

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

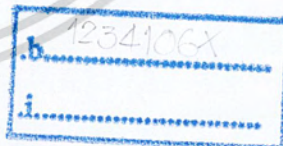
ระบบที่จอดรถอาร์เอฟไอดี
RFID CARPARK SYSTEM



T117492



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....117492
วัน,เดือน,ปี.....- 5 ต.ค. 2554



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

ระบบที่จอดรถอาร์เอฟไอดี

RFID CARPARK SYSTEM



โดย
นางสาวอารีรัตน์ ดีเจริญ รหัส 50011950
นางสาวอุษา บุญให้ รหัส 50011965

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.สุชาติ คุณทวีเทพ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

โครงการเรื่อง ระบบที่จอดรถอาร์เอฟไอดี

RFID CARPARK SYSTEM

จัดทำโดย นางสาวอารีรัตน์ ลีเจริญ รหัส 50011950

นางสาวอุษา บุญให้ รหัส 50011965

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.สุชาติ คุณทวีเทพ



รายงานฉบับนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.สุชาติ คุณทวีเทพ)

วันที่ 7/03/54

รายงานปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบที่จอดรถอาร์เอฟไอดี (RFID CARPARK SYSTEM)

ผู้จัดทำ นางสาวอารีรัตน์ ลีเจริญ รหัส 50011950

นางสาวอุษา บุญไ้ รหัส 50011965



ระบบที่จอดรถอาร์เอฟไอดี

นางสาวอารีรัตน์ ลีเจริญ รหัส 50011950

นางสาวอุษา บุญให้ รหัส 50011965

รศ.สุชาติ คุณทวีเทพ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอระบบที่จอดรถ โดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (RFID) ในการพัฒนาระบบ โครงการนี้ได้ทำการออกแบบให้ระบบที่จอดรถสามารถคำนวณเวลาและค่าบริการที่จอดรถได้อย่างอัตโนมัติ เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (RFID) ถูกนำมาใช้ในบัตรจอดรถซึ่งมีแท็ก (Tag) ระบุข้อมูลของผู้ใช้ ระบบใช้การส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุระหว่างเครื่องอ่านกับรถที่ขับผ่านเข้าออก เมื่อผู้ใช้บริการแสดงแท็ก (Tag) ซึ่งเป็นบัตรสมาชิก เครื่องอ่านจะทำการบันทึกเวลาเข้าและเวลาออกพร้อมทั้งคิดค่าบริการที่จอดรถ ทั้งนี้ข้อมูลต่าง ๆ ที่ถูกบันทึกลงในฐานข้อมูลสามารถตรวจสอบย้อนหลังได้อีกด้วย

RFID CARPARK SYSTEM

Miss. Areerat Leecharoen

ID.50011950

Miss. Usa Boonhai

ID.50011965

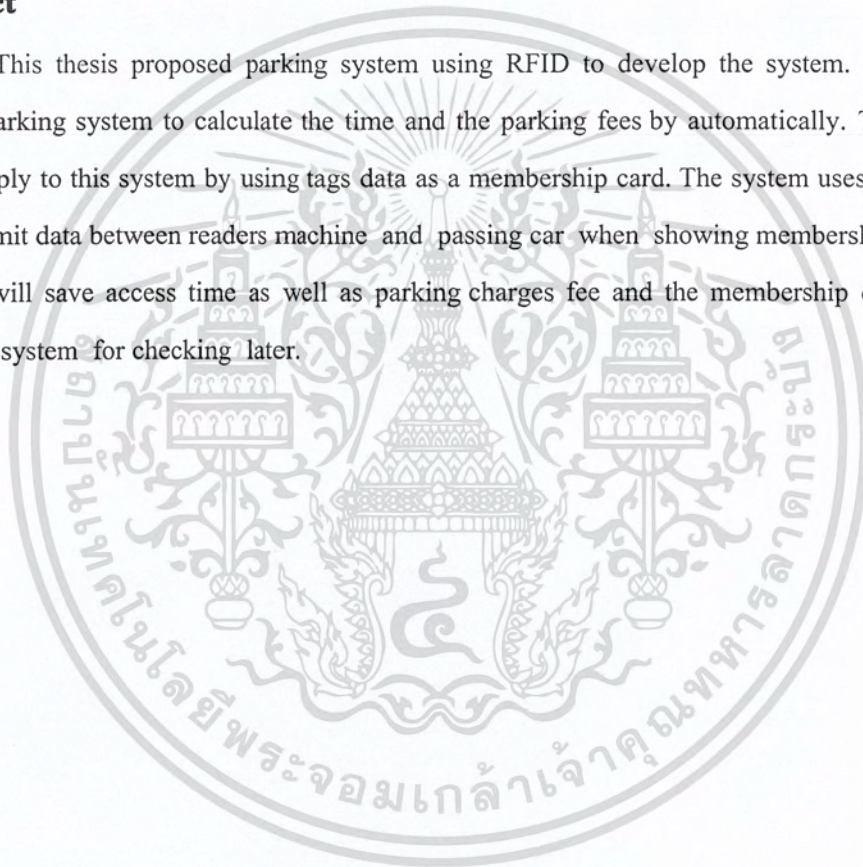
Assoc. Prof. Suchart Coontawetap

Advisor

Educational Year 2010

Abstract

This thesis proposed parking system using RFID to develop the system. This project design parking system to calculate the time and the parking fees by automatically. Technology, RFID apply to this system by using tags data as a membership card. The system uses radio wave for transmit data between readers machine and passing car when showing membership tag, card readers will save access time as well as parking charges fee and the membership data to the database system for checking later.



กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.สุชาติ คุณทวีเทพ ในการให้คำปรึกษาจัดทำโครงการ และรายงาน ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนให้คำแนะนำต่างๆ จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์ได้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีในโครงการและรายงานฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวอารีรัตน์ ลีเจริญ

นางสาวอุษา บุญให้

ผู้จัดทำ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
 บทที่ 1 บทนำ	 1
1.1 ความเป็นมาและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตเนื้อหา	2
1.5 เนื้อหารายงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความหมายของ RFID	3
2.2 ประวัติความเป็นมาของอาร์เอฟไอดี	3
2.2.1 วิวัฒนาการของ อาร์เอฟไอดี	4
2.3 คลื่นพาหะและมาตรฐานของระบบ อาร์เอฟไอดี	5
2.4 องค์ประกอบในระบบ อาร์เอฟไอดี	6
2.4.1 เครื่องอ่าน (Reader)	7
2.4.2 Tag หรือ Transponder	8
2.4.2.1 แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)	10
2.4.2.2 แท็กชนิดกึ่งพาสซีฟ	11
2.4.2.3 แท็กชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag)	11
2.5 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ อาร์เอฟไอดี	14
2.5.1 การเข้ารหัสข้อมูล (Encoding)	14
2.5.1.1 รหัสไลน์โค้ด	15
2.5.2 การมอดูเลชันแบบดิจิตอล	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)	
2.6 การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-Collision)	20
2.7 การสื่อสารแบบอนุกรม	21
2.7.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	21
2.8 มาตรฐานของพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232	22
2.8.1 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ	23
2.9 UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)	26
2.9.1 ชนิดของ UART	26
2.10 ตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ตอนุกรม	27
2.11 วงจรภายในและรีจิสเตอร์ของพอร์ตอนุกรม RS-232	28
2.11.1 รีจิสเตอร์ 00H	28
2.11.2 รีจิสเตอร์ 01H	28
2.11.3 รีจิสเตอร์ 02H	29
2.11.4 รีจิสเตอร์ 03H	30
2.11.5 รีจิสเตอร์ 04H	31
2.11.6 รีจิสเตอร์ 05H	32
2.11.7 รีจิสเตอร์ 06H	33
2.11.8 รีจิสเตอร์ 07H	34
2.12 PIC คืออะไร	34
2.12.1 PIC 16F877A	34
2.12.2 โครงสร้างสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	36
2.13 LDR ตัวต้านทานไวแสง	41
2.13.1 โครงสร้างของ LDR	41
2.13.2 สมบัติทางแสง	42
2.13.3 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบระบบที่จอดรถอาร์เอฟไอดี	45
3.1 หลักการทำงานของระบบ	45
3.2 ส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี	46
3.2.1 เครื่องอ่าน	46
3.2.2 บัตร (TAG)	48
3.3 โปรแกรมใช้งานของระบบและการออกแบบ	50
3.3.1 โปรแกรมใช้งาน Car Park System	50
3.3.2 การออกแบบฐานข้อมูล	56
3.4 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ทำงานร่วมกับระบบ	56
3.4.1 วงจรเซนเซอร์รับแสง	56
3.4.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	57
บทที่ 4 ผลการทดลอง	59
4.1 การทดลองที่ 1	59
4.2 การทดลองที่ 2	65
4.3 การทดลองที่ 3	66
4.4 การทดลองที่ 4	67
4.5 การทดลองที่ 5	71
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	73
5.1 สรุปผลการทดลอง	73
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	74
5.3 แนวทางแก้ปัญหาและข้อเสนอแนะ	74
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก	76

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงย่านความถี่ต่างๆ ของระบบอาร์เอฟไอดี และการใช้งาน	6
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแท็กอาร์เอฟไอดี ทั้งสามแบบ	13
ตารางที่ 2.3 แสดงหน้าที่การทำงานของขาพอร์ตอนุกรม	24
ตารางที่ 2.4 แสดงหน้าที่ของขาสัญญาณพอร์ต A	37
ตารางที่ 2.5 แสดงหน้าที่ของขาสัญญาณพอร์ต B	37
ตารางที่ 2.6 แสดงหน้าที่ของขาสัญญาณพอร์ต C	38
ตารางที่ 2.7 แสดงหน้าที่ของขาสัญญาณพอร์ต D	39
ตารางที่ 2.8 แสดงหน้าที่ของขาสัญญาณพอร์ต E	39
ตารางที่ 4.1 แสดงระยะที่เครื่อง RFID Reader/Writer สามารถอ่านข้อมูลได้จากแท็ก	65
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการอ่านข้อมูลจากแท็ก	66
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงสถานะภายในที่จอครด เมื่อมีแทร์ดเข้าจอ	71
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงสถานะภายในที่จอครด เมื่อมีแทร์ดออกจากที่จอ	72

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 องค์ประกอบในการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี	7
รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างเครื่องอ่านแบบต่าง ๆ	8
รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบภายในแท็ก	8
รูปที่ 2.4 ลักษณะภายในของแท็กชนิดพาสซีฟ	10
รูปที่ 2.5 ลักษณะภายในของแท็กชนิดแอ็กทีฟ	11
รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี	14
รูปที่ 2.7 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด	19
รูปที่ 2.8 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่	19
รูปที่ 2.9 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส	20
รูปที่ 2.10 แสดงเทคนิคที่ใช้ในการอ่านหลายแท็กพร้อมกัน	20
รูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส	21
รูปที่ 2.12 แสดงขาสัญญาณของคอนเน็กเตอร์แบบ DB9 และ DB25	23
รูปที่ 2.13 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ Null modem	24
รูปที่ 2.14 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น	25
รูปที่ 2.15 แสดงขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A	36
รูปที่ 2.16 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A	40
รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างของ LDR	41
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่าง ๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบ เมื่อเทียบกับความไวของคน	42
รูปที่ 2.19 ผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR	43
รูปที่ 3.1 Block Diagram ของระบบ RFID Car Park	45
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของเครื่องอ่านภายนอกและภายใน	46
รูปที่ 3.3 แสดงสัญญาณคลื่นพาห้ของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี Reader/Writer ความถี่ 13.56 MHz	47
รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของแท็ก	48
รูปที่ 3.5 แสดงรูปแบบการจัดสรรพื้นที่ของบัตร Mifare S50	49
รูปที่ 3.6 หน้าต้อนรับเข้าสู่โปรแกรม	50

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.7 หน้า Login เข้าสู่โปรแกรม	50
รูปที่ 3.8 แสดงกล่องข้อความเตือนเมื่อใส่ Username หรือ Password ไม่ถูกต้อง	51
รูปที่ 3.9 หน้าหลักของโปรแกรม	51
รูปที่ 3.10 หน้าการบริการเข้า	52
รูปที่ 3.11 หน้าการบริการออก	52
รูปที่ 3.12 แสดงการคำนวณเวลาและค่าใช้บริการเมื่อเลิกใช้บริการ	53
รูปที่ 3.13 แสดงหน้าต่างสถานะปัจจุบันของการเข้าจอด	53
รูปที่ 3.14 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ (ทางเข้า)	54
รูปที่ 3.15 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ (ทางออก)	55
รูปที่ 3.16 แสดงการออกแบบฐานข้อมูล	56
รูปที่ 3.17 แสดงวงจรเซนเซอร์รับแสง	57
รูปที่ 3.18 แสดงวงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รับสัญญาณอินพุตจากเซนเซอร์ และเอาต์พุตควบคุมสัญญาณไม่กั้น	58
รูปที่ 4.1 สัญญาณคลื่นพาห้ความถี่ 13.56 MHz	59
รูปที่ 4.2 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 1	60
รูปที่ 4.3 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 2	60
รูปที่ 4.4 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 3	61
รูปที่ 4.5 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 4	61
รูปที่ 4.6 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 5	62
รูปที่ 4.7 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 6	62
รูปที่ 4.8 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 7	63
รูปที่ 4.9 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 8	63
รูปที่ 4.10 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 9	64
รูปที่ 4.11 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 10	64
รูปที่ 4.12 หน้าโปรแกรมแสดงการเข้าจอดรถของแท็ก ซึ่งเป็นสมาชิกแบบจอดประจำ	67
รูปที่ 4.13 หน้าโปรแกรมแสดงการออกจากที่จอดรถ ของแท็กซึ่งเป็นสมาชิกแบบจอดประจำ	68
รูปที่ 4.14 หน้าโปรแกรมแสดงการเข้าจอดรถของแท็ก ซึ่งเป็นสมาชิกแบบจอดไม่ประจำ	68

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.15 หน้าโปรแกรมแสดงการออกจากที่จอดรถของแท็กซี่ ซึ่งเป็นสมาชิกแบบจอดไม่ประจำ	69
รูปที่ 4.16 หน้าต่างโปรแกรมที่ขึ้นเตือนเมื่อแท็กซี่ที่ไม่ได้เป็นสมาชิกทำการเข้าหรือออก	69
รูปที่ 4.17 หน้าโปรแกรมแสดงการเข้าจอดรถของแท็กซี่ ซึ่งไม่เป็นสมาชิก	69
รูปที่ 4.18 หน้าโปรแกรมแสดงการออกจากที่จอดรถของแท็กซี่ ซึ่งไม่เป็นสมาชิก	70
รูปที่ 4.19 แสดงสถานะของรถที่จอดอยู่	70



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุผล

ปัญหาการสิ้นเปลืองเวลาเพื่อรอแลกบัตร ตรวจสอบประวัติ ก่อนเข้าจอดรถในอาคารสำนักงาน หน่วยงานต่างๆ หรือแม้แต่ห้างสรรพสินค้าที่มีผู้มาใช้บริการมากมาย ล้วนเป็นปัญหาที่สร้างความรำคาญใจให้กับผู้ใช้บริการ ความสะดวกสบายและรวดเร็วจึงถือเป็นเหตุผลหลักในการตัดสินใจของผู้ใช้บริการเพื่อจะเลือกรับบริการ ซึ่งเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีเป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจเพื่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตมนุษย์ให้มีความสะดวก รวดเร็ว และปลอดภัยยิ่งขึ้น โดยโครงการนี้ได้นำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมาประยุกต์ใช้เป็นระบบที่จอดรถ ซึ่งมีโปรแกรมที่สามารถบันทึกรายละเอียดต่างๆ ของผู้ใช้บริการ และรายละเอียดของรถยนต์ได้ โดยมีการเก็บข้อมูลดังกล่าวไว้ในฐานข้อมูลเพื่อสะดวกแก่การตรวจสอบย้อนหลัง สามารถระบุวันเวลาเข้า-ออก สถานะปัจจุบันภายในที่จอดรถโดยระบุจำนวนรถที่เข้าจอด และที่ว่างที่สามารถเข้าจอดได้ รวมทั้งคิดคำนวณเวลา และค่าใช้บริการสำหรับบุคคลภายนอกที่เข้ามาใช้บริการที่จอดรถ ทำให้สามารถตรวจสอบประวัติการเข้าใช้งานของรถแต่ละคันได้ การคิดเงินค่าใช้บริการสามารถทำได้ อย่างถูกต้องก่อให้เกิดความปลอดภัย และมีความสะดวกรวดเร็วต่อผู้ใช้บริการ โดยเมื่อรถยนต์เคลื่อนเข้ามา เครื่องอ่านที่ติดตั้งไว้จะทำการส่งสัญญาณข้อมูลออกมาตลอดเวลาเท่ากับเป็นการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านคลื่นวิทยุไปจ่ายให้กับแท็กซึ่งภายในมีขดลวดเหนี่ยวนำที่ผู้ใช้บริการมีอยู่ เมื่อแท็กส่งสัญญาณออกมาโดยอาศัยการมอดูเลตของข้อมูลและคลื่นพาห์โดยที่แท็กแต่ละใบของแต่ละผู้ใช้งานนั้นก็จะมียี่ห้อที่แตกต่างกัน เพื่อให้เครื่องอ่านแยกแยะแหล่งที่มาได้ เมื่อเครื่องอ่านอ่านรหัสของแท็กแล้วตรงกับในฐานข้อมูลก็จะมี การส่งข้อมูลผ่าน RS232 เพื่อแสดงให้เห็นว่าไม่กั้นได้ เปิดขึ้น และรถเคลื่อนผ่านไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาเทคโนโลยีและการประยุกต์ใช้งานอาร์เอฟไอดี
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบที่จอดรถโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี
- 1.2.3 เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้งานโปรแกรม Microsoft Visual Studio 2008

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 มีความรู้ความเข้าใจในรูปแบบ ประเภท และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีกับชีวิตประจำวัน
- 1.3.2 สร้างระบบที่จอดรถซึ่งใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีในการผ่านเข้าออก

1.4 ขอบเขตเนื้อหา

1.4.1 ออกแบบโปรแกรมระบบที่จอดรถอาร์เอฟไอดี ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลของผู้ใช้งาน เก็บข้อมูลของรถยนต์ ระบุจำนวนรถที่จอดอยู่และจำนวนที่ว่างที่ยังสามารถเข้าจอดได้ ระบุวันเวลาที่เข้าออก ค่าบริการในการจอด และสามารถค้นหาตรวจสอบ รายงานการใช้บริการในภายหลังได้ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2008

1.4.2 ออกแบบและเขียนคำสั่งเพื่อเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องอ่าน การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องพิมพ์ และการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ RS232 เพื่อส่ง ไม่กั้น ให้ปิด-เปิด

1.5 เนื้อหารายงาน

เนื้อหาของรายงานฉบับนี้มีทั้งหมด 5 บท ในแต่ละบทมีเนื้อหาโดยสรุปดังต่อไปนี้ คือ

- บทที่ 1 เป็นเนื้อหาในส่วนของบทนำ โดยกล่าวถึงความเป็นมา เหตุผล และแนวคิดของโครงการ ซึ่งประกอบด้วยวัตถุประสงค์ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และขอบเขตเนื้อหาของโครงการ
- บทที่ 2 เป็นเนื้อหาที่กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ เช่น ความหมาย ประเภท รูปแบบและการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี การรับส่งข้อมูล การเข้ารหัส การถอดรหัส และการมอดูเลตสัญญาณ เป็นต้น
- บทที่ 3 เป็นเนื้อหาเกี่ยวกับการออกแบบการทำงานของระบบที่จอดรถอาร์เอฟไอดี และการออกแบบโปรแกรมที่ใช้กับระบบที่จอดรถอาร์เอฟไอดี
- บทที่ 4 เป็นเนื้อหาในส่วนของการทดลองและผลการทดลองของโปรแกรม และระบบที่จอดรถอาร์เอฟไอดี
- บทที่ 5 เป็นเนื้อหาในส่วนของการสรุปผลการดำเนินงานและการทดลอง รวมทั้งปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะในการทำโครงการ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของ RFID

RFID ย่อมาจาก Radio Frequency Identification เป็นเทคโนโลยีการระบุข้อมูลที่แสดงเอกลักษณ์ของวัตถุ หรือบุคคลด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยมีจุดเด่น คือ สามารถอ่านข้อมูลจากแท็กได้หลายๆ แท็ก แบบไร้สัมผัส สามารถอ่านค่าได้แม้สภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก แท็กและเครื่องอ่านข้อมูลสามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่าง เช่น น้ำ พลาสติก กระดาษ หรือวัสดุทึบแสงอื่นๆ สามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ในแท็ก เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี สามารถทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ เมื่อแท็กอยู่ในรัศมีของการอ่าน จึงเหมาะกับงานที่ต้องการการทำงานแบบอัตโนมัติ ไม่จำเป็นต้องมีผู้ปฏิบัติงาน เช่น ในระบบลำเลียงในโรงงาน เมื่อลำเลียงผ่านขบวนการใด ก็สามารถตรวจสอบและบันทึกได้ เพียงเคลื่อนสินค้าผ่านเครื่องอ่าน เครื่องอ่านก็จะทำงานโดยอัตโนมัติ นอกจากเครื่องอ่านอ่านรหัสประจำตัวมาทำการประมวลผลแล้ว ยังสามารถบันทึกข้อมูลกลับลงไปที่แท็กได้ สามารถอ่านข้อมูลได้จากระยะไกล แม้อยู่ในพื้นที่ๆ ไม่สะดวกหรือในพื้นที่อันตรายต่อการปฏิบัติงาน เช่น ห้องฟอสฟอรัส หรือพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง ก็สามารถอ่านข้อมูลได้ สามารถอ่านข้อมูลได้พร้อมๆ กัน เพียงแค่คำสั่งของที่ติดแท็กมาวางไว้ในพื้นที่รัศมีของเครื่องอ่านก็สามารถอ่านพร้อมกันได้อย่างรวดเร็ว สามารถลดเวลาการทำงาน และลดข้อผิดพลาดในการเคลื่อนย้ายสิ่งของ ทั้งนี้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีถือว่ามีความปลอดภัยสูง เนื่องจากข้อมูลเป็นข้อมูลดิจิทัลในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้สามารถเพิ่มความปลอดภัยของข้อมูลด้วยการเข้ารหัสลับเพื่อไม่ให้ผู้อื่นทราบข้อมูลที่ไม่ต้องการเปิดเผยได้

2.2 ประวัติความเป็นมาของอาร์เอฟไอดี

ประวัติเริ่มต้นของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีนั้น ย้อนกลับไปถึงสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งประเทศในกลุ่มพันธมิตร และกลุ่มอักษะได้มีการใช้เรดาร์ซึ่งถูกค้นพบโดย เซอร์โรเบิร์ต อเล็กซานเดอร์ วัตสัน-วัตต์ ในปี ค.ศ. 1935 ใช้ในการตรวจจับและเตือนเครื่องบินที่กำลังเข้ามา แต่ปัญหาของการใช้เรดาร์ในยุคนั้นคือไม่สามารถแยกแยะระหว่างเครื่องบินรบว่าเป็นของฝ่ายไหน ทางฝั่งเยอรมันได้ค้นพบว่าเมื่อนักบินหมุนตัวแล้ว จะทำให้มีการสะท้อนสัญญาณเรดาร์ที่เปลี่ยนไป ทำให้

ทราบว่าเป็นเครื่องบินที่เข้ามาเป็นฝ่ายเยอรมัน ซึ่งเป็นจุดกำเนิดของอาร์เอฟไอดี แบบที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการสะท้อนคลื่นวิทยุ โดยไม่ต้องมีเครื่องส่งวิทยุ (Passive)

เมื่อเทคโนโลยีเรดาร์มีการพัฒนาขึ้น นักบินสามารถที่จะสื่อสารระหว่างเครื่องบินกับสถานีภาคพื้นดิน หรือระหว่างนักบินด้วยกัน เป็นระบบแยกแยะระหว่างมิตรกับศัตรูหรือ IFF (Aircraft Identification Friend or Foe systems) โดยที่เมื่อเครื่องบินได้รับสัญญาณเรดาร์จากภาคพื้นดินหรือระหว่างเครื่องบิน ตัวเครื่องบินจะส่งสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ตอบกลับไป ทำให้ทราบว่าเป็นเครื่องบินของฝ่ายไหนซึ่งถือว่าเป็นการสื่อสารอาร์เอฟไอดี แบบที่วัตถุส่งคลื่นวิทยุจากตัวเองไปยังผู้ถาม (แบบ active)

ยุคแรกเริ่มของการใช้อาร์เอฟไอดี ในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ ระบบกันขโมย (EAS: Electric Article Surveillance) ในห้างสรรพสินค้า ซึ่งตัวสินค้าจะมีการติดอาร์เอฟไอดี แบบ 1 บิต ซึ่งจะมีค่าเป็น '0' หรือ '1' เมื่อสินค้ามีการชำระเงินตัวบิตก็จะถูกตั้งค่าเป็น '0' ทำให้สามารถนำออกจากร้านได้ ในกรณีที่ไม่มีชำระเงินสินค้า เมื่อผ่านประตูเครื่องตรวจแท็กกันขโมย เมื่ออ่านค่าจากวัตถุในถุงของลูกค้านั้นมีค่าเป็น '1' ก็จะมีสัญญาณเตือนขึ้นมา

2.2.1 วิวัฒนาการของ อาร์เอฟไอดี

จุดเริ่มต้นของ อาร์เอฟไอดี มีมาตั้งแต่ยุคสงครามโลกครั้งที่สอง ทางด้านการพัฒนาได้มีการให้สิทธิบัตรของอเมริกาเกี่ยวกับอาร์เอฟไอดีอันดับแรกให้กับ Mario W. Cardullo เป็นสิทธิบัตรเกี่ยวกับแท็กแบบแอ็กทีฟ เมื่อวันที่ 23 มกราคม ค.ศ. 1973 และในปีเดียวกันได้มีการมอบสิทธิบัตรเกี่ยวกับแท็กแบบพาสซีฟแก่ Charles Walton โดยประยุกต์ใช้งานสำหรับการเปิดล็อกประตู และ Charles Walton ได้อนุญาตสิทธิให้บริษัท Schlage เป็นผู้ผลิต

ในช่วงปี ค.ศ. 1970 รัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับ อาร์เอฟไอดี เหมือนกันที่ศูนย์วิจัยแห่งชาติ ลอส อลามอส (Los Alamos National Laboratory) มลรัฐนิวเม็กซิโก ใช้สำหรับการติดตามวัตถุนิวเคลียร์ให้กับกระทรวงพลังงาน โดยใช้อาร์เอฟไอดีติดกับรถบรรทุก และเครื่องอ่านที่ประตูทางเข้าออก และเมื่อทีมนักวิทยาศาสตร์ของศูนย์วิจัยแห่งนี้ ออกมาตั้งบริษัท จึงพัฒนาเป็นระบบเก็บค่าทางควอนตัมอัตโนมัติ

ในขณะเดียวกันกระทรวงเกษตรของสหรัฐมีความต้องการแท็กแบบพาสซีฟชนิดความถี่ 125 กิโลเฮิร์ตซ์ สำหรับติดโคเลียง เพื่อใช้แยกแยะว่าโคตัวไหนฉีดยาแล้วหรือไม่ ทางศูนย์วิจัยแห่งชาติลอส อลามอส จึงได้พัฒนาอาร์เอฟไอดี ความถี่ 125 กิโลเฮิร์ตซ์ และมีการใช้ในเชิงพาณิชย์ในหลายรูปแบบต่อมาได้มีการพัฒนาไปที่ความถี่ 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์

ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1990 บริษัทไอบีเอ็มได้พัฒนาและจดสิทธิบัตร อาร์เอฟไอดี ในย่านความถี่สูงยิ่ง UHF (ย่านความถี่ตั้งแต่ 300 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 3 กิกะเฮิร์ตซ์) แต่เมื่อไอบีเอ็มมีปัญหา

เรื่องการเงินได้ขายสิทธิบัตรเกี่ยวกับ อาร์เอฟไอดี ให้กับบริษัท Intermec ในช่วงกลาง ค.ศ. 1990 ในช่วงนั้นการใช้งานยังไม่แพร่หลายนักเนื่องจากอุปกรณ์ยังมีราคาแพงมาก

อาร์เอฟไอดี ในย่านความถี่สูงยิ่ง UHF กลับแจ้งเกิดอีกครั้งในปี ค.ศ. 1999 เมื่อหน่วยงาน UCC (Uniform Code Council) หน่วยงาน EAN International บริษัท Procter & Gamble และบริษัท Gillette ได้ร่วมกันก่อตั้งศูนย์ Auto-ID ขึ้นที่สถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์ (MIT) ประเทศสหรัฐอเมริกาเพื่อพัฒนาแนวทางการใช้อาร์เอฟไอดี ในห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) ในช่วงปี ค.ศ. 1999 – 2003 Auto-ID ได้รับการสนับสนุนจากบริษัทเอกชนจำนวนมาก และได้มีการขยายศูนย์ Auto-ID ไปยังประเทศออสเตรเลีย อังกฤษ สวิตเซอร์แลนด์ ญี่ปุ่น และจีน ได้มีการพัฒนามาตรฐานใหม่เรียกว่า รหัสสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ EPC (Electronic Product Code) และในปี ค.ศ. 2003 เทคโนโลยีนี้ได้ขายให้กับ UCC ซึ่งได้ร่วมกับ EAN ตั้งบริษัท EPCglobal เพื่อพัฒนา EPC ในเชิงพาณิชย์

2.3 คลื่นพาหะ และมาตรฐานของระบบอาร์เอฟไอดี

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างแต่ละประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่คลื่นพาหะของระบบอาร์เอฟไอดี โดยมีสามกลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มประเทศในยุโรปและแอฟริกา (Region 1) กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region 2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออกไกลและออสเตรเลีย (Region 3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ความถี่ต่างๆ ให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก

ความถี่ของคลื่นพาหะที่นิยมใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ย่านความถี่ปานกลาง และย่านความถี่สูงก็คือ 125 kHz, 13.56 MHz และ 2.45 GHz ตามลำดับดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 นอกจากนี้รัฐบาลของแต่ละประเทศ โดยทั่วไปจะมีการออกกฎหมายเกี่ยวกับระเบียบการใช้งานย่านความถี่ต่างๆ รวมถึงกำลังส่งของระบบอาร์เอฟไอดี ด้วย

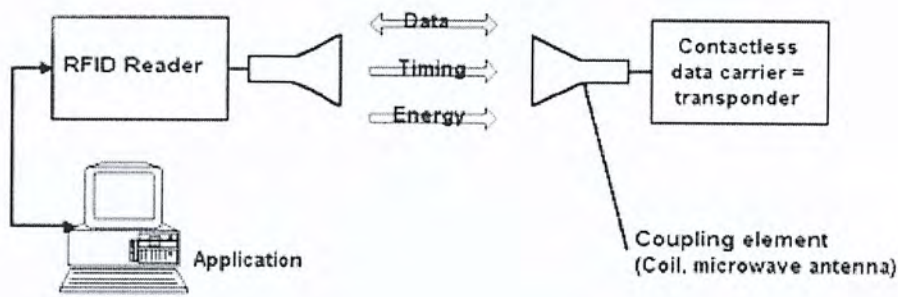
ตารางที่ 2.1 แสดงย่านความถี่ต่างๆ ของระบบอาร์เอฟไอดี และการใช้งาน

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

ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้ว อาร์เอฟไอดี ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด แต่มีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วน อาร์เอฟไอดี ที่ใช้คลื่นพาหะย่านความถี่ต่ำก็จะมีค่าการส่งข้อมูลต่ำ และราคาก็จะต่ำลดหลั่นตามลงไปด้วย

