

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ

Radio Frequency Identification



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

b. ก 1365
f.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ

Radio Frequency Identification

โดย

นางสาวกมลรัตน์ คำบอน รหัส 47010009

นายฉัตรชัย พงษ์หิรัญ รหัส 47010124

นายชยานนท์ ขาวปรีสุทธ์ รหัส 47010145

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ประภากร สุวรรณะ

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2550


ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

เรื่อง ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification)

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกมลรัตน์ คำบอน รหัสนักศึกษา 47010009
2. นายฉัตรชัย พงษ์หิรัญ รหัสนักศึกษา 47010124
3. นายชยานนท์ ขาวปรีสุทธิ รหัสนักศึกษา 47010145



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ประภากร สุวรรณะ)

17/10/2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ

นางสาวกมลรัตน์ คำบอน รหัส 47010009
นายฉัตรชัย พงษ์หิรัญ รหัส 47010124
นายชยานนท์ ขาวปรีสุทธ์ รหัส 47010145
ผศ.ประภากร สุวรรณะ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบของ ระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องอ่านรหัส, ส่วนป้ายชื่อ และเครื่องเขียนรหัส โดยในการอ่านรหัส ระบบนี้จะประกอบด้วย ส่วนเครื่องอ่านรหัส และส่วนป้ายชื่อ โดยในการอ่านรหัสและเขียนรหัสจะใช้การส่งผ่านแบบไร้สายโดยใช้คลื่นสนามแม่เหล็กซึ่งในโครงการนี้ใช้ที่ความถี่ 13.56 เมกกะเฮิร์ต โดยมี การมอดูเลชันแบบ FSK (Frequency shift keying) ซึ่ง RFID มีทั้งส่วนที่เป็นวงจร อนุาถ็อก และ ดิจิตอล โดยในส่วนที่เป็น อนุาถ็อก ประกอบด้วย วงจร โหลดมอดูเลชัน, วงจรขยายกำลัง, วงจร ออสซิลเลเตอร์ และวงจรมอดูเลชัน และในส่วนที่เป็น ดิจิตอล ได้มีการใช้ภาษาซี เขียน โปรแกรมลงใน PIC ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลขนาดเล็ก ชนิดหนึ่ง

ในภาคเรียนนี้เป็นการออกแบบวงจรขับขลวดของเครื่องอ่านที่มีกำลัง 2 วัตต์ ที่โหลด 10 โอห์ม วงจรมะทซึ่งกับสายอากาศซึ่งอยู่ในรูปขลวด และหาข้อมูลกำลังที่ใช้ในการขับขลวดของเครื่องอ่านเพื่อให้ได้แรงดัน ไฟตรงที่ส่วนป้ายชื่อ ค่าต่างๆ รวมทั้งการเขียน โปรแกรมควบคุมให้ หน่วยประมวลผลสามารถรับและส่งข้อมูลกันได้

Radio Frequency Identification

Miss Kamolrat Kambon ID.47010009

MR. Chaichaht Phonghirun ID.47010124

MR. Chayanon Khaoparisut ID.47010145

Asst prof. Prapakorn Suwanna Advisor

Educational Year 2007

Abstract

This project is the design of a RFID Module (Radio Frequency Identification) which include reader, tag and writer. Both reading and writing use contact less by 13.56 MHz magnetic field with Frequency shift keying (FSK). This project has analog part and digital part. In analog part which include Power Amplifier circuit, Lode Modulation circuit, Oscillator circuit and Demodulation circuit etc. In digital part, We use C language to program in Microprocessor , PIC.

This project about design circuit to drive the reader coil has power 2 Watt. at load = 10 Ohm. and about find the power for drive the reader coil for transfer DC voltage to tag

กิตติกรรมประกาศ

โครงการและรายงานฉบับนี้ สามารถ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากหลายบุคคล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ.ประภากร สุวรรณะ ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ในการทำโครงการนี้ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือต่างๆ จาก เพื่อนๆ และพี่วิศวกรรมศาสตร์ต่อเนื่อง (3R)

จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวกมลรัตน์ คำบอน
นายฉัตรชัย พงษ์หิรัญ
นายชยานนท์ ขาวปรีสุทธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
สารบัญ	III
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ RFID	2
1.1 ประวัติความเป็นมา	2
1.2 วิวัฒนาการของ RFID	2
1.3 หลักการทำงานเบื้องต้น	3
1.4 คลื่นพาหะในระบบ RFID	4
1.5 มาตรฐาน Standardization	6
1.6 ข้อดีของระบบ RFID เมื่อเปรียบเทียบกับระบบบาร์โค้ด	7
บทที่ 2 ทฤษฎี	8
2.1 ประเภทของ RFID	8
2.1.1 RFID ที่จำแนกโดยขนาดของหน่วยความจำ	8
2.1.2 RFID ที่จำแนกโดยลักษณะการสื่อสาร	9
2.1.3 RFID ที่จำแนกตามความสามารถของระบบ	9
2.2 ส่วนประกอบของระบบ RFID	10
2.2.1 เครื่องลูกข่าย (Transponder/Tags)	11
2.2.1.1 ประเภทของเครื่องลูกข่าย	12
2.2.2 เครื่องอ่าน (Reader/Interrogator)	15
2.3 วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน	16
2.4 หลักการทำงานของระบบ RFID	17
2.5 การสื่อสารแบบไร้สาย	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 การเข้ารหัสและการมอดูเลชัน (Coding and Modulation)	18
2.6.1 การเข้ารหัสสัญญาณ (Signal coding)	19
2.6.2 การมอดูเลตข้อมูลแบบดิจิทัล (Digital Modulation Procedure)	22
2.7 ลักษณะการทำงานรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ	24
2.8 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing	25
2.8.1 เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling	26
2.8.2 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน	26
2.9 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน	28
2.10 คุณลักษณะของการกำทอน และคุณภาพของการกำทอน (Quality Factor, Q)	29
2.11 วงจรเรโซแนนซ์	31
2.11.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	32
2.11.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	33
2.11.3 ค่าประสิทธิภาพ (Q) และแบนวิดธ์	35
2.12 ค่าเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance)	36
2.12.1 พลังงานในวงจรที่เชื่อมโยงกัน (Energy in a Coupled Circuit)	38
2.12.2 หม้อแปลงแบบเชิงเส้น (Linear Transformers)	39
2.13 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการออกแบบสายอากาศขดลวด	39
2.13.1 การเหนี่ยวนำแรงดันในสายอากาศขดลวด	41
2.13.2 ชนิดและความต้านทานที่สูญเสียของลวด	45
2.13.2.1 ขนาดและค่าความต้านทานทางด้านไฟกระแสดตรง	45
2.13.2.2 ค่าความต้านทานทางด้านไฟกระแสลบของลวด	46
2.13.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด	47
2.13.3.1 ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวด	48
2.13.3.2 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด	48
2.13.3.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบลูปวงกลม	49
2.13.3.4 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดลูปสี่เหลี่ยม	49
2.14 โครงสร้างของสายอากาศขดลวด	50
2.14.1 สายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย	50
2.14.2 สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน	51
2.15 วงจรแมตชิ่ง (Matching)	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 หลักการทำงานและออกแบบ	55
3.1 การคำนวณวงจรในส่วนเครื่องลูกข่าย	55
3.2 การคำนวณของวงจรขับ Reader	63
3.3 การคำนวณหาค่า Bandwidth	66
3.4 การคำนวณ Matching	68
3.5 วงจรภาค Demodulator	73
3.6 ส่วนซอฟต์แวร์	75
3.6.1 ไฟล์ซาร์ทของเครื่องลูกข่าย	75
3.6.2 ไฟล์ซาร์ทของเครื่องอ่าน	76
บทที่ 4 ผลการทดลอง	79
4.1 ผลการทดลองของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่าย	79
4.2 ภาพแสดงสัญญาณ ณ จุดต่างๆ ของวงจร เครื่องลูกข่าย.....	83
4.3 ภาพแสดงสัญญาณ ณ จุดต่างๆ ของวงจรเครื่องอ่าน	91
บทที่ 5 บทสรุป	94
ภาคผนวก.....	95
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	แสดงย่านความถี่ต่างๆ ของคลื่นพาหะในระบบ RFID และการนำไปใช้	5
ตารางที่ 2.1	ความหลากหลายของชิพที่ใช้บันทึกข้อมูลในเครื่องลูกข่าย RFID แยกตามประเภทของการประยุกต์ใช้งานและเปรียบเทียบกับภารกิจกระแสไฟฟ้าและคุณลักษณะด้านอื่นๆ	28
ตารางที่ 2.2	ค่าแสดงคุณลักษณะของการกำทอนของวงจรของวงจร R-L-C	31
ตารางที่ 2.3	แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับด้านในและสารเคลือบโลหะของลวดและค่าความต้านทานทางด้านไฟกระแสตรง	46
ตารางที่ 3.1	แสดงค่าของกระแสที่ส่วนต่างๆ ในวงจรของเครื่องลูกข่ายต้องการ	58
ตารางที่ 3.2	แสดงการคำนวณการหาค่า R_L , P_o และ Z_o	71
ตารางที่ 4.1	แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ $R_L = \infty$	79
ตารางที่ 4.2	แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ $R_L = 390\Omega$	80
ตารางที่ 4.3	แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ $R_L = 500\Omega$	80
ตารางที่ 4.4	แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ $R_L = 1k\Omega$	81
ตารางที่ 4.6	แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ $R_L = 2k\Omega$	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1	แสดงภาพรวมของระบบ RFID	3
รูปที่ 1.2	แสดงย่านความถี่ของคลื่นพาหะที่ระบบ RFID ถูกใช้งาน	4
รูปที่ 2.1	ส่วนประกอบของระบบ RFID	11
รูปที่ 2.2	Active Tag ที่มีแบตเตอรี่ Lithium 2 ก้อน อยู่ภายนอก	13
รูปที่ 2.3	Passive Tag แบบต่างๆ	14
รูปที่ 2.4	แสดงบล็อกไดอะแกรมของ Passive Tag	14
รูปที่ 2.5	แสดงโครงสร้างภายในเครื่องอ่าน	15
รูปที่ 2.6	แสดงรูปตัวอย่างเครื่องอ่านแบบต่างๆ	16
รูปที่ 2.7	การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล	18
รูปที่ 2.8	แสดงการส่งผ่านข้อมูลและสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบดิจิทัล	18
รูปที่ 2.9	ชนิดของไลน์โค้ดในระบบ RFID	21
รูปที่ 2.10	การสอดคูเลตข้อมูลแบบต่างๆ	23
รูปที่ 2.11	ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex , Half Duplex และ Sequential	25
รูปที่ 2.12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและคุณภาพการกำหนดของวงจรอนุกรม RLC	30
รูปที่ 2.13	แสดงวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม	32
รูปที่ 2.14	แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	34
รูปที่ 2.15	ค่าประสิทธิภาพกับรูปแบบการมอดูเลต	35
รูปที่ 2.16	ฟลักซ์สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น	36
รูปที่ 2.17	ขดลวดที่ค่า Self-Inductance เท่ากับ L_1 และ L_2	37
รูปที่ 2.18	ทิศทางของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวด	38
รูปที่ 2.19	สัมประสิทธิ์การกลับถึง	39
รูปที่ 2.20	การคำนวณของสนามแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) ที่ลวดตัวนำ	40
รูปที่ 2.21	การคำนวณของสนามแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) เข้าลูป	41
รูปที่ 2.22	การลดลงของค่าสนามแม่เหล็ก B กับระยะ r	41
รูปที่ 2.23	พื้นฐาน โครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านและสายอากาศเครื่องลูกข่าย ในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ	42
รูปที่ 2.24	การปรับทิศทางของสายอากาศของเครื่องลูกข่ายให้เหมาะสม	43
รูปที่ 2.25	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส – รอบกับระยะการอ่าน	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 2.26	รูปของขดลวด	48
รูปที่ 2.27	สายอากาศขดลวดรูปวงกลมแกนอากาศจำนวนรอบใด ๆ	49
รูปที่ 2.28	สายอากาศขดลวดแบบลูปลี่เหลี่ยม	50
รูปที่ 2.29	รัศมีของโครงสร้างของสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย	50
รูปที่ 2.30	สายอากาศรูปทรานฟอร์มเมอร์ของเครื่องอ่าน	51
รูปที่ 2.31	วงจรแมตซ์ชิงแบบต่างๆ	52
รูปที่ 2.32	วงจรโครงข่ายแมตซ์ชิงแบบต่างๆ	53
รูปที่ 3.1	บล็อกไดอะแกรมของวงจรของเครื่องลูกข่าย	55
รูปที่ 3.2	Continuous Drive TAG Power Supply	56
รูปที่ 3.3	วงจร Clock Generator	56
รูปที่ 3.4	วงจร Load Modulator	57
รูปที่ 3.5	วงจร TAG Regulation	58
รูปที่ 3.6	การเปลี่ยนแปลงค่า V_{TAG} ที่เกิดจากผลของการ MOD ของ Reader	61
รูปที่ 3.7	วงจร Modulator	66
รูปที่ 3.8	Sub carrier FSK Bandwidth.....	67
รูปที่ 3.9	Bandwidth ของระบบ.....	68
รูปที่ 3.10	Main Carrier Demodulator and LPF.....	73
รูปที่ 3.11	วงจร Adaptive Threshold comparator.....	74
รูปที่ 3.12	โพลีซาร์ทการทำงานของเครื่องลูกข่าย	75
รูปที่ 3.13	โพลีซาร์ทการทำงานของอินเตอร์รัปต์ของเครื่องอ่าน	76
รูปที่ 3.14	โพลีซาร์ทการทำงานของเครื่องอ่าน	77
รูปที่ 3.15	โพลีซาร์ทการทำงานของฟังก์ชันการตรวจสอบ ID.....	78
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน Regulator กับระยะห่าง	82
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน Test Point กับระยะห่าง	82
รูปที่ 4.3	สัญญาณที่ได้จาก Clock Generator.....	83
รูปที่ 4.4	สัญญาณที่ได้จาก Programmable frequency divider กรณีที่ป้อน DATA = 1	84
รูปที่ 4.5	สัญญาณที่ได้จาก Programmable frequency divider กรณีที่ป้อน DATA = 0.....	84
รูปที่ 4.6	สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 1 ($f_o = f_c/32$) ที่ระยะ 0.5 cm..	85
รูปที่ 4.7	สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 0 ($f_o = f_c/28$) ที่ระยะ 0.5 cm..	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.8	สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 1 ($f_o = f_c/32$) ที่ระยะ 1 cm.....	86
รูปที่ 4.9	สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 0 ($f_o = f_c/28$) ที่ระยะ 1 cm.....	86
รูปที่ 4.10	สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 1 ($f_o = f_c/32$) ที่ระยะ 1.5 cm...87	
รูปที่ 4.11	สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 0 ($f_o = f_c/28$) ที่ระยะ 1.5 cm...87	
รูปที่ 4.12	สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 1 ($f_o = f_c/32$) ที่ระยะ 2 cm.....	88
รูปที่ 4.13	สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 0 ($f_o = f_c/28$) ที่ระยะ 2 cm....	88
รูปที่ 4.14	สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 1 ($f_o = f_c/32$) ที่ระยะ 2.5 cm...89	
รูปที่ 4.15	สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 0 ($f_o = f_c/28$) ที่ระยะ 2.5 cm...89	
รูปที่ 4.16	สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 1 ($f_o = f_c/32$) ที่ระยะ 3 cm.....	90
รูปที่ 4.17	สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 0 ($f_o = f_c/28$) ที่ระยะ 3 cm.....	90
รูปที่ 4.18	สัญญาณ output ของ Oscillator.....	91
รูปที่ 4.19	สัญญาณ output ของ PA driver.....	91
รูปที่ 4.20	สัญญาณที่ RLoad ของ Reader coil.....	92
รูปที่ 4.21	สัญญาณ input ที่ขาเบส.....	92
รูปที่ 4.22	สัญญาณ output ที่ขาคอลเลคเตอร์ กรณีที่ DATA = 1 ($f_o = f_c/32$).....	93
รูปที่ 4.23	สัญญาณ output ที่ขาคอลเลคเตอร์ กรณีที่ DATA = 0 ($f_o = f_c/28$).....	93

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันนี้ระบบแสดงตัวตนแบบอัตโนมัติ (Automatic Identification) หรือ Auto ID ได้ถูกนำมาใช้งานและได้รับการพัฒนาอย่างมากในภาคอุตสาหกรรม ลอจิสติกส์ กระบวนการผลิตการขนถ่าย วัตถุดิบ ร้านค้าปลีก ฯลฯ วัตถุประสงค์ของการมีระบบ Auto ID นี้เพื่อที่จะนำมาใช้ในการจัดเก็บข้อมูลระบุสถานะของ คน สัตว์ สิ่งของ เช่น สินค้า หรือวัตถุดิบในการผลิตที่เราให้ความสนใจ

ระบบ Auto ID ที่เป็นที่รู้จักและใช้งานกันแพร่หลายที่สุดคือ ระบบบาร์โค้ด(Barcode System) ซึ่งสามารถพบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น บนหีบห่อสินค้า หนังสือ หรือบนตัวสินค้า ซึ่งมีลักษณะเป็นกลุ่มแถบรหัสต่างๆกันติดอยู่ตามสินค้า และเนื่องจากมีต้นทุนต่อหน่วยที่ค่อนข้างต่ำจึงง่ายต่อการใช้งานจึงเป็นเหตุผลให้ระบบบาร์โค้ดถูกนำมาใช้งานมากที่สุด แต่ระบบบาร์โค้ดก็มีข้อจำกัดหลายประการได้แก่ ปัญหาในการอ่านค่าข้อมูลจากแถบดังกล่าวที่ต้องลำแสงตรวจจับไปยังฉลากเพื่ออ่านค่ากลับหรือใช้กล้องซีดีขนาดเล็กรับภาพฉลากขึ้นมาเพื่ออ่านภาพก็ตาม ซึ่งถ้าหากว่าแถบข้อมูลดังกล่าวมีรอยเปื้อนหรือไม่ชัดเจนการอ่านค่ากลับมาจะมีความผิดพลาด นอกจากนี้ระบบบาร์โค้ดยังจัดเก็บข้อมูลได้จำกัดอีกด้วย

ระบบ Auto ID ที่เรารู้จักรองลงมาจากบาร์โค้ดก็คือระบบสมาร์ทการ์ด (Smart Card System) เป็นระบบที่กำลังมีบทบาทอย่างรวดเร็ว ในปัจจุบันเราจะพบเห็นสมาร์ทการ์ดในรูปแบบของบัตรต่างๆ เช่น บัตรชม ภาพยนตร์ ซิมการ์ดของโทรศัพท์เคลื่อนที่และบัตรสมาชิกตามคลับต่างๆ ซึ่งใช้แถบแม่เหล็กหรือไมโครชิปในการอ่านหรือเขียนข้อมูล โดยข้อดีของระบบนี้คือสามารถเก็บข้อมูลได้มากและมีความปลอดภัยสูง เนื่องจากต้องใช้อ่านกับเครื่องอ่านที่ได้รับการออกแบบมาโดยเฉพาะ แต่อย่างไรก็ตามระบบสมาร์ทการ์ด นี้ก็ยังมีข้อเสียอยู่คือ การใช้งานที่เป็นระบบสัมผัสซึ่งทำให้สมาร์ทการ์ดมีอายุการใช้งานที่จำกัด อันเนื่องมาจากการสึกหรอ ฉีกขาด หรือความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแผ่นตัวนำไฟฟ้าที่อยู่บนหน้าสัมผัสของตัวสมาร์ทการ์ดเอง

นอกจากนี้ยังมีระบบ Auto ID อีกชนิดหนึ่งที่เป็นระบบที่สามารถกำจัดข้อเสียระบบบาร์โค้ดและสมาร์ทการ์ดได้ เราเรียกระบบนี้ว่า RFID (Radio Frequency Identification) ซึ่งเป็นระบบ Auto ID ที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นความถี่วิทยุเป็นพาหะในการสื่อสารข้อมูล ซึ่งเป็นระบบสื่อสารแบบไม่สัมผัส ซึ่งสามารถช่วยลดปัญหาความไม่เที่ยงตรง และคลาดเคลื่อนในการอ่านหรือเขียนข้อมูลได้เมื่อเทียบกับการใช้งานแบบสัมผัส

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ RFID

1.1 ประวัติความเป็นมา

ประวัติการเริ่มต้นของเทคโนโลยี RFID นั้น ย้อนกลับไปถึงสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งประเทศในกลุ่มพันธมิตรและกลุ่มอักษะ มีการใช้เรดาร์ตรวจจับและเตือนเครื่องบินที่กำลังเข้ามา แต่ปัญหาของการใช้เรดาร์คือ ไม่สามารถแยกแยะว่าเครื่องบินรบที่เข้ามานั้นเป็นฝ่ายไหนกันแน่ ทางฝ่ายเยอรมันได้ค้นพบว่าเมื่อนักบินบินหมุนตัวแล้วจะทำให้มีการสะท้อนสัญญาณเรดาร์ที่เปลี่ยนไป ทำให้ทราบว่าเป็นเครื่องบินที่บินเข้ามานั้นเป็นของฝ่ายตน ซึ่งเป็นจุดกำเนิดของ RFID แบบที่ขึ้นอยู่กับสมบัติการสะท้อนคลื่นวิทยุ (พาสซีฟ) ก็ว่าได้

เมื่อเทคโนโลยีเรดาร์มีการพัฒนาขึ้น นักบินที่จะสื่อสารระหว่างเครื่องบินกับสถานีภาคพื้นดินหรือระหว่างนักบินด้วยกัน ที่เรียกว่าแบบแยกแยะระหว่างมิตรกับศัตรูหรือ IFF (Identification Friend or Foe) โดยที่เมื่อเครื่องบินได้รับสัญญาณเรดาร์จากภาคพื้นดินหรือว่าระหว่างเครื่องบิน ตัวเครื่องบินจะส่งสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ตอบกลับไป ทำให้ทราบว่าเป็นเครื่องบินฝ่ายไหน ซึ่งถือว่าเป็นการสื่อสาร RFID แบบที่วัตถุส่งสัญญาณจากตัวเองไปยังผู้ถามหรือแบบแอ็กทีฟ

ยุคเริ่มแรกของการใช้ RFID ในเชิงพาณิชย์ได้แก่ระบบกันขโมย (EAS: Electric Article Surveillance) ในห้างสรรพสินค้า ซึ่งตัวสินค้าจะมีการติด RFID แบบ 1 บิต ซึ่งมีค่าเป็น '0' หรือ '1' เมื่อสินค้ามีการชำระเงินตัวบิตจะถูกตั้งค่าเป็น '0' หรือ '1' เมื่อสินค้าถูกชำระเงินตัวบิตจะถูกตั้งค่าเป็น '0' ทำให้สามารถนำออกจากร้านได้ กรณีที่ไม่มีการชำระเงินเมื่อนำสินค้าผ่านประตูเครื่องตรวจป้ายกันขโมย เมื่ออ่านค่าจากวัตถุในถุงลูกค้ามีค่าเป็น '1' ก็จะมีสัญญาณเตือนขึ้นมา

1.2 วิวัฒนาการของ RFID

อย่างที่ได้อธิบายมาข้างต้น จุดเริ่มต้นของ RFID มีมาตั้งแต่ยุคสงครามโลกครั้งที่ 2 ทางด้านการพัฒนาได้มีการให้สิทธิบัตรของอเมริกาเกี่ยวกับ RFID อันแรกให้กับ Mario W. Cardullo เป็นสิทธิบัตรเกี่ยวกับป้ายแบบแอ็กทีฟ เมื่อวันที่ 23 มกราคม ค.ศ. 1973 และในปีเดียวกันได้มีการมอบสิทธิบัตรเกี่ยวกับป้ายแบบ พาสซีฟ แก่ Charies Walton โดยประยุกต์ใช้งานสำหรับเปิดล็อกประตู

ในช่วงปี ค.ศ. 1970 รัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับ RFID เหมือนกันที่ศูนย์วิจัยแห่งชาติลอส อลามอส (Los Alamos National Laboratory) มลรัฐนิวเม็กซิโก ใช้สำหรับติดตามวัตถุนิวเคลียร์ให้กับกระทรวงพลังงาน โดยใช้ RFID ติดกับรถบรรทุก และเครื่องอ่านที่ประตูเข้า-ออก และเมื่อทีมนักวิทยาศาสตร์ของศูนย์วิจัยแห่งนี้ ได้ออกมาตั้งบริษัทและพัฒนามาเป็นระบบเก็บค่าทางด่วนอัตโนมัติ

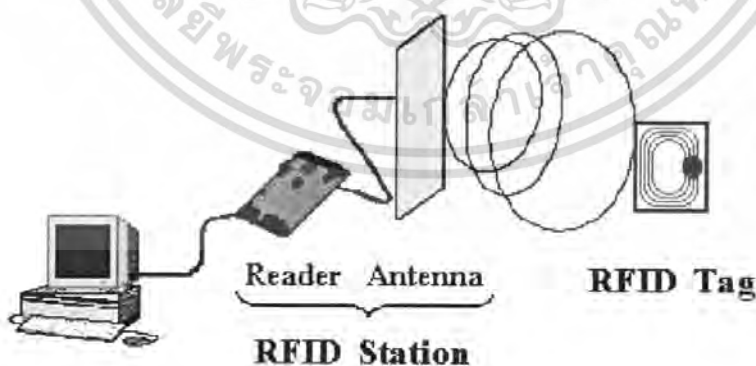
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่เกี่ยวกับกระทรวงเกษตรของสหรัฐ มีความต้องการป้ายแบบพาสที่พชนิคความถี่ 125 kHz สำหรับติดวัว เพื่อให้แยกแยะว่าวัวตัวไหนมีวัคซีนตัวไหนไม่มี ทางศูนย์วิจัยแห่งชาติลอสมอส ได้พัฒนา RFID ความถี่ 125 kHz สำหรับใช้ฝังได้ผิวหนังวัว RFID ความถี่ 125 kHz ได้มีการใช้ในเชิงพาณิชย์ในหลายรูปแบบและต่อมาได้มีการพัฒนาไปที่ความถี่ 13.56 MHz

ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1990 บริษัท IBM ได้พัฒนาและจดสิทธิบัตร RFID ในย่าน UHF (ย่านความถี่ตั้งแต่ 300 MHz ถึง 3 GHz) แต่เมื่อ IBM มีปัญหาการเงินได้ขายสิทธิบัตรให้กับบริษัท Intermec ในช่วงกลาง ค.ศ. 1990 ในช่วงนั้นการใช้งาน RFID ในย่านความถี่นี้ยังไม่แพร่หลายนักเนื่องจากอุปกรณ์มีราคาแพงมาก

1.3 หลักการทำงานเบื้องต้น

หลักการของระบบ RFID นี้จะใช้สัญญาณวิทยุพลังงานต่ำเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบไร้สาย (wireless) โดยมีองค์ประกอบย่อยๆในระบบเพียง 2 ส่วน โดยส่วนแรกคือ “เครื่องลูกข่าย” หรือ “Transponder” (Transmitter & Responder) หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า “Tags” ส่วนนี้เป็นแผ่นบันทึกข้อมูล โดยได้รับการออกแบบให้มีขนาดรูปร่างให้เหมาะสมกับที่จะติด ปะ หรือผูกอยู่กับสินค้า หรือวัตถุต่างๆที่ต้องการตรวจนับหรือติดตามโดยใช้ระบบ RFID ส่วนที่สองคือ เครื่องอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในเครื่องลูกข่าย โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุมีชื่อเรียกว่า “Transceiver” (Transmitter & Receiver) หรือ “เครื่องอ่าน” (Reader) หรือ Interrogator



รูปที่ 1.1 แสดงภาพรวมของระบบ RFID

ทั้งสองส่วนนี้จะสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุ สัญญาณนี้ผ่านได้ทั้งโลหะและอโลหะ แต่ละไม่สามารถติดต่อกับเครื่องอ่านให้อ่านได้โดยตรง เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุ แสดงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงความต้องการข้อมูลที่ถูกระบุไว้จาก Tags จากนั้น Tags จะตอบข้อมูลกลับมายัง Reader ต่อจากนั้น Reader จะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์ โดย Reader จะติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านสายเครือข่าย LAN (Local Area Network) หรือส่งผ่านทางความถี่วิทยุจากทั้งอุปกรณ์มีสายและอุปกรณ์ไร้สาย ดังในรูปที่ 1.1

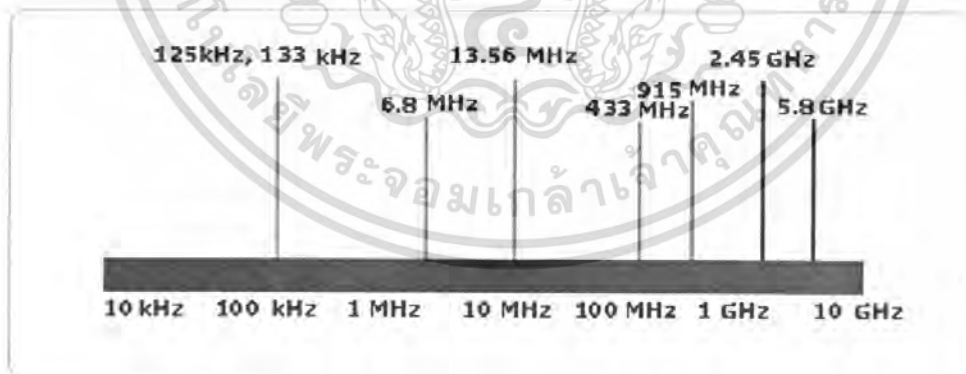
1.4 คลื่นพาหะในระบบ RFID

ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบ RFID จะอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสารทั่วไป สำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบ RFID อาจแบ่งออกได้เป็น 4 ย่านความถี่ใช้งานหลัก ได้แก่

1. ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency :LF) 125-134 kHz
2. ย่านความถี่สูง (High Frequency :HF) 13.56MHz
3. ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency :UHF) 433/868*/915**MHz
4. ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) 2.4/5.8 GHz

หมายเหตุ * 868 MHz : Europe (ECR : European Radio communications Committee)

** 915 MHz : US (FCC: Federal Communications Commission)



รูปที่ 1.2 แสดงย่านความถี่ของคลื่นพาหะที่ระบบ RFID ถูกใช้งาน

ในการใช้งาน RFID ในย่านความถี่ของคลื่นพาหะต่างๆสามารถสรุปคุณลักษณะและการใช้งานได้ดังตารางที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่านความถี่		คุณลักษณะ	การใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency :LH)	125-133 kHz	-ระยะทางการส่งข้อมูล ประมาณ 18 นิ้ว -ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ -ต้นทุนต่ำ -นิยมใช้กันทั่วโลก	-Access Control -ปลุสตัดว์ -ระบบกันขโมยรถยนต์ -ระบบคลังสินค้า
ย่านความถี่สูง (High Frequency :HF)	13.56 MHz	-ระยะทางการส่งข้อมูล ประมาณ 3 ฟุต -มีความเร็วในการอ่านข้อมูล 10-100 ป้ายต่อวินาที -ต้นทุนมีแนวโน้มที่จะถูกลง -นิยมใช้กันทั่วโลก	- Access Control -สมาร์ทการ์ด -ระบบติดตามหนังสือ -ระบบเปิดปิดประตู
ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency :UHF)	433 868 915 MHz	-ระยะทางการส่งข้อมูล ประมาณ 10-30ฟุต -มีความเร็วในการอ่านข้อมูล 100-1000 ป้ายต่อวินาที -ต้นทุนมีราคาแพง	-ตู้สินค้า -รถบรรทุก -แท่นยกสินค้า(Pallet) -ระบบเก็บค่าผ่านทาง
ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave)	2.4/5.8 GHz	-ระยะทางการส่งข้อมูล มากกว่า30ฟุต -มีความเร็วในการอ่านข้อมูล สูงมาก -ต้นทุนมีราคาแพง	-อุปกรณ์ไร้สาย

ตารางที่ 1.1 แสดงย่านความถี่ต่างๆ ของคลื่นพาหะในระบบ RFID และการนำไปใช้งาน

จากตารางที่ 1.1 ถ้าเรามองในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้ว RFID ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด และมีราคาแพงที่สุด ด้วยเช่นกัน ส่วน RFIDที่ใช้คลื่นพาหะในอีก 2 ย่านความถี่จะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่น กันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 มาตรฐาน Standardization

เนื่องจากการที่กำหนดมาตรฐานออกมาใช้ในประเทศอย่างเป็นทางการล่าช้าจะส่งผลให้เทคโนโลยี RFID ในประเทศมีการพัฒนาช้าตามไปด้วย ซึ่งมาตรฐานของ RFID สามารถแบ่ง ออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

คลื่นความถี่ (RF spectrum) : คลื่นความถี่ที่จะใช้สำหรับอุปกรณ์ RFID นี้ ค่อนข้างยากที่จะกำหนดให้เป็นมาตรฐานสากล เนื่องจากแต่ละประเทศเป็นเจ้าของและเป็นผู้ควบคุมการใช้คลื่นความถี่เอง ดังนั้น จึงขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศที่จะเป็นผู้พิจารณาจัดสรรคลื่นความถี่สำหรับการใช้งานประเภทต่างๆ

มาตรฐาน RFID (RFID Standards) : บริษัทผู้ผลิตต่างๆ ได้พัฒนาและผลิตระบบ RFID ออกมา โดยมีมาตรฐานที่ใช้ในการส่งถ่ายข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งมาตรฐานของ RFID มีการกำหนดไว้ 4 ด้านดังนี้

1. มาตรฐานด้านเทคโนโลยี (Technology)
2. มาตรฐานรูปแบบของข้อมูล (Data format)
3. มาตรฐานการทดสอบ (Conformance)
4. มาตรฐานการใช้งาน (Applications)

อย่างไรก็ตาม หลายองค์กรได้ตระหนักถึงปัญหาเรื่องมาตรฐานนี้ และได้เริ่มมีการพัฒนาระบบมาตรฐานขึ้นมาทั้งในยุโรปและอเมริกา ตัวอย่างเช่น

1. หน่วยงาน ANSI's X3T6 ซึ่งประกอบไปด้วยผู้ผลิตและผู้ใช้ระบบ RFID ในอเมริกา ได้กำลังทำการพัฒนามาตรฐานของระบบ RFID ที่ความถี่ 2.45 GHz ขึ้นมา

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

3. The Electronic Product Code (EPC Global) เป็นองค์กรที่เกิดจากความร่วมมือระหว่าง the Uniform Code Council (UCC) และ EAN International โดยได้รับการสนับสนุนจากภาคอุตสาหกรรมทำหน้าที่ในการกำหนด และพัฒนามาตรฐานรหัสของสินค้าอิเล็กทรอนิกส์และโครงข่าย มาตรฐาน EPC นี้เป็นมาตรฐานเปิด (Open standard) มาตรฐานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้ราคาของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ลดต่ำลงจนอยู่ในระดับที่สามารถ RFID ไปติดไว้กับสินค้านำเข้าได้

4. มาตรฐาน Ubiquitous ID หรือมาตรฐาน UID ที่ทางประเทศญี่ปุ่นให้การสนับสนุนและกำหนดมาตรฐานเพื่อใช้งานภายในประเทศ โดยมีความแตกต่างกับ ISO และ EPC Global ในเชิงรายละเอียดทางเทคนิค

5. มาตรฐาน AIM (Automatic Identification Manufacturers) ที่กำหนดโดย AIDC (Automatic Identification and Data Collection) ซึ่งเป็นผู้เริ่มต้นทำบาร์โค้ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ข้อดีของระบบ RFID เมื่อเทียบกับระบบบาร์โค้ด

1. RFID สามารถอ่านได้โดยอัตโนมัติ การใช้งานบาร์โค้ดผู้ใช้ต้องนำเครื่องสแกนไปอ่านที่แถบรหัส ขณะที่ RFID สามารถทำได้เองโดยอัตโนมัติ เมื่อป้ายอยู่ในแถบรัศมีของการอ่าน จึงเหมาะกับงานที่ต้องการการทำงานแบบอัตโนมัติ ไม่จำเป็นต้องมีผู้ปฏิบัติงาน เช่นในระบบลำเลียงในโรงงาน เมื่อลำเลียงผ่านกระบวนการใด ก็สามารถตรวจสอบและบันทึกได้ เพียงเคลื่อนสินค้าผ่านเครื่องอ่าน เครื่องอ่านก็จะสามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติ
2. RFID สามารถทำได้ทั้งอ่านและเขียน ในขณะที่บาร์โค้ดสามารถอ่านรหัสได้อย่างเดียว ระบบ RFID นอกจากอ่านรหัสประจำตัวมาทำการประมวลผลแล้วยังสามารถบันทึกข้อมูลอะไรบางอย่างกลับลงไปป้ายได้ เช่น การตรวจสอบสต็อกสินค้า เมื่อทำการอ่านข้อมูลแล้วก็ทำการบันทึกกลับไปป้ายว่าได้รับการตรวจสอบแล้ว เพื่อลดข้อผิดพลาดกรณีที่หยิบสินค้านั้นมาอ่านรหัสประจำตัวซ้ำอีกครั้ง จะทำให้ระบบตรวจสอบสินค้าผิดพลาดได้ ซึ่งระบบบาร์โค้ดไม่สามารถทำได้
3. RFID สามารถอ่านได้จากระยะไกล ในขณะที่บาร์โค้ดต้องอยู่ในระยะใกล้และตำแหน่งที่แสงสามารถจะสแกนถึง RFID สามารถอ่านข้อมูลจากป้ายได้อย่างสะดวก แม้อยู่ในพื้นที่ที่ไม่สะดวกหรือในพื้นที่อันตรายต่อการปฏิบัติงาน เช่น ห้องฟอสฟอรัส หรือพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง
4. RFID สามารถอ่านข้อมูลได้พร้อมๆกัน ในขณะที่บาร์โค้ดจะต้องทำการสแกนแถบรหัสทีละแถบ ในขณะที่ RFID สามารถอ่านได้พร้อมๆกันหลายๆป้าย เพียงแค่คำสั่งของที่ติดป้ายมาวางไว้ในพื้นที่รัศมีของเครื่องอ่านก็สามารถอ่านได้พร้อมๆกันอย่างรวดเร็ว สามารถลดเวลาการทำงานและลดข้อผิดพลาดในการย้ายสิ่งของ
5. RFID สามารถอ่านได้แม้ไม่เห็นป้ายที่ติดอยู่ทำให้สะดวกโดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายสิ่งของออกมาสแกน เช่น การตรวจสอบสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ระบบ RFID สามารถทราบรายละเอียดของสินค้าในตู้สินค้า โดยไม่ต้องเปิดตู้ซึ่งเป็นการเพิ่มระบบความปลอดภัยได้
6. RFID มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากข้อมูลเป็นข้อมูลดิจิทัลในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้สามารถเพิ่มความปลอดภัยของข้อมูลด้วยการเข้ารหัสลับเพื่อไม่ให้ผู้อื่นสามารถทราบข้อมูลได้
7. RFID สามารถบันทึกประวัติการเคลื่อนย้ายสินค้าได้ (Dynamic data on items) เช่น การบันทึกการเข้าออกไว้บนสินค้าเองหรือบันทึกเวลาต่างๆลงบนสินค้าได้โดยตรง ในขณะที่บาร์โค้ดไม่สามารถทำได้ ต้องบันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูล ซึ่งเมื่อสินค้าอยู่ในสถานที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงฐานข้อมูลได้ ทำให้ไม่สามารถรู้ข้อมูลเกี่ยวกับสินค้านั้นๆได้
8. RFID สามารถทนต่อความเปียกชื้น แสงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก
9. RFID สามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่าง เช่น น้ำ, พลาสติก, กระจก หรือวัสดุทึบแสงอื่นๆ ในขณะที่ บาร์โค้ดทำไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ประเภทของระบบ RFID

RFID ถูกจำแนกออกเป็นประเภทได้หลายอย่างขึ้นอยู่กับว่าจะถูกจำแนกจากคุณสมบัติอะไร เช่น ความถี่ที่ใช้งาน ชนิดของ Tags หรือขนาดของหน่วยความจำของ Tags ที่ใช้

2.1.1 RFID ที่จำแนกโดยขนาดของหน่วยความจำ

1. RFID ชนิด 1 บิต (1 Bit Type)

RFID ชนิดนี้หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า EAS (Electronic Article Surveillance) เป็น RFID ที่ใช้ Tags ที่ไม่มีไมโครชิพ RFID ระบบนี้จะตรวจสอบเฉพาะว่ามี Tags อยู่ในพื้นที่สัญญาณหรือไม่ ดังนั้นสถานะจึงแสดงเพียงแค่มิหรือไม่มีซึ่งเป็นรหัสดิจิทัล 0 หรือ 1 นั่นเอง Tags ชนิดนี้มีเสาอากาศเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการทำงานของ RFID ระบบนี้ง่ายไม่ซับซ้อนและ Tags มีราคาถูกระบบจึงถูกนำมาใช้กับการป้องกันสินค้าถูกขโมยในห้างร้านต่างๆ โดย Tags จะติดอยู่กับตัวสินค้าหรือซ่อนไว้ข้างหลังบาร์โค้ดอีกที เครื่องอ่านจะออกแบบเป็นโครงเสาอากาศสูงประมาณ 1-1.2 ม. อยู่ที่ทางออกของห้างร้านนั้นๆ เมื่อสินค้าที่มี Tags ติดอยู่ผ่านบริเวณเสาอากาศนี้ก็จะถูกตรวจจับได้จากการคลั่งสัญญาณจากเสาอากาศและ Tags จึงสามารถตรวจจับสินค้าที่ถูกนำออกไปได้ Tags จะถูกดึงออกหรือใช้เครื่องทำลายความเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคาน์เตอร์แคชเชียร์เมื่อสินค้าถูกนำมาชำระเงิน ซึ่งเราจะพบเห็นระบบ EAS มากในซูเปอร์มาร์เก็ตหรือคิสเคาน์สโตร์ต่างๆ เช่น คาร์ฟูร์ โลตัส Big C หรือร้านขายเสื้อผ้า CD ต่างๆ เช่น TEN&CO, แมงป่อง ฯลฯ ช่วงความถี่ที่ใช้งานจะเป็นช่วงความถี่ Microwave เนื่องจากระยะในการสื่อสารค่อนข้างไกล

