

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ

RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION



T104043



๒๗.  
๒๕๕๕  
๒๕๕๑

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 104043  
วัน,เดือน,ปี 28 ต.ค. 2552

b. 12106124  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ  
RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION



ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION)

ผู้จัดทำ

1. นายประจักษ์ งามชัย 49015149
2. นายปัญญา ก้อนทอง 49015150
3. นายวีรชา พลเสนา 49015161
4. นายมนัส บ่อทรัพย์ 49015204



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

นายประจักษ์ งามชัย รหัส 49015149

นายปัญญา ก้อนทอง รหัส 49015150

นายวัชรนา พลเสนา รหัส 49015161

นายมนัส บ่อทรัพย์ รหัส 49015204

ผศ.ประภากร สุวรรณะ (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2551

### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา RFID (Radio Frequency Identification) ทำงานที่ความถี่ 13.56 MHz มอดคูเลตแบบ ASK ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ 1. ส่วนของเครื่องอ่าน(Reader) และ 2. ส่วนของลูกข่าย (Transponder or Tag) ส่วนของเครื่องอ่าน ประกอบด้วย 1. ไมโครคอนโทรลเลอร์(CPU) 2. มอดคูเลเตอร์(Modulator) 3. ดีมอดคูเลเตอร์(Demodulator) 4. ภาซขยาย (Power Amplifier) และ 5. สายอากาศ(Reader coil) โดยส่งพลังงานแบบ Sequential จะมีการจำกัดเวลาในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไฟให้เครื่องลูกข่ายในลักษณะพัลส์ (Pulse) หรือก่อนพลังงานที่ส่งออกในแต่ละช่วงเวลาและใช้การปรากฏขึ้นของ พลังงาน ไฟฟ้าหรือพัลส์เป็นสัญญาณกำหนดให้มีการส่งข้อมูล (Downlink) ส่วนช่วงที่ไม่มีพลังงานปรากฏอยู่จะเป็นการส่งสัญญาณ (Uplink) ที่จะติดต่อกับเครื่องลูกข่าย ส่วนของเครื่องลูกข่ายประกอบด้วย 1. ไมโครคอนโทรลเลอร์(CPU) 2. มอดคูเลเตอร์(Modulator) 3. เรกติไฟร์เออร์(Rectifier) 4. สายอากาศ(Tag coil) จะรับพลังงานจากเครื่องอ่านในการติดต่อสื่อสารข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## **RFID (Radio Frequency Identification)**

Mr.Prajak Nguadchai ID 49015149

Mr.Panya Kontong ID 49015150

Mr.Wuchara Ponsana ID 49015161

Mr.Manut Bosup ID 49015204

Assist.Prof.Prapakorn Suwana (Advisor)

Education Year 2008

### **ABSTRACT**

This project is a study of RFID (Radio Frequency Identification). So, a frequency at 13.56 MHz is used Amplitude Shift Keying Modulate(ASK). This system consists of 2 main parts, 1.Reader and 2.Transponder or Tag. The Reader consists of 1.Microcontroller(CPU) 2.Modulator 3.Demodulator 4.Power Amplifier and 5.Reader coil by send the energy sequential will limit time of the energy from reader to tag type of pulse. Or the energy it to transfer signal data is downlink and not the energy will send to signal contact with to give with Tag. The Tag consists of 1.Microcontroller (CPU) 2.Modulator 3.Rectifier 4.Tag coil will take the energy from reader in data communication

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	
Abstract	
บทที่ 1 บทนำ	
✓ 1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ Auto ID	1
1.2 RFID คืออะไร	2
1.3 มาตรฐานของ RFID	5
1.4 คลื่นพาห้ในระบบ RFID	6
1.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน RFID	7
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 ส่วนประกอบของระบบ RFID	9
2.1.1 แท็ก (TAG)	10
2.1.2 เครื่องอ่าน (READER)	12
2.1.3 ขั้นตอนการทำงานระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก	14
2.2 หลักการทำงานของ RFID	14
2.3 การเข้ารหัส (CODING)	16
2.4 การผสมข้อมูลแบบดิจิตอล(Digital Modulation Procedure)	19
2.4.1 Amplitude Shift Keying (ASK)	19
2.4.2 Frequency Shift Keying (FSK)	20
2.4.3 Phase Shift Keying (PSK)	21
2.5 การสื่อสารแบบไร้สาย	21
2.6 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดธ์	22
2.7 ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง	22
✓ 2.8 รูปแบบการรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ	25
2.8.1 การสื่อสารแบบ Full Duplex	25
2.8.2 การสื่อสารแบบ Half Duplex	25
2.8.3 การสื่อสารแบบ Sequential	25
✓ 2.9 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing	26
✓ 2.10 ทฤษฎีพื้นฐานของการออกแบบสายอากาศ	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1	กระแสและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	28
2.10.2	แรงดันที่เหนี่ยวนำได้จากขดลวดสายอากาศ	30
2.10.3	ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำและชนิดของขดลวด	36
2.10.4	ความต้านทานกระแสสลับของตัวนำ	37
2.10.5	ความต้านทานของตัวนำด้วยการประมาณค่าที่ความถี่ต่ำ	39
✓ 2.11	ความเหนี่ยวนำรวม (Mutual Inductance)	40
2.11.1	พลังงานที่เชื่อมโยงกัน (Energy in a Coupled Circuit)	43
2.11.2	หม้อแปลงแบบเชิงเส้น	44
✓ 2.12	วงจรเรโซแนนซ์	44
2.12.1	วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series Resonance)	45
2.12.2	วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรเทงค์	46
✓ 2.13	การแมทช์อิมพีแดนซ์ (Impedance Matching)	47
2.13.1	วงจรเสมือน การแปลงระหว่างอิมพีแดนซ์อนุกรมและอิมพีแดนซ์ขนาน	47
2.13.2	วงจรแมทช์อิมพีแดนซ์อย่างง่าย	50
2.13.3	Reader Coil Matching Using Quarter Wave Transformer	53
2.13.4	Reader Coil Matching cct	55
✓ 2.14	Class C Power Amplifier	56
บทที่ 3	การคำนวณและการออกแบบ	
3.1	TAG Power Supply And Regulator	58
3.2	Reader Modulation	59
3.3	Sequential Excitation TAG Power Supply And Blockdiagram	60
3.4	TAG Voltage Regulator	62
3.5	การออกแบบ TAG Regulator	65
3.6	การปรับปรุงวงจรเพื่อให้มีคุณสมบัติ Line Regulation ดีขึ้น	67
3.7	การปรับปรุงในส่วนของ TAG Voltage Regulator	69
3.8	วงจร Sequential TAG (ทดสอบ)	70
3.9	วงจรทดสอบ TAG	71
3.10	เครื่องอ่าน (Reader)	72
3.10.1	ทฤษฎีวงจรขับ Reader Coil	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บทที่ 6 บทสรุปและวิจารณ์

6.1 บทสรุป

136

6.3 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงานและแนวทางแก้ไข

136

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

บรรณานุกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
บทที่ 1	
รูปที่ 1.1 ระบบ Auto ID ที่เห็นได้ในชีวิตประจำวัน	1
รูปที่ 1.2 ภาพรวมของระบบ RFID	2
รูปที่ 1.3 ความถี่ย่านที่ระบบ RFID ถูกใช้งาน	6
รูปที่ 1.4 การประยุกต์ใช้งาน RFID ในงานต่างๆ	8
บทที่ 2	
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบหลักของระบบ RFID	9
รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของแท็ก	10
รูปที่ 2.3 ปลั๊กโคอะแกรมภายในของแท็ก	11
รูปที่ 2.4 Active Tag ที่มีแบตเตอรี่ Lithium 2 ก้อนอยู่ภายนอก	11
รูปที่ 2.5 โครงสร้างภายในของ Reader	13
รูปที่ 2.6 รูปคลื่นของสัญญาณระหว่างแท็กและเครื่องอ่านแบบ AM	14
รูปที่ 2.7 รูปตัวนำที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็ก (ขวา) แสดงวงจรที่สมมูลกับรูปทางซ้ายมือ	15
รูปที่ 2.8 การเข้ารหัสแบบต่างๆ	17
รูปที่ 2.9 การกระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของไดโน้โค้ดชนิดต่างๆ	18
รูปที่ 2.10a การมอดูเลตเชิงขนาด (ASK)	19
รูปที่ 2.10b การมอดูเลตเชิงขนาด (ASK)	20
รูปที่ 2.11 การมอดูเลตเชิงความถี่ (FSK)	20
รูปที่ 2.12 การมอดูเลตเชิงเฟส (PSK)	21
รูปที่ 2.13 การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล	22
รูปที่ 2.14 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex , Half Duplex , Sequential	25
รูปที่ 2.15 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเส้นตรง	29
รูปที่ 2.16 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเป็นลูป	30
รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับระยะทาง r	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18 โครงสร้างพื้นฐานของตัวอ่านและแท็กในการประยุกต์ใช้ RFID	31
รูปที่ 2.19 การปรับตำแหน่งของสายอากาศของแท็กให้เหมาะสม	34
รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส - รอบ (NI) กับระยะการอ่าน(r)	35
รูปที่ 2.21 ขดลวดลูปสี่เหลี่ยมหลายชั้น	40
รูปที่ 2.22 ฟลักซ์สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น	41
รูปที่ 2.23 ขดลวดที่ค่า Self-Inductance เท่ากับ L1 และ L2	41
รูปที่ 2.24 ทิศทางของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวด	43
รูปที่ 2.25 สัมประสิทธิ์การคลี่ปลี	44
รูปที่ 2.26 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	45
รูปที่ 2.27 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์	46
รูปที่ 2.28 วงจรเสมือนอิมพีแดนซ์	48
รูปที่ 2.29 วงจรเมทซ์อิมพีแดนซ์อย่างง่ายที่สุด	50
รูปที่ 2.30 การเมทซ์อิมพีแดนซ์ ระหว่าง R2 และ R1	52
รูปที่ 2.31 วงจรเสมือนของสายส่ง	53
รูปที่ 2.32 การคำนวณอิมพีแดนซ์เมทซ์ซิงของสายส่งด้วยวงจร LC	54
รูปที่ 2.33 การคำนวณอิมพีแดนซ์เมทซ์ซิงของสายส่งด้วยวงจร LC (ต่อ)	55
รูปที่ 2.34 Reader Coil Matching cct	55
รูปที่ 2.35 กราฟแสดงวงจรขยายคลาส C	56
รูปที่ 2.36 กราฟแสดงการ Drive กระแสของวงจรขยายคลาส C	57
รูปที่ 2.37 กราฟแสดงการ Drive กระแสของวงจรขยายคลาส C แบบ Over Drive	57
<b>บทที่ 3</b>	
รูปที่ 3.1 แสดงการรับส่งข้อมูลของ Tag	58
รูปที่ 3.2 SEQUENTIAL Excitation TAG Power supply and Block Diagram	60
รูปที่ 3.3 แสดงค่าแรงดันของ TAG Power supply	60
รูปที่ 3.4 วงจร Voltage Regulator	62
รูปที่ 3.5 วงจร Adjustable Current Source	67
รูปที่ 3.6 วงจร Voltage Regulator โดยใช้ LM 334	68
รูปที่ 3.7 แสดงการต่อ HT7150	70
รูปที่ 3.8 วงจร SEQUENTIAL TAG	70
รูปที่ 3.9 วงจรทดสอบ TAG	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่3.10 วงจรParallel Resonant and Frequency Response	73
รูปที่3.11 Equivalent ของ TAG	73
รูปที่3.12 Reader coil (3×6)in <sup>2</sup> Loop	78
รูปที่3.13 แสดงการเหนี่ยวนำของ Reader coil &TAG	79
รูปที่3.14 แสดงการต่อ ภาค Power Amp กับ Reader coil	80
รูปที่3.15 แสดง Equivalent Reader coil	81
รูปที่3.16 แสดงการต่อ Cin ของวงจร data demod ของ Reader coil	82
รูปที่3.17 แสดงReader coil MATCHING CCT	85
รูปที่3.18 วงจร OSCILLATOR 13.56 MHz และ NAND GATE	86
รูปที่3.19 วงจร SEQUENTIAL ON (3ms) ,OFF (3ms)	87
รูปที่3.20 วงจรภาคขับ (Drive)	88
รูปที่3.21 วงจรภาค Power Amp	89
รูปที่3.22 วงจร Envelope Detector and Low Pass Filter	90
รูปที่3.23 วงจรจำกัดสัญญาณ(Limiters)	91
รูปที่3.24 วงจรภาค Envelop Detector	91
รูปที่3.25 วงจรภาค Low pass Filter	92
รูปที่3.26วงจร Comparator	93
รูปที่3.27 กราฟคุณสมบัติของวงจร	95
รูปที่3.28 รูปคลื่นระหว่าง Vin กับ Vout	95
รูปที่3.29 กราฟคุณสมบัติของวงจร	96
รูปที่3.30 รูปคลื่นระหว่าง Vin กับ Vout	96
รูปที่3.31 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้งสองด้านที่จะทำการแมตชิง ภาคขับกับภาค Power Amp	97
รูปที่3.32 รูปแบบของวงจรที่ใช้ในการแมตชิงระหว่าง ภาคขับกับภาค Power Amp	98
รูปที่3.33 แสดงวงจรแมตชิงระหว่างภาค Power Amp ที่ใช้งานจริง	98
รูปที่3.34 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้ง 2 ด้านที่จะทำการแมตชิงภาค Power Amp กับโหลด	99
รูปที่3.35 รูปแบบของวงจรที่ใช้ในการแมตชิงระหว่างภาค Power Amp กับโหลด 50 Ω	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.36	รูปแบบของวงจรที่ใช้ในการแมทชิงระหว่างภาค Power Amp กับโหลด 50 $\Omega$	100
รูปที่ 3.37	แสดงวงจรแมทชิงระหว่างภาค power Amp กับ โหลด 50 $\Omega$ (Reader coil) ที่ใช้งานจริง	101
รูปที่ 3.38	แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้ง 2 ด้านที่จะทำการแมทชิง โหลด 50 $\Omega$ กับ Reader coil	101
รูปที่ 3.39	รูปแบบของวงจรที่ใช้ในการแมทชิงระหว่างโหลด 50 $\Omega$	102
รูปที่ 3.40	แสดงวงจรแมทชิงระหว่างโหลด 50 $\Omega$ กับ Reader coil ที่ใช้งาน ได้จริง	102
รูปที่ 3.41	วงจรรวมทั้งหมดในส่วนของ Reader coil Drive $P_o \approx 0.5 \text{ w}$	105
รูปที่ 3.42	วงจรรวมทั้งหมดในส่วนของเครื่องลูกข่าย(TAG) ที่ใช้งานจริง	106
บทที่ 5		
รูปที่ 5.1	วงจรทดลอง Voltage Regulator	111
รูปที่ 5.2	วงจร AC SOURCE TAG EXCITER	114
รูปที่ 5.3	สัญญาณที่จุด TP1	115
รูปที่ 5.4	สัญญาณที่จุด TP2	115
รูปที่ 5.5	สัญญาณที่จุด TP3	116
รูปที่ 5.6	สัญญาณที่จุด TP4	116
รูปที่ 5.7	สัญญาณที่จุด TP5	117
รูปที่ 5.8	สัญญาณที่จุด TP6	117
รูปที่ 5.9	วงจร TEMPORALY TAG	118
รูปที่ 5.10	สัญญาณที่จุด TP7	119
รูปที่ 5.11	สัญญาณที่จุด TP8	119
รูปที่ 5.12	สัญญาณที่จุด TP9	120
รูปที่ 5.13	สัญญาณที่จุด TP10	120
รูปที่ 5.14	สัญญาณที่จุด TP11	121
รูปที่ 5.15	สัญญาณที่จุด TP12	121
รูปที่ 5.16	สัญญาณที่จุด TP13	122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.17 สัญญาณที่จุด TP14	122
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน Vin ของ TAG Regulator กับระยะเวลาอ่าน	129
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน Vout ของ TAG Regulator กับระยะเวลาอ่าน	129
รูปที่ 5.20 วงจร Detector	130
รูปที่ 5.21 สัญญาณที่จุด TP1	131
รูปที่ 5.22 สัญญาณที่จุด TP2	131
รูปที่ 5.23 สัญญาณที่จุด TP4	132
รูปที่ 5.24 สัญญาณที่จุด TP5	132
รูปที่ 5.25 สัญญาณที่จุด TP6	133
รูปที่ 5.26 สัญญาณที่จุด TP7	133
รูปที่ 5.27 สัญญาณที่จุด TP8	134
รูปที่ 5.28 สัญญาณที่จุด TP9	134
รูปที่ 5.29 สัญญาณที่จุด TP10	135



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความถี่มาตรฐานกับ RFID TAG แบบต่างๆ	24
ตารางที่ 2.2 AWG WIRE CHART	37
ตารางที่ 3.1 TAG (NQ) Product	77
ตารางที่ 3.2 ตาราง Read Range กับ $(NI)_{rms}$ ที่ $(NQ_L)_{TAG} = 25.46$	79
ตารางที่ 3.3 ตาราง Read Range กับ $(NI)_{rms}$ ที่ $(NQ_L)_{TAG} = 14.115$	83
ตารางที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Q กับ $R_1$ Loop $(3 \times 6)in^2$ , $XL = +j147.6$ และ $R_2 = 50 \Omega$	85
ตารางที่ 5.1 $RL=470\Omega$	111
ตารางที่ 5.2 $RL=1K\Omega$	112
ตารางที่ 5.3 $RL=2K\Omega$	112
ตารางที่ 5.4 $RL=\infty\Omega$	112
ตารางที่ 5.4.1 แสดงผลการทดลองของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่าน(Reader) มายังเครื่องถูกถ่าย(Tag) ในกรณีที่ยังไม่ต่อ TAG Regurattor	123
ตารางที่ 5.4.2 แสดงผลการทดลองของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่าน(Reader) มายังเครื่องถูกถ่าย(Tag) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่งานจริง ( $R_{TAG} = 710 \Omega$ )	124
ตารางที่ 5.4.3 แสดงผลการทดลองของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่าน(Reader) มายังเครื่องถูกถ่าย(Tag) ในกรณีที่ต่อ โหลดของ TAG Regulator ( $R_{TAG} = 390 \Omega$ )	125
ตารางที่ 5.4.4 แสดงผลการทดลองของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่าน(Reader) มายังเครื่องถูกถ่าย(Tag) ในกรณีที่ต่อ โหลดของ TAG Regulator ( $R_{TAG} = 500 \Omega$ )	126
ตารางที่ 5.4.5 แสดงผลการทดลองของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่าน(Reader) มายังเครื่องถูกถ่าย(Tag) ในกรณีที่ต่อ โหลดของ TAG Regulator ( $R_{TAG} = 890 \Omega$ )	127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4.6 แสดงผลการทดลองของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่าน(Reader)

มายังเครื่องถูกข่าย(Tag)ในกรณีที่ต้อง โหลดของ TAG Regulator

( $R_{TAG} = 1k\Omega$ )

128



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ Auto ID



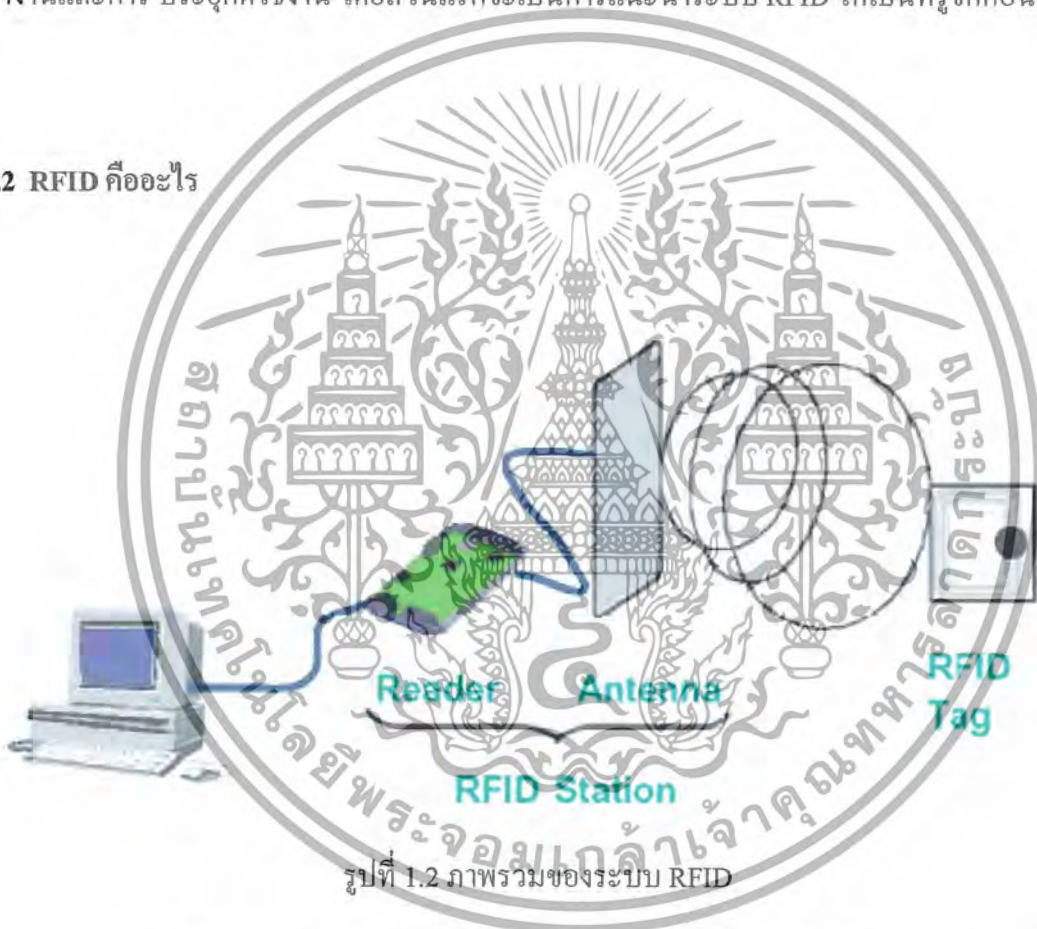
รูปที่ 1.1 ระบบ Auto ID ที่พบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน

ในปัจจุบันนี้ระบบบ่งชี้อัตโนมัติ (Automatic Identification) หรือ Auto ID ถูกนำมาใช้งานและพัฒนาไปอย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรม โลจิสติกส์ กระบวนการผลิต การขนถ่ายวัตถุดิบ ฯลฯ ระบบ Auto ID ถูกนำมาใช้ในการจัดเก็บข้อมูล ระบุสถานะของคน สัตว์ สิ่งของ เช่น สินค้าที่เราให้ความสนใจ ระบบ Auto ID ที่เป็นที่รู้จักและใช้งานกันแพร่หลายที่สุดคือ

“ระบบบาร์โค้ด” (Barcode System) ซึ่งสามารถพบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น บนหีบห่อสินค้าหนังสือ หรือ บนตัวสินค้า เนื่องจากมีต้นทุนต่อหน่วยที่ต่ำง่ายต่อการใช้งานจึงเป็นเหตุผลให้บาร์โค้ด ถูกนำมาใช้ งานมากที่สุด แต่บาร์โค้ดก็มีข้อจำกัดหลายประการได้แก่ จัดเก็บข้อมูลได้จำกัด เสียหาย หรือมี ปัญหาระหว่างการอ่านได้ง่าย ระบบ Auto ID ที่เรารู้จักรองลงมาจากบาร์โค้ดก็คือระบบสมาร์ท การ์ด (Smart Card System) ซึ่งเป็นระบบที่กำลังมีบทบาทอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน เราจะพบเห็น สมาร์ทการ์ดในรูปแบบของบัตรต่างๆ เช่น บัตรชม ภาพยนตร์ ชิมการ์ดของโทรศัพท์เคลื่อนที่ และบัตรสมาชิกตามคลับต่างๆ โดยใช้แถบแม่เหล็กหรือไมโครชิปในการอ่าน/เขียนข้อมูล ระบบ ชิมการ์ดนั้นมีข้อดีคือสามารถเก็บข้อมูลได้มาก ปลอดภัย แต่เนื่องจากเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถบแม่เหล็ก วิธีการอ่านข้อมูลจากสมาร์ตการ์ดจึงต้องใช้วิธีสัมผัสทำให้เกิดการเสียดสีหรือของเครื่องอ่านเมื่อใช้ไปนานๆ นอกจากนี้ยังมีระบบ Auto ID อีกชนิดหนึ่งซึ่งกำลังเป็นที่นิยมและเป็นระบบที่ขจัดข้อเสียของทั้ง ระบบบาร์โค้ดและสมาร์ตการ์ด เราเรียกระบบนี้ว่า RFID (Radio Frequency Identification) เป็นระบบ Auto ID ที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นความถี่วิทยุ เป็นพาหะในการสื่อสารข้อมูล ในหนังสือเล่มนี้จะเป็นเนื้อหาของระบบ RFID ตั้งแต่พื้นฐาน โครงสร้างการทำงานและการประยุกต์ใช้งาน โดยส่วนแรกจะเป็นการแนะนำระบบ RFID ให้เป็นที่รู้จักก่อนดังนี้

## 1.2 RFID คืออะไร



รูปที่ 1.2 ภาพรวมของระบบ RFID

RFID เป็นระบบระบุลักษณะของวัตถุด้วยคลื่นความถี่ มีมานานเกือบร้อยปีแล้ว แต่ยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ยังมีขนาดใหญ่ไม่สะดวกในการติดตั้งและใช้งาน ปัจจุบันเทคโนโลยีนี้กำลังจะมีบทบาทมากขึ้นอย่างรวดเร็วและเข้ามาเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเราอย่างเลี่ยงไม่ได้ ส่วนประกอบของระบบRFID มี 2 ส่วนดังนี้

### 1. RFID Tags หรือ Transponder

### 2. เครื่องอ่าน Reader หรือ Interrogator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นฐานของ RFID คือความต้องการให้ สิ่งมีชีวิต ,วัตถุ หรือ เจ้าของวัตถุ ที่มีฉลากหรือป้าย RFID ติดอยู่ สามารถแจ้งข้อมูล ประวัติ หรือ ลักษณะเฉพาะ ของตัวเองให้ผู้อื่น ที่มีเครื่องอ่านRFID ทราบได้ ผ่านทางคลื่นวิทยุ โดยอัตโนมัติ RFID ย่อมาจากคำว่า “Radio Frequency Identification” คือการใช้ไอซีประเภทไมโครชิปใส่ไว้ใน ป้ายหรือฉลาก ซึ่งไมโครชิปจะเก็บข้อมูลที่สำคัญและ จำเป็นไว้ และส่งสัญญาณข้อมูลออกมาด้วยความถี่วิทยุที่กำหนดไว้ ไปยังเครื่องรับหรือเครื่องอ่าน ข้อมูลRFID ที่อยู่ในระยะส่ง แผ่นป้ายหรือฉลากที่ระบุข้อมูลไว้ในไมโครชิปนี้ เราเรียกว่า RFID Tags หรือ Transponder แผ่นป้ายระบุข้อมูล (RFID Tags) ประกอบด้วยแผงวงจรไมโครชิปกับเสาอากาศขนาดเล็ก(แบบไดโพล) ที่ฝังเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นป้ายระบุข้อมูล

RFID มีระบบที่ทำงานคล้ายคลึงกับ Smart Card และทำหน้าที่แทนBarcode ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในระบบ Smart Card จะใช้บัตรที่มีหน่วยความจำ และไมโครโปรเซสเซอร์บรรจุอยู่ ภายใน สัมผัสโดยตรงกับเครื่องอ่านบัตร ทำให้สามารถทราบข้อมูลต่างๆที่ต้องการให้ทราบของผู้ถือบัตรได้

ส่วนระบบRFID ตัวบัตรสามารถอยู่ห่างจากเครื่องอ่านได้ ไม่ต้องสัมผัสเครื่องอ่านแบบบัตรสมาท์การ์ด และไม่ต้องหันบัตรเข้าหาเครื่องอ่านเหมือนBarcode นอกจากนี้ RFID ยังมีจุดเด่นอยู่ที่การอ่านข้อมูลจากแท็ก (Tag) ได้หลายๆ แท็กแบบไร้สัมผัสและสามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แร่งต้นสะท้อน การกระทบกระแทก สามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ในแท็ก RFID

การประยุกต์ใช้งาน RFID จะมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกับบาร์โค้ด (Bar code) และยังสามารถรองรับความต้องการอีกหลายอย่างที่บาร์โค้ดไม่สามารถตอบสนองได้ เช่น

Barcode	RFID
---------	------

บาร์โค้ดจะเป็นระบบที่อ่านได้อย่างเดียว(Read only)ไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่อยู่บนบาร์โค้ดได้

แท็กของระบบ RFID จะสามารถทั้งอ่านและบันทึกข้อมูลได้ เราจึงสามารถเปลี่ยนแปลง หรือทำการบันทึกข้อมูลที่อยู่ในแท็กได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

บาร์โค้ดจะต้องใช้กับวัตถุที่หยุดนิ่งเท่านั้น โดยเอาตัวอ่านเข้าไปใกล้กับแถบบาร์โค้ดจึงจะสามารถอ่านได้

RFID สามารถใช้งานได้แม้ในขณะที่วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ เช่น ใช้ระบบ RFID ในการเก็บค่าผ่านทางด่วน โดยที่ผู้ใช้บริการไม่ต้องหยุดรถเพื่อจ่ายค่าบริการ

บาร์โค้ดไม่สามารถสื่อสารผ่านตัวกลางอื่นๆ ได้นอกจากกระดาษ

แท็กและตัวอ่านข้อมูลสามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่างเช่น น้ำ, พลาสติก, กระจก หรือวัสดุที่บดแสงอื่นๆ

บาร์โค้ดใช้อ่านกับวัตถุที่ต้องอยู่ใกล้

RFID สามารถใช้อ่านกับวัตถุที่อยู่ไกลได้ ขึ้นอยู่กับตัวอ่านและแท็กที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันได้มีการนำ RFID ไปประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นๆ นอกเหนือจากการนำมาใช้งานในระบบบาร์โค้ดแบบเดิม เช่น ใช้ในบัตรชนิดต่างๆ อาทิ บัตรสำหรับผ่านเข้าออกสถานที่ต่างๆ บัตรที่จ่อครดตามศูนย์การค้าต่างๆ ที่เราอาจพบเห็นอยู่ในรูปของแท็กสินค้า มีขนาดเล็กมากจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษได้ หรือเป็นแคปซูลขนาดเล็กฝังเอาไว้ในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติต่างๆ เป็นต้น

### 1.3 มาตรฐานของ RFID

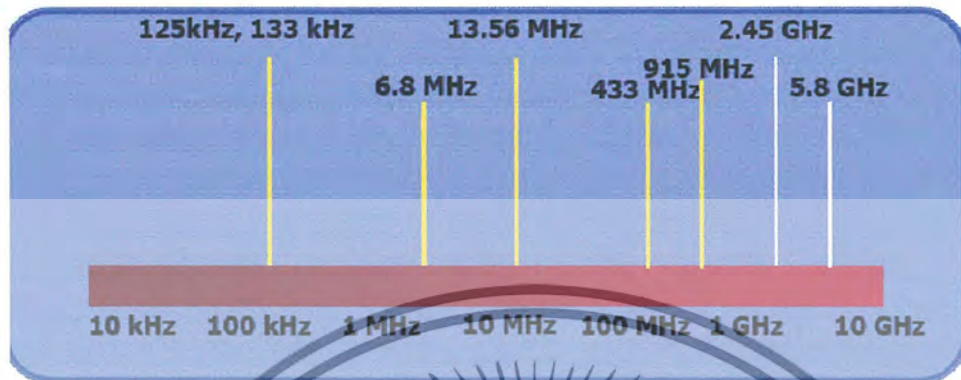
เนื่องจากการที่กำหนดมาตรฐานออกมาใช้ในประเทศอย่างเป็นทางการล่าช้าจะส่งผลให้เทคโนโลยี RFID ในประเทศมีการพัฒนาช้าตามไปด้วย ซึ่งมาตรฐานของ RFID สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. คลื่นความถี่ (RF Spectrum) คลื่นความถี่ที่จะใช้สำหรับอุปกรณ์ RFID นี้ค่อนข้างยากที่จะกำหนดให้เป็นมาตรฐานสากล เนื่องจากแต่ละประเทศเป็นเจ้าของและเป็นผู้ควบคุมการใช้คลื่นความถี่เอง ดังนั้นจึงขึ้นอยู่กับว่าแต่ละประเทศที่จะเป็นผู้พิจารณาจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับการใช้งานประเภทต่างๆ

2. มาตรฐาน RFID (RFID Standards) บริษัทผู้ผลิตต่างๆ ได้พัฒนาและผลิตระบบ RFID ออกมา โดยมีมาตรฐานที่ใช้ในการส่งถ่ายข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นกับความต้องการของตลาดเป็นสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.4 คลื่นพาที่ในระบบ RFID



Frequency System	<135 kHz	13.56 MHz	868/915 MHz, 2.45 GHz
Transponder type	Passive Transponder		Active Transponder (with Battery Backup)
Functionality	EAS • Read/Write • Anti-collision • Authentication, Encryption	Smart card OS, Cryptographic coprocessor	• Read/Write • Anti-collision
Coupling Type	Inductive Coupling		Electromagnetic Field
System Type	Low-End, Medium-End systems	High-End System	Low-End, Medium-End, High-End systems
Transmission power	72 dBuA/m	42 dBuA/m	10 to 100 mW, 500 mW, Up to 4 W

Frequency System	135 kHz	13.56 MHz	868/915 MHz, 2.45 GHz
Sensitivity	Sensitivity to Electromagnetic Interference field		Resistant to Electromagnetic Interference field
Absorption Rate	Lower	Absorption Rate (Damping) for Water or non-conductive substances	Higher
Range	Proximity Range		Long range ( 2-15 m )
Penetration	Better	Penetration of Objects	Worse
Data Transmission Rate	Slow	Data Transmission Rate	Fast
Antennae Size	Larger	Antennae Size	Smaller
Memory Type	EEPROM		SRAM with battery backup

รูปที่ 1.3 ความถี่ย่านที่ระบบ RFID ถูกใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบ RFID จะอยู่ในย่านความถี่ ISM(Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสารทั่วไป สำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบ RFID อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ย่านความถี่ใช้งานหลัก ได้แก่

- ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency: LF) ใช้ความถี่ต่ำกว่า 150 kHz
- ย่านความถี่สูง (High Frequency: HF) ใช้ความถี่ 13.56 MHz
- ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency: UHF) ใช้ความถี่ 433/868/915 MHz

การใช้งาน 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ (LF ระยะอ่านประมาณ 10-20 เซนติเมตร และ HF ระยะอ่านประมาณ 1 เมตร) เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่การตรวจหาและเก็บประวัติในสัตว์ ส่วนย่านความถี่สูงยิ่ง จะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (UHF ระยะอ่านประมาณ 1-10 เมตร) เช่น ระบบเก็บค่าบริการทางด่วน และในปัจจุบันระบบ RFID กำลังถูกวิจัยและพัฒนาในย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.4 GHz และความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้งานที่ต้องการระยะอ่านที่ไกลกว่า 10 เมตร เป็นต้น ดังรูปที่ 3 ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้ว RFID ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด และมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วน RFID ที่ใช้คลื่นพาหะในอีก 2 ย่านความถี่จะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่น กันไป

### 1.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน RFID

ปัจจุบันการนำระบบ RFID มาประยุกต์ใช้งานหลากหลายประเภท เช่น

- Access Control/ Personal Identification หรือ การเข้า-ออกอาคาร แทนการใช้บัตรแม่เหล็ก เมื่อใช้งานมากๆ ก็จะเสื่อมเร็ว แต่บัตรแบบ RFID (Proximity Card) ใช้เพียงแตะหรือแสดงผ่านหน้าเครื่องอ่านเท่านั้นรวมทั้งยังสามารถใช้กับการเช็คเวลาเข้า-ออกงานของพนักงานด้วย
- ห่วงโซ่อุปทาน และระบบลอจิสติกภาพที่จะเห็นในโรงงานอนาคตคือ สามารถติด Tag

ไว้กับชิ้นงานเมื่อชิ้นงานผ่านสายพานขนสินค้าในโรงงาน แต่ละแผนกจะรู้ว่าต้องทำอะไร ติดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะไรบ้าง และต้องส่งไปที่ไหนต่อ รวมถึงการจัดการสินค้าในคลังสินค้าว่ารับสินค้ามาเมื่อใด จะต้องเก็บไว้ที่ไหน จะส่งไปที่ไหนอย่างไร ใครจะมารับ ส่วนภาพที่ผู้บริโภคจะเห็น คือ การซื้อสินค้าในซูเปอร์มาร์เก็ต เวลาซื้อก็หยิบใส่ตะกร้า คิดเงินผ่านเครื่องอ่าน RFID ครั้งเดียวคิดเงินได้ทันที ไม่ต้องหยิบมายิงบาร์โค้ดทีละชิ้นให้เสียเวลาและเดือนผู้ซื้อได้หากสินค้าที่ซื้อหมดอายุ

• ระบบ Animal Tracking มาใช้ เหมาะกับเกษตรกรไทยในการพัฒนาด้านปศุสัตว์ให้เป็นระบบฟาร์ม ออโต-เมชันด้วยชิป RFID ติดตัวสัตว์เลี้ยง ทำให้สามารถทราบเจ้าของตรวจสอบสายพันธุ์ การให้อาหารและการควบคุมโรคติดต่อในสัตว์ รวมถึงการสร้าง Food Traceability สำหรับต่อสู้กับข้อกีดกันทางการค้าของสหรัฐอเมริกา และกลุ่มสหภาพยุโรปที่อยู่ระหว่างตัดสินใจว่าผู้ส่งออกสินค้าเนื้อสัตว์จำแหละ

- ระบบตั๋วอิเล็กทรอนิกส์ (e-ticket) เว้น บัตรทางด่วนบัตรรถไฟฟ้าได้คืน
- ระบบหนังสือเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ (e-Passport) ที่ทางประเทศสหรัฐกำลังกำหนดมาตรฐานการเข้าออกของประเทศของเค้า เพื่อป้องกันผู้ก่อการร้าย รวมไปถึง e-Citizen ด้วย
- ระบบกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ (immobilizer) ในรถยนต์ป้องกันกุญแจผีในการขโมยรถยนต์ หรือ พวก Keyless ในรถยนต์ราคาแพงบางรุ่นก็เริ่มนำมาใช้งานแล้ว
- ระบบห้องสมุดดิจิทัล (e-Library) ในการยืมคืนอัตโนมัติ ทำให้ผู้ใช้บริการได้รวดเร็วและสะดวก-สบายยิ่งขึ้น



รูปที่ 1.4 การประยุกต์ใช้งาน RFID ในงานต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

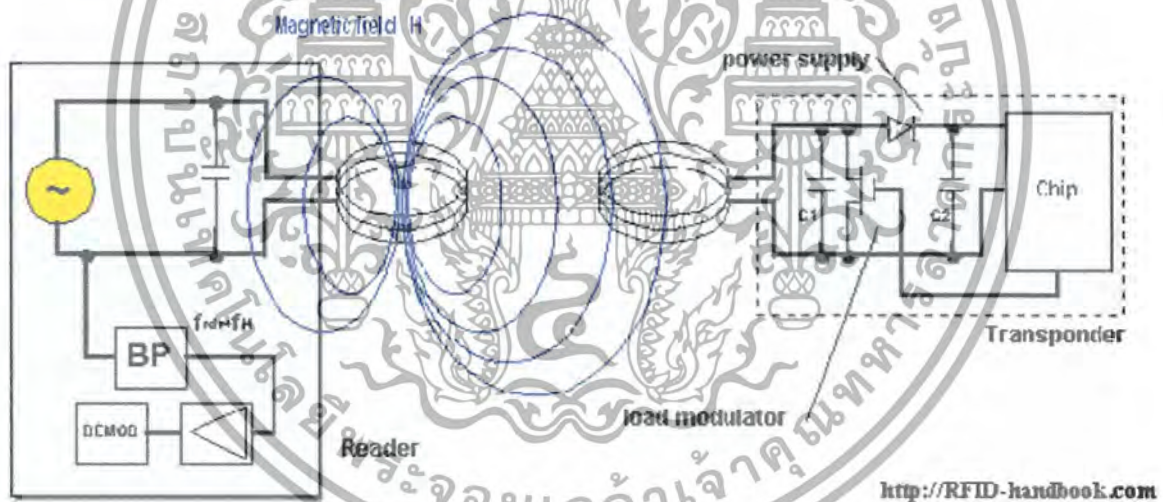
### ทฤษฎี

#### 2.1 ส่วนประกอบของระบบ RFID

ในระบบ RFID จะมีองค์ประกอบหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ

ส่วนที่หนึ่ง : ทรานสปอนเดอร์หรือแท็ก (Transponder/Tag) ที่ใช้ติดกับวัตถุต่าง ๆ ที่เราต้องการ โดยแท็กที่ว่านี้จะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ เอาไว้

ส่วนที่สอง: เครื่องสำหรับอ่าน/เขียนข้อมูลภายในแท็ก (Interrogator/Reader) ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบหลักของระบบ RFID

ถ้าจะเปรียบเทียบระบบ RFID นี้กับระบบบาร์โค้ด สามารถอธิบายได้ว่า แท็กในระบบ RFID ก็คือ ตัวบาร์โค้ดที่ติดกับฉลากของสินค้า และเครื่องอ่านในระบบ RFID ก็คือ เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Scanner) โดยข้อแตกต่างของทั้งสองระบบ คือ ระบบ RFID จะใช้คลื่นวิทยุในการอ่าน/เขียน ส่วนระบบรหัสแท่งจะใช้แสงเลเซอร์ โดยข้อเสียของระบบบาร์โค้ด คือ หลักการอ่านเป็นการใช้แสงในการอ่านแท็กบาร์โค้ด ซึ่งจะต้องอ่านแท็กในขณะที่ไม่มีวัตถุมาบังหรือจะต้องอยู่ในเส้นตรงเดียวกับลำแสงที่ยิงมาจากเครื่องสแกน และอ่านได้ทีละแท็กในระยะใกล้ๆ แต่ระบบ RFID จะแตกต่างโดยสามารถอ่านแท็กได้โดยไม่ต้องเห็นแท็กหรือแท็กนั้นซ่อนอยู่ในวัตถุ และ

เอ็กสตรีนเป็นเอ็กสตรีนที่ส่งมอบให้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นใบแจ้งราคาเป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่จำเป็นต้องอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกับคลื่น เพียงอยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้ และการอ่านแท็กในระบบ RFID ยังสามารถอ่านได้หลายๆ แท็กในเวลาเดียวกันโดยระยะอ่านข้อมูลได้ไกลกว่าระบบบาร์โค้ดอีกด้วย

### 2.1.1 แท็ก(Tag)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของแท็ก

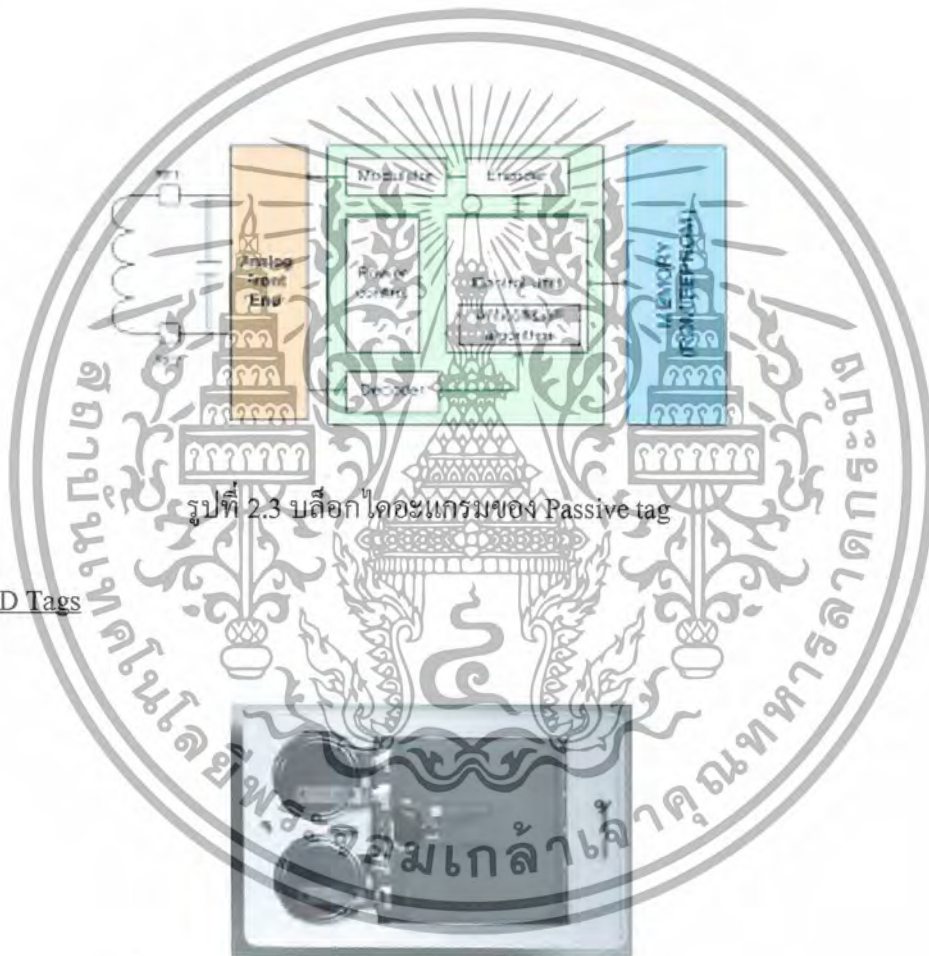
โครงสร้างภายในของแท็กจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ และสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของไมโครชิพที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุ เช่น รหัสสินค้า โดยทั่วไปตัวแท็กอาจอยู่ทั้งในชนิดที่เป็นกระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างต่างๆ กันไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำไปติดและมีหลายรูปแบบ เช่น ขนาดเท่ากับบัตรเครดิต หรืออยู่ กระจุม ฉลาดสินค้า เป็นต้น ดังรูป แต่โดยหลักการอาจแบ่งแท็กที่มีการใช้งานกันอยู่ 2 ประเภทใหญ่ๆ แต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในแง่ของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการทำงานอยู่ ซึ่งจะขอกล่าวอธิบายเป็นหัวข้อดังนี้

#### Passive RFID Tags

แท็กชนิดนี้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกใดๆ เพราะภายในแท็กจะมีวงจรกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็กเป็นแหล่งจ่ายไฟในตัวอยู่ทำให้การอ่านข้อมูลทำได้ไม่ไกลมากนักระยะอ่านสูงสุดประมาณ 1 เมตร ขึ้นอยู่กับความแรงของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ ปกติแท็กชนิดนี้ มักจะมีหน่วยความจำขนาดเล็กโดยทั่วไปประมาณ 16 ถึง 1024 ไบต์ มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ราคาต่อหน่วยต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอซีของแท็กชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมา จะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นแท่งหรือแผ่น ขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่ต่างกัน ส่วนโครงสร้างภายในที่เป็นไอซีของแท็กนั้น ก็ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนควบคุมการทำงานของภาครับ-ส่งสัญญาณวิทยุ (Analog Front -End) ส่วนควบคุมลอจิก (Digital Control Unit) ส่วนของหน่วยความจำ(Memory) ซึ่งอาจจะเป็นแบบ ROM หรือ EEPROM ดังรูป



รูปที่ 2.3 บล็อกโคะแกรมของ Passive tag

#### Active RFID Tags

รูปที่ 2.4 Active Tag ที่มีแบตเตอรี่ Lithium 2 ก้อนอยู่ภายนอก

แท็กชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ภายนอก เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรภายในทำงาน แท็กชนิดนี้มีหน่วยความจำภายในได้ใหญ่ถึง 1 เมกะไบต์ และสามารถอ่านได้ในระยะไกลสูงสุดประมาณ 10 เมตร แม้ว่าแท็กจะมีข้อคืออยู่หลายข้อแต่ก็มีข้อเสียด้วยเช่นกัน คือ มีราคาต่อหน่วยแพง ขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการแบ่งจากชนิดที่ว่ามาแล้วแต่ก็ยังคงถูกแบ่งประเภทจากรูปแบบในการใช้งานได้ เป็น 3 แบบที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้อย่างอิสระ (Read-Write), แบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระ (Write-Once Read-Many หรือ WORM) และแบบอ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read-Only) ด้วย

### 2.1.2 เครื่องอ่าน (Reader)

หน้าที่สำคัญของตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) ก็คือการรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็ก แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสข้อมูล และนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไปนอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่นในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อยๆ ไม่สิ้นสุด

ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ "Hands Down Polling" โดยตัวอ่านข้อมูล จะสั่งให้แท็กหยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีแท็กหลายแท็กอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกันหรือที่เรียกว่า "Batch Reading" ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านแท็กทีละตัวได้