2.4 องค์ประกอบในระบบอาร์เอฟไอดี

องค์ประกอบในระบบอาร์เอฟไอดี จะมีหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรก คือฉลากหรือแท็กขนาดเล็กที่จะถูกผนึกอยู่กับวัตถุที่เราสนใจ โดยฉลากนี้จะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ เอาไว้ ฉลากดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า ทรานสพอนเดอร์ (Transponder, Transmitter & Responder) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า “แท็ก” (Tag) ส่วนที่สองก็คืออุปกรณ์สำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็ก มีชื่อเรียกอย่างรวม ๆ ว่า ทรานสซีฟเวอร์ (Transceiver, Transmitter & Receiver) หรือ “เครื่องอ่าน” (Reader) ทั้งสองส่วนจะสื่อสารกันโดยอาศัยคลื่นความถี่วิทยุ แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



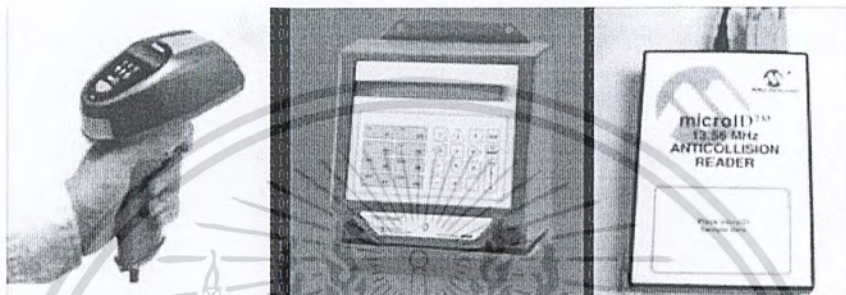
รูปที่ 2.1 องค์ประกอบในการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี

2.4.1 เครื่องอ่าน (Reader)

หน้าที่ของเครื่องอ่าน คือ การเชื่อมต่อเพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูลลงในแท็ก ด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วย เสาอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับส่งสัญญาณ ภาคส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูลซึ่งมักจะเป็นวงจรจำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์

โครงสร้างภายในเครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer ส่วนตัวอ่านในระบบอาร์เอฟไอดี มีองค์ประกอบหลักเริ่มจากส่วนกำเนิดสัญญาณรูปเหลี่ยม (Pulse generator) ความถี่พาห์เพื่อส่งสัญญาณไปยังภาคขับ (driver) เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการขับภาคขยายกำลัง (Power Amplifier, PA) ซึ่งทำหน้าที่ขับกระแสสัญญาณต่อไปยังขดลวด ขดลวดดังกล่าวก็จะทำหน้าที่เสมือนเป็นสายอากาศ (Antenna) รับสัญญาณสนามแม่เหล็กความถี่คลื่นพาห์ที่ถูกมอดูเลตเชิงขนาดจากข้อมูลจำเพาะของส่วนขยายสัญญาณแบบตัวผ่าน (filter and limiter) ก็แยกข้อมูลออกจากสัญญาณคลื่นพาห์ และขยายจนกระทั่งระดับสัปดาห์ของข้อมูลตามมาตรฐานลอจิก เพื่อส่งต่อเข้าส่วนประมวลผลข้อมูล โดยทั่วไปหน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ในเครื่องอ่านมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในโปรแกรมจะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (decoding) ที่ได้รับ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะ ขนาด และรูปร่างของเครื่องอ่าน จะอ่านแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็ก หรือติดผนัง จนถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size) เป็นต้น โดยตัวอย่างของเครื่องอ่านแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 ส่วนระยะในการอ่านข้อมูล จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยได้แก่ กำลังส่งของเครื่องอ่าน และชนิดของแท็ก ในการใช้งานทั่วไปแท็กความถี่ต่ำ (LF) มีระยะในการอ่านประมาณ 10-30 เซนติเมตร ความถี่สูง (HF) มีระยะในการอ่านประมาณ 15-100 เซนติเมตร ซึ่งตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่น ในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อย ๆ ไม่

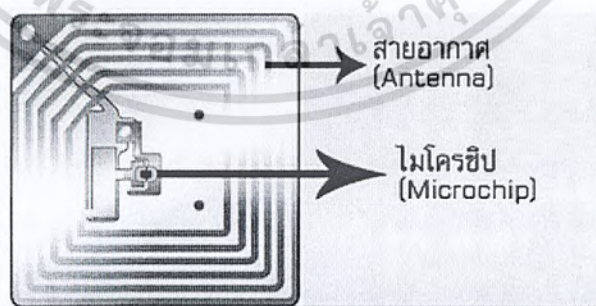
สิ้นสุด ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ “Hands Down Polling” โดยตัวอ่านข้อมูล จะสั่งให้แท็กหยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีแท็กหลาย ๆ แท็ก อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกัน หรือที่เรียกว่า “Batch Reading” ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านแท็กทีละตัวได้ ซึ่งการที่จะชี้เฉพาะระบุตัวแท็กนั้น เป็นระบบอัตโนมัตินี้ หรือ Automatic Identification



รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างเครื่องอ่านแบบต่าง ๆ

2.4.2 Tag หรือ Transponder

แท็ก (Tag) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder) มาจากคำว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) ทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในแท็กตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูลจะเป็นการสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุผ่านอากาศ โครงสร้างภายในแท็กจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ



รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบภายในแท็ก

1. ไมโครชิป (Microchip) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุในหน่วยความจำ ซึ่งในหน่วยความจำนี้อาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือทั้งอ่านและเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการนำไปใช้งาน โดยปกติ หน่วยความจำแบบ ROM จะเก็บข้อมูลด้วยความปลอดภัย เช่น สิทธิในการเข้าออกประตู ส่วน RAM ใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่ Tag และ Reader ทำการติดต่อสื่อสารกัน นอกจาก ROM และ RAM แล้ว ยังมีหน่วยความจำแบบ EEPROM เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลการสื่อสารระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้แก่แท็ก ไมโครชิปของแท็กที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็น หรือไปจนถึงขนาดใหญ่ ซึ่งมีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปโครงสร้างภายในส่วนที่เป็นไมโครชิปของแท็กนั้นก็จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่

- ส่วนของการควบคุมการรับ-ส่งสัญญาณวิทยุ สำหรับโครงสร้างของส่วนนี้ประกอบด้วยภาคติมอดูเลตและภาคมอดูเลต (สำหรับรับ-ส่งข้อมูลระหว่างแท็กกับตัวเครื่องอ่าน) และวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

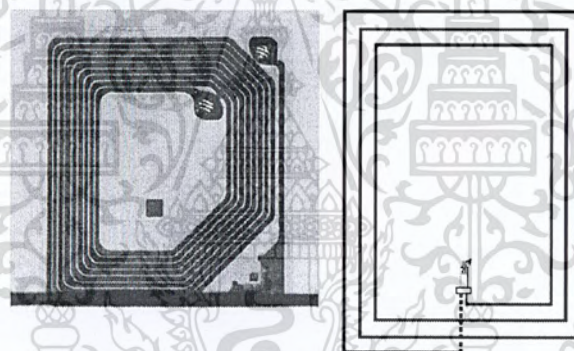
- ส่วนของการควบคุมภาคดิจิทัล ซึ่งรับหน้าที่จัดการเกี่ยวกับกระบวนการทางดิจิทัลทั้งหมด โครงสร้างหลักๆ ของส่วนการทำงานนี้ประกอบด้วย ส่วนบันทึกข้อมูล (ประกอบด้วยหน่วยความจำแรม (RAM), รม (ROM), อีอีพรอม (EEPROM)) ส่วนของการเข้ารหัส (Crypts Unit) ส่วนตอบรับสัญญาณร้องขอ (Answer to Request) ส่วนควบคุมและประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (Control & Arithmetic Unit)

2. สายอากาศ (Antenna) คือ ขดลวดขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นเสาอากาศ สำหรับรับ-ส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ และสร้างพลังงานป้อนให้กับไมโครชิป สายอากาศจะแผ่สัญญาณวิทยุจำนวนหนึ่งออกมา เพื่อกระตุ้นให้แท็กอ่านหรือเขียนข้อมูลลงไป สายอากาศสามารถมีได้หลากหลายขนาดและรูปร่าง เพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุที่จะนำแท็กไปติดตั้ง และเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการรับ-ส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ สายอากาศจะถูกติดไปโดยตรงกับ Transceiver ให้เป็นอุปกรณ์ติดกัน

โดยทั่วไปแท็กอาจจะอยู่ในรูปแบบที่เป็นกระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก ที่มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กันไป สามารถแบ่งประเภทของแท็กเป็น 3 ชนิด ได้แก่ แบบพาสซีฟ (Passive Tag) แบบกึ่งพาสซีฟ (SemiPassive Tag) และแบบแอ็กทีฟ (ActiveTag) โดยแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามรูปแบบการนำไปใช้งาน ราคา โครงสร้างภายใน และหลักการทำงาน ดังนี้

2.4.2.1 แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)

จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายในหรือไม่จำเป็นต้องรับแหล่งจ่ายไฟใด ๆ เพราะจะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว) หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ Transceiver จึงทำให้แท็กชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือ ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลใกล้ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1 เมตร ซึ่งเป็นระยะการอ่านที่สั้น มีหน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้แท็กชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟ และอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้แท็กชนิดพาสซีฟนี้เป็นที่นิยม ลักษณะภายในของแท็กชนิดพาสซีฟแสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะภายในของแท็กชนิดพาสซีฟ

ข้อดีของ Passive Tag

1. น้ำหนักเบา
2. Tag มีขนาดเล็ก
3. ราคาถูก
4. อายุการใช้งานไม่จำกัด

ข้อเสียของ Passive Tag

1. ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลสั้น (ระยะไกลสุดเพียง 1 เมตร)
2. หน่วยความจำมีขนาดเล็ก (ประมาณ 32 ถึง 128 บิต)
3. Reader ต้องมีกำลังส่งที่สูง
4. อาจเกิดผิดพลาดหากทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวน

2.4.2.2 แท็กชนิดกึ่งพาสซีฟ

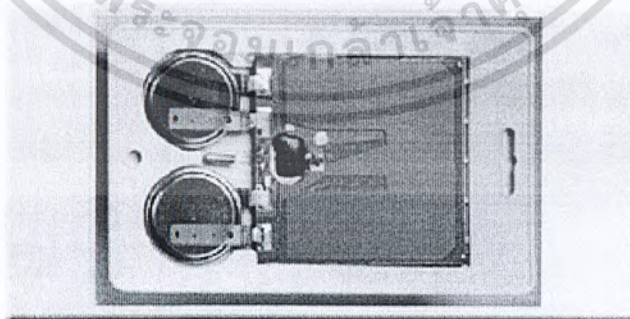
แท็กแบบกึ่งพาสซีฟมีแหล่งกำเนิดพลังงานภายในแท็ก (เช่น แบตเตอรี่) แต่จะไม่ทำหน้าที่เป็นตัวเริ่มต้นการติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่าน กล่าวคือ สัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องอ่านจะทำให้แท็กเริ่มทำงาน โดยแท็กจะใช้กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ในการหล่อเลี้ยงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แต่จะใช้พลังงานที่ได้รับจากเครื่องอ่านสำหรับส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน

โดยทั่วไปแท็ก แบบกึ่งพาสซีฟมีคุณสมบัติดังนี้

- 1) การทำงาน เนื่องจากแท็กแบบกึ่งพาสซีฟต้องอาศัยพลังงานที่ส่งมาจากเครื่องอ่านในการเริ่มต้นทำงาน ดังนั้นการทำงานของแท็กนี้ จึงเหมือนกับแท็กแบบพาสซีฟ
- 2) ขนาดและระยะเวลาการทำงาน เนื่องจากแท็กแบบกึ่งพาสซีฟมีแบตเตอรี่สำหรับหล่อเลี้ยงวงจรภายในแท็ก จึงทำให้มีขนาดใหญ่กว่า และมีระยะเวลาการทำงานที่ไกลกว่าแท็กแบบพาสซีฟ
- 3) เนื่องจากแท็กแบบกึ่งพาสซีฟมีแหล่งกำเนิดพลังงาน ดังนั้น อายุการใช้งานของแท็กอาร์เอฟไอดีนี้ จะขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของแหล่งกำเนิดพลังงาน

2.4.2.3 แท็กชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag)

ภายในแท็กชนิดแอ็กทีฟ จะมีแบตเตอรี่อยู่ แสดงได้ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งแบตเตอรี่นี้ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แท็กทำงาน การที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดจะไม่สามารถนำแท็กมาใช้งานได้อีก แต่สามารถออกแบบวงจรของแท็กให้ใช้กระแสไฟน้อยๆ ในการทำงาน ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี ลักษณะภายใน



รูปที่ 2.5 ลักษณะภายในของแท็กชนิดแอ็กทีฟ

ข้อดีของ Active Tag

1. มีหน่วยความจำขนาดใหญ่ (ประมาณ 1 เมกะไบต์)
2. ระยะเวลารับส่งข้อมูลไกล (ระยะไกลสุด 6 เมตร)
3. ทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี

ข้อเสียของ Active Tag

1. ราคาสูง
2. แท็กมีขนาดใหญ่
3. ระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด ตามอายุของแบตเตอรี่ประมาณ 3-7 ปี

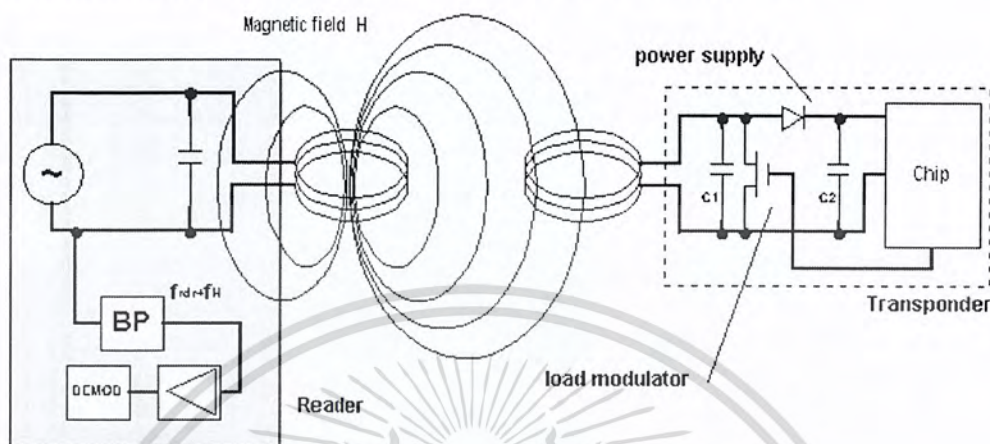
ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างแท็กกับเครื่องอ่าน จะทำได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้งาน เช่น เมื่อความถี่ใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ความยาวของเสาอากาศ (เป็นเส้นตรง) ที่เหมาะสมก็คือ 22.12 เมตร ในทางปฏิบัติไม่สามารถนำเสาอากาศที่ใหญ่ขนาดนั้นมาใช้งานกับแท็กขนาดเล็กได้ สายอากาศที่เหมาะสมจะใช้ร่วมกับแท็กมากที่สุด คือสายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็กหรือที่มีชื่อเรียกว่าสายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (Magnetic dipole Antenna) รูปแบบของสายอากาศแบบนี้จะมีอยู่หลากหลาย ทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันบนแกนอากาศ หรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เป็นวงลูปที่ทำขึ้นจากสายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้งที่เป็นลูปแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะและประเภทของงานด้วย โดยแท็กทั้ง 3 แบบ สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติแสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแท็กอาร์เอฟไอดี ทั้งสามแบบ

คุณสมบัติของแท็ก	ประเภทของแท็ก		
	แบบพาสซีฟ	แบบกึ่งพาสซีฟ	แบบแอ็กทีฟ
แหล่งพลังงาน	ไม่มีแหล่งกำเนิดพลังงานในตัวเอง แต่จะอาศัยพลังงานที่ส่งมาจากเครื่องอ่าน	มีแหล่งกำเนิดพลังงานในตัวเอง (แบตเตอรี่)	มีแหล่งกำเนิดพลังงานในตัวเอง (แบตเตอรี่)
การติดต่อสื่อสาร	เครื่องอ่านจะกำหนดการเริ่มต้นการสื่อสาร	เครื่องอ่านจะกำหนดการเริ่มต้นการสื่อสาร	เครื่องอ่านหรือแท็กจะกำหนดการเริ่มต้นการสื่อสาร
ขนาด	เล็ก 0.15mm x 0.15mm x 7.5um	กลาง	ใหญ่ 1.5x3x0.5 นิ้ว
ระยะการอ่าน	สั้น (2 mm ถึงหลายเมตร)	ปานกลาง (ไกลถึง 100 เมตร)	ไกล (ไกลถึง 1 กิโลเมตร)
การออกแบบหน่วยความจำ	แบบอ่านอย่างเดียว (RO: read only, แบบเขียนหนึ่งครั้งและอ่านได้หลายครั้ง (WORM: write once/read many), หรือแบบอ่านและเขียน (RW: read/write)		
ราคา	ไม่แพง	ปานกลาง	แพง

2.5 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบอาร์เอฟไอดี

สำหรับหลักการทำงานเบื้องต้นของระบบอาร์เอฟไอดี แสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี

โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีการมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่
2. เมื่อมีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กเริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็ก
3. คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด ความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต
4. ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

2.5.1 การเข้ารหัสข้อมูล (Encoding)

การเข้ารหัส (Encoding) คือ กระบวนการแปลงข้อมูลจากรูปแบบหนึ่งไปยังอีกรูปแบบหนึ่ง เพื่อให้ข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสมีคุณสมบัติเป็นไปตามที่ต้องการ เช่น ไม่มีองค์ประกอบกระแสดรบกวนหรือมีความทนทานต่อการแทรกสอดและสัญญาณรบกวน เป็นต้น สำหรับในระบบ อาร์เอฟไอดี ข้อมูลที่ทำการเข้ารหัสจะอยู่ในรูปของเลขฐานสองซึ่งเป็นข้อมูลที่มีค่าเพียงสองสถานะ คือ ค่า “0” และค่า “1” ดังนั้นจึงสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของรหัสไลน์โค้ด (line code) ได้

2.5.1.1 รหัสไลน์โค้ด

รหัสไลน์โค้ด (Line code) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลดิจิทัลผ่านสายทองแดงในระบบโทรศัพท์ ปัจจุบันรหัสไลน์โค้ดเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลก่อนที่จะส่งสัญญาณที่ได้ผ่านเข้าไปในระบบการสื่อสารดิจิทัล ถ้าพิจารณาจากขั้ว (Polarity) ของระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการแทนข้อมูลแล้ว รหัสไลน์โค้ดสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก คือ

- Unipolar ข้อมูลบิต “1” แทนด้วยระดับแรงดันไฟฟ้า $\pm V$ โวลต์ และข้อมูลบิต “0” แทนด้วยระดับแรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์
- Polar ข้อมูลบิต “1” แทนด้วยระดับแรงดันไฟฟ้า $+V$ โวลต์ และข้อมูลบิต “0” แทนด้วยระดับแรงดันไฟฟ้า $-V$ โวลต์
- Bipolar ข้อมูลบิต “1” แทนด้วยระดับแรงดันไฟฟ้า $+V$ และ $-V$ โวลต์ สลับกันไป และข้อมูลบิต “0” แทนด้วยระดับแรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์

รหัสไลน์โค้ดที่นิยมใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลที่รับส่งระหว่างแท็ก (tag) และเครื่องอ่าน (reader) ในระบบ อาร์เอฟไอดี ได้แก่ NRZ (non-return to zero), Unipolar RZ, Manchester, DBP (Differential Bi-Phase), Miller, Modified Miller, Differential และ PP (Pulse-Pause) เป็นต้น

1) รหัส Non-Return-to-Zero (NRZ)

สัญญาณ NRZ มีระดับสัญญาณ 2 ระดับ คือ $+V$ หรือ $-V$ โวลต์ โดยที่บิตข้อมูล “1” แทนด้วยระดับแรงดันไฟฟ้า $+V$ โวลต์ และบิตข้อมูล “0” แทนด้วยระดับแรงดันไฟฟ้า $-V$ โวลต์ ตลอดคาบเวลาของแต่ละบิต

ข้อดีของสัญญาณ NRZ คือ ต้องการแบนด์วิดท์น้อย มีความน่าจะเป็นของข้อผิดพลาดต่ำ และมีองค์ประกอบกระแสตรงน้อย เนื่องจากรูปคลื่นสัญญาณไม่มีองค์ประกอบกระแสตรง อย่างไรก็ตามข้อเสียของสัญญาณนี้ คือ ไม่มีความสามารถในการตรวจหาข้อผิดพลาด ไม่มีสัญญาณนาฬิกาในตัวเอง และต้องใช้แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าสองตัวในการสร้างสัญญาณ NRZ

2) รหัส Unipolar RZ

บิตข้อมูล “1” แทนด้วยแรงดันไฟฟ้า $+V$ โวลต์ ในช่วงครึ่งแรก และ 0 โวลต์ ในช่วงครึ่งหลังของคาบเวลาของบิต “1” และบิต “0” แทนด้วยแรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์ตลอดคาบเวลาของบิต “0”

ข้อดีของสัญญาณ Unipolar RZ คือ วงจรเข้ารหัสทำได้ง่ายเนื่องจากใช้แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าเพียงตัวเดียว นอกจากนี้กระบวนการกู้สัญญาณเวลา (timing recovery) ทำ

ได้ง่าย เนื่องจากสเปกตรัมกำลังของสัญญาณมีสเปกตรัมแบบเส้น (Line spectrum) ปรากฏอยู่ ณ ความถี่ R เฮิรตซ์ สำหรับข้อเสียของสัญญาณนี้ คือ มียอดประกอบไฟฟ้ากระแสตรง อาจเกิดการสูญเสียการเข้าจังหวะได้ ถ้าลำดับข้อมูลที่ทำการเข้ารหัสมีข้อมูลบิต “0” ติดกันจำนวนมาก ไม่มีความสามารถในการตรวจหาข้อผิดพลาด ต้องการแบนด์วิธสูง และความน่าจะเป็นของข้อผิดพลาดสูงเมื่อเทียบกับรหัสอื่น ๆ เช่น NRZ หรือ Manchester เป็นต้น

3) รหัส Manchester

การเข้ารหัส Manchester (บางครั้งเรียกว่ารหัส bi-phase หรือ split-phase) ทำให้ได้สัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ ณ จุดกึ่งกลางของคาบเวลาในแต่ละบิตข้อมูล โดยที่บิตข้อมูล “1” แทนด้วยสัญญาณพัลส์ที่มีแรงดันไฟฟ้า +V โวลต์ในช่วงครึ่งแรก และ -V โวลต์ในช่วงครึ่งหลังของคาบเวลาของบิต ในขณะที่บิตข้อมูล “0” แทนด้วยสัญญาณพัลส์ที่มีแรงดันไฟฟ้า -V โวลต์ในช่วงครึ่งแรก และ +V โวลต์ ในช่วงครึ่งหลังของคาบเวลาของบิต

ข้อดีของสัญญาณ Manchester คือ ไม่มีองค์ประกอบไฟฟ้ากระแสตรง การกู้สัญญาณเวลาทำได้ง่าย เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณที่ทุกๆ จุดกึ่งกลางของคาบเวลาของทุกบิตข้อมูล ความน่าจะเป็นของข้อผิดพลาดต่ำ แต่ก็มีข้อเสีย คือ ต้องการแบนด์วิธสูง และไม่สามารถในการตรวจหาข้อผิดพลาด ในทางปฏิบัติรหัส Manchester นิยมนำมาใช้ในการส่งข้อมูลจากแท็ก ไปยังเครื่องอ่านด้วยวิธีการมอดูเลชันแบบ โหลด (load modulation) ที่ใช้คลื่นพาห้แบบรอง (Sub carrier)

4) รหัส Miller

บิตข้อมูล “1” จะแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ (จากแรงดันไฟฟ้า +V โวลต์ไปเป็น -V โวลต์ กลับกัน) ณ จุดกึ่งกลางของคาบเวลาของบิตข้อมูล และบิตข้อมูล “0” หมายถึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ (นั่นคือระดับสัญญาณจะต่อเนื่องจากระดับสัญญาณของบิต “1”) นอกจากนี้ในกรณีที่บิต “0” ติดต่อกัน ระดับสัญญาณของบิต “0” ที่ตามหลังมาแต่ละตัวจะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะ ณ ตอนเริ่มต้นของคาบเวลาของบิต “0” นั้น ๆ จะเห็นได้ว่ารหัส Miller นั้นเป็นรหัสที่มีหน่วยความจำ กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณของบิต “1” จะขึ้นอยู่กับระดับสัญญาณของบิต “1” ตัวก่อนหน้า

สำหรับข้อดีของรหัส Miller คือ ต้องการแบนด์วิธต่ำ มียอดประกอบไฟฟ้ากระแสตรงน้อย การกู้สัญญาณเวลาทำได้ง่าย กระบวนการติดตามคลื่นพาห้ (carrier tracking) ทำได้ง่ายกว่าสัญญาณ Manchester และความน่าจะเป็นของข้อผิดพลาดใกล้เคียงกับรหัสโลว์โค้ดทั่ว ๆ ไป ในขณะที่ข้อเสียของสัญญาณนี้คือ ไม่มีความสามารถในการตรวจหาข้อผิดพลาด

5) รหัส Modified Miller

การเข้ารหัสแบบ Modified Miller จะคล้ายกับวิธีการเข้ารหัสแบบ Miller โดยการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณแต่ละครั้งจะถูกแทนด้วยสัญญาณพัลส์ค่าลบ (negative pulse) ที่มีคาบเวลาของสัญญาณพัลส์น้อยกว่าคาบเวลาของบิตข้อมูลมาก ๆ โดยทั่วไปรหัส Modified Miller นิยมนำมาใช้กับระบบอาร์เอฟไอดี ที่มีลักษณะการทำงานแบบคู่ควบเหนี่ยวนำ (inductive coupling) เพื่อส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปยังแท็ก

6) รหัส Differential

การเข้ารหัสแบบ Differential หรือรหัส NRZ-I (invert) ทำให้ได้ผลลัพธ์เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยที่บิตข้อมูล “1” จะแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ ณ ตอนเริ่มต้นของคาบเวลา และบิตข้อมูล “0” หมายถึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ (หรือในทางกลับกัน) สัญญาณ Differential มีความทนทานต่อความคลุมเครือของเฟส 180 องศา และมีแบนด์วิดท์ใกล้เคียงกับสัญญาณ Polar NRZ อย่างไรก็ตามการกู้สัญญาณเวลาจากสัญญาณ Differential ไม่ดี ถ้าในลำดับข้อมูลที่ทำให้การเข้ารหัสมีข้อมูลบิต “0” ติดกันจำนวนมาก ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการสั่นไหวของกระแสตรง (dc. wander) ได้

7) รหัส Differential Bi-Phase (DBP)

การเข้ารหัสแบบ DBP ทำให้ผลลัพธ์เป็นสัญญาณดิจิทัลที่บิตข้อมูล “0” จะแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ (จากระดับแรงดันไฟฟ้า $-V$ โวลต์ไปเป็นระดับแรงดันไฟฟ้า $+V$ โวลต์ หรือกลับกัน) ณ จุดกึ่งกลางของคาบเวลาของบิตข้อมูล และบิตข้อมูล “1” หมายถึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณ นอกจากนี้ระดับสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงในตอนเริ่มต้นของคาบเวลาของทุก ๆ บิตข้อมูล โดยทั่วไปสัญญาณ DBP ง่ายต่อการเข้ารหัสและไม่มีองค์ประกอบกระแสตรง

8) รหัส Pulse-Pause (PP)

ในแต่ละบิตข้อมูล สัญญาณพัลส์ค่าลบจะถูกสร้างขึ้น ณ ตอนเริ่มต้นของคาบเวลา (คาบเวลาของสัญญาณพัลส์มีค่าน้อยกว่าคาบเวลาของบิตข้อมูลมาก) โดยที่บิตข้อมูล “1” แสดงการหยุดจังหวะ (pause) เป็นเวลา t หน่วย ก่อนจะส่งสัญญาณพัลส์ตัวถัดไป และบิตข้อมูล “0” แสดงการหยุดจังหวะเป็นเวลา $2t$ หน่วย ก่อนจะส่งสัญญาณพัลส์ตัวถัดไป โดยทั่วไปรหัส PP นิยมใช้กับระบบอาร์เอฟไอดี ที่มีลักษณะการทำงานแบบคู่ควบเหนี่ยวนำเพื่อส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปยังแท็ก

2.5.2 การมอดูเลชันแบบดิจิทัล

การมอดูเลชัน คือ กระบวนการผสมสัญญาณข้อมูลเข้ากับสัญญาณคลื่นพาห์ที่มีความถี่สูง เพื่อให้สามารถส่งไปยังปลายทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ

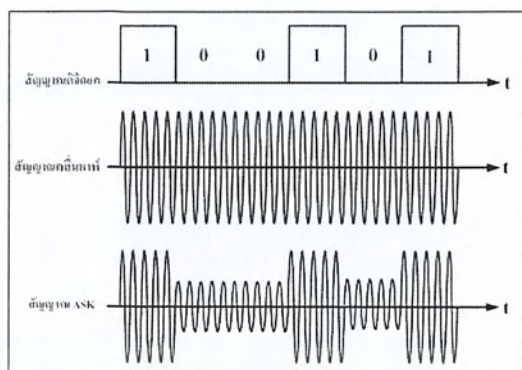
เมื่อต้องการจะส่งสัญญาณเสียง หรือข้อมูลผ่านช่องทางการสื่อสารจำเป็นต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าช่วยพาสัญญาณเหล่านั้นให้เคลื่อนย้ายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งขบวนการหรือขั้นตอนในการเพิ่มพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวเรียกว่าการมอดูเลต (Modulation) พลังงานไฟฟ้าซึ่งมีความถี่สูงและคงที่รวมทั้งหมดมีแอมพลิจูด (ขนาด) สูงด้วยนั้นเราเรียกว่าสัญญาณคลื่นพาห์ (Signal Carrier)

อุปกรณ์สำหรับมอดูเลตสัญญาณ (Modulator) จะสร้างสัญญาณคลื่นพาห์และรวมเข้ากับสัญญาณข้อมูลเพื่อให้สัญญาณมีความแรงพอที่จะส่งผ่านสื่อกลางไปยังอีกจุดหนึ่งที่อยู่ไกลออกไปได้และเมื่อถึงปลายทางก็จะมีอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่แยกสัญญาณคลื่นพาห์ออกให้เหลือเพียงสัญญาณข้อมูลเราเรียกวิธีการแยกสัญญาณนี้ว่าการดีมอดูเลต (Demodulation)

โดยทั่วไปการมอดูเลชันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ การมอดูเลชันเชิงแอมพลิจูด (AM: amplitude modulation) การมอดูเลชันเชิงความถี่ (FM: frequency modulation) และการมอดูเลชันเชิงมุม (PM: phase modulation) โดยสัญญาณข้อมูลที่จะทำการมอดูเลตเป็นสัญญาณอนาล็อก (analog signal) อย่างไรก็ตามในกรณีที่สัญญาณข้อมูลที่จะทำการมอดูเลตเป็นสัญญาณดิจิทัล การมอดูเลชันเหล่านี้จะถูกเรียกว่า ASK (amplitude shift keying), FSK (frequency shift keying), และ PSK (phase shift keying) ตามลำดับ

- การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (ASK)

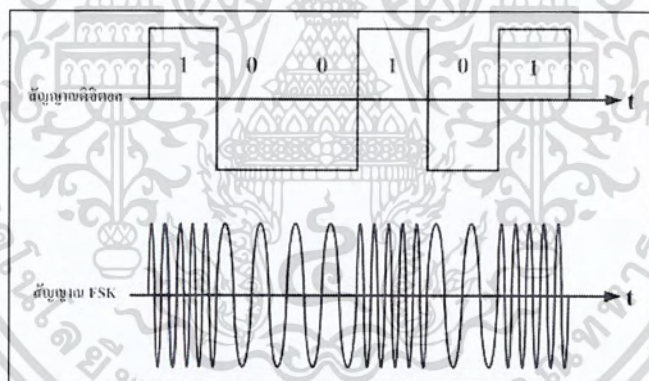
ความถี่ของคลื่นพาห์ (Carrier Wave) ซึ่งทำหน้าที่นำสัญญาณอนาล็อกผ่านตัวกลางสื่อสารนั้นจะคงที่ ลักษณะของสัญญาณมอดูเลตเมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูลดิจิทัลมีค่าเป็น 1 ขนาดของคลื่นพาห์จะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ขนาดของคลื่นพาห์จะต่ำกว่าปกติ การมอดูเลต ASK มักจะไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะจะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย



รูปที่ 2.7 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด

- การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK)

ในการมอดูเลตแบบ FSK ขนาดของคลื่นพาห์จะไม่เปลี่ยนแปลงที่เปลี่ยนแปลงคือ ความถี่ของคลื่นพาห์ นั่นคือ เมื่อบิตมีค่าเป็น 1 ความถี่ของคลื่นพาห์จะสูงกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นพาห์ก็จะต่ำกว่าปกติ

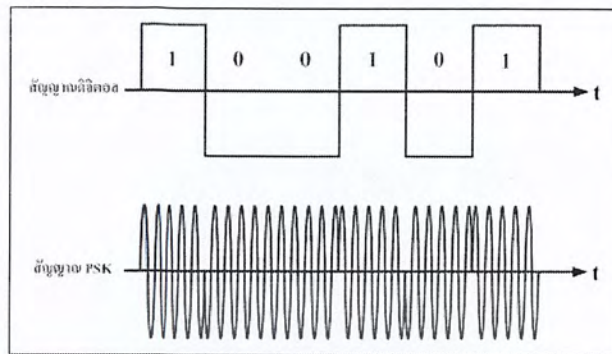


รูปที่ 2.8 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่

- การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK)

หลักการของ Phase Keying (PSK) คือ ค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาห์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ที่จะเปลี่ยนคือเฟสของสัญญาณ กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะของบิตจาก 1 ไปเป็น 0 หรือเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน (Shift) ไป 180 องศา ด้วยหลักการ PSK สามารถทำได้ทั้งแบบ 4 เฟส (0, 90, 180 และ 270 องศา) และแบบ 8 เฟส (0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 และ 315 องศา)

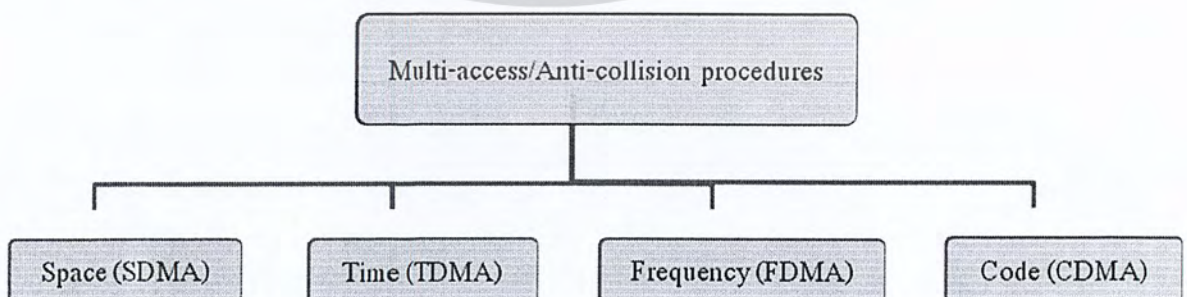
วิธีการแบบ PSK จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุด ได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุดแต่ วงจรการทำงานจะยุ่งยากกว่า และราคาสูงกว่า



รูปที่ 2.9 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส

2.6 การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-Collision)

ในการที่จะรับข้อมูลจากแท็กหลาย ๆ อัน ทั้งแท็ก และตัวเครื่องอ่าน ต้องได้รับการออกแบบให้รองรับสถานะที่มีแท็กมากกว่า 1 อันทำงาน (ส่งสัญญาณ) มิเช่นนั้นแล้วสัญญาณพาหะก็จะมีการส่งออก ในเวลาเดียวกันทำให้เกิดการชนของสัญญาณ (Collision) จะทำให้ไม่มีข้อมูลใด ๆ ส่งถึงตัวเครื่องอ่านเลย การติดต่อระหว่างแท็กกับตัวเครื่องอ่านเปรียบเสมือน บัสแบบอนุกรม แต่บัสชนิดนี้จะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณ ในระบบบัสที่ใช้เคเบิลเป็นตัวกลางก็ต้องการควบคุมไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณ อาร์เอฟไอดี ก็จำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันให้มีการส่งสัญญาณจากแท็กอันเดียวต่อช่วงเวลานั้นเช่นกัน วิธีการป้องกันการชนกันสามารถแก้ไขได้โดยการทำการเพิ่มฟังก์ชันป้องกันการชนกันบนแท็กและเครื่องอ่าน (Anti-collision) ซึ่งจะมีหลายเทคนิค ได้แก่ การจัดคิวการอ่านแท็กโดยทำเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ เมื่อแท็กถูกอ่านแล้วจะไม่มีมีการอ่านซ้ำอีก เช่น เทคนิค SDMA: Space Division Multiple Access, TDMA, FDMA, CDMA หรือเทคนิคขั้นสูงจะใช้ FTDMA และการกระโดดความถี่ (Frequency hopping) เข้าช่วย



รูปที่ 2.10 แสดงเทคนิคที่ใช้ในการอ่านหลายแท็กพร้อมกัน

2.7 การสื่อสารแบบอนุกรม

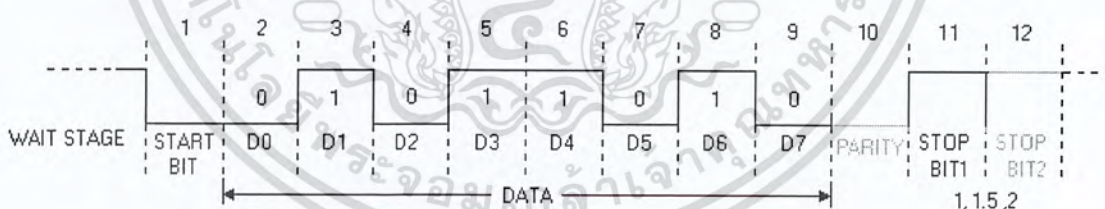
การสื่อสารแบบอนุกรมแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัสและการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส การสื่อสารแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิกา ร่วมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสก็คือ คีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายของสัญญาณนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครนัสนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา, ข้อมูลและกราวด์

2.7.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือ การรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกา ร่วมด้วย แต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่า อัตราบอด หรือบอดเรต (Baud rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bit per second: bps)

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. บิตเริ่มต้น (start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี (parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) มีขนาด 1, 1.5 หรือ 2 บิต



รูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา DATA จะมีสถานะลอจิก "1" เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา DATA มีลอจิก "0" ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น (start bit) จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดหรือบิต LSB ก่อน ซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งอาจมีจำนวน 5, 6, 7 หรือ 8 บิตก็ได้ จากนั้นตามด้วยบิตพาริตี (parity bit) ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือ บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) โดยจะเป็นการทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก "1" อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต, 1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูล แบบอะซิงโครนัสหรืออัตราบอดหรือบอดเรตที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีด้วยกันหลายค่า ได้แก่ 110, 150, 300, 600, 1,200, 2,400, 4,800, 9,600 และ 19,200 บิตต่อวินาที โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากบอดเรต คือ ค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที สมมติว่า ข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี มีบิตเริ่มต้น 1 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบต์จะมีความยาวเท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9,600 บิตต่อวินาที ก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที

การตรวจสอบพาริตีสามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (odd), แบบคู่ (even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตีก็ได้ พาริตีคี่ หรือพาริตีคู่แสดงถึงจำนวนลอจิก "1" ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์รวมบิตพาริตีว่ามีจำนวนเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ ยกตัวอย่าง ข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิต มีค่าเท่ากับ 99H หรือ 10011001B จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก "1" จำนวน 4 ตัวซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตีเป็นคู่ ค่าของบิตพาริตีจะต้องมีลอจิกเป็น "0" แต่ถ้ากำหนดพาริตีเป็นคี่ ค่าของบิตพาริตีจะต้องเป็น "1" เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งบิตพาริตีเป็นคี่

บิตพาริตีถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter: เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลอนุกรม ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดภายหลัง) ซึ่งทางภาครับจะต้องกำหนดคุณสมบัติการตรวจสอบพาริตีที่ตรงกันเอาไว้ว่าจะตรวจสอบพาริตีคี่หรือพาริตีคู่ จากนั้นภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบค่าพาริตีที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือเป็นคี่ โดยการนับจำนวนลอจิก 1 ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตีด้วย ถ้ากำหนดพาริตีไว้เป็นคู่แต่อ่านค่าตัวเลขในการนับออกมาได้ตัวเลขเป็นคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้งานทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่มันสามารถตรวจสอบได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการรับส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตีบิตเป็น NONE นั้นทั้งภาครับและภาคส่ง จะไม่มีการตรวจสอบพาริตี

2.8 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้ส่งผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดซึ่งอยู่ห่างไกลกัน โดยสมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า

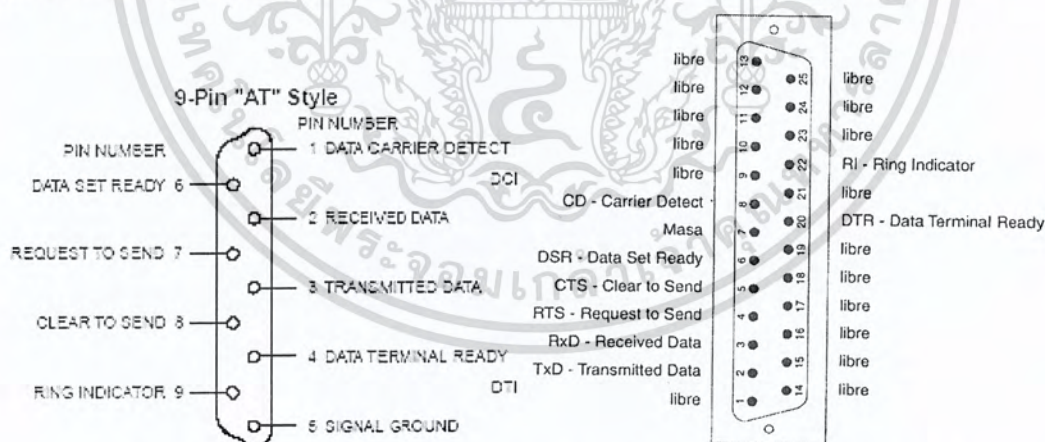
EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ -3V จนถึง -12V แสดงว่า มีข้อมูล (mark) และ +3V ถึง +12V แสดงว่าเป็น ช่องว่าง (space)

มาตรฐาน RS-232 ถูกใช้ในการกำหนดรูปแบบการสื่อสารข้อมูลกัน ระหว่างอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment: DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating: DCE) อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เราเห็นได้ชัดคือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ทีโมเด็มจะเป็นแบบ DCE

2.8.1 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้ หรือ DB-9 ตัวผู้ ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาต่อใช้งาน เพียง 9 เส้นเช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่นๆ ที่เคยมีการใช้งานมาในอดีตไม่ค่อยมีสำคัญมากนักจึงถูกยกเลิกไป โดยแสดงรูปร่างและตำแหน่งขาในรูปที่ 2.12 ส่วนหน้าที่การทำงานของขาต่างๆ ในตารางที่ 2.3

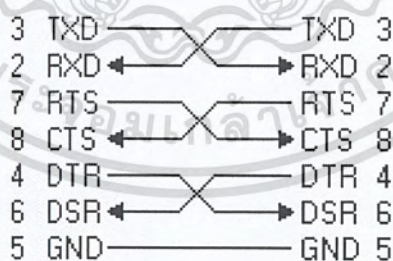


รูปที่ 2.12 แสดงขาสัญญาณของคอนเน็กเตอร์ แบบ DB9 และแบบ DB25

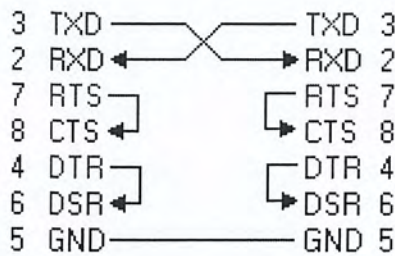
ตารางที่ 2.3 แสดงหน้าที่การทำงานของขาอนุกรม

คอนเน็กเตอร์ DB-9	คอนเน็กเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	8	Data Carrier Detect: DCD	Input
2	3	Received Data : RxD	Input
3	2	Transmitted Data : TxD	Output
4	20	Data Terminal Ready : DTR	Output
5	7	Signal Ground : GND	-
6	6	Data Set Ready : DSR	Input
7	4	Request To Send : RTS	Output
8	5	Clear To Send : CTS	Input
9	22	Ring Indicator : RI	Input

สำหรับการเชื่อมต่อสายระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกแสดงดังในรูปที่ 2.13 และ 2.14 ลูกศรในรูปแสดงถึงทิศทางของข้อมูล การเชื่อมต่อในรูปที่ 2.13 เป็นการเชื่อมต่อแบบ NULL MODEM หรือการเชื่อมต่อโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านโมเด็ม ส่วนการเชื่อมต่อในรูปที่ 2.14 เป็นการเชื่อมต่อโดยใช้สายสัญญาณน้อยที่สุดเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์



รูปที่ 2.13 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ Null modem



รูปที่ 2.14 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น

สำหรับรายละเอียดหน้าที่การทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232 แสดงได้ดังนี้

- ขา Data Carrier Detect: DCD หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect: CD ขานี้จะแอกติฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห้จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก

- ขา Receive Data: RD หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยจะนำข้อมูลที่อ่านได้ไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์

- ขา Transmitted Data: TD หรือ TxD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลอนุกรมออกจากคอมพิวเตอร์ โดยการนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลส่งออกไป

- ขา Data Terminal Ready: DTR เป็นขาเอาต์พุตที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าการติดต่อกับอุปกรณ์ปลายทาง โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ และถ้าใช้การเชื่อมต่อแบบใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องเชื่อมต่อขา DTR และ DSR ของพอร์ตอนุกรมเข้าด้วยกัน และจะต้องต่อเชื่อมเข้ากับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห้

- ขา Signal Ground: GND เป็นขากราวด์ของสัญญาณ

- ขา Data Set Ready: DSR ขานี้จะใช้ควบคู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอก

- ขา Request To Send: RTS เป็นขาเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้อุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลมาให้คอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ซึ่งในกรณีที่มีการเชื่อมต่อแบบ 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS เข้าด้วยกัน เพื่อให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

- ขา Clear To Send: CTS เป็นขาอินพุตทำหน้าที่รอรับสัญญาณที่ส่งเข้ามา เมื่อมีการส่งสัญญาณเข้ามาที่ขานี้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ขานี้จะใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้วหรือยัง

- ขา Ring Indicator: RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มแล้วยังมีความต้องการตรวจสอบสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์

2.9 UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)

UART คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั่นเอง สำหรับการสื่อสารอนุกรมบนคอมพิวเตอร์แล้ว UART ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการสื่อสารอนุกรม

หน้าที่หลักของ UART คือ แปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบขนานจากซีพียูให้อยู่ในรูปแบบอนุกรมแบบอะซิงโครนัส แล้วส่งทำการส่งออกไป และแปลงสัญญาณอนุกรมแบบอะซิงโครนัสที่ป้อนเข้ามายัง UART ให้เป็นแบบขนานก่อนที่จะส่งเข้าสู่ซีพียู ซึ่งนอกจาก UART จะส่งข้อมูลไปยังซีพียูแล้ว ยังแจ้งรายละเอียดอื่นๆ ของข้อมูล ให้คอมพิวเตอร์รับทราบด้วย อาทิ อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลหรือบอดเรต, รูปแบบการส่งข้อมูล, ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งข้อมูล เช่น ผิดพลาดจากพาริตี, เฟรมข้อมูล, โอเวอร์รัน เป็นต้น

ภายใน UART จะมีวงจรสร้างบอดเรตโปรแกรมได้ (programmable baud rate generator) โดยการกำหนดค่าตัวหารให้กับสัญญาณนาฬิกาของ UART โดยตัวหารนี้จะมีขนาด 16 บิต ดังนั้นจะสามารถกำหนดตัวหารอยู่ในช่วง 1-65,535 สามารถรับส่งข้อมูลได้ทั้งแบบ Half Duplex และแบบ Full Duplex โดยการส่งแบบ Half Duplex เป็นการส่งแบบทิศทางเดียว ส่วนการส่งแบบ Full Duplex นั้นสามารถรับและส่งข้อมูลในคราวเดียวกันได้

2.9.1 ชนิดของ UART

ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปมี UART ที่ใช้งานกันอยู่ 2 เบอร์ คือ 8250 ซึ่งเป็น UART มาตรฐานที่มีใช้กันอย่างยาวนาน UART เบอร์นี้จะมียัพเฟอร์สำหรับรับและส่งข้อมูลตำแหน่งเดียวกัน ทำให้การรับและการส่งข้อมูลถูกจำกัดความเร็วอยู่ที่ 57.6 กิโลบิตต่อวินาทีเท่านั้น แต่ UART เบอร์นี้ก็ถือว่าเป็นต้นแบบของ UART ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์ทุก ๆ รุ่นจะต้องสนับสนุนการทำงานตามรูปแบบของ UART เบอร์นี้

UART อีกเบอร์หนึ่งคือ 16450 มีความสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 115,200 บิตต่อวินาที และเพิ่มรีจิสเตอร์สำหรับพักข้อมูลสำหรับ UART นอกจากนั้นยังเพิ่มส่วนของชิพรีจิสเตอร์แบบ FIFO (First IN First OUT) ขนาด 16 ไบต์ เข้าไปทำให้สามารถสนับสนุนความเร็วในการ

รับส่งข้อมูลที่ 256 กิโลบิตต่อวินาทีได้ โดยคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันใช้ UART เบอร์นี้หรือใหม่กว่า เช่น เบอร์ TL16C750 ซึ่งมีรีจิสเตอร์แบบ FIFO ขนาด 64 ไบต์ ทำงานได้ที่ระดับแรงดัน +5 V และ +3V มีโหมดประหยัดพลังงาน สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 1 เมกะบิตต่อวินาที เมื่อใช้ สัญญาณนาฬิกา 16 MHz

อย่างไรก็ตาม ความเร็วในการส่งข้อมูลที่มาจากของ UART เบอร์ใหม่ๆ ก็ไม่ได้ช่วยให้ การรับส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์เร็วขึ้น เนื่องจากว่าคอมพิวเตอร์ยังใช้ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา ในการแปลงข้อมูลเพียง 1.8432 MHz เท่านั้น

2.10 ตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ตอนุกรม

ตำแหน่งแอดเดรสพื้นฐานของพอร์ตอนุกรมมีตำแหน่งดังนี้คือ

COM1 มีแอดเดรสพื้นฐาน (Base) อยู่ที่ 3F8H

COM2 มีแอดเดรสพื้นฐาน (Base) อยู่ที่ 2F8H

COM3 มีแอดเดรสพื้นฐาน (Base) อยู่ที่ 3E8H

COM4 มีแอดเดรสพื้นฐาน (Base) อยู่ที่ 2E8H

เมื่อเริ่มเปิดเครื่องเพื่อใช้งานคอมพิวเตอร์ ไบออสจะทำการตรวจสอบตำแหน่งแอดเดรสของ พอร์ตอนุกรมทั้งหมด ถ้าไบออสตรวจพบแอดเดรสของพอร์ตอนุกรม ไบออสจะนำแอดเดรสที่ ตรวจพบไปเก็บไว้ในหน่วยความจำขนาด 2 ไบต์ สำหรับ COM1 จะเก็บไว้ที่แอดเดรสตำแหน่ง 0000:0400H และ 0000:0401H ส่วนตำแหน่งอื่นๆ มีรายละเอียดดังนี้

COM2 เก็บไว้ที่ 0000:0402H - 0000:0403H

COM3 เก็บไว้ที่ 0000:0404H - 0000:0405H

COM4 เก็บไว้ที่ 0000:0406H - 0000:0407H

นอกจากนั้นแอดเดรสของหน่วยความจำตำแหน่ง 0000:0411H ยังใช้เพื่อแสดงจำนวนของ พอร์ตอนุกรมที่มีอยู่ในคอมพิวเตอร์อีกด้วย

2.11 วงจรภายในและรีจิสเตอร์ของพอร์ตอนุกรม RS-232

เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปสามารถต่อพอร์ตอนุกรม RS-232 สูงสุดได้ 4 พอร์ต ซึ่งจะมีชื่อเรียกเป็น COM1, COM2, COM3 และ COM4 ซึ่งพอร์ตอนุกรมแต่ละตัวจะใช้ UART ภายในคอมพิวเตอร์ในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก การทำงานของวงจรภายในพอร์ตอนุกรมประกอบด้วยรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต 8 ตัวที่ใช้งานร่วมกับ UART ตำแหน่งแอดเดรสของรีจิสเตอร์ภายในพอร์ตอนุกรมสามารถคำนวณได้จากค่ารีจิสเตอร์พื้นฐานของพอร์ตอนุกรม (Base register) ตัวอย่างเช่น พอร์ตอนุกรม COM1 มีแอดเดรสพื้นฐานอยู่ที่ 3F8H (Base = 3F8H) ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ต่างๆ จะเป็นตำแหน่งที่บวกเข้าไปกับค่า 3F8H โดยรีจิสเตอร์ที่ใช้งานกับพอร์ตอนุกรมมีดังนี้

2.11.1 รีจิสเตอร์ 00H

เป็นรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับเก็บข้อมูลที่ได้รับเข้ามาหรือเตรียมข้อมูลก่อนที่จะส่งออกไป มีแอดเดรสอยู่ที่ Base+00H ถ้าเป็น COM1 จะมีแอดเดรสอยู่ที่ 3F8H การติดต่อกับรีจิสเตอร์นี้เพื่อเก็บข้อมูลที่ต้องการจะส่งจะต้องกำหนดให้บิต DLAB ในรีจิสเตอร์กำหนดรูปแบบข้อมูล (03H) มีสถานะเป็น "0" ซึ่งการเขียนข้อมูลไปยังแอดเดรสนี้ เป็นการส่งข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ส่งข้อมูล และข้อมูลจะถูกส่งออกไปแบบอนุกรม ในกรณีรับข้อมูล เมื่อรับข้อมูลเข้ามาและแปลงเป็นแบบขนานแล้ว ข้อมูลแบบขนานจะถูกส่งไปยังรีจิสเตอร์เก็บข้อมูล หลังจากมีการอ่านค่าจากรีจิสเตอร์นี้แล้ว รีจิสเตอร์นี้จะถูกเคลียร์ เพื่อให้พร้อมสำหรับการรับข้อมูลในไบต์ต่อไป

2.11.2 รีจิสเตอร์ 01H

เป็นรีจิสเตอร์อีนابلการอินเตอร์รัปต์ ซึ่งจะใช้เพื่อเซตโหมดในการอินเตอร์รัปต์ของพอร์ตอนุกรม ซึ่งเป็นการกำหนดให้ UART สร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ขึ้นมา มีแอดเดรสอยู่ที่ Base+01H ถ้าเป็น COM1 จะมีแอดเดรสอยู่ที่ 3F9H รายละเอียดในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ 01H มีดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	SINP	ERBK	TBE	RxRD

- บิต 4-7

SINP
- บิตเหล่านี้ไม่ถูกใช้งาน มีสถานะเป็น "0"

เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนสถานะที่ขาอินพุต CTS, DSR, DCD หรือขา RI

"1" เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์

"0" ดิส์เอเบิล

ERBK	เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากเกิดความผิดพลาดขึ้นด้วยสาเหตุจาก พาริตี, โอเวอร์รัน, เฟรมข้อมูล หรือการเบรกข้อมูล “1” เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ “0” คิสเอเบิล
TBE	เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์เมื่อรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลว่าง “1” เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ “0” คิสเอเบิล
RxRD	เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ได้รับข้อมูลแล้ว “1” เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ “0” คิสเอเบิล

2.11.3 รีจิสเตอร์ 02H

เป็นรีจิสเตอร์แสดงโหมดการอินเตอร์รัปต์ ใช้เพื่อตรวจสอบโหมดของการอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้น มีแอดเดรสอยู่ที่ Base+02H โดยมีรายละเอียดของแต่ละบิตดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	0	ID1	ID0	PND

บิต 3-7 ไม่ได้ใช้งาน กำหนดเป็น "0"

ID1, ID0 ใช้งานร่วมกันเพื่อแจ้งสาเหตุของการอินเตอร์รัปต์

"00" เกิดการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของขาอินพุต (มีนัยสำคัญเป็นอันดับ 4 หรือนัยสำคัญต่ำสุด)

"01" เกิดการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลว่าง (มีนัยสำคัญอันดับ 3)

"10" เกิดการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากข้อมูลถูกเก็บลงในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลแล้ว (มี นัยสำคัญอันดับ 2)

"11" เกิดการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากความผิดพลาดในการส่งข้อมูลหรือเกิดการหยุดกระทันหัน (มีนัยสำคัญเป็นอันดับ 1 หรือนัยสำคัญสูงสุด)

PND ใช้แสดงสถานะของการเกิดอินเตอร์รัปต์

"1" ไม่มีการอินเตอร์รัปต์

"0" มีการอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้น

เมื่อมีการสร้างสัญญาณอินเทอร์รัปต์ขึ้น จะต้องมีการเคลียร์ค่าก่อนที่จะให้เกิดอินเทอร์รัปต์ครั้งต่อไป โดยสามารถทำได้ดังนี้ คือ

- ถ้าเกิดอินเทอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของขาอินพุต จะต้องอ่านค่าจากรีจิสเตอร์แสดงสถานะของโมเด็ม (รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 06H) เพื่อเคลียร์ค่าการอินเทอร์รัปต์
- ถ้าเกิดการอินเทอร์รัปต์เนื่องจากบัฟเฟอร์ส่งข้อมูลว่าง จะต้องเขียนข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ข้อมูล (รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 00H) หรืออ่านค่ารีจิสเตอร์แสดงสถานะอินเทอร์รัปต์ (รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 02H) เพื่อเคลียร์ค่าการอินเทอร์รัปต์
- ถ้าเกิดอินเทอร์รัปต์เนื่องจากการเก็บข้อมูลลงในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับข้อมูลเรียบร้อยแล้วจะต้องเคลียร์ค่าอินเทอร์รัปต์โดยการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์
- ถ้าเกิดอินเทอร์รัปต์เนื่องจากความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลหรือเกิดการเบรก จะต้องเคลียร์ค่าอินเทอร์รัปต์โดยการอ่านค่ารีจิสเตอร์แสดงสถานะการรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรม

2.11.4 รีจิสเตอร์ 03H

เป็นรีจิสเตอร์กำหนดรูปแบบของข้อมูล มีรายละเอียดของแต่ละบิตดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
DLAB	BRK	PAR2	PAR1	PAR0	STOP	DAB1	DAB0

DLAB

ใช้ในการกำหนดหน้าที่การทำงานของรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ (00H)

"1" เข้าสู่โหมดการหารค่าบอดเรต

"0" เป็นการเข้าถึงรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ (รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 00H) และรีจิสเตอร์สำหรับเอ็นเอเบิลการอินเทอร์รัปต์ (รีจิสเตอร์ตำแหน่ง 01H) เมื่อบิต DLAB เป็น "1" รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ (00H) และรีจิสเตอร์เอ็นเอเบิลการอินเทอร์รัปต์ (01H) จะใช้สำหรับโหลดค่าการหารความถี่สำหรับกำหนดค่าบอดเรต โดยรีจิสเตอร์ 00H เก็บค่าตัวหารไบต์ต่ำ ส่วนรีจิสเตอร์ 01H ใช้เก็บค่าตัวหารไบต์สูง การหาค่าบอดเรตสามารถเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$\text{ค่าบอดเรต} = 115,200 / \text{ค่าตัวหาร 16 บิต}$$

ค่าตัวเลข 115,200 มาจากค่าความถี่ของคริสตัลที่ใช้อยู่ในวงจร UART

ภายในคอมพิวเตอร์ โดยคริสตัลที่ใช้มีความถี่ 1.8432MHz จากนั้นภายใน UART จะทำการหารค่าความถี่นี้ด้วย 16 ทำให้ได้ค่าความถี่ 115,200 Hz ออกมา ค่าตัวหาร 16 บิต = ข้อมูลในรีจิสเตอร์ 00H + (256 X ข้อมูลในรีจิสเตอร์ 01H)

BRK	ใช้ควบคุมการหยุดถ่ายทอดข้อมูล "1" กำหนดให้สามารถหยุดการรับส่งข้อมูลกะทันหันได้ "0" ไม่มีการเบรก
PAR2, PAR1, PAR0	ใช้กำหนดบิตพาริตี "000" ไม่ใช้บิตพาริตี "001" กำหนดพาริตีคู่ "011" กำหนดพาริตีคี่ "101" มาร์ก (mark) "111" ช่องว่าง (space)
STOP	ใช้กำหนดจำนวนบิตปิดท้าย "1" มีบิตปิดท้าย 2 บิต "0" มีบิตปิดท้าย 1 บิต
DAB1, DAB0	ใช้ร่วมกันในการกำหนดจำนวนบิตของข้อมูลที่ต้องการถ่ายทอด "00" จำนวนบิตข้อมูลเท่ากับ 5 บิต "01" จำนวนบิตข้อมูลเท่ากับ 6 บิต "10" จำนวนบิตข้อมูลเท่ากับ 7 บิต "11" จำนวนบิตข้อมูลเท่ากับ 8 บิต

2.11.5 รีจิสเตอร์ 04H

เป็นรีจิสเตอร์ควบคุมโมเด็ม ใช้ตรวจสอบบิตสำหรับการติดต่อกับโมเด็ม เช่น RTS หรือ DTR มีแอดเดรสอยู่ที่ Base+04H มีรายละเอียดหน้าที่ของแต่ละบิตดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	LOOP	OUT2	OUT1	RTS	DTR

บิต 5-7	ไม่ได้ใช้งาน กำหนดเป็น "0"
LOOP	"1" เป็นการอินาเบิลการส่งค่ากลับ "0" เป็นการดิสเอเบิล
OUT2, OUT1	"1" เป็นการอินาเบิลการใช้งานภายใน "0" เป็นการดิสเอเบิล

RTS	ใช้ควบคุมการทำงานของ RTS (Ready To Send) "1" เป็นการอินพุตเปิด RTS สำหรับคอนเนกเตอร์ของพอร์ตอนุกรม RS-232 "0" เป็นการดีสคอนเนกต์
DTR	ใช้ควบคุมการทำงานของ DTR Data Terminal Ready) "1" เป็นการอินพุตเปิด DTR สำหรับคอนเนกเตอร์ของพอร์ตอนุกรม RS-232 "0" เป็นการดีสคอนเนกต์

2.11.6 รีจิสเตอร์ 05H

เป็นรีจิสเตอร์แสดงสถานะการรับและการส่งข้อมูลแบบอนุกรมของ UART ซึ่งจะใช้
งานร่วมกับรีจิสเตอร์สำหรับแสดงโหมดและสถานะของการอินเทอร์รัพต์ (รีจิสเตอร์ 02H) เพื่อ
แสดงสาเหตุของการเกิดอินเทอร์รัพต์ มีรายละเอียดหน้าที่ของแต่ละบิตดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	TXE	TBE	BREK	FRME	PARE	OVFE	RxRD

TXE (Transmitter Empty)

"1" แสดงว่าทั้งในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลและชิฟต์รีจิสเตอร์ว่าง
"0" แสดงว่ามีข้อมูล 1 ไบต์เก็บอยู่ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลและ
ชิฟต์รีจิสเตอร์

TBE (Transmitter Buffer Empty)

