูดรึบผิดไปจากจุดส่ง ทำให้เกิดการผิดพลาดในการรับสัญญาณลอจิกทางฝ่ายรับ

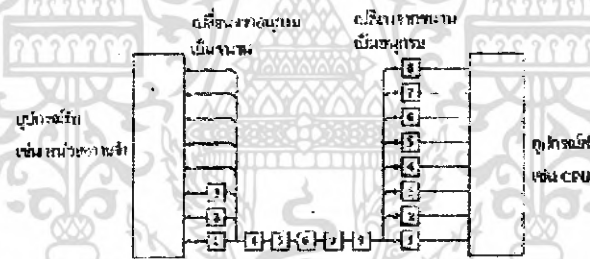
นอกจากสายที่เป็นทางเดินของข้อมูลแล้วอาจจะมีทางเดินของสัญญาณควบคุมอื่นๆ อีกเป็นต้นว่า บิตที่บอกพาริตีของสัญญาณ เพื่อเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดของการรับสัญญาณที่ปลายทาง หรือสายที่ควบคุมการโต้ตอบ(Hand snake)จะเห็นได้ว่าการส่งแบบขนานส่วนมากจะทำในระยะใกล้ๆ เนื่องจากจะต้องมีช่องทางเดินของสัญญาณมากกว่า 8 สายและอุปกรณ์ที่ติดต่อแบบขนานกับคอมพิวเตอร์ก็เห็นจะได้แก่เครื่องพิ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



รูปที่ 4.8 การส่งข้อมูลแบบขนาน

#### 4.4 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Transmission)

การส่งข้อมูลแบบอนุกรมข้อมูลถูกส่งออกมาทีละบิตระหว่างจุดส่งและจุดรับ จะเห็นว่า การส่งข้อมูลแบบนี้จะช้ากว่าแบบขนาน เพราะตัวกลางการสื่อสารต้องการเพียงช่องเดียวหรือสาย เพียงคู่เดียว ค่าใช้จ่ายในสื่อกลางจะต้องถูกกว่าแบบขนานอย่างแน่นอน สำหรับการส่งระยะทางไกลๆ โดยเฉพาะเมื่อเรามีระบบการสื่อสารทางโทรศัพท์ไว้ใช้งานอยู่แล้วย่อมจะเป็นการ ประหยัดกว่าที่จะทำการติดตั้งสื่อสารทีละ 8 ช่องแบบขนาน



รูปที่ 4.9 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

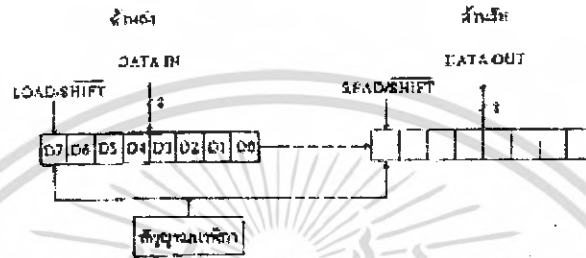
จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจากจุดส่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นอนุกรมเสียก่อนแล้วค่อยทยอยส่งออกทีละบิตไปยังจุดรับ ณ จุดที่ได้รับต้องมีกลไกในการเปลี่ยนข้อมูลที่ส่งมาทีละบิตให้เป็นสัญญาณแบบขนานซึ่งลงตัวพอดีนั่นคือบิต “1” ลงที่บิตข้อมูลเส้นที่ 1 พอดีการที่จะทำให้แปลงสัญญาณจากอนุกรมทีละบิตให้ลงพอดีนั่นจำเป็นจะต้องมีลักษณะการส่งที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการผิดพลาดในการรับ ลักษณะการส่งที่เหมาะสมแบ่งเป็น 2 แบบคือ

- การส่งข้อมูลแบบ ซิงโครนิส

- การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

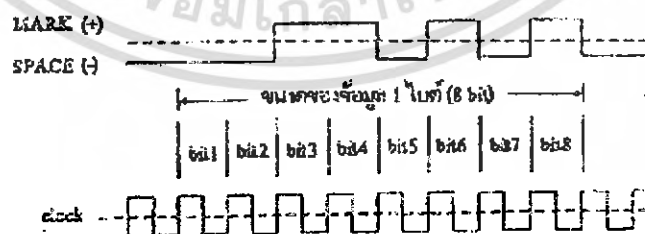
#### 4.4.1 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission)

การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการส่งข้อมูลแบบสัมพันธ์ หมายถึง การที่ด้านรับอ่านข้อมูลเข้ามาในจังหวัดเดียวกับภาคส่ง โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกำหนดจังหวะการทำงานของรีจิสเตอร์ทั้งสองให้ทำงานสัมพันธ์กัน วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะติดตั้งภายในด้านส่ง



รูปที่ 4.10 แสดงการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

นอกจากนี้เมื่อจังหวะเวลาถูกตั้งให้ซิงค์กับด้านรับแล้ว ข้อมูลที่ถูกส่งไปบนทางติดต่อในแบบบิตต่อบิตต่อเนื่องกันไปอาศัยช่วงเวลาระหว่างบิตต่อบิตมีค่าเท่ากัน โดยไม่ต้องมีบิตเริ่มหรือบิตจบคอยกำกับทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลมีสูง นอกจากนี้ทางด้านรับต้องมีวงจรเฟสล็อกคูล (PLL) ทำหน้าที่รับข้อมูลจังหวะเวลาจากด้านส่งและสร้างสัญญาณนาฬิกาขึ้นใหม่ในด้านรับเพื่อให้เกิดการซิงค์ขึ้น ข้อมูลแบบสัมพันธ์นี้จะถูกจัดการให้อยู่ในรูปของชุดข้อมูล (block of data) ที่มีลักษณะพิเศษ คือ ช่วงระยะเวลาระหว่างตัวอักษรด้วยกันจะไม่มี ทำให้การส่งข้อมูลเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และข้อเสียคือ การที่ต้องมีสัญญาณนาฬิกาขนานไปกับข้อมูลทำให้ต้องการทางติดต่อช่องที่สองเพิ่ม โดยเฉพาะกรณีระยะทางไกลๆ เป็นการยากมากที่จัดหาทางติดต่อแยกต่างหากสำหรับสัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 4.11 แสดงรูปข้อมูลแบบซิงโครนัส

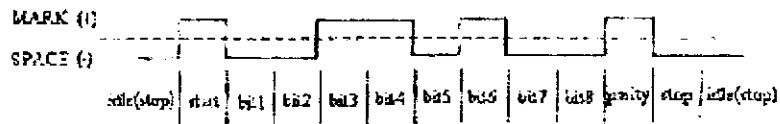
#### 4.4.2 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Transmission)

การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการส่งข้อมูลแบบไม่สัมพันธ์ จะแตกต่างกับแบบอะซิงโครนัส ตรงที่ไม่จำเป็นต้องมีการซิงโครไนซ์กันตลอดเวลาบนทางติดต่อข้อมูล โดยจะซิงค์ก็ต่อเมื่อมีข้อมูลที่จะรับหรือส่งเท่านั้น ในการที่จะส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสการส่งตัวอักษรสามารถเริ่มจากเวลาใดก็ได้เมื่อสายว่าง แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้ระบบสามารถที่จะทำงานได้จะต้องมีสภาวะบางอย่างที่จะใช้บอกกับเครื่องรับให้รู้ว่า ในช่วงเวลาใดกำลังมีข้อมูลตัวอักษรปรากฏอยู่บนสายสภาวะที่ใช้บอกนั้นก็คือ บิตเริ่มต้น บิตเริ่มต้น ไม่ใช่บิตข้อมูลแต่เป็นสัญญาณควบคุมที่จุดเริ่มต้นสถานะของสายส่งข้อมูลจะเปลี่ยนจาก "1"(Mark) มาเป็น "0" (Space) และถัดจากบิตเริ่มต้นก็จะบิตตัวอักษร ซึ่งจะเป็นเนื้อหาของข้อมูลของตัวอักษรแต่ละตัวที่ถูกส่งบิตที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด (LSB) จะถูกส่งตามบิตเริ่มต้นออกมา และหลังจากบิตข้อมูลส่งออกมาครบแล้ว จะตามด้วย บิตสุดท้าย โดยที่สถานะของสายส่งข้อมูลจะถูกส่งบังคับกลับเป็นมาร์ค (Mark) อีกครั้งหนึ่ง หน้าที่ของบิตสิ้นสุดก็เพื่อบอกการสิ้นสุดของข้อมูลที่รับส่งโดยมีขนาด 1-2 บิต



รูปที่ 4.12 แสดงการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

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



รูปที่ 4.13 แสดงรูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

เนื่องจากการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสการเพิ่มบิตลงในข้อมูล ทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลช้ากว่าแบบซิงโครนัส การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสเหมาะสำหรับงานประเภทการป้อนข้อมูลเข้าเพื่อส่ง มีลักษณะไม่ต่อเนื่องอย่างเช่น จากแป้นพิมพ์ (Key board) ส่วนในการส่งไฟล์ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่หลายๆ ควรใช้วิธีแบบซิงโครนัสบิตเริ่มต้น (Start bit) ในโปรโตคอลของการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส กำหนดให้สถานะมาร์ค (Mark State) เป็นสัญญาณลอจิก 1 เมื่อทางด้านส่งข้อมูลก็ต้องส่งบิตเริ่มต้นโดยแทนด้วยสถานะสเปซ (Space State) หรือสัญญาณลอจิก 0 จำนวน 1 บิตไปก่อน ซึ่งจะทำการด้านรับดีเทกซ์ (Detect) สถานะของสายส่งได้ว่าขณะนั้นสายส่งกำลังมีข้อมูลส่งมา สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นและมีผลต่อสัญญาณข้อมูลก็คือสไปค์ (Spike) ทำให้สถานะลอจิกของสายส่งมีช่วงเวลาสั้นเกินไป ทำให้ทางด้านรับไม่สามารถดีเทกซ์สถานะของสายส่งหรือสถานะของบิตเริ่มต้นได้ ดังนั้นส่วนใหญ่ทางด้านรับจะมีส่วนของวงจรสไปค์ ดีเทคชั่น (Spike Detection) ซึ่งทำหน้าที่สุ่มจับสัญญาณสถานะของสายส่งด้วยความถี่ของการสุ่มค่าหนึ่งในระหว่างบิตต่อบิต ซึ่งอาจจะเป็น 2.4 หรือ 16 ครั้งในระหว่าง 1 บิตก็ได้ ดังนั้นสรุปได้ว่า หน้าที่ของบิตเริ่มต้นนั้นจะเป็นตัวบอกว่าข้อมูลเริ่มต้นตรงไหน และเมื่อใช้ร่วมกับบิตหยุด ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปก็จะทำให้ทราบได้ว่าข้อมูลสิ้นสุดตรงไหน โดยความกว้างของบิตเริ่มต้นนี้จะมีค่ากว้างเท่ากับ 1 บิตก็หลังจากที่ด้านรับสามารถดีเทกซ์สัญญาณบิตเริ่มต้นได้แล้ว ก็จะทำการตรวจสอบสถานะของชิปรีจิสเตอร์ให้พร้อมที่จะรับข้อมูลได้ โดยบิตของข้อมูลจะมีจำนวนบิตข้อมูลเป็น 5, 6, 7, หรือ 8 บิต ขึ้นกับจำนวนคาร์แรกเตอร์ที่ใช้ดังแสดงตามตารางต่อไปนี้

