

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

RFID



โดย
นายปนิธาน วงศ์อำมาตย์ 46010407
นายปรัชญา รุ่งจตุรงค์ 46010422

อพ.
๒1๕๘๐
๒๕๕๙

เลขามู.....
เลขทะเบียน..... 72831
วัน,เดือน,ปี 23 ส.ย. 2550

b. 11๗๙3๐๕๓
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RFID



**ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ โครงการภาษาอังกฤษ

RFID

จัดทำโดย

นายปณิธาน วงศ์อำมาตย์ รหัส 46010407
นายปรัชญา รุ่งจตุรงค์ รหัส 46010422

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ประภากร สุวรรณะ



รายงานฉบับนี้ได้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ชื่อ ปณิธาน อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ประภากร สุวรรณะ)

วันที่ 14 / มี.ค. / 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

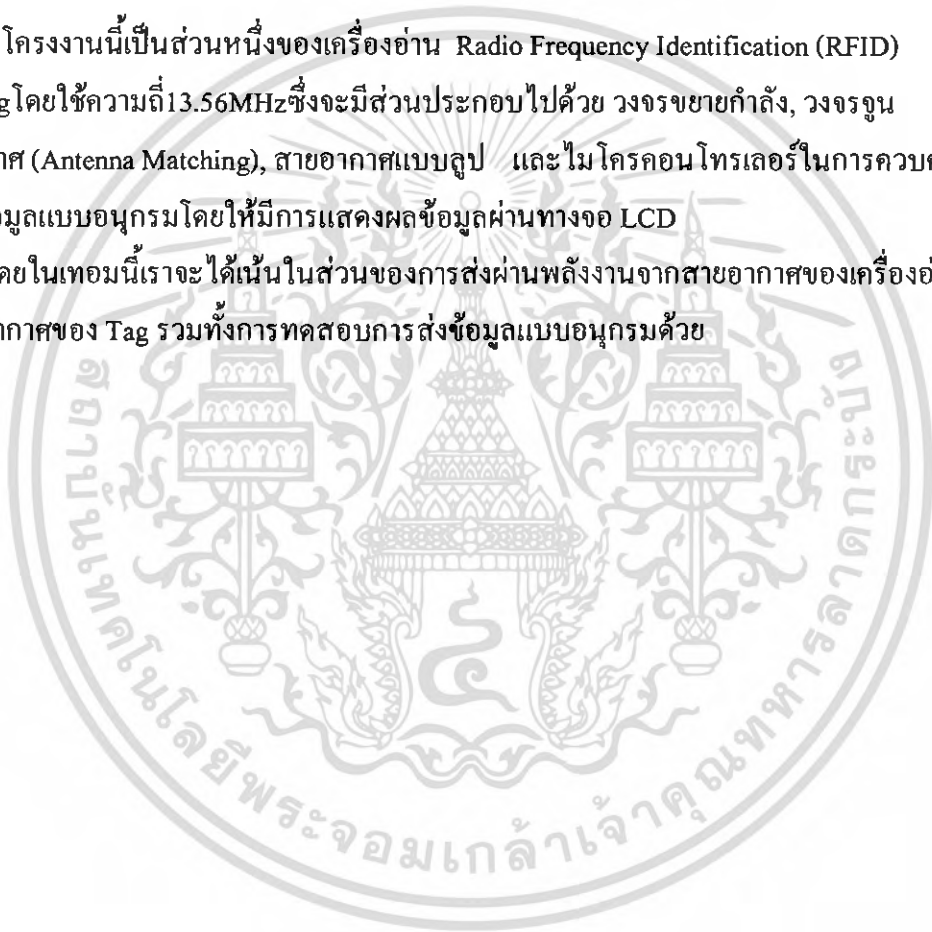
RFID

นาย ปณิธาน วงศ์อำมาตย์ 46010407
นาย ปรัชญา รุ่งจตุรงค์ 46010422
ผศ.ประภากร สุวรรณะ (อาจารย์ที่ปรึกษา)
ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องอ่าน Radio Frequency Identification (RFID) และ Tag โดยใช้ความถี่ 13.56MHz ซึ่งจะมีส่วนประกอบไปด้วย วงจรขยายกำลัง, วงจรจูนสายอากาศ (Antenna Matching), สายอากาศแบบลูป และไมโครคอนโทรเลอร์ในการควบคุมการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมโดยให้มีการแสดงผลข้อมูลผ่านทางจอ LCD

โดยในเทอมนี้เราจะได้นั้นในส่วนของการส่งผ่านพลังงานจากสายอากาศของเครื่องอ่านไปยังสายอากาศของ Tag รวมทั้งการทดสอบการส่งข้อมูลแบบอนุกรมด้วย



RFID

Mr. Panitan Wongse-ammat ID.46010407

Mr. Partchaya Rungchaturong ID.46010422

Assist. Prof. Prapakorn Suwana (Advisor)

2nd Semester , Educational Year 2006

Abstract

This project presents about Radio Frequency Identification (RFID) reader and Transponder applying frequency range of 13.56MHz . The components of RFID reader are: RF power amplifier, a circuit of antenna matching , loop antenna and micro-controller for controlling serial data transfer to show data on LCD screen.

For this first semester, we emphasize on power transferring from the reader to tag and serial data transfer between two micro-controllers.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ประภากร สุวรรณะ อาจารย์ที่ปรึกษาที่
 ช่วยชี้แนะแนวคิดในการทำงานต่างๆและคำปรึกษาตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้
 โครงการฉบับนี้สำเร็จไปได้ และ ผศ.พลพวง ผดุงกุล ที่ช่วยชี้แนะแนวความคิด
 เกี่ยวกับการออกแบบโปรโตคอลในระบบการสื่อสารในโครงการชิ้นนี้ด้วย ขอขอบคุณ
 อาจารย์และเพื่อนๆร่วมห้องที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาตั้งแต่เริ่มต้น

คณะผู้จัดทำ

มีนาคม 2550



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	
สารบัญตาราง	

บทที่ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ	I
1.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยี RFID	2
1.3 ความถี่ของคลื่นพาหะ	4
1.4 มาตรฐาน Standardization	4
1.5 คลื่นพาหะและมาตรฐานของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ	5

บทที่ 2

2.1 องค์ประกอบของระบบ RFID	7
2.1.1 Tags หรือ Transponders	8
2.1.2 Reader หรือ Interrogator	9
2.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ	10
2.3 การสื่อสารแบบไร้สาย	11
2.4 การเข้ารหัสและการมอดูเลชัน (Coding and modulation)	11
2.4.1 การเข้ารหัส (Coding)	12
2.4.2 การผสมข้อมูลแบบดิจิทัล (Digital Modulation Procedure)	15
2.5 รูปแบบการรับส่งข้อมูล	17
2.6 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing	19
2.6.1 Inductive Coupling	19
2.6.1.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	19
2.6.1.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	22
2.6.2 เทคโนโลยี Load Modulation	22
2.6.3 เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier	23
2.6.4 เทคโนโลยี Subharmonic Procedure	26
2.6.5 เทคโนโลยี Close Coupling	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	26
2.6.5.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	29
2.6.6 เทคโนโลยี Electrical Coupling	29
2.6.6.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	30
2.6.1.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	32
2.6.1.3 การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่าย	32
2.7 วงจรเรโซแนนซ์	33
2.8 ความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance)	34
2.9 Maximum power transfer	36
2.10 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์	37
2.11 ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง	38
2.12 ทฤษฎีพื้นฐานของการออกแบบ antenna	39
2.12.1 กระแสและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	39
2.12.2 แรงดันที่เหนี่ยวนำได้จากขดลวดสายอากาศ	41
2.12.3 ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำและชนิดของลวด	44
2.12.4 ความต้านทานกระแสสลับของตัวนำ	45
2.12.5 ความต้านทานของตัวนำด้วยการประมาณที่ความถี่ต่ำ	47
2.12.6 ตัวเหนี่ยวนำที่ประกอบด้วยขดลวดสี่เหลี่ยมหลายชั้น	47
2.13 คุณสมบัติทางเทคนิค ของ PIC 16F877	49
2.14 LCD Module	50
2.14.1 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่ LCD MODULE	51
2.14.2 จังหวะการทำงานของ LCD module	51
2.15 การตรวจสอบการผิดพลาดของข้อมูล	52
2.15.1 VRC (Vertical Redundancy Check) หรือ Parity check	53
2.15.2 LRC (Longitudinal Redundancy check) หรือ Two-dimension parity check	54
2.15.3 Check sum	55
2.15.4 CRC (Cyclic Redundancy Check)	57
2.16 รูปแบบการสื่อสารที่ใช้	59
2.17 การออกแบบรูปแบบการสื่อสาร	65

บทที่ 3

3.1 Flow chart ของ software	69
-----------------------------	----

บทที่ 4

4.1 ผลการทดลองการถ่ายเทพลังงาน	79
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองการส่งพลังงาน	84
4.3 วงจรที่ใช้งานในภาคส่งของเครื่องอ่านและผลการทดลอง	85
4.4 วงจรแทกส์	92
4.5 วงจรภาครับของเครื่องอ่าน	97
4.6 วิจัยณ์ผลการทดลอง	101

กิตติกรรมประกาศ

103



สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 แสดงระบบ RFID	2
บทที่ 2	
รูปที่ 2.1 องค์ประกอบต่างๆ ของระบบการสื่อสารโดยเฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ	7
รูปที่ 2.2 แสดงเท็ทกส์ในรูปแบบต่าง ๆ	8
รูปที่ 2.3 การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล	11
รูปที่ 2.4 แสดงการส่งผ่านข้อมูลและสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบดิจิทัล	11
รูปที่ 2.5 ชนิดของ Line Code ในระบบ RFID	14
รูปที่ 2.6 การมอดูเลตเชิงขนาด (ASK)	16
รูปที่ 2.7 การมอดูเลตเชิงความถี่	17
รูปที่ 2.8 การมอดูเลตเชิงเฟส	17
รูปที่ 2.9 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential	18
รูปที่ 2.10 เทคโนโลยี Inductive Coupling กับการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน	19
รูปที่ 2.11 องค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID ที่มีการทำงานแบบ Inductive Coupling	20
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องลูกข่าย RFID ประเภท Inductive Coupling	22
รูปที่ 2.13 โครงสร้างวงจรเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายใช้เทคนิคการตรวจจับสัญญาณข้อมูลแบบ Load Modulation with subcarrier	24
รูปที่ 2.14 สัญญาณข้อมูลที่ถูกรับรจอยู่ในไซด์แบนด์ของความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย	25
รูปที่ 2.15 โครงสร้างวงจรภายในอย่างง่ายของเครื่องลูกข่าย RFID ที่ทำงานแบบ Subharmonic Procedure	26
รูปที่ 2.16 เทคนิคการถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปสู่เครื่องอ่าน โดยผ่านการคับปลิงทางไฟฟ้า	27
รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างและการทำงานของระบบ RFID แบบ Electrical Coupling	29
รูปที่ 2.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะต้องผลิตขึ้นบนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่อง RFID โดยสัมพันธ์กับขนาดของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ ในกรณีที่น่าเครื่องลูกข่ายเข้ามาใช้งานในระยะห่าง 1 เมตรจากเครื่องอ่าน ใช้ความถี่ 125 kHz	30
รูปที่ 2.19 วงจรสมมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน RFID แบบ Electrical Coupling	31
รูปที่ 2.20 วงจรเรโซแนนซ์ที่ใช้ LC	33
รูปที่ 2.21 ฟลักซ์สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VII

รูปที่ 2.22 ขดลวดที่ค่า Self-Inductance เท่ากับ L_1 และ L_2	35
รูปที่ 2.23 ภาพของวงจรเสมือนที่มีโพลดิอิมพีแดนซ์ต่อกับวงจรอื่นๆ	36
รูปที่ 2.24 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเส้นตรง	39
รูปที่ 2.25 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเป็นรูป	40
รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับระยะทาง r	41
รูปที่ 2.27 โครงสร้างพื้นฐานของตัวอ่านและแท็กส์ในการประยุกต์ใช้ RFID	42
รูปที่ 2.28 ตำแหน่งของสายอากาศของแท็กส์	45
รูปที่ 2.29 ขดลวดลูปสี่เหลี่ยมหลายชั้น	48
รูปที่ 2.30 PIC 16F877	50
รูปที่ 2.31 แสดงตัวอย่างการนับจำนวนบิตที่เกิดการผิดพลาด	53
รูปที่ 2.32 แสดงการทำ parity bit ที่ตัวส่งข้อมูลและตัวรับข้อมูล	54
รูปที่ 2.33 แสดง block diagram ของการรับส่งข้อมูลที่ได้นำเอาหลักการเข้ารหัสแบบ CRC ไปใช้	57
รูปที่ 2.34 การรับส่งข้อมูลได้โดยปรกติ	61
รูปที่ 2.35 กรณีที่มีการสูญหายของข้อมูลที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งสัญญาณ	62
รูปที่ 2.36 กรณีที่เกิดการสูญหายไปของสัญญาณ ACK ใดๆ	63
รูปที่ 2.37 การเกิดดีเลย์ของสัญญาณ ACK	64
รูปที่ 2.38 แสดงการรับส่งข้อมูลแบบ Piggybacking	65
รูปที่ 2.39 แบบข้อมูลที่ tag ส่งไปให้แก่ reader	66
รูปที่ 2.40 แบบสัญญาณ ACK ที่ส่งไปให้แก่ tag	66
รูปที่ 2.41 แสดงการรับส่งสัญญาณโดยปรกติ	67
รูปที่ 2.42 เกิดการเกิดการสูญหายของสัญญาณที่ tag ส่งออกไป	67
รูปที่ 2.43 เกิดการเกิดการสูญหายของสัญญาณ ACK ทั้ง 2 ที่ส่งออกไป tag ส่งออกไป	68
บทที่ 3	
รูปที่ 3.1 แสดง flow chart ของ function show_led และ scankey ของ Tag และ Reader	69
รูปที่ 3.2 แสดง flow chart ของ function lcd_command และ lcd_secondline ของ Tag และ Reader	69
รูปที่ 3.3 แสดง flow chart ของ function lcd_integer และ lcd_firstline ของ Tag และ Reader	70
รูปที่ 3.4 แสดง flow chart ของ function strcpy และ lcd_string ของ Tag และ Reader	70
รูปที่ 3.5 แสดง flow chart ของ function lcd_showdata ของ Tag และ Reader	73
รูปที่ 3.6 แสดง flow chart ของ function send_packet ของ Tag	74
รูปที่ 3.7 แสดง flow chart ของ function send_packet ของ Reader	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 แสดง flow chart ของ interrupt function Rs232_rx_rda ของ Tag และ Reader	76
รูปที่ 3.9 แสดง flow chart ของ main function ของ Tag	77
รูปที่ 3.10 แสดง flow chart ของ main function ของ Reader	78
บทที่ 4	
รูปที่ 4.1 วงจร RF power amp 13.56MHz	79
รูปที่ 4.2 วงจรบริดจ์คเรคตีไฟร์ให้แก่แทกส์	80
รูปที่ 4.3 วงจร matching จาก 50Ω ไป match กับ reader coil	80
รูปที่ 4.4 กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน load ของ tag และ reader กับ ระยะห่าง power input = 6 dBm	81
รูปที่ 4.5 กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ power ที่ load ของ tag และ reader กับ ระยะห่าง power input = 6 dBm	82
รูปที่ 4.6 กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน load ของ tag และ reader กับ ระยะห่าง power input = 7 dBm	82
รูปที่ 4.7 กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง power load ของ tag และ reader กับ ระยะห่าง power input = 7 dBm	83
รูปที่ 4.8 กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน load ของ tag และ reader กับ ระยะห่าง power input = 8 dBm	84
รูปที่ 4.9 กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง power load ของ tag และ reader กับ ระยะห่าง power input = 8 dBm	85
รูปที่ 4.10 แสดง block diagram ภาคส่งของเครื่องอ่าน	85
รูปที่ 4.11 วงจรคริสตัลลออสซิลเลเตอร์และวงจรมอดคูเลเตอร์	86
รูปที่ 4.12 วงจรdriver ของเพาเวอร์แอมป์	86
รูปที่ 4.13 วงจรเพาเวอร์แอมป์	87
รูปที่ 4.14 วงจรแมตซ์ซิ่งของสายอากาศ	87
รูปที่ 4.15 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรรออสซิลเลเตอร์	88
รูปที่ 4.16 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรถ้าเนตสัญญาณนาฬิกาให้แก่ CPU	88
รูปที่ 4.17 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรถ้าเนต driver	89
รูปที่ 4.18 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรถ้าเนต power amplifier ที่ต่อ cascade กับ วงจร driver ที่เอาต์พุตเพาเวอร์เท่ากับ 2 W	89
รูปที่ 4.19 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรถ้าเนต power amplifier ที่ต่อ cascade กับ วงจร driver ที่เอาต์พุตเพาเวอร์เท่ากับ 3 W	90
รูปที่ 4.20 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรถ้าเนต power amplifier ที่ต่อ cascade กับ วงจร driver	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เอาท์พุตเพาเวอร์เท่ากับ 4 W	90
รูปที่ 4.21 สัญญาณเอาท์พุตของวงจร power amplifier ที่ต่อ cascade กับ วงจร driver ที่เอาท์พุตเพาเวอร์เท่ากับ 5 W	91
รูปที่ 4.22 สัญญาณ ASK ที่เอาท์พุต power amp 2W ของ reader ที่ bit rate 9.6 kps	91
รูปที่ 4.23 สัญญาณ ASK ที่เอาท์พุต power amp 2W ของ reader ที่ bit rate 2.4 kps	92
รูปที่ 4.24 วงจรเรกกูเลเตอร์ของแทกต์	93
รูปที่ 4.25 สัญญาณนาฬิกาที่เอาท์พุตของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาบน tag	93
รูปที่ 4.26 แสดงค่าแรงดันหลังบริดจ์เรกติไฟร์และแรงดันที่เรกกูเลเตอร์กับระยะทาง	94
รูปที่ 4.27 แสดง block diagram ของการทำ load modulation	95
รูปที่ 4.28 วงจร Load modulation บนแทกต์	95
รูปที่ 4.29 สัญญาณเอาท์พุตของไอซี 74HC4040 ที่ขา 15	96
รูปที่ 4.30 สัญญาณเอาท์พุตของไอซี 74HC4040 ที่ขา 3	96
รูปที่ 4.31 สัญญาณ load modulation ที่ขาเกรนของ MOSFET BS170	97
รูปที่ 4.32 แสดง block diagram ของภาครีบของเครื่องอ่าน	98
รูปที่ 4.33 แสดงสเปกตรัมของการเกิด load modulation	98
รูปที่ 4.34 วงจร nonlinear amplifier และ วงจรลดทอน โดยการรับอินพุตมาจาก สายอากาศของตัวอ่าน	98
รูปที่ 4.35 วงจร butter worth low pass , วงจรขยายสัญญาณ envelope , วงจร envelope detector และ วงจร comparator	99
รูปที่ 4.36 สเปกตรัมของ reader ที่ความถี่ 13.56 MHz	99
รูปที่ 4.37 สเปกตรัมของสัญญาณ carrier และ subcarrier ที่เกิดจากการทำ load modulation	100
รูปที่ 4.38 สเปกตรัมของสัญญาณ carrier และ subcarrier ที่เกิดจากการทำ load modulation	100
รูปที่ 4.39 สัญญาณเอาท์พุตของวงจรขยายที่ไม่เป็นเชิงเส้น	101

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 ย่านความถี่ต่างๆ ของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ และการใช้งาน	5
ตารางที่ 2.1 AWG WIRE CHART	46
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันที่โหนดของ tag เทียบกับระยะห่างต่างๆของ reader coil เมื่อจ่ายแรงดันอินพุทเท่ากับ 6 dBm	80
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันที่โหนดของ tag เทียบกับระยะห่างต่างๆของ reader coil เมื่อจ่ายแรงดันอินพุทเท่ากับ 7 dBm	80
ตารางที่ 4.3 .แสดงค่าแรงดันที่โหนดของ tag เทียบกับระยะห่างต่างๆของ reader coil เมื่อจ่ายแรงดันอินพุทเท่ากับ 8 dBm	81
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันหลังบริดจ์เรกติไฟร์และที่โหนดของวงจรเรกทูเลเตอร์	



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เทคโนโลยีแสดงตัวตนแบบอัตโนมัติ หรือที่เรียกเป็นศัพท์ทางวิชาการว่า Automatic Identification หรือ Auto-ID เป็นสิ่งที่ได้รับการพัฒนามาเป็นเวลานานรวมทั้งยังมีการนำมาประยุกต์ใช้งานในชีวิตประจำวันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นในแวดวงอุตสาหกรรม ระบบคลังสินค้า ร้านค้าปลีก โรงงาน หรือแม้กระทั่งในสายการผลิตของอุตสาหกรรมทั่วไป วัตถุประสงค์หลักของเทคโนโลยี Auto-ID มีขึ้นเพื่อใช้แสดงตัวตนของมนุษย์ สัตว์ สินค้า หรือแม้กระทั่งวัตถุดิบในกระบวนการผลิต

หากจะยกตัวอย่างระบบ Auto-ID ที่ผู้คนส่วนใหญ่คุ้นเคยที่สุด ก็คงจะหนีไม่พ้นระบบบาร์โค้ด (Barcode) ซึ่งมีลักษณะเป็นกลุ่มแถบรหัสขนาดต่างๆ กันติดอยู่ตามสินค้าต่างๆ โดยเฉพาะในกรณีของการซื้อสินค้าตามห้างสรรพสินค้า เช่น ห้างเทสโก้ โลตัส, ห้างคาร์ฟูร์, บิ๊กซี เป็นต้น ที่พนักงานขายจะใช้เครื่องอ่านบาร์โค้ด ฉายอ่านรหัสของสินค้าแต่ละชิ้นที่ซื้อ เพื่อรวมราคาสุทธิ และยังเป็นการส่งข้อมูลไปยังระบบรากฐานข้อมูลสินค้าคงคลัง เพื่อตัดยอดสินค้าออกตามจำนวนที่มีการซื้อออกไป นอกจากนี้การใช้งานในลักษณะของห้างสรรพสินค้าดังกล่าวแล้วยังมีการใช้งานบาร์โค้ดในแวดวงต่างๆ อีกมากมาย

เมื่อมองในภาพรวมแล้ว จะเห็นว่าบรรดามาตรฐาน Auto-ID ต่างๆ ที่มีการคิดค้นขึ้นมาล้วนมีความสำคัญในการอำนวยความสะดวกทางธุรกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบันทึกระบบฐานข้อมูลอย่างรวดเร็ว แทนที่จะต้องใช้การนับหรือจดบันทึกโดยมนุษย์ อันอาจจะมีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดได้อยู่เสมอๆ นอกจากนี้เทคโนโลยีบาร์โค้ดแล้ว ยังมีเทคโนโลยี Auto-ID อีกประเภทหนึ่งซึ่งเป็นที่คุ้นเคยในการใช้งานประจำวัน นั่นก็คือ เทคโนโลยีสมาร์ทการ์ด (Smartcard) ซึ่งอยู่ในรูปของบัตรพลาสติกภายในบันทึกข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับบริการใช้งานของผู้ถือการ์ด เช่น แผ่น SIM (Subscriber Identity module) ที่ใช้บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับเลขหมายและรหัสลับต่างๆ สำหรับใช้ติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นการใช้งานมาตรฐาน Auto-ID ที่ได้รับความนิยมแพร่หลายมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเริ่มมีการเปิดตัวมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM (Global System for Mobile Communication) ที่มีการกำหนดให้ใช้แผ่น SIM กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งต่อมาได้พัฒนาต่อออกไปเป็น U-SIM (Universal SIM) เมื่อเทคโนโลยีเครือข่ายได้พัฒนาไปเป็นมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 อันเป็นที่ทราบกันดี

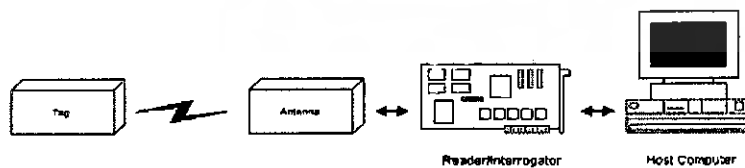
แม้มาตรฐานเทคโนโลยี Auto-ID จะมีอยู่หลายประเภท บางประเภทต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่าน (Contacted Auto-ID) ในขณะที่อีกหลายๆ ประเภทเป็นแบบไม่ต้องมีการสัมผัสกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอ่าน (Contactless Auto-ID) ในปัจจุบันได้เกิดมาตรฐาน Auto-ID สายพันธุ์ใหม่ที่ได้รับค่านิยมใช้งานเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ อันเป็นผลมาจากความสะดวกในการใช้งานรวมถึงศักยภาพในการรองรับข้อมูล และความต้องการใช้งานในแอปพลิเคชันในทุกรูปแบบ อีกทั้งยังมีมูลค่าต้นทุนไม่สูงมาก โดยเป็นมาตรฐานสื่อสารแบบไม่สัมผัส ซึ่งช่วยลดปัญหาความไม่เที่ยงตรง และคลาดเคลื่อนในการอ่าน-เขียนข้อมูล เมื่อเทียบกับการใช้งานแบบสัมผัสที่อาจมีการสึกหรอของหน้าสัมผัส มาตรฐานดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า Radio Frequency Identification หรือย่อๆว่า RFID

1.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยี RFID

RFIDหรือระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification) คือระบบชี้เฉพาะอัตโนมัติ (Automatic Identification) ที่ใช้สัญญาณวิทยุพลังต่ำเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบไร้สาย (Wireless) องค์ประกอบในระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ จะมีหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกคือฉลากหรือป้ายขนาดเล็กซึ่งถือว่าเป็นเครื่องถูกข่ายที่จะถูกผนึกอยู่กับวัตถุที่เราสนใจ โดยฉลากนี้จะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ เอาไว้ ฉลากดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า ทรานสปอนเดอร์ (Transponder, Transmitter & Responder) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า “เครื่องถูกข่าย” (Tag) ส่วนที่สองก็คืออุปกรณ์สำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในเครื่องถูกข่าย มีชื่อเรียกอย่างรวม ๆ ว่า ทรานสซิฟเวอร์ (Transceiver, Transmitter & Receiver) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า “เครื่องอ่าน” (Reader) ทั้งสองส่วนจะสื่อสารกัน โดยอาศัยช่องความถี่วิทยุ สัญญาณนี้ผ่านได้ทั้งโลหะและโลหะแต่ละไม่สามารถติดต่อกับเครื่องอ่านให้อ่านได้โดยตรง เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุ แสดงถึงความต้องการข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากป้ายป้ายจะตอบข้อมูลกลับและเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องอ่านจะติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ โดยผ่านสายเครือข่าย LAN (Local Area Network) หรือส่งผ่านทางความถี่วิทยุจากทั้งอุปกรณ์มีสายและอุปกรณ์ไร้สาย



รูปที่ 1.1 แสดงระบบ RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยหลักการทำงานนั้นจะใช้คลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency) ในการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านข้อมูล (Reader) หรือ เครื่องเขียนข้อมูล (Writer) โดยการมอดูเลชัน (Modulation) ข้อมูลที่ต้องการส่งเข้ากับคลื่นพาห้ (Carrier) แล้วแพร่กระจายคลื่นวิทยุผ่าน สายอากาศ (Antenna) ออกไป

ในส่วนของป้ายชื่อหรือแท็กนั้นจะรับเอาคลื่นวิทยุที่ประกอบด้วย คลื่นพาห้และข้อมูลเข้ามาทางสายอากาศ แล้วทำการแปลงคลื่นวิทยุดังกล่าว ไปเป็นพลังงาน ไฟฟ้ายังผลให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในสามารถส่งข้อมูลจำเพาะที่แสดงถึง "Identity" กลับมาประมวลผลที่ตัวอ่านได้ การรับส่งสัญญาณระหว่างแท็กกับตัวอ่านไม่จำเป็นต้องอยู่ในแนวเส้นตรง นอกจากนี้ตัวรีดเดอร์(Reader) ของ RFID สามารถจำและประมวลผลแท็กส์ พร้อมกันได้เป็นร้อย ๆ อันเลยทีเดียว ในปัจจุบันแท็กส์ ของRFID ถูกทำขึ้นเป็นวงจรรวมแล้วต่อเข้ากับสายอากาศโดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ใน ไอซี แล้วส่งเข้าไปในสายอากาศ ขนาดของแท็กส์มีตั้งแต่เท่ากับเมล็ดข้าวจนถึงเท่ากับก้อนอิฐ โดยแท็กส์จะมีอยู่สองชนิดด้วยกันคือ แบบพาสซีฟ (ไม่ใช่แบตเตอรี่)และแบบแอคทีฟ(ใช้แบตเตอรี่ ในตัวสำหรับการทำงาน) ส่วนความเร็วและช่วงของการส่งผ่านข้อมูลจะขึ้นอยู่กับความถี่ของ สัญญาณวิทยุ, ขนาดของเสาอากาศ รวมทั้งกำลังงานของเอาท์พุท แท็กส์เป็นได้ทั้งแบบอ่านได้ อย่าง เดียว หรือทั้งอ่านและเขียน หรือแบบรวมกันทั้งสองแบบ โดคข้อมูลบางอย่างจะถูกเก็บ ไว้อย่างถาวร ในแท็กส์อย่างเช่น ซีเรียลนัมเบอร์ ส่วนหน่วยความจำที่เหลือจะถูกไว้ใช้ภายหลัง โดยอาจใช้เพื่อเข้ารหัสข้อมูลหรืออาจใช้สำหรับอัปเดตข้อมูล

ปัจจุบันมีการนำ RFID มาใช้งานกันในงานหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นในบัตรชนิดต่างๆ เช่น บัตรประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรสำหรับผ่านเข้า-ออกห้องพัก บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรจอดรถในฉลากของสินค้าหรือแม้แต่ใช้ฝังลงในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ เป็นต้น การนำ RFID มาใช้งานก็เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบการผ่านเข้าออกบริเวณใดบริเวณหนึ่งหรือเพื่ออ่านหรือเก็บข้อมูลบางอย่างเอาไว้ ยกตัวอย่างในกรณีที่เป็นฉลากสินค้า RFID ก็จะถูกนำมาใช้ในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า เพื่อให้สามารถทราบที่มาที่ไปของสินค้าชิ้นนั้นๆ ได้ เป็นต้น สำหรับรูปแบบของเทคโนโลยี RFID ที่ใช้ในการดังกล่าวก็มีทั้งแบบสมาร์ตการ์ดที่สามารถถูกเขียนหรืออ่านข้อมูลออกมาได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่านบัตรหรือคอนแทกเลสสมาร์ตการ์ด, เหรียญ , ป้ายหรือฉลากซึ่งมีขนาดเล็กจนสามารถแทรกกลางระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษหรือฝังเอาไว้ในตัวสัตว์ได้เลยทีเดียว การใช้บัตรอัจฉริยะ (Smart Card) และระบบตรวจสอบรหัสโดยใช้คลื่นวิทยุ (RFID) เป็นที่ยอมรับอย่างสูงว่า RFID เทคโนโลยีที่เอื้ออำนวยต่อการใช้งานที่ต้องการการปกป้องความแตกต่างหรือข้อมูลจำเพาะของแต่ละบุคคล ที่สามารถทำงาน ได้ถูกต้องแม่นยำ รวดเร็ว และมีความเป็นอัตโนมัติกว่าระบบตรวจสอบรหัสในระบบอื่นๆ เช่น รหัสแบบแท่ง (Barcode) การใช้งานที่ง่ายและยังเพิ่มขีดความสามารถในการให้บริการเสริมในเชิงพาณิชย์ด้านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ อีกทั้งยังสอดคล้องกับเทคโนโลยีทางการเก็บข้อมูลคอมพิวเตอร์ ยังผลให้การขยายตัวของการใช้งาน RFID/Smart Card สูงขึ้นอย่างก้าวกระโดด

1.3 ความถี่ของคลื่นพาหะ

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างแต่ละประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่คลื่นพาหะของระบบ RFID โดยมีสามกลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มประเทศในยุโรปและแอฟริกา (Region 1), กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region 2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออกไกลและออสเตรเลีย (Region 3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ความถี่ต่างๆ ให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก อย่างไรก็ตาม ความถี่ของคลื่นพาหะที่นิยมใช้งานในย่านความถี่ต่ำย่านความถี่ ปานกลาง และย่านความถี่สูงก็คือ 125 kHz, 13.56 MHz และ 2.45 GHz นอกจากนี้รัฐบาลของแต่ละประเทศ โดยทั่วไปจะมีการออกกฎหมายเกี่ยวกับระเบียบการใช้งานย่านความถี่ต่างๆ รวมถึงกำลังส่งของระบบ RFID ด้วย

1.4 มาตรฐาน Standardization

เนื่องจากการที่กำหนดมาตรฐานออกมาใช้ในประเทศอย่างเป็นทางการล่าช้าจะส่งผลให้เทคโนโลยี RFID ในประเทศมีการพัฒนาช้าตามไปด้วย ซึ่งมาตรฐานของ RFID สามารถแบ่ง ออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

คลื่นความถี่ (RF spectrum) : คลื่นความถี่ที่จะใช้สำหรับอุปกรณ์ RFID นี้ค่อนข้างยากที่จะกำหนดให้เป็นมาตรฐานสากล เนื่องจากแต่ละประเทศเป็นเจ้าของและเป็นผู้ควบคุมการใช้คลื่นความถี่เอง ดังนั้น จึงขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศที่จะเป็นผู้พิจารณาจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับการใช้งานประเภทต่างๆ

มาตรฐาน RFID (RFID Standards) : บริษัทผู้ผลิตต่างๆ ได้พัฒนาและผลิตระบบ RFID ออกมาโดยมีมาตรฐานที่ใช้ในการส่งถ่ายข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ ขึ้นกับความต้องการของตลาดเป็นสำคัญ

อย่างไรก็ตาม หลายองค์กรได้ตระหนักถึงปัญหาเรื่องมาตรฐานนี้ และได้เริ่มมีการพัฒนาระบบมาตรฐานขึ้นมาทั้งในยุโรปและอเมริกา ตัวอย่างเช่น

- หน่วยงาน ANSI's X3T6 ซึ่งประกอบไปด้วยผู้ผลิตและผู้ใช้งานระบบ RFID ในอเมริกา ได้กำลังทำการพัฒนามาตรฐานของระบบ RFID ที่ความถี่ 2.45 GHz ขึ้นมา

- The International Organization for Standards : ISO ก็ได้มีมาตรฐานเกี่ยวกับการใช้ระบบ RFID กับงานปฐุสัตว์ออกมาแล้ว คือ ISO 11784 และ 11785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• The Electronic Product Code (EPC Global) เป็นองค์การที่เกิดจากความร่วมมือระหว่าง the Uniform Code Council (UCC) และ EAN International โดยได้รับการสนับสนุนจากภาคอุตสาหกรรม ทำหน้าที่ในการกำหนด และพัฒนามาตรฐานรหัสของสินค้าอิเล็กทรอนิกส์และโครงข่าย มาตรฐาน EPC นี้เป็นมาตรฐานเปิด (Open standard) พัฒนาขึ้นโดย the Auto-ID Center ซึ่งได้รับทุนจากบริษัทขนาดใหญ่หลายบริษัท ได้แก่ บริษัท Coca-Cola, Intel, Wal-Mart และ Philips Semiconductors เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้ราคาของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ลดต่ำลงจนอยู่ในระดับที่สามารถ RFID ไปติดไว้กับสินค้ารายชิ้นได้

1.5 กลิ่นพาทะและมาตรฐานของระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างแต่ละประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่คลื่นพาทะของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ โดยมีสามกลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มประเทศในยุโรปและแอฟริกา (Region 1), กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region 2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออกไกลและออสเตรเลีย (Region 3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ความถี่ต่างๆ ให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งาน ทั่วไปคือ 125 kHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ -ต้นทุนไม่สูง -ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ -ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	-Access Control -ปัสตอร์ -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 1.1 ย่านความถี่ต่างๆ ของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ และการใช้งาน
อย่างไรก็ตาม ความถี่ของคลื่นพาทะที่นิยมใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ย่านความถี่ปานกลาง และย่านความถี่สูงก็คือ 125 kHz, 13.56 MHz และ 2.45 GHz ตามลำดับดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้รัฐบาลของแต่ละประเทศ โดยทั่วไปจะมีการออกกฎหมายเกี่ยวกับระเบียบการใช้งาน ย่านความถี่ต่างๆ รวมถึงกำลังส่งของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ด้วย

ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้ว ระบบการชี้เฉพาะโดย คลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดและมี ราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วน ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ที่ใช้คลื่นพาหะย่านความถี่ ต่ำก็จะมีการส่งข้อมูลต่ำและราคาก็จะต่ำลคหลันตามลงไปด้วย



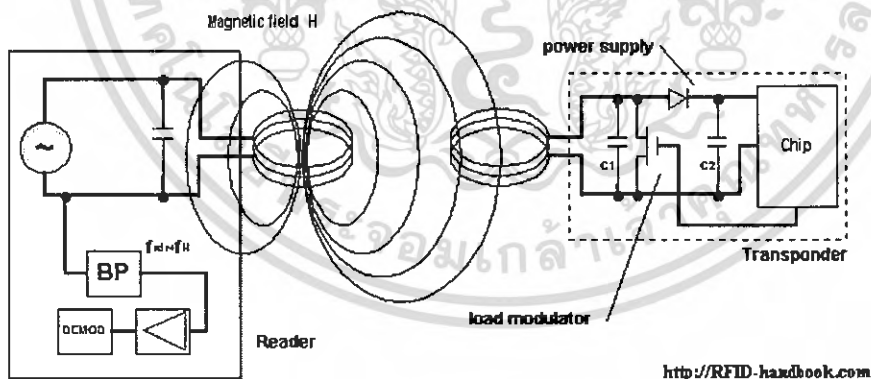
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 องค์ประกอบของระบบ RFID

องค์ประกอบในระบบ RFID จะมีหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกคือฉลากหรือป้ายขนาดเล็กที่จะถูกฉีกอยู่กับวัตถุที่เราสนใจ โดยฉลากนี้จะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ เอาไว้ ฉลากดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า ทรานสปอนเดอร์ (Transponder, Transmitter & Responder) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า “แท็กส์” (Tag) ส่วนที่สองก็คืออุปกรณ์สำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็กส์ มีชื่อเรียกอย่างรวม ๆ ว่า ทรานสซีฟเวอร์ (Transceiver, Transmitter & Receiver) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า “เครื่องอ่าน” (Reader) ทั้งสองส่วนจะสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุ สัญญาณนี้ผ่านได้ทั้งโลหะและอโลหะแต่ละไม่สามารถติดต่อกับเครื่องอ่านให้อ่านได้โดยตรง เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุ แสดงถึงความต้องการข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากป้าย ป้ายจะตอบข้อมูลกลับและเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องอ่านจะติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านสายเครือข่าย LAN (Local Area Network) หรือส่งผ่านทางความถี่วิทยุจากทั้งอุปกรณ์มีสายและอุปกรณ์ไร้สาย



