

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ
RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION

โดย

นาย สรายุทธ บัวศรี รหัส 47010817
นาย สุรยศ มหาสมุทร รหัส 47010893

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ประภากร สุวรรณะ

รพ.
๙๓๕๑
๒๕๕๐

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 82466
วัน,เดือน,ปี..... 11 ก.ค. 2551

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

b. 11๙4๖๑๖๖
i.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2550

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION)

ผู้จัดทำ

1. นาย สุรยศ มหาสมุทร 47010893

2. นาย สรายุทธ บัวศรี 47010817



ลงชื่อ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ประภากร สุวรรณะ)

12 / 24 / 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ

นายสรายุทธ บัวศรี รหัส 47010817

นายสุรยศ มหาสมุทร รหัส 47010893

ผศ.ประภากร สุวรรณะ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบของ ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องอ่านรหัส, ส่วนป้ายชื่อ และเครื่องเขียนรหัส ในการอ่านรหัส ระบบนี้จะประกอบด้วย ส่วนเครื่องอ่านรหัส และส่วนป้ายชื่อ โดยการทำงานนั้นเครื่องอ่านจะทำหน้าที่ถ่ายกำลังงานในรูปแบบแม่เหล็ก ให้กับส่วนป้ายชื่อ

โดยในการเขียนรหัสนั้นจะมีหลักการคล้ายๆกับการเข้ารหัสจะใช้การส่งผ่านแบบไร้สายโดยใช้คลื่นสนามแม่เหล็กซึ่งในโครงการนี้ใช้ที่ความถี่ 13.56 MHz ซึ่งมีทั้งส่วนที่เป็นส่วนของ อนุบาล็อก และคิจิตอล ในส่วนที่เป็น อนุบาล็อก ประกอบด้วยวงจร วงจรขยายกำลัง, วงจรมอดคูเลชัน และวงจรคิโมคคูเลชัน และในส่วนที่เป็น คิจิตอล ได้มีการใช้ภาษาซี เขียนโปรแกรมลงใน PIC ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลขนาดเล็ก ชนิดหนึ่ง

ในภาคเรียนนี้เป็นการออกแบบวงจรขับเคลื่อนของเครื่องอ่าน วงจรเมทซิ่งกับสายอากาศซึ่งอยู่ในรูปขดลวด และหาข้อมูลกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนของเครื่องอ่านเพื่อให้ได้แรงดันไฟตรงที่ส่วนป้ายชื่อ ค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Radio Frequency Identification

Mr.Sarayut beausri ID.47010817

Mr Surayot Mahasamoot ID.47010893

Asst prof. Prapakorn Suwana Advisor

Educational Year 2007

Abstract

This project is the design of a RFID Module(Radio Frequency Identification) which include reader ,tag and writer. Reading , This system includes reader and tag that reader will send energy in a form of magnetic field to tag

Both reading and writing use contact less by 13.56MHz magnetic field. This project has analog part and digital part. In analog part which include Power Amplifier circuit, Modulation circuit, Demodulation circuit etc. In digital part, We use C language to program in Microprocessor , PIC.

In this term , This project about design circuit to drive the reader coil and about find the power for drive the reader coil for transfer DC voltage to tag

กิตติกรรมประกาศ

โครงการและรายงานนี้จะไม่สามารถสำเร็จลงไปได้ด้วยดีได้โดยหากขาดความเมตตาและความกรุณาจาก ศ.ศ. ประภากร สุวรรณะ ที่คอยให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอดอีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการทดลองและปฏิบัติงาน นอกจากนี้ยังได้รับความช่วยเหลือจากเพื่อนๆ ทางผู้จัดทำต้องขอกราบพระคุณทุกท่านอย่างสูง



ผู้จัดทำ

นาย สรายุทธ บัวศรี

นาย สุรัชศ มหาสมุทร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID	2
1.2 จุดเด่นที่สำคัญของ RFID tags เปรียบเทียบกับ Barcode	3
1.3 การนำ RFID มาใช้ในธุรกิจและชีวิตประจำวัน	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 ลักษณะการทำงานของระบบ RFID	4
2.2 Tag หรือ Transponder	6
2.2.1 Passive RFID Tags	6
2.1.2 Active RFID Tags	7
2.3 เครื่องอ่าน (Reader)	8
2.4 คลื่นพาหะและมาตรฐานของระบบ RFID	9
2.5 ความถี่ที่ใช้ในระบบ RFID	10
2.6 วิธีการรับ-ส่ง ข้อมูลของ Tag กับ Reader	11
2.6.1 การรับ-ส่ง ข้อมูลแบบ Backscatter (Reflected)	11
2.6.2 การรับ-ส่งข้อมูลแบบ Load modulation	11
2.2.1 การรับ-ส่งข้อมูลแบบ Harmonic	11
2.7 การส่งพลังงานและข้อมูลระหว่าง Tag กับ Reader ของ RFID	12
2.7.1 วิธี Half Duplex หรือ full Duplex	12
2.7.2 วิธี Sequential	12
2.8 Tag ของ RFID ชนิด n-bit	14
2.6.1 วิธี Half Duplex หรือ Full Duplex	14
2.6.2 วิธี Sequential	18
2.9 การส่งข้อมูลจาก Reader ไปยัง Tag	19
2.10 การแมทซ์อิมพีแดนซ์ (Impedance Matching)	22
2.10.1 วงจรเสมือน การแปลงระหว่าง อิมพีแดนซ์อนุกรม และอิมพีแดนซ์ขนาน	22
2.10.2 วงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์อย่างง่าย	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11	วงจรเรโซแนนซ์	27
2.6.1	วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม(Series Resonance)	28
2.6.2	วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์ (Parallel Resonance or Tank circuit)	29
2.12	ทฤษฎีพื้นฐานของการออกแบบ antenna	30
2.6.1	กระแสและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	30
2.6.2	แรงดันที่เหนี่ยวนำได้จากขดลวดสายอากาศ	32
บทที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบและการคำนวณ		36
3.1	วงจร Reader	36
3.2	วงจร Tag	37
3.3	Tag Regulator	38
3.4	การคำนวณหาค่าอุปกรณ์ต่างๆในวงจร MATCHING	42
บทที่ 4 ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง		45
4.1	ผลการทดลองการวัดค่าแรงดันและกระแสวงจร Tag regulator	45
4.2	ผลการทดลองจากการวัดค่าแรงดันไฟตรงที่ระยะต่างๆระหว่างReader กับ Tag	46
4.3	กราฟผลการทดลองจากการวัดค่าแรงดันที่ระยะต่างๆระหว่างReader กับ Tag	48
4.4	ผลการทดลองการ Demodulation ที่ระยะต่างๆระหว่างReader กับTag	49
4.5	ผลการทดลองของAdaptive Threshold Comparator	52
4.6	สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	53
บทที่ 5 บทสรุป		54
เอกสารอ้างอิง		55
ภาคผนวก		56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
รูปที่ 1.1 ระบบของ RFID	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	
รูปที่ 2.1 แสดงภาพรวมของระบบ RFID	5
รูปที่ 2.2 แสดง Tag รูปแบบ ต่างๆ	6
รูปที่ 2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ Passive Tag	7
รูปที่ 2.4 ตัวอย่าง Active Tag ที่มีแบตเตอรี่ Lithium 2 ก้อนอยู่ภายนอก	7
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างภายในเครื่องอ่าน	8
รูปที่ 2.6 แสดงรูปตัวอย่างเครื่องอ่านแบบต่างๆ	8
รูปที่ 2.7 แสดงการส่งพลังงานและข้อมูลระหว่าง Tag กับ Reader ของ RFID	12
รูปที่ 2.8 แสดงวิธีการส่งพลังงานและข้อมูลระหว่าง Reader กับ Tag ของ RFID ตามขนาดของข้อมูลที่เก็บภายใน Tag	13
รูปที่ 2.9 แสดงการส่งพลังงานและข้อมูลระหว่าง Reader กับ Tag แบบ Inductive Coupling	14
รูปที่ 2.10 แสดงการส่งพลังงานและข้อมูลระหว่าง Reader กับ Tag แบบ Load modulation With sub carrier	15
รูปที่ 2.11 แสดงวงจรภายในของ Tag แบบ Sub harmonic	15
รูปที่ 2.12 แสดงการส่งพลังงานและข้อมูล Reader กับ Tag แบบ Electromagnetic Backscatter Coupling	16
รูปที่ 2.13 แสดงการส่งพลังงานระหว่าง Reader กับ Tag แบบ Electrical Coupling	17
รูปที่ 2.14 แสดงวงจรการส่งข้อมูลระหว่าง Reader กับ Tag แบบ Electrical Coupling	17
รูปที่ 2.15 แสดงการส่งพลังงานระหว่าง Reader กับ Tag Inductive Coupling	18
รูปที่ 2.16 แสดงวงจรภายใน Tag แบบ Inductive Coupling	18
รูปที่ 2.17 แสดงวงจรภายในของ Tag แบบ Surface Acoustic Wave (SAW)	19
รูปที่ 2.18 แสดงการส่งแบบ Amplitude Shift Keying (ASK)	20
รูปที่ 2.19 แสดงการส่งข้อมูลแบบ Phase Shift Keying (PSK)	20

รูปที่ 2.20 แสดงการส่งข้อมูลแบบ Frequency Shift Keying (FSK)	21
รูปที่ 2.21 แสดงการส่งข้อมูลแบบ a) ASK ,b) PSK D c) FSK	21
รูปที่ 2.22 วงจรเสมือนอิมพีแดนซ์	22
รูปที่ 2.23 วงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์อย่างง่ายที่สุด	24
รูปที่ 2.24 การแมทซ์อิมพีแดนซ์ ระหว่าง R_2 และ R_1	26
รูปที่ 2.25 วงจรเรโซแนนซ์ที่ใช้ LC	27
รูปที่ 2.26 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	28
รูปที่ 2.27 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์	29
รูปที่ 2.28 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเส้นตรง	31
รูปที่ 2.29 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเป็นรูป	32
รูปที่ 2.30 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับระยะทาง r	32
รูปที่ 2.31 โครงสร้างพื้นฐานของตัวอ่านและแท็กในการประยุกต์ใช้ RFID	33
รูปที่ 2.32 ตำแหน่งของสายอากาศของแท็ก	35
บทที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบและการคำนวณ	
รูปที่ 3.1 วงจร Reader Data Modulation	36
รูปที่ 3.3 Block Diagram Tag	37
รูปที่ 3.4 วงจร Tag Regulator	38
รูปที่ 3.5 Tag Coil	40
รูปที่ 3.6 วงจร Matching	42
รูปที่ 3.7 ค่าอุปกรณ์ต่างๆในวงจร Matching	44
บทที่ 4 ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง	
รูปที่ 4.1 วงจร Tag Regulator	45
รูปที่ 4.2 แสดงการDemodulationที่ระยะทาง 0 cm	49
รูปที่ 4.3 แสดงการDemodulationที่ระยะทาง 1 cm	49
รูปที่ 4.4 แสดงการDemodulationที่ระยะทาง 2 cm	50
รูปที่ 4.5 แสดงการDemodulationที่ระยะทาง 2.5 cm	50
รูปที่ 4.6 แสดงการDemodulationที่ระยะทาง 3 cm	51
รูปที่ 4.7 แสดงการDemodulationที่ระยะทาง 3.5 cm	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎี	
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของ RFID	9
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบความถี่ที่ใช้งานในแต่ละย่านความถี่ของ RFI D	10
ตารางที่ 2.3 สรุปการใช้งานของความถี่แต่ละย่านของ RFID	10
บทที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบและการคำนวณ	
ตารางที่ 3.1 จากการคำนวณ	41
บทที่ 4 ขั้นตอนการออกแบบและการคำนวณ	
ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันและกระแสวงจร Tag regulator ที่ $V_{DC, in} = 6.5\text{Volt}$	45
ตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันและกระแสวงจร Tag regulator ที่ $V_{DC, in} = 12\text{Volt}$	45
ตารางที่ 4.3 ค่าแรงดันและกระแสวงจร Tag regulator ที่ $V_{DC, in} = 15\text{Volt}$	46
ตารางที่ 4.4 ค่าแรงดันที่ระยะห่างต่างๆ โดย $R_{L(TAG)} = \infty$	46
ตารางที่ 4.5 ค่าแรงดันที่ระยะห่างต่างๆ โดย $R_{L(TAG)} = 330\ \text{Ohm}$	46
ตารางที่ 4.6 ค่าแรงดันที่ระยะห่างต่างๆ โดย $R_{L(TAG)} = 680\ \text{Ohm}$	47
ตารางที่ 4.7 ค่าแรงดันที่ระยะห่างต่างๆ โดย $R_{L(TAG)} = 1.2\ \text{kOhm}$	47

บทที่ 1

บทนำ

RFID ย่อมาจาก Radio Frequency Identification เป็นระบบระบุลักษณะของวัตถุด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 RFID เป็นระบบที่ทำงานคล้ายคลึงกับ Smart Card และทำหน้าที่แทน Barcode ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าทุกระบบ ในระบบ Smart Card จะใช้บัตรที่มีหน่วยความจำ และไม่โครโปรเซสเซอร์ บรรจุอยู่ภายใน สัมผัสโดยตรงกับเครื่องอ่านบัตร ทำให้สามารถทราบข้อมูลต่างๆที่ต้องการให้ทราบของผู้ถือบัตรได้ ส่วนระบบ RFID ตัวบัตรสามารถอยู่ห่างจากเครื่องอ่านได้ ไม่ต้องสัมผัสเครื่องอ่านแบบบัตรสมาร์ทการ์ด และไม่ต้องหันบัตรเข้าหาเครื่องอ่านเหมือน Barcode RFID เป็นเทคโนโลยีที่มีมานานเกือบร้อยปีแล้ว แต่ยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ยังมีขนาดใหญ่ไม่สะดวกในการติดตั้งและใช้งาน ปัจจุบันเทคโนโลยีนี้กำลังจะมีบทบาทมากขึ้นอย่างรวดเร็วและเข้ามาเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเราอย่างเลี่ยงไม่ได้ ส่วนประกอบของระบบ RFID มี 2 ส่วนดังนี้

1. RFID Tags หรือ Transponder
2. เครื่องอ่าน Reader หรือ Interrogator

พื้นฐานของ RFID คือความต้องการให้ สิ่งมีชีวิต, วัตถุ หรือ เจ้าของวัตถุ ที่มีฉลากหรือป้าย RFID ติดอยู่ สามารถแจ้งข้อมูล ประวัติ หรือ ลักษณะเฉพาะ ของตัวเองให้ผู้อื่น ที่มีเครื่องอ่าน RFID ทราบได้ ผ่านทางคลื่นวิทยุ โดยอัตโนมัติ RFID ย่อมาจากคำว่า “Radio Frequency Identification” คือการใช้ไอซีประเภท ไมโครชิป 15 วัติน ป้ายหรือฉลาก ซึ่งไมโครชิปจะเก็บข้อมูลที่สำคัญและจำเป็นไว้ และส่งสัญญาณข้อมูลออกมาด้วยความถี่วิทยุที่กำหนดไว้ ไปยังเครื่องรับหรือเครื่องอ่านข้อมูล RFID ที่อยู่ในระยะส่ง แผ่นป้ายหรือฉลากที่ระบุข้อมูลไว้ในไมโครชิปนี้ เราเรียกว่า RFID Tags หรือ Transponder แผ่นป้ายระบุข้อมูล (RFID Tags) ประกอบด้วยแผงวงจรไมโครชิปกับเสาอากาศขนาดเล็ก(แบบไดโพล) ที่ฝังเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นป้ายระบุข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 1.1 ระบบของ RFID** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RFID tags แบ่งได้เป็น สอง ประเภท ได้แก่ 1. Active RFID tags และ 2. Passive RFID tags

1. Active RFID tags ต้องใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้า (แบตเตอรี่) ที่ติดตั้งอยู่ภายในเพื่อการทำงาน ข้อสังเกต คือ ราคาแพง, มีขนาดใหญ่กว่าแบบ Passive, อายุการใช้งานจำกัด, ไม่ต้องใช้เครื่องอ่านที่มีกำลังสูง

2. Passive RFID tags ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่ในการทำงาน ข้อสังเกต คือ ราคาถูก, มีขนาดเล็ก ไม่จำกัดอายุการใช้งาน และต้องใช้เครื่องอ่านที่มีกำลังสูงอีก ด้วย

เครื่องอ่านสัญญาณ (RFID Reader) มีทั้งแบบอยู่กับที่และแบบพกพา จะประกอบไปด้วย ภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ ส่วนควบคุม และเสาอากาศ ความถี่ที่สร้างขึ้นจะมีขนาดเท่ากับ ความถี่ที่ RFID Tags สามารถตอบสนองได้ โดยอาศัยทฤษฎีการเหนี่ยวนำสัญญาณไฟฟ้า เมื่อคลื่นสัญญาณกระทบกับแผ่นป้ายระบุข้อมูล (RFID Tags) เพื่อให้แผ่นป้ายระบุข้อมูล (RFID Tags) ส่งข้อมูลของตัวเองกลับมายังเครื่องอ่านสัญญาณ (RFID Reader) จากนั้นจะแปลงสัญญาณที่ได้รับ ให้อยู่ในรูปดิจิทัลเพื่อใช้ประมวลผลทางคอมพิวเตอร์หรือไม่โครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

1.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID

1. ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีแท็กส์เข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่

2. เมื่อมีแท็กส์เข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กส์จะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กส์เริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็ก

3. คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็กส์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด, ความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต

4. ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

1.2 จุดเด่นที่สำคัญของ RFID tags เปรียบเทียบกับ Barcode

1. สามารถอ่านข้อมูลได้ถูกต้องรวดเร็ว ไม่ต้องมีการสัมผัสกับ tag
2. สามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี หรือสามารถอ่านค่าได้ในขณะที่วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ เช่น สินค้าที่กำลังเคลื่อนที่อยู่บนสายพานการผลิต
3. ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก
4. สามารถอ่านและบันทึกข้อมูลได้หลายครั้ง สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ TIM Page 4/18
5. สามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่างเช่น น้ำ, พลาสติก, กระจก หรือวัสดุทึบแสง อื่นๆ ในขณะที่ บาร์โค้ดทำไม่ได้
6. สามารถอ่านข้อมูลของผลิตภัณฑ์ได้พร้อมกันครั้งละ หลายๆ ชิ้น ในขณะที่ Barcode อ่านได้เพียงทีละชิ้น

1.3 การนำ RFID มาใช้ในธุรกิจและชีวิตประจำวัน

- ใช้ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ในสายการผลิต เช่น ตรวจสอบวัตถุดิบที่นำมาใช้ประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ว่าครบ และถูกต้องตามรุ่นที่กำหนดไว้หรือไม่ ทำให้ประหยัดคนในการ QC วัตถุดิบก่อนเข้าสายการผลิต

- ใช้ในงานด้าน Logistics และ Warehouse ทำให้เราตรวจสอบสินค้าที่จะส่งหรือรับ ได้อย่างรวดเร็วในปริมาณครั้งละมากๆ ป้องกันสินค้าสูญหายหรือโจรกรรม

- ใช้ในด้านความปลอดภัย ในอาคาร โดยให้เฉพาะผู้ที่ติด RFID Tags สามารถเข้าอาคารหรือพื้นที่ที่กำหนดได้

- ใช้ลงบันทึกเวลาทำงานหรือเข้าออกอาคาร Time Attendant

- ใช้แทนหนังสือเดินทาง บัตรประจำตัวประชาชน และบัตรประจำตัวอื่นๆ

- ใช้เป็นตัวโดยสารรถ เรือ เครื่องบิน ตัวคุณภาพยนตร์ ฯลฯ

- ใช้ตรวจติดตามสัตว์ หรือของมีค่าต่างๆ

- ติดที่ฉลากยา หรือ ฉลากสินค้า ป้องกันของที่ยังไม่ได้คิดราคาถูกขโมย สามารถคิดราคาสินค้าปริมาณมากๆ ได้อย่างรวดเร็ว และสามารถบอกวันหมดอายุของสินค้า หรือยาได้

- ใช้ติดกับหนังสือในห้องสมุด เพื่อป้องกันการสูญหายหรือโจรกรรม อีกทั้งช่วยในการจัดประเภทและค้นหาหนังสือได้อย่างรวดเร็ว

จะเห็นว่า มีการใช้ RFID แพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆ ผู้ผลิตควรเลือกที่จะนำข้อดีของระบบนี้ มาประยุกต์ใช้กับงานเพื่อให้เกิดกำไรและประโยชน์สูงสุดกับองค์กร ส่วนผู้บริโภคมีหน้าที่เลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่มาจากเทคโนโลยีเหล่านี้ตามความต้องการซึ่งอยู่บนพื้นฐานของความจำเป็นและ

พอเพียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

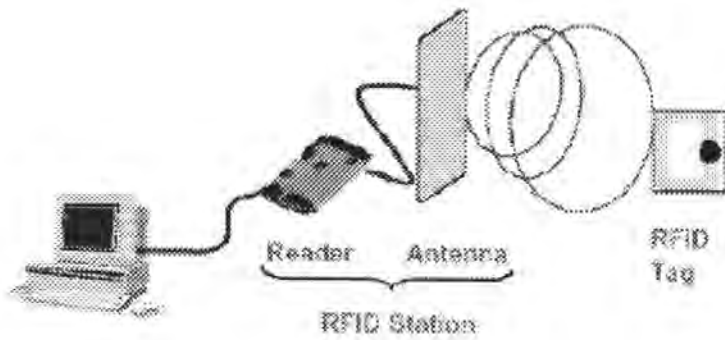
ทฤษฎี

ในระบบ RFID จะมีองค์ประกอบหลักๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือทรานสปอนเดอร์ หรือแท็ก (Transponder/Tag) ที่ใช้ติดกับวัตถุต่างๆ ที่เราต้องการ โดยแท็กที่ว่าจะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ เอาไว้ ส่วนที่สองก็คือเครื่องสำหรับอ่าน/เขียนข้อมูลภายในแท็ก (Interrogator/Reader) ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งหากเปรียบเทียบกับระบบบาร์โค้ดนั้น แท็กในระบบ RFID ก็คือ ตัวบาร์โค้ดที่ติดกันฉลากของสินค้า และเครื่องอ่านในระบบ RFID ก็คือ เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Scanner) โดยข้อแตกต่างของทั้งสองระบบคือ ระบบ RFID จะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่าน/เขียน ส่วนระบบรหัสแท่งจะใช้แสงเลเซอร์ ในการอ่าน โดยข้อเสียของระบบบาร์โค้ด คือหลักการอ่านเป็นการใช้แสงในการอ่านแท็กบาร์โค้ด ซึ่งจะต้องอ่านแท็กที่ไม่อะไรกับปกปิดหรือ ต้องอยู่ในเส้นตรงเดียวกับลำแสงที่ยิงจากเครื่องสแกน และอ่านได้ทีละแท็ก ในขณะที่ระบบ RFID จะแตกต่างโดยสามารถอ่านแท็กได้ โดยไม่ต้องเห็นแท็ก หรือแท็กนั้นซ่อนอยู่ภายในวัตถุและไม่จำเป็นต้องอยู่ในเส้นตรงกับคลื่น เพียงอยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้ และการอ่านแท็กในระบบ RFID ยังสามารถอ่านได้หลายๆ แท็กในเวลาเดียวกัน โดยระยะเวลาในการอ่านข้อมูลได้ไกลกว่าระบบบาร์โค้ดอีกด้วย

2.1 ลักษณะการทำงานของระบบ RFID

หัวใจของเทคโนโลยี RFID ได้แก่ "Inlay" ที่บรรจุอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์กับโลหะที่ยืดหยุ่นได้สำหรับการติดตามหรือทำหน้าที่เป็นเสาอากาศนั่นเอง Inlay มีความหนาสูงสุดอยู่ที่ 0.375 มิลลิเมตร สามารถทำเป็นแผ่นบางอัดเป็นชั้น ๆ ระหว่างกระดาษ, แผ่นฟิล์ม หรือพลาสติกก็ได้ ซึ่งเป็นการผลิตเครื่องหมายหรือฉลาก จากวัสดุที่มีราคาไม่แพงมากนัก ซึ่งจะเห็นว่า Inlay มีลักษณะรูปร่างที่บางมาก จึงทำให้ง่ายต่อการติดเป็นป้ายชื่อหรือฉลากของชิ้นงานหรือวัตถุนั้น ๆ ได้สะดวก

RFID เป็นระบบที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่า แท็ก (Tag) และตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่ง มาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่อยู่ในตัวรับข้อมูล ดังแผนผังการทำงานของระบบ RFID



รูปที่ 2.1 แสดงภาพรวมของระบบ RFID

การประยุกต์ใช้งาน RFID จะมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกับบาร์โค้ด (บาร์โค้ด) และยังสามารถรองรับความต้องการอีกหลายอย่างที่บาร์โค้ดไม่สามารถตอบสนองได้ เนื่องจากบาร์โค้ดจะเป็นระบบที่อ่านได้อย่างเดียว (Read only) ไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่อยู่บนบาร์โค้ดได้ แต่แท็กของระบบ RFID จะสามารถทั้งอ่านและบันทึกข้อมูลได้ ดังนั้นเราจึงสามารถเปลี่ยนแปลงหรือทำการบันทึกข้อมูลที่อยู่ในแท็กได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

นอกจากนี้ระบบ RFID ยังสามารถใช้งานได้แม้ในขณะที่วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ เช่น ในขณะที่สินค้ากำลังเคลื่อนที่อยู่บนสายพานการผลิต (Conveyor) หรือในบางประเทศก็มีการใช้ระบบ RFID ในการเก็บค่าผ่านทางด่วน โดยที่ผู้ใช้บริการทางด่วนไม่ต้องหยุดรถเพื่อจ่ายค่าบริการ ผู้ใช้บริการทางด่วนจะมีแท็กติดอยู่กับรถ และแท็กจะทำการสื่อสารกับตัวอ่านข้อมูล ผ่านสายอากาศขนาดใหญ่ที่ตั้งอยู่ตรงบริเวณทางขึ้นทางด่วน ในขณะที่รถแล่นผ่านสายอากาศ ตัวอ่านข้อมูลก็จะคิดค่าบริการและบันทึกจำนวนเงินที่เหลือลงในแท็กโดยอัตโนมัติ หรือแม้กระทั่งการใช้งานในปศุสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ หรือระบุความแตกต่างของสัตว์แต่ละตัวที่อยู่ในฟาร์ม ข้อดีของระบบ RFID อีกอย่างก็คือ แท็กและตัวอ่านข้อมูลสามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่างเช่น น้ำ, พลาสติก, กระจก หรือวัสดุทึบแสงอื่นๆ ในขณะที่บาร์โค้ดทำไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Tag หรือ Transponder

โครงสร้างภายในของแท็กจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ และสร้างพลังงาน ป้อนให้ส่วนของไมโครชิป (Microchip) ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุเช่นรหัสสินค้า โดยทั่วไปตัวแท็กอาจอยู่ในชนิดทั้งเป็นกระดาษแผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างต่างๆ กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำมาผลิต และมีหลายรูปแบบ เช่น ขนาดเท่าบัตรเครดิต เหรียญ กระดุม ฉลากสินค้า แคปซูล เป็นต้น แต่โดยหลักการอาจแบ่งแท็กที่มีการใช้งานกันอยู่ 2 ชนิดใหญ่ๆ แต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในแง่ของการใช้งานราคาโครงสร้างและหลักการทำงานอยู่ ซึ่งจะขอกล่าวถึงและอธิบายแยกเป็นหัวข้อดังนี้

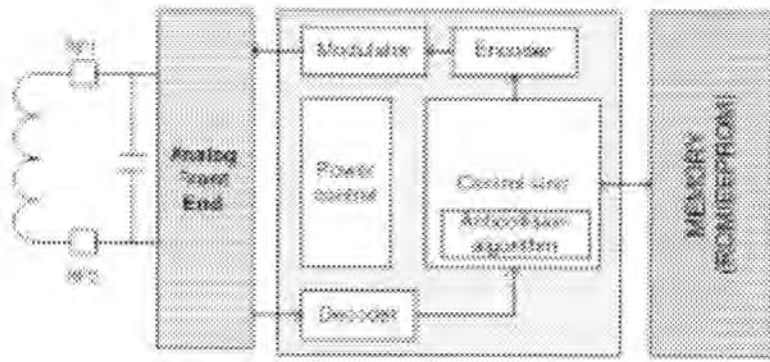


รูปที่ 2.2 แสดง Tag รูปแบบ ต่างๆ

2.2.1 Passive RFID Tags

แท็กชนิดนี้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกใดๆ เพราะภายในแท็กจะมีวงจรถ่ายพลังงานไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็กเป็นแหล่งจ่ายไฟในตัวอยู่ทำให้การอ่านข้อมูลทำได้ไม่ไกลมากนัก ระยะอ่านสูงสุดประมาณ 1 เมตร ขึ้นอยู่กับความแรงของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ ปกติแท็กชนิดนี้มักมีหน่วยความจำขนาดเล็กโดยทั่วไปประมาณ 16 ถึง 1,024 ไบต์ มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ราคาต่อหน่วยต่ำ ไอซีของแท็กชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมา จะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นแท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน ส่วน โครงสร้างภายในที่เป็น ไอซีของแท็กนั้น ก็จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนควบคุมการทำงานของภาครับ-ส่งสัญญาณวิทยุ (Analog Front-End) ส่วนควบคุมภาคลอจิก (Digital Control Unit) ส่วนของหน่วยความจำ (Memory) ซึ่งอาจจะ เป็นแบบ ROM หรือ EEPROM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ Passive Tag

2.1.2 Active RFID Tags

แท็กชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ภายนอก เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรภายในทำงาน แท็กชนิดนี้มีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ และสามารถอ่านได้ในระยะไกลสูงสุดประมาณ 10 เมตร แม้ว่าแท็กจะมีข้อดีอยู่หลายข้อแต่ก็มีข้อเสียด้วยเช่นกัน เช่นมีราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด นอกจากการแบ่งจากชนิดที่ว่ามาแล้วแท็กก็ยังถูกแบ่งประเภทจากรูปแบบในการใช้งาน ได้เป็น 3 แบบ คือ แบบที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้อย่างอิสระ (Read-Write), แบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระ (Write-Once Read-Many หรือ WORM) และแบบอ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read-Only) ด้วย อย่างไรก็ตามแท็กชนิดพาสซีฟ จะนิยมใช้มากกว่า ดังนั้นจึงจะขอกล่าวถึงเฉพาะแท็กชนิดนี้เป็นหลัก



รูปที่ 2.4 ตัวอย่าง Active Tag ที่มีแบตเตอรี่ Lithium 2 ก้อนอยู่ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เครื่องอ่าน (Reader)

โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือ การเชื่อมต่อเพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลลงในแท็กด้วยสัญญาณความถี่วิทยุภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วยเสาอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับส่งสัญญาณภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุและวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล จำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์

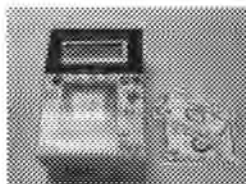
โดยทั่วไปเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

หน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในโปรแกรมจะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (Decoding) ที่ได้รับและทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ลักษณะขนาดและรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็กหรือติดผนัง จนถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size) เป็นต้น



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างภายในเครื่องอ่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.6 แสดงรูปตัวอย่างเครื่องอ่านแบบต่างๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 คลื่นพาหะและมาตรฐานของระบบ RFID

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

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

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะของ RFID

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

ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้ว RFID ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดและมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วน RFID ที่ใช้คลื่นพาหะย่านความถี่ต่ำก็จะมีอัตราการส่งข้อมูลต่ำและราคาก็จะต่ำลงตามลงไปด้วย

2.5 ความถี่ที่ใช้ในระบบ RFID

ในปัจจุบันคลื่นพาหะ(carrier)ที่ใช้งานกันในระบบ RFID จะอยู่ในย่านความถี่ที่ใช้กันของพลเรือน ISM (Industrial i Scientific - Medical) ซึ่งสามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้สื่อสารทั่วไป โดยปกติแล้วจะแบ่งความถี่ที่ใช้งานของ RFID เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. ย่านความถี่ต่ำ(Low Frequency : LF) $f < 150$ kHz
2. ย่านความถี่สูง(High Frequency : HF) 13.56/27.125 MHz
3. ย่านความถี่สูงยิ่ง(Ultra High Frequency : UHF) 433/868/915 MHz
4. ย่านความถี่ไมโครเวฟ(Microwave Frequency) 2.45/5.8 GHz

ถ้าเปรียบเทียบความถี่ที่ใช้งานในแต่ละย่านกับระยะทางที่สามารถทำงานได้ของความถี่นั้นๆสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบความถี่ที่ใช้งานในแต่ละย่านความถี่ของ RFID

ความถี่	ระยะที่อ่านได้
125 - 134 KHz	น้อยกว่า 1 เมตร (ประมาณ 10 เซนติเมตร)
13.56 MHz	น้อยกว่า 1.5 เมตร (ประมาณ 1 เมตร)
860 - 960 MHz	2 - 5 เมตร (tag แบบ แพลสซิก) 1 - 100 เมตร (tag แบบ แอ็กทิฟ)
2.45 GHz	น้อยกว่า 1 เมตร (tag แบบ แพลสซิก) 1 - 15 เมตร (tag แบบ แอ็กทิฟ)

และสามารถสรุปการใช้งานของความถี่แต่ละย่านได้ดังนี้

ตารางที่ 2.3 สรุปการใช้งานของความถี่แต่ละย่านของ RFID

Frequency band	Benefits	Concerns	Typical DoD Applications
100-500 kHz (Low Frequency)	<ul style="list-style-type: none"> • Inexpensive • Better penetration of non-metallic items 	<ul style="list-style-type: none"> • Short to medium read range • Slow reading speed 	<ul style="list-style-type: none"> • Access control • Inventory control
13-15 MHz (High Frequency)	<ul style="list-style-type: none"> • Short to medium read range • Medium reading speed 	<ul style="list-style-type: none"> • Potentially inexpensive 	<ul style="list-style-type: none"> • Access control • Smart cards
860-960 MHz (Ultra-High Frequency)	<ul style="list-style-type: none"> • Long read range • High reading speed 	<ul style="list-style-type: none"> • Line of sight required • Expensive 	<ul style="list-style-type: none"> • Vehicle Identification and Entry Control Systems
2.4-5.8 GHz (Microwave)	<ul style="list-style-type: none"> • Long read range • High reading speed 	<ul style="list-style-type: none"> • Line of sight required • Expensive 	<ul style="list-style-type: none"> • Vehicle Identification and Entry Control Systems • 802.11 generation of WLANs

A comparison of the benefits, concerns and applications related to different spectrum frequency bands.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 วิธีการรับ-ส่ง ข้อมูลของ Tag กับ Reader

เราสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด

2.6.1 การรับ-ส่ง ข้อมูลแบบ Backscatter (Reflected)

เป็นการติดต่อรับ-ส่งข้อมูลระหว่าง Tag กับ Reader โดย Reader จะส่งสัญญาณเข้ามาที่ Tag ในความถี่หนึ่ง จากนั้น Tag จะสะท้อนและส่งข้อมูลกลับไปยัง Reader ซึ่งในขณะที่ส่งสัญญาณและสะท้อนสัญญาณนั้น ความถี่ carrier ของ Tag ที่สะท้อนกลับไป Reader จะเท่ากับ ความถี่ carrier ของ Reader ที่ส่งมา ($f_{\text{transmit}}=f_{\text{receive}}$)