#### หลักการดำเนินงานเบื้องต้นของระบบ

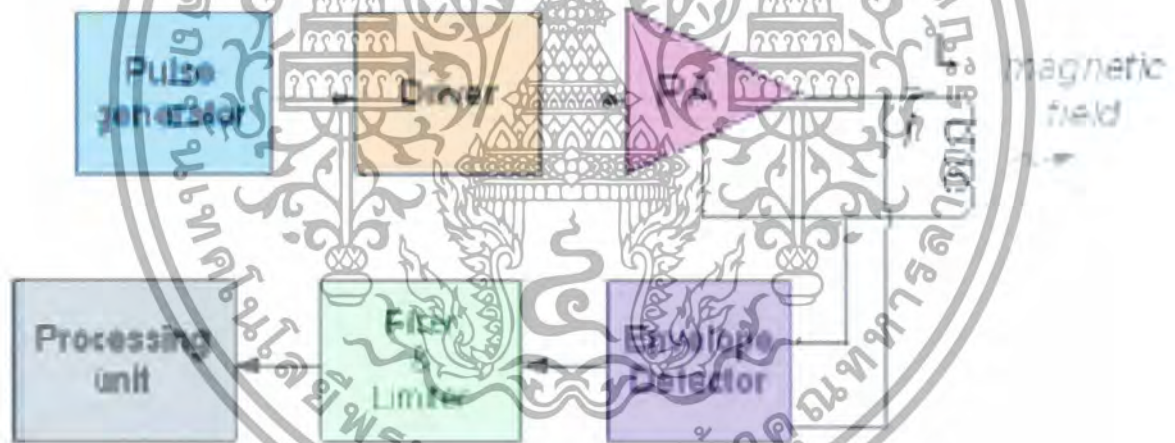
1. ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีการมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่
2. เมื่อมีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กเริ่มทำงาน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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การนำระบบ RFID ไปใช้งาน

เราสามารถนำระบบ RFID ไปใช้งานได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นในอุตสาหกรรมการผลิต การค้า หรือการบริการต่างๆ ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลที่ต้องการได้ เช่น บันทึกเวลาทำงานของพนักงาน เก็บเงินค่าใช้บริการทางด่วน หรือระบบกันขโมยรถยนต์ แต่การพิจารณานำระบบ RFID มาใช้งานยังคงต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ ในการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ในสภาพแวดล้อม หรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับระเบียบการใช้คลื่นความถี่วิทยุและกำลังส่งของแต่ละประเทศ

โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือ การเชื่อมต่อเพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลลงในแท็กด้วยความถี่วิทยุภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วยเสาอากาศที่ทำจากลวดทองแดงเพื่อใช้รับส่งสัญญาณภาครับ และภาคส่งสัญญาณวิทยุและวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล ถ้าพวกไมโครคอนโทรลเลอร์และ ส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ คังรูป



รูปที่ 2.5 โครงสร้างภายในของ Reader

โดยทั่วไปเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- ส่วนประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

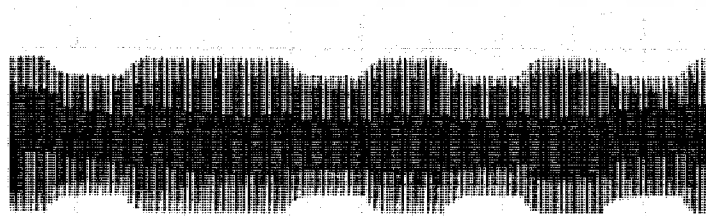
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในโปรแกรมจะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (Decoding) ที่ได้รับและทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ลักษณะขนาดและรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็กหรือติดผนัง จนถึงขนาดใหญ่เท่าประตู เป็นต้น

### 2.1.3 ขั้นตอนการทำงานระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก

1. ตัวเครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณวิทยุอย่างต่อเนื่องหรือเป็นจังหวะ และรอคอยสัญญาณตอบจากตัวแท็ก
2. เมื่อแท็กได้รับสัญญาณคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากเครื่องอ่านในระดับที่เพียงพอ ก็จะทำเน็ยวนำเพื่อสร้างพลังงานป้อนให้แท็กทำงาน โดยแท็กจะสร้างสัญญาณนาฬิกาเพื่อกระตุ้นให้วงจรภาคดิจิทัลในแท็กทำงาน
3. วงจรภาคดิจิทัลจะไปอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายในและเข้ารหัสข้อมูลแล้วส่งไปยังภาคอนาล็อกที่ทำหน้าที่มอดูเลตข้อมูล
4. ข้อมูลที่ถูกมอดูเลตจะถูกส่งไปส่งขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ เพื่อส่งไปยังเครื่องอ่าน
5. เครื่องอ่านจะสามารถตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูด (Envelope Detector) และใช้พีค ดีเทกเตอร์ (Peak Detector) ในการแปลงสัญญาณข้อมูลที่มีมอดูเลตแล้วจากแท็ก
6. เครื่องอ่านจะถอดรหัสข้อมูลและส่งไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมต่อไป

## 2.2 หลักการทำงานของ RFID

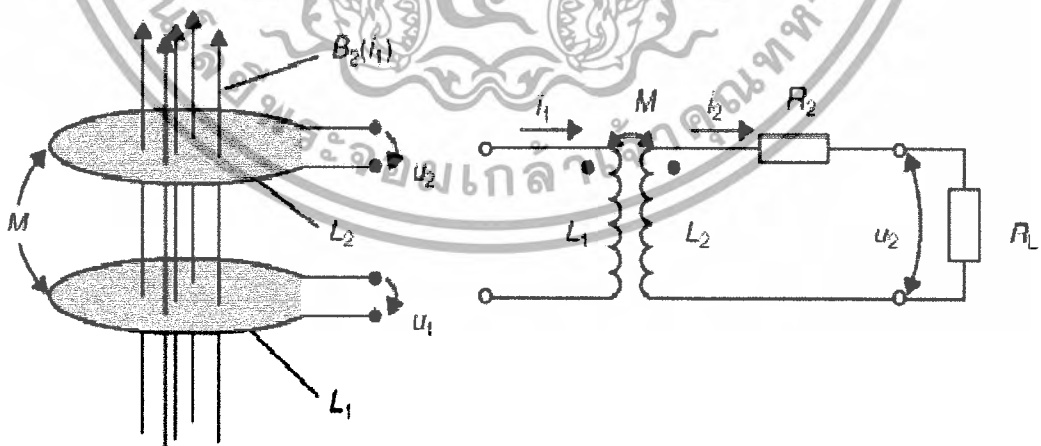


รูปที่ 2.6 รูปคลื่นของสัญญาณระหว่างแท็กและเครื่องอ่านแบบ AM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมากเทคนิคในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและแท็กจะใช้หลักการมอดูเลตทางแอมพลิจูด (Amplitude Modulation: AM) หรือ ใช้การมอดูเลตทางแอมพลิจูดบวกกับการเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester encoded AM) แต่ทว่าในปัจจุบันก็มีแท็กที่ใช้การมอดูเลตแบบอื่นๆ ด้วย เช่น การมอดูเลชันแบบเฟสชิฟต์คีย์อิง (Phase Shift Keying: PSK) , เฟรควเ้นซีฟคีย์อิง (Frequency Shift Keying: FSK) หรือการใช้การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation: FM) ดังรูปที่ 2.11

ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างแท็กกับเครื่องอ่านจะทำได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้งาน เช่น เมื่อความถี่ใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ความยาวของเสาอากาศ (เป็นเส้นตรง) ที่เหมาะสมก็คือ 22.12 เมตรแน่นอนว่าในทางปฏิบัติเราคงไม่สามารถนำเสาอากาศที่ใหญ่ขนาดนั้นมาใช้งานกับแท็กขนาดเล็กของเราได้ สายอากาศที่ดูเหมาะสมจะใช้ร่วมกับแท็กมากที่สุดก็คือสายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็กหรือที่มีชื่ออย่างเป็นทางการว่าสายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (magnetic dipole antenna) รูปแบบของสายอากาศแบบนี้ก็จะมียูอยู่หลากหลาย ทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันบนแกนอากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เป็นวงลูปที่ทำขึ้นจากสายทองแดง บนแผ่นวงจรพิมพ์ทั้งที่เป็นรูปแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะ และประเภทของงานด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.7 ลูปตัวนำที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็ก (ขวาว) แสดงวงจรที่สมมูลกับรูปทางซ้ายมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการรับส่งข้อมูลแล้วสายอากาศก็ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับแท็กด้วย โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของไมเคิล ฟาราเดย์ เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็ก (จากเครื่องอ่าน) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของแท็กเมื่อแท็กและเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันในระยะ 0.16 เท่าของความยาวคลื่นพาหะที่ใช้เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่า transformer-type coupling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์แบบเดียวกับการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ(primary) และขดลวดทุติยภูมิ (secondary) ในหม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) จะเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของแท็ก

### 2.3 การเข้ารหัส (Coding)

สัญญาณ PCM(Pulse Code Modulation) ที่ได้จะประกอบด้วยกลุ่มข้อมูลของ “1” และ “0” ซึ่งจะถูกส่งผ่านไป ในสื่อสัญญาณต่างๆ และเพื่อให้ข้อมูลนี้สามารถส่งไปถึงปลายทางได้อย่างถูกต้อง จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนรูปของสัญญาณ PCM ที่ได้ให้มีรูปแบบที่เหมาะสมก่อนจึงจะส่งไปในสื่อสัญญาณต่างๆ ได้ ซึ่งรูปแบบแต่ละรูปแบบเราเรียกว่า Line Code (หรือการเข้ารหัสทางสายส่ง) โดยมี Code Conversion ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณ PCM ให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการ และมีหลักในการกำหนด Line Code ดังนี้

1. สัญญาณนั้นจะต้องไม่มีส่วนประกอบของสัญญาณไฟตรง(DC) ตลอดเวลาหรือเป็นช่วงเวลาสั้น เพราะสัญญาณไฟตรงไม่สามารถผ่านอุปกรณ์พวก Capacitor หรือ Transfotmer ซึ่งมีไว้ อยู่ในวงจรส่วนต่างๆ ได้
2. พลังงานที่ความถี่ต่ำจะต้องมีค่าน้อย เนื่องจากจะทำให้ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ใน ส่วนของวงจร Equalization
3. สามารถซิงโครไนซ์ได้เอง(Self-synchronization) หมายถึงการที่ลำดับหรือชุดของสัญญาณที่รับได้มีข่าวสารของสัญญาณนาฬิกาที่เพียงพอผนวกมาพร้อมกับข่าวสารของบิตข้อมูล
4. ความน่าจะเป็นที่เกิดความผิดพลาดบิตต่ำ (low probability of bit error) คือ สามารถทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

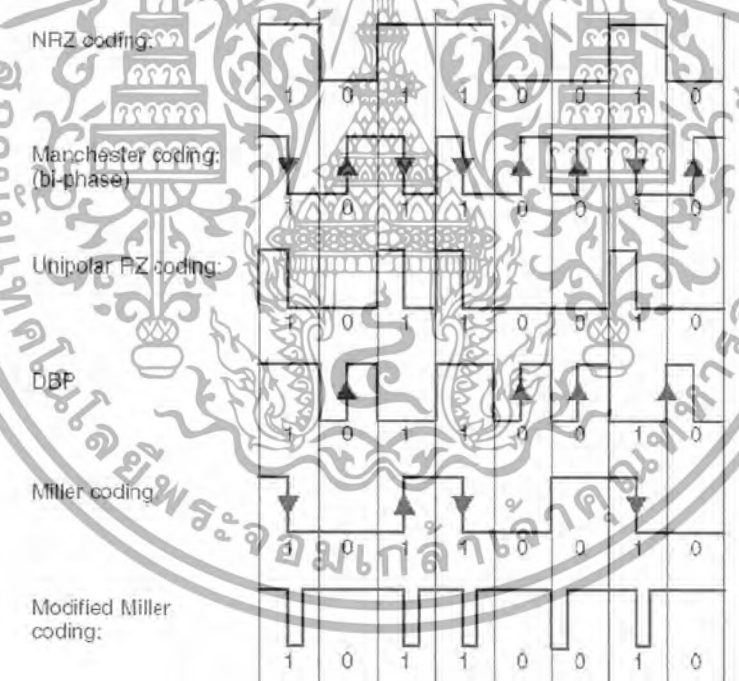
5. สัญญาณ Code นั้นจะต้องมีเพียง Code เดียวเพื่อไม่ให้เกิดความคลุมเครือที่จะทำให้การ Decode แปลงค่าผิดไป

6. ต้องใช้ Bandwidth ในการส่งสัญญาณนั้นน้อยที่สุด และในขณะเดียวกันสเปกตรัมของสัญญาณนั้นจะต้องมีรูปลักษณะที่เหมาะสมกับช่องสัญญาณด้วย (a spectrum that is suitable for the channel)

7. จะต้องมีการตรวจจับหรือแก้ไขข้อผิดพลาดจากการส่งได้ (Error Detection and Correction)

8. ทรานส์พาเรนซีซี (transparency) หมายถึงคุณสมบัติที่ระบบสามารถรับส่งชุดบิตที่มีรูปแบบใดก็ได้โดยไม่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของระบบ

มาตรฐานการทำ line code มีหลายลักษณะ ดังนี้



รูปที่ 2.8 การเข้ารหัสแบบต่างๆ

เมื่อพิจารณาการกระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของไลน์โค้ด แต่ละประเภท อธิบายได้ดังรูปที่ 2.9

1. ไลน์โค้ด Unipolar NRZ: จัดว่ามีองค์ประกอบของกระแสตรงอยู่ในสัดส่วนที่สูงมาก และพลังงานของสัญญาณส่วนที่เหลือกระจายอยู่ในช่วงความถี่  $[0-R]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โคน์โค้ด Polar NRZ: ความหนาแน่นกำลังของถี่ว่ามีองค์ประกอบของกระแสตรงอยู่บ้างแต่ด้วยสัดส่วนที่น้อยมาก และพลังงานส่วนใหญ่มีการกระจายตัวอยู่ที่ความถี่ [0-R]

3. โคน์โค้ดแบบ Unipolar RZ: มีลักษณะการกระจายกำลังงานที่คล้ายกับ Unipolar NRZ เพียงแต่มีความหนาแน่นของสเปกตรัมกว้างขึ้นอีกเท่าตัวเมื่อเทียบกับ NRZ

4. โคน์โค้ดแบบ Bipolar RZ: แม้ว่าจะมีการกระจายกำลังงานส่วนใหญ่อยู่ที่ [0-R] เช่นเดียวกับ 2 กรณีแรก แต่สิ่งที่น่าสังเกตคือ โคน์โค้ดชนิดนี้ไม่มีองค์ประกอบของไฟตรงปนอยู่เลย

5. โคน์โค้ด Manchester: การกระจายตัวของพลังงานครอบคลุมช่วงความถี่ [0-2R] ซึ่งหมายความว่า โคน์โค้ด Manchester มีความต้องการ Bandwidth ในการส่งที่กว้างกว่า โคน์โค้ดชนิดอื่นเท่าตัว



รูปที่ 2.9 การกระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของ โคน์โค้ดชนิดต่างๆ

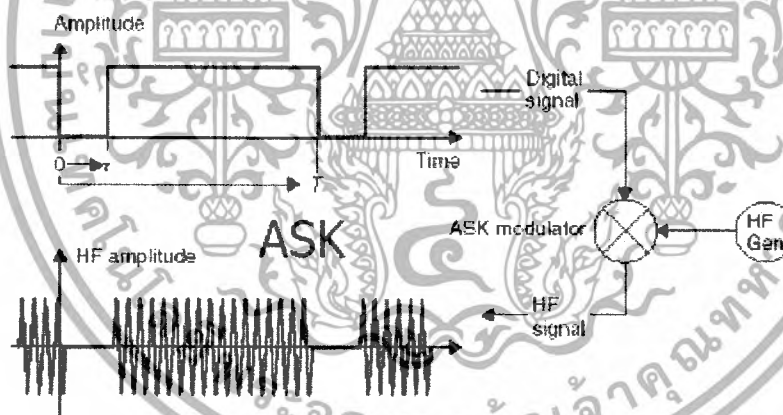
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การผสมข้อมูลแบบดิจิตอล (Digital Modulation Procedure)

เนื่องจากหลักการพื้นฐานของ RFID คือใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสื่อสารรับส่งข้อมูล ดังนั้นก่อนการสื่อสารจะต้องมีกระบวนการผสมข้อมูลที่เข้ารหัสไว้แล้วไปกับคลื่นพาหะ (Modulation) แต่เนื่องจากลักษณะข้อมูลเป็นดิจิตอลจึงต้องใช้วิธีการผสมแบบดิจิตอลซึ่งจะแตกต่างจากการผสมแบบอนาล็อกที่ใช้กันอยู่หลายระบบในปัจจุบันเช่น FM และ AM

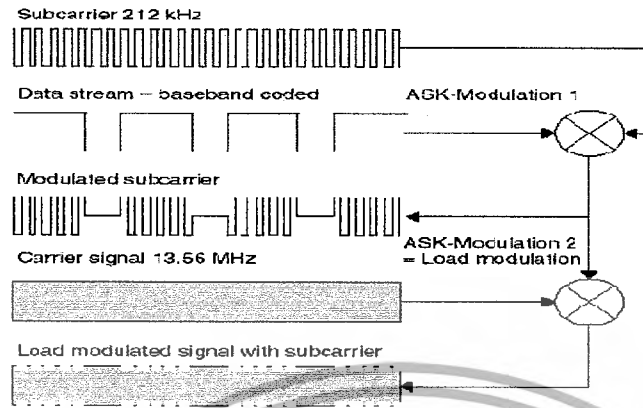
การผสมข้อมูลแบบดิจิตอล คือ กระบวนการแปลงข้อมูลดิจิตอลที่อยู่ในรูป 0 และ 1 ให้ได้เป็นสัญญาณที่มีรูปลักษณะเหมาะสมกับการส่งผ่านช่องสัญญาณ โดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่ง สัญญาณที่ใช้กันทั่วไปจะเป็นสัญญาณไซน์ซอซอด์ และเราเรียกสัญญาณนี้ว่า คลื่นพาหะ (Carrier) การมอดูเลตสัญญาณข่าวสารดิจิตอลลงบนคลื่นพาหะสามารถกระทำได้ 3 วิธีดังนี้

### 2.4.1 Amplitude Shift Keying (ASK)



รูปที่ 2.10a การมอดูเลตเชิงขนาด (ASK)

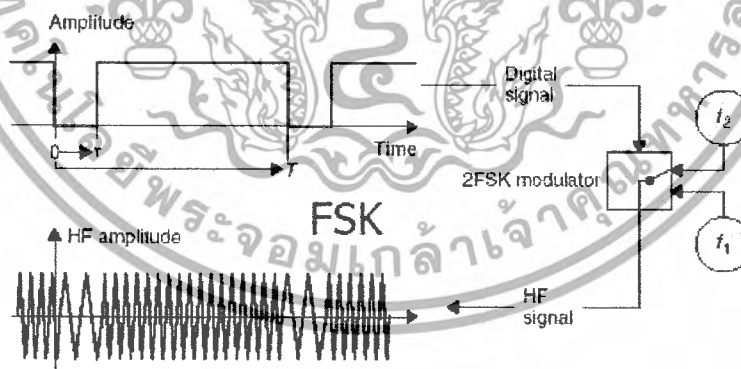
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10b การมอดูเลตเชิงขนาด (ASK)

เป็นการผสมข้อมูลโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของยอดคลื่นพาหะ (Amplitude) ไปตามค่าของข้อมูลดิจิทัลที่ป้อนเข้ามา โดยกำหนดให้แอมพลิจูดของคลื่นพาหะมีค่าเป็นศูนย์เพื่อแทนบิตข้อมูลที่เป็น 0 ซึ่งเทียบได้กับการไม่ส่งสัญญาณ และจะส่งสัญญาณ ไซน์ซอชอยด์ที่มีแอมพลิจูดไม่เป็นศูนย์เพื่อแทนบิตข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ในกรณีเฉพาะแบบนี้จะเรียกรวมวิธีการมอดูเลตแบบนี้ในอีกชื่อหนึ่งว่า ออนออฟคีย์อิง (OOK : on-off keying)

2.4.2 Frequency Shift Keying (FSK)

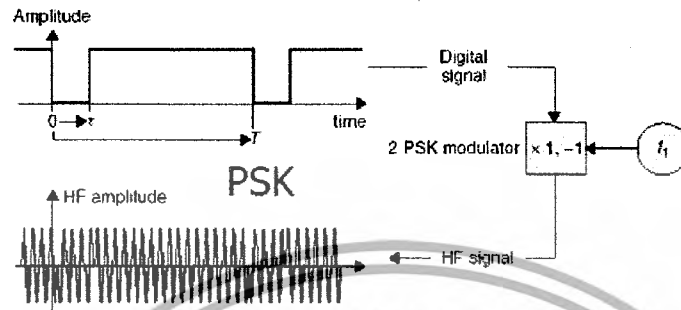


รูปที่ 2.11 การมอดูเลตเชิงความถี่ (FSK)

วิธีนี้แอมพลิจูดของสัญญาณคลื่นพาหะที่ใช้จะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง แต่จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นพาหะระหว่าง 2 ความถี่ขึ้นอยู่กับสถานะของข้อมูล 0 กับ 1 โดยความถี่สูงใช้แทนข้อมูลดิจิทัลที่มีค่าเป็น 1 และความถี่ต่ำใช้แทนข้อมูลที่เป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 Phase Shift Keying (PSK)



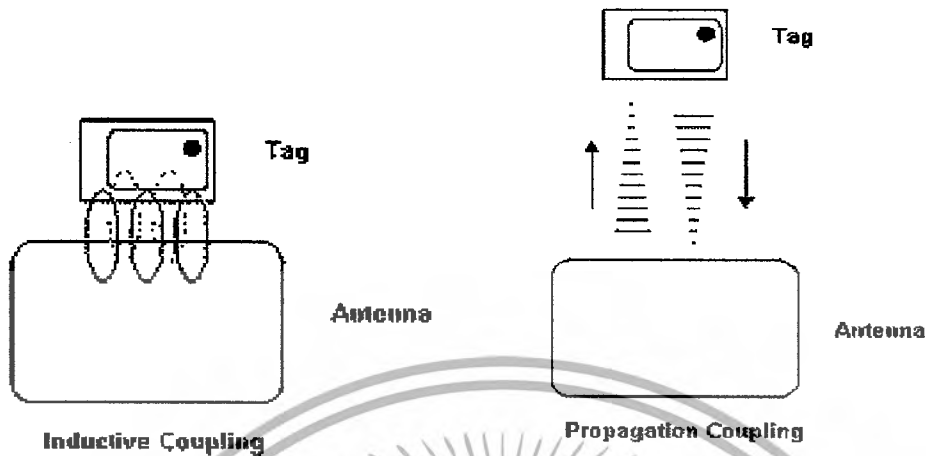
รูปที่ 2.12 การมอดูเลตเชิงเฟส (PSK)

วิธีนี้แอมพลิจูดและความถี่ของคลื่นพาห้จะกำหนดให้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ส่วนที่เปลี่ยนไปตามข้อมูลดิจิทัล 0 หรือ 1 คือ เฟส กล่าวคือถ้าบิตข้อมูลที่จะส่งมีค่าเป็น 0 ระบบจะส่งคลื่นพาห้ที่มีเฟสตามที่กำหนดค่าหนึ่ง และถ้าบิตข้อมูลมีค่าเป็น 1 ระบบจะส่งคลื่นที่ต่างไปจากกรณีแรก โดยทั่วไปถ้าเราต้องการให้ได้ระบบที่มีสมรรถนะดีก็มักจะเลือกเฟสทั้งสองให้มีค่าต่างกัน 180 องศา ดังรูปที่ 2.12

### 2.5 การสื่อสารแบบไร้สาย

การสื่อสารข้อมูลของระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ คือระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูล จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต กับคลื่นพาห้ที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุโดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) กับ วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation Coupling) ดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล

## 2.6 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์

อัตราการรับส่งข้อมูล (Data Transfer Rate) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาหะ โดยปกติถ้าความถี่ของคลื่นพาหะยิ่งสูง อัตราการรับส่งข้อมูลก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ส่วนการเลือกแบนด์วิดท์หรือย่านความถี่นั้นก็จะส่งผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลเช่นกัน 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 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญ ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆรอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบการสื่อสารเฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบกับระยะการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของเครื่องถูกถ่ายที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา

ย่านความถี่	ระยะทาง	การใช้งาน	
ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency: LF)	125-134 KHz	18 นิ้ว	ปศุสัตว์ หรือ ป้ายสินค้ากันขโมยที่อ่านในระยะใกล้ หรือระบบกันขโมยรถยนต์
ย่านความถี่สูง (High Frequency: HF)	13.553-13.567 MHz	3 ฟุต อ่านได้เร็ว (10-100 ป้ายต่อวินาที)	ห้องสมุด, สมาร์ทการ์ด ระบบติดตามหนังสือ ระบบเปิดปิดประตู
ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency: UHF)	400-1000 MHz (สหรัฐอเมริกาใช้ 433 MHz)	10 -30 ฟุต อ่านได้เร็วมาก (100-1000 ป้ายต่อวินาที)	ตู้สินค้า รถบรรทุก แท่นยกสินค้า (pallet)
ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave Frequency)	2.45 GHz, 5.8 GHz	>30 ฟุต	อุปกรณ์ไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

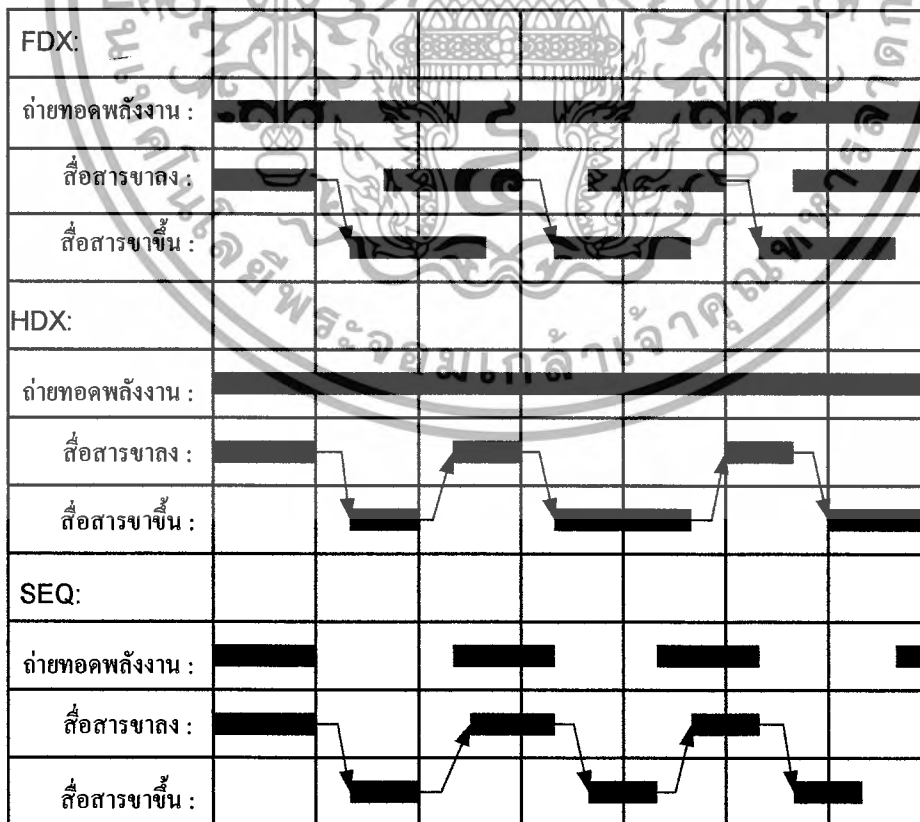
## 2.8 รูปแบบการรับส่งข้อมูลโดยใช้ความถี่คลื่นวิทยุ

รูปแบบการรับส่งข้อมูลโดยการใช้อัตราความถี่วิทยุสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.8.1 การสื่อสารแบบ Full Duplex : แบบ Full Duplex เครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่ายได้ตลอดเวลา การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย (Downlink) และการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังเครื่องอ่าน (Uplink) สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด

2.8.2 การสื่อสารแบบ Half Duplex : แบบ Half Duplex แม้ว่าเครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา แต่ก็ต้องมีการกำหนดจังหวะผลัดกันรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย

2.8.3 การสื่อสารแบบ Sequential : แบบ Sequential นั้น จะมีการจำกัดเวลาในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไปให้เครื่องลูกข่ายในลักษณะพัลส์ (Pulse) หรือก่อนพลังงานที่ส่งออกในแต่ละช่วงเวลาและใช้การปรากฏขึ้นของพลังงานไฟฟ้าหรือพัลส์เป็นสัญญาณกำหนดให้มีการส่งข้อมูล(Downlink) ส่วนช่วงที่ไม่มีพลังงานปรากฏอยู่จะเป็นการส่งสัญญาณ (Uplink)



รูปที่ 2.14 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์เชิงด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing

มาตรฐานการสื่อสาร RFID แบบ Duplexing ซึ่งสามารถจำแนกตามรูปแบบการทำงาน ได้ 4 ประเภท อันได้แก่เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling, Electromagnetic backscatter Coupling, Close Coupling และเทคโนโลยี Electrical Coupling ซึ่งจะขอกล่าวเฉพาะเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็กโครงสร้างของเครื่องลูกข่าย ประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือชิปที่ใช้เก็บข้อมูลต่างๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับ รับและส่งสัญญาณ ทั้งนี้จะกล่าวถึงเทคนิคในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องลูกข่ายเพื่อเลี้ยงให้อุปกรณ์ชิปสามารถทำงานได้ก่อนจะกล่าวถึงเทคนิคที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

### การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เนื่องจากการทำงานของเครื่องลูกข่ายนั้นเป็นแบบพาสซีฟ (Passive operation) กล่าวคือ ไม่มีแหล่งพลังงานภายในเป็นของตนเอง จึงจำเป็นต้องรับพลังงาน(Energy) มาจากเครื่องอ่านโดยตรง ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่าน(ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำลังสูงสามารถตกกระทบขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้อย่างเหมาะสม

ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกมาจากเครื่องอ่านนี้มีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ซึ่งโดยทั่วไปมีกว้างห่างกันเป็นหลักไม่มากนัก ในขณะที่เทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling ส่วนใหญ่ใช้ความถี่ต่ำเพียง 135 กิโลเฮิร์ตซ์หรืออาจจะต่ำกว่า ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีความยาวคลื่นสูงมากถึง 2,400 เมตร แม้ในบางระบบที่ความถี่ใช้ความถี่สูงในย่าน 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ก็ยังกำเนิดคลื่นสัญญาณที่มีความยาวคลื่นถึง 22.1 เมตร จึงไม่มีปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไปจนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบนหรือถูกกลดทอนจากผนังอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ หากพิจารณาถึงพื้นที่ใช้งานโดยทั่วไปที่มีได้ไกลหรือกว้างใหญ่มากนัก

สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะตกกระทบขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่าย ก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อนๆ ขึ้นบนขดลวดดังกล่าว ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการเรกติไฟร์โดยตัวเก็บประจุและไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับอุปกรณ์ชิป ทั้งนี้หัวใจของการออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ C1 ซึ่งจะต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด L เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่กำทอน (Resonance Frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องลูกข่าย

สิ่งที่ผู้ออกแบบอุปกรณ์เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling ให้ความสำคัญมากที่สุดก็คือ การออกแบบขดลวดทั้งที่เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายให้สามารถถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าให้แก่กันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด หากจินตนาการเปรียบเทียบการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองมิได้พินอยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกัน กลับกลายเป็นใช้อากาศซึ่งมีคุณสมบัติในการนำพาสัญญาณที่เลวร้ายกว่าแกนแม่เหล็กมากๆ

ดังนั้นในการออกแบบระบบแบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่าน พื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่เครื่องลูกข่าย มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย

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

## 2.10 ทฤษฎีพื้นฐานของการออกแบบสายอากาศ

ในการพิจารณาสายอากาศของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นวิทยุ มีเหตุผลหลักอยู่ 2 ประการ คือ

- 1.) เมื่อต้องการส่งความถี่วิทยุ (คลื่นพาห้) ให้เป็นกำลังงานของเครื่องลูกข่าย
- 2.) เมื่อรับสัญญาณความถี่วิทยุ (สัญญาณข้อมูล) จากเครื่องลูกข่าย

สัญญาณความถี่คลื่นวิทยุสามารถที่จะแพร่กระจายได้อย่างมีประสิทธิภาพในมิติเชิงเส้นของสายอากาศ ซึ่งเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน ในการประยุกต์ใช้งานของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ สายอากาศที่ใช้จะเป็นสายอากาศ ชนิดที่ใช้สนามแม่เหล็กกระยะใกล้ (near field magnetic) ในการเชื่อมต่อการเหนี่ยวนำระหว่างสายอากาศของลวดตัวส่งและลวดตัวรับ

การทำให้เกิดสนามแม่เหล็กโดยสายอากาศแบบรูปโคโพลขนาดเล็กล้วนจะไม่แพร่กระจายคลื่น แต่จะทำให้คลื่นอ่อนกำลังลงมากกว่า ความเข้มสนามถูกลดลงด้วย  $r^3$  (เมื่อ  $r$  = ระยะห่างจากสายอากาศ) ในสนามระยะใกล้ ( $r^3$ ) เป็นปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวจำกัดระยะการอ่านในการใช้งานของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ

เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กจะเคลื่อนที่ผ่านขดลวด (สายอากาศ) เป็นการเหนี่ยวนำแรงดันให้ตกคร่อมด้านปลายสุดของขดลวด แรงดันนี้จะใช้เพื่อกระตุ้นเครื่องลูกข่ายแบบพาสซีฟ ดังนั้นสายอากาศของขดลวดส่วนมากจะถูกออกแบบให้สามารถเหนี่ยวนำแรงดันได้สูงสุด

### 2.10.1 กระแสและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จากกฎของแอมแปร์ กล่าวไว้ว่า การไหลของกระแสในตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆ ตัวนำ ดังในรูปที่ 2.15 แสดงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสส่วนหนึ่ง สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในตัวนำ (ลวด) ที่มีความยาวจำกัด คิดได้จากสมการ

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad (\text{Weber/m}^2) \quad (2.10.1a)$$

โดยที่

$I$  = กระแส

$r$  = ระยะทางจากศูนย์กลางของลวดตัวนำ

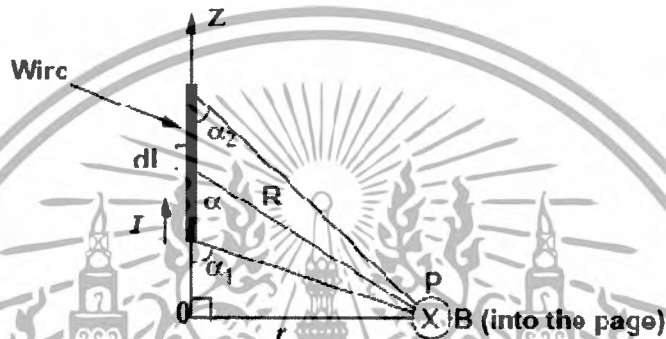
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\mu_0$  = ค่าความซึมซับทางแม่เหล็กของอากาศ =  $4\pi \times 10^{-7}$  (Henry/meter)

ในกรณีที่ลวดตัวนำมีความยาวเป็นค่าอนันต์ที่  $\alpha_1 = -180^\circ$  และ  $\alpha_2 = 0^\circ$

ฉะนั้นจากสมการที่ 2.10.1a สามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ 2.10.1b

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (\text{Weber/m}^2) \quad (2.10.1b)$$



รูปที่ 2.15 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเส้นตรง จากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายอากาศขดลวดแบบลูปวงกลมจำนวน N รอบค่า แสดงในรูปที่ 2.16

จะได้สมการของสนามแม่เหล็กคือ

$$B_z = \frac{\mu_0 N I a^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \quad (\text{Weber/m}^2) \quad (2.10.1c)$$

สำหรับกรณีที่  $r^2 \gg a^2$  จะได้

$$B_z = \frac{\mu_0 N I a^2}{r^3}, \text{ for } r^2 \gg a^2 \quad (2.10.1d)$$

โดยที่ I = กระแส

a = รัศมีของลูป

r = ระยะห่างจากศูนย์กลางของลูป

N = จำนวนรอบของขดลวด

จากสมการที่ 2.10.1d นี้แสดงให้เห็นว่าสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายอากาศแบบลูปวงกลม ถูกลดลงด้วย  $1/r^3$  ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.17

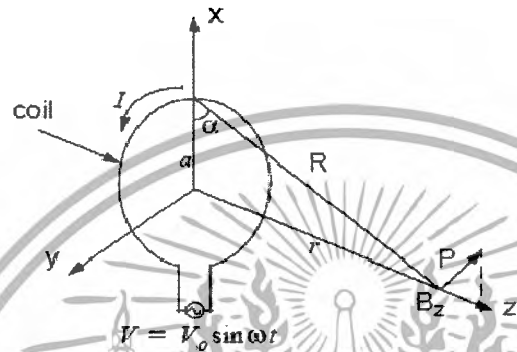
ความเข้มของสนามแม่เหล็กจะมีค่ามากที่สุดในระบบของลูป และทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

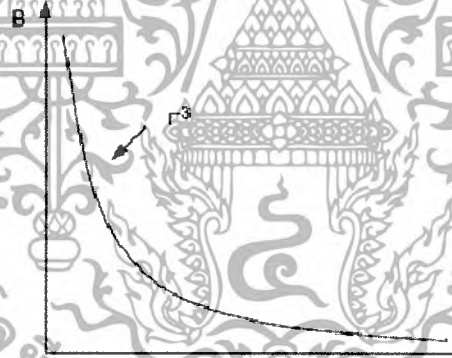
ที่เหมาะสมสัมพันธ์กับค่ากระแส (I) จำนวนรอบ(N) และพื้นที่ผิวของลูป

นอกจากนั้นสมการที่ 2.10.1c ถูกใช้ในการหาค่ากระแสต่อรอบที่ต้องการ

สำหรับระยะการอ่าน



รูปที่ 2.16 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเป็นลูปวงกลม



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับระยะทาง r

### 2.10.2 แรงดันที่เหนี่ยวนำได้จากขดลวดสายอากาศ

จากกฎของฟาราเดย์กล่าวว่า เมื่อสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ผิวปิดใดๆ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำรอบๆ ลูป ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่มีความสำคัญสำหรับการทำงานของอุปกรณ์ RFID แบบพาสซีฟ

รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของการประยุกต์ใช้ RFID จากกฎของฟาราเดย์ เมื่อสายอากาศของแท็กและตัวอ่านอยู่ในบริเวณพื้นที่ผิวปิด สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาถูกสร้างขึ้นโดย สายอากาศของตัวอ่านเหนี่ยวนำแรงดัน(เรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือ EMF) อย่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง่าย) ไปยังสายอากาศของแท็ก แรงดันเหนี่ยวนำที่ถูกเหนี่ยวนำในสายอากาศของตัวอ่านเป็นสาเหตุให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำในสายอากาศของแท็ก จะเท่ากับการชาร์ตของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux :  $\psi$ )

ดังสมการที่ 2.10.2a

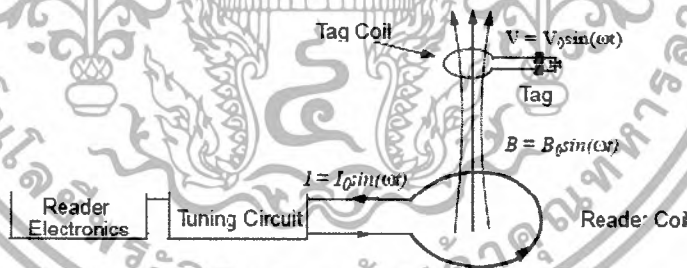
$$V = \frac{-Nd\psi}{dt} \quad (2.10.2a)$$

โดยที่

$N$  = จำนวนรอบของสายอากาศ

$\psi$  = เส้นแรงแม่เหล็กที่ทะลุผ่านในแต่ละรอบ

เครื่องหมายลบในสมการการเหนี่ยวนำแรงดันแสดงให้เห็นว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น จากกฎของเลนส์ (Lenz's Law) เป็นการย้ำว่าทิศทางกระแสไหลของกระแสในวงจรจะมีทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กที่ผลิตขึ้นจากการเหนี่ยวนำของกระแสแต่จะมีทิศตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กที่จุดกำเนิด



รูปที่ 2.18 โครงสร้างพื้นฐานของตัวอ่านและแท็กในการประยุกต์ใช้ RFID

เส้นแรงแม่เหล็กในสมการที่ 2.10.2a คือ ผลรวมของสนามแม่เหล็ก  $B$  ทั้งหมดที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ผิวทั้งหมดของสายอากาศขดลวดและสามารถหาได้จากสมการ

$$\psi = \int \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (2.10.2b)$$

โดยที่

$\vec{B}$  = สนามแม่เหล็กที่ได้มาจากสมการที่ 2.4

$\vec{S}$  = พื้นที่ผิวของขดลวด

หมายเหตุ : สนามแม่เหล็ก  $\vec{B}$  และพื้นที่ผิว  $\vec{S}$  เป็นปริมาณเวกเตอร์  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลคูณภายในของสองเวกเตอร์ในสมการที่ 2.10.2b แสดงให้เห็นว่า เส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่ทะลุผ่าน ขดลวดสายอากาศ เกิดจากการหาตำแหน่งมุมของขดลวดสายอากาศ ผลคูณภายในของสองเวกเตอร์จะมีค่าน้อยสุดเมื่อมุม  $\cos$  มุมระหว่างสองเวกเตอร์เท่ากับ 90 องศา หรือสองเวกเตอร์ตั้งฉากซึ่งกันและกัน และจะมากที่สุดเมื่อ มุม  $\cos$  เท่ากับ 0 องศา

ขดลวดของแท่งได้รับขนาดเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดที่ทะลุผ่านเมื่อขดลวดของตัวอ่านและแท่งอยู่ในตำแหน่งที่ขนานกัน ซึ่งก็หมายถึงจะมีแรงดันเหนี่ยวนำมากที่สุดเกิดขึ้นที่ขดลวดของแท่งและจะได้ระยะอ่านมากที่สุดด้วย ผลคูณภายในที่แสดงดังสมการที่ 2.10.2b สามารถอธิบายในพจน์ของ mutual coupling ระหว่าง ขดลวดของตัวอ่านและแท่ง mutual coupling ระหว่างขดลวดทั้งสองจะสูงสุดในสภาวะที่กล่าวมาแล้วเบื้องต้น

จากสมการที่ 2.10.1c และ 2.10.2b มาแทนว่าในสมการที่ 2.10.2a จะได้

จาก 
$$V = -\frac{N_2 d\psi_{21}}{dt} = -\frac{N_2 d(\int \beta \cdot dS)}{dt}$$

$$V = -\frac{N_2 d}{dt} \left[ \int \frac{\mu_0 i_1 N_1 a^2 \cdot dS}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \right]$$

$$V = -\left[ \frac{\mu_0 N_1 N_2 a^2 (\pi b^2)}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \right] \frac{di_1}{dt}$$

$$V = -M \frac{di_1}{dt}$$

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

โดยที่  $V =$  แรงดันในขดลวดแท่ง

$i_1 =$  กระแสที่ไหลในขดลวดตัวอ่าน

$a =$  รัศมีของขดลวดตัวอ่าน

$b =$  รัศมีของขดลวดแท่ง

$r =$  ระยะทางระหว่างขดลวดทั้งสอง

$M =$  mutual inductance ระหว่างขดลวดแท่งและ

ขดลวดตัวอ่าน โดยที่ค่า  $M$  เป็นไปตามสมการที่ 2.10.2c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M = \left[ \frac{\mu_0 \pi N_1 N_2 (ab)^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \right] \quad (2.10.2c)$$

เส้นแรงแม่เหล็กเกิดจากมีกระแสในขดลวดปฐมภูมิ ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กเป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิ

ในสมการที่ 2.10.2c แรงดันขดลวดของแท่งจะขึ้นอยู่กับ mutual inductance ระหว่างขดลวดทั้งสอง mutual inductance ขึ้นอยู่กับรูปร่างของขดลวดและระยะห่างระหว่างขดลวดทั้งสอง แรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดของแท่งลดลงด้วยอัตรา  $r^{-3}$  ดังนั้น ระยะการอ่านจะลดลงในทางเดียวกัน

จากสมการที่ 2.10.2a และ 2.10.2b สมการรูปทั่วไปสำหรับแรงดันเหนี่ยวนำ  $V_0$  ในขดลวดลูปที่ยังไม่ได้จูนจะได้ค่าสมการที่ 2.10.2c

$$V_0 = 2\pi f N S B_0 \cos \alpha \quad (2.10.2c)$$

โดยที่

$f$  = ความถี่ของสัญญาณ

$N$  = จำนวนรอบของขดลวดในลูป

$S$  = พื้นที่ของลูป มีหน่วยเป็น ( $m^2$ )

$B_0$  = ความเข้มของสัญญาณ

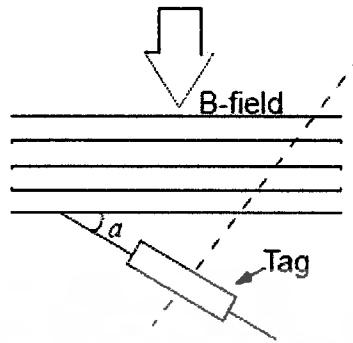
$\alpha$  = มุมของสัญญาณที่เข้ามา

ถ้าทำการจูนขดลวด (ด้วยตัวเก็บประจุ: C) ที่สัญญาณความถี่ (13.56MHz) แรงดัน output  $V_0$  ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างมาก แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากสมการที่ 2.10.2c จะถูกคูณด้วยค่าประสิทธิภาพ (Quality factor) ของวงจรจูน ดังนั้นสมการสำหรับแรงดันเหนี่ยวนำ  $V_0$  ใน ขดลวดลูปที่ทำการจูนแล้วจะได้ค่าสมการที่ 2.10.2d

$$V_0 = 2\pi f_0 N Q S B_0 \cos \alpha \quad (2.10.2d)$$

โดยค่าประสิทธิภาพ (Q) เป็นสิ่งบ่งชี้ของการเลือกความถี่ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 การปรับตำแหน่งของสายอากาศของแท็กให้เหมาะสม

การเหนี่ยวนำแรงดันทะลุผ่านขดลวดของสายอากาศในทิศทางมุมของสัญญาณที่เข้ามา แรงดันเหนี่ยวนำจะมีค่ามากที่สุดเมื่อขดลวดตัวอ่านอยู่ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับสัญญาณที่เข้ามา นั่นก็คือ ที่ ตำแหน่ง  $\alpha = 0$

ความเข้มของสนามแม่เหล็ก ( $B$ ) ที่เครื่องถูกข่ายต้องการสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.10.2c และมีค่ากระแสแอมแปร์-รอบ (Ampere -turns) ของสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านที่มีรัศมีใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ

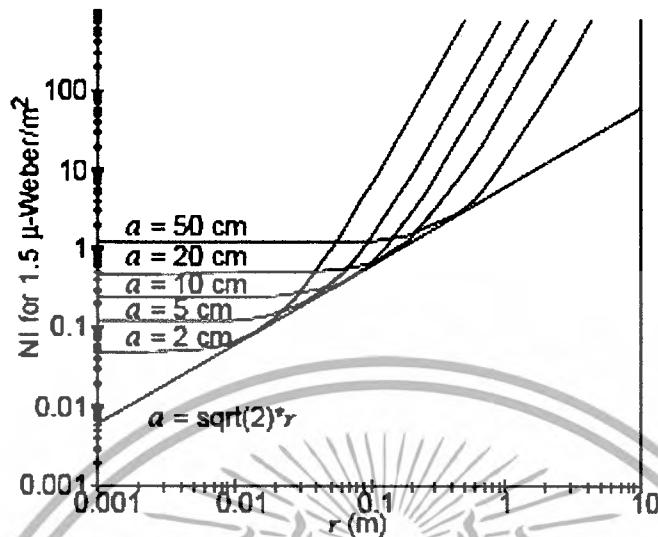
$$(NI) = \frac{2B_0(a^2 + r^2)^{3/2}}{\mu_0 a^2} \quad (2.10.2e)$$

จากสมการที่ 2.10.2d จะได้  $B_0 = \frac{V_0}{2\pi f_0 NQS \cos \alpha}$

แทนค่า  $B_0$  ลงในสมการที่ 2.10.2e จะได้

$$(NI) = \frac{2V_0(a^2 + r^2)^{3/2}}{2\pi f_0 NQS \cos \alpha \mu_0 a^2} \quad (2.10.2f)$$

สำหรับระยะการอ่านที่เพิ่มมากขึ้นเป็นการบอกถึงการพิจารณาว่า การเพิ่มขึ้นของรัศมีของขดลวดซึ่งจะ ได้ผลมากกว่าการเพิ่มกระแสให้กับขดลวด



รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส - รอบ (NI) กับระยะการอ่าน (r)

หมายเหตุ : จากรูปที่ 2.20  $B_z \approx 1.5 \mu\text{Wb/m}^2$

การหาค่ารัศมีที่เหมาะสมของรูปต้องการค่าของกระแส - รอบที่น้อยที่สุด

จากสมการที่ 2.10.2e

$$NI = \frac{2B_0(a^2 + r^2)^{3/2}}{\mu_0 a^2} = K \frac{(a^2 + r^2)^{3/2}}{a^2}$$

โดยที่  $K = \frac{2B_0}{\mu_0}$

โดยการนำอนุพันธ์มาใช้ในการหาค่ารัศมีจะได้

$$\frac{d(NI)}{da} = K \frac{3/2(a^2 + r^2)^{1/2}(2a^3) - 29(a^2 + r^2)^{3/2}}{a^4}$$

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

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้สมการจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อ  $(a^2 - 2r^2) = 0$

