

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เทคโนโลยี RFID 13.56 MHz

RFID 13.56 MHz

โดย

นายชুক্তดี จันทโค 47015242

นายสาโรช คำมั่น 47015267



๑/๖๓  
๗/๑๑๗  
๗๕๕๑

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 72934  
วัน,เดือน,ปี 26 ส.ย. 2550

b. 11๖๖๑๔๑๖  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2549

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เทคโนโลยี RFID 13.56MHz

RFID 13.56MHz

จัดทำโดย

1. นายชูศักดิ์ จันทโค 47015242
2. นายตาโรช คำมัน 47015267



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## RFID ความถี่ 13.56MHz

นายชูศักดิ์ จันทรัง 47015242

นายสาโรช คำมัน 47015267

ผศ.ประภากร สุวรรณะ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

### บทคัดย่อ

เทคโนโลยี RFID เป็นเทคโนโลยีแสดงตัวตนแบบไร้สายที่มีการส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และมีการประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง

รายงานฉบับนี้มีเนื้อหาเกี่ยวกับทฤษฎี ขั้นตอนการออกแบบและการทดลอง โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ใหญ่ๆ คือ เครื่องอ่านและเครื่องถูกข่าย ซึ่งโครงการนี้ได้ออกแบบให้เครื่องถูกข่ายสามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านได้ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวกำหนดข้อมูลที่เครื่องถูกข่ายและมีระยะเวลาใช้งานที่ประมาณ 2 เซนติเมตร

ทางผู้จัดทำได้ทดลองคุณสมบัติต่างๆ และได้นำผลการทดลองแสดงไว้ในโครงการฉบับนี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## **RFID 13.56MHz**

**Chousak Jantaco NO.47015242**

**Saroch Kumman NO.47015267**

**Asst.Prof. Prapakorn Suwanna(Advisor)**

**Education Year 2006**

### **Abstract**

RFID Technology are a wireless identification technology which are used to transfer information via radio frequency. There are a continually development and applied to use in various fields.

This report is about the theorem report, design process and an experiment. There will be two main parts which are Reader and Transponder . A Reader can Read data from transponder which it has Microcontroller is storage data, and it can operate at 2 cm

Other qualification and experiment results will also be show in this thesis.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดีนั้น ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ  
อาจารย์ที่ปรึกษา คือ อาจารย์ประภากร สุวรรณะที่ได้ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการทำ  
ปริญญาบัตร ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้กับทางคณะผู้จัดทำทั้งในอดีตและปัจจุบัน  
รวมทั้งผู้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำปริญญาบัตรตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้ที่เป็นแรงบันดาลใจอันสำคัญยิ่ง รวมถึงกำลังใจ  
ที่ได้รับเสมอมาจากคุณพ่อ คุณแม่ อีกทั้งญาติพี่น้องของทางคณะผู้จัดทำ ทำให้คณะผู้จัดทำมีความ  
มานะพากเพียรทำปริญญาบัตรฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ. ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นายชุตติ์ จันทโค

นายสาโรช คำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

บทคัดย่อ	
Abstract	
สารบัญ	
บทที่1 บทนำ	1
บทที่2 เทคโนโลยี RFID	5
2.1 ส่วนประกอบของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ	5
2.1.1 เครื่องลูกข่าย	5
2.1.2 ประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID	7
2.2 เครื่องอ่าน (Reader)	8
2.3 คุณลักษณะของอุปกรณ์ระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ	9
2.3.1 ลักษณะการทำงาน (Operation type)	9
2.3.2 ขนาดข้อมูล (Data quantity)	10
2.3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)	10
2.3.4 แหล่งพลังงาน (Power supply)	11
2.3.5 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency range)	11
2.3.6 วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน	12
2.3.7 การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-Collision)	13
2.4 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID	13
2.5 การสื่อสารแบบไร้สาย	13
2.5.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (ASK)	14
2.5.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK)	14
2.5.3 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK)	14
2.6 คลื่นพาหะและมาตรฐานของระบบ RFID	15
2.7 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID	16
2.7.1 ความถี่ใช้งาน	16
2.7.2 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์	16
2.7.3 ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง	17
2.7.4 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย	17
2.7.5 มาตรฐานการลดทอนของความเข้มสนามแม่เหล็ก	18
2.7.6 ขนาดของหน่วยความจำ	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Inductive Coupling	18
2.8.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ไปยังเครื่องลูกข่าย	19
2.8.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	20
บทที่3 ทฤษฎีบทสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	24
3.1 วงจรเรโซแนนซ์ ค่าประสิทธิภาพ Q และแบนด์วิดท์	24
3.1.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	24
3.1.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	27
3.2 ค่าประสิทธิภาพ (Q) และแบนด์วิดท์	28
3.3 การกำหนดขอบเขตของค่าประสิทธิภาพ	29
3.4 เส้นแรงแม่เหล็กกับความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux and Magnetic flux density )	30
3.5 ความเหนี่ยวนำ ( Inductance )	31
3.6 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการออกแบบสายอากาศขดลวด	33
3.6.1 การเหนี่ยวนำแรงดันในสายอากาศขดลวด	36
3.6.2 ชนิดและความต้านทานที่สูญเสียของลวด	40
3.6.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด	42
3.7 โครงสร้างของสายอากาศขดลวด	45
3.7.1 สายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย	45
3.7.2 สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน	46
3.8 วงจรแมทซิ่ง(matching)	47
บทที่ 4 การออกแบบและการคำนวณ	51
4.1 Flow chart โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนเครื่องลูกข่าย และเครื่องอ่าน	51
4.2 การออกแบบส่วนของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	55
4.3 วงจรที่ใช้งานในส่วนเครื่องอ่าน	56
4.3.1 ชุดวงจรขยายกำลัง (แบบที่1)	56
4.3.1.1 ภาคขับ (Driver)	56
4.3.1.2 ภาคเพาเวอร์แอมป์ (Power Amp)	58
4.3.1.3 การออกแบบวงจรแมตซิ่งระหว่างภาคขับกับภาคเพาเวอร์แอมป์	60
4.3.1.4 การออกแบบวงจรแมตซิ่งระหว่างภาคเพาเวอร์แอมป์กับ	
โหลด 50 Ω	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ชุดวงจรขยายกำลัง 13.56 MHz (แบบที่2)	65
4.3.3 วงจรออสซิลเลเตอร์	66
4.3.4 วงจรคีมอคูเลเตอร์คลื่นพาหะรอง	67
4.3.5 วงจร FM คีมอคูเลเตอร์	68
4.4 วงจรที่ใช้งานทางด้านเครื่องลูกข่าย	69
4.4.1 วงจรหารความถี่	69
4.4.2 วงจรในส่วนของการเร็กคิไฟร์ รักษาระดับแรงดัน วงจรโหลคมอดคูเลเตอร์ และวงจรแปลงสัญญาณพิกษาของเครื่องลูกข่าย	70
บทที่5 ผลการทดลอง	72
5.1 ผลการทดลองในส่วนของเพาเวอร์แอมป์ 13.56 MHz ( ตัวที่1 )	72
5.1.1 ผลการทดลองในส่วนของเพาเวอร์แอมป์ต่อกับโหลด50 โอห์ม	72
5.1.2 ผลการทดลองในส่วนของวงจรที่ใช้ในการแมตชิง ของเพาเวอร์แอมป์ กับเครื่องอ่าน	73
5.1.3 ผลการทดลองในส่วนของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่าน มายังเครื่องลูกข่าย	75
5.2 ผลการทดลองในส่วนของเพาเวอร์แอมป์ 13.56 MHz ( วงจรขยายตัวที่2 )	81
5.2.1 ผลการทดลองในส่วนของเพาเวอร์แอมป์ต่อกับโหลด50 โอห์ม	81
5.2.2 ผลการทดลองในส่วนของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่าน มายังเครื่องลูกข่าย	83
5.2.3 ผลการทดลองในส่วนของวงจรหารความถี่เพื่อนำไปมอดูเลทที่เครื่องลูกข่าย	89
5.2.4 ผลการทดลองในส่วนของการมอดูเลทสัญญาณ	90
บทที่6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	94
6.1 บทสรุป	94
6.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน	94
6.3 แนวทางการแก้ไขและการนำไปประยุกต์ใช้งาน	95
6.4 การนำไปประยุกต์ใช้งาน	95
กิตติมากรรมประกาศ	
ภาคผนวก	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1	โครงสร้างระบบอย่างง่าย ๆ ของการใช้งานมาตรฐาน RFID	2
รูปที่ 2.1	ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex และ Half Duplex	10
รูปที่ 2.2	แสดงการสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล	14
รูปที่ 2.3	การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย เป็นการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน	19
รูปที่ 2.4	สัญญาณข้อมูลที่ถูกรับอยู่ใน ไซค์แบนด์ของความถี่พื้นฐานที่ใช้ใน การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน กับเครื่องลูกข่าย RFID	22
รูปที่ 2.5	ตัวอย่างวงจรที่ใช้สำหรับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบ Load Modulation With Sub carrier ติดตั้งอยู่ในเครื่องลูกข่ายRFIDแบบ Inductive Coupling	23
รูปที่ 3.1	แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	25
รูปที่ 3.2	แสดงวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม	27
รูปที่ 3.3	ค่าประสิทธิภาพกับรูปแบบการมอดูเลต	29
รูปที่ 3.4	แสดงการทดลองเพื่อวัดเส้นแรงแม่เหล็ก	30
รูปที่ 3.5	การคำนวณของสนามแม่เหล็ก $B$ ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) ที่ลวดตัวนำ	34
รูปที่ 3.6	การคำนวณของสนามแม่เหล็ก $B$ ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) เข้ารูป	35
รูปที่ 3.7	การลดลงของค่าสนามแม่เหล็ก $B$ กับระยะห่าง $r$	35
รูปที่ 3.8	พื้นฐานโครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านและสายอากาศเครื่องลูกข่ายใน ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ	36
รูปที่ 3.9	การปรับทิศทางของสายอากาศของเครื่องลูกข่ายให้เหมาะสม	38
รูปที่ 3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-รอบกับระยะการอ่าน	39
รูปที่ 3.11	รูปของขดลวด	43
รูปที่ 3.12	สายอากาศขดลวดรูปวงกลมแกนอากาศจำนวนรอบใดๆ	44
รูปที่ 3.13	สายอากาศขดลวดแบบรูปสี่เหลี่ยม	45
รูปที่ 3.14	รัศมีของโครงสร้างของสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย	46
รูปที่ 3.15	สายอากาศรูปทรานฟอร์มเมอร์ของเครื่องอ่าน	47
รูปที่ 3.6	วงจรแมตซ์ชิงแบบต่างๆ	48
รูปที่ 3.7	วงจร โครงข่ายแมตซ์ชิงแบบต่างๆ	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 แสดงFlow chart โปรแกรมย่อยการทำงานของคอนโทรลเลอร์ด้านเครื่องอ่าน	51
รูปที่ 4.2 .แสดงFlow chart โปรแกรมย่อยการทำงานของคอนโทรลเลอร์ด้านเครื่องอ่าน	52
รูปที่ 4.3 แสดงFlow chart โปรแกรมการทำงานของคอนโทรลเลอร์ด้านเครื่องอ่าน	53
รูปที่ 4.4 แสดงFlow chart โปรแกรมการทำงานของคอนโทรลเลอร์ด้านเครื่องลูกข่าย	54
รูปที่ 4.5วงจรในส่วนของการแสดงผลของเครื่องอ่าน	55
รูปที่ 4.6 วงจรในส่วนของเครื่องลูกข่าย Data Controller	56
รูปที่ 4.7 แสดงวงจรในส่วนของวงจรภาคขับ	56
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรในส่วนของวงจรภาคเพาเวอร์แอมป์	58
รูปที่ 4.9 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้งสองด้านที่จะทำการแมตซ์กับภาคเพาเวอร์แอมป์	60
รูปที่ 4.10รูปแบบของวงจรที่ใช้ในการแมตซ์ระหว่างภาคขับกับภาคเพาเวอร์แอมป์	61
รูปที่ 4.11แสดงวงจรแมตซ์ระหว่างภาคขับกับภาคเพาเวอร์แอมป์ที่ใช้งานจริง	62
รูปที่ 4.12แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้งสองด้านที่จะทำการแมตซ์ภาคเพาเวอร์แอมป์ กับโหลด 50 Ω	62
รูปที่ 4.13รูปแบบของวงจรที่ใช้ในการแมตซ์ระหว่างภาคเพาเวอร์แอมป์กับ โหลด 50 Ω	63
รูปที่ 4.14 แสดงวงจรแมตซ์ระหว่างภาคเพาเวอร์แอมป์กับ โหลด 50 Ω ที่ใช้งานจริง	64
รูปที่ 4.15วงจรในส่วนของภาคขับของเพาเวอร์แอมป์	65
รูปที่ 4.16วงจรในส่วนของเพาเวอร์แอมป์และขดลวดของเครื่องอ่าน	65
รูปที่ 4.17วงจรในส่วนของออสซิลเลเตอร์ทางด้านเครื่องอ่าน	66
รูปที่ 4.18วงจรในส่วนคิมอดูเลทสัญญาณ $f_c/28$ และ $f_c/32$ ของเครื่องอ่าน	67
รูปที่ 4.19.วงจรในส่วนFMคิมอดูเลทสัญญาณข้อมูลของเครื่องอ่าน	68
รูปที่ 4.20 วงจรหาความถี่ที่เครื่องลูกข่าย	69
รูปที่ 4.21 วงจรในส่วนของการเรกติไฟร์ รักษาระดับแรงดัน วงจร โหลดมอดูเลเตอร์ และวงจรแปลงสัญญาณนาฬิกาของเครื่องลูกข่าย	70
รูปที่ 5.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการทดลองเพาเวอร์แอมป์ ต่อกับตัวลวดทองสัญญาณ 10 เท่า	72
รูปที่ 5.2 แสดงรูปสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของภาคขยาย	73
รูปที่ 5.3 แสดงบล็อกคะแแกรมของวงจรที่ใช้วัดค่าเพาเวอร์ที่ $R_L$	74
รูปที่ 5.4แสดงรูปคลื่นที่คคกร้อม $R_L$ 23.40 Ω โดยใช้โพรบ $\times 10$ วัด	74
รูปที่ 5.5 แสดงการทดสอบการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่าย	75
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับระยะทางที่อินพุต 8 dBm	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน กับระยะทางที่อินพุต 8 dBm	78
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับระยะทางที่อินพุต 9dBm	79
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน กับระยะทางที่อินพุต 9dBm	79
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับระยะทางที่อินพุต 10dBm	80
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน กับระยะทางที่อินพุต 10dBm	80
รูปที่ 5.12 แสดงบล็อกโคอะแกรมของการทดลองเพาเวอร์แอมป์ต่อกับ ตัวลวดทองสัญญาณ 10 เท่า	81
รูปที่ 5.13 สัญญาณจากภาค Oscillator(วงจรถี2)	81
รูปที่ 5.14 รูปสัญญาณอินพุตจากภาค Driver จากโพรบ $\times 10$ (วงจรถี2)	82
รูปที่ 5.15 รูปสัญญาณ เอาต์พุต จากโพรบ $\times 10$ ที่โหลด 50 โอห์ม(วงจรถี2)	82
รูปที่ 5.16 แสดงบล็อกโคอะแกรมของการทดสอบการส่งผ่านพลังงาน จากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่าย	83
รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับระยะทางที่ 2 W	86
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน กับระยะทางที่ 2 W	86
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับระยะทางที่ 3 W	87
รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน กับระยะทางที่ 3W	87
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับระยะทางที่ 4 W	88
รูปที่ 5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับระยะทางที่ 4 W	88
รูปที่ 5.23 แสดงสัญญาณที่ได้จากการหารความถี่ (หาร28) จาก โพรบ $\times 10$	89
รูปที่ 5.24 แสดงสัญญาณที่ได้จากการหารความถี่ (หาร32) จาก โพรบ $\times 10$	89
รูปที่ 5.25 แสดงสัญญาณที่วัดได้จาก สเป็คตรัม อนุาไลเซอร์ในขณะที่ไม่มี เครื่องลูกข่าย	90
รูปที่ 5.26 แสดงสัญญาณที่วัดได้จาก สเป็คตรัม อนุาไลเซอร์ในขณะที่มี เครื่องลูกข่าย	90
รูปที่ 5.27 แสดงสัญญาณที่วัดได้จาก สเป็คตรัม อนุาไลเซอร์ในขณะที่ไม่มีข้อมูลจาก เครื่องลูกข่าย	91
รูปที่ 5.28 แสดงสัญญาณที่วัดได้จาก สเป็คตรัม อนุาไลเซอร์ในขณะที่มีข้อมูลจาก เครื่องลูกข่าย	91
รูปที่ 5.29 รูปสัญญาณเปรียบเทียบข้อมูลจาก เครื่องลูกข่าย กับ สัญญาณที่ได้จาก อินพุตภาค คีมอคูลท พาทะรอง	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.30 รูปสัญญาณเปรียบเทียบข้อมูลจาก เครื่องลูกข่าย กับ สัญญาณที่ได้จาก ภาค คีมอคูเลท พาหะรอง	92
รูปที่ 5.31 รูปสัญญาณที่ได้จากภาคเอฟเอ็ม คีมอคูเลเตอร์	93
รูปที่ 5.32 รูปสัญญาณที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบแรงดันในภาคสุดท้าย	93



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	ย่านความถี่ต่างๆ ของระบบ RFID และการใช้งาน	15
ตารางที่ 5.1	แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่อินพุต 8 dBm	75
ตารางที่ 5.2	แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่อินพุต 9 dBm	76
ตารางที่ 5.3	แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่อินพุต 10 dBm	77
ตารางที่ 5.4	แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ 2 W	83
ตารางที่ 5.5	แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ 3 W	84
ตารางที่ 5.6	แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ 4 W	85



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

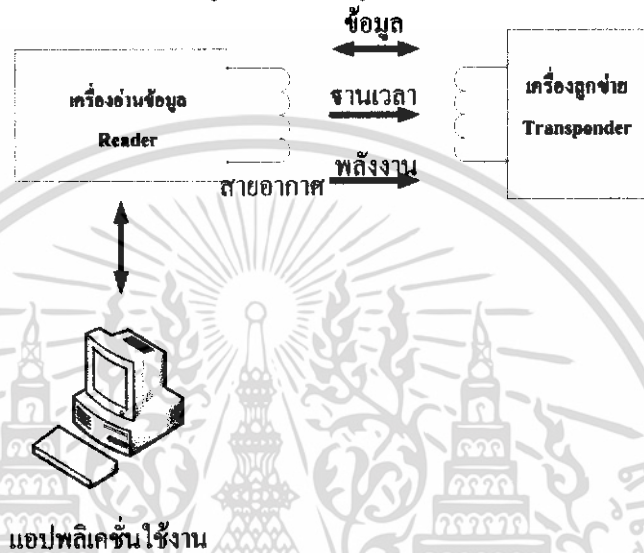
เทคโนโลยีแสดงตัวตนแบบอัตโนมัติหรือที่เรียกเป็นศัพท์ทางวิชาการว่า Automatic Identification หรือ Auto-ID เป็นสิ่งที่ได้รับการพัฒนามาเป็นเวลานาน รวมทั้งยังมีการนำมาประยุกต์ใช้งานในชีวิตประจำวันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นในแวดวงอุตสาหกรรม ระบบคลังสินค้า ร้านค้าปลีก โรงงาน หรือแม้กระทั่งในสายการผลิตของอุตสาหกรรมทั่วไป วัตถุประสงค์หลักของเทคโนโลยี Auto-ID มีขึ้นเพื่อใช้แสดงตัวตนของมนุษย์ สัตว์ สินค้า หรือแม้กระทั่งวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ตัวอย่างระบบ Auto-ID เช่น ระบบบาร์โค้ด (Barcode) ซึ่งมีลักษณะเป็นกลุ่มแถบรหัสขนาดต่างๆ กันติดอยู่ตามสินค้าต่างๆ บรรดามาตรฐาน Auto-ID ต่างๆ ที่มีการคิดค้นขึ้นมาล้วนมีความสำคัญในการอำนวยความสะดวกในการทำธุรกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบันทึกระบบฐานข้อมูลอย่างรวดเร็ว แทนที่จะต้องใช้การนับหรือจดบันทึก อันอาจมีโอกาที่จะเกิดความผิดพลาดได้อยู่เสมอ เทคโนโลยี Auto-ID อีกประเภทหนึ่งซึ่งเป็นที่คุ้นเคยในการใช้งานประจำวัน ก็คือเทคโนโลยีสมาร์ทการ์ด (Smartcard) ซึ่งอยู่ในรูปของบัตรพลาสติก ภายในบันทึกข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับบริการใช้งานของผู้ถือการ์ดตัวอย่างเช่น แผ่น SIM (Subscriber Identity Module) ที่ใช้บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับเลขหมาย และรหัสลับต่างๆ สำหรับใช้ติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นการใช้งานมาตรฐาน Auto-ID ที่ได้รับความแพร่หลายมากที่สุด

มาตรฐานเทคโนโลยี Auto-ID มีอยู่หลายประเภท บางประเภทต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่าน (Contact Auto-ID) ในขณะที่อีกหลายๆ ประเภทเป็นแบบไม่ต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่าน (Contact less Auto-ID) ในปัจจุบัน ได้เกิดมาตรฐาน Auto-ID ใหม่ที่ได้รับความนิยมใช้งานมากขึ้นเรื่อยๆ อันเป็นผลมาจากความสะดวกในการใช้งาน รวมถึงศักยภาพในการรองรับข้อมูลและความต้องการใช้งานในแอปพลิเคชันได้ทุกรูปแบบอีกทั้งยังมีมูลค่าต้นทุนที่ไม่สูงมาก โดยเป็นมาตรฐานสื่อสารแบบไม่สัมผัส ซึ่งช่วยลดปัญหาความไม่เที่ยงตรง และคลาดเคลื่อนในการอ่าน-เขียนข้อมูล เมื่อเทียบกับการใช้งานแบบสัมผัสที่อาจมีการสึกหรอของหน้าสัมผัส มาตรฐานดังกล่าวมีชื่อเรียกว่าระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification : RFID)

เทคโนโลยีแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ มีรูปแบบการทำงานที่คล้ายคลึงกับเทคโนโลยี Smartcard อยู่มาก ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมภายใน ที่มีการจัดเก็บและบันทึกข้อมูลลงบนหน่วยความจำบนแผ่นพลาสติก ซึ่งในกรณีของ RFID แผ่นบันทึกข้อมูลอาจมีรูปแบบแตกต่างกันไปไม่จำเป็นต้องเป็นแบบบัตรเครดิตเสมอไปและเพื่อความสะดวกในการเรียกขาน จึงขอเรียกแผ่นบันทึกข้อมูลในกรณีของ RFID ว่า “เครื่องลูกข่าย” หรือภาษาอังกฤษว่า Transponder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากแนวคิดในการออกแบบมาตรฐาน RFID ที่ต้องการให้การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน (ซึ่งยังคงหมายถึงเครื่องอ่านและเขียนข้อมูล) เป็นแบบไม่สัมผัสกัน (Contact less) ทำให้ต้องมีการหาทางส่งพลังงานไฟฟ้าไปป้อนให้กับเครื่องลูกข่ายในรูปแบบอื่น จึงเกิดแนวคิดในการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคเพื่อส่งทั้งข้อมูลสัญญาณฐานเวลา และพลังงานไฟฟ้าที่จะไปปรากฏเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรภายในเครื่องลูกข่าย ไปในรูปของคลื่นวิทยุผ่านตัวนำที่เป็นอากาศ



รูปที่ 1.1 โครงสร้างระบบอย่างง่าย ๆ ของการใช้งานมาตรฐาน RFID

โครงสร้างง่าย ๆ ของการจัดระบบแสดงตัวตนโดยใช้เทคโนโลยี RFID แสดงในรูปที่ 2 จากรูปจะเห็นว่าประกอบด้วยส่วนประกอบด้วยส่วนประกอบย่อยๆ เพียง 2 ส่วน คือ เครื่องลูกข่าย และเครื่องอ่านข้อมูล ที่ติดตั้งเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อทำหน้าที่ปรับปรุงระบบฐานข้อมูลเครื่องลูกข่าย อาจออกแบบให้มีรูปแบบต่างๆ ได้หลากหลายเครื่องลูกข่ายจะถูกออกแบบให้มีขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมที่จะติด ปะ หรือผูกอยู่กับสินค้า หรือวัตถุต่างๆ ที่ต้องการตรวจนับหรือติดตามส่วนเครื่องอ่าน ทำหน้าที่อ่าน หรือทั้งอ่านและเขียนข้อมูลไปบนเครื่องลูกข่าย โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ

ระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ เป็นเทคโนโลยีที่ใช้คลื่นวิทยุในการระบุลักษณะของคนหรือวัตถุโดยอัตโนมัติ เป็นวิธีการจำแนกได้ครั้งละจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่โดยทั่วไปเป็นการจัดเก็บตามหมายเลขประจำตัวของวัสดุ บุคคล หรือวัตถุ และในบางครั้งอาจรวมถึงสารสนเทศอื่นๆ ลงในไมโครชิปที่ประกอบด้วยสายอากาศ ทำให้ชิปสามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านได้ เครื่องอ่านจะแปลงคลื่นความถี่วิทยุที่สะท้อนกลับจากเครื่องลูกข่าย กลายเป็นข้อมูลดิจิทัลผ่านเข้าไปทางคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดเด่นของระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ (RFID) ที่เห็นได้อย่างชัดเจนมีดังนี้

- สามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ( มองไม่เห็น )
- ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน และการกระทบกระแทก
- สามารถอ่านข้อมูลได้ระยะไกล
- สามารถอ่านค่าข้อมูลได้ด้วยความเร็ว และมีความแม่นยำสูง

ปัจจุบันระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุจะยังไม่เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายแต่มีแนวโน้มที่จะขยายมากขึ้นอย่างรวดเร็วในอนาคต เพราะเราสามารถบรรจุสารสนเทศต่างๆ ลงในระบบของเครื่องลูกข่ายได้ตามที่เราต้องการ เนื่องจากระบบของเครื่องลูกข่าย คือไมโครชิปที่มีหน่วยความจำ เช่นเดียวกับ หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ ที่สามารถทำการประมวลผล การทำงานได้ตามโปรแกรม คำสั่งที่ผู้ใช้ต้องการได้ การทำงานของระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ นั้นคือ ระบบของเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่านต้องมีการปรับคลื่นความถี่ให้เหมือนกันเพื่อการสื่อสาร ระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุใช้ได้หลายย่านความถี่ แต่การใช้โดยทั่วไปส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ ย่านความถี่ต่ำ ( Low Frequency: LF ประมาณ 125 kHz ) ย่านความถี่สูง (High Frequency : HF ประมาณ 13.56 MHz ) ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency :UHF ประมาณ 860-960 MHz) และย่านความถี่ไมโครเวฟ ( ประมาณ 2.45 GHz ) ซึ่งในแต่ละย่านความถี่นั้นก็มีความแตกต่างในเรื่องของความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับงานแต่ละประเภท

#### 1.1 วัตถุประสงค์โครงการ

- เพื่อศึกษาระบบการทำงานของเทคโนโลยี RFID
- เพื่อให้สามารถออกแบบทดลอง และสร้างวงจรในส่วนต่างๆของระบบการทำงานของเทคโนโลยี RFID และสามารถนำมาใช้งานได้จริง

#### 1.2 ขอบเขตโครงการ

- สามารถส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านได้กับเครื่องลูกข่าย โดยการจำลองการทำงานของเครื่องอ่านได้กับเครื่องลูกข่าย โดยการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมทั้งแสดงผลที่ได้ออกมาเพื่อเช็คความถูกต้องของข้อมูล
- ทดลองการส่งถ่ายพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายเพื่อหาระยะ และพลังงานที่สามารถทำให้เครื่องลูกข่ายทำงานได้
- เครื่องลูกข่ายสามารถส่งข้อมูลผ่านคลื่น 13.56 MHz ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขั้นตอนการทำโครงการ

- ศึกษาการทำงานของวงจรต่างๆ ในที่นี้ได้แก่วงจรมอดูเลเตอร์ เพาเวอร์แอมป์ ไมโครคอนโทรลเลอร์เก็บข้อมูลและส่งข้อมูล แมตซ์ซิ่ง เป็นต้น

- ออกแบบวงจรและ โปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้เก็บข้อมูล และอ่านข้อมูล โดยมีการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม

- ออกแบบวงจรหารความถี่เพื่อใช้ในวงจรมอดูเลเตอร์

- ออกแบบวงจรขยายความถี่สูงเพื่อใช้ในการขยายกำลังงานจากทางด้านเครื่องอ่านเพื่อส่งไปยังเครื่องลูกข่าย

- ออกแบบวงจรจำกัดแรงดันแบบอนุกรมเพื่อใช้ในการจ่ายแรงดันให้เครื่องลูกข่ายโดยสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการเหนี่ยวนำของ Reader coil

ภายในรายงานฉบับนี้ยังประกอบด้วยเนื้อหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ โครงการ ส่วนของการออกแบบโครงการ ผลการทดลองของโครงการ การสรุป และวิจารณ์โครงการนี้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

ระบบแสดงตัวตนผ่านทางทางคลื่นวิทยุ (RFID) ย่อมาจาก Radio Frequency Identification เป็นระบบแสดงตัวตนผ่านของวัตถุ ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปีค.ศ. 1980 เพื่อวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำไปใช้งานแทนระบบบาร์โค้ด (Barcode) โดยจุดเด่นของระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ ก็อยู่ตรงการอ่านข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย (Tag) ได้หลายๆ เครื่องลูกข่ายแบบไร้สัมผัส และสามารถ อ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือนการกระทบกระแทกและสามารถจะอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ในเครื่องลูกข่าย

#### 2.1 ส่วนประกอบของระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ

ในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ จะมีองค์ประกอบหลักๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือเครื่องลูกข่าย ที่ใช้ติดกับวัตถุต่างๆ ที่เราต้องการ โดยเครื่องลูกข่ายที่ว่าจะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ เอาไว้ ส่วนที่สองก็คือเครื่องสำหรับอ่านหรือเขียน(Reader) ข้อมูลภายในเครื่องลูกข่ายด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อความเข้าใจจึงขอเปรียบเทียบกับระบบบาร์โค้ด เพื่อให้เห็นภาพชัดเจน เครื่องลูกข่าย ในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ ก็คือ ตัวบาร์โค้ดที่ติดกับฉลากของสินค้าและเครื่องอ่านในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ ก็คือเครื่องอ่านบาร์โค้ด (Scanner) โดยข้อแตกต่างของทั้งสองระบบคือระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุจะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่านหรือเขียน ส่วน ระบบรหัสแท่งจะให้แสงเลเซอร์ในการอ่าน โดยข้อเสียของระบบบาร์โค้ด คือหลักการ อ่านเป็นการใช้แสงในการอ่านรหัสแท่งซึ่งจะต้องอ่านรหัสแท่งที่ไม่มีอะไรปกปิดหรือต้องอยู่ในเส้นตรงเดียวกับลำแสงที่ยิงจากเครื่องสแกน และอ่านวัตถุได้ที่ละชิ้น ในระยะใกล้ๆ แต่ระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุจะแตกต่าง โดยสามารถอ่านเครื่องลูกข่ายได้โดยไม่ต้องเห็นเครื่องลูกข่าย หรือเครื่องลูกข่ายนั้นซ่อนอยู่ภายในวัตถุและไม่จำเป็นต้องอยู่ในเส้นตรงกับคลื่น เพียง อยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้ และการอ่านเครื่องลูกข่ายในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุยังสามารถอ่านได้หลายๆ เครื่องลูกข่ายในเวลาเดียวกัน

##### 2.1.1 เครื่องลูกข่าย

โครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ(Antenna)สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและสร้างพลังงานป้อน ให้ส่วนของไมโครชิฟ (Microchip) ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุเช่นรหัสสินค้า โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั่วไปตัว เครื่อง ลูกข่ายอาจอยู่ในชนิดทั้งเป็น กระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างต่างๆ กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำมาไปติด และมีหลายรูปแบบ เช่น ขนาดเท่าบัตรเครดิต เหรียญ กระดุม ฉลากสินค้า แคปซูล เป็นต้น แต่โดยหลักการอาจแบ่งเครื่องลูกข่าย ที่มีใช้งานกันอยู่นั้นจะมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ๆ โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในเรื่องของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการการทำงาน ซึ่งจะขอลำถึงและอธิบายแยกเป็นหัวข้อดังนี้

#### 2.1.1.1 เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag)

เครื่องลูกข่ายชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้เครื่องลูกข่ายทำงาน โดยปกติ โดยเครื่องลูกข่ายชนิดนี้มีฟังก์ชันการทำงานทั่วไปทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในเครื่องลูกข่ายได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำเท็กซ์ไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (seal) ที่ตัวเครื่องลูกข่ายจึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของเครื่องลูกข่ายให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟนี้จะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกลสูงสุดถึง 6 เมตร ซึ่งไกลกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แม้เครื่องลูกข่ายชนิดนี้จะมีข้อคืออยู่หลายข้อ แต่ก็มีข้อเสียอยู่ด้วยเหมือนกัน เช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด

#### 2.1.1.2 เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)

จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายในหรือไม่จำเป็นต้องรับแหล่งจ่ายไฟใด ๆ เพราะจะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล (มีวงจรกำเนิด ไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว)หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ Transceiver จึงทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตร ซึ่งเป็นระยะการอ่านที่สั้น มีหน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟนี้เป็นที่นิยมมากกว่าไอซีของเครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมามีทั้งขนาดและรูปร่างเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ ไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดวก ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน

## 2.1.2 ประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID

อุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID ประเภทต่างๆ ที่มีการผลิตใช้งานในกิจการต่างๆ ในปัจจุบัน โดยแยกกล่าวตามความแตกต่างของโครงสร้างและการออกแบบเป็นสำคัญตามด้วยตัวอย่างประเภทของการประยุกต์ใช้งาน

### 2.1.2.1 เครื่องลูกข่ายแบบจานและเหรียญ (Disk and coin)

เครื่องลูกข่ายจะถูกบรรจุอยู่ใน โครงสร้างทรงกลมคล้ายจานหรือเหรียญและมีการเคลือบป้องกันไว้เป็นอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องลูกข่ายชนิดนี้มีตั้งแต่ไม่กี่มิลลิเมตร ไปจนถึง 10 เซนติเมตร

### 2.1.2.2 เครื่องลูกข่ายแบบกระเปาะแก้ว (Glass housing)

เป็นเครื่องลูกข่ายที่ได้รับการพัฒนาและผลิตขึ้นสำหรับใช้ฝังไว้ใต้ผิวหนังของสัตว์เพื่อใช้ในการติดตามข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแวดวงสัตวศาสตร์และการสาธารณสุข ตัวกระเปาะแก้วมีขนาดความยาวในช่วง 12-32 มิลลิเมตร

### 2.1.2.3 เครื่องลูกข่ายแบบพลาสติก (Plastic housing)

นิยมเรียกกันในชื่อย่อว่า PP (Plastic Package) ได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีความต้องการเฉพาะรูปแบบ เครื่องลูกข่ายแบบนี้มีขนาดบางและสามารถนำไปติดตั้งประกอบกับผลิตภัณฑ์หลายๆ ประเภทที่พบเห็นทั่วไป ก็คือการนำเครื่องลูกข่ายแบบ PP ติดตั้งฝังอยู่กับพวงกุญแจรถยนต์ในลักษณะของพวงกุญแจอัจฉริยะ (Electronic immobilization system)

### 2.1.2.4 เครื่องลูกข่ายสำหรับใช้เฉพาะกิจ

เป็นเครื่องลูกข่าย RFID อีกประเภทหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ สำหรับใช้งานในกรณีเฉพาะกิจ โดยมีการคิดค้นและพัฒนาเพื่อบรรจุเครื่องลูกข่ายลงใน โครงสร้างและหน้าสัมผัสที่เป็นโลหะ

### 2.1.2.5 เครื่องลูกข่ายแบบพวงกุญแจ (Key and Key fob)

เครื่องลูกข่าย RFID สามารถได้รับการพัฒนาให้อยู่ในรูปของพวงกุญแจพิเศษที่ใช้ในการเปิดปิดประตู หรือใช้กับระบบรักษาความปลอดภัยต่างๆ ซึ่งพวงกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ชนิด

นี้ไม่มีลูกกุญแจ แต่กลับทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณข้อมูลต่างๆ ซึ่งอาจมีการนำเข้ารหัสเพื่อใช้ในการยืนยันตัวตนบุคคล

#### 2.1.2.6 เครื่องลูกข่ายแบบนาฬิกา

เครื่องลูกข่ายแบบนาฬิกาได้รับการคิดค้นและพัฒนาตั้งแต่ พ.ศ. 2533-2535 โดยบริษัทสัญชาติออสเตรเลียที่มีชื่อว่า Sky-Data โดยผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นนาฬิกาสวมใส่ข้อมือและใช้เป็นอุปกรณ์แสดงตัวตนในลักษณะช่องเซ็นเซอร์แบบไร้การสัมผัส (Contact less sensor) เพื่อผ่านเข้าสู่ลู่อ่านสก็สำหรับนักสกีทั้งหลาย

#### 2.1.2.7 เครื่องลูกข่ายมาตรฐาน ID-1 และ Smartcard แบบไร้การสัมผัส

เครื่องลูกข่ายแบบ ID-1 มีรูปลักษณ์ภายนอกไม่ต่างจากบัตรเครดิตหรือบัตรโทรศัพท์ทั่วไป โดยมีขนาดประมาณ 85.72 คูณ 54.03 มิลลิเมตร ความหนา 0.76 มิลลิเมตร เป็นเครื่องลูกข่ายที่ได้รับการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ด้วยคุณสมบัติพิเศษก็คือระยะทำการรับส่งสัญญาณที่เหนือกว่าเครื่องลูกข่ายแบบอื่นๆ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากพื้นที่หน้าตัดที่กว้างมากของตัวบัตร ทำให้สามารถจัดวางระบบสายอากาศที่มีแกนขนาดใหญ่ช่วยเพิ่มรัศมีทำการขึ้นได้อีกมาก

#### 2.1.2.8 เครื่องลูกข่ายแบบ Smart label

เป็นเครื่องลูกข่าย RFID บางที่สุดที่ได้รับการออกแบบเป็นกระดาษบางๆ สามารถงอหรือทบได้ โดยขดลวดสำหรับรับส่งสัญญาณจะถูกออกแบบเป็นแถบพอลิพลาสติกความหนาเพียง 0.1 มิลลิเมตร โดยใช้กระบวนการผลิตแบบพิมพ์สกรีน โคนทั่วไปแถบพอลิเหล่านี้จะถูกเคลือบชั้นหนึ่งโดยเยื่อกระดาษและทับอีกชั้นหนึ่งด้วยสารยึดเกาะ เพื่อป้องกันการฉีกขาด

#### 2.1.2.9 เครื่องลูกข่ายแบบขดลวดบนชิป (Coil-on-chip)

เครื่องลูกข่าย RFID ชนิดนี้มีความแตกต่างจากเครื่องลูกข่ายแบบอื่นๆ ซึ่งมีการแยกส่วนระหว่างเครื่องลูกข่ายกับขดลวดหรือสายอากาศอย่างชัดเจน แต่สำหรับเครื่องลูกข่ายแบบขดลวดบนชิปนั้นจะรวมส่วนที่เป็นขดลวดสายอากาศและตัววงจรประมวลผลเข้าด้วยกัน

### 2.2 เครื่องอ่าน (Reader)

โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือการเชื่อมต่อเพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลลงในเครื่องลูกข่ายด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วยเสาอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับ ส่งสัญญาณภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล จำพวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

โดยทั่วไปหน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในโปรแกรม จะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล(Decoding) ที่ได้รับ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะขนาด และรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็กหรือติดผนัง จนไปถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size)

## 2.3 คุณลักษณะของอุปกรณ์ระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ

### 2.3.1 ลักษณะการทำงาน (Operation type)

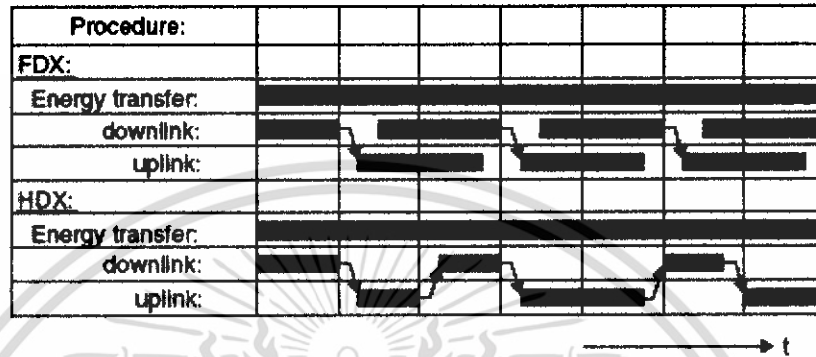
อุปกรณ์ระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ (RFID) ทั้งเครื่องถูกขाय (Transponder) หรือเครื่องอ่าน (Reader) จะมีรูปแบบการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งระหว่างการรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex (FDX) / Half Duplex (HDX)

#### 2.3.1.1 การรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ( FDX )

เครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณข้อมูลออกตลอดเวลา ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านทางคลื่นวิทยุไปจ่ายให้กับเครื่องถูกขायที่อยู่ในบริเวณการใช้งานด้วย และเนื่องจากความแรงของคลื่นสัญญาณความถี่วิทยุที่เครื่องถูกขायส่งออกมามีกำลังส่งต่ำ ทำให้มีแนวโน้มว่าสัญญาณอาจส่งไปไม่ถึงเครื่องอ่าน หรืออาจส่งไปถึงแต่มีระดับสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ด้วย เมื่อเทียบกับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นของตนเองทำให้ส่งสัญญาณออกมาได้สูงกว่าดังนั้นจึงต้องมีมาตรการในการสร้างความแตกต่างของสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีการส่งออกมาจากเครื่องถูกขायแต่ละเครื่อง ให้มีเอกลักษณ์ ( Identity ) ที่แตกต่างกัน เพื่อให้เครื่องอ่านสามารถแยกแยะแหล่งที่มาได้อย่างถูกต้อง โดยใช้มอดูเลตสัญญาณแบบ Load Modulation ซึ่งการสื่อสารแบบ Full Duplex เครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงานไฟฟ้าให้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องลูกข่าย ได้ตลอดเวลา การส่งสัญญาณจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย (Downlink) และการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมาที่เครื่องอ่าน (Uplink) สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex และ Half Duplex

### 2.3.1.2 การรับส่งข้อมูลแบบ Half Duplex (HDX)

การสื่อสารแบบ Half Duplex เครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา ซึ่งการส่งสัญญาณจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย (Downlink) และการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมาที่เครื่องอ่าน (Uplink) จะต้องมีการกำหนดจังหวะผลัดการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ดังรูปที่ 2.1

### 2.3.2 ขนาดข้อมูล (Data quantity)

โดยทั่วไปอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID จะมีขนาดของหน่วยความจำ หรือที่นิยมเรียกกันว่าขนาดความจุข้อมูล (Data capacity) ไล่ขนาดตั้งแต่ไม่กี่ไบต์ไปจนถึงหลายๆ กิโลไบต์ ตัวอย่างเครื่องลูกข่าย RFID อีกกลุ่มหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาให้มีขนาดความจุเพียง 1 บิต (1-bit transponder) ซึ่งเครื่องลูกข่ายแบบนี้มักมีราคาประหยัดและมีจุดประสงค์ในการนำไปใช้งานเพียงเพื่อการแจ้งสถานะภาพเท่านั้น

