สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

Radio Frequency Identification

นางสาวกมลวรรณ จันทมิพ
นายกฤษวรา วาวิลัย
นางสาวกัญญ์วรีย์ แก้วไทย
นางสาวกาญจนา ลิ้มรัก
นางสาวแครอล เอียตระกูล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 117459
วัน,เดือน,ปี - 5 ส.ค. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

Radio Frequency Identification

โดย

นางสาวกมลวรรณ จันทมิพ

นายกฤษวรา วาวิลัย

นางสาวกัญญ์วรีย์ แก้วไทย

นางสาวกาญจนา ลิ้มรัก

นางสาวแครอล เอียตระกูล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ประภากร สุวรรณะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานปีการศึกษา 2553

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification)

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกมลวรรณ จันทมิพ รหัส 50010020
2. นายกฤษวรา วาวิลัย รหัส 50010053
3. นางสาวกัญญ์วรีย์ แก้วไทย รหัส 50010070
4. นางสาวกาญจนา ลิ้มรัก รหัส 50010085
5. นางสาวแครอล เอียตระกูล รหัส 50010186

ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ประภากร สุวรรณะ)

...21.../...ม.ค.../...2554...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

นางสาวกมลวรรณ	จันทมิพ	รหัส 50010020
นายกฤษวรา	วาวิลัย	รหัส 50010053
นางสาวกัญญ์วรีย์	แก้วไทย	รหัส 50010070
นางสาวกาญจนา	ลิ้มรัก	รหัส 50010085
นางสาวแครอล	เอียตระกูล	รหัส 50010186
ผศ.ประภากร	สุวรรณะ	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการออกแบบเพื่อสร้างอุปกรณ์ที่เป็นระบบการชี้เฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุซึ่งเรียกว่า RFID (Radio Frequency Identification) ทำงานที่ความถี่ 13.56 MHz ซึ่งมีการมอดดูเลตแบบ ASK (Amplitude Shift Keying) และ PSK (Phase Shift Keying) โดยออกแบบเป็น Multimode ประกอบไปด้วยส่วนหลัก ดังนี้

1. Sequential ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนเครื่องอ่าน (Reader) กับ ส่วนของเครื่องลูกข่าย (Transponder or Tag) ในส่วนของเครื่องอ่านจะประกอบไปด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ (CPU) มอดูเลเตอร์ (Modulator) ดีมอดูเลเตอร์ (Demodulator) ภาคขยาย (Power Amplifier) และสายอากาศ (Reader coil) ซึ่งแบบ Sequential นี้ จะมีการจำกัดเวลาในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย ในลักษณะของ Pulse หรือก้อนพลังงานที่ส่งออกในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้การปรากฏขึ้นของสัญญาณ Pulse เป็นการกำหนดส่งข้อมูล (Downlink) ส่วนช่วงที่ไม่มีพลังงานจะเป็นการส่งสัญญาณ (Uplink) ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย ในส่วนของเครื่องลูกข่ายประกอบไปด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ (CPU) มอดูเลเตอร์ (Modulator) เรกติไฟร์เออร์ (Rectifier) และ สายอากาศ (Tag coil)

2. Load Modulation ประกอบด้วยเครื่องอ่าน (Reader) และเครื่องลูกข่าย (Transponder or Tag) โดยส่วนประกอบภายในของทั้ง Reader และ Tag เหมือนกับแบบ Sequential แต่ Load Modulation นั้นจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half Duplex คือเครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา แต่จะมีการกำหนดจังหวะผลัดกันรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย และทำการออกแบบเทคนิคตรวจจับข้อมูลแบบ Load Modulation with subcarrier เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจจับสัญญาณ ซึ่งจะสร้าง subcarrier ที่ความถี่ 847.5 KHz (ตามมาตรฐาน ISO 15693 สำหรับ ASK และ ISO 14443 สำหรับ PSK) เพื่อส่งด้วยวิธีการ Load Modulation ไปยังเครื่องอ่าน และในส่วนเครื่องลูกข่าย ทั้งแบบ Sequential และแบบ Modulation จะรับพลังงานจากเครื่องอ่านผ่านมายังขดลวดและวงจรเรโซแนนซ์ แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาทำการเร็กติไฟร์ ก่อนจะส่งไปยังวงจรรักษาระดับแรงดัน เพื่อให้จ่ายแรงดันไฟตรง เพื่อไปเลี้ยงวงจรของเครื่องลูกข่ายให้สามารถทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Radio Frequency Identification

Miss Kamonwan	Janthamin	ID. 50010020
Mr. Kritwara	Wawilai	ID. 50010053
Miss Kanwaree	Keaothai	ID. 50010070
Miss Kanchana	Limruk	ID. 50010085
Miss Carol	Eiathakul	ID. 50010186
Assoc. Prapakorn	Suwanna	Advisor

Education Year 2010

Abstract

This project is design to build the systematic of radio frequency identification (RFID) words at 13.56 MHz frequency. Using both ASK (Amplitude Shift Keying) and PSK (Phase Shift Keying) to create the "Multi-Mode" consider,

1. Sequential Mode is consists of two part, reader and transponder or tag. The reader is a combination of microcontroller (CPU), modulator, demodulator, power amplifier and reader coil. During the power transfer period, this sequential mode will assign the transfer from reader to tag in pulse form. By logic "1", data transfer is downlink and by logic "0", signal transfer is uplink. In the transponder or tag is a combination of microcontroller (CPU), modulator, rectifier and tag coil.

2. Load Modulation Mode is also consist of the same two parts as the sequential mode but in this mode we use half duplex to transfer the data, reader will transfer power to tag all the period of time but it will assign the alternating transfer between reader and tag. We design Load Modulator with subcarrier to make it easier to detect the signal by using 847.5 KHz subcarrier frequency (standard ISO 15693 for ASK and ISO 14443 for PSK) for transfer by Load Modulation to reader. In the tag, both sequential and modulation, tag will receive a power from tag coil through resonance circuit and rectified with bridge rectify circuit and deliver to regulator circuit for regulate into 5 volts of Vcc to provide all system in tag to make it word functional.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	
Abstract	
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ระบบ Auto-ID คืออะไร	1
1.2 ระบบRFID คืออะไร	2
1.3 มาตรฐานของ RFID	4
1.4 การนำ RFIDไปใช้งาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 องค์ประกอบของระบบ RFID	6
2.1.1 Tag หรือ Transponder	7
2.1.2 Reader หรือ Interrogator	10
2.2 การทำงานของ RFID	11
2.2.1 ลักษณะการทำงานของระบบ RFID	11
2.2.2 หลักการและเทคนิคที่ใช้รับและส่งข้อมูลระหว่าง แท็กและเครื่องอ่าน	13
2.3 การเข้ารหัส (Coding)	15
2.4 การมอดดูเลตข้อมูลแบบดิจิตอล (Digital Modulation Procedure)	17
2.4.1 การมอดดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (ASK)	17
2.4.2 การมอดดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK)	18
2.4.3 การมอดดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK)	18
2.5 การสื่อสารแบบไร้สาย	18
2.6 คลื่นพาหะในระบบ RFID	19
2.7 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดธ์	20
2.8 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง	21
2.9 รูปแบบกรรับส่งข้อมูลโดยใช้ความถี่คลื่นวิทยุ	21
2.9.1 การสื่อสารแบบ Full Duplex	21
2.9.2 การสื่อสารแบบ Half Duplex	22
2.9.3 การสื่อสารแบบ Sequential	22
2.10 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing	22
2.11 วงจรเรโซแนนซ์	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม (Series Resonance) 24
2.11.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือวงจรแทงค์
(Parallel Resonance or Tank circuit) 25
2.12 การแมทช์อิมพีแดนซ์ 26
2.12.1 วงจรแมทช์อิมพีแดนซ์อย่างง่าย 27
2.12.2 Reader coil MATCHING CCT 30
2.13 Class C Power Amplifier 30
2.14 วงจรกรองความถี่แบบบัทเทอร์เวิท (butterworth) 31
บทที่ 3 การออกแบบวงจรและการคำนวณ
3.1 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆของ TAG 33
3.2 การออกแบบในส่วนของ TAG Voltage Regulator 35
3.3 วงจร TAG (ทดสอบ) ของ Sequential และ Load Modulation 36
3.4 วงจรทดสอบ TAG 37
3.5 เครื่องอ่าน (Reader) 38
3.5.1 ทฤษฎีของวงจรขับ Reader coil 38
3.5.2 การคำนวณของวงจรขับ Reader Coil 40
3.5.3 การพิจารณาเลือกค่า N.QL ของ TAG (ทั้ง SEQ และ Load Mod) 47
3.5.4 การหาค่า Power coil Drive ให้กับ TAG (ในส่วนของ SEQ) 51
3.5.5 การหาค่า Power coil Drive ให้กับ TAG (ในส่วนของ Load Mod) 52
3.5.6 Reader coil MATCHING CCT (แบบ Multi Mode) 53
3.6 วงจรที่ใช้ในส่วนของเครื่องอ่าน (Reader) 54
3.6.1 AC source Power Amp ของ Reader 54
3.7 วงจรแมทชิ่ง (Matching Circuit) 58
3.7.1 การออกแบบวงจรแมทชิ่งระหว่าง Pulse Generator กับภาคขับ (drive) 58
3.7.2 การออกแบบวงจรแมทชิ่งระหว่าง ภาคขับ (drive) กับ ภาค Power Amp 60
3.7.3 การออกแบบวงจรแมทชิ่งระหว่างภาค Power Amp กับโหลด 50 Ω 62
3.7.4 การออกแบบวงจรแมทชิ่งระหว่างโหลด 50 Ω กับ Reader Coil 63
3.8 วงจรในส่วนของการถอดสัญญาณ (Sequential) 65
3.8.1 วงจรกำจัดสัญญาณ (Limiters) 66
3.8.2 ภาค Envelope Detector 66
3.8.3 ภาค Low Pass Filter 67
3.8.4 วงจร Comparator 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 วงจรในส่วนของการถอดรหัสสัญญาณ (Load Modulation) 69
3.9.1 วงจร Butter worth Filter 69
3.9.2 วงจรขยายแรงดันที่มีการป้อนกลับแบบลบแบบ
Parallel Output Series Input (POSI) 70
3.9.3 วงจรการสร้างคืนสัญญาณ Sub-carrier 847.5 kHz 71
3.9.4 วงจรถอดรหัสบิตข้อมูล 72
3.9.5 วงจร Multiplexer 73
บทที่ 4 โปรแกรม
4.1 Flowchart ของ Sequential TAG 80
4.2 โปรแกรมของ Sequential TAG 81
4.3 Flowchart ของ Load Modulation TAG 82
4.4 โปรแกรมของ Load Modulation TAG 83
4.5 Flowchart ของ Reader 84
4.6 โปรแกรมของ Reader 85
บทที่ 5 การทดลองและการบันทึกผล
5.1 การทดลองวงจร Voltage Regulator 87
5.1.1 การทดลองวงจร Voltage Regulator ของ Sequential 87
5.1.2 การทดลองวงจร Voltage Regulator ของ Load Modulation 89
5.2 ทดลองวงจร AC SOUCE TAG EXCITER 91
5.3 ทดลองวงจร TEMPORALY TAG (ทดสอบ TAG ของ Sequential) 96
5.4 ทดลองวงจร TEMPORALY TAG (ทดสอบ TAG ของ Load modulation) 101
5.5 ผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader)
มายังเครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ยังไม่ต่อ TAG Regulator 107
5.5.1 ของ Sequential 107
5.5.2 ของ Load modulation 108
5.6 ผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader)
มายังเครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator 109
5.6.1 ของ Sequential 109
5.6.2 ของ Load modulation 114
5.7 ผลการทดลองการ Demodulation ของ Sequential 119
5.8 ผลการทดลองการ Demodulation ของ Load Modulation 128
5.9 วงจร Multiplexer 134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 บทสรุปและวิจารณ์ 137
กิตติกรรมประกาศ
บรรณานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