ค่าน่ารัศมีที่เหมาะสมจะได้จาก

$$a^2 - 2r^2 = 0$$

$$a^2 = 2r^2$$

$$a = \sqrt{2}r$$

(2.10.2g)

โดยที่  $a =$  รัศมีของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$r$  = ระยะการอ่าน

จากสมการที่ 2.10.2g แสดงให้เห็นว่าค่ารัศมีที่เหมาะสมที่สุดของลวดสำหรับสายอากาศ เครื่องอ่านจะมีค่าประมาณ  $\sqrt{2}$  เท่าของระยะการอ่าน

### 2.10.3 ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำ

จาก American Wire Gauge (AWG) จากตารางที่ 2.2 AWG WIRE CHART ซึ่งเป็น เลขที่ แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตัวนำ ค่าตัวเลขนี้จะเป็นสัดส่วนที่ตรงกันข้ามกับเส้นผ่านศูนย์กลาง ยิ่งลวดตัวนำมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กก็就会有ความต้านทานกระแสตรงสูง ซึ่งค่าความต้านทานกระแสตรงสำหรับตัวนำจะมีรูปแบบที่สัมพันธ์กับพื้นที่หน้าตัด ดังสมการที่ 2.10.3

$$R_{DC} = \frac{PL_T}{A_{DC}} = \frac{L_T}{\sigma A_{DC}} = \frac{L_T}{\sigma \pi a^2} \quad (\Omega) \quad (2.10.3)$$

โดยที่

$L_T$  = ความยาวทั้งหมดของขดลวด (Total wire length: m)

$\sigma$  = ค่าความนำไฟฟ้าของขดลวด (s/m)

$A_{DC}$  = พื้นที่หน้าตัด (m<sup>2</sup>)

$a$  = รัศมีของลวด (m)

ค่าความต้านทานค่าน้อยๆ อาจเป็นไปได้สำหรับค่า Q ที่สูงๆ ของวงจรรสายอากาศ นั่นหมายถึง ขดลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางจะต้องถูกเลือกให้เป็นไปได้กับวงจร RFID ตามตารางที่ 2.2 ซึ่งแสดงถึง เส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับลวดที่มีสิ่งห่อหุ้มและเปลือย และแสดงถึงความต้านทานกระแสตรง

Wire Size (AWG)	Dia. in Mils (bare)	Dia. in Mils (coated)	Ohms/ 1000 ft.	Cross Section (mils)
1	289.3	—	0.126	93600
2	287.6	—	0.156	66360
3	229.4	—	0.197	52620
4	214.3	—	0.249	41740
5	181.9	—	0.313	33090
6	162.0	—	0.395	26240
7	146.3	—	0.498	20820
8	128.5	131.6	0.628	16510
9	114.4	116.9	0.793	13000
10	101.9	106.2	0.999	10330
11	90.7	93.5	1.26	8230
12	80.8	83.3	1.58	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	2560
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	26.7	16.2	647
23	22.6	24.2	20.2	511
24	20.1	21.5	25.7	404
25	17.9	19.3	32.4	320

Note: 1 mil =  $2.54 \times 10^{-3}$  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	252
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	103.0	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	817	12.2
40	3.1	3.5	1030	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	1.75	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 =  $2.54 \times 10^{-3}$  cm

## ตารางที่ 2.2 AWG WIRE CHART

### 2.10.4 ความต้านทานกระแสสลับของตัวนำ

สำหรับกระแสดตรง พหุวัตตัวนำจะกระจายอยู่รอบๆ ส่วนต่างๆ ของลวด ถ้าความถี่เพิ่มขึ้น ที่ศูนย์กลางของตัวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นความต้านทานของขดลวดที่มีต่อการนำไฟฟ้ากระแสสลับที่ใกล้ๆ จุดศูนย์กลางของลวดตัวนำจะเพิ่มขึ้นด้วยเหตุนี้ ในบริเวณที่มีความหนาแน่นของกระแสความต้านทานจะสูงขึ้น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นและค่าความนำของตัวกลาง ผลต่างๆ ของ skin effect ทั้งหมดทั้งปวงเพิ่มขึ้นในความต้านทาน กระแสสลับของลวดตัวนำ

ซึ่งค่า skin depth คำนวณได้จากสมการที่ 2.10.4a

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (\text{m}) \quad (2.10.4a)$$

โดยที่

$$f = \text{ความถี่} \quad (H_z)$$

$$\mu = \text{ค่าความซึมซับทางแม่เหล็กของวัสดุ} \quad (H/m)$$

$$\sigma = \text{ค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุ} \quad (S/m)$$

สำหรับการหาค่า skin depth ของทองแดง ที่ความถี่ 13.56 MHz หาได้จากสมการ (2.10.4a)

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad \text{เมื่อ } f = 13.56 \text{ MHz}$$

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

สำหรับ  $\mu_r$  ของทองแดงมีค่าประมาณเท่ากับ 1 ( $\mu_r = 1$ ) และค่าความนำไฟฟ้า ของทองแดง ( $\sigma$ ) มีค่าเท่ากับ  $5.8 \times 10^7 \text{ } (\Omega/m)$

ดังนั้น

$$\delta_{\text{copper}} \approx \frac{1}{\sqrt{\pi (13.56 \times 10^6) (4\pi \times 10^{-7}) (5.8 \times 10^7)}} \approx 17.92 \times 10^{-6} \text{ m}$$

ซึ่ง 63 % ของการไหลกระแส RF ในทองแดงจะไหลอยู่ที่ระยะที่ห่างจากขอบนอกสุดประมาณ  $17.92 \times 10^{-6} \text{ m}$  สำหรับความถี่ 13.56 MHz

ซึ่งความต้านทานของลวดตัวนำจะเพิ่มขึ้นตามความถี่ และความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับ skin depth ถูกเรียกว่า ความต้านทานกระแสสลับ ( $R_{AC}$ ) สูตรโดยประมาณของความต้านทานกระแสสลับ  $R_{AC}$  หาได้จาก

$$1.) \text{ กรณี } d < 2\delta$$

$$\text{จะได้ } R_{AC} \approx R_{DC} \left[ 1 + \frac{1}{48} \left( \frac{d}{2\delta} \right)^2 \right] \quad (\Omega) \quad (2.10.4b)$$

$$2.) \text{ กรณี } d > 2\delta$$

$$\text{จะได้ } R_{AC} \approx \frac{\rho L_T}{A_{AC}} \quad (\Omega) \quad (2.10.4c)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

โดยที่

$d$  = Bare wire dia หาได้จากตารางที่ 2.2 AWG WIRE CHART (m)

$\delta$  = Skin depth (m)

$L_T$  = Total wire length : (m)

$A_{AC}$  = พื้นที่ของควมต้านทานกระแสลับ ( $m^2$ )

$R_{DC}$  = ความต้านทานกระแสของตัวนำ ( $\Omega$ )

$\rho$  = Resistivity ( $\Omega \cdot m$ )

### 2.10.5 ตัวเหนี่ยวนำที่ประกอบด้วยขดลวดสี่เหลี่ยมหลายชั้น

ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดสี่เหลี่ยมหลายชนิดดังรูปที่ 2.21 สามารถคำนวณค่าได้จาก

สมการที่ 2.10.6

$$L \approx \frac{0.0276(CN)^2}{1.908C + 9b + 10h} \quad (\mu H) \quad (2.10.6)$$

โดยที่

$N$  = จำนวนรอบ

$C = X + Y + 2h$  (cm)

$X$  = ความกว้างของขดลวด (cm)

$Y$  = ความยาวของขดลวด (cm)

$b$  = ความกว้างของภาคตัดขวาง (cm)

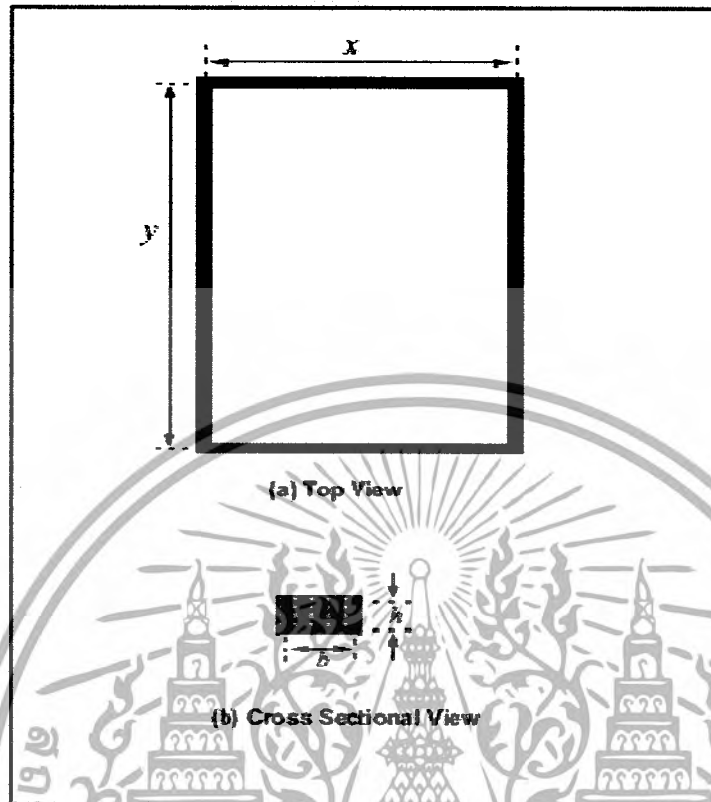
$h$  = ความสูงของภาคตัดขวาง (cm)

ซึ่ง(single layer)  $h \cong d_T$  ( $d_T$ : Total wire diameter หาได้จากตารางที่ 2.2 AWG WIRE CHAR)

$$b \cong Nd_T + (N - 1)0.1 \quad (mm)$$

$$b \cong 0.1(Nd_T + (N - 1)0.1) \quad (cm)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ขดลวดคู่ปลีเคลือบหลายชั้น

## 2.11 ความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance)

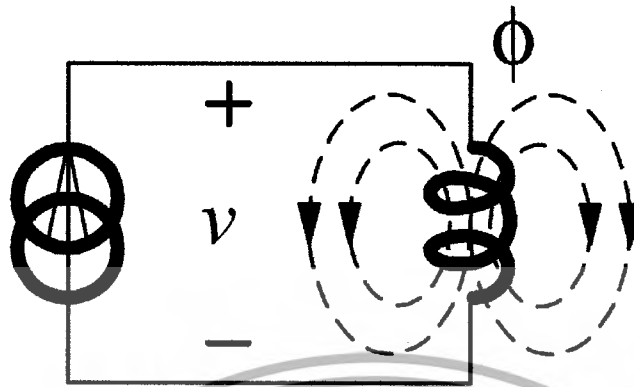
ค่าความเหนี่ยวนำร่วม คือ ความสามารถของขดลวดหนึ่งเหนี่ยวนำแรงดันให้เกิดขึ้นที่ขดลวดข้างเคียง โดยมีหน่วยเป็นเฮนรี (H)

วงจรทางไฟฟ้าสามารถแบ่งการเชื่อมโยงได้ 2 แบบคือ

- การเชื่อมโยงทางตัวนำ (Conductively Coupled) หมายถึง คู่หนึ่งในวงจรไปมีผลต่ออีกคู่หนึ่งในวงจรผ่านกระแส

- การเชื่อมโยงทางสนามแม่เหล็ก (Magnetically Coupled) หมายถึง คู่หนึ่งในวงจรไปมีผลต่ออีกคู่หนึ่งในวงจรที่ไม่ได้เชื่อมต่อกันผ่านทางสนามแม่เหล็กหม้อแปลง (Transformer) เป็นอีกตัวอย่าง หนึ่งที่ใช้หลักการการเชื่อมต่อทางสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะถูกมองในรูปพลังงานที่ถ่ายเทจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 ฟลักซ์สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 2.22 ขดลวดพัน  $N$  รอบจะมี กระแสไหล,  $i(t)$  ผ่านทำให้เกิดฟลักซ์สนามแม่เหล็ก  $\phi$  ที่เกิดขึ้น

รอบๆขดลวด จากกฎของฟาราเดย์กล่าวไว้ว่า

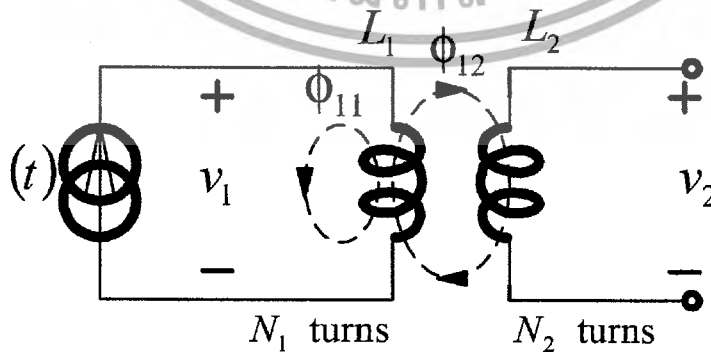
$$v = N \frac{d\phi}{dt}$$

ฟลักซ์,  $\phi$  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 ผลของแรงดันที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงกระแส ต่อเวลาในขดลวดเดียวกัน

รูปที่ 2.23 ขดลวดที่ค่า Self-Inductance เท่ากับ  $L_1$  และ  $L_2$ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวด 2 ขดที่ค่า Self-Inductance เท่ากับ  $L_1$  และ  $L_2$  มาวางใกล้กันดังรูปที่ 2.23 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 ของขดลวดในทางตรงกันข้าม ถ้าให้ขดลวด  $L_1$  ไม่มีกระแสไหล ทำนองเดียวกัน ฟลักซ์ทั้งหมด ที่เกิดขึ้นในขดลวดที่ 2 คือ:  $\phi_2 = \phi_{21} + \phi_{22}$

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

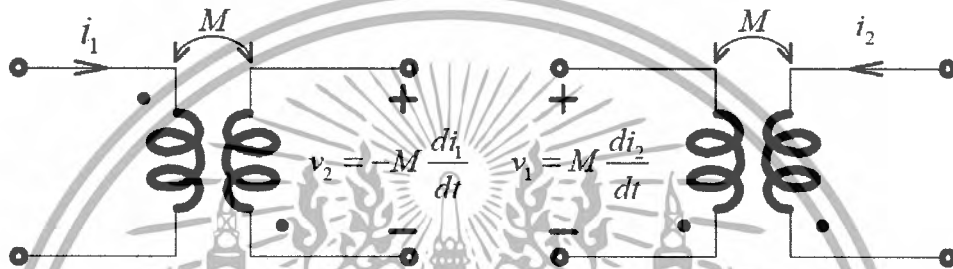
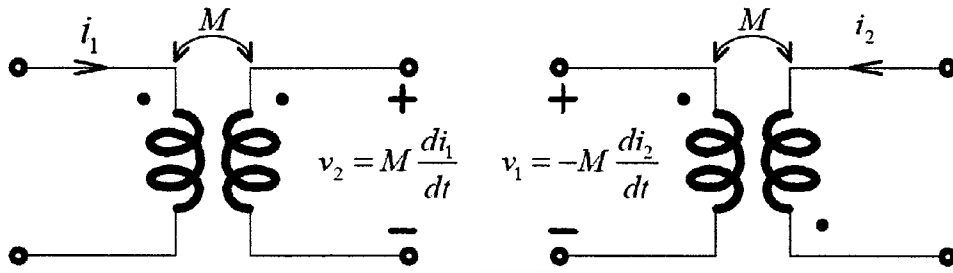
$$\text{ซึ่งทำให้ } v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt}$$

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

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

ความยุ่งยากในการกำหนดแรงดัน ความเหนี่ยวนำร่วม สามารถพิจารณาได้โดยใช้ Dot Convention ดังนี้

- ถ้ากระแสไหลเข้าจุดของขดลวดอันแรก แรงดันเหนี่ยวนำร่วมของขดลวดที่สองที่ขั้วของจุดจะเป็นบวก
- ถ้ากระแสไหลออกจากจุดของขดลวดอันแรก แรงดันเหนี่ยวนำร่วมของขดลวดที่สองที่ขั้วของจุดจะเป็นลบ



รูปที่ 2.24 ทิศทางของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวด

2.11.1 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 ต่อค่าเฉลี่ยของค่าความเหนี่ยวนำส่วนตัวคือค่า

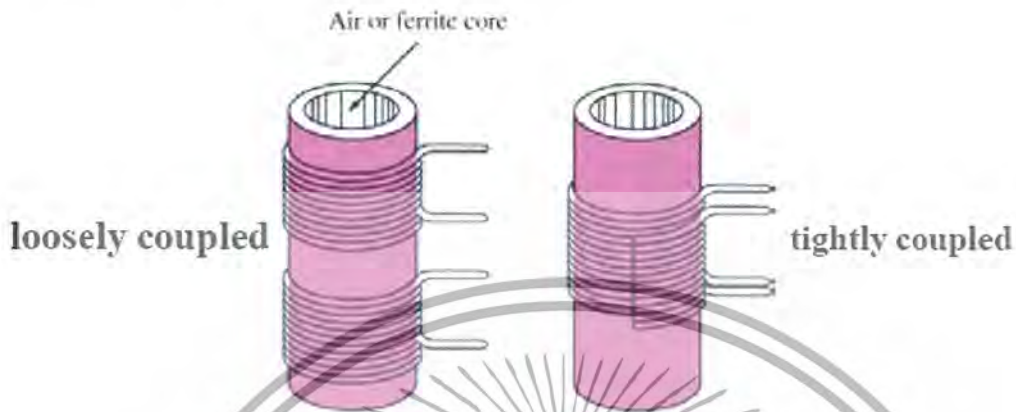
สัมประสิทธิ์ การคับปลิง(Coefficient of coupling)

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

สำหรับ  $k < 0.5$  จะเรียกว่า Loosely Coupled

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ  $k > 0.5$  จะเรียกว่า Tightly Coupled



รูปที่ 2.25 ตั้บประสิทธิภาพการคัปปลิง

### 2.11.2 หม้อแปลงแบบเชิงเส้น (Linear Transformers)

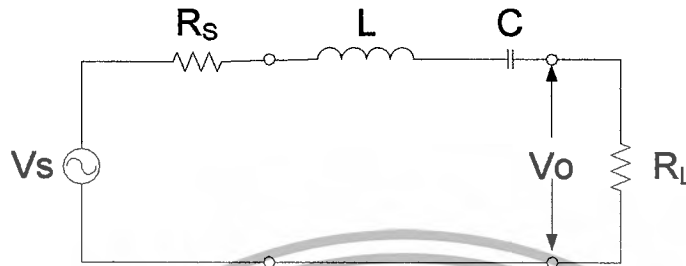
- ขดลวดปฐมภูมิ (primary coil) เป็นขดลวดที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่าย
- ขดลวดทุติยภูมิ (secondary coil) เป็นขดลวดที่เชื่อมต่อกับโหลด
- แกน (core) เป็นส่วนแกนที่ขดลวดพันรอบ โดยหม้อแปลงจะเป็นแบบเชิงเส้นก็ต่อเมื่อแกนเป็นวัสดุซึมซาบทางแม่เหล็ก (permeability) คงที่ อาทิเช่น อากาศพลาสติก เมคไกลท์ และไม้

### 2.12 วงจรเรโซแนนซ์

ธรรมชาติของวงจรเรโซแนนซ์จะยอมให้ความถี่ค่าหนึ่งผ่านได้ดี เรียกว่า ความถี่เรโซแนนซ์ เมื่อป้อนความถี่เรโซแนนซ์แก่วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม กระแสจะผ่านได้มากที่สุดโดยมีแรงดันตกคร่อมวงจรต่ำที่สุด ถ้าป้อนความถี่เรโซแนนซ์แก่วงจรเรโซแนนซ์ขนาน กระแสจะผ่านได้น้อยที่สุดโดยมีแรงดันตกคร่อมวงจรสูงที่สุด โดยปกติวงจรเรโซแนนซ์จะต้องมีแบนด์วิดท์ที่ยอมให้ความถี่ข้างเคียงกับความถี่เรโซแนนซ์ทั้งด้านสูงและด้านต่ำผ่านไปในช่วงหนึ่ง ความถี่เรโซแนนซ์จึงหมายถึงความถี่ที่ผ่านวงจรตลอดแบนด์วิดท์ ซึ่งอาจจะกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์นั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.12.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series Resonance)



รูปที่ 2.26 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

จากวงจรในรูปที่ 2.26 ได้

$$\begin{aligned} \frac{V_0(s)}{V_s(s)} = H(s) &= \frac{R_L}{R_s + sL + \frac{1}{sC} + R_L} \\ &= \frac{sCR_L}{s^2LC + sc(R_s + R_L) + 1} \left[ \frac{1}{LC} \right] \\ &= \frac{sR_L}{L} \left[ \frac{R_s + R_L}{R_s + R_L} \right] \frac{1}{s^2 + s \left( \frac{R_s + R_L}{L} \right) + \frac{1}{LC}} \\ \frac{V_0(s)}{V_s(s)} &= \frac{R_L}{R_s + R_L} \frac{s \left( \frac{R_s + R_L}{L} \right)}{s^2 + s \left( \frac{R_s + R_L}{L} \right) + \frac{1}{LC}} \end{aligned}$$

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

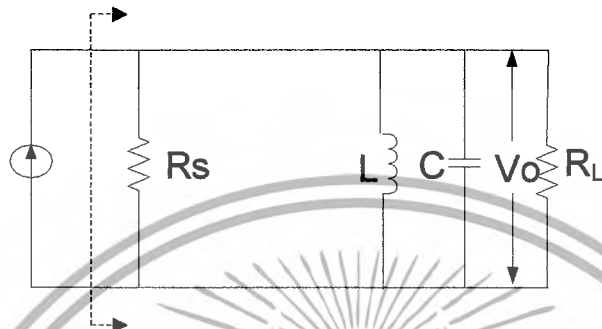
ความถี่ศูนย์กลาง :  $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{R/S}$

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์ (Parallel Resonance or Tank circuit)



รูปที่ 2.27 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์

จากวงจรในรูปที่ 2.27  $R_s$  จะขนานอยู่กับ  $R_L$  ดังนั้น

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

อิมพีแดนซ์ของวงจรแทงค์ :  $Z_{tank}$  จะมีค่าเป็น

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

จะได้

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ เสนออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$\omega_{Z_{\tan kMAX}} = \omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

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 ก็จะมีค่าสูงสุด เช่นเดียวกันและค่า -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  $K = \text{Pass band gain}$

$\omega_p = \text{ความถี่ศูนย์กลางของ BPF}$

## 2.13 การแมทซ์อิมพีแดนซ์ (Impedance Matching)

วงจรแมทซ์ซิ่ง (Matching circuit) เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร หรือ โครงข่ายเพื่อให้วงจร หรือ โครงข่ายมีค่า  $Z_s$  และ/ หรือ  $Z_L$  ตามที่เราต้องการ เพื่อให้วงจร หรือ โครงข่ายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและ / หรือ ให้เกิดการถ่ายทอด กำลังสูงสุด

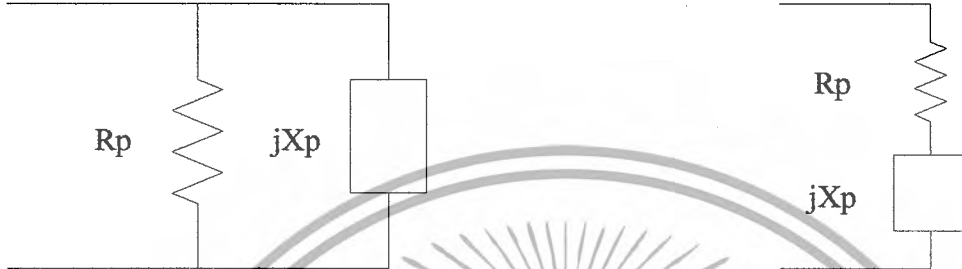
วงจรที่ใช้ในการแมทซ์ซิ่งอาจใช้เพียง ตัวต้านทาน หรือ หม้อแปลง หรือวงจร L-C

### 2.13.1 วงจรเสมือน การแปลงระหว่างอิมพีแดนซ์อนุกรม และอิมพีแดนซ์ขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการที่สำคัญของการออกแบบวงจรแม่เหล็กอิมพีแดนซ์ คือการแปลงอิมพีแดนซ์ที่อยู่ในรูป

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



(ก) อิมพีแดนซ์ขนาน

(ข) อิมพีแดนซ์อนุกรม

รูปที่ 2.28 วงจรเสมือนอิมพีแดนซ์

จากรูปที่ 2.28 (ก) จะได้  $Z_p = R_p // jX_p$

$$Z_p = \frac{R_p \cdot jX_p}{R_p + jX_p} \cdot \left( \frac{R_p - jX_p}{R_p - jX_p} \right)$$

$$Z_p = \frac{R_p^2 jX_p + X_p^2 R_p}{R_p^2 + X_p^2}$$

$$\therefore Z_p = \frac{X_p^2 R_p}{R_p^2 + X_p^2} + j \frac{R_p^2 X_p}{R_p^2 + X_p^2} \quad (2.13.1a)$$

จากรูปที่ 2.28 (ข) จะได้  $Z_{se} = R_{se} + jX_{se}$

$$Z_p = Z_{se} \quad (2.13.1b)$$

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

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

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

$$\text{Imaginary part ; } X_{se} = \frac{R_p^2 X_p}{R_p^2 + X_p^2} \quad (2.13.1c)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช. อนุญาตให้ใช้ฟรีสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จากสมการ 2.13.1c } R_p^2 + X_p^2 = \frac{X_p^2 \cdot R_p}{R_{se}}$$

$$\text{แทนลงในสมการที่ 2.13.1e จะได้ } X_{se} = R_p^2 + X_p \cdot \frac{R_{se}}{X_p^2 \cdot R_p}$$

$$\text{Im}\{Z_{se}\} = X_{se} = R_{se} \left( \frac{R_p}{X_p} \right) \quad (2.13.1d)$$

และจากสมการที่ 2.13.1b

$$R_p = R_{se} \left( 1 + \left( \frac{R_p}{X_p} \right)^2 \right) \quad (2.13.1e)$$

$$\text{จากสมการที่ 2.13.1d : } \frac{R_p}{X_p} = Q_p = \frac{X_{se}}{R_{se}} = Q_{se} = Q_{UNLOAD} (Q_U) \quad (2.13.1f)$$

$$\text{จากสมการที่ 2.13.1b : } \text{Im}\{Z_p\} = X_p = \frac{R_p}{X_s / R_{se}} \quad (2.13.1g)$$

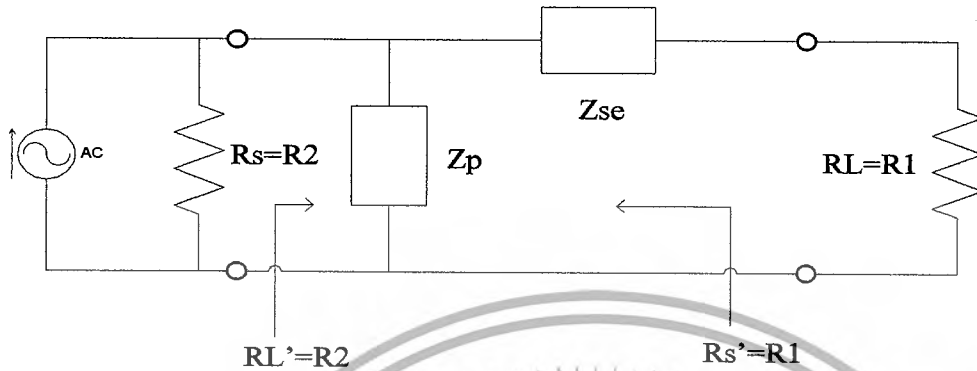
แทนค่า  $\frac{R_p}{X_p}$  ในสมการที่ 2.13.1e ด้วย  $\frac{X_{se}}{R_{se}}$  จะได้

$$\text{Re}\{Z_p\} = R_p = R_{se} \left( 1 + \left( \frac{X_{se}}{R_{se}} \right)^2 \right) \quad (2.13.1f)$$

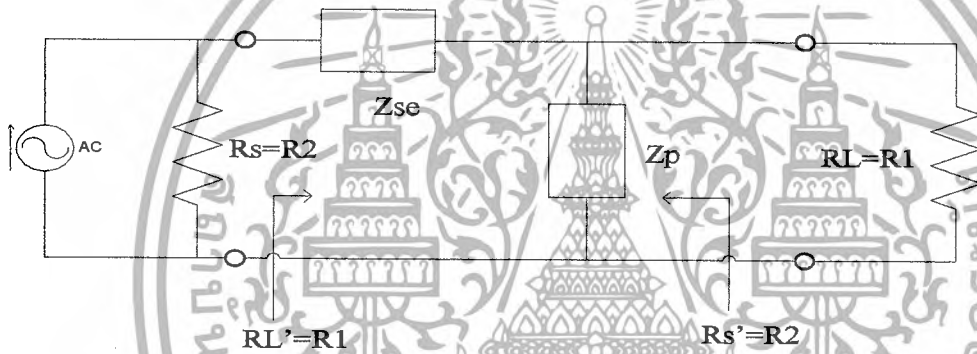
ค่าอัตราส่วน  $\frac{R_p}{X_p}$  หรือ  $\frac{X_{se}}{R_{se}}$  อาจถูกเรียกว่าค่า Q ของอิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.2 วงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์อย่างง่าย



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



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

รูปที่ 2.29 วงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์อย่างง่ายที่สุด

จากรูปที่ 2.29 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  $R_s' = R_L$  การถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าในรูปที่ 2.29 อาจ

หมายถึง

- การถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าในแหล่งกำเนิด ไปสู่วงจรขยายในกรณีนี้อิมพีแดนซ์ที่ทางเข้าของวงจรขยาย จะเสมือนเป็น  $R_L$  หรือ  $R_L = R_{IN}$

- การถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าจากวงจรขยายไปยัง  $R_L$  ในกรณีนี้อิมพีแดนซ์ที่ทางออกของวงจรขยาย จะเสมือนเป็น  $R_s$  หรือ  $R_{o(n)} = R_s$  และ  $R_{IN(n+1)} = R_L$

จากรูปที่ 34 หมายถึง ด้านที่มีอิมพีแดนซ์สูงกว่า ในกรณีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-  $R_s > R_L$   $R_2 = R_s$  และ  $R_1 = R_L$  ดังในรูปที่ 2.29 (ก)

-  $R_s < R_L$   $R_2 = R_L$  และ  $R_1 = R_s$  ดังในรูปที่ 2.29 (ข)

โดยการนำอิมพีแดนซ์  $Z_p$  ไปต่อขนานกับฝั่งที่มีความต้านทานสูงกว่าหรือ  $R_2$  เลือกค่าของ  $Z_p$  เพื่อให้

$$R_2 // \pm jX_p \pm R_1 \pm jX_{se}$$

นั่นคือ  $R_2$  จะถูกทำให้มีความต้านทานเสมือนเป็น  $R_1$  จากสมการ ที่ 2.13.1b

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

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

จะได้  $X_p = \frac{R_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 - 1}}$  (2.13.2a)

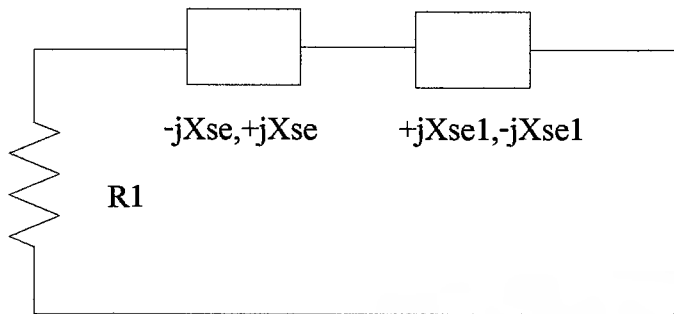
ซึ่ง  $Z_p = \pm jX_p = \frac{\pm R_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 - 1}}$  (2.13.2b)



$R_2$  ถูกแปลงเป็น  $R_1$  โดยต่อ  $Z_p$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$Z_{se} = \mp jX_{se1}$  ถูกต่อเพิ่ม

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

รูปที่ 2.30 การเมทซ์อิมพีแดนซ์ 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 34 (ก) จากสมการ ที่ 2.13. If ค่าของ  $X_{se1}$  จะมีค่าเป็น  $X_{se1} = R_{se} \cdot \frac{R_p}{X_p}$

$$X_{se1} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2 \left( \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} - 1 \right)} = R_1 \left( \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} - 1 \right)$$

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

$$\text{นั่นคือ } R_2 // \frac{jR_2}{\sqrt{\frac{R_1}{R_2}} - 1} = R_1 \pm jR_1 \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} - 1 \quad (2.13.2c)$$

โดยการนำอิมพีแดนซ์  $Z_{se} = \mp Z_{se1}$  ไปต่ออนุกรมกับ  $R_1$  ดังรูปที่ 2.29 (ข) จะได้ค่าของอิมพีแดนซ์  $Z_{se}$  ที่นำไปต่ออนุกรมกับ  $R_1$  เป็น

$$Z_{se} \pm jR_1 \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} - 1 \quad (2.13.2d)$$

โดยการเลือกให้  $Z_p$  และ  $Z_{se}$  เป็นอิมพีแดนซ์ที่มีเฟสตรงข้าม อิมพีแดนซ์  $R_2$  จะถูกเมทซ์กับ  $R_1$  ค่าของ  $Z_p$  และ  $Z_{se}$  สามารถเขียนเป็นรูปทั่วไปได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$|Z_p| \text{ ขนานกับ } R_2 = \frac{R_2}{\sqrt{\frac{R_1}{R_2} - 1}} \quad (2.13.2e)$$

$$\text{และ } |Z_p| \text{ อนุกรมกับ } R_1 = R_1 \frac{R_2}{\sqrt{\frac{R_1}{R_2} - 1}} \quad (2.13.2f)$$

โดยที่  $R_2 > R_1$

### 2.13.3 Reader Coil Matching Using Quarter Wave Transformer

Transmission Line Theory



รูปที่ 2.31 วงจรเสมือนของสายส่ง

Transmission Line (TX) ซึ่งมี Characteristic Impance เท่ากับ  $Z_0$  มีความยาว  $l$  เมตร ต่ออยู่กับ Load ซึ่งมีอิมพีแดนซ์  $Z_L$  ค่าอิมพีแดนซ์รวมจะขึ้นอยู่กับความยาว  $l$  ค่า  $Z_0$  และ  $Z_L$  :  $Z(1)$  จะมีค่า

$$Z_L = Z_0 \left[ \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} \right]$$

โดยที่  $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ Rad}$

กรณีที่ 1 ถ้า  $Z_L = Z_0$  จะได้ว่า  $Z_L = Z_0 = Z(1)$  โดยไม่ขึ้นกับความยาว

$$\text{จาก } \beta l = \frac{2\pi}{\pi} \cdot l = 2\pi \frac{1}{\lambda}$$

$$\text{ถ้ากำหนดให้ } \frac{1}{\lambda} = \frac{L}{\lambda}$$

$$\text{จะได้ว่า } \beta l = 2\pi \frac{L}{\lambda}$$

$$\text{ดังนั้น } Z_L = Z_0 \left[ \frac{Z_L + jZ_0 \tan 2\pi \frac{L}{\lambda}}{Z_0 + jZ_L \tan 2\pi \frac{L}{\lambda}} \right] \quad (2.13.3a)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 ถ้า  $L = \frac{\lambda}{2}$  จะได้ว่า  $Z(l) = Z_L$  โดยที่ไม่ขึ้นกับค่าของ  $Z_0$

กรณีที่ 3 ถ้า  $L = \frac{\lambda}{4}$  จะได้ว่า  $Z(l) = Z_2 \frac{Z_0^2}{Z_1}$  หรือ  $Z_0 = \sqrt{Z_1 Z_2}$

$\lambda$  ในสมการ Tx Line เป็นความยาวคลื่นของ Tx Line มิใช่ค่า  $\lambda_0$  ของ Free Space เนื่องจากความเร็วของคลื่นใน Tx Line ไม่เท่ากับความเร็วแสง ซึ่ง  $\lambda_0$  มีค่าสมการ

$$\lambda_0 = \frac{C}{f} \tag{2.13.3b}$$

เมื่อ C คือค่าความเร็วแสงซึ่งมีค่าเท่ากับ  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

และจาก 
$$\lambda = \frac{V_p}{f} \tag{2.13.3c}$$

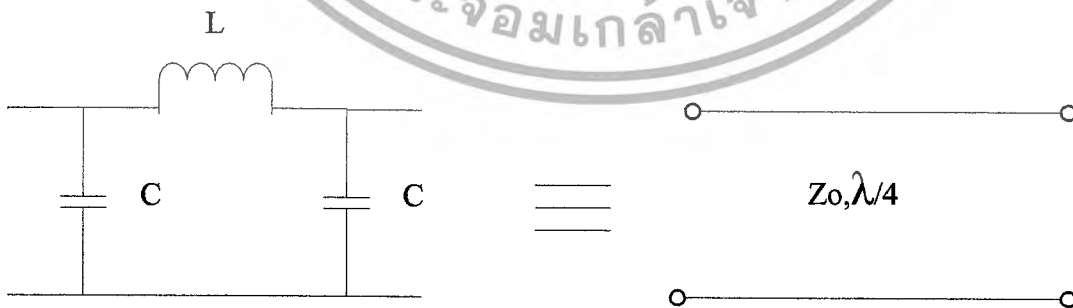
โดยที่  $V_p$  คือ Phase Velocity

จะกำหนดได้ว่า  $V_p/C = v$  เมื่อ  $v$  Velocity Coefficient ซึ่งจะเป็นค่าคงที่ของ Tx Line ชนิดต่างๆ เช่น สาย RG-58  $\approx 0.66$  ดังนั้นค่าความยาวคลื่นของ Tx Line จะเท่ากับ

$$\lambda_{Tx} = \frac{3 \times 10^8 v}{f}$$

Quarter Wave Transformer

$\lambda/4$  Tx ที่มี Characteristic เท่ากับ  $Z_0$  สามารถสร้างด้วยวงจร LC ดังรูป



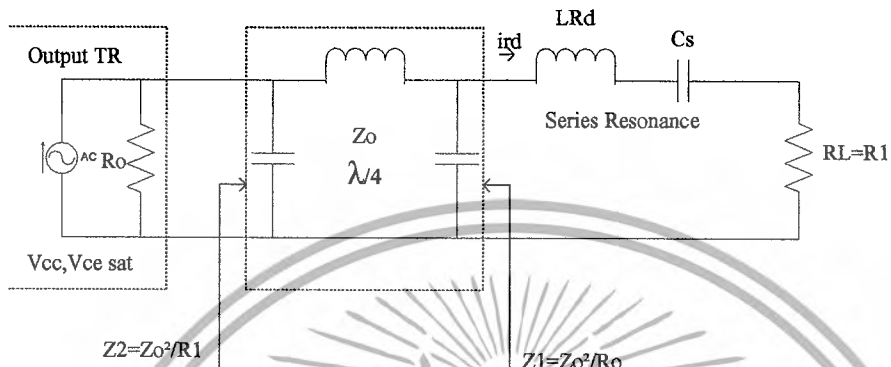
รูปที่ 2.32 การคำนวณค่าอิมพีแดนซ์แมทซ์ของสายส่งด้วยวงจร LC

โดยที่

$$L = \frac{Z_0}{2\pi f} \tag{2.13.3d}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = \frac{1}{2\pi f Z_0} \tag{2.13.3e}$$



รูปที่ 2.33 การคำนวณค่าอิมพีแดนซ์แมตช์ของสายส่งวงจร LC (ต่อ)

จากการทดลองพบว่า  $P_o$  ของ Class C Power Amp ที่อยู่ในสถานะ Overdrive เพื่อรองรับ ASK

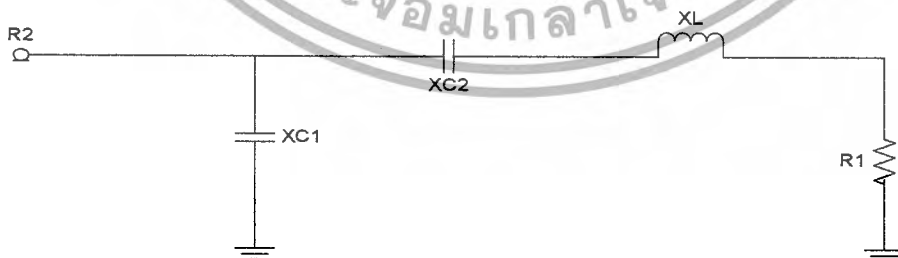
Modulation จะมีค่าประมาณ 1.6 เท่าของ  $P_o$  ที่คำนวณจากสมการ  $P_o = \frac{(V_{CC} - V_{SAT})^2}{2R_2}$

ดังนั้นจึงควรเพิ่มค่า  $R_2$  ขึ้นไป 1.6 เท่าของ  $R_2$  ที่คำนวณจาก  $R_2 = \frac{(V_{CC} - V_{SAT})^2}{2P_o}$  ดังนั้นจะ

ได้ว่า

$$R_2 \approx \frac{(V_{CC} - V_{CE(SAT)})^2}{1.25 I_{rd}^2 R_L} \approx \frac{(V_{CC} - V_{CE(SAT)})^2}{1.25 R_o} \tag{2.13.3f}$$

2.13.4 Reader coil MATCHING cct



รูปที่ 2.34 Reader coil MATCHING cct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MATCHING EQn

$$X_{c1} = Q_L R_1 \quad , \quad Q_L = \frac{f_{pk}}{Bw}$$

$$X_{c2} = R_2 \sqrt{\frac{R_1}{R_2 - R_1}} \quad Bw = \frac{1}{2\pi c_p R_{TOT}}$$

$$X_2 = \frac{R_1 R_2}{X_{c2}} + X_{c1}$$

กำหนดค่า  $Q_L$  ,  $X_2$  ,  $R_2$  จะได้ค่า  $R_1$  เป็น

$$(Q_L^2 + 1)R_1^2 - (R_2 + 2Q_L X_L)R_1 + (X_L)^2 = 0$$

## 2.14 Class C Power Amplifier

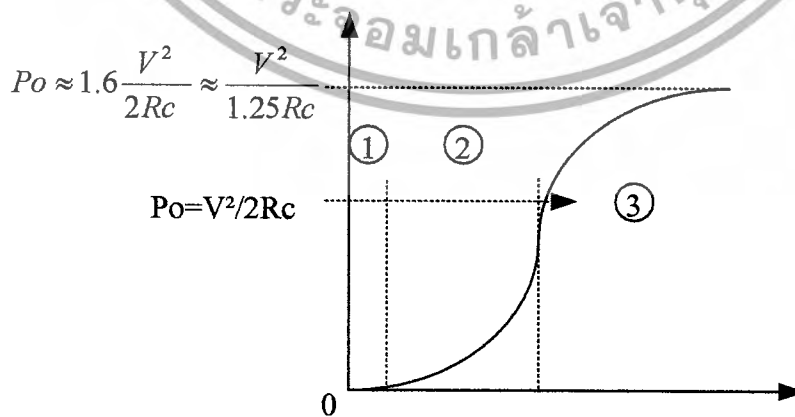
$$P_{O(MAX)} = \frac{(V_{CC} - V_{CE(SAT)})^2}{2 \operatorname{Re}\{Z_{CP}\}} \quad (2.14.a)$$

จะได้  $R_C = \operatorname{Re}\{Z_{CP}\} = \frac{(V_{CC} - V_{CE(SAT)})^2}{2P_{OZ(MAX)}} \quad (2.14.b)$

เพื่อให้สามารถ Mod เป็น ASK ได้จาก Reader  $\rightarrow$  Tag Base Drive ของ Power Amplifier : PA

จะต้องมากพอที่ทำให้  $i_c = \frac{(V_{CC} + V_{MOD(PK)} - V_{CE(SAT)})}{\operatorname{Re}\{Z_{CP}\}}$

ในสภาวะ Unmod หรือ  $V_{MOD} = 0$  ทรานซิสเตอร์จะอยู่ในสภาวะ Overdrive คุณสมบัติของ Class C PA โดยทั่วไปจะเป็นดังรูป



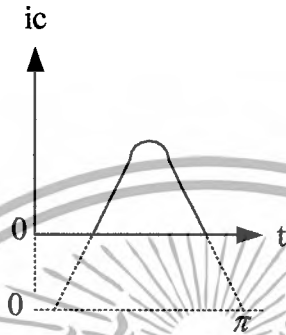
รูปที่ 2.35 กราฟแสดงวงจรขยายคลาส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟวงจรรขยายคลาส C แบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

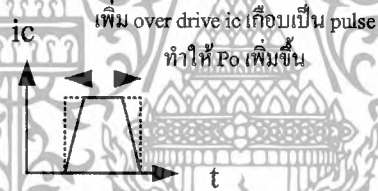
ช่วงที่ 1 :  $P_m$  มีค่าต่ำๆ มีค่าต่ำ  $V_m \leq V_{Threshold}$  ,  $PO \approx 0$

ช่วงที่ 2 :  $i_c(t)$  เป็นบางส่วนของ Sine Wave  $\theta_{OV} < 180^\circ$



รูปที่ 2.36 กราฟแสดงการ drive กระแสของวงจรรขยายคลาส C

ช่วงที่ 3 : เริ่ม Over drive :  $i_c(t)$  จะเป็นรูปคลื่นเป็น Rectangular pulse มากขึ้นดังรูป



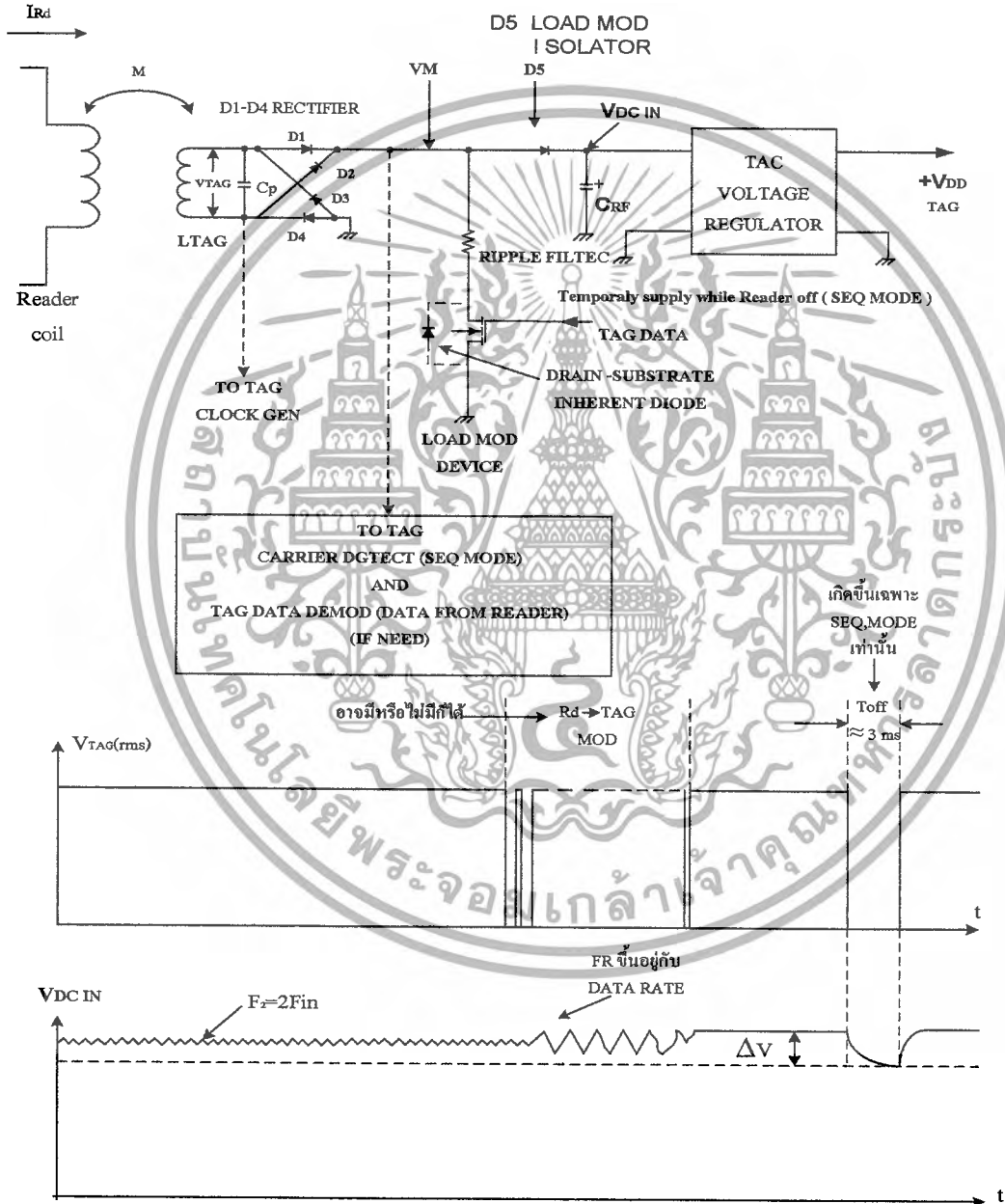
รูปที่ 2.37 กราฟแสดงการ drive กระแสของวงจรรขยาย C ขณะ overdrive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การคำนวณและการออกแบบวงจร

#### 3.1 TAG Power Supply & Regulator



รูปที่ 3.1 แสดงการรับส่งข้อมูลของ TAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 READER MODULATION

Reader Modulation อาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ Reader Modulation ใช้เพื่อส่งข้อมูลจาก Reader ไปยัง TAG เพื่อ