2.6.2 การรับ-ส่งข้อมูลแบบ Load modulation

เป็นการรับ-ส่งข้อมูลระหว่าง Tag กับ Reader โดยเมื่อ Reader ส่งข้อมูลกับสัญญาณ carrier ความถี่ใดๆแล้วทาง Tag จะทำการ modulate สัญญาณ carrier ที่เข้ามาเพื่อแปลง carrier ให้เป็นสัญญาณ sub carrier สองความถี่ ที่ข้อมูลอยู่ภายในแล้วส่งสัญญาณ sub carrier ทั้ง 2 สัญญาณกลับไปยัง Reader

2.6.3 การรับ-ส่งข้อมูลแบบ Harmonic

วิธีการทาง Harmonic แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1) Sub harmonic เป็นการส่งข้อมูลของ Tag กลับไปยัง Reader โดยที่เมื่อ Reader ส่งความถี่ของ Carrier เข้ามาค่าหนึ่ง Tag จะทำการหารความถี่นั้นด้วยจำนวนเต็ม n (n เป็นจำนวนเต็มใดๆแล้วแต่การออกแบบวงจรความถี่) จากนั้น Tag จะทำการส่งข้อมูลกลับไปยัง Reader ด้วยความถี่ที่หาร n นั้น ($f=f_{\text{carrier}}/n$)

2) Generation of harmonic เป็นการส่งข้อมูลของ Tag กลับไปยัง Reader โดยที่เมื่อ Reader ส่งความถี่ของ Carrier เข้ามาค่าหนึ่งของ Carrier เข้ามาค่าหนึ่งที่ Tag จะทำการคูณความถี่นั้นด้วยจำนวนเต็ม n (n เป็นจำนวนเต็มใดๆ) จากนั้น Tag จะทำการส่งข้อมูลกลับไปยัง Reader ด้วยความถี่ที่คูณด้วยค่าจำนวนเต็ม n นั้น ($f=n \times f_{\text{carrier}}$)

2.7 การส่งพลังงานและข้อมูลระหว่าง Tag กับ Reader ของ RFID

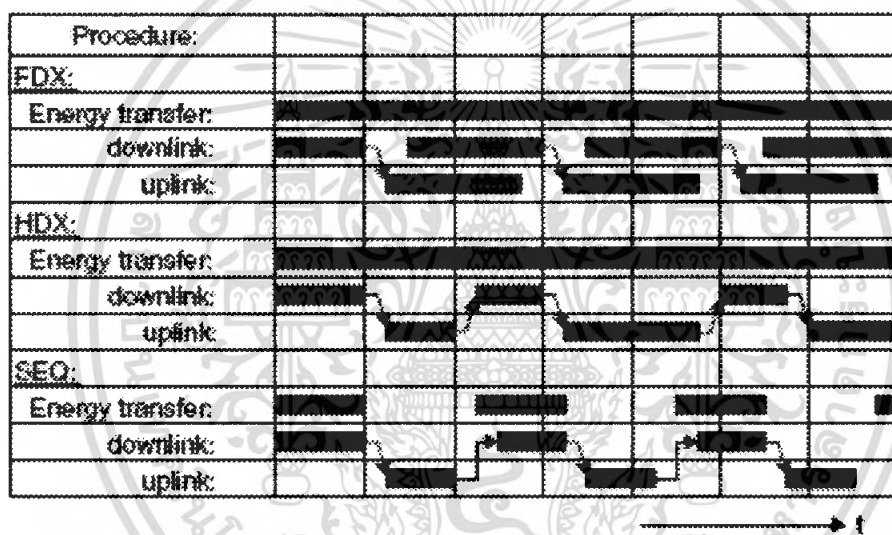
2.7.1 วิธี Half Duplex หรือ full Duplex

Half Duplex(HDX) เป็นการส่งผ่านพลังงานออกมาตลอดการส่งและรับข้อมูล อีกทั้งยังสามารถส่งและรับข้อมูลกันได้ในเวลาเดียวกัน

Full Duplex(FDX)เป็นการส่งผ่านพลังงานออกมาตลอดการรับและการส่งข้อมูล แต่ไม่สามารถส่งและรับข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน

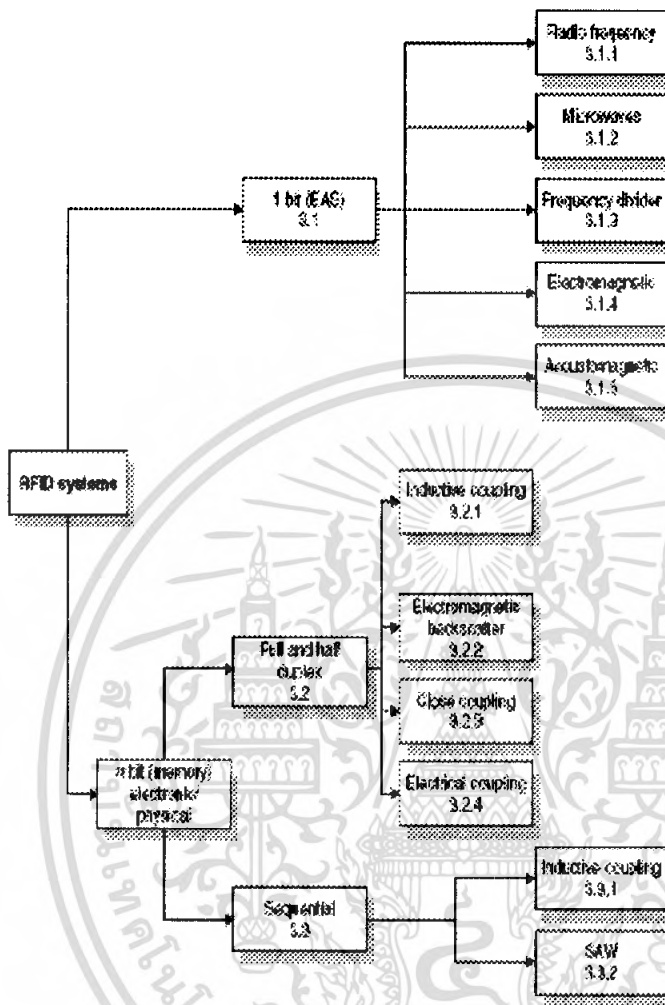
2.7.2 วิธี Sequential

Sequential เป็นการส่งผ่านพลังงานออกมาพร้อมกับการส่งข้อมูลออก แต่เมื่อรับข้อมูลจะหยุดส่งพลังงานออกมาแต่ไม่สามารถส่งและรับข้อมูลกันได้ในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 2.7 แสดงการส่งพลังงานและข้อมูลระหว่าง Tag กับ Reader ของ RFID

ถ้าแบ่งการส่งพลังงานและข้อมูลระหว่าง Reader กับ Tag ของ RFED ตามขนาดของข้อมูลที่เก็บภายใน Tag จะแบ่งได้ดังนี้



รูปที่ 2.8 แสดงวิธีการส่งพลังงานและข้อมูลระหว่าง Reader กับ Tag ของ RFID ตามขนาดของข้อมูลที่เก็บภายใน Tag

ซึ่งภายในรายงานเล่มนี้นั้นจะพูดในเฉพาะส่วนการส่งผ่านพลังงานชนิด n-bit เท่านั้น

2.8 Tag ของ RFID ชนิด n-bit

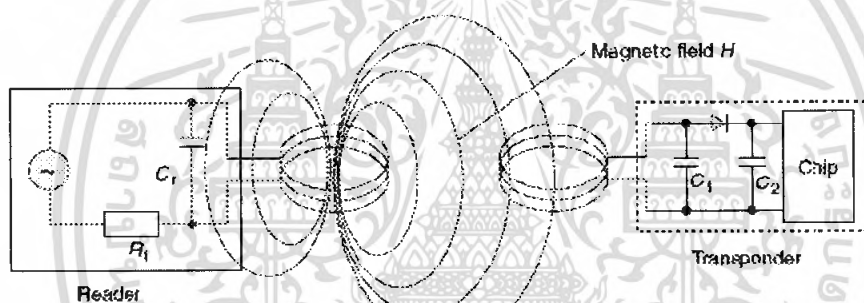
เป็น Tag ที่สามารถเก็บข้อมูลได้มากกว่า 1 บิต โดยสามารถเก็บข้อมูลได้ถึงหลายกิโลไบต์ ดังนั้นจึงทำให้ Tag สามารถส่งข้อมูลประจำตัวกลับมายัง Reader ได้วิธีในการส่งพลังงานและข้อมูลระหว่าง Reader ปละ Tag ชนิดนี้แบ่งได้เป็น 2 วิธีใหญ่ๆ

2.8.1 วิธี Half Duplex หรือ Full Duplex

1) Inductive Coupling

การส่งพลังงานจาก Reader ไปยัง

การส่งพลังงานนั้นทำได้โดยใช้หลักการของหม้อแปลงในการส่งพลังงาน กล่าวคือ สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นทางด้าน Tag จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันรูปไซน์ขึ้น เมื่อนำไดโอดมาต่อเพื่อทำให้ได้ไฟกระแสตรงค่าหนึ่งจากนั้นกรองแรงดันรีปเปลออกเพื่อนำแรงดันไฟตรงไปใช้งานกับชิป



รูปที่ 2.9 แสดงการส่งพลังงานและข้อมูลระหว่าง Reader กับ Tag แบบ Inductive Coupling

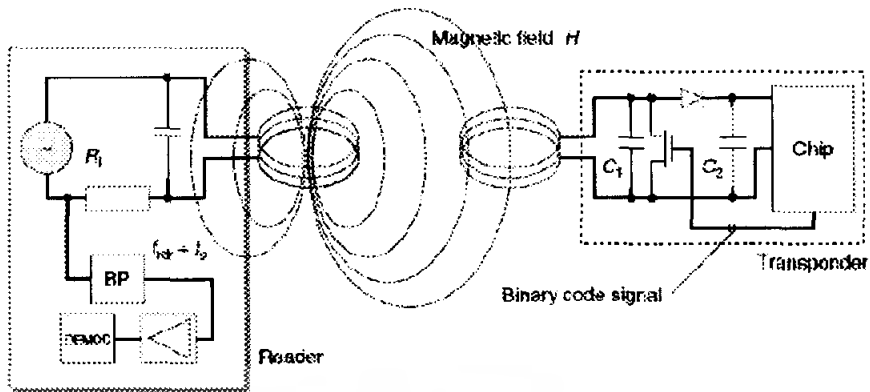
การส่งข้อมูลจาก Tag ไปยัง Reader

เมื่อชิปของ Tag ได้รับพลังงานจะทำการส่งข้อมูลออกมาแล้วถูกส่งกลับไปยัง Reader ได้ด้วยวิธีต่างๆดังนี้

Load Modulation เป็นการส่งข้อมูลกลับมาด้วยความถี่ที่คงที่แต่มีหารเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของสัญญาณตามข้อมูลที่อยู่ใน Tag ด้วยวิธีการมอดูเลตสัญญาณแบบ Amplitude Shift Keying (ASK) จากนั้น Reader จะทำการ Demodulation เพื่อดึงข้อมูลกลับมา

Load modulation With sub carrier เป็นการส่งข้อมูลกลับมาด้วยความถี่ที่คงที่ที่ความถี่เป็นผลรวมของความถี่สัญญาณพาห้และสัญญาณข้อมูลแต่แอมพลิจูดของสัญญาณเปลี่ยนแปลงตามข้อมูลที่อยู่ใน Tag จากนั้น Reader จะทำการกรองเอาสัญญาณที่ความถี่นั้นแล้วค่อยทำการ Demodulation เพื่อดึงเอาข้อมูลกลับมา

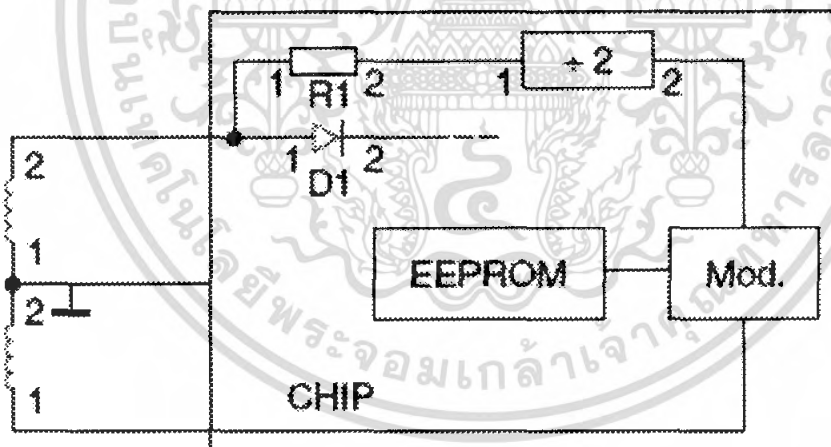
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงการส่งพลังงานและข้อมูลระหว่าง Reader กับ Tag

แบบ Load modulation With sub carrier

Subharmonic ใช้วิธีการความถี่ที่ได้รับมาที่เสาอากาศด้านหนึ่งแล้วนำไป Modulation กับข้อมูลแล้วส่งข้อมูลกลับไปยัง Reader ด้วยเสาอากาศอีกด้านหนึ่งตานั้น Reader จะทำการ Demodulation เพื่อดึงเอาข้อมูลกลับมาใช้



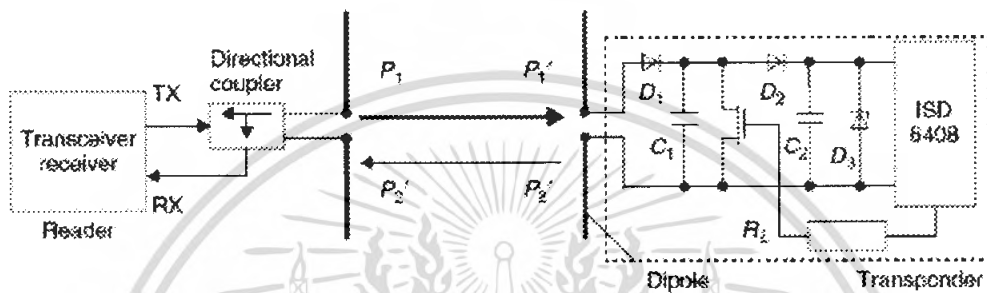
รูปที่ 2.11 แสดงวงจรภายในของ Tag แบบ Subharmonic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Electromagnetic Backscatter Coupling

การส่งผ่านพลังงานจาก Reader ไปยัง Tag

ใช้ Tag ที่มีพลังงานสำรอง เนื่องจากการส่งพลังงานแบบนี้ทำให้พลังงานที่ Tag ได้รับน้อยไม่เพียงพอสำหรับจ่ายให้ชิป ดังนั้นพลังงานที่ส่งนี้ถูกนำมาใช้ในการกระตุ้นทำให้ battery ของ Tag ทำงานจากคโหมคประหัดพลังงานทำให้ส่งข้อมูลออกมาด้วยความถี่ที่เท่ากับ ความถี่ของReader



รูปที่ 2.12 แสดงการส่งพลังงานและข้อมูล Reader กับ Tag
แบบ Electromagnetic Backscatter Coupling

การส่งข้อมูลจาก Tag ไปยัง Reader

ใช้วิธี on และ off ของ FET ตามข้อมูลจากชิปในการส่งข้อมูลกลับมาด้วยความถี่ที่เท่ากับ ความถี่ของ Reader แต่แอมพลิจูดของสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงตามการทำงานของ FET

3) Close Coupling

การส่งพลังงานจาก Reader ไปยัง Tag

เป็นการส่งพลังงานในระยะที่ใกล้ที่สุดและสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด โดยอาศัยหลักการของหม้อแปลง เหมาะกับการใช้งานกับระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูง เช่น บัตรโดยสารรถไฟฟ้า

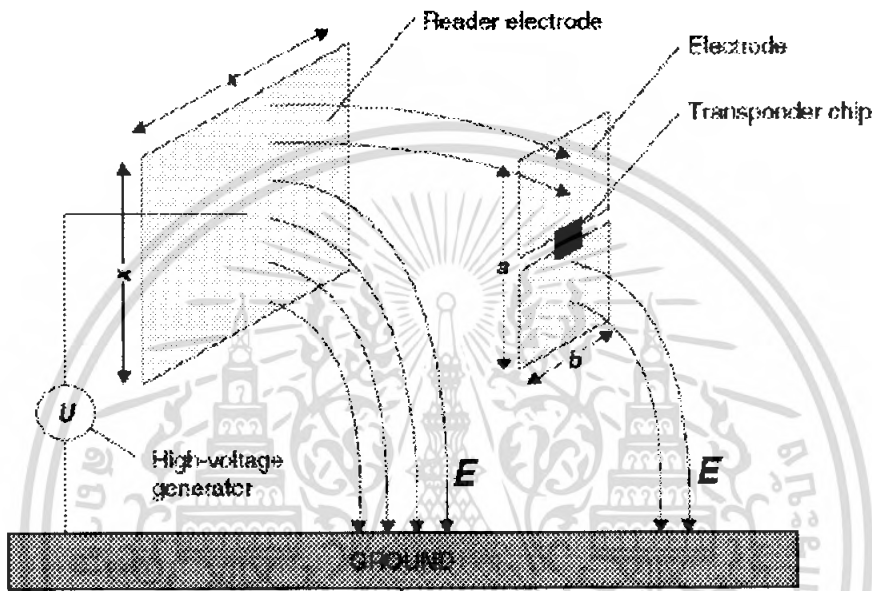
การส่งข้อมูลจาก Tag ไปยัง Reader

ใช้วิธีการ Loag modulation with subcarrier ในการส่งข้อมูลกลับมา

4) Electrical Coupling

การส่งพลังงานจาก Reader ไปยัง Tag

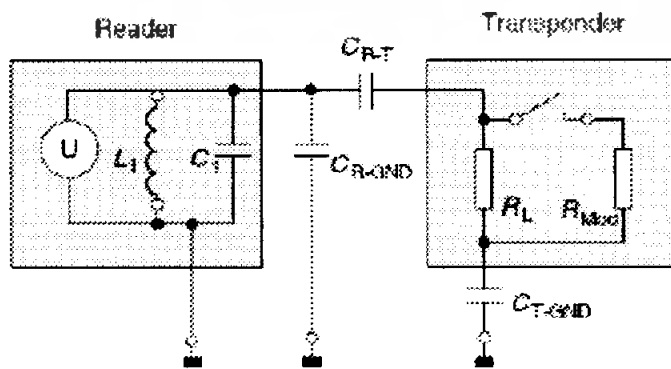
ส่งพลังงานโดยการกำเนิดสนามไฟฟ้าความถี่สูงที่ความต่างศักย์สูงที่ Reader เมื่อ Tag เข้ามาในรัศมีจะเกิดความแตกต่างที่เสาอากาศของ Tag เนื่องจากสนามไฟฟ้า ทำให้มีไฟฟ้าจ่ายให้กับชิป



