

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION SYSTEM



รฟค.
๗๙๘๕๗
๒๕๕๐

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **82451**
วัน,เดือน,ปี... 1.1. ๒๕๕1

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา 2550

b. ๗๓๒๗๓๒
i.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ
RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION SYSTEM



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

ผู้จัดทำ

1. นายเกษม พุดติ รหัส 48015154
2. นายวิชัย สืบศรี รหัส 48015269



ลงชื่อ  อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศ.ศ. ประภากร สุวรรณะ)

12 / 8 / 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

นายเกษม พุดติ รหัส 48015154
นายวิชัย สืบศรี รหัส 48015269
ผศ.ประภากร สุวรรณะ (อาจารย์ที่ปรึกษา)
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย (Wireless Lan) หรือ ที่เรียกกันว่า RFID (Radio Frequency Identification) ซึ่งจะใช้งานที่ความถี่ 125KHz ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของเครื่องอ่าน (Reader) และส่วนของลูกข่าย (Transponder or Tag) ส่วนของเครื่องอ่านประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) มอดคูเลเตอร์ (Modulator) ดีมอดคูเลเตอร์ (Demodulator) PA(Power Amplifier) เป็นตัวส่งพลังงานที่จะติดต่อสื่อสารซึ่งจะใช้กำลังงานในการส่งขนาด 0.3 วัตต์และจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ควบคุมการทำงานของเครื่องอ่านซึ่งจะใช้ PIC แบบ EEPROM และในส่วนของลูกข่ายประกอบด้วยโหลดมอดคูเลเตอร์ (Load Modulator) และส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะใช้ PIC เช่นเดียวกัน โดยจะได้รับพลังงานมาจากการถ่ายเทพลังงานจากเครื่องอ่าน จ่ายให้กับส่วนของวงจรของลูกข่าย ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลจะติดต่อกันอยู่ในรูปแบบของพอร์ตอนุกรม (Serial Port) โดยเครื่องอ่านจะทำการถอดรหัสเอาแต่ข้อมูลที่ต้องการนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION SYSTEM

Mr. Kasem Putti ID 48015154

Mr. Wichai Surbsri ID 48015269

Assist. Prof. Prapakorn Suwanna Advisor

Educational Year 2007

ABSTRACT

This project is a study of wireless system communication called RFID. So, a frequency at 125 KHz is used. This system consists of 2 main parts, reader and transponder or tag. The reader consists of Power supply, Modulator, Demodulator and Power amplifier that can transmit power 0.3 Watts and PIC family Microcontroller will be used to control the reader. The Transponder consists of load modulator. Similarly to the reader, PIC microcontroller will to be used the control device too but the energy will be transmitted from the reader. In communication between Reader and Transponder both serial of PIC must be used to send and receive data with the Reader. The reader will decode and extract data to be used later.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

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

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ทั้งที่เอื้อนามและมีได้เอื้อนาม และหวังว่าปริญญาบัตรฉบับนี้คงจะพอเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจและเริ่มศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง RFID เพื่อเป็นการนำไปใช้หรือนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อ	
ABSTRACT	
กิตติกรรมประกาศ	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโรงงาน	2
1.2 ขอบเขตของโครงการ	2
1.3 วิธีดำเนินงาน	3
1.4 เนื้อหาโดยสังเขปของปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้	3
บทที่ 2 เทคโนโลยี RFID	4
2.1 ส่วนประกอบของระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ	4
2.1.1 เครื่องลูกข่าย	
2.1.1.1 เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag)	5
2.1.1.2 เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)	6
2.1.2 ประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID	6
2.1.2.1 เครื่องลูกข่ายแบบจานและเหรียญ (Disk and coin)	6
2.1.2.2 เครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว (Glass housing)	6
2.1.2.3 เครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก (Plastic housing)	7
2.1.2.4 เครื่องลูกข่ายสำหรับใช้เฉพาะกิจ	7
2.1.2.5 เครื่องลูกข่ายแบบพวงกุญแจ (Key and Key fob)	7
2.1.2.6 เครื่องลูกข่ายแบบนาฬิกา	7
2.1.2.7 เครื่องลูกข่ายมาตรฐาน ID-1 และ Smartcard	
แบบไร้การสัมผัส	7
2.1.2.8 เครื่องลูกข่ายแบบ Smart label	7
2.1.2.9 เครื่องลูกข่ายแบบขดลวดบนชิป (Coil-on-chip)	8
2.2 เครื่องอ่าน (Reader)	8
2.3 คุณลักษณะของอุปกรณ์ระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หัวข้อ	หน้าที่
2.3.1 ลักษณะการทำงาน (Operation type)	8
2.3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex (FDX)	9
2.3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ Half Duplex (HDX)	9
2.3.2 ขนาดข้อมูล (Data quantity)	9
2.3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)	10
2.3.4 แหล่งพลังงาน (Power supply)	10
2.3.5 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency range)	10
2.3.6 วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน	11
2.3.7 การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-Collision)	12
2.4 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID	12
2.5.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (ASK)	12
2.5.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK)	12
2.5 การสื่อสารแบบไร้สาย	13
2.5.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (ASK)	13
2.5.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK)	13
2.6 คลื่นพาหะและมาตรฐานของระบบ RFID	14
2.7 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID	15
2.7.1 ความถี่ใช้งาน	15
2.7.2 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์	16
2.7.3 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง	16
2.7.4 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย	17
2.7.4.1 การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล	17
2.7.4.2 การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์	17
2.7.5 มาตรฐานการลดทอนของความเข้มสนามแม่เหล็ก	17
2.7.6 ขนาดของหน่วยความจำ	17
2.8 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Inductive Coupling	18
2.8.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ไปยังเครื่องลูกข่าย	18

สารบัญ(ต่อ)

หัวข้อ	หน้าที่
2.8.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	20
2.8.2.1 เทคโนโลยี Load Modulation	20
2.8.2.2เทคโนโลยี Load Modulation with sub carrier	21
บทที่ 3 มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน และเครื่องลูกข่ายของเทคโนโลยี RFID	23
3.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling	24
3.1.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	24
3.1.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	26
3.1.2.1 เทคโนโลยี Load Modulation	26
3.1.2.2 เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier	27
3.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	28
3.3 เทคโนโลยี Close Coupling	29
3.3.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	29
3.3.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	30
3.4 เทคโนโลยี Electrical Coupling	31
3.4.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	31
3.4.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	31
3.4.3 การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่าย	32
3.5 เครื่องลูกข่ายที่ใช้การสื่อสารแบบ Sequential	32
3.5.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	32
3.5.1.1 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	34
3.5.2 เครื่องลูกข่ายแบบ Surface Acoustic Wave	35
3.6 ข้อกำหนดมาตรฐานด้านความถี่	37
บทที่4 วงจรเรโซแนนซ์ ค่าประสิทธิภาพ Q และแบนด์วิดท์	39
4.1 วงจรเรโซแนนซ์ ค่าประสิทธิภาพ Q และแบนด์วิดท์	39
4.1.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	39
4.1.2วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	41
4.2 ค่าประสิทธิภาพ (Q) และแบนด์วิดท์	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หัวข้อ	หน้าที่
4.3 การกำหนดขอบเขตของค่าประสิทธิภาพ	43
4.4 เส้นแรงแม่เหล็กกับความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก	44
4.5 ความเหนี่ยวนำ (Inductance)	45
4.6 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการออกแบบสายอากาศลวด	46
4.6.1 การเหนี่ยวนำแรงดันในสายอากาศลวด	49
4.6.2 ชนิดและความต้านทานที่สูญเสียของลวด	52
4.6.2.1 ขนาดและค่าความต้านทานทางดำนไฟกระแสดตรง	53
4.6.2.2 ค่าความต้านทานทางดำนไฟกระแสลัดขั้วของลวด	53
4.6.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศลวด	54
4.6.3.1 ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวด	55
4.6.3.2 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด	55
4.6.3.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศลวดแบบรูปวงกลม	56
4.6.3.4 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดรูปสี่เหลี่ยม	57
4.7 โครงสร้างของสายอากาศลวด	58
4.7.1 สายอากาศลวดของเครื่องลูกข่าย	58
4.7.2 สายอากาศลวดของเครื่องอ่าน	58
4.8 วงจรแมตซิ่ง(matching)	59
บทที่ 5 การออกแบบและการคำนวณ	63
5.1 การออกแบบและการคำนวณ Tag Regulator	63
5.2 การออกแบบและการคำนวณ L1 กับ L2 ของ วงจร Reader coil	65
5.3 การออกแบบและการคำนวณ L tag	65
5.3.1 แสดงการต่อกันของ Tag Regulator กับ L tag	67
5.4 การออกแบบและการคำนวณ Matching of Reader coil	67
บทที่ 6 โปรแกรมการติดต่อสื่อสารข้อมูล	70
6.1 ส่วนของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย	70

สารบัญ(ต่อ)

หัวข้อ	หน้าที่
6.1.1 โพลซาร์จการทำงานของเครื่องลูก	70
6.1.2 โพลซาร์จการทำงานของเครื่อง	71
บทที่ 7 การทดลองและผลการทดลอง	72
7.1 ภาค (Reader Coil)	72
7.1.1 ผลการทดลองในส่วนของเพาเวอร์แอมป์	72
7.2 ภาค (Tag SEQ ASK)	74
7.2.1 ผลการทดลองในส่วนของการส่งผ่านพลังงาน	75
7.4 วงจรภายใน Reader	79
7.4.1 วงจร Oscillator	79
7.4.2 วงจร Matching	80
7.4.3 วงจร Demodulator	81
7.4.4 วงจร Adaptive Threshold Comparator	83
บทที่ 8 บทสรุปและวิจารณ์	85
8.1 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน	85
8.2 แนวทางการแก้ไขและการนำไปประยุกต์ใช้งาน	86
8.3 การนำไปประยุกต์ใช้งาน	86
ภาคผนวก	
หนังสืออ้างอิง	

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้าที่
รูปที่ 1.1 แสดงระบบของเทคโนโลยี RFID	1
รูปที่ 2.1 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex และ Half Duplex	9
รูปที่ 2.2 แสดงการสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล	13
รูปที่ 2.3 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย เป็นการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน	18
รูปที่ 2.4 สัญญาณข้อมูลที่ถูกรับอยู่ในไซเคิลแบนด์ของความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน กับเครื่องลูกข่าย RFID	21
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างวงจรที่ใช้สำหรับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบ Load Modulation with Sub carrier ติดตั้งอยู่ในเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling	22
รูปที่ 3.1 แสดงความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential	23
รูปที่ 3.2 เทคโนโลยี Inductive Coupling กับการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน	25
รูปที่ 3.5 แสดงหลักการการทำงานส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย RFID ไปยังเครื่องอ่าน โดยใช้เทคโนโลยี Modulated reflection cross-section	28
รูปที่ 3.6 แสดงรูปแบบการสัมผัสของบัตรพลาสติกที่เป็นเครื่องลูกข่ายแบบ ClosCoupling กับเครื่องอ่าน	30
รูปที่ 3.8 แสดงโครงสร้างของเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW	35
รูปที่ 3.9 แสดงย่านความถี่ต่างๆ ที่ได้กำหนดให้ใช้กับเทคโนโลยี RFID	37
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	40
รูปที่ 4.2 แสดงวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม	42
รูปที่ 4.3 ค่าประสิทธิภาพกับรูปแบบการมอดูเลต	43
รูปที่ 4.4 แสดงการทดลองเพื่อวัดเส้นแรงแม่เหล็ก	44
รูปที่ 4.5 การคำนวณของสนามแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) ที่ลวดตัวนำ	48
รูปที่ 4.6 การคำนวณของสนามแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) เข้าลูป	49
รูปที่ 4.7 การลดลงของค่าสนามแม่เหล็ก B กับระยะห่าง	49
รูปที่ 4.8 พื้นฐานโครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านและสายอากาศเครื่องลูกข่ายในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ	50

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
รูปที่ 4.9 การปรับทิศทางของสายอากาศของเครื่องลูกข่ายให้เหมาะสม	51
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-รอบกับระยะเวลาอ่าน	52
รูปที่ 4.11 รูปของขดลวด	56
รูปที่ 4.12 สายอากาศขดลวดรูปวงกลมแกนอากาศจำนวนรอบใดๆ	57
รูปที่ 4.13 สายอากาศขดลวดแบบลูปลี่เหลี่ยม	57
รูปที่ 4.14 รัศมีของโครงสร้างของสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย	58
รูปที่ 4.15 สายอากาศรูปทรานฟอร์มเมอร์ของเครื่องอ่าน	59
รูปที่ 4.16 วงจรแมตซ์แบบต่างๆ	60
รูปที่ 4.17 วงจร โครงข่ายแมตซ์แบบต่างๆ	61
รูปที่ 5.1 การออกแบบวงจร	63
รูปที่ 5.2 การออกแบบวงจร	65
รูปที่ 5.3 แสดงการต่อกันของ Tag Regulator กับ L tag	67
รูปที่ 5.4 การออกแบบวงจร Matching of Reader coil	67
รูปที่ 6.1 แสดงการทำงานของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย	70
รูปที่ 6.2 แสดงโพลซาร์จการทำงานของเครื่องลูกข่าย	63
รูปที่ 6.3 แสดงโพลซาร์จการทำงานของเครื่องอ่าน	67
รูปที่ 7.1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการทดลองเพาเวอร์แอมป์	73
รูปที่ 7.1.2 แสดงรูปที่ต่อ Matching จาก Reader Coil	73
รูปที่ 7.1.3 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตของภาคขยายที่ออกจาก LM 317	73
รูปที่ 7.2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการทดสอบการส่งผ่านพลังงานจาก เครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่าย	74
รูปที่ 7.3.1 วงจรภายในของ Tag ทั้งหมด	77
รูปที่ 7.3.2 สัญญาณที่วัดได้จากวงจรเรโซแนนซ์ของ Tag (TP1)	78
รูปที่ 7.3.3 สัญญาณที่วัดได้จากขา 8 (TX) ของ 16F628 (TP3)	78
รูปที่ 7.3.4 สัญญาณที่วัดได้จากขา 5 ของ CD4060 (TP5)	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
รูปที่7.3.5 สัญญาณที่วัดได้จากขา11ของIC 7408(TP6)	78
รูปที่7.4.1 วงจร Oscillator 125 kHz	79
รูปที่7.4.2 สัญญาณที่วัดได้จากขา5ของ CD4060ความถี่125kHz	79
รูปที่7.4.3 Matching circuit	80
รูปที่7.4.4สัญญาณที่วัดได้ก่อนเข้า matching	80
รูปที่7.4.5สัญญาณที่วัดได้หลังผ่าน matching	80
รูปที่7.4.6 วงจร Demodulator	81
รูปที่7.4.7 สัญญาณที่วัดได้จากRL(TP1)	81
รูปที่7.4.8 สัญญาณที่วัดได้หลังผ่านC2(TP2)	82
รูปที่7.4.9 สัญญาณที่วัดได้ก่อนผ่านC3(TP3)	82
รูปที่7.4.10 สัญญาณที่วัดได้หลังผ่านC3(TP4)	82
รูปที่7.4.11 สัญญาณที่วัดได้ที่R6(TP6)	83
รูปที่7.4.12วงจร Adaptive Threshold Comparator	83
รูปที่7.4.13 สัญญาณที่วัดได้ที่ Vin	83
รูปที่7.4.13 สัญญาณที่วัดได้ที่ขา7ของ LM393	84

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ต่างๆ ของระบบ RFID และการใช้งาน	15
ตารางที่ 7.1.1 แสดงค่าแรงดันที่ L_{rd} เมื่อค่า RL เปลี่ยน	73
ตารางที่ 7.2.1 แสดงค่าแรงดัน $V(v)$ ที่ระยะต่างๆเมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง(RL)	75
ตารางที่ 7.2.2 แสดงค่าแรงดัน $V(v)$ ที่ระยะต่างๆเมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง(RL)	75
ตารางที่ 7.2.3 แสดงค่าแรงดัน $V(v)$ ที่ระยะต่างๆเมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง(RL)	76
ตารางที่ 7.2.4 แสดงค่าแรงดัน $V(v)$ ที่ระยะต่างๆเมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง(RL)	76
ตารางที่ 7.2.5 แสดงค่าแรงดัน $V(v)$ ที่ระยะต่างๆเมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง(RL)	76
ตารางที่ 7.2.6 แสดงค่าแรงดัน $V(v)$ ที่ระยะต่างๆเมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง(RL)	77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

เทคโนโลยี RFID หรือในชื่อเต็มว่า Radio Frequency Identification เป็นเทคโนโลยีที่กำลังมีบทบาทและความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน RFID ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของ Tag และ Reader จุดประสงค์ของการใช้ระบบ RFID ก็เพื่อให้เราสามารถรับส่งข้อมูลระหว่างชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่ง ซึ่งก็คือ Tag ที่จะถูกอ่านโดยเครื่องอ่าน RFID และทำการประมวลผลข้อมูลที่อ่านได้ตามความต้องการใช้งาน



รูปที่ 1.1 แสดงระบบของเทคโนโลยี RFID

ปัจจุบันการใช้บัตรอัจฉริยะ(Smart Card) และระบบตรวจสอบรหัสโดยใช้ความถี่วิทยุ (RFID)เป็นที่ยอมรับอย่างสูงว่าเป็นเทคโนโลยีที่เอื้ออำนวยต่อการใช้งานที่ต้องการการบ่งบอกความแตกต่าง หรือข้อมูลเฉพาะของแต่ละบุคคลที่สามารถทำงานได้ถูกต้องแม่นยำรวดเร็วและมีความเป็นอัตโนมัติกว่า ระบบตรวจสอบรหัสในระบบอื่น ๆ เช่นรหัสแบบแท่ง (Bar Code) การใช้งานที่ง่ายและยังเพิ่มขีดความสามารถในการให้บริการเสริมในเชิงพาณิชย์ด้านต่าง ๆ อีกทั้งยังสอดคล้องกับเทคโนโลยีทางการเก็บข้อมูลคอมพิวเตอร์ ยังผลให้การขยายตัวของการใช้งาน RFID/Smart Card สูงขึ้นอย่างรวดเร็วและปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยี RFID ไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายประเภท เช่น การทำสต็อกสินค้า และการจำหน่าย โดยนำมาใช้แทนรหัสบาร์โค้ดแบบเดิม ใช้เป็นบัตรสำหรับผ่านเข้าออกอาคาร ดึงบนเสื้อผ้าในร้านขายเพื่อกันขโมย ใช้ในห้องสมุดเพื่อความสะดวกในการยืม-คืนหนังสือ

จุดเด่นของระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ (RFID) ที่เห็นได้อย่างชัดเจนมีดังนี้

- สามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี (มองไม่เห็น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน และการกระทบกระแทก
- สามารถอ่านข้อมูลได้ระยะไกล
- สามารถอ่านค่าข้อมูลได้ด้วยความเร็ว และมีความแม่นยำสูง

ปัจจุบันระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุจะยังไม่เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายแต่มีแนวโน้มที่จะขยายมากขึ้นอย่างรวดเร็วในอนาคต เพราะเราสามารถบรรจุสารสนเทศต่างๆ ลงในระบบของเครื่องลูกข่ายได้ตามที่เราต้องการ เนื่องจากระบบของเครื่องลูกข่าย คือไมโครชิปที่มีหน่วยความจำ เช่นเดียวกับ หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ ที่สามารถทำการประมวลผล การทำงานได้ตามโปรแกรม คำสั่งที่ผู้ใช้ต้องการได้ การทำงานของระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุนี้คือ ระบบของเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่านต้องมีการปรับคลื่นความถี่ให้เหมือนกันเพื่อการสื่อสาร ระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุใช้ได้หลายย่านความถี่ แต่การใช้โดยทั่วไปส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency: LF ประมาณ 125 kHz) ย่านความถี่สูง (High Frequency : HF ประมาณ 13.56 MHz) ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency :UHF ประมาณ 860-960 MHz) และย่านความถี่ไมโครเวฟ (ประมาณ 2.45 GHz) ซึ่งในแต่ละย่านความถี่นั้นก็มีความแตกต่างในเรื่องของความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับงานแต่ละประเภท

เป็นที่ยอมรับว่าเทคโนโลยี RFID ยังเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่สำหรับประเทศไทย จึงมีการนำเข้าซึ่งเทคโนโลยี RFID จากต่างประเทศ เข้ามาใช้ในประเทศไทยซึ่งเรื่องราคาก็ค่อนข้างสูง เช่นเดียวกัน กับความต้องการของเทคโนโลยี แต่เมื่อมองในแง่ของผลประโยชน์ที่จะได้รับก็ยังคงถือว่าคุ้มค่ากับการลงทุนจึงเกิดแนวคิดที่จะศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีเกี่ยวกับ RFID เพื่อที่จะลดต้นทุนของเทคโนโลยีดังกล่าวจากการนำเข้าจากต่างประเทศ

1.1 วัตถุประสงค์ของโรงงาน

- 1.1.1 เพื่อศึกษาและเรียนรู้ถึงการทำงานของเทคโนโลยี RFID
- 1.1.2 เพื่อศึกษาและเรียนรู้ถึงเทคนิคในการรับส่งข้อมูล
- 1.1.3 เพื่อศึกษาและเรียนรู้ถึงระบบต่างๆ พร้อมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน
- 1.1.4 สร้าง และทดสอบวงจรทั้งทาง เครื่องอ่าน และบัตรลูกข่ายและสามารถนำมาใช้งาน

จริงได้

1.2 ขอบเขตของโครงการ

1.2.1 สามารถติดต่อรับส่งพลังงานระหว่างเครื่องอ่านกับบัตรลูกข่ายได้โดยมีการจำลองการทำงานของเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายโดยการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วแสดงผลที่ได้ออกมาเพื่อเช็คความถูกต้องของข้อมูล

1.2.2 ทำการทดลองเครื่องส่งเพื่อทำการส่งถ่ายพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่ายเพื่อหาระยะ และพลังงานที่สามารถทำให้เครื่องลูกข่ายทำงานได้

1.2.3 ได้รับความรู้และแนวทางในการรับส่งข้อมูล รวมถึงพลังงานที่ใช้ของบัตรลูกข่าย โดยสามารถส่งข้อมูลผ่านคลื่น 125 KHz ได้

1.3 วิธีดำเนินงาน

1.3.1 ศึกษาระบบต่าง ๆ เกี่ยวกับเทคโนโลยี RFID ในที่นี้ได้แก่ วงจรมอดูเลเตอร์ เพาเวอร์แอมป์ ไมโครคอนโทรลเลอร์เก็บข้อมูลและส่งข้อมูล แมตซิง เป็นต้น

1.3.2 ศึกษาและเขียนโปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้เก็บข้อมูล และอ่านข้อมูล โดยมีการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม

1.3.3 ทำการทดลองในส่วนต่าง ๆ ของระบบ อันได้แก่ ทดลองรับส่งข้อมูลโดยผ่านทางพอร์ตอนุกรม ทดลองเครื่องส่งพลังงานให้กับเครื่องลูกข่ายที่ระยะต่างๆ

1.4 เนื้อหาโดยสังเขปของปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้

1.4.1 บทที่ 1 บทนำ

1.4.2 บทที่ 2 เทคโนโลยี RFID

1.4.3 บทที่ 3 มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน

1.4.4 บทที่ 4 วงจรเรโซแนนซ์ ค่าประสิทธิภาพ Q และแบนด์วิดท์

1.4.5 บทที่ 5 การออกแบบและการคำนวณ

1.4.6 บทที่ 6 การทดลอง

1.4.7 บทที่ 7 สรุปและวิเคราะห์

บทที่ 2

เทคโนโลยี RFID

เทคโนโลยี RFID เป็นสิ่งที่ได้รับการพัฒนามาเป็นเวลานาน รวมทั้งยังมีการนำมาประยุกต์ใช้งานในชีวิตประจำวันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นแวดวงอุตสาหกรรม ระบบคลังสินค้า ร้านค้าปลีกโรงงาน หรือแม้กระทั่งในสายการผลิตของอุตสาหกรรมทั่วไป วัตถุประสงค์หลักของเทคโนโลยี Auto-ID มีขึ้นเพื่อใช้แสดงตัวตนของมนุษย์ สัตว์ สินค้า หรือแม้กระทั่งวัตถุดิบ ในกระบวนการผลิตจะเห็นว่าบรรดามาตรฐาน Auto-ID ต่าง ๆ ที่มีการคิดค้นขึ้นมาล้วนมีความสำคัญในการอำนวยความสะดวกในการทำธุรกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบันทึกระบบ

ฐานข้อมูลอย่างรวดเร็ว แทนที่จะต้องใช้การนับหรือจดบันทึกโดยมนุษย์ อันอาจมีโอกาสที่จะเกิดการผิดพลาดได้อยู่เสมอ ๆ นอกจากเทคโนโลยี Barcode แล้วยังมีเทคโนโลยี Auto-ID อีกประเภทหนึ่งซึ่งเป็นที่คุ้นเคยในการใช้งานประจำวัน นั่นก็คือเทคโนโลยีสมาร์ทการ์ด (smartcard) ซึ่งอยู่ในรูปของบัตรพลาสติก ภายในบัตรบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับบริการใช้งานของผู้ถือการ์ด ตัวอย่างเช่น แผ่น SIM (Subscriber Identity Module) ที่ใช้บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับเลขหมาย และรหัสรับต่าง ๆ ส่วน 3627 รับใช้ติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นการใช้งานมาตรฐาน Auto-ID ที่ได้รับความนิยมแพร่หลายมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเริ่มมีการเปิดตัวมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM (Global System for Mobile Communication) ที่มีการกำหนดให้ใช้แผ่น SIM กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งต่อมามีพัฒนาต่อยอดไปเป็น U-SIM (Universal SIM) เมื่อเทคโนโลยีเครือข่ายได้พัฒนาไปเป็นมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 อันเป็นที่ทราบกันดีดังได้กล่าวถึงแล้วได้มาตรฐาน Auto-ID หรือเทคโนโลยีแสดงตนแบบอัตโนมัติมีอยู่หลายชนิด เพื่อเป็นการเปรียบเทียบมาตรฐาน RFID กับมาตรฐานแบบอื่น ๆ สามารถจำแนกประเภทของเทคโนโลยีตามความแตกต่างของเทคโนโลยีแบ่งออกได้เป็น 5 เทคโนโลยีใหญ่ ๆ คือ มาตรฐาน Barcode มาตรฐาน OCR มาตรฐาน Smartcard มาตรฐาน RFID และมาตรฐาน Biometric ซึ่งประเภทหลังนี้ยังสามารถจำแนกย่อยออกเป็น 2 มาตรฐานคือ มาตรฐาน Fingerprint และมาตรฐานตรวจสอบเสียง (voice Recognition)

2.1 ส่วนประกอบของระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ

ในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ จะมีองค์ประกอบหลักๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือเครื่องลูกข่าย ที่ใช้ติดกับวัตถุต่างๆ ที่เราต้องการ โดยเครื่องลูกข่ายที่ว่าจะเป็นที่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ เอาไว้ ส่วนที่สองก็คือเครื่องสำหรับอ่านหรือเขียน (Reader) ข้อมูลภายในเครื่องลูกข่ายด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อความเข้าใจจึงขอเปรียบเทียบกับระบบบาร์โค้ด เพื่อให้เห็นภาพชัดเจน เครื่อง

ลูกข่าย ในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ ก็คือ ตัวบาร์โค้ดที่ติดกับฉลากของสินค้าและเครื่องอ่านในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ ก็คือเครื่องอ่านบาร์โค้ด (Scanner) โดยข้อแตกต่างของทั้งสองระบบคือระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุจะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่านหรือเขียนส่วน ระบบรหัสแท่งจะใช้แสงเลเซอร์ในการอ่าน โดยข้อเสียของระบบบาร์โค้ด คือหลักการอ่านเป็นการใช้แสงในการอ่านรหัสแท่งซึ่งจะต้องอ่านรหัสแท่งที่ไม่มีอะไรปกปิดหรือต้องอยู่ในเส้นตรงเดียวกับลำแสงที่ยิงจากเครื่องสแกน และอ่านวัตถุได้ทีละชิ้น ในระยะใกล้ๆ แต่ระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุจะแตกต่าง โดยสามารถอ่านเครื่องลูกข่ายได้โดยไม่ต้องเห็นเครื่องลูกข่ายหรือเครื่องลูกข่ายนั้นซ่อนอยู่ภายในวัตถุและไม่จำเป็นต้องอยู่ในเส้นตรงกับคลื่น เพียง อยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้ และการอ่านเครื่องลูกข่ายในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุยังสามารถอ่านได้หลายๆ เครื่องลูกข่ายในเวลาเดียวกัน

2.1.1 เครื่องลูกข่าย

โครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ(Antenna)สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของไมโครชิพ (Microchip) ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุเช่นรหัสสินค้า โดยทั่วไปตัวเครื่อง ลูกข่ายอาจอยู่ในชนิดทั้งเป็น กระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างต่างๆ กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำไปติด และมีหลายรูปแบบ เช่น ขนาดเท่าบัตรเครดิต เหรียญ กระดุม ฉลากสินค้า แคลปซูล เป็นต้น แต่โดยหลักการอาจแบ่งเครื่องลูกข่าย ที่มีใช้งานกันอยู่นั้นจะมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ๆ โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในเรื่องของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการการทำงาน ซึ่งจะขอลำถึงและอธิบายแยกเป็นหัวข้อดังนี้

2.1.1.1 เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag)

เครื่องลูกข่ายชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้เครื่องลูกข่ายทำงานโดยปกติ โดยเครื่องลูกข่ายชนิดนี้มีฟังก์ชันการทำงานทั่วไปทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในเครื่องลูกข่ายได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำเท็กซ์ไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (seal) ที่ตัวเครื่องลูกข่ายจึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของเครื่องลูกข่ายให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟนี้จะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกลสูงสุดถึง 6 เมตร ซึ่งไกลกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แม้เครื่องลูก

ข่ายชนิดนี้จะมีข้อดีอยู่หลายข้อแต่ก็มีข้อเสียอยู่ด้วยเหมือนกัน เช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด

2.1.1.2 เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)

จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายในหรือไม่จำเป็นต้องรับแหล่งจ่ายไฟใด ๆ เพราะจะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว) หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ Transceiver จึงทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะเวลาการรับส่งข้อมูลใกล้ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตร ซึ่งเป็นระยะเวลาอ่านที่สั้น มีหน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟนี้เป็นที่นิยมมากกว่าไอซีของเครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ ไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน

2.1.2 ประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID

อุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID ประเภทต่างๆ ที่มีการผลิตใช้งานในกิจการต่างๆ ในปัจจุบัน โดยแยกกล่าวตามความแตกต่างของโครงสร้างและการออกแบบเป็นสำคัญตามด้วยตัวอย่างประเภทของการประยุกต์ใช้งาน

2.1.2.1 เครื่องลูกข่ายแบบจานและเหรียญ (Disk and coin)

เครื่องลูกข่ายจะถูกบรรจุอยู่ในโครงสร้างทรงกลมคล้ายจานหรือเหรียญและมีการเคลือบป้องกันไว้เป็นอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องลูกข่ายชนิดนี้มีตั้งแต่ไม่กี่มิลลิเมตร ไปจนถึง 10 เซนติเมตร

2.1.2.2 เครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว (Glass housing)

เป็นเครื่องลูกข่ายที่ได้รับการพัฒนาและผลิตขึ้นสำหรับใช้ฝังไว้ใต้ผิวหนังของสัตว์เพื่อใช้ในการติดตามข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแวดวงสัตวศาสตร์และการสาธารณสุข ตัวกระเปาะแก้วมีขนาดความยาวในช่วง 12-32 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.3 เครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก (Plastic housing)

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

2.1.2.4 เครื่องลูกข่ายสำหรับใช้เฉพาะกิจ

เป็นเครื่องลูกข่าย RFID อีกประเภทหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ สำหรับใช้งานในกรณีเฉพาะกิจ โดยมีการคิดค้นและพัฒนาเพื่อบรรจุเครื่องลูกข่ายลงในโครงสร้างและหน้าสัมผัสที่เป็นโลหะ

2.1.2.5 เครื่องลูกข่ายแบบพวงกุญแจ (Key and Key fob)

เครื่องลูกข่าย RFID สามารถได้รับการพัฒนาให้อยู่ในรูปของกุญแจพิเศษที่ใช้ในการเปิดปิดประตู หรือใช้กับระบบรักษาความปลอดภัยต่างๆ ซึ่งพวงกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้ไม่มีลูกกุญแจ แต่กลับทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณข้อมูลต่างๆ ซึ่งอาจมีการนำเข้ารหัสเพื่อใช้ในการยืนยันตัวตนบุคคล

2.1.2.6 เครื่องลูกข่ายแบบนาฬิกา

เครื่องลูกข่ายแบบนาฬิกาได้รับการคิดค้นและพัฒนาตั้งแต่ พ.ศ. 2533-2535 โดยบริษัทสัญชาติออสเตรเลียที่มีชื่อว่า Sky-Data โดยผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นนาฬิกาสวมใส่ข้อมือและใช้เป็นอุปกรณ์แสดงตัวตนในลักษณะช่องเซ็นเซอร์แบบไร้การสัมผัส (Contact less sensor) เพื่อผ่านเข้าสู่ผู้เล่นสกีสำหรับนักสกีทั้งหลาย

2.1.2.7 เครื่องลูกข่ายมาตรฐาน ID-1 และ Smartcard แบบไร้การสัมผัส

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

2.1.2.8 เครื่องลูกข่ายแบบ Smart label

เป็นเครื่องลูกข่าย RFID บางที่สุดที่ได้รับการออกแบบเป็นกระดาษบางๆ สามารถงอหรือทบได้ โดยขดลวดสำหรับรับส่งสัญญาณจะถูกออกแบบเป็นแถบพอลิพลาสติกความหนา

เพียง 0.1 มิลลิเมตร โดยใช้ขบวนการผลิตแบบพิมพ์สกรีน โคนทั่วไปแถบพอยล์เหล่านี้จะถูกเคลือบชั้นหนึ่งโดยเยื่อกระดาษและทับอีกชั้นหนึ่งด้วยสารยึดเกาะ เพื่อป้องกันการฉีกขาด

2.1.2.9 เครื่องลูกข่ายแบบขดลวดบนชิป (Coil-on-chip)