บทที่ 1

รูปที่ 1.1 ระบบ Auto-ID 2

รูปที่ 1.2 ระบบ Auto-ID ในปัจจุบัน 3

รูปที่ 1.3 แสดงภาพการประยุกต์ใช้งาน RFID ในงานต่างๆ 5

บทที่ 2

รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของระบบ RFID 6

รูปที่ 2.2 Tag รูปแบบแบบต่างๆ 7

รูปที่ 2.3 ตำแหน่งของแท็กส์ที่เหมาะสมสำหรับย่านของสายอากาศที่ทำงาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ 8

รูปที่ 2.4 ระบบการอ่าน / เขียนข้อมูลอย่างง่ายของ RFID 8

รูปที่ 2.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ Passive Tag 10

รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างภายในเครื่องอ่าน 10

รูปที่ 2.7 ลักษณะเครื่องอ่าน RFID ที่แตกต่างกันตามการใช้งาน 11

รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างการใช้งานแท็กส์และตัวอ่านข้อมูล (Reader) 11

รูปที่ 2.9 แสดงแผนผังการทำงานของระบบ RFID 12

รูปที่ 2.10 แสดงรูปคลื่นของสัญญาณระหว่างแท็กและเครื่องอ่านแบบ AM 13

รูปที่ 2.11 แสดงการสัญญาณรูปคลื่นที่เข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester) 14

รูปที่ 2.12 แสดงอัลกอริทึมที่ใช้ป้องกันการชน 15

รูปที่ 2.13 การเข้ารหัสแบบต่างๆ 16

รูปที่ 2.14 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (ASK) 17

รูปที่ 2.15 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK) 18

รูปที่ 2.16 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK) 18

รูปที่ 2.17 แสดงการสื่อสารระหว่างแท็กส์และตัวรับข้อมูล 19

รูปที่ 2.18 แสดงความถี่ย่านที่ระบบ RFID ถูกใช้งาน 20

รูปที่ 2.19 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex , Half Duplex และ Sequential 22

รูปที่ 2.20 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม (Series Resonance) 24

รูปที่ 2.21 วงจรเรโซแนนซ์ หรือวงจรแทงค์ 25

รูปที่ 2.22 วงจรเสมือนอิมพีแดนซ์ 26

รูปที่ 2.23 วงจรแมทช์อิมพีแดนซ์อย่างง่ายที่สุด 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.24 วงจรการแมทช์อิมพีแดนซ์ $R_2 \leftrightarrow R_1$ 29
รูปที่ 2.25 Reader coil MATCHING CCT 30
รูปที่ 2.26 กราฟแสดงวงจรขยายคลาส C 31
รูปที่ 2.27 กราฟแสดงการ drive กระแสของวงจรขยายคลาส C 31
รูปที่ 2.28 กราฟแสดงการ driver กระแสของวงจรขยาย C ขณะ overdrive 31

บทที่ 3

รูปที่ 3.1 การแสดงการต่อ HT7150 ของ Sequential 35
รูปที่ 3.2 การแสดงการต่อ HT7150 ของ Load Modulation 35
รูปที่ 3.3 วงจร Sequential TAG 36
รูปที่ 3.4 วงจร Load Modulation TAG 36
รูปที่ 3.5 วงจรทดสอบ TAG 37
รูปที่ 3.6 วงจร Parallel Resonant and Frequency Response 39
รูปที่ 3.7 Equivalent ของ TAG 39
รูปที่ 3.8 Reader Coil (3×6) in^2 Loop 45
รูปที่ 3.9 Reader Coil (3×6) in^2 Loop 46
รูปที่ 3.10 แสดงการเหนี่ยวนำของ Reader coil & TAG 48
รูปที่ 3.11 แสดงการการต่อ ภาค Power Amp กับ Reader coil 48
รูปที่ 3.12 แสดง Equivalent Reader coil 49
รูปที่ 3.13 แสดงการต่อ C_{in} ของวงจร data demod ของ Reader coil 50
รูปที่ 3.14 แสดง Reader coil MATCHING CCT 53
รูปที่ 3.15 วงจร Oscillator 13.56 MHz และ AND Gate 55
รูปที่ 3.16 วงจรSequential ON (8.4 ms), OFF (3.6 ms) 55
รูปที่ 3.17 วงจรภาคขับ (Drive) 56
รูปที่ 3.18 วงจรภาค Power Amp 57
รูปที่ 3.19 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้งสองด้านที่จะทำการแมทชิ่งระหว่าง Pulse Generator กับ ภาคขับ Drive 58
รูปที่ 3.20 รูปแบบของวงจรที่ใช้ในการแมทชิ่งระหว่าง Pulse Generator กับ ภาคขับ Drive 59
รูปที่ 3.21 แสดงวงจรแมทชิ่งระหว่าง Pulse Generator กับ ภาคขับ Drive ที่ใช้งานจริง 60
รูปที่ 3.22 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้งสองด้านที่จะทำการแมทชิ่งระหว่าง ภาคขับ Drive กับ ภาค Power Amp 60
รูปที่ 3.23 รูปแบบของวงจรที่ใช้ในการแมทชิ่งระหว่าง ภาคขับ Drive กับ ภาค Power Amp 60
รูปที่ 3.24 แสดงวงจรแมทชิ่งระหว่าง Pulse Generator กับ ภาคขับ Drive ที่ใช้งานจริง 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.25 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้ง 2 ด้านที่จะทำการแมทชิ่งภาค Power Amp กับโหลด 50 Ω 62
รูปที่ 3.26 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้ง 2 ด้านที่จะทำการแมทชิ่งภาค Power Amp กับโหลด 50 Ω 62
รูปที่ 3.27 แสดงวงจรแมทชิ่งระหว่างภาค Power Amp กับ Load 50 Ω (Reader Coil)
ที่ใช้งานจริง 63
รูปที่ 3.28 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้ง 2 ด้านที่จะทำการแมทชิ่งโหลด 50 Ω กับ Reader Coil 63
รูปที่ 3.29 แสดงรูปวงจรที่จะใช้ในการแมทชิ่งโหลด 50 Ω กับ Reader Coil 64
รูปที่ 3.30 แสดงแมทชิ่งระหว่างโหลด 50 Ω กับ Reader Coil ที่ใช้งานจริง 64
รูปที่ 3.31 วงจรในส่วนของการถอดรหัสสัญญาณ (Sequential) 65
รูปที่ 3.32 วงจรจำกัดสัญญาณ (Limiters) 66
รูปที่ 3.33 ภาค Envelope Detector 66
รูปที่ 3.34 วงจรภาค Low Pass Filter 67
รูปที่ 3.35 วงจร Comparator 69
รูปที่ 3.36 วงจร Butter worth Filter 69
รูปที่ 3.37 วงจรขยายแรงดันที่มีการป้อนกลับแบบลบแบบ Parallel Output Series Input (POSI) 70
รูปที่ 3.38 วงจรการสร้างคืนสัญญาณ Sub-carrier 847.5 kHz 71
รูปที่ 3.39 วงจรถอดรหัสบิตข้อมูล 72
รูปที่ 3.40 วงจร Multiplexer 73
รูปที่ 3.41 วงจรรวมทั้งหมดในส่วนของ Reader coil drive $P_o \approx 1.5$ 74
รูปที่ 3.42 วงจรรวมทั้งหมดในส่วนของเครื่องลูกข่าย (TAG) ที่ใช้งานจริงของ Sequential 75
รูปที่ 3.43 วงจรรวมทั้งหมดในส่วนของเครื่องลูกข่าย (TAG) ที่ใช้งานจริงของ
Load Modulation 76
รูปที่ 3.44 วงจรในส่วนของการ Demodulation ของ Sequential 77
รูปที่ 3.45 วงจรในส่วนของการ Demodulation ของ Load modulation 78
รูปที่ 3.46 วงจร Multiplexer 79
รูปที่ 3.47 วงจร multiplexer และ CPU Reader 79

บทที่ 5

รูปที่ 5.1 วงจรการทดลอง Voltage Regulator ของ Sequential 87
รูปที่ 5.2 วงจรการทดลอง Voltage Regulator ของ Load Modulation 89
รูปที่ 5.3 วงจร AC SOUCE TAG EXCITER 91
รูปที่ 5.4 สัญญาณที่จุด TP1 92
รูปที่ 5.5 สัญญาณที่จุด TP2 92
รูปที่ 5.6 สัญญาณที่จุด TP3 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.7 สัญญาณที่จุด TP4 93
รูปที่ 5.8 สัญญาณที่จุด TP5 94
รูปที่ 5.9 สัญญาณที่จุด TP6 94
รูปที่ 5.10 สัญญาณที่จุด TP7 95
รูปที่ 5.11 สัญญาณที่จุด TP8 95
รูปที่ 5.12 วงจร TEMPORALY TAG (ทดสอบ TAG ของ Sequential) 96
รูปที่ 5.13 สัญญาณที่จุด TP1 97
รูปที่ 5.14 สัญญาณที่จุด TP2 97
รูปที่ 5.15 สัญญาณที่จุด TP3 98
รูปที่ 5.16 สัญญาณที่จุด TP4 98
รูปที่ 5.17 สัญญาณที่จุด TP5 99
รูปที่ 5.18 สัญญาณที่จุด TP6 99
รูปที่ 5.19 สัญญาณที่จุด TP7 100
รูปที่ 5.20 สัญญาณที่จุด TP8 100
รูปที่ 5.21 สัญญาณที่จุด TP9 101
รูปที่ 5.22 ทดลองวงจร TEMPORALY TAG (ทดสอบ TAG ของ Load modulation) 101
รูปที่ 5.23 สัญญาณที่จุด TP1 103
รูปที่ 5.24 สัญญาณที่จุด TP2 103
รูปที่ 5.25 สัญญาณที่จุด TP3 104
รูปที่ 5.26 สัญญาณที่จุด TP4 104
รูปที่ 5.27 สัญญาณที่จุด TP5 105
รูปที่ 5.28 สัญญาณที่จุด TP6 105
รูปที่ 5.29 สัญญาณที่จุด TP7 106
รูปที่ 5.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน V_{in} (V) ของ TAG Regulator กับ ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm) 113
รูปที่ 5.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน V_{out}(V) ของ TAG Regulator กับ ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm) 113
รูปที่ 5.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน V_{in} (V) ของ TAG Regulator กับ ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm) 118
รูปที่ 5.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน V_{out} (V) ของ TAG Regulator กับ ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm) 118
รูปที่ 5.34 ผลการทดลองการ Demodulation ของ Sequential 119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.35 สัญญาณที่จุด TP1 120
รูปที่5.36 สัญญาณที่จุด TP2 120
รูปที่5.37 สัญญาณที่จุด TP3 121
รูปที่5.38 สัญญาณที่จุด TP4 121
รูปที่5.39 สัญญาณที่จุด TP5 122
รูปที่5.40 สัญญาณที่จุด TP6 122
รูปที่5.41 สัญญาณที่จุด TP7 123
รูปที่5.42 สัญญาณที่จุด TP8 123
รูปที่5.43 สัญญาณที่จุด TP9 124
รูปที่5.44 สัญญาณที่จุด TP10 124
รูปที่5.45 สัญญาณที่จุด TP11 125
รูปที่5.46 สัญญาณที่จุด TP12 125
รูปที่5.47 สัญญาณที่จุด TP13 126
รูปที่5.48 สัญญาณที่จุด TP14 126
รูปที่5.49 สัญญาณที่จุด TP15 127
รูปที่5.50 ผลการทดลองการ Demodulation ของ Load Modulation 128
รูปที่5.51 สัญญาณที่จุด TP1 129
รูปที่5.52 สัญญาณที่จุด TP2 129
รูปที่5.53 สัญญาณที่จุด TP3 130
รูปที่5.54 สัญญาณที่จุด TP4 130
รูปที่5.55 สัญญาณที่จุด TP5 131
รูปที่5.56 สัญญาณที่จุด TP6 131
รูปที่5.57 สัญญาณที่จุด TP7 132
รูปที่5.58 สัญญาณที่จุด TP8 132
รูปที่5.59 สัญญาณที่จุด TP9 133
รูปที่5.61 วงจร Multiplexer 134
รูปที่5.62 สัญญาณที่จุด TP11 134
รูปที่5.63 สัญญาณที่จุด TP12 135
รูปที่5.64 สัญญาณที่จุด TP13 135
รูปที่5.65 สัญญาณที่จุด TP14 136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

บทที่ 2

ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ต่างๆ ของระบบ RFID และการใช้งาน 20