### 2.3.3 ความสามารถในการโปรแกรม (Programmable)

การจำแนกประเภทของเครื่องลูกข่าย RFID ตามขีดความสามารถในการโปรแกรมข้อมูล สามารถแบ่งออกได้เป็นเครื่องลูกข่ายที่ไม่สามารถโปรแกรมได้ ซึ่งภายในจะมีการเขียนข้อมูลที่อาจเป็นรหัสเลขหมายใดๆ ตามที่ใครรับคำสั่งข้างทำมาตั้งแต่สายการผลิตและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ อีกประเภทหนึ่งเป็นเครื่องลูกข่าย RFID ที่สามารถทำการโปรแกรมข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูลผ่านทางเครื่องอ่านได้ การจัดการลำดับคำสั่ง (Sequence) ในกรณีของเครื่องลูกข่ายที่สามารถโปรแกรมได้นั้น ก็มีเทคนิคที่ใช้ในการจัดการประมวลผลข้อมูลให้เล็กลงพิจารณาเป็นเรื่องทางเทคนิค

#### 2.3.4 แหล่งพลังงาน (Power supply)

เป็นคุณสมบัติทางเทคนิคที่มีความสำคัญมากในการพิจารณาเลือกใช้เครื่องลูกข่าย RFID ทั้งนี้สามารถจำแนกประเภทของเครื่องลูกข่ายออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แบบพาสซีฟ (Passive transponder) ซึ่งเป็นเครื่องลูกข่ายที่ไม่ต้องการแหล่งจ่ายไฟบรรจุไว้ภายในตัว แต่จะอาศัยการแปลงสัญญาณพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องอ่านมาเป็นไฟเลี้ยงเพียงอย่างเดียว กับอีกประเภทหนึ่ง คือ แบบแอคทีฟ (Active transponder) ซึ่งต้องการระบบจ่ายไฟภายในเครื่องลูกข่ายเพื่อใช้ป้อนจ่ายให้กับชิปประมวลผลที่ติดตั้งอยู่ภายใน

#### 2.3.5 ย่านความถี่ใช้งาน (Frequency range)

ความหมายของความถี่ใช้งาน (Operating Frequency) ในมาตรฐาน RFID นั้นจะหมายถึงคลื่นความถี่วิทยุที่เครื่องอ่านทำการส่งออกไปเท่านั้น โดยจะไม่สนใจว่าเครื่องลูกข่ายจะส่งคลื่นความถี่ในย่านใดตอบกลับมา ยิ่งในบางกรณีเครื่องลูกข่ายอาจมีการส่งคลื่นความถี่กลับมาเป็นค่าความถี่เดียวกับที่เครื่องอ่านส่งออกไป โดยแยกแยะความแตกต่างกันด้วยเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ Load modulation ประเด็นของคลื่นความถี่จากเครื่องลูกข่ายจึงไม่ใช่สาระสำคัญในการนำมาพิจารณา ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ จะอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องรบกวนกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสาร โดยทั่วไปมีความถี่ใช้งาน สำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุแบ่งออกได้เป็น 3 ย่าน หลักได้แก่

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

ในแง่การใช้งาน 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ (LF ระยะอ่านประมาณ 10-20 เซนติเมตร และ HF ระยะอ่านประมาณ 1 เมตร) เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่ การตรวจหาและเก็บประวัติในสัตว์ ส่วนย่าน UHF จะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (UHF ระยะอ่านประมาณ 1-10 เมตร) เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเก็บค่าบริการทางด่วน และในปัจจุบันระบบ RFID กำลังถูกวิจัยและพัฒนาในย่านความถี่ ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.4 GHz และความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้งานที่ต้องการระยะอ่านที่ไกลกว่า 10 เมตรเป็นต้น ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้วระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุ ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด และมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วนระบบแสดงตัวตนผ่านทางคลื่นวิทยุที่ใช้คลื่นพาหะในอีก 2 ย่านความถี่แรกจะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่นกันไป

### 2.3.6 วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน

โดยมากมักจะใช้วิธีการมอดูเลตทางแอมพลิจูดหรือใช้การมอดูเลตทางแอมพลิจูดบวกกับการเข้ารหัสแมนเชสเตอร์ (Manchester encoded AM) แต่ทว่าในปัจจุบันก็มีเครื่องลูกข่ายที่ใช้การมอดูเลตแบบอื่นๆ ด้วย เช่น การมอดูเลตแบบเฟสชิฟต์คีย์อิง (Phase Shift Keying : PSK) ฟรีควเอนซ์ชิฟต์คีย์อิง (Frequency Shift Keying : FSK) หรือการใช้การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation : FM) ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน จะได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้งาน เช่น เมื่อความถี่ใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิรตซ์ ความยาวของเสาอากาศ (เป็นเส้นตรง) ที่เหมาะสมก็คือ 22.12 เมตร แน่แน่นอนว่าในทางปฏิบัติคงไม่สามารถนำเสาอากาศที่ใหญ่ขนาดนั้นมาใช้งานกับเครื่องลูกข่ายขนาดเล็กได้ สายอากาศที่ดูจะเหมาะสมจะใช้ร่วมกับเครื่องลูกข่ายมากที่สุดก็คือ สายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็กรูปวงกลมหรือที่มีชื่ออย่างเป็นทางการว่าสายอากาศแบบแมกเนติก ไดโพล (Magnetic dipole Antenna) รูปแบบของสายอากาศแบบนี้จะมีอยู่หลากหลายทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันแกนอากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เป็นวงลูปที่ทำขึ้นจากสายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้งที่เป็นรูปแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะและประเภทของงานด้วยเช่นกันนอกจากการรับส่งข้อมูลแล้วสายอากาศก็ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่องลูกข่ายด้วย โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของไมเคิล ฟาราเดย์ เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็ก (จากเครื่องอ่าน) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของเครื่องลูกข่าย เมื่อเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันในระยะ 0.16 เท่าของความยาวของคลื่นพาหะที่ใช้ เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า Transformer-type Coupling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์แบบเดียวกับการเกิดแรงดัน ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ในทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Transformer) จะเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของเครื่องลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.7 การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-Collision)

ในการที่จะรับข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายหลาย ๆ อัน ทั้งเครื่องลูกข่ายและตัวเครื่องอ่านต้องได้รับการออกแบบให้รองรับสภาวะที่มีเครื่องลูกข่ายมากกว่า 1 อันทำงาน (ส่งสัญญาณ) มิเช่นนั้นแล้วสัญญาณพาหะก็จะมีการส่งออก ในเวลาเดียวกันทำให้เกิดการชนของสัญญาณ (Collision) จะทำให้ไม่มีข้อมูลใด ๆ ส่งถึงตัวเครื่องอ่านเลย การติดต่อยาระหว่างเครื่องลูกข่ายกับตัวเครื่องอ่านเปรียบเสมือน บัสแบบอนุกรม แต่บัสชนิดนี้จะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณ ในระบบบัสที่ใช้เคเบิลเป็นตัวกลางก็ต้องมีการควบคุมไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณ RFID ก็จำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันให้มีการส่งสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายอันเดียวต่อช่วงเวลานั้นเช่นกัน

### 2.4 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID

2.4.1 ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีเครื่องลูกข่ายเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็ก ไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามี การมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่

2.4.2 เมื่อมีเครื่องลูกข่ายเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็ก ไฟฟ้า เครื่องลูกข่ายจะได้รับพลังงาน ไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าเพื่อให้เครื่องลูกข่ายเริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในเครื่อง ลูกข่าย

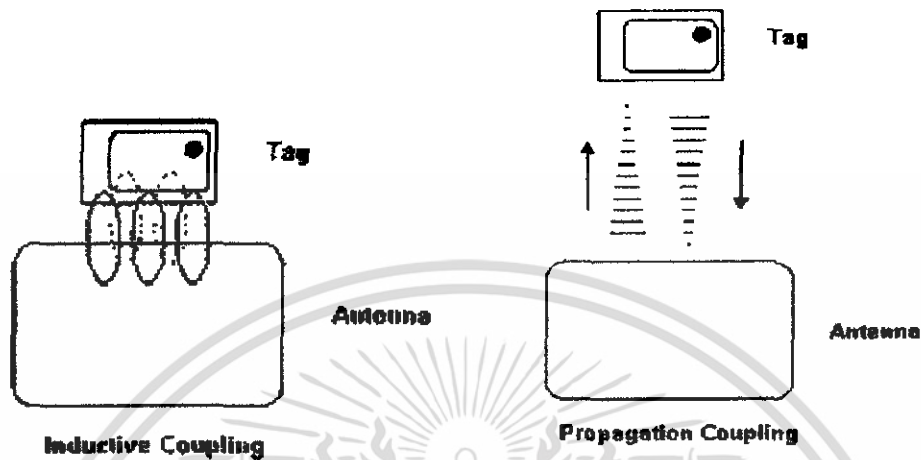
2.4.3 คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องลูกข่ายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด, ความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต

2.4.4 ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูล ไปใช้งานต่อไป

### 2.5 การสื่อสารแบบไร้สาย

การสื่อสารข้อมูลของระบบ RFID คือระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูล จะสื่อสารแบบ ไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่ วิทยุ โดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธี

ด้วยกันคือ วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) กับ วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation Coupling) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล

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

### 2.5.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (ASK)

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

### 2.5.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK)

ในการมอดูเลตแบบ FSK ขนาดของคลื่นพาหะจะไม่เปลี่ยนแปลงที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาหะนั้นคือ เมื่อบิตมีค่าเป็น 1 ความถี่ของคลื่นพาหะจะสูงกว่าปกติและเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะต่ำกว่าปกติ

### 2.5.3 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK)

หลักการของ Phase Keying (PSK) คือ ค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาหะจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ที่จะเปลี่ยนคือ เฟสของสัญญาณกล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะของบิต จาก 1 ไปเป็น 0 หรือเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน (Shift) ไป 180 องศาด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการ PSK สามารถทำได้ทั้งแบบ 2 เฟส (0,90,180 และ 270 องศา) และแบบ 8 เฟส (0,45,90,135,180,225,270 และ 315 องศา) ในการมอดูเลตเพื่อเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกทั้ง 3 แบบ วิธีการแบบ PSK จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุดได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุดแต่วงจรการทำงานจะยุ่งยากกว่าและราคาสูงกว่า

## 2.6 คลื่นพาหะและมาตรฐานของระบบ RFID

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

อย่างไรก็ตาม ความถี่ของคลื่นพาหะที่นิยมใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ย่านความถี่ปานกลาง และ ย่านความถี่สูงก็คือ 125 kHz, 13.56 MHz และ 2.45 GHz ตามลำดับดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 นอกจากนี้รัฐบาลของแต่ละประเทศ โดยทั่วไปจะมีการออกกฎหมายเกี่ยวกับระเบียบการใช้งาน ย่านความถี่ต่างๆ รวมถึงกำลังส่งของระบบ RFID ด้วย

ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ต่างๆ ของระบบ RFID และการใช้งาน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้ว RFID ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดและมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วน RFID ที่ใช้คลื่นพาหะย่านความถี่ต่ำก็จะมี การส่งข้อมูลต่ำและราคาก็จะต่ำลงตามลงไปด้วย

## 2.7 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID

### 2.7.1 ความถี่ใช้งาน

อุปกรณ์ RFID ที่ใช้ย่านความถี่ในช่วง 100 kHz ถึง 30 MHz จะใช้รูปแบบส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องรับเป็นแบบเหนี่ยวนำ (Inductive coupling) ในขณะที่อุปกรณ์ RFID ที่มีการสื่อสารโดยใช้ความถี่ย่านไมโครเวฟซึ่งอยู่ในช่วง 2.45-5.8 GHz จะใช้การส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การดูดซับคลื่นสัญญาณของตัวนำที่เป็นน้ำ ที่ความถี่ใช้งาน 100 kHz จะมีค่าต่ำกว่าการใช้งานที่ความถี่ 1 GHz ถึง 100,000 เท่า การเลือกใช้งานอุปกรณ์ RFID ที่ความถี่สูงระดับ 1 GHz ในกรณีที่มีฝนตกข้อมจะเกิดปัญหาการลดทอนสัญญาณระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านซึ่งอยู่กลางแจ้งมากกว่าการใช้งานแบบเดียวกันที่ความถี่ 100 kHz การเลือกใช้อุปกรณ์ RFID ทำงานที่ความถี่ในย่าน HF น่าจะให้ผลดีในการแพร่กระจายคลื่นในระยะทางกว้าง

ส่วนการเลือกใช้งานความถี่ไมโครเวฟนั้น โดยทั่วไปจะให้ผลดีในเรื่องของระยะทางที่ไกลกว่าการเหนี่ยวนำโดยใช้คลื่นความถี่ต่ำ แต่อุปกรณ์เครื่องลูกข่ายที่ทำงานในย่านไมโครเวฟนั้นต้องการแบตเตอรี่สำรองไฟฟ้าทำให้ต้องมีขนาดใหญ่และมีข้อจำกัดในการพกพาหลายประการ สิ่งที่ควรพิจารณาประการหนึ่งสำหรับการใช้งานอุปกรณ์ RFID ในย่านความถี่ต่ำก็คือการที่ระบบอาจถูกรบกวนจากการเดินเครื่องมอเตอร์ที่อยู่ใกล้เคียงได้ เนื่องจากเป็นการรับส่งข้อมูลที่ใช้การเหนี่ยวนำ ทำให้มีความนิยมใช้งานการสื่อสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟแทนในกรณีของของการใช้งานภายในโรงงานอุตสาหกรรม

### 2.7.2 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิธ

อัตราการรับส่งข้อมูล (Data Transfer Rate) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาหะ โดยปกติถ้าความถี่ของคลื่นพาหะยิ่งสูง อัตราการรับส่งข้อมูลก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ส่วนการเลือกแบนด์วิธ หรือย่านความถี่นั้นก็จะมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลเช่นกัน โดยมีหลักว่า แบนด์วิธควรจะมีความมากกว่าอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อยสองเท่า ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้แบนด์วิธในช่วง 2.4-2.5 GHz ก็จะสามารถรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลได้ถึงประมาณ 2 megabits

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ต่อวินาที เป็นต้น แต่การใช้แบนด์วิดท์ที่กว้างเกินไปก็อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนมาก หรือทำให้ S/N Ratio ต่ำลงนั่นเอง ดังนั้นการเลือกใช้แบนด์วิดท์ให้ถูกต้องก็เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณา

### 2.7.3 ระยะเวลารับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะเวลารับส่งข้อมูลในระบบ RFID ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator Power) กำลังส่งของเครื่องลูกข่าย (Tag Power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะเวลารับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญ ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆ รอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะเวลารับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบ RFID ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบกับระยะเวลารับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของเครื่องลูกข่ายที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา

### 2.7.4 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย

#### 2.7.4.1 การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล

การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วยการตรวจยืนยันตัวตนเครื่องลูกข่าย RFID และการเข้ารหัสข้อมูลที่จะถูกส่งผ่านทางคลื่นวิทยุ กระบวนการหรือความต้องการใช้งานในกรณีนั้นๆ จำเป็นต้องใช้มาตรการรักษาความปลอดภัยหรือไม่ หรือหากต้องการให้จะเป็นเพียงระดับใด เพื่อให้การลงทุนเป็นไปอย่างเหมาะสมที่สุด

#### 2.7.4.2 การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
72934  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรักษาความปลอดภัยที่มีผลกระทบต่อมนุษย์ ที่ความถี่ 0.1-3.0 MHz จะต้องมีค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า (Electric Field Strength: E) ไม่เกิน 614 V/m ค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Strength: H) ไม่เกิน  $16.3/f$  A/m ค่าความหนาแน่นกำลัง (Power Density : S) ไม่เกิน  $10,000/f^2$  mW/cm<sup>2</sup> โดยคิดที่เวลาเฉลี่ย (Averaging Time) 6 นาที

### 2.7.5 มาตรฐานการลดทอนของความเข้มสนามแม่เหล็ก

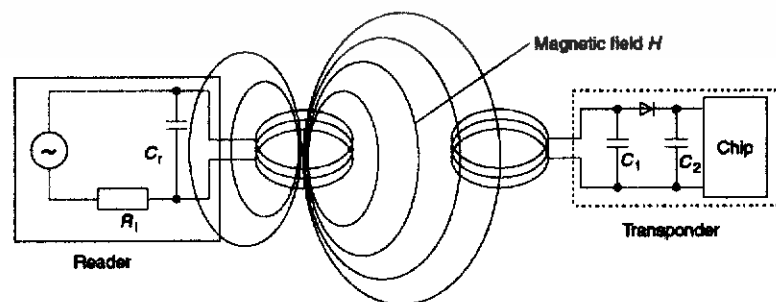
มาตรฐานการลดทอนของความเข้มสนามแม่เหล็กที่ระยะ 10 เมตร ซึ่งจะต้องมีค่าไม่เกิน 72 dB $\mu$ A/m

### 2.7.6 ขนาดของหน่วยความจำ

ต้นทุนของเครื่องลูกข่าย RFID ย่อมมีความสัมพันธ์กับลักษณะและขนาดของหน่วยความจำที่บรรจุอยู่ภายใน การใช้งานในระดับสาธารณะ เช่น ระบบขนส่งจึงนิยมใช้เครื่องลูกข่ายที่มีหน่วยความจำน้อย หรือในบางกรณีอาจใช้เครื่องลูกข่ายแบบ โปรแกรมไม่ได้ เพื่อควบคุมต้นทุนของบัตร โดยอาจใช้บัตรหรือเครื่องลูกข่ายทำหน้าที่ส่งข้อมูลแสดงหมายเลข แล้วให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นใช้งานภายในระบบหรือเครือข่ายขนส่งทำหน้าที่ตรวจสอบหรืออำนวยความสะดวกในการเดินทางแทนที่จะเก็บข้อมูลไว้ในบัตรก็ได้

## 2.8 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Inductive Coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็ก โครงสร้างของเครื่องลูกข่ายประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือชิปที่เก็บบันทึกข้อมูลต่างๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปที่ 2.3 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย เป็นการรับพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน

### 2.8.1 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย

เนื่องจากการทำงานของเครื่องลูกข่ายนั้นเป็นแบบพาสซีฟ (Passive operation) คือไม่มีแหล่งพลังงานภายในเป็นของตัวเอง จึงจำเป็นต้องรับพลังงาน (Energy) มาจากเครื่องอ่านโดยตรง ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่าน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำลังสูงสามารถแพร่กระจายไปในพื้นที่ใช้งาน และสามารถตกกระทบขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้อย่างเหมาะสม ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกมาจากเครื่องอ่านนั้นมีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ซึ่งโดยทั่วไปวางห่างกันในหลักไม่มากนัก

เทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling ส่วนใหญ่ใช้ความถี่ต่ำเพียง 125 kHz หรืออาจจะต่ำกว่า ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีความยาวคลื่นสูงมากถึง 2,400 เมตร จึงไม่มีปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไปจนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบนหรือถูกดกทอนจากผนังอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ หากพิจารณาถึงพื้นที่ใช้งาน โดยทั่วไปที่มีได้ไกลหรือกว้างมากนัก

สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะตกกระทบขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่าย ก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อนๆ ขึ้นบนขดลวด ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากระบวนการเรกติไฟร์ โดยตัวเก็บประจุและไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับอุปกรณ์ชิป การออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ C1 ซึ่งจะต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด L เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่กำทอน (Resonant frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่าน เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องลูกข่าย เปรียบเทียบการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองในรูปที่ 2.4 จะเทียบได้กับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวด 2 ชุด แต่ขดลวดทั้งสองมิได้พันอยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกัน กลายเป็น ใช้อากาศซึ่งมีคุณสมบัติในการนำพาสัญญาณที่เลวร้ายกว่าแกนแม่เหล็กมากๆ

ดังนั้นในการออกแบบระบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่าน และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่เครื่องลูกข่าย มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงมากขึ้น จะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงใช้จำนวนรอบในการพันลวดลงเช่นกัน ตัวอย่างเช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 125 kHz จะต้องมีการพันขดลวดสายอากาศที่เครื่องลูกข่ายในช่วง 100-1,000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 MHz ก็จะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวดจะเหลือเพียง 3-10 รอบเท่านั้น ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายลงได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จะส่งผลให้แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่สูงลดลงเมื่อเทียบกับการใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ทำให้จำกัดระยะทางในการใช้งานมากขึ้น การเลือกใช้อุปกรณ์ Inductive Coupling จึงต้องพิจารณาทั้งขนาดของเครื่องลูกข่ายและระยะทางที่ต้องการใช้งานตรวจจับเป็นสำคัญ เพื่อใช้กำหนดเลือกย่านความถี่ที่เหมาะสมของอุปกรณ์ใช้งาน

สิ่งที่พึงให้ความสนใจเกี่ยวกับการออกแบบระบบ RFID แบบ Inductive Coupling ก็คือ พฤติกรรมการกินกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ชิปที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องลูกข่าย เนื่องจากค่อนข้างมีความหลากหลายและสัมพันธ์กับรูปแบบในการนำไปประยุกต์ใช้งาน การเลือกค่าความถี่พื้นฐานในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายระยะทางพื้นที่ใช้งาน และขนาดของอุปกรณ์อื่นเนื่องมาจากจำนวนรอบของขดลวดสายอากาศ จึงจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับประเภทของการใช้งานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

### 2.8.2 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

มาตรฐาน RFID แบบ Inductive Coupling กำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน หรือ Uplink Communication โดยใช้เทคโนโลยีที่เป็นการส่งกระจายคลื่นความถี่วิทยุคือ Load Modulation จะมีหลักการทำงานดังนี้

#### 2.8.2.1 เทคโนโลยี Load Modulation

พฤติกรรมในการส่งพลังงานและสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและขดลวดของเครื่องลูกข่ายมีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากการทำงานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่อย่างใด หากแต่เพียงตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานเป็นอากาศไม่ใช่โลหะหรือแท่งแม่เหล็กดังเช่นที่พบเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป แต่การใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดทั้งสองนั้น จะทำได้ก็ต่อเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายห่างกันไม่เกิน 0.16 เท่าของค่าความยาวคลื่น ( $\frac{\lambda}{2\pi}$ ) ซึ่งหากคิดกรณีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ความถี่ในย่าน 125 kHz ที่มีความยาวคลื่น 2,400 เมตร ก็จะหมายความว่า จะวางเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่านห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน  $0.16 \times 2,400 = 384$  เมตร

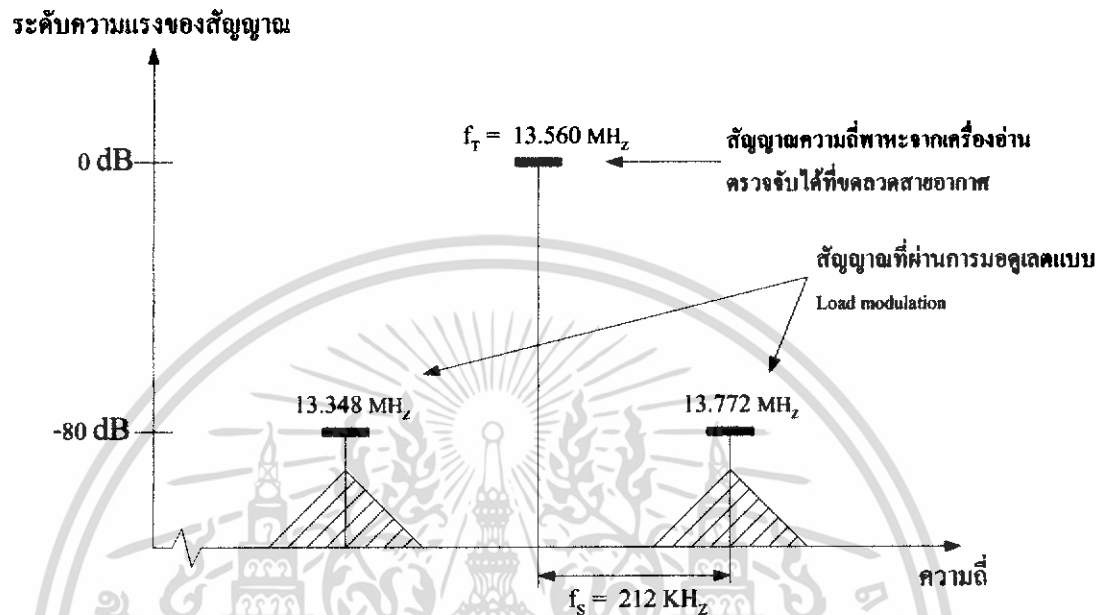
หากมีการนำเครื่องลูกข่ายซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ (LC) ตรงกันกับค่าความถี่เรโซแนนซ์ของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่มีการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน เครื่องลูกข่ายย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้ว เครื่องอ่านจะมองเห็นเครื่องลูกข่ายเป็นโหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ ZT ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน การเปลี่ยนแปลงใดๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ ZT ที่เครื่องอ่านอย่างแน่นอน เนื่องจากในแง่ของวงจร เรโซแนนซ์ ที่เกิดจากขดลวด (L) และตัวเก็บประจุ (C) บนเครื่องลูกข่ายย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ตกกระทบ และไม่มีการจ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับความถี่เท่ากับศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เสมือน ZT นี้ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน โดยปริยาย ซึ่งเป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมา เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Load Modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half Duplex หรือ Full Duplex นั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณซึ่งเป็นเรื่องที่ยังรายละเอียดไปในการออกแบบ

### 2.8.1.2 เทคโนโลยี Load Modulation with sub carrier

เนื่องจากระดับความสามารถในการถ่ายทอด (Coupling) สัญญาณระหว่างขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่าย และเครื่องอ่านค่อนข้างต่ำ การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันสัญญาณ ที่เกิดขึ้นบนขดลวดของเครื่องอ่าน อันมีผลมาจากการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย ย่อมอยู่ในระดับที่ต่ำมากจนบางครั้งอาจไม่สามารถตรวจจับได้ เป็นผลให้เกิดปัญหา ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน หากคิดในแง่ของการออกแบบ วงจรเพื่อตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ก็ต้องกล่าวว่า สัญญาณดังกล่าวมีระดับความแตกต่าง ระหว่างตัวสัญญาณจริง กับสัญญาณรบกวนต่ำมาก การใช้เทคโนโลยี Load Modulation โดยทั่วไปย่อมมีโอกาสดตรวจจับข้อมูล ได้ผิดพลาดง่ายมาก จึงเป็นที่มาของการออกแบบเทคนิคการตรวจจับข้อมูลแบบ Load Modulation with sub carrier ซึ่งมีหลักการคล้ายคลึงกับการรับส่งวิทยุ AM ในวงจรภายในเครื่องลูกข่าย จะทำการมอดูเลตสัญญาณ ทำให้ปรากฏคลื่นความถี่ไซด์แบนด์ หรือความถี่ข้างเคียงอันมีค่าเท่ากับ  $f_T \pm f_S$  โดย  $f_T$

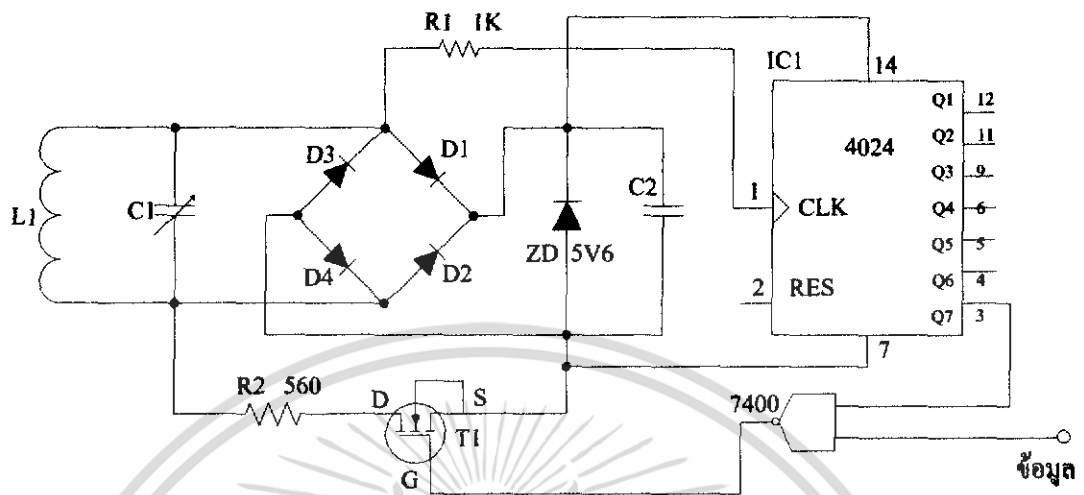
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ ความถี่ในการติดต่อสื่อสาร ระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สัญญาณข้อมูลที่ถูกบรรจุอยู่ในไซด์แบนด์ของความถี่พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน กับเครื่องลูกข่าย RFID

เมื่อเป็นเช่นนี้ การตรวจจับสัญญาณที่ปรากฏบนเครื่องอ่านก็จะง่ายมากขึ้น โดยเพียงแค่ทำการติดตั้งอุปกรณ์แยกกรองความถี่ (Band pass filter) ที่ขดลวดของเครื่องอ่าน โดยสามารถเลือกเฉพาะสัญญาณในไซด์แบนด์ด้านใดด้านหนึ่งที่ต้องการ จากนั้นจึงนำสัญญาณที่กรองออกมาทำการขยายแล้วทำการคิมอดูเลตก็จะได้สัญญาณข้อมูลที่ส่งออกมาจากเครื่องลูกข่าย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความถี่ในการส่งข้อมูล จากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน ทำให้ต้องมีการกันแบนด์วิดท์ สำหรับการรับส่งข้อมูลไว้ค่อนข้างสูง ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.4 ซึ่งต้องกันแบนด์วิดท์รอบความถี่พื้นฐานมากถึง 212 กิโลเฮิรตซ์ ทำให้ไม่สามารถใช้เทคโนโลยีนี้ ได้กับ ระบบ RFID ที่ใช้ความถี่ต่ำในการสื่อสารข้อมูลได้ ข้อกำหนดมาตรฐาน RFID ระบุว่าสามารถใช้เทคโนโลยีดังกล่าว ได้เฉพาะกับมาตรฐาน RFID แบบ Inductive Coupling ที่ความถี่ 6.78 MHz, 13.56MHz และ 27.125 MHz เท่านั้น รูปที่ 2.5 เป็นตัวอย่างวงจรรจริงที่ใช้ในการ สร้างสัญญาณ ไซด์แบนด์ บนอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย



**รูปที่ 2.5** ตัวอย่างวงจรที่ใช้สำหรับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบ Load Modulation with Sub carrier ติดตั้งอยู่ในเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### 3.1 วงจรเรโซแนนซ์ ค่าประสิทธิภาพ Q และแบนด์วิดท์

ในการประยุกต์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุสายอากาศคลวดเป็นส่วนสำคัญของวงจรเรโซแนนซ์และระยะในการอ่านของอุปกรณ์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการทำงานของวงจรเรโซแนนซ์อย่างมาก

รูปที่ 3.1 และ 3.2 แสดงตัวอย่างรูปแบบของวงจรเรโซแนนซ์ ของสายอากาศคลวดและการจูนตัวเก็บประจุ ความถี่เรโซแนนซ์ ( $f_0$ ) สามารถคำนวณได้จาก

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.1)$$

โดยที่  $L$  = ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศคลวด

$C$  = ค่าความจุไฟฟ้าที่ใช้จูน

วงจรเรโซแนนซ์สามารถที่จะมีรูปแบบเป็นแบบอนุกรม หรือ แบบขนานวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมจะมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำที่ความถี่เรโซแนนซ์ผลลัพธ์คือจะมีกระแสที่ใช้ในวงจรมากโดยทั่วไปจะใช้วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมสำหรับสายอากาศของเครื่องอ่าน ส่วนวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ซึ่งค่ากระแสที่ได้จะมีค่าต่ำและแรงดันจะมีค่าสูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะใช้สำหรับสายอากาศของเครื่องลูกข่าย

##### 3.1.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานค่าอิมพีแดนซ์รวมของวงจรสามารถหาได้จากสมการ

$$Z(j\omega) = \frac{j\omega L}{(1 - \omega^2 LC) + j\frac{\omega L}{R}} \quad (3.2)$$

โดยที่  $\omega$  = ความถี่เชิงมุม =  $2\pi f$

$R$  = ความต้านทานโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้ไม่สนใจค่าความต้านทาน ( $r$ ) ของขดลวด ค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่ามากเมื่อตัวส่วนในสมการข้างต้นมีค่ามาก และค่าอิมพีแดนซ์จะมีค่าน้อยเมื่อ

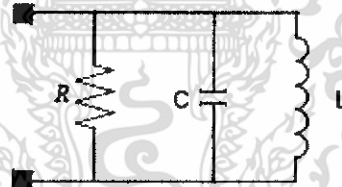
$$\omega^2 LC = 1 \quad (3.3)$$

เรียกว่าสภาวะเรโซแนนซ์และความถี่เรโซแนนซ์หาได้จาก

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.4)$$

ทำการแทนสมการที่ 3.3 ลงในสมการที่ 3.4 ค่าความต้านทานที่ความถี่เรโซแนนซ์จะกลายเป็น

$$Z = R \quad (3.5)$$



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

ค่า  $R$  และ  $C$  ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน สามารถนำมาคำนวณแบนด์วิดท์  $B$  ของวงจรได้ดังสมการ

$$B = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าประสิทธิภาพ  $Q$  สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$Q = \frac{f_0}{B} \quad (3.6)$$

โดยที่  $f_0 =$  ความถี่เรโซแนนซ์  
 $B =$  แบนด์วิคท์

แทนสมการที่ 3.4 และ สมการที่ 3.5 ลงในสมการที่ 3.6 ค่าประสิทธิภาพ  $Q$  ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะได้ดังสมการ

$$Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} \quad (3.7)$$

ค่าประสิทธิภาพในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะแปรผันตรงกับค่าความต้านทานและค่ารากที่สองอัตราส่วนระหว่างค่าความจุกับค่าความเหนี่ยวนำในวงจร ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะใช้สำหรับวงจรสายอากาศของเครื่องลูกข่ายแรงดันที่ตกคร่อมในวงจรสามารถที่จะคำนวณได้จากสมการที่ 3.8 และ สมการที่ 3.7

$$V_0 = 2\pi f_0 N Q S B_0 \cos \alpha \quad (3.8)$$

$$= 2\pi f_0 N \left( R\sqrt{\frac{C}{L}} \right) S B_0 \cos \alpha$$

สมการข้างต้นแสดงถึงการเหนี่ยวนำแรงดันในขดลวดเครื่องลูกข่ายเป็นส่วนกลับของรากที่สองของค่าความเหนี่ยวนำ และเป็นสัดส่วน โดยตรงกับจำนวนรอบและพื้นที่ผิวของขดลวด

วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานสามารถใช้ในสายอากาศแบบรูปทรานฟอเมอร์ สำหรับเครื่องอ่านที่ระยะทางไกลๆอธิบายได้ในสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน แรงดันในรูปทุติยภูมิจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับอัตราส่วนของจำนวนรอบ ( $n_2 / n_1$ ) ของรูปทรานฟอเมอร์ แม้ว่าสัญญาณมีแรงดันสูงก็ตามไม่สามารถที่จะรับสัญญาณได้ สาเหตุที่แยกสายอากาศเพื่อต้องการ

สำหรับการรับสัญญาณ วงจรสายอากาศรับควรจะจูนสัญญาณที่ทำการมอดูเลทของเครื่องลูกข่าย

### 3.1.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมอย่างง่ายแสดงดังในรูปที่ 3.2 สมการแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรคือ

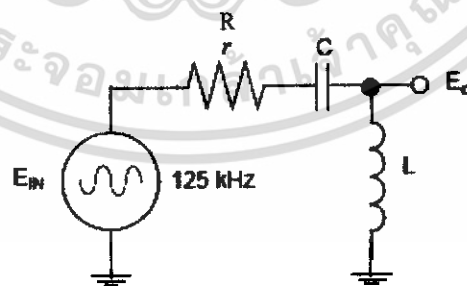
$$Z(j\omega) = r + j(X_L - X_C) \quad (3.9)$$

โดยที่  $r$  = ความต้านทานของวงจร

$$X_L = 2\pi f_0 L \quad (3.10)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_0 C} \quad (3.11)$$

ค่าอิมพีแดนซ์ในสมการที่ 3.10 จะมีค่าลดลงเมื่อองค์ประกอบค่ารีแอคแตนซ์ทั้งสองมีค่าเท่ากัน ( $X_L = X_C$ ) เรียกว่าสภาวะเรโซแนนซ์ ความถี่เรโซแนนซ์จะเหมือนกับความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรขนานตามสมการที่ 4.11



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

กำลังครึ่งของความถี่แบนด์วิดท์จะถูกกำหนดโดยค่า  $R$  และ  $L$  ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B = \frac{r}{2\pi L} \quad (3.12)$$

ค่าประสิทธิภาพ Q ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมสามารถแสดงได้ดังนี้

$$Q = \frac{f_0}{B} = \begin{cases} \frac{\omega L}{r} = \frac{1}{\omega Cr} \\ \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}} \end{cases} \quad (3.13)$$

วงจรถูกอนุกรมเป็นรูปแบบการแบ่งแรงดัน เพราะฉะนั้นแรงดันที่ตกคร่อมในขดลวดจะคำนวณได้จากสมการ

$$V_0 = \frac{jX_L}{r + jX_L - jX_C} V_m \quad (3.14)$$

หรือ

$$\left| \frac{V_0}{V_m} \right| = \frac{X_L}{\sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{X_L}{r \sqrt{1 + \left( \frac{X_L - X_C}{r} \right)^2}} = \frac{Q}{\sqrt{1 + \left( \frac{X_L - X_C}{r} \right)^2}} \quad (3.15)$$

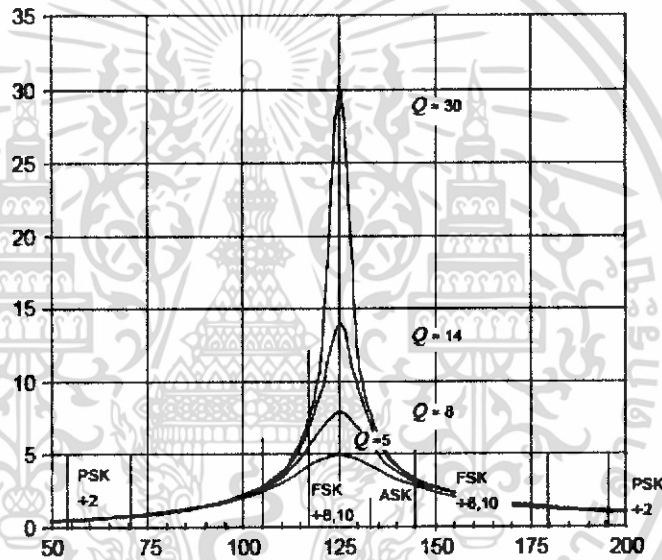
### 3.2 ค่าประสิทธิภาพ (Q) และแบนด์วิดท์

รูปที่ 3.3 แสดงการประมาณช่วงความถี่สำหรับรูปแบบรวมๆ ของการมอดูเลตแบบแอมพลิจูดชีพต์คีย์อิง (ASK), ฟรีควেনซีชีพต์คีย์อิง (FSK) และเฟสชีพต์คีย์อิง (PSK) สำหรับการกู้ของสัญญาณข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายวงจรของเครื่องอ่านต้องการแบนด์วิดท์ที่มีค่าน้อยที่สุดเป็นสองเท่าของอัตราส่วนข้อมูล ดังนั้นถ้าอัตราส่วนของข้อมูลคือ 8 kHz สำหรับสัญญาณแบบแอมพลิจูดชีพต์คีย์อิง แบนด์วิดท์จะต้องมีค่าน้อยที่สุดที่ 16 kHz สำหรับการกู้ของข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องลูกข่าย

อัตราข้อมูลสำหรับสัญญาณฟรีควেনซีชีพต์คีย์อิง ( $\div 10$ ) คือ 12.5 kHz ดังนั้นแบนด์วิดท์ที่ต้องการสำหรับการกู้ข้อมูลคือ 25 kHz

สำหรับสัญญาณเฟสซีฟต์คีย์อิง(÷ 2) อัตราข้อมูลคือ 62.5 kHz (ถ้าความถี่คลื่นพาห้คือ 125 kHz) ดังนั้นวงจรเครื่องอ่านต้องการแบนด์วิดท์ 125 kHz ค่าประสิทธิภาพในกรณีนี้จะเท่ากับ 1

ปัญหาในที่นี่แก้ไขโดยการแยกขดลวดส่งและขดลวดรับซึ่งขดลวดส่งสามารถออกแบบให้มีค่าประสิทธิภาพสูงและขดลวดรับสามารถออกแบบให้มีค่าประสิทธิภาพต่ำ



รูปที่ 3.3 ค่าประสิทธิภาพกับรูปแบบการมอดูเลต

### 3.3 การกำหนดขอบเขตของค่าประสิทธิภาพ

เมื่อทำการออกแบบวงจรสายอากาศของเครื่องอ่าน อาจจะหลงคิดว่าการออกแบบขดลวดจะต้องมีค่าประสิทธิภาพสูง ในที่นี้มีสามประการที่สำคัญที่เป็นข้อกำหนดขอบเขตในการพิจารณา

3.3.1) แรงดันที่สูงมากเกิดจากค่าเบรคควาน์อิน โชนูชันในขดลวดหรือค่าความจุที่เรโซแนนซ์ สำหรับตัวอย่าง กระแส 1 แอมป์แปรที่ไหลในขดลวด 2 mH จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขดลวด 1500 Vpp ข้อเพิ่มเติม ในกรณีของการออกแบบขดลวดเพียงรูปเดียวของตัวอ่าน การกู้สัญญาณที่ได้รับจากเครื่องลูกข่ายจะต้องกระทำที่เปอร์เซ็นต์ของแรงดันที่มีค่าสูง

3.3.2) การจูนที่เหมาะสมในช่วงวิกฤต อุปกรณ์ที่ใช้ตัววงจรสายอากาศที่มีค่าประสิทธิภาพสูง, แรงดันสูงจะมีส่วนประกอบของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้และ มีความเสถียรภาพสูงน่าจะมีใช้ แต่โดยทั่วไปจะมีราคาแพงและยากที่จะมีใช้โดยทั่วไป

3.3.3) ค่าประสิทธิภาพของวงจรที่ได้รับมีค่าสูงค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่ย้อนกลับมาจะสัมพันธ์กับกำลังของคลื่นพาที่ที่ได้รับ ซึ่งสัญญาณที่ออกมาจากเครื่องถูกลบค่าจะมีค่าน้อย วงจรของเครื่องอ่านอาจเกิดความสับสนได้ในการกู้สัญญาณ

### 3.4 เส้นแรงแม่เหล็กกับความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก ( Magnetic flux and Magnetic flux density )

ในจำนวนที่มีสนามแม่เหล็ก เช่น ในบริเวณใกล้ตัวนำจิวายอนันต์ นำกระแส I ดังแสดงในรูปที่ 3.4 จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก  $\Phi$  อาจคำนวณได้จากสมการ 3.16



