

เทคโนโลยี RFID 13.56 MHz

RFID 13.56 MHz



โดย

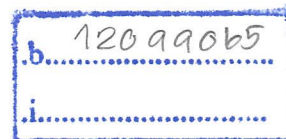
นายชัยวัฒน์ ตามี
นายอัคริย์เวช กลับศรี
นายวรพันธ์ ตั้งจิตเป็นธรรม

๒๖๖.

๒๕๕๑

๑๖๕๑

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**104245**
วัน,เดือน,ปี 3-0 ต.ค. 2552



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เทคโนโลยี RFID 13.56 MHz

RFID 13.56 MHz

โดย

นายชัยวัฒน์ ตามิ 49015231

นายอัจฉริย์เวช กลัปศรี 49015263

นายวรพันธ์ ตั้งจิตเป็นธรรม 49015246

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ประภากร สุวรรณะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

ปริญญาโทปีการศึกษา 2551

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เทคโนโลยี ความถี่ 13.56 MHz

RFID 13.56 MHz

จัดทำโดย

นายชัยวัฒน์ ตามิ รหัส 49015231

นายอัจฉริยเวช กลับศรี รหัส 49015263

นายวรพันธ์ ตั้งจิตเป็นธรรม รหัส 49015246



(ผศ.ประภากร สุวรรณะ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

RFID ความถี่ 13.56 MHz

นายชัยวัฒน์ ตามิ รหัส 49015231

นายอัจฉริย์เวช กลับศรี รหัส 49015263

นายวรพันธ์ ตั้งจิตเป็นธรรม รหัส 49015246

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ประภากร สุวรรณะ

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยี RFID ได้มีความแพร่หลายมากขึ้นในวงการอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นผลมาจากความสะดวกในการใช้งาน รวมถึงประสิทธิภาพในการส่งข้อมูล อีกทั้งยังมีรูปแบบการใช้งานที่สามารถส่งข้อมูลแบบไร้สาย ซึ่งมีความแตกต่างจากระบบอื่นๆ ย่านความถี่ที่ใช้คือย่าน 13.56 MHz คลื่นพาห้ร่ง ที่ความถี่ 847.5 KHz โดยการมอดูเลทแบบ ASK ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนประกอบของเครื่องอ่าน (Reader) และส่วนของลูกข่าย (Transponder or Tag) ซึ่งประกอบไปด้วยแหล่งพลังงาน (Power Supply) มอดูเลเตอร์ (Modulator) ดีมอดูเลเตอร์ (Demodulator) PA (Power Amplifier) เป็นตัวส่งผ่านพลังงานที่จะติดต่อสื่อสาร และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมการทำงานของเครื่องอ่านซึ่งใช้ PIC มาประยุกต์ใช้งานในการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่าย และเครื่องอ่าน โครงการนี้ได้ศึกษาขั้นตอนการทำงานของ การส่งพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูก และการรับส่งเพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานในด้านการบันทึกข้อมูลต่างๆ เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน

RFID ความถี่ 13.56 MHz

Mr. Chaiwat Tami ID. 49015222

Mr. Atchariwate Klubsi ID. 49015263

Mr. Vorapun Tangjitpentum ID. 49015246

Assist. Prof. Prapakorn Suwanna (Advisor)

Educational Year 2008

ABSTRACT

Nowaday, RFID is being spread in industrial enterprise since it's convenience and capacity in transferring information as well as it's non-touching qualification which differ from other systems. The frequency at 13.56 MHz is used and sub carrier is used at 847.5 KHz. Modulation is ASK .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 and used microcontroller will to be controlled Reader which used PIC will be applied to use in transferring information between Transponder and Reader. This Thesis emphasizes on power transferring from Reader to Transponder and Transferring-Receiving information. As a result, this well be very useful for recording data.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยี RFID	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขั้นตอนการทำโครงการ	4
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	4
บทที่ 2 เทคโนโลยี Automatic Identification ชนิดต่างๆ	5
2.1 เทคโนโลยี Barcode	6
2.2 เทคโนโลยี Optical Character Recognition	7
2.3 เทคโนโลยี Biometric	8
2.3.1 เทคโนโลยี Fingerprint	9
2.3.2 เทคโนโลยี Voice Recognition	9
2.4 เทคโนโลยี Smartcard	10
2.5 เทคโนโลยี RFID	13
บทที่ 3 ชนิดและประเภทของ RFID	14
3.1 ลักษณะของอุปกรณ์ RFID	14
3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ FDX/HD	14
3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ SEQ	14
3.2 ขนาดข้อมูล (Data Quantity)	15
3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)	16
3.3.1 ยุคความจำแบบ EEPROM	16
3.3.2 ยุคความจำแบบ FRAM	16
3.3.3 ยุคความจำแบบ SRAM	16
3.4 การจัดการลำดับคำสั่ง (Sequence)	17
3.5 แหล่งพลังงาน (Power Supply)	18
3.6 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency Range)	18
3.7 ประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID	18

3.8	ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID	23
3.9	หลักการดำเนินงานพื้นฐานในการติดต่อสื่อสาร	25
บทที่ 4	มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายของเทคโนโลยี RFID	35
4.1	เทคโนโลยี Inductive Coupling	36
4.2	เทคโนโลยี Electromagnetic backscatter Coupling	42
4.3	เทคโนโลยี Close Coupling	44
4.4	เทคโนโลยี Electrical Coupling	46
4.5	เครื่องลูกข่ายที่ใช้การสื่อสารแบบ Sequential	48
4.6	ข้อกำหนดมาตรฐานด้านความถี่	53
บทที่ 5	ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ	55
5.1	ส่วนประกอบของระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ	55
5.2	ลักษณะการทำงานของระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ	55
5.3	การสื่อสารแบบไร้สาย	57
5.4	เทคนิคการมอดูเลต	57
5.5	อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์	60
5.6	ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง	60
5.7	ขั้นตอนการทำงานระหว่าง เครื่องลูกข่าย และ เครื่องอ่าน	62
5.8	ลักษณะการทำงานรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ	62
5.9	เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing	64
5.10	การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	68
5.11	คุณลักษณะของการกำทอน และค่าคุณภาพของการกำทอน	69
5.12	วงจรเรโซแนนซ์	71
5.13	วงจรตีเทกเตอร์ AM	74
บทที่ 6	การออกแบบวงจรในส่วนของ Reader และ Tag	78
6.1	การออกแบบวงจรในส่วนของ Reader	78
6.2	ส่วนของวงจร Reader Coil Driver	79

6.3 การออกแบบวงจรในส่วนของ Tag	80
6.4 การออกแบบวงจร Tag Regulator	81
บทที่ 7 โปรแกรมการติดต่อสื่อสารข้อมูล	88
7.1 โพลีชาร์ตการทำงานของเครื่องอ่าน	88
7.2 ส่วนของโปรแกรมของเครื่องอ่าน	89
7.3 เครื่องลูกข่าย	91
บทที่ 8 การทดลอง	95
การทดลองรับส่งพลังงานระหว่างเครื่องรับและเครื่องลูกข่าย	95
บทที่ 9 บทสรุปและวิจารณ์	99
บรรณานุกรม	100
ภาคผนวก	101

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ตัวอย่างระบบ Auto – ID ในแต่ละประเภท	4
รูปที่ 2.2 แผนผังการทำงานของระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ	8
รูปที่ 2.3 การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล	9
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการทำ ASK	10
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการทำ FSK	10
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการทำ PSK	10
รูปที่ 2.7 รูปแสดงผลของ Load Modulation โดยวิธี ASK	11
รูปที่ 2.8 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential	16
รูปที่ 2.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและคุณภาพการกำทอนของวงจรอนุกรม R-L-C	21
รูปที่ 2.10 วงจรเรโซแนนซ์ที่ใช้ LC	23
รูปที่ 2.11 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	23
รูปที่ 2.12 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์	24
รูปที่ 2.13 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเส้นตรง	27
รูปที่ 2.14 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเป็นลูป	28
รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับระยะทาง r	28
รูปที่ 2.16 โครงสร้างพื้นฐานของตัวอ่านและแท็กส์ในการประยุกต์ใช้ RFID	30
รูปที่ 2.17 ตำแหน่งของสายอากาศของ Tag	31
รูปที่ 2.18 ขดลวดลูปสี่เหลี่ยมหลายชั้น	35
รูปที่ 2.19 ฟลักซ์สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น	36
รูปที่ 2.20 ขดลวดที่ค่า Self-Inductance เท่ากับ L_1 และ L_2	36
รูปที่ 2.21 ทิศทางของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวด	38
รูปที่ 2.22 สัมประสิทธิ์การคลี่ปลิง	39
รูปที่ 2.23 หลักการใช้ไดโอดเป็นตัววัดเทกเตอร์สัญญาณ AM	40
รูปที่ 2.24 วงจรดีเทกเตอร์สัญญาณ AM	41
รูปที่ 2.25 หลักการกรองความถี่ IF	42
รูปที่ 2.26 วงจรเสมือนอิมพีแดนซ์	43
รูปที่ 2.27 วงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์อย่างง่ายที่สุด	45
รูปที่ 2.28 การแมทซ์อิมพีแดนซ์ ระหว่าง R_2 และ R_1	48

	หน้า
รูปที่ 2.29 วงจรเสมือนของสายส่ง	48
รูปที่ 2.30 การคำนวณค่าอิมพีแดนซ์แมทซ์ของสายส่งด้วยวงจร LC	50
รูปที่ 2.31 การคำนวณค่าอิมพีแดนซ์แมทซ์ของสายส่งด้วยวงจร LC (ต่อ)	51
รูปที่ 2.32 กราฟแสดงวงจรขยายคลาส C	52
รูปที่ 2.33 กราฟแสดงการ drive กระแสของวงจรขยายคลาส C	52
รูปที่ 2.34 กราฟแสดงการ drive กระแสของวงจรขยายคลาส C ขณะเกิด overdrive	52
รูปที่ 3.1 Block diagram แสดงการทำงานของวงจรในส่วนของ Reader	53
รูปที่ 3.2 ส่วนของวงจร Modulator ที่ใช้งาน	54
รูปที่ 3.3 ส่วนของวงจร Oscillator และ Power Amplifier Driver ที่ใช้งาน	55
รูปที่ 3.4 ส่วนของวงจร Power Amplifier, Matching Circuit และ Reader Coil	56
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของวงจร Tag	61
รูปที่ 3.6 ส่วนของวงจร Tag Regulator	62
รูปที่ 3.7 Tag Coil ชนิด Rectangular loop	68
รูปที่ 3.8 กราฟแสดง ripple filter เพื่อใช้สำหรับการคำนวณ $R_{L(AC)}$	73
รูปที่ 4.1 วงจร Tag ที่ใช้ในการทดลอง	77

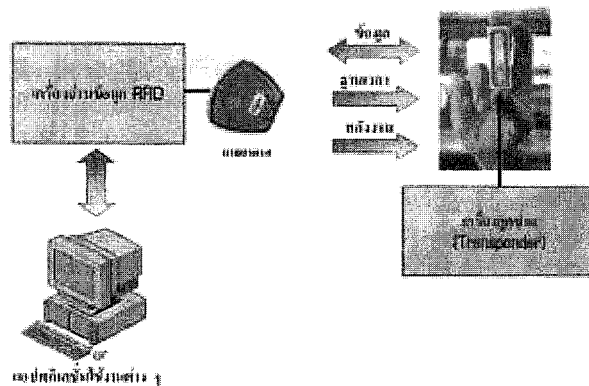
สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ย่านความถี่ต่างๆของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุและการใช้งาน	5
ตารางที่ 2.1 ความถี่มาตรฐานกับ RFID tags แบบ ต่างๆ ที่มา : “RFID Overview”, Greg Leeming, Intel Corporation, 2004	13
ตารางที่ 2.2 ความหลากหลายของชิปที่ใช้บันทึกข้อมูลในเครื่องลูกข่าย RFID แยกตามประเภท 18	
ตารางที่ 2.3 แสดงผลการทำงานของ RFID ที่ความถี่ย่านต่างๆ	19
ตารางที่ 2.4 ค่าแสดงคุณลักษณะของการกำหนดของวงจร R-L-C	22
ตารางที่ 2.5 AWG WIRE CHART	34
ตารางที่ 3.1 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ของวงจร Tag	76
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองเมื่อใช้ Load = 500 Ω	78
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการทดลองเมื่อใช้ Load = 1 k Ω	79
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการทดลองเมื่อใช้ Load = 1.5 k Ω	80
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการทดลองเมื่อใช้ Load = 2 k Ω	81
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงผลการทดลองเมื่อใช้ Load = ∞	82

บทที่ 1

บทนำ

เทคโนโลยีแสดงตัวตนแบบอัตโนมัติหรือที่เรียกเป็นศัพท์ทางวิชาการว่า Automatic Identification หรือ Auto-ID เป็นสิ่งที่ได้รับการพัฒนาเป็นเวลานาน รวมทั้งยังมีการนำมาประยุกต์ใช้งานในชีวิตประจำวันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นในแวดวงอุตสาหกรรม ระบบคลังสินค้า ร้านค้าปลีก โรงงาน หรือแม้กระทั่งในสายการผลิตของอุตสาหกรรมทั่วไป วัตถุประสงค์หลักของเทคโนโลยี Auto-ID มีขึ้นเพื่อใช้แสดงตัวตนของมนุษย์ สัตว์ สินค้า หรือแม้กระทั่งวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ตัวอย่างระบบ Auto-ID เช่น ระบบบาร์โค้ด ซึ่งมีลักษณะเป็นกลุ่มแถบรหัสขนาดต่างๆ กันติดอยู่ตามสินค้าต่างๆ บรรดามาตรฐาน Auto-ID ต่างๆ ที่มีการคิดค้นขึ้นมาล้วนมีความสำคัญในการอำนวยความสะดวกในการทำธุรกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบันทึกระบบฐานข้อมูลอย่างรวดเร็ว แทนที่จะต้องใช้การนับหรือจดบันทึก อันอาจมีโอกาที่จะเกิดความผิดพลาดได้อยู่เสมอ เทคโนโลยี Auto-ID อีกประเภทหนึ่งซึ่งเป็นที่คุ้นเคยในการใช้งานประจำวัน ก็คือเทคโนโลยีสมาร์ทการ์ด ซึ่งอยู่ในรูปของบัตรพลาสติก ภายในบันทึกข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับบริการใช้งานของผู้ออกการ์ดตัวอย่างเช่น SIM ที่ใช้บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับเลขหมาย และรหัสลับต่างๆ สำหรับใช้ติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นการใช้งานมาตรฐาน Auto-ID ที่ได้รับการแพร่หลายมากที่สุด



รูปที่ 1.1 แสดงระบบของเทคโนโลยี RFID

มาตรฐานเทคโนโลยี Auto-ID มีอยู่หลายประเภท บางประเภทต้องใช้การสัมผัสกับเครื่องอ่าน ในขณะที่อีกหลายๆ ประเภทเป็นแบบไม่ต้องใช้การสัมผัสกับเครื่องอ่าน ในปัจจุบัน ได้เกิดมาตรฐาน Auto-ID ใหม่ที่ได้รับความนิยมใช้งานมากขึ้นเรื่อยๆ อันเป็นผลมาจากความสะดวกในการใช้งาน รวมถึงศักยภาพในการรองรับข้อมูลและความต้องการใช้งานในแอปพลิเคชัน ได้ทุกรูปแบบ อีกทั้งยังมีมูลค่าต้นทุนที่ไม่สูงมาก โดยเป็นมาตรฐานสื่อสารแบบไม่สัมผัส ซึ่งช่วยลดปัญหาความไม่เที่ยงตรง และคลาดเคลื่อนในการอ่านเขียนข้อมูล เมื่อเทียบกับการใช้งานแบบสัมผัสที่อาจมีการสึกหรอของหน้าสัมผัส มาตรฐานดังกล่าวมีชื่อเรียกว่าระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification : RFID)

เทคโนโลยีแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ มีรูปแบบการทำงานที่คล้ายคลึงกับเทคโนโลยี Smartcard อยู่มาก ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมภายใน ที่มีการจัดเก็บและบันทึกข้อมูลลงบนหน่วยความจำบนแผ่นพลาสติก ซึ่งในกรณีของ RFID แผ่นบันทึกข้อมูลมีรูปแบบแตกต่างกันไปไม่จำเป็นต้องเป็นแบบบัตรเครดิตเสมอไปและเพื่อความสะดวกในการเรียกขาน จึงขอเรียกแผ่นบันทึกข้อมูลในกรณีของ RFID ว่า “เครื่องลูกข่าย” หรือภาษาอังกฤษเรียกว่า Transponder เนื่องจากแนวคิดในการออกแบบมาตรฐาน RFID ที่ต้องการให้การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน เป็นแบบไม่สัมผัสกันทำให้ต้องมีการหาทางส่งพลังงานไฟฟ้าไปป้อนให้กับเครื่องลูกข่ายในรูปแบบอื่น จึงเกิดแนวคิดในการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคเพื่อส่งทั้งข้อมูลสัญญาณฐานเวลา และพลังงานไฟฟ้าที่จะไปปรากฏเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรภายในเครื่องลูกข่าย ไปในรูปของคลื่นวิทยุผ่านตัวนำที่เป็นอากาศ

โครงสร้างง่ายๆ ของการจัดระบบแสดงตัวตนโดยใช้เทคโนโลยี RFID จะเห็นได้ว่าประกอบด้วยส่วนประกอบย่อยๆ เพียง 2 ส่วนคือ เครื่องลูกข่าย และ เครื่องอ่านข้อมูลที่ติดตั้งเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อทำหน้าที่ปรับปรุงระบบฐานข้อมูลเครื่องลูกข่าย อาจออกแบบให้มีรูปแบบต่างๆ ได้หลากหลายเครื่องลูกข่ายจะถูกออกแบบให้มีขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมที่จะติด ปะ หรือผูกอยู่กับสินค้า หรือวัตถุต่างๆ ที่ต้อง การตรวจนับหรือติดตามส่วนเครื่องอ่าน ทำหน้าที่อ่าน หรือทั้งอ่านและเขียนข้อมูลไปบนเครื่องลูกข่ายโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ ระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ เป็นเทคโนโลยีที่ใช้คลื่นวิทยุในการระบุลักษณะของคนหรือวัตถุโดยอัตโนมัติ เป็นวิธีการจำแนกได้ครั้งละจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่โดยทั่วไปเป็นการจัดเก็บตามหมายเลขประจำตัวของวัสดุ บุคคล หรือวัตถุ และในบางครั้งอาจรวมถึงสารสนเทศอื่นๆ ลงไมโครชิปที่ประกอบด้วยสายอากาศ ทำให้ชิปสามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านได้ เครื่องอ่านจะแปลงคลื่นความถี่วิทยุที่สะท้อนกลับจากเครื่องลูกข่าย กลายเป็นข้อมูลดิจิทัลผ่านเข้าไปทางคอมพิวเตอร์ เพื่อให้สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้

ปัจจุบันระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุจะยังไม่เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายแต่มีแนวโน้มที่จะขยายมากขึ้นอย่างรวดเร็วในอนาคต เพราะเราสามารถบรรจุสารสนเทศต่างๆ ลงในระบบของเครื่องลูกข่ายได้ตามที่เราต้องการ เนื่องจากระบบของเครื่องลูกข่าย คือไมโครชิปที่มีหน่วยความจำเช่นเดียวกับหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ ที่สามารถทำการประมวลผล การทำงานได้ตามโปรแกรมคำสั่งที่ผู้ใช้ต้องการได้ การทำงานของระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุนี้คือระบบของเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่านต้องมีการปรับคลื่นความถี่ให้เหมือนกันเพื่อการสื่อสาร ระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุใช้ได้หลายย่านความถี่ แต่การใช้โดยทั่วไปส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ ย่านความถี่ต่ำ ประมาณ 125 KHz ย่านความถี่สูง ประมาณ 13.56 MHz ย่านความถี่สูงยิ่ง ประมาณ 860-960 MHz และย่านความถี่ไมโครเวฟ ประมาณ 2.45 GHz ซึ่งในแต่ละย่านความถี่นั้นก็มีความแตกต่างในเรื่องของความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับงานแต่ละประเภท

1.1 วัตถุประสงค์โครงการ

- เพื่อศึกษาระบบการทำงานของเทคโนโลยี RFID
- เพื่อให้สามารถออกแบบทดลอง และสร้างวงจรในส่วนต่างๆ ของระบบการทำงานของเทคโนโลยี RFID และสามารถนำมาใช้งานได้จริง

1.2 ขอบเขตโครงการ

- สามารถส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านได้กับเครื่องลูกข่าย โดยการจำลองการทำงานของเครื่องอ่านได้กับเครื่องลูกข่ายโดยส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมทั้งแสดงผลที่ได้ออกมาเพื่อเช็คความถูกต้องของข้อมูล
- ทดลองการส่งถ่ายพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายเพื่อหาระยะ และพลังงานที่สามารถทำให้เครื่องลูกข่ายทำงานได้
- เครื่องลูกข่ายสามารถส่งข้อมูลผ่านคลื่น 13.56 MHz ได้

1.3 ขั้นตอนการทำโครงการ

- ศึกษาการทำงานของวงจรต่างๆ ในที่นี้ได้แก่วงจรมอดูเลเตอร์ พาวเวอร์แอมป์ ไมโครคอนโทรลเลอร์เก็บข้อมูลและส่งข้อมูล แมตซิง เป็นต้น
- ออกแบบวงจรและโปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้เก็บข้อมูลและอ่านข้อมูล โดยมีการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม
- ออกแบบวงจรหารความถี่เพื่อให้ในวงจรมอดูเลเตอร์

- ออกแบบวงจรขยายความถี่สูงเพื่อใช้ในการขยายกำลังงานจากทางด้านเครื่องอ่านเพื่อส่งไปยังเครื่องลูกข่าย
- ออกแบบวงจรจำกัดแรงดันอนุกรมเพื่อใช้ในการจ่ายแรงดันให้เครื่องลูกข่าย โดยสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการเหนี่ยวนำของ Reader coil

1.4 เนื้อหาโดยสังเขปของปฏิญญานิพนธ์ฉบับนี้

- 1.4.1 บทที่ 1 บทนำ
- 1.4.2 บทที่ 2 เทคโนโลยี Automatic Identification ชนิดต่าง
- 1.4.3 บทที่ 3 ชนิดและประเภทของ RFID
- 1.4.4 บทที่ 4 มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน
- 1.4.5 บทที่ 5 การมอดูเลทสัญญาณแบบดิจิตอล
- 1.4.6 บทที่ 6 การออกแบบและการคำนวณ
- 1.4.7 บทที่ 7 โปรแกรมการติดต่อสื่อสารข้อมูล
- 1.4.7 บทที่ 8 การทดลอง
- 1.4.8 บทที่ 9 สรุปและวิเคราะห์

ภายในรายงานฉบับนี้ยังประกอบด้วยเนื้อหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน ส่วนของการออกแบบโครงงาน ผลการทดลองของโครงงาน การสรุป และวิจารณ์โครงงาน

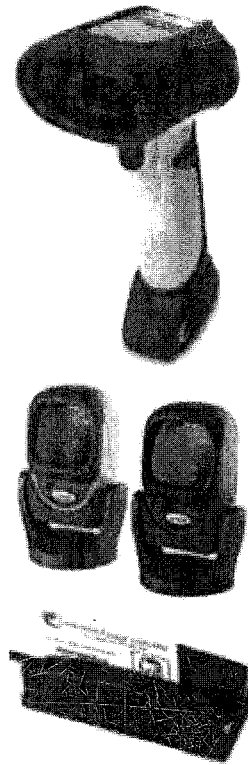
บทที่ 2

เทคโนโลยี Automatic Identification ชนิดต่างๆ

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

จะเห็นว่าบรรดามาตรฐาน Auto-ID ต่าง ๆ ที่มีการคิดค้นขึ้นมาล้วนมีความสำคัญในการอำนวยความสะดวกในการทำธุรกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบันทึกระบบฐานข้อมูลอย่างรวดเร็ว แทนที่จะต้องใช้การนับหรือจดบันทึกโดยมนุษย์ อันอาจมีโอกาที่จะเกิดการผิดพลาดได้อยู่เสมอ ๆ นอกจากเทคโนโลยี Barcode แล้วยังมีเทคโนโลยี Auto-ID อีกประเภทหนึ่งซึ่งเป็นที่คุ้นเคยในการใช้งานประจำวัน นั่นก็คือเทคโนโลยีสมาร์ทการ์ด (smartcard) ซึ่งอยู่ในรูปของบัตรพลาสติก ภายในบัตรบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับบริการใช้งานของผู้ถือการ์ด ตัวอย่างเช่น แผ่น SIM (Subscriber Identity Module) ที่ใช้บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับเลขหมาย และรหัสรับต่าง ๆ สำหรับใช้ติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นการใช้งานมาตรฐาน Auto-ID ที่ได้รับความแพร่หลายมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเริ่มมีการเปิดตัวมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM (Global System for Mobile Communication) ที่มีการกำหนดให้ใช้แผ่น SIM กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งต่อมามีพัฒนาต่อยอดไปเป็น U-SIM (Universal SIM) เมื่อเทคโนโลยีเครือข่ายได้พัฒนาไปเป็นมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 อันเป็นที่ทราบกันดี

ดังได้กล่าวถึงแล้วได้มาตรฐาน Auto-ID หรือเทคโนโลยีแสดงตนแบบอัตโนมัติมีอยู่หลายชนิด เพื่อเป็นการเปรียบเทียบมาตรฐาน RFID กับมาตรฐานแบบอื่น ๆ สามารถจำแนกประเภทของเทคโนโลยี ตามความแตกต่างของเทคโนโลยีแบ่งออกได้เป็น 5 เทคโนโลยีใหญ่ ๆ คือ มาตรฐาน Barcode มาตรฐาน OCR มาตรฐาน Smartcard มาตรฐาน RFID และมาตรฐาน Biometric ซึ่งประเภทหลังนี้ยังสามารถจำแนกย่อยออกเป็น 2 มาตรฐานคือ มาตรฐาน Fingerprint และมาตรฐาน ตรวจสอบเสียง (voice Recognition)



รูปที่ 2.1 เครื่องอ่านรหัส Barcode ที่มีใช้งานในปัจจุบัน

2.1 เทคโนโลยี Barcode

Barcode เป็นเทคโนโลยีในการแสดงตัวตน หรือ Auto-ID ที่มีอายุเก่าแก่มากที่สุด โดยได้รับการประดิษฐ์มากขึ้นเมื่อกว่า 20 ปีที่แล้ว และยังคงได้รับการยอมรับใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน แนวคิดของมาตรฐาน Barcode คือการใช้รหัสซึ่งประกอบด้วยแทบสีดำเข้ม (bar) ซึ่งมีความกว้างยาวต่าง ๆ พิมพ์เรียงตัวกันโดยมีช่องว่าง (gap) ซึ่งมีความกว้างแตกต่างกันเช่นเดียวกันขึ้นระหว่างแต่ละแทบสี ทั้งนี้มีการกำหนดมาตรฐานเพื่อใช้รหัสนี้แทนตัวอักษรและตัวเลขต่าง ๆ โดยนำรหัสแถบสัญลักษณ์ไปปิดไว้หรือพิมพ์ไว้บนสินค้า หรือฉลากสินค้าต่าง ๆ อย่างน้อยที่คุ้นตาผู้อ่านมากที่สุดก็คือการพิมพ์สัญลักษณ์ Barcode ไว้บนปกหลังหนังสือต่าง ๆ การอ่านค่ารหัส Barcode กระทำโดยใช้เครื่องอ่านรหัส ซึ่งมีทั้งเครื่องอิงเหมือนปืน ชนิดตั้งประจำที่หรือแบบเครื่องอ่านบัตรชนิดรูด ดังแสดงในรูปที่ 2.1

เนื่องจากต้องมีการกำหนดมาตรฐานในการแทนค่าและอ่านรหัส Barcode ประกอบกับมีมาตรฐานต่าง ๆ ได้รับการกำหนดใช้งานมากกว่า 10 มาตรฐาน ทำให้การอ่านค่ารหัส Barcode บนฉลากสินค้าต่าง ๆ ให้ถูกต้องจึงต้องใช้มาตรฐานที่ต้องตรงกันกับมาตรฐานต้นทางที่ใช้เขียนรหัสต่าง ๆ ในแวดวงอุตสาหกรรมทั่วโลกมีการยอมรับใช้งานมาตรฐาน Barcode ที่สำคัญอยู่มาตรฐาน

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

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

2.1.1 รหัสแบบ Code bar: ใช้ในแวดวงการแพทย์ หรือวงการที่เกี่ยวกับความปลอดภัยต่าง ๆ เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น

2.1.2 รหัสแบบ 2/5 interleaved: ใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์, ตู้คอนเทนเนอร์ สำหรับขนส่งสินค้า และอุตสาหกรรมหนักต่างๆ

2.1.3 รหัส 39 : ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในสายกระบวนการผลิตต่างๆ เครื่องขายสินค้า (Logistic), มหาวิทยาลัย และห้องสมุด

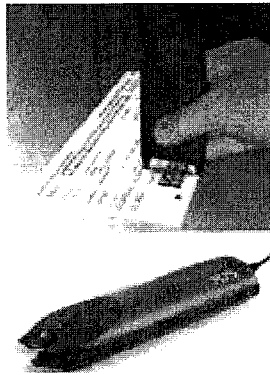
รหัสประเทศ		รหัสบริษัท					รหัสสินค้า					CD
4	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	9
ISO		Company Name Address, City					Music, CD, ROM Model, Date					

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างโครงสร้างการเข้ารหัส Barcode ตามมาตรฐาน EAN (European Article Number)

