

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

RFID 13.56 MHz



โดย
นายพรทชัย ฉิมพลีกุล 48015173
นายพีรพงษ์ ระจิตดำรง 48015261

๒๖๗
พ ๘๓๙๐
๒๕๕๐

เลขบัญชี.....**82184**
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี...- 9 ก.ค. 2551

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

๑๑๑๔๕๗๒๒
b.....
.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RFID 13.56 MHz



นายพุทธชัย ฉิมพลีกุล 48015173
นายพิรพงษ์ ระจิตดำรงค์ 48015261

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RFID 13.56 MHz



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยี RFID

นายพุทธชัย ฉิมพลีกุล รหัส 48015173

นายพีรพงษ์ ระจิตดำรงค์ รหัส 48015261

ผศ.ประภากร สุวรรณะ(อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา RFID (Radio Frequency Identification) ทำงานที่ความถี่ 13.56 MHz ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของเครื่องอ่าน (Reader) และส่วนของลูกข่าย (Transponder or Tag) ซึ่งส่วนของเครื่องอ่านประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) มอดคูเลเตอร์ (Modulator) ดีมอดคูเลเตอร์ (Demodulator) PA (Power Amplifier) เป็นตัวส่งพลังงานที่จะติดต่อสื่อสารซึ่งจะใช้กำลังงานในการส่งขนาด 1 วัตต์ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมการทำงานของเครื่องอ่านซึ่งใช้ PIC และในส่วนของลูกข่ายประกอบด้วยโหลดมอดคูเลเตอร์ (Load Modulator) และควบคุมการทำงานของลูกข่ายโดยใช้ PIC เช่นเดียวกัน โดยจะได้รับพลังงานมาจากการถ่ายเทพลังงานจากเครื่องอ่าน จ่ายให้กับส่วนของวงจรถูกข่าย ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลจะติดต่อกันอยู่ในรูปแบบของพอร์ตอนุกรม (Serial Port) โดยเครื่องอ่านจะทำการถอดรหัสเอาแต่ข้อมูลมาแสดงผลทางจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RFID TECHNOLOGY

Mr. Puttachai Chimpleekul ID. 48015173

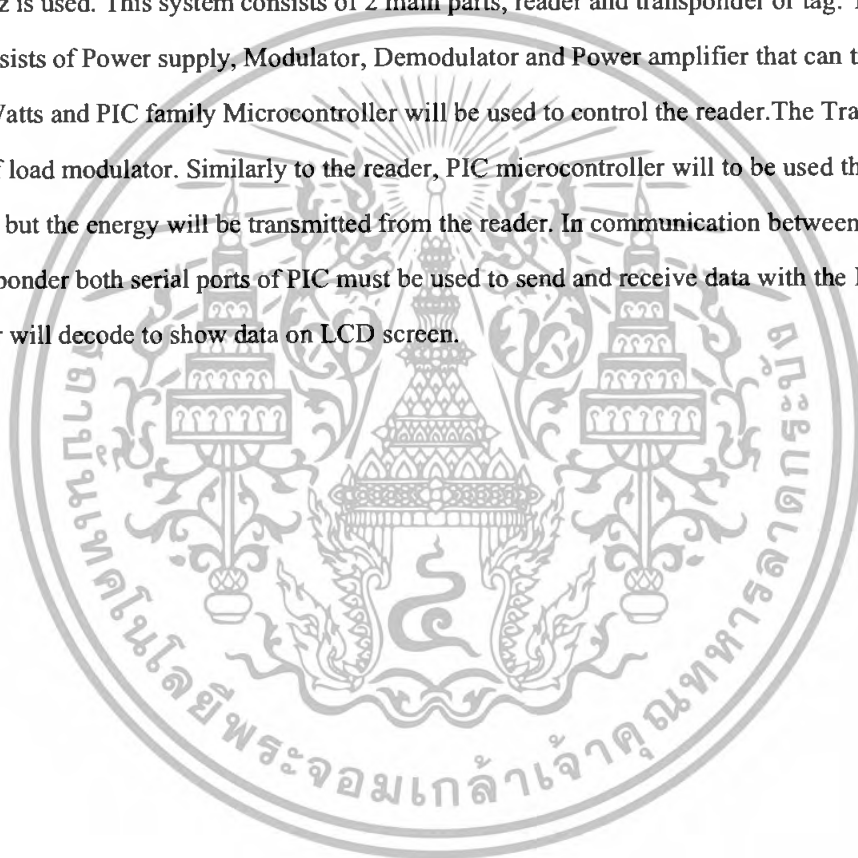
Mr. Pheerapong Rajitdamrong ID.48015261

Assist. Prof . Prapakorn Suwanna (Advisor)

Educational Year 2006

ABSTRACT

This project is a study of RFID (Radio Frequency Identification). So, a frequency at 13.56 MHz is used. This system consists of 2 main parts, reader and transponder or tag. The reader consists of Power supply, Modulator, Demodulator and Power amplifier that can transmit power 1 Watts and PIC family Microcontroller will be used to control the reader. The Transponder consists of load modulator. Similarly to the reader, PIC microcontroller will be used the control device too but the energy will be transmitted from the reader. In communication between Reader and Transponder both serial ports of PIC must be used to send and receive data with the Reader. The reader will decode to show data on LCD screen.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญาพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยเพราะได้รับความเมตตาและความอนุเคราะห์จาก ผศ.ประภากร สุวรรณะ และอาจารย์ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเพื่ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง และ ปฏิบัติงาน ผู้จัดทำขอกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูง หากขาดบุคคลดังกล่าวแล้วผู้จัดทำคงไม่สามารถที่จะทำงานชิ้นนี้สำเร็จ ลงได้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากรายงานฉบับนี้ ผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งที่เอ่ยนามและมิได้เอ่ยนาม และ หวังว่ารายงานฉบับนี้ คงจะพอเป็นแนวทางสำหรับผู้ ที่สนใจ และเริ่มศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง RFID เพื่อเป็นการนำไปใช้หรือนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ. ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นายพุทธชัย ฉิมพลีกุล

นายพีรพงษ์ ระจิตคำรงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 ขั้นตอนดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับระบบRFID	5
2.1 ส่วนประกอบของระบบRFID	5
2.2 ลักษณะของอุปกรณ์ RFID	6
2.2.1 การรับส่งข้อมูลแบบ FDX/HDX	6
2.2.2 การรับส่งข้อมูลแบบ SEQ	6
2.2.3 Tags หรือ Transponders	7
2.3 ประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID (TAG)	10
2.3.1 เครื่องลูกข่ายแบบจานและเหรียญ (Disk and coin)	10
2.3.2 เครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว (Glass housing)	10
2.3.3 เครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก (Plastic housing)	11
2.3.4 เครื่องลูกข่ายสำหรับใช้เฉพาะกิจ	11
2.3.5 เครื่องลูกข่ายแบบพวงกุญแจ (Key and Key fob)	11
2.3.6 เครื่องลูกข่ายแบบนาฬิกา	12
2.3.7 เครื่องลูกข่ายมาตรฐาน ID-1 และ Smartcard แบบไร้การสัมผัส	13
2.3.8 เครื่องลูกข่ายแบบ Smart label	13
2.3.9 เครื่องลูกข่ายแบบขดลวดบนชิป (Coil-on-chip)	13
2.4 Reader	14
2.5 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ	15
2.6 การสื่อสารแบบไร้สาย	15
2.7 รูปแบบการรับส่งข้อมูล	16
2.8 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1	เทคโนโลยี Inductive Coupling	17
2.8.1.1	การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	18
2.8.1.2	การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	20
2.8.2	เทคโนโลยี Load Modulation	21
2.8.3	เทคโนโลยี Subharmonic Procedure	23
2.8.4	เทคโนโลยี Close Coupling	24
2.8.4.1	การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	25
2.8.4.2	การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	26
2.8.5	เทคโนโลยี Electrical Coupling	27
2.8.5.1	การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	27
2.8.5.2	การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	29
2.8.5.3	การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่าน ไปสู่เครื่องลูกข่าย	30
บทที่ 3	ทฤษฎีบทสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	31
3.1	วงจรเรโซแนนซ์ ค่าประสิทธิภาพ Q และแบนด์วิดท์	31
3.1.1	ผลของวงจรเรโซแนนซ์ต่อวงจรกระแสตรง	31
3.1.2	วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	34
3.1.3	วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	36
3.2	ค่าประสิทธิภาพ (Q) และแบนด์วิดท์	38
3.3	การกำหนดขอบเขตของค่าประสิทธิภาพ	39
3.4	เส้นแรงแม่เหล็กกับความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux and Magnetic flux density)	39
3.5	ความเหนี่ยวนำ (Inductance)	41
3.6	ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการออกแบบสายอากาศลวด	42
3.6.1	การเหนี่ยวนำแรงดันในสายอากาศลวด	45
3.6.2	ชนิดและความต้านทานที่สูญเสียของลวด	49
3.6.3	ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศลวด	51
3.7	โครงสร้างของสายอากาศลวด	54
3.7.1	สายอากาศลวดของเครื่องลูกข่าย	54
3.7.2	สายอากาศลวดของเครื่องอ่าน	55
3.8	วงจรแมทซิ่ง(matching)	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4	การมอดูเลทสัญญาณแบบดิจิทัล	60
4.1	บทนำ	60
4.2	การมอดูเลทสัญญาณดิจิทัล	60
4.2.1	การมอดูเลทดิจิทัลทางขนาด (Amplitude Shift Keying; ASK)	61
4.2.2	การมอดูเลทดิจิทัลทางเฟส (Phase Shift Keying; PSK)	62
4.2.3	การมอดูเลทดิจิทัลทางความถี่ (Frequency Shift Keying; FSK)	63
4.3	การรับส่งข้อมูลแบบขนาน(Parallel Transmission)	64
4.4	การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม(Serial Transmission)	66
4.4.1	การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission)	67
4.4.2	การส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส (Asynchronous Transmission)	68
บทที่ 5	การออกแบบและการ READER AND TAG	72
5.1	การคำนวณหาค่า (NI) _{rms} ของวงจรขับ Reader Coil	72
5.2	การคำนวณหาจำนวนรอบของ Reader coil	79
5.3	ส่วนของวงจร Continuous Drive With Modulator	83
5.4	ส่วนของวงจร Demodulator	84
5.5	ส่วนของวงจร Adaptive Threshold Comparator	85
5.6	ขั้นตอนคอนการออกแบบ TAG REGULATOR	86
5.7	ส่วนของวงจร TAG	89
บทที่ 7	โปรแกรมการติดต่อสื่อสารข้อมูล	90
7.1	เครื่องอ่าน (Reader)	90
7.1.1	ส่วนของวงจรของเครื่องอ่าน	90
7.1.2	โพลวาร์จการทำงานของเครื่องอ่าน	91
7.1.3	ส่วนของโปรแกรมของเครื่องอ่าน	92
7.2	เครื่องลูกข่าย	99
7.2.1	ส่วนของวงจรลูกข่าย	99
7.2.2	โพลวาร์จการทำงานของเครื่องลูกข่าย	99
7.2.3	ส่วนของโปรแกรมของเครื่องลูกข่าย	99
บทที่ 8	ผลการทดลอง	100
8.1	ผลการทดลองการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ระยะต่างๆ	100
8.4	ผลการทดลองในส่วนของวงจรหารความถี่เพื่อนำไปมอดูเลทที่เครื่องลูกข่าย	111
8.5	รูปสัญญาณที่ได้จากการทดลองของ TAG AND READER	111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9 บทสรุปและวิจารณ์	115
9.1 บทสรุป	115
9.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน	116
9.3 แนวทางการแก้ไขและการนำไปประยุกต์ใช้งาน	116
9.4 การนำไปประยุกต์ใช้งาน	116



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 แสดงการใช้ RFID กับงานต่างๆ	1
รูปที่ 2.1 ระบบ RFID	5
รูปที่ 2.2 แสดงแท็กในรูปแบบต่างๆ	7
รูปที่ 2.3 แท็กชนิด ACTIVE	8
รูปที่ 2.4 แท็กชนิดพาสซีฟ	9
รูปที่ 2.5 เครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว (Glass housing)	10
รูปที่ 2.6 เครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก (Plastic housing)	11
รูปที่ 2.7 เครื่องลูกข่ายแบบพวงกุญแจ (Key and Key fob)	12
รูปที่ 2.8 เครื่องลูกข่ายแบบนาฬิกา	12
รูปที่ 2.9 โครงสร้างภายในเครื่องอ่าน RFID	14
รูปที่ 2.10 การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล	15
รูปที่ 2.11 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential	16
รูปที่ 2.12 เทคโนโลยี Inductive Coupling กับ การรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน	18
รูปที่ 2.13 องค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID ที่มีการทำงานแบบ Inductive Coupling	19
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องลูกข่าย RFID ประเภท Inductive Coupling	20
รูปที่ 2.15 สัญญาณข้อมูลที่ถูกรับรจอยู่ในไฮด์แบนด์ของความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน กับเครื่องลูกข่าย RFID	22
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างวงจรที่ใช้สำหรับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบ Load Modulation with Sub carrier ติดตั้งอยู่ในเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling	23
รูปที่ 2.17 โครงสร้างวงจรภายในอย่างง่ายของเครื่องลูกข่าย RFID ที่ทำงานแบบ Subharmonic Procedure	24
รูปที่ 2.18 เทคนิคการถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปสู่เครื่องอ่าน โดยผ่านการคับปลิงทางไฟฟ้า	25
รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างและการทำงานของระบบ RFID แบบ Electrical Coupling	27
รูปที่ 2.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะต้องผลิตขึ้นบนแผ่น	28
รูปที่ 2.21 วงจรสมมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน RFID	30
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรรีโชนเนนซ์แบบขนาน	32
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรรีโชนเนนซ์อนุกรม	32
รูปที่ 3.3 แสดงช่วงเวลาที 1	33
รูปที่ 3.4 แสดงช่วงเวลาที 2	33
รูปที่ 3.5 แสดงช่วงเวลาที 3	34
รูปที่ 3.6 แสดงช่วงเวลาที 4	34
รูปที่ 3.7 แสดงช่วงเวลาที 5	35
รูปที่ 3.8 ค่าประสิทธิภาพกับรูปแบบการมอดูเลต	39
รูปที่ 3.9 แสดงการทดลองเพื่อวัดเส้นแรงแม่เหล็ก	40
รูปที่ 3.10 การคำนวณของสนามแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) ที่ลวดตัวนำ	44
รูปที่ 3.11 การคำนวณของสนามแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) เข้ารูป	45
รูปที่ 3.12 การลดลงของค่าสนามแม่เหล็ก B กับระยะห่าง r	45
รูปที่ 3.13 พื้นฐาน โครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านและสายอากาศเครื่องลูกข่ายใน ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ	46
รูปที่ 3.14 การปรับทิศทางของสายอากาศของเครื่องลูกข่ายให้เหมาะสม	48
รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-รอบกับระยะการอ่าน	49
รูปที่ 3.16 รูปของขดลวด	53
รูปที่ 3.17 สายอากาศขดลวดรูปวงกลมแกนอากาศจำนวนรอบใดๆ	54
รูปที่ 3.18 สายอากาศขดลวดแบบลูปสี่เหลี่ยม	55
รูปที่ 3.19 รัศมีของ โครงสร้างของสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย	56
รูปที่ 3.20 สายอากาศรูปทรานฟอร์มเมอร์ของเครื่องอ่าน	57
รูปที่ 3.21 วงจรแมตซ์แบบต่างๆ	58
รูปที่ 3.22 วงจร โครงข่ายแมตซ์แบบต่างๆ	59
รูปที่ 4.1 แสดงรูปการมอดูเลตดิจิตอลทางขนาด	62
รูปที่ 4.2 .แสดงการมอดูเลตดิจิตอลทางเฟส	62
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณในแบบ BPSK	63
รูปที่ 4.4 แสดงการมอดูเลตทางดิจิตอล	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลทแบบ FSK ในการส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์	64
รูปที่ 4.6 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลทแบบ FSK	65
รูปที่ 4.7 แสดงการประมาณค่าความกว้างแถบของแบบ FSK	65
รูปที่ 4.8 แการส่งข้อมูลแบบขนาน	66
รูปที่ 4.9 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม	67
รูปที่ 4.10 แสดงการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส	67
รูปที่ 4.11 แสดงรูปข้อมูลแบบซิงโครนัส	68
รูปที่ 4.12 แสดงการส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส	69
รูปที่ 4.13 แสดงรูปแบบข้อมูลแบบอซิงโครนัส	69
รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะของ Tag coil	72
รูป 5.2 แสดงวงจร Continuous Drive With Modulator	83
รูปที่ 5.3 วงจรส่วนของ Demodulator	84
รูปที่ 5.4 แสดงวงจร Adaptive Threshold Comparator	85
รูปที่ 5.5 แสดงวงจร TAG	89
รูปที่ 7.1 ส่วนวงจรการทำงานของเครื่องอ่าน	90
รูปที่ 7.2 แสดงฟลิวชาร์ตการทำงานของเครื่องอ่าน	91
รูปที่ 7.3 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องลูกข่าย	99
รูปที่ 7.4 แสดงฟลิวชาร์ตการทำงานของเครื่องลูกข่าย	99
รูปที่ 8.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการทดสอบการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่าย	100
รูป(ก) สัญญาณของ Load Modulation ที่ Reader วัดได้ ในขณะที่ Tag มีโหลด 100Ω และห่างจาก Reader 0 cm	108
รูป(ข) สัญญาณของ Load Modulation ที่ Reader วัดได้ ในขณะที่ Tag มีโหลด 200Ω และห่างจาก Reader 0 cm	108
รูป(ค) สัญญาณของ Load Modulation ที่ Reader วัดได้ ในขณะที่ Tag มีโหลด 500Ω และห่างจาก Reader 0 cm	108
รูป(ง) สัญญาณของ Load Modulation ที่ Reader วัดได้ ในขณะที่ Tag มีโหลด $1K \Omega$ และห่างจาก Reader 0 cm	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูป(จ) สัญญาณของ Load Modulation ที่ Reader วัดได้ ในขณะที่ Tag มีโหลด 3 k Ω และห่างจาก Reader 0 cm	109
รูป(ฉ) สัญญาณของ Load Modulation ที่ Reader วัดได้ ในขณะที่ Tag มีโหลด 5 k Ω และห่างจาก Reader 0 cm	110
รูป(ช) สัญญาณของ Load Modulation ที่ Reader วัดได้ ในขณะที่ Tag มีโหลด 10 k Ω และห่างจาก Reader 0 cm	110
รูปที่ 8.2 แสดงสัญญาณที่ได้จากการหาค่าความถี่ (หาร 16) จากโพรบ $\times 10$	111
รูปที่ 8.3 สัญญาณที่ได้จาก TAG AND READER	111
รูป a สัญญาณจาก data จำลอง 3.33 KHZ	111
รูป b สัญญาณที่ผ่าน LPF1	112
รูป c สัญญาณที่ผ่าน LPF2	112
รูป d สัญญาณที่ผ่าน Adaptive Threshold Comparator	113
รูป e สัญญาณจาก data จาก Microcontroller ที่ระยะ 0 cm	113
รูป f สัญญาณที่ผ่าน LPF1 ที่ระยะ 0 cm	114
รูป g สัญญาณที่ผ่าน LPF2 ที่ระยะ 0 cm	114
รูป h สัญญาณที่ผ่าน Adaptive Threshold Comparator	115
รูป i สัญญาณจาก data จาก Microcontroller ที่ระยะ 1 cm	115
รูป j สัญญาณที่ผ่าน LPF1 ที่ระยะ 1 cm	116
รูป k สัญญาณที่ผ่าน LPF2 ที่ระยะ 1 cm	116
รูป l สัญญาณที่ผ่าน Adaptive Threshold Comparator	117
รูป m สัญญาณจาก data จาก Microcontroller ที่ระยะ 2 cm	117
รูป n สัญญาณที่ผ่าน LPF1 ที่ระยะ 2 cm	118
รูป o สัญญาณที่ผ่าน LPF2 ที่ระยะ 2 cm	118
รูป p สัญญาณที่ผ่าน Adaptive Threshold Comparator	119
รูป q สัญญาณจาก data จาก Microcontroller ที่ระยะ 3 cm	119
รูป r สัญญาณที่ผ่าน LPF1 ที่ระยะ 3 cm	120
รูป s สัญญาณที่ผ่าน LPF2 ที่ระยะ 3 cm	120
รูป t สัญญาณที่ผ่าน Adaptive Threshold Comparator	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เทคโนโลยี RFID (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION) เป็นระบบชี้เฉพาะอัตโนมัติด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ที่ใช้สัญญาณวิทยุพลังต่ำเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน แบบไร้สาย (Wireless) ซึ่งในปัจจุบันนี้เราอาจจะกล่าวได้ว่าเทคโนโลยี RFID เป็นระบบที่ถูกนำมาใช้งานในด้านต่างๆมากมาย ไม่ว่าจะเป็นหน่วยงาน หรือ องค์กรทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน โรงงานอุตสาหกรรม ร้านค้า ห้างสรรพสินค้า ซึ่งเราจะพบเห็นการใช้งานของระบบ RFID ได้ อาทิเช่น ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบคลังสินค้า ระบบเครื่องช่วยเทคโนโลยี Smart Card / RFID ระบบการตรวจสอบและติดตามตู้สินค้าชนิดติดด้วยRFID ระบบควบคุมยานพาหนะเข้าออกด้วยRFID บาร์โค้ดและการปลูสดั้ว เป็นต้น



รูปที่ 1.1 แสดงการใช้ RFID กับงานต่างๆ

ซึ่งถ้าหากเราพิจารณารูปแบบของเทคโนโลยี RFID ที่ใช้ในงานดังกล่าวก็มีทั้งแบบที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถถูกเขียน หรือ อ่านข้อมูลออกมาจากฉลากมีชื่อเรียกว่า ทรานสปอนเดอร์ (Transponder, Transmitter & Responder) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า “แท็กส์” (Tag) ได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัส กับ ทรานสซีฟเวอร์ (Transceiver, Transmitter & Receiver) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า “เครื่องอ่าน” (Reader) โดยระยะห่างของการเขียนหรืออ่านข้อมูลระหว่าง Tag และ Reader จะขึ้นกับความถี่(Frequency)และกำลังงานที่ใช้ โดยเราสามารถพิจารณาการเลือกใช้งาน RFID ได้ตามมาตรฐานที่มีการกำหนดในปัจจุบัน อันเกิดจากการกำหนดมาตรฐานของการรวมกลุ่มระหว่างแต่ละประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐาน ความถี่คลื่นพาหะของระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ โดยมีสามกลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มประเทศในยุโรปและอาฟริกา (Region 1), กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region 2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออกไกล และออสเตรเลีย (Region 3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทาง ในการเลือกใช้ความถี่ต่างๆ ให้แก่ บรรดาประเทศสมาชิก ดังนี้

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

ตารางที่ 1.2 ย่านความถี่ต่างๆ ของระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ และการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่านความถี่ที่นิยมใช้งานคือย่านความถี่ต่ำ (125 KHz) ย่านความถี่ปานกลาง(13.56MHz) และย่านความถี่สูง (2.45 GHz) ตามลำดับดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 1.2 จากที่เราได้กล่าวถึงเทคโนโลยี RFID มาทั้งหมดเราจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยี RFID มีประโยชน์ต่อการใช้งานหลายด้าน และเป็นเทคโนโลยีที่เข้ามามีบทบาทต่อการบริหารจัดการธุรกิจขนาดใหญ่และอำนวยความสะดวกต่อการดำเนินชีวิตอย่างมาก ซึ่งจะมีส่วนต่อการเปลี่ยนโฉมของสังคมเข้าสู่สังคม ยูบิควิตัส (UBIQUITOUS SOCIETY) สำหรับประเทศไทยแล้วเทคโนโลยี RFID ยังเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่สำหรับประเทศไทย จึงมีการนำเข้าซึ่งเทคโนโลยี RFID จากต่างประเทศ เข้ามาใช้ในประเทศไทย ซึ่งเรื่องราคาก็ย่อมสูงเช่นเดียวกันกับความต้องการของเทคโนโลยี แต่เมื่อมองในแง่ของผลประโยชน์ที่จะได้รับก็ยังถือว่าคุ้มค่ากับการลงทุน จึงเกิดแนวคิดที่จะศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีเกี่ยวกับ RFID เพื่อที่จะลดต้นทุนของเทคโนโลยีดังกล่าว จากการนำเข้าจากต่างประเทศ และเพื่อให้สามารถนำประยุกต์ให้ใช้กับงานทางด้านต่าง ๆ ได้แพร่หลาย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ โดยศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ และ คอมพิวเตอร์แห่งชาติ ได้ทำการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านนี้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 และ ในปัจจุบันได้สนับสนุนการก่อตั้งเครือข่ายสาขากิจเทคโนโลยี อาร์เอฟไอดีในประเทศไทย เพื่อดูแลเกี่ยวกับมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้งาน และการจัดสรรความถี่ เป็นต้น ซอฟต์แวร์

1.2 วัตถุประสงค์โครงการ

- เพื่อศึกษาและเรียนรู้ระบบการทำงานของเทคโนโลยี RFID
- เพื่อให้สามารถออกแบบ และ สร้างวงจรในส่วนต่างๆของระบบ RFID ได้
- เพื่อให้สามารถวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้
- เพื่อให้รู้จักนำความรู้เรื่องของเทคโนโลยี RFID ไปประยุกต์ใช้งานได้ต่อไป

1.3 ขอบเขตโครงการ

- ทำการทดลองเครื่องส่ง PA เพื่อทำการส่งถ่ายพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังเครื่อง ลูกข่ายเพื่อหาระยะ และพลังงานที่สามารถทำให้เครื่องลูกข่ายทำงานได้
- เครื่องลูกข่ายสามารถส่งข้อมูลผ่านโดยใช้คลื่นความถี่ 13.56 MHz ได้
- สามารถส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายได้ โดยการจำลองการทำงานเครื่องอ่านกับการทำงานเครื่องลูกข่าย โดยการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมทั้งแสดงผลที่ได้ออกมาเพื่อเช็คความถูกต้องของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

- ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาระบบเทคโนโลยี RFID
- ศึกษาการทำงานของวงจรต่างๆ ได้แก่ วงจรมอดูเลเตอร์ เพาเวอร์แอมป์ แมตซิ่ง
 - ออกแบบส่วนของแมตซิ่งของ Reader coil
- กำหนดขอบเขตของโครงการ
- วางแผนการทำงานและกำหนดระยะเวลาของการทำงานด้านต่างๆ
- ออกแบบวงจรจำกัดแรงดันแบบอนุกรมเพื่อใช้ในการจ่ายแรงดันให้เครื่องลูกข่ายโดย
สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการเหนี่ยวนำของ Reader coil
- ทดสอบการทำงานของภาคต่างๆและสรุปผลการทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับระบบRFID

2.1 ส่วนประกอบของระบบ RFID

ในระบบ RFID จะมีองค์ประกอบหลัก ๆ อยู่ 3 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกคือฉลากหรือทรานสปอนเดอร์(Transponder, Transmitter & Responder) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า “แท็กส์” (Tag) เป็นป้ายขนาดเล็กที่จะถูกผนึกอยู่กับวัตถุที่เราสนใจ โดยฉลากนี้จะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ เอาไว้ ส่วนที่สองก็คืออุปกรณ์สำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็กส์ มีชื่อเรียกอย่างรวม ๆ ว่า ทรานสซิฟเวอร์ (Transceiver, Transmitter & Receiver) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า “เครื่องอ่าน” (Reader) ทั้งสองส่วนจะสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุ สัญญาณนี้ผ่านได้ทั้งโลหะและอโลหะแต่จะไม่สามารถติดต่อกับเครื่องอ่านที่อ่านได้โดยตรง เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุ แสดงถึงความต้องการข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากป้าย ป้ายจะตอบข้อมูลกลับและเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องอ่านจะติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านสายเครือข่าย LAN (Local Area Network) หรือส่งผ่านทางความถี่วิทยุจากทั้งอุปกรณ์มีสายและอุปกรณ์ไร้สาย ๆ ส่วนที่ 3 ได้แก่ ระบบการประยุกต์ใช้งาน ทั้งนี้รวมถึงฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ประยุกต์ใช้งาน หรือระบบฐานข้อมูลทั้งนี้ขึ้นกับระบบการใช้งานที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบข้อมูลสินค้า



รูปที่ 2.1 ระบบ RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ลักษณะของอุปกรณ์ RFID

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

2.2.1 การรับส่งข้อมูลแบบ FDX/HDX

เครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณข้อมูลออกตลอดเวลา ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการ ส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านทางคลื่นวิทยุ ไปจ่ายให้ กับ บรรดาเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในอาณาบริเวณการใช้งานด้วย และเนื่องจากความแรงของคลื่นสัญญาณความถี่วิทยุที่เครื่องลูกข่ายส่งออกมามีกำลังส่งต่ำ ทำให้มีแนวโน้มว่าสัญญาณอาจส่ง ไปไม่ถึงเครื่องอ่าน หรือ อาจส่ง ไปถึงแต่มีระดับสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ด้วย เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นของตนเอง ทำให้ส่งสัญญาณออกมาได้สูงกว่า ดังนั้นจึงต้องมีมาตรการ ในการสร้างความแตกต่างของสัญญาณคลื่นวิทยุ ที่มีการส่งมาจากเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่อง ให้มีเอกลักษณ์ (Identity) ที่แตกต่างกัน เพื่อให้เครื่องอ่านสามารถแยกแยะแหล่งที่มา ได้อย่างถูกต้องโดยใช้มอดูเลตสัญญาณแบบ Load Modulation

2.2.2 การรับส่งข้อมูลแบบ SEQ

เป็นการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID ที่กำหนดให้เครื่องอ่านมีการหยุดส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเป็นช่วง ๆ ต่อเนื่อง หรือ เป็นรายคาบเวลาสม่ำเสมอ ช่วงเวลาที่ไม่มีการส่งสัญญาณออกจากเครื่องอ่านนี้เองที่จะเป็นจังหวะ ให้เครื่องลูกข่ายทำการส่งสัญญาณกลับมายังเครื่องอ่านถือเป็นการสร้างฐานเวลา(Timing) สำหรับใช้อ้างอิงภายในระบบสื่อสารแบบ RFID ที่ประกอบไปด้วยเครื่องอ่านและกลุ่มของเครื่องลูกข่ายที่มีความเที่ยงตรงมาก แต่การรับส่งข้อมูลแบบนี้มีข้อจำกัดอยู่ที่ประเด็นของการจ่ายพลังงานให้กับเครื่องลูกข่าย เนื่องจากในช่วงเวลาที่เครื่องอ่านหยุดส่งสัญญาณนั้น บรรดาเครื่องลูกข่ายทั้งหลายก็จะไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้าที่ส่งผ่านทางคลื่นวิทยุไปด้วยทำให้ต้องมีการทำติดตั้งอุปกรณ์เก็บประจุ ไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ขนาดเล็กไว้ในเครื่องลูกข่าย ที่นำมาใช้ กับการรับส่งข้อมูลแบบนี้

2.2.3 Tags หรือ Transponders

แท็ก (Tag) นั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder) มาจากคำว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) นั่นเอง ถ้าจะแปลให้ตรงตามศัพท์แท็กซ์ ก็จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ ในแท็กตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การ

สื่อสารระหว่าง แท็กและ ตัวอ่านข้อมูลจะเป็นแบบไร้สายผ่านอากาศภายในแท็กจะประกอบไปด้วยชิปสารกึ่งตัวนำ(Semiconductor Chip) ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับสายอากาศ แท็กอาจมีรูปร่างได้หลายแบบขึ้นอยู่กับนำไปใช้งาน โดยอาจมีรูปร่างเหมือนบัตรเครดิตในการใช้งานทั่วไป หรือเล็กขนาดใส่ดินสอยาวเพียง 10 มิลลิเมตร เพื่อฝังเข้าไปใต้ผิวหนังสัตว์ในกรณี นำไปใช้ในงานปศุสัตว์ หรือ อาจมีขนาดใหญ่สำหรับแท็กที่ใช้ติดกับเครื่องจักร ขณะทำการขนส่งแท็กอาจนำไปติดไว้กับสินค้าในร้านค้าปลีกทั่วไป เพื่อป้องกันขโมย โดยจะมีการติดตั้งสายอากาศของตัวอ่านข้อมูลขนาดใหญ่ไว้ตรงประตูทางออกเพื่อทำการตรวจจับขโมย

ชิปที่อยู่ในแท็กจะมีหน่วยความจำซึ่งอาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว(ROM) หรือทั้งอ่านทั้งเขียน(RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบROM จะใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัย เช่น ข้อมูลของบุคคลที่มีสิทธิผ่านเข้าออกในบริเวณที่มีการควบคุมหรือระบบปฏิบัติการ ในขณะที่ RAM จะใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่แท็กและตัวอ่านข้อมูลทำการติดต่อสื่อสารกัน



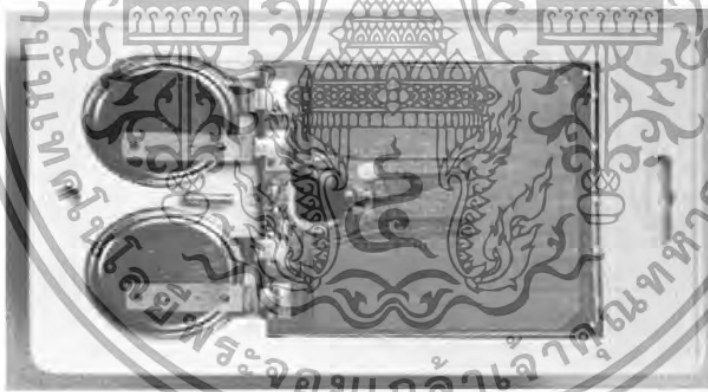
รูปที่ 2.2 แสดงแท็กในรูปแบบต่าง ๆ

นอกจากนี้อาจมีการนำหน่วยความจำแบบ EEPROM มาใช้ในกรณีต้องการเก็บข้อมูลในระหว่างที่แท็กและตัวอ่านข้อมูลทำการสื่อสาร และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้แก่แท็ก เราสามารถแบ่งชนิดของแท็กออกเป็น 2 ชนิดคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.1 เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag)

เครื่องลูกข่ายชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้เครื่องลูกข่ายทำงาน โดยปกติ โดยเครื่องลูกข่ายชนิดนี้มีฟังก์ชันการทำงานทั่วไปทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในเครื่องลูกข่ายได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำแท็กซ์ไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (seal) ที่ตัวเครื่องลูกข่ายจึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถถอดออกแบบวงจรของเครื่องลูกข่ายให้กินกระแสไฟน้อยๆก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟนี้จะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกลสูงสุดถึง 6 เมตร ซึ่งไกลกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟนอกจากนี้ยังทำงานโดยบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แม้เครื่องลูกข่ายชนิดนี้จะมีข้อดีอยู่หลายข้อแต่ก็มีข้อเสียอยู่ด้วยเหมือนกัน เช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด



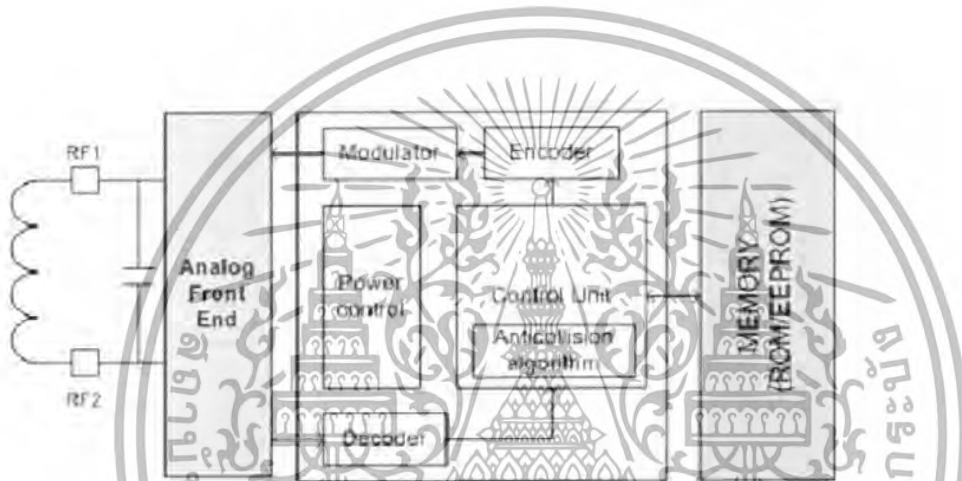
รูปที่ 2.3 แท็กชนิด ACTIVE

2.2.3.2 เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)

จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายในหรือไม่จำเป็นต้องรับแหล่งจ่ายไฟใด ๆ เพราะจะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว) หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ Transceiver จึงทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตร ซึ่งเป็นระยะการอ่านที่สั้น มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้ เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟ และอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟเป็นที่นิยมมากกว่าไอซีของเครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ ไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.4 แท็กชนิดพาสซีฟ

นอกจากการแบ่งจากชนิดที่ว่ามาแล้วแท็กก็ยังสามารถแบ่งประเภทจากรูปแบบในการใช้งานได้เป็น 3 แบบ คือ แบบที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูล ได้อย่างอิสระ; แบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระและแบบอ่านได้เพียงอย่างเดียวด้วย อย่างไรก็ตามเนื่องจากการใช้งานเพื่อเป็นฉลาก นิยมใช้แท็กสัชนิดพาสซีฟมากกว่า

2.3 ประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID (TAG)

อุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID ประเภทต่างๆ ที่มีการผลิตใช้งานในกิจการต่างๆ ในปัจจุบัน โดยแยกกล่าวตามความแตกต่างของโครงสร้างและการออกแบบเป็นสำคัญตามด้วยตัวอย่างประเภทของการประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1. เครื่องลูกข่ายแบบจานและเหรียญ (Disk and coin)

เครื่องลูกข่ายจะถูกบรรจุอยู่ในโครงสร้างทรงกลมคล้ายจานหรือเหรียญ และ มีการเคลือบป้องกันไว้เป็นอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องลูกข่ายชนิดนี้มีตั้งแต่ไม่กี่มิลลิเมตร ไปจนถึง 10 เซนติเมตร

2.3.2. เครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว (Glass housing)

๖

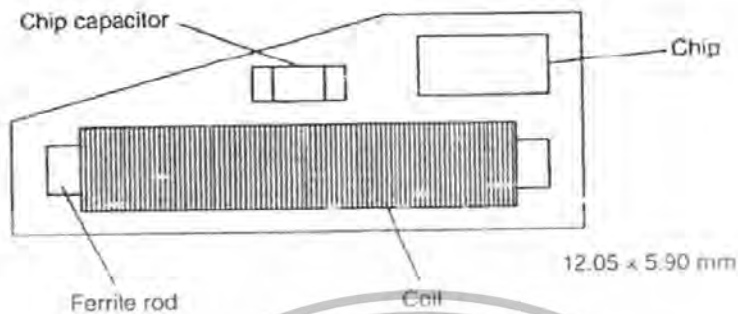


เครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว (Glass housing)

เป็นเครื่องลูกข่ายที่ได้รับการพัฒนาและผลิตขึ้นสำหรับใช้ฝังไว้ใต้ผิวหนังของสัตว์เพื่อใช้ในการติดตามข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแวดวงสัตวศาสตร์และการสาธารณสุข ตัวกระเปาะแก้วมีขนาดความยาวในช่วง 12-32 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3. เครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก (Plastic housing)



รูปที่ 2.6 เครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก (Plastic housing)

นิยมเรียกกันในชื่อย่อว่า PP (Plastic Package) ได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในกิจการอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีความต้องการเฉพาะรูปแบบ เครื่องลูกข่ายแบบนี้มีขนาดบาง และสามารถนำไปติดตั้งประกอบกับผลิตภัณฑ์หลายๆ ประเภทที่พบเห็นทั่วไปคือเครื่องลูกข่ายแบบ PP ติดตั้งฝังอยู่กับพวงกุญแจรถยนต์ในลักษณะของพวงกุญแจอัจฉริยะ (Electronic immobilization system)

2.3.4. เครื่องลูกข่ายสำหรับใช้เฉพาะกิจ

เป็นเครื่องลูกข่าย RFID อีกประเภทหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ สำหรับใช้งานในกรณีเฉพาะกิจ โดยมีการคิดค้นและพัฒนาเพื่อบรรจุเครื่องลูกข่ายลงในโครงสร้างและหน้าสัมผัสที่เป็นโลหะ

2.3. 5. เครื่องลูกข่ายแบบพวงกุญแจ (Key and Key fob)

เครื่องลูกข่าย RFID สามารถได้รับการพัฒนาให้อยู่ในรูปของกุญแจพิเศษที่ใช้ในการเปิดปิดประตู หรือใช้กับระบบรักษาความปลอดภัยต่างๆ ซึ่งพวงกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้ไม่มีลูกกุญแจ แต่กลับทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณข้อมูลต่างๆ ซึ่งอาจมีการนำเข้ารหัสเพื่อใช้ในการยืนยันตัวตนบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 เครื่องลูกข่างแบบพวงกุญแจ (Key and Key fob)

2.3.6. เครื่องลูกข่างแบบนาฬิกา

รูปที่ 2.8 เครื่องลูกข่างแบบนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องลูกข่ายแบบนาฬิกาได้รับการคิดค้นและพัฒนาตั้งแต่ พ.ศ. 2533-2535 โดยบริษัท สัญชาติออสเตรียที่มีชื่อว่า Sky-Data โดยผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นนาฬิกาสวมใส่ข้อมือและใช้เป็นอุปกรณ์แสดงตัวตนในลักษณะช่องเซ็นเซอร์แบบไร้การสัมผัส (Contact less sensor) เพื่อผ่านเข้าสู่ ลู่เล่นสกีสำหรับนักสกีทั้งหลาย