#### รูปที่ 3.4 แสดงการทดลองเพื่อวัดเส้นแรงแม่เหล็ก

โดย  $t$  คือระยะเวลา นับจากเส้นแรงแม่เหล็ก มีค่าศูนย์แล้วเพิ่มขึ้นเป็นค่าสูงสุด หรือระยะเวลา นับจากเส้นแรงแม่เหล็กค่าสูงสุด แล้วลดลงจนค่าเป็นศูนย์ ซึ่งจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองกรณี จะมีขนาดเท่ากัน แต่เครื่องหมายต่างกัน หน่วยของเส้นแรงแม่เหล็ก คือ “เวบเบอร์” ซึ่งสมมูลย์กับหน่วยในสมการ 3.1 คือ “ โวลต์ - วินาที

สมการของความหนาแน่น เส้นแรงแม่เหล็ก ที่วางอยู่ในอากาศ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (3.17)$$

โดย  $\vec{B}$  มีหน่วยวัดเป็น เกาส์ (gausses) หรือ เวบเบอร์ / ตารางเมตร ( $\text{Wb} / \text{m}^2$ ) หรือ หน่วยใหม่ที่ใช้ในระบบเอสไอ คือ เทสลา (Tesla) ซึ่งทั้งสามมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$1 \text{ Wb} / \text{m}^2 = 1 \text{ Tesla} = 10^4 \text{ gauss}$$

โดยที่  $\mu = \mu_0 \mu_r$

$\mu_0$  เรียกว่า ค่าความซึมซาบทางแม่เหล็ก ของที่ว่างอิสระ ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $4\pi \times 10^{-7} \text{ H} / \text{m}$

$\mu_r$  เรียกว่า ค่าความซึมซาบทางแม่เหล็กสัมพัทธ์ ของวัสดุใดๆ

เนื่องจาก  $\vec{H}$  มีหน่วยวัดเป็นแอมแปร์ต่อ เมตร ดังนั้นเวบเบอร์จึงมีค่าเท่ากับ ผลคูณของเฮนรีกับแอมแปร์ แต่เวบเบอร์เป็นชื่อย่อที่สะดวกในการแทนผลคูณของ เฮนรีกับแอมแปร์ กำหนดให้  $\Phi$  คือเส้นแรงแม่เหล็ก หาค่าของ  $\Phi$  ได้ดังนี้

$$\Phi = \int_s \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad \text{Wb} \quad (3.18)$$

เส้นแรงแม่เหล็กของตัวนำจิว ขาวอนันต์ที่นำกระแสตรง  $I$  สนาม  $\vec{H}$  มีรูปเป็นวงกลม จุดศูนย์กลางร่วมรอบตัวนำ เนื่องจาก  $\vec{B} = \mu H$  ดังนั้นสนาม  $\vec{B}$  จึงมีรูปร่างเดียวกัน เส้นของเส้นแรงแม่เหล็ก เป็นเส้นปิด และไม่มีจุดเริ่มต้น หรือจุดสิ้นสุด บนประจุแม่เหล็ก ด้วยเหตุนี้กฎของเกาส์ ที่ใช้กับสนามแม่เหล็กจะได้เป็นศูนย์ คือ

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (3.19)$$

### 3.5 ความเหนี่ยวนำ (Inductance)

นิยามของความเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเนื่องจาก มีสนามแม่เหล็กไหลวนเวียนในวงจรแม่เหล็ก ดังนั้นความเหนี่ยวนำคือ อัตราส่วนของจำนวนเส้นแรงแเชื่อมทั้งเส้น (Flux linkage) คือ  $N\Phi$  กับจำนวนกระแสที่ผูกเชื่อม ถ้ากำหนดว่า “L” เป็นสัญลักษณ์ของความเหนี่ยวนำ พบว่าสมการของความเหนี่ยวนำ ดังกล่าวมีค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L = \frac{N\Phi}{I} \text{ Henry ( Wb- T/A)} \quad (3.20)$$

กระแสที่ไหลในขดลวดจำนวน  $N$  รอบ จะสร้างเส้นแรงแท่งสั้น  $\Phi$  และเส้นแรงเชื่อม  $N\Phi$  โดยเราสมมติในที่นี้ว่า  $\Phi$  เวบเบอร์ เชื่อมทุกๆ รอบของขดลวด นิยามนี้ จะใช้ได้เฉพาะตัวกลางแม่เหล็ก แบบเชิงเส้นเท่านั้น เพื่อว่าเส้นแรงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแส ถ้ามีสารเฟอร์โรแมกเนติก เข้ามาเกี่ยวข้อง จะไม่มีนิยามของความเหนี่ยวนำใด ที่ใช้ประโยชน์ ได้ทุกกรณี ดังนั้น เราจึงจำกัดความสนใจของเราเฉพาะ สารแบบเชิงเส้นเท่านั้น

หน่วยของความเหนี่ยวนำคือ เฮนรี่ ซึ่งสมมูลกับ เวบเบอร์ต่อแอมแปร์

ในกรณีของเคเบิลซ้อนกันร่วมที่รัศมีภายในเป็น  $a$  และรัศมีภายนอกเป็น  $b$  ค่าเส้นแรงแท่งสั้น ทั้งสิ้น คือ

$$\Phi = \frac{\mu_0 I l}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \quad (3.21)$$

$l$  คือ ความยาวของสายเคเบิล

ค่าความเหนี่ยวนำสำหรับความยาว  $l$  เมตร คือ

$$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \text{ H} \quad (3.22)$$

ค่าความเหนี่ยวนำสำหรับความยาว 1 เมตร คือ

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \text{ H/m} \quad (3.23)$$

ในกรณีนี้  $N = 1$  รอบ และเส้นแรงแท่งทั้งหมด เชื่อมกระแสทั้งหมด ในกรณีของทอรรอยด์ มีจำนวน  $N$  รอบ และกระแส  $I$  แอมแปร์

$$\Phi = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} \quad (3.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ามิติของภาคตัดขวาง มีขนาดเล็กมาก เมื่อเทียบกับรัศมีกลาง  $R$  ของทอรรอยด์ ค่าเส้นแรงทั้งเส้น จึงมีค่าเป็น

$$\Phi = \frac{\mu_0 N I S}{2\pi R} \quad (3.25)$$

ถ้าคูณเส้นแรงทั้งเส้นด้วย  $N$  จะได้ค่าความเหนี่ยวนำ จากเส้นแรงเชื่อม หาค่าด้วยกระแส  $I$  ดังนี้

$$\Phi = \frac{\mu_0 N^2 I S}{2\pi R} \quad (3.26)$$

### 3.6 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการออกแบบสายอากาศขดลวด

ในการพัฒนาสายอากาศระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ มีเหตุผลหลักอยู่ 2 ประการคือ

- เพื่อต้องการส่งความถี่วิทยุ (คลื่นพาห้) ให้เป็นกำลังงานของเครื่องลูกข่าย
- เพื่อรับสัญญาณความถี่วิทยุ (สัญญาณข้อมูล) จากเครื่องลูกข่าย

สัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ สามารถที่จะแพร่กระจายได้อย่างมีประสิทธิภาพในมิติเชิงเส้นของสายอากาศ ซึ่งเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน ในการประยุกต์ใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ต่ำ (100 kHz-500 kHz) ความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งานจะมีค่าประมาณ 2-3 กิโลเมตร (สัญญาณความถี่ 125 kHz จะได้  $\lambda = 2.4$  km) เนื่องจากค่าของความยาวคลื่นมีค่ายาวมาก ในความเป็นจริงไม่สามารถที่จะสร้างสายอากาศได้ในระยะที่จำกัดตามจริง แต่มีทางเลือกหนึ่งเป็นสายอากาศขดลวดแบบรูปขนาดเล็ก ซึ่งจะเรโซแนนซ์ที่ความถี่ใช้งาน (125 kHz) สายอากาศชนิดนี้จะใช้สนามแม่เหล็กกระยะใกล้ (near field magnetic) ในการเชื่อมต่อการเหนี่ยวนำระหว่างสายอากาศขดลวดตัวส่งและตัวรับ

การทำให้เกิดสนามโดยสายอากาศแบบรูปโคโพลขนาดเล็กนั้นจะไม่แพร่กระจายคลื่น แต่จะทำให้คลื่นอ่อนกำลังลงมากกว่าความเข้มสนามถูกลดลงด้วย  $r^{-3}$  (เมื่อ  $r$  = ระยะห่างจากสายอากาศ) ในสนามระยะใกล้ ( $r^{-3}$ ) เป็นปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวจำกัดระยะการอ่านในการใช้งานของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กจะเคลื่อนที่ผ่านขดลวด (สายอากาศ) เป็นการเหนี่ยวนำแรงดันให้ตกคร่อมด้านปลายสุดของขดลวด แรงดันนี้จะใช้เพื่อกระตุ้นเครื่องลูกข่ายแบบพาสซีฟ ดังนั้นสายอากาศขดลวดส่วนมากจะถูกออกแบบให้สามารถเหนี่ยวนำแรงดันได้สูงสุด

กฎของแอมแปร์ ได้กล่าวไว้ว่า การไหลของกระแสในตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆ ตัวนำ รูปที่ 3.5 แสดงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสส่วนหนึ่ง สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในตัวนำ (ลวด) ที่มีความยาวจำกัด คิดได้จากสมการ

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad (3.27)$$

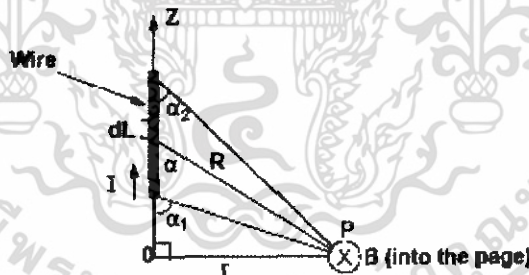
โดยที่  $I$  = กระแส

$r$  = ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของลวด

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

ในกรณีที่ลวดมีความยาวอนันต์ที่  $\alpha_1 = -180^\circ$  และ  $\alpha_2 = 0^\circ$  จากสมการที่ 3.27 สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (3.28)$$



รูปที่ 3.5 การคำนวณของสนามแม่เหล็ก  $B$  ที่จุดสังเกต  $P$  โดยการป้อนกระแส ( $I$ ) ที่ลวดตัวนำ

สนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายอากาศลวดแบบลูปวงกลม จำนวน  $N$  รอบ แสดงได้ดังรูปที่ 3.6 จะได้สมการดังนี้

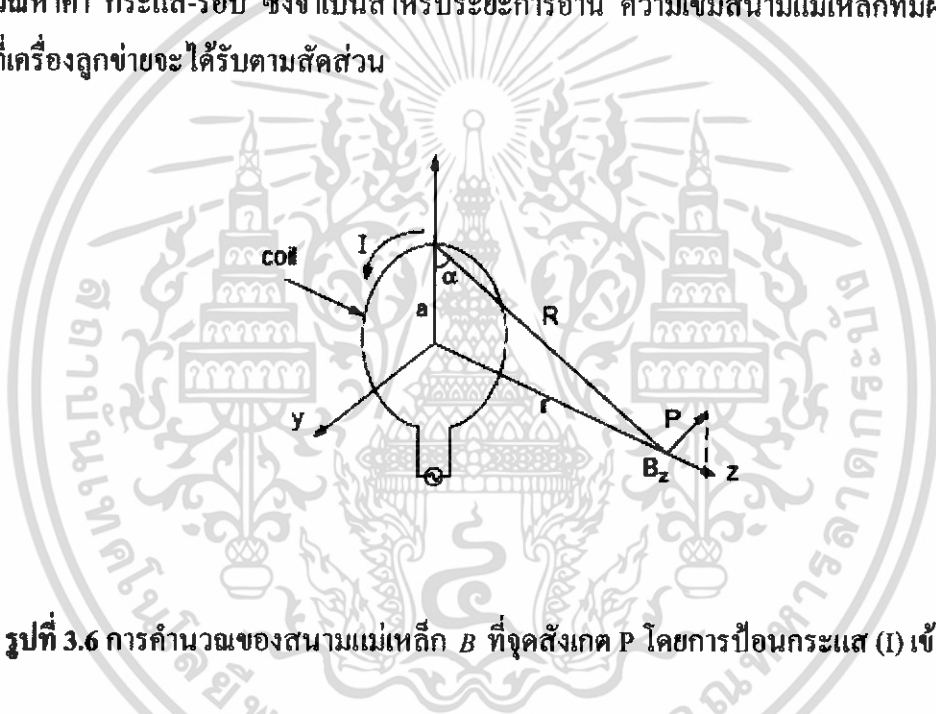
$$B_z = \frac{\mu_0 I N a^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \quad (3.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

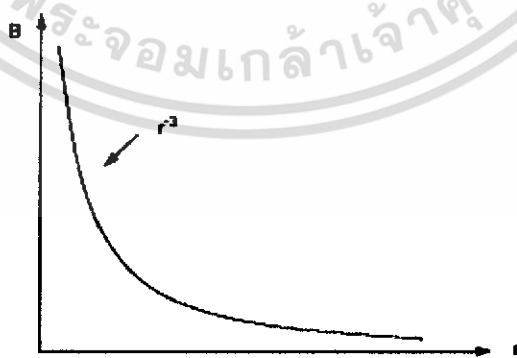
$$= \frac{\mu_0 I N a^2}{2} \left( \frac{1}{r^3} \right) \quad ; r^2 = a^2$$

โดยที่  $a =$  รัศมีของลูป

สมการที่ 3.29 นี้แสดงให้เห็นว่า สนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายอากาศแบบลูป ถูกลดลงด้วย  $1/r^3$  ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ความเข้มของสนามที่มากที่สุดในระยะนาบของลูปและทิศทางที่เหมาะสม สัมพันธ์กับค่ากระแส ( $I$ ), จำนวนรอบ ( $N$ ) และพื้นที่ผิวของลูป สมการที่ 3.29 ใช้มากสำหรับ คำนวณหาค่า กระแส-รอบ ซึ่งจำเป็นสำหรับระยะการอ่าน ความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีผลต่อกำลัง งานที่เครื่องลูกข่ายจะได้รับตามสัดส่วน



รูปที่ 3.6 การคำนวณของสนามแม่เหล็ก  $B$  ที่จุดสังเกต  $P$  โดยการป้อนกระแส ( $I$ ) เข้าลูป



รูปที่ 3.7 การลดลงของค่าสนามแม่เหล็ก  $B$  กับระยะห่าง  $r$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.1 การเหนี่ยวนำแรงดันในสายอากาศขดลวด

จากกฎของฟาราเดย์ กล่าวไว้ว่า เมื่อสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาผ่านพื้นผิวปิด จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำรอบรูป ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่มีความสำคัญสำหรับการทำงานของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ

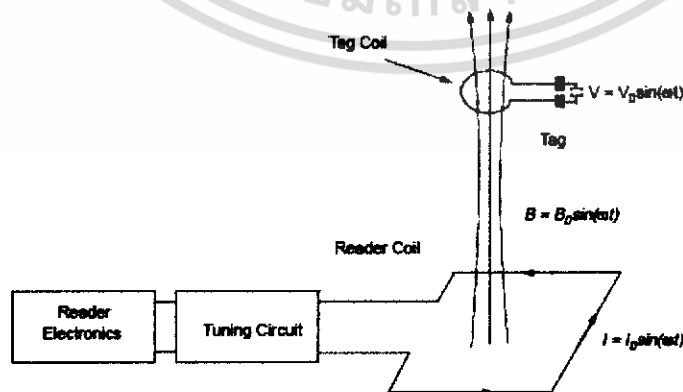
รูปที่ 3.8 แสดงรูปแบบอย่างง่ายของการใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุเมื่อสายอากาศของเครื่องลูกข่ายและสายอากาศของเครื่องอ่านอยู่ในระยะที่ใกล้กันสนามแม่เหล็ก  $B$  ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเกิดจากสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านเหนี่ยวนำแรงดัน ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (electromotive force) ในสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย จะทำให้เกิดกระแสไหลในขดลวดที่เหมาะสมได้เรียกว่ากฎของฟาราเดย์

ในการเหนี่ยวนำแรงดันบนสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux :  $\psi$ ) ต่อเวลา จะได้สมการที่ 3.4

$$V = -N \frac{d\psi}{dt} \quad (3.30)$$

โดยที่  $N$  = จำนวนรอบของสายอากาศขดลวด  
 $\psi$  = เส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านแต่ละรอบ

เครื่องหมายลบในสมการการเหนี่ยวนำแรงดัน แสดงว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าอยู่ในทิศทางที่ทำให้เกิดกระแสไหลซึ่งมีผลทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก ที่รู้กันในชื่อกฎของเลนซ์ (Lenz's Law) ซึ่งเป็นการเน้นถึงความจริงของทิศทางกระแสไหลของกระแสในวงจร แสดงว่าแรงดันเหนี่ยวนำทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กในทิศทางตรงข้าม



รูปที่ 3.8 พื้นฐาน โครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านและสายอากาศเครื่องลูกข่ายในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นแรงแม่เหล็กในสมการที่ 3.4 คือสนามแม่เหล็ก  $B$  ทั้งหมดที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ผิวทั้งหมดของสายอากาศขดลวดและสามารถหาได้จากสมการ

$$\psi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (3.31)$$

โดยที่  $\vec{B}$  คือ สนามแม่เหล็กที่ได้มาจากสมการที่ 3.29  
 $\vec{S}$  คือ พื้นที่ผิวของขดลวด

หมายเหตุ : สนามแม่เหล็ก  $\vec{B}$  และพื้นที่ผิว  $\vec{S}$  เป็นปริมาณเวกเตอร์

ผลลัพธ์ของสองเวกเตอร์ในสมการที่ 3.31 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่เคลื่อนที่ผ่านสายอากาศขดลวด ซึ่งผลลัพธ์ของสองเวกเตอร์จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเวกเตอร์ทั้งสองอยู่ในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่านสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่ายจะมีค่ามากที่สุด เมื่อขดลวดทั้งสอง (สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านและสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย) อยู่ในทิศทางที่ขนานกัน

จากสมการที่ 3.29-3.31 จะเป็นการเหนี่ยวนำแรงดัน  $V_o$  สำหรับสายอากาศรูปที่ไม่ได้จูนจะได้สมการที่ 3.32 ดังนี้

$$V_o = 2\pi fNSB_o \cos \alpha \quad (3.32)$$

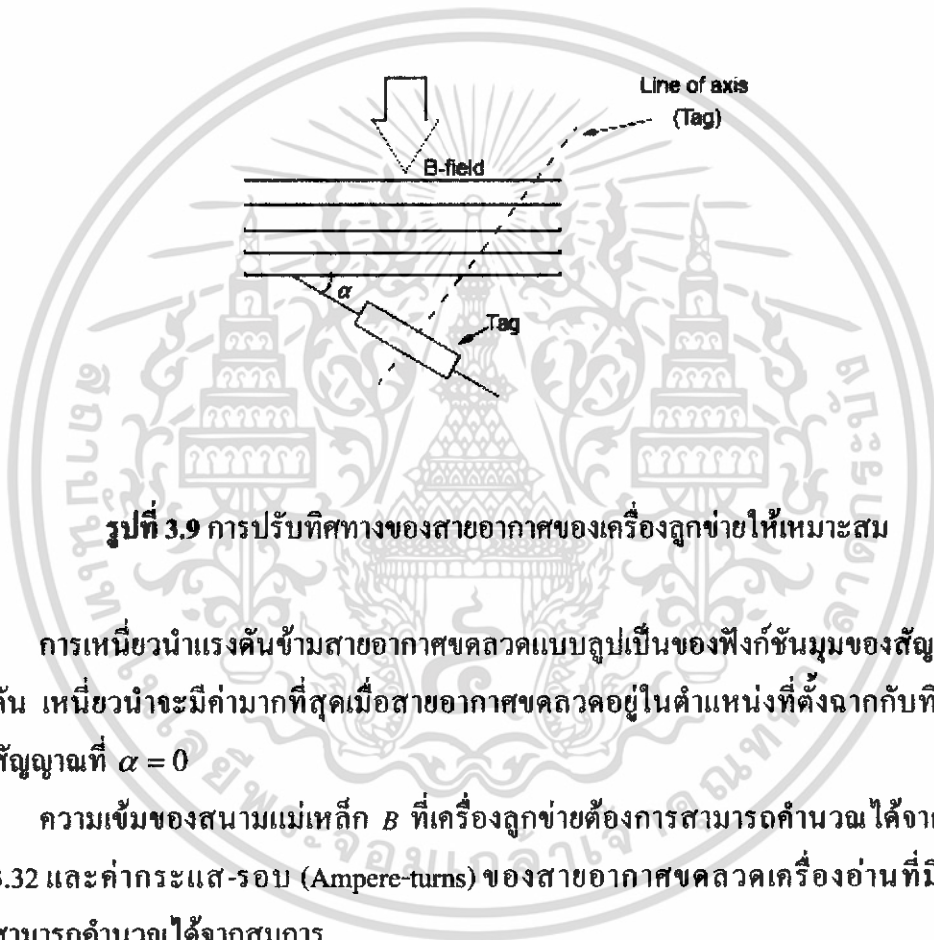
โดยที่  $f$  = ความถี่ของสัญญาณ  
 $N$  = จำนวนรอบของขดลวดในรูป  
 $S$  = พื้นที่ของรูปในหน่วยเมตรยกกำลังสอง ( $m^2$ )  
 $B_o$  = ความเข้มของสัญญาณ  
 $\alpha$  = มุมของสัญญาณ

ถ้าทำการจูนขดลวด (ด้วยตัวเก็บประจุ:C) ที่สัญญาณความถี่ (125kHz) แรงดันเอาต์พุต  $V_o$  ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างมาก แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากสมการที่ 3.32 จะคูณด้วยค่าประสิทธิภาพ

(Quality Factor) ของวงจรจูน ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ตั้งแต่ 5 ถึง 50 ที่ความถี่ต่ำของการใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

$$V_o = 2\pi f_o N Q S B_o \cos \alpha \quad (3.33)$$

โดยค่าประสิทธิภาพ (Q) เป็นสิ่งบ่งชี้ของการเลือกความถี่ที่เหมาะสม



รูปที่ 3.9 การปรับทิศทางของสายอากาศของเครื่องลูกข่ายให้เหมาะสม

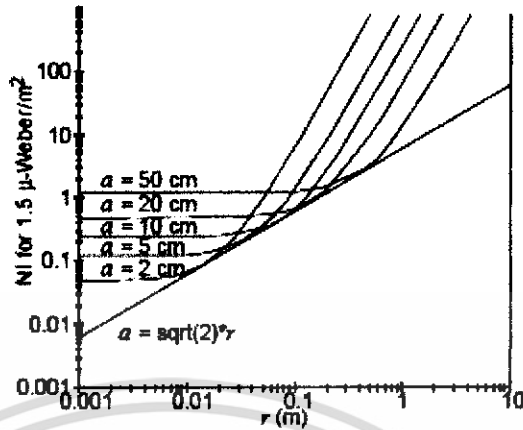
การเหนี่ยวนำแรงดันข้ามสายอากาศขดลวดแบบรูปเป็นของฟังก์ชันมุมของสัญญาณ แรงดันเหนี่ยวนำจะมีค่ามากที่สุดเมื่อสายอากาศขดลวดอยู่ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับทิศทางของสัญญาณที่  $\alpha = 0$

ความเข้มของสนามแม่เหล็ก  $B$  ที่เครื่องลูกข่ายต้องการสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.32 และค่ากระแส-รอบ (Ampere-turns) ของสายอากาศขดลวดเครื่องอ่านที่มีรัศมีใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$(NI) = \frac{2B_z (a^2 + r^2)^{3/2}}{\mu a^2} \quad (3.34)$$

สำหรับระยะเวลาอ่านที่เพิ่มมากขึ้นเป็นการบอกถึงการพิจารณา การเพิ่มขึ้นของรัศมีของขดลวดซึ่งจะได้ผลมากกว่าการเพิ่มกระแสให้กับขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-รอบกับระยะการอ่าน

หมายเหตุ : จากรูปที่ 3.10  $B_z = 1.5 \mu Wb/m^2$

รัศมีที่เหมาะสมของรูปต้องการค่าของกระแส-รอบที่น้อยที่สุด สำหรับระยะของการอ่านสามารถหาได้จากสมการที่ 3.3 เช่น

$$NI = K \frac{(a^2 + r^2)^{3/2}}{a^2} \quad (3.44)$$

โดยที่

$$K = \frac{2B_z}{\mu_0}$$

โดยการนำอนุพันธ์มาใช้เพื่อหาค่ารัศมีจะได้

$$\frac{d(NI)}{da} = K \frac{3/2(a^2 + r^2)^{1/2}(2a^3) - 2a(a^2 + r^2)^{3/2}}{a^4} \quad (3.45)$$

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

จากสมการข้างต้นจะกลายเป็นสมการที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a^2 - 2r^2 = 0 \quad (3.46)$$

จากผลลัพธ์ข้างต้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะของการอ่านกับขนาดของเครื่องลูก  
ข่าย ค่ารัศมีที่เหมาะสมจะหาได้จาก

$$a = \sqrt{2}r \quad (3.47)$$

โดยที่  $a$  = รัศมีของขดลวด

$r$  = ระยะการอ่าน

จากผลลัพธ์ข้างต้นบอกให้รู้ว่า ค่ารัศมีที่เหมาะสมที่สุดของลูปสำหรับสายอากาศเครื่อง  
อ่าน จะมีค่าประมาณ 1.414 หรือ ค่ารากที่สองของระยะการอ่าน

### 3.6.2 ชนิดและความต้านทานที่สูญเสียของลวด

#### 3.6.2.1 ขนาดและค่าความต้านทานทางด้านไฟกระแสตรง

เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทางไฟฟ้าจะแสดงตัวเลขตามมาตรฐานอเมริกา (American  
Wire Gauge : AWG) ค่าตัวเลขจะเป็นสัดส่วนที่ตรงกันข้ามกับค่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง  
และเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าทุกๆขนาดลวดเพิ่มไปหกเบอร์ ลวดที่  
เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กจะมีค่าความต้านทานทางด้านไฟกระแสตรงที่สูง ค่าความต้าน  
ทานทางด้านไฟกระแสตรงของตัวนำที่เป็นแบบเดียวกันตามพื้นที่หน้าตัดหาค่าได้โดย

$$R_{DC} = \frac{l}{\sigma S} \quad (3.48)$$

โดยที่  $l$  = ความยาวทั้งหมดของลวด

$\sigma$  = ค่าความนำ

$S$  = พื้นที่หน้าตัด

ตารางที่ 3.2 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับด้านในและสารเคลือบโลหะของลวด และค่าความ  
ต้านทานทางด้านไฟกระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.2.2 ค่าความต้านทานทางค้ำไฟกระแสสลับของลวด

ที่ทางค้ำไฟกระแสตรง ประจุเคลื่อนพาที่จะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วหน้าตัดของลวด ขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้นค่ารีแอกแตนซ์ในลวดก็เพิ่มขึ้นด้วย มีผลให้ขอบเขตความหนาแน่นกระแสในลวดเพิ่มขึ้นที่ผิว ดังนั้นประจุจะเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางของลวดไปยังจุดสิ้นสุดของลวด มีผลทำให้ความหนาแน่นกระแสลดลงในจุดศูนย์กลางของลวดและเพิ่มขึ้นใกล้จุดสิ้นสุดของลวด เรียกปรากฏการณ์ว่าผลกระทบบของพื้นผิว (skin effect) ความหนาภายในลวดจะมีความหนาแน่นกระแสลดลง  $1/e$  หรือ 37% ของค่าความยาวพื้นผิว จะรู้ได้จากค่าความหนาของพื้นผิว (skin depth) , ค่าฟังก์ชันของความถี่, ค่าเพอร์มิอิตีวี่ และค่าความนำของตัวกลาง ค่าความหนาของพื้นผิวสามารถหาได้จากสมการ

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (3.49)$$

โดยที่  $f$  = ความถี่  
 $\mu$  = ค่าเพอร์มิอิตีวี่ของวัสดุ  
 $\sigma$  = ค่าความนำของวัสดุ

ค่าความต้านทานของลวดกับความถี่จะเพิ่มขึ้น และค่าความต้านทานที่เกิดจากความหนาของของพื้นผิวเรียกว่า ความต้านทานทางค้ำไฟกระแสสลับ การประมาณค่าความต้านทานของไฟฟ้ากระแสสลับหาได้จากสมการ

$$R_{ac} \approx \frac{1}{2\sigma\pi\delta} = (R_{DC}) \frac{a}{2\delta} \quad (3.50)$$

โดยที่  $a$  = รัศมีของขดลวด

สำหรับลวดทองแดง จะมีค่าความสูญเสียประมาณได้โดยค่าความต้านทานทางค้ำไฟกระแสตรงของลวด ถ้ารัศมีของเส้นลวดใหญ่กว่า  $0.066/\sqrt{f}$  เซนติเมตร ที่ 125 kHz ค่ารัศมีวิกฤตคือ 0.019 เซนติเมตร ในที่นี้จะเท่ากับขนาดลวดเบอร์ 26 เพราะฉะนั้น

สำหรับค่าความสูญเสียเล็กๆ ขนาดเบอร์ของลวดต้องใหญ่กว่าเบอร์ 26 ควรจะดูจากค่าประสิทธิภาพ (Q) ของขดลวดที่มีค่าสูงสุด

### 3.6.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด

กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาสามารถทำให้เกิดการไหลของกระแสผ่านตัวนำอีกตัวหนึ่ง เรียกว่าค่าความเหนี่ยวนำ (L) ค่าความเหนี่ยวนำขึ้นอยู่กับค่าคุณลักษณะของตัวนำ ขดลวดจะมีค่าความเหนี่ยวนำมากกว่าเส้นลวดที่เป็นวัสดุที่เหมือนกัน และขดลวดที่มีจำนวนรอบมากก็จะมีค่าความเหนี่ยวนำมากกว่าขดลวดที่มีจำนวนรอบน้อย ค่าความเหนี่ยวนำของตัวนำมีนิยามคือ อัตราส่วนของเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดต่อกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ

$$L = \frac{N\psi}{I} \quad (3.51)$$

โดยที่  $N =$  จำนวนรอบ  
 $I =$  กระแส  
 $\psi =$  เส้นแรงแม่เหล็ก

สำหรับสายอากาศขดลวดที่ความถี่ 125 kHz ของเครื่องลูกข่ายจะเลือกค่าความเหนี่ยวนำอยู่ที่ประมาณ 2-3 (mH) และสายอากาศขดลวดเครื่องอ่านจะเลือกค่าความเหนี่ยวนำอยู่ที่ประมาณ 200-300 ถึง 2,000-3,000 ( $\mu$ H) จำนวนรอบที่มากขึ้นของสายอากาศขดลวดก็จะได้ค่าความเหนี่ยวนำที่มากขึ้นตามมา ดังนั้นสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่ายที่มีรูปแบบพื้นที่ที่จำกัดมักจะต้องพันจำนวนรอบของขดลวดที่ลดลง

#### 3.6.3.1 ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวด

ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวดที่แสดงในรูปที่ 2.38 สามารถหาได้จากสมการ

$$L = 0.002l \left[ \log_e \frac{2l}{a} - \frac{3}{4} \right] \quad (3.52)$$

โดยที่  $L =$  ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวด มีหน่วยเป็นไมโครเฮนรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ  $a$  = ความยาวและรัศมีของลวดในหน่วยเซนติเมตร ตามลำดับ

### 3.6.3.2 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด

ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดดังแสดงในรูปที่ 2.7 สามารถคำนวณได้จากสมการ

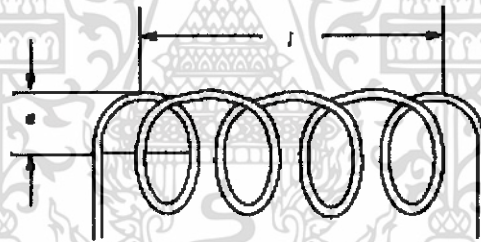
$$L = \frac{(aN)^2}{22.9l + 25.4a} \quad (3.53)$$

โดยที่  $L$  = ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด มีหน่วยเป็นไมโครเฮนรี

$a$  = รัศมีของขดลวด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

$l$  = ความยาวของขดลวด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

$N$  = จำนวนรอบ



รูปที่ 3.11 รูปของขดลวด

หมายเหตุ : สำหรับค่าประสิทธิภาพ (Q) ที่ดีที่สุดของขดลวด ควรจะมีความยาวประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด

### 3.6.3.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบรูปวงกลม

จากรูปแบบ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดขนาดใหญ่ในขอบเขตที่จำกัด จะมีประสิทธิภาพมากเมื่อพันขดลวดหลายๆ รอบ เป็นเหตุผลของรูปแบบในการออกแบบ โครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศขดลวดของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ แสดงดังรูปที่ 3.12 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบรูปวงกลม สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L = \frac{0.31(aN)^2}{6a+9h+10b} \quad (3.54)$$

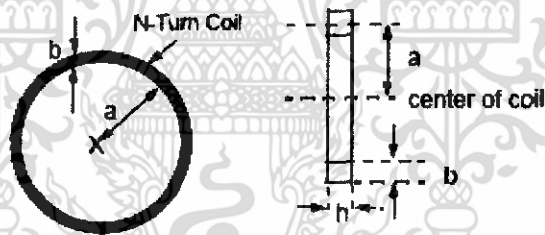
โดยที่  $L$  = ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบรูปวงกลม มีหน่วยเป็น ไมโครเฮนรี

$a$  = รัศมีเฉลี่ยของขดลวด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

$N$  = จำนวนรอบ

$b$  = ความหนาในการขด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

$h$  = ความสูงในการขด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร



รูปที่ 3.12 สายอากาศขดลวดรูปวงกลมแกนอากาศจำนวนรอบใดๆ

จำนวนรอบที่ต้องการสำหรับค่าความเหนี่ยวนำที่แน่นอน สามารถคำนวณได้จากการประยุกต์สมการที่ 4.54 ซึ่งจะได้สมการดังนี้

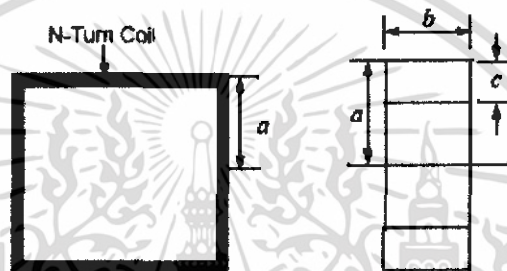
$$N = \sqrt{\frac{L_{\mu H} (6a+9h+10b)}{(0.31)a^2}} \quad (3.55)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.4.4 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดรูปสี่เหลี่ยม

ถ้า  $N$  คือจำนวนรอบและ  $a$  เป็นความยาวที่วัดจากจุดศูนย์กลางของสี่เหลี่ยมถึงขอบด้านนอกของรูป ส่วนด้านข้างของรูปเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความยาว  $b$  และความหนา  $c$  ดังแสดงในรูปที่ 3.13

$$L = 0.008aN^2 \left( 2.303 \log_{10} \left( \frac{a}{b+c} \right) + 0.2235 \frac{b+c}{a} + 0.726 \right) \quad (3.56)$$



(a) รูปด้านหน้า

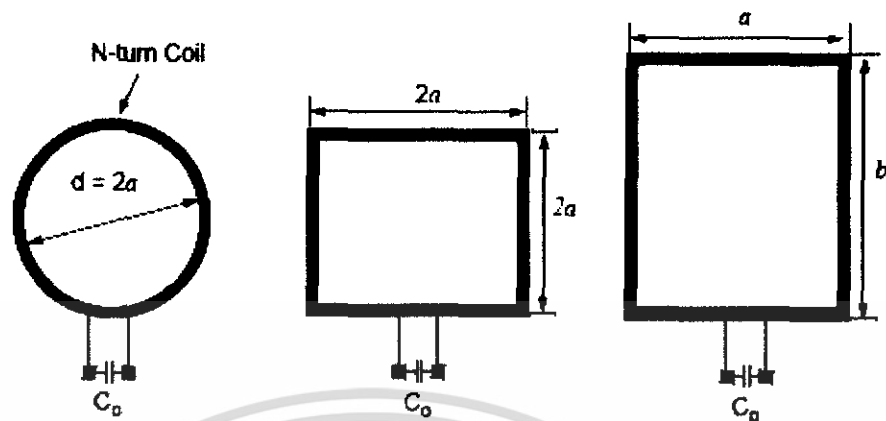
(b) รูปด้านข้าง

รูปที่ 3.13 สายอากาศขดลวดแบบรูปสี่เหลี่ยม

## 3.7 โครงสร้างของสายอากาศขดลวด

### 3.7.1 สายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย

สายอากาศขดลวดสำหรับเครื่องลูกข่ายของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ สามารถทำได้หลายรูปแบบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการประยุกต์การใช้งาน ตัวอย่างหนึ่งของค่าความเหนี่ยวนำสำหรับสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าประมาณ 2-3 (mH) ที่ความถี่ 125 kHz รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะต่างๆ ของสายอากาศเครื่องลูกข่าย สายอากาศขดลวดโดยทั่วไปมักทำด้วยลวดเส้นเล็กๆ ค่าความเหนี่ยวนำและจำนวนรอบของขดลวดสามารถคำนวณได้จากสมการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 3.14 รัศมีของ โครงสร้างของสายอากาศคลวดของเครื่องลูกข่าย

### 3.7.2 สายอากาศคลวดของเครื่องอ่าน

ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศคลวดเครื่องอ่าน โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 200-300 ถึง 2,000-3,000 ไมโครเฮนรี ที่ความถี่ต่ำ สายอากาศคลวดเครื่องอ่านสามารถที่จะทำเป็น รูปเคียวตามรูปแบบวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม หรือ คับเบิลรูป (Transformer) ตามรูปแบบ วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

ในรูปแบบวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมผลที่ได้จะให้ค่าความต้านทานที่มีค่าน้อยที่ความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้นจะทำให้กระแสมีค่ามาก ส่วนในวงจรเรโซแนนซ์ขนานจะให้ผลของค่าความต้านทานสูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้นจะทำให้กระแสมีค่าน้อย เนื่องจากแรงดันสามารถเพิ่มระดับขึ้นได้โดยการใช้รูปแบบคัปเบิลรูป (parallel) วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานมักจะใช้สำหรับระบบที่ต้องการสัญญาณที่มีแรงดันสูง

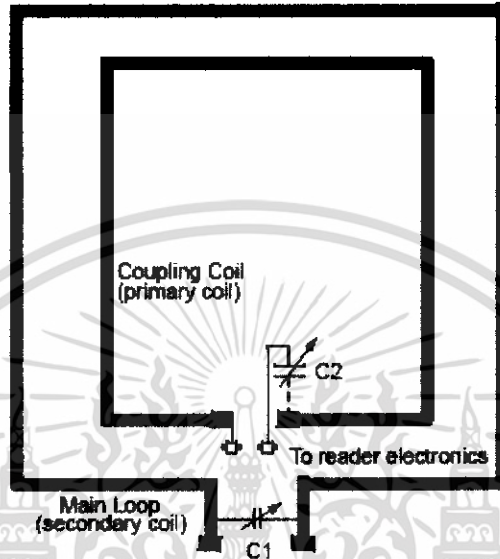
รูปที่ 3.15 แสดงตัวอย่างของสายอากาศรูปทรานฟอร์มเมอร์ ที่รูปหลัก (secondary) เป็นรูปแบบของรอบ โครงสร้างขนาดใหญ่ของลวด โดยจุดค่าที่ตัวเก็บประจุเพื่อให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ (125 kHz) รูปอื่นจะเรียกว่ารูปเชื่อมต่อ (primary) และจะมีรูปแบบที่เล็กกว่า 2-3 รอบของขดลวด ตำแหน่งของรูปเชื่อมต่อ (primary) จะวางอยู่ในรูปหลัก

รูปเชื่อมต่อ (primary) จะทำให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมกับค่าอิมพีแดนซ์ที่อินพุต/เอาต์พุตของเครื่องอ่าน การเชื่อมต่อขดลวดที่จุดอินพุต/เอาต์พุตในตัวอ่าน ที่รูปหลัก (secondary) จะต้องทำการจูนให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์และไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับเครื่องอ่าน

รูปเชื่อมต่อโดยทั่วไปจะไม่ได้ทำการจูน แต่ในการออกแบบจะทำการจูนที่ตัวเก็บประจุ C2 ที่ต่ออนุกรมอยู่กับรูปเชื่อมต่อ เพราะว่าจำนวนรอบที่รูปหลัก (secondary) มากกว่ารูปเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อ (primary) 2-3รอบ ทำให้ที่ลูปเชื่อมต่อมีค่าความเหนี่ยวนำน้อย เป็นผลให้ต้องใช้ค่าตัวเก็บประจุมีค่ามาก



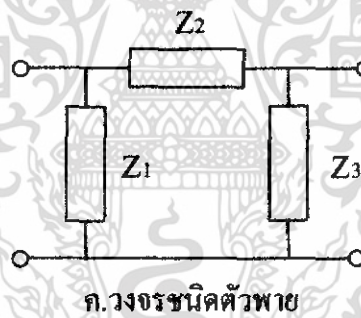
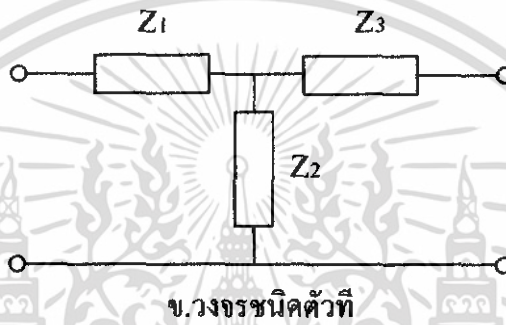
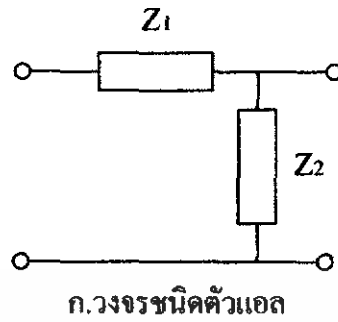
รูปที่ 3.15 สายอากาศลูปทรานฟอร์มเมอร์ของเครื่องอ่าน

### 3.8 วงจรแมตซิ่ง(matching)

วงจรแมตซิ่งที่นิยมใช้ในการออกแบบแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