2.2 เทคโนโลยี Optical Character Recognition

เป็นเทคโนโลยี Auto-ID ดั้งเดิมอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับการคิดค้นและใช้งานมาตั้งแต่ พ.ศ. 2510 แนวคิดง่ายของเทคโนโลยี Optical Character Recognition หรือเรียกง่าย ๆ ว่า OCR ก็คือ การออกแบบตัวอักษรและตัวเลขภาษาอังกฤษให้มีรูปแบบ (Font) เฉพาะตัวที่สามารถอ่านได้ด้วยสายตามนุษย์ และอ่านได้ด้วยเครื่องอ่าน OCR ที่ได้รับการออกแบบขึ้นมาสำหรับใช้งานในเชิง

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



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์อ่านข้อมูลแบบมาตรฐาน OCR (Optical Character Recognition)

ข้อจำกัดของมาตรฐาน OCR ที่ทำให้ไม่ได้รับความนิยมใช้งานแพร่หลายก็คือราคาต้นทุนและความเที่ยงตรงของเครื่องอ่านรหัส OCR ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้รหัส Auto-ID แบบอื่นๆ แล้วพบว่าเครื่องอ่านรหัสมาตรฐาน OCR มีราคาแพงกว่า และมีความซับซ้อนในการใช้งานเฉพาะกลุ่มดังเช่นที่ปรากฏในกรณีของธนาคารเท่านั้น และอยากที่ผลักดันให้มาตรฐานดังกล่าวได้รับการยอมรับในวงกว้าง ซ้ำร้ายการใช้งานมาตรฐาน OCR ก็ยังคงมีข้อจำกัดเช่นเดียวกับมาตรฐานแบบ Barcode คือต้องมีการสัมผัสหรืออ่านค่าข้อมูลครั้งละชิ้นทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการธุรกิจแบบเดียวกัน

2.3 เทคโนโลยี Biometric

เป็นมาตรฐานเทคโนโลยี Auto-ID แบบใช้การสัมผัสเช่นเดียวกับมาตรฐาน Barcode และ OCR ซึ่งความหมายของการสัมผัสนั้น อาจหมายถึงการสัมผัสกันตรง ๆ หรือใช้ลำแสงสัมผัสกันก็ได้ สำหรับเทคโนโลยี Biometric นั้นได้รับการออกแบบภายใต้ปรัชญาความเชื่อที่ว่า รหัสที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถใช้แทนตัวตนที่มีชีวิต เช่น คนหรือสัตว์ นั้นควรจะเป็นลักษณะทางกายภาพที่มีความเป็นเอกเทศของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละคนหรือแต่ละตัว โดยไม่มีทางที่จะมีรูปแบบที่เหมือนกันได้ ทำให้เทคโนโลยีการแสดงตัวตนในตระกูล Biometric นั้นเหมาะสำหรับการใช้ตรวจสอบ เฉพาะกับวังมีชีวิตเท่านั้น

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

2.3.1 เทคโนโลยี Fingerprint

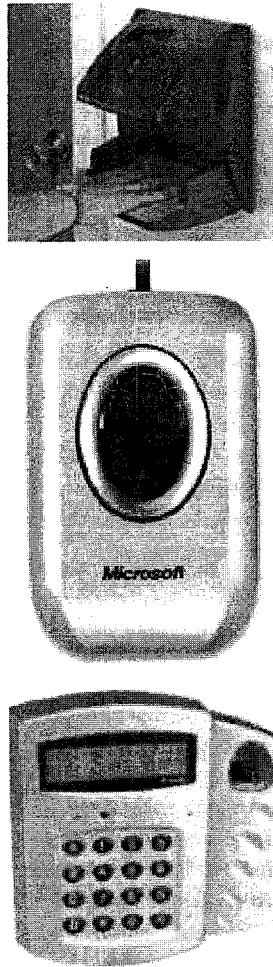
เป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นจากการผสมผสานศาสตร์ทางด้านอาชีววิทยา โดยแต่เดิมแวดวงการสอนมีการตั้งทฤษฎีการวิเคราะห์ลายนิ้วมือ เพื่อหาผู้ต้องสงสัยหรือผู้ต้องหามาดำเนินคดี ทำให้พบว่าลายนิ้วมือของมนุษย์แต่ละคนมีลักษณะเฉพาะตัว ไม่มีการซ้ำซ้อนกัน การตรวจสอบลายนิ้วมือทำได้ตั้งแต่การตรวจสอบโดยตรงจากลายนิ้วมือของบุคคลแต่ละคน ไปจนถึงการพิสูจน์จากร่องรอย ลายนิ้วมือที่ปรากฏอยู่ตามวัตถุต่าง ๆ ที่ผู้ต้องสงสัยได้แตะต้องไว้

ต่อมาจึงได้มีการผลิตเซ็นเซอร์พิเศษ ที่ใช้สแกนลายนิ้วมือของแต่ละบุคคล แล้วทำการเข้ารหัสพร้อมทั้งบันทึกเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล เมื่อต้องการเปรียบเทียบหรือตรวจสอบลายนิ้วมือ ก็เพียงให้บุคคลวางนิ้วมือลงบนเครื่องอ่าน เครื่องก็จะทำการอ่านค่าลายนิ้วมือเพื่อตรวจสอบกับรูปแบบที่มีการเก็บบันทึกไว้ หากพบว่าตรงกันก็จะดำเนินคดีตามที่โปรแกรมวางไว้ เช่น เปิดประตู เป็นต้น

2.3.2 เทคโนโลยี Voice Recognition

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

หลักการทำงานของเทคโนโลยีตรวจสอบโดยใช้เสียงพูดก็ไม่ต่างจากกรณีของ Fingerprint กล่าวคือมีการเก็บบันทึกเสียงพูดของบุคคลไว้ เมื่อต้องการใช้งาน เช่น เปิดประตูโดยใช้รหัสผ่าน ผู้ใช้งานจะต้องพูด ผ่านไมโครโฟน โดยใช้ประโยคมาตรฐานที่มีการกำหนดไว้ (Predefined sentence) เสียงพูดที่ผ่านไมโครโฟนจะเข้าสู่กระบวนการแปลงสัญญาณเป็นดิจิทัล เพื่อเข้าสู่การประมวลผลหารูปแบบและโครงสร้างของรหัสเสียงพูด ซึ่งต่อมาจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบที่มีการบันทึกเก็บไว้ก่อนหน้า หากพบว่ามีรูปแบบและโครงสร้างของรหัสเสียงพูด ซึ่งต่อมาจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบที่มีการบันทึกเก็บไว้ก่อนหน้า หากพบว่ามีรูปแบบตรงกัน ก็จะแจ้งเตือนใจให้ดำเนินการตามความต้องการได้



รูปที่ 2.4 เครื่องอ่านข้อมูลแบบ Fingerprint อ่านและบันทึกข้อมูลจากลายนิ้วมือ

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

2.4 เทคโนโลยี Smartcard

เทคโนโลยี Smartcard เริ่มปรากฏสู่สายตาผู้คนทั่วโลก ในปี พ.ศ. 2527 กับ การใช้งานในรูปแบบของบัตรโทรศัพท์ที่สามารถเติมเงินได้ ซึ่งกลไกการทำงานของบัตร Smartcard นับจากอดีตถึงปัจจุบัน

ก็ยังมี รูปแบบเช่นเดิม กล่าวคือเมื่อมีการใช้งานตัวบัตรซึ่งมีหน้าสัมผัสที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะสัมผัสเข้ากับเครื่องอ่าน ซึ่งมีลักษณะเป็นขา (pin) โดยหน้าสัมผัสบนแผ่น Smartcard จะมีอยู่หลายชุด แต่ละชุดจะส่งสัญญาณฐานเวลา (clock) จากเครื่องอ่าน ป้อนส่งผ่านหน้าสัมผัสที่เกี่ยวข้องไปยังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายใน พร้อมเริ่มทำการรับส่งข้อมูลผ่านหน้าสัมผัสที่เป็นช่องสื่อสารแบบอนุกรม (I/O Post : Input-Output) ตัวอย่างของบัตร Smartcard ที่มีการใช้งานทั่วไป

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

เทคโนโลยี Smartcard ก็ยังมีข้อเสียที่ไม่สามารถแก้ไขได้อยู่ นั่นก็คือการใช้งานที่เป็นแบบสัมผัส ซึ่งทำให้ Smartcard มีอายุการใช้งานที่จำกัด อันเนื่องมาจากการสึกหรอหรือฉีกขาด หรือความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแผ่นตัวนำไฟฟ้าที่อยู่บนหน้าสัมผัสของ Smartcard นอกจากนี้เครื่องอ่านก็มักจะ มีปัญหาการทำงานผิดพลาด และมีต้นทุนในการบำรุงรักษาที่ค่อนข้างสูง ในการใช้งานบางประเภท เช่น ตู้โทรศัพท์สาธารณะ เครื่องอ่านก็ไม่สามารถตรวจสอบและป้องกันการลักลอบปลอมแปลงบัตรได้อีกด้วย

เทคโนโลยี Smartcard สามารถออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบทั่วไปที่มีเฉพาะหน่วยความจำสำหรับบันทึกข้อมูลหรือที่มีการฝังไมโครโปรเซสเซอร์ไว้สำหรับใช้ประมวลผล ในที่นี้จึงขอกล่าวถึงรูปแบบสถาปัตยกรรมภายในของ Smartcard ทั้งสองแบบพอสังเขปดังนี้

2.4.1 Smartcard แบบ Memory Card

หัวใจหลักของ Smartcard แบบนี้อยู่ที่หน่วยความจำแบบ EEPROM (Electric Erasable and Programmable Read Only Memory) ซึ่งจะทำกรอ่านและเขียนข้อมูลตามเงื่อนไขที่ได้รับจากเครื่องอ่านในทางปฏิบัติผู้ให้บริการย่อมสามารถกำหนดได้ว่าจะให้มีการเข้ารหัสข้อมูล (Ciphering)

ก่อนทำการเขียนหรืออ่านได้ เพื่อป้องกันการลักลอบแอบอ่านข้อมูลโดยบุคคลภายนอกที่ใช้เครื่องอ่านเลียนแบบ ทั้งนี้ดำเนินการโดยการ โปรแกรมกำหนดให้หน่วยจัดการแอดเดรสข้อมูลและลอจิกในการรักษาความปลอดภัย (Address and Security Logic) รู้และสามารถเข้าใจรหัสที่ตรงกันกับเครื่องอ่านที่เป็นของผู้ให้บริการ

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

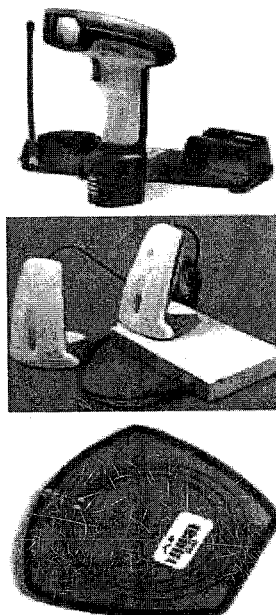
2.4.2 Smartcard แบบติดตั้งไมโครโปรเซสเซอร์อยู่ภายใน

เป็นบัตร Smartcard ที่มีโครงสร้างภายในที่ซับซ้อนกว่าแบบแรก เริ่มจากการติดตั้งวงจรประมวลผลส่วนกลางหรือไมโครโปรเซสเซอร์ไว้ภายในพร้อมทั้งมีการบรรจุระบบปฏิบัติการ (Operating System หรือ OS) ไว้ภายในหน่วยความจำ ROM การทำงานที่ไม่แตกต่างไปจากเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วเครื่องหนึ่งทีเดียว ระบบปฏิบัติการที่ติดตั้งลงใน Smartcard แบบนี้เป็นระบบปฏิบัติการมาตรฐานที่ผลิตขึ้นโดยผู้ออกแบบแผ่น ไม่สามารถลบหรือแก้ไขได้ และมีอยู่เหมือนกันใน Smartcard แต่ละใบ โดยไม่คำนึงว่า Smartcard แต่ละใบนั้นจะถูกนำไปใช้กับบริการหรือแอปพลิเคชันแบบใดส่วนความแตกต่างในการใช้งานนั้น จะถูกกำหนดโดยโปรแกรมที่เขียนขึ้นโดยผู้นำไปใช้งาน และจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำแบบ EEPROM การอ่านและเขียนข้อมูลลงบนหน่วยความจำแบบ EEPROM นี้ จะได้รับการควบคุมโดยระบบปฏิบัติการที่บันทึกอยู่ใน ROM โครงสร้างสถาปัตยกรรม ภายในสำหรับ Smartcard แบบมีไมโครโปรเซสเซอร์นี้มีความคล่องตัวสำหรับการใช้งานมาก ตัวอย่างที่พบเห็นได้ในปัจจุบันก็คือ แผ่น SIM ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่าง ๆ ที่ต้องมีไมโครโปรเซสเซอร์ภายใน ช่วยทำหน้าที่คำนวณและประมวลผลเกี่ยวกับการใช้งานระบบเครือข่าย เริ่มจากฟังก์ชันพื้นฐาน อย่างการตรวจยืนยันการใช้งาน (Authentication Process) ที่แผ่น SIM จะต้องรับรหัสจากเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มาทำการประมวลผล ก่อนทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่คำนวณได้กับผลลัพธ์ที่ได้จากเครือข่ายและยิ่งไปกว่านั้น ในปัจจุบันแผ่น SIM รุ่นใหม่ ๆ ยังสามารถรองรับการประมวลผลแอปพลิเคชันใหม่ๆ อย่าง โปรแกรม Java2ME อีกด้วย เท่ากับว่าบัตร Smartcard แบบที่มีไมโครโปรเซสเซอร์อยู่ภายใน สามารถบันทึกแอปพลิเคชันหรือโปรแกรมการใช้งานต่าง ๆ มากกว่า 1 โปรแกรมไว้ในบัตรใบเดียวกัน

2.5 เทคโนโลยี RFID

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

เทคโนโลยี RFID จึงเป็นการผสมผสานศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าหลายประการเข้าด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารโดยใช้คลื่นวิทยุ การส่งพลังงานผ่านคลื่นวิทยุโดยใช้ทฤษฎีของเรดาร์ เทคโนโลยีโทรคมนาคม ฯลฯ ซึ่งผลที่ได้ทำให้เกิดนวัตกรรมใหม่ทางเทคโนโลยีสำหรับการแสดงตัวตนโดยไม่ใช้การสัมผัส



รูปที่ 2.5 อุปกรณ์เครื่องรับส่งข้อมูลแบบ RFID

บทที่ 3

ชนิดและประเภทของ RFID

เนื่องจากเทคโนโลยี RFID สามารถนำไปใช้งานได้กับการแสดงตัวตนอัตโนมัติได้หลากหลายรูปแบบ ส่งผลให้เกิดความต้องการใช้งานในปริมาณมาก และมีความหลากหลายในรูปแบบใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นในวงการอุตสาหกรรม อุปกรณ์อำนวยความสะดวก ระบบรักษาความปลอดภัย การติดตามสัตว์ ฯลฯ ความหลากหลายแห่งการประยุกต์ใช้งานนี้เอง ที่มีผลทำให้อุปกรณ์ RFID ที่มีการผลิตออกจำหน่ายในท้องตลาด จำต้องมีความแตกต่างกัน ทั้งในด้านการออกแบบ เทคโนโลยีที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล การใช้งานความถี่ อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล ฯลฯ แต่ยังคงหลักการพื้นฐานในการทำงานดังได้กล่าวมาในบทความตอนที่แล้วทุกประการ ดังนั้น ก่อนตัดสินใจเลือกใช้อุปกรณ์ RFID เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน ผู้ใช้งานจึงจำเป็นต้องศึกษาความแตกต่างทั้งทางเทคนิค และคุณลักษณะของอุปกรณ์ RFID แต่ละชนิด เพื่อให้สามารถตัดสินใจนำมาใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่สุด

3.1 ลักษณะของอุปกรณ์ RFID

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

3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ FDX/HDX

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

3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ SEQ

เป็นการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID ที่กำหนดให้เครื่องอ่านมีการหยุดส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเป็นช่วง ๆ ต่อเนื่อง หรือเป็นรายคาบเวลาสม่ำเสมอ ช่วงเวลาที่ไม่มี การส่งสัญญาณออกจากเครื่องอ่านนี้เอง ที่จะเป็นจังหวะให้เครื่องลูกข่ายทำการส่งสัญญาณ กลับมายังเครื่องอ่าน ถือเป็นการสร้างฐานเวลา (Timing) สำหรับใช้อ้างอิงภายในระบบสื่อสารแบบ RFID ที่ประกอบไปด้วยเครื่องอ่านและกลุ่มของเครื่องลูกข่ายที่มีความเที่ยงตรงมาก แต่การรับส่ง ข้อมูลแบบนี้มีข้อจำกัดอยู่ที่ประเด็นของการจ่ายพลังงานให้กับเครื่องลูกข่าย เนื่องจากในช่วงเวลาที่ เครื่องอ่านหยุดส่งสัญญาณนั้น บรรดาเครื่องลูกข่ายทั้งหลายก็จะไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้าที่ส่งผ่าน ทางคลื่นวิทยุไปด้วย ทำให้ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เก็บประจุไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ขนาดเล็กไว้ใน เครื่องลูกข่าย ที่นำมาใช้กับการรับส่งข้อมูลแบบนี้

3.2 ขนาดข้อมูล (Data Quantity)

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

ตัวอย่างการใช้งานเครื่องลูกข่าย RFID แบบ 1 บิต ที่เห็นกันทั่วไปก็คือ การผลิตเป็นอุปกรณ์ชิ้นเล็ก ๆ สำหรับใช้ติดกับสินค้าภายในร้านค้าหรือห้างสรรพสินค้าต่าง ๆ โดยสถานะข้อมูล 1 บิต ใน เครื่องลูกข่ายแต่ละชิ้นที่ยังไม่มีการขายอาจถูกกำหนดค่าเป็นลอจิก “1” ซึ่งจะถูกลบค่าเป็น “0” หรือ ถูกแกะออกจากสินค้าเมื่อมีการชำระเงินผ่านแคชเชียร์แล้ว ดังนั้นในกรณีที่มีผู้หยิบฉวยสินค้า ที่ติดแถบเครื่องลูกข่าย RFID นี้ออกจากร้านโดยพลการ เครื่องอ่านที่ได้รับการติดตั้งตาม ทางเข้าออก ก็จะตรวจพบว่ามีการเครื่องลูกข่ายอยู่ในรัศมีทำการ และจะส่งสัญญาณไปยังระบบ เตือนภัยทันที

3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)

การจำแนกประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID ตามขีดความสามารถในการโปรแกรมข้อมูล สามารถแบ่งออกได้เป็นเครื่องลูกข่ายที่ไม่สามารถโปรแกรมได้ ซึ่งภายในจะมีการเขียนข้อมูลที่อาจเป็นรหัสเลขหมายใด ๆ ตามที่ได้รับคำสั่งจ้างทำมาตั้งแต่สายการผลิต และไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ อีกประการหนึ่งเป็นเครื่องลูกข่าย RFID ที่สามารถทำการโปรแกรมข้อมูลผ่านทางเครื่องอ่านได้ ซึ่งสามารถจำแนกเครื่องลูกข่ายประเภทนี้ออกเป็น 3 ชนิด ตามเทคโนโลยีหน่วยความจำที่นำมาใช้งาน

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

เป็นชนิดที่พบมากที่สุดในการบรรดาเครื่องลูกข่ายโดยทั่วไป แต่ก็มีข้อด้อยในเรื่องของการกินกระแสไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงในขณะที่กำลังบันทึกข้อมูล ประกอบกับมีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนครั้งที่สามารถบันทึกข้อมูล ซึ่งส่วนใหญ่สามารถเขียนข้อมูลได้ในช่วง 100,000 – 1,000,000 ครั้งเท่านั้น

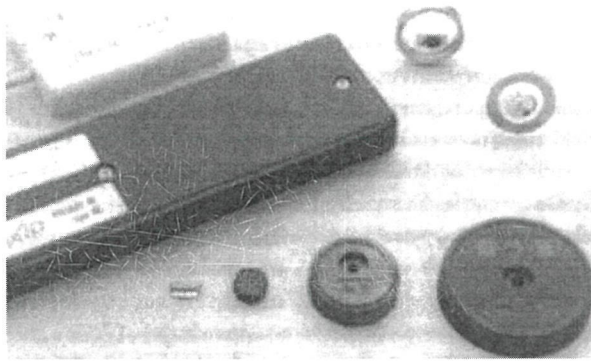
3.3.2 ยุคความจำแบบ FRAM (Ferromagnetic Random Access Memory)

ใช้พลังงานไฟฟ้าในการขณะเขียนข้อมูลต่ำกว่าแบบ EEPROM ประมาณ 100 เท่า แต่มีอายุการใช้งานในการเขียนข้อมูลใหม่ต่ำกว่าแบบ EEPROM ถึง 1,000 เท่า นอกจากนี้ความยุ่งยากในการผลิตเครื่องลูกข่าย RFID ที่ใช้หน่วยความจำแบบนี้ ก็มีผลทำให้อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายชนิดนี้ไม่ได้รับความนิยมใช้งานแพร่หลายเหมือนแบบอื่นๆ

3.3.3 ยุคความจำแบบ SRAM (Static Random Access Memory)

มีคุณสมบัติพิเศษในเรื่องของความรวดเร็วในการบันทึกข้อมูล เหมาะสำหรับการใช้บันทึกข้อมูลแอปพลิเคชันต่างๆที่อาจจำเป็นสำหรับการใช้งานในบางกรณี แต่เนื่องจากหน่วยความจำแบบนี้ต้องการกระแสไฟเลี้ยง เพื่อรักษาข้อมูลอยู่ตลอดเวลา จึงต้องมีการออกแบบให้มีแบตเตอรี่สำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับหน่วยความจำชนิดนี้ ส่งผลให้ขนาดของเครื่องลูกข่ายค่อนข้างใหญ่และเหมาะกับการใช้งานเฉพาะกรณีเท่านั้น

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID แบบ Dish

3.4 การจัดการลำดับคำสั่ง (Sequence)

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

3.5 แหล่งพลังงาน (Power Supply)

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

3.6 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency Range)

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

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

3.6.2 ย่าน HF (High Frequency) / RF (Radio Frequency)

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

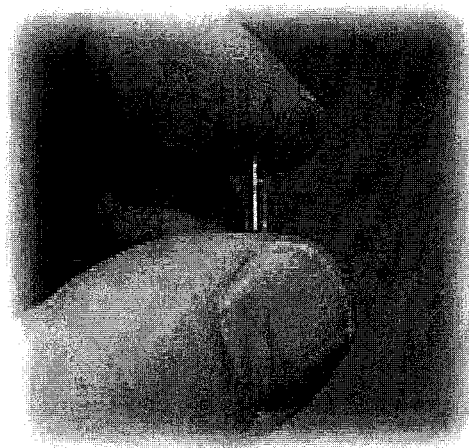
3.7 ประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID

3.7.1 เครื่องลูกข่ายแบบจานและเหรียญ (Disk and coin)

เป็นแบบที่พบเห็นกันมากที่สุด โดยเครื่องลูกข่ายจะถูกบรรจุอยู่ในโครงสร้างทรงกลมคล้ายจานหรือเหรียญ และมีการเคลือบป้องกันไว้เป็นอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องลูกข่ายชนิดนี้มีตั้งแต่ไม่กี่มิลลิเมตรไปจนถึง 10 เซนติเมตร โดยทั่วไปจะมีการเจาะรูตรงกึ่งกลางของจานเพื่อใช้สำหรับการขันน็อตหรือสกรูในกรณีของการยึดติดตั้งอุปกรณ์อื่นๆ สำหรับวัสดุที่ใช้ในการเคลือบผิวนั้น จะใช้สารจำพวก Polystyrol หรือเรซินอีพ็อกซี่ เพื่อให้เครื่องลูกข่ายสามารถทำงานได้ในย่านอุณหภูมิที่ค่อนข้างกว้าง

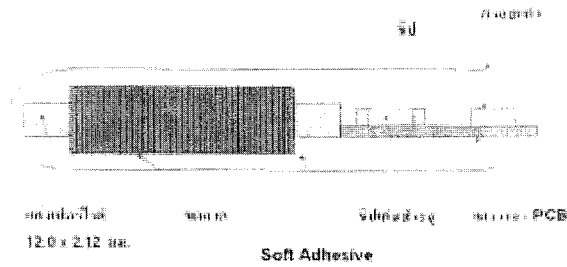
3.7.2 เครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว (Glass Housing)

เป็นเครื่องลูกข่ายที่ได้รับการพัฒนาและผลิตขึ้นสำหรับใช้ฝังไว้ใต้ผิวหนังของสัตว์ เพื่อใช้ในการติดตามข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแวดวงสัตวศาสตร์และการสาธารณสุข ตัวกระเปาะแก้วมีขนาดความยาวในช่วง 12 – 32 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ภายในบรรจุไมโครเวฟที่ติดตั้งอยู่บนแผงวงจร (PCB – Printed Circuit Board) พร้อมชิปเก็บประจุไฟฟ้าสำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับไมโครชิป ในขณะที่ไม่มีสัญญาณคลื่นวิทยุส่งออกมาจากเครื่องอ่านที่อยู่ใกล้เคียง หรือสัตว์ที่ฝังอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID แบบนี้ เดินทางไปในพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณจากเครื่องลูกข่าย นอกจากนั้นบนแผงวงจรยังมีขดลวดที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุมีความหนาเพียง 0.03 มิลลิเมตร พักอยู่บนแท่งเฟอร์ไรท์ โครงสร้างเหล่านี้ได้รับการหุ้มห่อด้วยของเหลวรักษาสภาพ (Soft Adhesive) เพื่อป้องกันการขยับเขยื้อนของชิ้นส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายระยะใกล้ของเครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว ขนาด 32 มิลลิเมตร

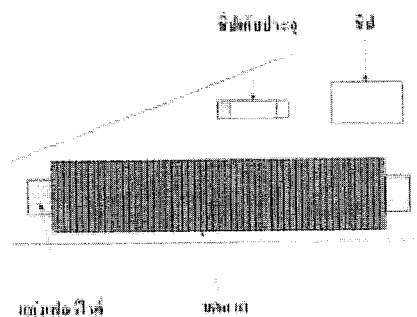
สำหรับใช้งานติดตั้งบนตัวสัตว์ (ภาพประกอบจาก Texas Instruments)
อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของสัตว์ที่ติดตั้งเครื่องลูกข่าย โครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้วมีโครงสร้างแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว

3.7.3 เครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก (Plastic Housing)

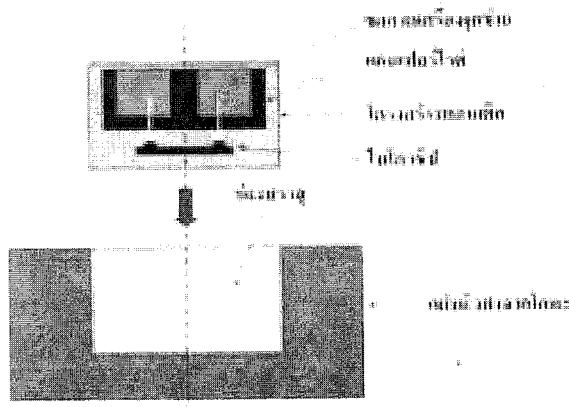
นิยมเรียกกันในชื่อย่อว่า PP (Plastic Package) เครื่องลูกข่ายแบบนี้มีขนาดบาง และสามารถนำไปติดตั้งประกอบกับผลิตภัณฑ์หลาย ๆ ประเภทที่พบเห็นทั่วไปก็คือ การนำเครื่องลูกข่ายแบบ PP ติดตั้งฝังอยู่กับวงจรมอนิเตอร์ในลักษณะของวงจรมอนิเตอร์ (Electronic Immobilization System) โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่ายแบบ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



รูปที่ 3.4 โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก ซึ่งตัวบรรจุภัณฑ์ที่เคลือบเป็นพลาสติกมีความหนาเพียง 3 มิลลิเมตรเท่านั้น

3.7.4 เครื่องลูกข่ายสำหรับใช้เฉพาะกิจ

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



รูปที่ 3.5 โครงสร้างทางกลศาสตร์ของเครื่องลูกข่าย RFID แบบติดตั้งลงในหน้าสัมผัสโลหะ

3.7.5 เครื่องลูกข่ายแบบพวงกุญแจ (Key and Key fob)

เครื่องลูกข่าย RFID สามารถได้รับการพัฒนาให้อยู่ในรูปของกุญแจแบบพิเศษที่ใช้ในการเปิดประตู หรือใช้กับระบบรักษาความปลอดภัยต่าง ๆ ซึ่งพวงกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้ไม่มีลูกกุญแจ แต่กลับทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งอาจมีการนำเข้ารหัสเพื่อใช้ในการยืนยัน

ตัวตนบุคคล โครงสร้างของเครื่องลูกข่ายประเภทนี้ ทำจากพลาสติกซึ่งฉีดขึ้นรูปให้มีลักษณะและรูปทรงเป็นแบบพวงกุญแจ เครื่องลูกข่ายประเภทนี้ได้รับความนิยมใช้งานเป็นอุปกรณ์แสดงตนสำหรับผ่านเข้าออกอาคารสำนักงานและสถานที่ต่าง ๆ โดยมีตัวอย่างรูปทรงดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องลูกข่าย RFID แบบพวงกุญแจ