เครื่องลูกข่าย RFID ชนิดนี้มีความแตกต่างจากเครื่องลูกข่ายแบบอื่นๆ ซึ่งมีการแยกส่วนระหว่างเครื่องลูกข่ายกับขดลวดหรือสายอากาศอย่างชัดเจน แต่สำหรับเครื่องลูกข่ายแบบขดลวดบนชิปนั้นจะรวมส่วนที่เป็นขดลวดสายอากาศและตัววงจรประมวลผลเข้าด้วยกัน

2.2 เครื่องอ่าน (Reader)

โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือการเชื่อมต่อเพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลลงในเครื่องลูกข่ายด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วย เสาอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับ ส่งสัญญาณภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล จำพวก ไมโครคอนโทรลเลอร์และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

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

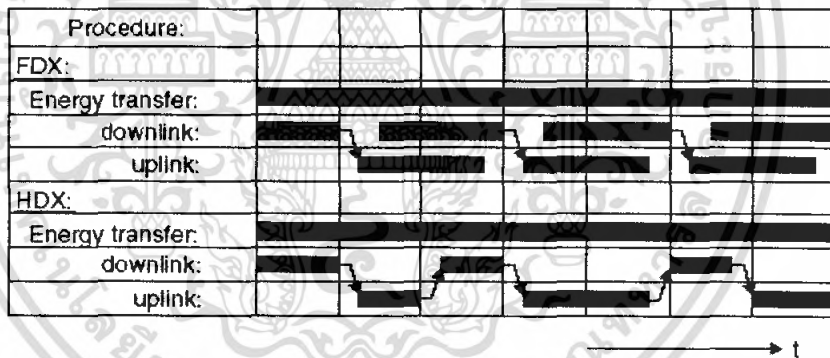
2.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์ระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ

2.3.1 ลักษณะการทำงาน (Operation type)

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

2.3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex (FDX)

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



รูปที่ 2.1 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex และ Half Duplex

2.3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ Half Duplex (HDX)

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

2.3.2 ขนาดข้อมูล (Data quantity)

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

2.3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)

การจำแนกประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID ตามขีดความสามารถในการโปรแกรมข้อมูลสามารถแบ่งออกได้เป็นเครื่องลูกข่ายที่ไม่สามารถโปรแกรมได้ ซึ่งภายในจะมีการเขียนข้อมูลที่อาจเป็นรหัสเลขหมายใดๆ ตามที่ใครรับคำสั่งจ้างทำมาตั้งแต่สายการผลิตและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ อีกประเภทหนึ่งเป็นเครื่องลูกข่าย RFID ที่สามารถทำการ โปรแกรมข้อมูลผ่านทางเครื่องอ่านได้ การจัดการลำดับคำสั่ง (Sequence) ในกรณีของเครื่องลูกข่ายที่สามารถโปรแกรมได้นั้น ก็มีเทคนิคที่ใช้ในการจัดการประมวลผลข้อมูลให้เลือกพิจารณาเป็นเรื่องทางเทคนิค

2.3.4 แหล่งพลังงาน (Power supply)

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

2.3.5 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency range)

ความหมายของความถี่ใช้งาน (Operating Frequency) ในมาตรฐาน RFID นั้นจะหมายถึงคลื่นความถี่วิทยุที่เครื่องอ่านทำการส่งออกไปเท่านั้น โดยจะไม่สนใจว่าเครื่องลูกข่ายจะส่งคลื่นความถี่ในย่านใดตอบกลับมา ยิ่งในบางกรณีเครื่องลูกข่ายอาจมีการส่งคลื่นความถี่กลับมาเป็นค่าความถี่เดียวกับที่เครื่องอ่านส่งออกไป โดยแยกแยะความแตกต่างกันด้วยเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ Load modulation ประเด็นของคลื่นความถี่จากเครื่องลูกข่ายจึงไม่ใช่สาระสำคัญในการนำมาพิจารณา ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ จะอยู่ในย่าน

ความถี่ ISM (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสาร โดยทั่วไปมีความถี่ใช้งาน สำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุแบ่งออกได้เป็น 3 ย่าน หลักได้แก่

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

ในแง่การใช้งาน 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ (LF ระยะอ่านประมาณ 10-20 เซนติเมตร และ HF ระยะอ่านประมาณ 1 เมตร) เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่ การตรวจหาและเก็บประวัติในสัตว์ ส่วนย่าน UHF จะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (UHF ระยะอ่านประมาณ 1-10 เมตร) เช่น ระบบเก็บค่าบริการทางด่วน และในปัจจุบันระบบ RFID กำลังถูกวิจัยและพัฒนาในย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.4 GHz และความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้งานที่ต้องการระยะอ่านที่ไกลกว่า 10 เมตรเป็นต้นในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้วระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด และมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วนระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุที่ใช้คลื่นพาหะในอีก 2 ย่านความถี่แรกจะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่นกันไป

2.3.6 วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน

โดยมากมักจะใช้วิธีการมอดูเลตทางแอมพลิจูดหรือใช้การมอดูเลตทางแอมพลิจูดบวกกับการเข้ารหัสแมนเชสเตอร์ (Manchester encoded AM) แต่ทว่าในปัจจุบันก็มีเครื่องลูกข่ายที่ใช้การมอดูเลตแบบอื่นๆ ด้วย เช่น การมอดูเลชันแบบเฟสชิฟต์คีย์อิง (Phase Shift Keying : PSK) ฟรีควีนซ์คีย์คีย์อิง (Frequency Shift Keying : FSK) หรือการใช้การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation : FM) ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน จะได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้งาน เช่น เมื่อความถี่ใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิรตซ์ ความยาวของเสาอากาศ (เป็นเส้นตรง) ที่เหมาะสมก็คือ 22.12 เมตรแน่นอนว่าในทางปฏิบัติคงไม่สามารถนำเสาอากาศที่ใหญ่ขนาดนั้นมาใช้งานกับเครื่องลูกข่ายขนาดเล็กได้ สายอากาศที่จะเหมาะจะใช้ร่วมกับเครื่องลูกข่ายมากที่สุดก็คือ สายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็กหรือที่มีชื่ออย่างเป็นทางการว่าสายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (Magnetic dipole Antenna) รูปแบบของสายอากาศแบบนี้ก็จะมีอยู่หลากหลายทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันแกนอากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เป็นวงลูปที่ทำขึ้นจากลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้งที่เป็นลูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะและประเภทของงานด้วยเช่นกันนอกจากการรับส่งข้อมูลแล้วสายอากาศก็ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่องลูกข่ายด้วย โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของไมเคิล ฟาราเดย์ เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็ก (จากเครื่องอ่าน) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของเครื่องลูกข่าย เมื่อเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันในระยะ 0.16 เท่าของความยาวของคลื่นพาหะที่ใช้ เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า Transformer-type Coupling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์แบบเดียวกับการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ในทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Transformer) จะเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของเครื่องลูกข่าย

2.3.7 การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-Collision)

ในการที่จะรับข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายหลาย ๆ อัน ทั้งเครื่องลูกข่ายและตัวเครื่องอ่านต้องได้รับการออกแบบให้รองรับสถานะที่มีเครื่องลูกข่ายมากกว่า 1 อันทำงาน (ส่งสัญญาณ) มิเช่นนั้นแล้วสัญญาณพาหะก็จะมีการส่งออก ในเวลาเดียวกันทำให้เกิดการชนของสัญญาณ (Collision) จะทำให้ไม่มีข้อมูลใด ๆ ส่งถึงตัวเครื่องอ่านเลย การติดต่อระหว่างเครื่องลูกข่ายกับตัวเครื่องอ่านเปรียบเสมือน บัสแบบอนุกรม แต่บัสชนิดนี้จะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณ ในระบบบัสที่ใช้เคเบิลเป็นตัวกลางก็ต้องการควบคุมไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณ RFID ก็จำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันให้มีการส่งสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายอันเดียวต่อช่วงเวลานั้นเช่นกัน

2.4 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID

2.4.1 ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีเครื่องลูกข่ายเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็ก ไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามี การมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่

2.4.2 เมื่อมีเครื่องลูกข่ายเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็ก ไฟฟ้า เครื่องลูกข่ายจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าเพื่อให้เครื่องลูกข่ายเริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในเครื่องลูกข่าย

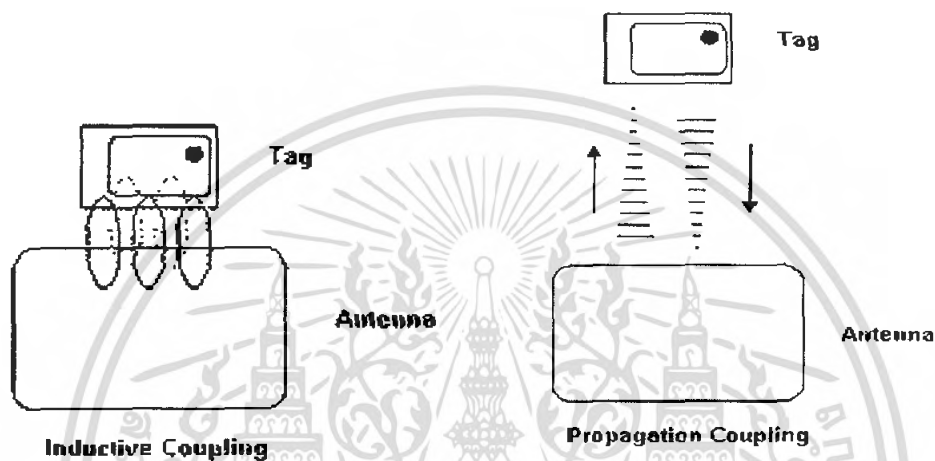
2.4.3 คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องลูกข่ายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด, ความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต

2.4.4 ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การสื่อสารแบบไร้สาย

การสื่อสารข้อมูลของระบบ RFID คือระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูล จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุ โดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) กับ วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation Coupling) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล

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

2.5.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (ASK)

ความถี่ของคลื่นพาหะ (Carrie Wave) ซึ่งทำหน้าที่นำสัญญาณอนาล็อกผ่านตัวกลางสื่อสารนั้นจะคงที่ ลักษณะของสัญญาณมอดูเลตเมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูลดิจิทัลมีค่าเป็น 1 ขนาดของคลื่นพาหะจะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ขนาดของคลื่นพาหะจะตกลงกว่าปกติ การมอดูเลต ASK มักจะไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะจะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย

2.5.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK)

ในการมอดูเลตแบบ FSK ขนาดของคลื่นพาหะจะไม่เปลี่ยนแปลงที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาหะนั้นคือ เมื่อบิตมีค่าเป็น 1 ความถี่ของคลื่นพาหะจะสูงกว่าปกติและเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะต่ำกว่าปกติ

2.5.3 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK)

หลักการของ Phase Keying (PSK) คือ ค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาห้จะไม่มี การเปลี่ยนแปลงแต่ที่จะเปลี่ยนคือ เฟสของสัญญาณกล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะของบิตจาก 1 ไปเป็น 0 หรือเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน (Shift) ไป 180 องศาด้วย หลักการ PSK สามารถทำได้ทั้งแบบ 2 เฟส (0, 90, 180 และ 270 องศา) และแบบ 8 เฟส (0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 และ 315 องศา) ในการมอดูเลตเพื่อเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกทั้ง 3 แบบ วิธีการแบบ PSK จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุดได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุดแต่วงจรการทำงานจะยุ่งยากกว่าและราคาสูงกว่า

2.6 คลื่นพาห้และมาตรฐานของระบบ RFID

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างแต่ละประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่คลื่นพาห้ของระบบ RFID โดยมีสามกลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มประเทศในยุโรปและแอฟริกา (Region 1), กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region 2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออกไกลและออสเตรเลีย (Region 3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ความถี่ต่างๆ ให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก

อย่างไรก็ตาม ความถี่ของคลื่นพาห้ที่นิยมใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ย่านความถี่ปานกลาง และ ย่านความถี่สูงก็คือ 125 kHz, 13.56 MHz และ 2.45 GHz ตามลำดับดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 นอกจากนี้รัฐบาลของแต่ละประเทศ โดยทั่วไปจะมีการออกกฎหมายเกี่ยวกับระเบียบการใช้งาน ย่านความถี่ต่างๆ รวมถึงกำลังส่งของระบบ RFID ด้วย

ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ต่างๆ ของระบบ RFID และการใช้งาน

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

ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้ว RFID ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดและมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วน RFID ที่ใช้คลื่นพาหะย่านความถี่ต่ำก็จะมีค่าส่งข้อมูลต่ำและราคาก็จะต่ำลงตามลงไปด้วย

2.7 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID

2.7.1 ความถี่ใช้งาน

อุปกรณ์ RFID ที่ใช้ย่านความถี่ในช่วง 100 kHz ถึง 30 MHz จะใช้รูปแบบส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องรับเป็นแบบเหนี่ยวนำ (Inductive coupling) ในขณะที่อุปกรณ์ RFID ที่มีการสื่อสารโดยใช้ความถี่ย่านไมโครเวฟซึ่งอยู่ในช่วง 2.45-5.8 GHz จะใช้การส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การดูดซับคลื่นสัญญาณของตัวนำที่เป็นน้ำ ที่ความถี่ใช้งาน 100 kHz จะมีค่าต่ำกว่าการใช้งานที่ความถี่ 1 GHz ถึง 100,000 เท่า การเลือกใช้งานอุปกรณ์ RFID ที่ความถี่สูงระดับ 1 kHz ในกรณีที่มีฝนตกย่อมจะเกิดปัญหาการลดทอนสัญญาณระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านซึ่งอยู่กลางแจ้งมากกว่าการใช้งานแบบเดียวกันที่ความถี่ 100 kHz การเลือกใช้อุปกรณ์ RFID ทำงานที่ความถี่ในย่าน HF น่าจะให้ผลดีในการแพร่กระจายคลื่นในระยะทางกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการเลือกใช้อ่านความถี่ไมโครเวฟนั้น โดยทั่วไปจะให้ผลดีในเรื่องของระยะทางที่ไกลกว่า การเหนี่ยวนำโดยใช้คลื่นความถี่ต่ำ แต่อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายที่ทำงานในย่านไมโครเวฟนั้นต้องการ แบตเตอรี่สำรองไฟฟ้าทำให้ต้องมีขนาดใหญ่และมีข้อจำกัดในการพกพาหลายๆ ประการ สิ่งที่ต้องพิจารณาประการหนึ่งสำหรับการใช้งานอุปกรณ์ RFID ในย่านความถี่ต่ำก็คือ การที่ระบบอาจถูกรบกวนจากการเดินเครื่องมอเตอร์ที่อยู่ใกล้เคียงได้ เนื่องจากการรับส่งข้อมูลที่ให้การเหนี่ยวนำ ทำให้มีความนิยมใช้งานการสื่อสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟแทนในกรณีของการใช้งานภายใน โรงงานอุตสาหกรรม

2.7.2 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิธ

อัตราการรับส่งข้อมูล (Data Transfer Rate) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาหะ โดยปกติถ้า ความถี่ของคลื่นพาหะยิ่งสูง อัตราการรับส่งข้อมูลก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ส่วนการเลือกแบนด์วิธ หรือย่านความถี่นั้นก็จะมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลเช่นกัน โดยมีหลักว่า แบนด์วิธควรจะมีความมากกว่าอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อยสองเท่า ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้แบนด์วิธในช่วง 2.4-2.5 GHz ก็จะสามารถรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลได้ถึงประมาณ 2 megabits ต่อวินาที เป็นต้น แต่การใช้แบนด์วิธที่กว้างเกินไปก็อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนมาก หรือทำให้ S/N Ratio ต่ำลงนั่นเอง ดังนั้นการเลือกใช้แบนด์วิธให้ถูกต้องก็เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณา

2.7.3 ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลในระบบ RFID ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่าน ข้อมูล (Reader/Interrogator Power) กำลังส่งของเครื่องลูกข่าย (Tag Power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะเวลาการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆรอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบ RFID ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบต่อระยะเวลาการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้กำลังส่งของเครื่องลูกข่ายที่จะส่งกลับมายังตัว

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา

2.7.4 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย

2.7.4.1 การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล

การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วยการตรวจยืนยันตัวตนเครื่องลูกข่าย RFID และการเข้ารหัสข้อมูลที่จะถูกส่งผ่านทางคลื่นวิทยุ กระบวนการหรือความต้องการใช้งานในกรณีนั้นๆ จำเป็นต้องใช้มาตรการรักษาความปลอดภัยหรือไม่ หรือหากต้องการใช้จะเป็นเพียงระดับใด เพื่อให้การลงทุนเป็นไปอย่างเหมาะสมที่สุด

2.7.4.2 การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์

การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์ ที่ความถี่ 0.1-3.0 MHz จะต้องมีค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า (Electric Field Strength: E) ไม่เกิน 614 V/m ค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Strength: H) ไม่เกิน $16.3/f$ A/m ค่าความหนาแน่นกำลัง (Power Density : S) ไม่เกิน $10,000/f^2$ mW/cm² โดยคิดที่เวลาเฉลี่ย (Averaging Time) 6 นาที

2.7.5 มาตรฐานการลดทอนของความเข้มสนามแม่เหล็ก

มาตรฐานการลดทอนของความเข้มสนามแม่เหล็กที่ระยะ 10 เมตร ซึ่งจะต้องมีค่าไม่เกิน 72 dB μ A/m

2.7.6 ขนาดของหน่วยความจำ

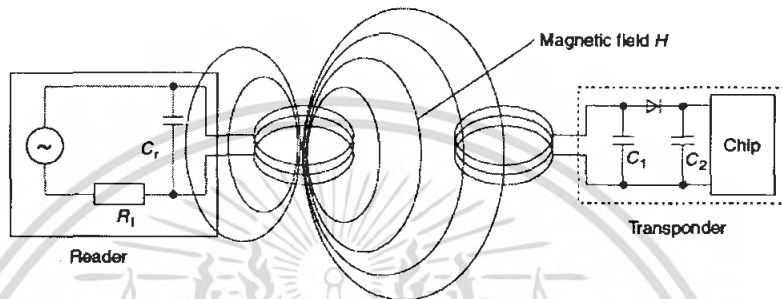
ต้นทุนของเครื่องลูกข่าย RFID ย่อมมีความสัมพันธ์กับลักษณะและขนาดของหน่วยความจำ ที่บรรจุอยู่ภายใน การใช้งานในระดับสาธารณะ เช่น ระบบขนส่งจึงนิยมใช้เครื่องลูกข่ายที่มีหน่วยความจำน้อย หรือในบางกรณีอาจใช้เครื่องลูกข่ายแบบโปรแกรมไม่ได้ เพื่อควบคุมต้นทุนของบัตร โดยอาจใช้บัตรหรือเครื่องลูกข่ายทำหน้าที่ส่งข้อมูลแสดงหมายเลข แล้วให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นใช้งานภายในระบบหรือเครื่องข่ายขนส่งทำหน้าที่ตรวจสอบหรืออำนวยความสะดวกในการเดินทางแทนที่จะเก็บข้อมูลไว้ในบัตรก็ได้

82451

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Inductive Coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็ก โครงสร้างของเครื่องลูกข่ายประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือชิปที่เก็บบันทึกข้อมูลต่างๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ



รูปที่ 2.3 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย เป็นการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน

2.8.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย

เนื่องจากการทำงานของเครื่องลูกข่ายนั้นเป็นแบบพาสซีฟ (Passive operation) คือไม่มีแหล่งพลังงานภายในเป็นของตัวเอง จึงจำเป็นต้องรับพลังงาน (Energy) มาจากเครื่องอ่านโดยตรง ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่าน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำลังสูง สามารถแพร่กระจายไปในพื้นที่ใช้งาน และสามารถตกกระทบขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้อย่างเหมาะสม ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกมาจากเครื่องอ่านนั้นมีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ซึ่งโดยทั่วไปวางห่างกันเป็นหลักไม่มากนัก

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

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

ดังนั้นในการออกแบบระบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่าน และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่เครื่องลูกข่าย มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย

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

สิ่งที่พึงให้ความสนใจเกี่ยวกับการออกแบบระบบ RFID แบบ Inductive Coupling ก็คือพฤติกรรมการกินกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ชิปที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องลูกข่าย เนื่องจากค่อนข้างมีความหลากหลายและสัมพันธ์กับรูปแบบในการนำไปประยุกต์ใช้งาน การเลือกค่าความถี่พื้นฐานในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายระยะทางพื้นที่ใช้งาน และขนาดของอุปกรณ์อื่นเนื่องมาจากจำนวนรอบของขดลวดสายอากาศ จึงจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับประเภทของการใช้งานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

2.8.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

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

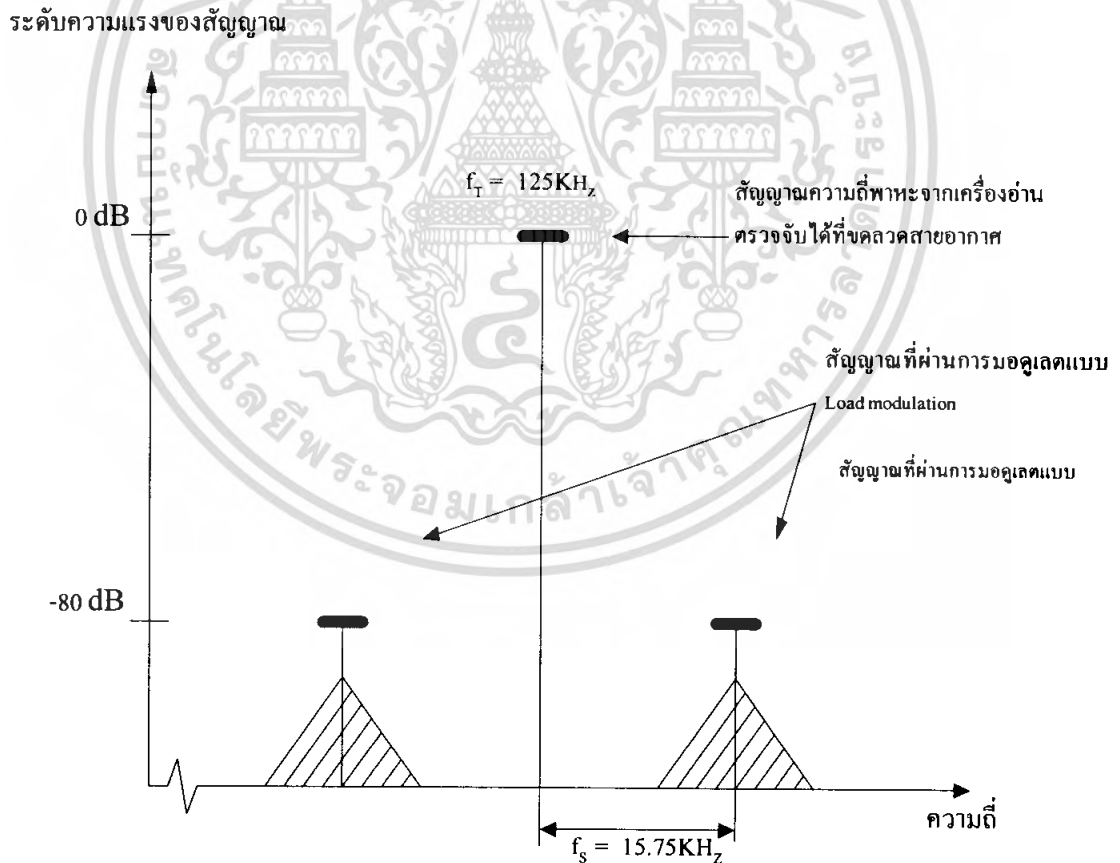
2.8.2.1 เทคโนโลยี Load Modulation

พฤติกรรมในการส่งพลังงานและสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและขดลวดของเครื่องลูกข่ายมีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากการทำงานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่อย่างใด หากแต่เพียงตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานเป็นอากาศไม่ใช่โลหะหรือแท่งแม่เหล็กดังเช่นที่พบเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป แต่การใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดทั้งสองนั้น จะทำได้ก็ต่อเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายห่างกันไม่เกิน 0.16 เท่าของค่าความยาวคลื่น ($\frac{\lambda}{20}$) ซึ่งหากคิดกรณีที่ใช้ความถี่ในย่าน 125 kHz ที่มีความยาวคลื่น 2,400 เมตร ก็จะหมายความว่า จะวางเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่านห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน 0.16 คูณ 2,400 = 384 เมตร

หากมีการนำเครื่องลูกข่ายซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ (LC) ตรงกันกับค่าความถี่เรโซแนนซ์ของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่มีการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน เครื่องลูกข่ายย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้วเครื่องอ่านจะมองเห็นเครื่องลูกข่ายเป็นโหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ ZT ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน การเปลี่ยนแปลงใดๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ ZT ที่เครื่องอ่านอย่างแน่นอน เนื่องจากในแง่ของวงจร เรโซแนนซ์ ที่เกิดจากขดลวด (L) และตัวเก็บประจุ (C) บนเครื่องลูกข่ายย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ตกกระทบ และไม่มีการจ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับความถี่เท่ากับศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เสมือน ZT นี้ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านโดยปริยาย ซึ่งเป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมา เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Load Modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half Duplex หรือ Full Duplex นั้นขึ้นอยู่กับกรออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณซึ่งเป็นเรื่องที่ลงรายละเอียดไปในการออกแบบ

2.8.1.2 เทคโนโลยี Load Modulation with sub carrier

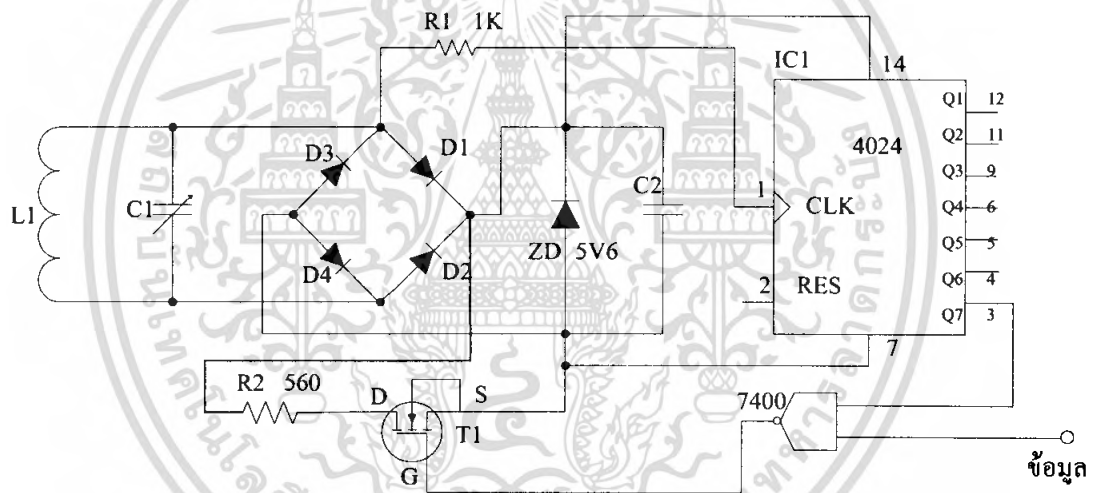
เนื่องจากระดับความสามารถในการถ่ายทอด (Coupling) สัญญาณระหว่างขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่าย และเครื่องอ่านก่อนข้างต่ำ การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันสัญญาณที่เกิดขึ้นบนขดลวดของเครื่องอ่าน อันมีผลมาจากการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย ย่อมอยู่ในระดับที่ต่ำมากจนบางครั้งอาจไม่สามารถตรวจจับได้ เป็นผลให้เกิดปัญหา ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน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



รูปที่ 2.4 สัญญาณข้อมูลที่ถูกรับรจู่อยู่ในไซด์แบนด์ของความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน กับเครื่องลูกข่าย RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเป็นเช่นนี้ การตรวจจับสัญญาณที่ปรากฏบนเครื่องอ่านก็จะง่ายดายนขึ้น โดยเพียงแค่ทำการติดตั้งอุปกรณ์แยกกรองความถี่ (Band pass filter) ที่ขดลวดของเครื่องอ่านโดยสามารถเลือกเฉพาะสัญญาณในไซด์แบนด์ด้านใดด้านหนึ่งที่ต้องการ จากนั้นจึงนำสัญญาณที่กรองออกมาทำการขยายแล้วทำการตีโมดูเลตก็จะได้สัญญาณข้อมูลที่ส่งออกมาจากเครื่องลูกข่าย อย่างไรก็ตามเนื่องจากความถี่ในการส่งข้อมูล จากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน ทำให้ต้องมีการกันแบนด์วิดท์สำหรับการรับส่งข้อมูลไว้ค่อนข้างสูง ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.4 ซึ่งต้องกันแบนด์วิดท์รอบความถี่พื้นฐานมากถึง 212 กิโลเฮิร์ตซ์ ทำให้ไม่สามารถใช้เทคโนโลยีนี้ ได้กับ ระบบ RFID ที่ใช้ความถี่ต่ำในการสื่อสารข้อมูลได้ ข้อกำหนดมาตรฐาน RFID ระบุว่าสามารถใช้เทคโนโลยีดังกล่าว ได้เฉพาะกับมาตรฐาน RFID แบบ Inductive Coupling ที่ความถี่ 125KHz เท่านั้น รูปที่ 2.5 เป็นตัวอย่างวงจรจริงที่ใช้ในการ สร้างสัญญาณ ไซด์แบนด์ บนอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย

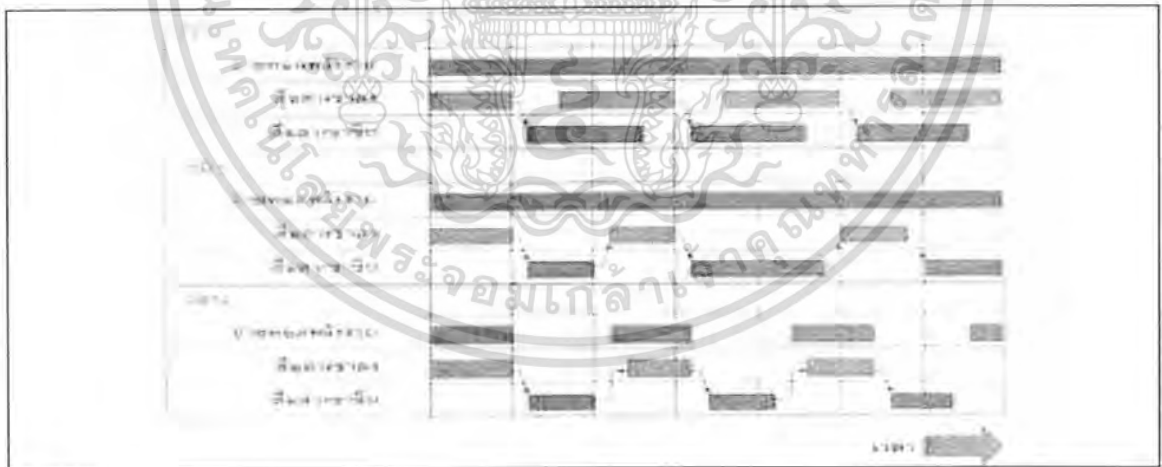


รูปที่ 2.5 ตัวอย่างวงจรที่ใช้สำหรับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบ Load Modulation with Sub carrier ติดตั้งอยู่ในเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling

บทที่ 3

มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน และเครื่องลูกข่ายของเทคโนโลยี RFID

นอกจากมาตรฐาน RFID ประเภท 1 บิต ซึ่งมีการนำไปใช้งานในกิจการประเภท Electronic Article Surveillance (EAS) ดังได้กล่าวถึงในบทความตอนที่แล้ว ยังมีระบบ RFID ที่มีขีดความสามารถในการทำงานที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพในการใช้งานซึ่งเน้นการจัดเก็บและตรวจสอบข้อมูลที่มีปริมาณมาก โดยแบ่งลักษณะการทำงานรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุได้อีก 2 ประเภท คือ มาตรฐาน RFID แบบที่ใช้การสื่อสารแบบ Full Duplex / Half Duplex และแบบ Sequential ซึ่งรูปแบบการสื่อสารทั้ง 3 ประเภทนี้มีความแตกต่างจากมาตรฐาน RFID ประเภท 1 บิต ที่ใช้เทคโนโลยีง่าย ๆ ในการตรวจจับโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องลูกข่าย เช่น การใช้งาน 3609 ออสซิลเลเตอร์กระตุ้นปี หรือการใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทไดโอด หรือวัสดุประเภทโลหะไร้สัณฐานซึ่งมีคุณสมบัติการตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กเฉพาะตัวแล้วตรวจจับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติโดยแทนเสมือนหนึ่งการเปลี่ยนสถานะลอจิกของอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID จาก “0” เป็น “1” หรือในทางกลับกัน



รูปที่ 3.1 แสดงความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

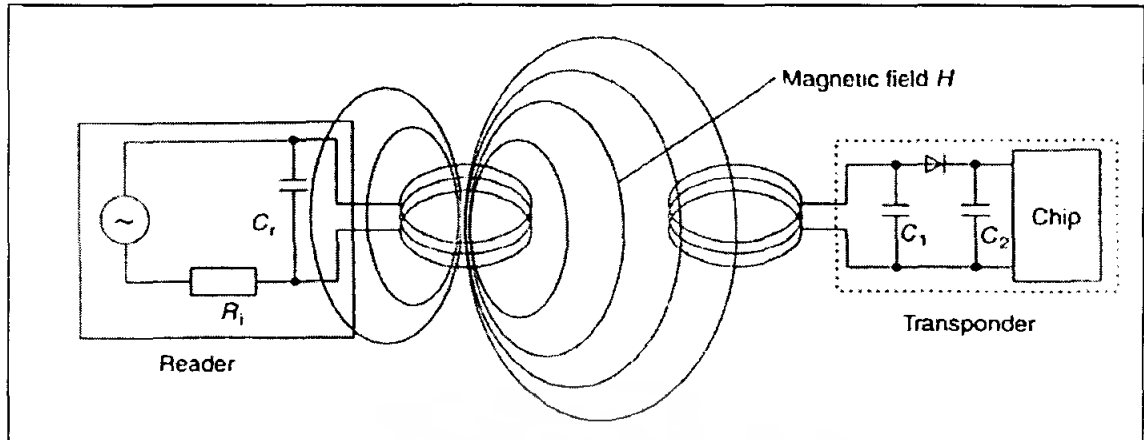
การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย (Downlink) และการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังเครื่องอ่าน (Uplink) สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ต่างจากการสื่อสารแบบ Half Duplex ซึ่งแม้เครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา แต่ก็ต้องมีการกำหนดจังหวะผลัดกันรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย สำหรับการสื่อสารแบบสุดท้ายคือ Sequential นั้น จะมีการจำกัดเวลาในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไปให้เครื่องลูกข่ายในลักษณะของพัลส์ (Pulse) หรือก่อนพลังงานที่ส่งออกในแต่ละช่วงเวลาและใช้การปรากฏขึ้นของพลังงานไฟฟ้าหรือพัลส์นี้เป็สัญญาณกำหนดให้มีการส่งข้อมูล Downlink ส่วนช่วงที่ไม่มีพลังงานปรากฏอยู่จะเป็นการส่งสัญญาณ Uplink เพื่อทำความเข้าใจกับรูปแบบในการรับส่งข้อมูลแล้วจะขอกล่าวถึงมาตรฐานการสื่อสาร RFID แบบ Duplexing ซึ่งสามารถจำแนกตามรูปแบบการทำงานได้ 4 ประเภท อันได้แก่เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling, Electromagnetic backscatter Coupling, Close Coupling และเทคโนโลยี Electrical Coupling