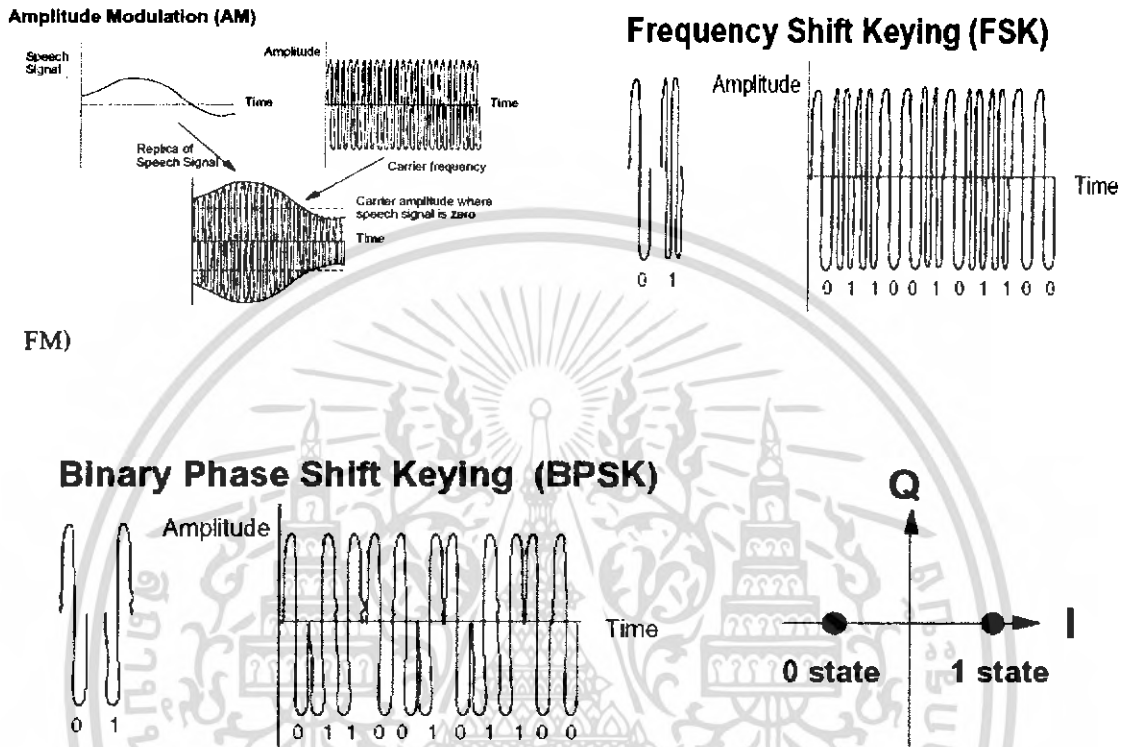
นอกจากนี้รหัสต่างๆ ที่ใช้อาจจะแทนด้วย 5 บิต ซึ่งเป็นมาตรฐานของรหัส Baudot โดยประกอบด้วยกลุ่มของคาร์แรกเตอร์ต่างๆ จำนวน 32 คาร์แรกเตอร์และถ้าเป็นรหัส 7 บิต จะประกอบไปด้วยกลุ่มของคาร์แรกเตอร์ จำนวน 128 คาร์แรกเตอร์ ซึ่งเป็นมาตรฐานของรหัส ASCH และใช้กันแพร่หลายมาก นอกจากนี้ยังมีรหัสขนาด 8 บิต หรือมาตรฐานของรหัส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

บิตพาริตี (Parity bit) บิตนี้จะทำหน้าที่ในการบอกให้ส่วนรับข้อมูลทราบว่า ข้อมูลที่รับเข้ามาผิดหรือไม่ (โดยบิตนี้จะทำหน้าที่ในการบอกให้ด้านรับทราบว่าข้อมูลที่ส่งมาแต่ละไบต์นั้น มีจำนวนบิตที่เป็น "1" อยู่เป็นจำนวนคี่ หรือจำนวนคู่ เช่น ข้อมูล 54H = 01010111 จะมีจำนวนบิตที่



#### 4.5 วิธีการรับและส่งข้อมูลระหว่างแท็กส์และเครื่องอ่าน

โดยมากมักจะใช้การมอดูเลตทางแอมพลิจูดหรือใช้การมอดูเลตทางแอมพลิจูดบวกกับการเข้ารหัสแมนเชสเตอร์(Manchester encoded AM) แต่ทว่าในปัจจุบันก็มีแท็กส์ที่ใช้การมอดูเลตแบบอื่น ๆ ด้วย เช่น การมอดูเลชันแบบเฟสชิฟท์คีย์ (Phase Shift Keying: PSK) ฟรีควเ็นซีชิฟท์คีย์ (Frequency Shift Keying: FSK) หรือการใช้การมอดูเลตทางความถี่(Frequency Modulation:



รูปที่4.14 การมอดูเลตในรูปแบบต่างๆ

ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างแท็กส์กับเครื่องอ่าน จะทำได้โดยมีประสิทธิภาพต่อเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหนะที่ใช้งาน เช่น เมื่อความถี่ใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ความยาวของเสาอากาศ (เป็นเส้นตรง) ที่เหมาะสมก็คือ 22.12 เมตรแน่นอนว่าในทางปฏิบัติเราคงไม่สามารถนำเสาอากาศที่ใหญ่ขนาดนั้นมาใช้งานกับแท็กส์ขนาดเล็กของเราได้ สายอากาศนี้ที่ดูเหมาะสมจะใช้ร่วมกับแท็กส์มากที่สุดคือสายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็กหรือที่มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า สายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (Magnetic dipole Antenna) รูปแบบของเสาอากาศแบบนี้จะมีอยู่หลากหลายทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันบนแกนอากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เป็นวงลูปที่ทำขึ้นจากสายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้งที่เป็นลูปแบบวงกลมและ

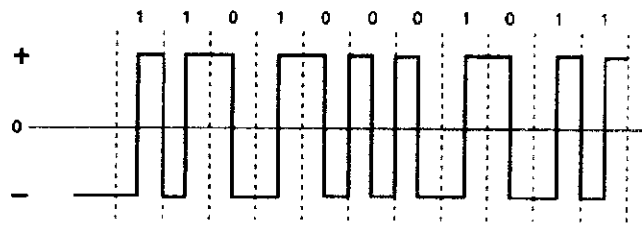
แบบสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะและประเภทของงานด้วยเช่นกัน

นอกจากการรับส่งข้อมูลแล้วสายอากาศก็ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับแท็กส์ด้วย โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของ “ ไมเคิล ฟาราเดย์ ” เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็ก (จากเครื่องอ่าน) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field ) ผ່งผ่านสายอากาศของแท็กส์เมื่อแท็กส์และเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันระยะ 0.16 เท่าของความยาวคลื่นพาหะที่ใช้ เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า Transformer-type Coupling ซึ่งปรากฏการณ์แบบเดียวกับการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ในทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Transformer) จะเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของแท็กส์

กลไกในการส่งข้อมูลของแท็กส์จะเกิดขึ้น โดยมีมอสเฟต T1 (ที่แท็กส์) ซึ่งทำงานเป็นสวิตช์เป็นผู้ควบคุมอีกที เพราะการเปิด/ปิดที่มอสเฟต T1 จะทำให้ค่าความต้านทานของโหลดเกิดการเปลี่ยนแปลงส่งผ่านให้ค่าแรงดันตกคร่อมเสาอากาศเปลี่ยนตามไปด้วย ซึ่งถ้าหากการเปิด/ปิดที่มอสเฟต T1 ถูกควบคุมด้วยข้อมูลที่ต่อการส่งก็จะทำให้เกิดการส่งข้อมูลด้วยการมอดูเลตทางแอมพลิจูดขึ้น กรรมวิธีในการส่งข้อมูลแบบนี้เรียกว่า โหลด มอดูเลชัน (Load Modulation) เนื่องจากว่าเป็นการส่งด้วยการมอดูเลตทางแอมพลิจูด เมื่อรับข้อมูลจึงต้องใช้ด้วย วงจรพีคดีเทกเตอร์ (Peak Detector) เพื่อดึงเอาส่วนขอบของสัญญาณที่รับกลับออกมา (ซึ่งนั่นก็คือข้อมูลนั่นเอง)

#### 4.6 การเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester)

คือการเข้ารหัสของข้อมูลดิจิทัลวิธีหนึ่ง ก่อนที่ข้อมูลซึ่งผ่านการเข้ารหัสและจะถูกส่งไปมอดูเลต เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับการซิงโครไนซ์ของข้อมูล เนื่องจากการส่งกระจายสัญญาณตามปกตินั้นหากมีการส่งสัญญาณดิจิทัลในระดับเดียวกันเป็นช่วงยาว เช่น การส่งสัญญาณดิจิทัลที่มีค่าลอจิกเป็น 1 ออกไป 20 บิตติดต่อกันจะทำให้การซิงโครไนซ์ของข้อมูลเกิดการคลาดเคลื่อน (เพราะ โดยปกติวงจรดิจิทัลจะปรับการซิงโครไนซ์ของข้อมูลได้เฉพาะในช่วงที่มีการเปลี่ยนระดับของข้อมูลจาก 1 เป็น 0 หรือจาก 0 เป็น 1 ) และทำให้รับข้อมูลผิดพลาด เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวจึงจะต้องมีการนำสัญญาณดิจิทัลปกติไปผ่านเข้ารหัสเสียก่อน โดยการเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์จะเปลี่ยนให้สัญญาณดิจิทัลลอจิก 0 ถูกแทนด้วยการเปลี่ยนค่าจาก ลอจิก 0 เป็น 1 และสัญญาณดิจิทัลลอจิก 1 เป็น 0 ข้อดีของการเข้ารหัสแบบนี้ก็คือทำให้การเปลี่ยนระดับของข้อมูลทุกๆ ครั้งเป็นไปอย่างแน่นอนหรือเกิดการเข้าจังหวะ (Synchronize) ป้องกันของข้อมูลนั่นเอง แต่ว่าการเข้ารหัสแบบนี้ก็มีข้อเสียอยู่กล่าวคือช่วงความถี่ที่ใช้ในการส่งข้อมูลต้องเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า



รูปที่ 4.15 แสดงการเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester)

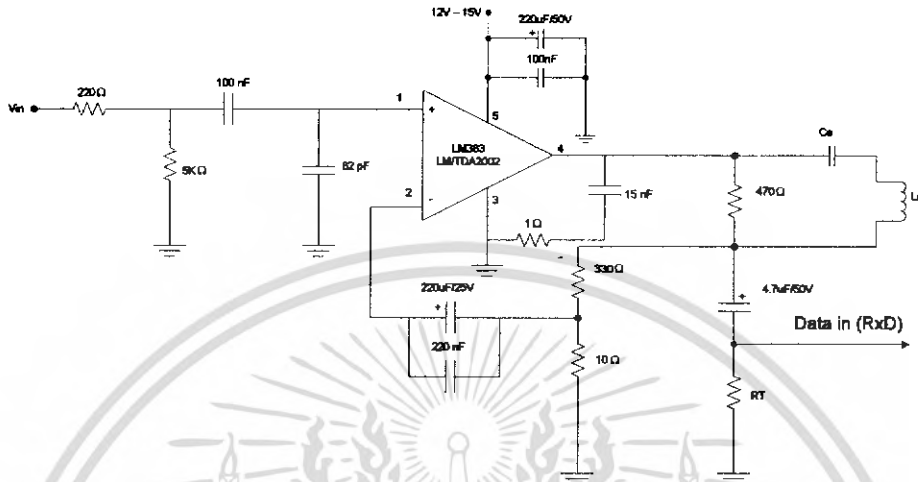


## บทที่ 5

### การออกแบบและการคำนวณ READER และ TAG

#### 5.1 READER

##### 5.1.1 เพาเวอร์แอมป์(Power Amplifier)



รูปที่ 5.1 Power Amplifier

##### 5.1.2 อุปกรณ์ในภาค Power Amplifier

- R ทั้งหมดเป็นแบบ 1/4 W
- C ทั้งหมดเป็นแบบ Milar
- LM 2002 T 1 ตัว

##### 5.1.3 วิธีการคำนวณ Reader Coil Drive (3×6) in<sup>2</sup>

$$B = \frac{V_{rms}}{2\pi fsNQ\cos\alpha} \quad \text{wb/m}^2$$

$$V_{rms} = 4.6 \text{ Vrms}, f = 125 \text{ KHz}, s \approx (5 \times 8) \text{ cm}^2 = 4 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$NQ_{MAX} = 117.6, \text{ margin Let } NQ = 100$$

$$\text{MARGIN Let } \cos \alpha = 0.95$$

$$B = \frac{4.6}{2\pi \times 125 \times 10^3 \times 4 \times 10^{-3} \times 100 \times 0.95} = 15.41 \times 10^{-6} \text{ wb/m}^2$$

MARGIN Let  $B = 16 \times 10^{-6} \text{ wb/m}^2$

$$(NI)_{\text{rms}} = \frac{2B(a^2 + r^2)^{3/2}}{\mu_0 a^2} \quad A_{\text{rms}}$$

### 5.1.4 Reader coil (3x6) in<sup>2</sup> Loop wire No 26 AWG

BW  $\approx$  20kHz

ตารางที่ 5.1 แสดงค่า C ที่ได้จากการคำนวณ ในจำนวนขดลวดที่แตกต่างกัน

N	Ls(วัต)	Rs(วัต)	$r_i = 2\pi BW L_s$	C <sub>s</sub>
10.75	45 $\mu$ H	0.57 $\Omega$	5.6 $\Omega$	36.0 nF
15.75	87 $\mu$ H	0.85 $\Omega$	11.0 $\Omega$	18.5 nF
20.75	152 $\mu$ H	1.2 $\Omega$	19.0 $\Omega$	10.7 nF
25.75	224 $\mu$ H	1.4 $\Omega$	28.0 $\Omega$	7.2 nF
30.75	297 $\mu$ H	1.6 $\Omega$	37.0 $\Omega$	5.4 nF
35.75	416 $\mu$ H	2 $\Omega$	52.0 $\Omega$	3.9 nF