3.7.6 เครื่องลูกข่ายแบบนาฬิกา

ผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นนาฬิกาสวมใส่ข้อมือ และใช้อุปกรณ์แสดงตัวตนในลักษณะช่องเซ็นเซอร์แบบไร้การสัมผัส (Contactless Sensor) เพื่อผ่านเข้าสู่ประตูเล่นสกีสำหรับนักสกีทั้งหลาย ซึ่งต่อมาผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ ก็เริ่มได้รับความนิยมใช้งานมากขึ้น ในงานรักษาความปลอดภัย โดยเฉพาะการยืนยันตนเพื่อผ่านประตูหรือช่องทางเข้าต่าง ๆ โครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายประเภทนาฬิกา ประกอบไปด้วยเฟรมสายอากาศเชื่อมต่ออยู่กับแผงวงจรพิมพ์ขนาดเล็กที่จัดรูปทรงให้สามารถบรรจุลงไปในนาฬิกาข้อมือได้ ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 นาฬิกาข้อมือติดตั้งเครื่องลูกข่าย RFID ใช้แบบการติดต่อสื่อสารแบบไร้การสัมผัส เพื่อตรวจยืนยันตัวผู้ใช้งาน

3.8 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID

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

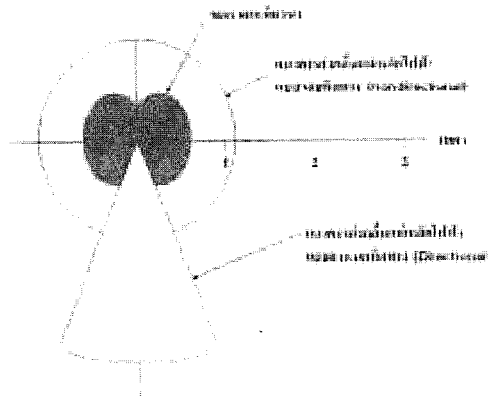
3.8.1 ความถี่ใช้งาน

อุปกรณ์ RFID ที่ใช้งานอ่านความถี่ในช่วง 100 KHz ถึง 30MHz จะใช้รูปแบบส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องรับเป็นแบบเหนี่ยวนำ (Inductive Coupling) ในขณะที่อุปกรณ์ RFID ที่มีการสื่อสารโดยใช้ความถี่ย่านไมโครเวฟซึ่งอยู่ในช่วง 2.45 – 5.8 KHz จะใช้การส่งถ่าย สัญญาณข้อมูลในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแทน ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องทำความเข้าใจกับพฤติกรรม การแพร่กระจายของอุปกรณ์ RFID ที่เลือกใช้ให้ดี และให้เหมาะสมกับรูปแบบการนำไปใช้งาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด ส่วนการเลือกใช้นานความถี่ไมโครเวฟนั้น โดยทั่วไปจะให้ผลดีในเรื่องของระยะทางที่ไกลกว่าการเหนี่ยวนำ โดยใช้คลื่นความถี่ต่ำ แต่อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายที่ทำงานในย่านไมโครเวฟนั้น ต้องการแบตเตอรี่สำรองไฟฟ้านื่องจากเครื่องลูกข่ายไม่สามารถอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องอ่านผ่านทางคลื่นความถี่วิทยุเพียงอย่างเดียว ทำให้ต้องมีขนาดใหญ่และมีข้อจำกัดในการพกพาหลาย ๆ ประการ สิ่งที่ควรพิจารณาประการหนึ่ง สำหรับการใช้งานอุปกรณ์ RFID ในย่านความถี่ต่ำก็คือ การที่ระบบอาจถูกรบกวนจากการเดินเครื่องมอเตอร์ที่อยู่ใกล้เคียงได้ เนื่องจากการรับส่งข้อมูลที่ใช้การเหนี่ยวนำ ทำให้มีความนิยมใช้งานการสื่อสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟแทนในกรณีของการใช้งานภายในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะโรงงานประกอบรถยนต์

3.8.2 ระยะทำการ

ปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องโดยตรงต่อระยะทำการในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID สามารถจำแนกได้ 3 ประเภท คือ ตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย ระยะขั้นต่ำระหว่างเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องกับเครื่องอ่าน ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไป แล้วแต่ประเภทของการใช้งาน ความเร็วของการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่าย และความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่าย และความเร็วในการอ่านและเขียนข้อมูลของเครื่องลูกข่าย ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถอธิบายให้เห็นภาพได้ง่ายๆ โดยให้คิดถึงเครื่องลูกข่ายแบบ Smartcard ใ้การสัมผัสเพื่อผ่านเข้าออกช่องทางสู่รถไฟฟ้าใต้ดินระบบในลักษณะนี้ไม่ต้องการความเที่ยงตรงของตำแหน่งเครื่องลูกข่ายมากนักเนื่องจาก

ในทางปฏิบัติผู้โดยสารทุกคนต้องนำบัตรมาแตะในระยะที่เกือบๆ จะสัมผัสกับเครื่องอ่านอยู่แล้ว สิ่งที่ต้องให้ความสำคัญกลับเป็นระยะห่างขั้นต่ำที่ยอมให้เครื่องลูกข่ายที่อยู่ใกล้กัน ซึ่งในที่นี้ก็คือ ระยะห่างของผู้โดยสารปัจจุบัน โดยผู้โดยสารคนถัดไปที่กำลังเดินตามมา เพื่อให้มั่นใจว่า สัญญาณที่ส่งออกจากเครื่องอ่านเพื่อกระตุ้นให้เกิดไฟเลี้ยงในบัตรใบปัจจุบันที่อยู่ใกล้เครื่องอ่านมากที่สุดจะไม่ถูกส่งไปไกลจนถึงบัตรของผู้โดยสารคนถัดไป มิฉะนั้นจะทำให้เครื่องลูกข่ายในบัตรทั้งสองใบส่งสัญญาณออกมาพร้อมกันทำให้เกิดปัญหาข้อมูลชนกัน ได้โดยทั่วไปเมื่อพิจารณาถึงระยะที่ผู้โดยสารสองคนจะมีโอกาสอยู่ใกล้ที่สุดแล้ว ก็ต้องทำให้ต้องออกแบบเครื่องอ่าน RFID ให้ส่งสัญญาณออกมาในระยะทางไม่เกิน 5-10 เซนติเมตร



รูปที่ 3.8 การเปรียบเทียบการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์ RFID แต่ละมาตรฐาน

ในกรณีของการติดตั้งเครื่องลูกข่าย RFID ลงในตัวถังรถยนต์ที่อยู่ในกระบวนการผลิตเพื่อใช้บอกลำดับและแสดงตัวตนเมื่อเข้าสู่กระบวนการต่างๆ เช่น การชุบสี การยิงน็อต เป็นต้น โดยทั่วไปจะเลือกใช้เครื่องลูกข่ายที่ทำงานในย่านความถี่ไมโครเวฟ อันเนื่องมาจากมีความต้านทานต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งรูปแบบของการกระจายคลื่นดังรูปที่ 3.8 โดยสัญญาณที่ส่งออกจะเป็นคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีทิศทาง (Directional) แต่โดยธรรมชาติของการแพร่กระจายในทิศทางตรงแล้วที่ด้านหลังของสายอากาศยังมีสัญญาณที่ไม่พึงประสงค์ที่เป็นสัญญาณรอบทิศทาง (No directional) ปรากฏอยู่ แม้ขนาดความแรงจะมีรัศมีเพียงเล็กน้อย แต่หากนึกถึงกระบวนการผลิตที่เป็นลักษณะสายพาน เมื่อรถยนต์คันแรกวิ่งผ่านไปแล้วยังมีสัญญาณส่งย้อนกลับมา และเกิดการแทรกสอดกับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทางตรงของรถยนต์คันถัดมาก็จะทำให้เกิดปัญหาทันที ในกรณีนี้จึงมีการศึกษาพฤติกรรมการแพร่กระจายคลื่นให้ชัดเจนเพื่อ

กำหนดระยะห่างของเครื่องลูกข่าย และยังเป็นกำหนดทิศทางและตำแหน่งการยิงสัญญาณของเครื่องอ่านให้เหมาะสมด้วย

3.8.3 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย

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

3.8.4 ขนาดของหน่วยความจำ

หน่วยความจำแบบ EEPROM มักจะนิยมใช้งานในระบบ RFID ที่มีการถ่ายทอดข้อมูลแบบเหนี่ยวนำโดยมีขนาดหน่วยความจำสำหรับใช้งานในช่วง 16 ไบต์ หรือ 8 กิโลไบต์ ในขณะที่หน่วยความจำแบบ SRAM ที่มักจะมาพร้อมกับแบตเตอรี่สำรองไฟฟ้า จะได้รับความนิยมใช้ในการถ่ายทอดข้อมูลโดยใช้คลื่นความถี่ย่านไมโครเวฟ ขนาดของหน่วยความจำจะอยู่ระหว่าง 256 ไบต์ ถึง 64 กิโลไบต์

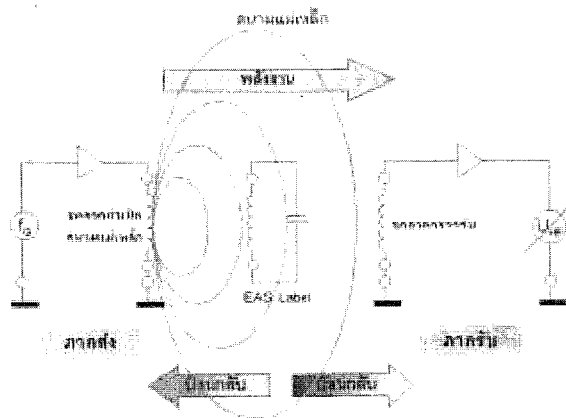
3.9 หลักการทำงานพื้นฐานในการติดต่อสื่อสาร

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

3.9.1 EAS แบบใช้ความถี่คลื่นวิทยุ (Radio Frequency)

ใช้หลักการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของระดับความแรงสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ เมื่อมีการนำอุปกรณ์ Tag เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ตรวจสอบ ซึ่งอาจจะเป็นทางเข้าออกของห้างสรรพสินค้า ที่มีการติดตั้งเครื่องอ่านไว้ หลักการทำงานของเทคโนโลยีชนิดนี้ ใช้การสร้างสนามแม่เหล็ก (Magnetic

Field) กระแสลับซึ่งจะส่งผลให้สร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่คลื่นวิทยุจากเครื่องอ่าน ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่าเครื่องส่งสัญญาณคลื่นวิทยุดังกล่าวจะปกคลุมพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบอยู่ตลอดเวลา เมื่อมีการนำ Tag ซึ่งได้รับการออกแบบให้ภายในมีวงจรการทำงานแบบ LC resonant กล่าวคือมีการติดตั้งขดลวด (Inductor มีค่าเป็นเฮนรี่ เขียนแทนด้วย L และคาปาซิเตอร์ (Capacitor มีคเป็นฟารัด เขียนแทนด้วย C) เพื่อทำให้เกิดการก่อกวน (หรือรีโซแนนซ์) ขยายสัญญาณที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งซึ่งคำนวณได้จากค่า L และ C หากค่าความถี่ก่อกวน (Resonant Frequency) ของอุปกรณ์ Tag (เขียนแทนด้วย FR) มีค่าตรงกับความถี่คลื่นวิทยุจากภาคส่ง (เขียนแทนด้วย FG) ก็จะมีผลทำให้อิมพีแดนซ์ของขดลวดกำเนิดสนามแม่เหล็กที่ภาคส่งตกลง ส่งให้ผลแรงดันไฟฟ้า จุดดังกล่าวลดลงเล็กน้อย ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กลดลงเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวสัญญาณหรือภาครับตรวจพบความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ก็จะหมายความว่ามีการนำ Tag ปรากฏอยู่ในพื้นที่แพร่กระจายสัญญาณ การเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มของสนามแม่เหล็กจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นระยะทางระหว่างขดลวดของเครื่องส่งอุปกรณ์-Tag - ขดลวดของเครื่องรับ และยังขึ้นอยู่กับค่า Q หรือ Quality Factor ของวงจร LC ภายในอุปกรณ์ Tag มีค่าสูงก็จะทำให้ระบบ EAS แบบดังกล่าวสามารถตรวจสอบการปรากฏตัวของอุปกรณ์ Tag ได้แม่นยำ



รูปที่ 3.9 ลักษณะการทำงานทางเทคนิคของอุปกรณ์ RFID) ประเภท EAS แบบใช้คลื่นความถี่วิทยุ

อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าจะให้ความสำคัญกับการจัดวางระบบหรือมีการออกแบบอุปกรณ์ Tag ให้มีความเที่ยงตรงมากเพียงใดการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเมื่อมีการนำอุปกรณ์ Tag เข้าไปในพื้นที่ตรวจสอบก็อยู่ในระดับที่ต่ำมาก ๆ จนหลายครั้งทำให้เครื่องรับไม่สามารถตรวจจับได้ เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีการกำหนดให้ภาคกำเนิดสัญญาณย่าน

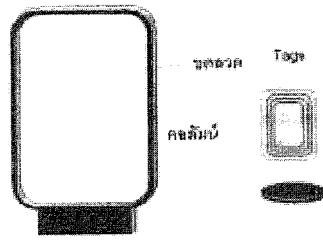
ความถี่ 8.2 MHz อยู่ตลอดเวลา แต่จะลดและเพิ่มความถี่ในลักษณะของการกวาด ส่วนจะกวาดลงไปที่ความถี่ต่ำไปถึงเท่าใด และสูงถึงเท่าใด ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดมาตรฐานของแต่ละย่านความถี่ใช้งาน ในกรณีดังกล่าวจะกำหนดให้เป็น $8.2 \text{ MHz} \pm 10\%$ นั้นหมายถึงเครื่องส่งจะไล่กวาดส่งสัญญาณ (FG) ที่ความถี่ 7.38 MHz จนถึง 9.20 MHz

ตารางที่ 3.1 ย่านความถี่วิทยุสำหรับระบบ EAS แบบใช้ความถี่คลื่นวิทยุ

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

สมมติว่ามีการนำสินค้าซึ่งติดตั้งอุปกรณ์ Tag ที่มีความถี่กำทอน (FR) เท่ากับ 8.2 MHz เข้ามาในพื้นที่ตรวจจับเมื่อเครื่องส่งกวาดสัญญาณตรงกับความถี่ 8.2 MHz ก็จะมีผลทำให้เกิดการกำทอน (Resonate) ส่งผลให้ระดับความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุที่ความถี่ 8.2 MHz นั้นลดลงอย่างผิดปกติ เรียกว่าเกิด Dip ซึ่งแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับเพียงเล็กน้อย แต่ก็เครื่องรับสามารถตรวจสอบได้เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความแรงที่เปลี่ยนแปลงต่อเนื่องตลอดเมื่อเครื่องส่งกวาดส่งสัญญาณในความถี่ช่วง อ ความเปลี่ยนแปลงของระดับความแรงดังกล่าวนั้นขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ซึ่งเกิดจากวงจร LC ภายในอุปกรณ์ Tag เมื่ออยู่ในพื้นที่ความถี่ต่าง ๆ

อุปกรณ์ Tag ที่ใช้กับระบบ EAS แบบใช้ความถี่คลื่นวิทยุนี้มักจะได้รับการออกแบบให้ประกบติดกับสินค้าแบบตายตัว เช่น อยู่ในรูปแบบของสติ๊กเกอร์ ซึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ดังนั้นเมื่อมีการนำสินค้าที่ติดตั้ง Tag มาชำระเงินที่แคชเชียร์แล้ว พนักงานขายก็จะทำการลบสถานะของ Tag จากสภาพไวงาน (Active State) ไปเป็นเฉื่อยงาน (Deactivate State) ซึ่งก็หมายถึงทำให้ Tag หหมดสภาพการใช้งาน ด้วยการนำสินค้าที่ติดอุปกรณ์ Tag ดังกล่าวไปจ่อกับเครื่องลบสถานะ ซึ่งจะส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กที่มีความแรงเพียงพอที่จะทำให้ตัวเก็บประจุที่อยู่ในวงจร LC ของอุปกรณ์ Tag ได้ ซึ่งโดยทั่วไปจะออกแบบให้ตัวเก็บประจุภายในอุปกรณ์ Tag สามารถลัดวงจรตัวเองได้เมื่อถูกกระตุ้นจากสนามแม่เหล็กของเครื่องลบสถานะ นั่นก็ย่อมหมายความว่าอุปกรณ์ Tag ที่ถูกลบสถานะไปแล้วจะไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไป และจะไม่มีผลตอบสนองใดๆ ต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปรากฏในพื้นที่ตรวจสอบอีกต่อไป ซึ่งในทางปฏิบัติก็คือผู้ที่ชำระเงินแล้วสามารถนำสินค้าออกจากร้านค้าได้โดยอุปกรณ์ Tag ดังกล่าวจะไม่ทำปฏิกิริยากับระบบ EAS ที่ประตูทางออกอีกต่อไป สัญญาณกันขโมยก็จะไม่ทำงาน



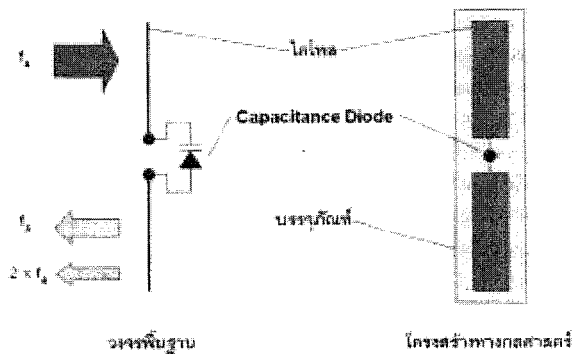
รูปที่ 3.10 (ซ้าย) โครงสร้างโดยทั่วไปของระบบสายอากาศเพื่อใช้ตรวจสอบอุปกรณ์ในลักษณะ ประตูความสูงทั่วไปประมาณ 1.20 – 1.60 เมตร (ขวา) อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายที่ติดอยู่กับสินค้าต่างๆ

3.9.2 EAS แบบใช้ความถี่คลื่นไมโครเวฟ (Microwave)

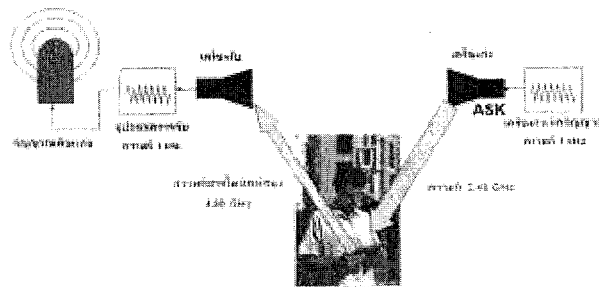
ระบบ EAS แบบที่ใช้ความถี่ไมโครเวฟ มีหลักการทำงานที่แตกต่างจากชนิดแรก ตรงที่ อาศัยหลักการสร้างสัญญาณฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Signal) แล้วทำการตรวจสอบการปรากฏของ สัญญาณ

ฮาร์โมนิกส์ ซึ่งมีความถี่ที่แตกต่างจากค่าความถี่คลื่นที่ถูกส่งออกจากเครื่องส่ง ทำให้เกิดความ เทียงตรงในการตรวจจับเครื่องลูกข่าย และการทำงานของระบบก็มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบใช้ ความถี่วิทยุแต่ก็มีต้นทุนที่สูง ทำให้ต้องมีการนำกลับมาใช้ซ้ำเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าที่สุดหลักการ ทำงานของระบบพื้นฐานทางฟิสิกส์ เมื่อมีการป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave) ผ่านเข้าไปใน อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีลักษณะการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น จะทำให้เกิดการสร้างสัญญาณฮาร์ โมนิกส์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐานที่เป็นสัญญาณเดิม เรียกว่าความถี่ฮาร์โมนิกส์ ซึ่งประกอบไปด้วยความถี่ $2 \times 2 = 4 \text{ GHz}$ $3 \times 2 = 6 \text{ GHz}$ $4 \times 2 = 8 \text{ GHz}$ ไปจนถึงอนันต์ แต่ในขณะเดียวกันระดับความแรงของสัญญาณฮาร์โมนิกส์เหล่านี้ก็ลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับ สัญญาณต้นฉบับเดิม หรือก็คือพลังงานที่บรรจุอยู่ในสัญญาณคลื่นต้นฉบับจะถูกไปใช้กับฮาร์โมนิก อื่นๆ คือไดโอดในอุดมคติจะไม่ทำให้สัญญาณต้นทางเกิดการสูญเสียพลังงาน ระดับความแรงของ สัญญาณ 10 โวลต์ ก็จะถูกกระจายแบ่งไปให้กับฮาร์โมนิกส์ค่าต่างๆ ยิ่งฮาร์โมนิกส์ที่สูงๆ ก็จะได้ รับสัญญาณน้อยลง แต่เมื่อนำระดับพลังงานของสัญญาณทุกฮาร์โมนิกส์มารวมกันก็จะได้พลังงาน เท่ากับสัญญาณขาเข้าทุกประการ เครื่องลูกข่ายแบบ 1 บิต ที่ผลิตใช้กับความถี่คลื่นไมโครเวฟ นั้นสามารถผลิตขึ้นได้ง่ายๆ โดยนำอุปกรณ์ Capacitance Diode มาเชื่อมกับไดโพล (Dipole) หรือ แกนรับสัญญาณที่มีลักษณะเดียวกับสายอากาศรับสัญญาณทั่วไป พร้อมทั้งปรับมุมให้รับ สัญญาณต้นฉบับที่ถูกสร้างจากอุปกรณ์ภาคส่งของระบบ EAS ดังแสดงในรูปที่ 3.15การออกแบบ ของเครื่องลูกข่าย สำหรับใช้ในกิจการแต่ละประเภทต้องพิจารณาถึงความถี่ที่ต้องการนำไปใช้ด้วย สำหรับความถี่ที่ใช้งานในทางปฏิบัติสำหรับระบบ EAS นั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปตามภูมิภาค โดย

ในทวีปยุโรปจะใช้ความถี่ 2.45 – 506 GHz ส่วนภูมิภาคอื่นๆ จะเพิ่มความถี่ 915 MHz เข้ามาเป็นตัวเลือกเพิ่มเมื่อมีการนำเครื่องลูกข่ายเข้ามาภายในพื้นที่ตรวจจับซึ่งมีการส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่ตรงกันกับย่านการทำงานก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเวียนภายในเครื่องลูกข่ายโดยผ่านไดโอดที่อยู่ภายใน และเริ่ม มีการผลิตสัญญาณฮาร์โมนิกส์เลียนแบบสัญญาณต้นฉบับที่ได้รับออกมา ในการใช้งานโดยทั่วไปมักจะสนใจเฉพาะสัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่สองและสามเท่านั้น ฮาร์โมนิกส์ที่สูงกว่าจะ "ไม่" ได้รับความสนใจนัก เนื่องจากมีความแรงของสัญญาณต่ำ



รูปที่ 3.11 โครงสร้างภายในวงจรไฟฟ้าของเครื่องลูกข่าย แบบที่ใช้กับความถี่ไมโครเวฟ

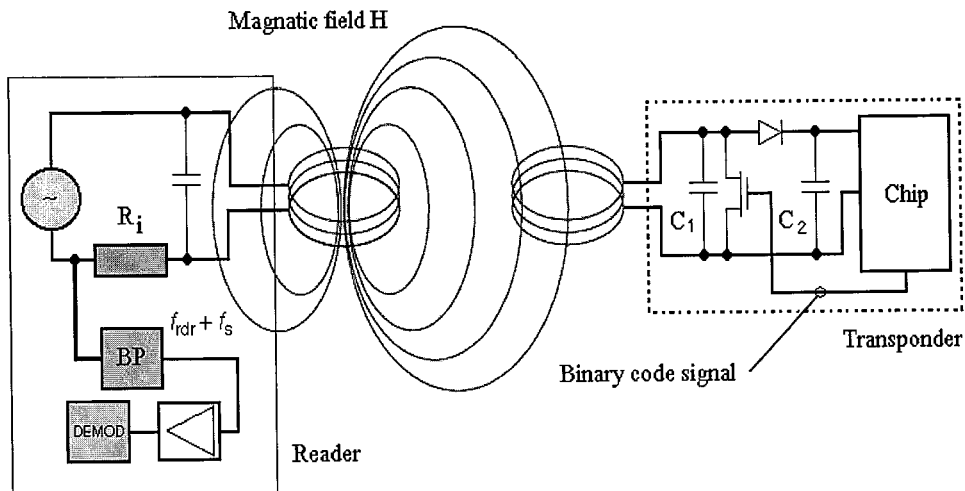


รูปที่ 3.12 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ EAS แบบใช้ความถี่คลื่นไมโครเวฟ

จากรูปที่ 3.12 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ EAS แบบใช้ความถี่คลื่นไมโครเวฟทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz เพื่อป้องกันความสับสนในกรณีที่มีสัญญาณจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ พัดหลงเข้ามาในพื้นที่ตรวจจับ โดยทั่วไปมักจะมีการนำสัญญาณความถี่วิทยุมาตรฐานมาทำการมอดูเลตกับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ เพื่อให้สัญญาณที่ต้องการนำไปใช้งานมีความแตกต่างจากสัญญาณรบกวนอื่นๆ

3.9.3 EASแบบใช้การหารความถี่ (Frequency Divider)

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



รูปที่ 3.13 มาตรฐาน EAS แบบใช้หารความถี่

หลักการทำงานของมาตรฐาน EAS ชนิดนี้ เริ่มจากการทำไมโครชิปได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำของขดลวดภายในอุปกรณ์ Tag สัญญาณความถี่คลื่นที่ป้อนให้กับไมโครชิปจะถูกหารค่าลงเหลือครึ่งหนึ่ง เช่น เครื่องส่งทำการส่งสัญญาณด้วยความถี่ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ เมื่อสัญญาณดังกล่าวถูกส่งเข้ามายังไมโครชิปก็就会被หารจนเหลือความถี่เพียง 60 KHz สัญญาณดังกล่าวจะถูกป้อนย้อนกลับไปยังขดลวดของอุปกรณ์ Tag เพื่อส่งกลับคืนผ่านทางอากาศไปให้กับเครื่องอ่านซึ่งเป็นอุปกรณ์ตัวเดียวกันกับเครื่องส่ง ซึ่งเท่ากับเนหลักการทำงานสำหรับเครื่องส่งว่าเมื่อใดที่

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

3.9.4 EAS แบบใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Type)

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

หากเพิ่มค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กให้มากขึ้นกว่าจุดความเข้มแม่เหล็กอิ่มตัวไปเรื่อย ๆ ก็อาจมีผลทำให้อำนาจแม่เหล็กของโลหะไร้สถานะภายในตัว Tag เสื่อมสภาพโดยมีค่าฟลักซ์แม่เหล็กค้างอยู่ที่ระดับอิ่มตัวไม่แปรเปลี่ยนตามความเข้มของสนามแม่เหล็กอีกต่อไป มีผลทำให้ไม่สามารถใช้อุปกรณ์ Tag นั้นได้ต่อไป เป็นหลักการในการลบสถานะของอุปกรณ์ Tag ในกรณีที่มีการชำระเงินซื้อสินค้าที่ติดตั้ง Tag ตัวดังกล่าวเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

เมื่อได้รับทราบพฤติกรรมโดยทั่วไปของอุปกรณ์ Tag ชนิดนี้แล้ว ก็จะสามารทำความเข้าใจหลักการการทำงานของระบบ EAS แบบใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ไม่ยากนัก หัวใจสำคัญของระบบตรวจจับดังกล่าวอยู่ที่อุปกรณ์เครื่องส่งซึ่งจะทำการสร้างสนามแม่เหล็ก H ที่เปลี่ยนแปลงทิศทาง (หรืออาจเรียกอีกอย่าง โดยมาตรฐาน EAS ชนิดนี้จึงใจกำหนดให้เครื่องส่งทำการส่งคลื่นแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงถึงระดับที่ทำให้อุปกรณ์ Tag อิมตัว แล้วทำการเปลี่ยนทิศทางโดยฉับพลัน ไม่มีการค่อยๆ ลดระดับความลงเมื่อพิจารณาพฤติกรรมของความเข้มฟลักซ์แม่เหล็กที่สัมพันธ์กับอำนาจแม่เหล็กที่สะสมอยู่ในตัว Tag จะเห็นว่าฟลักซ์จะค่อยๆ ลดลงและเปลี่ยนทิศทางตามความเข้มสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงทิศทางไป

ก่อนหน้าแล้ว การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของฟลักซ์ภายในตัวอุปกรณ์ Tag นี้เองที่เป็นหัวใจสำคัญทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถตรวจจับได้โดยอุปกรณ์ตรวจจับที่ติดตั้งอยู่ภายในเครื่องส่ง หรืออาจจะติดตั้งต่างหาก และเนื่องจากคุณสมบัติของการสะสมอำนาจแม่เหล็กภายในโลหะไร้สัณฐานเหล่านี้ ล้วนเป็นแบบไม่เชิงเส้น (non-linear) นั่นคือเส้นทางการตอบสนองของฟลักซ์ที่มีต่อการเพิ่มและลดสนามแม่เหล็กมีเส้นทางต่างกัน กรณีนี้จึงทำให้เกิดการสร้างสัญญาณฮาร์มอนิกส์จากสัญญาณต้นฉบับที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องส่งเพิ่มขึ้น แต่โดยทั่วไปการตรวจจับอุปกรณ์ Tag ด้วยเทคนิคชนิดนี้จะสนใจพิจารณาเฉพาะความถี่ต้นฉบับ ซึ่งมักเรียกว่าสัญญาณความถี่หลัก (Main Signal) และสัญญาณความถี่เพิ่มเติม (Additional Signal) ที่เกิดจากพฤติกรรมตอบสนองของฟลักซ์แม่เหล็กภายในตัว Tag ต่อระดับความเข้มของสนามแม่เหล็ก