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบต่างๆ ของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ

2.1.1 Tags หรือ Transponders

แท็ก (Tag) นั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder) มาจากคำว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) นั่นเอง ถ้าจะแปลให้ตรงตามศัพท์ แท็กก็จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในแท็กตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างแท็ก และตัวอ่านข้อมูลจะเป็นแบบไร้สายผ่านอากาศ ภายในแท็กจะประกอบไปด้วยชิปสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Chip) ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับสายอากาศ แท็กอาจมีรูปร่างได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน โดยอาจมีรูปร่างเหมือนบัตรเครดิตในการใช้งานทั่วไป หรือเล็กขนาดใส่ดินสอยาวเพียง 10 มิลลิเมตร เพื่อฝังเข้าไปใต้ผิวหนังสัตว์ในกรณี นำไปใช้ในงานปศุสัตว์ หรืออาจมีขนาดใหญ่สำหรับแท็กที่ใช้ติดกับเครื่องจักรขณะทำการขนส่งแท็กอาจนำไปติดไว้กับสินค้าในร้านค้าปลีกทั่วไปเพื่อป้องกันขโมย โดยจะมีการติดตั้งสายอากาศของตัวอ่านข้อมูลขนาดใหญ่ไว้ตรงประตูทางออกเพื่อทำการตรวจจับขโมย

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



รูปที่ 2.2 แสดงแท็กในรูปแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้อาจมีการนำหน่วยความจำแบบ EEPROM มาใช้ในกรณีต้องการเก็บข้อมูลในระหว่างที่แท็กและตัวอ่านข้อมูลทำการสื่อสาร และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้แก่แท็ก เราสามารถแบ่งชนิดของแท็กออกเป็น 2 ชนิดคือ

- แท็กชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag) แท็กชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายใน เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แท็กทำงาน โดยปกติ เราจะสามารถทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในแท็กชนิดนี้ได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กชนิดแอ็กทีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำแท็กไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (seal) ที่ตัวแท็กจึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าเราสามารถออกแบบวงจรของแท็กให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี แท็กชนิดแอ็กทีฟนี้จะมีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกลกว่าแท็ก ชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี

- แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag) จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายใน แต่จะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล จึงทำให้แท็กชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบากว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ และตัวอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวสูง นอกจากนี้แท็กชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาและอายุการใช้งานทำให้แท็กชนิดพาสซีฟนี้เป็นที่นิยมมากกว่า

นอกจากการแบ่งจากชนิดที่ว่ามาแล้วแท็กก็ยังคงถูกแบ่งประเภทจากรูปแบบในการใช้งานได้เป็น 3 แบบ คือ แบบที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้อย่างอิสระ, แบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระและแบบอ่านได้เพียงอย่างเดียวด้วย อย่างไรก็ตามเนื่องจากการใช้งานเพื่อเป็นฉลาก นิยมใช้แท็กชนิดพาสซีฟมากกว่า

2.1.2 Reader หรือ Interrogator

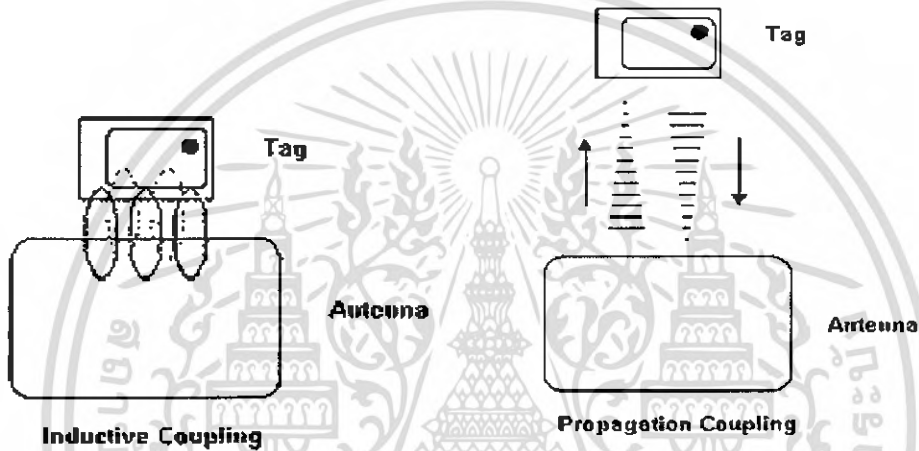
หน้าที่สำคัญของตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) ก็คือการรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็ก แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสข้อมูล และนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่นในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อยๆ ไม่สิ้นสุด ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ “Hand down polling” โดยตัวอ่านข้อมูลจะสั่งให้แท็กหยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีแท็กหลายแท็กอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกัน หรือที่เรียกว่า “Batch Reading” ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านแท็กทีละตัวได้

2.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ

- ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีแท็กเข้ามา อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีกรมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่
- เมื่อมีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กเริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็ก
- คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด, ความถี่ หรือเฟสขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต
- ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

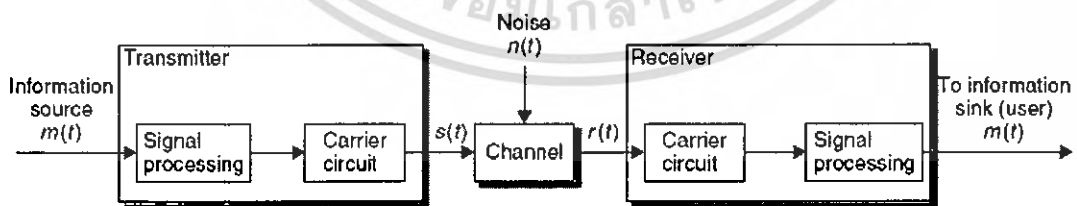
2.3 การสื่อสารแบบไร้สาย

การสื่อสารข้อมูลของระบบการที่เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ คือระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูล จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุโดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) กับ วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation Coupling) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล

2.4 การเข้ารหัสและการมอดูเลชัน (Coding and modulation)



รูปที่ 2.4 แสดงการส่งผ่านข้อมูลและสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการสื่อสารแบบดิจิทัล ซึ่งคือการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับ Tags ในระบบ RFID นั่นเอง กระบวนการสื่อสารจะอาศัยหลักการดังนี้ การเข้ารหัสข้อมูล (Signal Coding) การผสมรหัสข้อมูลเข้ากับคลื่นพาหะ (Modulation) การส่งคลื่นสัญญาณออกไป (Transmission) การถอดข้อมูลออกจากคลื่นพาหะ (Demodulation) และการแปลงรหัสสัญญาณข้อมูล (Signal Decoding)

2.4.1 การเข้ารหัส (Coding)

การส่งรับข้อมูลแบบทางตรงไปตรงมาจะทำให้ข้อมูลที่ส่งและรับนั้นมีความยาวเกินไปจึงมีการคิดค้นวิธีการเข้ารหัส ซึ่งการใช้รหัสจะช่วยให้การส่งและรับข้อมูลสั้นสุดลงและไม่ถูกรบกวนจากสิ่งรบกวนภายนอก การเข้ารหัสมักเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการสื่อสารแบบดิจิทัล

ในระบบการสื่อสารแบบดิจิทัลนั้น จะต้องมีการกำหนดรูปสัญญาณที่แตกต่างกันเพื่อใช้แทนข้อมูลไบนารี 0 และ 1 สำหรับส่งผ่านช่องสัญญาณสื่อสาร ขั้นตอนการเลือกรูปสัญญาณที่เลือกใช้สามารถกำหนดได้หลายลักษณะ อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปคุณสมบัติที่เราให้ความสนใจเกี่ยวกับไลน์โค้ดมีดังต่อไปนี้

- มีองค์ประกอบของกระแสตรงหรือไม่ (DC component)
- สามารถซิงโครไนซ์ได้เอง (Self-synchronization) หมายถึงการที่ลำดับหรือชุดของสัญญาณที่รับ ได้มีข่าวสารของสัญญาณนาฬิกา (clock) ที่เพียงพอผนวกมาพร้อมกับข่าวสารของบิตข้อมูล
- ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดบิตต่ำ (low probability of bit error) คือสามารถทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดี
- สเปกตรัมของสัญญาณมีรูปลักษณะที่เหมาะสม กับช่องสัญญาณ (a spectrum that is suitable for the channel)
- ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ใช้ในการส่ง (transmission bandwidth)
- ทรานส์พาเรนซีซี (transparency) หมายถึงคุณสมบัติที่ระบบสามารถรับส่งชุดบิตที่มีรูปแบบใดๆ ก็ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการทำงานของระบบ

ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของตัวอย่างไลน์โค้ดพื้นฐานแต่ละบิต จะขออธิบายถึงการจัดแบ่งประเภทของไลน์โค้ดออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่

- RZ (Return-to-zero)
- NRZ (Nonreturn-to-zero)

สำหรับไลน์โค้ดแบบ RZ นั้น ภายในช่วงเวลาของแต่ละบิต รูปสัญญาณจะมีการเปลี่ยนระดับไปสู่ค่าศูนย์โวลต์เป็นระยะเวลาช่วงหนึ่งเสมอ และโดยทั่วไปจะปรับสัญญาณไปเป็นค่าศูนย์เป็นช่วงเวลาเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่วงเวลาหนึ่งบิต การบังคับใช้สัญญาณต้องมีการเปลี่ยนระดับไปสู่ศูนย์ทุกๆบิตมีข้อดีคือ สัญญาณพัลส์เบสแบนด์ที่ส่งออกจะมีการเปลี่ยนระดับอย่างแน่นอน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้การซิงโครไนซ์สัญญาณภาครับทำได้โดยตรงจากลำดับสัญญาณที่รับได้ เพราะมีข่าวสารของสัญญาณนาฬิกาควมรวมกับข่าวสารของบิตข้อมูลมาพร้อมกันในสัญญาณที่รับได้ ณ ภาครับ โดยทั่วไปเรามักจะระบุสัดส่วนของเวลาที่สัญญาณไม่เป็นศูนย์ภายในหนึ่งบิตว่าเป็นรอบการทำงาน (duty cycle) ยกตัวอย่างเช่น ถ้าสัญญาณที่ส่งมีค่าไม่เป็นศูนย์อยู่ครึ่งบิตจะกล่าวได้ว่าสัญญาณดังกล่าวมีรอบการทำงานเท่ากับ 50% ในทางกลับกัน ไลน์โค้ดแบบ NRZ จะไม่มีการปรับสัญญาณภายในช่วงเวลาของแต่ละบิตไปเป็นศูนย์เลย ดังนั้นสัญญาณของไลน์โค้ด NRZ จึงมีรอบการทำงานเท่ากับ 100% เสมอ แม้ว่าการทำงานไลน์โค้ดแบบ RZ จะมีข้อดีในส่วนของ การซิงโครไนซ์สัญญาณ แต่ขนาดแบนด์วิดท์ที่ต้องใช้ในการส่งสัญญาณก็มักจะมีความกว้างกว่าการใช้ไลน์โค้ดแบบ NRZ ดังนั้นการจะเลือกใช้วิธีการทำไลน์โค้ดใดจึงต้องมีการพิจารณาคุณสมบัติหลายประการประกอบกัน

ไลน์โค้ด Unipolar

ไลน์โค้ด Unipolar หมายถึง การกำหนดให้ระบบส่งสัญญาณที่มีแรงดันเท่ากับ A โวลต์ เพื่อแทนบิตข้อมูลไบนารีที่มีค่าเป็น 1 และส่งสัญญาณด้วยแรงดันเป็น 0 โวลต์เพื่อแทนบิตข้อมูลไบนารีที่มีค่าเป็น 0 การทำไลน์โค้ดชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ออนออฟคีย์อิง (on-off keying)

ไลน์โค้ด Polar

การทำไลน์โค้ด Polar กำหนดให้ระบบส่งสัญญาณที่มีค่าเท่ากับ A โวลต์สำหรับบิตข้อมูลไบนารีที่มีค่าเป็น 1 และส่งสัญญาณที่มีขนาดเท่ากับ A โวลต์สำหรับบิตข้อมูลไบนารีที่มีค่าเป็น 0

ไลน์โค้ด Manchester (Split-phase)

การทำไลน์โค้ด Manchester หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Split-phase กำหนดให้ระบบส่งสัญญาณที่มีค่าเท่ากับ A โวลต์เป็นช่วงเวลาครึ่งบิต และตามด้วยสัญญาณ $-A$ โวลต์ครึ่งบิตที่เหลือ เพื่อแทนบิตข้อมูลไบนารี 1 ในทางกลับกันให้ส่งสัญญาณแรงดัน $-A$ โวลต์กับครึ่งบิตแรกและตามด้วยสัญญาณ A โวลต์กับครึ่งบิตหลัง เพื่อแทนบิตข้อมูลไบนารี 0 การกำหนดรูปสัญญาณแบบนี้มีข้อดีคือ สัญญาณที่ได้ไม่มีองค์ประกอบกระแสตรงอย่างแน่นอน เพราะค่าเฉลี่ยของสัญญาณมีค่าเป็นศูนย์ทุกๆบิต ฉะนั้นจึงเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาใช้กับช่องสัญญาณที่มีการคับเปิดแบบกระแสสลับ

ซึ่งมาตรฐานของไลน์โค้ดจะมีหลายมาตรฐาน ดังนี้

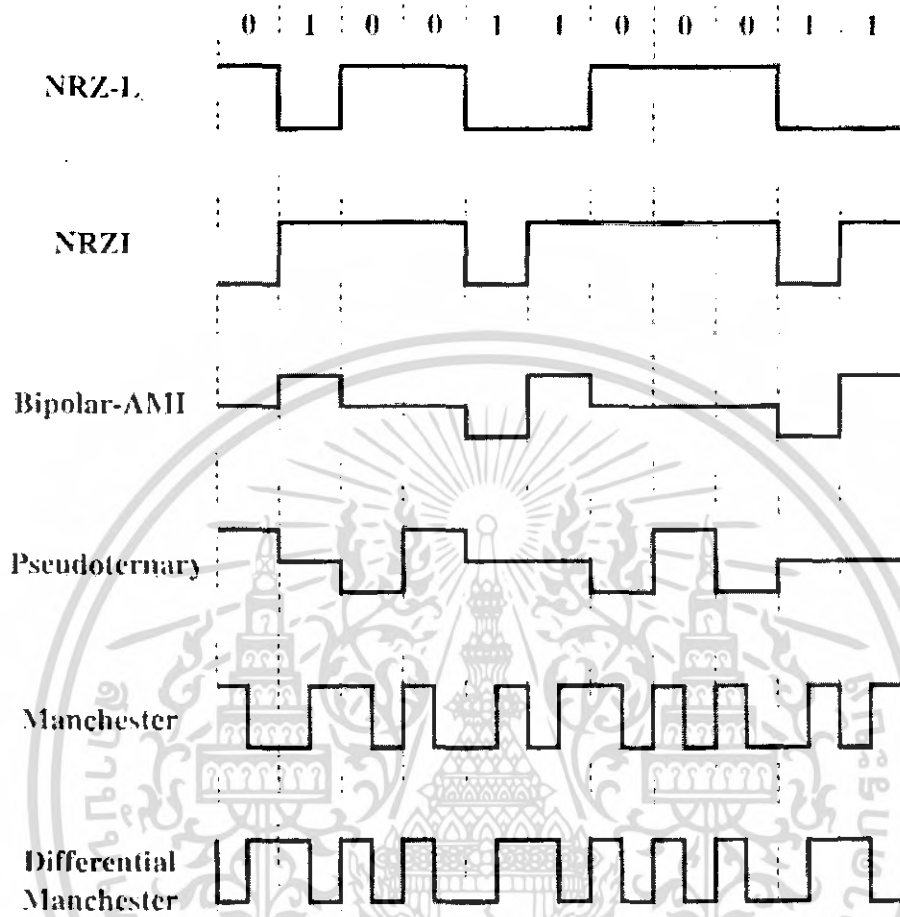


Figure 5.2 Digital Signal Encoding Formats

รูปที่ 2.5 ชนิดของ Line Code ในระบบ RFID

จากรูปเราจะพบว่ามาตรฐานของไลน์โค้ดมีอยู่หลายชนิดความแตกต่างของมันก็คือ ลักษณะการแสดงค่า 0 กับ 1 ที่ให้ลักษณะสัญญาณแตกต่างกัน ไลน์โค้ดที่พบบ่อย และที่นิยมใช้ก็คือ NRZ และ Manchester Coding

NRZ Coding สัญญลักษณ์แทนค่า “1” คือช่วงสัญญาณเป็น “High” สัญญลักษณ์แทนค่า “0” คือช่วงสัญญาณเป็น “Low”

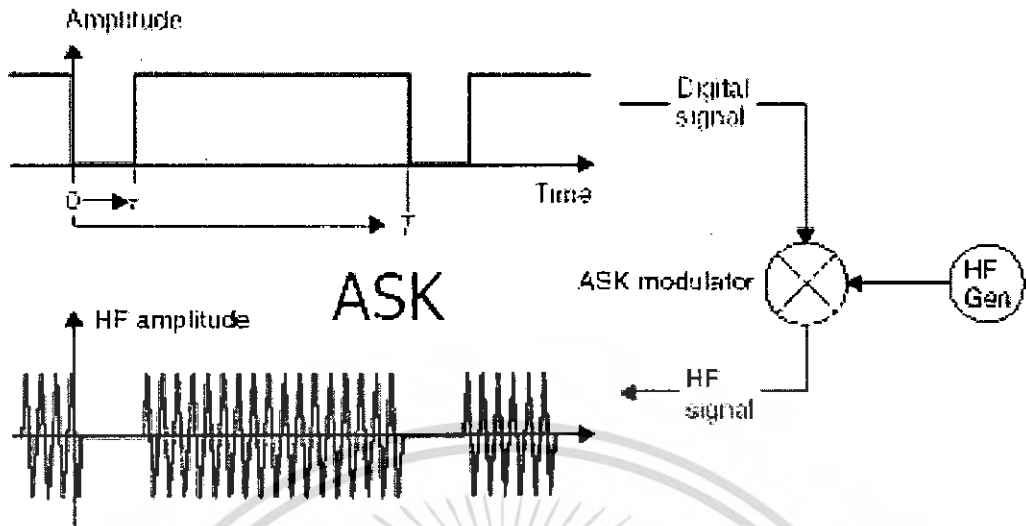
การเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester Code) คือ การเข้ารหัสข้อมูลดิจิทัลวิธีหนึ่ง ก่อนที่ข้อมูลซึ่งผ่านการเข้ารหัสแล้วจะถูกส่งไปมอดูเลต เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับการซิงโครไนซ์ ของข้อมูล เนื่องจากการส่งกระจายสัญญาณตามปกตินั้นหากมีการส่งสัญญาณดิจิทัลในระดับเดียว ติดต่อกันเป็นช่วงยาว เช่น ส่งสัญญาณดิจิทัลที่มีค่าลอจิกเป็น 1 ออกไป 20 บิตติดต่อกัน จะทำให้ การซิงโครไนซ์ของข้อมูลเกิดการคลาดเคลื่อนเพราะ โดยปกติวงจรดิจิทัลจะปรับการซิงโครไนซ์ ของข้อมูลได้เฉพาะในช่วงที่มีการเปลี่ยนระดับของข้อมูลจาก 1 เป็น 0 หรือจาก 0 เป็น 1 และทำให้ รับข้อมูลผิดพลาด เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวจึงต้องมีการนำสัญญาณดิจิทัลไปผ่านการ เข้ารหัสเสียก่อน โดยการเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์จะเปลี่ยนให้สัญญาณดิจิทัลลอจิก 0 ถูก แทนที่ด้วยการเปลี่ยนค่าจาก ลอจิก 0 เป็น 1 และสัญญาณดิจิทัลลอจิก 1 แทนด้วยการเปลี่ยนค่า จาก ลอจิก 1 เป็น 0 ข้อดีของการเข้ารหัสแบบนี้ก็คือทำให้การเปลี่ยนระดับของข้อมูลทุกๆครั้ง เป็นไปอย่างแน่นอนหรือเกิดการเข้าจังหวะ (synchronize) กันของข้อมูลเหล่านั้นนั่นเอง แต่ทว่า การเข้ารหัสแบบนี้มีข้อเสียอยู่กล่าวคือช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลต้องเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

2.4.2 การมอดูเลตข้อมูลแบบดิจิทัล (Digital Modulation Procedure)

เนื่องจากหลักการพื้นฐานของ RFID คือ ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสื่อสารรับส่งข้อมูล ดังนั้นการสื่อสารจะต้องมีกระบวนการผสมข้อมูลที่เข้ารหัสไว้แล้วไปกับคลื่นพาหะ (Modulation) แต่เนื่องจากลักษณะข้อมูลเป็นดิจิทัลจึงต้องใช้วิธีการผสมแบบดิจิทัล

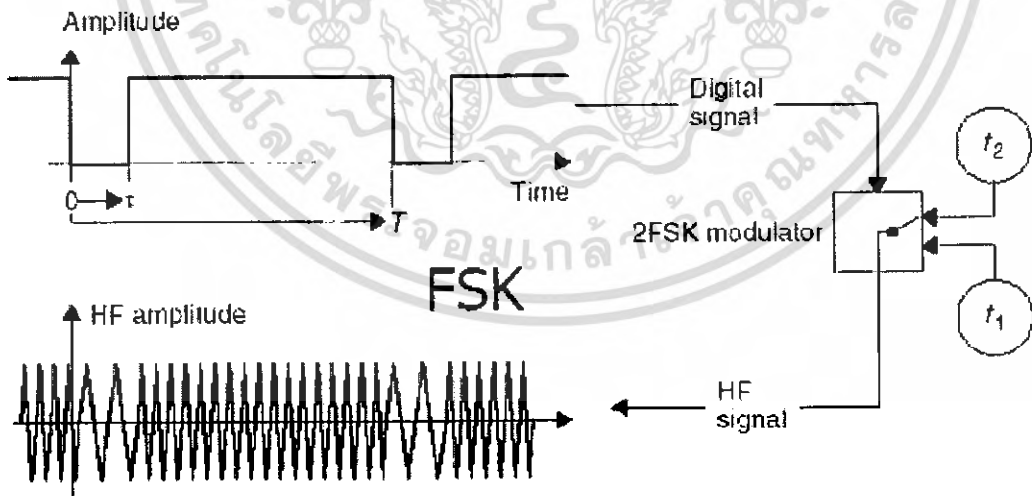
ซึ่งดิจิทัลมอดูเลชัน คือ กระบวนการแปลงข้อมูลดิจิทัลที่อยู่ในรูป 0 และ 1 ให้ได้เป็น สัญญาณที่มีรูปลักษณะเหมาะสมกับการส่งผ่านช่องสัญญาณ โดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่งช่องสัญญาณที่ใช้กันทั่วไปจะเป็นสัญญาณ ไซน์ซอซอด์ และเราเรียก สัญญาณที่เป็นเหมือนพาหะในการนำข้อมูลข่าวสารดิจิทัลจากแหล่งกำเนิดไปถึงภาครับ สัญญาณนี้ว่า คลื่นพาหะ (Carrier) การมอดูเลตสัญญาณข่าวสารดิจิทัลลงบนคลื่นพาหะสามารถ กระทำได้หลายลักษณะ วิธีการพื้นฐานที่สำคัญและเป็นประโยชน์ในการนำมาใช้งาน ได้แก่ แอมพลิจูดชิฟต์คีย์อิง (ASK : amplitude shift keying) ฟรีควเ็นซีชิฟต์คีย์อิง (FSK : frequency shift keying) และเฟสชิฟต์คีย์อิง (PSK : phase shift keying)

การมอดูเลตเชิงขนาด (ASK) อาศัยการเปลี่ยนขนาดแอมพลิจูดของคลื่นพาหะไปตามค่าของ ข้อมูลดิจิทัลที่ป้อนเข้ามา ได้กำหนดคให้แอมพลิจูดของคลื่นพาหะมีค่าเป็นศูนย์เพื่อแทนบิตข้อมูลที่ เป็น 0 ซึ่งเทียบได้กับการไม่ส่งสัญญาณแกแลข และจะส่งสัญญาณ ไซน์ซอซอด์ที่มีแอมพลิจูดไม่เป็น ศูนย์เพื่อแทนบิตข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ในกรณีเฉพาะแบบนี้จะเรียกรวมวิธีการมอดูเลตแบบนี้ในอีก ชื่อหนึ่งว่า ออนออฟคีย์อิง (OOK : on-off keying)



รูปที่ 2.6 การมอดูเลตเชิงขนาด (ASK)

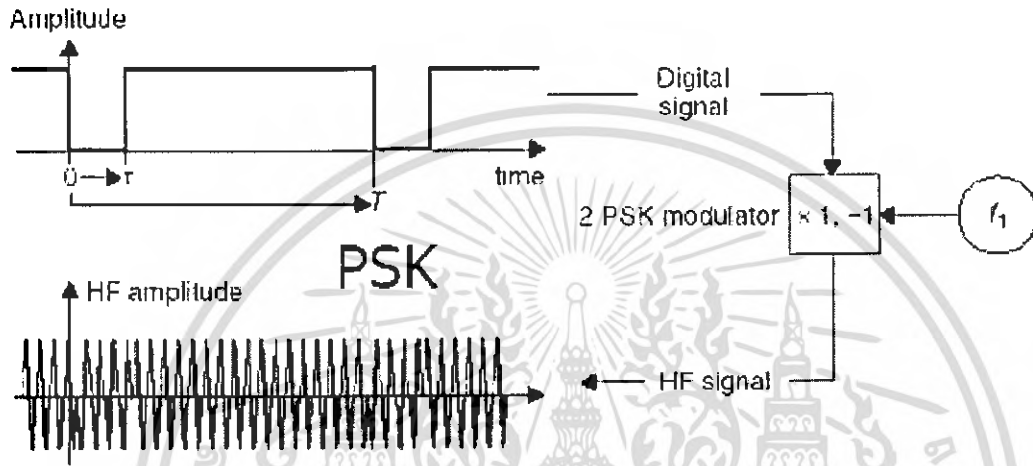
การมอดูเลตเชิงความถี่ (FSK) แอมพลิจูดของสัญญาณคลื่นพาห์ที่ใช้จะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง มีเพียงความถี่ของคลื่นพาห์เท่านั้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลดิจิทัล จากในตัวอย่างสัญญาณ FSK จะมีความถี่ที่ต่างกัน 2 ค่า โดยความถี่สูงใช้แทนข้อมูลดิจิทัลที่มีค่าเป็น 1 และความถี่ต่ำใช้แทนข้อมูลที่เป็น 0



รูปที่ 2.7 การมอดูเลตเชิงความถี่

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การมอดูเลตเชิงเฟส (PSK) แอมพลิจูดและความถี่ของคลื่นพาห้จะกำหนดให้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ส่วนที่เปลี่ยนไปตามข้อมูลดิจิทัล 0 หรือ 1 คือเฟส กล่าวคือถ้าบิตข้อมูลที่จะส่งมีค่าเป็น 0 ระบบจะส่งคลื่นพาห้ที่มีเฟสตามที่กำหนดค่าหนึ่ง และถ้าบิตข้อมูลมีค่าเป็น 1 ระบบจะส่งคลื่นที่ต่างไปจากกรณีแรก โดยทั่วไปถ้าต้องการให้ได้ระบบที่สมรรถนะดี ก็มักจะเลือกให้เฟสทั้งสองมีค่าต่างกัน 180 องศา



รูปที่ 2.8 การมอดูเลตเชิงเฟส

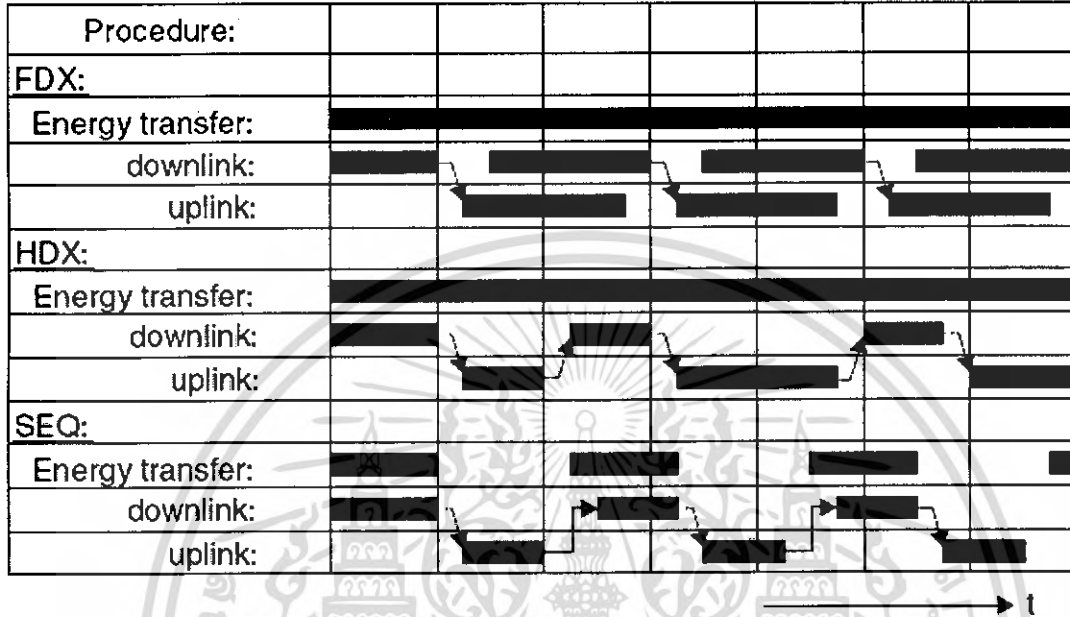
2.5 รูปแบบการรับส่งข้อมูล

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

ซึ่งการรับส่งข้อมูลในระบบ RFID นี้จะมีรูปแบบการทำงานซับซ้อนกว่ารูปแบบการส่งข้อมูลประเภท 1 บิต นอกจากนั้นรูปแบบในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านก็มีความแตกต่างกันออกไปตามกลวิธี ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานออกได้ตามรูปที่ 2.9 อันประกอบไปด้วยการสื่อสารแบบ Full Duplex ซึ่งเครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่ายได้ตลอดเวลาการส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย และการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังเครื่องอ่าน สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ต่างจากการสื่อสารแบบ Half Duplex ซึ่งแม้เครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา แต่ก็ต้องมีการกำหนดจังหวะผลัดกันรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย สำหรับการสื่อสารแบบสุดท้ายคือ Sequential นั้น จะมีการจำกัดเวลาในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไฟให้เครื่องลูกข่ายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลง 72831 อย่างยิ่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะพัลส์ (Pulse) หรือก้อนพลังงานที่ส่งออกในแต่ละช่วงเวลาและใช้การปรากฏขึ้นของพลังงานไฟฟ้าหรือพัลส์เป็นสัญญาณกำหนดให้มีการส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปยังลูกข่าย ส่วนช่วงที่ไม่มีพลังงานปรากฏอยู่จะเป็นการส่งสัญญาณจากลูกข่ายไปยังเครื่องอ่าน

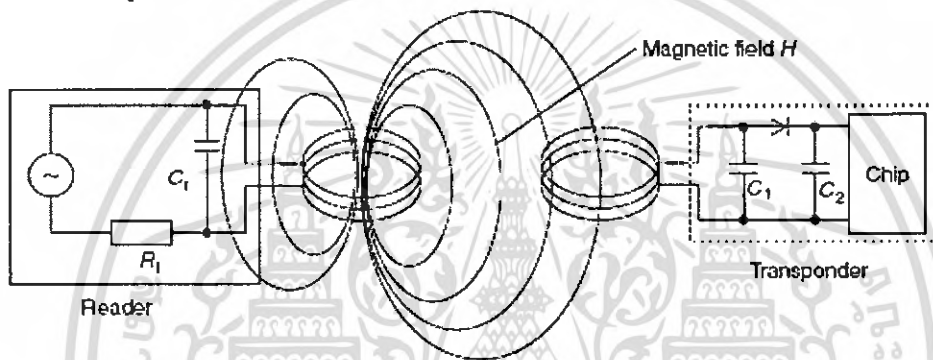


รูปที่ 2.9 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential

2.6 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing

2.6.1 เทคโนโลยี Inductive Coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็ก โครงสร้างของเครื่องลูกข่าย ประกอบไปด้วย แผงวงจรหรือไมโครชิปที่ใช้เก็บบันทึกข้อมูลต่าง โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศ สำหรับรับและส่งสัญญาณ ทั้งนี้จะกล่าวถึงเทคนิคในการจ่ายพลังงานจากเครื่องลูกข่าย เพื่อเลี้ยงให้ไมโครชิปสามารถทำงานได้ก่อน จะกล่าวถึงเทคนิคที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล ดังแสดงในรูป 2.10



รูปที่ 2.10 เทคโนโลยี Inductive Coupling กับการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน

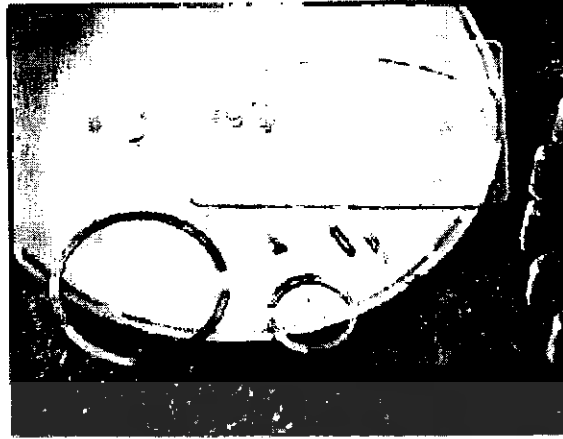
2.6.1.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เนื่องจากการทำงานของเครื่องลูกข่ายนั้นเป็นแบบ passive กล่าวคือ ไม่มีแหล่งพลังงานภายในเป็นของตัวเอง จึงจำเป็นต้องรับพลังงาน(Energy) มาจากเครื่องอ่านโดยตรง ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่าน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำลังสูง สามารถแพร่กระจายไปในพื้นที่ใช้งาน และสามารถตกกระทบขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้อย่างเหมาะสม ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกมาจากเครื่องอ่านนี้มีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ซึ่งโดยทั่วไปมักวางห่างกันไม่มากนัก ในขณะที่เทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling ส่วนใหญ่ใช้ความถี่ต่ำเพียง 135 kHz หรืออาจต่ำกว่า ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีความยาวคลื่นสูงมากถึง 2400 เมตร แม้ในบางระบบที่ความถี่ใช้ความถี่สูงในย่าน 13.56 MHz ก็ยังกำเนิดคลื่นสัญญาณที่มีความคลื่นถึง 22.1 เมตร จึงไม่มีปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไป จนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบน หรือถูกกลทอนจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนังอาคาร หรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ หากพิจารณาถึงพื้นที่ใช้งานโดยทั่วไปที่ไม่ได้ไกลหรือกว้างใหญ่มากนัก

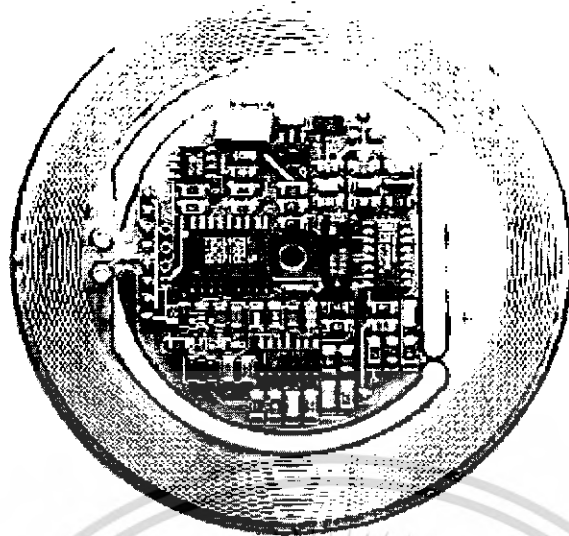
สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่ง จะตกกระทบขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่าย ก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อนๆ ขึ้นบนขดลวดดังกล่าว ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้ จะถูกนำไปเข้ากระบวนการ Rectifier โดยตัวเก็บประจุและไดโอด เพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับป้อนให้กับไมโครชิพ ทั้งนี้หัวใจของการออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ C1 ซึ่งจะต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด (L) เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่กำทอน (Resonant Frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน เพื่อให้เกิดความเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ที่เครื่องลูกข่าย สิ่งนี้ผู้ออกแบบอุปกรณ์เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling ให้ความสำคัญมากที่สุด ก็คือการออกแบบขดลวดทั้งที่เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ให้สามารถถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้า ให้แก่กันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด หากจินตนาการเปรียบเทียบการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้า ระหว่างขดลวดทั้งสองในรูปที่ 2.9 จะเทียบได้กับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวด 2 ชุด หากแค่ขดลวดทั้ง 2 มิได้พันอยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกับ กลับกลายเป็นใช้อากาศซึ่งมีคุณสมบัติในการนำพาสัญญาณที่เลวร้ายกว่าแกนแม่เหล็กมากๆ

ดังนั้นในการออกแบบระบบแบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน , จำนวนรอบของเครื่องอ่าน , และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่เครื่องลูกข่าย , มุมติดตั้งและระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ทั้งนี้รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างโครงสร้าง พื้นฐานที่เป็นองค์ประกอบของอุปกรณ์ RFID แบบ Inductive Coupling โดยขดลวดวงกลมที่เห็นในภาพ เป็นสายอากาศของเครื่องรับ ในขณะที่ขดลวดวงรีที่เป็นของเครื่องลูกข่าย จะติดตั้งอยู่บนแผ่นพลาสติกการ์ด พร้อมบรรจวงจรถืออิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจร Rectifier ร่วมกับแผงวงจรประมวลผลและเก็บบันทึกข้อมูลต่างๆ



รูปที่ 2.11 องค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID ที่มีการทำงานแบบ
Inductive Coupling

เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงมากขึ้น จะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงใช้จำนวนรอบในการพันลดลงเช่นกัน ตัวอย่างเช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 135 kHz จะต้องมีพันขดลวดสายอากาศที่เครื่องลูกข่ายในช่วง 100 – 1000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 MHz ก็จะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวดจะเหลือเพียง 3-10 รอบเท่านั้น ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายลงได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จะส่งผลให้แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่สูงลดลงเมื่อเทียบกับการใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ทำให้จำกัดระยะทางในการใช้งานมากขึ้น การเลือกใช้อุปกรณ์ Inductive Coupling จึงต้องพิจารณาทั้งขนาดของเครื่องลูกข่าย และระยะทางที่ต้องการใช้งาน ตรวจสอบเป็นสำคัญ เพื่อใช้กำหนดเลือกย่านความถี่ที่เหมาะสม ของอุปกรณ์ใช้งาน รูปที่ 2.12 เป็นตัวอย่างของเครื่องอ่านข้อมูล RFID แบบ Inductive Coupling ซึ่งจะเห็นว่ามีแผงขดลวดลงไปในบรรจุภัณฑ์ ทำให้มีขนาดเล็กระทัดรัด เหมาะสำหรับการติดตั้งใช้งานในพื้นที่จำกัด