- เปลี่ยนค่า ID ของ TAG : ขึ้นอยู่กับ Application
- เป็น Pass word เพื่อ Active TAG ก็ได้ TAG : อาจสามารถส่ง ID ของตนเองให้กับ

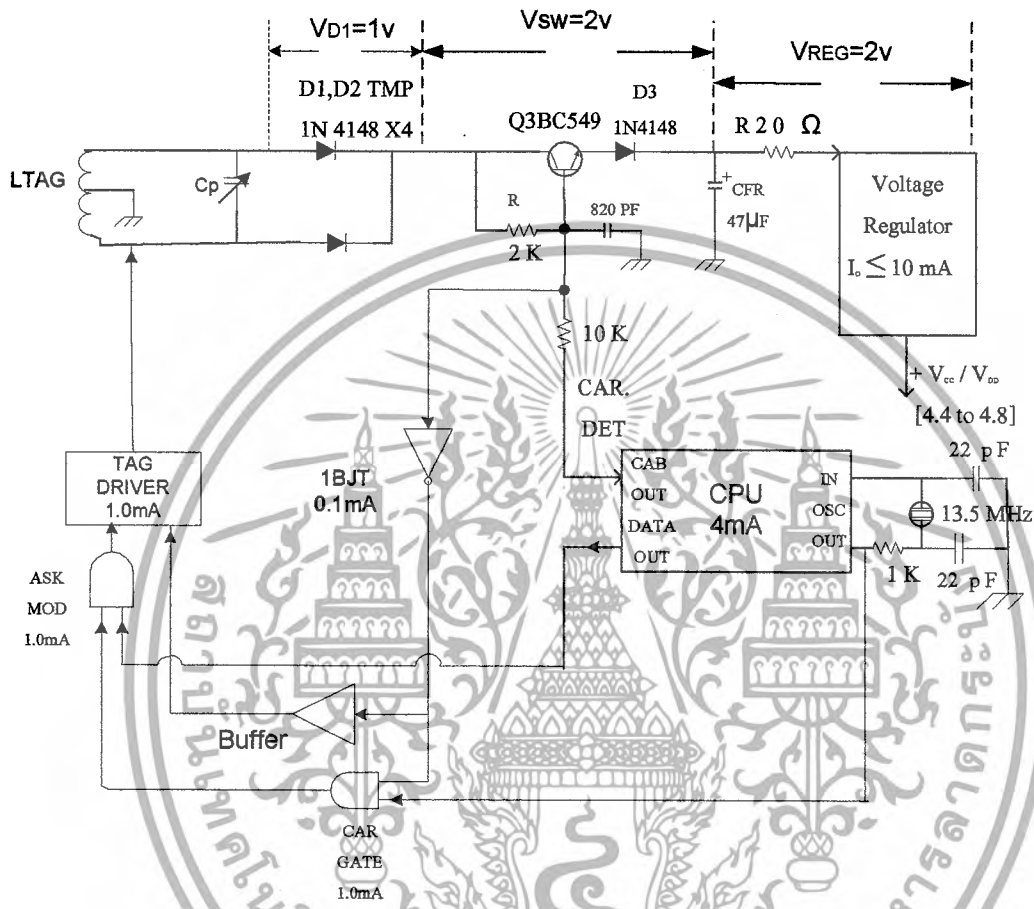
Reader ได้ทันทีที่อยู่ใน Reader Zone โดยไม่ต้องการ Pass word ขึ้นอยู่กับ Application และ Protocol ของระบบ

อย่างไรก็ตาม ถ้าหากมี Reader Modulation ผลของ Reader Mod จะมีผลต่อการจ่ายพลังงานให้กับ TAG ทั้งเนื่องจากคาบเวลาของข้อมูล 1 บิตเป็นเวลาที่มากกว่าคาบเวลาของคลื่นพาหามาก Ripple ที่เกิดจากผลของ Reader Mod จะมีค่ามากกว่า Ripple ที่เกิดจาก Carrier มาก ถ้าระบบมีการส่งข้อมูลจาก Reader Tag ค่าของ Ripple Filter Capacitor : Crf จะขึ้นอยู่กับอัตราการส่งข้อมูลของ Reader ให้กับ Tag , % Mod ของ Reader และรูปแบบของข้อมูล รูปแบบของข้อมูลของ Reader อาจเป็น

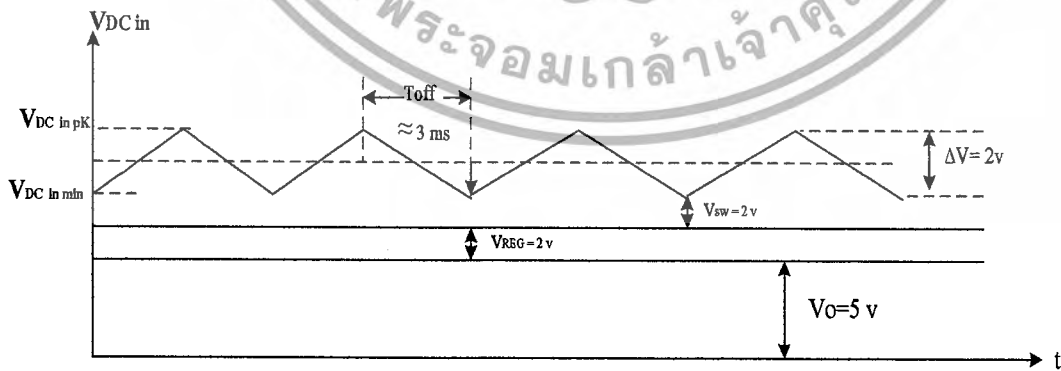
- NRZ CODING
- MANCHESTER CODING
- MILLER CODING
- 1 OF 256 CODING

ในกรณีที่ระบบทำงานแบบ SEQUENTIAL READER จะมีคาบเวลา OFF ซึ่งในช่วงเวลานี้  $C_{RF}$  จะทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายไฟ ให้กับ TAG ตลอดคาบเวลาของ  $t_{off} \approx 3-20 \text{ ms}$  ซึ่งนานกว่าคาบเวลาของข้อมูล 1บิต อย่างมาก ในกรณีนี้ ค่าของ  $C_{RF}$  จะขึ้นอยู่กับค่า  $t_{off}$  ซึ่ง  $C_{RF}$  ของ TAG ที่ทำงานแบบ SEQUENTIAL จะมีค่ามากที่สุด

3.3 SEQUENTIAL Excitation TAG Power supply and Block Diagram



รูปที่ 3.2 SEQUENTIAL Excitation TAG Power supply and Block Diagram



รูปที่ 3.3 แสดงค่าแรงดันของ TAG Power supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆของTAG

จาก SEQUENTIAL Excitation TAG Power supply and Block Diagram

$$\text{จะได้ } V_{TAGDC} = V_{DCinpk} \approx V_0 + V_{REG} + V_{SW} + \Delta V_{DCin}$$

$$\therefore V_{TAGDC} \approx 5V + 2V + 2V + 2V$$

$$V_{TAGDC} \approx 11V$$

$$V_{TAGPK} \approx V_{TAGDC} + V_{D1} \approx 11 + 1 = 12V$$

$$V_{TAG(rms)} = \frac{V_{TAGPK}}{\sqrt{2}} = \frac{12V}{\sqrt{2}} \cong 8.5V_{rms}$$

การคำนวณหา  $I_{TAGDC}$

จาก Block Diagram จะได้ว่า

$$I_{TAGDC} \approx I_{QREG} + I_{CPU} + I_{CARGATE \& ASK MOD} + I_{CARD ET} + I_{TX Driver}$$

$$I_{TAGDC} \approx 0.2mA + 4mA + 2mA + 0.2mA + 1.0mA$$

$$I_{TAGDC} \approx 7.40mA$$

ดังนั้น

$$P_{TAGDC} \approx V_{TAGDC} \times I_{TAGDC} \approx (11 \times 7.4 \times 10^{-3}) \approx 81.4mw$$

$$P_{TAG} \text{ with 25\% Margin} \approx 81.4mw + \left(\frac{25}{100}\right)(81.4mw) \approx 101.8mw$$

การคำนวณหาค่า  $R_{LAC}$

$$\text{จาก } P_{TAG(AC)} = P_{TAG} \text{ with 25\% Margin}$$

$$\frac{V_{TAG}^2(rms)}{R_{LAC}} \approx P_{TAG} \text{ with 25\% Margin}$$

$$\text{ดังนั้น } R_{LAC} \approx \frac{V_{TAG}^2(rms)}{P_{TAG \text{ with 25\% Margin}}} \approx \frac{(8.5^2)}{(101.8 \times 10^{-3})} = 710\Omega$$

$$\text{การคำนวณหาค่า } C_{FR} \text{ จาก } C_{FR} \geq \frac{I_{TAGDC}}{Fr \Delta V_{DCin}}, \frac{1}{Fr} = toff \approx 3ms \text{ เพื่อเป็น } 4ms$$

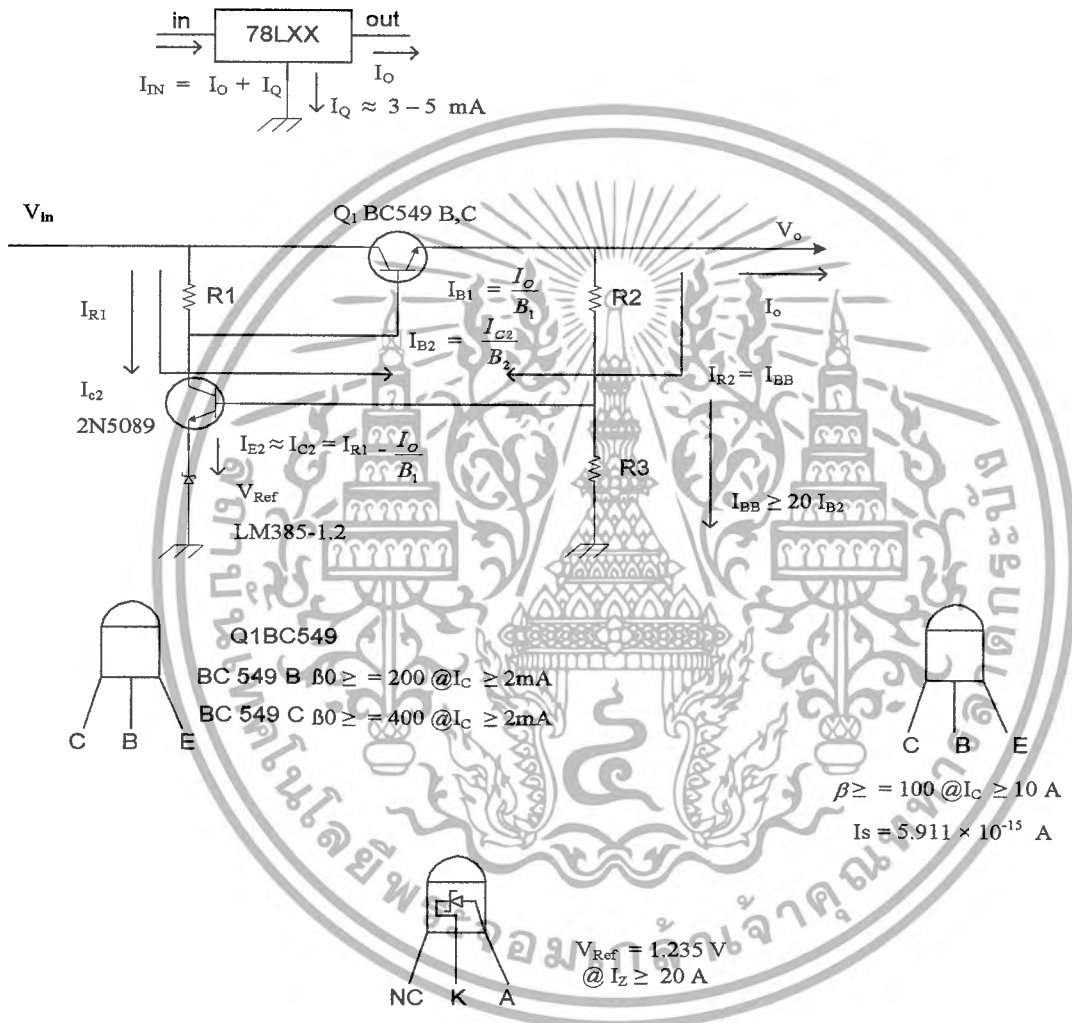
$$C_{FR} \geq \frac{(I_{TAGDC})toff}{\Delta V_{DCin}}, \text{ให้ } \Delta V_{DCin} \approx 1$$

$$C_{FR} \geq \frac{(7.4ms)(4ms)}{1} \geq 30\mu F$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 TAG Voltage Regulator

การใช้ 78L05 ไม่เหมาะสมกับ การนำมาใช้ เป็น TAG Regulator เนื่องจาก 78L05 มีค่า  $I_Q$  สูงถึง 3-5 mA  $I_Q$  คือค่ากระแสที่ IC Regulator ใช้เฉพาะที่  $I_O = 0$  จำเป็นต้องออกแบบเอง



$$V_o = \left( \frac{R2}{R3} + 1 \right) (V_{REF} + V_{BE2})$$

$$V_{BE2} \approx V_T \ln \left[ \frac{I_{C2}}{I_s} \right]$$

รูปที่ 3.4 วงจร Voltage Regulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{81} = \frac{I_{C1}}{\beta_1} \approx \frac{I_{E1}}{\beta_1} \approx \begin{cases} \frac{I_{R2}}{\beta_1} = I_{81\min}; I_o = 0 \\ \frac{I_{oMAX} + I_{R2}}{\beta_1} = I_{81MAX}; I_{oMAX} \end{cases} \quad (3.1)$$

$$I_{R1} = I_{c2} + I_{B1} \quad (3.2)$$

หรือ

$$I_{C2} = I_{c2} - I_{B1} \quad (3.3)$$

$$I_{C2} = \begin{cases} I_{R1} - \frac{I_{R2}}{\beta_1} = I_{c2MAX}; I_o = 0 \\ I_{R1} - \frac{I_{oMAX} + I_{R2}}{\beta_1} = I_{c2\min}; I_{oMAX} \end{cases} \quad (3.4)$$

ที่  $Q_2$   $V_{REF} + V_{BE2} = V_{B2}$  ถ้าเราออกแบบให้  $I_{BB} \gg I_{B2MAX}$  ค่าของ  $V_{B2}$  สามารถประมาณได้โดย

$$V_{B2} \approx \frac{V_o R3}{R3 + R2}$$

$$V_{REF} + V_{BE2} = \frac{V_o R3}{R3 + R2}$$

หรือ

$$V_o \approx (V_{REF} + V_{BE2}) \left(1 + \frac{R2}{R3}\right) \quad (3.5)$$

เพื่อให้  $V_o$  มีค่าประมาณตามสมการ 3.7 จะต้องทำให้  $I_{BB} \gg I_{B2MAX}$

$$\text{ให้ } I_{BB} = n I_{B2 \cdot MAX}; n \geq 10 \quad (3.6)$$

$$\text{และ } I_{R2} = (n+1) I_{B2} \quad (3.7)$$

จากสมการ c และ f

$$\frac{I_{c2}}{\beta_2} = \begin{cases} \frac{I_{R1}}{\beta_2} - \frac{(n+1)I_{B2}}{\beta_1\beta_2} = I_{B1MAX} (g.1) \\ \frac{I_{R1}}{\beta_2} - \frac{I_{oMAX} + (n+1)I_{B2}}{\beta_1\beta_2} = I_{81\min} (g.2) \end{cases} \quad (3.8)$$

$$\quad (3.9)$$

$$\text{จากสมการ 3.10 จะได้ } I_{B2MAX} = \frac{\beta_1 I_{R1}}{\beta_1 \beta_2 + (n+1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 3.11 จะได้  $I_{B2MAX} = \frac{\beta_1 I_{R1} - I_{OMAX}}{\beta_1 \beta_2 + (n+1)}$

เนื่องจาก  $\beta_1 \beta_2 \gg n+1$  ดังนั้น

$$I_{B2} \approx \begin{cases} \frac{I_{R1}}{\beta_2} = I_{B2MIN}; I_0 = 0 & (3.12) \\ \frac{I_{R1}}{\beta_2} - \frac{I_{OMAX}}{\beta_1 \beta_2} = I_{B1MAX}; I_0 = I_{OMAX} & (3.13) \end{cases}$$

LM 385 จะได้ศักดาตกคร่อมคงที่  $= V_{Ref}$  จะต้องมีกระแสไหลผ่านอย่างน้อย  $20 \mu A$  หรือ

$I_{VRef} = I_{E2} \approx I_{C2} \geq 20 \mu A$  เพื่อให้แน่ใจว่า  $I_{VRef} = 20 \mu A$  (Error จะเกิดจากการปิดค่า R ในวงจร)

ให้  $I_{VRef} = 40 \mu A$  หรือ

$$I_{C2} \min \geq 40 \mu A \quad (3.14)$$

จากสมการ 3.12 และ 3.13 จะได้

$$I_{C2} = \beta_2 I_{B2} = \begin{cases} I_{R1} = I_{C2} \text{ Max}; I_0 = 0 & (3.15) \\ I_{R1} - \frac{I_{OMAX}}{\beta_1} = I_{C2} \min; I_0 = I_{OMAX} & (3.16) \end{cases}$$

จากสมการ 3.16 และ 3.14

$$I_{C2 \min} \approx I_{R1} - \frac{I_{OMAX}}{\beta_1} \geq 40 \mu A \quad (3.17)$$

$$\text{หรือ} \quad I_{R1} = I_{C2 \min} + \frac{I_{OMAX}}{\beta_1} \quad (3.18)$$

$$I_{R1} = 40 \mu A + \frac{I_{OMAX}}{\beta_1} \quad (3.19)$$

จากสมการ 3.19 และ 3.12

$$I_{B2MAX} = \frac{40 \mu A}{\beta_2} + \frac{I_{OMAX}}{\beta_1 \beta_2} \quad (m)$$

$$V_o = V_{in} - V_{R1} - V_{BE1}$$

$$\text{หรือ} \quad V_{in} = V_o + V_{R1} + V_{BE1}$$

$$\text{ให้ศักดาไฟฟ้า } V_{R1} = 1 V \text{ จะได้} \quad (n)$$

$$V_{in} \geq V_o + 1.7 v \quad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การออกแบบ TAG REGULATOR

$$V_o = 4.75V \pm 0.25V \text{ (Error } \pm 0.25V \text{ จะเกิดจากการปิดค่า } R_2, R_3,$$

Error ของค่า  $V_{REF}$  และ  $V_{BE2}$ )

$$I_{oMAX} = 10 \text{ mA}$$

คุณสมบัติของตัวอุปกรณ์

$$Q_1 = \text{BC549 B หรือ BC549C worst case BC549 B } \beta_1 \geq 200$$

$$Q_2 = 2N5089 \beta_{21} \geq 100, I_o = 5.911 \times 10^{-15} \text{ A}$$

$$V_{REF} = \text{LM385} - 1.2 \quad V_{RGf} = 1.235 \text{ V}$$

1) หาค่า  $R_1$  โดยเริ่มต้นจาก  $R_1' = v_{R1} / I_{R1}; V_{R1} \approx 1V \quad I_{R1}$

คำนวณได้จากสมการ 3.19

$$R_1' = \frac{1V}{\frac{I_{oMAX}}{\beta_{1min}} + 40\mu A} = \frac{1V}{\frac{10mA}{400} + 40\mu A} = 15.38 \text{ k}$$

$R_1 \equiv$  ค่าที่ปิดได้จากค่า  $R_1'$  ที่คำนวณได้

ค่าที่ใกล้เคียงกับ 15.38 k มากที่สุด คือ 15K หรือ 18 k

การที่  $R_1'$  ถูกปิดค่าเป็น  $R_1$  ทำให้ค่าของ  $I_{C2min}$  ที่เรากำหนดไว้เปลี่ยนแปลง  $I_{C2min}$  จะต้อง มีค่าน้อยที่สุด  $20\mu A$  เราจึงควร หาค่า  $I_{C2min}$  จากค่า  $R_1$  ที่เราปิดได้ โดยให้เพิ่มค่า  $R_1$  ไป อีก 5% ในการหาค่า  $I_{C2min}$

$$I_{C2min} = \frac{1V}{R1} - \frac{I_{oMAX}}{\beta_{1min}} \quad (3.21)$$

$$R_1 = 15 \text{ k}; I_{C2min} = \frac{1}{1.05 \times 15000} - \frac{10mA}{400} = 38.49 \mu A$$

$$R_1 = 18 \text{ k}; I_{C2min} = \frac{1}{1.05 \times 18000} - \frac{10mA}{400} = 27.91 \mu A$$

ในการพิจารณาเลือกค่า R ควรเลือกค่าที่มีขายตามท้องตลาดมากที่สุด เพื่อจะได้ในการหาซื้อ ดังนั้นจะใช้ค่า  $R1 = 15 \text{ k}$  หรือ  $R1 = 18 \text{ k}$  ก็ได้ จึงใช้

$$R_1 = 18 \text{ K}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) หาค่า  $R_3$  จากสมการ 3.12  $I_{C2MAX} \approx I_{R1} \cdot 1/18 K = 55.55 \mu A$

จะได้  $I_{B2MAX} \approx I_{C2MAX} / B_{2min} \approx 55.55 \mu A / 100 = 0.5555 \mu A$  ให้  $I_{BB} = 20 I_{B2MAX}$

$$I_{BB} = 20(0.5555 \mu A) = 11.11 \mu A$$

ค่าของ  $V_{B2}$  จะสามารถประมาณได้เป็น  $V_{B2} \approx I_{BB} \cdot R_3 = V_{REF} + V_{BE2}$  (3.22)

ในกรณีนี้เราไม่ควรประมาณค่า  $V_{BE2}$  ด้วย 0.7 V เนื่องจาก  $I_{C2}$  มีค่าต่ำมาก  $V_{BE2}$  ควรคำนวณจากสมการไดโอด โดยใช้ค่า  $I_0$  หรือ  $I_S$  ของ  $Q_2$  จาก SPICE Model

$$V_{BE2} = V_{FJN} \approx V_T \ln \left[ \frac{I_{C2}}{I_0} \right] \quad (3.23)$$

$I_{C2MAX} \approx 55.55 \mu A$ , จากสมการ 3.21,  $R_1 = 18 K$ ,  $I_{C2min} \approx 27.91 \mu A$

$$I_{C2} \approx \frac{55.55 \mu A + 27.91 \mu A}{2} = 41.73 \mu A$$

$$V_{BE2} \text{ เฉลี่ย} = 26 \times 10^{-3} \ln \left[ \frac{41.73 \times 10^{-6}}{5.911 \times 10^{-15}} \right] \approx 0.5896 V$$

$$V_{B2} \approx V_{REF} + 0.5896 \approx 1.235 + 0.589 = 1.8246 V$$

$$R_3 \approx \frac{V_{B2}}{I_{BB}} \approx \frac{1.8246 V}{11.11 \mu A} \approx 164.23 K$$

$R_3 =$  ค่าที่ปัดจาก  $R_3$  ใช้  $R_3 = 150 k$  หรือ  $180 k$

เลือก

$$R_3 = 180 K$$

3) หาค่า  $R_2$  จากสมการจะได้ 3.7

$$\frac{R_2}{R_3} = \frac{V_0}{(V_{REF} + V_{BE2})} - 1 \quad (3.24)$$

$$\frac{R_2}{R_3} = \frac{4.75}{1.235 + 0.5896} - 1 = 1.603$$

$$\text{จะได้ } R_2' = 1.603 R_3 = 288.54 k$$

ปัดค่า  $R_2'$  จะได้ค่า  $R_2$

จากที่คำนวณค่า  $R_1, R_2, R_3, V_0$  จะมีค่าประมาณ

$$R_2 = 270 K$$

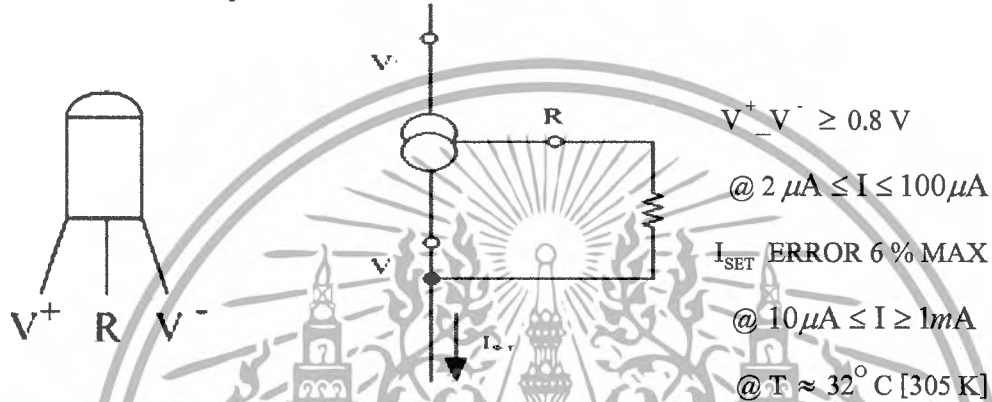
$$V_0 \approx (V_{REF} + V_{BE2}) \left( 1 + \frac{R_2}{R_3} \right) \approx (1.235 + 0.5896) \left( 1 + \frac{270 k}{180 k} \right) \approx 4.562 V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 การปรับปรุงวงจรเพื่อให้มีคุณสมบัติ LINE Regulation ดีขึ้น

การที่  $V_{in}$  มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้  $I_{R1}$  และ  $I_{C2}$  มีค่าเพิ่มขึ้น ( $I_O = \text{คงที่}$ ) การที่  $I_{C2}$  เพิ่มขึ้น ทำให้  $V_{BE2}$  เพิ่มขึ้น  $\rightarrow V_O$  เพิ่มขึ้น เราสามารถปรับปรุงวงจร เพื่อทำให้คุณสมบัติ Line Regulation ดีขึ้นได้ โดยการเปลี่ยน  $R_1$  เป็นวงจร กระแสคงที่

LM 334 3 - Terminal Adjustable Current Source



รูปที่ 3.5 วงจร Adjustable Current Source

$$I_{SET} \approx \frac{227 \times 10^{-6} V / K}{R_{SET}} \quad R_{SET} \approx \frac{69.24 \times 10^{-3}}{I_{SET}}$$

$$2 \mu A < I_{SET} \leq 1 mA$$

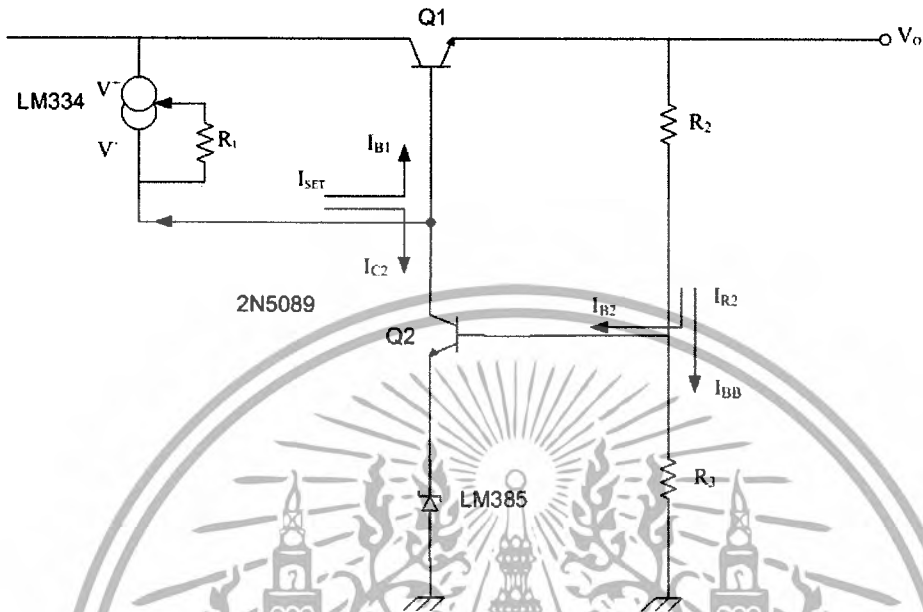
ถึงแม้ว่าค่า  $I_{SET}$  จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ค่าของ  $I_{SET}$  ที่ใช้ในวงจรมีค่ากว่า  $200 \mu A$   $V^+ - V^-$  มีค่า 1 V ดังนั้น  $P_D \approx 200 \mu W$  ซึ่งจะไม่เกิดสถานะ self Heating อุณหภูมิของ LM334 ในวงจร Regulator จะขึ้นอยู่กับสถานะแวดล้อม

Temp	Iset	% Error
17 <sup>0</sup> c	65.83 mV/ $R_{SET}$	-4.92%
32 <sup>0</sup> c	69.24 mV/ $R_{SET}$	0.0
47 <sup>0</sup> c	72.64 mV	+4.92 %

$$R_{SET} = \frac{69.24 \times 10^{-3}}{30 \mu A + \frac{I_{O MAX}}{\beta_1}} = R_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BC 549B OR BC549 C



รูปที่ 3.6 วงจร Voltage Regulator โดยใช้ LM 334

$$I_{SET}' \approx \frac{I_{OMAX}}{\beta_{1min}} + 40\mu A \approx \frac{10mA}{400} + 40\mu A = 65\mu A$$

$$R_1' = R_{SET}' \approx \frac{69.24 \times 10^{-3}}{I_{SET}'} \approx \frac{69.24 \times 10^{-3}}{65 \times 10^{-6}} = 1065 \Omega \text{ ปัดค่า } R_1' \text{ ได้ } R_1$$

จาก  $R_1$  ที่ใช้ ค่าของ  $I_{SET}$  จะเป็น

$$R_1 = 1K$$

$$I_{SET} \approx \frac{69.24 \times 10^{-3}}{R_{SET}} = I_{C2MAX} = \frac{69.24 \times 10^{-3}}{1K} = 69.24\mu A$$

$$I_{B2MAX} \approx \frac{I_{C2MAX}}{\beta_{2min}} = \frac{69.24 \times 10^{-3}}{100} = 0.6924\mu A$$

$$I_{BB} \approx 20 I_{B1MAX} = 20 \times 0.6924\mu A = 13.848\mu A$$

$$I_{C2min} = I_{C2max} - \frac{I_{oMAX}}{\beta_{1min}}; I_{cmin} > 20\mu A$$

$$I_{C2min} = 69.24 \times 10^{-6} - \frac{10 \times 10^{-3}}{400} = 44.24\mu A$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{C2 \text{ MEAN}} = \frac{I_{c2\min} + I_{C2\text{MAX}}}{2} = \frac{44.24\mu\text{A} + 69.24\mu\text{A}}{2} = 56.74\mu\text{A}$$

$$V_{BE2} \approx V_T \ln \left[ \frac{I_{c2\text{MEAN}}}{I_O} \right] \approx 26 \times 10^{-3} \ln \left[ \frac{56.74 \times 10^{-6}}{5.911 \times 10^{-15}} \right] \approx 0.5976 \text{ V}$$

$$R_3' \approx \frac{V_{BE2} + 1.235}{I_{BB}} \approx \frac{0.5976 + 1.235}{13.848 \times 10^{-6}} \approx 132.34 \text{ K}\Omega$$

ปัดค่า  $R_3'$  และ หา  $R_2$  เพื่อให้  $V_O$  มีค่าใกล้เคียงกับที่ต้องการ  
ดังนั้นจึงเลือกค่าที่ใกล้เคียงและสามารถหาซื้อได้ง่าย

$$R_3 = 120\text{K}$$

$$\frac{R_2}{R_3} \approx \frac{V_O}{V_{BE2} + 1.235} - 1 \approx \frac{4.75}{0.5976 + 1.235} - 1 \approx 1.5919$$

$$\therefore R_2 \approx 1.5919 \times R_3' \approx 1.5919 \times 120\text{K}\Omega \approx 191.003\text{K}\Omega$$

ดังนั้นจะเลือกใช้

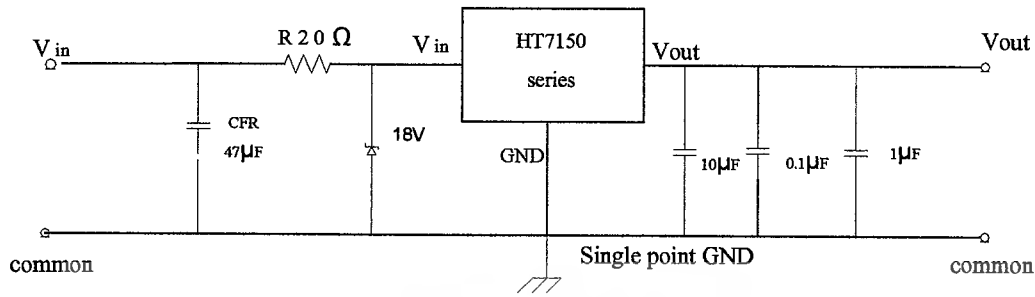
$$R_2 = 200\text{K}$$

$$V_O \approx (V_{REF} + V_{BE2}) \left( 1 + \frac{R_2}{R_3} \right) \approx (1.235 + 0.5976) \left( 1 + \frac{200\text{K}}{120\text{K}} \right) \approx 4.886\text{V}$$

### 3.7 การปรับปรุงในส่วนของ TAG Voltage Regulator

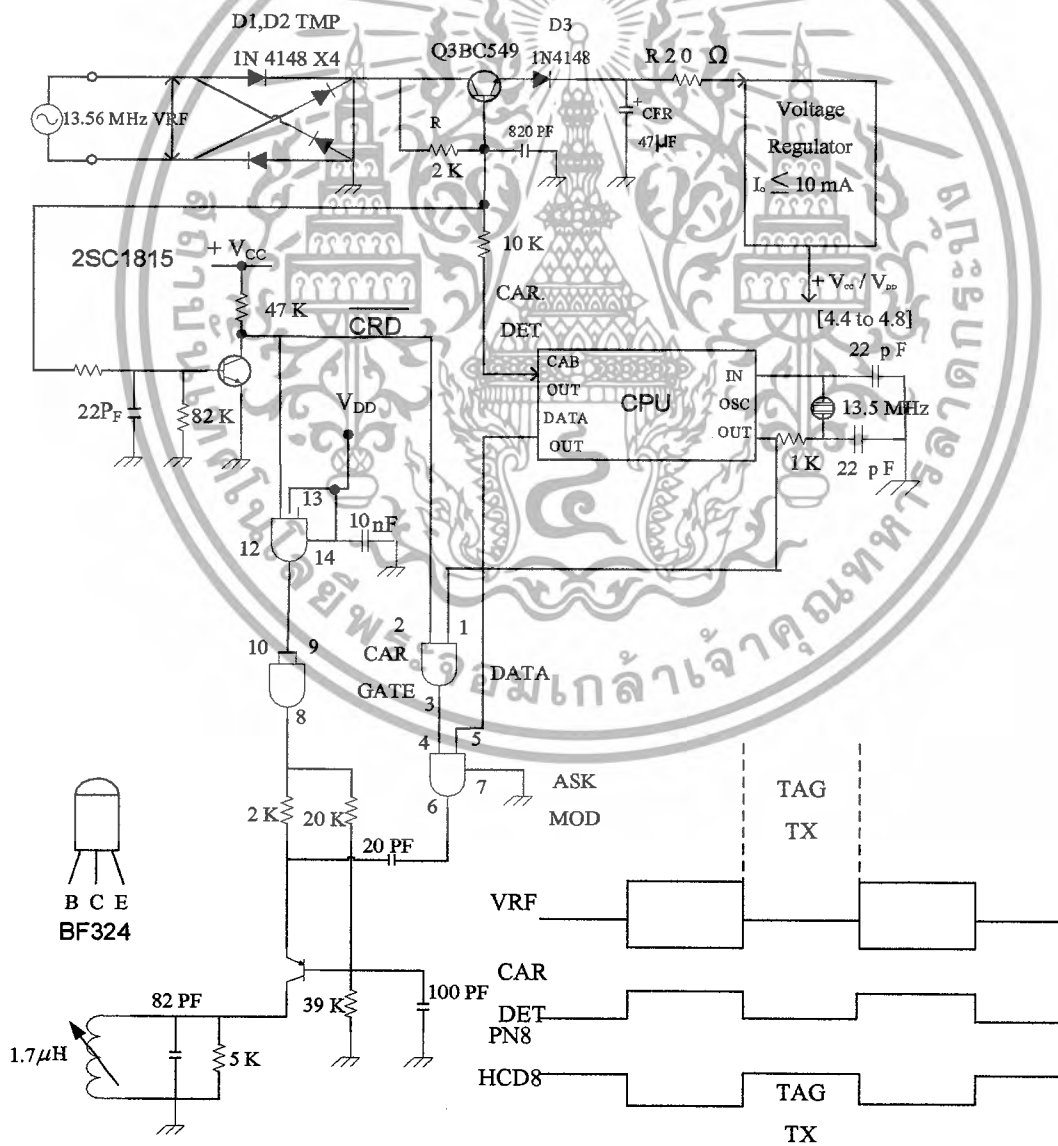
เนื่องจาก Voltage Regulator ที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้นจะกินกระแส  $I_{SS}$  current consumption กรณี No Load มากประมาณ  $100 \mu\text{A}$  จึงได้ทำการเปลี่ยนชุด Voltage Regulator โดยใช้ HT7150 ซึ่งเป็น High Voltage Regulator ซึ่งกินกระแส  $I_{SS}$  current consumption กรณี No Load น้อยกว่าซึ่ง HT7150 จะกินกระแส  $I_{SS}$  current consumption ประมาณ  $5 - 9 \mu\text{A}$  ซึ่งจะทำให้ Line Regulation ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงการต่อ HT7150

3.8 วงจร SEQUENTIAL TAG(ทดสอบ)



รูปที่ 3.8 วงจร SEQUENTIAL TAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3.10 เครื่องอ่าน (Reader)

#### 3.10.1 ทฤษฎีของวงจรจับ Reader coil

จากสมการที่ 2.10.2f

$$NI = \frac{2V_0(a^2 + r^2)^{3/2}}{2\pi f N Q S \cos(\alpha) \mu_0 a^2}$$

ดังนั้น  $(NI)_{rms}$  ของ Reader coil drive จะได้ว่า

$$(NI)_{rms} = \frac{2V_{TAG(rms)}(a^2 + r^2)^{3/2}}{2\pi f S (NQ_1)_{TAG} \cos \alpha \mu_0 a^2} \quad (3.10.1a)$$

โดยที่  $S =$  TAG Surface Area

$\alpha =$  มุมของ Coil ของ Reader กับ Coil ของ TAG

$Q =$  Radius ของ Reader coil

$r =$  ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader

$(NQL)_{TAG}$  ขึ้นอยู่กับ TAG Coil และ Load ของ TAG Coil ถ้าทราบค่า  $(NQ_2)_{TAG}$

ก็จะทราบค่า  $(NI)_{rms}$  ของ Reader Coil

จากทฤษฎีของวงจร Parallel Resonant

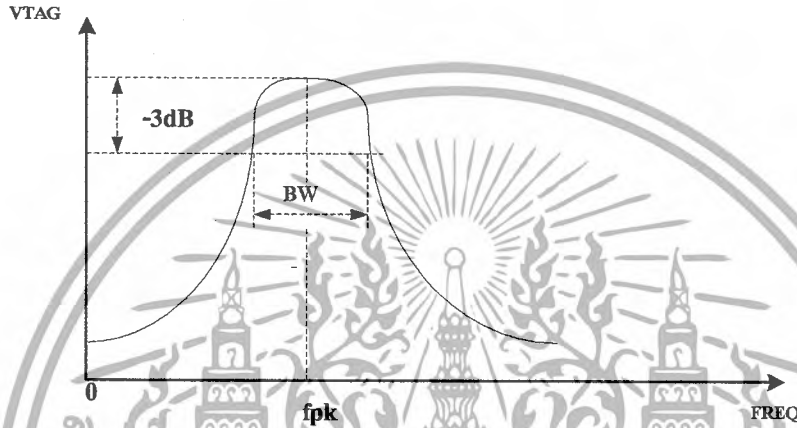
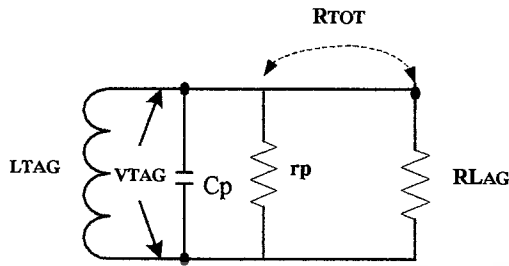
$$f_{pk} = \frac{1}{2\pi \sqrt{2_{TAG} \cdot C_p}}$$

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

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

$$Q_2 = \frac{f_{pk}}{BW} \quad (Q_2 : \text{Loaded } Q)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 วงจร Parallel Resonant and Frequency Response

โดยที่  $rp$  คือ Equivalent loss ของ  $L_{TAG}$  ในรูปวงจรถนนาน  
 $R_{LAC}$  คือ Equivalent Load ของ TAG



รูปที่ 3.11 Equivalent ของ TAG

(UN Load a) 
$$Q_u = \frac{\omega L_s}{r_s} = \frac{r_p}{\omega L_p}$$

$$L_p = L_s \left( 1 + \frac{1}{Q_u^2} \right)$$

$$r_p = r_s (1 + Q_u^2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.10.2 การคำนวณของวงจรรีบ Reader Coil

การคำนวณหาค่า  $(NI)_{rms}$  ของวงจรรีบ Reader Coil DriveTAG Coil เป็น Rectangular loop ขนาด  $\approx (5.5 \times 8.5) \text{ cm}^2$  จำนวนรอบ  $(N=1)$  ใช้ลวด NO 27 ซึ่งมีค่า Bare diameter  $\approx 0.36 \text{ mm}$  และมี Total diameter  $\approx 0.4 \text{ mm}$  ใช้งานที่ความถี่ 13.56 MHz  $V_{TAG DC} \approx 11.0 \text{ V}$  และ  $I_{TAG DC} \approx 7.40 \text{ mA}$

คำนวณหาค่า  $(NI)_{rms}$  ของวงจรรีบ Reader Coil Drive

\*ขั้นตอนที่ 1 หาค่า  $L_{TAG}$

เมื่อกำหนดให้

X : Average width of coil  $\approx 5.5 \text{ cm}$

Y : Average Length of coil  $\approx 8.5 \text{ cm}$

h : Coil height  $\approx 0.4 \text{ mm} \approx 0.04 \text{ cm}$  ( $h \approx \text{Total diameter}$ )

b: width of cross section

โดยที่  $b \approx [(\text{จำนวนรอบของTAG Coil} \times \text{Total diameter}) + (\text{จำนวนช่องว่างเส้นลวด} \times 0.1)]$

$$\therefore b \approx [(1 \times 0.4) + (1-1)(0.1)] \text{ mm} \approx 0.4 \text{ mm} = 0.04 \text{ cm}$$

$$c = X + Y + 2h = 5.5 + 8.5 + 2(0.04) = 14.08 \text{ cm}$$

เราสามารถหาค่า  $L_{TAG}$  ได้จากสมการต่อไปนี้ โดย  $L_{TAG} = L_s$

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

$$L_s = \frac{0.0276(14.08 \times 1)^2}{(1.908 \times 14.08) + (9 \times 0.4) + (10 \times 0.04)}$$

$$L_{TAG} = L_s = 0.1981 \text{ MH}$$

\*ขั้นตอนที่ 2 หาค่า  $r_{s(AC)}$   $r_{p(AC)}$  ของ Coil

เมื่อกำหนดให้

$$l_T : \text{ความยาวของลวดทั้งหมด} \approx 2N(X + Y) \approx 2 \times (1)(5.5 + 8.5) \approx 28 \text{ cm} \approx 0.28 \text{ m}$$

$$A : \text{Cross section Area of bare wire} \approx \frac{\pi(d)^2}{4}, \quad d : \text{Bare diameter}$$

$$P : \text{Copper Resistivity} = 1.8 \times 10^{-8} \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore A \approx \frac{\pi}{4} (0.36 \times 10^{-3})^2 = 101.78 \times 10^{-9} m^2$$

$$\therefore \frac{r(dc)}{s} \approx \frac{Pl_T}{A} \approx \frac{(1.8 \times 10^{-8} \times 0.28)}{(101.78 \times 10^{-9})} = 0.0495 \Omega$$

$$\delta : \text{skin depth} \approx \frac{1}{\sqrt{f\pi M\sigma}} \approx \frac{6.6 \times 10^{-2}}{\sqrt{f}} \approx \frac{6.6 \times 10^{-2}}{\sqrt{13.56 \times 10^6}} \approx 17.92 \mu m$$

$$D: \text{Bare diameter} \approx 0.36 \text{ mm} \approx 0.36 \times 10^{-3} m$$

ถ้า  $d > 2\delta$  จะได้

$$A_{AC} \text{ ของลวด} \approx \frac{\pi}{4} (d^2 - (d - 2\delta)^2)$$

$$A_{AC} \approx \frac{\pi}{4} \left[ (0.36 \times 10^{-3})^2 - (0.36 \times 10^{-3} - (2 \times 17.92 \times 10^{-6}))^2 \right]$$

เราสามารถหาค่า  $r_{s(AC)}$  ได้ดังนี้  $A_{AC} \approx 19.258 \times 10^{-9} m^2$

$$\therefore r_{s(AC)} \approx \frac{Pl_T}{A_{AC}} = \frac{(1.8 \times 10^{-8} \times 0.28)}{(19.258 \times 10^{-9})} \approx 0.2617 \Omega$$

$$Q_u \approx \frac{2\pi f L_s}{r_{sAC}} \approx \frac{2\pi \times 13.56 \times 10^6 \times 0.1981 \times 10^{-6}}{0.2617} \approx 64.5$$

เราสามารถหาค่า  $L_p$  ได้ดังนี้

$$L_p = L_s \left( 1 + \frac{1}{Q_u^2} \right) = 0.1981 \times 10^{-6} \left( 1 + \frac{1}{(64.5)^2} \right) = 0.1982 \mu H$$

$$r_{p(AC)} \approx r_{s(AC)} (1 + Q_u^2) = 0.2617 (1 + (64.5)^2) \approx 1089 \Omega$$

ขั้นตอนที่ 3 หาค่า  $C_p$  (Resonant),  $R_{TOT}$ ,  $Q_2$ , NQL

จากครั้งที่แล้วเราได้หาค่า  $R_{L(AC)}$  มาแล้วว่ามีค่าเท่ากับ 710  $\Omega$

$\therefore$  เราสามารถหาค่า  $R_{TOT}$  ได้ดังนี้

$$R_{TOT} \approx r_{p(AC)} // R_{L(AC)} \approx (1089) // 710 \Omega \approx 429.78 \Omega$$

$$C_p \approx \frac{1}{2\pi^2 f^2 L_{TAG}} \approx \frac{1}{4\pi^2 (13.56 \times 10^6)^2 \times 0.1981 \times 10^{-6}} = 695.40 pF$$

$$Bw \approx \frac{1}{2\pi C_p R_{TOT}} \approx \frac{1}{2\pi (695.40 \times 10^{-12}) (429.78)} \approx 0.5325 \text{ MHz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_L \approx \frac{f_{PK}}{B_w} \approx \frac{13.56\text{MHz}}{0.5325\text{MHz}} \approx 25.46$$

$$NQ_L \approx (1) \times 25.46 \approx 25.46$$

จำนวนเซนติเมตรตั้งแต่ชั้นตอนที่ 1 ถึงชั้นตอนที่ 3 โดยใช้  $N = 2, 3, 4$  จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TAG (NO<sub>2</sub>) Product Calculation

Loop size and wire parameter

TAG Parameter : Operating FREQ 13.56 MHz

Loop size  $\approx (5.5 \times 8.5) \text{cm}^2$  $V_{TAGDC} \approx 11.0\text{v}$ ,  $I_{TAGDC} \approx 7.40 \text{ mA}$   $P_{TAGDC} \approx 81.40 \text{ mw}$ 

wire : Total dia 0.4 mm

 $V_{TAGDC} \approx 8.5 \text{ V}_{\text{rms}}$ ,  $P_{TAG}$  with 25% Margin  $\approx 101.8 \text{ mw}$ 

NO. 27 Bare dia 0.36 mm

Equivalent  $R_{TAG} \approx 710 \Omega$ 

Turns	Height	Width	X+Y+2h	Ls	TOTwire	$I_{sdc}$	$I_{sac}$	$Q_u$	$L_p$	$r_{pac}$	$R_{TOTAC}$	$C_p$	$B_w$	$Q_L$	$NO_{Q_L}$
N	h:(cm)	b:(cm)	c:(cm)	(MH)	Length $l_p:(m)$	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )		(MH)	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(PF)	(MHz)		
1	0.04	0.04	14.08	0.1981	0.28	0.0495	0.2617	64.5	0.1982	1089	429.78	695.4	0.5325	25.46	25.46
2	0.04	0.09	14.08	0.7796	0.56	0.0990	0.5234	126.9	0.7796	8429.2	654.84	176.7	1.3755	9.858	19.716
3	0.04	0.14	14.08	1.7264	0.84	0.1485	0.7851	187.35	1.7264	27.55k	692.16	79.79	2.8818	4.705	14.115
4	0.04	0.19	14.08	3.0215	1.12	0.1980	1.047	245.87	3.0215	63.29k	702.12	45.59	4.9721	2.727	10.908