สมมติว่าสัญญาณหลักถูกส่งออกจากอุปกรณ์เครื่องส่งด้วยความถี่ $f_s = 20$ KHz ผลจากการเปลี่ยนทิศทางสนามแม่เหล็กอย่างฉับพลัน ทำให้อุปกรณ์ Tag กำเนิดสัญญาณเพิ่มเติมจากการเปลี่ยนแปลงระดับของฟลักซ์แม่เหล็กเป็นค่า $f_1 = 3.5$ KHz และ $f_2 = 5.3$ KHz สัญญาณความถี่คลื่นเหล่านี้จะเกิดการแทรกสอดและลดทอนกันเกิดเป็นความถี่อนุพันธ์ (Derivative Frequency) ใหม่จำนวนมาก แต่ที่อยู่ในความสนใจและสามารถตรวจจับได้ด้วยอุปกรณ์เครื่องรับจะเป็นความถี่อนุพันธ์ลำดับแรก ซึ่งประกอบด้วย

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

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

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

ลักษณะภายนอกของอุปกรณ์ Tag สำหรับเทคโนโลยี EAS แบบนี้โดยมักเป็นแถบสติ๊กเกอร์บาง ๆ สามารถประกบติดกับสินค้าหรือสิ่งของที่ต้องการตรวจสอบ และแกะลอกออกได้ง่าย ส่วนใหญ่มีความยาวตั้งแต่ไม่กี่เซนติเมตรจนถึง 20 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นระบบแบบเดี่ยวที่ทำงานในย่านความถี่ต่ำมาก ๆ จึงไม่เกิดผลกระทบจากการนำไปติดตั้งใช้งานกับสินค้าที่เป็นโลหะซึ่งมักส่งสัญญาณรบกวนจนทำให้ระบบ EAS ที่ใช้ความถี่สูง ๆ ทำงานผิดพลาด อย่างไรก็ตามมาตรฐานชนิดนี้ก็ยังมีจุดอ่อนในเรื่องของตัว Tag เองที่จะต้องติดตั้งให้ถูกทิศทาง ส่วนใหญ่กำหนดให้ติดตั้งในแนวตั้ง เพื่อให้โลหะไร้สัญญาณตอบสนองต่อคลื่น แม่เหล็กจากเครื่องส่งได้ดีที่สุด

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

3.9.5 EAS แบบ Acoustomagnetic

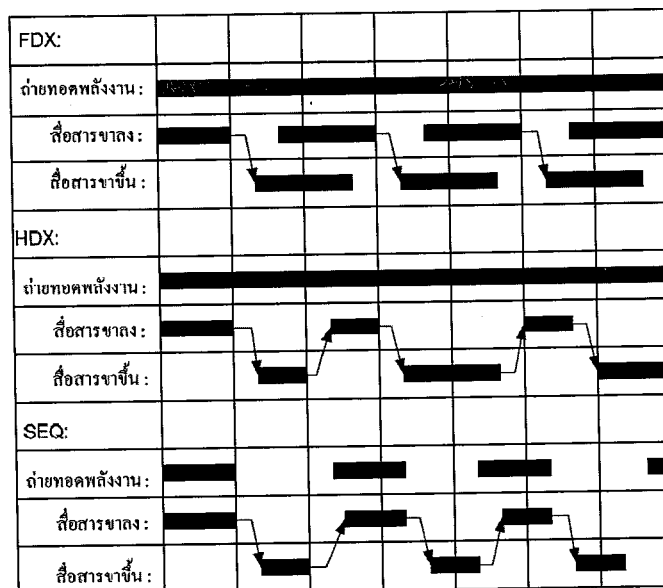
อุปกรณ์ Tag ที่ใช้ในระบบ EAS แบบนี้มีลักษณะเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกโดยทั่วไปมีขนาดกว้าง 8 – 14 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับการออกแบบ ยาว 40 มิลลิเมตร และสูงเพียงหนึ่งมิลลิเมตรเท่านั้น ภายในบรรจุแผ่นโลหะ 2 ชั้น ชั้นหนึ่งเป็นแผ่นโลหะแม่เหล็กถาวรติดตั้งตายตัวไว้กับกล่องพลาสติก อีกชั้นหนึ่งเป็นแผ่นโลหะไร้สัญญาณ ติดตั้งในลักษณะที่สามารถสั่นไหวได้ หลักการทำงานของระบบ EAS แบบ Acoustomagnetic มาจากความเป็นจริงที่ว่าโลหะบางประเภทที่จัดว่าเป็น Ferromagnetic metal ตัวอย่างเช่น นิกเกิลและเหล็ก จะมีขนาดที่ยึดหดได้เมื่อนำมาวางไว้ในสนามแม่เหล็ก H เรียก ปรากฏการณ์นี้ว่า Magnetostriction หลักการทำงานของระบบ EAS ชนิดนี้จึงเป็นการเอาข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมาใช้ในการออกแบบ โดยกำหนดให้เครื่องส่งทำการส่งสนามแม่เหล็ก H เป็นช่วง ๆ สนามแม่เหล็กจะแพร่กระจายครอบคลุมพื้นที่ตรวจจับ เมื่อมีการนำอุปกรณ์ Tag ที่ทำงานในย่านความถี่เดียวกับการส่งสนามแม่เหล็กดังกล่าวเข้ามา ก็จะมีผลทำให้โลหะไร้สัญญาณภายในตัว Tag เกิดจากกำทอนและสั่นไหว โดยจะสั่นไหวต่อเนื่องไปอีกระยะหนึ่งแม้จะหยุดส่งสนามแม่เหล็กไปแล้ว อันเป็นผลมาจากแท่งแม่เหล็กถาวรที่ติดตั้งอยู่ร่วมกันนั่นเอง ซึ่งการสั่นไหวภายในอุปกรณ์ Tag นั้นก็จะก่อให้เกิดคลื่นแม่เหล็กอ่อนที่มีความถี่เดียวกันกับคลื่นแม่เหล็กที่มีการป้อนมาจากอุปกรณ์เครื่องส่ง

การออกแบบเครื่องรับเพื่อทำการตรวจจับอุปกรณ์ Tag จึงทำได้ง่าย เพราะเพียงตรวจสอบดูช่วงเวลาที่ไม่มีการส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กจากเครื่องส่ง ว่ายังมีสัญญาณตกค้างเหลืออยู่หรือไม่ หากมีก็เท่ากับว่ามีอุปกรณ์ Tag ที่ยังไม่ถูกลบสถานะปรากฏอยู่ในพื้นที่ตรวจสอบ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามีการลักลอบนำสินค้าที่ยังไม่ได้ชำระเงินออกจากร้าน

บทที่ 4

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 บิตที่ใช้เทคโนโลยีง่าย ๆ ในการตรวจจับ โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องลูกข่าย เช่น การใช้งานออสซิลเลเตอร์กระตุ้น หรือการใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภท ไดโอด หรือวัสดุประเภทโลหะไวรัสนฐานซึ่งมีคุณสมบัติการตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กเฉพาะตัวแล้วตรวจจับการเปลี่ยนคุณสมบัติโดยแทนเสมือนหนึ่งการเปลี่ยนสถานะลอจิกของอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID จาก “0” เป็น “1” หรือในทางกลับกัน



รูปที่ 4.1 แสดงความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential

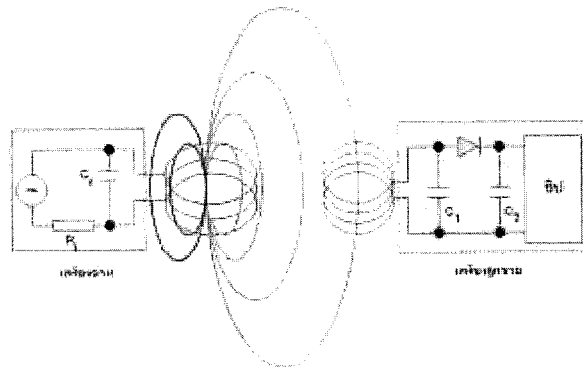
การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย (Downlink) และการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน (Uplink) สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ต่างจากการสื่อสารแบบ Half Duplex ซึ่งแม้เครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา แต่ก็ต้องมีการกำหนดจังหวะผลัดกันรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย สำหรับการสื่อสารแบบสุดท้ายคือ Sequential นั้น จะมีการจำกัดเวลาในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไปให้เครื่องลูกข่ายในลักษณะของพัลส์ (Pulse) หรือก่อนพลังงานที่ส่งออกในแต่ละช่วงเวลาและใช้การปรากฏขึ้นของพลังงานไฟฟ้าหรือพัลส์นี้เป็นสัญญาณกำหนดให้มีการส่งข้อมูล Downlink ส่วนช่วงที่ไม่มีพลังงานปรากฏอยู่จะเป็นการส่งสัญญาณ Uplink เพื่อทำความเข้าใจกับรูปแบบในการรับส่งข้อมูลแล้ว จะขอกกล่าวถึงระบบแบบ Duplexing ซึ่งสามารถจำแนกตามรูปแบบการทำงานได้ 4 ประเภท อันได้แก่เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling, Electromagnetic backscatter Coupling, Close Coupling และเทคโนโลยี Electrical Coupling

4.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็ก โครงสร้างของเครื่องลูกข่ายประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือชิปที่ใช้เก็บบันทึกข้อมูลต่าง ๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ ทั้งนี้ผู้เขียนจะกล่าวถึงเทคนิคในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องลูกข่ายเพื่อเลี้ยงให้อุปกรณ์ชิปสามารถทำงานได้ก่อนจะกล่าวถึงเทคนิคที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

4.1.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เนื่องจากการทำงานของเครื่องลูกข่ายนั้นเป็นแบบพาสซีฟ (Passive operation) กล่าวคือไม่มีแหล่งจ่ายพลังงานภายในเป็นของตนเอง จึงจำเป็นต้องรับพลังงาน (Energy) มาจากเครื่องอ่าน โดยตรงดังแสดงในรูปที่ 4.2 ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่าน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ กำลังสูงสามารถแพร่กระจายไปในพื้นที่ใช้งาน และสามารถตกกระทบขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 4.2 เทคโนโลยี Inductive Coupling กับการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน

ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกมาจากเครื่องอ่านนี้มีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ซึ่งโดยทั่วไปมักวางห่างกันในหลักไม้มากนัก ในขณะที่เทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling ส่วนใหญ่ใช้ความถี่ต่ำเพียง 135 KHz หรืออาจจะต่ำกว่า ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีความยาวคลื่นสูงมากถึง 2,400 เมตร แม้ในบางระบบที่ความถี่ใช้ความถี่สูงในย่าน 13.56 GHz ก็ยังกำเนิดคลื่นสัญญาณที่มีความยาวถึง 22.1 เมตร จึงไม่มีปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไปจนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบนหรือถูกกลทอนจากผนังอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ หากพิจารณาถึงพื้นที่ใช้งานโดยทั่วไปที่มีได้ไกลหรือกว้างใหญ่มากนัก

สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะตก กระทบขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่าย เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อน ๆ ขึ้นบนขดลวดดังกล่าว ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากระบวนการเรกติไฟร์โดยตัวเก็บประจุไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับอุปกรณ์ชิป ทั้งนี้หัวใจของการออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ CI ซึ่งจะต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด (L) เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่กำทอน (Resonant frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่กำทอน (Resonant frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องลูกข่าย

เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงมากขึ้น จะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงใช้จำนวนรอบในการพันลวดลงเช่นกัน ตัวอย่างเช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 135 KHz จะต้องมีการพันขดลวดสายอากาศที่เครื่องลูกข่ายในช่วง 100 – 1,000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 MHz ก็จะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวดจะเหลือเพียง 3 – 10 รอบ

4.1.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

มาตรฐาน RFID แบบ Inductive Coupling กำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่านหรือ Uplink Communication โดยใช้เทคโนโลยีตัวเลือกที่เป็นการส่งกระจายคลื่นความถี่วิทยุออกเป็น 3 ประเภท คือ Load Modulation, Load Modulation with subcarrier และ Sub harmonic procedure ซึ่งผู้เขียนไม่ขอแปลความหมายเป็นไทย แต่จะอธิบายหลักการทำงานของเทคโนโลยีตัวเลือกทั้ง 3 ประเภทเพื่อให้เข้าใจโดยสังเขปดังนี้

4.1.2.1 เทคโนโลยี Load Modulation

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

หากมีการนำเครื่องลูกข่ายซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ ตรงกันกับค่าความถี่กำหนดของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่มีการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน เครื่องลูกข่ายย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้ว เครื่องอ่านจะมองเห็นเครื่องลูกข่ายเป็นโหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ Z_T ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ Z_T ที่เครื่องอ่านมองเห็นอย่างแน่นอน เนื่องจากในแง่ของวงจร Resonant ที่เกิดจากขดลวด (L) และตัวเก็บประจุ (C) บนเครื่องลูกข่ายย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ตกกระทบ และไม่มีการจ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับความถี่เท่ากับศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เสมือน Z_T นี้ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านโดยปริยาย ซึ่งนี่เองที่เป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมา เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Load Modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half Duplex หรือ Full Duplex นั้นก็สุดแท้แต่การออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณ ซึ่งเป็นเรื่องที่ลงรายละเอียดไปในการออกแบบ

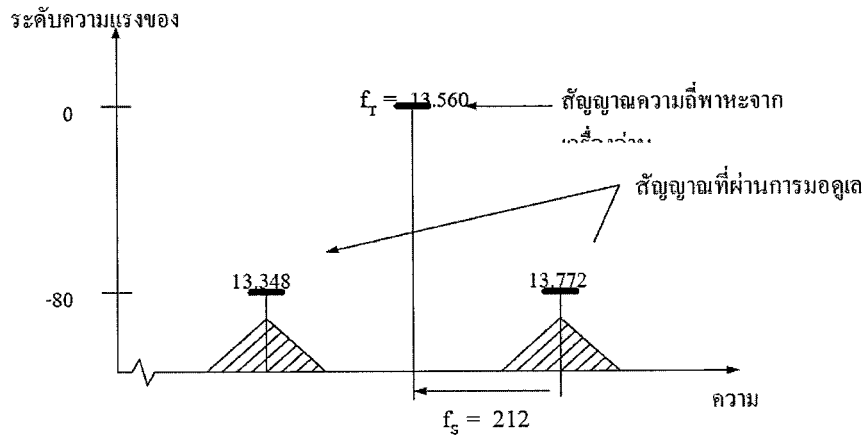
4.1.2.2 เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier

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

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

เนื่องจากปัญหาในเรื่องของขนาดแรงดันสัญญาณข้อมูลที่ต่ำมากๆ ทำให้ต้องออกแบบวงจรตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ซับซ้อนและมีต้นทุนสูงมาก จึงมีการปรับปรุงรูปแบบการตรวจจับสัญญาณ โดยใช้เทคนิค Load Modulation with subcarrier ซึ่งในกรณีที่มีการส่งข้อมูลจำนวนมาก ๆ ซึ่งหากมองในแง่ของเครื่องอ่านย้อนกลับมายังเครื่องลูกข่าย จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าด้วยความถี่ค่าหนึ่ง

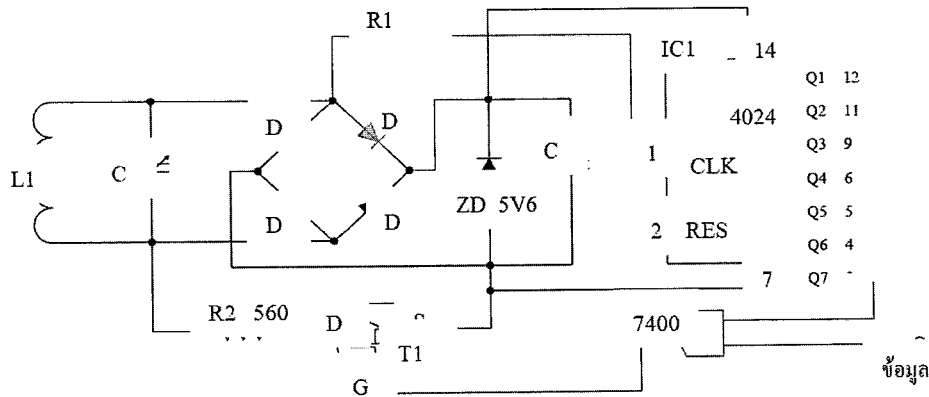
กล่าวคือมีความต้องการส่งข้อมูลข่าวสารในแบนด์วิดธ์ช่วง f_s ซึ่งเป็นค่าความถี่ต่ำ โดยใช้ความถี่คลื่นพาหะที่เป็นความถี่สูงกว่ามากๆ ซึ่งในกรณีของอุปกรณ์ RFID นั่นก็คือความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายนั่นเอง หากมีการนำอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ซึ่งมีคุณสมบัติในการรวมสัญญาณ ดังเช่นที่ใช้กันในเครื่องรับ-ส่งคลื่นวิทยุมาต่อในวงจรภายในเครื่องลูกข่าย ก็จะทำให้เกิดการมอดูเลตสัญญาณ ทำให้ปรากฏคลื่นความถี่ไซด์แบนด์ (Sideband) หรือความถี่ข้างเคียงมีค่าเท่ากับ $f_T + f_s$ และ $f_T - f_s$ โดย f_T ก็คือความถี่ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID นั่นเอง รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 สัญญาณข้อมูลที่ถูกบรรจุใน ไซเคิลแบนด์ของความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย RFID

เมื่อเป็นเช่นนี้ การตรวจจับสัญญาณที่ปรากฏบนเครื่องอ่านก็จะง่ายดายนั่น โดยเพียงแค่ทำการติดตั้งอุปกรณ์แยกกรองความถี่ (Band pass filter) ที่ขดลวดของเครื่องอ่าน โดยสามารถเลือกเฉพาะสัญญาณในไซเคิลแบนด์ด้านใดด้านหนึ่งที่ต้องการ ($f_c \pm f_s$) จากนั้นจึงนำสัญญาณที่กรองออกมาไปทำการขยายแล้วทำการดีมอดูเลต ก็จะได้สัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องลูกข่าย โดยไม่มีปัญหาการผิดพลาดจากการตรวจจับ และไม่ต้องใช้วงจรตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ซับซ้อนอีกแต่อย่างใด และเนื่องจากข้อมูลที่มีการส่งออกมาจากเครื่องลูกข่ายไปยังเครื่องอ่าน แท้จริงแล้วเป็นค่าข้อมูลไบนารีที่สถานะเพียง “1” หรือ “0” จึงสามารถเลือกใช้รูปแบบการมอดูเลตสัญญาณสัญญาณแบบดิจิตอลได้หลากหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็น ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) หรือ PSK (Phase Shift Keying)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความถี่ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน ทำให้ต้องมีการกันแบนด์วิดท์สำหรับการรับส่งข้อมูลไว้ค่อนข้างสูง ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.3 ซึ่งต้องการแบนด์วิดท์รอบความถี่พื้นฐานมากถึง 212 KHz ทำให้ไม่สามารถใช้เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier ได้กับระบบ RFID ที่ใช้ความถี่ต่ำในการสื่อสารข้อมูล ข้อกำหนดมาตรฐาน RFID จึงระบุว่าสามารถใช้เทคโนโลยีดังกล่าวได้เฉพาะกับมาตรฐาน RFID แบบ Inductive Coupling ที่ความถี่ 6.78 MHz 23.56 MHz และ 27.125 MHz เท่านั้น รูปที่ 4.4 เป็นตัวอย่างวงจรจริงที่ใช้ในการสร้างสัญญาณ ไซเคิลแบนด์บนอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย



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

4.1.2.3 เทคโนโลยี Sub harmonic Procedure

เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในกรณีที่ใช้งานระบบ RFID ในย่านความถี่ต่ำ และไม่สามารถนำเทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier มาใช้งานได้ เทคโนโลยีเป็นการนำสัญญาณข้อมูลที่เครื่องลูกข่ายต้องการส่งกลับไปยังเครื่องอ่านมาทำการป้อนผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อทำให้เกิดการกระจายสัญญาณออกเป็นสัญญาณฮาร์โมนิกย่อยๆ หรืออาจใช้การป้อนกลับสัญญาณที่ต้องการจะส่งออกไปผ่านยังวงจรความถี่เพื่อให้เกิดสัญญาณข้อมูลที่บรรจุข้อมูลข่าวสารเหมือนสัญญาณต้นฉบับ แต่มีความถี่ลดลง 2 เท่า จึงนำสัญญาณใหม่ที่มีความถี่ต่ำลงนี้ ไปผ่านเข้าสู่วงจรภาคมอดูเลตสัญญาณ เพื่อป้อนเข้าสู่ขดลวดของเครื่องลูกข่าย ให้มีการส่งผ่านอากาศกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยทั่วไปแล้วมักนิยมใช้เทคโนโลยี Sub harmonic Procedure กับระบบ RFID ที่ย่านความถี่ 128 KHz ซึ่งย่อหมายความว่าเครื่องลูกข่ายชนิดนี้จะส่งสัญญาณข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่านที่ความถี่ครึ่งหนึ่งคือ 64 KHz การแยกแยะสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายกับแรงดันไฟฟ้าที่ล้นปรากฏขึ้นที่ขดลวดสายอากาศของเครื่องรับสามารถทำได้ง่าย โดยการใช่วงจรแยกกรองความถี่ เช่นเดียวกับในกรณีของเทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier

4.2 เทคโนโลยี Electromagnetic backscatter Coupling

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

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

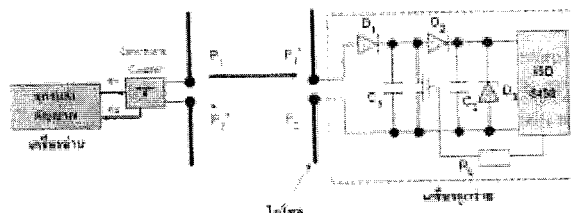
เมื่อนำสมการดังกล่าวมาคำนวณง่าย ๆ โดยประเมินว่าชิปที่อยู่ภายในเครื่องลูกข่ายจะทำงานได้โดยปกติต้องได้รับพลังงานไฟฟ้าป้อนเข้าประมาณ $5 \mu\text{W}$ หากคิดว่าวงจรเรกติไฟร์ซกรองแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาจากคลื่นความถี่ที่รับได้ ณ สายอากาศของเครื่องลูกข่ายมีเสถียรภาพในการกรองไฟ (หมายความว่า เชื่อใจได้ว่ากรองได้ราบเรียบมากน้อยเพียงใด)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

4.2.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

การใช้คลื่นความถี่ย่านต่างๆ ในการรับส่งสัญญาณระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน RFID นั้น มีข้อจำกัดในเรื่องระยะทาง ซึ่งจะต้องควบคุมมิให้ค่าการลดทอนสัญญาณของอากาศมีเกินกว่า 40 dB นั้นหมายความว่า หากใช้ความถี่ย่าน 868 MHz ระยะห่างสูงสุดที่ยอมให้มีได้ระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน RFID จะต้องไม่เกินกว่า 3 เมตร และหากใช้ความถี่สูงขึ้นเป็น 2.45 GHz ระยะทางก็จะลดลงเป็นไม่เกิน 1 เมตร ซึ่งในทางปฏิบัติถือว่าเป็นเรื่องเสียงมาก เนื่องจากมีการประยุกต์ใช้งานระบบ RFID ที่ต้องการระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องรับมากกว่าค่าดังกล่าว

4.2.2 การส่งข้อมูลจากรงลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

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



รูปที่ 4.5 แสดงหลักการทำงานส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย RFID ไปยังเครื่องอ่าน โดยใช้เทคโนโลยี Modulated reflection cross-section

รูปที่ 4.5 สามารถอธิบายเทคโนโลยีการส่งสัญญาณโดยใช้เทคโนโลยี Modulated reflection cross-section ได้เป็นอย่างดี สมมุติให้เครื่องอ่านทำการส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ P_1 ผ่านสายอากาศออกไปยังเครื่องลูกข่าย สัญญาณส่วนหนึ่งยอมปรากฏและตกกระทบที่สายอากาศของเครื่องลูกข่าย สมมุติว่ามีขนาดความแรง P_1' สัญญาณดังกล่าวเป็นสัญญาณความถี่สูง (HF) และ

ถูกนำไปผ่านกระบวนการกรองแรงดันโดยวงจรเรกติไฟร์ด้วยไดโอด D1 และ D2 ซึ่งวงจรส่วนนี้เองที่ทำหน้าที่เป็นเหมือนสะพานไฟ สำหรับ “จ่าย” หรือ “หยุดจ่ายไฟ” ให้กับไมโครชิปในกรณีที่เครื่องลูกข่ายอยู่นอกพื้นที่ตรวจสอบ

สัญญาณ P1' ส่วนหนึ่งจะสะท้อนสายอากาศของเครื่องลูกข่ายกลับไป โดยอาจมีขนาดความแรงลดลง เรียกแทนว่าสัญญาณ P2 ซึ่งเครื่องลูกข่ายจะใช้สัญญาณนี้เองเป็นคลื่นพาหนะในการส่งข้อมูลข่าวสารจากไมโครชิปกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยในทางปฏิบัติจะติดตั้งโหลด (RL) ไว้บนสายอากาศของเครื่องลูกข่าย เมื่อมีการส่งข้อมูล “0/1” จากไมโครชิปออกไป โหลด RL จะเปลี่ยนค่าไปตามค่าข้อมูลและจะมีผลทำให้ลักษณะทางกายภาพของคลื่นสะท้อน P2 เปลี่ยนแปลงไปตามค่าข้อมูลไปในารีที่ต้องการส่งกลับไปยังเครื่องรับสัญญาณ P2 นี้จะเดินทางย้อนผ่านอากาศเปิดกลับไปยังสายอากาศของเครื่องอ่านปรากฏเป็นสัญญาณ P2' สัญญาณที่ได้รับนี้จะถูกป้อนผ่านวงจรแยกทิศทางสัญญาณ (Directional Coupler) ที่เครื่องอ่านเพื่อป้อนเข้าสู่ภาครับของเครื่องอ่าน ทั้งนี้ค่าสัดส่วนระหว่างสัญญาณ P1/P2 นั้น ค่าสำคัญที่จะกำหนดความไวและความเที่ยงตรงในการส่งข้อมูลข่าวสาร โดยสามารถคำนวณได้จากสมการการทำงานของเรดาห์โดยทั่วไป

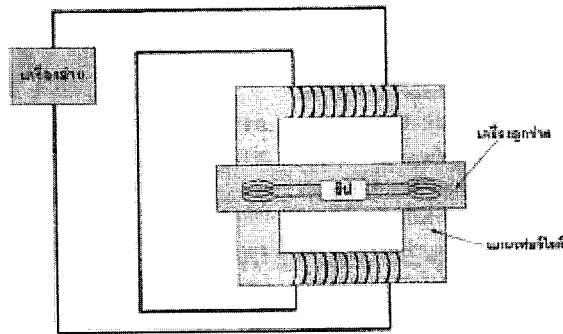
4.3 เทคโนโลยี Close Coupling

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

4.3.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เมื่อมีการสอดหรือวางบัตรพลาสติกที่เป็นเครื่องลูกข่าย RFID ชนิดนี้เข้าไปในหรืออยู่บนเครื่องอ่าน ในทางเทคนิคจะหมายถึง การวางตำแหน่งขดลวดของเครื่องลูกข่ายให้อยู่ในระยะทำการ โดยมีอากาศเป็นตัวกลางกั้นระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านในระยะสั้นๆ เท่านั้น ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4.6 ในกรณีนี้ขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านจะทำหน้าที่เป็นเสมือนขดลวดปฐมภูมิ ในขณะที่ขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะเป็นดังเช่นขดลวดทุติยภูมิ เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ภายในเครื่องอ่านจะมีการกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงเพื่อป้อนผ่านขดลวดปฐมภูมิ ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กความเข้มสูงเหนี่ยวนำผ่านช่องว่างของอากาศ

ไปทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นบนขดลวดทุติยภูมิบนเครื่องลูกข่าย ก่อให้เกิดการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ไมโครชิป



รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบการสัมผัสของบัตรพลาสติกที่เป็นเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling กับเครื่องอ่าน

เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นบนขดลวดทุติยภูมิมีค่าแปรผันโดยตรงกับความถี่ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยมกำหนดความถี่ใช้งานให้สูงที่สุดเท่าที่เทคโนโลยีจะสามารถรองรับได้ ซึ่งในปัจจุบันก็ได้ความถี่ในย่าน 1 ถึง 10 MHz นอกจากนั้นยังมีการเลือกใช้วัสดุประเภทเฟอร์ไรท์มาทำเป็นแกนสำหรับพันขดลวดของเครื่องอ่าน เนื่องจากเฟอร์ไรท์มีค่าความสูญเสียของการนำพาสนามแม่เหล็กต่ำกว่าวัสดุประเภทอื่นๆ เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีที่สุดในการถ่ายทอดพลังงาน เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling หรือเทคโนโลยี RFID ที่ใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสาร เทคโนโลยีแบบ Close Coupling จึงได้รับความนิยมใช้งานมากที่สุดสำหรับเครื่องลูกข่ายที่ต้องการกำลังไฟฟ้า สูง ๆ เพื่อป้อนให้กับไมโครชิป ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถป้อนกำลังไฟให้กับไมโครชิปที่กินไฟมากถึง 10 มิลลิวัตต์ ได้อย่างไม่มีปัญหาใด ๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้การวางข้อกำหนดทางกลศาสตร์และทางไฟฟ้าของแผ่นเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling ไว้ตามมาตรฐาน ISO 10536