"1" แสดงว่าภายในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลว่าง
"0" แสดงว่ามีข้อมูล 1 ไบต์เก็บอยู่ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล

BREK (Break)

"1" แสดงว่า UART ตรวจพบการหยุดกะทันหัน
"0" แสดงว่าไม่มีการหยุดรับส่งข้อมูลกะทันหัน

FRME (Frame Error)

"1" แสดงว่า UART ตรวจพบความผิดพลาดแบบเฟรม
"0" แสดงว่าไม่มีข้อผิดพลาด

PARE (Parity Error)

"1" แสดงว่า UART ตรวจพบความผิดพลาดแบบพาริตี
"0" แสดงว่าไม่มีข้อผิดพลาด

OVRE (Overrun Error)

- "1" แสดงว่า UART ตรวจพบความผิดพลาดแบบโอเวอร์รัน
- "0" แสดงว่าไม่มีข้อผิดพลาด

RxRD (Received Data Ready)

- "1" แสดงว่ามีการรับข้อมูลเข้ามาเก็บไว้ในบัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูล
- "0" แสดงว่าไม่มีข้อมูลมาเก็บ

2.11.7 รีจิสเตอร์ 06H

เป็นรีจิสเตอร์แสดงสถานะของโมเด็ม ใช้แสดงสถานะของขา DCD, RI, DSR และ CTS มีแอดเดรสอยู่ที่ Base+06H มีรายละเอียดหน้าที่ของแต่ละบิตดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	TXE	TBE	BREK	FRME	PARE	OVFE	RxRD

- DCD ใช้แสดงสถานะของ DCD
- "1" แสดงว่าสัญญาณที่ขา DCD เป็น "1"
 - "0" แสดงว่าสัญญาณที่ขา DCD เป็น 0

- RI ใช้แสดงสถานะของขา RI
- "1" แสดงว่าสัญญาณที่ขา RI เป็น "1"
 - "0" แสดงว่าสัญญาณที่ขา RI เป็น "0"

- DSR ใช้แสดงสถานะของขา DSR
- "1" แสดงว่าสัญญาณที่ขา DSR เป็น "1"
 - "0" แสดงว่าสัญญาณที่ขา DSR เป็น "0"

- DCTS (Delta Clear to Send) ใช้แจ้งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของบิต CTS
- "1" แสดงว่าสัญญาณที่ขา CTS เป็น "1"
 - "0" แสดงว่าสัญญาณที่ขา CTS เป็น "0"

- DDCD (Delta Data Carrier Detect) ใช้แจ้งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในบิต DDCD
- "1" แสดงว่าบิต DCD มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการอ่านค่าครั้งที่แล้ว
 - "0" แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

- DRI (Delta Ring Indicator)
- "1" บิต RI มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการอ่านค่าครั้งที่แล้ว
 - "0" แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

DDSR (Delta Data Set Ready)

"1" บิต DSR มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

"0" แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

DCTS (Delta Clear To Send)

"1" บิต CTS มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบจากการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

"0" แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการอ่านค่าครั้งที่แล้ว

2.11.8 รีจิสเตอร์ 07H

เป็นรีจิสเตอร์สำหรับการเก็บข้อมูลชั่วคราวหรือใช้ทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำแรมขนาด 1 ไบต์ ซึ่งจะไม่มีผลใดๆ กับการใช้งาน UART

2.12 PIC คืออะไร

PIC คือ microcontroller ตระกูลหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller โดยหัวใจสำคัญของ microcontroller ตระกูลนี้ คือ พยายามรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวของมันเอง ไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMORY, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, PWM, A/D โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำ จึงทำให้ PIC คล้ายกับ CPU

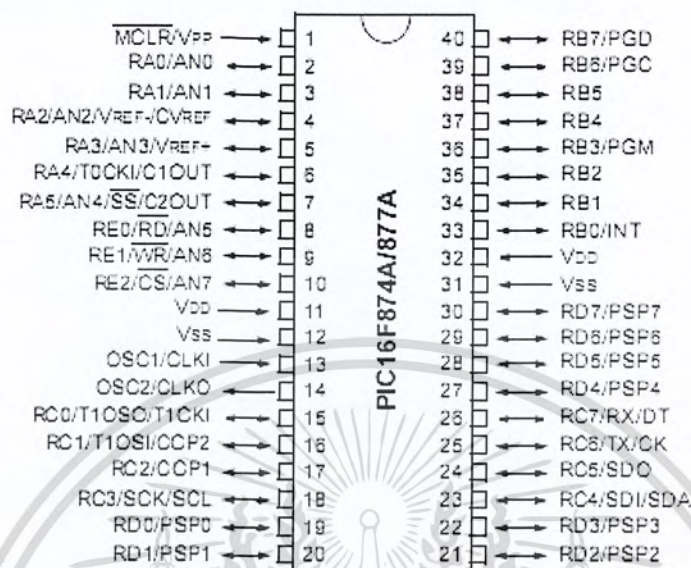
2.12.1 PIC16F877A

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16FXXX ได้รับความนิยมมากที่สุด เพราะเป็นชิปรุ่นแรกที่หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลช และมีหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ซึ่งมีหลายเบอร์ให้เลือกใช้ตามขนาดของงาน และความสามารถของชิปแต่ละตัว ซึ่งการทำโครงการในครั้งนี้จะเลือกใช้ PIC16F877A เพราะเป็นชิปที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย หาซื้อง่าย และราคาไม่แพงมากนัก โดยมีคุณสมบัติหลักๆ ดังต่อไปนี้

- มีคำสั่งให้ใช้งาน 35 คำสั่ง
- คำสั่งหนึ่งๆ ใช้เวลาทำงาน 1 ถึง 2 Cycle
- ทำงานได้สูงสุดที่สัญญาณนาฬิกาตั้งแต่ไฟตรงถึง 20MHz
- ทำงานแบบ Pipe-line (มี 2 ท่อ) ทำให้ ณ เวลาหนึ่งทำงาน 2 อย่างพร้อมๆ กันได้
- หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบ Flash มีขนาด 8K Word (1 word = 14 บิต)
- มีหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory RAM) ขนาด 368 ไบต์
- มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 256 ไบต์

- ตอบสนองกับอินเตอร์รัพต์ทั้งหมด 14 แหล่ง
- มี Stack ให้ใช้ได้สูงสุด 8 ระดับ
- มีระบบ Power On Reset, Power Up Timer, Oscillator Start-up และ Watchdog timer
- มีระบบ Code Protection
- มีโหมดประหยัดพลังงาน (Sleep Mode)
- สัญญาณนาฬิกามีหลายโหมดให้เลือกใช้งาน คือ อาจจะใช้ XTAL หรือ วงจร RC ก็ได้
- สามารถโปรแกรมด้วยไฟ +5 V_{DC} ได้
- ใช้การโปรแกรมแบบ In-Circuit Serial Programming
- ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2 V_{DC} ถึง 5.5 V_{DC}
- Current Sink และ Current Source อยู่ที่ 25 mA
- มี Timer/Counter 3 ตัว
- มีโมดูล Capture/Compare/PWM อีก 2 ชุด
- มี A/D Converter แบบ 10 บิต
- มีระบบ USART สำหรับต่อการสื่อสารแบบ RS232
- มีระบบตรวจระดับไฟเลี้ยง (Brown-out reset)
- มี I/O พอร์ตทั้งหมด 5 พอร์ต แต่ละพอร์ตมีจำนวนบิตไม่เท่ากัน

2.12.2 โครงสร้างขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A



รูปที่ 2.15 แสดงขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ PIC16F877A เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา มีขาสัญญาณต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. MCLR/V_{pp}: Master Clear (Reset) Input / Programming Voltage Input ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณรีเซ็ต (Reset) เมื่อขานี้ได้รับลอจิก 0 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกรีเซ็ต และทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณรับแรงดัน ขณะทำการบันทึกโปรแกรมลงหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์

2. V_{DD}: Positive Supply (+2.00 V ถึง +5.5 V) ทำหน้าที่เป็นขาไฟเลี้ยงของไมโครคอนโทรลเลอร์

3. V_{SS}: Ground ทำหน้าที่เป็นขา GND

4. OSC1/CLKI: Oscillator Crystal Input / External Clock Source Input

5. OSC2/CLKO: Oscillator Crystal Output / External Clock Source Output ทั้งสองขาทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณสำหรับต่อ crystal ในกรณีที่อยู่ในโหมดการใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก (Crystal Oscillator Clock)

6. RA0-RA5: พอร์ต A มีจำนวน 6 ขา เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง (Bi-directional I/O Port) คือ เป็นได้ทั้งพอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุต ใช้ในการส่งและรับข้อมูล นอกจากนี้ยังทำหน้าที่อื่นๆ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงหน้าที่ของขาสัญญาณพอร์ต A

พอร์ต	สัญญาณ	หน้าที่
RA0	AN0	รับสัญญาณอินพุตสำหรับ ADC ช่อง 0
RA1	AN1	รับสัญญาณอินพุตสำหรับ ADC ช่อง 1
RA2	AN2	รับสัญญาณอินพุตสำหรับ ADC ช่อง 2
RA3	AN3	รับสัญญาณอินพุตสำหรับ ADC ช่อง 3
RA4	TOCK1	รับสัญญาณ Input Clock ของ Timer 0
RA5	AN4	รับสัญญาณอินพุตสำหรับ ADC ช่อง 4
	SS	รับสัญญาณ Slave Select จากการติดต่อของ Serial Port แบบ Synchronize

7. RB0-RB7: พอร์ต B มีจำนวน 8 ขา ขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง ใช้ในการส่งและรับข้อมูล นอกจากนี้ยังทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุตจากการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt) จากภายนอกด้วย ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงหน้าที่ของขาสัญญาณพอร์ต B

พอร์ต	สัญญาณ	หน้าที่
RB0	INT	รับสัญญาณอินพุตจากการอินเทอร์รัปต์จากภายนอก
RB3	PGM	รับสัญญาณอินพุตแรงดันต่ำในการบันทึกโปรแกรม (ถ้ามี Enable)
RB6	PGC	ขาสัญญาณนาฬิกาในการบันทึกโปรแกรม
RB7	PGD	ขาสัญญาณข้อมูลในการบันทึกโปรแกรม

8. RC0-RC7: พอร์ต C มีจำนวน 8 ขา ขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง ใช้ในการส่งและรับข้อมูล นอกจากนี้ยังทำหน้าที่อื่นๆ ด้วย ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงหน้าที่ของขาสัญญาณพอร์ต C

พอร์ต	สัญญาณ	หน้าที่
RC0	T1OSO	ขาสัญญาณเอาต์พุตของวงจรออสซิลเลเตอร์ของ Timer 1
	TICK1	ขาสัญญาณอินพุตของสัญญาณนาฬิกาของ Timer 1
RC1	T1OSI	ขาสัญญาณอินพุตของวงจรออสซิลเลเตอร์ของ Timer 1
	CCP2	ขาสัญญาณเอาต์พุตของโมดูล CCP2 (Capture2, Compara, PWM2)
RC2	CCP1	ขาสัญญาณเอาต์พุตของโมดูล CCP1 (Capture2, Compara, PWM2)
RC3	SCK	ขาสัญญาณนาฬิกาของวงจร SPI
	SCL	ขาสัญญาณนาฬิกาของวงจร I ² C
RC4	SDI	ขาสัญญาณอินพุตและ Serial Data ของระบบ SPI
	SDA	ขาข้อมูลของระบบบัส I ² C
RC5	SDO	ขาสัญญาณเอาต์พุตและ Serial Data ของระบบ SPI
RC6	TxD	ขาส่งข้อมูลแบบ Serial Port
	CK	ขาสัญญาณนาฬิกาแบบ Synchronize
RC6	RxD	ขารับข้อมูลแบบ Serial Port
	DT	ขาข้อมูลแบบ Synchronize

9. RD0-RD7: พอร์ต C มีจำนวน 8 ขา ขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง ใช้ในการส่งและรับข้อมูล นอกจากนี้ยังทำหน้าที่อื่นๆ ด้วย ดังตารางที่ 2.7

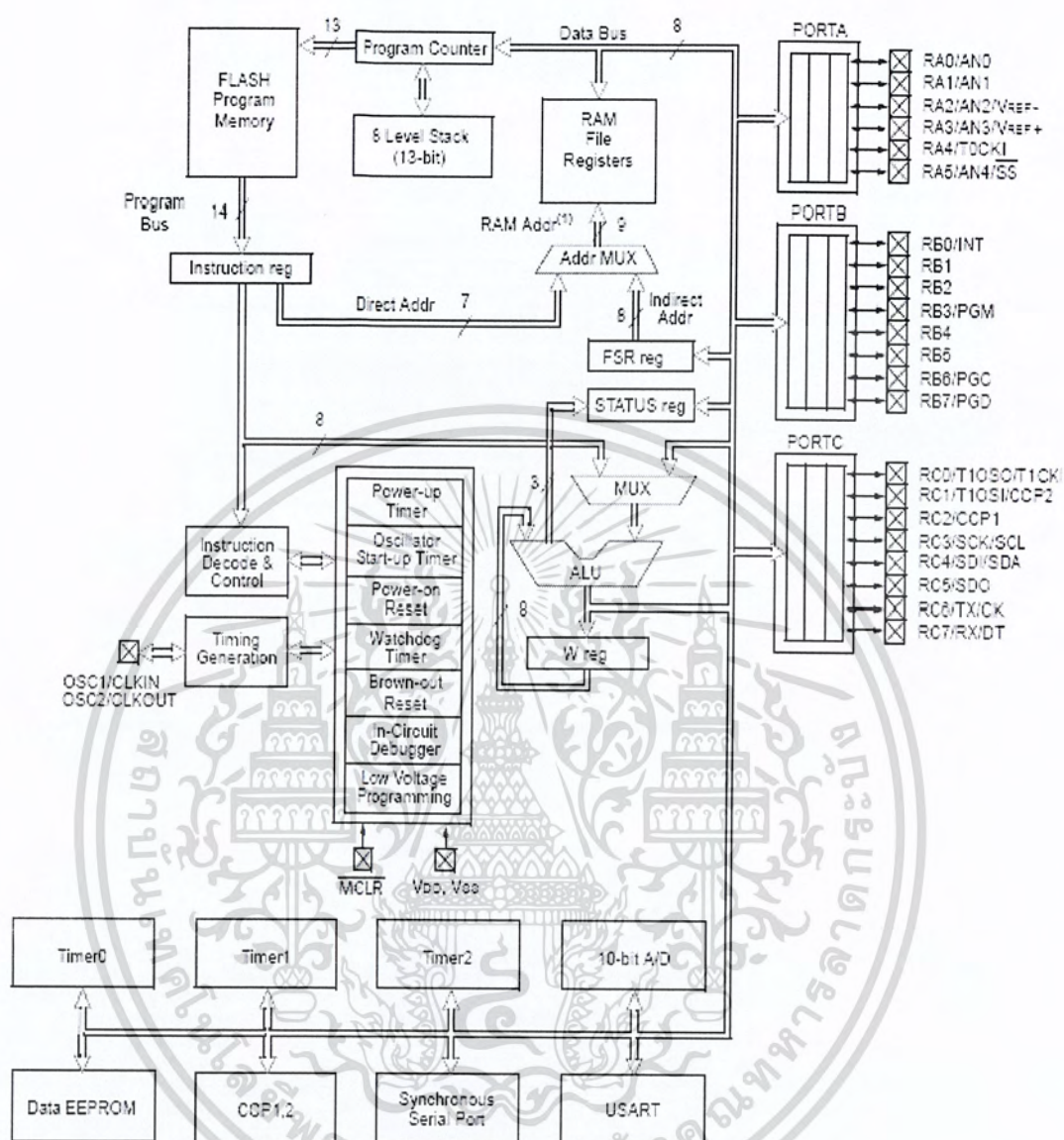
ตารางที่ 2.7 แสดงหน้าที่ของขาสัญญาณพอร์ต D

พอร์ต	สัญญาณ	หน้าที่
RD0	PSP0	ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนาน บิต 0
RD1	PSP1	ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนาน บิต 1
RD2	PSP2	ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนาน บิต 2
RD3	PSP3	ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนาน บิต 3
RD4	PSP4	ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนาน บิต 4
RD5	PSP5	ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนาน บิต 5
RD6	PSP6	ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนาน บิต 6
RD7	PSP7	ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนาน บิต 7

10. RE0-RE7: พอร์ต E มีจำนวน 3 ขา เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง ใช้ในการส่งและรับข้อมูล นอกจากนี้ยังทำหน้าที่อื่นๆ ด้วย ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แสดงหน้าที่ของขาสัญญาณพอร์ต E

พอร์ต	สัญญาณ	หน้าที่
RE0	AN5	รับสัญญาณอินพุตสำหรับ ADC ช่อง 5
	RD	ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานควบคุมการอ่าน
RE1	AN6	รับสัญญาณอินพุตสำหรับ ADC ช่อง 6
	WR	ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานควบคุมการเขียน
RE2	AN7	รับสัญญาณอินพุตสำหรับ ADC ช่อง 7
	CS	ขาสัญญาณขยายพอร์ตแบบขนานควบคุมการเลือกอุปกรณ์



Note 1: Higher order bits are from the STATUS register.

รูปที่ 2.16 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 16F877A

2.13 LDR ตัวต้านทานไวแสง

LDR (Light Dependent Resistor) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทไวต่อแสง หรือเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวมันเองตามปริมาณแสง ซึ่งจะจ่ายแรงดันออกมาเมื่อได้รับแสง และนอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ประเภทเดียวกันอีก เช่น โฟโตโวลตาอิกเซลล์ (photovoltaic cell) โฟโตไดโอด (photodiode) โฟโตทรานซิสเตอร์ (phototransistor) ไปจนถึงเอสซีอาร์ที่ทำงานด้วยแสง (LASCR - light activated silicon controlled rectifier) ซึ่งใช้หลักการของสารกึ่งตัวนำทั้งนั้น

2.13.1 โครงสร้างของ LDR

LDR มีชื่อเรียกหลายชื่อ เช่น โฟโตคอนดักทีฟเซลล์ (photoconductive cell) หรือ ตัวต้านทาน ไวแสง (LSR - light sensitive resistor) ส่วนใหญ่จะทำด้วยสารแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) หรือไมกซ์แคดเมียมซีไนไนด์ (CdSe) ซึ่งทั้งสองตัวนี้ก็เป็นสารประเภทกึ่งตัวนำ เอามาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้วต่อขาจากสารที่ฉาบ ไว้ออกมา

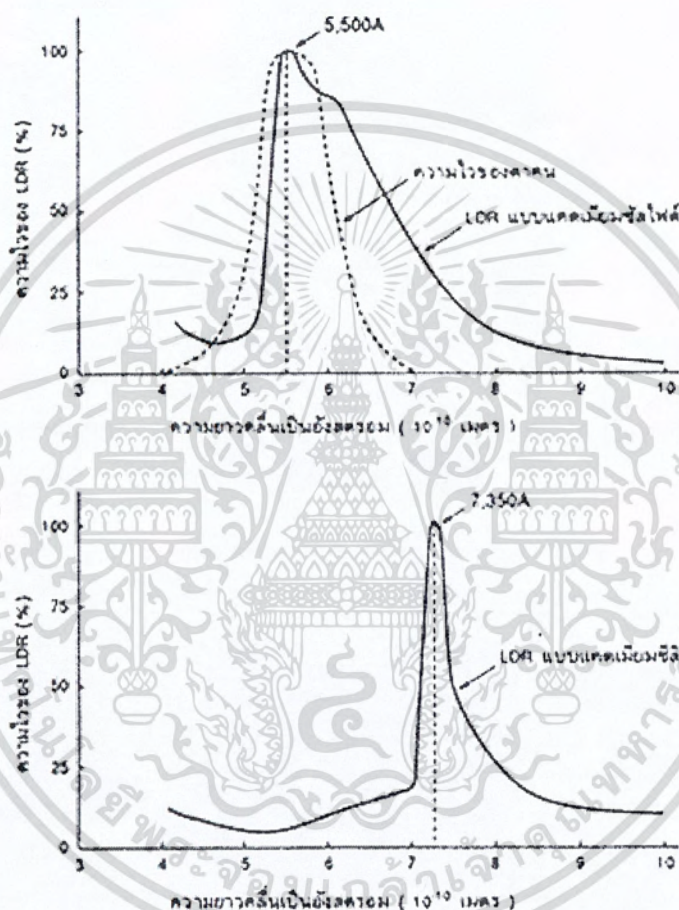


รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างของ LDR

จากรูปที่ 2.17 จะเห็นว่าส่วนที่ขีดเป็นแนวเล็กๆ สีดำ จะทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และ แนวสีดำนั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวมันออกเป็น 2 ข้าง ซึ่งถ้าดูของจริงจะเห็นว่ามีส่วนที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอก หรือเรียกว่าอิเล็กโทรด ที่เหลือก็จะเป็นฐานเซรามิก และอุปกรณ์สำหรับห่อหุ้มมัน ซึ่งมีได้หลายแบบ

2.13.2 สมบัติทางแสง

หลักการทํางาน เนื่องจากว่า LDR เป็นสารกึ่งตัวนำ เวลาที่มีแสงตกกระทบบลงไปก็จะถ่ายทอดพลังงานให้กับสารที่ฉาบอยู่ ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอน การที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากก็เท่ากับ ความต้านทานลดลงนั่นเอง ยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบบมากเท่าไร ความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น

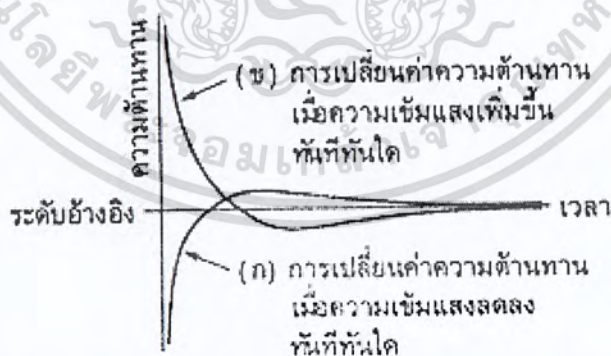


รูปที่ 2.18 ตัวอย่างกราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่าง ๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบ
เมื่อเทียบกับความไวของตาคน

ในส่วนที่ว่าแสงตกกระทบนั่น มิใช่ว่าจะเป็นแสงอะไรก็ได้ เฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 4,000 อังสตรอม (1 อังสตรอม เท่ากับ 10⁻¹⁰ เมตร) ถึงประมาณ 10,000 อังสตรอม เท่านั้นที่จะใช้ได้ (สายตากคนจะเห็นได้ ในช่วงประมาณ 4,000 อังสตรอม ถึง 7,000 อังสตรอม) ซึ่งคิดแล้วก็ในช่วงคลื่นเพียงแคบ ๆ เมื่อเทียบกับการทำงานของอุปกรณ์ไวแสงประเภทอื่น ๆ แต่ถึงอย่างไรแสงในช่วงคลื่นนี้ ก็มีอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วย หรือถ้าจะคิดถึงความยาวคลื่น ที่ LDR จะตอบสนองไวที่สุดแล้ว ก็มีอยู่หลายความยาวคลื่น โดยทั่วไป LDR ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์ จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 5,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งเราจะเห็นเป็นสีเขียว ไปจนถึงสีเหลือง สำหรับบางตัวแล้ว ความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของมันใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคคนมาก (ตาคคนไวต่อความยาวคลื่น ประมาณ 5,550 อังสตรอม) จึงมักจะใช้ทำเป็นเครื่องวัดแสง ในกล้องถ่ายรูป ถ้า LDR ทำจาก แคดเมียมซีลีไนด์ก็จะไวต่อ ความยาวคลื่นในช่วง 7,000 กว่า อังสตรอม ซึ่งไปอยู่ใน ช่วงอินฟราเรดแล้ว

2.13.3 ผลตอบสนองทางไฟฟ้า

อัตราส่วนระหว่างความต้านทานของ LDR ในขณะที่ไม่มีแสง กับขณะที่มีแสง อาจจะเป็นได้ตั้งแต่ 100 เท่า 1,000 เท่า หรือ 10,000 เท่า แล้วแต่รุ่น แต่โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานในขณะที่ไม่มีแสงจะอยู่ในช่วง ประมาณ 0.5 MΩ ขึ้นไป ในที่มีดสนิทอาจขึ้นไปได้มากกว่า 2 MΩ และ ในขณะที่มีแสงจะเป็นประมาณ 10 - 20kΩ ลงไป อาจจะเหลือเพียงไม่กี่โอห์ม หรือ ไม่ถึงโอห์มก็ได้ ทนแรงดันสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 100 V และ กำลังสูญเสีย อย่างต่ำประมาณ 50 mW



รูปที่ 2.19 ผลของการเปลี่ยนความเข้มแสงในทันทีทันใดกับ LDR

นอกเหนือจากลักษณะสมบัติต่างๆ เหล่านี้แล้วยังมีอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ซึ่งจะดูตัวอย่างได้ในรูปที่ 2.19 ถ้า LDR ได้รับแสงที่มีความเข้มสูงดังเส้น (ก) ความต้านทานจะมีค่าต่ำ และในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงเหลือเพียงระดับอ้างอิง ความต้านทานก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทาน ที่มันควรจะเป็นในระดับอ้างอิง แต่แทนที่มันจะไปหยุดอยู่ระดับอ้างอิง มันกลับเพิ่มเลขขึ้นไปอีกแล้วจึงจะลดลงมาอยู่ในระดับ อ้างอิง เหมือนกับว่า เบรกมันไม่ค่อยดี และ ในทำนองเดียวกันถ้าเก็บมันไว้ในที่ความเข้มแสงน้อยๆ แล้วเปลี่ยนความเข้มเป็นระดับ อ้างอิงทันที ดังในรูป (ข) ความต้านทานก็จะลด เลขต่ำลงมาจากระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ยิ่งความเข้มของแสงเท่ากัน LDR แบบแคดเมียมซัลไฟด์ จะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะที่มันควรจะเป็นน้อยกว่า แบบแคดเมียมซัลไฟด์ แต่ก็จะมีวงเลี้ยวไปไกลกว่าด้วย และอีกอย่างหนึ่ง ความเร็วในการเปลี่ยนระดับความต้านทานจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งช้ามาก ซึ่งจะอยู่ในช่วงของมิลลิวินาทีหรือ บางทีก็เป็นวินาทีเลย จึงทำให้ LDR ใช้ได้ กับงานความถี่ต่ำๆ เท่านั้น

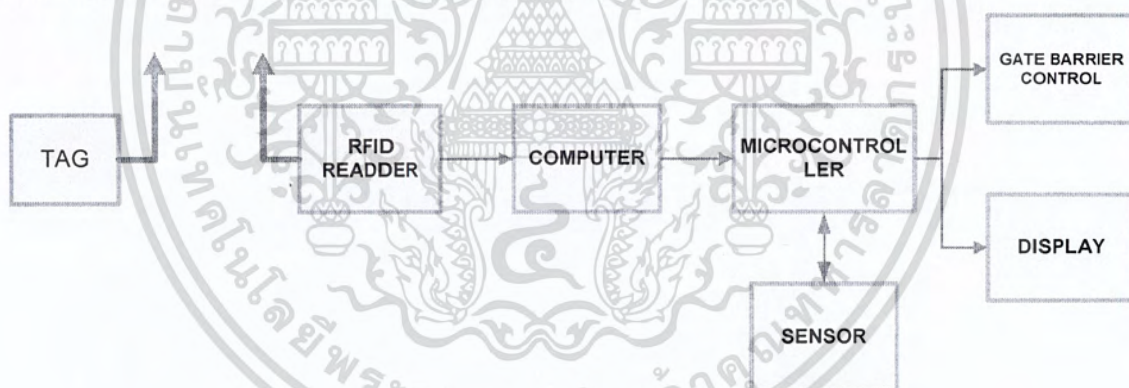


บทที่ 3

การออกแบบระบบที่จอดรถอาร์เอฟไอดี

3.1 หลักการทำงานของระบบ

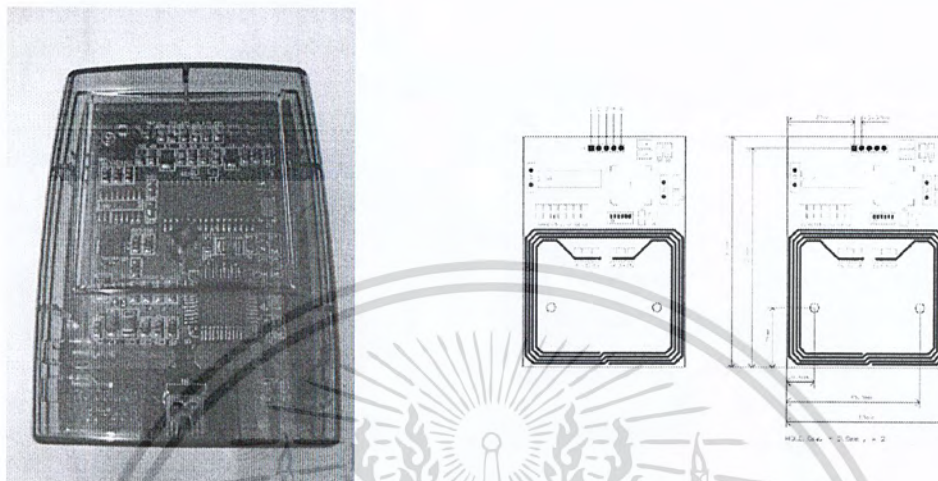
ในโครงงานนี้เลือกใช้คลื่นความถี่ที่ 13.56 MHz เป็นความถี่ในย่านความถี่สูงอยู่ในช่วง 3-30 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้กันทั่วไป จากแผนผังการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี เครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer จะส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่วิทยุออกมา แتึกแบบพาสซีฟนี้จะแปลงสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งออกมาจากเครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า และส่งข้อมูลในบัตรออกมา เครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer จะอ่านข้อมูลได้ต่อเมื่อเซนเซอร์แสงทั้งสองตัวส่งสัญญาณให้ เมื่อมีรถเข้าจอดในช่องทางให้บริการ เมื่ออ่านข้อมูลได้จะทำการเชื่อมต่อข้อมูลกับโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ แล้วแสดงสถานะต่างๆ ของแท็กใบนั้นบนหน้าจอ รวมทั้งคอมพิวเตอร์ยังเชื่อมต่อกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำค่าที่ได้จากประมวลผลมาควบคุมการทำงานของไมกััน และการแสดงผลในหน้าโปรแกรม RFID Car Park System



รูปที่ 3.1 Block Diagram ของระบบ RFID Car Park

3.2 ส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี

3.2.1 เครื่องอ่าน (Reader/Writer)



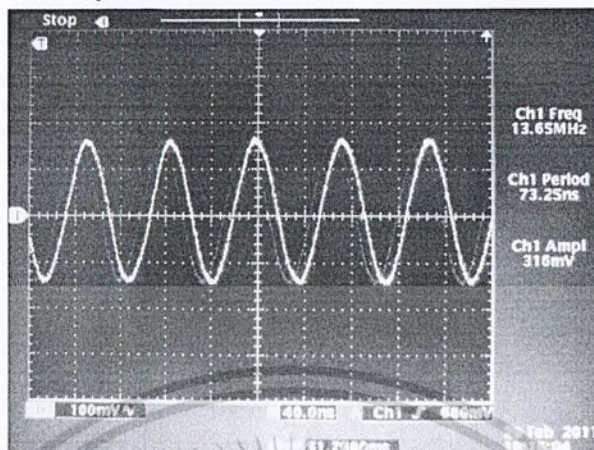
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของเครื่องอ่านภายนอกและภายใน

ภายในเครื่องอ่านสายอากาศจะถูกติดตั้งไว้บนแผ่น PCB มีรัศมีในการอ่าน 8 เซนติเมตร และมีการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต UART โดยใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ซึ่งแสดงลักษณะของเครื่องอาร์เอฟไอดี Read/Writer ดังรูปที่ 3.2

คุณสมบัติทางเทคนิค

- รองรับการใช้งานของ Mifare1K, Mifare4K และ Mifare Ultralight
- ใช้งานร่วมกับ ISO 14443 และ Mifare Cards ได้
- อ่านและเขียนข้อมูลได้
- ตรวจสอบหาแท็กได้อัตโนมัติ
- อัตราการส่งข้อมูลสูง
- สายอากาศแบบฝังในตัว
- แสดงสถานะการทำงานด้วย LED
- การเชื่อมต่อใช้พอร์ต UART
- แรงดันไฟฟ้า DC Regulate 4.5 - 5 โวลต์
- รัศมีการทำงานตั้งแต่ 8 เซนติเมตร
- อุณหภูมิการทำงาน -20 ถึง 70 องศาเซลเซียส
- ความถี่ที่ใช้งาน 13.56 MHz
- มาตรฐาน/การรับรอง ISO 14443 and Mifare card

โดยมีลักษณะของคลื่นพาดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงสัญญาณคลื่นพาดของเครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer ความถี่ 13.56 MHz

รูปแบบคำสั่งในการติดต่อ RFID Module

Host to Reader: คำสั่งที่คอมพิวเตอร์ส่งไปให้กับ RFID Module

Header	Len	Command	Data	Checksum
--------	-----	---------	------	----------

Header: Communication header 1 byte.