2.3.7. เครื่องลูกข่ายมาตรฐาน ID-1 และ Smartcard แบบไร้การสัมผัส

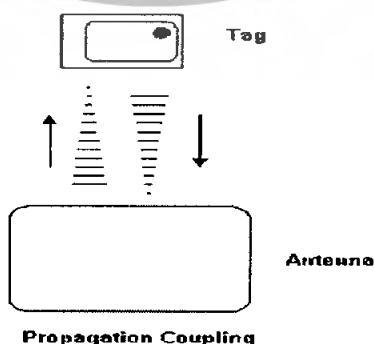
เครื่องลูกข่ายแบบ ID-1 มีรูปลักษณ์ภายนอกไม่ต่างจากบัตรเครดิตหรือบัตรโทรศัพท์ทั่วไป โดยมีขนาดประมาณ 85.72 คูณ 54.03 มิลลิเมตร ความหนา 0.76 มิลลิเมตร เป็นเครื่องลูกข่ายที่ได้รับการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ด้วยคุณสมบัติพิเศษก็คือระยะทำการรับส่งสัญญาณที่เหนือกว่าเครื่องลูกข่ายแบบอื่นๆ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากพื้นที่หน้าตัดที่กว้างมากของตัวบัตร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

2.3.8 เครื่องลูกข่ายแบบ Smart label

เป็นเครื่องลูกข่าย RFID บางที่สุดที่ได้รับการออกแบบเป็นกระดาษบางๆ สามารถงอหรือพับได้ โดยขดลวดสำหรับรับส่งสัญญาณจะถูกออกแบบเป็นแถบพอลิพลาสติกความหนาเพียง 0.1 มิลลิเมตร โดยใช้ขบวนการผลิตแบบพิมพ์สกรีน โคนทั่วไปแถบพอลิเหล่านี้จะถูกเคลือบชั้นหนึ่งโดยเยื่อกระดาษและทับอีกชั้นหนึ่งด้วยสารยึดเกาะ เพื่อป้องกันการฉีกขาด

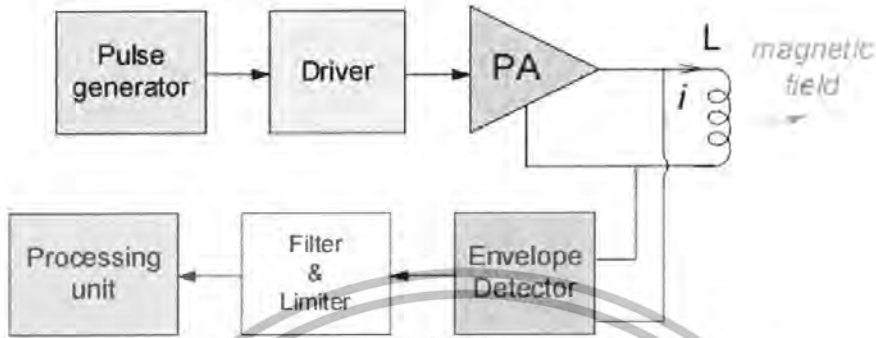
2.3.9 เครื่องลูกข่ายแบบขดลวดบนชิป (Coil-on-chip)

เครื่องลูกข่าย RFID ชนิดนี้มีความแตกต่างจากเครื่องลูกข่ายแบบอื่นๆ ซึ่งมีการแยกส่วนระหว่างเครื่องลูกข่ายกับขดลวดหรือสายอากาศอย่างชัดเจน แต่สำหรับเครื่องลูกข่ายแบบขดลวดบนชิปนั้นจะรวมส่วนที่เป็นขดลวดสายอากาศและตัววงจรประมวลผลเข้าด้วยกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 Reader



รูปที่ 2.9 โครงสร้างภายในเครื่องอ่าน RFID

เครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรรงจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

หน้าที่สำคัญของตัวอ่านข้อมูล(Reader หรือ Interrogator) ก็คือการรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็ก แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสข้อมูลและ นำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการ ป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่น ในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อยๆไม่สิ้นสุด ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ “ Hand down polling ” โดยตัวอ่านข้อมูลจะสั่งให้แท็กหยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรือ อาจมีบางกรณีที่มีแท็กหลายแท็กอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกัน หรือที่เรียกว่า “ Batch Reading ” ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านแท็กทีละตัวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ

- ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และ คอยตรวจจับว่ามีแท็กเข้ามา อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรือ อีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีกรมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่

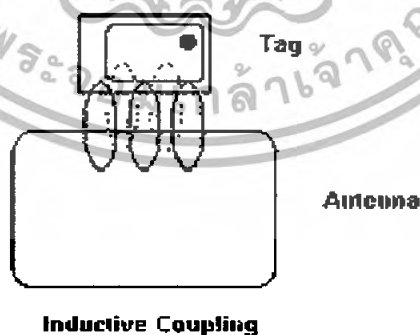
- เมื่อมีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แท็ก จะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กเริ่มทำงาน และ จะส่งข้อมูลในหน่วยความจำ ที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็ก

- คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด, ความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต

- ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

2.6 การสื่อสารแบบไร้สาย

การสื่อสารข้อมูลของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ คือระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูล จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุ โดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับ และ ส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) กับ วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation Coupling) ดังรูปที่ 2.10



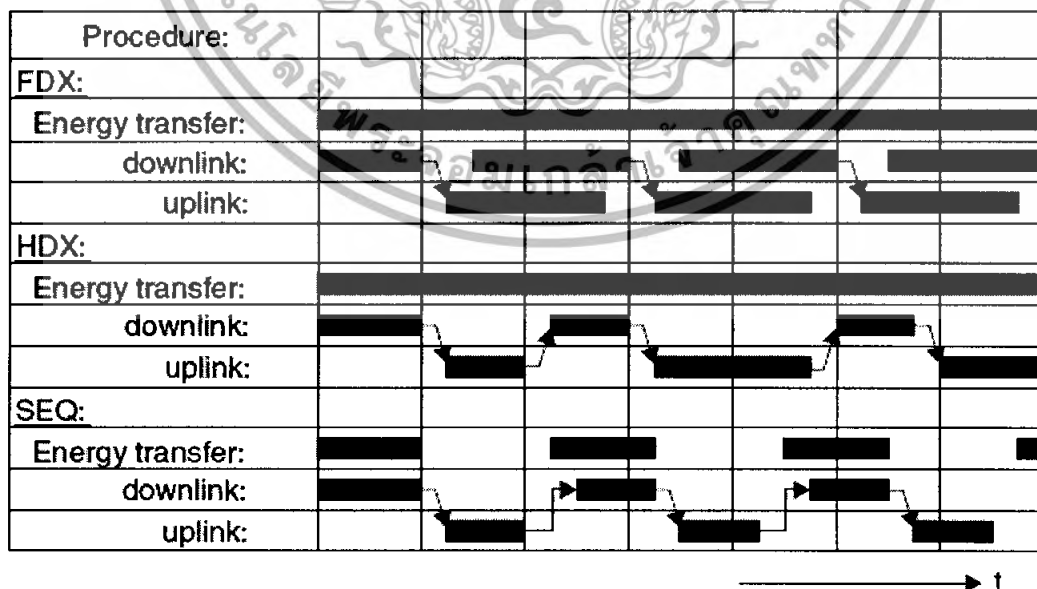
รูปที่ 2.10 การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 รูปแบบการรับส่งข้อมูล

มาตรฐาน RFID แบบที่ใช้การสื่อสารแบบ Full Duplex / Half Duplex และ แบบ Sequential ซึ่งรูปแบบการสื่อสารทั้ง 3 ประเภทนี้มีความแตกต่างจากมาตรฐาน RFID ประเภท 1 บิต ที่ใช้เทคโนโลยีง่ายๆ ในการตรวจจับ โดยการเปลี่ยนสถานะลอจิกของอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID จาก “0” เป็น “1”

ซึ่งการรับส่งข้อมูลในระบบ RFID นี้จะมีรูปแบบการทำงานซับซ้อนกว่ารูปแบบการส่งข้อมูลประเภท 1 บิต นอกจากนั้นรูปแบบในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านก็มีความแตกต่างกันออกไปตามกลวิธี ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานออกได้ตามรูปที่ 2.11 อันประกอบไปด้วยการสื่อสารแบบ Full Duplex ซึ่งเครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับ และแปลงเป็นกำลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่ายได้ตลอดเวลาการส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย และ การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังเครื่องอ่าน สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ต่างจากการสื่อสารแบบ Half Duplex ซึ่งแม้เครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา แต่ก็ต้องมีการกำหนดจังหวะผลัดกันรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย สำหรับการสื่อสารแบบสุดท้ายคือ Sequential นั้น จะมีการจำกัดเวลาในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไฟให้เครื่องลูกข่ายในลักษณะพัลส์(Pulse)หรือ ก้อนพลังงานที่ส่งออกในแต่ละช่วงเวลา และ ใช้การปรากฏขึ้นของพลังงาน ไฟฟ้า หรือ พัลส์เป็นสัญญาณกำหนดให้มีการส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย ส่วนช่วงที่ไม่มีพลังงานปรากฏอยู่จะเป็นการส่งสัญญาณจากลูกข่ายไปยังเครื่องอ่าน



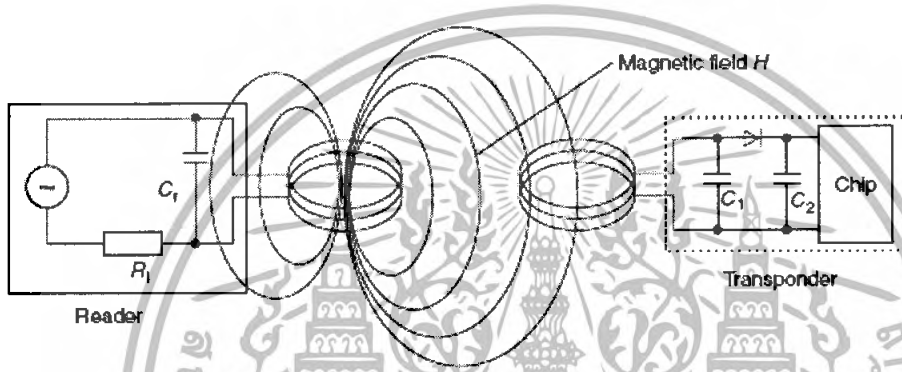
รูปที่ 2.11 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing

2.8.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็ก โครงสร้างของเครื่องลูกข่ายประกอบด้วย แผงวงจรหรือไมโครชิปที่ใช้เก็บบันทึกข้อมูลต่าง โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศ สำหรับรับและส่งสัญญาณ ทั้งนี้จะกล่าวถึงเทคนิคในการจ่ายส่งพลังงานจากเครื่องลูกข่าย เพื่อเลี้ยงให้ไมโครชิปสามารถทำงานได้ก่อน จะกล่าวถึงเทคนิคที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล ดังแสดงในรูป 2.12



รูปที่ 2.12 เทคโนโลยี Inductive Coupling กับ การรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน

2.8.1.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เนื่องจากการทำงานของเครื่องลูกข่ายนั้นเป็นแบบ passive กล่าวคือ ไม่มีแหล่งพลังงานภายในเป็นของตัวเอง จึงจำเป็นต้องรับพลังงาน (Energy) มาจากเครื่องอ่านโดยตรง ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่าน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำลังสูง สามารถแพร่กระจายไปในพื้นที่ใช้งาน และสามารถตกกระทบขดลวดที่ทำหน้าที่เป็น สายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้อย่างเหมาะสม ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกมา จากเครื่องอ่านนี้มีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ซึ่งโดยทั่วไปมักวางห่างกันไม่มากนัก ในขณะที่เทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling ส่วนใหญ่ใช้ความถี่ต่ำเพียง 135 kHz หรืออาจต่ำกว่า ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีความยาวคลื่นสูงมากถึง 2400 เมตร แม้ในบางระบบที่ความถี่ใช้ความถี่สูงในย่าน 13.56 MHz ก็ยังกำเนิดคลื่นสัญญาณที่มีความคลื่นถึง 22.1 เมตร จึงไม่มีปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไป จนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบน หรือ ถูกลดทอนจากผนังอาคาร หรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ หากพิจารณาถึงพื้นที่ใช้งานโดยทั่วไปที่ไม่ได้ไกลหรือกว้างใหญ่มากนัก

82184

สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่ง จะตกกระทบขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อนๆ ขึ้นบนขดลวดดังกล่าว ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้ จะถูกนำไปเข้ากระบวนการ Rectifier โดยตัวเก็บประจุ และ ไดโอด เพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับไมโครชิพ ทั้งนี้หัวใจของการออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ C1 ซึ่งจะต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด (L) เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่กำหนด (Resonant Frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน เพื่อให้เกิดความเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องลูกข่าย สิ่งที่อยู่อกแบบอุปกรณ์เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling ให้ความสำคัญมากที่สุด ก็คือการออกแบบขดลวดทั้งที่เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายให้สามารถถ่ายเทพลังงานไฟฟ้า ให้แก่กันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด หากจินตนาการเปรียบเทียบการถ่ายเทพลังงานไฟฟ้า ระหว่างขดลวดทั้งสองในรูปที่ 2.12 จะเทียบได้กับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวด 2 ชุด หากแต่ขดลวดทั้ง 2 มีได้พื้นที่อยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกับ กลับกลายเป็นใช้อากาศซึ่งมีคุณสมบัติในการนำพาสัญญาณที่เสวยเร็วกว่าแกนแม่เหล็กมากๆ

ดังนั้นในการออกแบบระบบแบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน , จำนวนรอบของเครื่องอ่าน , และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่เครื่องลูกข่าย , มุมติดตั้งและระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายทั้งนี้รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างโครงสร้าง พื้นฐานที่เบื้องต้น ประกอบของอุปกรณ์ RFID แบบ Inductive Coupling โดยขดลวดวงกลมที่เห็นในภาพ เป็นสายอากาศของเครื่องรับ ในขณะที่ขดลวดวงรีที่เป็นของเครื่องลูกข่าย จะติดตั้งอยู่บนแผ่นพลาสติกการ์ด พร้อมบรรจุวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจร Rectifier ร่วมกับแผงวงจรประมวลผลและเก็บบันทึกข้อมูลต่างๆ



รูปที่ 2.13 องค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID ที่มีการทำงานแบบ Inductive Coupling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงมากขึ้น จะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงใช้จำนวนรอบในการพันลดลงเช่นกัน ตัวอย่างเช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 135 kHz จะต้องมีการพันขดลวดสายอากาศที่เครื่องลูกข่ายในช่วง 100 – 1000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 MHz ก็จะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวดจะเหลือเพียง 3-10 รอบเท่านั้น ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายลงได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จะส่งผลให้แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่สูงลดลงเมื่อเทียบกับการใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ทำให้จำกัดระยะทางในการใช้งานมากขึ้น การเลือกใช้อุปกรณ์ Inductive Coupling จึงต้องพิจารณาทั้งขนาดของเครื่องลูกข่าย และระยะทางที่ต้องการใช้งานจริงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อใช้กำหนดเลือกย่านความถี่ที่เหมาะสมของอุปกรณ์ใช้งาน รูปที่ 2.13 เป็นตัวอย่างของเครื่องอ่านข้อมูล RFID แบบ Inductive Coupling ซึ่งจะเห็นว่ามีกรณีขดลวดลงไปในบรรจุภัณฑ์ ทำให้มีขนาดเล็กกะทัดรัด เหมาะสำหรับการติดตั้งใช้งานในพื้นที่จำกัด



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องลูกข่าย RFID ประเภท Inductive Coupling

2.8.1.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

มาตรฐาน RFID แบบ Inductive Coupling กำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน หรือ Uplink Communication โดยใช้เทคโนโลยีตัวเลือกที่เป็นการส่งกระจายคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่วิทยุออกเป็น 3 ประเภท คือ Load Modulation, Load Modulation with sub carrier และ Sub harmonic procedure ซึ่งจะอธิบายพอสังเขป ดังนี้

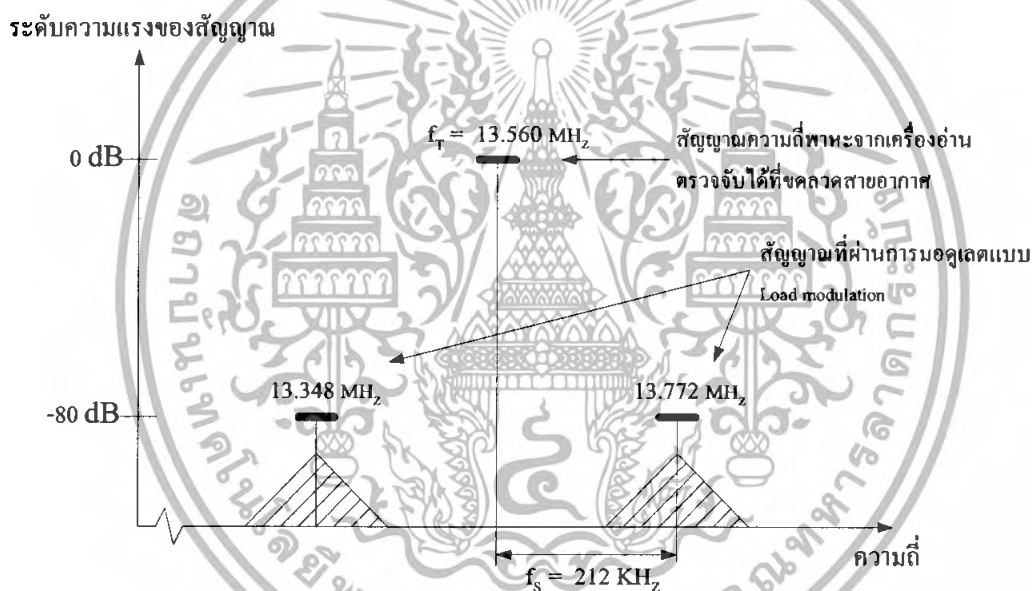
2.8.2 เทคโนโลยี Load Modulation

ดังได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่าพฤติกรรมในการส่งพลังงานและสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและขดลวดของเครื่องลูกข่าย มีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากการทำงานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่อย่างใด หากแต่เพียงตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานเป็นอากาศมิใช่โลหะหรือแท่งแม่เหล็กดังเช่นที่พบเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป อย่างไรก็ตาม การใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดทั้งสองนั้น จะทำได้ก็ต่อเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายห่างกันไม่เกิน 0.16 เท่าของค่าความยาวคลื่น (0.16λ) ซึ่งหากคิดกรณีที่ใช้ความถี่ในย่าน 135 KHz ที่มีความยาวคลื่น 2,400 เมตร ก็จะหมายความว่า จะวางเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่านห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน $0.16 \times 2,400 = 384$ เมตร หากมีการนำเครื่องลูกข่ายซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ (LC) ตรงกันกับค่าความถี่กำลังของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่มีการแพร่กระจายสัญญาณ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน เครื่องลูกข่ายย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้วเครื่องอ่านจะมองเห็นเครื่องลูกข่ายเป็นโหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ ZT ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ ZT ที่เครื่องอ่านมองเห็นอย่างแน่นอนเนื่องจากในแง่ของวงจร Resonant ที่เกิดจากขดลวด (L) และตัวเก็บประจุ (C) บนเครื่องลูกข่ายย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ตกกระทบ และไม่มีการถ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับความถี่ 41 เท่ากับศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เสมือน ZT นี้ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า ที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านโดยปริยาย ซึ่งนี่เองที่เป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมา เรียกเทคโนโลยีนี้ ว่า Load Modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half Duplex หรือ Full Duplex นั้นก็สุดแท้แต่การออกแบบวงจรตรวจจับ และ ถอดรหัสสัญญาณ ซึ่งเป็นเรื่องที่ลงรายละเอียดไปในการออกแบบ

2.8.2.1 เทคโนโลยี Load Modulation with sub carrier

เนื่องจากระดับความสามารถในการถ่ายทอด (Coupling) สัญญาณระหว่างขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่าย และเครื่องอ่านค่อนข้างต่ำ การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันสัญญาณ ที่เกิดขึ้นบน

ขบวนการของเครื่องอ่าน อันมีผลมาจากการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย ย่อมอยู่ในระดับที่ต่ำมากจน บางครั้งอาจไม่สามารถตรวจจับได้ เป็นผลให้เกิดปัญหา ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายัง เครื่องอ่าน หากคิดในแง่ของการออกแบบ วงจรเพื่อตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ก็ ต้องกล่าวว่า สัญญาณดังกล่าวมีระดับความแตกต่าง ระหว่างตัวสัญญาณจริง กับสัญญาณรบกวนต่ำ มาก การใช้เทคโนโลยี Load Modulation โดยทั่วไปย่อมมีโอกาสตรวจจับข้อมูลได้ผิดพลาดง่ายมาก จึงเป็นที่มาของการออกแบบเทคนิคการตรวจจับข้อมูลแบบ Load Modulation with sub carrier ซึ่งมี หลักการคล้ายคลึงกับการรับส่งวิทยุ AM ในวงจรภายในเครื่องลูกข่าย จะทำการมอดูเลตสัญญาณ ทำให้ปรากฏคลื่นความถี่ไซด์แบนด์ หรือความถี่ข้างเคียงอันมีค่าเท่ากับ $f_r \pm f_s$ โดย f_r คือ ความถี่ ในการติดต่อสื่อสาร ระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 2.15

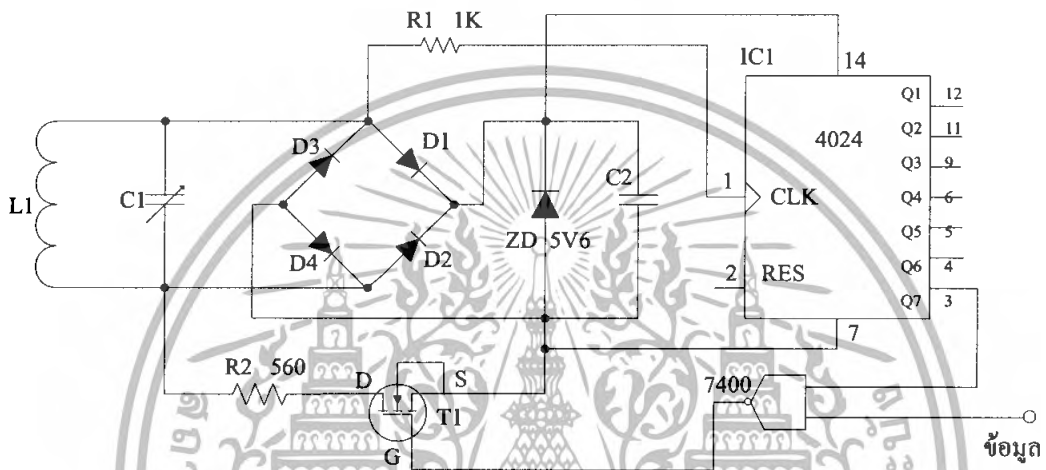


รูปที่ 2.15 สัญญาณข้อมูลที่ถูกบรรจุอยู่ในไซด์แบนด์ของความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน กับเครื่องลูกข่าย RFID

เมื่อเป็นเช่นนี้ การตรวจจับสัญญาณที่ปรากฏบนเครื่องอ่านก็จะง่ายดายนั่น โดยเพียงแค่ทำการ ติดตั้งอุปกรณ์แยกกรองความถี่ (Band pass filter) ที่ขดลวดของเครื่องอ่านโดยสามารถเลือก เฉพาะสัญญาณในไซด์แบนด์ด้านใดด้านหนึ่งที่ต้องการ จากนั้นจึงนำสัญญาณที่กรองออกมาทำการ ขยายแล้วทำการดีมอดูเลตก็จะได้สัญญาณข้อมูลที่ส่งออกมาจากเครื่องลูกข่าย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความถี่ในการส่งข้อมูล จากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน ทำให้ต้องมีการกันแบนด์วิดท์ สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับส่งข้อมูลไว้ค่อนข้างสูง ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.15 ซึ่งต้องกันแบนด์วิดธ์รอบความถี่พื้นฐานมากถึง 212 กิโลเฮิร์ตซ์ ทำให้ไม่สามารถใช้เทคโนโลยีนี้ ได้กับ ระบบ RFID ที่ใช้ความถี่ต่ำในการสื่อสารข้อมูลได้ ข้อกำหนดมาตรฐาน RFID ระบุว่าสามารถใช้เทคโนโลยีดังกล่าว ได้เฉพาะกับมาตรฐาน RFID แบบ Inductive Coupling ที่ความถี่ 6.78 MHz , 13.56MHz และ 27.125 MHz เท่านั้น รูปที่ 2.16 เป็นตัวอย่างวงจรจริงที่ใช้ในการ สร้างสัญญาณ ไซค์แบนด์ บนอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างวงจรที่ใช้สำหรับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบ Load Modulation with Sub carrier ติดตั้งอยู่ในเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling

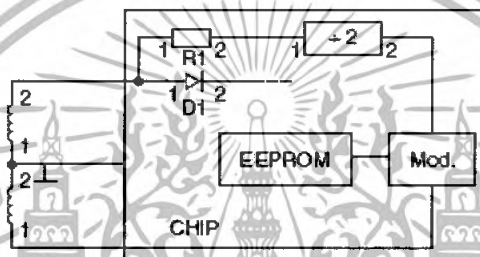
2.8.3 เทคโนโลยี Subharmonic Procedure

เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในงานระบบ RFID ในย่านความถี่ต่ำและไม่สามารถนำเทคโนโลยี Load Modulation with sub carrier มาใช้งานได้ เทคโนโลยีเป็นการนำสัญญาณข้อมูลที่เครื่องลูกข่ายต้องการส่งกลับไปยัง เครื่องอ่าน มาทำการป้อนผ่าน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้นเพื่อทำให้เกิดการกระจายสัญญาณออกเป็นสัญญาณฮาร์มอนิกย่อยๆ หรือ อาจใช้การป้องกันสัญญาณที่ต้องการจะส่งออกไปยังวงจรถ่ายความถี่ เพื่อให้เกิดสัญญาณข้อมูลที่บรรจุข้อมูลข่าวสารเหมือนสัญญาณต้นฉบับ แต่มีความถี่ลดลง 2 เท่าจากนั้นจึงนำสัญญาณใหม่ที่มีความถี่ต่ำลงนี้ ไปผ่านเข้าสู่วงจรมอดูเลตสัญญาณ เพื่อป้อนเข้าสู่ชุดลดของเครื่องลูกข่าย ได้มีการส่งผ่านอากาศกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยทั่วไปมักนิยมใช้เทคโนโลยี Subharmonic Procedure กับระบบ RFID ที่ย่านความถี่ 128 kHz ย่อมหมายความว่าเครื่องลูกข่ายชนิดนี้ จะส่งสัญญาณข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่านที่ความถี่ครึ่งหนึ่ง คือ 64 kHz การแยกแยะสัญญาณจากเครื่องลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับแรงดันไฟฟ้าที่ล้นปรากฏที่ขดลวดสายอากาศของเครื่องรับสัญญาณ สามารถทำได้ง่ายโดยการ
ใช้วงจรแยกความถี่ เช่นเดียวกับในกรณีของเทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier

รูปที่ 2.17 เป็นตัวอย่างวงจรภายในอย่างง่ายของเครื่องลูกข่ายแบบ Subharmonic Procedure โดยมีการแยกขดลวดสายอากาศออกเป็นสองส่วน มีแท็ปกลาง (Center Tap) เป็นตัวแยก สัญญาณ จากขดลวดด้านบน จะถูกดึงไปกรองเป็นแรงดันไฟเลี้ยงเพื่อป้อนให้กับไมโครชิปบนเครื่องลูกข่าย ในขณะที่สัญญาณซึ่งผ่านการหารความถี่ครึ่งหนึ่งจากความถี่ใช้งานที่ได้รับจากเครื่องอ่านนั้นจะถูก นำไปมอดูเลตกับข้อมูลที่มีการส่งออกมาจากไมโครชิป (ในที่นี้คือ EEPROM) แล้วป้อนกลับเข้าสู่ ขดลวดด้านล่าง เพื่อส่งย้อนกลับไปยังเครื่องลูกข่าย



รูปที่ 2.17 โครงสร้างวงจรภายในอย่างง่ายของเครื่องลูกข่าย RFID
ที่ทำงานแบบ Sub harmonic Procedure

2.8.4 เทคโนโลยี close Coupling

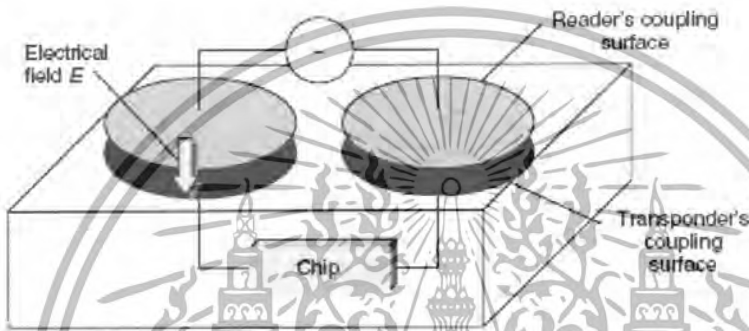
เป็นเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปยังเครื่องอ่าน RFID ใน ระยะทางสั้นๆ ช่วง 0.1 ถึง 1 เซนติเมตร โดยในทางปฏิบัติจะพบมากในกรณีของระบบขนส่งมวลชน เช่น ระบบรถไฟฟ้า MRT ในประเทศไทย ซึ่งผู้โดยสารหยิบบัตรพลาสติก ซึ่งเป็นเครื่องลูกข่าย RFID ลักษณะนี้ไปแตะหรือจ่อกับเครื่องอ่าน เพื่อให้เครื่องอ่านตรวจสอบหมายเลขบัตร หรือบาง ระบบอาจมีการเขียนอ่านข้อมูลวงเงินคงเหลือ ก่อนจะพิจารณาว่าอนุญาตให้ผู้โดยสารผ่านเข้าสู่ ระบบขนส่งมวลชนหรือไม่ ในทางเทคนิคนิยมเรียกรูปแบบการใช้งานแบบนี้ว่า “Touch & Go”

2.8.4.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เมื่อมีการสอดหรือวางบัตรพลาสติกที่เป็นเครื่องลูกข่าย RFID ชนิดนี้เข้าไปในหรืออยู่ บนเครื่องอ่าน ในทางเทคนิคจะหมายถึงการวางตำแหน่งขดลวดของเครื่องลูกข่ายให้อยู่ในระยะ ทำการ โดยมีอากาศเป็นตัวกลางกั้นระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านในระยะสั้นๆ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ในกรณีนี้ ขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านจะทำหน้าที่เป็นเสมือนขดลวดปฐมภูมิ ในขณะที่ขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะเป็นดังเช่นขดลวดทุติยภูมิ เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าภายในเครื่องอ่าน จะมีการกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง เพื่อป้อนผ่านขดลวดปฐมภูมิ ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กความเข้มสูงเหนี่ยวนำผ่านช่องว่างของอากาศไปทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นบนขดลวดทุติยภูมิบนเครื่องลูกข่าย ก่อให้เกิดการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ไมโครชิป



รูปที่ 2.18 เทคนิคการถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย ไปสู่เครื่องอ่าน โดยผ่านการคับปลิงทางไฟฟ้า

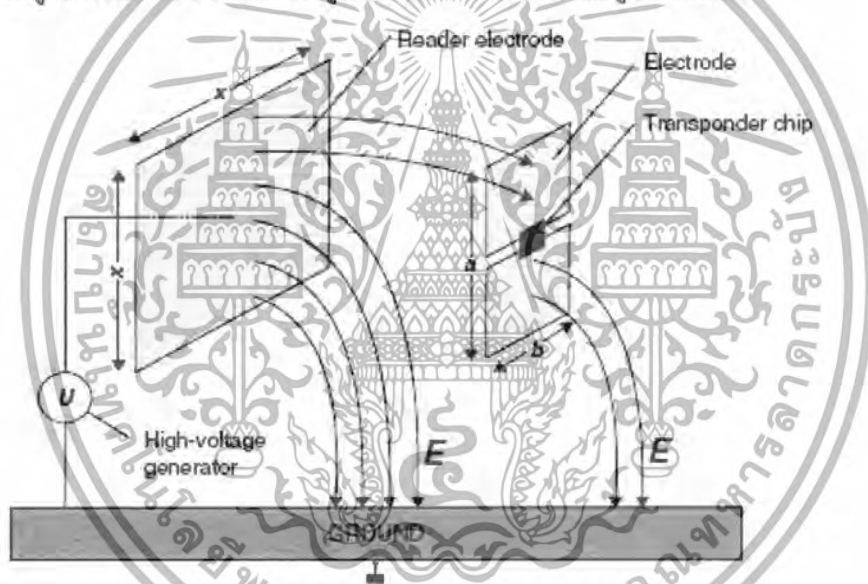
เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นบน ขดลวดทุติยภูมิ มีค่าแปรผันโดยตรงกับความถี่ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่าย กับ เครื่องอ่าน ดังนั้น ในทางปฏิบัติจึงนิยมกำหนดความถี่ใช้งานให้สูงที่สุดเท่าที่เทคโนโลยีจะสามารถรองรับได้ ซึ่งในปัจจุบันก็ได้แก่ความถี่ในย่าน 1 ถึง 10 เมกะเฮิรตซ์ นอกจากนี้ยังมีการเลือกใช้วัสดุประเภทเฟอร์ไรท์มาทำเป็นแกนสำหรับพันขดลวดของเครื่องอ่าน เนื่องจากเฟอร์ไรท์มีค่าความสูญเสียของการนำพาสสนามแม่เหล็กต่ำกว่าวัสดุประเภทอื่นๆ และ เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีที่สุดในการถ่ายทอดพลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling หรือเทคโนโลยี RFID ที่ใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสาร เทคโนโลยีแบบ Close Coupling จึงได้รับความนิยมใช้งานมากที่สุดสำหรับเครื่องลูกข่ายที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงๆเพื่อป้อนให้กับไมโครชิป ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถป้อนกำลังไฟให้กับไมโครชิปที่กินไฟมากถึง 10 มิลลิวัตต์ได้อย่างไม่มีปัญหาใดๆ ทั้งนี้มีการวางข้อกำหนดทางกลศาสตร์ และทางไฟฟ้าของแผ่นเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling ไว้ตามมาตรฐาน ISO 10536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling มายังเครื่องอ่านนั้น สามารถทำได้สองวิธีด้วยกัน คือใช้เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในกรณีมาตรฐานแบบ Inductive Coupling หรืออาจใช้เทคโนโลยี Capacitive Coupling ซึ่งอาศัยประโยชน์จากระยะห่างที่ค่อนข้างสั้นระหว่างขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่าย และ เครื่องอ่าน โดยมีการติดตั้งแผ่นตัวเก็บประจุ (Plate Capacitor)

ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ทั้งที่บัตรพลาสติกบนเครื่องลูกข่าย และบนเครื่องอ่าน ในลักษณะที่ให้หน้าสัมผัสขดขด (Coupling Surface) ของทั้งเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านอยู่ในแนวเดียวกัน ในยามที่มีการสัมผัสหรือสอดเครื่องลูกข่ายเข้าไปในเครื่องอ่าน แล้วใช้การเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเป็นตัวส่งผ่านข้อมูลจากไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายผ่านสนามไฟฟ้าไปสู่เครื่องอ่าน

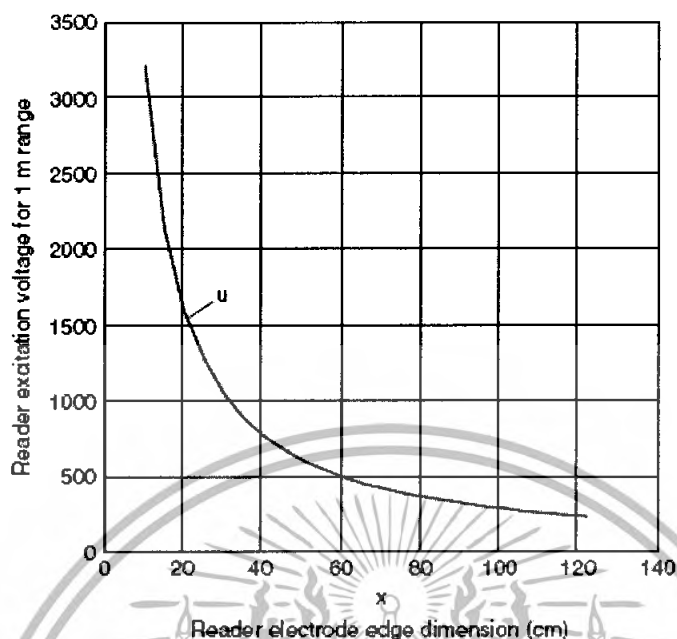


รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างและการทำงานของระบบ RFID แบบ Electrical Coupling

2.8.5 เทคโนโลยี Electrical Coupling

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



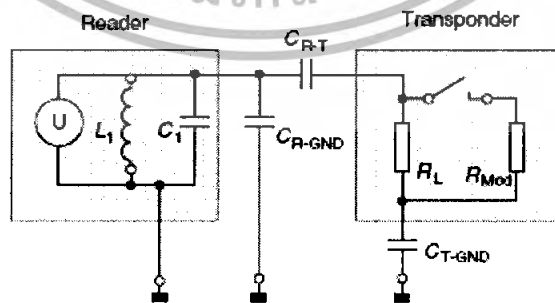
รูปที่ 2.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะต้องผลิตขึ้นบนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่อง RFID โดยสัมพันธ์กับขนาดของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์เอง ในกรณีที่นำเครื่องลูกข่ายเข้ามาใช้งานในระยะห่าง 1 เมตร จากเครื่องอ่าน ใช้ความถี่ 125 kHz

2.8.5.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

จากรูปที่ 2.20 เครื่องอ่านได้รับการออกแบบให้ต่อเชื่อมกับสายอากาศที่มีลักษณะเป็นอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่โดยทั่วไปมักทำจากแผ่นโลหะหรือแผ่นพอลิ โลหะจากนั้นจึงทำการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงเข้าสู่แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่มีค่าความเหนี่ยวนำภายใน(L) และ ค่าคาปาซิแตนซ์ (เทียบได้กับตัวเก็บประจุ) ระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์กับกราวด์หรือพื้นโลก จึงทำให้เกิดวงจรเสมือนของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่เทียบได้กับวงจร LC ซึ่งมีความถี่กำทอน(Resonant Frequency) เป็นคุณสมบัติประจำตัว หากทำการป้อนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่ตรงกันกับความถี่กำทอนของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ ก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏขึ้นบนแผ่น อิเล็กทรอนิกส์นั้นมีระดับสูงขึ้นมาอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ ซึ่งเป้าหมายในการใช้งานจริงมักกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าบนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์เทียบเท่ากับกราวด์มีค่าสูงตั้งแต่หลักร้อยถึงหลักพัน โวลต์ แรงดัน ดังกล่าวก่อให้เกิดสนามไฟฟ้า ระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์กับกราวด์ที่อยู่รอบๆ

เมื่อนำเครื่องลูกข่ายที่ได้รับการออกแบบให้มีสายอากาศ 2 ชุด เป็นแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กกว่า เข้ามาอยู่ในพื้นที่ใช้งานอันมีสนามไฟฟ้าจากเครื่องอ่านปรากฏอยู่ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง อิเล็กโทรดแผ่นบนและแผ่นล่างของเครื่องลูกข่ายดังแสดงในรูปที่ 2.20 ก่อให้เกิดกระแสไหลเวียนอยู่ภายใน วงจรของเครื่องลูกข่ายเพื่อไปเลี้ยงให้กับไมโครชิปรูปที่ 2.21 แสดงให้เห็นถึงความระดับแรงดันไฟฟ้าที่เครื่องอ่านจะต้องสร้างขึ้น เพื่อให้เพียงพอที่จะเหนี่ยวนำจนทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าพอเพียงแก่ เครื่องลูกข่ายที่อยู่ห่างจากแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องอ่านประมาณ 1 เมตรโดยกำหนดว่าแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องลูกข่ายมีขนาดประมาณ 4.5×7 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานของแผ่น Smartcard ทั่วไป ใช้ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ 125 กิโลเฮิร์ตซ์ จะเห็นว่ายิ่งขนาดของแผ่น อิเล็กโทรดของเครื่องอ่านมีขนาดเล็กลงเท่าไร ก็ยิ่งต้องทำให้มีแรงดันไฟฟ้าปรากฏบนแผ่น อิเล็กโทรดสูงขึ้นเท่านั้น จึงเป็นสาเหตุที่นิยมออกแบบให้เครื่องอ่านมีอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานในการส่งออก

รูปที่ 2.21 แสดงวงจรสมมูล (Equivalent Circuit) ของการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย โดยเครื่องอ่านกำเนิดแรงดันไฟฟ้าด้วยค่าแรงดัน U ความถี่ f โดยแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องอ่านแสดงพฤติกรรมของวงจรเรโซแนนซ์ L_1 และ C_1 อากาศซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายมีคุณสมบัติเป็นตัวเก็บประจุ ค่า C_{R-T} โดยมีค่าคาปาซิแตนซ์ระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องอ่านกับกราวด์ C_{R-GND} และ คาปาซิแตนซ์ระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องลูกข่ายกับกราวด์ C_{T-GND} ส่วน R_L เป็นค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่าย ซึ่งตามวงจรสมมูลนี้จะมีลักษณะเป็นวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider Circuit) โดยแรงดันสุดท้ายที่จะเกิดขึ้นบนเครื่องลูกข่าย ซึ่งก็คือแรงดันตกคร่อม R_L จะมีค่าขึ้นอยู่กับสัดส่วนของแรงดันที่แบ่งระหว่างค่าอิมพีแดนซ์ของ C_{R-T} และ R_L นั่นเอง สมการดังกล่าวจึงเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับใช้คำนวณหาระดับแรงดันที่เหมาะสม ในการกระตุ้นให้ ไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายทำงานได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 2.21 วงจรสมมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน RFID แบบ Electrical Coupling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