1. วงจรชนิดตัวแอล
2. วงจรชนิดตัวที
3. วงจรชนิดคั้งไฟ

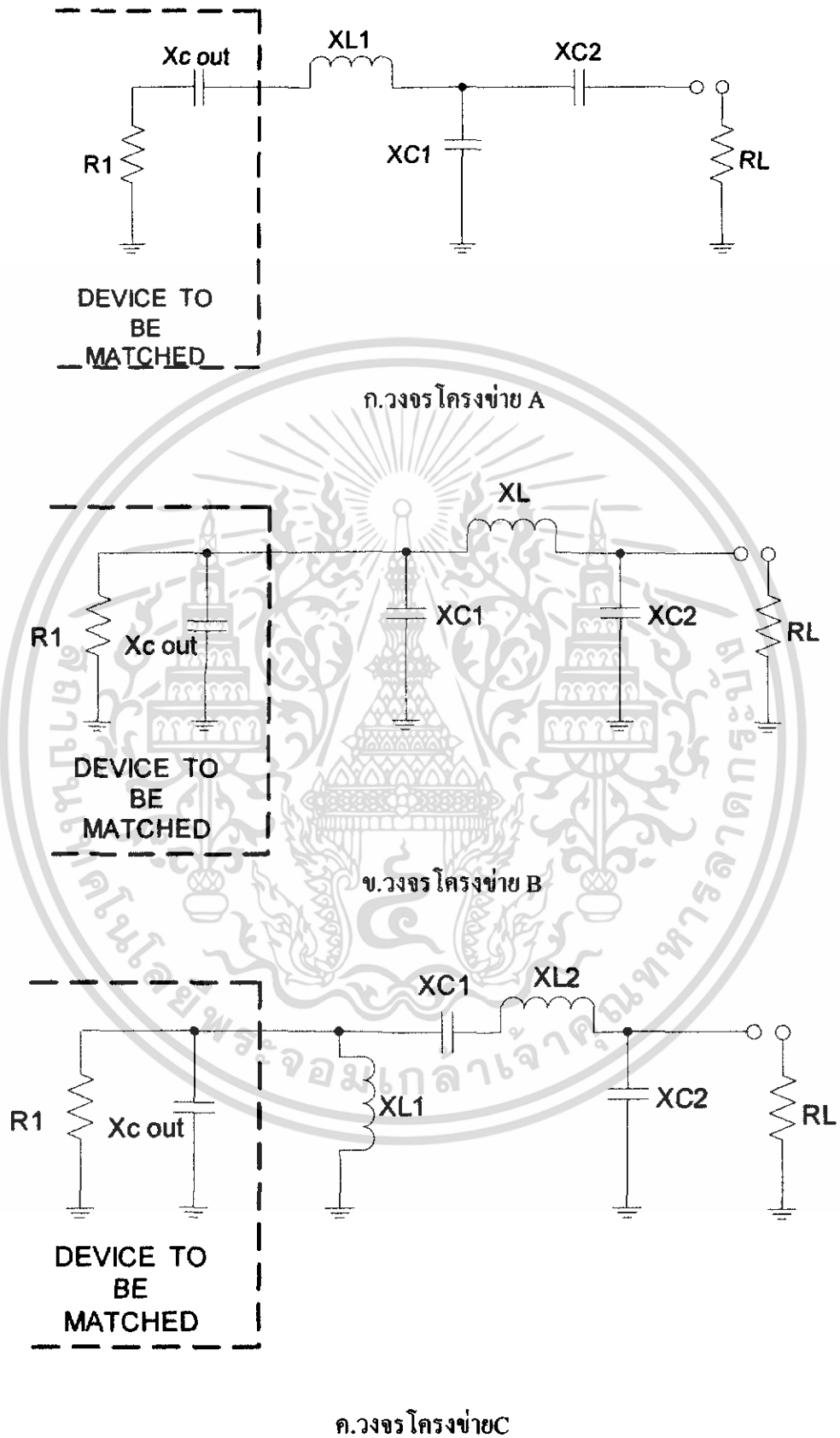
วงจรแมตซิ่งทั้ง 3 ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติต่างกันไป เช่น วงจรชนิดตัวแอลจะใช้อุปกรณ์เพียง 2 ตัว แต่มีข้อด้อยคือไม่สามารถกำหนดค่า Q ของวงจรได้ ส่วนชนิดตัวทีและชนิดตัวไฟต้องใช้ อุปกรณ์ 3 ตัว แต่จะสามารถเลือกค่า Q ของวงจรได้ โดยที่วงจรชนิดตัวทีจะเหมาะกับแมตซิ่งอิมพีแดนส์ค่าต่ำกับอิมพีแดนส์ค่าต่ำ ส่วนชนิดตัวไฟจะเหมาะกับอิมพีแดนส์ค่าสูงไปยังอิมพีแดนส์ค่าสูง ถ้าเราเลือกวงจรไม่เหมาะสมจะทำให้แมตซิ่งได้ยาก โดยที่วงจรแมตซิ่งทั้ง 3 มีรูปแบบวงจรดังนี้



รูปที่ 13.6 วงจรแมตริงแบบต่างๆ

จากวงจรทั้ง 3 นี้สามารถรวมกันเขียนเป็นวงจร โครงข่ายและสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมต่อวงจรและตามค่าอุปกรณ์ที่มี ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13.7 วงจร โครงข่ายแมตซิ่งแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ใช้ในการคำนวณในโครงข่ายต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ

โครงข่าย A

Select Q

$$X_{L1} = QR1 + X_{\text{COUT}}$$

$$A = \sqrt{\frac{R1(1+Q^2)}{R_L} - 1}$$

$$X_{C2} = ARL$$

$$B = R1(1+Q^2)$$

$$X_{C1} = \frac{(B/A)(B/Q)}{(B/A) - (B/Q)} - (B/Q) = B / (Q-A)$$

โครงข่าย B

Select Q

$$X_{C1} = R1/Q$$

$$X_{C2} = RL \sqrt{\frac{R1/RL}{(Q^2+1) - (R1/RL)} - 1}$$

$$X_L = \frac{QR1 + (R1RL/XC2)}{Q^2 + 1}$$

โครงข่าย C

Select Q

$$X_{L1} = X_{\text{COUT}}$$

$$X_{C1} = QR1$$

$$X_{C2} = RL \sqrt{R1 \frac{R1}{RL - R1}}$$

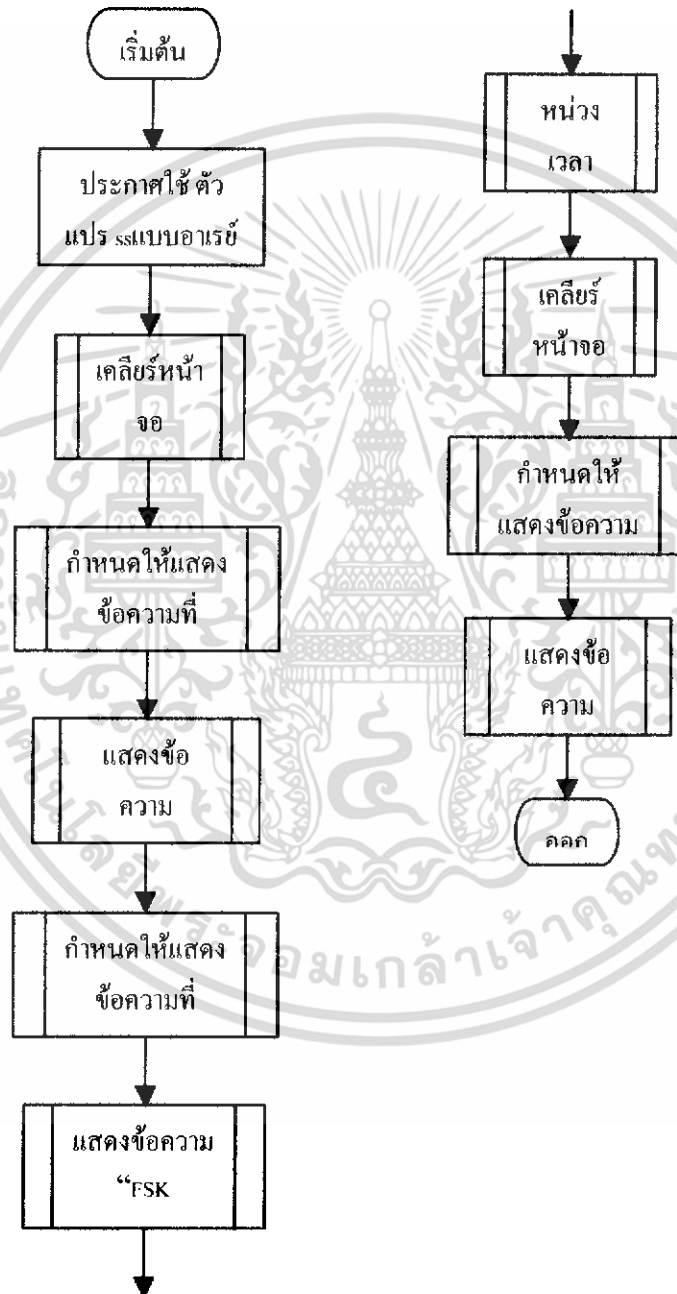
$$X_{L2} = X_{C1} + \left( \frac{R1L1}{XC2} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

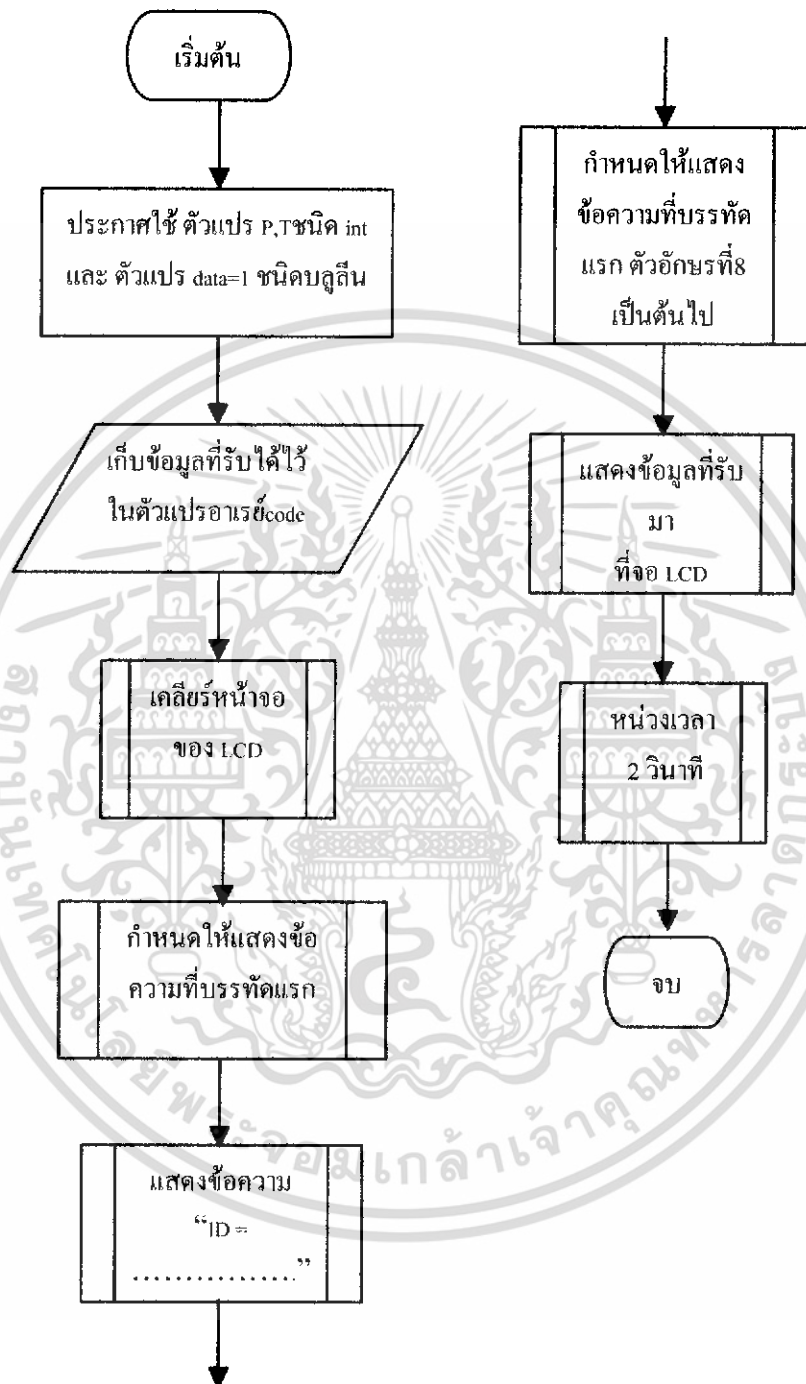
## การออกแบบและการคำนวณ

## 4.1 Flow chart โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนเครื่องถูกข้ายและเครื่องอ่าน



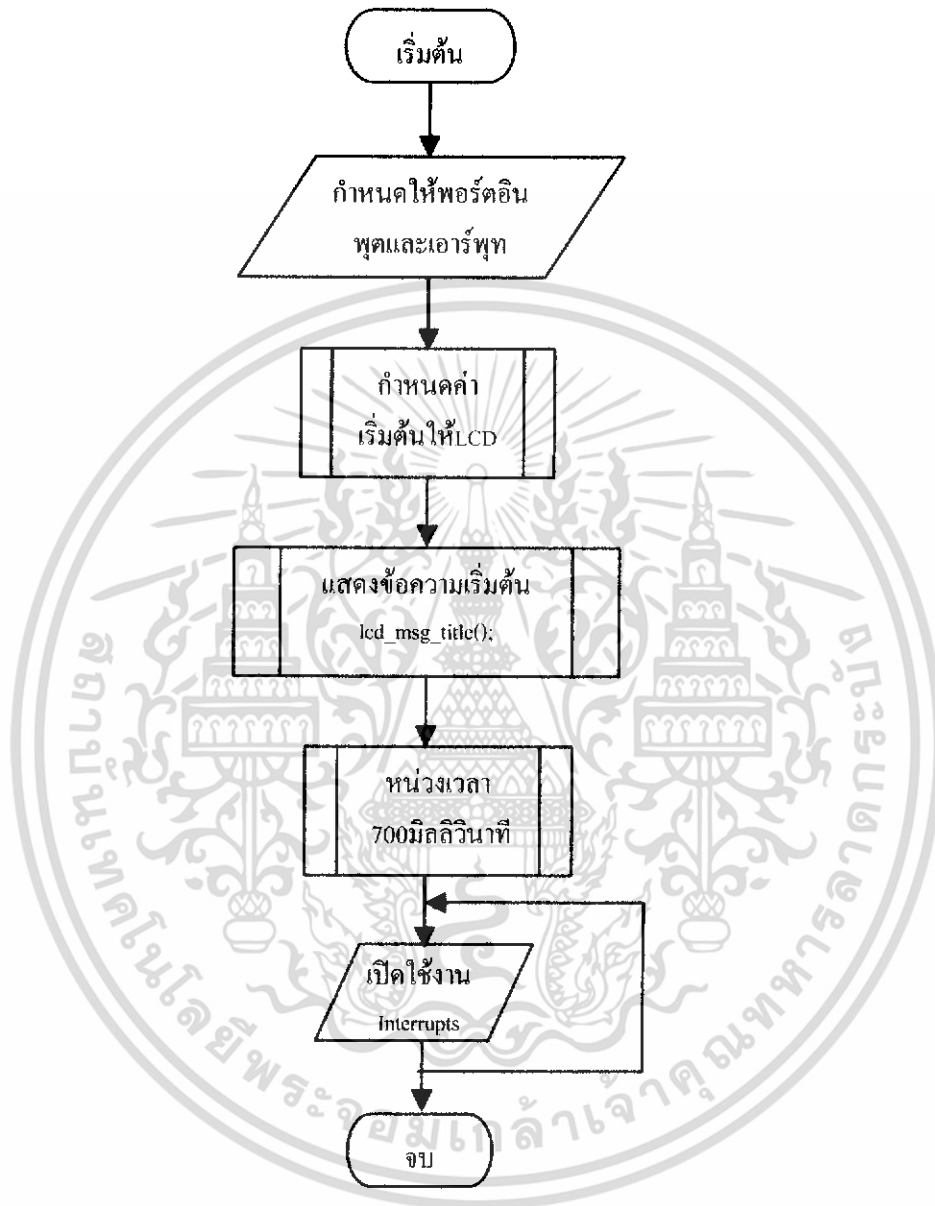
รูปที่ 4.1 แสดง Flow chart โปรแกรมย่อยการทำงานของคอนโทรลเลอร์ด้านเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



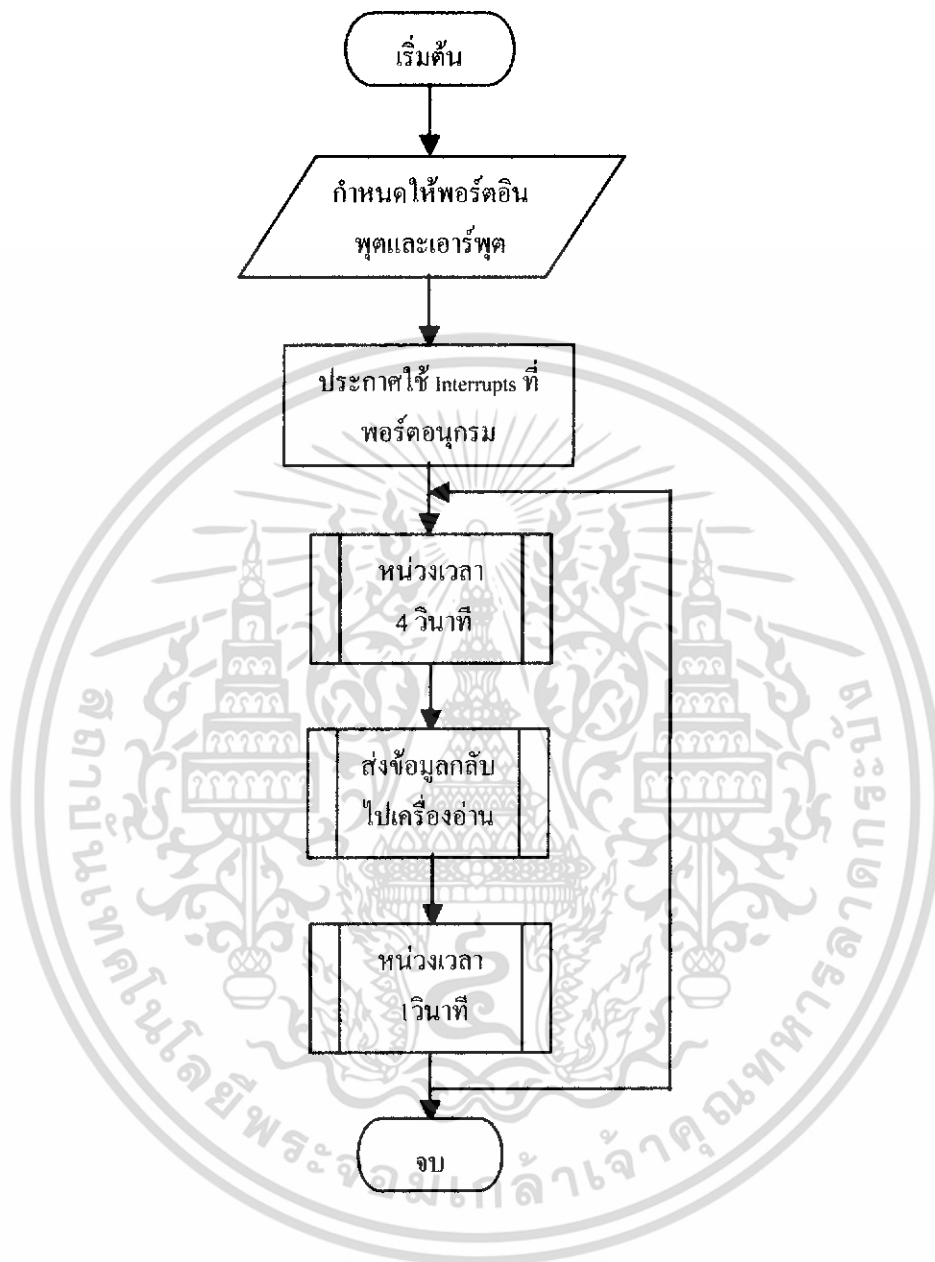
รูปที่ 4.2 แสดง Flow chart โปรแกรมย่อยการทำงานของคอนโทรลเลอร์ด้านเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.3** แสดงFlow chart โปรแกรมการทำงานของคอนโทรลเลอร์ด้านเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

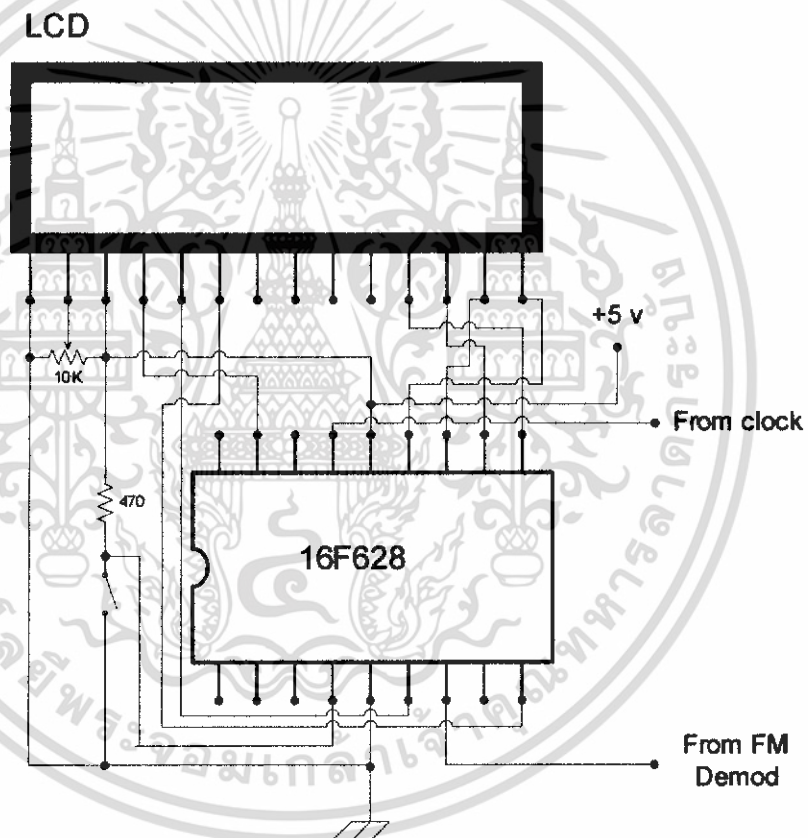


**รูปที่ 4.4 .แสดงFlow chart โปรแกรมการทำงานของคอนโทรลเลอร์ด้านเครื่องลูกข่าย**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

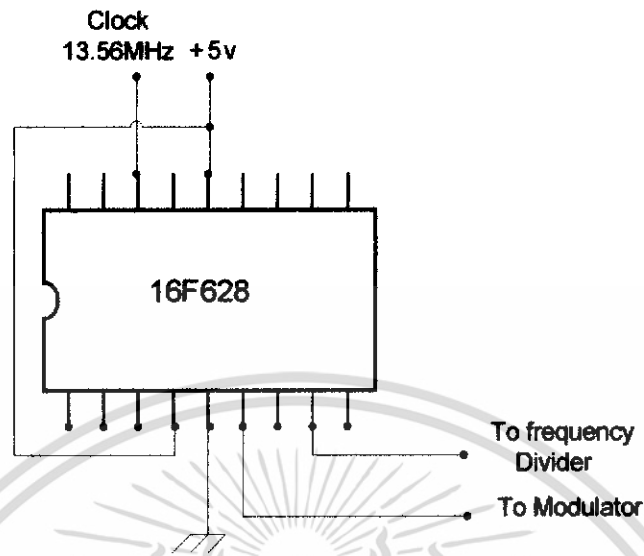
#### 4.2 การออกแบบส่วนของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนของการออกแบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆคือ เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ในส่วนของเครื่องอ่านจะทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย และส่งข้อมูลไปที่เครื่องลูกข่ายเพื่อเปลี่ยนข้อมูลให้กับเครื่องลูกข่าย ส่วนเครื่องลูกข่ายจะทำหน้าที่เก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำ (EEPROM) และอ่านข้อมูลที่ได้ส่งให้กับเครื่องอ่านถ้ามีการแก้ไขข้อมูล แต่ถ้าไม่มีการแก้ไขข้อมูล เครื่องลูกข่ายก็จะอ่านข้อมูลออกมาจากหน่วยความจำ (EEPROM) และส่งให้เครื่องอ่าน โดยมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยแสดงผลผ่านLEDและจะได้กล่าวถึงในส่วนของโปรแกรมต่อไป



รูปที่ 4.5 วงจรในส่วนของการแสดงผลของเครื่องอ่าน

การทำงานในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628 ก็จะรับข้อมูลมาจากวงจร FM ดิมอดูเลเตอร์ออกมาแสดงผลต่อไป



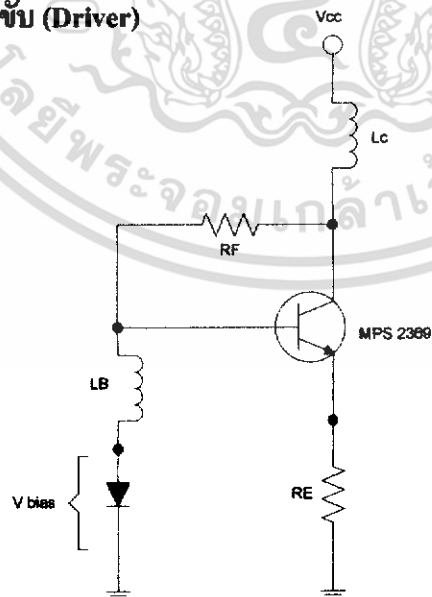
รูปที่ 4.6 วงจรในส่วนของTag Data Controller

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628 ได้รับไฟเลี้ยงจะส่งข้อมูลออกมาที่ขา 6 เพื่อไปควบคุมให้วงจรหารความถี่ทำการหาร 28 หรือหาร 32 ตามข้อมูลที่ส่งออกไป

#### 4.3 วงจรที่ใช้งานในส่วนของเครื่องอ่าน

##### 4.3.1 ชุดวงจรขยายกำลัง (แบบที่1)

##### 4.3.1.1 ภาคขับ (Driver)



รูปที่ 4.7 แสดงวงจรในส่วนของวงจรภาคขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการออกแบบวงจรภาคขับใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ MPS 2369 ดังได้แสดงในรูปที่ 4.7 ทำการออกแบบ ให้มีอัตราขยายกำลังประมาณ 15 dB ที่เพาเวอร์อินพุตประมาณ 5-8 dBm (5-8 mW) จะได้เอาต์พุตประมาณ 150 mW เพื่อใช้ในการขับวงจรในส่วนของเพาเวอร์แอมป์ ในภาคสุดท้ายซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

กำหนดให้  $P_{O(MAX)} \approx 150 \text{ mW}$  และ  $V_{CC} = 12 \text{ V}$

ให้  $V_{RE} + V_{CE(SAT)} \approx 3 \text{ V}$

จะได้  $V_{O(PK)} = V_{CC} - (V_{RE} + V_{CE(SAT)})$   
 $= 12 - 3 = 9 \text{ V}$

จากสมการ  $P_o = \frac{(V_{O(PK)})^2}{2R'_C}$

$\therefore R'_C = \frac{(V_{O(PK)})^2}{2P_o}$   
 $= \frac{(9)^2}{2(0.15)} = 270 \ \Omega$

$i_{PK}(\omega) = \frac{V_{O(PK)}}{R'_C} = \frac{9V}{270\Omega} = 33.33 \text{ mA}$

จะได้  $i_{CP} \approx 2 i_{PK}(\omega) = 2 (33.33 \text{ mA}) = 66.66 \text{ mA}$

$I_{Q(DC)} \approx \frac{i_{CP}}{1} = \frac{66.66 \text{ mA}}{1} = 21.22 \text{ mA}$

กำหนดให้  $V_{RE(PK)} \approx 1.5 \text{ V}$

จะได้  $R_E \approx \frac{V_{RE(PK)}}{i_{CP}} \approx \frac{1.5V}{66.66 \text{ mA}} \approx 22.5 \ \Omega$

เลือกใช้  $R_E = 22 \ \Omega$  และ  $R_F \approx 2.2 \text{ K}\Omega$

การเลือกค่าของ  $L_C$  หรือ  $RFC_1$  ควรจะเลือก ให้มีรีแอคแตนซ์ประมาณ 10 เท่าของ  $R'_C$  ที่ ความถี่ใช้งาน คือ 13.56 MHz โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

จากสมการ  $X_L = \omega L$

$\therefore L_C = \frac{X_L}{\omega} = \frac{2.7 \text{ K}\Omega}{2\pi \times 13.56 \text{ MHz}} = 31.70 \ \mu\text{H}$

เลือกใช้ค่า  $L_C = 47 \ \mu\text{H}$

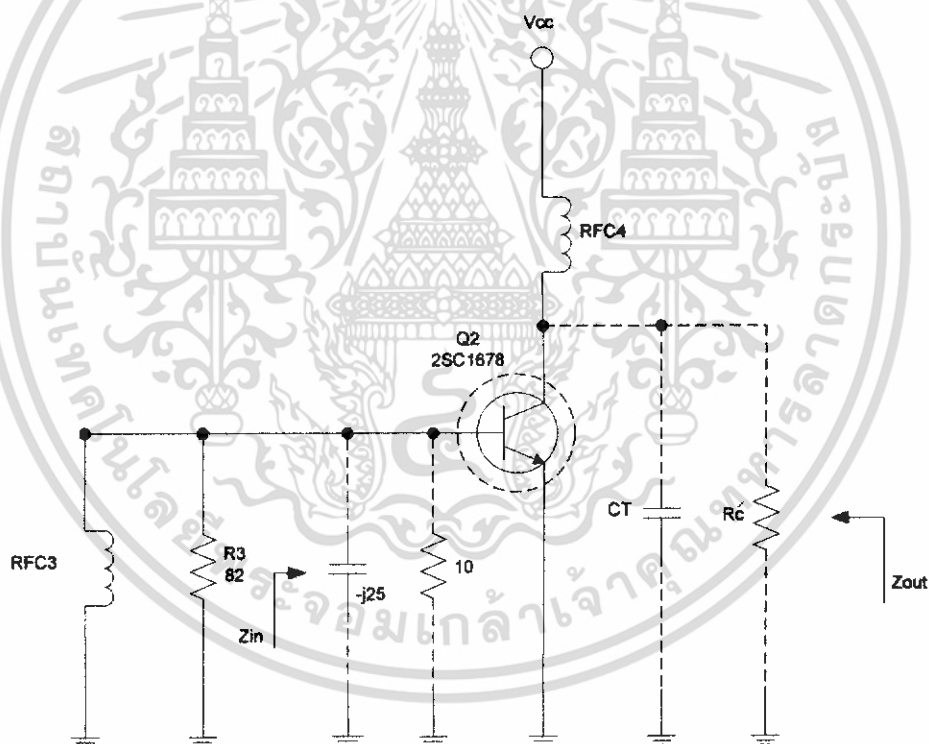
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้วงจร มีอิมพีแดนซ์ที่อินพุตประมาณ  $50 \parallel -j52.59\Omega$  และมีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ประมาณ  $270\Omega$  โดยประมาณ และเพื่อให้เกิดการแมตช์กับ ความต้านทานภายในของแหล่งจ่าย ต้องกำจัดค่าของตัวเก็บประจุที่ อินพุต โดยใส่ตัวเหนี่ยวนำเข้าไปที่อินพุต ของวงจรขยายที่มีค่าอินดักทีฟรีแอคแตนซ์ เท่ากับ  $j52.59\Omega$

$$\text{จะได้ } L_B = \frac{X_L}{\omega} = \frac{52.59\Omega}{2\pi \times 13.56\text{MHz}} = 617.56 \text{ nH}$$

$$\text{เลือกใช้ } L_B = 680 \text{ nH}$$

#### 4.3.1.2 ภาคเพาเวอร์แอมป์ (Power Amp)



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรในส่วนของวงจรภาคเพาเวอร์แอมป์

ในส่วนของการออกแบบวงจรภาคเพาเวอร์ ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SC1678 ดังได้แสดงในรูปที่ 4.8 ทำการออกแบบ ให้มีอัตราขยายกำลังประมาณ 15 dB ที่เพาเวอร์อินพุตประมาณ 150 mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ได้มาจากเอาต์พุตของวงจรภาคขับ) จะได้เอาต์พุตประมาณ 5 W และมีอิมพีแดนซ์

ทางค่านอินพุต ( $Z_{in}$ ) ประมาณ  $10 \parallel -j25 \Omega$

กำหนดให้  $P_{O(MAX)} \approx 5 \text{ W}$  และ  $V_{CC} = 12 \text{ V}$

ให้  $V_{CE(SAT)} \approx 2 \text{ V}$

จะได้  $V_{O(PK)} = V_{CC} - V_{CE(SAT)}$   
 $= 12 - 2 = 10 \text{ V}$

จากสมการ  $P_O = \frac{(V_{O(PK)})^2}{2R'_C}$

$$\therefore R'_C = \frac{(V_{O(PK)})^2}{2P_O}$$

$$= \frac{(10)^2}{2(5)} = 10 \Omega$$

ประมาณค่าของ ตัวเก็บประจุ ที่เอาต์พุต ของภาคเพาเวอร์แอมป์ ได้ดังนี้

$$C_O \approx 2C_{Ob} \approx 90 \text{ pF}$$

$$C_{MOUNTING} \approx 90 \text{ pF}$$

$$C_T \approx C_O + C_{MOUNTING} \approx 90 \text{ pF} + 90 \text{ pF} \approx 180 \text{ pF}$$

ที่ ความถี่ 13.56 MHz

จะได้ค่าคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์  $\approx -j65 \Omega$

การคำนวณในส่วนของ RFC<sub>3</sub> ค่าอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ ควรมีค่าประมาณ 10 เท่าของ ส่วนของ  $\text{Re}\{Z_{in}\}$  ที่ความถี่ใช้งาน 13.56 MHz ซึ่งจะเสมือนเป็นวงจร

$$X_L = 2\pi fL$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{100\Omega}{2\pi \times 13.56\text{MHz}} = 1.17 \mu\text{H}$$

เลือกใช้ RFC<sub>3</sub> = 2.2  $\mu\text{H}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณในส่วนของ RFC<sub>4</sub> ค่าอินดักทีฟรีแอคแตนซ์ ควรมีค่าประมาณ 10 เท่าของ ส่วนของ  $\text{Re}\{Z_0\}$  ที่ความถี่ใช้งาน 13.56 MHz ซึ่งจะเสมือนเปิดวงจร

$$X_L = 2\pi fL$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{100\Omega}{2\pi \times 13.56\text{MHz}} = 1.17 \mu\text{H}$$

เลือกใช้ RFC<sub>4</sub> = 1.2  $\mu\text{H}$

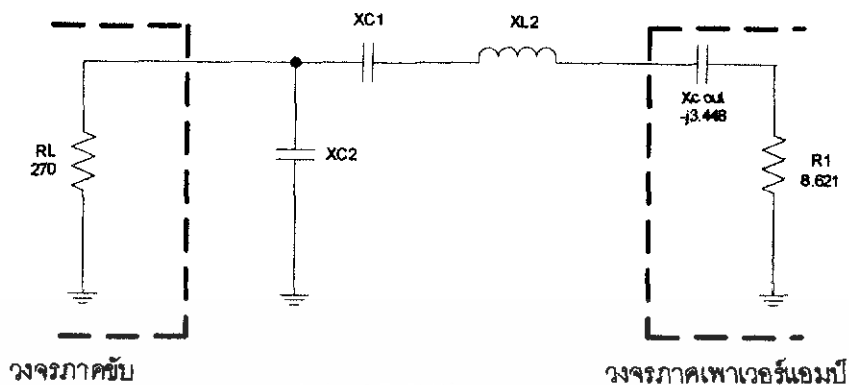
#### 4.3.1.3 การออกแบบวงจรแมตชิ่งระหว่างภาคขับกับภาคเพาเวอร์แอมป์



รูปที่ 4.9 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้งสองด้านที่จะทำการแมตชิ่งภาคขับกับภาคเพาเวอร์แอมป์

จากรูปที่ 4.9 ค่าอิมพีแดนซ์ที่มองจากทางภาคขับ ไปยังอินพุตภาคเพาเวอร์แอมป์ มีค่าเท่ากับ ความต้านทานขนาด 10  $\Omega$  ขนานกับค่ารีแอคแตนซ์เท่ากับ  $-j25 \Omega$  หรือค่าความต้านทานขนาด 8.621  $\Omega$  อนุกรมกับ รีแอคแตนซ์เท่ากับ  $-j3.448 \Omega$  และค่า อิมพีแดนซ์ที่มองจากทางภาคเพาเวอร์แอมป์ ไปยังภาคขับมีค่าเท่ากับ 270  $\Omega$

ทำการเลือกวงจรแมตชิ่งแบบ Network C จากหัวข้อ 3.8



รูปที่ 4.10 รูปแบบของวงจรที่ใช้ในการแมตช์ระหว่างภาคขับกับภาคเพาเวอร์แอมป์

จากวงจรสามารถคำนวณหาค่า  $X_{C1}$ ,  $X_{C2}$ ,  $X_{L2}$  ได้โดยกำหนดค่าแบนด์วิธ 3.39 MHz

$$\text{โดยที่ } Q = \frac{f}{BW} \approx 4$$

$$\text{และ } R_L = R'_C = 270 \, \Omega, R_1 = 8.621 \, \Omega, X_{C_{OUT}} = -j3.448 \, \Omega$$

$$X_{C1} = QR_1 = (4)(8.621) = -j34.48 \, \Omega$$

ที่ความถี่ 13.56 MHz

$$\text{จะได้ } C_1 = 338.4 \, \text{pF}$$

$$\text{เลือกใช้ } C = 270 \, \text{pF} \text{ ขนานกับ } C_v = 50 \, \text{pF}$$

$$X_{C2} = R_L \sqrt{\frac{R_1}{R_L - R_1}} = 270 \sqrt{\frac{8.621}{270 - 8.621}} = -j49.03 \, \Omega$$

ที่ความถี่ 13.56 MHz

$$\text{จะได้ } C_2 = 239.5 \, \text{pF}$$

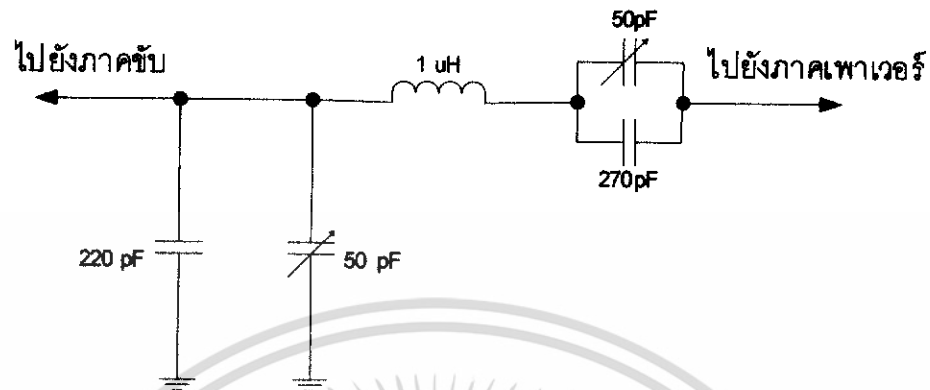
$$\text{เลือกใช้ } C = 220 \, \text{pF} \text{ ขนานกับ } C_v = 50 \, \text{pF}$$

$$\begin{aligned} X_{L2} &= X_{C1} + \left( \frac{R_1 R_L}{X_{C2}} \right) + X_{C_{out}} = 34.48 + \left( \frac{8.621 \times 270}{49.03} \right) + 3.448 \\ &= j85.402 \, \Omega \end{aligned}$$

ที่ความถี่ 13.56 MHz

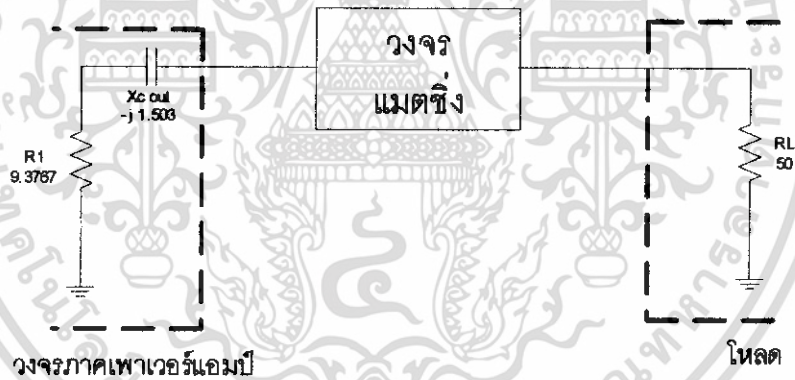
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้  $L_2 \approx 1 \mu H$



รูปที่ 4.11 แสดงวงจรแมตซิ่งระหว่างภาคขับกับภาคเพาเวอร์แอมป์ที่ใช้งานจริง

#### 4.3.1.4 การออกแบบวงจรแมตซิ่งระหว่างภาคเพาเวอร์แอมป์กับโหลด $50 \Omega$

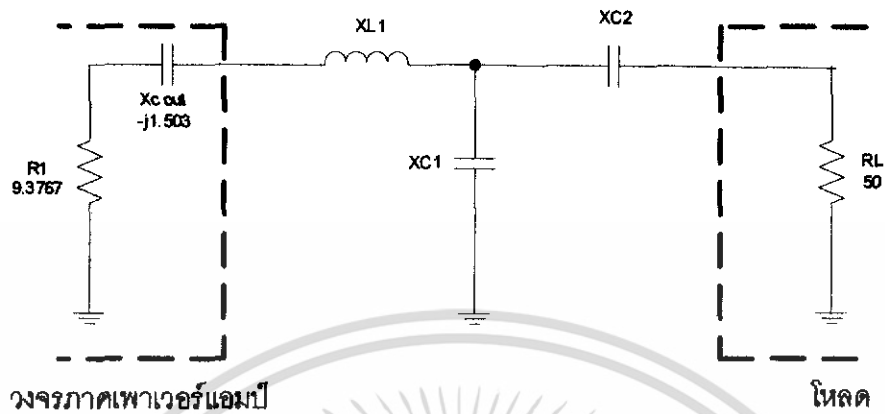


รูปที่ 4.12 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้งสองด้านที่จะทำการแมตซิ่งภาคเพาเวอร์แอมป์กับโหลด  $50 \Omega$

ค่าอิมพีแดนซ์ที่มองจากทาง โหลดไปยัง ภาคเพาเวอร์แอมป์ มีค่าเท่ากับ ความต้านทานขนาด  $10 \Omega$  ขนานกับค่ารีแอกแตนซ์เท่ากับ  $-j65 \Omega$  หรือค่าความต้านทานขนาด  $9.3767 \Omega$  อนุกรมกับ รีแอกแตนซ์เท่ากับ  $-j1.503 \Omega$  และค่าอิมพีแดนซ์ที่มองจากทางด้านเพาเวอร์แอมป์ไปยัง โหลด มีค่าเท่ากับ  $50 \Omega$

ทำการเลือกวงจรแมตซิ่งแบบ Network A จากหัวข้อ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 รูปแบบของวงจรที่ใช้ในการแมตช์ระหว่างภาคเพาเวอร์แอมป์กับโหลด 50Ω

จากวงจรสามารถคำนวณหาค่า  $X_{C1}$ ,  $X_{C2}$ ,  $X_{L1}$  ได้โดยกำหนดค่าแบนวิดธ์ 3.39 MHz

$$\text{โดยที่ } Q = \frac{f}{BW} \approx 4$$

$$\text{และ } R_L = 50 \text{ } \Omega, R_1 = 9.767 \text{ } \Omega, X_{C_{OUT}} = -j1.503 \text{ } \Omega$$

$$A = \sqrt{\left[ \frac{R_1(1+Q^2)}{R_L} \right] - 1} = \sqrt{\left[ \frac{9.767(1+4^2)}{50} \right] - 1} = 1.5234$$

$$B = R_1(1+Q^2) = 9.767(1+4^2) = 166.04$$

จะได้

$$X_{L1} = QR_1 + X_{C_{out}} = 4(9.767) + 1.503 = j40.69 \text{ } \Omega$$

ที่ความถี่ 13.56 MHz

$$\text{จะได้ } L_2 \approx 476.2 \text{ nH}$$

$$X_{C1} = \frac{B}{Q-A} = \frac{166.04}{4-1.5234} = -j66.28 \text{ } \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความถี่ 13.56 MHz