From host to module: 0xBA.

Len: Byte length counting from Command to Checksum inclusively, 1 byte.

Command: Command, 1 byte.

Data: Data, variable length depends on the command type.

Checksum: XOR result from Header to Data inclusively, 1 byte.

Reader to Host: คำสั่งที่ RFID Module ตอบกลับมาให้คอมพิวเตอร์

Header	Len	Command	Status	Data	Checksum
--------	-----	---------	--------	------	----------

Header: Communication header, 1 byte

From module to host: 0xBD.

Len: Byte length counting from Command to Checksum inclusively, 1 byte.

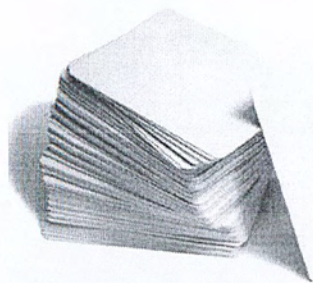
Command: Command, 1 byte

Status: Command status, 1 byte

Data: Data, variable length depends on the command type

Checksum: XOR result from Header to Data inclusively, 1 byte

3.2.2 บัตร (TAG)



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของแท็ก

ในส่วนของแท็กจะมีลักษณะต่าง ๆ แล้วแต่ความสะดวกในการใช้งานโดยในระบบที่ จอครถอาร์เอฟไอดี เราจะใช้แท็กชนิดพาสซีฟที่เป็น Mifare S50 ขนาด 1K มีลักษณะเป็นบัตรบาง ๆ ใช้เป็นบัตรสมาชิกหรือบัตรที่จอดสำหรับลูกค้าทั่วไป แสดงดังรูปที่ 3.4

คุณสมบัติของแท็กด้านการเชื่อมต่อคลื่นความถี่วิทยุ

- การถ่ายโอนข้อมูลและพลังงานแบบไร้สัมผัส (ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่)
- ระยะการทำงาน มากกว่า 100 mm (ขึ้นกับสายอากาศ)
- ความถี่ 13.56 MHz ISO 14443A
- ความเร็วในการขนส่งข้อมูล 106 Kbp/s
- การตรวจสอบความถูกต้อง CRC 16 bit, Parity, Bit Coding and Bit Counting
- มีการป้องกันการชนกันของข้อมูล
- การอ่านโอนข้อมูล โดยทั่วไปของบัตรน้อยกว่า 100 ms (รวมถึงการจัดการ Backup)

Sector	Block	Byte Number within a Block																Description
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
15	3	Key A				Access Bits				Key B								Sector Trailer 15
	2																	Data
	1																	Data
	0																	Data
14	3	Key A				Access Bits				Key B								Sector Trailer 14
	2																	Data
	1																	Data
	0																	Data
:	:																	
:	:																	
:	:																	
1	3	Key A				Access Bits				Key B								Sector Trailer 1
	2																	Data
	1																	Data
	0																	Data
0	3	Key A				Access Bits				Key B								Sector Trailer 0
	2																	Data
	1																	Data
	0																	Manufacturer Block

รูปที่ 3.5 แสดงรูปแบบการจัดสรรพื้นที่ของบัตร Mifare S50

คุณสมบัติของแท็กด้านหน่วยความจำ EEPROM

- หน่วยความจำแบบ EEPROM ขนาด 1 กิโลไบต์ ประกอบด้วย 16 sector แบ่งเป็น 4 block แต่ละ block มี 16 byte
- ผู้ใช้สามารถกำหนดเงื่อนไขการเข้าถึงหน่วยความจำแต่ละ Block ได้
- ข้อมูลมีอายุ 10 ปี
- สามารถเขียนซ้ำได้ 100,000 ครั้ง

คุณสมบัติของแท็กด้านระบบความปลอดภัย

- การพิสูจน์ตัวตนแบบ Mutual three pass authentication (ISO/IEC 9798-2)
- การเข้ารหัสแบบ RF-Channel โดยมีการป้องกันการถูกแทรกแซง
- มีชุดคีย์สองชุดต่อ Sector (ต่อ application) เพื่อสนับสนุน Multi-Application ด้วยคีย์แบบลำดับชั้น
- มีหมายเลขประจำตัวของบัตรแต่ละใบ
- มีรหัสป้องกันการเข้าถึง EEPROM บนชิป

3.3 โปรแกรมใช้งานของระบบและการออกแบบ

3.3.1 โปรแกรมใช้งาน RFID Car Park System

โปรแกรมนี้เขียนขึ้นด้วยภาษา Visual Basic โดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2008 ร่วมกับ Microsoft SQL Server 2005 เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลของระบบ โปรแกรมถูกออกแบบให้สอดคล้องกับการทำงานและการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer กับคอมพิวเตอร์

1. หน้าหลักของโปรแกรม RFID Car Park System เป็นหน้าต้อนรับเข้าสู่โปรแกรมฯ มีปุ่มคำสั่ง Next เพื่อเข้าสู่หน้า Login เข้าสู่ระบบ และปุ่มคำสั่ง Close ใช้เพื่อปิดโปรแกรมฯ

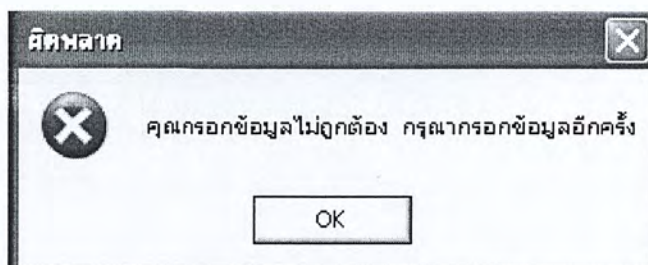


รูปที่ 3.6 หน้าต้อนรับเข้าสู่โปรแกรม RFID Car Park System

2. หน้า Login เข้าสู่ระบบ ดังรูปที่ 3.8 เป็นการป้อน Username และ Password แล้วกดปุ่มคำสั่ง Login เพื่อเข้าสู่หน้าเมนูหลักของโปรแกรม หากใส่ Username และ Password ผิดจะขึ้นกล่องข้อความเตือน ดังรูปที่ 3.9 และให้ใส่ข้อมูลใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 3.7 หน้า Login เข้าสู่ระบบ RFID Car Park System



รูปที่ 3.8 แสดงกล่องข้อความเตือนเมื่อใส่ Username หรือ Password ไม่ถูกต้อง

3. หน้าหลักของโปรแกรมฯ แสดงดังรูปที่ 10 ประกอบด้วยเมนูย่อยส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมูล RFID ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer เมนูสถานะปัจจุบัน และเมนูออกจากโปรแกรม ซึ่งเป็นการปิดโปรแกรม ส่วนเมนูทางด้านซ้าย ประกอบด้วย บริการเข้าและบริการออก ส่วนพื้นที่ว่างทางด้านขวามือ เป็นบริเวณที่จะแสดงหน้าต่างย่อย ๆ ของเมนูหลักต่อไป



รูปที่ 3.9 หน้าหลักของโปรแกรม

4. การบริการเข้า-ออกที่จอดรถ

ส่วนของการให้บริการลูกค้าจะมีอยู่ด้วยกันสองหน้าต่าง คือ หน้าต่างการเข้าใช้บริการ และหน้าต่างการเลิกใช้บริการหรือการบริการออก แสดงดังรูปที่ 3.11 และ 3.12 ตามลำดับ โดยเมื่อทาบบัตร จะแสดงข้อมูลต่าง ๆ ของบัตรใบนั้นทั้งข้อมูลผู้ใช้งานและข้อมูลรถจำนวนที่ว่าง จำนวนรถที่จอดอยู่ภายในที่จอด และแสดงสถานะ การเข้าหรือออกของรถ พร้อมทั้งแสดงสัญญาณการอนุญาตให้ผ่านเข้าออกด้วยสัญญาณสีเขียว และสีแดง หากเป็นบริการออก จะแสดงหน้าต่างการคำนวณเวลาและค่าบริการ แสดงดังรูปที่ 3.13 เพื่อเก็บเงินค่าบริการจากลูกค้า

การบริการ

ข้อมูลสมาชิก

ชื่อสมาชิก

Serial Number

จำนวนบัตร

เบอร์โทรศัพท์

เขตติดต่อ

ข้อมูลรถ

เลขทะเบียน

สีรถ

จำนวนรถที่จอด : 0 คัน

จำนวนที่ว่าง : 10 คัน

3/14/2011

1:39:53 PM

บริการออก

รูปที่ 3.10 หน้าการบริการเข้า

ออก

ข้อมูลสมาชิก

ชื่อสมาชิก

Serial Number

จำนวนบัตร

เบอร์โทรศัพท์

เขตติดต่อ

ข้อมูลรถ

เลขทะเบียน

สีรถ

3/14/2011

1:52:23 PM

รูปที่ 3.11 หน้าการบริการออก

frmtime money

เวลาเข้า : 3/14/2011 1:57:00 PM

เวลาออก : 3/14/2011 1:57:00 PM

รวมเวลา : 0 ชั่วโมง

คิดเป็นเงิน : 0 บาท

OK

รูปที่ 3.12 แสดงการคำนวณเวลาและค่าบริการ เมื่อเลิกใช้บริการ

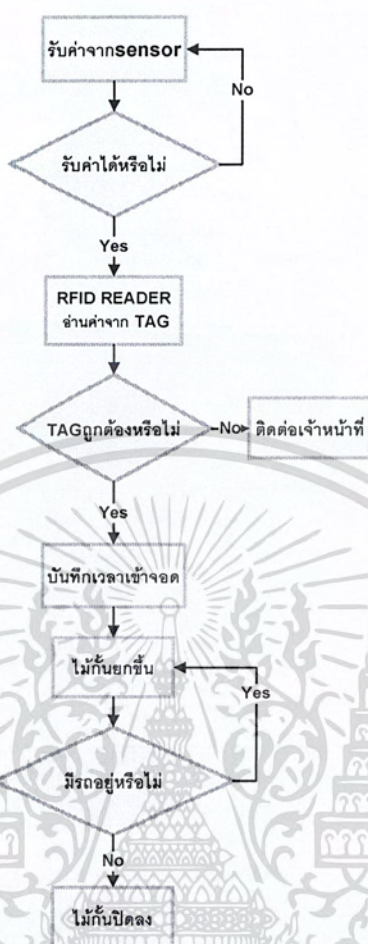
5. การแสดงสถานะปัจจุบันของรถที่จอดอยู่ แสดงได้ดังรูปที่ 3.14 โดยหน้าต่างดังกล่าว จะแสดงรายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับผู้ใช้ ข้อมูลรถ วันและเวลาเข้าจอด เพื่อใช้ในการตรวจสอบ

Status

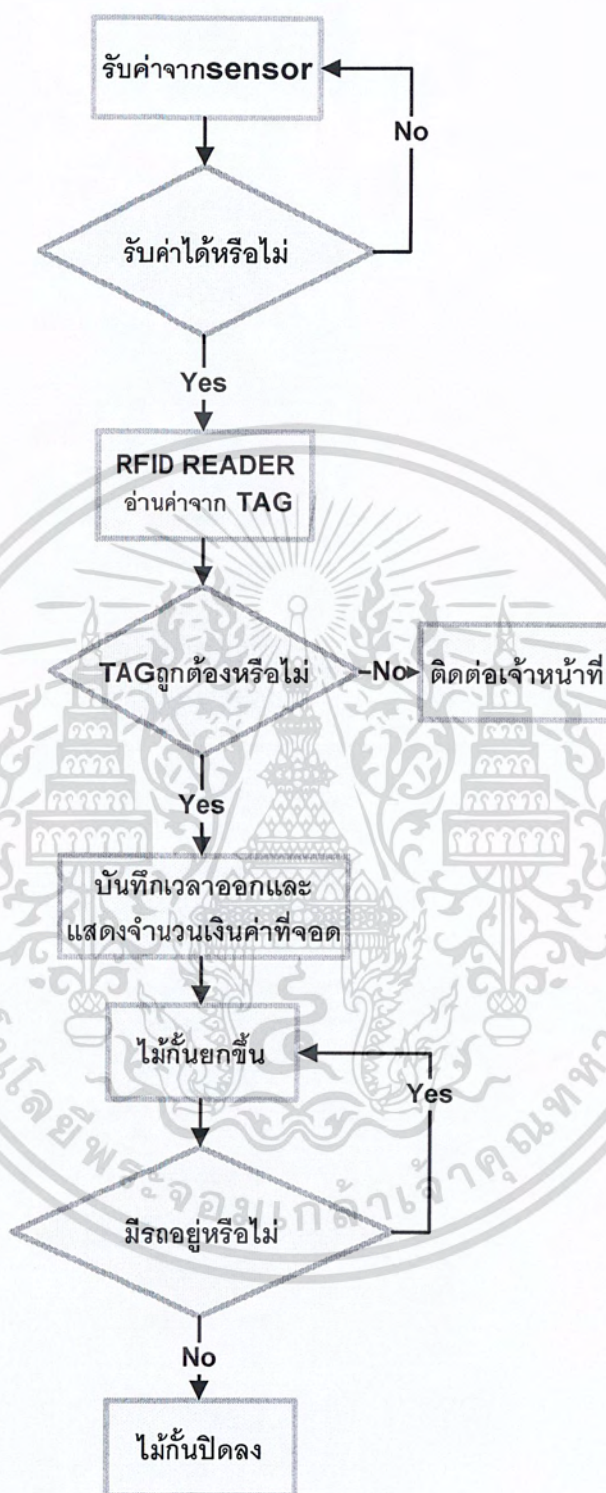
MemberID	Membership	Name	Phonenumber	IDNumber	CarLicense	TruckMark	Generation	Color	DateIN

รูปที่ 3.13 แสดงหน้าต่างสถานะปัจจุบันของการเข้าจอด

โดยรวมแล้วการทำงานของระบบ RFID Car Park System สามารถแสดงโดยแผนภูมิรูปที่ 3.15 และ 3.16



รูปที่ 3.14 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ (ทางเข้า)

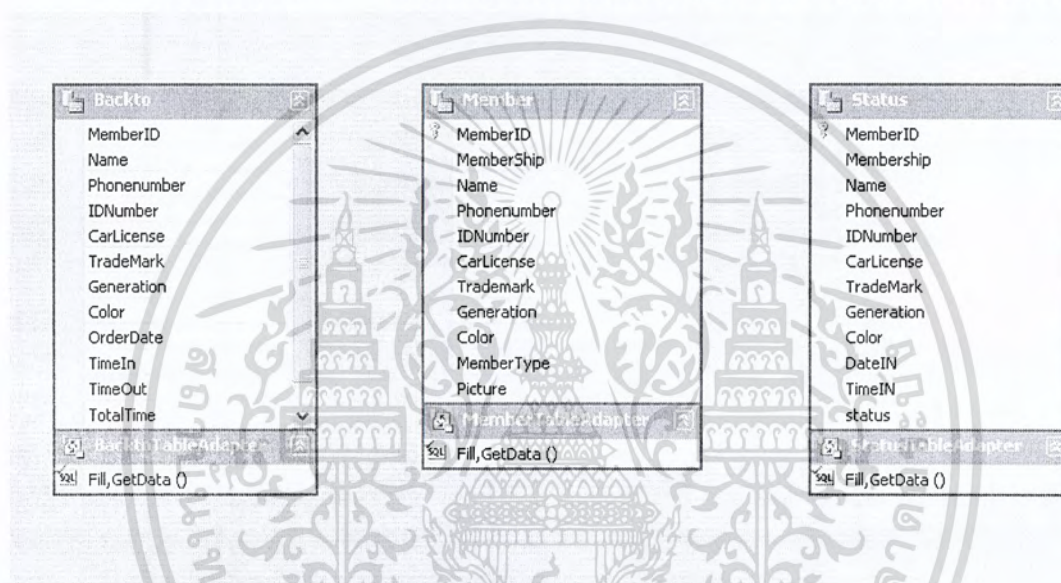


รูปที่ 3.15 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ (ทางออก)

3.3.2 การออกแบบฐานข้อมูล

ในการออกแบบฐานข้อมูลจะใช้โปรแกรม MS SQL Server 2005 ในการออกแบบ โดยสร้างตารางขึ้นมาเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับสมาชิก และรายละเอียดเกี่ยวกับการเข้าออกของรถ เช่น เวลาเข้า เวลาออก เป็นต้น ซึ่งมีด้วยกัน 3 ตาราง ดังรูปที่ 3.17 ได้แก่

- ตาราง Member ทำหน้าที่เก็บรายละเอียดของสมาชิก
- ตาราง Status ทำหน้าที่เก็บสถานะของรถที่จอดอยู่ในปัจจุบัน
- ตาราง Backto ทำหน้าที่เก็บรายละเอียดเกี่ยวกับการการเข้าออกของรถแต่ละคัน



รูปที่ 3.16 แสดงการออกแบบฐานข้อมูล

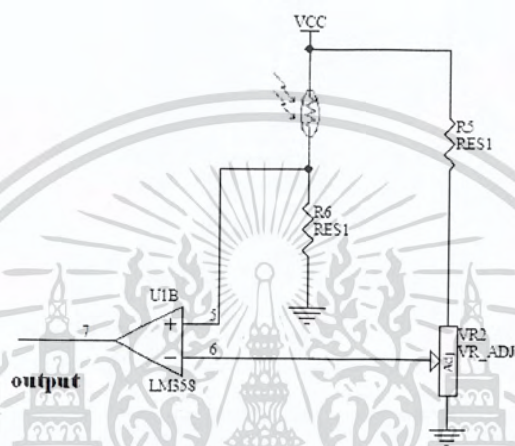
3.4 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ทำงานร่วมกับระบบ

ส่วนของวงจรที่ใช้ทำงานร่วมกับระบบ มีด้วยกัน 2 วงจร ได้แก่

3.4.1 วงจรเซนเซอร์รับแสง

วงจรเซนเซอร์รับแสงเป็นส่วนที่ใช้ในการตรวจสอบวัตถุที่เข้ามาในช่องทางว่าเป็นรถเข้ามายังจุดให้บริการทางเข้าทางออกหรือไม่ แต่ละช่องทางจะมีเซนเซอร์สองตัวซึ่งหากมีรถเข้ามาในช่องทาง เซนเซอร์ทั้งสองจะส่งสัญญาณให้กับหน่วยประมวลผลเพื่อสั่งให้เครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer ทำการอ่านแท็ก และเซนเซอร์ยังเป็นส่วนในการควบคุมการทำงานให้ LED แสดงผลการเปิด-ปิดของไม้กั้น โดยวงจรการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 3.18

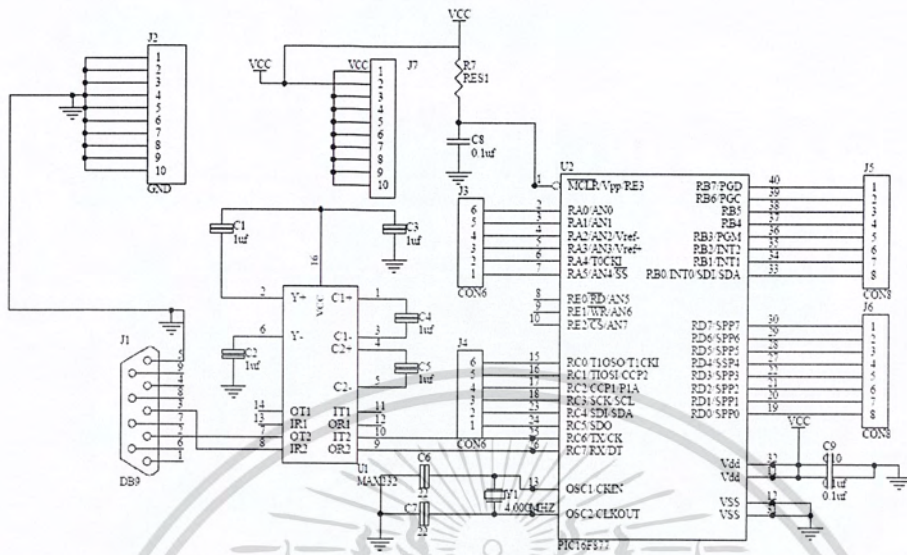
เมื่อมีแสงตกกระทบบน LDR ก็จะถ่ายทอดพลังงาน ให้กับสารที่ฉาบอยู่ด้านบน ทำให้เกิดโฮลกับอิเล็กตรอน การที่มีโฮลกับอิเล็กตรอนอิสระมากจะเท่ากับความต้านทานลดลง ยิ่งความเข้มของแสงที่ตกกระทบบนมากเท่าไร ความต้านทานก็ยิ่งลดลงมากเท่านั้น ความต้านทานจึงแปรผกผันกับความเข้มแสง โดยการเลือกใช้ LDR เนื่องจากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากความเข้มแสงสามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างฉับพลัน



รูปที่ 3.17 แสดงวงจรเซนเซอร์รับแสง

3.4.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

เป็นหน่วยประมวลผลข้อมูล ที่ติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ปลายทาง โดยเลือกใช้พอร์ต B0-B3 เป็นอินพุตในการรับค่าจากเซนเซอร์ทั้งสี่ตัว พอร์ต A0 และ A1 เป็นเอาต์พุตแสดงผลไม้กันด้วย LED และมีการส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรมโดยใช้ RS232 เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยในการติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์จะมี IC MAX232 เพื่อใช้ในการปรับระดับแรงดัน เนื่องจากในวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีแรงดันเป็น 0 ถึง +5 โวลต์ แต่ RS232 จะใช้เป็น -12 ถึง +12 โวลต์ ซึ่งแสดงวงจรดังรูปที่ 3.19



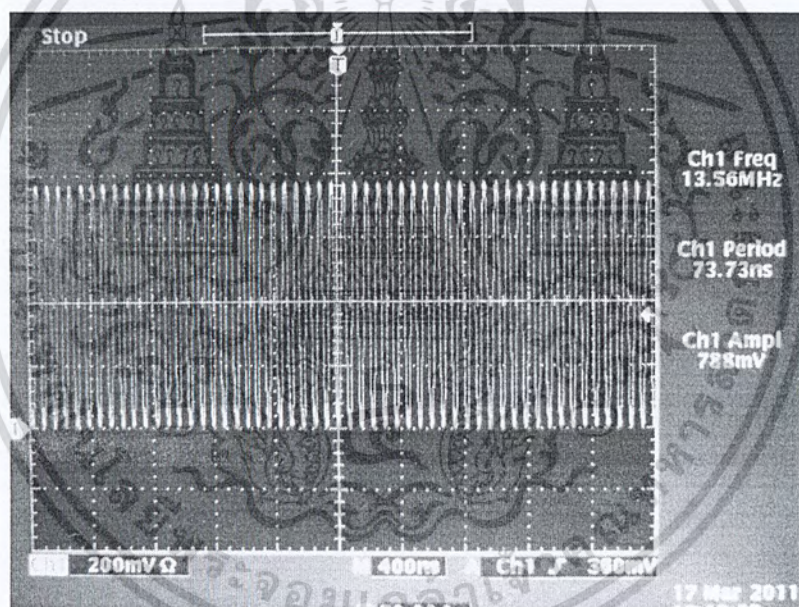
รูปที่ 3.18 แสดงวงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้รับสัญญาณอินพุตจากเซนเซอร์และเอาต์พุตควบคุมสัญญาณไม้กั้น

บทที่ 4

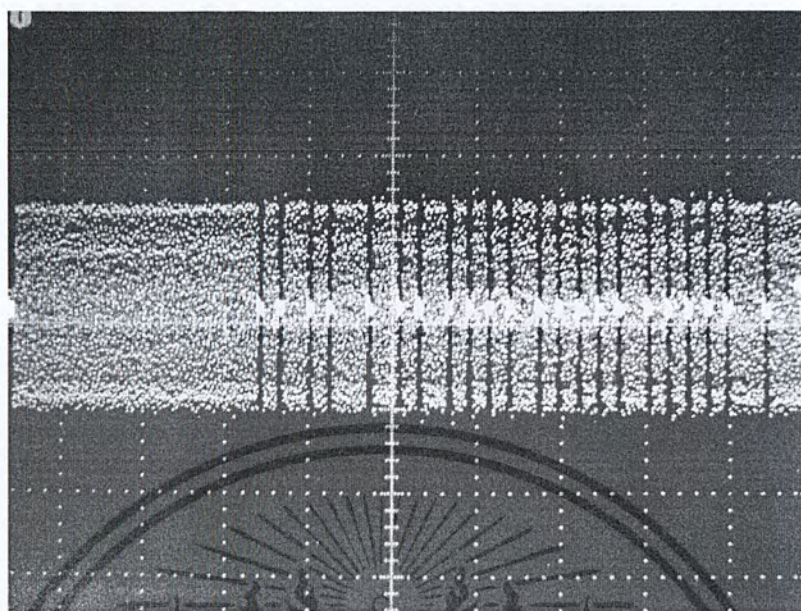
ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1

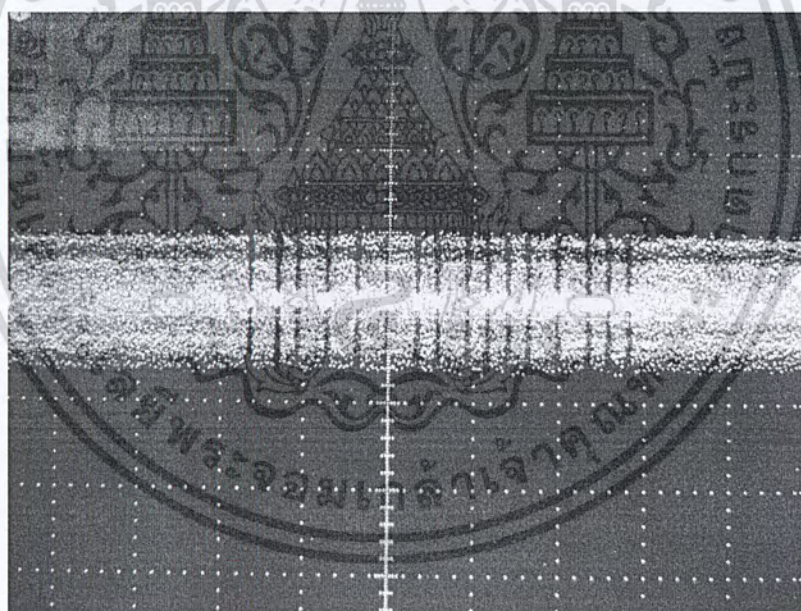
ทำการทดลองวัดสัญญาณที่ในขณะที่มีการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer กับแท็ก โดยจะวัดสัญญาณคลื่นพาห้จาก IC MFRC500 ที่ขา DVSS กับขา OSCOUT แล้วบันทึกผลรูปสัญญาณ จากนั้นนำแท็กใบที่ 1 มาอยู่ในระยะที่เครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer ส่งคลื่นวิทยุออกมา แท็กจะอยู่ห่างจากเครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer 3cm. แล้ววัดสัญญาณที่ขาDVSS กับขา IRQ บันทึกผลรูปสัญญาณที่ได้ ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนแท็กที่ใช้จนครบ 10 ใบ



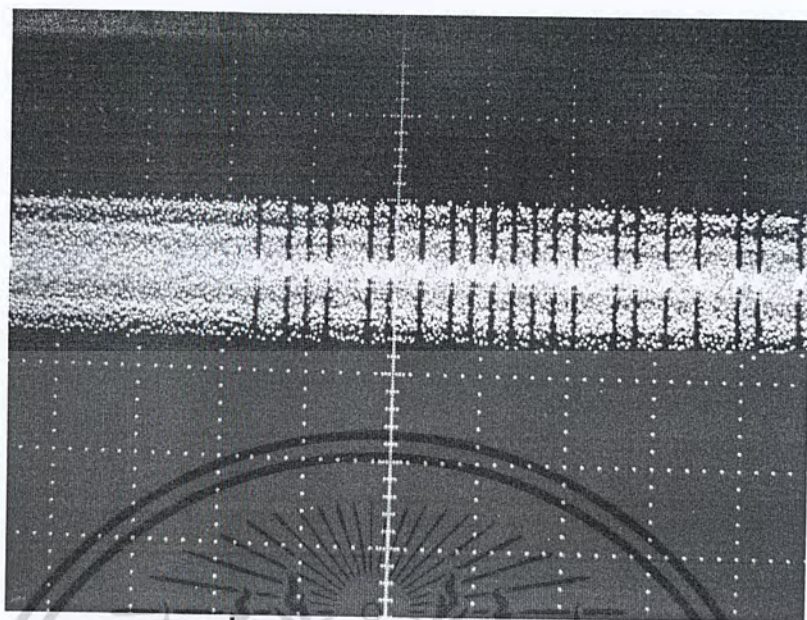
รูปที่ 4.1 สัญญาณคลื่นพาห้ความถี่ 13.56 MHz



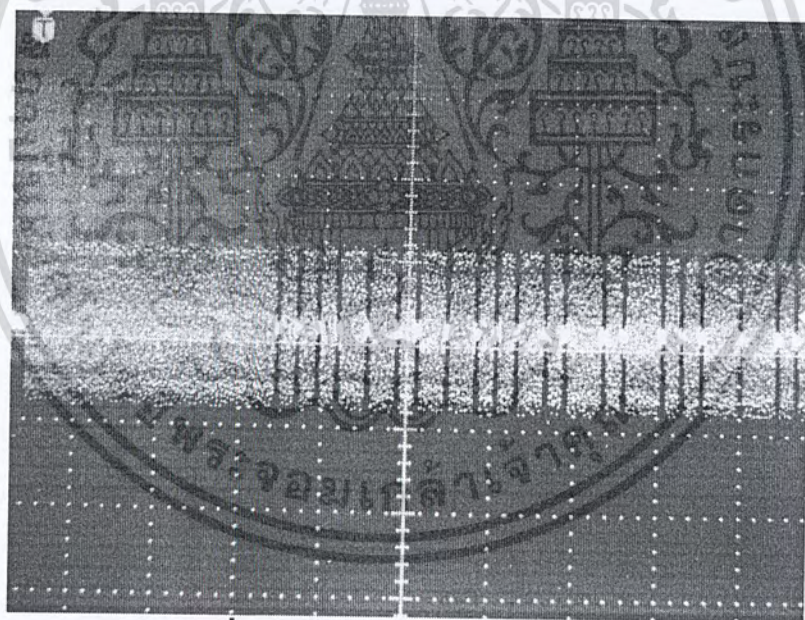
รูปที่ 4.2 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 1