3.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็ก โครงสร้างของเครื่องลูกข่ายประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือชิปที่ใช้เก็บบันทึกข้อมูลต่าง ๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ ทั้งนี้ผู้เขียนจะกล่าวถึง เทคนิคในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องลูกข่ายเพื่อเลี้ยงให้อุปกรณ์ชิปสามารถทำงานได้ก่อนจะกล่าวถึงเทคนิคที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

3.1.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เนื่องจากการทำงานของเครื่องลูกข่ายนั้นเป็นแบบพาสซีฟ (Passive operation) กล่าวคือไม่มีแหล่งพลังงานภายในเป็นของตนเอง จึงจำเป็นต้องรับพลังงาน (Energy) มาจากเครื่องอ่าน โดยตรงดังแสดงในรูปที่ 4.2 ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่าน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ กำลังสูงสามารถแพร่กระจายไปในพื้นที่ใช้งาน และสามารถตกกระทบขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้อย่างเหมาะสม³⁹



รูปที่ 3.2 เทคโนโลยี Inductive Coupling กับการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน

ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกมาจากเครื่องอ่านนี้มีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ซึ่งโดยทั่วไปมักวางห่างกันเป็นหลักไม่มากนัก ในขณะที่เทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling ส่วนใหญ่ใช้ความถี่ต่ำเพียง 135 KHz หรืออาจจะต่ำกว่า ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีความยาวคลื่นสูงมากถึง 2,400 เมตร แม้ในบางระบบที่ความถี่ใช้ความถี่สูงในย่าน 13.56 GHz ก็ยังกำเนิดคลื่นสัญญาณที่มีความยาวคลื่นถึง 22.1 เมตรจึงไม่มีปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไปจนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบนหรือดูดทอนจากผนังอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ หากพิจารณาถึงพื้นที่ใช้งานโดยทั่วไปที่มีได้ไกลหรือกว้างใหญ่มากนักสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะตกกระทบขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อน ๆ ขึ้นบนขดลวดดังกล่าว ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากระบวนการเรกติไฟร์โดยตัวเก็บประจุไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับอุปกรณ์ชิป ทั้งนี้หัวใจของการออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ CI ซึ่งจะต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด (L) เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่กำทอน (Resonant frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องลูกข่ายเมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงมากก็จะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงใช้จำนวนรอบในการพันลดลงเช่นกันตัวอย่างเช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 135 KHz จะต้องมีการพันขดลวดสายอากาศที่เครื่องลูกข่าย 40 ในช่วง 100 – 1,000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 MHz ก็จะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวดจะเหลือเพียง 3 – 10 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

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

3.1.2.1 เทคโนโลยี Load Modulation

ดังได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่าพฤติกรรมในการส่งพลังงานและสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและขดลวดของเครื่องลูกข่าย มีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากการทำงานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่อย่างใด หากแต่เพียงตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานเป็นอากาศมิใช่โลหะหรือแท่งแม่เหล็กดังเช่นที่พบเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป อย่างไรก็ตาม การใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดทั้งสองนั้น จะทำได้ก็ต่อเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายห่างกันไม่เกิน 0.16 เท่าของค่าความยาวคลื่น (0.16λ) ซึ่งหากคิดกรณีที่ใช้ความถี่ในย่าน 135 KHz ที่มีความยาวคลื่น $2,400$ เมตร ก็จะหมายความว่าระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน $0.16 \times 2,400 = 384$ เมตรหากมีการนำเครื่องลูกข่ายซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ (LC) ตรงกันกับค่าความถี่กำลังของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่มีการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน เครื่องลูกข่ายย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้วเครื่องอ่านจะมองเห็นเครื่องลูกข่ายเป็นโหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ Z_T ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ Z_T ที่เครื่องอ่านมองเห็นอย่างแน่นอนเนื่องจากในแง่ของวงจร Resonant ที่เกิดจากขดลวด (L) และตัวเก็บประจุ (C) บนเครื่องลูกข่ายย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ตกกระทบ และไม่มีการจ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับความถี่ 4 เท่ากับศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เสมือน Z_T นี้ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน โดยปริยาย ซึ่งนี่เองที่เป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมา เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Load Modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half Duplex หรือ Full Duplex นั้นก็สุดแท้แต่การออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณ ซึ่งเป็นเรื่องทีลงรายละเอียดไปในการออกแบบ

3.1.2.2 เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier

เนื่องจากระดับความสามารถในการถ่ายทอด (Coupling) สัญญาณระหว่างขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านค่อนข้างต่ำ อันเนื่องมาจากเหตุผลที่ได้กล่าวไปแล้ว การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันสัญญาณที่เกิดขึ้นบนขดลวดของเครื่องอ่าน อันมีผลมาจากการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายย่อมอยู่ในระดับที่ต่ำมาก ๆ จนบางครั้งอาจไม่สามารถตรวจจับได้ เป็นผลให้เกิดปัญหาในการส่งข้อมูลในทิศทาง Uplink ในทางปฏิบัติสำหรับระบบ RFID แบบ Inductive Coupling ที่ใช้ความถี่ 13.56MHz สมมติว่ามีแรงดันปรากฏที่ขดลวดของเครื่องอ่านสูงถึง 100 โวลต์ (ที่สูงเช่นนี้ส่วนใหญ่เกิดจากการปรากฏการณ์กำหนด) จะพบว่าเมื่อมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังเครื่องอ่าน ความเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นเหนือแรงดัน 100 โวลต์บนขดลวดของเครื่องอ่านจะมีค่าสูงอย่างมากก็ไม่เกิน 10 มิลลิโวลต์ ซึ่งถือว่าต่ำกว่าแรงดันพื้นฐานบนขดลวดถึง 10,000 เท่าหรือหากคิดในแง่ของการออกแบบวงจรเพื่อตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ก็ต้องกล่าวว่าสัญญาณดังกล่าวมีระดับความแตกต่างระหว่างตัวสัญญาณจริงกับสัญญาณรบกวนต่ำมาก เพียง 80 เดซิเบล เท่านั้น ที่กล่าวเช่นนั้นก็เพราะโอกาสที่จะเกิดสัญญาณรบกวน เช่นการกระเพื่อมโดยธรรมชาติของแรงดันไฟฟ้า 100 โวลต์ ในพิกัด + 10 มิลลิโวลต์ เป็นไปได้สูงมาก การใช้เทคโนโลยี Load Modulation โดยทั่วไปย่อมมีโอกาสตรวจจับข้อมูลได้ผิดพลาดง่ายมาก จึงเป็นที่มาของการออกแบบเทคนิคการตรวจจับข้อมูลแบบ Load Modulation with subcarrier ซึ่งมีหลักการคล้ายคลึงกับการรับส่งวิทยุ AM (Amplitude Modulation) เนื่องจากปัญหาในเรื่องของขนาดแรงดันสัญญาณข้อมูลที่ต่ำมาก ๆ ทำให้ต้องออกแบบวงจรตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ซับซ้อนและมีต้นทุนสูงมาก จึงมีการปรับปรุงรูปแบบการตรวจจับสัญญาณ โดยใช้เทคนิค Load Modulation with subcarrier ซึ่งในกรณีที่มีการส่งข้อมูลจำนวนมาก ๆ ซึ่งหากมองในแง่ของเครื่องอ่านย้อนกลับมายังเครื่องลูกข่ายจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าด้วยความถี่ค่าหนึ่ง f_c กล่าวคือมีความต้องการส่งข้อมูลข่าวสารในแบนด์วิดท์ช่วง f_s ซึ่งเป็นค่าความถี่ต่ำ โดยใช้ความถี่คลื่นพาหะที่เป็นความถี่สูงกว่ามาก ๆ ซึ่งในกรณีของอุปกรณ์ RFID นั้นก็คือความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายนั่นเอง หากมีการนำอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ซึ่งมีคุณสมบัติในการรวมสัญญาณ ดังเช่นที่ใช้กันในเครื่องรับ-ส่งคลื่นวิทยุมาต่อในวงจรภายในเครื่องลูกข่าย ก็จะทำให้เกิดการมอดูเลตสัญญาณ ทำให้ปรากฏคลื่นความถี่ไซด์แบนด์ (Sideband) หรือความถี่ข้างเคียงอันมีค่าเท่ากับ $f_c + f_s$ และ $f_c - f_s$ โดย f_c ก็คือ ความถี่ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID นั่นเอง

3.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

เทคนิคที่ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับไปยังเครื่องอ่านในกรณีนี้จะใช้เทคโนโลยีที่มีชื่อว่า Modulated reflection cross-section ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเดียวกันกับที่ใช้ในวงการเรดาร์ ซึ่งโดยหลักการทั่วไปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งไปกระทบกับวัตถุต่าง ๆ จะสะท้อนกลับมายังเครื่องส่งได้ หากวัตถุนั้นมีขนาดใหญ่กว่าครึ่งหนึ่งของค่าความยาวคลื่น ส่วนที่ว่าจะสะท้อนได้ดีมากหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับความสามารถในการสะท้อนสัญญาณ หรือ reflection cross-section ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับความถี่กำหนดของวัตถุนั้น ๆ ซึ่งในกรณีของเทคโนโลยี RFID ก็คือสายอากาศของเครื่องลูกข่ายนั่นเอง ว่าตรงกับความถี่ของคลื่นตกกระทบหรือไม่



รูปที่ 3.5 แสดงหลักการทำงานส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย RFID ไปยังเครื่องอ่าน โดยใช้เทคโนโลยี Modulated reflection cross-section

รูปที่ 3.5 แสดงสามารถอธิบายเทคโนโลยีการส่งสัญญาณโดยใช้เทคโนโลยี Modulated reflection cross-section ได้เป็นอย่างดี สมมติให้เครื่องอ่านทำการส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ P_1 ผ่านสายอากาศออกไปยังเครื่องลูกข่าย สัญญาณส่วนหนึ่งย่อมปรากฏและตกกระทบที่สายอากาศของเครื่องลูกข่าย สมมติว่ามีขนาดความแรง P_1' สัญญาณดังกล่าวเป็นสัญญาณความถี่สูง (HF) และถูกนำไปผ่านกระบวนการกรองแรงดัน โดยวงจรเรกติไฟร์ด้วยไดโอด D_1 และ D_2 ซึ่งวงจรส่วนนี้เองที่ทำหน้าที่เป็นเหมือนสะพานไฟ สำหรับ “จ่าย” หรือ “หยุดจ่ายไฟ” ให้กับไมโครชิปในกรณีที่เครื่องลูกข่ายอยู่นอกพื้นที่ตรวจสอบสัญญาณ P_1' ส่วนหนึ่งจะสะท้อนสายอากาศของเครื่องลูกข่ายกลับไป โดยอาจมีขนาดความแรงลดลง เรียกแทนว่าสัญญาณ P_2 ซึ่งเครื่องลูกข่ายจะใช้สัญญาณนี้เองเป็นคลื่นพาหะในการส่งข้อมูลข่าวสารจากไมโครชิปกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยในทางปฏิบัติจะติดตั้งโหลด (RL) ไว้ขานานสายอากาศของเครื่องลูกข่าย เมื่อมีการส่งข้อมูล “0/1” จากไมโครชิปออกไป โหลด RL จะเปลี่ยนค่าไปตามลำข้อมูลและจะมีผลทำให้ลักษณะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

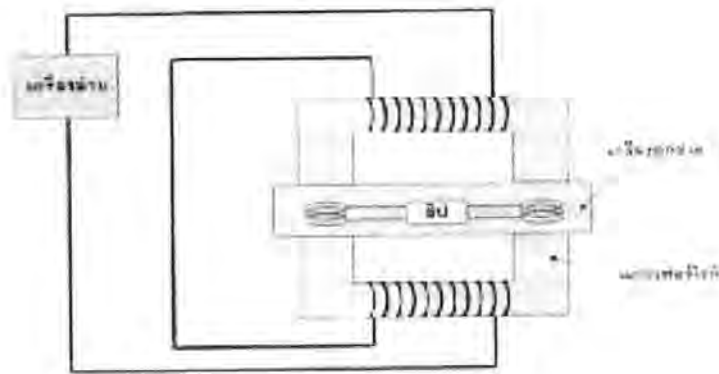
ภาพของคลื่นสะท้อน P2 เปลี่ยนแปลงไปตามค่าข้อมูล ไบนารีที่ต้องการส่งกลับไปยังเครื่องรับ สัญญาณ P2 นี้จะเดินทางย้อนผ่านอากาศเปิดกลับไปยังสายอากาศของเครื่องอ่านปรากฏเป็น สัญญาณ P2' สัญญาณที่ได้รับนี้จะถูกป้อนผ่านวงจรแยกทิศทางสัญญาณ (Directional Coupler) ที่ เครื่องอ่านเพื่อป้อนเข้าสู่ภาครับของเครื่องอ่าน ทั้งนี้ค่าสัดส่วนระหว่างสัญญาณ P1/P2 นั้น ค่า สำคัญที่จะกำหนดความไวและความเที่ยงตรงในการส่งข้อมูลข่าวสารโดยสามารถคำนวณได้จาก สมการการทำงานของเรดาห์โดยทั่วไป

3.3 เทคโนโลยี Close Coupling

เป็นเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปยังเครื่องอ่าน RFID ใน ระยะทางสั้น ๆ ช่วง 0.1 ถึง 1 เซนติเมตร โดยในทางปฏิบัติจะพบมากในกรณีของระบบขนส่ง มวลชน เช่นระบบรถไฟฟ้า MRT ในประเทศไทย ซึ่งผู้โดยสารหยิบบัตรพลาสติกซึ่งเป็นเครื่องลูก ข่าย RFID ลักษณะนี้ไปแตะหรือจ่อกับเครื่องอ่าน เพื่อให้เครื่องอ่านตรวจสอบหมายเลขบัตร หรือ บางระบบอาจมีการเขียนอ่านข้อมูลวงเงินคงเหลือ ก่อนจะพิจารณาว่าอนุญาตให้ผู้โดยสารผ่านเข้าสู่ ระบบขนส่งมวลชนหรือไม่ ในทางเทคนิคนิยมเรียกรูปแบบการใช้งานแบบนี้ว่า “touch & go”

3.3.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เมื่อมีการสอดหรือวางบัตรพลาสติกที่เป็นเครื่องลูกข่าย RFID ชนิดนี้เข้าไปในหรืออยู่บน เครื่องอ่าน ในทางเทคนิคจะหมายถึง การวางตำแหน่งขดลวดของเครื่องลูกข่ายให้อยู่ในระยะทำการ โดยมีอากาศเป็นตัวกลางกั้นระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านในระยะสั้น ๆ เท่านั้น ตัวอย่างดัง แสดงในรูปที่ 3.6 ในกรณีนี้ขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านจะทำหน้าที่เป็นเสมือนขดลวดปฐมภูมิ ในขณะที่ขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะเป็นดังเช่นขดลวดทุติยภูมิ เมื่อเปรียบเทียบกับ การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ภายในเครื่องอ่านจะมีการกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง เพื่อป้อนผ่านขดลวดปฐมภูมิ ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กความเข้มสูงเหนี่ยวนำผ่านช่องว่างของอากาศ ไปทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นบนขดลวดทุติยภูมิบนเครื่องลูกข่าย ก่อให้เกิดการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ ไมโครชิป



รูปที่ 3.6 แสดงรูปแบบการสัมผัสของบัตรพลาสติกที่เป็นเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling กับเครื่องอ่าน

เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นบนขดลวดทุติยภูมิมีค่าแปรผันโดยตรงกับความถี่ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยมกำหนดความถี่ใช้งานให้สูงที่สุดเท่าที่เทคโนโลยีจะสามารถรองรับได้ ซึ่งในปัจจุบันก็ได้ความถี่ในย่าน 1 ถึง 10 MHz นอกจากนี้ยังมีการเลือกใช้วัสดุประเภทเฟอร์ไรต์มาทำเป็นแกนสำหรับพันขดลวดของเครื่องอ่าน เนื่องจากเฟอร์ไรต์มีค่าความสูญเสียของการนำพาสนามแม่เหล็กต่ำกว่าวัสดุประเภทอื่นๆ และเนื่องจากคุณสมบัติที่ดีที่สุดในการถ่ายทอดพลังงาน เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling หรือเทคโนโลยี RFID ที่ใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารเทคโนโลยีแบบ Close Coupling จึงได้รับความนิยมใช้งานมากที่สุดสำหรับเครื่องลูกข่ายที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูง ๆ เพื่อป้อนให้กับไมโครชิป ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถป้อนกำลังไฟให้กับไมโครชิปที่กินไฟมากถึง 10 มิลลิวัตต์ ได้อย่างไม่มีปัญหาใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้การวางข้อกำหนดทางกลศาสตร์และทางไฟฟ้าของแผ่นเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling ไว้ตามมาตรฐาน ISO 10536

3.3.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling มายังเครื่องอ่านนั้น สามารถทำได้สองวิธีด้วยกัน ใช้เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในกรณีมาตรฐานแบบ Inductive Coupling หรืออาจใช้เทคโนโลยี Capacitive Coupling ซึ่งอาศัยประโยชน์จากระยะห่างที่ค่อนข้างสั้นระหว่างขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน โดยมีการติดตั้งแผ่นตัวเก็บประจุ (Plate Capacitor) ทั้งที่บัตรพลาสติกบนเครื่องลูกข่าย และบนเครื่องอ่านในลักษณะที่ให้หน้าสัมผัสคัปปลิง (Coupling Surface) ของทั้งเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านอยู่ในแนวเดียวกันในยามที่มีการสัมผัสหรือสอดเครื่องลูกข่ายเข้าไปในเครื่องอ่าน แล้วใช้การเอกลากรณีเป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเป็นตัวส่งผ่านข้อมูลจากไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายผ่านสนามไฟฟ้าไปสู่เครื่องอ่าน

3.4 เทคโนโลยี Electrical Coupling

เป็นเทคโนโลยี RFID ชนิด Full Duplex/Half Duplex อีกประเภทหนึ่งที่ใช้หลักการสร้างสนามไฟฟ้า (Electric field) ขึ้นจากเครื่องอ่านแล้วใช้คุณสมบัติของสนามไฟฟ้าในระยะทางใกล้ๆ สายอากาศของเครื่องอ่าน ซึ่งออกแบบให้มีลักษณะเป็นแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมใหญ่ ในการสร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เกิดขึ้นบนสายอากาศของเครื่องลูกข่ายที่มีการจัดสร้างเป็นแผ่นอิเล็กทรอนิกส์เหมือนกัน

3.4.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เครื่องอ่านได้รับการออกแบบให้ต่อเชื่อมต่อกับสายอากาศที่มีลักษณะเป็นอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมใหญ่ โดยทั่วไปมักทำจากแผ่นโลหะหรือแผ่นฟอยล์โลหะ จากนั้นจึงทำการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง เข้าสู่แผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคม เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมกับความเหนี่ยวนำภายใน (L) และค่าคาปาซิแตนซ์ (เทียบได้กับตัวเก็บประจุ) ระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมกับกราวด์หรือพื้นโลก จึงทำให้เกิดวงจรเสมือนของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมที่เทียบได้กับวงจร LC ซึ่งมีความถี่กำทอน (Resonant Frequency) เป็นคุณสมบัติประจำตัว หากทำการป้อนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่ตรงกันกับความถี่กำทอนของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคม ก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏขึ้นบนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนั้นมีระดับสูงขึ้นมา อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ ซึ่งเป้าหมายในการใช้งานจริง มักกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าบนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมเทียบกับกราวด์มีค่าสูงตั้งแต่หลักร้อยถึงหลักพันโวลต์แรงดันดังกล่าว ก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมกับกราวด์ที่อยู่รอบ ๆ เมื่อนำเครื่องลูกข่ายที่ได้รับการออกแบบให้มีสายอากาศ 2 ชุดเป็นแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมเล็กกว่า เข้ามาอยู่ในพื้นที่ใช้งานอันมีสนามไฟฟ้าจากเครื่องอ่านปรากฏอยู่ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมบนและแผ่นส่งของเครื่องลูกข่าย ก่อให้เกิดกระแสไหลเวียนอยู่ภายในวงจรของเครื่องลูกข่ายเพื่อไปเลี้ยงให้กับไมโครชิป

3.4.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

เมื่อมีการนำเครื่องลูกข่ายมาไว้ในพื้นที่ใช้งาน อันหมายถึงบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าจากแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมของเครื่องอ่านปรากฏอยู่ จะมีผลทำให้ค่าอินдукติฟิตีแดนซ์ของเครื่องลูกข่าย (RL) มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความถี่กำทอน โดยมีการแบ่งแรงดันไฟฟ้าผ่านมาจากคาปาซิแตนซ์ CR-T ดังแสดงในรูปที่ 14 อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการเพิ่มค่าอินдукติฟิตีแดนซ์ RMod ซึ่งเครื่องลูกข่ายใช้ในการส่งสัญญาณ โบนารีที่เป็นข้อมูลป้อนกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยผ่านทางการสวิตซ์เพื่อเพิ่มค่าอินдукติฟิตีแดนซ์

RMod ซึ่งจะทำให้พฤติกรรมการสะท้อนสัญญาณผ่านทางวงจรแบ่งแรงดันมีค่าเปลี่ยนแปลงไป เช่นเมื่อเครื่องลูกข่ายต้องการส่งข้อมูลไบนารีบิตใดบิตหนึ่งที่มีค่าเป็น “0” ก็จะทำการเปิดวงจรสวิทช์ออกทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่ายเป็น RL ตามปกติ ในขณะที่จะปิดวงจรเพื่อเพิ่มค่าRMod ในกรณีที่ต้องการส่งบิตข้อมูลที่มีค่า “1” ทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่ายลดลงผลที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการมอดูเลตสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุจากการเปลี่ยนแปลงอินพุตอิมพีแดนซ์นี้โดยทำให้เกิดผลการเปลี่ยนแปลงระดับแรมป์และสามารถตรวจจับได้ที่แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องอ่านซึ่งก็คือ สายอากาศภาครับนั่นเอง ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้ก็จัดได้ว่าเป็นการส่งข้อมูลแบบ Load Modulation ประเภทหนึ่ง

3.4.3 การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่าย

สำหรับเทคโนโลยี RFID แบบ Full Duplex/Half Duplex แต่ละประเภท สำหรับการส่งข้อมูลในทิศทาง Downlink จากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่ายนั้น จะใช้วิธีการเดียวกันทั้งสิ้น คือการมอดูเลตสัญญาณที่เครื่องอ่านต้องการส่งไปยังเครื่องลูกข่ายโดยตรง โดยไม่สนใจว่ารูปแบบการสื่อสารนั้นจะเป็นแบบ Full Duplex หรือ Half Duplex และไม่มีประเด็นเกี่ยวข้องกับความถี่ที่ใช้ งานทั้งสิ้นสำหรับเทคโนโลยีที่สามารถใช้ในการมอดูเลตสัญญาณในทิศทาง Downlink สามารถทำได้ทั้งแบบASK, FSK และ PSK แต่ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดอันเนื่องมาจากรากความง่ายและสะดวกในการออกแบบวงจรควบคุมก็คือการมอดูเลตแบบ ASK

3.5 เครื่องลูกข่ายที่ใช้การสื่อสารแบบ Sequential

มาตรฐาน RFID อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลจำนวนมากว่า 1 บิต แต่มีรูปแบบการทำงานที่แตกต่างจากมาตรฐานแบบ Duplexing ที่ผู้เขียนกล่าวถึงไปในตอนที่แล้ว ก็คือมาตรฐานแบบ Sequential ซึ่งมีลักษณะการทำงานเฉพาะตัว กล่าวคือมีการกำหนดช่วงเวลาในการส่งทั้งข้อมูลและพลังงานจากเครื่องอ่าน ไปสู่เครื่องลูกข่ายแยกออกจากช่วงที่เครื่องลูกข่ายทำการส่งข้อมูลกลับมา ซึ่งหมายความว่าเครื่องลูกข่าย RFID ชนิดนี้จะต้องสามารถเก็บรักษาพลังงานไฟฟ้าไว้ภายในตัว เพื่อใช้สำหรับส่งข้อมูลย้อนกลับมายังเครื่องอ่านได้ โดยสามารถจำแนกรูปแบบการทำงานออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling และ Surface Acoustic Wave Transponder อันมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

3.5.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายที่ใช้เทคโนโลยีสื่อสาร Sequential แบบ Inductive Coupling ได้รับการออกแบบให้ใช้งานที่ย่านความถี่ 135 KHz โดยสามารถมองว่าอากาศที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคู่ (Coupled) ระหว่างขดลวดรับส่งของเครื่องอ่านและขดลวดของเครื่องลูกข่ายทำหน้าที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้า ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่าย แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ปรากฏขึ้นบนขดลวดของเครื่องลูกข่ายจะถูกนำไปกรองระดับ (Rectify) เพื่อให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับใช้ป้อนให้กับวงจรไฟฟ้าและชิปประมวลผลบนเครื่องลูกข่ายเนื่องจากเครื่องอ่านมีการส่งพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่ายเฉพาะช่วงเวลาหนึ่ง ๆ มิได้ส่งพลังงานตลอดเหมือนดังเช่นมาตรฐาน RFID แบบ Duplexing เครื่องลูกข่ายจึงต้องได้รับการออกแบบให้สามารถเหนี่ยวนำพลังงานในย่านความถี่ใช้งานให้มากที่สุด ซึ่งในทางปฏิบัติหมายถึงการออกแบบค่าของขดลวดสายอากาศสำหรับเครื่องลูกข่ายให้มีคุณภาพสูงสุด และเพื่อให้สะดวกในการปรับแต่งค่าตัวเก็บประจุในวงจร โซเนนทซ์ของเครื่องลูกข่ายให้ตรงกับความถี่ใช้งานที่สุด จึงนิยมออกแบบไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายให้มีค่าตัวเก็บประจุที่สามารถปรับแต่งได้ (On-chip Trimming Capacitor) ทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติมากขึ้นเนื่องจากหลัก 3585 การทำงานของมาตรฐาน RFID แบบ Sequential ที่เครื่องลูกข่ายจะได้รับการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้า โดยการเหนี่ยวนำผ่านทางคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากเครื่องอ่านเฉพาะช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เท่านั้น พลังงานที่ได้รับทั้งหมดจะต้องถูกส่งไปประจุ (Charge up) ตัวเก็บประจุภายในวงจรของเครื่องลูกข่าย เพื่อสะสมพลังงานไว้ให้เพียงพอสำหรับใช้ป้อนให้กับวงจรการทำงานและไมโครชิปเพื่อทำงานในช่วงที่เครื่องลูกข่ายต้องส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน และเป็นช่วงเวลาเดียวกันที่ไม่มีการป้อนพลังงานไฟฟ้ามาจากเครื่องอ่าน ดังนั้นไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายจึงต้องมีความสามารถในการปรับการทำงานเป็นแบบกินไฟน้อย (Stand-by) ในช่วงเวลาที่มีการรับพลังงานไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาจากเครื่องอ่านและมีการประจุตัวเก็บประจุ หลังจากช่วงเวลาการเก็บประจุพลังงานผ่านไป ประกอบกับไม่มีการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านอีก ไมโครชิปก็จะปรับการทำงานมาเพื่อพร้อมส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องอ่าน สิ่งสำคัญในการออกแบบเครื่องลูกข่ายก็คือ การคำนวณค่าตัวเก็บประจุที่สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอสำหรับให้เครื่องลูกข่ายใช้ในระหว่างการส่งข้อมูล

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

โดยที่ V_{max} และ V_{min} คือ ระดับแรงไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดที่อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายสามารถทำงานได้ I คือ กระแสไฟฟ้าที่ชิปภายในเครื่องลูกข่ายต้องใช้ในขณะที่ทำงาน และ t เป็นค่าช่วงเวลาที่เครื่องลูกข่ายใช้เพื่อการส่งข้อมูลกลับไปให้กับเครื่องอ่าน ดังนั้นหากทดลองแทนค่าตัวอย่าง โดยให้ $I = 5$ ไมโครแอมแปร์ $t = 20$ มิลลิวินาที $V_{max} = 4.5$ โวลต์ และ $V_{min} = 3.5$ โวลต์ จะสามารถคำนวณค่า C ที่ต้องใช้ในอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายได้ มีค่าเป็น $C = 100$ นาโนฟารัดความแตกต่างระหว่างมาตรฐาน RFID แบบ Duplexing กับแบบ Sequential โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling เช่นเดียวกันนั้น เนื่องจากเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายต่างทำการส่งความถี่วิทยุได้ต่อกันตลอดเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน Sequential ที่ค่าโพลดิโมพีแดนซ์ซึ่ง

ส่วนใหญ่มีผลมาจากค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุบนเครื่องลูกข่ายมีค่าน้อย จนเป็นศูนย์ในช่วงเริ่มต้นวงจรการส่งข้อมูล (เริ่มจากเครื่องอ่านส่งข้อมูลออกมาก่อน) ทำให้ไม่มีกำลังไฟฟ้า แต่ค่าอิมพีแดนซ์จะค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งขึ้นสูงสุดและมีผลทำให้แรงดันตกคร่อมวงจรเครื่องลูกข่าย มีค่าสูงสุดเมื่อใกล้ถึงช่วงสิ้นสุดการส่งข้อมูลจากเครื่องอ่าน (ซึ่งตัวเก็บประจุเก็บพลังงานไว้สูงสุด) ในขณะที่มาตรฐานแบบ Duplexing นั้นถือว่าคุณค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเครื่องลูกข่ายมีค่าอยู่ประมาณกึ่งกลางของอิมพีแดนซ์ตามแบบมาตรฐาน Sequential ที่มีการแปรเปลี่ยนค่าขึ้นลงตามวงจรการทำงาน ส่งผลให้แรงดันสูงสุดที่พึงปรากฏบนวงจรเครื่องลูกข่ายตามมาตรฐาน Sequential สูงกว่าแบบมาตรฐาน Duplexing ประมาณ 2 เท่าด้วย ทั้งนี้ถือว่าการเปรียบเทียบนั้นเกิดขึ้นโดยใช้ค่า L และ C เดียวกันทุกประการ เพียงแต่เปลี่ยนรูปแบบการทำงานระหว่างแบบ Duplexing กับแบบ Sequential เท่านั้นเมื่อเป็นเช่นนี้จึงเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่พึงเกิดขึ้นบนเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling มาตรฐาน Sequential จะมีมากกว่ามาตรฐาน Duplexing ส่งผลให้เกิดข้อได้เปรียบในเรื่องของกำลังส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุจากเครื่องลูกข่ายแบบ Sequential ที่ได้ระยะทางไกลกว่าแบบ Duplexing อย่างไรก็ตามข้อได้เปรียบดังกล่าว ก็ต้องแลกมาด้วยความละเอียดอ่อนในการออกแบบ และเลือกใช้อุปกรณ์ประกอบที่นำมาสร้างเป็นวงจรเครื่องลูกข่าย ไม่ว่าจะเป็นการเลือกประเภทของขดลวดสายอากาศ (L) และค่าตัวเก็บประจุ (C) ที่ใช้ทั้งเก็บแรงดันไฟฟ้าและทำงานร่วมกับขดลวด เพื่อเป็นวงจรโซแนนท์กำเนิดสัญญาณคลื่นวิทยุส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน

3.5.1.1 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

การทำงานของวงจรไฟฟ้าบนเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลาด้วยกัน คือเมื่อเริ่มมีการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายอันมีทั้งการส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ ช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่เรียกว่า “ช่วงประจุไฟฟ้า” หรือ Charging Phase ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการประจุไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุ จากที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้าอยู่เลย จนค่อย ๆ มีไฟฟ้ามากขึ้น และเมื่อสิ้นสุดช่วงการส่งสัญญาณจากเครื่องอ่าน วงจรถอดรหัสข้อมูล จะตรวจพบการอิ่มตัวของแรงดันไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุ C ก็จะส่งให้วงจรออสซิลเลเตอร์ทำงานสร้างสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ ซึ่งเป็นความถี่เดียวกันกับที่เครื่องอ่านส่งมาในช่วงแรก พร้อมกับส่งให้ไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายเริ่มทำงานส่งข้อมูล ข้อมูลที่ถูกส่งออกจากไมโครชิปจะถูกนำไปมอดูเลตกับคลื่นความถี่ที่เครื่องลูกข่าย 3618 สร้างขึ้น เครื่องอ่านจะตรวจพบระดับความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องลูกข่ายและจะเริ่มต้นรับข้อมูลที่เครื่องลูกข่ายส่งกลับมา เนื่องจากไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายเริ่มมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เก็บสะสมไว้ในตัวประจุ C เร็ว ๆ ทำให้เกิดการกินกระแสไฟฟ้า และระดับไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ C ลดลง

ซึ่งหากออกแบบขนาดของตัวเก็บประจุไว้ให้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้พอดีกับช่วงเวลาในการส่งข้อมูล ก็จะทำให้กระบวนการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปสู่เครื่องอ่านเสร็จสิ้นตรงตามเวลา เรียกช่วงเวลาที่ล่องนี้ว่า “ช่วงการส่งข้อมูล” หรือ Reading Phase หลังจากช่วงเวลานี้ไปแล้ว วงจรคายประจุ ก็จะทำการคายประจุไฟฟ้าที่เหลือค้างอยู่บนตัวเก็บประจุ C ออกให้หมด ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏบนเครื่องลูกข่ายมีค่าเป็นศูนย์อีกครั้ง และเป็นการรีเซ็ตการทำงานของไมโครชิปให้อยู่ในโหมดเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่งเนื่องจากเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling มาตรฐาน Sequential กำหนดให้เครื่องลูกข่ายส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยใช้ความถี่วิทยุค่าเดียวกับที่เครื่องอ่านส่งออกมาในช่วงประจุไฟฟ้า เป็นการผลิตกันส่งความถี่ค่าเดียวกัน จึงทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเอาชนะสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งได้สูงขึ้นไปถึง 20 dB เมื่อเทียบกับกรณีของมาตรฐานแบบ Duplexing ซึ่งเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายต่างส่งความถี่คนละค่า ส่วนทางต่อเนื่องกันตลอดเวลา หมายความว่าเมื่อใช้แบบเทคโนโลยีแบบ Sequential แล้ว จะทำให้เพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายได้มากขึ้นนั่นเอง