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างค่าอินดักแทนซ์และคาปาซิแทนซ์ เมื่อค่า $R_S = R_L = 1\Omega$ โดยใช้วงจรบัทเทอร์เวิท 32

บทที่ 3

ตารางที่ 3.1 TAG (NQ_L) Product Calculation 42

ตารางที่ 3.2 TAG (NQ_L) Product Calculation 44

ตารางที่ 3.3 ตาราง Read Range กับ $(NI)_{rms}$ ที่ $(NO_L)_{TAG} = 3.36$ 46

ตารางที่ 3.4 ตาราง Read Range กับ $(NI)_{rms}$ ที่ $(NO_L)_{TAG} = 3.13$ 47

ตารางที่ 3.5 Read Range กับ $(NI)_{rms}$ ที่ $(NQ_L)_{TAG} = 9.71$ 51

ตารางที่ 3.6 Read Range กับ $(NI)_{rms}$ ที่ $(NQ_L)_{TAG} = 5.97$ 52

ตารางที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Q และ R_1 Loop (3×6) in^2 $X_L = +j135.94$ และ $R_2 = 50\ \Omega$ 54

บทที่ 5

ตารางที่ 5.1 $RL = 500\ \Omega$ 87

ตารางที่ 5.2 $RL = 1\ k\ \Omega$ 88

ตารางที่ 5.3 $RL = 2\ k\ \Omega$ 88

ตารางที่ 5.4 $RL = \infty$ 88

ตารางที่ 5.5 $RL = 500\ \Omega$ 89

ตารางที่ 5.6 $RL = 1\ k\ \Omega$ 89

ตารางที่ 5.7 $RL = 2\ k\ \Omega$ 90

ตารางที่ 5.8 $RL = \infty$ 90

ตารางที่ 5.9 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจาก Reader มายัง TAG ในกรณีที่ยังไม่ต่อ TAG Regulator 107

ตารางที่ 5.10 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจาก Reader มายัง TAG ในกรณีที่ยังไม่ต่อ TAG Regulator 108

ตารางที่ 5.11 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) เครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่ใช้งานจริง ของ Load modulation 109

ตารางที่ 5.12 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) เครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่ใช้งานจริง ของ Load modulation 110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) เครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่ใช้งานจริง ของ Load modulation 111
ตารางที่ 5.14 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) เครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่ใช้งานจริง ของ Load modulation 112
ตารางที่ 5.15 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) เครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่ใช้งานจริง ของ Load modulation 114
ตารางที่ 5.16 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) เครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่ใช้งานจริง ของ Load modulation 115
ตารางที่ 5.17 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) เครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่ใช้งานจริง ของ Load modulation 116
ตารางที่ 5.18 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader)เครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่ใช้งานจริง ของ Load modulation 117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

แม้ว่าในช่วงนี้จะเป็นเศรษฐกิจถดถอยและอาจทำให้การซื้อหาอะไรจะต้องคิดหน้าคิดหลังอยู่บ้าง แต่เชื่อแน่ว่าทุกคนคงเคยได้เข้าไปเดินจับจ่ายซื้อของตามห้างสรรพสินค้าต่าง ๆ ในขณะที่นำสินค้าไปยังเคาน์เตอร์เพื่อชำระเงิน ก็จะคุ้นเคยกับภาพของพนักงานที่ใช้อุปกรณ์บางอย่างตรวจสอบแถบรหัสหรือที่เรียกกันว่า แถบบาร์โค้ด บนตัวสินค้าเพื่ออ่านข้อมูลบางอย่างออกมา ซึ่งแม้ว่าฉลากแบบบาร์โค้ดจะเป็นที่นิยมและใช้กันมากในบ้านเรา แต่ทว่าวิธีการเก็บข้อมูลแบบดังกล่าวก็ยังคงมีจุดด้อยที่ควรได้รับการแก้ไขอยู่หลาย ๆ จุด ปัญหาที่เห็นได้ชัดข้อหนึ่งก็คือ ปัญหาในการอ่านค่าข้อมูลจากแถบดังกล่าวที่ต้องลำแสงตรวจจับยิงลงไปยังฉลากเพื่ออ่านค่ากลับหรือใช้กล้องซีดีขนาดเล็กจับภาพฉลากขึ้นมาเพื่ออ่านภาพก็ตาม ซึ่งถ้าหากว่าแถบข้อมูลดังกล่าวมีรอยเปื้อนหรือไม่ชัดเจนการอ่านค่ากลับมามีความผิดพลาด นอกจากนั้นวิธีการอ่านค่าที่จำเป็นต้องนำเครื่องอ่านมาวางอยู่เหนือฉลากที่ต้องการอ่านค่าก็ไม่ใช่ทางที่สะดวกสำหรับงานบางประเภทโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีฉลากต้องตรวจสอบเป็นจำนวนมาก ๆ นี่ก็คงเป็นหนึ่งในหลาย ๆ เหตุผลที่ทำให้เกิดการพัฒนาระบบฉลากแบบใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า "RFID"

ระบบ RFID ไม่ใช่สิ่งที่ไกลตัวเรา หลายท่านอาจเคยใช้งานระบบ RFID ในชีวิตประจำวันโดยไม่รู้ตัวก็ได้ เรามาลองทำความรู้จักกับระบบ RFID กันให้มากขึ้นอีกนิด

ในอนาคตอันใกล้การจับจ่ายซื้อสินค้าในห้างสรรพสินค้าอาจมีลักษณะดังนี้

1) เลือกสินค้าที่ต้องการใส่รถเข็น
2) เข็นรถเข้ามาที่บริเวณซุ้มประตูทางออก
3) รายการสินค้าทั้งหมดที่อยู่ในรถเข็น จะแสดงราคาขึ้นที่หน้าจอตรงบริเวณซุ้มประตูทางออกโดยอัตโนมัติ
4) จ่ายเงินให้กับพนักงานเก็บเงิน และ
5) ที่กั้นประตูเปิดเพื่อให้ผ่านออก

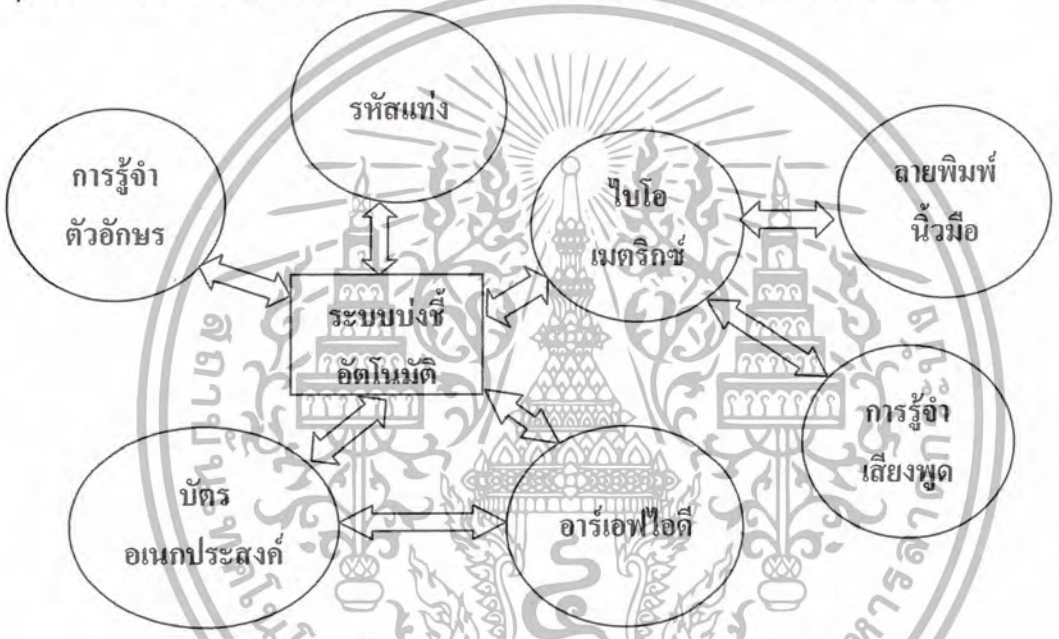
ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมาจะเป็นไปได้ก็ด้วยเทคโนโลยีของระบบ RFID

1.1 ระบบ Auto-ID คืออะไร

Auto-ID หรือ ระบบบ่งชี้อัตโนมัติ เป็นคำเรียกรวมๆ ของเทคโนโลยีที่ช่วยให้อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือเครื่องจักรสามารถบ่งบอกวัตถุ สิ่งของหรือแม้แต่คนหรือสัตว์ได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งโดยระบบแล้วมักจะประกอบด้วยส่วนที่อ่านหรือรับข้อมูลโดยอัตโนมัติ แล้วทำการประมวลผลหรือส่งข้อมูลนี้เข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์โดยอัตโนมัติ โดยไม่ต้องมีคนช่วย วัตถุประสงค์ของระบบบ่งชี้อัตโนมัตินี้เพื่อต้องการเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการทำงาน ลดความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์ และยังลดเวลาของการจัดเก็บข้อมูล ตัวอย่างของเทคโนโลยีระบบบ่งชี้อัตโนมัติ ได้แก่ เทคโนโลยีรหัสแท่ง (Barcode) เทคโนโลยีบัตรอเนกประสงค์ (Smart Card) เทคโนโลยีด้านชีวภาพ (การบ่งชี้โดยวิธีการตรวจวัดสภาพทางร่างกาย หรือ Biometric) เช่นระบบการเรียนรู้จำเสียงพูด (Voice Recognition) ระบบลายพิมพ์นิ้วมือ (Fingerprint Scan) ระบบสแกนม่านตา (Iris Scan) เทคโนโลยีการรู้จำลายเซ็น (Signature Recognition) และเทคโนโลยีการบ่งชี้วัตถุโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ หรือ อาร์เอฟไอดี (RFID) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังมีบทบาทและความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RF-ID มีรูปแบบหลากหลายด้วยจุดประสงค์ที่แตกต่างกัน นั้นคือการใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อระบุข้อมูลของตัววัตถุหรือเจ้าของวัตถุที่ติดป้าย RFID แทนการระบุด้วยวิธีการอื่น ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีกว่า



รูปที่ 1.1 ระบบ Auto-ID

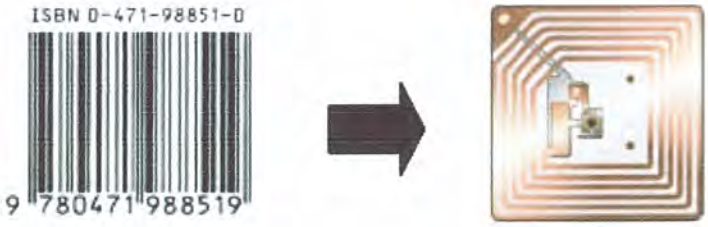
1.2 ระบบ RFID คืออะไร

RFID ย่อมาจากคำว่า Radio Frequency Identification เป็นระบบฉลากที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 โดยที่อุปกรณ์ RFID ที่มีการประดิษฐ์ขึ้นใช้งานเป็นครั้งแรกนั้น เป็นผลงานของ Leon Theremin ซึ่งสร้างให้กับรัฐบาลของประเทศรัสเซียในปี ค.ศ. 1945 ซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาในเวลานั้นทำหน้าที่เป็นเครื่องมือดักจับสัญญาณ ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวระบุเอกลักษณ์อย่างที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน

RFID ในปัจจุบันมีลักษณะเป็นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (RFID Tag) ที่สามารถอ่านค่าได้โดยผ่านคลื่นวิทยุจากระยะห่าง เพื่อตรวจติดตามและบันทึกข้อมูลที่ติดอยู่กับป้าย ซึ่งนำไปฝังไว้ในหรือติดอยู่กับวัตถุต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ กล่อง หรือสิ่งของใดๆ สามารถติดตามข้อมูลของวัตถุ 1 ชิ้นว่า คืออะไร ผลิตที่ไหน ใครเป็นผู้ผลิต ผลิตอย่างไร ผลิตวันไหน และเมื่อไร ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนกี่ชิ้น และแต่ละชิ้นมาจากที่ไหน รวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งของวัตถุนั้นๆ ในปัจจุบันว่าอยู่ส่วนใดในโลก โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Contact-Less) หรือต้องเห็นวัตถุนั้นๆ ก่อน ทำงานโดยใช้เครื่องอ่านที่สื่อสารกับป้ายด้วยคลื่นวิทยุในการอ่านและเขียนข้อมูล RFID มีข้อได้เปรียบเหนือกว่าระบบบาร์โค้ดดังนี้