จะได้  $C_1 = 173.28 \text{ pF}$

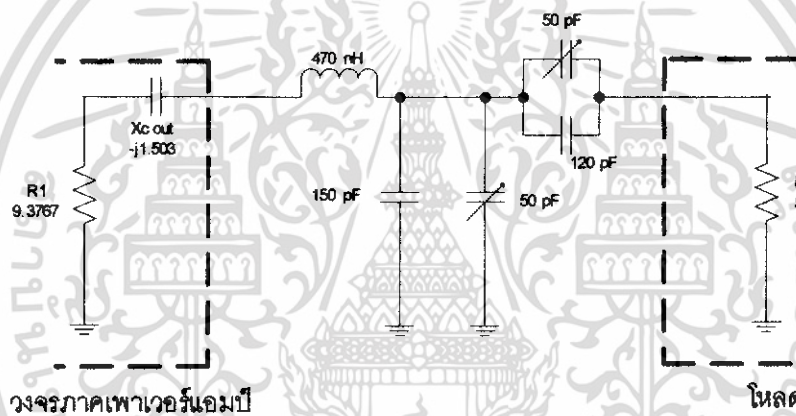
เลือกใช้  $C = 150 \text{ pF}$  ขนานกับ  $C_v = 50 \text{ pF}$

$$X_{C2} = AR_L = (1.5234)(50) = -j76.17 \Omega$$

ที่ความถี่ 13.56 MHz

จะได้  $C_2 = 153 \text{ pF}$

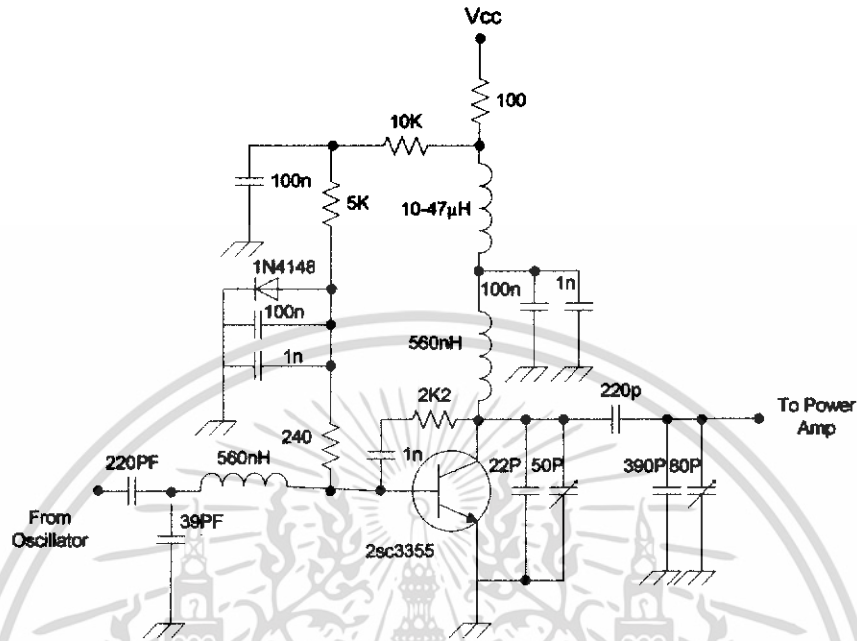
เลือกใช้  $C = 120 \text{ pF}$  ขนานกับ  $C_v = 50 \text{ pF}$



รูปที่ 4.14 แสดงวงจรแมตซิ่งระหว่างภาคเพาเวอร์แอมป์กับโหลด 50 Ω ที่ใช้งานจริง

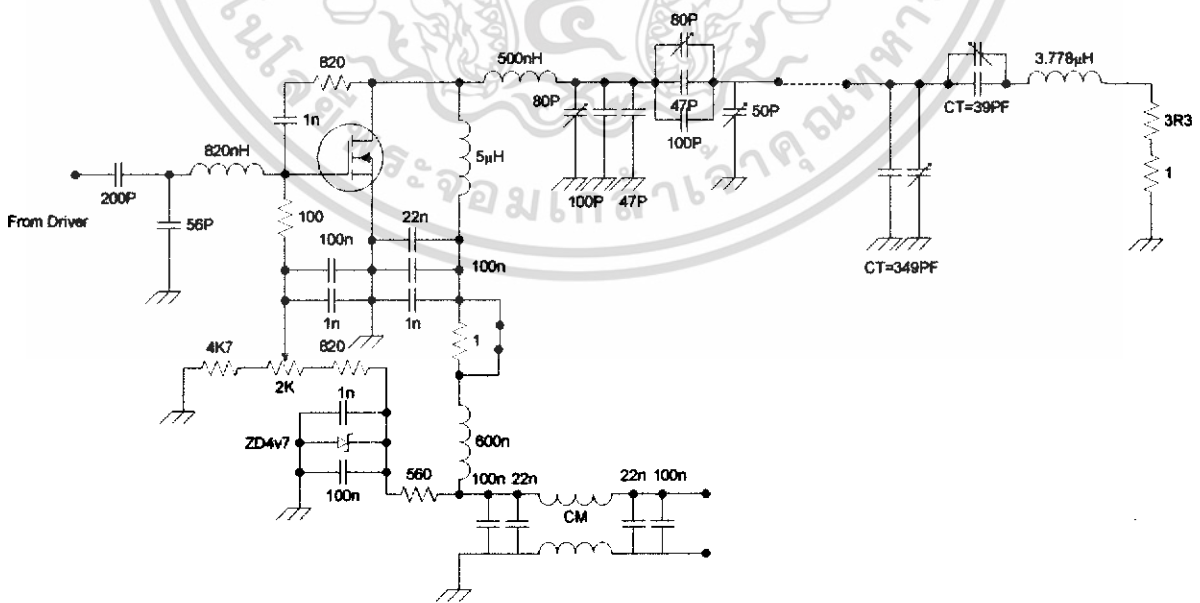
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ชุดวงจรขยายกำลัง 13.56 MHz (แบบที่2)



รูปที่ 4.15 วงจรในส่วนของภาคขับของเพาเวอร์แอมป์

วงจรในรูปที่ 4.15 จะเป็นวงจรขยายสัญญาณที่มาจากภาคออสซิลเลเตอร์ให้มีความแรงเพียงพอที่จะส่งต่อไปให้กับภาคขยายกำลังต่อไป

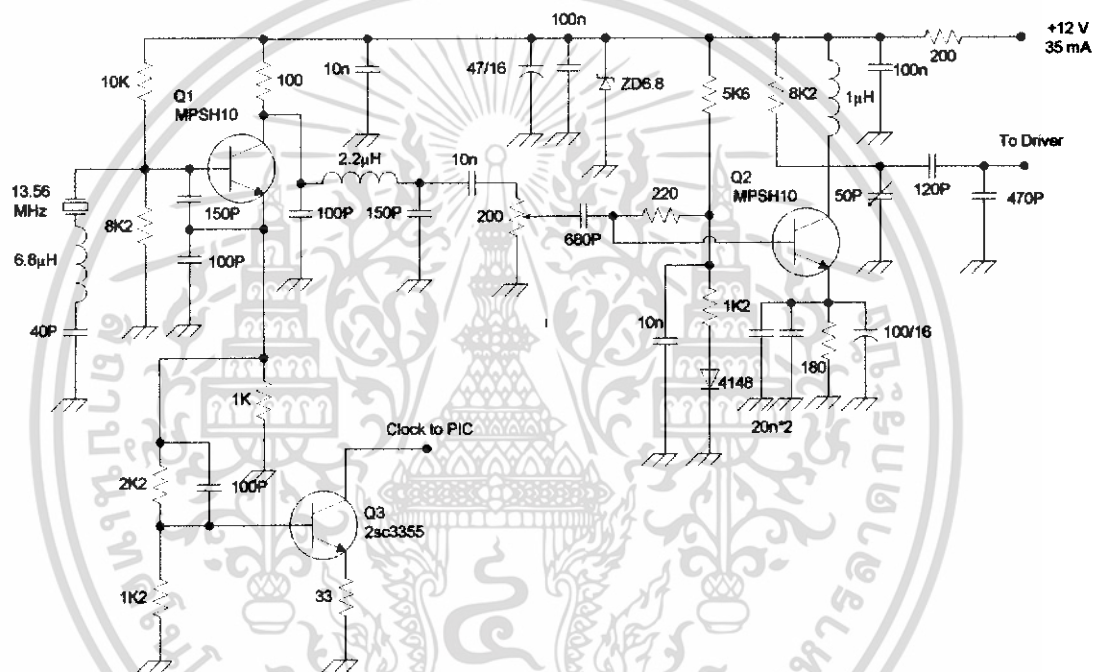


รูปที่ 4.16 วงจรในส่วนของเพาเวอร์แอมป์และขดลวดของเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในรูปที่ 4.16 จะนำสัญญาณความถี่ 13.56 MHz ที่ได้จากภาคขับในรูปที่ 4.15 มาทำการขยายส่งออกที่ขา D ของมอสเฟตผ่านวงจรแมตซ์ซึ่งให้มีค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม เท่ากับค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรแมตซ์ซึ่งของตัวคลอควทางด้านเครื่องอ่านและทำการส่งสัญญาณความถี่ 13.56MHz เพื่อส่งผ่านพลังไปให้กับตัวเครื่องลูกข่ายต่อไป

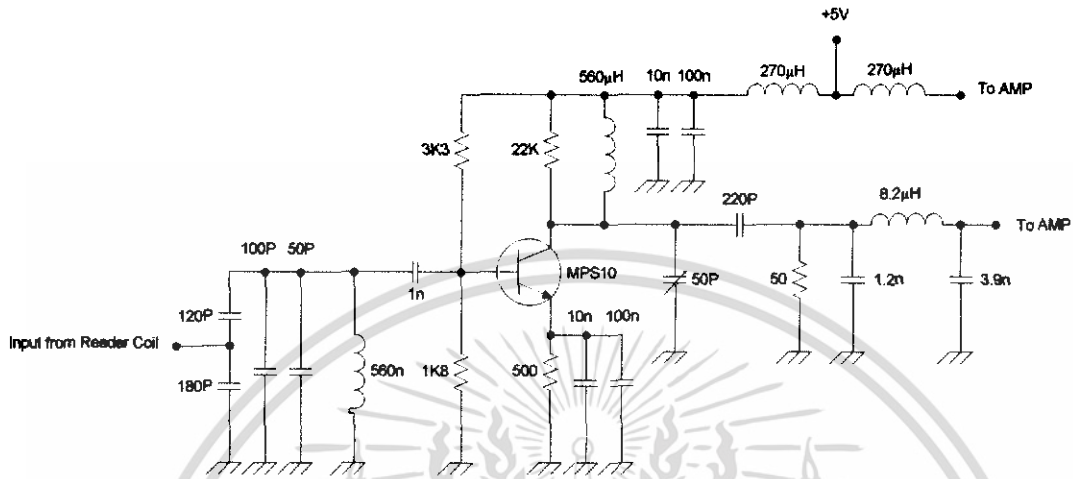
### 4.3.3 วงจรออสซิลเลเตอร์



รูปที่ 4.17 วงจรในส่วนของออสซิลเลเตอร์ทางด้านเครื่องอ่าน

จากวงจรในรูปที่ 4.17 สามารถอธิบายการทำงานได้ว่าส่วนของวงจรออสซิลเลเตอร์ Q1 จะผลิตสัญญาณความถี่ 13.56 MHz ส่งผ่านจากขา C ผ่านวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์จากนั้นถูกส่งต่อไปที่ Q2 แล้วทำการขยายส่งต่อไปที่ภาคขับออกไปที่ขา C ของ Q2 และวงจรในวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา Q3 จะนำสัญญาณจากขา E ของ Q1 มาทำการขยายผ่าน Q3 ออกที่ขา C เป็นสัญญาณนาฬิกาไปใช้ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628 ต่อไป

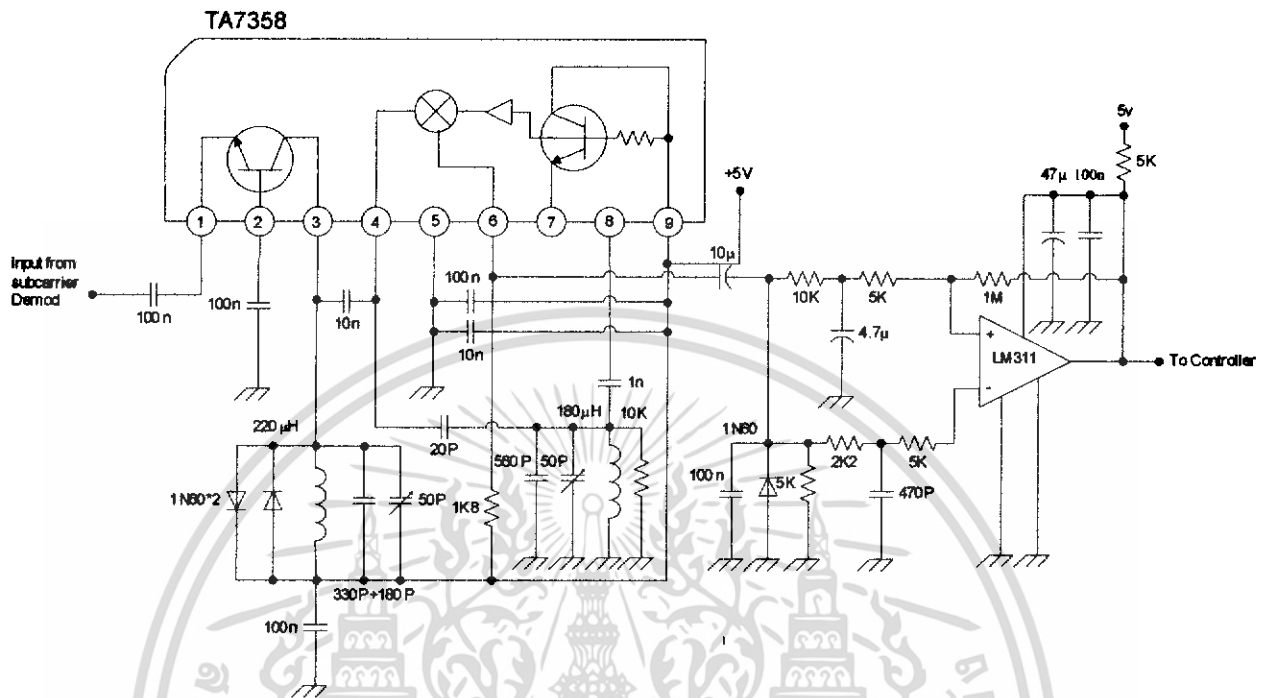
#### 4.3.4 วงจรคีมอดคูเลเตอร์ คลื่นพาหะรอง



รูปที่ 4.18 วงจรในส่วนคีมอดคูเลทสัญญาณ  $f_c/28$  และ  $f_c/32$  ของเครื่องอ่าน

สัญญาณที่ได้จากการมอดคูเลทจากเครื่องถูกข้ายมายังขดลวดทางด้านเครื่องอ่านจะมีสองไซด์แบนด์ จะถูกลดทอนสัญญาณแล้วส่งผ่านมาที่วงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์เอาความถี่ไซด์แบนด์ด้านสูงแล้วป้อนให้กับวงจรขยายแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยอาศัยความไม่เป็นเชิงเส้นของทรานซิสเตอร์ แล้วนำไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านได้เป็นสัญญาณ  $f_c/28$  และ  $f_c/32$  ตามที่เครื่องถูกข้ายส่งมา

### 4.3.5 วงจร FM คีมอดูเลเตอร์

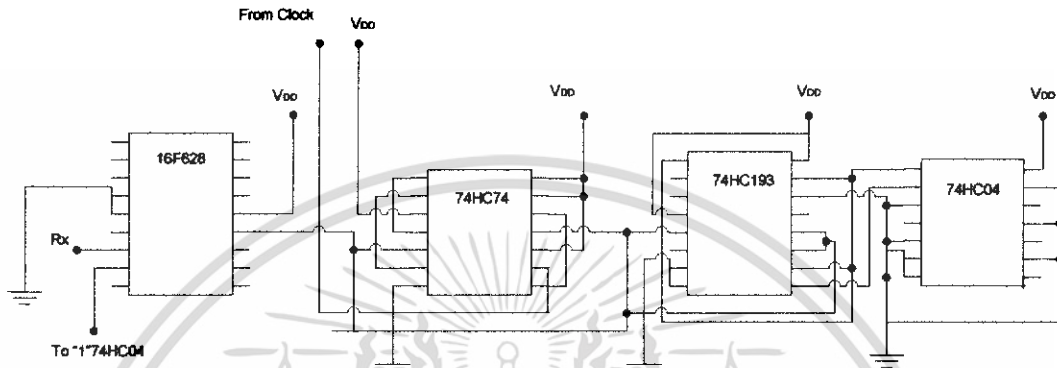


รูปที่ 4.19. วงจรในส่วน FM คีมอดูเลทสัญญาณข้อมูลของเครื่องอ่าน

จากวงจรในรูปที่ 4.19 เป็นวงจรที่ใช้คีมอดูเลทสัญญาณข้อมูลโดยใช้หลักการของควอดเดเจอร์-ดีเทคเตอร์สัญญาณที่ได้จากวงจรรองความถี่ต่ำผ่านมาผ่าน C เข้าไปขยายที่ขา 1 ออกมาที่ขา 3 ของไอซีเบอร์ TA 7358 ส่งผ่าน C 10nF เข้าไปที่ขา 4 และสัญญาณอีกส่วนไปเข้าที่วงจรเฟสชิฟ 90 องศาแล้วนำสัญญาณที่ทำการเลื่อนเฟสไปป้อนเข้าที่ขา 8 จากนั้นจะได้สัญญาณข้อมูลออกมาที่ขา 6 ของ ไอซีแล้วนำสัญญาณดังกล่าวไปผ่านวงจรคอมพาราเตอร์ก็จะได้สัญญาณข้อมูลออกมาที่ ขา 7 ของ ไอซี LM 311 เป็น สัญญาณ ข้อมูลที่จะส่งต่อไปให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628 ต่อไป แต่เนื่องจากกำลังวัตต์ที่ใช้ในการส่งพลังงานให้กับเครื่องลูกข่ายสูงมากจึงทำให้ผลการทดลองในการคีมอดูเลเตอร์ไม่เป็นไปตามที่ได้กล่าวไว้ทำให้ไม่สามารถกู้ข้อมูลที่ได้จากการมอดูเลทจากเครื่องลูกข่ายได้

## 4.4 วงจรที่ใช้งานทางด้านเครื่องถูกข้าย

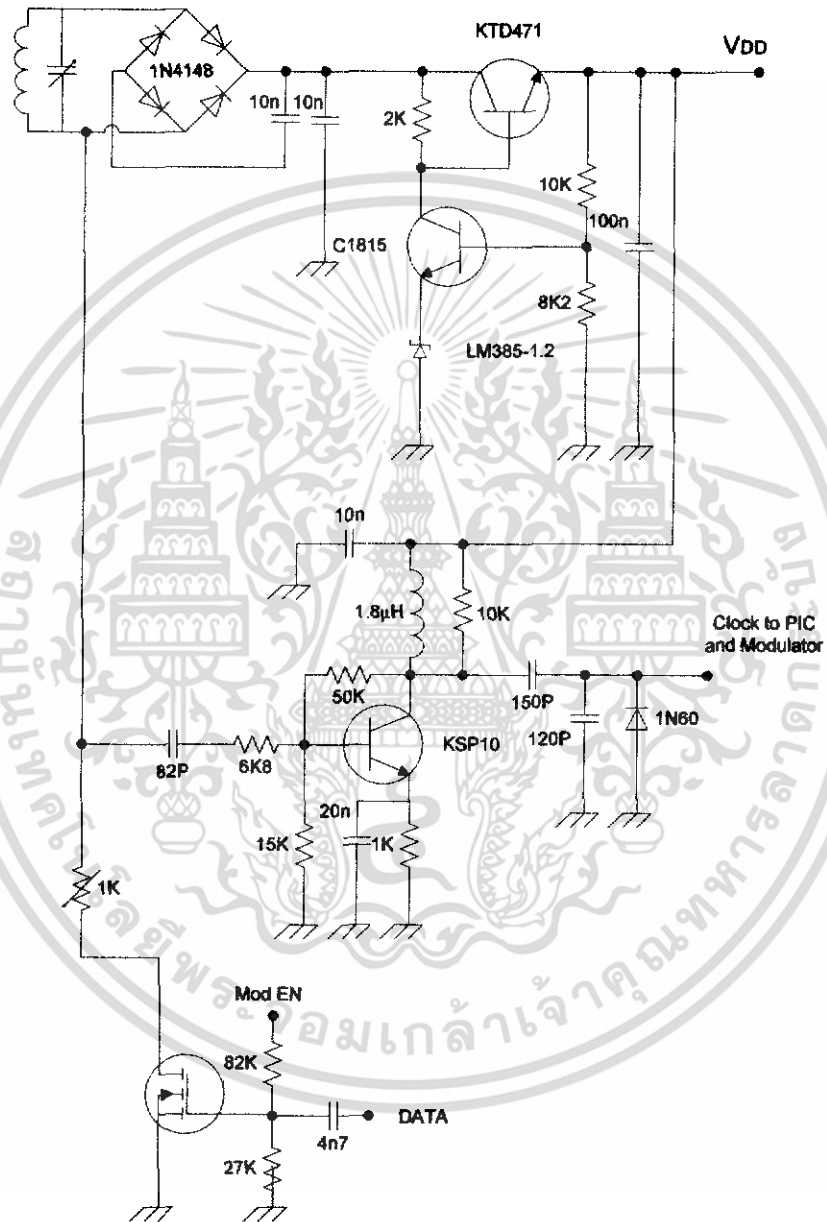
### 4.4.1 วงจรหารความถี่



รูปที่ 4.20 วงจรหารความถี่ที่เครื่องถูกข้าย

วงจรในรูปที่ 4.20 เป็นวงจรที่ใช้ในการเปลี่ยนข้อมูลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628 ให้เป็นความถี่  $f_c/28$  และ  $f_c/32$  โดยนำสัญญาณนาฬิกามาทำการหาร 2 ที่ ไอซีเบอร์ 74HC74 จากนั้นก็ส่งต่อไปที่ขาของไอซีเบอร์ 74HC193 ที่ได้ตั้งโหมดการนับแบบนับขึ้น เพื่อทำการหาร 8 หรือหาร 7 โดยการส่งสัญญาณ ข้อมูล '0' หรือ '1' จากขา 8 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628 เมื่อผ่านวงจรหาร 7 หรือ 8 แล้วจะส่งต่อไปที่ไอซีเบอร์ 74HC74 เพื่อทำการหาร 2 อีกครั้ง สุดท้ายก็จะได้สัญญาณความถี่  $f_c/28$  และ  $f_c/32$  เพื่อใช้ในการทำโคมมูเนเตอร์ต่อไป

#### 4.4.2 วงจรในส่วนของการเรกติไฟร์ รักษาระดับแรงดัน วงจรโหลตมอดูเลเตอร์ และวงจรแปลงสัญญาณนาฬิกาของเครื่องลูกข่าย



**รูปที่ 4.21** วงจรในส่วนของการเรกติไฟร์ รักษาระดับแรงดัน วงจรโหลตมอดูเลเตอร์ และวงจรแปลงสัญญาณนาฬิกาของเครื่องลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบอร์KSP10 จะทำหน้าที่ปรับสัญญาณนาฬิกาที่ได้จากขดลวดเพื่อเป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628 ในส่วนของมอสเฟตตัวต่างสุดจะทำงานและหยุดทำงานตามสัญญาณที่ได้จากวงจรความถี่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ที่ขดลวด มีผลทำให้ความต้านทานที่ขดลวดตัวเครื่องอ่านเกิดการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ตามไปด้วยสัญญาณความถี่พาหะที่ขดลวดเครื่องอ่านเกิดการเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่มอดูเลตมาจากตัวเครื่องถูกข่าย พลังงานที่ถูกส่งผ่านมายังเครื่องถูกข่ายจะ ได้จากการคับปลิ่งสัญญาณที่ L และเกิดการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ 13.56MHz กับ C ที่เราได้ต่อขนานไว้แล้วนำมาเรียกดีไฟเอร์จากนั้นก็มาผ่านวงจรรักษาระดับแรงดัน โดยมี ทรานซิสเตอร์เบอร์ KTD 417 , C1815 และ LM385-1.2 เพื่อรักษาระดับแรงดันไม่ให้เกินกว่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628 จะรับได้ และ ทรานซิสเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

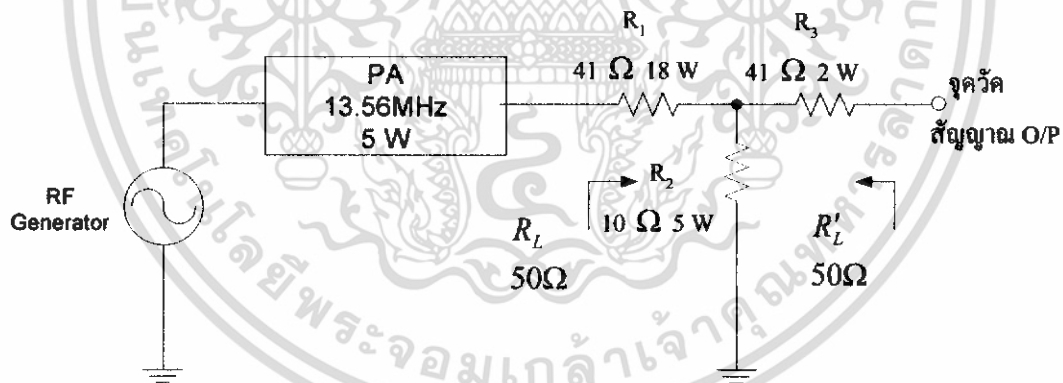
## ผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการทดลอง ในส่วนของเพาเวอร์แอมป์ 13.56 MHz 5 W ที่ได้สร้างขึ้น เพื่อขับขลวดของเครื่องอ่านให้สามารถส่งพลังงานไปที่ เครื่องลูกข่ายให้สามารถทำงานและสามารถส่งข้อมูลไปให้กับเครื่องอ่านได้ และอีกส่วนคือผลการทดลองในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้ทดลองรับ-ส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม เพื่อจำลองการรับ-ส่งข้อมูล ระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน และส่วนสุดท้ายคือการจำลองการมอดูเลตแบบ FSK ที่เครื่องลูกข่ายจะทำการส่งให้กับเครื่องอ่าน

## 5.1 ผลการทดลองในส่วนของเพาเวอร์แอมป์ 13.56 MHz ( วงจรขยายตัวที่ 1 )

## 5.1.1 ผลการทดลองในส่วนของเพาเวอร์แอมป์ต่อกับโหลด 50 โอห์ม

ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงผลการทดลอง ของเพาเวอร์แอมป์ 13.56 MHz 5 W จากการออกแบบ ในส่วนของเพาเวอร์แอมป์ ได้กำหนดให้อิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต มีค่าประมาณ 50  $\Omega$  ในส่วนของการทดลองจึงใช้ ความต้านทานประมาณ 50  $\Omega$  เพื่อเป็น โหลดให้กับเพาเวอร์แอมป์



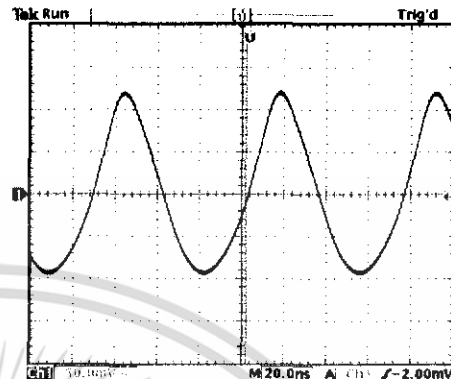
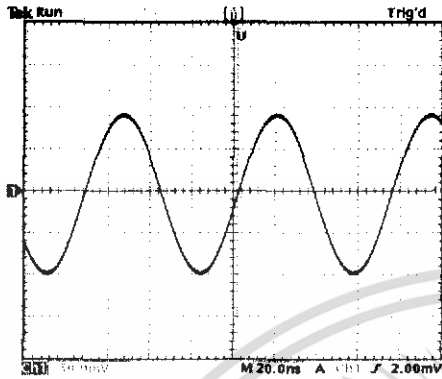
รูปที่ 5.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการทดลองเพาเวอร์แอมป์ต่อกับตัวลวดทอนสัญญาณ 10 เท่า

$$R_1 = \frac{82\Omega}{6} + \frac{82\Omega}{6} + \frac{82\Omega}{6} = 41\Omega \quad ; \text{ตัวต้านทานขนาด 1 W}$$

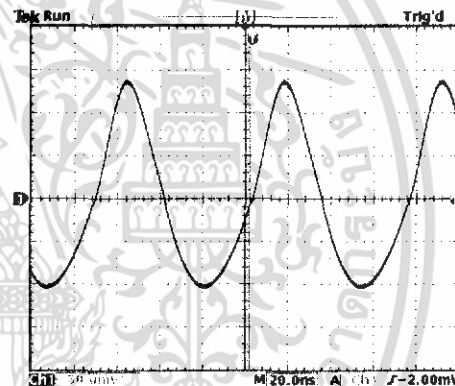
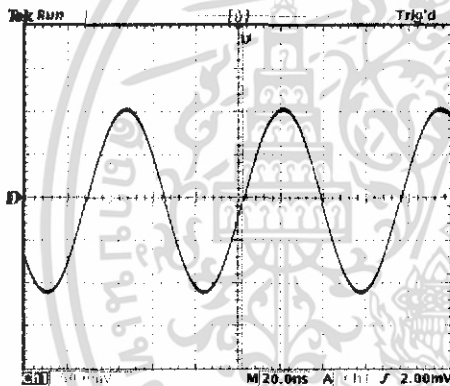
$$R_2 = \frac{100\Omega}{10} = 10\Omega \quad ; \text{ตัวต้านทานขนาด 0.5 W}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_3 = \frac{82\Omega}{4} + \frac{82\Omega}{4} = 41\Omega \quad ; \text{ ตัวต้านทานขนาด 0.25 W}$$



ก. รูปสัญญาณอินพุตที่ 8 dBm.(ซ้าย) และ เอาต์พุต (ขวา)จากโพรบ  $\times 10$



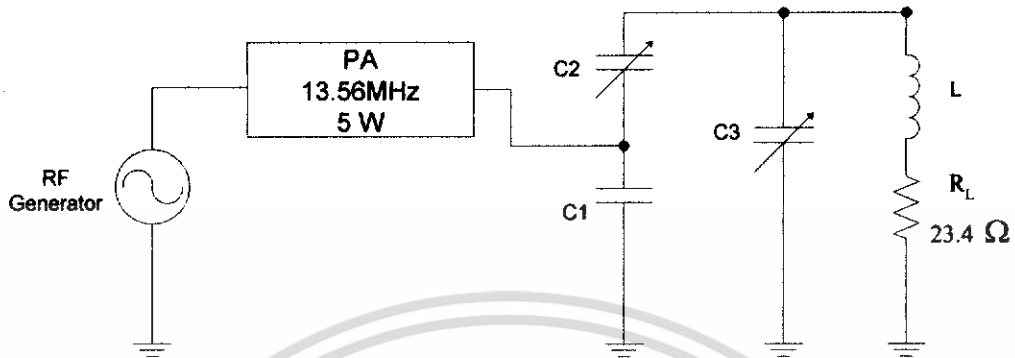
ข. รูปสัญญาณอินพุตที่ 9 dBm.(ซ้าย) และ เอาต์พุต (ขวา)จากโพรบ  $\times 10$

รูปที่ 5.2 แสดงรูปสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของภาคขยาย

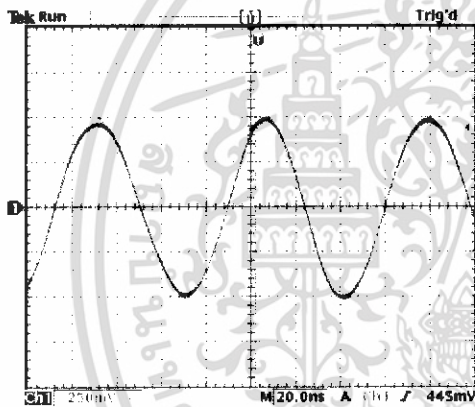
### 5.1.2 ผลการทดลองในส่วนของวงจรที่ใช้ในการแมตซิ่ง ของเพาเวอร์แอมป์กับเครื่องอ่าน

ในส่วนนี้จะเป็นการทดลองใช้เพาเวอร์แอมป์ ขับขดลวดของเครื่องอ่านว่าสามารถขับขดลวด ได้กี่วัตต์เพื่อใช้ในการส่งพลังงานให้กับเครื่องลูกข่าย

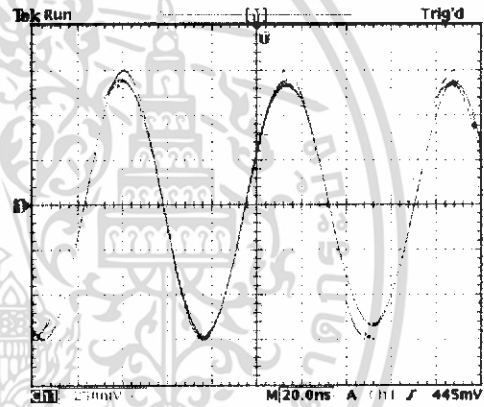
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



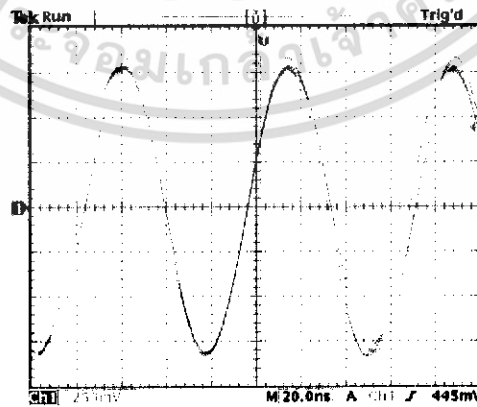
รูปที่ 5.3 แสดงบล็อกคircuitแกรมของวงจรที่ใช้วัดค่าเพาเวอร์ที่  $R_L$



ก. รูปสัญญาณเอาต์พุต  $R_L$  ที่อินพุต 8dBm



ข. รูปสัญญาณเอาต์พุต  $R_L$  ที่อินพุต 9dBm



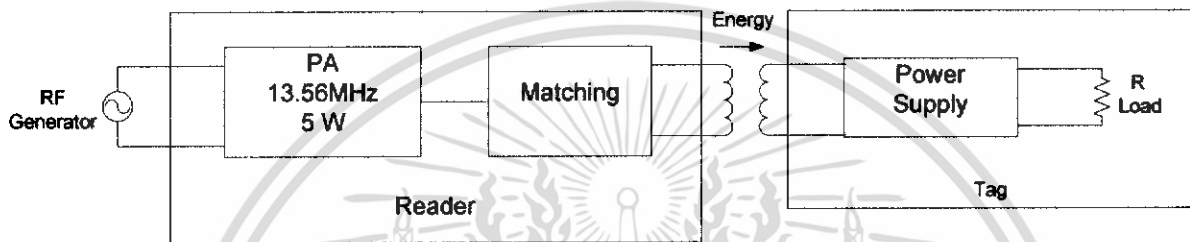
ค. รูปสัญญาณเอาต์พุต  $R_L$  ที่อินพุต 10dBm

รูปที่ 5.4 แสดงรูปคลื่นที่ตกคร่อม  $R_L$  23.40 Ω โดยใช้โพรบ  $\times 10$  วัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.3 ผลการทดลองในส่วนของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่าย

ในผลการทดลองส่วนนี้จะใช้การทดลองในหัวข้อที่ 6.2 มาทดลองร่วมกับวงจรภาคจ่ายไฟ ของเครื่องลูกข่าย ว่าที่เครื่องลูกข่ายจะรับพลังงานจากเครื่องอ่าน ได้ขนาดไหนที่ระยะห่างของขดลวดเครื่องอ่านกับขดลวดของเครื่องรับ โดยใช้วงจรที่ได้ทำการออกแบบไว้ใ้ในบทที่ 5 เรื่องการออกแบบภาคจ่ายไฟของเครื่องลูกข่าย สามารถแสดงบล็อกโคอะแกรมได้ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 5.5 แสดงบล็อกโคอะแกรมของการทดสอบการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่าย

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่อินพุต 8 dBm

RL ( $\Omega$ )	ระยะการอ่าน(cm)								
	0			1			2		
	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)
160	2.56	16.00	40.96	2.46	15.37	37.82	2.33	14.56	33.93
213	2.84	13.33	37.86	2.72	12.76	34.73	2.57	12.06	31.00
320	2.92	9.12	26.64	2.90	9.06	26.28	2.71	8.46	22.95
640	2.96	4.62	13.69	2.95	4.60	13.59	3.01	4.70	14.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่อินพุต 8 dBm (ต่อ)

RL ( $\Omega$ )	ระยะการอ่าน(cm)								
	3			4			5		
	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)
160	1.88	11.75	22.09	1.52	9.50	14.44	1.28	8.00	10.24
213	2.33	10.94	25.49	1.92	9.01	17.31	1.55	7.28	11.28
320	2.51	7.84	19.69	2.25	7.03	15.82	1.99	6.22	12.38
640	2.91	4.55	13.23	2.69	4.20	11.31	2.56	4.00	10.24

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่อินพุต 9 dBm

RL ( $\Omega$ )	ระยะการอ่าน(cm)								
	0			1			2		
	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)
160	2.93	18.31	53.66	2.89	18.06	52.20	2.71	16.94	45.90
213	3.1	14.55	45.12	3.00	14.08	42.25	2.88	13.52	38.94
320	3.25	10.16	33.01	3.12	9.75	30.42	2.96	9.25	27.38
640	3.25	5.08	16.50	3.16	4.94	15.60	3.13	4.89	15.31

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่อินพุต 9 dBm (ต่อ)

RL ( $\Omega$ )	ระยะการอ่าน(cm)								
	3			4			5		
	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)
160	2.34	14.63	34.22	2.00	12.50	25.00	1.74	10.88	18.92
213	2.69	12.63	33.97	2.37	11.13	26.37	2.01	9.44	18.97
320	2.83	8.84	25.03	2.59	8.09	20.96	2.36	7.38	17.41
640	3.00	4.69	14.06	2.85	4.45	12.69	2.67	4.17	11.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

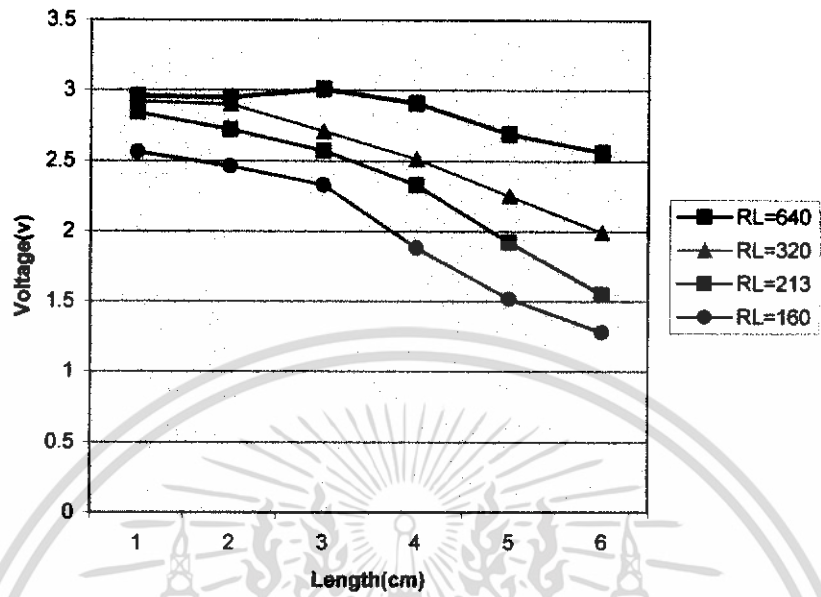
ตารางที่ 5.3 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่อินพุต 10 dBm

RL ( $\Omega$ )	ระยะการอ่าน(cm)								
	0			1			2		
	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)
160	3.07	19.19	58.91	3.03	18.94	57.38	2.83	17.69	50.06
213	3.22	15.12	48.68	3.10	14.55	45.12	2.98	13.99	41.69
320	3.38	10.56	35.70	3.21	10.03	32.20	3.05	9.53	29.07
640	3.40	5.31	18.06	3.24	5.06	16.40	3.20	5.00	16.00

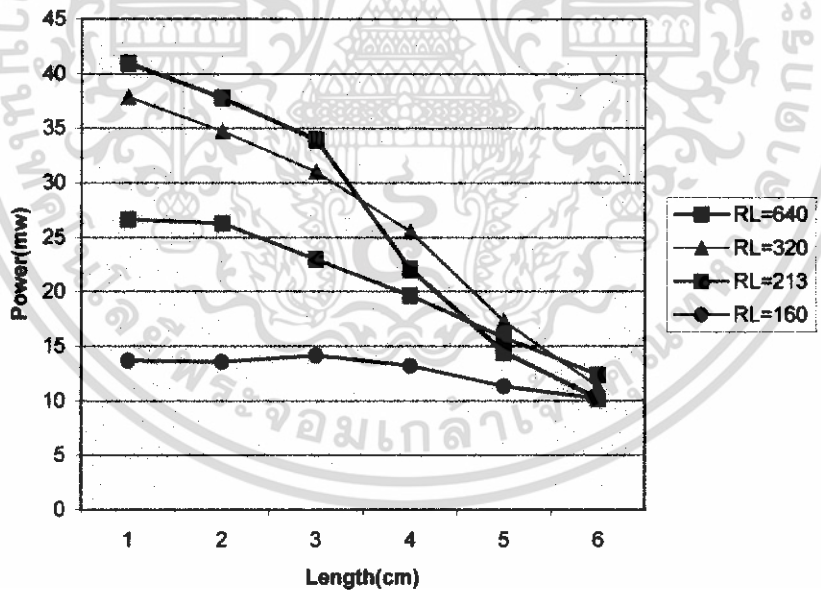
ตารางที่ 5.3 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่อินพุต 10 dBm (ต่อ)

RL ( $\Omega$ )	ระยะการอ่าน(cm)								
	3			4			5		
	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)
160	2.49	15.56	38.75	2.17	13.56	29.43	1.91	11.94	22.80
213	2.80	13.15	36.81	2.52	11.83	29.81	2.16	10.14	21.90
320	2.94	9.19	27.01	2.70	8.44	22.78	2.48	7.75	19.22
640	2.94	4.59	13.51	2.84	4.44	12.60	2.72	4.25	11.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