2. ชนิดหน่วยความจำมากกว่า 1 บิต (Data Carrier Type)

RFID ชนิดนี้จะใช้ Tags ที่มีไมโครชิพและหน่วยความจำเป็นส่วนประกอบสำคัญมีราคาสูงกว่า Tags ชนิด EAS โดยบางชนิดสามารถเก็บข้อมูลได้สูงสุดถึง 64 กิโลไบต์ ใช้ในงานอุตสาหกรรมหรืองานทั่วไปที่ต้องใช้ Tags ในการเก็บข้อมูล ในหนังสือเล่มที่จะอ้างอิงถึงระบบ RFID ที่ใช้ Tags ที่มีหน่วยความจำมากกว่า 1 บิตเท่านั้นทั้งทฤษฎีและการนำไปใช้งานยังมีอธิบายในหัวข้อต่อไป

2.1.2 RFID ที่จำแนกโดยลักษณะการคลังของสัญญาณ

1. Close Coupling

RFID ชนิดนี้เป็น RFID ที่มีระยะในการอ่าน/เขียนข้อมูลสั้นมากประมาณ 0-1 เซนติเมตร ดังนั้น Tags จะต้องอยู่ใกล้หรือวางอยู่บนเครื่องอ่าน Close Coupling นี้จะสามารถใช้คลื่นความถี่ได้ตั้งแต่ 0 Hz จนถึง 50 MHz เนื่องจากการทำงานของ Tags ไม่อาศัยการส่งพลังงานจากการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่านแต่ต้องอาศัยการเหนี่ยวนำเหมือนหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า ทำให้เกิดพลังงานที่ทำให้วงจรภายใน Tags ทำงานได้ ระบบ Close-Coupling จะนิยมนำมาใช้งานที่ต้องการความปลอดภัยค่อนข้างสูง แต่ไม่ต้องการติดต่อกับไอที เช่น ประตูอัตโนมัติหรือสมาร์ทการ์ด ไร้สัมผัส (Contact less Smart Cards)

2. Remote Coupling

RFID ระบบนี้เป็นระบบที่มีระยะการอ่าน/เขียนสูงถึง 1 เมตร ระบบนี้จะใช้หลักการคลังสัญญาณแบบ Inductive (Magnetic) Coupling ระหว่างเครื่องอ่านกับ Tags ประมาณ 90-95% ของระบบ RFID ในปัจจุบันใช้หลักการ Remote Coupling นี้โดยความถี่ที่ใช้งานมีหลายความถี่ตั้งแต่ต่ำกว่า 135 KHz หรือ 13.56 MHz และ 27.125 MHz พลังงานไฟฟ้าจะถูกส่งโดยหลักการแผ่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปให้ Tags ทำให้ Tags ได้รับพลังงานสามารถทำงานได้ ระบบ Remote Coupling นี้จะพบมากในลักษณะงานอุตสาหกรรมเช่น รถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า หรือ อิเล็กทรอนิกส์

3. Long Range

RFID ระบบนี้จะมีระยะการอ่าน/เขียนอยู่ระหว่าง 1 ถึง 10 เมตรหรือบางระบบอาจสูงกว่านี้ ความถี่ที่ใช้ในระบบนี้จะเป็นย่านที่มีความถี่สูงมากหรือ ไมโครเวฟ (Microwave rang) ซึ่งปกติที่ความถี่ 2.45 GHz หรือบางครั้งจะพบที่ 915 MHz, 5.8 GHz และ 24.125 GHz แต่การส่งพลังงานจากตัวเครื่องอ่านไปยัง Tags ทำได้ยาก ดังนั้น Tags ที่ใช้งานจะเป็นชนิดที่มีแบตเตอรี่ในตัวซึ่งจะใช้สำหรับเป็นไฟเลี้ยงที่ทำให้ไมโครชิพทำงานและเก็บรักษาข้อมูล ลักษณะงานที่พบเห็นจะเป็นลักษณะงานที่ต้องการการสื่อสารระยะไกล เช่น ในกระบวนการผลิตรถยนต์ ระบบชำระเงินอัตโนมัติของทางด่วน

2.1.3 RFID ที่จำแนกตามความสามารถของระบบ

1. ระบบอ่านอย่างเดียว (Read Only System)

RFID ระบบนี้ถือว่าเป็นระบบที่ Low end ที่สุด Tags มีข้อมูลซึ่งจะอยู่ในรูปของ Serial Number และไม่สามารถเขียนข้อมูลใหม่ลงไปได้จึงเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการอ่านอย่างเดียว เพื่อแยกแยะความแตกต่างของสินค้าหรือบุคคล ระบบชนิดของสินค้า Pallets หรือตู้คอนเทนเนอร์มีราคาต่ำความถี่ที่ใช้งานจะอยู่ที่ต่ำกว่า 135 KHz หรือ 2.45 GHz

2. ระบบอ่านเขียน (Read-Write System)

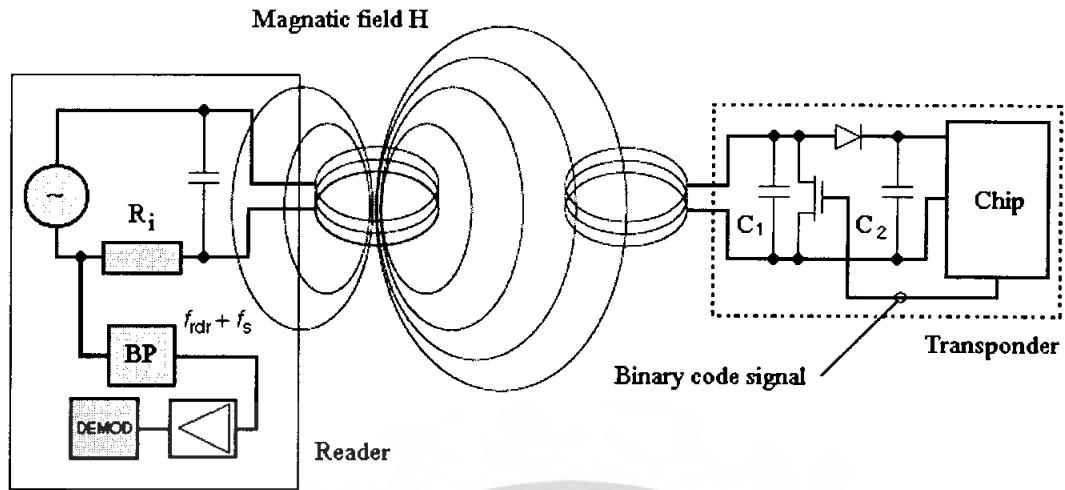
RFID ระบบนี้จะจัดอยู่ใน Mid-range ของระบบ RFID Tags สามารถเขียนข้อมูลซ้ำได้ โดยความจุจะอยู่ที่ 16 ไบต์จนถึงมากกว่า 16 กิโลไบต์ หน่วยความจำที่ใช้จะเป็นชนิด EEPROM หรือ SRAM ความถี่ที่ใช้งานจะเป็น 135 KHz, 13.56 MHz, 27.125 MHz และ 2.45 GHz

3. ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor System)

RFID ระบบนี้จะจัดอยู่ประเภท High end เพราะมีไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวประมวลผลใน Tags สามารถประยุกต์ใช้งานที่หลากหลายและมีฟังก์ชันการสร้างรหัสลับ (Cryptological Functions) สามารถนำไปใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการรักษาความปลอดภัยส่วนมากระบบนี้จะใช้ย่านความถี่ที่ 13.56 MHz หน่วยความจำที่ใช้งานจะมีขนาดตั้งแต่ร้อยละ จนถึง 16 กิโลไบต์ และหน่วยความจำจะเป็นชนิด EEPROM

2.2 ส่วนประกอบของระบบ RFID

ในระบบ RFID จะมีองค์ประกอบหลักๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกันส่วนแรกคือทรานสปอนเดอร์หรือแท็ก (Transponder/Tag) ที่ใช้ติดกับวัตถุต่างๆ ที่เราต้องการ โดยแท็กที่ว่าจะเป็นที่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ เอาไว้ ส่วนที่สองก็คือเครื่องสำหรับอ่าน/เขียนข้อมูลภายในแท็ก (Interrogator/Reader) ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อความเข้าใจจึงขอเปรียบเทียบกับระบบบาร์โค้ดเพื่อให้เห็นภาพชัดเจน แท็กในระบบ RFID ก็คือ ตัวบาร์โค้ดที่ติดกันฉลากของสินค้า และเครื่องอ่านในระบบ RFID ก็คือ เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Scanner) โดยข้อแตกต่างของทั้งสองระบบคือ ระบบ RFID จะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่านหรือเขียน ส่วนระบบรหัสแท่งจะใช้แสงเลเซอร์ ในการอ่านโดยข้อเสียของระบบบาร์โค้ด คือหลักการอ่านเป็นการใช้แสงในการอ่านแท็กบาร์โค้ด นั้นต้องอ่านแท็กที่ไม่มีอะไรปกปิดหรือต้องอยู่ในเส้นตรงเดียวกับลำแสงที่ยิงจากเครื่องสแกน และอ่านได้ที่ละแท็กในระยะใกล้ๆ แต่ระบบ RFID จะแตกต่างโดยสามารถอ่านแท็กได้ โดยไม่ต้องเห็นแท็ก หรือแท็กนั้นซ่อนอยู่ภายในวัตถุและไม่จำเป็นต้องอยู่ในเส้นตรงกับคลื่น เพียงอยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูล ได้ และการอ่านแท็กในระบบ RFID ยังสามารถอ่านได้หลายๆ แท็กในเวลาเดียวกัน โดยระยะในการอ่านข้อมูลได้ไกลกว่าระบบบาร์โค้ดอีกด้วย



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบ RFID

2.2.1 เครื่องลูกข่าย (Transponder / Tags)

เครื่องลูกข่าย นั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ มาจากคำว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) ถ้าจะแปลให้ตรงตามศัพท์ เครื่องลูกข่ายก็จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในเครื่องลูกข่ายตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่าน ข้อมูลจะเป็นการสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุผ่านอากาศ โครงสร้างภายในเครื่องลูกข่ายจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของไอซีซึ่งเป็นชิพสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Chip) และส่วนของขดลวดซึ่งทำหน้าที่เป็นเสาอากาศสำหรับรับส่งข้อมูลโดยทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมต่ออยู่ด้วยกัน

โดยทั่วไปโครงสร้างภายในส่วนที่เป็นไอซีของเครื่องลูกข่ายนั้นจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่

1. ส่วนของการควบคุมภาครับส่งสัญญาณวิทยุ สำหรับโครงสร้างของส่วนนี้ประกอบด้วยภาคตีมอดูเลตและภาคอมอดูเลต (สำหรับรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายกับตัวเครื่องอ่าน) และวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

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

อย่างไรก็ตามโครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายที่ต่างผู้ผลิตหรือต่างรุ่นกัน บางครั้งก็อาจมีไม่ครบถ้วนทุกส่วนอย่างที่ได้ออกมา ซึ่งรายละเอียดโครงสร้างตลอดจนรายละเอียดในการทำงานของเครื่องลูกข่ายเบอร์ใด ๆ ก็สามารรถได้จากคาค่าซีตของบริษัทผู้ผลิตเครื่องลูกข่ายเบอร์นั้น ๆ

เครื่องลูกข่ายมีลักษณะเป็นไมโครชิพ (microchip) ที่ยอมให้ผู้ใช้ติดเข้าระหว่างชั้นของกระดาษหรือพลาสติกที่ใช้ทำป้ายฉลาก ชิพหรือเครื่องลูกข่ายอาจมีรูปร่างได้หลายแบบขึ้นอยู่กับการใช้งานไปใช้งาน โดยอาจมีรูปร่างเหมือนบัตรเครดิตในการใช้งานทั่วไป หรือเล็กขนาดใส่ดินสอยาวเพียง 10 mm เพื่อฝังเข้าไปใต้ผิวหนังสัตว์ในกรณีนำไปใช้ในงานปศุสัตว์ หรืออาจมีขนาดใหญ่มากสำหรับเครื่องลูกข่ายที่ใช้ติดกับเครื่องจักรขณะทำการขนส่ง เครื่องลูกข่ายอาจนำไปติดไว้กับสินค้าในร้านค้าปลีกทั่วไปเพื่อป้องกันขโมย เพื่อเป็นการควบคุมการเปิดปิดประตู โดยที่เราจะสามารถรู้ได้ว่ามีบุคคลใดเข้าออกประตูบ้าง ซึ่งจะมีการติดตั้งสายอากาศของตัวอ่านข้อมูลขนาดใหญ่ไว้ตรงประตูทางเข้าออกเพื่อทำการตรวจบัตรของ โดยเครื่องลูกข่ายจะรับพลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่านหรือใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่บรรจุภายในป้าย ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ ลิเทียม-ไอออน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน จึงมักนำมาใช้กับเครื่องลูกข่ายนี้ แต่ในโครงการนี้เราได้มีการออกแบบให้เครื่องลูกข่ายสามารถรับพลังงานมาจากฝั่งเครื่องอ่านได้ซึ่งไม่ต้องใช้พลังงานจาก แบตเตอรี่ ลิเทียม-ไอออน

เครื่องลูกข่ายจะประกอบไปด้วยสายอากาศที่มีขนาดเล็กที่จะช่วยให้เครื่องลูกข่ายตอบสนองกับเครื่องอ่าน โดยสายอากาศจะแผ่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจำนวนหนึ่งออกมา เพื่อกระตุ้นให้เครื่องลูกข่ายอ่านหรือเขียนข้อมูลลงไป สายอากาศสามารถทำได้ทุกขนาดและรูปร่าง เพื่อที่จะสามารถออกแบบให้ติดตั้งได้ทุกที่ และเพื่อให้เกิดความครอบคลุมได้ดีที่สุดในหลาย ๆ ระบบสายอากาศจะถูกติดไปโดยตรงกับ ทรานซิชฟเวอร์ เหมือนกับเป็นอุปกรณ์ติดกัน

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

นอกจากนี้อาจมีการนำหน่วยความจำแบบ EEPROM มาใช้ในกรณีที่เราต้องการเก็บข้อมูลในระหว่างที่เครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูลทำการสื่อสาร และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้แก่เครื่องลูกข่าย

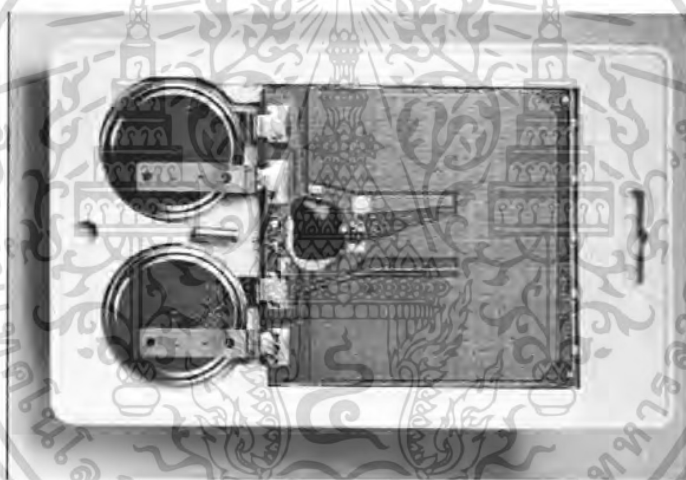
2.2.1.1 ประเภทของเครื่องลูกข่าย

เครื่องลูกข่ายที่มีการใช้งานกันอยู่นั้นจะมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ ๆ โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในเรื่องของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการทำงานอยู่ ซึ่งจะสามารถแยกออกเป็นหัวข้อดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag) เครื่องลูกข่ายชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้เครื่องลูกข่ายทำงาน โดยปกติ โดยเครื่องลูกข่ายชนิดนี้มีฟังก์ชันการทำงานทั่วไปทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในเครื่องลูกข่ายได้ และการใช้แบตเตอรี่นั้นทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำเครื่องลูกข่ายไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (seal) ที่ตัวเครื่องลูกข่ายจึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของเครื่องลูกข่ายให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี

เครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟนี้จะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกลสูงสุดถึง 6 เมตร ซึ่งไกลกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แม้เครื่องลูกข่ายชนิดนี้จะมีข้อดีอยู่หลายข้อแต่ก็มีข้อเสียอยู่ด้วยเหมือนกัน เช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด



รูปที่ 2.2 Active Tag ที่มีแบตเตอรี่ Lithium 2 ก้อน อยู่ภายนอก

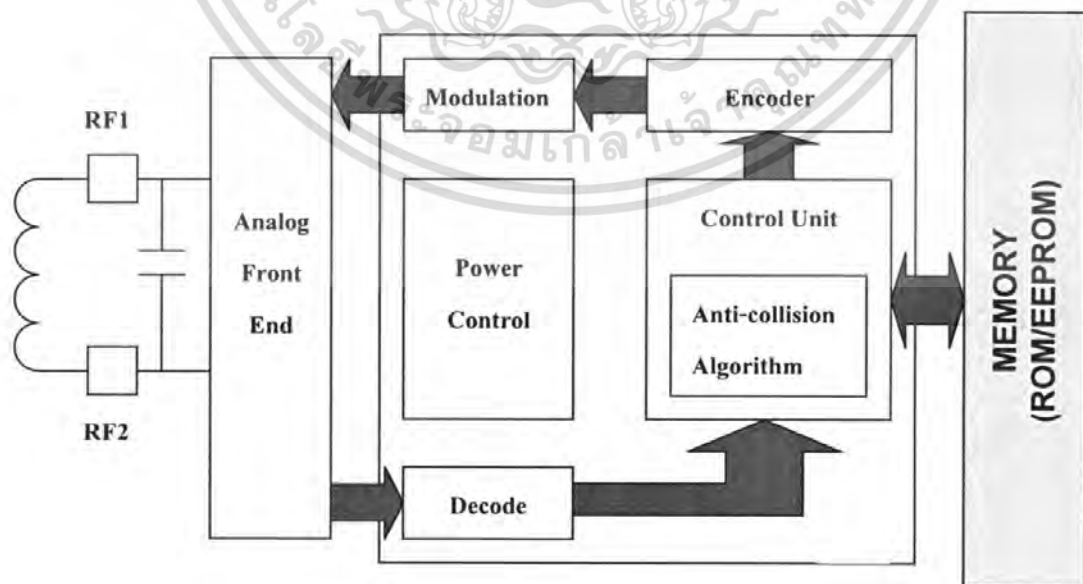
2. เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟ (Passive Tag) จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายในหรือไม่จำเป็นต้องรับแหล่งจ่ายไฟใด ๆ เพราะจะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว) หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ ทรานสซีฟเวอร์ จึงทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตร ซึ่งเป็นระยะการอ่านที่สั้น มีหน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าเครื่องลูกข่ายชนิดแอ็กทีฟและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้เครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟนี้เป็นที่นิยมมากกว่า



รูปที่ 2.3 Passive Tag แบบต่างๆ

ไอซีของเครื่องลูกข่ายชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมามีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ ไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน ส่วน โครงสร้างภายในที่เป็น ไอซีของแท็กนั้น ก็จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนควบคุมการทำงานของภาครับ-ส่งสัญญาณวิทยุ (Analog Front-End) ส่วนควบคุมภาคลอจิก (Digital Control Unit) ส่วนของหน่วยความจำ (Memory) ซึ่งอาจจะเป็นแบบ ROM หรือ EEPROM ดังรูปที่ 2.4



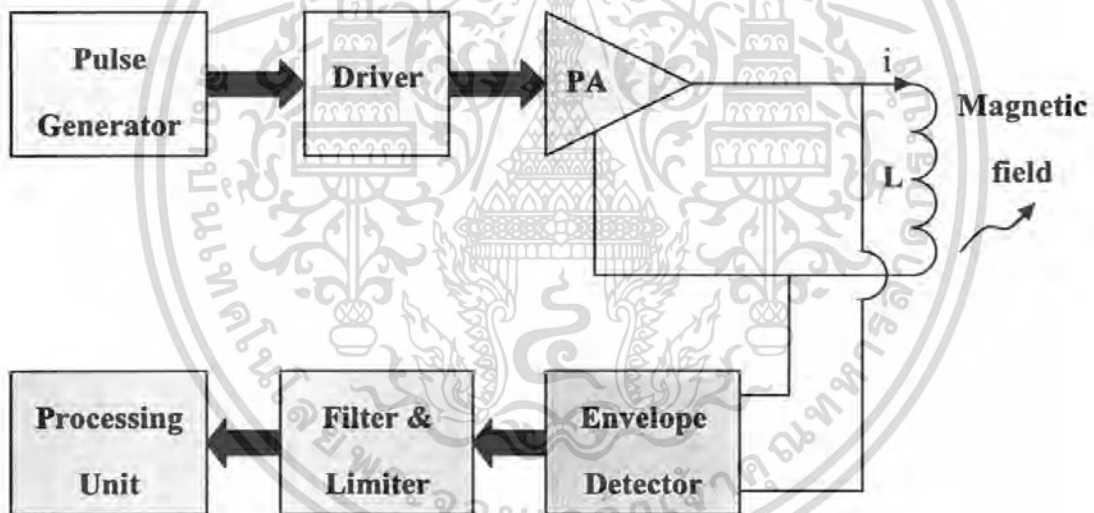
รูปที่ 2.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ Passive Tag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เครื่องอ่าน Reader หรือ Interrogator

โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือ การเชื่อมต่อเพื่อการเขียนหรืออ่านข้อมูลลงในแท็กด้วยสัญญาณความถี่วิทยุภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วย เสาอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับส่งสัญญาณภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุและวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล จำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์นั้นแสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.5 แสดง โครงสร้างภายในเครื่องอ่าน

หน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ในโปรแกรมจะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (Decoding) ที่ได้รับและทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ลักษณะขนาดและรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็กหรือติดผนัง จนไปถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงรูปตัวอย่างเครื่องอ่านแบบต่างๆ

นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่น ในกรณีที่เครื่องลูกข่ายถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่เรื่อยๆ ไม่สิ้นสุด

ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ "Hands Down Polling" โดยตัวอ่านข้อมูล จะสั่งให้เครื่องลูกข่ายหยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีเครื่องลูกข่ายหลายเครื่องลูกข่ายอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกัน หรือที่เรียกว่า "Batch Reading" ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านเครื่องลูกข่ายที่สะดวก

2.3 วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่าน

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

ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่านได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้งาน เช่น เมื่อความถี่ใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ความยาวของเสาอากาศ (เป็นเส้นตรง) ที่เหมาะสมก็คือ 22.12 แน่นอนว่าในทางปฏิบัติคงไม่สามารถนำเสาอากาศที่ใหญ่ขนาดนั้นมาใช้งานกับเครื่องลูกข่ายขนาดเล็กได้ สายอากาศที่ดูจะเหมาะสมจะใช้ร่วมกับเครื่องลูกข่ายมากที่สุดก็คือ สายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็กหรือที่มีชื่ออย่างเป็นทางการว่าสายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (Magnetic dipole Antenna) รูปแบบของสายอากาศแบบนี้ก็จะมีอยู่หลากหลายทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันแกนอากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์ หรือแบบที่เป็นวงลูปที่ขึ้นทำจากลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้งที่เป็นลูปแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะและประเภทของงานด้วยเช่นกัน

เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

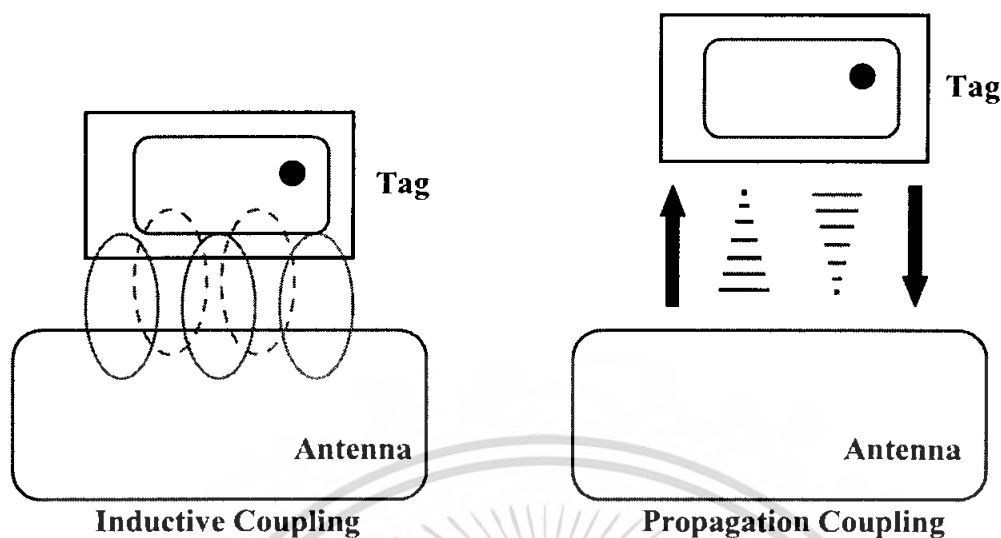
2.4 หลักการทำงานของระบบ RFID

1. ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา แล้วคอยตรวจจับว่ามีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีกรรมวัตถุเลดสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่
2. เมื่อมีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กเริ่มทำงาน และจะทำการส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดดูเลดกับคลื่นพาหะแล้วส่งออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็ก
3. คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด, ความถี่หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดดูเลด
4. ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแล้วแปลงออกมาเป็นข้อมูล แล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

2.5 การสื่อสารแบบไร้สาย

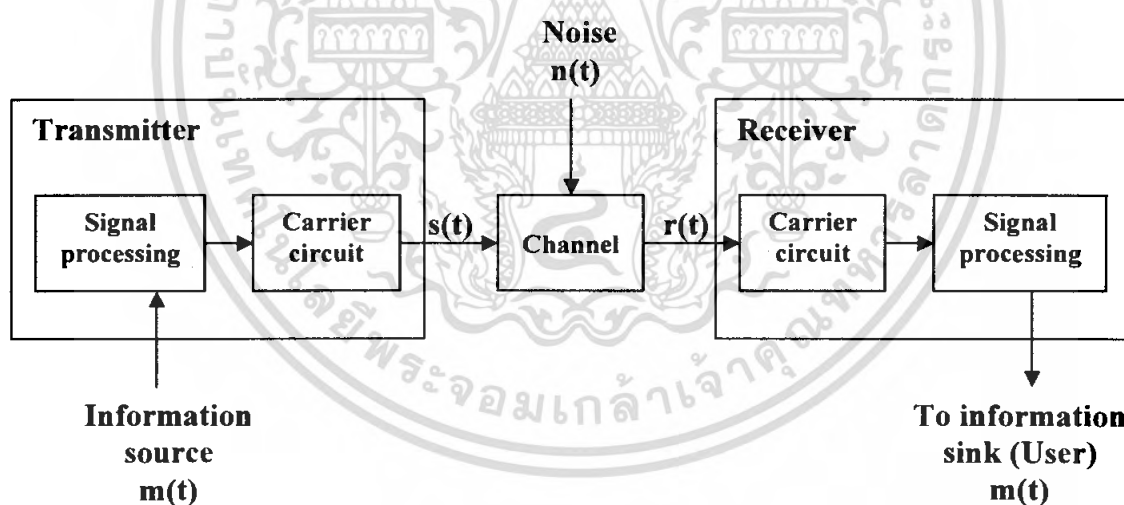
การสื่อสารข้อมูลของระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ คือระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูล จะสื่อสารแบบ ไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดดูเลด กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุโดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) กับ วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation Coupling) ดังรูปที่ 2.7

82443



รูปที่ 2.7 การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล

2.6 การเข้ารหัสและการมอดูเลชัน (Coding and Modulation)



รูปที่ 2.8 แสดงการส่งผ่านข้อมูลและสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบดิจิทัล

จากรูปที่ 2.8 แสดงกระบวนการสื่อสารแบบดิจิทัล ซึ่งคือการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กในระบบ RFID นั้นเอง กระบวนการสื่อสารจะอาศัยหลักการดังนี้ การเข้ารหัสข้อมูล (Signal Coding) การผสมรหัสข้อมูลเข้ากับคลื่นพาหะ (Modulation) การส่งคลื่นสัญญาณออกไป (Transmission) การถอดข้อมูลออกจากคลื่นพาหะ (Demodulation) และการแปลงสัญญาณรหัสข้อมูล (Signal Decoding) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 การเข้ารหัสสัญญาณ (Signal coding)

การส่งหรือรับข้อมูลแบบตรงไปตรงมาจะทำให้ข้อมูลที่ส่งหรือรับมีความยาวเกินไป จึงทำให้มีการคิดค้นวิธีการเข้ารหัส ซึ่งการเข้ารหัสจะทำให้การส่งหรือรับข้อมูลสิ้นสุดลงโดยไม่ถูกรบกวนจากสิ่งรบกวนภายนอก การเข้ารหัสสัญญาณจึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการสื่อสารแบบดิจิทัล

ในระบบสื่อสารแบบดิจิทัลนั้น จะต้องมีการกำหนดรูปแบบของสัญญาณที่แตกต่างกันเพื่อใช้แทนข้อมูลไบนารี “0” และ “1” สำหรับส่งผ่านช่องสัญญาณสื่อสาร ขั้นตอนการเลือกรูปสัญญาณที่เลือกใช้สามารถกำหนดได้หลายลักษณะ อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปคุณสมบัติที่เราให้ความสนใจเกี่ยวกับไลน์โค้ดมีดังต่อไปนี้

คุณสมบัติที่เราให้ความสนใจเกี่ยวกับไลน์โค้ดมีดังต่อไปนี้

1. มีองค์ประกอบของกระแสตรงหรือไม่ (DC component)
2. สามารถซิงโครไนซ์ได้เอง (Self-synchronization) หมายถึงการที่ลำดับหรือชุดของสัญญาณที่ได้รับมีข่าวสารของสัญญาณนาฬิกา (clock) ที่เพียงพอที่จะผนวกมาพร้อมกับข่าวสารของบิตข้อมูล
3. ความน่าจะเป็นที่เกิดความผิดพลาดของบิตต่ำ (Low probability of bit error) คือความสามารถที่จะทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดี
4. สเปกตรัมของสัญญาณมีรูปลักษณะที่เหมาะสมกับช่องสัญญาณ (A spectrum that is suitable for the channel)
5. ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ใช้ในการส่ง (transmission bandwidth)
6. ทรานส์พาเรนต์ซี (Transparency) หมายถึงคุณสมบัติที่ระบบสามารถรับส่งชุดบิตที่มีรูปแบบใดๆก็ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการทำงานของระบบ

ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของตัวอย่างไลน์โค้ดพื้นฐานของแต่ละบิต จะขออธิบายถึงการจัดแบ่งประเภทของไลน์โค้ดออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆดังต่อไปนี้

1. RZ (Return-to-zero)
2. NRZ (Nonreturn-to-zero)

สำหรับไลน์โค้ดแบบ RZ นั้น ภายในช่วงเวลาของแต่ละบิตรูปสัญญาณจะมีการเปลี่ยนระดับไปสู่ค่าศูนย์โวลต์เป็นระยะเวลาช่วงหนึ่งเสมอ ซึ่งโดยทั่วไปจะปรับสัญญาณไปเป็นค่าศูนย์เป็นช่วงเวลาเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่วงเวลาหนึ่งบิต และการบังคับใช้สัญญาณต้องมีการเปลี่ยนระดับไปสู่ศูนย์ทุกๆบิต ข้อดีของวิธีนี้ก็คือ สัญญาณพัลส์เบสแบนด์ที่ส่งออกมาจะมีการเปลี่ยนระดับอย่างแน่นอน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้การซิงโครไนซ์สัญญาณ ณ ภาครับทำได้โดยตรงจากลำดับสัญญาณที่รับได้ เพราะมีข่าวสารของสัญญาณนาฬิกา รวมควมมากับข่าวสารของบิตข้อมูล มาพร้อมกันในสัญญาณที่รับได้ ณ ภาครับ โดยทั่วไปเรามักจะระบุสัดส่วนของเวลาที่สัญญาณไม่เป็นศูนย์ภายในหนึ่งบิตว่าเป็นรอบการทำงาน (duty cycle) ยกตัวอย่างเช่น ถ้าสัญญาณที่ส่งมีค่าไม่เป็นศูนย์อยู่ครึ่งบิตจะกล่าวว่าเป็นสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวมีรอบการทำงานเท่ากับ 50% ในทางกลับกันไลน์โค้ดแบบ NRZ จะไม่มีการปรับสัญญาณภายในช่วงเวลาของแต่ละบิตไปเป็นศูนย์เลย ดังนั้นสัญญาณของไลน์โค้ดแบบ NRZ จึงมีรอบการทำงานเท่ากับ 100% เสมอ แม้ว่าการทำงานของไลน์โค้ดแบบ RZ จะมีข้อดีในส่วนของวงจรโครโมโซมสัญญาณแต่ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ต้องใช้ในการส่งสัญญาณก็มักจะมีความกว้างกว่าการใช้ไลน์โค้ดแบบ NRZ ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการทำไลน์โค้ดใดๆ จึงต้องมีการพิจารณาคุณสมบัติหลายประการประกอบกัน

ไลน์โค้ด Unipolar

ไลน์โค้ด Unipolar หมายถึง การกำหนดให้ระบบส่งสัญญาณที่มีแรงดันเท่ากับ A โวลต์เพื่อแทนบิตข้อมูลไบนารีที่มีค่าเป็น 1 และส่งสัญญาณด้วยแรงดัน 0 โวลต์ เพื่อแทนบิตข้อมูลไบนารีที่มีค่าเป็น 0 การทำไลน์โค้ดชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ออนออฟคีย์อิง (on-off keying) การส่งสัญญาณชนิดนี้ผ่านช่องสัญญาณที่มีการคับเปิดด้วยหม้อแปลงหรือตัวเก็บประจุจะทำให้สัญญาณ Unipolar มีรูปลักษณะเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณ Polar แทนดังนั้นเราจึงกล่าวว่าไลน์โค้ด Unipolar ไม่เหมาะกับการประยุกต์ใช้งานในช่องสัญญาณที่มีการคับเปิดแบบกระแสสลับ

ไลน์โค้ด Polar

การทำไลน์โค้ด Polar กำหนดให้ระบบส่งสัญญาณมีค่าเท่ากับ A โวลต์สำหรับบิตข้อมูลไบนารีที่มีค่าเป็น 1 และส่งสัญญาณที่มีขนาดเท่ากับ A โวลต์สำหรับข้อมูลไบนารีที่มีค่าเป็น 0 สัญญาณที่ได้จากการทำไลน์โค้ดชนิดนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับทุกๆ บิตเสมอเปรียบเสมือนว่าลำดับสัญญาณที่ส่งออกมามีสัญญาณนาฬิกาควรรวมไปด้วยตลอดเวลาทุกบิต จึงทำให้ภาครับสามารถซิงโครไนซ์สัญญาณได้เองโดยตรงจากลำดับสัญญาณที่รับได้

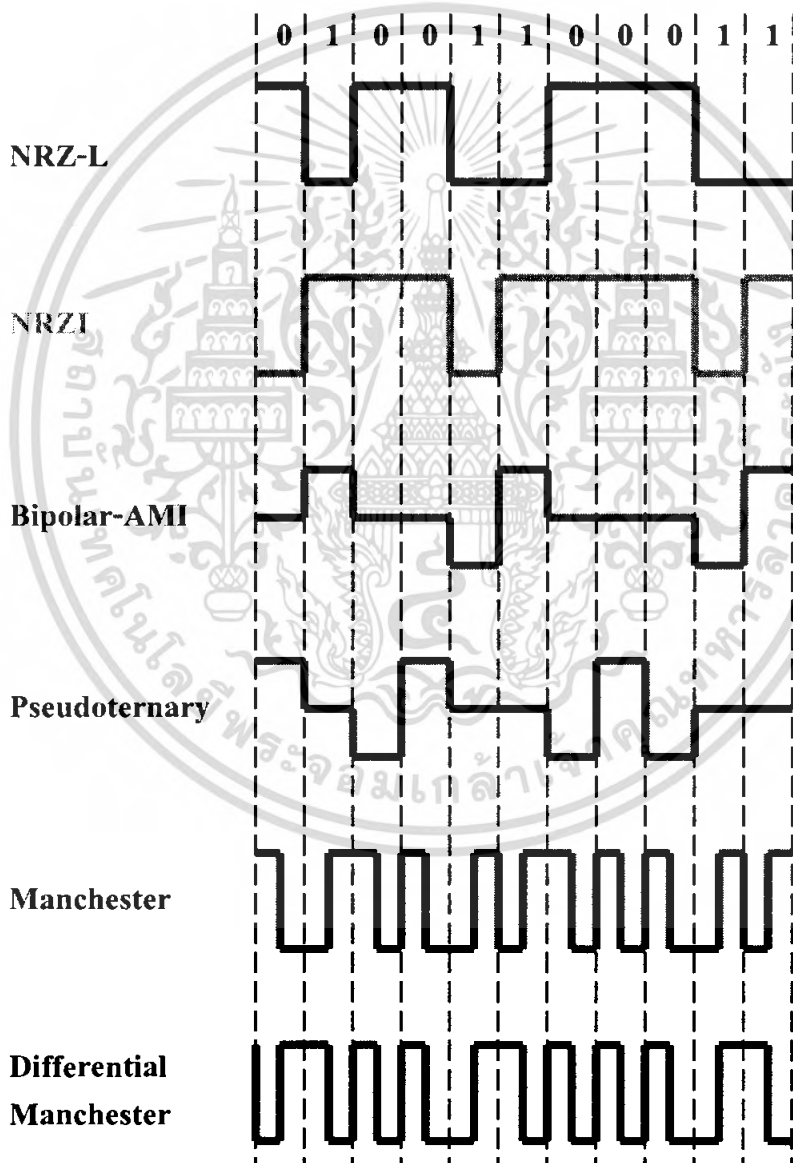
ไลน์โค้ด Bipolar (Alternate mark inversion)

การทำไลน์โค้ด Bipolar หรือ Alternate mark inversion (AMI) กำหนดให้ระบบส่งสัญญาณมีค่าเท่ากับ $-A$ และ A โวลต์สลับกันไปสำหรับบิตข้อมูลไบนารีที่มีค่าเป็น 1 แล้วส่งสัญญาณที่มีขนาดเท่ากับ 0 โวลต์สำหรับบิตข้อมูลไบนารีที่มีค่าเป็น 0

เนื่องจากสัญญาณที่มีการสลับแรงดันระหว่าง $-A$ และ A อย่างต่อเนื่องทุกๆ บิตข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ทำให้ไลน์โค้ด Bipolar ไม่มีองค์ประกอบของกระแสตรงอยู่นอกจากนี้ไลน์โค้ดชนิดนี้ยังมีขีดความสามารถในการตรวจจับความผิดพลาดได้ 1 บิตด้วย

ไลน์โค้ด Manchester (Split-phase)

การทำไลน์โค้ด Manchester หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Split-phase กำหนดให้ระบบส่งสัญญาณมีค่าเท่ากับ A โวลต์เป็นช่วงเวลาครึ่งบิตแล้วตามด้วยสัญญาณ $-A$ โวลต์ครึ่งบิตที่เหลือเพื่อแทนบิตข้อมูลไบนารี 1 ในทางกลับกันให้ส่งสัญญาณแรงดัน $-A$ โวลต์กับครึ่งบิตแรกแล้วตามด้วยสัญญาณ A โวลต์กับครึ่งบิตหลัง เพื่อแทนบิตข้อมูลไบนารี 0 การกำหนดรูปแบบสัญญาณแบบนี้มีข้อดีคือ สัญญาณที่ได้ไม่มีองค์ประกอบกระแสตรงอย่างแน่นอนเพราะค่าเฉลี่ยของสัญญาณมีค่าเป็น 0 ทุกๆบิต ฉะนั้นจึงเหมาะสมอย่างยิ่งกับการนำไปใช้กับช่องสัญญาณที่มีการคับเปิดแบบกระแสสลับ



รูปที่ 2.9 ชนิดของไลน์โค้ดในระบบ RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.9 จะเห็นว่า โลင်းโค้ดมีอยู่หลายชนิดความแตกต่างของแต่ละชนิดก็คือลักษณะการ แสดงค่า “0” กับ “1” ที่ให้ลักษณะของสัญญาณที่แตกต่างกัน โลင်းโค้ดที่เป็นที่นิยมใช้กันคือ NRZ และ Manchester Coding

NRZ coding สัญญาณแทนค่า “1” คือช่วงสัญญาณเป็น “High” สัญญาณแทนค่า “0” คือช่วง สัญญาณที่เป็น “Low”

การเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester Coding) คือ การเข้ารหัสข้อมูลดิจิทัลวิธีหนึ่ง ก่อนที่ข้อมูลซึ่งผ่านการเข้ารหัสแล้วถูกส่งไปมอดูเลต เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับการซิงโครไนซ์ของข้อมูล เนื่องจากการส่งกระจายสัญญาณตามปกตินั้นหากมีการส่งสัญญาณดิจิทัลในระดับเดียวกัน ติดต่อกัน เป็นช่วงยาว เช่น ส่งสัญญาณดิจิทัลที่มีลอจิกเป็น 1 ออกไป 20 บิตติดต่อกัน จะทำให้การซิงโครไนซ์ ของข้อมูลเกิดการคลาดเคลื่อน เพราะโดยปกติวงจรดิจิทัลจะปรับการซิงโครไนซ์ของข้อมูลได้เฉพาะ ในช่วงที่มีการเปลี่ยนระดับของข้อมูลจาก 1 เป็น 0 หรือจาก 0 เป็น 1 แล้วทำให้รับข้อมูลผิดพลาด เพื่อ ป้องกันปัญหาดังกล่าวจึงต้องมีการนำสัญญาณดิจิทัลปกติไปผ่านการเข้ารหัสเสียก่อน โดยการเข้ารหัส แบบแมนเชสเตอร์จะเปลี่ยนให้สัญญาณดิจิทัลลอจิก 0 ถูกแทนที่ด้วยการเปลี่ยนค่าจากลอจิก 0 เป็น ลอจิก 1 และสัญญาณดิจิทัลลอจิก 1 ถูกแทนที่ด้วยการเปลี่ยนค่าจากลอจิก 1 เป็น ลอจิก 0 ข้อดีของการ เข้ารหัสแบบนี้ก็คือทำให้การเปลี่ยนระดับของข้อมูลทุกครั้งเป็นไปอย่างแน่นอนหรือเกิดการเข้า จังหวะ (Synchronize) กันของข้อมูลเหล่านั้นเอง แต่ทว่าการเข้ารหัสแบบนี้มีข้อเสียอยู่คือช่วงเวลาที่ ใช้ในการส่งข้อมูลต้องเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