รูปที่ 1.2 ระบบ Auto-ID ในปัจจุบัน

- มีความละเอียด และสามารถบรรจุข้อมูลได้มากกว่า ซึ่งทำให้สามารถแยกความแตกต่างของสินค้า แต่ละชิ้นแม้จะเป็น SKU (Stock Keeping Unit – ชนิดสินค้า) เดียวกันก็ตาม
- ความเร็วในการอ่านข้อมูลจากแถบ RFID เร็วกว่าการอ่านข้อมูลจากแถบบาร์โค้ดหลายสิบเท่า
- สามารถอ่านข้อมูลได้พร้อมกันหลาย ๆ แถบ RFID
- สามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องรับได้โดยไม่จำเป็นต้องนำไปจ่อในมุมที่เหมาะสมอย่างการใช้เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Non-Line of Sight)
- ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องของการอ่านข้อมูลด้วยเทคโนโลยี RFID นั้นจะอยู่ที่ประมาณ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ความถูกต้องของการอ่านข้อมูลด้วยระบบบาร์โค้ดอยู่ที่ 80 เปอร์เซ็นต์
- สามารถเขียนทับข้อมูลได้ จึงทำให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งจะลดต้นทุนของการผลิตป้ายสินค้า ซึ่งคิดเป็นประมาณ 5% ของรายรับของบริษัท
- สามารถขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการอ่านข้อมูลซ้ำที่อาจเกิดขึ้นจากระบบบาร์โค้ด
- ความเสียหายของป้ายชื่อ (Tag) น้อยกว่าเนื่องจากไม่จำเป็นต้องติดไว้ภายนอกบรรจุภัณฑ์
- ระบบความปลอดภัยสูงกว่า ยากต่อการปลอมแปลงและลอกเลียนแบบ
- ทนทานต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก

ปัจจุบันมีการนำ RFID มาใช้งานกันในงานหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นในบัตรชนิดต่าง ๆ เช่น บัตรประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรสำหรับผ่านเข้าออกห้องพัก บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรจอดรถ ในฉลากของสินค้าหรือแม้แต่ใช้ฝังลงในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ เป็นต้น การนำ RFID มาใช้งานก็เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบการผ่านเข้าออกบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือเพื่ออ่านหรือเก็บข้อมูลบางอย่างเอาไว้ ยกตัวอย่างเช่นในกรณีที่เป็นฉลากสินค้า RFID ก็จะถูกนำมาใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าเพื่อให้สามารถทราบถึงที่มาที่ไปของสินค้าชิ้นนั้น ๆ ได้ เป็นต้น สำหรับรูปแบบของเทคโนโลยี RFID ที่ใช้ในการดังกล่าวก็มีทั้งแบบสมาร์ดการ์ดที่สามารถถูกเขียนหรืออ่านข้อมูลออกมาได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับเครื่องอ่านบัตรหรือคอนแทคเลสสมาร์ดการ์ด (Contact less Smart card), เหรียญ, ป้ายชื่อหรือฉลากซึ่งมีขนาดเล็กมากจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษหรือฝังเอาไว้ในตัวสัตว์ได้เลยทีเดียว

1.3 มาตรฐานของ RFID

มาตรฐานระหว่างประเทศสำหรับการใช้งาน RFID มี 2 หน่วยงานหลัก

1. International Organization of Standard (ISO)
2. EPC Global

โดยที่มาตรฐานของ RFID มีการกำหนดไว้ 4 ด้านคือ

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

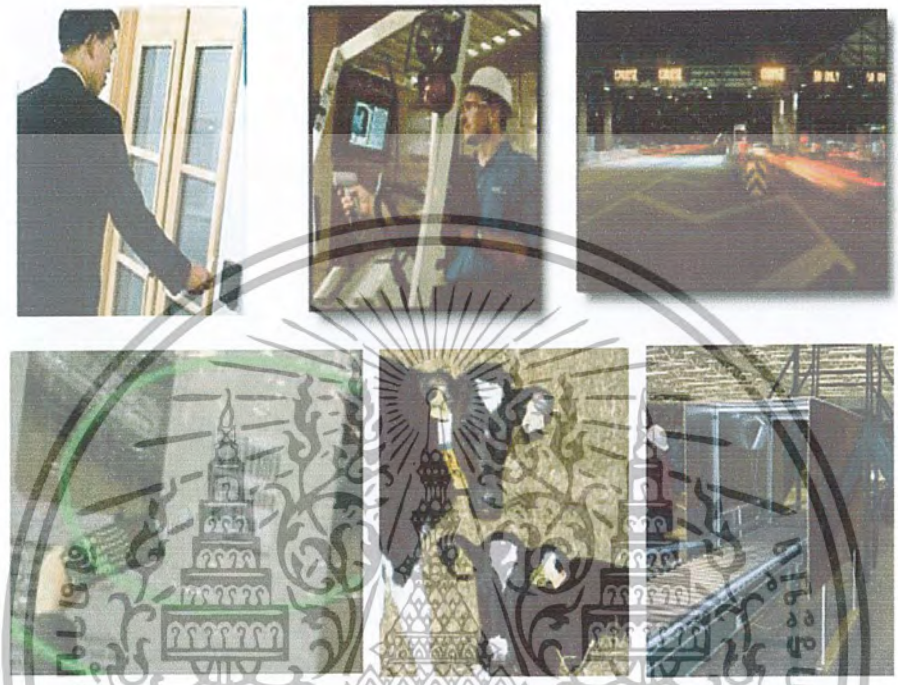
1.4 การนำ RFID ไปใช้งาน

ปัจจุบันการนำระบบ RFID มาประยุกต์ใช้งานหลากหลายประเภท เช่น

- ทดแทนระบบบาร์โค้ด (Barcode) รุ่นเก่า
- Access Control/ Personal Identification หรือการเข้า-ออกอาคาร แทนการใช้บัตรแม่เหล็ก เมื่อใช้งานมากๆ ก็จะเสื่อมเร็ว แต่บัตรแบบ RFID (Proximity Card1) ใช้เพียงแตะหรือแสดงผ่านหน้าเครื่องอ่านเท่านั้น รวมทั้งยังสามารถใช้กับการเช็คเวลาเข้า-ออกงานของพนักงานด้วย
- ห่วงโซ่อุปทาน และระบบลอจิสติกภาพที่จะเห็นในโรงงานอนาคตคือ สามารถติด Tag ไว้กับชิ้นงานเมื่อชิ้นงานผ่านสายพานขนสินค้าในโรงงาน แต่ละแผนกจะรู้ว่าต้องทำอย่างไร ติดอะไรบ้าง และต้องส่งไปที่ไหนต่อ รวมถึงการจัดการสินค้าในคลังสินค้าว่ารับสินค้ามาเมื่อใด จะต้องเก็บไว้ที่ไหน จะส่งไปที่ไหนอย่างไร ใครจะมารับ ส่วนภาพที่ผู้บริโภคจะเห็นคือ การซื้อสินค้าในซูเปอร์มาร์เก็ต เวลาซื้อก็หยิบใส่ตะกร้า คิดเงินผ่านเครื่องอ่าน RFID ครั้งเดียวคิดเงินได้ทันที ไม่ต้องหยิบมายิงบาร์โค้ดทีละชิ้นให้เสียเวลาและเตือนผู้ซื้อได้หากสินค้าที่ซื้อหมดอายุ
- ระบบ Animal Tracking มาใช้ เหมาะกับเกษตรกรไทยในการพัฒนาด้านปศุสัตว์ให้เป็นระบบฟาร์ม ออโตเมชันด้วยชิป RFID ติดตัวสัตว์เลี้ยง ทำให้สามารถทราบเจ้าของตรวจสอบสายพันธุ์ การให้อาหารและการควบคุมโรคติดต่อในสัตว์ รวมถึงการสร้าง Food Traceability สำหรับต่อสู้กับข้อกีดกันทางการค้าของ สหรัฐอเมริกา และกลุ่มสหภาพยุโรปที่อยู่ระหว่างตัดสินใจว่าผู้ส่งออกสินค้าเนื้อสัตว์ชำแหละ
- ระบบตั๋วอิเล็กทรอนิกส์ (e-ticket) เช่น บัตรทางด่วนบัตรรถไฟฟ้าใต้ดิน
- ระบบหนังสือเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ (e-Passport) ที่ทางประเทศสหรัฐกำลังกำหนดมาตรฐานการเข้าออก ของประเทศของเค้า เพื่อป้องกันผู้ก่อการร้าย รวมไปถึงe-Citizen ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ (immobilizer) ในรถยนต์ป้องกันกุญแจผีในการขโมยรถยนต์ หรือพวก Keyless ในรถยนต์ราคาแพงบางรุ่นก็เริ่มนำมาใช้งานแล้ว
- ระบบห้องสมุดดิจิทัล (e-Library) ในการยืมคืนอัตโนมัติ ทำให้ผู้ใช้บริการได้รวดเร็วและสะดวก-สบายยิ่งขึ้น

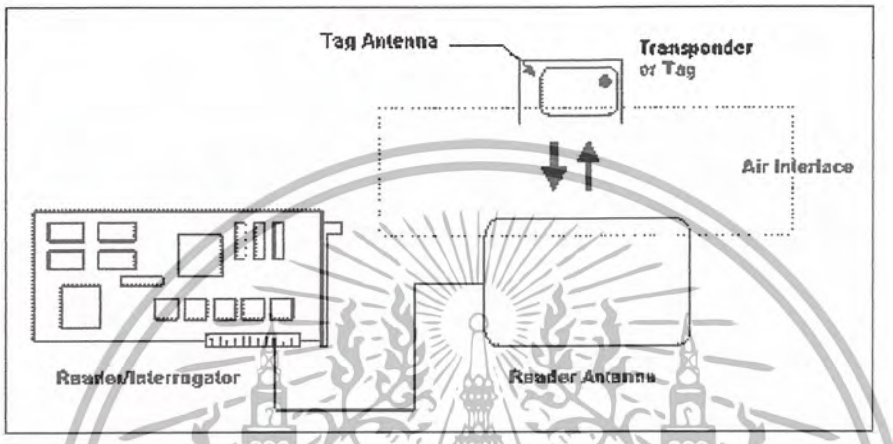


รูปที่ 1.3 แสดงภาพการประยุกต์ใช้งาน RFID ในงานต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 องค์ประกอบของระบบ RFID



รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของระบบ RFID

องค์ประกอบในระบบ RFID จะมีหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกคือฉลากหรือป้ายขนาดเล็กที่จะถูกผนึกอยู่กับวัตถุที่เราสนใจ โดยฉลากนี้จะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ เอาไว้ ฉลากดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า ทรานสพอนเดอร์ (Transponder, Transmitter & Responder) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า "แท็ก" (Tag) ส่วนที่สองก็คืออุปกรณ์สำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็กส์ มีชื่อเรียกอย่างรวม ๆ ว่า ทรานสซิฟเวอร์ (Transceiver, Transmitter & Receiver) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า "เครื่องอ่าน" (Reader) ทั้งสองส่วนจะสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุ สัญญาณนี้ผ่านได้ทั้งโลหะและอโลหะแต่ละไม่สามารถติดต่อกับเครื่องอ่านให้อ่านได้โดยตรง เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุ แสดงถึงความต้องการข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากป้าย ป้ายจะตอบข้อมูลกลับและเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องอ่านจะติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านสายเครือข่าย LAN (Local Area Network) หรือส่งผ่านทางความถี่วิทยุจากทั้งอุปกรณ์มีสายและอุปกรณ์ไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 Tag หรือ Transponder

รูปที่ 2.2 Tag รูปแบบแบบต่างๆ

แท็ก (Tag) นั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์(Transponder) มาจากคำว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) ถ้าจะแปลให้ตรงตามศัพท์ แท็กก็จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในแท็กตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูลจะเป็นการสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุผ่านอากาศ โครงสร้างภายในแท็กจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ส่วนของไอซีซึ่งเป็นชิปสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Chip) และส่วนของขดลวดซึ่งทำหน้าที่เป็นเสาอากาศสำหรับรับส่งข้อมูลโดยทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมต่ออยู่ด้วยกัน