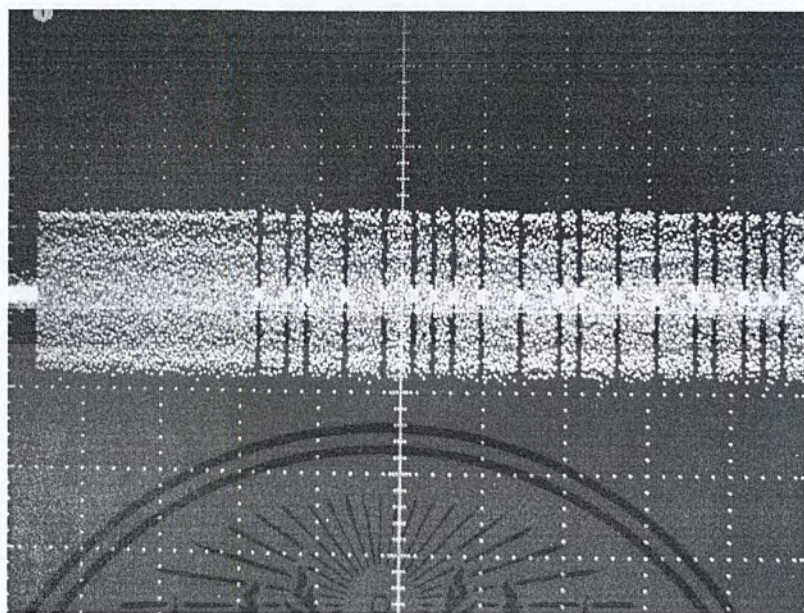
รูปที่ 4.3 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 2



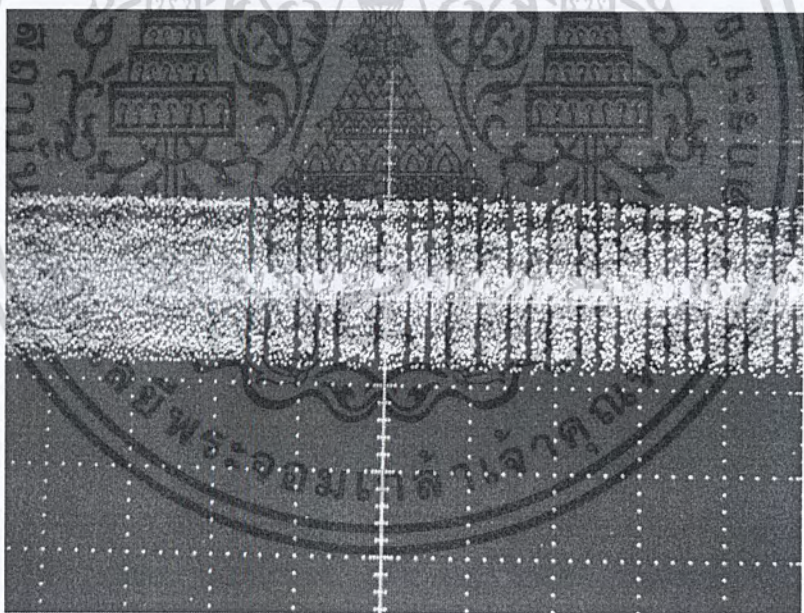
รูปที่ 4.4 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 3



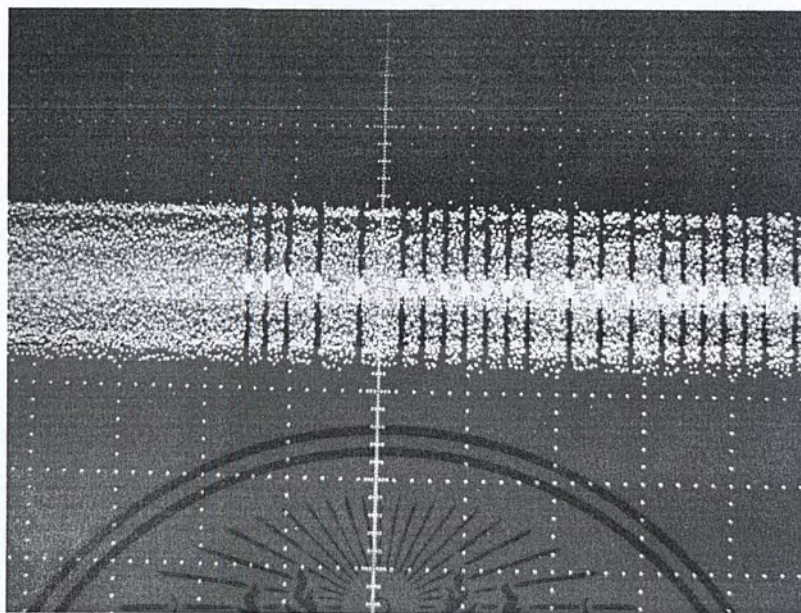
รูปที่ 4.5 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 4



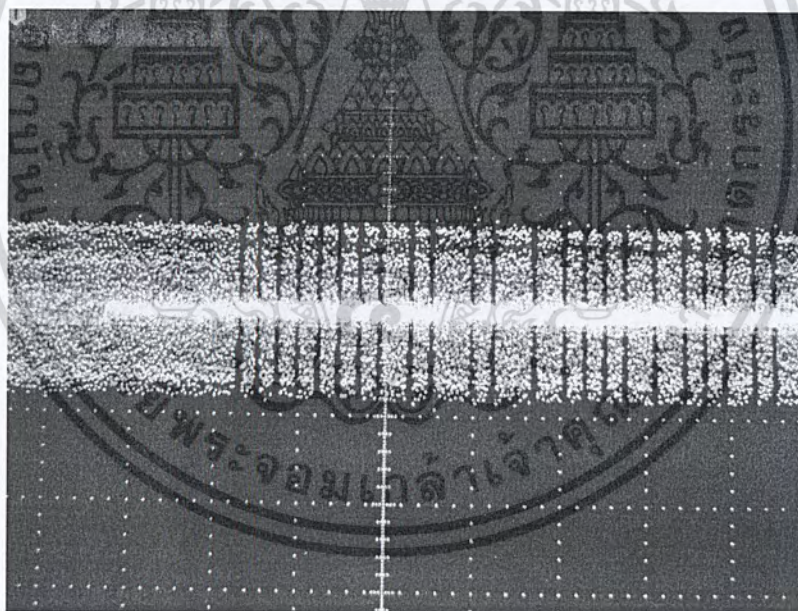
รูปที่ 4.6 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 5



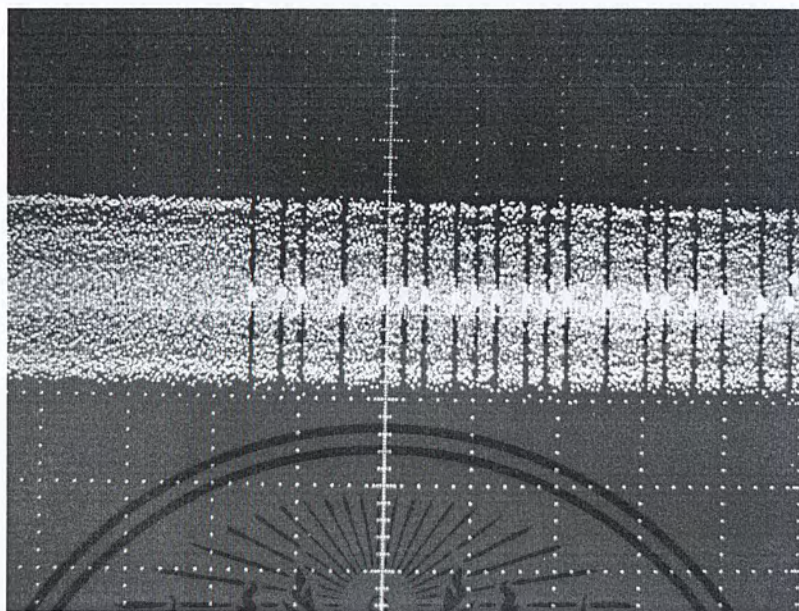
รูปที่ 4.7 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 6



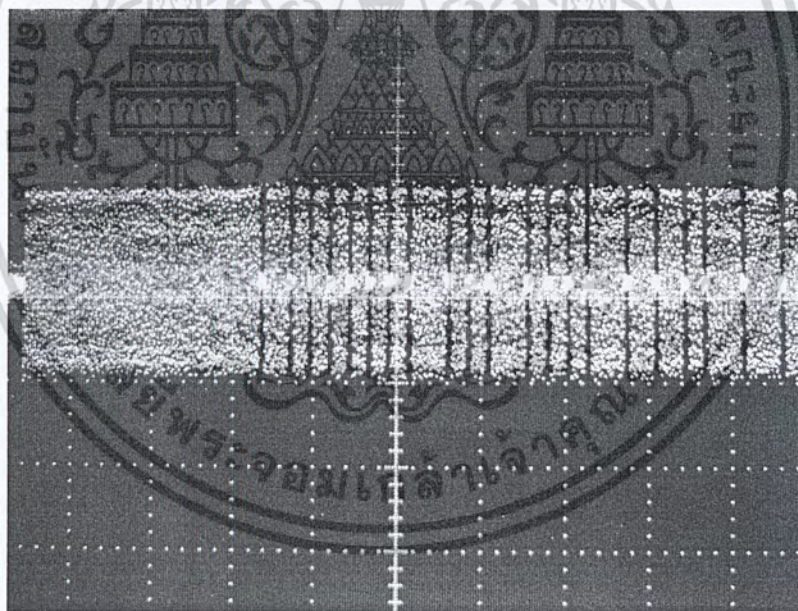
รูปที่ 4.8 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 7



รูปที่ 4.9 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 8



รูปที่ 4.10 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 9



รูปที่ 4.11 สัญญาณข้อมูลของแท็กใบที่ 10

4.2 การทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อทดสอบระยะที่เครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer สามารถอ่านข้อมูลจากแท็กได้ ทำการทดลองโดยวางแท็กให้ตั้งฉากกับเครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer ในระยะต่าง ๆ ตั้งแต่ 0-80 mm.

ตารางที่ 4.1 แสดงระยะที่เครื่อง RFID Reader/Writer สามารถอ่านข้อมูลได้จากแท็ก

ระยะ (mm.)	จำนวนครั้งที่วัด (ครั้ง)	จำนวนครั้งที่วัดได้ (ครั้ง)	จำนวนครั้งที่วัดไม่ได้ (ครั้ง)
3	10	10	0
5	10	10	0
10	10	10	0
15	10	10	0
20	10	10	0
25	10	10	0
30	10	10	0
35	10	10	0
40	10	10	0
45	10	10	0
50	10	0	10
55	10	0	10
60	10	0	10
65	10	0	10
70	10	0	10
75	10	0	10
80	10	0	10

4.3 การทดลองที่ 3

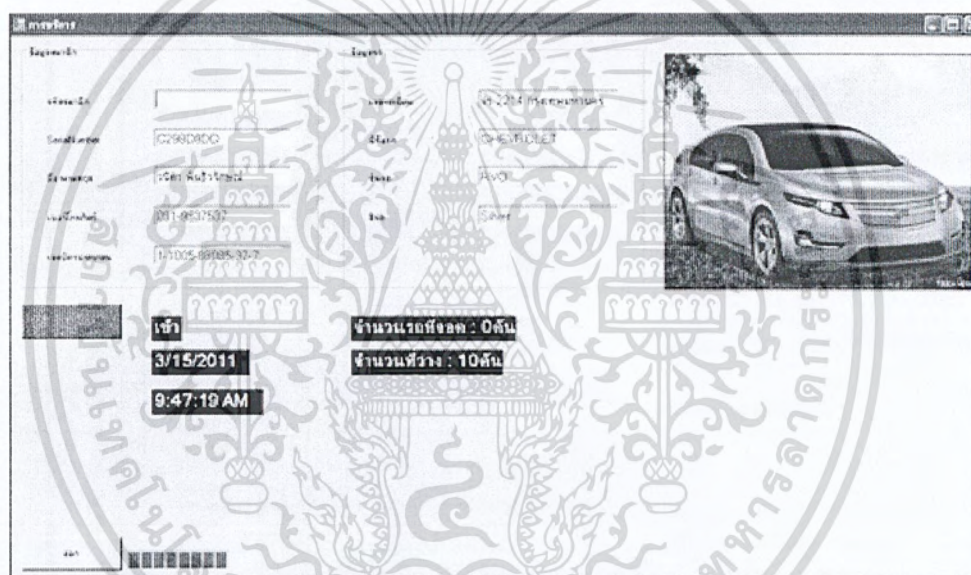
การทดลองในขั้นพื้นฐานนี้เป็นการทดสอบการเชื่อมต่อของข้อมูลในฐานข้อมูลกับโปรแกรม RFID Car Park System และเครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer โดยได้ทำการทดลองให้แท็กใบที่ 1 อยู่ในระยะที่เครื่อง อาร์เอฟไอดี Reader/Writer ส่งคลื่นวิทยุออกมา ซึ่งแท็กจะอยู่ห่างจากเครื่อง อาร์เอฟไอดี Reader/Writer 3cm. สังเกตข้อมูลที่ขึ้นในหน้าโปรแกรม พร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและบันทึกผล โดยที่แท็ก 1 ใบจะทำการทดลอง 10 ครั้งแล้วนำค่าที่ได้มาคิดเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการอ่านข้อมูล จากนั้นทำการทดลองดังกล่าวกับแท็กอีก 9 ใบ

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการอ่านข้อมูลจากแท็ก

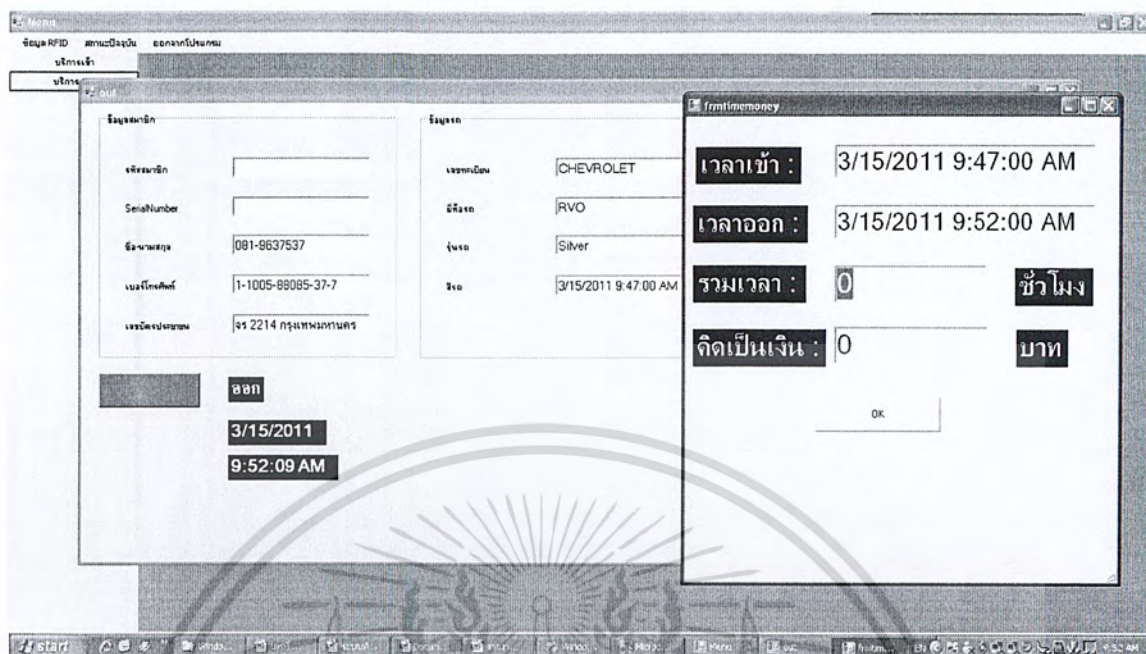
Tag ใบที่	Member ID	Membership card password	จำนวนครั้งที่ทดลอง (ครั้ง)	จำนวนครั้งที่อ่านข้อมูลได้ถูกต้อง(ครั้ง)	จำนวนครั้งที่อ่านข้อมูลผิดพลาด (ครั้ง)	%ความผิดพลาดของการอ่านข้อมูล
1	00000001	C298D8DD	10	10	0	-
2	00000002	CC7AEE52	10	10	0	-
3	00000003	2CAAF552	10	10	0	-
4	00000004	5C50FA52	10	10	0	-
5	00000005	7C94C870	10	10	0	-
6	00000006	72F0D7DD	10	10	0	-
7	00000007	ECC3FA52	10	10	0	-
8	00000008	1E825588	10	10	0	-
9	00000009	FBCDE0FD	10	10	0	-
10	00000010	E3AADFEB	10	10	-	-

4.4 การทดลองที่ 4

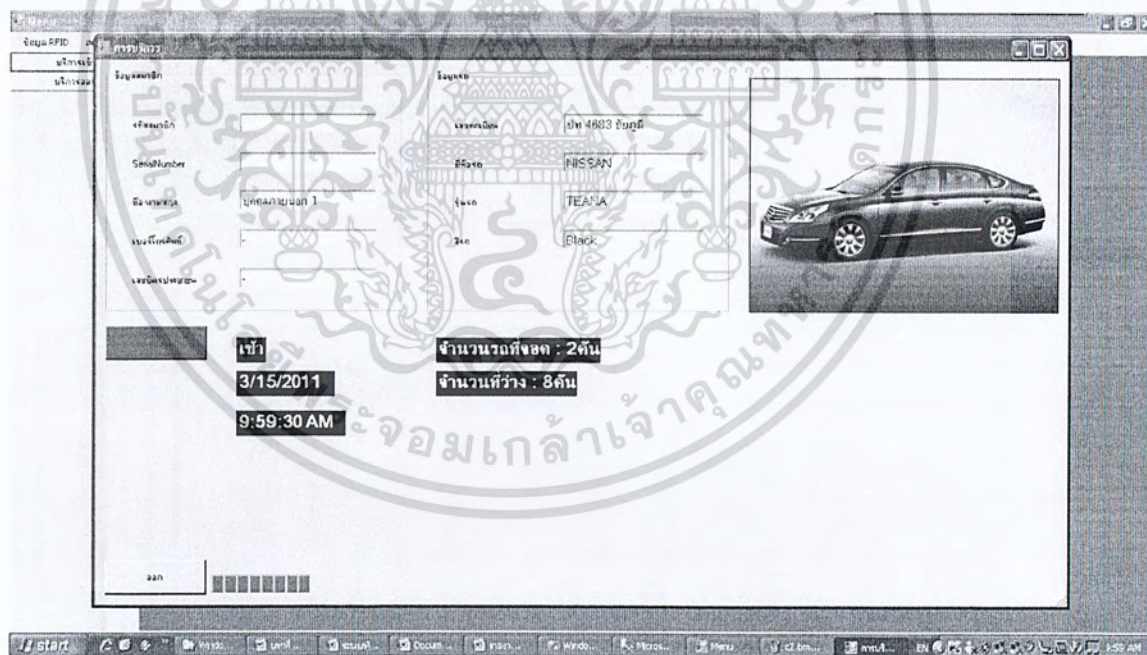
เป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแท็กและการคิดค่าบริการที่จอดรถ โดยนำแท็กใบที่ 1 ซึ่งเป็นสมาชิกแบบจอดประจำมาอยู่ในระยะที่เครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer ส่งคลื่นวิทยุออกมา แท็กจะอยู่ห่างจากเครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer 3cm. เพื่อแทนการเข้าจอด สังเกตการเปลี่ยนแปลงในหน้าโปรแกรม และนำแท็กใบที่ 1 นั้นมาอยู่ในระยะที่เครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer ส่งคลื่นวิทยุออกมาอีกครั้งเพื่อแทนการออกจากที่จอดรถ สังเกตหน้าต่างโปรแกรมที่เกิดขึ้นและบันทึกผล จากนั้นทำการทดลองดังกล่าวซ้ำ แต่เปลี่ยนมาใช้แท็กของสมาชิกแบบจอดไม่ประจำ และแท็กที่ไม่ใช่สมาชิก



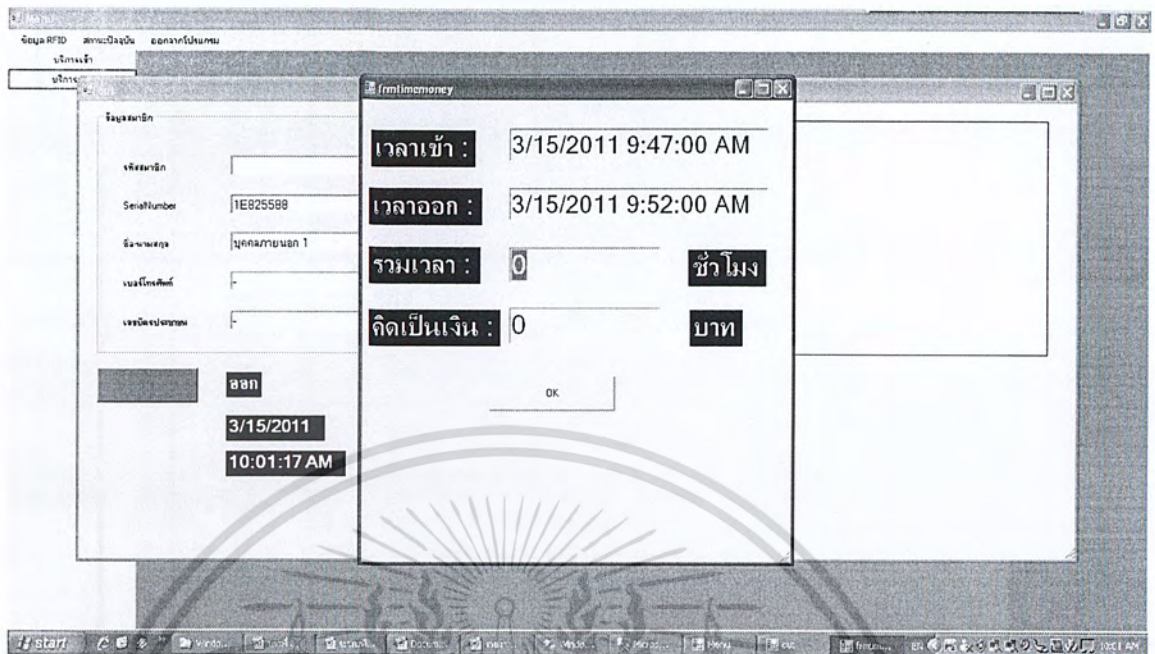
รูปที่ 4.12 หน้าโปรแกรมแสดงการเข้าจอดรถของแท็ก ซึ่งเป็นสมาชิกแบบจอดประจำ



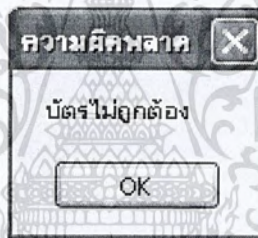
รูปที่ 4.13 หน้าโปรแกรมแสดงการออกจากที่จอดรถ ของแท็กซึ่งเป็นสมาชิกแบบจอดประจำ



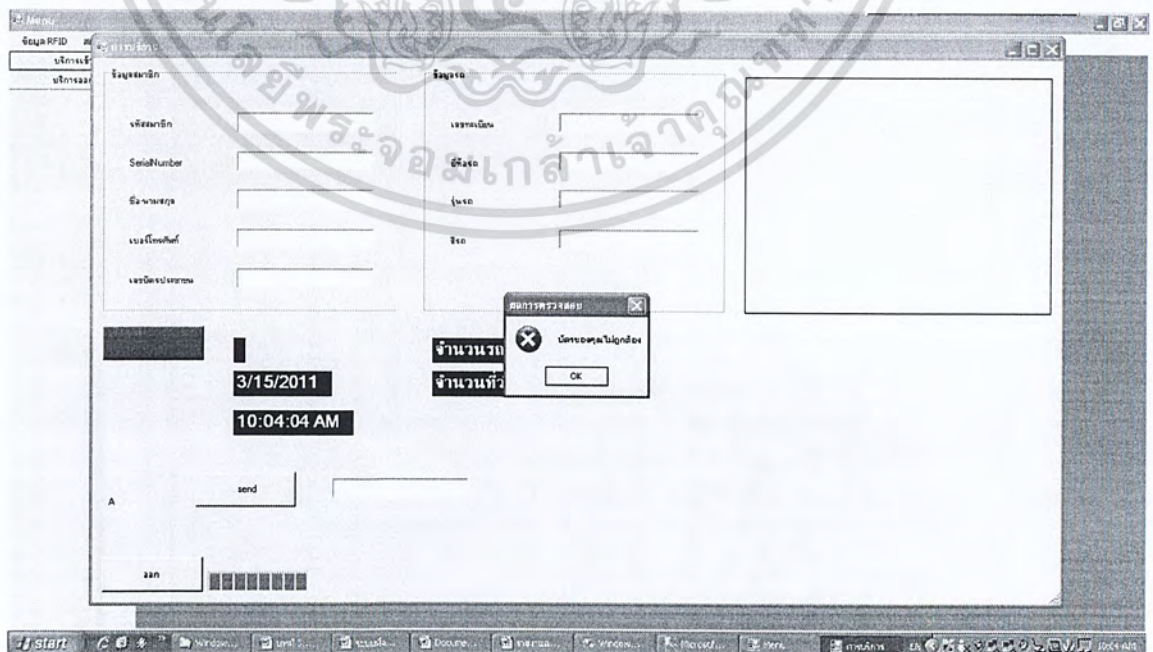
รูปที่ 4.14 หน้าโปรแกรมแสดงการเข้าจอของแท็ก ซึ่งเป็นสมาชิกแบบจดไม่ประจำ



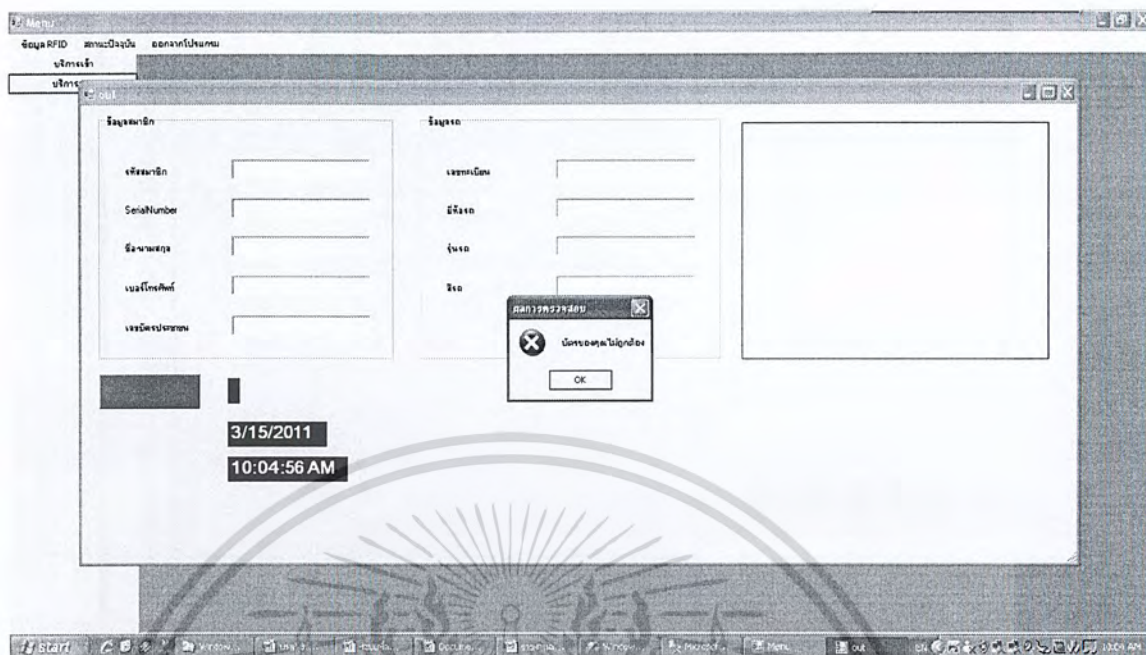
รูปที่ 4.15 หน้าโปรแกรมแสดงการออกจากที่จอดรถของแท็กซี่ซึ่งเป็นสมาชิกแบบจอดไม่ประจำ



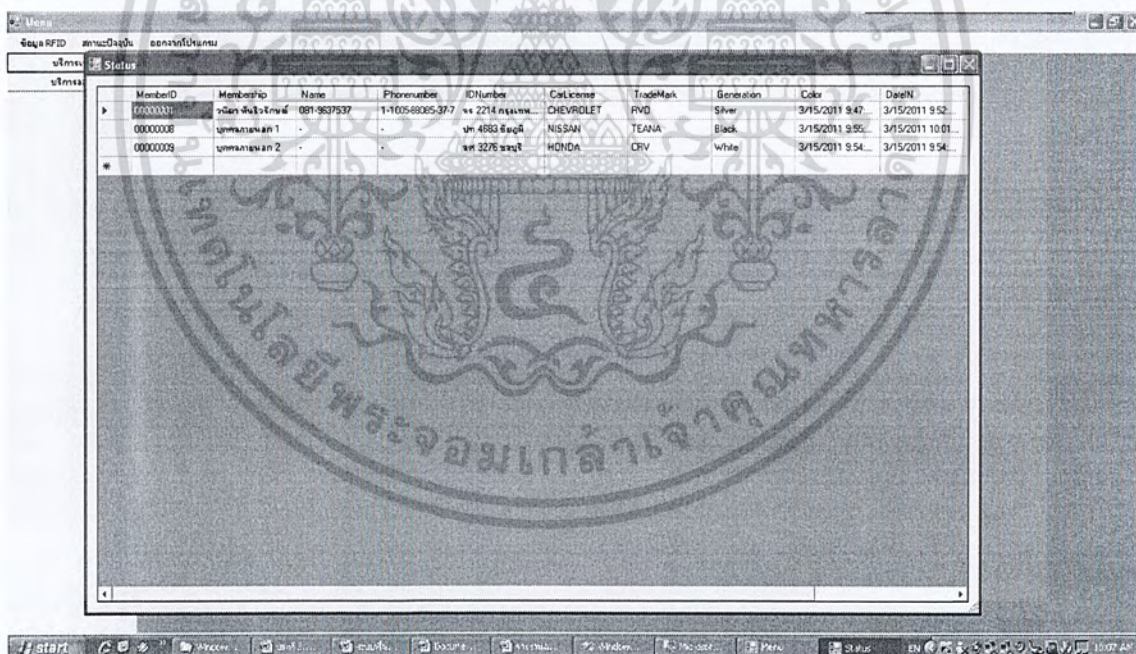
รูปที่ 4.16 หน้าต่างโปรแกรมที่ขึ้นเตือนเมื่อแท็กซี่ที่ไม่ได้เป็นสมาชิกทำการเข้าหรือออกที่จอดรถ



รูปที่ 4.17 หน้าโปรแกรมแสดงการเข้าจอดรถของแท็กซี่ ซึ่งไม่เป็นสมาชิก



รูปที่ 4.18 หน้าโปรแกรมแสดงการออกจากที่จอดรถของแท็กซี่ ซึ่งไม่เป็นสมาชิก



รูปที่ 4.19 แสดงสถานะของรถที่จอดอยู่

4.5 การทดลองที่ 5

เป็นการทดลองการนับจำนวนรศ และตรวจสอบสถานะจำนวนรศที่จอดอยู่และจำนวนที่ว่างภายในที่จอดรถ โดยนำแท็กซึ่งเป็นสมาชิกมาอยู่ในระยะที่เครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer ส่งคลื่นวิทยุออกมา แท็กจะอยู่ห่างจากเครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer 3cm. เพื่อแทนการเข้าจอดสังเกตการเปลี่ยนแปลงในหน้าโปรแกรม แล้วทำเช่นนี้กับบัตรสมาชิกทั้ง 10 ใบเพื่อแสดงสถานะภายในที่จอดรถเมื่อมีแต่รถเข้าจอด และนำแท็กซึ่งเป็นสมาชิกมาอยู่ในระยะที่เครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer ส่งคลื่นวิทยุออกมา ของบัตรทั้ง 10 ใบอีกครั้ง แทนการออกจากที่จอดรถเพื่อแสดงสถานะภายในที่จอดเมื่อมีแต่รถออกจากที่จอด

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงสถานะภายในที่จอดรถ เมื่อมีแต่รถเข้าจอด

ลำดับรถคันที่เข้าจอด	จำนวนรศที่จอด(คัน)	จำนวนที่ว่าง(ที่)
—	0	10
1	1	9
2	2	8
3	3	7
4	4	6
5	5	5
6	6	4
7	7	3
8	8	2
9	9	1
10	10	0