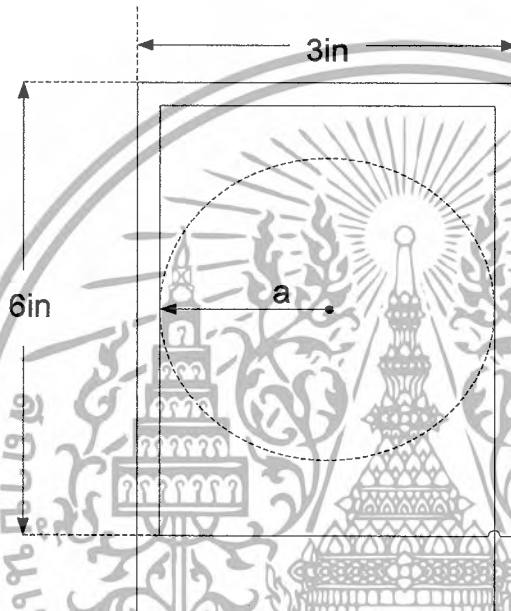
ตารางที่3.1TAG(N · Q<sub>L</sub>)ProductCalculation

ขั้นตอนที่4 หาค่า  $(NI)_{rms}$  ของ Reader Coil Drive

จาก

$$(NI)_{rms} = \frac{2V_{TAG (rms)}(a^2 + r^2)^{3/2}}{2\pi fs(NQ_L)_{TAG} \text{Cos}(\alpha)\mu_0 a^2} \quad (\text{A-T})$$

โดยที่  $V_{TAG (rms)} = 8.5 \text{ V}_{rms}$



รูปที่3.12 Reader coil  $(3 \times 6) \text{ in}^2$  Loop

$a$  = Radius ของ coil

Reader coil  $(3 \times 6) \text{ in}^2$  Loop ประมาณว่าเป็น Loop วงกลม

จะได้  $a \approx \frac{3 \text{ in}}{2} \approx 1.5 \text{ in} \approx 38.115 \times 10^{-3} \text{ m}$

$\text{Cos} \alpha = 0.95 [\pm 18^\circ \text{ Margin}]$

$S = \text{TAG Surface Area}$

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

$f = 13.56 \text{ MHz}$

ดังนั้นจะได้

$$(NI)_{rms} = \frac{2(8.5)(0.038115^2 + r^2)^{3/2}}{2\pi(13.56 \times 10^6)(4.675 \times 10^{-3})(0.95)(4\pi \times 10^{-7})(0.038115)^2(NQ_L)_{TAG}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(NI)_{\text{rms}} = \frac{(24609.47964)(0.038115^2 + r^2)^{3/2}}{(NQ_L)_{\text{TAG}}} \quad (\text{A-T}) \quad (3.10.2)$$

จากขั้นตอนที่ 3 ได้  $(NQ_L)_{\text{TAG}} \approx 25.46$

$$\text{ดังนั้นจะได้} \quad (NI)_{\text{rms}} = \frac{(24609.47964)(0.038115^2 + r^2)^{3/2}}{25.46}$$

$$(NI)_{\text{rms}} = (966.594)(0.038115^2 + r^2)^{3/2}$$

r (Read Range) : cm	$(NI)_{\text{rms}} : \text{m(A-T)}$
0.0	53.52
1.0	59.14
2.0	77.09
3.0	110.31
4.0	163.04

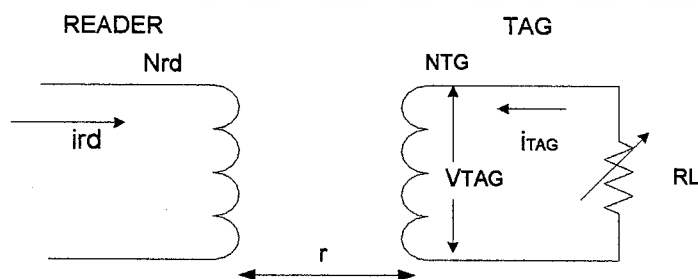
ตารางที่ 3.2 ตาราง Read Range กับ  $(NI)_{\text{rms}}$  ที่  $(NQ_L)_{\text{TAG}} = 25.46$

### 3.10.3 การพิจารณาเลือกค่า $N \cdot Q_L$ ของ TAG

จากการคำนวณพบว่า จะมีค่า  $N$  ที่ทำให้เกิดค่า  $N \cdot Q_L$  Maximum ถ้าเราสามารถเลือกค่า  $N$  ที่ทำให้เกิดเงื่อนไข  $N \cdot Q_L$  MAX เรา น่าจะเลือกค่า  $N$  นั้น เนื่องจากยิ่ง  $(NQ_L)_{\text{TAG}}$  มีค่ายิ่งสูง ก็จะมีผลทำให้  $(NI)_{\text{DRIVE}}$  ของ Reader มีค่าน้อย แต่อย่างไรก็ตาม อาจมีความขัดแย้งเกิดขึ้น กล่าวคือ

1) เพื่อให้ได้ผลของ Load Modulation เกิดขึ้นที่ Reader coil ซักๆ เราควรทำให้

$$N_{\text{TAG}} > N_{\text{Reader}}$$



รูปที่ 3.13 แสดงการเหนี่ยวนำของ Reader coil & TAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

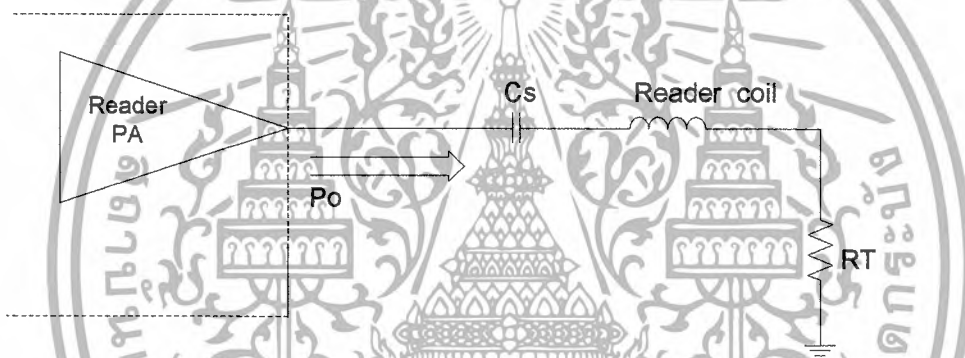
จากหลักการของ Transfer จะพบว่า

$$\Delta i_{rd} \approx k \left( \frac{N_{TG}}{N_{rd}} \right) \Delta i_{TAG} : \Delta i_{TAG} \approx \frac{v_{TAG}}{\Delta R_L}$$

เมื่อ  $k =$  coupling coefficient จะเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างระหว่างTAG กับ Reader coil  
ถ้าระยะทางคงที่อาจพิจารณาถือว่า  $k \approx$  คงที่

เพื่อให้  $\Delta i_{rd}$  มีค่ามาก ค่าของ  $N_{TG}/N_{rd}$  ควรมีค่ามากกว่า 1 หรือ  $N_{TG} > N_{rd}$

2) รูปแบบทั่วไปของการต่อวงจร ของ Reader coil จะอยู่ในรูปของวงจร Resonant เพื่อให้มีกระแสไหลผ่านสูงสุด



รูปที่ 3.14 แสดงการต่อ ภาต Power Amp กับ Reader coil

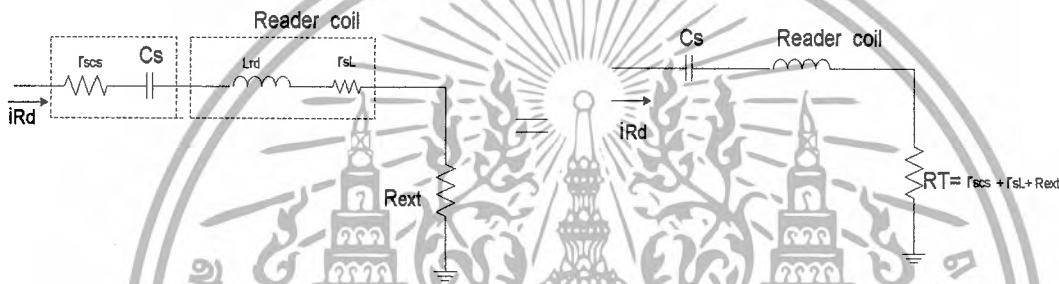
ที่สภาวะ Resonant  $-jx_{cs} = +jx_{Lrd} \left( x_c = \frac{1}{\omega C}, x_L = \omega L \right)$

ถ้าเป็น L,C ในอุดมคติ  $jx_{Lrd} - jx_{cs}$  จะมีค่าเท่ากับศูนย์ที่ความถี่ Resonant กำลังไฟฟ้า  $P_o$  ที่วงจร PA ขั้วออกมา จะสะท้อนกลับไปยัง PA ทั้งหมด หาก  $R = 0$  จะทำให้เกิดความรบกวนที่ PA อาจทำให้ PA เสียหาย สภาวะที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า Total Mismatch หรือ  $SWR = \infty$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้ กำลังไฟฟ้า  $P_o$  ที่วงจร PA ขับออกมา สะท้อนกลับไปยัง PA ทั้งหมด จะต้องต่อ R เพิ่มให้กับวงจร เพื่อดูดกลืน กำลังไฟฟ้าที่ PA ขับออกมา ถ้า R มีค่าเท่ากับ  $R_o$  ของ PA จะเกิดสถานะ MAXIMUM Power Transfer  $P_o$  ที่ PA ขับออกมา จะไม่สะท้อนกลับคืน PA เลย PA จะมีความร้อนต่ำที่สุด สถานะนี้เราเรียกว่า Perfect Matching หรือ  $SWR = 1.000$

ในการต่อวงจรเราจะพยายามทำให้  $R = R_o$  ของ PA ซึ่งในทางปฏิบัติทำได้ยากมาก ยิ่งไปกว่านั้น L และ C ไม่ใช่ L ,C ในอุดมคติ ความต้านทานที่เกิดขึ้นจริงในวงจร จะเป็นผลรวมของ  $r_{scs}$  และ  $r_{sl}$  และ  $R_{ex}$  ในวงจรภายนอก



รูปที่ 3.15 แสดง Equivalent Reader coil

กำลังไฟฟ้า  $P_o$  ที่  $P_A$  จะต้องขับ จะมีค่า

$$P_o \approx i_{rd\ rms}^2 R_r$$

ซึ่ง

$$R_T = r_{scs} + r_{sl} + R_{ext}$$

และ

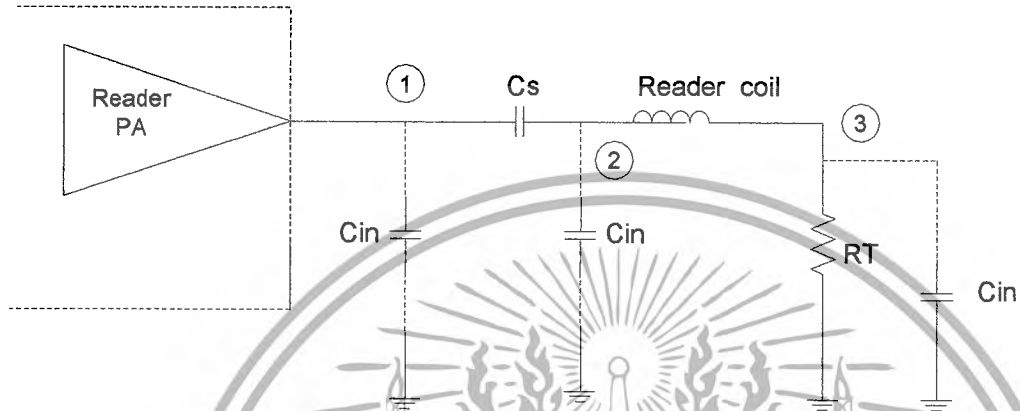
$$i_{rd\ rms} = \frac{(NI)_{rms}}{N_{Reader\ coil}}$$

เพื่อให้  $P_o$  มีค่าน้อย  $i_{rd\ rms}$  จะต้องมีค่าน้อย เพื่อให้  $i_{rd\ rms}$  มีค่าน้อย จะต้องใช้ Reader coil ที่มีจำนวนรอบมาก

ในขณะที่จำนวนรอบของ Reader เพิ่มขึ้น ถ้า  $N_{Tag} < N_{rd}$  ผลของ Load Modulation ที่ปรากฏต่อ Reader coil จะลดลงหาก  $N_{TG}$  ที่ทำให้  $(N \cdot Q_L)_{TAG}$  MAXIMUM มีค่าต่ำๆ เช่น  $N_{TG}$  ที่ทำให้  $(N \cdot Q_L)_{MAX}$  มีค่าเท่ากับ 1 เป็นไปไม่ได้เลยที่จะทำให้  $N_{TG} > N_{rd}$  ในกรณี เพื่อให้เกิดผลของ Load Modulat ที่ชัดเจนที่สุด  $N_{rd}$  จะต้องมีความเท่ากับ 1 นั่นคือ  $i_{rd}$  จะต้องมีความมากขึ้น ทำให้  $P_o$  ของ  $P_A$  มีค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจาก PO จะขึ้นอยู่กับค่า  $i_{rd}$  แล้วยังขึ้นอยู่กับค่า  $R_T$  อีกด้วย Node ที่สามารถจะ Detect ผลของ Load Modulation มีความเป็นไปได้ 3 Node



รูปที่ 3.16 แสดงการต่อ  $C_{in}$  ของวงจร data demod ของ Reader coil

ที่ Resonant

$$\begin{aligned} \Delta v_1 &= \Delta i_{rd} R_T \\ \Delta v_3 &= \Delta i_{rd} (R_T - r_{scs} - r_{sl}) \\ \Delta v_2 &= \Delta i_{rd} ( + j\omega L_{rd} + (R_T - r_{scs}) ) \end{aligned}$$

Node ที่เหมาะสมคือ Node 1 หรือ Node 3 ที่ Node 2  $v_2$  จะสูงกว่า  $v_1$  และ  $v_3$  มาก และ input capacitance ของวงจร Data Demo ของ Reader จะส่งผลกับวงจร Resonant ค่อนข้างมาก ในขณะที่ Node 3 ผลของ  $C_{in}$  ของวงจร Data demod จะมีผลกระทบน้อยที่สุด หากต่อ Data demod ที่ Node 1  $C_{in}$  ของวงจร Data demod อาจมีผลต่อวงจร Matching ของ Reader coil

ค่า  $R_T$  นอกจาก จะมีผลต่อค่า  $P_o$  ของ  $P_A$  แล้ว ยังมีผลต่อ BW ของ Reader cct ด้วย BW ควรจะมีค่ามากพอที่จะผ่าน Modulated Side Band

$$BW = \frac{2\pi R_T}{L_{rd}} \quad \text{Hz}$$

เนื่องจาก  $R_T$  เป็นผลรวมของ  $r_{scs}$ ,  $r_{sl}$  และ  $R$

$R_T$  ค่าต่ำลง -  $P_o$  ของ  $P_A$  น้อยลง

-BW แคบลง

-วงจร MATCHING จะมี Error เพิ่มขึ้น และ ปรับยากขึ้นผลของ  $r_{scs}$

และ  $r_{sl}$  จะมีผลมากขึ้น เราอาจคำนวณค่า  $r_{sl}$  แต่  $r_{scs} \approx ?$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$R_T$  ค่าเพิ่มขึ้น -PO ของ PA เพิ่มขึ้น

-BW กว้างขึ้น

-วงจร MATCHING จะมี Error น้อยลง และปรับง่ายกว่า

จากวงจรที่เคชทดลอง ค่า  $R_T \approx 10 - 20 \Omega$  ทำให้การปรับ Match ไม่ยากเกินไปนัก ( $R < R_T$ )

### 3.10.4 การหาค่า Power ที่ Reader coil Drive ให้กับ TAG

จากตารางที่ 3.1 TAG ( $N, Q_L$ ) Product calculation เลือกจำนวนรอบของ TAG Coil จำนวน

3 รอบ ( $N = 3$ ) จะได้  $(N, Q_L)_{TAG} = 14.115$

ดังนั้นจากสมการที่ 3.10.2 (หน้า 71)

$$(NI)_{rms} = \frac{(24609.47964)(0.038115^2 + r^2)^{3/2}}{(NQ_L)_{TAG}}$$

จะได้

$$(NI)_{rms} = \frac{(24609.47964)(0.038115^2 + r^2)^{3/2}}{(14.115)}$$

$$(NI)_{rms} = (1743.4984)(0.038115^2 + r^2)^{3/2} \quad (A-T)$$

r (Read Range) : cm	$(NI)_{rms}$ : m (A-T)
0.0	96.54
1.0	106.68
2.0	139.04
3.0	198.97

ตารางที่ 3.3 ตาราง Read Range กับ  $(NI)_{rms}$  ที่  $(NQ_L)_{TAG} = 14.115$

จากตารางที่ 3.3 เลือก  $(NI)_{rms} = 198.97$  m (A-T) ที่  $r = 3$  cm

เลือกจำนวนรอบของ Reader coil เท่ากับ 1.8 รอบ ( $N \approx 1.8$ )

เลือก  $R_T \approx 20 \Omega$  ( $Q \approx 5$ )

ดังนั้นจะได้  $I_{rms}$  จาก  $(NI)_{rms} = 198.97$  m (A-T)

$$\text{ที่ } N \approx 1.8 \text{ จะได้ } I_{rms} \approx \frac{198.97 \times 10^{-3}}{1.8} \quad (A)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจาก  $P = I^2 R$

จะได้  $P_O \approx (I_{rms})^2 R_L$  ,เมื่อ  $R_L = 20\Omega$

จะได้  $P_O \approx (0.11054)^2 (20) \approx 244.38 \text{ mw}$

Margin 50% จะได้  $P_O \approx 244.38 \text{ mw} + \frac{50}{100}(244.38 \text{ mw}) \approx 367 \text{ mw}$

ที่  $V_{CC} = 5V$

$$(V_{CC} - V_{SAT}) \approx 4V, Z_C \approx \frac{(V_{CC} - V_{SAT})^2}{2P_O} \approx \frac{(4)^2}{2(367 \times 10^{-3})} \approx 22 \Omega$$

### 3.10.5 Reader coil MATCHING CCT

ทำการพันขดลวดของ Reader โดยใช้ Loop  $(3 \times 6) \text{ m}^2$  จำนวน 1.8 รอบ ( $N \approx 1.8$ ) แล้วทำการวัดหาค่าความเหนี่ยวนำ ( $L_{LOWFREQ}$ ) และความถี่ ( $f_{SELF}$ )

จะได้  $L_{LOW FREQ} = 1.66 \mu H$

$f_{self} = 66.3 \text{ MHz}$

คำนวณหาค่า  $C_P$  จาก

$$C_P = \frac{1}{4\pi^2 (f_{self})^2 L_{LOW FREQ}}$$

$$C_P = \frac{1}{4\pi^2 (66.3 \times 10^6)^2 (1.66 \times 10^{-6})} = 3.47 \text{ PF}$$

ดังนั้นที่

$f = 13.56 \text{ MHz}$   $X_{L_{LOWFREQ}} = \omega L_{LOW FREQ} = (2\pi \times 13.56 \times 10^6)(1.66 \times 10^{-6})$

จะได้  $X_{L_{LOWFREQ}} = 141.43$

และ  $X_{C_P} = \frac{1}{\omega C_P} = \frac{1}{(2\pi \times 13.56 \times 10^6)(3.47 \times 10^{-12})} = 33.82.45$

ดังนั้น

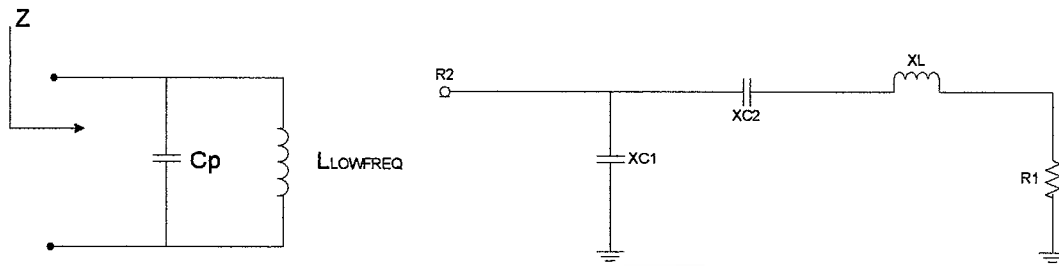
$$Z = (jXL) // (-jXc)$$

$$Z = (j141.43) // (-j3382.45)$$

$$Z = +j 147.6$$

$$\therefore L_{Reader coil} = \frac{147.6}{(2\pi \times 13.56 \times 10^6)} = 1.732 \mu H$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดง Reader coil MATCHING CCT

จากวงจร MATCHING

จะได้ค่า  $R_1$  เป็น  $(Q^2 + 1)R_2^2 - (R_2 + 2Q \times L)R_1 + (XL)^2 = 0$ 

ทำการ MATCHING  $R_2 = 50 \Omega$  กับ  $R_1$  โดยใช้ Loop  $(3 \times 6) \text{in}^2$  XL ที่  $13.56 \text{ MHz} = +j147.6$  จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง Q กับ  $R_1$  ดังตารางที่ 3.4

Q	$R_1$ ( $\Omega$ )
3	43.65
5	24.52
7	17.67
9	13.91
11	11.50
13	9.82
15	8.58

ตารางที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Q กับ  $R_1$  Loop  $(3 \times 6) \text{in}^2$ , XL = +j147.6 และ  $R_2 = 50 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.11 วงจรที่ใช้ในส่วนเครื่องอ่าน (Reader)

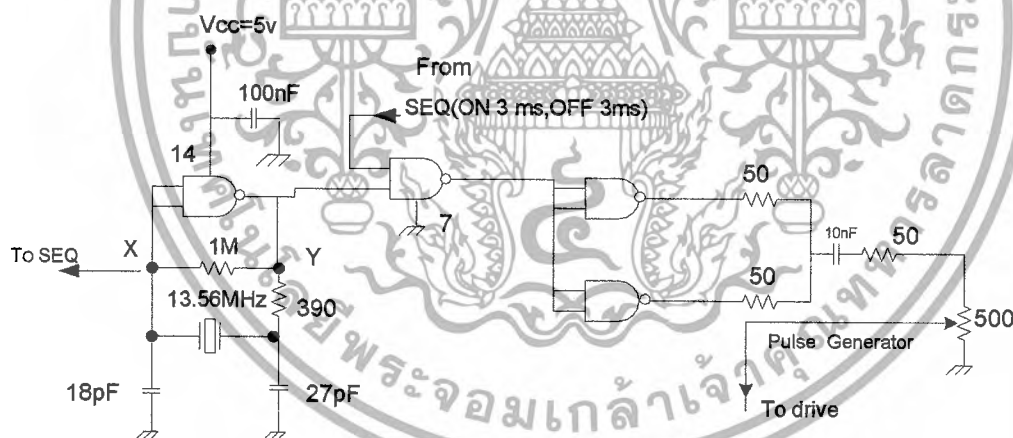
#### 3.11.1 Ac source Power Amp ของ Reader

วงจรในส่วนของ Ac source Power Amp ของ Reader จะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

- 1.) วงจร OSCILLATOR 13.56 MHz และ NAND GATE
- 2.) วงจร SEQUENTIAL ON (3ms) , OFF (3ms)
- 3.) วงจรภาคขับ ( Drive )

#### 1.) วงจร OSCILLATOR 13.56 MHz และ NAND GATE

ในส่วนของวงจร ออสซิลเลเตอร์ จะทำหน้าที่ผลิตสัญญาณความถี่ 13.56 MHz เพื่อที่จะส่งสัญญาณความถี่ 13.56 MHz มา NAND กับ สัญญาณ SEQ CTL ที่ได้รับจากวงจร SEQUENTIAL ON (3ms) , OFF (3ms) และทำหน้าที่เป็นความถี่ Input ให้กับวงจร SEQUENTIAL ON (3ms) , OFF (3ms) และวงจรในส่วนนี้จะรวม Ic ทำหน้าที่เป็น NAND GATE ซึ่งจะใช้ HC 00

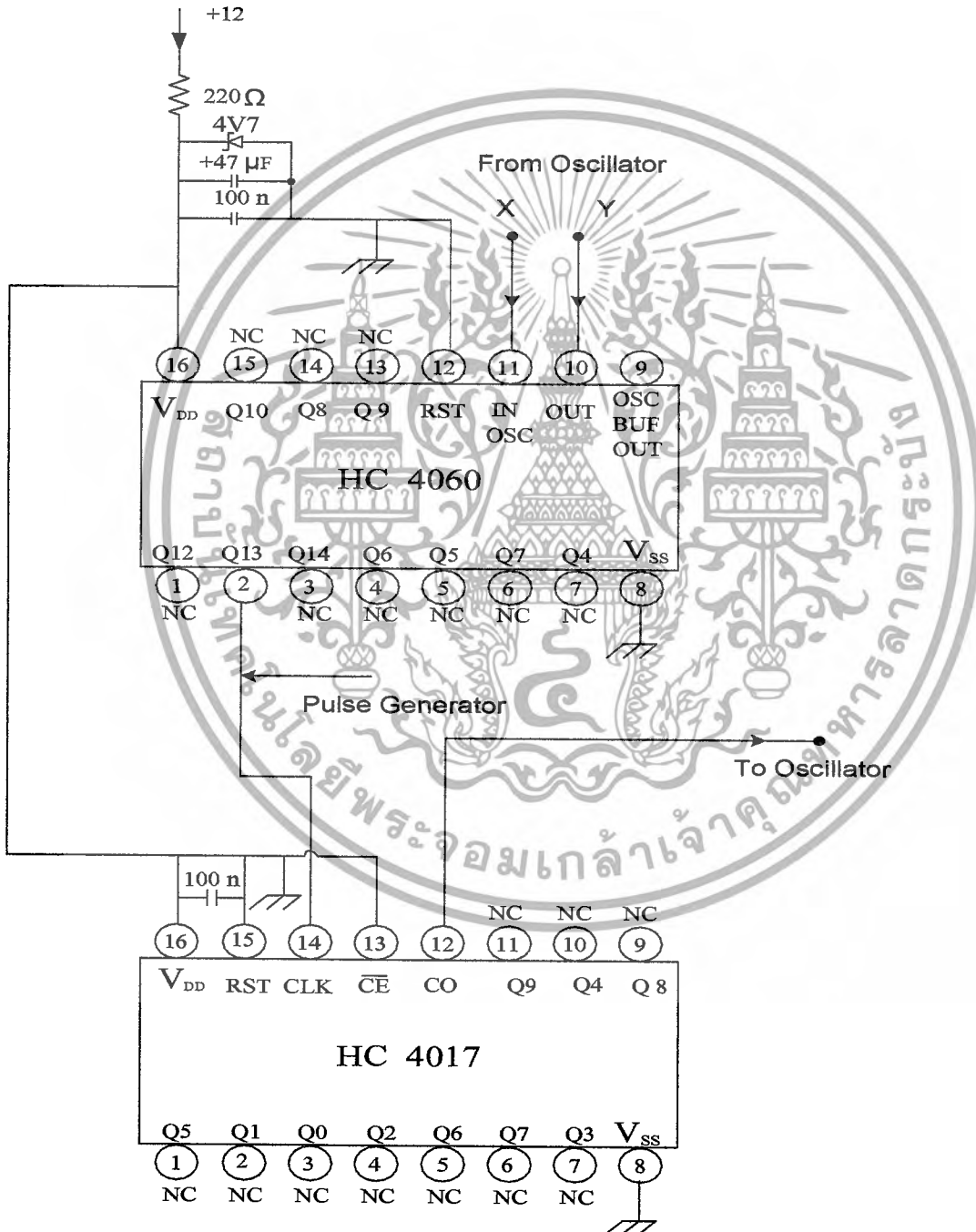


รูปที่ 3.18 วงจร OSCILLATOR 13.56 MHz และ NAND GATE

#### 2.) วงจร SEQUENTIAL ON (3ms) , OFF ( 3ms )

ในส่วนของวงจร SEQUENTIAL ON (3ms) , OFF (3ms) จะสร้างโดยใช้ HC 4060 เป็นตัวสร้าง PULSE GENERATOR ซึ่งเลือกความถี่ของ CLOCK output เท่ากับ 1655 Hz (13.56MHz/13) หรือมีคาบ (T) ของ CLOCK output ประมาณ 500  $\mu$ s จากนั้นนำความถี่ output ที่ได้จาก HC 4060 ไปป้อนเป็น CLOCK Frequency ให้กับ HC 4017 ซึ่งมีความถี่ของ CLOCK เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ  $165.5 \text{ Hz}$  ( $1655\text{Hz} / 10$ ) หรือมีคาบ (T) เท่ากับ  $6\text{ms}$  ( $1/165.5\text{Hz}$ ) ON ( $3\text{ms}$ ), OFF ( $3\text{ms}$ )  
 จากนั้นจึงนำสัญญาณ SEQUENTIAL นี้ส่งไป NAND กับสัญญาณความถี่  $13.56 \text{ MHz}$  ที่ได้จาก  
 วงจร OSCILLATOR  $13.56 \text{ MHz}$  และ NAND GATE โดย Ic ที่ทำหน้าที่เป็น NAND GATE จะใช้  
 HC00



รูปที่ 3.19 วงจร SEQUENTIAL ON (3ms), OFF (3ms)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

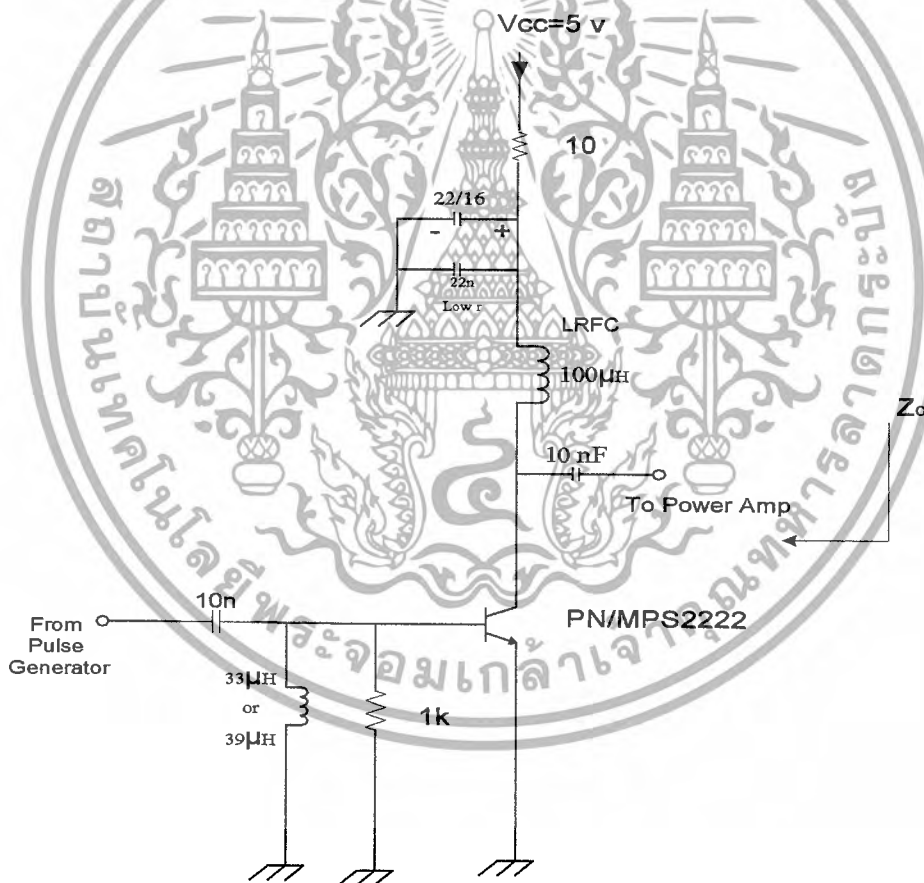
### 3.) วงจรภาคขับ (Drive)

ในส่วนของวงจรภาคขับ (Drive) จะทำหน้าที่ในการขับกำลังที่เหมาะสมให้กับภาค Power Amp โดยการปรับความต้านทานปรับค่าได้ 500  $\Omega$  ในส่วนของวงจร OSCILLATOR 13.56 MHZ และ NAND GATE ที่สร้าง Pulse generator ให้กับวงจรภาคขับ (Drive)

$$P_o \approx 70 \text{ mw}$$

$$\text{Re}(Z_o) \approx \frac{(V_{CC} - V_{CE\text{SAT}})^2}{2P_o} \approx 140 \ \Omega$$

$$(V_{CC} - V_{SAT}) \approx 4.5V$$



รูปที่ 3.20 วงจรภาคขับ (Drive)

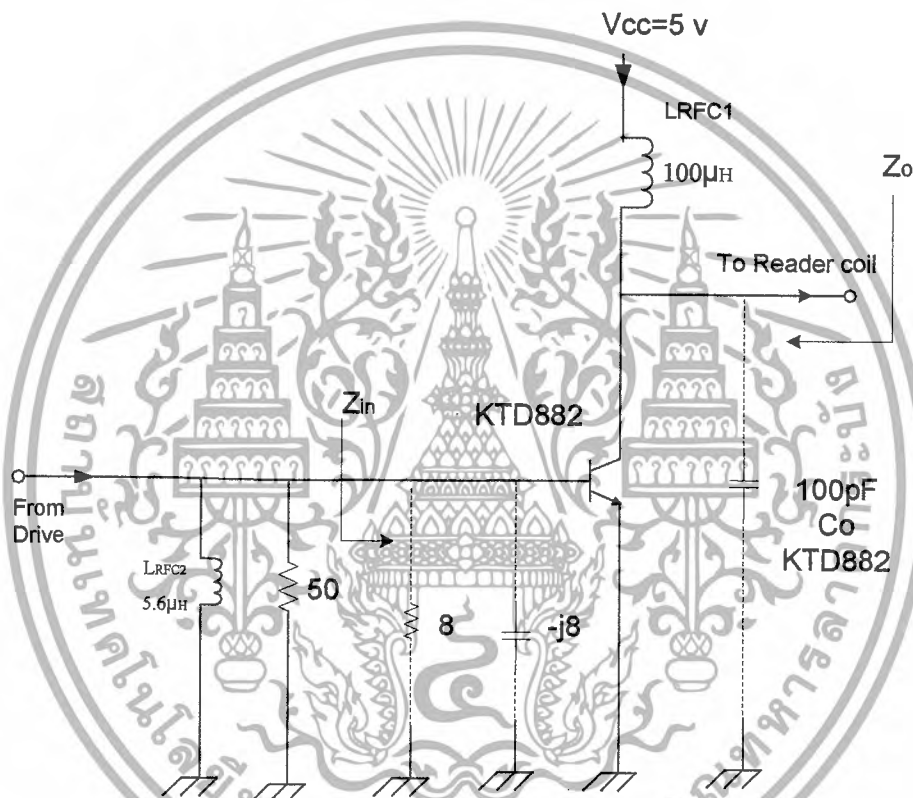
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.11.2 ภาค Power Amp

$$P_o \approx 0.5 \text{ w}$$

$$(V_{CC} - V_{CE(sat)}) \approx 4 \text{ V}$$

$$\text{Re}(Z_o) \approx \frac{(V_{CC} - V_{CE(sat)})^2}{2P_o} \approx 16 \ \Omega$$



รูปที่ 3.21 วงจรภาค Power Amp

วงจรภาค Power Amp จะทำหน้าที่ในการขยายกำลังให้สูงขึ้นเพื่อให้มีกำลังส่งเพียงพอที่จะส่งไปยังส่วนของ TAG ผ่านทาง Reader coil ซึ่งจากการคำนวณ Power ที่เพียงพอที่จะจับตัว TAG ให้สามารถทำงานได้คือ  $P_o \approx 244.38 \text{ mw}$  แต่ Margin 50% จะได้  $P_o \approx 367 \text{ mw}$

แต่เพื่อที่จะให้มั่นใจว่าสามารถส่งกำลังให้กับตัว TAG ได้เพียงพอจึงออกแบบให้ภาค Power Amp มีการขยายกำลังให้สูงขึ้นเป็น  $P_o \approx 0.5 \text{ w}$

ในส่วนของการออกแบบวงจรภาค Power Amp จะให้ทรานซิสเตอร์เบอร์ KTD 822 ดังที่แสดงในรูปที่ 3.21 ทำการออกแบบให้มีอัตราขยายกำลังประมาณ 8.5 dB ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power input  $\approx 70 \text{ mw}$  (ได้มาจาก output ของภาคขับ)จะได้ output ประมาณ  $0.5 \text{ w}$  และมีอิมพีแดนซ์ทางด้าน Input ( $Z_{in}$ ) ประมาณ  $8 // -j8 \ \Omega$

การหาค่า  $Z_o$  โดยประมาณ โดย  $P_o(\text{max}) \approx 0.5 \text{ w}$  และ  $V_{CC} = 5V$ ,  $V_{CE(\text{SAT})} \approx 1V$

จะได้  $V_o(\text{pk}) \approx V_{CC} - V_{CE(\text{sat})} \approx 4 \text{ V}$

จาก  $P_o(\text{max}) \approx \frac{(V_o(\text{pk}))^2}{2Z_o}$

ดังนั้น  $R_e(Z_o) \approx \frac{(V_o(\text{pk}))^2}{2P_o(\text{max})}$

$R_e(Z_o) \approx \frac{(4)^2}{2(0.5)} \approx 16 \ \Omega$

การประมาณค่าตัวเก็บประจุที่ output ของภาค Power Amp จะมีค่าประมาณ

$C_{O \text{ KTD}} \approx 100 \text{ PF}$  การคำนวณในส่วนของ L RFC 2 ควรค่าสูงกว่า  $R_e(Z_{in})$  มากๆ

ดังนั้น  $X_{L_{RFC2}} \geq 50 \times 8 \geq 400 \ \Omega$

$\therefore L \geq \frac{X_{L_{RFC2}}}{2\pi f} \geq \frac{400}{2\pi \times 13.56 \times 10^6} \geq 4.69 \ \mu\text{H}$

เลือกใช้  $L_{RFC2} = 5.8 \ \mu\text{H}$

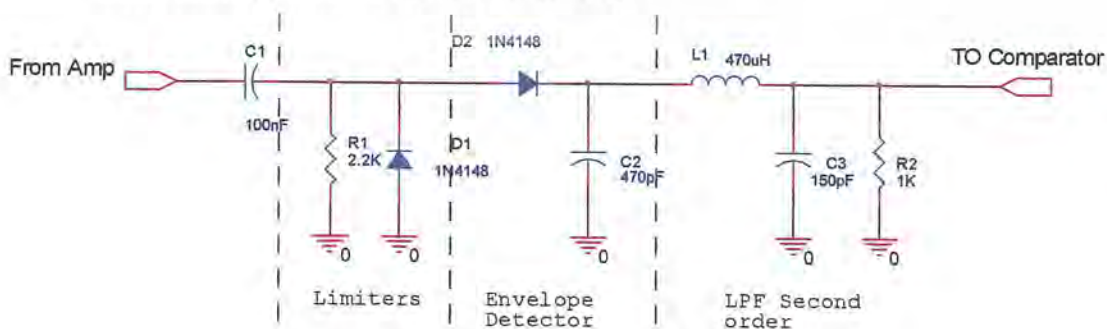
การคำนวณค่าในส่วนของ  $L_{RFC1}$  ควรค่าสูงกว่า  $R_e(Z_o)$  มากๆ ดังนั้น  $X_{L_{RFC1}} \geq 20 \times 16 \geq 320 \ \Omega$

มากกว่า  $20 \times 16 \geq 320 \ \Omega$

$\therefore L \geq \frac{X_{L_{RFC1}}}{2\pi f} \geq \frac{320}{2\pi \times 13.56 \times 10^6} \geq 3.75 \ \mu\text{H}$

เลือกใช้  $L_{RFC1} = 3.9 \ \mu\text{H}$

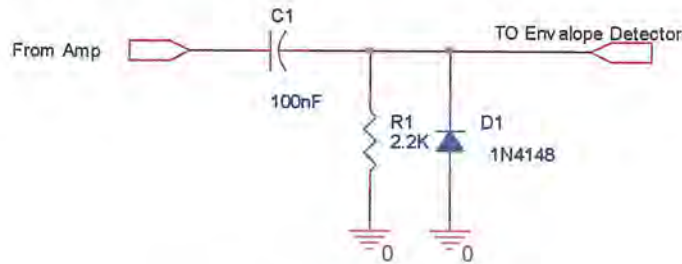
### 3.11.3 Envelope Detector and Low Pass Filter



รูปที่ 3.22 วงจร Envelope Detector and Low Pass Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11.4 วงจรจำกัดสัญญาณ(Limiters)

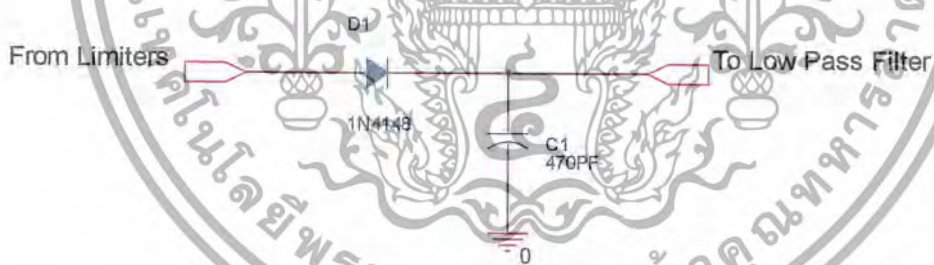


รูปที่ 3.23 วงจรจำกัดสัญญาณ(Limiters)

วงจรถัดสัญญาณ(Limiters) ทำหน้าที่จำกัดสัญญาณทางด้านซีกลบให้มีค่าต่ำกว่า -0.7V เพื่อไม่ให้สัญญาณซีกลบผ่าน ดังนั้นแรงดัน Output ในส่วนของวงจรถัดสัญญาณจะผ่านได้เฉพาะสัญญาณทางซีกบวกเท่านั้น

ความสำคัญของวงจรถัดสัญญาณในส่วนนี้คือเพื่อป้องกันไม่ให้ Diode ของภาค Envelop Detector เกิดการพังทะลายของรอยต่อ พี-เอ็น(Break down) ในกรณีที่ Diode ของภาค Envelop Detector ได้รับความดัน Reverse Bias

3.11.5 ภาค Envelop Detector



รูปที่ 3.24 วงจรภาค Envelop Detector

วงจรถัดสัญญาณ Envelope Detector จุดประสงค์ในการใช้งานคือ เพื่อใช้ในการตรวจจับและคงค่าขนาดสูงสุดของสัญญาณไว้ หรือสัญญาณ Output ที่ได้จากวงจรนี้จะมีค่าเท่ากับขนาดสูงสุดของสัญญาณ Input

( $V_{out} = V_{in}(peak)$ ) การทำงานสามารถแยกได้ 2 โหมดคือ โหมดการตรวจจับสัญญาณสูงสุด(peak Tracking Mode หรือ "Track" )และโหมดการคงค่าขนาดของสัญญาณสูงสุด(Peak storage mode หรือ "Hold")

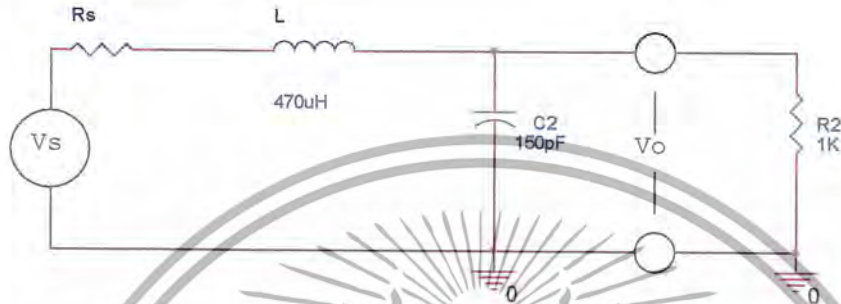
การทำงานของวงจรถัดสัญญาณในโหมด "Track" เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณ Input ถูกใหม่ที่มีขนาดโตกว่าสัญญาณ Input ถูกเดิม วงจรจะพยายามทำการตรวจจับขนาดสัญญาณสูงสุดเพื่อให้สัญญาณ Output ของวงจรมีขนาดเท่ากับสัญญาณ Input สูงสุดถูกใหม่เท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานในโหมด “Hold” จะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณ Input ถูกใหม่ที่เข้ามา มีขนาดต่ำกว่า สัญญาณ Input ถูกเดิม วงจรจะทำการคงค่าขนาดสัญญาณสูงสุดของถูกเดิมเอาไว้

3.11.6 ภาค Low Pass Filter



รูปที่ 3.25 วงจรภาค Low pass Filter

คำนวณค่า Transfer  $f^n \left( \frac{V_o(\omega)}{V_s} \right)$

$$\frac{V_o(\omega)}{V_s} = \frac{K\omega c^2}{(-\omega^2 + j\omega c + \omega^2 c)}$$

จะได้ จาก

$$V_o = \frac{V_s \left( \frac{1}{j\omega c_2} // R_2 \right)}{R_s + j\omega L + \left( \frac{1}{j\omega C_2} // R_2 \right)}$$

$$= \frac{V_s \left( \frac{1}{j\omega C_2} \right) R_2}{\frac{1}{j\omega C_2} + R_2} \div \left[ R_s + j\omega L + \frac{\left( \frac{1}{j\omega C_2} \right) R_2}{\frac{1}{j\omega C_2} + R_2} \right]$$

$$\text{ดังนั้น } \left[ \frac{V_o}{V_s} \right] = \frac{\left( \frac{1}{j\omega C_2} \right) R_2}{(R_s + j\omega L) \left( \frac{1}{j\omega C_2} + R_2 \right) + \left( \frac{1}{j\omega C_2} \right) R_2}$$

$$\left[ \frac{V_o}{V_s} \right] = \frac{R_2}{R_s + j\omega C_2 R_2 R_s + j\omega L + (j\omega C_2) (j\omega L R_2^2) + R_2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left[ \frac{V_o}{V_s} \right] = \frac{(1)\left(\frac{1}{LC_2}\right)}{-\omega^2 + j\omega \left[ \frac{C_2 R_2 R_s + L}{R_2 LC_2} \right] + \left[ \frac{R_2 + R_s}{R_2 LC_2} \right]}$$

เพื่อให้  $\frac{1}{LC_2} = \frac{R_2 + R_s}{R_2 LC_2}$  โดยให้  $R_2 \gg R_s$ , เลือก  $R_2 = 1K\Omega$

ดังนั้น  $\frac{1}{LC_2} \approx \frac{1}{LC_2}$

ดังนั้นจะได้ว่า  $\omega_c^2 = \frac{1}{LC_2}$

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{LC_2}}$$

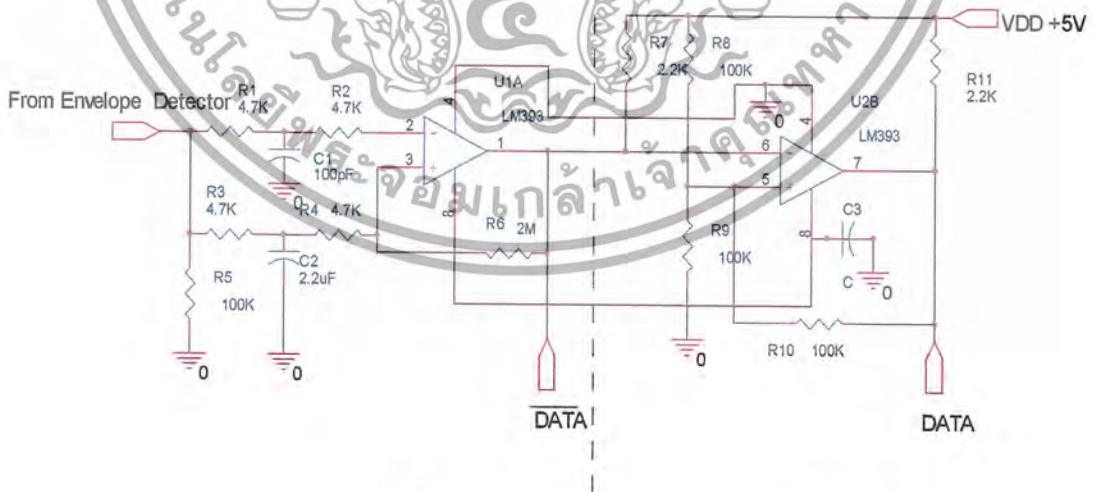
จะได้  $f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_2}}$

เลือก  $f_{LPF} \approx 600kHz$

จะได้  $L = 470\mu H$ ,  $C = 150pF$

3.11.7 วงจร Comparator

Comparator



ภาค A

ภาค B

รูปที่ 3.26 วงจร Comparator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณวงจรภาค A เป็นวงจรชmittทริกเกอร์แบบปรับค่าได้ ( Variable Schmitt Trigger )

ซึ่งเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันชนิดหนึ่ง ซึ่งอาศัยหลักการป้อนกลับแบบบวกโดยการนำเอาสัญญาณ Input บางส่วนนำมาป้อนกลับเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณ Input ของวงจรอีกแล้ว จะทำให้เกิดค่าความแตกต่างขึ้นระหว่าง Output ทั้ง 2 สถานะ

#### การคำนวณวงจรภาค A

จากวงจรกำหนดให้ V1 เป็นแรงดันอ้างอิง (Vref) และ V2 เป็นแรงดัน Input ของวงจรจะ  
ได้กราฟคุณสมบัติของวงจร รูปที่ 1

หา Vth จาก I1=I2 , ให้ (4K7+4K7)=R1 , 2M=R2

$$\begin{aligned} \frac{V_{th}}{R1} &= \frac{V_{oh} - V_{th}}{R2} \\ V_{th} \left( \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \right) &= \frac{V_{oh}}{R2} + \frac{V1}{R1} \\ \therefore V_{th} &= \frac{V_{oh}}{R2 \left( \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \right)} + \frac{V1}{R1 \left( \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \right)} \\ V_{th} &= \left( \frac{R1}{R1 + R2} \right) V_{oh} + \left( \frac{R2}{R1 + R2} \right) V1, V_{oh} = 5V \\ V_{th} &= \left( \frac{2(4K7)}{2(4K7) + 2M} \right) 5V + \left( \frac{2M}{2(4K7) + 2M} \right) V1 \\ V_{th} &= 2.34mV + V1 \end{aligned}$$