เมื่อมีการนำเครื่องลูกข่ายมาไว้ในพื้นที่ใช้งาน อันหมายถึงบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าจากแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรของเครื่องอ่านปรากฏอยู่ จะมีผลทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่าย (R_L) มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความถี่ที่กำหนด โดยมีการแบ่งแรงดันไฟฟ้าผ่านมาทางค่าคาปาซิแตนซ์ C_{R-T} ดังแสดงในรูปที่ 2.19 อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ R_{Mod} ซึ่งเครื่องลูกข่ายใช้ในการส่งสัญญาณไบนารีที่เป็นข้อมูลป้อนกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยผ่านทางทรานซิสเตอร์ เพื่อเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ R_{Mod} ซึ่งจะทำให้พฤติกรรมการสะท้อนสัญญาณผ่านทางวงจรแบ่งแรงดัน มีค่าเปลี่ยนแปลงไป เช่น เมื่อเครื่องลูกข่ายต้องการส่งข้อมูลไบนารีบิตใดบิตหนึ่งที่มีค่าเป็น “0” ก็จะทำให้การเปิดวงจรทรานซิสเตอร์ออก ทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่ายเป็น R_L ตามปกติ ในขณะที่จะปิดวงจรเพื่อเพิ่มค่า R_{Mod} ในกรณีที่ต้องการส่งบิตข้อมูลที่มีค่า “1” ทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่ายลดลง ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการมอดูเลตสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุจากการเปลี่ยนแปลงอินพุตอิมพีแดนซ์นี้ โดยทำให้เกิดผลการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันและสามารถตรวจจับได้ที่แผ่น อิเล็กทรอนิกส์โทรของเครื่องอ่านซึ่งก็คือสายอากาศภาคส่งซึ่งการทำงานในลักษณะนี้จัดได้ว่าเป็นการส่งข้อมูลแบบ Load Modulation ประเภทหนึ่ง

2.8.5.3 การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่าย

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

บทที่ 3

3.1 วงจรเรโซแนนซ์ ค่าประสิทธิภาพ Q และแบนด์วิดท์

ในวงจรที่ประกอบด้วย R-L-C เมื่อปรับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟสลับที่ป้อนให้กับวงจรจะพบว่า ที่ความถี่ค่าหนึ่ง ค่าของ X_L จะเท่ากับ X_C ดังนั้นค่ารีแอกทีฟ และคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ จึงหักล้างกันหมดไป ผลของอิมพีแดนซ์ในวงจรจะเหลือเพียงค่ารีซิสทีฟ (R) นั่นคือค่าอิมพีแดนซ์จะเท่ากับ รีซิสทีฟ ($Z=R$) สภาวะดังกล่าวเรียกว่า “สภาวะเรโซแนนซ์”

วงจรเรโซแนนซ์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

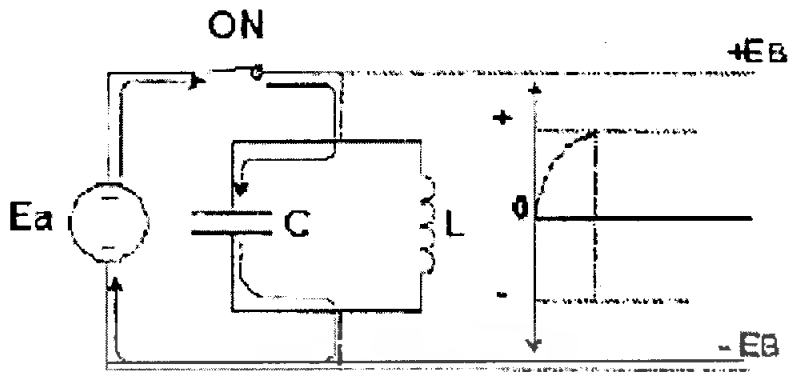
- Series resonance circuit ดังรูปที่ 3.1
- Parallel resonance circuit ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แสดง Series resonance circuit รูปที่ 3.2 แสดง Parallel resonance circuit

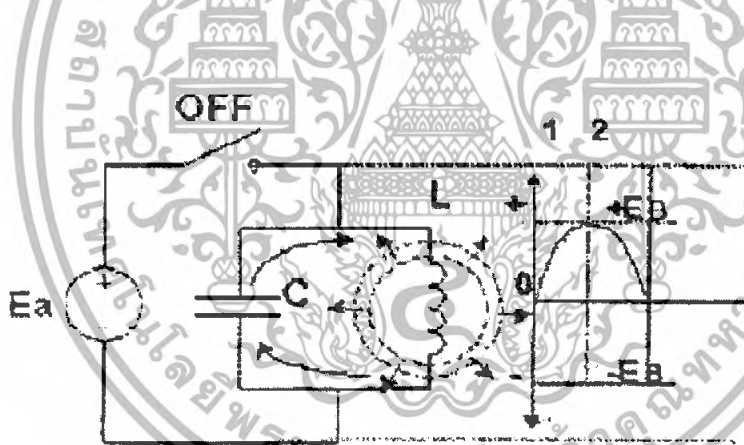
3.1.1 ผลของวงจรเรโซแนนซ์ต่อวงจรกระแสตรง

เมื่อจ่ายแรงดันกระแสตรงให้แก่วงจรเรโซแนนซ์ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อระดับแรงดัน ที่ตกคร่อมในวงจรกลายเป็นกระแสสลับตกคร่อมในวงจร โดยค่าความถี่ที่เกิดขึ้นจากการที่สร้างวงจรกระแสสลับของวงจรเรโซแนนซ์มีลักษณะของวงจรดังแสดงในรูปลักษณะการสร้างสัญญาณกระแสสลับของวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน



รูปที่ 3.3 แสดงช่วงเวลาที่ 1

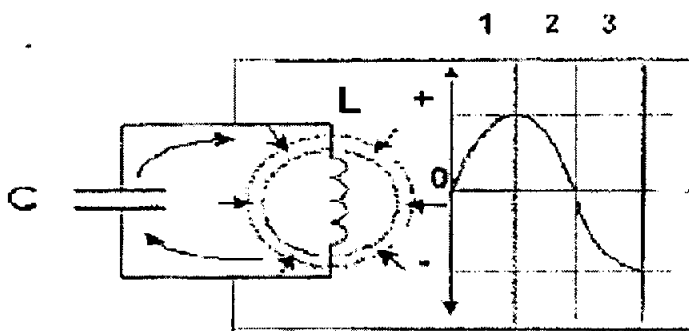
รูปที่ 3.3 ช่วงเวลาที่ 1 เมื่อเปิดสวิตช์ ตัวเก็บประจุ (Capacitor) จะทำการเก็บประจุเกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสูงขึ้นจนเท่ากับแหล่งจ่าย



รูปที่ 3.4 แสดงช่วงเวลาที่ 2

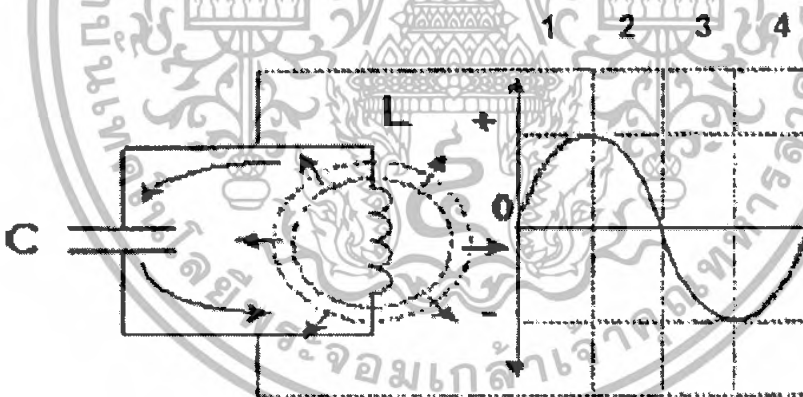
รูปที่ 3.4 ช่วงเวลาที่ 2: เมื่อปิดสวิตช์ ตัวเก็บประจุ (Capacitor) จะคลายประจุให้ขดลวดเกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบขดลวด ซึ่งทำให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (Capacitor) ลดต่ำลงจาก $+E_B$ ลงเป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงช่วงเวลาที 3

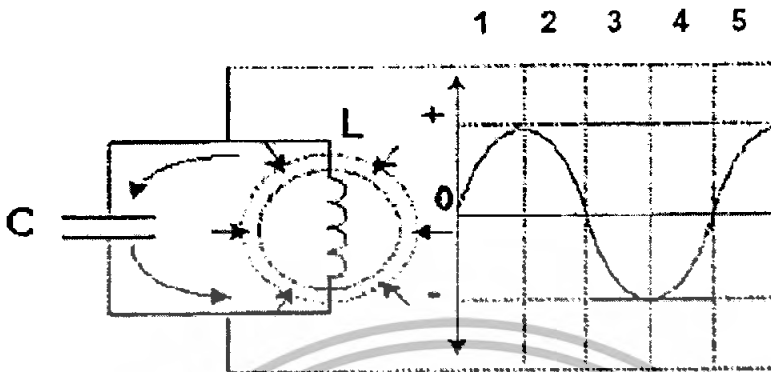
รูปที่ 3.5 ช่วงเวลาที 3: เมื่อตัวเก็บประจุ (Capacitor) คายประจุให้ขดลวดหมดแล้ว เส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งตัวรอบๆ ขดลวดจะยุบตัวลงตัดกับขดลวด เกิดกระแสเหนี่ยวนำตนเองจ่ายจากขดลวดไปอัดประจุเข้าตัวเก็บประจุ (Capacitor) ทางแผ่นเพลทด้านตรง ซึ่งทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (Capacitor) ในทิศทางตรงกันข้ามกับช่วงเวลาที 1 คือ แผ่นเพลทด้านบนมีค่าแรงดันเป็นลบ และด้านล่างมีแรงดันเป็นบวก



รูปที่ 3.6 แสดงช่วงเวลาที 4

รูปที่ 3.6 ช่วงเวลาที 4 เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กยุบตัวหมดแล้ว จะไม่มีกระแสไหลจากขดลวดไปอัดประจุตัวเก็บประจุ (Capacitor) จะทำให้ ตัวเก็บประจุทำการคายประจุนั้นกลับไปขดลวดอีก โดยส่งจากแผ่นเพลทด้านล่างไปให้ปลายขดลวดดังกล่าวผ่านขึ้นไปด้านบน จึงเกิดเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งตัวรอบๆ ขดลวดขึ้นอีก แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุอยู่จึงลดต่ำลงเรื่อยๆจนเป็น 0 เมื่อตัวเก็บ

ประจุคายประจุหมดแล้ว จากช่วงเวลาที 1 – 4 จะเป็นแรงดันกระแสสลับครบ 1 รอบ ตกคร่อม วงจรเรโซแนนซ์



รูปที่ 3.7 แสดงช่วงเวลาที 5

รูปที่ 3.7 ช่วงเวลาที 5: เมื่อตัวเก็บประจุ (Capacitor) คายประจุหมดแล้ว เส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดจะยุบตัว เกิดกระแสเหนี่ยวนำตัวเอง จ่ายเข้าไปอัดตัวเก็บประจุ (Capacitor) ทางแผ่นเพลทด้านบน ซึ่งทำให้แผ่นเพลทด้านบนมีแรงดันเป็นบวก และ แผ่นเพลทด้านล่างมีแรงดันเป็นลบ เกิดเป็นส่วนกระแสสลับในช่วงต่อไปค่าความถี่เรโซแนนซ์ หาได้จาก

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ Hz} \quad (3.1)$$

3.1.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน ค่าอิมพีแดนซ์รวมของวงจรสามารถหาได้จากสมการ

$$Z(j\omega) = \frac{j\omega L}{(1 - \omega^2 LC) + j\frac{\omega L}{R}} \quad (3.2)$$

โดยที่ $\omega =$ ความถี่เชิงมุม $= 2\pi f$

$R =$ ความต้านทานโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้ไม่สนใจค่าความต้านทาน (r) ของขดลวด ค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่ามากเมื่อตัวส่วนในสมการข้างต้นมีค่ามาก และค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่าน้อยเมื่อ

$$\omega^2 LC = 1 \quad (3.3)$$

เรียกว่าสภาวะเรโซแนนซ์และความถี่เรโซแนนซ์หาได้จาก

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.4)$$

ทำการแทนสมการที่ 3.3 ลงในสมการที่ 3.4 ค่าความต้านทานที่ความถี่เรโซแนนซ์จะกลายเป็น

$$Z = R \quad (3.5)$$

ค่า R และ C ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน สามารถนำมาคำนวณแบนด์วิดท์ B ของวงจรได้ดังสมการ

$$B = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.5)$$

ค่าประสิทธิภาพ Q สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$Q = \frac{f_0}{B} \quad (3.6)$$

โดยที่ $f_0 =$ ความถี่เรโซแนนซ์
 $B =$ แบนด์วิดท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนสมการที่ 3.4 และ สมการที่ 3.5 ลงในสมการที่ 3.6 ค่าประสิทธิภาพ Q ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะได้ดังสมการ

$$Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} \quad (3.7)$$

ค่าประสิทธิภาพในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะแปรผันตรงกับค่าความต้านทานและค่าราคาที่สองอัตราส่วนระหว่างค่าความจุกับค่าความเหนี่ยวนำในวงจรในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะใช้สำหรับวงจรสายอากาศของเครื่องลูกข่ายแรงดันที่ตกคร่อมในวงจรสามารถที่จะคำนวณได้จากสมการที่ 3.8 และ สมการที่ 3.7

$$\begin{aligned} V_0 &= 2\pi f_0 N Q S B_0 \cos \alpha \\ &= 2\pi f_0 N \left(R\sqrt{\frac{C}{L}} \right) S B_0 \cos \alpha \end{aligned} \quad (3.8)$$

สมการข้างต้นแสดงถึงการเหนี่ยวนำแรงดันในขดลวดเครื่องลูกข่ายเป็นส่วนกลับของราคาที่สองของค่าความเหนี่ยวนำ และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบและพื้นที่ผิวของขดลวด

วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานสามารถใช้ในสายอากาศแบบลูปรานฟอว์เมอร์ สำหรับเครื่องอ่านที่ระยะทางไกลๆอธิบายได้ในสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน แรงดันในลูปรานฟอว์เมอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราส่วนของจำนวนรอบ (n_2/n_1) ของลูปรานฟอว์เมอร์ แม้ว่าสัญญาณมีแรงดันสูงก็ตามไม่สามารถที่จะรับสัญญาณได้ สาเหตุที่แยกสายอากาศเพื่อต้องการสำหรับการรับสัญญาณ วงจรสายอากาศรับควรจะจูนสัญญาณที่ทำการมอดูเลทของเครื่องลูกข่าย

3.1.3 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมอย่างง่ายแสดงดังในรูปที่ 3.2 สมการแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรคือ

$$Z(j\omega) = r + j(X_L - X_C) \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ r = ความต้านทานของวงจร

$$X_L = 2\pi f_0 L \quad (3.10)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_0 C} \quad (3.11)$$

ค่าอิมพีแดนซ์ในสมการที่ 3.10 จะมีค่าลดลงเมื่อองค์ประกอบค่ารีแอกแตนซ์ทั้งสองมีค่าเท่ากัน ($X_L = X_C$) เรียกว่าสภาวะเรโซแนนซ์ ความถี่เรโซแนนซ์จะเหมือนกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรรขนานตามสมการที่ 4.11

กำลังครึ่งของความถี่แบนด์วิดท์จะถูกกำหนดโดยค่า R และ L ดังสมการ

$$B = \frac{r}{2\pi L} \quad (3.12)$$

ค่าประสิทธิภาพ Q ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมสามารถแสดงได้ดังนี้

$$Q = \frac{f_0}{B} = \begin{cases} \frac{\omega L}{r} = \frac{1}{\omega C r} \\ \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}} \end{cases} \quad (3.13)$$

วงจรรอนุกรมเป็นรูปแบบการแบ่งแรงดัน เพราะฉะนั้นแรงดันที่ตกคร่อมในขดลวดจะคำนวณได้จากสมการ

$$V_0 = \frac{jX_L}{r + jX_L - jX_C} V_m \quad (3.14)$$

หรือ

$$\left| \frac{V_0}{V_m} \right| = \frac{X_L}{\sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{X_L}{r \sqrt{1 + \left(\frac{X_L - X_C}{r} \right)^2}} = \frac{Q}{\sqrt{1 + \left(\frac{X_L - X_C}{r} \right)^2}} \quad (3.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

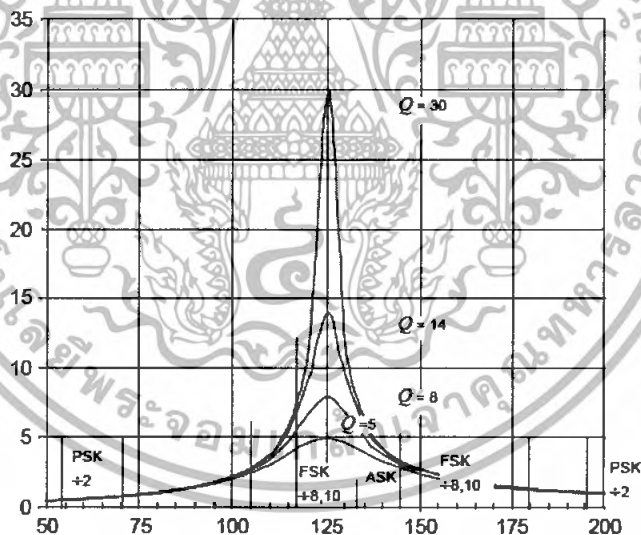
3.2 ค่าประสิทธิภาพ (Q) และแบนด์วิดท์

รูปที่ 3.8 แสดงการประมาณช่วงความถี่สำหรับรูปแบบรวมๆ ของการมอดแบบแอมพลิจูดชีพต์กียิ่ง (ASK) , เฟรีควนซีชีพต์กียิ่ง (FSK) และเฟสชีพต์กียิ่ง (PSK) สำหรับการกู่ของสัญญาณข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายวงจรของเครื่องอ่านต้องการแบนด์วิดท์ที่มีค่าน้อยที่สุดเป็นสองเท่าของอัตรา ส่วนข้อมูล ดังนั้นถ้าอัตราส่วนของข้อมูลคือ 8 kHz สำหรับสัญญาณแบบแอมพลิจูดชีพต์กียิ่ง แบนด์วิดท์จะต้องมีค่าน้อยที่สุดที่ 16 kHz สำหรับการกู่ของข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องลูกข่าย

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

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

ปัญหาในที่นี้แก้ไข โดยการแยกขดลวดส่งและขดลวดรับซึ่งขดลวดส่งสามารถออกแบบให้มีค่าประสิทธิภาพสูงและขดลวดรับสามารถออกแบบให้มีค่าประสิทธิภาพต่ำ



รูปที่ 3.8 ค่าประสิทธิภาพกับรูปแบบการมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การกำหนดขอบเขตของค่าประสิทธิภาพ

เมื่อทำการออกแบบวงจรสายอากาศของเครื่องอ่าน อาจจะต้องพิจารณาว่าการออกแบบขดลวดจะต้องมีค่าประสิทธิภาพสูง ในที่นี้จะมีสามประการที่สำคัญที่เป็นข้อกำหนดขอบเขตในการพิจารณา

3.3.1) แรงดันที่สูงมากเกิดจากค่าเบรคควานอนโซลูชันในขดลวดหรือค่าความจุที่เรโซแนนซ์ สำหรับตัวอย่าง กระแส 1 แอมป์แปรที่ไหลในขดลวด 2 mH จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขดลวด 1500 Vpp ข้อเพิ่มเติม ในกรณีของการออกแบบขดลวดเพียงรูปเดียวของตัวอ่าน การกู้สัญญาณที่ได้รับจากเครื่องลูกข่ายจะต้องกระทำที่เปอร์เซ็นต์ของแรงดันที่มีค่าสูง

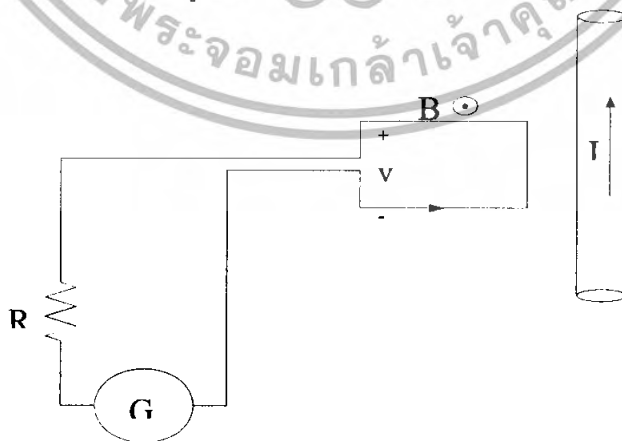
3.3.2) การจูนที่เหมาะสมในช่วงวิกฤต อุปกรณ์ที่ใช้วัดวงจรสายอากาศที่มีค่าประสิทธิภาพสูง, แรงดันสูงจะมีส่วนประกอบของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้และ มีความเสถียรภาพสูงน่าจะมีใช้แต่โดยทั่วไปจะมีราคาแพงและยากที่จะมีใช้โดยทั่วไป

3.3.3) ค่าประสิทธิภาพของวงจรที่ได้รับมีค่าสูงค่าแอมป์ลิจูดของสัญญาณที่ย้อนกลับมาจะสัมพันธ์กับกำลังของคลื่นพาห้ที่ได้รับ ซึ่งสัญญาณที่ออกมาจากเครื่องลูกข่ายจะมีค่าน้อย วงจรของเครื่องอ่านอาจเกิดความสับสนได้ในการกู้สัญญาณ

3.4 เส้นแรงแม่เหล็กกับความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux and Magnetic flux density)

ในจำนวนที่มีสนามแม่เหล็ก เช่น ในบริเวณใกล้ตัวนำจิววอนันต์ นำกระแส I ดังแสดงในรูปที่ 3.9 จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก Φ อาจคำนวณได้จากสมการ 3.16

$$\Phi = \pm \int_0^l V dt \quad (3.16)$$



รูปที่ 3.9 แสดงการทดลองเพื่อวัดเส้นแรงแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย t คือระยะเวลา นับจากเส้นแรงแม่เหล็ก มีค่าศูนย์แล้วเพิ่มขึ้นเป็นค่าสูงสุด หรือระยะเวลา นับจากเส้นแรงแม่เหล็กค่าสูงสุด แล้วลดลงจนค่าเป็นศูนย์ ซึ่งจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองกรณี จะมีขนาดเท่ากัน แต่เครื่องหมายต่างกัน หน่วยของเส้นแรงแม่เหล็ก คือ “เวบเบอร์” ซึ่งสมมูลย์ กับหน่วยในสมการ 3.1 คือ “โวลต์-วินาที”
สมการของความหนาแน่น เส้นแรงแม่เหล็ก ที่วางอยู่ในอากาศ คือ

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (3.17)$$

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

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

โดยที่ $\mu = \mu_0 \mu_r$

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

μ_r เรียกว่า ค่าความซึมซาบทางแม่เหล็กสัมพัทธ์ ของวัสดุใดๆ

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

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad \text{Wb} \quad (3.18)$$

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

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (3.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ความเหนี่ยวนำ (Inductance)

นิยามของความเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเนื่องจาก มีสนามแม่เหล็กไหลวนเวียนในวงจรแม่เหล็ก ดังนั้นความเหนี่ยวนำคือ อัตราส่วนของจำนวนเส้นแรงเชื่อมทั้งสิ้น (Flux linkage) คือ $N\Phi$ กับจำนวนกระแสที่ถูกเชื่อม ถ้ากำหนดว่า “ L ” เป็นสัญลักษณ์ของความเหนี่ยวนำ พบว่าสมการของความเหนี่ยวนำ ดังกล่าวมีค่าดังนี้

$$L = \frac{N\Phi}{I} \text{ Henry (Wb- T/A)} \quad (3.20)$$

กระแสที่ไหลในขดลวดจำนวน N รอบ จะสร้างเส้นแรงทั้งสิ้น Φ และเส้นแรงเชื่อม $N\Phi$ โดยเราสมมติในที่นี้ว่า Φ เวบเบอร์ เชื่อมทุกๆ รอบของขดลวด นิยามนี้ จะใช้ได้เฉพาะตัวกลางแม่เหล็ก แบบเชิงเส้นเท่านั้น เพื่อว่าเส้นแรงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแส ถ้ามีสารเฟอร์โรแมกเนติก เข้ามาเกี่ยวข้อง จะไม่มีนิยามของความเหนี่ยวนำใด ที่ใช้ประโยชน์ ได้ทุกกรณี ดังนั้น เราจึงจำกัดความสนใจของเราเฉพาะ สารแบบเชิงเส้นเท่านั้น

หน่วยของความเหนี่ยวนำคือ เฮนรี่ ซึ่งสมมูลกับ เวบเบอร์ต่อแอมแปร์

ในกรณีของเคเบิลคู่ขนานกันที่รัศมีภายในเป็น a และรัศมีภายนอกเป็น b ค่าเส้นแรงที่เกิดขึ้นทั้งสิ้น คือ

$$\Phi = \frac{\mu_0 I \ell}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \quad (3.21)$$

ℓ คือ ความยาวของสายเคเบิล

ค่าความเหนี่ยวนำสำหรับความยาว ℓ เมตร คือ

$$L = \frac{\mu_0 \ell}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \quad \text{H} \quad (3.22)$$

ค่าความเหนี่ยวนำสำหรับความยาว 1 เมตร คือ

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \quad \text{H/m} \quad (3.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$\Phi = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} \quad (3.24)$$

ถ้ามิติของภาคตัดขวาง มีขนาดเล็กมาก เมื่อเทียบกับรัศมีกลาง R ของทอรอยด์ ค่าเส้นแรง ทั้งสิ้น จึงมีค่าเป็น

$$\Phi = \frac{\mu_0 NIS}{2\pi R} \quad (3.25)$$

ถ้าคูณเส้นแรงทั้งสิ้นด้วย N จะได้ค่าความเหนี่ยวนำ จากเส้นแรงเชื่อม ทารด้วยกระแส I ดังนี้

$$\Phi = \frac{\mu_0 N^2 S}{2\pi R} \quad (3.26)$$

3.6 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการออกแบบสายอากาศขดลวด

ในการพัฒนาสายอากาศระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ มีเหตุผลหลักอยู่ 2 ประการคือ

- เพื่อต้องการส่งความถี่วิทยุ (คลื่นพาห์) ให้เป็นกำลังงานของเครื่องลูกข่าย
- เพื่อรับสัญญาณความถี่วิทยุ (สัญญาณข้อมูล) จากเครื่องลูกข่าย

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กจะเคลื่อนที่ผ่านขดลวด (สายอากาศ) เป็นการเหนี่ยวนำแรงดันให้ตกคร่อมด้านปลายสุดของขดลวด แรงดันนี้จะใช้เพื่อกระตุ้นเครื่องลูกข่ายแบบพาสซีฟ ดังนั้นสายอากาศขดลวดส่วนมากจะถูกรอกแบบให้สามารถเหนี่ยวนำแรงดันได้สูงสุด

กฎของแอมแปร์ ได้กล่าวไว้ว่า การไหลของกระแสในตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆ ตัวนำ รูปที่ 3.10 แสดงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสส่วนหนึ่ง สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในตัวนำ (ลวด) ที่มีความยาวจำกัด คิดได้จากสมการ

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad (3.27)$$

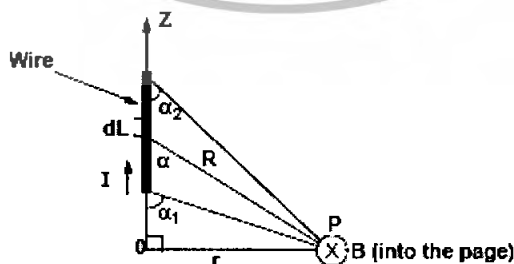
โดยที่ I = กระแส

r = ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของลวด

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

ในกรณีที่ลวดมีความยาวอนันต์ที่ $\alpha_1 = -180^\circ$ และ $\alpha_2 = 0^\circ$ จากสมการที่ 3.27 สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (3.28)$$



รูปที่ 3.10 การคำนวณของสนามแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) ที่ลวดตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

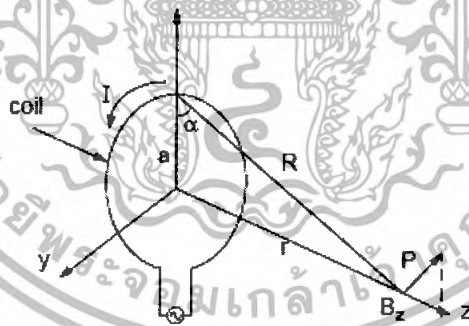
สนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายอากาศขดลวดแบบรูปวงกลม จำนวน N รอบ แสดงได้ดังรูปที่ 3.6 จะได้สมการดังนี้

$$B_z = \frac{\mu_0 INa^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \quad (3.29)$$

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

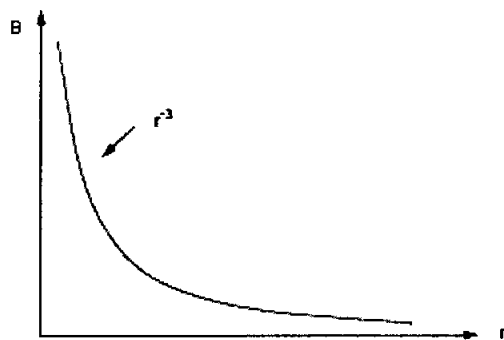
โดยที่ $a =$ รัศมีของลูป

สมการที่ 3.29 นี้แสดงให้เห็นว่า สนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายอากาศแบบรูปวงกลม ถูกลดลงด้วย $1/r^3$ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ความเข้มของสนามที่มากที่สุดในระยะนาบของลูปและทิศทางที่เหมาะสมสัมพันธ์กับค่ากระแส (I), จำนวนรอบ (N) และพื้นที่ผิวของลูป สมการที่ 3.29 ใช้มากสำหรับคำนวณหาค่า กระแส-รอบ ซึ่งจำเป็นสำหรับระยะการอ่าน ความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีผลต่อกำลังงานที่เครื่องลูกข่ายจะได้รับตามสัดส่วน



รูปที่ 3.11 การคำนวณของสนามแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) เข้าลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การลดลงของค่าสนามแม่เหล็ก B กับระยะห่าง r

3.6.1 การเหนี่ยวนำแรงดันในสายอากาศขดลวด

จากกฎของฟาราเดย์ กล่าวไว้ว่า เมื่อสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาผ่านพื้นผิวปิด จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำรอบลูป ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่มีความสำคัญสำหรับการทำงานของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ

รูปที่ 3.8 แสดงรูปแบบอย่างง่ายของการใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุเมื่อสายอากาศของเครื่องลูกข่ายและสายอากาศของเครื่องอ่านอยู่ในระยะที่ใกล้กับสนามแม่เหล็ก B ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเกิดจากสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านเหนี่ยวนำแรงดัน ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (electromotive force) ในสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย จะทำให้เกิดกระแสไหลในขดลวดที่เหมาะสมได้เรียกว่ากฎของฟาราเดย์

ในการเหนี่ยวนำแรงดันบนสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux : ψ) ต่อเวลา จะได้ดังสมการที่ 3.4

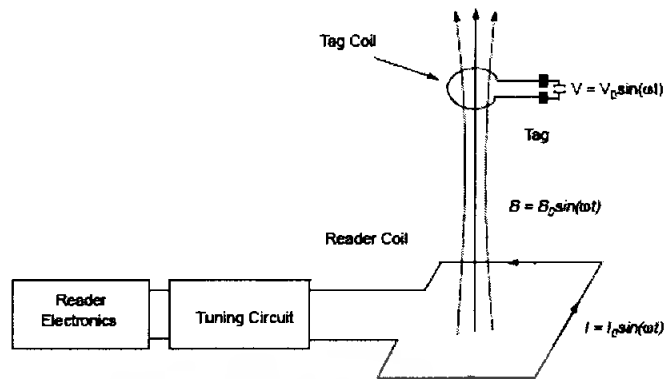
$$V = -N \frac{d\psi}{dt} \quad (3.30)$$

โดยที่ N = จำนวนรอบของสายอากาศขดลวด

ψ = เส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านแต่ละรอบ

เครื่องหมายลบในสมการการเหนี่ยวนำแรงดัน แสดงว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าอยู่ในทิศทางที่ทำให้เกิดกระแสไหลซึ่งมีผลทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก ที่รู้กันในชื่อกฎของเลนซ์ (Lenz's Law) ซึ่งเป็นการเน้นถึงความจริงของทิศทางกระแสไหลของกระแสในวงจร แสดงว่าแรงดันเหนี่ยวนำทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กในทิศทางตรงข้าม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 พื้นฐาน โครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านและสายอากาศเครื่องลูกข่ายในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

เส้นแรงแม่เหล็กในสมการที่ 3.4 คือสนามแม่เหล็ก B ทั้งหมดที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ผิวทั้งหมดของสายอากาศขดลวดและสามารถหาได้จากสมการ

$$\psi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (3.31)$$

โดยที่

\vec{B} คือ สนามแม่เหล็กที่ได้มาจากสมการที่ 3.29

\vec{S} คือ พื้นที่ผิวของขดลวด

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

ผลลัพธ์ของสองเวกเตอร์ในสมการที่ 3.31 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่เคลื่อนที่ผ่านสายอากาศขดลวด ซึ่งผลลัพธ์ของสองเวกเตอร์จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเวกเตอร์ทั้งสองอยู่ในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่านสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่ายจะมีค่ามากที่สุดเมื่อขดลวดทั้งสอง (สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านและสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย) อยู่ในทิศทางที่ขนานกัน

จากสมการที่ 3.29-3.31 จะเป็นการเหนี่ยวนำแรงดัน V_0 สำหรับสายอากาศคู่ที่ไม่ได้จูนจะได้สมการที่ 3.32 ดังนี้

$$V_0 = 2\pi fNSB_0 \cos \alpha \quad (3.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ f = ความถี่ของสัญญาณ
 N = จำนวนรอบของขดลวดในรูป
 S = พื้นที่ของรูปในหน่วยเมตรยกกำลังสอง (m^2)
 B_0 = ความเข้มของสัญญาณ
 α = มุมของสัญญาณ

ถ้าทำการจูนขดลวด (ด้วยตัวเก็บประจุ:C) ที่สัญญาณความถี่ (125kHz) แรงดันเอาต์พุต V_o ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างมาก แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากสมการที่ 3.32 จะคูณด้วยค่าประสิทธิภาพ (Quality Factor) ของวงจรจูน ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ตั้งแต่ 5 ถึง 50 ที่ความถี่ต่ำของการใช้งานระบบ ระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

$$V_o = 2\pi f_o N Q S B_o \cos \alpha \quad (3.33)$$

โดยค่าประสิทธิภาพ (Q) เป็นสิ่งปัจจัยของการเลือกความถี่ที่เหมาะสม



รูปที่ 3.14 การปรับทิศทางของสายอากาศของเครื่องลูกข่ายให้เหมาะสม

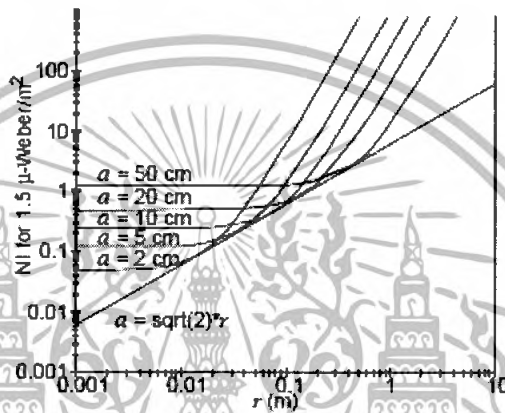
การเหนี่ยวนำแรงดันข้ามสายอากาศขดลวดแบบรูปเป็นของฟังก์ชันมุมของสัญญาณแรงดัน เหนี่ยวนำจะมีค่ามากที่สุดเมื่อสายอากาศขดลวดอยู่ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับทิศทางของสัญญาณที่ $\alpha = 0$

ความเข้มของสนามแม่เหล็ก B ที่เครื่องลูกข่ายต้องการสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.32 และค่ากระแส-รอบ (Ampere-turns) ของสายอากาศขดลวดเครื่องอ่านที่มีรัศมีใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(NI) = \frac{2B_z (a^2 + r^2)^{3/2}}{\mu a^2} \quad (3.34)$$

สำหรับระยะการอ่านที่เพิ่มมากขึ้นเป็นการบอกถึงการพิจารณา การเพิ่มขึ้นของรัศมีของขดลวดซึ่งจะได้ผลมากกว่าการเพิ่มกระแสให้กับขดลวด



รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-รอบกับระยะการอ่าน

หมายเหตุ : จากรูปที่ 3.10 $B_z = 1.5 \mu\text{Wb}/m^2$

รัศมีที่เหมาะสมของขดลวดต้องการค่าของกระแส-รอบที่น้อยที่สุด สำหรับระยะของการอ่านสามารถหาได้จากสมการที่ 3.3 เช่น

$$NI = K \frac{(a^2 + r^2)^{3/2}}{a^2} \quad (3.44)$$

โดยที่ $K = \frac{2B_z}{\mu_0}$

โดยการนำอนุพันธ์มาใช้เพื่อหาค่ารัศมีจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{d(NI)}{da} = K \frac{3/2(a^2 + r^2)^{1/2} (2a^3) - 2a(a^2 + r^2)^{3/2}}{a^4} \quad (3.45)$$

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

จากสมการข้างต้นจะกลายเป็นสมการที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อ

$$a^2 - 2r^2 = 0 \quad (3.46)$$

จากผลลัพธ์ข้างต้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะของการอ่านกับขนาดของเครื่องลูบข่าย ค่ารัศมีที่เหมาะสมจะหาได้จาก

$$a = \sqrt{2}r \quad (3.47)$$

โดยที่ $a =$ รัศมีของขดลวด

$r =$ ระยะการอ่าน

จากผลลัพธ์ข้างต้นบอกให้รู้ว่า ค่ารัศมีที่เหมาะสมที่สุดของลูบสำหรับสายอากาศเครื่องอ่าน จะมีค่าประมาณ 1.414 หรือ ค่ารากที่สองของระยะการอ่าน

3.6.2 ชนิดและความต้านทานที่สูญเสียของลวด

3.6.2.1 ขนาดและค่าความต้านทานทางดำนไฟกระแสดตรง

เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทางไฟฟ้าจะแสดงตัวเลขตามมาตรฐานอเมริกา (American Wire Gauge : AWG) ค่าตัวเลขจะเป็นสัดส่วนที่ตรงกันข้ามกับค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางและเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าทุกๆขนาดลวดเพิ่มไปหกเบอร์ ลวดที่เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กจะมีค่าความต้านทานทางดำนไฟกระแสดตรงที่สูง ค่าความต้านทานทางดำนไฟกระแสดตรงของตัวนำที่เป็นแบบเดียวกันตามพื้นที่หน้าตัดหาค่าได้โดย

$$R_{DC} = \frac{l}{\sigma S} \quad (3.48)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ l = ความยาวทั้งหมดของลวด

σ = ค่าความนำ

S = พื้นที่หน้าตัด

ตารางที่ 3.2 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับด้านในและสารเคลือบโลหะของลวด และค่าความต้านทานทางดำนไฟกระเสตรง

3.6.2.2 ค่าความต้านทานทางดำนไฟกระเสสลับของลวด

ที่ทางดำนไฟกระเสตรง ประจุคลื่นพาห้จะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วหน้าตัดของลวด ขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้นค่ารีแอกแตนซ์ไกล้จุดศูนย์กลางของลวดก็เพิ่มขึ้นด้วย มีผลให้ขอบเขตความหนาแน่นกระแสในค้ำอิมพีแดนซ์สูง ดังนั้นประจุจะเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางของลวดไปยังจุดสิ้นสุดของลวด มีผลทำให้ความหนาแน่นกระแสลดลงในจุดศูนย์กลางของลวดและเพิ่มขึ้นไกล้จุดสิ้นสุดของลวด เรียกปรากฏการณ์ว่าผลกระทบของพื้นผิว (skin effect) ความหนาภายในตัวนำจะมีความหนาแน่นกระแสลดลง $1/e$ หรือ 37% ของค่าความยาวพื้นผิว จะรู้ได้จากค่าความหนาของพื้นผิว (skin depth), ค่าฟังก์ชันของความถี่, ค่าเพอร์มีอะบิลิตี้ และค่าความนำของตัวกลาง ค่าความหนาของพื้นผิวสามารถหาได้จากสมการ

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (3.49)$$

โดยที่ f = ความถี่

μ = ค่าเพอร์มีอะบิลิตี้ของวัสดุ

σ = ค่าความนำของวัสดุ

ค่าความต้านทานของลวดกับความถี่จะเพิ่มขึ้น และค่าความต้านทานที่เกิดจากความหนาของพื้นผิวเรียกว่า ความต้านทานทางดำนไฟฟ้ากระเสสลับ การประมาณค่าความต้านทานของไฟฟ้ากระเสสลับหาได้จากสมการ

$$R_{ac} \approx \frac{1}{2\sigma\pi\delta} = (R_{DC}) \frac{a}{2\delta} \quad (3.50)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $a =$ รัศมีของขดลวด

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

3.6.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด

กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาสามารถทำให้เกิดการไหลของกระแสผ่านตัวนำอีกตัวหนึ่ง เรียกว่าค่าความเหนี่ยวนำ (L) ค่าความเหนี่ยวนำขึ้นอยู่กับค่าคุณลักษณะของตัวนำ ขดลวดจะมีค่าความเหนี่ยวนำมากกว่าเส้นลวดที่เป็นวัสดุที่เหมือนกัน และขดลวดที่มีจำนวนรอบมากก็จะมีค่าความเหนี่ยวนำมากกว่าขดลวดที่มีจำนวนรอบน้อย ค่าความเหนี่ยวนำของตัวนำมีนิยามคือ อัตราส่วนของเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดต่อกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ

$$L = \frac{N\psi}{I} \quad (3.51)$$

โดยที่ $N =$ จำนวนรอบ
 $I =$ กระแส
 $\psi =$ เส้นแรงแม่เหล็ก

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

3.6.3.1 ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวด

ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวดที่แสดงในรูปที่ 2.38 สามารถหาได้จากสมการ

$$L = 0.002l \left[\log_e \frac{2l}{a} - \frac{3}{4} \right] \quad (3.52)$$

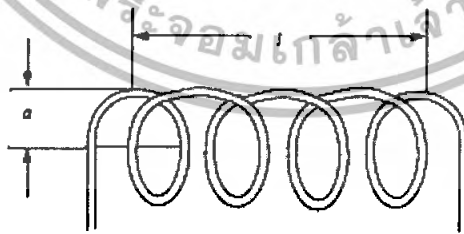
โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวด มีหน่วยเป็นไมโครเฮนรี
และ a = ความยาวและรัศมีของลวดในหน่วยเซนติเมตร ตามลำดับ

