

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ

RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72042
วัน,เดือน,ปี..... - 7 ส.ย. 2550

b..... 7204205
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ
RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION



ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2549

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบการชี้เฉพาะโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ

ผู้จัดทำ

1.นางสาวจันทิมา เอื้อเศรษฐวัฒนา

2.นางสาวชุตินา แสงสุขสันต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ

นางสาวจันทิมา เอื้อเศรษฐ์วัฒนา รหัส 46010104

นางสาวชุติมา แสงสุขสันต์ รหัส 46010174

ศศ.ประกาศนียบัตร สุวรรณะ อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบของ ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องอ่านรหัส, ส่วนป้ายชื่อ และเครื่องเขียนรหัส ในการอ่านรหัสระบบนี้จะประกอบด้วย ส่วนเครื่องอ่านรหัส และส่วนป้ายชื่อ โดยการทำงานนั้นเครื่องอ่านจะทำหน้าที่ถ่ายกำลังงานในรูปแบบแม่เหล็กให้กับส่วนป้ายชื่อ ยังผลให้วงจรถออิเล็กทรอนิกส์ภายในสามารถส่งข้อมูลจำเพาะกลับมาประมวลผลที่ตัวอ่านได้ โดยข้อมูลจำเพาะที่ส่งกลับมาจะมีการเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์

โดยในการอ่านรหัส จะใช้การส่งผ่านแบบไร้สายโดยใช้คลื่นสนามแม่เหล็กซึ่งในโครงการนี้ใช้ที่ความถี่ 125 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งมีทั้งส่วนที่เป็นส่วนของอะนาล็อก และดิจิตอล ในส่วนที่เป็นอะนาล็อกประกอบด้วยวงจรถ่ายกำลัง, วงจรมอดูเลชัน และวงจรถอดมอดูเลชัน และในส่วนที่เป็นดิจิตอลได้มีการใช้ภาษาซีเขียนโปรแกรมลงใน PIC ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลขนาดเล็กชนิดหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Radio Frequency Identification

Miss Jantima Uasetwattana ID.46010104

Miss Chutima Swangsuksant ID.46010174

Asst prof. Prapakorn Suwana Advisor

Educational Year 2006

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 ,so electronic circuit inside tag have energy and then it will send back ID to reader. ID is encoded with Manchester process.

Both reading uses contact less by 125 kHz 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.

สารบัญ

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 เทคโนโลยี RFID	1
1.2 ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ	2
1.3 องค์ประกอบของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ	2
1.3.1 เครื่องลูกข่าย (Tag หรือ Transponder)	3
1.3.1.1 จุดเด่นที่สำคัญของ RFID tags เปรียบเทียบกับ Barcode	3
1.3.2 เครื่องอ่าน Reader หรือ Interrogator	6
1.4 มาตรฐาน Standardization	6
1.5 แนวความคิดของมาตรฐานระบบเปิด กับระบบปิด	7
บทที่ 2 ทฤษฎี	9
2.1 ลักษณะการทำงานของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ	9
2.2 วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน	10
2.3 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ	11
2.4 การสื่อสารแบบไร้สาย	11
2.5 เทคนิคการมอดูเลต	12
2.6 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์	13
2.7 ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง	13
2.8 ขั้นตอนการทำงานระหว่าง เครื่องลูกข่าย และ เครื่องอ่าน	14
2.9 ลักษณะการทำงานรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing	17
2.10.1 เทคโนโลยี แบบ Inductive Coupling	17
2.10.2 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	18
2.11 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	20
2.12 คุณลักษณะของการกำทอน และค่าคุณภาพของการกำทอน(Quality Factor,Q)	21
2.13 วงจรเรโซแนนซ์	23
2.13.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม(Series Resonance)	24
2.13.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์ (Parallel Resonance circuit)	25
2.14 ทฤษฎีพื้นฐานของการออกแบบ antenna	27
2.14.1 กระแสและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	27
2.14.2 แรงดันที่เหนี่ยวนำได้จากขดลวดสายอากาศ	29
2.14.3 ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำและชนิดของลวด	32
2.14.4 ความต้านทานกระแสสลับของตัวนำ	32
2.14.5 ความต้านทานของตัวนำด้วยการประมาณที่ความถี่ต่ำ	35
2.14.6 ตัวเหนี่ยวนำที่ประกอบด้วยขดลวดที่เหลื่อมหลายชั้น	35
2.15 ค่าเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance)	36
2.15.1 พลังงานในวงจรที่เชื่อมโยงกัน (Energy in a Coupled Circuit)	38
2.15.2 หม้อแปลงแบบเชิงเส้น (Linear Transformers)	39
2.16 วงจรคิเทกเตอร์ AM	39
2.17 การแมทซ์อิมพีแดนซ์ (Impedance Matching)	41
2.17.1 วงจรเสมือน การแปลงระหว่าง อิมพีแดนซ์อนุกรม และอิมพีแดนซ์ขนาน	41
2.17.2 วงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์อย่างง่าย	43
บทที่ 3 ออกแบบ	47
3.1 ส่วนซอฟต์แวร์	47
3.1.1 ไฟล์ซอร์ทของเครื่องอ่านและเครื่องเขียน	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 โฟล์ดาร์ทของเครื่องลูกข่าย	49
3.2 ส่วนฮาร์ดแวร์	51
3.2.1 การออกแบบในส่วนเครื่องอ่านและเครื่องเขียน	51
3.2.2 การออกแบบในส่วนเครื่องลูกข่าย	53
3.2.2.1 ตัวเหนี่ยวนำที่ประกอบด้วยขดลวดสี่เหลี่ยมหลายชั้น	55
บทที่ 4 ผลการทดลอง	61
4.1 ผลการทดสอบวงจรรักษาระดับแรงดัน	61
4.2 ผลการทดสอบพลังงานที่ส่งและรับได้ เมื่อนำวงจรทางเครื่องอ่าน และเครื่องลูกข่ายมาต่อกัน	62
4.3 ผลการทดสอบจากเครื่องออสซิโลสโคป	66
4.3.1 ฟังก์ชันเครื่องอ่านและเครื่องเขียน	66
4.3.2 ฟังก์ชันเครื่องลูกข่าย	68
บทที่ 5 บทสรุป	71
หนังสืออ้างอิง	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 องค์ประกอบต่างๆ ของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ	2
รูปที่ 1.2 ตัวอย่างการใช้งานเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูล (Reader)	5
รูปที่ 2.1 แผนผังการทำงานของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ	9
รูปที่ 2.2 การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล	12
รูปที่ 2.3 กระบวนการทำงานของ RFID	14
รูปที่ 2.4 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential	17
รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและคุณภาพการกำทอนของวงจรอนุกรม R-L-C	
(ก) Normalized Current ที่ค่าต่างๆ	21
(ข) คุณลักษณะที่ใช้ในการหาคุณภาพของการกำทอน	22
รูปที่ 2.6 วงจรเรโซแนนซ์ที่ใช้ LC	
(ก) วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	23
(ข) วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	23
รูปที่ 2.7 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	24
รูปที่ 2.8 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์	25
รูปที่ 2.9 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเส้นตรง	27
รูปที่ 2.10 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเป็นรูป	28
รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับระยะทาง r	28
รูปที่ 2.12 โครงสร้างพื้นฐานของตัวอ่านและแท็กสำหรับการประยุกต์ใช้ RFID	30
รูปที่ 2.13 ตำแหน่งของสายอากาศของแท็ก	31
รูปที่ 2.14 ขดลวดรูปสี่เหลี่ยมหลายชั้น	35
รูปที่ 2.15 ฟลักซ์สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น	36
รูปที่ 2.16 ขดลวดที่ค่า Self-Inductance เท่ากับ L_1 และ L_2	37
รูปที่ 2.17 ทิศทางของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวด	38
รูปที่ 2.18 สัมประสิทธิ์การกลับปัด	39

รูปที่ 2.19 หลักการใช้ไดโอดเป็นตัวเทกเตอร์สัญญาณ AM	
(ก) ไดโอดตัดคลื่นซีกบวก	40
(ข) ไดโอดตัดคลื่นซีกลบ	40
รูปที่ 2.20 วงจรเสมือนอิมพีแดนซ์	
(ก) อิมพีแดนซ์ขนาน	41
(ข) อิมพีแดนซ์อนุกรม	41
รูปที่ 2.21 วงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์อย่างง่ายที่สุด	
(ก) กรณี $R_s > R_L$: $R_2 \equiv R_s$ และ $R_1 \equiv R_L$	43
(ข) กรณี $R_s < R_L$: $R_1 \equiv R_s$ และ $R_2 \equiv R_L$	43
รูปที่ 2.22 การแมทซ์อิมพีแดนซ์ ระหว่าง R_2 และ R_1	
(ก) R_2 ถูกแปลงเป็น $R_1 \pm jX_{se1}$ โดยการนำ $Z_p = \pm jX_p$ ไปต่อขนานกับ R_2	45
(ข) $\pm jX_{se1}$ ที่เกิดจากการนำ Z_p ไปต่อขนานกับ R_2 ถูกกำจัดโดยการนำ $Z_{se} = \mu jX_{se1}$ ไปต่ออนุกรมเพิ่ม	45
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องอ่านและเครื่องเขียน	51
รูปที่ 3.2 วงจรรวมฝั่งเครื่องอ่านและเครื่องเขียน	52
รูปที่ 3.2 วงจรรวมฝั่งเครื่องอ่านและเครื่องเขียน	52
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องลูกข่าย	53
รูปที่ 3.5 รูปวงจรรวมของ Tag	54
รูปที่ 3.6 วงจร regulator	54
รูปที่ 3.7 ขดลวดคู่สี่เหลี่ยมหลายชั้น	56
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรรักษาระดับแรงดัน กับ ค่าแรงดันที่ได้หลังผ่านวงจรมือไหลทด เท่ากับ อนันต์	61
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรรักษาระดับแรงดัน กับ ค่าแรงดันที่ได้หลังผ่านวงจรมือไหลทด เท่ากับ 386Ω	62
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่ป้อนให้กับ PA กับค่าแรงดันที่วัดได้ ที่ขดลวดของเครื่องอ่าน	64
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่ป้อนให้กับ PA กับค่าแรงดันที่วัดได้ หลังวงจรเรียงกระแสของเครื่องลูกข่าย	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณการ มอดคูเลต ของเครื่องอ่านและเครื่องเขียน ขนาด $211 V_{pp}$ วัดโดยใช้โพรบ $\times 1$	66
รูปที่ 4.6 แสดงพัลส์ข้อมูลที่มีมอดคูเลตแล้ว ($V_{RxD} = 5 V_{pp}$) วัดโดยใช้โพรบ $\times 10$	67
รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณการ มอดคูเลต ของเครื่องถูกข่ายวัด โดยใช้โพรบ $\times 1$	68
รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณ clock ($V_{clock} = 4.82 V_{pp}$) วัดโดยใช้โพรบ $\times 10$	69
รูปที่ 4.9 แสดงพัลส์ข้อมูลของฝั่งรับและฝั่งส่ง มีขนาด $5 V_{pp}$ โดย Ch 1 สัญญาณของฝั่งส่ง วัดโดยใช้โพรบ $\times 10$ และ Ch 2 สัญญาณของฝั่งรับวัดโดยใช้โพรบ $\times 1$	70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ความถี่มาตรฐานกับ RFID tags แบบ ต่างๆ ที่มา : “RFID Overview”, Greg Leeming, Intel Corporation, 2004	14
ตารางที่ 2.2 ความหลากหลายของชิปที่ใช้บันทึกข้อมูลในเครื่องลูกข่าย RFID แยกตามประเภทของการประยุกต์ใช้งาน เปรียบเทียบกับการกิน กระแสไฟฟ้าและคุณลักษณะด้านอื่นๆ	19
ตารางที่ 2.3 ค่าแสดงคุณลักษณะของการกำหนดของวงจร R-L-C	23
ตารางที่ 2.4 AWG WIRE CHART	34
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าต่างๆ จากการคำนวณขดลวดฝั่งเครื่องลูกข่าย	58
ตารางที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า r และ NI	59
ตารางที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับ ค่า N	59
ตารางที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดัน และกำลังงาน โดย จำนวนรอบของขดลวดต่างกันและวัตต์ในกรณีที่มี NI ค่าต่างๆ ด้วย	60
ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างกระแสและแรงดัน โดยวัตต์ที่ V_{in} ค่าต่างๆ	61
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของReader และเครื่องลูกข่ายเท่ากับ 0 cm	62
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของReader และเครื่องลูกข่ายเท่ากับ 1 cm	63
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของReader และเครื่องลูกข่ายเท่ากับ 2 cm	63
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของReader และเครื่องลูกข่ายเท่ากับ 3 cm	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 เทคโนโลยี RFID

แม้ว่าในช่วงนี้จะเป็นเศรษฐกิจถดถอยและอาจทำให้การซื้อหาอะไรจะต้องคิดหน้าคิดหลังอยู่บ้าง แต่เชื่อแน่ว่าทุกคนคงเคยได้เข้าไปเดินจับจ่ายซื้อของตามห้างสรรพสินค้าต่าง ๆ ในขณะที่นำสินค้าไปยังแคชเชียร์เพื่อชำระเงิน ก็จะคุ้นเคยกับภาพของพนักงานที่ใช้อุปกรณ์บางอย่างตรวจสอบแถบรหัสหรือที่เรียกกันว่า แถบบาร์โค้ด บนตัวสินค้าเพื่ออ่านข้อมูลบางอย่างออกมา ชื่อ แม้ว่าฉลากแบบบาร์โค้ดจะเป็นที่นิยมและใช้กันมากในบ้านเรา แต่ทว่าวิธีการเก็บข้อมูลแบบดังกล่าวก็ยังคงมีจุดด้อยที่ควรได้รับการแก้ไขอยู่หลาย ๆ จุด ปัญหาที่เห็นได้ชัดข้อหนึ่งก็คือ ปัญหาในการอ่านค่าข้อมูลจากแถบดังกล่าวที่ต้องล่าช้าตรวจสอบไปยังฉลากเพื่ออ่านค่ากลับหรือใช้กล้องซีดีขนาดเล็กจับภาพฉลากขึ้นมาเพื่ออ่านภาพก็ตาม ซึ่งถ้าหากว่าแถบข้อมูลดังกล่าวมีรอยเปื้อนหรือไม่ชัดเจนการอ่านค่ากลับมาก็มีความผิดพลาด นอกจากนั้นวิธีการอ่านค่าที่จำเป็นต้องนำเครื่องอ่านมาวางอยู่เหนือฉลากที่ต้องการอ่านค่าก็ไม่ใช่วิธีที่สะดวกสำหรับงานบางประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีฉลากต้องตรวจสอบเป็นจำนวนมาก ๆ นี้ก็คงเป็นหนึ่งในหลาย ๆ เหตุผลที่ทำให้เกิดการพัฒนาระบบฉลากแบบใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า “RFID” (ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ)

ระบบ การชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ไม่ใช่สิ่งที่ไกลตัวเรา หลายท่านอาจเคยใช้งานระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ในชีวิตประจำวัน โดยไม่รู้ตัวก็ได้ เรามาลองทำความรู้จักกับระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ กันให้มากขึ้นอีกนิด

ในอนาคตอันใกล้การจับจ่ายซื้อสินค้าในห้างสรรพสินค้าอาจมีลักษณะดังนี้

- 1) เลือกสินค้าที่ต้องการใส่รถเข็น
- 2) เข็นรถเข้ามาที่บริเวณชำระเงินทางออก
- 3) รายการสินค้าทั้งหมดที่อยู่ในรถเข็น จะแสดงราคาขึ้นที่หน้าจอตรงบริเวณชำระเงินทางออกโดยอัตโนมัติ
- 4) จ่ายเงินให้กับพนักงานเก็บเงิน และ
- 5) ที่กันประตูเปิดเพื่อให้ผ่านออก

ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมาจะเป็นไปได้ก็ด้วยเทคโนโลยีของระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ

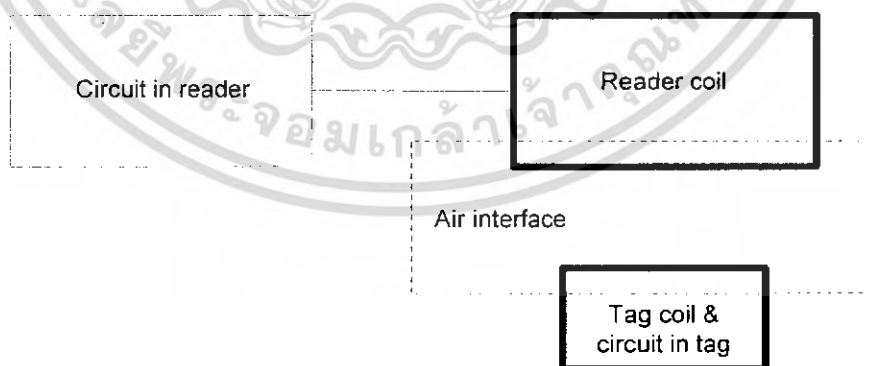
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ

RFID ย่อมาจากคำว่า Radio Frequency Identification เป็นระบบฉลากที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการใช้งานที่ระบบฉลากแบบบาร์โค้ดไม่สามารถใช้งานได้ โดยจุดเด่นของ ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ คือ ความสามารถในการอ่านข้อมูลของฉลากได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัส สามารถอ่านค่าได้แม่นยำแม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก และสามารถจะอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง

ปัจจุบันมีการนำ ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ มาใช้งานกันในงานหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นในบัตรชนิดต่าง ๆ เช่น บัตรประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรสำหรับผ่านเข้าออกห้องพัก บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรจอดรถ ในฉลากของสินค้าหรือแม้แต่ใช้ฝังลงในตัวสัตว์ เพื่อบันทึกประวัติ เป็นต้น การนำ ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ มาใช้งานก็เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบการผ่านเข้าออกบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือเพื่ออ่านหรือเก็บข้อมูลบางอย่างเอาไว้ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่เป็นฉลากสินค้า ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ ก็จะถูกนำมาใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า เพื่อให้สามารถทราบถึงที่มาที่ไปของสินค้าชิ้นนั้น ๆ ได้ เป็นต้น สำหรับรูปแบบของเทคโนโลยี ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ ที่ใช้ในการดังกล่าวก็มีทั้งแบบสามารถการ์ดที่สามารถถูกเขียนหรืออ่านข้อมูลออกมาได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่านบัตรหรือคอนแทคเลสสมาร์ทการ์ด (Contact less Smart card), เทริยญ, ป้ายชื่อหรือฉลากซึ่งมีขนาดเล็กมากจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษหรือฝังเอาไว้ในตัวสัตว์ได้เลยทีเดียว

1.3 องค์ประกอบของระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ



รูปที่ 1.1 องค์ประกอบต่างๆ ของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบในระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ จะมีหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกคือฉลากหรือป้ายขนาดเล็กซึ่งถือว่าเป็นเครื่องลูกข่ายที่จะถูกผนึกอยู่กับวัตถุที่เราสนใจ โดยฉลากนี้จะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ เอาไว้ ฉลากดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า ทรานสปอนเดอร์ (Transponder, Transmitter & Responder) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า “เครื่องลูกข่าย” (Tag) ส่วนที่สองก็คืออุปกรณ์สำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในเครื่องลูกข่าย มีชื่อเรียกอย่างรวม ๆ ว่า ทรานสซีฟเวอร์ (Transceiver, Transmitter & Receiver) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า “เครื่องอ่าน” (Reader) ทั้งสองส่วนจะสื่อสารกัน โดยอาศัยช่องความถี่วิทยุ สัญญาณนี้ผ่านได้ทั้งโลหะและอโลหะแต่ไม่สามารถติดต่อกับเครื่องอ่านให้อ่านได้โดยตรง เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุ แสดงถึงความต้องการข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากป้าย ป้ายจะตอบข้อมูลกลับและเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องอ่านจะติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านสายเครือข่าย LAN (Local Area Network) หรือส่งผ่านทางความถี่วิทยุจากทั้งอุปกรณ์มีสายและอุปกรณ์ไร้สาย

1.3.1 เครื่องลูกข่าย (Tag หรือ Transponder)

เครื่องลูกข่าย นั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ มาจากคำว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) ถ้าจะแปลให้ตรงตามศัพท์ เครื่องลูกข่ายก็จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในเครื่องลูกข่ายตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูลจะเป็นการสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุผ่านอากาศ โครงสร้างภายในเครื่องลูกข่ายจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ส่วนของไอซีซึ่งเป็นชิปสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Chip) และส่วนของขดลวดซึ่งทำหน้าที่เป็นเสาอากาศสำหรับรับส่งข้อมูล โดยทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมต่ออยู่ด้วยกัน

โดยทั่วไป โครงสร้างภายในส่วนที่เป็นไอซีของเครื่องลูกข่ายนั้นก็จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่

1. ส่วนของการควบคุมภาครับส่งสัญญาณวิทยุ สำหรับ โครงสร้างของส่วนนี้ประกอบด้วยภาคคิมอคูเลตและภาคมอคูเลต (สำหรับรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายกับตัวเครื่องอ่าน) และวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

2. ส่วนของการควบคุมภาคดิจิทัล ซึ่งรับหน้าที่จัดการเกี่ยวกับกระบวนการทางดิจิทัลทั้งหมด โครงสร้างหลัก ๆ ของส่วนการทำงานนี้ประกอบด้วย ส่วนบันทึกข้อมูล (ประกอบด้วยหน่วยความจำแรม (RAM) , รม (ROM), อีอีพรอม (EEPROM)) ส่วนของการเข้ารหัส (Crypts

Unit) ส่วนตอบรับสัญญาณร้องขอ (Answer to Request) ส่วนควบคุมและประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (Control & Arithmetic Unit)

อย่างไรก็ตาม โครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายที่ต่างผู้ผลิตหรือต่างรุ่นกัน บางครั้งก็อาจมีไม่ครบถ้วนทุกส่วนอย่างที่ได้อีกมา ซึ่งรายละเอียดโครงสร้างตลอดจนรายละเอียดในการทำงานของเครื่องลูกข่ายเบอร์ใด ๆ ก็สามารถดูได้จากคดียี่ห้อของบริษัทผู้ผลิตเครื่องลูกข่ายเบอร์นั้น ๆ

เครื่องลูกข่ายจะประกอบไปด้วยสายอากาศที่มีขนาดเล็กที่จะช่วยให้เครื่องลูกข่ายตอบสนองกับเครื่องอ่าน โดยสายอากาศจะแผ่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจำนวนหนึ่งออกมา เพื่อกระตุ้นให้เครื่องลูกข่ายอ่านหรือเขียนข้อมูลลงไป สายอากาศสามารถทำได้ทุกขนาดและรูปร่าง เพื่อที่จะสามารถออกแบบให้ติดตั้งได้ทุกที่ และเพื่อให้เกิดความครอบคลุมได้ดีที่สุดในหลาย ๆ ระบบ สายอากาศจะถูกติดตั้งโดยตรงกับ ทรานซิสเฟลเวอร์ เหมือนกับเป็นอุปกรณ์ติดกัน

ชิปที่อยู่ในเครื่องลูกข่ายจะมีหน่วยความจำซึ่งอาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือทั้งอ่านทั้งเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบอ่านอย่างเดียว จะใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัย เช่นข้อมูลของบุคคลที่มีสิทธิผ่านเข้าออกในบริเวณที่มีการควบคุมหรือระบบปฏิบัติการ ในขณะที่หน่วยความจำแบบทั้งอ่านทั้งเขียน จะใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่เครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูลทำการติดต่อสื่อสารกัน

นอกจากนี้อาจมีการนำหน่วยความจำแบบ EEPROM มาใช้ในกรณีที่ต้องการเก็บข้อมูลในระหว่างที่เครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูลทำการสื่อสาร และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้แก่เครื่องลูกข่าย

เครื่องลูกข่ายที่มีการใช้งานกันอยู่นั้นจะมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ ๆ โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในแง่ของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการทำงานอยู่ ซึ่งจะสามารถแยกออกเป็นหัวข้อดังนี้

1. เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag) เครื่องลูกข่ายชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้เครื่องลูกข่ายทำงานโดยปกติ โดยเครื่องลูกข่ายชนิดนี้มีฟังก์ชันการทำงานทั่วไปทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในเครื่องลูกข่ายได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำเครื่องลูกข่ายไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (seal) ที่ตัวเครื่องลูกข่ายจึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของเครื่องลูกข่ายให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟ (Passive Tag) จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายในหรือไม่จำเป็นต้องรับแหล่งจ่ายไฟใด ๆ เพราะจะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว) หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ทรานสซีฟเวอร์ จึงทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะเวลารับส่งข้อมูลใกล้ มีหน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องการความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟนี้เป็นที่นิยมมากกว่า



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างการใช้งานเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูล (Reader)

นอกจากการเครื่องลูกข่ายแบ่งจากชนิดที่ว่ามีแล้วเครื่องลูกข่ายก็ยังถูกแบ่งประเภทจากรูปแบบในการใช้งานได้เป็น 3 แบบ คือ

1. แบบที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้อย่างอิสระ (Read-write)
2. แบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระ (Write-One, Read-Many หรือ WORM)
3. แบบอ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read-Only)