หา Vtl จาก I1=I2

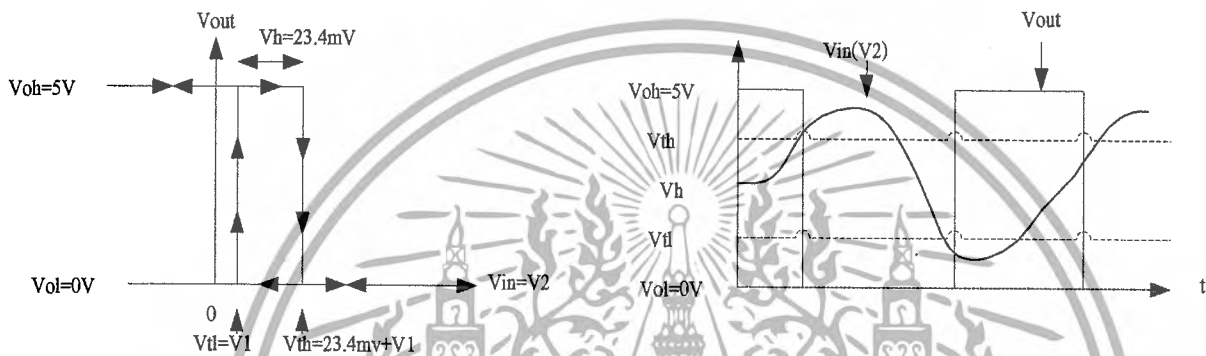
$$\begin{aligned} \frac{V_{tl} - V1}{R1} &= \frac{V_{ol} - V_{tl}}{R2} \\ V_{tl} \left( \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \right) &= \frac{V_{ol}}{R2} + \frac{V1}{R1} \\ V_{tl} &= \frac{V_{ol}}{R2 \left( \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \right)} + \frac{V1}{R1 \left( \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \right)} \\ V_{tl} &= \left( \frac{R1}{R1 + R2} \right) V_{ol} + \left( \frac{R2}{R1 + R2} \right) V1, V_{ol} = 0V \\ V_{tl} &= \left( \frac{R2}{R1 + R2} \right) V1 \approx V1 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟคุณสมบัติของวงจรดัง รูปที่ 1 ค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างสัญญาณ Output ทั้ง 2 สถานะนี้ จะเรียกว่า “ ฮิสเตอร์ซิส (Hysteresis) “ และความกว้างของสถานะ ฮิสเตอร์ซิส ( Hysteresis Width ,Vh) ถูกกำหนดโดย  $V_h = V_{th} - V_{tl}$

$$\text{ดังนั้น } V_h = V_{th} - V_{tl} = (22.4\text{mV} + V_1) - V_1 = 23.4\text{mV}$$

ซึ่งจะได้กราฟคุณสมบัติของวงจรและรูปคลื่น ระหว่าง  $V_{in}$  กับ  $V_{out}$  ดังรูป ที่ 3.27 และ 3.28



รูปที่ 3.27 กราฟคุณสมบัติของวงจร รูปที่ 3.28 รูปคลื่นระหว่าง  $V_{in}$  กับ  $V_{out}$

จากกราฟอธิบายได้ดังนี้คือเมื่อ  $V_{in}$  ( $V_2$  หรือจาก Evelope Detector ) มีค่ามากกว่า  $V_{th}(23.4\text{mV} + V_1)$  จะได้  $V_{out} = V_{ol}(0\text{V})$  คงที่จนกว่า  $V_{in}(V_2)$  จะมีค่าต่ำกว่า  $V_{tl} = V_1$  จึงจะได้  $V_{out} = V_{oh}(5\text{V})$  ซึ่งจะทำงานในลักษณะนี้ไปเรื่อยๆถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ Input ( $V_{in}$  หรือ จาก Evelope Detector Signal)

การคำนวณว่าวงจรภาค B เป็นวงจร ชมิตทริกเกอร์กลับเฟส(Inverting Schmitt Triger)

ซึ่งเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันชนิดหนึ่งซึ่งอาศัย หลักการป้อนกลับแบบบวกโดยการนำสัญญาณ Output บางส่วนนำกลับมาป้อนเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณ Input ของวงจรอีกและจะทำให้เกิดค่าความแตกต่างขึ้นระหว่าง Output ทั้ง 2 สถานะ

#### การคำนวณวงจรภาค B

เนื่องจากการป้อนกลับแบบบวกทำให้แรงดัน Output ของวงจร  $V_{out}$  เปลี่ยนแปลงอยู่ 2 สถานะ คือ  $V_{oh}$  และ  $V_{ol}$  โดยมีค่าของแรงดันขีดเริ่ม ( $V_{th}, V_{tl}$ ) เท่ากับ

หา  $V_{th}$  จะได้ จาก  $I_1 = I_2 + I_3$

$$\frac{V_{th}}{100K} = \frac{V_{cc} - V_{th}}{100K} + \frac{V_{oh} - V_{th}}{100K}$$

$$3V_{th} = V_{cc} + V_{oh}$$

$$V_{th} = \frac{V_{cc} + V_{oh}}{3}, (V_{cc} = V_{oh})$$

$$\therefore V_{th} = \frac{2V_{cc}}{3} = 0.67V_{cc} = 0.87(5) = 3.33V$$

หา  $V_{tl}$  จะได้ จาก

$$\frac{V_{tl}}{100K} = \frac{V_{cc} - V_{tl}}{100K} + \frac{V_{ol} - V_{tl}}{100K}$$

$$3V_{tl} = V_{cc} + V_{ol}$$

$$V_{tl} = \frac{V_{cc} + V_{ol}}{3}, (V_{ol} = 0)$$

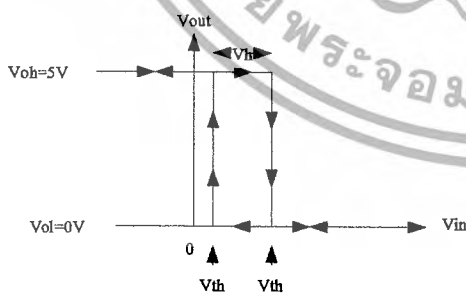
$$V_{tl} = \frac{V_{cc}}{3} = \frac{5}{3} = 1.67V$$

$$\text{ค่า } V_h = V_{th} - V_{tl}$$

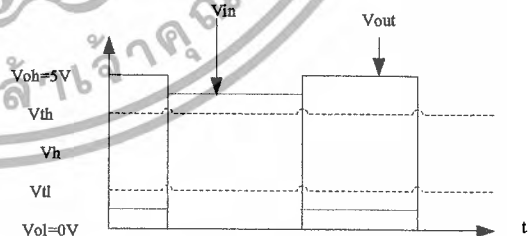
$$V_h = 3.33 - 1.67 = 1.66V$$

ซึ่งจะได้กราฟคุณสมบัติของวงจรและรูปคลื่น ระหว่าง  $V_{in}$  กับ  $V_{out}$  ดังรูป ที่ 3.29 และ

3.30 ตามลำดับ



รูปที่ 3.29 กราฟคุณสมบัติของวงจร



รูปที่ 3.30 รูปคลื่นระหว่าง  $V_{in}$  กับ  $V_{out}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

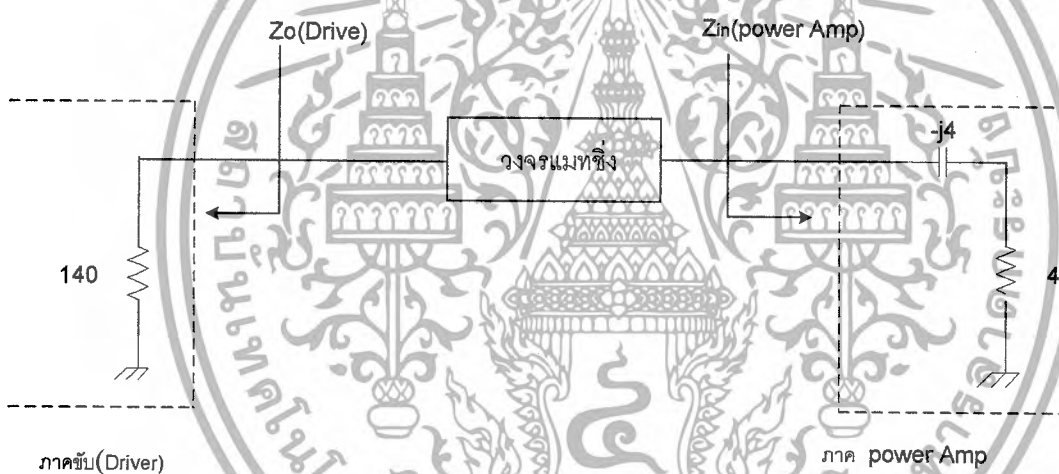
จากกราฟสามารถอธิบายได้ดังนี้คือเมื่อ  $V_{in}$  มีค่ามากกว่า  $V_{th}$  จะได้  $V_{out}=V_{ol}(0V)$  คงที่  
 นกกว่า  $V_{in}$  จะมีค่าต่ำกว่า  $V_{tl}$  จึงจะได้  $V_{out}=V_{oh}(5V)$  ซึ่งจะทำงานในลักษณะนี้ไปเรื่อยๆถ้ามี  
 การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ Input ( $V_{in}$ )

### 3.12 วงจรแมทซิ่ง (Matching circuit)

วงจรแมทซิ่ง(Matching circuit) เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรหรือโครงข่าย  
 เพื่อให้วงจรหรือ โครงข่ายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือเพื่อให้เกิดการถ่ายถอดกำลังสูงสุด

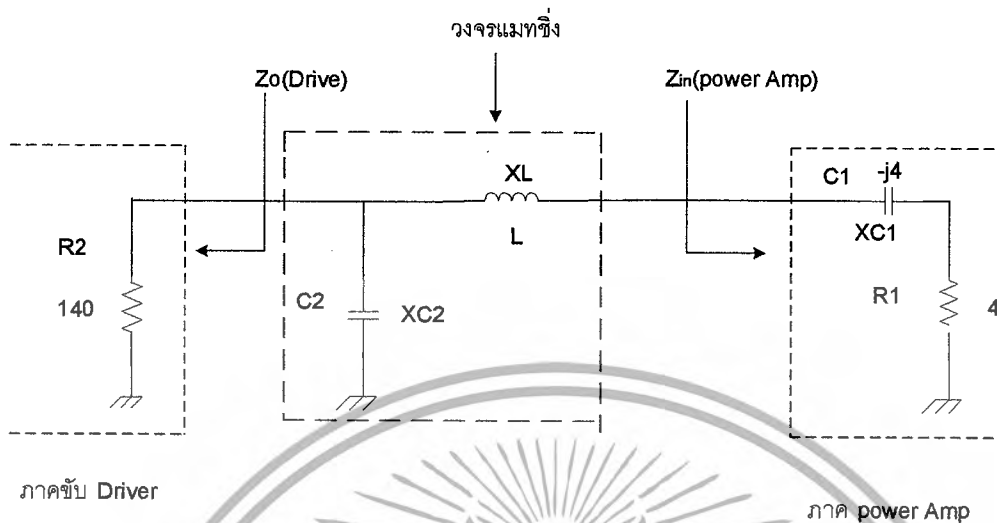
#### 3.12.1 การออกแบบวงจรแมทซิ่ง ระหว่างภาคขับ (Drive) กับภาค Power Amp

โดยที่  $Z_o$  ของภาคขับ (Drive) =  $140 \Omega$  ,  $Z_{in}$  ของภาค Power Amp =  $8//j8 \Omega$



รูปที่ 3.31 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้งสองด้านที่จะทำการแมทซิ่งภาคขับกับภาค Power Amp  
 เลือกรวม MATCHING CCT (หน้า 50) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 รูปแบบของวงจรที่ใช้ในการแมตซิ่งระหว่างภาคขับกับภาค Power Amp

หาค่า  $X_{C2}$  จาก 
$$X_{C2} = R_2 \sqrt{\frac{R_1}{R_2 - R_1}} = 140 \sqrt{\frac{4}{140 - 4}} = 24 \Omega$$

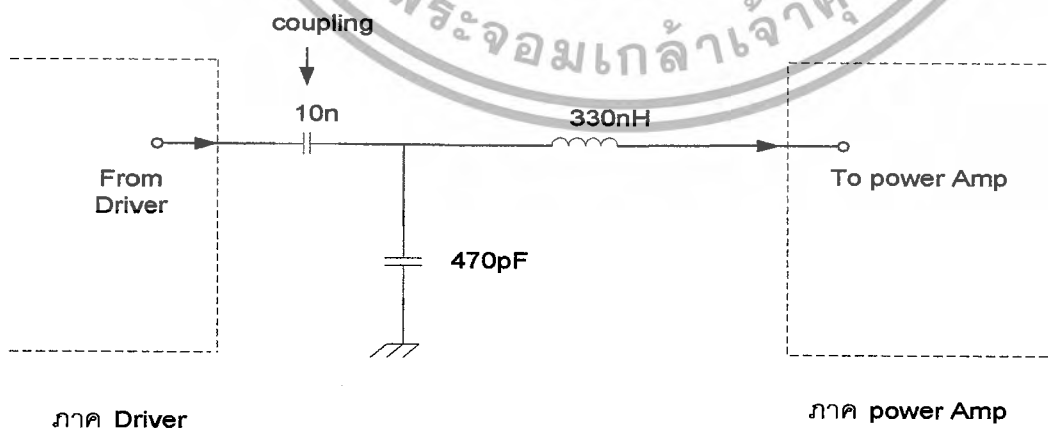
หาค่า  $X_L$  จาก 
$$X_L = \frac{R_1 R_2}{X_{C2}} + X_{C1} = \frac{4(140)}{24} + 4 = 27.33 \Omega$$

∴ ที่  $f = 13.56 \text{ MHz}$  จะได้ 
$$C_2 = \frac{1}{\omega X_{C2}} = \frac{1}{(2\pi \times 13.56 \times 10^6)(24)} \approx 489 \text{ pF}$$

∴ เลือก  $C_2 = 470 \text{ pF}$

ที่  $f = 13.56 \text{ MHz}$  จะได้ 
$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{27.33}{(2\pi \times 13.56 \times 10^6)} \approx 320.77 \text{ nH}$$

∴ เลือก  $L = 330 \text{ nH}$



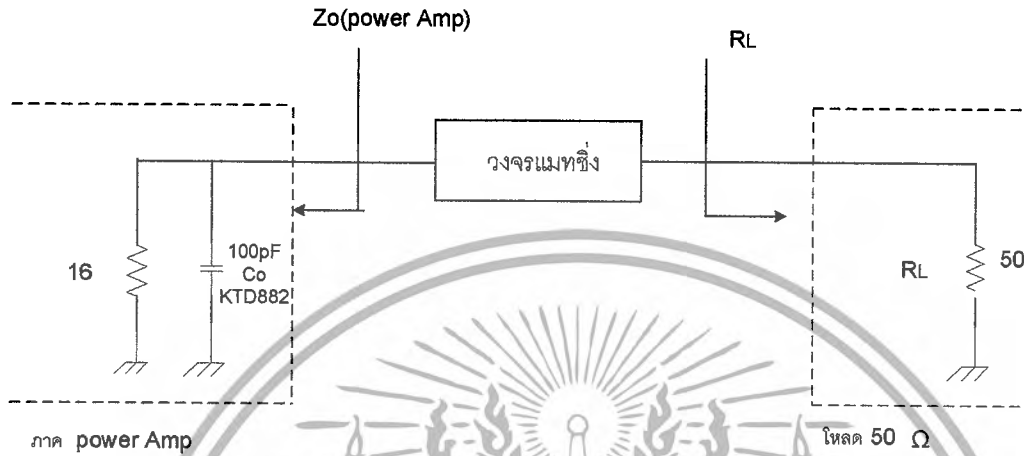
รูปที่ 3.33 แสดงวงจรแมตซิ่งระหว่างภาค Power Amp ที่ใช้งานจริง

**\*\*C Coupling** ควรเลือก  $X_C$  น้อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

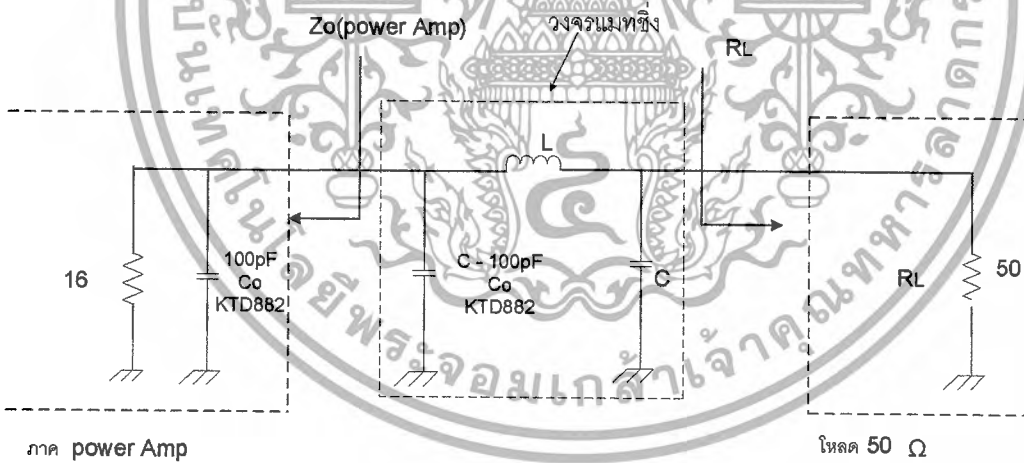
3.12.2 การออกแบบวงจรแมทซิ่งระหว่างภาค Power Amp กับโหลด 50 Ω

เมื่อ  $Z_o$  ของภาค Power Amp =  $16/-j117.37 \Omega$   $Z_{in} = R_L = 50 \Omega$



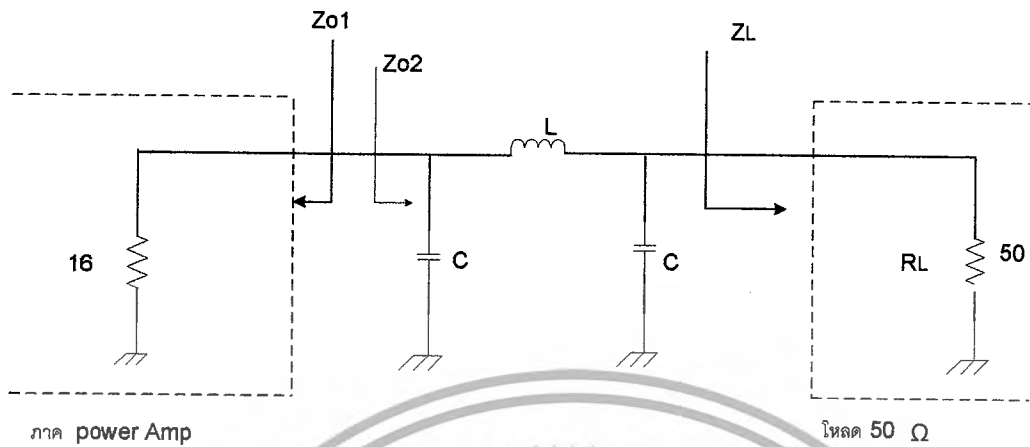
รูปที่ 3.34 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้ง 2 ด้านที่จะทำการแมทซิ่งภาค Power Amp กับโหลด 50 Ω

เลือก MATCHING แบบ Quarter wave Transformer



รูปที่ 3.35 รูปแบบของวงจรที่ใช้ในการแมทซิ่งระหว่างภาค Power Amp กับโหลด 50 Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.36 รูปแบบของวงจรที่ใช้ในการแมตซิ่งระหว่างภาค Power Amp กับโหลด 50 Ω

จากวงจรสามารถคำนวณได้จาก  $\lambda/4$  Transformer

โดยจะมีการส่งผ่านกำลังงานสูงสุดจาก  $Z_{O1}$  ไปยังโหลด  $Z_2$  เมื่อ  $Z_{O1} = Z_{O2}$

$$\text{จาก } Z_{O1} = \frac{Z_{O2}^2}{Z_L}$$

$$\therefore Z_{O2} = \sqrt{Z_{O1}Z_2} = \sqrt{(16)(50)} \approx 28.28 \text{ } \Omega$$

$$\text{จะได้ } XL = XC = Z_{O2}$$

$$\text{ดังนั้นที่ความถี่ } f = 13.56 \text{ MHz จะได้ } C = \frac{1}{\omega Z_{O2}} = \frac{1}{(2\pi \times 13.56 \times 10^6)(28.28)} \approx 415 \text{ pF}$$

$$L = \frac{Z_{O2}}{\omega} = \frac{28.28}{(2\pi \times 13.56 \times 10^6)} \approx 331.9 \text{ nH}$$

\*C ทางซ้ายมือรวมผลของ C, KTD 882 ด้วยดังนั้น C ที่ใช้งานจริงทางด้านซ้ายมือจะมีค่าเท่ากับ

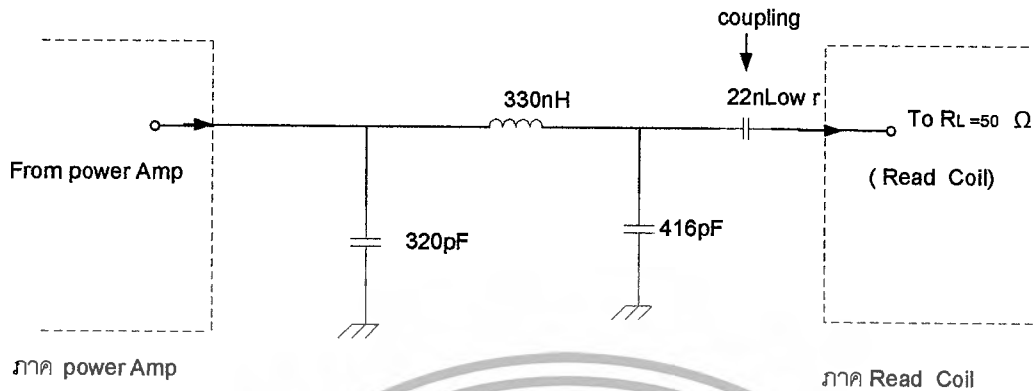
$$C-C, \text{ KTD } 882 = 415 \text{ pF} - 100 \text{ pF} = 315 \text{ pF}$$

ดังนั้น C ทางซ้ายมือ = 315 pF เลือกใช้ 320 pF

$$C \text{ ทางขวามือ} = 415 \text{ pF} \text{ เลือกใช้ } 416 \text{ pF}$$

$$L = 331.9 \text{ nH} \text{ เลือกใช้ } 330 \text{ nH}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.37 แสดงวงจรแมตชิงระหว่างภาค power Amp กับ โหลด  $50 \Omega$  (Reader coil) ที่ใช้งานจริง

### 3.12.3 การออกแบบวงจรแมตชิงระหว่างโหลด $50 \Omega$ กับ Reader coil

จากการออกแบบ Reader coil (หน้า 77) จะได้  $X_L$  ของ Reader coil =  $147.6 \Omega$

และจากตารางที่ 3.4 เลือก  $Q = 5$  จะได้  $R_1$  คำน้อยเท่ากับ  $24.52 \Omega$  เลือกใช้  $R_1 = 20 \Omega$

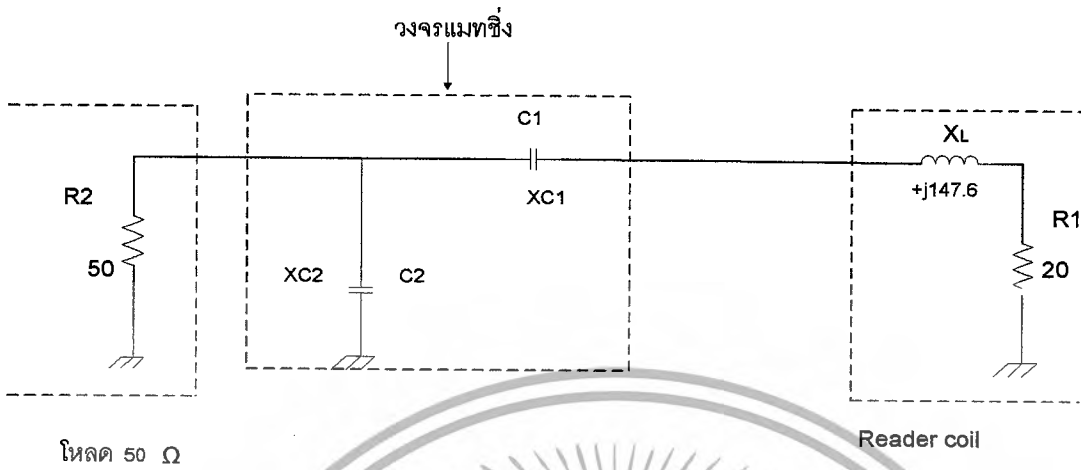
(ในการเลือกค่า  $R_1$  ควรเลือก  $R_1 \approx 10 - 20 \Omega$  เพราะเวลาทำการปรับแมตชิงจะไม่ยากเกินไปนัก)



รูปที่ 3.38 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้ง 2 ด้านที่จะทำการแมตชิง โหลด  $50 \Omega$  กับ Reader coil

เลือก MATCHING CCT (หน้า 50) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.39 รูปแบบของวงจรที่ใช้ในการแมทซิ่งระหว่างโหลด 50 โอห์ม

หาค่า  $X_{C2}$  จาก  $X_{C2} = R_2 \sqrt{\frac{R_1}{R_2 - R_1}} = 50 \sqrt{\frac{20}{50 - 20}} = 40.825 \text{ โอห์ม}$

หาค่า  $X_{C1}$  จาก  $X_{C1} = QR_1$  เมื่อ  $Q = 5, R = 20 \text{ โอห์ม}$   
 $X_{C1} = 5 \times 20$   
 $X_{C1} = 100 \text{ โอห์ม}$

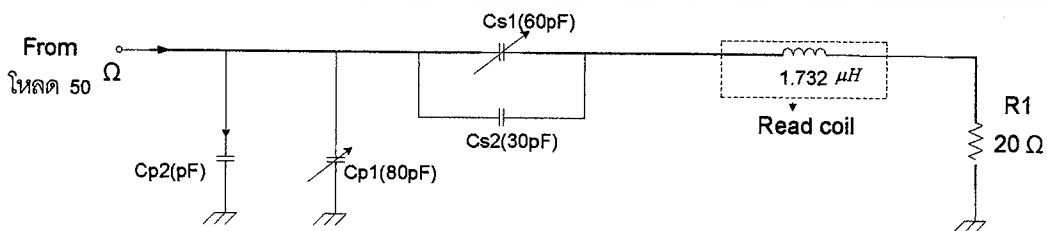
∴ ที่ความถี่  $f = 13.56 \text{ MHz}$  จะได้

$$C_1 = \frac{1}{\omega X_{C1}} = \frac{1}{(2\pi \times 13.56 \times 10^6)(100)} = 117.37 \text{ pF}$$

$$C_2 = \frac{1}{\omega X_{C2}} = \frac{1}{(2\pi \times 13.56 \times 10^6)(40.825)} = 287.5 \text{ pF}$$

เลือก  $C_1 = C_s(40 \text{ pF}) + C_s(60 \text{ pF})$  ii  
 $C_2 = C_p(\text{ }) + C_s(80 \text{ pF})$

การปรับค่า  $C_1$  จะมีผลมากกว่าปรับค่า  $C_2$  และถ้าปรับ  $C_1$  ลดลงจะได้ความถี่ Resonant สูงขึ้น

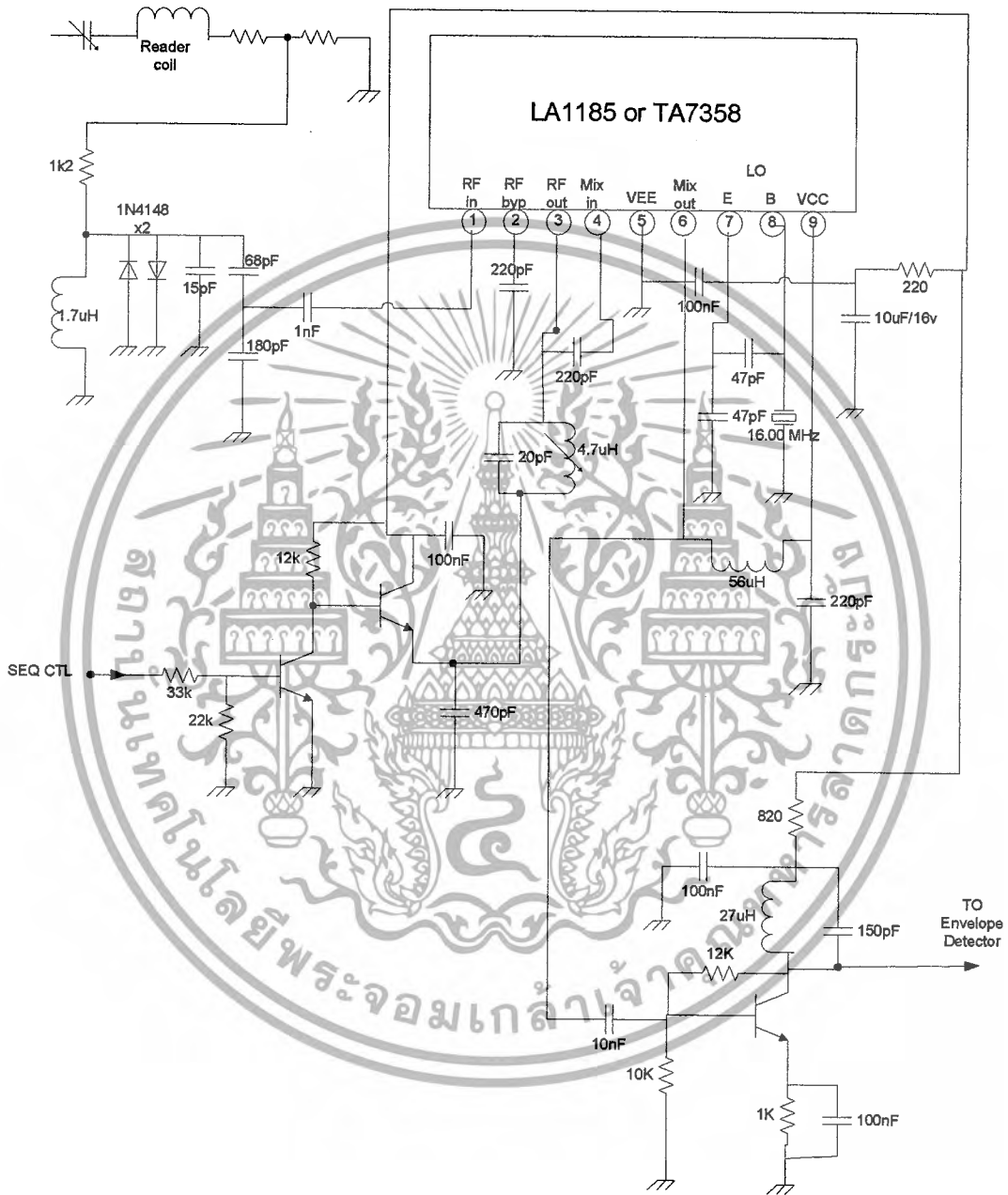


รูปที่ 3.40 แสดงวงจรแมทซิ่งระหว่างโหลด 50 โอห์ม กับ Reader coil ที่ใช้งานได้จริง

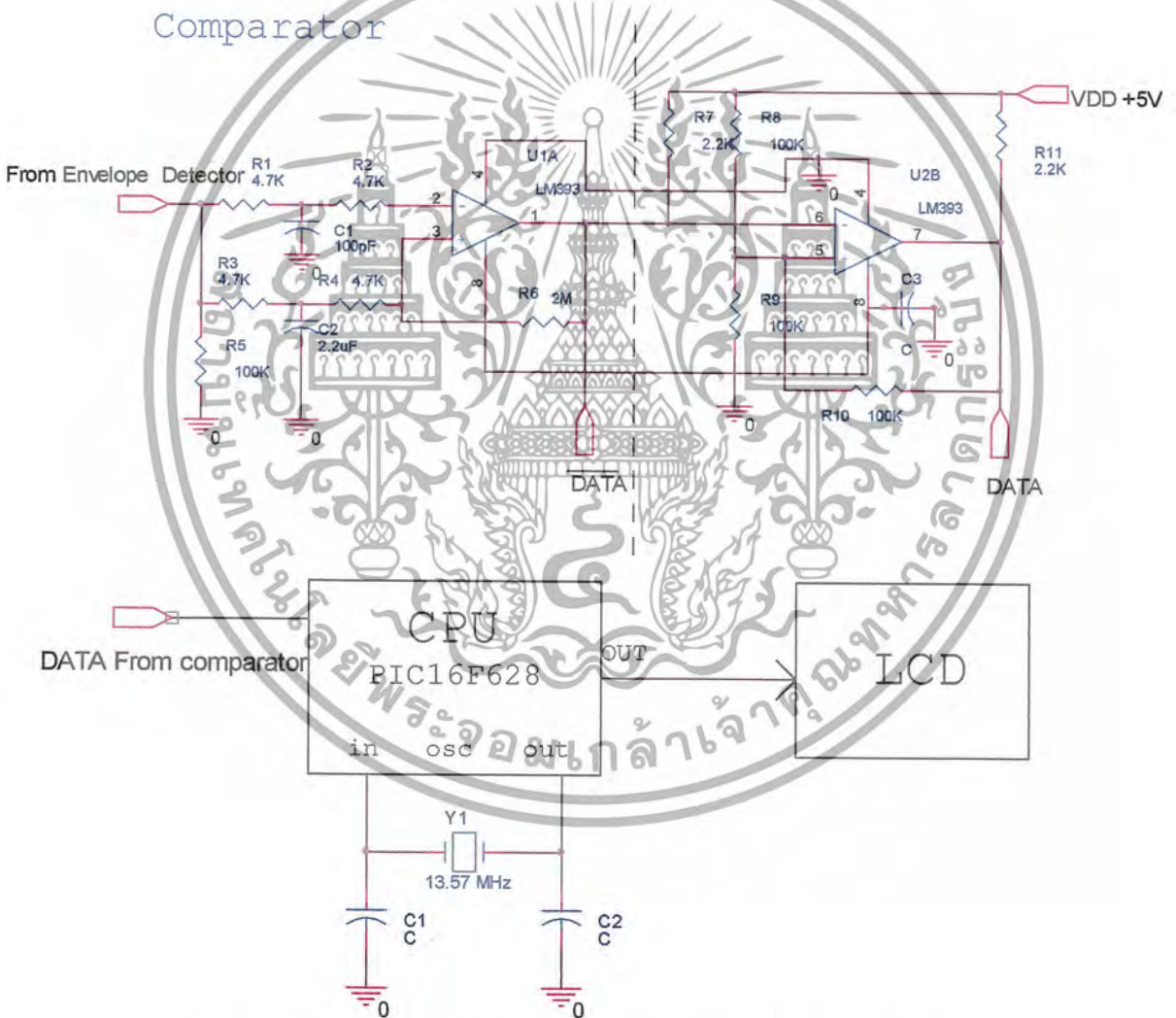
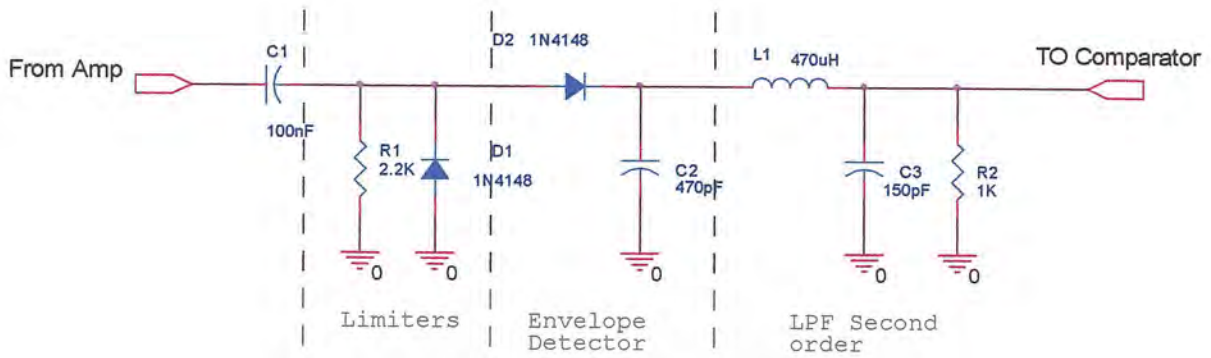
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวชนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Amplifier and Mixer

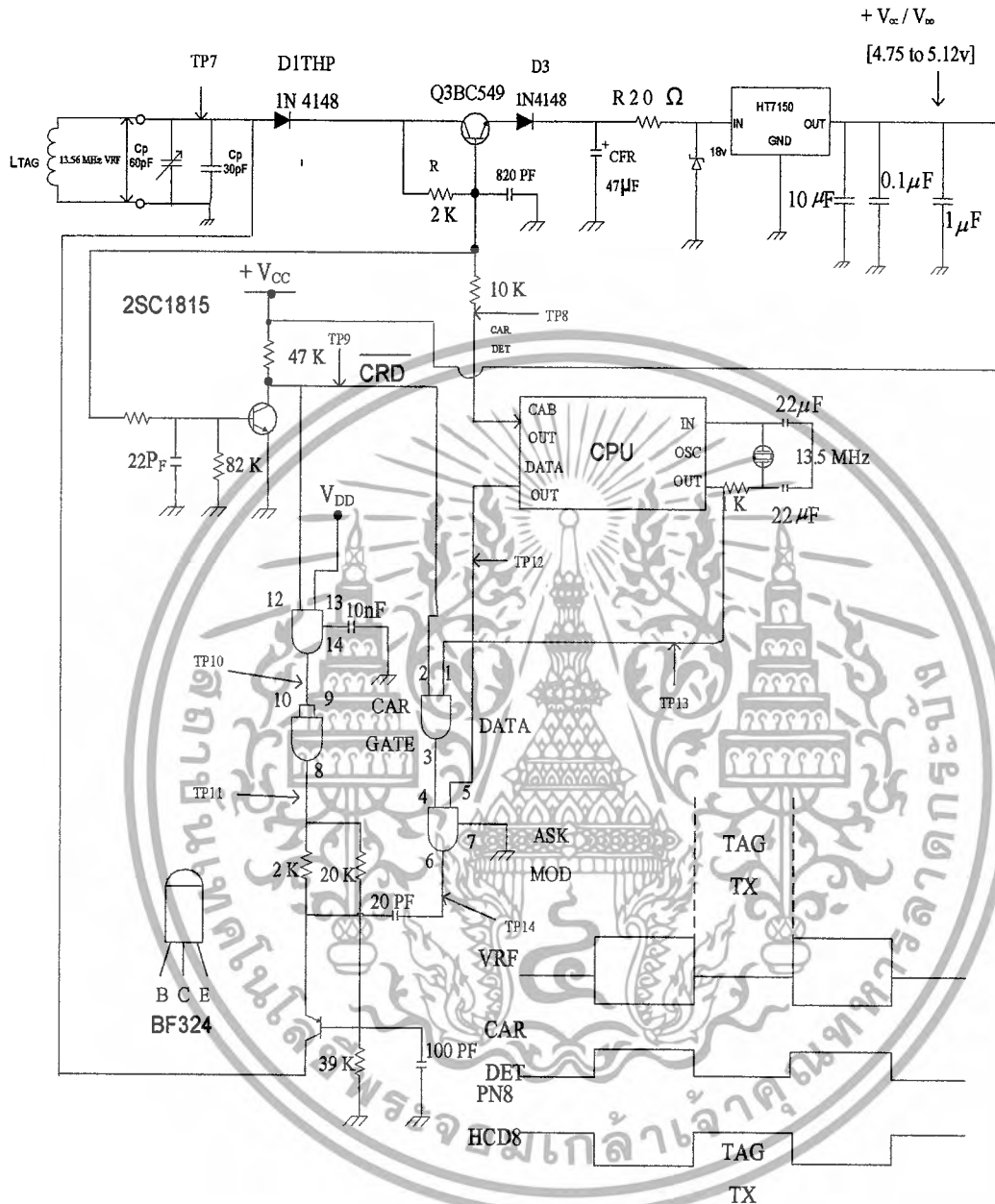


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.41 วงจรรวมทั้งหมดในส่วนของ Reader coil Drive  $P_o \approx 0.5$  w

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.42 วงจรรวมทั้งหมดในส่วนของเครื่องลูกข่าย(TAG)ที่ใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### โปรแกรม

#### 4.1 โปรแกรมของ TAG

```

#include <16F628.h>

#fuses HS

#fuses NOLVP , NOWDT

#fuses NOPROTECT

#use delay (clock = 13560000)

#define output PIN_A2

void main() {
    unsigned char dat, buff;
    unsigned int i = 0;
    dat = 0xAA;
    SET_TRIS_A(0x02);
    output_high(output);
    while(1) {
        if( input(PIN_A1) == 0 )
        {
            for(i=0;i<8;i++)
            {
                buff = dat & 0x80;
                if(buff == 0x80)
                {
                    output_high(output);

                    delay_us(94);

                    output_low(output);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        delay_us(94);
    }

else
    {
        output_low(output);
        delay_us(94);
        output_high(output);
        delay_us(94); }
    dat = dat <<1;
} dat=0xAA;
}
else { output_high(output); }
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 โปรแกรมของ Reader

```

#include<16F628.h>

#fuses HS

#fuses NOLVP ,NOWDT

#fuses NOPROTECT

#use delay (clock = 13560000)

#define output PIN_A2

void main() {

    unsigned char dat,buff;
    unsigned int i = 0;
    dat = 0xAA;
    SET_TRIS_A(0x04);
    output_high(output);
    while(1) {
        output_high(output);
        if( input(PIN_A1) == 0 )
        {
            output_low(output);
            delay_ms(50);
            output_high(output);
            for(i=0;i<8;i++)
            {
                buff = dat & 0x80;
                if(buff == 0x80)
                {
                    output_high(output);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        delay_us(94);

        output_low(output);

        delay_us(94);
    }

else
    {

        output_low(output);
        delay_us(94);
        output_high(output);
        delay_us(94); }
    dat = dat <<1;
    dat=0xAA;
}
//else { output_high(output); }
}

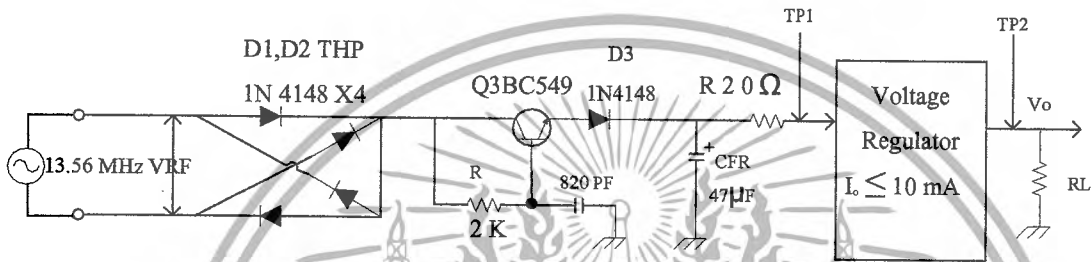
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การทดลองและการบันทึกผล

#### 5.1 การทดลองวงจร Voltage Regulator



รูปที่ 5.1 วงจรการทดลอง Voltage Regulator

ทำการจ่ายแรงดันเข้าไปที่จุด TP1 เพื่อทดลองวงจร Voltage Regulator โดยแรงดันไฟที่จ่ายให้ด้าน จุด TP1 นั้นเปรียบเสมือน ได้รับการเหนี่ยวนำของขดลวดของ TAG โดยใช้แรงดันทดสอบเลย ทำการวัด โดยใช้ RL แต่ละค่าต่างๆ ไปด้วยนี้ RL=470 , 1k , 2k , ∞ (Ω)

ตารางที่ 5.1 RL=470 Ω

Vin(V)	Iin(mA)	Vout(V)	Iout(mA)
4	6.1	2.7	5.744
5	8.1	3.7	7.87
6	10.3	4.6	9.78
7	10.5	4.6	9.78
9	10.5	4.7	10
12	10.5	4.7	10
15	10.5	4.7	10
18	10.5	4.7	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2  $R_L=1k$ 

Vin(V)	Iin(mA)	Vout(V)	Iout(mA)
4	1.4	2.9	1.45
5	1.9	3.8	1.9
6	2.4	4.6	2.3
7	2.5	4.7	2.35
9	2.5	4.7	2.35
12	2.5	4.7	2.35
15	2.5	4.7	2.35
18	2.5	4.7	2.35

ตารางที่ 5.3  $R_L=2k$ 

Vin(V)	Iin(mA)	Vout(V)	Iout(mA)
4	1.4	2.9	1.45
5	1.9	3.8	1.9
6	2.4	4.6	2.3
7	2.5	4.7	2.35
9	2.5	4.7	2.35
12	2.5	4.7	2.35
15	2.5	4.7	2.35
18	2.5	4.7	2.35

ตารางที่ 5.4  $R_L=\infty$  (No Load)

Vin(V)	Iin(mA)	Vout(V)	Iout(mA)
4	0	3	0
5	0	4	0
6	0	4.7	0
7	0.1	4.7	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

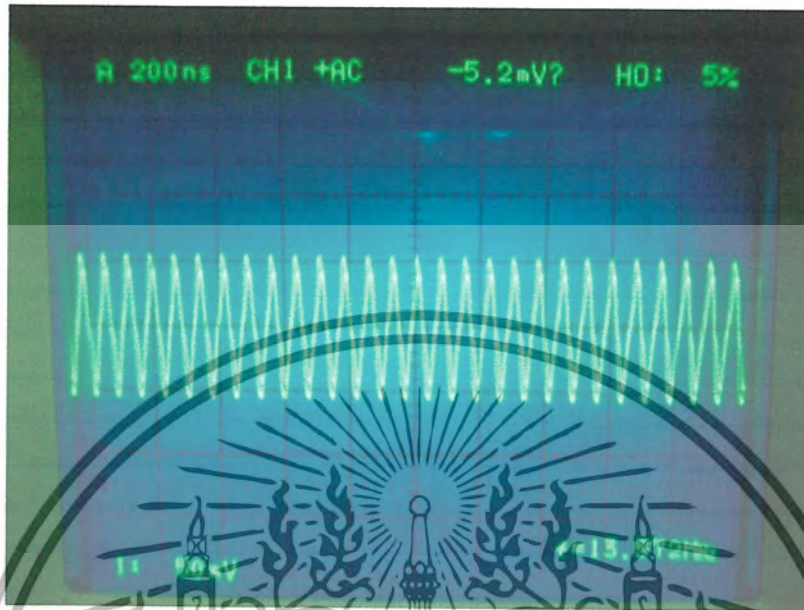
9	0.1	4.7	0
12	0.1	4.7	0
15	0.1	4.7	0
18	0.1	4.7	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



5.2.1 สัญญาณที่จุด TP1 คือจุด OSC ของ HC 4060 ซึ่งมีความถี่ 13.57 Mhz]



รูปที่ 5.3 สัญญาณที่จุด TP1

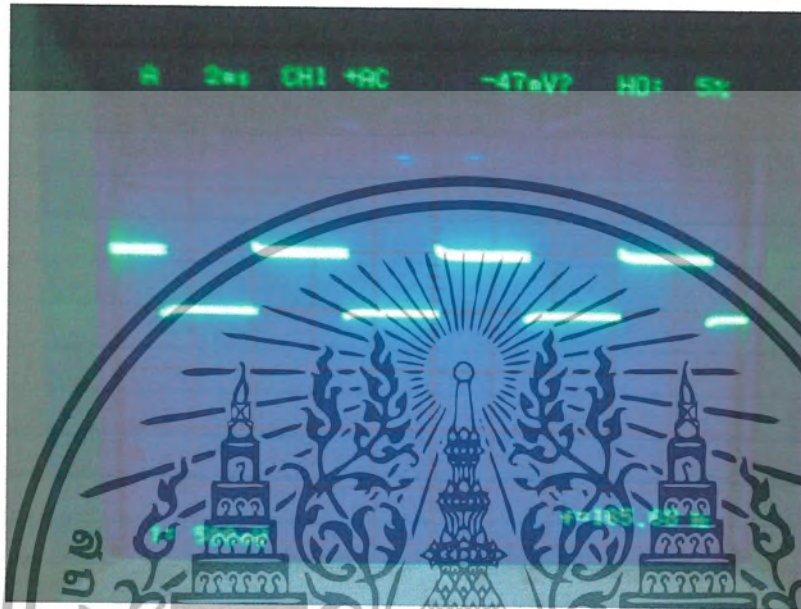
5.2.2 สัญญาณที่จุด TP2 คือจุดต่อกับขา 2 ของ HC 4060 ซึ่งทำการหารความ OSC ที่เข้า โดย  $13.57 \text{ Mhz} / 2^{13} = 1.65 \text{ KHz}$



รูปที่ 5.4 สัญญาณที่จุด TP2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 สัญญาณที่จุด TP3 คือจุดที่ ขา 12 ของ HC 4017 โดยจะทำการหารความถี่ที่เข้ามาโดยจะทำการหาร 10 ดังนั้น ความถี่ที่ได้คือ 165 Hz