รูปที่ 2.13 แสดงการส่งพลังงานระหว่าง Reader กับ Tag แบบ Electrical Coupling

การส่งข้อมูลจาก Tag ไปยัง Reader

ใช้วิธีการนำสัญญาณของข้อมูลมาส่งให้สวิทซ์ทำการตัด หรือ ต่อ วงจรของความต้านทานทำให้ความต้านทานที่เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นที่ Reader



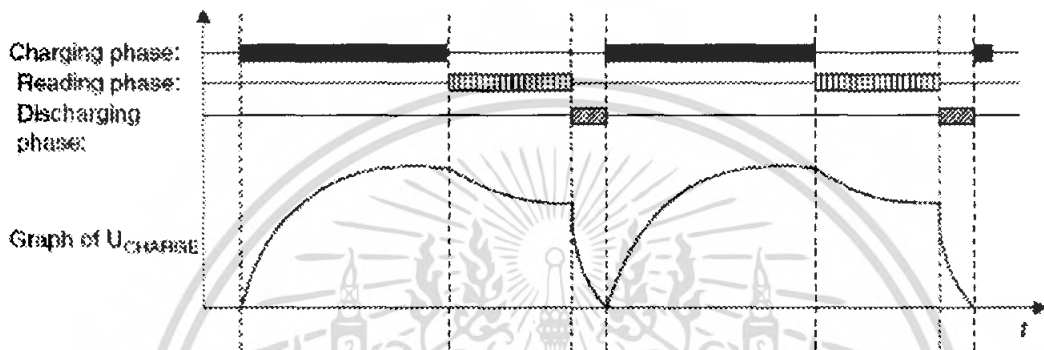
รูปที่ 2.14 แสดงวงจรการส่งข้อมูลระหว่าง Reader กับ Tag แบบ Electrical Coupling

2.8.2 วิธี Sequential

1) Inductive Coupling

การส่งพลังงานจาก Reader ไปยัง Tag

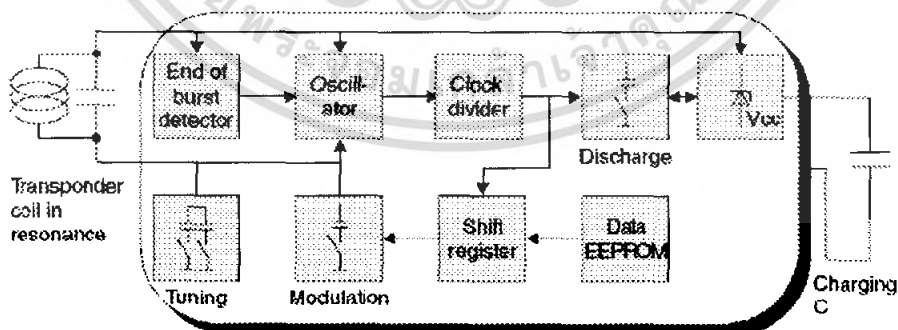
เป็นการส่งพลังงาน โดยอาศัยหลักการของหม้อแปลง แต่ Reader จะส่งพลังงานเฉพาะช่วงที่มีการส่งข้อมูลไปยัง Tag เท่านั้น และจะหยุดส่งพลังงานในขณะที่มีข้อมูลเข้ามายัง Reader



รูปที่ 2.15 แสดงการส่งพลังงานระหว่าง Reader กับ Tag Inductive Coupling

การส่งข้อมูลจาก Tag ไปยัง Reader

จะใช้พลังงานจากการคายพลังงานของ ตัวเก็บประจุ ในการส่งข้อมูลกลับมายัง Reader และส่งกลับมาด้วยวิธี Frequency Shift Keying (FSK)

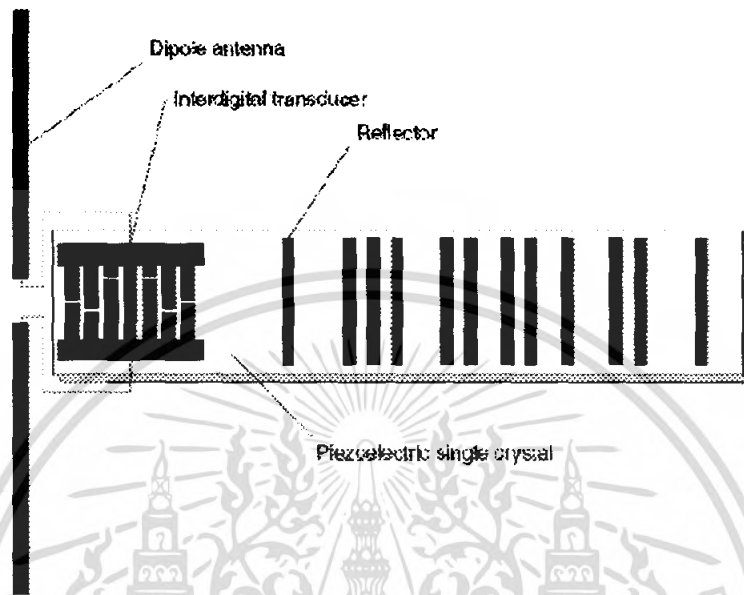


รูปที่ 2.16 แสดงวงจรภายใน Tag แบบ Inductive Coupling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Surface Acoustic Wave (SAW)

อาศัยหลักการการเปลี่ยนแปลงคลื่น ไมโครเวฟเป็นสัญญาณ Ultrasonic acoustic โดยใช้หลักการการสั่นของ crystal ใน Tag และจากนั้นจะส่งสัญญาณ ไปยัง Reader



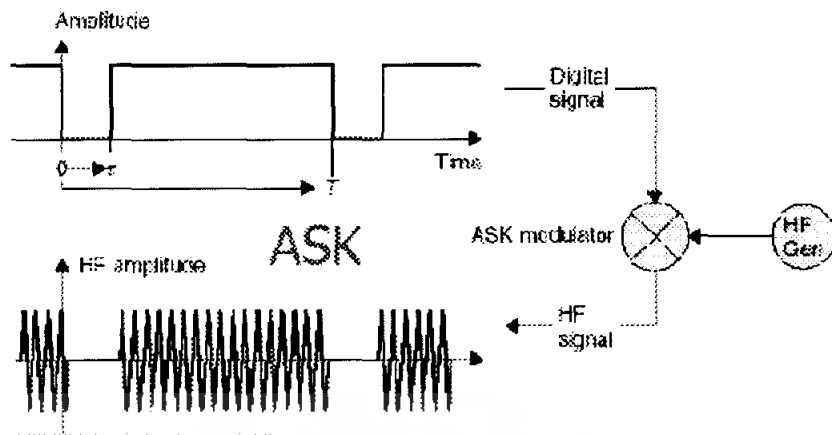
รูปที่ 2.17 แสดงวงจรภายในของ Tag แบบ Surface Acoustic Wave (SAW)

2.9 การส่งข้อมูลจาก Reader ไปยัง Tag

การส่งข้อมูลจาก Reader ไปยัง Tag จะใช้กระบวนการผสมข้อมูลที่เข้ารหัสแล้วไป modulation กับคลื่นพาหะ แต่เนื่องจากการผสมเป็นดิจิทัลจึงต้องใช้วิธีการผสมแบบดิจิทัลซึ่งจะแตกต่างจากการผสมแบบอนาล็อกที่ใช้กันอยู่ในหลายๆระบบในปัจจุบันเช่น FM และ AM ซึ่งการผสมแบบดิจิทัลมี 3 วิธี ดังนี้

1) Amplitude Shift Keying (ASK)

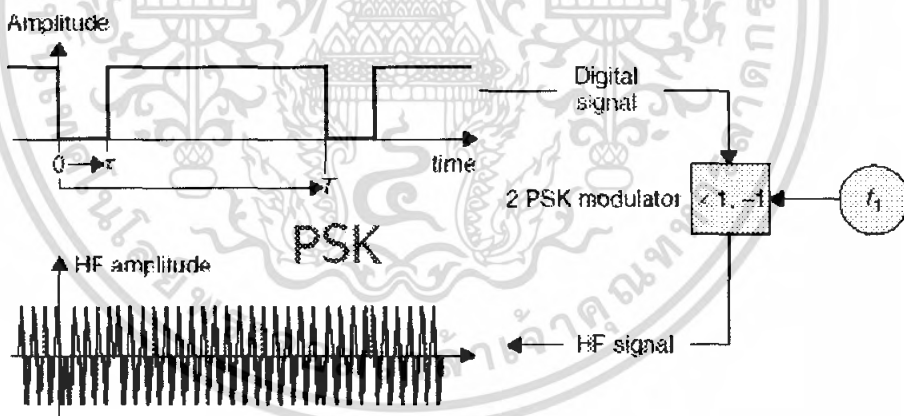
เป็นการผสมของข้อมูลโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของคลื่นพาหะเป็นตัวแสดงลักษณะข้อมูล โดยความถี่ของคลื่นพาหะไม่เปลี่ยนแปลงดังรูป



รูปที่ 2.18 แสดงการส่งแบบ Amplitude Shift Keying (ASK)

2) Phase Shift Keying (PSK)

วิธีนี้จะใช้หลักการเปลี่ยนแปลงของคลื่นเป็นตรงกันข้าม (0 องศา กับ 180 องศา) เมื่อเปลี่ยนสถานะของข้อมูลดังแสดงในรูป

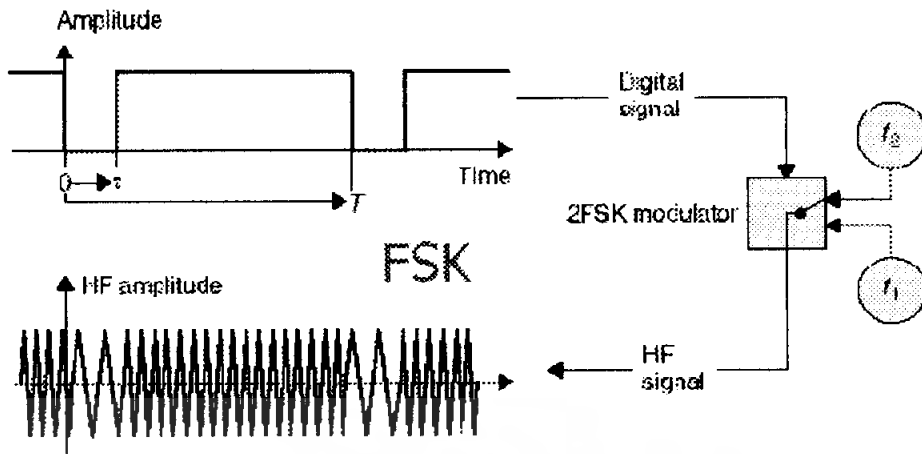


รูปที่ 2.19 แสดงการส่งข้อมูลแบบ Phase Shift Keying (PSK)

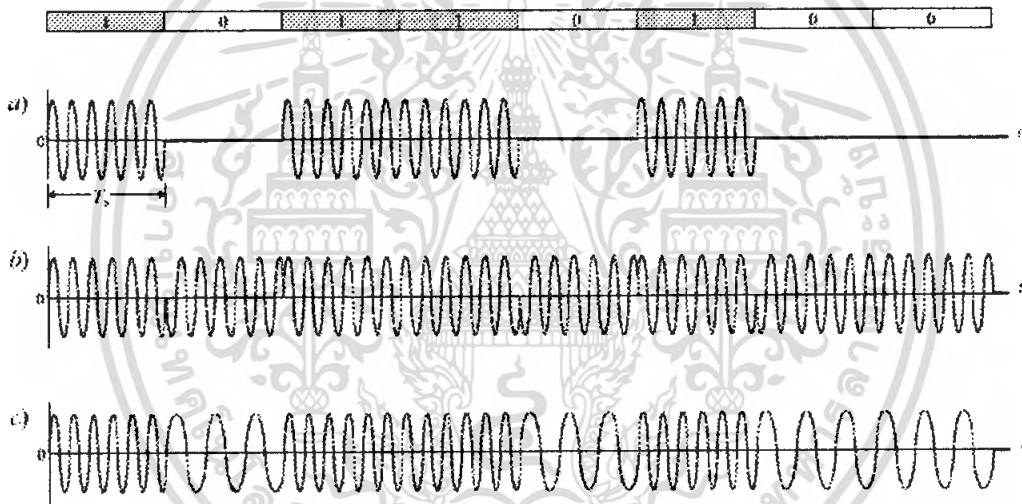
3) Frequency Shift Keying (FSK)

วิธีนี้จะอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของคลื่นพาหะระหว่าง 2 ความถี่ขึ้นอยู่กับสถานะของข้อมูล 0 กับ 1 โดยแอมปริจูดจะไม่มีเปลี่ยนแปลง (นิยมใช้ ASK มากกว่า เนื่องจากง่ายต่อการ Demodulation สัญญาณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แสดงการส่งข้อมูลแบบ Frequency Shift Keying (FSK)



รูปที่ 2.21 แสดงการส่งข้อมูลแบบ

a) ASK ,b) PSK D c) FSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การแมทซ์อิมพีแดนซ์ (Impedance Matching)

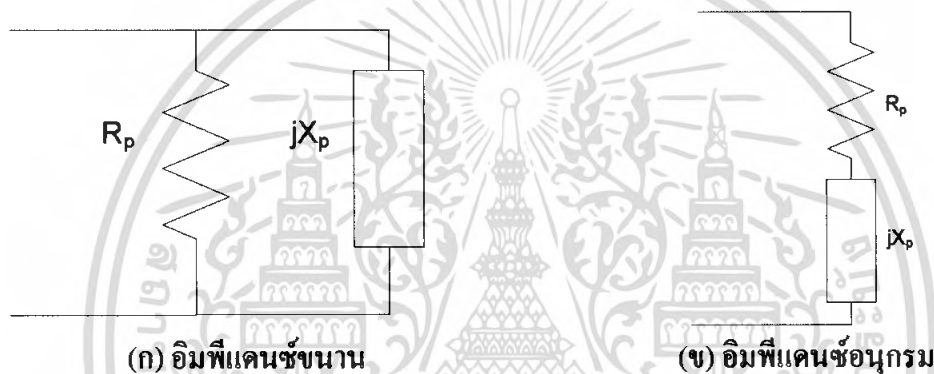
วงจรแมทซ์ซิ่ง (Matching circuit) เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร หรือ โครงข่ายเพื่อให้วงจร หรือ โครงข่าย มีค่า Z_s และ /หรือ Z_L ตามที่เราต้องการ เพื่อให้วงจร หรือ โครงข่ายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ/หรือ ให้เกิดการถ่ายทอดกำลังสูงสุด

วงจรที่ใช้ในการแมทซ์ซิ่งอาจใช้เพียง ตัวความต้านทาน หรือ หม้อแปลง หรือวงจร L-C

2.10.1 วงจรเสมือน การแปลงระหว่าง อิมพีแดนซ์อนุกรม และอิมพีแดนซ์ขนาน

หลักการที่สำคัญของการออกแบบวงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์ คือการแปลงอิมพีแดนซ์ที่อยู่ในรูป

$$Z_p = R_p \parallel jX_p \Leftrightarrow R_{se} + jX_{se} = Z_{se}$$



รูปที่ 2.22 วงจรเสมือนอิมพีแดนซ์

จากรูปที่ 2.22(ก)จะได้ $Z_p = R_p \parallel jX_p$

$$\begin{aligned} Z_p &= \frac{R_p \cdot jX_p}{R_p + jX_p} \cdot \frac{R_p - jX_p}{R_p - jX_p} \\ &= \frac{R_p^2 jX_p + X_p^2 R_p}{R_p^2 + X_p^2} \end{aligned}$$

$$\therefore Z_p = \frac{X_p^2 R_p}{R_p^2 + X_p^2} + j \frac{R_p^2 X_p}{R_p^2 + X_p^2} \quad (2.14)$$

จากรูปที่ 2.22(ข)จะได้ $Z_{se} = R_{se} + jX_{se}$

$$Z_p \equiv Z_{se} \quad (2.15)$$

$$\text{จะได้ } \frac{X_p^2 R_p}{R_p^2 + X_p^2} + j \frac{R_p^2 X_p}{R_p^2 + X_p^2} \equiv R_{se} + jX_{se}$$

$$\text{Real part; } R_{se} = \frac{X_p^2 R_p}{R_p^2 + X_p^2} \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\operatorname{Re}\{Z_{se}\} = R_{se} = \frac{R_p}{1 + (R_p/X_p)^2} \quad (2.15)$$

$$\text{Imaginary part; } X_{se} = \frac{R_p^2 X_p}{R_p^2 + X_p^2} \quad (2.16)$$

$$\text{จากสมการ 16 } R_p^2 + X_p^2 = \frac{X_p^2 \cdot R_p}{R_{se}}$$

$$\text{แทนลงในสมการที่ 18 จะได้ } X_{se} = R_p^2 X_p \cdot \frac{R_{se}}{X_p^2 R_p}$$

$$\operatorname{Im}\{Z_{se}\} = X_{se} = R_{se} \left(\frac{R_p}{X_p} \right) \quad (2.17)$$