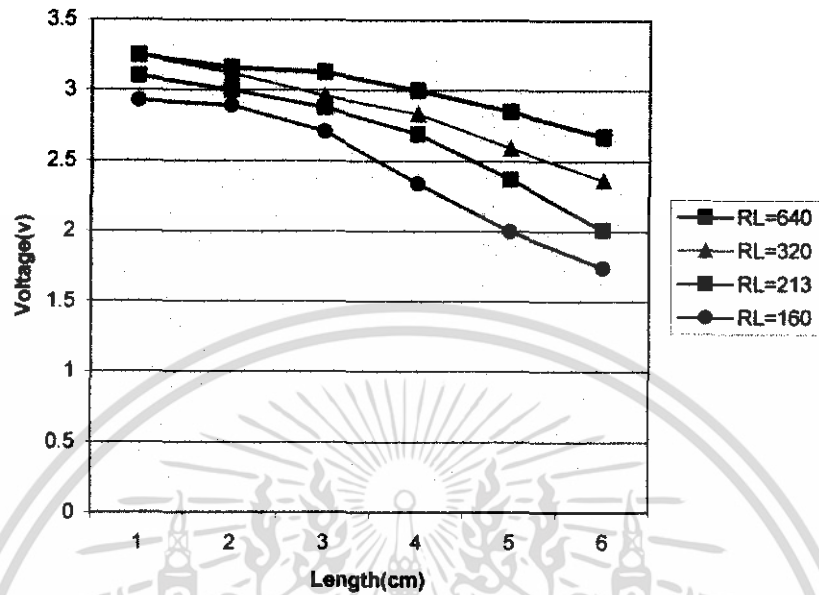


รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับระยะทางที่อินพุต 8 dBm

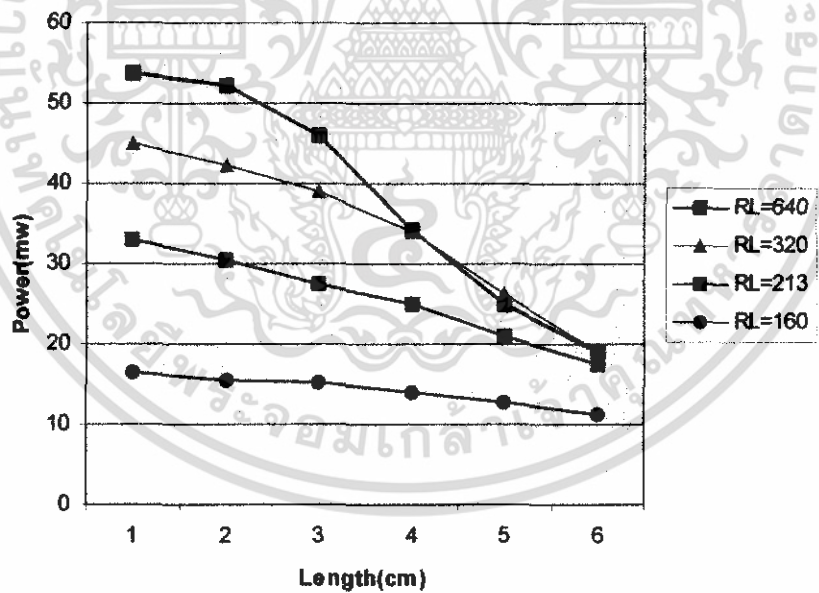


รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน กับระยะทางที่อินพุต 8 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

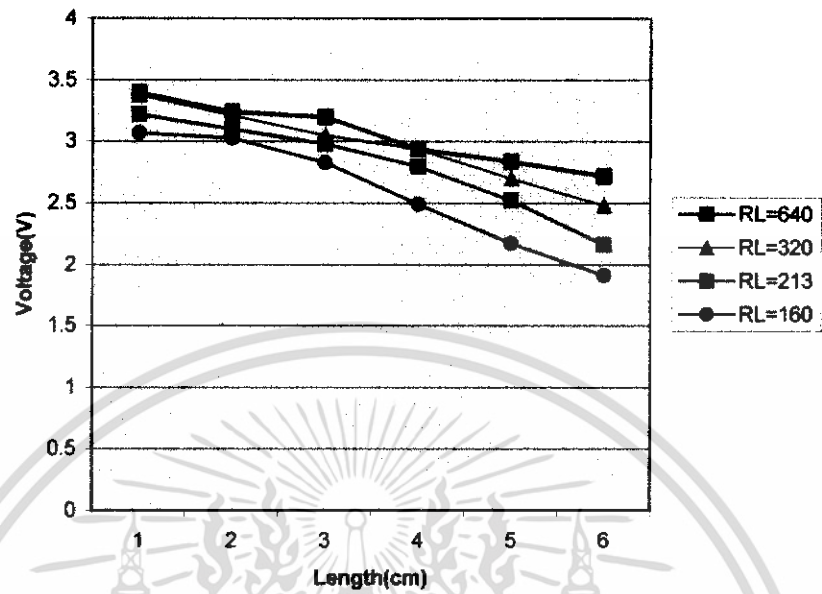


รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับระยะทางที่อินพุต 9dBm

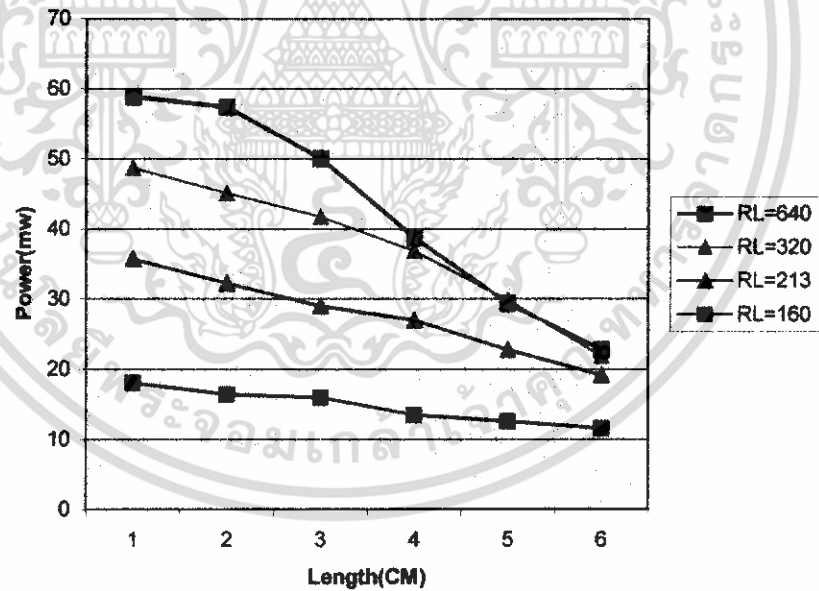


รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน กับระยะทางที่อินพุต 9dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับระยะทางที่อินพุต 10dBm



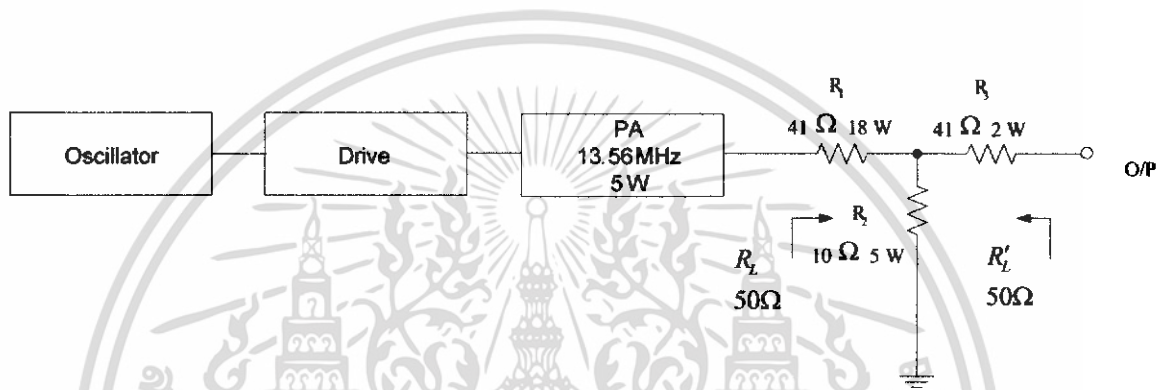
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน กับระยะทางที่อินพุต 10dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

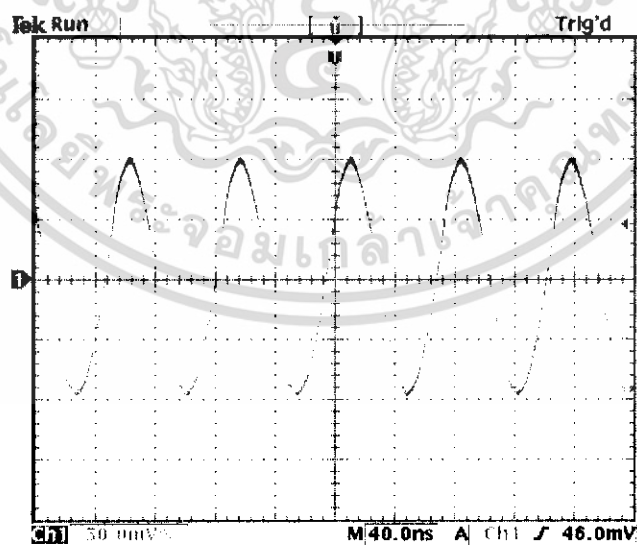
## 5.2 ผลการทดลองในส่วนของเพาเวอร์แอมป์ 13.56 MHz (วงจรขยายตัวที่2)

### 5.2.1 ผลการทดลองในส่วนของเพาเวอร์แอมป์ต่อกับโหลด 50 โอห์ม

ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงผลการทดลอง ของเพาเวอร์แอมป์ 13.56 MHz 5 W จากการ ออกแบบ ในส่วนของเพาเวอร์แอมป์ ได้กำหนดให้อิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต มีค่าประมาณ 50  $\Omega$  ในส่วนของการทดลองจึงใช้ ความต้านทานประมาณ 50  $\Omega$  เพื่อเป็น โหลดให้กับเพาเวอร์แอมป์ โดยใช้อุปกรณ์ Oscillator ป้อนให้กับวงจรขยายดังรูปที่

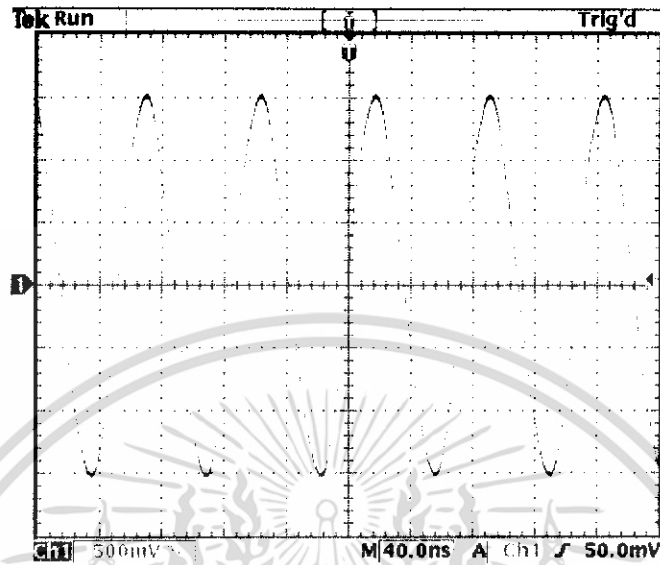


รูปที่ 5.12 แสดงบล็อกโคจรแอมป์ของการทดลองเพาเวอร์แอมป์ต่อกับตัวลวดทอนสัญญาณ 10 เท้า

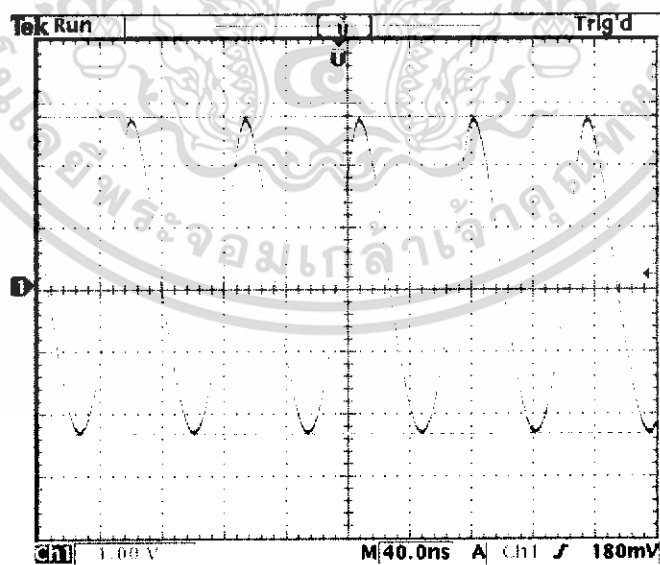


รูปที่ 5.13 สัญญาณจากภาค Oscillator(วงจรที่2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 รูปสัญญาณอินพุตจากภาค Driver จากโพรบ  $\times 10$  (วงจรถ่ายที่ 2)

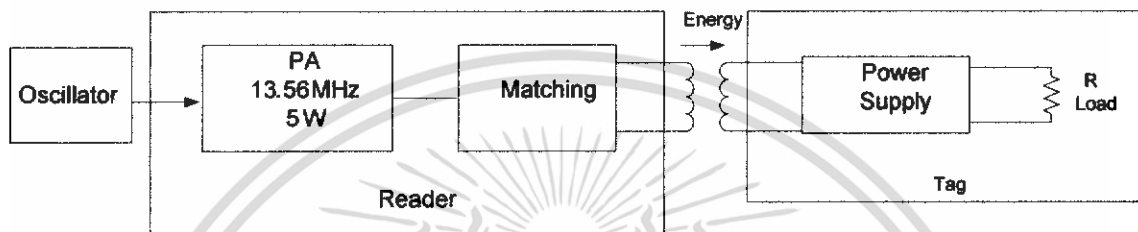


รูปที่ 5.15 รูปสัญญาณ เอาต์พุต จากโพรบ  $\times 10$  ที่โหลด 50 โอห์ม (วงจรถ่ายที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.2 ผลการทดลองในส่วนของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องถูกข่าย

ในผลการทดลองส่วนนี้จะใช้การทดลองในหัวข้อที่ 6.2 มาทดลองร่วมกับวงจรภาคจ่ายไฟของเครื่องถูกข่าย ว่าที่เครื่องถูกข่ายจะรับพลังงานจากเครื่องอ่าน ได้ขนาดไหนที่ระยะห่างของขดลวดเครื่องอ่านกับขดลวดของเครื่องรับ โดยใช้วงจรที่ได้ทำการออกแบบไว้ในบทที่ 5 เรื่องการออกแบบภาคจ่ายไฟของเครื่องถูกข่าย สามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.16 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการทดสอบการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องถูกข่าย

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องถูกข่ายที่ 2 W

RL ( $\Omega$ )	ระยะการอ่าน(cm)								
	0			1			2		
	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)
500	3.45	6.90	23.81	3.00	6.00	18.00	2.48	4.96	12.30
680	3.65	5.37	19.59	3.11	4.57	14.22	2.62	3.85	10.09
1000	3.81	3.81	14.52	3.38	3.38	11.42	2.74	2.74	7.51
1500	3.92	2.61	10.24	3.45	2.30	7.94	2.85	1.90	5.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ 2 W (ต่อ)

RL ( $\Omega$ )	ระยะการอ่าน(cm)								
	3			4			5		
	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)
500	1.58	3.16	4.99	1.02	2.04	2.08	0.68	1.36	0.92
680	1.64	2.41	3.96	1.07	1.57	1.68	0.73	1.07	0.78
1000	1.72	1.72	2.96	1.15	1.15	1.32	0.80	0.80	0.64
1500	1.81	1.21	2.18	1.20	0.80	0.96	0.85	0.57	0.48

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ 3 W

RL ( $\Omega$ )	ระยะการอ่าน(cm)								
	0			1			2		
	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)
500	4.09	8.18	33.46	3.31	6.62	21.91	2.75	5.50	15.13
680	4.12	6.06	24.96	3.35	4.93	16.50	2.91	4.28	12.45
1000	4.16	4.16	17.31	3.68	3.68	13.54	3.06	3.06	9.36
1500	4.18	2.79	11.65	3.76	2.51	9.43	3.15	2.10	6.62

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ 3 W (ต่อ)

RL ( $\Omega$ )	ระยะการอ่าน(cm)								
	3			4			5		
	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)
500	2.08	4.16	8.65	1.39	2.78	3.86	0.83	1.66	1.38
680	2.16	3.18	6.86	1.44	2.12	3.05	0.91	1.34	1.22
1000	2.35	2.35	5.52	1.81	1.81	3.28	0.96	0.96	0.92
1500	2.38	1.59	3.78	2.04	1.36	2.77	1.03	0.69	0.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

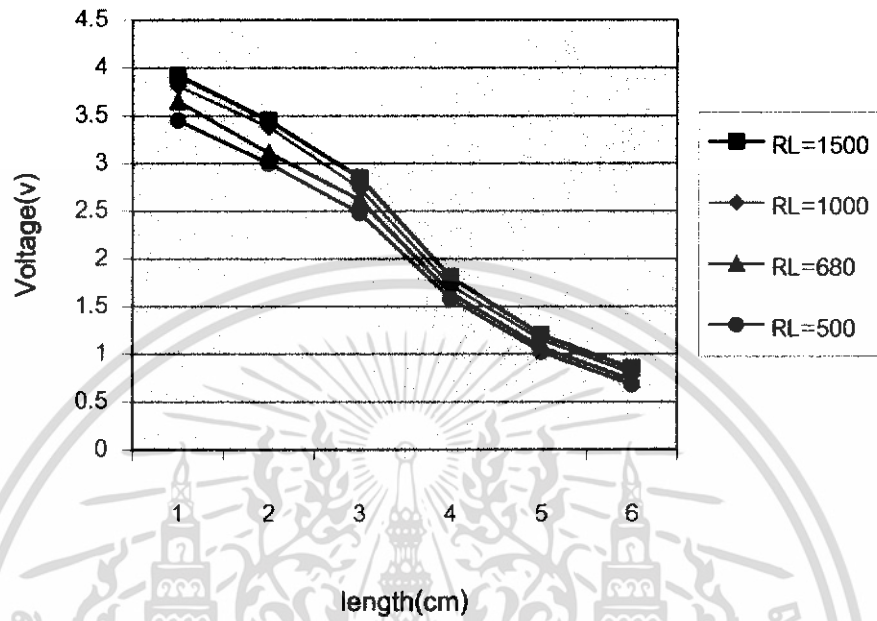
ตารางที่ 5.6 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ 4 W

RL ( $\Omega$ )	ระยะการอ่าน(cm)								
	0			1			2		
	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)
500	4.20	8.40	35.28	3.80	7.60	28.88	3.09	6.18	19.10
680	4.22	6.21	26.19	4.01	5.90	23.65	3.24	4.76	15.44
1000	4.23	4.23	17.89	4.05	4.05	16.40	3.43	3.43	11.76
1500	4.25	2.83	12.04	4.10	2.73	11.21	3.48	2.32	8.07

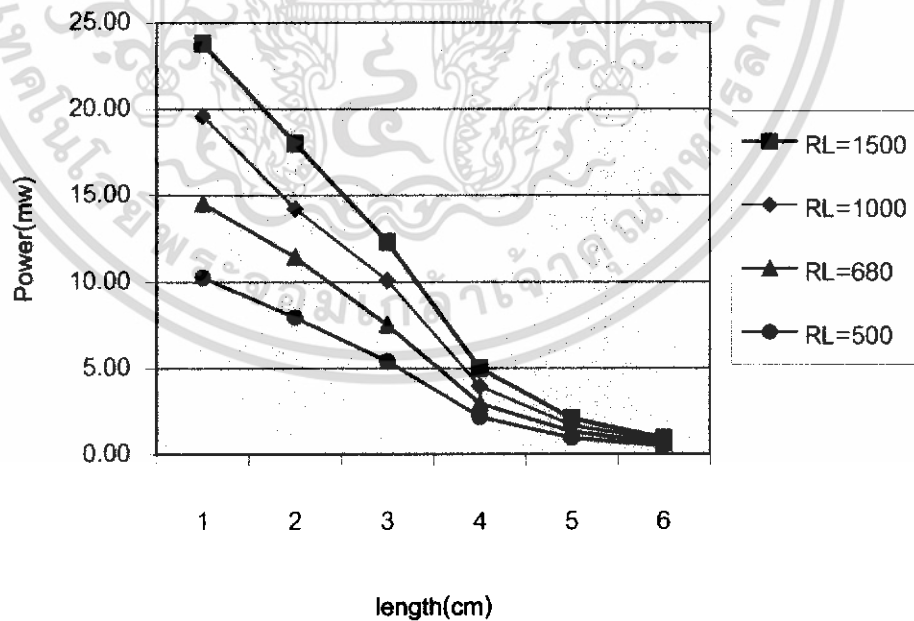
ตารางที่ 5.6 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ 4 W (ต่อ)

RL ( $\Omega$ )	ระยะการอ่าน(cm)								
	3			4			5		
	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)	V (v)	I (mA)	P (mW)
500	2.62	5.24	13.73	2.28	4.56	10.40	0.96	1.92	1.84
680	2.66	3.91	10.41	2.31	3.40	7.85	1.03	1.51	1.56
1000	2.90	2.90	8.41	2.54	2.54	6.45	1.10	1.10	1.21
1500	3.03	2.02	6.12	2.60	1.73	4.51	1.15	0.77	0.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

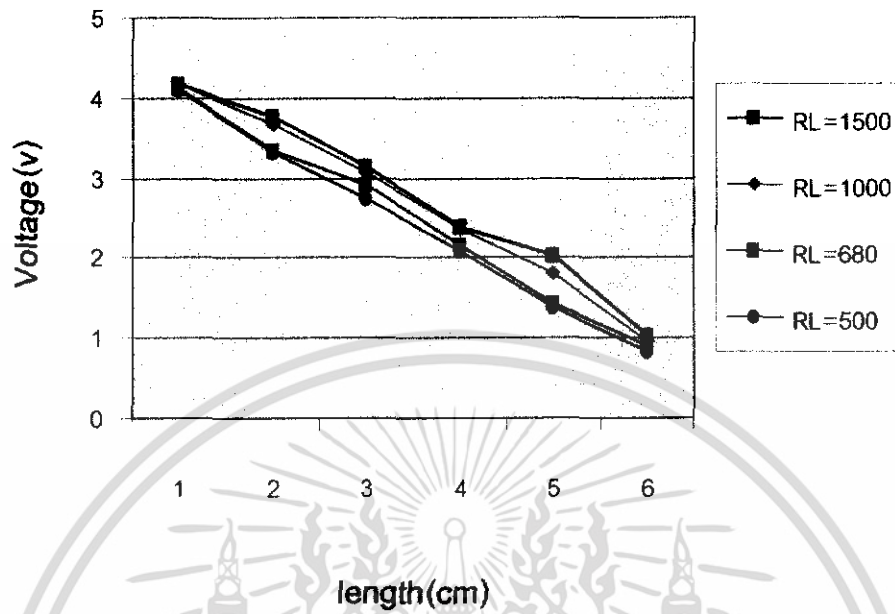


รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับระยะทางที่ 2 W

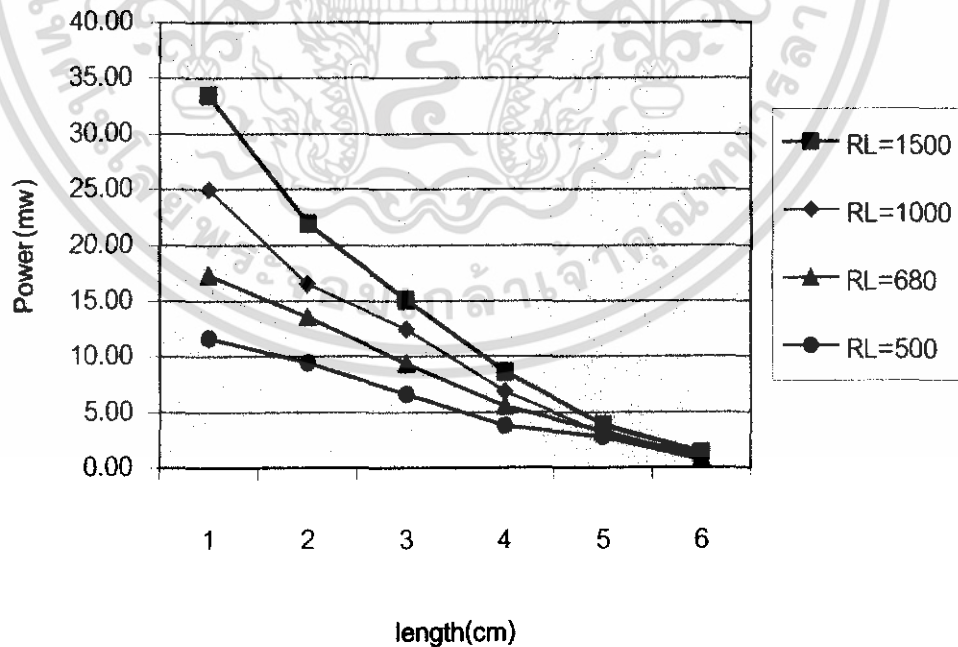


รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน กับระยะทางที่ 2 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

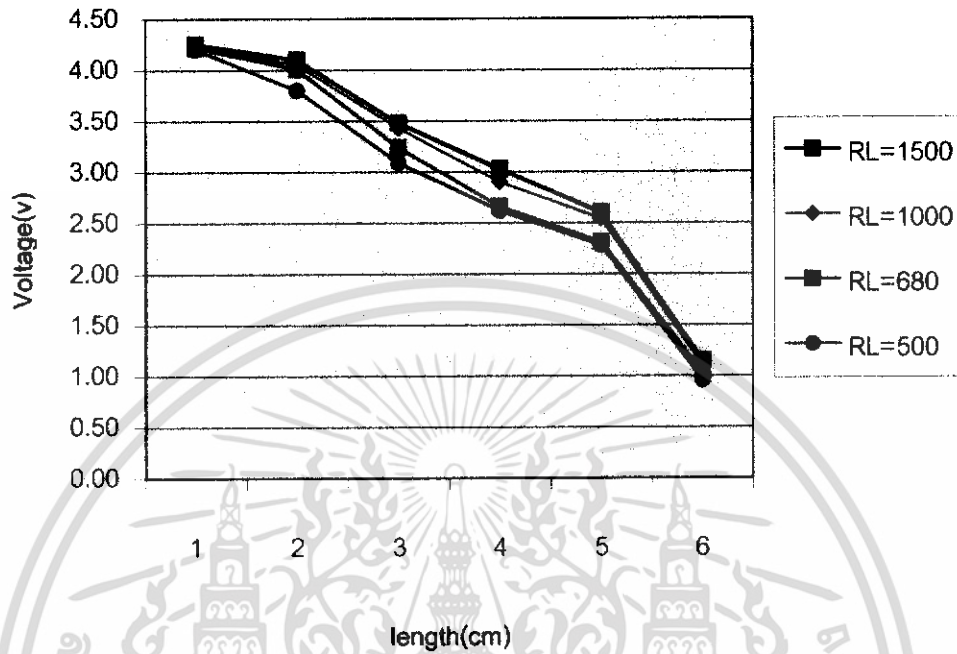


รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับระยะทางที่ 3 W

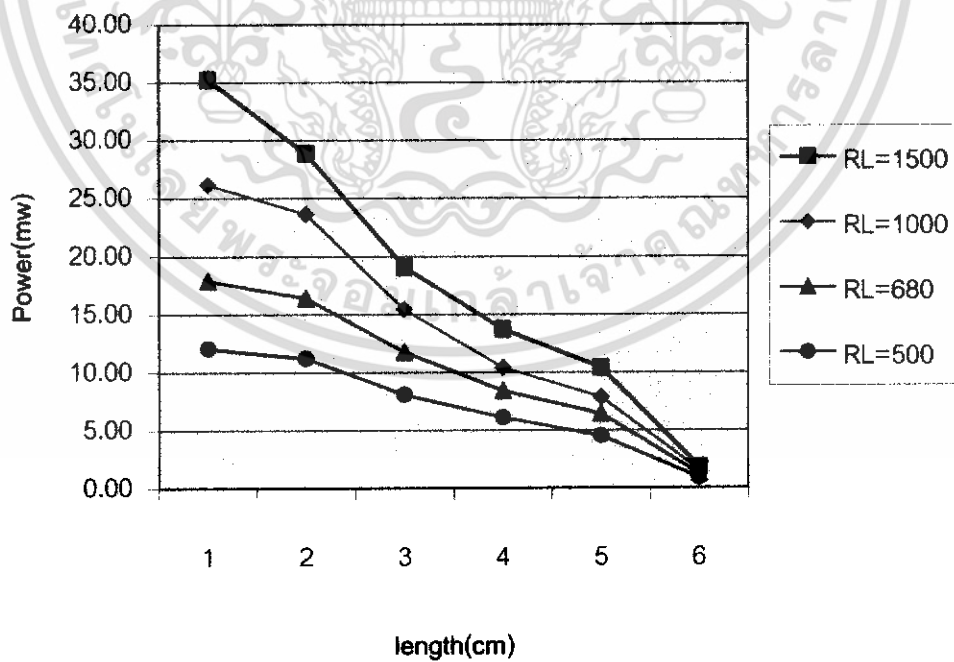


รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน กับระยะทางที่ 3 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับระยะทางที่ 4 W

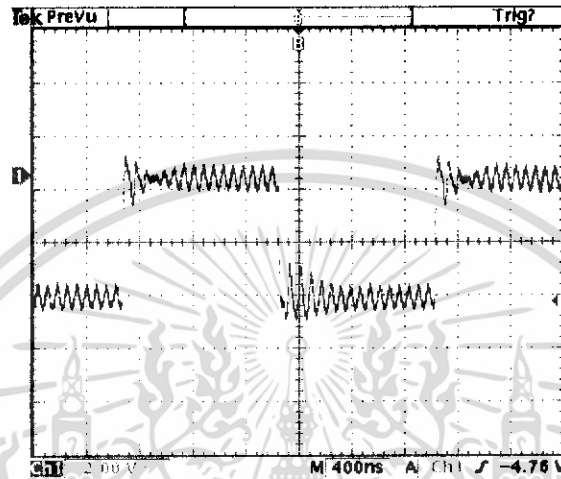


รูปที่ 5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับระยะทางที่ 4 W

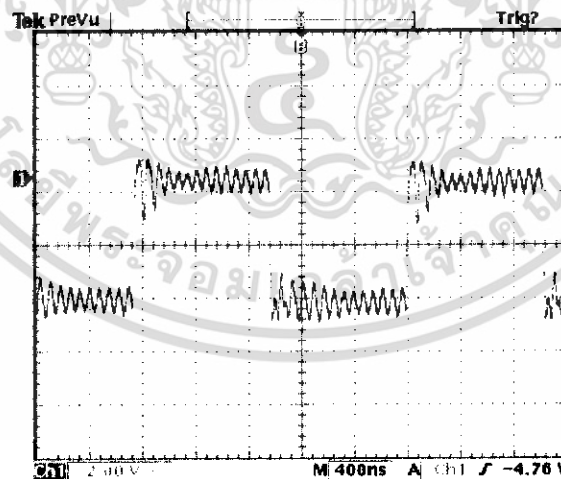
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.3 ผลการทดลองในส่วนของวงจรหารความถี่เพื่อนำไปมอดูเลตที่เครื่องถ่ายภาพ

ในส่วนนี้เป็นการทดลองต่อวงจากหัวข้อ 5.13 จะได้ความถี่ออกมา 2 ความถี่ได้สัญญาณดังรูป



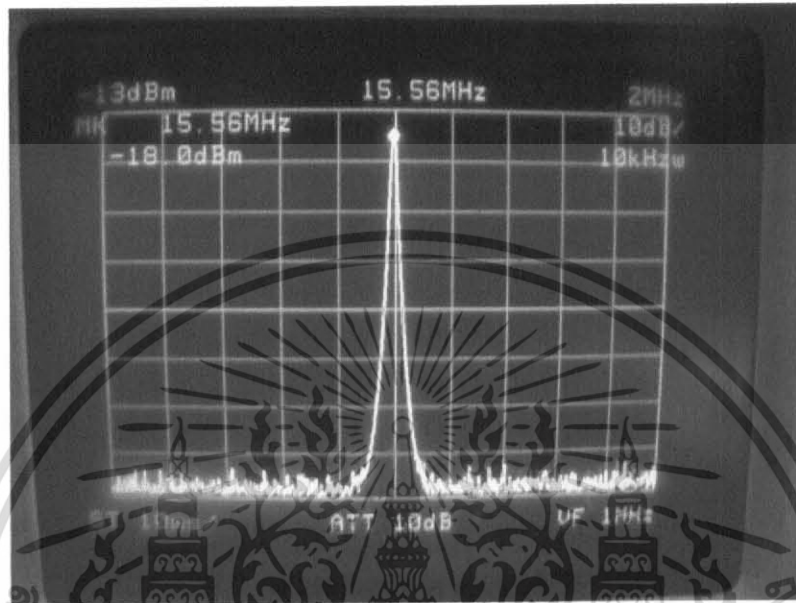
รูปที่ 5.23 แสดงสัญญาณที่ได้จากการหารความถี่ (หาร 28) จากโพรม  $\times 10$



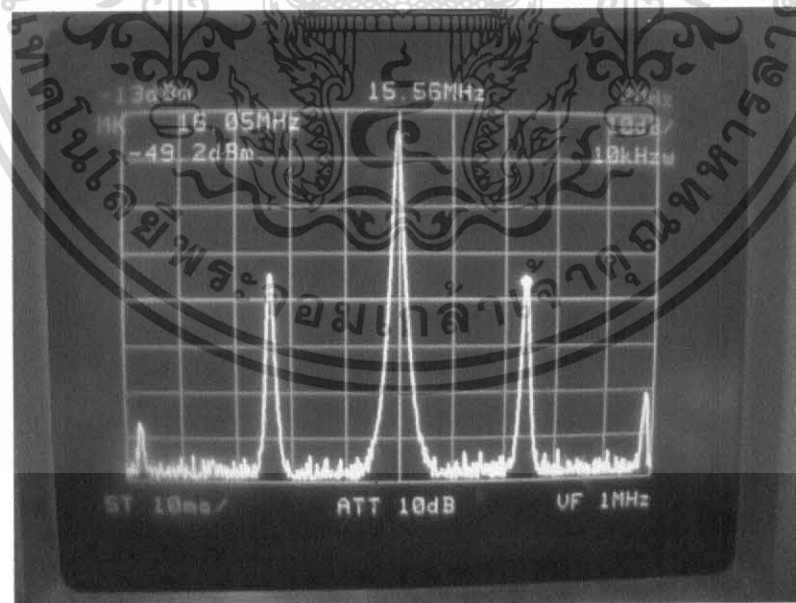
รูปที่ 5.24 แสดงสัญญาณที่ได้จากการหารความถี่ (หาร 32) จากโพรม  $\times 10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.2.4 ผลการทดลองในส่วนของการมอดดูเลทสัญญาณ

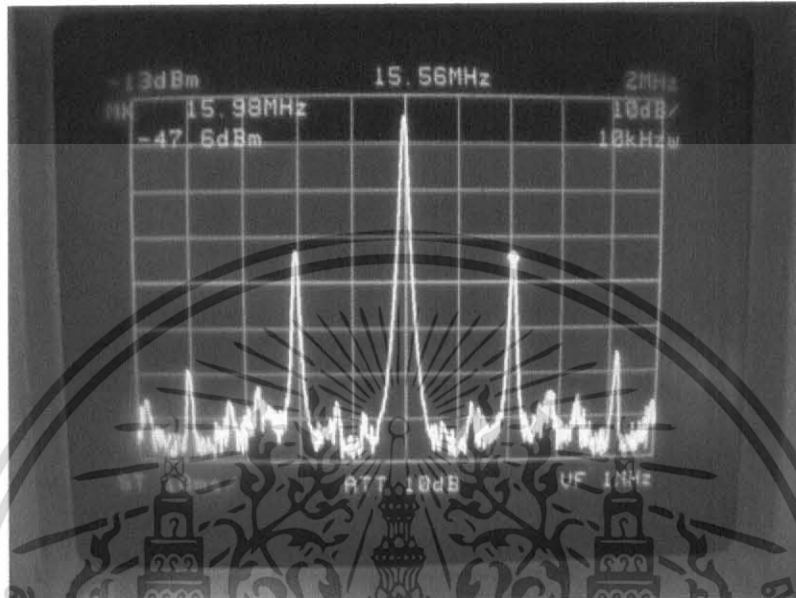


รูปที่ 5.25 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากสเปกตรัมอนาไลเซอร์ในขณะที่ไม่มีเครื่องถูข่าย

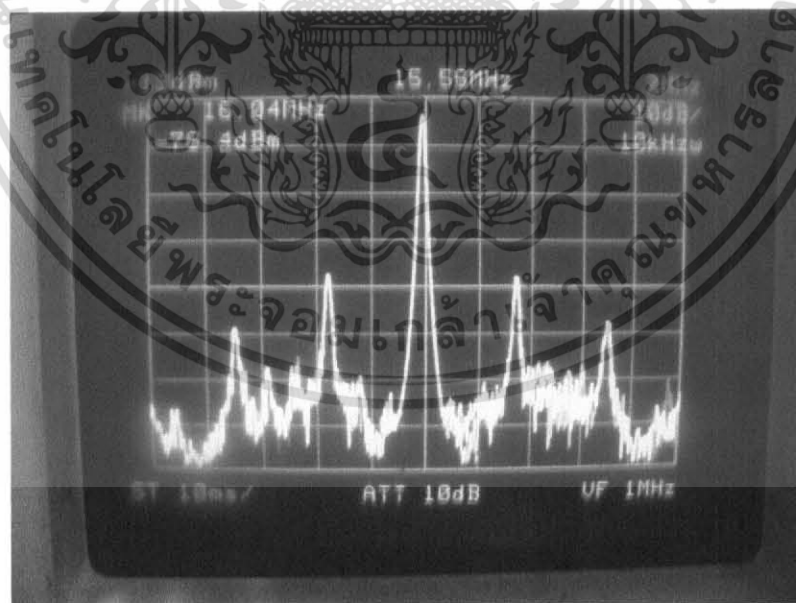


รูปที่ 5.26 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากสเปกตรัมอนาไลเซอร์ในขณะที่มีเครื่องถูข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

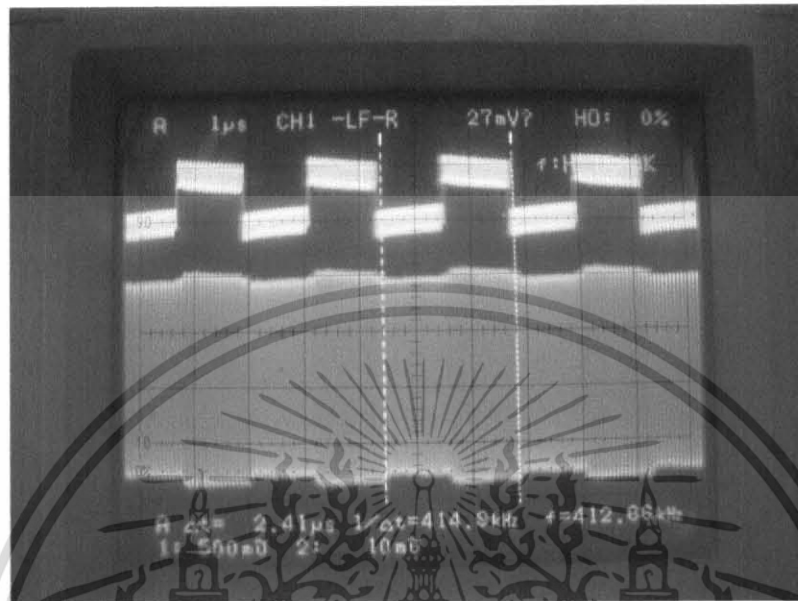


รูปที่ 5.27 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากสเปกตรัมอนาไลเซอร์ในขณะที่ไม่มีข้อมูลจาก เครื่องลูกข่าย

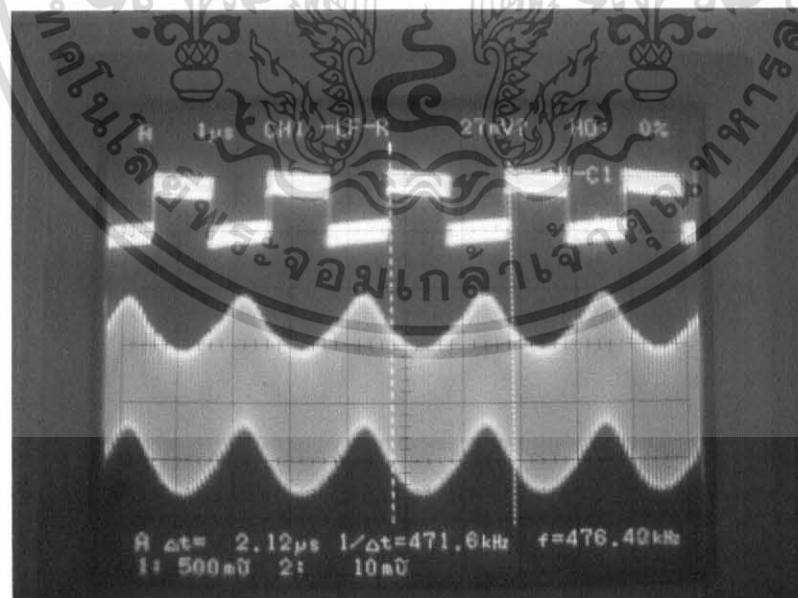


รูปที่ 5.28 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากสเปกตรัมอนาไลเซอร์ในขณะที่มีข้อมูลจาก เครื่องลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

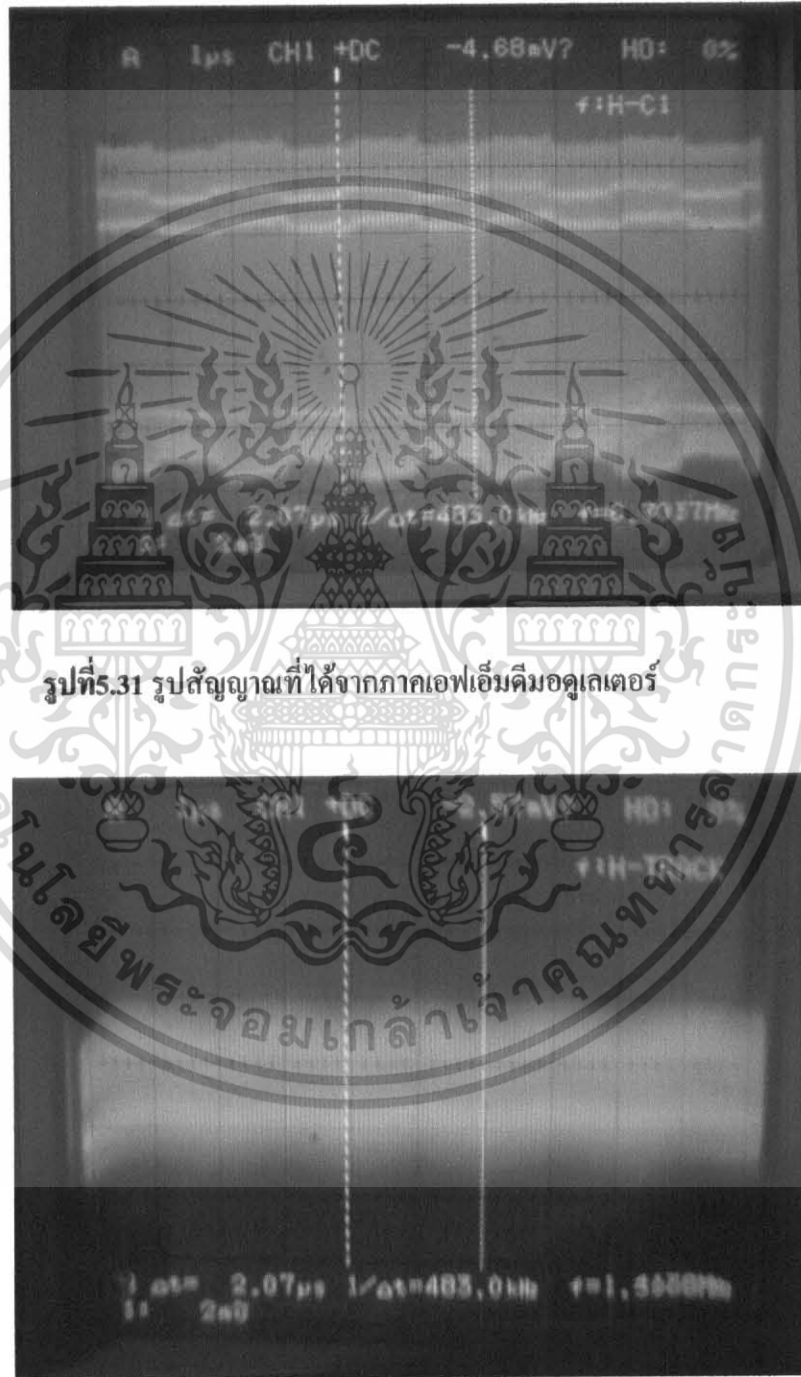


รูปที่ 5.29 รูปสัญญาณเปรียบเทียบข้อมูลจาก เครื่องลูกข่าย กับ สัญญาณที่ได้จากอินพุตภาคติมอดูเลเตอร์พาหะรอง