รูปที่ 5.5 สัญญาณที่จุด TP3

5.2.4 สัญญาณที่จุด TP4 คือจุดที่ จากระดับสัญญาณ TP1 มา AND กับ จุด TP3 จะได้ดังนี้



รูปที่ 5.6 สัญญาณที่จุด TP4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.5 สัญญาณที่จุด TP5 ซึ่งเป็นสัญญาณ ก่อนที่จะเข้า TR 2N222 ขา B



รูปที่ 5.7 สัญญาณที่จุด TP5

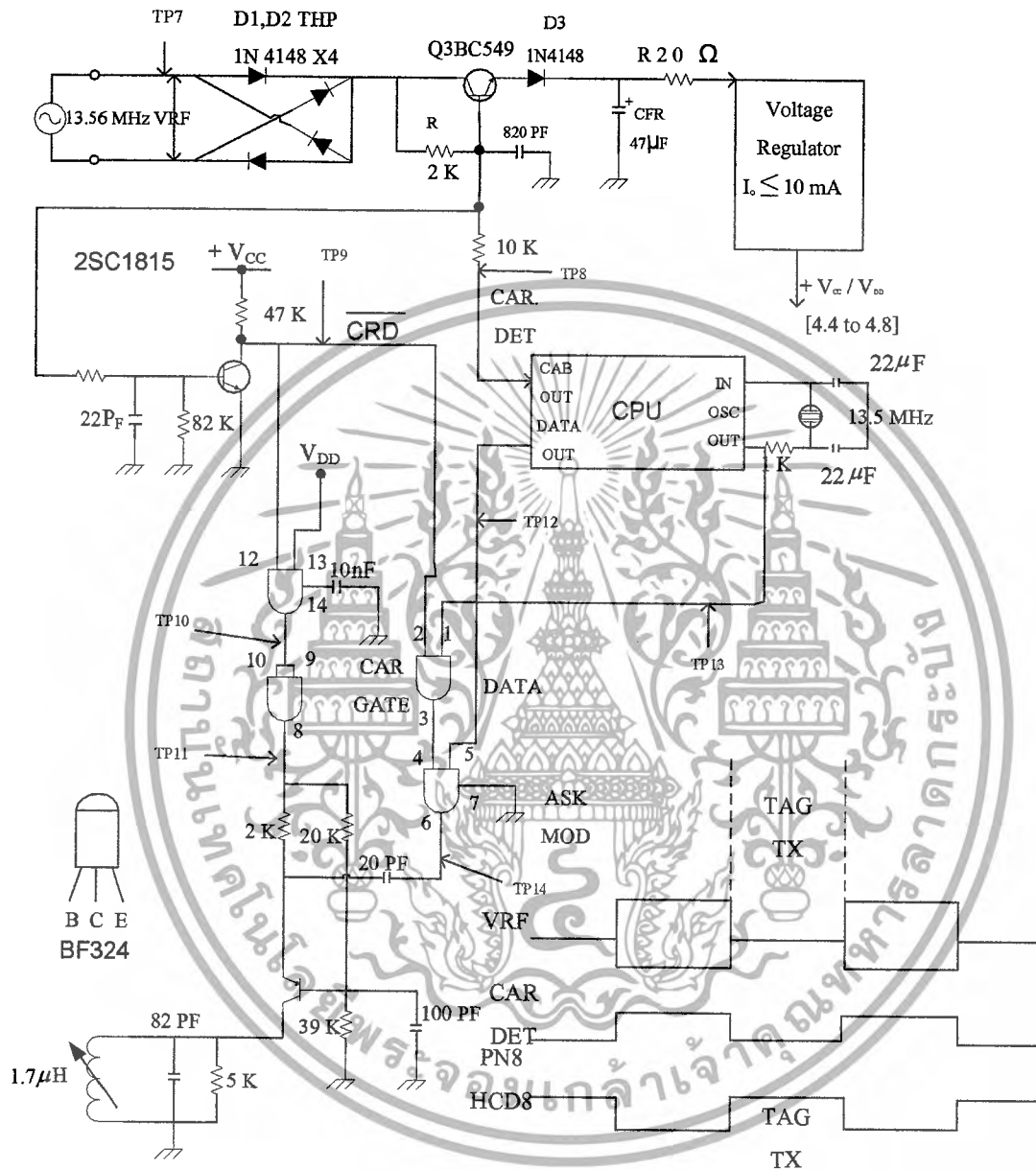
5.2.6 สัญญาณที่จุด TP6 สัญญาณ OUTPUT ของวงจร AC SOURCE TAG EXCITER โดย วัดที่โหลด 820 โอห์ม



รูปที่ 5.8 สัญญาณที่จุด TP6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

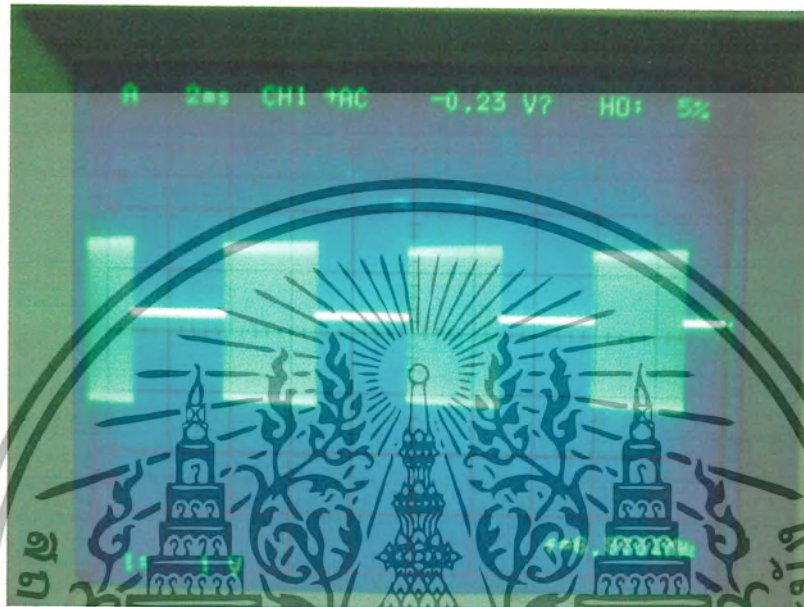
5.3 ทดลองวงจร TEMPORALY TAG(ทดสอบTAG)



รูปที่ 5.9 วงจร TEMPORALY TAG(ทดสอบTAG)

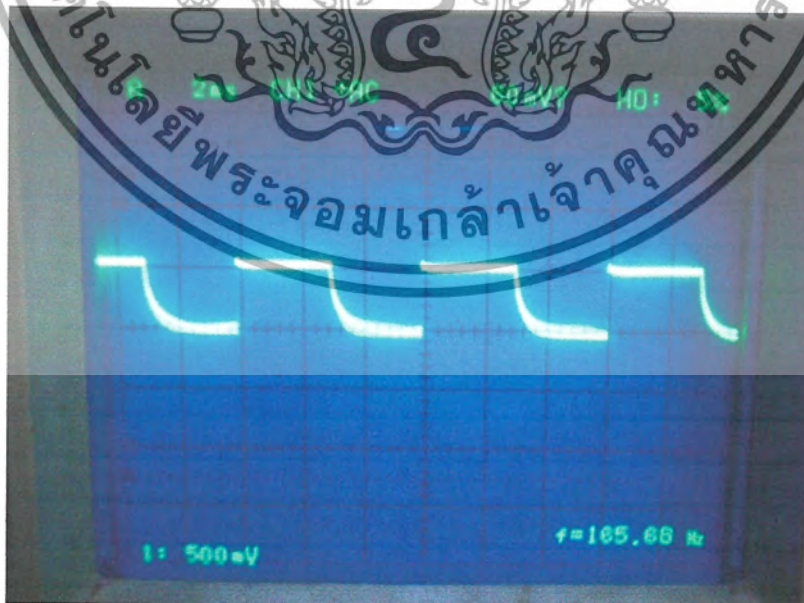
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.1 สัญญาณที่จุด TP7 เป็นสัญญาณที่ต่อ มาจาก วงจรทดสอบ TAG



รูปที่ 5.10 สัญญาณที่จุด TP7

### 5.3.2 สัญญาณที่จุด TP8 เป็นสัญญาณ Carrier Detector



รูปที่ 5.11 สัญญาณที่จุด TP8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

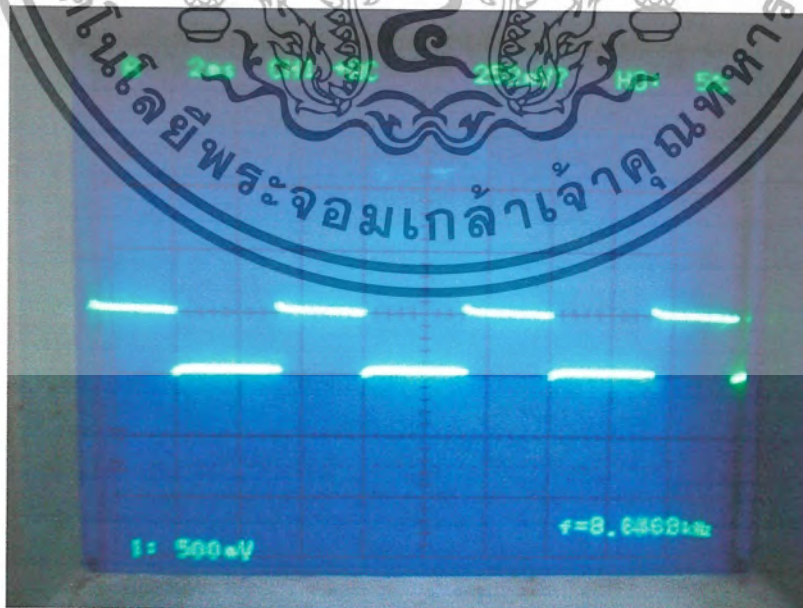
### 5.3.3 สัญญาณที่จุด TP9 เป็นสัญญาณที่ กลับเฟสของ Carrier



รูปที่ 5.12 สัญญาณที่จุด TP9

### 5.3.4 สัญญาณที่จุด TP10 เป็นสัญญาณที่วัดกึ่งผ่าน AND GATE 1 ตัว ซึ่งหมายถึงการต่อ

แบบ BUFFER



รูปที่ 5.13 สัญญาณที่จุด TP10

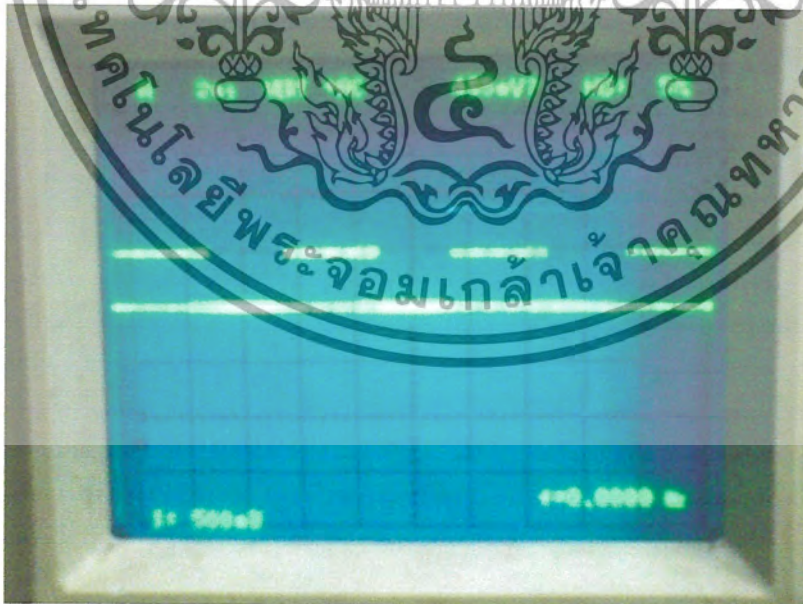
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.5 สัญญาณที่จุด TP11 คือจุดต่อจากจุด TP10 เป็น BUFFER ตัวที่ 2 ใช้เนื่องจาก GATE เหลือซึ่งปล่อยลอยไม่ได้



รูปที่ 5.14 สัญญาณที่จุด TP11

5.3.6 สัญญาณที่จุด TP12 เป็นจุด DATA OUT ซึ่งเป็น DATA ที่จะนำไปส่ง



รูปที่ 5.15 สัญญาณที่จุด TP12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.7 สัญญาณที่จุด TP13 เป็นสัญญาณ Carrier ที่ได้จาก Crystal 13.5 MHz



รูปที่ 5.16 สัญญาณที่จุด TP13

### 5.3.8 สัญญาณที่จุด TP14 เป็นสัญญาณ DATA ที่ AND สัญญาณ Carrier



รูปที่ 5.17 สัญญาณที่จุด TP14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.4 ผลการทดลองของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่าน(Reader)มายังเครื่องลูกข่าย(Tag)

การทดลองในส่วนนี้จะทดลอง โดยการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่าน(Reader)มายังเครื่องลูกข่าย(Tag)แล้วบันทึกพลังงานที่เครื่องลูกข่ายสามารถรับได้ที่ระยะห่างต่างๆระหว่างเครื่องอ่าน(Reader)กับเครื่องลูกข่าย(Tag) โดยที่กำลังส่งจากเครื่องอ่าน(Reader)มายังเครื่องลูกข่าย(Tag)มีค่าเท่ากับ  $0.5 \text{ W} (P_o=0.5w)$  ในกรณีที่โหนดมีค่าต่างๆจะได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 5.4.1 แสดงผลการทดลองของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่าน(Reader)มายังเครื่องลูกข่าย(Tag) ในกรณีที่ยังไม่ต่อ TAG Regurattor

ระยะห่างระหว่างTAGกับ READER (cm)	แรงดันที่จุดVinของ TAG Regurattor(V)	ระยะห่างระหว่าง TAGกับ READER(cm)	แรงดันที่จุดVinของ TAG Regurattor(V)
0.0	14.39	4.5	9.18
0.5	14.39	5.0	7.95
1.0	14.39	5.5	6.97
1.5	14.38	6.0	6.32
2.0	13.99	6.5	5.69
2.5	13.42	7.0	5.26
3.0	12.71	7.5	4.51
3.5	11.96	8.0	4.08
4.0	10.66	8.5	3.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4.2 แสดงผลการทดลองของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่าน(Reader)มายังเครื่องถูกข่าย (Tag) ในกรณีที่ต่อ โหลดของ TAG Regulator ที่งานจริง( $R_{TAG}=710\Omega$ )

ระยะห่างระหว่างTAGกับ READER (cm)	แรงดันที่จุดVinของ TAG Regurator(V)	แรงดันที่จุดVoutของ TAG Regurator(V)
0.0	9.02	5.14
0.5	8.83	5.14
1.0	8.67	5.14
1.5	8.23	5.14
2.0	7.29	5.14
2.5	6.18	5.12
3.0	5.16	5.12
3.5	5.02	4.80
4.0	4.70	4.68
4.5	4.62	4.52
5.0	4.45	4.49
5.5	4.39	4.33
6.0	4.18	4.23
6.5	3.91	4.05
7.0	3.68	3.80
7.5	3.46	3.35
8.0	3.18	3.24
8.5	3.03	2.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4.3 แสดงผลการทดลองของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่าน(Reader)มายังเครื่องถูกขยับ (Tag) ในกรณีที่ต้องโหลดของ TAG Regulator ( $R_{TAG} = 390 \Omega$ )

ระยะห่างระหว่างTAGกับ READER (cm)	แรงดันที่จุดVinของ TAG Regurator(V)	แรงดันที่จุดVoutของ TAG Regurator(V)
0	4.82	4.43
0.5	4.57	4.18
1.0	4.36	3.97
1.5	4.18	3.61
2.0	3.95	3.36
2.5	3.74	3.09
3.0	3.64	2.68
3.5	2.89	2.38
4.0	2.57	2.07
4.5	2.27	1.84
5.0	2.04	1.63
5.5	1.85	1.42
6.0	1.68	1.22
6.5	1.47	1.05
7.0	1.40	0.89
7.5	1.35	0.78
8.0	1.29	0.68
8.5	1.26	0.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4.4 แสดงผลการทดลองของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่าน(Reader)มายังเครื่องถูกข่าย (Tag) ในกรณีที่ต้องโหลดของ TAG Regulator ( $R_{TAG} = 500 \Omega$ )

ระยะห่างระหว่างTAGกับ READER (cm)	แรงดันที่จุดVinของ TAG Regurator(V)	แรงดันที่จุดVoutของ TAG Regurator(V)
0.0	5.48	5.11
0.5	5.38	5.02
1.0	4.81	4.92
1.5	4.49	4.52
2.0	4.12	4.18
2.5	3.79	3.87
3.0	3.49	3.40
3.5	3.09	3.01
4.0	2.78	2.62
4.5	2.53	2.32
5.0	2.19	1.97
5.5	1.88	1.74
6.0	1.70	1.44
6.5	1.57	1.30
7.0	1.45	1.18
7.5	1.37	1.03
8.0	1.30	0.85
8.5	1.25	0.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4.5 แสดงผลการทดลองของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่าน(Reader)มายังเครื่องถูกข่าย (Tag) ในกรณีที่ต่อ โหลดของ TAG Regulator ( $R_{TAG} = 890 \Omega$ )

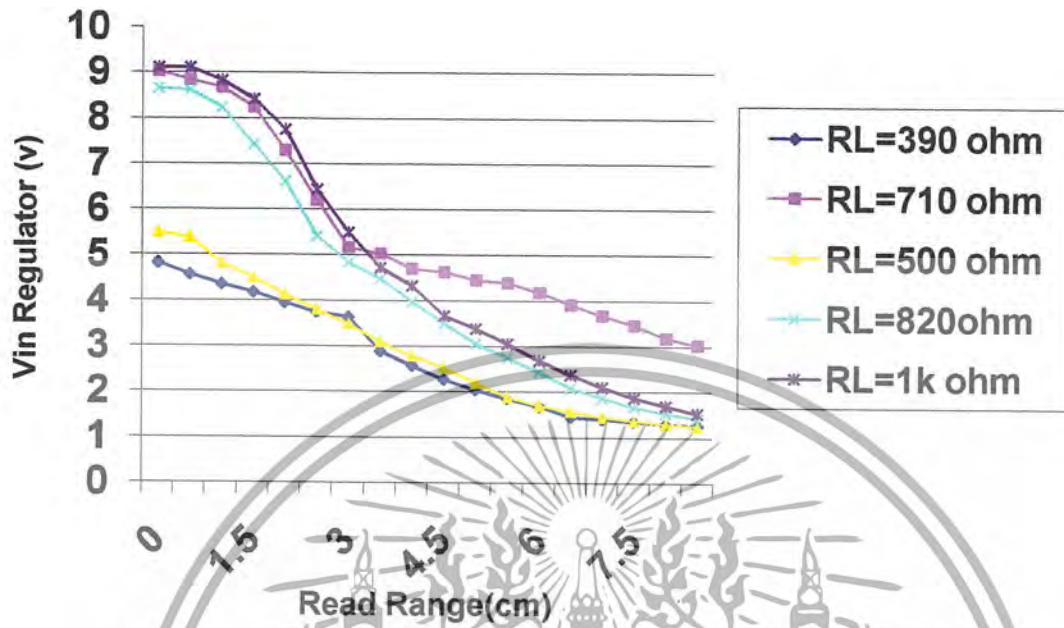
ระยะห่างระหว่างTAGกับ READER (cm)	แรงดันที่จุด Vin ของ TAG Regurator(V)	แรงดันที่จุด Vout ของ TAG Regurator(V)
0.0	8.65	5.12
0.5	8.62	5.12
1.0	8.23	5.12
1.5	7.42	5.12
2.0	6.61	5.12
2.5	5.42	5.08
3.0	4.84	4.46
3.5	4.48	4.07
4.0	3.97	3.60
4.5	3.50	3.22
5.0	3.06	2.82
5.5	2.75	2.56
6.0	2.44	2.23
6.5	2.09	2.02
7.0	1.87	1.76
7.5	1.68	1.53
8.0	1.53	1.45
8.5	1.43	1.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

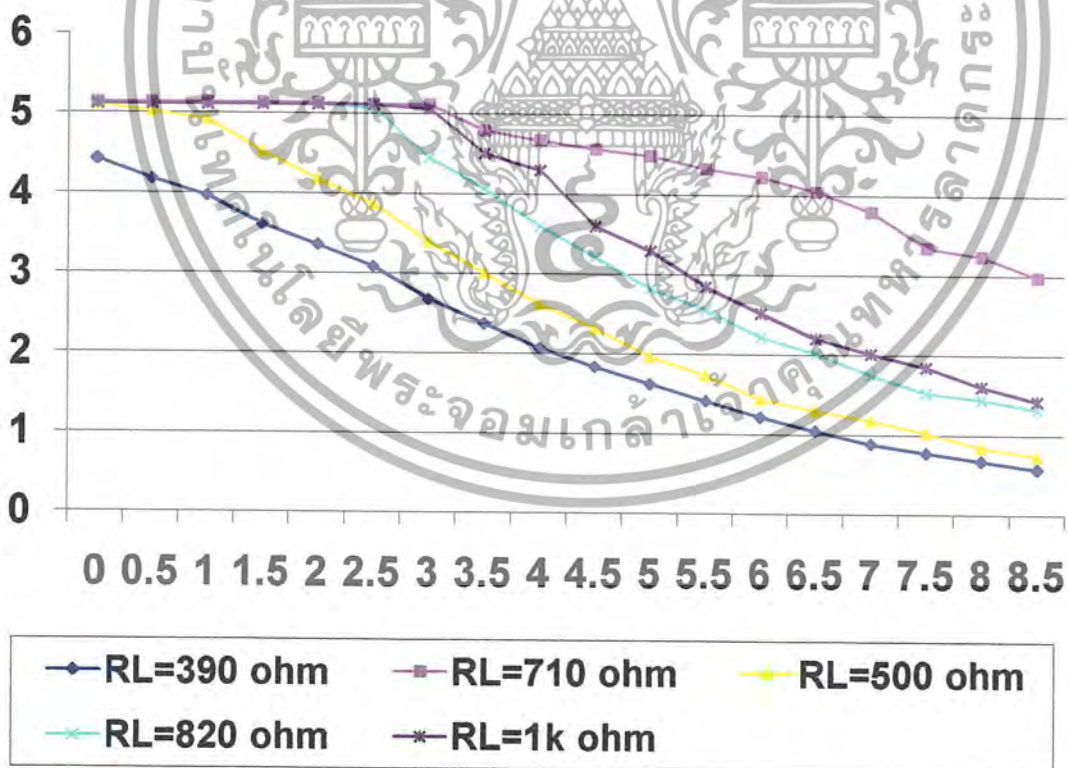
ตารางที่ 5.4.6 แสดงผลการทดลองของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่าน(Reader)มายังเครื่องถูกข่าย (Tag) ในกรณีที่ต่อ โหลดของ TAG Regulator ( $R_{TAG} = 1k \Omega$ )

ระยะห่างระหว่างTAGกับ READER (cm)	แรงดันที่จุด Vin ของ TAG Regurator(V)	แรงดันที่จุด Vout ของ TAG Regurator(V)
0.0	9.11	5.12
0.5	9.11	5.12
1.0	8.83	5.12
1.5	8.42	5.12
2.0	7.75	5.12
2.5	6.44	5.12
3.0	5.50	5.07
3.5	4.72	4.51
4.0	4.32	4.30
4.5	3.67	3.60
5.0	3.38	3.30
5.5	3.06	2.85
6.0	2.68	2.52
6.5	2.37	2.21
7.0	2.10	2.02
7.5	1.87	1.85
8.0	1.70	1.61
8.5	1.53	1.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



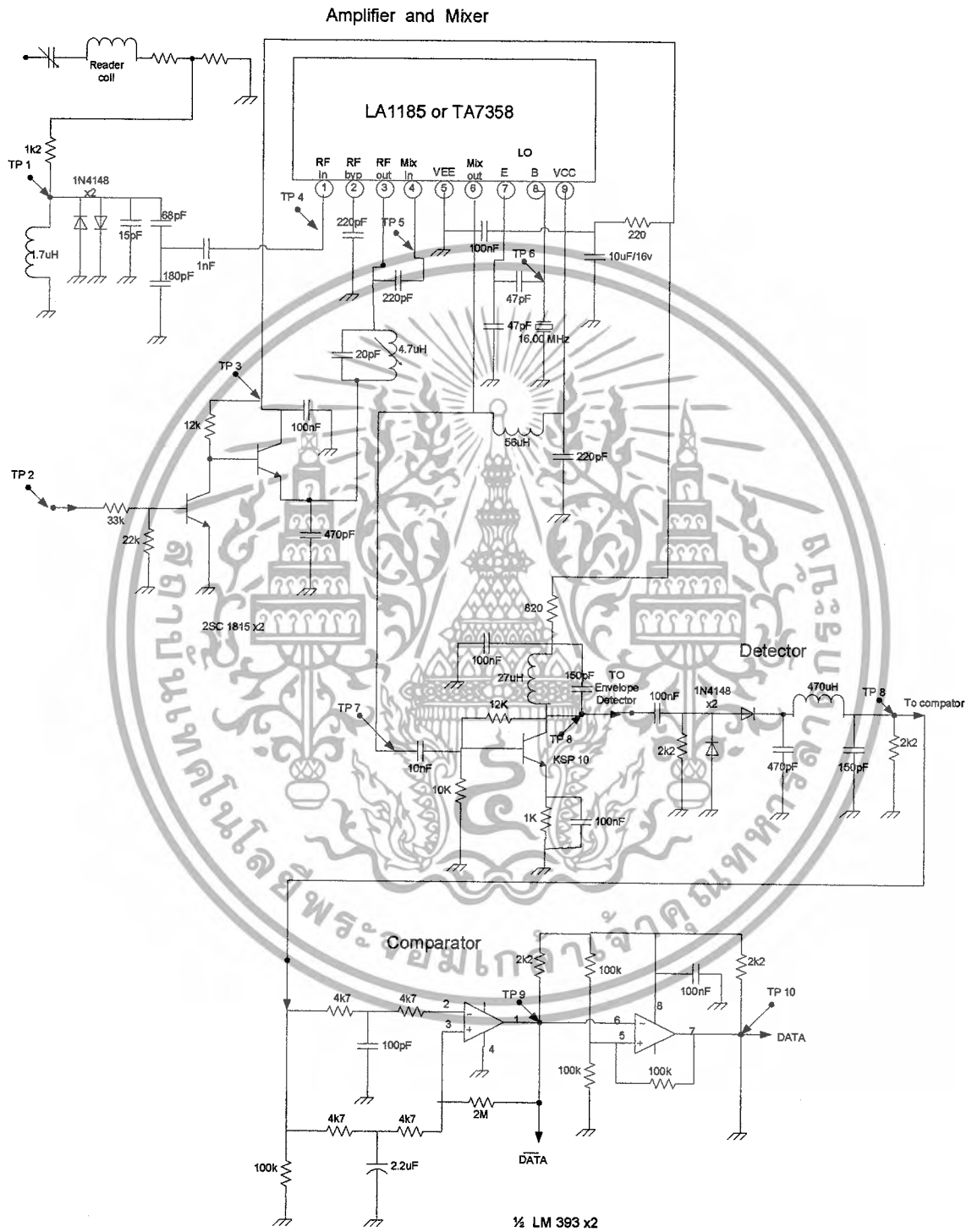
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน Vin ของ TAG Regulator กับระยะการอ่าน



รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน Vout ของ TAG Regulator กับระยะการอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5) ทดลองวงจร Detector



รูปที่ 5.20 วงจร Detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.5.1 สัญญาณที่จุด TP1 ซึ่งเป็นสัญญาณ ที่มาจาก Reader coil



รูปที่ 5.21 สัญญาณที่จุด TP1

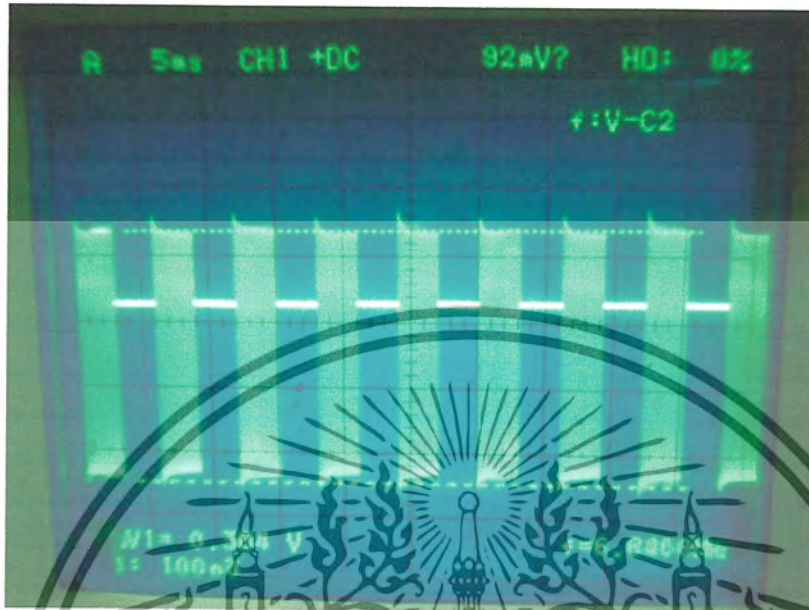
### 5.5.2 สัญญาณที่จุด TP2 ซึ่งเป็นสัญญาณ ที่มาจาก SEO CTL



รูปที่ 5.22 สัญญาณที่จุด TP2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.3 สัญญาณที่จุด TP4 ซึ่งเป็นสัญญาณ ที่มาจาก Reader coil เข้า RF in



รูปที่ 5.23 สัญญาณที่จุด TP4

5.5.4 สัญญาณที่จุด TP5 ซึ่งเป็นสัญญาณ input mixer



รูปที่ 5.24 สัญญาณที่จุด TP5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.5.5 สัญญาณที่จุด TP6 ซึ่งเป็นสัญญาณ ที่มาจาก ขา6 Mix out



รูปที่ 5.25 สัญญาณที่จุด TP6

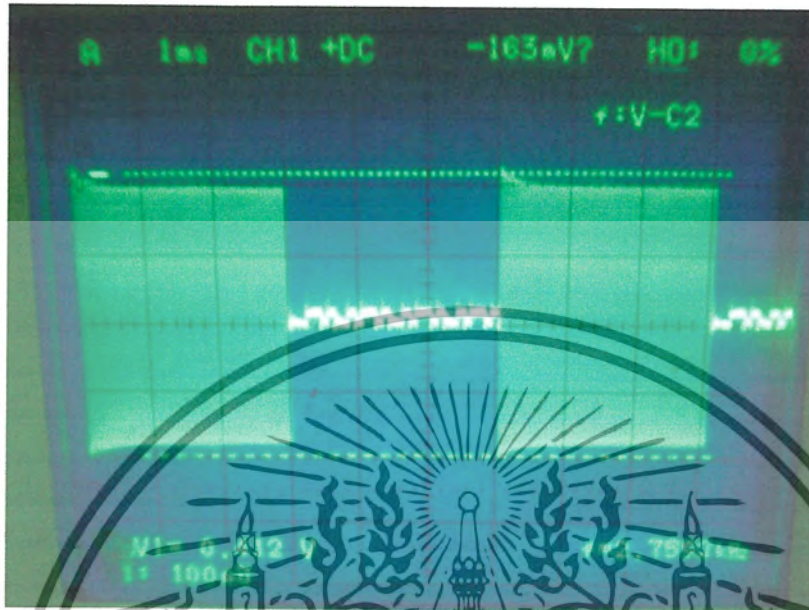
### 5.5.6 สัญญาณที่จุด TP7 ซึ่งเป็นสัญญาณ ที่มาจากขา C ของ KSP 10



รูปที่ 5.26 สัญญาณที่จุด TP7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.5.7 สัญญาณที่จุด TP8 ซึ่งเป็นสัญญาณ ที่ผ่านการ Detector



รูปที่ 5.27 สัญญาณที่จุด TP8

### 5.5.8 สัญญาณที่จุด TP9 ซึ่งเป็นสัญญาณ DATA



รูปที่ 5.28 สัญญาณที่จุด TP9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.5.9 สัญญาณที่จุด TP10 ซึ่งเป็นสัญญาณ DATA



รูปที่ 5.29 สัญญาณที่จุด TP10 ซึ่งเป็นสัญญาณ DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### บทสรุปและวิจารณ์

#### 6.1 บทสรุป

ในการทดลองเรื่อง RFID ที่ใช้งานในย่านความถี่ 13.56MHz ส่วนเครื่องอ่าน โดยที่เครื่องอ่านจะมีกำลังส่งประมาณ 500 mW ซึ่งประมาณค่าจากการกินกระแสของตัว TAG ซึ่งเครื่องอ่านจะประกอบไปด้วยส่วนของวงจรกำเนิดความถี่ 13.56MHz และ ส่วนของ วงจรเพาเวอร์แอมป์ ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการส่งพลังงานไปให้กับ Tag ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ผ่านทางขดลวดของเครื่องอ่าน โดยที่จำนวนรอบของขดลวดที่ใช้ 1.8 รอบ โดยการประมาณระยะห่างระหว่าง TAG กับ READER ในส่วนของขดลวดของ TAG ใช้ 3 รอบ การที่จะทำให้ระหว่าง TAG กับ READER ส่งพลังได้สูงสุดต้องอาศัยการปรับจูน เมื่อนำ TAG กับ READER มาทดลอง การส่งข้อมูลระหว่างกัน ระยะห่างที่ได้ไกลที่สุดที่จะทำให้ TAG ยังทำงานได้อยู่ คือ 3.5 cm ถ้าเกินจากนี้ จะทำให้ READER ไม่สามารถอ่านรหัส หรือข้อมูลได้

#### 6.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน และแนวทางแก้ไข

- 1.การออกแบบ LAYOUT ควรที่จะทำให้กราวด์เพลนของ POWER มีเส้นหลายปรี้นขนาดใหญ่ สั้น แล้วต่อไฟ กับ กราวด์ ให้ใกล้ตัวกินกระแสสูงที่สุด
- 2.ในการต่อแต่ละภาค จะส่งสัญญาณได้ไม่สูงสุด เนื่องจาก แต่ละภาคไม่ MATCH กัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการ MATCHING ของจุดต่อแต่ละภาค
- 3.กระแสของ READER COIL จะมีกระแสสูง ดังนั้นควรทำให้กราวด์ของ READER COIL มีขนาดเส้นใหญ่
- 4.การต่อสายนำสัญญาณระหว่าง POWER ไป READER COIL และ READER COIL ไปยัง DETECTOR ไฟธรรมดาไม่ได้ ควรใช้ สายโคแอกเซียล ซึ่งจะทำให้รู้ค่า ความต้านทานของสายด้วย เพื่อนำไป MATCHING กันสัญญาณรบกวนจากภายนอกได้ด้วย
- 5.เกิดสัญญาณรบกวนข้อมูล จาก MICRO CONTROLLER ทำให้ข้อมูลไปนิ่ง ควรนำไฟเลี้ยงวงจรห่างออก COMPARATOR ข้อมูลดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

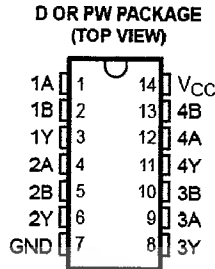


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SN74HC08-Q1 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-AND GATE

SCLS576B – MARCH 2004 – REVISED JUNE 2004

- Qualification in Accordance With AEC-Q100†
- Qualified for Automotive Applications
- Customer-Specific Configuration Control Can Be Supported Along With Major-Change Approval
- Wide Operating Voltage Range of 2 V to 6 V
- Outputs Can Drive Up To 10 LSTTL Loads
- Low Power Consumption, 40-µA Max I<sub>CC</sub>
- Typical t<sub>pd</sub> = 8 ns
- ±4-mA Output Drive at 5 V
- Low Input Current of 1 µA Max



† Contact factory for details. Q100 qualification data available on request.

## description/ordering information

The SN74HC08 device contains four independent 2-input AND gates. They perform the Boolean function  $Y = A \cdot B$  or  $Y = \overline{A + B}$  in positive logic.

## ORDERING INFORMATION

T <sub>A</sub>	PACKAGE‡		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
-40°C to 85°C	TSSOP – PW	Tape and reel	SN74HC08IPWRQ1	HC08I
-40°C to 125°C	SOIC – D	Tape and reel	SN74HC08QDRQ1	HC08Q1
	TSSOP – PW	Tape and reel	SN74HC08QPWRQ1	HC08Q1

‡ Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).

## FUNCTION TABLE (each gate)

INPUTS		OUTPUT
A	B	Y
H	H	H
L	X	L
X	L	L

## logic diagram (positive logic)



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS  
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SN74HC08-Q1**  
**QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-AND GATE**

SCLS576B – MARCH 2004 – REVISED JUNE 2004

**absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†**

Supply voltage range, $V_{CC}$ .....	-0.5 V to 7 V
Input clamp current, $I_{IK}$ ( $V_I < 0$ or $V_I > V_{CC}$ ) (see Note 1) .....	±20 mA
Output clamp current, $I_{OK}$ ( $V_O < 0$ or $V_O > V_{CC}$ ) (see Note 1) .....	±20 mA
Continuous output current, $I_O$ ( $V_O = 0$ to $V_{CC}$ ) .....	±25 mA
Continuous current through $V_{CC}$ or GND .....	±50 mA
Package thermal impedance, $\theta_{JA}$ (see Note 2): D package .....	86°C/W
..... PW package .....	113°C/W
Storage temperature range, $T_{stg}$ .....	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES: 1. The input and output voltage ratings may be exceeded if the input and output current ratings are observed.  
 2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

**recommended operating conditions (see Note 3)**

		MIN	NOM	MAX	UNIT
$V_{CC}$	Supply voltage	2	5	6	V
$V_{IH}$	High-level input voltage	$V_{CC} = 2\text{ V}$	1.5		V
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$	3.15		
		$V_{CC} = 6\text{ V}$	4.2		
$V_{IL}$	Low-level input voltage	$V_{CC} = 2\text{ V}$		0.5	V
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$		1.35	
		$V_{CC} = 6\text{ V}$		1.8	
$V_I$	Input voltage	0		$V_{CC}$	V
$V_O$	Output voltage	0		$V_{CC}$	V
$\Delta t/\Delta v$	Input transition rise/fall time	$V_{CC} = 2\text{ V}$		1000	ns
		$V_{CC} = 4.5\text{ V}$		500	
		$V_{CC} = 6\text{ V}$		400	
$T_A$	Operating free-air temperature	I-suffix device	-40	85	°C
		Q-suffix device	-40	125	

NOTE 3: All unused inputs of the device must be held at  $V_{CC}$  or GND to ensure proper device operation. Refer to the TI application report, *Implications of Slow or Floating CMOS Inputs*, literature number SCBA004.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SN74HC08-Q1 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-AND GATE

SCLS576B – MARCH 2004 – REVISED JUNE 2004

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS		V <sub>CC</sub>	T <sub>A</sub> = 25°C			SN74HC08Q		SN74HC08I		UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
V <sub>OH</sub>	V <sub>I</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	I <sub>OH</sub> = -20 μA	2 V	1.9	1.998		1.9		1.9	V	
			4.5 V	4.4	4.499		4.4		4.4		
			6 V	5.9	5.999		5.9		5.9		
		I <sub>OH</sub> = -4 mA	4.5 V	3.98	4.3		3.7		3.84		
			6 V	5.48	5.8		5.2		5.34		
V <sub>OL</sub>	V <sub>I</sub> = V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	I <sub>OL</sub> = 20 μA	2 V		0.002	0.1		0.1	0.1	V	
			4.5 V		0.001	0.1		0.1	0.1		
			6 V		0.001	0.1		0.1	0.1		
		I <sub>OL</sub> = 4 mA	4.5 V		0.17	0.26		0.4	0.33		
			6 V		0.15	0.26		0.4	0.33		
I <sub>I</sub>	V <sub>I</sub> = V <sub>CC</sub> or 0		6 V		±0.1	±100		±1000	±1000	nA	
I <sub>CC</sub>	V <sub>I</sub> = V <sub>CC</sub> or 0, I <sub>O</sub> = 0		6 V					40	20	μA	
C <sub>i</sub>			2 V to 6 V			3	10		10	10	pF

switching characteristics over recommended operating free-air temperature range, C<sub>L</sub> = 50 pF (unless otherwise noted) (see Figure 1)

PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	V <sub>CC</sub>	T <sub>A</sub> = 25°C			SN74HC08Q		SN74HC08I		UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
t <sub>pd</sub>	A or B	Y	2 V		50	100		150		125	ns
			4.5 V		10	20		30		25	
			6 V		8	17		25		21	
t <sub>t</sub>		Y	2 V		38	75		110		95	ns
			4.5 V		8	15		22		19	
			6 V		6	13		19		16	

operating characteristics, T<sub>A</sub> = 25°C

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TYP	UNIT
C <sub>pd</sub> Power dissipation capacitance per gate	No load	20	pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CD54HC4060, CD74HC4060, CD54HCT4060, CD74HCT4060

## High-Speed CMOS Logic 14-Stage Binary Counter with Oscillator

### Features

- Onboard Oscillator
- Common Reset
- Negative-Edge Clocking
- Fanout (Over Temperature Range)
  - Standard Outputs . . . . . 10 LSTTL Loads
  - Bus Driver Outputs . . . . . 15 LSTTL Loads
- Wide Operating Temperature Range . . . -55°C to 125°C
- Balanced Propagation Delay and Transition Times
- Significant Power Reduction Compared to LSTTL Logic ICs
- HC Types
  - 2V to 6V Operation
  - High Noise Immunity:  $N_{IL} = 30\%$ ,  $N_{IH} = 30\%$  of  $V_{CC}$  at  $V_{CC} = 5V$
- HCT Types
  - 4.5V to 5.5V Operation
  - Direct LSTTL Input Logic Compatibility,  $V_{IL} = 0.8V$  (Max),  $V_{IH} = 2V$  (Min)
  - CMOS Input Compatibility,  $I_i \leq 1\mu A$  at  $V_{OL}$ ,  $V_{OH}$

the negative transition of  $\phi_I$  (and  $\phi_O$ ). All inputs and outputs are buffered. Schmitt trigger action on the input-pulse-line permits unlimited rise and fall times.

In order to achieve a symmetrical waveform in the oscillator section the HCT4060 input pulse switch points are the same as in the HC4060; only the MR input in the HCT4060 has TTL switching levels.

### Ordering Information

PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE
CD54HC4060F3A	-55 to 125	16 Ld CERDIP
CD54HCT4060F3A	-55 to 125	16 Ld CERDIP
CD74HC4060E	-55 to 125	16 Ld PDIP
CD74HC4060M	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HC4060MT	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HC4060M96	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HC4060PW	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD74HC4060PWR	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD74HC4060PWT	-55 to 125	16 Ld TSSOP
CD74HCT4060E	-55 to 125	16 Ld PDIP
CD74HCT4060M	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HCT4060MT	-55 to 125	16 Ld SOIC
CD74HCT4060M96	-55 to 125	16 Ld SOIC

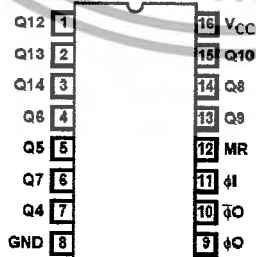
### Description

The 'HC4060 and 'HCT4060 each consist of an oscillator section and 14 ripple-carry binary counter stages. The oscillator configuration allows design of either RC or crystal oscillator circuits. A Master Reset input is provided which resets the counter to the all-0's state and disables the oscillator. A high level on the MR line accomplishes the reset function. All counter stages are master-slave flip-flops. The state of the counter is advanced one step in binary order on

NOTE: When ordering, use the entire part number. The suffixes 96 and R denote tape and reel. The suffix T denotes a small-quantity reel of 250.

### Pinout

CD54HC4060, CD54HCT4060 (CERDIP)  
CD74HC4060 (PDIP, SOIC, TSSOP)  
CD74HCT4060 (PDIP, SOIC)  
TOP VIEW



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Users should follow proper IC Handling Procedures.

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

CD54/74HC4060, CD54/74HCT4060

Functional Diagram

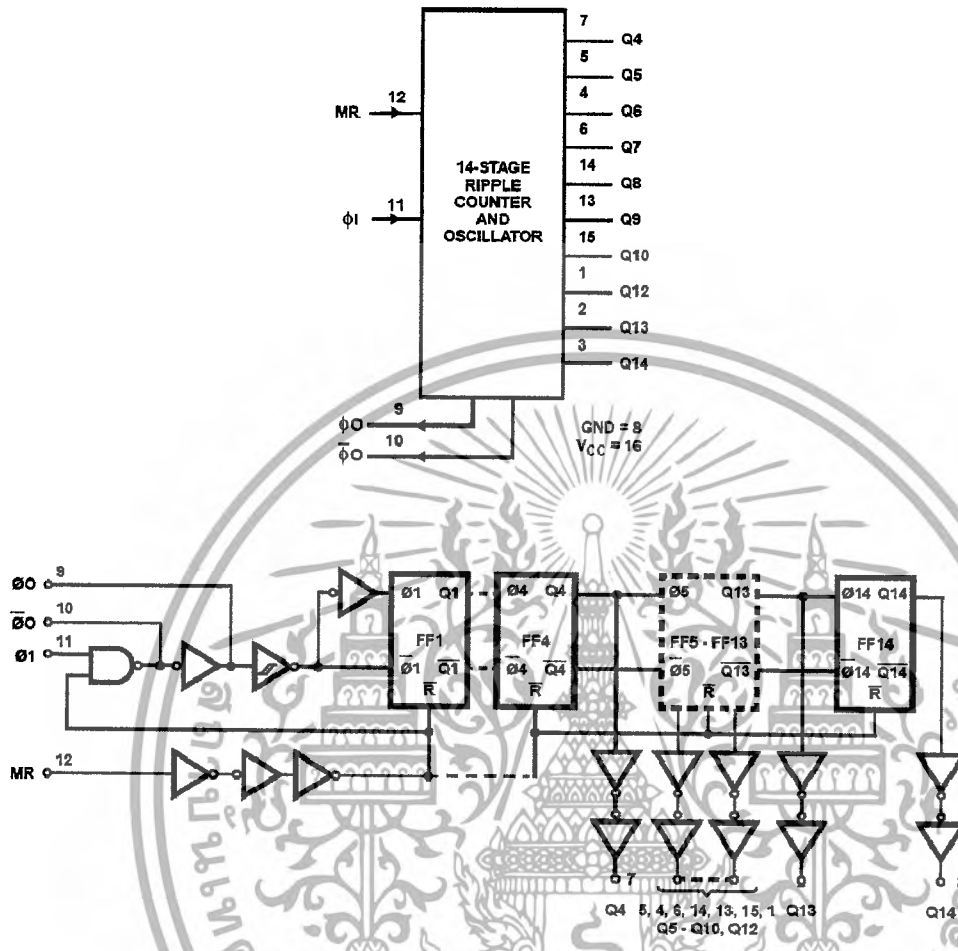


FIGURE 1. LOGIC BLOCK DIAGRAM

TRUTH TABLE

$\phi$	MR	OUTPUT STATE
$\uparrow$	L	No Change
$\downarrow$	L	Advance to Next State
X	H	All Outputs are Low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CD54/74HC4060, CD54/74HCT4060

### Absolute Maximum Ratings

DC Supply Voltage, $V_{CC}$	-0.5V to 7V
DC Input Diode Current, $I_{IK}$	
For $V_I < -0.5V$ or $V_I > V_{CC} + 0.5V$	$\pm 20mA$
DC Output Diode Current, $I_{OK}$	
For $V_O < -0.5V$ or $V_O > V_{CC} + 0.5V$	$\pm 20mA$
DC Drain Current, per Output, $I_O$	
For $-0.5V < V_O < V_{CC} + 0.5V$	$\pm 25mA$
DC $V_{CC}$ or Ground Current, $I_{CC}$	$\pm 50mA$

### Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	$\theta_{JA}$ ( $^{\circ}C/W$ )
E (PDIP) Package	67
M (SOIC) Package	73
PW (TSSOP) Package	108
Maximum Junction Temperature	150 $^{\circ}C$
Maximum Storage Temperature Range	-65 $^{\circ}C$ to 150 $^{\circ}C$
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s) (SOIC - Lead Tips Only)	300 $^{\circ}C$

### Operating Conditions

Temperature Range, $T_A$	-55 $^{\circ}C$ to 125 $^{\circ}C$
Supply Voltage Range, $V_{CC}$	
HC Types	.2V to 6V
HCT Types	4.5V to 5.5V
DC Input or Output Voltage, $V_I, V_O$	0V to $V_{CC}$
Input Rise and Fall Time	
2V	100ns (Max)
4.5V	500ns (Max)
6V	400ns (Max)

**CAUTION:** Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

#### NOTE:

- The package thermal impedance is calculated in accordance with JEDEC 51-7.