3.5.2 เครื่องลูกข่ายแบบ Surface Acoustic Wave

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



รูปที่ 3.8 แสดงโครงสร้างของเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW

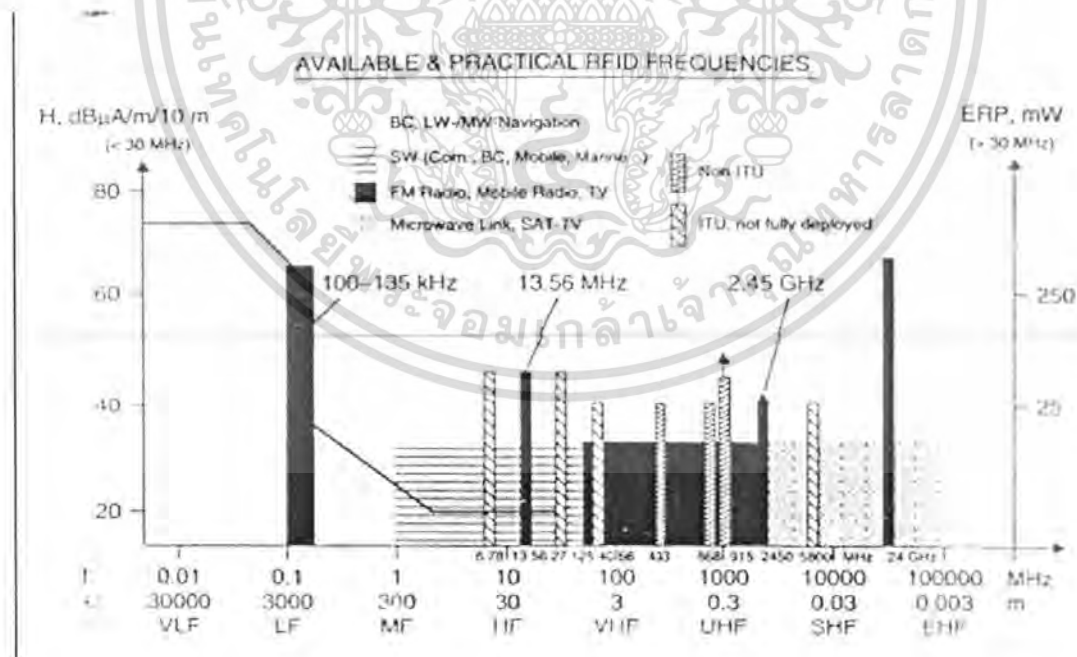
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการการทำงานของเครื่องลูกข่าย SAW เป็นดังนี้ เมื่อเครื่องอ่านทำการส่งคลื่นความถี่วิทยุมายังเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW สัญญาณที่ได้รับจะตกกระทบสายอากาศไดโพล พร้อมกับได้รับการแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณไฟฟ้าจะถูกส่งต่อมายังอิเล็คโทรดที่ทำหน้าที่เป็น Interdigital Transducer ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างของแผ่นเปียโซอิเล็กทริกที่อยู่ระหว่างช่องว่างของอิเล็คโทรด และก่อให้เกิดเป็นคลื่นพื้นผิว ซึ่งมีความถี่ตรงกันกับความถี่คลื่นที่ส่งออกมาจากเครื่องอ่าน แพร่กระจายไปตลอดแบบความยาวของแผ่นรอง ซึ่งโดยทั่วไปความเร็วในการแพร่กระจายของคลื่นพื้นผิวจะเร็วถึง 3,000 ถึง 4,000 เมตรต่อวินาที ตลอดระยะทางของการเคลื่อนที่ของคลื่นพื้นผิวนั้น คลื่นจะวิ่งไปกระทบกับแถบสะท้อนสัญญาณ ซึ่งเป็นกลุ่มอิเล็คโทรดที่วางเรียงไปตามความยาวของแผ่นรอง คลื่นกระทบกับแถบสะท้อนสัญญาณขึ้นใดก่อนก็จะสะท้อนย้อนกลับไปยัง Interdigital Transducer ดังนั้นในภาพรวม หลังจากที่เครื่องอ่านหยุดส่งสัญญาณออกมา ก็จะเป็นช่วงเวลาพอดีกับที่คลื่นสะท้อนแรกที่กระทบกับแถบสะท้อนสัญญาณตัวแรกย้อนกลับมาถึง Interdigital Transducer และเกิดการแปลงคลื่นพื้นผิวกลับไปเป็นกระแสไฟฟ้า และส่งผ่านสายอากาศไดโพล ไปเป็นคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งย่อมต้องเป็นความถี่เดียวกันกับความถี่ที่เครื่องอ่านส่งออกมาในช่วงแรก เครื่องอ่านจะได้รับสัญญาณสะท้อนกลับมาในลักษณะของรหัส โดยการเรียงตัวของแถบสะท้อนสัญญาณนั่นเอง ที่จะกำหนดช่วงห่างระหว่างการส่งข้อมูลย้อนกลับและกลายเป็นรูปแบบข้อมูล ไบนารีที่จะใช้ติดต่อกับเครื่องอ่านเนื่องจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นพื้นผิวบนแผ่นรอง มีค่าค่อนข้างต่ำ (อย่าลืมว่าความเร็วในการแพร่กระจายของคลื่นกับค่าความถี่ของคลื่นเป็นคนละสิ่งกัน) โดยทั่วไปเครื่องอ่านจะได้รับสัญญาณย้อนกลับมาจากเครื่องลูกข่าย หลังจากที่เครื่องอ่านได้ทำการส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุออกไปภายในเวลา 1.5 มิลลิวินาที ซึ่งโดยปกติเครื่องอ่านจะส่งเฉพาะความถี่สั้น ๆ ที่เรียกว่า Scanning pulse เพื่อให้ไปตกกระทบกับบรรดาเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในพื้นที่ใช้งาน และปล่อยให้เครื่องลูกข่ายรายงานตัวกลับมา โดยมีรูปแบบเปรียบเทียบได้คล้าย ๆ กับการทำงานของระบบเรดาร์ที่ใช้ในกิจการการบิน เวลาหนึ่ง 1.5 มิลลิวินาทีนับว่า 3648 เหมาะสมเพียงพอที่เครื่องอ่านจะใช้กำหนดเงื่อนไขและกลไกการส่งและอ่านข้อมูลได้อย่างเหมาะสมปริมาณข้อมูลที่สามารบบันทึกไว้บนเครื่องลูกข่ายแบบ SAW นั้น แท้จริงก็คือจำนวนแถบสะท้อนสัญญาณที่สามารถติดตั้งลงบนแผ่นรองได้นั่นเอง ในทางปฏิบัติสามารถกำหนดให้เครื่องลูกข่ายแบบ SAW เก็บข้อมูลได้ในช่วง 16 – 32 บิต โดยไม่ทำให้แผ่นรองต้องมีขนาดยาวเกินไป เพื่อรองรับจำนวนบิตข้อมูลที่มากกว่านี้ และมีผลทำให้เวลาหน่วงที่ต้องเสียไปกับการรอคอยการสะท้อนสัญญาณจากบิตข้อมูล (หรือแผ่นสะท้อนสัญญาณ) ที่อยู่ท้ายสุดต้องเนิ่นนานเกินไป ด้วยปริมาณข้อมูลตามที่กล่าวนี้จะทำให้เครื่องลูกข่ายสามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านได้เทียบเท่ากับอัตราเร็วในการสื่อสาร 500 กิโลบิตต่อวินาที นอกจากนั้นในเรื่องของระยะห่าง

ระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องถูกข่ายสำหรับเทคโนโลยี RFID แบบ SAW นั้น หากใช้งานที่ความถี่มาตรฐาน 2.45 GHz ก็สามารหว้งได้ที่ระยะทาง 1 – 2 เมตร

3.6 ข้อกำหนดมาตรฐานด้านความถี่

เนื่องจากเทคโนโลยี RFID ใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นสื่อกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องถูกข่าย จึงจำเป็นที่จะต้องออกมาตรฐานควบคุมเพื่อป้องกันมิให้อุปกรณ์ RFID ส่งผลกระทบต่อระบบสื่อสารและโทรคมนาคมอื่น ๆ ที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ได้รับการจัดสรรอยู่ก่อนแล้ว ไม่ว่าจะเป็นระบบรับส่งวิทยุและโทรทัศน์ เครือข่ายวิทยุสื่อสาร วิทยุเดินเรือ และระบบวิทยุการบิน รูปที่ 3.9 แสดงถึงย่านความถี่คลื่นวิทยุที่ได้รับการจัดสรรโดยองค์กรสากลทางด้านการสื่อสารนานาชาติ เพื่อใช้ในกิจการต่าง ๆ โดยมีการกำหนดเพิ่มย่านความถี่สำหรับใช้งานกับระบบ RFID ดังแสดงโดยกราฟแท่ง ทั้งนี้มีข้อสรุปให้ใช้ย่านความถี่ SIM (Industry-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่สากลสำหรับใช้ในวงการอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สำหรับเทคโนโลยี RFID นอกจากนั้นยังมีความเป็นไปได้ที่จะนำความถี่ในย่านต่ำกว่า 135 กิโลเฮิร์ตซ์ (ยุโรป) และต่ำกว่า 400 กิโลเฮิร์ตซ์ (ทวีปอเมริกา และญี่ปุ่น) มาใช้กับเทคโนโลยีการรับส่งสัญญาณ RFID แบบ Inductive Couple เป็นพิเศษอีกด้วย



รูปที่ 3.9 แสดงย่านความถี่ต่างๆ ที่ได้กำหนดให้ใช้กับเทคโนโลยี RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วงจรเรโซแนนซ์ ค่าประสิทธิภาพ Q และแบนด์วิดท์

4.1 วงจรเรโซแนนซ์ ค่าประสิทธิภาพ Q และแบนด์วิดท์

ในการประยุกต์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุสายอากาศคลวดเป็นส่วนสำคัญของวงจรเรโซแนนซ์และระยะในการอ่านของอุปกรณ์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการทำงานของวงจรเรโซแนนซ์อย่างมากรูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงตัวอย่างรูปแบบของวงจรเรโซแนนซ์ ของสายอากาศคลวดและการจูนตัวเก็บประจุ ความถี่เรโซแนนซ์ (f_0) สามารถคำนวณได้จาก

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.1)$$

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศคลวด

C = ค่าความจุไฟฟ้าที่ใช้จูน

วงจรเรโซแนนซ์สามารถที่จะมีรูปแบบเป็นแบบอนุกรม หรือ แบบขนานวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมจะมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำที่ความถี่เรโซแนนซ์ผลลัพธ์คือจะมีกระแสที่ใช้ในวงจรมากโดยทั่วไปจะใช้วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมสำหรับสายอากาศของเครื่องอ่าน ส่วนวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ซึ่งค่ากระแสที่ได้จะมีค่าต่ำและแรงดันจะมีค่าสูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะใช้สำหรับสายอากาศของเครื่องลูกข่าย

4.1.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานค่าอิมพีแดนซ์รวมของวงจรสามารถหาได้จากสมการ

$$Z(j\omega) = \frac{j\omega L}{(1 - \omega^2 LC) + j\frac{\omega L}{R}} \quad (4.2)$$

โดยที่ ω = ความถี่เชิงมุม = $2\pi f$

R = ความต้านทานโหลด

ในที่นี้ไม่สนใจค่าความต้านทาน (r) ของขดลวด ค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่ามากเมื่อตัวส่วนในสมการข้างต้นมีค่ามาก และค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่าน้อยเมื่อ

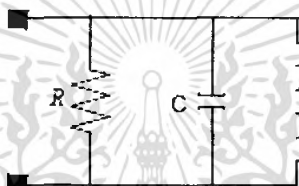
$$\omega^2 LC = 1 \quad (4.3)$$

เรียกว่าสภาวะเรโซแนนซ์และความถี่เรโซแนนซ์หาได้จาก

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.4)$$

ทำการแทนสมการที่ 4.3 ลงในสมการที่ 4.4 ค่าความต้านทานที่ความถี่เรโซแนนซ์จะกลายเป็น

$$Z = R \quad (4.5)$$



รูปที่ 4.1 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

ค่า R และ C ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน สามารถนำมาคำนวณแบนด์วิดท์ B ของวงจรได้ดังสมการ

$$B = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4.5)$$

ค่าประสิทธิภาพ Q สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$Q = \frac{f_0}{B} \quad (4.6)$$

โดยที่ $f_0 =$ ความถี่เรโซแนนซ์

$B =$ แบนด์วิดท์

แทนสมการที่ 4.4 และ สมการที่ 4.5 ลงในสมการที่ 4.6 ค่าประสิทธิภาพ Q ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะได้ดังสมการ

$$Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} \quad (4.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าประสิทธิภาพในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะแปรผันตรงกับค่าความต้านทานและค่าความถี่สองอัตราส่วนระหว่างค่าความถี่กับค่าความถี่เรโซแนนซ์ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะใช้สำหรับวงจรสายอากาศของเครื่องลูกข่ายแรงดันที่ตกคร่อมในวงจรสามารถที่จะคำนวณได้จากสมการที่ 3.8 และ สมการที่ 3.7

$$V_0 = 2\pi f_0 N Q S B_0 \cos \alpha \quad (4.8)$$

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

สมการข้างต้นแสดงถึงการเหนี่ยวนำแรงดันในขดลวดเครื่องลูกข่ายเป็นส่วนกลับของราคาที่สองของค่าความถี่เรโซแนนซ์ และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบและพื้นที่ผิวของขดลวด

วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานสามารถใช้ในสายอากาศแบบลูปรานฟอว์เมอร์ สำหรับเครื่องอ่านที่ระยะทางไกลๆอธิบายได้ในสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน แรงดันในลูปรานฟอว์เมอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราส่วนของจำนวนรอบ (n_2 / n_1) ของลูปรานฟอว์เมอร์ แม้ว่าสัญญาณมีแรงดันสูงก็ตามไม่สามารถที่จะรับสัญญาณได้ สาเหตุที่แยกสายอากาศเพื่อต้องการสำหรับการรับสัญญาณวงจรสายอากาศรับควรจะจูนสัญญาณที่ทำการมอดูเลทของเครื่องลูกข่าย

4.1.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมอย่างง่ายแสดงดังในรูปที่ 4.2 สมการแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรคือ

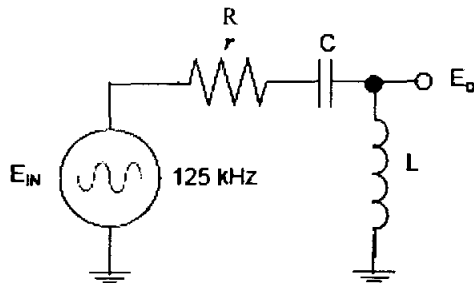
$$Z(j\omega) = r + j(X_L - X_C) \quad (4.9)$$

โดยที่ $r =$ ความต้านทานของวงจร

$$X_L = 2\pi f_0 L \quad (4.10)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_0 C} \quad (4.11)$$

ค่าอิมพีแดนซ์ในสมการที่ 4.10 จะมีค่าลดลงเมื่อองค์ประกอบค่ารีแอคแตนซ์ทั้งสองมีค่าเท่ากัน ($X_L = X_C$) เรียกว่าสภาวะเรโซแนนซ์ ความถี่เรโซแนนซ์จะเหมือนกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรขนานตามสมการที่ 4.11



รูปที่ 4.2 แสดงวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

กำลังครึ่งของความถี่แบนด์วิดท์จะถูกกำหนดโดยค่า R และ L ดังสมการ

$$B = \frac{r}{2\pi L} \quad (4.12)$$

ค่าประสิทธิภาพ Q ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมสามารถแสดงได้ดังนี้

$$Q = \frac{f_0}{B} = \begin{cases} \frac{\omega L}{r} = \frac{1}{\omega C r} \\ \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}} \end{cases} \quad (4.13)$$

วงจรรอนุกรมเป็นรูปแบบการแบ่งแรงดัน เพราะฉะนั้นแรงดันที่ตกคร่อมในขดลวดจะคำนวณได้จากสมการ

$$V_o = \frac{jX_L}{r + jX_L - jX_C} V_{in} \quad (4.14)$$

หรือ

$$\left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| = \frac{X_L}{\sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{X_L}{r \sqrt{1 + \left(\frac{X_L - X_C}{r} \right)^2}} = \frac{Q}{\sqrt{1 + \left(\frac{X_L - X_C}{r} \right)^2}} \quad (4.15)$$

4.2 ค่าประสิทธิภาพ (Q) และแบนด์วิดท์

รูปที่ 4.3 แสดงการประมาณช่วงความถี่สำหรับรูปแบบรวมๆ ของการมอดูเลตแบบแอมพลิจูดซิปต์ คีย์อิง (ASK) , เฟรีควนซีซิปต์คีย์อิง (FSK) และเฟสซิปต์คีย์อิง (PSK) สำหรับการกึ่งของสัญญาณ ข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายวงจรของเครื่องอ่านต้องการแบนด์วิดท์ที่มีค่าน้อยที่สุดเป็นสองเท่าของ

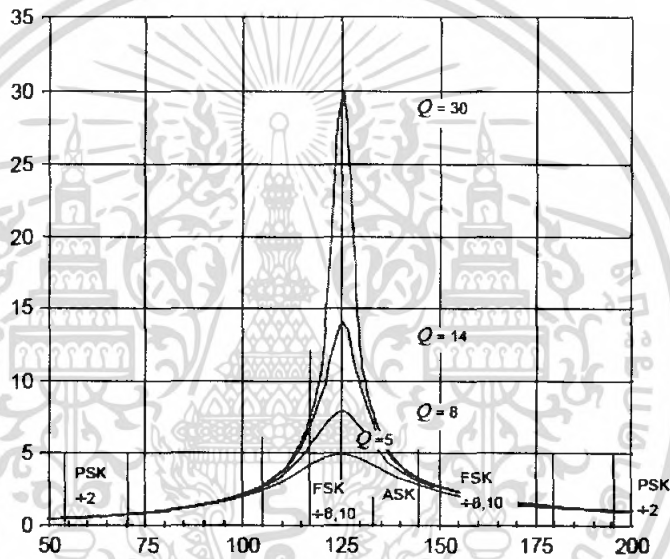
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตรา ส่วนข้อมูล ดังนั้นถ้าอัตราส่วนของข้อมูลคือ 8 kHz สำหรับสัญญาณแบบแอมพลิจูดชีพต์คีย์อิงแบนด์วิดท์จะต้องมีค่าน้อยที่สุดที่ 16 kHz สำหรับการกู่ของข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องลูกข่าย

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

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

ปัญหาในที่นี้แก้ไขโดยการแยกขดลวดส่งและขดลวดรับซึ่งขดลวดส่งสามารถออกแบบให้มีค่าประสิทธิภาพสูงและขดลวดรับสามารถออกแบบให้มีค่าประสิทธิภาพต่ำ



รูปที่ 4.3 ค่าประสิทธิภาพกับรูปแบบการมอดูเลต

4.3 การกำหนดขอบเขตของค่าประสิทธิภาพ

เมื่อทำการออกแบบวงจรสายอากาศของเครื่องอ่าน อาจจะหลงคิดว่าการออกแบบขดลวดจะต้องมีค่าประสิทธิภาพสูง ในที่นี้มีสามประการที่สำคัญที่เป็นข้อกำหนดขอบเขตในการพิจารณา

4.3.1) แรงดันที่สูงมากเกิดจากค่าเบรคควาน์อิน โขลูชันในขดลวดหรือค่าความจุที่เรโซแนนซ์สำหรับตัวอย่าง กระแส 1 แอมป์แปรที่ไหลในขดลวด 2 mH จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขดลวด 1500 Vpp ข้อเพิ่มเติม ในกรณีของการออกแบบขดลวดเพียงรูปเดียวของตัวอ่าน การกู่สัญญาณที่ได้รับจากเครื่องลูกข่ายจะต้องกระทำที่เปอร์เซ็นต์ของแรงดันที่มีค่าสูง

4.3.2) การจูนที่เหมาะสมในช่วงวิกฤต อุปกรณ์ที่ใช้วัดวงจรสายอากาศที่มีค่าประสิทธิภาพสูง,

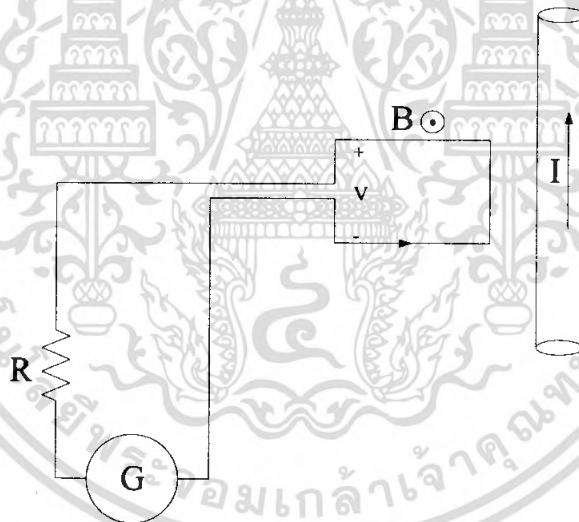
แรงดันสูงจะมีส่วนประกอบของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยินยอมได้และ มีความเสถียรภาพสูงน่าจะมีใช้ แต่โดยทั่วไปจะมีราคาแพงและยากที่จะมีใช้โดยทั่วไป

4.3.3) ค่าประสิทธิภาพของวงจรที่ได้รับมีค่าสูงค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่ย้อนกลับมาจะสัมพันธ์กับกำลังของคลื่นพาห์ที่ได้รับ ซึ่งสัญญาณที่ออกมาจากเครื่องลูกข่ายจะมีค่าน้อย วงจรของเครื่องอ่านอาจเกิดความสับสนได้ในการกู้สัญญาณ

4.4 เส้นแรงแม่เหล็กกับความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux and Magnetic flux density)

ในจำนวนที่มีสนามแม่เหล็ก เช่น ในบริเวณใกล้ตัวนำจิวายอนันต์ นำกระแส I ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก Φ อาจคำนวณได้จากสมการ 4.16

$$\Phi = \pm \int_0^l v dt \quad (4.16)$$



รูปที่ 4.4 แสดงการทดลองเพื่อวัดเส้นแรงแม่เหล็ก

โดย t คือระยะเวลา นับจากเส้นแรงแม่เหล็ก มีค่าศูนย์แล้วเพิ่มขึ้นเป็นค่าสูงสุด หรือระยะเวลา นับจากเส้นแรงแม่เหล็กค่าสูงสุด แล้วลดลงจนค่าเป็นศูนย์ ซึ่งจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองกรณี จะมีขนาดเท่ากัน แต่เครื่องหมายต่างกัน หน่วยของเส้นแรงแม่เหล็ก คือ “ เวบเบอร์ ” ซึ่งสมมูลย์กับหน่วยในสมการ 4.1 คือ “ โวลต์ - วินาที ”

สมการของความหนาแน่น เส้นแรงแม่เหล็ก ที่วางอยู่ในอากาศ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (4.17)$$

โดย \vec{B} มีหน่วยวัดเป็น เกาส์ (gausses) หรือ เวบเบอร์ / ตารางเมตร (Wb / m^2) หรือ หน่วยใหม่ที่ใช้ในระบบเอสไอ คือ เทสลา (Tesla) ซึ่งทั้งสามมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$1 \text{ Wb} / \text{m}^2 = 1 \text{ Tesla} = 10^4 \text{ gauss}$$

โดยที่ $\mu = \mu_0 \mu_r$

μ_0 เรียกว่า ค่าความซึมซาบทางแม่เหล็ก ของที่ว่างอิสระ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $4\pi \times 10^{-7} \text{ H} / \text{m}$

μ_r เรียกว่า ค่าความซึมซาบทางแม่เหล็กสัมพัทธ์ ของวัสดุใดๆ

เนื่องจาก \vec{H} มีหน่วยวัดเป็นแอมแปร์ต่อ เมตร ดังนั้นเวบเบอร์จึงมีค่าเท่ากับ ผลคูณของเฮนรี กับแอมแปร์ แต่เวบเบอร์เป็นชื่ออยู่ที่สะดวกในการแทนผลคูณของ เฮนรีกับแอมแปร์ กำหนดให้ Φ คือเส้นแรงแม่เหล็ก หาค่าของ Φ ได้ดังนี้

$$\Phi = \int_s \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad \text{Wb} \quad (4.18)$$

เส้นแรงแม่เหล็กของตัวนำจิว ขาวอนันต์ที่นำกระแสตรง I สนาม \vec{H} มีรูปเป็นวงกลม จุดศูนย์กลางร่วมรอบตัวนำ เนื่องจาก $\vec{B} = \mu\vec{H}$ ดังนั้นสนาม \vec{B} จึงมีรูปร่างเดียวกัน เส้นของเส้นแรงแม่เหล็ก เป็นเส้นปิด และไม่มีจุดเริ่มต้น หรือจุดสิ้นสุด บนประจุแม่เหล็ก ด้วยเหตุนี้กฎของเกาส์ ที่ใช้กับสนามแม่เหล็กจะได้เป็นศูนย์ คือ

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (4.19)$$

4.5 ความเหนี่ยวนำ (Inductance)

นิยามของความเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเนื่องจาก มีสนามแม่เหล็กไหลวนเวียนในวงจรมแม่เหล็ก ดังนั้นความเหนี่ยวนำคือ อัตราส่วนของจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กเชื่อมทั้งสิ้น (Flux linkage) คือ $N\Phi$ กับ จำนวนกระแสที่ถูกรวม ถ้ากำหนดว่า “L” เป็นสัญลักษณ์ของความเหนี่ยวนำ พบว่าสมการของความเหนี่ยวนำ ดังกล่าวมีค่าดังนี้

$$L = \frac{N\Phi}{I} \quad \text{Henry (Wb- T/A)} \quad (4.20)$$

กระแสที่ไหลในขดลวดจำนวน N รอบ จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก Φ และเส้นแรงแม่เหล็กเชื่อม $N\Phi$ โดยเราสมมติในที่นี้ว่า Φ เวบเบอร์ เชื่อมทุกๆ รอบของขดลวด นิยามนี้ จะใช้ได้เฉพาะตัวกลางแม่เหล็ก แบบเชิงเส้นเท่านั้น เพื่อว่าเส้นแรงแม่เหล็กจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแส ถ้ามีสารเฟอร์โรแมก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนติก เข้ามาเกี่ยวข้อง จะไม่มีนิยามของความเหนี่ยวนำใด ที่ใช้ประโยชน์ ได้ทุกกรณี ดังนั้น เราจึงจำกัดความสนใจของเราเฉพาะ สารแบบเชิงเส้นเท่านั้น

หน่วยของความเหนี่ยวนำคือ เฮนรี ซึ่งสมมูลกับ เวบเบอร์ต่อแอมแปร์

ในกรณีของเคเบิลสองแกนร่วมที่รัศมีภายในเป็น a และรัศมีภายนอกเป็น b ค่าเส้นแรงที่เกิดขึ้น ทั้งสิ้น คือ

$$\Phi = \frac{\mu_0 I \ell}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \quad (4.21)$$

ℓ คือ ความยาวของสายเคเบิล

ค่าความเหนี่ยวนำสำหรับความยาว ℓ เมตร คือ

$$L = \frac{\mu_0 \ell}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \quad H \quad (4.22)$$

ค่าความเหนี่ยวนำสำหรับความยาว 1 เมตร คือ

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \quad H/m \quad (4.23)$$

ในกรณีนี้ $N = 1$ รอบ และเส้นแรงทั้งหมด เชื่อมกระแสน้ำทั้งหมด ในกรณีของทอรอยด์ มีจำนวน N รอบ และกระแส I แอมแปร์

$$\Phi = \frac{\mu_0 N I}{2\pi r} \quad (4.24)$$

ถ้ามิติของภาคตัดขวาง มีขนาดเล็กมาก เมื่อเทียบกับรัศมีกลาง R ของทอรอยด์ ค่าเส้นแรง ทั้งสิ้น จึงมีค่าเป็น

$$\Phi = \frac{\mu_0 N I S}{2\pi R} \quad (4.25)$$

ถ้าคูณเส้นแรงทั้งสิ้นด้วย N จะได้ค่าความเหนี่ยวนำ จากเส้นแรงเชื่อม หาดด้วยกระแส I ดังนี้

$$\Phi = \frac{\mu_0 N^2 S}{2\pi R} \quad (4.26)$$

4.6 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการออกแบบสายอากาศขดลวด

ในการพัฒนาสายอากาศระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ มีเหตุผลหลักอยู่ 2 ประการคือ

- เพื่อต้องการส่งความถี่วิทยุ (คลื่นพาห้) ให้เป็นกำลังงานของเครื่องลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เพื่อรับสัญญาณความถี่วิทยุ (สัญญาณข้อมูล) จากเครื่องลูกข่าย

สัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ สามารถที่จะแพร่กระจายได้อย่างมีประสิทธิภาพในมิติเชิงเส้นของสายอากาศ ซึ่งเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน ในการประยุกต์ใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ต่ำ (100 kHz-500 kHz) ความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งานจะมีค่าประมาณ 2-3 กิโลเมตร (สัญญาณความถี่ 125 kHz จะได้ $\lambda = 2.4$ km) เนื่องจากค่าของความยาวคลื่นมีค่ายาวมาก ในความเป็นจริงไม่สามารถที่จะสร้างสายอากาศได้ในระยะที่จำกัดตามจริง แต่มีทางเลือกหนึ่งเป็นสายอากาศขดลวดแบบรูปขนาดเล็กลง ซึ่งจะเรโซแนนซ์กับความถี่ใช้งาน (125 kHz) สายอากาศชนิดนี้จะใช้สนามแม่เหล็กกระยะใกล้ (near field magnetic) ในการเชื่อมต่อการเหนี่ยวนำระหว่างสายอากาศขดลวดตัวส่งและตัวรับ

การทำให้เกิดสนาม โดยสายอากาศแบบรูปโคโรลาขนาดเล็กนั้นจะไม่แพร่กระจายคลื่น แต่จะทำให้คลื่นอ่อนกำลังลงมากกว่าความเข้มสนามถูกลดลงด้วย r^{-3} (เมื่อ r = ระยะห่างจากสายอากาศ) ในสนามระยะใกล้ (r^{-3}) เป็นปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวจำกัดระยะการอ่านในการใช้งานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กจะเคลื่อนที่ผ่านขดลวด (สายอากาศ) เป็นการเหนี่ยวนำแรงดันให้ตกคร่อมด้านปลายสุดของขดลวด แรงดันนี้จะใช้เพื่อกระตุ้นเครื่องลูกข่ายแบบพาสซีฟ ดังนั้นสายอากาศขดลวดส่วนมากจะถูกออกแบบให้สามารถเหนี่ยวนำแรงดันได้สูงสุด

กฎของแอมแปร์ ได้กล่าวไว้ว่า การไหลของกระแสในตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆ ตัวนำ รูปที่ 4.5 แสดงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสส่วนหนึ่ง สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในตัวนำ (ลวด) ที่มีความยาวจำกัด คัดได้จากสมการ

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad (4.27)$$

โดยที่ I = กระแส

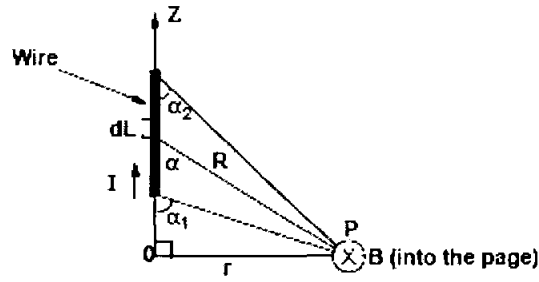
r = ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของลวด

μ_0 = ค่าเพอร์มิททิวิตีของสายอากาศมีค่า $4\pi \times 10^{-7}$ (Henry/meter)

ในกรณีที่ลวดมีความยาวอนันต์ที่ $\alpha_1 = -180^\circ$ และ $\alpha_2 = 0^\circ$ จากสมการที่ 4.27 สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (4.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การคำนวณของสนามแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) ที่ลวดตัวนำ

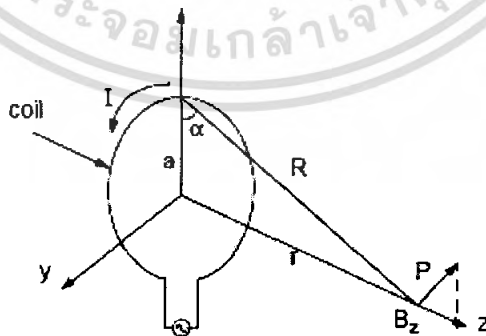
สนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายอากาศขดลวดแบบลู่วงกลม จำนวน N รอบ แสดงได้ดังรูปที่ 4.6 จะได้สมการดังนี้

$$B_z = \frac{\mu_0 INa^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \quad (4.29)$$

$$= \frac{\mu_0 INa^2}{2} \left(\frac{1}{r^3} \right) ; r^2 = a^2$$

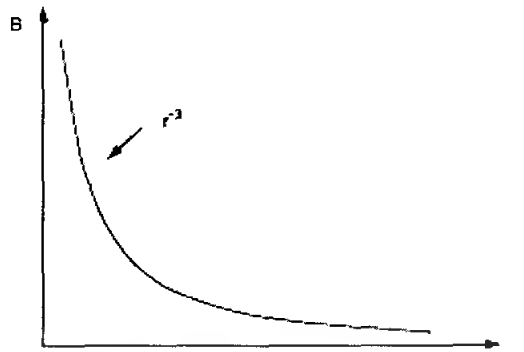
โดยที่ a = รัศมีของลู่วง

สมการที่ 4.29 นี้แสดงให้เห็นว่า สนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายอากาศแบบลู่วง ถูกลดลงด้วย $1/r^3$ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ความเข้มของสนามที่มากที่สุดในระยะยาวของลู่วงและทิศทางที่เหมาะสม สัมพันธ์กับค่ากระแส (I), จำนวนรอบ (N) และพื้นที่ผิวของลู่วง สมการที่ 4.29 ใช้มากสำหรับ คำนวณหาค่า กระแส-รอบ ซึ่งจำเป็นสำหรับระยะการอ่าน ความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีผลต่อกำลังงานที่เครื่องลูกข่ายจะได้รับตามสัดส่วน