รูปที่ 5.30 รูปสัญญาณเปรียบเทียบข้อมูลจาก เครื่องลูกข่าย กับ สัญญาณที่ได้จากภาคติมอดูเลเตอร์พาหะรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.31 รูปสัญญาณที่ได้จากภาคเฟอเฟอเอ็มคีมอดูเลเตอร์

รูปที่ 5.32 รูปสัญญาณที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบแรงดันในภาคสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### บทสรุปและวิจารณ์

#### 6.1 บทสรุป

ในส่วนของการทดลองเรื่อง RFID สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนของเครื่องอ่าน และในส่วนของเครื่องรับ ซึ่งในส่วนของเครื่องอ่านจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 16F628 ในการอ่านและเขียนข้อมูลที่เครื่องลูกข่าย และใช้เบอร์ 16F628 ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปที่เครื่องอ่าน จะขอกกล่าวถึงรายละเอียดในส่วนของเครื่องอ่านส่วนส่วนแรกคือ เพาเวอร์แอมป์ ที่มีความถี่ 13.56 MHz โดยมีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ประมาณ 50  $\Omega$  ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการส่งพลังงานให้กับเครื่องลูกข่าย ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ผ่านทางขดลวดของของเครื่องอ่านและในส่วนของเครื่องลูกข่ายจะส่งข้อมูลไปทำการมอดูเลตแบบ FSK ไปยังเครื่องอ่าน ส่วนการรับข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย จะรับข้อมูลมาจากขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน มาทำการดีมอดูเลต และส่งเข้าไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำการประมวลผลแล้วนำข้อมูลไปใช้อะไร ก็แล้วแต่การนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป และในส่วนของเครื่องลูกข่ายจะรับพลังงานจากเครื่องอ่านผ่านทางขดลวด ของวงจรเรโซแนนซ์ แล้วนำมาทำการเรกตีไฟร์ซึ่งในส่วนนี้ถูกออกแบบให้จ่ายแรงดันไฟฟ้าประมาณ 4.2 V เพื่อไปเลี้ยงวงจรของเครื่องลูกข่าย ให้สามารถทำงานได้ และในส่วนของการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายัง เครื่องอ่านจะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อยู่ในเครื่องลูกข่ายส่งข้อมูลออกมาและจากนั้นจึงนำข้อมูลไปทำการมอดูเลตแบบโพลคมอดูเลต เพื่อส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่าน ส่วนการรับข้อมูลจากเครื่องอ่าน จะรับเข้ามาที่ขดลวดแล้วมาทำการดีมอดูเลต แล้วนำข้อมูลส่งไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ของเครื่องลูกข่ายต่อไป

#### 6.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

1. ในส่วนของวงจรแมตซิ่งระหว่างเพาเวอร์แอมป์กับขดลวดสายอากาศ ของเครื่องอ่าน เนื่องจากส่วนนี้เป็นส่วนที่มีกำลังงาน และแรงดันสูงจึงต้องใช้อุปกรณ์พวกตัวเก็บประจุที่ทนแรงดันสูงๆ

2. การคำนวณจำนวนรอบ และขนาดของตัวเหนี่ยวนำ เกิดความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก จึงส่งผลให้วงจรโดยรวมได้รับผลกระทบไปด้วย

3. เนื่องจากความถี่ที่ใช้งานเป็นความถี่สูง จึงไม่สามารถใช้การต่อวงจรใน โฟโต้บอร์ดได้ เมื่อต้องการเปลี่ยนอุปกรณ์จึงเกิดความยุ่งยากมากกว่าการใช้ โฟโต้บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องวัดค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ มีความถี่ที่ใช้ในการวิเคราะห์ต่ำ จึงเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นในการวัดตัวอุปกรณ์ที่มีค่าน้อยๆ

5. เนื่องจากกำลังวัตต์ที่ใช้ในการส่งพลังงานให้กับเครื่องลูกข่ายสูงมากจึงทำให้ผลการทดลองในการคิมอคูเลเตอร์ไม่เป็นไปตามที่ได้กล่าวไว้ทำให้ไม่สามารถกู้ข้อมูลที่ได้จากการมอดูเลทจากเครื่องลูกข่ายได้

### 6.3 แนวทางการแก้ไขและการนำไปประยุกต์ใช้งาน

1. ถ้าทำการลดกำลังงานในการส่งลง โดยที่วงจรทางด้านเครื่องลูกข่าย ยังสามารถทำงานได้ก็จะเป็นการลดค่าแรงดันที่ตัวอุปกรณ์ได้

2. ตัวเหนี่ยวนำที่ได้จากการคำนวณต้องนำมาทำการวัดด้วยเครื่องวัดอีกครั้ง ก็จะสามารถลดความคลาดเคลื่อนได้ ในระดับหนึ่ง

3. ต้องทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้งานก่อนทำการบัดกรี และต้องแน่ใจว่าวงจรที่ใช้งานสามารถที่จะทำงานได้จริง

4. เนื่องจากกำลังงานที่ส่งมาเลี้ยงเครื่องลูกข่ายมีกำลังแรงเกินไปทำให้มารบกวนภาคคิมอคูเลทจึงควรใช้อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานน้อยเพื่อที่ลดพลังงานที่จะส่งมาที่เครื่องลูกข่าย

### 6.4 การนำไปประยุกต์ใช้งาน

เราสามารถนำระบบ RFID ไปใช้งานได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นในอุตสาหกรรมการผลิต การค้า หรือการบริการต่างๆ ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลที่ต้องการได้ แต่การพิจารณาระบบ RFID มาใช้งานยังคงต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ ในการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในสภาพ แวดล้อม หรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับระเบียบการใช้คลื่นความถี่วิทยุและกำลังส่งของแต่ละประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. รศ.เฉลิมพล นาคีรักษ์, “ทฤษฎีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก”, ศูนย์หนังสือกรุงเทพ 2541
2. สันติ อิศวศรีพงษ์สรร, “สนามแม่เหล็กไฟฟ้า”  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. Rachel Waddington, “RFID Handbook”, (Second Edition), Jone Wilry & Sons Ltd 1999
4. AN-267 Matching Network Designs With Computer Solutions,  
<http://www.lansdale.com/Articles/an267.pdf#search=%22an267%20%22>
5. AN-710 Antenna Circuit Design for RFID Application,  
<http://200.9.176.189/web/Microchip/Disco1/download/appnote/rfid/00710a.pdf#search=%22an710%22>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของลวด

Wire Size (AWG)	Dia. in (bare)	Dia. in (coated)	Ohms/1000 ft.	Cross section (mils)	Wire Size (AWG)	Dia. in (bare)	Dia. in (coated)	Ohms/1000 ft.	Cross section (mils)
1	289.3	-	0.126	83690	26	15.9	17.2	41.0	253
2	287.6	-	0.156	66360	27	14.2	15.4	51.4	202
3	229.4	-	0.197	52620	28	12.6	13.8	65.3	159
4	204.3	-	0.249	41740	29	11.3	12.3	81.2	133
5	181.9	-	0.313	33090	30	10.0	11.0	106	100
6	162.0	-	0.395	26240	31	8.9	9.9	131	79.3
7	166.3	-	0.498	20820	32	8.0	6.8	162	64.0
8	128.5	131.6	0.628	16510	33	7.1	7.9	206	50.4
9	114.4	116.3	0.793	13090	34	6.3	7.0	261	39.7
10	101.9	106.2	0.999	10380	35	5.6	6.3	331	31.4
11	90.7	93.5	1.26	8230	36	5.0	5.7	415	25.0
12	80.8	83.3	1.59	6530	37	4.5	5.1	512	20.2
13	72.0	74.1	2.00	5180	38	4.0	4.5	648	16.0
14	64.1	66.7	2.52	4110	39	3.5	4.0	847	12.2
15	57.1	59.5	3.18	3260	40	3.1	3.5	1080	9.61
16	50.8	52.9	4.02	2580	41	2.8	3.1	1320	7.84
17	45.3	47.2	5.05	2060	42	2.5	2.8	1660	6.25
18	40.3	42.4	6.39	1620	43	2.2	2.5	2140	4.84
19	35.9	37.9	8.05	1290	44	2.0	2.3	2590	4.00
20	32.0	34.0	10.1	1020	45	1.76	1.9	3350	3.10
21	28.5	30.2	12.8	812	46	1.57	1.7	4210	2.46
22	25.3	28.0	16.2	640	47	1.40	1.6	5290	1.96
23	22.6	24.2	20.3	511	48	1.24	1.4	6750	1.54
24	20.1	21.6	25.7	404	49	1.11	1.3	8420	1.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TA7358AP

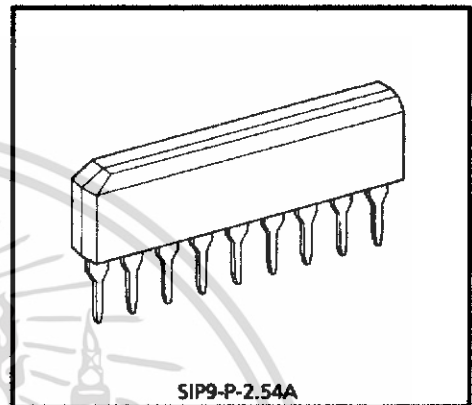
## FM FRONT-END

The TA7358AP is designed for a FM front-end application, which is suitable to a portable radio or a radio cassette.

Comparing with conventional types, supply voltage dependence, overload characteristics and spurious radiation characteristics are improved.

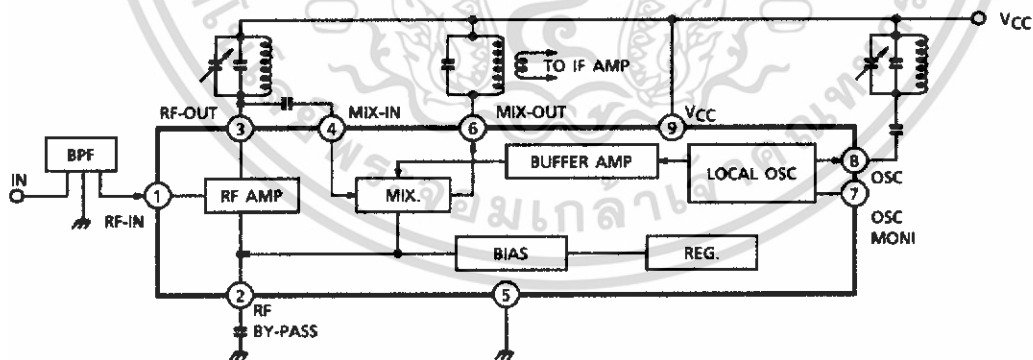
### FEATURES

- Wide supply voltage range :  $V_{CC} = 1.6 \sim 6.0V$
- Excellent supply voltage dependence of local oscillator : Oscillation stop  $V_{CC} = 0.9V$  (Typ.)
- Improved inter-modulation characteristics by double balanced type mixer circuit.
- Low spurious radiation.
- Built-in clamping diode for the local oscillator output.



Weight : 0.92g (Typ.)

### BLOCK DIAGRAM



961001EBA2

- TOSHIBA is continually working to improve the quality and the reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to observe standards of safety, and to avoid situations in which a malfunction or failure of a TOSHIBA product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook.
- The products described in this document are subject to foreign exchange and foreign trade control laws.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.

1997-07-07 1/8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EXPLANATION OF TERMINALS** (Terminal voltage is DC voltage at Ta = 25°C, VCC = 5V, and no signal)

PIN No.	SYMBOL	INTERNAL	TERMINAL VOLTAGE (V)
1	FM-RF IN		0.8
2	BY PASS		1.5
3	FM-RF OUT		5.0
4	MIX IN		1.5
5	GND	—	0
6	MIX OUT	cf. pin ④	5.0
7	OSC MONITOR		4.3
8	OSC		5.0
9	VCC	—	5.0

**MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)**

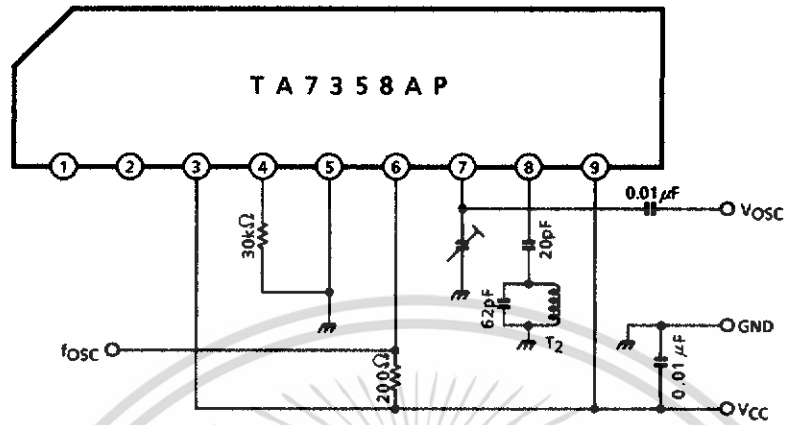
CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	8	V
Power Dissipation	P <sub>D</sub> (Note)	500	mW
Operating Temperature	T <sub>opr</sub>	-25~75	°C
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>	-55~150	°C

(Note) Derated above 25°C in the proportion of 4mW/°C.

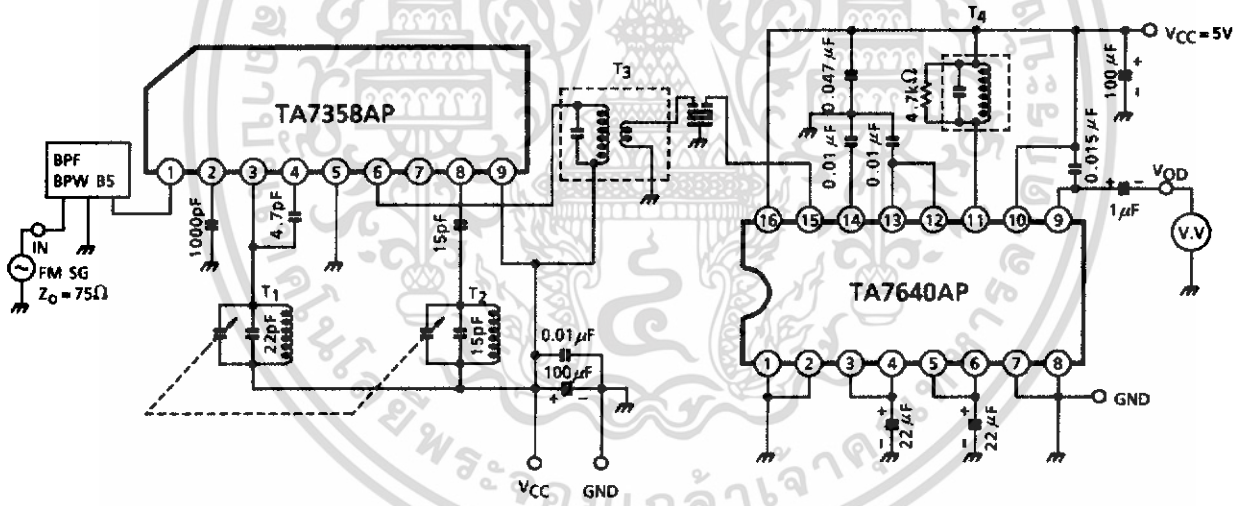
**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V<sub>CC</sub> = 3V, f = 83MHz, f<sub>m</sub> = 1kHz, Δf = ±22.5kHz, Ta = 25°C)**

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CIR-CUIT	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply Current		I <sub>CC</sub>	2	V <sub>in</sub> = 0	—	5.2	8.0	mA
-3dB Limiting Sensitivity		V <sub>in</sub> (lim)	2	—	—	3.0	7.0	dBμV EMF
Quiescent Sensitivity		Q <sub>S</sub>	2	—	—	11.0	—	dBμV EMF
Conversion Gain		G <sub>C</sub>	—	—	—	31	—	dB
Local OSC Voltage		V <sub>OSC</sub>	1	f <sub>OSC</sub> = 60MHz	90	165	220	mV <sub>rms</sub>
Pin ① Impedance	Parallel Input Resistance	r <sub>ip1</sub>	3	f = 83MHz	—	57	—	Ω
Pin ③ Impedance	Parallel Output Resistance	r <sub>op3</sub>	3		—	25	—	kΩ
	Parallel Output Capacitance	C <sub>op3</sub>			—	2.0	—	pF
Pin ④ Impedance	Parallel Input Resistance	r <sub>ip4</sub>	3		—	2.7	—	kΩ
	Parallel Input Capacitance	C <sub>ip4</sub>			—	3.3	—	pF
Pin ⑥ Impedance	Parallel Output Resistance	r <sub>op6</sub>	3		f = 10.7MHz	—	100	—
	Parallel Output Capacitance	C <sub>op6</sub>		—		4.8	—	pF
Local OSC Stop Voltage		V <sub>stop</sub>	1	—	—	0.9	1.3	V

TEST CIRCUIT 1



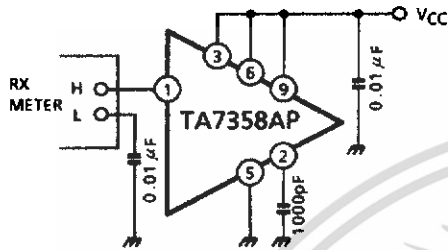
TEST CIRCUIT 2



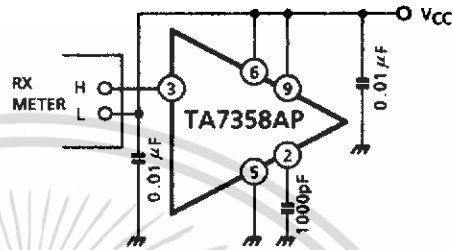
TEST CIRCUIT 3

Input output impedance

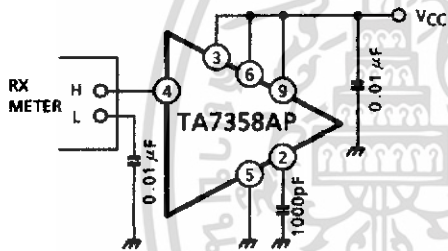
(1)  $r_{ip1}$ ,  $C_{ip1}$



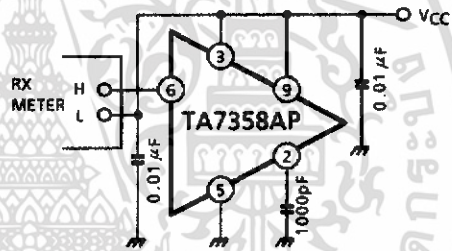
(2)  $r_{op3}$ ,  $C_{op3}$





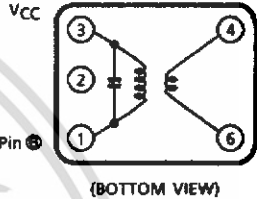
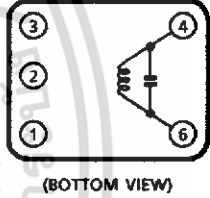
(3)  $r_{ip4}$ ,  $C_{ip4}$



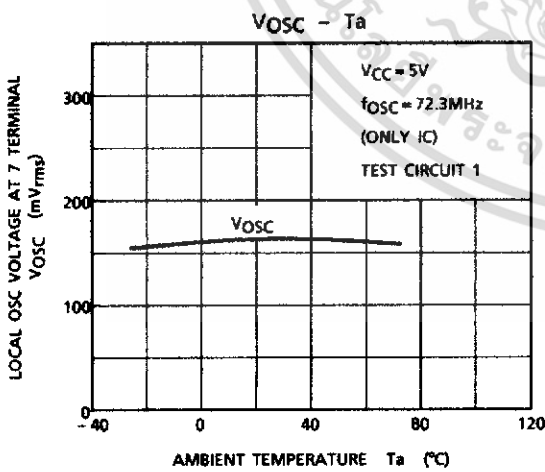
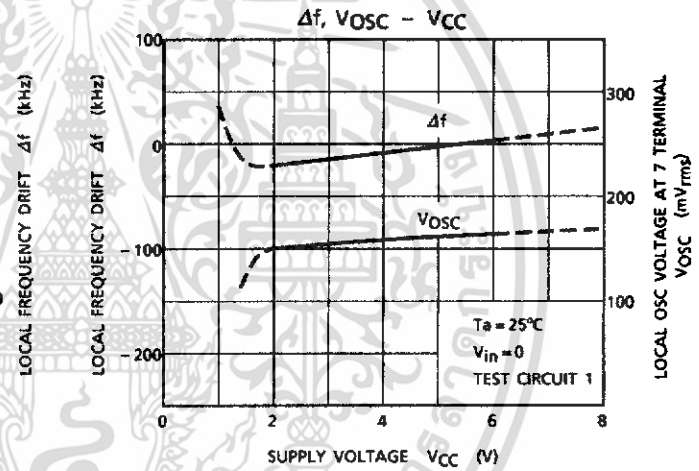
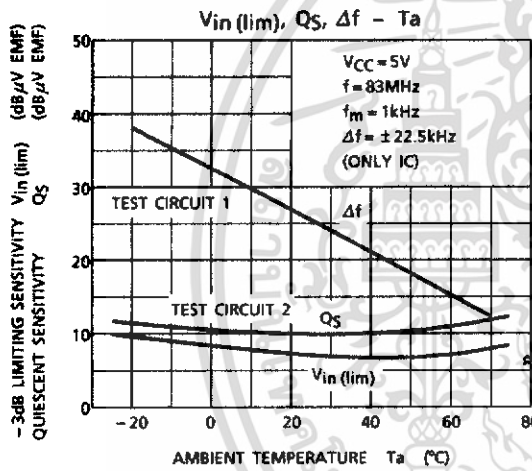
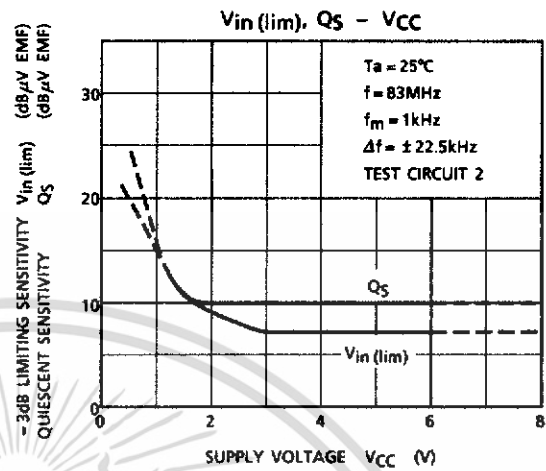
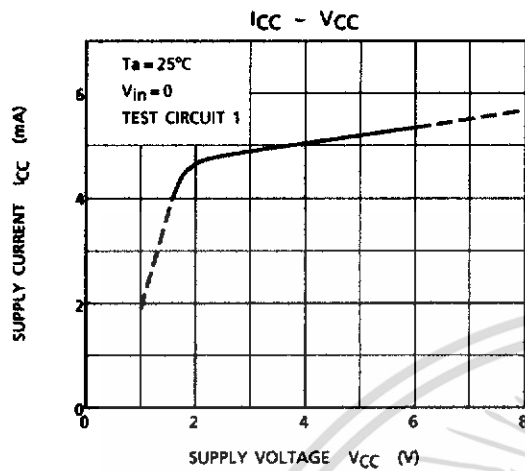
(4)  $r_{op6}$ ,  $C_{op6}$



**TEST CIRCUIT COIL DATA (Japan band for 76.0MHz to 108.0MHz)**

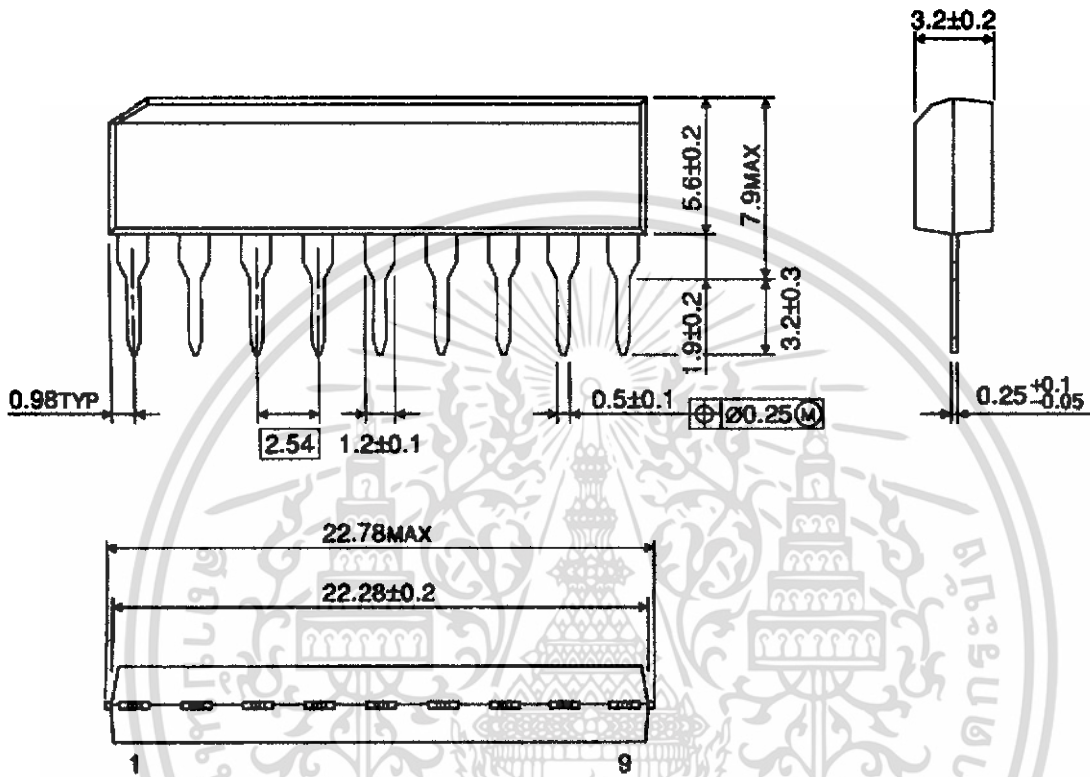
COIL	f <sub>o</sub>	Q <sub>o</sub>	TURNS	CAPACITANCE	
T <sub>1</sub> RF Coil	100MHz	100	0.5mm φ 2 $\frac{1}{4}$ T Center Tap (Japan Band)	15pF (External)	 FERRITE CORE
T <sub>2</sub> OSC Coil	100MHz	100	0.5mm φ 2 $\frac{1}{2}$ T (Japan Band)	15pF (External)	 FERRITE CORE
T <sub>3</sub> IFT Coil	10.7MHz	115	①-③ 12T ④-⑥ 1T Wire 0.12mm φ UEW SUMIDA ELECTRIC Co., LTD. 5764 or equivalent	75pF	 (BOTTOM VIEW)
T <sub>4</sub> Quad Coil	10.7MHz	150	④-⑥ 14T Wire 0.12mm φ UEW SUMIDA ELECTRIC Co., LTD. 44M-933A or equivalent	47pF	 (BOTTOM VIEW)

Band Pass Filter (BPF)  
SOSHIN ELECTRIC Co., LTD. BPWB5  
Tuning Capacitor  
ALPS ELECTRIC Co., LTD. CB41EL933



OUTLINE DRAWING  
SIP9-P-2.54A

Unit : mm



Weight : 0.92g (Typ.)

## Dual D-type flip-flop with set and reset; positive-edge trigger

## 74HC/HCT74

### FEATURES

- Output capability: standard
- I<sub>CC</sub> category: flip-flops

### GENERAL DESCRIPTION

The 74HC/HCT74 are high-speed Si-gate CMOS devices and are pin compatible with low power Schottky TTL (LSTTL). They are specified in compliance with JEDEC standard no. 7A.

The 74HC/HCT74 are dual positive-edge triggered, D-type flip-flops with individual data (D) inputs, clock (CP) inputs, set ( $\bar{S}_D$ ) and reset ( $\bar{R}_D$ ) inputs; also complementary Q and  $\bar{Q}$  outputs.

The set and reset are asynchronous active LOW inputs and operate independently of the clock input. Information on the data input is transferred to the Q output on the LOW-to-HIGH transition of the clock pulse. The D inputs must be stable one set-up time prior to the LOW-to-HIGH clock transition for predictable operation.

Schmitt-trigger action in the clock input makes the circuit highly tolerant to slower clock rise and fall times.

### QUICK REFERENCE DATA

GND = 0 V; T<sub>amb</sub> = 25 °C; t<sub>r</sub> = t<sub>f</sub> = 6 ns

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYPICAL		UNIT
			HC	HCT	
t <sub>PHL</sub> / t <sub>PLH</sub>	propagation delay	C <sub>L</sub> = 15 pF; V <sub>CC</sub> = 5 V			
	nCP to nQ, n $\bar{Q}$		14	15	ns
	n $\bar{S}_D$ to nQ, n $\bar{Q}$		15	18	ns
	n $\bar{R}_D$ to nQ, n $\bar{Q}$		16	18	ns
f <sub>max</sub>	maximum clock frequency		76	59	MHz
C <sub>I</sub>	input capacitance		3.5	3.5	pF
C <sub>PD</sub>	power dissipation capacitance per flip-flop	notes 1 and 2	24	29	pF

### Notes

1. C<sub>PD</sub> is used to determine the dynamic power dissipation (P<sub>D</sub> in  $\mu$ W):

$$P_D = C_{PD} \times V_{CC}^2 \times f_i + \sum (C_L \times V_{CC}^2 \times f_o) \text{ where:}$$

f<sub>i</sub> = input frequency in MHz

f<sub>o</sub> = output frequency in MHz

$\sum (C_L \times V_{CC}^2 \times f_o)$  = sum of outputs

C<sub>L</sub> = output load capacitance in pF

V<sub>CC</sub> = supply voltage in V

2. For HC the condition is V<sub>I</sub> = GND to V<sub>CC</sub>  
For HCT the condition is V<sub>I</sub> = GND to V<sub>CC</sub> - 1.5 V

Dual D-type flip-flop with set and reset;  
positive-edge trigger

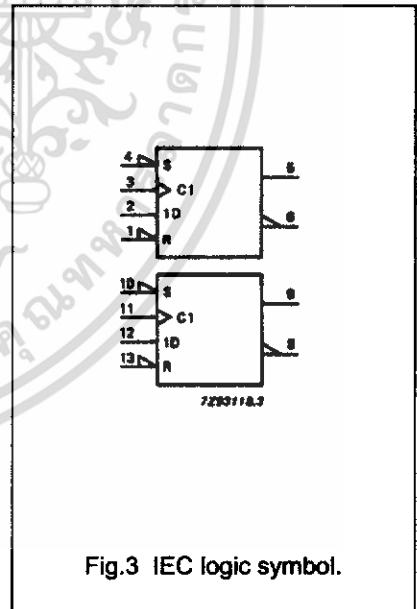
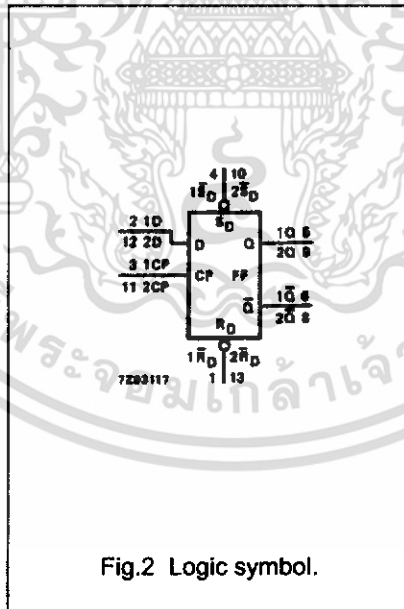
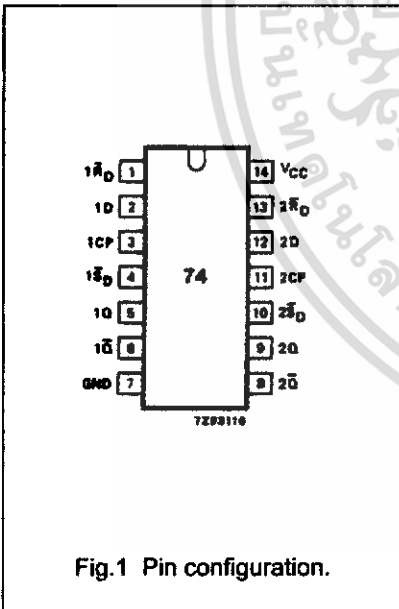
74HC/HCT74

ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
74HC(T)74N	DIP14	plastic dual in-line package; 14 leads (300 mil)	SOT27-1
74HC(T)74D	SO14	plastic small outline package; 14 leads; body width 3.9 mm	SOT108-1
74HCT74DB	SSOP14	plastic shrink small outline package; 14 leads; body width 5.3 mm	SOT337-1
74HCT74PW	TSSOP14	plastic thin shrink small outline package; 14 leads; body width 4.4 mm	SOT402-1

PIN DESCRIPTION

PIN NO.	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
1, 13	$1\bar{R}_D, 2\bar{R}_D$	asynchronous reset-direct input (active LOW)
2, 12	1D, 2D	data inputs
3, 11	1CP, 2CP	clock input (LOW-to-HIGH, edge-triggered)
4, 10	$1\bar{S}_D, 2\bar{S}_D$	asynchronous set-direct input (active LOW)
5, 9	1Q, 2Q	true flip-flop outputs
6, 8	$1\bar{Q}, 2\bar{Q}$	complement flip-flop outputs
7	GND	ground (0 V)
14	V <sub>CC</sub>	positive supply voltage



Dual D-type flip-flop with set and reset;  
positive-edge trigger

74HC/HCT74

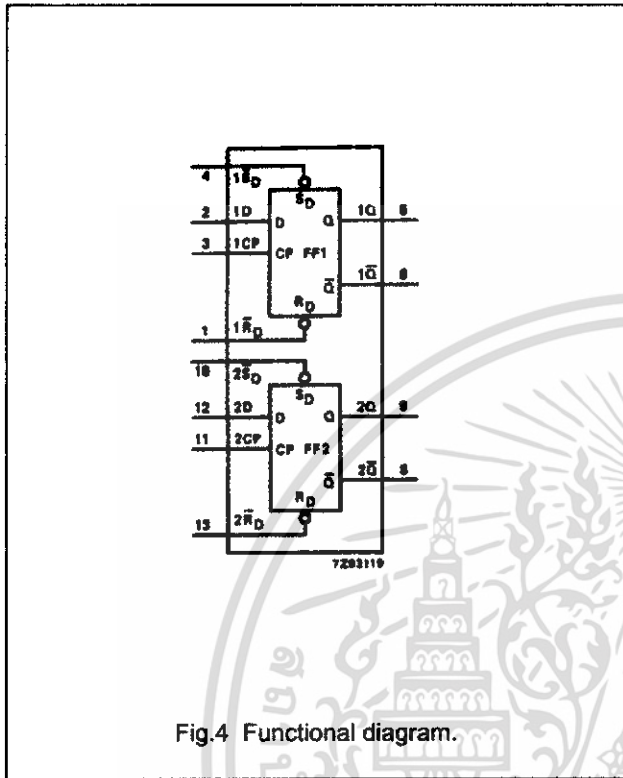


Fig.4 Functional diagram.

FUNCTION TABLE

INPUTS				OUTPUTS	
$\bar{S}_D$	$\bar{R}_D$	CP	D	Q	$\bar{Q}$
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H	H

INPUTS				OUTPUTS	
$\bar{S}_D$	$\bar{R}_D$	CP	D	$Q_{n+1}$	$\bar{Q}_{n+1}$
H	H	↑	L	L	H
H	H	↑	H	H	L

Note

- 1. H = HIGH voltage level
- L = LOW voltage level
- X = don't care
- ↑ = LOW-to-HIGH CP transition
- $Q_{n+1}$  = state after the next LOW-to-HIGH CP transition

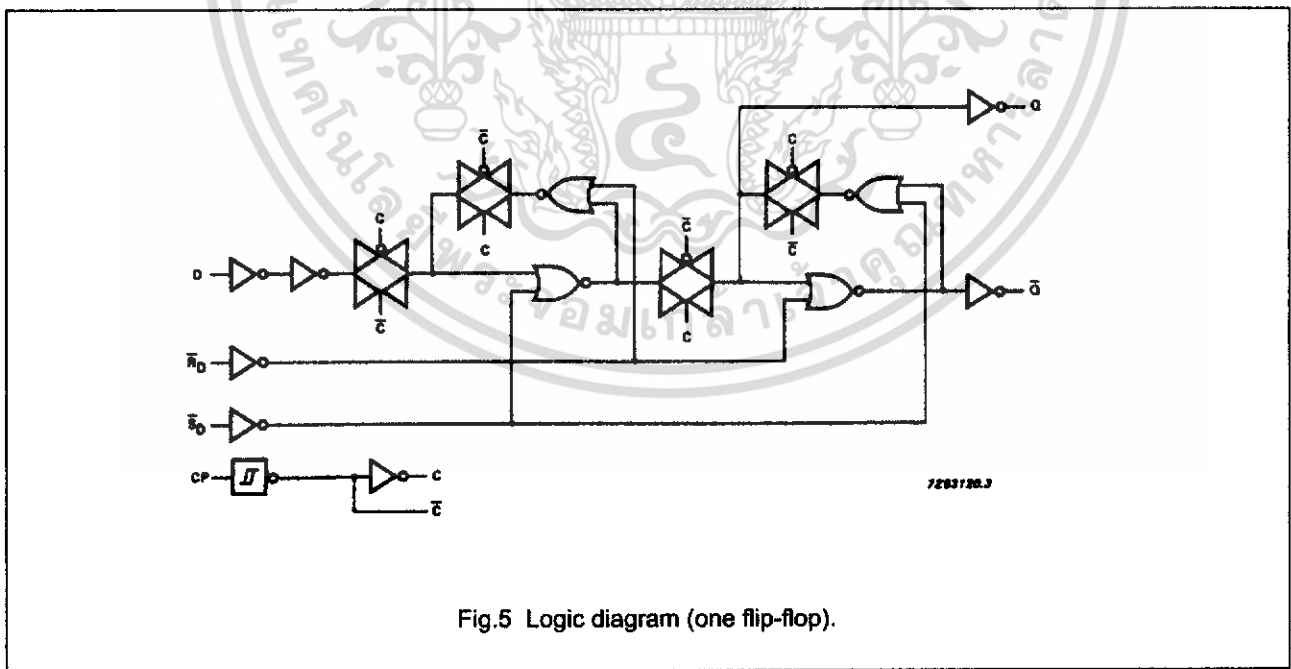


Fig.5 Logic diagram (one flip-flop).

# Dual D-type flip-flop with set and reset; positive-edge trigger

74HC/HCT74

## DC CHARACTERISTICS FOR 74HC

For the DC characteristics see "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Family Specifications".

Output capability: standard

I<sub>CC</sub> category: flip-flops

## AC CHARACTERISTICS

GND = 0 V; t<sub>r</sub> = t<sub>f</sub> = 6 ns; C<sub>L</sub> = 50 pF

SYMBOL	PARAMETER	T <sub>amb</sub> (°C)						UNIT	TEST CONDITIONS		
		74HC							V <sub>CC</sub> (V)	WAVEFORMS	
		+25			-40 to +85		-40 to +125				
		min.	typ.	max.	min.	max.	min.				max.
t <sub>PHL</sub> / t <sub>PLH</sub>	propagation delay nCP to nQ, nQ̄		47	175		220		265	ns	2.0	Fig.6
			17	35		44		53			
			14	30		37		45			
t <sub>PHL</sub> / t <sub>PLH</sub>	propagation delay nS <sub>D</sub> to nQ, nQ̄		50	200		250		300	ns	2.0	Fig.7
			18	40		50		60			
			14	34		43		51			
t <sub>PHL</sub> / t <sub>PLH</sub>	propagation delay nR <sub>D</sub> to nQ, nQ̄		52	200		250		300	ns	2.0	Fig.7
			19	40		50		60			
			15	34		43		51			
t <sub>THL</sub> / t <sub>TLH</sub>	output transition time		19	75		95		110	ns	2.0	Fig.6
			7	15		19		22			
			6	13		16		19			
t <sub>w</sub>	clock pulse width HIGH or LOW	80	19		100		120	ns	2.0	Fig.6	
		16	7		20		24				
		14	6		17		20				
t <sub>w</sub>	set or reset pulse width LOW	80	19		100		120	ns	2.0	Fig.7	
		16	7		20		24				
		14	6		17		20				
t <sub>rem</sub>	removal time set or reset	30	3		40		45	ns	2.0	Fig.7	
		6	1		8		9				
		5	1		7		8				
t <sub>su</sub>	set-up time nD to nCP	60	6		75		90	ns	2.0	Fig.6	
		12	2		15		18				
		10	2		13		15				
t <sub>h</sub>	hold time nCP to nD	3	-6		3		3	ns	2.0	Fig.6	
		3	-2		3		3				
		3	-2		3		3				
f <sub>max</sub>	maximum clock pulse frequency	6.0	23		4.8		4.0	MHz	2.0	Fig.6	
		30	69		24		20				
		35	82		28		24				

1998 Feb 23 นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 5 รัชศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Dual D-type flip-flop with set and reset; positive-edge trigger

74HC/HCT74

### DC CHARACTERISTICS FOR 74HCT

For the DC characteristics see "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Family Specifications".

Output capability: standard

I<sub>CC</sub> category: flip-flops

#### Note to HCT types

The value of additional quiescent supply current ( $\Delta I_{CC}$ ) for a unit load of 1 is given in the family specifications. To determine  $\Delta I_{CC}$  per input, multiply this value by the unit load coefficient shown in the table below.