2.6.2 การมอดูเลตข้อมูลแบบดิจิทัล (Digital Modulation Procedure)

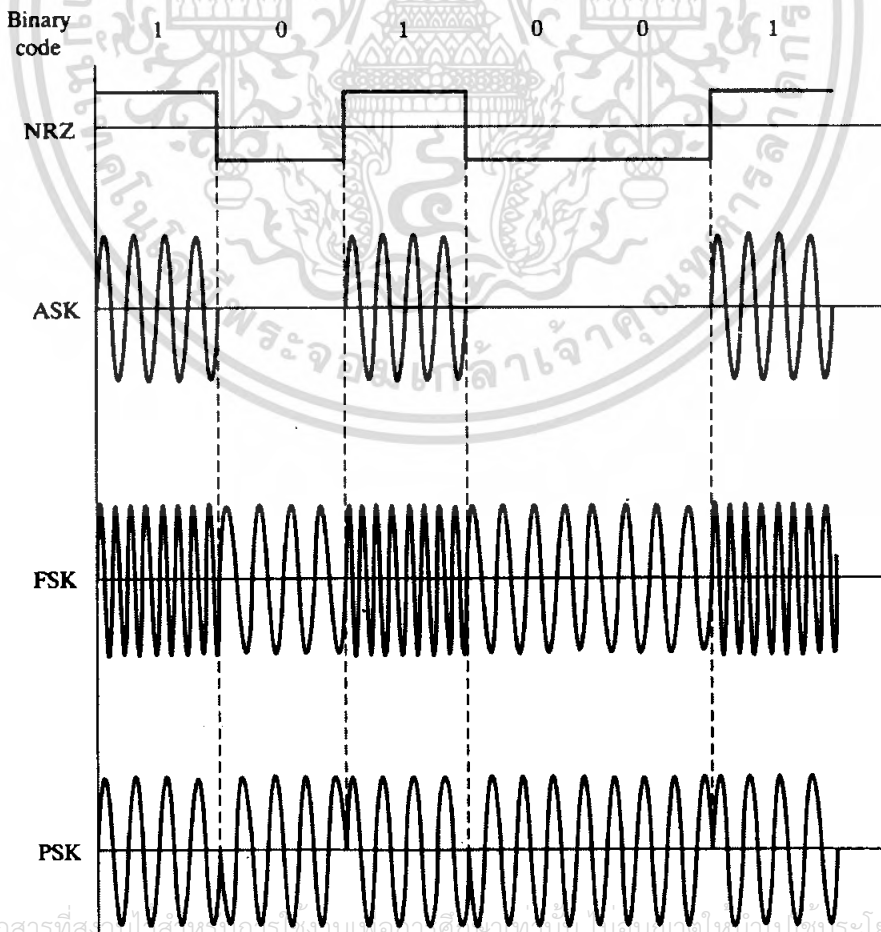
เนื่องจากหลักการพื้นฐานของ RFID คือการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสื่อสารรับส่งข้อมูล ดังนั้นการสื่อสารจะต้องมีกระบวนการมอดูเลตข้อมูลที่เข้ารหัสไว้แล้วกับคลื่นพาหะ แต่เนื่องจากข้อมูล เป็นดิจิทัลจึงต้องใช้การมอดูเลตแบบดิจิทัล

ดิจิทัลมอดูเลชัน คือ กระบวนการแปลงข้อมูลดิจิทัลที่อยู่ในรูป 0 และ 1 ให้เป็นสัญญาณที่มี รูปลักษณะเหมาะสมกับการส่งผ่านช่องสัญญาณ โดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นสัญญาณที่ใช้ในการ ส่งช่องสัญญาณที่ใช้กัน โดยทั่วไปจะเป็นสัญญาณไซน์ซายด์ และเราเรียกสัญญาณที่เหมือนกับพาหะ ในการนำข้อมูลข่าวสารดิจิทัลจากแหล่งกำเนิดไปถึงภาครับ เราเรียกสัญญาณนี้ว่า คลื่นพาหะ (Carrier) การมอดูเลตสัญญาณข่าวสารดิจิทัลลงบนคลื่นพาหะสามารถทำได้หลายลักษณะ วิธีการพื้นฐานที่ สำคัญและเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้งานได้แก่ การมอดูเลตเชิงขนาด (ASK: Amplitude Shift Keying), การมอดูเลตเชิงความถี่ (FSK: Frequency Shift Keying) และการมอดูเลตเชิงเฟส (PSK: Phase Shift Keying)

การมอดูเลตเชิงขนาด (ASK) ความถี่ของคลื่นพาห้ (Carrier) ซึ่งทำหน้าที่นำสัญญาณอนาล็อกผ่านตัวกลางสื่อสารนั้นจะคงที่ ดังนั้นลักษณะของสัญญาณมอดูเลตเมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูลดิจิทัลมีค่าเป็น 1 ขนาดของคลื่นพาห้จะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ขนาดของคลื่นพาห้จะตกลงกว่าปกติ การมอดูเลตแบบ ASK มักจะไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะจะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย

การมอดูเลตเชิงความถี่ (FSK) ในการมอดูเลตแบบFSK ขนาดของคลื่นพาห้จะไม่เปลี่ยนแปลงที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาห้ นั่นคือ เมื่อบิตมีค่าเป็น 1 ความถี่ของคลื่นพาห้จะสูงกว่าปกติและเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นพาห้ก็จะต่ำกว่าปกติ

การมอดูเลตเชิงเฟส (PSK) หลักการของ Phase Shift Keying (PSK) คือ ค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาห้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ที่จะเปลี่ยนคือเฟสของสัญญาณ กล่าวคือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของบิตจาก 1 ไปเป็น 0 หรือเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน (Shift) ไป 180 องศาด้วย 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



รูปที่ 2.10 การมอดูเลตข้อมูลแบบต่างๆ

2.7 ลักษณะการทำงานรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ

ถ้าแบ่งตามลักษณะการทำงานรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุได้อีก 2 ประเภท คือ มาตรฐาน RFID แบบที่ใช้การสื่อสารแบบ Full Duplex / Half Duplex และแบบ Sequential ซึ่งรูปแบบการสื่อสารทั้ง 3 ประเภทนี้มีความแตกต่างจากมาตรฐาน RFID ประเภท 1 บิต ที่ใช้เทคโนโลยีง่ายๆ ในการตรวจจับ โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องลูกข่าย ดังเช่น การใช้วงจรออสซิลเลเตอร์กระตุ้น หรือการใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทไดโอด ซึ่งมีคุณสมบัติการตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กเฉพาะตัว โดยมีการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติโดยแทนเหมือนกับการที่เราเปลี่ยนสถานะลอจิกของอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID จาก “0” เป็น “1” หรือในทางกลับกัน

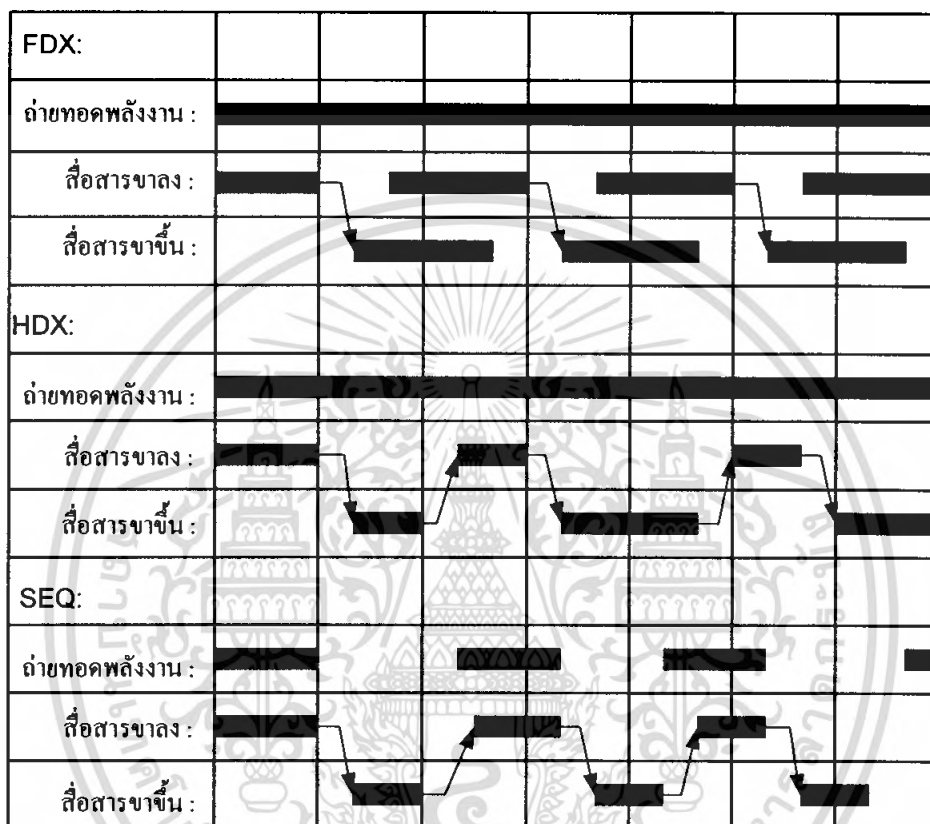
สำหรับอุปกรณ์ RFID ประเภทที่จะกล่าวถึงในบทความตอนนี้มีรูปแบบโครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายและรูปแบบการทำงานที่ซับซ้อนกว่ากรณีของระบบ RFID แบบ 1 บิต กล่าวคือมีการติดตั้งชิป(Chip) ซึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับบันทึกข้อมูลต่างๆ ไว้ภายในตัวเครื่องลูกข่ายซึ่งโดยทั่วไปขนาดความจุในการเก็บบันทึกข้อมูลของชิปเหล่านี้มีตั้งแต่หลักร้อยไบต์ ไปจนถึงหลายๆกิโลไบต์ ขึ้นอยู่กับความต้องการนำไปใช้งานเป็นสำคัญ นอกจากนี้รูปแบบในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านก็มีความแตกต่างกันออกไปตามกลวิธี ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานออกได้ตามรูปที่ 2.11 ซึ่งประกอบไปด้วยการสื่อสารแบบ Full Duplex โดยเครื่องอ่านนั้นจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่ายได้ตลอดเวลา

การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย (Downlink) และการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังเครื่องอ่าน (Uplink) สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด ต่างจากการสื่อสารแบบ Half Duplex ซึ่งแม้เครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา แต่ก็ต้องมีการกำหนดจังหวะผลัดกันรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย สำหรับการสื่อสารแบบสุดท้ายคือ Sequential นั้น จะมีการจำกัดเวลาในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไฟให้เครื่องลูกข่ายในลักษณะพัลส์ (Pulse) หรือก่อนพลังงานที่ส่งออกในแต่ละช่วงเวลาและใช้ การปรากฏขึ้นของพลังงานไฟฟ้าหรือพัลส์ซึ่งเป็นสัญญาณที่กำหนดให้มีการส่งข้อมูล Downlink ส่วนช่วงที่ไม่มีพลังงานปรากฏอยู่จะเป็นการส่งสัญญาณ Uplink

สิ่งที่ยังคงความสับสนในแวดวงเทคโนโลยี RFID ปัจจุบันก็คือ ผู้ผลิตอุปกรณ์จำนวนมากยังไม่สามารถตกลงกันได้ในเรื่องของการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคของอุปกรณ์ RFID ที่มีการทำงานแบบ Half Duplex และ Sequential เนื่องจากหากไม่พิจารณาถึงความแตกต่างในเรื่องของการส่งพลังงานไฟฟ้าแล้ว รูปแบบการทำงานรับส่งข้อมูลของเทคโนโลยีทั้งสองแบบมีความเหมือนกันทุกประการ จะก่อให้เกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนในวงกว้างจนถึงขนาดที่ผู้ผลิตอุปกรณ์บางรายประกาศว่ามาตรฐานในการรับส่งข้อมูลมีอยู่เพียง 2 ประเภท คือ Full Duplex และ Half Duplex โดยเข้าใจว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานแบบใดที่ใช้การส่งพลังงานแบบพัลส์นั้นก็คือระบบแบบ Half Duplex ส่วนมาตรฐานแบบใดที่มีการส่งพลังงานอยู่ตลอดเวลาเป็นมาตรฐานแบบ Full Duplex ซึ่งเป็นสิ่งที่คลาดเคลื่อนจากมาตรฐานทางเทคนิค และผู้เขียนขอทำความเข้าใจที่ถูกต้องโดยยึดหลักในการรับส่งข้อมูลประกอบกับแนวทางในการส่งพลังงานดังได้กล่าวถึงข้างต้นเป็นสำคัญ



รูปที่ 2.11 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential

2.8 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing

เมื่อทำความเข้าใจกับรูปแบบในการรับส่งข้อมูลแล้ว ซึ่งผู้เขียนจะขอกล่าวถึงมาตรฐานการสื่อสาร RFID แบบ Duplexing ซึ่งสามารถจำแนกตามรูปแบบการทำงานได้ 4 ประเภท อันได้แก่ เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling, Electromagnetic backscatter Coupling, Close Coupling และ เทคโนโลยี Electrical Coupling ซึ่งจะขอกล่าวแต่ เทคโนโลยี แบบ Inductive Coupling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 เทคโนโลยี แบบ Inductive Coupling

เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็ก โครงสร้างของเครื่องลูกข่ายประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือชิปที่ใช้เก็บข้อมูลต่างๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ ทั้งนี้จะกล่าวถึงเทคนิคในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องลูกข่ายเพื่อเลี้ยงให้อุปกรณ์ชิปสามารถทำงานได้ก่อนจะกล่าวถึงเทคนิคที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

2.8.2 การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เนื่องจากการทำงานของเครื่องลูกข่ายนั้นเป็นแบบพาสซีฟ (Passive operation) กล่าวคือไม่มีแหล่งพลังงานภายในเป็นของตนเอง จึงจำเป็นต้องรับพลังงาน (Energy) มาจากเครื่องอ่านโดยตรง ด้วยเหตุนี้ เราจึงต้องมีการออกแบบระบบสายอากาศของเครื่องอ่าน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) ให้สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำลังสูง สามารถครอบคลุมขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้อย่างเหมาะสม

ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกมาจากเครื่องอ่านนี้มีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ซึ่งโดยทั่วไปมักวางห่างกันไม่ถึง 1 เมตร ในขณะที่เทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling ส่วนใหญ่ใช้ความถี่ต่ำเพียง 135 กิโลเฮิร์ตซ์ หรืออาจจะต่ำกว่า ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีความยาวคลื่นสูงมากถึง 2,400 เมตร แม้ในบางระบบที่ใช้ความถี่ใช้ความถี่สูงในย่าน 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ก็ยังกำเนิดคลื่นสัญญาณที่มีความยาวคลื่นถึง 22.1 เมตร จึงไม่มีปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไปจนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบนหรือถูกกลทอนจากผนังอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ หากพิจารณาถึงพื้นที่ใช้งานโดยทั่วไปที่มีได้ไกลหรือกว้างใหญ่มากนัก

สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะตกกระทบขดลวดซึ่งเป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อนๆ ขึ้นบนขดลวดดังกล่าวซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากระบวนการเรกติไฟร์โดยตัวเก็บประจุและไดโอด เพื่อใช้กรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับอุปกรณ์ชิป ทั้งนี้หัวใจของการออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ C1 ซึ่งจะต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด L เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่กำทอน (Resonance Frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่านเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องลูกข่าย

สิ่งที่ผู้ออกแบบอุปกรณ์เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling เราต้องให้ความสำคัญมากที่สุดก็คือการออกแบบขดลวดทั้งที่เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย ให้สามารถถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าให้แก่กันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด หากเราจินตนาการเปรียบเทียบการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองมิได้พันอยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกัน กลับกลายเป็นใช้อากาศซึ่งมีคุณสมบัติในการนำพาสัญญาณที่เลวร้ายกว่าแกนแม่เหล็กมากๆ

ดังนั้นในการออกแบบระบบแบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่าน และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่เครื่องลูกข่าย มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย

เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารนั้นมีค่าสูงมากขึ้น เราจะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าลดลง ซึ่งก็หมายถึงใช้จำนวนรอบในการพันลดลงเช่นกัน ตัวอย่างเช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 135 กิโลเฮิร์ตซ์ จะต้องมีการพันขดลวดอากาศที่เครื่องลูกข่ายในช่วง 100-1,000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ก็จะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวดจะเหลือเพียง 3-10 รอบเท่านั้น

ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายลงได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จะส่งผลให้แรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่สูงลดลงเมื่อเทียบกับการใช้งานในย่านความถี่ต่ำ ทำให้จำกัดระยะทางในการใช้งานมากขึ้น การเลือกใช้อุปกรณ์ Inductive Coupling จึงต้องพิจารณาทั้งขนาดของเครื่องลูกข่ายและระยะทางที่ต้องการใช้งานตรวจสอบเป็นสำคัญ เพื่อใช้ในการกำหนดเลือกย่านความถี่ที่เหมาะสมของอุปกรณ์ใช้งาน

สิ่งที่พึงให้ความสนใจเกี่ยวกับการออกแบบระบบ RFID แบบ Inductive Coupling ก็คือพฤติกรรมการกินกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ชิพที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องลูกข่าย เนื่องจากค่อนข้างมีความหลากหลายและสัมพันธ์กับรูปแบบในการนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งการเลือกค่าความถี่พื้นฐานในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย ระยะทางพื้นที่ใช้งาน และขนาดของอุปกรณ์อันเนื่องมาจากจำนวนรอบของขดลวดสายอากาศ จึงจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับประเภทของการทำงานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังตารางที่ 2.1 เป็นการแสดงจำแนกประเภทของชิพ (ASIC) รุ่นต่างๆ ซึ่งผู้เขียนไม่ขอเปิดเผยรุ่นและยี่ห้อ โดยเปรียบเทียบขนาดหน่วยความจำ การกินกระแสไฟฟ้า และคุณสมบัติอื่นๆ ทั้งนี้การเลือกใช้งานชิพ ASIC นั้นจะต้องขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นสำคัญ

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

ตารางที่ 2.1 ความหลากหลายของชิปที่ใช้บันทึกข้อมูลในเครื่องลูกข่าย RFID แยกตามประเภทของการประยุกต์ใช้งานและ เปรียบเทียบกับการกินกระแสไฟฟ้าและคุณลักษณะด้านอื่นๆ

2.9 การส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน

มาตรฐาน RFID แบบ Inductive Coupling กำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายังเครื่องอ่าน หรือ Uplink Communication โดยใช้เทคโนโลยีตัวเลือกที่เป็นการส่งกระจายคลื่นความถี่วิทยุออกเป็น 3 ประเภท คือ Load Modulation, Load Modulation with sub carrier และ Sub harmonic procedure ซึ่งจะขออธิบายแค่ Load Modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยี Load Modulation

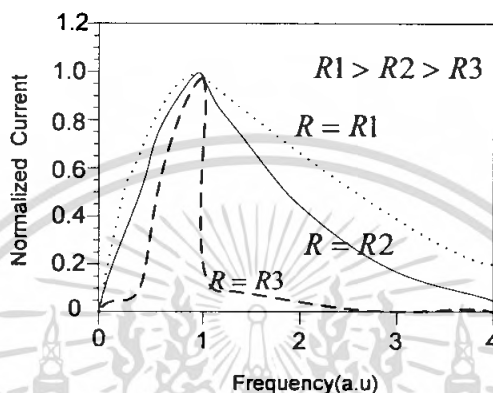
ดังได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่าพฤติกรรมในการส่งพลังงานและสัญญาณ ระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและขดลวดของเครื่องลูกข่าย มีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากการทำงานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่อย่างใด หากแต่เพียงตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานนั้นเป็นอากาศมิใช่โลหะหรือแท่งแม่เหล็กดังเช่นที่พบเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป อย่างไรก็ตามการที่เราใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดทั้งสองนั้น จะทำได้ก็ต่อเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายห่างกันไม่เกิน 0.16 เท่าของค่าความยาวคลื่น (0.16) ซึ่งหากคิดกรณีที่ใช้ความถี่ย่าน 135 kHz ที่มีความยาวคลื่น 2,400 เมตร ก็จะหมายความว่า จะวางเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่านห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน $0.16 * 2,400 = 384$ เมตร

หากมีการนำเครื่องลูกข่ายซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ(LC) ตรงกันกับค่าความถี่กำทอนของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบ โดยมีการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน เครื่องลูกข่ายย่อมจะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาใจแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้ว เครื่องอ่านจะมองเห็นเครื่องลูกข่ายเป็นโหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ ZT ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน การเปลี่ยนแปลงใดๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ ZT ที่เครื่องอ่านมองเห็นอย่างแน่นอน เนื่องจากในของวงจร Resonant ที่เกิดจากขดลวด (L) และตัวเก็บประจุ (C) บนเครื่องลูกข่ายย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ตกกระทบและไม่มีมีการจ่ายพลังงานจึงเทียบเท่ากับความถี่เท่ากับศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เสมือน ZT นั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดัน ไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่านโดยปริยาย ซึ่งนี่เองที่เป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมา เรียกเทคโนโลยีแบบนี้ว่า Load Modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half Duplex หรือ Full Duplex นั้นก็สุดแท้แต่การออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณซึ่งเป็นเรื่องที่ลงรายละเอียดไปในการออกแบบ

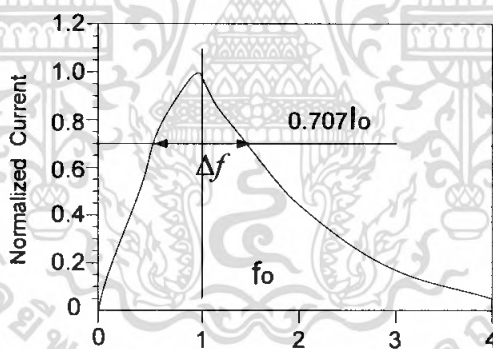
2.10 คุณลักษณะของการกำทอน และค่าคุณภาพของการกำทอน(Quality Factor,Q)

เมื่อพิจารณาคุณลักษณะของการกำทอนของวงจร R-L-C แล้วจะเห็นว่าเป็นการเปลี่ยนแปลง (ดูด/คาย) พลังงานโดยฉับพลัน ซึ่งปัจจัยหลักของการดูด/คาย นี้ก็คือความสามารถในการเก็บพลังงาน (ของ L,C) และความสามารถในการใช้พลังงาน (ของ R) ถ้านำวงจร R-L-C แบบอนุกรมมาหาการตอบสนองความถี่ของกระแสที่ไหลในวงจรที่มีค่า L,C คงที่ และเปลี่ยนค่า R แล้วจะได้ความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5(ก) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในวงจรที่มีค่า R สูง ในทางทฤษฎีได้กำหนดคุณภาพของการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดเป็นค่า Factor ที่เรียกว่า Quality Factor หรือ Q Factor ด้วยคำจำกัดคืออัตราส่วนระหว่างพลังงานที่สูญเสียต่อพลังงานที่เก็บได้ หรือ อัตราส่วนระหว่างช่วงความถี่ที่พลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง (Δf) ต่อความถี่กำหนด (f_0) ดังแสดงในรูปที่ 2.5(ข) จากนิยามดังกล่าวสามารถหา Q Factor ตามสมการข้างล่างนี้



(ก) Normalized Current ที่ค่าต่างๆ



(ข) คุณลักษณะที่ใช้ในการหาคุณภาพของการกำหนด

รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและคุณภาพการกำหนดของวงจรอนุกรม R-L-C

จาก $Q = \frac{\text{พลังงานที่เก็บได้}}{\text{พลังงานที่สูญเสีย}}$

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

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{f_0}{\Delta f} \tag{2.2}$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่กล่าวมานี้ทั้งหมดจะเป็นการวิเคราะห์หาค่าคงที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะการกำหนดของวงจร R-L-C ที่ต่อแบบขนานจะมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ที่คล้ายกับการวิเคราะห์ที่กล่าวมาโดยใช้คุณสมบัติ Duality ของ วงจรไฟฟ้านั้นคือ

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

กล่าวโดยย่อได้คือในกรณีวงจร R-L-C แบบขนานนั้นเราใช้แหล่งจ่ายกระแสโดยมีตัวความต้านทาน ขนานกับ L และ C ที่ Resonance frequency จะทำให้ค่า Admittance ของวงจรต่ำสุด เท่ากับ $1/R$ และมีผลทำให้ค่าศักดาที่คร่อม L และ C มีค่าสูงสุด และคุณภาพของการตอบสนอง หรือค่า Q Factor สามารถดูได้จากการตอบสนองทางความถี่ของค่าศักดาที่คร่อม L และ C นั้นเอง คุณสมบัติต่างๆ ของการกำหนดของวงจร R-L-C สามารถนำมาเขียนสรุปได้ตามตารางที่ 2.2

คุณสมบัติ	วงจรอนุกรม	วงจรขนาน
ความถี่กำหนด Resonance Frequency	$\frac{1}{\sqrt{LC}}$	$\frac{1}{\sqrt{LC}}$
ช่วงความถี่ที่พลังงาน 50 % (B) Half-power(-3dB) Bandwidth	$\frac{R}{L}$	$\frac{1}{RC}$
ค่าคุณภาพของการกำหนด(Q)	$\frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$	$R \sqrt{\frac{C}{L}}$

ตารางที่ 2.2 ค่าแสดงคุณลักษณะของการกำหนดของวงจร R-L-C

2.11 วงจรเรโซแนนซ์

วงจรเรโซแนนซ์ (resonance) เป็นวงจรที่ต่อร่วมกันระหว่างตัวเก็บประจุ (C) กับขดลวดเหนี่ยวนำ (L) บางคนอาจเรียกวงจรแบบนี้ด้วยชื่ออื่น เช่น วงจรจูน (tune) วงจรแท็งก์ (tank) เป็นต้น วงจรเรโซแนนซ์นั้นถูกนำมาใช้กับเครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุทั่วไป โดยซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะให้วงจรเรโซแนนซ์นั้นเป็นตัวเลือกความถี่ และให้เป็นตัวกำหนดความถี่ที่กำเนิดขึ้น ให้เป็นตัวกั้นความถี่ หรือให้เป็นทางผ่านของความถี่แล้วแต่กรณี วงจรเรโซแนนซ์แบบใช้ขดลวดร่วมกับตัวเก็บประจุ มีอยู่ 2 แบบคือ วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม(series resonance) และวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน(parallel resonance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปลักษณะของวงจรเรโซแนนซ์นั้นจะยอมให้ความถี่ค่าหนึ่งเท่านั้นที่สามารถผ่านได้ เราเรียกความถี่ที่สามารถผ่านวงจรเรโซแนนซ์ได้คือนี้ว่าความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance Frequency) โดยถ้าเราป้อนความถี่เรโซแนนซ์ให้กับวงจรเรโซแนนซ์ที่เป็นแบบอนุกรม วงจรจะมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ ผลลัพธ์ก็คือจะมีกระแสที่ใช้ในวงจรมากและมีแรงดันตกคร่อมวงจรต่ำที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปเราจะใช้วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมสำหรับทำสายอากาศของเครื่องอ่าน ส่วนวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งจะส่งผลให้ค่ากระแสที่ได้จะมีค่าต่ำและแรงดันตกคร่อมวงจรจะมีค่าสูง ดังนั้นเราจึงใช้วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะใช้สำหรับทำสายอากาศของเครื่องลูกข่าย โดยปกติแล้ววงจรเรโซแนนซ์จะต้องมีแบนด์วิดท์ที่สามารถยอมให้ความถี่ข้างเคียงกับความถี่เรโซแนนซ์ทั้งด้านสูงและด้านต่ำผ่านไปในช่วงหนึ่ง ดังนั้นความถี่เรโซแนนซ์จึงหมายถึงความถี่ที่ผ่านวงจรตลอดแบนด์วิดท์ ซึ่งอาจจะกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์นั้นๆ

2.11.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมอย่างง่ายแสดงดังในรูปที่ 2.13 สมการแสดงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรคือ

$$Z(j\omega) = r + j(X_L - X_C) \quad (2.3)$$

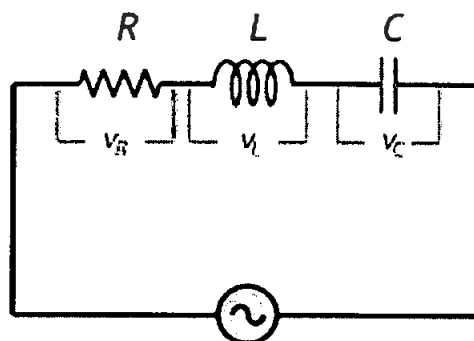
โดยที่ $r =$ ความต้านทานของวงจร

$$X_L = 2\pi f_0 L \quad (2.4)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_0 C} \quad (2.5)$$

ค่าอิมพีแดนซ์ในสมการที่ 2.4 จะมีค่าลดลงเมื่อองค์ประกอบค่ารีแอกแตนซ์ทั้งสองมีค่าเท่ากัน ($X_L = X_C$) เรียกว่าสภาวะเรโซแนนซ์ ความถี่เรโซแนนซ์หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.6)$$



$$V = v \sin \omega t$$

รูปที่ 2.13 แสดงวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังรีงของความถี่แบนด์วิดท์จะถูกกำหนดโดยค่า R และ L ดังสมการ

$$B = \frac{r}{2\pi L} \quad (2.7)$$

ค่าประสิทธิภาพ Q ในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมสามารถแสดงได้ดังนี้

$$Q = \frac{f_0}{B} = \begin{cases} \frac{\omega L}{r} = \frac{1}{\omega Cr} \\ \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}} \end{cases} \quad (2.8)$$

วงจรมีอนุกรมเป็นรูปแบบการแบ่งแรงดัน เพราะฉะนั้นแรงดันที่ตกคร่อมในขดลวดจะคำนวณได้จากสมการ

$$V_0 = \frac{jX_L}{r + jX_L - jX_C} V_{in} \quad (2.9)$$

หรือ

$$\left| \frac{V_0}{V_{in}} \right| = \frac{X_L}{\sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{X_L}{r \sqrt{1 + \left(\frac{X_L - X_C}{r} \right)^2}} = \frac{Q}{\sqrt{1 + \left(\frac{X_L - X_C}{r} \right)^2}} \quad (2.10)$$

2.11.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานค่าอิมพีแดนซ์รวมของวงจรสามารถหาได้จากสมการ

$$Z(j\omega) = \frac{j\omega L}{(1 - \omega^2 LC) + j \frac{\omega L}{R}} \quad (2.11)$$

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

$R =$ ความต้านทานโหลด

เราสามารถหาความถี่เรโซแนนซ์หาได้จาก

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.12)$$

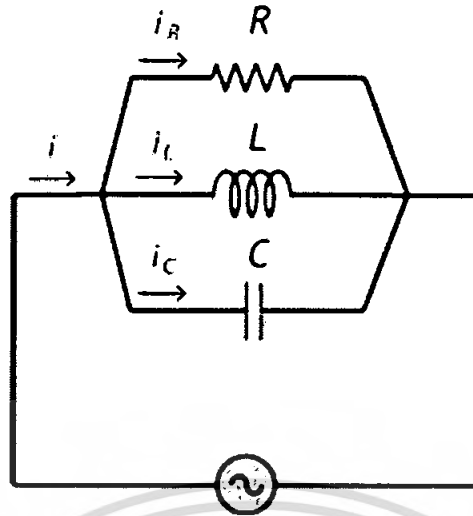
ทำการแทนสมการที่ 3.3 ลงในสมการที่ 3.4 ค่าความต้านทานที่ความถี่เรโซแนนซ์จะได้

$$Z = R \quad (2.13)$$

ค่า R และ C ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน สามารถนำมาคำนวณแบนด์วิดท์ B ของ วงจรได้ดังสมการ

$$B = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

ค่าประสิทธิภาพ Q สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$Q = \frac{f_0}{B} \quad (2.15)$$

โดยที่ $f_0 =$ ความถี่เรโซแนนซ์

$B =$ แบนด์วิดท์

แทนสมการที่ 2.13 และ สมการที่ 2.14 ลงในสมการที่ 2.15 ค่าประสิทธิภาพ Q ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะได้ดังสมการ

$$Q = R \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (2.16)$$

ค่าประสิทธิภาพในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะแปรผันตรงกับค่าความต้านทานและ ค่ารากที่สองอัตราส่วนระหว่างค่าความจุกับค่าความเหนี่ยวนำในวงจร ในวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานจะใช้สำหรับวงจรสายอากาศของเครื่องลูกข่ายแรงดันที่ตกคร่อมในวงจรสามารถที่จะคำนวณได้จากสมการที่ 2.17 และ สมการที่ 2.16

$$\begin{aligned} V_0 &= 2\pi f_0 N Q S B_0 \cos \alpha \\ &= 2\pi f_0 N \left(R \sqrt{\frac{C}{L}} \right) S B_0 \cos \alpha \end{aligned} \quad (2.17)$$

สมการข้างต้นแสดงถึงการเหนี่ยวนำแรงดันในขดลวดเครื่องลูกข่ายเป็นส่วนกลับของรากที่สองของค่าความเหนี่ยวนำ และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบและพื้นที่ผิวของขดลวด

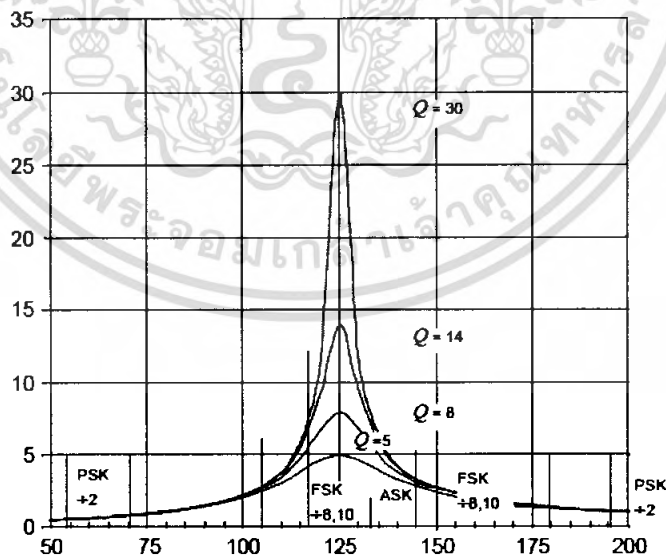
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานสามารถใช้ในสายอากาศแบบลูปรานฟอว์เมอร์ สำหรับเครื่องอ่านที่ระยะทางไกลๆอธิบายได้ในสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน แรงดันในลูปรานฟอว์เมอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราส่วนของจำนวนรอบ (n_2/n_1) ของลูปรานฟอว์เมอร์ แม้ว่าสัญญาณมีแรงดันสูงก็ตามไม่สามารถที่จะรับสัญญาณได้ สาเหตุที่แยกสายอากาศเพื่อต้องการสำหรับการรับสัญญาณ วงจรสายอากาศรับควรจะจูนสัญญาณที่ทำการมอดูเลทของเครื่องลูกข่าย

2.11.3 ค่าประสิทธิภาพ (Q) และแบนด์วิดท์

จากรูปที่ 2.15 แสดงการประมาณช่วงความถี่สำหรับรูปแบบรวมๆ ของการมอดูแบบแอมพลิจูดิฟต์คีย์อิง (ASK) , ฟรีควีนซีซีฟต์คีย์อิง (FSK) และเฟสซีฟต์คีย์อิง (PSK) สำหรับการกู้ของสัญญาณข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายวงจรของเครื่องอ่าน ต้องการแบนด์วิดท์ที่มีค่าน้อยที่สุดเป็นสองเท่าของอัตราส่วนข้อมูล ดังนั้นถ้าอัตราส่วนของข้อมูลคือ 8 kHz สำหรับสัญญาณแบบแอมพลิจูดิฟต์คีย์อิง แบนด์วิดท์จะต้องมีค่าน้อยที่สุดที่ 16 kHz สำหรับการกู้ของข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องลูกข่าย

อัตราข้อมูลสำหรับสัญญาณฟรีควีนซีซีฟต์คีย์อิง ($\div 10$) คือ 12.5 kHz ดังนั้นแบนด์วิดท์ที่ต้องการสำหรับการกู้ข้อมูลคือ 25 kHz สำหรับสัญญาณเฟสซีฟต์คีย์อิง($\div 2$) อัตราข้อมูลคือ 62.5 kHz (ถ้าความถี่คลื่นพาห้คือ 125 kHz) ดังนั้นวงจรเครื่องอ่านต้องการแบนด์วิดท์ 125 kHz ค่าประสิทธิภาพในกรณีนี้จะเท่ากับ 1 ปัญหาในที่นี่แก้ไขโดยการแยกขดลวดส่งและขดลวดรับซึ่งขดลวดส่งสามารถออกแบบให้มีค่าประสิทธิภาพสูงและขดลวดรับสามารถออกแบบให้มีค่าประสิทธิภาพต่ำ



รูปที่ 2.15 ค่าประสิทธิภาพกับรูปแบบการมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 ค่าเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance)

ค่าความเหนี่ยวนำร่วม คือ ความสามารถของขดลวดหนึ่งที่เกิดเหนี่ยวนำแรงดันให้เกิดขึ้นที่ขดลวดข้างเคียง โดยมีหน่วยเป็นเฮนรี (H) วงจรทางไฟฟ้าสามารถแบ่งการเชื่อมโยงได้ 2 แบบคือ

- การเชื่อมโยงทางตัวนำ (Conductively Coupled) หมายถึง ลูปหนึ่งในวงจรไปมีผลต่ออีกลูปหนึ่งในวงจรผ่านกระแส

- การเชื่อมโยงทางสนามแม่เหล็ก (Magnetically Coupled) หมายถึง ลูปหนึ่งในวงจรไปมีผลต่ออีกลูปหนึ่งในวงจรที่ไม่ได้เชื่อมต่อกันผ่านทางสนามแม่เหล็กหม้อแปลง (Transformer) เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งที่ใช้หลักการเชื่อมต่อทางสนามแม่เหล็กซึ่งถูกมองในรูปพลังงานที่ถ่ายเทจากวงจรหนึ่งไปอีกวงจรหนึ่ง



รูปที่ 2.16 ฟลักซ์สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 2.16 ขดลวดพัน N รอบจะมี กระแสไหล, $i(t)$ ผ่านทำให้เกิดฟลักซ์สนามแม่เหล็ก ϕ ที่เกิดขึ้นรอบๆขดลวด จากกฎของฟาราเดย์กล่าวไว้ว่า

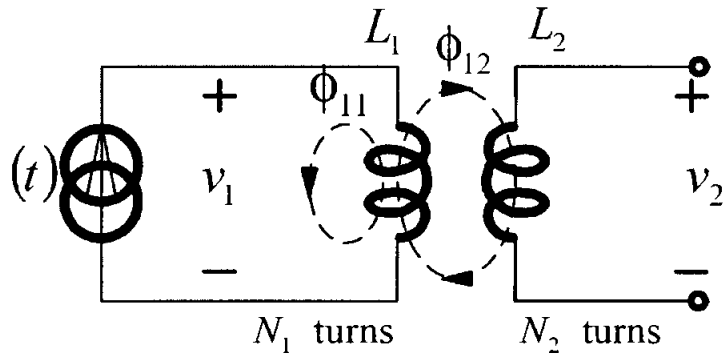
$$v = N \frac{d\phi}{dt}$$

ฟลักซ์, ϕ ก็เกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสต่อเวลาดังนั้น

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

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

โดยที่ L จะถูกเรียกว่า Self-Inductance เนื่องจาก ผลของแรงดันที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงกระแสต่อเวลาในขดลวดเดียวกัน



รูปที่ 2.17 ขดลวดที่ค่า Self-Inductance เท่ากับ L_1 และ L_2

ขดลวด 2 ขดที่ค่า Self-Inductance เท่ากับ L_1 และ L_2 มาวางใกล้กันดังรูปที่ 2.17 ขดลวด L_1 และ L_2 พัน N_1 และ N_2 รอบตามลำดับ เนื่องจากขดลวด L_2 ไม่มีกระแสไหล ฟลักซ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขดลวดที่ 1 คือ $\phi_1 = \phi_{11} + \phi_{12}$

$$\text{แรงดันที่เกิดขึ้นที่ขดลวดที่ 1: } v_1 = N_1 \frac{d\phi_1}{dt} = N_1 \frac{d\phi_{11}}{di_1} \frac{di_1}{dt} = L_1 \frac{di_1}{dt}$$

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

โดยที่ M_{21} : mutual-Inductance ของขดลวด

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

$$\text{แรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดที่ 2: } v_2 = N_2 \frac{d\phi_2}{dt} = N_2 \frac{d\phi_{21}}{di_2} \frac{di_2}{dt} = L_2 \frac{di_2}{dt}$$