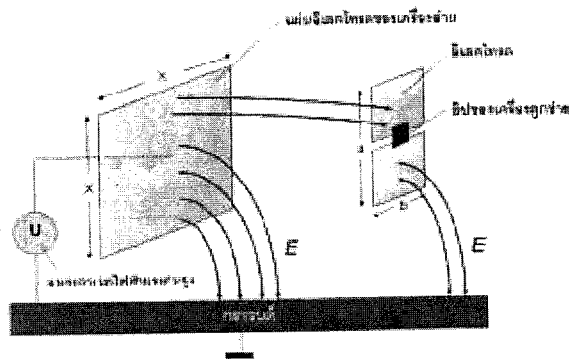
4.3.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling มายังเครื่องอ่านนั้น สามารถทำได้สองวิธีด้วยกัน คือใช้เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในกรณีมาตรฐานแบบ Inductive Coupling หรืออาจใช้เทคโนโลยี Capacitive Coupling ซึ่งอาศัยประโยชน์จากระยะห่างที่ค่อนข้างสั้นระหว่างขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน โดยมีการ

ติดตั้งแผ่นตัวเก็บประจุ (Plate Capacitor) ทั้งที่บัตรพลาสติกบนเครื่องลูกข่าย และบนเครื่องอ่านในลักษณะที่ให้หน้าสัมผัสคู่ปลิง (Coupling Surface) ของทั้งเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านอยู่ในแนวเดียวกัน ในยามที่มีการสัมผัสหรือสอดเครื่องลูกข่ายเข้าไปในเครื่องอ่าน แล้วใช้การเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเป็นตัวส่งผ่านข้อมูลจากไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายผ่านสนามไฟฟ้าไปสู่เครื่องอ่าน

4.4 เทคโนโลยี Electrical Coupling

เป็นเทคโนโลยี RFID ชนิด Full Duplex/Half Duplex อีกประเภทหนึ่งที่ใช้หลักการสร้างสนามไฟฟ้า (Electric field) ขึ้นจากเครื่องอ่านแล้วใช้คุณสมบัติของสนามไฟฟ้าในระยะทางใกล้ๆ สายอากาศของเครื่องอ่าน ซึ่งออกแบบให้มีลักษณะเป็นแผ่นอิเล็กโทรดขนาดใหญ่ ในการสร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เกิดขึ้นบนสายอากาศของเครื่องลูกข่ายที่มีการจัดสร้างเป็นแผ่นอิเล็กโทรดเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.7 แสดงโครงสร้างและการทำงานของระบบ RFID แบบ Electrical Coupling

4.4.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

จากรูปที่ 4.7 เครื่องอ่านได้รับการออกแบบให้ต่อเชื่อมต่อกับสายอากาศที่มีลักษณะเป็นอิเล็กโทรดขนาดใหญ่ โดยทั่วไปมักทำจากแผ่นโลหะหรือแผ่นฟอยล์โลหะ จากนั้นจึงทำการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง เข้าสู่แผ่นอิเล็กโทรด เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของแผ่นอิเล็กโทรดที่มีค่าความเหนี่ยวนำภายใน (L) และค่าคาปาซิแตนซ์ (เทียบได้กับตัวเก็บประจุ) ระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดกับกราวด์หรือพื้นโลก จึงทำให้เกิดวงจรเสมือนของแผ่นอิเล็กโทรดที่เทียบได้กับวงจร LC ซึ่งมีความถี่กำทอน (Resonant Frequency) เป็นคุณสมบัติประจำตัว หากทำการป้อนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่ตรงกันกับความถี่กำทอนของแผ่นอิเล็กโทรด ก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏขึ้นบนแผ่นอิเล็กโทรดนั้นมีระดับสูงขึ้นมา อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์เร

โซแนนท์ ซึ่งเป้าหมายในการใช้งานจริง มักกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าบนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์กับกราวด์มีค่าสูงตั้งแต่หลักร้อยถึงหลักพันโวลต์แรงดันดังกล่าว ก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์กับกราวด์ที่อยู่รอบ ๆ

เมื่อนำเครื่องลูกข่ายมาอยู่ในพื้นที่ใช้งานอันมีสนามไฟฟ้าจากเครื่องอ่านปรากฏอยู่ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์บนและแผ่นส่งของเครื่องลูกข่ายดังแสดงในรูปที่ 4.7 ก่อให้เกิดกระแสไหลเวียนอยู่ภายในวงจรของเครื่องลูกข่ายเพื่อไปเลี้ยงให้กับไมโครชิป

4.4.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

เมื่อมีการนำเครื่องลูกข่ายมาไว้ในพื้นที่ใช้งาน อันหมายถึงบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าจากแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องอ่านปรากฏอยู่ จะมีผลทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่าย (RL) มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความถี่กำหนด โดยมีการแบ่งแรงดันไฟฟ้าผ่านมาจากค่าคาปาซิแตนซ์ CR-T ดังแสดงในรูปที่ 14 อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ RMod ซึ่งเครื่องลูกข่ายใช้ในการส่งสัญญาณไบนารีที่เป็นข้อมูลป้อนกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยผ่านทางทรานซิสเตอร์เพื่อเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ RMod ซึ่งจะทำให้พฤติกรรมทรานซิสเตอร์สัญญาณผ่านทางวงจรแบ่งแรงดันมีค่าเปลี่ยนแปลงไป เช่น เมื่อเครื่องลูกข่ายต้องการส่งข้อมูลไบนารีบิตใดบิตหนึ่งที่มีค่าเป็น “0” ก็จะทำการเปิดวงจรสวิทช์ซึ่งออกทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่ายเป็น RL ตามปกติ ในขณะที่จะปิดวงจรเพื่อเพิ่มค่า RMod ในกรณีที่ต้องการส่งบิตข้อมูลที่มีค่า “1” ทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่ายลดลง ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการมอดูเลตสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุจากการเปลี่ยนแปลงอินพุตอิมพีแดนซ์นี้ โดยทำให้เกิดผลการเปลี่ยนแปลงระดับแอมพลิจูดและสามารถตรวจจับได้ที่แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องอ่าน ซึ่งก็คือ สายอากาศอากาศรับนั่นเอง ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้ก็จัดได้ว่าเป็นการส่งข้อมูลแบบ Load Modulation ประเภทหนึ่ง

4.4.3 การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่าย

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

4.5 เครื่องลูกข่ายที่ใช้การสื่อสารแบบ Sequential

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

4.5.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายที่ใช้เทคโนโลยีสื่อสาร Sequential แบบ Induct Coupling ได้รับการออกแบบให้ใช้งานที่ย่านความถี่ 135 KHz โดยสามารถมองว่าอากาศที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคู่ (Coupled) ระหว่างขดลวดรับส่งของเครื่องอ่านและขดลวดของเครื่องลูกข่ายทำหน้าที่เป็นเหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้า ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่าย แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ปรากฏขึ้นบนขดลวดของเครื่องลูกข่ายจะถูกนำไปกรองระดับ (Rectify) เพื่อให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับใช้ป้อนให้กับวงจรไฟฟ้าและชิปประมวลผลบนเครื่องลูกข่าย เนื่องจากเครื่องอ่านมีการส่งพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่ายเฉพาะช่วงเวลาหนึ่ง ๆ มิได้ส่งพลังงานตลอดเหมือนดังเช่นมาตรฐาน RFID แบบ Duplexing เครื่องลูกข่ายจึงต้องได้รับการออกแบบให้สามารถเหนี่ยวนำพลังงานในย่านความถี่ใช้งานให้มากที่สุด ซึ่งในทางปฏิบัติหมายถึงการออกแบบค่าของขดลวดสายอากาศสำหรับเครื่องลูกข่ายให้มีคุณภาพสูงสุด และเพื่อให้สะดวกในการปรับแต่งค่าตัวเก็บประจุในวงจร โชนนัทของเครื่องลูกข่ายให้ตรงกับความถี่ใช้งานที่สุด จึงนิยมออกแบบไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายให้มีค่าตัวเก็บประจุที่สามารถปรับแต่งได้ (On-chip Trimming Capacitor) ทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติมากขึ้น เนื่องจากหลักการทำงานของมาตรฐาน RFID แบบ Sequential ที่เครื่องลูกข่ายจะได้รับการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้า โดยการเหนี่ยวนำผ่านทางคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากเครื่องอ่านเฉพาะช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เท่านั้น พลังงานที่ได้รับทั้งหมดจะต้องถูกส่งไปประจุ (Charge up) ตัวเก็บประจุภายในวงจรของเครื่องลูกข่าย เพื่อสะสมพลังงานไว้ให้เพียงพอสำหรับใช้ป้อนให้กับวงจรการทำงานและไมโครชิปเพื่อทำงานในช่วงที่เครื่องลูกข่ายต้องส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน และเป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ไม่มีการป้อนพลังงานไฟฟ้ามาจากเครื่องอ่าน ดังนั้นไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายจึงต้องมีความสามารถในการปรับการ

ทำงานเป็นแบบกินไฟน้อย (Stand-by) ในช่วงเวลาที่มีการรับพลังงานไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาจากเครื่องอ่านและมีการประจุตัวเก็บประจุ หลังจากช่วงเวลาการเก็บประจุพลังงานผ่านไป ประกอบกับไม่มีการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านอีก ไมโครชิปก็จะปรับการทำงานมาเพื่อพร้อมส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องอ่าน สิ่งสำคัญในการออกแบบเครื่องลูกข่ายก็คือ การคำนวณค่าตัวเก็บประจุที่สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอสำหรับให้เครื่องลูกข่ายใช้ในระหว่างการส่งข้อมูล

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

โดยที่ V_{\max} และ V_{\min} คือระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดที่อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายสามารถทำงานได้ 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 $C = 100$ นาโนฟารัด

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

เมื่อเป็นเช่นนี้จึงเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่พึงเกิดขึ้นบนเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling มาตรฐาน Sequential จะมีมากกว่ามาตรฐาน Duplexing ส่งผลให้เกิดข้อได้เปรียบในเรื่องของกำลังส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุจากเครื่องลูกข่ายแบบ Sequential ที่ได้ระยะทางไกลกว่าแบบ Duplexing อย่างไรก็ตามข้อได้เปรียบดังกล่าว ก็ต้องแลกมาด้วยความละเอียดอ่อนในการออกแบบ และเลือกใช้อุปกรณ์ประกอบที่นำมาสร้างเป็นวงจรเครื่องลูกข่าย ไม่ว่าจะเป็นการเลือกประเภทของขดลวดสายอากาศ (L) และค่าตัวเก็บประจุ (C) ที่ใช้ทั้งเก็บแรงดันไฟฟ้าและทำงานร่วมกับขดลวด เพื่อเป็นวงจรโซแนนท์กำเนิดสัญญาณคลื่นวิทยุส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน

4.5.1.1 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

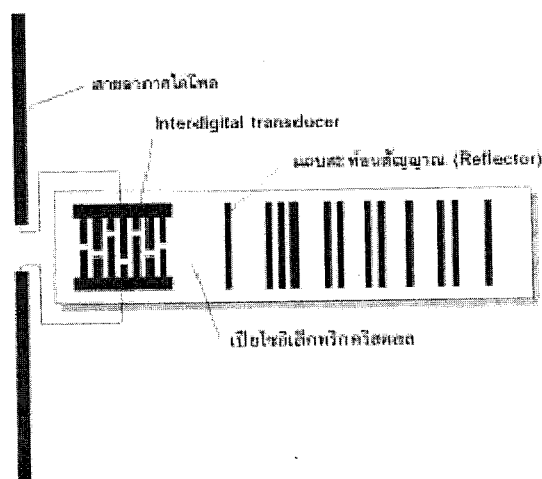
การทำงานของวงจรไฟฟ้าบนเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลาด้วยกัน คือเมื่อเริ่มมีการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่าย อันมีทั้งการส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ ช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่เรียกว่า “ช่วงประจุไฟฟ้า” หรือ Charging Phase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

เครื่องอ่านจะตรวจพบระดับความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องลูกข่ายและจะเริ่มรับข้อมูลที่เครื่องลูกข่ายส่งกลับมา เนื่องจากไมโครชิพบนเครื่องลูกข่ายเริ่มมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เก็บสะสมไว้ในตัวประจุ C เรื่อย ๆ ทำให้เกิดการกินกระแสไฟฟ้า และระดับไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ C ลดลง ซึ่งหากออกแบบขนาดของตัวเก็บประจุไว้ให้สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้พอดีกับช่วงเวลาในการส่งข้อมูล ก็จะทำให้กระบวนการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปสู่เครื่องอ่านเสร็จสิ้นตรงตามเวลา เรียกช่วงเวลาที่ล่องนี้ว่า “ช่วงการส่งข้อมูล” หรือ Reading Phase หลังจากช่วงเวลานี้ไปแล้ว วงจรคายประจุ ก็จะทำการคายประจุไฟฟ้าที่เหลือค้างอยู่บนตัวเก็บประจุ

C ออกให้หมด ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏบนเครื่องลูกข่ายมีค่าเป็นศูนย์อีกครั้ง และเป็นการรีเซ็ตการทำงานของไมโครชิปให้อยู่ในโหมดเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling มาตรฐาน Sequential กำหนดให้เครื่องลูกข่ายส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยใช้ความถี่วิทยุค่าเดียวกับที่เครื่องอ่านส่งออกมาในช่วงประจุไฟฟ้า เป็นการผลิตกันส่งความถี่ค่าเดียวกัน จึงทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเอาชนะสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งได้สูงขึ้นถึง 20 dB เมื่อเทียบกับกรณีของมาตรฐานแบบ Duplexing ซึ่งเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายต่างส่งความถี่คนละค่า สวนทางต่อเนื่องกันตลอดเวลา หมายความว่าเมื่อใช้แบบเทคโนโลยีแบบ Sequential แล้วจะทำให้เพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายได้มากขึ้นนั่นเอง

4.5.2 เครื่องลูกข่ายแบบ Surface Acoustic Wave

หลักการทำงานของเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW ใช้พฤติกรรมของเปียโซอิเล็กทริก ดังกล่าวโดยมีการสร้างแผ่นรอง (Substrate) ที่ผลิตขึ้นจากผลึกเปียโซอิเล็กทริกคริสตอล มาตีเป็นแผ่นบางยาว จากนั้นจึงทำการติดตั้งแถบรหัสเครื่องลูกข่าย (Transducer) และแถบสะท้อนสัญญาณ (Reflector) ซึ่งเป็นแผ่นอิเล็กโทรดลงบนแผ่นรอง ซึ่งส่วนใหญ่ผลิตจากวัสดุประเภทลิเทียมไนโอเบต (Lithium niobate) หรือ ลิเทียมแทนทาลेट (Lithium Tantalate) การติดตั้งแผ่นอิเล็กโทรดกระทำโดยผ่านกระบวนการ Photolithographic แบบเดียวกันการยิงสารตัวนำลงบนแผ่นรองในกระบวนการผลิตไมโครชิปทั่วไป

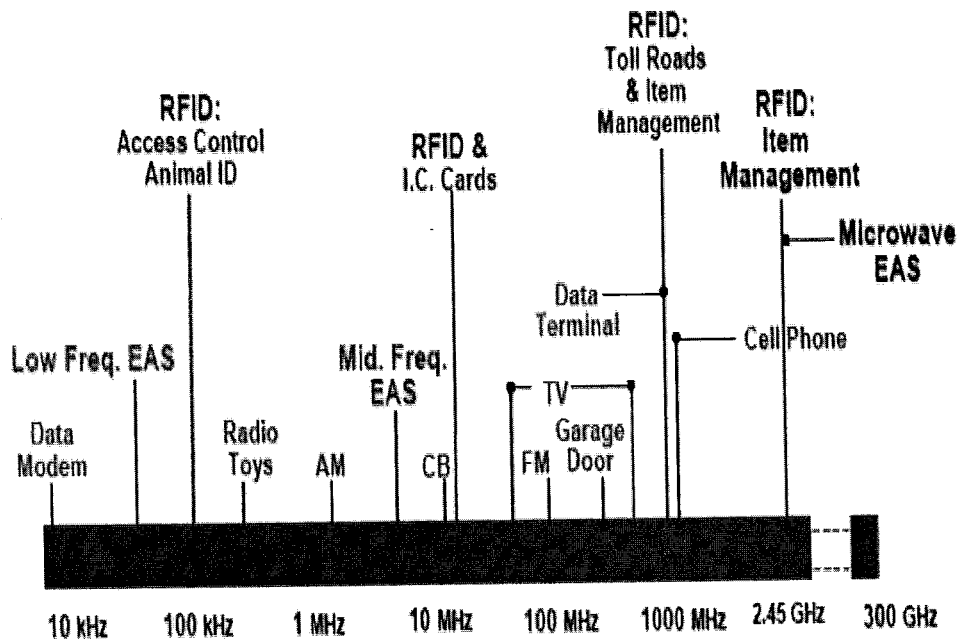


รูปที่ 4.8 แสดงโครงสร้างของเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW

หลักการการทำงานของเครื่องลูกข่าย SAW เป็นดังนี้ เมื่อเครื่องอ่านทำการส่งคลื่นความถี่วิทยุมายังเครื่องลูกข่าย RFID แบบ SAW สัญญาณที่ได้รับจะตกกระทบสายอากาศโคโพล พร้อมกับได้ส่งออกมาจากเครื่องอ่านแพร่กระจายไปตลอดแนวความยาวของแผ่นรอง ซึ่งโดยทั่วไปความเร็วในการแพร่กระจายของคลื่นพื้นผิวจะเร็วถึง 3,000 ถึง 4,000 เมตรต่อวินาที ตลอดระยะทางของการเคลื่อนที่ของคลื่นพื้นผิวนั้น คลื่นจะวิ่งไปกระทบกับแถบสะท้อนสัญญาณ ซึ่งเป็นกลุ่มอิเล็กโทรดที่วางเรียงไปตามความยาวของแผ่นรอง คลื่นกระทบกับแถบสะท้อนสัญญาณขึ้นใดก่อนก็จะสะท้อนย้อนกลับไปยัง Interdigital Transducer ดังนั้นในภาพรวม หลังจากที่เครื่องอ่านหยุดส่งสัญญาณออกมา ก็จะเป็นช่วงเวลาพอดีกับที่คลื่นสะท้อนแรกที่กระทบกับแถบสะท้อนสัญญาณตัวแรกย้อนกลับมาถึง Interdigital Transducer และเกิดการแปลงคลื่นพื้นผิวกลับไปเป็นกระแสไฟฟ้า และส่งผ่านสายอากาศโคโพลไปเป็นคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งย่อมต้องเป็นความถี่เดียวกันกับความถี่ที่เครื่องอ่านส่งออกมาในช่วงแรก เครื่องอ่านจะได้รับสัญญาณสะท้อนกลับมาในลักษณะของรหัส โดยการเรียงตัวของแถบสะท้อนสัญญาณนั่นเอง ที่จะกำหนดช่วงห่างระหว่างการส่งข้อมูลย้อนกลับและกลายเป็นรูปแบบข้อมูลไบนารีที่จะใช้ติดต่อกับเครื่องอ่าน เนื่องจากความเร็วในเคลื่อนที่ของคลื่นพื้นผิวบนแผ่นรอง มีค่าค่อนข้างต่ำ (อย่าลืมนึกว่าความเร็วในการแพร่กระจายของคลื่นกับค่าความถี่ของคลื่นเป็นคนละสิ่งกัน) โดยทั่วไปเครื่องอ่านจะได้รับสัญญาณย้อนกลับมาจากเครื่องลูกข่าย หลังจากที่เครื่องอ่านได้ทำการส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุออกไปภายในเวลา 1.5 มิลลิวินาที ซึ่งโดยปกติเครื่องอ่านจะส่งเฉพาะความถี่สั้น ๆ ที่เรียกว่า Scanning pulse เพื่อให้ไปตกกระทบกับบรรดาเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในพื้นที่ใช้งาน และปล่อยให้เครื่องลูกข่ายรายงานตัวกลับมา โดยมีรูปแบบเปรียบเทียบได้คล้าย ๆ กับการทำงานของระบบเรดาร์ที่ใช้ในกิจการการบิน เวลาหนึ่ง 1.5 มิลลิวินาทีนับว่าเหมาะสมเพียงพอที่เครื่องอ่านจะใช้กำหนดเงื่อนไขและกลไกการส่งและอ่านข้อมูลได้อย่างเหมาะสม ปริมาณข้อมูลที่สามารถบันทึกไว้บนเครื่องลูกข่ายแบบ SAW นั้น แท้จริงก็คือจำนวนแถบสะท้อนสัญญาณที่สามารถติดตั้งลงบนแผ่นรองได้นั่นเอง ในทางปฏิบัติสามารถกำหนดให้เครื่องลูกข่ายแบบ SAW เก็บข้อมูลได้ในช่วง 16 – 32 บิต โดยไม่ทำให้แผ่นรองต้องมีความยาวเกินไป เพื่อรองรับจำนวนบิตข้อมูลที่มากกว่านี้ และมีผลทำให้เวลาหนึ่งวินาทีที่ต้องเสียไปกับการรอคอยการสะท้อนสัญญาณจากบิตข้อมูล (หรือแผ่นสะท้อนสัญญาณ) ที่อยู่ท้ายสุดต้องเนิ่นนานเกินไป ด้วยปริมาณข้อมูลตามที่กล่าวนี้จะทำให้เครื่องลูกข่ายสามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านได้เทียบเท่ากับอัตราเร็วในการสื่อสาร 500 กิโลบิตต่อวินาที นอกจากนี้ในเรื่องของระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายสำหรับเทคโนโลยี RFID แบบ SAW นั้น หากใช้งานที่ความถี่มาตรฐาน 2.45 GHz ก็สามารถหวังได้ที่ระยะทาง 1-2 เมตร

4.6 ข้อกำหนดมาตรฐานด้านความถี่

เนื่องจากเทคโนโลยี RFID ใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นสื่อกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องถูกข่าย จึงจำเป็นที่จะต้องออกมาตรฐานควบคุมเพื่อป้องกันมิให้อุปกรณ์ RFID ส่งผลกระทบต่อระบบสื่อสารและโทรคมนาคมอื่น ๆ ที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ได้รับการจัดสรรอยู่ก่อนแล้ว ไม่ว่าจะเป็นระบบรับส่งวิทยุและโทรทัศน์ เครื่องข่ายวิทยุสื่อสาร วิทยุเดินเรือ และระบบวิทยุการบิน รูปที่ 4.9 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 4.9 แสดงย่านความถี่ต่างๆ ที่ได้กำหนดให้ใช้กับเทคโนโลยี RFID

โดยสรุปย่านความถี่ที่ได้รับการจัดสรรให้ใช้งานกับเทคโนโลยี RFID ประกอบได้ด้วยย่านต่างๆ ต่อไปนี้ คือ 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 โดยเป็นข้อมูลขอดจำหน่ายตั้งแต่ พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2548 สำหรับทั่วโลก การเลือกใช้เทคโนโลยี RFID แบบต่าง ๆ ซึ่งจะส่งผลต่อย่านความถี่ที่เลือกใช้ นั้น จำเป็นที่ผู้ใช้งานจะต้องเข้าใจและพิจารณาถึงผลกระทบที่อุปกรณ์ RFID จะส่งผลกระทบต่อเครือข่ายสื่อสารหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่มีการใช้งานในย่านความถี่เดียวกัน รวมถึงอุปกรณ์ RFID จะได้รับผลกระทบจากเครือข่ายสื่อสารหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ด้วย

บทที่ 5

ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

5.1 ส่วนประกอบของระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

ในระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุนั้น จะมีองค์ประกอบหลักๆอยู่ 3 ส่วน คือ

5.1.1 ทรานสปอนเดอร์, ป้าย (Transponder / Tag) หรือเรียกกันว่าเครื่องลูกข่าย

โดยใช้ติดกับวัตถุต่างๆที่เราต้องการ โดยมีโครงสร้างภายในประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ส่วนของวงจรที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลของวัตถุ และขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับ-ส่ง สัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของวงจร เป็นป้ายชนิดแบบพาสซีฟ (Passive) โดยเป็นป้ายแบบที่ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายภายนอกใดๆ เพราะภายในป้ายจะมีวงจรกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็กเป็นแหล่งจ่ายไฟอยู่ในตัว ทำให้การอ่านข้อมูลได้ไม่ไกลมากนัก โดยระยะการอ่านของข้อมูลจะขึ้นอยู่กับกำลังงานของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้

5.1.2 เครื่องสำหรับอ่าน/เขียนข้อมูลภายในป้าย (Interrogator / Reader)

ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยเครื่องอ่านจะทำหน้าที่เชื่อมต่อเพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูลลงในป้ายด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ภายในเครื่องอ่านประกอบด้วย เสาอากาศที่ทำด้วยขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับ-ส่งสัญญาณ ภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ วงจรควบคุมการอ่านและการเขียนข้อมูล ซึ่งมักจะเป็นวงจรจำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์

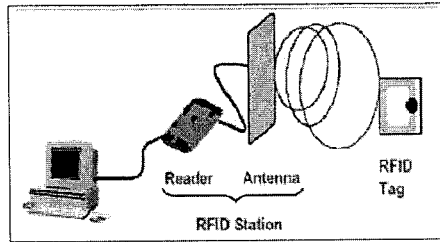
5.1.3 ระบบประยุกต์ใช้งาน

รวมถึงระบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ประยุกต์ใช้งาน หรือระบบฐานข้อมูล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบการใช้งานที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบข้อมูลสินค้า ระบบบริหารงานบุคคล

5.2 ลักษณะการทำงานของระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ เป็นระบบที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่า เครื่องลูกข่าย(ป้าย) และตัวอ่านข้อมูล ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่ง มาทำการมอดูเลต

(Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่อยู่ในตัวรับข้อมูล ดังแผนผังการทำงาน ของระบบการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แผนผังการทำงานของระบบการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

การประยุกต์ใช้งาน ระบบการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่วิทยุ จะมีลักษณะการใช้งานที่คล้าย กับบาร์โค้ด (Bar code) และยังสามารถรองรับความต้องการอีกหลายอย่างที่บาร์โค้ดไม่สามารถ ตอบสนองได้ เนื่องจากบาร์โค้ดจะเป็นระบบที่อ่านได้อย่างเดียว ไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลง ข้อมูลที่อยู่บนบาร์โค้ดได้ แต่เครื่องลูกข่ายของระบบการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่วิทยุ จะสามารถ ทั้งอ่านและบันทึกข้อมูลได้ ดังนั้นเราจึงสามารถเปลี่ยนแปลง หรือทำการบันทึกข้อมูลที่อยู่ใน เครื่องลูกข่ายได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

ข้อดีของระบบการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่วิทยุ อีกอย่างก็คือ เครื่องลูกข่ายและตัวอ่าน ข้อมูลสามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่างเช่น น้ำ, พลาสติก, กระดาษ หรือวัสดุทึบแสงอื่นๆ ในขณะที่บาร์โค้ดทำไม่ได้

5.2.1 วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน

โดยมากมักจะใช้วิธีการมอดูเลตทางแอมพลิจูดหรือใช้การมอดูเลตทางแอมพลิจูดบวกกับ การเข้ารหัสแมนเชสเตอร์ (Manchester encoded AM) แต่ทว่าในปัจจุบันก็มีเครื่องลูกข่ายที่ใช้การ มอดูเลตแบบอื่นๆ ด้วย เช่น การมอดูเลชันแบบเฟสชิฟต์คีย์อิง (Phase Shift Keying : PSK) เฟรีควเ็นซี ชิฟต์คีย์อิง (Frequency Shift Keying : FSK) หรือการใช้การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation : FM)

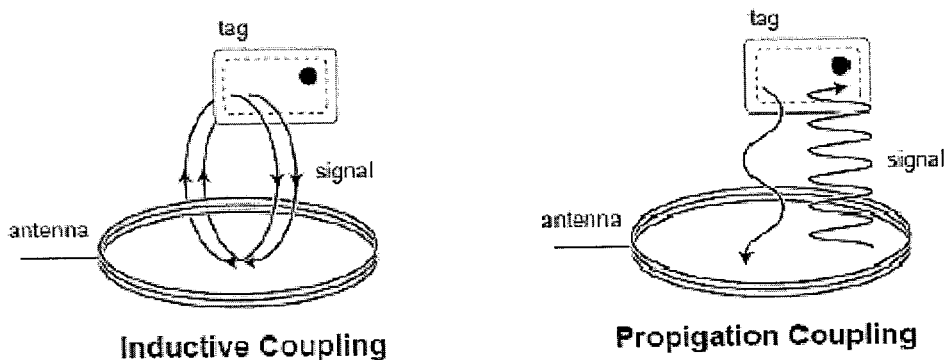
ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน จะได้อย่างมี ประสิทธิภาพต่อเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้งาน แน่นนอนว่าในทาง ปฏิบัติคงไม่สามารถนำเสาอากาศที่ใหญ่ขนาดนั้นมาใช้งานกับเครื่องลูกข่ายขนาดเล็กได้ สายอากาศ ที่ดูจะเหมาะสมจะใช้ร่วมกับเครื่องลูกข่ายมากที่สุดก็คือ สายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็กหรือที่มีชื่อ อย่างเป็นทางการว่าสายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (Magnetic dipole Antenna) รูปแบบของ

สายอากาศแบบนี้ก็จะมีอยู่หลากหลายทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันแกนอากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เป็นวงรูปที่ทำขึ้นจากสายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้งที่เป็นรูปแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะและประเภทของงานด้วยเช่นกัน