รูปที่ 5.2 วงจรสมมูล ของวงจรภาคขยาย

$$I_{\text{drive}} = NI / (N - 0.75) \quad ; A_{\text{rms}}$$

$$P_{\text{drive}} = I_{\text{drive}}^2 R_T$$

$$V_{\text{CS}} = \sqrt{8} I_{\text{drive}} \frac{1}{2\pi f c_s} V_{\text{pp}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{RT} = \sqrt{8} I_{drive} R_T \quad V_{pp}$$

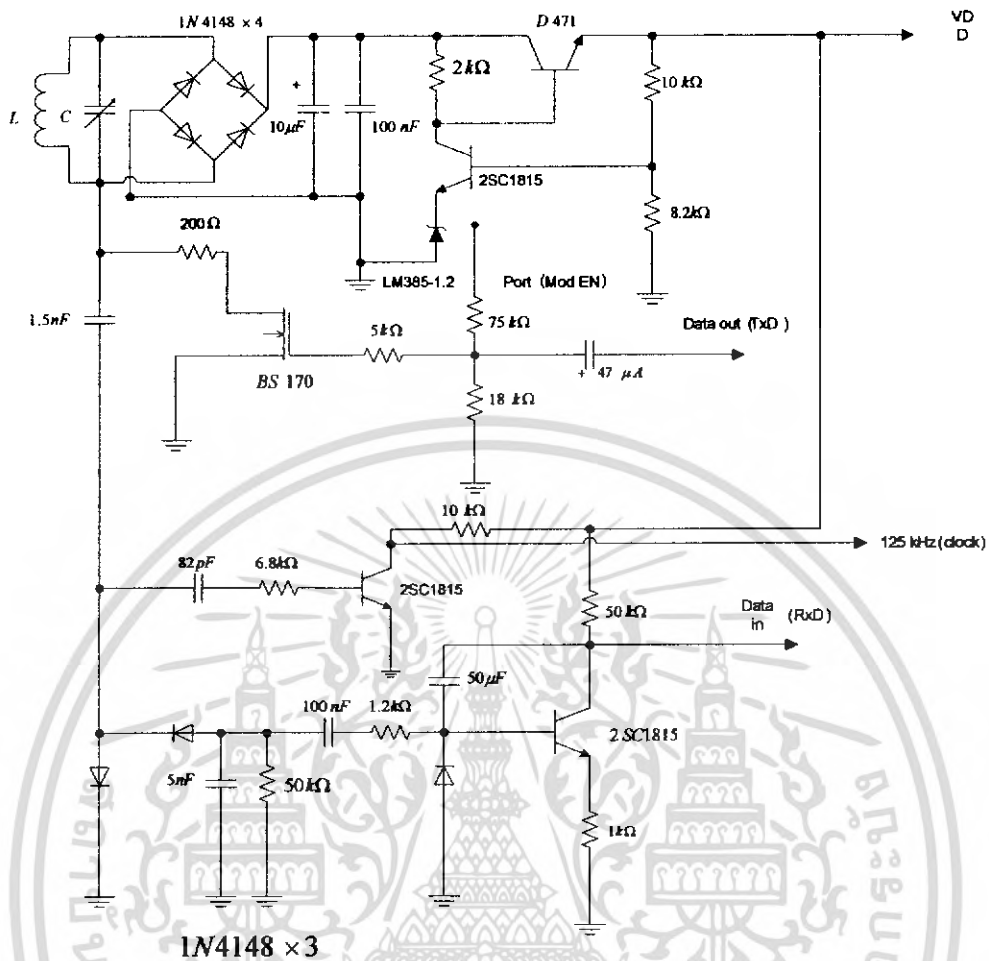
ตารางที่ 5.2 Reader coil Drive 125 kHz

Parameters	NI = 5 Arms (Marginal of 4.2 A)		NI = 3 Arms (Marginal of 2.4 A)		NI = 2 Arms (Marginal of 1.3A)	
	$I_{drive(Arms)}$	$V_{RT}(V_{pp})$	$I_{drive(Arms)}$	$V_{RT}(V_{pp})$	$I_{drive(Arms)}$	$V_{RT}(V_{pp})$
	$P_{drive(w)}$	$V_{CS}(V_{pp})$	$P_{drive(w)}$	$V_{CS}(V_{pp})$	$P_{drive(w)}$	$V_{CS}(V_{pp})$
N= 10.75 $R_T=5.6 \Omega$ $C_S=36 \text{ nF}$	0.5 Arms 1.40 w	7.92 Vpp 50 Vpp	0.30 Arms 504 mw	4.752Vpp 30 Vpp	0.2 Arms 224 mw	3.168 Vpp 20 Vpp
N=15.75 $R_T=11 \Omega$ $C_S=18.5 \text{ nF}$	0.333 Arms 1.222 w	10.37 Vpp 64.89 Vpp	0.2 Arms 440 mw	6.223 Vpp 38.93 Vpp	0.133Arms 195.6 mw	4.148 Vpp 25.96 Vpp
N=20.75 $R_T=19 \Omega$ $C_S=10.7 \text{ nF}$	0.25Arms 1.188 w	13.44 Vpp 84.14 Vpp	0.15 Arms 84.14 mw	8.123 Vpp 50.49 Vpp	0.1 Arms 190 mw	5.37 Vpp 33.66 Vpp
N=25.75 $R_T=28 \Omega$ $C_S=7.2 \text{ nF}$	0.2 Arms 1.20 w	15.84 Vpp 100 Vpp	0.12 Arms 403.2 mw	9.504 Vpp 60 Vpp	80 Arms 179.2 mw	6.336 Vpp 40 Vpp
N=30.75 $R_T=37 \Omega$ $C_S=5.4 \text{ nF}$	0.1667Arms 1.028 w	17.44 Vpp 111.4 Vpp	0.1 Arms 370 mw	13.69 Vpp 66.69 Vpp	66.67Arms 164.4 mw	6.977 Vpp 44.46 Vpp
N=35.75 $R_T=52 \Omega$ $C_S=3.9 \text{ nF}$	0.1429Arms 1.061 w	21.01 Vpp 131.9 Vpp	85.71 Arms 382 mw	12.61 Vpp 79.15 Vpp	57.1 Arms 169.8 mw	8.404 Vpp 52.77 Vpp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 5.2 วงจรรวมของภาค Tag

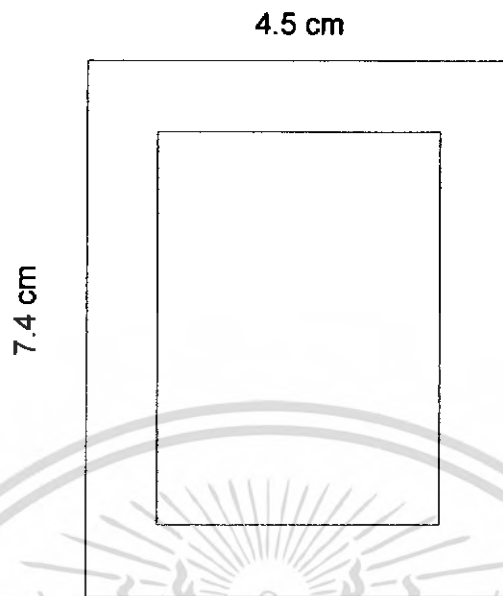


รูปที่ 5.4 วงจรรวมของ Tag ก่อนที่จะส่งไปยังภาคไมโครคอนโทรลเลอร์

### 5.2.1 อุปกรณ์ที่สำคัญในภาค Tag

TR D471	2	ตัว
TR LM 385-1.2	1	ตัว
TR 2SC1815	1	ตัว
MOS BS 170	1	ตัว

## 5.2.2 การออกแบบ Rectangular Loop Tag Coil 125 kHz



รูปที่ 5.5 SQUARE LOOP COIL ของ Tag

## 5.2.3 วิธีคำนวณการพันขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ

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

N = Number of Turns

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

h = coil Height  $\approx$  wire diameter

x = Average width of coil  $\approx$  4.5 cm

y = Average length of coil  $\approx$  7.4 cm

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

$d_t$  = Total wire diameter

b = width of cross section

$$b \approx n(d_t + 0.025); \text{ spacing } \approx 0.25 \text{ mm}$$

$d_t$  = Bare wire diameter + Coating Thick; Coating Max 3/1000 inch  $\approx 76.23 \times 10^3$

d = Bare Wire diameter

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

$$0.01 \text{ cm} = 100 \times 10^{-3} \text{ mm} \\ = (75+25) \times 10^{-3} \text{ mm}$$

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

$\delta$  = Skin depth

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

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

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

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

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

$$r_{\text{dc}} = \frac{\rho l}{A} ; l, A \text{ in m } \quad \Omega$$

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

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

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

$$\text{ถ้า } d - 2\delta \leq 0 : r_{\text{AC}} \approx \frac{\rho l}{A_{\text{DC}}} \left(1 + \frac{1}{48} \left(\frac{d}{2\delta}\right)^2\right) \Omega$$

$$Q_u = \frac{2\pi f L}{r_{\text{AC}}} : r_{\text{AC}} = \text{Series Resistance}$$

ซึ่งมีค่าเท่ากับ

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

$$R_{L \text{ TOT}} = r_p / R_{\text{LAG}}$$

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

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

$$\text{FREQ} = 125 \text{ KHz}$$

$$V_{\text{DD}} \approx 4\text{V}, I_{\text{DD}} \leq 7.5 \text{ mA}$$

$$V_{\text{DC in}} \approx 5\text{V}, I_{\text{DC in}} \approx 8 \text{ mA} : P_{\text{LOAD DC}} \approx 40 \text{ mw}$$