3.6.3.2 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด

ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดดังแสดงในรูปที่ 2.7 สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L = \frac{(aN)^2}{22.9l + 25.4a} \quad (3.53)$$

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด มีหน่วยเป็นไมโครเฮนรี
 a = รัศมีของขดลวด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร
 l = ความยาวของขดลวด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร
 N = จำนวนรอบ



รูปที่ 3.16 รูปของขดลวด

หมายเหตุ : สำหรับค่าประสิทธิภาพ (Q) ที่ดีที่สุดของขดลวด ควรจะมีความยาวประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบรูปวงกลม

จากรูปแบบ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดขนาดใหญ่ในขอบเขตที่จำกัด จะมีประสิทธิภาพมาก เมื่อพันขดลวดหลายๆ รอบ เป็นเหตุผลของรูปแบบในการออกแบบโครงสร้างสายอากาศขดลวดของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ แสดงดังรูปที่ 3.17 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบรูปวงกลม สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L = \frac{0.31(aN)^2}{6a + 9h + 10b} \tag{3.54}$$

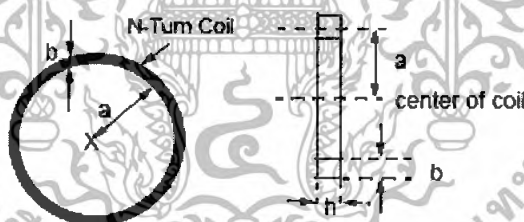
โดยที่ $L =$ ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบรูปวงกลม มีหน่วยเป็น ไมโครเฮนรี

$a =$ รัศมีเฉลี่ยของขดลวด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

$N =$ จำนวนรอบ

$b =$ ความหนาในการขด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

$h =$ ความสูงในการขด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร



รูปที่3.17 สายอากาศขดลวดรูปวงกลมแกนอากาศจำนวนรอบใดๆ

จำนวนรอบที่ต้องการสำหรับค่าความเหนี่ยวนำที่แน่นอน สามารถคำนวณได้จากการประยุกต์สมการที่ 4.54 ซึ่งจะได้สมการดังนี้

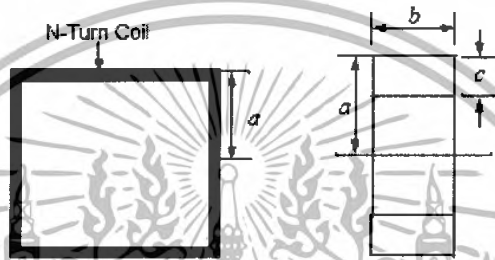
$$N = \sqrt{\frac{L_{\mu H} (6a + 9h + 10b)}{(0.31)a^2}} \tag{3.55}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.4.4 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดรูปสี่เหลี่ยม

ถ้า N คือจำนวนรอบและ a เป็นความยาวที่วัดจากจุดศูนย์กลางของสี่เหลี่ยมถึงขอบด้านนอกของรูป ส่วนด้านข้างของรูปเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความยาว b และความหนา c ดังแสดงในรูปที่ 3.18

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



(a) รูปด้านหน้า

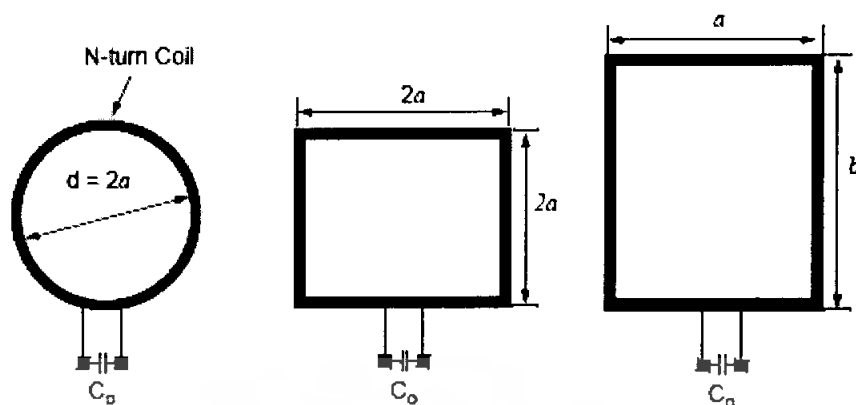
(b) รูปด้านข้าง

รูปที่ 3.18 สายอากาศขดลวดแบบรูปสี่เหลี่ยม

3.7 โครงสร้างของสายอากาศขดลวด

3.7.1 สายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย

สายอากาศขดลวดสำหรับเครื่องลูกข่ายของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ สามารถทำได้หลายรูปแบบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการประยุกต์การใช้งาน ตัวอย่างหนึ่งของค่าความเหนี่ยวนำสำหรับสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าประมาณ 2-3 (mH) ที่ความถี่ 125 kHz รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะต่างๆ ของสายอากาศเครื่องลูกข่าย สายอากาศขดลวดโดยทั่วไปมักทำด้วยลวดเส้นเล็กๆ ค่าความเหนี่ยวนำและจำนวนรอบของขดลวดสามารถคำนวณได้จากสมการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 3.19 รัศมีของโครงสร้างของสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย

3.7.2 สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน

ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดเครื่องอ่าน โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 200-300 ถึง 2,000-3,000 ไมโครเฮนรี ที่ความถี่ต่ำ สายอากาศขดลวดเครื่องอ่านสามารถที่จะทำเป็นรูปเดียวตามรูปแบบวงจรโซแนนซ์แบบอนุกรม หรือ ดับเบิลรูป (Transformer) ตามรูปแบบวงจรโซแนนซ์แบบขนาน

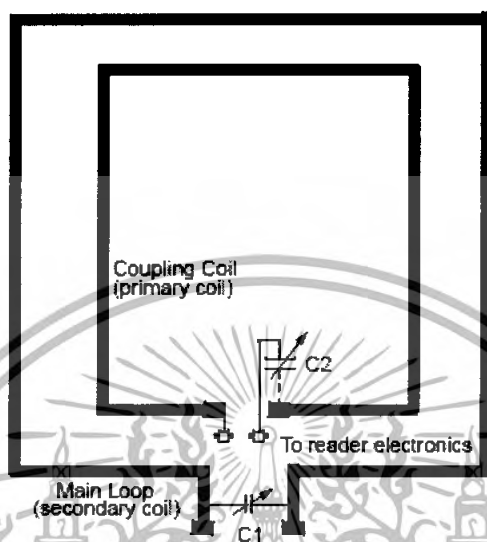
ในรูปแบบวงจรโซแนนซ์อนุกรมผลที่ได้จะให้ค่าความต้านทานที่มีค่าน้อยที่ความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้นจะทำให้กระแสมีค่ามาก ส่วนในวงจรโซแนนซ์ขนานจะให้ผลของค่าความต้านทานสูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้นจะทำให้กระแสมีค่าน้อย เนื่องจากแรงดันสามารถเพิ่มระดับขึ้นได้โดยการใช้รูปแบบดับเบิลรูป (parallel) วงจรโซแนนซ์แบบขนานมักจะใช้สำหรับระบบที่ต้องการสัญญาณที่มีแรงดันสูง

รูปที่ 3.20 แสดงตัวอย่างของสายอากาศรูปทรานส์ฟอร์มเมอร์ ที่ลูปลหลัก (secondary) เป็นรูปแบบของรอบโครงสร้างขนาดใหญ่ของขดลวด โดยจูนค่าที่ตัวเก็บประจุเพื่อให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ (125 kHz) ลูปลอื่นจะเรียกว่าลูปลเชื่อมต่อ (primary) และจะมีรูปแบบที่เล็กกว่า 2-3 รอบของขดลวด ตำแหน่งของลูปลเชื่อมต่อ (primary) จะวางอยู่ภายในลูปลหลัก

ลูปลเชื่อมต่อ (primary) จะทำให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมกับค่าอิมพีแดนซ์ที่อินพุต/เอาต์พุตของเครื่องอ่าน การเชื่อมต่อขดลวดที่จุดอินพุต/เอาต์พุตในตัวอ่าน ที่ลูปลหลัก (secondary) จะต้องทำการจูนให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์และไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับเครื่องอ่าน

ลูปลเชื่อมต่อโดยทั่วไปจะไม่ได้ทำการจูน แต่ในการออกแบบจะทำการจูนที่ตัวเก็บประจุ C2 ที่ต่ออนุกรมอยู่กับลูปลเชื่อมต่อ เพราะว่าจำนวนรอบที่ลูปลหลัก (secondary) มากกว่าลูปลเชื่อมต่อ

(primary) 2-3รอบ ทำให้ที่ลู่เชื่อมต่อมีค่าความเหนี่ยวนำน้อย เป็นผลให้ต้องใช้ค่าตัวเก็บประจุมีค่ามาก



รูปที่ 3.20 สายอากาศลู่ทรานฟอร์มเมอร์ของเครื่องอ่าน

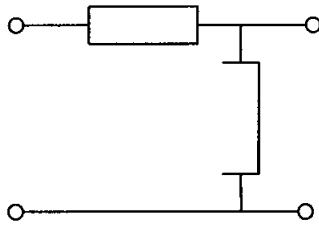
3.8 วงจรแมตซิ่ง(matching)

วงจรแมตซิ่งที่นิยมใช้ในการออกแบบแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

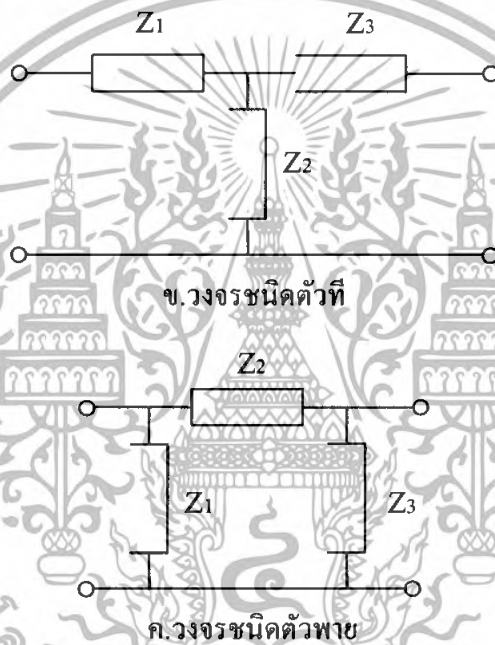
1. วงจรชนิดตัวแอล
2. วงจรชนิดตัวที
3. วงจรชนิดตั้งไฟ

วงจรแมตซิ่งทั้ง 3 ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติต่างกันไป เช่น วงจรชนิดตัวแอลจะใช้อุปกรณ์เพียง 2 ตัว แต่มีข้อด้อยคือไม่สามารถกำหนดค่า Q ของวงจรได้ ส่วนชนิดตัวทีและชนิดตัวไฟต้องใช้ อุปกรณ์ 3 ตัว แต่จะสามารถเลือกค่า Q ของวงจรได้ โดยที่วงจรชนิดตัวทีจะเหมาะกับแมตซิ่ง อิมพีแดนส์ค่าต่ำกับอิมพีแดนส์ค่าต่ำ ส่วนชนิดตัวไฟจะเหมาะกับอิมพีแดนส์ค่าสูงไปยังอิมพีแดนส์ ค่าสูงถ้าเราเลือกวงจรไม่เหมาะสมจะทำให้แมตซิ่งได้ยาก โดยที่วงจรแมตซิ่งทั้ง 3 มีรูปแบบวงจร ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. วงจรชนิดตัวแอล

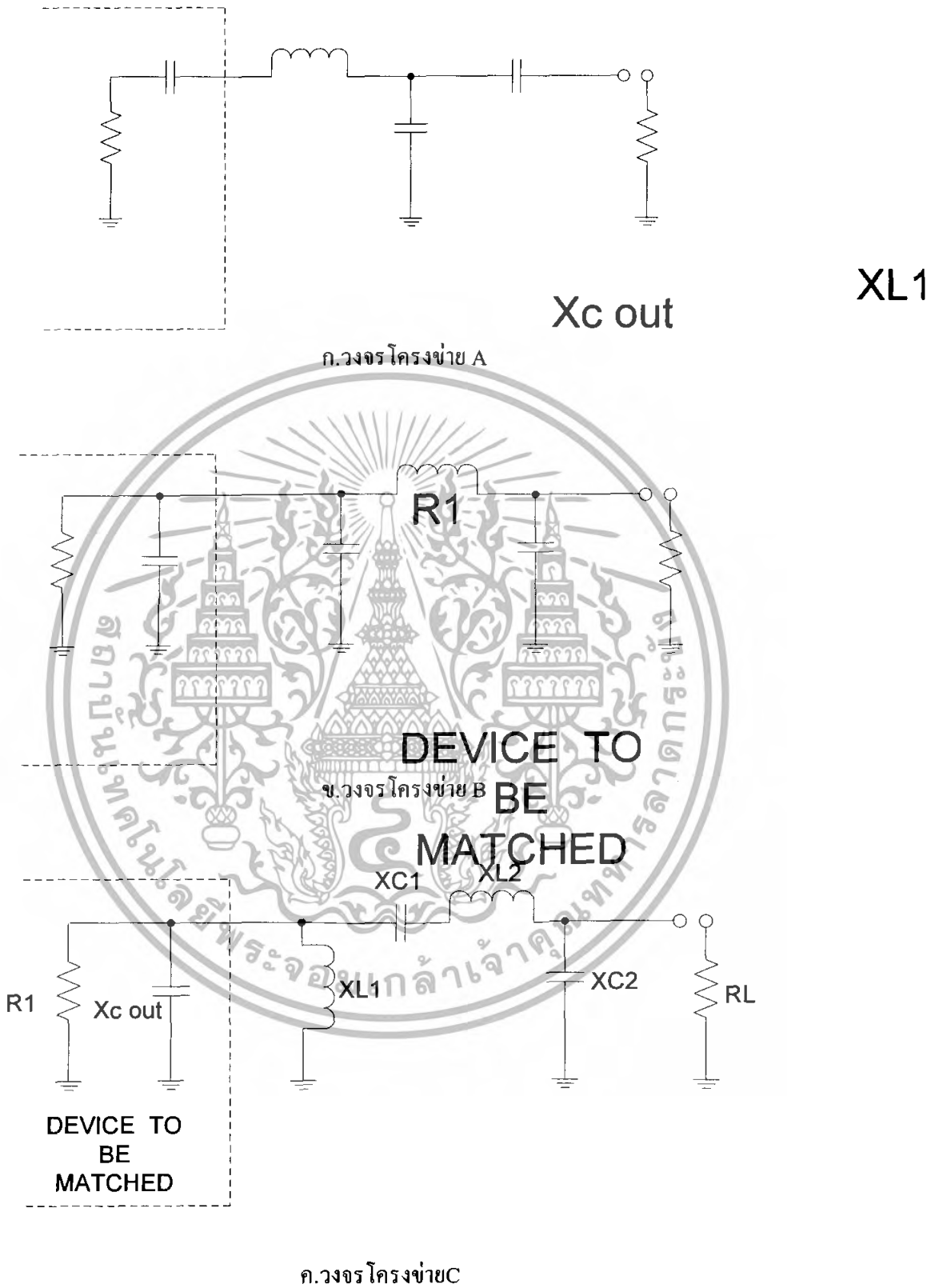


ค. วงจรชนิดตัวพาย

รูปที่ 13.21 วงจรเมตซิงแบบต่างๆ

จากวงจรทั้ง 3 นี้สามารถรวมกันเขียนเป็นวงจรโครงข่ายและสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมต่อวงจรและตามค่าอุปกรณ์ที่มี ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 วงจร โครงข่ายแมตชิ่งแบบต่างๆ

R1 Xc out

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ใช้ในการคำนวณในโครงข่ายต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ

โครงข่าย A

Select Q

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

$$X_{C2} = ARL \qquad B = R1(1+Q2)$$

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

โครงข่าย B

Select Q

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

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

$$X_{L1} = \frac{QR1 + (R1RL/XC2)}{Q2+1}$$

โครงข่าย C

Select Q

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

$$X_{C1} = QR1$$

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัล

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะทำการอธิบายเนื้อหาเกี่ยวกับการมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัล ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การมอดูเลตแบบ ASK ,FSK และ PSK ซึ่งแต่ละวิธีจะอาศัยหลักการการทำงานที่แตกต่างกันออกไป ในบทนี้เราจะเน้นเนื้อหาเกี่ยวกับการมอดูเลตแบบ ASK เพราะเกี่ยวข้องกับโครงงานที่ได้จัดทำซึ่งจะอธิบายโดยละเอียดดังกล่าวต่อไปนี้

4.2 การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัล

การมอดูเลตข้อมูลที่เป็นดิจิทัลจะมีหลักการพื้นฐานอยู่ 3 แบบด้วยกันคือ

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

จากสมการทางคณิตศาสตร์ของคลื่นรูปไซน์ที่เราใช้เป็นพาหะ

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

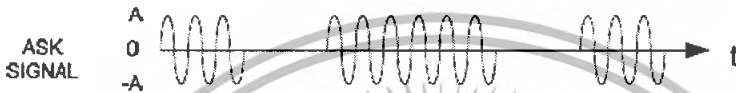
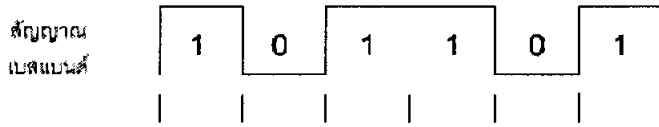
คุณสมบัติประจำตัวของคลื่นรูปไซน์ที่สำคัญจะมีอยู่ 3 ประการ ซึ่งเราสามารถเปลี่ยนแปลงหรือมอดูเลตได้ คือ แอมพลิจูด (A) ความถี่เชิงมุม (ω) และ เฟส(ϕ) สัญญาณดิจิทัลแบบแบนด์เป็นรูปสามเหลี่ยมแสดงรหัสไบนารี “1” และ “0” ในการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลนี้ จากคุณสมบัติประจำตัวของคลื่นรูปไซน์ (คลื่นพาหะ) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้คือ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

4.2.1 การมอดูเลตดิจิทัลทางขนาด (Amplitude Shift Keying; ASK)

ในการมอดูเลตดิจิทัลทางขนาดบางครั้งเรียกว่าOOK (on- off keying) เพราะว่คลื่นพาหะถูก on / off ตามสัญญาณที่เป็น “1” หรือ “0” ถ้าคลื่นพาหะถูกกำหนดโดยสมการที่ 1 ดังนั้นสัญญาณ ASK จะกำหนดได้เป็น

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

$$= 0 \quad ; \text{เมื่อสถานะของบิตเป็น "0"}$$



รูปที่ 4.1 แสดงรูปการมอดูเลตดิจิตอลทางขนาด

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

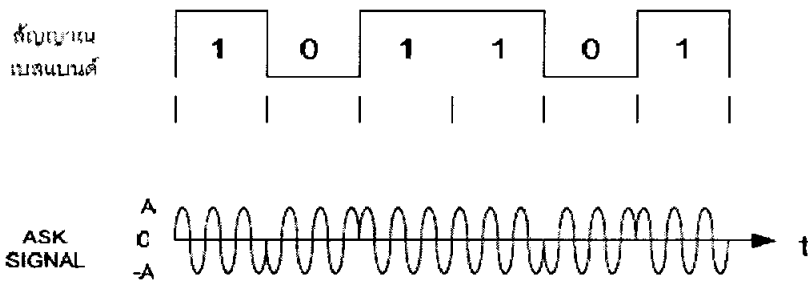
4.2.2 การมอดูเลตดิจิตอลทางเฟส (Phase Shift Keying; PSK)

การมอดูเลตดิจิตอลทางเฟสจะใช้เฟสของสัญญาณอนาล็อกแทนสัญญาณดิจิตอล สัญญาณลอจิก "1" จะให้เฟสของสัญญาณอนาล็อกเฟสหนึ่ง ในขณะที่ขั้วกันสัญญาณลอจิก "0" ก็จะให้เฟสของสัญญาณอนาล็อกอีกเฟสหนึ่ง ถ้าสัญญาณพาหะเป็นคังสมการที่ 1 ดังนั้นสัญญาณ PSK จะกำหนดให้เป็น (ในกรณีที่ส่งครั้งละหนึ่งบิต)

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

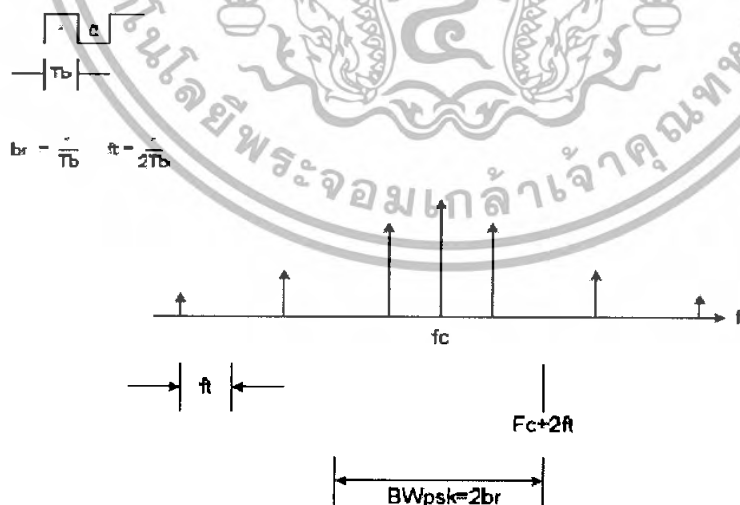


รูปที่ 4.2 แสดงการมอดูเลตดิจิทัลทางเฟส

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

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

เมื่อ V_b แทนค่าสถานะของบิตคือ "1" และ "0" ถ้าคิดให้อัตราเร็วบิตเท่ากันแบบ PSK มีค่าความกว้างแถบน้อยกว่าแบบ FSK (แต่ราคาของวงจร PSK สูงกว่า) เราใช้การมอดูเลตแบบ PSK ในโมเด็มที่มีอัตราเร็วบิตเท่ากับ 2400 บิต/วินาที และ 4800 บิต/วินาที เพราะว่าการมอดูเลตแบบ FSK ไม่สามารถทำได้โดยผ่านเครือข่ายโทรศัพท์



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณในแบบ BPSK

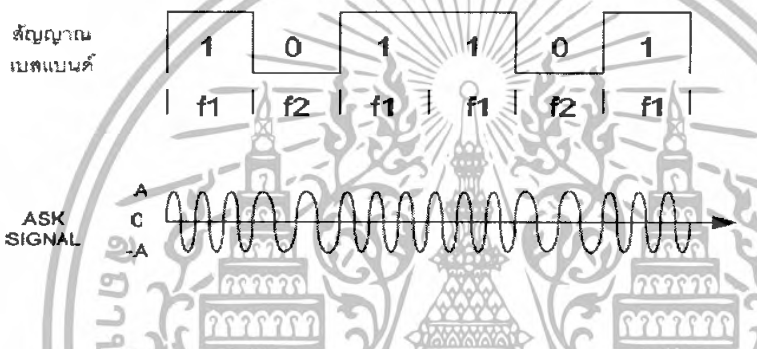
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การมอดูเลตดิจิทัลทางความถี่ (Frequency Shift Keying; FSK)

การมอดูเลตดิจิทัลทางความถี่เมื่อข้อมูลเป็นลอจิก “1” ก็จะได้รับสัญญาณอนาล็อกความถี่หนึ่ง และเมื่อเป็นลอจิก “0” ก็จะได้รับสัญญาณอนาล็อกอีกแบบหนึ่ง ถ้าสัญญาณพาหะเป็นคัมการที่ 1 ดังนั้นกรณีของการมอดูเลตแบบFSK ความถี่ของคลื่นพาหะจะมี 2 ความถี่ เช่น ความถี่ f_1 สำหรับสัญญาณที่เป็นลอจิก “1” และความถี่ f_2 สำหรับสัญญาณที่เป็นลอจิก “0” แสดงสมการข้างล่าง

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

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

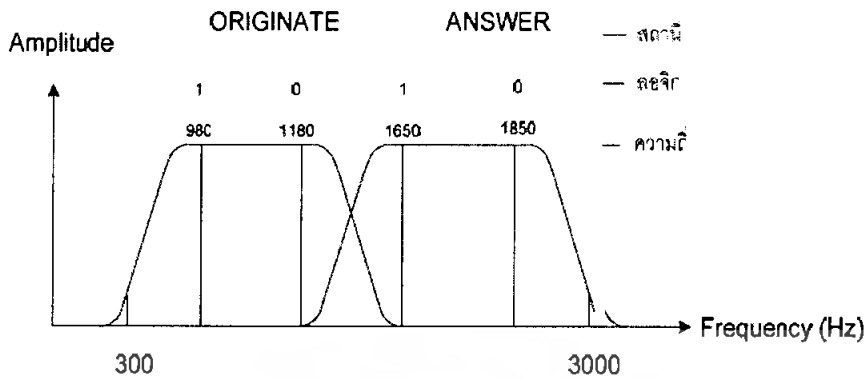


รูปที่ 4.4 แสดงการมอดูเลตทางดิจิทัล

ในการส่งข้อมูลแบบ FSK ที่ใช้งานจริง สมการแบ่งได้ 2 แบบ

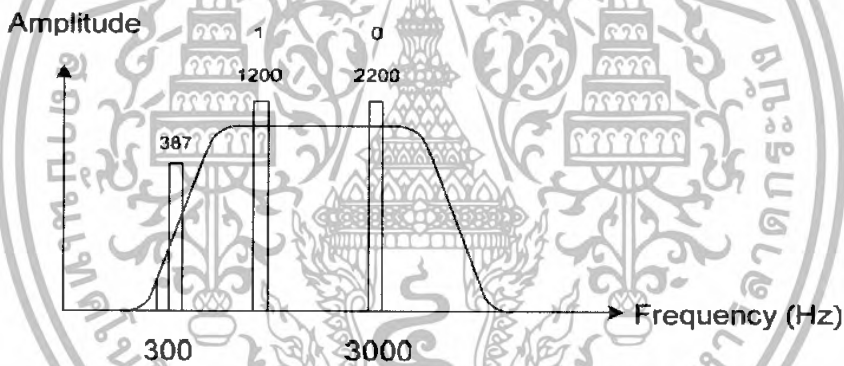
4.2.3.1 ชนิดที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)

การส่งข้อมูลแบบนี้จะแบ่งแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณเสียงออกเป็น 2 แบนด์เท่าๆ กัน โดยแบนด์หนึ่งใช้ในการส่งข้อมูล ส่วนอีกแบนด์หนึ่ง จะใช้ในการรับข้อมูล ทำให้สามารถส่งข้อมูลเข้าไปในสายได้พร้อมๆ กัน ผลตอบสนองความถี่สำหรับการส่งข้อมูลแบบนี้



รูปที่ 4.5 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลทแบบ FSK ในการส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์

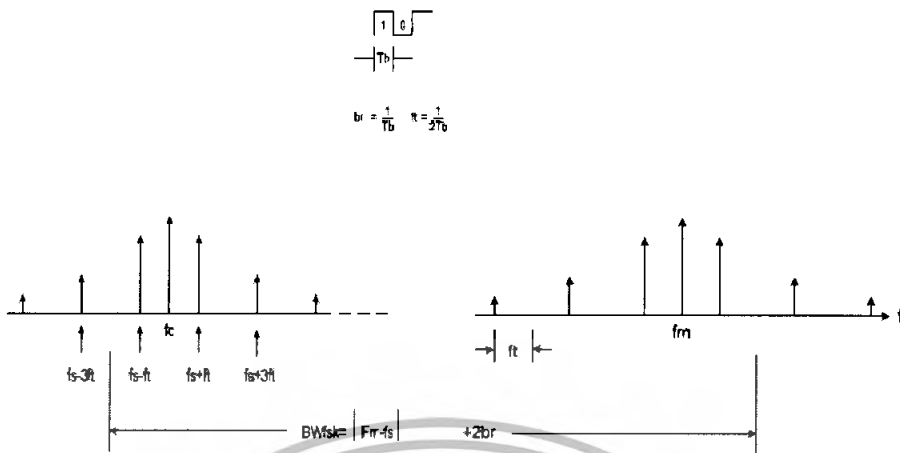
4.2.3.2 ชนิดที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex)



รูปที่ 4.6 ช่องสัญญาณในสายส่งเมื่อใช้การมอดูเลทแบบ FSK

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

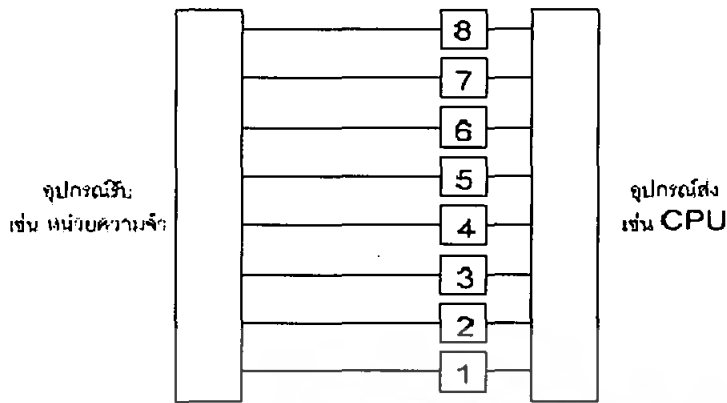
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงการประมาณค่าความกว้างแถบของแบบ FSK

4.3 การรับส่งข้อมูลแบบขนาน (Parallel Transmission)

ลักษณะการส่งข้อมูลแบบขนาน ทำได้โดยการส่งข้อมูลออกมาทีละ 1 ไบต์ คือ 8 บิต จากอุปกรณ์ส่งไปยังอุปกรณ์รับตัวกลางระหว่าง 2 เครื่อง จะต้องมีช่องทางใช้ข้อมูลเดินทางอย่างน้อย 8 ช่องทาง โดยมากจะเป็นสายขนานให้กระแสไฟฟ้าวิ่งมากกว่าจะเป็นตัวกลางชนิดอื่น เนื่องจากมีสัญญาณสูญหายไปกับความต้านทานของสาย ระยะทางระหว่าง 2 เครื่องไม่ควรจะเกิน 100 ฟุต ปัญหาที่เกิดขึ้นหากระยะทางของสายมากกว่านี้ก็คือ ระดับของกราวด์ในทางไฟฟ้าที่จุดรับผิดไปจากจุดส่งทำให้เกิดการผิดพลาด ในการรับสัญญาณลจิกทางฝ่ายรับนอกจากสายที่เป็นทางเดินของข้อมูลแล้วอาจจะมีทางเดินของสัญญาณควบคุมอื่น อีก เป็นต้นว่า บิตที่บอกพาริตีของสัญญาณ เพื่อเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดของการรับสัญญาณที่ปลายทาง หรือสายที่ควบคุมการโต้ตอบ (Hand snake) จะเห็นได้ว่าการส่งแบบขนานส่วนมากจะทำในระยะใกล้ๆ เนื่องจากจะต้องมีช่องทางเดินของสัญญาณมากกว่า 8 สายและอุปกรณ์ที่ติดต่อแบบขนานกับคอมพิวเตอร์ก็เห็นจะได้แก่ เครื่องพิมพ์ดังกล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.8 การส่งข้อมูลแบบขนาน

4.4 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Transmission)

การส่งข้อมูลแบบอนุกรมข้อมูลถูกส่งออกมาทีละบิตระหว่างจุดส่งและจุดรับ จะเห็นว่า การส่งข้อมูลแบบนี้จะช้ากว่าแบบขนาน เพราะตัวกลางการสื่อสารต้องการเพียงช่องเดียวหรือสาย เพียงคู่เดียวค่าใช้จ่ายในสื่อกลางจะต้องถูกกว่าแบบขนานอย่างแน่นอน สำหรับการส่งระยะทางไกลๆ โดยเฉพาะ เมื่อเรามีระบบการสื่อสารทางโทรศัพท์ไว้ใช้งานอยู่แล้วย่อมจะเป็นการประหยัดกว่าที่จะทำการติดตั้งสื่อสารทีละ 8 ช่องแบบขนาน



รูปที่ 4.9 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจากจุดส่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นอนุกรมเสียก่อนแล้วค่อยทยอยส่งออกทีละบิตไปยังจุดรับ ณ จุดที่ได้รับต้องมีกลไกในการเปลี่ยน

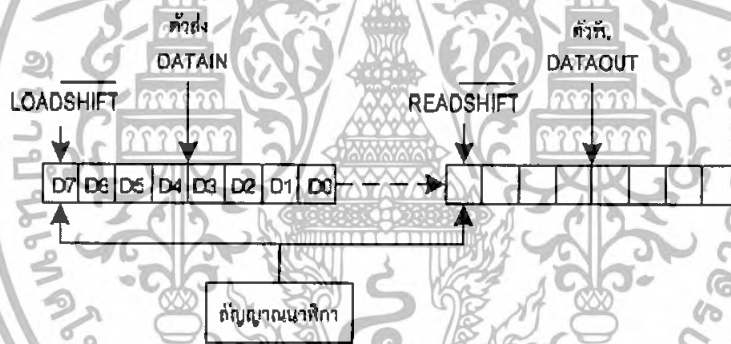
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ส่งมาทีละบิตให้เป็นสัญญาณแบบขนาน ซึ่ง ๖3621 ใช้ตัวพอดีนั่นคือบิต “1” ลงที่ บิตข้อมูลเส้นที่ 1 พอดีการที่จะทำให้แปลงสัญญาณจากอนุกรมทีละบิตให้ลงพอดีนั้นจำเป็นจะต้อง มีลักษณะการส่งที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการผิดพลาดในการรับ ลักษณะการส่งที่เหมาะสมแบ่งเป็น 2 แบบคือ

- การส่งข้อมูลแบบ ซิงโครนัส
- การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

4.4.1 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous Transmission)

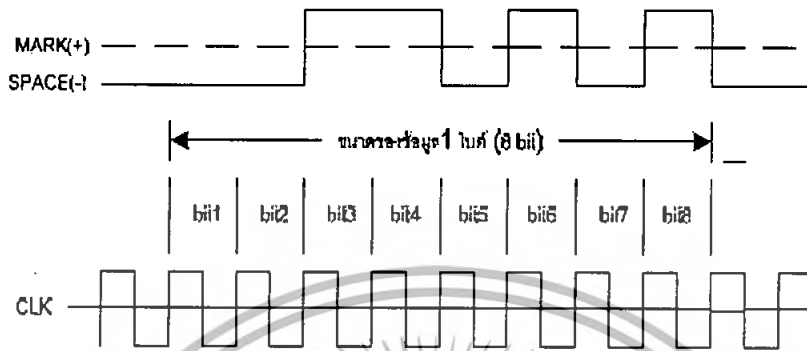
การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการส่งข้อมูลแบบสัมพันธ์ หมายถึง การที่ด้านรับอ่านข้อมูลเข้ามาในจังหวัดเดียวกับภาคส่ง โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกำหนด จังหวะการทำงานของรีจิสเตอร์ทั้งสองให้ทำงานสัมพันธ์กัน วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะติดตั้ง ภายในด้านส่ง



รูปที่ 4.10 แสดงการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

นอกจากนี้เมื่อจังหวะเวลาถูกตั้งให้ซิงค์กับด้านรับแล้ว ข้อมูลที่ถูกส่งไปบนทางติดต่อใน แบบบิตต่อบิตต่อเนื่องกันไปอาศัยช่วงเวลาระหว่างบิตต่อบิตมีค่าเท่ากัน โดยไม่ต้องมีบิตเริ่มหรือ บิตจบคอยกำกับทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลมีสูง นอกจากนี้ทางด้านรับต้องมีวงจรเฟสล็อกคูลูป (PLL) ทำหน้าที่รับข้อมูลจังหวะเวลาจากด้านส่ง และสร้างสัญญาณนาฬิกาขึ้นใหม่ในด้านรับ เพื่อให้เกิดการซิงค์ขึ้นข้อมูลแบบสัมพันธ์นี้จะถูกจัดการให้อยู่ในรูปของชุดข้อมูล(block of data) ที่มีลักษณะพิเศษ คือ ช่วงระยะเวลาระหว่างตัวอักษรด้วยกันจะไม่มี ทำให้การส่งข้อมูลเป็นไป อย่างต่อเนื่อง และข้อเสียคือ การที่ต้องมีสัญญาณนาฬิกาขนานไปกับข้อมูลทำให้ต้องการทาง

ติดต่อช่องที่สองเพิ่ม โดยเฉพาะกรณีระยะทางไกลๆ เป็นการยากมากที่จัดหาทางติดต่อแยกต่างหาก สำหรับสัญญาณพิก้า

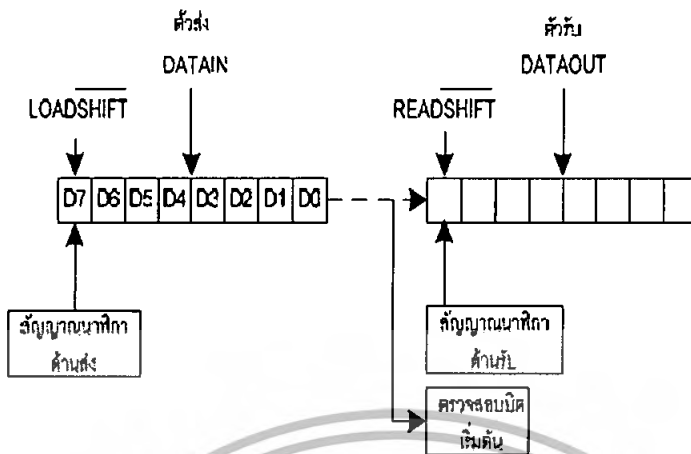


รูปที่ 4.11 แสดงรูปข้อมูลแบบซิงโครนัส

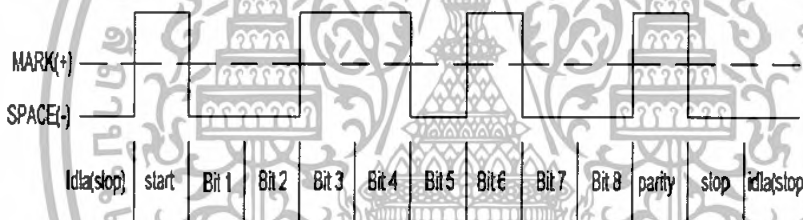
4.4.2 การส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส (Asynchronous Transmission)

การส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส หรือ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการส่งข้อมูลแบบไม่สัมพันธ์ จะแตกต่างกับแบบซิงโครนัส ตรงที่ไม่จำเป็นต้องมีการซิงโครไนส์กันตลอดเวลาบนทางติดต่อข้อมูล โดยจะซิงค์ก็ต่อเมื่อมีข้อมูลที่จะรับหรือส่งเท่านั้น ในการที่จะส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัสการส่งตัวอักษรสามารถเริ่มจากเวลาใดก็ได้เมื่อสายว่าง แต่อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ระบบสามารถที่จะทำงานได้จะต้องมีสถานะบางอย่างที่จะใช้บอกกับเครื่องรับให้รู้ว่า ในช่วงเวลาใดกำลังมีข้อมูลตัวอักษรปรากฏอยู่บนสายสถานะที่ 3651 ใช้บอกนั้นก็คือ บิตเริ่มต้น บิตเริ่มต้นไม่ใช่บิตข้อมูล แต่เป็นสัญญาณควบคุมที่จุดเริ่มต้นสถานะของสายส่งข้อมูลจะเปลี่ยนจาก “1” (Mark) มาเป็น “0” (Space) และถัดจากบิตเริ่มต้นก็จะบิตตัวอักษร ซึ่งจะเป็นเนื้อหาข้อมูลของตัวอักษรแต่ละ ตัวที่ถูกส่งบิตที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด (LSB) จะถูกส่งตามบิตเริ่มต้นออกมา และหลังจากบิตข้อมูลส่งออกมาครบแล้วจะตามด้วยบิตสุดท้าย โดยที่สถานะของสายส่งข้อมูลจะถูกส่งบังคับกลับเป็นมาร์ค (Mark) อีกครั้งหนึ่ง หน้าที่ของบิตสิ้นสุดก็เพื่อบอกการสิ้นสุดของข้อมูลที่รับส่ง โดยมีขนาด 1 - 2 บิต จากการที่กำหนดให้ช่วงเวลาของบิตสิ้นสุด (Stop bit) มีค่าระหว่าง 1-2 บิตก็เพื่อกรณีบิตสุดท้ายของตัวอักษร

ตัวเก่า มีสถานะเป็นสเปซ (Space) “1” แล้วสถานะเริ่มต้นของบิตเริ่มต้นที่ สังเกต จากการเปลี่ยนแปลงสถานะของสายจากมาร์ค (Mark) “0” มาเป็นสเปซ (Space) “1” ก็จะไม่มีความชัดเจน สำหรับรูปสัญญาณในวิธีแบบอซิงโครนัส



รูปที่ 4.12 แสดงการส่งข้อมูลแบบอซิงโครนัส



รูปที่ 4.13 แสดงรูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

เนื่องจากการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสการเพิ่มบิตลงในข้อมูล ทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลช้ากว่าแบบซิงโครนัส การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสเหมาะสำหรับงานประเภทการป้อนข้อมูลเข้าเพื่อส่งมีลักษณะไม่ต่อเนื่องอย่างเช่น จากแป้นพิมพ์ (Key board) ส่วนในการส่งไฟล์ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่หลายๆ ควรใช้วิธีแบบซิงโครนัสบิตเริ่มต้น(Start bit) ในโปรโตคอลของการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส กำหนดให้สถานะมาร์ค (Mark State) เป็นสัญญาณลอจิก 1 เมื่อทางด้านส่งข้อมูลก็ต้องส่งบิตเริ่มต้นโดยแทนด้วยสถานะสเปซ(Space State) หรือสัญญาณลอจิก "0" จำนวน 1 บิตไปก่อนซึ่งจะทำให้ทางด้านรับตีเท็กซ์ (Detect) สถานะของสายส่งได้ว่าขณะนั้นสายส่งกำลังมีข้อมูลส่งมา สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นและมีผลต่อสัญญาณข้อมูลก็คือสไปค์ (Spike) ทำให้สถานะลอจิกของสายส่งมีช่วงเวลาสั้นเกินไป ทำให้ทางด้านรับไม่สามารถตีเท็กซ์สถานะของสายส่งหรือสถานะของบิตเริ่มต้นได้ดังนั้นส่วนใหญ่ทางด้านรับจะมีส่วนของวงจรสไปค์ตีเทคชั่น (Spike