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงสถานะภายในที่จอดรถ เมื่อมีแต่รถออกจากที่จอด

ลำดับรถคันที่ออกจากที่จอด	จำนวนรถที่จอด(คัน)	จำนวนที่ว่าง(ที่)
—	10	0
1	9	1
2	8	2
3	7	3
4	6	4
5	5	5
6	4	6
7	3	7
8	2	8
9	1	9
10	0	10

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ระบบที่จ่อครด โดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (RFID) สามารถทำการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer กับแท็กผู้ให้บริการ และโปรแกรมได้ โดยจากผลการทดลองที่ 1 เป็นการวัดสัญญาณคลื่นพาห้ที่มีความถี่ 13.56MHz และมีสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งไปด้วยในขณะที่มีการอ่านค่าจากแท็ก ซึ่งแท็กแต่ละใบจะให้รูปสัญญาณที่แตกต่างกันเนื่องจากข้อมูลจำเพาะของแท็กแต่ละใบแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อทดสอบระยะที่เครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer สามารถอ่านข้อมูลจากแท็กได้ จะพบว่า เมื่อทดลองวางแท็กให้ตั้งฉากกับเครื่องในระยะ ๆ ต่าง เครื่องจะสามารถอ่านแท็กได้ดีที่ระยะ 0-45 mm หากวางแท็กเกินระยะดังกล่าวก็จะไม่สามารถอ่านข้อมูลได้

ในการทดลองที่ 3 จะพบว่าโปรแกรมสามารถติดต่อกับเครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer ได้ และสามารถเรียกข้อมูลจากฐานข้อมูลได้อย่างถูกต้อง แท็กทั้ง 10 ใบมีข้อมูลตรงตามที่ได้บันทึกไว้ และจากการทดลองทั้ง 10 ครั้งไม่เกิดความผิดพลาดในการเรียกข้อมูลจึงทำให้ไม่เกิดเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด เมื่อมีการผ่านเข้าออกของแท็กทั้ง 3 แบบ โปรแกรมจะแสดงรูปแบบแตกต่างกันออกไป คือ เมื่อแท็กที่เป็นสมาชิกแบบจอดประจำและแบบจอดไม่ประจำเข้าจอดโปรแกรมจะแสดงข้อมูลจากฐานข้อมูล และบอกสถานะว่าเป็นรถที่กำลังเข้าจอด รวมทั้งแสดงสัญญาณสีเขียวเพื่อบอกว่าสามารถผ่านเข้าจอดได้ และเมื่อรถออกจากที่จอด โปรแกรมจะคิดคำนวณเวลาที่เข้าจอดแสดงผลเป็นชั่วโมง พร้อมทั้งแสดงค่าบริการ แต่หากเป็นแท็กที่ไม่เป็นสมาชิกจะห้ามไม่ให้มีการผ่านเข้าออก โดยโปรแกรมจะขึ้นหน้าต่างเตือนรหัสบัตรไม่ถูกต้อง และทำให้โปรแกรมแสดงสัญญาณสีแดงไม่ให้รถคันดังกล่าวผ่านเข้าออกได้ นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับรถที่ยังจอดอยู่ แสดงจำนวนรถที่เข้าจอด และจำนวนที่ว่างที่สามารถเข้าจอดได้ RFID Car Park System จึงเป็นระบบที่จ่อครดที่มีโปรแกรมใช้งานสามารถทำงานร่วมกับการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ปลายทางอย่างไม่มีกัั้นได้ จึงสามารถนำแนวคิดนี้ไปพัฒนาประยุกต์ใช้กับระบบที่จ่อครดในที่อยู่อาศัยแบบคอนโดมิเนียม หรือบริษัท อาคารต่างๆที่ต้องการความสะดวกสบายในการใช้งานที่จ่อครด และสามารถรักษาความปลอดภัยได้อีกทางหนึ่ง

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1. ในการออกแบบระบบที่จัดกรโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี ผู้จัดทำต้องศึกษาค้นคว้าข้อมูลในบางส่วนของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีที่ยังไม่แพร่หลายมากนัก

5.2.2. ในระบบที่จัดกรโดยใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี ได้สร้างโปรแกรมการทำงานด้วย MS Visual Studio 2008 และสร้างฐานข้อมูลโดยใช้ MS SQL 2005 ซึ่งผู้จัดทำต้องใช้เวลาในการศึกษาการทำงานของโปรแกรมพอสมควร เพื่อสร้างโปรแกรมที่ถูกต้อง ง่ายต่อการใช้งาน และเพื่อให้ฐานข้อมูลที่ใช้ไม่เกิดความซับซ้อน มีความครอบคลุม

5.2.3. การติดต่อระหว่างเครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer คอมพิวเตอร์ โปรแกรมการทำงาน และอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์อื่น ๆ ที่ใช้ในระบบ ผู้จัดทำต้องศึกษาการทำงานของแต่ละวงจร เพื่อให้เกิดการทำงานร่วมกันได้มากที่สุด และมีประสิทธิภาพ

5.2.4. การออกแบบโปรแกรมที่ใช้ร่วมกับระบบ ยังมีความบกพร่องอีกหลายประการ เนื่องจากการขาดความชำนาญในการออกแบบ

5.3 แนวทางแก้ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรมีความรู้ความเข้าใจในคุณสมบัติและการทำงานของเครื่องอาร์เอฟไอดี Reader/Writer เป็นอย่างดี เพื่อประโยชน์ในการเลือกใช้เครื่องให้เหมาะสมกับประเภทของการใช้งาน และเพื่อความสะดวกในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ

5.3.2 ควรมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม เพื่อสะดวกต่อการเชื่อมต่อและควบคุมการทำงาน ของอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกันในระบบ

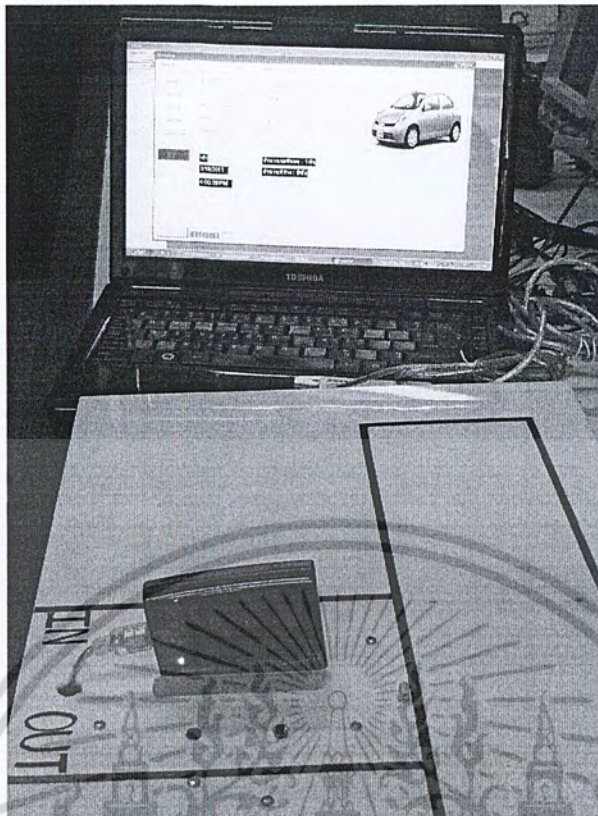
5.3.3 การเลือกย่านความถี่ที่จะใช้งาน เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากมีผลต่อการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี ระยะในการรับส่งข้อมูล รวมทั้งราคาอุปกรณ์ที่ใช้งาน

5.3.4 ในการจัดทำฐานข้อมูลโดยใช้โปรแกรม MS SQL 2005 ควรศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการทำงาน และการประยุกต์ใช้งานให้มากขึ้น เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องในการสร้างฐานข้อมูล

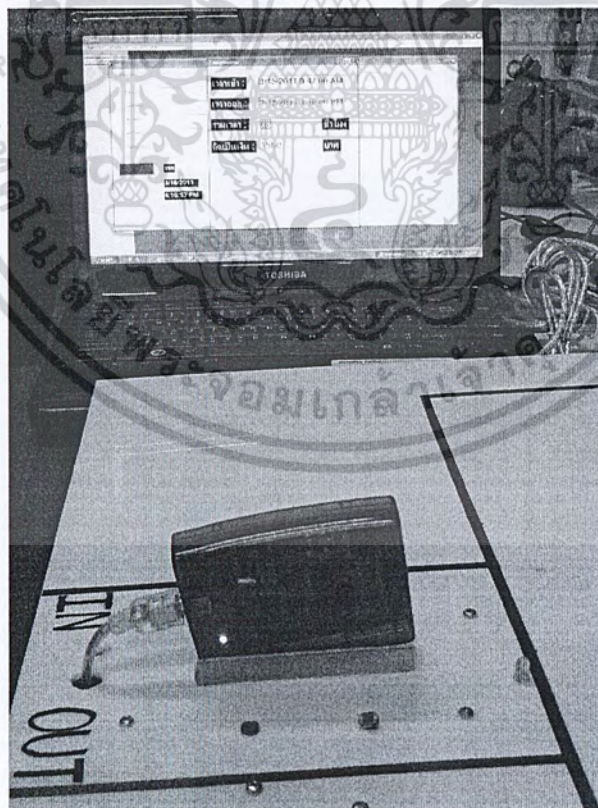
เอกสารอ้างอิง

- [1] รัชชัย จำลอง.มือใหม่ Access 2003 ใช้งานอย่างมือโปรฯ. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 2549
- [2] ประสิทธิ์ ทัพพุดิ และไพโรจน์ ไววนิชกิจ.เทคโนโลยี อาร์เอฟไอดี.สำนักพิมพ์ดอกหญ้ากรุป, กรุงเทพฯ, 2549
- [3] ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์.ระบบบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ.ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, ปทุมธานี, 2552
- [4] ศุภชัย สมพานิช.สร้างระบบฐานข้อมูลด้วย Visual Basic ฉบับปรับปรุง.อินโฟเพรส, นนทบุรี, 2545
- [5] ศุภชัย สมพานิช. Database Programming VB 2008 & VC #2008. สำนักพิมพ์ไอดีซี อินโฟดิสทรี บิวเตอร์เซ็นเซอร์ จำกัด, นนทบุรี, 2551
- [6] สัจจะ จรัสรุ่งรวีร. คู่มือการเขียนโปรแกรมและใช้งาน Visual Basic.NET ฉบับสมบูรณ์. สำนักพิมพ์ไอดีซี อินโฟดิสทรี บิวเตอร์ เซ็นเซอร์ จำกัด, นนทบุรี, 2545
- [7] สัจจะ จรัสรุ่งรวีร. เริ่มต้น Visual Basic 2008 ฉบับสมบูรณ์.สำนักพิมพ์ไอดีซี อินโฟดิสทรี บิวเตอร์ เซ็นเซอร์ จำกัด, นนทบุรี, 2552
- [8] สุรสิทธิ์ คิวประสพศักดิ์.อินไซด์ Visual Basic.NET ฉบับสมบูรณ์. บริษัท โปรวิชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ, 2546
- [9] http://www.acentech_net
- [10] <http://www.tiffaedi.com>
- [11] <http://www.อาร์เอฟไอดี-handbook.de/อาร์เอฟไอดี/standardization.html>
- [12] <http://www.อาร์เอฟไอดี.or.th/th/index.asp> 1
- [13] <http://www.vcharkarn.com/vcafe/164654>
- [14] <http://www.student.chula.ac.th/~49801110/>
- [15] <http://www.อาร์เอฟไอดีbasic.com/>





รูปแสดงการทำงานของระบบเมื่อมีรถเข้าจอด



รูปแสดงการทำงานของระบบเมื่อรถออกจากที่จอด

RFID MODULE

ISO15693 Read/Write Module

RFM015M-3

User Manual

Version 1.6

Apr 2007

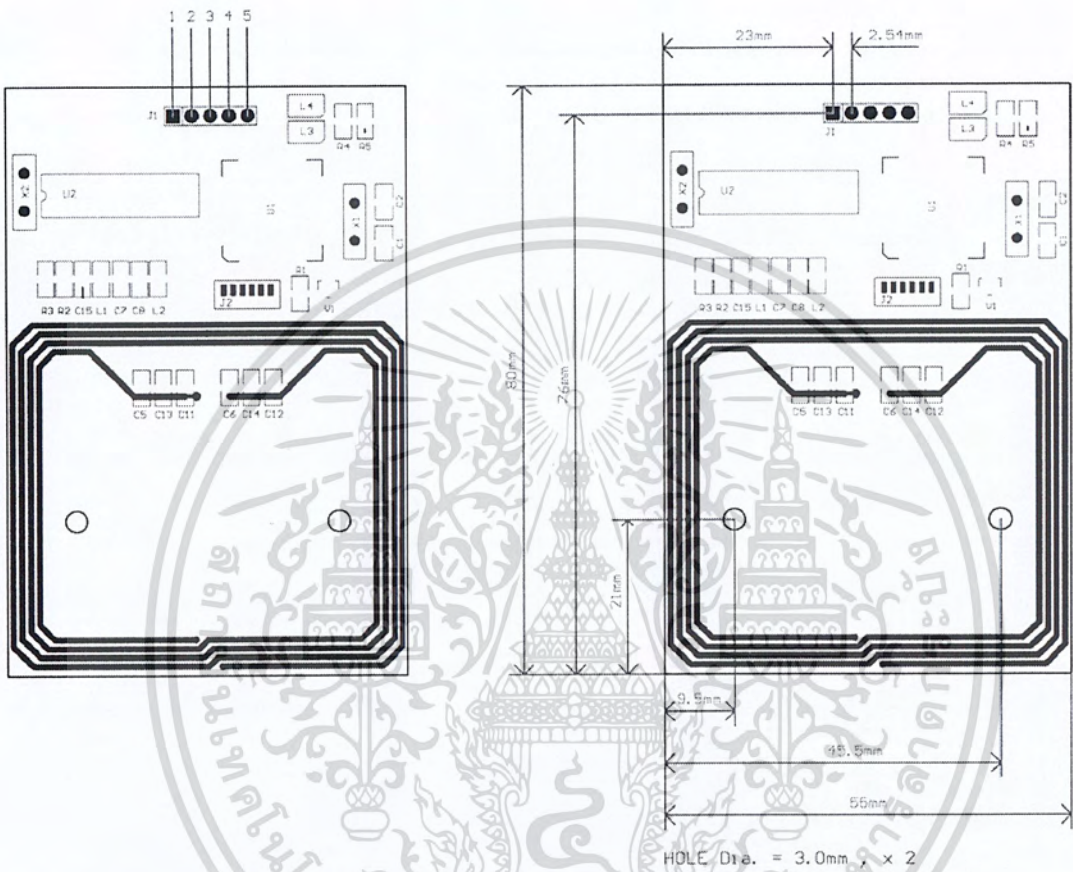
CONTENS

1. MAIN FEATURES	3
2. PINNING INFORMATION	4
3. BAUD RATE SETTING	5
4. COMMUNICATION PROTOCOL	5
4-1. Communication setting.....	5
4-2. Communication Format.....	5
4-3. Command Overview.....	6
4-4. Command List.....	7
4-4-1. Get tag information.....	7
4-4-2. Get block security status.....	7
4-4-3. Read blocks.....	7
4-4-4. Write data to a block.....	7
4-4-5. Write AFI.....	8
4-4-6. Write DSFID.....	8
4-4-7. Lock block	8
4-4-8. Lock AFL.....	9
4-4-9. Lock DSFID.....	9
4-4-10. Control Red Led	9
4-4-11. Reset	9

1. MAIN FEATURES

- Tag supported: I.CODE SLI, Tag_it
- Auto detecting tag
- Built-in antenna
- UART interface, baud rate 9,600 ~ 115,200 bps
- DC4.5V to DC5.5V VDD operating
- Operating distance: Up to 80mm, depending on tag
- Storage temperature: -40 °C ~ +85 °C
- Operating temperature: -20 °C ~ +70 °C
- Dimension: 80 × 55 × 7 mm
- Two LEDs, green led is auto light when tag in detection range, red led is controlled by host
- The OUT pin is low level indicating tag in detection range, and high level indicating tag out

2. PINNING INFORMATION



PIN	SYMBOL	TYPE	DESCRIPTION
1	TagSta	Output	Tag detect signal low level indicating tag in detection range high level indicating tag out
2	TXD	Output	Serial output port
3	RXD	Input	Serial input port
4	VCC	PWR	Power Supply
5	GND	PWR	Ground

3. BAUD RATE SETTING

R6 & R7 are two 0 ohm resistances assembled on the bottom layer of module, are used for config baud rate as follows sheet

	R6	R7	Baud rate bps
Assembled	no	no	9,600
	yes	no	19,200
	no	yes	57,600
	yes	yes	115,200

4. Communication Protocol

4-1. Communication setting

The communication protocol is byte oriented. Both sending and receiving bytes are in hexadecimal format. The communication parameters are as follows,

Baud rate: 9,600 ~ 115,200 bps

Data: 8 bits

Stop: 1 bit

Parity: None

Flow control: None

4-2. Communication Format

Host to Reader:

Header	Len	Command	Data	Checksum
--------	-----	---------	------	----------

Header: Communication header, 1 byte.

From host to module: 0xBA.

Len: Byte length counting from Command to Checksum inclusively, 1 byte.

Command: Command, 1 byte.

Data: Data, variable length depends on the command type.

Checksum: XOR result from Header to Data inclusively, 1 byte.

Reader to Host:

Header	Len	Command	Status	Data	Checksum
--------	-----	---------	--------	------	----------

Header: Communication header, 1 byte.

From module to host: 0xBD.

Len: Byte length counting from Command to Checksum inclusively, 1 byte.

Command: Command, 1 byte.

Status: Command status, 1 byte

Data: Data, variable length depends on the command type.

Checksum: XOR result from Header to Data inclusively, 1 byte.

4-4. Command List

4-4-1. Get tag information

0xBA	Len	0x31	Checksum
------	-----	------	----------

Return:

0xBD	Len	0x31	Status	UID	AFI	DSFID	Type	Checksum
------	-----	------	--------	-----	-----	-------	------	----------

Status: 0x00: Operation success

0x01: No tag

0x04: Read fail

0xF0: Checksum error

UID: The Unique Identifier of card, 8 bytes

AFI: The Application Family Identifier, 1byte

DSFID: The Data Storage Format Identifier, 1byte

Type: 0x31: Tag_it

0x32: I.CODE SLI

4-4-2. Get block security status

0xBA	Len	0x32	block	number	Checksum
------	-----	------	-------	--------	----------

block: Start block number

number: Number of blocks to be read

Return:

0xBD	Len	0x32	Status	Data	Checksum
------	-----	------	--------	------	----------

Status: 0x00: Operation success

0x01: No tag

0x04: Read fail

0xF0: Checksum error

Data: Security status, 1 byte to 1 block

4-4-3. Read blocks

0xBA	Len	0x33	block	number	Checksum
------	-----	------	-------	--------	----------

block: Start block number

number: Number of blocks to be read, max 16 blocks

Return:

0xBD	Len	0x33	Status	Data	Checksum
------	-----	------	--------	------	----------

Status: 0x00: Operation success

0x01: No tag

0x04: Read fail

0xF0: Checksum error

Data: Blocks data returned if operation is success, 4 bytes to 1 block

4-4-4. Write data to a block

0xBA	Len	0x34	Block	Data	Checksum
------	-----	------	-------	------	----------

Block: The block number to be written, 1 byte.

Data: The data to write, 4 bytes.

4-3. Command Overview:

Command	Description
0x31	Get tag information
0x32	Get block security status
0x33	Read blocks
0x34	Write a data block
0x35	Write AFI
0x36	Write DSFID
0x37	Lock block
0x38	Lock AFI
0x39	Lock DSFID
0x40	Control Red Led
0xFF	Reset

Status Overview:

Status	Description
0x00	Operation success
0x01	No tag
0x04	Read fail
0x05	Write fail
0x06	Unable to read after write
0x07	Read after write error
0xF0	Checksum error
0xF1	Command code error

Return:

0xBD	Len	0x34	Status	Data	Checksum
------	-----	------	--------	------	----------

Status: 0x00: Operation success
 0x01: No tag
 0x05: Write fail
 0x06: Unable to read after write
 0x07: Read after write error
 0xF0: Checksum error

Data: Block data written if operation is success, 4 bytes.

4-4-5. Write AFI

0xBA	Len	0x35	Data	Checksum
------	-----	------	------	----------

Data: The AFI data to write, 1 bytes.

Return:

0xBD	Len	0x35	Status	Data	Checksum
------	-----	------	--------	------	----------

Status: 0x00: Operation success
 0x01: No tag
 0x05: Write fail
 0x06: Unable to read after write
 0x07: Read after write error
 0xF0: Checksum error

Data: AFI data written if operation is success, 1 bytes.

4-4-6. Write DSFID

0xBA	Len	0x36	Data	Checksum
------	-----	------	------	----------

Data: The DSFID data to write, 1 bytes.

Return:

0xBD	Len	0x36	Status	Data	Checksum
------	-----	------	--------	------	----------

Status: 0x00: Operation success
 0x01: No tag
 0x05: Write fail
 0x06: Unable to read after write
 0x07: Read after write error
 0xF0: Checksum error

Data: DSFID data written if operation is success, 1 bytes.

4-4-7. Lock block

0xBA	Len	0x37	block	Checksum
------	-----	------	-------	----------

Block: The block number to be locked, 1 byte.

Return:

0xBD	Len	0x37	Status	Checksum
------	-----	------	--------	----------

Status: 0x00: Operation success
 0x01: No tag
 0x11: Lock fail
 0xF0: Checksum error

4-4-8. Lock AFI

0xBA	Len	0x38	Checksum
------	-----	------	----------

Return:

0xBD	Len	0x38	Status	Checksum
------	-----	------	--------	----------

Status: 0x00: Operation success
0x01: No tag
0x11: Lock fail
0xF0: Checksum error

4-4-9. Lock DSFID

0xBA	Len	0x39	Checksum
------	-----	------	----------

Return:

0xBD	Len	0x39	Status	Checksum
------	-----	------	--------	----------

Status: 0x00: Operation success
0x01: No tag
0x11: Lock fail
0xF0: Checksum error

4-4-10. Control Red Led

0xBA	Len	0x40	Code	Checksum
------	-----	------	------	----------

Code: 0 command red led turn off, other red led turn on, 1 byte

Return:

0xBD	Len	0x40	Status	Checksum
------	-----	------	--------	----------

Status: 0x00: Operation success
0xF0: Checksum error

4-4-11. Reset

0xBA	Len	0xFF	Checksum
------	-----	------	----------

No return

DATA SHEET

mifare[®]

Standard Card IC

MF1 IC S50

Functional Specification

Product Specification

May 2001

Revision 5.1

Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

CONTENTS

1 FEATURES 4

1.1 MIFARE® RF Interface (ISO/IEC 14443 A) 4

1.2 EEPROM 4

1.3 Security 4

2 GENERAL DESCRIPTION 5

2.1 Contactless Energy and Data Transfer 5

2.2 Anticollision 5

2.3 User Convenience 5

2.4 Security 5

2.5 Multi-application Functionality 5

2.6 Delivery Options 6

3 FUNCTIONAL DESCRIPTION 6

3.1 Block Description 6

3.2 Communication Principle 7

3.2.1 REQUEST STANDARD / ALL 7

3.2.2 ANTICOLLISION LOOP 7

3.2.3 SELECT CARD 7

3.2.4 3 PASS AUTHENTICATION 7

3.2.5 MEMORY OPERATIONS 8

3.3 Data Integrity 8

3.4 Security 8

3.4.1 THREE PASS AUTHENTICATION SEQUENCE 8

3.5 RF Interface 8

3.6 Memory Organisation 9

3.6.1 MANUFACTURER BLOCK 10

3.6.2 DATA BLOCKS 10

3.6.3 SECTOR TRAILER (BLOCK 3) 11

3.7 Memory Access 12

3.7.1 ACCESS CONDITIONS 13

3.7.2 ACCESS CONDITIONS FOR THE SECTOR TRAILER 13

3.7.3 ACCESS CONDITIONS FOR DATA BLOCKS 15

4 DEFINITIONS 16

Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

5 LIFE SUPPORT APPLICATIONS 16

6 REVISION HISTORY 17



MIFARE® is a registered trademark of Philips Electronics N.V.

Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

1 FEATURES

1.1 MIFARE® RF Interface (ISO/IEC 14443 A)

- Contactless transmission of data and supply energy (no battery needed)
- Operating distance: Up to 100mm (depending on antenna geometry)
- Operating frequency: 13.56 MHz
- Fast data transfer: 106 kbit/s
- High data integrity: 16 Bit CRC, parity, bit coding, bit counting
- True anticollision
- Typical ticketing transaction: < 100 ms (including backup management)

1.2 EEPROM

- 1 Kbyte, organized in 16 sectors with 4 blocks of 16 bytes each (one block consists of 16 byte)
- User definable access conditions for each memory block
- Data retention of 10 years.
- Write endurance 100.000 cycles

1.3 Security

- Mutual three pass authentication (ISO/IEC DIS9798-2)
- Data encryption on RF-channel with replay attack protection
- Individual set of two keys per sector (per application) to support multi-application with key hierarchy
- Unique serial number for each device
- Transport key protects access to EEPROM on chip delivery

Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

2 GENERAL DESCRIPTION

Philips has developed the MIFARE® MF1 IC S50 to be used in contactless smart cards according to ISO/IEC 14443A. The communication layer (MIFARE® RF Interface) complies to parts 2 and 3 of the ISO/IEC 14443A standard. The security layer sports the field-proven CRYPTO1 stream cipher for secure data exchange of the MIFARE® Classic family.

2.1 Contactless Energy and Data Transfer

In the MIFARE® system, the MF1 IC S50 is connected to a coil with a few turns and then embedded in plastic to form the passive contactless smart card. No battery is needed. When the card is positioned in the proximity of the Read Write Device (RWD) antenna, the high speed RF communication interface allows to transmit data with 106 kBit/s.

2.2 Anticollision

An intelligent anticollision function allows to operate more than one card in the field simultaneously. The anticollision algorithm selects each card individually and ensures that the execution of a transaction with a selected card is performed correctly without data corruption resulting from other cards in the field.

2.3 User Convenience

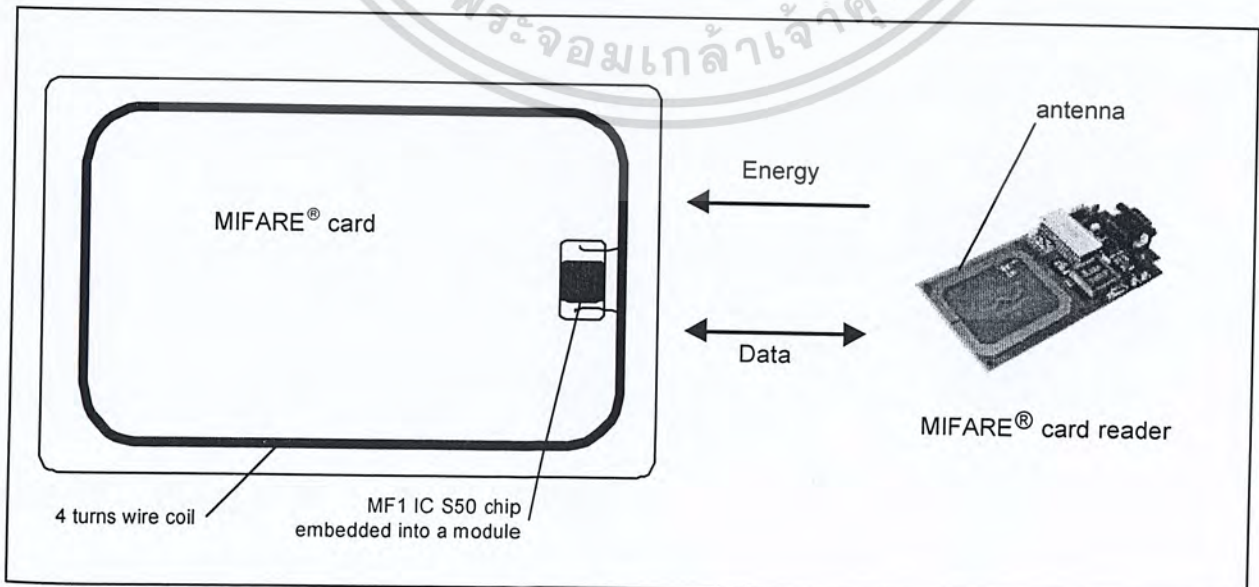
The MIFARE® system is designed for optimal user convenience. The high data transmission rate for example allows complete ticketing transactions to be handled in less than 100 ms. Thus, the MIFARE® card user is not forced to stop at the RWD antenna leading to a high throughput at gates and reduced boarding times onto busses. The MIFARE® card may also remain in the wallet during the transaction, even if there are coins in it.

2.4 Security

Special emphasis has been placed on security against fraud. Mutual challenge and response authentication, data ciphering and message authentication checks protect the system from any kind of tampering and thus make it attractive for ticketing applications. Serial numbers, which can not be altered, guarantee the uniqueness of each card.

2.5 Multi-application Functionality

The MIFARE® system offers real multi-application functionality comparable to the features of a processor card. Two different keys for each sector support systems using key hierarchies.



Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

2.6 Delivery Options

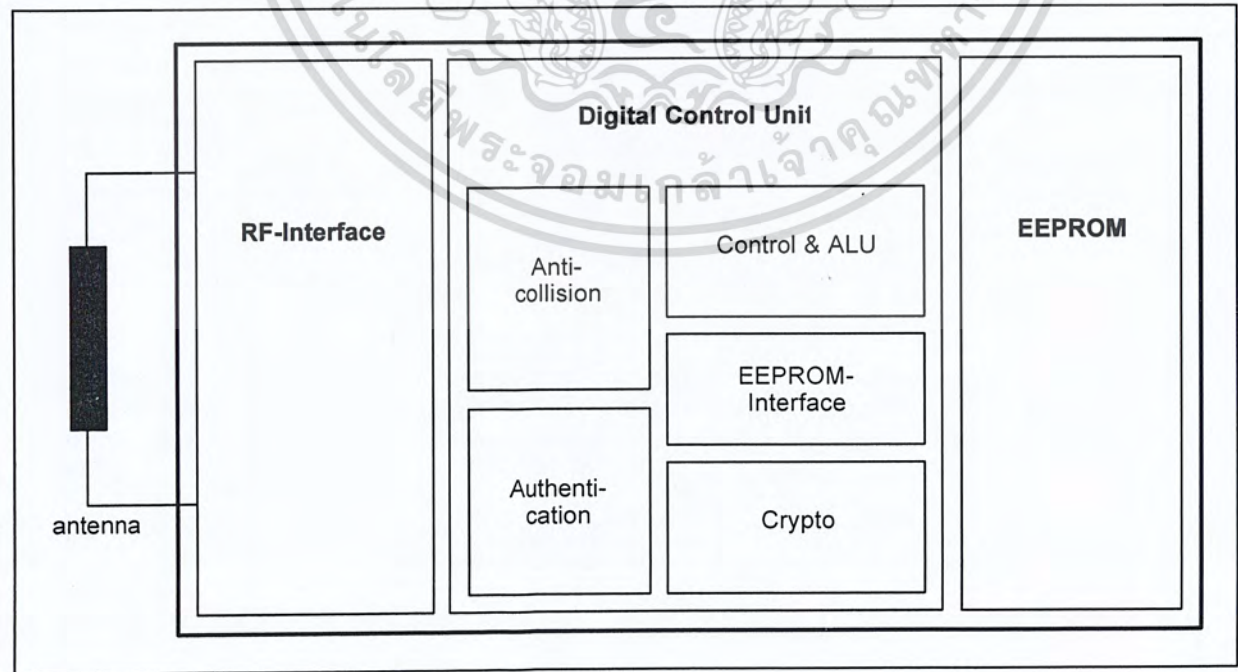
- Die on wafer
- Bumped die on wafer
- Chip Card Module

3 FUNCTIONAL DESCRIPTION

3.1 Block Description

The MF1 IC S50 chip consists of the 1 Kbyte EEPROM, the RF-Interface and the Digital Control Unit. Energy and data are transferred via an antenna, which consists of a coil with a few turns directly connected to the MF1 IC S50. No further external components are necessary. (For details on antenna design please refer to the document *MIFARE® Card IC Coil Design Guide*.)