รูปที่ 4.6 การคำนวณของสนามแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) เข้าลู่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การลดลงของค่าสนามแม่เหล็ก B กับระยะห่าง r

4.6.1 การเหนี่ยวนำแรงดันในสายอากาศขดลวด

จากกฎของฟาราเดย์ กล่าวไว้ว่า เมื่อสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาผ่านพื้นที่ผิวปิด จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำรอบลูป ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่มีความสำคัญสำหรับการทำงานของ อุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ

รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบอย่างง่ายของการใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุเมื่อสายอากาศของเครื่องลูกข่ายและสายอากาศของเครื่องอ่านอยู่ในระยะที่ใกล้กันสนามแม่เหล็ก B ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเกิดจากสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านเหนี่ยวนำแรงดัน ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (electromotive force) ในสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย จะทำให้เกิดกระแสไหลในขดลวดที่เหมาะสมได้เรียกว่ากฎของฟาราเดย์

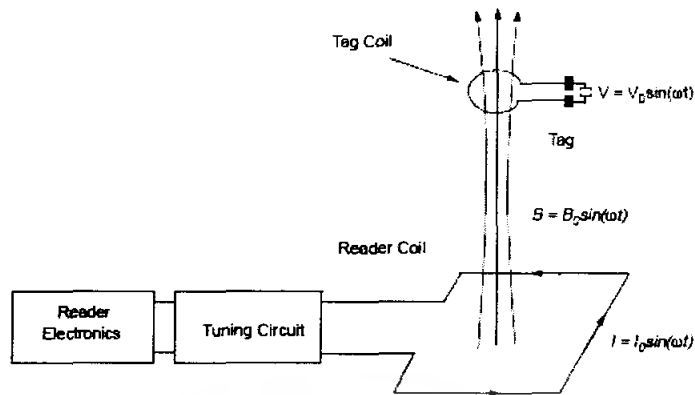
ในการเหนี่ยวนำแรงดันบนสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux : ψ) ต่อเวลา จะได้ดังสมการที่ 4.4

$$V = -N \frac{d\psi}{dt} \quad (4.30)$$

โดยที่ N = จำนวนรอบของสายอากาศขดลวด

ψ = เส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านแต่ละรอบ

เครื่องหมายลบในสมการการเหนี่ยวนำแรงดัน แสดงว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าอยู่ในทิศทางที่ทำให้เกิดกระแสไหลซึ่งมีผลทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก ที่รู้กันในชื่อกฎของเลนซ์ (Lenz's Law) ซึ่งเป็นการเน้นถึงความจริงของทิศทางกระแสไหลของกระแสในวงจร แสดงว่าแรงดันเหนี่ยวนำทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กในทิศทางตรงข้าม



รูปที่ 4.8 พื้นฐานโครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านและสายอากาศเครื่องลูกข่ายในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

เส้นแรงแม่เหล็กในสมการที่ 4.4 คือสนามแม่เหล็ก B ทั้งหมดที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ผิวทั้งหมดของสายอากาศขดลวดและสามารถหาได้จากสมการ

$$\psi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (4.31)$$

โดยที่ \vec{B} คือ สนามแม่เหล็กที่ได้มาจากสมการที่ 4.29

\vec{S} คือ พื้นที่ผิวของขดลวด

หมายเหตุ : สนามแม่เหล็ก \vec{B} และพื้นที่ผิว \vec{S} เป็นปริมาณเวกเตอร์

ผลลัพธ์ของสองเวกเตอร์ในสมการที่ 4.31 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่เคลื่อนที่ผ่านสายอากาศขดลวด ซึ่งผลลัพธ์ของสองเวกเตอร์จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเวกเตอร์ทั้งสองอยู่ในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่านสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่ายจะมีค่ามากที่สุดเมื่อขดลวดทั้งสอง (สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านและสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย) อยู่ในทิศทางที่ขนานกัน

จากสมการที่ 4.29-4.31 จะเป็นการเหนี่ยวนำแรงดัน V_0 สำหรับสายอากาศคู่ที่ไม่ได้จูน จะได้สมการที่ 4.32 ดังนี้

$$V_0 = 2\pi fNSB_0 \cos \alpha \quad (4.32)$$

โดยที่ f = ความถี่ของสัญญาณ

N = จำนวนรอบของขดลวดในรูป

S = พื้นที่ของรูปในหน่วยเมตรยกกำลังสอง (m^2)

B_0 = ความเข้มของสัญญาณ

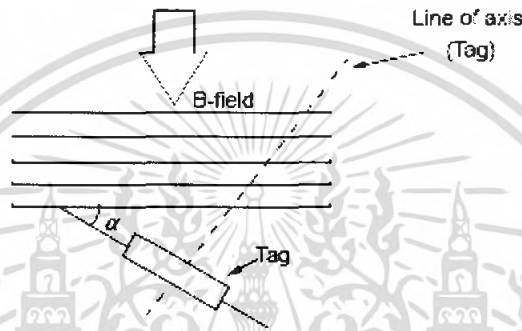
α = มุมของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าทำการจูนขดลวด (ด้วยตัวเก็บประจุ:C) ที่สัญญาณความถี่ (125kHz) แรงดันเอาต์พุต V_o ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างมาก แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากสมการที่ 4.32 จะคูณด้วยค่าประสิทธิภาพ (Quality Factor) ของวงจรจูน ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ตั้งแต่ 5 ถึง 50 ที่ความถี่ต่ำของการใช้งานระบบ ระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

$$V_o = 2\pi f_o N Q S B_o \cos \alpha \quad (4.33)$$

โดยค่าประสิทธิภาพ (Q) เป็นสิ่งบ่งชี้ของการเลือกความถี่ที่เหมาะสม



รูปที่ 4.9 การปรับทิศทางของสายอากาศของเครื่องลูกข่ายให้เหมาะสม

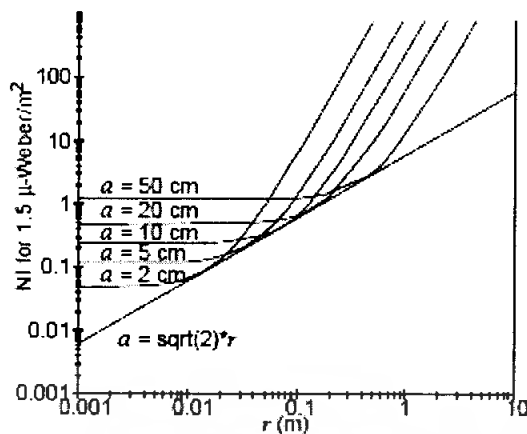
การเหนี่ยวนำแรงดันข้ามสายอากาศขดลวดแบบรูปเป็นของฟังก์ชันมุมของสัญญาณ แรงดันเหนี่ยวนำจะมีค่ามากที่สุดเมื่อสายอากาศขดลวดอยู่ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับทิศทางของสัญญาณที่

$$\alpha = 0$$

ความเข้มของสนามแม่เหล็ก B ที่เครื่องลูกข่ายต้องการสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.32 และค่ากระแส-รอบ (Ampere-turns) ของสายอากาศขดลวดเครื่องอ่านที่มีรัศมีใดๆสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$(NI) = \frac{2B_z (a^2 + r^2)^{3/2}}{\mu a^2} \quad (4.34)$$

สำหรับระยะเวลาอ่านที่เพิ่มมากขึ้นเป็นการบอถึงการพิจารณา การเพิ่มขึ้นของรัศมีของขดลวด ซึ่งจะได้ผลมากกว่าการเพิ่มกระแสให้กับขดลวด



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-รอบกับระยะการอ่าน

หมายเหตุ: จากรูปที่ 4.10 $B_z = 1.5 \mu Wb / m^2$

รัศมีที่เหมาะสมของลูบต้องการค่าของกระแส-รอบที่น้อยที่สุด สำหรับระยะของการอ่านสามารถหาได้จากสมการที่ 3.3 เช่น

$$NI = K \frac{(a^2 + r^2)^{3/2}}{a^2} \quad (4.44)$$

โดยที่

$$K = \frac{2B_z}{\mu_0}$$

โดยการนำอนุพันธ์มาใช้เพื่อหาค่ารัศมีจะได้

$$\frac{d(NI)}{da} = K \frac{3/2(a^2 + r^2)^{1/2} (2a^3) - 2a(a^2 + r^2)^{3/2}}{a^4} \quad (4.45)$$

$$= K \frac{(a^2 - 2r^2)(a^2 + r^2)^{1/2}}{a^3}$$

จากสมการข้างต้นจะกลายเป็นสมการที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อ

$$a^2 - 2r^2 = 0 \quad (4.46)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลลัพธ์ข้างต้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะของการอ่านกับขนาดของเครื่องลูก
ข่าย ค่ารัศมีที่เหมาะสมจะหาได้จาก

$$a = \sqrt{2}r \quad (4.47)$$

โดยที่ a = รัศมีของขดลวด
 r = ระยะการอ่าน

จากผลลัพธ์ข้างต้นบอกให้รู้ว่า ค่ารัศมีที่เหมาะสมที่สุดของลูปสำหรับสายอากาศเครื่อง
อ่าน จะมีค่าประมาณ 1.414 หรือ ค่ารากที่สองของระยะการอ่าน

4.6.2 ชนิดและความต้านทานที่สูญเสียของลวด

4.6.2.1 ขนาดและค่าความต้านทานทางดำนไฟกระแสดตรง

เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทางไฟฟ้าจะแสดงตัวเลขตามมาตรฐานอเมริกา (American
Wire Gauge : AWG) ค่าตัวเลขจะเป็นสัดส่วนที่ตรงกันข้ามกับค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางและเส้น
ผ่านศูนย์กลางโดยประมาณจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าทุกๆขนาดลวดเพิ่มไปหกเบอร์ ลวดที่เส้นผ่าน
ศูนย์กลางขนาดเล็กจะมีค่าความต้านทานทางดำนไฟกระแสดตรงที่สูง ค่าความต้านทานทางดำนไฟ
กระแสดตรงของตัวนำที่เป็นแบบเดียวกันตามพื้นที่หน้าตัดหาค่าได้โดย

$$R_{DC} = \frac{l}{\sigma S} \quad (4.48)$$

โดยที่ l = ความยาวทั้งหมดของลวด
 σ = ค่าความนำ
 S = พื้นที่หน้าตัด

ตารางที่ 3.2 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับดำนในและสารเคลือบ โลหะของลวด และค่าความ
ต้านทานทางดำนไฟกระแสดตรง

4.6.2.2 ค่าความต้านทานทางดำนไฟกระแสดลับของลวด

ที่ทางดำนไฟกระแสดตรง ประจุคลื่นพาห้จะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วหน้าตัดของลวด ขณะที่
ความถี่เพิ่มขึ้นค่ารีแอกแตนซ์ไกล์จูดศูนย์กลางของลวดก็เพิ่มขึ้นด้วย มีผลให้ขอบเขตความหนาแน่น
กระแสในค่าอิมพีแดนซ์สูง ดังนั้นประจุจะเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางของลวดไปยังจุดสิ้นสุด
ของลวด มีผลทำให้ความหนาแน่นกระแสลดลงในจุดศูนย์กลางของลวดและเพิ่มขึ้นไกล์จูดสิ้นสุด
ของลวด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าผลกระทบของพื้นผิว (skin effect) ความหนาภายในตัวนำจะมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นกระแสลดลง $1/e$ หรือ 37% ของค่าความยาวพื้นผิว จะรู้ได้จากค่าความหนาของพื้นผิว (skin depth) , ค่าฟังก์ชันของความถี่ , ค่าเพอร์มีเอบิลิตี และค่าความนำของตัวกลาง ค่าความหนาของพื้นผิวสามารถหาได้จากสมการ

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (4.49)$$

โดยที่ f = ความถี่

μ = ค่าเพอร์มีเอบิลิตีของวัสดุ

σ = ค่าความนำของวัสดุ

ค่าความต้านทานของลวดกับความถี่จะเพิ่มขึ้น และค่าความต้านทานที่เกิดจากความหนาของพื้นผิวเรียกว่า ความต้านทานทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ การประมาณค่าความต้านทานของไฟฟ้ากระแสสลับหาได้จากสมการ

$$R_{ac} \approx \frac{1}{2\sigma\pi\delta} = (R_{DC}) \frac{a}{2\delta} \quad (4.50)$$

โดยที่ a = รัศมีของขดลวด

สำหรับลวดทองแดง จะมีค่าความสูญเสียประมาณได้โดยค่าความต้านทานทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงของลวด ถ้ารัศมีของเส้นลวดใหญ่กว่า $0.066/\sqrt{f}$ เซนติเมตร ที่ 125 kHz ค่ารัศมีวิกฤตคือ 0.019 เซนติเมตร ในที่นี้จะเท่ากับขนาดลวดเบอร์ 26 เพราะฉะนั้นสำหรับค่าความสูญเสียเล็กๆ ขนาดเบอร์ของลวดต้องใหญ่กว่าเบอร์ 26 ควรจะดูจากค่าประสิทธิภาพ (Q) ของขดลวดที่มีค่าสูงสุด

4.6.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด

กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาสามารถทำให้เกิดการไหลของกระแสผ่านตัวนำอีกตัวหนึ่ง เรียกว่าค่าความเหนี่ยวนำ (L) ค่าความเหนี่ยวนำขึ้นอยู่กับค่าคุณลักษณะของตัวนำ ขดลวดจะมีค่าความเหนี่ยวนำมากกว่าเส้นลวดที่เป็นวัสดุที่เหมือนกัน และขดลวดที่มีจำนวนรอบมากก็จะมีค่าความเหนี่ยวนำมากกว่าขดลวดที่มีจำนวนรอบน้อย ค่าความเหนี่ยวนำของตัวนำมีนิยามคือ อัตราส่วนของเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดต่อกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ

$$L = \frac{N\psi}{I} \quad (4.51)$$

โดยที่ N = จำนวนรอบ

I = กระแส

ψ = เส้นแรงแม่เหล็ก

สำหรับสายอากาศขดลวดที่ความถี่ 125 kHz ของเครื่องลูกข่ายจะเลือกค่าความเหนี่ยวนำอยู่ที่ประมาณ 2-3 (mH) และสายอากาศขดลวดเครื่องอ่านจะเลือกค่าความเหนี่ยวนำอยู่ที่ประมาณ 200-300 ถึง 2,000-3,000 (μ H) จำนวนรอบที่มากขึ้นของสายอากาศขดลวดก็จะได้ค่าความเหนี่ยวนำที่มากขึ้นตามมา ดังนั้นสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่ายที่มีรูปแบบพื้นที่ที่จำกัด มักจะต้องพันจำนวนรอบของขดลวดที่ลดลง

4.6.3.1 ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวด

ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวดที่แสดงในรูปที่ 4.38 สามารถหาได้จากสมการ

$$L = 0.002l \left[\log_e \frac{2l}{a} - \frac{3}{4} \right] \quad (4.52)$$

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวด มีหน่วยเป็นไมโครเฮนรีและ a = ความยาวและรัศมีของลวดในหน่วยเซนติเมตร ตามลำดับ

4.6.3.2 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด

ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดดังแสดงในรูปที่ 4.7 สามารถคำนวณได้จากสมการ

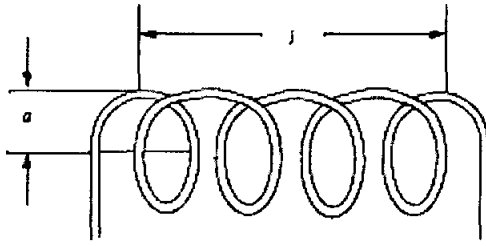
$$L = \frac{(aN)^2}{22.9l + 25.4a} \quad (4.53)$$

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด มีหน่วยเป็นไมโครเฮนรี

a = รัศมีของขดลวด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

l = ความยาวของขดลวด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

N = จำนวนรอบ



รูปที่ 4.11 รูปของขดลวด

หมายเหตุ : สำหรับค่าประสิทธิภาพ (Q) ที่ดีที่สุดของขดลวด ควรจะมีความยาวประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด

4.6.3.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบลู่วงกลม

จากรูปแบบ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดขนาดใหญ่ในขอบเขตที่จำกัด จะมีประสิทธิภาพมากเมื่อพันขดลวดหลายๆ รอบ เป็นเหตุผลของรูปแบบในการออกแบบ โครงสร้างสายอากาศขดลวดของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ แสดงดังรูปที่ 4.12 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบลู่วงกลม สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L = \frac{0.31(aN)^2}{6a + 9h + 10b} \quad (4.54)$$

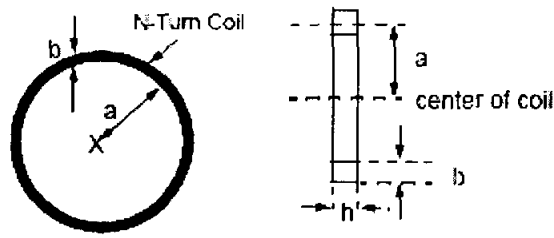
โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบลู่วงกลม มีหน่วยเป็นไมโครเฮนรี

a = รัศมีเฉลี่ยของขดลวด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

N = จำนวนรอบ

b = ความหนาในการขด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

h = ความสูงในการขด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร



รูปที่ 4.12 สายอากาศขดลวดรูปวงกลมแกนอากาศจำนวนรอบใดๆ

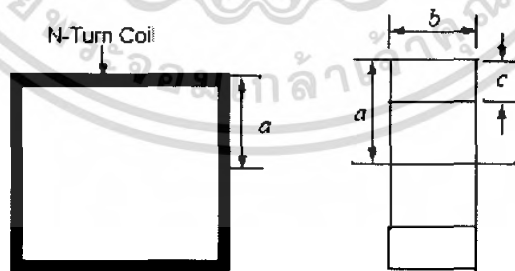
จำนวนรอบที่ต้องการสำหรับค่าความเหนี่ยวนำที่แน่นอน สามารถคำนวณได้จากการประยุกต์สมการที่ 4.54 ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$N = \sqrt{\frac{L_{\mu H} (6a + 9h + 10b)}{(0.31)a^2}} \quad (4.55)$$

4.6.4.4 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดรูปสี่เหลี่ยม

ถ้า N คือจำนวนรอบและ a เป็นความยาวที่วัดจากจุดศูนย์กลางของสี่เหลี่ยมถึงขอบด้านนอกของรูป ส่วนด้านข้างของรูปเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความยาว b และความหนา c ดังแสดงในรูปที่ 4.13

$$L = 0.008a^2 N^2 \left(2.303 \log_{10} \left(\frac{a}{b+c} \right) + 0.2235 \frac{b+c}{a} + 0.726 \right) \quad (3.56)$$



(a) รูปด้านหน้า

(b) รูปด้านข้าง

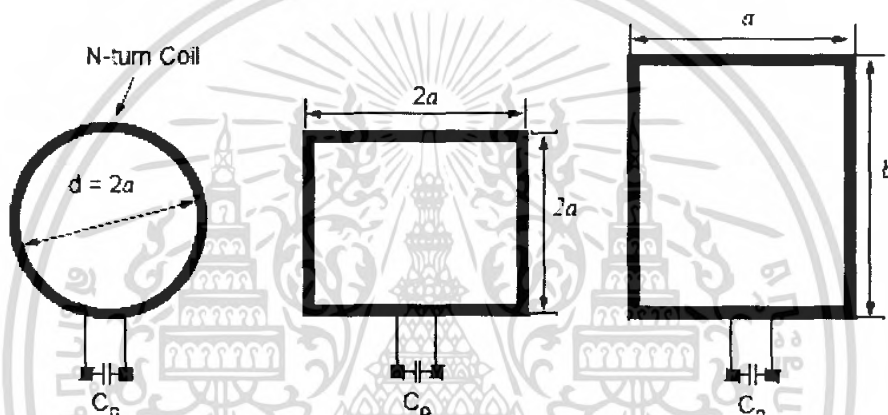
รูปที่ 4.13 สายอากาศขดลวดแบบรูปสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 โครงสร้างของสายอากาศขดลวด

4.7.1 สายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย

สายอากาศขดลวดสำหรับเครื่องลูกข่ายของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ สามารถทำได้หลายรูปแบบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการประยุกต์การใช้งาน ตัวอย่างหนึ่งของค่าความเหนี่ยวนำสำหรับสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าประมาณ 2-3 (mH) ที่ความถี่ 125 kHz รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะต่างๆ ของสายอากาศเครื่องลูกข่าย สายอากาศขดลวดโดยทั่วไปมักทำด้วยลวดเส้นเล็กๆ ค่าความเหนี่ยวนำและจำนวนรอบของขดลวดสามารถคำนวณได้จากสมการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.14 รัศมีของโครงสร้างของสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย

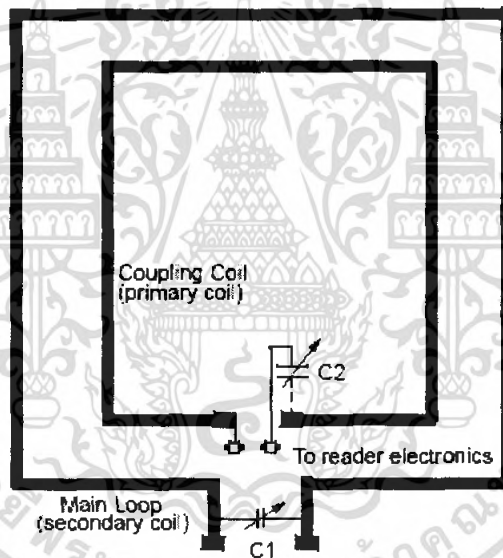
4.7.2 สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน

ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดเครื่องอ่าน โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 200-300 ถึง 2,000-3,000 ไมโครเฮนรี ที่ความถี่ต่ำ สายอากาศขดลวดเครื่องอ่านสามารถที่จะทำเป็นรูปเดี่ยวตามรูปแบบวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม หรือ ดับเบิลดูป (Transformer) ตามรูปแบบวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

ในรูปแบบวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมผลที่ได้จะให้ค่าความต้านทานที่มีค่าน้อยที่ความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้นจะทำให้กระแสมีค่ามาก ส่วนในวงจรเรโซแนนซ์ขนานจะให้ผลของค่าความต้านทานสูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้นจะทำให้กระแสมีค่าน้อย เนื่องจากแรงดันสามารถเพิ่มระดับขึ้นได้โดยการใช้อยู่ในรูปแบบดับเบิลดูป (parallel) วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานมักจะใช้สำหรับระบบที่ต้องการสัญญาณที่มีแรงดันสูง

รูปที่ 4.15 แสดงตัวอย่างของสายอากาศรูปทรานฟอร์มเมอร์ ที่ลูปลหลัก (secondary) เป็นรูปแบบของรอบ โครงสร้างขนาดใหญ่ของลวด โดยจุนค่าที่ตัวเก็บประจุเพื่อให้ได้ที่ความถี่เรโซแนนซ์ (125 kHz) ลูปลอื่นจะเรียกว่าลูปลเชื่อมต้อ (primary) และจะมีรูปแบบที่เล็กกว่า 2-3 รอบของขดลวด ตำแหน่งของลูปลเชื่อมต้อ (primary) จะวางอยู่ภายในลูปลหลัก

ลูปลเชื่อมต้อ (primary) จะทำให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมกับค่าอิมพีแดนซ์ที่อินพุต/เอาต์พุตของเครื่องอ่าน การเชื่อมต้อขดลวดที่จุดอินพุต/เอาต์พุตในตัวอ่าน ที่ลูปลหลัก (secondary) จะต้องทำการจูนให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์และไม่ได้มีการเชื่อมต้อกับเครื่องอ่าน ลูปลเชื่อมต้อโดยทั่วไปจะไม่ได้ทำการจูน แต่ในการออกแบบจะทำการจูนที่ตัวเก็บประจุ C2 ที่ต่ออนุกรมอยู่กับลูปลเชื่อมต้อ เพราะว่าจำนวนรอบที่ลูปลหลัก (secondary) มากกว่าลูปลเชื่อมต้อ (primary) 2-3รอบ ทำให้ที่ลูปลเชื่อมต้อมีค่าความเหนี่ยวนำน้อย เป็นผลให้ต้องใช้ค่าตัวเก็บประจุมีก่ามาก



รูปที่ 4.15 สายอากาศรูปทรานฟอร์มเมอร์ของเครื่องอ่าน

4.8 วงจรแมตซิ่ง(matching)

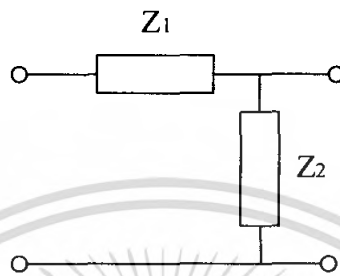
วงจรแมตซิ่งที่นิยมใช้ในการออกแบบแบ่งออกเป็น3ชนิดคือ

1. วงจรชนิดตัวแอล
2. วงจรชนิดตัวที
3. วงจรชนิดตั๋งไผ่

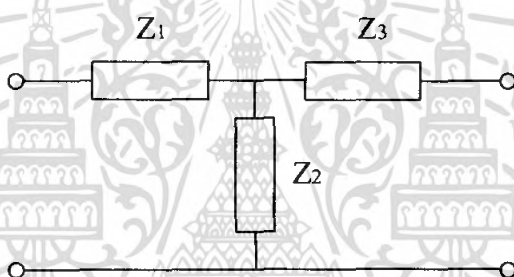
วงจรแมตซิ่งทั้ง 3 ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติต่างกันไป เช่น วงจรชนิดตัวแอลจะใช้อุปกรณ์เพียง 2 ตัว แต่มีข้อด้อยคือไม่สามารถกำหนดค่า Q ของวงจรได้ ส่วนชนิดตัวทีและชนิดตัวไผ่ต้องใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

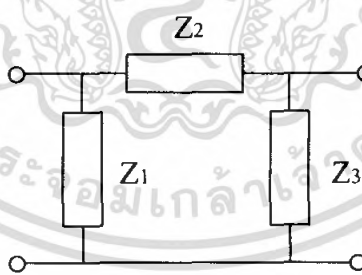
อุปกรณ์ 3 ตัว แต่จะสามารถเลือกค่า Q ของวงจรได้ โดยที่วงจรชนิดตัวที่จะเหมาะกับแมตซ์อิมพีแดนส์ค่าต่ำกับอิมพีแดนส์ค่าต่ำ ส่วนชนิดตัวไฟจะเหมาะกับอิมพีแดนส์ค่าสูงไปยังอิมพีแดนส์ค่าสูงถ้าเราเลือกวงจรไม่เหมาะสมจะทำให้แมตซ์อิมพีแดนส์ได้ยาก โดยที่วงจรแมตซ์อิมพีแดนส์ทั้ง 3 มีรูปแบบวงจรดังนี้



ก. วงจรชนิดตัวแอล



ข. วงจรชนิดตัวที

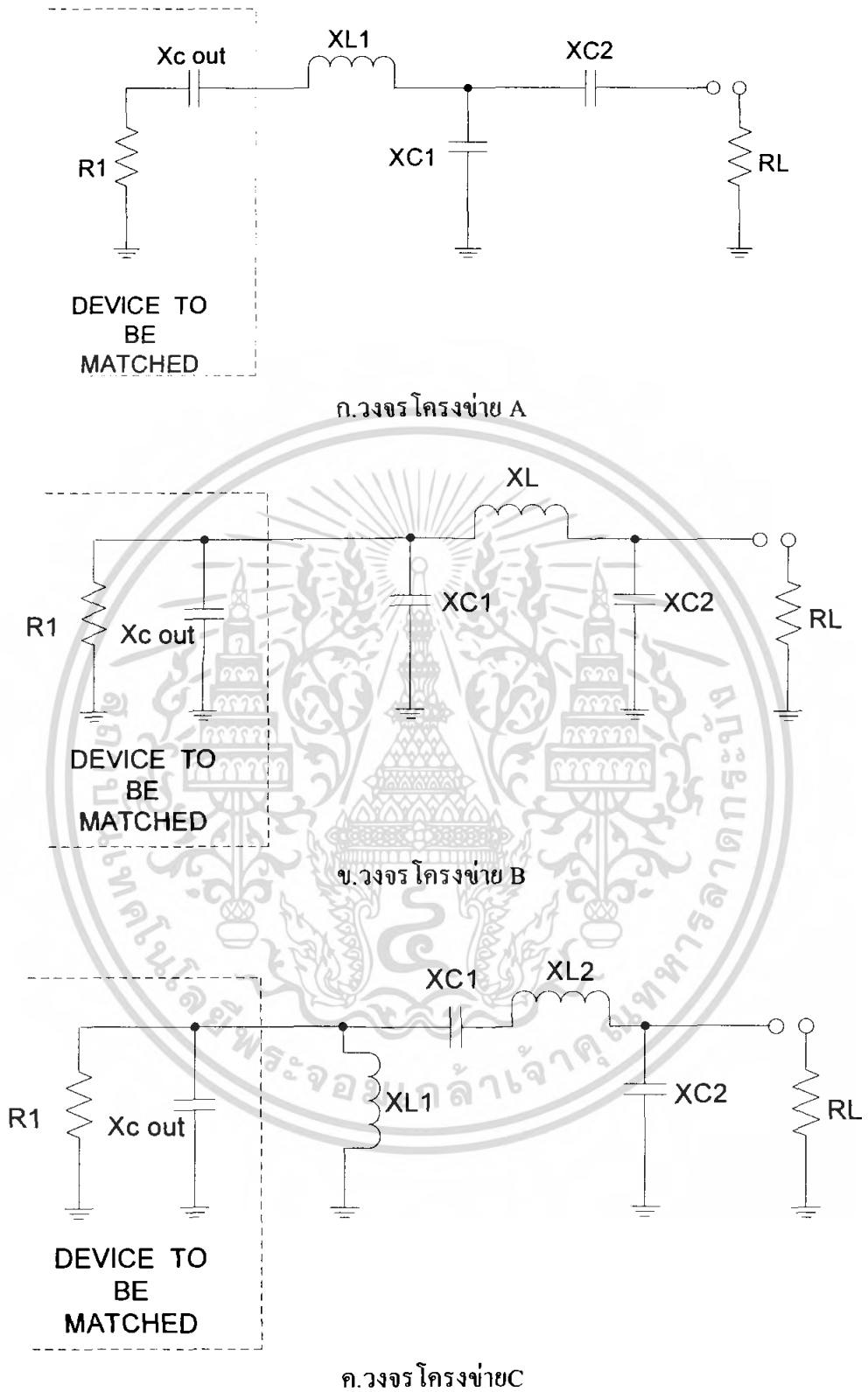


ค. วงจรชนิดตัวพาย

รูปที่ 4.16 วงจรแมตซ์อิมพีแดนส์แบบต่างๆ

จากวงจรทั้ง 3 นี้สามารถรวมกันเขียนเป็นวงจรโครงข่ายและสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมต่อวงจรและตามค่าอุปกรณ์ที่มี ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 วงจร โครงข่ายแมตชิงแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ใช้ในการคำนวณในโครงข่ายต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ

โครงข่าย A

Select Q

$$X_{L1} = QR1 + X_{COUT} \quad A = \sqrt{\frac{R1(1+Q2)}{R_L} - 1}$$

$$X_{C2} = ARL$$

$$B = R1(1+Q2)$$

$$X_{C1} = \frac{(B/A)(B/Q)}{(B/A) - (B/Q)} - (B/Q) = B / (Q-A)$$

โครงข่าย B

Select Q

$$X_{C1} = R1/Q$$

$$X_{C2} = RL \sqrt{\frac{R1/RL}{(Q2+1) - (R1/RL)} - 1}$$

$$X_L = \frac{QR1 + (R1RL/XC2)}{Q2 + 1}$$

โครงข่าย C

Select Q

$$X_{L1} = X_{COUT}$$

$$X_{C1} = QR1$$

$$X_{C2} = RL \sqrt{R1 \frac{R1}{RL - R1}}$$

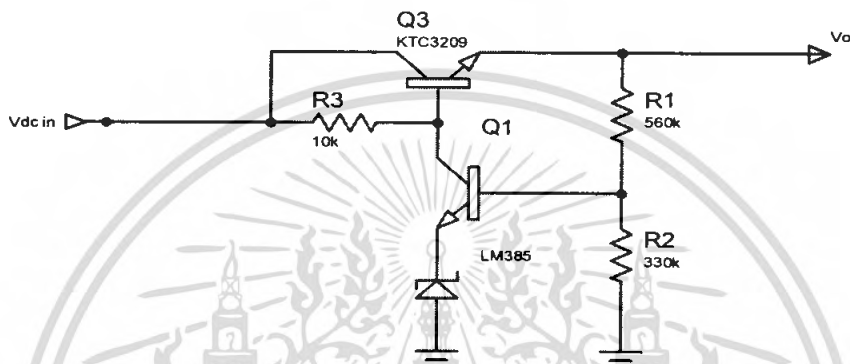
$$X_{L2} = X_{C1} + \left(\frac{R1L1}{XC2} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การออกแบบและการคำนวณ

5.1 การออกแบบและการคำนวณ Tag Regulator



รูปที่ 5.1 การออกแบบวงจร

ขั้นตอนแรก กำหนดให้ $V_o = 4.8 \text{ V}$

จากสูตรการคำนวณบทที่ 4 ก็จะได้ว่า

$$\begin{aligned} I_{B \max} &= 2 \frac{I_{O \max}}{\beta} \\ &= 2 \frac{(5.25 \times 10^3)}{200} \\ &= 52.5 \mu\text{A} \end{aligned}$$

$$R_3 = \frac{1\text{V}}{52.5 \mu\text{A} + 40 \mu\text{A}} = 10 \text{ k} \Omega$$

ทำ
$$I_{R3} = \frac{1\text{V}}{R_3} = \frac{1\text{V}}{10\text{k}} = 0.1 \text{ mA}$$

$$I_{C2 \min} = I_{R3} - I_{O \max}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 100\mu\text{A} - 52.5\mu\text{A}$$

$$= 47.5\mu\text{A}$$

$$V_{BE2} = 26 \times 10^{-3} \ln \frac{I_{C2,\text{min}}}{5.911 \times 10^{-12}} = 0.593 \text{ V.}$$

$$\begin{aligned} I_{B2,\text{max}} &= \frac{I_{C2,\text{max}}}{\beta_{2,\text{min}}} = \frac{1\text{V}}{\beta_{2,\text{min}} R_3} \\ &= \frac{1\text{V}}{(400) \times (10\text{K})} = 0.25 \mu\text{A.} \end{aligned}$$

$$R'_2 = \frac{1.25 + V_{BE2}}{20 I_{B,\text{max}}} = \frac{1.843}{5\mu\text{A}} = 368600$$

ให้ใช้ค่า = 330K แทน

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{V_o}{V_{BE2} + 1.25} - 1$$

$$K = \frac{4.8}{0.593 + 1.25} - 1 = 1.6045$$

$$K = \frac{R_1}{R_2}$$

$$\therefore R_1 = (1.6045) \times (368600) = 560\text{K} \Omega$$

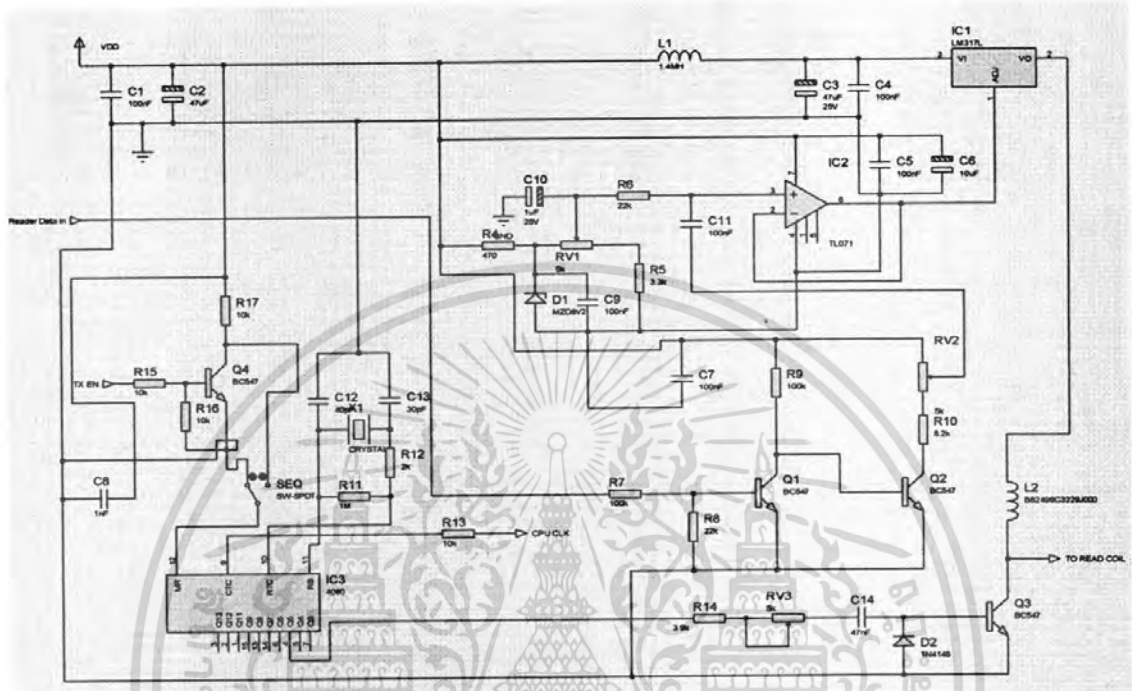
$$V_o \text{ จริง} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) (1.25 + V_{BE2})$$

$$4.8 \text{ V} = \left(1 + \frac{560\text{K}}{330\text{K}}\right) (1.25 + 0.593)$$

$$4.8 \text{ V} = 4.9705 \text{ V.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การออกแบบและการคำนวณ L1 กับ L2 ของ วงจร Reader coil



รูปที่ 5.2 การออกแบบวงจร

5.3 การออกแบบและการคำนวณ L tag

จากสูตรหา L_{TAG}

X : Average Width of coil = 5 cm

Y : Average Length of coil = 8 cm

B : Width of cross section = $n d_T + (n-1) \times 0.1$ mm.