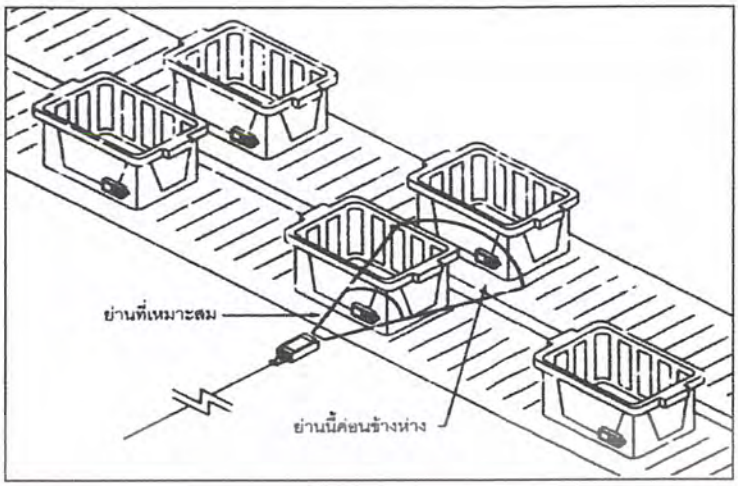
ไอซีของแท็กที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็น หรือไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปโครงสร้างภายในส่วนที่เป็นไอซีของแท็กนั้นก็จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆได้แก่

1. ส่วนของการควบคุมภาครับส่งสัญญาณวิทยุ สำหรับโครงสร้างของส่วนนี้ประกอบด้วยภาคดีมอดูเลตและภาคมอดูเลต (สำหรับรับส่งข้อมูลระหว่างแท็กกับตัวเครื่องอ่าน) และวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

2. ส่วนของการควบคุมภาคดิจิตอล ซึ่งรับหน้าที่จัดการเกี่ยงกับกระบวนการทางดิจิตอลทั้งหมด โครงสร้างหลัก ๆ ของส่วนการทำงานนี้ประกอบด้วย ส่วนบันทึกข้อมูล (ประกอบด้วยหน่วยความจำแรม (RAM), รอม (ROM), อีอีพรอม (EEPROM)) ส่วนของการเข้ารหัส (Crypts Unit) ส่วนตอบรับสัญญาณร้องขอ (Answer to Request) ส่วนควบคุมและประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (Control & Arthritic Unit)

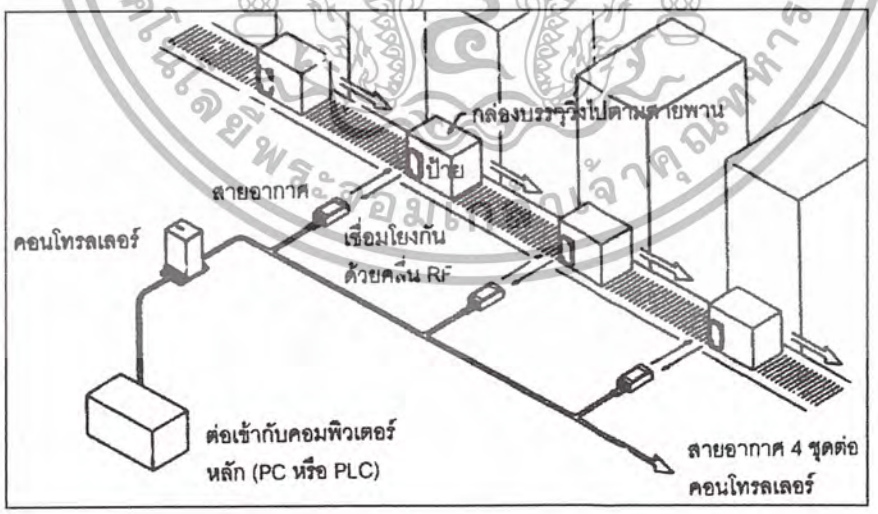
อย่างไรก็ตามโครงสร้างภายในของแท็กที่ต่างผู้ผลิตหรือต่างรุ่นกัน บางครั้งก็อาจมีไม่ครบถ้วนทุกส่วนอย่างที่ได้ยกมา ซึ่งรายละเอียดโครงสร้างตลอดจนรายละเอียดในการทำงานของแท็กเบอร์ใด ๆ ก็สามารถดูได้จากดาต้าชีทของบริษัทผู้ผลิตแท็กเบอร์นั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งของแท็กที่เหมาะสมสำหรับย่านของสายอากาศที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Transponder หรือ Tags มีลักษณะเป็นไมโครชิฟ (microchip) ที่ยอมให้ผู้ใช้ติดเข้าระหว่างชั้นของกระดาษหรือพลาสติกที่ใช้ทำป้ายฉลาก ชิฟหรือแท็กอาจมีรูปร่างได้หลายแบบขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน โดยอาจมีรูปร่างเหมือนบัตรเครดิตในการใช้งานทั่วไป หรือเล็กขนาดไส้ดินสอยาวเพียง 10 มิลลิเมตร เพื่อฝังเข้าไปใต้ผิวหนังสัตว์ในกรณีนำไปใช้ในงานปศุสัตว์ หรืออาจมีขนาดใหญ่มากสำหรับแท็กที่ใช้ติดกับเครื่องจักรขณะทำการขนส่ง แท็กอาจนำไปติดไว้กับสินค้าในร้านค้าปลีกทั่วไปเพื่อป้องกันขโมย โดยจะมีการติดตั้งสายอากาศของตัวอ่านข้อมูลขนาดใหญ่ไว้ตรงประตูทางออกเพื่อทำการตรวจจับขโมย โดยแท็กจะรับพลังงานจากสัญญาณ RF เพื่อติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่าน หรือใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่บรรจุภายในป้าย ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ Lithium-Ion มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน จึงมักนำมาใช้กับแผ่นป้ายนี้



รูปที่ 2.4 ระบบการอ่าน / เขียนข้อมูลอย่างง่ายของ RFID

แท็กจะประกอบไปด้วยสายอากาศที่มีขนาดเล็กที่จะช่วยให้แท็กตอบสนองกับเครื่องอ่านโดย สายอากาศจะแผ่สัญญาณวิทยุจำนวนหนึ่งออกมา เพื่อกระตุ้นให้แท็กอ่านหรือเขียนข้อมูลลงไป สายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถทำได้ทุกขนาดและรูปร่าง เพื่อที่จะสามารถออกแบบให้ติดตั้งได้ทุกที่ และเพื่อให้เกิดความครอบคลุมได้ดีที่สุดในหลาย ๆ ระบบสายอากาศจะถูกติดไปโดยตรงกับ Transceiver เหมือนกับเป็นอุปกรณ์ติดกัน

ชิปที่อยู่ในแท็กจะมีหน่วยความจำซึ่งอาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือทั้งอ่านทั้งเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบ ROM จะใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัย เช่นข้อมูลของบุคคลที่มีสิทธิผ่านเข้าออกในบริเวณที่มีการควบคุมหรือระบบปฏิบัติการ ในขณะที่ RAM จะใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่แท็กและตัวอ่านข้อมูลทำการติดต่อสื่อสารกัน

นอกจากนี้อาจมีการนำหน่วยความจำแบบ EEPROM มาใช้ในกรณีต้องการเก็บข้อมูลในระหว่างที่แท็กและตัวอ่านข้อมูลทำการสื่อสาร และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้แก่แท็ก

แท็กที่มีการใช้งานกันอยู่นั้นจะมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ ๆ โดยแต่ละชนิดก็จะมีความแตกต่างกันในแง่ของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการทำงานอยู่ ซึ่งจะสามารถแยกออกเป็นหัวข้อดังนี้

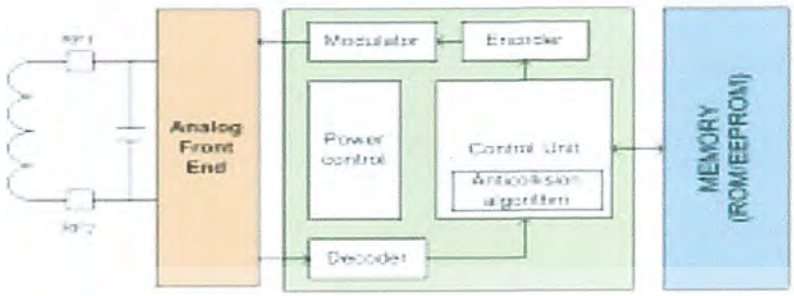
- **แท็กส์ชนิดแอคทีฟ** (Active Tag) แท็กส์ชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แท็กงาน โดยปกติ โดยแท็กชนิดนี้มีฟังก์ชั่นการทำงานทั่วไปทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในแท็กได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กชนิดแอคทีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำแท็กไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (seal) ที่ตัวแท็กจึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของแท็กให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี

แท็กชนิดแอคทีฟนี้จะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกลสูงสุดถึง 6 เมตร ซึ่งไกลกว่าแท็กชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แม้แท็กชนิดนี้จะมีข้อดีอยู่หลายข้อแต่ก็มีข้อเสียอยู่ด้วยเหมือนกัน เช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด

- **แท็กชนิดพาสซีฟ** (Passive Tag) จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายในหรือไม่จำเป็นต้องรับแหล่งจ่ายไฟใด ๆ เพราะจะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว) หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ Transceiver จึงทำให้แท็กชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าแท็กชนิดแอคทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตร ซึ่งเป็นระยะการอ่านที่สั้น มีหน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้แท็กชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าแท็กชนิดแอคทีฟและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้แท็กชนิดพาสซีฟนี้เป็นที่นิยมมากกว่า ไอซีของแท็กชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ ไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน

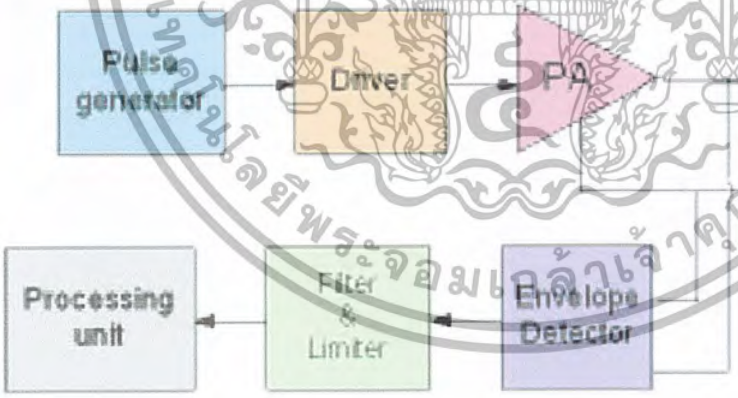


รูปที่ 2.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ Passive Tag

นอกจากการแท็กแบ่งจากชนิดที่ว่ามาแล้วแท็กก็ยังถูกแบ่งประเภทจากรูปแบบในการใช้งานได้เป็น 3 แบบ คือ

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

2.1.2 Reader หรือ Interrogator



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างภายในเครื่องอ่าน

หน้าที่สำคัญของตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) ก็คือการรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็ก แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้รับซึ่งกระทำโดยไมโครคอนโทรเลอร์ อัลกอริทึมที่อยู่ในเฟิร์มแวร์ (Firmware) ของตัวไมโครคอนโทรเลอร์จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณ ถอดรหัสสัญญาณที่ได้ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่แท็กส์ถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่งก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อยๆ ไม่สิ้นสุด

ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ "Hands Down Polling" โดยตัวอ่านข้อมูล จะสั่งให้แท็กหยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีแท็กหลายแท็กอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกัน หรือที่เรียกว่า "Batch Reading" ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านแท็กทีละตัวได้

รูปที่ 2.7 ลักษณะเครื่องอ่าน RFID ที่แตกต่างกันตามการใช้งาน

รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างการใช้งานแท็กและตัวอ่านข้อมูล (Reader)