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

5.3 การสื่อสารแบบไร้สาย

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



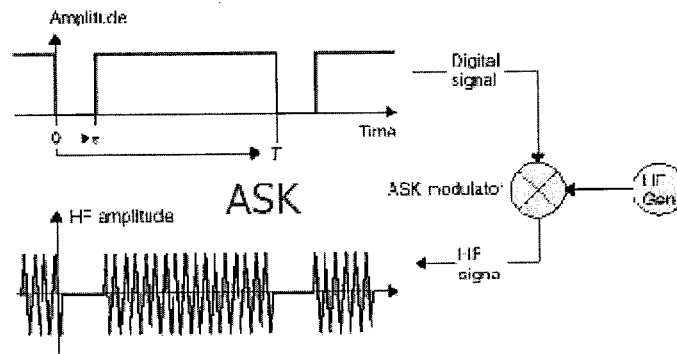
รูปที่ 5.2 การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล

5.4 เทคนิคการมอดูเลต

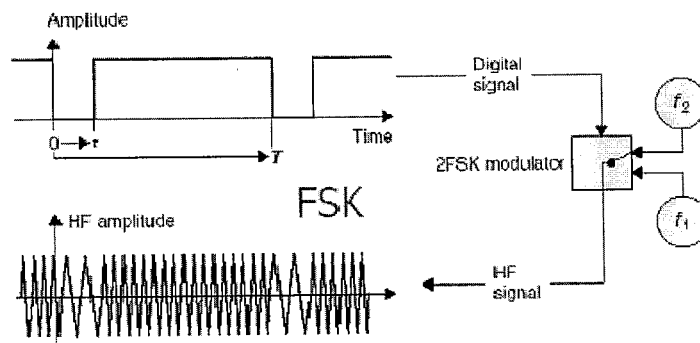
เทคนิคการมอดูเลตข้อมูลเข้ากับคลื่นพาหะก็มีด้วยกันหลายวิธี เช่น ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) หรือ PSK (Phase Shift Keying) ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบจะเลือกให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท

การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (ASK) ความถี่ของคลื่นพาหะ (Carrier Wave) ซึ่งทำหน้าที่นำสัญญาณอนาล็อกผ่านตัวกลางสื่อสารนั้นจะคงที่ ลักษณะของสัญญาณมอดูเลตเมื่อค่าของ

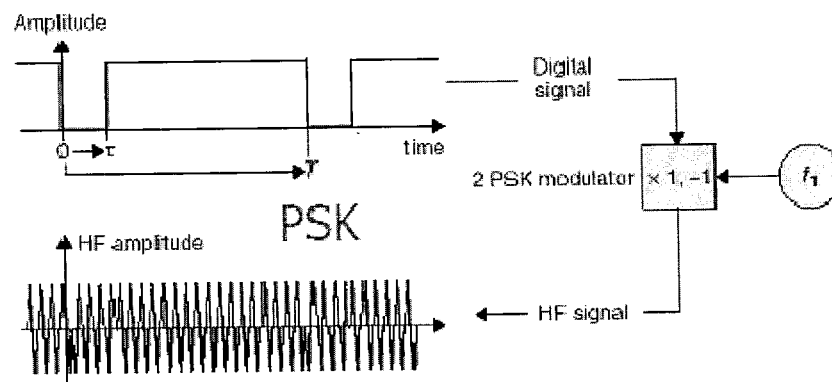
บิตของสัญญาณข้อมูลดิจิทัลมีค่าเป็น 1 ขนาดของคลื่นพาห้จะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ขนาดของคลื่นพาห้จะตกลงกว่าปกติ การมอดูเลต ASK มักจะไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะจะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย



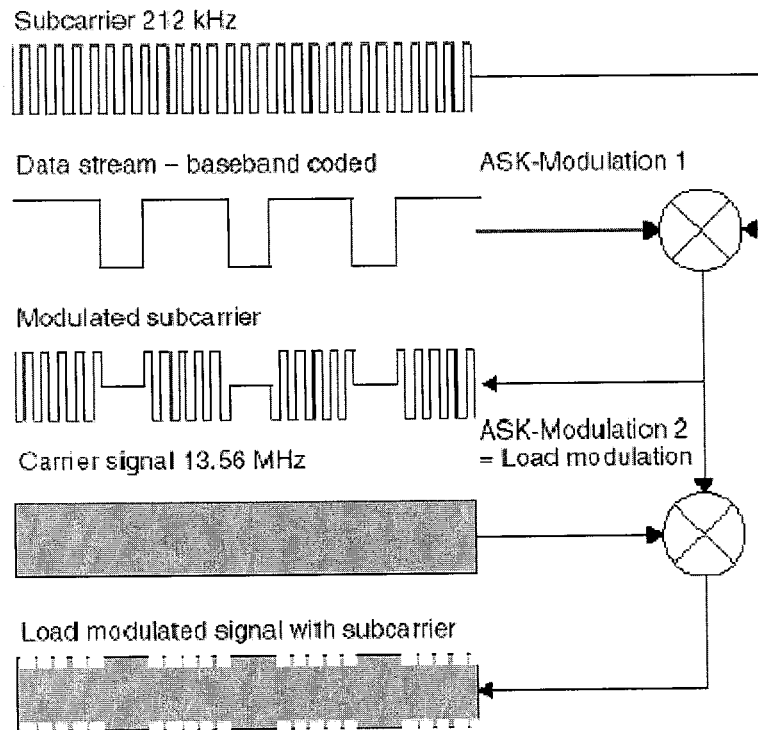
รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการทำ ASK



รูปที่ 5.4 ตัวอย่างการทำ FSK



รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการทำ PSK



รูปที่ 5.6 รูปแสดงผลของ Load Modulation โดยวิธี ASK

การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK) ในการมอดูเลตแบบFSK ขนาดของคลื่นพาห์จะไม่เปลี่ยนแปลงที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาห์นั้นคือ เมื่อบิตมีค่าเป็น 1 ความถี่ของคลื่นพาห์จะสูงกว่าปกติและเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นพาห์ก็จะต่ำกว่าปกติ

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

5.5 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์

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

5.6 ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลในระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator Power) กำลังส่งของเครื่องลูกข่าย (Tag Power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะเวลาการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆรอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบต่อระยะเวลาการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของเครื่องลูกข่ายที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา

ถึงแม้ในทางเทคนิคเราจะสามารถทำให้ตัวอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากแค่ไหนก็ได้ แต่โดยทั่วไปก็จะถูกจำกัดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่ ดังนั้นในระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ โดยทั่วไปจะมีกำลังส่งเพียงระหว่าง 100 -500 mW

พารามิเตอร์	ย่านความถี่ต่ำ(LF)	ย่านความถี่สูง(HF)			ย่านความถี่สูงยิ่ง(UHF)	ย่านไมโครเวฟ
		13.56 MHz	13.56 MHz	PJM13.56 MHz(*)		
ความถี่	125-143 kHz	13.56 MHz	13.56 MHz	PJM13.56 MHz(*)	868-915 MHz	2.45 – 5.8 GHz
ส่วนแบ่งตลาด(**)	74%	17%		เริ่มใช้งานปี2003	6%	3%
ระยะในการอ่าน	ถึง 1.2 m	0.7-1.2m	ถึง 1.2m	ถึง 1.2m	ถึง 4m (***)	ถึง 15m (****)
Coupling	Magnetic	Magnetic			Electro Magnetic	Electro Magnetic
ความเร็วในการอ่าน	ไม่เร็วมาก	น้อยกว่า 1-5 วินาที (5 s for 32KB)	ปานกลาง (0.5m/s)	เร็วมาก(4m/s)	เร็ว	เร็วมาก
สถานะที่ขึ้น	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ	มีผลกระทบ	มีผลกระทบ
มาตรฐาน ISO	11784/85 และ 14223	14443 A+B+C	18000-3.1/15693	18000-3.2	18000-6 และ EPC C0/C1/C1G2	18000-4
การประยุกต์ใช้งาน	Access, immobilizer,gas, laundry	Smart cards : identification, electronic ID, ticketing	Library, ticketing for big events, good logistics, tracking/tracking, Palletts' registration	Baggage handing at airports, boarding pass, postal, pharmacy	Palletts' registration, trucks registry , trailer tracking	Road tolling, container tracking
<p>ที่มา : (*) Phase jitter modulation , (**) VDC - Report 2002 , worldwide shipments of RFID transponders(units), (***) In U.S.A. , (****) Active transponder with battery</p>						

ตารางที่ 5.1 ความถี่มาตรฐานกับ RFID tags แบบ ต่างๆ ที่มา : “RFID Overview”, Greg Leeming, Intel Corporation, 2004

5.7 ขั้นตอนการทำงานระหว่าง เครื่องลูกข่าย และ เครื่องอ่าน

- ตัวเครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณวิทยุอย่างต่อเนื่องหรือเป็นจังหวะ และรอคอยสัญญาณตอบจากตัว RFID tag
 - เมื่อ RFID tag ได้รับสัญญาณคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากเครื่องอ่านในระดับที่เพียงพอ ก็จะทำเนิ่นยวนำเพื่อสร้างพลังงานป้อนให้ RFID tag ทำงาน โดย tag จะสร้างสัญญาณนาฬิกาเพื่อกระตุ้นให้วงจรภาคดิจิทัลใน tag ทำงาน
 - ข้อมูลที่ถูกมอดูเลตจะถูกส่งไปยังขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ เพื่อส่งไปยังเครื่องอ่าน (Reader)
 - เครื่องอ่านจะสามารถตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูด (Envelope Detector) และใช้ พีค ดีเทกเตอร์ (Peak Detector) ในการแปลงสัญญาณที่ มอดูเลตแล้วจาก tag
 - เครื่องอ่านจะถอดรหัสข้อมูลและส่งไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมต่อไป

5.8 ลักษณะการทำงานรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ

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

สำหรับอุปกรณ์ RFID ประเภทที่จะกล่าวถึงในบทความตอนนี้มีรูปแบบโครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายและรูปแบบการทำงานที่ซับซ้อนกว่ากรณีของระบบ RFID แบบ 1 บิต กล่าวคือมีการติดตั้งชิป (Chip) ซึ่งเป็นไมโคร โปรเซสเซอร์สำหรับบันทึกข้อมูลต่างๆ ไว้ภายในตัวเครื่องลูกข่ายซึ่งโดยทั่วไปขนาดความจุในการเก็บบันทึกข้อมูลของชิปเหล่านี้มีตั้งแต่หลักร้อยไบต์ไปจนถึงหลายๆ กิโลไบต์ ขึ้นอยู่กับความต้องการนำไปใช้งานเป็นสำคัญ นอกจากนั้นรูปแบบในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านก็มีความแตกต่างกันออกไปตามกลวิธี ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานออกได้ตามรูปที่ 4.7 อันประกอบไปด้วยการสื่อสารแบบ Full

Duplex ซึ่งเครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่ายได้ตลอดเวลา

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

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

5.9.2 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เนื่องจากการทำงานของเครื่องลูกขายนั้นเป็นแบบพาสซีฟ (Passive operation) กล่าวคือ ไม่มีแหล่งพลังงานภายในเป็นของตนเอง จึงจำเป็นต้องรับพลังงาน(Energy) มาจากเครื่องอ่านโดยตรง ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่าน(ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงาน ไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำลังสูง สามารถตกกระทบขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้อย่างเหมาะสม

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

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

สิ่งที่ผู้ออกแบบอุปกรณ์เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling ให้ความสำคัญมากที่สุดก็คือ การออกแบบขดลวดทั้งที่เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายให้สามารถถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าให้แก่กันได้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด หากเปรียบเทียบการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองมิได้พันอยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกัน กลับกลายเป็นใช้อากาศ ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำพาสัญญาณที่เลวร้ายกว่าแกนแม่เหล็กมากๆ

ดังนั้นในการออกแบบระบบแบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่าน และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่เครื่องลูกข่าย มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย

เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงมากขึ้น จะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงใช้จำนวนรอบในการพันลดลงเช่นกัน

เช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 135 กิโลเฮิร์ตซ์ จะต้องมีการพันขดลวดอากาศที่เครื่องลูกข่าย ในช่วง 100-1,000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ก็จะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวดจะเหลือเพียง 3-10 รอบเท่านั้น

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

ตารางที่ 5.2 ความหลากหลายของชิปที่ใช้บันทึกข้อมูลในเครื่องลูกข่าย RFID แยกตามประเภทของการประยุกต์ใช้งาน เปรียบเทียบกับการกินกระแสไฟฟ้าและคุณลักษณะด้านอื่นๆ

ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายลงได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จะส่งผลให้แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่สูงลดลงเมื่อเทียบกับการใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ทำให้จำกัดระยะทางในการใช้งานมากขึ้น การเลือกใช้อุปกรณ์

Inductive Coupling จึงต้องพิจารณาทั้งขนาดของเครื่องลูกข่ายและระยะทางที่ต้องการใช้งาน ตรวจจับเป็นสำคัญ เพื่อใช้กำหนดเลือกย่านความถี่ที่เหมาะสมของอุปกรณ์ใช้งาน

สิ่งที่พึงให้ความสนใจเกี่ยวกับการออกแบบระบบ RFID แบบ Inductive Coupling ก็คือ พฤติกรรมการกินกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ชิปที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องลูกข่าย เนื่องจากค่อนข้างมีความหลากหลายและสัมพันธ์กับรูปแบบในการนำไปประยุกต์ใช้งาน การเลือกค่าความถี่พื้นฐานในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย ระยะทางพื้นที่ใช้งาน และขนาดของอุปกรณ์อื่นเนื่องมาจากจำนวนรอบของขดลวดสายอากาศ จึงจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับประเภทของการใช้งานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังตารางที่ 3 เป็นการแสดงจำแนกประเภทของชิป(ASIC) รุ่นต่างๆ ซึ่งผู้เขียนไม่ขอเปิดเผยรุ่นและยี่ห้อ โดยเปรียบเทียบขนาดหน่วยความจำ การกินกระแสไฟฟ้า และคุณสมบัติอื่นๆ ทั้งนี้การเลือกใช้งานชิป ASIC นั้นจะต้องขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นสำคัญ

	LF	HF	UHF	Microwave
Frequency Range	< 135 KHz	13.56 MHz	860 - 930 MHz [1]	2.45GHz
Standards Specifications	ISO/IEC 18000-2	ISO/IEC 18000-3 AutoID HF class 1 ISO 15693, ISO 14443 (A/B)	ISO/IEC 18000-6 AutoID class 0, class 1	ISO/IEC 18000-4
Typical Read Range	<0.5m	1m	4-5 m[2]	1m
General	Larger Antennas resulting in higher cost tags. least susceptible to performance degradations from metals and liquids	Less expensive than LF tags. Best suited for applications that do not require long range reading of high number of tags. This frequency has the widest application scope.	In volume UHF tags have the potential to be cheaper than LF or HF due to recent advances in IC design. Good for reading multiple tags at long range. More affected than LF and HF by performance degradations from metals and liquids	Similar characteristics to UHF but faster read rates. Drawback is microwaves are much more susceptible to performance degradations from metals and liquids.
Tag power source	Mainly passive using inductive coupling (near field)	Mainly passive using inductive coupling (near field)	Active and passive tags using E-Field back scatter in the far field	Active and passive tags using E-Field back scatter in the far field
Typical applications	Access Control, Animal tagging, Vehicle immobilizers	Smart cards, Access Control, Payment, ID, Item level tagging, baggage control, Biometrics, Libraries, laundries, transport, Apparel	Supply Chain- pallet and Box tagging, Baggage Handling, electronic toll collection	Electronic toll collection, Real Time Location of goods.
Notes	Largest installed base due to mature technology. However will be overtaken by higher frequencies	Currently the most widely available high frequency world-wide due to the adoption of smart cards in transport.	Different frequencies and power allocated by different countries. U3.4W (EIRP) 915MHz, Europe 0.5W (EIRP) 868 MHz. [2]	5.8 GHz more or less abandoned for RFID
Multiple Tag Read Rate	Slower			Faster
Ability to read near metal or wet surfaces	Better			Worse
Passive Tag Size	Larger			Smaller

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทำงานของ RFID ที่ความถี่ย่านต่างๆ

5.10 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

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

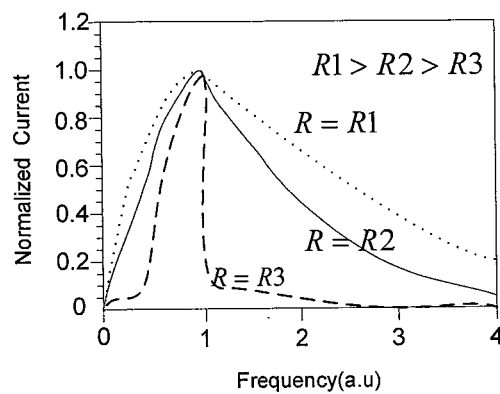
- เทคโนโลยี Load Modulation

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

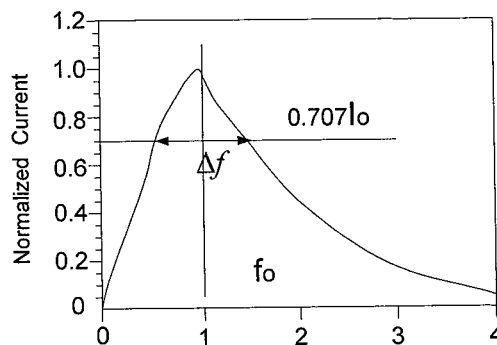
หากมีการนำเครื่องลูกข่ายซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ(LC) ตรงกันกับค่าความถี่กำหนดของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่มีการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน เครื่องลูกข่ายย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาใจแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้วเครื่องอ่านจะมองเห็นเครื่องลูกข่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

5.11 คุณลักษณะของการกำทอน และค่าคุณภาพของการกำทอน (Quality Factor, Q)

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



(ก) Normalized Current ที่ค่าต่างๆ



(ข) คุณลักษณะที่ใช้ในการหาคุณภาพของการกำทอน

รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและคุณภาพการกำทอนของวงจรอนุกรม R-L-C จาก $Q = \frac{\text{พลังงานที่เก็บได้ต่อพลังงานที่สูญเสีย}}$

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

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{f_0}{\Delta f} \quad (4.2)$$

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

ที่กล่าวมานี้ทั้งหมดจะเป็นการวิเคราะห์หาค่าคงที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะการก้ำทอนของวงจร R-L-C ที่ต่อแบบขนานจะมีขั้นตอนในการวิเคราะห์คล้ายกับการวิเคราะห์ที่กล่าวมาโดยใช้คุณสมบัติ Duality ของ วงจรไฟฟ้านั้นคือ

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

กล่าวโดยย่อได้คือในกรณีวงจร R-L-C แบบขนานนั้นเราใช้แหล่งจ่ายกระแสโดยมีความต้านทาน ขนานกับ L และ C ที่ Resonance frequency จะทำให้ค่า Admittance ของวงจรต่ำสุดเท่ากับ $1/R$

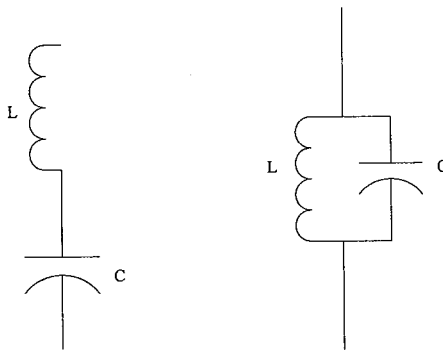
และมีผลทำให้ค่าศักดาที่คร่อม L และ C มีค่าสูงสุด และคุณภาพของการตอบสนองหรือค่า Q Factor สามารถดูได้จากการตอบสนองทางความถี่ของค่าศักดาที่คร่อม L และ C นั้นเอง คุณสมบัติต่างๆ ของการก้ำทอนของวงจร R-L-C สามารถนำมาเขียนสรุปได้ตามตารางที่ 5.4

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

ตารางที่ 5.4 ค่าแสดงคุณลักษณะของการก้ำทอนของวงจร R-L-C

5.12 วงจรเรโซแนนซ์

วงจรเรโซแนนซ์(resonance) เป็นวงจรที่ต่อร่วมกันระหว่างตัวเก็บประจุ (C) กับขดลวดเหนี่ยวนำ (L) บางคนอาจเรียกววงจรแบบนี้ด้วยชื่ออื่น เช่น วงจรจูน (tune) วงจรแท็งก์ (tank) เป็นต้น วงจรเรโซแนนซ์ถูกนำมาใช้ในเครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุทั่วไป ด้วยวัตถุประสงค์ให้วงจรเรโซแนนซ์เป็นตัวเลือกความถี่ และให้เป็นตัวกำหนดความถี่ที่กำเนิดขึ้น ให้เป็นตัวกั้นความถี่หรือให้เป็นทางผ่านของความถี่แล้วแต่กรณี วงจรเรโซแนนซ์แบบใช้ขดลวดร่วมกับตัวเก็บประจุ มีอยู่ 2 แบบคือ วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม(series resonance) และวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน(parallel resonance) ดังแสดงในรูปที่ 5.9



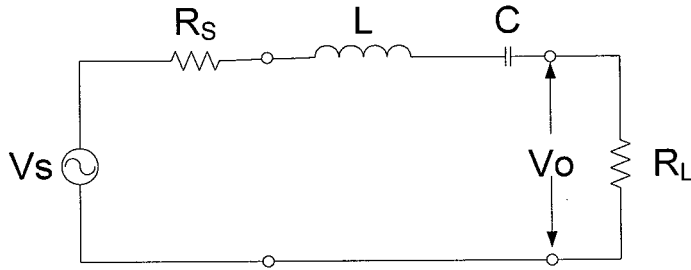
(ก) วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

(ข) วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

รูปที่ 5.9 วงจรเรโซแนนซ์ที่ใช้ LC

ธรรมชาติของวงจรเรโซแนนซ์จะยอมให้ความถี่ค่าหนึ่งผ่านได้ดี เรียกว่า ความถี่เรโซแนนซ์ เมื่อป้อนความถี่เรโซแนนซ์แก่วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม กระแสจะผ่านได้มากที่สุดโดยมีแรงดันตกคร่อมวงจรต่ำที่สุด ถ้าป้อนความถี่เรโซแนนซ์แก่วงจรเรโซแนนซ์ขนาน กระแสจะผ่านได้น้อยที่สุดโดยมีแรงดันตกคร่อมวงจรสูงที่สุด โดยปกติวงจรเรโซแนนซ์จะต้องมีแบนด์วิดท์ที่ยอมให้ความถี่ข้างเคียงกับความถี่เรโซแนนซ์ทั้งด้านสูงและด้านต่ำผ่านไปในช่วงหนึ่ง ความถี่เรโซแนนซ์จึงหมายถึงความถี่ที่ผ่านวงจรตลอดแบนด์วิดท์ ซึ่งอาจจะกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์นั้นๆ

5.12.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series Resonance)



รูปที่ 5.10 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

จากวงจรในรูปที่ 5.10 ได้

$$\begin{aligned} \frac{V_0(s)}{V_s(s)} &= H(s) = \frac{R_L}{R_s + sL + \frac{1}{sC} + R_L} \\ &= \frac{sCR_L}{s^2LC + sc(R_s + R_L) + 1} \left[\frac{1}{LC} \right] \\ &= \frac{\frac{sR_L}{L} \left[\frac{R_s + R_L}{R_s + R_L} \right]}{s^2 + s \left(\frac{R_s + R_L}{L} \right) + \frac{1}{LC}} \\ \frac{V_0(s)}{V_s(s)} &= \frac{\frac{R_L}{R_s + R_L} s \left(\frac{R_s + R_L}{L} \right)}{s^2 + s \left(\frac{R_s + R_L}{L} \right) + \frac{1}{LC}} \end{aligned}$$

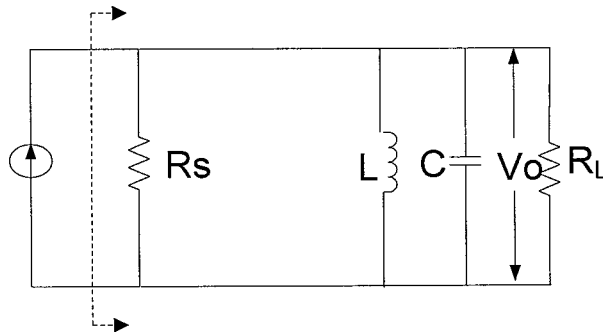
จะได้ Passband gain : $K = \frac{R_L}{R_s + R_L}$

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

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

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

5.12.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์ (Parallel Resonance or Tank circuit)



รูปที่ 5.11 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์

จากวงจรในรูปที่ 2.8 R_s จะขนานอยู่กับ R_L ดังนั้น

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

อิมพีแดนซ์ของวงจรแทงค์ : Z_{tank} จะมีค่าเป็น

$$(Z_{tank})^{-1} = \frac{1}{R_T} + \frac{1}{sL} + sC$$

$$= \frac{sL + R_L + s^2 LR_T C}{sLR_T}$$

จะได้

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

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

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

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

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

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

$$Z_{MAX} = R_T$$

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

หมายเหตุ รูปทั่วไปของฟังก์ชัน Band pass filter ที่มีอัตราขยาย K เท่า จะเป็น

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

โดยที่

K = Passband gain

ω_p = ความถี่ศูนย์กลางของ BPF

5.13 วงจรดีเทกเตอร์ AM

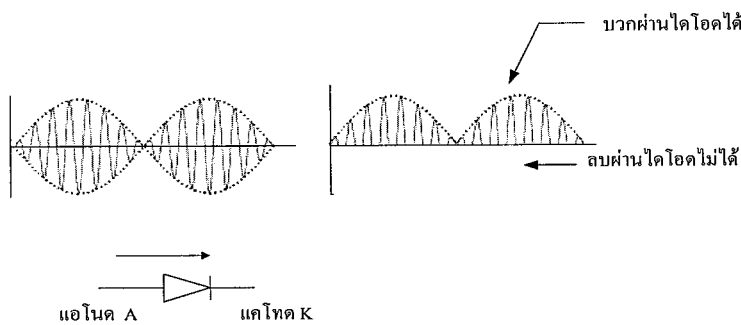
วงจรดีเทกเตอร์ AM (AM detector) หรือวงจร AM ดิมอดูเลเตอร์ (AM demodulator) เป็นวงจรตรวจจับสัญญาณเสียง (AF) หรือวงจรแยกเอาสัญญาณเสียงหรือข้อมูลข่าวสารที่มอดูเลตแบบ AM อยู่กับสัญญาณ IF ออก การตรวจจับสัญญาณเสียงจากสัญญาณ AM จะใช้ไดโอดแบบจุดสัมผัส (point contact) ที่สามารถทำงานได้กับความถี่สูงและมีแรงดันตกคร่อมต่ำ โดยทั่วไปจะเรียกกันว่า เจอร์เมเนียมไดโอด (germanium diode) เพราะใช้ธาตุเจอร์เมเนียมเป็นสารกึ่งตัวนำ ตัวอย่างเบอร์ไดโอดที่นำมาใช้ เช่น 1N34A, 1N60 และ 0A70 เป็นต้น

1) การไบแอสไดโอด

การไบแอสตรง (forward bias) หมายถึงภาวะที่ไดโอดนำกระแสจะมีกระแสไฟบวกไหลจากแอโนดไปยังแคโทด โดยการจะให้แรงดันที่แอโนดมีศักย์เป็นบวกสูงกว่าแคโทด และในกรณีที่ป้อนไฟสลับความถี่ต่างๆ เข้าที่แอโนด กระแสที่ผ่านไดโอดได้จะปรากฏเฉพาะซีกบวกเท่านั้น จึงเรียกว่าใช้ไดโอดตัดแยกคลื่นหรือดีเทกเอาเฉพาะซีกบวก

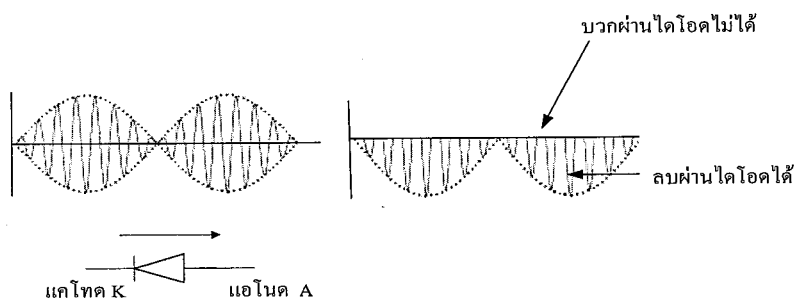
ถ้าหากเรากลับขั้วไดโอดแล้วป้อนไฟเข้าทางด้านแคโทด การทำให้แคโทดเกิดไบแอสตรงที่ขาคะโทดจะต้องมีศักย์ไฟลบสูงกว่าแอโนด กระแสไฟลบจึงจะผ่านจากแคโทดไปยังแอโนดได้หรือถ้าป้อนไฟสลับความถี่ต่างๆ เข้าที่แคโทดของไดโอด กระแสที่ผ่านจากแคโทดไปยังแอโนดได้จะปรากฏเฉพาะซีกลบเท่านั้น ซึ่งเรียกว่าใช้ไดโอดตัดแยกคลื่นหรือดีเทกเอาเฉพาะคลื่นซีกลบ