Detection) ซึ่งทำหน้าที่สุ่มจับสัญญาณสถานะของสายส่งด้วยความถี่ของการสุ่มค่าหนึ่งในระหว่าง บิทต่อบิท ซึ่งอาจจะเป็น 2.4 หรือ 16 ครั้งในระหว่าง 1 บิทก็ได้ ดังนั้นสรุปได้ว่า หน้าที่ของบิทเริ่มต้น นั้นจะเป็นตัวบอกข้อมูลเริ่มต้นตรงไหน และเมื่อใช้ร่วมกับบิทหยุด ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปก็จะทำให้ทราบได้ว่าข้อมูลสิ้นสุดตรงไหน โดยความกว้างของบิทเริ่มต้นนี้ จะมีความกว้างเท่ากับ 1 บิทก็ หลังจากที่ได้ันรับสามารถดีเท็กต์สัญญาณบิทเริ่มต้นได้แล้ว ก็จะทำการตรวจสอบสถานะ ของ ชิพรีจิสเตอร์ให้พร้อมที่จะรับข้อมูลได้ โดยบิทของข้อมูลจะมีจำนวนบิทข้อมูลเป็น 5, 6, 7, หรือ 8 บิท ขึ้นกับจำนวนคาร์แรกเตอร์ที่ใช้ดังแสดงตามตารางต่อไปนี้ นอกจากนี้รหัสต่างๆ ที่ใช้อาจจะแทน ด้วย 5 บิท ซึ่งเป็นมาตรฐานของรหัส Buadot โดยประกอบด้วยกลุ่มของคาร์แรกเตอร์ต่างๆ จำนวน 32 คาร์แรกเตอร์และถ้าเป็นรหัส 7 บิท จะประกอบไปด้วยกลุ่มของคาร์แรกเตอร์ จำนวน 128 คาร์แรกเตอร์ ซึ่งเป็นมาตรฐานของรหัส ASCH และใช้กันแพร่หลายมาก นอกจากนี้ยังมีรหัสขนาด 8 บิท หรือ มาตรฐานของรหัส EBCDIC โดยมาตรฐานนี้ประกอบด้วยกลุ่มของคาร์แรกเตอร์ 56 คาร์แรกเตอร์ เป็นต้นบิทพาริตี (Parity bit) บิทนี้จะทำหน้าที่ในการบอกให้ส่วนรับข้อมูลทราบว่าข้อมูลที่รับเข้ามาผิดหรือไม่ (โดยบิทนี้จะทำหน้าที่ในการบอกให้ส่วนรับทราบว่าข้อมูลที่ส่งมาแต่ละไบท นั้น มีจำนวนบิทที่เป็น "1" อยู่เป็นจำนวนคี่ หรือจำนวนคู่ เช่น ข้อมูล 54H = 01010111 จะมีจำนวนบิทที่เป็น "1" อยู่เป็นจำนวนคี่ เป็นต้น ซึ่งบิทที่ใช้ในการตรวจสอบนี้ เราเรียกว่า บิทพาริตี) บิทพาริตีนี้จะถูกส่งออกมาพร้อมกับบิทข้อมูล ซึ่งบิทนี้จะ เป็น "1" หรือ "0" นั้นขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ส่งออกมาว่ามีจำนวนบิทที่เป็น "1" เป็นจำนวนคี่หรือคี่ และยังขึ้นอยู่กับอุปกรณ์รับส่งข้อมูลด้วย ว่าถูกออกแบบไว้ให้รับส่งบิทพาริตีในลักษณะของพาริตี "คู่" หรือ "คี่" อีกด้วย ในกรณีที่อุปกรณ์รับส่งออกแบบไว้ให้เป็นพาริตีคู่ อุปกรณ์ส่งข้อมูลจะทำการส่งพาริตีบิทเป็นลอจิก 1 ออกไปเมื่อจำนวนบิทที่เป็น 1 ของข้อมูลเป็นจำนวนคี่ และจะทำการส่งพาริตีบิทเป็นลอจิก 0 เมื่อจำนวนบิทที่เป็น 1 ของข้อมูลเป็นจำนวนคู่ (คือทำจำนวนบิทที่เป็น 1 ของข้อมูลเมื่อรวมกับพาริตี แล้วเป็นจำนวนคู่นั่นเอง) สำหรับในกรณีของพาริตีคี่ก็เช่นกัน คือ พาริตีบิทจะเป็น 1 ในกรณีที่จำนวน บิทที่เป็น 1 ของข้อมูลเป็นจำนวนคู่และจะเป็น 0 ในกรณีที่จำนวนบิทที่เป็น 1 ของข้อมูลเป็นจำนวนคี่ในที่นี้จะสมมุติว่าอุปกรณ์ถูกออกแบบไว้สำหรับพาริตีคี่ 3588 คู่ และ เราต้องการที่จะส่งข้อมูลออกไปให้กับส่วนรับข้อมูลเป็นจำนวน 2 ไบท คือ 54H และ 55H เมื่อเราส่งข้อมูล 54H ออกไปซึ่งมีจำนวนบิทที่เป็น 1 เป็นจำนวนคี่ ดังนั้นในกรณีนี้ อุปกรณ์ส่งข้อมูลก็จะทำการส่งพาริตีบิทออกเป็นลอจิก 1 ตามออกมาด้วยเพื่อให้จำนวนบิทที่เป็น 1 ของข้อมูล (54H) รวมกับพาริตีบิทแล้วได้เป็นจำนวนคู่ส่วนข้อมูล (55H) จำนวนบิทที่เป็น 1 นั้นจำนวนคู่อยู่แล้ว ดังนั้นอุปกรณ์ส่งข้อมูลก็จะส่งพาริตีบิทเป็น 0 ให้กับส่วนรับข้อมูล สำหรับส่วนรับข้อมูลนั้น เมื่อรับเข้ามาแล้วก็จะตรวจสอบสัญญาณว่าจำนวนบิทที่เป็น 1 ของข้อมูลรวมกับพาริตีบิทนั้นเป็นจำนวนคู่หรือไม่ ถ้าหากว่าเป็นจำนวนคี่ ก็แสดงว่าข้อมูลที่ได้รับการรับเข้ามานี้ก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความผิดพลาดเกิดขึ้นสิ่งสำคัญอีกสิ่งหนึ่งก็คือ ถ้าอุปกรณ์ส่งข้อมูลทำการส่งในลักษณะพาริตีคู่ หรือที่ก็ตามส่วนรับข้อมูลก็ต้องทำการรับในลักษณะพาริตีเดียวกับอุปกรณ์ส่งข้อมูลด้วย เช่น ในกรณีที่อุปกรณ์ส่งข้อมูลทำการส่งข้อมูลในลักษณะพาริตีคู่ อุปกรณ์การส่งข้อมูลก็จะต้องทำการรับข้อมูลในลักษณะของพาริตีคู่ด้วยเป็นต้น บิตสิ้นสุดข้อมูล (Stop bit)บิตสุดท้ายที่เพิ่มเข้าไปนี้ จะใช้ในการตรวจสอบจุดสิ้นสุดของข้อมูลบิตนี้จะถูกเพิ่มเข้าไป หลังพาริตีบิต ถ้าอุปกรณ์รับข้อมูลตรวจสอบไม่พบบิตนี้ ก็แสดงว่าข้อมูลที่รับเข้านั้นเกิดข้อผิดพลาดขึ้นมาในแต่ละบิตนั้นไม่ใช่มีแต่ข้อมูล 8 บิต (ในกรณีที่ 1 ไบท์ มี 8 บิต)เท่านั้น แต่อาจจะได้ถึง 12 บิต หรือมากกว่าก็ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

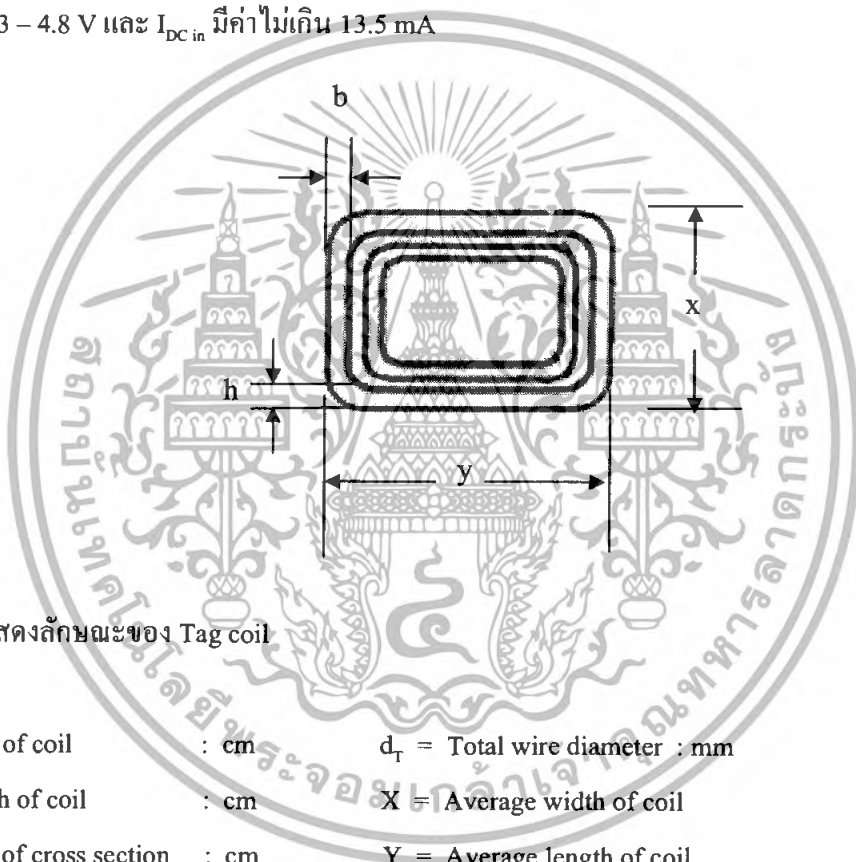
การออกแบบและการคำนวณ READER AND TAG

ส่วนของ READER

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

Tag coil เป็น Rectangular loop ขนาดประมาณ (5×8) cm² จำนวน 1 ถึง 5 รอบ มีค่า wire bare (d) = 0.36 mm, total dimensions = 0.4 mm ใช้งานที่ความถี่ 13.56 MHz มีค่า

$V_{DC\ in} = 4.3 - 4.8$ V และ $I_{DC\ in}$ มีค่าไม่เกิน 13.5 mA



รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะของ Tag coil

x = width of coil	: cm	d_r = Total wire diameter	: mm
y = Length of coil	: cm	X = Average width of coil	
b = width of cross section	: cm	Y = Average length of coil	
h = height of cross section	: cm	h = d_r (single layer)	

Step 1 หาค่าของ L_{Tag}

X : Average width of coil = 5 cm

Y : Average length of coil = 8 cm

b : width of cross section จะได้ $b = nd_r + (n-1)0.1$: mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า b ที่ n = 1 ถึง n = 5 จะได้

n	1	2	3	4	5
b (cm)	0.04	0.09	0.14	0.19	0.24

จากสมการที่ 27 Inductance of N – Turn Rectangular Coil with multilayer ของ AN710 Antenna circuit design for RFID application หน้าที่ 12 ของ Microchip คือ

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

เมื่อ $C = x + y + 2h$

จะได้ $C = 5 + 8 + 2(0.04) = 13.08 \text{ cm}$

$h = \text{coil height} = 0.1488 \text{ mm} = 0.015 \text{ cm}$

หา L_s ที่ n = 1 ถึง n = 5 จะได้

n	1	2	3	4	5
L_s (uH)	0.1836	0.7218	1.57	2.791	4.29

STEP 2 หาค่า r_s (AC), r_p (AC), ของ coil

l_T : ความยาวของลวดทั้งหมด ประมาณ $2n(x+y)$

หา l_T ที่ n = 1 ถึง n = 5 จะได้

n	1	2	3	4	5
l_T (cm)	26	52	78	104	130

$$A : \text{Cross section Area ของลวด } A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (0.36 \times 10^{-3})^2}{4} = 101.787 \times 10^{-9} \text{ m}^2$$

จากสมการที่ 13 DC Resistance of Wire ของ AN710 Antenna circuit design for RFID application หน้าที่ 6 ของ Microchip คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$r_{dc} = \frac{\rho l_T}{A}$$

ดังนั้นหา r_{dc} ที่ l_T ตั้งแต่ $n=1$ ถึง $n=5$ จะได้

n	1	2	3	4	5
$r_{dc} (\Omega)$	0.04597	0.09195	0.1379	0.18391	0.2298

จากสมการที่ 15 The skin depth for a copper wire ของ AN710 Antenna circuit design for RFID application หน้าที่ 6 ของ Microchip คือ

$$\delta : \text{Skin depth} = \frac{1}{\sqrt{f\pi\mu\sigma}}$$

เมื่อแทนค่าตามสมการจะได้ $\delta = 17.923 \times 10^{-6} \text{ m}$

Bare wire dimension ของขดลวด (d) = $360 \times 10^{-6} \text{ m}$

$$d > 2\delta$$

A_{AC} ของขดลวด ประมาณ $\frac{\pi}{4} [d^2 - (d - 2\delta)^2]$

เมื่อแทนค่าต่างๆ จะได้

$$A_{AC} = \frac{\pi}{4} \left\{ (360 \times 10^{-6})^2 - [(360 \times 10^{-6}) - 2(17.923 \times 10^{-6})]^2 \right\} = 1.926 \times 10^{-8} \text{ m}^2$$

จากสมการที่ 16 The wire resistance increases with frequency, and the resistance due to the skin depth is called an AC resistance ของ AN710 Antenna circuit design for RFID application หน้าที่ 6 ของ Microchip คือ

$$r_{sAC} = \frac{\rho l_T}{A_{AC}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นหา r_{SAC} ที่ L_{Tn} ตั้งแต่ $n=1$ ถึง $n=5$ จะได้

n	1	2	3	4	5
$r_{SAC} (\Omega)$	0.2429	0.4859	0.7289	0.9719	1.2149

จากสมการที่ 52 The quality factor Q ของ AN710 Antenna circuit design for RFID application หน้าที่ 6 ของ Microchip

คือ
$$Q = \frac{\text{Energy stored in the system per one cycle}}{\text{Energy Dissipated in the system per one cycle}}$$

$$= \frac{\text{reactance}}{\text{resistance}}$$

จะได้ว่า

$$Q_U = \frac{2\pi f L_S}{r_{SACn}}$$

ดังนั้นหาค่า Q_U ตั้งแต่ $n=1$ ถึง $n=5$ จะได้

n	1	2	3	4	5
Q_U	64.399	126.56	183.51	2.44.668	300.854

จาก

$$r_{PAC} = r_{SAC} (1 + Q_U^2)$$

ดังนั้นหาค่า r_{PAC} ตั้งแต่ $n=1$ ถึง $n=5$ จะได้

n	1	2	3	4	5
$r_{PAC} (k\Omega)$	1.007	7.783	24.547	58.181	109.96

STEP 3 หาค่า C_p (Resonant), R_{LAC} , R_{TOT} , Q_L , NQ_L

$$V_{DCin \min} = V_o + 1.7 = 6.576 \text{ V} \text{ และ } \Delta V_{DCin} = 0.1 V_{rms}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_{1BP} \frac{I_{TAG}}{F_r \Delta V_{DCin}} = \frac{13.5 \times 10^{-3}}{2(13.56 \times 10^6)(0.1)} = 4.97 \text{ nF}$$

จาก C_{1B} ทำการปัดให้เป็น $C_1 = 10 \text{ nF}$

ดังนั้น
$$\Delta V_{DCin} = \frac{I_{TAG}}{F_r C_1} = \frac{13.5 \times 10^{-3}}{2(13.56 \times 10^6)(10 \times 10^{-9})} = 0.05 \text{ V}$$

$$V_{DCin} = V_{DCinmin} + \Delta V_{DCin}$$

$$V_{DCin} = 6.576 + 0.5(0.05) = 6.601 \text{ V}$$

$$P_{DCin} = V_{DCin} \times I_{TAG} = P_{TAG} = P_{AC} = \frac{V_{ACrms}^2}{R_{LAC}}$$

$$P_{TAGDC} = 6.601 \text{ V} \times 13.5 \text{ mA} = 89.11 \text{ mW} = P_{TAGAC}$$

$$V_{ACpk} = V_{DCinmin} + \Delta V_{DCin} + 2V_F = 6.576 + 0.05 + 1.5 = 8.126 \text{ V}$$

$$V_{ACrms} = \frac{V_{ACpk}}{\sqrt{2}} = \frac{8.126}{\sqrt{2}} = 5.7459 \text{ V}$$

$$R_{LAC} = \frac{V_{ACrms}^2}{P_{DCin}} = \frac{(5.7459)^2}{89.11 \times 10^{-3}} = 370.5 \text{ } \Omega$$

$R_{TOT} = r_p // R_{LAC}$ โดยที่ r_p ตั้งแต่ $n=1$ ถึง $n=5$ จะได้

n	1	2	3	4	5
$R_{TOT} (\Omega)$	270.33	353.66	364.99	368.15	369.25

จากสมการที่ 46 The resonant capacitance ของ AN710 Antenna circuit design for RFID application หน้าที่ 22 ของ Microchip คือ

$$C_p = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L_{TAGn}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นหาค่า C_p โดยที่ L_{TAGn} ตั้งแต่ $n = 1$ ถึง $n = 5$ จะได้

n	1	2	3	4	5
C_p (pF)	750.32	190.85	87.74	49.35	32.11

จากสมการที่ 51 Bandwidth of the circuit ของ AN710 Antenna circuit design for RFID application หน้าที่ 22 ของ Microchip คือ

$$BW = \frac{1}{2\pi C_{pn} R_{TOTn}}$$

ดังนั้นหาค่า BW ได้ โดยที่ C_{pn} และ R_{TOTn} ตั้งแต่ $n = 1$ ถึง $n = 5$ จะได้

n	1	2	3	4	5
BW (1×10^6)	0.78465	2.361	4.96	8.76	13.42

จากสมการที่ 43 Quality factor of the circuit ของ AN710 Antenna circuit design for RFID application หน้าที่ 22 ของ Microchip คือ

$$Q_L = \frac{f_{pk}}{BW_n}$$

ดังนั้นหาค่า Q_L ได้ โดยที่ BW_n ตั้งแต่ $n = 1$ ถึง $n = 5$ จะได้

n	1	2	3	4	5
Q_L	17.28	5.743	2.73	1.547	1.010

และจะได้ค่าของ NQ_L ของวงจรจับ Reader coil โดยที่ NQ ตั้งแต่ $n = 1$ ถึง $n = 5$ ได้

n	1	2	3	4	5
NQ_L	17.28	11.48	8.19	6.188	5.050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำผลการคำนวณหาค่า $(NI)_{rms}$ ของ Reader ทั้งหมดมาสรุปได้ดังนี้

n	1	2	3	4	4
b (cm)	0.04	0.09	0.14	0.19	2.4
L_s (uH)	0.1836	0.7218	1.57	2.791	4.29
l_r (cm)	26	52	78	104	130
r_{dc} (Ω)	0.04597	0.09195	0.13793	0.18391	0.2298
r_{SAC} (Ω)	0.2429	0.4859	0.7289	0.9719	1.2149
Q_U	64.399	126.56	183.51	244.668	300.854
r_{PAC} (k Ω)	1.007	7.783	24.547	58.181	109.96
R_{TOT} (Ω)	270.33	353.66	364.99	368.15	369.25
C_p (pF)	750.32	190.85	87.74	49.35	32.11
BW (1×10^6)	0.78465	2.361	4.96	8.76	13.42
Q_L	17.28	5.743	2.73	1.547	1.010
NQ_L	17.28	11.486	8.19	6.188	5.050

STEP 4 หาค่าของ $(NI)_{rms}$ ของ Reader coil

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

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

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

$$a = \text{Radius ของ Reader coil ซึ่งใช้ Reader coil ขนาด (3x6) in}^2 \text{ จะได้ } a = \frac{3 \text{ in}}{2} = 38.115 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$\cos \alpha$ กำหนดให้เท่ากับ 0.9 เพื่อเป็น margin

$V_{TAG(rms)}$ กำหนดให้ หรือ ประมาณ 6.25 V_{rms}

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

$$r = 0.03 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

จากการพิจารณาเลือกค่า N_{QL} ที่ $n = 3$ จะได้ค่า $N_{QL} = 8.19$ เมื่อแทนค่าตามสมการจะได้

$$(NI_{rms})_{reader} = \frac{(2)(6.25)[(38 \times 10^{-3})^2 + (0.03)^2]^{1.5}}{2\pi(13.56 \times 10^6)(0.9)(4\pi \times 10^{-9})(38 \times 10^{-3})^2(8.19)} = 0.311 A_{rms}$$

5.2 การคำนวณหาจำนวนรอบของ Reader coil

เนื่องจากในโปรเจกต์นี้ใช้ความถี่ในการทำงานที่ 13.56 MHz Continuous Mode และเราจะเลือกใช้จำนวนรอบของ TAG เท่ากับ 3 รอบ หรือ $N_{TAG} = 3$ เพื่อให้ $N_{TAG} > N_{reader}$ เพื่อต้องการผลของ Load Modulation จะมาปรากฏได้ชัดเจนกว่าในกรณี $(NI)_{reader} > N_{TAG}$ จากที่เราคำนวณไว้แล้วในตอนการหาค่า (NI) ของ Reader coil เราจะได้ค่าของ $(NI)_{reader} = 0.311 A_{rms}$

- 1) ดังนั้นในการพัน Reader coil จะพัน Reader coil ขนาด $(3 \times 6) \text{ in}^2$ เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เนื่องจากต้องการที่ความต้องการผลของ Load Modulation ที่ชัดเจน จาก TAG ดังนั้น $N_{TAG} > N_{reader}$ ดังนั้นจึงเลือกใช้ $(NI)_{reader} = 1.833$ รอบ
- 2) ในการทำงานที่ความถี่สูงนั้นเราต้องทำการคำนวณค่าอุปกรณ์ที่เราจะนำมาใช้ที่ความถี่ที่เราจะนำมาใช้งาน ดังนั้น L ของ Reader Coil ต้องทำการคำนวณที่ความถี่ 13.56 MHz ด้วย
 - 2.1) วัดค่า L ของ Reader Coil ที่ความถี่ต่ำ $= L_{Rd}'$
 - 2.2) วัดค่า Self Resonant ของ Reader Coil $= f_{SP}$
 - 2.3) หาค่า parasitic C_p จำนวนได้จาก

$$f_{SP} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{Rd}' C_p}} \text{ Hz}$$

หรือ

$$C_p = \frac{1}{4\pi^2 f_{SP}^2 L_{Rd}'} \text{ F}$$

เมื่อเราวัดค่า $L_{Rd}' = 1.44 \text{ uH}$ และวัดค่าของ $f_{SP} = 56.3 \text{ MHz}$

ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาค่า C_p ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$C_p = \frac{1}{4\pi^2(56.3 \times 10^6)^2(1.44 \times 10^{-6})} = 5.54 \text{ pF}$$

2.4) หาค่าอิมพีแดนซ์ของ Reader Coil ที่ 13.56 MHz : Z_{LRd}

$$Z_{LRd}(f) = \frac{-j}{2\pi f C_p} // j2\pi f L_{Rd} \text{ ที่ } f = 13.56 \text{ MHz}$$

เมื่อแทนค่าตามสมการ Z_{LRd} จะได้

$$Z_{LRd}(13.56 \text{ MHz}) = j130 \ \Omega$$

2.5) จากค่าของ Z_{LRd} จะหาค่าของ L_{Rd} ได้

$$L_{Rd}(13.56 \text{ MHz}) = \frac{|Z_{LRd}(13.56 \text{ MHz})|}{2\pi f}$$

เมื่อเราแทนค่าตามสมการ L_{Rd} จะได้

$$L_{Rd}(13.56 \text{ MHz}) = 1.52 \text{ uH}$$

3) กำหนด Bandwidth (BW) ซึ่งขึ้นอยู่กับ Bit Rate วิธีการ Modulation และ Sub carrier ของ TAG จากทฤษฎี Manchester Coding เราจะพบว่า $BW = 2f_{sub} + 4bit \text{ rate}$ และในโปรเจกต์นี้เราใช้ความถี่ 13.56 MHz Continuous Mode มี sub carrier = 847.5 kHz มี bit rate = 105.9 kbit/sec และเข้ารหัสแบบ ASK ดังนั้นเราจะได้

$$BW = 2.119 \text{ MHz}$$

4) จาก N_{reader} และจำนวนรอบของ Reader Coil N_{reader} จะได้

$$i_{drive} = i_{Rd} = \frac{N I_{reader}}{N_{Rd}} \text{ เมื่อแทนค่าตามสมการจะได้}$$

$$i_{drive} = 0.17 \text{ A}_{rms}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) จากค่า i_{rd} , BW จะนำไปใช้ในการกำหนดค่า P_o ของ PA และวงจร Matching

$$\text{หาค่า } R_L \text{ โดยสมมติ Perfect Match : } R_L = \pi(BW)(L_{rd})$$

$$\text{จะได้ } R_L = \pi(2.119 \times 10^6)(1.52 \times 10^{-6}) = 10.118 \ \Omega$$

$$\text{ดังนั้นจะได้ } P_o = (i_{rd})^2 R_L = 0.29 \text{ W}$$

$$\text{พบว่า } R_2 = \frac{(V_{cc} - V_{CEsat})^2}{1.25P_o} = 223.448 \ \Omega$$

หาค่า Z_o เพื่อทำการ Match $223.44 \ \Omega$ กับ $10.118 \ \Omega$ หรือ $Z_o = \sqrt{(R_2)(R_L)}$

$$\text{จะได้ } Z_o = \sqrt{(223.44)(10.118)} = 47.54 \ \Omega$$

หาค่า Z_1 ในขณะที่ $R_o = 2R_2$, $R_2/2$ ไปใช้ในการคำนวณต่อ $R_1 = Z_o^2/R_o$ ค่าที่น้อยกว่าเกิดจาก $R_o = 2R_2$

$$\text{จะได้ } R_1 = Z_o^2/2R_o = \frac{(47.548)^2}{2(223.448)} = 5.058 \ \Omega$$

จากนั้นจะต้องทำการ Iteration โดยนำค่าที่ได้จากคำนวณจากข้อ 5) แทนค่าในสมการดังนี้

$$Re(Z_1) = R_1, \quad R_{L\text{TOT}} = 2\pi BW - Re\{Z_1\}$$

$$P_o = (i_{rd})^2 R_L, \quad R_2 = \frac{(V_{cc} - V_{CEsat})^2}{1.25P_o}$$

$$Z_o = \sqrt{(R_2)(R_L)}, \quad R_1 = Z_o^2/2R_o$$

เมื่อเราทำการ Iteration จนค่าของ R_1 เกือบคงที่ สามารถสรุปค่าต่างๆ ได้ดังนี้

Iteration	1	2	3	4	5
Re(Z_1) (Ω)	5.058	7.607	6.308	6.963	6.636
$R_{L\text{TOT}}$ (Ω)	15.177	12.629	13.927	13.272	13.6
P_o (W)	0.438	0.364	0.402	0.383	0.393
R_2 (Ω)	147.737	178.02	160.997	168.937	164.86
Z_o (Ω)	47.35	47.415	47.350	47.351	47.352
R_1 (Ω)	7.607	6.308	6.963	6.636	6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถเลือกใส่ค่าให้ตรงกับความเป็นจริง คืออุปกรณ์ต่างที่เรามี ดังนั้นเราเลือกใส่ค่าต่างๆ ดังนี้

$$R_i = 6 \Omega, \quad P_o = 0.4 \text{ W}, \quad Z_o = 47.352 \Omega$$

6) การคำนวณหา Matching

การคำนวณหา L และ C เมื่อเลือกสายส่งไร้การสูญเสียพลังงานที่มีความยาว $(2n-1)\left(\frac{\lambda}{4}\right)$

$$L = \frac{Z_o}{2\pi f} = \frac{47.352}{2\pi(13.56 \times 10^6)} = 0.555 \text{ uH}$$

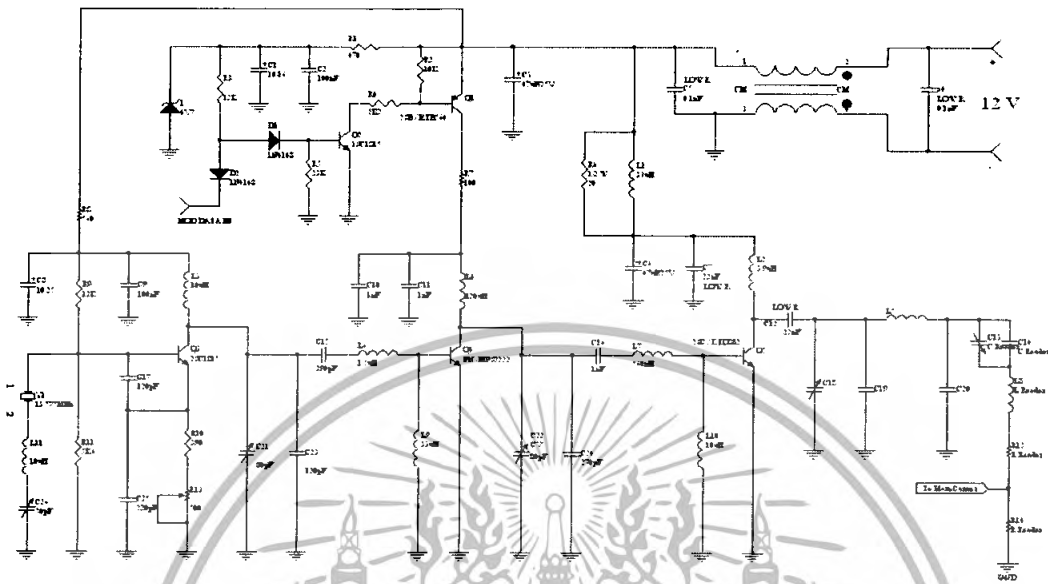
$$C = \frac{1}{2\pi f Z_o} = \frac{1}{2\pi(13.56 \times 10^6)(47.352)} = 247.86 \text{ pF}$$

$$\begin{aligned} |Z_{CS}| = |Z_{LRd}| &= 2\pi f L_{Rd} \\ &= 2\pi(13.56 \times 10^6)(1.52 \times 10^{-6}) \\ &= 129.5 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{1}{2\pi f |Z_{CS}|} = \frac{1}{2\pi(13.56 \times 10^6)(129.5)} \\ &= 90.63 \text{ pF} \end{aligned}$$

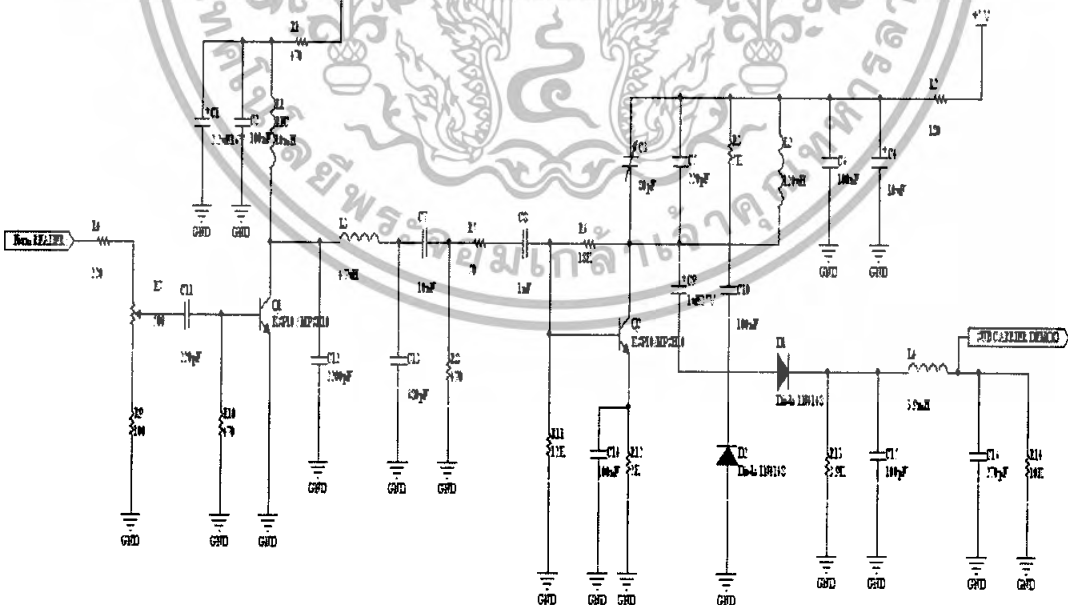
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ส่วนของวงจร Continuous Drive With Modulator



รูปที่ 5.2 แสดงส่วนของวงจร Continuous Drive With Modulator

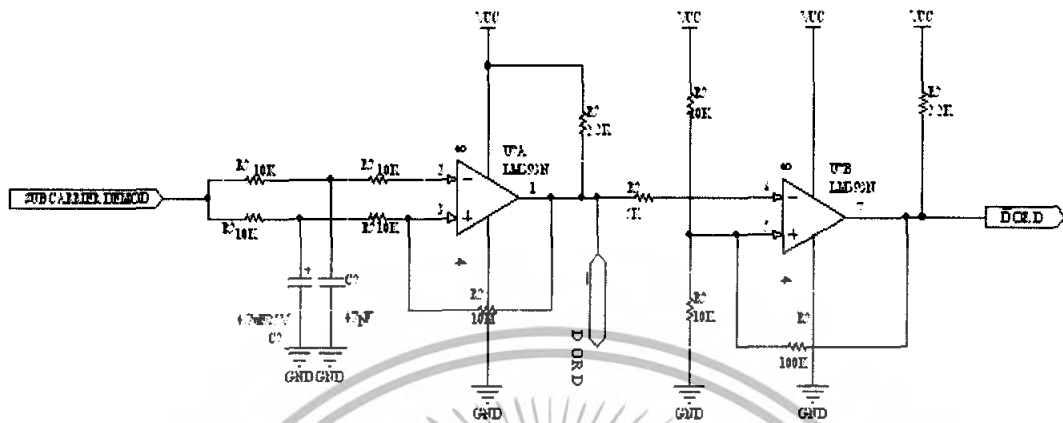
5.4 วงจรส่วนของ Demodulator



รูปที่ 5.3 แสดงวงจรส่วนของ Demodulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 Adaptive Threshold Comparator



รูปที่ 5.4 แสดงวงจรส่วนของ Adaptive Threshold Comparator

ส่วนของ TAG

5.6 ขั้นตอนตอนการออกแบบ TAG REGULATOR

- 1) กำหนดค่า V_o เนื่องจาก BROWN OUT DETECT ของ PIC microcontroller มีค่าประมาณ 4 V ดังนั้น V_o ควรมากกว่า 4 V เนื่องจากในโปรเจกต์นี้ในส่วนของ Tag ทำงานใน Continuous Mode จึงกำหนดให้ $V_o = 4.3$ V

- 2) หาค่า R_3

- 2.1) หาค่า $I_{B1} \text{ MAX}$

$$\text{จาก } I_{B1} \text{ MAX} = \frac{2I_{O \text{ MAX}}}{\beta_1} \text{ เมื่อ } I_{O \text{ MAX}} = 13.50 \text{ mA} \text{ และ } \beta_1 \geq 200$$

$$\therefore I_{B1} \text{ MAX} = \frac{2(13.50 \times 10^{-3})}{200} = 135 \text{ uA}$$

- 2.2) จาก 2.1 จะได้ค่า I_{R3}

- 2.3) คำนวณค่า R_3, B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{คำนวณค่า } R_3 B \text{ ได้จาก } R_3 B = \frac{1V}{(I_{B1MAX} + 40\mu A)}$$

$$\text{จะได้ } R_3 B = \frac{1V}{(135\mu A + 40\mu A)} = 5.714 \text{ k}\Omega$$

ทำการปัดค่า $R_3 B$ ให้เป็นค่า standard จะได้ค่า $R_3 = 5.6 \text{ k}\Omega$

3) คำนวณค่า I_{C2} ใหม่จากค่า R_3 โดยถือว่าแรงดันที่ตกคร่อม $R_3 = 1V$

$$3.1) \quad I_{R3} = \frac{1V}{R_3} = I_{C2min} + I_{B1MAX} = I_{C2MAX}$$

$$I_{R3} = \frac{1V}{5.6 \text{ k}\Omega} = 178.56 \mu A$$

3.2) จาก 3.1 $I_{C2min} = I_{R3} - I_{B1MAX} : (I_{B1MAX} \text{ มาจาก 2.1})$
 I_{C2min} ต้องมากกว่า $20 \mu A$ เนื่องจากได้กำหนดค่า I_{C2min} เพื่อใช้หาค่า R_{B3} ไว้ถึง
 $40 \mu A$ (2 เท่าของ $20 \mu A$) เงื่อนไข $I_{C2min} > 20 \mu A$

4) หาค่า R_1, R_2

4.1) จาก I_{C2min} (จาก 3.2) หาค่าของ V_{BE2}

$$V_{BE2} \approx (26 \times 10^{-3}) \ln \left| \frac{I_{C2min} (A)}{5.911 \times 10^{-15}} \right| \text{ Volt}$$

$$V_{BE2} \approx (26 \times 10^{-3}) \ln \left| \frac{43.571 \times 10^{-6}}{5.911 \times 10^{-15}} \right| = 0.590 \text{ Volt}$$

4.2) จาก 3.1 จะได้ I_{B2MAX}

$$I_{B2MAX} = \frac{I_{C2MAX}}{\beta_{2min}} = \frac{1V}{\beta_{2min} R_3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{B2MAX} = \frac{1}{(400)(5.6 \text{ k}\Omega)} = 0.4464 \text{ uA}$$

$$4.3) \quad R_2B = \frac{1.25 + V_{BE2}}{20 I_{B2MAX}}$$

$$R_2B = \frac{1.25 + 0.590}{20 (0.4464 \times 10^{-6})} = 206.08 \text{ k}\Omega$$

4.4) หาค่าอัตราส่วนของ $R_1/R_2 = K$

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

$$K = \frac{4.8}{(0.590 + 1.25)} - 1 = 1.6086$$

4.5) จาก R_2B และ K บัด R_2B เป็น R_2 และ $R_1B = KR_2$ ในการปิดค่าจะต้องทำให้ $V_o \leq V_{cc}$ ที่ต้องการ ซึ่ง

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

$$V_{o\text{จริง}} \leq \left(1 + \frac{330\text{k}\Omega}{200\text{k}\Omega}\right) (1.25 + 0.590) = 4.876 \text{ Volt}$$

5) หาค่า C_2

เนื่องจากในโปรเจกต์นี้ในส่วนของ Tag ทำงานใน Continuous Mode จึงกำหนดให้ $C_2 = 1 \text{ uF}$

ถ้าพิจารณาในกรณี Worst case t_{off} ในกรณี Reader เป็น 90% Modulation continuous mode $t_{off\text{max}}$ มีค่า

$$t_{off\text{MAX}} = \frac{1}{\text{Bit Rate}_{\text{min}}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ค่าของ } C_2 \text{ จะมีค่า } C_2 \text{ P } \frac{I_{TAG} \times t_{off MAX}}{\Delta V_o}$$

ΔV_o คือ ค่าของ V_o ที่ค่อย ๆ ลดลงจากการ discharge ของ C_2 (จ่ายไฟให้กับวงจร TAG) ให้ $\Delta V_o \approx 0.5 \text{ V}$ จะได้

$$C_2 \text{ P } \frac{(13.5 \times 10^{-3})(755.28 \times 10^{-6})}{0.5} = 20.39 \quad \mu\text{F}$$