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องลูกข่าย RFID ประเภท Inductive Coupling

2.6.1.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

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

2.6.2 เทคโนโลยี Load Modulation

พฤติกรรมในการส่งพลังงานและสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและขดลวดของเครื่องลูกข่ายมีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากการทำงานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า เพียงแต่ตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานเป็นอากาศ ไม่ใช่โลหะหรือแท่งแม่เหล็กเหมือนกับที่พบเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป อย่างไรก็ตามการใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดทั้งสองนั้น จะทำได้ก็ต่อเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายห่างกันไม่เกิน 0.16 เท่าของค่าความยาวคลื่น ซึ่งหากคิดกรณีที่ใช้ความถี่ในย่าน 135 kHz ที่มีความยาวคลื่น 2400 เมตร ก็จะหมายความว่า จะวางเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่านห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน $0.16 \times 2400 = 384$ เมตร

หากมีการนำเครื่องลูกข่าย ซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวด (L) และตัวเก็บประจุ (C) ตรงกับค่าความถี่กำหนดของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่มีการแพร่กระจายสัญญาณคลื่น

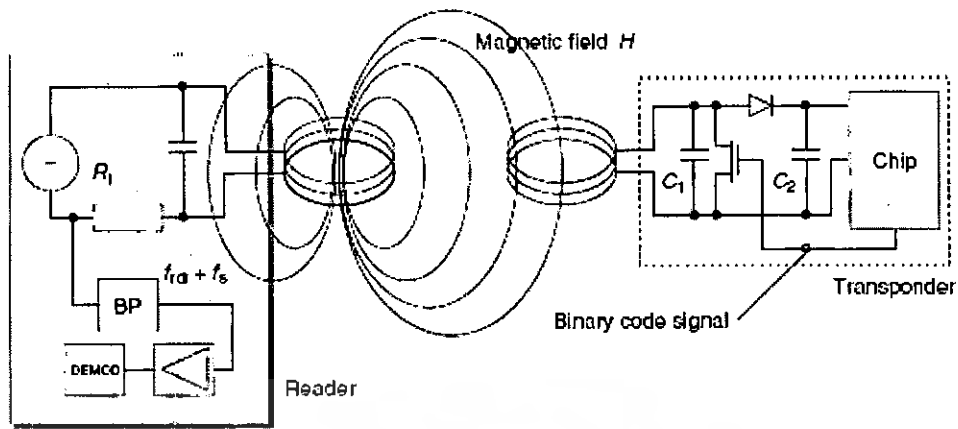
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน เครื่องลูกข่ายจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำ เพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้ว เครื่องอ่านจะมองเห็นเครื่องลูกข่าย เป็นโหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ Z_T คอพลงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน การเปลี่ยนแปลงใดๆไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานของเครื่องอ่าน ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ Z_T ที่เครื่องอ่านมองเห็นอย่างแน่นอน เนื่องจากในแง่ของวงจรเรโซแนนซ์ ที่เกิดจากขดลวด (L) และตัวเก็บประจุ (C) บนเครื่องลูกข่าย ย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์ เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ตกกระทบ และไม่มีการจ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ Z_T นี้ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน โดยปริยาย ซึ่งนี่เองที่เป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านทราบว่า กำลังจะมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมา เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Load Modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half-Duplex หรือ Full-Duplex นั้นก็สุดแท้แต่การออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณ ซึ่งเป็นเรื่องที่ลงรายละเอียดไปในการออกแบบ

2.6.3 เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier

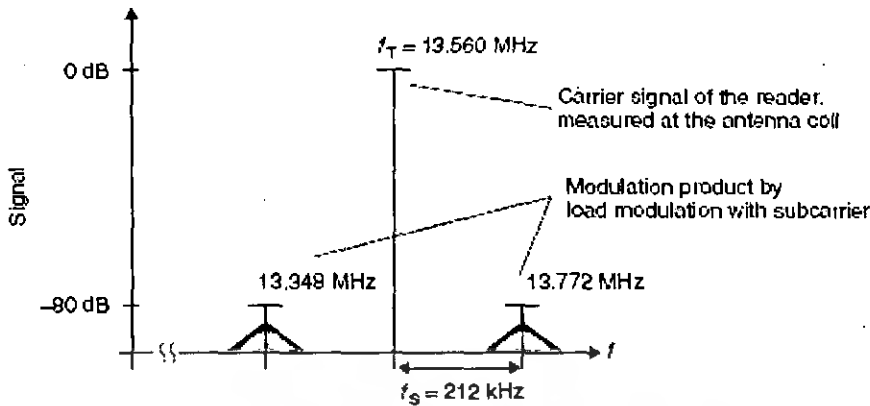
เนื่องจากระดับความสามารถในการถ่ายทอด (Coupling) สัญญาณระหว่างขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน ค่อนข้างต่ำ อันเนื่องมาจากเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้ว การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดัน สัญญาณที่เกิดขึ้นบนขดลวดของเครื่องอ่าน อันมีผลมาจากการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายย่อมอยู่ในระดับที่ต่ำมาก ๆ จนบางครั้งอาจไม่สามารถตรวจจับได้ เป็นผลให้เกิดปัญหาในการส่งข้อมูล ในทิศทาง Uplink ในทางปฏิบัติสำหรับระบบ RFID แบบ Inductive Coupling ที่ใช้ความถี่ 13.56 MHz สมมติว่ามีแรงดันปรากฏที่ขดลวดของเครื่องอ่านสูงถึง 100 โวลต์ (ที่สูงเช่นนี้ส่วนใหญ่เกิดจากปรากฏการณ์กำทอน) จะพบว่าเมื่อมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังเครื่องอ่าน ความเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นเหนือแรงดัน 100 โวลต์บนขดลวดของเครื่องอ่าน จะมีค่าสูงอย่างมาก ก็ไม่เกิด 10 มิลลิโวลต์ ซึ่งถือว่าต่ำกว่าแรงดันพื้นฐานบนขดลวดถึง 10000 เท่า หรือหากคิดในแง่ของการออกแบบวงจรเพื่อตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ก็ต้องกล่าวว่าสัญญาณดังกล่าวมีระดับความแตกต่างระหว่างตัวสัญญาณจริงกับสัญญาณรบกวนต่ำมากเพียง 80 เดซิเบลเท่านั้น ที่กล่าวเช่นนั้นก็เพราะโอกาสที่จะเกิดสัญญาณรบกวน เช่นการกระเพื่อมโดยธรรมชาติของแรงดันไฟฟ้า 100 โวลต์ ในพิสัย ± 10 มิลลิโวลต์ เป็นไปได้สูงมาก การใช้เทคโนโลยี Load Modulation โดยทั่วไปย่อมมีโอกาสตรวจจับข้อมูลได้ผิดพลาดง่ายมาก จึงเป็นที่มาของการออกแบบ เทคนิคการตรวจจับข้อมูลแบบ Load Modulation with subcarrier ซึ่งมีหลักการคล้ายคลึงกับการรับส่งวิทยุ AM (Amplitude Modulation) โดยมีตัวอย่างวงจรเครื่องรับและเครื่องลูกข่ายดังแสดงในรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 โครงสร้างวงจรเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายที่ใช้เทคนิคการตรวจจับสัญญาณข้อมูลแบบ Load Modulation with subcarrier

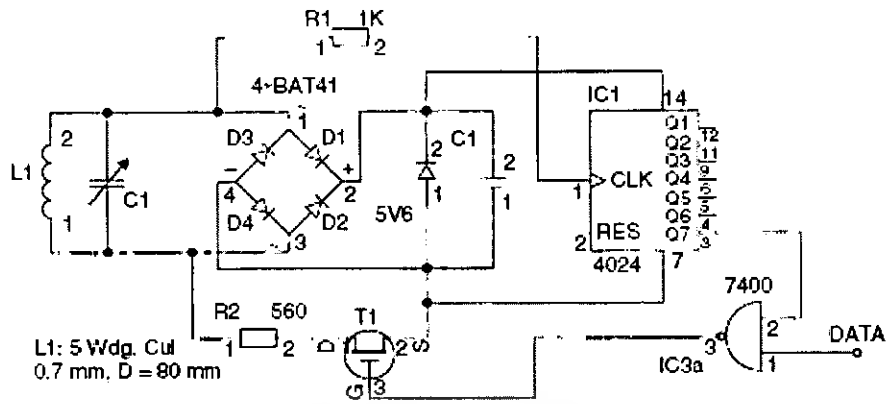
เนื่องจากปัญหาในเรื่องของขนาดแรงดันสัญญาณข้อมูลที่ต่ำมากๆ ทำให้ต้องออกแบบวงจรตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ซับซ้อนและมีต้นทุนสูงมาก จึงมีการปรับปรุงรูปแบบการตรวจจับสัญญาณ โดยใช้เทคนิค Load Modulation with subcarrier ซึ่งในกรณีที่มีการส่งข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งหากมองในแง่ของเครื่องอ่านย้อนกลับมาที่เครื่องลูกข่ายจะเห็นการเปลี่ยนของแรงดันไฟฟ้าด้วยความถี่ค่าหนึ่ง สมมติว่าเป็น f_c ในกรณีนี้ จะพบว่าพฤติกรรมในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปยังเครื่องอ่าน ไม่ต่างจากการส่งกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุแบบ AM แต่อย่างใด กล่าวคือ มีความต้องการส่งข้อมูลข่าวสารในแบนด์วิธช่วง f_c ซึ่งเป็นค่าความถี่ต่ำ โดยใช้ความถี่คลื่นพาหะ ที่เป็นความถี่สูงกว่ามากๆ ซึ่งในกรณีของอุปกรณ์ RFID นั้นก็คือ ความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายนั่นเอง หากมีการนำอุปกรณ์ประเภททรานซิสเตอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการรวมสัญญาณดังเช่นที่ใช้กันในเครื่องรับ – ส่ง คลื่นวิทยุมาต่อในวงจร ภายในเครื่องลูกข่ายก็จะทำให้เกิดการมอดูเลตสัญญาณ ทำให้เกิดคลื่นความถี่สัญญาณไซด์แบนด์ (Sideband) หรือความถี่ข้างเคียงอันมีค่าเท่ากับ $f_c + f_s$ และ $f_c - f_s$ โดย f_c ก็คือความถี่ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID รายละเอียดดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 สัญญาณข้อมูลที่ถูกบรรจุอยู่ใน ไซค์แบนด์ของความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย

เมื่อเป็นเช่นนี้การตรวจจับสัญญาณที่ปรากฏบนเครื่องอ่านก็จะง่ายดายขึ้น โดยเพียงแต่ทำการติดตั้งอุปกรณ์แยกกรองความถี่ (Bandpass Filter) ที่ขั้วตลวดของเครื่องอ่าน โดยสามารถเลือกเฉพาะสัญญาณในไซค์แบนด์ด้านใดด้านหนึ่งที่ต้องการ ($f_c \pm f_s$) จากนั้นจึงนำสัญญาณที่กรองออกมาไปทำการขยายแล้วทำการคิมอดูเลต ก็จะได้สัญญาณที่ถูกส่งออกมาเครื่องลูกข่าย โดยไม่มีปัญหาการผิดพลาดจากการตรวจจับ และไม่ต้องใช้วงจรตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระดับไฟฟ้าที่ซับซ้อนอีกแต่อย่างใด และเนื่องจากข้อมูลที่มีการส่งออกจากเครื่องลูกข่ายไปยังเครื่องอ่าน แท้จริงแล้วเป็นลำดับข้อมูลไบนารีที่สถานะเพียง 1 หรือ 0 จึงสามารถเลือกใช้รูปแบบการมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัลได้หลากหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็น ASK (Amplitude Shift Keying) , FSK (Frequency Shift Keying) หรือ PSK (Phase Shift Keying)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความถี่ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน ทำให้ต้องมีกรกันแบนด์วิดท์สำหรับการรับส่งข้อมูลไว้ค่อนข้างสูง ดังตัวอย่างในรูป 2.13 ซึ่งต้องกันแบนด์วิดท์รอบความถี่พื้นฐานมากถึง 212 kHz ทำให้ไม่สามารถใช้เทคโนโลยี Load Modulation with carrier ได้กับระบบ RFID ที่ใช้ความถี่ต่ำในการสื่อสารข้อมูล ข้อกำหนดมาตรฐาน RFID จึงระบุว่าสามารถใช้เทคโนโลยีดังกล่าวได้เฉพาะกับมาตรฐาน RFID แบบ Inductive Coupling ที่ความถี่ 6.78 MHz, 13.56 MHz, 27.125 MHz เท่านั้น รูปที่ 2.15 เป็นตัวอย่างวงจรจริงที่ใช้ในการสร้างสัญญาณไซค์แบนด์บนอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย



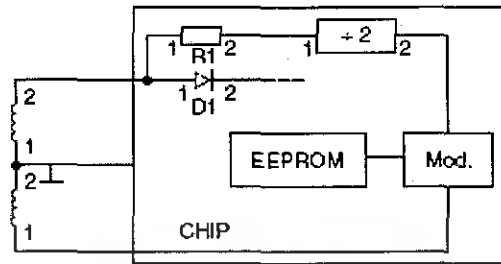
รูปที่ 2.15 ตัวอย่างวงจรที่ใช้สำหรับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบ Load Modulation with subcarrier ติดตั้งอยู่ในเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling

2.6.4 เทคโนโลยี Subharmonic Procedure

เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในงานระบบ RFID ในย่านความถี่ต่ำและไม่สามารถนำเทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier มาใช้งานได้ เทคโนโลยีเป็นการนำสัญญาณข้อมูลที่เครื่องลูกข่ายต้องการส่งกลับไปยังเครื่องอ่านมาทำการป้อนผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อทำให้เกิดการกระจายสัญญาณออกเป็นสัญญาณฮาร์มอนิกย่อยๆ หรืออาจใช้การป้องกันสัญญาณที่ต้องการจะส่งออกไปยังวงจรหารความถี่ เพื่อให้เกิดสัญญาณข้อมูลที่บรรจุข้อมูลข่าวสารเหมือนสัญญาณต้นฉบับ แต่มีความถี่ลดลง 2 เท่า จากนั้นจึงนำสัญญาณใหม่ที่มีความถี่ต่ำลงนี้ ไปผ่านเข้าสู่วงจรมอดูเลตสัญญาณ เพื่อป้อนเข้าสู่ขดลวดของเครื่องลูกข่าย ได้มีการส่งผ่านอากาศกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยทั่วไปมักนิยมใช้เทคโนโลยี Subharmonic Procedure กับระบบ RFID ที่ย่านความถี่ 128 kHz ย่อมหมายความว่าเครื่องลูกข่ายชนิดนี้ จะส่งสัญญาณข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่านที่ความถี่ครึ่งหนึ่ง คือ 64 kHz การแยกแยะสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายกับแรงดันไฟฟ้าที่ล้นปรากฏที่ขดลวดสายอากาศของเครื่องรับสัญญาณ สามารถทำได้ง่าย โดยการใช้วงจรแยกกรองความถี่ เช่นเดียวกับในกรณีของเทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier

รูปที่ 2.16 เป็นตัวอย่างวงจรรายในอย่างง่ายของเครื่องลูกข่ายแบบ Subharmonic Procedure โดยมีการแยกขดลวดสายอากาศออกเป็นสองส่วน มีแท็ปกลาง (Center Tap) เป็นตัวแยก สัญญาณจากขดลวดด้านบนจะถูกดึงไปกรองเป็นแรงดันไฟเลี้ยงเพื่อป้อนให้กับไมโครชิปบนเครื่องลูกข่าย ในขณะที่สัญญาณซึ่งผ่านการหารความถี่ครึ่งหนึ่งจากความถี่ใช้งานที่ได้รับจากเครื่องอ่านนั้นจะถูก

นำไปมอดูเลตกับข้อมูลที่มีการส่งออกมาจากไมโครชิป (ในที่นี้คือ EEPROM) แล้วป้อนกลับเข้าสู่ขดลวดด้านล่าง เพื่อส่งย้อนกลับไปยังเครื่องลูกข่าย



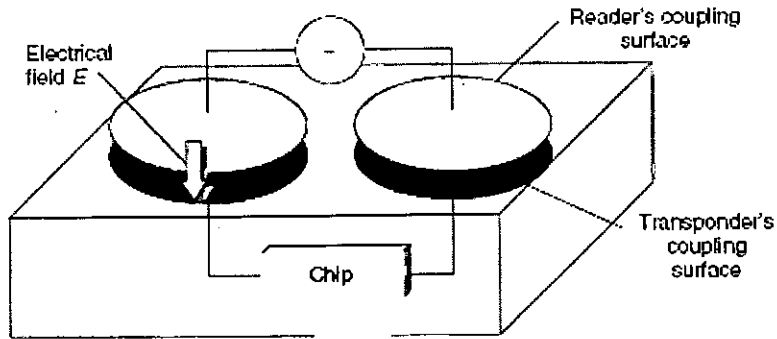
รูปที่ 2.16 โครงสร้างวงจรภายในอย่างง่ายของเครื่องลูกข่าย RFID ที่ทำงานแบบ Subharmonic Procedure

2.6.5 เทคโนโลยี Close Coupling

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

2.6.5.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เมื่อมีการสอดหรือวางบัตรพลาสติกที่เป็นเครื่องลูกข่าย RFID ชนิดนี้เข้าไปในหรืออยู่บนเครื่องอ่าน ในทางเทคนิคจะหมายถึงการวางตำแหน่งขดลวดของเครื่องลูกข่ายให้อยู่ในระยะทำการ โดยมีอากาศเป็นตัวกลางกั้นระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านในระยะสั้นๆ เท่านั้น ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.17 ในกรณีนี้ขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านจะทำหน้าที่เป็นเสมือนขดลวดปฐมภูมิ ในขณะที่ขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะเป็นดังเช่นขดลวดทุติยภูมิ เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ภายในเครื่องอ่านจะมีการกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง เพื่อป้อนผ่านขดลวดปฐมภูมิ ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กความเข้มสูงเหนี่ยวนำผ่านช่องว่างของอากาศไปทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นบนขดลวดทุติยภูมิบนเครื่องลูกข่าย ก่อให้เกิดการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ไมโครชิป



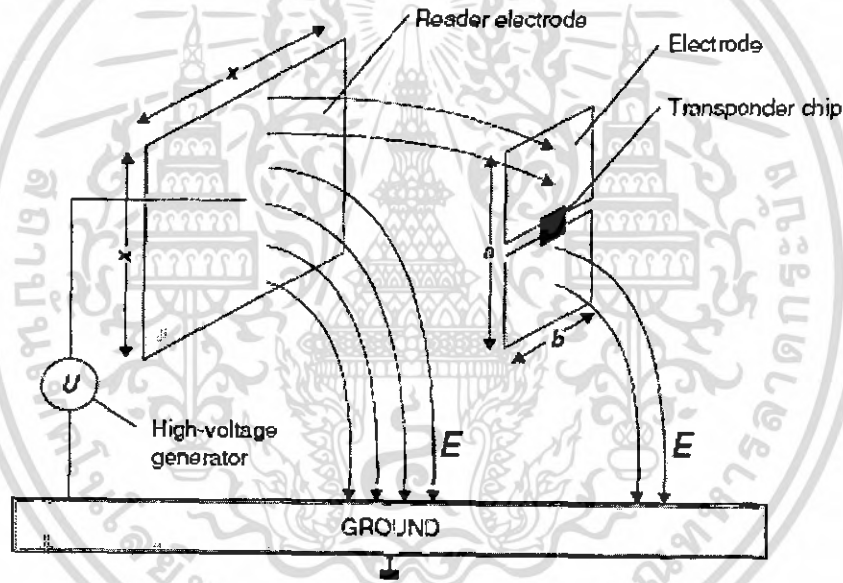
รูปที่ 2.17 เทคนิคการถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปสู่เครื่องอ่าน
โดยผ่านการคับปลิงทางไฟฟ้า

เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้าที่จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นบนขดลวดทุกขดขดจะมีค่าแปรผันโดยตรงกับความถี่ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยามกำหนดความถี่ใช้งานให้สูงที่สุดเท่าที่เทคโนโลยีจะสามารถรองรับได้ ซึ่งในปัจจุบันก็ได้แก่ความถี่ในย่าน 1 ถึง 10 เมกะเฮิรตซ์ นอกจากนี้ยังมีทางเลือกใช้วัสดุประเภทเฟอร์ไรท์มาทำเป็นแกนสำหรับพันขดลวดของเครื่องอ่าน เนื่องจากเฟอร์ไรท์มีค่าความสูญเสียของการนำพาสนามแม่เหล็กต่ำกว่าวัสดุประเภทอื่นๆ และเนื่องจากคุณสมบัติที่ดีที่สุดในการถ่ายทอดพลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling หรือเทคโนโลยี RFID ที่ใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสาร เทคโนโลยีแบบ Close Coupling จึงได้รับความนิยมใช้งานมากที่สุดสำหรับเครื่องลูกข่ายที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงๆเพื่อป้อนให้กับไมโครชิป ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถป้อนกำลังไฟให้กับไมโครชิปที่กินไฟมากถึง 10 มิลลิวัตต์ได้อย่างไม่มีปัญหาใดๆทั้งสิ้น ทั้งนี้มีการวางข้อกำหนดทางกลศาสตร์และทางไฟฟ้าของแผ่นเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling ไว้ตามมาตรฐาน ISO 10536

2.6.5.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายแบบ Close Coupling มายังเครื่องอ่านนั้น สามารถทำได้สองวิธีด้วยกัน คือ ใช้เทคโนโลยี Load Modulation with subcarrier ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในกรณีมาตรฐานแบบ Inductive Coupling หรืออาจใช้เทคโนโลยี Capacitive Coupling ซึ่งอาศัยประโยชน์จากระยะห่างที่ค่อนข้างสั้นระหว่างขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน โดยมีการติดตั้งแผ่นตัวเก็บประจุ (Plate Capacitor)

ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ทั้งที่บัตรพลาสติกบนเครื่องลูกข่าย และบนเครื่องอ่าน ในลักษณะที่ให้หน้าสัมผัสคัปปลิง (Coupling Surface) ของทั้งเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านอยู่ในแนวเดียวกัน ในขณะที่มีการสัมผัสหรือสอดเครื่องลูกข่ายเข้าไปในเครื่องอ่าน แล้วใช้การเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเป็นตัวส่งผ่านข้อมูลจากไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายผ่านสนามไฟฟ้าไปสู่เครื่องอ่าน

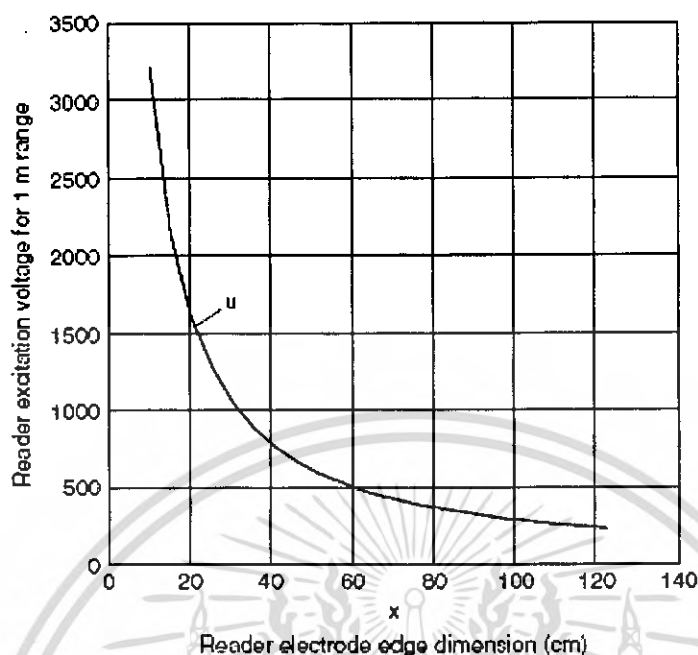


รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างและการทำงานของระบบ RFID แบบ Electrical Coupling

2.6.6 เทคโนโลยี Electrical Coupling

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



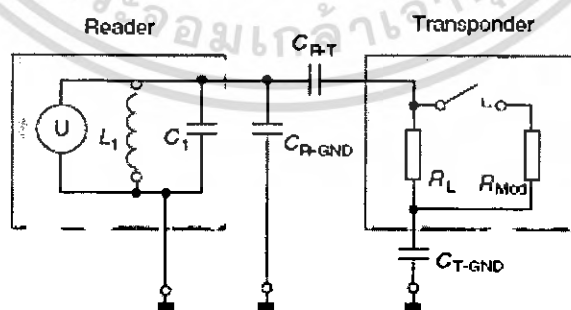
รูปที่ 2.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต้องผลิตขึ้นบนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่อง RFID โดยสัมพันธ์กับขนาดของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์เอง ในกรณีที่นำเครื่องลูกข่ายเข้ามาใช้งานในระยะห่าง 1 เมตรจากเครื่องอ่าน ใช้ความถี่ 125 kHz

2.6.6.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

จากรูปที่ 2.18 เครื่องอ่านได้รับการออกแบบให้ต่อเชื่อมกับสายอากาศที่มีลักษณะเป็นอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ โดยทั่วไปมักทำจากแผ่นโลหะหรือแผ่นฟอยล์โลหะ จากนั้นจึงทำการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงเข้าสู่แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความเหนียวภายใน (L) และค่าคาปาซิแตนซ์ (เทียบได้กับตัวเก็บประจุ) ระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์กับกราวด์หรือพื้นโลก จึงทำให้เกิดวงจรเสมือนของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่เทียบได้กับวงจร LC ซึ่งมีความถี่กำทอน (Resonant Frequency) เป็นคุณสมบัติประจำตัว หากทำการป้อนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่ตรงกันกับความถี่กำทอนของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ ก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ปรากฏขึ้นบนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีระดับสูงขึ้นมากอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ ซึ่งเป้าหมายในการใช้งานจริงมักกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าบนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์เทียบเท่ากับกราวด์มีค่าสูงตั้งแต่หลักร้อยถึงหลักพันโวลต์ แรงดันดังกล่าวก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์กับกราวด์ที่อยู่รอบๆ

เมื่อนำเครื่องลูกข่ายที่ได้รับการออกแบบให้มีสายอากาศ 2 จุด เป็นแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรศขนาด เล็กกว่า เข้ามาอยู่ในพื้นที่ใช้งานอันมีสนามไฟฟ้าจากเครื่องอ่านปรากฏอยู่ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิเล็กทรอนิกส์โทรศแผ่นบนและแผ่นล่างของเครื่องลูกข่ายดัง แสดงในรูปที่ 2.18 ก่อให้เกิดกระแสไหลเวียนอยู่ภายในวงจรของเครื่องลูกข่ายเพื่อไปเลี้ยงให้กับไมโครชิป รูปที่ 2.19 แสดงให้เห็นถึงความระดับแรงดันไฟฟ้าที่เครื่องอ่านจะต้องสร้างขึ้นเพื่อให้เพียงพอที่จะเหนี่ยวนำจนทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าพอเพียงแก่เครื่องลูกข่ายที่อยู่ห่างจากแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรศของเครื่องอ่านประมาณ 1 เมตร โดยกำหนดว่าแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรศของเครื่องลูกข่ายมีขนาดประมาณ $4.5 * 7$ เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานของแผ่น Smartcard ทั่วไป ใช้ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ 125 กิโลเฮิร์ตซ์ จะเห็นว่ายิ่งขนาดของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรศของเครื่องอ่านมีขนาดเล็กลงเท่าไร ก็ยิ่งต้องทำให้มีแรงดันไฟฟ้าปรากฏบนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรศสูงขึ้นเท่านั้น จึงเป็นสาเหตุที่นิยมออกแบบให้เครื่องอ่านมีอิเล็กทรอนิกส์โทรศขนาดใหญ่เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานในการส่งออก

รูปที่ 2.19 แสดงวงจรสมมูล (Equivalent Circuit) ของการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย โดยเครื่องอ่านกำเนิดแรงดันไฟฟ้าด้วยค่าแรงดัน U ความถี่ f โดยแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรศของเครื่องอ่านแสดงพฤติกรรมของวงจรเรโวนานท์ L_1 และ C_1 อากาศซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายมีคุณสมบัติเป็นตัวเก็บประจุค่า C_{R-T} โดยมีค่าคาปาซิแตนซ์ระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรศของเครื่องอ่านกับกราวด์ C_{R-GND} และคาปาซิแตนซ์ระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรศของเครื่องลูกข่ายกับกราวด์ C_{T-GND} ส่วน R_L เป็นค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่าย ซึ่งตามวงจรสมมูลนี้จะเห็นว่ามีลักษณะเป็นวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider Circuit) โดยแรงดันสุดท้ายที่จะเกิดขึ้นบนเครื่องลูกข่าย ซึ่งก็คือแรงดันตกคร่อม R_L จะมีค่าขึ้นอยู่กับสัดส่วนของแรงดันที่แบ่งระหว่างค่าอิมพีแดนซ์ของ C_{R-T} และ R_L นั่นเอง สมการดังกล่าวจึงเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับใช้คำนวณหาระดับแรงดันที่เหมาะสมในการกระตุ้นให้ไมโครชิปบนเครื่องลูกข่ายทำงานได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 2.19 วงจรสมมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน RFID
แบบ Electrical Coupling

2.6.1.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

เมื่อมีการนำเครื่องลูกข่ายมาไว้ในพื้นที่ใช้งาน อันหมายถึงบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าจากแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคของเครื่องอ่านปรากฏอยู่ จะมีผลทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่าย (R_L) มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความถี่กำหนด โดยมีการแบ่งแรงดันไฟฟ้าผ่านมาทางค่าคาปาซิแตนซ์ C_{R-T} ดังแสดงในรูปที่ 2.19 อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ R_{Mod} ซึ่งเครื่องลูกข่ายใช้ในการส่งสัญญาณไบนารีที่เป็นข้อมูลป้อนกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยผ่านทางทรานซิสเตอร์ซึ่งเพื่อเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ R_{Mod} ซึ่งจะทำให้พฤติกรรมการสะท้อนสัญญาณผ่านทางวงจรแบ่งแรงดันมีค่าเปลี่ยนแปลงไป เช่น เมื่อเครื่องลูกข่ายต้องการส่งข้อมูลไบนารีบิตใดบิตหนึ่งที่มีค่าเป็น “0” ก็จะทำให้การเปิดวงจรทรานซิสเตอร์ซึ่งออก ทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่ายเป็น R_L ตามปกติ ในขณะที่จะปิดวงจรเพื่อเพิ่มค่า R_{Mod} ในกรณีที่ต้องการส่งบิตข้อมูลที่มีค่า “1” ทำให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของเครื่องลูกข่ายลดลง ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการมอดูเลตสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุจากการเปลี่ยนแปลงอินพุตอิมพีแดนซ์นี้ โดยทำให้เกิดผลการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันและสามารถตรวจจับได้ที่แผ่นอิเล็กทรอนิกส์โทรคของเครื่องอ่านซึ่งก็คือสายอากาศภาคส่งซึ่งการทำงานในลักษณะนี้จัดได้ว่าเป็นการส่งข้อมูลแบบ Load Modulation ประเภทหนึ่ง

2.6.1.3 การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่าย

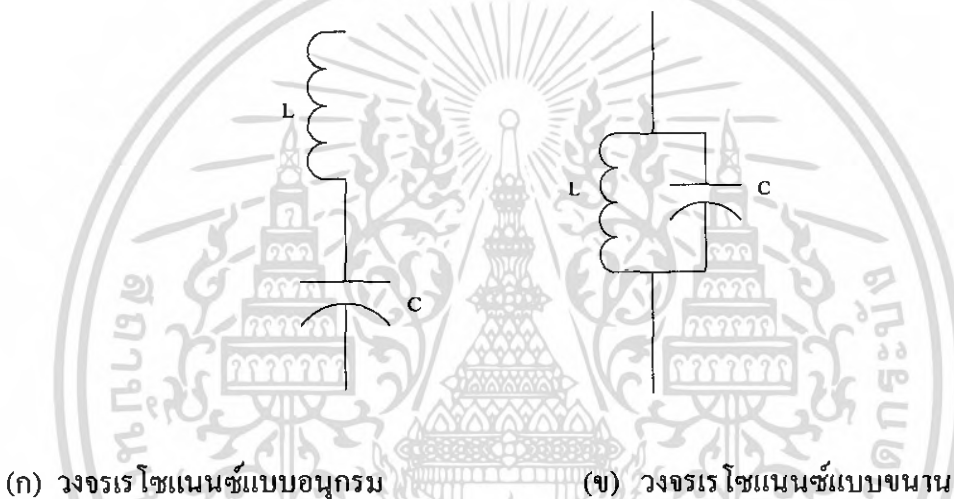
นับตั้งแต่ได้กล่าวมาในตอนต้น อธิบายถึงหลักการในการส่งพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย และกล่าวลงรายละเอียดถึงการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังเครื่องอ่าน ซึ่งถือเป็นการสื่อสารในทิศทาง Uplink สำหรับเทคโนโลยี RFID แบบ Full Duplex/Half Duplex แต่ประเภท สำหรับการส่งข้อมูลในทิศทาง Downlink จากเครื่องอ่านไปสู่เครื่องลูกข่ายนั้นจะใช้วิธีการเดียวกันทั้งสิ้น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

2.7 วงจรเรโซแนนซ์

วงจรเรโซแนนซ์(resonance) เป็นวงจรที่ต่อร่วมกันระหว่างตัวเก็บประจุ (C) กับขดลวดเหนี่ยวนำ (L) วงจรเรโซแนนซ์ถูกนำมาใช้ในเครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุต่างๆไป ด้วยวัตถุประสงค์ให้วงจรเรโซแนนซ์เป็นตัวเลือกความถี่ และให้เป็นตัวกำหนดความถี่ที่กำเนิดขึ้น ให้เป็นตัวกันความถี่หรือให้เป็นทางผ่านของความถี่แล้วแต่กรณี วงจรเรโซแนนซ์แบบใช้ขดลวดร่วมกับตัวเก็บประจุ มีอยู่ 2 แบบคือ

วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม(series resonance) และ

วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน(parallel resonance) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.20 วงจรเรโซแนนซ์ที่ใช้ LC

วงจรเรโซแนนซ์จะยอมให้ความถี่ค่าหนึ่งผ่านได้ดี เรียกว่า ความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance Frequency) เมื่อป้อนความถี่เรโซแนนซ์แก่วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม กระแสจะผ่านได้มากที่สุดโดยมีแรงดันตกคร่อมวงจรต่ำที่สุด ถ้าป้อนความถี่เรโซแนนซ์แก่วงจรเรโซแนนซ์ขนาน กระแสจะผ่านได้น้อยที่สุดโดยมีแรงดันตกคร่อมวงจรสูงที่สุด โดยปกติวงจรเรโซแนนซ์จะต้องมีแบนด์วิดท์ที่ยอมให้ความถี่ข้างเคียงกับความถี่เรโซแนนซ์ทั้งด้านสูงและด้านต่ำผ่านไปในช่วงหนึ่ง ความถี่เรโซแนนซ์จึงหมายถึงความถี่ที่ผ่านวงจรตลอดแบนด์วิดท์ ซึ่งอาจจะกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์นั้นๆ

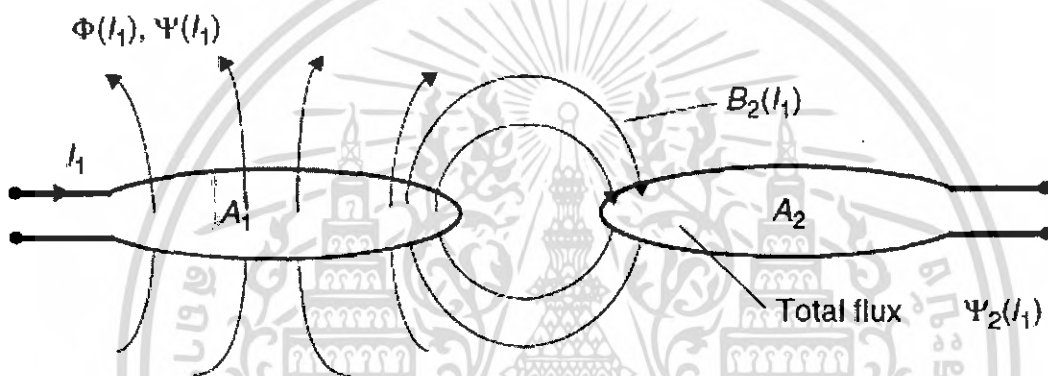
2.8 ความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance)

โดยทั่วไปแล้ว วงจรทางไฟฟ้าสามารถเชื่อมโยงกันได้ 2 แบบ คือ

-การเชื่อมโยงทางตัวนำ (Conductively Coupled) คือ ลูปวงจรหนึ่งในวงจรมีผลต่อลูปข้างเคียง จากกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ร่วมระหว่างลูป

-การเชื่อมโยงทางสนามแม่เหล็ก (Magnetically Coupled) คือ ลูปหนึ่งในวงจรส่งผลกระทบต่ออีกลูปหนึ่งผ่านทางสนามแม่เหล็ก

ความเหนี่ยวนำร่วม คือ เมื่อขดลวด 2 ขดวางอยู่ใกล้กัน สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในขดที่หนึ่งจะเชื่อม ไปยังอีกขด โดยจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในขดที่ 2



รูปที่ 2.21 ฟลักซ์สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 2.21 ขดลวดพัน N รอบ จะมีกระแสไหล $i(t)$ ผ่าน ทำให้เกิดฟลักซ์สนามแม่เหล็ก ϕ ที่เกิดขึ้นรอบๆขดลวด จากกฎของฟาราเดย์กล่าวไว้ว่า “แรงดันที่ถูกเหนี่ยวนำในขดลวดจะเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบของขดลวดและอัตราการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ต่อเวลา”