INPUT	UNIT LOAD COEFFICIENT
nD	0.70
n $\overline{R}_D$	0.70
n $\overline{S}_D$	0.80
nCP	0.80

### AC CHARACTERISTICS FOR 74HCT

GND = 0 V;  $t_r = t_f = 6$  ns;  $C_L = 50$  pF

SYMBOL	PARAMETER	T <sub>amb</sub> (°C)						UNIT	TEST CONDITIONS	
		74HCT							V <sub>CC</sub> (V)	WAVEFORMS
		+25			-40 to +85		-40 to +125			
		min.	typ.	max.	min.	max.	min.			
t <sub>PHL</sub> / t <sub>PLH</sub>	propagation delay nCP to nQ, n $\overline{Q}$	18	35		44		53	ns	4.5	Fig.6
t <sub>PHL</sub> / t <sub>PLH</sub>	propagation delay n $\overline{S}_D$ to nQ, n $\overline{Q}$	23	40		50		60	ns	4.5	Fig.7
t <sub>PHL</sub> / t <sub>PLH</sub>	propagation delay n $\overline{R}_D$ to nQ, n $\overline{Q}$	24	40		50		60	ns	4.5	Fig.7
t <sub>THL</sub> / t <sub>TLH</sub>	output transition time	7	15		19		22	ns	4.5	Fig.6
t <sub>w</sub>	clock pulse width HIGH or LOW	18	9		23		27	ns	4.5	Fig.6
t <sub>w</sub>	set or reset pulse width LOW	16	9		20		24	ns	4.5	Fig.7
t <sub>rem</sub>	removal time set or reset	6	1		8		9	ns	4.5	Fig.7
t <sub>su</sub>	set-up time nD to nCP	12	5		15		18	ns	4.5	Fig.6
t <sub>h</sub>	hold time nCP to nD	3	-3		3		3	ns	4.5	Fig.6
f <sub>max</sub>	maximum clock pulse frequency	27	54		22		18	MHz	4.5	Fig.6

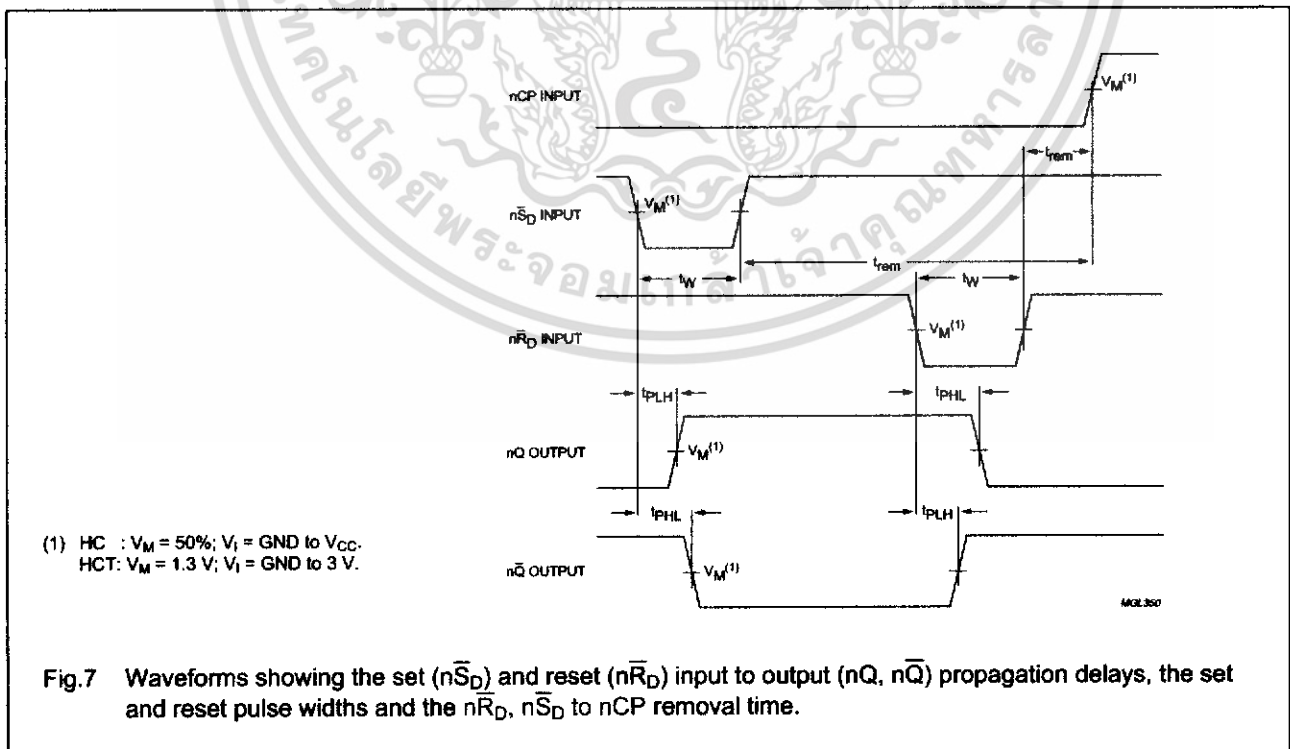
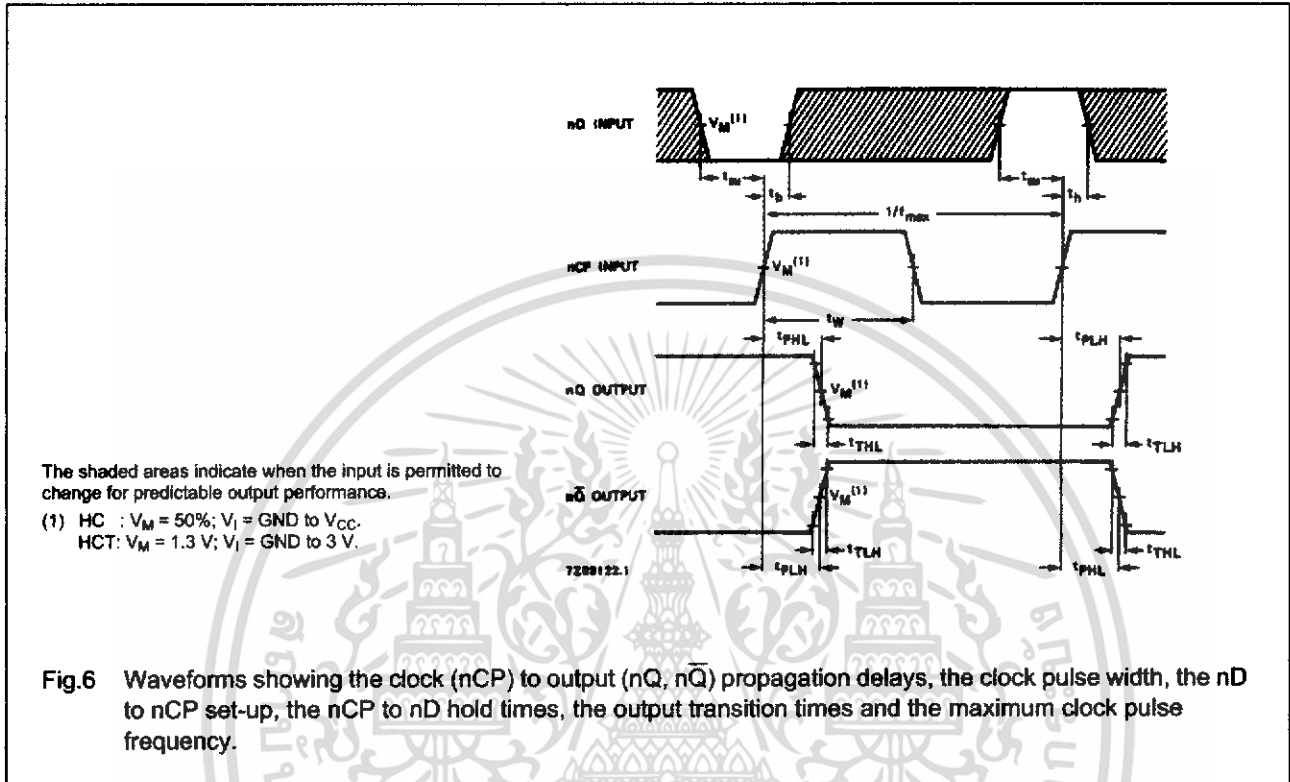
1998 Feb 23 เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dual D-type flip-flop with set and reset;  
positive-edge trigger

74HC/HCT74

AC WAVEFORMS



1998 Feb 23 เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

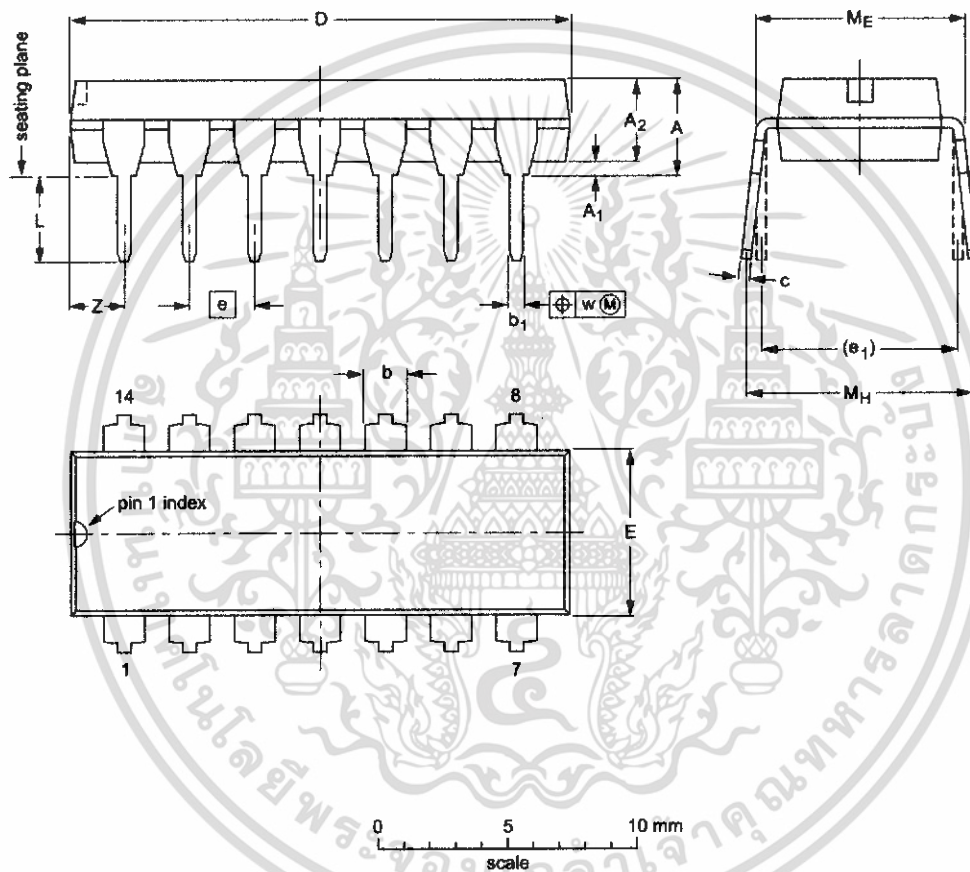
Dual D-type flip-flop with set and reset;  
positive-edge trigger

74HC/HCT74

PACKAGE OUTLINES

DIP14: plastic dual in-line package; 14 leads (300 mil)

SOT27-1



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A <sub>1</sub> min.	A <sub>2</sub> max.	b	b <sub>1</sub>	c	D <sup>(1)</sup>	E <sup>(1)</sup>	e	e <sub>1</sub>	L	M <sub>E</sub>	M <sub>H</sub>	w	Z <sup>(1)</sup> max.
mm	4.2	0.51	3.2	1.73 1.13	0.53 0.38	0.36 0.23	19.50 18.55	6.48 6.20	2.54	7.62	3.60 3.05	8.25 7.80	10.0 8.3	0.254	2.2
inches	0.17	0.020	0.13	0.068 0.044	0.021 0.015	0.014 0.009	0.77 0.73	0.26 0.24	0.10	0.30	0.14 0.12	0.32 0.31	0.39 0.33	0.01	0.087

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT27-1	050G04	MO-001AA				92-11-17 95-03-11

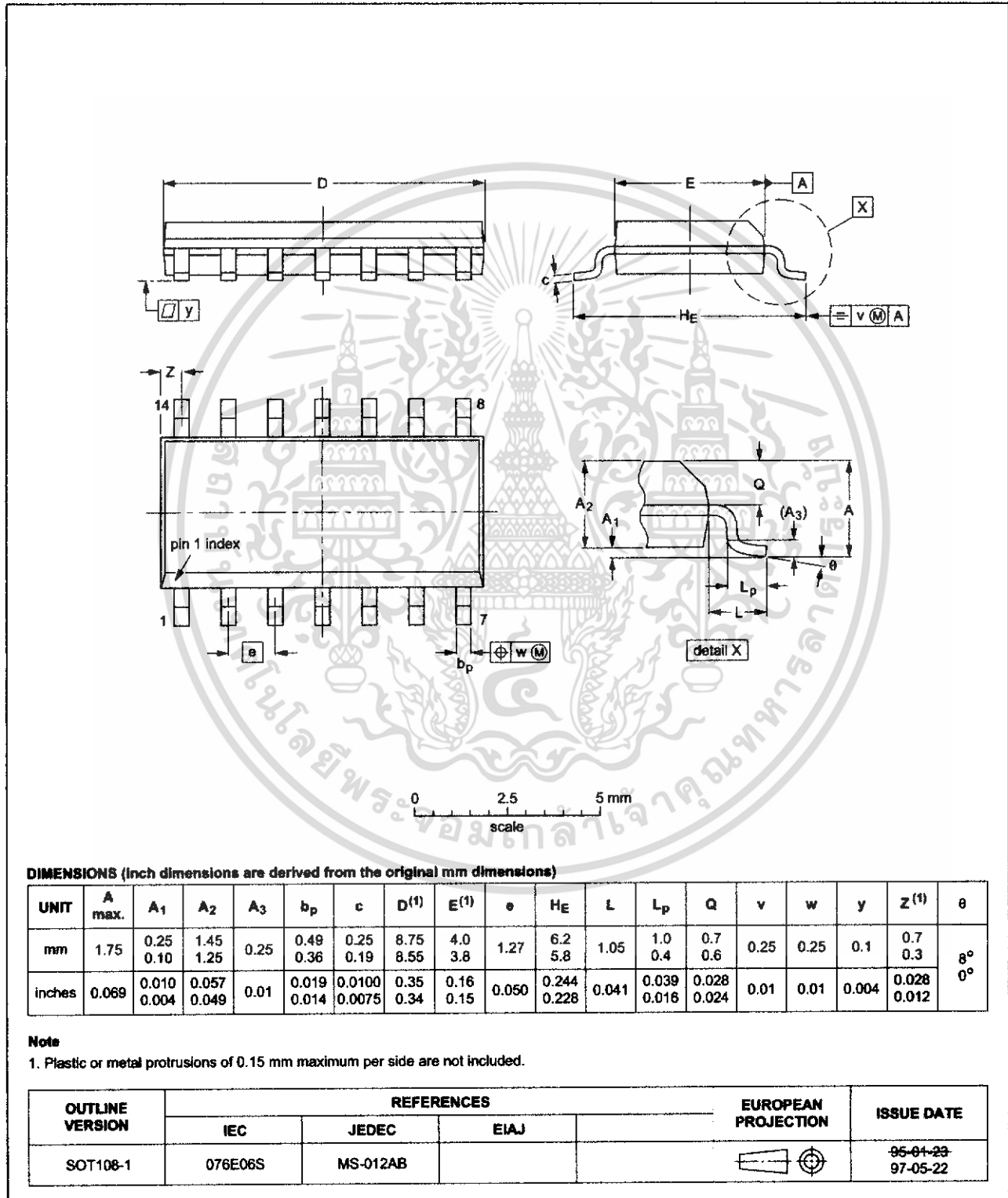
1998 Feb 23 เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dual D-type flip-flop with set and reset;  
positive-edge trigger

74HC/HCT74

SO14: plastic small outline package; 14 leads; body width 3.9 mm

SOT108-1



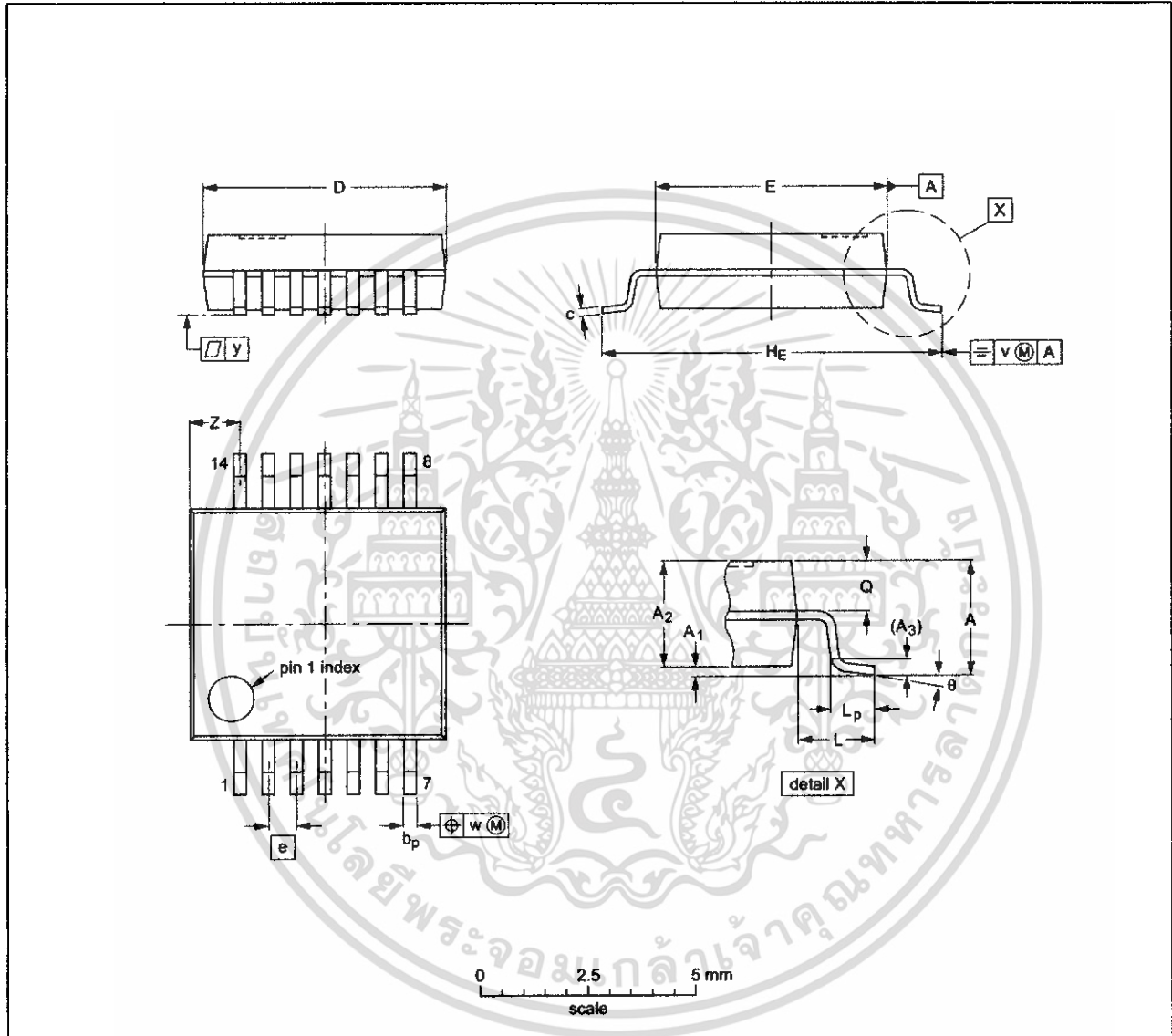
1998 Feb 23 เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dual D-type flip-flop with set and reset;  
positive-edge trigger

74HC/HCT74

SSOP14: plastic shrink small outline package; 14 leads; body width 5.3 mm

SOT337-1



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A max.	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	b <sub>p</sub>	c	D <sup>(1)</sup>	E <sup>(1)</sup>	e	H <sub>E</sub>	L	L <sub>p</sub>	Q	v	w	y	z <sup>(1)</sup>	θ
mm	2.0	0.21 0.05	1.80 1.65	0.25	0.38 0.25	0.20 0.09	6.4 6.0	5.4 5.2	0.65	7.9 7.6	1.25	1.03 0.63	0.9 0.7	0.2	0.13	0.1	1.4 0.9	8° 0°

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT337-1		MO-150AB			95-02-04 96-01-18

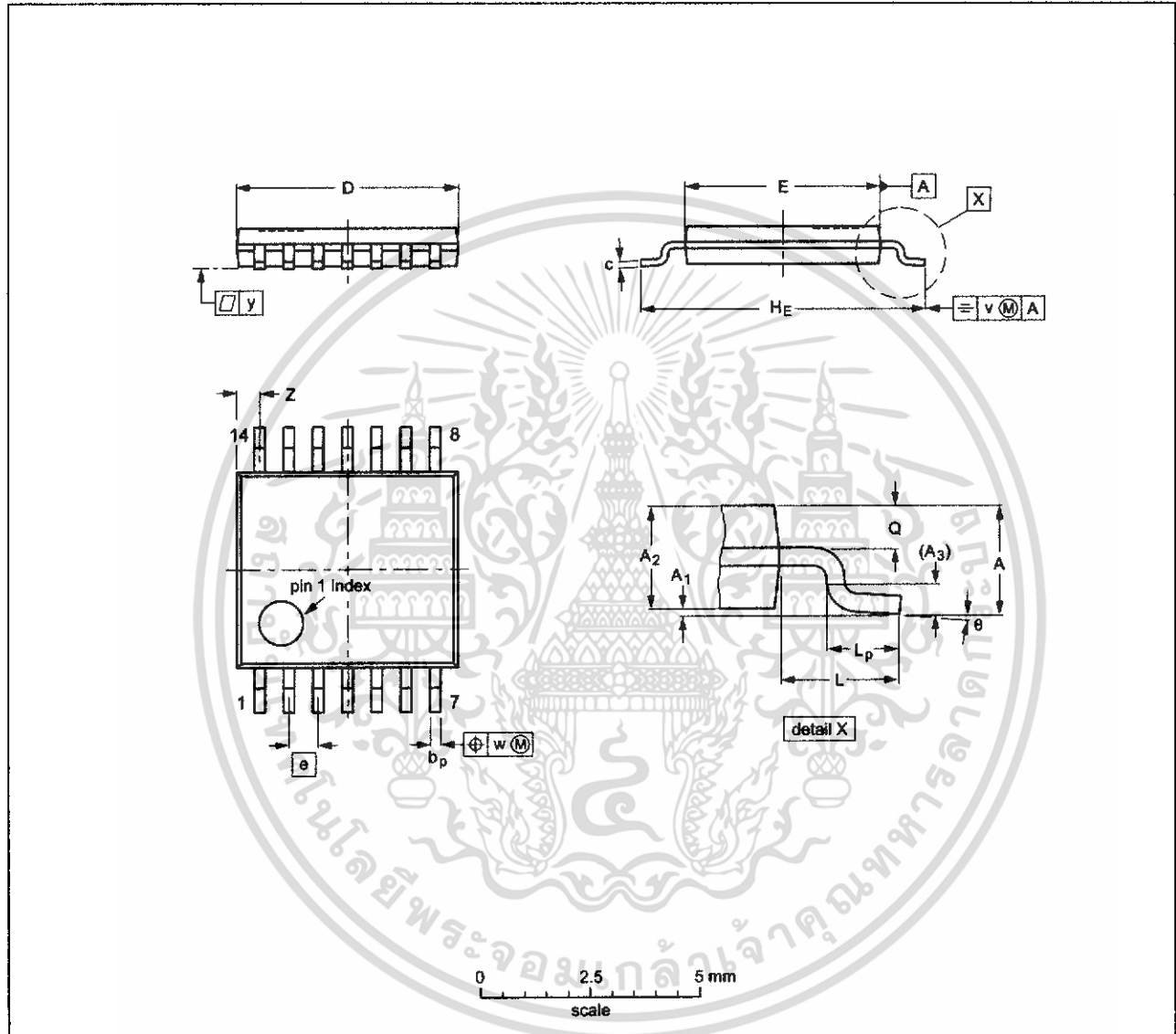
1998 Feb 23 นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 10 วิชาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dual D-type flip-flop with set and reset;  
positive-edge trigger

74HC/HCT74

TSSOP14: plastic thin shrink small outline package; 14 leads; body width 4.4 mm

SOT402-1



**DIMENSIONS** (mm are the original dimensions)

UNIT	A max.	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	b <sub>p</sub>	c	D <sup>(1)</sup>	E <sup>(2)</sup>	e	H <sub>E</sub>	L	L <sub>p</sub>	Q	v	w	y	Z <sup>(1)</sup>	θ
mm	1.10	0.15 0.05	0.95 0.80	0.25	0.30 0.19	0.2 0.1	5.1 4.9	4.5 4.3	0.65	6.6 6.2	1.0	0.75 0.50	0.4 0.3	0.2	0.13	0.1	0.72 0.38	8° 0°

**Notes**

1. Plastic or metal protrusions of 0.15 mm maximum per side are not included.
2. Plastic interlead protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT402-1		MO-153				94-07-12 95-04-04

1998 Feb 23 นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 11 ปรึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Dual D-type flip-flop with set and reset; positive-edge trigger

74HC/HCT74

### SOLDERING

#### Introduction

There is no soldering method that is ideal for all IC packages. Wave soldering is often preferred when through-hole and surface mounted components are mixed on one printed-circuit board. However, wave soldering is not always suitable for surface mounted ICs, or for printed-circuits with high population densities. In these situations reflow soldering is often used.

This text gives a very brief insight to a complex technology. A more in-depth account of soldering ICs can be found in our "IC Package Databook" (order code 9398 652 90011).

#### DIP

##### SOLDERING BY DIPPING OR BY WAVE

The maximum permissible temperature of the solder is 260 °C; solder at this temperature must not be in contact with the joint for more than 5 seconds. The total contact time of successive solder waves must not exceed 5 seconds.

The device may be mounted up to the seating plane, but the temperature of the plastic body must not exceed the specified maximum storage temperature ( $T_{stg\ max}$ ). If the printed-circuit board has been pre-heated, forced cooling may be necessary immediately after soldering to keep the temperature within the permissible limit.

##### REPAIRING SOLDERED JOINTS

Apply a low voltage soldering iron (less than 24 V) to the lead(s) of the package, below the seating plane or not more than 2 mm above it. If the temperature of the soldering iron bit is less than 300 °C it may remain in contact for up to 10 seconds. If the bit temperature is between 300 and 400 °C, contact may be up to 5 seconds.

### SO, SSOP and TSSOP

#### REFLOW SOLDERING

Reflow soldering techniques are suitable for all SO, SSOP and TSSOP packages.

Reflow soldering requires solder paste (a suspension of fine solder particles, flux and binding agent) to be applied to the printed-circuit board by screen printing, stencilling or pressure-syringe dispensing before package placement.

Several techniques exist for reflowing; for example, thermal conduction by heated belt. Dwell times vary between 50 and 300 seconds depending on heating method.

Typical reflow temperatures range from 215 to 250 °C. Preheating is necessary to dry the paste and evaporate the binding agent. Preheating duration: 45 minutes at 45 °C.

#### WAVE SOLDERING

Wave soldering can be used for all SO packages. Wave soldering is **not** recommended for SSOP and TSSOP packages, because of the likelihood of solder bridging due to closely-spaced leads and the possibility of incomplete solder penetration in multi-lead devices.

If wave soldering is used - **and cannot be avoided for SSOP and TSSOP packages** - the following conditions must be observed:

- A double-wave (a turbulent wave with high upward pressure followed by a smooth laminar wave) soldering technique should be used.
- The longitudinal axis of the package footprint must be parallel to the solder flow and must incorporate solder thieves at the downstream end.

#### Even with these conditions:

- **Only consider wave soldering SSOP packages that have a body width of 4.4 mm, that is SSOP16 (SOT369-1) or SSOP20 (SOT266-1).**
- **Do not consider wave soldering TSSOP packages with 48 leads or more, that is TSSOP48 (SOT362-1) and TSSOP56 (SOT364-1).**

During placement and before soldering, the package must be fixed with a droplet of adhesive. The adhesive can be applied by screen printing, pin transfer or syringe dispensing. The package can be soldered after the adhesive is cured.

Maximum permissible solder temperature is 260 °C, and maximum duration of package immersion in solder is 10 seconds, if cooled to less than 150 °C within 6 seconds. Typical dwell time is 4 seconds at 250 °C.

A mildly-activated flux will eliminate the need for removal of corrosive residues in most applications.

##### REPAIRING SOLDERED JOINTS

Fix the component by first soldering two diagonally-opposite end leads. Use only a low voltage soldering iron (less than 24 V) applied to the flat part of the lead. Contact time must be limited to 10 seconds at up to 300 °C. When using a dedicated tool, all other leads can be soldered in one operation within 2 to 5 seconds between 270 and 320 °C.

1998 Feb 23 นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 12 ปรึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Dual D-type flip-flop with set and reset; positive-edge trigger

74HC/HCT74

### DEFINITIONS

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

### LIFE SUPPORT APPLICATIONS

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

## Dual 2-to-4 line decoder/demultiplexer

## 74HC/HCT139

### FEATURES

- Demultiplexing capability
- Two independent 2-to-4 decoders
- Multifunction capability
- Active LOW mutually exclusive outputs
- Output capability: standard
- I<sub>CC</sub> category: MSI

### GENERAL DESCRIPTION

The 74HC/HCT139 are high-speed Si-gate CMOS devices and are pin compatible with low power Schottky TTL (LSTTL). It is specified in compliance with JEDEC standard no. 7A.

The 74HC/HCT139 are high-speed, dual 2-to-4 line decoder/multiplexers. This device has two independent decoders, each accepting two binary weighted inputs ( $nA_0$  and  $nA_1$ ) and providing four mutually exclusive active LOW outputs ( $n\bar{Y}_0$  to  $n\bar{Y}_3$ ). Each decoder has an active LOW enable input ( $n\bar{E}$ ).

When  $n\bar{E}$  is HIGH, every output is forced HIGH. The enable can be used as the data input for a 1-to-4 demultiplexer application.

The "139" is identical to the HEF4556 of the HE4000B family.

### QUICK REFERENCE DATA

GND = 0 V; T<sub>amb</sub> = 25 °C; t<sub>r</sub> = t<sub>f</sub> = 6 ns

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYPICAL		UNIT
			HC	HCT	
t <sub>PHL</sub> / t <sub>PLH</sub>	propagation delay	C <sub>L</sub> = 15 pF; V <sub>CC</sub> = 5 V			
	nA <sub>n</sub> to n $\bar{Y}_n$		11	13	ns
	n $\bar{E}_3$ to n $\bar{Y}_n$		10	13	ns
C <sub>I</sub>	input capacitance		3.5	3.5	pF
C <sub>PD</sub>	power dissipation capacitance per multiplexer	notes 1 and 2	42	44	pF

### Notes

1. C<sub>PD</sub> is used to determine the dynamic power dissipation (P<sub>D</sub> in μW):

$$P_D = C_{PD} \times V_{CC}^2 \times f_i + \sum (C_L \times V_{CC}^2 \times f_o) \text{ where:}$$

f<sub>i</sub> = input frequency in MHz

f<sub>o</sub> = output frequency in MHz

∑ (C<sub>L</sub> × V<sub>CC</sub><sup>2</sup> × f<sub>o</sub>) = sum of outputs

C<sub>L</sub> = output load capacitance in pF

V<sub>CC</sub> = supply voltage in V

2. For HC the condition is V<sub>I</sub> = GND to V<sub>CC</sub>  
For HCT the condition is V<sub>I</sub> = GND to V<sub>CC</sub> - 1.5 V

### APPLICATIONS

- Memory decoding or data-routing
- Code conversion

### ORDERING INFORMATION

See "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Package Information".

September 1993

Dual 2-to-4 line decoder/demultiplexer

74HC/HCT139

PIN DESCRIPTION

PIN NO.	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
1, 15	$1\bar{E}, 2\bar{E}$	enable inputs (active LOW)
2, 3	$1A_0, 1A_1$	address inputs
4, 5, 6, 7	$1\bar{Y}_0$ to $1\bar{Y}_3$	outputs (active LOW)
8	GND	ground (0 V)
12, 11, 10, 9	$2\bar{Y}_0$ to $2\bar{Y}_3$	outputs (active LOW)
14, 13	$2A_0, 2A_1$	address inputs
16	V <sub>CC</sub>	positive supply voltage

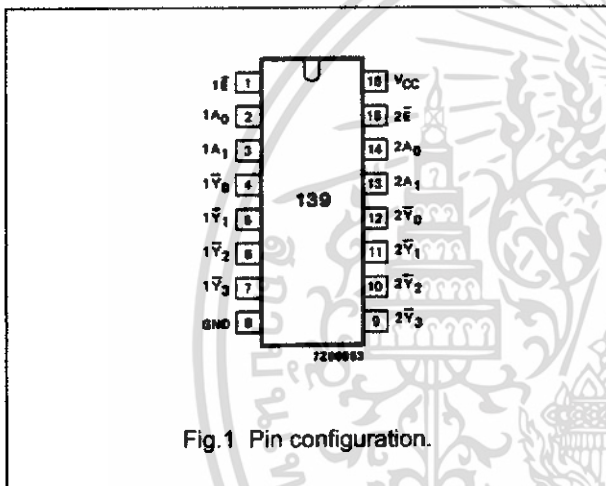


Fig. 1 Pin configuration.

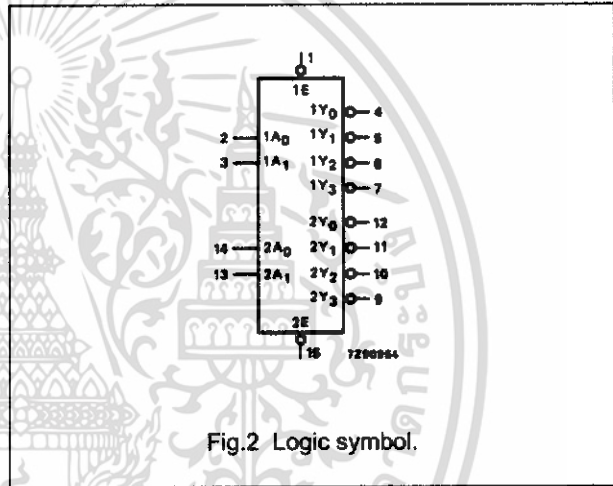


Fig. 2 Logic symbol.



Fig. 3 IEC logic symbol.

Dual 2-to-4 line decoder/demultiplexer

74HC/HCT139

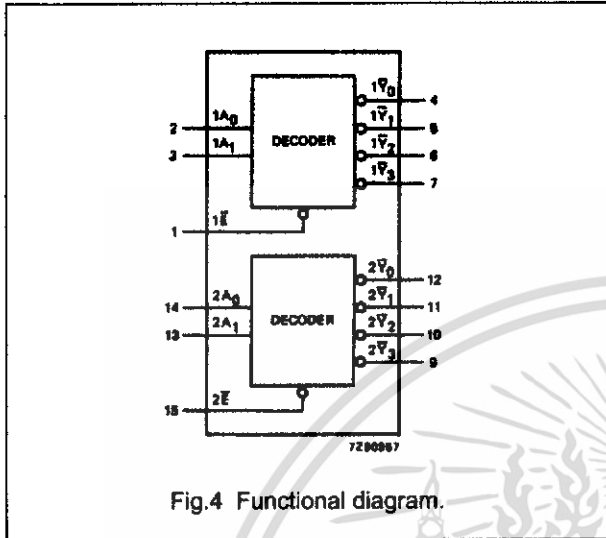


Fig.4 Functional diagram.

FUNCTION TABLE

INPUTS			OUTPUTS			
$n\bar{E}$	$nA_0$	$nA_1$	$n\bar{Y}_0$	$n\bar{Y}_1$	$n\bar{Y}_2$	$n\bar{Y}_3$
H	X	X	H	H	H	H
L	L	L	L	H	H	H
L	H	L	H	L	H	H
L	L	H	H	H	L	H
L	H	H	H	H	H	L

Notes

- 1. H = HIGH voltage level
- L = LOW voltage level
- X = don't care

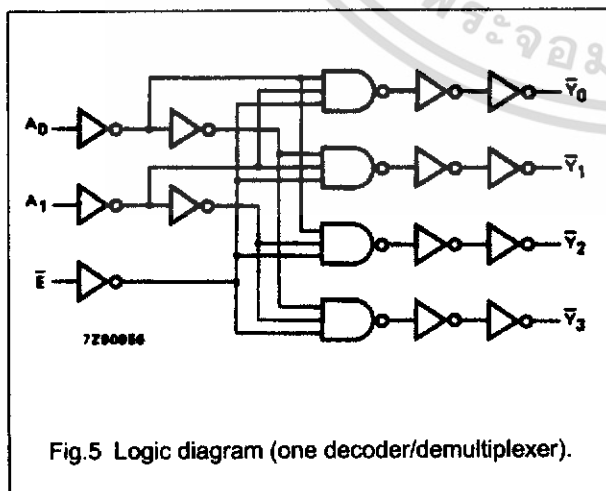


Fig.5 Logic diagram (one decoder/demultiplexer).

Dual 2-to-4 line decoder/demultiplexer

74HC/HCT139

DC CHARACTERISTICS FOR 74HC

For the DC characteristics see "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Family Specifications".

Output capability: standard

I<sub>CC</sub> category: MSI

AC CHARACTERISTICS FOR 74HC

GND = 0 V; t<sub>r</sub> = t<sub>f</sub> = 6 ns; C<sub>L</sub> = 50 pF

SYMBOL	PARAMETER	T <sub>amb</sub> (°C)						UNIT	TEST CONDITIONS			
		74HC							V <sub>CC</sub> (V)	WAVEFORMS		
		+25			-40 to +85		-40 to +125					
		min.	typ.	max.	min.	max.	min.				max.	
t <sub>PHL</sub> / t <sub>PLH</sub>	propagation delay nA <sub>n</sub> to $\bar{Y}_n$	39	14	145	29	180	36	220	44	ns	2.0	Fig.6
		11	25		31		38			4.5		
										6.0		
t <sub>PHL</sub> / t <sub>PLH</sub>	propagation delay n $\bar{E}$ to n $\bar{Y}_n$	33	12	135	27	170	34	205	41	ns	2.0	Fig.7
		10	23		29		35			4.5		
										6.0		
t <sub>THL</sub> / t <sub>TLH</sub>	output transition time	19	7	75	15	95	19	110	22	ns	2.0	Figs 6 and 7
		6	13		16		19			4.5		
										6.0		

## Dual 2-to-4 line decoder/demultiplexer

## 74HC/HCT139

**DC CHARACTERISTICS FOR HCT**

For the DC characteristics see "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Family Specifications".

Output capability: standard

I<sub>CC</sub> category: MSI

**Note to HCT types**

The value of additional quiescent supply current ( $\Delta I_{CC}$ ) for a unit load of 1 is given in the family specifications. To determine  $\Delta I_{CC}$  per input, multiply this value by the unit load coefficient shown in the table below.

INPUT	UNIT LOAD COEFFICIENT
1A <sub>n</sub>	0.70
2A <sub>n</sub>	0.70
nE	1.35

**AC CHARACTERISTICS FOR 74HCT**

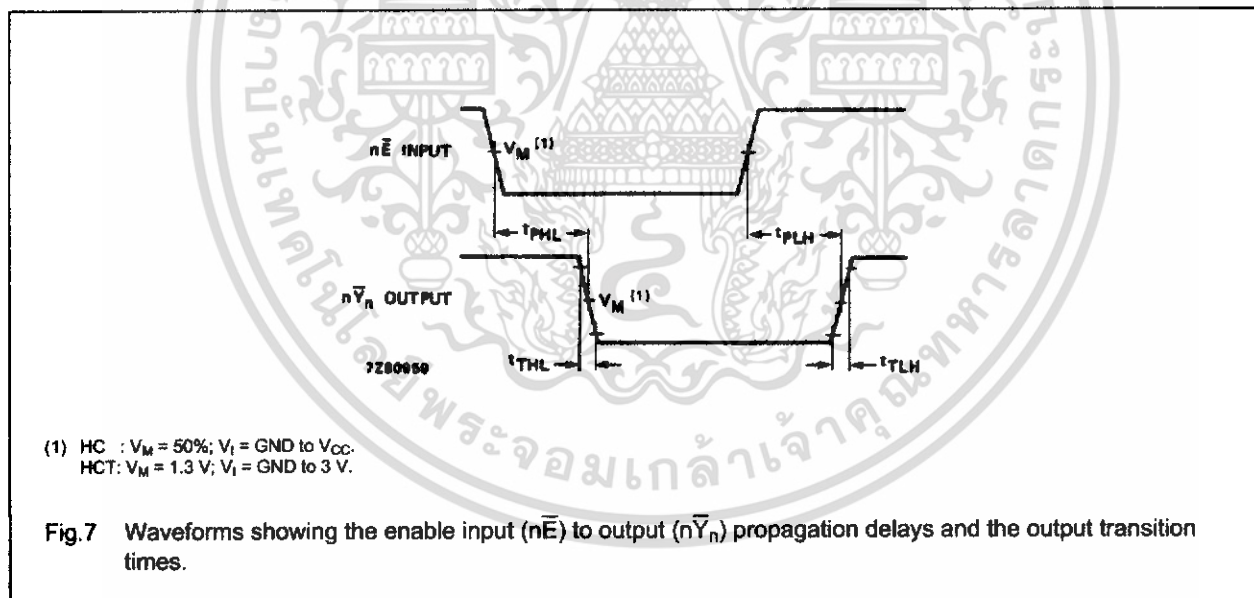
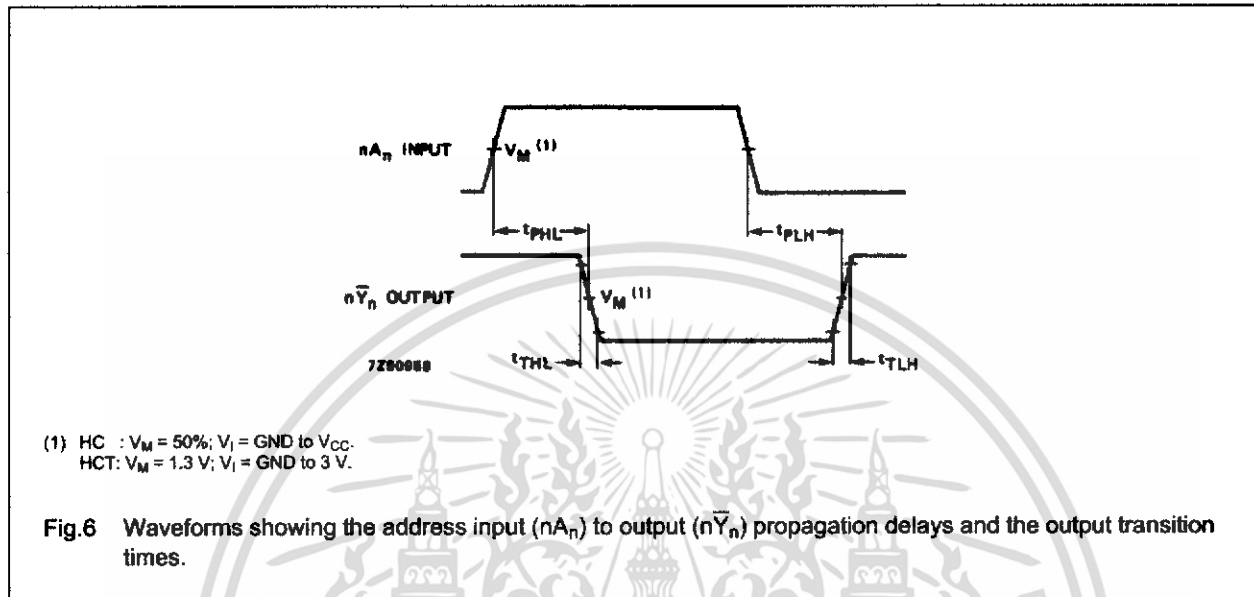
GND = 0 V; t<sub>r</sub> = t<sub>f</sub> = 6 ns; C<sub>L</sub> = 50 pF

SYMBOL	PARAMETER	T <sub>amb</sub> (°C)						UNIT	TEST CONDITIONS		
		74HCT							V <sub>CC</sub> (V)	WAVEFORMS	
		+25			-40 to +85		-40 to +125				
		min.	typ.	max.	min.	max.	min.				max.
t <sub>PHL</sub> /t <sub>PLH</sub>	propagation delay nA <sub>n</sub> to $\bar{Y}_n$		16	34		43		51	ns	4.5	Fig.6
t <sub>PHL</sub> /t <sub>PLH</sub>	propagation delay nE to n $\bar{Y}_n$		16	34		43		51	ns	4.5	Fig.7
t <sub>THL</sub> /t <sub>TLH</sub>	output transition time		7	15		19		22	ns	4.5	Figs 6 and 7

Dual 2-to-4 line decoder/demultiplexer

74HC/HCT139

AC WAVEFORMS



PACKAGE OUTLINES

See "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Package Outlines".