จุดเด่นที่สำคัญของ RFID tags เปรียบเทียบกับ Barcode

1. สามารถอ่านข้อมูลได้ถูกต้องรวดเร็ว ไม่ต้องมีการสัมผัสกับ tag
2. สามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี หรือสามารถอ่านค่าได้ในขณะที่วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ เช่น สินค้าที่กำลังเคลื่อนที่อยู่บนสายพานการผลิต

3. ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สามารถอ่านและบันทึกข้อมูลได้หลายครั้ง สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ TIM Page 4/18
5. สามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่างเช่น น้ำ, พลาสติก, กระดาษ หรือวัสดุทึบแสง อื่นๆ ในขณะที่ บาร์โค้ดทำไม่ได้
6. สามารถอ่านข้อมูลของผลิตภัณฑ์ได้พร้อมกันครั้งละ หลายๆ ชิ้น ในขณะที่ Barcode อ่านได้เพียงทีละชิ้น

1.3.2 เครื่องอ่าน Reader หรือ Interrogator

หน้าที่สำคัญของตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) ก็คือการรับข้อมูลที่ส่งมาจากเครื่องลูกข่าย แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้รับซึ่งกระทำโดย ไมโครคอนโทรลเลอร์ อัลกอริทึมที่อยู่ในเฟิร์มแวร์ (Firmware) ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณ ถอดรหัสสัญญาณที่ได้ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดียังมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่น ในกรณีที่เครื่องลูกข่ายถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระบบการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายซ้ำอยู่เรื่อยๆ ไม่สิ้นสุด

ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดียังต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ "Hands Down Polling" โดยตัวอ่านข้อมูล จะสั่งให้เครื่องลูกข่ายหยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีเครื่องลูกข่ายหลายเครื่องถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกัน หรือที่เรียกว่า "Batch Reading" ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านเครื่องลูกข่ายทีละตัวได้

1.4 มาตรฐาน Standardization

เนื่องจากการที่กำหนดมาตรฐานออกมาใช้ในประเทศอย่างเป็นทางการล่าช้าจะส่งผลให้เทคโนโลยี RFID ในประเทศมีการพัฒนาช้าตามไปด้วย ซึ่งมาตรฐานของ RFID สามารถแบ่ง ออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

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

เอกสารประเภทต่างๆ ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

อย่างไรก็ตาม หลายองค์กรได้ตระหนักถึงปัญหาเรื่องมาตรฐานนี้ และได้เริ่มมีการพัฒนาระบบมาตรฐานขึ้นมาทั้งในยุโรปและอเมริกา ตัวอย่างเช่น

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

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

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

1.5 แนวความคิดของมาตรฐานระบบเปิด กับระบบปิด

ระบบเปิด (Open System) คือ ระบบที่มีรูปแบบของข้อมูลที่ส่งในลักษณะกลุ่มมีกฎระเบียบที่สามารถอ่านได้จากเครื่องอ่านจำนวนมาก ความเป็นมาตรฐานจะถูกกำหนดจากเครื่องมือที่สร้างข้อมูล ผู้ใช้โดยทั่วไปสามารถอ่านข้อมูลดังกล่าวได้ ซึ่งอาจจะเกิดจากการใช้วิธีการหลายๆ อย่างรวมกัน

ระบบปิด (Closed System) คือ ระบบที่กฎของการเข้ารหัส (encode) และการถอดรหัส (decode) ถูกกำหนดไว้โดยเฉพาะเจาะจง หรือรู้เฉพาะกลุ่มผู้ใช้ที่เป็นเจ้าของ

สำหรับป้าย ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ปัจจุบันนี้ถือว่าเป็นมาตรฐานระบบเปิด ดังนั้นผู้ขาย (vendor) ต้องผลิต และสนับสนุนระบบของตนเอง ส่วนเทคโนโลยีบาร์โค้ด เป็นระบบที่มีความเป็นมาตรฐานทั้งระบบเปิดและระบบปิด

อย่างไรก็ดี ปัจจุบันนี้มีอุตสาหกรรมและองค์กรมาตรฐานจำนวนมากที่พยายามพัฒนาระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ให้มีความเป็นมาตรฐานยิ่งขึ้นมาก The International

Standards Organization (ISO) Sub-Committee (SC 31) ซึ่งเป็นข้อตกลงที่อยู่ภายใต้การสำรวจเทคโนโลยีบาร์โค้ด และ ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ ของ ISO

ในปัจจุบัน SC 31 จะเน้นที่ระบบมาตรฐานแบบเปิด โดยประเด็นที่องค์กรมาตรฐานได้คำนึงถึง ได้แก่

- วิธีการเปลี่ยนป้ายของระบบปิดไปเป็นระบบเปิด เครื่องอ่านต้องสามารถแยกได้ทั้งสองระบบ
- เพราะว่า ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ สามารถอ่านป้ายหลายป้ายได้ในเวลาเดียวกัน ดังนั้นความเป็นมาตรฐานต้องไม่มีความซ้ำซ้อนกันระหว่างข้อมูลหลากหลายที่เข้ามา
- ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ บางชนิดยอมให้อ่าน / เขียนข้อมูลได้ แต่บาร์โค้ดไม่สามารถทำได้ และข้อบังคับจะทำให้เกิดผลเล็กน้อยกับการติดตั้งภายนอก ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณา

ความสำคัญของการใช้ ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ จะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาไปสู่ความเป็นมาตรฐานไม่ได้เน้นไปที่จำนวนองค์กรจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ ว่ามีส่วนร่วม กับ SC 31 มากน้อยเพียงใด แม้ว่าส่วนใหญ่จะเป็นการทำงานร่วมกัน มีการแสดงให้เห็นถึงกลุ่มผลประโยชน์ต่าง ๆ ออกมา แต่ก็มีหลักฐานแสดงให้เห็นว่า มีองค์กรในอุตสาหกรรม ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ จำนวนมากที่ไม่ค่อยคำนึงถึงความเป็นมาตรฐาน ทำให้คนทั่ว ๆ ไปเชื่อว่านี่คือ การขาดความเป็นมาตรฐาน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ขัดขวางการพัฒนาเทคโนโลยี ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ

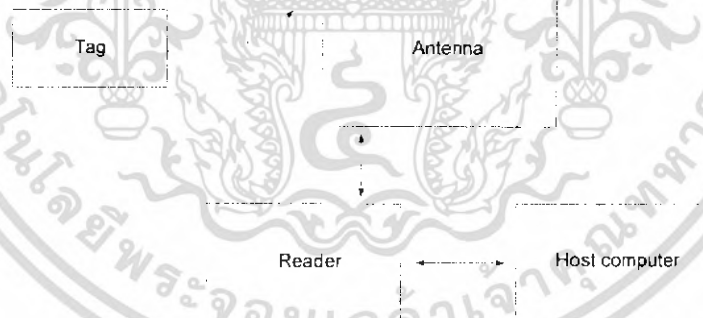
บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ลักษณะการทำงานของระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ

หัวใจของเทคโนโลยี ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ ได้แก่ "Inlay" ที่บรรจุ อุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์กับ โลหะที่ยืดหยุ่นได้สำหรับการติดตามหรือทำหน้าที่เป็นเสาอากาศนั่นเอง Inlay มีความหนาสูงสุดอยู่ที่ 0.375 มิลลิเมตร สามารถทำเป็นแผ่นบางอัดเป็นชั้น ๆ ระหว่างกระดาษ, แผ่นฟิล์ม หรือพลาสติกก็ได้ ซึ่งเป็นการผลิตเครื่องหมายหรือฉลาก จากวัสดุที่มีราคาไม่แพงมากนัก ซึ่งจะเห็นว่า Inlay มีลักษณะรูปร่างที่บางมาก จึงทำให้ง่ายต่อการติดเป็นป้ายชื่อหรือฉลากของชิ้นงานหรือวัตถุนั้น ๆ ได้สะดวก

ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ เป็นระบบที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่า เครื่องลูกข่าย และตัวอ่านข้อมูล ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่ง มาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่อยู่ในตัวรับข้อมูล ดังแผนผังการทำงานของระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนผังการทำงานของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ

การประยุกต์ใช้งาน ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ จะมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกับบาร์โค้ด (Bar code) และยังสามารถรองรับความต้องการอีกหลายอย่างที่บาร์โค้ดไม่สามารถตอบสนองได้ เนื่องจากบาร์โค้ดจะเป็นระบบที่อ่านได้อย่างเดียว ไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่อยู่บนบาร์โค้ดได้ แต่เครื่องลูกข่ายของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ จะสามารถ

ทั้งอ่านและบันทึกข้อมูลได้ ดังนั้นเราจึงสามารถเปลี่ยนแปลง หรือทำการบันทึกข้อมูลที่อยู่ในเครื่องลูกข่ายได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

นอกจากนี้ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ยังสามารถใช้งานได้แม้ในขณะที่วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ เช่น ในขณะที่สินค้ากำลังเคลื่อนที่อยู่บนสายพานการผลิต (Conveyor) หรือในบางประเทศก็มีการใช้ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ ในการเก็บค่าผ่านทางด่วนโดยที่ผู้ใช้บริการทางด่วนไม่ต้องหยุดรถเพื่อจ่ายค่าบริการ ผู้ใช้บริการทางด่วนจะมีเครื่องลูกข่ายติดอยู่กับรถ และเครื่องลูกข่ายจะทำการสื่อสารกับตัวอ่านข้อมูล ผ่านสายอากาศขนาดใหญ่ที่ติดตั้งอยู่ตรงบริเวณทางขึ้นทางด่วน ในขณะที่รถแล่นผ่านสายอากาศ ตัวอ่านข้อมูลก็จะกิดค่าบริการและบันทึกจำนวนเงินที่เหลือลงในเครื่องลูกข่ายโดยอัตโนมัติ หรือแม้กระทั่งการใช้งานในปศุสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ หรือระบุความแตกต่างของสัตว์แต่ละตัวที่อยู่ในฟาร์ม

ข้อดีของระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ อีกอย่างก็คือ เครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูลสามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่างเช่น น้ำ, พลาสติก, กระจก หรือวัสดุทึบแสงอื่นๆ ในขณะที่บาร์โค้ดทำไม่ได้

2.2 วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน

โดยมากมักจะใช้วิธีการมอดูเลตทางแอมพลิจูดหรือใช้การมอดูเลตทางแอมพลิจูดบวกกับการเข้ารหัสแมนเชสเตอร์ (Manchester encoded AM) แต่ทว่าในปัจจุบันก็มีเครื่องลูกข่ายที่ใช้การมอดูเลตแบบอื่นๆ ด้วย เช่น การมอดูเลชันแบบเฟสชิฟต์คีย์อิง (Phase Shift Keying : PSK) ฟรีควเอนซีชิฟต์คีย์อิง (Frequency Shift Keying : FSK) หรือการใช้การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation : FM)

ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน จะได้อย่างมีประสิทธิภาพพอเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้ใช้งาน เช่น เมื่อความถี่ใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ความยาวของเสาอากาศ (เป็นเส้นตรง) ที่เหมาะสมก็คือ 22.12 แนนอนว่าในทางปฏิบัติคงไม่สามารถนำเสาอากาศที่ใหญ่ขนาดนั้นมาใช้งานกับเครื่องลูกข่ายขนาดเล็กได้ สายอากาศที่ดูจะเหมาะจะใช้ร่วมกับเครื่องลูกข่ายมากที่สุดก็คือ สายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็ก หรือที่มีชื่ออย่างเป็นทางการว่าสายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (Magnetic dipole Antenna) รูปแบบของสายอากาศแบบนี้ก็มีอยู่หลากหลายทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันแกนอากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เป็นวงลูปที่ทำขึ้นจากลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้งที่เป็นรูปแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะและประเภทของงานด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการรับส่งข้อมูลแล้วสายอากาศก็ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่องลูกข่ายด้วย โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของ ไมเคิล ฟาราเดย์ เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็ก (จากเครื่องอ่าน) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของเครื่องลูกข่าย เมื่อเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันในระยะ 0.16 เท่าของความยาวของคลื่นพาหะที่ใช้ เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า Transformer-type Coupling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์แบบเดียวกับการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ในทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Transformer) จะเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของเครื่องลูกข่าย

2.3 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ

1. ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีเครื่องลูกข่ายเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามี การมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่

2. เมื่อมีเครื่องลูกข่ายเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เครื่องลูกข่ายจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้เครื่องลูกข่ายเริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในเครื่องลูกข่าย

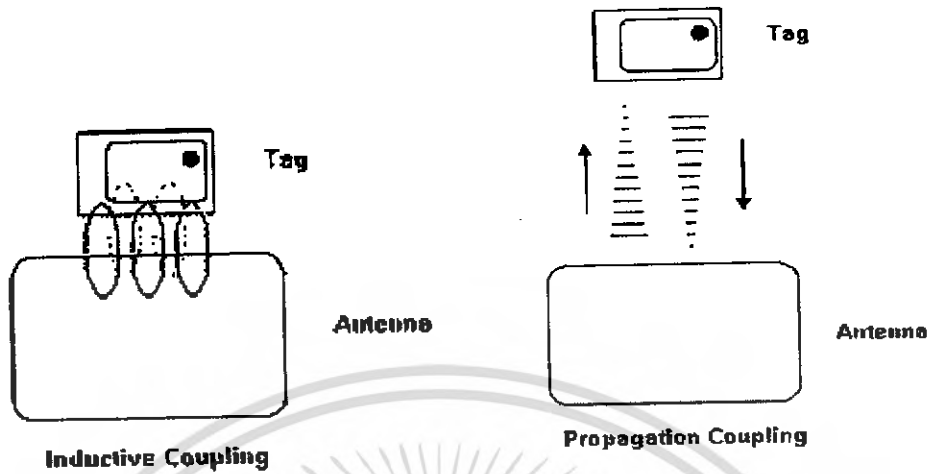
3. คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องลูกข่ายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด, ความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต

4. ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

2.4 การสื่อสารแบบไร้สาย

การสื่อสารข้อมูลของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ก็ระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูล จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุ โดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) กับ วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation Coupling) ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล

2.5 เทคนิคการมอดูเลต

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

การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (ASK) ความถี่ของคลื่นพาหะ (Carrier Wave) ซึ่งทำหน้าที่นำสัญญาณอนาล็อกผ่านตัวกลางสื่อสารนั้นจะคงที่ ลักษณะของสัญญาณมอดูเลตเมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูลดิจิทัลมีค่าเป็น 1 ขนาดของคลื่นพาหะจะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ขนาดของคลื่นพาหะจะตกลงกว่าปกติ การมอดูเลต ASK มักจะไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะจะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย

การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK) ในการมอดูเลตแบบFSK ขนาดของคลื่นพาหะจะไม่เปลี่ยนแปลงที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาหะนั้นคือ เมื่อบิตมีค่าเป็น 1 ความถี่ของคลื่นพาหะจะสูงกว่าปกติและเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะต่ำกว่าปกติ

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

เอกสารนี้ได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุดในแง่ของการทำงานจะยุ่งยากกว่าและราคาสูงกว่า ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์

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

2.7 ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลในระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator Power) กำลังส่งของเครื่องลูกข่าย (Tag Power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะเวลาการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆรอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรัชญาการเช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบกับระยะเวลาการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของเครื่องลูกข่ายที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา

ถึงแม้ในทางเทคนิคเราจะสามารถทำให้ตัวอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากแค่ไหนก็ได้ แต่โดยทั่วไปก็จะถูกจำกัดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่ ดังนั้นในระบบการชี้

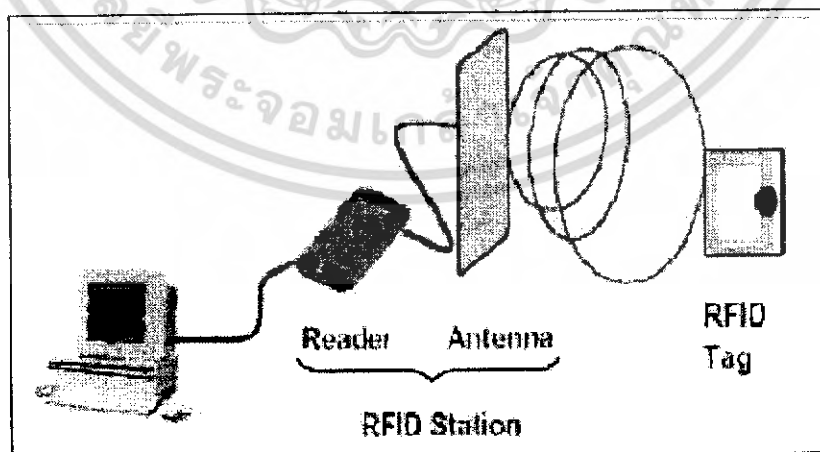
เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ โดยทั่วไปจะมีกำลังส่งเพียงระหว่าง 100 -500 mW

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	LF	HF	UHF	Microwave
Freq -Range	125-134 kHz	13.56 MHz	866-915 MHz	2.45-5.8 GHz
Read Range	10 cm	1 M	2-7 M	1M
Market share	74%	17%	6%	3%
Coupling	Magnetic	Magnetic	Electro Magnetic	ElectroMagnetic
Existing Standard	11784/85,14223	18000-3.1,15693, 14443A,B and C	EPC CO,C1,C1G2, 18000-6	18000-4
Application	Smart Card, Ticketing, Animal tagging, Access, Laundry	Small item management, Supply chain, Anti-theft, Library, transportation	Transportation Vehicle ID, Access/Security, Large item management, Supply chain	Transportation vehicle ID(road toll), Access/Security, Large item management, Supply chain

ตารางที่ 2.1 ความถี่มาตรฐานกับ RFID tags แบบ ต่างๆ ที่มา : "RFID Overview", Greg Leeming, Intel Corporation, 2004

2.8 ขั้นตอนการทำงานระหว่าง เครื่องดูข่าย และ เครื่องอ่าน



รูปที่ 2.3 กระบวนการทำงานของ RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตัวเครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณวิทยุอย่างต่อเนื่องหรือเป็นจังหวะ และรอคอย

สัญญาณตอบจากตัว RFID tag

- เมื่อ RFID tag ได้รับสัญญาณคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากเครื่องอ่านในระดับที่เพียงพอ ก็จะทำให้เหนี่ยวนำเพื่อสร้างพลังงานป้อนให้ RFID tag ทำงาน โดย tag จะสร้างสัญญาณนาฬิกาเพื่อกระตุ้นให้วงจรภาคดิจิทัลใน tag ทำงาน

- ข้อมูลที่ถูกมอดูเลตจะถูกส่งไปยังขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ เพื่อส่งไปยังเครื่องอ่าน (Reader)

- เครื่องอ่านจะสามารถตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูด (Envelope Detector) และใช้ พีค ดีเทกเตอร์ (Peak Detector) ในการแปลงสัญญาณที่ มอดูเลตแล้วจาก tag

- เครื่องอ่านจะถอดรหัสข้อมูลและส่งไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมต่อไป

2.9 ลักษณะการทำงานรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ

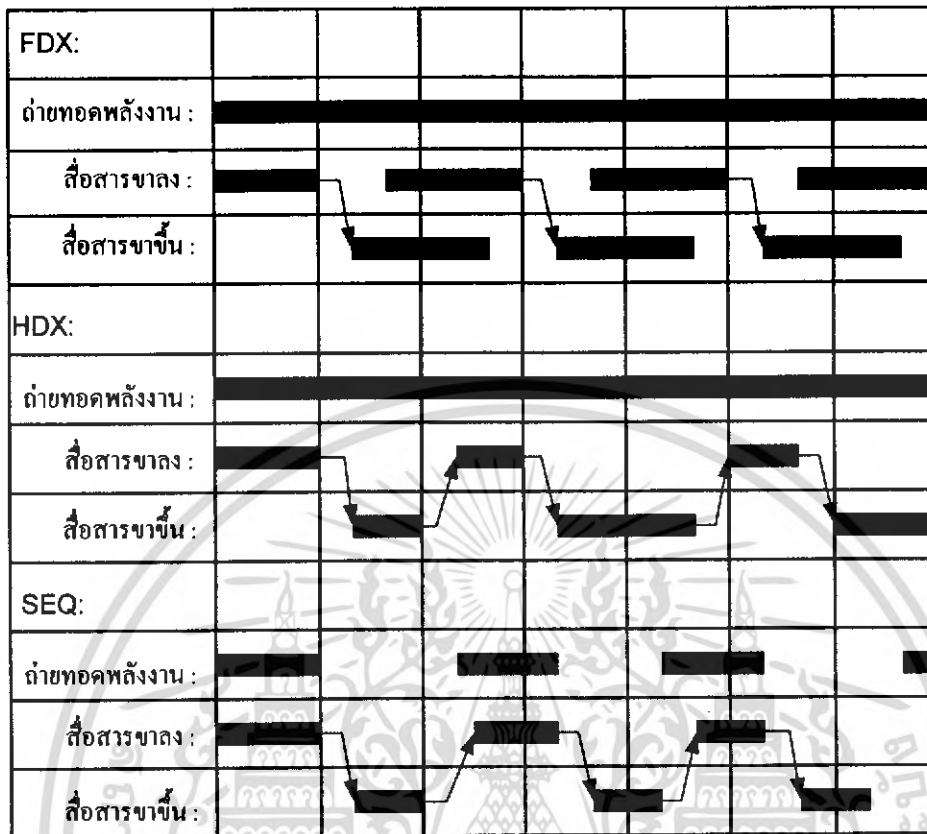
ถ้าแบ่งตามลักษณะการทำงานรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุได้อีก 2 ประเภท คือ มาตรฐาน RFID แบบที่ใช้การสื่อสารแบบ Full Duplex / Half Duplex และแบบ Sequential ซึ่งรูปแบบการสื่อสารทั้ง 3 ประเภทนี้มีความแตกต่างจากมาตรฐาน RFID ประเภท 1 บิต ที่ใช้เทคโนโลยีง่ายๆ ในการตรวจจับ โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องลูกข่าย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

สำหรับอุปกรณ์ RFID ประเภทที่จะกล่าวถึงในบทความตอนนี้มีรูปแบบโครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายและรูปแบบการทำงานที่ซับซ้อนกว่ากรณีของระบบ RFID แบบ 1 บิต กล่าวคือมีการติดตั้งชิป (Chip) ซึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับบันทึกข้อมูลต่างๆ ไว้ภายในตัวเครื่องลูกข่ายซึ่งโดยทั่วไปขนาดความจุในการเก็บบันทึกข้อมูลของชิปเหล่านี้มีตั้งแต่หลักร้อยไบต์ไปจนถึงหลายๆ กิโลไบต์ ขึ้นอยู่กับความต้องการนำไปใช้งานเป็นสำคัญ นอกจากนี้รูปแบบในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านก็มีความแตกต่างกันออกไปตามกลวิธี ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานออกได้ตามรูปที่ 2.4 อันประกอบไปด้วยการสื่อสารแบบ Full Duplex ซึ่งเครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่ายได้ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สิ่งที่ยังคงความสับสนในแวดวงเทคโนโลยี RFID ปัจจุบันก็คือ ผู้ผลิตอุปกรณ์จำนวนมากยังไม่สามารถตกลงกันได้ในเรื่องของการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคของอุปกรณ์ RFID ที่มีการทำงานแบบ Half Duplex และ Sequential เนื่องจากหากไม่พิจารณาถึงความแตกต่างในเรื่องของการส่งพลังงานไฟฟ้าแล้ว รูปแบบการทำงานรับส่งข้อมูลของเทคโนโลยีทั้งสองแบบมีความเหมือนกันทุกประการ จนก่อให้เกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนในวงกว้างจนถึงขนาดที่ผู้ผลิตอุปกรณ์บางรายประกาศว่ามาตรฐานในการรับส่งข้อมูลมีอยู่เพียง 2 ประเภท คือ Full Duplex และ Half Duplex โดยเข้าใจว่ามาตรฐานแบบใดที่ใช้การส่งพลังงานแบบพัลส์นั้นก็คือระบบแบบ Half Duplex ส่วนมาตรฐานแบบใดที่มีการส่งพลังงานอยู่ตลอดเวลาเป็นมาตรฐานแบบ Full Duplex ซึ่งเป็นสิ่งที่คลาดเคลื่อนจากมาตรฐานทางเทคนิค และผู้เขียนขอทำความเข้าใจที่ถูกต้องโดยยึดหลักในการรับส่งข้อมูลประกอบกับแนวทางในการส่งพลังงานดัง ได้กล่าวถึงข้างต้นเป็นสำคัญ



รูปที่ 2.4 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential

2.10 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing

เมื่อทำความเข้าใจกับรูปแบบในการรับส่งข้อมูลแล้ว ผู้เขียนจะขอกำหนดถึงมาตรฐานการสื่อสาร RFID แบบ Duplexing ซึ่งสามารถจำแนกตามรูปแบบการทำงานได้ 4 ประเภท อันได้แก่เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling, Electromagnetic backscatter Coupling, Close Coupling และเทคโนโลยี Electrical Coupling ซึ่งจะขอกำหนดเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling

2.10.1เทคโนโลยี แบบ Inductive Coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็ก โครงสร้างของเครื่องลูกข่ายประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือชิปที่ใช้เก็บข้อมูลต่างๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ ทั้งนี้จะกล่าวถึงเทคนิคในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องลูกข่ายเพื่อเลี้ยงให้อุปกรณ์ชิปสามารถทำงานได้ก่อนจะกล่าวถึงเทคนิคที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

2.10.2 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เนื่องจากการทำงานของเครื่องลูกขายนั้นเป็นแบบพาสซีฟ (Passive operation) กล่าวคือ ไม่มีแหล่งพลังงานภายในเป็นของตนเอง จึงจำเป็นต้องรับพลังงาน (Energy) มาจากเครื่องอ่าน โดยตรง ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่าน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำลังสูง สามารถตกกระทบขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้อย่างเหมาะสม

สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะตกกระทบขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่าย ก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อนๆ ขึ้นบนขดลวดดังกล่าว ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากระบวนการเรกติไฟร์โดยตัวเก็บประจุและไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับอุปกรณ์ชิป ทั้งนี้หัวใจของการออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ C ซึ่งจะต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด L เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่กำทอน (Resonance Frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงาน ไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องลูกข่าย

สิ่งที่ผู้ออกแบบอุปกรณ์เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling ให้ความสำคัญมากที่สุดก็คือ การออกแบบขดลวดทั้งที่เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายให้สามารถถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าให้แก่กันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด หากจินตนาการเปรียบเทียบการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองมิได้พันอยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกัน กลับกลายเป็นใช้อากาศซึ่งมีคุณสมบัติในการนำพาสัญญาณที่เลวร้ายกว่าแกนแม่เหล็กหลายๆ

ดังนั้นในการออกแบบระบบแบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่าน และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่เครื่องลูกข่าย มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย

เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงมากขึ้น จะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงใช้จำนวนรอบในการพันลดลงเช่นกัน ตัวอย่างเช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 135 กิโลเฮิร์ตซ์ จะต้องมีการพันขดลวดอากาศที่เครื่องลูกข่ายในช่วง 100-1,000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ก็จะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวดจะเหลือเพียง 3-10 รอบเท่านั้น

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

ตารางที่ 2.2 ความหลากหลายของชิปที่ใช้บันทึกข้อมูลในเครื่องลูกข่าย RFID แยกตามประเภทของการประยุกต์ใช้งาน เปรียบเทียบกับการกินกระแสไฟฟ้าและคุณลักษณะด้านอื่นๆ

ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายลงได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จะส่งผลให้แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่สูงลดลงเมื่อเทียบกับการใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ทำให้จำกัดระยะทางในการใช้งานมากขึ้น การเลือกใช้อุปกรณ์ Inductive Coupling จึงต้องพิจารณาทั้งขนาดของเครื่องลูกข่ายและระยะทางที่ต้องการใช้งาน ตรวจสอบเป็นสำคัญ เพื่อใช้กำหนดเลือกย่านความถี่ที่เหมาะสมของอุปกรณ์ใช้งาน

สิ่งที่พึงให้ความสนใจเกี่ยวกับการออกแบบระบบ RFID แบบ Inductive Coupling ก็คือ พฤติกรรมการกินกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ชิปที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องลูกข่าย เนื่องจากก่อนข้างมีความหลากหลายและสัมพันธ์กับรูปแบบในการนำไปประยุกต์ใช้งาน การเลือกค่าความถี่พื้นฐาน

ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย ระยะทางพื้นที่ใช้งาน และขนาดของเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์อื่นเนื่องมาจากจำนวนรอบของขดลวดสายอากาศ จึงจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับประเภทของการใช้งานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังตารางที่ 3 เป็นการแสดงจำแนกประเภทของชิป(ASIC) รุ่นต่างๆ ซึ่งผู้เขียนไม่ขอเปิดเผยรุ่นและยี่ห้อ โดยเปรียบเทียบขนาดหน่วยความจำ การกินกระแสไฟฟ้า และคุณสมบัติอื่นๆ ทั้งนี้การเลือกใช้งานชิป ASIC นั้นจะต้องขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นสำคัญ

2.11 การส่งข้อมูลจากเครื่องถูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

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

- เทคโนโลยี Load Modulation

ดังได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่าพฤติกรรมในการส่งพลังงานและสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและขดลวดของเครื่องถูกข่ายมีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากการทำงานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่อย่างใด หากแต่เพียงตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานเป็นอากาศมิใช่โลหะหรือแท่งแม่เหล็กดังเช่นที่พบเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป อย่างไรก็ตามการใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดทั้งสองนั้น จะทำได้ก็ต่อเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและเครื่องถูกข่ายห่างกันไม่เกิน 0.16 เท่าของค่าความยาวคลื่น (0.16) ซึ่งหากคิดกรณีที่ใช้ความถี่ในย่าน 135 กิโลเฮิรตซ์ ที่มีความยาวคลื่น 2,400 เมตร ก็จะหมายความว่า จะวางเครื่องถูกข่ายกับเครื่องอ่านห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน $0.16 * 2,400 = 384$ เมตร

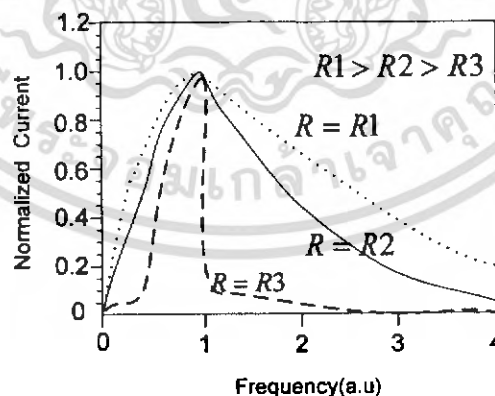
หากมีการนำเครื่องถูกข่ายซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ(LC) ตรงกันกับค่าความถี่ก่าทอนของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่มีการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน เครื่องถูกข่ายย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาใจแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้วเครื่องอ่านจะมองเห็นเครื่องถูกข่ายเป็นโหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ ZT ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน การเปลี่ยนแปลงใดๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ ZT ที่เครื่องอ่านมองเห็นอย่างแน่นอน เนื่องจากในของวงจร Resonant ที่เกิดจากขดลวด(L)และตัวเก็บประจุ (C) บนเครื่องถูกข่ายย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ตกกระทบ และไม่มีการจ่ายพลังงานที่

เอกสารเทียบเท่ากับค่าที่เท่ากับศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เสมือน ZT นี้ย่อมมีผลต่อการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านโดยปริยาย ซึ่งนี่เองที่เป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมา เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Load Modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half Duplex หรือ Full Duplex นั้นก็สุดแท้แต่การออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณซึ่งเป็นเรื่องทีลงรายละเอียดไปในการออกแบบ

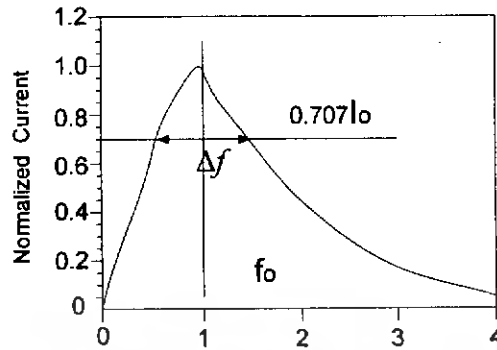
2.12 คุณลักษณะของการกำทอน และค่าคุณภาพของการกำทอน(Quality Factor,Q)

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



(ก) Normalized Current ที่ค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) คุณลักษณะที่ใช้ในการหาคุณภาพของการกำทอน

รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและคุณภาพการกำทอนของวงจรอนุกรม R-L-C

จาก $Q =$ พลังงานที่เก็บได้ต่อพลังงานที่สูญเสีย

$$Q = \frac{|V_L|}{|V_R|} = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \frac{L}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.1)$$

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{f_0}{\Delta f} \quad (2.2)$$

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

ที่กล่าวมานี้ทั้งหมดจะเป็นการวิเคราะห์หาค่าคงที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะการกำทอนของวงจร R-L-C ที่ต่อแบบขนานจะมีขั้นตอนในการวิเคราะห์คล้ายกับการวิเคราะห์ที่กล่าวมาโดยใช้คุณสมบัติ Duality ของ วงจรไฟฟ้านั้นคือ

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

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

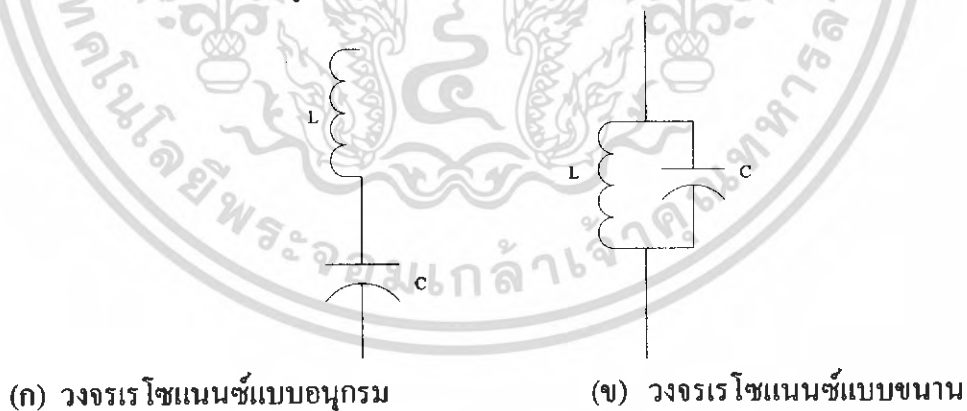
และมีผลทำให้ค่าศักดาที่คร่อม L และ C มีค่าสูงสุด และคุณภาพของการตอบสนองหรือค่า Q Factor สามารถดูได้จาก การตอบสนองทางความถี่ของค่าศักดาที่คร่อม L และ C นั้นเอง คุณสมบัติต่างๆ ของการกำทอนของวงจร R-L-C สามารถนำมาเขียนสรุปได้ตามตารางที่ 2.3

คุณสมบัติ	วงจรรอนุกรม	วงจรมขนาน
ความถี่กำทอน Resonance Frequency	$\frac{1}{\sqrt{LC}}$	$\frac{1}{\sqrt{LC}}$
ช่วงความถี่ที่พลังงาน 50 % (B) Half-power(-3dB) Bandwidth	$\frac{R}{L}$	$\frac{1}{RC}$
ค่าคุณภาพของการกำทอน(Q)	$\frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$	$R \sqrt{\frac{C}{L}}$

ตารางที่ 2.3 ค่าแสดงคุณลักษณะของการกำทอนของวงจร R-L-C

2.13 วงจรเรโซแนนซ์

วงจรเรโซแนนซ์(resonance) เป็นวงจรที่ต่อร่วมกันระหว่างตัวเก็บประจุ (C) กับขดลวดเหนี่ยวนำ(L) บางคนอาจเรียกววงจรแบบนี้ด้วยชื่ออื่น เช่น วงจรจูน (tune) วงจรแท็งก์ (tank) เป็นต้น วงจรเรโซแนนซ์ถูกนำมาใช้ในเครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุต่างๆไป ด้วยวัตถุประสงค์ให้วงจรเรโซแนนซ์เป็นตัวเลือกความถี่ และให้เป็นตัวกำหนดความถี่ที่กำเนิดขึ้น ให้เป็นตัวกั้นความถี่หรือให้เป็นทางผ่านของความถี่แล้วแต่กรณี วงจรเรโซแนนซ์แบบใช้ขดลวดร่วมกับตัวเก็บประจุ มีอยู่ 2 แบบคือ วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม(series resonance) และวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน(parallel resonance) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



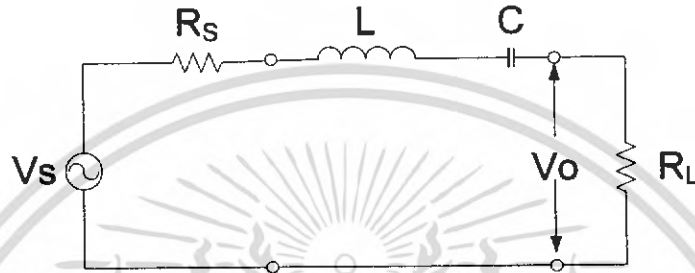
รูปที่ 2.6 วงจรเรโซแนนซ์ที่ใช้ LC

ธรรมชาติของวงจรเรโซแนนซ์จะยอมให้ความถี่ค่าหนึ่งผ่านได้ดี เรียกว่า ความถี่เรโซแนนซ์ เมื่อป้อนความถี่เรโซแนนซ์แก่วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม กระแสจะผ่านได้มากที่สุดโดยมีแรงดันตกคร่อมวงจรต่ำที่สุด ถ้าป้อนความถี่เรโซแนนซ์แก่วงจรเรโซแนนซ์ขนาน กระแสจะผ่านได้น้อยที่สุดโดยมีแรงดันตกคร่อมวงจรสูงที่สุด โดยปกติวงจรเรโซแนนซ์จะต้องมีแบนด์วิดท์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยอมให้ความถี่ข้างเคียงกับความถี่เรโซแนนซ์ทั้งด้านสูงและด้านต่ำผ่านไปในช่วงหนึ่ง ความถี่เรโซแนนซ์จึงหมายถึงความถี่ที่ผ่านวงจรตลอดแบนด์วิดท์ ซึ่งอาจจะกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์นั้นๆ

2.13.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series Resonance)



รูปที่ 2.7 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

จากวงจรในรูปที่ 2.7 ได้

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

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

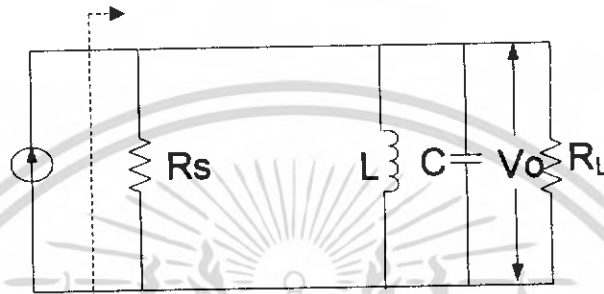
$$\text{ความถี่ศูนย์กลาง : } \omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{R/S}$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.13.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์ (Parallel Resonance or Tank circuit)



รูปที่ 2.8 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์

จากวงจรในรูปที่ 2.8 R_s จะขนานอยู่กับ R_L ดังนั้น

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

อิมพีแดนซ์ของวงจรแทงค์ : Z_{tank} จะมีค่าเป็น

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

จะได้

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

$$Z_{MAX} = R_T$$

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

หมายเหตุ รูปทั่วไปของฟังก์ชัน Band pass filter ที่มีอัตราขยาย K เท่า จะเป็น

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

โดยที่

K = Passband gain

ω_p = ความถี่ศูนย์กลางของ BPF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 ทฤษฎีพื้นฐานของการออกแบบ antenna

2.14.1 กระแสและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จากกฎของแอมแปร์เมื่อกระแสไหลในตัวนำจะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบๆตัวนำ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะผลิตจากกระแสในตัวอุปกรณ์ ดังในรูปที่ 2.9 พิจารณานบนตัวนำวงกลมที่มีความยาวจำกัด

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

โดยที่

I = กระแส

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

r = ระยะทางจากศูนย์กลางของลวดตัวนำ

ถ้ากรณีที่ลวดตัวนำมีความยาวเป็นค่าอนันต์จะต้องแทน

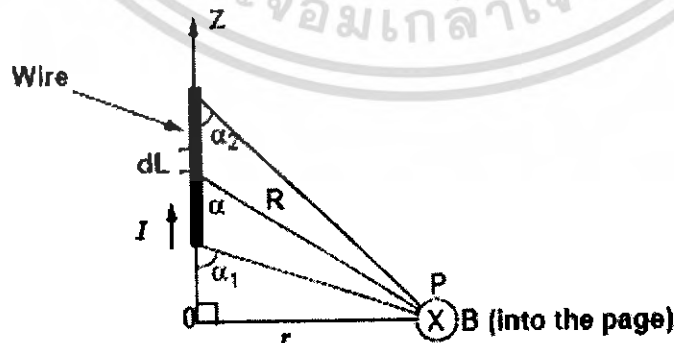
$$\alpha_1 = -180^\circ$$

$$\alpha_2 = 0^\circ$$

ฉะนั้นจากสมการที่ 2.3

สามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ 2.4

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



รูปที่ 2.9 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเส้นตรง

สนามแม่เหล็กถูกสร้างขึ้นจากลวดเสาอากาศ จะเป็นไปตามสมการที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$B_z = \frac{\mu_0 INa^2}{2r^3} \quad \text{for } r^2 \gg a^2 \quad (2.5)$$

โดยที่

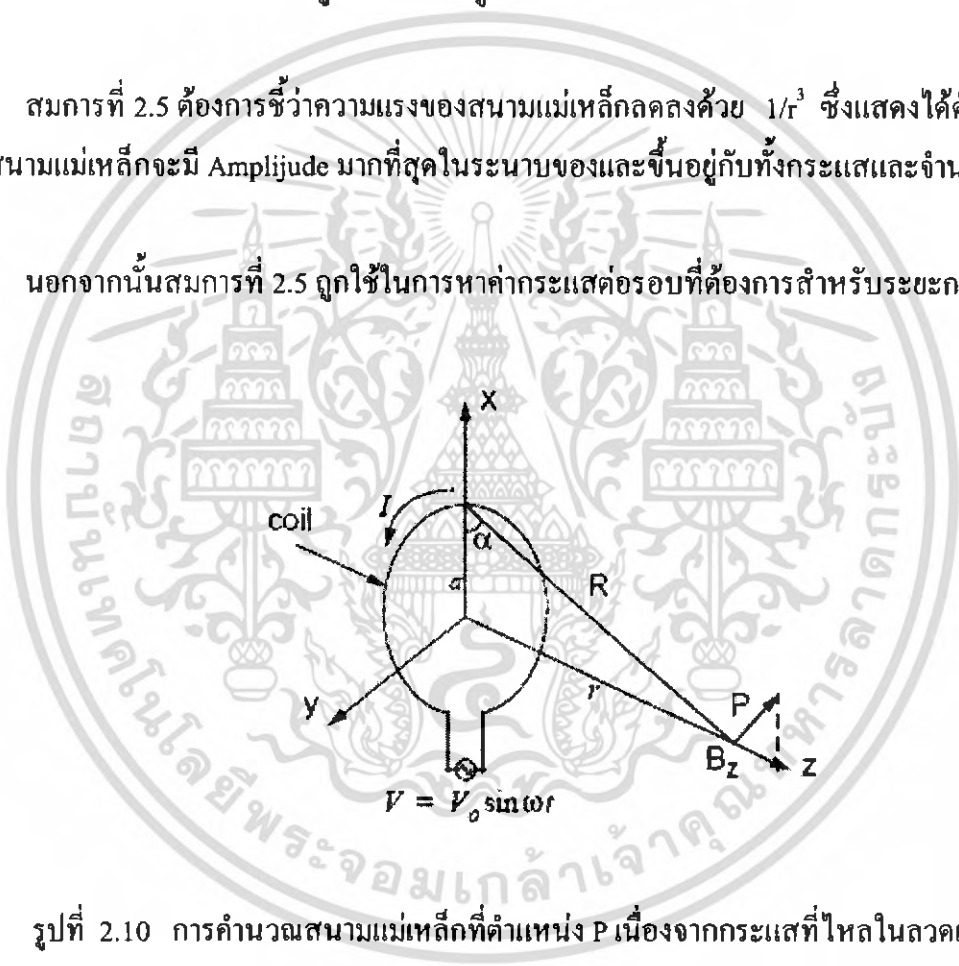
I = กระแส

a = รัศมีของลูป

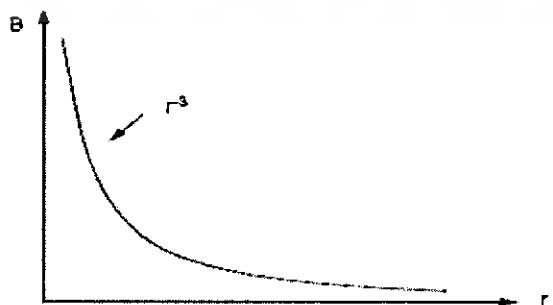
r = ระยะทางจากศูนย์กลางของลูป

สมการที่ 2.5 ต้องการชี้ว่าความแรงของสนามแม่เหล็กลดลงด้วย $1/r^3$ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.11 สนามแม่เหล็กจะมี Amplitude มากที่สุดในระนาบของและขึ้นอยู่กับทั้งกระแสและจำนวนรอบ

นอกจากนั้นสมการที่ 2.5 ถูกใช้ในการหาค่ากระแสต่อรอบที่ต้องการสำหรับระยะการอ่าน



รูปที่ 2.10 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเป็นลูป



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับระยะทาง r

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.2 แรงดันที่เหนี่ยวนำได้จากขดลวดสายอากาศ

จากกฎของฟาราเดย์กล่าวว่า สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ทะลุผ่านพื้นผิวที่ถูกครอบคลุมโดยเส้นทางเดินปิดจะเหนี่ยวนำให้เกิดรอบๆรูป

รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของการประยุกต์ใช้ RFID จากกฎของฟาราเดย์ เมื่อสายอากาศของแท็กส์และตัวอ่านอยู่ในบริเวณปิด สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาถูกสร้างขึ้นโดย สายอากาศของตัวอ่านเหนี่ยวนำแรงดัน(เรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือ EMF อย่างง่าย) ไปยังสายอากาศของแท็กส์ แรงดันเหนี่ยวนำที่ถูกเหนี่ยวนำในสายอากาศของตัวอ่านเป็นสาเหตุให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำในแท็กส์

แรงดันเหนี่ยวนำบนสายอากาศของแท็กส์ จะเท่ากับการชาร์ทของเส้นแรงแม่เหล็กสมการที่ 2.6

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

โดยที่

N = จำนวนรอบของสายอากาศ

ψ = เส้นแรงแม่เหล็กที่ทะลุผ่านในแต่ละรอบ

เครื่องหมายลบแสดงทิศทางของเหนี่ยวนำซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น จากกฎของเลนส์ (Lenz's Law) เป็นการย้ำว่าทิศทางของไหลของกระแสในวงจรจะมีทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กที่ผลิตขึ้นจากการเหนี่ยวนำของกระแสแต่จะตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กที่จุดกำเนิด

เส้นแรงแม่เหล็กในสมการที่ 2.6 คือ ผลรวมของสนามแม่เหล็ก (Btotal) ซึ่งทะลุผ่านเข้าไปยังพื้นผิวของสายอากาศ

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

โดยที่

B = สนามแม่เหล็กจากสมการที่ 2.4

S = พื้นผิวของขดลวด

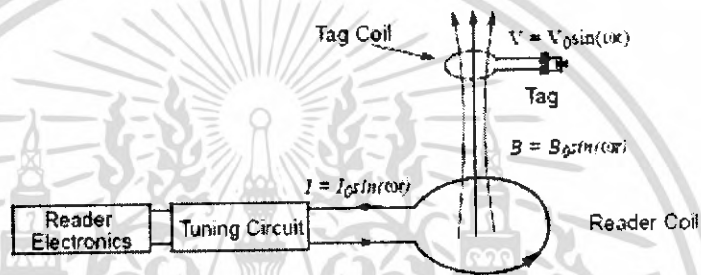
\cdot = ผลคูณภายใน(มุม \cos ระหว่าง เวกเตอร์สองเวกเตอร์)

ซึ่งทั้ง B และ S เป็นปริมาณเวกเตอร์

ผลคูณภายในของสองเวกเตอร์ในสมการที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่า เส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่ทะลุผ่าน ขดลวดสายอากาศ เกิดจากการหาตำแหน่งมุมของขดลวดสายอากาศ ผลคูณภายในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสองเวกเตอร์จะมีค่าน้อยสุดเมื่อมุม \cos ระหว่างสองเวกเตอร์เท่ากับ 90 องศา หรือสองเวกเตอร์ตั้งฉากซึ่งกันและกัน และจะมากที่สุดเมื่อ มุม \cos คือ 0 องศา

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



รูปที่ 2.12 โครงสร้างพื้นฐานของตัวอ่านและแท็กส์ในการประยุกต์ใช้ RFID นำสมการที่ 2.5 และ 2.7 มาแทนลงในสมการที่ 2.6 จะได้

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

โดยที่

V = แรงดันในขดลวดแท็กส์

i_1 = กระแสที่ไหลในขดลวดตัวอ่าน

a = รัศมีของขดลวดตัวอ่าน

b = รัศมีของขดลวดแท็กส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

r = ระยะทางระหว่างขดลวดทั้งสอง

M = mutual inductance ระหว่างขดลวดแท่งสี่เหลี่ยมและขดลวดตัวอ่าน 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 แรงดันขดลวดของแท่งสี่เหลี่ยมจะขึ้นอยู่กับ mutual inductance ระหว่างขดลวดทั้งสอง mutual inductance ขึ้นอยู่กับรูปร่างของขดลวดและระยะห่างระหว่างขดลวดทั้งสอง แรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดของแท่งสี่เหลี่ยมลดลงด้วยอัตรา r^{-3} ดังนั้น ระยะการอ่านจะลดลงในทางเดียวกัน