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

$$P_{AC} = 4.6 \text{ V}_{rms} \cdot I_{AC} = P_{LOAD DC} = 40 \text{ mw}$$

$$\text{ได้ } I_{AC} \approx 8.696 \text{ mA}_{ms}$$

$$R_{LAC} \approx 4.6v / 8.696 \text{ mA} \approx 529 \Omega$$

#### 5.2.4 Tag Average Size (4.5x 7.5) cm<sup>2</sup>

Bare wire diam  $\approx 0.16 \text{ mm}$

Total wire diam  $\approx 0.18 \text{ mm}$

ใช้ขดลวดเบอร์ 34 AWG

ตารางที่ 5.3 ประสิทธิภาพในการพันขดลวดโดยมีจำนวนรอบที่แตกต่างกัน

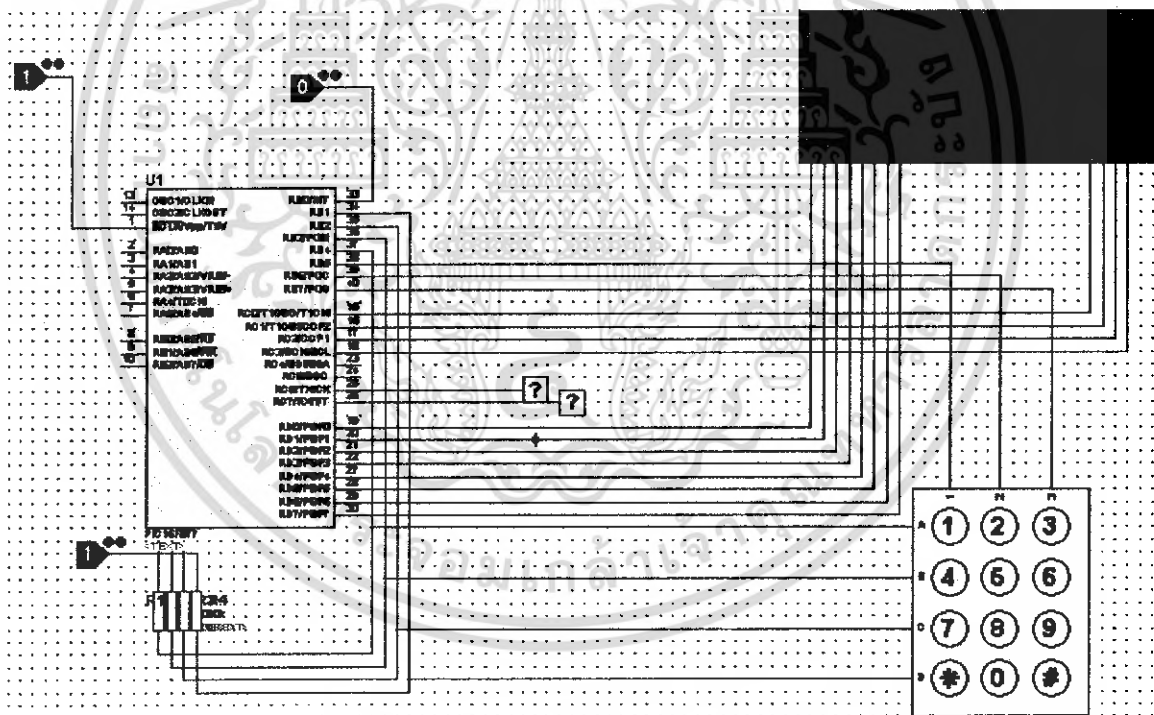
N	$b(mm)$	$Ls(\mu H)$	$Q_u$	$r_{SAC}(\Omega)$	$R_{TOT}$	$Q_L Q_L$	C	$BW(kHz)$
	$l_c(m)$	$Lp(\mu H)$		$r_{PAC}(\Omega)$				$Q_L \cdot N$
22	6.160	71.60	11.60	4.850	293.0	5.172	22.47	24.17
	5.551	72.13		656.9				113.8
23	6.440	77.81	12.03	5.082	308.5	5.013	20.69	24.93
	5.816	78.35		740.0				115.3
24	6.720	84.25	12.45	5.314	332.9	4.85	19.12	25.78
	6.083	84.79		829.1				116.4
25	7.000	90.90	12.87	5.548	336.4	4.684	17.73	26.69
	6.350	91.45		924.3				117.1
26	7.280	97.78	13.28	5.783	349	4.519	16.49	27.66
	6.619	98.34		1026				117.5
27	7.560	104.9	13.69	6.018	360.7	4.355	15.37	28.70
	6.888	105.4		1134				117.6
28	7.840	112.2	14.09	6.255	371.5	4.195	14.38	29.80
	7.159	112.8		1248				117.4
29	8.120	119.7	14.48	6.492	381.5	4.038	13.48	30.96
	7.431	120.3		1368				117.1
30	8.400	127.5	14.87	6.731	390.8	3.886	12.66	32.17
	7.704	128.0		1496				116.6
31	8.680	135.4	15.26	6.971	399.4	3.739	11.92	33.43
	7.978	136.0		1630				115.9

## บทที่ 6 โปรแกรมการคิดต่อสื่อสารข้อมูล

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

### 6.1 เครื่องอ่าน

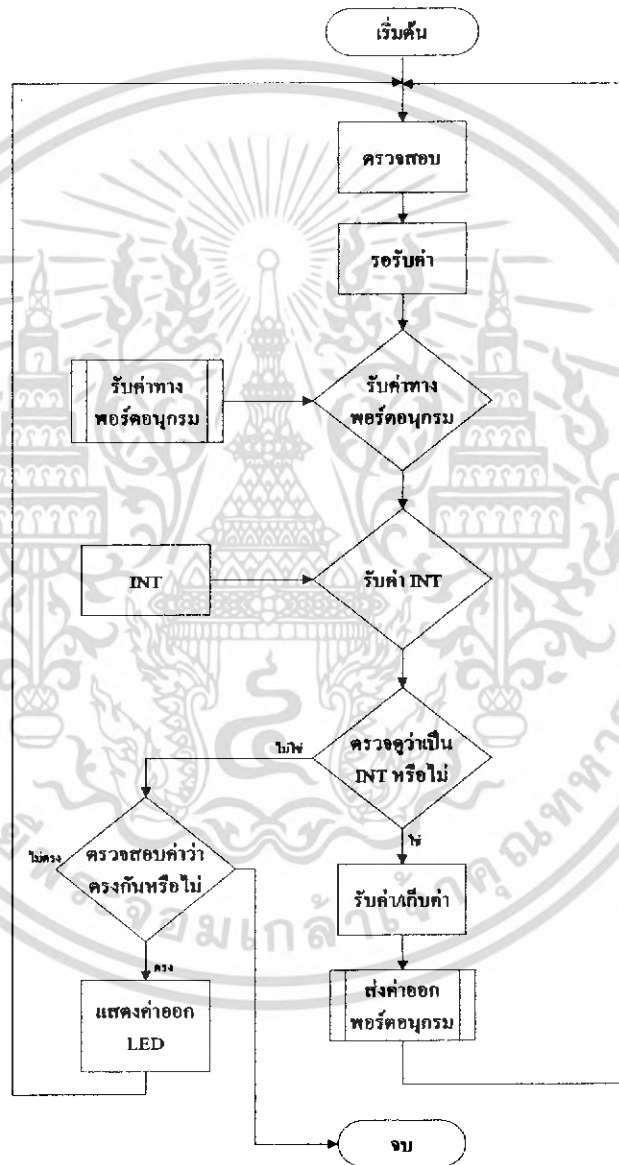
#### 6.1.1 ส่วนของวงจรของเครื่องอ่าน



รูปที่ 6.1 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องอ่าน

จากรูปที่ 6.1 เป็นวงจรของเครื่องอ่าน โดยที่พอร์ต B จะเป็นพอร์ตอินพุตรับสวิทช์เพื่อทำการ เซ็ตข้อมูลส่งให้เครื่องถูกข่าย ส่วนพอร์ต D จะเป็นพอร์ตเอาต์พุต โดยมี 74LS245 ต่อเป็นบัฟเฟอร์ก่อน ส่งสัญญาณข้อมูล ไปโซ้วที่ LED และใช้พอร์ต RC6 กับ RC7 ในการส่งผ่านข้อมูลออกพอร์ตอนุกรม

### 6.1.2 โฟลว์ชาร์การทำงานของเครื่องอ่าน



รูปที่ 6.2 แสดงโฟลว์ชาร์การทำงานของเครื่องอ่าน

### 6.1.3 ส่วนของโปรแกรมของเครื่องอ่าน

```
#DEFINE _PIC16F877_  
  
#include <16F877.h>  
  
#define TxD PIN_C6 //use port_c6=transmitt  
  
#define RxD PIN_C7 //use port_c7=reciver  
  
//#define CLOCK_SP 13560000  
  
#define CLOCK_SP 125000 //...../2.....//  
  
//#define CLOCK_SP 3390000 //...../4.....//  
  
#define MAX_DATA_EEPROM 256  
  
#fuses HS  
#fuses NOLVP,NOVDT  
#fuses NOPROTECT  
#use delay (clock=CLOCK_SP)  
#use rs232(baud=1100,xmit=TxD,rcv=RxD) //....9600...//  
#use fast_io(b)  
#use fast_io(d)  
#use fast_io(e)  
  
#define led1 pin_c0  
#define led2 pin_c1  
#define led3 pin_c2  
#define led4 pin_c3  
  
#define c0 pin_b7  
#define c1 pin_b6
```

```
#define c2 pin_b5
```

```
#DEFINE r1 pin_b4
```

```
#DEFINE r2 pin_b3
```

```
#DEFINE r3 pin_b2
```

```
#DEFINE r4 pin_b1
```

```
void display(void);
```

```
INT PASSWORD_IN=1,K=0,d=0,h = 0,j = 0,pass,i;
```

```
char number_key[4] = {0x40,0x40,0x40,0x40};
```

```
char PASSWORD,PASSWORD2,PASSWORD3,PASSWORD4;
```

```
#INT_EXT
```

```
VOID EXT(VOID){
```

```
    putc(number_key[0]);
```

```
    putc(number_key[1]);
```

```
    putc(number_key[2]);
```

```
    putc(number_key[3]);
```

```
}
```

```
#int_rda
```

```
VOID rs232_isr(VOID){
```

```
    PASSWORD = getc();
```

```
    PASSWORD2 = getc();
```

```
    PASSWORD3 = getc();
```

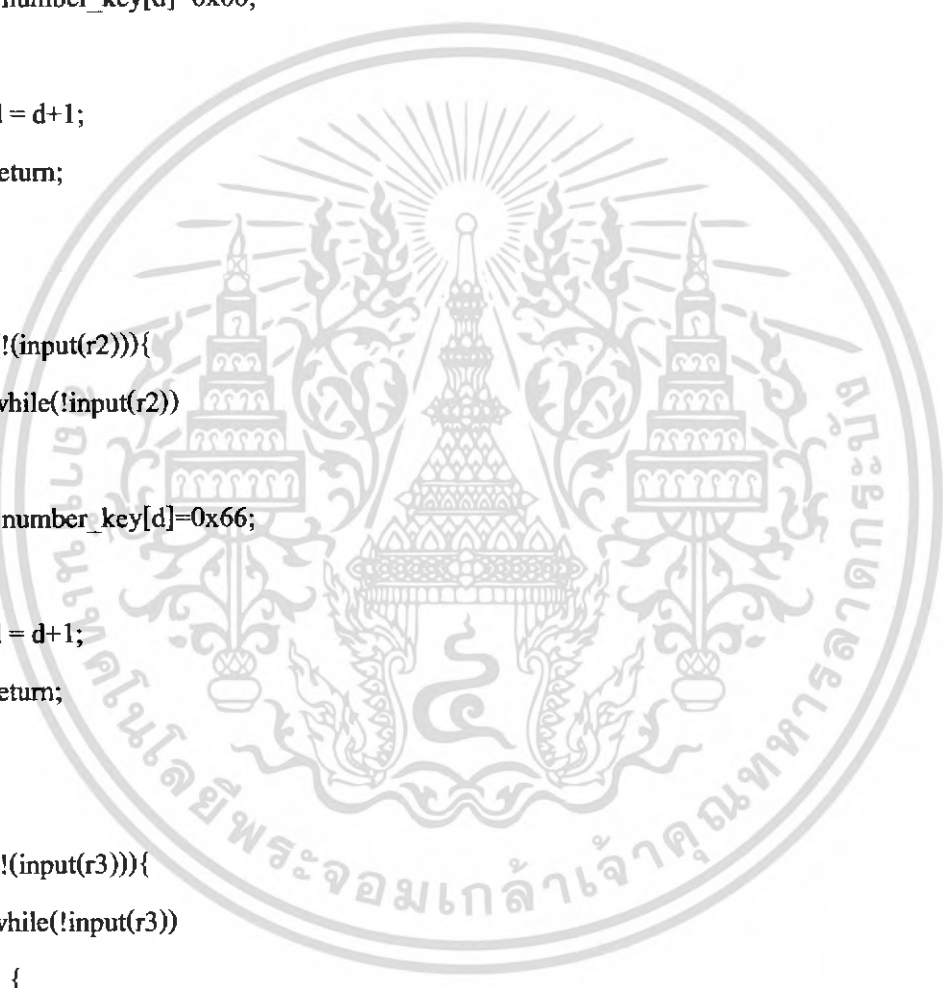
```
PASSWORD4 = getc();  
k=1;  
h = 1;  
}
```

```
void display(void){  
    output_low(led1);  
    output_d(0x40);  
    delay_ms(5);  
    output_high(led1);  
  
    output_low(led2);  
    output_d(0x3f);  
    delay_ms(5);  
    output_high(led2);  
  
    output_low(led3);  
    output_d(0x76);  
    delay_ms(5);  
    output_high(led3);  
  
    output_low(led4);  
    output_d(0x40);  
    delay_ms(5);  
    output_high(led4);  
}
```

```

void check_key(void){
//check col 1
output_low(c0);
if(!(input(r1))){
while(!input(r1))
{
number_key[d]=0x06;
}
d = d+1;
return;
}
if(!(input(r2))){
while(!input(r2))
{
number_key[d]=0x66;
}
d = d+1;
return;
}
if(!(input(r3))){
while(!input(r3))
{
number_key[d]=0x07;
}
d = d+1;
return;
}
}

```



```

}

if(!(input(r4))) {
    while(!input(r4))
    {
        number_key[d]=0x99;
    }
    d = d+1;
    return;
}
output_high(c0);

//check col 2
output_low(c1);
if(!(input(r1))) {
    while(!input(r1))
    {
        number_key[d]=0x5b;
    }
    d = d+1;
    return;
}

if(!(input(r2))) {
    while(!input(r2))
    {
        number_key[d]=0x6d;
    }
}

```

```

}
d = d+1;
return;
}

```

```

if(!(input(r3))){
while(!input(r3))
{
number_key[d]=0x7f;
}
d = d+1;
return;
}

```

```

if(!(input(r4))){
while(!input(r4))
{
number_key[d]=0x3f;
}
d = d+1;
return;
}

```

```

output_high(c1);

```

```

//check col 3

```

```

output_low(c2);

```

```

if(!(input(r1))){

```

```

while(!input(r1))
{
    number_key[d]=0x4f;
}
d = d+1;
return;
}

```

```

if(!(input(r2)))