และจากสมการที่ 2.15

$$R_p = R_{se} \left(1 + \frac{R_p^2}{X_p^2} \right) \quad (2.18)$$

$$\text{จากสมการที่ 2.17: } \frac{R_p}{X_p} = Q_p = \frac{X_{se}}{R_{se}} = Q_{se} \quad (2.19)$$

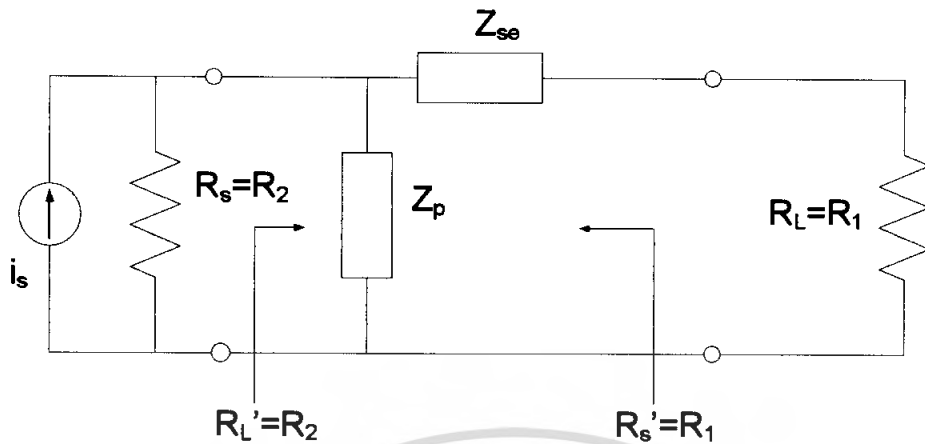
$$\text{จากสมการที่ 2.15: } \operatorname{Im}\{Z_p\} = X_p = \frac{R_p}{X_{se}/R_{se}} \quad (2.20)$$

แทนค่า R_p/X_p ในสมการที่ 2.18 ด้วย X_{se}/R_{se} จะได้

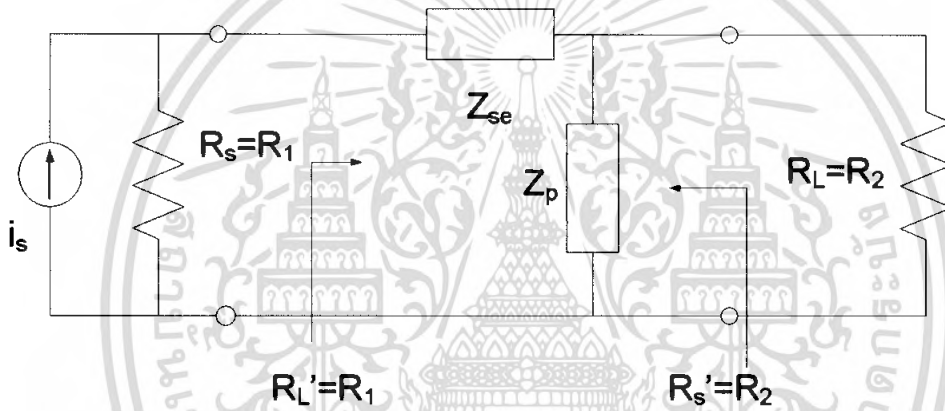
$$\operatorname{Re}\{Z_p\} = R_p = R_{se} \left(1 + \left(\frac{X_{se}}{R_{se}} \right)^2 \right) \quad (2.21)$$

ค่าอัตราส่วน R_p/X_p หรือ X_{se}/R_{se} อาจถูกเรียกว่าค่า Q ของอิมพีแดนซ์

2.10.2 วงจรแมทซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์อย่างง่าย



(ก) กรณี $R_s > R_L$: $R_2 \equiv R_s$ และ $R_1 \equiv R_L$



(ข) กรณี $R_s < R_L$: $R_1 \equiv R_s$ และ $R_2 \equiv R_L$

รูปที่ 2.23 วงจรแมทซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์อย่างง่ายที่สุด

จากรูปที่ 2.23 แหล่งกำเนิดสัญญาณ i_s ซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์ R_s จะต้องแมทซ์กับ R_L เพื่อให้ได้การถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าจาก i_s ไปยัง R_L ให้มากที่สุด

- แหล่งกำเนิด i_s ควรต่อกับโหลดที่มีค่า $R_L' = R_s$
- R_L ควรต่อกับแหล่งกำเนิดที่มีค่า $R_s' = R_L$ การถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าใน รูปที่ 2.23 อาจหมายถึง

- การถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าในจากแหล่งกำเนิดไปสู่วงจรขยาย ในกรณีนี้อิมพีแดนซ์ที่ทางเข้าของวงจรขยาย จะเสมือนเป็น R_L หรือ $R_L = R_{IN}$
- การถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าจากวงจรขยายไปยัง R_L ในกรณีนี้อิมพีแดนซ์ที่ทางออกของวงจรขยาย จะเสมือนเป็น R_s หรือ $R_{\alpha(n)} = R_s$ และ $R_{IN(n+1)} = R_L$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.24 R_2 หมายถึง ด้านที่มีอิมพีแดนซ์สูงกว่า ในกรณีที่

- $R_s > R_L$ $R_2 \equiv R_s$ และ $R_1 \equiv R_L$ ดังในรูปที่ 2.24 (ก)

- $R_s < R_L$ $R_2 \equiv R_L$ และ $R_1 \equiv R_s$ ดังในรูปที่ 2.24 (ข)

โดยการนำอิมพีแดนซ์ Z_p ไปต่อขนานกับฝั่งที่มีความต้านทานสูงกว่า หรือ R_2 เลือกค่าของ Z_p เพื่อให้

$$R_2 // \pm jX_p = R_1 \pm jX_{se1}$$

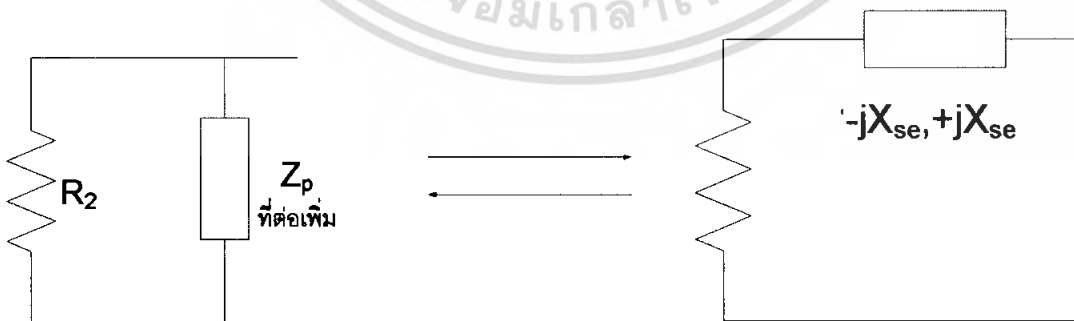
นั่นคือ R_2 จะถูกทำให้มีค่าความต้านทานเสมือนเป็น R_1 จากสมการที่ 2.15

$$R_{se} = \frac{R_p}{1 + \left(\frac{R_p}{X_p}\right)^2}$$

$$R_1 = \frac{R_2}{1 + \left(\frac{R_2}{X_p}\right)^2}$$

จะได้ $X_p = \frac{R_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{R_1}\right) - 1}}$ (2.22)

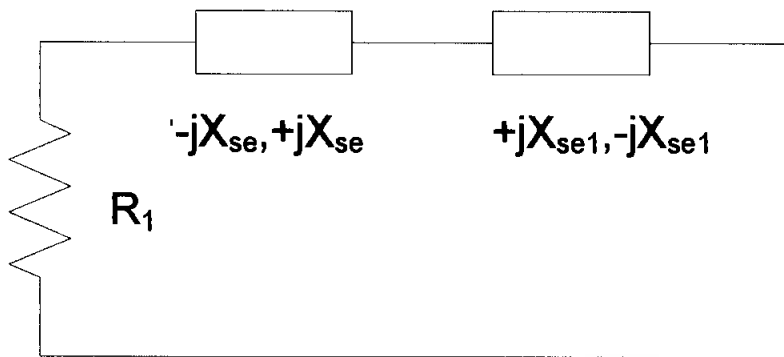
ซึ่ง $Z_p = \pm jX_p = \frac{\pm jR_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{R_1}\right) - 1}}$ (2.23)



R_2 ถูกแปลงเป็น R_1 โดยต่อ Z_p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) R_2 ถูกแปลงเป็น $R_1 \pm jX_{se1}$ โดยการนำ $Z_p = \pm jX_p$ ไปต่อขนานกับ R_2



$Z_{se} = \mu jX_{se1}$ ถูกต่อเพิ่ม

(ข) $\pm jX_{se1}$ ที่เกิดจากการนำ Z_p ไปต่อขนานกับ R_2 ถูกกำจัดโดยการนำ $Z_{se} = \mu jX_{se1}$ ไปต่ออนุกรมเพิ่ม

รูปที่ 2.24 การแมทซ์อิมพีแดนซ์ ระหว่าง R_2 และ R_1

โดยการนำ $Z_p = \pm jX_p = \frac{\pm jR_2}{\sqrt{\frac{R_2}{R_1} - 1}}$ ไปต่อขนานกับ R_2 ทำให้ R_2 ถูกแปลงเป็น R_1 ต่ออนุกรมกับ

$\pm jX_{se1}$ ดังรูปที่ 2.24 (ก) จากสมการ ที่ 19 ค่าของ X_{se1} จะมีค่าเป็น $X_{se} = R_{se} \cdot \frac{R_p}{X_p}$

$$X_{se1} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{R_2}{R_1} - 1}}{\sqrt{\frac{R_2}{R_1} - 1}}} = R_1 \sqrt{\frac{R_2}{R_1} - 1}$$

$$\text{หรือ } Z_{se1} = \pm jR_1 \sqrt{\frac{R_2}{R_1} - 1} \quad (2.24)$$

$$\text{นั่นคือ } R_2 // \frac{\pm jR_2}{\sqrt{\frac{R_2}{R_1} - 1}} = R_1 \pm jR_1 \sqrt{\frac{R_2}{R_1} - 1}$$

โดยการนำอิมพีแดนซ์ $Z_{se} = \mu Z_{se1}$ ไปต่ออนุกรมกับ R_1 ดังรูปที่ 2.24(ข) จะได้ค่าของอิมพีแดนซ์ Z_{se} ที่นำไปต่ออนุกรมกับ R_1 เป็น

$$Z_{se} = \mu jR_1 \sqrt{\frac{R_2}{R_1} - 1} \quad (2.25)$$

โดยการเลือกให้ Z_p และ Z_{se} เป็นอิมพีแดนซ์ที่มีเฟสตรงกันข้าม อิมพีแดนซ์ R_2 จะถูกแมทซ์กับ R_1 ค่าของ Z_p และ Z_{se} สามารถเขียนเป็นรูปทั่วไปได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

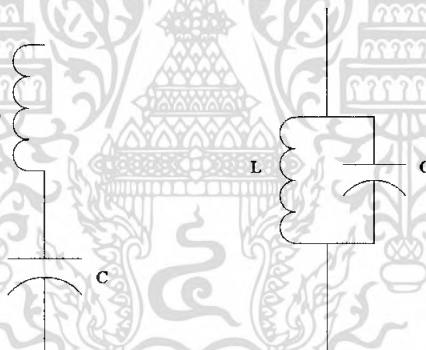
$$|Z_p|_{\text{ขนานกับ}R_2} = \frac{R_2}{\sqrt{\frac{R_2}{R_1} - 1}} \quad (2.26)$$

$$\text{และ } |Z_{se}|_{\text{อนุกรมกับ}R_1} = R_1 \sqrt{\frac{R_2}{R_1} - 1} \quad (2.27)$$

โดยที่ $R_2 > R_1$

2.11 วงจรเรโซแนนซ์

วงจรเรโซแนนซ์(resonance) เป็นวงจรที่ต่อร่วมกันระหว่างตัวเก็บประจุ (C) กับขดลวดเหนี่ยวนำ (L) บางคนอาจเรียกวงจรแบบนี้ด้วยชื่ออื่น เช่น วงจรจูน (tune) วงจรแท็งก์ (tank) เป็นต้น วงจรเรโซแนนซ์ถูกนำมาใช้ในเครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุต่างๆ ไป ด้วยวัตถุประสงค์ให้วงจรเรโซแนนซ์เป็นตัวเลือกความถี่ และให้เป็นตัวกำหนดความถี่ที่กำเนิดขึ้น ให้เป็นตัวกั้นความถี่หรือให้เป็นทางผ่านของความถี่แล้วแต่กรณี วงจรเรโซแนนซ์แบบใช้ขดลวดร่วมกับตัวเก็บประจุ มีอยู่ 2 แบบคือ วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม(series resonance) และวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน(parallel resonance) ดังแสดงในรูปที่ 2.25



(ก) วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

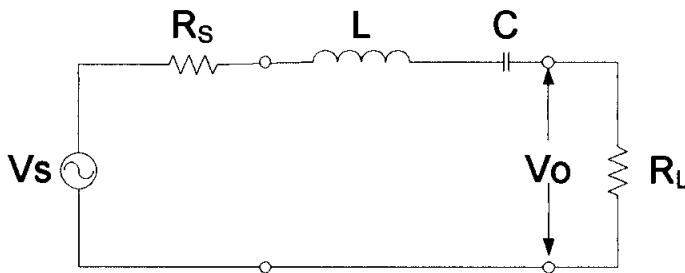
(ข) วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

รูปที่ 2.25 วงจรเรโซแนนซ์ที่ใช้ LC

ธรรมชาติของวงจรเรโซแนนซ์จะยอมให้ความถี่ค่าหนึ่งผ่านได้ดี เรียกว่า ความถี่เรโซแนนซ์ เมื่อป้อนความถี่เรโซแนนซ์แก่วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม กระแสจะผ่านได้มากที่สุดโดยมีแรงดันตกคร่อมวงจรต่ำที่สุด ถ้าป้อนความถี่เรโซแนนซ์แก่วงจรเรโซแนนซ์ขนาน กระแสจะผ่านได้น้อยที่สุดโดยมีแรงดันตกคร่อมวงจรสูงที่สุด โดยปกติวงจรเรโซแนนซ์จะต้องมีแบนด์วิดท์ที่ยอมให้ความถี่ข้างเคียงกับความถี่เรโซแนนซ์ทั้งด้านสูงและด้านต่ำผ่านไปได้ช่วงหนึ่ง ความถี่เรโซแนนซ์จึงหมายถึงความถี่ที่ผ่านวงจรตลอดแบนด์วิดท์ ซึ่งอาจจะกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์นั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม(Series Resonance)



รูปที่ 2.26 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

จากวงจรในรูปที่ 2.26 ได้

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

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

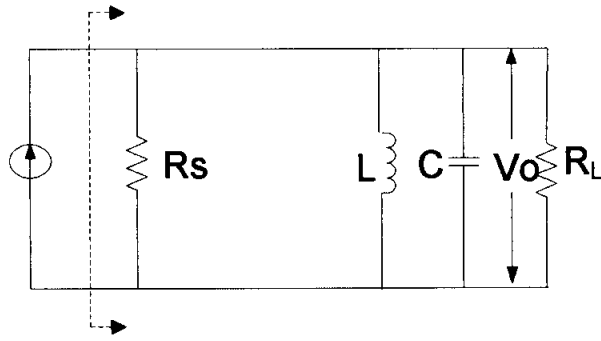
ความถี่ศูนย์กลาง : $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ R/S

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์ (Parallel Resonance or Tank circuit)



รูปที่ 2.27 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์

จากวงจรในรูปที่ 2.27 R_s จะขนานอยู่กับ R_L ดังนั้น

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

อิมพีแดนซ์ของวงจรแทงค์ : Z_{tank} จะมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} (Z_{tank})^{-1} &= \frac{1}{R_T} + \frac{1}{sL} + sC \\ &= \frac{sL + R_T + s^2 L R_T C}{sL R_T} \end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned} Z_{tank} &= \frac{sL R_T}{sL + R_T + s^2 L R_T C} \left[\frac{1}{LCR_T} \right] \\ &= \frac{s \frac{1}{C} \left[\frac{R_T}{R_T} \right]}{s^2 + s \left(\frac{1}{R_T C} \right) + \frac{1}{LC}} \\ &= \frac{R_T \cdot s \left[\frac{1}{R_T C} \right]}{s^2 + s \left(\frac{1}{R_T C} \right) + \frac{1}{LC}} \end{aligned}$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega |_{Z_{\text{tank}} k_{\text{MAX}}} = \omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

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

$$Z_{\text{MAX}} = R_T$$

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

หมายเหตุ รูปทั่วไปของฟังก์ชัน Band pass filter ที่มีอัตราขยาย K เท่า จะเป็น

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

โดยที่

K = Passband gain

ω_p = ความถี่ศูนย์กลางของ BPF

2.12 ทฤษฎีพื้นฐานของการออกแบบ antenna

2.12.1 กระแสและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จากกฎของแอมแปร์เมื่อกระแสไหลในตัวนำจะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบๆตัวนำ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะผลิตจากกระแสในตัวอุปกรณ์ ดังในรูปที่ 2.9 พิจารณานำตัวนำวงกลมที่มีความยาวจำกัด

$$\beta_\Phi = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad (\text{Weber/m}^2) \quad (2.3)$$

โดยที่

I = กระแส

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

r = ระยะทางจากศูนย์กลางของลวดตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากรณีที่ลวดตัวนำมีความยาวเป็นค่าอนันต์จะต้องแทน