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



(ก) ไดโอดตัด

คลื่นซีกบวก



(ข) ไดโอดตัดคลื่นซีกลบ

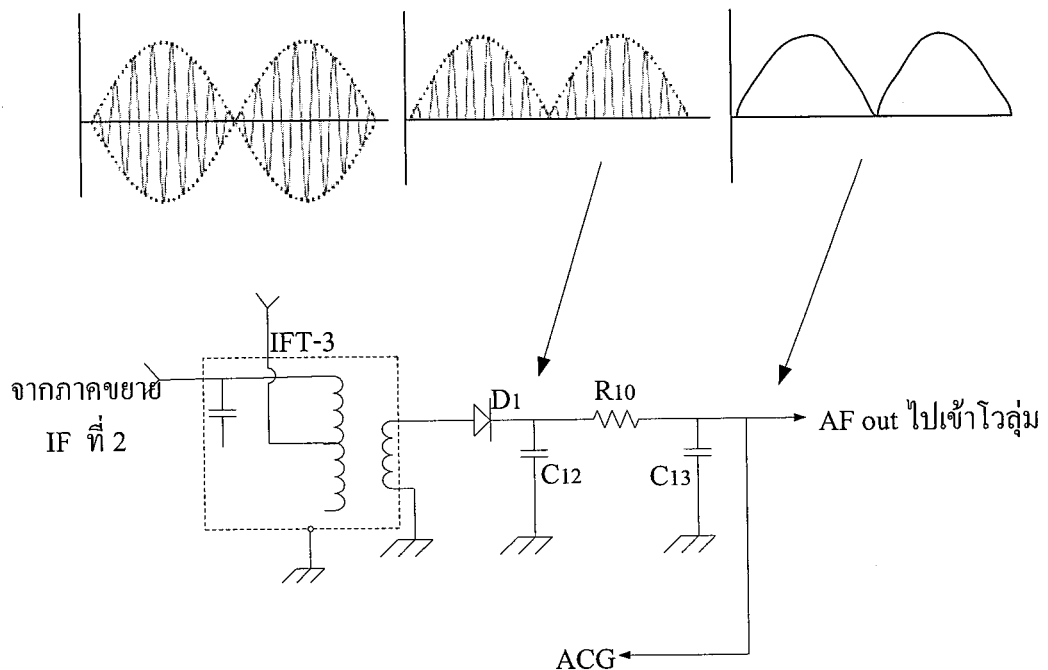
รูปที่ 5.12 หลักการใช้ไดโอดเป็นตัวดีเทกเตอร์สัญญาณ AM

2) การใช้ไดโอดดีเทกเตอร์

สัญญาณ AM ที่จะนำมาเข้าวงจรเพื่อตัดแยกเอาสัญญาณเสียงนั้นเป็นสัญญาณ IF ความถี่ 455 kHz แอมพลิจูดด้านบนซีกบวกมียอดไม่สม่ำเสมอและแอมพลิจูดด้านล่างซีกลบก็เช่นเดียวกัน การที่แอมพลิจูดของสัญญาณไม่สม่ำเสมอนี้เกิดจากการมอดูเลตสัญญาณเสียงจากสถานีส่ง

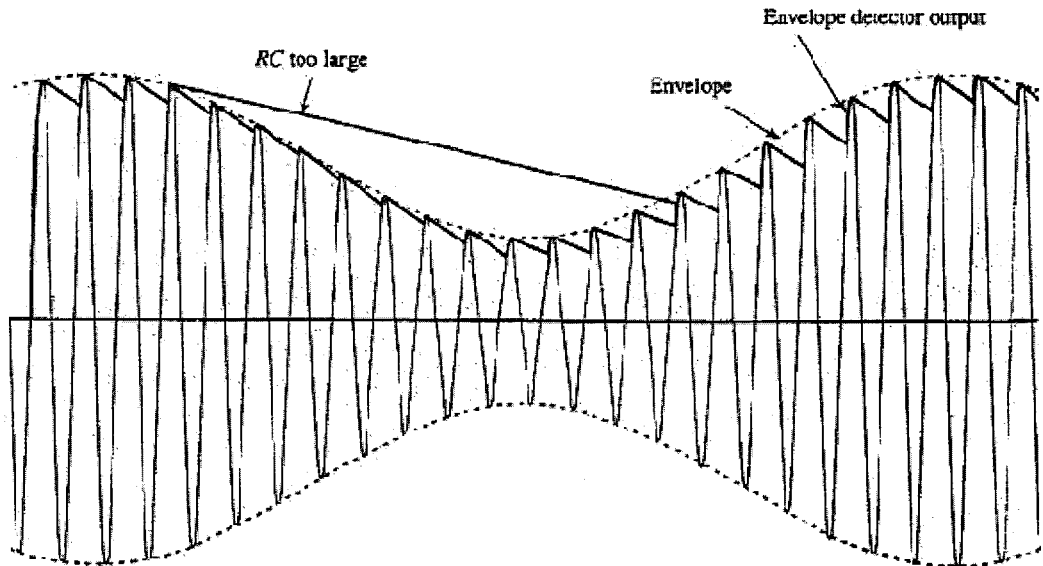
หลักการทำงานตามรูปที่ 2.20 สัญญาณ IF จากขดทุติยภูมิของ IFT-3 ป้อนเข้าขาแอนโอดของไดโอด D1 แรงดันซีกบวกที่เป็นไปแอสตรงจะผ่านไดโอด D1 ไปได้ ส่วนแรงดันซีกลบถูกกั้นไว้เพราะเป็นไปแอสกลับ สัญญาณที่ตัดแยกได้ทางบวกจะเข้าวงจรฟิลเตอร์ C12, R10, C13 เพื่อขจัดความถี่ IF และเหลือสัญญาณเสียงหรือ AF ออกไปเข้าโวลุ่ม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

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



รูปที่ 5.13 วงจรดีเทกเตอร์สัญญาณ AM

3) หลักการกรองความถี่ IF



รูปที่ 5.14 หลักการกรองความถี่ IF

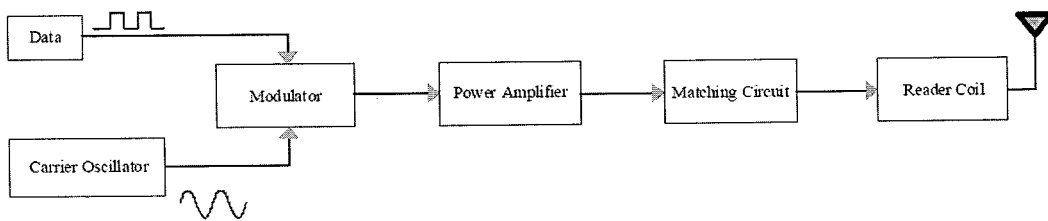
จากรูปที่ 5.12 เราตัดแยกสัญญาณ IF ได้คลื่นซีกบวก ความถี่ของยอดสัญญาณมีค่า 455 kHz เนื่องจากเป็นคลื่นไซน์จึงมีช่องว่างระหว่างคลื่นแต่ละลูก ยอดคลื่นแต่ละลูกห่างกัน $1/455$ ms นั่นคือแรงดันไฟบวกที่เราตัดแยกมาได้ทางด้านบวกนี้จะมีช่วงที่ไฟบวกขาดหายไปเป็นเวลา $1/455$ ms เมื่อนำสัญญาณนี้ผ่านเข้ากรองด้วย C12, R10, C13 จะทำหน้าที่เก็บประจุในช่วงยอดบวกและคายประจุเต็มลงไปในช่วงที่แรงดันขาดไป ก็จะทำให้แรงดันบวกมียอดสม่ำเสมอตามแนวสัญญาณ AF มากขึ้น แล้วความถี่ 455 kHz ก็จะหายไป เพราะถูกเก็บและคายโดย C12, C13 ค่าการเก็บและคายประจุของวงจรอาร์ซีฟิลเตอร์(RC filter) ต้องมีค่าพอดีที่จะคายประจุให้เต็มช่องว่าง แต่ในทางปฏิบัติจะใช้ค่าสูงขึ้นเล็กน้อย เพื่อกรองสัญญาณความถี่สูงให้ได้สัญญาณเสียงที่มีความนุ่มนวลมากขึ้น ค่า RC ที่มากเกินไปจะทำให้ระยะเวลาในการเก็บประจุและคายประจุมาก แอมพลิจูดด้านบวกและลบจะผิดเพี้ยนมาก แต่ถ้าค่า RC มีค่าน้อยเกินไปการเก็บและคายประจุลงในช่องว่างของความถี่ IF ก็จะไม่เต็ม ซึ่งไม่สามารถกรองความถี่สูงได้จะมีสัญญาณรบกวนทางความถี่สูงออกมาด้วย สัญญาณเสียงที่ได้จะอยู่บนไฟตรงขั้วบวกและถ้าหากการตัดแยกสัญญาณได้สัญญาณซีกลบ เมื่อนำวงจรฟิลเตอร์แล้วสัญญาณเสียงที่ออกมาจะขึ้นอยู่กับไฟตรงขั้วลบ

บทที่ 6

การออกแบบวงจรในส่วนของ Reader และ Tag

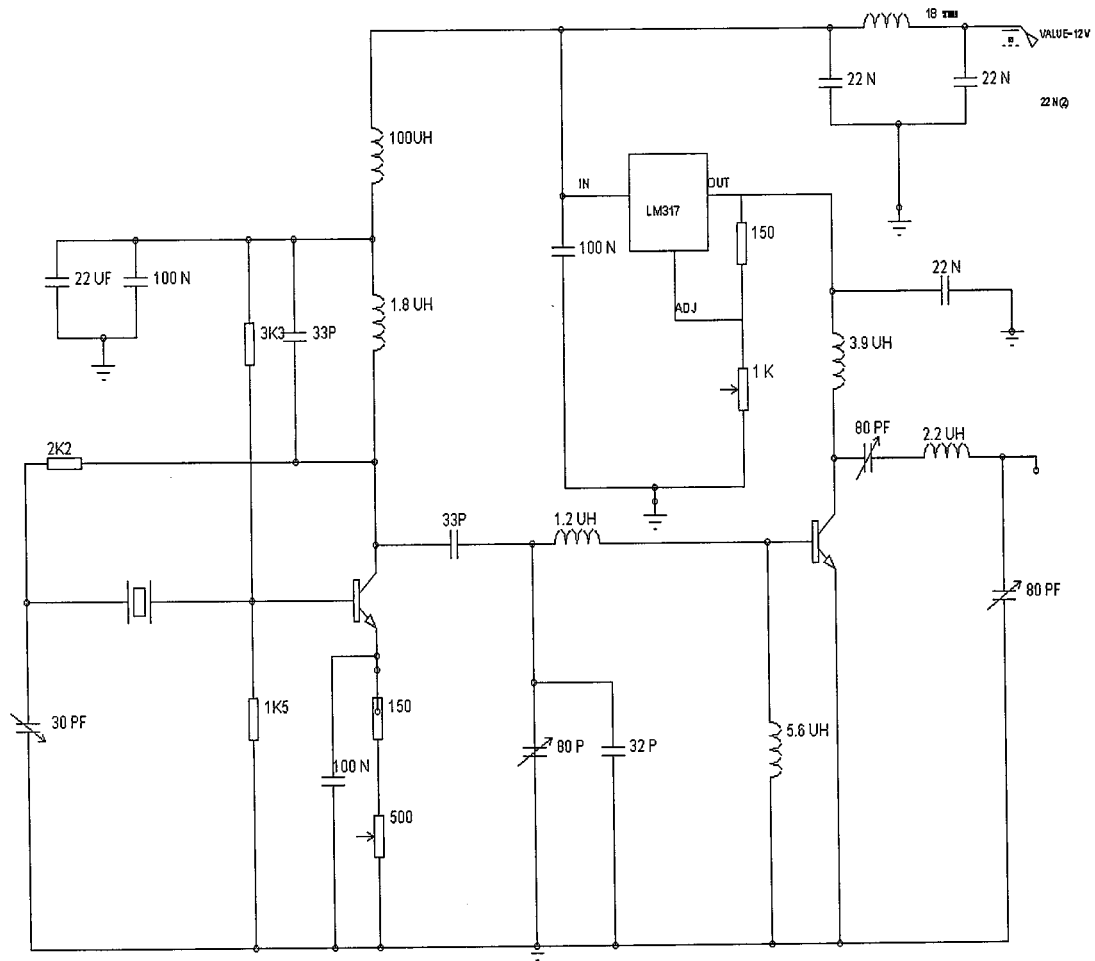
6.1 การออกแบบวงจรในส่วนของ Reader

วงจรในส่วนของ Reader นั้น ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญต่างๆคือ ส่วนของ Modulator, Oscillator, Power Amplifier, Matching Circuit และ Reader Coil มีหลักการทำงานคร่าวๆโดยสร้างสัญญาณ Carrier ความถี่ 13.56 MHz และนำมาทำการ Modulation กับสัญญาณข้อมูล แล้วนำสัญญาณที่ได้มาผ่านวงจร Voltage Amplifier เพื่อขยายสัญญาณให้มีกำลังมากพอที่จะส่งผ่านอากาศไปสู่ Tag ซึ่งหลังจากขยายสัญญาณแล้วก็จะผ่านวงจรในส่วนของ Matching Circuit เพื่อให้เกิดการส่งผ่านกำลังงานได้สูงสุด(Maximum Power Transfer) แล้วจึงขับกำลังงานผ่าน Reader Coil ซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็นสายอากาศ ส่งข้อมูลผ่านอากาศไปสู่ Tag ต่อไป



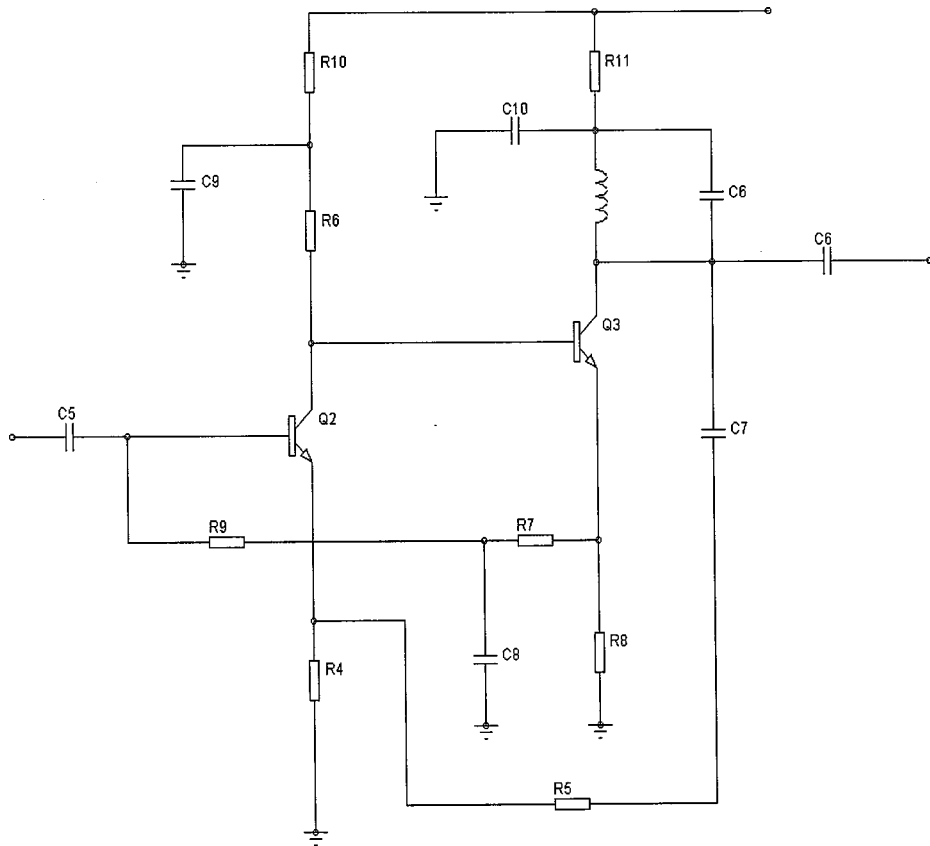
รูปที่ 6.1 Block diagram แสดงการทำงานของวงจรในส่วนของ Reader

6.2 ส่วนของวงจร Reader Coil Driver



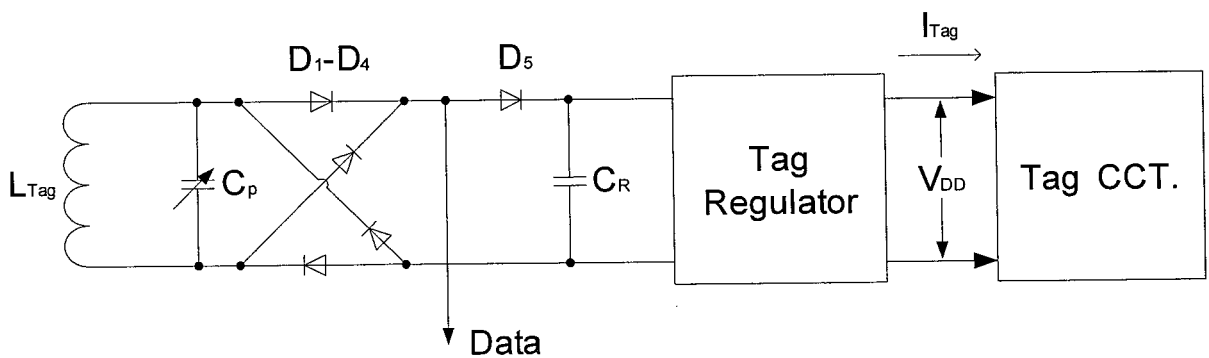
รูปที่ 6.2 ส่วนของวงจร Reader Coil Driver ที่ใช้งาน

วงจรรูปที่ 6.2 เป็นส่วนของวงจร Reader Coil Driver ที่ใช้งานซึ่งใช้ Crystal 13.56 MHz เป็น Oscillator สร้างความถี่ โดย R_{10} เป็นตัวปรับขนาดของสัญญาณที่นำไปขับ Power Amp.



รูปที่ 6.3 แสดงวงจร Voltage Amp.

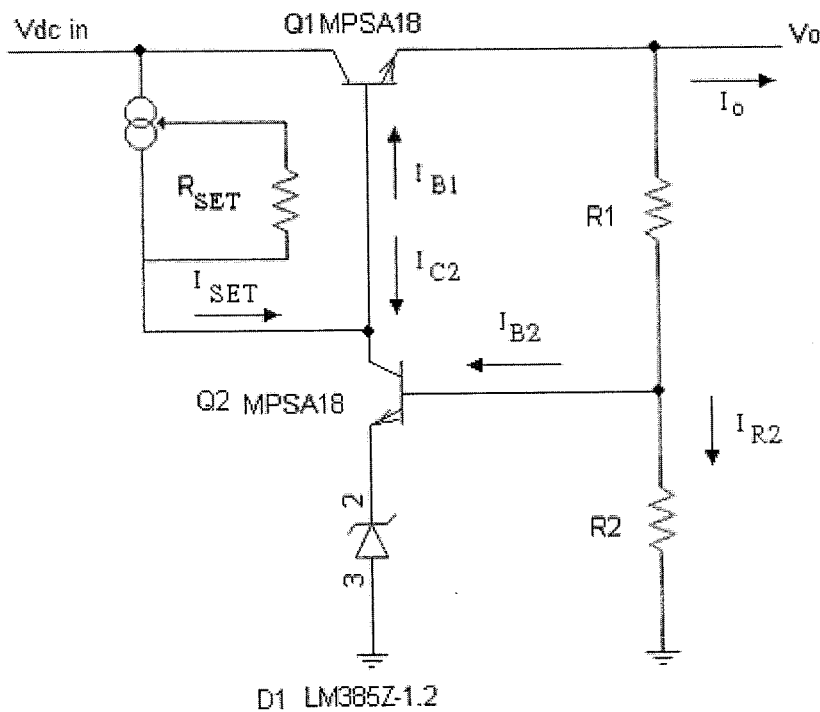
6.3 การออกแบบวงจรในส่วนของ Tag



รูปที่ 6.4 บล็อกไดอะแกรมของวงจร Tag

จากรูปแสดงให้เห็นส่วนประกอบหลักของวงจรฝัง Tag โดย L_{Tag} เป็นขดลวดซึ่งทำหน้าที่เป็นเสาอากาศรับ-ส่งสัญญาณระหว่าง Reader และ Tag ส่วน C_p ทำหน้าที่เป็นวงจรรีโซแนนซ์ร่วมกับ L_{Tag} ที่ความถี่ 13.56 MHz และเนื่องจาก Tag ที่ใช้เป็นชนิด Passive ไม่มีแหล่งจ่ายพลังงานอยู่ภายใน แต่จะใช้การเหนี่ยวนำพลังงาน (อยู่ในรูปของกระแสสลับ) จาก Reader ผ่านเข้ามาทาง L_{Tag} จึงจำเป็นที่จะต้องมียวงจรเรกติไฟร์ (D_1 - D_2) เพื่อทำหน้าที่แปลงไฟสลับให้เป็นไฟตรง จากนั้นจึงนำแรงดันที่ได้ไปผ่านวงจรเรกกูเลเตอร์เพื่อควบคุมแรงดันให้คงที่มากยิ่งขึ้น สำหรับ C_r เป็นตัวเก็บประจุซึ่งทำหน้าที่ลดแรงดันรีปเปลที่ เกิดหลังจากการเรกติไฟร์

6.4 การออกแบบวงจร Tag Regulator



รูปที่ 6.5 ส่วนของวงจร Tag Regulator

กำหนดให้ $C_2 = 1 \mu F$

เราสามารถหาค่า R_3 ได้ดังนี้

เราสามารถหาค่ากระแสที่ขาเบสสูงสุดของทรานซิสเตอร์ Q1 ได้ดังสมการที่ 6.1

$$I_{B1MAX} \approx \frac{I_{O MAX}}{\beta_1} \quad 6.1$$

$$I_{B1MAX} \approx \frac{14.5 \times 10^{-3}}{200}$$

$$\approx 72.5 \mu A$$

จาก Data Sheet เราทราบว่า $I_{C2} \geq 40 \mu A$ โดยเผื่อค่า Margin จากการปิดค่า R_3 และ LM 358 ต้องการ

$$I_z \geq 20 \mu A$$

$$I_{C2 MAX} = I_{R_3} = I_{C2 min} + I_{B1 MAX} = 40 + 72.5 = 112.5 \mu A$$

จากความสัมพันธ์ด้านบนเราสามารถหาค่า R_3 ได้จากสมการที่ 6.2

$$R_3 \approx \frac{1V}{I_{B1 MAX} + 40 \mu A} \quad 6.2$$

$$R_3 \approx \frac{1V}{72.5 \mu A + 40 \mu A}$$

$$\approx 8.889 k\Omega$$

จากค่า R_3 ที่คำนวณได้นั้นไม่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดดังนั้นจึงปิดค่าไปเป็น $8.2 k\Omega$

เราสามารถหาค่า V_{BE2} ได้จากสมการที่ 6.3

$$V_{BE2} = 26 \times 10^{-3} \ln \left(\frac{I_{C2 min} (A)}{5.911 \times 10^{-15}} \right) \quad 6.3$$

$$V_{BE2} = 26 \times 10^{-3} \ln \left(\frac{40 \times 10^{-6}}{5.911 \times 10^{-15}} \right)$$

$$= 0.5885 V$$

เราสามารถหาค่า I_{B2MAX} ได้ดังสมการที่ 6.4

$$I_{B2 MAX} = \frac{1V}{\beta_{2 min} R_3} \quad 6.4$$

$$I_{B2 MAX} = \frac{1V}{400(8.2 \times 10^3)}$$

$$= 304.878 nA$$

จากค่า R_2 ที่คำนวณได้นั้นไม่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดดังนั้นจึงปัดค่าไปเป็น $330 \text{ k}\Omega$
เราสามารถหาค่า R_1 ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง R_1 กับ R_2 จากสมการที่ 6.5

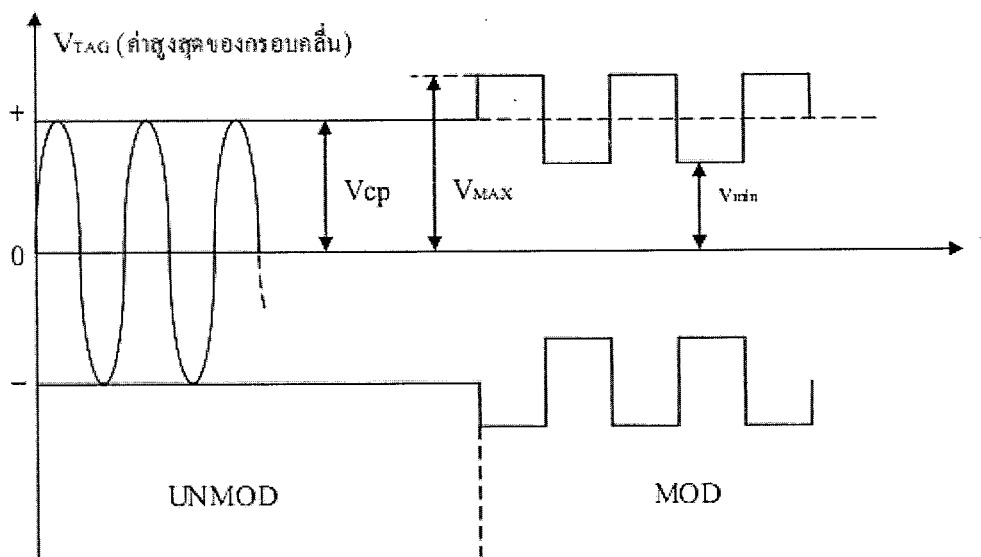
$$\begin{aligned} \frac{R_1}{R_2} &= \frac{V_O}{V_{BE2} + 1.25} - 1 & 6.5 \\ \frac{R_1}{R_2} &= \frac{4.3V}{0.5885 + 1.25} - 1 \\ \frac{R_1}{R_2} &= 2.339 - 1 = 1.339 \\ R_1 &= 1.339R_2 \\ R_1 &= 1.339(330 \times 10^3) \\ &= 441.187 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

จากค่า R_1 ที่คำนวณได้นั้นไม่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดดังนั้นจึงปัดค่าไปเป็น $470 \text{ k}\Omega$
จากค่าอุปกรณ์ที่เราหามาได้นั้นเราสามารถคำนวณค่า V_O ที่แท้จริงได้จากสมการที่ 6.6

$$\begin{aligned} V_O &= \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)(1.25 + V_{BE2}) & 6.6 \\ V_O &= \left(1 + \frac{470 \times 10^3}{330 \times 10^3}\right)(1.25 + 0.5885) = 4.457 \text{ V} \end{aligned}$$

การหาค่า C_1 และ R_{LAC}

การเปลี่ยนแปลงค่า V_{TAG} ที่เกิดจากผลของการ MOD ของ Reader



รูปที่ 6.6 เปลี่ยนแปลงค่า V_{TAG} ที่เกิดจากผลของการ MOD ของ Reader

V_{cp} = ขนาดของค่าสูงสุดของ Unmod carrier

m = Modulation Index; 100m = % Modulation

$$m = \frac{V_{MAX} - v_{min}}{V_{MAX} + v_{min}} \quad 6.7$$

ในขณะที่มีการ Mod

$$V_{MAX} = V_{cp}(1+m) \quad ; \quad v_{min} = V_{cp} - m$$

กรณีการ Mod จาก Reader ไป TAG Mod 10%

$$V_{DC \text{ in min}} \geq V_{O \text{ Reg}} + V_{Drop \text{ Reg}} + V_{F \text{ DS}} + V_{F \text{ Rectifier}} \quad 6.8$$

$$V_{DC \text{ in min}} \geq 4.5 + 1.0 + 0.75 + 1.5$$

$$V_{DC \text{ in min}} \geq 7.75 \text{ V}$$

$$V_{TAG \text{ PK}} \geq 7.75 + \Delta V_r$$

ΔV_r : Ripple Voltage เกิดจาก 2 สาเหตุใหญ่ๆ คือ

1. จาก Carrier คาบเวลาที่ C_1 จะต้องเก็บพลังงานเพื่อจ่ายให้กับ TAG คือ $\Delta t_1 : \Delta t_1 = \frac{1}{2f_c}$

โดยที่ f_c = ความถี่ carrier

2. จาก Load Modulator ในขณะที่ Load Modulator ON จะทำให้ V_{TAG} มีค่าลดลง ภายเวลาที่ C_1 จะต้องเก็บพลังงานเพื่อจ่ายให้กับ TAG คือ $\Delta t_2 : \Delta t_2 = \frac{n}{BitRate_{min}}$ โดยที่ n ขึ้นอยู่กับรูปแบบของ TAG Code โดย $n \approx 0.5$ กรณี Manchester code

เนื่องจาก $BitRate_{min} \ll f_c$ ΔV_r ที่เกิดจาก Load Modulator จะมีผลมากกว่าผลของ Carrier ให้ $\Delta V_r \leq 1 V_{pp}$ ดังนั้น

$$V_{TAG PK} \geq 7.75 + 1 \geq 8.75 V$$

$$V_{TAG rms} \geq \frac{8.75}{\sqrt{2}} \geq 6.178 V_{rms}$$

ถ้าเรากำหนดให้ $V_{TAG rms} \geq 6.25 V_{rms}$ เราจะได้ $V_{TAG PK} \geq 8.84 V$

การหาค่า C_1

จากคุณสมบัติของ C $i_C = C \frac{dv}{dt}$ จะได้

$$C_1 = \frac{i_C}{dv/dt} \quad 6.9$$

โดยที่ i_C : กระแสที่ C discharge ด้วย อัตรา $\frac{dv}{dt}$ ซึ่งจะได้ $i_C \approx I_{TAG}$

$\frac{dv}{dt}$ สมมติการ discharge ของ C_1 เป็นกระแสคงที่มีค่าเท่ากับ I_{TAG} จะได้

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\Delta V_{r(p-p)}}{\Delta t_2} = \frac{1}{\Delta t_2} \quad 6.10$$

ถ้าใช้รูปแบบของ TAG Code แบบ Manchester code โดย $n \approx 0.5$ มี $BitRate_{min} = 3.311 k$ และมี $f_c = 13.56 MHz$ ดังนั้นเราสามารถหาค่า Δt_2 ได้ดังนี้

$$\Delta t_2 = \frac{n}{BitRate_{min}} \quad 6.11$$

$$\Delta t_2 = \frac{0.5}{3.311 \times 10^3} = 151.0$$

เมื่อเราทราบค่า Δt_2 แล้วเราสามารถหาค่า $\frac{dv}{dt}$ ได้จาก

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{\Delta t_2} \quad 6.12$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{151.0} = 6621 V/s$$