```

```

while(!input(r2))
{
    number_key[d] =0x7d;
}
d = d+1;
return;
}

```

```

if(!(input(r3)))

```

```

while(!input(r3))
{
    number_key[d]=0x6f;
}
d = d+1;
return;
}

```

```

if(!(input(r4))){

while(!input(r4))
{
    number_key[d]=0x88;
}
d = d+1;
return;
}
output_high(c2);
}

void show_status(void){

output_low(led1);
output_d(0x40);
output_high(led1);

output_low(led2);
output_d(0x3f);
output_high(led2);

output_low(led3);
output_d(0x3f);
output_high(led3);

output_low(led4);
output_d(0x40);

```

```

    output_high(led4);

}

VOID MAIN(VOID)
{
    SET_TRIS_A(0XFF);
    SET_TRIS_B(0X1f);
    SET_TRIS_c(0XFF);
    SET_TRIS_D(0X00);
    ENABLE_INTERRUPTS(GLOBAL);
    ENABLE_INTERRUPTS(INT_EXT);
    ENABLE_INTERRUPTS(int_rda);

while(1){

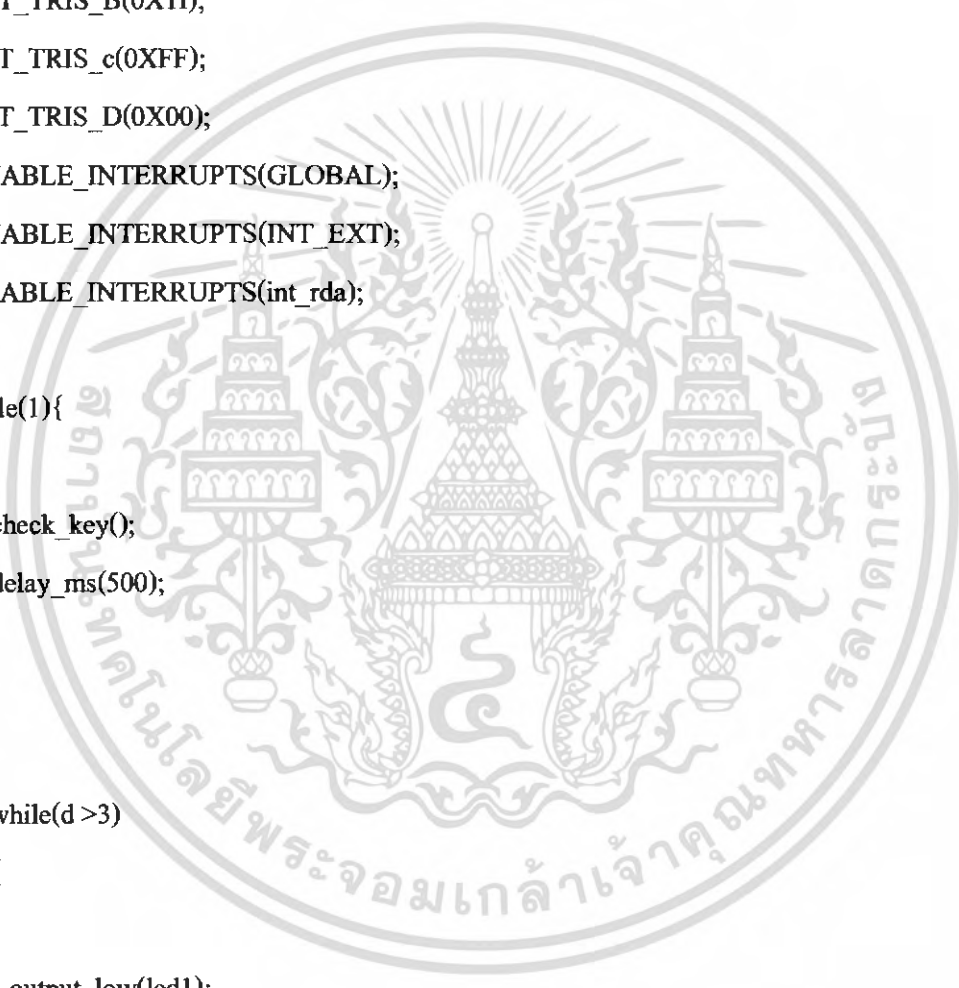
    check_key();
    delay_ms(500);

while(d >3)
{

    output_low(led1);
    output_d(number_key[0]);
    output_high(led1);

    output_low(led2);

```



```

output_d(number_key[1]);
output_high(led2);

output_low(led3);
output_d(number_key[2]);
output_high(led3);

output_low(led4);
output_d(number_key[3]);
output_high(led4);

while(k)
{
output_low(led1);
output_d(number_key[0]);
output_high(led1);

output_low(led2);
output_d(number_key[1]);
output_high(led2);

output_low(led3);
output_d(number_key[2]);
output_high(led3);

output_low(led4);
output_d(number_key[3]);
output_high(led4);
}

```

```

while(h)
{
    if(number_key[0] == PASSWORD && number_key[1] == PASSWORD2 &&
number_key[2] == PASSWORD3 && number_key[3] == PASSWORD4)
    {
        i=0;
        while( i< 255)
        {
            j= 0;
            while(j < 255)
            {
                output_low(led1);
                output_d(0x40);
                output_high(led1);

                output_low(led2);
                output_d(0x3f);
                output_high(led2);

                output_low(led3);
                output_d(0x76);
                output_high(led3);

                output_low(led4);
                output_d(0x40);
                output_high(led4);
                j++;
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    i = i+1;
}
i=0;
while( i< 255)
{
    j = 0;
    while(j < 255)
    {
        output_low(led1);
        output_d(0x40);
        output_high(led1);

        output_low(led2);
        output_d(0x40);
        output_high(led2);

        output_low(led3);
        output_d(0x40);
        output_high(led3);

        output_low(led4);
        output_d(0x40);
        output_high(led4);

        j++;
    }
    i++;
}

```

```

h = 0;

PASSWORD = PASSWORD2 = PASSWORD3 = PASSWORD4 = 0;

}

else

h = 0;

}

}

}

}

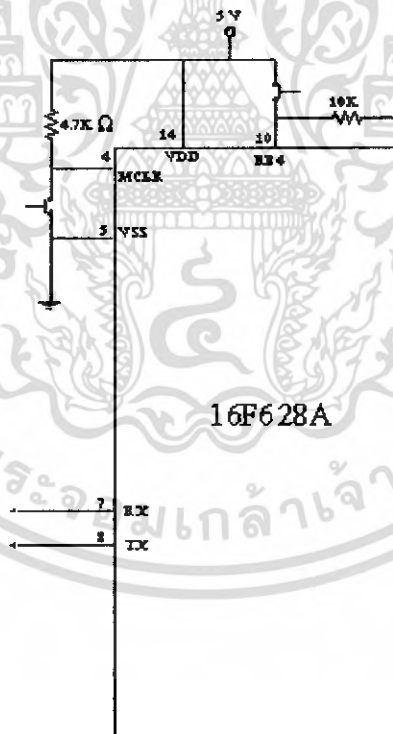
}

}

```

## 6.2 เครื่องลูกข่าย

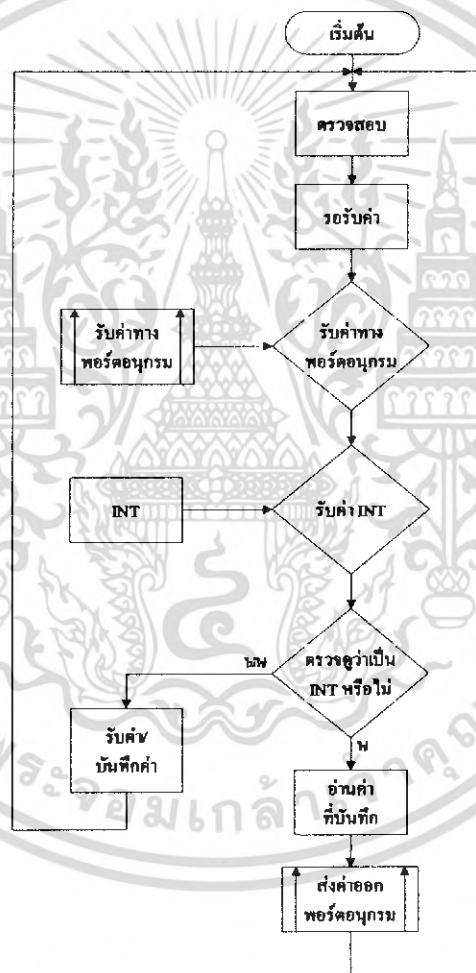
### 6.2.1 ส่วนของวงจรลูกข่าย



รูปที่ 6.3 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องลูกข่าย

จากรูปที่ 7.3 เป็นวงจรของเครื่องลูกข่าย โดยที่พอร์ต RB1 และ RB2 จะเป็นพอร์ตอินพุตรับข้อมูลจากพอร์ตคอนนุกรมเพื่อทำการเซตข้อมูลให้กับเครื่องลูกข่าย แล้วยังเป็นช่องทางในการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายอีกด้วย ส่วนพอร์ต RB4 จะเป็นพอร์ตอินพุตรับคำสั่งว่าจะให้ส่งข้อมูลออกทางพอร์ตคอนนุกรมหรือไม่

### 6.2.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของเครื่องลูกข่าย



รูปที่ 6.4 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของเครื่องลูกข่าย

### 6.2.3 ส่วนของโปรแกรมของเครื่องถูกถ่าย

```
#define _PIC16F628a_

#include <16F628a.h>

#define TxD PIN_B2 //use port_c6=transmitt
#define RxD PIN_B1 //use port_c7=reciver

#define CLOCK_SP 125000 //...../2.....//
//define CLOCK_SP 3390000 //...../4.....//
#define MAX_DATA_EEPROM 128

#fuses HS
#fuses NOLVP,NOWDT
#fuses NOPROTECT
#use delay (clock=CLOCK_SP)
#use rs232(baud=1100,xmit=TxD,rcv=RxD) //....9600...//

int PASSWORD,PASSWORD2,PASSWORD3,PASSWORD4;
int k=0;

#int_rda
VOID rs232_isr(VOID){
    PASSWORD = GETC();
    PASSWORD2 = GETC();
    PASSWORD3 = GETC();
    PASSWORD4 = GETC();
}
```

```

    K = 1;
}

void main(void){
    SET_TRIS_A(0X00);
    ENABLE_INTERRUPTS(GLOBAL);
    ENABLE_INTERRUPTS(int_rda);
    SET_TRIS_B(0X1b);
    SET_TRIS_A(0X00);
    output_low(pin_b2);
    output_low(pin_a1);

    while(1)
    {
        while(!(input(pin_b4)))
        {
            putc(PASSWORD);
            putc(PASSWORD2);
            putc(PASSWORD3);
            putc(PASSWORD4);
            output_high(pin_b2);
            output_high(pin_a1);
            while(!(input(pin_b4))) }
        }
    }
}

```

**บทที่ 7**  
**การทดลอง**

**7.1 การทดลองรับส่งพลังงานระหว่างเครื่องรับและเครื่องถูกขाय**

โดยปรับเปลี่ยนค่าแรงดันตั้งแต่ 12 V.-15V. จากเครื่องอ่านและให้ค่าของ output ที่ Rt มีค่ามากที่สุด ในการวาง Reader Coil กับ Tag Coil นั้นควรจะห้ามในการวางให้การส่งผ่านพลังงานของขดลวดทั้งสอง เพื่อให้ได้ Output ที่ตกคร่อม C ของ Tag มีค่าที่มากที่สุดเช่นกัน หลังจากนั้นทำการทดลองโดยการวัดที่ระยะ 0-5 เซนติเมตร โดยวัด 4 จุดคือ

1. วัดที่ Rt ของ Reader
2. วัดคร่อม Coil ของ Tag
3. วัดที่หลัง Rectifier ของ Tag
4. วัดที่หลัง Regulator ของ Tag

ตารางที่ 7.1 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้ของเครื่องอ่านและเครื่องถูกขाय ที่ระยะ 0 cm.

Vin	Vo(Reader) (Vac)	วัดคร่อม Coil (Vac)	วัดหลัง Recfier (Vdc)	วัดหลัง Regulater (Vdc)
12.0	4.59	18.2	6.03	5.26
12.5	4.65	18.4	6.08	5.34
13.0	4.62	19.3	6.12	5.38
13.5	4.69	19.4	6.14	5.40
14.0	4.69	19.4	6.14	5.40
14.5	4.73	19.7	6.15	5.40
15.0	4.75	19.7	6.15	5.40

ตารางที่ 7.2 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้ของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ที่ระยะ 1 cm.