- RF-Interface:
 - Modulator/Demodulator
 - Rectifier
 - Clock Regenerator
 - Power On Reset
 - Voltage Regulator
- Anticollision: Several cards in the field may be selected and operated in sequence
- Authentication: Preceding any memory operation the authentication procedure ensures that access to a block is only possible via the two keys specified for each block
- Control & Arithmetic Logic Unit: Values are stored in a special redundant format and can be incremented and decremented
- EEPROM-Interface
- Crypto unit: The field-proven CRYPTO1 stream cipher of the MIFARE® Classic family ensures a secure data exchange
- EEPROM: 1 Kbyte are organized in 16 sectors with 4 blocks each. A block contains 16 bytes. The last block of each sector is called "trailer", which contains two secret keys and programmable access conditions for each block in this sector.



Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

3.2 Communication Principle

The commands are initiated by the RWD and controlled by the Digital Control Unit of the MF1 IC S50 according to the access conditions valid for the corresponding sector.

3.2.1 REQUEST STANDARD / ALL

After Power On Reset (POR) of a card it can answer to a request command - sent by the RWD to all cards in the antenna field - by sending the answer to request code (ATQA according to ISO/IEC 14443A).

3.2.2 ANTICOLLISION LOOP

In the anticollision loop the serial number of a card is read. If there are several cards in the operating range of the RWD, they can be distinguished by their unique serial numbers and one can be selected (select card) for further transactions. The unselected

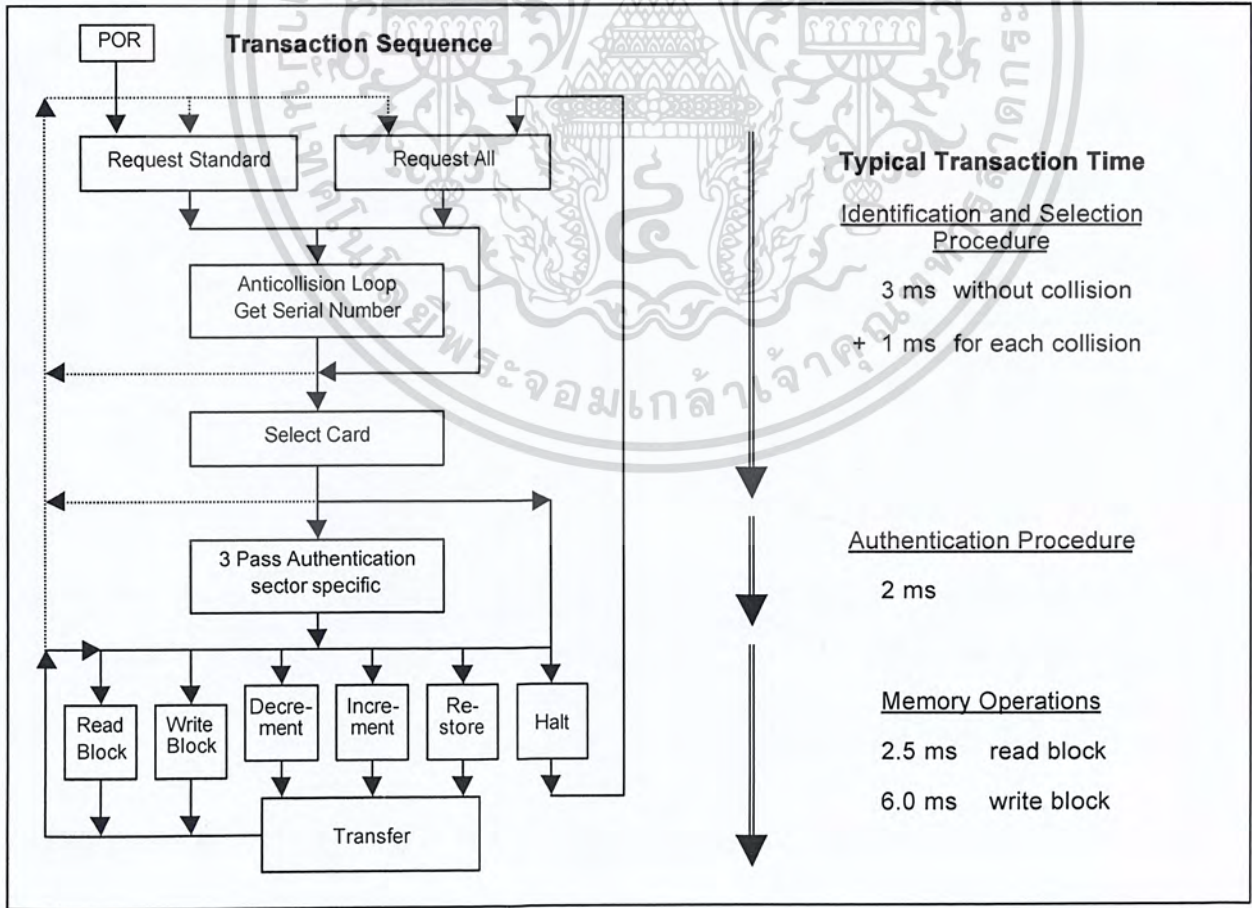
cards return to the standby mode and wait for a new request command.

3.2.3 SELECT CARD

With the select card command the RWD selects one individual card for authentication and memory related operations. The card returns the Answer To Select(ATS) code (= 08h), which determines the type of the selected card. Please refer to the document *MIFARE® Standardised Card Type Identification Procedure* for further details.

3.2.4 3 PASS AUTHENTICATION

After selection of a card the RWD specifies the memory location of the following memory access and uses the corresponding key for the 3 pass authentication procedure. After a successful authentication all memory operations are encrypted.



Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

3.2.5 MEMORY OPERATIONS

After authentication any of the following operations may be performed:

- Read block
- Write block
- Decrement: Decrements the contents of a block and stores the result in a temporary internal data-register
- Increment: Increments the contents of a block and stores the result in the data-register
- Restore: Moves the contents of a block into the data-register
- Transfer: Writes the contents of the temporary internal data-register to a value block

- together with a random challenge from the RWD, is then transmitted to the card (pass two).
- d) The card verifies the response of the RWD by comparing it with its own challenge and then it calculates the response to the challenge and transmits it (pass three).
 - e) The RWD verifies the response of the card by comparing it to its own challenge.

After transmission of the first random challenge the communication between card and RWD is encrypted.

3.5 RF Interface

The RF-interface is according to the standard for contactless smart cards ISO/IEC 14443A.

The carrier field from the RWD is always present (with short pauses when transmitting), because it is used for the power supply of the card.

For both directions of data communication there is only one start bit at the beginning of each frame. Each byte is transmitted with a parity bit (odd parity) at the end. The LSB of the byte with the lowest address of the selected block is transmitted first. The maximum frame length is 163 bits (16 data bytes + 2 CRC bytes = $16 \cdot 9 + 2 \cdot 9 + 1$ start bit).

3.3 Data Integrity

Following mechanisms are implemented in the contactless communication link between RWD and card to ensure very reliable data transmission:

- 16 bits CRC per block
- Parity bits for each byte
- Bit count checking
- Bit coding to distinguish between "1", "0", and no information
- Channel monitoring (protocol sequence and bit stream analysis)

3.4 Security

To provide a very high security level a three pass authentication according to ISO 9798-2 is used.

3.4.1 THREE PASS AUTHENTICATION SEQUENCE

- a) The RWD specifies the sector to be accessed and chooses key A or B.
- b) The card reads the secret key and the access conditions from the sector trailer. Then the card sends a random number as the challenge to the RWD (pass one).
- c) The RWD calculates the response using the secret key and additional input. The response,

Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

3.6 Memory Organisation

The 1024 x 8 bit EEPROM memory is organized in 16 sectors with 4 blocks of 16 bytes each.

In the erased state the EEPROM cells are read as a logical "0", in the written state as a logical "1".

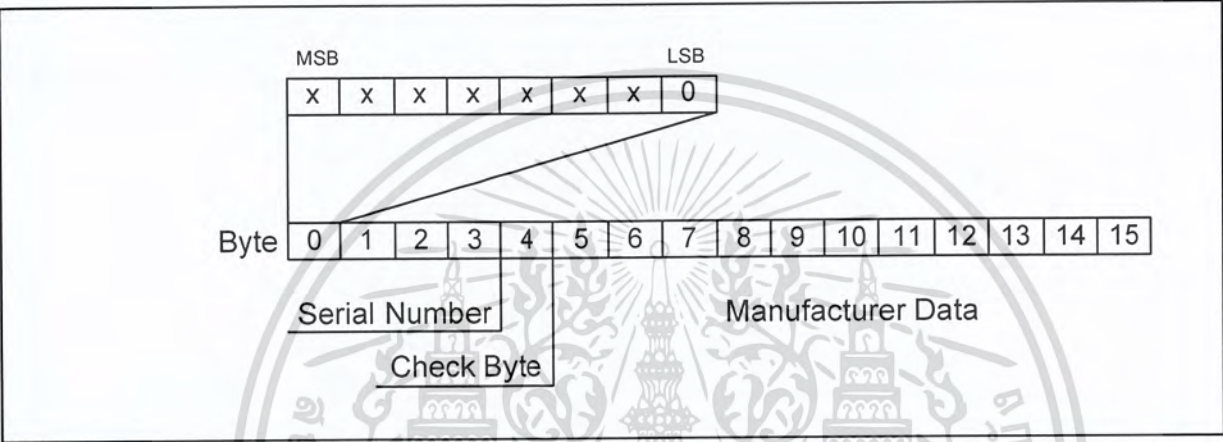
Sector	Block	Byte Number within a Block																Description
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
15	3	Key A				Access Bits				Key B								Sector Trailer 15
	2																	Data
	1																	Data
	0																	Data
14	3	Key A				Access Bits				Key B								Sector Trailer 14
	2																	Data
	1																	Data
	0																	Data
:	:																	
:	:																	
:	:																	
1	3	Key A				Access Bits				Key B								Sector Trailer 1
	2																	Data
	1																	Data
	0																	Data
0	3	Key A				Access Bits				Key B								Sector Trailer 0
	2																	Data
	1																	Data
	0	Manufacturer Block																

Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

3.6.1 MANUFACTURER BLOCK

This is the first data block (block 0) of the first sector (sector 0). It contains the IC manufacturer data. Due to security and system requirements this block is write protected after having been programmed by the IC manufacturer at production.



3.6.2 DATA BLOCKS

All sectors contain 3 blocks of 16 bytes for storing data (Sector 0 contains only two data blocks and the read-only manufacturer block).

The data blocks can be configured by the access bits as

- read/write blocks for e.g. contactless access control or
- value blocks for e.g. electronic purse applications, where additional commands like increment and decrement for direct control of the stored value are provided.

An authentication command has to be carried out before any memory operation in order to allow further commands.

3.6.2.1 Value Blocks

The value blocks allow to perform electronic purse functions (valid commands: *read, write, increment,*

- decrement, restore, transfer*).
- The value blocks have a fixed data format which permits error detection and correction and a backup management.
- A value block can only be generated through a *write* operation in the value block format:
- Value: Signifies a signed 4-byte value. The lowest significant byte of a value is stored in the lowest address byte. Negative values are stored in standard 2's complement format. For reasons of data integrity and security, a value is stored three times, twice non-inverted and once inverted.
 - Adr: Signifies a 1-byte address, which can be used to save the storage address of a block, when implementing a powerful backup management. The address byte is stored four times, twice inverted and non-inverted. During *increment, decrement, restore* and *transfer* operations the address remains unchanged. It can only be altered via a *write* command.

Byte Number	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Description	Value				Value				Value				Adr	Adr	Adr	Adr

Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

3.6.3 SECTOR TRAILER (BLOCK 3)

Each sector has a sector trailer containing the

- secret keys A and B(optional), which return logical "0"s when read and
- the access conditions for the four blocks of that sector, which are stored in bytes 6...9. The access bits also specify the type (read/write or value) of the data blocks.

If key B is not needed, the last 6 bytes of block 3 can be used as data bytes.

Byte 9 of the sector trailer is available for user data. For this byte apply the same access rights as for byte 6, 7 and 8.

Byte Number	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Description	Key A						Access Bits			Key B (optional)						

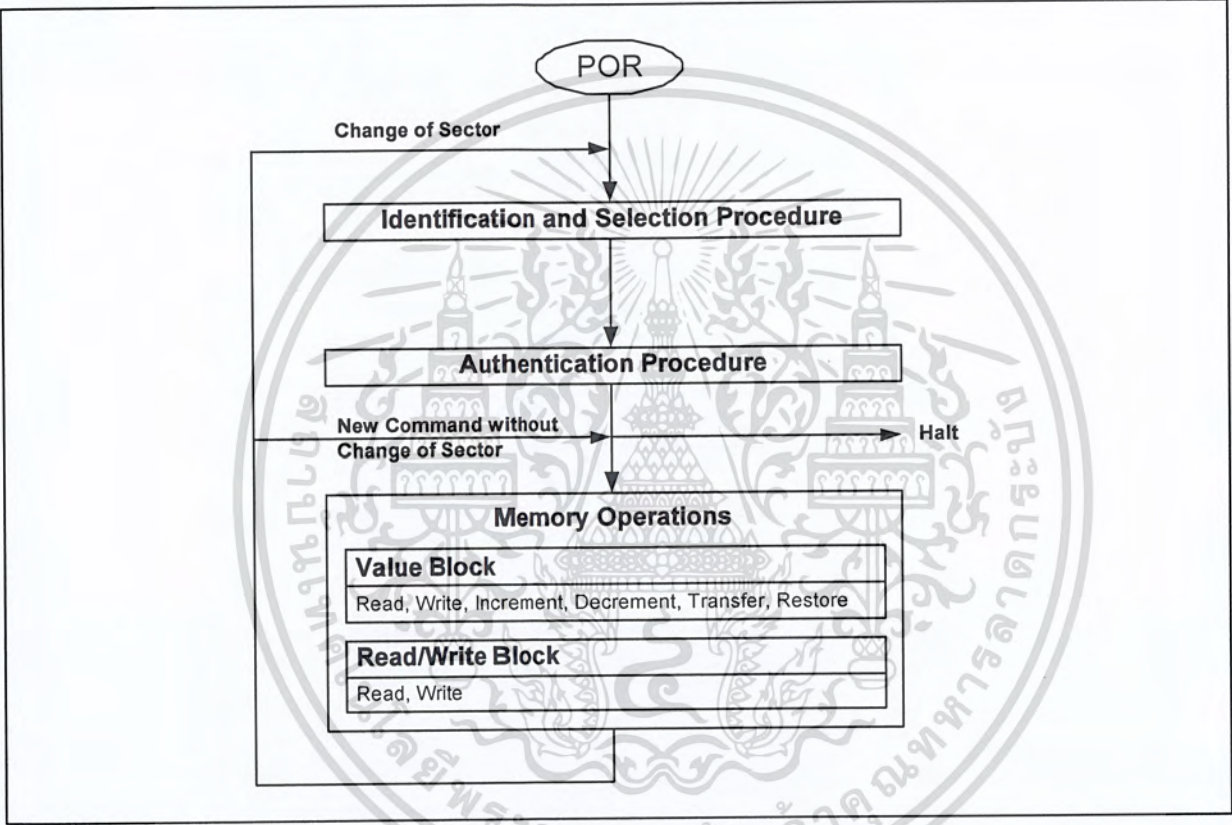
Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

3.7 Memory Access

Before any memory operation can be carried out, the card has to be selected and authenticated as described previously.

The possible memory operations for an addressed block depend on the key used and the access conditions stored in the associated sector trailer.



Memory Operations		
Operation	Description	Valid for Block Type
Read	reads one memory block	read/write, value and sector trailer
Write	writes one memory block	read/write, value and sector trailer
Increment	increments the contents of a block and stores the result in the internal data register	value
Decrement	decrements the contents of a block and stores the result in the internal data register	value
Transfer	writes the contents of the internal data register to a block	value
Restore	reads the contents of a block into the internal data register	value

Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

3.7.1 ACCESS CONDITIONS

The access conditions for every data block and sector trailer are defined by 3 bits, which are stored non-inverted and inverted in the sector trailer of the specified sector.

The access bits control the rights of memory access using the secret keys A and B. The access conditions may be altered, provided one knows the relevant key and the current access condition allows this operation.

Note: In the following description the access bits are mentioned in the non-inverted mode only.

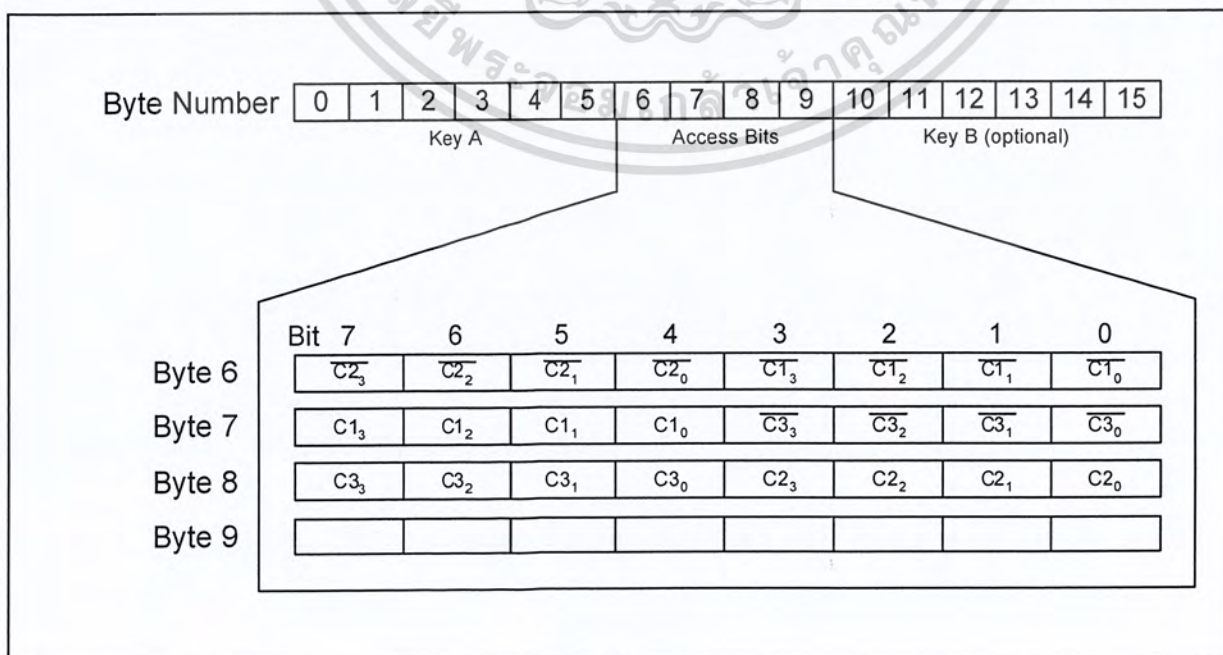
The internal logic of the MF1 IC S50 ensures that the commands are executed only after an authentication procedure or never.

Access Bits	Valid Commands		Block	Description
C ₁₃ C ₂₃ C ₃₃	read, write	→	3	sector trailer
C ₁₂ C ₂₂ C ₃₂	read, write, increment, decrement, transfer, restore	→	2	data block
C ₁₁ C ₂₁ C ₃₁	read, write, increment, decrement, transfer, restore	→	1	data block
C ₁₀ C ₂₀ C ₃₀	read, write, increment, decrement, transfer, restore	→	0	data block

Note: With each memory access the internal logic verifies the format of the access conditions. If it detects a format violation the whole sector is irreversible blocked.

3.7.2 ACCESS CONDITIONS FOR THE SECTOR TRAILER

Depending on the access bits for the sector trailer (block 3) the read/write access to the keys and the



Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

access bits is specified as 'never', 'key A', 'key B' or key A|B' (key A or key B).

On chip delivery the access conditions for the sector

configuration, new cards must be authenticated with key A.

Since the access bits themselves can also be blocked, special care should be taken during personalization of cards.

Note: the grey marked lines are access conditions where key B is readable and may be used for data.

Access bits			Access condition for						Remark
			KEYA		Access bits		KEYB		
C1	C2	C3	read	write	read	write	read	write	
0	0	0	never	key A	key A	never	key A	key A	Key B may be read
0	1	0	never	never	key A	never	key A	never	Key B may be read
1	0	0	never	key B	key A B	never	never	key B	
1	1	0	never	never	key A B	never	never	never	
0	0	1	never	key A	key A	key A	key A	key A	Key B may be read, transport configuration
0	1	1	never	key B	key A B	key B	never	key B	
1	0	1	never	never	key A B	key B	never	never	
1	1	1	never	never	key A B	never	never	never	

trailers and key A are predefined as transport configuration. Since key B may be read in transport

Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

3.7.3 ACCESS CONDITIONS FOR DATA BLOCKS

Depending on the access bits for data blocks (blocks 0...2) the read/write access is specified as 'never', 'key A', 'key B' or 'key A|B' (key A or key B). The setting of the relevant access bits defines the application and the corresponding applicable commands.

- Read/write block: The operations read and write are allowed.
- Value block: Allows the additional value operations *increment, decrement, transfer und restore*. In one case ('001') only *read* and *decrement* are possible for a non-rechargeable card. In the other case ('110') recharching is possible by using key B.
- Manufacturer block: The read-only condition is not affected by the access bits setting!
- Key management: In transport configuration key A must be used for authentication¹.

Access bits			Access condition for				Application
C1	C2	C3	read	write	increment	decrement, transfer, restore	
0	0	0	key A B ¹	key A B ¹	key A B ¹	key A B ¹	transport configuration
0	1	0	key A B ¹	never	never	never	read/write block
1	0	0	key A B ¹	key B ¹	never	never	read/write block
1	1	0	key A B ¹	key B ¹	key B ¹	key A B ¹	value block
0	0	1	key A B ¹	never	never	key A B ¹	value block
0	1	1	key B ¹	key B ¹	never	never	read/write block
1	0	1	key B ¹	never	never	never	read/write block
1	1	1	never	never	never	never	read/write block

¹ if Key B may be read in the corresponding Sector Trailer it cannot serve for authentication (all grey marked lines in previous table). **Consequences:** If the RWD tries to authenticate any block of a sector with key B using grey marked access conditions, the card will refuse any subsequent memory access after authentication.

Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

4 DEFINITIONS

Data sheet status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics section of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

5 LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so on their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

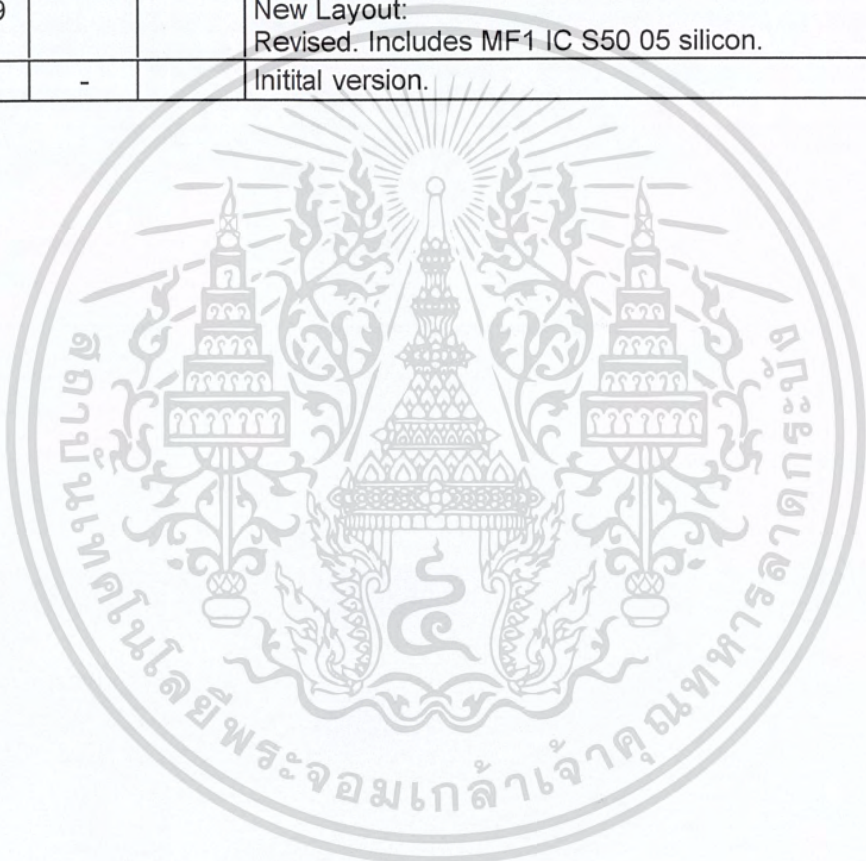
Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

6 REVISION HISTORY

Table 1 Functional Specification MF1 IC S50 Revision History

REVISION	DATE	CPCN	PAGE	DESCRIPTION
5.1	0501	2001 05013	9, 10	New Coding Manufacturer Block
5.0	1199			New Layout: Revised. Includes MF1 IC S50 05 silicon.
1.0		-		Initial version.



Functional Specification

Standard Card IC MF1 IC S50

NOTES



Philips Semiconductors - a worldwide company

Argentina: see South America

Australia: 34 Waterloo Road, NORTHRYDE, NSW 2113,
Tel. +612 9805 4455, Fax. +612 9805 4466

Austria: Computersstraße 6, A-1101 WIEN, P.O.Box 213,
Tel. +431 60 101, Fax. +431 30 101 1210

Belarus: Hotel Minsk Business Centre, Bld. 3, r.1211, Volodarski Str. 6,
220050 MINSK, Tel. +375172 200 733, Fax. +375172 200 773

Belgium: see The Netherlands

Brazil: see South America

Bulgaria: Philips Bulgaria Ltd., Energoprojekt, 15th floor,
51 James Bourchier Blvd., 1407 SOFIA
Tel. +3592 689 211, Fax. +3592 689 102

Canada: Philips Semiconductors/Components,
Tel. +1800 234 7381

China/Hong Kong: 501 Hong Kong Industrial Technology Centre,
72 Tat Chee Avenue, Kowloon Tong, HONG KONG,
Tel. +85223 19 7888, Fax. +85223 19 7700

Colombia: see South America

Czech Republic: see Austria

Denmark: Prags Boulevard 80, PB 1919, DK-2300 COPENHAGEN S,
Tel. +4532 88 2636, Fax. +4531 57 1949

Finland: Sinikalliontie 3, FIN-02630 ESPOO,
Tel. +3589 61 5800, Fax. +3589 61 580/xxx

France: 4 Rue du Port-aux-Vins, BP 317, 92156 SURESNES Cedex,
Tel. +331 40 99 6161, Fax. +331 40 99 6427

Germany: Hammerbrookstraße 69, D-20097 HAMBURG,
Tel. +4940 23 53 60, Fax. +4940 23 536 300

Greece: No. 15, 25th March Street, GR 17778 TAVROS/ATHENS,
Tel. +301 4894 339/239, Fax. +301 4814 240

Hungary: see Austria

India: Philips INDIA Ltd., Shivsagar Estate, A Block, Dr. Annie Besant Rd.
Worli, MUMBAI 400018, Tel. +9122 4938 541, Fax. +9122 4938 722

Indonesia: see Singapore

Ireland: Newstead, Clonskeagh, DUBLIN 14,
Tel. +3531 7640 000, Fax. +3531 7640 200

Israel: RAPAC Electronics, 7 Kehilat Saloniki St., TEL AVIV 61180,
Tel. +9723 645 0444, Fax. +9723 649 1007

Italy: Philips Semiconductors, Piazza IV Novembre 3,
20124 MILANO, Tel. +392 6752 2531, Fax. +392 6752 2557

Japan: Philips Bldg. 13-37, Kohnan 2-chome, Minato-ku, TOKYO 108,
Tel. +813 3740 5130, Fax. +813 3740 5077

Korea: Philips House, 260-199, Itaewon-dong, Yonsan-ku, SEOUL,
Tel. +822 709 1412, Fax. +822 709 1415

Malaysia: No. 76 Jalan Universiti, 46200 PETALING JAYA, Selangor,
Tel. +60 3750 5214, Fax. +603 757 4880

Mexico: 5900 Gateway East, Suite 200, EL PASO, Texas 79905,
Tel. +9 5800 234 7381

Middle East: see Italy

Netherlands: Postbus 90050, 5600 PB EINDHOVEN, Bldg. VB,
Tel. +3140 27 82785, Fax +3140 27 88399

New Zealand: 2 Wagener Place, C.P.O. Box 1041, AUCKLAND,
Tel. +649 849 4160, Fax. +649 849 7811

Norway: Box 1, Manglerud 0612, OSLO,
Tel. +4722 74 8000, Fax. +4722 74 8341

Philippines: Philips Semiconductors Philippines Inc.,
106 Valero St. Salcedo Village, P.O.Box 2108 MCC, MAKATI,
Metro MANILA, Tel. +632 816 6380, Fax. +632 817 3474

Poland: Ul. Lukiska 10, PL 04-123 WARSZAWA,
Tel. +4822 612 2831, Fax. +4822 612 2327

Portugal: see Spain

Romania: see Italy

Russia: Philips Russia, Ul. Usatcheva 35A, 119048 MOSCOW,
Tel. +7095 247 9145, Fax. +7095 247 9144

Singapore: Lorong 1, Toa Payoh, SINGAPORE 1231,
Tel. +65350 2538, Fax. +65251 6500

Slovakia: see Austria

Slovenia: see Italy

South Africa: S.A. Philips Pty Ltd., 195-215 Main Road Martindale,
2092 JOHANNESBURG, P.O.Box 7430 Johannesburg 2000,
Tel. +2711 470 5911, Fax. +2711 470 5494

South America: Rua do Rocio 220, 5th floor, Suite 51,
04552-903 Sao Paulo, SAO PAULO - SP, Brazil,
Tel. +5511 821 2333, Fax. +5511 829 1849

Spain: Balmes 22, 08007 BARCELONA,
Tel. +343 301 6312, Fax. +343 301 4107

Sweden: Kottbygatan 7, Akalla, S-16485 STOCKHOLM,
Tel. +468 632 2000, Fax. +468 632 2745

Switzerland: Allmendstraße 140, CH-8027 ZÜRICH,
Tel. +411 488 2686, Fax. +411 481 7730

Taiwan: Philips Taiwan Ltd., 2330F, 66,
Chung Hsiao West Road, Sec. 1, P.O.Box 22978,
TAIPEI 100, Tel. +8862 382 4443, Fax. +8862 382 4444

Thailand: Philips Electronics (Thailand) Ltd.,
209/2 Sanpavuth-Bangna Road Prakanong, BANGKOK 10260,
Tel. +662 745 4090, Fax. +662 398 0793

Turkey: Talapasa Cad. No. 5, 80640 GÜLTEPE/ISTANBUL,
Tel. +90212 279 2770, Fax. +90212 282 6707

Ukraine: Philips Ukraine, 4 Patrice Lumumba Str., Building B, Floor 7,
252042 KIEV, Tel. +38044 264 2776, Fax. +38044 268 0461

United Kingdom: Philips Semiconductors Ltd., 276 Bath Road, Hayes,
MIDDLESEX UM3 5BX, Tel. +44181 730 5000, Fax. +44181 754 8421

United States: 811 Argues Avenue, SUNNYVALE, CA94088-3409,
Tel. +1800 234 7381

Uruguay: see South America

Vietnam: see Singapore

Yugoslavia: Philips, Trg N. Pasica 5/v, 11000 BEOGRAD,
Tel. +38111 625 344, Fax. +38111 635 777

Published by:

Philips Semiconductors Gratkorn GmbH, Mikron-Weg 1, A-8101 Gratkorn, Austria Fax: +43 3124 299 - 270

For all other countries apply to: Philips Semiconductors, Marketing & Sales Communications, Internet: <http://www.semiconductors.philips.com>
Building BE-p, P.O.Box 218, 5600 MD EINDHOVEN, The Netherlands, Fax: +3140 27 24825

© Philips Electronics N.V. 1997

SCB52

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without any notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Philips
Semiconductors



PHILIPS