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจะใช้ค่าอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

$$R_1 = 330 \text{ k}\Omega,$$

$$R_2 = 200 \text{ k}\Omega$$

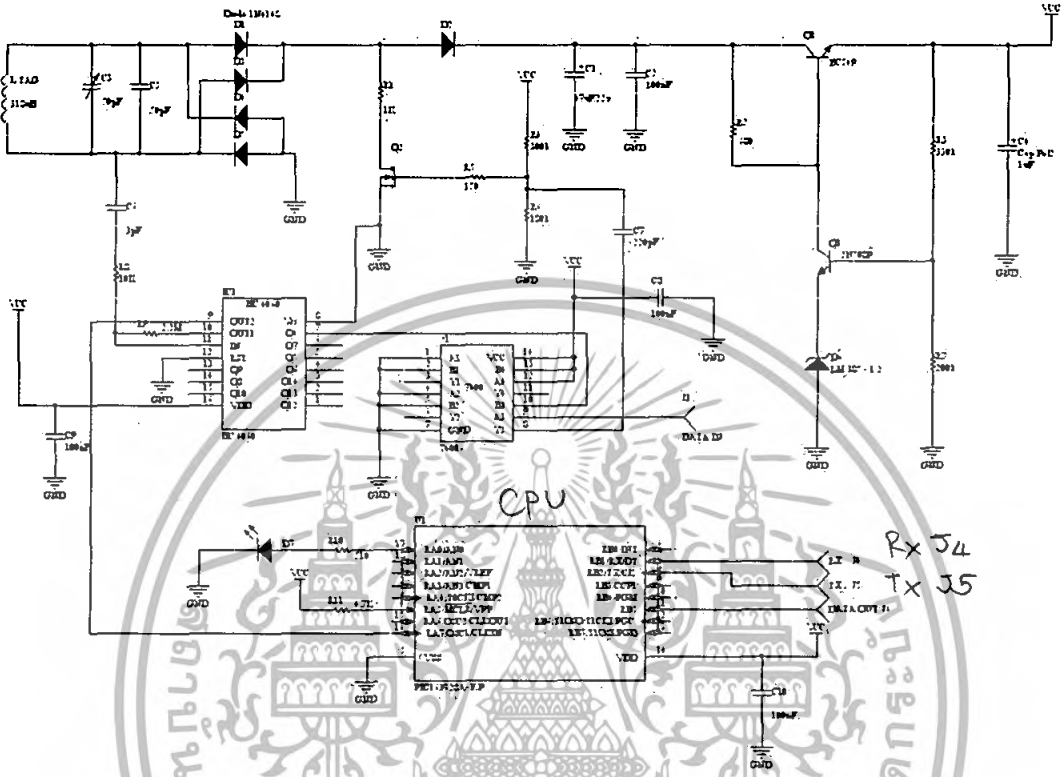
$$R_3 = 5.6 \text{ k}\Omega,$$

$$C_2 = 1 \mu\text{F}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

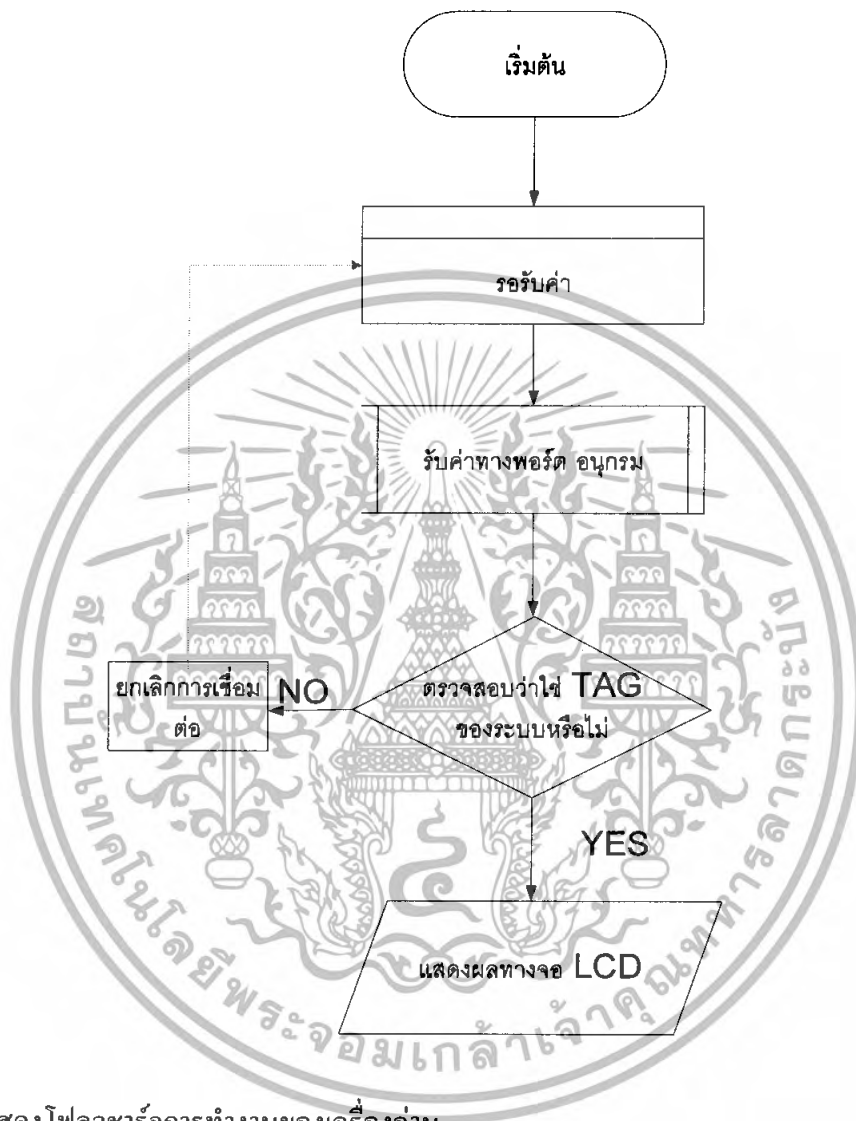
5.7 ส่วนของวงจร TAG



รูปที่ 5.5 แสดงวงจรในส่วนของวงจรของเครื่องลูกข่ายหรือ TAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.2 โฟลวชาร์จการทำงาน of เครื่องอ่าน



รูปที่ 7.2 แสดงโฟลวชาร์จการทำงาน of เครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.3 ส่วนของโปรแกรมของเครื่องอ่าน

```

#include "C:\Program Files\PICC\Projects\ccsc\TEST X.h"
#include <C:\Program Files\PICC\Projects\ccsc\project_rfid_lcd.h>
void main()
{
    char data_in;
    int i=0;
    lcd_init();
    set_tris_a(0x00);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    setup_vref(FALSE);

    while(1)
    {
        while(kbhit())
        {
            data_in=getc();
            // putc(data_in);
            delay_us(10);
            putc(data_in);
            lcd_putc(data_in);

        }
        /*
        set_tris_a(0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
output_high(PIN_A0);  
delay_ms(500);  
output_low(PIN_A0);  
delay_ms(500);
```

```
output_high(PIN_A1);  
delay_ms(500);  
output_low(PIN_A1);  
delay_ms(500);
```

```
}
```

```
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//Header file #include <C:\Program Files\PICC\Projects\ccsc\project_rfid_lcd.h>
/////////////////////////////////////////////////////////////////
//          LCDD.C          //
//          Driver for common LCD modules          //
//          //          //
// // lcd_init() Must be called before any other function. // //
// //          //          //
// // lcd_putc(c) Will display c on the next position of the LCD. // //
// //          The following have special meaning:          // //
// //          \f Clear display          // //
// //          \n Go to start of second line          // //
// //          \b Move back one position          // //
// //          //          //
// // lcd_gotoxy(x,y) Set write position on LCD (upper left is 1,1) // //
// //          //          //
// // lcd_getc(x,y) Returns character at position x,y on LCD // //
// //          //          //
/////////////////////////////////////////////////////////////////
// // (C) Copyright 1996,2007 Custom Computer Services // //
// // This source code may only be used by licensed users of the CCS C // //
// // compiler. This source code may only be distributed to other // //
// // licensed users of the CCS C compiler. No other use, reproduction // //
// // or distribution is permitted without written permission. // //
// // Derivative programs created using this software in object code // //
// // form are not restricted in any way. // //
/////////////////////////////////////////////////////////////////

// As defined in the following structure the pin connection is as follows:
// D0 enable
// D1 rs

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// D2 rw
// D4 D4
// D5 D5
// D6 D6
// D7 D7
//
// LCD pins D0-D3 are not used and PIC D3 is not used.

// Un-comment the following define to use port B
// #define use_portb_lcd TRUE

struct lcd_pin_map {
    // This structure is overlaid
    BOOLEAN enable; // on to an I/O port to gain
    BOOLEAN unused; // access to the LCD pins.
    BOOLEAN rw; // The bits are allocated from
    BOOLEAN rs; // low order up. ENABLE will
    int data : 4; // be pin B0.
} lcd;

#locate lcd = getenv("sfr:PORTB")
#define set_tris_lcd(x) set_tris_b(x)

#ifndef lcd_type
#define lcd_type 2 // 0=5x7, 1=5x10, 2=2 lines
#endif

#define lcd_line_two 0x40 // LCD RAM address for the second line

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BYTE const LCD_INIT_STRING[4] = {0x20 | (lcd_type << 2), 0xc, 1, 6};
    // These bytes need to be sent to the LCD
    // to start it up.

    // The following are used for setting
    // the I/O port direction register.

struct lcd_pin_map const LCD_WRITE = {0,0,0,0,0}; // For write mode all pins are out
struct lcd_pin_map const LCD_READ = {0,0,0,0,15}; // For read mode data pins are in

void lcd_send_nibble( BYTE n ) {
    lcd.data = n;
    delay_cycles(1);
    delay_us(10);
    lcd.enable = 1;
    delay_us(2);
    lcd.enable = 0;
}

void lcd_send_byte( BYTE address, BYTE n ) {

    lcd.rs = 0;
    lcd.rs = address;
    delay_cycles(2);
    delay_us(10);
    lcd.enable = 0;
    lcd_send_nibble(n >> 4);
    lcd_send_nibble(n & 0xf);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

void lcd_init() {
    BYTE i;
    // set_tris_lcd(LCD_WRITE);
    set_tris_b(0x06);
    lcd.rs = 0;
    lcd.enable = 0;
    delay_ms(15);
    for(i=1;i<=3;++i) {
        lcd_send_nibble(3);
        delay_ms(5);
    }
    lcd_send_nibble(2);
    for(i=0;i<=3;++i)
        lcd_send_byte(0,LCD_INIT_STRING[i]);
}

void lcd_gotoxy( BYTE x, BYTE y) {
    BYTE address;

    if(y!=1)
        address=lcd_line_two;
    else
        address=0;
    address+=x-1;
    lcd_send_byte(0,0x80|address);
}

void lcd_putc( char c) {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

switch (c) {
    case '\f' : lcd_send_byte(0,1);
                delay_ms(2);
                break;
    case '\n' : lcd_gotoxy(1,2);    break;
    case '\b' : lcd_send_byte(0,0x10); break;
    default  : lcd_send_byte(1,c);  break;
}
}

//Header file #include "C:\Program Files\PICC\Projects\ccsc\TEST X.h"
#include <16F628A.h>
#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES HS              //High speed Osc (> 4mhz)
#FUSES NOPUT          //No Power Up Timer
##FUSES NOPROTECT     //Code not protected from reading
##FUSES NOBROWNOUT    //No brownout reset
##FUSES NOMCLR        //Master Clear pin used for I/O
##FUSES NOLVP         //No low voltage prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18) used for I/O
##FUSES NOCPD         //No EE protection

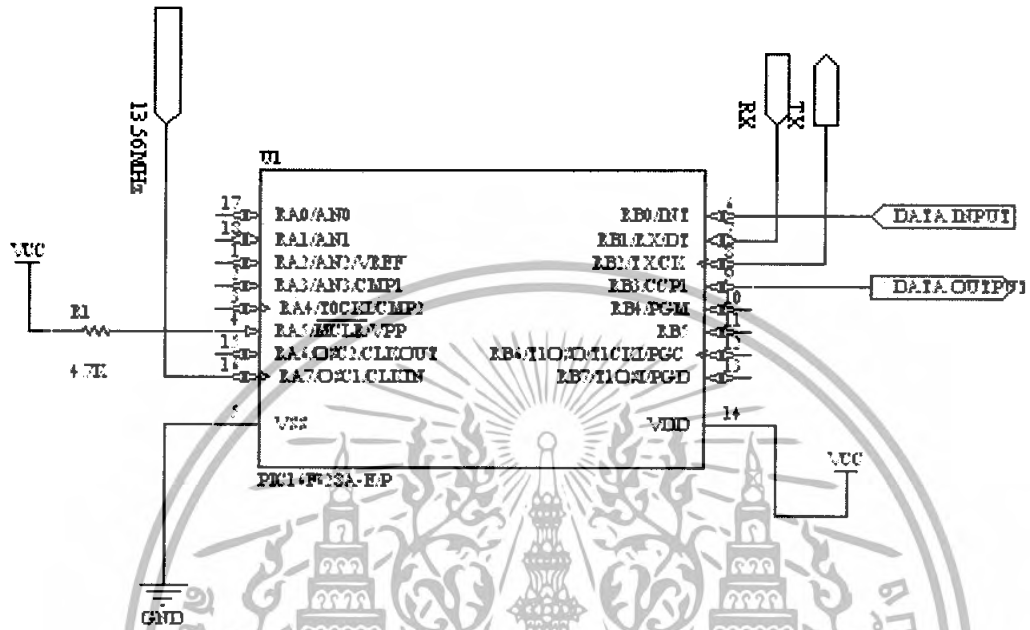
#use delay(clock=2000000)
#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_B2,rcv=PIN_B1,PARITY=N,BITS =8)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 เครื่องลูกข่าย

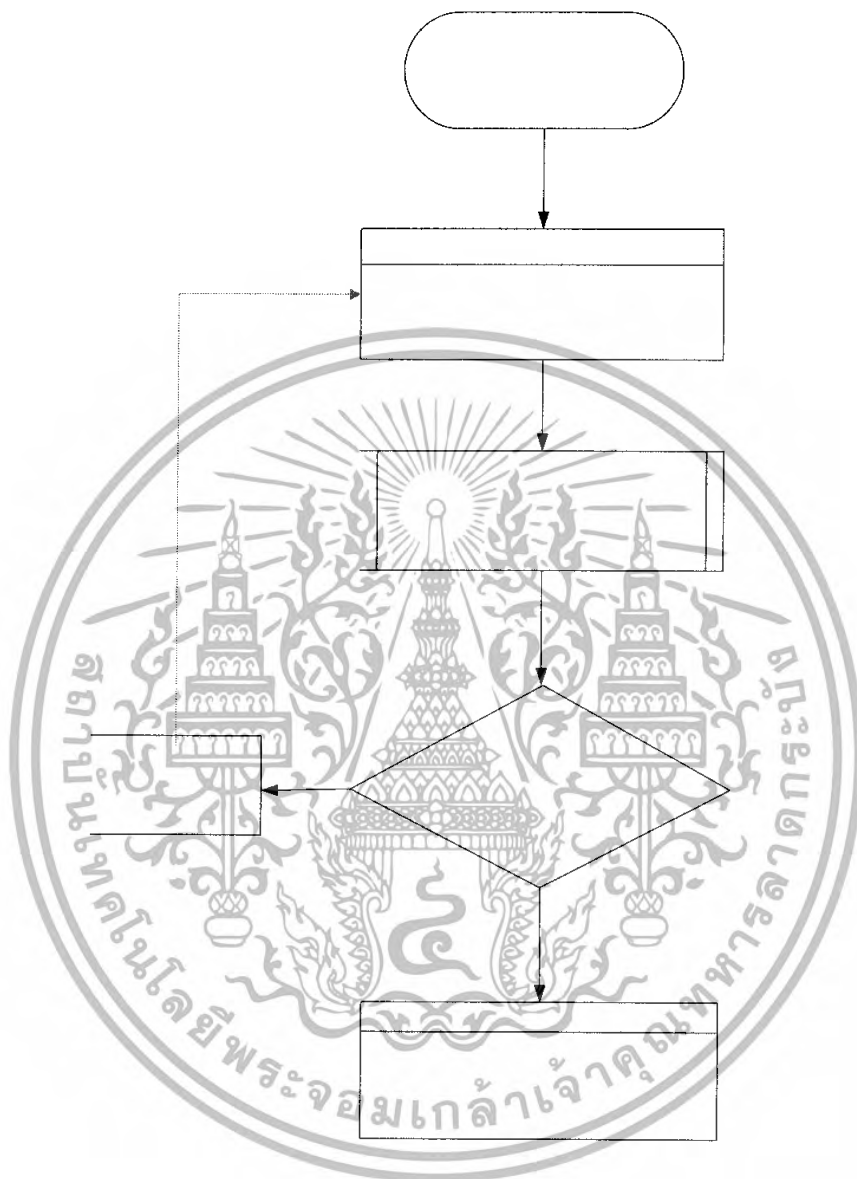
7.2.1 ส่วนของวงจรลูกข่าย



รูปที่ 7.3 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.2 โฟลวชาร์ตการทำงานของเครื่องถูกข่าย



รูปที่ 7.4 แสดงโฟลวชาร์ตการทำงานของเครื่องถูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.3 ส่วนของโปรแกรมของเครื่องถูกถ่าย

```

#include "C:\Program Files\PICC\Projects\RFID>tag.h"
#include <C:\Program Files\PICC\Projects\ccsc\project_rfid_lcd.h>
// #include <C:\Program Files\PICC\Projects\ccsc\test x.h>

void main()
{
    char text_to_send;
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    setup_vref(FALSE);
    lcd_init();
    // delay_ms(1000);
    while(1)
    {
        delay_us(1000);
        putc('H');
        putc('L');
        putc('I');
        putc('M');

        // delay_ms(1000);