Vin (Reader)	Vo(Reader) (Vac)	วัดคร่อม Coil (Vac)	วัดหลัง Recfier (Vdc)	วัดหลัง Regulater (Vdc)
12.0	3.94	20.5	6.17	5.43
12.5	3.98	20.8	6.18	5.45
13.0	4.12	21.2	6.18	5.45
13.5	4.16	21.4	6.20	5.46
14.0	4.21	21.6	6.21	5.46
14.5	4.25	21.9	6.21	5.46
15.0	4.26	22.3	6.21	5.47

ตารางที่ 7.3 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้ของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ที่ระยะ 2 cm.

Vin (Reader)	Vo(Reader) (Vac)	วัดคร่อม Coil (Vac)	วัดหลัง Recfier (Vdc)	วัดหลัง Regulater (Vdc)
12.0	4.14	19.9	6.18	5.45
12.5	4.18	20.1	6.18	5.45
13.0	5.23	20.3	6.18	5.45
13.5	4.35	20.9	6.19	5.46
14.0	4.43	21.1	6.20	5.46
14.5	4.43	21.1	6.20	5.46
15.0	4.44	21.2	6.21	5.47

ตารางที่ 7.4 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้ของเครื่องอ่านและเครื่องถูกข่าย ที่ระยะ 3 cm.

Vin (Reader)	Vo(Reader) (Vac)	วัดคร่อม Coil (Vac)	วัดหลัง Recfier (Vdc)	วัดหลัง Regulater (Vdc)
12.0	3.12	21.5	6.35	5.59
12.5	3.14	21.6	6.39	5.62
13.0	3.29	22.2	6.40	5.63
13.5	3.45	23.1	6.41	5.64
14.0	3.68	23.3	6.41	5.64
14.5	3.70	23.3	6.41	5.64
15.0	3.78	23.4	6.42	5.65

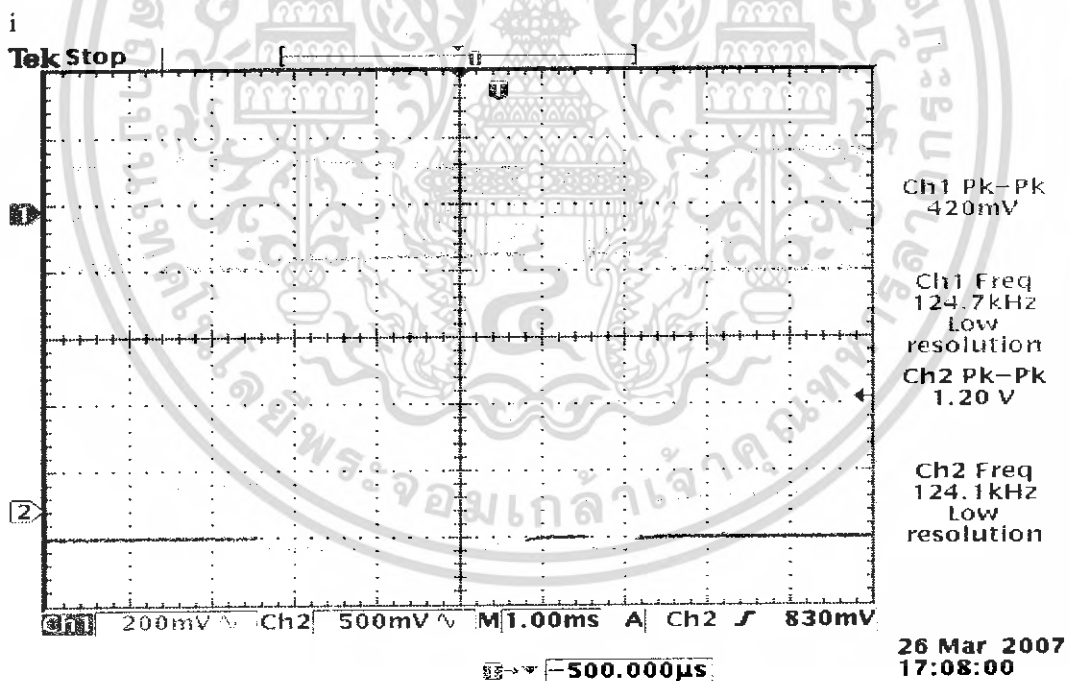
ตารางที่ 7.5 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้ของเครื่องอ่านและเครื่องถูกข่าย ที่ระยะ 4 cm.

Vin (Reader)	Vo(Reader) (Vac)	วัดคร่อม Coil (Vac)	วัดหลัง Recfier (Vdc)	วัดหลัง Regulater (Vdc)
12.0	4.49	18.18	6.12	5.45
12.5	4.51	18.20	6.12	5.45
13.0	4.63	18.21	6.14	5.46
13.5	4.68	18.29	6.17	5.47
14.0	4.69	18.33	6.17	5.47
14.5	4.70	18.35	6.18	5.48
15.0	4.71	18.38	6.19	5.48

ตารางที่ 7.6 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้ของเครื่องอ่านและเครื่องถูกข่าย ที่ระยะ 5 cm.

Vin (Reader)	Vo(Reader) (Vac)	วัดคร่อม Coil (Vac)	วัดหลัง Recfier (Vdc)	วัดหลัง Regulater (Vdc)
12.0	4.79	15.31	6.11	5.37
12.5	4.85	15.35	6.12	5.37
13.0	4.87	15.38	6.12	5.37
13.5	4.88	15.40	6.13	5.38
14.0	4.90	15.42	6.14	5.38
14.5	4.90	15.42	6.14	5.38
15.0	4.93	15.45	6.16	5.39

7.2 สัญญาณที่ได้จากการส่งข้อมูลระหว่าง Reader กับ Tag



รูปที่ 7.1 เปรียบเทียบสัญญาณข้อมูลที่ได้ระหว่าง Reader กับ Tag

## บทที่ 8 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

### 8.1 สรุปผลการทดลอง

ในผลการทดลองเมื่อป้อนแรงดันที่แตกต่างกันในแต่ละค่า แรงดันที่ output ของ Reader จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่จะลดลงโดยตลอด การส่งพลังงานระหว่างเครื่องอ่านข้อมูลและเครื่องถูกข่ายในระยะที่แตกต่างกัน ทำให้รู้ว่าที่ระยะการทำงานตั้งแต่ 0-5 เซนติเมตร จะมีการส่งพลังงานได้ดีที่ระยะการทำงานที่ ระยะ 3 เซนติเมตร แต่ระยะที่ใช้งานจริงจะอยู่ที่ 1-5 เซนติเมตร ก็สามารถใช้งานได้ทั้งหมดเนื่องจากมีแรงดันหลังวงจร Regulator เพียงพอที่สามารถทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานเพื่อที่จะทำหน้าที่อ่านข้อมูลและส่ง กลับไปยัง Reader อีกครั้ง แต่ระยะที่ไม่ได้วัดตั้งแต่ 6 เซนติเมตร เป็นต้นไปพลังงานที่ส่งจาก Reader ไปยัง Tag จะมีการลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนไม่สามารถที่จะส่งข้อมูลกันได้

### 8.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

การทำงานเกิดความล่าช้าขึ้นเพราะไม่คุ้นเคยกับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ที่ใช้งาน จึงต้องทำการศึกษาค้นคว้าหาทฤษฎีที่จะมาทำการเขียนโปรแกรมลงไปเพื่อควบคุมการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM383/LM383A 7W Audio Power Amplifier

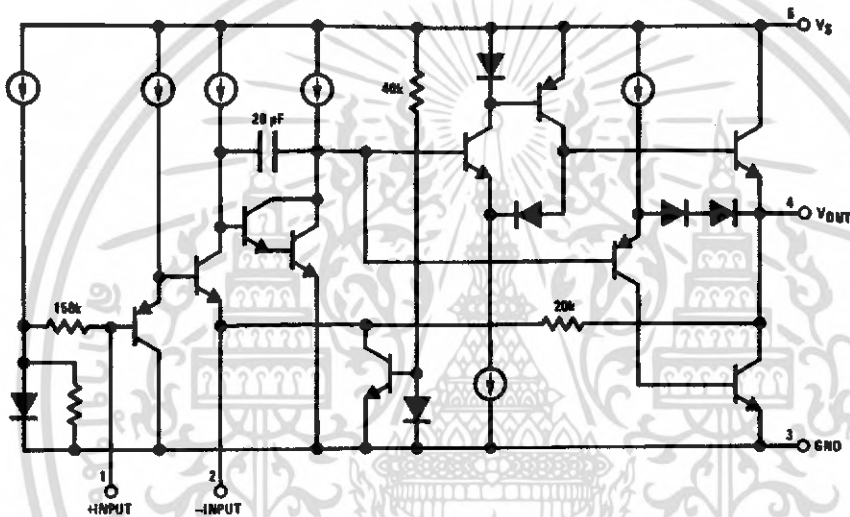
### General Description

The LM383 is a cost effective, high power amplifier suited for automotive applications. High current capability (3.5A) enables the device to drive low impedance loads with low distortion. The LM383 is current limited and thermally protected. High voltage protection is available (LM383A) which enables the amplifier to withstand 40V transients on its supply. The LM383 comes in a 5-pin TO-220 package.

### Features

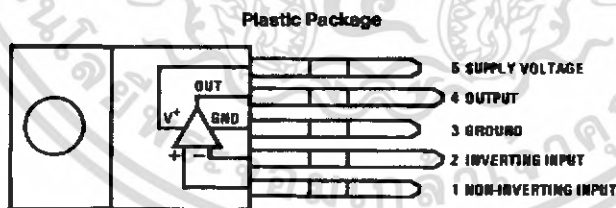
- High peak current capability (3.5A)
- Large output voltage swing
- Externally programmable gain
- Wide supply voltage range (5V-20V)
- Few external parts required
- Low distortion
- High input impedance
- No turn-on transients
- High voltage protection available (LM383A)
- Low noise
- AC short circuit protected

### Equivalent Schematic



TL/H/7145-1

### Connection Diagram



TL/H/7145-2

Order Number LM383T or LM383AT  
See NS Package Number T05B

## Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Peak Supply Voltage (50 ms)	
LM383A (Note 2)	40V
LM383	25V
Operating Supply Voltage	20V
Output Current	
Repetitive	3.5A
Non-repetitive	4.5A

Input Voltage	$\pm 0.5V$
Power Dissipation (Note 3)	15W
Operating Temperature	$0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$
Storage Temperature	$-60^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	$260^{\circ}C$

## Electrical Characteristics $V_S = 14.4V$ , $T_{TAB} = 25^{\circ}C$ , $A_V = 100$ (40 dB), $R_L = 4\Omega$ , unless otherwise specified

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
DC Output Level		6.4	7.2	8	V
Quiescent Supply Current	Excludes Current in Feedback Resistors		45	80	mA
Supply Voltage Range		5		20	V
Input Resistance			150		k $\Omega$
Bandwidth	Gain = 40 dB		30		kHz
Output Power	$V_S = 13.2V$ , $f = 1$ kHz		4.7		W
	$R_L = 4\Omega$ , THD = 10%		7.2		W
	$R_L = 2\Omega$ , THD = 10%		5.1		W
	$V_S = 13.8V$ , $f = 1$ kHz		7.8		W
	$R_L = 4\Omega$ , THD = 10%		4.6		W
	$R_L = 2\Omega$ , THD = 10%	7	8.6		W
	$V_S = 14.4V$ , $f = 1$ kHz		9.9		W
	$R_L = 4\Omega$ , THD = 10%		7		W
	$R_L = 2\Omega$ , THD = 10%		10.5		W
	$R_L = 1.6\Omega$ , THD = 10%		11		W
THD	$P_o = 2W$ , $R_L = 4\Omega$ , $f = 1$ kHz		0.2		%
	$P_o = 4W$ , $R_L = 2\Omega$ , $f = 1$ kHz		0.2		%
Ripple Rejection	$R_S = 50\Omega$ , $f = 100$ Hz	30	40		dB
	$R_S = 50\Omega$ , $f = 1$ kHz		44		dB
Input Noise Voltage	$R_S = 0$ , 15 kHz Bandwidth		2		$\mu V$
Input Noise Current	$R_S = 100$ k $\Omega$ , 15 kHz Bandwidth		40		pA