จากสมการที่ 2.6 และ 2.7 สมการรูปทั่วไปสำหรับแรงดันเหนี่ยวนำ V_0 ในขดลวดรูป

คือ

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

โดยที่

f = ความถี่ของสัญญาณที่เข้ามา

N = จำนวนรอบของขดลวดในรูป

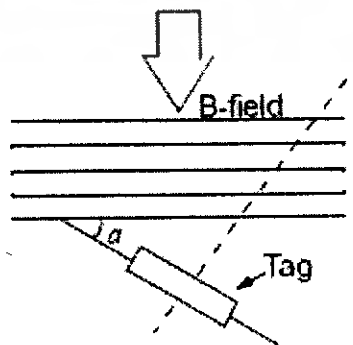
S = พื้นที่ของรูป มีหน่วยเป็น m^2

Q = quality factor ของวงจร

B_0 = ความเข้มของสัญญาณที่เข้ามา

α = มุมของสัญญาณที่เข้ามา

สมการที่ 2.8 quality factor (Q) คือ มาตรการในการเลือกความถี่ที่สนใจ



รูปที่ 2.13 ตำแหน่งของสายอากาศของแท่งสี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อผู้ญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันเหนี่ยวนำที่ลวดของสายอากาศในทิศทางมุมของสัญญาณที่เข้ามา แรงดันเหนี่ยวนำจะมากที่สุดเมื่อลวดตัวอ่านอยู่ในตำแหน่งที่ขนานกับสัญญาณที่เข้ามา นั่นก็คือ $a = 0$

2.14.3 ความต้านทานกระแสดตรงของตัวนำและชนิดของลวด

American Wire Gauge(AWG) เป็นเลขที่แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตัวนำ เลขนี้เป็นสัดส่วนตรงกันข้ามกับเส้นผ่านศูนย์กลาง ยิ่งลวดมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กก็就会有ความต้านทานกระแสดตรงสูง ความต้านทานกระแสดตรงสำหรับตัวนำจะมีรูปแบบที่สัมพันธ์กับพื้นที่ตัดขวาง ดังสมการที่ 2.9

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

โดยที่

l = ความยาวทั้งหมดของลวด

σ = ความนำไฟฟ้าของลวด

S = พื้นที่ตัดขวาง

a = รัศมีของลวด

ค่าความต้านทานค่าน้อยๆ อาจเป็นไปได้สำหรับค่า Q ที่สูงๆ ของวงจรสายอากาศ นั้นหมายถึง ขดลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางจะต้องถูกเลือกให้เป็นไปได้กับวงจร RFID ตามตารางที่ 2.4 แสดงถึง เส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับลวดที่มีสิ่งห่อหุ้มและเปลือย และแสดงถึงความต้านทานกระแสดตรง

2.14.4 ความต้านทานกระแสดกลับของตัวนำ

สำหรับกระแสดตรง พาหะตัวนำจะกระจ่ายอยู่รอบๆ ส่วนต่างๆ ของลวด ถ้าความถี่เพิ่มขึ้นที่ศูนย์กลางของตัวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นความต้านทานของขดลวดที่มีต่อการนำไฟฟ้ากลับที่ใกล้ๆ จุดศูนย์กลางของลวดจะเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้ ในบริเวณที่มีความหนาแน่นของกระแสดความต้านทานจะสูงขึ้น

ดังนั้น ประจุจะเคลื่อนจากจุดศูนย์กลางของลวดตรงไปยังขอบๆ ของลวด เป็นผลทำให้ความหนาแน่นที่จุดศูนย์กลางของลวดลดลงและเพิ่มขึ้นที่บริเวณใกล้กับขอบของลวด นี้คือ 'skin effect' ลึกเข้าไปในตัวนำ ความหนาแน่นของกระแสดกลางเป็น $1/e$ หรือ 37% ($= 0.3679$) ของค่าที่พื้นผิว เป็นที่รู้กันว่าเป็นลักษณะของ skin depth และ คือปัจจัยของความถี่และค่าความซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นและค่าความนำของตัวกลาง ผลต่างๆ ของ skin effect ทั้งหมดทั้งปวงเพิ่มขึ้นในความต้านทานกระแสสลับของลวด

ค่า skin depth คำนวณได้จากสมการที่ 2.10

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

โดยที่

f = ความถี่

μ = ค่าความซึมซับ

μ_0 = ค่าความซึมซับของอากาศ

$\mu_r = 1$ สำหรับ ทองแดง , อะลูมิเนียม , ทอง และอื่นๆ
= 4000 สำหรับ เหล็กบริสุทธิ์

σ = ค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุ

= $5.8 \times 10^7 (\Omega/m)$ สำหรับ ทองแดง

= $3.82 \times 10^7 (\Omega/m)$ สำหรับ อะลูมิเนียม

= $4.1 \times 10^7 (\Omega/m)$ สำหรับ ทอง

= $6.1 \times 10^7 (\Omega/m)$ สำหรับ เงิน

ค่า skin depth ทองแดง ที่ความถี่ 125 kHz จะได้

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

63 % ของการไหลกระแส RF ในทองแดงจะไหลอยู่ที่ระยะที่ห่างจากขอบนอกสุด 0.187 mm สำหรับความถี่ 125 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานลวดเพิ่มขึ้นตามความถี่ และ ความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับ skin depth ถูกเรียกว่า ความต้านทานกระแสลับ สูตรโดยประมาณของความต้านทานกระแสลับ เป็นไปตามสมการที่ 2.11

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

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

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

โดยที่ พื้นที่ skin depth บนลวดตัวนำคือ

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

ความต้านทานกระแสลับเพิ่มขึ้นด้วยรากที่สองของความถี่ที่ใช้

Wire Size (AWG)	Dia. in Mils (bare)	Dia. in Mils (coated)	Ohms/ 1000 ft.	Cross Section (mils)
1	289.3	—	0.126	83690
2	287.6	—	0.156	66360
3	229.4	—	0.197	52620
4	204.3	—	0.249	41740
5	181.9	—	0.313	33090
6	162.0	—	0.395	26240
7	166.3	—	0.498	20820
8	128.5	131.6	0.628	16510
9	114.4	116.3	0.793	13090
10	101.9	106.2	0.999	10380
11	90.7	93.5	1.28	8230
12	80.8	83.3	1.59	6530
13	72.0	74.1	2.00	5180
14	64.1	66.7	2.52	4110
15	57.1	59.5	3.18	3260
16	50.8	52.9	4.02	2580
17	45.3	47.2	5.05	2060
18	40.3	42.4	6.39	1620
19	35.9	37.9	8.05	1290
20	32.0	34.0	10.1	1020
21	28.5	30.2	12.8	812
22	25.3	28.0	16.2	640
23	22.8	24.2	20.3	511
24	20.1	21.6	25.7	404
25	17.9	19.3	32.4	320

Note: 1 mil = 2.54 x 10⁻³ cm

Wire Size (AWG)	Dia. in Mils (bare)	Dia. in Mils (coated)	Ohms/ 1000 ft.	Cross Section (mils)
26	15.9	17.2	41.0	253
27	14.2	15.4	51.4	202
28	12.6	13.8	65.3	159
29	11.3	12.3	81.2	123
30	10.0	11.0	106.0	100
31	8.9	9.9	131	79.2
32	8.0	8.8	162	64.0
33	7.1	7.9	206	50.4
34	6.3	7.0	261	39.7
35	5.6	6.3	331	31.4
36	5.0	5.7	415	25.0
37	4.5	5.1	512	20.2
38	4.0	4.5	648	16.0
39	3.5	4.0	847	12.2
40	3.1	3.5	1080	9.61
41	2.8	3.1	1320	7.84
42	2.5	2.8	1660	6.25
43	2.2	2.5	2140	4.84
44	2.0	2.3	2590	4.00
45	1.76	1.9	3350	3.10
46	1.57	1.7	4210	2.46
47	1.40	1.6	5290	1.96
48	1.24	1.4	6750	1.54
49	1.11	1.3	8420	1.23
50	0.99	1.1	10600	0.98

Note: 1 mil = 2.54 x 10⁻³ cm

ตารางที่ 2.4 AWG WIRE CHART

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.5 ความต้านทานของตัวนำด้วยการประมาณที่ความถี่ต่ำ

เมื่อ skin depth ส่วนใหญ่จะเปรียบเทียบกับรัศมีของตัวนำ ความต้านทานสามารถได้รับการประมาณด้วยความถี่ต่ำได้

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

พจน์แรกของสมการที่ 2.12 คือ ความต้านทานกระแสตรง ส่วนพจน์ที่สองคือความต้านทานกระแสสลับ

2.14.6 ตัวเหนี่ยวนำที่ประกอบด้วยขดลวดสี่เหลี่ยมหลายชั้น

ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดสี่เหลี่ยมหลายชั้นคำนวณจากสมการที่ 2.13

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

โดยที่

N = จำนวนรอบ

$C = x + y + 2h$

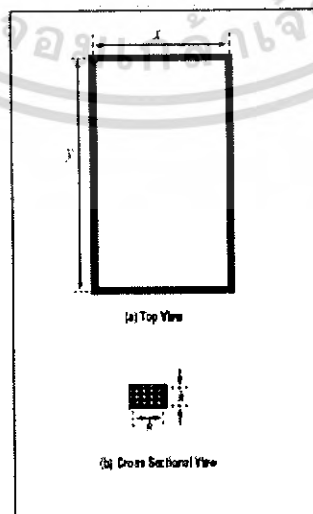
X = ความกว้างของขดลวด

Y = ความยาวของขดลวด

b = ความกว้างของภาคตัดขวาง

h = ความสูงของภาคตัดขวาง

หมายเหตุ อยู่ในหน่วย เซนติเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้ผู้อื่นรู้เท่าไรก็ดี หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

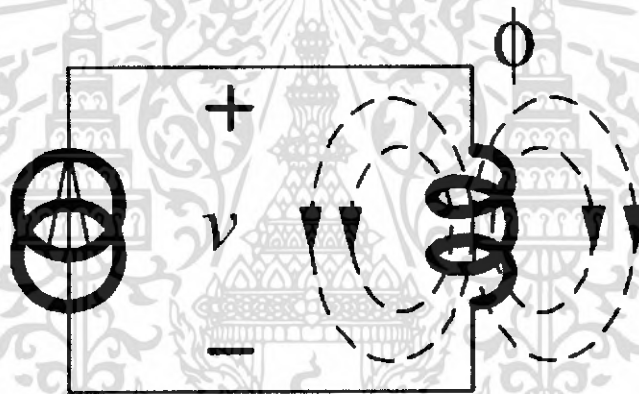
2.15 ค่าเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance)

ค่าความเหนี่ยวนำร่วม คือ ความสามารถของขดลวดหนึ่งที่เหนี่ยวนำแรงดันให้เกิดขึ้นที่ขดลวดข้างเคียง โดยมีหน่วยเป็นเฮนรี (H)

วงจรทางไฟฟ้าสามารถแบ่งการเชื่อมโยงได้ 2 แบบคือ

- การเชื่อมโยงทางตัวนำ (Conductively Coupled) หมายถึง รูปหนึ่งในวงจรไปมีผลต่ออีกรูปหนึ่งในวงจรผ่านกระแส

- การเชื่อมโยงทางสนามแม่เหล็ก (Magnetically Coupled) หมายถึง รูปหนึ่งในวงจรไปมีผลต่ออีกรูปหนึ่งในวงจรที่ไม่ได้เชื่อมต่อกันผ่านทางสนามแม่เหล็กหรือแปลง (Transformer) เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งที่ใช้หลักการการเชื่อมต่อทางสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะถูกมองในรูปพลังงานที่ถ่ายเทจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่ง



รูปที่ 2.15 ฟลักซ์สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 2.15 ขดลวดพัน N รอบจะมี กระแสไหล, $i(t)$ ผ่านทำให้เกิดฟลักซ์สนามแม่เหล็ก ϕ ที่เกิดขึ้น

รอบๆขดลวด จากกฎของฟาราเดย์กล่าวไว้ว่า

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

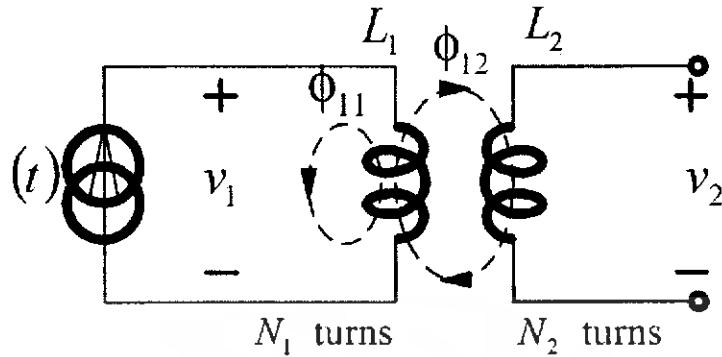
ฟลักซ์, ϕ ก็เกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสต่อเวลาดังนั้น

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

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

โดยที่ L จะถูกเรียกว่า Self-Inductance เนื่องจาก ผลของแรงดันที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงกระแสต่อเวลาในขดลวดเดียวกัน .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ขดลวดที่ค่า Self-Inductance เท่ากับ L_1 และ L_2

ขดลวด 2 ขดที่ค่า Self-Inductance เท่ากับ L_1 และ L_2 มาวางใกล้กันดังรูปที่ 2.16 ขดลวด L_1 และ L_2 พัน N_1 และ N_2 รอบตามลำดับ เนื่องจากขดลวด L_2 ไม่มีกระแสไหล ฟลักซ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขดลวดที่ 1 คือ $\phi_1 = \phi_{11} + \phi_{12}$

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

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

โดยที่ M_{21} : mutual-Inductance ของขดลวด

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

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

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

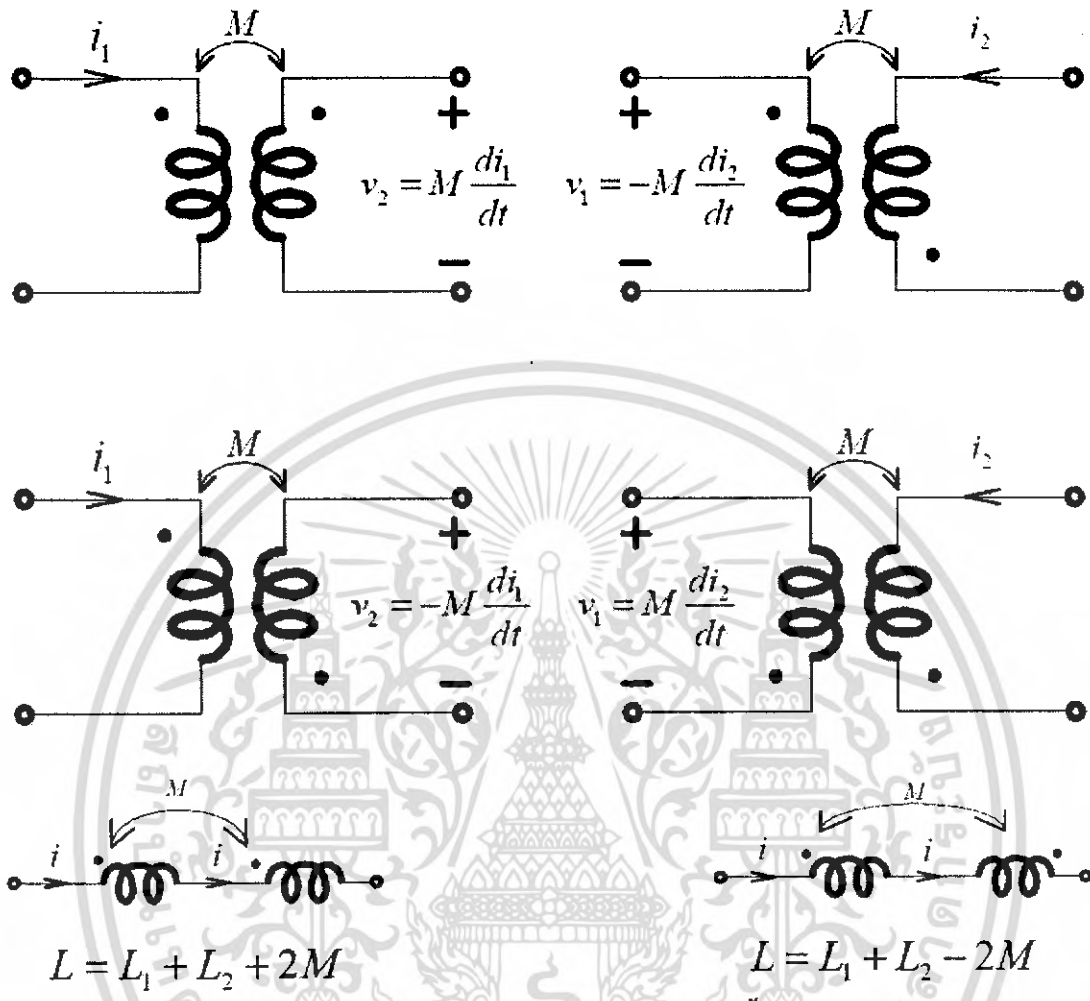
$$\text{แรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดที่ 1: } v_1 = N_1 \frac{d\phi_{21}}{dt} = N_1 \frac{d\phi_{21}}{di_2} \frac{di_2}{dt} = M_{12} \frac{di_2}{dt}$$

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

ความยุ่งยากในการกำหนดแรงดัน ความเหนี่ยวนำร่วม สามารถพิจารณาได้โดยใช้ Dot Convention ดังนั้น

- ถ้ากระแสไหลเข้าจุดของขดลวดอันแรก แรงดันเหนี่ยวนำร่วมของขดลวดที่สองที่ขั้วของจุดจะเป็นบวก
- ถ้ากระแสไหลออกจากจุดของขดลวดอันแรก แรงดันเหนี่ยวนำร่วมของขดลวดที่สองที่ขั้วของจุดจะเป็นลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ทิศทางของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวด

2.15.1 พลังงานในวงจรที่เชื่อมโยงกัน (Energy in a Coupled Circuit)

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

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

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

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

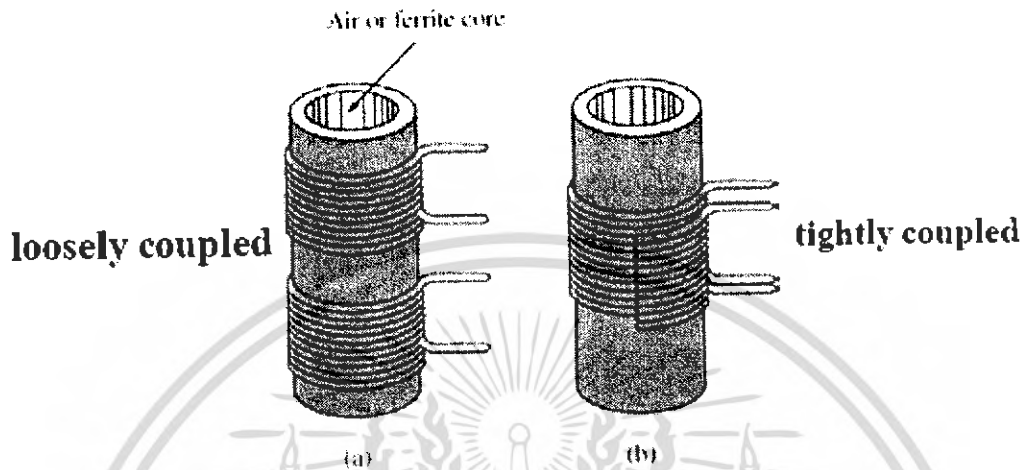
อัตราส่วนของค่าความเหนี่ยวนำร่วม ต่อค่าเฉลี่ยของค่าความเหนี่ยวนำส่วนตัวคือค่าสัมประสิทธิ์การคัปปลิง(Coefficient of coupling),k

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ $k < 0.5$ จะเรียกว่า Loosely Coupled

สำหรับ $k > 0.5$ จะเรียกว่า Tightly Coupled



รูปที่ 2.18 สัมประสิทธิ์การคัปปลิง

2.15.2 หม้อแปลงแบบเชิงเส้น (Linear Transformers)

- ขดลวดปฐมภูมิ (primary coil) เป็นขดลวดที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่าย
- ขดลวดทุติยภูมิ (secondary coil) เป็นขดลวดที่เชื่อมต่อกับโหลด
- แกน (core) เป็นส่วนแกนที่ขดลวดพันรอบ โดยหม้อแปลงจะเป็นแบบเชิงเส้นก็ต่อเมื่อแกนเป็นวัสดุซึมซาบทางแม่เหล็ก (permeability) คงที่ อาทิเช่น อากาศพลาสติก เมกไนท์ และไม้

2.16 วงจรดีเทกเตอร์ AM

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

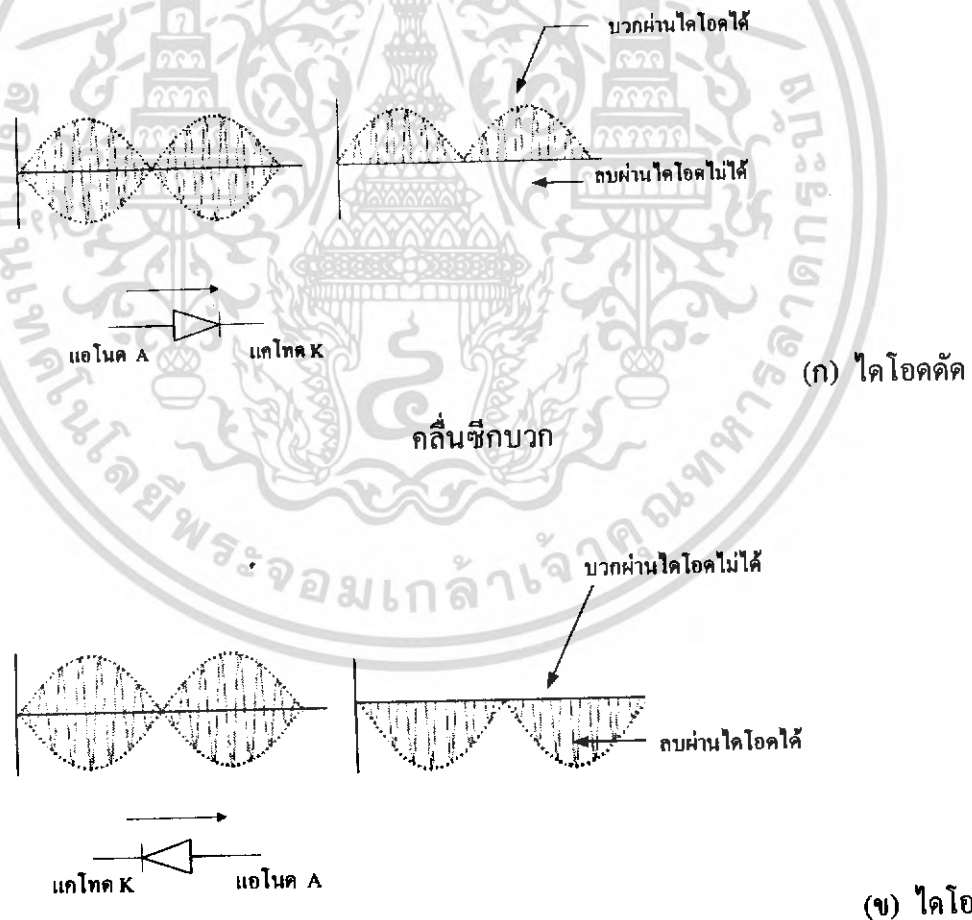
1) การไบแอสไดโอด

การไบแอสตรง (forward bias) หมายถึงภาวะที่ไดโอดนำกระแสจะมีกระแสไฟบวกไหลจากแอโนดไปยังแคโทด โดยการจะให้แรงดันที่แอโนดมีศักย์เป็นบวกสูงกว่าแคโทด และในกรณีไม่มีการนำไบแอส ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ป้อนไฟสลับความถี่ต่างๆ เข้าที่แอนโอด กระแสที่ผ่านไดโอดได้จะปรากฏเฉพาะซีกบวกเท่านั้น จึงเรียกว่าใช้ไดโอดคัตแบคคลื่นหรือดีเทกเอาเฉพาะซีกบวก

ถ้าหากเรากลับขั้วไดโอดแล้วป้อนไฟเข้าทางด้านแคโทด การทำให้แคโทดเกิดไบแอสตรงที่ขาแคโทดจะต้องมีศักย์โพลสูงกว่าแอนโอด กระแสโพลจึงจะผ่านจากแคโทดไปยังแอนโอดได้หรือถ้าป้อนไฟสลับความถี่ต่างๆ เข้าที่แคโทดของไดโอด กระแสที่ผ่านจากแคโทดไปยังแอนโอดได้จะปรากฏเฉพาะซีกลบเท่านั้น ซึ่งเรียกว่าใช้ไดโอดคัตแบคคลื่นหรือดีเทกเอาเฉพาะคลื่นซีกลบ

การไบแอสกลับ(reverse bias) หมายถึงภาวะที่ไดโอดไม่นำกระแสหรือกั้นกระแสไว้ ในขณะที่ขาแอนโอดเป็นลบและขาแคโทดเป็นบวก ในขณะนี้จะไม่มีกระแสไหลผ่านไดโอดเลย ถ้าหากป้อนสัญญาณความถี่กระแสกลับให้ไดโอดช่วงที่เป็นไบแอสกลับสัญญาณจะหายไปหมดทั้งแถบดังรูปที่ 2.19 (ก) คลื่นซีกลบหายไป (ข) คลื่นซีกบวกหายไป