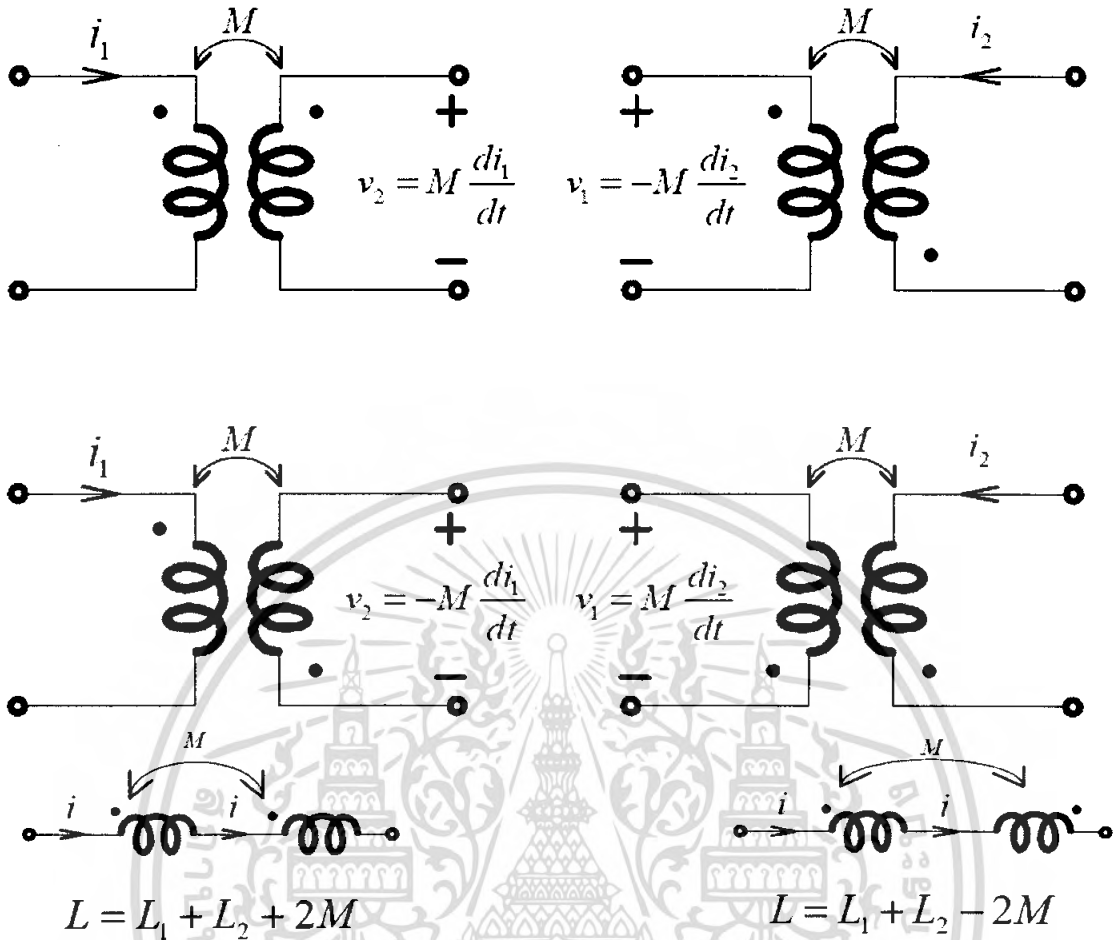
$$\text{ซึ่งทำให้ } v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt}$$

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

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

ความยุ่งยากในการกำหนดแรงดัน ความเหนี่ยวนำร่วม สามารถพิจารณาได้โดยใช้ Dot Convention ดังนั้น

- ถ้ากระแสไหลเข้าจุดของขดลวดอันแรก แรงดันเหนี่ยวนำร่วมของขดลวดที่สองที่ขั้วของจุดจะเป็นบวก
- ถ้ากระแสไหลออกจากจุดของขดลวดอันแรก แรงดันเหนี่ยวนำร่วมของขดลวดที่สองที่ขั้วของจุดจะเป็นลบ



รูปที่ 2.18 ทิศทางของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวด

2.12.1 พลังงานในวงจรที่เชื่อมโยงกัน (Energy in a Coupled Circuit)

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

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

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

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

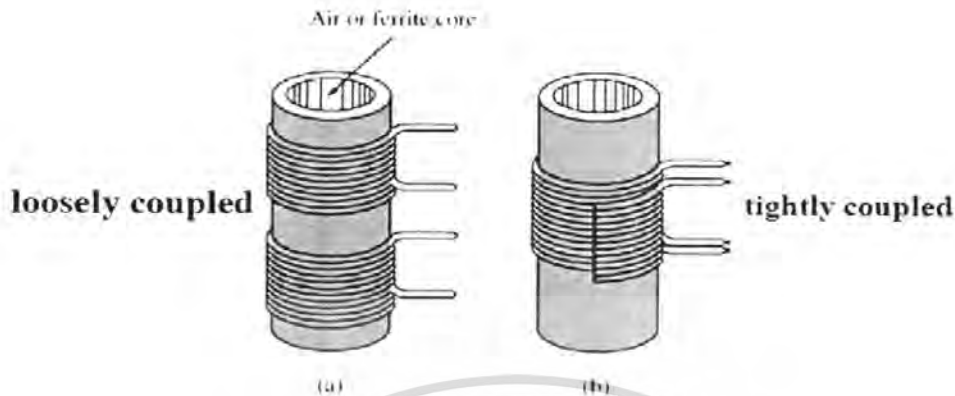
อัตราส่วนของค่าความเหนี่ยวนำร่วม ต่อค่าเฉลี่ยของค่าความเหนี่ยวนำส่วนตัวคือค่าสัมประสิทธิ์การคัปปลิง (Coefficient of coupling), k

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

สำหรับ $k < 0.5$ จะเรียกว่า Loosely Coupled

สำหรับ $k > 0.5$ จะเรียกว่า Tightly Coupled

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 สัมประสิทธิ์การคัปปลิง

2.12.2 หม้อแปลงแบบเชิงเส้น (Linear Transformers)

- ขดลวดปฐมภูมิ (primary coil) เป็นขดลวดที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่าย
- ขดลวดทุติยภูมิ (secondary coil) เป็นขดลวดที่เชื่อมต่อกับโหลด
- แกน (core) เป็นส่วนแกนที่ขดลวดพันรอบ โดยหม้อแปลงจะเป็นแบบเชิงเส้นก็ต่อเมื่อ
- แกนเป็นวัสดุซึมซาบทางแม่เหล็ก (permeability) คงที่ อาทิเช่น อากาศพลาสติก เบคไลท์ และ ไม้

2.13 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการออกแบบสายอากาศขดลวด

ในการพัฒนาสายอากาศระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ มีเหตุผลหลักอยู่ 2 ประการคือ

- เพื่อต้องการส่งความถี่วิทยุ (คลื่นพาห์) 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) สายอากาศชนิดนี้จะใช้สนามแม่เหล็กระยะใกล้ (near field magnetic) ในการเชื่อมต่อการเหนี่ยวนำระหว่างสายอากาศขดลวดตัวส่งและตัวรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำให้เกิดสนามโดยสายอากาศแบบขดรูปโพลขนาดเล็กลักษณะนั้นจะไม่แพร่กระจายคลื่น 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

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad (2.18)$$

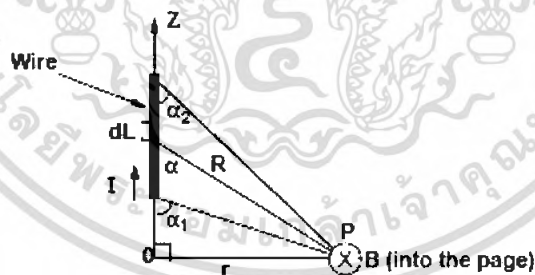
โดยที่ I = กระแส

r = ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของลวด

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

ในกรณีที่ลวดมีความยาวอนันต์ที่ $\alpha_1 = -180^\circ$ และ $\alpha_2 = 0^\circ$ จากสมการที่ 2.18 สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (2.19)$$



รูปที่ 2.20 การคำนวณของสนามแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) ที่ลวดตัวนำ

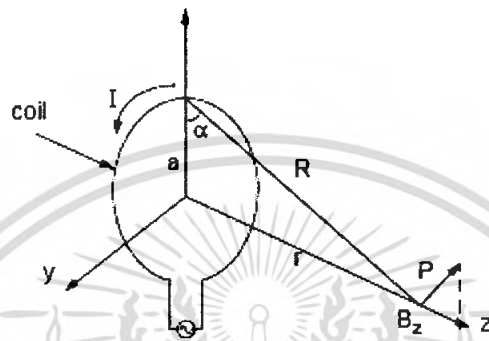
สนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายอากาศขดลวดแบบรูปวงกลม จำนวน N รอบ แสดงได้ดังรูปที่ 3.6 จะได้สมการดังนี้

$$\begin{aligned} B_z &= \frac{\mu_0 I N a^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \\ &= \frac{\mu_0 I N a^2}{2} \left(\frac{1}{r^3} \right) \quad ; r^2 = a^2 \end{aligned} \quad (2.20)$$

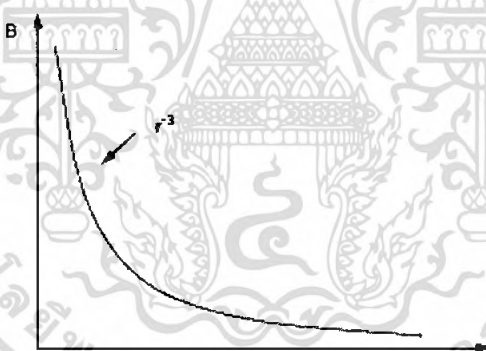
โดยที่ a = รัศมีของลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 2.20 นี้แสดงให้เห็นว่า สนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายอากาศแบบลูป ถูกลดลงด้วย $1/r^3$ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ความเข้มของสนามที่มากที่สุดในระยะนาบของลูปและทิศทางที่เหมาะสม สัมพันธ์กับค่ากระแส (I), จำนวนรอบ (N) และพื้นที่ผิวของลูป สมการที่ 2.20 ใช้มากสำหรับคำนวณหา ค่า กระแส-รอบ ซึ่งจำเป็นสำหรับระยะการอ่าน ความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีผลต่อกำลังงานที่เครื่องลูก ข่ายจะได้รับตามสัดส่วน



รูปที่ 2.21 การคำนวณของสนามแม่เหล็ก B ที่จุดสังเกต P โดยการป้อนกระแส (I) เข้าลูป



รูปที่ 2.22 การลดลงของค่าสนามแม่เหล็ก B กับระยะห่าง r

2.13.1 การเหนี่ยวนำแรงดันในสายอากาศขดลวด

จากกฎของฟาราเดย์ กล่าวไว้ว่า เมื่อสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาผ่านพื้นที่ผิวปิด จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำรอบลูป ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่มีความสำคัญสำหรับการทำงานของอุปกรณ์ระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุแบบพาสซีฟ

รูปที่ 2.23 แสดงรูปแบบอย่างง่ายของการใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุเมื่อสายอากาศของเครื่องลูกข่ายและสายอากาศของเครื่องอ่านอยู่ในระยะที่ใกล้กันสนามแม่เหล็ก B ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเกิดจากสายอากาศขดลวดของเครื่องอ่านเหนี่ยวนำแรงดัน ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(electromotive force) ในสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย จะทำให้เกิดกระแสไหลในขดลวดที่เหมาะสมได้เรียกว่ากฎของฟาราเดย์

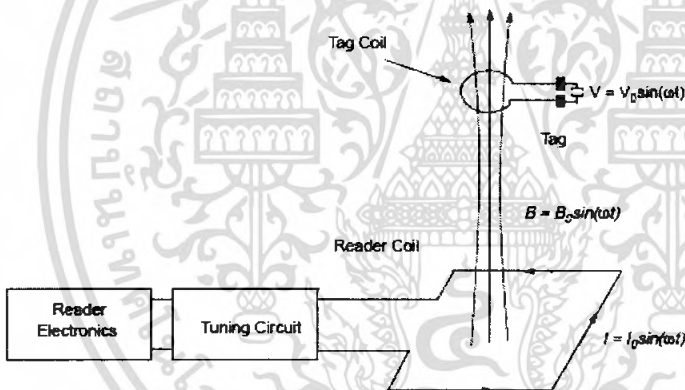
ในการเหนี่ยวนำแรงดันบนสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic flux : ψ) ต่อเวลา จะได้สมการที่ 2.21

$$V = -N \frac{d\psi}{dt} \quad (2.21)$$

โดยที่ N = จำนวนรอบของสายอากาศขดลวด

ψ = เส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านแต่ละรอบ

เครื่องหมายลบในสมการการเหนี่ยวนำแรงดัน แสดงว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าอยู่ในทิศทางที่ทำให้เกิดกระแสไหลซึ่งมีผลทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก ที่รู้จักในชื่อกฎของเลนซ์ (Lenz's Law) ซึ่งเป็นการเน้นถึงความจริงของทิศทางกระแสไหลของกระแสในวงจร แสดงว่าแรงดันเหนี่ยวนำทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กในทิศทางตรงข้าม



รูปที่ 2.23 พื้นฐาน โครงสร้างของสายอากาศเครื่องอ่านและสายอากาศเครื่องลูกข่ายในระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

เส้นแรงแม่เหล็กในสมการที่ 3.4 คือสนามแม่เหล็ก B ทั้งหมดที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ผิวทั้งหมดของสายอากาศขดลวดและสามารถหาได้จากสมการ

$$\psi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (2.22)$$

โดยที่ \vec{B} คือ สนามแม่เหล็กที่ได้มาจากสมการที่ 2.20

\vec{S} คือ พื้นที่ผิวของขดลวด

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ของสองเวกเตอร์ในสมการที่ 2.22 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่เคลื่อนที่ผ่านสายอากาศคลวด ซึ่งผลลัพธ์ของสองเวกเตอร์จะมีค่ามากที่สุด เมื่อเวกเตอร์ทั้งสองอยู่ในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่านสายอากาศคลวดของเครื่องลูกข่ายจะมีค่ามากที่สุด เมื่อขดลวดทั้งสอง (สายอากาศคลวดของเครื่องอ่านและสายอากาศคลวดของเครื่องลูกข่าย) อยู่ในทิศทางที่ขนานกัน

จากสมการที่ 2.20-2.22 จะเป็นการเหนี่ยวนำแรงดัน V_o สำหรับสายอากาศรูปที่ไม่ได้จูน จะได้สมการที่ 2.23 ดังนี้

$$V_o = 2\pi fNSB_o \cos\alpha \quad (2.23)$$

โดยที่ f = ความถี่ของสัญญาณ

N = จำนวนรอบของขดลวดในรูป

S = พื้นที่ของรูปในหน่วยเมตรยกกำลังสอง (m^2)

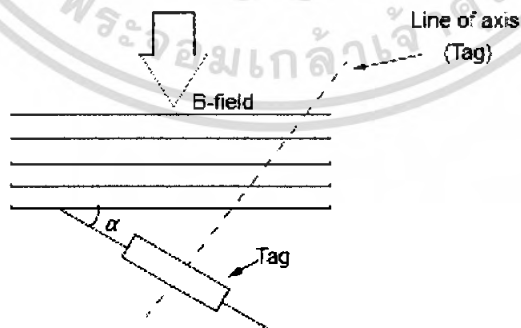
B_o = ความเข้มของสัญญาณ

α = มุมของสัญญาณ

ถ้าทำการจูนขดลวด (ด้วยตัวเก็บประจุ:C) ที่สัญญาณความถี่ (125kHz) แรงดันเอาต์พุต V_o ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างมาก แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากสมการที่ 2.23 จะคูณด้วยค่าประสิทธิภาพ (Quality Factor) ของวงจรจูน ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ตั้งแต่ 5 ถึง 50 ที่ความถี่ต่ำของการใช้งานระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ

$$V_o = 2\pi f_o NQSB_o \cos\alpha \quad (2.24)$$

โดยค่าประสิทธิภาพ (Q) เป็นสิ่งบ่งชี้ของการเลือกความถี่ที่เหมาะสม



รูปที่ 2.24 การปรับทิศทางของสายอากาศของเครื่องลูกข่ายให้เหมาะสม

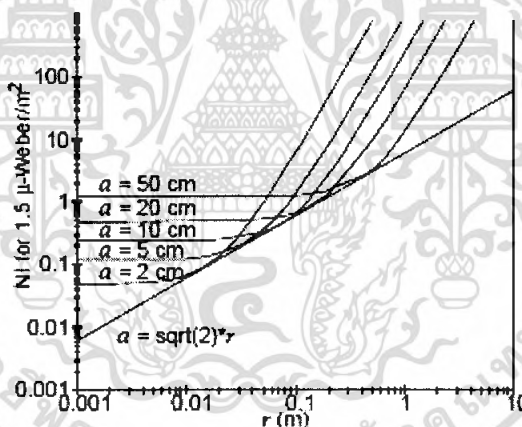
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเหนี่ยวนำแรงดันข้ามสายอากาศลวดแบบรูปเป็นของฟังก์ชันมุมของสัญญาณ แรงดันเหนี่ยวนำจะมีค่ามากที่สุดเมื่อสายอากาศลวดอยู่ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับทิศทางของสัญญาณที่ $\alpha = 0$

ความเข้มของสนามแม่เหล็ก B ที่เครื่องลูกข่ายต้องการสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.23 และค่ากระแส-รอบ (Ampere-turns) ของสายอากาศลวดเครื่องอ่านที่มีรัศมีใดๆสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$(NI) = \frac{2B_z (a^2 + r^2)^{3/2}}{\mu a^2} \quad (2.25)$$

สำหรับระยะการอ่านที่เพิ่มมากขึ้นเป็นการบอกถึงการพิจารณา การเพิ่มขึ้นของรัศมีของขดลวด ซึ่งจะได้ผลมากกว่าการเพิ่มกระแสให้กับขดลวด



รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส – รอบกับระยะการอ่าน

หมายเหตุ : จากรูปที่ 2.21 $B_z = 1.5 \mu Wb / m^2$

รัศมีที่เหมาะสมของลูปต้องการค่าของกระแส-รอบที่น้อยที่สุด

$$NI = K \frac{(a^2 + r^2)^{3/2}}{a^2} \quad (2.26)$$

โดยที่ $K = \frac{2B_z}{\mu_0}$

โดยการนำอนุพันธ์มาใช้เพื่อหาค่ารัศมีจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{d(NI)}{da} = K \frac{3/2(a^2 + r^2)^{1/2} (2a^3) - 2a(a^2 + r^2)^{3/2}}{a^4} \quad (2.27)$$

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

จากสมการข้างต้นจะกลายเป็นสมการที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อ

$$a^2 - 2r^2 = 0 \quad (2.28)$$

จากผลลัพธ์ข้างต้นจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะของการอ่านกับขนาดของเครื่องลูกข่าย ค่ารัศมีที่เหมาะสมจะหาได้จาก

$$a = \sqrt{2}r \quad (2.29)$$

โดยที่ a = รัศมีของขดลวด

r = ระยะการอ่าน

จากผลลัพธ์ข้างต้นบอกให้รู้ว่า ค่ารัศมีที่เหมาะสมที่สุดของลูปสำหรับสายอากาศเครื่องอ่าน จะมีค่าประมาณ 1.414 หรือ ค่ารากที่สองของระยะการอ่าน

2.13.2 ชนิดและความต้านทานที่สูญเสียของลวด

2.13.2.1 ขนาดและค่าความต้านทานทางดำนไฟกระแสตรง

เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทางไฟฟ้าจะแสดงตัวเลขตามมาตรฐานอเมริกา (American Wire Gauge : AWG) ค่าตัวเลขจะเป็นสัดส่วนที่ตรงกันข้ามกับค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางและเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าทุกๆขนาดลวดเพิ่มไปหกเบอร์ ลวดที่เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กจะมีค่าความต้านทานทางดำนไฟกระแสตรงที่สูง ค่าความต้านทานทางดำนไฟกระแสตรงของดำนนำที่เป็นแบบเดียวกันตามพื้นที่หน้าตัดหาค่าได้โดย

$$R_{DC} = \frac{1}{\sigma S} = \frac{1}{\sigma \pi a^2} \quad (2.30)$$

โดยที่ l = ความยาวทั้งหมดของลวด

σ = ค่าความนำ

S = พื้นที่หน้าตัด

a = รัศมีของลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wire Size (AWG)	Dia. in Mils (bare)	Dia. in Mils (coated)	Ohms/ 1000 ft.	Cross Section (mils)
1	289.3	—	0.126	83690
2	287.5	—	0.156	66360
3	229.4	—	0.197	52620
4	204.3	—	0.249	41740
5	181.9	—	0.313	33090
6	162.0	—	0.395	26240
7	166.3	—	0.498	20820
8	128.5	131.6	0.628	16510
9	114.4	116.3	0.793	13090
10	101.9	106.2	0.999	10380
11	90.7	93.5	1.26	8230
12	80.8	83.3	1.59	6530
13	72.0	74.1	2.00	5180
14	64.1	66.7	2.52	4110
15	57.1	59.5	3.18	3260
16	50.8	52.9	4.02	2580
17	45.3	47.2	5.05	2060
18	40.3	42.4	6.39	1620
19	35.9	37.9	8.05	1290
20	32.0	34.0	10.1	1020
21	28.5	30.2	12.8	812
22	25.3	28.0	16.2	640
23	22.6	24.2	20.3	511
24	20.1	21.6	25.7	404
25	17.9	19.3	32.4	320

Note: 1 mil = 2.54×10^{-3} cm

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

Note: 1 mil = 2.54×10^{-3} cm

ตารางที่ 2.3 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับด้านในและสารเคลือบ โลหะของลวด และค่าความต้านทานทางด้านไฟกระแสดตรง

2.13.2.2 ค่าความต้านทานทางด้านไฟกระแสดลับของลวด

ที่ทางด้านไฟกระแสดตรง ประจุคลื่นพาห้จะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วหน้าตัดของลวด ขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้นค่ารีแอกแตนซ์ใกล้จุดศูนย์กลางของลวดก็เพิ่มขึ้นด้วย มีผลให้ขอบเขตความหนาแน่นกระแสในค่าอิมพีแดนซ์สูง ดังนั้นประจุจะเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางของลวดไปยังจุดสิ้นสุดของลวด มีผลทำให้ความหนาแน่นกระแสลดลงในจุดศูนย์กลางของลวดและเพิ่มขึ้นใกล้จุดสิ้นสุดของลวด เรียกปรากฏการณ์ว่าผลกระทบของพื้นผิว (skin effect, δ) ความหนาภายในตัวนำจะมีความหนาแน่นกระแสลดลง $1/e$ หรือ 37% ของค่าความยาวพื้นผิว จะรู้ได้จากค่าความหนาของพื้นผิว (skin depth), ค่าฟังก์ชันของความถี่, ค่าเพอร์มีอิตีวี่ และค่าความนำของตัวกลาง ค่าความหนาของพื้นผิวสามารถหาได้จากสมการ

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ f = ความถี่

μ = ค่าเพอร์มีเอบิลิตีของวัสดุ

σ = ค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุ

ค่าความต้านทานของลวดกับความถี่จะเพิ่มขึ้น และค่าความต้านทานที่เกิดจากความหนาของของพื้นผิวเรียกว่า ความต้านทานทางดำนไฟฟ้ากระแสสลับ การประมาณค่าความต้านทานของไฟฟ้ากระแสสลับหาได้จากสมการ

$$R_{ac} \approx \frac{1}{2\sigma\pi\delta} = (R_{DC}) \frac{a}{2\delta} \quad (2.32)$$

โดยที่ a = รัศมีของขดลวด

สำหรับลวดทองแดง จะมีค่าความสูญเสียประมาณได้โดยค่าความต้านทานทางดำนไฟฟ้ากระแสตรงของลวดลวด ถ้ารัศมีของเส้นลวดใหญ่กว่า $0.066/\sqrt{f}$ เซนติเมตร ที่ 125 kHz ค่ารัศมีวิกฤตคือ 0.019 เซนติเมตร ในที่นี้จะเท่ากับขนาดลวดเบอร์ 26 เพราะฉะนั้นสำหรับค่าความสูญเสียย่อยๆ ขนาดเบอร์ของลวดต้องใหญ่กว่าเบอร์ 26 ควรจะดูจากค่าประสิทธิภาพ (Q) ของขดลวดที่มีค่าสูงสุด

2.13.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวด

กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาสามารถทำให้เกิดการไหลของกระแสผ่านตัวนำอีกตัวหนึ่ง เรียกว่าค่าความเหนี่ยวนำ (L) ค่าความเหนี่ยวนำขึ้นอยู่กับค่าคุณลักษณะของตัวนำ ขดลวดจะมีค่าความเหนี่ยวนำมากกว่าเส้นลวดที่เป็นวัสดุที่เหมือนกัน และขดลวดที่มีจำนวนรอบมากก็จะมีค่าความเหนี่ยวนำมากกว่าขดลวดที่มีจำนวนรอบน้อย ค่าความเหนี่ยวนำของตัวนำมีนิยามคือ อัตราส่วนของเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดต่อกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ

$$L = \frac{N\psi}{I} \quad (2.33)$$

โดยที่ N = จำนวนรอบ

I = กระแส

ψ = เส้นแรงแม่เหล็ก

สำหรับสายอากาศขดลวดที่ความถี่ 125 kHz ของเครื่องลูกข่ายจะเลือกค่าความเหนี่ยวนำอยู่ที่ประมาณ 2-3 (mH) และสายอากาศขดลวดเครื่องอ่านจะเลือกค่าความเหนี่ยวนำอยู่ที่ประมาณ 200-300 ถึง 2,000-3,000 (μ H) จำนวนรอบที่มากขึ้นของสายอากาศขดลวดก็จะได้ค่าความเหนี่ยวนำที่มากขึ้นตามมา ดังนั้นสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่ายที่มีรูปแบบพื้นที่ที่จำกัด มักจะต้องพันจำนวนรอบของขดลวดที่ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.3.1 ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวด

ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวดที่แสดงในรูปที่ 2.20 สามารถหาได้จากสมการ

$$L = 0.002l \left[\log_e \frac{2l}{a} - \frac{3}{4} \right] \quad (2.34)$$

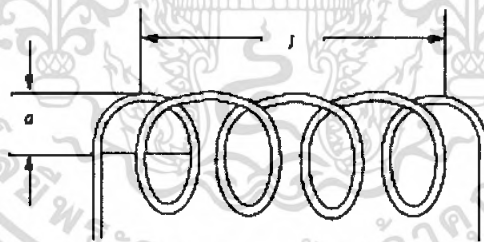
โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำของเส้นลวด มีหน่วยเป็นไมโครเฮนรี
และ a = ความยาวและรัศมีของลวดในหน่วยเซนติเมตร ตามลำดับ

2.13.3.2 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด

ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดดังแสดงในรูปที่ 2.26 สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L = \frac{(aN)^2}{22.9l + 25.4a} \quad (2.35)$$

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด มีหน่วยเป็นไมโครเฮนรี
 a = รัศมีของขดลวด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร
 l = ความยาวของขดลวด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร
 N = จำนวนรอบ



รูปที่ 2.26 รูปของขดลวด

หมายเหตุ : สำหรับค่าประสิทธิภาพ (Q) ที่ดีที่สุดของขดลวด ควรจะมีความยาวประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด

2.13.3.3 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบลู่วงกลม

จากรูปแบบ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดขนาดใหญ่ในขอบเขตที่จำกัด จะมีประสิทธิภาพมากเมื่อพันขดลวดหลายๆ รอบ เป็นเหตุผลของรูปแบบในการออกแบบ โครงสร้างสายอากาศขดลวดของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุ แสดงดังรูปที่ 2.27 ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบลู่วงกลม สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L = \frac{0.31(aN)^2}{6a + 9h + 10b} \quad (2.36)$$

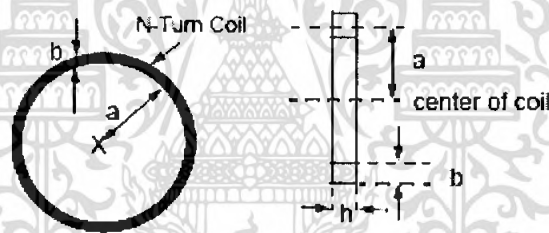
โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดแบบลู่วงกลม มีหน่วยเป็น ไมโครเฮนรี

a = รัศมีเฉลี่ยของขดลวด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

N = จำนวนรอบ

b = ความหนาในการขด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

h = ความสูงในการขด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร



รูปที่ 2.27 สายอากาศขดลวดลู่วงกลมแกนอากาศจำนวนรอบใดๆ

จำนวนรอบที่ต้องการสำหรับค่าความเหนี่ยวนำที่แน่นอน สามารถคำนวณได้จากการประยุกต์สมการที่ 4.54 ซึ่งจะได้สมการดังนี้

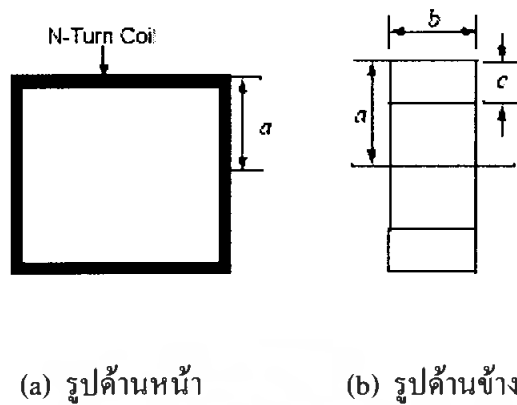
$$N = \sqrt{\frac{L_{\mu H} (6a + 9h + 10b)}{(0.31)a^2}} \quad (2.37)$$

2.13.3.4 ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดรูปสี่เหลี่ยม

ถ้า N คือจำนวนรอบและ a เป็นความยาวที่วัดจากจุดศูนย์กลางของสี่เหลี่ยมถึงขอบด้านนอกของรูป ส่วนด้านข้างของรูปเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความยาว b และความหนา c ดังแสดงในรูปที่ 2.28

$$L = 0.008aN^2 \left(2.303 \log_{10} \left(\frac{a}{b+c} \right) + 0.2235 \frac{b+c}{a} + 0.726 \right) \quad (2.38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

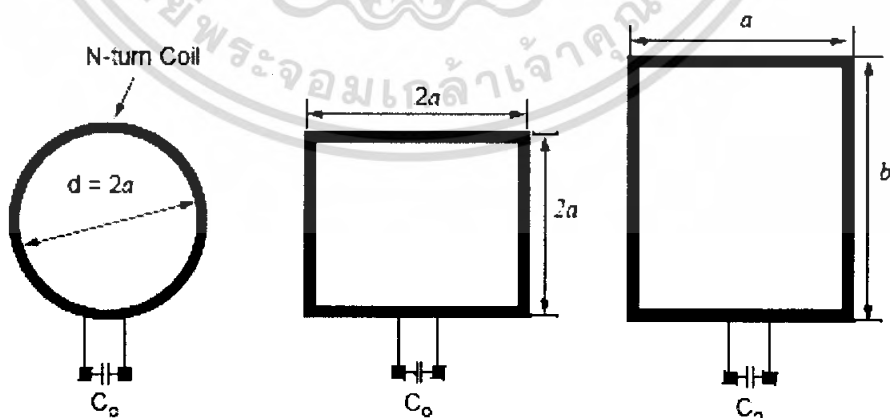


รูปที่ 2.28 สายอากาศขดลวดแบบลูปสี่เหลี่ยม

2.14 โครงสร้างของสายอากาศขดลวด

2.14.1 สายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย

สายอากาศขดลวดสำหรับเครื่องลูกข่ายของระบบระบุลักษณะทางคลื่นวิทยุสามารถทำได้หลายรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการประยุกต์การใช้งาน ตัวอย่างหนึ่งของค่าความเหนี่ยวนำสำหรับสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าประมาณ 2-3 (mH) ที่ความถี่ 125 kHz รูปที่ 2.29 แสดงลักษณะต่างๆ ของสายอากาศเครื่องลูกข่าย สายอากาศขดลวดโดยทั่วไปมักทำด้วยลวดเส้นเล็กๆ ค่าความเหนี่ยวนำและจำนวนรอบของขดลวดสามารถคำนวณได้จากสมการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 2.29 รัศมีของโครงสร้างของสายอากาศขดลวดของเครื่องลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.2 สายอากาศขดลวดของเครื่องอ่าน

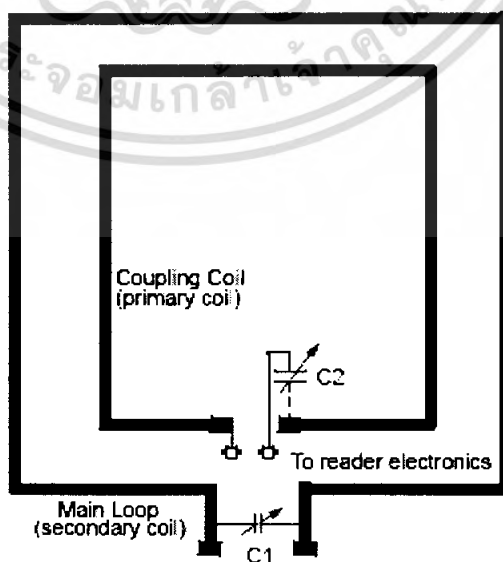
ค่าความเหนี่ยวนำของสายอากาศขดลวดเครื่องอ่าน โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 200-300 ถึง 2,000-3,000 ไมโครเฮนรี ที่ความถี่ต่ำ สายอากาศขดลวดเครื่องอ่านสามารถที่จะทำเป็นรูปเดียวตามรูปแบบวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม หรือ คับเบิลรูป (Transformer) ตามรูปแบบวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

ในรูปแบบวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมผลที่ได้จะให้ค่าความต้านทานที่มีค่าน้อยที่ความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้นจะทำให้กระแสมีค่ามาก ส่วนในวงจรเรโซแนนซ์ขนานจะให้ผลของค่าความต้านทานสูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้นจะทำให้กระแสมีค่าน้อย เนื่องจากแรงดันสามารถเพิ่มระดับขึ้นได้โดยการใช้รูปแบบคัปเบิลรูป (parallel) วงจรเรโซแนนซ์แบบขนานมักจะใช้สำหรับระบบที่ต้องการสัญญาณที่มีแรงดันสูง

รูปที่ 2.30 แสดงตัวอย่างของสายอากาศรูปทรานส์ฟอร์มเมอร์ ที่ลูปลหลัก (secondary) เป็นรูปแบบของรูปโครงสร้างขนาดใหญ่ของขดลวด โดยจูนค่าที่ตัวเก็บประจุเพื่อให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ (125 kHz) ลูปลอื่นจะเรียกว่าลูปลเชื่อมต่อ (primary) และจะมีรูปแบบที่เล็กกว่า 2-3 รอบของขดลวด ตำแหน่งของลูปลเชื่อมต่อ (primary) จะวางอยู่ภายในลูปลหลัก

ลูปลเชื่อมต่อ (primary) จะทำให้ได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมกับค่าอิมพีแดนซ์ที่อินพุต/เอาต์พุตของเครื่องอ่าน การเชื่อมต่อขดลวดที่จูนอินพุต/เอาต์พุตในตัวอ่าน ที่ลูปลหลัก (secondary) จะต้องทำการจูนให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์และไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับเครื่องอ่าน

ลูปลเชื่อมต่อโดยทั่วไปจะไม่ได้ทำการจูน แต่ในการออกแบบจะทำการจูนที่ตัวเก็บประจุ C2 ที่ต่ออนุกรมอยู่กับลูปลเชื่อมต่อ เพราะว่าจำนวนรอบที่ลูปลหลัก (secondary) มากกว่าลูปลเชื่อมต่อ (primary) 2-3รอบ ทำให้ที่ลูปลเชื่อมต่อมีค่าความเหนี่ยวนำน้อย เป็นผลให้ต้องใช้ค่าตัวเก็บประจุมีค่ามาก



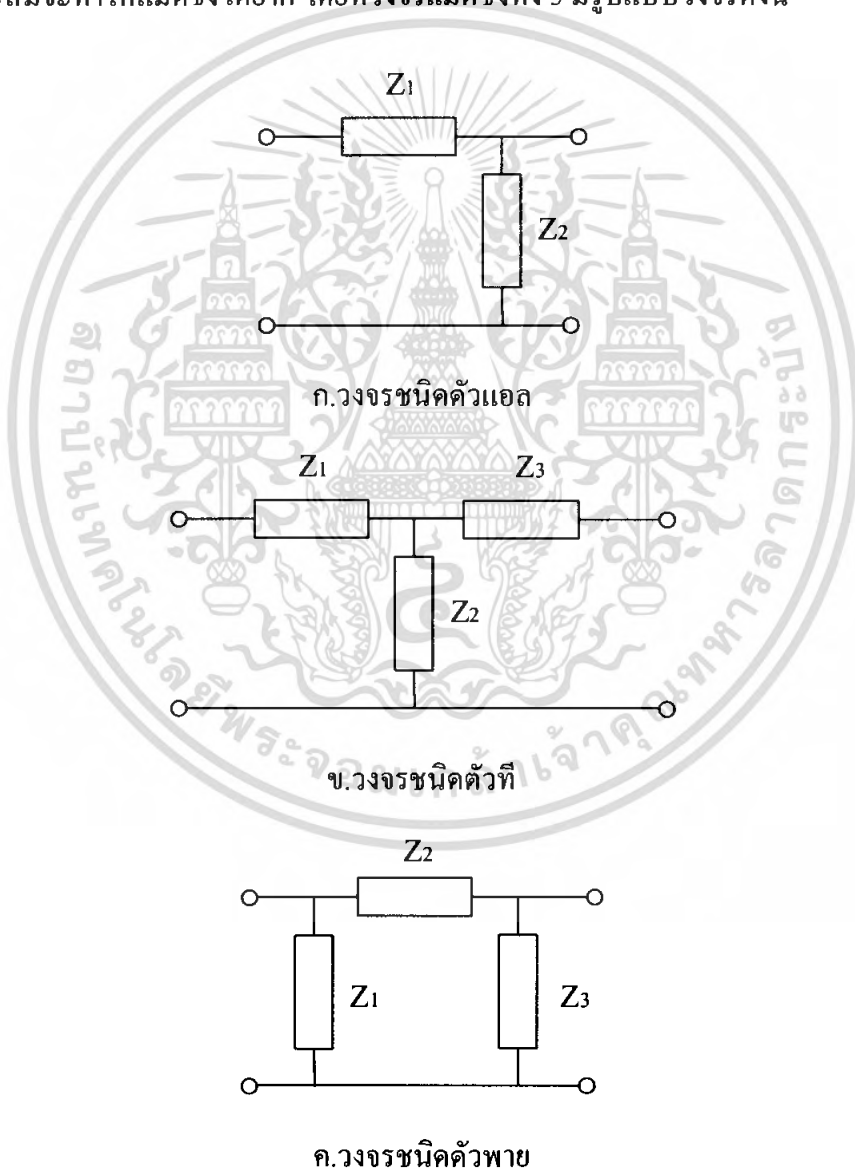
รูปที่ 2.30 สายอากาศรูปทรานส์ฟอร์มเมอร์ของเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 วงจรแมตชิง (matching)

วงจรแมตชิงที่นิยมใช้ในการออกแบบแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่ วงจรชนิดตัวแอล , วงจรชนิดตัวที และวงจรชนิดตัวไพ

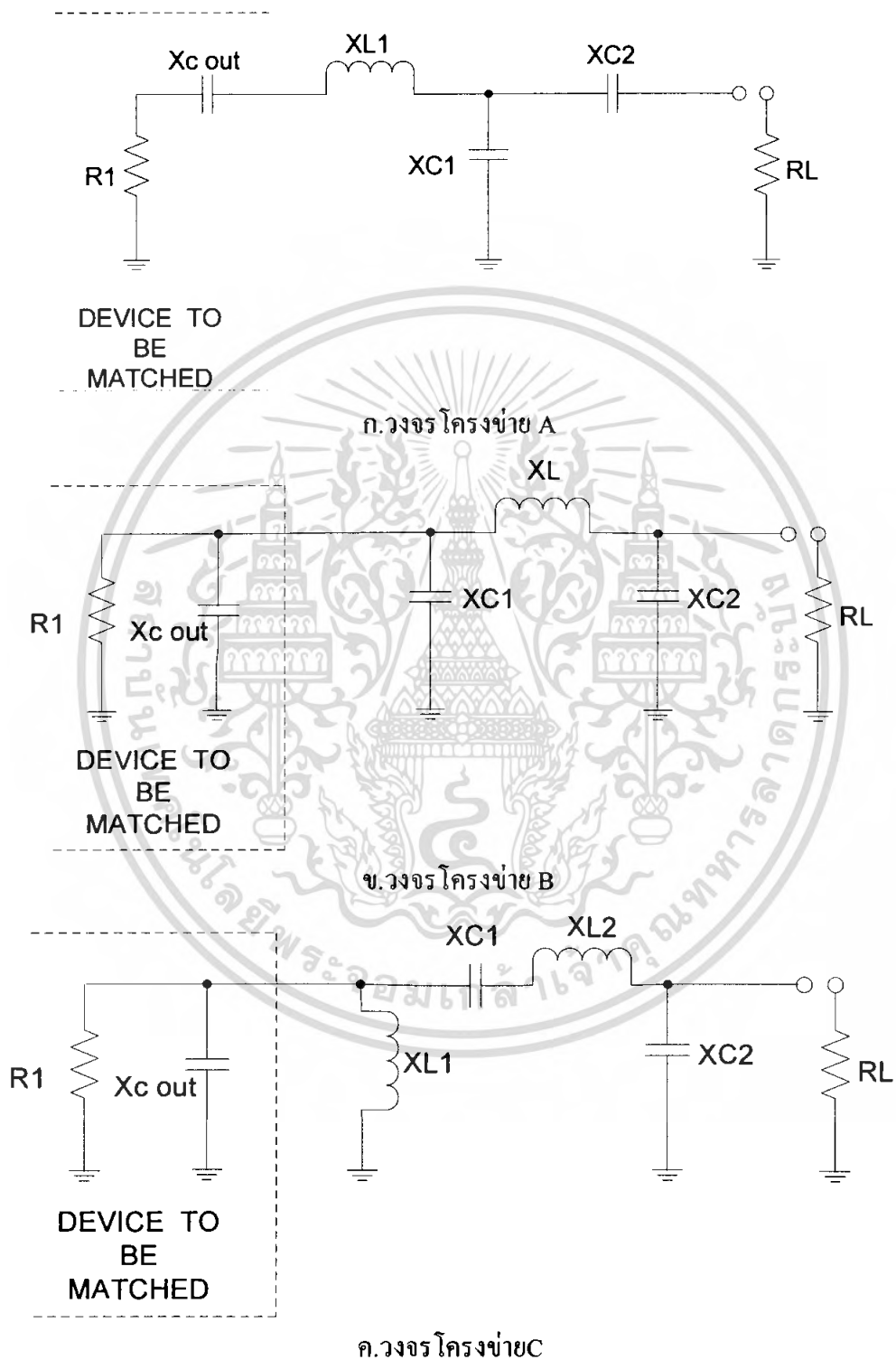
วงจรแมตชิงทั้ง 3 ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติต่างกันไป เช่น วงจรชนิดตัวแอลจะใช้อุปกรณ์เพียง 2 ตัว แต่มีข้อด้อยคือไม่สามารถกำหนดค่า Q ของวงจรได้ ส่วนชนิดตัวทีและชนิดตัวไพต้องใช้อุปกรณ์ 3 ตัว แต่จะสามารถเลือกค่า Q ของวงจรได้ โดยที่วงจรชนิดตัวทีจะเหมาะกับแมตชิงอิมพีแดนส์ค่าต่ำกับอิมพีแดนส์ค่าต่ำ ส่วนชนิดตัวไพจะเหมาะกับอิมพีแดนส์ค่าสูงไปยังอิมพีแดนส์ค่าสูง ถ้าเราเลือกวงจรไม่เหมาะสมจะทำให้แมตชิงได้ยาก โดยที่วงจรแมตชิงทั้ง 3 มีรูปแบบวงจรดังนี้