2.2 การทำงานของ RFID

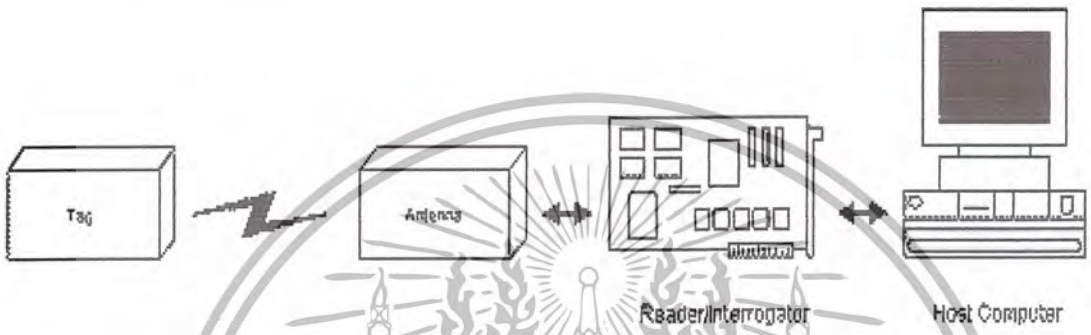
2.2.1 ลักษณะการทำงานของระบบ RFID

หัวใจของเทคโนโลยี RFID ได้แก่ "Inlay" ที่บรรจุอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์กับโลหะที่ยืดหยุ่นได้สำหรับการติดตามหรือทำหน้าที่เป็นเสาอากาศนั่นเอง Inlay มีความหนาสูงสุดอยู่ที่ 0.375 มิลลิเมตร สามารถทำเป็นแผ่นบางอัดเป็นชั้น ๆ ระหว่างกระดาษ, แผ่นฟิล์ม หรือพลาสติกก็ได้ ซึ่งเป็นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตเครื่องหมายหรือฉลาก จากวัสดุที่มีราคาไม่แพงมากนัก ซึ่งจะเห็นว่า Inlay มีลักษณะรูปร่างที่บางมาก จึงทำให้ง่ายต่อการติดเป็นป้ายชื่อหรือฉลากของชิ้นงานหรือวัตถุนั้น ๆ ได้สะดวก

RFID เป็นระบบที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่า แท็ก (Tag) และตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่ง มาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่อยู่ในตัวรับข้อมูล ดังแผนผังการทำงานของระบบ RFID ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงแผนผังการทำงานของระบบ RFID

การประยุกต์ใช้งาน RFID จะมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกับบาร์โค้ด (Bar code) และยังสามารถรองรับความต้องการอีกหลายอย่างที่บาร์โค้ดไม่สามารถตอบสนองได้ เนื่องจากบาร์โค้ดจะเป็นระบบที่อ่านได้อย่างเดียว (Read only) ไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่อยู่บนบาร์โค้ดได้ แต่แท็กของระบบ RFID จะสามารถทั้งอ่านและบันทึกข้อมูลได้ ดังนั้นเราจึงสามารถเปลี่ยนแปลง หรือทำการบันทึกข้อมูลที่อยู่ในแท็กได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

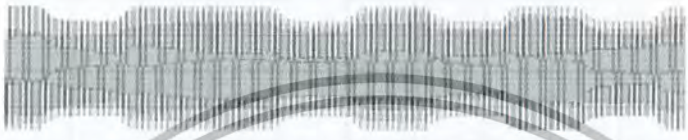
นอกจากนี้ระบบ RFID ยังสามารถใช้งานได้แม้ในขณะที่วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ เช่นในขณะสินค้ากำลังเคลื่อนที่อยู่บนสายพานการผลิต (Conveyor) หรือในบางประเทศก็มีการใช้ระบบ RFID ในการเก็บค่าผ่านทางด่วนโดยที่ผู้ใช้บริการทางด่วนไม่ต้องหยุดรถเพื่อจ่ายค่าบริการ ผู้ใช้บริการทางด่วนจะมีแท็กติดอยู่กับรถ และแท็กจะทำการสื่อสารกับตัวอ่านข้อมูล ผ่านสายอากาศขนาดใหญ่ที่ติดตั้งอยู่ตรงบริเวณทางขึ้นทางด่วน ในขณะที่รถแล่นผ่านสายอากาศ ตัวอ่านข้อมูลก็จะคิดค่าบริการและบันทึกจำนวนเงินที่เหลือลงในแท็กโดยอัตโนมัติ หรือแม้กระทั่งการใช้งานในปศุสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ หรือระบุความแตกต่างของสัตว์แต่ละตัวที่อยู่ในฟาร์ม

ข้อดีของระบบ RFID อีกอย่างก็คือ แท็กและตัวอ่านข้อมูลสามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่างเช่น น้ำ, พลาสติก, กระจก หรือวัสดุทึบแสงอื่นๆในขณะที่บาร์โค้ดทำไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 หลักการและเทคนิคที่ใช้รับและส่งข้อมูลระหว่าง แท็กและเครื่องอ่าน

โดยมากเทคนิคในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและแท็กส์ จะใช้หลักการมอดูเลตทางแอมปลิจูด (Amplitude Modulation: AM) หรือใช้การมอดูเลตทางแอมปลิจูดบวกกับการเข้ารหัสแมนเชสเตอร์ (Manchesterencoded AM) แต่ทว่าในปัจจุบันก็มีแท็กส์ที่ใช้การมอดูเลตแบบอื่นๆ ด้วย เช่น การมอดูเลชั่นแบบเฟสชิฟคีย์อิง (Phase Shift Keying: PSK), ฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิง (Frequency Shift Keying: FSK) หรือการใช้การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation: FM) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงรูปคลื่นของสัญญาณระหว่างแท็กและเครื่องอ่านแบบ AM

ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างแท็กกับเครื่องอ่านจะทำได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้งานเช่นเมื่อความถี่ใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิรตซ์ ความยาวของเสาอากาศ (เป็นเส้นตรง) ที่เหมาะสมก็คือ 22.12 เมตร แน่นอนว่าในทางปฏิบัติเราคงไม่สามารถนำเสาอากาศที่ใหญ่ขนาดนั้นมาใช้งานกับแท็กขนาดเล็กของเราได้ สายอากาศที่ดูเหมาะจะใช้ร่วมกับแท็กมากที่สุด ก็คือสายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็ก หรือที่มีชื่ออย่างเป็นทางการว่าสายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (magnetic dipole antenna) รูปแบบของสายอากาศแบบนี้ก็จะมีอยู่หลากหลาย ทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันบนแกน อากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เป็นวงลูปที่ทำขึ้นจากลายทองแดง บนแผ่นวงจรพิมพ์ทั้งที่เป็นลูปแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะ และประเภทของงานด้วยเช่นกัน นอกจากการรับส่งข้อมูลแล้วสายอากาศก็ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับแท็กด้วย โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของไมเคิล ฟาราเดย์ เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็ก (จากเครื่องอ่าน) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของแท็ก เมื่อแท็กและเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันในระยะ 0.16 เท่าของความยาวคลื่นพาหะที่ใช้เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่า transformer-type coupling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์แบบเดียวกับการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ(primary) และขดลวดทุติยภูมิ (secondary)ในหม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) จะเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของแท็ก

- **การเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์**

เป็นการเข้ารหัสข้อมูลดิจิทัลวิธีหนึ่ง ก่อนที่ข้อมูลซึ่งผ่านการเข้ารหัสแล้วจะถูกส่งไปมอดูเลต เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับการซิงโครไนซ์ของข้อมูล เนื่องจากการส่งกระจายสัญญาณตาม ปกตินั้นหากมีการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณดิจิทัลในระดับเดียวติดต่อกันเป็นช่วงยาว เช่น ส่งสัญญาณดิจิทัลที่มีค่าลอจิกเป็น 1 ออกไป 20 บิต ติดต่อกัน จะทำให้การซิงโครไนซ์ของข้อมูลเกิดการคลาดเคลื่อน (โดยปกติวงจรดิจิทัลจะปรับการซิงโครไนซ์ของข้อมูลได้เฉพาะในช่วงที่มีการเปลี่ยนระดับของข้อมูลจาก 1 เป็น 0 หรือจาก 0 เป็น 1) และทำให้รับข้อมูลผิดพลาดเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวจึงจะต้องมีการนำสัญญาณดิจิทัลปกติไปผ่านเข้ารหัสเสียก่อน โดยการเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ จะเปลี่ยน ให้สัญญาณดิจิทัลลอจิก 0 ถูกแทนด้วยการเปลี่ยนค่าจากลอจิก 1 เป็น 0 และสัญญาณดิจิทัลลอจิก 1 แทนด้วยการเปลี่ยนค่าจากลอจิก 0 เป็น 1 ข้อดีของการเข้ารหัสแบบนี้ก็คือ ทำให้การเปลี่ยนระดับของข้อมูลทุกๆ ครั้งเป็นไปอย่างแน่นอน หรือเกิดการเข้าจังหวะ (synchronize) กันของข้อมูลนั่นเอง แต่ว่าการเข้ารหัสแบบนี้ก็มีข้อเสียอยู่กล่าวคือช่วงความถี่ที่ใช้ในการส่งข้อมูลต้องเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ดังรูปที่ 2.11

รูปที่ 2.11 แสดงการสัญญาณรูปคลื่นที่เข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester)

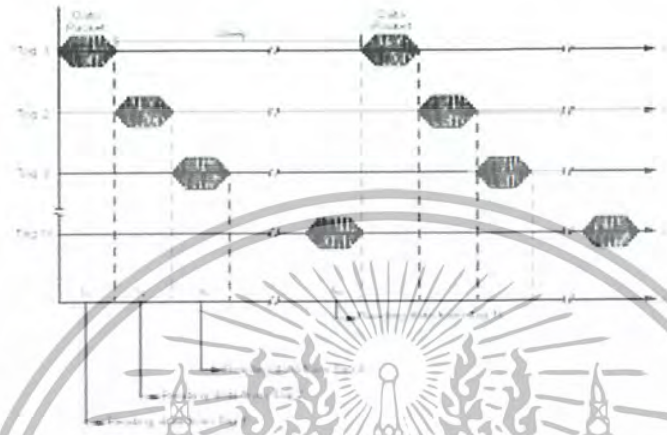
- **ขั้นตอนการทำงานระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก**

1. ตัวเครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณวิทยุอย่างต่อเนื่องหรือเป็นจังหวะ และรอคอยสัญญาณตอบจากตัวแท็ก
2. เมื่อแท็กได้รับสัญญาณคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากเครื่องอ่านในระดับที่เพียงพอ ก็จะทำเหนี่ยวนำเพื่อสร้างพลังงานป้อนให้แท็กทำงาน โดยแท็กจะสร้างสัญญาณนาฬิกาเพื่อกระตุ้นให้วงจรภาคดิจิทัลในแท็กทำงาน
3. วงจรภาคดิจิทัลจะไปอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายในและเข้ารหัสข้อมูลแล้วส่งไปยังภาคอนาล็อกที่ทำหน้าที่มอดูเลตข้อมูล
4. ข้อมูลที่ถูกมอดูเลตจะถูกส่งไปส่งขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ เพื่อส่งไปยังเครื่องอ่าน
5. เครื่องอ่านจะสามารถตรวจจับสัญญาณการเปลี่ยนแปลงของแอมปลิจูด (Envelope Detector) และใช้พีกดีเทกเตอร์ (Peak Detector) ในการแปลงสัญญาณข้อมูลที่มอดูเลตแล้วจากแท็ก
6. เครื่องอ่านจะถอดรหัสข้อมูลและส่งไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-Collision)**

การอ่านข้อมูลจากแท็กส์ได้หลายๆ แท็กส์ในเวลาเดียวกันเป็นข้อดีข้อหนึ่งของ RFID จะทำให้การอ่านข้อมูลของแท็กจำนวนมากทำได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสิ่งที่ทำให้การอ่านข้อมูล จากแท็กได้พร้อมๆ กัน นั้นก็คือ อัลกอริทึมที่ใช้ในการป้องกันการชนของข้อมูล (Anti-Collision) ที่อยู่ภายในระบบ RFID นั้นเอง ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงอัลกอริทึมที่ใช้ป้องกันการชน