คัตคลื่นซีกลบ

รูปที่ 2.19 หลักการใช้ไดโอดเป็นตัวดีเทกเตอร์สัญญาณ AM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17 การแมทซ์อิมพีแดนซ์ (Impedance Matching)

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

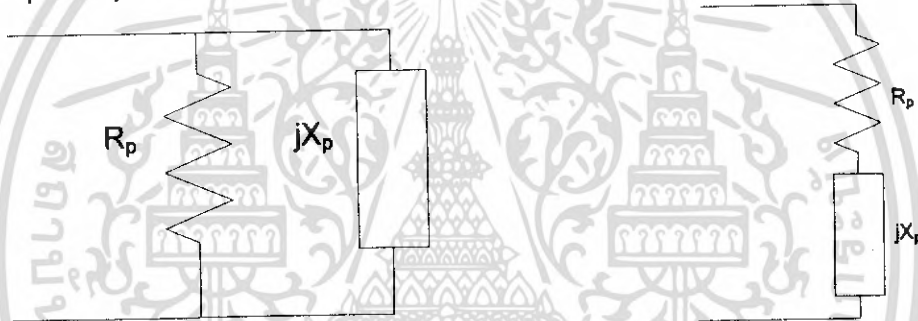
วงจรที่ใช้ในการแมทซ์ซิ่งอาจใช้เพียง ตัวความต้านทาน หรือ หม้อแปลง หรือวงจร L-C

2.17.1 วงจรเสมือน การแปลงระหว่าง อิมพีแดนซ์อนุกรม และอิมพีแดนซ์ขนาน

หลักการที่สำคัญของการออกแบบวงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์ คือการแปลงอิมพีแดนซ์ที่อยู่ใน

รูป

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



(ก) อิมพีแดนซ์ขนาน

(ข) อิมพีแดนซ์อนุกรม

รูปที่ 2.20 วงจรเสมือนอิมพีแดนซ์

จากรูปที่ 2.20(ก)จะได้ $Z_p = R_p // jX_p$

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

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

จากรูปที่ 2.20(ข)จะได้ $Z_{se} = R_{se} + jX_{se}$

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

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

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

และจากสมการที่ 2.15

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

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

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

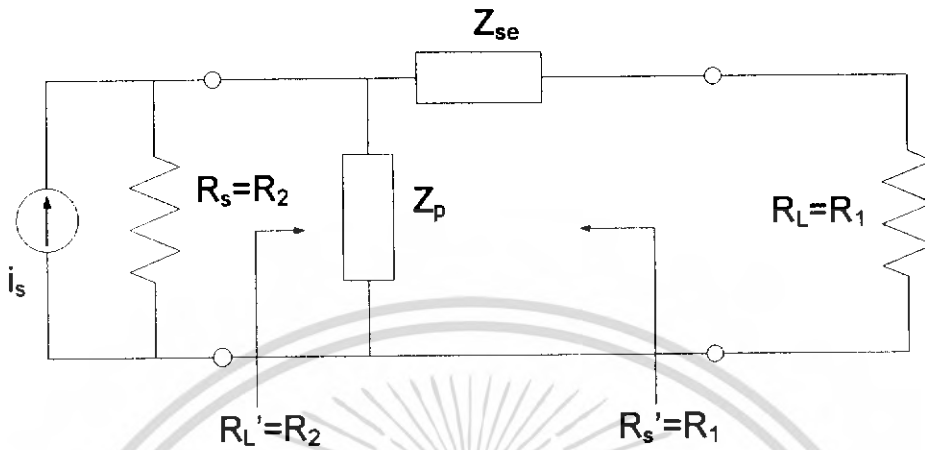
แทนค่า $\frac{R_p}{X_p}$ ในสมการที่ 2.18 ด้วย $\frac{X_{se}}{R_{se}}$ จะได้

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

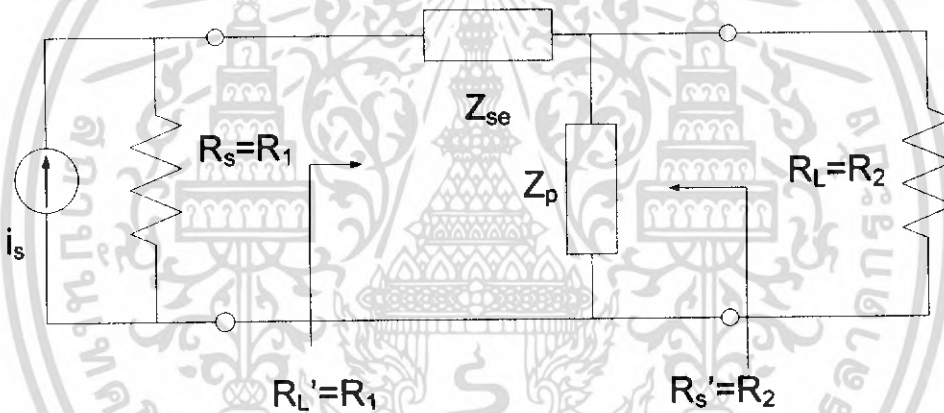
ค่าอัตราส่วน $\frac{R_p}{X_p}$ หรือ $\frac{X_{se}}{R_{se}}$ อาจถูกเรียกว่าค่า Q ของอิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17.2 วงจรแมทซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์อย่างง่าย



(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 2.21 วงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์อย่างง่ายที่สุด

จากรูปที่ 2.21 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 ในกรณีนี้อิมพีแดนซ์ที่ทางออก

ของวงจรขยาย จะเสมือนเป็น R_s หรือ $R_{\alpha(n)} = R_s$ และ $R_{IN(n+1)} = R_L$
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.22 R_2 หมายถึง ด้านที่มีอิมพีแดนซ์สูงกว่า ในกรณีนี้ที่

- $R_s > R_L$ $R_2 \equiv R_s$ และ $R_1 \equiv R_L$ ดังในรูปที่ 2.22 (ก)

- $R_s < R_L$ $R_2 \equiv R_L$ และ $R_1 \equiv R_s$ ดังในรูปที่ 2.22 (ข)

โดยการนำอิมพีแดนซ์ Z_p ไปต่อขนานกับฝั่งที่มีความต้านทานสูงกว่า หรือ R_2 เลือกว่าของ Z_p เพื่อให้

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

นั่นคือ R_2 จะถูกทำให้มีค่าความต้านทานเสมือนเป็น R_1 จากสมการที่ 2.15

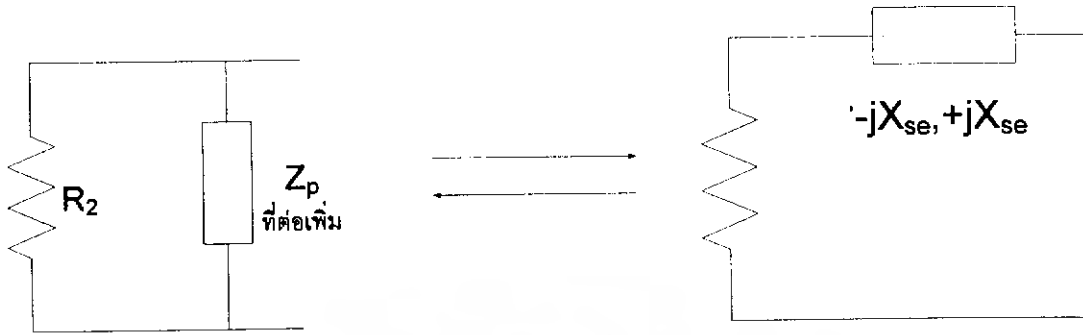
$$R_{se} = \frac{R_p}{1 + \left(\frac{R_p}{X_p}\right)^2}$$

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

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

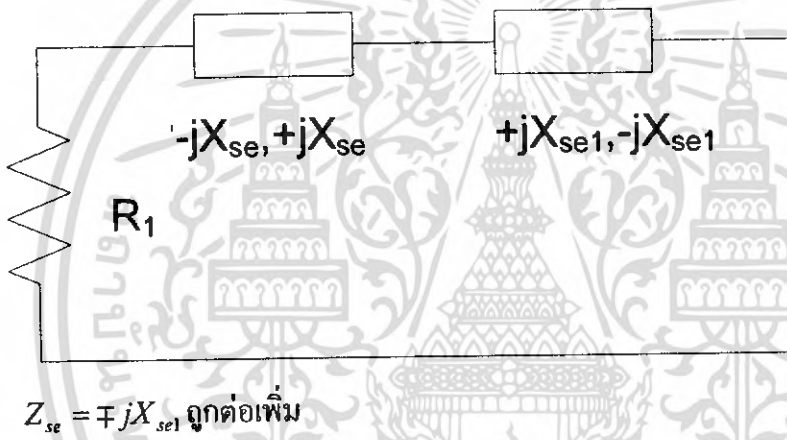
$$\text{ซึ่ง } Z_p = \pm jX_p = \frac{\pm jR_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{R_1}\right) - 1}} \quad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



R_2 ถูกแปลงเป็น R_1 โดยต่อ Z_p

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



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

รูปที่ 2.22 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 $X_{se} = R_{se} \cdot \frac{R_p}{X_p}$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

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

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

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

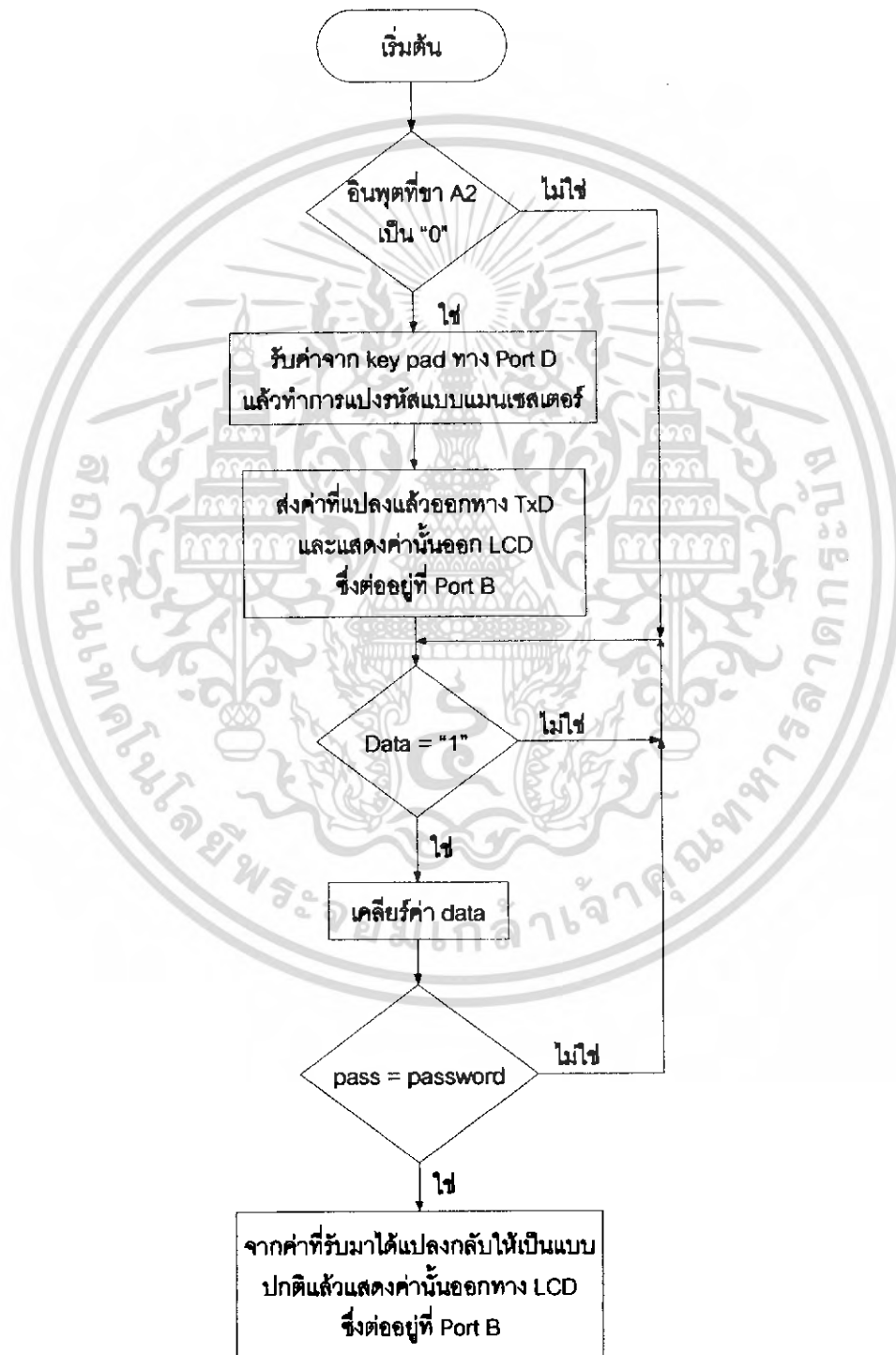
โดยที่ $R_2 > R_1$

บทที่ 3

ออกแบบ

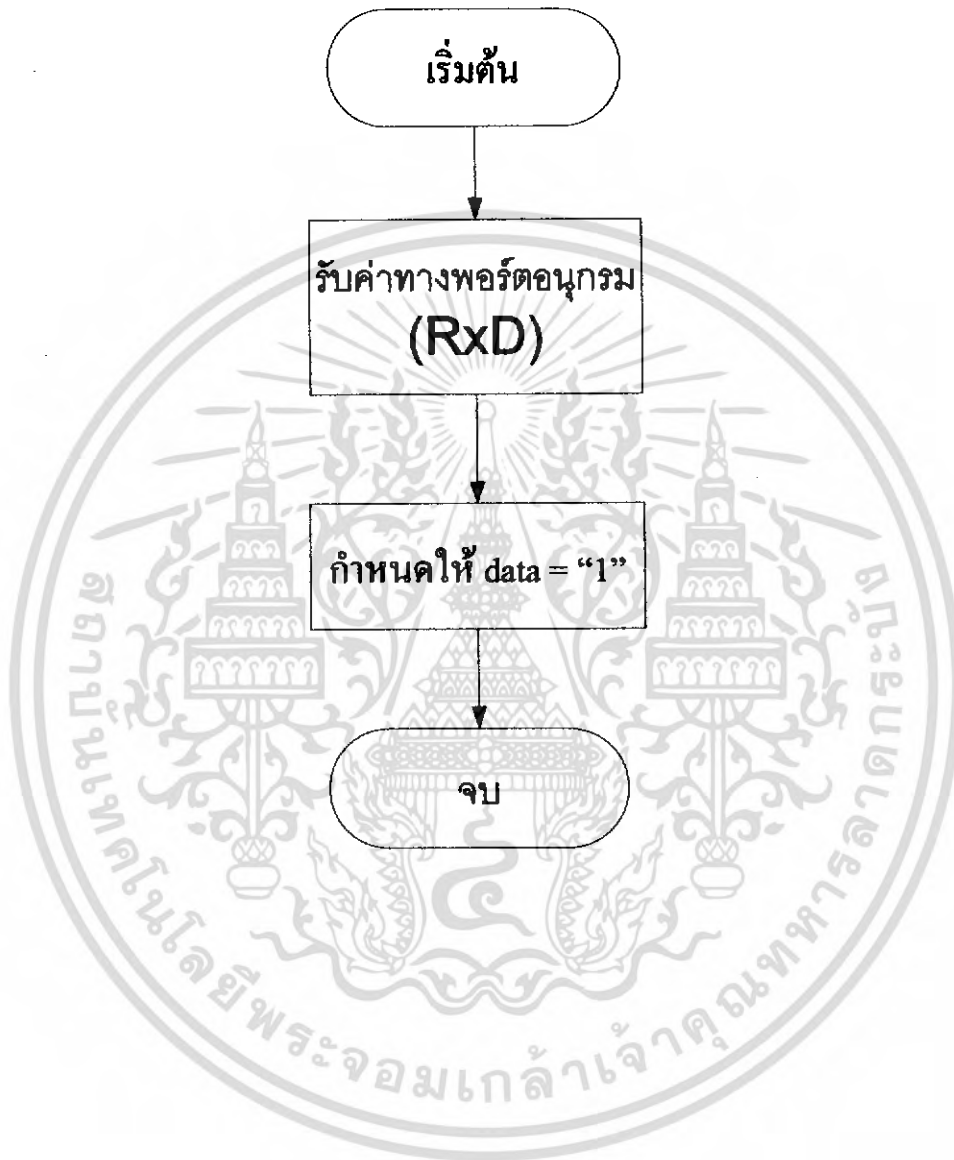
3.1 ส่วนซอฟต์แวร์

3.1.1 โฟลว์ชาร์ทของเครื่องอ่านและเครื่องเขียน



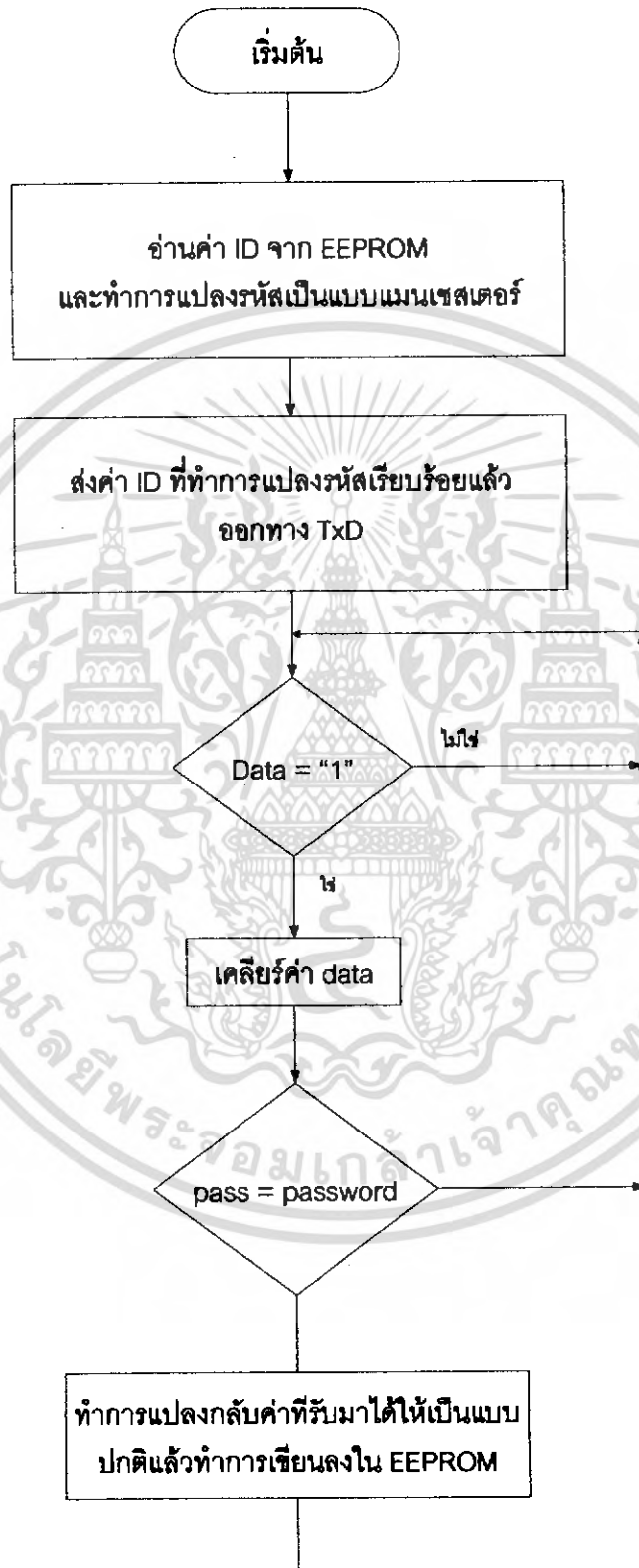
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟลล์ชาร์ทในส่วนของการบริการอินเตอร์รัปต์ของเครื่องอ่านและเครื่องเขียน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 โฟล์ดซาร์ทของเครื่องถูกข่าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

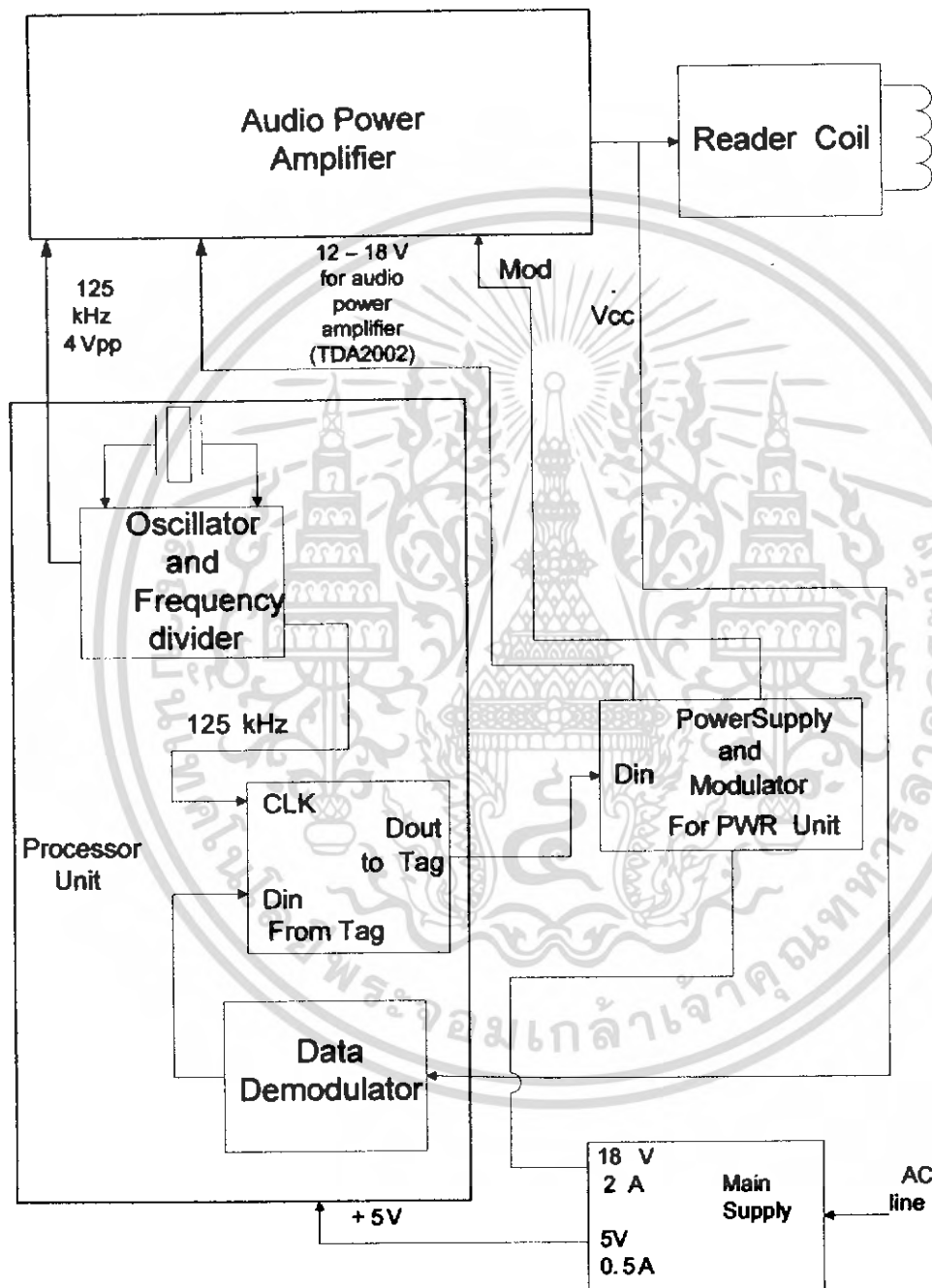
โฟลล์ชาร์ทในส่วนของการบริการอินเทอร์เน็ตของเครื่องลูกข่าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