รูปที่ 2.31 วงจรแมตชิงแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรทั้ง 3 นี้สามารถรวมกันเขียนเป็นวงจรโครงข่ายและสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมต่อวงจรและตามค่าอุปกรณ์ที่มี ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.32 วงจร โครงข่ายแมตซ์ซึ่งแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ใช้ในการคำนวณในโครงข่ายต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ

โครงข่าย A

Select Q

$$X_{L1} = QR1 + X_{\text{COUT}} \qquad A = \sqrt{\frac{R1(1+Q2)}{RL} - 1}$$

$$X_{C2} = ARL \qquad B = R1(1+Q2)$$

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

โครงข่าย B

Select Q

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

$$X_{C2} = RL \sqrt{\frac{R1/RL}{(Q2+1) - (R1/RL)} - 1}$$

$$X_L = \frac{QR1 + (R1RL/XC2)}{Q2+1}$$

โครงข่าย C

Select Q

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

$$X_{C1} = QR1$$

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

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

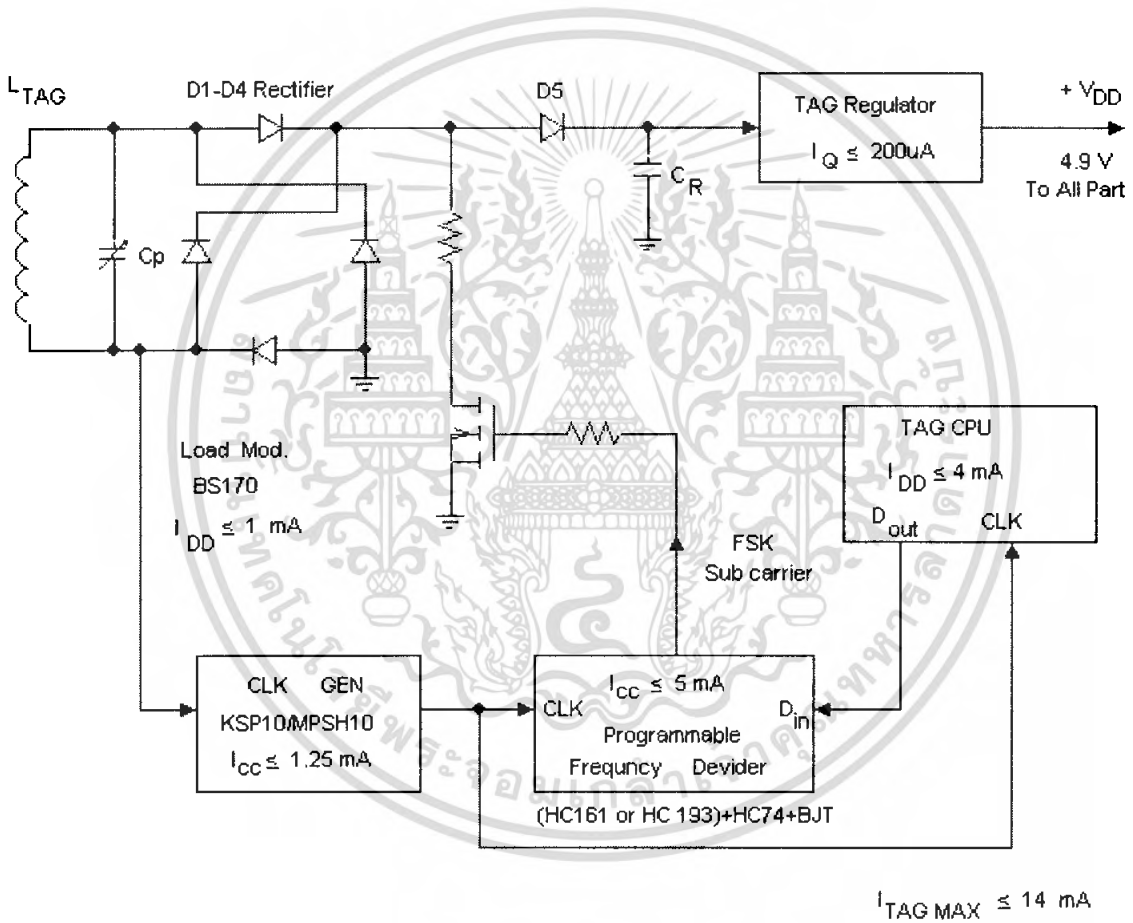
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการทํางานและออกแบบ

3.1 การคํานวณวงจรในส่วของเครื่องถูกลักขโมย (TAG)

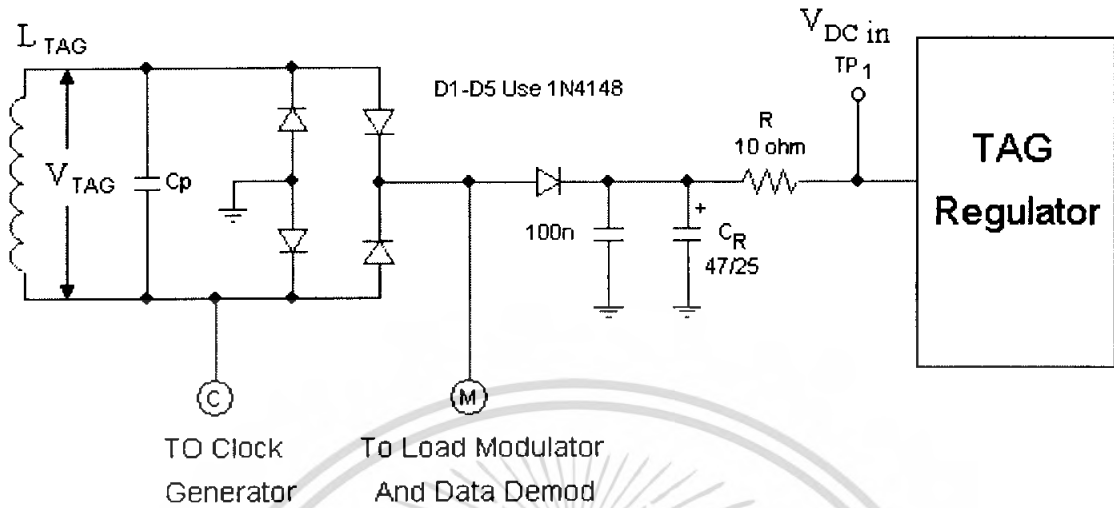
โครงสร้างของวงจรในส่วของเครื่องถูกลักขโมย(TAG) ประกอบด้วยวงจรต่างต่างดัง บล็อกไดอะแกรมด้านล่าง



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรของเครื่องถูกลักขโมย

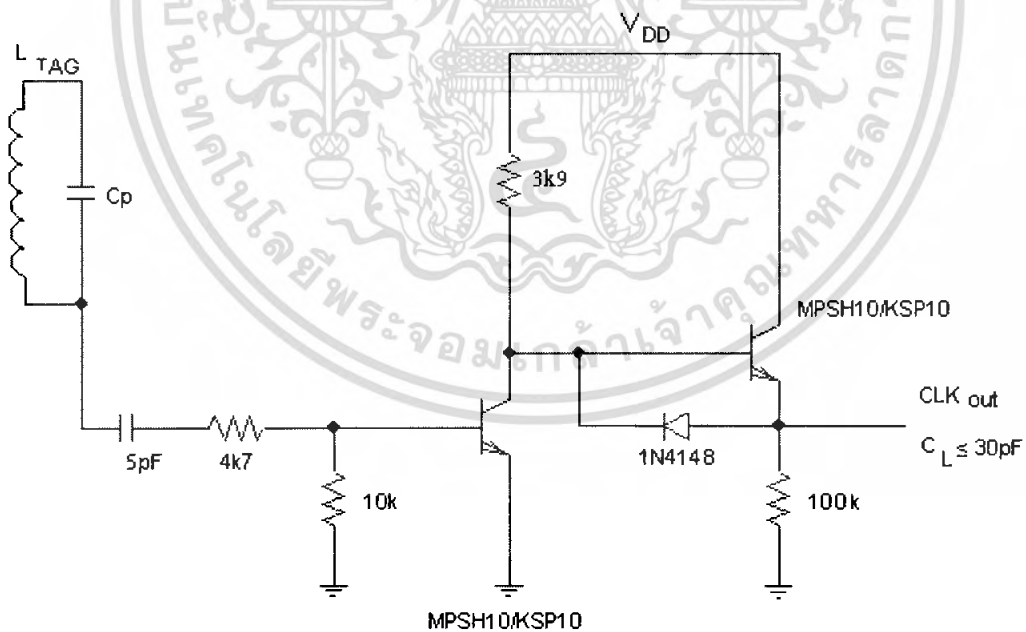
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Continuous Drive TAG Power Supply



รูปที่ 3.2 Continuous Drive TAG Power Supply

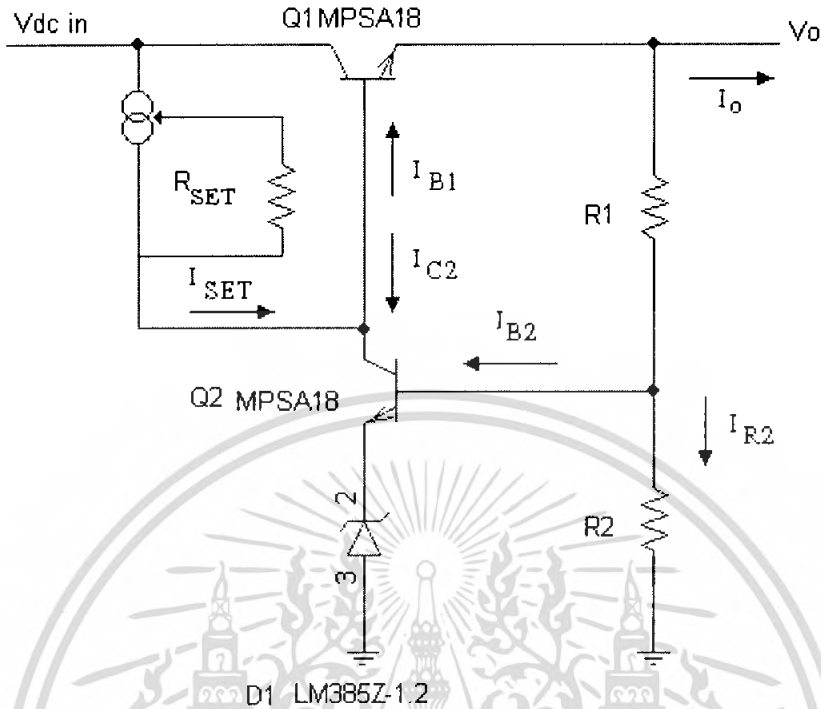
Clock Generator



รูปที่ 3.3 วงจร Clock Generator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TAG Regulation



รูปที่ 3.5 วงจร TAG Regulation

จากวงจรด้านบนนี้เราสามารถคำนวณหาค่าอุปกรณ์ต่างๆ ได้ดังนี้
 กำหนดค่า V_o เนื่องจาก Brown out detect ของ Pic มีค่าประมาณ 4V ดังนั้นกำหนดให้ $V_o \approx 4.3 V$
 เราสามารถหาค่า $I_{o\text{ MAX}} = I_{\text{TAG DC}}$ ได้ดังนี้

Description	Current
Voltage Regulator	0.20 mA
CPU f_{CLK} 13.56 MHz	4.00 mA
Data demodulator	0.35 mA
CLK gen from TAG $f = 13.56$ MHz	1.25 mA
Load Modulator Assume	1.00 mA
Prog Frequency Div $f_{\text{in}} = 13.56$ MHz HC193	4.24 mA
Sub carrier Frequency Div $\div 4$ $f_{\text{in}} = 1$ MHz HC74	0.50 mA
$I_{\text{TAG DC}}$ Totle	11.25 mA
$I_{\text{TAG DC}}$ Totle 25% Margin	14.50 mA

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าของกระแสที่ส่วนต่างๆ ในวงจรของเครื่องลูกข่ายต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ $C_2 = 1 \mu F$

เราสามารถหาค่า R_3 ได้ดังนี้

เราสามารถหาค่ากระแสที่ขาเบสสูงสุดของทรานซิสเตอร์ Q1 ได้ดังสมการที่ 3.1

$$I_{B1MAX} \approx \frac{I_{O MAX}}{\beta_1} \quad (3.1)$$

$$I_{B1MAX} \approx \frac{14.5 \times 10^{-3}}{200}$$

$$\approx 72.5 \mu A$$

จาก Data Sheet เราทราบว่า $I_{C2} \geq 40 \mu A$ โดยเผื่อค่า Margin จากการปิดค่า R_3 และ LM 358 ต้องการ

$I_2 \geq 20 \mu A$

$$I_{C2 MAX} = I_{R_3} = I_{C2 min} + I_{B1 MAX} = 40 + 72.5 = 112.5 \mu A$$

จากความสัมพันธ์ด้านบนเราสามารถหาค่า R_3 ได้จากสมการที่ 3.2

$$R_3 \approx \frac{1V}{I_{B1 MAX} + 40 \mu A} \quad (3.2)$$

$$R_3 \approx \frac{1V}{72.5 \mu A + 40 \mu A}$$

$$\approx 8.889 k\Omega$$

จากค่า R_3 ที่คำนวณได้นั้นไม่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดดังนั้นจึงปิดค่าไปเป็น $8.2 k\Omega$

เราสามารถหาค่า V_{BE2} ได้จากสมการที่ 3.3

$$V_{BE2} = 26 \times 10^{-3} \ln \left(\frac{I_{C2 min} (A)}{5.911 \times 10^{-15}} \right) \quad (3.3)$$

$$V_{BE2} = 26 \times 10^{-3} \ln \left(\frac{40 \times 10^{-6}}{5.911 \times 10^{-15}} \right)$$

$$= 0.5885 V$$

เราสามารถหาค่า $I_{B2 MAX}$ ได้ดังสมการที่ 3.4

$$I_{B2 MAX} = \frac{1V}{\beta_{2 min} R_3} \quad (3.4)$$

$$I_{B2 MAX} = \frac{1V}{400(8.2 \times 10^3)}$$

$$= 304.878 nA$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถหาค่า R_2 ได้จากสมการที่ 3.5

$$R_2 = \frac{1.25 + V_{BE2}}{20I_{B2 \text{ MAX}}} \quad (3.5)$$

$$R_2 = \frac{1.25 + 0.5885}{20(304.878 \times 10^{-9})}$$

$$= 301.514 \text{ k}\Omega$$

จากค่า R_2 ที่คำนวณได้นั้นไม่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดดังนั้นจึงปัดค่าไปเป็น 330 $\text{k}\Omega$

เราสามารถหาค่า R_1 ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง R_1 กับ R_2 จากสมการที่ 3.6

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{V_O}{V_{BE2} + 1.25} - 1 \quad (3.6)$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{4.3V}{0.5885 + 1.25} - 1$$

$$\frac{R_1}{R_2} = 2.339 - 1 = 1.339$$

$$R_1 = 1.339 R_2$$

$$R_1 = 1.339(330 \times 10^3)$$

$$= 441.187 \text{ k}\Omega$$

จากค่า R_1 ที่คำนวณได้นั้นไม่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดดังนั้นจึงปัดค่าไปเป็น 470 $\text{k}\Omega$

จากค่าอุปกรณ์ที่เราหามาได้นั้นเราสามารถคำนวณค่า V_O ที่แท้จริงได้จากสมการที่ 3.7

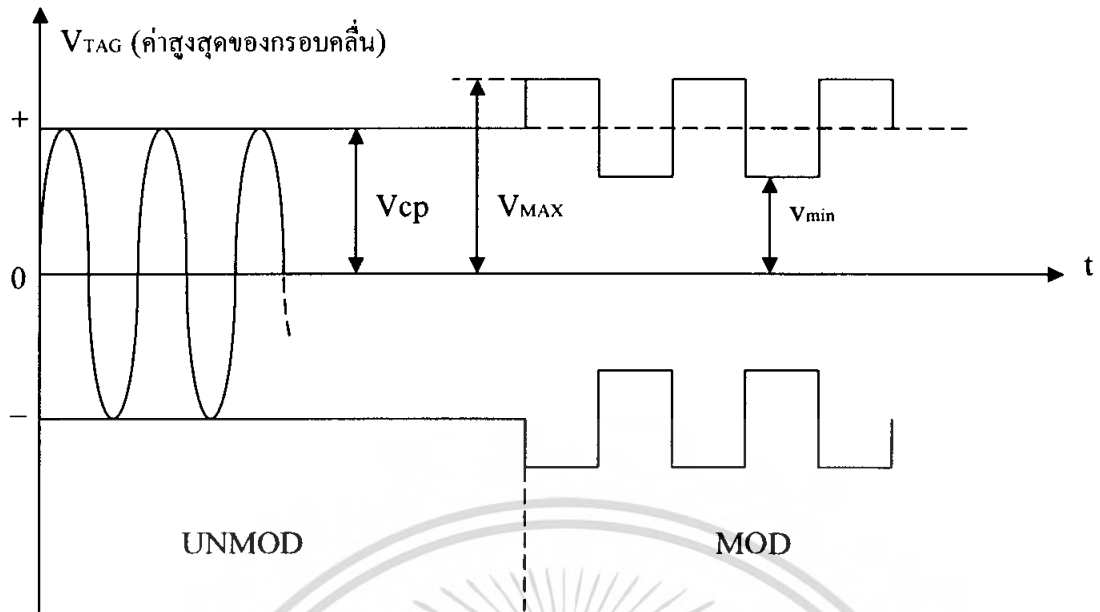
$$V_O = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)(1.25 + V_{BE2}) \quad (3.7)$$

$$V_O = \left(1 + \frac{470 \times 10^3}{330 \times 10^3}\right)(1.25 + 0.5885) = 4.457 \text{ V}$$

การหาค่า C_1 และ R_{LAC}

การเปลี่ยนแปลงค่า V_{TAG} ที่เกิดจากผลของการ MOD ของ Reader

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงค่า V_{TAG} ที่เกิดจากผลของการ MOD ของ Reader

V_{cp} = ขนาดของค่าสูงสุดของ Unmod carrier

m = Modulation Index; $100m = \% \text{ Modulation}$

$$m = \frac{V_{MAX} - v_{min}}{V_{MAX} + v_{min}} \quad (3.8)$$

ในขณะที่มีการ Mod

$$V_{MAX} = V_{cp}(1 + m) \quad ; \quad v_{min} = V_{cp} - m$$

กรณีการ Mod จาก Reader ไป TAG Mod 10%

$$V_{DC \text{ in min}} \geq V_{O \text{ Reg}} + V_{Drop \text{ Reg}} + V_{F \text{ DS}} + V_{F \text{ Rectifier}} \quad (3.9)$$

$$V_{DC \text{ in min}} \geq 4.5 + 1.0 + 0.75 + 1.5$$

$$V_{DC \text{ in min}} \geq 7.75 \text{ V}$$

$$V_{TAG \text{ PK}} \geq 7.75 + \Delta V_r$$

ΔV_r : Ripple Voltage เกิดจาก 2 สาเหตุใหญ่ๆ คือ

1. จาก Carrier คาบเวลาที่ C_1 จะต้องเก็บพลังงานเพื่อจ่ายให้กับ TAG คือ $\Delta t_1 : \Delta t_1 = \frac{1}{2f_c}$

โดยที่ f_c = ความถี่ carrier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จาก Load Modulator ในขณะที่ Load Modulator ON จะทำให้ V_{TAG} มีค่าลดลง คาบเวลาที่ C_1 จะต้องเก็บพลังงานเพื่อจ่ายให้กับ TAG คือ $\Delta t_2 : \Delta t_2 = \frac{n}{BitRate_{min}}$ โดยที่ n ขึ้นอยู่กับรูปแบบของ

TAG Code โดย $n \approx 0.5$ กรณี Manchester code

เนื่องจาก $BitRate_{min} \ll f_c \Delta V_r$ ที่เกิดจาก Load Modulator จะมีผลมากกว่าผลของ Carrier ให้ $\Delta V_r \leq 1 V_{pp}$ ดังนั้น

$$V_{TAG PK} \geq 7.75 + 1 \geq 8.75 V$$

$$V_{TAG rms} \geq \frac{8.75}{\sqrt{2}} \geq 6.178 V_{rms}$$

ถ้าเรากำหนดให้ $V_{TAG rms} \geq 6.25 V_{rms}$ เราจะได้ $V_{TAG PK} \geq 8.84 V$

การหาค่า C_1

จากคุณสมบัติของ C $i_c = C \frac{dv}{dt}$ จะได้

$$C_1 = \frac{i_c}{dv/dt} \quad (3.10)$$

โดยที่ i_c : กระแสที่ C discharge ด้วย อัตรา $\frac{dv}{dt}$ ซึ่งจะได้ $i_c \approx I_{TAG}$

$\frac{dv}{dt}$ สมมุติการ discharge ของ C_1 เป็นกระแสที่มีค่าเท่ากับ I_{TAG} จะได้

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\Delta V_{r(p-p)}}{\Delta t_2} = \frac{1}{\Delta t_2} \quad (3.11)$$

ถ้าใช้รูปแบบของ TAG Code แบบ Manchester code โดย $n \approx 0.5$ มี $BitRate_{min} = 3.311 k$

และมี $f_c = 13.56 MHz$ ดังนั้นเราสามารถหาค่า Δt_2 ได้ดังนี้

$$\Delta t_2 = \frac{n}{BitRate_{min}} \quad (3.12)$$

$$\Delta t_2 = \frac{0.5}{3.311 \times 10^3} = 151.0$$

เมื่อเราทราบค่า Δt_2 แล้วเราสามารถหาค่า $\frac{dv}{dt}$ ได้จาก

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{\Delta t_2} \quad (3.13)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{151.0} = 6621 V/s$$

เมื่อเราทราบค่า $\frac{dv}{dt}$ แล้วเราสามารถหาค่า C_1 ได้จากสมการที่ 3.10

$$C_1 = \frac{i_c}{dv/dt}$$

$$C_1 = \frac{14.5 \times 10^{-3}}{6621} = 2.19 \mu F$$

การหาค่า R_{LAC} เราสามารถหาได้จาก

$$P_{AC} = P_{DC} \quad (3.14)$$

$$\frac{V_{TAG \text{ rms}}^2}{R_{LAC}} \approx I_{TAG} \times V_{TAG \text{ PK}}$$

$$R_{LAC} \approx \frac{V_{TAG \text{ rms}}^2}{I_{TAG} \times V_{TAG \text{ PK}}}$$

$$\approx \frac{6.25^2}{14.5 \times 10^{-3} \times 8.84}$$

$$\approx 304.75 \Omega$$

3.2 การคำนวณของวงจรับ Reader

การคำนวณหาค่า $(NI)_{rms}$ ของวงจรับ Reader Coil

ถ้า TAG Coil เป็น Rectangular loop ขนาด $\approx (5 \times 8) \text{ cm}^2$ จำนวน 3 รอบ ใช้ลวดซึ่งมีค่า Bare diameter $\approx 0.36 \text{ mm}$ และมี Total diameter $\approx 0.4 \text{ mm}$ ใช้งานที่ความถี่ 13.56 MHz $V_{DC \text{ in}} = 12 \text{ V}$ และ $I_{dc \text{ in}} \leq 5 \text{ mA}$

ขั้นตอนที่ 1 หาค่า L_{TAG}

เมื่อกำหนดให้

X: เป็นความยาวของด้านกว้างของ TAG Coil มีค่าประมาณ 5 cm

Y: เป็นความยาวของด้านยาวของ TAG Coil มีค่าประมาณ 8 cm

h : coil height มีค่าประมาณ 0.4 mm $\approx 0.04 \text{ cm}$

b : width of cross section

โดยที่ $b \approx [(จำนวนรอบของ TAG Coil \times Total diameter) + (จำนวนช่องว่างระหว่างเส้นลวด \times 0.1)]$

$$\approx [(3 \times 0.4) + (2 \times 0.1)] \approx 1.4 \text{ mm} \approx 0.14 \text{ cm}$$

$$C = X + Y + 2h = 5 + 8 + 2(0.04) = 13.08 \text{ cm}$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_S = \frac{0.0276(CN)^2}{1.908C + 9b + 10h} \mu H \quad (3.15)$$

$$L_S = \frac{0.0276(13.08 \times 3)^2}{1.908(13.08) + 9(0.14) + 10(0.04)}$$

$$L_S = 1.596 \mu H$$

$$\therefore L_{TAG} = 1.596 \mu H$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่า $r_{S(AC)}$ $r_{P(AC)}$ ของ Coil

เมื่อกำหนดให้

$$l_T : \text{ความยาวของลวดทั้งหมด} \approx 2n(X+Y) \approx 2 \times 3(5+8) \approx 78 \text{ cm} \approx 0.78 \text{ m}$$

$$A : \text{cross section area ของลวด} \approx \frac{\pi \times (0.36 \times 10^{-3})^2}{4} \quad (3.15)$$

$$\approx 101.78 \times 10^{-9} \text{ m}^2$$

$$r_{dc} \approx \frac{\rho l_T}{A} \approx \frac{1.8 \times 10^{-8} \times 0.78}{101.78 \times 10^{-9}} \approx 0.137 \Omega \quad (3.16)$$

$$\delta : \text{Skin depth} \approx \frac{1}{\sqrt{f\pi\mu\sigma}} \approx \frac{6.6 \times 10^{-2}}{\sqrt{f}} \approx \frac{6.6 \times 10^{-2}}{\sqrt{13.56 \times 10^6}} \approx 17.92 \mu m \quad (3.18)$$

$$d : \text{Bare diameter} \approx 0.36 \text{ mm} \approx 360 \times 10^{-6} \text{ m}$$

ถ้า $d > 2\delta$ จะได้

$$A_{AC} \text{ ของลวด} \approx \frac{\pi}{4} (d^2 - (d - 2\delta)^2) \quad (3.19)$$

$$\approx \frac{\pi}{4} \left((360 \times 10^{-6})^2 - \left((360 \times 10^{-6}) - 2(17.92 \times 10^{-6}) \right)^2 \right)$$

$$\approx 19.25 \times 10^{-9} \text{ m}^2$$

เราสามารถหาค่า $r_{S(AC)}$ ได้ดังนี้

$$r_{S(AC)} \approx \frac{\rho l_T}{A_{AC}} \approx \frac{1.8 \times 10^{-8} \times 0.78}{19.25 \times 10^{-9}} \approx 0.723 \Omega \quad (3.20)$$

$$Q_U \approx \frac{2\pi f L_S}{r_S} \approx \frac{2\pi \times 13.56 \times 10^6 \times 1.596 \times 10^{-6}}{0.723} \approx 188.076 \quad (3.21)$$

เราสามารถหาค่า $r_{P(AC)}$ ได้ดังนี้

$$r_{P(AC)} \approx r_{S(AC)} (1 + Q_U^2) \approx 0.723 (1 + 188.076^2) \approx 25.575 \text{ k}\Omega \quad (3.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 หาค่า C_p (Resonant) , R_{TOT} , Q_L , NQ_L

จากครั้งที่แล้วเราได้หาค่า R_{LAC} มาแล้วว่ามีค่าเท่ากับ 304.75 Ω

เราสามารถหาค่า R_{TOT} ได้ดังนี้

$$R_{TOT} \approx r_p // R_{LAC} \approx 25.575k\Omega // 304.75\Omega \approx 301.24 \Omega$$

$$C_p \approx \frac{1}{4\pi^2 f^2 L_{TAG}} \approx \frac{1}{4\pi^2 (13.56 \times 10^6)^2 \times 1.596 \times 10^{-6}} \approx 86.32 \text{ pF} \quad (3.23)$$

$$BW \approx \frac{1}{2\pi C_p R_{TOT}} \approx \frac{1}{2\pi \times 86.32 \times 10^{-12} \times 301.24} \approx 6.12 \text{ MHz} \quad (3.24)$$

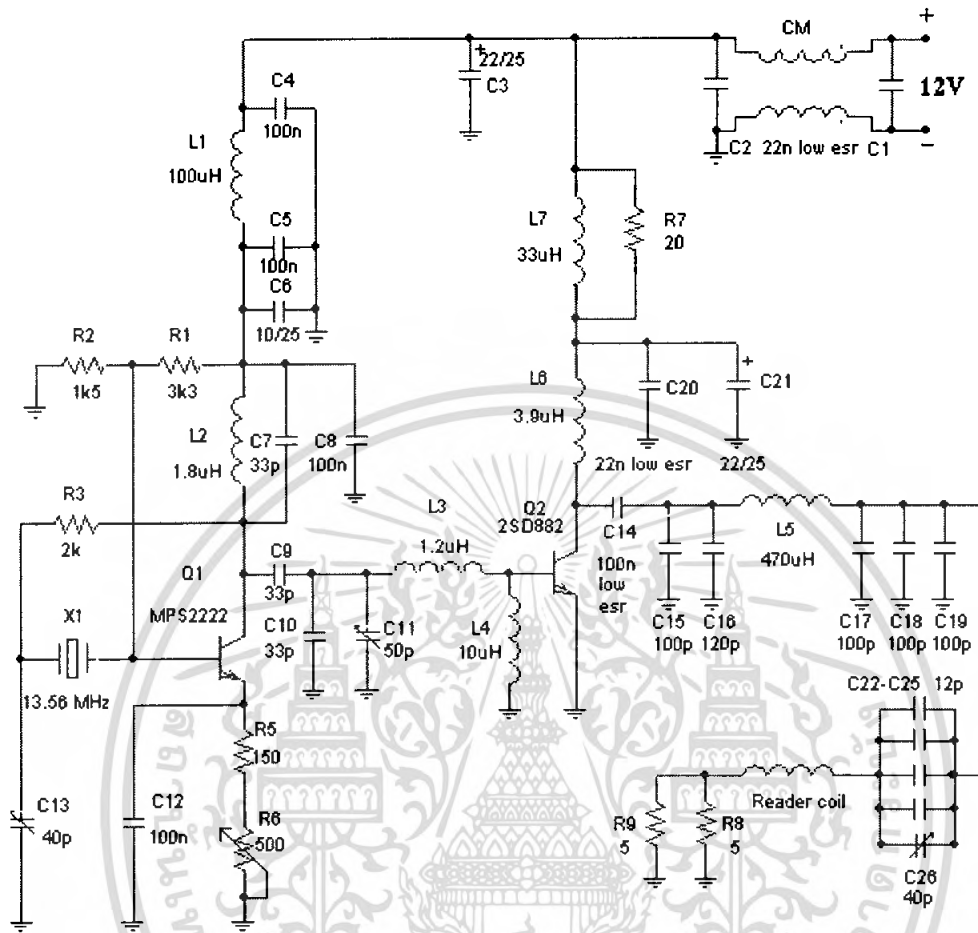
$$Q_L = \frac{f_{PK}}{BW} \approx \frac{13.56}{6.12} \approx 2.216 \quad (3.25)$$

$$NQ_L \approx 3 \times 2.216 = 6.648$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P_o \leq 1.5W$ with modulator



รูปที่ 3.7 วงจร modulator

3.3 การคำนวณหาค่า Bandwidth

จาก Carson's Rule

$$BW \approx 2\Delta f + 2B \quad (3.26)$$

$$\Delta f = |f_{MARK} - f_{SPACE}| \quad (3.27)$$

$$B = \text{Baseband } BW = 4R \text{ (Manchester)}$$

$$BW_{FSK} \approx 2(\Delta f + 2R) \quad (3.28)$$

$$R_{MAX} \leq 0.25\Delta f$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sub carrier FSK

$$f(0/1) = 13.56\text{M}/32 = 423.750 \text{ kHz}$$

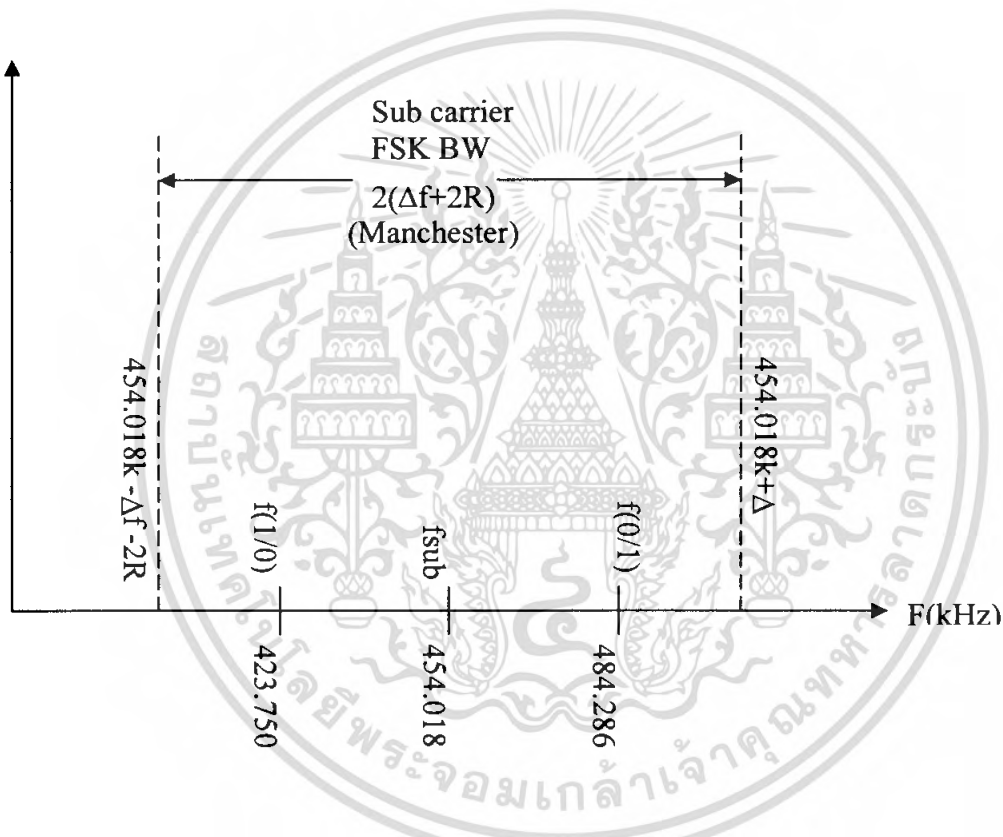
$$f(1/0) = 13.56\text{M}/28 = 484.286 \text{ kHz}$$

$$f_{center} = f_{sub} = \frac{f(1) + f(0)}{2} = 454.018 \text{ kHz} \quad (3.29)$$

Bit Rate: $R = 26.484\text{k}$

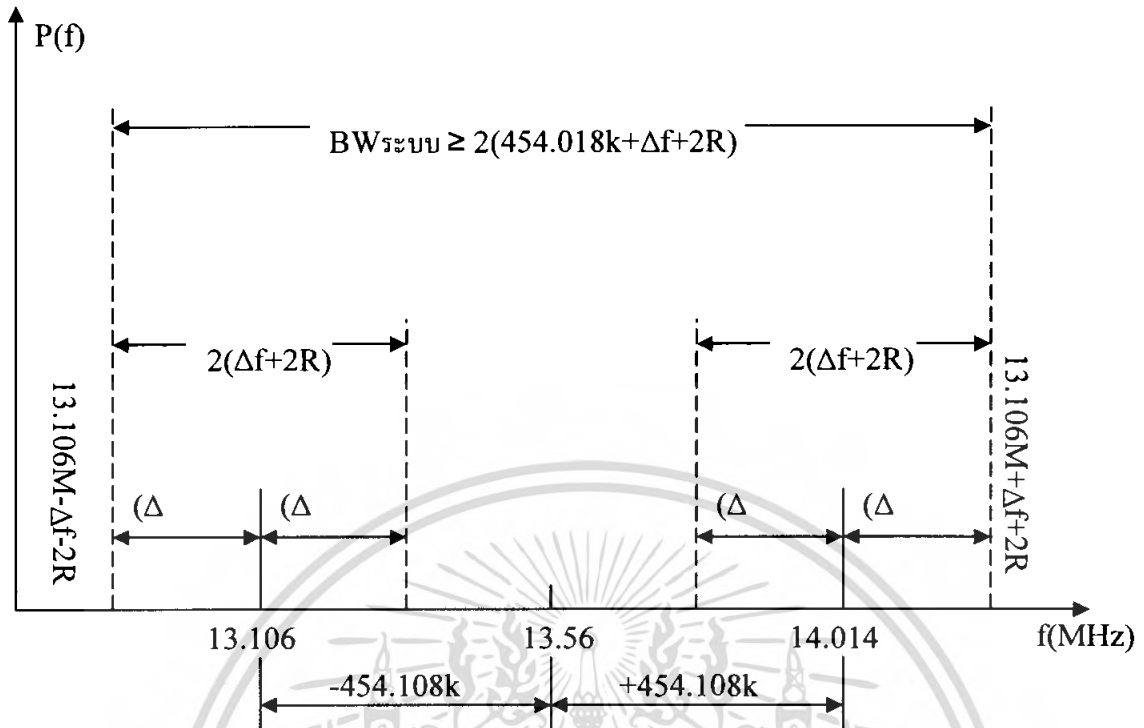
∴ Minimum Bandwidth (Manchester) = $2(454.1\text{k} + \Delta f + 2R) = 1.135 \text{ MHz}$

ในการคำนวณเราใช้ Bandwidth ที่ 1.5 MHz



รูปที่ 3.8 Sub carrier FSK Bandwidth

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 Bandwidth ของระบบ

3.4 การคำนวณ Matching

R_o ของ RF PWR TR โดยทั่วไปจะมีค่าต่ำ และใกล้เคียงกับ R_2 ซึ่ง R_2 และ V_{CC} จะเป็นตัวกำหนดค่า P_o (ใกล้เคียงไม่ใช่เท่ากับ) และ R_o ยังขึ้นอยู่กับค่า P_o และ FREQ อีกด้วย เนื่องจากไม่ทราบค่า R_o ของ TR ที่แน่นอน

$$\text{ให้ } \frac{R_2}{2} \leq R_o \leq 2R_2$$

PARAMETER ที่ต้องใช้ในการออกแบบ

- ค่า $i_{rd}(rms)$ หาได้จาก $(NI)_{rd}/N_{rd}$
- ค่า L ของ Reader Coil : L_{rd} ซึ่ง L_{rd} นี้ต้องเป็นค่า L ที่ความถี่ใช้งาน ซึ่งต้องนำผลของ Parasitic C ของ Coil มาคิดรวมกันด้วย
- ค่า BW ซึ่งขึ้นอยู่กับ Bit Rate , Sub carrier และ วิธีการ Modulation ของ TAG
- V_{CC} , $V_{CE SAT}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณครั้งที่ 1

$$\text{หา } i_{Rd}(rms) = NI_{rms}/N_{Rd} \quad , \quad \text{Read Radius } (a) = 38 \times 10^{-3} m$$

$$r = \text{Read Rang} = 3 \text{ cm} \quad , \quad NQ_{LTAG} = 6.648$$

โดยพันรอบ

$$NI_{rms} = \frac{3600V_{TAG}(rms)(a^2 + r^2)^{1.5}}{(NQ_L)_{TAG}} \quad (3.30)$$

$$= \frac{3600(6.25)(0.038^2 + 0.03^2)^{1.5}}{6.648}$$

$$= 0.384 A_{rms}$$

$$N_{Rd} = 6.648$$

$$i_{Rd} = \frac{0.384}{1.833}$$

$$= 0.209 A_{rms}$$

$$L_{Rd} = 1.6445 \mu H \text{ at } 13.56 \text{ MHz} \text{ , } BW = 1.5 \text{ MHz} \text{ , } V_{CC} - V_{CESAT} = 9.4 - 0.4 = 9V$$

หา R_L โดยสมมติ Perfect Match :

$$R_L = \pi BW L_{Rd} \quad (3.31)$$

$$= \pi(1.5 \times 10^6)(1.6445 \times 10^{-6})$$

$$= 7.75 \Omega$$

หากำลังงานที่ Output ได้ดังนี้

$$P_O = i_{Rd}^2 R_L \quad (3.32)$$

$$= 0.209^2 (7.75)$$

$$= 0.339 \text{ w}$$

หาค่า R_2 ได้ดังสมการที่ 3.33

$$R_2 = \frac{(V_{CC} - V_{CESAT})^2}{1.25 I_{Rd}^2 R_L} \quad (3.33)$$

$$= \frac{9^2}{1.25(0.339)}$$

$$= 159.29 \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า Output Impedances

$$\begin{aligned} Z_o &= \sqrt{R_L R_2} \\ &= \sqrt{7.75 \times 159.29} \\ &= 35.135 \end{aligned} \quad (3.34)$$