### DC Electrical Specifications

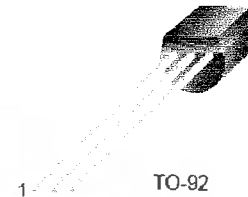
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		$V_{CC}$ (V)	25 $^{\circ}C$			-40 $^{\circ}C$ TO 85 $^{\circ}C$		-55 $^{\circ}C$ TO 125 $^{\circ}C$		UNITS
		$V_I$ (V)	$I_O$ (mA)		MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
<b>HC TYPES</b>												
High Level Input Voltage	$V_{IH}$	-	-	2	1.5	-	-	1.5	-	1.5	-	V
				4.5	3.15	-	-	3.15	-	3.15	-	V
				6	4.2	-	-	4.2	-	4.2	-	V
Low Level Input Voltage	$V_{IL}$	-	-	2	-	-	0.5	-	0.5	-	0.5	V
				4.5	-	-	1.35	-	1.35	-	1.35	V
				6	-	-	1.8	-	1.8	-	1.8	V
High Level Output Voltage Q Outputs CMOS Loads	$V_{OH}$	$V_{IH}$ or $V_{IL}$	-0.02	2	1.9	-	-	1.9	-	1.9	-	V
			-0.02	4.5	4.4	-	-	4.4	-	4.4	-	V
			-0.02	6	5.9	-	-	5.9	-	5.9	-	V
High Level Output Voltage Q Outputs TTL Loads	$V_{OH}$	$V_{IH}$ or $V_{IL}$	-	2	-	-	-	-	-	-	-	V
			-4	4.5	3.98	-	-	3.84	-	3.7	-	V
			-5.2	6	5.48	-	-	5.34	-	5.2	-	V
Low Level Output Voltage Q Outputs CMOS Loads	$V_{OL}$	$V_{IH}$ or $V_{IL}$	0.02	2	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
			0.02	4.5	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
			0.02	6	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
Low Level Output Voltage Q Outputs TTL Loads	$V_{OL}$	$V_{IH}$ or $V_{IL}$	-	2	-	-	-	-	-	-	-	V
			4	4.5	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
			5.2	6	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
High-Level Output Voltage $\phi O$ Output (Pin 10) CMOS Loads	$V_{OH}$	$V_{CC}$ or GND	-0.02	2	1.9	-	-	1.9	-	1.9	-	V
			-0.02	4.5	4.4	-	-	4.4	-	4.4	-	V
			-0.02	6	5.9	-	-	5.9	-	5.9	-	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## KSP2222A

### General Purpose Transistor

- Collector-Emitter Voltage:  $V_{CE0} = 40V$
- Collector Power Dissipation:  $P_C (\text{max}) = 625mW$
- Refer KSP2222 for graphs



TO-92  
1. Emitter 2. Base 3. Collector

### NPN Epitaxial Silicon Transistor

#### Absolute Maximum Ratings $T_a = 25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CB0}$	Collector-Base Voltage	75	V
$V_{CE0}$	Collector-Emitter Voltage	40	V
$V_{EB0}$	Emitter-Base Voltage	6	V
$I_C$	Collector Current	600	mA
$P_C$	Collector Power Dissipation	625	mW
$T_J$	Junction Temperature	150	$^\circ C$
$T_{STG}$	Storage Temperature	-55 - 150	$^\circ C$

#### Electrical Characteristics $T_a = 25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$BV_{CB0}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10\mu A, I_E = 0$	75			V
$BV_{CE0}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 10mA, I_B = 0$	40			V
$BV_{EB0}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10\mu A, I_C = 0$	6			V
$I_{CBO}$	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = 60V, I_E = 0$			0.01	$\mu A$
$I_{EBO}$	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 3V, I_C = 0$			10	nA
$h_{FE}$	DC Current Gain	$I_C = 0.1mA, V_{CE} = 10V$ $V_{CE} = 10V, I_C = 1mA$ $V_{CE} = 10V, I_C = 10mA$ $V_{CE} = 10V, I_C = 150mA$ $V_{CE} = 10V, I_C = 500mA$	35 50 75 100 40		300	
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 150mA, I_B = 15mA$ $I_C = 500mA, I_B = 50mA$			0.3 1	V
$V_{BE(sat)}$	* Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 150mA, I_B = 15mA$ $I_C = 500mA, I_B = 50mA$		0.6	1.2 2	V
$f_T$	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 20V, I_C = 20mA$ $f = 100MHz$	300			MHz
$C_{ob}$	Output Capacitance	$V_{CB} = 10V, I_E = 0, f = 1MHz$			8	pF
$t_{ON}$	Turn On Time	$V_{CC} = 30V, I_C = 150mA$ $I_{B1} = 15mA, V_{BE(off)} = 0.5V$			35	ns
$t_{OFF}$	Turn Off Time	$V_{CC} = 30V, I_C = 150mA$ $I_{B1} = I_{B2} = 15mA$			285	ns
NF	Noise Figure	$I_C = 100\mu A, V_{CE} = 10V$ $R_S = 1K\Omega, f = 1KHz$			4	dB

\* Pulse Test: Pulse Widths: 300 $\mu s$ , Duty Cycle: 2%

\* Also available as and PN2222A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM185/LM285/LM385 Adjustable Micropower Voltage References

### General Description

The LM185/LM285/LM385 are micropower 3-terminal adjustable band-gap voltage reference diodes. Operating from 1.24 to 5.3V and over a 10  $\mu$ A to 20 mA current range, they feature exceptionally low dynamic impedance and good temperature stability. On-chip trimming is used to provide tight voltage tolerance. Since the LM185 band-gap reference uses only transistors and resistors, low noise and good long-term stability result.

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

The extremely low power drain of the LM185 makes it useful for micropower circuitry. This voltage reference can be used to make portable meters, regulators or general purpose an-

alog circuitry with battery life approaching shelf life. Further, the wide operating current allows it to replace older references with a tighter tolerance part.

The LM185 is rated for operation over a  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $125^{\circ}\text{C}$  temperature range, while the LM285 is rated  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $85^{\circ}\text{C}$  and the LM385  $0^{\circ}\text{C}$  to  $70^{\circ}\text{C}$ . The LM185 is available in a hermetic TO-46 package and a leadless chip carrier package, while the LM285/LM385 are available in a low-cost TO-92 molded package, as well as SO.

### Features

- Adjustable from 1.24V to 5.30V
- Operating current of 10  $\mu$ A to 20 mA
- 1% and 2% initial tolerance
- 1  $\Omega$  dynamic impedance
- Low temperature coefficient

### Connection Diagrams

TO-92  
Plastic Package



Bottom View

TL/H/525C-9

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

TO-46  
Metal Can Package

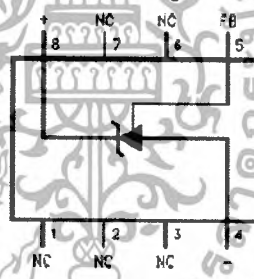


Bottom View

TL/H/5290-1

Order Number  
LM185BH, LM185BH/883,  
LM185BYH or LM185BYH/883  
See NS Package Number H03H

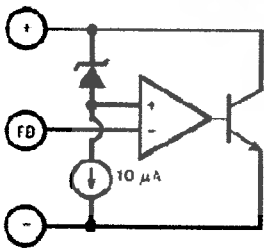
SO Package



TL/H/5250-10

Order Number LM285M,  
LM285BYM, LM385BM  
or LM385M  
See NS Package Number M08A

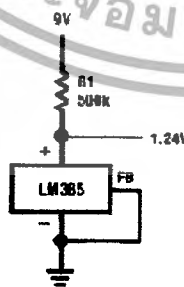
### Block Diagram



TL/H/5250-13

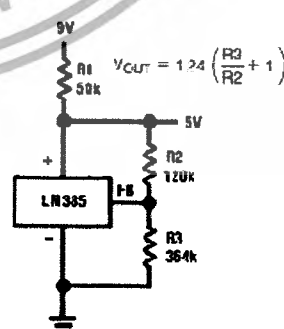
### Typical Applications

1.2V Reference



TL/H/5250-14

5.0V Reference



TL/H/5250-2

$$V_{OUT} = 1.24 \left( \frac{R2}{R2} + 1 \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 2)

Reverse Current	30 mA
Forward Current	10 mA
Operating Temperature Range (Note 3)	
LM185 Series	-55°C to 125°C
LM285 Series	-40°C to 85°C
LM385 Series	0°C to 70°C
Storage Temperature	-55°C to 150°C

## Soldering Information

TO-92 Package (10 sec.)	260°C
TO-18 Package (10 sec.)	300°C
SO Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

## Electrical Characteristics (Note 4)

Parameter	Conditions	LM185, LM285				LM385				Units (Limit)		
		LM185BX, LM185BY LM185B, LM285BX LM285BY		LM285		LM385BX, LM385BY		LM385				
		Typ	Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)	Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)	Typ	Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)		Tested Limit (Note 5)	Design Limit (Note 6)
Reference Voltage	$I_R = 100 \mu A$	1.240	1.252 1.255 1.220 1.215	1.265	1.270 1.240	1.252	1.255	1.235	1.270	1.255	1.270	V (max) V (min)
Reference Voltage Change with Current	$I_{MIN} < I_R < 1 \text{ mA}$ $1 \text{ mA} < I_R < 20 \text{ mA}$	0.2 4	1 10	1.5 20	1 10	1.5 20	0.2 5	1 15	1.5 25	1 15	1.5 25	mV (max)
Dynamic Output Impedance	$I_R = 100 \mu A, f = 100 \text{ Hz}$ $I_{AC} = 0.1 \text{ mA}, V_{OUT} = V_{REF}$ $V_{OUT} = 5.3 \text{ V}$						0.4 1					$\Omega$
Reference Voltage Change with Output Voltage	$I_R = 100 \mu A$	1	3	6	3	6	2	5	10	5	10	mV (max)
Feedback Current		13	20	25	30	25	16	30	35	30	35	nA (max)
Minimum Operating Current (see curve)	$V_{CLT} = V_{REF}$ $V_{CLT} = 5.3 \text{ V}$	6 30	9 45	10 50	9 45	10 50	7 35	11 60	11 60	11 60	13 60	$\mu A$ (max)
Output Wideband Noise	$I_R = 100 \mu A, 10 \text{ Hz} < f < 10 \text{ kHz}$ $V_{CLT} = V_{REF}$ $V_{CLT} = 5.3 \text{ V}$		50 170				50 170					$\mu V_{rms}$
Average Temperature Coefficient (Note 7)	$I_R = 100 \mu A, X$ Suffix $Y$ Suffix All Others		30 50	30 50	30 50	30 50	30 50	30 50	30 50	30 50	30 50	ppm/ $^{\circ}C$ (max)
Long Term Stability	$I_R = 100 \mu A, T = 1000 \text{ hr}$ $T_A = 25^{\circ}C \pm 0.1^{\circ}C$	20					20					ppm

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

**Note 2:** Refer to RETS185H for military specifications.

**Note 3:** For elevated temperature operation,  $T_J$  max is:  
LM185 150°C  
LM285 125°C  
LM385 100°C

Thermal Resistance	TO-92	TO-18	SO-8
$\theta_{JA}$ (Junction to Ambient)	190°C/W (0.4" leads)	440°C/W	185°C/W
$\theta_{JC}$ (Junction to Case)	170°C/W (0.125" leads)	N/A	N/A

**Note 4:** Parameters identified with boldface type apply at temperature extremes. All other numbers apply at  $T_A = T_J = 25^{\circ}C$  unless otherwise specified, at parameters apply for  $V_{REF} < V_{OUT} < 5.3 \text{ V}$ .

**Note 5:** Guaranteed and 100% production tested.

**Note 6:** Guaranteed, but not 100% production tested. These limits are not to be used to calculate average output quality events.

**Note 7:** The average temperature coefficient is defined as the maximum deviation of reference voltage at all measured temperatures from  $T_{min}$  to  $T_{max}$ , divided by  $T_{max} - T_{min}$ . The measured temperatures are -55, -40, 0, 25, 70, 85, 125°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# PIC16F62X

## FLASH-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers

### Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F627
- PIC16F628

Referred to collectively as PIC16F62X

### High Performance RISC CPU:

- Only 35 instructions to learn
- All single cycle instructions (200 ns), except for program branches which are two-cycle
- Operating speed:
  - DC - 20 MHz clock input
  - DC - 200 ns instruction cycle

Device	Memory		
	FLASH Program	RAM Data	EEPROM Data
PIC16F627	1024 x 14	224 x 8	128 x 8
PIC16F628	2048 x 14	224 x 8	128 x 8

- Interrupt capability
- 16 special function hardware registers
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative addressing modes

### Peripheral Features:

- 15 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
- Analog comparator module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
  - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
  - Comparator outputs are externally accessible
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with external crystal/clock capability
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Capture, Compare, PWM (CCP) module
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10 bit

- Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter (USART/SCI)
- 16 Bytes of common RAM

### Special Microcontroller Features:

- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Detect (BOD)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Multiplexed MCLR-pin
- Programmable weak pull-ups on PORTB
- Programmable code protection
- Low voltage programming
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
  - FLASH configuration bits for oscillator options
  - ER (External Resistor) oscillator
  - Reduced part count
  - Dual speed INTRC
  - Lower current consumption
  - EC External Clock input
  - XT Oscillator mode
  - HS Oscillator mode
  - LP Oscillator mode
- In-circuit Serial Programming™ (via two pins)
- Four user programmable ID locations

### CMOS Technology:

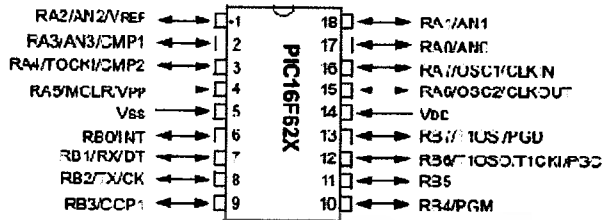
- Low power, high speed CMOS FLASH technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range
  - PIC16F627 - 3.0V to 5.5V
  - PIC16F628 - 3.0V to 5.5V
  - PIC16LF627 - 2.0V to 5.5V
  - PIC16LF628 - 2.0V to 5.5V
- Commercial, industrial and extended temperature range
- Low power consumption
  - < 2.0 mA @ 5.0V, 4.0 MHz
  - 15 µA typical @ 3.0V, 32 kHz
  - < 1.0 µA typical standby current @ 3.0V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

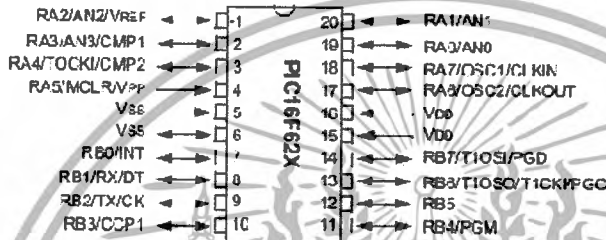
# PIC16F62X

## Pin Diagrams

### PDIP, SOIC



### SSOP



## Device Differences

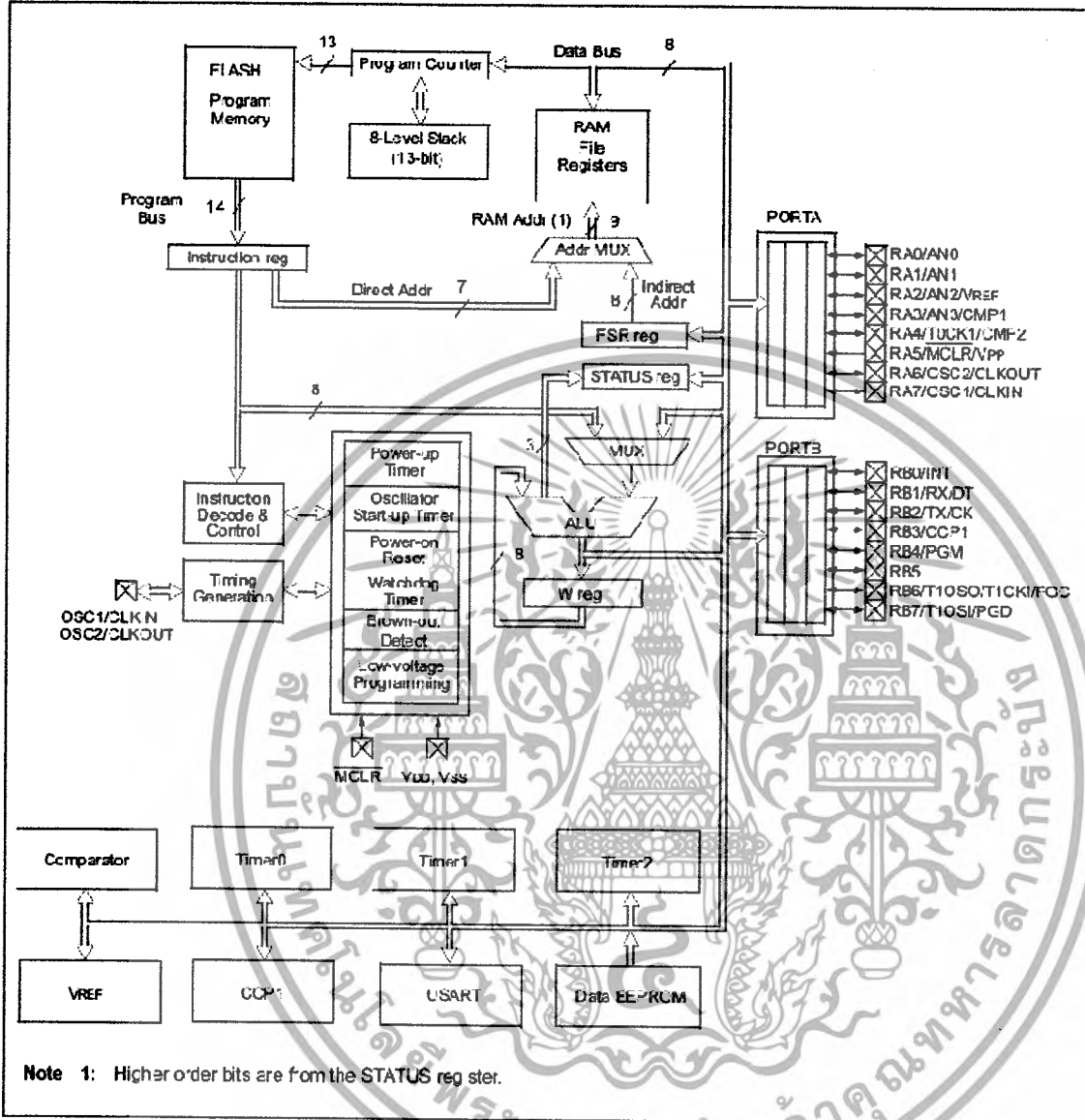
Device	Voltage Range	Oscillator	Process Technology (Microns)
PIC16F627	3.0 - 5.5	(Note 1)	0.7
PIC16F628	3.0 - 5.5	(Note 1)	0.7
PIC16LF627	2.0 - 5.5	(Note 1)	0.7
PIC16LF628	2.0 - 5.5	(Note 1)	0.7

**Note 1:** If you change from this device to another device, please verify oscillator characteristics in your application.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F62X

FIGURE 2-1: BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F62X

TABLE 2-1: PIC16F62X PINOUT DESCRIPTION

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RA0/AN0	RA0	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN0	AN	—	Analog comparator input
RA1/AN1	RA1	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN1	AN	—	Analog comparator input
RA2/AN2/VREF	RA2	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN2	AN	—	Analog comparator input
	VREF	—	AN	VREF output
RA3/AN3/CMP1	RA3	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN3	AN	—	Analog comparator input
	CMP1	—	CMOS	Comparator 1 output
RA4/T0CKI/CMP2	RA4	ST	OD	Bi-directional I/O port
	T0CKI	ST	—	Timer0 clock input
	CMP2	—	OD	Comparator 2 output
RA5/MCLR/VPP	RA5	ST	—	Input port
	MCLR	ST	—	Master clear
	VPP	—	—	Programming voltage input. When configured as MCLR, this pin is an active low RESET to the device. Voltage on MCLR/VPP must not exceed VDD during normal device operation.
RA6/OSC2/CLKOUT	RA6	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	OSC2	XTAL	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode.
	CLKOUT	—	CMOS	In ER/INTRC mode, OSC2 pin can output CLKOUT, which has 1/4 the frequency of OSC1
RA7/OSC1/CLKIN	RA7	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	OSC1	XTAL	—	Oscillator crystal input
	CLKIN	ST	—	External clock source input. ER biasing pin.
RB0/INT	RB0	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	INT	ST	—	External interrupt.
RB1/RX/DT	RB1	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	RX	ST	—	USART receive pin
	DT	ST	CMOS	Synchronous data I/O.
RB2/TX/CK	RB2	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port.
	TX	—	CMOS	USART transmit pin
	CK	ST	CMOS	Synchronous clock I/O. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB3/CCP1	RB3	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	CCP1	ST	CMOS	Capture/Compare/PWM I/O

Legend: O = Output                      CMOS = CMOS Output                      P = Power  
 — = Not used                      I = Input                      ST = Schmitt Trigger Input  
 TTL = TTL Input                      OD = Open Drain Output                      AN = Analog

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F62X

TABLE 2-1: PIC16F62X PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RB4/PGM	RB4	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	PGM	ST	—	Low voltage programming input pin. Interrupt-on-pin change. When low voltage programming is enabled, the interrupt-on-pin change and weak pull-up resistor are disabled.
RB5	RB5	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Interrupt-on-pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB6/T1OSO/T1CKI/PGC	RB6	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Interrupt-on-pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	T1OSO	—	XTAL	Timer1 oscillator output.
	T1CKI	ST	—	Timer1 clock input.
	PGC	ST	—	ICSP™ Programming Clock.
RB7/T1OSI/PGD	RB7	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Interrupt-on-pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	T1OSI	XTAL	—	Timer1 oscillator input. Wake-up from SLEEP on pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	PGD	ST	CMOS	ICSP Data I/O.
VSS	VSS	Power	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	VDD	Power	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: O = Output  
 — = Not Used  
 TTI = TTI Input

CMOS = CMOS Output  
 I = Input  
 OD = Open Drain Output

P = Power  
 ST = Schmitt Trigger Input  
 AN = Analog

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering number: EN1521D

Monolithic Linear IC

**SANYO**

**LA1185**

**FM Front-end for Radio-cassette Recorder, Home Stereo Applications**

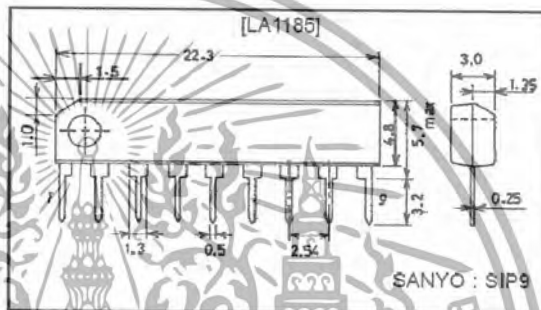
### Overview

The LA1185 is an FM receiver front-end IC for radio-cassette recorder, music center applications. Its mixer is of double-balanced type. The built-in oscillator and buffer amplifier improves the strong input characteristic.

### Package Dimensions

unit : mm

3017C-SIP9



### Use

- FM front-end IC for radio-cassette recorders and music centers

### Functions and Features

- RF amplifier, mixer, local oscillator
- Improvement in cross modulation characteristics due to the use of double-balanced mixer
- Improvement in strong input characteristic
- Minimum number of external parts required
- Less spurious radiation from local oscillator
- Operating voltage range : 1.5 to 8.0 V

### Specifications

Maximum Ratings at  $T_a = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Conditions	Rating	Unit
Maximum supply voltage	$V_{CC\ max}$		8	V
Maximum pin voltage	$V_{3-5}$		12	V
	$V_{6-5}$		$V_{CC} + 0.8$	V
Allowable power dissipation	$P_{d\ max}$	$T_a \leq 80^\circ\text{C}$	150	mW
Operating temperature	$T_{opr}$		-20 to +80	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	$T_{stg}$		-40 to +125	$^\circ\text{C}$

- Any and all SANYO products described or contained herein do not have specifications that can handle applications that require extremely high levels of reliability, such as life-support systems, aircraft's control systems, or other applications whose failure can be reasonably expected to result in serious physical and/or material damage. Consult with your SANYO representative nearest you before using any SANYO products described or contained herein in such applications.
- SANYO assumes no responsibility for equipment failures that result from using products at values that exceed, even momentarily, rated values (such as maximum ratings, operating condition ranges, or other parameters) listed in products specifications of any and all SANYO products described or contained herein.

**SANYO Electric Co., Ltd. Semiconductor Business Headquarters**

TOKYO OFFICE Tokyo Bldg., 1-10, 1 Chome, Ueno, Taito-ku, TOKYO, 110-8534 JAPAN

81096HA(II)/0067KI/N214MW/4124KI/9283KI, TS No. 1521-1/5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาตไ้หน้าไปใ้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

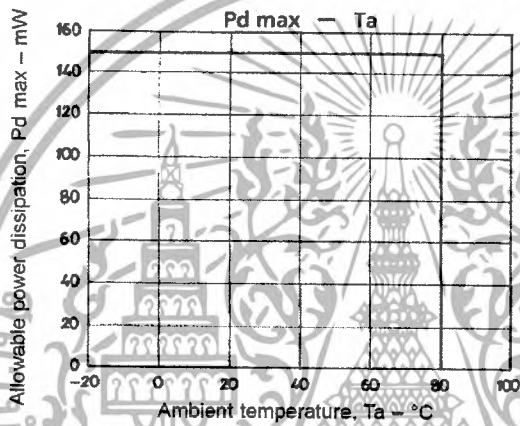
## LA1185

### Operating Conditions at $T_a = 25^\circ\text{C}$

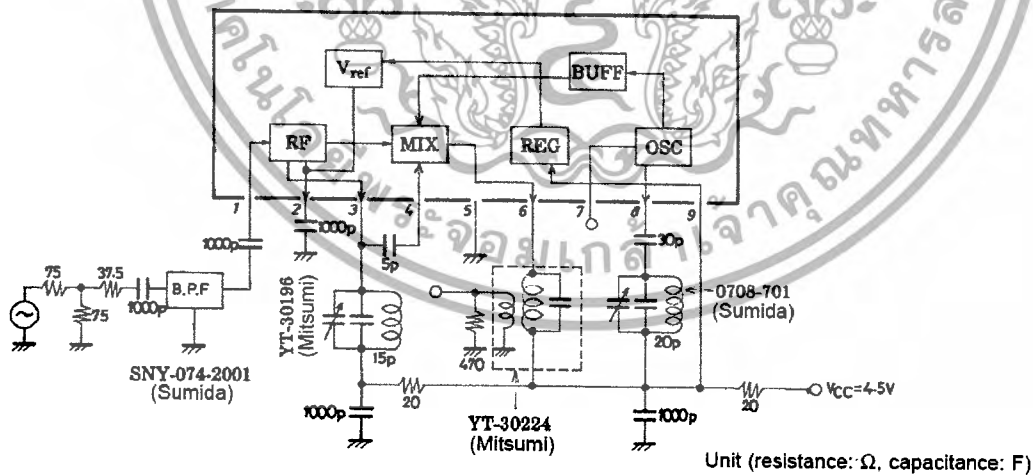
Parameter	Symbol	Conditions	Ratings	Unit
Recommended supply voltage	$V_{CC}$		4.5	V
Operating voltage range	$V_{CCOP}$		1.5 to 8.0	V

### Operating Characteristics at $T_a = 25^\circ\text{C}$ , $V_{CC} = 4.5\text{ V}$ , $f_r = 108\text{ MHz}$ , $f_{osc} = 118.7\text{ MHz}$ , See specified Test Circuit

Parameter	Symbol	Conditions	min	typ	max	Unit
Current dissipation	$I_{CC}$	Quiescent		5.5	8.0	mA
Output saturation voltage	$V_o$	100 dB $\mu$	95	115	135	mVrms
Local oscillation voltage	$V_{osc}$	$V_{CC} = 2\text{ V}$	190	235		mVrms
Oscillation stop voltage	$V_{stop}$			1.4	1.6	V



### Test Circuit and Equivalent Circuit Block Diagram

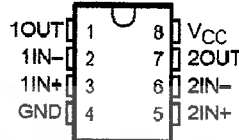


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

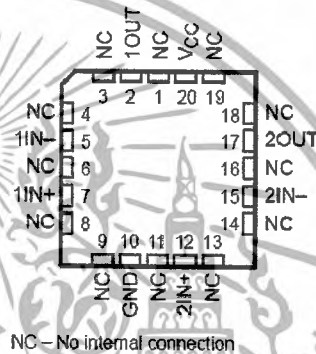
LM193, LM293, LM293A, LM393  
LM393A, LM2903, LM2903Q  
DUAL DIFFERENTIAL COMPARATORS  
SLCS005K - JUNE 1976 - REVISED JUNE 2002

- Single Supply or Dual Supplies
- Wide Range of Supply Voltage  
... 2 V to 36 V
- Low Supply-Current Drain Independent of Supply Voltage ... 0.4 mA Typ Per Comparator
- Low Input Bias Current ... 25 nA Typ
- Low Input Offset Current ... 3 nA Typ (LM193)
- Low Input Offset Voltage ... 2 mV Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes Ground
- Differential Input Voltage Range Equal to Maximum-Rated Supply Voltage ...  $\pm 36$  V
- Low Output Saturation Voltage
- Output Compatible With TTL, MOS, and CMOS
- LM2903Q Available in Q-Temp Automotive
  - High-Reliability Automotive Applications
  - Configuration Control/Print Support
  - Qualification to Automotive Standards

LM193 ... D OR JG PACKAGE  
LM293 ... D OR P PACKAGE  
LM293A ... D PACKAGE  
LM393, LM393A ... D, P, PS, OR PW PACKAGE  
LM2903 ... D, P, PS, OR PW PACKAGE  
LM2903Q ... D OR P PACKAGE  
(TOP VIEW)



LM193 ... FK PACKAGE  
(TOP VIEW)



description

These devices consist of two independent voltage comparators that are designed to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from dual supplies also is possible as long as the difference between the two supplies is 2 V to 36 V, and  $V_{CC}$  is at least 1.5 V more positive than the input common-mode voltage. Current drain is independent of the supply voltage. The outputs can be connected to other open-collector outputs to achieve wired-AND relationships.

The LM193 is characterized for operation from  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $125^{\circ}\text{C}$ . The LM293 and LM293A are characterized for operation from  $-25^{\circ}\text{C}$  to  $85^{\circ}\text{C}$ . The LM393 and LM393A are characterized for operation from  $0^{\circ}\text{C}$  to  $70^{\circ}\text{C}$ . The LM2903 is characterized for operation from  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $125^{\circ}\text{C}$ . The LM2903Q is tested from  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $125^{\circ}\text{C}$  and is manufactured to demanding automotive requirements.

symbol (each comparator)



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated  
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# KSP10

VHF/UHF transistor



TO-92  
1. Base 2. Emitter 3. Collector

## NPN Epitaxial Silicon Transistor

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

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CB0}$	Collector-Base Voltage	30	V
$V_{CE0}$	Collector-Emitter Voltage	25	V
$V_{EB0}$	Emitter-Base Voltage	3.0	V
$P_C$	Collector Power Dissipation ( $T_a=25^\circ\text{C}$ )	350	mW
	Derate above $25^\circ\text{C}$	2.8	mW/ $^\circ\text{C}$
$P_C$	Collector Power Dissipation ( $T_C=25^\circ\text{C}$ )	1.0	W
	Derate above $25^\circ\text{C}$	8.0	W/ $^\circ\text{C}$
$T_J$	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
$T_{STG}$	Storage Temperature	-55~150	$^\circ\text{C}$
$R_{th(j-c)}$	Thermal Resistance, Junction to Case	125	$^\circ\text{C/W}$
$R_{th(j-a)}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	357	$^\circ\text{C/W}$

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

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
$BV_{CB0}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C=100\mu\text{A}, I_E=0$	30		V
$BV_{CE0}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C=1\text{mA}, I_B=0$	25		V
$BV_{EB0}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E=10\mu\text{A}, I_C=0$	3.0		V
$I_{CBO}$	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=25\text{V}, I_E=0$		100	nA
$I_{EBO}$	Emitter Cut-off Current	$V_{EB}=2\text{V}, I_C=0$		100	nA
$h_{FE}$	DC Current Gain	$V_{CE}=10\text{V}, I_C=4\text{mA}$	60		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=4\text{mA}, I_B=0.4\text{mA}$		0.5	V
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=10\text{V}, I_C=4\text{mA}$		0.95	V
$f_T$	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=10\text{V}, I_C=4\text{mA}, f=100\text{MHz}$	650		MHz
$C_{ob}$	Output Capacitance	$V_{CB}=10\text{V}, I_E=0, f=1\text{MHz}$		0.7	pF
$C_{rb}$	Collector Base Feedback Capacitance	$V_{CB}=10\text{V}, I_E=0, f=1\text{MHz}$	0.35	0.65	pF
$C_{c-rbb}$	Collector Base Time Constant	$V_{CB}=10\text{V}, I_C=4\text{mA}, f=31.8\text{MHz}$		9.0	ps

\* Pulse Test:  $PW \leq 300\mu\text{s}$ , Duty Cycles 2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA Transistor Silicon NPN Epitaxial Type (PCT process)

# 2SC1815

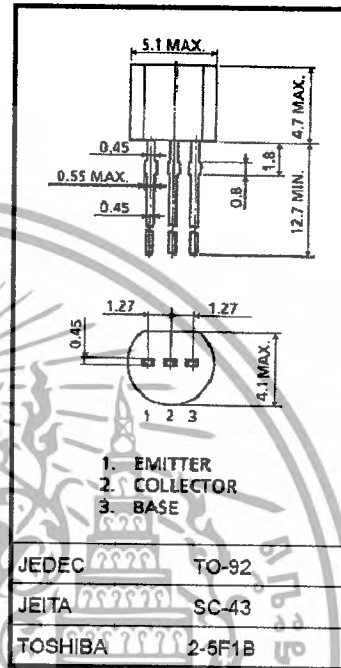
Audio Frequency General Purpose Amplifier Applications  
Driver Stage Amplifier Applications

Unit: mm

- High voltage and high current:  $V_{CE0} = 50\text{ V (min)}$ ,  
 $I_C = 150\text{ mA (max)}$
- Excellent  $h_{FE}$  linearity:  $h_{FE} (2) = 100\text{ (typ.)}$   
at  $V_{CE} = 6\text{ V}$ ,  $I_C = 150\text{ mA}$   
:  $h_{FE} (I_C = 0.1\text{ mA})/h_{FE} (I_C = 2\text{ mA})$   
 $= 0.95\text{ (typ.)}$
- Low noise:  $NF = 1\text{ dB (typ.)}$  at  $f = 1\text{ kHz}$
- Complementary to 2SA1015 (O. Y. GR class)

### Maximum Ratings ( $T_a = 25^\circ\text{C}$ )

Characteristics	Symbol	Rating	Unit
Collector-base voltage	$V_{CB0}$	60	V
Collector-emitter voltage	$V_{CE0}$	50	V
Emitter-base voltage	$V_{EB0}$	5	V
Collector current	$I_C$	150	mA
Base current	$I_B$	50	mA
Collector power dissipation	$P_C$	400	mW
Junction temperature	$T_J$	125	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range	$T_{stg}$	-55~125	$^\circ\text{C}$



Weight: 0.21 g (typ.)

### Electrical Characteristics ( $T_a = 25^\circ\text{C}$ )

Characteristics	Symbol	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
Collector cut-off current	$I_{CBO}$	$V_{CB} = 60\text{ V}, I_E = 0$	—	—	0.1	$\mu\text{A}$
Emitter cut-off current	$I_{EBO}$	$V_{EB} = 5\text{ V}, I_C = 0$	—	—	0.1	$\mu\text{A}$
DC current gain	$h_{FE} (1)$ (Note)	$V_{CE} = 6\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}$	70	—	700	
	$h_{FE} (2)$	$V_{CE} = 6\text{ V}, I_C = 150\text{ mA}$	25	100	—	
Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE (sat)}$	$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 10\text{ mA}$	—	0.1	0.25	V
Base-emitter saturation voltage	$V_{BE (sat)}$	$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 10\text{ mA}$	—	—	1.0	V
Transition frequency	$f_T$	$V_{CE} = 10\text{ V}, I_C = 1\text{ mA}$	80	—	—	MHz
Collector output capacitance	$C_{ob}$	$V_{CB} = 10\text{ V}, I_E = 0, f = 1\text{ MHz}$	—	2.0	3.5	pF
Base intrinsic resistance	$r_{bb'}$	$V_{CE} = 10\text{ V}, I_E = -1\text{ mA}$ $f = 30\text{ MHz}$	—	50	—	$\Omega$
Noise figure	NF	$V_{CE} = 6\text{ V}, I_C = 0.1\text{ mA}$ $f = 1\text{ kHz}, R_G = 10\text{ k}\Omega$	—	1.0	10	dB

Note:  $h_{FE}$  classification O: 70~140, Y: 120~240, GR: 200~400, BL: 350~700

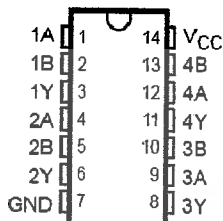
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

# SN54HC00, SN74HC00 QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-NAND GATES

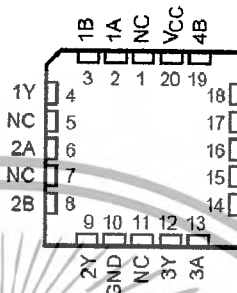
SCLS181E – DECEMBER 1982 – REVISED AUGUST 2003

- Wide Operating Voltage Range of 2 V to 6 V
- Outputs Can Drive Up To 10 LSTTL Loads
- Low Power Consumption, 20- $\mu$ A Max  $I_{CC}$
- Typical  $t_{pd} = 8$  ns
- $\pm 4$ -mA Output Drive at 5 V
- Low Input Current of 1  $\mu$ A Max

SN54HC00... J OR W PACKAGE  
SN74HC00... D, DB, N, NS, OR PW PACKAGE  
(TOP VIEW)



SN54HC00... FK PACKAGE  
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

## description/ordering information

The 'HC00 devices contain four independent 2-input NAND gates. They perform the Boolean function  $Y = \overline{A \cdot B}$  or  $Y = \overline{A} + \overline{B}$  in positive logic.

## ORDERING INFORMATION

TA	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING	
-40°C to 85°C	PDIP – N	Tube of 25	SN74HC00N	SN74HC00N	
	SOIC – D	Tube of 50	SN74HC00D	HC00	
		Reel of 2500	SN74HC00DR		
	SOP – NS	Reel of 250	SN74HC00DT	HC00	
		Reel of 2000	SN74HC00NSR		
	-55°C to 125°C	SSOP – DB	Reel of 2000	SN74HC00DBR	HC00
		TSSOP – PW	Tube of 90	SN74HC00PW	HC00
Reel of 250			SN74HC00PWT		
-55°C to 125°C	CDIP – J	Tube of 25	SNJ54HC00J	SNJ54HC00J	
	CFP – W	Tube of 150	SNJ54HC00W	SNJ54HC00W	
	LCCC – FK	Tube of 55	SNJ54HC00FK	SNJ54HC00FK	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS  
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

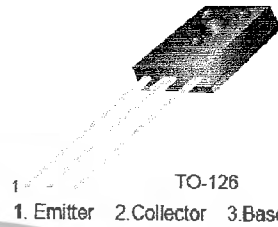
Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated  
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Audio Frequency Power Amplifier  
Low Speed Switching**

• Complement to KSB772



**NPN Epitaxial Silicon Transistor**

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

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CBO}$	Collector- Base Voltage	40	V
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage	30	V
$V_{EBO}$	Emitter- Base Voltage	5	V
$I_C$	Collector Current (DC)	3	A
$I_{CP}$	*Collector Current (Pulse)	7	A
$I_B$	Base Current	0.6	A
$P_C$	Collector Dissipation ( $T_C=25^\circ\text{C}$ )	10	W
$P_C$	Collector Dissipation ( $T_a=25^\circ\text{C}$ )	1	W
$T_J$	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
$T_{STG}$	Storage Temperature	- 55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

\*  $P_W \leq 10\text{ms}$ , Duty Cycles  $\leq 50\%$

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

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$I_{CBO}$	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = 30\text{V}, I_E = 0$			1	$\mu\text{A}$
$I_{EBO}$	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 3\text{V}, I_C = 0$			1	$\mu\text{A}$
$h_{FE1}$	*DC Current Gain	$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 20\text{mA}$	30	150		
$h_{FE2}$		$V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 1\text{A}$	60	160	400	
$V_{CE(sat)}$	*Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 2\text{A}, I_B = 0.2\text{A}$		0.3	0.5	V
$V_{BE(sat)}$	*Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 2\text{A}, I_B = 0.2\text{A}$		1.0	2.0	V
$f_T$	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 5\text{V}, I_E = 0.1\text{A}$		90		MHz
$C_{ob}$	Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{V}, I_E = 0$ $f = 1\text{MHz}$		45		pF

\* Pulse Test:  $P_W \leq 350\mu\text{s}$ , Duty Cycles  $\leq 2\%$  Pulsed

**$h_{FE}$  Classification**

Classification	R	O	Y	G
$h_{FE2}$	60 ~ 120	100 ~ 200	160 ~ 320	200 ~ 400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# HT71XX

## High Voltage Regulator

### Features

- Low power consumption
- Low voltage drop
- Low temperature coefficient
- High input voltage (up to 24V)
- TO-92 and SOT-89 packages

### Applications

- Battery-powered equipment
- Communication equipment
- Audio/Video equipment

### General Description

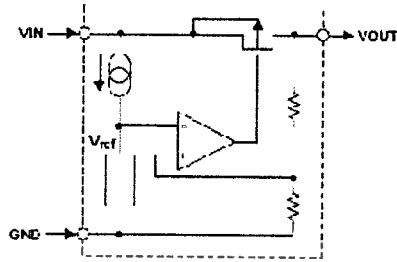
The HT71XX series is a set of three-terminal low power high voltage regulators implemented in CMOS technology. They allow input voltages as high as 24V. They are available with several fixed output voltages ranging from 3.0V to 5.0V. CMOS technology ensures low voltage drop and low quiescent current.

Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain variable voltages and currents.

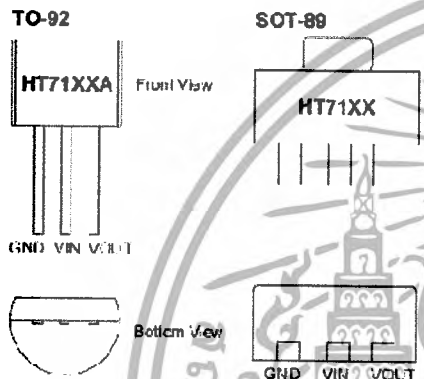
### Selection Table

Part No.	Output Voltage	Tolerance
HT7130	3.0V	±5%
HT7133	3.3V	±5%
HT7136	3.6V	±5%
HT7144	4.4V	±5%
HT7150	5.0V	±5%

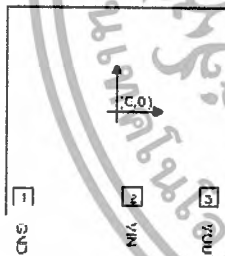
**Block Diagram**



**Pin Assignment**



**Pad Assignment**



**Pad Coordinates**

Unit:  $\mu\text{m}$

Pad No.	X	Y
1	-480.00	-451.50
2	87.50	444.50
3	452.00	-444.50

Chip size: 1374 × 1294 ( $\mu\text{m}$ )<sup>2</sup>

\* The IC substrate should be connected to VDD in the PCB layout artwork.

# MC14017B

## Decade Counter

The MC14017B is a five-stage Johnson decade counter with built-in code converter. High speed operation and spike-free outputs are obtained by use of a Johnson decade counter design. The ten decoded outputs are normally low, and go high only at their appropriate decimal time period. The output changes occur on the positive-going edge of the clock pulse. This part can be used in frequency division applications as well as decade counter or decimal decode display applications.

### Features

- Fully Static Operation
- DC Clock Input Circuit Allows Slow Rise Times
- Carry Out Output for Cascading
- Divide-by-N Counting
- Supply Voltage Range = 3.0 Vdc to 18 Vdc
- Capable of Driving Two Low-Power TTL Loads or One Low-Power Schottky TTL Load Over the Rated Temperature Range
- Pin-for-Pin Replacement for CD4017B
- Triple Diode Protection on All Inputs
- Pb-Free Packages are Available\*

### MAXIMUM RATINGS (Voltages Referenced to V<sub>SS</sub>)

Symbol	Parameter	Value	Unit
V <sub>DD</sub>	DC Supply Voltage Range	-0.5 to +18.0	V
V <sub>in</sub> , V <sub>out</sub>	Input or Output Voltage Range (DC or Transient)	-0.5 to V <sub>DD</sub> + 0.5	V
I <sub>in</sub> , I <sub>out</sub>	Input or Output Current (DC or Transient) per Pin	±10	mA
P <sub>D</sub>	Power Dissipation, per Package (Note 1)	500	mW
T <sub>A</sub>	Ambient Temperature Range	-55 to +125	°C
T <sub>stg</sub>	Storage Temperature Range	-65 to +150	°C
T <sub>L</sub>	Lead Temperature (8-Second Soldering)	260	°C

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

#### 1. Temperature Derating:

Plastic "P and D/DW" Packages: - 7.0 mW/°C From 65°C To 125°C

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V<sub>in</sub> and V<sub>out</sub> should be constrained to the range V<sub>SS</sub> ≤ (V<sub>in</sub> or V<sub>out</sub>) ≤ V<sub>DD</sub>.

Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either V<sub>SS</sub> or V<sub>DD</sub>). Unused outputs must be left open.

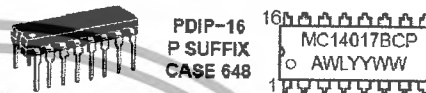
\*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

### MARKING DIAGRAMS



A = Assembly Location  
WL, L = Wafer Lot  
YY, Y = Year  
WW, W = Work Week

### ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 3 of this data sheet.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC14017B

## PIN ASSIGNMENT

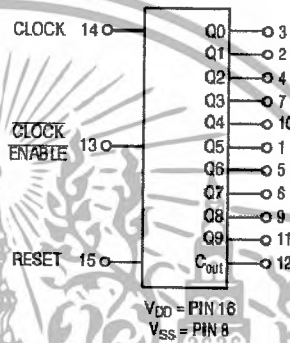
Q5	1	16	V <sub>DD</sub>
Q1	2	15	RESET
Q0	3	14	CLOCK
Q2	4	13	CE
Q6	5	12	C <sub>out</sub>
Q7	6	11	Q9
Q3	7	10	Q4
V <sub>SS</sub>	8	9	Q8

## FUNCTIONAL TRUTH TABLE (Positive Logic)

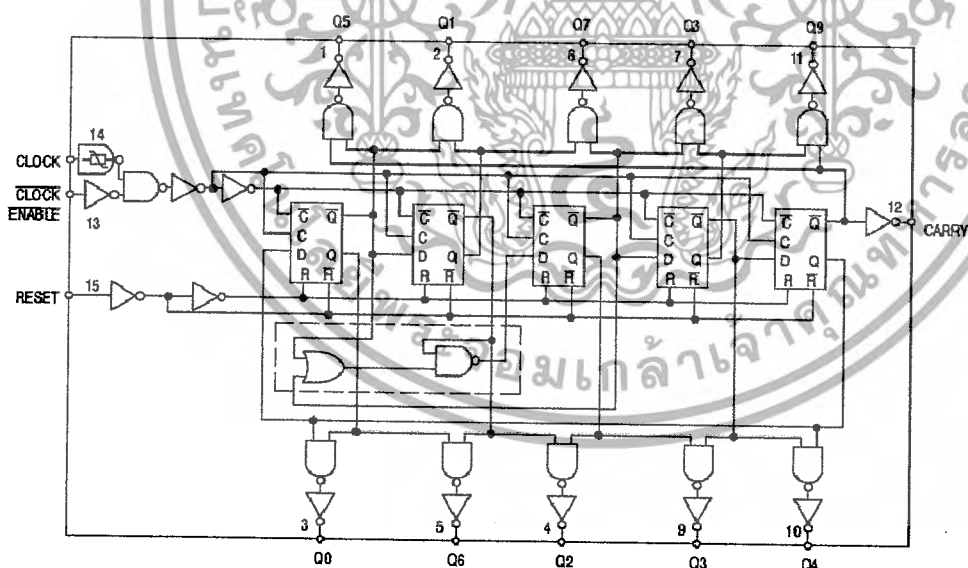
Clock	Clock Enable	Reset	Decode Output=n
0	X	0	n
X	1	0	n
X	X	1	Q0
	0	0	n+1
	X	0	n
X		0	n
1		0	n+1

X = Don't Care. If n < 5 Carry = "1",  
Otherwise = "0".

## BLOCK DIAGRAM



## LOGIC DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

### ขอขอบคุณ

ผศ.ประภากร สุวรรณะ (อาจารย์ที่ปรึกษา) ที่ให้การอุปการะในการให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับโครงการ RFID และทางภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้ยืมเครื่องมือ ในการทดลอง ตลอดจน สั่งสอนให้มีความรู้จนสามารถนำมาประยุกต์ ใช้งานในการทำโครงการนี้

คุณพ่อคุณแม่ ที่คอยให้ความเป็นห่วง และสนับสนุนทางการเงินตลอดจนทำให้โครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีใน โครงการนี้ ทางผู้จัดทำขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณ

.....  
(นายประจักษ์ งามชัย)

.....  
(นายปัญญา ก้อนทอง)

.....  
(นายวิชา พลเสนา)

.....  
(นายมนัส บ่อทรัพย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. สุชาติ กังวารจิตต์, “หลักการทํางานเครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร”, แผนกวิศวกรรม  
กองบังคับการตำรวจสื่อสาร กรมตำรวจ , ซีเอ็ดยูเคชั่น , 386 หน้า , 2538
2. ประจัน พลังสันติกุล, “เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์” , อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ ,  
312 หน้า , 2521
3. ณีฐพล วงศ์สุนทรชัย และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , “เรียนรู้และปฏิบัติการ  
ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628 ” , อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ , 511 หน้า
4. KLAUS FINKENZELLER , “ RFID HANDBOOK Fundamentals and Application in  
Contactless Smart Card and Identification “, John Wiley & Sons , 427 p, 1999.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้