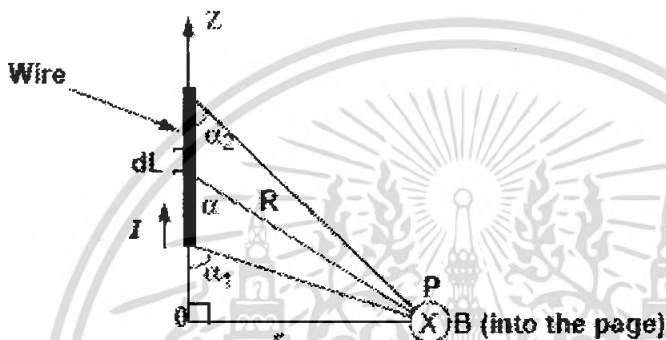
$$\alpha_1 = -180^\circ$$

$$\alpha_2 = 0^\circ$$

ฉะนั้นจากสมการที่ 2.3

สามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ 2.4

$$\beta_\phi = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (\text{Weber/m}^2) \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.28 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเส้นตรง

สนามแม่เหล็กถูกสร้างขึ้นจากลูปเสาอากาศ จะเป็นไปตามสมการที่ 2.5

$$V_o = 2\pi NSQB_o \cos \alpha$$

$$B_r = \frac{\mu_0 I N a^2}{2r^3} \quad \text{for } r^2 \gg a^2 \quad (2.5)$$

โดยที่

I = กระแส

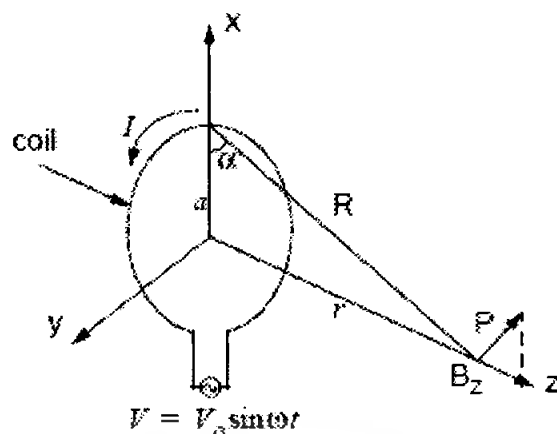
a = รัศมีของลูป

r = ระยะทางจากศูนย์กลางของลูป

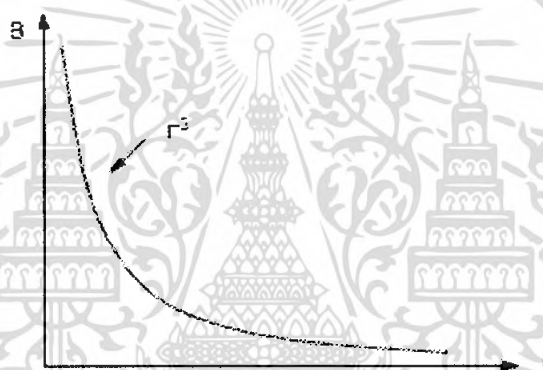
สมการที่ 2.5 ต้องการชี้ว่าความแรงของสนามแม่เหล็กลดลงด้วย $1/r^3$ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่

2.30 สนามแม่เหล็กจะมี Amplitude มากที่สุดในระนาบของและขึ้นอยู่กับทั้งกระแสและจำนวนรอบ

นอกจากนั้นสมการที่ 2.5 ถูกใช้ในการหาค่ากระแสต่อรอบที่ต้องการสำหรับระยะการอ่าน



รูปที่ 2.29 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเป็นรูป



รูปที่ 2.30 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับระยะทาง r

2.12.2 แรงดันที่เหนี่ยวนำได้จากขดลวดสายอากาศ

จากกฎของฟาราเดย์กล่าวว่า สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ทะลุผ่านพื้นผิวที่ถูกครอบคลุมโดยเส้นทางเดินปิดจะเหนี่ยวนำให้เกิดรอบๆรูป

รูปที่ 2.31 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของการประยุกต์ใช้ RFID จากกฎของฟาราเดย์ เมื่อสายอากาศของแท็กส์และตัวอ่านอยู่ในบริเวณปิด สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาถูกสร้างขึ้นโดย สายอากาศของตัวอ่านเหนี่ยวนำแรงดัน (เรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือ EMF อย่างง่าย) ไปยังสายอากาศของแท็กส์ แรงดันเหนี่ยวนำที่ถูกเหนี่ยวนำในสายอากาศของตัวอ่านเป็นสาเหตุให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำในแท็กส์

แรงดันเหนี่ยวนำบนสายอากาศของแท็กส์ จะทำกับการชาร์ตของเส้นแรงแม่เหล็ก

สมการที่ 2.6

$$V = -N \frac{d\psi}{dt} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

N = จำนวนรอบของสายอากาศ

ψ = เส้นแรงแม่เหล็กที่ทะลุผ่านในแต่ละรอบ

เครื่องหมายลบแสดงทิศทางการเหนี่ยวนำซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น จากกฎของเลนส์ (Lenz's Law) เป็นการย้ำว่าทิศทางการไหลของกระแสในวงจรจะมีทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กที่ผลิตขึ้นจากการเหนี่ยวนำของกระแสแต่จะตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กที่จุดกำเนิด

เส้นแรงแม่เหล็กในสมการที่ 2.6 คือ ผลรวมของสนามแม่เหล็ก (B_{total}) ซึ่งทะลุผ่านเข้าไปยังพื้นผิวของสายอากาศ

$$\psi = \int B \cdot dS \quad (2.7)$$

โดยที่

B = สนามแม่เหล็กจากสมการที่ 2.4

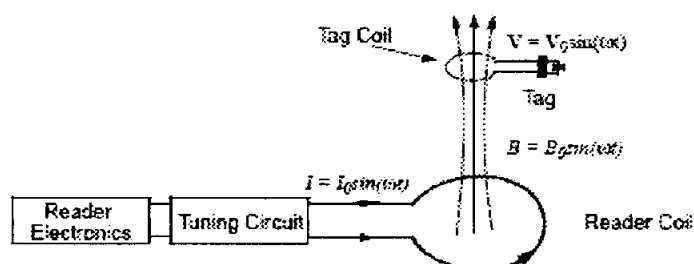
S = พื้นที่ผิวของขดลวด

θ = ผลคูณภายใน (มุม \cos ระหว่าง เวกเตอร์สองเวกเตอร์)

ซึ่งทั้ง B และ S เป็นปริมาณเวกเตอร์

ผลคูณภายในของสองเวกเตอร์ในสมการที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่า เส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่ทะลุผ่าน ขดลวดสายอากาศ เกิดจากการหาตำแหน่งมุมของขดลวดสายอากาศ ผลคูณภายในของสองเวกเตอร์จะมีค่าน้อยสุดเมื่อมุม \cos ระหว่างสองเวกเตอร์เท่ากับ 90 องศา หรือสองเวกเตอร์ตั้งฉากซึ่งกันและกัน และจะมากที่สุดเมื่อ มุม \cos คือ 0 องศา

ขดลวดของแท็กส์ได้รับขนาดเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดที่ทะลุผ่านเมื่อขดลวดของตัวอ่านและแท็กส์อยู่ในตำแหน่งที่ขนานกัน ซึ่งก็หมายถึงจะมีแรงดันเหนี่ยวนำมากที่สุดเกิดขึ้นที่ขดลวดของแท็กส์และจะได้ระยะอ่านมากที่สุดด้วย ผลคูณภายในที่แสดงดังสมการที่ 2.7 สามารถอธิบายในพจน์ของ mutual coupling ระหว่าง ขดลวดของตัวอ่านและแท็กส์ mutual coupling ระหว่างขดลวดทั้งสองจะสูงสุดในสภาวะที่กล่าวมาแล้วเบื้องต้น



รูปที่ 2.31 โครงสร้างพื้นฐานของตัวอ่านและแท็กส์ในการประยุกต์ใช้ RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อวัตถุประสงค์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังระบบสารสนเทศการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการที่ 2.5 และ 2.7 มาแทนลงในสมการที่ 2.6 จะได้

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

โดยที่

V = แรงดันในขดลวดแท็กส์

i_1 = กระแสที่ไหลในขดลวดตัวอ่าน

a = รัศมีของขดลวดตัวอ่าน

b = รัศมีของขดลวดแท็กส์

r = ระยะทางระหว่างขดลวดทั้งสอง

M = mutual inductance ระหว่างขดลวดแท็กส์และขดลวดตัวอ่าน โดยที่

ค่า M เป็นไปตามสมการที่ 2.7

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

เส้นแรงแม่เหล็กเกิดจากมีกระแสในขดลวดปฐมภูมิ ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กเป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิ

ในสมการที่ 2.6 แรงดันขดลวดของแท็กส์จะขึ้นอยู่กับ mutual inductance ระหว่างขดลวดทั้งสอง mutual inductance ขึ้นอยู่กับรูปร่างของขดลวดและระยะห่างระหว่างขดลวดทั้งสอง แรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดของแท็กส์ลดลงด้วยอัตรา r^{-3} ดังนั้น ระยะการอ่านจะลดลงในทางเดียวกัน

จากสมการที่ 2.6 และ 2.7 สมการรูปทั่วไปสำหรับแรงดันเหนี่ยวนำ V_0 ในขดลวดรูปคือ

$$V_0 = 2\pi f N S Q B_0 \cos \alpha \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

f = ความถี่ของสัญญาณที่เข้ามา

N = จำนวนรอบของขดลวดในรูป

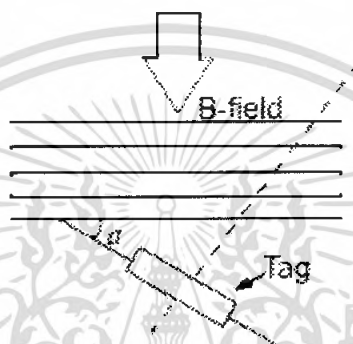
S = พื้นที่ของรูป มีหน่วยเป็น m^2

Q = quality factor ของวงจร

B_0 = ความเข้มของสัญญาณที่เข้ามา

α = มุมของสัญญาณที่เข้ามา

สมการที่ 8 quality factor (Q) คือ มาตรการในการเลือกความถี่ที่สนใจ



รูปที่ 2.32 ตำแหน่งของสายอากาศของแท็กส์

แรงดันเหนี่ยวนำที่ขดลวดของสายอากาศในทิศทางมุมของสัญญาณที่เข้ามา แรงดันเหนี่ยวนำจะมากที่สุดเมื่อขดลวดตัวอ่านอยู่ในตำแหน่งที่ขนานกับสัญญาณที่เข้ามา นั่นก็คือ $\alpha = 0$

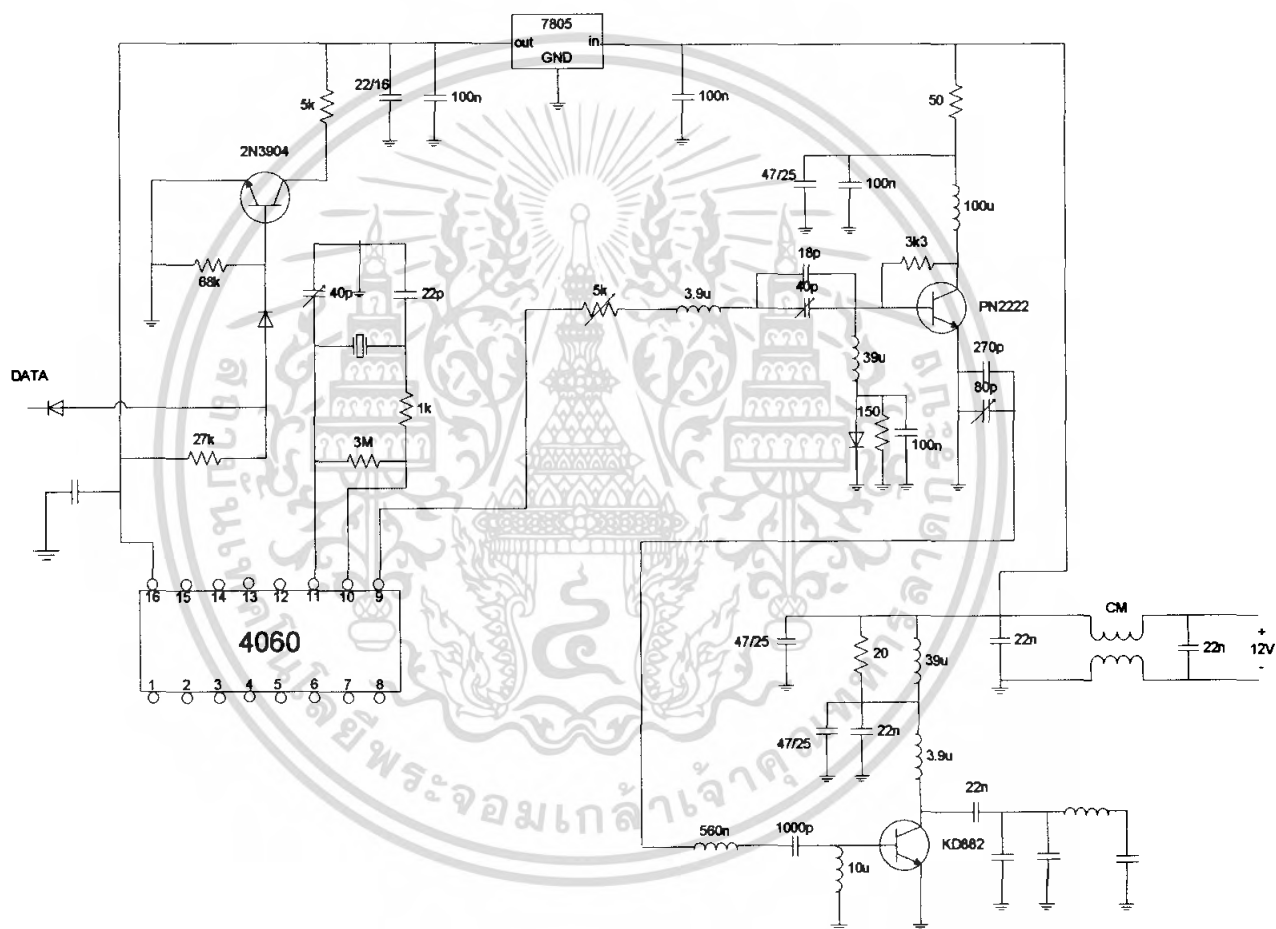
บทที่ 3

ขั้นตอนการออกแบบและการคำนวณ

ขั้นตอนในการออกแบบและการคำนวณหาค่าอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในวงจร RFID 13.56MHz

Continuous Mode สามารถ แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆคือ Reader และ Tag

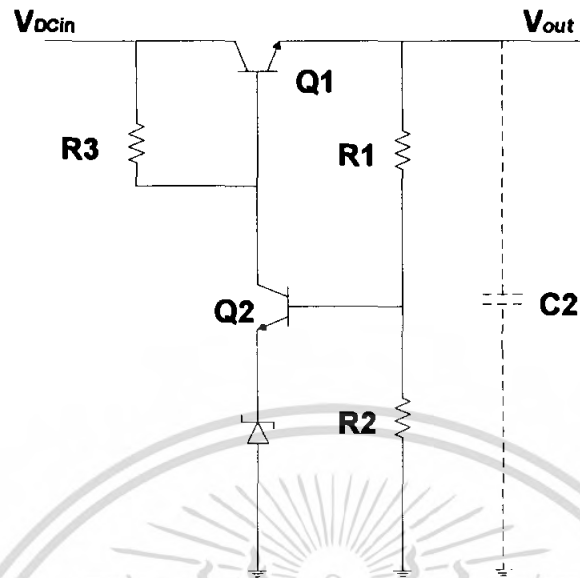
3.1 วงจร Reader



รูปที่ 3.1 วงจร Reader Data Modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 Tag Regulator



รูปที่ 3.4 วงจร Tag Regulator

- กำหนดค่า V_o
 V_o มีค่าประมาณ $4.3+0.5 = 4.8$ Volt

- หาค่า R_3

$$\text{จาก } I_{B1MAG} \approx \frac{2I_{OMAG}}{\beta_1} \quad (3.1)$$

$$I_{C2MAG} = I_{R3} = I_{C2min} + I_{B1MAG} \quad (3.2)$$

และ กำหนดให้ $I_{C2min} \geq 40 \mu A$ เนื่องจาก LM385 ต้องการกระแสไฟไหลผ่านอย่างน้อย $20 \mu A$ เป็นการเพื่อไว้ 2 เท่าของค่าที่น้อยที่สุด
คำนวณหา R_3 โดย ให้แรงดันตกคร่อม R_3 เท่ากับ 1 Volt

$$\text{จะได้ } R_3 = \frac{1V}{I_{C2MIN} + I_{B1MAG}} = 5.714 \text{ k Ohm}$$

ปัดค่า R_3 เป็น **5.6 k Ohm**

และจะได้ค่ากระแส $I_{C2min} = 43.6 \mu A$ (ซึ่งมากกว่า $20 \mu A$ ตามที่ต้องการ)