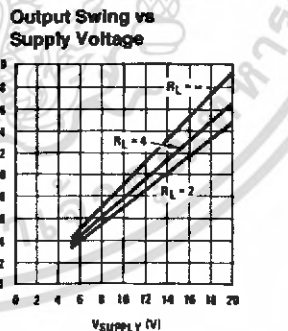
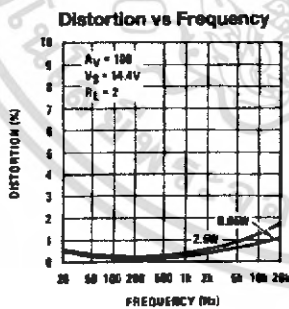
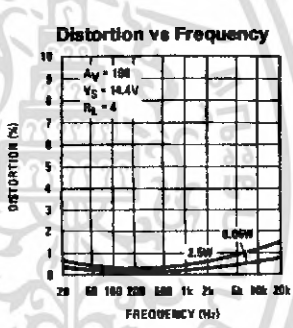
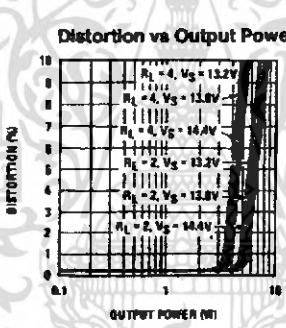
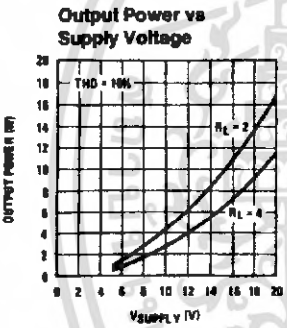
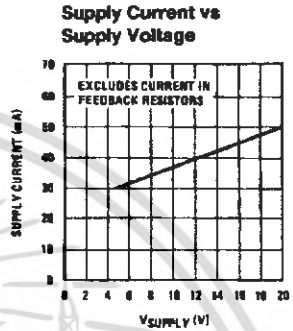
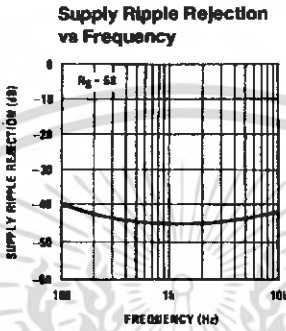
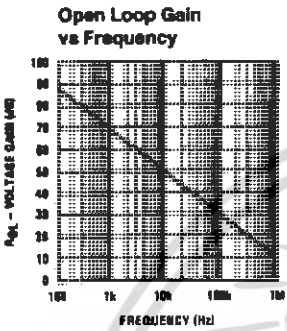
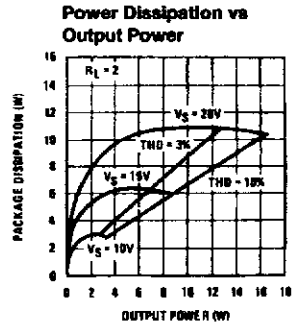
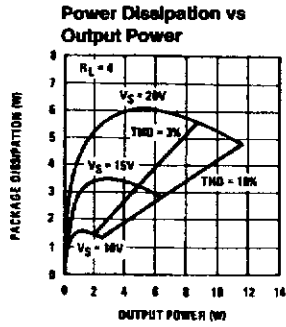
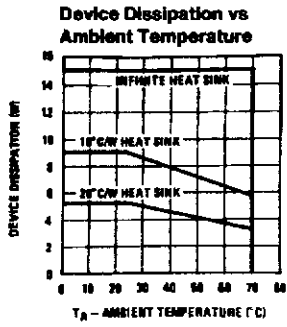
Note 1: A 0.2  $\mu F$  capacitor in series with a 1 $\Omega$  resistor should be placed as close as possible to pins 3 and 4 for stability.

Note 2: The LM383 shuts down above 25V.

Note 3: For operating at elevated temperatures, the device must be derated based on a  $150^{\circ}C$  maximum junction temperature and a thermal resistance of  $4^{\circ}C/W$  junction to case.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

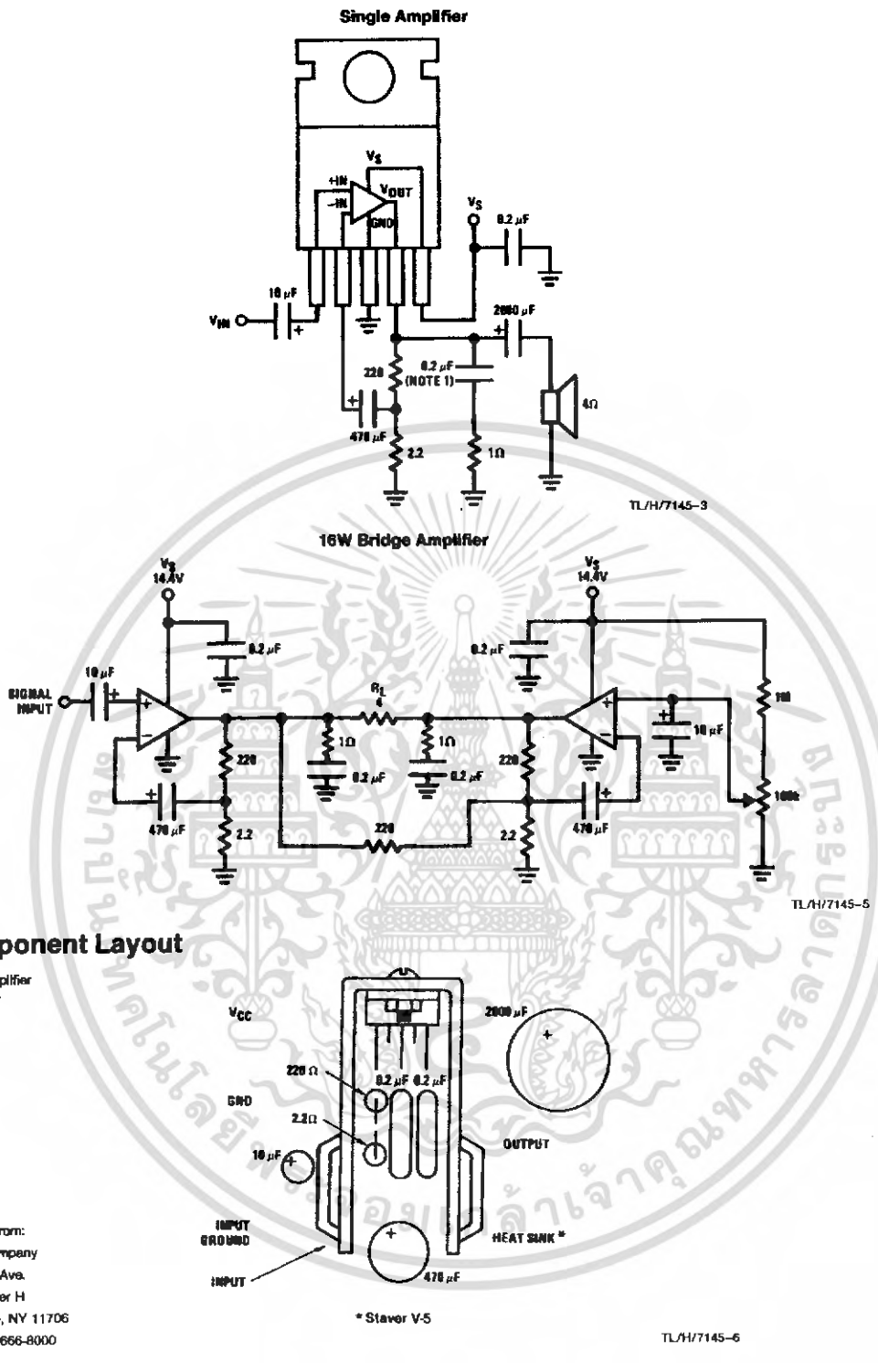
# Typical Performance Characteristics



TL/H/7145-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Applications



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Micropower Voltage Reference Diode



## CLM285-1.2 / CLM385-1.2

### FEATURES

- Tight Tolerance ..... 1% - 2%
- Operating Current ..... 10 $\mu$ A - 20mA
- Dynamic Impedance ..... 1 $\Omega$
- Low Temperature Coefficient

### ORDERING INFORMATION

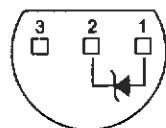
Part	Package	Max Tempco (ppm)	Temp Range
CLM285Y1	SOIC	100	-40°C to +85°C
CLM385T1	TO-46	100	0°C to +70°C
CLM385N1	TO-92	100	0°C to +70°C
CLM385Y1	SOIC	100	0°C to +70°C

### PRODUCT DESCRIPTION

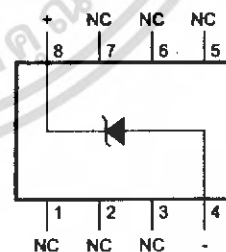
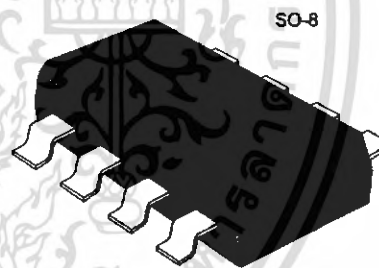
The CLM285 / 385 - 1.2 are micropower 2 terminal band-gap voltage regulator diodes. Operating over a wide current range of 10 $\mu$ A to 20mA with low dynamic impedance and stable temperature characteristics. Calogic utilizes on-chip trimming to provide tight voltage tolerances.

The devices are excellent in portable meters, regulators or general purpose analog circuitry with battery life approaching shelf life.

### PIN CONFIGURATIONS



TO-92 (N-SUFFIX)  
BOTTOM VIEW



SO PACKAGE  
(Y-SUFFIX)  
BOTTOM VIEW

1004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Reverse Current .....	30mA
Forward Current .....	10mA
Operating Temperature Range	
CLM285-1.2 .....	-40°C to +85°C
CLM385-1.2 .....	0°C to +70°C

Storage Temperature .....	-55°C to +150°C
Soldering Information	
TO-92 Package (10 sec.) .....	260°C
SO Package: Vapor Phase (60 sec.) .....	215°C
Infrared (15 sec.) .....	220°C

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 1)**

PARAMETER	CLM285-1.2			CLM385-1.2			UNITS (LIMITS)	CONDITIONS
	TYP	TESTED LIMIT (NOTE 2)	DESIGN LIMIT (NOTE 3)	TYP	TESTED LIMIT (NOTE 2)	DESIGN LIMIT (NOTE 3)		
Reverse Breakdown Voltage	1.235	1.220 1.245		1.235 1.235	1.223 1.247 1.225 1.245		V <sub>MIN</sub> V <sub>MAX</sub> V <sub>MIN</sub> V <sub>MAX</sub>	T <sub>A</sub> = 25°C, 1 <sub>MIN</sub> ≤ I <sub>R</sub> ≤ I <sub>MAX</sub> CLM285-1.2/CLM385B-1.2 CLM385-1.2
Minimum Operating Current	8	8	10	8	15	10	μA	
Reverse Breakdown		1	1.5		1	1.5	mV	I <sub>R</sub> ≤ 1mA
Voltage Change with Current		10	20		10	20	mV	1mA ≤ I <sub>R</sub> ≤ 20mA
Reverse Dynamic Impedance	1		1.5	1		1.5	Ω	I <sub>R</sub> = 100μA, f = 20Hz
Wideband Noise (rms)	60			60			μV	I <sub>R</sub> = 100μA 10Hz ≤ f ≤ 10kHz
Long Term Stability	20			20			ppm	I <sub>R</sub> = 100μA, T = 1000Hr T <sub>A</sub> = 25°C ± 0.1°C
Average Temperature Coefficient (Note 4)		50	100		50	100	ppm/°C	I <sub>R</sub> = 100μA

**Note 1:** Parameters identified with boldface type apply at temperature extremes and for I<sub>R</sub> < 20mA, unless otherwise specified. All other numbers apply at T<sub>A</sub> = T<sub>J</sub> = 25°C.

**Note 2:** Guaranteed and 100% production tested.

**Note 3:** Guaranteed (but not 100% production tested) over the operating temperature and input current ranges. These limits are not to be used to calculate outgoing quality levels.

**Note 4:** The average temperature coefficient is defined as the maximum deviation of reference voltage at all measured temperatures between the operating T<sub>MAX</sub> and T<sub>MIN</sub>, divided by T<sub>MAX</sub>-T<sub>MIN</sub>. The measured temperatures are -55°C, -40°C, 0°C, 25°C, 70°C, 85°C, 125°C.