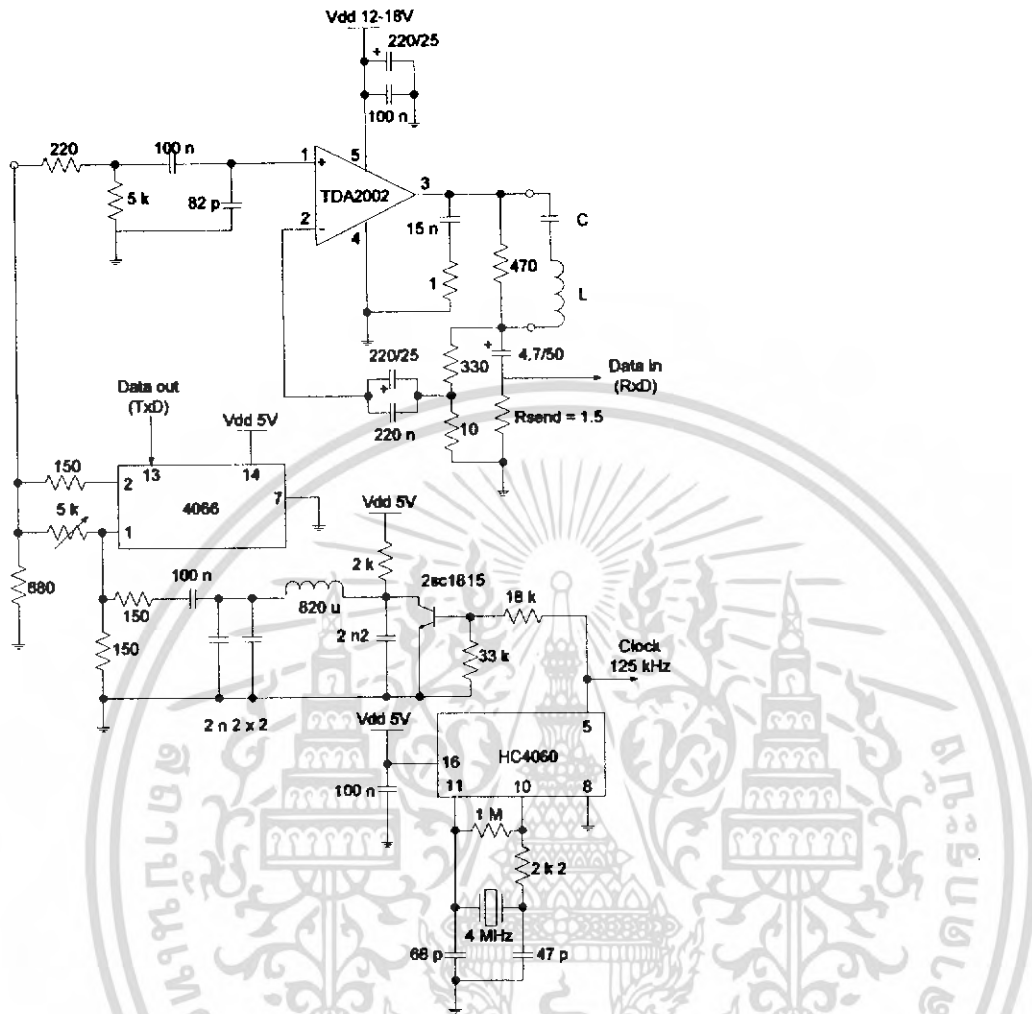
3.2 ส่วนฮาร์ดแวร์

3.2.1 การออกแบบในส่วนเครื่องอ่านและเครื่องเขียน



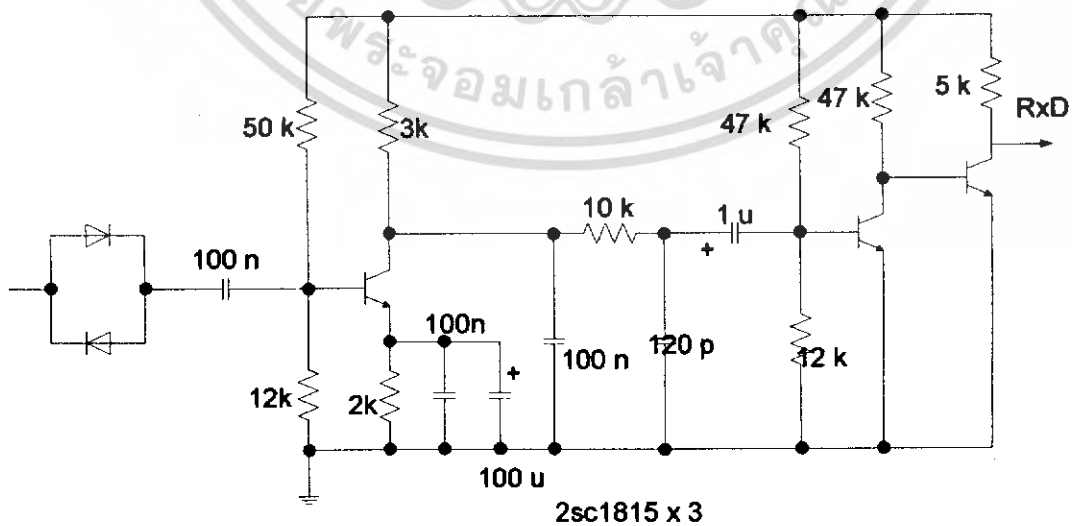
รูปที่ 3.1 บล็อกโคอะแกรมของเครื่องอ่านและเครื่องเขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรรวมฝั่งเครื่องอ่านและเครื่องเขียน

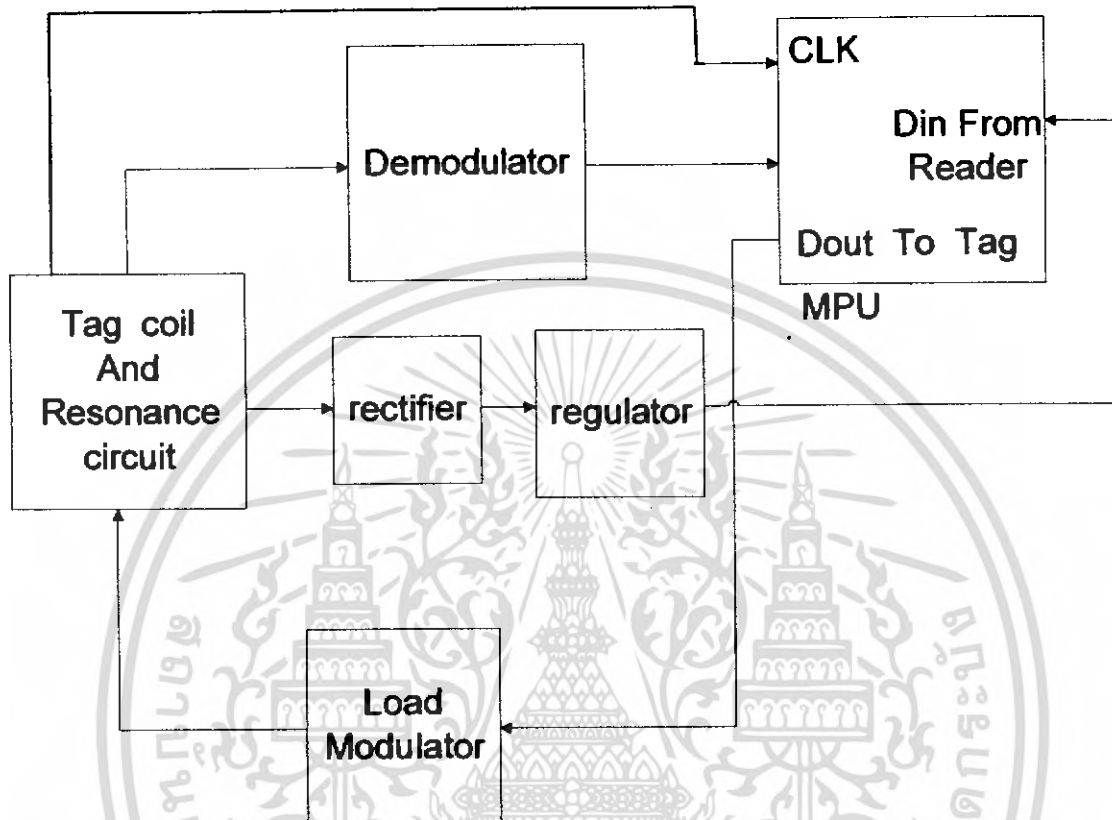
5 V



รูปที่ 3.3 วงจรคีมอดคูลเลตฝั่งเครื่องอ่านและเครื่องเขียน

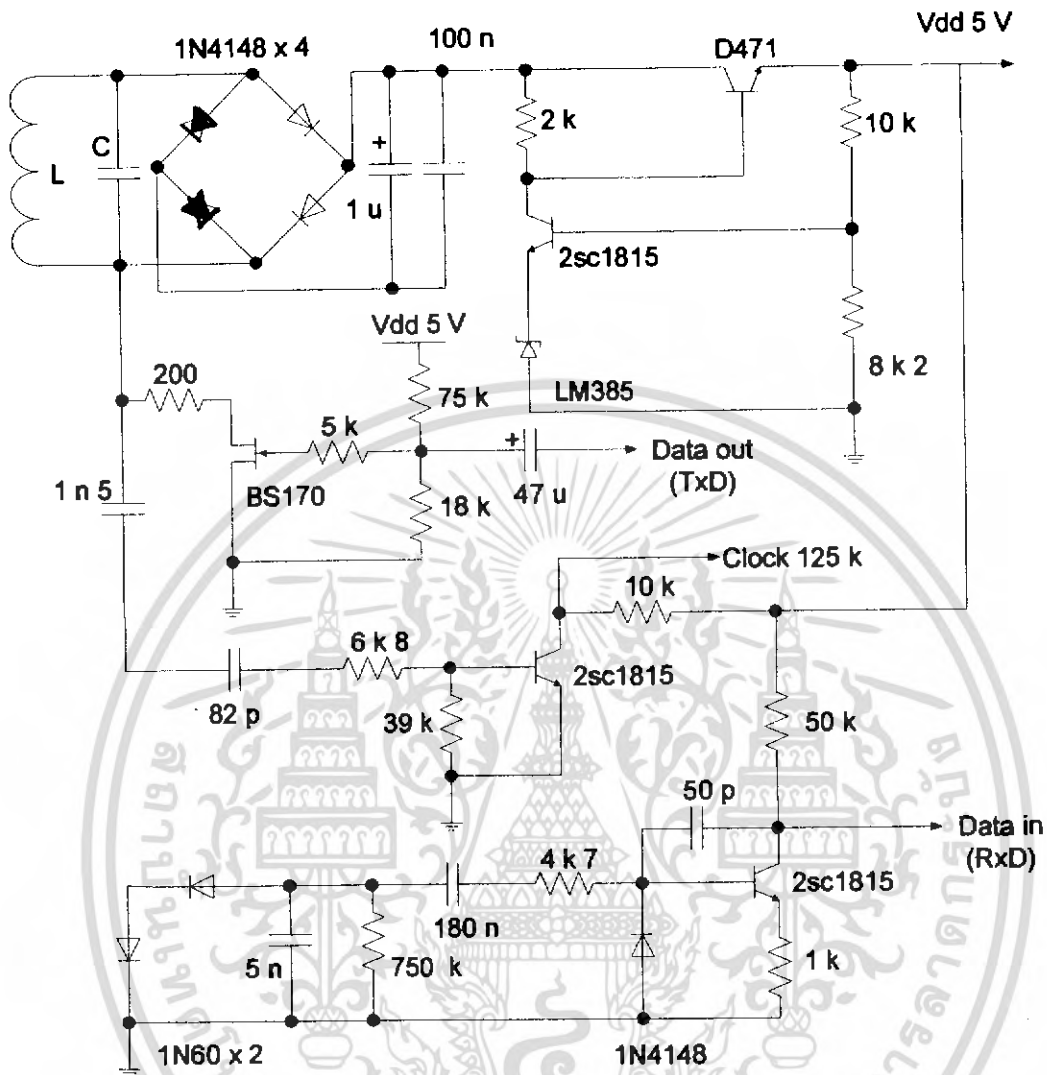
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การออกแบบในส่วนเครื่องถูกข่าย

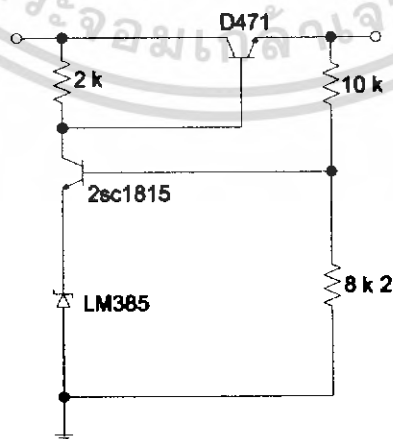


รูปที่ 3.4 บล็อกโคอะแกรมของเครื่องถูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 รูปวงจรรวมของ Tag



รูปที่ 3.6 วงจร regulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.1 ตัวเหนี่ยวนำที่ประกอบด้วยขดลวดสี่เหลี่ยมหลายชั้น

ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดสี่เหลี่ยมหลายชั้นคำนวณ

$$\text{จาก } L = \frac{0.0276(CN)^2}{1.908C + 9b + 10h} \quad \mu H \quad (3.1)$$

โดยที่

N = จำนวนรอบ

$C = x+y+2h$

X = ความกว้างของขดลวดโดยเฉลี่ย ≈ 4.5 cm

Y = ความยาวของขดลวดโดยเฉลี่ย ≈ 7.4 cm

h = ความสูงของภาคตัดขวาง

$C \approx 11.9 + 2d_r$ cm

b = ความกว้างของภาคตัดขวาง

$b \approx n(d_r + 0.025)$; ช่องว่าง ≈ 0.25 mm

หมายเหตุ อยู่ในหน่วย เซนติเมตร

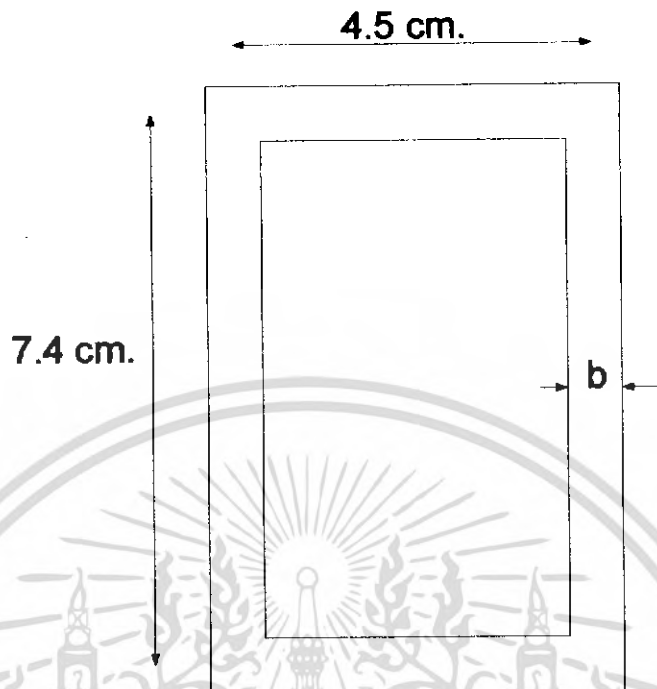
d_r = เส้นผ่านศูนย์กลางลวด โดยคิดที่หุ้ม ((ลวดที่ไม่มีที่หุ้ม)+(เปลือกหุ้มมีขนาด
สูงสุด $\frac{3}{1000}$ inch $\approx 76.23 \times 10^{-3}$ mm))

d \approx เส้นผ่านศูนย์กลางลวด โดยไม่คิดที่หุ้ม

$b \approx n(d_r + 0.01)$ cm ; เปลือกหุ้ม (75×10^{-3} mm) กับช่องว่าง (25×10^{-3} mm)

รวมกันมีขนาด 0.01 cm

$b_{MAX} \leq 0.6$ cm



รูปที่ 3.7 ขดลวดคู่ปัดเหล็ยหลายชั้น

δ = skin depth

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$$

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

โดยที่ $\mu_r(\text{Cu}) = 1$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$

σ = conductivity, $\sigma_{\text{Cu}} \approx 5.7143 \times 10^7 (\Omega\text{-m})^{-1}$

หรือ ρ = resistivity = $\frac{1}{\sigma} = 1.75 \times 10^{-8} \Omega\text{-m}$

$$\delta_{\text{Cu}(125\text{kHz})} \approx 0.187 \text{ mm}$$

$$r_{\text{dc}} = \frac{\rho l}{A} \Omega : l, A \text{ อยู่ในหน่วยเมตร}$$

$$A_{\text{DC}} = \frac{\pi d^2}{4} \text{ m}^2$$

$$r_{\text{AC}} = \frac{\rho l}{A_{\text{AC}}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_{AC} = \frac{\pi}{4}(d^2 - (d - 2\delta)^2) \quad m^2$$

$$\text{ถ้า } d - 2\delta \leq 0 : r_{AC} = \frac{\rho l}{A_{AC}} \left(1 + \frac{1}{48} \left(\frac{d}{2\delta} \right)^2 \right) \quad \Omega$$

$$Q_u = \frac{2\pi f L}{r_{AC}} : r_{AC} = \text{series resistance}$$

$$\text{ความต้านทานเสมือน } r_p = r_{AC} (1 + Q_u^2)$$

$$R_{TOT} = r_p // R_{LAC}$$

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L}$$

$$BW = \frac{1}{2\pi R_{TOT} C} \quad \text{และ } Q_{LOAD} = \frac{f}{BW}$$

การคำนวณขดลวดฟุ้งเครื่องลูกข่าย

$$V_{DD} \approx 4V, I_{DD} \leq 7.5 \text{ mA}$$

$$V_{DCin} \approx 5V, I_{DCin} \approx 8 \text{ mA} : P_{LOADDC} \approx 40 \text{ mW}$$

$$V_{AC} \approx \frac{(5 + 1.4 + 0.1)V}{\sqrt{2}} \approx 4.596 \text{ Vrms} \approx 4.6 \text{ Vrms}$$

$$P_{AC} = (4.6 \text{ Vrms})(I_{AC}) = P_{LOADDC} = 40 \text{ mW}$$

$$\text{ได้ } I_{AC} \approx 8.696 \text{ mA}$$

$$R_{LAC} \approx 4.6V/8.696 \text{ mA} \approx 529 \quad \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N	$\frac{b(mm)}{l_T(m)}$	$\frac{L_s(\mu H)}{L_p(\mu H)}$	Q_u	$\frac{r_{SAC}(\Omega)}{r_{PAC}(\Omega)}$	R_{TOT} (Ω)	Q_L	C(nF)	$\frac{BW(KHz)}{Q_L}$
22	$\frac{6.160}{5.551}$	$\frac{71.60}{72.13}$	11.60	$\frac{4.850}{656.9}$	293.0	5.172	22.47	$\frac{24.17}{113.8}$
23	$\frac{6.440}{5.816}$	$\frac{77.81}{78.35}$	12.03	$\frac{5.082}{740.0}$	308.5	5.013	20.69	$\frac{24.93}{115.3}$
24	$\frac{6.720}{6.083}$	$\frac{84.25}{84.79}$	12.45	$\frac{5.314}{829.1}$	332.9	4.850	19.12	$\frac{25.78}{116.4}$
25	$\frac{7.000}{6.350}$	$\frac{90.90}{91.45}$	12.87	$\frac{5.548}{924.3}$	336.4	4.684	17.73	$\frac{26.69}{117.1}$
26	$\frac{7.280}{6.619}$	$\frac{97.78}{98.34}$	13.28	$\frac{5.783}{1026}$	349.0	4.519	16.49	$\frac{27.66}{117.5}$
27	$\frac{7.560}{6.888}$	$\frac{104.9}{105.4}$	13.69	$\frac{6.018}{1134}$	360.7	4.355	15.37	$\frac{28.70}{117.6}$
28	$\frac{7.840}{7.159}$	$\frac{112.2}{112.8}$	14.09	$\frac{6.255}{1248}$	371.5	4.195	14.38	$\frac{29.80}{117.4}$
29	$\frac{8.120}{7.431}$	$\frac{119.7}{120.3}$	14.48	$\frac{6.492}{1368}$	381.5	4.038	13.48	$\frac{30.96}{117.1}$
30	$\frac{8.400}{7.740}$	$\frac{127.5}{128.0}$	14.87	$\frac{6.731}{1496}$	390.8	3.886	12.66	$\frac{32.17}{116.6}$
31	$\frac{8.680}{7.978}$	$\frac{135.4}{136.0}$	15.26	$\frac{6.971}{1630}$	399.4	3.739	11.92	$\frac{33.43}{115.9}$

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าต่างๆ จากการคำนวณขดลวดฟุ้งเครื่องลูกข่าย

TAG AVERAGE SIZE (4.5 × 7.5) cm²

Bare wire diam ≈ 0.16 mm

Total wire diam ≈ 0.18 mm

Reader Coil Drive

$$B = \frac{V_{rms}}{2\pi f S N Q \cos \alpha} \quad \text{wb/m}^2$$

$$V_{rms} = 4.6 \text{ Vrms}, f = 125 \text{ KHz}, S \approx (5 \times 8) \text{ cm}^2 = 4 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$N Q_{MAX} = 117.6; \text{ MARGIN ให้ } N Q = 100$$

$$\text{MARGIN ให้ } \cos \alpha = 0.95$$

$$B = \frac{4.6}{2\pi \times 125 \times 10^3 \times 4 \times 10^{-3} \times 100 \times 0.95} = 15.41 \times 10^{-6} \text{ wb/m}^2$$

$$\text{MARGIN ให้ } B = 16 \times 10^{-6} \text{ wb/m}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(NI)_{rms} = \frac{2B(a^2 + r^2)^{3/2}}{\mu_0 a^2} \text{ Arms}$$

a = Read Radius

$a_{min} \approx 2.5 \text{ cm} \approx 0.025 \text{ m}$

r = Read Range

Reader coil (3×6) in² wire No 26 AWG

r(m/cm)	NI(Arms)
0.1/10.0	44.62
0.05/5.0	7.118
0.04/4.0	4.216
0.03/3.0	2.426
0.02/2.0	1.337

ตารางที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า r และ NI

N	L_s (วัตต์)	r_s (วัตต์)	$R_T = 2\pi BWL_s$	C_s
10.75	45 μH	0.57 Ω	5.6 Ω	36.0 n
15.75	87 μH	0.85 Ω	11.0 Ω	18.5 n
20.75	152 μH	1.2 Ω	19.0 Ω	10.7 n
25.75	224 μH	1.4 Ω	28.0 Ω	7.2 n
30.75	297 μH	1.6 Ω	37.0 Ω	5.4 n
35.75	416 μH	2.0 Ω	52.0 Ω	3.9 n

ตารางที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับ ค่า N (จำนวนรอบของขดลวด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

125 KHz Reader coil Drive

Parameters	NI = 5 Arms (Marginal of 4.2 Arms)		NI = 3 Arms (Marginal of 2.4 Arms)		NI = 2 Arms (Marginal of 1.3 Arms)	
	I_{drive} (Arms)	V_{RT} (Vpp)	I_{drive} (Arms)	V_{RT} (Vpp)	I_{drive} (Arms)	V_{RT} (Vpp)
	P_{drive} (W)	V_{cs} (Vpp)	P_{drive} (W)	V_{cs} (Vpp)	P_{drive} (W)	V_{cs} (Vpp)
N = 10.75 $R_T \approx 5.6 \Omega$ $C_s \approx 36 \text{ nF}$	0.5 Arms 1.40 W	7.92 V_{pp} 50 V_{pp}	0.30 Arms 504 mW	4.752 V_{pp} 30 V_{pp}	0.2 Arms 224 mW	3.168 V_{pp} 20 V_{pp}
N = 15.75 $R_T \approx 11 \Omega$ $C_s \approx 18.5 \text{ nF}$	0.333 Arms 1.222 W	10.37 V_{pp} 64.89 V_{pp}	0.2 Arms 440 mW	6.223 V_{pp} 38.93 V_{pp}	0.133 Arms 195.6 mW	4.148 V_{pp} 25.96 V_{pp}
N = 20.75 $R_T \approx 19 \Omega$ $C_s \approx 10.7 \text{ nF}$	0.25 Arms 1.188 W	13.44 V_{pp} 84.14 V_{pp}	0.15 Arms 427.5 mW	8.123 V_{pp} 50.49 V_{pp}	0.1 Arms 190 mW	5.374 V_{pp} 33.66 V_{pp}
N = 25.75 $R_T \approx 28 \Omega$ $C_s \approx 7.2 \text{ nF}$	0.2 Arms 1.120 W	15.84 V_{pp} 100 V_{pp}	0.12 Arms 403.2 mW	9.504 V_{pp} 60 V_{pp}	80 mArms 179.2 mW	6.336 V_{pp} 40 V_{pp}
N = 30.75 $R_T \approx 37 \Omega$ $C_s \approx 5.4 \text{ nF}$	0.1667 Arms 1.028 W	17.44 V_{pp} 111.2 V_{pp}	0.1 Arms 370 mW	13.69 V_{pp} 66.69 V_{pp}	66.67 mArms 164.4 mW	6.977 V_{pp} 44.46 V_{pp}
N = 35.75 $R_T \approx 52 \Omega$ $C_s \approx 3.9 \text{ nF}$	0.1429 Arms 1.061 W	21.01 V_{pp} 131.9 V_{pp}	85.71 Arms 382 mW	12.61 V_{pp} 79.15 V_{pp}	57.14 mArm 169.8 mW	8.404 V_{pp} 52.77 V_{pp}

ตารางที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดัน และกำลังงาน โดยจำนวนรอบของขดลวด
ต่างกันและวัดในกรณีที่มี NI ต่างๆ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

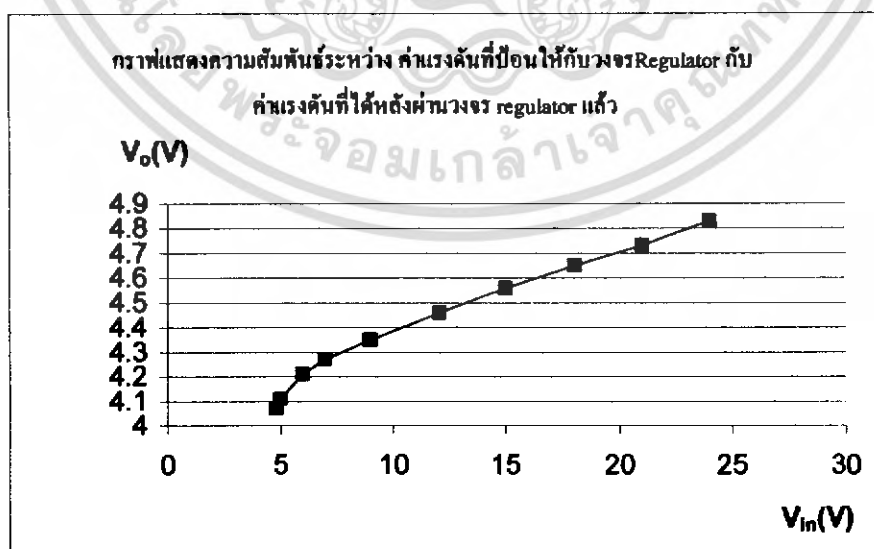
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบวงจรรักษาระดับแรงดัน

V_{in} (V)	$V_o@R_L=\infty$ (V)	I_{in} (mA)	V_o (V)	I_o (mA)	I_{in} (mA)
4.8	4.07	0.320	4.01	10.40	10.66
5.0	4.11	0.408	4.07	10.55	10.90
6.0	4.21	0.869	4.19	10.87	11.67
7.0	4.27	1.355	4.26	11.05	12.31
9.0	4.35	2.335	4.35	11.28	13.52
12.0	4.46	3.805	4.45	11.54	15.29
15.0	4.56	5.290	4.55	11.80	17.03
18.0	4.65	6.800	4.64	12.03	18.78
21.0	4.73	8.320	4.73	12.27	20.50
24.0	4.83	9.800	4.82	12.50	22.27

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างกระแสและแรงดัน โดยวัดที่ V_{in} ค่าต่างๆ

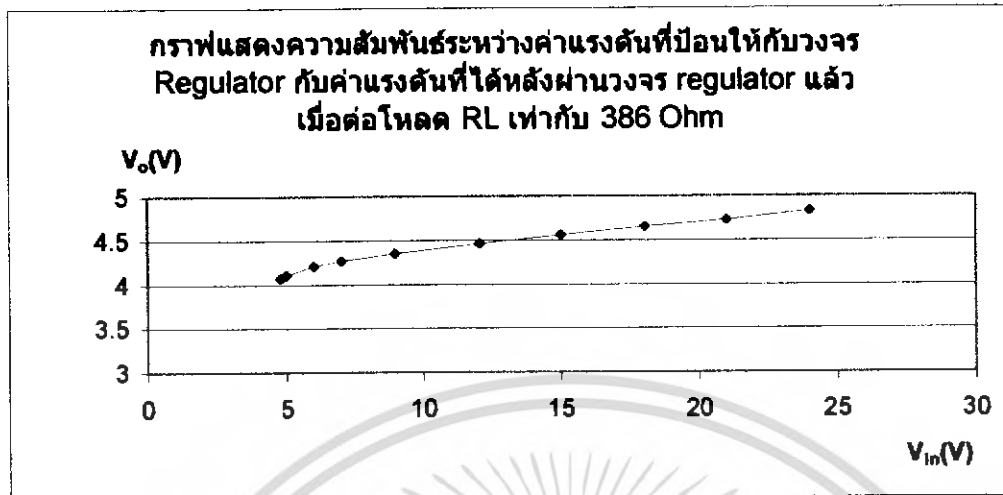


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรรักษาระดับแรงดัน กับ

ค่าแรงดันที่ได้หลังผ่านวงจรนี้แล้วเมื่อ โหลด เท่ากับ อนันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรรักษาระดับแรงดัน กับค่าแรงดันที่ได้หลังผ่านวงจรนี้แล้วเมื่อ โหลด เท่ากับ 386 Ω

$$L_{\text{Reader}} = 152 \mu\text{H} \text{ (20.75 รอบ)}$$

$$C_{\text{Reader}} = 13 \text{ nF}$$

$$L_{\text{Tag}} = 109 \mu\text{H} \text{ (26 รอบ)}$$

$$C_{\text{Tag}} = 10 \text{ nF}$$

4.2 ผลการทดสอบพลังงานที่ส่งและรับได้ เมื่อนำวงจรทางเครื่องอ่านและเครื่องถูกข้าย มาต่อกัน

V_{in} (PA)	$V_{o(\text{Reader})}$ V_{pp} (วัดคร่อม coil)	$V_{o(\text{Tag})}$ V_{pp} (วัดคร่อม coil)	$V_o(\text{Tag})$ V_{DC} (วัดหลัง rectifier)	$V_o(\text{Tag})$ V_{DC} (วัดหลัง regulator)
12	190	9	4.91	4.05
12.5	200	9	5.02	4.07
13	210	9	5.11	4.08
13.5	215	9	5.22	4.1
14	215	9	5.26	4.11
15	225	9.5	5.36	4.12

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของReader และเครื่องถูกข้ายเท่ากับ 0 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vin(PA)	$V_{o(Reader)}$ V _{pp} (วัดคร่อม coil)	$V_{o(Tag)}$ V _{pp} (วัดคร่อม coil)	$V_{o(Tag)}$ V _{DC} (วัดหลัง rectifier)	$V_{o(Tag)}$ V _{DC} (วัดหลัง regulator)
11	185	8.2	4.50	3.92
12	195	8.5	4.69	4.01
12.5	200	9	4.77	4.03
13	210	9	4.83	4.04
13.5	220	9	4.92	4.06
14	220	9	5.02	4.07
14.5	220	9	5.07	4.08
15	220	9	5.11	4.09

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของReader และเครื่องถูกข่ายเท่ากับ 1 cm

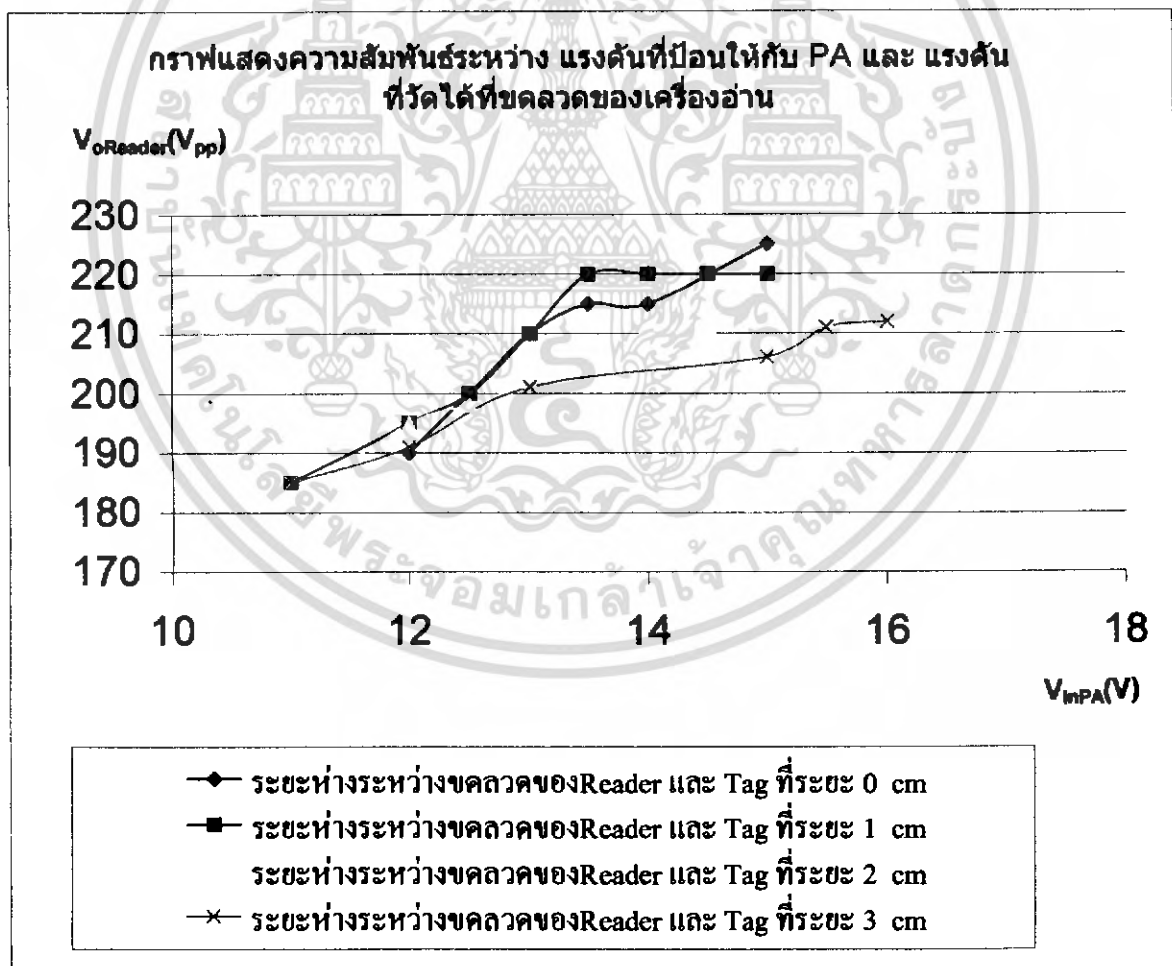
Vin(PA)	$V_{o(Reader)}$ V _{pp} (วัดคร่อม coil)	$V_{o(Tag)}$ V _{pp} (วัดคร่อม coil)	$V_{o(Tag)}$ V _{DC} (วัดหลัง rectifier)	$V_{o(Tag)}$ V _{DC} (วัดหลัง regulator)
11	182	7.2	3.34	2.8
12	195	7.2	3.45	2.91
12.5	198	7.3	3.51	2.97
13	202	7.3	3.58	3.03
13.5	208	7.3	3.64	3.08
14	210	7.3	3.66	3.12
14.5	210	7.3	3.69	3.15
15	212	7.3	3.75	3.19
15.5	212	7.3	3.76	3.21
16	215	7.3	3.77	3.22

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของReader และเครื่องถูกข่ายเท่ากับ 2 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

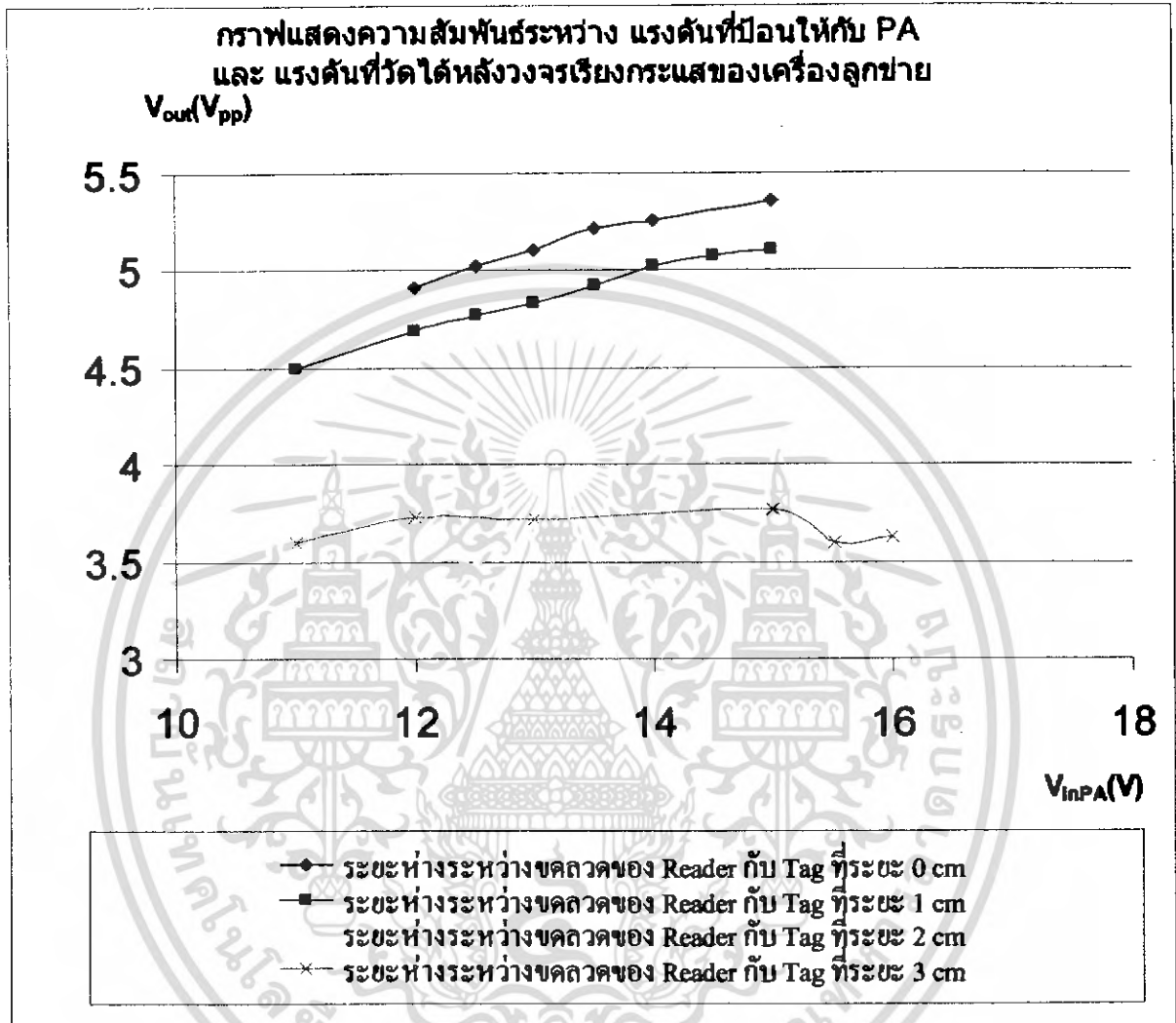
$V_{in}(PA)$	$V_{o(Reader)} V_{pp}$ (วัตต์ร้อม coil)	$V_{o(Tag)} V_{pp}$ (วัตต์ร้อม coil)	$V_{o(Tag)} V_{DC}$ (วัตต์หลัง rectifier)	$V_{o(Tag)} V_{DC}$ (วัตต์หลัง regulator)
11	185	7.2	3.60	3.07
12	191	7.2	3.73	3.17
13	201	7.2	3.72	3.14
15	206	7.2	3.77	3.00
15.5	211	7.3	3.60	3.07
16	212	7.3	3.63	3.07

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของ Reader และเครื่องถูกขยับเท่ากับ 3 cm



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่ป้อนให้กับ PA กับค่าแรงดันที่วัดได้ที่ขดลวดของเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

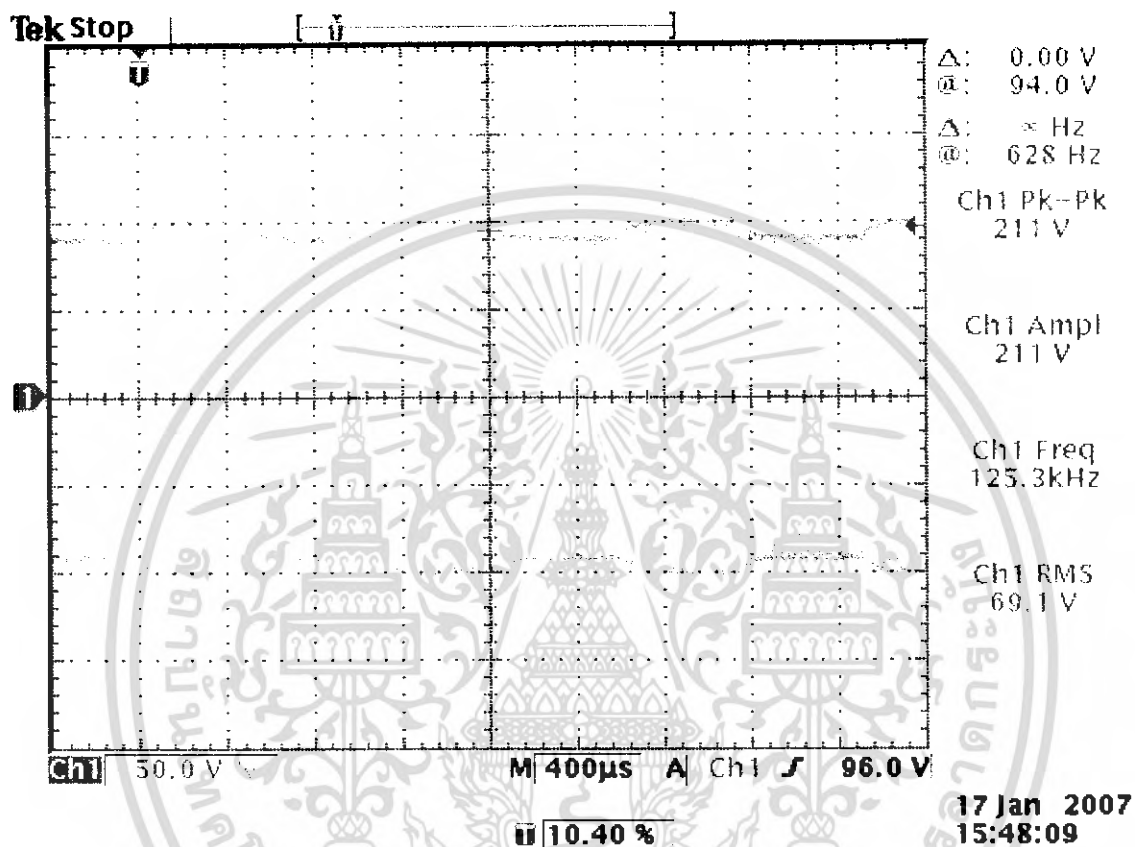


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่ป้อนให้กับ PA กับค่าแรงดันที่วัดได้หลังวงจรเรียงกระแสของเครื่องลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

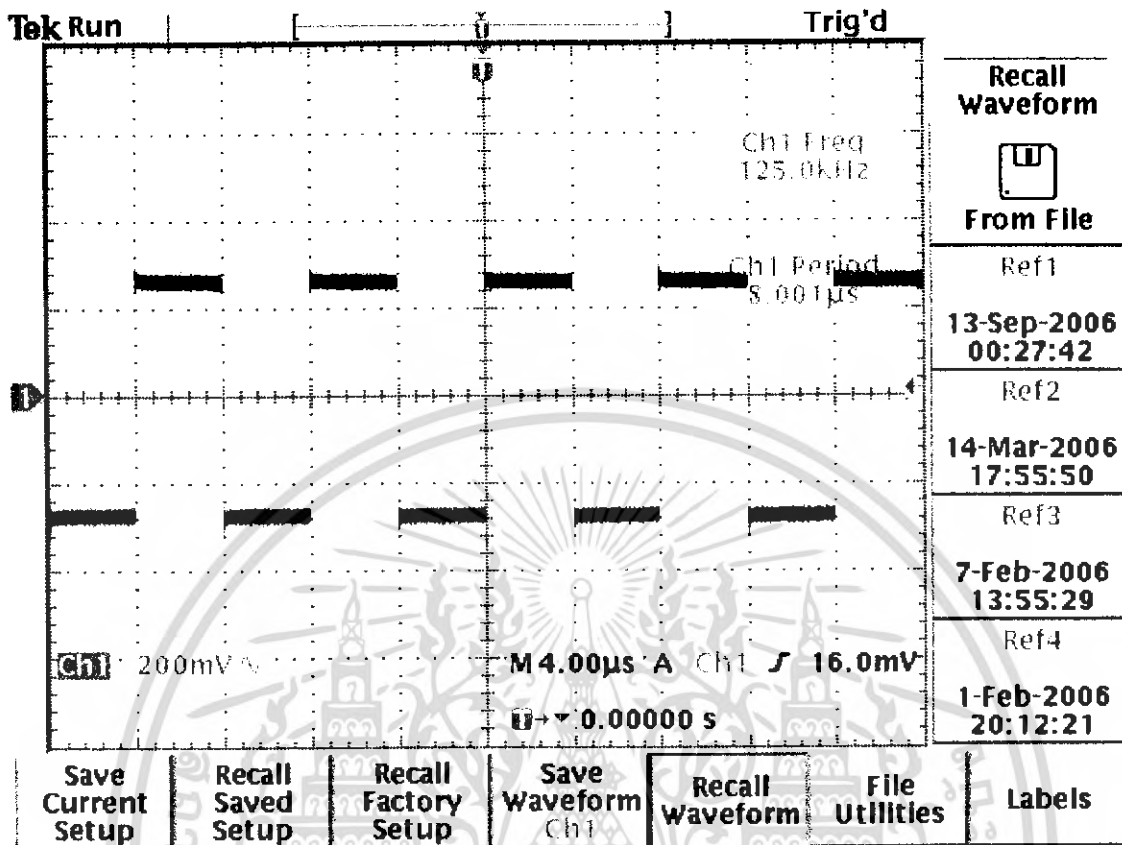
4.3 ผลการทดสอบจากเครื่องออสซิลอสโคป

4.3.1 ฟังเครื่องอ่านและเครื่องเขียน



รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณการ modulate ของเครื่องอ่านและเครื่องเขียน ขนาด 211 V_{pp}
วัดโดยใช้โพรบ ×1

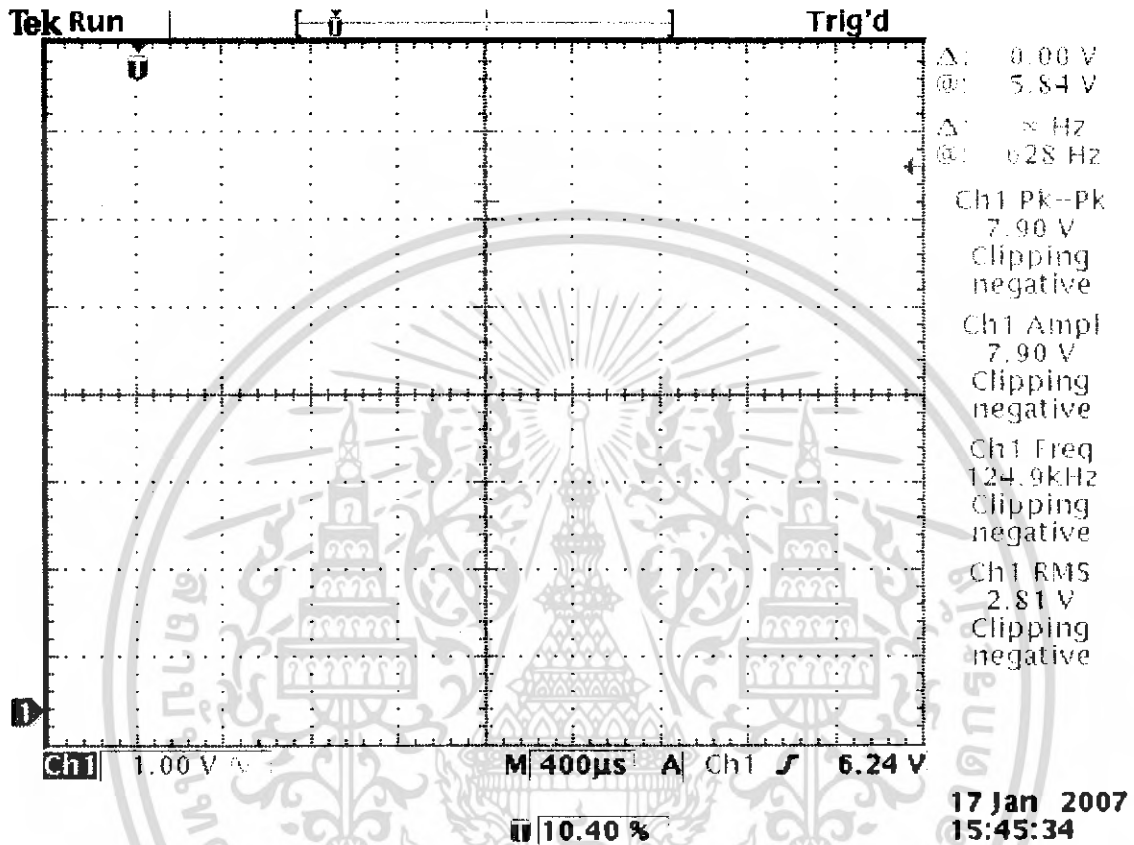
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงพล็อตข้อมูลที่ได้มอดคูลเกตแล้ว ($V_{RxD} = 5V_{PP}$) วัดโดยใช้โพรบ $\times 10$