หาค่า Z_1 ในขณะที่ $R_o = 2R_2; R_2 / 2$ นำค่าที่น้อยไปคำนวณต่อ

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{Z_o^2}{R_o} = \frac{Z_o^2}{2R_2} \\ &= \frac{35.135^2}{2(159.29)} \\ &= 3.875 \text{ } \Omega \end{aligned} \quad (3.35)$$

การคำนวณครั้งที่ 2 $\text{Re}\{Z_1\} = 3.875 \text{ } \Omega$

$$\begin{aligned} R_L &= 2\pi BWL_{rd} - \text{Re}\{Z_1\} \\ &= 2\pi(1.5 \times 10^6)(1.6445) \times 10^{-6} - 3.875 \\ &= 11.624 \text{ } \Omega \end{aligned} \quad (3.36)$$

หาค่ากำลังงานที่ Output ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P_o &= i_{rd}^2 R_L \\ &= 0.209^2 (11.624) \\ &= 0.508 \text{ w} \end{aligned}$$

หาค่า R_2 ได้ดังสมการที่ 3.33

$$\begin{aligned} R_2 &= \frac{9^2}{1.25(0.508)} \\ &= 127.559 \text{ } \Omega \end{aligned}$$

หาค่า Output Impedances

$$Z_o = \sqrt{R_L R_2} = \sqrt{11.624 \times 127.559} = 38.506$$

หาค่า Z_1 ในขณะที่ $R_o = 2R_2; R_2 / 2$ นำค่าที่น้อยไปคำนวณต่อ

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{Z_o^2}{2R_2} \\ &= \frac{38.506^2}{2(127.559)} = 5.812 \text{ } \Omega \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณซ้ำเหมือนกับการคำนวณครั้งที่ 2 ไปเรื่อยจนค่าของ R_1, Z_o, P_o เข้าค่าคงที่

การคำนวณครั้งที่	$\text{Re}\{Z_1\}$	R_L	P_o	R_1	R_2	Z_o
3	5.812 Ω	9.687 Ω	0.423w	4.843 Ω	153.19 Ω	38.522 Ω
4	4.843 Ω	10.656 Ω	0.465w	5.327 Ω	139.355 Ω	38.535 Ω
5	5.327 Ω	10.172 Ω	0.444w	5.086 Ω	145.946 Ω	38.530 Ω
6	5.086 Ω	10.413 Ω	0.455w	5.207 Ω	142.418 Ω	38.510 Ω
7	5.207 Ω	10.292 Ω	0.445w	5.146 Ω	145.618 Ω	38.713 Ω
8	5.146 Ω	10.353 Ω	0.452w	5.176 Ω	143.360 Ω	38.525 Ω
9	5.176 Ω	10.323 Ω	0.451w	5.162 Ω	143.681 Ω	38.513 Ω
10	5.176 Ω	10.323 Ω	0.451w	5.162 Ω	143.681 Ω	38.513 Ω

ตารางที่ 3.2 แสดงการคำนวณการหาค่า R_1, P_o และ Z_o

จากตารางที่ 3.2 เราสามารถประมาณค่าของ R_1, P_o และ Z_o ได้ดังนี้

$$\therefore \text{จะได้ } R_1 \approx 5\Omega, P_o \approx 0.451w, Z_o \approx 38.513$$

L-C $\lambda/4$ section เราสามารถหาค่าอุปกรณ์ต่างๆ ได้ดังนี้

เราสามารถหาค่า L ได้จาก

$$\begin{aligned} L &= Z_o / 2\pi f \\ &= \frac{38.513}{2\pi \times 13.56 \times 10^6} \\ &= 452.03nH \end{aligned} \quad (3.37)$$

หาค่า $C_{17} + \dots + C_{19}$ ได้จาก

$$\begin{aligned} C_{17} + \dots + C_{19} &= \frac{1}{2\pi f Z} \\ &= \frac{1}{2\pi \times 13.56 \times 10^6 \times 38.513} \\ &= 304.76pF \end{aligned} \quad (3.38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถหาค่า $C_{17} + \dots + C_{19}$ ได้จาก

$$\begin{aligned} C_{15} + C_{16} &= \left(C_{17} + \dots + C_{19} \right) - 90p \\ &= 304.76 - 90 \\ &= 214.76 pF \end{aligned} \quad (3.39)$$

หาค่า $|Z_{CS}|$ ได้จาก

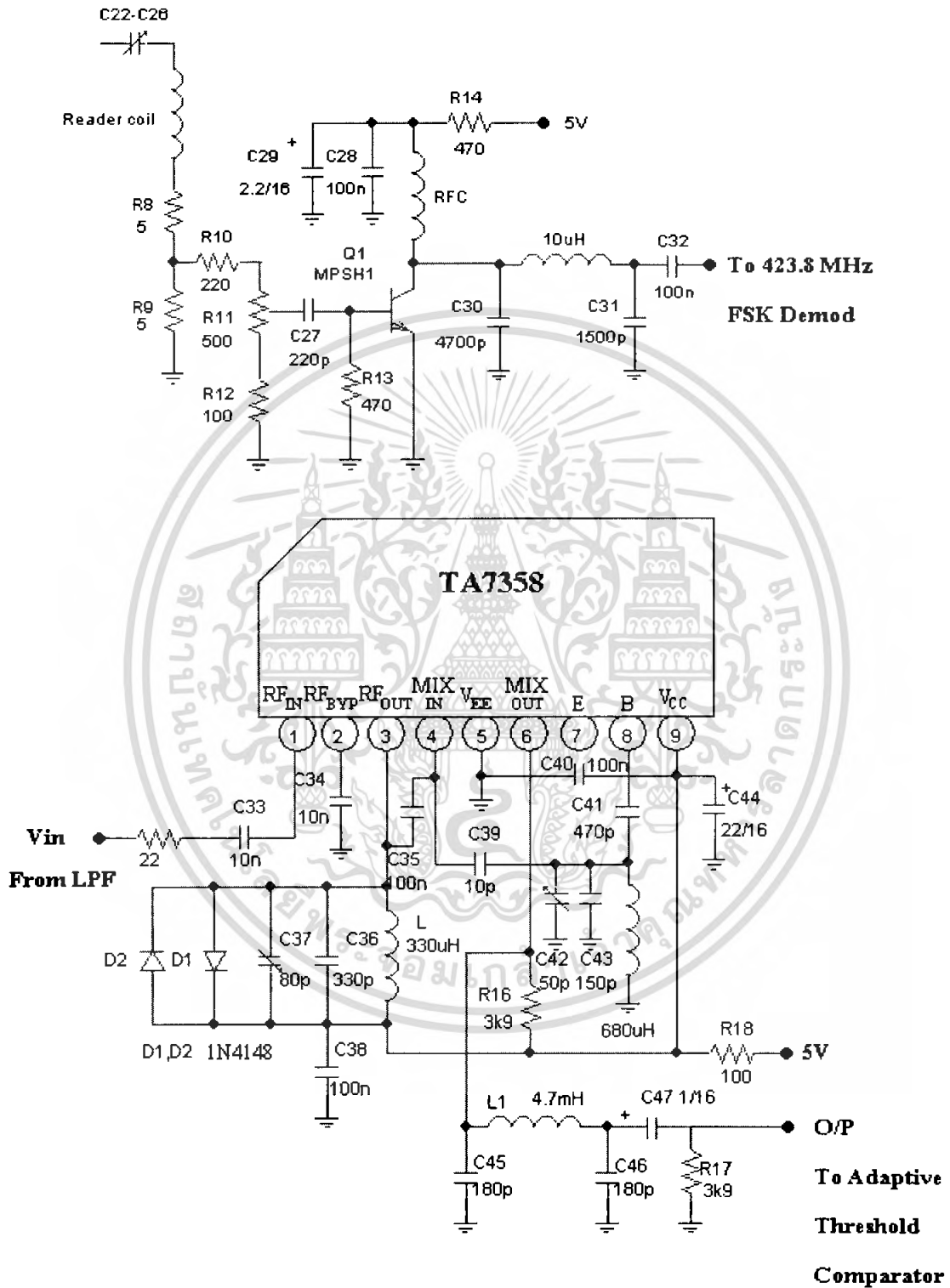
$$\begin{aligned} |Z_{CS}| &= |Z_{Rd}| = 2\pi f L_{Rd} \\ &= 2\pi \times 13.56 \times 10^6 \times 1.6445 \times 10^{-6} \\ &= 140.11 \Omega \end{aligned} \quad (3.40)$$

สามารถหาค่า C_S ($C_{22} + \dots + C_{26}$) ได้จาก

$$\begin{aligned} C_S &= \frac{1}{2\pi f |Z_{CS}|} \\ &= \frac{1}{2 \times \pi \times 13.56 \times 10^6 \times 140.11} \\ &= 83.77 pF \end{aligned} \quad (3.41)$$

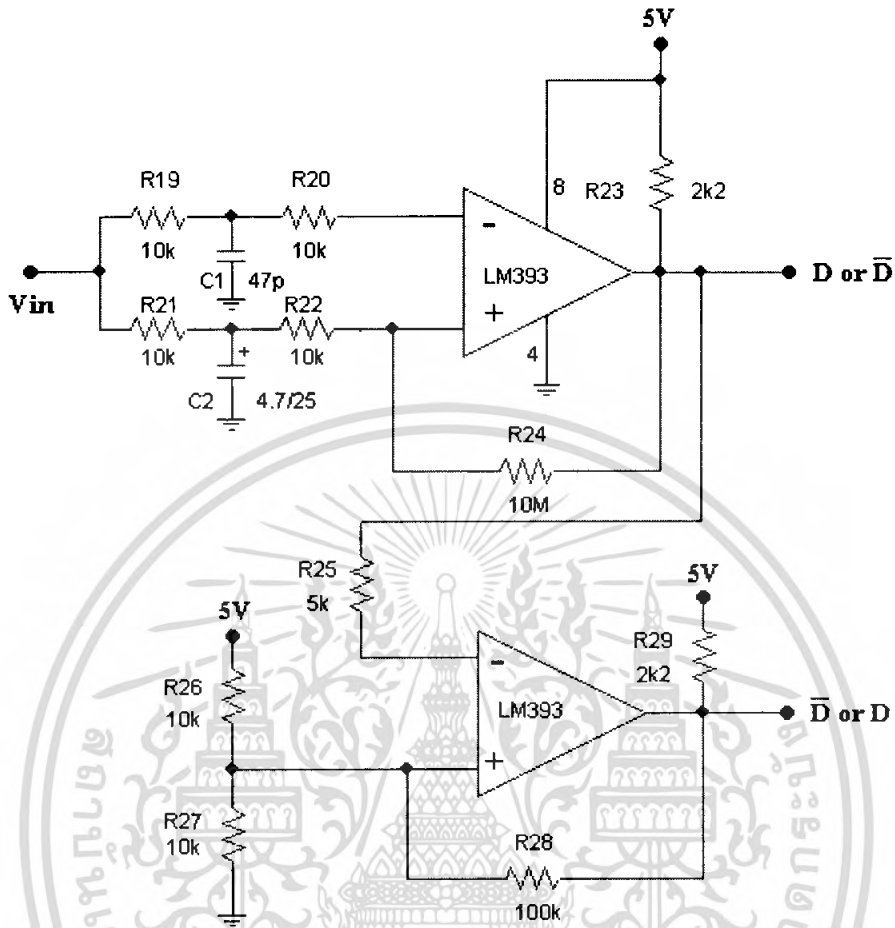
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรภาค Demodulator



รูปที่ 3.10 Main Carrier Demodulator and LPF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

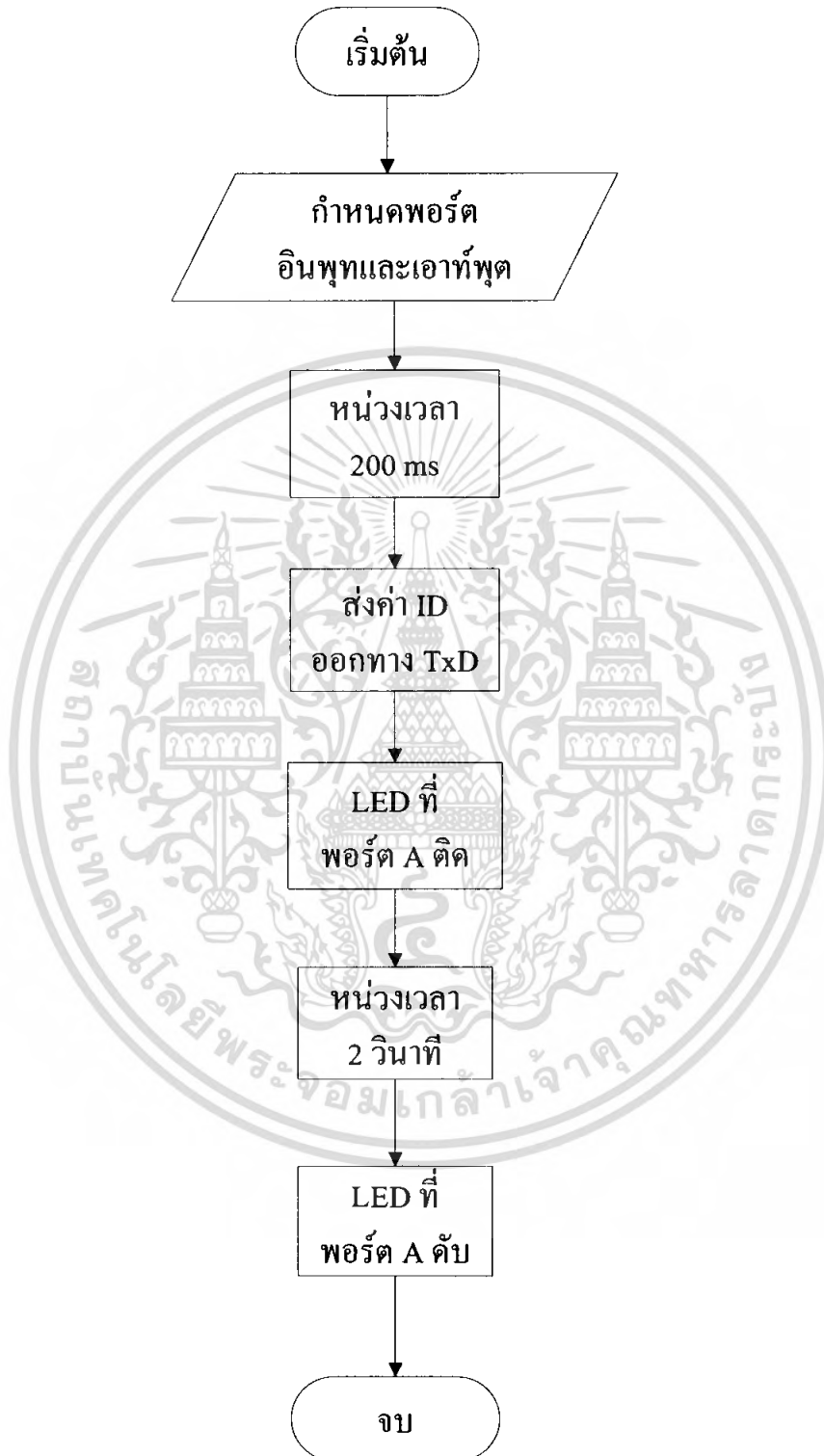


รูปที่ 3.11 วงจร Adaptive Threshold comparator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ส่วนซอฟต์แวร์

3.6.1 โฟลว์ชาร์ทของเครื่องลูกข่าย



รูปที่ 3.12 โฟลว์ชาร์ทการทำงานของเครื่องลูกข่าย

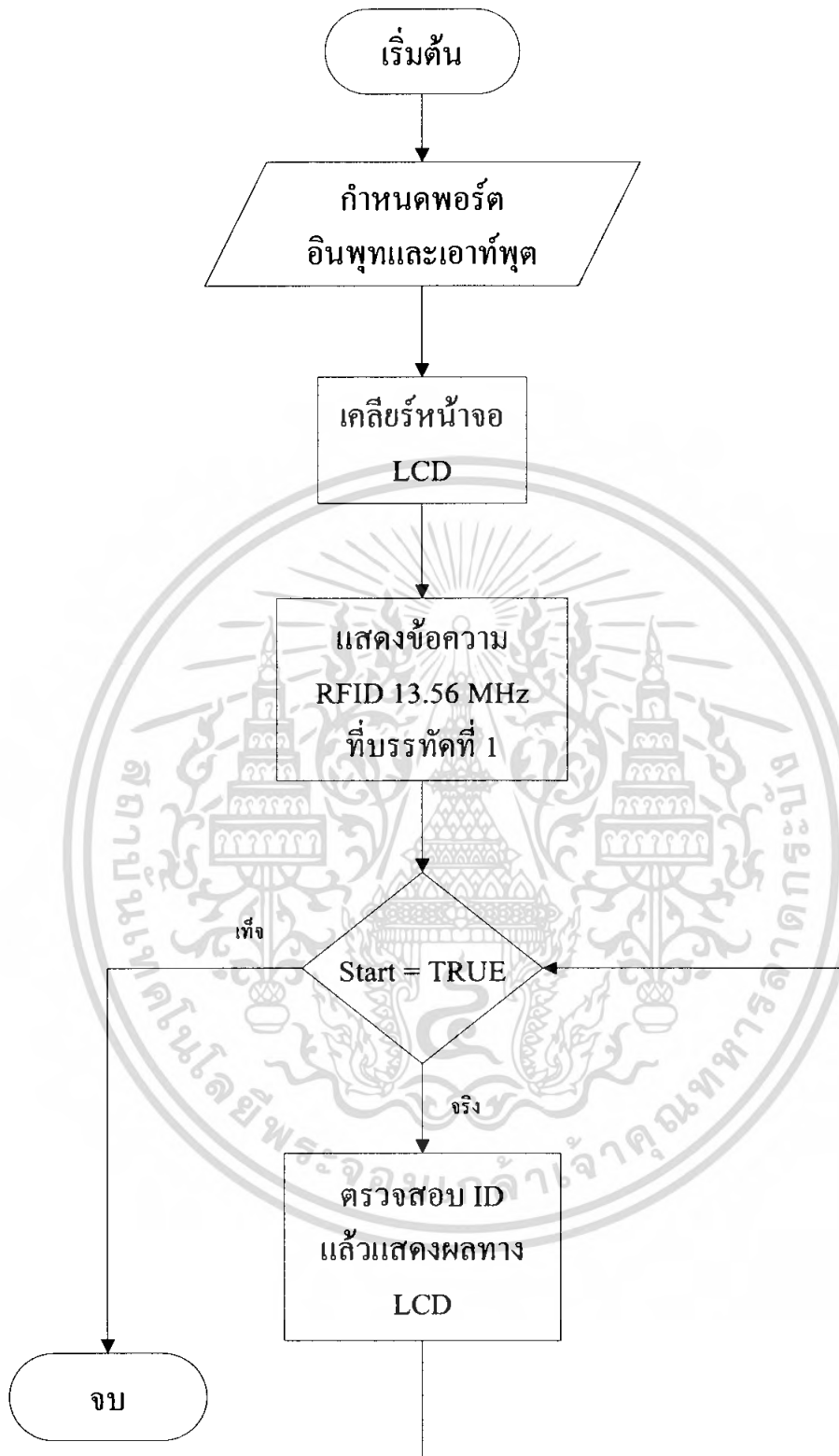
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 โฟลว์ชาร์ทของเครื่องอ่าน



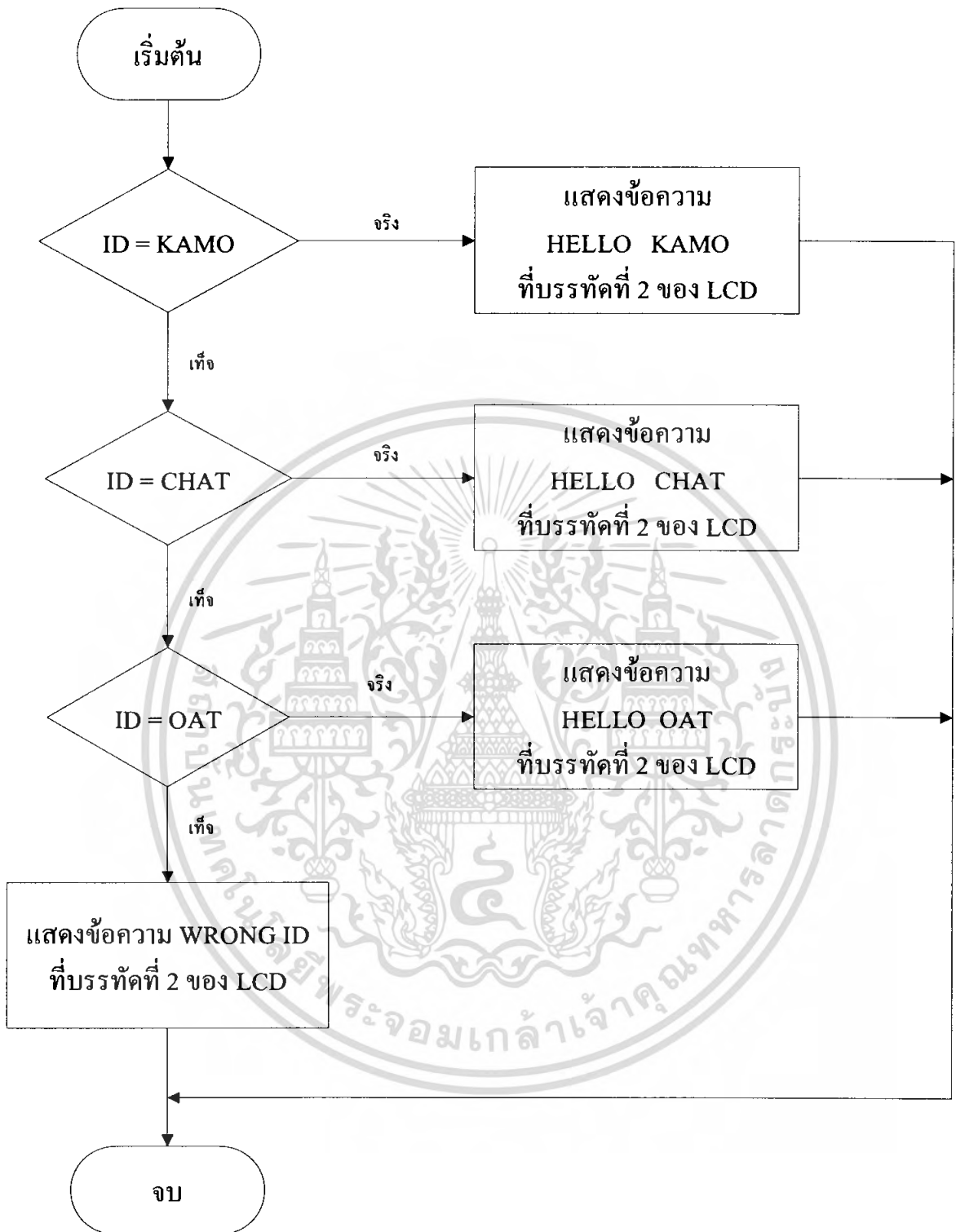
รูปที่ 3.13 โฟลว์ชาร์ทการทำงานของอินเตอร์รัปต์ของเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 โฟลว์ชาร์ทการทำงานของเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของฟังก์ชันการตรวจสอบ ID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองของการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่าย

การทดลองในส่วนนี้จะทดลองโดยส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่าย แล้วบันทึกพลังงานที่เครื่องลูกข่ายสามารถรับได้ในระยะต่างๆ ห่างจากขดลวดของเครื่องอ่าน โดยใช้วงจรที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 มาทำการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ $R_L = \infty$ (No Load)

ระยะห่างระหว่าง TAG กับ READER	แรงดันที่จุด Test Point (TP)	V_{OUT} ของ TAG Regulator
0.0 cm	76.70 V	6.00 V
0.5 cm	74.10 V	5.71 V
1.0 cm	68.70 V	4.74 V
1.5 cm	64.50 V	4.32 V
2.0 cm	53.50 V	4.11 V
2.5 cm	44.80 V	3.84 V
3.0 cm	39.00 V	3.72 V
3.5 cm	33.66 V	3.66 V
4.0 cm	28.94 V	3.45 V

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ $R_L = 390\Omega$

ระยะห่างระหว่าง TAG กับ READER	แรงดันที่จุด Test Point (TP)	V_{OUT} ของ TAG Regulator
0.0 cm	56.90 V	3.94 V
0.5 cm	50.50 V	3.61 V
1.0 cm	42.70 V	3.56 V
1.5 cm	33.80 V	3.38 V
2.0 cm	24.64 V	3.25 V
2.5 cm	16.48 V	3.03 V
3.0 cm	9.35 V	3.00 V
3.5 cm	5.43 V	2.88 V
4.0 cm	4.76 V	2.27 V

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ $R_L = 500\Omega$

ระยะห่างระหว่าง TAG กับ READER	แรงดันที่จุด Test Point (TP)	V_{OUT} ของ TAG Regulator
0.0 cm	63.70 V	4.33 V
0.5 cm	57.65 V	4.31 V
1.0 cm	48.60 V	4.26 V
1.5 cm	38.60 V	4.19 V
2.0 cm	31.62 V	4.16 V
2.5 cm	24.11 V	4.12 V
3.0 cm	17.16 V	4.12 V
3.5 cm	11.28 V	4.02 V
4.0 cm	6.33 V	4.00 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

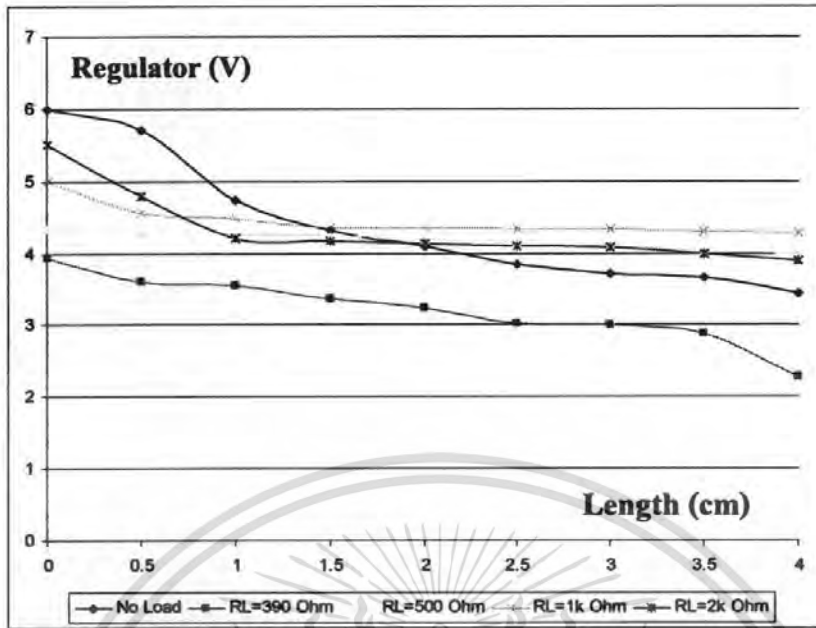
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ $R_L = 1k\Omega$

ระยะห่างระหว่าง TAG กับ READER	แรงดันที่จุด Test Point(TP)	V_{OUT} ของ TAG Regulator
0.0 cm	71.10 V	5.00 V
0.5 cm	67.40 V	4.56 V
1.0 cm	61.00 V	4.48 V
1.5 cm	50.40 V	4.36 V
2.0 cm	41.00 V	4.35 V
2.5 cm	33.64 V	4.34 V
3.0 cm	28.15 V	4.33 V
3.5 cm	22.93 V	4.31 V
4.0 cm	18.25 V	4.28 V

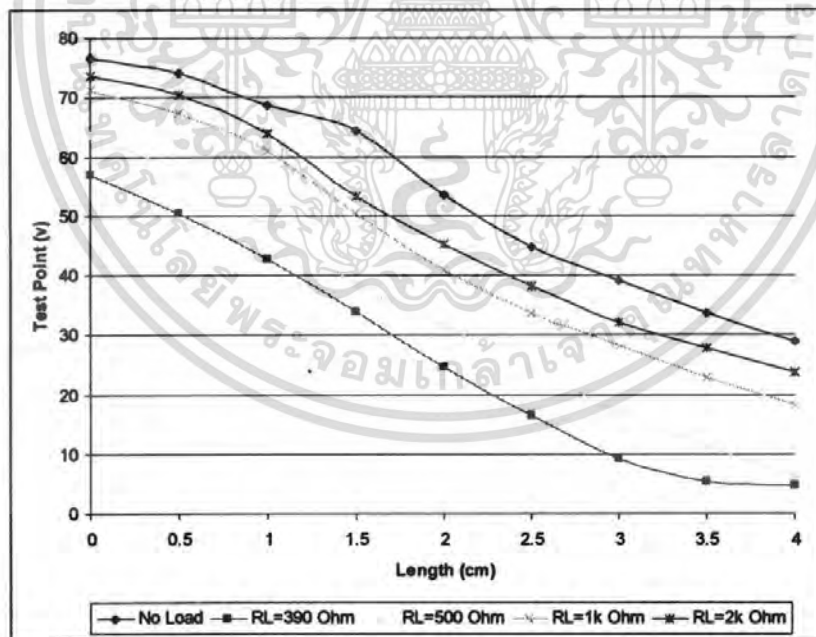
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านมายังเครื่องลูกข่ายที่ $R_L = 2k\Omega$

ระยะทางระหว่าง TAG กับ READER	แรงดันที่จุด Test Point(TP)	แรงดันหลัง TAG Regulator
0.0 cm	73.60 V	5.50 V
0.5 cm	70.40 V	4.80 V
1.0 cm	63.90 V	4.21 V
1.5 cm	53.30 V	4.18 V
2.0 cm	45.10 V	4.14 V
2.5 cm	38.30 V	4.10 V
3.0 cm	32.08 V	4.08 V
3.5 cm	27.82 V	4.00 V
4.0 cm	23.72 V	3.90 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน Test Point กับระยะห่าง

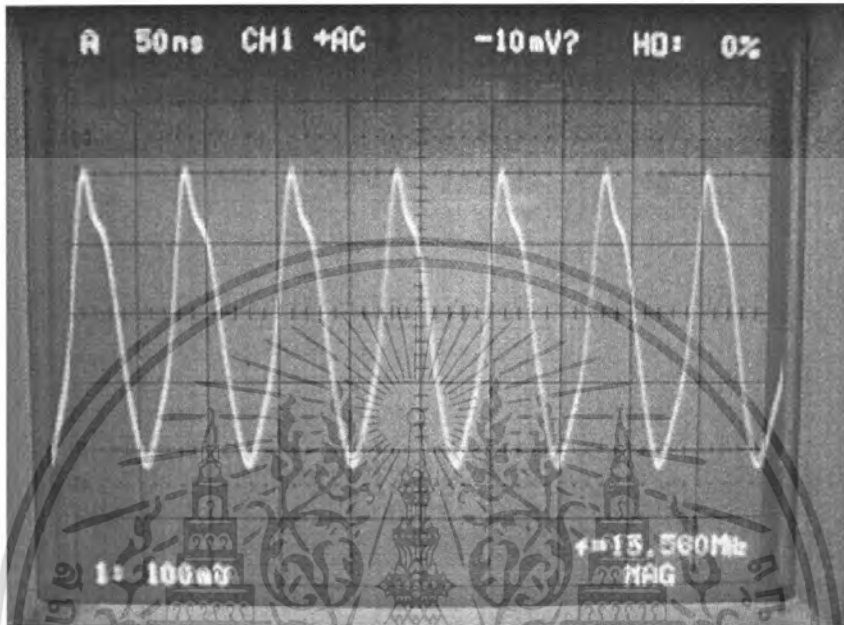


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน Regulator กับระยะห่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ภาพแสดงสัญญาณ ณ จุดต่างๆ ของวงจร TAG

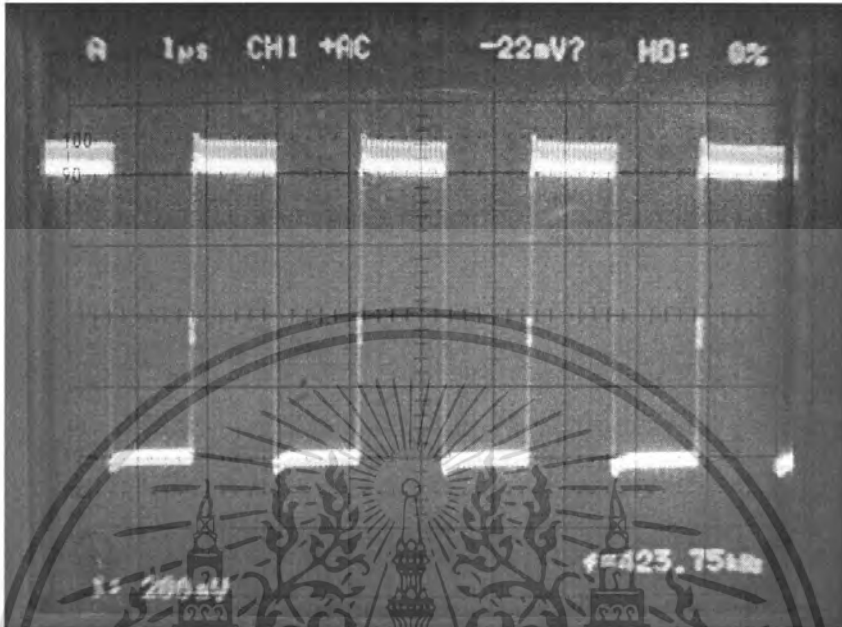
4.2.1 สัญญาณที่ได้จาก Clock Generator



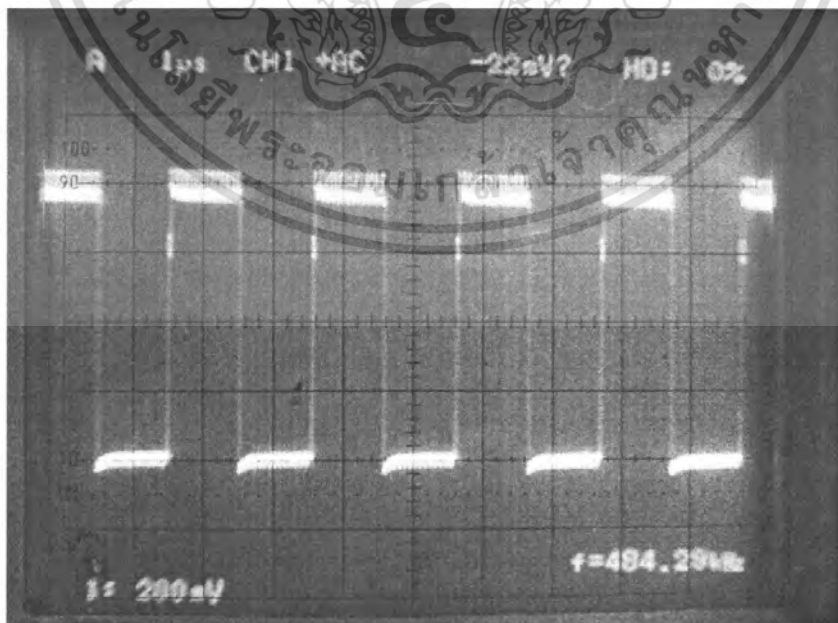
รูปที่ 4.3 สัญญาณที่ได้จาก Clock Generator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 สัญญาณที่ได้จาก Programmable frequency divider



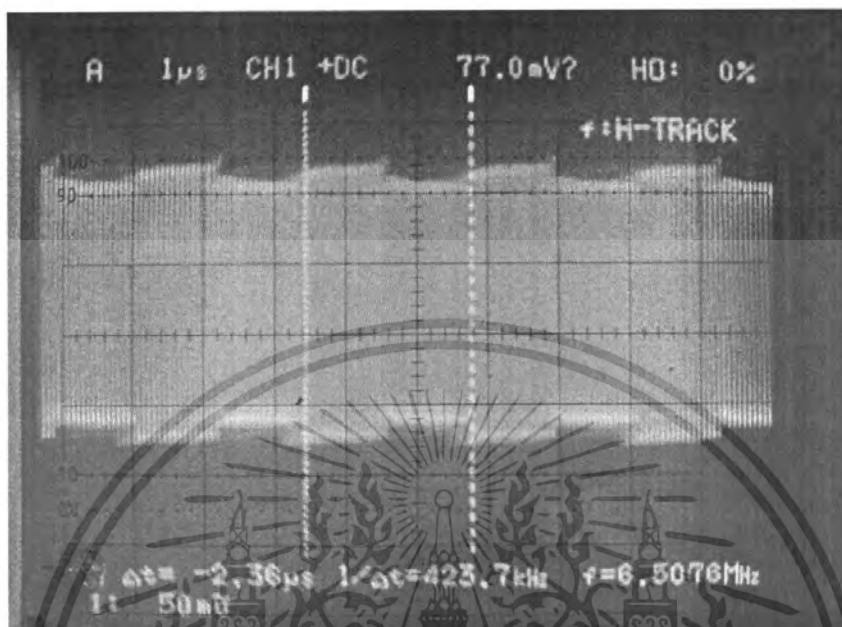
รูปที่4.4 สัญญาณที่ได้จาก Programmable frequency divider กรณีที่ป้อน DATA = 1 ($f_o = f_c/32$)



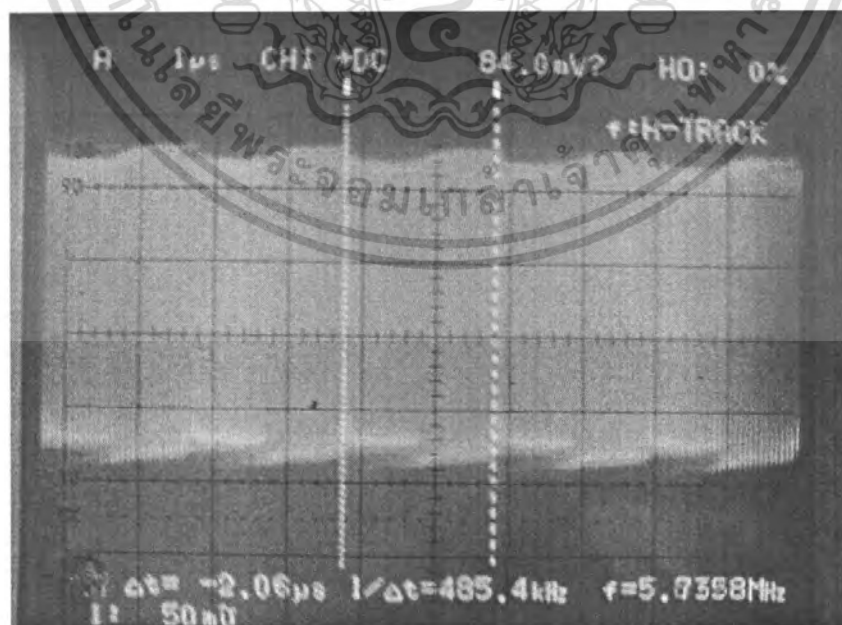
รูปที่4.5 สัญญาณที่ได้จาก Programmable frequency divider กรณีที่ป้อน DATA = 0 ($f_o = f_c/28$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่ทางการจะขึ้นฟ้องการก๊อปปี้ที่ผิดกฎหมาย เมื่อผู้จัดทำหนังสือฉบับนี้ประสงค์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 สัญญาณของ Load Modulator

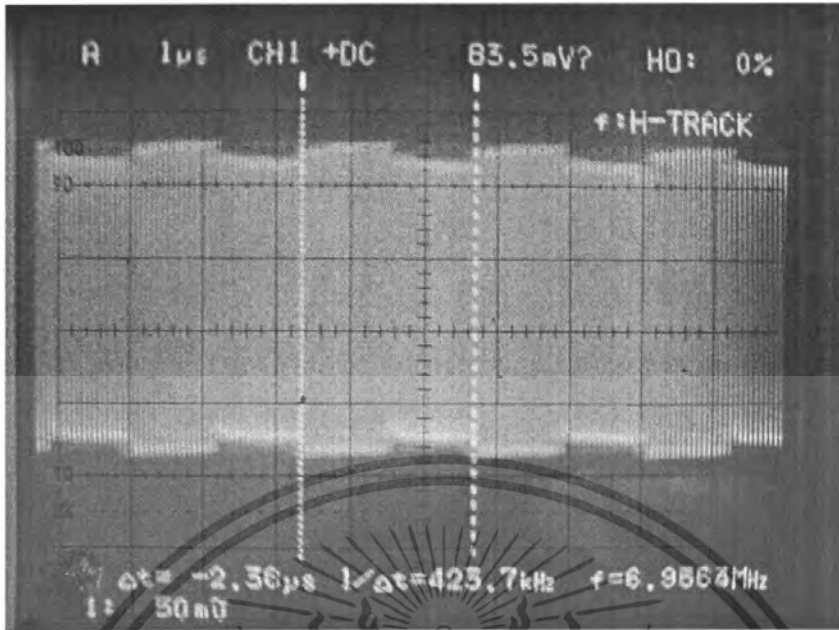


รูปที่4.6 สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 1 ($f_o = f_c/32$) ที่ระยะ 0.5 cm