        output_high(PIN_A0);
        delay_ms(100);
        output_low(PIN_A0);
        delay_ms(100);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
output_high(PIN_A1);  
delay_ms(1000);  
output_low(PIN_A1);  
delay_ms(1000);  
putc('\f');  
}  
}
```



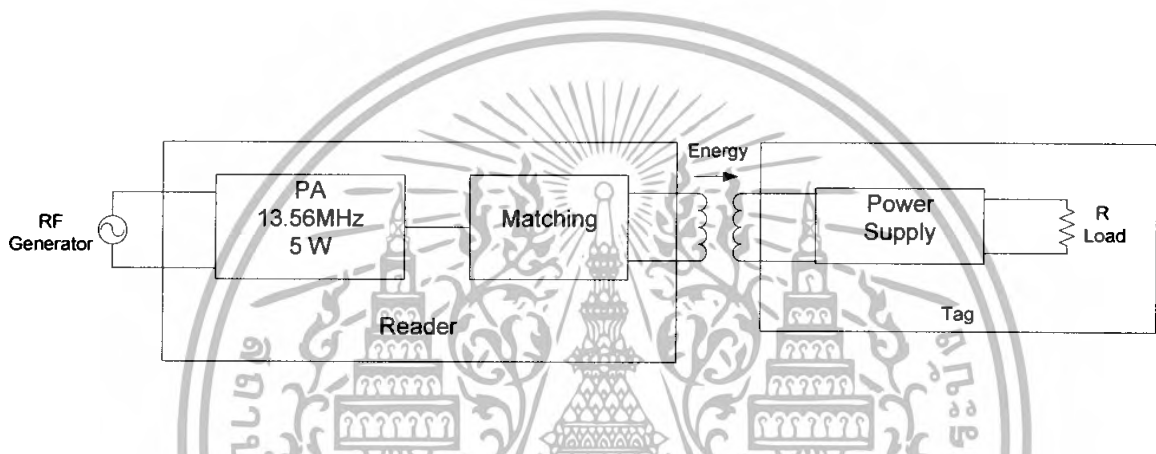
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

ผลการทดลอง

8.1 ผลการทดลองในส่วนของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องถูกข่าย

ในการทดลองส่วนนี้จะเป็นการทดลองของวงจร READER กับของวงจรภาคจ่ายไฟ ของเครื่องถูกข่าย ว่าที่เครื่องถูกข่ายจะสามารถรับพลังงานจากการเหนี่ยวนำจากเครื่องอ่านได้เป็นกำลังงานที่ระยะห่างของขดลวดเครื่องอ่านกับขดลวดของเครื่องรับ ที่ระยะต่างๆ โดยใช้วงจรที่ได้ทำการออกแบบไว้ในบทที่ 5 เรื่องการออกแบบภาคจ่ายไฟของเครื่องถูกข่าย ซึ่งสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 6.1

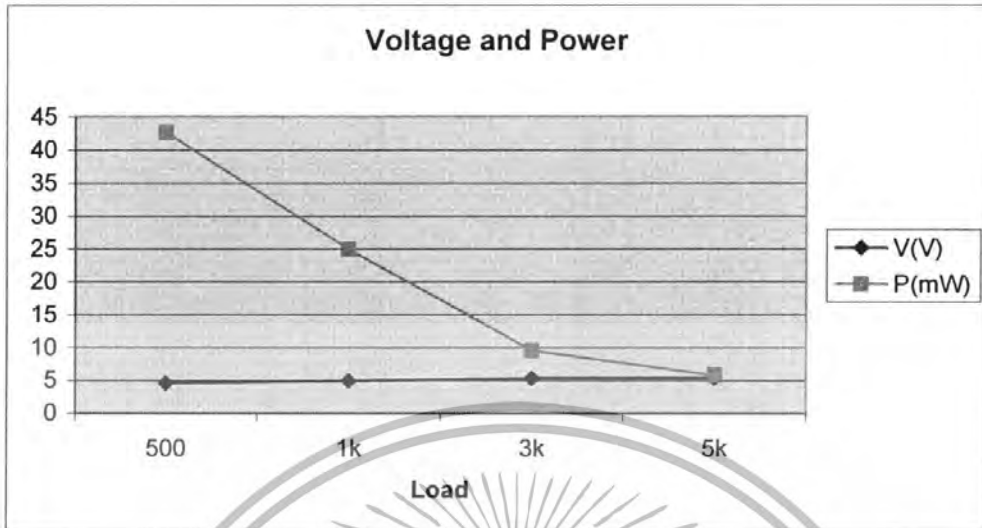


รูปที่ 8.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการทดสอบการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องถูกข่าย

ตารางที่ 8.1 แสดงผลพลังงานของเครื่องถูกข่ายที่ระยะ 0 cm

$R_L(\Omega)$	V(V)	I(mA)	P(mW)
500	4.62	9.24	42.69
1k	5.00	5.00	25.00
3k	5.37	1.79	9.61
5k	5.40	1.08	5.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

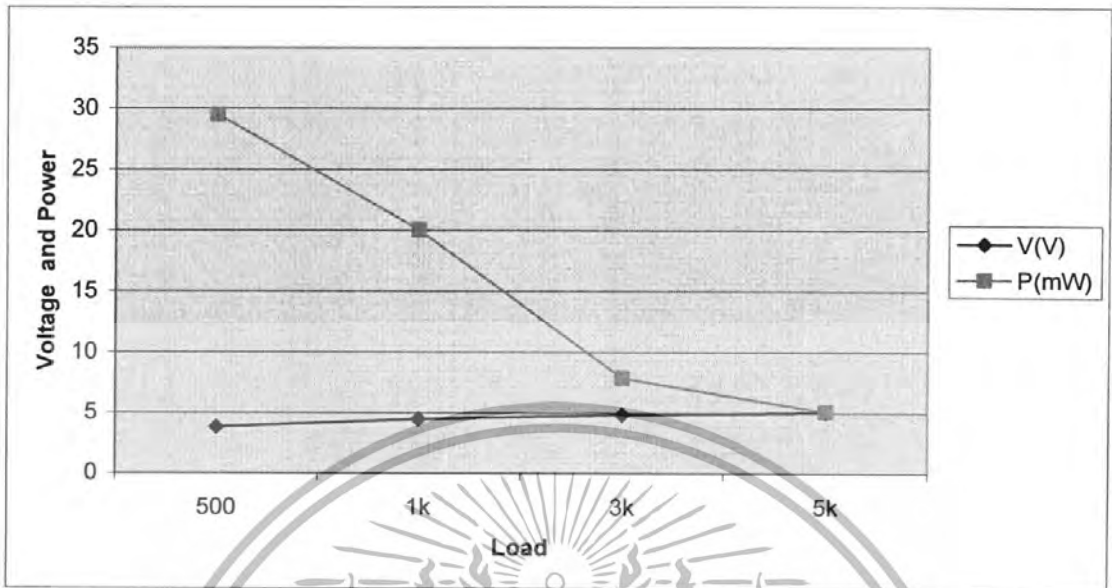


กราฟแสดงผลพลังงานของเครื่องลูกข่ายที่ระยะ 0 cm

ตารางที่ 8.2 แสดงผลพลังงานของเครื่องลูกข่ายที่ระยะ 1 cm

$R_L(\Omega)$	V(V)	I(mA)	P(mW)
500	3.84	7.68	29.5
1k	4.48	4.48	20.07
3k	4.86	1.62	7.87
5k	5.05	1.01	5.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

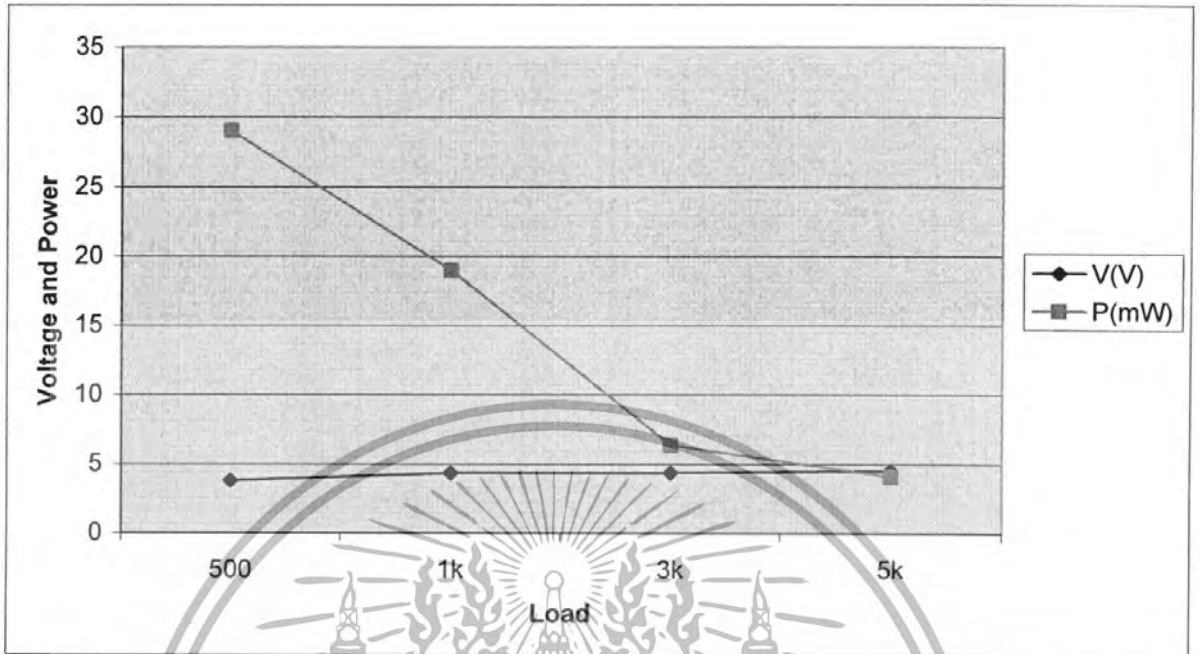


กราฟแสดงผลพลังงานของเครื่องถูกขยับที่ระยะ 1 cm ที่โหลดต่างๆ

ตารางที่ 8.3 แสดงผลพลังงานของเครื่องถูกขยับที่ระยะ 2 cm

$R_L(\Omega)$	V(V)	I(mA)	P(mW)
500	3.81	7.62	29.03
1k	4.36	4.36	19.00
3k	4.38	1.46	6.39
5k	4.54	0.901	4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

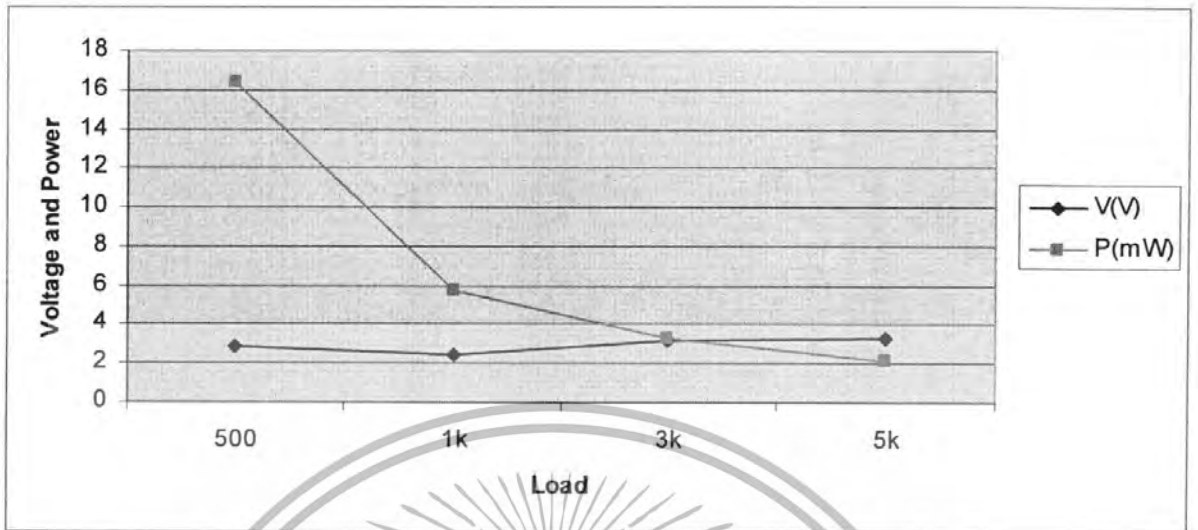


กราฟแสดงผลพลังงานของเครื่องถูกขั้วที่ระยะ 2 cm ที่โหลดต่างๆ

ตารางที่ 8.4 แสดงผลพลังงานของเครื่องถูกขั้วที่ระยะ 3cm

$R_L(\Omega)$	V(V)	I(mA)	P(mW)
500	2.86	5.72	16.36
1k	2.40	2.4	5.76
3k	3.15	1.05	3.31
5k	3.28	0.656	2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

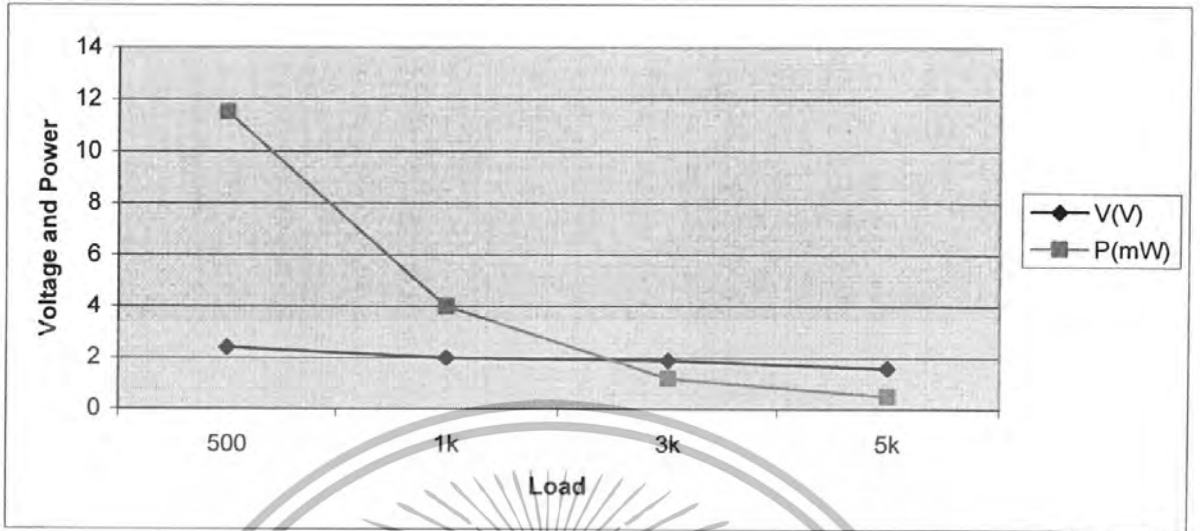


กราฟแสดงผลพลังงานของเครื่องลูกข่ายที่ระยะ 3 cm ที่โหลดต่างๆ

ตารางที่ 8.5 แสดงผลพลังงานของเครื่องลูกข่ายที่ระยะ 4 cm

$R_L(\Omega)$	V(V)	I(mA)	P(mW)
500	2.4	4.80	11.52
1k	2.0	2.00	4.00
3k	1.9	0.63	1.19
5k	1.6	0.32	0.512

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

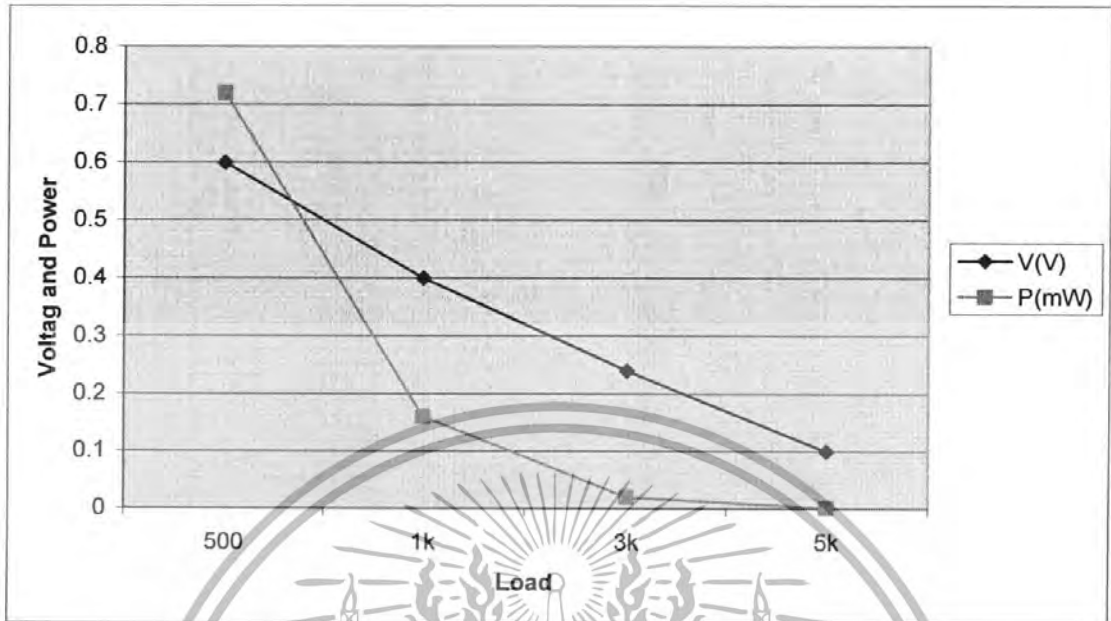


กราฟแสดงผลพลังงานของเครื่องถูกขายที่ระยะ 4 cm ที่โหลดต่างๆ

ตารางที่ 8.6 แสดงผลพลังงานของเครื่องถูกขายที่ระยะ 5 cm

$R_L(\Omega)$	V(V)	I(mA)	P(mW)
500	0.6	1.2	0.72
1k	0.4	0.4	0.16
3k	0.24	0.08	0.02
5k	0.1	0.02	0.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

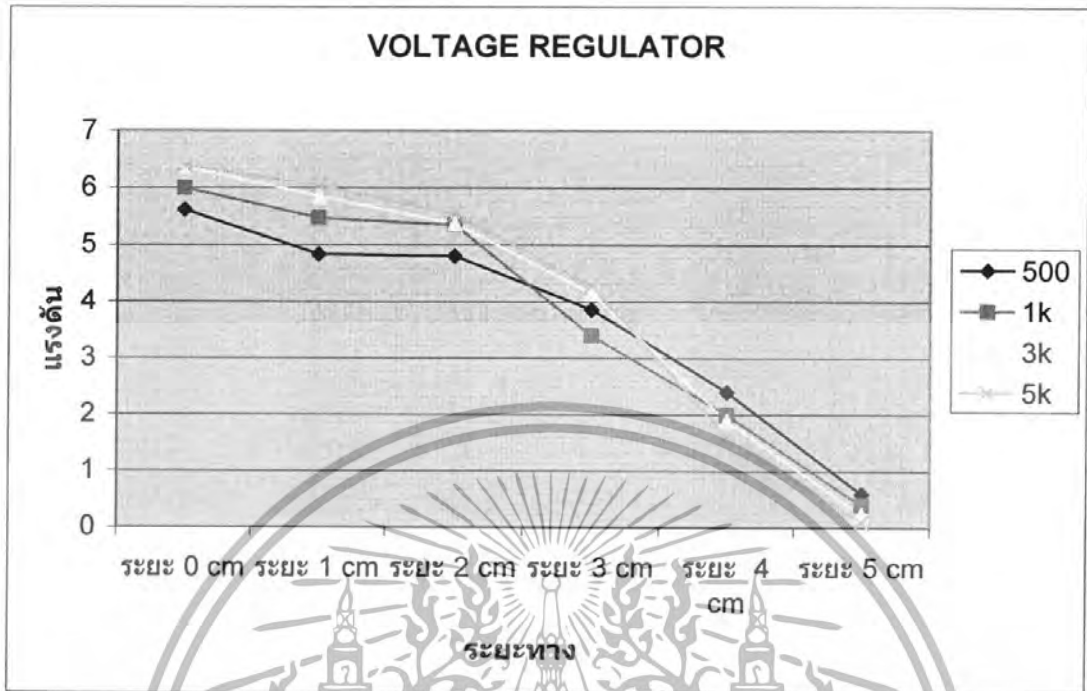


กราฟแสดงผลพลังงานของเครื่องลูกข่ายที่ระยะ 5 cm ที่โหลดต่างๆ

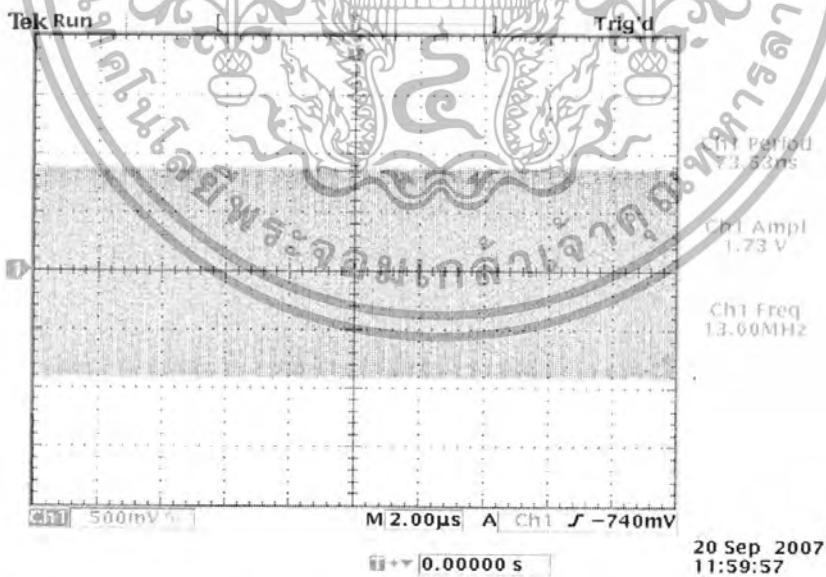
ตารางที่ 8.7 แสดงผลพลังงานของเครื่องลูกข่ายที่ระยะต่างๆ

โหลด (Ω)	ระยะ 0 cm	ระยะ 1 cm	ระยะ 2 cm	ระยะ 3 cm	ระยะ 4 cm	ระยะ 5 cm
500	5.62	4.84	4.81	3.86	2.40	0.60
1k	6.00	5.48	5.36	3.40	2.00	0.40
3k	6.37	5.86	5.38	4.15	1.90	0.24
5k	6.40	6.05	5.54	4.28	1.60	0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

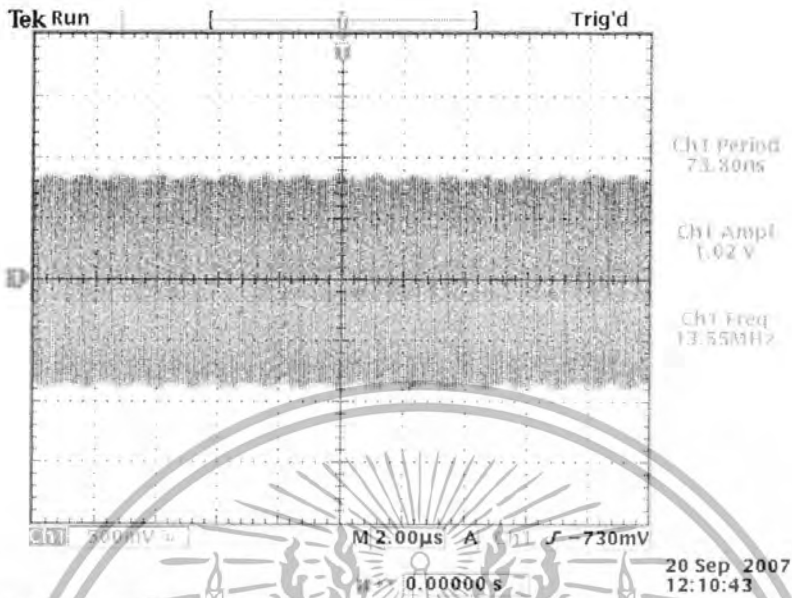


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับแรงดัน



รูป(ก)สัญญาณของ Load Modulation ที่ Reader วัดได้ ในขณะที่ Tag มีโหลด 100 Ω และห่างจาก Reader 0 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

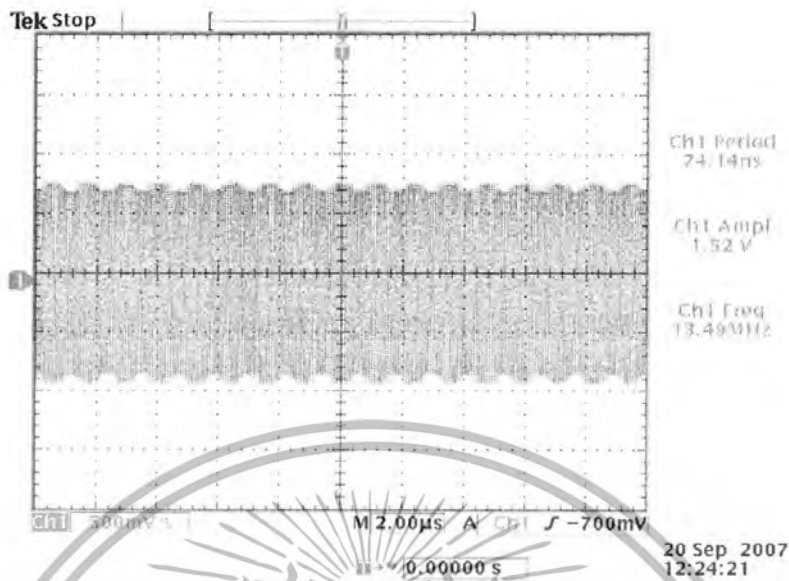


รูป(ข)สัญญาณของ Load Modulation ที่ Reader วัดได้ ในขณะที่ Tag มีโหลด 200 Ω และห่างจาก Reader 0 cm



รูป(ค)สัญญาณของ Load Modulation ที่ Reader วัดได้ ในขณะที่ Tag มีโหลด 500 Ω และห่างจาก Reader 0 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

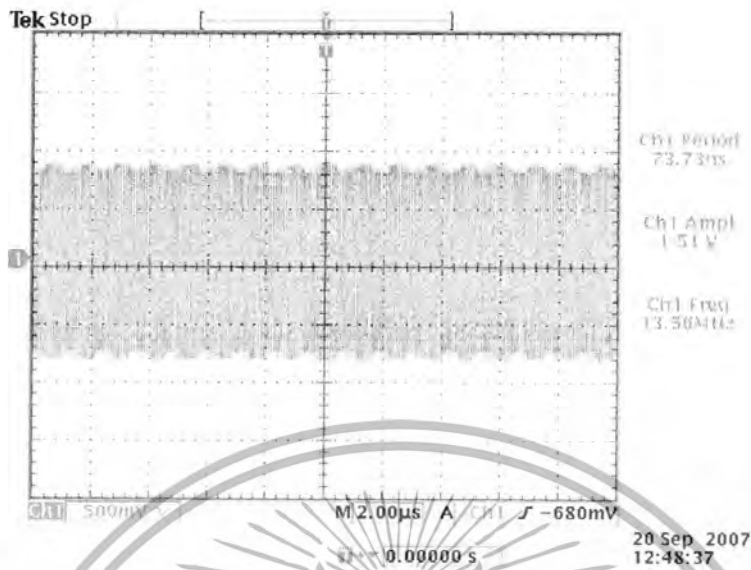


รูป(ง)สัญญาณของ Load Modulation ที่ Reader วัดได้ ในขณะที่ Tag มีโหลด $1\text{k}\Omega$ และห่างจาก Reader 0 cm



รูป(จ)สัญญาณของ Load Modulation ที่ Reader วัดได้ ในขณะที่ Tag มีโหลด $3\text{k}\Omega$ และห่างจาก Reader 0 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป(ค)สัญญาณของ Load Modulation ที่ Reader วัตได้ ในขณะที่ Tag มีโหลด 5 kΩ และห่างจาก Reader 0 cm

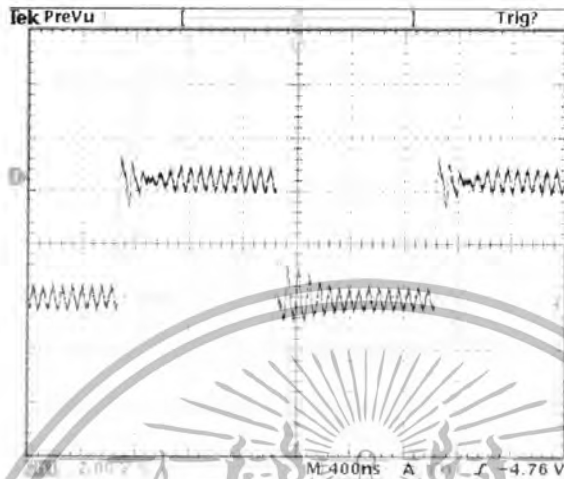


รูป(ข)สัญญาณของ Load Modulation ที่ Reader วัตได้ ในขณะที่ Tag มีโหลด 10 kΩ และห่างจาก Reader 0 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

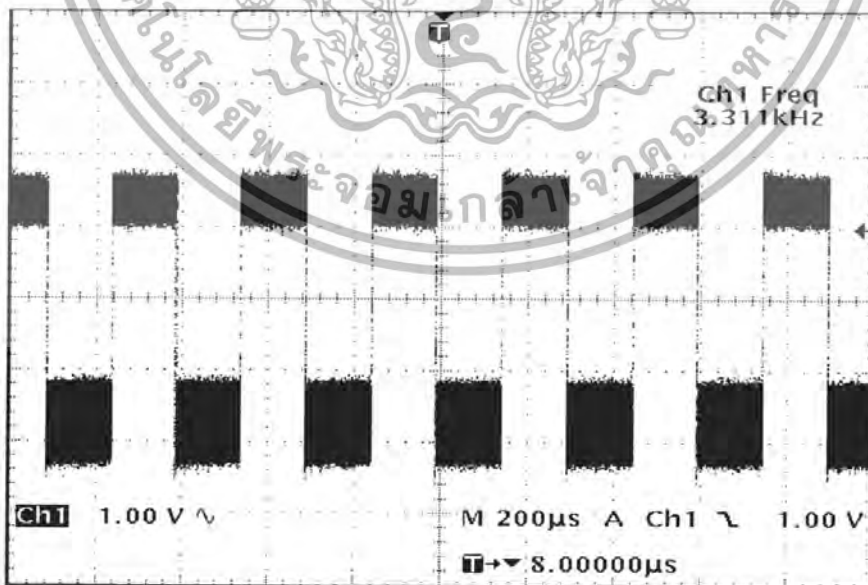
8.2 ผลการทดลองในส่วนของวงจรหาความถี่เพื่อนำไปมอดูเลตที่เครื่องลูกข่าย

ในส่วนนี้เป็นการทดลองวัดความถี่จากวงจรกำเนิดความถี่ SUBCARRIER จะได้สัญญาณดังรูป



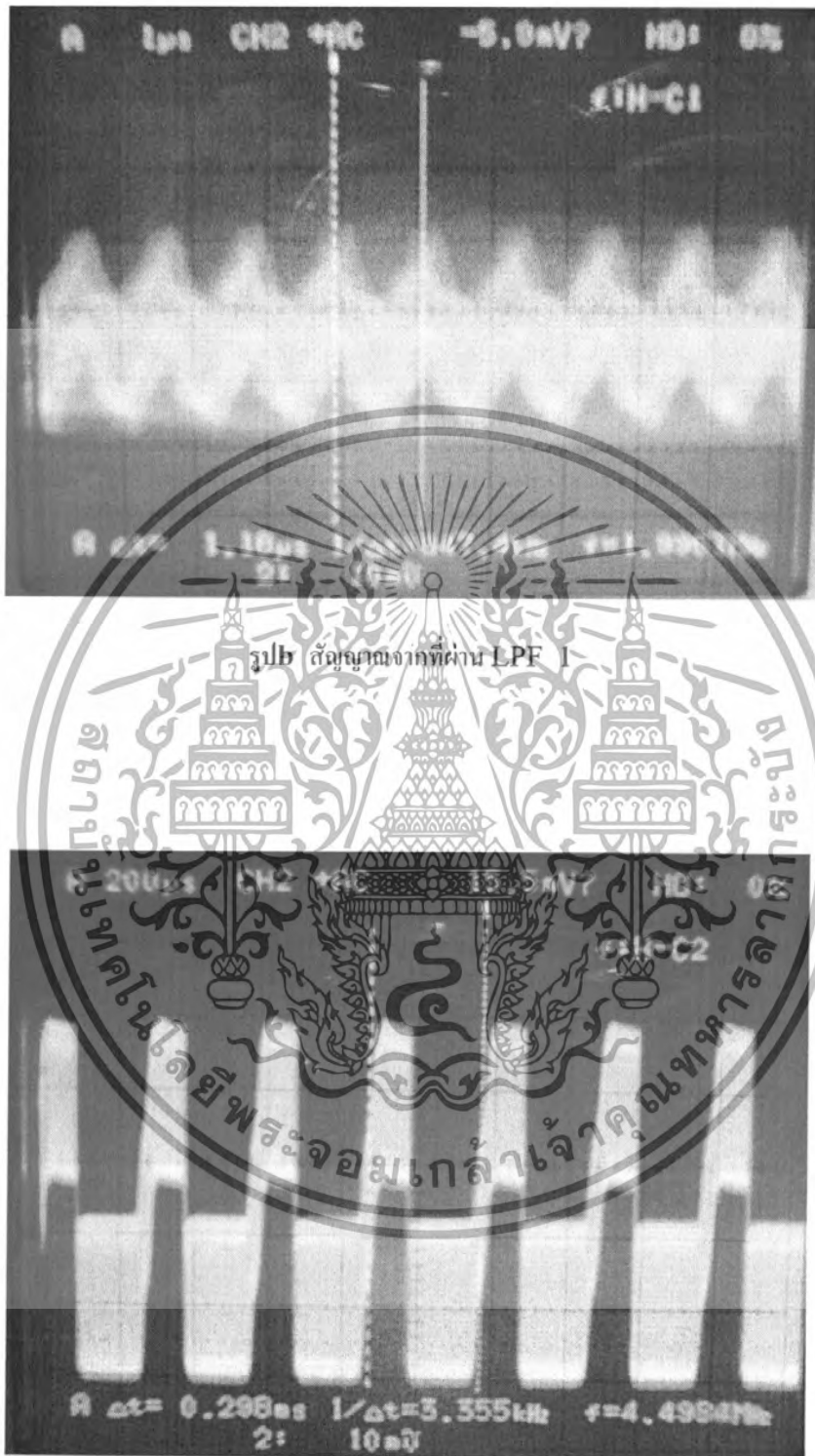
รูปที่ 8.2 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรหาความถี่ (หาร 16) จากโพรบ $\times 10$

8.3 รูปสัญญาณที่ได้จากผลการทดลองของ TAG AND READER



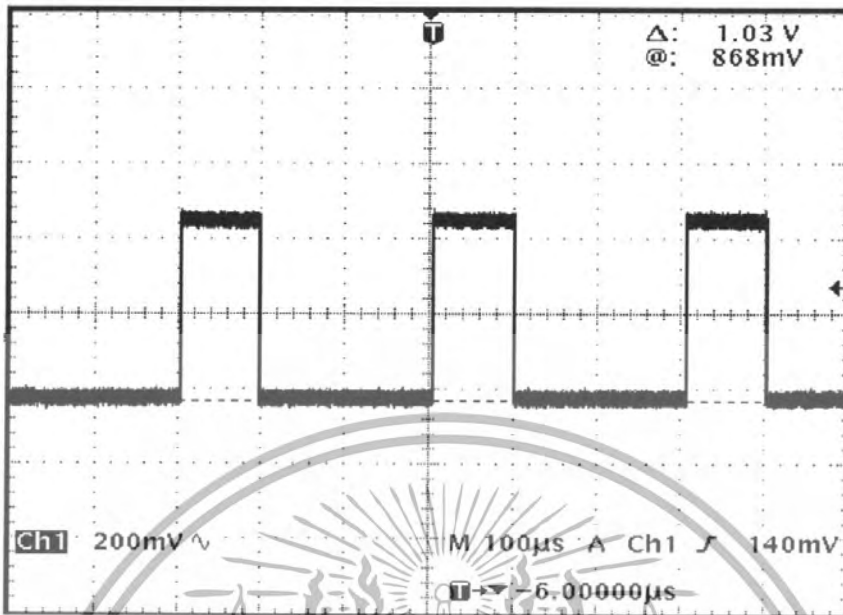
รูป 8.3 สัญญาณจาก data จำลอง 3.33kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ๓ สัญญาณจากที่ผ่าน LPF 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

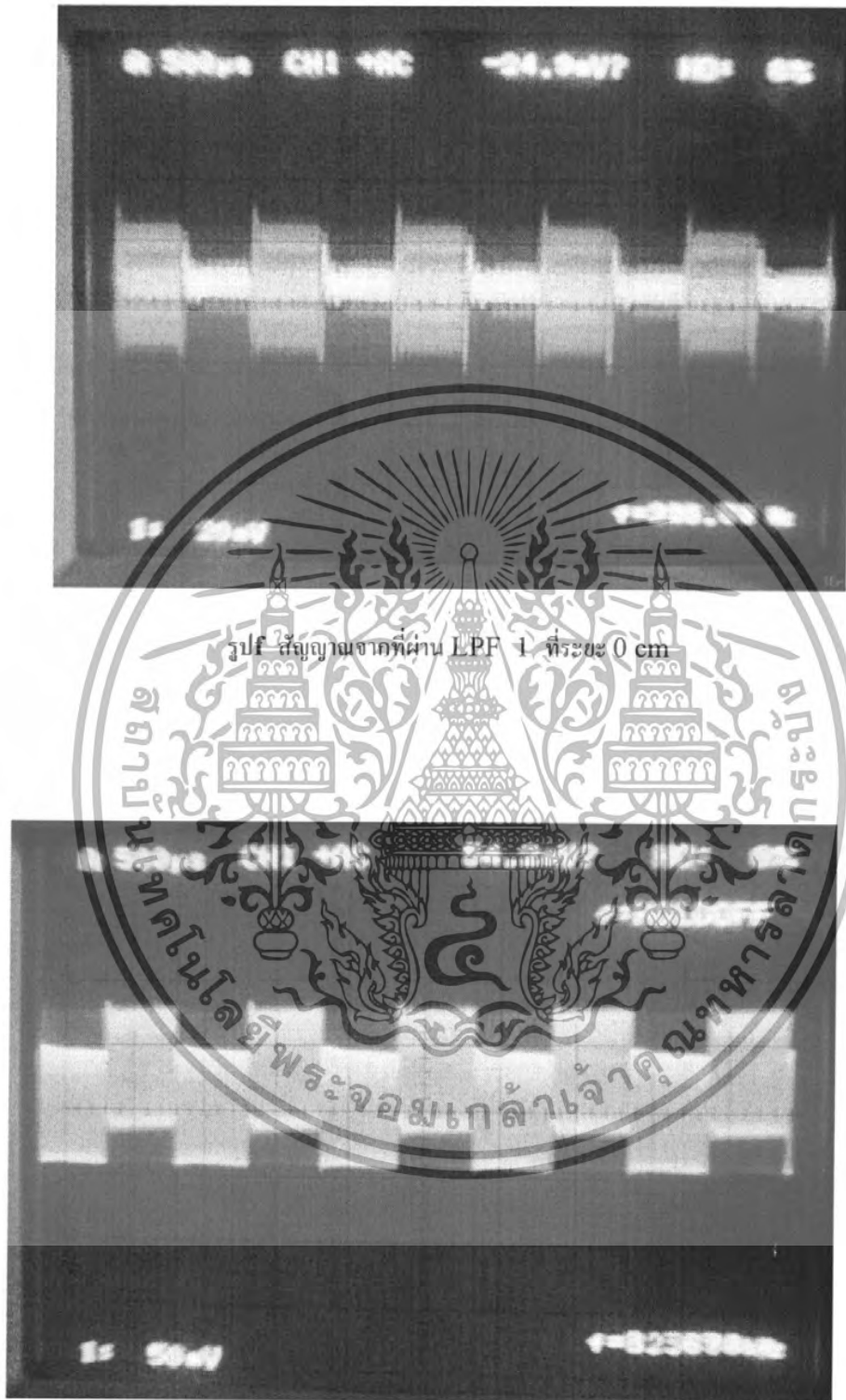


รูปแสดงสัญญาณจากที่ผ่าน Adaptive Threshold Comparator



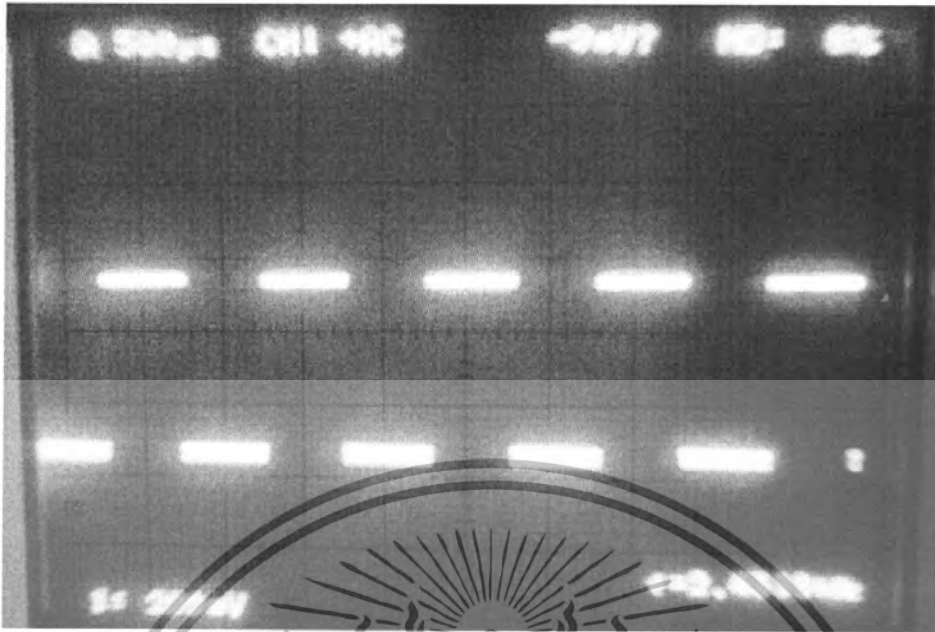
รูปแสดงสัญญาณ data จาก Microcontroller ที่ระยะ 0 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป g สัญญาณจากที่ผ่าน LPF 2 ที่ระยะ 0 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป h สัญญาณจากที่ผ่าน Adaptive Threshold Comparator ที่ระยะ 0 cm



รูป i สัญญาณ data จาก Microcontroller ที่ระยะ 1 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปก สัญญาณจากที่ผ่าน LPF 2 ที่ระยะ 1 cm

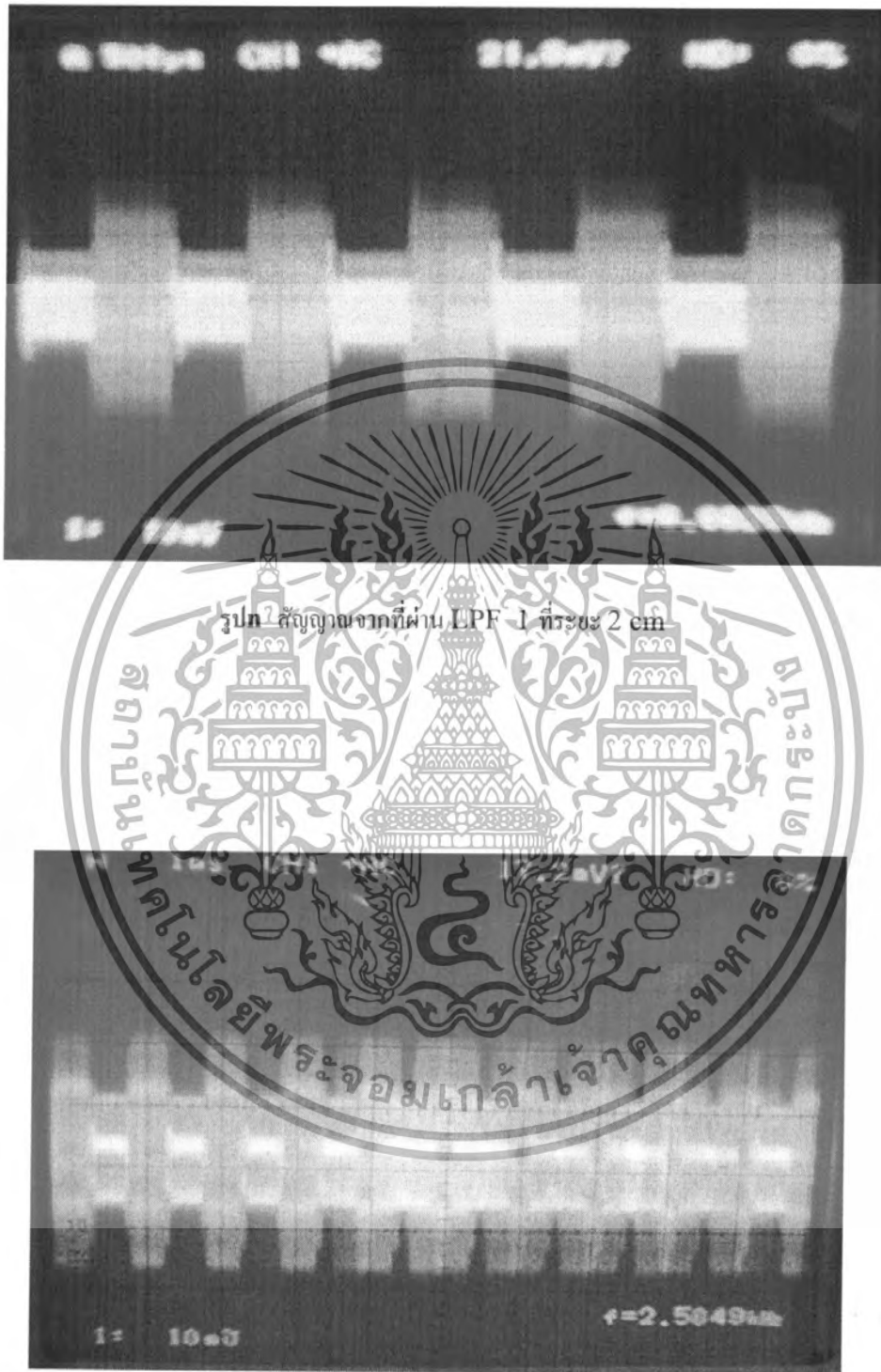
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปล สัญญาณจากที่ผ่าน Adaptive Threshold Comparator ที่ระยะ 1 cm

รูปม สัญญาณ data จาก Microcontroller ที่ระยะ 2 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปท๑ สัณญาณจากที่ผ่าน LPF 1 ที่ระยะ 2 cm

รูปท๑๐ สัณญาณจากที่ผ่าน LPF 2 ที่ระยะ 2 cm

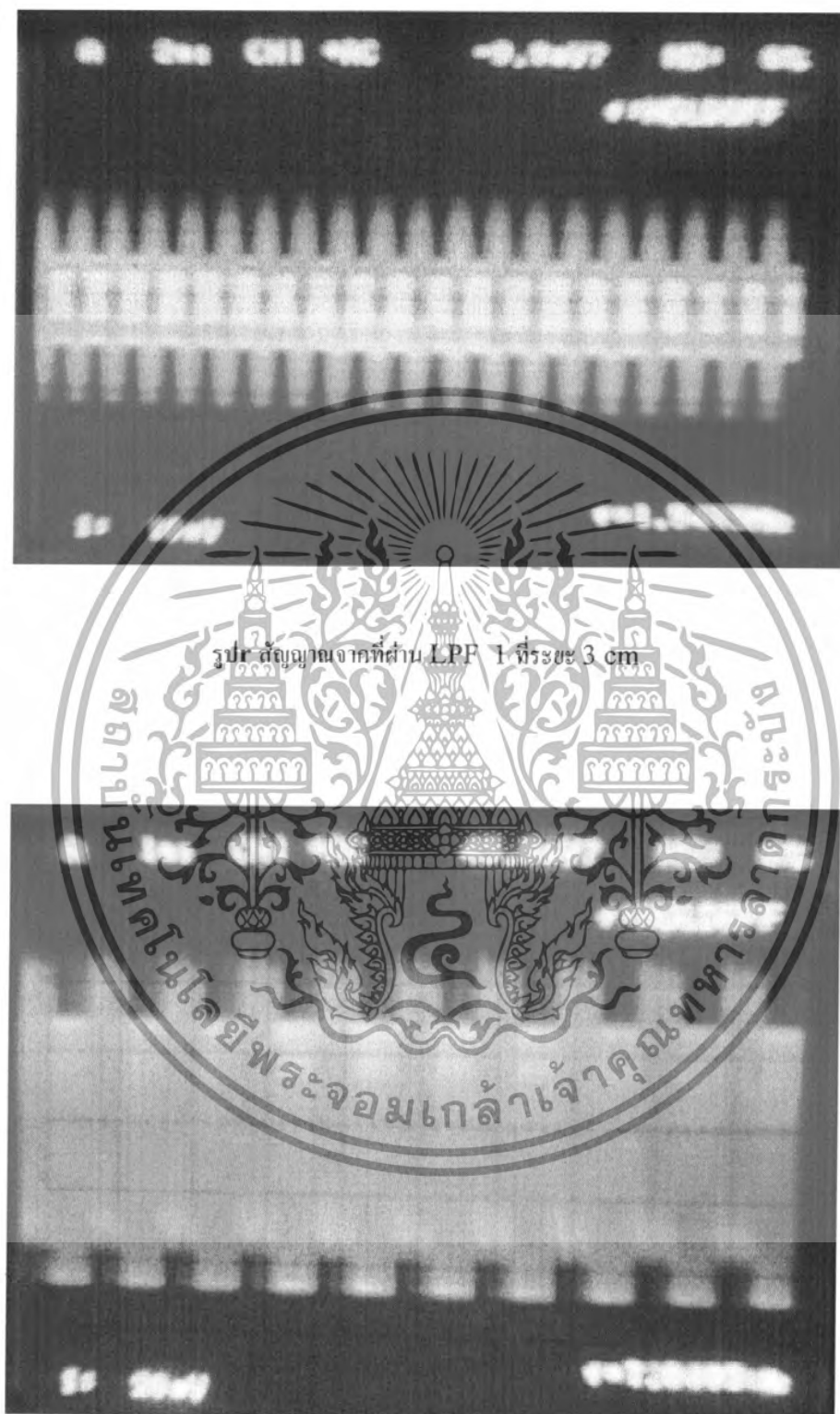
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป สัญญาณจากที่ผ่าน Adaptive Threshold Comparator ที่ระยะ 2 cm

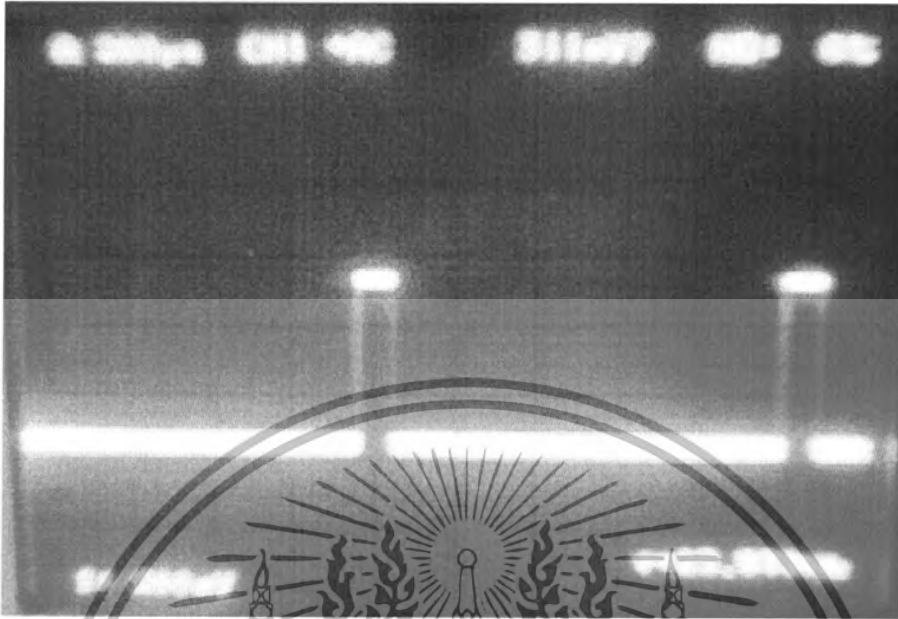
รูปq สัญญาณ data จาก Microcontroller ที่ระยะ 3 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ร สัญญาณจากที่ผ่าน LPF 2 ที่ระยะ 3 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.๖ ภาพจากที่ผ่าน Adaptive Threshold Comparator ที่ระยะ 3cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9 บทสรุปและวิจารณ์

9.1 บทสรุป

ในปริญญานิพนธ์นี้เป็นการทดลองเรื่อง RFID ที่ใช้งานในย่านความถี่ 13.56MHz ประกอบด้วยสัญญาณใหญ่ๆ 2 ส่วนคือ ส่วนของเครื่องอ่านและเครื่องรับ โดยเครื่องอ่านจะมีกำลังส่งประมาณ 1W ซึ่งเครื่องอ่านจะประกอบไปด้วยส่วนของวงจร กำเนิดความถี่ 13.56MHz และ ส่วนของวงจรเพาเวอร์แอมป์ ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการส่งพลังงานไปให้กับเครื่องลูกข่าย ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านทางขดลวดของของเครื่องอ่าน และในส่วนของเครื่องลูกข่ายจะส่งข้อมูลไปทำการมอดูเลตแบบ ASK โดยมีsubcarriers ความถี่ 847.5KHz เพื่อส่งไปยังเครื่องอ่าน และ ในส่วนของเครื่องลูกข่ายจะรับพลังงานจากเครื่องอ่านผ่านทางขดลวด ของ วงจรเรโซแนนซ์ แล้วนำมาทำการเรกติไฟร์ด้วยวงจรแบบบริดจ์ก่อนจะส่งไปวงจรรักษาระดับแรงดันเพื่อให้จ่ายแรงดันไฟฟ้าประมาณ 5V เพื่อไปเลี้ยงวงจรของเครื่องลูกข่าย ให้สามารถทำงานได้

นอกจากนี้ในส่วนของแท็กและเครื่องอ่านยังประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารผ่านทางพอร์ตอนุกรมโดยแสดงข้อมูลผ่านทาง LCD

9.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

1. ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการทดลอง เกิดขึ้นเนื่องจากการพันขดลวดที่ได้จำนวนรอบ และรูปแบบที่ไม่เที่ยงตรงเหมือนกับที่คำนวณได้ ทำให้มีผลต่อการทำงานของวงจร
2. การคำนวณจำนวนรอบ และขนาดของตัวเหนี่ยวนำ รวมทั้งค่าความต้านทานและค่าความจุที่ได้ ไม่ตรงกับค่าอุปกรณ์ที่ใช้จริงในวงจรจริง จึงต้องมีการประยุกต์ และตัดแปลงอุปกรณ์เพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้มากที่สุด
3. เนื่องจากความถี่ที่ใช้งานเป็นความถี่สูง จึงไม่สามารถใช้การต่อวงจรใน โฟโต้บอร์ดได้ ดังนั้นจะต้องต่อทดลองบนแผ่นPCB ที่ออกแบบไว้ทำให้การเปลี่ยนอุปกรณ์เกิดความยุ่งยากมากกว่าการใช้ โฟโต้บอร์ด
4. ในวงจรความถี่สูงที่ การต่อสายไม่ว่าจะเป็นสายไฟ หรือ สายสัญญาณ ถ้าสายมีความยาวจะมีผลต่อการทำงานของวงจร รวมไปถึงการออกแบบ PCB ที่ไม่ดีก็ย่อมมีผลต่อสัญญาณ

9.3 แนวทางการแก้ไขและการนำไปประยุกต์ใช้งาน

1. ตัวเหนี่ยวนำที่พันได้จากการคำนวณ จะต้องนำมาทำการวัดด้วยเครื่องวัดค่าLอีกครั้ง เพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณ ก็จะสามารถลดความคลาดเคลื่อนได้
2. ในการเลือกใช้ตัวเก็บประจุเพื่อให้ได้ค่าตรงกับค่าที่คำนวณ หรือนำไปใช้กับวงจรจริง ควรจะใช้ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่ตัวหนึ่ง และอีกตัวควรเป็นแบบปรับค่าได้ นำมาคอบชานกันเพื่อจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณและง่ายต่อการจูน
3. ต้องทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้งานก่อนทำการบัดกรีทุกครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าเลือกใช้อุปกรณ์ถูกต้องตามค่าที่ต้องการและควรตรวจสอบตำแหน่งขาของอุปกรณ์ให้ตรงกับdatasheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.4 การนำไปประยุกต์ใช้งาน

เราสามารถนำระบบ RFID ไปประยุกต์ใช้ในระบบโรงงาน อุตสาหกรรม ห้างร้านต่างๆหรือ แม้แต่สถานศึกษา ได้หลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งานด้านต่างๆ นอกจากนี้ เรายังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานปศุสัตว์ได้อีกด้วย และในการพิจารณาระบบ RFID มาใช้งานยังคงต้องคำนึงถึงเรื่องต่างๆ ในการใช้งานไม่ว่าจะเป็นเรื่องของพลังงานที่ใช้ ความเหมาะสม สภาพแวดล้อม หรือ กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับระเบียบการ ใช้คลื่นความถี่วิทยุและกำลังส่งของแต่ละประเทศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ผศ.ประภากร สุวรรณะ, “ High Frequency Communication” ,ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. ผศ.ประภากร สุวรรณะ, “ Electronics Engineering 1” ,ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. ผศ.ประภากร สุวรรณะ, “Electronics Engineering 2” ,ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
4. ประจัน พลังสติกุล, “เรียนรู้และการใช้งาน CCSC คอมพิวเตอร์เงินยโปรแกรมภาษา C”, อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์, 2545
5. ไพโรจน์ ไหววนิชกิจ, “RFID”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 279, 2548, หน้า 156-166.
6. ไพโรจน์ ไหววนิชกิจ, “RFID”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 280, 2548, หน้า 167-177.
7. ไพโรจน์ ไหววนิชกิจ, “RFID”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 282, 2548, หน้า 164-174.
8. ไพโรจน์ ไหววนิชกิจ, “RFID”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 283, 2548, หน้า 151-162.
9. ไพโรจน์ ไหววนิชกิจ, “RFID”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 285, 2549, หน้า 148-159.
10. Klaus Finkenzeller, “RFID Handbook : Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification” John Wiley & Sons, 2003
11. Rachel Waddington, “RFID Handbook”, (Second Edition), John Wiley & Sons Ltd 1999
12. AN-267 Matching Network Designs With Computer Solutions,
<http://www.lansdale.com/Articles/an267.pdf#search=%22an267%20%22>
13. AN-710 Antenna Circuit Design for RFID Application,
<http://200.9.176.189/web/Microchip/Discol/download/appnote/rfid/00710a.pdf#search=%22an710%22>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

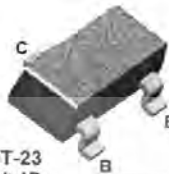
PN2222A



TO-92

EBC

MMBT2222A



SOT-23
Mark:1P

PZT2222A



SOT-223

NPN General Purpose Amplifier

- This device is for use as a medium power amplifier and switch requiring collector currents up to 500mA.
- Sourced from process 19.

Absolute Maximum Ratings * $T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage	40	V
V_{CB0}	Collector-Base Voltage	75	V
V_{EB0}	Emitter-Base Voltage	6.0	V
I_C	Collector Current	1.0	A
T_{STG}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 - 150	$^\circ\text{C}$

* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired

NOTES:

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

Electrical Characteristics $T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
Off Characteristics					
$BV_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage *	$I_C = 10\text{mA}, I_B = 0$	40		V
$BV_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10\mu\text{A}, I_E = 0$	75		V
$BV_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10\mu\text{A}, I_C = 0$	6.0		V
I_{CEX}	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 60\text{V}, V_{EB(off)} = 3.0\text{V}$		10	nA
I_{CBO}	Collector Cutoff Current	$V_{CB} = 60\text{V}, I_E = 0$ $V_{CB} = 60\text{V}, I_E = 0, T_a = 125^\circ\text{C}$		0.01 10	μA μA
I_{EBO}	Emitter Cutoff Current	$V_{EB} = 3.0\text{V}, I_C = 0$		10	μA
I_{BL}	Base Cutoff Current	$V_{CE} = 60\text{V}, V_{EB(off)} = 3.0\text{V}$		20	μA
On Characteristics					
h_{FE}	DC Current Gain	$I_C = 0.1\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}$ $I_C = 1.0\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}$ $I_C = 10\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}$ $I_C = 10\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}, T_a = -55^\circ\text{C}$ $I_C = 150\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}^*$ $I_C = 150\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}^*$ $I_C = 500\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}^*$	35 50 75 35 100 50 40	300	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage *	$I_C = 150\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}$ $I_C = 500\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}$		0.3 1.0	V V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage *	$I_C = 150\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}$ $I_C = 500\text{mA}, V_{CE} = 10\text{V}$	0.6	1.2 2.0	V V

* Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted (Continued)

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
Small Signal Characteristics					
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$I_C = 20\text{mA}$, $V_{CE} = 20\text{V}$, $f = 100\text{MHz}$	300		MHz
C_{obo}	Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{V}$, $I_E = 0$, $f = 1\text{MHz}$		8.0	pF
C_{ibo}	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5\text{V}$, $I_C = 0$, $f = 1\text{MHz}$		25	pF
$r_b' C_C$	Collector Base Time Constant	$I_C = 20\text{mA}$, $V_{CB} = 20\text{V}$, $f = 31.8\text{MHz}$		150	pS
NF	Noise Figure	$I_C = 100\mu\text{A}$, $V_{CE} = 10\text{V}$, $R_S = 1.0\text{K}\Omega$, $f = 1.0\text{KHz}$		4.0	dB
$Re(h_{ie})$	Real Part of Common-Emitter High Frequency Input Impedance	$I_C = 20\text{mA}$, $V_{CE} = 20\text{V}$, $f = 300\text{MHz}$		60	Ω
Switching Characteristics					
t_d	Delay Time	$V_{CC} = 30\text{V}$, $V_{EB(off)} = 0.5\text{V}$, $I_C = 150\text{mA}$, $I_{B1} = 15\text{mA}$		10	ns
t_r	Rise Time			25	ns
t_s	Storage Time	$V_{CC} = 30\text{V}$, $I_C = 150\text{mA}$,		225	ns
t_f	Fall Time	$I_{B1} = I_{B2} = 15\text{mA}$		60	ns

Thermal Characteristics $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Max.			Units
		PN2222A	*MMBT2222A	**PZT2222A	
P_D	Total Device Dissipation	625	350	1,000	mW
	Derate above 25°C	5.0	2.8	8.0	$\text{mW}/^\circ\text{C}$
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3			$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	125	$^\circ\text{C}/\text{W}$

* Device mounted on FR-4 PCB $1.6" \times 1.6" \times 0.06"$

** Device mounted on FR-4 PCB $36\text{mm} \times 18\text{mm} \times 1.5\text{mm}$, mounting pad for the collector lead min. 6cm^2

Spice Model

NPN (Is = 14.34f Xti = 3 Eg = 1.11 Vaf = 74.03 Bf = 255.9 Ne = 1.307 Ise = 14.34 Ikf = .2847 Xtb = 1.5 Br = 6.092 Isc = 0 Ikr = 0 Rc = 1 Cjc = 7.306p Mjc = .3416 Vjc = .75 Fc = .5 Cje = 22.01p Mje = .377 Vje = .75 Tr = 46.91n Tf = 411.1p Itf = .6 Vtf = 1.7 Xtf = 3 Rb = 10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM185-1.2/LM285-1.2/LM385-1.2 Micropower Voltage Reference Diode

General Description

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

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

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

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

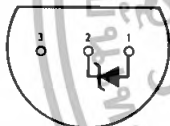
The LM185-1.2 is rated for operation over a -55°C to 125°C temperature range while the LM285-1.2 is rated -40°C to 85°C and the LM385-1.2 0°C to 70°C . The LM185-1.2/LM285-1.2 are available in a hermetic TO-46 package and the LM285-1.2/LM385-1.2 are also available in a low-cost TO-92 molded package,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

Features

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

Connection Diagrams

TO-92
Plastic Package (Z)



00651810

Bottom View

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

SOT23



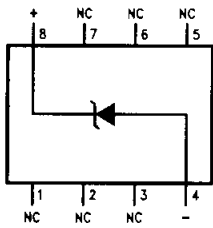
00651833

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

Order Number LM385M3-1.2
See NS Package Number MF03A

Connection Diagrams (Continued)

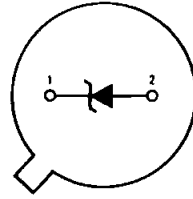
SO Package



00551809

**Order Number LM285M-1.2,
LM285BXM-1.2, LM285BYM-1.2
LM385M-1.2, LM385BM-1.2
LM385BXM-1.2 or LM385BYM-1.2
See NS Package Number M08A**

**TO-46
Metal Can Package (H)**



00551806

Bottom View

**Order Number LM185H-1.2, LM185H-1.2/883,
LM185BXH-1.2, LM185BYH-1.2
LM285H-1.2 or LM285BXH-1.2
See NS Package Number H02A**



Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

(Note 2)

Reverse Current	30mA
Forward Current	10mA
Operating Temperature Range (Note 3)	
LM185-1.2	-55°C to +125°C
LM285-1.2	-40°C to +85°C
LM385-1.2	0°C to 70°C

Storage Temperature	-55°C to +150°C
Soldering Information	
TO-92 package: 10 sec.	260°C
TO-46 package: 10 sec.	300°C
SO and SOT Pkg.	
Vapor phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	

Electrical Characteristics (Note 4)

Parameter	Conditions	Typ	LM185-1.2		LM385B-1.2		LM385-1.2		Units (Limit)
			LM185BX-1.2		LM385BX-1.2		LM385-1.2		
			LM185BY-1.2		LM385BY-1.2		LM385-1.2		
			Tested Limit (Notes 5, 8)	Design Limit (Note 6)	Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)	Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)	
Reverse Breakdown Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $10\mu\text{A} \leq I_R \leq 20\text{mA}$	1.235	1.223	20	1.223	20	1.205	20	V(Min)
			1.247	20	1.247	20	1.260	20	V(Max)
Minimum Operating Current	LM385M3-1.2	8	10	20	15	20	15	20	μA
							10	15	(Max)
Reverse Breakdown Voltage Change with Current	$10\mu\text{A} \leq I_R \leq 1\text{mA}$	1	1	1.5	1	1.5	1	1.5	mV (Max)
	$1\text{mA} \leq I_R \leq 20\text{mA}$		10	20	20	25	20	25	mV (Max)
Reverse Dynamic Impedance	$I_R = 100\mu\text{A}$, $f = 20\text{Hz}$	1							Ω
Wideband Noise (rms)	$I_R = 100\mu\text{A}$, $10\text{Hz} \leq f \leq 10\text{kHz}$	60							μV
Long Term Stability	$I_R = 100\mu\text{A}$, $T = 1000$ Hr, $T_A = 25^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$	20							ppm