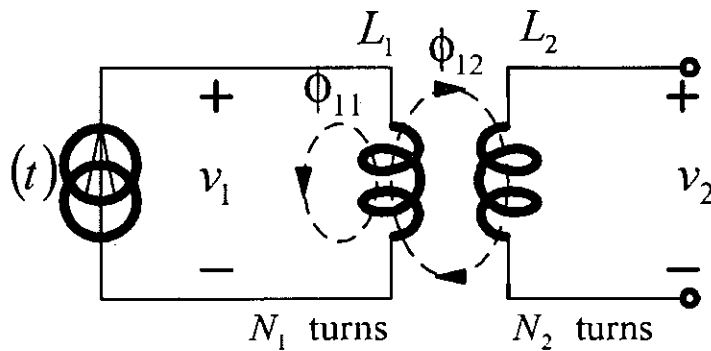
$$v = N \frac{d\phi}{dt}$$

ฟลักซ์, ϕ ก็เกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสต่อเวลาดังนั้น

$$v = N \frac{d\phi}{di} \frac{di}{dt} \text{ หรือ } v = L \frac{di}{dt} \text{ โดยที่}$$

$$L = N \frac{d\phi}{di}$$

โดยที่ L จะถูกเรียกว่า Self-Inductance เนื่องจาก ผลของแรงดันที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงกระแสต่อเวลาในขดลวดเดียวกัน



รูปที่ 2.22 ขดลวดที่ค่า Self-Inductance เท่ากับ L_1 และ L_2

ขดลวด 2 ขดที่ค่า Self-Inductance เท่ากับ L_1 และ L_2 มาวางใกล้กันดังรูปที่ 2.11 ขดลวด L_1 และ L_2 พัน N_1 และ N_2 รอบตามลำดับ เนื่องจากขดลวด L_2 ไม่มีกระแสไหล ฟลักซ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขดลวดที่ 1 คือ $\phi_1 = \phi_{11} + \phi_{12}$

$$\text{แรงดันที่เกิดขึ้นที่ขดลวดที่ 1: } v_1 = N_1 \frac{d\phi_1}{dt} = N_1 \frac{d\phi_1}{di_1} \frac{di_1}{dt} = L_1 \frac{di_1}{dt}$$

$$\text{แรงดันที่เกิดขึ้นที่ขดลวดที่ 2: } v_2 = N_2 \frac{d\phi_{12}}{dt} = N_2 \frac{d\phi_{12}}{di_1} \frac{di_1}{dt} = M_{21} \frac{di_1}{dt}$$

โดยที่ M_{21} : mutual-Inductance ของขดลวด

ในทางตรงกันข้าม ถ้าให้ขดลวด L_1 ไม่มีกระแสไหลทำนองเดียวกัน ฟลักซ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขดลวดที่ 2 คือ: $\phi_2 = \phi_{21} + \phi_{22}$

$$\text{แรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดที่ 2: } v_2 = N_2 \frac{d\phi_2}{dt} = N_2 \frac{d\phi_2}{di_2} \frac{di_2}{dt} = L_2 \frac{di_2}{dt}$$

$$\text{ซึ่งทำให้ } v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt}$$

$$\text{แรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดที่ 1: } v_1 = N_1 \frac{d\phi_{21}}{dt} = N_1 \frac{d\phi_{21}}{di_2} \frac{di_2}{dt} = M_{12} \frac{di_2}{dt}$$

จะพบว่า $M_{21} = M_{12} = M$ โดยที่ M คือค่า Mutual Inductance ระหว่างขดลวด 2 ขด

ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าพลังงานในตัวเหนี่ยวนำและในขดลวดเหนี่ยวนำจะเป็นดังนี้

$$\text{พลังงานสะสมในตัวเหนี่ยวนำ} \left(w = \frac{1}{2} Li^2 \right)$$

$$\text{พลังงานสะสมในขดลวดเหนี่ยวนำ} \left(w = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 \pm M i_1 i_2 \right)$$

พลังงานที่เกิดขึ้นจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0 ดังนั้น $\frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + M i_1 i_2 > 0$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า M และค่า L คือ $\sqrt{L_1 L_2} - M$ หรือ $M \sqrt{L_1 L_2}$

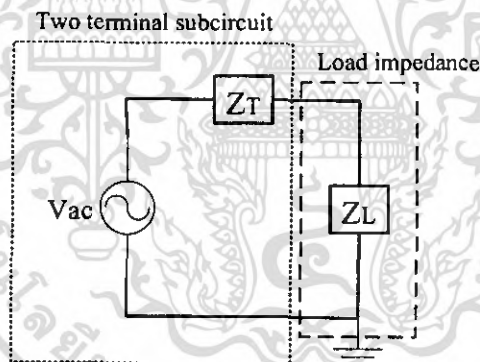
อัตราส่วนของค่าความเหนี่ยวนำร่วม ต่อค่าเฉลี่ยของค่าความเหนี่ยวนำส่วนตัวคือค่าสัมประสิทธิ์การคัปปลิง(Coefficient of coupling), k

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}; 0 < k < 1$$

สำหรับ $k < 0.5$ จะเรียกว่า Loosely Coupled

สำหรับ $k > 0.5$ จะเรียกว่า Tightly Coupled

2.9 Maximum power transfer



รูปที่ 2.23 ภาพของวงจรเสมือนที่มีโหลดอิมพีแดนซ์ต่อกับวงจรอื่นๆ

รูปที่ 2.23 เป็นภาพที่แสดงวงจรเสมือนของวงจรต่างๆ โดยการใช้ทฤษฎีอินอร์ตันเทวินินในการวิเคราะห์ ถ้าต้องการหาค่าของกระแสที่จะไหลเข้าสู่โหลดจะหาค่าได้จาก

$$I = \frac{V_T}{(Z_L + Z_T)}$$

โดยที่จะเกิดการดูดซับของกำลังงานเฉลี่ยของโหลด

$$P_L = \text{Re}(Z_L) |I|^2 = \frac{\text{Re}(Z_L) |V_T|^2}{|Z_L + Z_T|^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า $Z_L = R_L + jX_L; Z_T = R_T + jX_T$ ลงในสมการ

$$P_L = \frac{\operatorname{Re}(Z_L)|V_T|^2}{(R_L + R_T)^2 + (X_L + X_T)^2}$$

ถ้าต้องการให้เกิดการถ่ายเทกำลังงานสูงสุดที่โหลดจะต้องกำหนดค่าให้ $X_L = -X_T$ ผลของการกำหนดค่าแบบนี้จะทำให้เทอมของส่วนที่มีค่าลดต่ำลงจนถึงค่าที่น้อยที่สุดได้

$$\left. \frac{\partial P_L}{\partial R_L} \right|_{X_L = -X_T} = \frac{\partial}{\partial R_L} \left(\frac{R_L}{(R_L + R_T)^2} \right)$$

การหาค่าของ R_L จะทำให้โดยการกำหนดค่าของ $(\partial P_L / \partial R_L)_{X_L = -X_T} = 0$ จะหาค่าของ R_L ได้เท่ากับ $R_L = R_T$

สรุปได้ว่าจะเกิดการถ่ายเทกำลังงานสูงสุดให้แก่โหลดอิมพีแดนซ์ Z_L ก็ต่อเมื่ออิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิด $R_T = \operatorname{Re}(Z_T)$ กับค่าโหลดอิมพีแดนซ์ $R_L = \operatorname{Re}(Z_L)$ มีค่าเท่ากัน และส่วนจินตภาพของ $X_T = \operatorname{Im}(Z_T)$ กับ $X_L = \operatorname{Im}(Z_L)$ มีค่าเท่ากันแต่เครื่องหมายตรงข้ามหรือกล่าวได้อย่างง่าย ๆ ว่าค่าของ Z_L กับ Z_T เป็นค่าคอนจูเกตกัน

$$Z_L = Z_T^*$$

2.10 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะการรับส่งข้อมูลในระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator Power) กำลังส่งของเครื่องลูกข่าย (Tag Power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญ ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆรอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบต่อระยะการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของเครื่องลูกข่ายที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา

ถึงแม้ในทางเทคนิคเราจะสามารถทำให้ตัวอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากแค่ไหนก็ได้ แต่โดยทั่วไปก็จะถูกจำกัด โดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่ ดังนั้นในระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ โดยทั่วไปจะมีกำลังส่งเพียงระหว่าง 100 -500 mW

2.12 ทฤษฎีพื้นฐานของการออกแบบ antenna

2.12.1 กระแสและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จากกฎของแอมแปร์เมื่อกระแสไหลในตัวนำจะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบๆตัวนำ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะผลิตจากกระแสในตัวอุปรกรณ์ ดังในรูปที่ 2.24 พิจารณานตัวนำวงกลมที่มีความยาวจำกัด

$$\beta_{\phi} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad (\text{Weber/m}^2) \quad (2.1)$$

โดยที่

I = กระแส

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

r = ระยะทางจากศูนย์กลางของลวดตัวนำ

ถ้ากรณีที่ลวดตัวนำมีความยาวเป็นค่าอนันต์จะต้องแทน

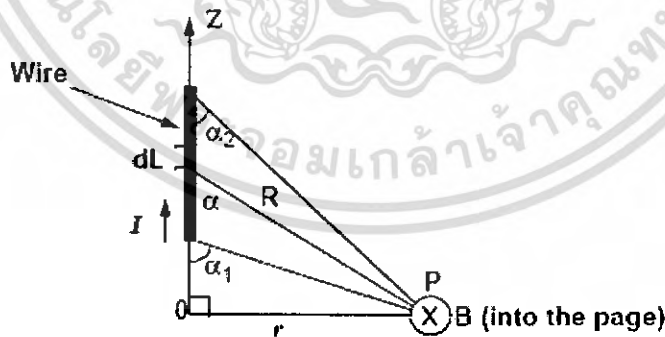
$$\alpha_1 = -180^\circ$$

$$\alpha_2 = 0^\circ$$

ฉะนั้นจากสมการที่ 2.1

สามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ 2.2

$$\beta_{\phi} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (\text{Weber/m}^2) \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.24 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเส้นตรง

สนามแม่เหล็กถูกสร้างขึ้นจากลูปเสาอากาศ จะเป็นไปตามสมการที่ 2.3

$$V_0 = 2\pi fNSQB_0 \cos \alpha \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= B_z = \frac{\mu_0 I N a^2}{2r^3} \quad \text{สำหรับ } r^2 \ll a^2 \quad (2.4)$$

โดยที่

I = กระแส

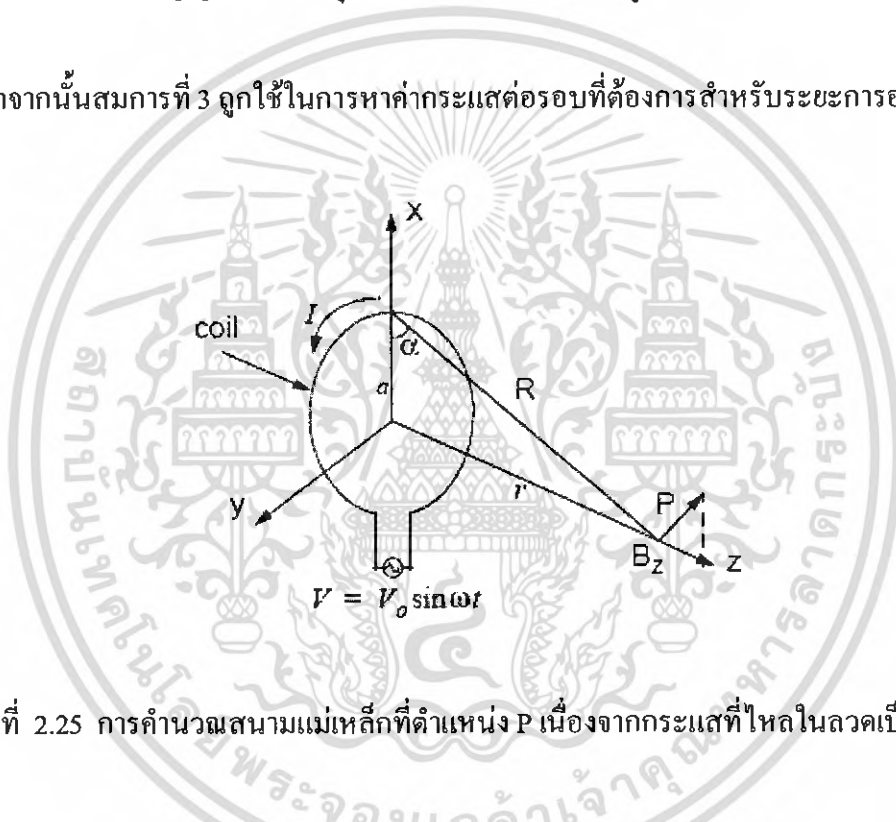
a = รัศมีของลูป

r = ระยะทางจากศูนย์กลางของลูป

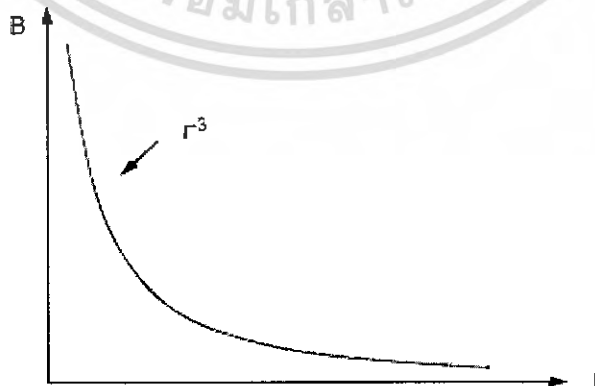
สมการที่ 2.4 ต้องการชี้ว่าความแรงของสนามแม่เหล็กลดลงด้วย $1/r^3$ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่

2.26 สนามแม่เหล็กจะมี Amplitude มากที่สุดในระนาบของและขึ้นอยู่กับทั้งกระแสและจำนวนรอบ

นอกจากนั้นสมการที่ 3 ถูกใช้ในการหาค่ากระแสต่อรอบที่ต้องการสำหรับระยะการอ่าน



รูปที่ 2.25 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเป็นลูป



รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับระยะทาง r

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.2 แรงดันที่เหนี่ยวนำได้จากขดลวดสายอากาศ

จากกฎของฟาราเดย์กล่าวว่า สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ทะลุผ่านพื้นผิวที่ถูกครอบคลุมโดยเส้นทางเดินปิดจะเหนี่ยวนำให้เกิดรอบๆ

รูปที่ 2.27 แสดง โครงสร้างอย่างง่ายของการประยุกต์ใช้ RFID จากกฎของฟาราเดย์ เมื่อสายอากาศของแท็กส์และตัวอ่านอยู่ในบริเวณปิด สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาถูกสร้างขึ้นโดย สายอากาศของตัวอ่านเหนี่ยวนำแรงดัน(เรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือ EMF อย่างง่าย) ไปยังสายอากาศของแท็กส์ แรงดันเหนี่ยวนำที่ถูกเหนี่ยวนำในสายอากาศของตัวอ่านเป็นสาเหตุให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำในแท็กส์

แรงดันเหนี่ยวนำบนสายอากาศของแท็กส์ จะเท่ากับการชาร์ทของเส้นแรงแม่เหล็กสมการที่ 4

$$V = -N \frac{d\psi}{dt} \quad (2.5)$$

โดยที่

N = จำนวนรอบของสายอากาศ

ψ = เส้นแรงแม่เหล็กที่ทะลุผ่านในแต่ละรอบ

เครื่องหมายลบแสดงทิศทางการเหนี่ยวนำซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น จากกฎของเลนส์ (Lenz's Law) เป็นการย้ำว่าทิศทางการไหลของกระแสในวงจรจะมีทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กที่ผลิตขึ้นจากการเหนี่ยวนำของกระแสแต่จะตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กที่จุดกำเนิด

เส้นแรงแม่เหล็กในสมการที่ 2.5 คือ ผลรวมของสนามแม่เหล็ก (B_{total}) ซึ่งทะลุผ่านเข้าไปยังพื้นผิวของสายอากาศ

$$\psi = \int B \cdot dS \quad (2.6)$$

โดยที่

B = สนามแม่เหล็กจากสมการที่ 2.2

S = พื้นที่ผิวของขดลวด

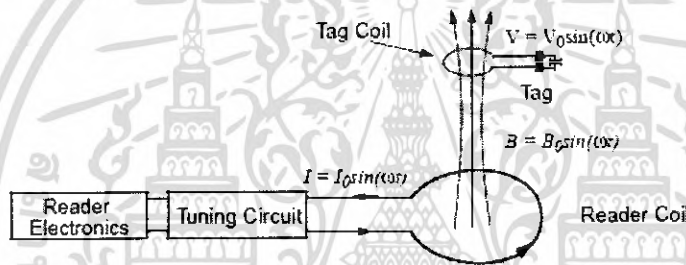
การDot vector ระหว่าง vector S และ vector B = ผลคูณภายใน (มุม \cos ระหว่างเวกเตอร์สองเวกเตอร์)

ซึ่งทั้ง B และ S เป็นปริมาณเวกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลคูณภายในของสองเวกเตอร์ในสมการที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่า เส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่ทะลุผ่าน ขดลวดสายอากาศ เกิดจากการหาตำแหน่งมุมของขดลวดสายอากาศ ผลคูณภายในของสองเวกเตอร์จะมีค่าน้อยสุดเมื่อมุม \cos ระหว่างสองเวกเตอร์เท่ากับ 90 องศา หรือสองเวกเตอร์ตั้งฉากซึ่งกันและกัน และจะมากที่สุดเมื่อ มุม \cos คือ 0 องศา

ขดลวดของแท็กส์ได้รับขนาดเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดที่ทะลุผ่านเมื่อขดลวดของตัวอ่านและแท็กส์อยู่ในตำแหน่งที่ขนานกัน ซึ่งก็หมายถึงจะมีแรงดันเหนี่ยวนำมากที่สุดเกิดขึ้นที่ขดลวดของแท็กส์และจะได้ระยะอ่านมากที่สุดด้วย ผลคูณภายในที่แสดงดังสมการที่ 5 สามารถอธิบายในพจน์ของ mutual coupling ระหว่าง ขดลวดของตัวอ่านและแท็กส์ mutual coupling ระหว่างขดลวดทั้งสองจะสูงสุดในสภาวะที่กล่าวมาแล้วเบื้องต้น



รูปที่ 2.27 โครงสร้างพื้นฐานของตัวอ่านและแท็กส์ในการประยุกต์ใช้ RFID

นำสมการที่ 2.3 และ 2.6 มาแทนลงในสมการที่ 2.5 จะได้

$$\begin{aligned}
 V &= -N_2 \frac{d\psi_{21}}{dt} = -N_2 \frac{d}{dt} (\int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}) \\
 &= -N_2 \frac{d}{dt} \left[\int \frac{\mu_0 i_1 N_1 a^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \cdot d\mathbf{S} \right] \\
 &= - \left[\frac{\mu_0 N_1 N_2 a^2 (\pi b^2)}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \right] \frac{di_1}{dt} \\
 &= -M \frac{di_1}{dt} \\
 M &= \left[\frac{\mu_0 \pi N_1 N_2 (ab)^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \right]
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

V = แรงดันในขดลวดแท็กส์

i_1 = กระแสที่ไหลในขดลวดตัวอ่าน

a = รัศมีของขดลวดตัวอ่าน

b = รัศมีของขดลวดแท็กส์

r = ระยะทางระหว่างขดลวดทั้งสอง

M = mutual inductance ระหว่างขดลวดแท็กส์และขดลวดตัวอ่าน โดยที่

ค่า M เป็นไปตามสมการที่ 2.7

$$M = \left[\frac{\mu_0 \pi N_1 N_2 (ab)^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \right] \quad (2.7)$$

เส้นแรงแม่เหล็กเกิดจากมีกระแสในขดลวดปฐมภูมิ ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กเป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิ

ในสมการที่ 6 แรงดันขดลวดของแท็กส์จะขึ้นอยู่กับ mutual inductance ระหว่างขดลวดทั้งสอง mutual inductance ขึ้นอยู่กับรูปร่างของขดลวดและระยะห่างระหว่างขดลวดทั้งสอง แรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดของแท็กส์ลดลงด้วยอัตรา r^{-3} ดังนั้น ระยะการอ่านจะลดลงในทางเดียวกัน

จากสมการที่ 2.4 และ 2.6 สมการรูปทั่วไปสำหรับแรงดันเหนี่ยวนำ V_0 ในขดลวดรูป คือ

$$V_0 = 2\pi fNSQB_0 \cos \alpha \quad (2.8)$$

โดยที่

f = ความถี่ของสัญญาณที่เข้ามา

N = จำนวนรอบของขดลวดในรูป

S = พื้นที่ของรูป มีหน่วยเป็น m^2

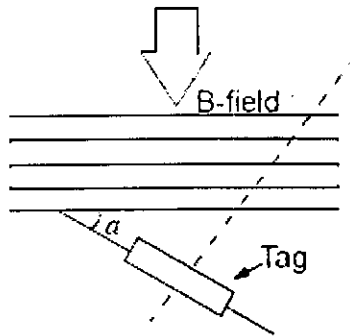
Q = quality factor ของวงจร

B_0 = ความเข้มของสัญญาณที่เข้ามา

α = มุมของสัญญาณที่เข้ามา

สมการที่ 2.8 quality factor (Q) คือ มาตรการในการเลือกความถี่ที่สนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 ตำแหน่งของสายอากาศของแท็กส์

แรงดันเหนี่ยวนำที่ลวดของสายอากาศในทิศทางมุมของสัญญาณที่เข้ามา แรงดันเหนี่ยวนำจะมากที่สุดเมื่อลวดตัวอ่านอยู่ในตำแหน่งที่ขนานกับสัญญาณที่เข้ามา นั่นก็คือ $a = 0$

2.12.3 ความต้านทานกระแสดตรงของตัวนำและชนิดของลวด

American Wire Gauge (AWG) เป็นเลขที่แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตัวนำ เลขนี้เป็นสัดส่วนตรงกันข้ามกับเส้นผ่านศูนย์กลาง ยิ่งลวดมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กก็จะมีค่าความต้านทานกระแสดตรงสูง ความต้านทานกระแสดตรงสำหรับตัวนำจะมีรูปแบบที่สัมพันธ์กับพื้นที่ตัดขวาง ดังสมการที่ 9

$$R_{DC} = \frac{1}{\sigma S} = \frac{1}{\sigma \pi a^2} \quad (2.9)$$

โดยที่

l = ความยาวทั้งหมดของลวด

σ = ความนำไฟฟ้าของลวด

S = พื้นที่ตัดขวาง

a = รัศมีของลวด

ค่าความต้านทานค่าน้อยๆ อาจเป็นไปได้สำหรับค่า Q ที่สูงๆ ของวงจรสายอากาศ นั้นหมายถึง ขดลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางจะต้องถูกเลือกให้เป็นไปได้กับวงจร RFID ตามตารางที่ 5 แสดงถึง เส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับลวดที่มีสิ่งห่อหุ้มและเปลือย และแสดงถึงความต้านทานกระแสดตรง

2.12.4 ความต้านทานกระแสดลับของตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกระแสตรง พาหะตัวนำจะกระจายอยู่รอบๆ ส่วนต่างๆ ของลวด ถ้าความถี่เพิ่มขึ้น ที่ศูนย์กลางของตัวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นความต้านทานของขดลวดที่มีต่อ การนำไฟฟ้าสลับที่ใกล้ๆ จุดศูนย์กลางของลวดจะเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้ ในบริเวณที่มีความหนาแน่นของ กระแสความต้านทานจะสูงขึ้น

ดังนั้น ประจุจะเคลื่อนจากจุดศูนย์กลางของลวดตรงไปยังขอบๆ ของลวด เป็นผลทำให้ ความหนาแน่นที่จุดศูนย์กลางของลวดลดลงและเพิ่มขึ้นที่บริเวณใกล้กับขอบของลวด นี้คือ 'skin effect' ลึกเข้าไปในตัวนำ ความหนาแน่นของกระแสตกลงเป็น $1/e$ หรือ 37% (= 0.3679) ของ ค่าที่พื้นผิว เป็นที่รู้กันว่าเป็นลักษณะของ skin depth และ คือปัจจัยของความถี่และค่าความซึม ซ้ำและค่าความนำของตัวกลาง ผลต่างๆ ของ skin effect ทั้งหมดทั้งปวงเพิ่มขึ้นในความ ต้านทานกระแสสลับของลวด

ค่า skin depth คำนวณได้จากสมการที่ 2.10

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (2.10)$$

โดยที่

f = ความถี่

μ = ค่าความซึมซ้ำ

μ_0 = ค่าความซึมซ้ำของอากาศ

μ_r = 1 สำหรับ ทองแดง, อะลูมิเนียม, ทอง และอื่นๆ

= 4000 สำหรับ เหล็กบริสุทธิ์

σ = ค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุ

= 5.8×10^7 (Ω/m) สำหรับ ทองแดง

= 3.82×10^7 (Ω/m) สำหรับ อะลูมิเนียม

= 4.1×10^7 (Ω/m) สำหรับ ทอง

= 6.1×10^7 (Ω/m) สำหรับ เงิน

ค่า skin depth ทองแดง ที่ความถี่ 125 kHz จะได้

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi(125 \times 10^3)(4\pi \times 10^{-7})(5.8 \times 10^7)}} = 0.187 \text{ mm}$$

63 % ของการไหลกระแส RF ในทองแดงจะไหลอยู่ที่ระยะที่ห่างจากขอบนอกสุด 0.187 mm สำหรับความถี่ 125 kHz

ความต้านทานลวดเพิ่มขึ้นตามความถี่ และความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับ skin depth ถูกเรียกว่า ความต้านทานกระแสลับ สูตรโดยประมาณของความต้านทานกระแสลับ เป็นไปตาม สูตรที่ 2.11

$$R_{ac} = \frac{1}{\sigma A_{active}} \approx \frac{1}{2\pi a \delta \sigma} \quad (\Omega) \quad (2.11)$$

$$= \frac{1}{2a} \sqrt{\frac{f\mu}{\pi\sigma}} \quad (\Omega)$$

$$= (R_{dc}) \frac{a}{2\delta} \quad (\Omega)$$

โดยที่ พื้นที่ skin depth บนลวดตัวนำคือ

$$A_{active} = 2\pi a \delta$$

ความต้านทานกระแสลับเพิ่มขึ้นด้วยรากที่สองของความถี่ที่ใช้

Wire Size (AWG)	Dia. in Mils (bare)	Dia. in Mils (coated)	Ohms/ 1000 ft.	Cross Section (mils)
1	289.3	—	0.126	83690
2	287.6	—	0.156	66360
3	229.4	—	0.197	52620
4	204.3	—	0.249	41740
5	181.9	—	0.313	33090
6	162.0	—	0.395	26240
7	166.3	—	0.498	20820
8	128.5	131.6	0.628	16510
9	114.4	116.3	0.793	13090
10	101.9	106.2	0.999	10380
11	90.7	93.5	1.26	8230
12	80.8	83.3	1.59	6530
13	72.0	74.1	2.00	5180
14	64.1	66.7	2.52	4110
15	57.1	59.5	3.18	3260
16	50.8	52.9	4.02	2580
17	45.3	47.2	5.05	2060
18	40.3	42.4	6.39	1620
19	35.9	37.9	8.05	1290
20	32.0	34.0	10.1	1020
21	28.5	30.2	12.8	812
22	25.3	28.0	16.2	640
23	22.6	24.2	20.3	511
24	20.1	21.6	25.7	404
25	17.9	19.3	32.4	320

Note: 1 mil = 2.54×10^{-3} cm

Wire Size (AWG)	Dia. in Mils (bare)	Dia. in Mils (coated)	Ohms/ 1000 ft.	Cross Section (mils)
26	15.9	17.2	41.0	253
27	14.2	15.4	51.4	202
28	12.6	13.8	65.3	159
29	11.3	12.3	81.2	123
30	10.0	11.0	106.0	100
31	8.9	9.9	131	79.2
32	8.0	8.8	162	64.0
33	7.1	7.9	206	50.4
34	6.3	7.0	261	39.7
35	5.6	6.3	331	31.4
36	5.0	5.7	415	25.0
37	4.5	5.1	512	20.2
38	4.0	4.5	648	16.0
39	3.5	4.0	847	12.2
40	3.1	3.5	1080	9.61
41	2.8	3.1	1320	7.84
42	2.5	2.8	1660	6.25
43	2.2	2.5	2140	4.84
44	2.0	2.3	2590	4.00
45	1.76	1.9	3350	3.10
46	1.57	1.7	4210	2.46
47	1.40	1.5	5290	1.96
48	1.24	1.4	6750	1.54
49	1.11	1.3	8420	1.23
50	0.99	1.1	10600	0.98

Note: 1 mil = 2.54×10^{-3} cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1AWG WIRE CHART

2.12.5 ความต้านทานของตัวนำด้วยการประมาณที่ความถี่ต่ำ

เมื่อ skin depth ส่วนใหญ่จะเปรียบเทียบกับรัศมีของตัวนำ ความต้านทานสามารถได้รับการประมาณด้วยความถี่ต่ำได้

$$R_{low\ freq} \approx \frac{1}{\sigma \pi a^2} \left[1 + \frac{1}{48} \left(\frac{a}{\delta} \right)^2 \right] \quad (2.12)$$

พจน์แรกของสมการที่ 2.12 คือ ความต้านทานกระแสตรง ส่วนพจน์ที่สองคือความต้านทานกระแสสลับ

2.12.6 ตัวเหนี่ยวนำที่ประกอบด้วยขดลวดสี่เหลี่ยมหลายชั้น

ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดสี่เหลี่ยมหลายชั้นคำนวณจากสมการที่ 2.13

$$L = \frac{0.0276(CN)^2}{1.908C + 9b + 10h} \quad \mu H \quad (2.13)$$

โดยที่

N = จำนวนรอบ

$C = x + y + 2h$

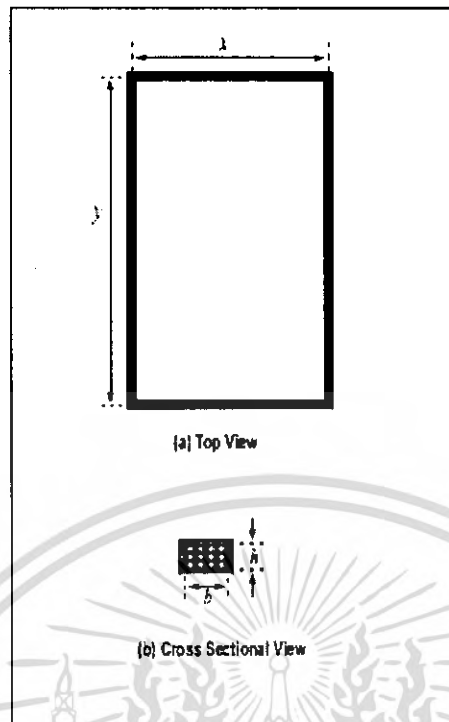
X = ความกว้างของขดลวด

Y = ความยาวของขดลวด

b = ความกว้างของภาคตัดขวาง

h = ความสูงของภาคตัดขวาง

หมายเหตุ อยู่ในหน่วย เซนติเมตร



รูปที่ 2.29 คลอดรูปสี่เหลี่ยมหลายชั้น

2.13 คุณสมบัติทางเทคนิค ของ PIC 16F877

- ความถี่สัญญาณนาฬิกาตั้งแต่ไฟตรงจนถึง 20 MHz โดยสามารถแบ่งได้เป็น 6 โหมดหลัก

1. โหมด EC ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
2. โหมด ER ใช้ตัวต้านทานภายนอก
3. โหมด INTRC ใช้วงจร RC ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ มี 2 ความถี่ให้เลือก
4. โหมด LP ใช้คริสตอลพลังงานต่ำ ความถี่สูงสุดได้ไม่เกิน 200 kHz
5. โหมด XT ใช้คริสตอล ความถี่ตั้งแต่ 100 kHz สูงสุดได้ไม่เกิน 4MHz
6. โหมด HS ใช้คริสตอลความถี่สูงสุดไม่เกิน 20 MHz

- มีตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยงหรือบราวเอาต์ดีเทกชัน (Brown-out detection) เพื่อสร้างสัญญาณรีเซ็ตซีพียูหรือเรียกว่าบราวเอาต์รีเซต (Brown-out detection : BOR)

- หน่วยความจำข้อมูล หรือ แรม 368 ไบต์

- หน่วยความจำข้อมูลอีพรอม 128 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

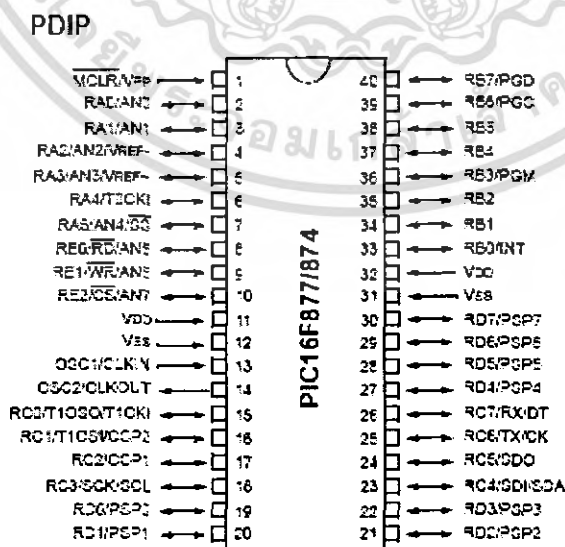
- หน่วยความจำโปรแกรม 8 กิโลไบต์
- วงจรรับส่งข้อมูลอนุกรม USART / SCI พร้อมกับการระบุแอดเดรสแบบ 9 บิต
- สามารถทำงานได้ที่ช่วงแรงดันไฟเลี้ยง 2.0V – 5.5V
- กระแสซิงก์และซอร์ส 25mA
- มีการกินพลังงานต่ำ

$I < 0.6\text{mA}$ โดยปรกติ @ 3V , 4 MHz

$I = 20\mu\text{A}$ โดยปรกติ @ 3V , 32kHz

$I_{\text{standby}} < 1\mu\text{A}$

- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5V
- เลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล และเลือกระดับการป้องกันได้
- ไทเมอร์/เคาเตอร์ 3 ตัว แบ่งเป็น ไทเมอร์/เคาเตอร์ 0 ที่มี 8 บิต ไทเมอร์/เคาเตอร์ 1 ที่มี 16 บิต ไทเมอร์/เคาเตอร์ 2 ที่มี
- มีวอตช์ดอกไทเมอร์ (WDT) ที่มีวงจร RC ออสซิลเลเตอร์ภายในตัวทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
- มีวงจรเพาเวอร์ออนรีเซต (POR) , เพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT) และออสซิลเลเตอร์สตาร์อัปไทเมอร์ (OST)
- ดอบนองแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 14 แหล่ง
- มีโมดูล CCP (Capture/Compare/PWM) 2 ชุด



รูปที่ 2.30 PIC16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตัวขงไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้เลือกใช้นั้นได้มีโมดูลการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมที่สามารถทำงานเป็นตัวรับหรือส่งข้อมูลในแบบอะซิงโครนัสหรือซิงโครนัสก็ได้ ทั้งยังสามารถกำหนดรูปแบบของข้อมูลได้ เลือกอัตราเร็วในการถ่ายทอข้อมูลได้ โมดูลดังกล่าวคือ โมดูล USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) แต่ในขณะนี้ได้เลือกใช้การรับส่งแบบอะซิงโครนัสซึ่งเป็นการสื่อสารแบบ full duplex จะมีการส่งข้อมูลครั้งละ 8 บิต โดยการเริ่มจากบวกับ start bit ที่มีค่าเป็น 0 ตามด้วยข้อมูลบิตที่ 0 จนถึงบิตที่ 7 และ stop bit ที่มีค่าเป็น 1 เป็นบิตปิดท้ายสามารถเลือกใช้งาน parity bit ทั้งแบบ odd parity bit หรือแบบ even parity bit ได้โดยการกำหนดทาง soft ware แทน

2.14 LCD Module

ส่วนประกอบของ LCD module ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก

- 1) ตัวแสดงผล (display) ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็นได้โดยอาศัยแสงจากภายนอกดังนั้นจึงต้องมีมุมมองในการมองข้อมูลที่แสดงผลบนจอ LCD
- 2) ตัวควบคุม (controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาควบคุมการทำงานของโมดูลเช่นลบภาพจากจอแสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิปควบคุมโดยเฉพาะ
- 3) ตัวขับ(driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผลข้อมูลตามที่กำหนด

LCD Module ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด (LCD 16x2)

โมดูล LCD ขนาด 16x2 มีการใช้งานทั้งสิ้น 16 ขา การทำงานของแต่ละขามีดังนี้

Vss (ขา1) : ต่อกราวด์

Vdd (ขา2) : ต่อไฟเลี้ยง 5 โวลต์

Vo (ขา3) : เป็นขาอินพุตที่เอาไว้รับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

RS (ขา4) : เป็นขาอินพุตใช้ในการแยกชนิดของข้อมูล ที่ทำการประมวลผลในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งสำหรับรีจิสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลสำหรับการแสดงผล

R/W (ขา5) : เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ โมดูล LCD ถ้าเป็น '0' เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น "1" จะเป็นการอ่านข้อมูล

E (ขา6) : เป็นขาสำหรับสัญญาณพัลส์เอ็นนาเบล โมดูล LCD ให้ทำงาน

D0- D7 (ขา7-ขา14) : เป็นขาที่ใช้เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับ อุปกรณ์ภายนอก
ขนาด 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.1 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่ LCD MODULE

กำหนดโหมคการทำงานให้แก่โมดูล LCD ก่อนจากนั้นจึงค่อยส่งข้อมูล (data) ที่ต้องการแสดงผลเนื่องจากบัสข้อมูลของโมดูล LCD มี 8 เส้นคือ D0-D7 และใช้เป็นทางผ่านของคำสั่งและข้อมูล ดังนั้นในการส่งคำสั่งและข้อมูลจึงต้องอาศัยการกำหนดสัญญาณลอจิกที่ขา RS ถ้าหากที่ขา RS ได้ลอจิก “0” หมายความว่าข้อมูลที่ป้อนให้แก่โมดูล LCD ขณะนั้นเป็นคำสั่งในทางตรงกันข้าม ถ้าหากขา RS ได้รับลอจิก “1” ข้อมูลที่ป้อนให้ขณะนั้นเป็นข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผล

เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านใน CGRAM และ DDRAM เริ่มต้นต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน โดยใช้คำสั่งเลือกแอดเดรส จากนั้นกำหนดให้ขา RS เป็น “1” เพื่อแจ้งให้ตัวควบคุมภายในโมดูล LCD ทราบว่า ข้อมูลที่ปรากฏอยู่ต่อไปนี้เป็นข้อมูลปกติไม่ใช่คำสั่งใน

กรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “1” ข้อมูลขนาด 8 บิต หรือ 4 บิต ก็จะปรากฏบนบัสข้อมูล โดยข้อมูลที่อ่านออกมาได้นั้นจะเป็นข้อมูลจากแอดเดรสของ CGRAM หรือ DDRAM ตามที่ต้องการ