H : coil height = 0.4 mm = d_T (single Layer)

จากทฤษฎีที่ผ่านมาระจะได้สูตรสำเร็จคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$C = x + y + 2h \quad \text{cm}$$

จากสูตรเราทำการคำนวณหาค่า L_s โดยทดลองแทนค่า n ที่ 16,17,18,19,...,23 รอบจากการลองคำนวณเราก็ได้ค่า n รอบที่ดีที่สุดเพื่อหาค่า L_s

คือคิดที่ $n = 17$ รอบ

$$X = 5 \text{ cm}$$

$$Y = 8 \text{ cm}$$

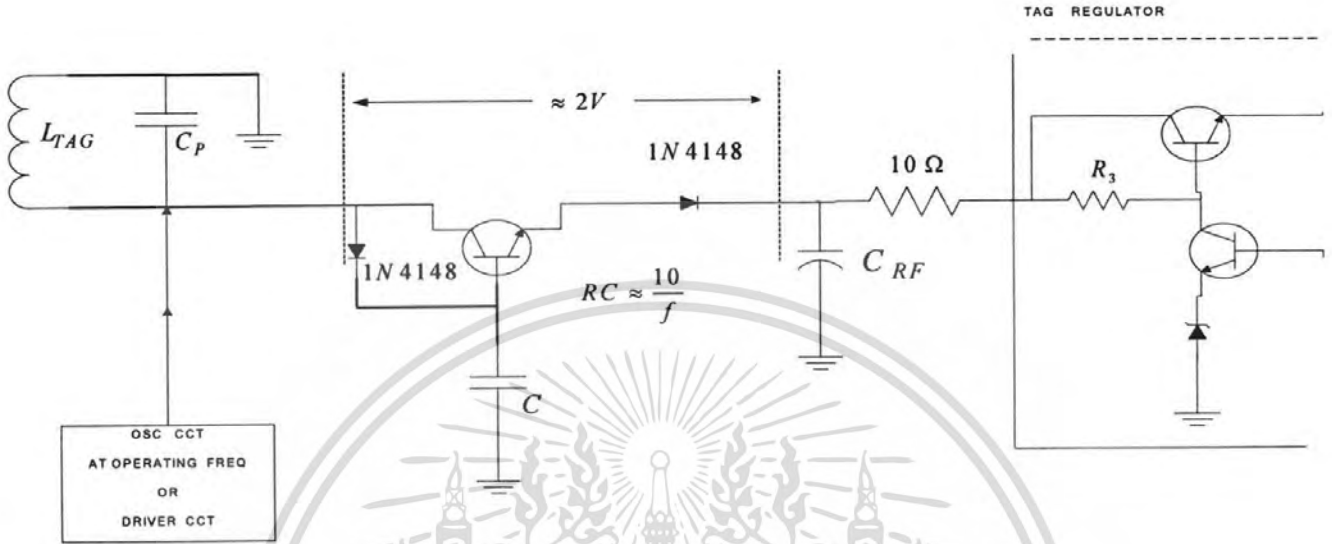
$$b = [17 \times 0.4 + 16 \times 0.1] = 0.84 \text{ cm}$$

$$L_s = \frac{0.0276(13.08 \times 17)^2}{(1.908 \times 13.08) + (9 \times 0.84) + (10 \times 0.04)}$$

$$= 41.4579 \text{ uH}$$

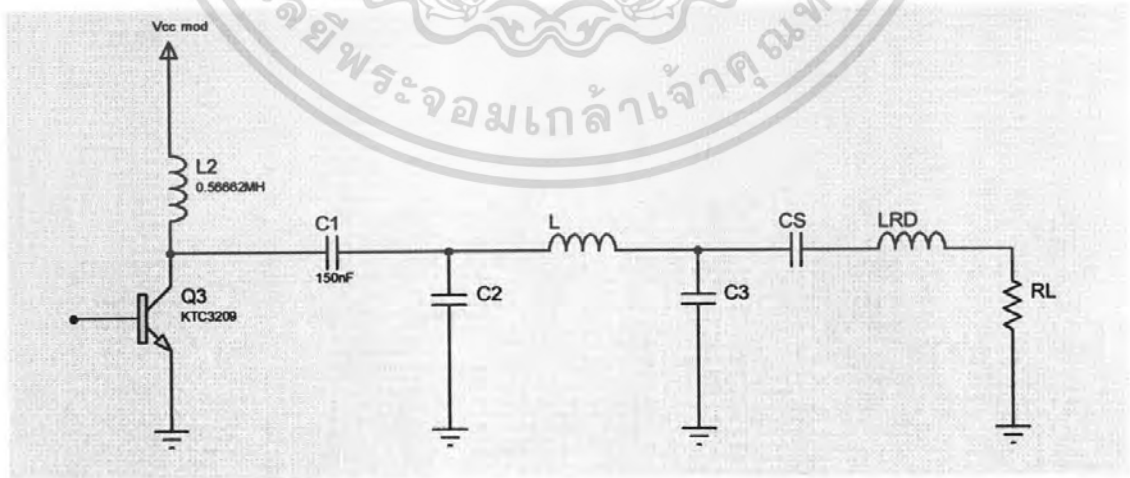
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1 แสดงการต่อกันของ Tag Regulator กับ L tag



รูปที่ 5.3 แสดงการต่อกันของ Tag Regulator กับ L tag

5.4 การออกแบบและการคำนวณ Matching of Reader coil



รูปที่ 5.4 การออกแบบวงจร Matching of Reader coil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการที่เราคำนวณหาค่า Q_i , n , $(nQ_L)_{TAG}$ เพื่อที่จะมาหาค่าต่างๆของวงจร Matching of Reader coil

กำหนดค่าที่หามาแล้วคือ

$$Q_i = 11.36$$

$$n = 16 \text{ รอบ}$$

$$(nQ_L)_{TAG} = 171.84$$

เริ่มแรกเราทำการหาค่า $(NI)_{Rd_{rms}}$

จากสูตร

$$(NI)_{Rd_{rms}} = \frac{2V_{TAG_{rms}}(a^2 + r^2)^{1.5}}{2\pi f \times 4 \times 10^{-3} \times 0.9 \times 4\pi \times 10^{-7} \times (38 \times 10^{-3})^2 (nQ)_{L_{TAG}}}$$

$$= \frac{390 \times 10^3 (12) [(38 \times 10^{-3})^2 + 0.03^2]^{1.5} (0.8)}{(171.84)}$$

$$= 2.47256$$

$$i_{drive} = i_{Rd} = \frac{(NI)_{Read}}{N_{Rd}} = \frac{2.47256}{15.83} = 152.52$$

เราพันลวดของ L_{Rd} ไว้ = 92.2861 uH

ใช้ $BW_{min} = 31.25 \text{ K}$

$$R_L = 2\pi BW L_{Rd} \quad \Omega$$

$$= 2\pi (31.25\text{K}) 92.2861\text{uH}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 18.120 \quad \Omega$$

$$\begin{aligned} P_o &= i_{rd(rms)}^2 \cdot R_l \quad \text{W} \\ &= (152.52)^2 \times 18.120 \Omega \\ &= 421.521 \text{ mW} \end{aligned}$$

กำหนดให้ $V_{cc} = 6.25V$

$$\begin{aligned} R_2 &= \frac{(V_{cc} - V_{CE,sat})^2}{1.25 P_o} \\ &= \frac{(9.4 - 0.5)^2}{1.25 \times 421.521 \text{ mW}} \\ &= 150.3317 \quad \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_o &= \sqrt{R_1 R_2} \\ &= \sqrt{(18.120)(150.3317)} \\ &= 52.192 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \frac{Z_o}{2\pi \times 125 \text{ K}} \\ &= \frac{52.192}{2\pi \times 125 \text{ K}} \\ &= 66.4529 \quad \text{mH} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{2\pi f Z_o} \\ &= \frac{1}{2\pi \times 125 \text{ K} \times 52.192} \\ &= 24.395 \text{ nF} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{1}{4\pi^2 f^2 L_{Rd}} \\ &= \frac{1}{4\pi^2 (125 \text{ K})^2 92.2861 \mu\text{H}} \\ &= 17.566 \quad \text{nF} \end{aligned}$$

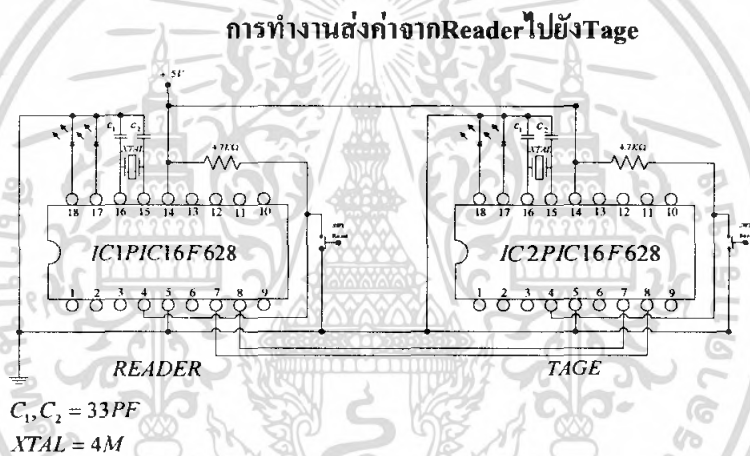
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

โปรแกรมการติดต่อสื่อสารข้อมูล

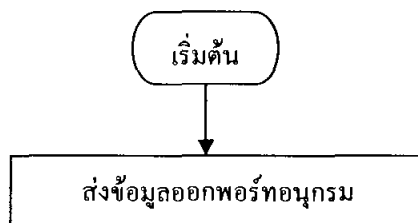
เทคโนโลยี RFID จะมีการทำงานที่ 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของเครื่องอ่านและส่วนของเครื่องลูกข่าย ในส่วนของเครื่องอ่านจะมีหน้าที่ในการอ่านข้อมูลของเครื่องลูกข่าย โดยมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลถ้าข้อมูลถูกต้องก็จะแสดงผลทางLED

6.1 ส่วนของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย



รูปที่ 6.1 แสดงการทำงานของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย

6.1.1 โฟลวชาร์ตการทำงานของเครื่องลูกข่าย

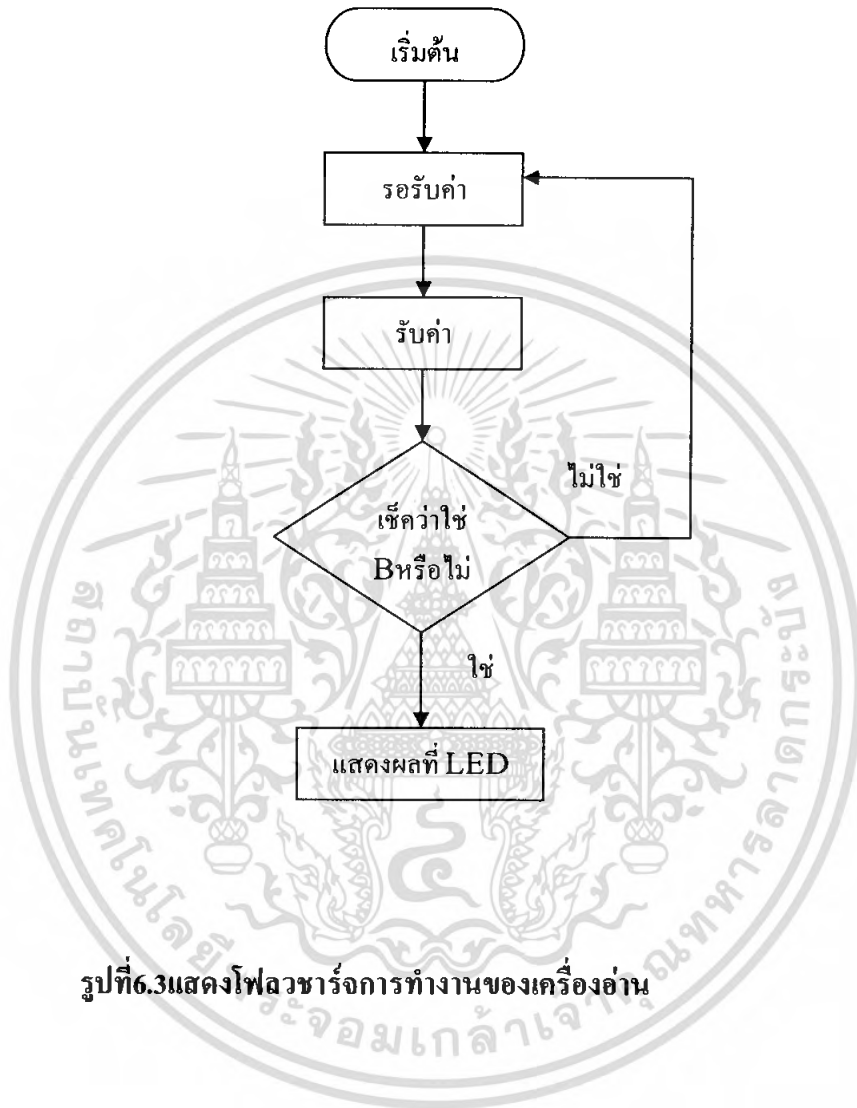


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.2 แสดงโฟลวชาร์ตการทำงานของเครื่องดูข่าย

6.2 โฟลวชาร์ตการทำงานของเครื่อง

อ่าน



รูปที่ 6.3 แสดงโฟลวชาร์ตการทำงานของเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

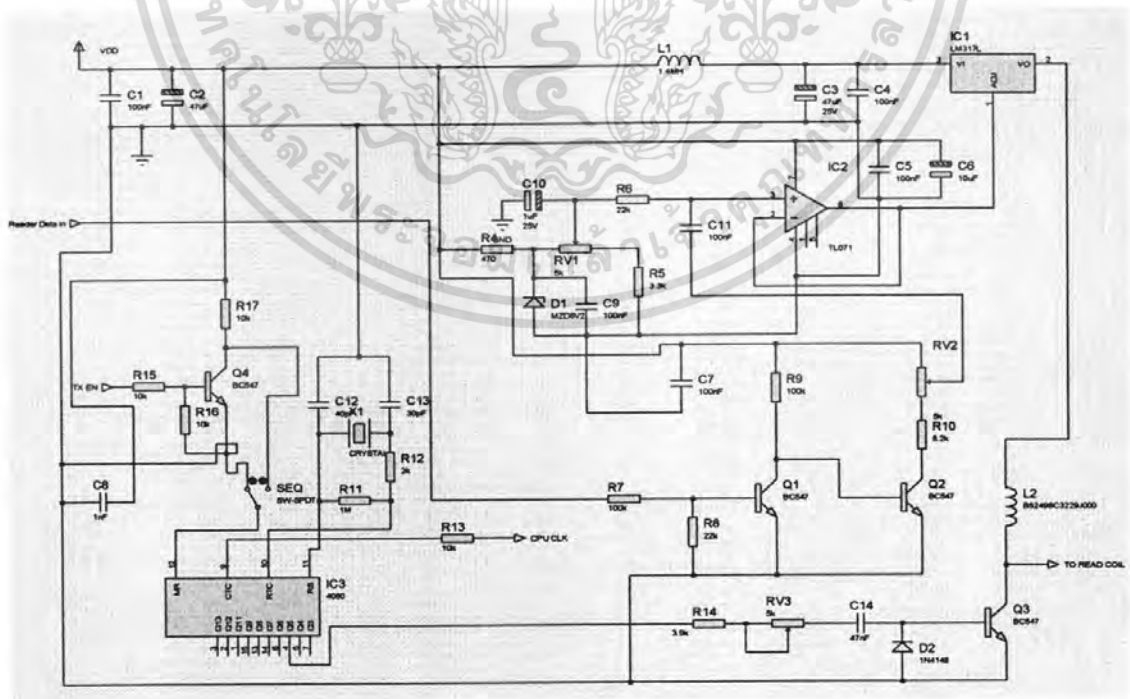
การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการทดลอง ในส่วนของเพาเวอร์แอมป์ 125kHz 0.3 W ที่ได้สร้างขึ้น เพื่อขจัดคลอของเครื่องอ่านให้สามารถส่งพลังงานไปที่ เครื่องลูกข่ายให้สามารถทำงานและสามารถส่งข้อมูลไปให้กับเครื่องอ่านได้

7.1ภาค (Reader Coil)

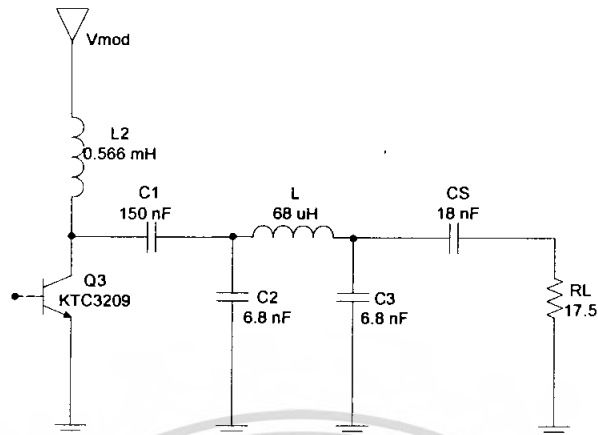
7.1.1ผลการทดลองในส่วนของเพาเวอร์แอมป์

ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงผลการทดลอง ของเพาเวอร์แอมป์ 125kHz 0.3 W จากการออกแบบ ในส่วนของเพาเวอร์แอมป์ ได้กำหนดให้อิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต มีค่าประมาณ 50 Ω ในส่วนของการทดลองจึงใช้ ความต้านทานประมาณ 50 Ω เพื่อเป็นโหลดให้กับเพาเวอร์แอมป์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการทดลองเพาเวอร์แอมป์



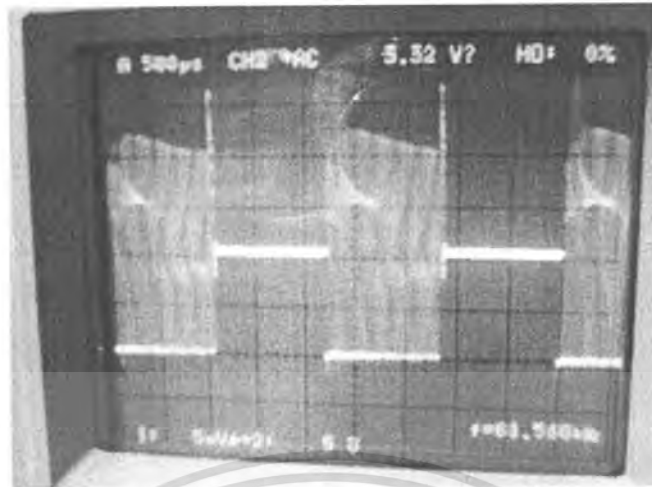
รูปที่ 7.1.2 แสดงรูปที่ต่อ Matching จาก Reader Coil

ผลการทดลอง

RL (Ω)	V (v)	I (mA)	P(mV)
5	1.50	300.00	0.45
10	2.90	290.00	0.84
12.5	3.30	264.00	0.87
15	3.70	246.66	0.91
17.5	4.08	233.14	0.95
20	4.40	220.00	0.96
25	5.04	201.60	1.01

ตารางที่ 7.1.1 แสดงค่าแรงดันที่ L_{rd} เมื่อค่า RL เปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

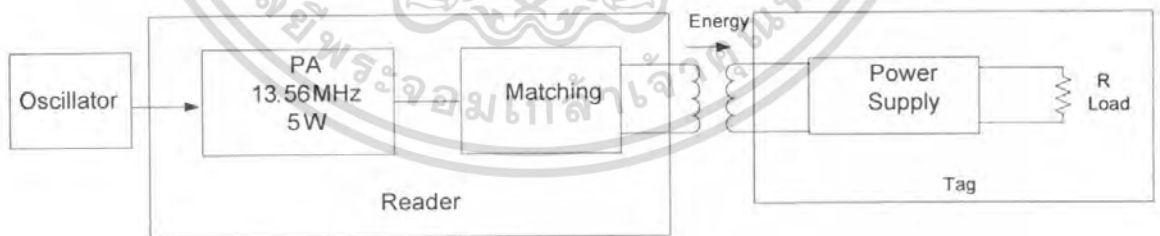


รูปที่ 7.1.3 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตของภาคขยายที่ออกจาก LM 317

7.2 ภาค (Tag SEQ ASK)

7.2.1 ผลการทดลองในส่วนของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องถูกข่าย

ในผลการทดลองส่วนนี้จะได้ว่าที่เครื่องถูกข่ายจะรับพลังงานจากเครื่องอ่านได้ขนาดไหนที่ระยะห่างของขดลวดเครื่องอ่านกับขดลวดของเครื่องรับ โดยใช้วงจรที่ได้ทำการออกแบบไว้ในบทที่ 5 เรื่องการออกแบบภาคจ่ายไฟของเครื่องถูกข่าย



รูปที่ 7.2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการทดสอบการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องถูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการทดลอง

ที่ค่า $C_p = 33 \text{ nF}$

RL (Ω)	ระยะทางการอ่าน(cm)								
	0			0.5			1		
	V (v)	I (ma)	P (mv)	V (v)	I (ma)	P (mv)	V (v)	I (ma)	P (mw)
100	1.24	12.40	15.37	1.16	11.60	13.45	1.04	10.40	10.81
300	2.75	9.16	22.20	2.69	8.96	24.12	2.49	8.30	20.66
500	3.73	7.46	27.82	3.69	7.38	27.23	3.47	6.94	24.08
680	4.33	6.36	27.56	4.31	6.33	27.31	4.12	6.05	24.95
910	4.82	5.29	25.52	4.82	5.29	25.52	4.74	5.20	24.68
1K	4.89	4.89	23.91	4.87	4.87	23.71	4.84	4.84	23.42

ตารางที่ 7.2.1 แสดงค่าแรงดัน V(v) ที่ระยะต่างๆเมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง(RL)

RL (Ω)	ระยะทางการอ่าน(cm)								
	1.5			2			2.5		
	V (v)	I (ma)	P (mv)	V (v)	I (ma)	P (mv)	V (v)	I (ma)	P (mw)
100	0.93	9.30	8.64	0.77	7.70	5.92	0.65	6.50	4.22
300	2.23	7.43	16.57	1.88	6.26	11.78	1.60	5.33	8.53
500	3.15	6.30	19.84	2.69	5.38	14.47	2.35	4.70	11.04
680	3.83	5.63	21.57	3.31	4.86	16.11	2.88	4.23	12.19
910	4.47	4.91	21.95	3.89	4.27	16.62	3.40	3.73	12.70
1K	4.67	4.67	21.80	3.94	3.94	15.52	3.39	3.39	11.49

ตารางที่ 7.2.2 แสดงค่าแรงดัน V(v) ที่ระยะต่างๆเมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง(RL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.2 เป็นการเปรียบเทียบค่า $C_p = 18 \text{ nF}$ และ $C_p = 36 \text{ nF}$ ตามลำดับ

ที่ $C_p = 18 \text{ nF}$

RL (Ω)	ระยะทางการอ่าน(cm)								
	0			0.5			1		
	V (v)	I (ma)	P (mv)	V (v)	I (ma)	P (mv)	V (v)	I (ma)	P (mv)
100	0.28	2.80	0.78	0.21	2.10	0.44	0.09	0.90	81uV
1K	0.73	0.73	0.53	0.59	0.59	0.34	0.33	0.33	0.10

ตารางที่ 7.2.3 แสดงค่าแรงดัน V(v) ที่ระยะต่างๆเมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง(RL)

ที่ $C_p = 18 \text{ nF}$

RL (Ω)	ระยะทางการอ่าน(cm)								
	1.5			2			2.5		
	V (v)	I (ma)	P (mv)	V (v)	I (ma)	P (mv)	V (v)	I (ma)	P (mv)
100	0.03	0.30	9uV	0.01	0.10	1uV	0.00	0	0
1K	0.15	0.15	0.22	0.03	30uA	0.9uV	0.02	20uA	0.4uV

ตารางที่ 7.2.4 แสดงค่าแรงดัน V(v) ที่ระยะต่างๆเมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง(RL)

ที่ $C_p = 36 \text{ nF}$

RL (Ω)	ระยะทางการอ่าน(cm)								
	0			0.5			1		
	V (v)	I (ma)	P (mv)	V (v)	I (ma)	P (mv)	V (v)	I (ma)	P (mv)
100	1.11	11.1	1.11	1.05	10.5	11.02	0.92	9.20	8.46
1K	4.36	4.36	4.36	4.27	4.27	18.23	3.95	3.95	15.60

ตารางที่ 7.2.5 แสดงค่าแรงดัน V(v) ที่ระยะต่างๆเมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง(RL)

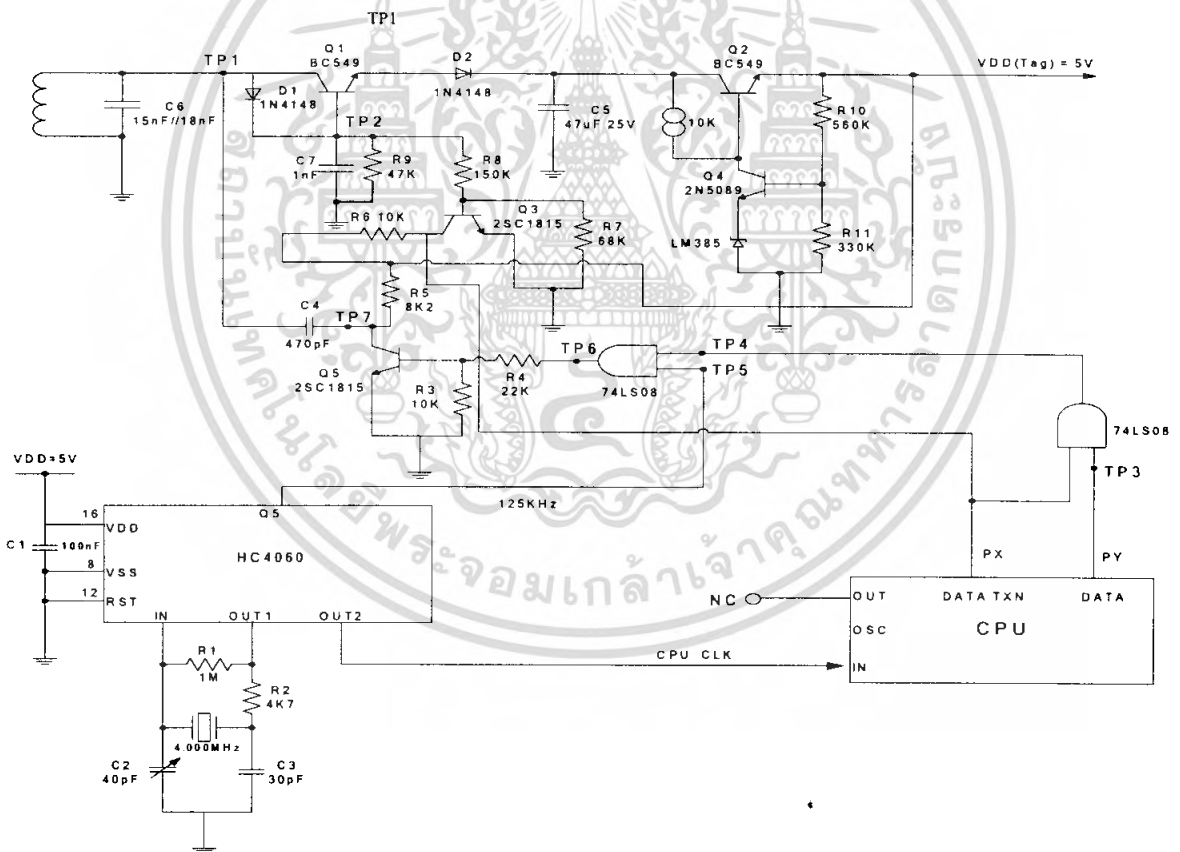
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $C_p=36nF$

RL (Ω)	ระยะทางการอ่าน(cm)								
	1.5			2			2.5		
	V (v)	I (ma)	P (mv)	V (v)	I (ma)	P (mv)	V (v)	I (ma)	P (mv)
100	0.82	8.20	6.72	0.64	6.40	40.96	0.53	5.3	2.80
1K	3.56	3.56	12.67	2.91	2.91	8.46	2.38	2.38	5.66

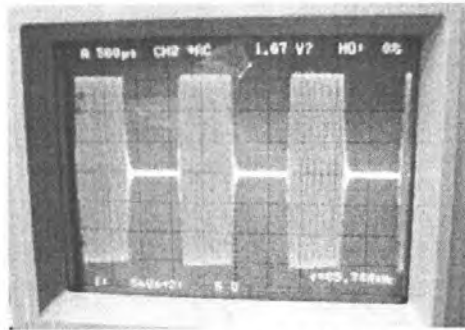
ตารางที่ 7.2.6 แสดงค่าแรงดัน V(v) ที่ระยะต่างๆเมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง(RL)

7.3 วงจรภายในของดู๊กข่าย(tag)



รูปที่ 7.3.1 วงจรภายในของ tag ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



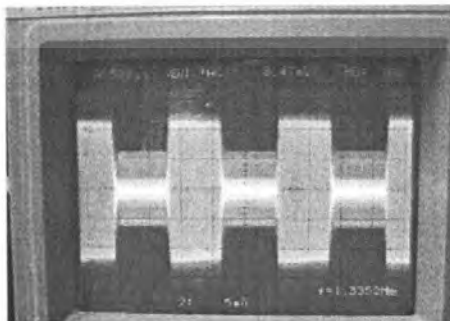
รูปที่ 7.3.2 สัญญาณที่วัดได้จากวงจรเรโซแนนซ์ของ tag (TP1)



รูปที่ 7.3.3 สัญญาณที่วัดได้จากขา 8 (TX) ของ 16F628 (TP3)



รูปที่ 7.3.4 สัญญาณที่วัดได้จากขา 5 ของ CD4060 (TP5)

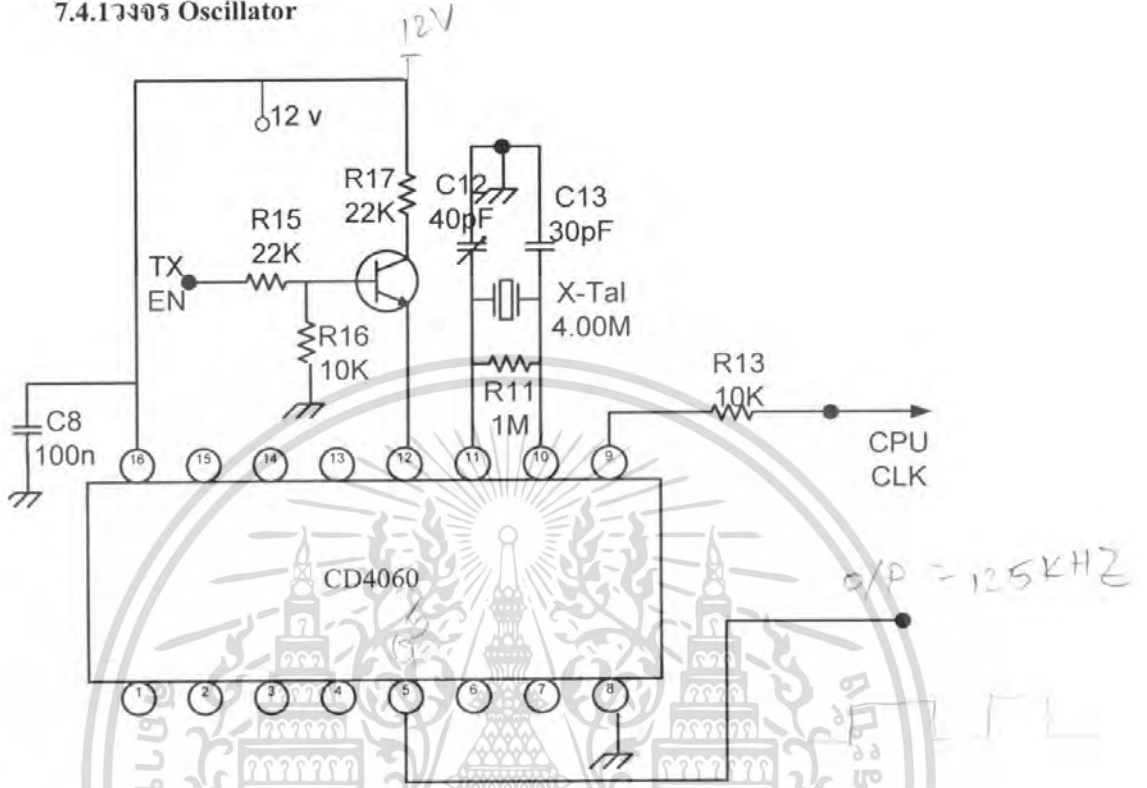


รูปที่ 7.3.5 สัญญาณที่วัดได้จากขา 11 ของ IC 7408 (TP6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 วงจรภายใน Reader