Average Temperature Coefficient (Note 7)	$I_R = 100\mu\text{A}$		30	150	30	150	150	150	ppm/°C
			50		50				ppm/°C
									ppm/°C (Max)

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics. The guaranteed specifications apply only for the test conditions listed.

Note 2: Refer to RETS185H-1.2 for military specifications.

Note 3: For elevated temperature operation, T_J max is:

LM185	150°C
LM285	125°C
LM385	100°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermal Resistance	TO-92	TO-46	SO-8	SOT23
θ_{JA} (junction to ambient)	180°C/W (0.4" leads) 170°C/W (0.125" leads)	440°C/W	165°C/W	283°C/W
θ_{JC} (junction to case)	N/A	80°C/W	N/A	N/A

Note 4: Parameters identified with boldface type apply at temperature extremes. All other numbers apply at $T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$.

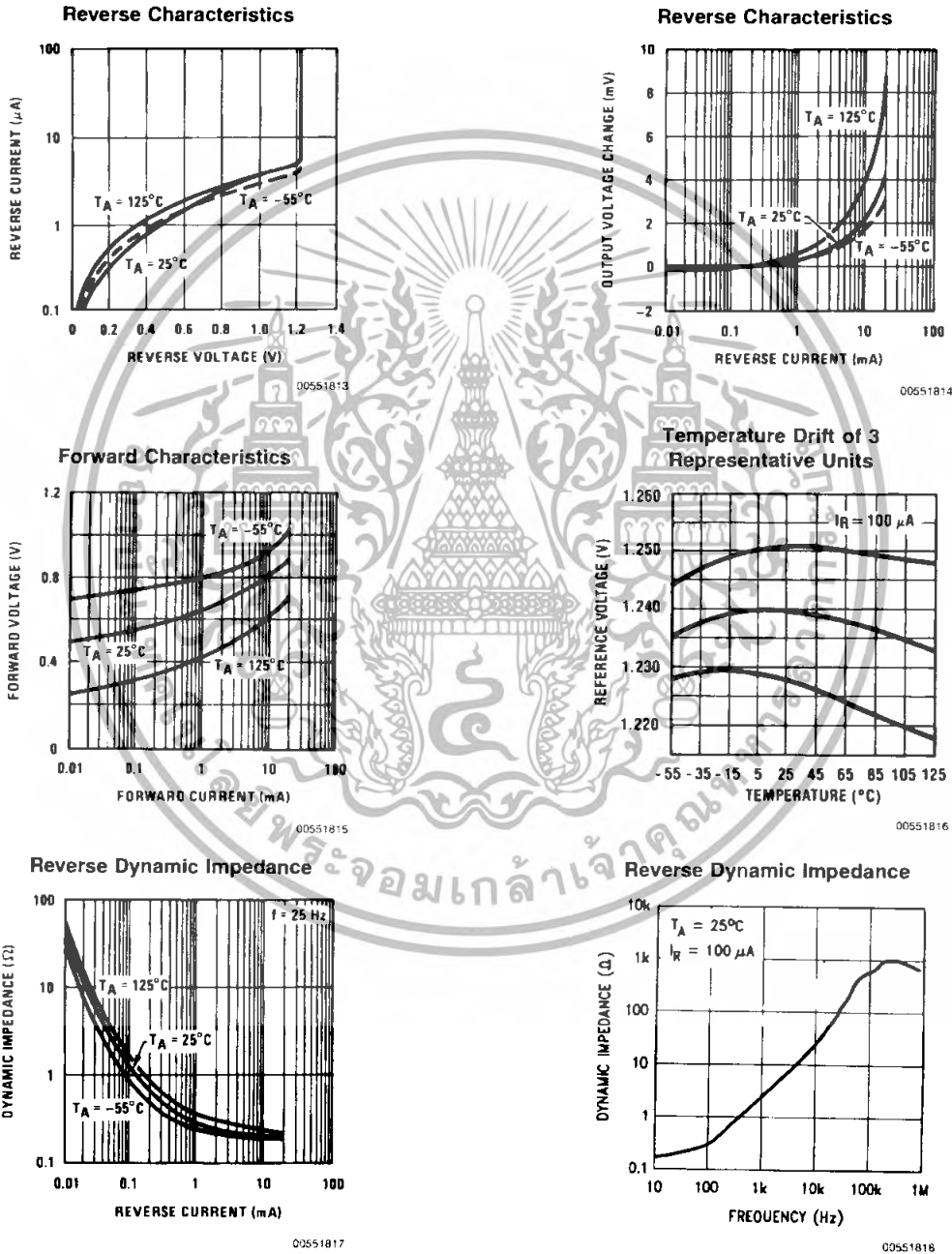
Note 5: Guaranteed and 100% production tested.

Note 6: Guaranteed, but not 100% production tested. These limits are not used to calculate average outgoing quality levels.

Note 7: The average temperature coefficient is defined as the maximum deviation of reference voltage at all measured temperatures between the operating T_{MAX} and T_{MIN} , divided by $T_{MAX} - T_{MIN}$. The measured temperatures are -55°C , -40°C , 0°C , 25°C , 70°C , 85°C , 125°C .

Note 8: A military RETS electrical specification is available on request.

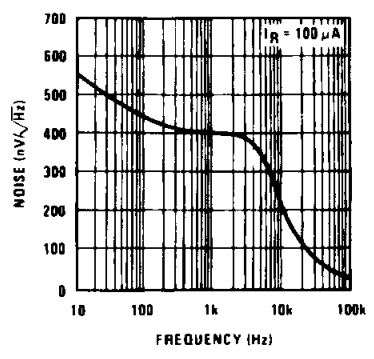
Typical Performance Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

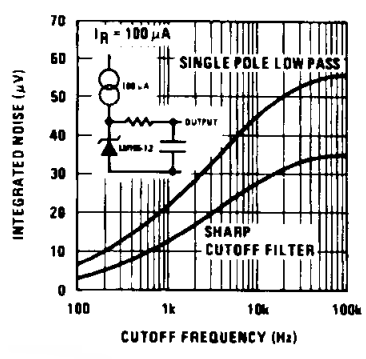
Typical Performance Characteristics (Continued)

Noise Voltage



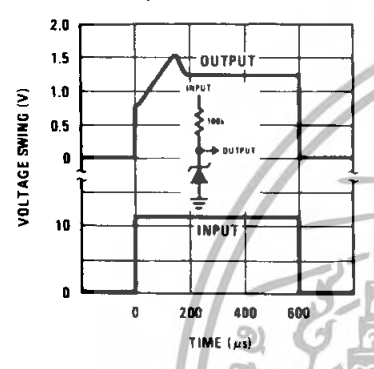
00551819

Filtered Output Noise



00551820

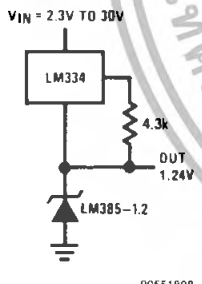
Response Time



00551821

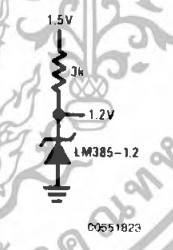
Typical Applications

Wide Input Range Reference



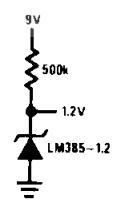
00551808

Reference from 1.5V Battery



00551823

Micropower Reference from 9V Battery



00551822

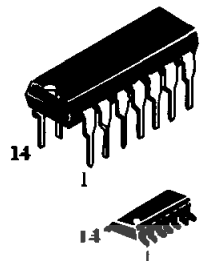
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quad 2-Input NAND Gate

High-Performance Silicon-Gate CMOS

The SL74HC00 is identical in pinout to the LS/ALS00. The device inputs are compatible with standard CMOS outputs; with pullup resistors, they are compatible with LS/ALSTTL outputs.

- Outputs Directly Interface to CMOS, NMOS, and TTL
- Operating Voltage Range: 2.0 to 6.0 V
- Low Input Current: 1.0 μ A
- High Noise Immunity Characteristic of CMOS Devices

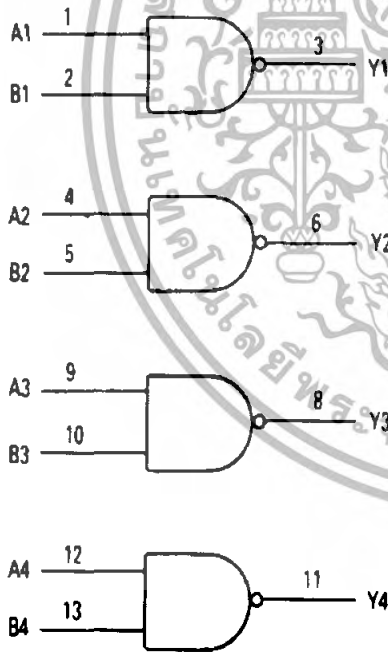


N SUFFIX PLASTIC

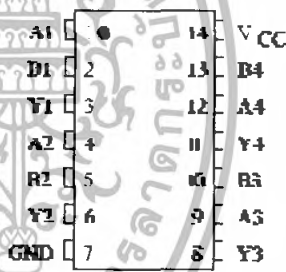
D SUFFIX SOIC

ORDERING INFORMATION
 SL74HC00N Plastic
 SL74HC00D SOIC
 $T_A = -55^\circ$ to 125° C for all packages

LOGIC DIAGRAM



PIN ASSIGNMENT



FUNCTION TABLE

Inputs		Output
A	B	Y
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L

PIN 14 = V_{CC}
 PIN 7 = GND



MAXIMUM RATINGS*

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{CC}	DC Supply Voltage (Referenced to GND)	-0.5 to +7.0	V
V _{IN}	DC Input Voltage (Referenced to GND)	-1.5 to V _{CC} +1.5	V
V _{OUT}	DC Output Voltage (Referenced to GND)	-0.5 to V _{CC} +0.5	V
I _{IN}	DC Input Current, per Pin	±20	mA
I _{OUT}	DC Output Current, per Pin	±25	mA
I _{CC}	DC Supply Current, V _{CC} and GND Pins	±50	mA
P _D	Power Dissipation in Still Air, Plastic DIP+ SOIC Package+	750 500	mW
T _{stg}	Storage Temperature	-65 to +150	°C
T _L	Lead Temperature, 1 mm from Case for 10 Seconds (Plastic DIP or SOIC Package)	260	°C

*Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation should be restricted to the Recommended Operating Conditions.

+Derating - Plastic DIP: - 10 mW/°C from 65° to 125°C

SOIC Package: - 7 mW/°C from 65° to 125°C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
V _{CC}	DC Supply Voltage (Referenced to GND)	2.0	6.0	V
V _{IN} , V _{OUT}	DC Input Voltage, Output Voltage (Referenced to GND)	0	V _{CC}	V
T _A	Operating Temperature, All Package Types	-55	+125	°C
t _r , t _f	Input Rise and Fall Time (Figure 1)			ns
	V _{CC} = 2.0 V	0	1000	
	V _{CC} = 4.5 V	0	500	
	V _{CC} = 6.0 V	0	400	

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V_{IN} and V_{OUT} should be constrained to the range GND ≤ (V_{IN} or V_{OUT}) ≤ V_{CC}.

Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either GND or V_{CC}). Unused outputs must be left open.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to GND)

Symbol	Parameter	Test Conditions	V _{CC} V	Guaranteed Limit			Unit
				25 °C to -55°C	≤85 °C	≤125 °C	
V _{IH}	Minimum High-Level Input Voltage	V _{OUT} =0.1 V or V _{CC} -0.1 V I _{OUT} ≤ 20 μA	2.0	1.5	1.5	1.5	V
			4.5	3.15	3.15	3.15	
			6.0	4.2	4.2	4.2	
V _{IL}	Maximum Low-Level Input Voltage	V _{OUT} = V _{CC} -0.1 V I _{OUT} ≤ 20 μA	2.0	0.5	0.5	0.5	V
			4.5	1.35	1.35	1.35	
			6.0	1.8	1.8	1.8	
V _{OH}	Minimum High-Level Output Voltage	V _{IN} =V _{IH} or V _{IL} I _{OUT} ≤ 20 μA	2.0	1.9	1.9	1.9	V
			4.5	4.4	4.4	4.4	
		6.0	5.9	5.9	5.9		
		V _{IN} =V _{IH} or V _{IL} I _{OUT} ≤ 4.0 mA I _{OUT} ≤ 5.2 mA	4.5	3.98	3.84	3.7	
6.0	5.48		5.34	5.2			
V _{OL}	Maximum Low-Level Output Voltage	V _{IN} =V _{IH} I _{OUT} ≤ 20 μA	2.0	0.1	0.1	0.1	V
			4.5	0.1	0.1	0.1	
			6.0	0.1	0.1	0.1	
		V _{IN} =V _{IH} I _{OUT} ≤ 4.0 mA I _{OUT} ≤ 5.2 mA	4.5	0.26	0.33	0.4	
6.0	0.26		0.33	0.4			
I _{IN}	Maximum Input Leakage Current	V _{IN} =V _{CC} or GND	6.0	±0.1	±1.0	±1.0	μA
I _{CC}	Maximum Quiescent Supply Current (per Package)	V _{IN} =V _{CC} or GND I _{OUT} =0μA	6.0	1.0	10	40	μA

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (C_L=50pF, Input t_r=t_f=6.0 ns)

Symbol	Parameter	V _{CC} V	Guaranteed Limit			Unit
			25 °C to -55°C	≤85°C	≤125°C	
t _{PLH} , t _{PHL}	Maximum Propagation Delay, Input A or B to Output Y (Figures 1 and 2)	2.0	75	95	110	ns
		4.5	15	19	22	
		6.0	13	16	19	
t _{TLH} , t _{THL}	Maximum Output Transition Time, Any Output (Figures 1 and 2)	2.0	75	95	110	ns
		4.5	15	19	22	
		6.0	13	16	19	
C _{IN}	Maximum Input Capacitance	-	10	10	10	pF

C _{PD}	Power Dissipation Capacitance (Per Gate)	Typical @25°C, V _{CC} =5.0 V			pF
	Used to determine the no-load dynamic power consumption: $P_D = C_{PD} V_{CC}^2 f + I_{CC} V_{CC}$	22			

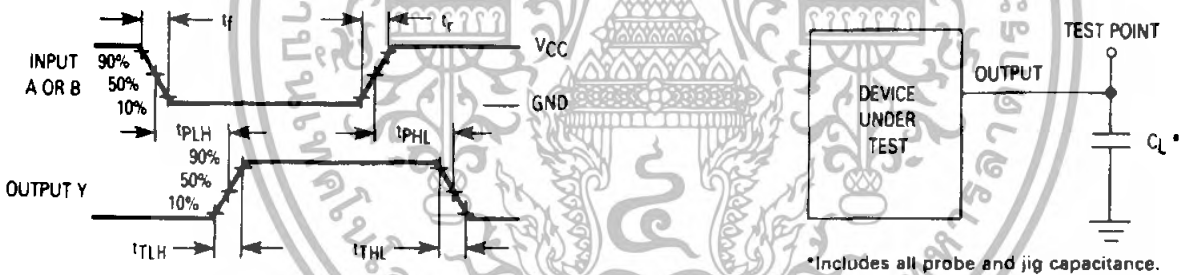


Figure 1. Switching Waveforms

Figure 2. Test Circuit

EXPANDED LOGIC DIAGRAM (1/4 of the Device)



MM74HC4060 14 Stage Binary Counter

General Description

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

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

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

Features

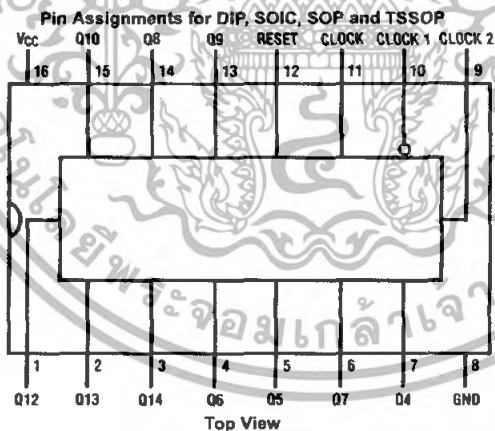
- Typical propagation delay: 16 ns
- Wide operating voltage range: 2–6V
- Low input current: 1 μ A maximum
- Low quiescent current: 80 μ A maximum (74 Series)
- Output drive capability: 10 LS-TTL loads

Ordering Code:

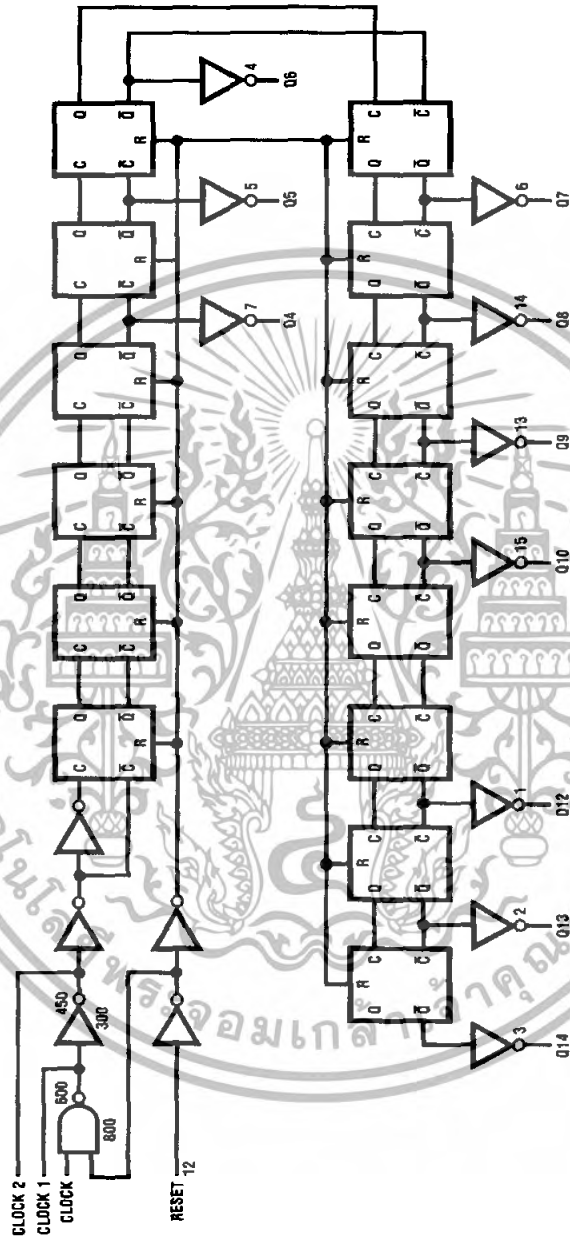
Order Number	Package Number	Package Description
MM74HC4060M	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
MM74HC4060SJ	M16D	16-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
MM74HC4060MTC	MTC16	16-Lead Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP), JEDEC MO-153,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

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

Connection Diagram



Logic Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
 SEMICONDUCTOR®

KSP10

VHF/UHF transistor

TO-92

1. Base 2. Emitter 3. Collector

NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CB0}	Collector-Base Voltage	30	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	25	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	3.0	V
P_C	Collector Power Dissipation ($T_a=25^\circ\text{C}$)	350	mW
	Derate above 25°C	2.8	mW/ $^\circ\text{C}$
P_C	Collector Power Dissipation ($T_c=25^\circ\text{C}$)	1.0	W
	Derate above 25°C	8.0	W/ $^\circ\text{C}$
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	-55-150	$^\circ\text{C}$
$R_{th(j-c)}$	Thermal Resistance, Junction to Case	125	$^\circ\text{C/W}$
$R_{th(j-a)}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	357	$^\circ\text{C/W}$

Electrical Characteristics $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
BV_{CB0}	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C=100\mu\text{A}, I_E=0$	30		V
BV_{CEO}	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C=1\text{mA}, I_B=0$	25		V
BV_{EBO}	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E=10\mu\text{A}, I_C=0$	3.0		V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=25\text{V}, I_E=0$		100	nA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB}=2\text{V}, I_C=0$		100	nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE}=10\text{V}, I_C=4\text{mA}$	60		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=4\text{mA}, I_B=0.4\text{mA}$		0.5	V
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=10\text{V}, I_C=4\text{mA}$		0.95	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=10\text{V}, I_C=4\text{mA}, f=100\text{MHz}$	650		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB}=10\text{V}, I_E=0, f=1\text{MHz}$		0.7	pF
C_{rb}	Collector Base Feedback Capacitance	$V_{CB}=10\text{V}, I_E=0, f=1\text{MHz}$	0.35	0.65	pF
C_{c-rbb}	Collector Base Time Constant	$V_{CB}=10\text{V}, I_C=4\text{mA}, f=31.8\text{MHz}$		9.0	ps

* Pulse Test: PW≤300μs, Duty Cycles2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics

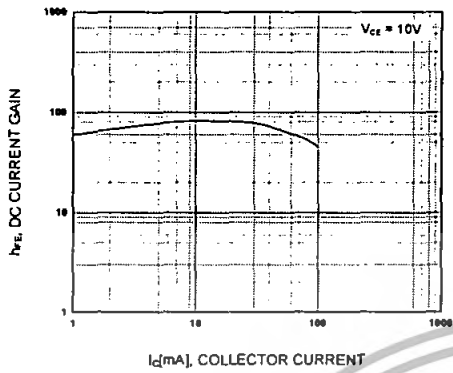


Figure 1. DC current Gain

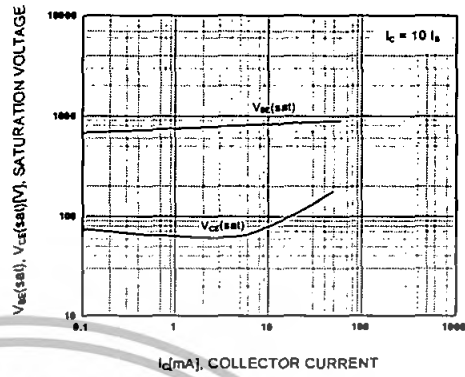


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

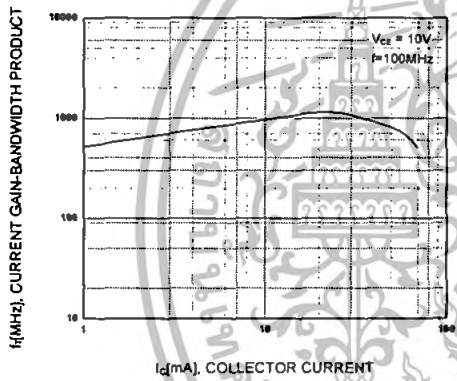


Figure 3. Current Gain Bandwidth Product

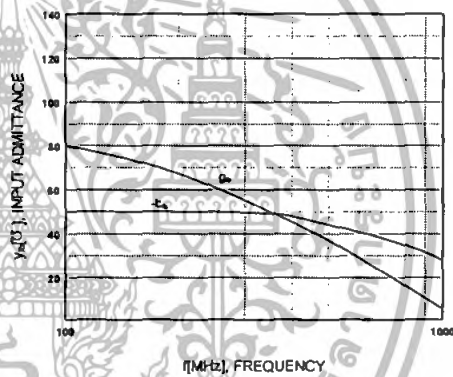


Figure 4. Rectangular Form

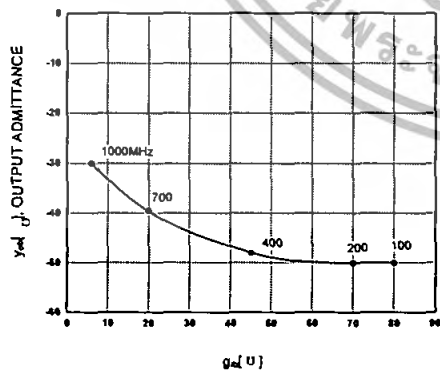


Figure 5. Polar Form

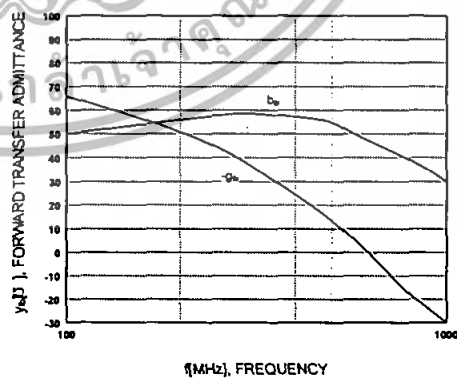


Figure 6. Rectangular Form

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics (Continued)

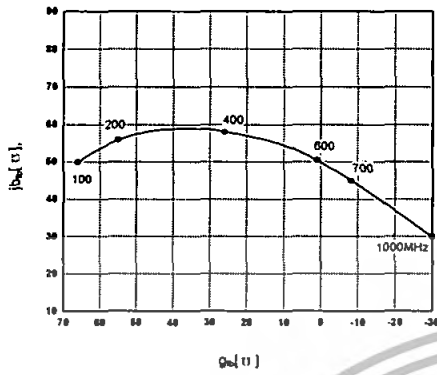


Figure 7. Polar Form

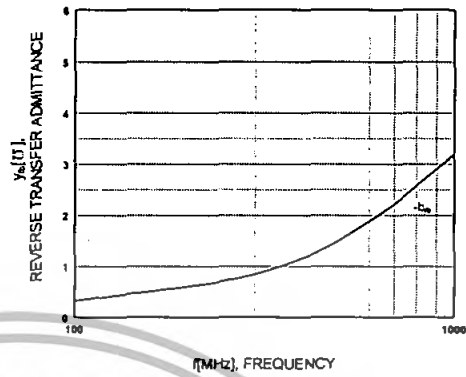


Figure 8. Rectangular Form

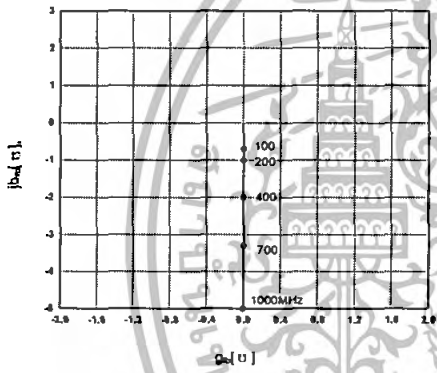


Figure 9. Polar Form

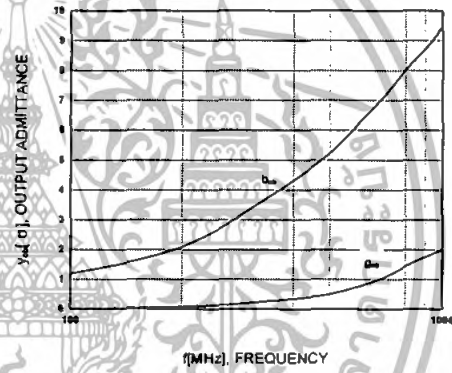


Figure 10. Rectangular Form

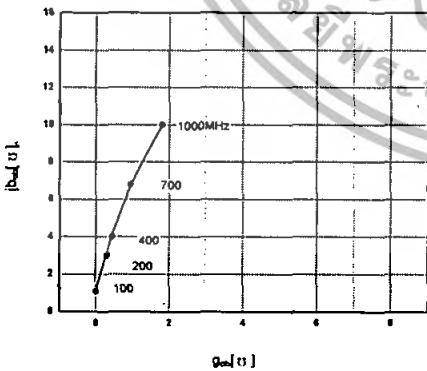
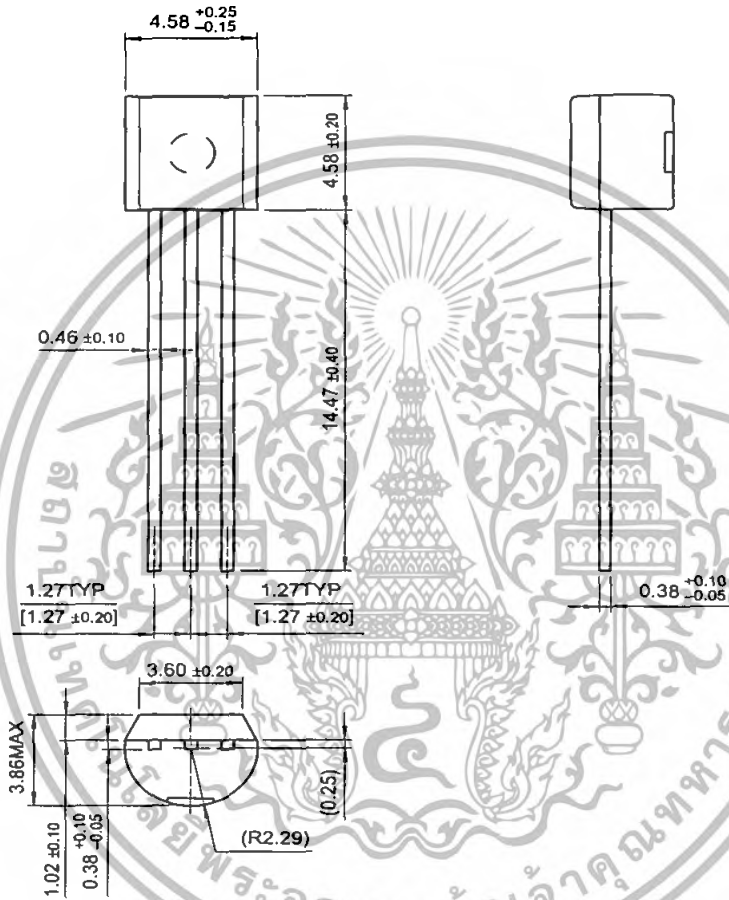


Figure 11. Polar Form

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Dimensions

TO-92



Dimensions in Millimeters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

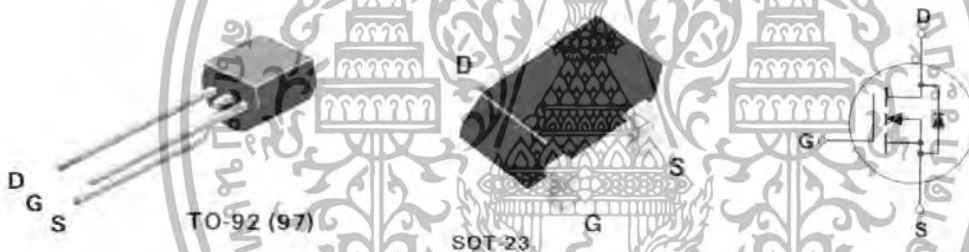
BS170 / MMBF170 N-Channel Enhancement Mode Field Effect Transistor

General Description

These N-Channel enhancement mode field effect transistors are produced using Fairchild's proprietary, high cell density, DMOS technology. These products have been designed to minimize on-state resistance while provide rugged, reliable, and fast switching performance. They can be used in most applications requiring up to 500mA DC. These products are particularly suited for low voltage, low current applications such as small servo motor control, power MOSFET gate drivers, and other switching applications.

Features

- High density cell design for low $R_{DS(ON)}$
- Voltage controlled small signal switch.
- Rugged and reliable.
- High saturation current capability.



Absolute Maximum Ratings

$T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	BS170	MMBF170	Units
V_{DSS}	Drain-Source Voltage	60	60	V
V_{DGR}	Drain-Gate Voltage ($R_{GS} \leq 1M\Omega$)	60	60	V
V_{GSS}	Gate-Source Voltage	± 20		V
I_D	Drain Current - Continuous	500	500	mA
	- Pulsed	1200	800	
P_D	Maximum Power Dissipation	830	300	mW
	Derate Above 25°C	6.6	2.4	
T_{JL}, T_{STG}	Operating and Storage Temperature Range	-55 to 150		$^\circ\text{C}$
T_L	Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/16" from Case for 10 Seconds	300		$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	150	417	$^\circ\text{C/W}$
-----------------	---	-----	-----	--------------------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Type	Min	Typ	Max	Units
OFF CHARACTERISTICS							
BV_{DSS}	Drain-Source Breakdown Voltage	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = 100\ \mu\text{A}$	All	60			V
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	$V_{DS} = 25\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$	All			0.5	μA
I_{GSSF}	Gate - Body Leakage, Forward	$V_{GS} = 15\text{ V}, V_{DS} = 0\text{ V}$	All			10	nA
ON CHARACTERISTICS (Note 1)							
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1\text{ mA}$	All	0.8	2.1	3	V
$R_{DS(on)}$	Static Drain-Source On-Resistance	$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 200\text{ mA}$	All		1.2	5	Ω
g_{FS}	Forward Transconductance	$V_{DS} = 10\text{ V}, I_D = 200\text{ mA}$	BS170		320		mS
		$V_{DS} \geq 2 V_{DS(on)}, I_D = 200\text{ mA}$	MMBF170		320		
DYNAMIC CHARACTERISTICS							
C_{in}	Input Capacitance	$V_{DS} = 10\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V},$ $f = 1.0\text{ MHz}$	All		24	40	pF
C_{out}	Output Capacitance		All		17	30	pF
C_{rfs}	Reverse Transfer Capacitance		All		7	10	pF
SWITCHING CHARACTERISTICS (Note 1)							
t_{on}	Turn-On Time	$V_{DD} = 25\text{ V}, I_D = 200\text{ mA},$ $V_{GS} = 10\text{ V}, R_{GEN} = 25\ \Omega$	BS170			10	ns
		$V_{DD} = 25\text{ V}, I_D = 500\text{ mA},$ $V_{GS} = 10\text{ V}, R_{GEN} = 50\ \Omega$	MMBF170			10	
t_{off}	Turn-Off Time	$V_{DD} = 25\text{ V}, I_D = 200\text{ mA},$ $V_{GS} = 10\text{ V}, R_{GEN} = 25\ \Omega$	BS170			10	ns
		$V_{DD} = 25\text{ V}, I_D = 500\text{ mA},$ $V_{GS} = 10\text{ V}, R_{GEN} = 50\ \Omega$	MMBF170			10	

Note:

 1. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\ \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Electrical Characteristics

BS170 / MMBF170

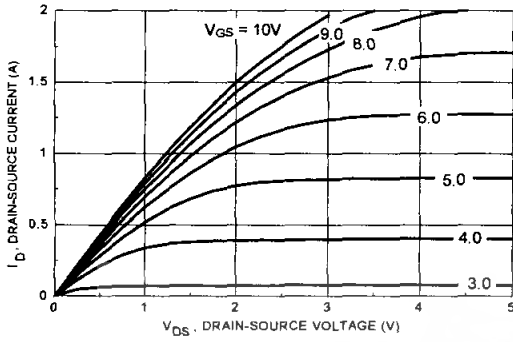


Figure 1. On-Region Characteristics.

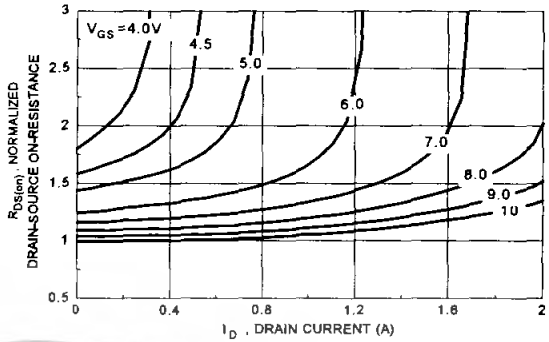


Figure 2. On-Resistance Variation with Gate Voltage and Drain Current.

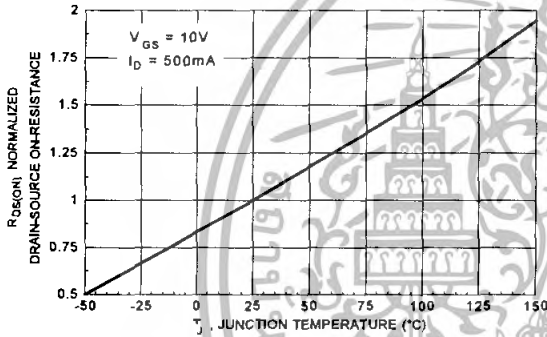


Figure 3. On-Resistance Variation with Temperature.

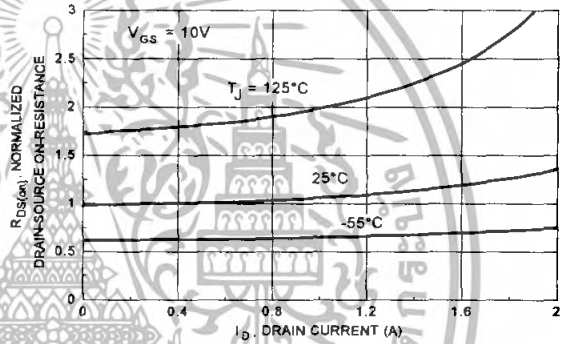


Figure 4. On-Resistance Variation with Drain Current and Temperature.

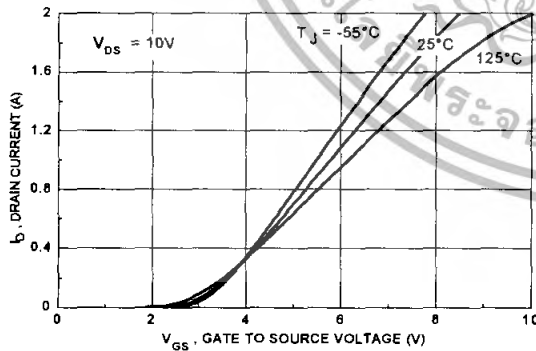


Figure 5. Transfer Characteristics.

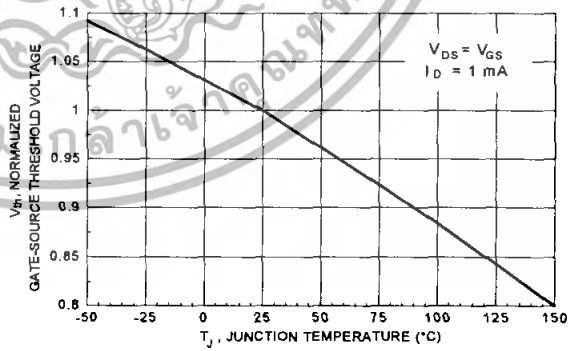


Figure 6. Gate Threshold Variation with Temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM317

3-TERMINAL ADJUSTABLE REGULATORS

DESCRIPTION

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

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

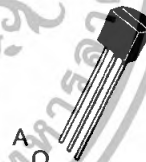
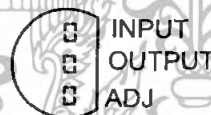
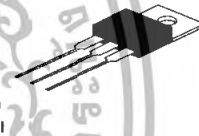
The primary applications of each of these regulators is that of a programmable output regulator, but by connecting a fixed resistor between adjustment terminal and the output terminal, each device can be used as a precision current regulator. Even though the regulator is floating and sees only the input-to-output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

FEATURES

- ♦ Output Voltage Range Adjustable from 1.2 V to 37V
- ♦ Output Current Capability of 1.5A Max
- ♦ Input Regulation Typically 0.01% Per Input-Volt Change
- ♦ Output Regulation Typically 0.1%
- ♦ Peak Output Current Constant over Temperature Range of Regulator
- ♦ Popular 3-Lead TO-220 AB Package
- ♦ Ripple Rejection Typically 80 dB

TO-220 PACKAGE

LM317T



TO-92 LM317LZ

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Input-Output Voltage Differential $V_i - V_o$

Operating Junction Temperature Range

Continuous total dissipation at 25°C free-air temperature

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

Storage Temperature

Lead Temperature 1.6 mm from case for 10 seconds

40V

0°C to +125°C

2000mW

15W

-65°C to +150°C

260°C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM317

3-TERMINAL ADJUSTABLE REGULATORS

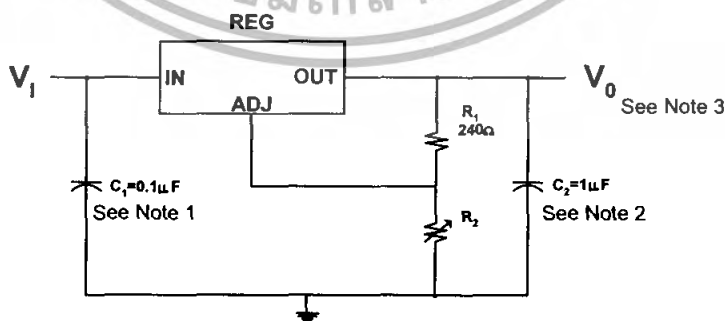
ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Unless otherwise noted, these specifications apply for the following test conditions: $V_i - V_o = 5V$ and $I_o = 0.5A$. For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

PARAMETER	TEST CONDITIONS				UNIT
		MIN	TYP	MAX	
Input Regulation*2	$V_i - V_o = 3V$ to $40V$ *3	$T_j = \text{MIN to MAX}$	0.01	0.04	% / V
		$I_o = 10mA$ to $1.5A$	0.02	0.07	
Ripple Rejection	$V_o = 10V, f = 120HZ$		65		dB
	$V_o = 10V, f = 120HZ$ 10- μF capacitor between ADJ and ground	66	80		
Output Regulation	$I_o = 10mA$ TO $1.5A,$ $T_j = 25^\circ C$ *3,	$V_o \leq 5V$	5	25	mV
		$V_o > 5V$	0.1	0.5	%
	$I_o = 10mA$ to $1.5A$ *3	$V_o \geq 5V$	20	70	mV
		$V_o > 5V$	0.3	1.5	%
Output Voltage Change With Temperature	$T_j = \text{MIN to MAX}$		1		%
Output Voltage long-term Drift*4	After 1000h at $T_j = \text{MAX}$ and $V_i - V_o = 40V$		0.3	1	%
Output Noise Voltage	$f = 10Hz$ to $10kHz, T_j = 25^\circ C$		0.003		%
Minimum Output Current to Maintain Regulation	$V_i - V_o = 40V$		3.5	10	mA
Peak Output Current	$V_i - V_o \leq 15V$	1.5	2.2		A
	$V_i - V_o \leq 40V, T_j = 25$	0.15	0.4		
Adjustment-terminal Current			50	100	μA
Change in adjustment-terminal Current	$V_i - V_o = 2.5V$ to $40V,$ $I_o = 10mA$ to $1.5A$		0.2	5.0	μA
Reference Voltage(Output to ADJ)	$V_i - V_o = 3V$ to $40V, I_o = 10mA$ to $1.5A,$ $P \leq 15W$	1.20	1.25	1.30	V

- All characteristics are measured with a 0.1- μF capacitor across the input and a 1- μF capacitor across the output.
- Input regulation is expressed here as the percentage change in output voltage per 1-V change at the input.
- Pulse testing techniques are used to maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately.
- Since long-term drift cannot be measured on the individual devices prior to shipment. This specification is not intended to be a guarantee or warranty. It is an engineering estimate of the average drift to be expected from lot to lot.

TYPICAL APPLICATION DATA



Output voltage is calculated from $V_o = V_{REF} \left\{ 1 + \frac{R_2}{R_1} \right\}$

- Use of an input bypass capacitor is recommended if regulator is far from filter capacitors.
- Use of an output capacitor improves transient response but is optional.
- V_{REF} equals the difference between the output and adjustment terminal voltages.

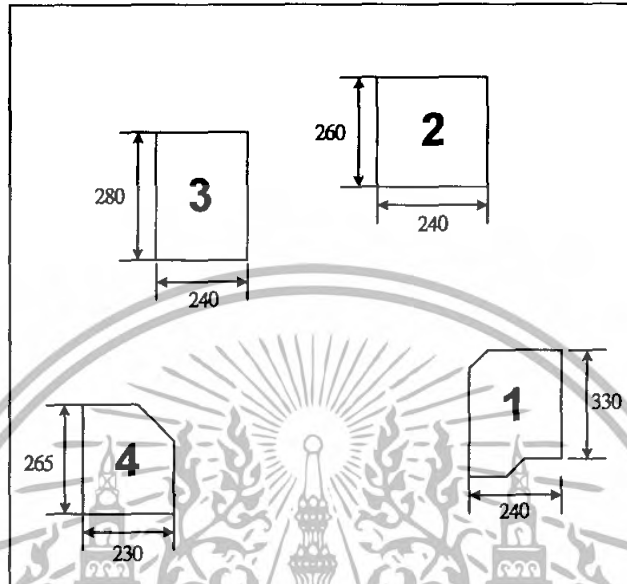
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM317

3-TERMINAL ADJUSTABLE REGULATORS

POSITIVE ADJUSTABLE REGULATOR



Chip Size: 2.45X1.85mm

PAD LOCATION LM317

PAD N	PAD NAME	COORDINATES μm	
		X	Y
1	ADJ	2120	410
2	OUTPUT	1730	1490
3	INPUT	1120	950
4	OUTPUT	90	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้