2.14.2 จังหวะการทำงานของ LCD module

ในการติดต่อกับ โมดูล LCD จะต้องมีการหน่วงเวลาหลังจากที่ทำการส่งรหัสคำสั่งหรือข้อมูล เนื่องจากต้องรอให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายใน LCD โมดูล แปลความหมายของรหัสคำสั่งให้เรียบร้อยก่อนจากนั้นจึงจะรับข้อมูลหรือดำเนินการต่อไป

ดังนั้นในการใช้งาน โมดูล LCD ผู้เขียน โปรแกรมต้องมีโปรแกรมเพื่อหน่วงเวลารอให้โมดูล LCD พร้อมทำงานด้วย โดยเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้แก่โมดูล LCD ต้องรอประมาณ 10 มิลลิวินาที เพื่อให้โมดูล LCD ทำการเตรียมความพร้อมหรืออินิเชียล (initial) หลังจากนั้นก็ต้องกำหนดลอจิกให้แก่ขา RS ของ โมดูล LCD แล้วต้องหน่วงเวลาอีกประมาณ 2 มิลลิวินาที เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ใน โมดูล LCD แปลความหมายของลอจิกที่ขา RS ว่าข้อมูลต่อไปที่จะได้รับนั้นเป็นรหัสคำสั่งหรือเป็นข้อมูลที่ต้องการแสดงผล จากนั้นจะเป็นการส่งข้อมูลมารอที่บัสข้อมูลที่ขา D0 – D7 กรณีทำงานในโหมค 8 บิตหรือ ขา D4-D7 ในโหมคการทำงานแบบ 4 บิตขึ้นตอน

ต่อไปจะเป็นการส่งสัญญาณพัลส์ไปที่ขา E ของโมดูล LCD ต้องเป็นพัลส์ขอบขาขึ้นจากนั้นทำการ
หน่วงเวลา 2 มิลลิวินาที

การส่งข้อมูลในโหมด 4 บิต

จะต้องทำการกำหนดให้โมดูล LCD ทำงานในโหมด 4 บิต ในโหมดนี้จะต้องแยกการส่ง
ข้อมูลแบบ 8 บิตออกเป็น 2 ส่วน ส่วนละ 4 บิตหรือที่เรียกกันว่า นิบเบิล (nibble) นิบเบิลสูง
หรือ 4 บิตบนนั้นจะถูกส่งเข้ามาที่โมดูล LCD ผ่านทางขา D4-D7 ก่อนแล้วตามด้วยป้อนพัลส์เข้าที่
ขา E จากนั้นจึงต้องส่งข้อมูลนิบเบิลต่ำหรือ 4 บิตล่างเข้ามาตามด้วยการส่งพัลส์เข้าที่ขา E

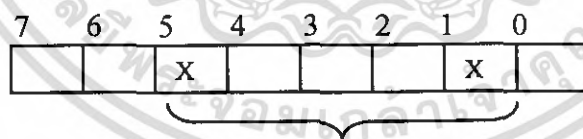
2.15 การตรวจสอบการผิดพลาดของข้อมูล

ความผิดพลาดของข้อมูล (Error) ที่อาจจะเกิดขึ้นในหน่วยของข้อมูลระหว่างการส่งจาก
ต้นทางไปยังปลายทางเนื่องจากสัญญาณรบกวน (Noise) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจาก
“0” เป็น “1” หรือจาก “1” เป็น “0” ได้

ประเภทของความผิดพลาดของข้อมูลมี 2 ประเภท

1) การเกิดการผิดพลาดเพียง 1 บิต (Single bit error) ในหนึ่งหน่วยข้อมูลจะเกิดความ
ผิดพลาดแค่ 1 บิตเท่านั้น

2) การเกิดการผิดพลาดหลายบิต (Burst error) ในหนึ่งหน่วยข้อมูลจะเกิดการผิดพลาดขึ้น
ในจำนวนที่มากกว่า 1 บิต โดยการนับจำนวนบิตที่เกิดความผิดพลาดในกรณีนี้จะนับโดยเริ่มนับ 1
จากตำแหน่งที่เกิดการผิดพลาดบิตแรกไปจนถึงตำแหน่งที่เกิดการผิดพลาด ณ ตำแหน่งสุดท้าย



เกิดการผิดพลาดของข้อมูลจำนวน 5 บิต

รูปที่ 2.31 แสดงตัวอย่างการนับจำนวนบิตที่เกิดการผิดพลาด

วิธีการตรวจสอบว่าข้อมูลมีข้อผิดพลาดหรือไม่ฝ่ายส่งข้อมูลจะมีการสร้างรหัสตรวจสอบ
ความผิดพลาด (Error control code) มาใส่ไว้ที่ส่วนท้ายของข้อมูล วิธีการสร้างรหัสตรวจสอบมี
ได้ 2 ประเภท

4.1 Error detection เป็นวิธีที่ทำการตรวจหาความผิดพลาดของข้อมูลแต่ระบุตำแหน่งบิตที่เกิดการผิดพลาดไม่ได้ จะแก้ไขความผิดพลาดทำได้โดยขบวนการแจ้งร้องขอการส่งข้อมูลเดิมซ้ำมาใหม่ (Retransmission) เช่น VRC , LRC , Check sum ,CRC

4.2 Error correction วิธีที่ทำการตรวจหาความผิดพลาดของข้อมูลที่สามารถระบุตำแหน่งของบิตที่เกิดการผิดพลาดได้ แต่จะมีความแม่นยำเฉพาะกรณีที่เกิดการผิดพลาดของข้อมูลเพียง 1 บิต เช่น Hamming Code , Hagelberger Code , Bose - Chaudhuri Code

ในส่วนของโครงงานนี้จะป็นใช้งานส่วนของ Error detection เท่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของ CRC จะไม่ขอลงรายละเอียดในส่วนของ Error correction

2.15.1 VRC (Vertical Redundancy Check) หรือ Parity check

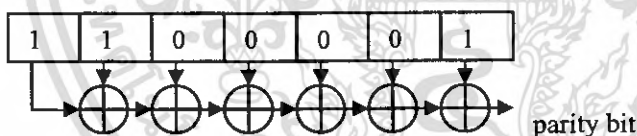
เป็นวิธีการแทรกบิตตรวจสอบ (Parity Bit) ต่อท้ายหนึ่งหน่วยข้อมูล ในการแทรกบิตตรวจสอบสามารถทำได้ 2 วิธี

Even parity : การทำให้จำนวนบิต “ 1 ” ในหนึ่งหน่วยข้อมูลมีจำนวนคู่

Odd parity : การทำให้จำนวนบิต “ 1 ” ในหนึ่งหน่วยข้อมูลมีจำนวนคี่

เช่น ในกรณีของ ข้อมูล 101010 มีparity bit แบบ even parity เป็น 0 แต่แบบ odd parity เป็น 1

การสร้าง parity bit ที่ตัวส่งข้อมูล

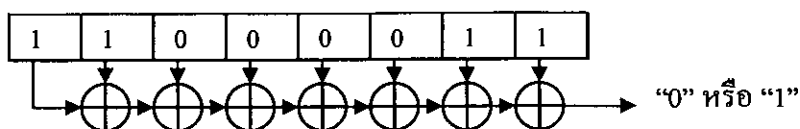


การทำ parity bit แบบนี้จะได้ เป็นแบบ Even parity bit ถ้าต้องการ ทำ

Odd parity bit จะทำได้โดยการ ใส่ Not gate ในกรณีนี้กำหนดให้

สัญลักษณ์ \oplus เป็นการทำให้ exclusive or

การทำ VRC checker แบบ Even parity bit ที่ตัวรับข้อมูล



ในกรณีที่ป็น even parity bit ถ้าค่าที่ออกมาเป็น “0” แล้วแสดงว่าไม่เกิดการผิดพลาดของข้อมูล

รูปที่ 2.32 แสดงการทำ parity bit ที่ตัวส่งข้อมูลและตัวรับข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียของการทำ VRC จำไม่สามารถตรวจสอบการเกิดของผิดพลาดของข้อมูลเมื่อจำนวนบิตที่ผิดพลาดเป็นจำนวนคู่แต่จะสามารถตรวจสอบการเกิดข้อผิดพลาดของข้อมูลเมื่อเกิดการผิดพลาดเป็นจำนวนคี่ได้

2.15.2 LRC (Longitudinal Redundancy check) หรือ Two-dimension parity check

เป็นการสร้างบิตตรวจสอบ (Parity bit) ในแนวตั้งด้วยการนำเอาข้อมูลอักขระที่จะใส่รหัสตรวจสอบมาจัดเรียงเป็นตารางดังตัวอย่าง และนำเอาข้อมูลในแต่ละแถวมาคำนวณค่า parity bit และนำมาเขียนลงที่ท้ายของข้อมูลในแต่ละแถว ต่อไปเป็นการคำนวณค่าของ parity bit ในแต่แนวตั้งหรือเป็นการทำ exclusive or กับข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งแนวเดียวกัน จะได้รับรหัสตรวจสอบของ LRC เป็นคำตอบ ในการส่งข้อมูลออกไปจะต้องส่งข้อมูลทั้งหมดไปพร้อมกับรหัสตรวจสอบ LRC ที่ถูกเพิ่มไปที่ท้ายของข้อมูล

	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	
ข้อมูลที่จะถูกส่งออกไป	1110011	110110	0011100	
นำมาจัดเรียงเป็น	กลุ่ม 1	1 1 1 0 0 1 1		
	กลุ่ม 2	1 1 0 1 1 1 0		
	กลุ่ม 3	0 0 1 1 1 0 0		
LRC	0 0 0 0 0 0 1			
	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	LRC
ข้อมูลทั้งหมดที่จะส่งออกไป	1110011	110110	0011100	0000001
เมื่อข้อมูลทั้งหมดได้ถูกรับมาจะต้องนำมาจัดเรียงใหม่ได้เป็น				
	กลุ่ม 1	1 1 1 0 0 1 1		
	กลุ่ม 2	1 1 0 1 1 1 0		
	กลุ่ม 3	0 0 1 1 1 0 0		
LRC	0 0 0 0 0 0 1			
ค่าของข้อมูลที่ทำกรตรวจสอบ	0 0 0 0 0 0 0			

จากการที่ตัวรับได้นำเอาข้อมูลทั้งหมดมาทำการตรวจเช็ค โดยการวิธีการเดิมเพียงแต่ต้องนำเอารหัสตรวจสอบ LRC มาทำการคิดด้วย เมื่อได้คำตอบแล้วนั้นพบว่ามิคำตอบเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0 แสดงว่าไม่เกิดการผิดพลาดของข้อมูลในการส่งข้อมูล แต่ถ้าคำตอบมีค่าไม่เท่ากับ 0 แสดงว่าเกิดการผิดพลาดของข้อมูลในการส่ง

ข้อดีของการเข้ารหัสแบบ LRC คือความเป็นไปได้ที่จะเกิดการตรวจพบการผิดพลาดแบบ burst error ในจำนวนที่มากกว่าจำนวนบิตของ LRC

ข้อเสียของการทำการเข้ารหัสแบบ LRC จะคล้ายกับการเข้ารหัสแบบ VRC คือเมื่อเกิดการผิดพลาดในแนวตั้งเป็นจำนวนคู่ LRC จะไม่สามารถที่การตรวจสอบการผิดพลาดของข้อมูลได้

2.15.3 Check sum

การเข้ารหัสแบบนี้จะทำการแบ่งรหัสข้อมูลออกมาเป็นส่วนส่วนละเท่าเท่ากัน โดยปกติแล้วนั้นจะแบ่งเป็นส่วนส่วนละ 16 บิต และนำแต่ละส่วนนั้นมาทำการบวกกันแบบ binary summation และเมื่อได้ผลลัพธ์แล้วนั้นจะนำไปทำ one complement ในการส่งข้อมูลจะส่งข้อมูลเดิมและเพิ่มเอาส่วนของรหัสตรวจสอบการผิดพลาดแบบ check sum ต่อท้ายเพิ่มเข้าไป

ที่ฝ่ายรับนั้นจะทำการระบวนการเดียวกันกับฝ่ายส่งคือมีการแบ่งข้อมูลออกมาเป็นส่วนส่วนให้ได้ในปริมาณที่เท่ากันกับที่ฝ่ายส่งแบ่งและเริ่มการเข้ารหัสแบบ check sum โดยนำเอาข้อมูลทั้งหมดมาบวกกันพร้อมกับรหัสตรวจสอบนั้นนั้น และเมื่อได้รับค่าของรหัสตรวจสอบนั้นแล้วให้นำมาทำ one complement ถ้าผลลัพธ์ของการทำ one complement นั้น ได้มีค่าเท่ากับ “0” แสดงว่าไม่ได้เกิดการผิดพลาดของข้อมูลขึ้น แต่ถ้าคำตอบมีค่าไม่เท่ากับ “0” แสดงว่าเกิดการผิดพลาดในระหว่างการส่งข้อมูล

เช่น มีข้อมูล 10101001 00111001 จำนวน check sum โดยการนำมาแบ่งเป็นส่วนๆแล้วทำการบวกกันตามหลัก binary summation

ข้อมูลส่วนที่ 1	10101001	
ข้อมูลส่วนที่ 2	00111001	
ผลลัพธ์การบวก	<u>11100010</u>	
ทำ one complement	<u>00011101</u>	รหัส check sum
ทำการส่งข้อมูล	10101001 00111001	00011101

ที่ฝ่ายรับทำการตรวจสอบโดยวิธีเดียวกัน

ข้อมูลส่วนที่ 1 10101001

ข้อมูลส่วนที่ 2	00111001
รหัส check sum	00011101
ผลลัพธ์การบวก	<u>11111111</u>
ทำ one complement	00000000

ถ้าผลลัพธ์สุดท้ายของการทำ one complement นั้นมีค่าเท่ากับ “0” แสดงว่าไม่เกิดการผิดพลาดของข้อมูลขึ้น แต่ถ้าผลลัพธ์สุดท้ายมีค่าไม่เท่ากับ “0” แสดงว่าเกิดการผิดพลาดในการส่งข้อมูลขึ้นจะต้องมีการร้องขอการให้มีการส่งข้อมูลเดิมมาใหม่

ข้อเสียของการเข้ารหัสแบบ Check sum นั้นจะตรวจสอบความผิดพลาดได้ต่อเมื่อค่าของบิตที่ข้อมูลที่ถูกส่งออกไป ณ ตำแหน่งใดๆในแวนอนที่ถูกแบ่งนั้นผิดพลาดจาก “1” เป็น “0” หรือจาก “0” เป็น “1” และบิตข้อมูล ณ ตำแหน่งใดเดียวกันในแนวตั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าที่ทำให้ค่าของผลบวก ณ ตำแหน่งในแนวตั้งนั้นๆมีค่าคงเดิมแสดงว่าที่ฝ่ายรับนั้นจะสามารถตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลได้

2.15.4 CRC (Cyclic Redundancy Check)

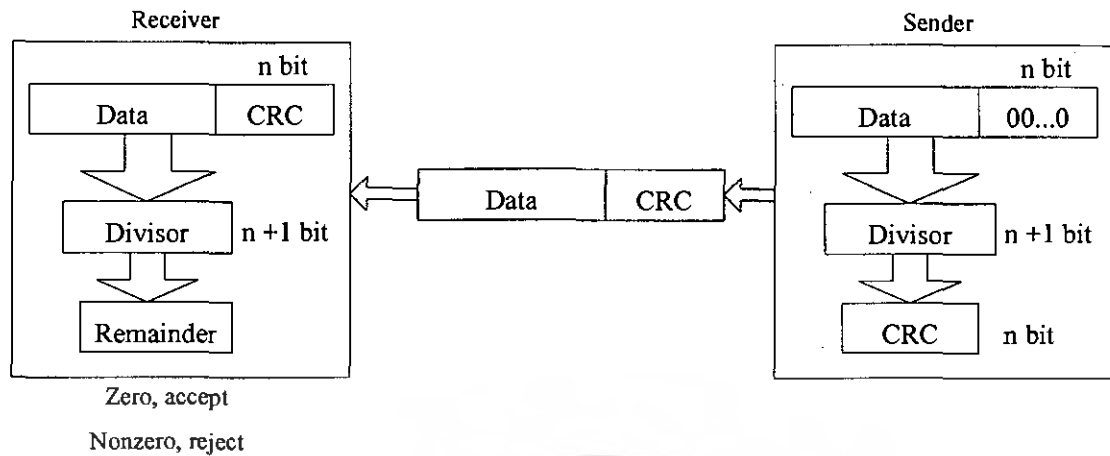
หลักการของ CRC จะเป็นการนำเอาหลักของการหารเลขฐานสอง (modulo 2 division) เข้ามาร่วมกับหลักทฤษฎีของโพลิโนเมียล (Polynomial Function) โดยการสมมติให้

- P(x) เป็นฟังก์ชัน โพลิโนเมียลของที่มีความยาวเท่ากับ k บิต
- F(x) เป็นฟังก์ชัน โพลิโนเมียลของข้อมูลที่ได้มีการใส่รหัสตรวจสอบแล้วและมีความยาวเท่ากับ m บิต
- R(x) เป็นฟังก์ชัน โพลิโนเมียลที่ได้จากการหารของ $x^n [P(x)]$ ด้วย G(x) ก็คือตรวจสอบความผิดพลาดของ CRC มีความยาวเท่ากับ n บิต โดยที่ $n < m$
- G(x) เป็นฟังก์ชัน โพลิโนเมียลของ CRC generator ที่มีจำนวนบิตเท่ากับ n+1 บิต

สามารถหาความสัมพันธ์ของฟังก์ชัน โพลิโนเมียลต่างๆได้จากสมการ

$$F(x) = x^n [P(x)] + R(x)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 แสดง block diagram ของการรับส่งข้อมูลที่ได้นำเอาหลักการเข้ารหัสแบบ CRC ไปใช้

จาก block diagram ของ CRC นั้นจะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลักคือ

- 1) การนำเอาข้อมูลมาเพิ่ม "0" เข้าไปต่อท้ายส่วนของข้อมูลเป็นจำนวน n บิตและให้ใช้หลักการที่จะกำหนดตัวหารที่จะได้กล่าวถึงต่อไปมากำหนดค่าของตัวหารที่มีขนาด n+1 บิต
- 2) ทำการตั้งหาร โดยการนำเอาข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาเป็นตัวตั้งและทำการหาร โดยใช้การตัวหารที่ได้กำหนดเอาไว้แล้วจะได้ผลลัพธ์เป็นรหัสตรวจสอบ CRC จำนวน n บิต
- 3) นำรหัส CRC ที่ได้ไปแทนที่ "0" ที่ส่วนท้ายของข้อมูลเดิมและส่งข้อมูลที่ได้มีการเพิ่มรหัส CRC ที่ส่วนท้ายแล้วไปให้แก่ฝ่ายรับ

ที่ฝ่ายรับนั้นจะทำการรับส่งข้อมูลมาพร้อมกับรหัส CRC ที่ต่อท้ายไว้มาทำการตั้งหารด้วยตัวหารที่มีค่าเท่ากับกับตัวส่ง ถ้าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเท่ากับ "0" ถือว่าไม่เกิดการผิดพลาดของข้อมูลเกิดขึ้น

หลักการการสร้างตัวหาร (CRC generator)

- 1) เทอมแรกและเทอมสุดท้ายของ $G(x)$ จะต้องเป็น "1" เสมอ
- 2) จำนวนบิตของ $G(x)$ จะต้องมากกว่าจำนวนบิตของรหัส CRC 1 บิตเสมอ
- 3) กำลังสูงสุดของ $G(x)$ มีค่าได้เท่ากับ n
- 4) คาบหลักการของโพลีโนเมียล แล้ว $G(x)$ จะต้องไม่สามารถถูกหารด้วย X ลงตัว

เนื่องจาก ถ้าเกิดการผิดพลาดของข้อมูลแบบ single bit error โดยการสมมุติให้ $E(x)$ เป็นรหัสที่เกิดการผิดพลาด ในขณะที่กำลังส่งข้อมูล กำหนดให้มีค่าเท่ากับ $E(x) = X^i$ และ I คือตำแหน่งที่เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผิดพลาดขึ้นและเมื่อ $G(x)$ มีความยาวมากกว่า 1 บิตแล้วจะทำให้ค่าของ $G(x)$ ไม่สามารถหาร $E(x)$ ได้ลงตัว

5) ค่าของ $G(x)$ จะต้องสามารถหารได้ด้วย $X + 1$ ลงตัวเพื่อที่จะทำให้สามารถตรวจสอบ burst error และมีจำนวนบิตของข้อมูลที่ผิดพลาดเป็นเลขคี่ได้ เช่น $E(x) = x^5 + x^2 + 1$ ถ้าให้ $x+1$ เป็นตัวประกอบร่วมกับ $G(x)$ ได้จะสามารถตรวจสอบข้อผิดพลาดได้ทั้งหมด

มีการกำหนดค่าของ $G(x)$ ไว้เป็นมาตรฐานดังนี้

$$\text{CRC-8; } G(x) = x^8 + x^2 + x + 1$$

$$\text{CRC-10; } G(x) = x^{10} + x^9 + x^5 + x^4 + x^2 + 1$$

$$\text{CRC-12; } G(x) = x^{12} + x^{11} + x^9 + x^2 + x^1 + 1$$

$$\text{CRC-16; } G(x) = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

$$\text{CRC-CCITT; } G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

ตัวอย่างการเข้ารหัส CRC

$$P(x) = 1100110 \text{ จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปโพลีโนเมียลได้เป็น } x^5 + x^4 + x + 1$$

$$G(x) = 11001 \text{ จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปโพลีโนเมียลได้เป็น } x^4 + x^3 + 1$$

$$x^4 [P(x)] = x^4 [x^5 + x^4 + x + 1] = x^9 + x^8 + x^5 + x^4 = 1100110000$$

วิธีการคิดแบบโพลีโนเมียล

วิธีการคิดแบบ binary 2 division

$$\begin{array}{r} x^5 + 1 \\ x^4 + x^3 + 1 \overline{) x^9 + x^8 + x^5 + x^4} \\ \underline{x^9 + x^8 + x^5} \\ x^4 \\ \underline{x^4 + x^3 + 1} \\ x^3 + 1 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 100001 \\ 11001 \overline{) 1100110000} \\ \underline{11001} \\ 10000 \\ \underline{11001} \\ 1001 \end{array}$$

การเข้ารหัสแบบ CRC เป็นวิธีที่สามารถตรวจสอบการเกิดความผิดพลาดของข้อมูลเป็นจำนวนคี่ได้และสามารถที่จะตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลที่มีจำนวนบิตที่ผิดพลาดในจำนวนที่เท่ากับหรือที่มีค่าน้อยกว่าจำนวนบิตของรหัส CRC ยังมีความเป็นไปได้ที่สูงมากที่จะตรวจสอบการเกิด burst error ที่มีความยาวมากกว่าคิกริชของโพลีโนเมียล

2.16 รูปแบบการสื่อสารที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ใช้ในการสื่อสารกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์สองตัวได้นำเอาหลักการเบื้องต้นของ Stop-and-wait ARQ ไปดัดแปลงเป็นรูปแบบที่ใช้ในการสื่อสารกันจริงๆจะต้องทราบหลักการเบื้องต้นนี้ก่อน

- อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจะยังคงเก็บรักษาข้อมูลที่ได้ส่งไปแล้วนั้นเอาไว้ก่อนเพื่อป้องกันในกรณีที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณพบว่าข้อมูลที่ส่งมานั้นเกิดการผิดพลาดของข้อมูลหรือเกิดการสูญหายไปของข้อมูล อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจะทำการส่งสัญญาณมาขอให้ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณส่งข้อมูลเดิมกลับไปให้ใหม่

- ในกรณีของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณมาได้ตรวจพบว่าสัญญาณที่ได้รับมานั้นมีความผิดพลาดของข้อมูลอยู่จะไม่นำเอาข้อมูลนั้นไปประมวลผลอื่นๆต่อไปและจะส่งสัญญาณ no acknowledge กลับไปที่ให้แก่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเพื่อเป็นการขอให้มีการส่งข้อมูลเดิมกลับมาอีกครั้ง

- ตัวของข้อมูลที่ได้ถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆแล้วนั้นจะมีการระบุลำดับของแต่ละส่วนเอาไว้ด้วยเลข 0, 1 เรียงสลับกันไปเรื่อยๆ โดยที่ข้อมูลที่ " 0 " นั้นจะมีสัญญาณตอบรับที่ได้รับมาจาก อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณ เป็นสัญญาณ ACK1 เพื่อเป็นการบ่งบอกได้ว่ามีการรับเอาข้อมูลที่ " 0 " อย่างถูกต้องสมบูรณ์แล้วและต้องการให้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณส่งข้อมูลที่ " 1 " มาให้แก่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณ

- โดยที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจะมีเลขที่ระบุถึงข้อมูลที่ได้ออกไปแล้ว (กำหนดเป็นตัวแปร S) ว่าส่งข้อมูลที่เท่าใดออกไป ในกรณีของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจะมีเลขที่ระบุถึงข้อมูลที่ต้องการจะรับข้อมูลที่เท่าไร (กำหนดเป็นตัวแปร R)

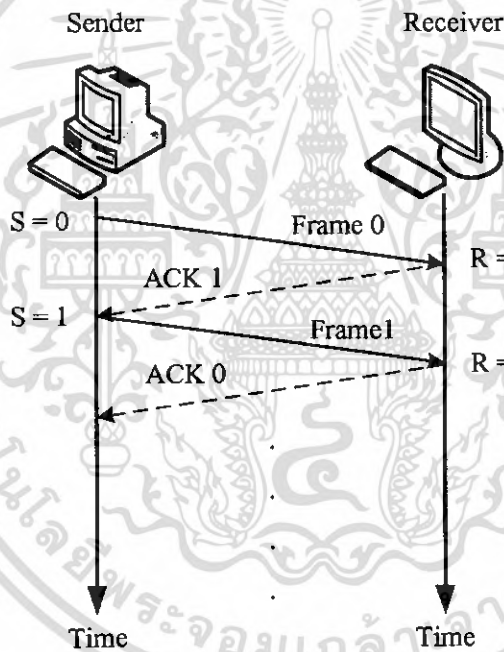
- อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจะเริ่มการจับเวลาเมื่อภายหลังการส่งข้อมูลออกไปแล้วถ้าอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณไม่มีการส่งสัญญาณ ACK ออกมาตามระยะเวลาที่ได้กำหนดเอาไว้แล้วให้แก่ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจะถือว่าข้อมูลที่ได้ออกไปนั้นเกิดการสูญหายขึ้นและจะทำการส่งข้อมูลเดิมซ้ำออกไป

จากการรับส่งข้อมูลที่เกิดขึ้นนั้นจะสามารถแยกเป็นกรณีต่างๆได้ 4 กรณีหลักๆคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ไม่ได้เกิดการสูญหายไปของข้อมูลเลยถือว่าเป็นการรับส่งข้อมูลได้โดยปกติ , ในกรณีที่เกิดการสูญหายของข้อมูล , ในกรณีที่เกิดการสูญหายไปของสัญญาณ ACK สุดท้ายเป็นกรณีที่เกิดจากการที่สัญญาณ ACK นั้นได้ถูกทำให้ล่าช้าออกไป

ในกรณีที่ไม่ได้เกิดการสูญหายไปของข้อมูลเลยถือว่าเป็นการรับส่งข้อมูลได้โดยปกตินั้น อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจะส่งข้อมูลลำดับที่ “ 0 ” ออกไปหาอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณและรอรับสัญญาณ ACK 1 เมื่ออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณรับ ACK 1 แล้วจะส่งข้อมูลลำดับที่ “ 0 ” ไปให้แก่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณและเป็นอย่างนี้เรื่อยๆ โดยที่ทุกๆสัญญาณ ACK ที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณได้รับมานั้นจะต้องได้รับก่อนที่จะหมดช่วงเวลาที่ถูกกำหนดเอาไว้แล้ว

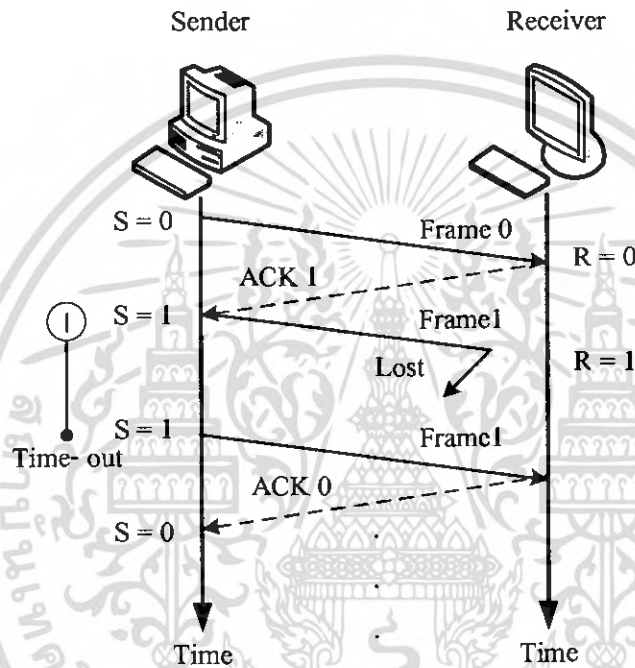


รูปที่ 2.34 การรับส่งข้อมูลได้โดยปกติ

ส่วนกรณีที่เกิดการสูญหายของข้อมูลที่เกิดขึ้นระหว่างการรับและส่งสัญญาณที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจะไม่นำเอาข้อมูลนั้นๆไปประมวลผลและจะไม่ส่งสัญญาณใดๆตอบรับกลับไปให้แก่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งเลขสัญญาณดังรูปที่ 2.35 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณส่งข้อมูลลำดับที่ “ 1 ” ออกไปแต่เกิดการสูญหายของข้อมูลนั้นๆและอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณยังรอรับข้อมูลลำดับที่ “ 1 ” นั้นอยู่จึงยังไม่ได้ส่งสัญญาณใดๆกลับมาหาอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

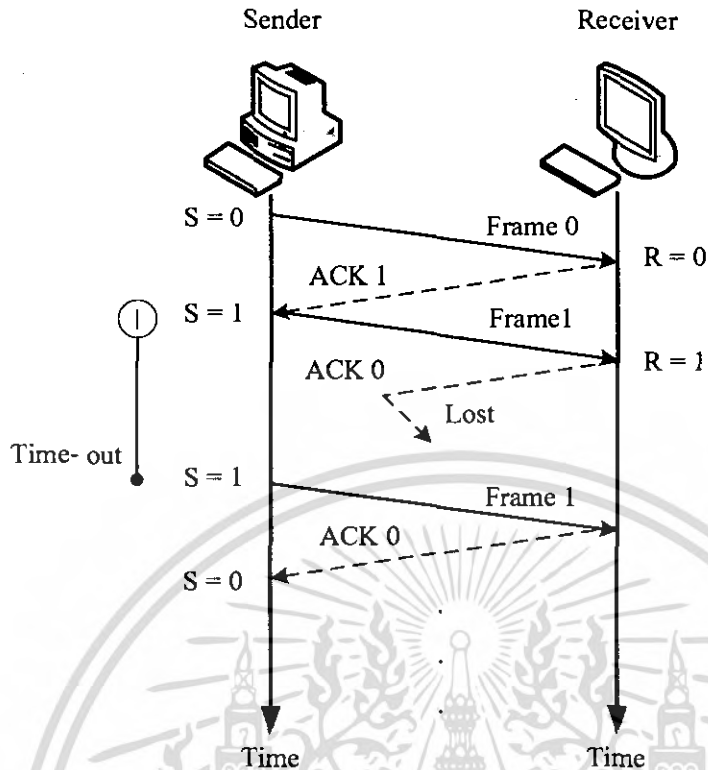
สัญญาณ เมื่ออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณส่งข้อมูลลำดับที่ “ 1 ” ไปจนกระทั่งเลข
 ช่วงเวลาที่รอรับสัญญาณ ACK 0 จากอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณมานั้นตัวอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่
 ส่งสัญญาณจะส่งข้อมูลเดิมกลับไปให้แก่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณอีกครั้ง การ
 ที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณต้องส่งข้อมูลเดิมกลับไปให้แก่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณเมื่อ
 เลขช่วงเวลาที่รอรับสัญญาณ ACK ใดๆแล้วนั้นจะเรียกว่าการเกิด time-out error



รูปที่ 2.35 กรณีที่มีการสูญหายของข้อมูลที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งสัญญาณ

ในกรณีที่เกิดการสูญหายไปของสัญญาณ ACK ใดๆ หรือเกิดการผิดพลาดขึ้นที่สัญญาณ
 ACK ที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณ โดยที่ในรูป 2.36 เกิดการสูญหายไป
 ของสัญญาณ ACK 0 ในกรณีที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไม่ทราบว่าอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับ
 สัญญาณได้รับสัญญาณลำดับที่ “ 1 ” แล้วหรือไม่ จนกระทั่งเลขช่วงเวลาที่รอการรับสัญญาณ
 ACK 0 ที่ได้กำหนดไว้แล้วนั้นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจะส่งข้อมูลลำดับที่ “ 1 ” และอุปกรณ์
 ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณได้รับข้อมูลลำดับที่ “ 1 ” โดยไม่เกิดความผิดพลาดใดๆแล้วจะส่งสัญญาณ
 ACK 0 เพื่อเป็นการบอกอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณว่าได้รับข้อมูลลำดับที่ “ 1 ” แล้วและรอรับ
 ข้อมูลลำดับที่ “ 0 ” อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 กรณีที่เกิดการสูญหายไปของสัญญาณ ACK ใดๆ

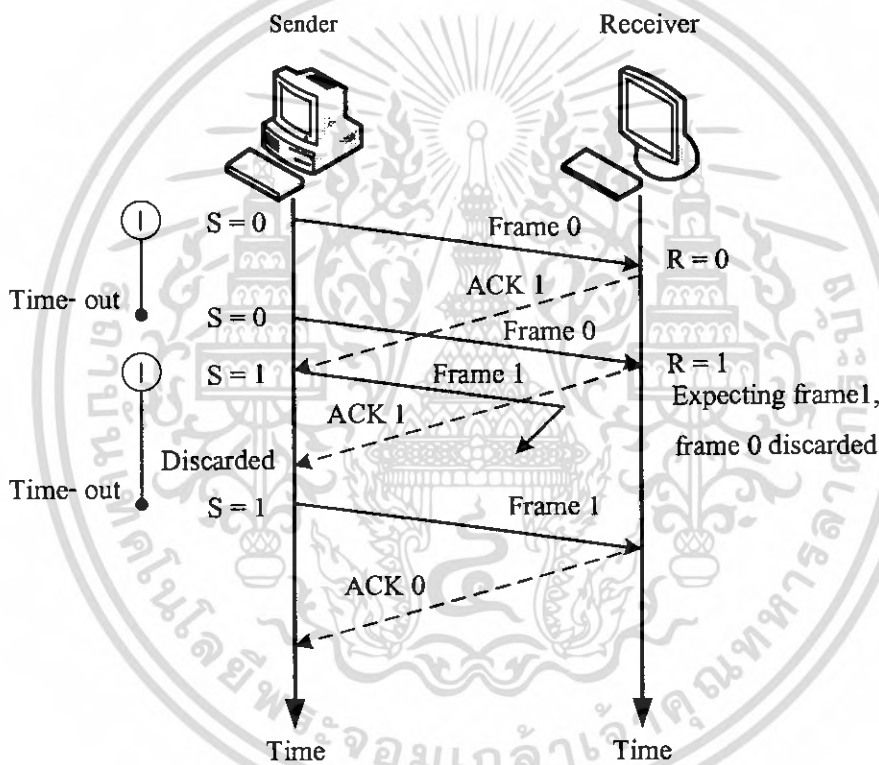
โปรโตคอลของ ARQ นั้นมีความจำเป็นที่จะต้องระบุลำดับของข้อมูลที่ส่งออกไปเพื่อให้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณได้ทราบลำดับของข้อมูลที่ได้รับไปแล้วและลำดับของข้อมูลที่ตนเองกำลังจะรอรับต่อไป

อีกกรณีหนึ่งคือการที่เกิดขึ้นคือกรณีที่สัญญาณ ACK ที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณมาถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเลขช่วงเวลาที่กำหนดไปแล้วหรือเกิดการตีเลยของสัญญาณ ACK จากรูป 2.37 เป็นการส่งสัญญาณล่าช้าของการรับ ACK 1 ทำให้เกิด time-out error ที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจนและส่งข้อมูลลำดับที่ "0" เข้าไปให้แก่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณ เมื่ออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณยังมีค่าของ $R = 1$ อยู่หมายความว่าอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณ ต้องการรับข้อมูลลำดับที่ "1" อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจะไม่นำเอาข้อมูลลำดับที่ "0" ไปพิจารณาและส่งสัญญาณ ACK 1 กลับไป

จากรูป 2.37 แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณได้รับทั้ง ACK 0 ที่เกิดจากปัญหาทางการรับสัญญาณ ACK ของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณ หรือการรับข้อมูลของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณและสัญญาณ ACK 1 ที่ได้รับภายหลังการที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณได้รับข้อมูลลำดับที่ "0" แต่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณจะไม่นำเอา ACK 1 ที่ได้รับมาพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกรณีที่ 4 นั้นเห็นว่ามีความจำเป็นที่ระบุลำดับของข้อมูลและลำดับของ ACK ถ้าดูรูปที่ 2.37 พบว่าถ้าสัญญา ACK 1 ที่ได้รับมาล่าช้าไปนั้น อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาได้ส่งข้อมูลลำดับที่ “ 1 ” ออกไป แต่เกิดความการสูญหายไปของข้อมูลลำดับที่ “ 1 ” ได้เพียงส่งออกไป ถ้าสัญญา ACK ไม่ได้รับระบุลำดับเอาไว้ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาจะตีความหมายของ ACK 1 ที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาได้ส่งมาภายหลังการการได้รับข้อมูลลำดับที่ “ 0 ” ว่าอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาได้รับข้อมูลลำดับที่ “ 1 ” ที่เพิ่งส่งออกไปแล้วนั้น โดยสมบูรณ์แต่จริงๆแล้ว ACK 1 ที่รับมานั้นเป็น ACK 1 ที่เกิดจากการยอมรับว่ามีการรับข้อมูลลำดับที่ “ 1 ” ก่อนหน้านั้นนานแล้ว เพียงแต่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาได้รับ ACK 1 ล่าช้าเกินไปเท่านั้น จะเห็นได้ว่าการกำหนดถึงลำดับของสัญญา ACK ก็มีความสำคัญ