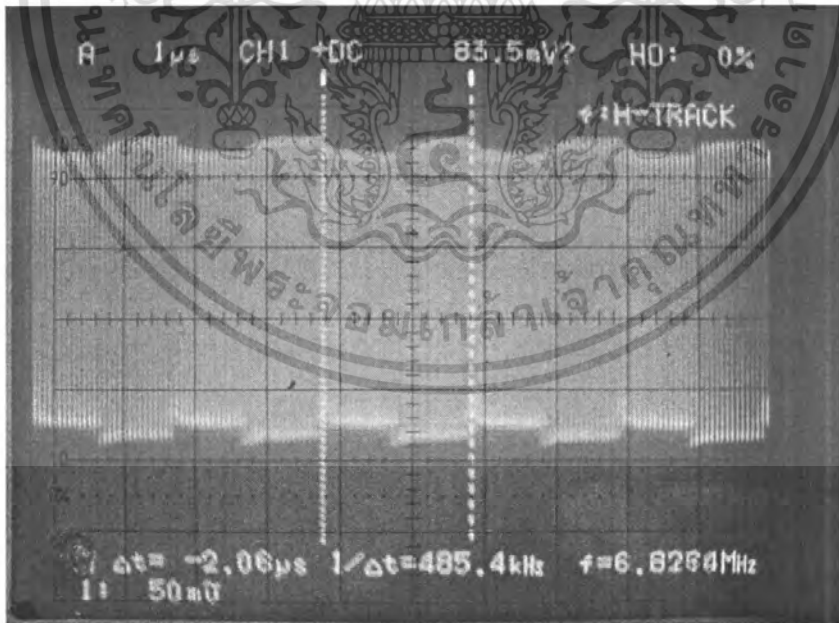


รูปที่4.7 สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 0 ($f_o = f_c/28$) ที่ระยะ 0.5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

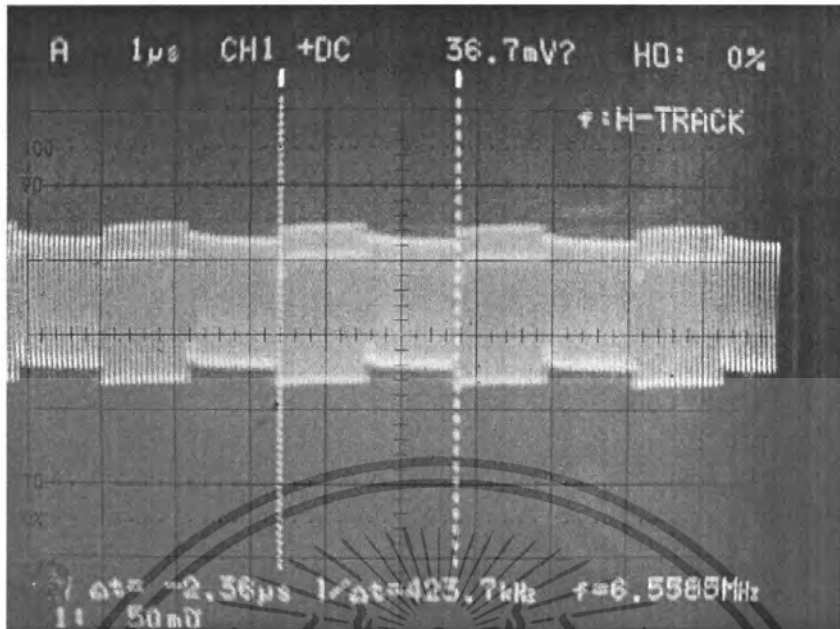


รูปที่ 4.8 สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 1 ($f_o = f_c/32$) ที่ระยะ 1 cm

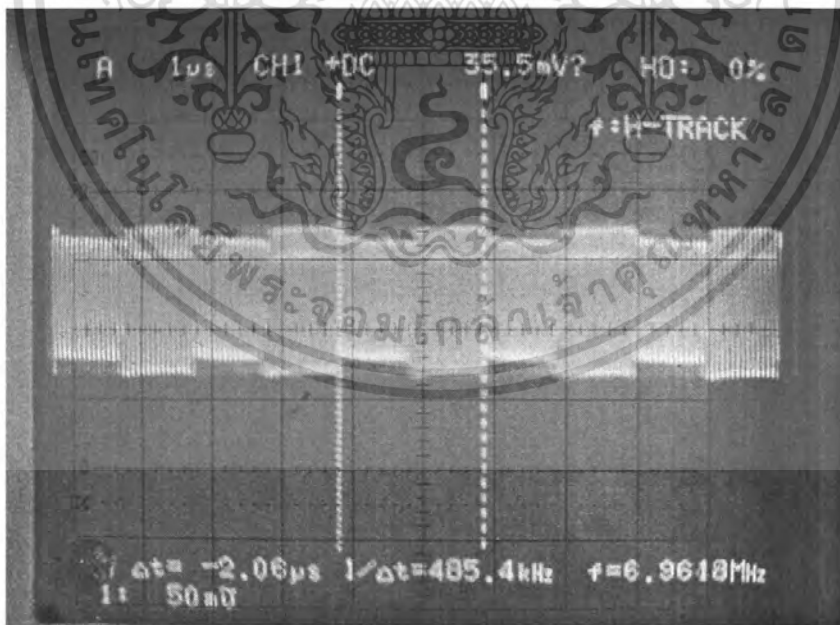


รูปที่ 4.9 สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 0 ($f_o = f_c/28$) ที่ระยะ 1 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

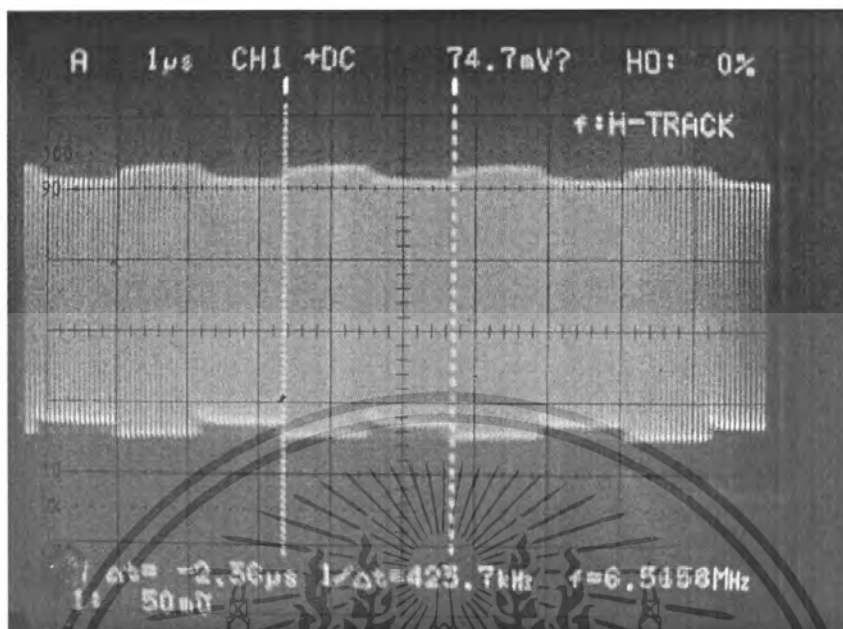


รูปที่ 4.10 สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 1 ($f_o = f_c/32$) ที่ระยะ 1.5 cm

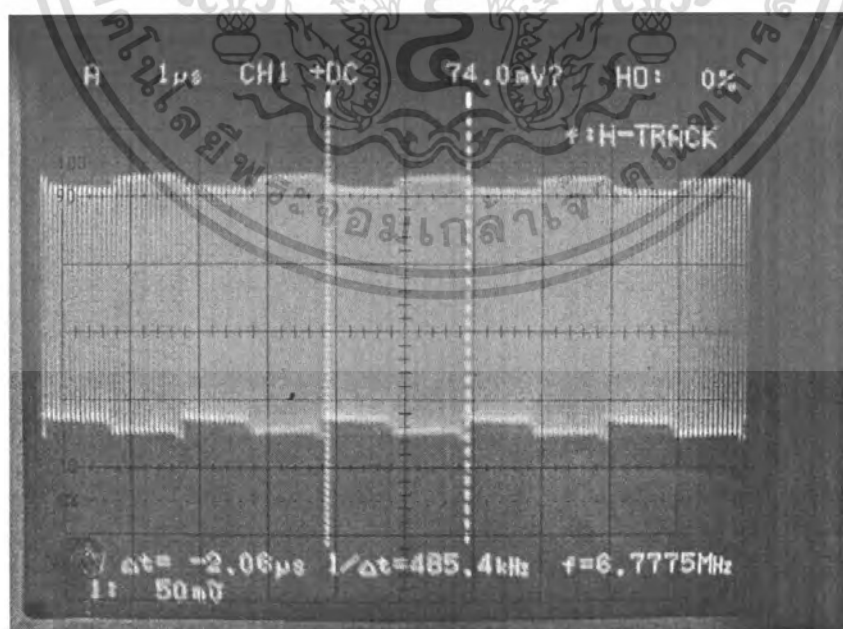


รูปที่ 4.11 สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 0 ($f_o = f_c/28$) ที่ระยะ 1.5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

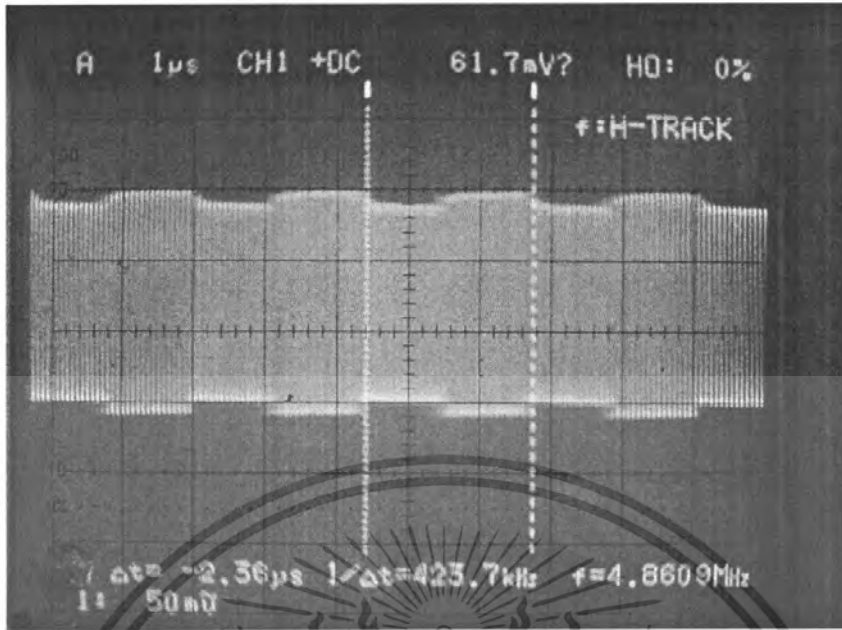


รูปที่ 4.12 สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 1 ($f_o = f_c/32$) ที่ระยะ 2 cm

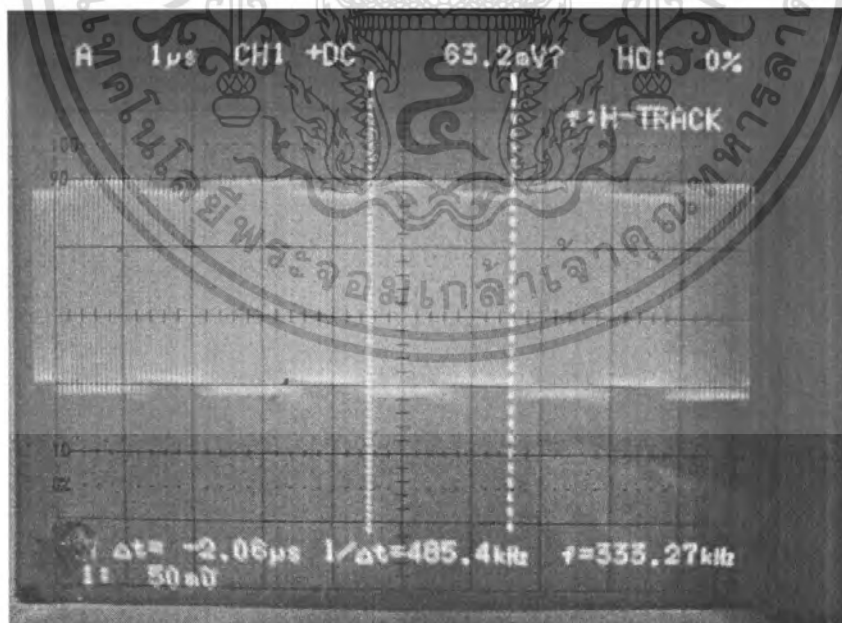


รูปที่ 4.13 สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 0 ($f_o = f_c/28$) ที่ระยะ 2 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

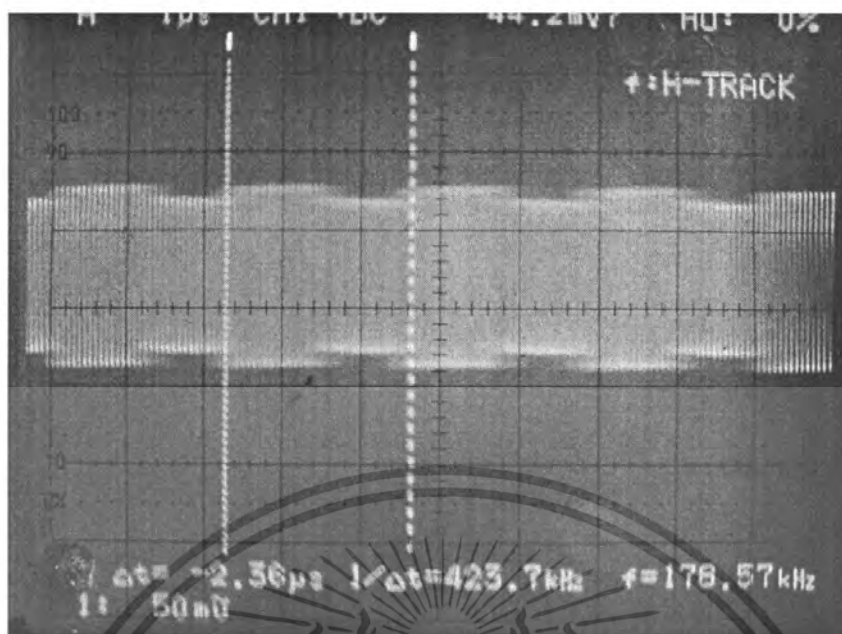


รูปที่ 4.14 สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 1 ($f_o = f_c/32$) ที่ระยะ 2.5 cm

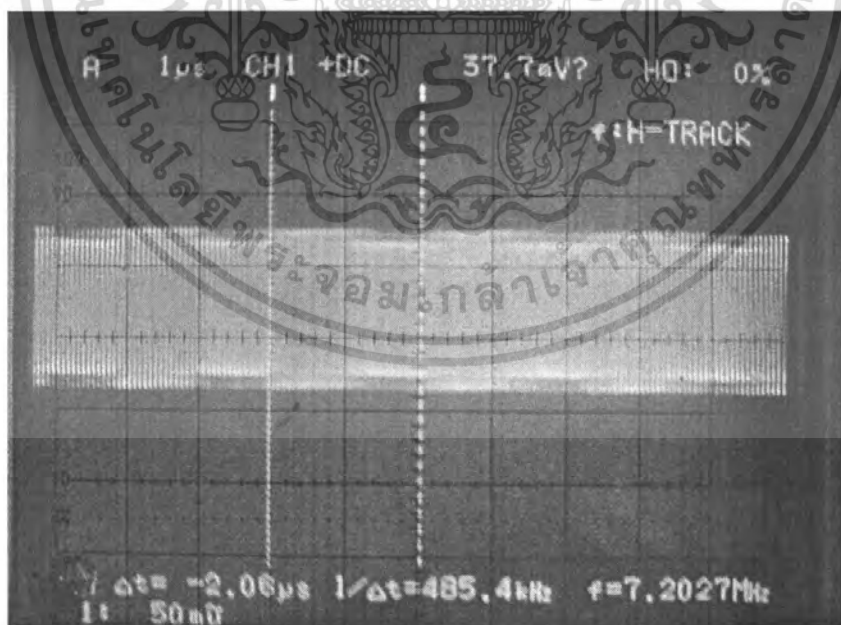


รูปที่ 4.15 สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 0 ($f_o = f_c/28$) ที่ระยะ 2.5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 1 ($f_o = f_c/32$) ที่ระยะ 3 cm

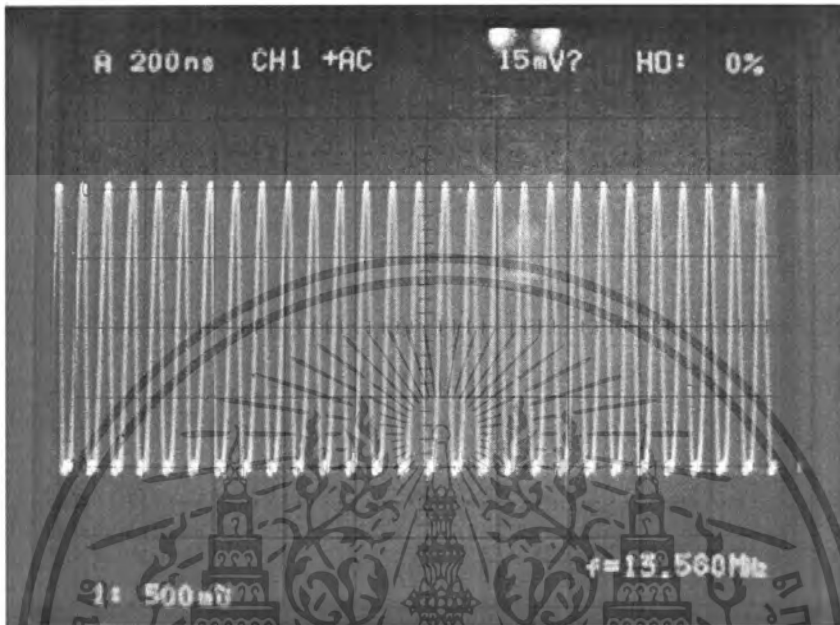


รูปที่ 4.17 สัญญาณของ Load Modulator กรณีที่ป้อน DATA = 0 ($f_o = f_c/28$) ที่ระยะ 3 cm

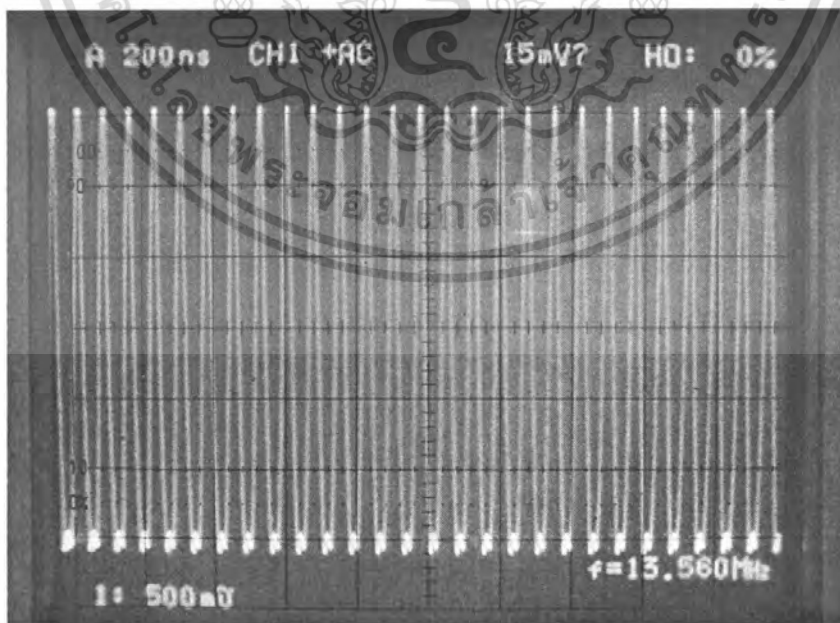
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ภาพแสดงสัญญาณ ณ จุดต่างๆ ของวงจร Reader

4.3.1 สัญญาณของวงจร Oscillator & PA driver

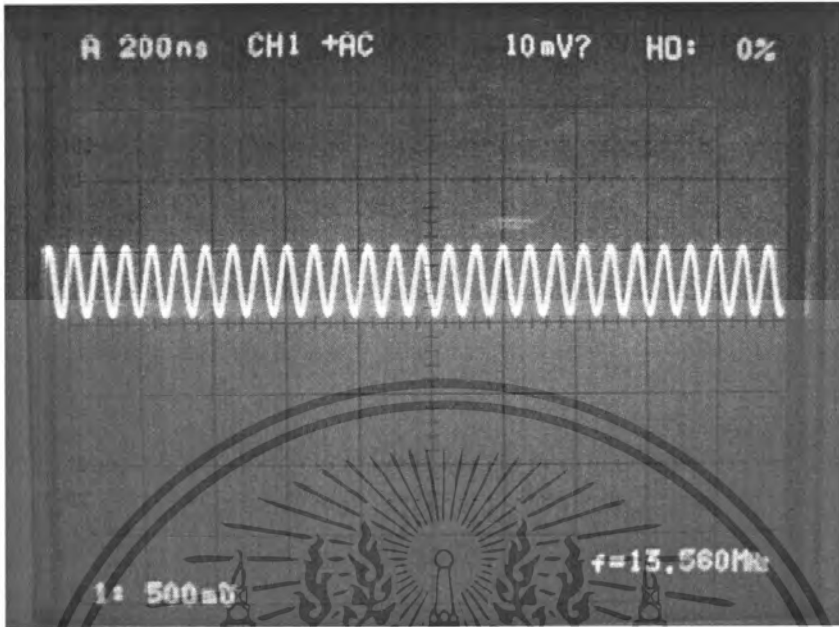


รูปที่ 4.18 สัญญาณ output ของ Oscillator



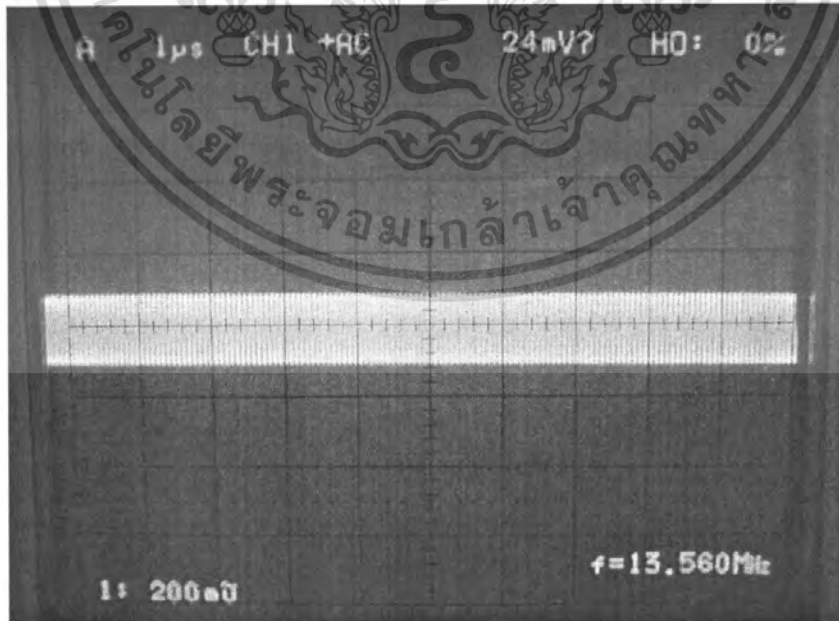
รูปที่ 4.19 สัญญาณ output ของ PA driver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



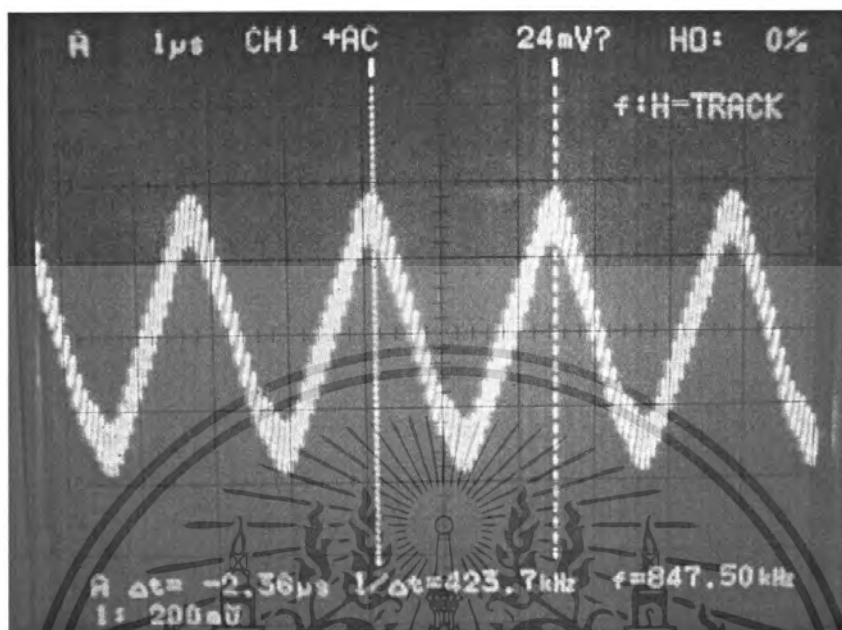
รูปที่4.20 สัญญาณที่ RLoad ของ Reader coil

4.3.2 สัญญาณที่ได้จาก 13.56 MHz Main Carrier Demod

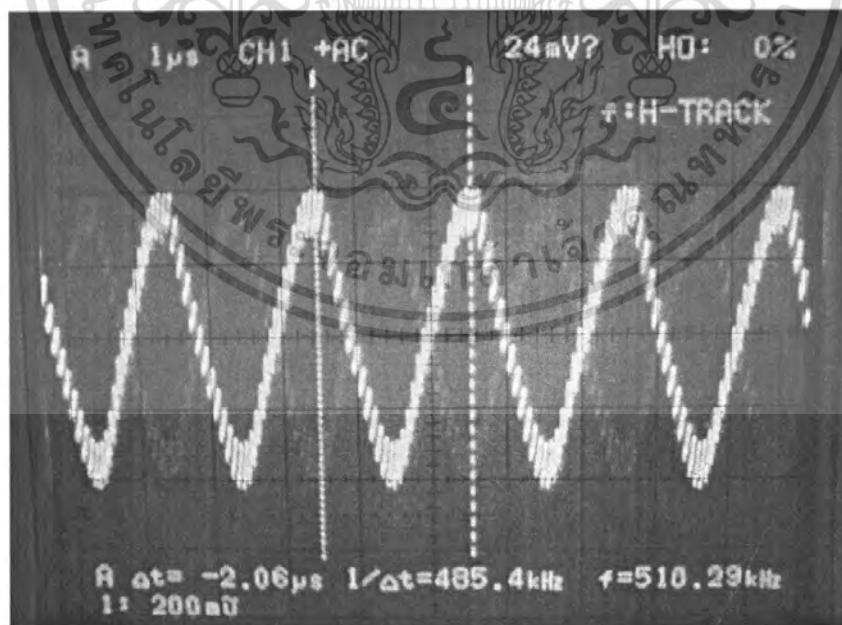


รูปที่4.21 สัญญาณ input ที่ขาเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 สัญญาณ output ที่ขาคอลเลคเตอร์ กรณีที่ DATA = 1 ($f_o = f_c/32$)



รูปที่ 4.23 สัญญาณ output ที่ขาคอลเลคเตอร์ กรณีที่ DATA = 0 ($f_o = f_c/28$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

ในส่วนของการทำงานของ RFID สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือส่วนของเครื่องอ่านและในส่วนของเครื่องรับ ซึ่งในส่วนของเครื่องอ่านจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 16F877 ในการอ่านและเขียนข้อมูลที่เครื่องลูกข่าย และใช้เบอร์ 16F628 ในการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายไปที่เครื่องอ่าน จะขอกกล่าวถึงรายละเอียดในส่วนของ เครื่องอ่านส่วนส่วนแรกคือ เพาเวอร์แอมป์ ที่ความถี่ 13.56 MHz โดยมีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ประมาณ 50 Ω ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการส่งพลังงานให้กับเครื่องลูกข่าย ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ผ่านทางขดลวดของของเครื่องอ่านและในส่วนของเครื่องลูกข่ายจะส่งข้อมูลไปทำการมอดูเลตแบบ FSK ไปยังเครื่องอ่าน ส่วนการรับข้อมูลจากเครื่องลูกข่าย จะรับข้อมูลมาจากขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน มาทำการดีมอดูเลต และส่งเข้าไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำการประมวลผลแล้วนำข้อมูลไปใช้อะไร ก็แล้วแต่การนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป และในส่วนของเครื่องลูกข่ายจะรับพลังงานจากเครื่องอ่านผ่านทางขดลวด ของวงจรเรโซแนนซ์ แล้วนำมาทำการเรกตีไฟร์ซึ่งในส่วนนี้ถูกออกแบบให้จ่ายแรงดันไฟฟ้าประมาณ 4.8 V เพื่อไปเลี้ยงวงจรของเครื่องลูกข่าย ให้สามารถทำงานได้ และในส่วนของการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมายัง เครื่องอ่านจะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อยู่ในเครื่องลูกข่ายส่งข้อมูลออกมาและจากนั้นจึงนำข้อมูลไปทำการมอดูเลตแบบ โทลคมอดูเลต เพื่อส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่าน ส่วนการรับข้อมูลจากเครื่องอ่าน จะรับเข้ามาที่ขดลวดแล้วมาทำการดีมอดูเลต แล้วนำข้อมูลส่งไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ของเครื่องลูกข่ายต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. ฉัฐพล วงศ์สุนทรชัย. “เรียนรู้และปฏิบัติการมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877”
บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด
2. บุญชัช เนติศักดิ์. “ทฤษฎีและปฏิบัติ เครื่องรับวิทยุ เอเอ็ม เอฟเอ็ม” ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
3. ประจัน พลังสันติกุล. “เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์” บริษัท อินโนเวตีฟ
เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด
4. ไพโรจน์ ไหววานิชกิจ. “เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์” ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
5. Klaus Finkenzeller, Giesecke & Deriet GmbH, Munich, Germany. Translate by Rael
Weddington. “FRID Hand book” John Wiley & Sons Ltd.

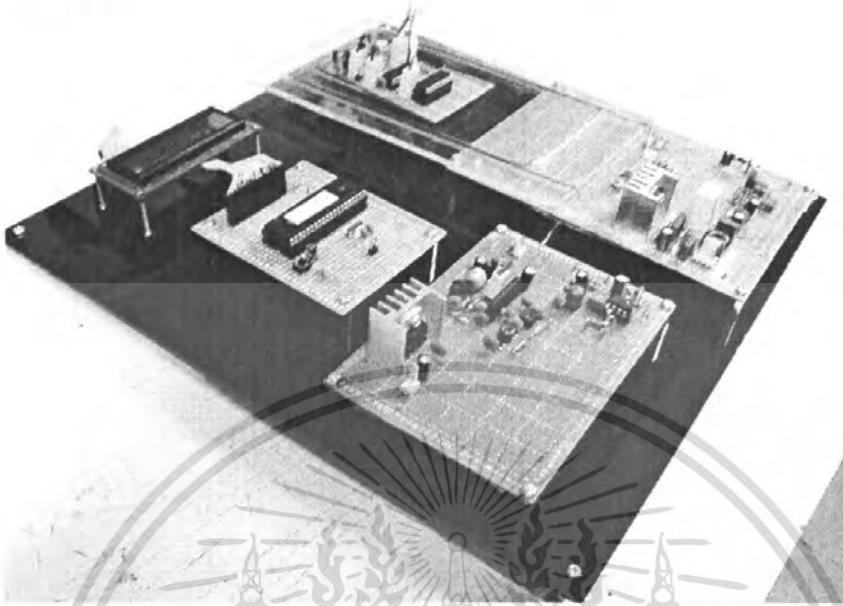


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

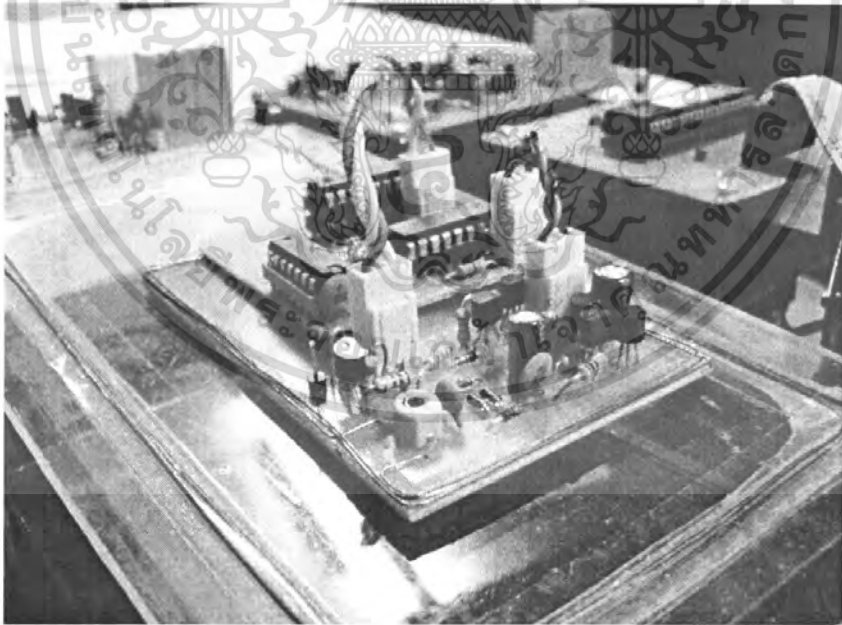


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์



ส่วนของเครื่องอ่าน(Reader)



ส่วนของเครื่องลูกข่าย(TAG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมในส่วนเครื่องลูกข่าย(TAG)

```
include<reg51.h>

char buff=0x0F ;

sbit sw1=P1^0 ;

sbit sw2=P1^1 ;

sbit led1=P2^2 ;

void delay()
{
    int i , j ;
    for(i=0;i<120;i++)
    {
        for(j=0;j<50;j++) ;
    }
}

void data1()
{
    led1=1 ;
    delay() ;
}

void data0()
{
    led1=0 ;
    delay() ;
}

void pro1()
{
    data1();
    data0();
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        data0();

        data0();

    }
void pro2()
    {

        data1();
        data1();
        data0();

        data0();

    }
void pro3()
    {
        data1();
        data0();
        data1();

        data0();

    }
void pro4()
    {

        data1();
        data1();
        data1();

        data0();

    }

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void main()
{

char buff2;
P1 = 0xFF;
led1 =0 ;
while(1)
{
buff2=P1;
if(buff2!=buff)
{
switch(buff2)
{
case 0x00 : pro1();break; //buff2 =
case 0x01 : pro2();break;
case 0x02 : pro3();break;
case 0x03 : pro4();break;
}
buff=buff2;
}
}
}