ข้อมูลของแท็กบางชนิด โดยหลักการของการอ่านข้อมูลจากแท็กจะอ่านเป็นลำดับในเวลาที่กำหนด แต่ละแท็กจะไม่ส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านทันทีจะมีการจัดสรรลำดับเวลา (Time Slot) ในการส่งข้อมูลที่เวลาต่างๆ กัน ตามอัลกอริทึมที่กำหนดทำให้ข้อมูลที่เครื่องอ่านรับได้ไม่มีการชนของข้อมูลที่ส่งมาจากแท็กหลายแท็กพร้อมกันนั่นเอง

2.3 การเข้ารหัส (Coding)

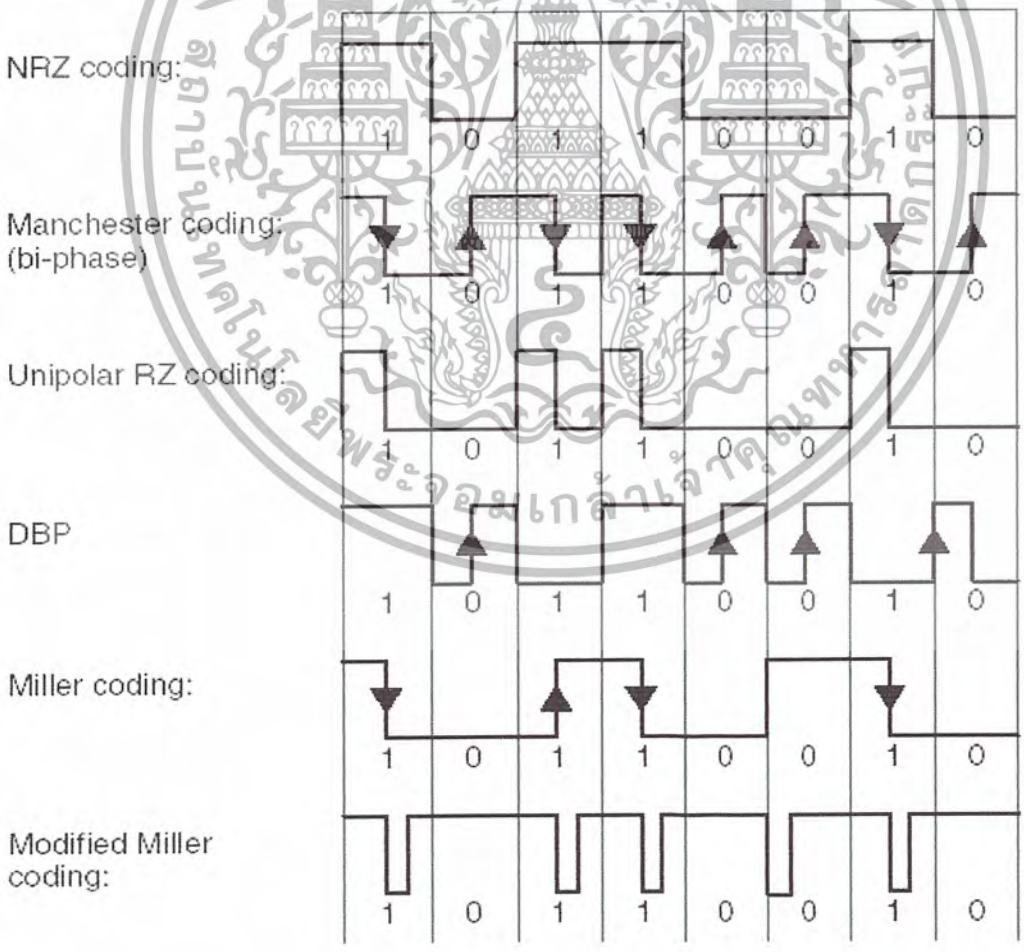
สัญญาณ PCM (Pulse Code Modulation) ที่ได้จะประกอบด้วยข้อมูลของ "1" และ"0" ซึ่งจะถูกส่งผ่านไปในสื่อสัญญาณต่างๆ และเพื่อให้ข้อมูลนี้สามารถส่งไปถึงปลายทางได้อย่างถูกต้อง จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนรูปของสัญญาณ PCM ที่ได้ให้มีรูปแบบที่เหมาะสมก่อนจึงจะส่งไปในสื่อสัญญาณต่างๆ ได้ ซึ่งรูปแบบแต่ละรูปแบบเราเรียกว่า Line Code (หรือการเข้ารหัสทางสายส่ง) โดยมี Code Conversion ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณ PCM ให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการ และมีหลักในการกำหนด Line Code ดังนี้

1. สัญญาณนั้นจะต้องไม่มีส่วนประกอบของสัญญาณไฟตรง (DC) ตลอดเวลาหรือเป็นช่วงเวลานาน เพราะสัญญาณไฟตรงไม่สามารถผ่านอุปกรณ์พวก Capacitor หรือ Transformer ซึ่งมีไว้ในวงจรส่วนต่างๆ ได้
2. พลังงานที่ความถี่ต่ำจะต้องมีค่าน้อย เนื่องจากจะทำให้ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ในส่วนของวงจร Equalization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถซิงโครไนซ์ได้เอง (Self-synchronization) หมายถึง การที่ลำดับหรือชุดของสัญญาณที่ได้รับได้มีข่าวสารของสัญญาณนาฬิกาที่เพียงพอผนวกมาพร้อมกับข่าวสารของบิตข้อมูล
4. ความน่าจะเป็นที่เกิดความผิดพลาดบิตต่ำ (low probability of bit error) คือ สามารถทนทานต่อสัญญาณรบกวนได้ดี
5. สัญญาณ Code นั้นจะต้องมีเพียง Code เดียวเพื่อไม่ให้เกิดความคลุมเครือที่จะให้การ Decode แปลงค่าผิดไป
6. ต้องใช้ Bandwidth ในการส่งสัญญาณนั้นน้อยที่สุด และในขณะเดียวกันสเปกตรัมของสัญญาณนั้นจะต้องมีรูปลักษณ์ที่เหมาะสมกับช่องสัญญาณด้วย(a spectrum that is suitable for the channel)
7. จะต้องมีการตรวจจับหรือแก้ไขข้อผิดพลาดของการส่งได้ (Error Detection and Correction)
8. ทรานส์พาเรนซี (transparency) หมายถึง คุณสมบัติที่ระบบรับส่งชุดบิตที่มีรูปแบบใดก็ได้ไม่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของระบบ

มาตรฐานการทำ Line code มีหลายลักษณะดังนี้



รูปที่ 2.13 การเข้ารหัสแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

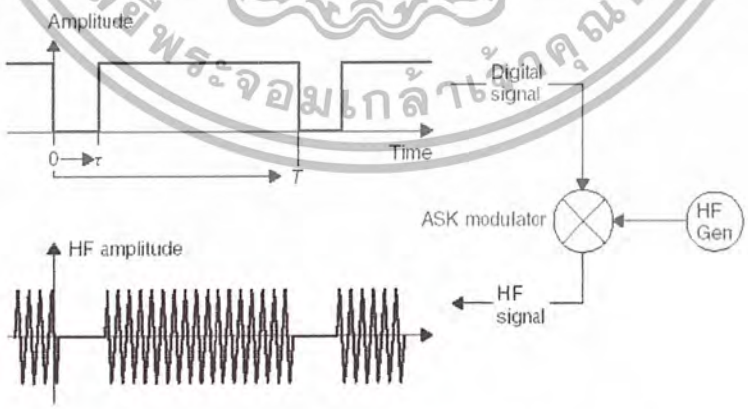
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

- ไลน์โค้ด Unipolar NRZ: จัดว่ามีองค์ประกอบของกระแสตรงอยู่ในสัดส่วนที่สูงมากและพลังงานของสัญญาณส่วนที่เหลือกระจายอยู่ในช่วงความถี่[0-R]
- ไลน์โค้ด Polar NRZ: ความหนาแน่นกำลังถือว่ามีองค์ประกอบของกระแสตรงอยู่ที่ [0-R]
- ไลน์โค้ดแบบ Unipolar RZ: มีลักษณะการกระจายกำลังงานคล้ายกับ Unipolar NRZ เพียงแต่มีความหนาแน่นของสเปกตรัมกว้างขึ้นอีกเท่าตัวเมื่อเทียบกับ NRZ
- ไลน์โค้ดแบบ Bipolar RZ: แม้ว่าจะมีการกระจายกำลังงานส่วนใหญ่อยู่ที่[0-R]เช่นเดียวกับ 2 กรณีแรกแต่สิ่งที่น่าสังเกตคือ ไลน์โค้ดชนิดนี้ไม่มีองค์ประกอบของไฟตรงปนอยู่เลย
- ไลน์โค้ด Manchester: การกระจายตัวของพลังงานครอบคลุมช่วงความถี่ [0-2R] ซึ่งหมายความว่า ไลน์โค้ด Manchester มีความต้องการ Bandwidth ในการส่งที่กว้างกว่าไลน์โค้ดชนิดอื่นเท่าตัว

2.4 การมอดดูเลตข้อมูลแบบดิจิตอล (Digital Modulation Procedure)

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

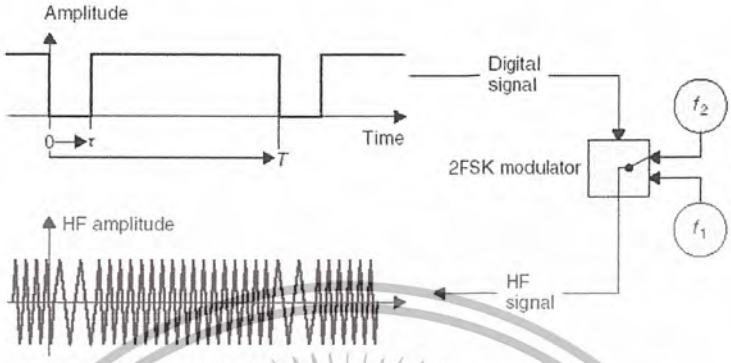
2.4.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (ASK) ความถี่ของคลื่นพาห์ (Carrier Wave) ซึ่งทำหน้าที่นำสัญญาณอนาล็อกผ่านตัวกลางสื่อสารนั้นจะคงที่ ลักษณะของสัญญาณมอดูเลตเมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูลดิจิตอลมีค่าเป็น 1 ขนาดของคลื่นพาห์จะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ขนาดของคลื่นพาห์จะตกลงกว่าปกติ การมอดูเลต ASK มักจะไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะจะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย



รูปที่ 2.14 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (ASK)

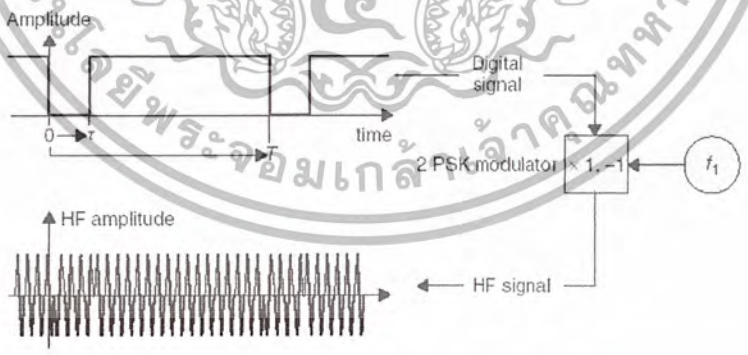
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
117459

2.4.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK) ในการมอดูเลตแบบFSK ขนาดของคลื่นพาห์จะไม่เปลี่ยนแปลงที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาห์นั่นคือ เมื่อบิตมีค่าเป็น1 ความถี่ของคลื่นพาห์จะสูงกว่าปกติและเมื่อบิตมีค่าเป็น0 ความถี่ของคลื่นพาห์ก็จะต่ำกว่าปกติ



รูปที่ 2.15 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK)

2.4.3 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK) หลักการของPhase Keying (PSK) คือ ค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาห์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ที่จะเปลี่ยนคือ เฟสของสัญญาณกล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของบิตจาก1 ไปเป็น 0 หรือเปลี่ยนจาก0 ไปเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน(Shift) ไป 180 องศาด้วย หลักการPSK สามารถทำได้ทั้งแบบ 2 เฟส (0,90,180 และ 270 องศา)และแบบ 8 เฟส (0,45,90,135,180,225,270 และ 315 องศา) ในการมอดูเลตเพื่อเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกทั้ง3 แบบ วิธีการแบบPSK จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุด ได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุดแต่วงจรการทำงานจะยุ่งยากกว่าและราคาสูงกว่า