รูปที่ 2.37 การเกิดดีเลย์ของสัญญา ACK

จากโปรโตคอลของส่วนที่ได้กล่าวถึงไปแล้วนั้นเป็นส่วนของการรับส่งข้อมูลเพียงทิศทางเดียวเท่านั้นจริงๆแล้วในระบบนี้จะเป็นการรับส่งข้อมูลกันระหว่างอุปกรณ์ 2 ตัวที่อาจเป็นการสื่อสารแบบ 2 ทิศทาง Full duplex หรือเป็นการสื่อสารแบบช่องทางเดียวแบบ half duplex ในกรณีนี้อุปกรณ์ทั้งสองตัวจะต้องมีตัวแปรทั้ง 2 ตัวคือ S และ R ที่จะระบุลำดับของข้อมูลที่จะต้องการทั้งการรับส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCD มาใช้เพื่อแสดงผลของข้อมูลที่ทำการทดสอบรับส่งกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ 2 ตัว เท่านั้นถ้าในการทดลองนี้จะทำการลดรูปในส่วนของโปรแกรมที่เขียนและอุปกรณ์ทาง hardware ให้เหมาะสมกับความเป็นจริงมากที่สุด

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการส่งข้อมูลระหว่าง tag และ reader มีการรับส่งข้อมูลที่มีจำนวนไบต์ที่ได้มากที่สุด 9 ไบต์ แบ่งได้เป็น

DA	SA	control	data 1	data 2	data 3	data 4	CRC 1	CRC 2
----	----	---------	--------	--------	--------	--------	-------	-------

รูปที่ 2.39 แบบข้อมูล tag ส่งไปให้แก่ reader

DA : Destination Address เป็นแอดเดรสของจุดหมายปลายทางที่จะส่ง

SA : Source Address เป็นแอดเดรสของผู้ส่ง

Control : เป็นไบต์ที่มีหน้าที่บ่งบอกถึง ACK และความยาวของข้อมูล

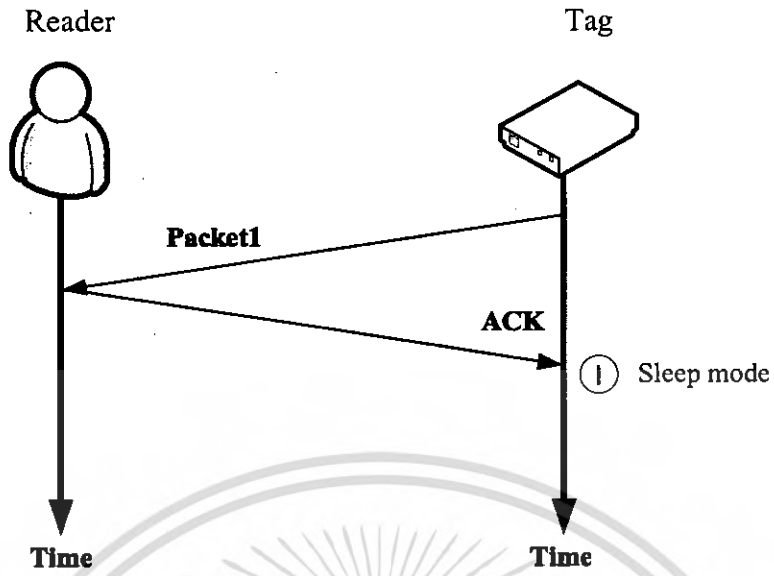
data 1 , data 2, data 3 และ data 4 : ข้อมูล 4 ไบต์

CRC 1, CRC 2 : รหัส CRC 2 ไบต์

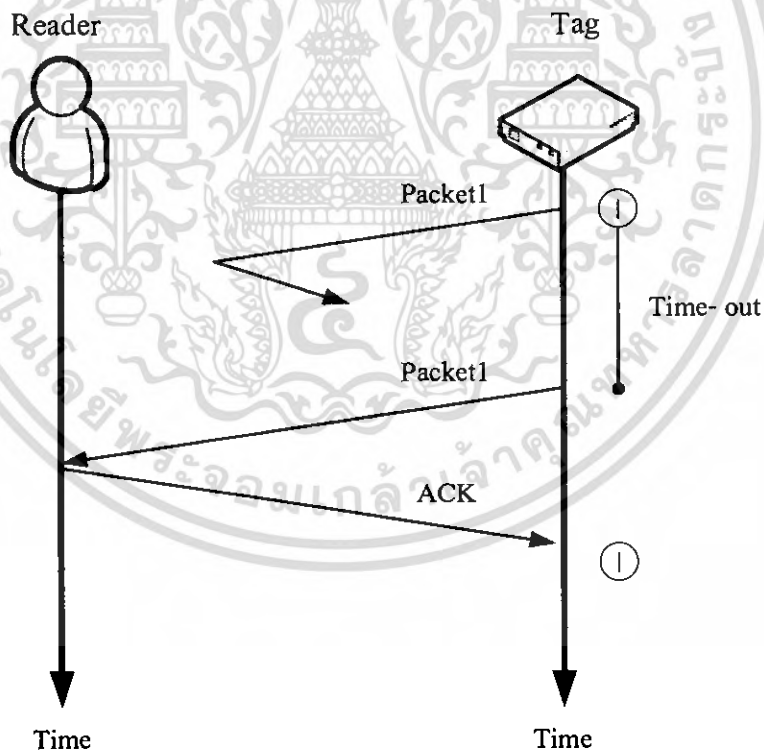
DA	SA	control	CRC 1	CRC 2
----	----	---------	-------	-------

รูปที่ 2.40 แบบสัญญาณ ACK ที่ส่งไปให้แก่ tag

รูปแบบโปรโตคอลที่ใช้ไปนั้นจะนำเอา stop and wait ARQ มาใช้งาน โดยจะให้ใช้การเริ่มต้นส่ง Packet จาก tag ไปให้แก่ reader เป็นการส่ง tag address , tag password เพื่อให้ reader ทำการตรวจสอบรหัสต่างๆถ้ารหัสถูกต้องส่ง ACK ไปให้แก่ tag รับทราบว่าข้อมูลที่ส่งออกไปนั้นถูกต้อง และ reader ได้รับอย่างสมบูรณ์ การที่จะบังคับให้ส่งสัญญาณ ACK 2 ครั้งนั้นเพื่อให้ tag ได้รับสัญญาณ ACK ได้แน่นอน ภายหลังที่ tag ได้รับสัญญาณ ACK และสัญญาณไม่เกิดการผิดพลาด tag จะเข้าสู่ sleep mode ถือว่าเป็นการสิ้นสุดการติดต่อกันของ tag กับ reader

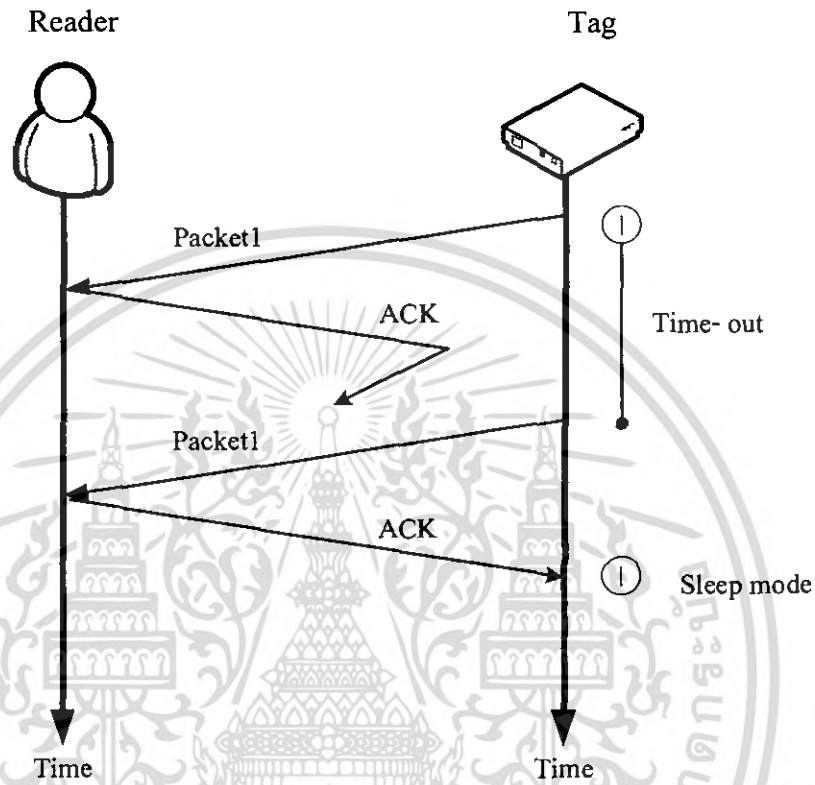


รูปที่ 2.41 แสดงการรับส่งสัญญาณโดยปกติ



รูปที่ 2.42 เกิดการเกิดการสูญหายของสัญญาณที่ tag ส่งออกไป

การออกแบบของการรับส่งข้อมูลนั้นจะต้องให้ tag ที่ส่งข้อมูลนั้นๆออกไปแล้วได้ทำการตรวจจับ time out error เพื่อที่จะส่งข้อมูลซ้ำออกไปให้แก่ reader ในกรณีที่เกิดการส่งสัญญาณ ACK มาช้าไปหรือสูญหายไปของ reader หรือเกิดการสูญหายของข้อมูลระหว่างการส่งข้อมูล

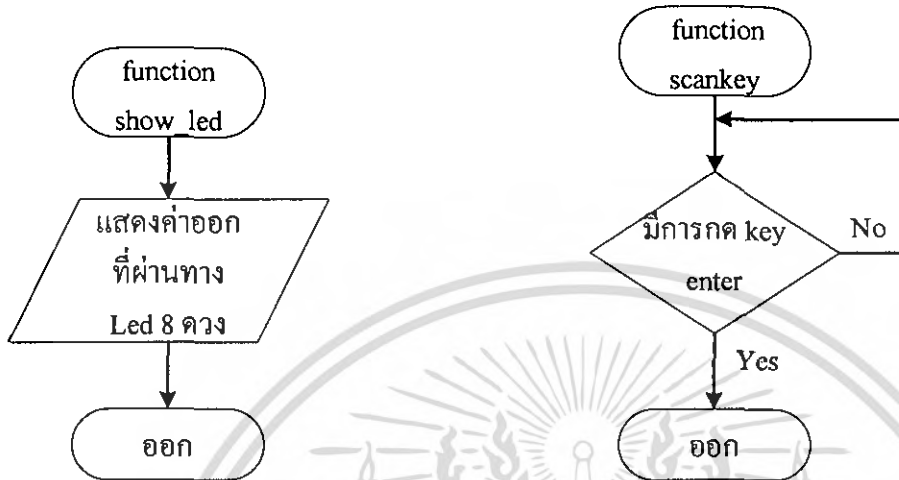


รูปที่ 2.43 เกิดการเกิดการสูญหายของสัญญาณ ACK ที่ส่งออกไป tag ส่งออกไป

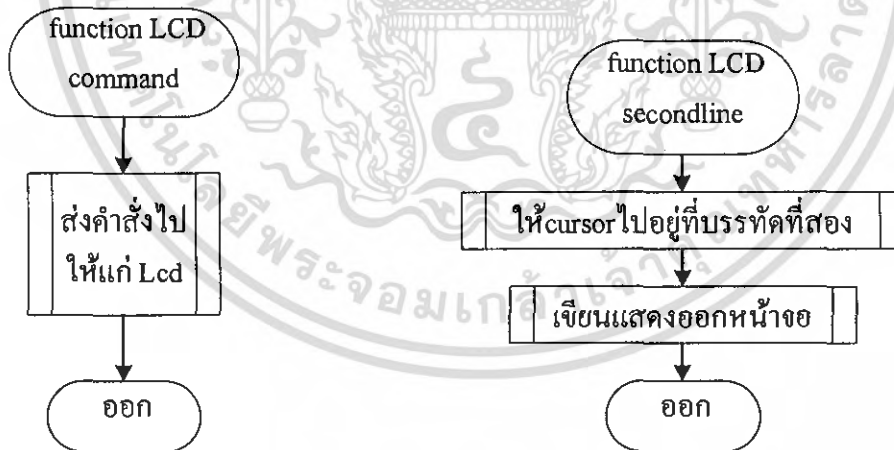
บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 Flow chart ของ soft ware

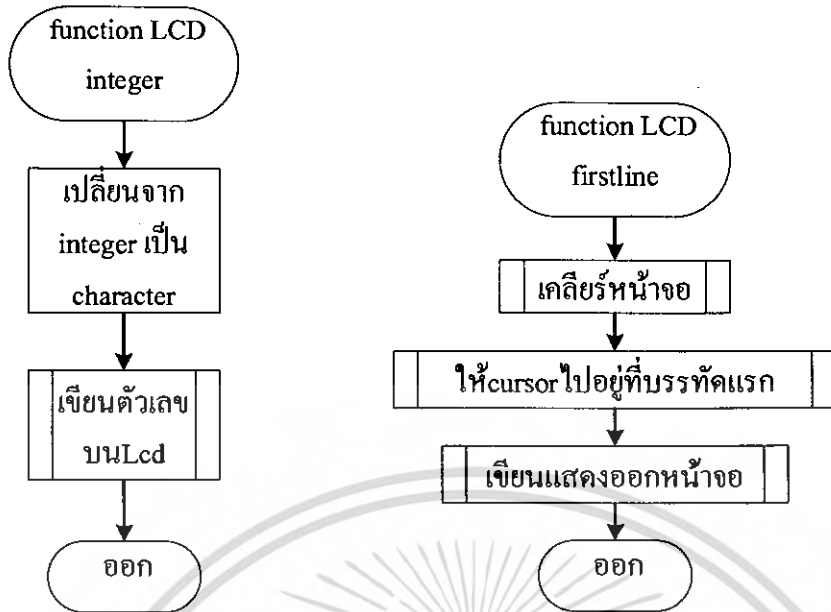


รูปที่ 3.1 แสดง flow chart ของ function show_led และ scankey ของ Tag และ Reader

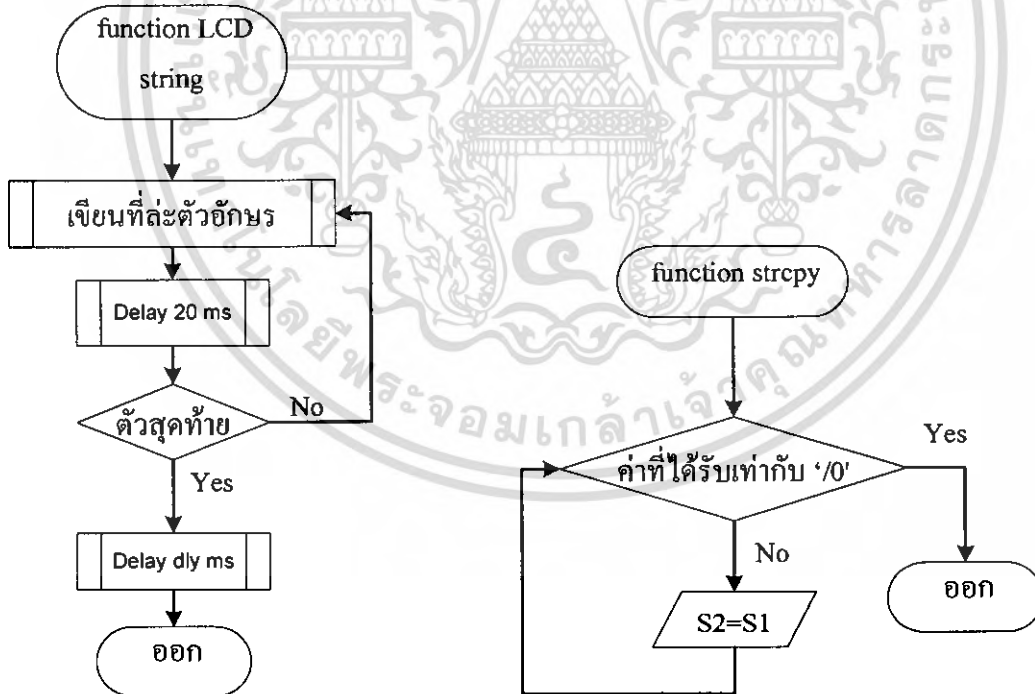


รูปที่ 3.2 แสดง flow chart ของ function lcd_command และ lcd_secondline ของ Tag และ Reader

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

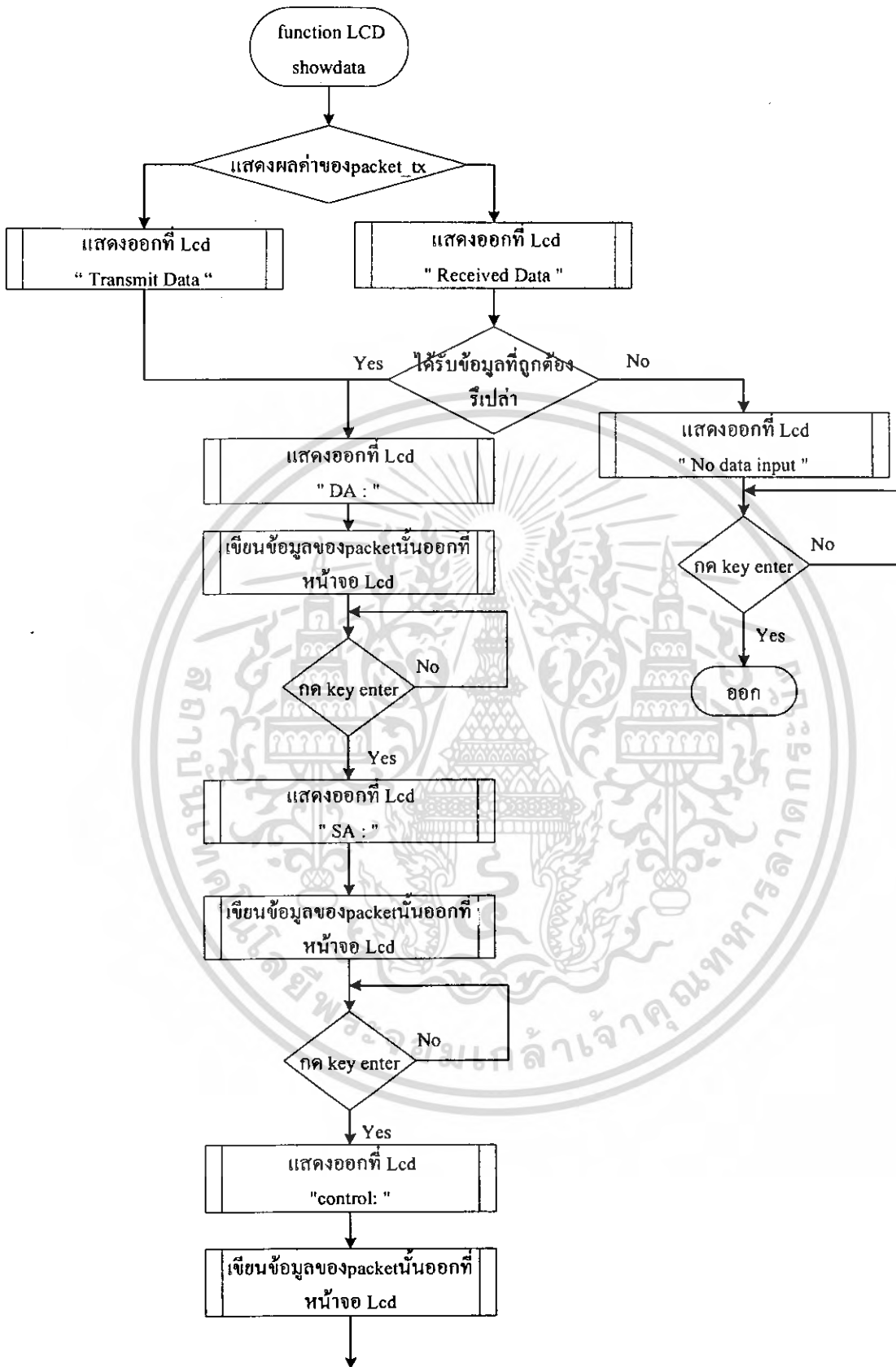


รูปที่ 3.3 แสดง flow chart ของ function lcd_integer และ lcd_firstline ของ Tag และ Reader

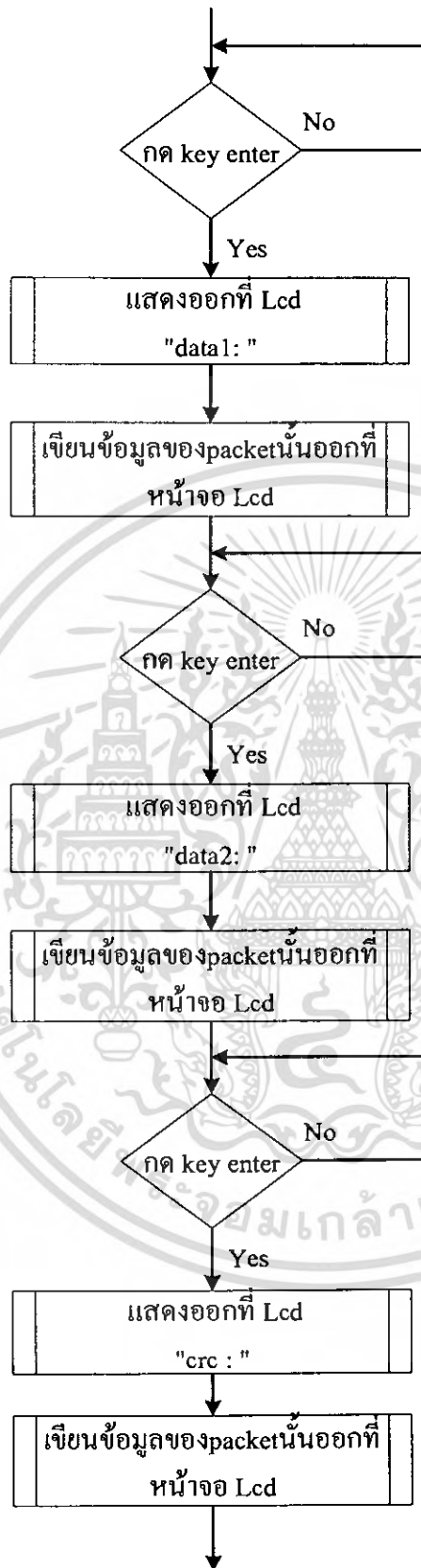


รูปที่ 3.4 แสดง flow chart ของ function strcpy และ lcd_string ของ Tag และ Reader

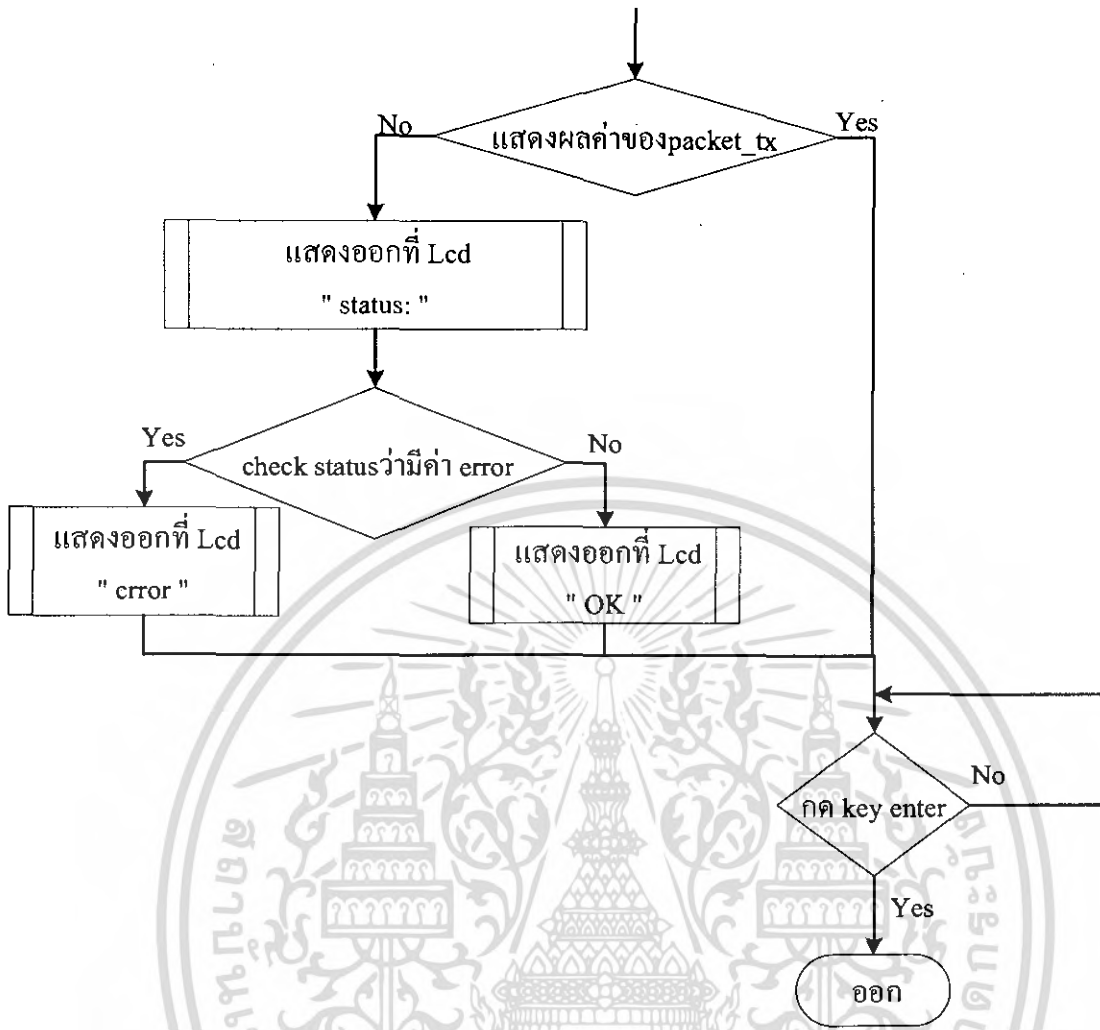
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



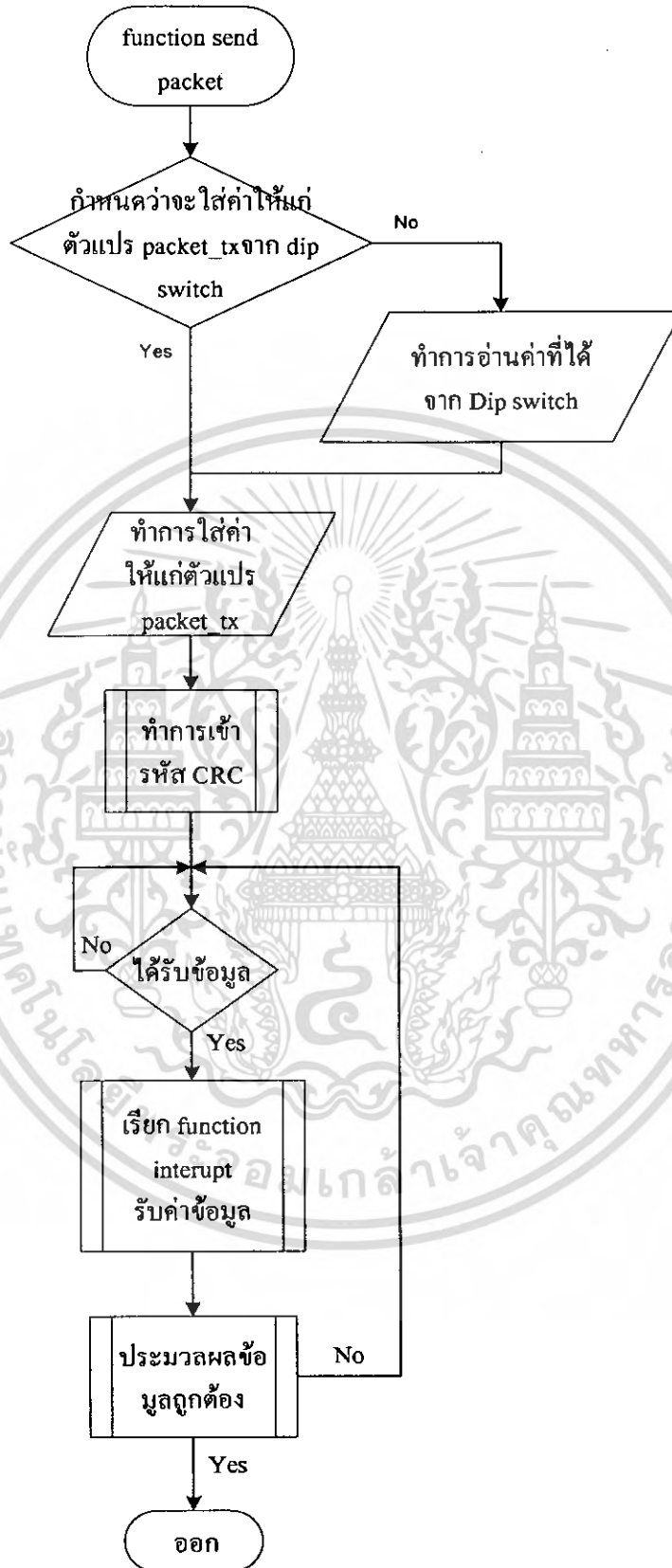
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

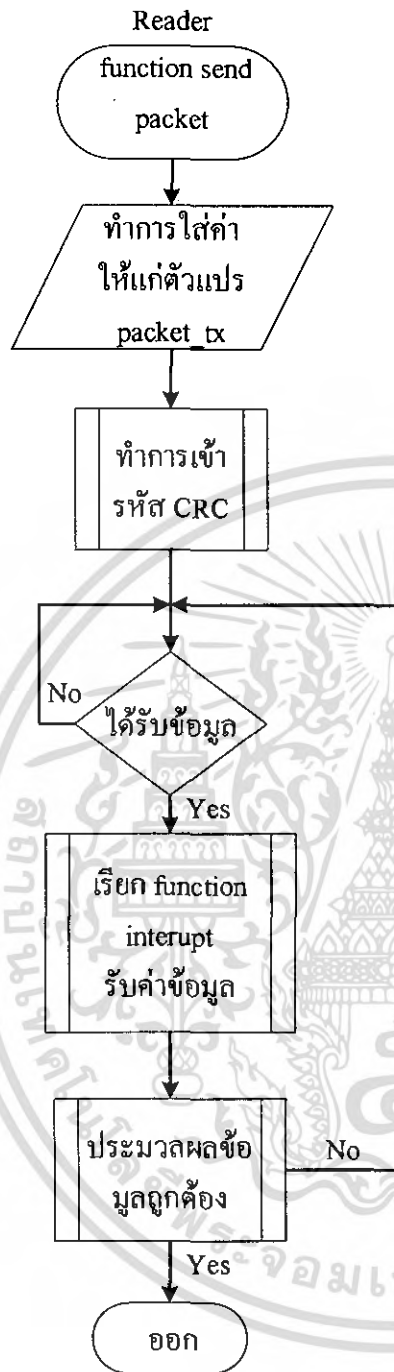


รูปที่ 3.5 แสดง flow chart ของ function lcd_showdata ของ Tag และ Reader



รูปที่ 3.6 แสดง flow chart ของ function send_packet ของ Tag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

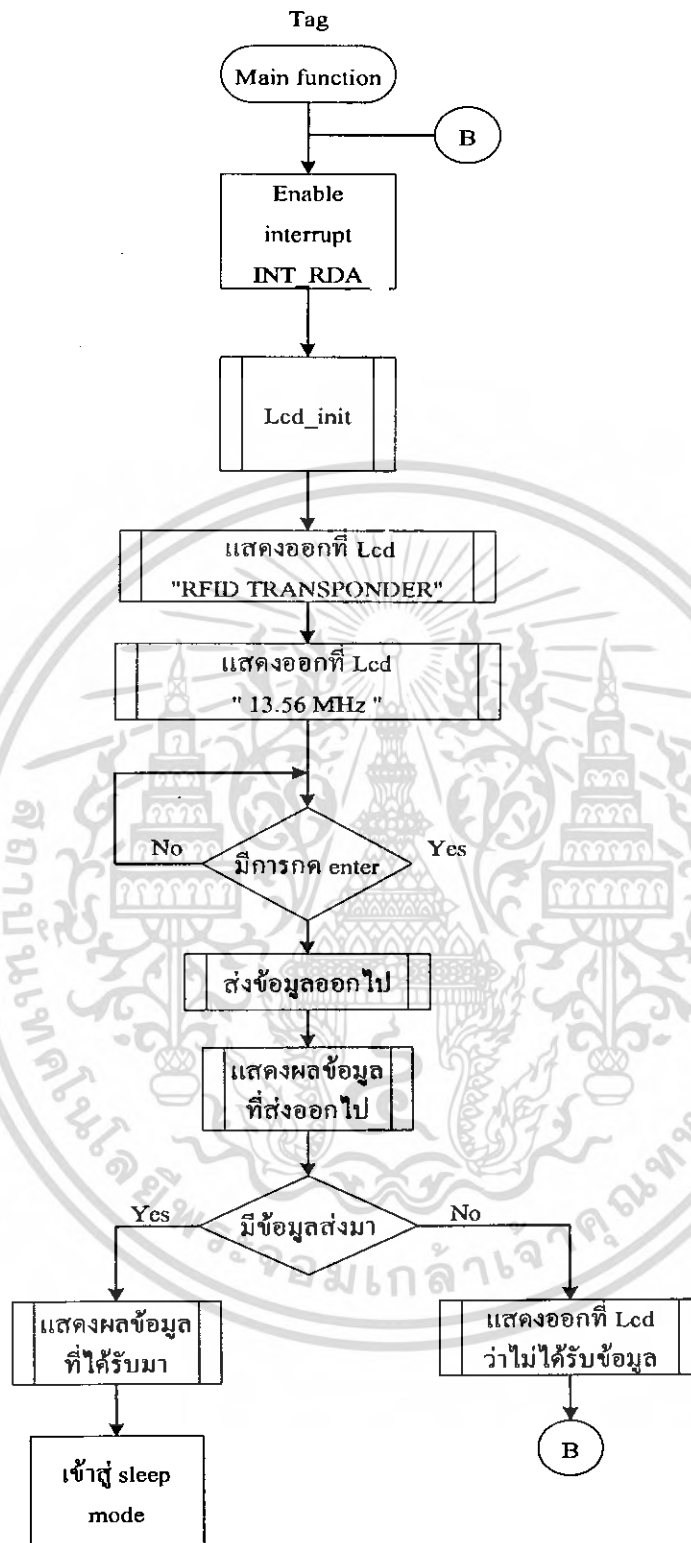


รูปที่ 3.7 แสดง flow chart ของ function send_packet ของ Reader

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

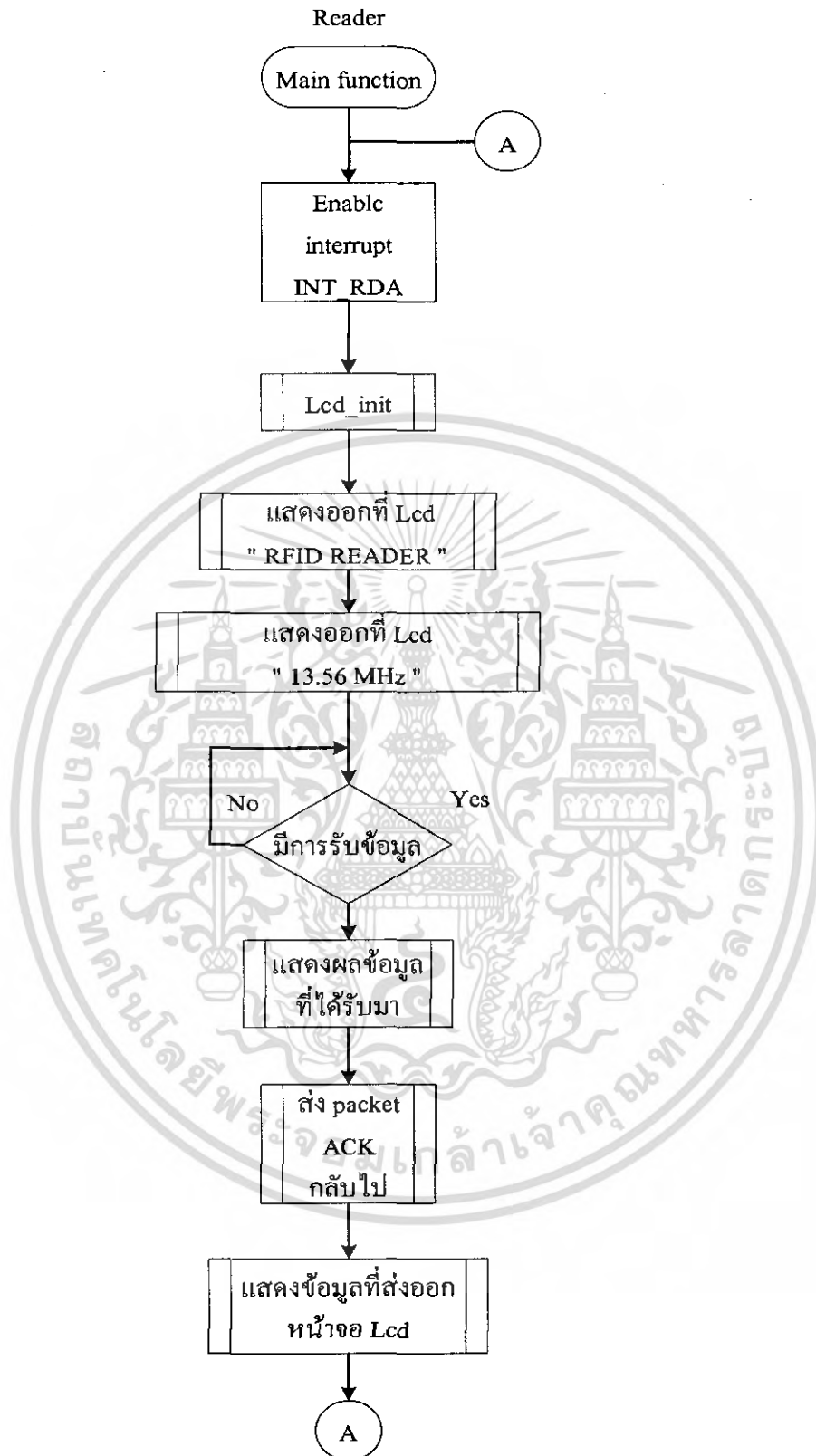


รูปที่ 3.8 แสดง flow chart ของ interrupt function Rs232_rx_rda ของ Tag และ Reader



รูปที่ 3.9 แสดง flow chart ของ main function ของ Tag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดง flow chart ของ main function ของ Reader