7.4.1 วงจร Oscillator



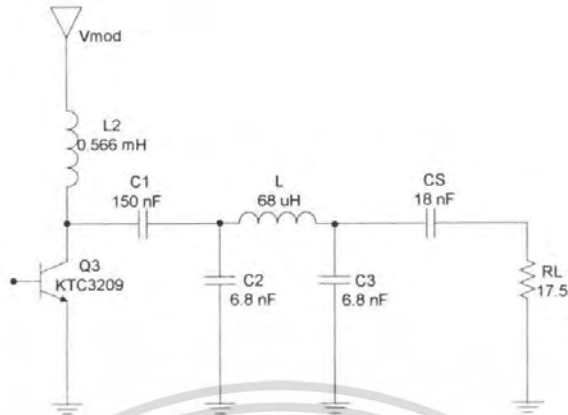
รูปที่ 7.4.1 วงจร Oscillator 125 kHz



รูปที่ 7.4.2 สัญญาณที่วัดได้จากขา 5 ของ CD4060 ความถี่ 125 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

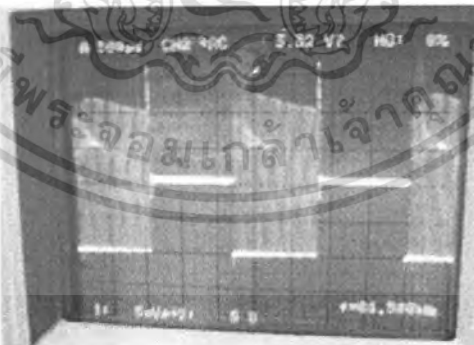
7.4.2 วงจร Matching



รูปที่ 7.4.3 Matching circuit



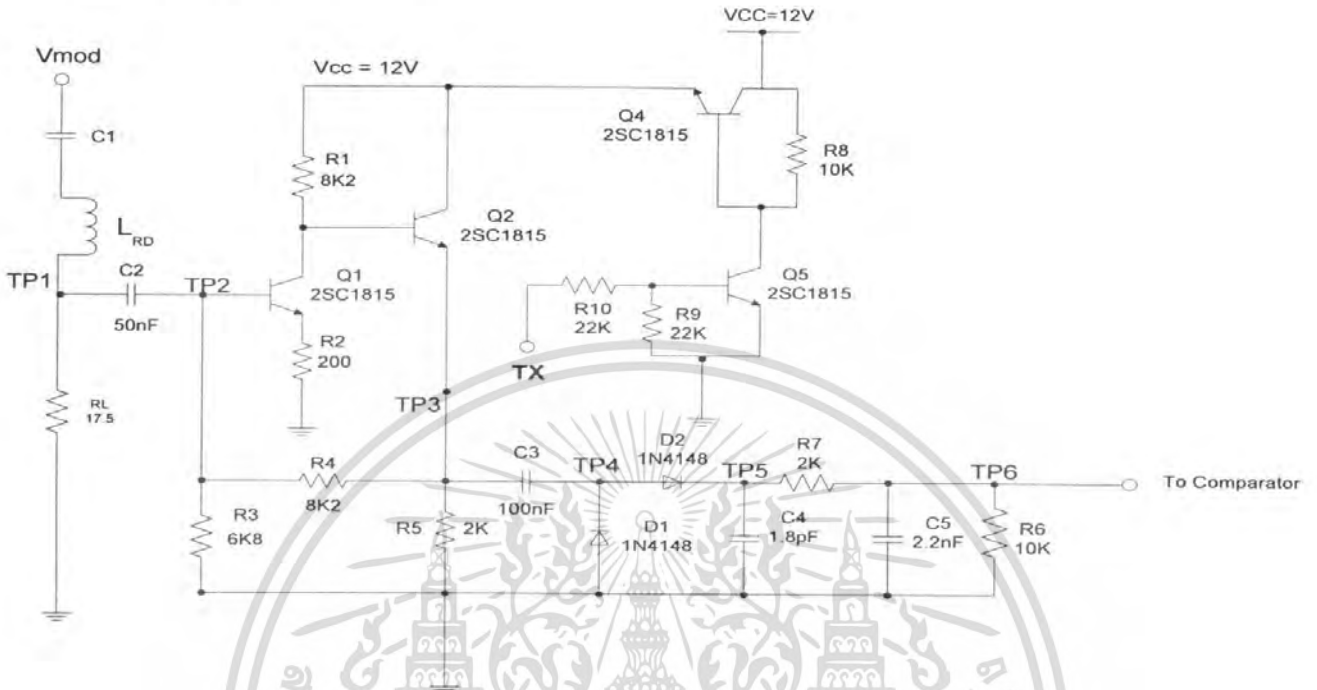
รูปที่ 7.4.4 สัญญาณที่วัดได้ก่อนเข้า matching



รูปที่ 7.4.5 สัญญาณที่วัดได้หลังผ่าน matching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4.3 วงจร Demodulator

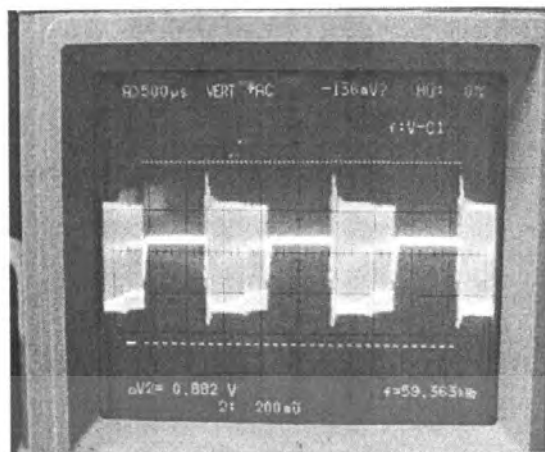


รูปที่ 7.4.6 วงจร Demodulator

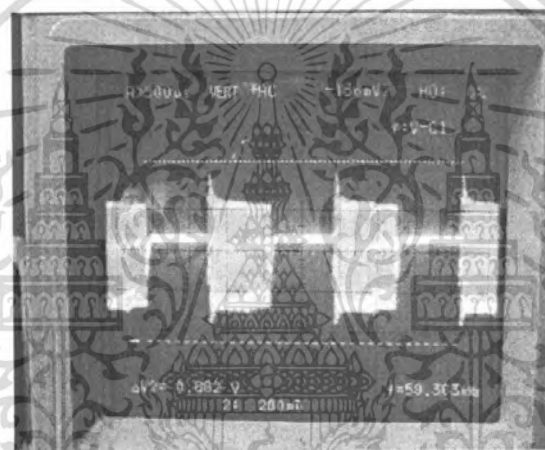


รูปที่ 7.4.7 สัญญาณที่วัดได้จาก RL (TP1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4.8 สัญญาณที่วัดได้หลังผ่าน C2 (TP2)

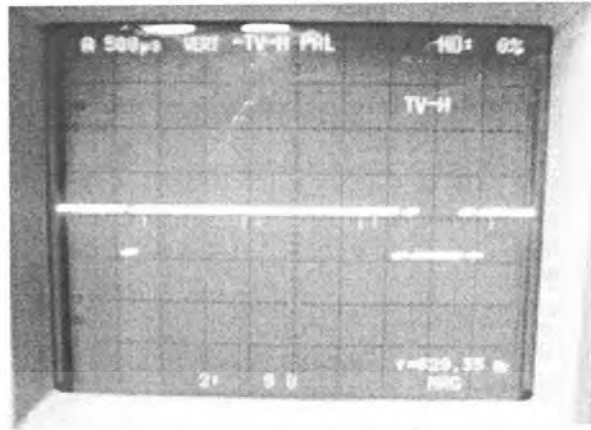


รูปที่ 7.4.9 สัญญาณที่วัดได้ก่อนผ่าน C3 (TP3)



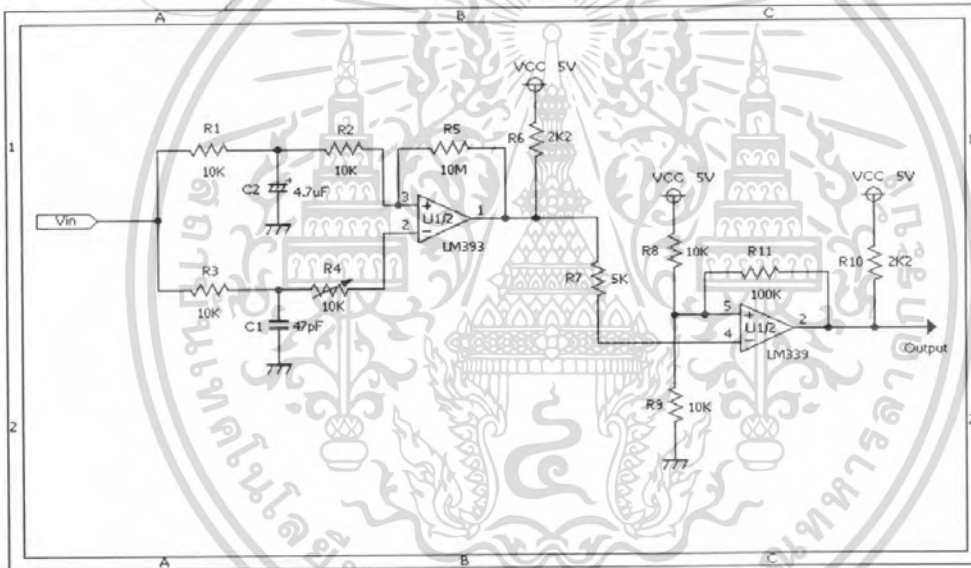
รูปที่ 7.4.10 สัญญาณที่วัดได้หลังผ่าน C3 (TP4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

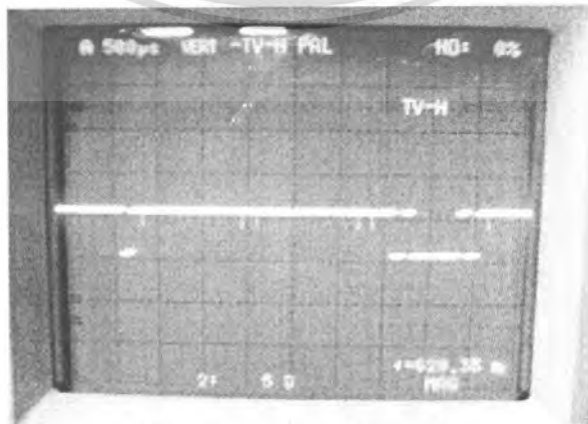


รูปที่ 7.4.11 สัญญาณที่วัดได้ที่ R6 (TP6)

7.4.4 วงจร Adaptive Threshold Comparator

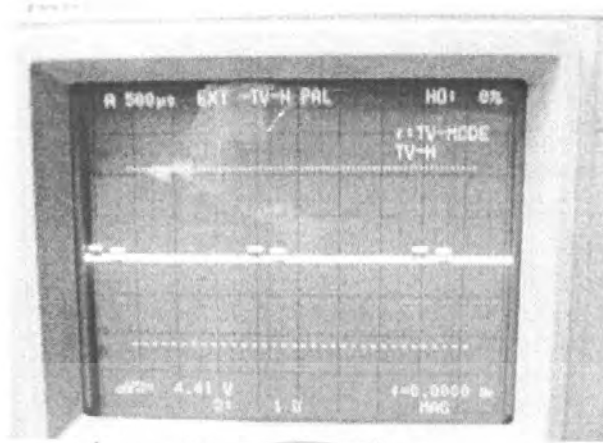


รูปที่ 7.4.12 วงจร Adaptive Threshold Comparator



รูปที่ 7.4.13 สัญญาณที่วัดได้ที่ Vin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4.13 สัญญาณที่วัดได้ที่ขา 7 ของ LM393



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

บทสรุปและวิจารณ์

การทดลองเรื่อง RFID ใช้งานในย่านความถี่ 125kHz ประกอบด้วยส่วนสำคัญใหญ่ๆ 2 ส่วนคือส่วนของเครื่องอ่านและเครื่องรับ โดยเครื่องอ่านจะส่งกำลังประมาณ 0.3W โดยหลักการทำงานของเครื่องอ่านจะส่งพลังงานไปให้กับเครื่องรับในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเครื่องรับจะรับพลังงานจากเครื่องส่ง ผ่านขดลวดที่วางจรเรโซแนนซ์ มาทำการเรกติไฟร์จะได้แรงดันไฟมาเลี้ยงวงจรเมื่อ CPU ได้รับพลังงานเพียงพอแล้วก็จะทำการส่งข้อมูลออกมาที่ขาTX โดยข้อมูลจะถูกนำไปมอดแบบ ASK กับความถี่พาหะ 125kHz ด้วยแกนเกตโดยมีทรานซิสเตอร์เป็นตัวdriveแล้วส่งผ่านโดยใช้วงจรเรโซแนนซ์ของทั้งสอง Readerจะได้รับสัญญาณ ในขณะที่ Reader off สัญญาณที่ได้จะมีขนาดเล็กมากจึงต้องนำไปขยายสัญญาณก่อนจึงจะทำการ Demod โดยที่ภายในวงจรจะประกอบไปด้วย Envelop detector จะเอาข้อมูลที่เป็นบวกผ่านไปหลังจากนั้นก็ผ่าน LPF เพื่อเอาความถี่พาหะออกเอาเฉพาะข้อมูลไปเข้าวงจร Adaptive Threshold Comparator เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องแล้วจึงส่งไปให้กับขา RX ของ CPU เพื่อที่จะได้ทำการตรวจสอบว่าถูกต้องหรือไม่ โดยผลที่ได้ก็นำไปใช้งานได้ และยังสามารถประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆต่อไปได้

8.1 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

1. ในการคำนวณจำนวนรอบ และขนาดของตัวเหนี่ยวนำ เกิดความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก จึงส่งผลให้วงจรโดยรวมได้รับผลกระทบไปด้วย
2. ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการพันขดลวดที่ได้จำนวนรอบและรูปแบบที่ไม่เที่ยงตรงและแน่นอนทำให้มีผลต่อการทำงานของวงจรรวมไปถึงการเข้าใจหลักการที่แน่นอนในการทำงานของวงจรตลอดจนระยะเวลาในการดำเนินงาน
3. อุปกรณ์ที่ใช้จริงในวงจรมีค่าไม่ตรงกับค่าที่คำนวณ จึงต้องประยุกต์ และดัดแปลงอุปกรณ์เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด
4. เครื่องวัดค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ มีความถี่ที่ใช้ในการวิเคราะห์ต่ำ จึงเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นในการวัดตัวอุปกรณ์ที่มีค่าน้อยๆ
6. ถ้าจะทำการทดลองอย่าทำพร้อมกับกลุ่มที่ทำความถี่สูงเนื่องจากกำลังวัตต์ที่ใช้ในการส่งพลังงานให้กับเครื่องถูกขยับสูงมากจึงทำให้ผลการทดลองความถี่ต่ำคลาดเคลื่อน

8.2 แนวทางการแก้ไขและการนำไปประยุกต์ใช้งาน

1. ถ้าทำการลดกำลังงานในการส่งลง โดยที่วงจรทางด้านเครื่องลูกข่าย ยังสามารถทำงาน ได้ก็จะเป็นการลดค่าแรงดันที่ตัวอุปกรณ์ได้
2. ตัวเหนี่ยวนำที่ได้จากการคำนวณต้องนำมาทำการวัดด้วยเครื่องวัดอีกครั้ง ก็จะ สามารถลดความคลาดเคลื่อนได้ ในระดับหนึ่ง
3. ต้องทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้งานก่อนทำการบัดกรี และต้องแน่ใจว่าวงจรที่ใช้งานสามารถที่จะทำงานได้จริง
4. เนื่องจากกำลังงานที่ส่งมาเลี้ยงเครื่องลูกข่ายมีกำลังแรงเกินไปทำให้มารบกวนภาคตีมอดคูเลทจึงควรใช้อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานน้อยเพื่อที่ลดพลังงานที่จะส่งมาที่เครื่องลูกข่าย

8.3 การนำไปประยุกต์ใช้งาน

เราสามารถนำระบบ RFID ไปใช้งานได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นในอุตสาหกรรมการผลิต การค้า หรือการบริการต่างๆ หรือแม้แต่สถานศึกษาได้หลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งานด้านต่างๆซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลที่ต้องการได้ แต่การพิจารณานำระบบ RFID มาใช้งานยังคงต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ ในการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในสภาพแวดล้อม หรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับระเบียบการใช้คลื่นความถี่วิทยุและกำลังส่งของแต่ละประเทศ นอกจากการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ แล้ว ระบบของเทคโนโลยี RFID ยังสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ได้กับสัตว์หรือฟาร์มปศุสัตว์ได้อีกด้วย

หนังสืออ้างอิง

www.guru-ict.com/.../IT_Vision/RFID

www.csretail.co.th/services

<http://industrial.se-ed.com/>

www.li.mahidol.ac.th

<http://www.technologyreview.com/articles/visualize0304.asp>

http://www.tidi.nectec.or.th/~kitalo/what_is_RFID.htm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM185-1.2/LM285-1.2/LM385-1.2

Micropower Voltage Reference Diode

General Description

The LM185-1.2/LM285-1.2/LM385-1.2 are micropower 2-terminal band-gap voltage regulator diodes. Operating over a 10 μ A to 20mA current range, they feature exceptionally low dynamic impedance and good temperature stability. On-chip trimming is used to provide tight voltage tolerance. Since the LM185-1.2 band-gap reference uses only transistors and resistors, low noise and good long term stability result.

Careful design of the LM185-1.2 has made the device exceptionally tolerant of capacitive loading, making it easy to use in almost any reference application. The wide dynamic operating range allows its use with widely varying supplies with excellent regulation.

The extremely low power drain of the LM185-1.2 makes it useful for micropower circuitry. This voltage reference can be used to make portable meters, regulators or general purpose analog circuitry with battery life approaching shelf life.

Further, the wide operating current allows it to replace older references with a tighter tolerance part.

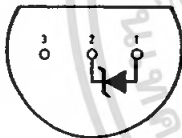
The LM185-1.2 is rated for operation over a -55°C to 125°C temperature range while the LM285-1.2 is rated -40°C to 85°C and the LM385-1.2 0°C to 70°C. The LM185-1.2/LM285-1.2 are available in a hermetic TO-46 package and the LM285-1.2/LM385-1.2 are also available in a low-cost TO-92 molded package, as well as SO and SOT-23. The LM185-1.2 is also available in a hermetic leadless chip carrier package.

Features

- $\pm 1\%$ and 2% initial tolerance
- Operating current of 10 μ A to 20mA
- 1 Ω dynamic impedance
- Low temperature coefficient
- Low voltage reference — 1.235V
- 2.5V device and adjustable device also available
- LM185-2.5 series and LM185 series, respectively

Connection Diagrams

TO-92
Plastic Package (Z)



00551810

Bottom View

Order Number LM285Z-1.2,
LM285BXZ-1.2, LM285BYZ-1.2
LM385Z-1.2, LM385BZ-1.2
LM385BXZ-1.2 or LM385BYZ-1.2
See NS Package Number Z03A

SOT23



00551833

* Pin 3 is attached to the Die Attach Pad (DAP) and should be connected to Pin 2 or left floating.

Order Number LM385M3-1.2
See NS Package Number MF03A

MM74HC4060 14 Stage Binary Counter

General Description

The MM74HC4060 is a high speed binary ripple carry counter. These counters are implemented utilizing advanced silicon-gate CMOS technology to achieve speed performance similar to LS-TTL logic while retaining the low power and high noise immunity of CMOS.

The MM74HC4060 is a 14-stage counter, which device increments on the falling edge (negative transition) of the input clock, and all their outputs are reset to a low level by applying a logical high on their reset input. The MM74HC4060 also has two additional inputs to enable easy connection of either an RC or crystal oscillator.

This device is pin equivalent to the CD4060. All inputs are protected from damage due to static discharge by protection diodes to V_{CC} and ground.

Features

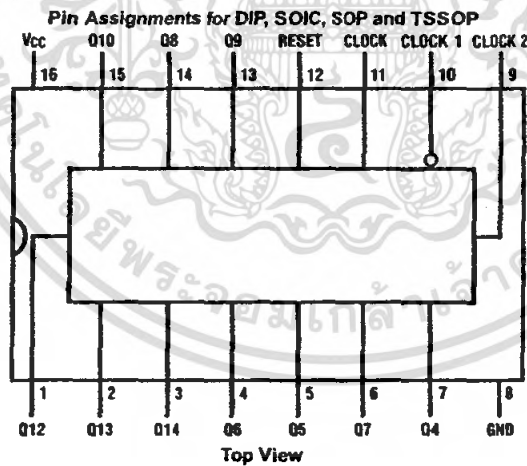
- Typical propagation delay: 16 ns
- Wide operating voltage range: 2–6V
- Low input current: 1 μ A maximum
- Low quiescent current: 80 μ A maximum (74 Series)
- Output drive capability: 10 LS-TTL loads

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
MM74HC4060M	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
MM74HC4060SJ	M16D	16-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
MM74HC4060MTC	MTC16	16-Lead Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP), JEDEC MO-153, 4.4mm Wide
MM74HC4060N	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Absolute Maximum Ratings (Note 1)			Recommended Operating Conditions				
(Note 2)					Min	Max	Units
Supply Voltage (V_{CC})	-0.5 to +7.0V		Supply Voltage (V_{CC})		2	6	V
DC Input Voltage (V_{IN})	-1.5 to $V_{CC} + 1.5V$		DC Input or Output Voltage	(V_{IN}, V_{OUT})	0	V_{CC}	V
DC Output Voltage (V_{OUT})	-0.5 to $V_{CC} + 0.5V$		Operating Temperature Range (T_A)		-40	+85	°C
Clamp Diode Current (I_{CD})	±20 mA		Input Rise or Fall Times	(t_r, t_f) $V_{CC} = 2.0V$		1000	ns
DC Output Current, per pin (I_{OUT})	±25 mA			$V_{CC} = 4.5V$		500	ns
DC V_{CC} or GND Current, per pin (I_{CC})	±50 mA			$V_{CC} = 6.0V$		400	ns
Storage Temperature Range (T_{STG})	-65°C to +150°C		Note 1: Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.				
Power Dissipation (P_D)			Note 2: Unless otherwise specified all voltages are referenced to ground.				
(Note 3)	600 mW		Note 3: Power Dissipation temperature derating: plastic "V" package: -12 mW/°C from 65°C to 85°C.				
S.O. Package only	500 mW						
Lead Temperature (T_L)							
(Soldering 10 seconds)	260°C						

DC Electrical Characteristics (Note 4)									
Symbol	Parameter	Conditions	V_{CC}	$T_A = 25^\circ C$			Units		
				Typ	Guaranteed Limits				
V_{IH}	Minimum HIGH Level Voltage (Not Applicable to Pins 9 & 10)		2.0V		1.5	1.5	1.5	V	
			4.5V		3.15	3.15	3.15	V	
			6.0V		4.2	4.2	4.2	V	
V_{IL}	Maximum LOW Level Input Voltage (Not Applicable to Pins 9 & 10)		2.0V		0.5	0.5	0.5	V	
			4.5V		1.35	1.35	1.35	V	
			6.0V		1.8	1.8	1.8	V	
V_{OH}	Minimum HIGH Level Output Voltage	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $ I_{OUT} \leq 20 \mu A$	2.0V	2.0	1.9	1.9	1.9	V	
			4.5V	4.5	4.4	4.4	4.4	V	
			6.0V	6.0	5.9	5.9	5.9	V	
		Except Pins 9 & 10	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $ I_{OUT} \leq 4.0$ mA $ I_{OUT} \leq 5.2$ mA	4.5V	4.2	3.98	3.84	3.7	V
				6.0V	5.7	5.48	5.34	5.2	V
		Pins 9 & 10	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $ I_{OUT} = 0.4$ mA $ I_{OUT} = 0.52$ mA			3.98	3.84	3.7	V
				5.48	5.34	5.2	V		
V_{OL}	Maximum LOW Level Output Voltage	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $ I_{OUT} \leq 20 \mu A$	2.0V	0	0.1	0.1	0.1	V	
			4.5V	0	0.4	0.1	0.1	V	
			6.0V	0	0.1	0.1	0.1	V	
		Except Pins 9 & 10	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $ I_{OUT} \leq 4.0$ mA $ I_{OUT} \leq 5.2$ mA	4.5V	0.2	0.26	0.33	0.4	V
				6.0V	0.2	0.26	0.33	0.4	V
		Pins 9 & 10	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $ I_{OUT} = 0.4$ mA $ I_{OUT} = 0.52$ mA			0.26	0.33	0.4	V
				0.26	0.33	0.4	V		
I_{IH}	Maximum Input Current	$V_{IN} = V_{CC}$ or GND	6.0V		±0.1	±1.0	±1.0	μA	
I_{CC}	Maximum Quiescent Supply Current	$V_{IN} = V_{CC}$ or GND $I_{OUT} = 0 \mu A$	6.0V		8.0	80	160	μA	

Note 4: For a power supply of 5V ±10% the worst case output voltages (V_{OH} and V_{OL}) occur for HC at 4.5V. Thus the 4.5V values should be used when designing with this supply. Worst case V_{IH} and V_{IL} occur at $V_{CC} = 5.5V$ and 4.5V respectively. (The V_{IH} value at 5.5V is 3.85V.) The worst case leakage current (I_{IH} , I_{CC} , and I_{OZ}) occur for CMOS at the higher voltage and so the 6.0V values should be used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics

$V_{CC} = 5V$, $T_A = 25^\circ C$, $C_L = 15$ pF, $t_r = t_f = 6$ ns

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Guaranteed Limit	Units
f_{MAX}	Maximum Clock Frequency			30	MHz
t_{PHL} , t_{PLH}	Maximum Propagation Delay to Q_4	(Note 5)	40	20	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	Maximum Propagation Delay to any Q		16	40	ns
t_{REM}	Minimum Reset Removal Time		10	20	ns
t_W	Minimum Pulse Width		10	16	ns

AC Electrical Characteristics

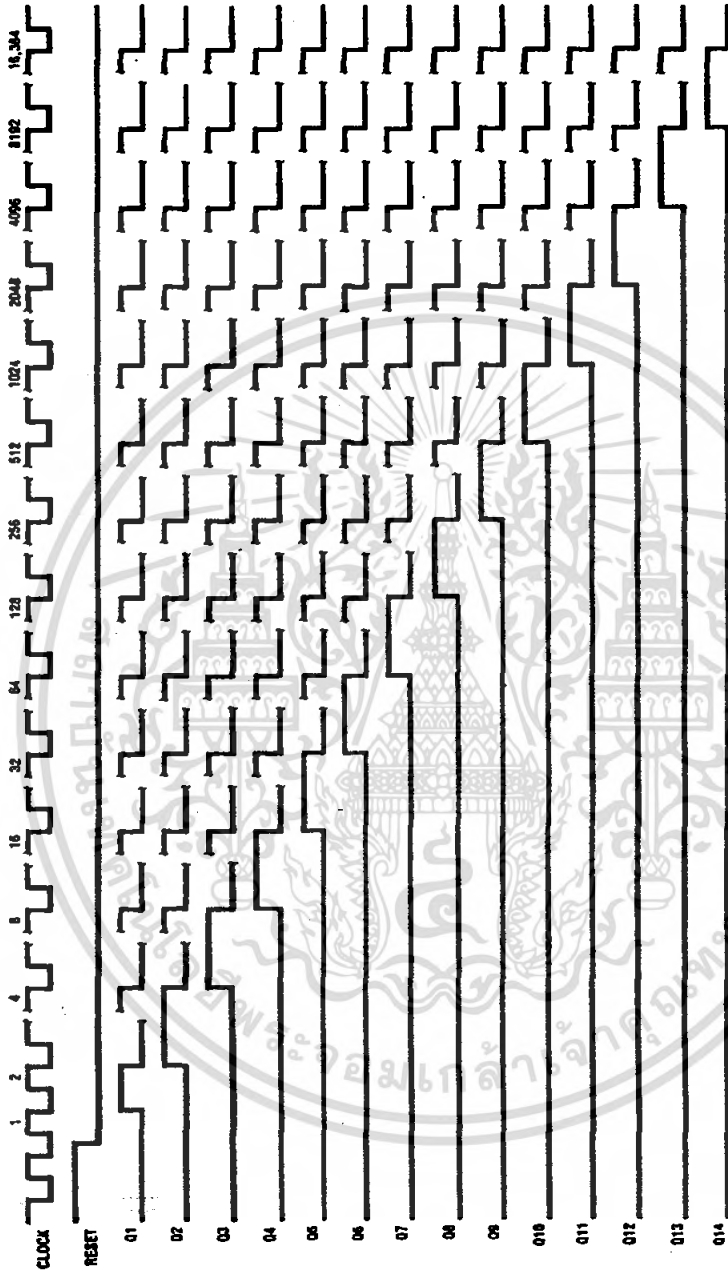
$V_{CC} = 2.0V$ to $6.0V$, $C_L = 50$ pF, $t_r = t_f = 6$ ns (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Conditions	V_{CC}	$T_A = 25^\circ C$			Units	
				Typ	Guaranteed Limits			
f_{MAX}	Maximum Operating Frequency		2.0V		6	5	4	MHz
			4.5V		30	24	20	MHz
			6.0V		35	28	24	MHz
t_{PHL} , t_{PLH}	Maximum Propagation Delay Clock to Q_4		2.0V	120	380	475	171	ns
			4.5V	42	76	95	114	ns
			6.0V	35	65	81	97	ns
t_{PHL}	Maximum Propagation Delay Reset to any Q		2.0V	72	240	302	358	ns
			4.5V	24	48	60	72	ns
			6.0V	20	41	51	61	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	Maximum Propagation Delay Between Stages Q_n to Q_{n+1}		2.0V		125	156	188	ns
			4.5V		25	31	38	ns
			6.0V		21	26	31	ns
t_{REM}	Minimum Reset Removal Time		2.0V		100	125	150	ns
			4.5V		20	25	30	ns
			6.0V		17	21	25	ns
t_W	Minimum Pulse Width		2.0V		80	100	120	ns
			4.5V		16	20	24	ns
			6.0V		14	17	20	ns
t_r , t_f	Maximum Input Rise and Fall Time		2.0V		1000	1000	1000	ns
			4.5V		500	500	500	ns
			6.0V		400	400	400	ns
t_{THL} , t_{TLH}	Maximum Output Rise and Fall Time		2.0V	30	75	95	110	ns
			4.5V	10	15	19	22	ns
			6.0V	9	13	16	19	ns
C_{PD}	Power Dissipation Capacitance (Note 6)	(per package)		55				pF
C_{IN}	Maximum Input Capacitance			5	10	10	10	pF

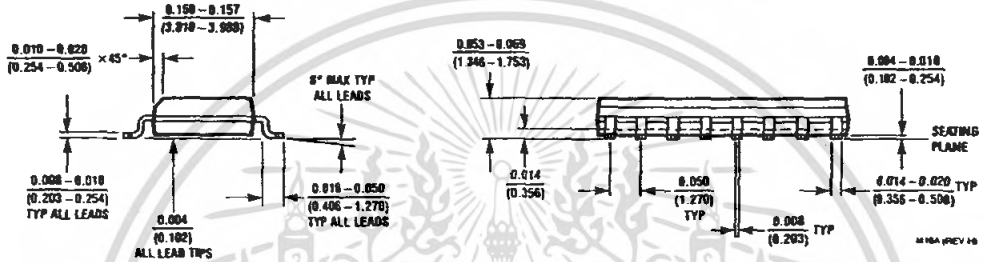
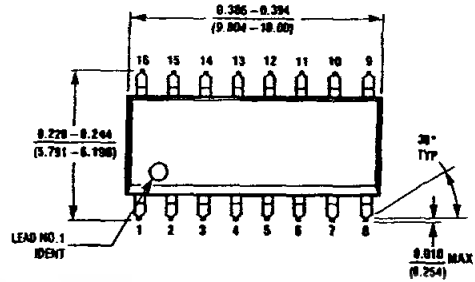
Note 5: Typical Propagation delay time to any output can be calculated using: $t_p = 17 + 12(N-1)$ ns; where N is the number of the output, Q_n , at $V_{CC} = 5V$.

Note 6: C_{PD} determines the no load dynamic power consumption, $P_D = C_{PD} V_{CC}^2 f_{HCC} V_{CC}$, and the no load dynamic current consumption, $I_s = C_{PD} V_{CC} f + I_{CC}$.

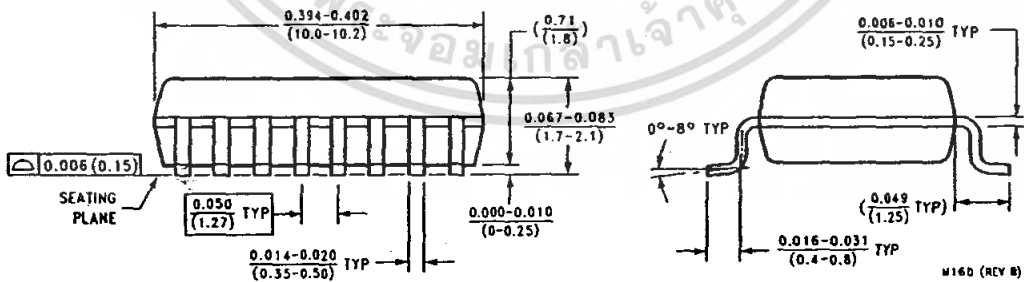
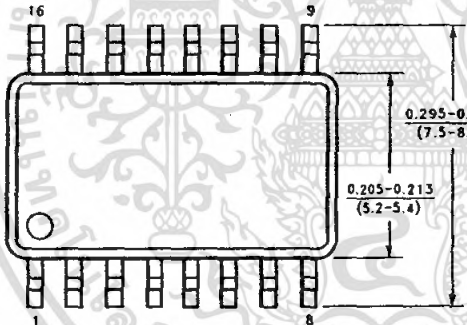
Timing Diagram



Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



**16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
Package Number M16A**



**16-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
Package Number M16D**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DESCRIPTION

The LM317 are adjustable 3-terminal positive-voltage regulators capable of supplying 1.5A over a differential voltage range of 3V to 40V. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Both input and output regulation is better than standard fixed regulators.