- หาค่า R_1 และ R_2

$$\text{จาก } V_{BE2} = 26 \times 10^{-3} \ln \frac{I_{C2MIN}}{5.911 \times 10^{-15}} \text{ Volt} \quad (3.3)$$

$$= 0.5907 \text{ Volt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R2 = \frac{1.25 + V_{BE2}}{20I_{B2MAG}} \quad (3.4)$$

$$= 206.2 \text{ k Ohm}$$

และจาก $V_o = (1 + \frac{R1}{R2})(1.25 + V_{BE2}) \quad (3.5)$

จะสามารถทำการปิด R2 และหาค่า R1 ได้เป็นดังนี้

ปิดค่า R2 เป็น **200 k Ohm**

ปิดค่า R1 เป็น **330 k Ohm**

จะได้ V_o ใหม่เป็น **4.87785 Volt**

4. หาค่า C2

$$T_{offMAG} = \frac{1}{BitRate_{min}}$$

$$C2 \geq I_{TAG} (T_{offMAG}) / \Delta V_o \quad \text{โดย } V_o \approx 0.5 \text{ Volt}$$

$$C2 \geq 9.94 \times 10^{-5}$$

ปิดค่า C2 เป็น **100 pF**

5. หาค่า R_{LAG} และ C1

กำหนดให้ $\Delta V = 1$ และ $T_{off} \approx 3 \text{ ms}$

ก็จะได้ $dv/dt = 1V/3m \text{ V/sec}$

$$C1 \geq \frac{I_{TAG}}{dv/dt} \geq \frac{13.5mA}{333.3} \geq 40.5 \mu F$$

ปิดค่า C1 เป็น **47 μF**

จากวงจร จะได้ $V_{DCMIN} \geq V_{OReg} + V_{Drop Reg} + V_{F Rectifier} \quad (3.6)$

$$\geq 4.5 + 1 + 1.5$$

$$\geq 7.0 \text{ Volt}$$

$$V_{TAG PK} \geq V_{DCMIN} + \Delta V \quad (3.7)$$

$$\geq 8 \text{ Vrms}$$

จะได้ $V_{TAG rms} \geq 5.657 \text{ Vrms}$

$$V_{TAG rms} = 6 \text{ Vrms}$$

$$V_{TAG PK} = 8.4 \text{ Volt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ค่า R_{LAC} โดย

$$P_{AC} = P_{DC} \quad (3.8)$$

$$\frac{(V_{TAGrms})^2}{R_{LAC}} \approx I_{TAG} \times V_{TAGPK}$$

$$R_{LAC} \approx \frac{(V_{TAGrms})^2}{I_{TAG} \times V_{TAGPK}} \quad (3.9)$$

$$\approx \frac{(6)^2}{13.5 \times 10^{-3} \times 8.4}$$

และจะได้ค่า R_{LAC} มีค่าเท่ากับ $R_{LAC} = 317.5 \text{ Ohm}$

จากค่าที่ได้ข้างต้น สามารถหาค่าต่างๆเกี่ยวกับ Tag coil ได้ดังนี้

$$L_p = \frac{0.276(cN)^2}{1.908c + 9b + 10h}$$

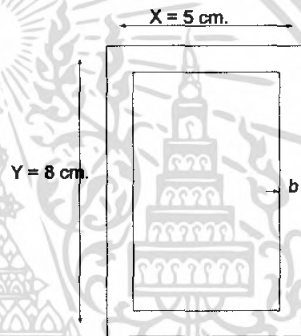
$$R_{PAC} = R_{SAC} (1 + Qu^2)$$

$$R_{TOT} = \frac{R_{PAC} R_{LAC}}{R_{PAC} + R_{LAC}}$$

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

$$BW = \frac{1}{2\pi C_p R_{TOT}}$$

$$Q_L = \frac{f}{BW} = \frac{13.56 \text{ MHz}}{BW}$$



รูปที่ 3.5 Tag Coil

$$x = 5 \text{ cm} \quad y = 8 \text{ cm}$$

$$b = Nd_T + (N-1)0.1 \text{ cm}$$

$$h = 0.04 \text{ cm}$$

$$c = 5 + 8 + (2x \cdot 0.04) \text{ cm}$$

ตารางที่ 3.1 จากการคำนวณ จะได้ค่าต่างๆ ตามตารางดังต่อไปนี้

N	Lp(μH)	R _{PAC} (Ohm)	R _{TOT} (Ohm)	Cp (pF)	BW(MHz)	Q _L	N Q _L
1	0.1836	1011.37	772.912	756.33	0.7772	17.447	17.447
2	0.7218	7785.43	356.650	190.86	2.3381	5.7996	11.5992
3	1.5967	25397.41	368.351	86.278	5.0079	2.7077	8.1231
4	2.7914	58216.08	371.388	49.352	8.8630	15.2996	6.1198
5	4.29027	110015.94	372.506	32.110	13.306	1.0191	5.0955

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักในการเลือกจำนวนรอบในการพันขดลวดที่ Tag ไปใช้งานในวงจรควรเลือกจากค่าที่มีที่มีค่ามากๆ แต่ไม่ควรเลือกค่าที่ $N Q_L$ ที่มีค่าสูงสุดแต่ควรเลือกค่า $N Q_L$ มากและมีค่า C_p ที่มีค่าใกล้เคียงกับ C ที่มีการจำหน่ายในท้องตลาด และควรคำนึงให้ $N_{TAG} > N_{READ}$ ซึ่งจะทำให้ผลของ Load Modulation จะปรากฏได้ชัดเจนกว่า $N_{READ} > N_{TAG}$ อีกด้วย

ค่าที่เลือกจากตาราง คือ $N Q_L = 8.1231$ และทำการพัน **Tag coil = 3 รอบ** และทำการหาค่า L_{Rd} จากการพัน Tag coil = 3 รอบ จะได้ค่า L_{Rd} ที่ความถี่ 13.56MHz มีค่าเท่ากับ 1.7045 μH

คำนวณและหาค่า $(NI)_{Reader}$ จากค่า $(N Q_L)_{TAG}$

$$(NI)_{rms} = \frac{2(V_{TAGrms})(a^2 + r^2)^{3/2}}{2\pi s \cos\alpha \times a^2 \mu_o \times N Q_{L TAG}} \quad (3.10)$$

a คือ Read Radius มีค่าเท่ากับ $a = 38 \times 10^{-3} \text{ m}$

r คือระยะห่างระหว่าง Tag กับ Reader

s คือ Read Surface มีค่าเท่ากับ $s = 4 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

$\cos\alpha$ คือ ค่าความเอียงของ Tag กับ Reader ให้ $\cos\alpha = 0.9$ (± 25.8 องศา)

$$(NI)_{rms} \approx \frac{3600(V_{TAGrms})(a^2 + r^2)^{3/2}}{N Q_{L TAG}} \quad (3.11)$$

คิดที่ ระยะห่างกันที่ 0.03 m และ ใช้ค่า $N Q_L$ tag ที่ 80 เปอร์เซนต์

จะได้ค่า $(NI)_{rms} = 0.3772$

จากค่า $(NI)_{Read}$ และจำนวนรอบของ Reader coil (N_{rd}) = 1.8333 รอบ สามารถ จะได้หาค่า

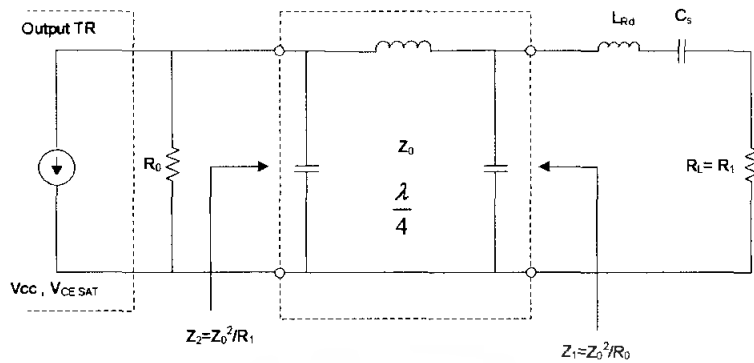
$$\begin{aligned} I_{drive} = I_{Rd} &= (NI)_{Read} / N_{rd} \quad (3.12) \\ &= 0.3772 / 1.833 \\ &= 0.20575 \text{ mA rms} \end{aligned}$$

กำหนดค่า BW ซึ่งค่า BW ขึ้นอยู่กับ Bit Rate วิธีการ Modulation และ Sub carrier ของ TAG จะได้ค่า BW เท่ากับ $BW = 2.5 \text{ MHz}$

จากค่า I_{Rd} กับ BW จะนำไปใช้ในการกำหนดค่า P_o ของ Power Amp และวงจร Matching

จะสามารถคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังนี้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่โรงเรียนวังไกลกังวล ราชบุรี ผลิตขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การคำนวณค่าอุปกรณ์ต่างๆในวงจร MATCHING



รูปที่ 3.6 วงจร Matching

จากรูปวงจรสามารถ หาค่าต่างๆ ได้ดังนี้

หาค่า R_L โดยสมมติให้ Perfect MATCH โดย $R_L = \pi BW L_{Rd}$

$$R_L = \pi \times 2.5 \times 10^6 \times 1.7045 \times 10^{-6}$$

$$= 13.387 \text{ Ohm}$$

$$P_o = (I_{Rd})^2 R_L = (0.20575)^2 \times 13.387$$

$$= 0.5667 \text{ W}$$

$$R_2 = \frac{(V_{cc} - V_{CE})^2}{1.25 \times P_o} \quad ; V_{cc} = 15 \text{ Volt และ } V_{CE} = 0.5 \text{ Volt}$$

$$= \frac{(15 - 0.5)^2}{1.25 \times 0.5667}$$

$$= 296.806 \text{ Ohm}$$

$$Z_0 = \sqrt{R_1 R_2} \quad ; R_1 = R_L$$

$$= \sqrt{13.387 \times 296.806}$$

$$= 63.034$$

หาค่า Z_1 ในขณะที่ $R_0 = 2R_2$ นำไปใช้ในการคำนวณ ที่ $R_1 = \frac{Z_0^2}{R_0}$

$$\text{จะได้} \quad R_1 = \frac{Z_0^2}{2R_2}$$

$$= \frac{63.034^2}{2 \times 296.806}$$

$$= 6.6934 \text{ Ohm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณต่อในทำนองเดียวกัน จะได้

<u>คำนวณครั้งที่ 2</u>	$\text{Re}\{Z_1\} = 6.70 \text{ Ohm}$				
$R_L = 20.087$	Ohm	$P_o = 0.85$	W	$R_2 = 197.80$	Ohm
$Z_o = 63.033$	Ohm	$R_1 = 10.04$	Ohm		
<u>คำนวณครั้งที่ 3</u>	$\text{Re}\{Z_1\} = 10.04 \text{ Ohm}$				
$R_L = 16.74$	Ohm	$P_o = 0.69722$	W	$R_2 = 241.244$	Ohm
$Z_o = 63.55$	Ohm	$R_1 = 8.37$	Ohm		
<u>คำนวณครั้งที่ 4</u>	$\text{Re}\{Z_1\} = 8.37 \text{ Ohm}$				
$R_L = 18.41$	Ohm	$P_o = 0.78$	W	$R_2 = 215.82$	Ohm
$Z_o = 63.03$	Ohm	$R_1 = 9.205$	Ohm		
<u>คำนวณครั้งที่ 5</u>	$\text{Re}\{Z_1\} = 9.205 \text{ Ohm}$				
$R_L = 17.575$	Ohm	$P_o = 0.744$	W	$R_2 = 226.074$	Ohm
$Z_o = 63.033$	Ohm	$R_1 = 8.787$	Ohm		
<u>คำนวณครั้งที่ 6</u>	$\text{Re}\{Z_1\} = 8.787 \text{ Ohm}$				
$R_L = 17.993$	Ohm	$P_o = 0.762$	W	$R_2 = 220.823$	Ohm
$Z_o = 63.0346$	Ohm	$R_1 = 8.9967$	Ohm		
<u>คำนวณครั้งที่ 7</u>	$\text{Re}\{Z_1\} = 8.9967 \text{ Ohm}$				
$R_L = 17.784$	Ohm	$P_o = 0.753$	W	$R_2 = 223.421$	Ohm
$Z_o = 63.0342$	Ohm	$R_1 = 8.892$	Ohm		
จะได้	$R_L \approx 9 \text{ Ohm}$	$P_o \approx 0.75 \text{ W}$		และ	$Z_o \approx 63 \text{ Ohm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก L-C $\frac{\lambda}{4}$ Section และค่า Z_0

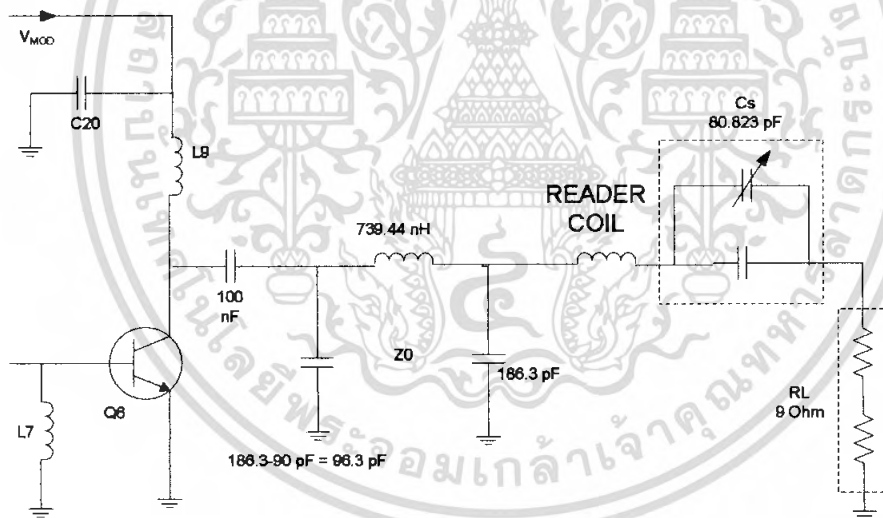
$$\text{จะได้ } L = \frac{Z_0}{2\pi f} = \frac{63}{2\pi \times 13.5 \times 10^6} = 739.44 \text{ nH}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f Z_0} = \frac{1}{2\pi \times 13.56 \times 10^6 \times 63} = 186.3 \text{ pF}$$

$$|Z_{in}| = |Z_{LRd}| = 2\pi f L_{Rd} = 2\pi \times 13.56 \times 10^6 \times 1.7045 \times 10^{-6} \\ = 145.22 \text{ Ohm}$$

$$\text{จะได้ } C_s = \frac{1}{2\pi f |Z_{LRd}|} = \frac{1}{2\pi \times 13.56 \times 10^6 \times 145.22} \\ = 80.823 \text{ pF}$$

ค่าต่างๆที่ได้จากการคำนวณจะได้ดังรูป

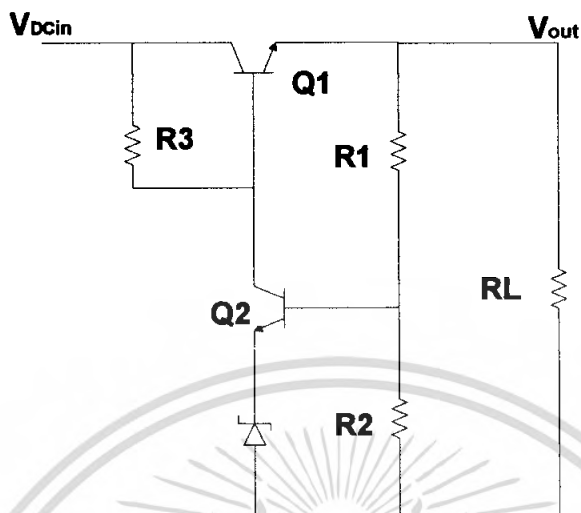


รูปที่ 3.7 ค่าอุปกรณ์ต่างๆในวงจร Matching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 วงจร Tag Regulator

4.1 ผลการทดลองการวัดค่าแรงดันและกระแสวงจร Tag regulator

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันและกระแสวงจร Tag regulator ที่ $V_{DC,in} = 6.5\text{Volt}$

RL(Ohm)	V_o (Volt)	I_o (mA)
∞	4.97	-
1.8k	4.92	2.73
900	4.86	5.40
560	4.76	8.50
470	4.68	9.95
360	4.43	12.30

ตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันและกระแสวงจร Tag regulator ที่ $V_{DC,in} = 12\text{Volt}$

RL(Ohm)	V_o (Volt)	I_o (mA)
∞	5.57	-
1.8k	5.49	2.65
900	5.48	5.15
560	5.05	9.01
470	4.77	11.85
360	4.64	15.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าแรงดันและกระแสวงจร Tag regulator ที่ $V_{DC, in} = 15V$

RL(Ohm)	V_o (Volt)	I_o (mA)
∞	6.10	-
1.8k	5.72	2.65
900	5.18	5.03
560	4.59	8.39
470	4.77	11.02
360	4.53	16.94

4.2 ผลการทดลองจากการวัดค่าแรงดันที่ระยะต่างๆระหว่างReader กับ Tag

ตารางที่ 4.4 ค่าแรงดันที่ระยะห่างต่างๆ โดย $R_{L(TAG)} = \infty$

ระยะห่างจาก Reader (cm)	$R_{L(TAG)} = \infty$	
	V_{TP} (V)	$V_{\text{หน้าrectifier}}$ (V)
0	31	5.1
0.5	30.2	5.0
1.0	28.8	4.9
1.5	27.4	4.9
2.0	26.2	4.8
2.5	25.8	4.7
3.0	23.2	4.7

ตารางที่ 4.5 ค่าแรงดันที่ระยะห่างต่างๆ โดย $R_{L(TAG)} = 1.2 \text{ kOhm}$

ระยะห่างจาก Reader (cm)	$R_{L(TAG)} = 1.2 \text{ k Ohm}$	
	V_{TP} (V)	$V_{\text{หน้าrectifier}}$ (V)
0	28.5	5.2
0.5	26.3	4.9
1.0	25.7	4.8
1.5	22.1	4.8
2.0	19.4	4.5
2.5	15.8	4.4
3.0	13.3	4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าแรงดันที่ระยะห่างต่างๆ โดย $R_{L(TAG)} = 680 \text{ Ohm}$