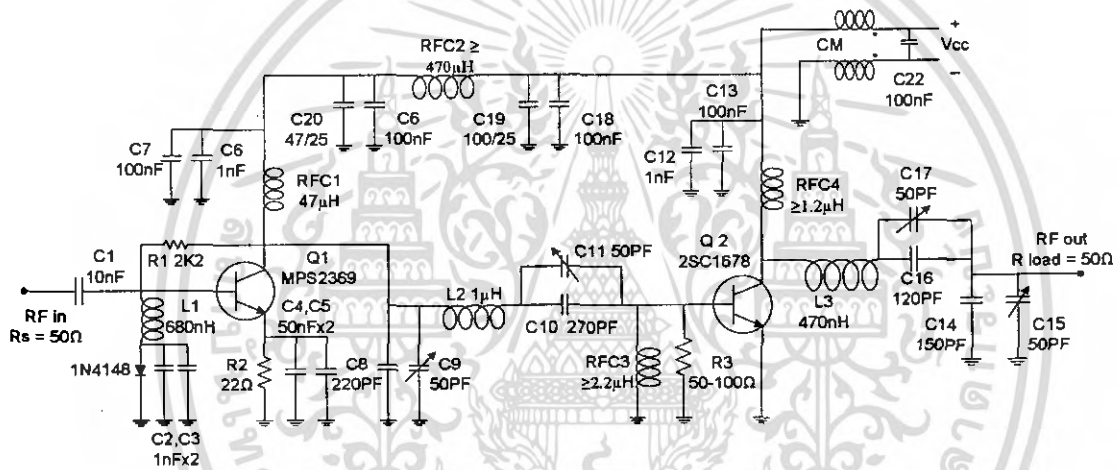
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

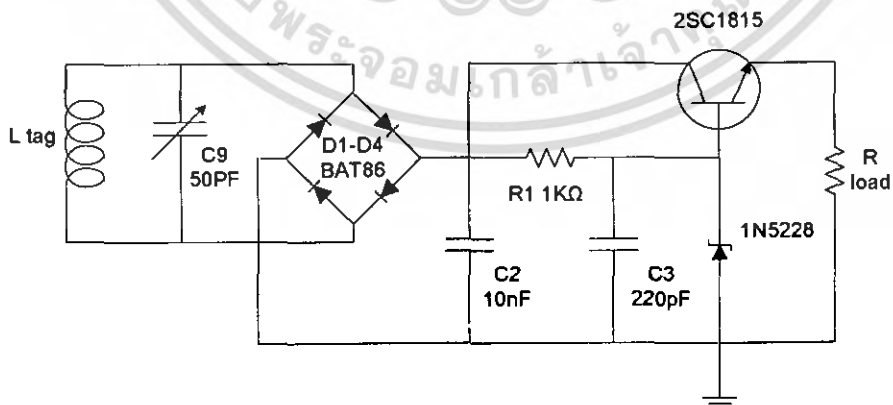
วงจรที่ใช้งานและการทดลอง

4.1 ผลการทดลองการถ่ายเทพลังงาน

การทดลองวัดค่าแรงดันที่โหนดของ tag เทียบกับระยะห่างต่างๆเพื่อเป็นการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์หาระยะที่ไกลที่สุดที่สายอากาศบนแท่งสี่เหลี่ยมสามารถเหนี่ยวนำพลังงานไปใช้งานได้ รูปที่ 4.1 เป็นวงจรเพาเวอร์แอมป์ที่มีค่าเพาเวอร์เอาต์พุตเท่ากับ 5 วัตต์ รูปที่ 4.2 เป็นวงจรเรียงกระแสและวงจรเรกกูเลทจะได้เอาพุตเป็นไฟตรงเท่ากับ 3.2 V และรูปที่ 4.3 เป็นวงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์จาก 50Ω ของสาย coaxial เพื่อให้เข้ากับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศของเครื่องอ่าน

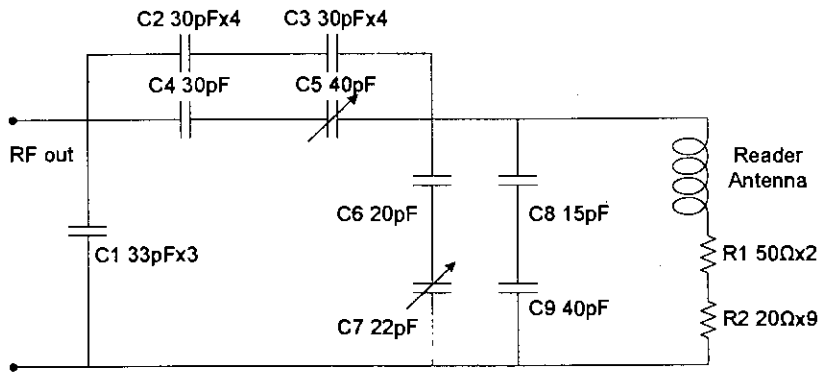


รูปที่ 4.1 วงจร RF power amp 13.56MHz



รูปที่ 4.2 วงจรบริดจ์เรกติไฟร์ให้แก่แท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 วงจร matching จาก 50Ω ไป match กับ reader coil

ระยะห่าง (cm)	V tag load (volt)	Power ที่ โหลด (watt)	V reader Load(volt)	Power reader load(watt)
0	0.67	0.003	2.84	0.037
1	0.71	0.00336	3.22	0.0476
2	0.63	0.002646	3.6	0.0594
3	0.32	0.0006826	3.12	0.0446
4	0.24	0.000384	3.36	0.0518
5	0.12	0.000096	3.72	0.0635
6	0.05	0.000166	4.35	0.0868
7	0.05	0.0000166	3.71	0.063

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันที่โหนดของ tag เทียบกับระยะห่างต่างๆของ reader coil เมื่อจ่ายแรงดันอินพุตเท่ากับ 6 dBm

ระยะห่าง (cm)	V tag load (volt)	Power ที่ โหลด (watt)	V reader load(volt)	Power reader load (watt)
0	2.18	0.032	7.66	0.269
1	2.18	0.032	9.55	0.418
2	2.02	0.027	9.22	0.389
3	1.46	0.0142	8.48	0.33
4	1.32	0.0116	8.88	0.36
5	1.17	0.009126	10.15	0.472
6	0.84	0.004704	10.9	0.545
7	0.81	0.004374	10.75	0.53

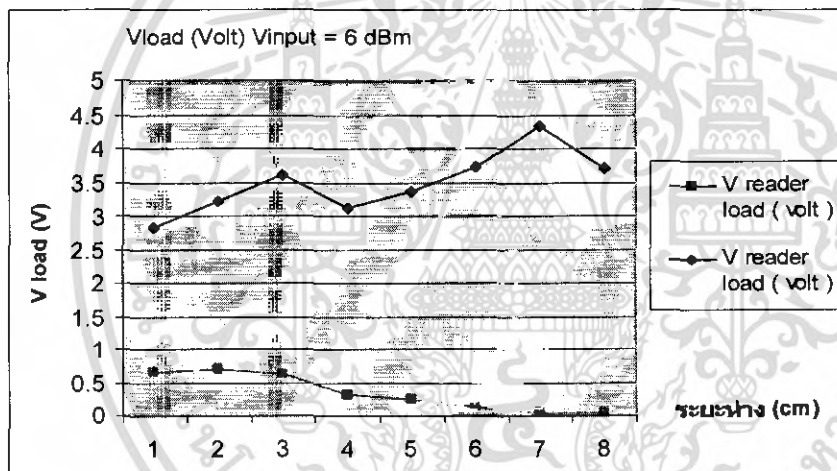
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันที่โหนดของ tag เทียบกับระยะห่างต่างๆของ reader coil เมื่อจ่ายแรงดันอินพุตเท่ากับ 7 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะห่าง (cm)	V tag load (volt)	Power ที่โหลด (watt)	V reader load (volt)	Power reader load (watt)
0	2.7	0.0486	13.9	0.886
1	2.58	0.044	14	0.9
2	2.42	0.039	14.85	1.012
3	1.96	0.0256	15.4	1.088
4	1.91	0.024	15.25	1.0676
5	1.62	0.0175	16.1	1.189
6	1.35	0.01215	16.8	1.2956
7	1.4	0.013	16.6	1.265

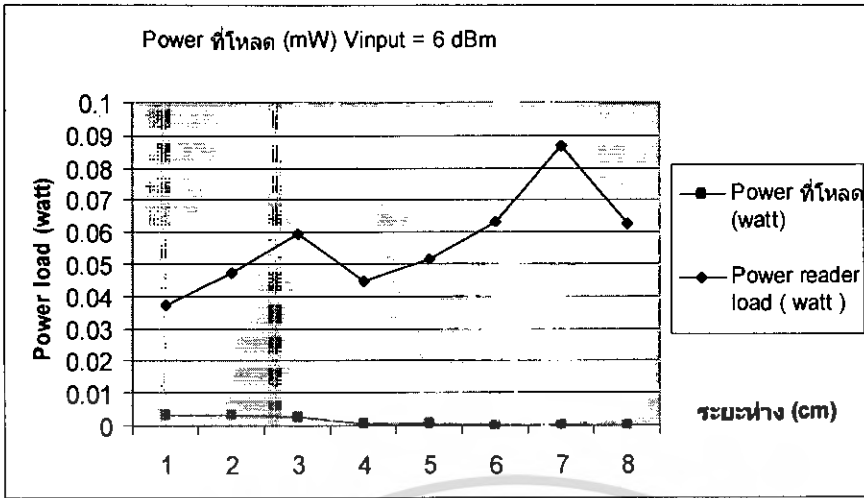
ตารางที่ 4.3 .แสดงค่าแรงดันที่โหลดของ tag เทียบกับระยะห่างต่างๆของ reader coil เมื่อจ่ายแรงดันอินพุตเท่ากับ 8 dBm

จากผลการทดลองได้นำมาพล็อตกราฟ

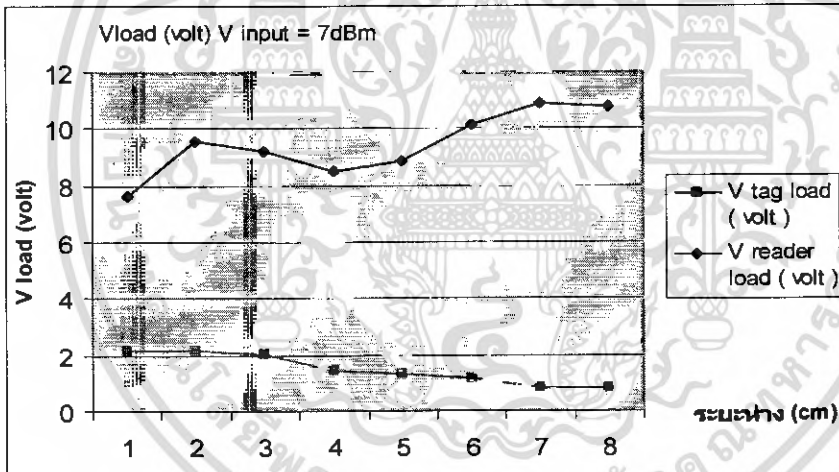


รูปที่ 4.4 กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน load ของ tag และ reader กับระยะห่าง power input = 6 dBm

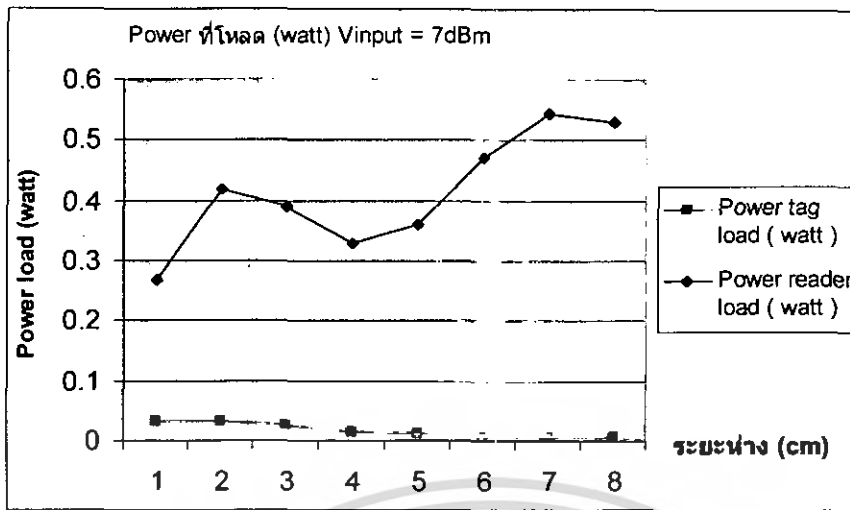
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



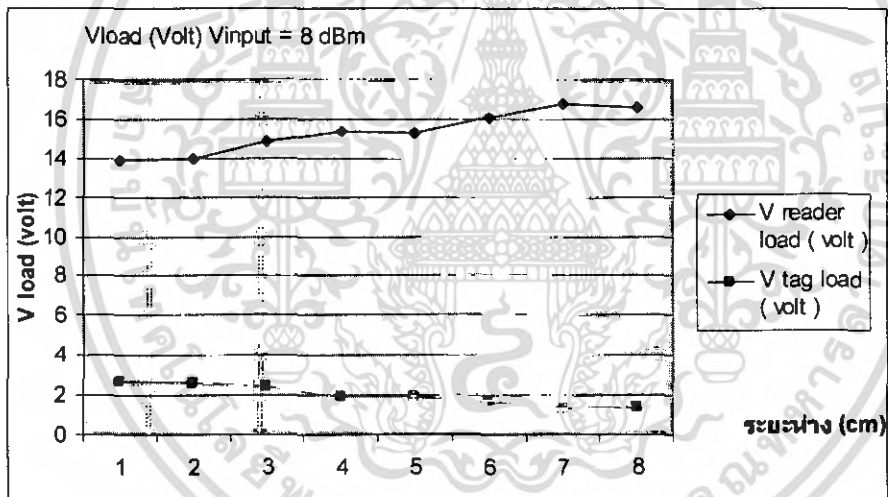
รูปที่ 4.5 กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ power ที่ load ของ tag และ reader กับ ระยะห่าง power input = 6 dBm



รูปที่ 4.6 กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน load ของ tag และ reader กับ ระยะห่าง power input = 7 dBm

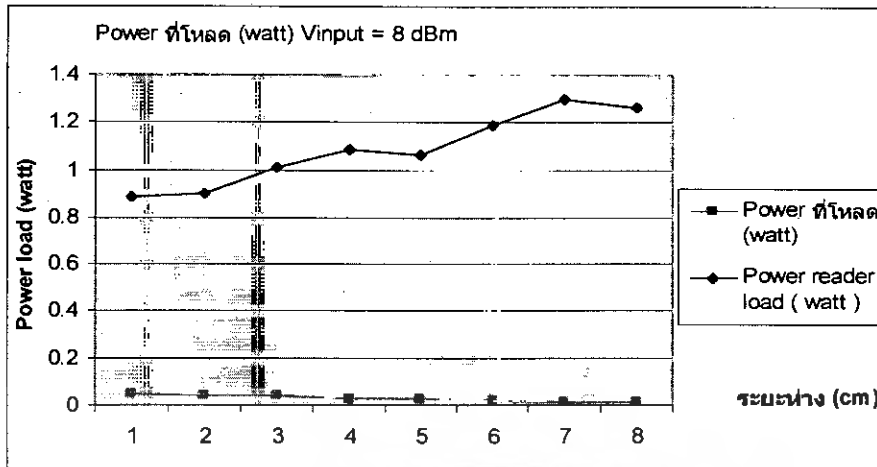


รูปที่ 4.7 กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง power load ของ tag และ reader กับ ระยะห่าง power input = 7 dBm



รูปที่ 4.8 กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน load ของ tag และ reader กับ ระยะห่าง power input = 8 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง power load ของ tag และ reader กับ ระยะห่าง power input = 8 dBm

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองการส่งพลังงาน

ผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่าเมื่อแท็กส์เข้าใกล้เครื่องอ่านนั้นจะส่งผลให้ค่าแรงดันที่ โหลดของเครื่องอ่านตกลงเนื่องมาจากสายอากาศของเครื่องอ่านนั้นจะมองสายอากาศของแท็กส์ เป็น โหลดที่มา coupling และผลของการจูนวงจร resonance ที่สายอากาศของเครื่องอ่านขณะที่ ยัง ไม่มี tag เข้ามาใกล้กันจะทำให้เกิดการ resonance ขึ้นได้แต่เมื่อมี tag เข้ามาอยู่ภายในระยะการส่ง สัญญาณนั้นค่า inductance ของสายอากาศของเครื่องอ่านจะต้องรวมเอาค่า mutual inductance เข้า ด้วยส่งผลให้วงจร resonance ที่ได้ทำการปรับจูนให้เกิดการ resonance นั้นไม่เกิดการ resonance

ผลของการ ไม่เกิด resonance ของวงจร series resonance ของสายอากาศของเครื่องอ่านนั้น จะส่งผลให้ค่าแรงดันที่ได้จากการวัดค่าที่ โหลดของ reader ที่ระยะห่าง 1 cm , 2cm มีค่าที่มากกว่า ระยะห่างที่ 0cm , 3 cm และเมื่อนำไปคำนวณหาค่ากำลังงานจะส่งผลให้มีค่ามากกว่าระยะห่างที่ 0cm , 3 cm ด้วยเช่นกัน

ค่าแรงดันที่ต้องการภายในระยะที่สามารถทำการรับส่งกันได้ นั้น ได้ออกแบบให้มีค่า โดยประมาณเท่ากับ 3.2 V แต่ผลการทดลองที่ได้มานั้นจะได้ค่าออกมาต่ำกว่าที่ได้ออกแบบไว้ตอน แรก

4.3 วงจรที่ใช้งานในภาคส่งของเครื่องอ่านและผลการทดลอง

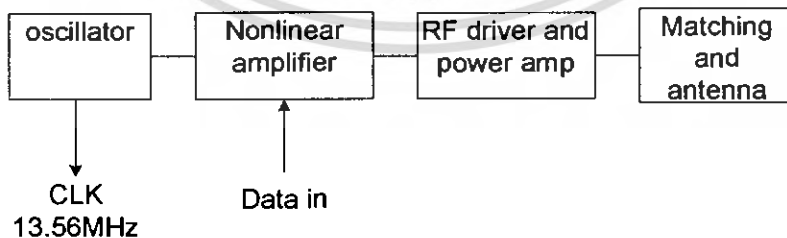
จากรูปที่ 4.10 block diagram ภาคส่งของเครื่องอ่านจะประกอบไปด้วยวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้คริสตัลที่ค่าความถี่เท่ากับ 13.56 MHz จะให้เอาต์พุตดังรูปที่ 4.15 สัญญาณความถี่ 13.56 MHz จากคริสตัลออสซิลเลเตอร์จะถูกนำไปเป็นอินพุตของวงจร 2 วงจรแรกทำการดึงสัญญาณจากขาอิมิตเตอร์ของ MPSH10 โดยผ่านทรานซิสเตอร์ 2SC3355 เพื่อทำการขยายสัญญาณและนำสัญญาณที่เอาต์พุตของ 2SC3355 ไปเป็นสัญญาณนาฬิกาให้แก่

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ความถี่เท่ากับ 13.56 MHz ดังรูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณที่เอาต์พุตของทรานซิสเตอร์ 2SC3355 ที่เอาต์พุตของวงจรออสซิลเลเตอร์นั้นจะนำไปเป็นคลื่นพาห์ให้แก่วงจรขยายที่อาศัยคุณสมบัติความไม่เป็นเชิงเส้นของทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่มอดูเลตสัญญาณเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์และสัญญาณคลื่นพาห์มาทำการมอดูเลตโดยใช้หลักการซูเปอร์โพสิชันที่อินพุตของวงจรขยายนี้ สัญญาณที่เอาต์พุตของวงจรขยายนี้เป็นสัญญาณอินพุตให้แก่วงจรเพาเวอร์แอมป์ดังรูปที่ 4.17 และ 4.18 วงจรเพาเวอร์แอมป์นั้นจะสามารถปรับกำลังงานที่เอาต์พุตได้ตั้งแต่ 2-5 วัตต์การปรับค่ากำลังงานนั้นจะสามารถปรับได้โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟตรงที่ทำหน้าที่ไบอัส IRF 510 - 513 รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณที่เอาต์พุตของ driver โดยการป้อนอินพุตจากสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจรคริสตัลออสซิลเลเตอร์

รูปที่ 4.18-4.21 แสดงสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจรเพาเวอร์แอมป์นำวงจร driver มาทำการต่อ cascade ปรับกำลังที่เอาต์พุตตั้งแต่ 2 วัตต์จนถึง 5 วัตต์ วัตต์ที่ควโหลด 50 Ω หลังจากผ่านตัวลดทอน 20 dB มาแล้ว

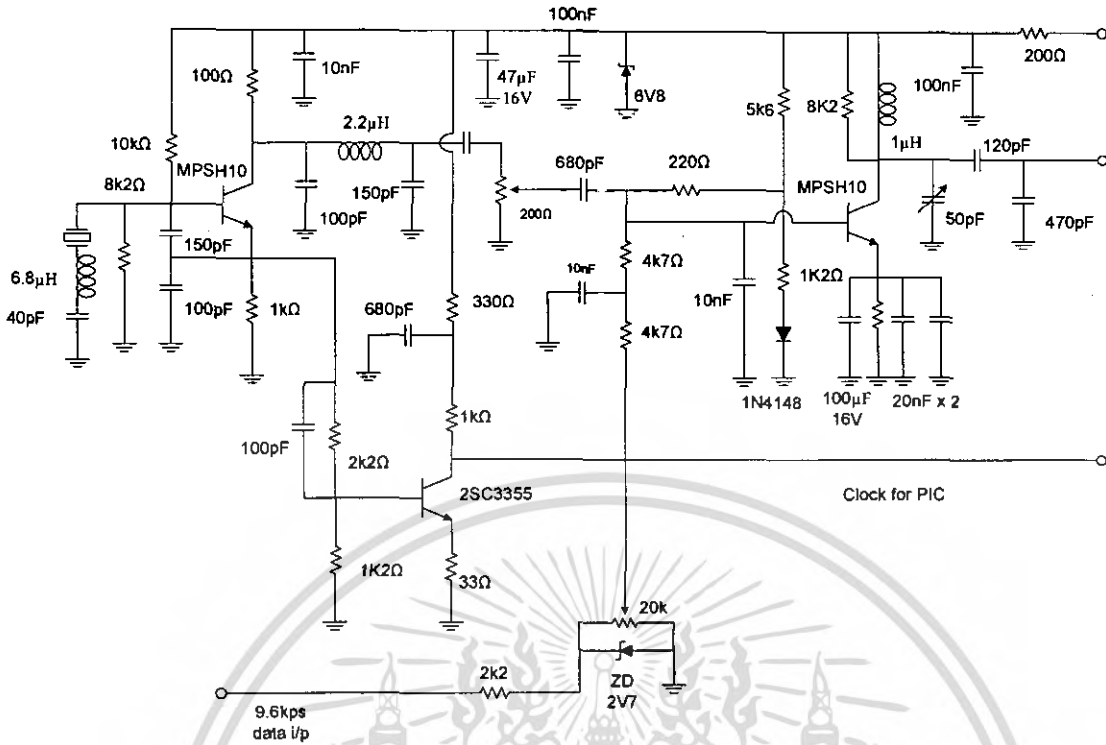
รูปที่ 4.14 เป็นวงจรแมตติมพีแคนซ์จาก 50 Ω กับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

รูปที่ 4.22 – 4.23 สัญญาณ ASK ที่เอาต์พุตของเพาเวอร์แอมป์โดยนำเอาสัญญาณ square wave ความถี่ 9.6 kps และ 2.4 kps ตามลำดับ

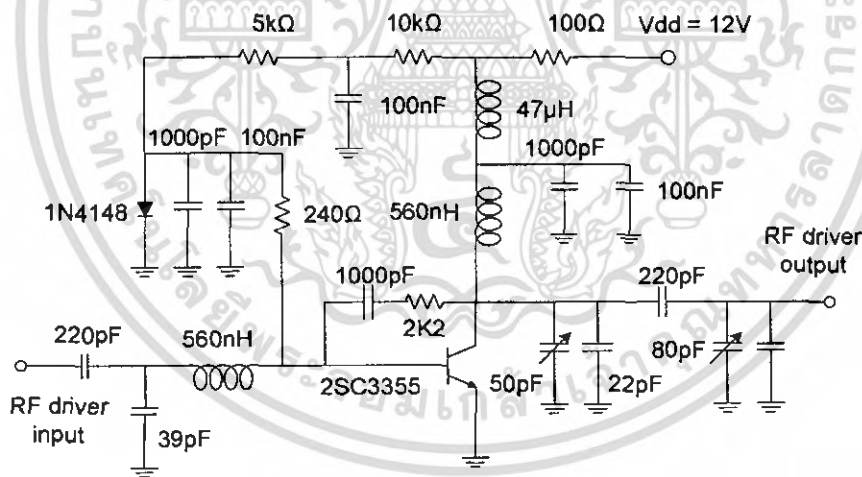


รูปที่ 4.10 แสดง block diagram ภาคส่งของเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

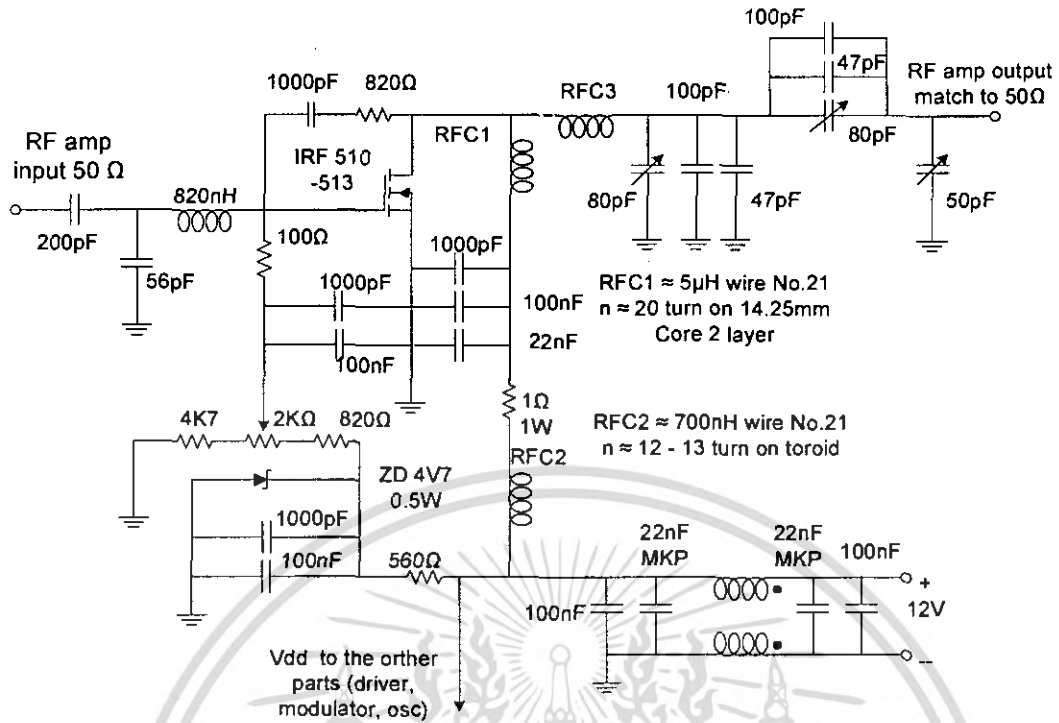


รูปที่ 4.11 วงจรคริสตัลอสซิลเลเตอร์และวงจรมอดคูเลเตอร์

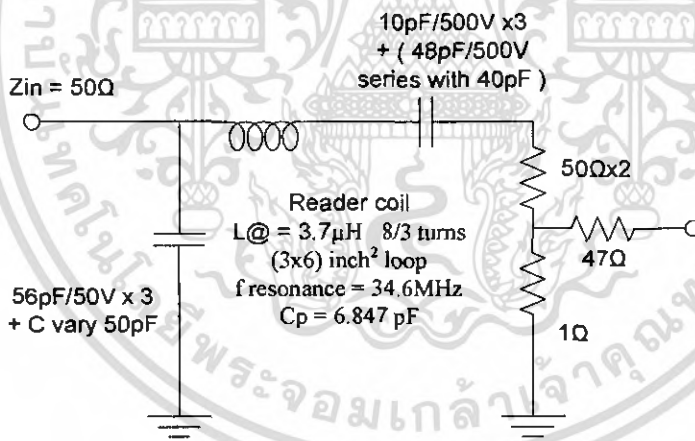


รูปที่ 4.12 วงจรdriver ของเพาเวอร์แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

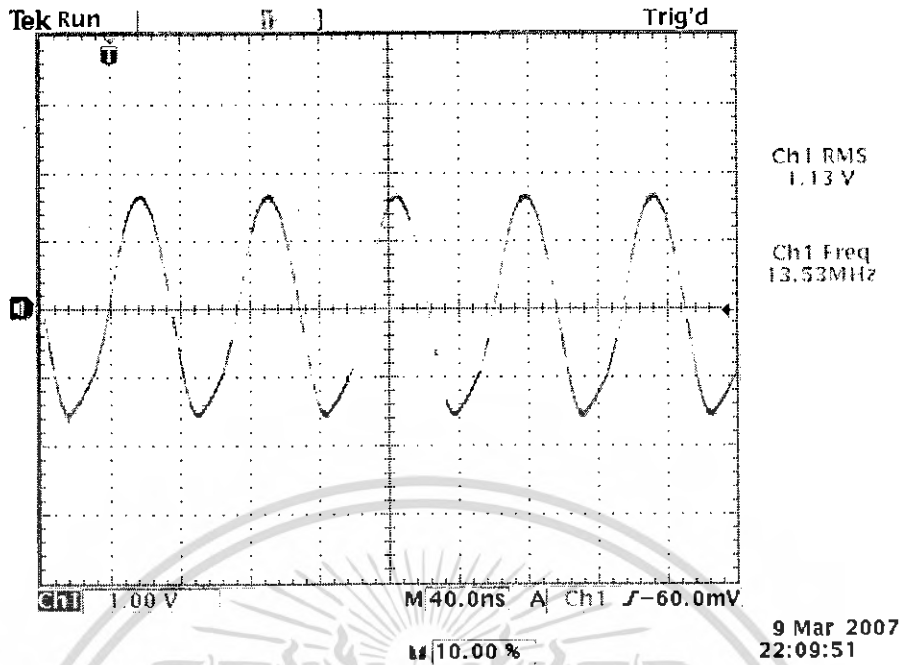


รูปที่ 4.13 วงจรเพาเวอร์แอมป์

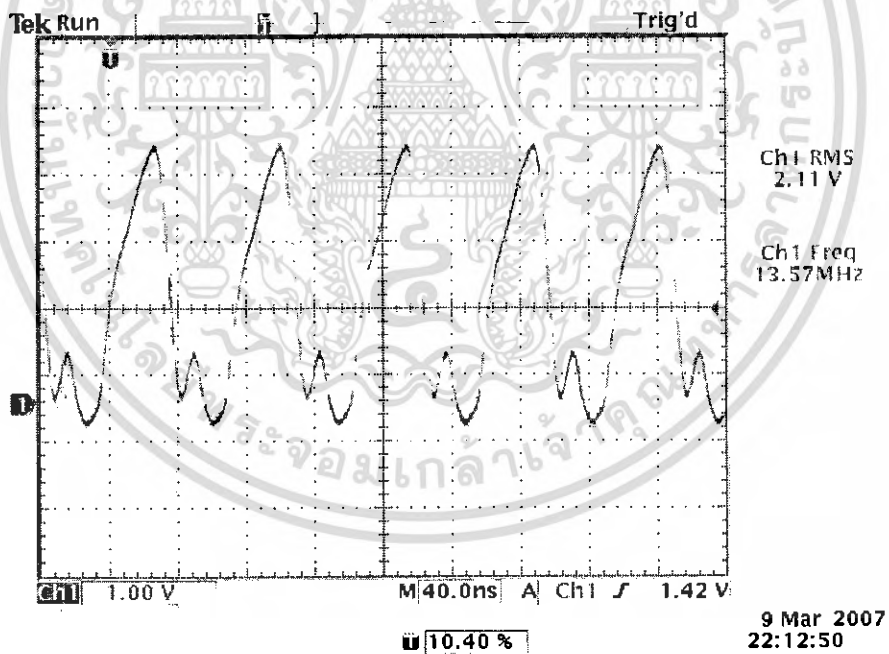


รูปที่ 4.14 วงจรเมตรซึ่งของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

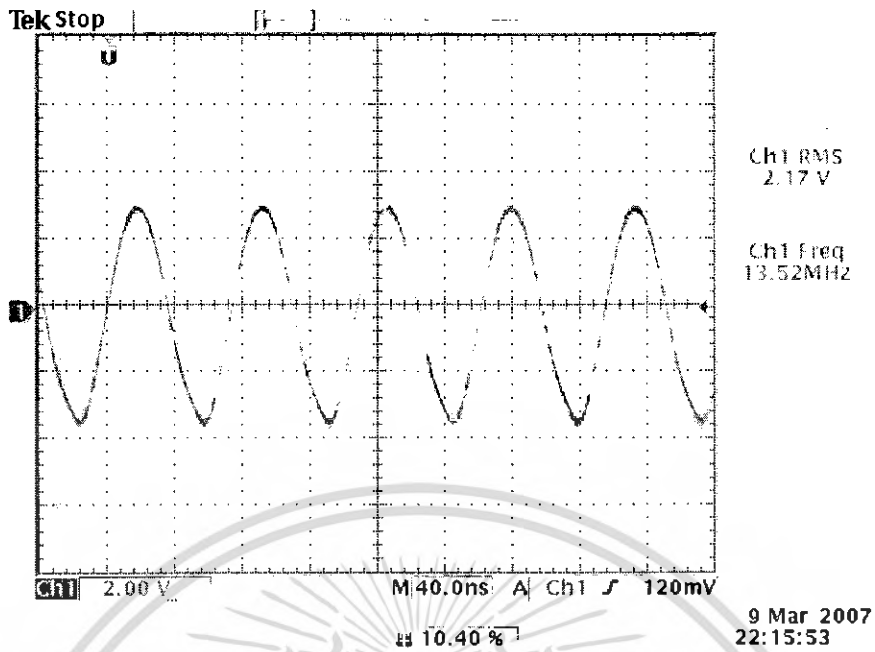


รูปที่ 4.15 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรรอสซิลเลเตอร์

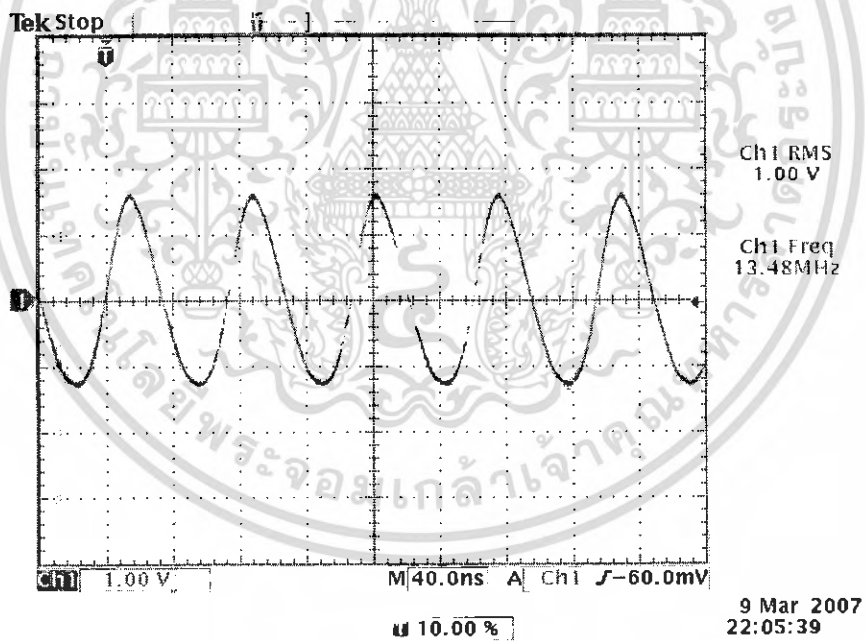


รูปที่ 4.16 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้แก่ CPU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

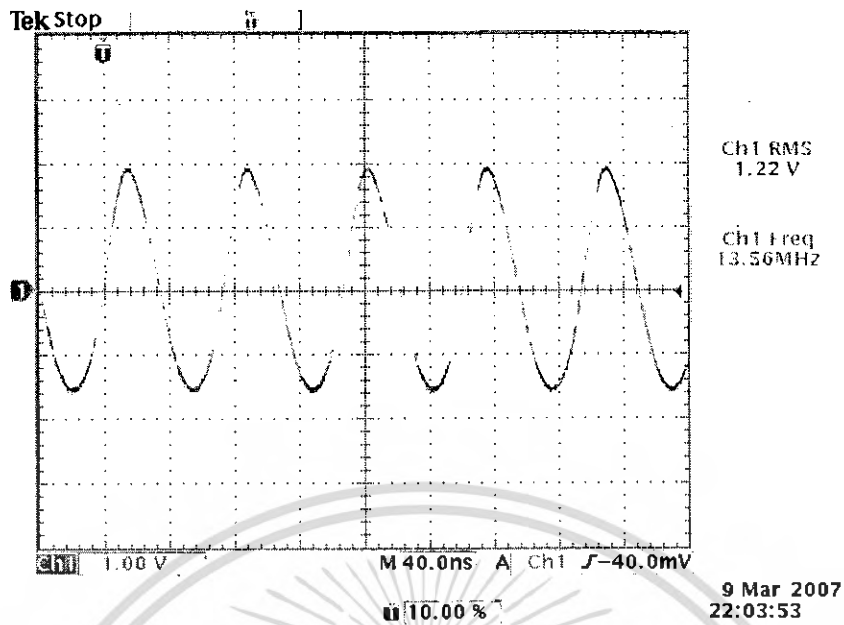


รูปที่ 4.17 สัญญาณเอาต์พุตของวงจร driver

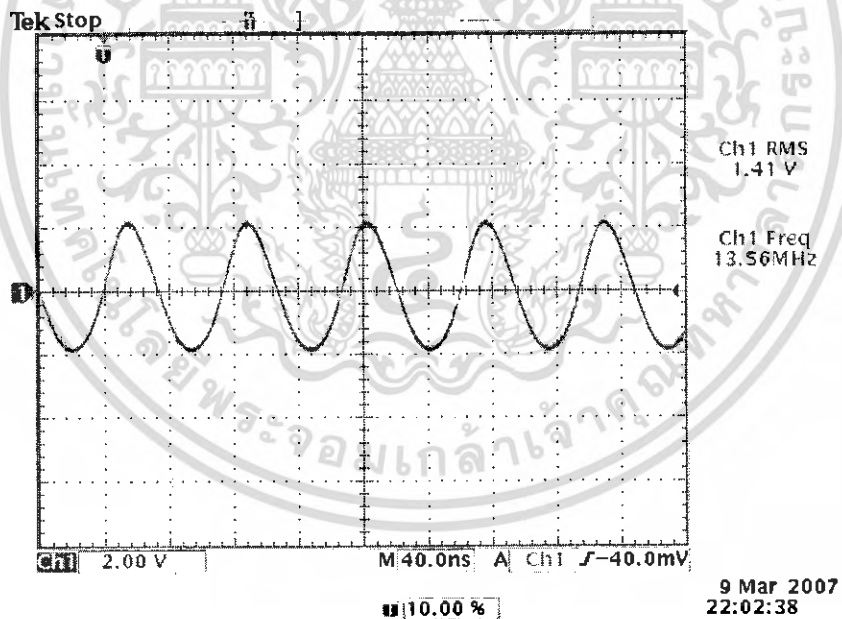


รูปที่ 4.18 สัญญาณเอาต์พุตของวงจร power amplifier ที่ต่อ cascade กับ วงจร driver ที่เอาต์พุตเพาเวอร์เท่ากับ 2 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