เมื่อเราทราบค่า $\frac{dv}{dt}$ แล้วเราสามารถหาค่า C_1 ได้จากสมการที่ 6.12

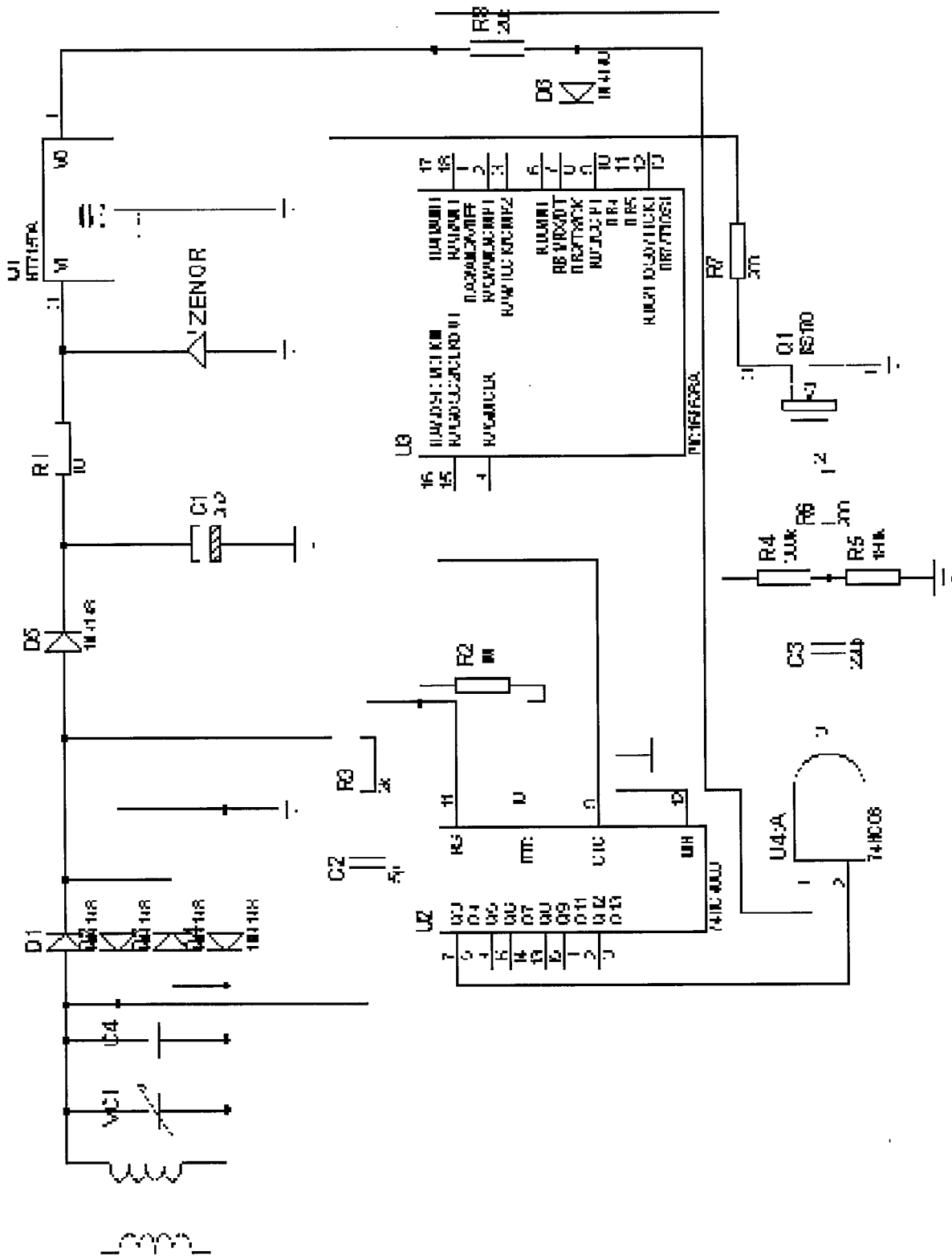
$$C_1 = \frac{i_c}{dv/dt}$$

$$C_1 = \frac{14.5 \times 10^{-3}}{6621} = 2.19 \mu F$$

การหาค่า R_{LAC} เราสามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} P_{AC} &= P_{DC} & 6.4 \\ \frac{V_{TAG rms}^2}{R_{LAC}} &\approx I_{TAG} \times V_{TAG PK} \\ R_{LAC} &\approx \frac{V_{TAG rms}^2}{I_{TAG} \times V_{TAG PK}} \\ &\approx \frac{6.25^2}{14.5 \times 10^{-3} \times 8.84} \\ &\approx 304.75 \Omega \end{aligned}$$

จากที่คำนวณข้างต้น ทำให้สามารถสร้างแท็กได้ดังนี้



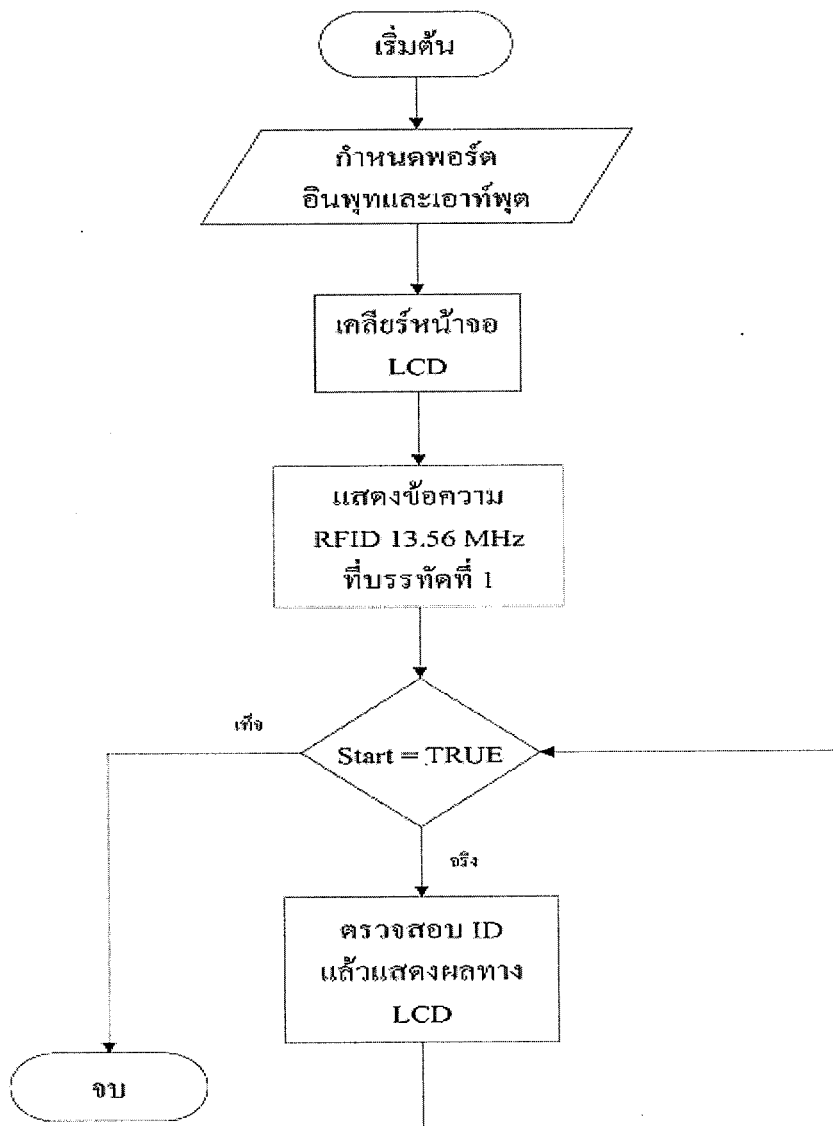
รูปที่ 6.6 แสดงวงจร CONTINOUS TAG

บทที่ 7

โปรแกรมการติดต่อสื่อสารข้อมูล

เทคโนโลยี RFID จะมีการทำงานที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของเครื่องอ่านและ ส่วนของเครื่องถูกข่าย ในส่วนของเครื่องอ่านจะทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากเครื่องถูกข่ายโดยมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลถ้าข้อมูลถูกต้องก็จะแสดงผลออกทางLED และส่งข้อมูลไปให้กับเครื่องถูกข่าย ในส่วนของเครื่องถูกข่ายจะทำหน้าที่รับข้อมูลเข้ามาเก็บลงในหน่วยความจำแบบ (EEPROM) และอ่านข้อมูลที่ได้อ่านส่งให้กับเครื่องอ่าน โดยมีลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้

7.1 โฟลว์ชาร์การทำงานของเครื่องอ่าน



รูปที่ 7.1 แสดงโฟลว์ชาร์การทำงานของเครื่องอ่าน

7.2 ส่วนของโปรแกรมของเครื่องอ่าน

```

#define _PIC16F877_
#include <16F877.h>

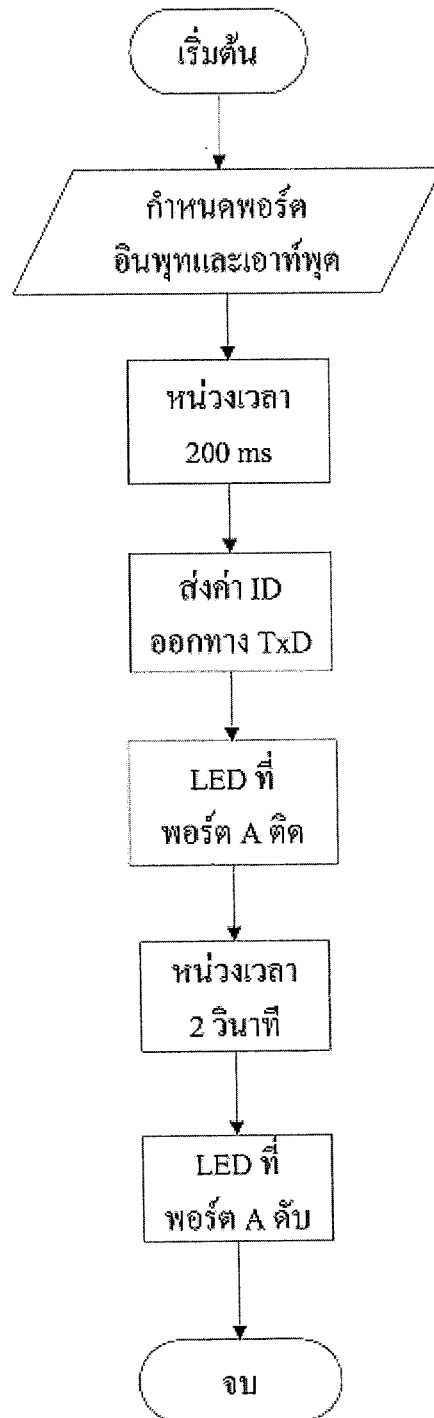
#define TxD PIN_C6 //use port_c6=transmitt
#define RxD PIN_C7 //use port_c7=reciver
#define CLOCK_SP 13560000
#define MAX_DATA_EEPROM 256
#fuses HS
#fuses NOLVP,NOWDT
#fuses NOPROTECT
#use delay (clock=CLOCK_SP)
#use rs232(baud=6900,xmit=TxD,rcv=RxD)
#use fast_io(b)
#use fast_io(d)
#use fast_io(e)
INT PASSWORD_IN=1,K=0,d=1,PASSWORD_EX;
#INT_EXT
VOID EXT(VOID){
while(d){
IF(input(PIN_C0)){
PASSWORD_IN = INPUT_B();
PUTC(PASSWORD_IN);
d = 0;
}
}
}

```

```
#int_rda
VOID rs232_isr(VOID){
PASSWORD_EX = GETC();
k = 1;
}

VOID MAIN(VOID)
{
INT B,V;
SET_TRIS_A(0XFF);
SET_TRIS_B(0XFF);
SET_TRIS_c(0XFF);
SET_TRIS_D(0X00);
ENABLE_INTERRUPTS(GLOBAL);
ENABLE_INTERRUPTS(INT_EXT);
ENABLE_INTERRUPTS(int_rda);
OUTPUT_D(0);
WHILE(1)
while(k){
k = d = 1;
if(PASSWORD_IN == PASSWORD_EX)
{
OUTPUT_D(PASSWORD_EX);
delay_ms(1000);
OUTPUT_D(0);
delay_ms(1500);
PASSWORD_EX = 0;
}
}
}
```


7.3.2 โฟลว์การดำเนินงานของเครื่องลูกข่าย



รูปที่ 7.3 แสดงโฟลว์การดำเนินงานของเครื่องลูกข่าย

7.3.3 ส่วนของโปรแกรมของเครื่องถูกถ่าย

```

#define _PIC16F628_
#include <16F628.h>

#define TxD PIN_B2 //use port_c6=transmitt
#define RxD PIN_B1 //use port_c7=reciver
#define CLOCK_SP 13560000

#define MAX_DATA_EEPROM 256

#fuses HS

#fuses NOLVP,NOWDT

#fuses NOPROTECT

#use delay (clock=CLOCK_SP)

#use rs232(baud=6900,xmit=TxD,rcv=RxD)

#define old_pass 03

int PASSWORD_EX;

int k=0;

#int_rda

VOID rs232_isr(VOID){
PASSWORD_EX = GETC();
write_eeprom(old_pass,PASSWORD_EX);
}

void main(void){
SET_TRIS_A(0X00);
ENABLE_INTERRUPTS(GLOBAL);
ENABLE_INTERRUPTS(int_rda);

```

```
while(1)
{
while(k & input(PIN_b4)){
PASSWORD_EX = read_eeprom(old_pass);
putc(PASSWORD_EX );
}
}
}
```

บทที่ 8

การทดลอง

การทดลองรับส่งพลังงานระหว่างเครื่องรับและเครื่องถูกข่าย

โดยการปรับเปลี่ยนค่าแรงดัน V_o (Reader) ตั้งแต่ 2Vpp. – 8Vpp. เพื่อให้ได้ และในการทดลองให้วาง Reader Coil กับ Tag Coil ในมุมที่ทั้งสองสามารถส่งพลังงานได้มากที่สุด แล้วหลังจากนั้นทำการทดลองโดยการวัดที่ระยะ 0 – 4 เซนติเมตร โดยทำการวัด 3 จุดคือ

1. วัดคร่อม Coil ของ Tag
2. วัดหลัง Rectifier ของ Tag
3. วัดหลัง Regulator ของ Tag

ตารางที่ 8.1 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้จากเครื่องอ่านและเครื่องถูกข่าย ที่ระยะ 0 เซนติเมตร

V_o (Reader) (Vpp)	วัดคร่อม Coil (Vpp)	วัดหลัง Rectifier (Vdc)	วัดหลัง Regulator (Vdc)
2.00	21.15	8.99	5.12
4.00	44.00	18.88	5.07
6.00	46.00	20.32	5.01
8.00	48.00	20.87	5.00

ตารางที่ 8.2 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้จากเครื่องอ่านและเครื่องถูกข่าย ที่ระยะ 1 เซนติเมตร

Vo(Reader) (Vpp)	วัดคร่อม Coil (Vpp)	วัดหลัง Rectifier (Vdc)	วัดหลัง Regulator (Vdc)
2.00	17.00	8.13	5.12
4.00	43.80	18.77	5.08
6.00	46.00	20.25	5.02
8.00	48.00	20.71	4.97

ตารางที่ 8.3 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้จากเครื่องอ่านและเครื่องถูกข่าย ที่ระยะ 2 เซนติเมตร

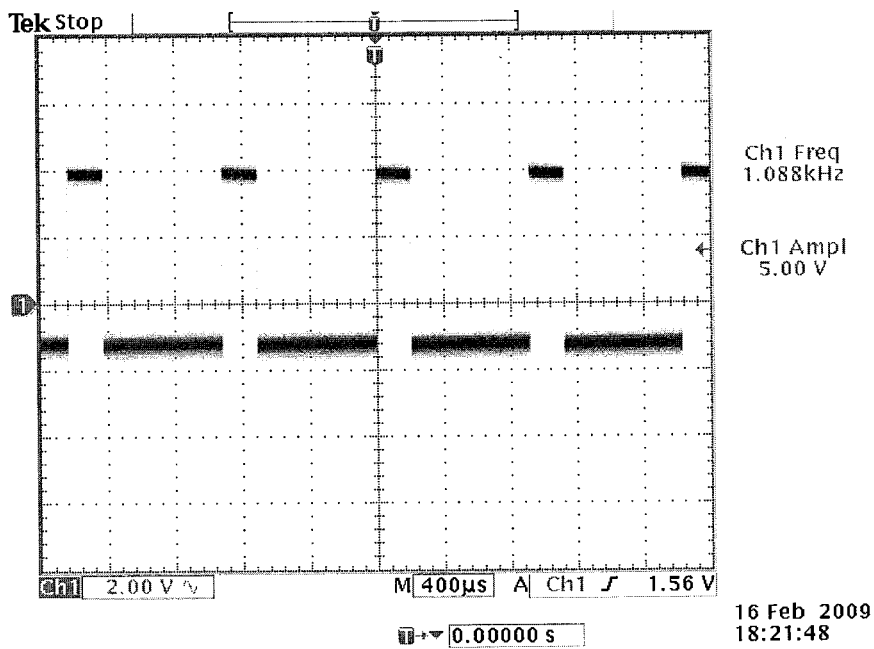
Vo(Reader) (Vpp)	วัดคร่อม Coil (Vpp)	วัดหลัง Rectifier (Vdc)	วัดหลัง Regulator (Vdc)
2.00	14.05	6.25	5.10
4.00	42.00	18.23	5.10
6.00	44.00	19.56	5.03
8.00	45.00	19.25	5.00

ตารางที่ 8.4 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้จากเครื่องอ่านและเครื่องถูกข่าย ที่ระยะ 3 เซนติเมตร

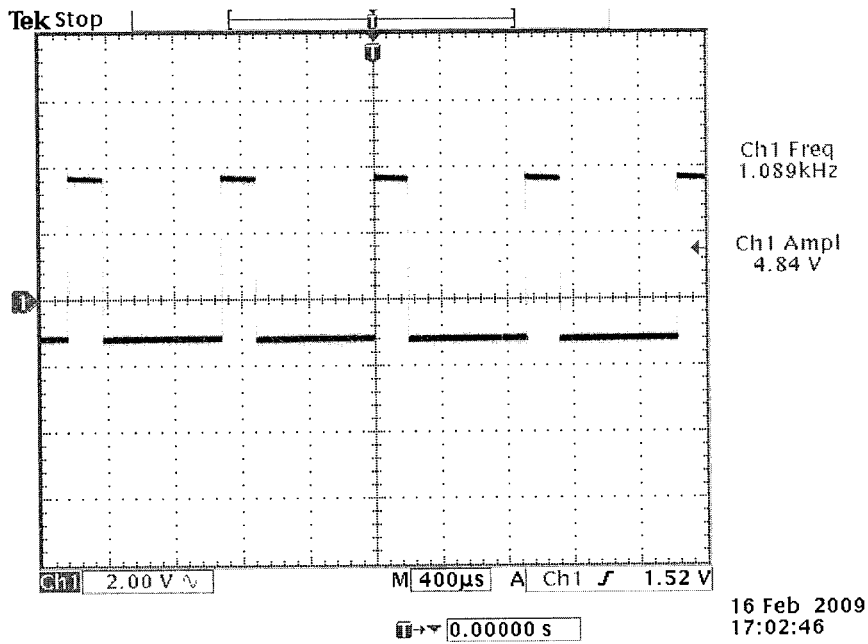
Vo(Reader) (Vpp)	วัดคร่อม Coil (Vpp)	วัดหลัง Rectifier (Vdc)	วัดหลัง Regulator (Vdc)
2.00	13.00	3.82	3.72
4.00	29.00	17.45	5.11
6.00	40.00	18.90	5.06
8.00	44.00	19.51	5.05

ตารางที่ 8.5 แสดงค่าของพลังงานที่วัดได้จากเครื่องอ่านและเครื่องถูกข่าย ที่ระยะ 4 เซนติเมตร

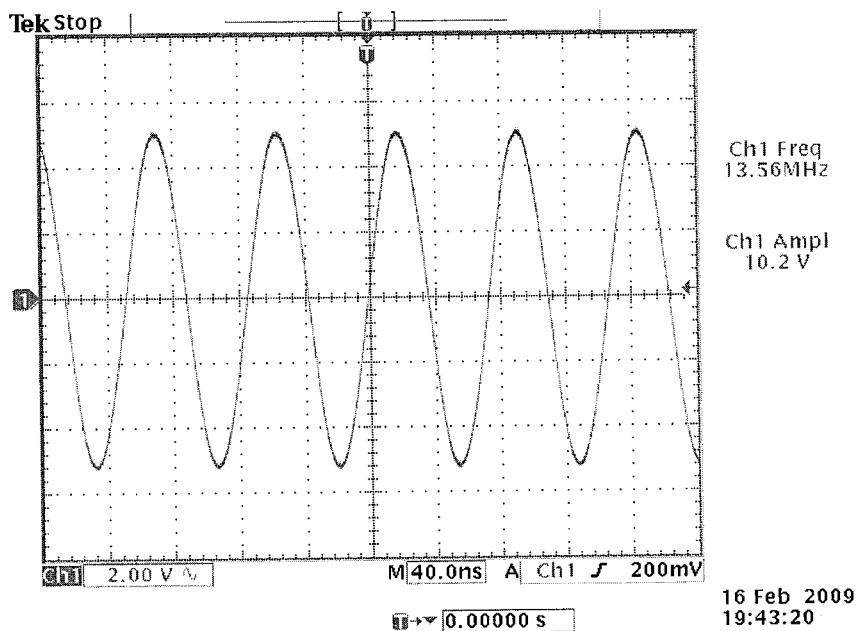
Vo(Reader) (Vpp)	วัดคร่อม Coil (Vpp)	วัดหลัง Rectifier (Vdc)	วัดหลัง Regulator (Vdc)
2.00	12.00	3.58	3.39
4.00	22.00	16.88	5.13
6.00	27.50	17.89	5.09
8.00	40.00	18.18	5.11



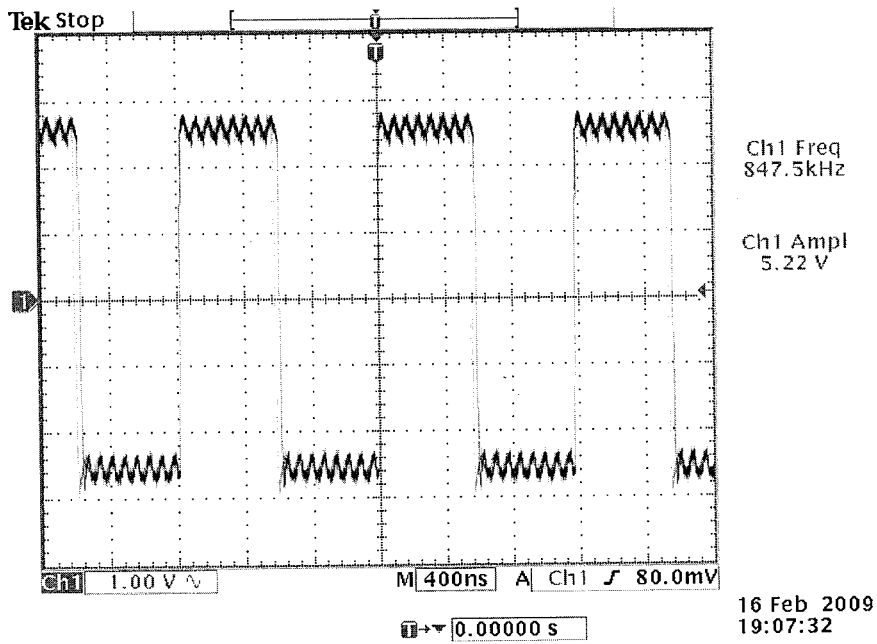
รูปที่ 8.1 สัญญาณข้อมูลที่วัดได้บน TAG ที่ขา TX ของ CPU (PIC16F628A)



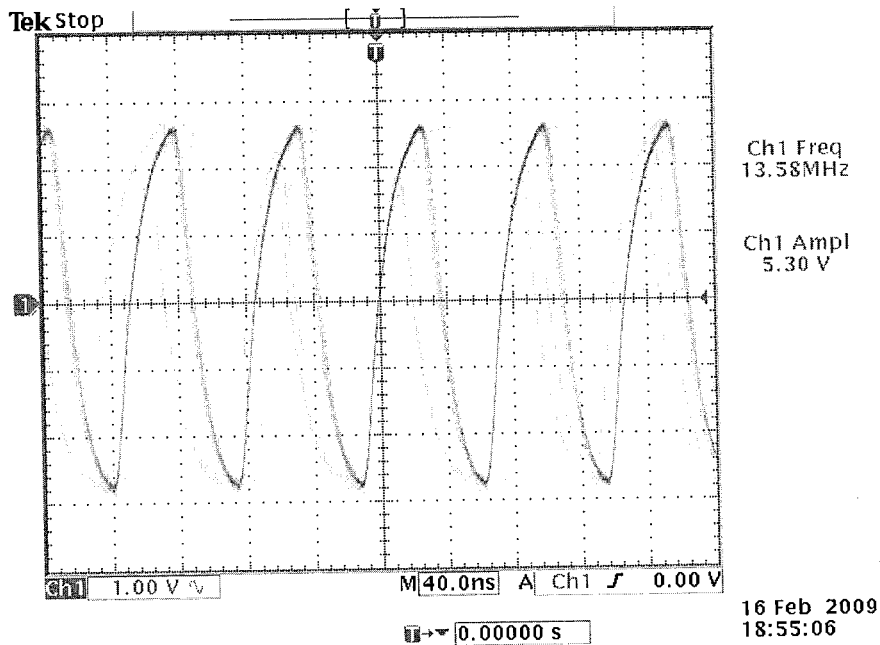
รูปที่ 8.2 สัญญาณข้อมูลที่วัดได้บน READER ที่ COMPARATOR (LM393) ขา DATA



รูปที่ 8.3 สัญญาณที่วัดได้บน TAG ที่ตำแหน่งก่อน RECTIFIER



รูปที่ 8.4 สัญญาณ SUB CARRIER 847.5KHz วัดที่ขา Q ของ HC4060



รูปที่ 8.5 สัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้กับ CPU วัดที่ขา OUT2 ของ HC4060

บทที่ 9 บทสรุปและวิจารณ์

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ทดลองเรื่อง RFID ใช้งานในย่านความถี่ 13.56MHz ประกอบด้วยส่วนสำคัญใหญ่ๆ 2 ส่วนคือส่วนของเครื่องอ่านและเครื่องรับ โดยเครื่องอ่านจะส่งกำลังประมาณ 5W และจะมีส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 16F877 ใช้ในการอ่านและเขียนข้อมูลที่เครื่องลูกข่าย โดยหลักการทำงานของเครื่องอ่านจะส่งพลังงานและข้อมูลให้กับเครื่องรับ ในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และข้อมูลจะถูกมอดูเลทแบบ ASK ส่งไปยังเครื่องรับ โดยเครื่องรับจะรับพลังงานจากเครื่องส่ง ผ่านขดลวดที่วงจรรีโซแนนซ์มาทำการเรกติไฟร์จะได้แรงดันไฟประมาณ 3.3 โวลต์ มาเลี้ยงวงจร และทำการดีมอดูเลทแบบแอมพลิฟายด์ ส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำการประมวลผลออกมา โดยผลที่ได้ก็นำไปใช้งานได้ และยังสามารถประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆต่อไปได้

9.1 ปัญหาในการทำงาน

9.1.1 ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการพันขดลวดที่ได้จำนวนรอบและรูปแบบที่ไม่เที่ยงตรง และแน่นอนทำให้มีผลต่อการทำงานของวงจรรวมไปถึงการเข้าใจหลักการที่แน่นอนในการทำงานของวงจรตลอดจนระยะเวลาในการดำเนินงาน

9.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้จริงในวงจรมีค่าไม่ตรงกับค่าที่คำนวณ จึงต้องประยุกต์ และดัดแปลงอุปกรณ์เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด

9.2 การนำไปประยุกต์ใช้งาน

9.2.1 จากการประยุกต์เทคโนโลยี RFID สามารถที่นำไปใช้ในระบบโรงงานอุตสาหกรรมและตามห้างร้านต่างๆ ได้

9.2.2 สามารถนำหลักการในการทำงานของ RFID เช่นการมอดูเลท และการดีมอดูเลทนี้ไปเป็นการป้องกันข้อมูลการสื่อสารในด้านอื่นๆ ได้

บรรณานุกรม

1. ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, “RFID”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 279, 2548, หน้า 156-166.
2. ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, “RFID”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 280, 2548, หน้า 167-177.
3. ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, “RFID”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 282, 2548, หน้า 164-174.
4. ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, “RFID”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 283, 2548, หน้า 151-162.
5. ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, “RFID”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 285, 2549, หน้า 148-159.
6. เฉตุทธี มณีธรรม, ลำเรียง เต็มราม, “คัมภีร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51”, ไทยเจริญการพิมพ์, 345 หน้า, 2549
7. รศ.เฉลิมพล น้ำค้าง, “ทฤษฎีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก”, ศูนย์หนังสือกรุงเทพ 2541
8. สันติ อัสวศรีพงษ์, “สนามแม่เหล็กไฟฟ้า”
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
9. Rachel Waddington, “RFID Handbook”, (Second Edition), Jone Wilry & Sons Ltd 1999
10. AN-710 Antenna Circuit Design for RFID Application,
<http://200.9.176.189/web/Microchip/Disco1/download/appnote/rfid/00710a.pdf#search=%22an710%22>
11. Klaus Finkenzeller, “RFID Handbook”, 2003.

ภาคผนวก