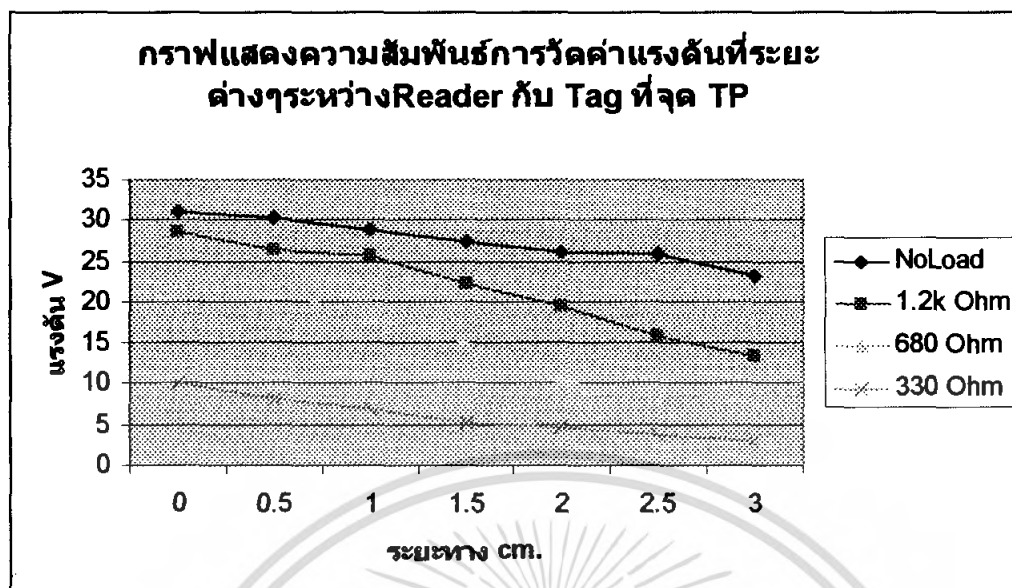
ระยะห่างจาก Reader (cm)	$R_{L(TAG)} = 680 \text{ Ohm}$	
	$V_{TP} \text{ (V)}$	$V_{\text{rectifier}} \text{ (V)}$
0	22.2	5.2
0.5	21.3	5.0
1.0	18.2	4.8
1.5	14.9	4.8
2.0	10.4	4.7
2.5	8.4	4.5
3.0	7.9	4.3

ตารางที่ 4.7 ค่าแรงดันที่ระยะห่างต่างๆ โดย $R_{L(TAG)} = 330 \text{ Ohm}$

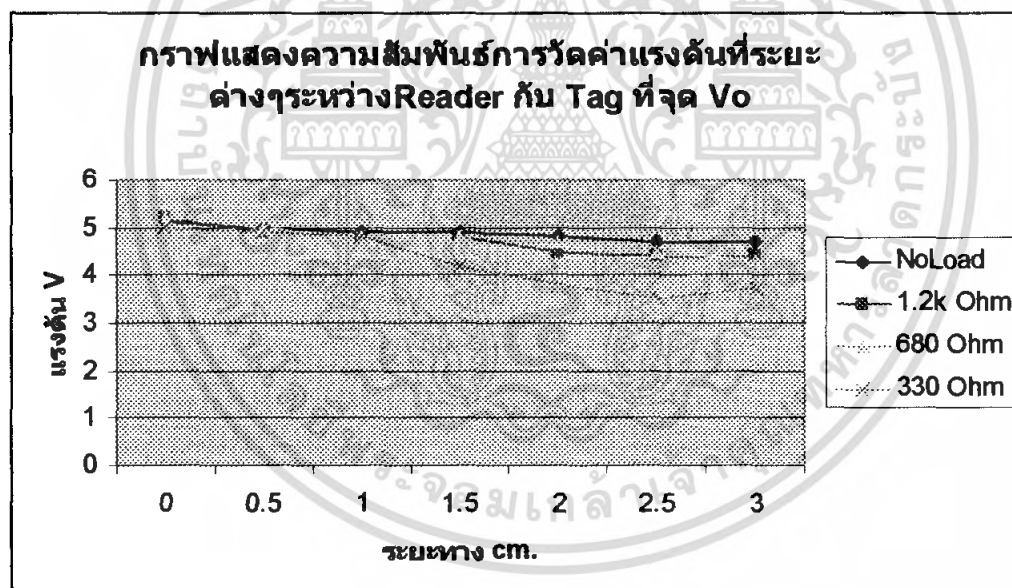
ระยะห่างจาก Reader (cm)	$R_{L(TAG)} = 330 \text{ Ohm}$	
	$V_{TP} \text{ (V)}$	$V_{\text{rectifier}} \text{ (V)}$
0	10.2	5.0
0.5	8.2	4.9
1.0	6.8	4.8
1.5	5.1	4.2
2.0	4.7	3.8
2.5	3.8	3.0
3.0	2.9	3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 กราฟผลการทดลองจากการวัดค่าแรงดันที่ระยะต่างๆระหว่างReader กับ Tag



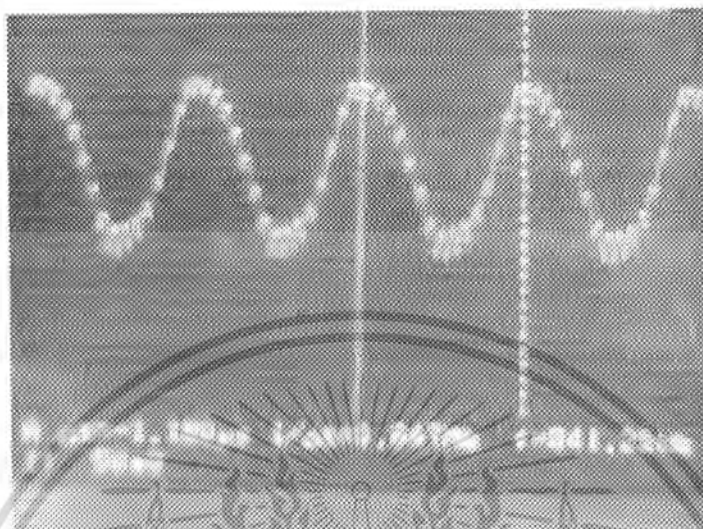
กราฟที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์การวัดค่าแรงดันที่ระยะต่างๆระหว่างReader กับ Tag ที่จุด Tp



กราฟที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์การวัดค่าแรงดันที่ระยะต่างๆระหว่างReader กับ Tag ที่จุด Vo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลองการ Demodulation ที่ระยะต่างๆระหว่างReader กับTag

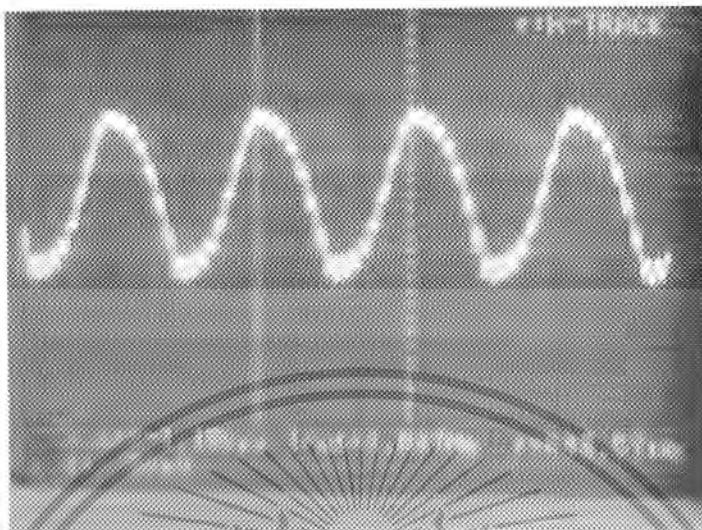


รูปที่ 4.2 แสดงการDemodulationที่ระยะทาง 0 cm.

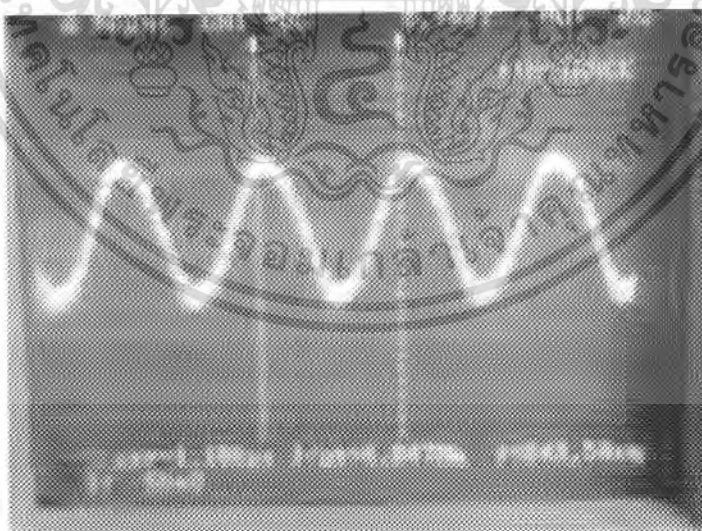


รูปที่ 4.3 แสดงการDemodulationที่ระยะทาง 1 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

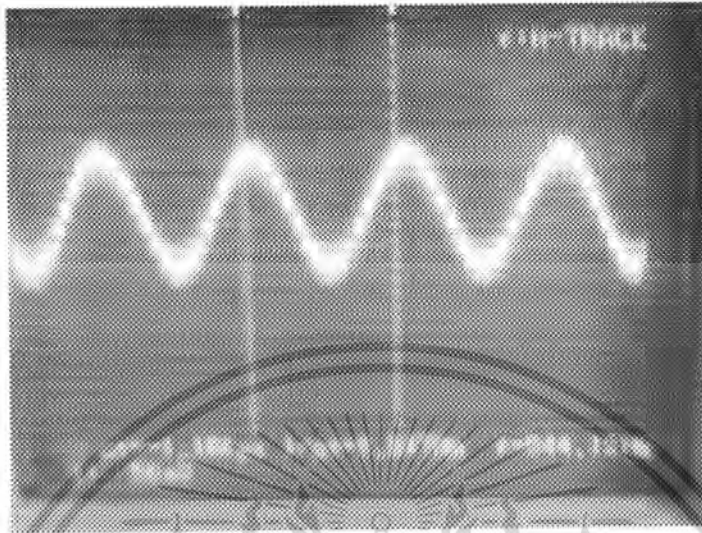


รูปที่ 4.4 แสดงการDemodulationที่ระยะทาง 2 cm.



รูปที่ 4.5 แสดงการDemodulationที่ระยะทาง 2.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



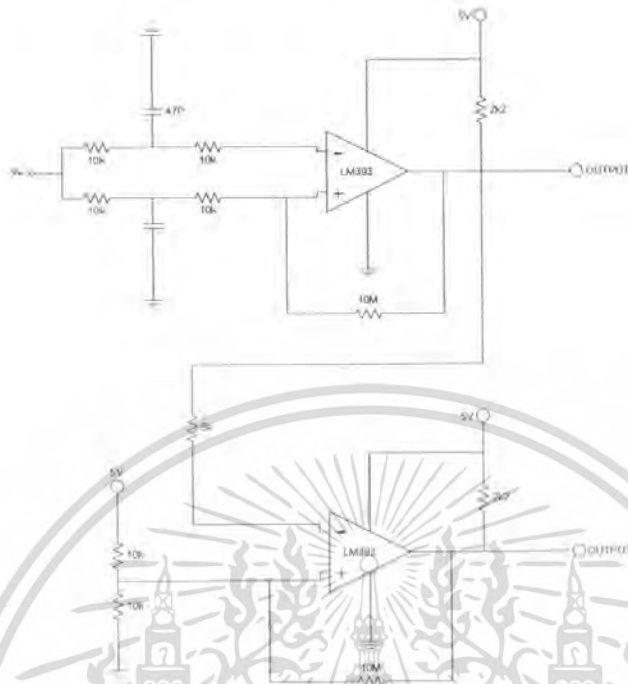
รูปที่ 4.6 แสดงการDemodulationที่ระยะทาง 3 cm.



รูปที่ 4.7 แสดงการDemodulationที่ระยะทาง 3.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดลองของ Adaptive Threshold Comparator

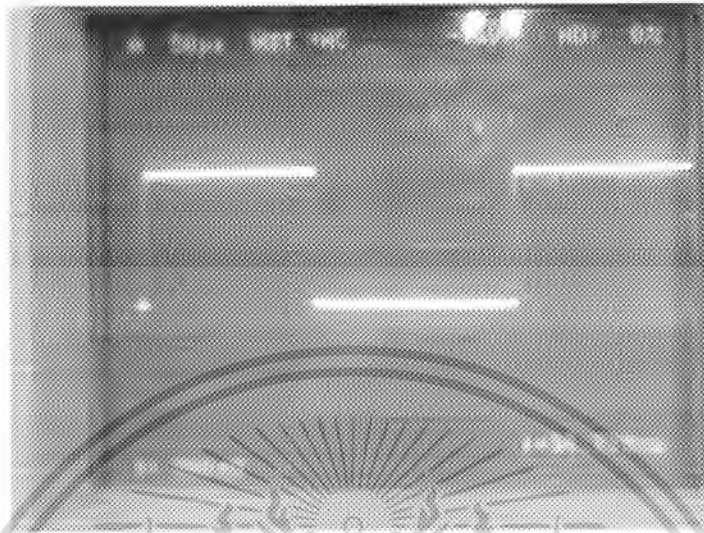


รูปที่ 4.8 รูปวงจร Adaptive Threshold Comparator



รูปที่ 4.9 แสดง Output 1 ของ Adaptive Threshold Comparator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดง Output 2 ของ Adaptive Threshold

4.6 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

โครงการในทอมนี้ได้เป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบเครื่องต้นแบบของอุปกรณ์ชี้เฉพาะโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ โดยในส่วนที่ได้ออกแบบไว้คือส่วนของการส่งผ่านพลังงานโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ 13.56 MHz ซึ่งจากการทดลองวัดค่าพลังงานที่สามารถส่งข้ามอากาศมายังเครื่องลูกข่ายจะพบว่าพลังงานที่ได้นี้มีปริมาณมากพอที่จะสามารถจ่ายเป็นพลังงานให้ทุกวงจรบนวงจร TAG ได้ตามที่ต้องการและ Tag สามารถส่งข้อมูลมายัง Reader เพื่อทำการ Demodulation แล้วนำข้อมูลไปใช้ใน CPU เพื่อการประมวลผลต่อไปได้

บทที่ 5

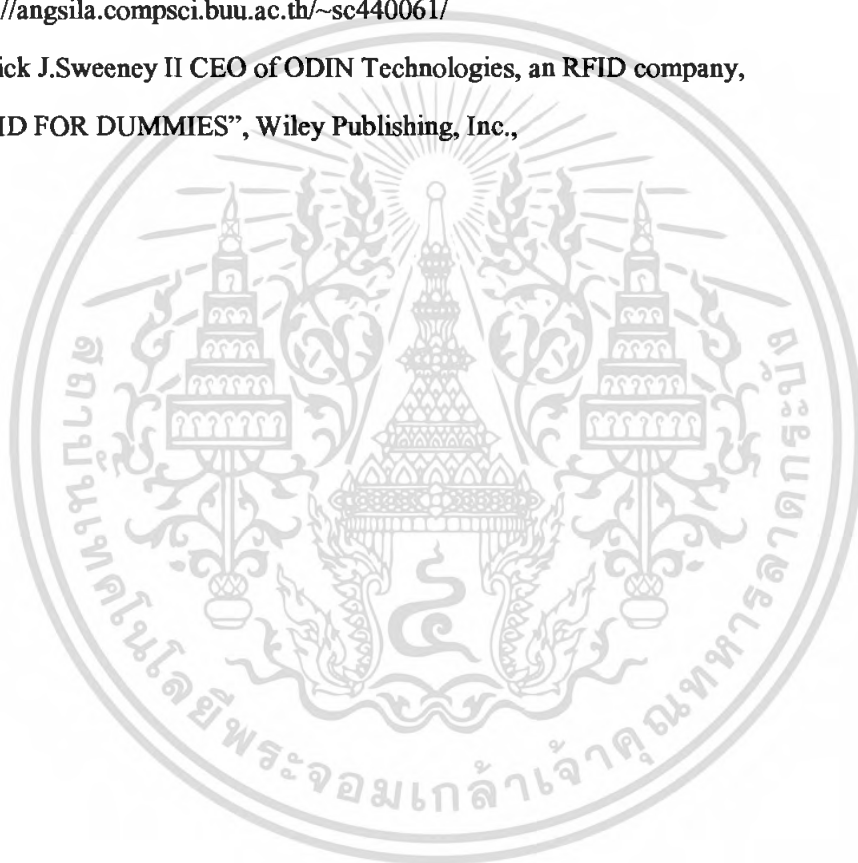
บทสรุป

การพัฒนากระบวนการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ มิได้มีจุดประสงค์เพื่อมาแทนที่ระบบอื่นที่มีการพัฒนามาก่อนหน้า เช่นระบบบาร์โค้ด แต่เป็นการเสริมจุดอ่อนต่างๆ ของระบบอื่น ซึ่งแม้ว่าระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ จะเป็นระบบที่มีจุดเด่นตรงความยืดหยุ่นและข้อดีอีกสารพัดในตัวเอง แต่อุตสาหกรรมของ ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ กลับเป็น ไปอย่างไม่เต็มเม็ดเต็มหน่วยนักทั้งนี้เนื่องมาจากสาเหตุที่สำคัญคือ ความกระจัดกระจายของมาตรฐาน จากการที่ผู้ผลิตอุปกรณ์ ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ต่างฝ่ายต่างก็ผลิตอุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐานของตนเองเป็นหลักและ ไม่มีการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ให้กันและกัน ไม่ว่าจะเป็ความถี่ที่ใช้งาน หรือ โปรโตคอล (Protocol) เรายังไม่สามารถนำเครื่องลูกข่ายจากผู้ผลิตรายหนึ่งมาใช้กับตัวอ่านข้อมูลของผู้ผลิตอีกรายหนึ่งหรือในทางกลับกันได้ นี่เป็นอุปสรรคสำคัญของการเติบโตของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้มีองค์กรส่วนกลางเข้ามาทำการจัดระเบียบของเหล่ามาตรฐานที่ว่่านั้นให้มีความเป็นหมวดหมู่มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Operating principles of RFID systems, ออนไลน์
http://www.rfid-handbook.de/rfid/types_of_rfid.html
- [2] RFID Journal.(2005). RFID Journal - GETTING STARTED
<http://www.rfidjournal.com/article/gettingstarted>
- [3] นฤมล นำจันทร์ , สุวรรณารัตน์มีขวัญ (2545). เทคโนโลยี RFID.
<http://angsila.compsci.buu.ac.th/~sc440061/>
- [5] Patrick J.Sweeney II CEO of ODIN Technologies, an RFID company,
 “RFID FOR DUMMIES”, Wiley Publishing, Inc.,



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้