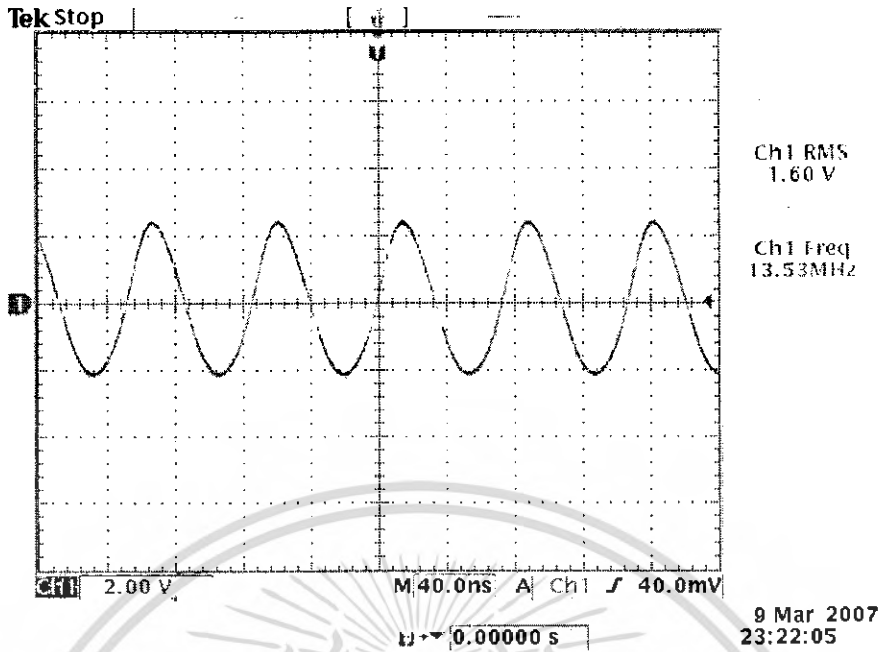


รูปที่ 4.19 สัญญาณเอาต์พุตของวงจร power amplifier ที่ต่อ cascade กับ วงจร driver ที่เอาต์พุตเพาเวอร์เท่ากับ 3 W

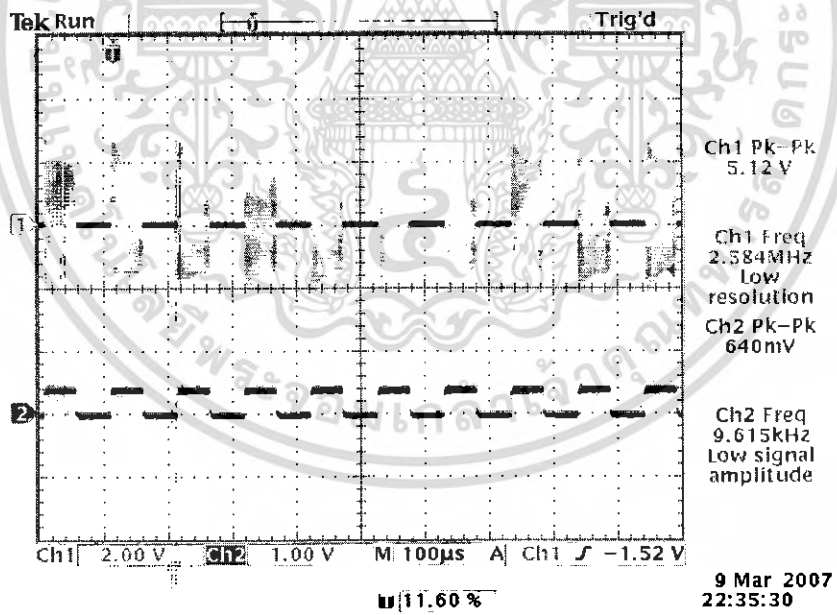


รูปที่ 4.20 สัญญาณเอาต์พุตของวงจร power amplifier ที่ต่อ cascade กับ วงจร driver ที่เอาต์พุตเพาเวอร์เท่ากับ 4 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

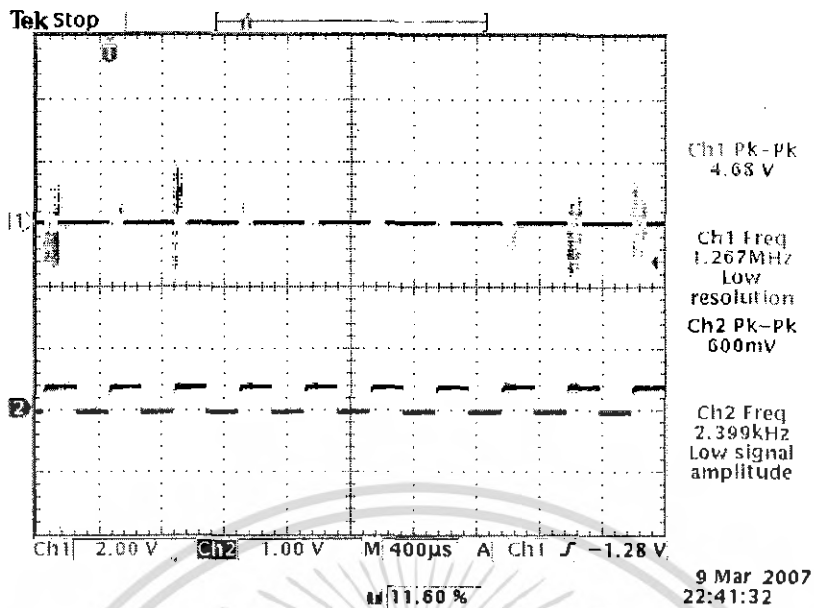


รูปที่ 4.21 สัญญาณเอาต์พุตของวงจร power amplifier ที่ต่อ cascade กับ วงจร driver ที่เอาต์พุตเพาเวอร์เท่ากับ 5 W



รูปที่ 4.22 สัญญาณ ASK ที่เอาต์พุต power amp 2W ของ reader ที่ bit rate 9.6 kps

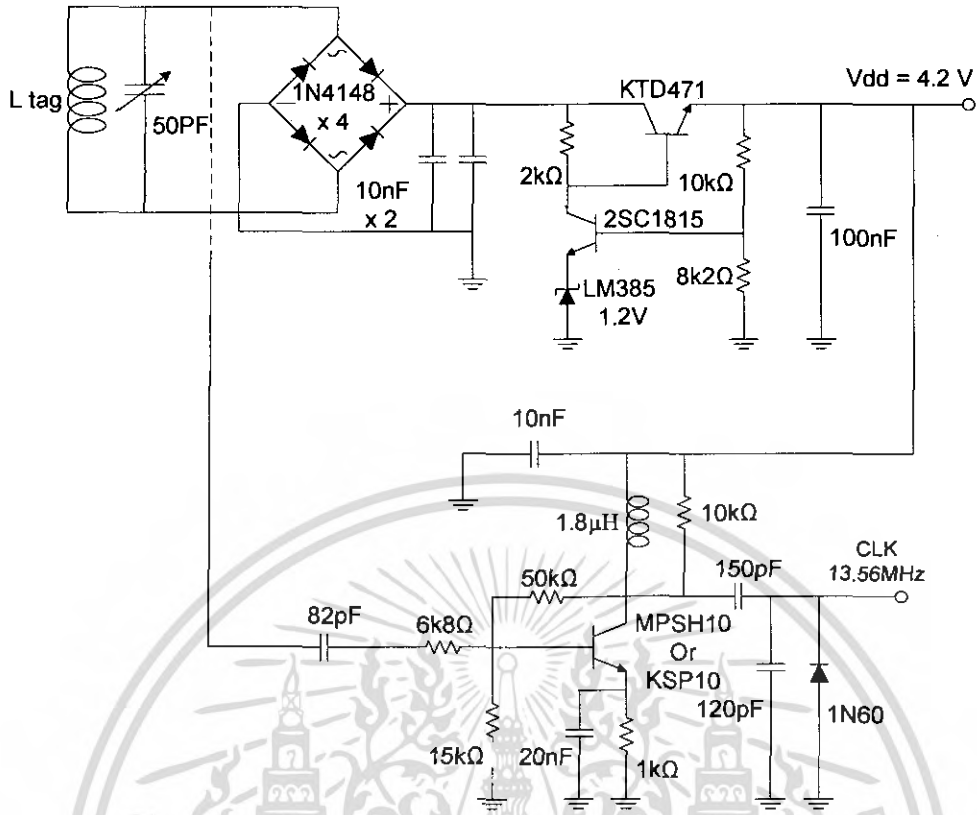
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



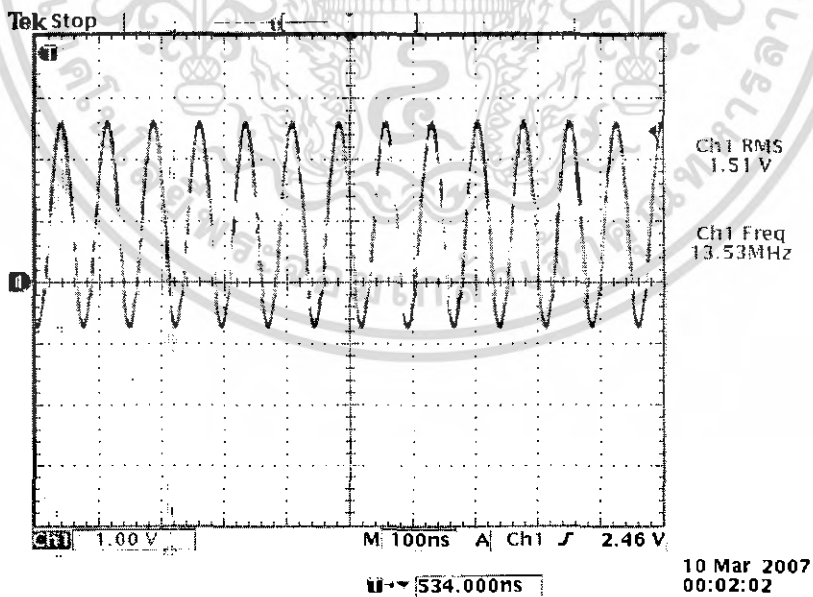
รูปที่ 4.23 สัญญาณ ASK ที่เอาต์พุต power amp 2W ของ reader ที่ bit rate 2.4 kps

4.4 วงจรແກ້ສັ

จากรูปที่ 4.24 แสดงวงจรบริดจ์เรกติไฟร์เพื่อทำการเรียงกระแสจากสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 13.56 MHz , วงจรเรกติเพเตอร์โดยการใช้ไอซี LM385 เป็นไอซี voltage reference diode ต่อกับทรานซิสเตอร์ 2SC1815 และทรานซิสเตอร์ KTD471 ทำหน้าที่เป็น series pass transistor เพื่อเรกติเพตให้ได้ไฟตรง 4.2 V ไปใช้งานเป็นไฟเลี้ยงให้แก่วงจรต่างๆบนແກ້ສັ ผลการทดลองในตารางที่ 4.4 แสดงถึงค่าแรงดันหลังการต่อบริดจ์เรกติไฟร์และค่าแรงดันที่โหลด $1k\Omega$ หลังเรกติเพเตอร์ที่กำลังงานของเพาเวอร์แอมป์เท่ากับ 2 วัตต์ จากสายอากาศของແກ້ສັนั้นจะนำเอาสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 13.56 MHz ไปผ่านวงจรขลิบรูปสัญญาณเนื่องจากว่าสัญญาณที่ได้รับมาจากสายอากาศของແກ້ສັนั้นจะมีขนาดที่มากที่สุดเท่ากับ 10 Vpp จะไม่สามารถนำไปเป็นสัญญาณนาฬิกาให้แก่ไอซีได้เนื่องจากมีค่ามากเกินไปจึงต้องมีการขลิบรูปสัญญาณเพื่อให้มีขนาดเล็กลงจึงสามารถนำไปเป็นไฟเลี้ยงให้แก่ไอซีได้



รูปที่ 4.24 วงจรเรกกูเลเตอร์ของแท็กส์

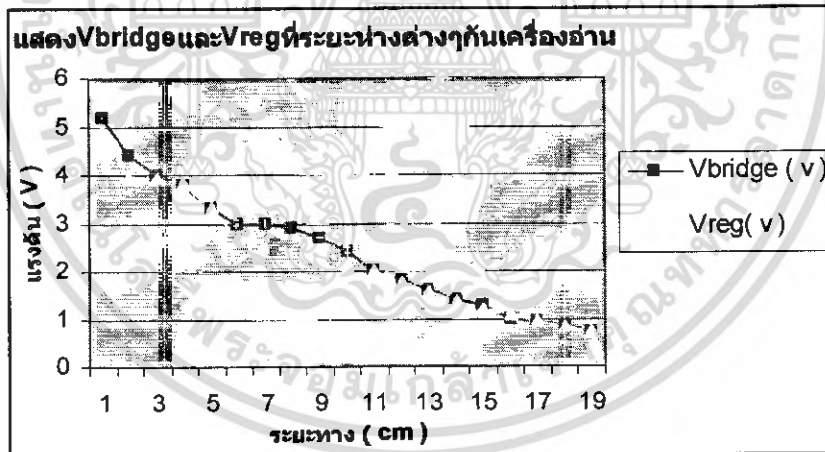


รูปที่ 4.25 สัญญาณนาฬิกาที่เอาท์พุทของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาบน tag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะทาง(cm)	Vbridge(v)	Vreg (v)
1	5.2	4.9
1.5	4.4	3.97
2	4	3.9
2.5	3.8	3.85
3	3.3	3.3
3.5	3	2.7
4	3	2.6
4.5	2.9	2.4
5	2.7	2.3
5.5	2.4	2.1
6	2	2
6.5	1.8	1.75
7	1.6	1.57
7.5	1.4	1.35
8	1.25	1.2
8.5	1	1.1
9	0.95	0.95
9.5	0.85	0.8
10	0.75	0.75

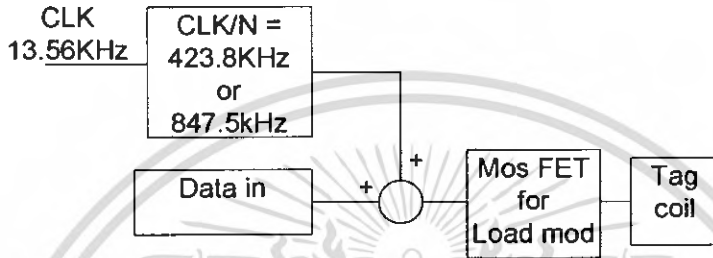
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันหลังบริดจ์เรคตีไฟร์และที่โหลดของวงจรเรกกูเลเตอร์



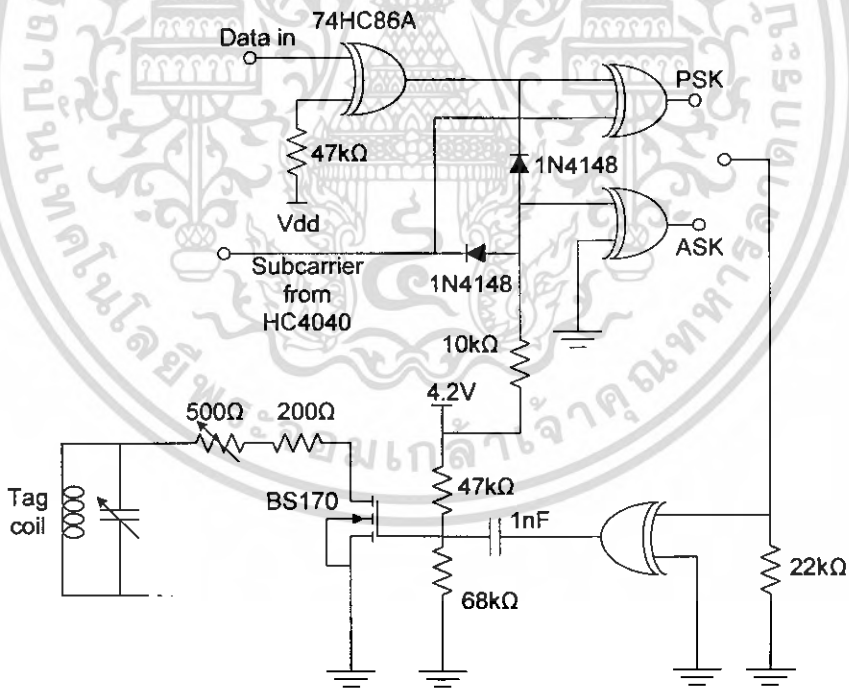
รูปที่ 4.26 แสดงค่าแรงดันหลังบริดจ์เรคตีไฟร์และแรงดันที่เรกกูเลเตอร์กับระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.27 แสดง block diagram ของ load modulation ทำการหารความถี่ โดยการป้อนสัญญาณนาฬิกาความถี่ 13.56 MHz ให้แก่ไอซี 74HC4040 การหารความถี่ให้ได้ สัญญาณ subcarrier ที่มีค่าความถี่ 423.5 kHz ดังรูปที่ 4.23 หรือ 847.5 kHz เพื่อทำ load modulation นำสัญญาณความถี่ 6.618kHz เป็นข้อมูลจำลอง จากผลการทดลองใน รูปที่ 4.25 แสดงสัญญาณ load modulation ค่าความถี่ subcarrier เท่ากับ 432.5kHz ใช้สัญญาณ square wave ความถี่ 6.618 kHz เป็นข้อมูลจำลอง ทำการวัดที่ขาเดรนของ MOSFET BS170

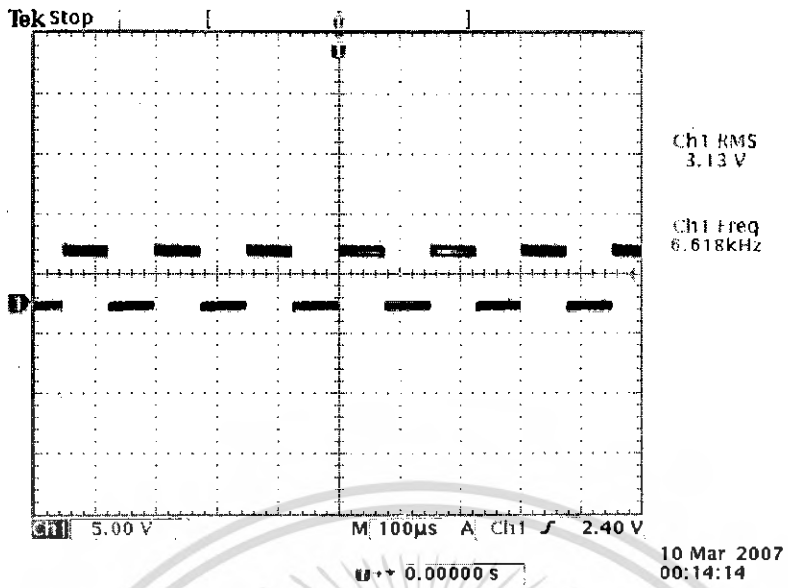


รูปที่ 4.27 แสดง block diagram ของการทำ load modulation

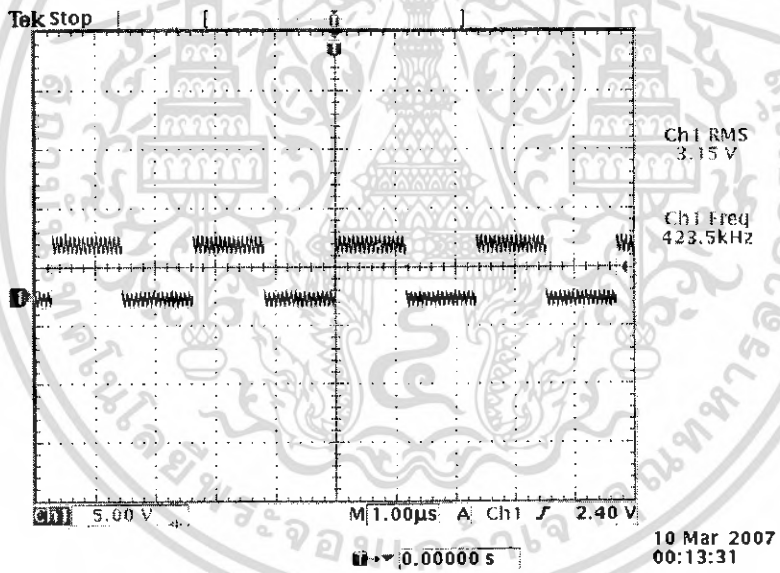


รูปที่ 4.28 วงจร Load modulation บนแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

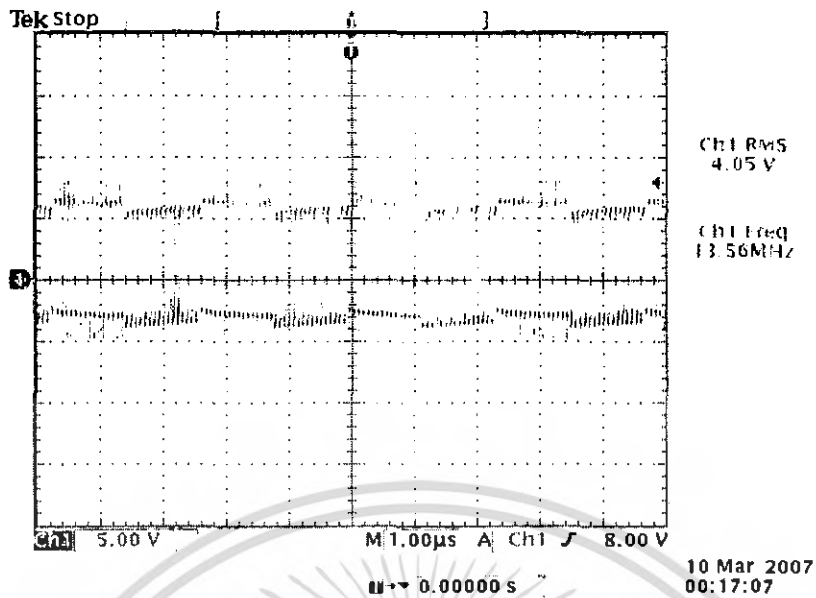


รูปที่ 4.29 สัญญาณเอาต์พุตของไอซี 74HC4040 ที่ขา 15



รูปที่ 4.30 สัญญาณเอาต์พุตของไอซี 74HC4040 ที่ขา 3

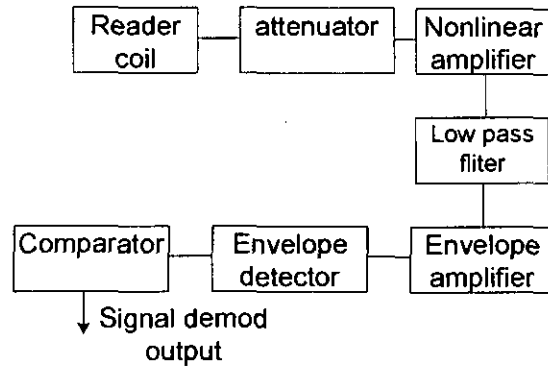
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



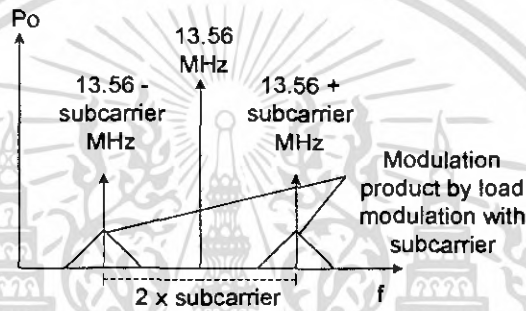
รูปที่ 4.31 สัญญาณ load modulation ที่ขาเดรนของ MOSFET BS170

4.5 วงจรภาครับของเครื่องอ่าน

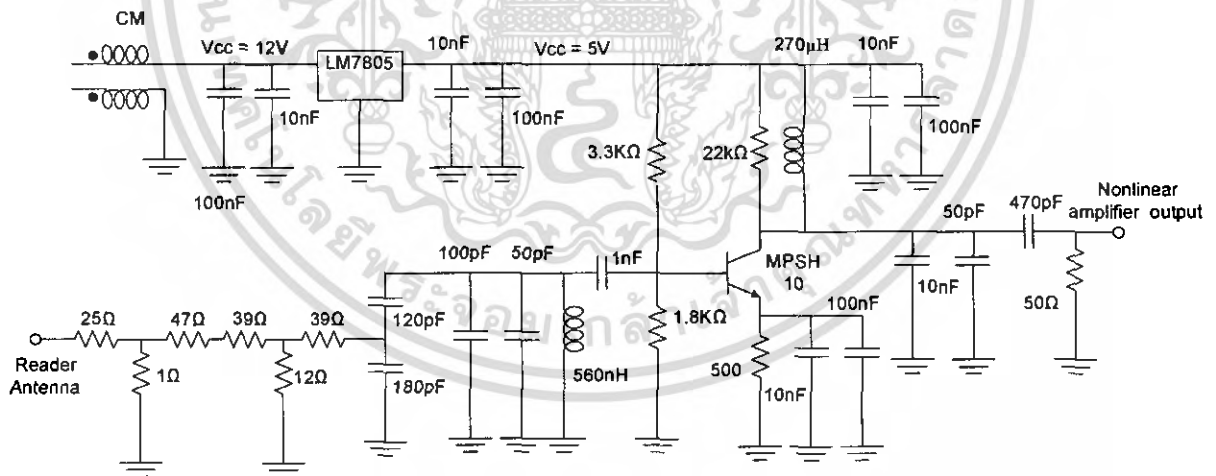
จากรูปที่ 4.32 แสดง block diagram ภาครับของเครื่องอ่านรับสัญญาณ load modulation ได้มาจากแท่งสผ่านสายอากาศ ตัวลดทอนจะทำหน้าที่ลดทอนสัญญาณจากสายอากาศของเครื่องอ่านมาเข้าวงจรขยายที่ไม่เป็นเชิงเส้นเพื่ออาศัยหลักความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยายนี้มาทำการแยกสัญญาณ subcarrier ออกมาจากสัญญาณอินพุตที่มีทั้งสัญญาณคลื่นพาห์และสัญญาณ load modulation มีทำหน้าที่คล้ายๆกับ Mixer นำสัญญาณคลื่นพาห์มาทำการคูณกับสัญญาณ load modulation ที่เป็น side band ข้างๆสัญญาณคลื่นพาห์เมื่อสังเกตดูจากสเปกตรัมจากรูปที่ 4.33 จากการคูณสัญญาณนั้นจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นผลบวกและผลต่างของความถี่สัญญาณอินพุตสัญญาณที่เอาท์พุตนั้นจะ ได้ความถี่เท่ากับความถี่ของ subcarrier สัญญาณนี้จะผ่าน butterworth low pass filter 3 order ที่มีค่า cut off ประมาณเท่ากับ 1MHz เพื่อกำจัดผลของ harmonic อื่นๆที่เกิดขึ้นมาเนื่องจากผลของความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยาย หลังจากผ่านวงจร low pass filter แล้วจะเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ ความถี่ subcarrier จะนำเอาสัญญาณเอาท์พุตของภาคขยายนี้ไปเข้าวงจร envelope detector เพื่อนำขอบสัญญาณที่เป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยมมาเข้าวงจร comparator สัญญาณเอาท์พุตของวงจรนี้จะเป็นสัญญาณที่ demod ออกมาได้



รูปที่ 4.32 แสดง block diagram ของภาครับของเครื่องอ่าน

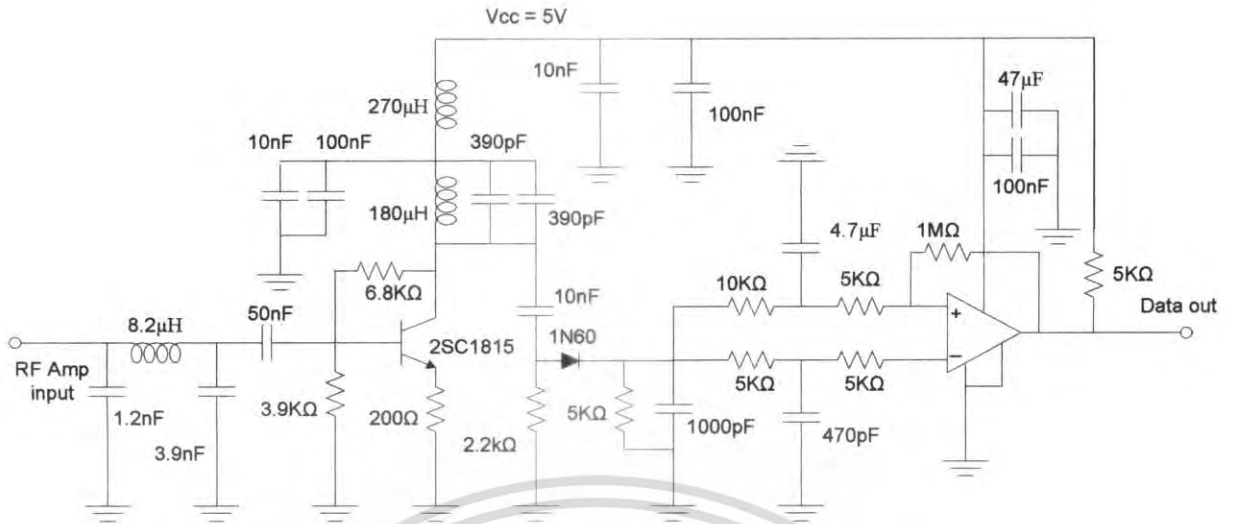


รูปที่ 4.33 แสดงสเปกตรัมของการเกิด load modulation



รูปที่ 4.34 วงจร nonlinear amplifier และ วงจรลดทอนโดยการรับอินพุตมาจากสายอากาศของตัวอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

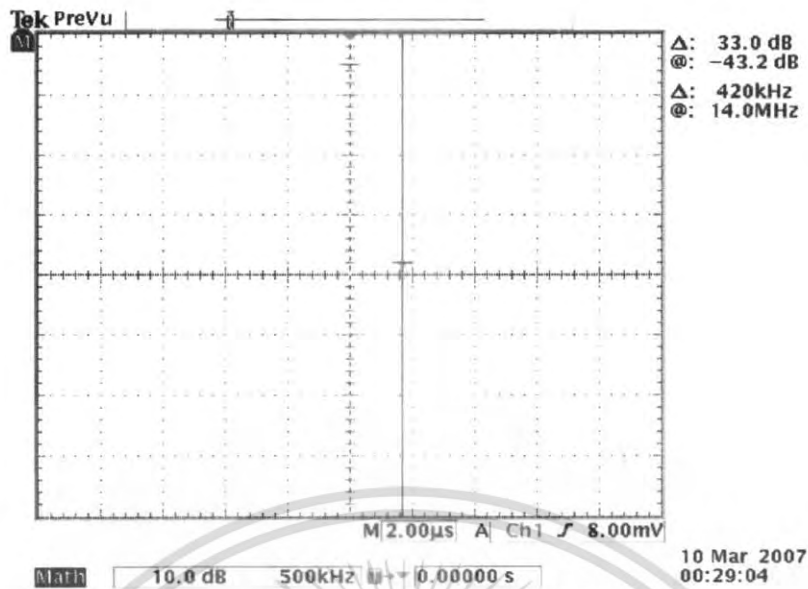


รูปที่ 4.35 วงจร butter worth low pass , วงจรขยายสัญญาณ envelope , วงจร envelope detector และ วงจร comparator

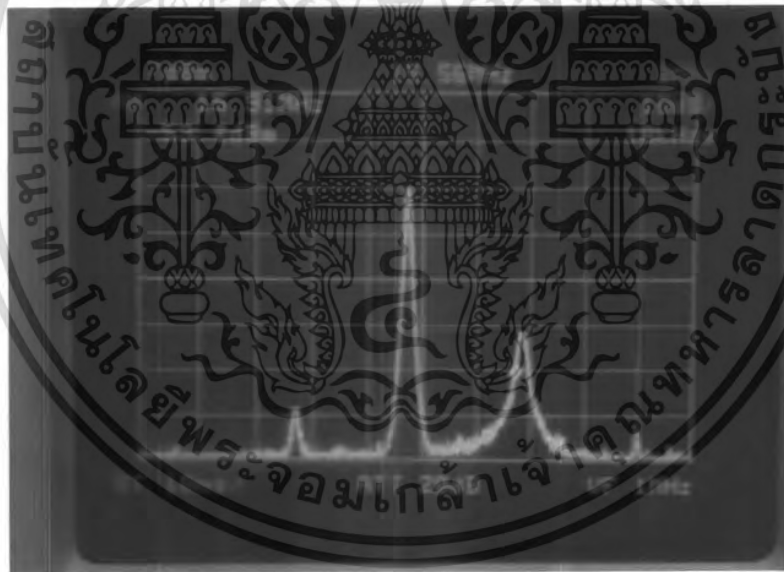


รูปที่ 4.36 สเปกตรัมของ reader ที่ความถี่ 13.56 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

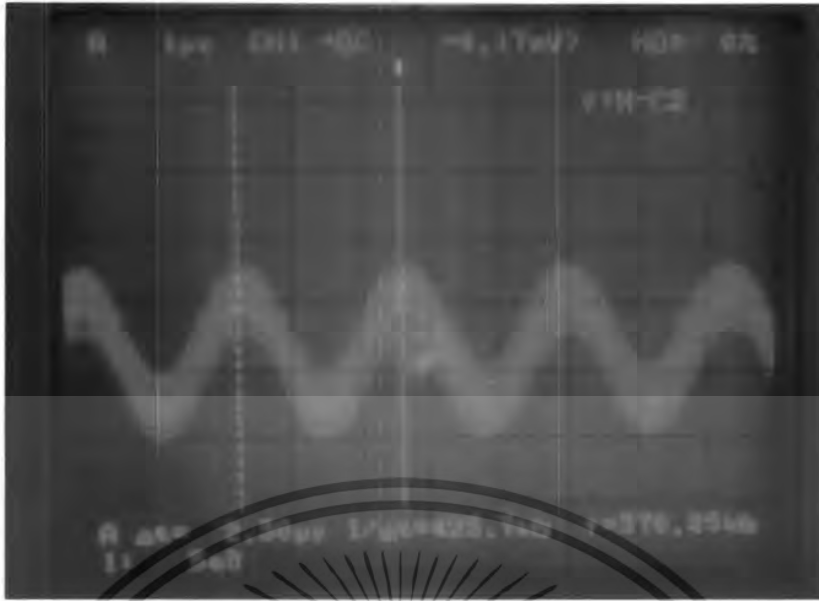


รูปที่ 4.37 สเปกตรัมของสัญญาณ carrier และ subcarrier ที่เกิดจากการทำ load modulation



รูปที่ 4.38 สเปกตรัมของสัญญาณ carrier และ subcarrier ที่เกิดจากการทำ load modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลชันที่ไม่เป็นเชิงเส้น

4.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้จากรูปที่ 4.22 และ รูปที่ 4.23 นั้นเป็นการส่งสัญญาณ ASK modulation จากเครื่องอ่านไปยังแท่งสติกจากรูปดังกล่าวนั้นเป็นการมอดูเลตที่ 100 % จะเกิดผลกระทบกับแท่งสติกทั้งในส่วนของการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไปเป็น ไฟเลี้ยงให้แก่แท่งสติก ส่วนของการนำสัญญาณคลื่นพาห์ของเครื่องอ่านนั้นมาเป็นสัญญาณนาฬิกาให้แก่ไอซีต่างๆและ ส่วนสุดท้ายจะเกิดกับการทำ load modulation ทั้งหมดนี้จะเกิดปัญหาในช่วงเวลาที่สัญญาณอินพุตให้แก่วงจรมอดูเลเตอร์ของเครื่องอ่านที่มีค่าเป็น “0” เป็นติดต่อกัน

ทางแก้ปัญหาก็ทำการแก้ไขโดยการปรับให้เปอร์เซ็นต์การมอดูเลชันมีค่าต่ำลงหรือการใช้โค้ดแบบ Manchester code หรือ Differential Manchester code เพื่อแก้ปัญหาการมีค่า “0” ติดต่อกันนานของโค้ดแบบ NRZ ที่ได้จากเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้รูปแบบการติดต่อสื่อสารโดยโหมด UART จะทำให้มีขอบของสัญญาณไม่ว่าจะเป็น “0” หรือ “1”

จากการที่ได้เลือกใช้ PIC และ ไอซี อื่นๆมาทำการต่อลงบนแท่งสติกและประกบกับการใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่ 13.56 MHz จะทำให้กินกระแสในหลักของมิลลิแอมป์ทำให้ระยะห่างของแท่งสติกกับเครื่องอ่านนั้นมีระยะสั้น และใช้วงจรวินเซอร์แอมป์ที่มีค่ากำลังสูง นอกจากจะเกิดปัญหาของการกินกระแสกำลังงานมากในส่วนของภาคจ่ายไฟของเครื่องอ่านแล้วยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นที่ภาครับของเครื่องอ่านและวงจรบนแท่งสี่สังเกตได้จากรูปที่ 4.22 , 4.23 ที่ทำการวัดสัญญาณจากขาไอซี 74 HC4040 นั้นจะมีสัญญาณ 13.56 MHz มารบกวนหรือรูปที่ 4.39 เป็นสัญญาณที่ภาครับของเครื่องอ่านภายหลังจากผ่านวงจร butter worth lowpass แล้วยังเห็นว่ามีสัญญาณรบกวนความถี่ 13.56 MHz อยู่แม้ว่าจะมีการ shield วงจรภาครับของเครื่องอ่านแล้วก็ตาม

ทางแก้ปัญหานั้นจะแก้โดยการเลือกใช้อิซีสำเร็จรูปที่มีการกั้นกระแสในระดับไมโครแอมป์จะสามารถลดกำลังงานของเครื่องส่งลงได้และลดผลของสัญญาณรบกวนจากการ radiation ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. – Klaus Finkenzeller ,“ RFID Handbook : Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification”John Wiley & Sons , 2003 –
2. สัตยยุทธ์ สว่างวรรณ,“ เครือข่ายคอมพิวเตอร์ ”,เพียร์สันเอดดูเคชั่น อิน โด โชนา , 2547, 512 หน้า
3. Behrouz A.Forouzan,“ Data Communications and Networking ”, McGram Hill , 2004
4. ประจัน พลังสันติกุล,“เรียนรู้และใช้งาน CCSC คอมไพเลอร์เขียนโปรแกรมภาษา C ”, อินโนเว ดีฟ เอ็กเพอริเมนต์ , 2545
5. Youbok Lee, “ AN710 Antenna circuit Design for RFID Application ” , Microchip , 2003



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้