In addition to higher performance than fixed regulators, these regulators offer full overload protection available only in integrated circuits. Included on the chip are current limit, thermal overload protection, and safe-area protection. All overload protection circuit remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected. Normally, no capacitors are needed unless the device is situated far from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response.

The primary applications of each of these regulators is that of a programmable output regulator, but by connecting a fixed resistor between adjustment terminal and the output terminal, each device can be used as a precision current regulator. Even though the regulator is floating and senses only the input-to-output differential voltage, use of these devices to regulate output voltages that would cause the maximum-rated differential voltage to be exceeded if the output became shorted is not recommended.

FEATURES

Output Voltage Range Adjustable from 1.2 V to 37V

Output Current Capability of 1.5A Max

Input Regulation Typically 0.01% Per Input-Volt Change

Output Regulation Typically 0.1%

Peak Output Current Constant over Temperature Range of Regulator

Popular 3-Lead TO-220 AB Package

Ripple Rejection Typically 80 dB



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Output-Output Voltage Differential $V_i - V_o$

40V

Operating Junction Temperature Range

0°C to +125°C

Continuous total dissipation at 25°C free-air temperature

2000mW

Continuous total dissipation at (or below) 25°C case temperature

15W

Storage Temperature

-65°C to +150°C

Lead Temperature 1.6 mm from case for 10 seconds

260°C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

	MIN	MAX	UNIT
OUTPUT CURRENT, I_o	10	1500	mA
OPERATING VIRTUAL JUNCTION TEMPERATURE, T_j	0	70	°C

Wing Shing Computer Components Co., (H.K.) Ltd.
Homepage: <http://www.wingshing.com>

Tel: (852) 2341 9276 Fax: (852) 2797 8153
E-mail: wsccltd@hkstar.com

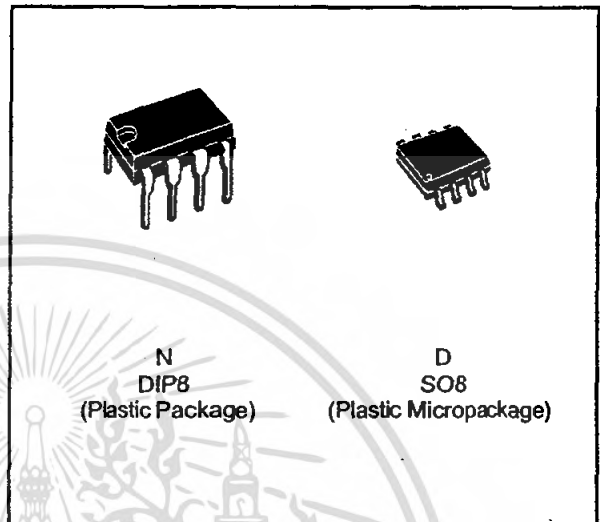
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TL081 TL081A - TL081B

GENERAL PURPOSE J-FET SINGLE OPERATIONAL AMPLIFIER

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : $16V/\mu s$ (typ)



DESCRIPTION

The TL081, TL081A and TL081B are high speed J-FET input single operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

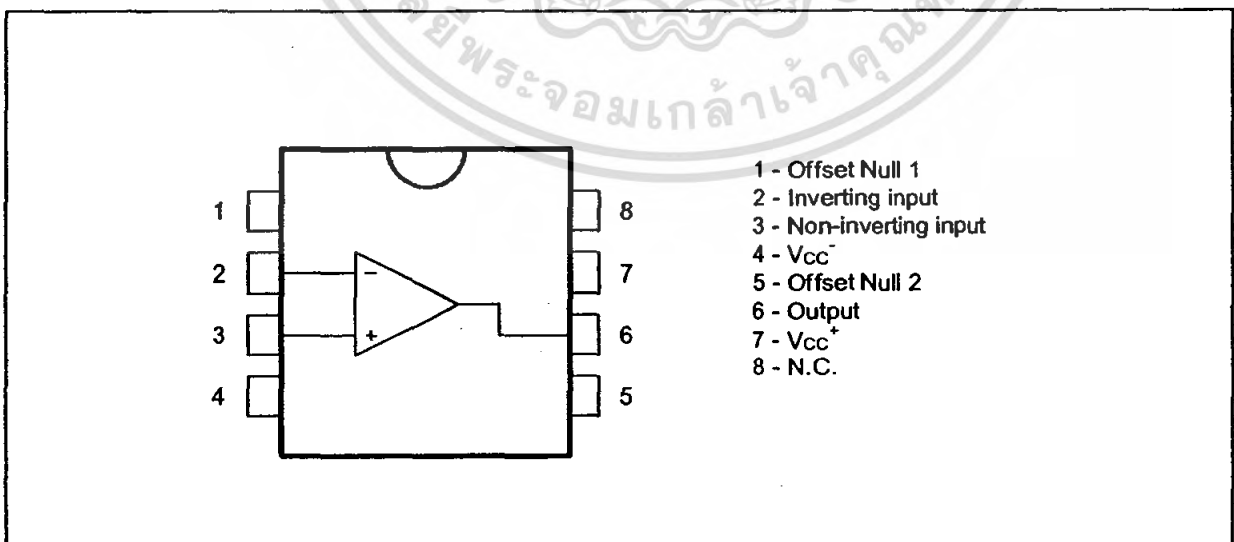
The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

ORDER CODES

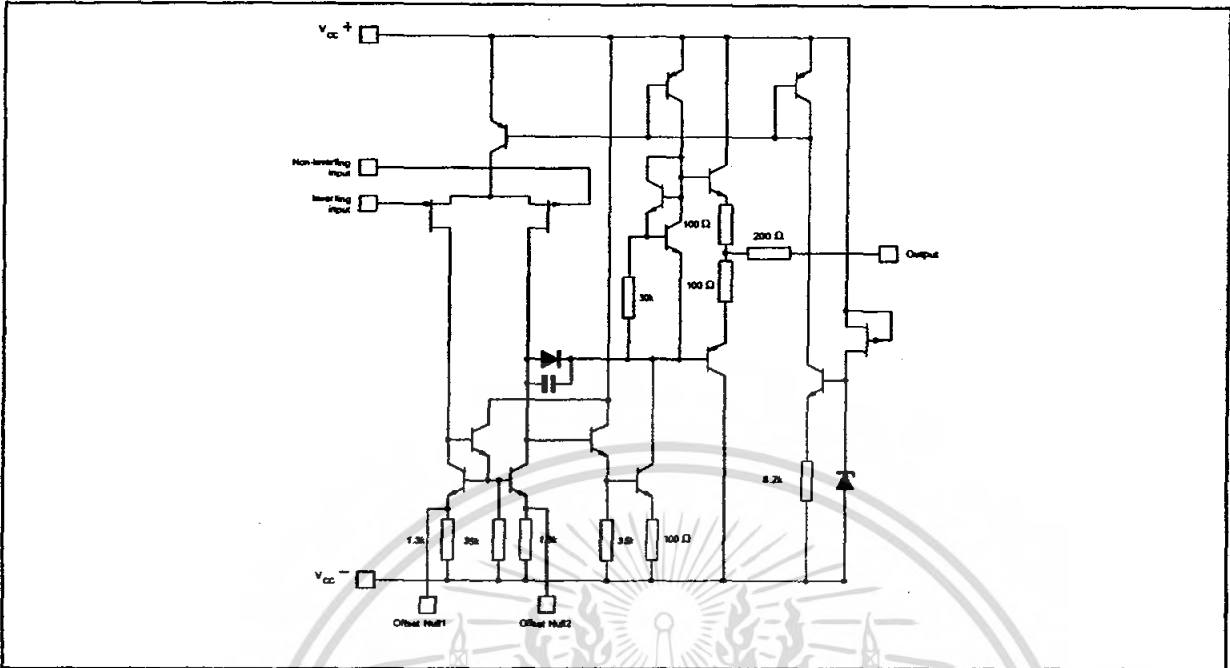
Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
TL081M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•
TL081A/BI	-40°C, +105°C	•	•
TL081C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•

Examples : TL081CD, TL081IN

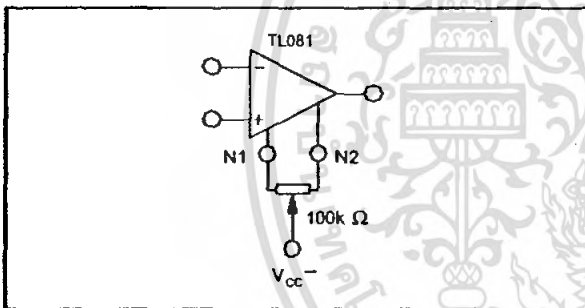
PIN CONNECTIONS (top view)



SCHEMATIC DIAGRAM



INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUITS



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit	
V _{cc}	Supply Voltage - (note 1)	±18	V	
V _i	Input Voltage - (note 3)	±15	V	
V _{id}	Differential Input Voltage - (note 2)	±30	V	
P _{tot}	Power Dissipation	680	mW	
	Output Short-circuit Duration - (note 4)	Infinite		
T _{oper}	Operating Free Air Temperature Range	TL081C,AC,BC TL081I,AI,BI TL081M,AM,BM	0 to 70 -40 to 105 -55 to 125	°C
T _{stg}	Storage Temperature Range		-65 to 150	°C

- Notes :
1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{cc}⁺ and V_{cc}⁻.
 2. Differential voltages are at the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
 3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
 4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V_{CC} = ±15V, T_{amb} = 25°C (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TL081,M,AC,AI, AM,BC,BI,BM			TL081C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V _{io}	Input Offset Voltage (R _S = 50Ω) T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}		3 3 1	10 6 3 13 7 5		3 13		mV
DV _{io}	Input Offset Voltage Drift		10			10		μV/°C
I _{io}	Input Offset Current * T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}		5	100 4		5 100 4		pA nA
I _{ib}	Input Bias Current * T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}		20	200 20		20 400 20		pA nA
A _{vd}	Large Signal Voltage Gain (R _L = 2kΩ, V _O = ±10V) T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}	50 25	200		25 15	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio (R _S = 50Ω) T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}	80 80	86		70 70	86		dB
I _{CC}	Supply Current, no Load T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}		1.4	2.5 2.5		1.4 2.5 2.5		mA
V _{icm}	Input Common Mode Voltage Range	±11	+15 -12		±11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio (R _S = 50Ω) T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}	80 80	86		70 70	86		dB
I _{OS}	Output Short-circuit Current T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}	10 10	40	60 60	10 10	40 60 60		mA
±V _{OPP}	Output Voltage Swing T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}		10 12 12 10 12	12 13.5		10 12 13.5 10 12		V
SR	Slew Rate (V _{in} = 10V, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, unity gain)	8	16		8	16		V/μs
t _r	Rise Time (V _{in} = 20mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, unity gain)		0.1			0.1		μs
K _{OV}	Overshoot (V _{in} = 20mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, unity gain)		10			10		%
GBP	Gain Bandwidth Product (f = 100kHz, T _{amb} = 25°C, V _{in} = 10mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF)	2.5	4		2.5	4		MHz
R _i	Input Resistance		10 ¹²			10 ¹²		Ω
THD	Total Harmonic Distortion (f = 1kHz, A _V = 20dB, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, V _O = 2V _{PP})		0.01			0.01		%
e _n	Equivalent Input Noise Voltage (f = 1kHz, R _S = 100Ω)		15			15		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
∅ _m	Phase Margin		45			45		Degrees

* The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F62X EEPROM Memory Programming Specification

This document includes the programming specifications for the following devices:

- PIC16F627
- PIC16F628
- PIC16LF627
- PIC16LF628

Note: All references to PIC16F62X also apply to PIC16LF62X.

1.0 PROGRAMMING THE PIC16F62X

The PIC16F62X is programmed using a serial method. The Serial mode will allow the PIC16F62X to be programmed while in the users system. This allows for increased design flexibility. This programming specification applies to PIC16F62X devices in all packages.

PIC16F62X devices may be programmed using a single +5 volt supply (Low Voltage Programming mode).

1.1 Hardware Requirements

The PIC16F62X requires one programmable power supply for VDD (4.5V to 5.5V) and a VPP of 12V to 14V, or VPP of 4.5V to 5.5V, when using low voltage. Both supplies should have a minimum resolution of 0.25V.

1.2 Programming Algorithm Requires Variable VDD

The PIC16F62X uses an intelligent algorithm. The algorithm calls for program verification at VDDMIN as well as VDDMAX. Verification at VDDMIN ensures good "erase margin". Verification at VDDMAX ensures good "program margin".

The actual programming must be done with VDD in the VDDP range.

VDDP = VCC range required during programming.

VDDMIN = minimum operating VDD spec for the part.

VDDMAX = maximum operating VDD spec for the part.

Programmers must verify the PIC16F62X is at its specified VDDMAX and VDDMIN levels. Since Microchip may introduce future versions of the PIC16F62X with a broader VDD range, it is best that these levels are user selectable (defaults are ok).

Note: Any programmer not meeting these requirements may only be classified as a "prototype" or "development" programmer, not a "production" quality programmer.

1.3 Programming Mode

The Programming mode for the PIC16F62X allows programming of user program memory, data memory, special locations used for ID, and the configuration word.

PIC16F62X

Pin Diagram

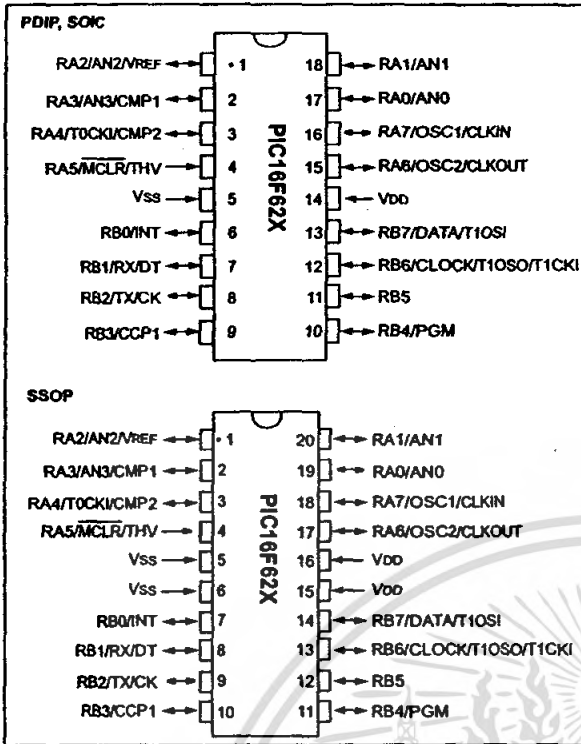


TABLE 1-1: PIN DESCRIPTIONS (DURING PROGRAMMING): PIC16F62X

Pin Name	During Programming		
	Function	Pin Type	Pin Description
RB4	PGM	I	Low Voltage Programming input if configuration bit equals 1
RB6	CLOCK	I	Clock input
RB7	DATA	I/O	Data input/output
MCLR	Programming Mode	P*	Program Mode Select
VDD	VDD	P	Power Supply
VSS	VSS	P	Ground

Legend: I = Input, O = Output, P = Power

- * In the PIC16F62X, the programming high voltage is internally generated. To activate the Programming mode, high voltage needs to be applied to MCLR input. Since the MCLR is used for a level source, this means that MCLR does not draw any significant current.

2.0 PROGRAM DETAILS

2.1 User Program Memory Map

The user memory space extends from 0x0000 to 0x1FFF. In Programming mode, the program memory space extends from 0x0000 to 0x3FFF, with the first half (0x0000-0x1FFF) being user program memory and the second half (0x2000-0x3FFF) being configuration memory. The PC will increment from 0x0000 to 0x1FFF and wrap to 0x000, 0x2000 to 0x3FFF and wrap around to 0x2000 (not to 0x0000). Once in configuration memory, the highest bit of the PC stays a '1', thus always pointing to the configuration memory. The only way to point to user program memory is to reset the part and re-enter Program/Verify mode as described in Section 2.3.

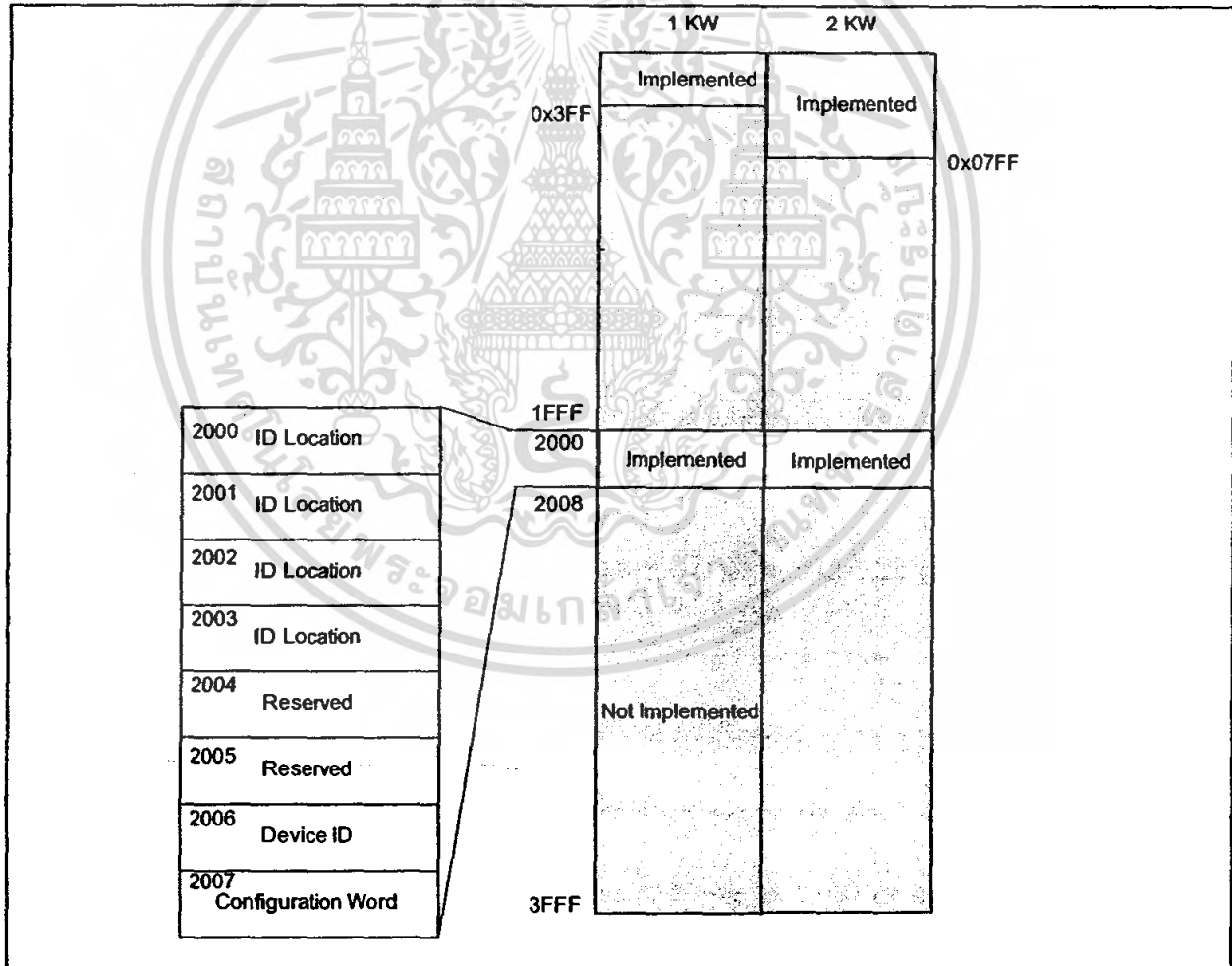
In the configuration memory space, 0x2000-0x200F are physically implemented. However, only locations 0x2000 through 0x2007 are available. Other locations are reserved. Locations beyond 0x200F will physically access user memory (See Figure 2-1).

2.2 User ID Locations

A User may store identification information (ID) in four User ID locations. The User ID locations are mapped in [0x2000 : 0x2003]. These locations read out normally, even after the code protection is enabled.

- Note 1:** All other locations in PICmicro® MCU configuration memory are reserved and should not be programmed.
- 2:** Only the low order 4 bits of the User ID locations may be included in the device checksum. See Section 3.1 for checksum calculation details.

FIGURE 2-1: PROGRAM MEMORY MAPPING



4.0 PROGRAM/VERIFY MODE ELECTRICAL CHARACTERISTICS

4.1 Embedding Data EEPROM Contents in HEX File

The programmer should be able to read data EEPROM information from a HEX file, and conversely (as an option) write data EEPROM contents to a HEX file, along with program memory information and fuse information.

The 128 data memory locations are logically mapped starting at address 0x2100. The format for data memory storage is one data byte per address location, LSB aligned.

TABLE 4-1: AC/DC CHARACTERISTICS TIMING REQUIREMENTS FOR PROGRAM/VERIFY MODE

AC/DC Characteristics	Standard Operating Conditions (unless otherwise stated)					
	Operating Temperature: $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ Operating Voltage: $4.5\text{V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{V}$					
Characteristics	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions/Comments
General						
VDD level for word operations, program memory	VDD	2.0		5.5	V	
VDD level for word operations, data memory	VDD	2.0		5.5	V	
VDD level for bulk erase/write operations, program and data memory	VDD	4.5		5.5	V	
High voltage on $\overline{\text{MCLR}}$ and RA4/T0CKI for Programming mode entry	VIHH	$V_{DD} + 3.5$		13.5	V	
$\overline{\text{MCLR}}$ rise time (V_{SS} to V_{IH}) for Programming mode entry	TVHHR			1.0	μs	
Hold time after $V_{PP}\uparrow$	Tppdp	5			μs	
(CLOCK, DATA) input high level	VIH1	$0.8 V_{DD}$			V	Schmitt Trigger input
(CLOCK, DATA) input low level	VIL1			$0.2 V_{DD}$	V	Schmitt Trigger input
CLOCK, DATA setup time before $\overline{\text{MCLR}}\uparrow$	Tset0	100			ns	
CLOCK, DATA hold time after $\overline{\text{MCLR}}\uparrow$	Thld0	5			μs	
Serial Program/Verify						
Data in setup time before clock \downarrow	Tset1	100			ns	
Data in hold time after clock \downarrow	Thld1	100			ns	
Data input not driven to next clock input (delay required between command/data or command/command)	Tdly1	1.0			μs	
Delay between clock \downarrow to clock \uparrow of next command or data	Tdly2	1.0			μs	
Clock \uparrow to data out valid (during read data)	Tdly3			80	ns	
Erase cycle time	Tera		2	5	ms	
Programming cycle time	Tprog		4	8	ms	
Time delay from program to compare (HV discharge time)	Tdis	0.5			μs	

TOSHIBA TRANSISTOR SILICON NPN EPITAXIAL TYPE (PCT PROCESS)

2SC1815

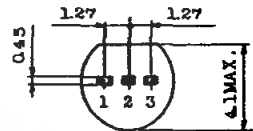
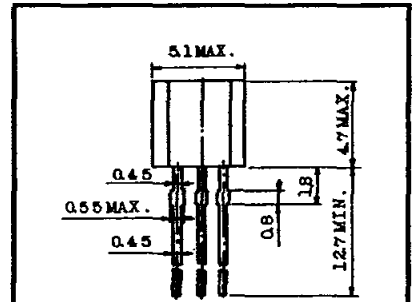
AUDIO FREQUENCY GENERAL PURPOSE AMPLIFIER APPLICATIONS.
DRIVER STAGE AMPLIFIER APPLICATIONS.

Unit in mm

- High Voltage and High Current
: $V_{CEO} = 50V$ (Min.), $I_C = 150mA$ (Max.)
- Excellent h_{FE} Linearity
: $h_{FE(2)} = 100$ (Typ.) at $V_{CE} = 6V$, $I_C = 150mA$
: $h_{FE} (I_C = 0.1mA) / h_{FE} (I_C = 2mA) = 0.95$ (Typ.)
- Low Noise : $NF = 1dB$ (Typ.) at $f = 1kHz$
- Complementary to 2SA1015 (O, Y, GR class)

MAXIMUM RATINGS ($T_a = 25^\circ C$)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	60	V
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	50	V
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	5	V
Collector Current	I_C	150	mA
Base Current	I_B	50	mA
Collector Power Dissipation	P_C	400	mW
Junction Temperature	T_j	125	$^\circ C$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55~125	$^\circ C$



1. EMITTER
2. COLLECTOR
3. BASE

JEDEC	TO-92
EIAJ	SC-43
TOSHIBA	2-5F1B

Weight : 0.21g

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_a = 25^\circ C$)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Collector Cut-off Current	I_{CBO}	$V_{CB} = 60V, I_E = 0$	—	—	0.1	μA
Emitter Cut-off Current	I_{EBO}	$V_{EB} = 5V, I_C = 0$	—	—	0.1	μA
DC Current Gain	$h_{FE(1)}$ (Note)	$V_{CE} = 6V, I_C = 2mA$	70	—	700	
	$h_{FE(2)}$	$V_{CE} = 6V, I_C = 150mA$	25	100	—	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 100mA, I_B = 10mA$	—	0.1	0.25	V
Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$	$I_C = 100mA, I_B = 10mA$	—	—	1.0	V
Transition Frequency	f_T	$V_{CE} = 10V, I_C = 1mA$	80	—	—	MHz
Collector Output Capacitance	C_{ob}	$V_{CB} = 10V, I_E = 0, f = 1MHz$	—	2.0	3.5	pF
Base Intrinsic Resistance	$r_{bb'}$	$V_{CE} = 10V, I_E = -1mA$ $f = 30MHz$	—	50	—	Ω
Noise Figure	NF	$V_{CE} = 6V, I_C = 0.1mA$ $f = 1kHz, R_G = 10k\Omega$	—	1.0	10	dB

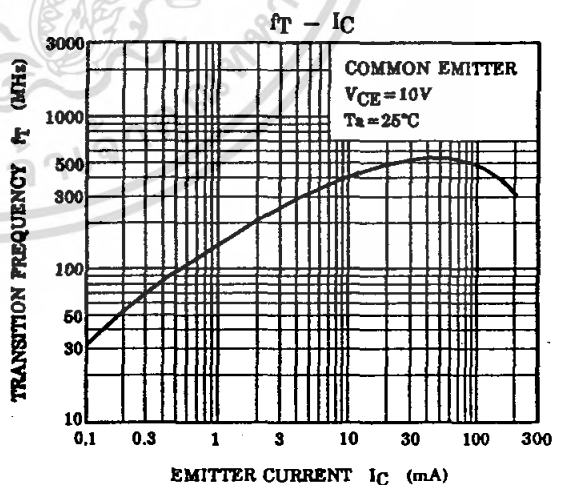
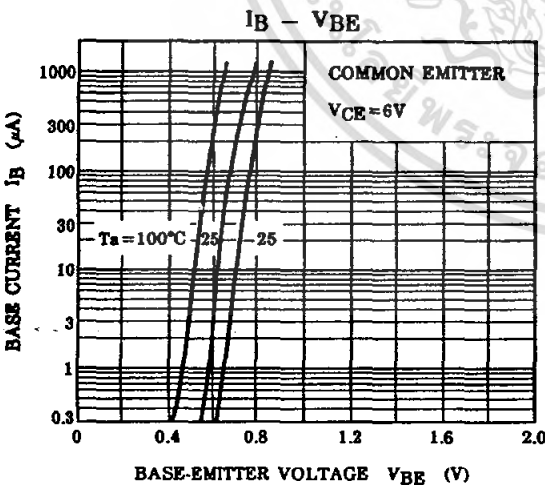
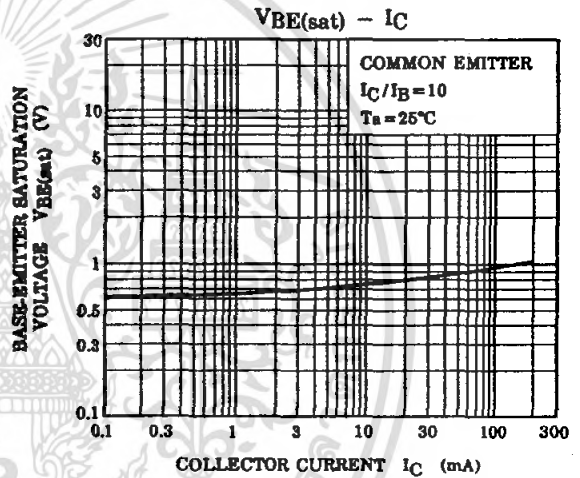
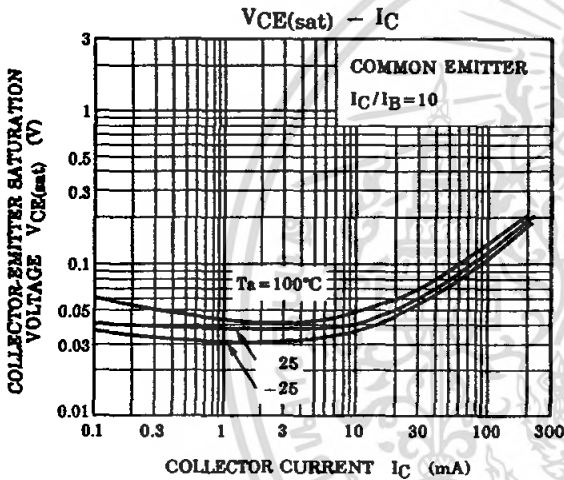
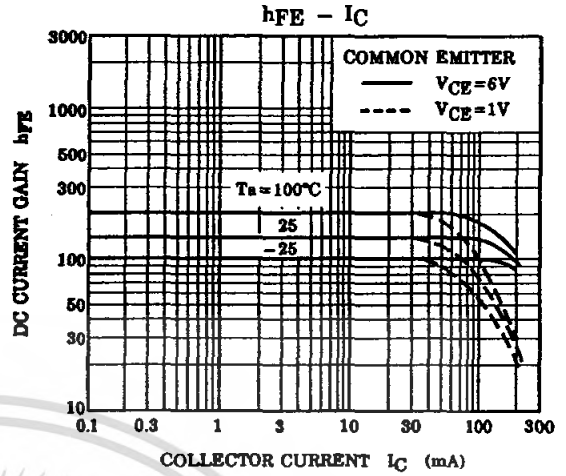
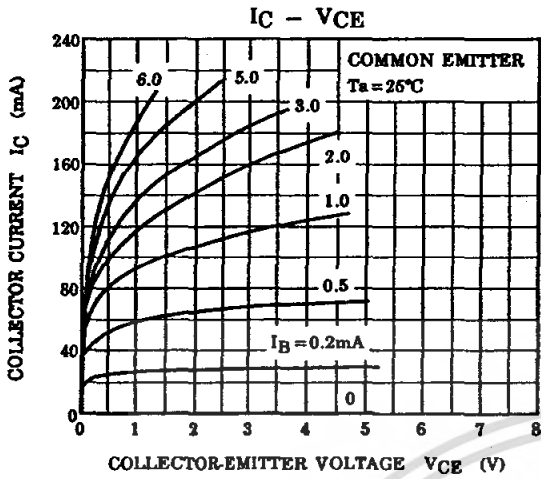
Note : h_{FE} Classification 0 : 70~140 Y : 120~240 GR : 200~400 BL : 350~700

961001EAA2

● TOSHIBA is continually working to improve the quality and the reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to observe standards of safety, and to avoid situations in which a malfunction or failure of a TOSHIBA product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook.

1997-04-10 1/3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



961001EAAZ'

- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.

```

;*****
; Program Tiner Overflow 5ms *
;*****

list    p=16f628      ; list directive to define processor

#include <p16f628.inc> ; processor specific variable definitions

CBLOCK  0x20          ;
FIVE_MS          ; variable
SEND          ;
ENDC          ;

org    0x000        ;
goto   In_TMR0     ;
org    0x004        ; Interrupt vector
goto   ISR         ;

;*****
; Interrupt service Routine *
;*****

ISR          ;
nop          ; Accuracy delay
bcf    INTCON,T0IF ; Clear Timer0 interrupt flag
movlw  .217       ; Load 250 times for timer
movwf  TMR0       ;
; decrease SIX_MS counter register
;
btfsc  PORTA,0    ;
goto   clear     ;
bsf    PORTA,0    ;
bsf    SEND,0     ;
goto   Ret2      ;
clear          ;
bcf    PORTA,0    ;
bcf    SEND,0     ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Ret2          ;
retfie       ; Return from interrupt
;*****
; Initial prot register      *
;*****
In_TMR0      ;
clrf  PORTA      ; porta == 0
movlw  0x07      ; off comparator mode
movwf  CMCON      ;
banksel TRISA      ; select bank 1
movlw  b'11011110' ; RA0 as output
movwf  TRISA      ; Porta 0 == output
movlw  b'00000111' ; **Use Timer0 and set prescaler 1:2
movwf  OPTION_REG ;
banksel TMR0      ; select bank 0
movlw  .217      ; Load 250 times to TMR0
movwf  TMR0      ;
;
bcf  INTCON,T0IF ; Claer Timer0 interrupt flag
bsf  INTCON,GIE  ; Enable global interrupt
bsf  INTCON,T0IE ; Enable Timer0 interrupt
bcf  PORTA,0     ; Clear RA0
;*****
In_USART     ; Initial Usart tx
banksel SPBRG ; select Bank 1
movlw  .25      ;
movwf  SPBRG    ; set 9600 of buad rate
bcf  TXSTA,SYNC ; set asynchronous mode
bsf  TXSTA,BRGH ; set high speed buad rate
bsf  TXSTA,TXEN ; Enable data transmission
banksel RCSTA ; Select Bank 0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

bsf    RCSTA,SPEN    ; Enable Serial port
clrf   SEND          ;
;
;*****
; Main Program      *
;*****
Main_Loop          ;
btfsc  SEND,0       ;
call   Usart_send   ;
goto   Main_Loop    ;
;*****
; Program SubRoutine *
;*****
Usart_send         ;
banksel TXSTA       ; select bank 1
btfss  TXSTA,TRMT   ; if <trmt == 1> goto return
goto   $-1          ;
bcf    STATUS,RP0   ; select bank 0
movlw  0x41         ;
movwf  TXREG        ; send "A" to computer
return          ;
end              ;
;*****

```