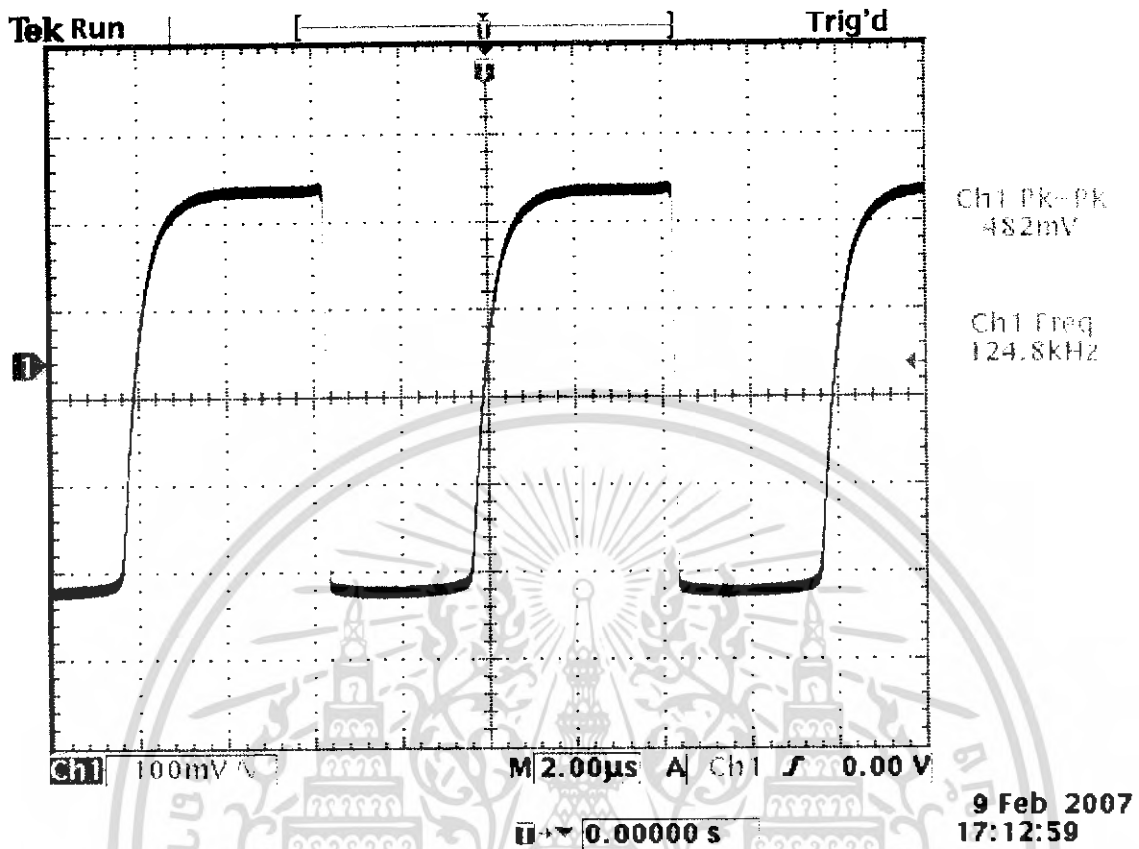
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ฟังก์ชัน Tag



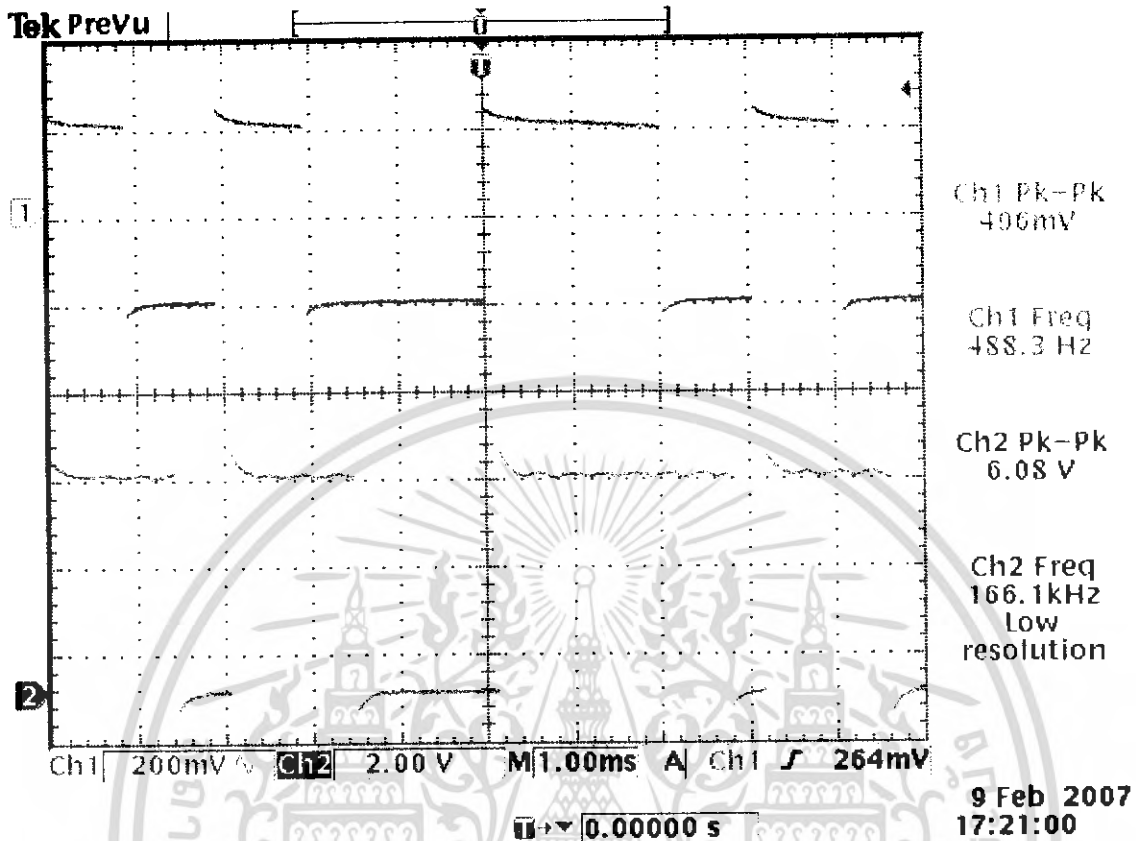
รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณการ modulate ของเครื่องลูกข่ายวัด โดยใช้โพรบ ×1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณ clock ($V_{\text{clock}} = 4.82 \text{ Vpp}$) วัดโดยใช้โพรบ $\times 10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงพัลส์ข้อมูลของฝั่งรับและฝั่งส่ง มีขนาด $5 V_{pp}$ โดย Ch 1 สัญญาณของฝั่งส่งวัดโดยใช้โพรบ $\times 10$ และ Ch 2 สัญญาณของฝั่งรับวัดโดยใช้โพรบ $\times 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

การพัฒนากระบวนการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ มิได้มีจุดประสงค์เพื่อมาแทนที่ระบบอื่นที่มีการพัฒนามาก่อนหน้า เช่นระบบบาร์โค้ด แต่เป็นการเสริมจุดอ่อนต่างๆ ของระบบอื่น ซึ่งแม้ว่าระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ จะเป็นระบบที่มีจุดเด่นตรงความยืดหยุ่นและข้อดีอีกสารพัดในตัวเอง แต่อุตสาหกรรมของ ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ กลับเป็น ไปอย่างไม่เต็มเม็ดเต็มหน่วยนักทั้งนี้เนื่องมาจากสาเหตุที่สำคัญคือ ความกระจัดกระจายของมาตรฐาน จากการที่ผู้ผลิตอุปกรณ์ ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ต่างฝ่ายต่างก็ผลิตอุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐานของตนเองเป็นหลักและไม่มีการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ให้กันและกัน ไม่ว่าจะเป็นความถี่ที่ใช้งาน หรือ โปรโตคอล (Protocol) เรายังไม่สามารถนำเครื่องลูกข่ายจากผู้ผลิตรายหนึ่งมาใช้กับตัวอ่านข้อมูลของผู้ผลิตอีกรายหนึ่งหรือในทางกลับกันได้ นี่เป็นอุปสรรคสำคัญของการเติบโตของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้มีองค์กรส่วนกลางเข้ามาทำการจัดระเบียบของเหล่ามาตรฐานที่วุ่นวายนี้ให้มีความเป็นหมวดหมู่มากยิ่งขึ้น

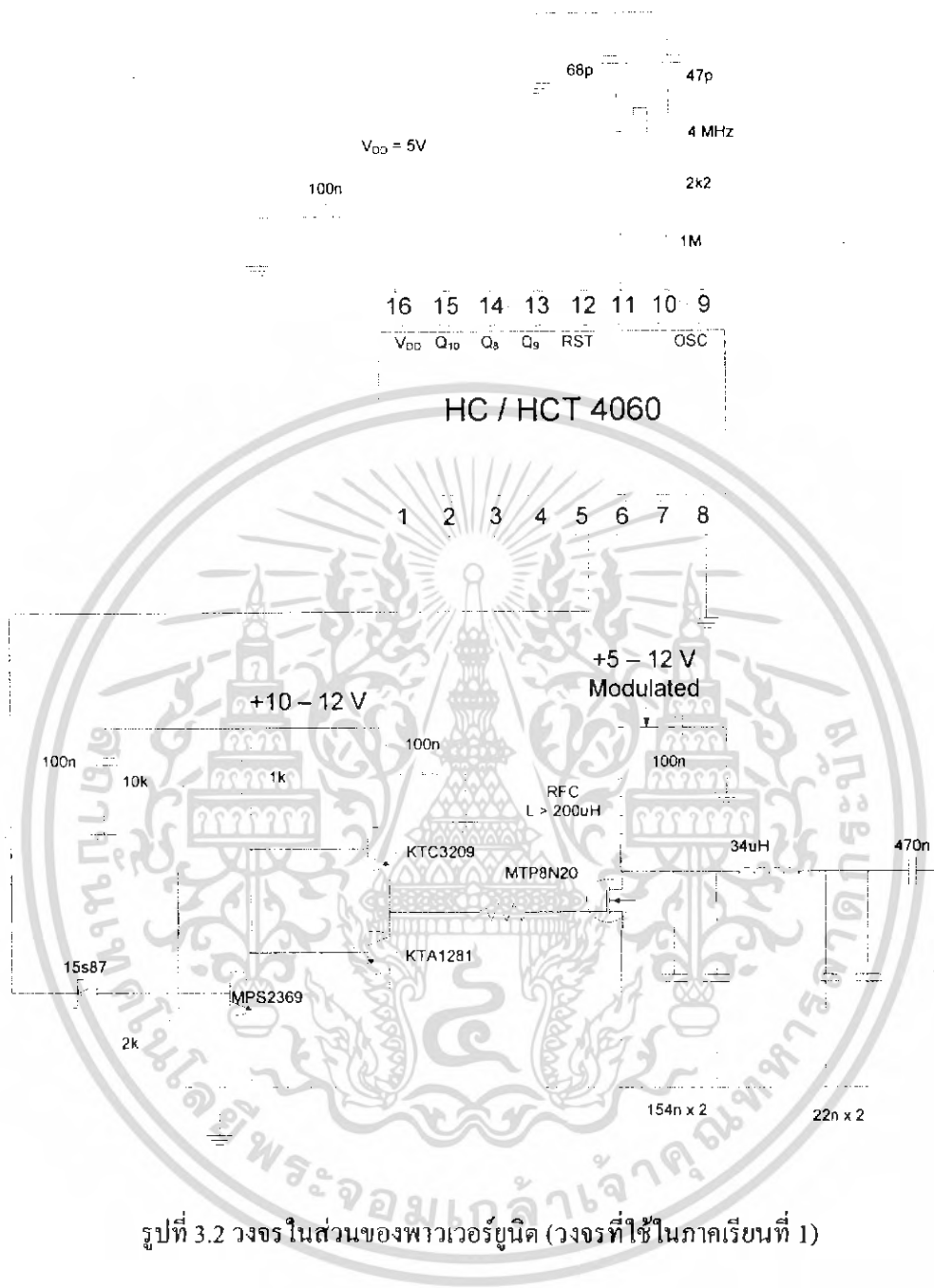
และจากการทดสอบอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นจะพบว่าอุปกรณ์ทั้ง 2 ส่วนสามารถติดต่อกันได้โดยฝั่งเครื่องอ่านและเครื่องเขียนรหัสสามารถส่งพลังงานไปให้ฝั่งเครื่องลูกข่ายทำงานได้และฝั่งเครื่องลูกข่ายในระยะทางไกลสุดคือ 3 เซนติเมตร และอีกทั้งสามารถส่งข้อมูลซึ่งต้องการเก็บไว้ในเครื่องลูกข่ายไปเก็บไว้ในส่วนของเครื่องลูกข่ายได้อีกด้วย อีกทั้งทางฝั่งเครื่องลูกข่ายยังสามารถส่งข้อมูลซึ่งเก็บอยู่ในหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM กลับไปยังฝั่งเครื่องอ่านและเครื่องเขียนรหัสได้อีกด้วย แต่ในอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นจะพบว่าในการรับส่งข้อมูลนั้นยังมีข้อผิดพลาดอยู่ซึ่งได้เขียนโปรแกรมเพื่อแสดงผลบอกผู้ใช้งานไว้ด้วยว่าค่าที่รับมาได้นั้นถูกต้องหรือไม่

ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นคือวงจรในส่วนของการคิมอดคูลจะคิมอดคูลได้ไม่ถูกต้องทุกประการเนื่องจากวงจรคิมอดจะเป็นวงจรที่ใช้การไบอัสทรานซิสเตอร์ และการกำหนดค่าความต้านทานเพื่อเป็นการกำหนดไบอัสนั้นจะต้องขึ้นอยู่กับค่าพลังงานที่รับได้ซึ่งในแต่ละครั้งที่เครื่องลูกข่ายเข้ามาอยู่ในบริเวณที่เครื่องอ่านและเครื่องเขียนรหัสสามารถส่งพลังงานไปให้เครื่องลูกข่ายได้เครื่องลูกข่ายจะได้รับพลังงานในแต่ละครั้งไม่เท่ากันทำให้การกำหนดไบอัสทำได้ยากจึงทำให้วงจรในส่วนของการคิมอดคูลไม่สามารถทำงานได้ถูกต้องทุกประการ

ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นโดยการพัฒนางจรในส่วนของการคิมอดคูลให้มีความทนทานยิ่งขึ้นเพื่อให้ผลของการส่งข้อมูลสามารถรับส่งกันได้ถูกต้องมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจร ในส่วนของพาวเวอร์ยูนิต (วงจรที่ใช้ในภาคเรียนที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองจาก พาวเวอร์ยูนิต

$$V_{DD \text{ ของ PA}} = 10.99 \text{ V}$$

ระยะทาง (cm.)	$R_{L(DC)} = 1k \Omega$		$R_{L(DC)} = 500 \Omega$	
	$V_{L(DC)}$ (V)	P_L (W)	$V_{L(DC)}$ (V)	P_L (W)
1	39.6	1.568	24.9	1.240
2	38.9	1.513	27.7	1.535
3	42.8	1.832	26.2	1.373
4	39.1	1.529	22.9	1.049
5	34.6	1.197	19.5	0.761
6	29.1	0.847	16.1	0.518
7	25.3	0.640	13	0.338
8	19.8	0.392	10.9	0.238
9	17.2	0.296	8.8	0.155
10	13.9	0.193	7.4	0.110
12	9.4	0.088	5	0.050
14	6.6	0.044	-	-
16	4.8	0.023	-	-

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองค่าแรงดันไฟตรงที่ระยะทางค่าต่างๆ ซึ่งค่า $V_{DD \text{ ของ PA}} = 10.99 \text{ V}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM2002/LM2002A 8 Watt Audio Power Amplifier

General Description

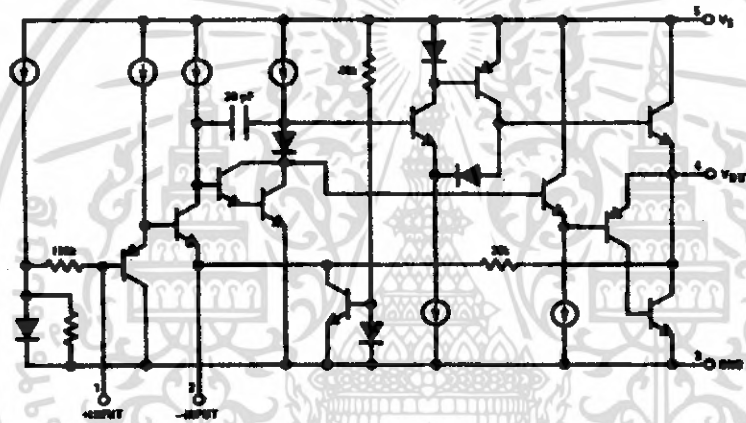
The LM2002 is a cost effective, high power amplifier suited for automotive applications. High current capability (3.5A) enables the device to drive low impedance loads with low distortion. The LM2002 is current limited and thermally protected. High voltage protection is available (LM2002A) which enables the amplifier to withstand 40V transients on its supply. The LM2002 comes in a 5-pin TO-220 package.

Features

- High peak current capability (2.5A)
- Large output voltage swing

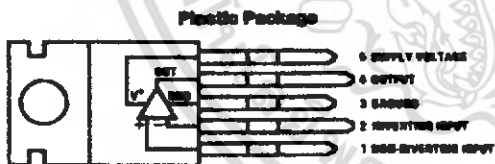
- Externally programmable gain
- Wide supply voltage range (5V-20V)
- Few external parts required
- Low distortion
- High input impedance
- No turn-on transients
- High voltage protection available (LM2002A)
- Low noise
- AC short circuit protected
- Pin for pin compatible with TDA2002

Equivalent Schematic



TL/H/7829-1

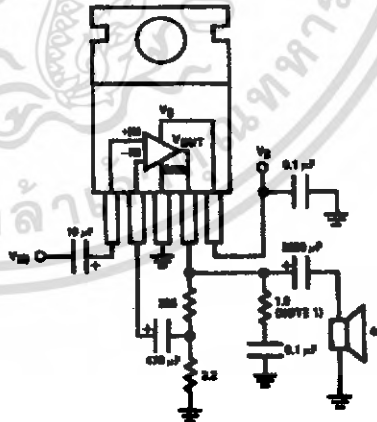
Connection Diagram



TL/H/7829-2

Order Number LM2002T or LM2002AT
See MS Package Number T05A

Typical Application



TL/H/7829-3

This Material Copyrighted By Its Respective Manufacturer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

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

Peak Supply Voltage (50 ms)	40V
LM2002A (Note 2)	25V
LM2002	20V
Operating Supply Voltage	20V

Output Current	3.5A
Repetitive	4.5A
Non-repetitive	
Input Voltage	±0.5V
Power Dissipation (Note 3)	15W
Operating Temperature	0°C to +70°C
Storage Temperature	-60°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	280°C

Electrical Characteristics

$V_S = 14.4V$, $T_{TAB} = 25^\circ C$, $A_V = 100$ (40 dB), $R_L = 4\Omega$, unless otherwise specified

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
DC Output Level		6.4	7.2	8	V
Quiescent Supply Current	Excludes Current in Feedback Resistors		45	80	mA
Supply Voltage Range		5		20	V
Input Resistance			150		k Ω
Bandwidth	Gain = 40 dB		100		kHz
Output Power	$V_S = 13.2V$, $f = 1$ kHz $R_L = 4\Omega$, THD = 10%		4.3		W
	$R_L = 2\Omega$, THD = 10%		6.5		W
	$V_S = 13.8V$, $f = 1$ kHz $R_L = 4\Omega$, THD = 10%		4.8		W
	$R_L = 2\Omega$, THD = 10%		7.4		W
	$V_S = 14.4V$, $f = 1$ kHz $R_L = 4\Omega$, THD = 10%	4.8	5.2		W
	$R_L = 2\Omega$, THD = 10%	7	8		W
	$R_L = 1.6\Omega$, THD = 10%		9		W
	$V_S = 16V$, $f = 1$ kHz $R_L = 4\Omega$, THD = 10%		6.5		W
	$R_L = 2\Omega$, THD = 10%		10		W
	$R_L = 1.6\Omega$, THD = 10%		10.5		W
THD	$P_O = 2W$, $R_L = 4\Omega$, $f = 1$ kHz		0.1		%
	$P_O = 4W$, $R_L = 2\Omega$, $f = 1$ kHz		0.1		%
Ripple Rejection	$R_S = 50\Omega$, $f = 100$ Hz	30	40		dB
	$R_S = 50\Omega$, $f = 1$ kHz		44		dB
Input Noise Voltage	$R_S = 0$, 15 kHz Bandwidth		2		μV
Input Noise Current	$R_S = 100$ k Ω , 15 kHz Bandwidth		40		pA

Note 1: A 1.0 resistor and 0.1 μF capacitor should be placed as close as possible to pins 3 and 4 for stability.

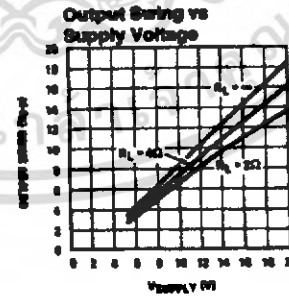
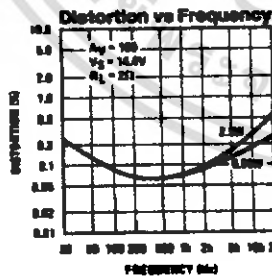
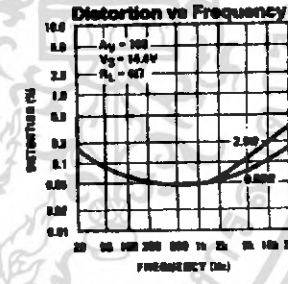
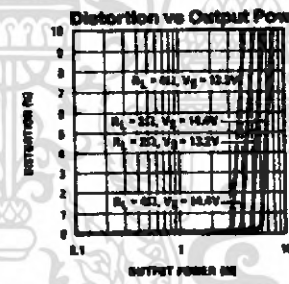
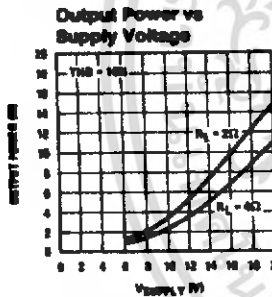
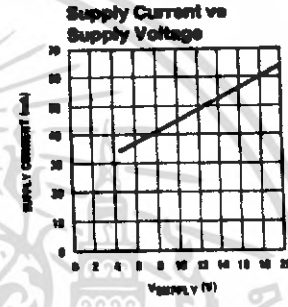
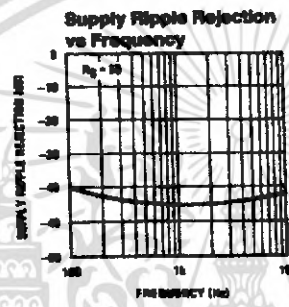
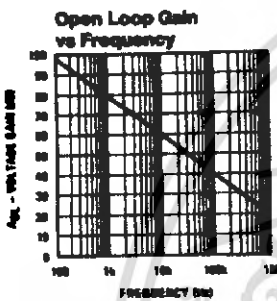
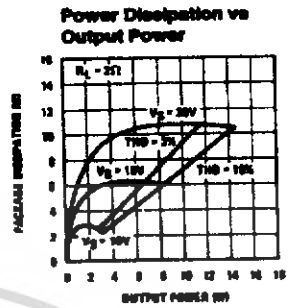
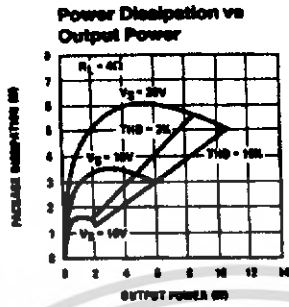
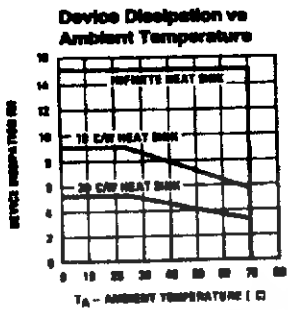
Note 2: The LM2002 shuts down above 28V.

Note 3: For operating at elevated temperatures, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 4°C/W junction to case.

This Material Copyrighted By Its Respective Manufacturer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics



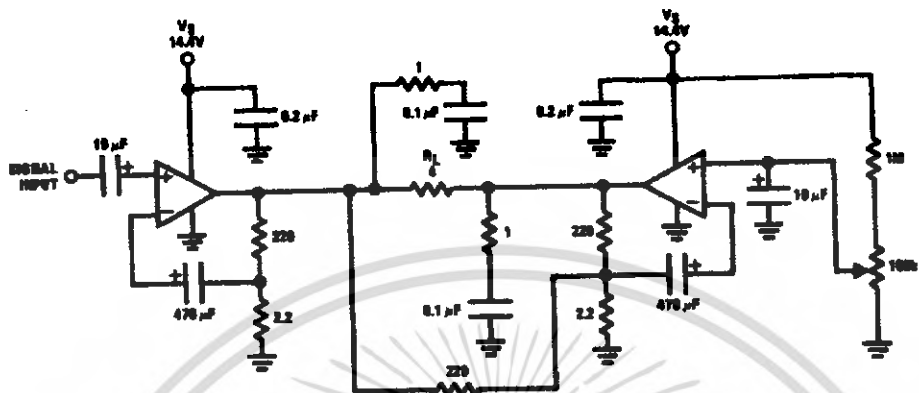
TL/H/7888-4

This Material Copyrighted By Its Respective Manufacturer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

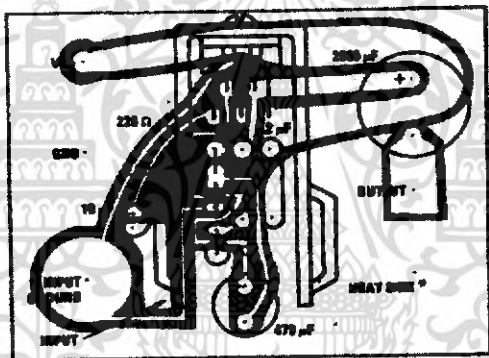
16W Bridge Amplifier



TU/M/7829-6

Component Layout

Single Amplifier
 $V_S = 20V$
 $R_L = 4\Omega$



TU/M/7829-6

*Slaver V-5 Heatsink
 Slaver Company
 41 Bacon Ave
 P.O. Drawer H
 Sayshore, NY 11708
 TEL: (516) 826-8000

This Material Copyrighted By Its Respective Manufacturer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้