```

00 goto pro1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมในส่วนเครื่องอ่าน(Reader)

```
#include<reg51.h>
sbit chi=P1^0 ;
sbit out1=P2^0 ;
sbit out2=P2^1 ;
void delay()
{
    int i , j ;
    for(i=0;i<120;i++)
    {
        for(j=0;j<50;j++) ;
    }
}
void delay2()
{
    int i , j ;
    for(i=0;i<60;i++)
    {
        for(j=0;j<50;j++) ;
    }
}
void main()
{
    while ( 1 ) {
        if( chi==1 ) {
            delay2();
            delay();
            out1 = chi;
            delay();
            out2 = chi;
            delay();
            delay();
        }
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dual 4-bit binary ripple counter

74HC/HCT393

FEATURES

- Two 4-bit binary counters with individual clocks
- Divide-by any binary module up to 28 in one package
- Two master resets to clear each 4-bit counter individually
- Output capability: standard
- I_{CC} category: MSI

GENERAL DESCRIPTION

The 74HC/HCT393 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/HCT393 are 4-bit binary ripple counters with separate clocks ($1\overline{CP}$ and $2\overline{CP}$) and master reset (1MR and 2MR) inputs to each counter. The operation of each half of the "393" is the same as the "93" except no external clock connections are required.

The counters are triggered by a HIGH-to-LOW transition of the clock inputs. The counter outputs are internally connected to provide clock inputs to succeeding stages. The outputs of the ripple counter do not change synchronously and should not be used for high-speed address decoding.

The master resets are active-HIGH asynchronous inputs to each 4-bit counter identified by the "1" and "2" in the pin description.

A HIGH level on the nMR input overrides the clock and sets the outputs LOW.

QUICK REFERENCE DATA

GND = 0 V; $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_r = t_f = 6\text{ ns}$

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYPICAL		UNIT
			HC	HCT	
t_{PHL}/t_{PLH}	propagation delay	$C_L = 15\text{ pF}; V_{CC} = 5\text{ V}$			
	$n\overline{CP}$ to nQ_0		12	20	ns
	nQ to nQ_{n+1}		5	6	ns
	nMR to nQ_n		11	15	ns
f_{max}	maximum clock frequency		99	53	MHz
C_I	input capacitance		3.5	3.5	pF
C_{PD}	power dissipation capacitance per counter	notes 1 and 2	23	25	pF

Notes

1. C_{PD} is used to determine the dynamic power dissipation (P_D 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_i = input frequency in MHz

f_o = output frequency in MHz

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

C_L = output load capacitance in pF

V_{CC} = supply voltage in V

2. For HC the condition is $V_I = \text{GND to } V_{CC}$
For HCT the condition is $V_I = \text{GND to } V_{CC} - 1.5\text{ V}$

ORDERING INFORMATION

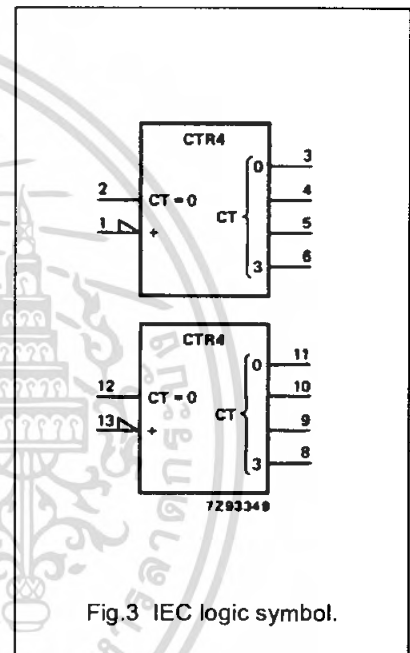
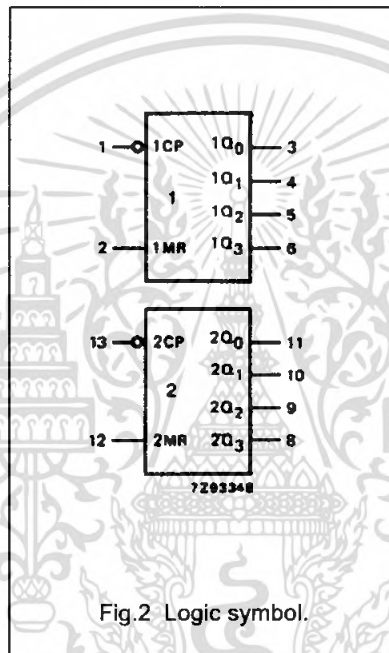
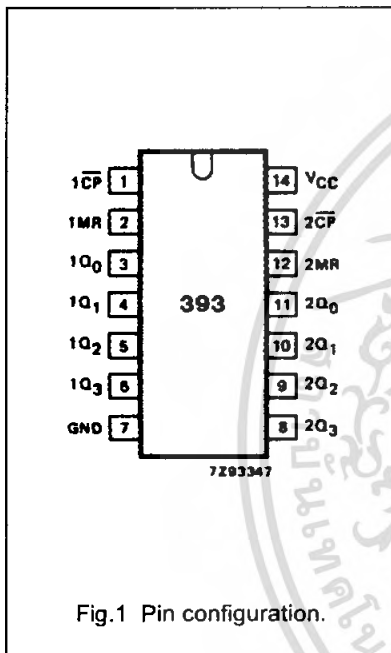
See "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Package Information".

Dual 4-bit binary ripple counter

74HC/HCT393

PIN DESCRIPTION

PIN NO.	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
1, 13	1CP, 2CP	clock inputs (HIGH-to-LOW, edge-triggered)
2, 12	1MR, 2MR	asynchronous master reset inputs (active HIGH)
3, 4, 5, 6, 11, 10, 9, 8	1Q ₀ to 1Q ₃ , 2Q ₀ to 2Q ₃	flip-flop outputs
7	GND	ground (0 V)
14	V _{CC}	positive supply voltage



Dual 4-bit binary ripple counter

74HC/HCT393

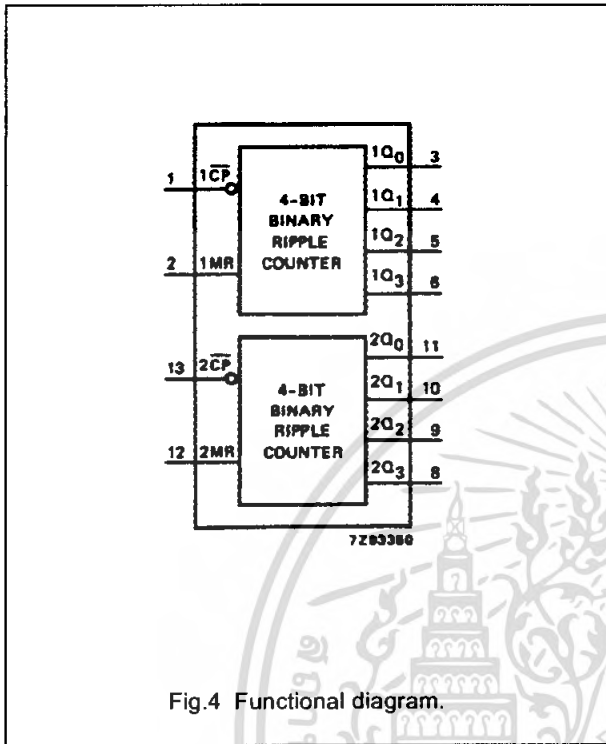


Fig.4 Functional diagram.

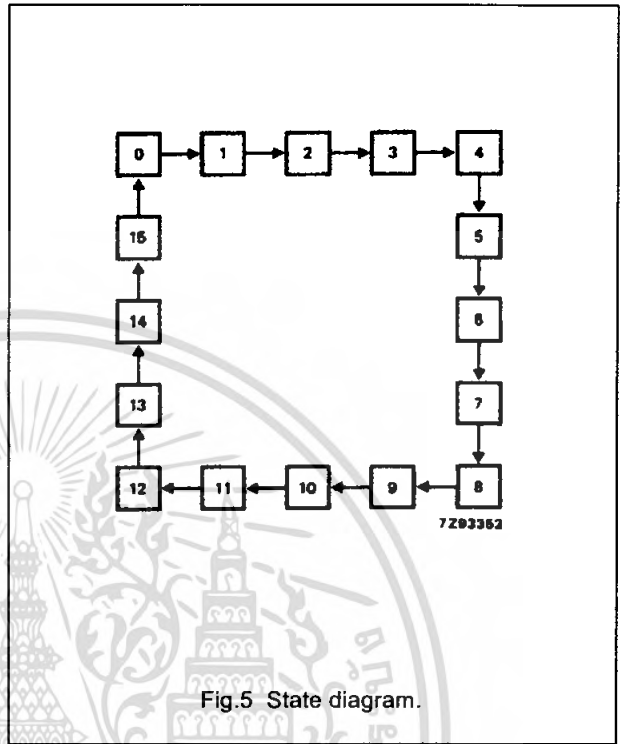


Fig.5 State diagram.

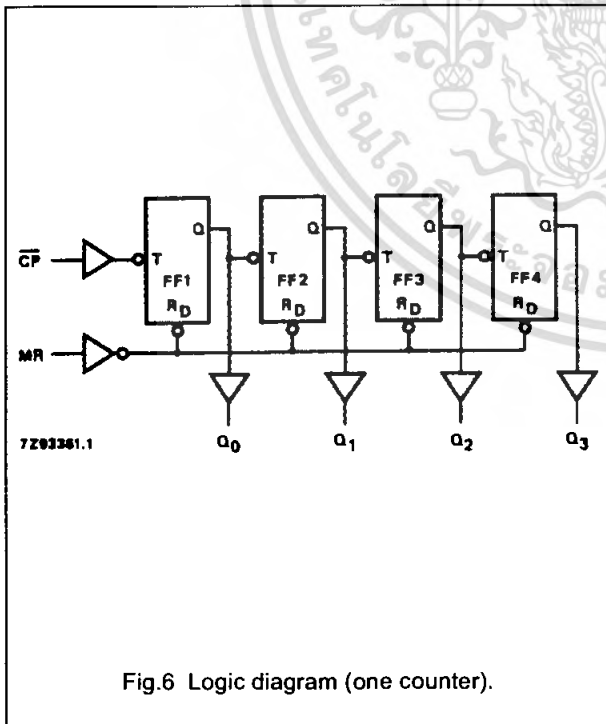


Fig.6 Logic diagram (one counter).

COUNT SEQUENCE FOR 1 COUNTER

COUNT	OUTPUTS			
	Q ₀	Q ₁	Q ₂	Q ₃
0	L	L	L	L
1	H	L	L	L
2	L	H	L	L
3	H	H	L	L
4	L	L	H	L
5	H	L	H	L
6	L	H	H	L
7	H	H	H	L
8	L	L	L	H
9	H	L	L	H
10	L	H	L	H
11	H	H	L	H
12	L	L	H	H
13	H	L	H	H
14	L	H	H	H
15	H	H	H	H

Notes

- H = HIGH voltage level
L = LOW voltage level

Dual 4-bit binary ripple counter

74HC/HCT393

DC CHARACTERISTICS FOR 74HC

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

Output capability: standard

I_{CC} category: MSI

AC CHARACTERISTICS FOR 74HC

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

SYMBOL	PARAMETER	T _{amb} (°C)								UNIT	TEST CONDITIONS	
		74HC									V _{CC} (V)	WAVEFORMS
		+25			-40 to +85		-40 to +125					
		min.	typ.	max.	min.	max.	min.	max.				
t _{PHL} /t _{PLH}	propagation delay nCP to nQ ₀	41	125		155		190	ns	2.0	Fig.7		
		15	25		31		38		4.5			
		12	21		26		32		6.0			
t _{PHL} /t _{PLH}	propagation delay nQ _n to nQ _{n+1}	14	45		55		70	ns	2.0	Fig.7		
		5	9		11		14		4.5			
		4	8		9		12		6.0			
t _{PHL}	propagation delay nMR to nQ _n	39	140		175		210	ns	2.0	Fig.8		
		14	28		35		42		4.5			
		11	24		30		36		6.0			
t _{THL} /t _{TLH}	output transition time	19	75		95		110	ns	2.0	Fig.7		
		7	15		19		22		4.5			
		6	13		16		19		6.0			
t _w	clock pulse width HIGH or LOW	80	17		100		120	ns	2.0	Fig.7		
		16	6		20		24		4.5			
		14	5		17		20		6.0			
t _w	master reset pulse width; HIGH	80	19		100		120	ns	2.0	Fig.8		
		16	7		20		24		4.5			
		14	6		17		20		6.0			
t _{rem}	removal time nMR to nCP	5	3		5		5	ns	2.0	Fig.8		
		5	1		5		5		4.5			
		5	1		5		5		6.0			
f _{max}	maximum clock pulse frequency	6	30		5		4	MHz	2.0	Fig.7		
		30	90		24		20		4.5			
		35	107		28		24		6.0			

Dual 4-bit binary ripple counter

74HC/HCT393

DC CHARACTERISTICS FOR 74HCT

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

Output capability: standard

I_{CC} category: MSI

Note to HCT types

The value of additional quiescent supply current (ΔI_{CC}) for a unit load of 1 is given in the family specifications.

To determine ΔI_{CC} per input, multiply this value by the unit load coefficient shown in the table below.

INPUT	UNIT LOAD COEFFICIENT
1 \overline{CP}	0.4
2 \overline{CP}	0.4
1MR	1.0
2MR	1.0

AC CHARACTERISTICS FOR 74HCT

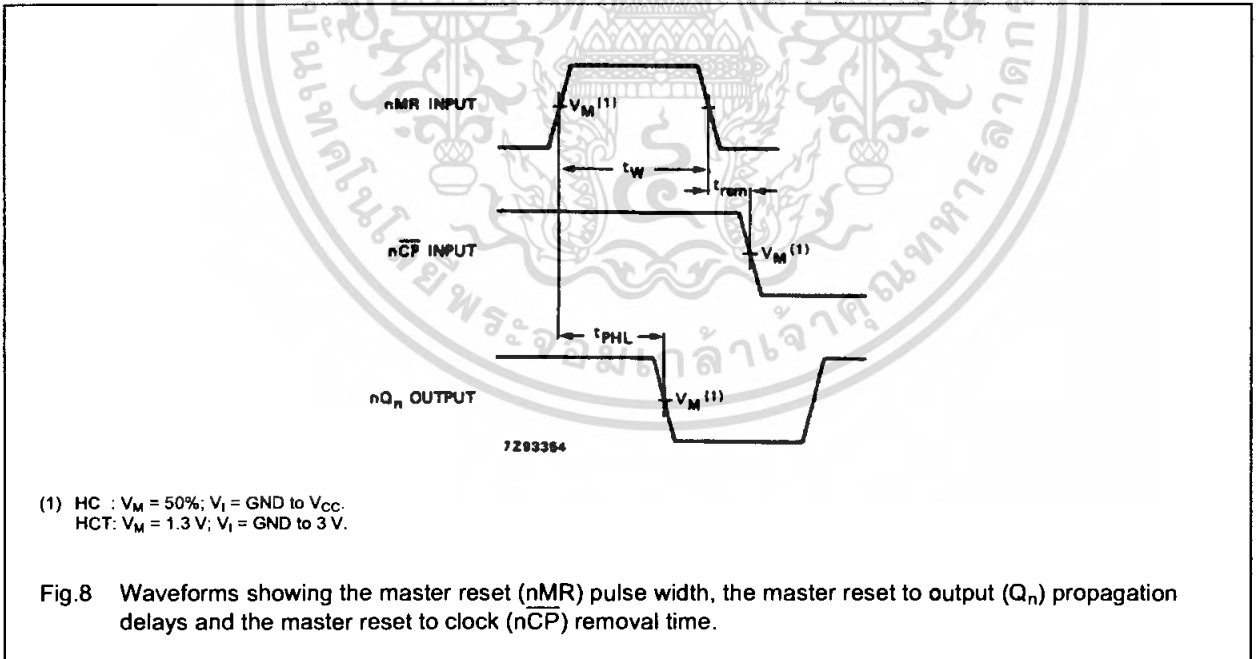
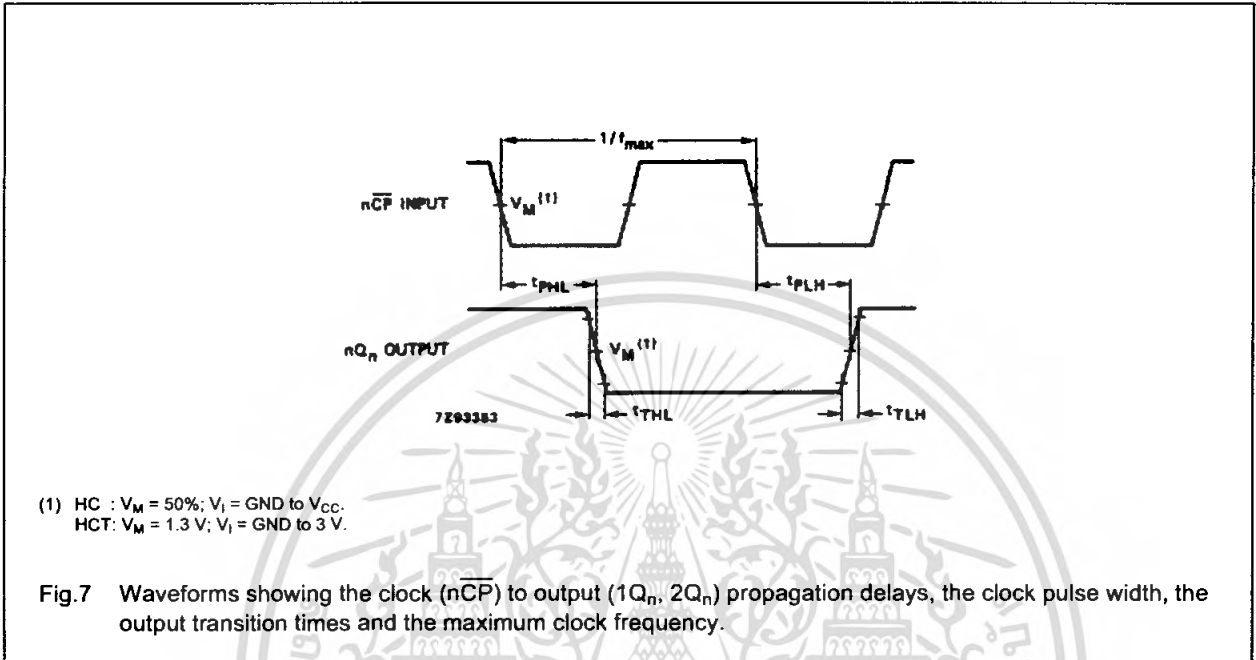
GND = 0 V; $t_r = t_f = 6$ ns; $C_L = 50$ pF

SYMBOL	PARAMETER	T _{amb} (°C)						UNIT	TEST CONDITIONS		
		74HCT							V _{CC} (V)	WAVEFORMS	
		+25			-40 to +85		-40 to +125				
		min.	typ.	max.	min.	max.	min.				max.
t _{PHL} / t _{PLH}	propagation delay n \overline{CP} to nQ ₀		15	25		31		38	ns	4.5	Fig.7
t _{PHL} / t _{PLH}	propagation delay nQ _n to nQ _{n+1}		6	10		13		15	ns	4.5	Fig.7
t _{PHL}	propagation delay nMR to nQ _n		18	32		40		48	ns	4.5	Fig.8
t _{THL} / t _{TLH}	output transition time		7	15		19		22	ns	4.5	Fig.7
t _w	clock pulse width HIGH or LOW	19	11		24		29		ns	4.5	Fig.7
t _w	master reset pulse width; HIGH	16	6		20		24		ns	4.5	Fig.8
t _{rem}	removal time nMR to n \overline{CP}	5	0		5		5		ns	4.5	Fig.8
f _{max}	maximum clock pulse frequency	27	48		22		18		MHz	4.5	Fig.7

Dual 4-bit binary ripple counter

74HC/HCT393

AC WAVEFORMS



PACKAGE OUTLINES

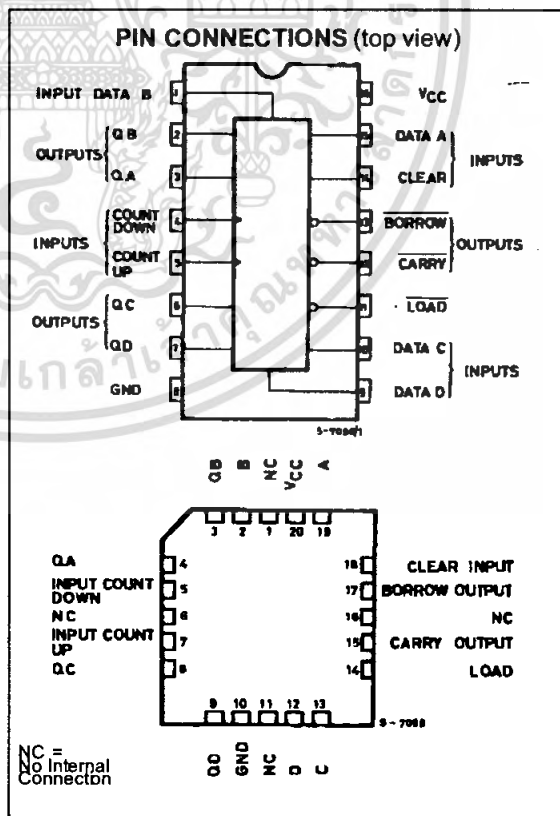
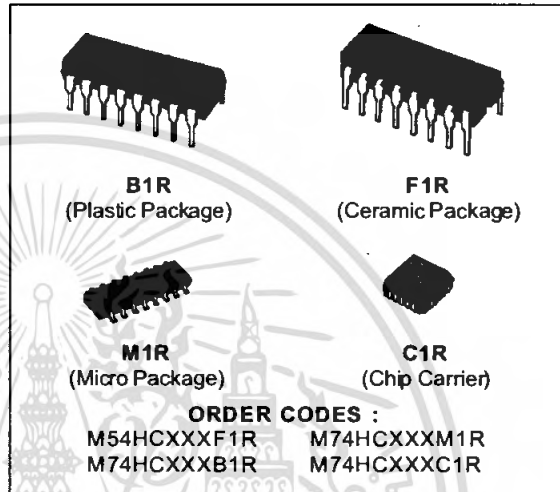
See "74HC/HCT/HCU/HCMOS Logic Package Outlines".

HC192 - SYNCHRONOUS UP/DOWN DECADE COUNTER HC193 - SYNCHRONOUS UP/DOWN BINARY COUNTER

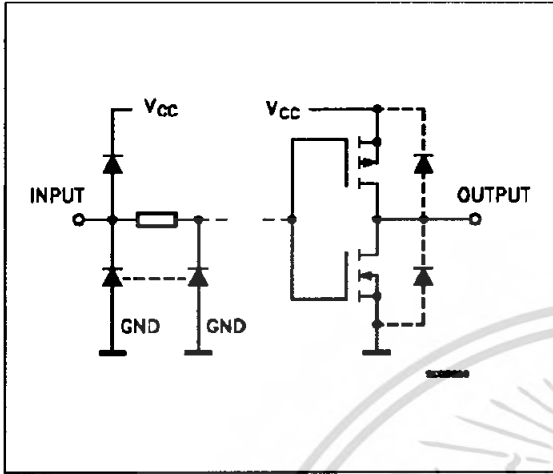
- HIGH SPEED
 $f_{MAX} = 54 \text{ MHz (TYP.) AT } V_{CC} = 5 \text{ V}$
- LOW POWER DISSIPATION
 $I_{CC} = 4 \mu\text{A (MAX.) AT } T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
- HIGH NOISE IMMUNITY
 $V_{NIH} = V_{NIL} = 28 \% V_{CC} \text{ (MIN.)}$
- OUTPUT DRIVE CAPABILITY
 10 LSTTL LOADS
- SYMMETRICAL OUTPUT IMPEDANCE
 $|I_{OH}| = I_{OL} = 4 \text{ mA (MIN.)}$
- BALANCED PROPAGATION DELAYS
 $t_{PLH} = t_{PHL}$
- WIDE OPERATING VOLTAGE RANGE
 $V_{CC} \text{ (OPR)} = 2 \text{ V TO } 6 \text{ V}$
- PIN AND FUNCTION COMPATIBLE WITH
 54/74LS192-193

DESCRIPTION

The M54/74HC192/193 are a high speed CMOS SYNCHRONOUS UP/DOWN DECADE COUNTERS fabricated in silicon gate C²MOS technology. They have the same high speed performance of LSTTL combined with true CMOS low power consumption. The counter has two separate clock inputs, an UP COUNT input and a DOWN COUNT input. All outputs of the flip-flop are simultaneously triggered on the low to high transition of either clock while the other input is held high. The direction of counting is determined by which input is clocked. This counter may be preset by entering the desired data on the DATA A, DATA B, DATA C, and DATA D input. When the LOAD input is taken low the data is loaded independently of either clock input. This feature allows the counters to be used as divide-by-n counters by modifying the count length with the preset inputs. In addition the counter can also be cleared. This is accomplished by inputting a high on the CLEAR input. All 4 internal stages are set to low independently of either COUNT input. Both a BORROW and CARRY output are provided to enable cascading of both up and down counting functions. The BORROW output produces a negative going pulse when the counter underflows and the CARRY outputs a pulse when the counter overflows. The counter can be cascaded by connecting the CARRY and BORROW outputs of one device to the COUNT UP and COUNT DOWN inputs, respectively, of the next device. All inputs are equipped with protection circuits against static discharge and transient excess voltage.



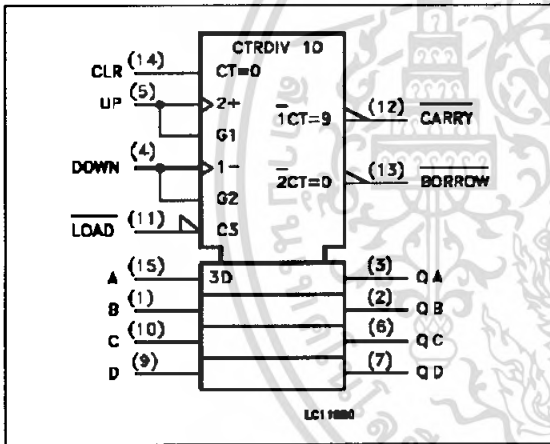
INPUT AND OUTPUT EQUIVALENT CIRCUIT



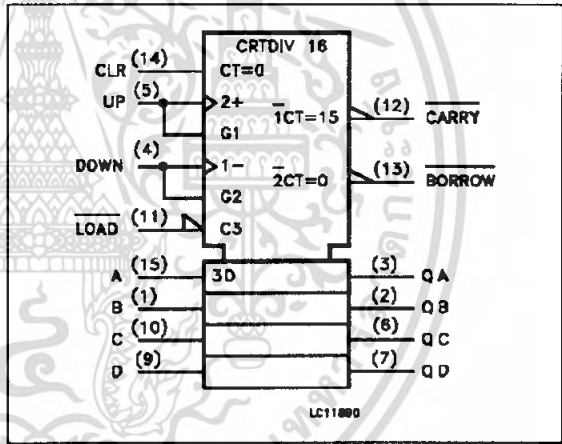
PIN DESCRIPTION

PIN No	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
3, 2, 6, 7	QA to QD	Flip-Flop Outputs
4	CP _D	Count Down Clock Input
5	CP _U	Count Up Clock Input
11	LOAD	Asynchronous Parallel Load Input (Active LOW)
12	CARRY	Count Up (Carry) Output (Active LOW)
13	BORROW	Count Down (Borrow) Output (Active LOW)
14	CLEAR	Asynchronous Reset Input (Active HIGH)
15, 1, 10, 9	DA to DD	Data Inputs
8	GND	Ground (0V)
16	V _{CC}	Positive Supply Voltage

IEC LOGIC SYMBOL (HC191)



IEC LOGIC SYMBOL (HC193)

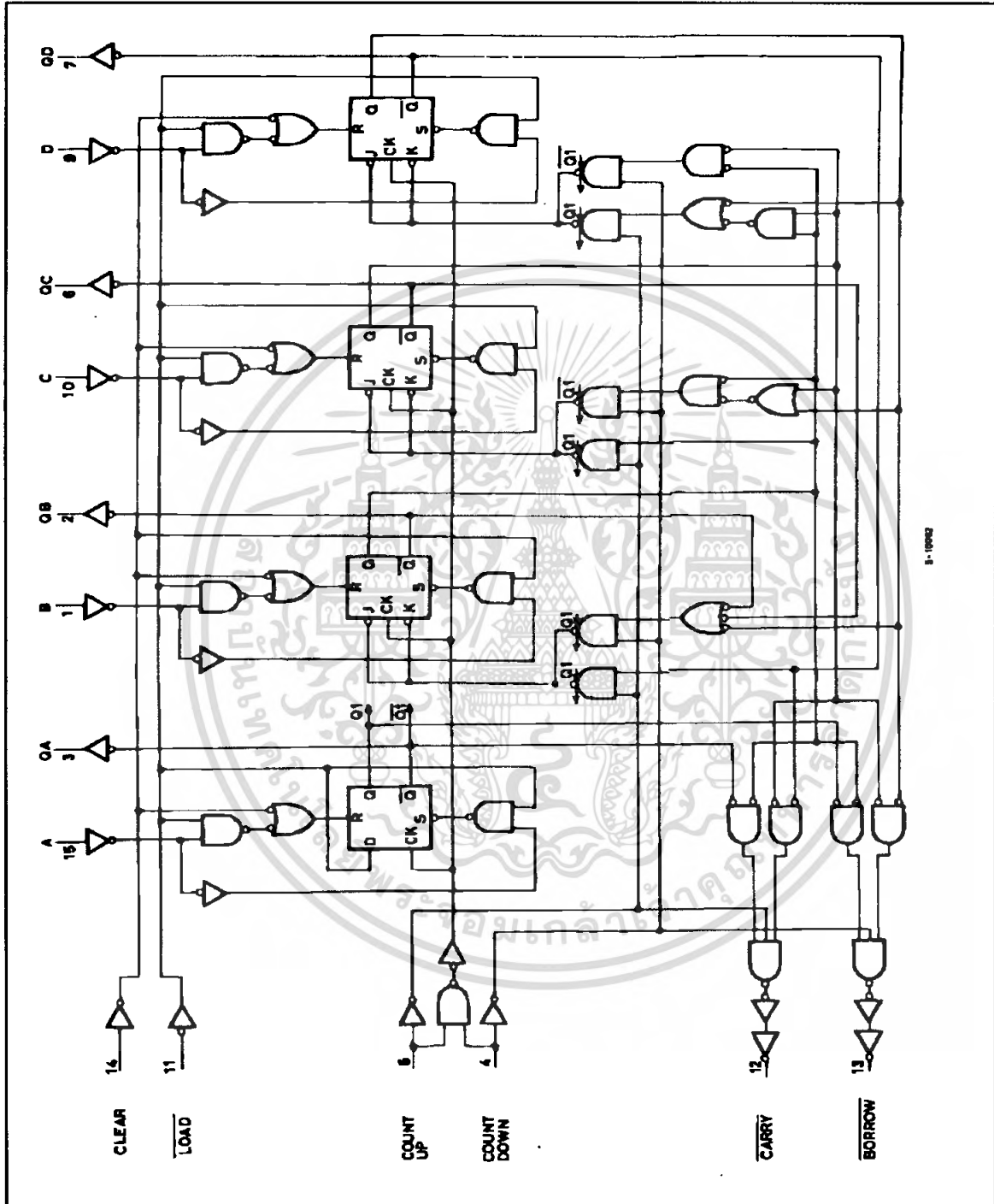


TRUTH TABLE

COUNT UP	COUNT DOWN	LOAD	CLEAR	FUNCTION
	H	H	L	COUNT UP
	H	H	L	NO COUNT
H		H	L	COUNT DOWN
H		H	L	NO COUNT
X	X	L	L	PRESET
X	X	X	H	RESET

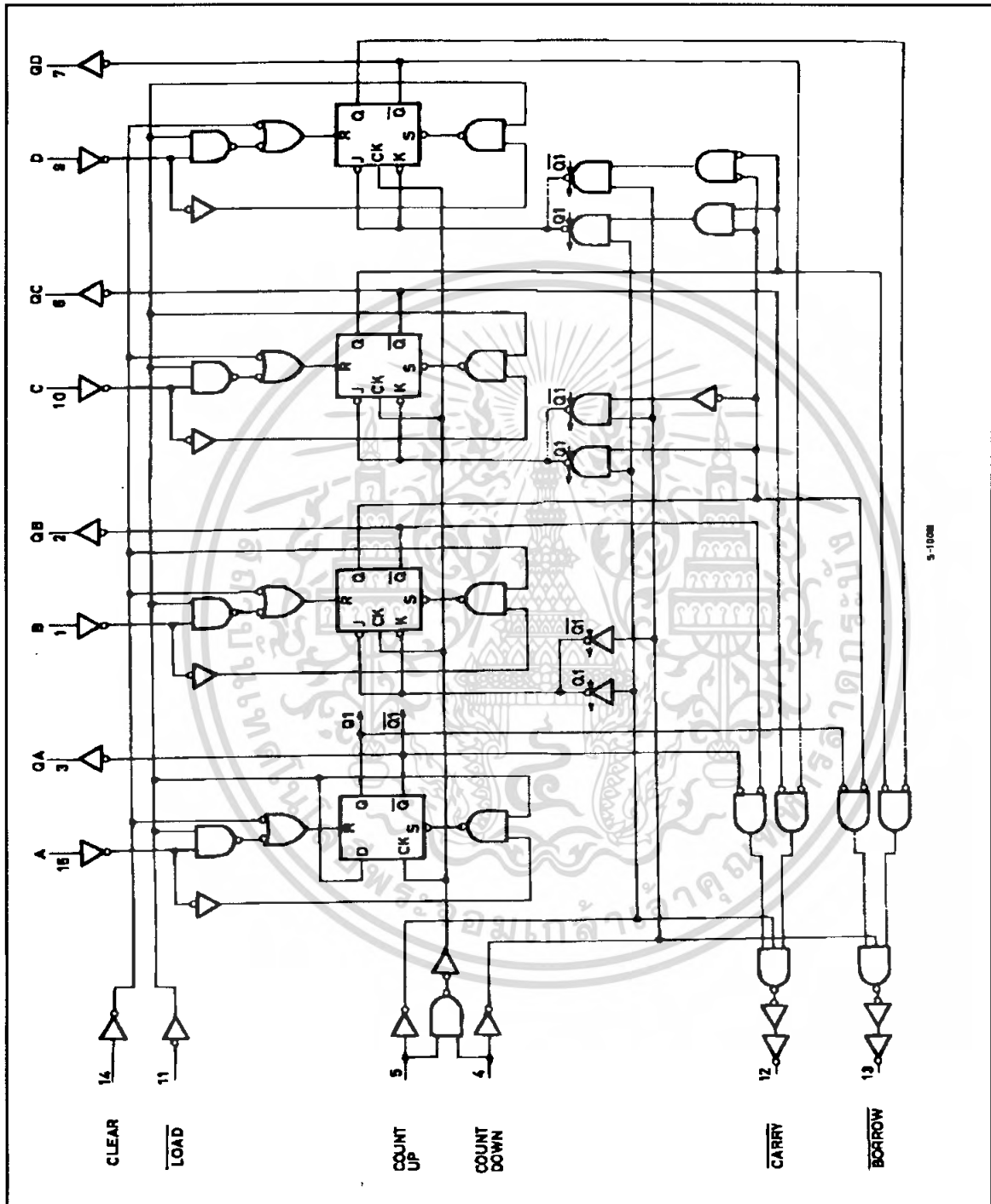
X: Don't Care

LOGIC DIAGAM (HC192)

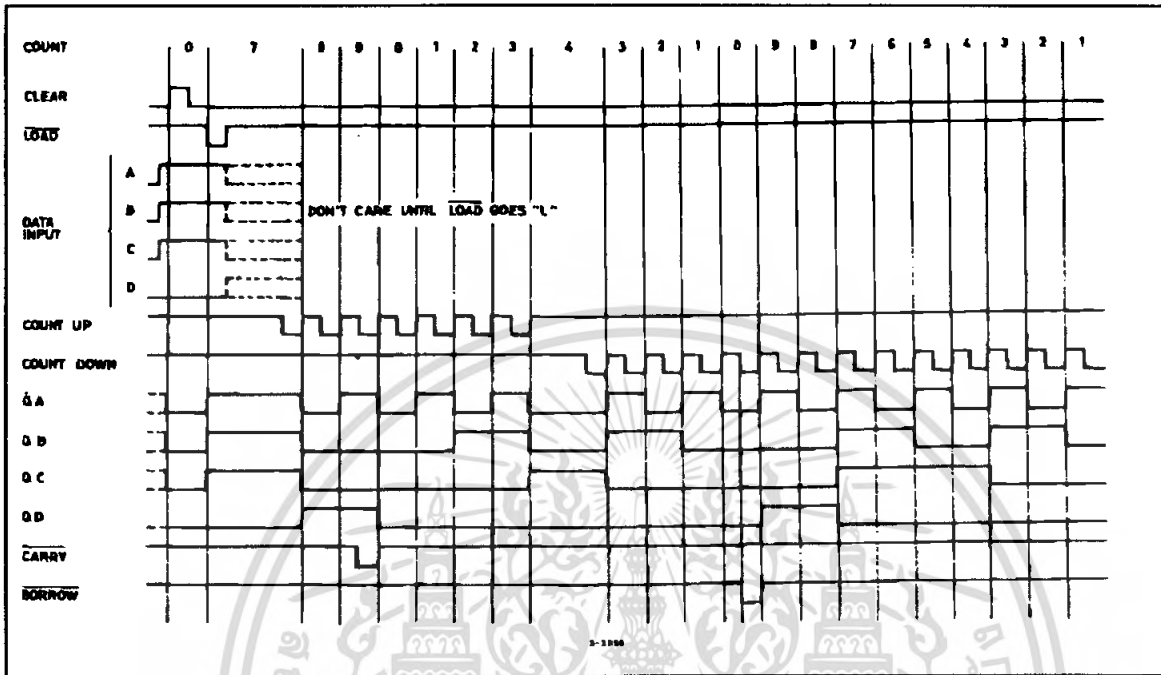


1-10000

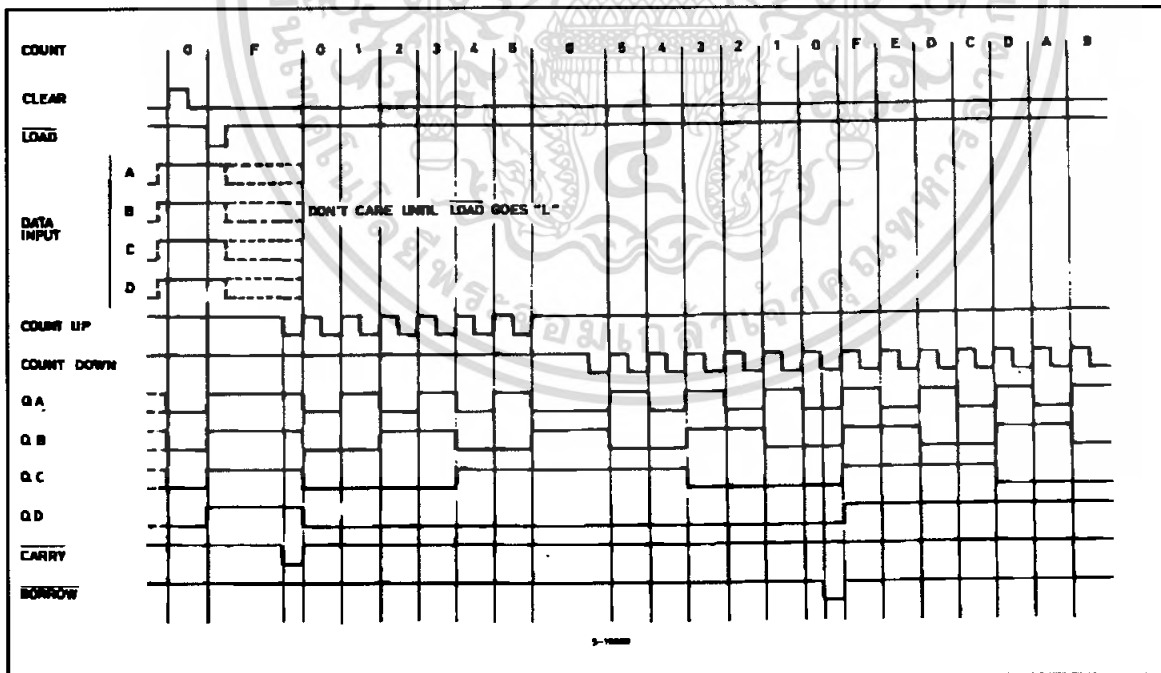
LOGIC DIAGAM (HC193)



TIMING DIAGRAM (HC192)



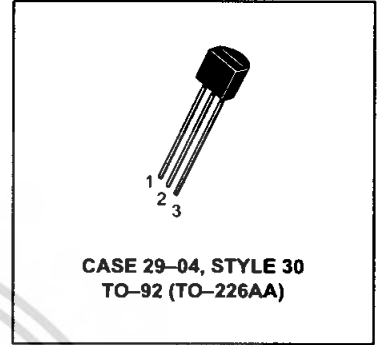
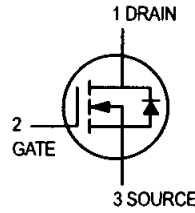
TIMING DIAGRAM (HC193)



TMOS FET Switching

N-Channel — Enhancement

BS170



MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Drain-Source Voltage	V_{DS}	60	Vdc
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 20	Vdc
— Continuous	V_{GSM}	± 40	Vpk
— Non-repetitive ($t_p \leq 50 \mu s$)			
Drain Current(1)	I_D	0.5	Adc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ C$	P_D	350	mW
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ C$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ C$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Gate Reverse Current ($V_{GS} = 15 \text{ Vdc}, V_{DS} = 0$)	I_{GSS}	—	0.01	10	nAdc
Drain-Source Breakdown Voltage ($V_{GS} = 0, I_D = 100 \mu \text{Adc}$)	$V_{(BR)DSS}$	60	90	—	Vdc

ON CHARACTERISTICS(2)

Gate Threshold Voltage ($V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1.0 \text{ mAdc}$)	$V_{GS(Th)}$	0.8	2.0	3.0	Vdc
Static Drain-Source On Resistance ($V_{GS} = 10 \text{ Vdc}, I_D = 200 \text{ mAdc}$)	$r_{DS(on)}$	—	1.8	5.0	Ω
Drain Cutoff Current ($V_{DS} = 25 \text{ Vdc}, V_{GS} = 0 \text{ Vdc}$)	$I_{D(off)}$	—	—	0.5	μA
Forward Transconductance ($V_{DS} = 10 \text{ Vdc}, I_D = 250 \text{ mAdc}$)	g_{fs}	—	200	—	mmhos

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Input Capacitance ($V_{DS} = 10 \text{ Vdc}, V_{GS} = 0, f = 1.0 \text{ MHz}$)	C_{iss}	—	—	60	pF
---	-----------	---	---	----	----

SWITCHING CHARACTERISTICS

Turn-On Time ($I_D = 0.2 \text{ Adc}$) See Figure 1	t_{on}	—	4.0	10	ns
Turn-Off Time ($I_D = 0.2 \text{ Adc}$) See Figure 1	t_{off}	—	4.0	10	ns

1. The Power Dissipation of the package may result in a lower continuous drain current.
2. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300 \mu s$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

REV 1



MOTOROLA

© Motorola, Inc. 1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESISTIVE SWITCHING

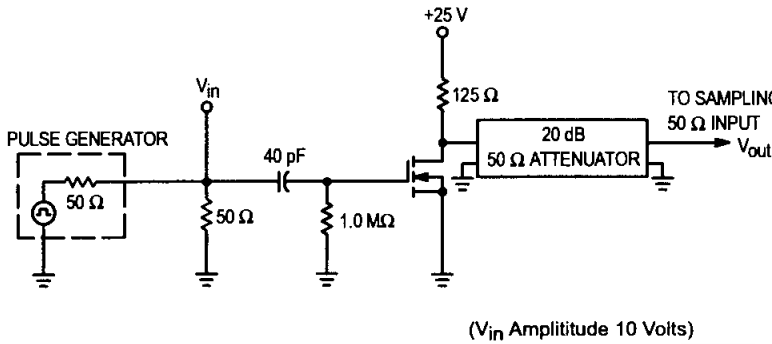


Figure 1. Switching Test Circuit

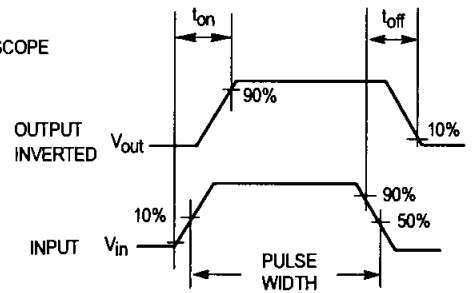


Figure 2. Switching Waveforms

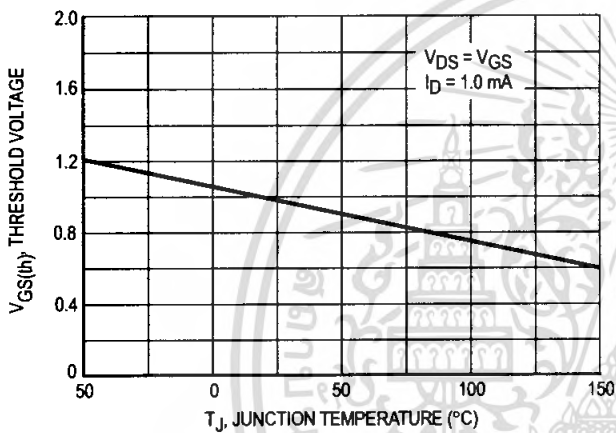


Figure 3. $V_{GS(th)}$ Normalized versus Temperature

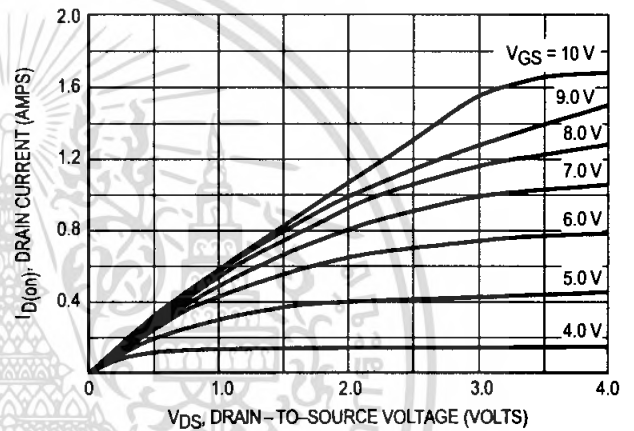


Figure 4. On-Region Characteristics

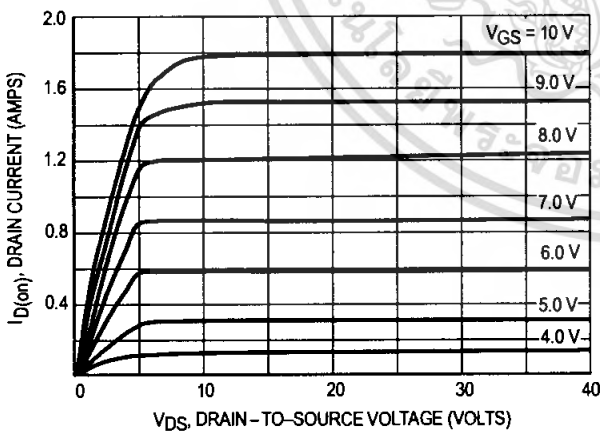


Figure 5. Output Characteristics

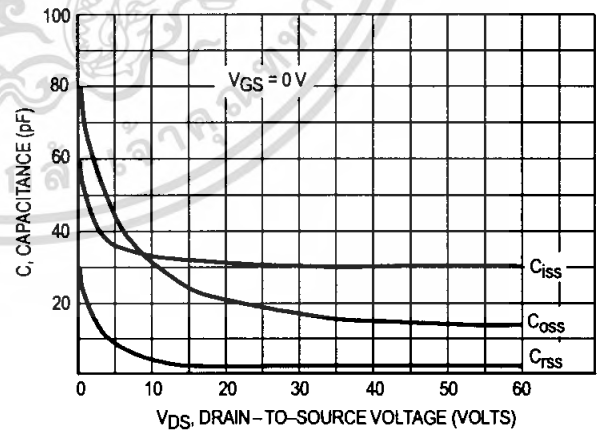
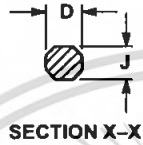
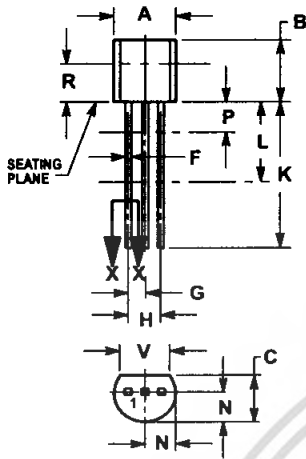


Figure 6. Capacitance versus Drain-To-Source Voltage

PACKAGE DIMENSIONS



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
 4. DIMENSION F APPLIES BETWEEN P AND L. DIMENSION D AND J APPLY BETWEEN L AND K. MINIMUM LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.165	3.18	4.19
D	0.016	0.022	0.41	0.55
F	0.016	0.019	0.41	0.48
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	—	12.70	—
L	0.250	—	6.35	—
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	—	0.100	—	2.54
R	0.115	—	2.93	—
V	0.135	—	3.43	—

CASE 029-04
(TO-226AA)
ISSUE AD

STYLE 30:
PIN 1. DRAIN
2. GATE
3. SOURCE