**Note 5:** For elevated temperature operation, T<sub>J</sub> max is:

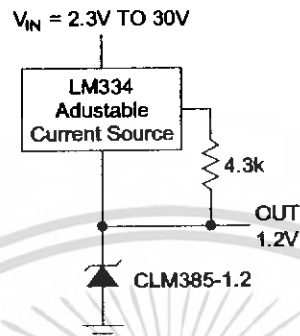
CLM285	125°C
CLM385	100°C

Thermal Resistance	TO-92	SO-8
θ <sub>JA</sub> (Junction to Ambient)	180°C/W (0.4" leads) 170°C/W (0.125" leads)	165°C/W
θ <sub>JC</sub> (Junction to Case)	N/A	N/A

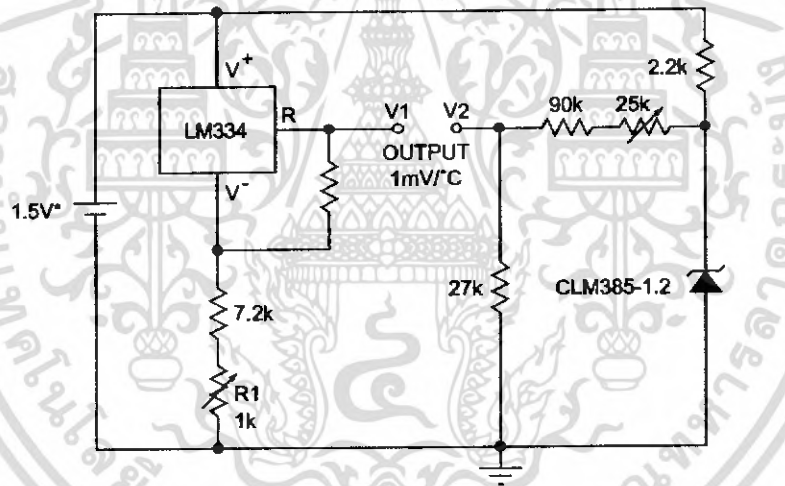
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS

WIDE INPUT RANGE  
REFERENCE



CENTIGRADE THERMOMETER



CALIBRATION

1. ADJUST R1 SO THAT V1 = TEMP AT 1mV/K
2. ADJUST V2 TO 273.2mV

\*  $I_Q$  FOR 1.3V TO 1.6V BATTERY VOLTAGE = 50 $\mu$ A TO 150 $\mu$ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# PIC16F627A/628A/648A

## 18-pin Flash-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology

- Operating speeds from DC - 20 MHz
- Interrupt capability
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes
- 35 single word instructions
  - All instructions single cycle except branches

### Special Microcontroller Features:

- Internal and external oscillator options
  - Precision Internal 4 MHz oscillator factory calibrated to  $\pm 1\%$
  - Low Power Internal 37 kHz oscillator
  - External Oscillator support for crystals and resonators.
- Power saving Sleep mode
- Programmable weak pull-ups on PORTB
- Multiplexed Master Clear/Input-pin
- Watchdog Timer with independent oscillator for reliable operation
- Low voltage programming
- In-Circuit Serial Programming™ (via two pins)
- Programmable code protection
- Brown-out Reset
- Power-on Reset
- Power-up Timer and Oscillator Start-up Timer
- Wide operating voltage range. (2.0 - 5.5V)
- Industrial and extended temperature range
- High Endurance Flash/EEPROM Cell
  - 100,000 write Flash endurance
  - 1,000,000 write EEPROM endurance
  - 100 year data retention

- Standby Current:
  - 100 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
  - 12  $\mu$ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
  - 120  $\mu$ A @ 1 MHz, 2.0V, typical
- Watchdog Timer Current
  - 1  $\mu$ A @ 2.0V, typical
- Timer1 oscillator current:
  - 1.2  $\mu$ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
- Dual Speed Internal Oscillator:
  - Run-time selectable between 4 MHz and 37 kHz
  - 4  $\mu$ s wake-up from Sleep, 3.0V, typical

### Peripheral Features:

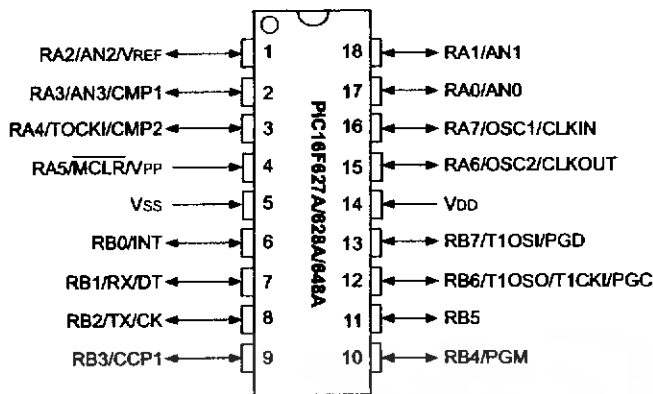
- 16 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
- Analog comparator module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
  - Selectable internal or external reference
  - Comparator outputs are externally accessible
- 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 module
  - 16-bit Capture/Compare
  - 10-bit PWM
- Addressable Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter USART/SCI

Device	Program Memory	Data Memory		I/O	CCP (PWM)	USART	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (words)	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					
PIC16F627A	1024	224	128	16	1	Y	2	2/1
PIC16F628A	2048	224	128	16	1	Y	2	2/1
PIC16F648A	4096	256	256	16	1	Y	2	2/1

# PIC16F627A/628A/648A

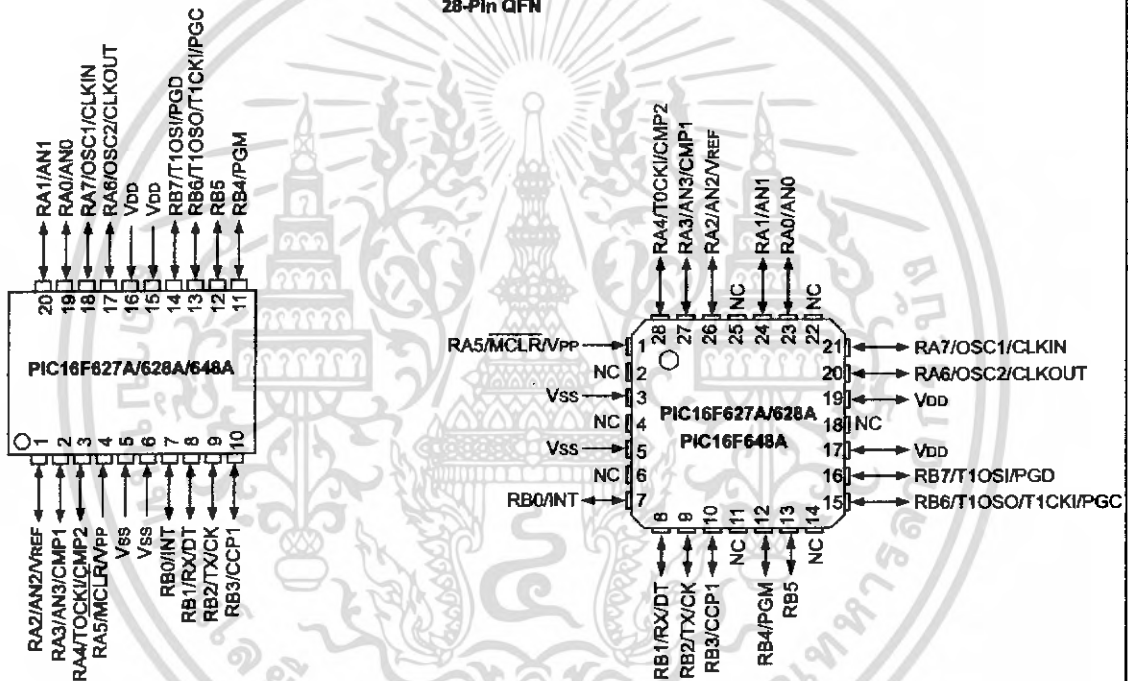
## Pin Diagrams

PDIP, SOIC



SSOP

28-Pin QFN





MICROCHIP

# PIC16F87X

## 28/40-pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

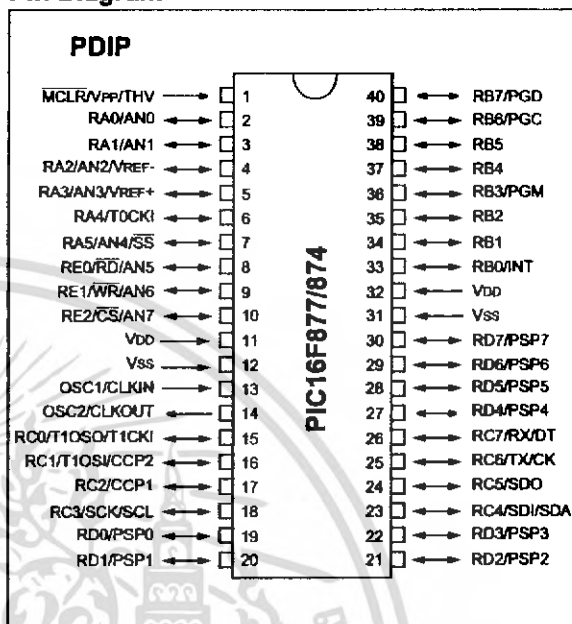
### Devices Included in this Data Sheet:

- 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 and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption:
  - < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

### Pin Diagram



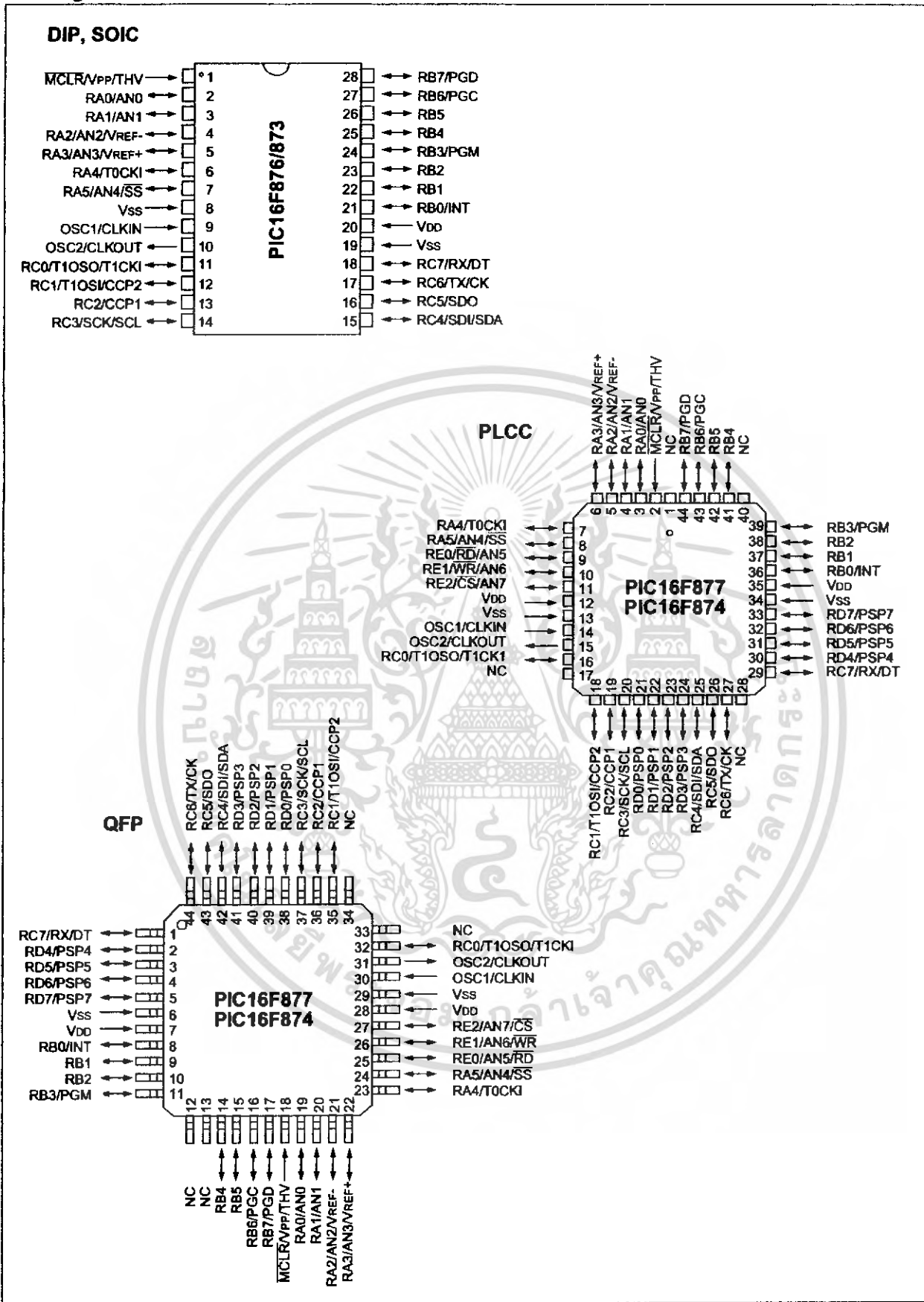
### Peripheral Features:

- 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 I<sup>2</sup>C™ (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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87X

## Pin Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้