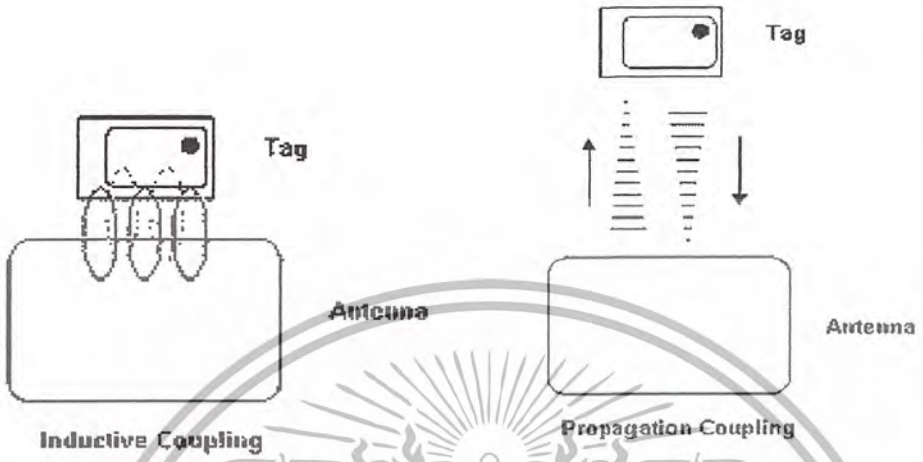
รูปที่ 2.16 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK)

2.5 การสื่อสารแบบไร้สาย

การสื่อสารข้อมูลของระบบ RFID คือระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่วิทยุโดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธี ด้วยกันคือ วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) กับวิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation Coupling) ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงการสื่อสารระหว่างแท็กและตัวรับข้อมูล

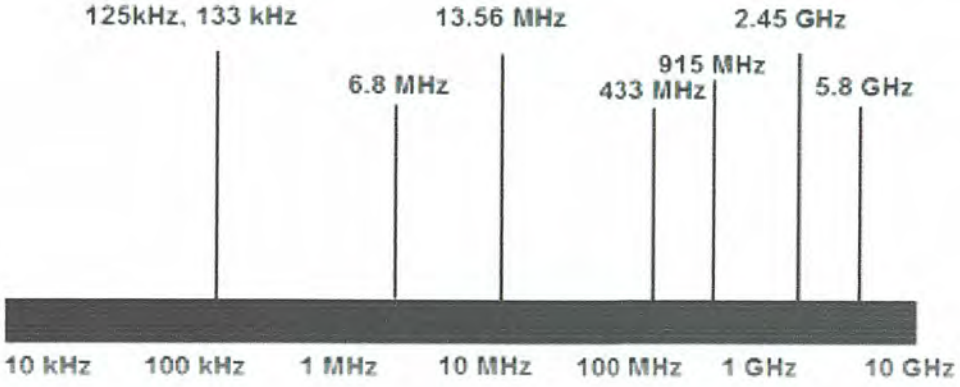
2.6 คลื่นพาหะในระบบ RFID

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

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

การใช้งาน 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ (LH ระยะอ่านประมาณ 10-20 เซนติเมตร และ HF ระยะอ่านประมาณ 1เมตร) เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่การตรวจหา และเก็บประวัติในสัตว์ ส่วนย่านความถี่สูงยิ่ง จะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (UHF ระยะอ่านประมาณ 1-10 เมตร) เช่น ระบบเก็บค่าบริการทางด่วน และในปัจจุบันระบบ RFID กำลังถูกวิจัยและพัฒนาในย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.4 GHz และความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้งานที่ต้อง การระยะอ่านที่ไกลกว่า 10 เมตร เป็นต้น ดังรูปที่ 2.18 ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อ เทียบกันแล้ว RFID ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด และมีราคาแพงที่สุดด้วย เช่นกัน ส่วน RFID ที่ใช้คลื่นพาหะในอีก 2 ย่านความถี่จะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่นกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แสดงความถี่ย่านที่ระบบ RFID ถูกใช้งาน

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

ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ต่างๆ ของระบบ RFID และการใช้งาน

2.7 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดธ์

อัตราการรับส่งข้อมูล (Data Transfer Rate) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาหะ โดยปกติถ้าความถี่ของคลื่นพาหะยิ่งสูง อัตราการรับส่งข้อมูลก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ส่วนการเลือกแบนด์วิดธ์ หรือย่านความถี่นั้นก็จะมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลเช่นกัน โดยมีหลักว่า แบนด์วิดธ์ควรจะมีค่ามากกว่าอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อยสองเท่า ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้แบนด์วิดธ์ในช่วง 2.4-2.5 GHz ก็จะสามารถรองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการรับส่งข้อมูลได้ถึงประมาณ 2 megabits ต่อวินาที เป็นต้น แต่การใช้แบนด์วิดธ์ที่กว้างเกินไปก็อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนมาก หรือทำให้ S/N Ratio ต่ำลงนั่นเอง ดังนั้นการเลือกใช้แบนด์วิดธ์ให้ถูกต้องก็เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณา

2.8 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะการรับส่งข้อมูลในระบบ RFID ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator Power) กำลังส่งของแท็ก (Tag Power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างแท็กส์และตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆรอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบ RFID ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบกับระยะการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของแท็กที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา

ถึงแม้ในทางเทคนิคเราจะสามารถทำให้ตัวอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากแค่ไหนก็ได้ แต่โดยทั่วไปก็จะถูกจำกัดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่ ดังนั้นในระบบ RFID โดยทั่วไปจะมีกำลังส่งเพียงระหว่าง 100 -500 mW

2.9 รูปแบบการรับส่งข้อมูลโดยใช้ความถี่คลื่นวิทยุ

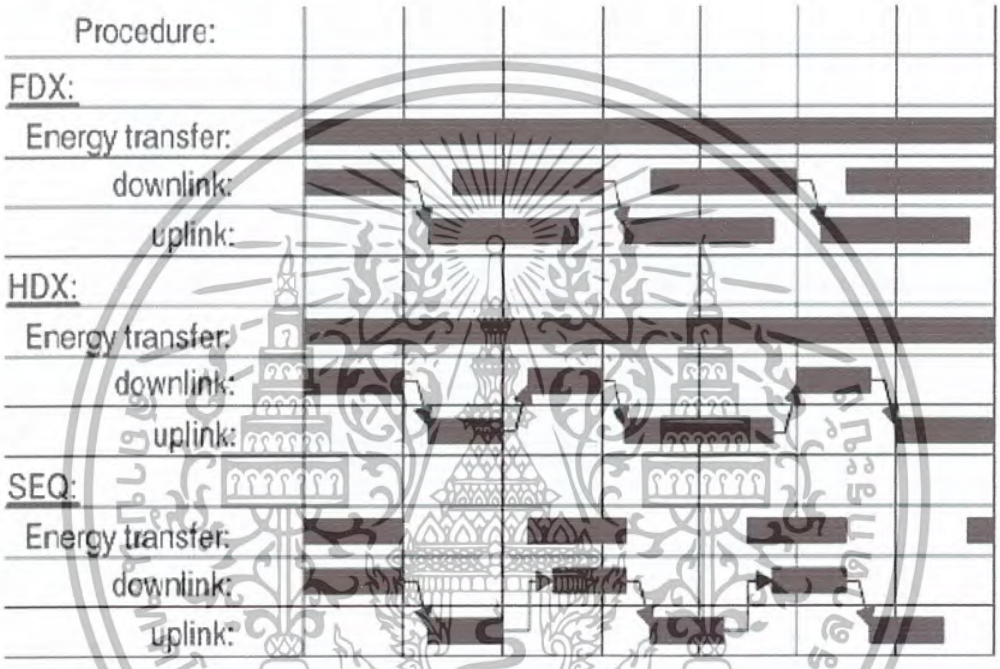
รูปแบบการรับส่งข้อมูลโดยใช้ความถี่คลื่นวิทยุสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.9.1 การสื่อสารแบบ Full Duplex: แบบ Full Duplex เครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่ายได้ตลอดเวลาการส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย (Downlink) และการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังเครื่องอ่าน (Uplink) สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในการส่งไปกลับแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 การสื่อสารแบบ Half Duplex: แบบ Half Duplex แม้ว่าเครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา แต่ก็ต้องมีการกำหนดจังหวะผลัดกันรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย

2.9.3 การสื่อสารแบบ Sequential: แบบ Sequential นั้นจะมีการจำกัดเวลาในการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับเครื่องลูกข่ายในลักษณะพัลส์ (Pulse) หรือก้อนพลังงานที่ส่งออกในแต่ละช่วงเวลาและใช้การปรากฏขึ้นของพลังงานหรือพัลส์เป็นสัญญาณกำหนดให้มีการส่งข้อมูล (Downlink) ส่วนช่วงที่ไม่มีพลังงานปรากฏอยู่จะเป็นการส่งสัญญาณ (Uplink)



รูปที่ 2.19 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential

2.10 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing

มาตรฐานการสื่อสาร RFID แบบ Duplexing ซึ่งสามารถจำแนกตามรูปแบบการทำงานได้ 4 ประเภท อันได้แก่เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling, Elextromagnetric backscatter Coupling, Close Coupling และเทคโนโลยี Electrical Coupling ซึ่งจะขอกล่าวเฉพาะเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling

เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็ก โครงสร้างของเครื่องลูกข่าย ประกอบไปด้วยแผงวงจร หรือชิปที่ใช้เก็บข้อมูลต่างๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้างทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับ รับและส่งสัญญาณ ทั้งนี้จะกล่าวถึงเทคนิคในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องลูกข่าย เพื่อเลี้ยงอุปกรณ์ชิปสามารถทำงานได้ ก่อนจะกล่าวถึงเทคนิคที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

เนื่องจากการทำงานของเครื่องลูกข่ายนั้นเป็นแบบพาสซีฟ (Passive operation) กล่าวคือ ไม่มีแหล่งพลังงานภายในเป็นของตนเอง จึงจำเป็นจะต้องรับพลังงานมาจากเครื่องอ่านโดยตรง ด้วยเหตุนี้ จึงต้องมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบสายอากาศของเครื่องอ่าน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งทั้งข้อมูลและพลังงานไปในตัว) สามารถส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำลังสูงสามารถตกกระทบขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของเครื่องลูกข่ายได้อย่างเหมาะสม ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกมาจากเครื่องอ่านนี้มีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ซึ่งโดยทั่วไปมักวางห่างกันในหลักไม่มากนัก ในขณะที่เทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling ส่วนใหญ่ใช้ความถี่ต่ำเพียง 135 กิโลเฮิรตซ์ หรืออาจจะต่ำกว่า ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีความยาวคลื่นสูงมากถึง 2,400 เมตร แม้ในบางระบบที่ความถี่ใช้ความถี่สูงในย่าน 13.56 เมกะเฮิรตซ์ ก็ยังกำเนิดคลื่นสัญญาณที่มีความยาวถึง 22.1 เมตร จึงไม่มีปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไปจนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบน หรือถูกลดทอนจากผนังอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ หากพิจารณาถึงพื้นที่ใช้งานโดยทั่วไปที่มิได้ไกลหรือกว้างใหญ่มากนัก สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะตกกระทบขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่าย ก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อนๆขึ้นบนขดลวดดังกล่าว ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากระบวนการเร็กติไฟร์ โดยตัวเก็บประจุและไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับอุปกรณ์ชิป ทั้งนี้หัวใจของการออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ C_1 ซึ่งจะต้องมีความสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด L เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่กำทอน (Resonance Frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่านเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องลูกข่าย

สิ่งที่ผู้ออกแบบอุปกรณ์เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling ให้ความสำคัญมากที่สุดก็คือ การออกแบบขดลวดทั้งที่เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายให้สามารถถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าให้แก่กันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด หากจินตนาการเปรียบเทียบการถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองมิได้พันอยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกัน กลับกลายเป็นใช้อากาศ ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำพาสัญญาณที่เลวร้ายกว่าแกนแม่เหล็กมากๆ

ดังนั้นในการออกแบบระบบแบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุด จึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่าน พื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่เครื่องลูกข่าย มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย

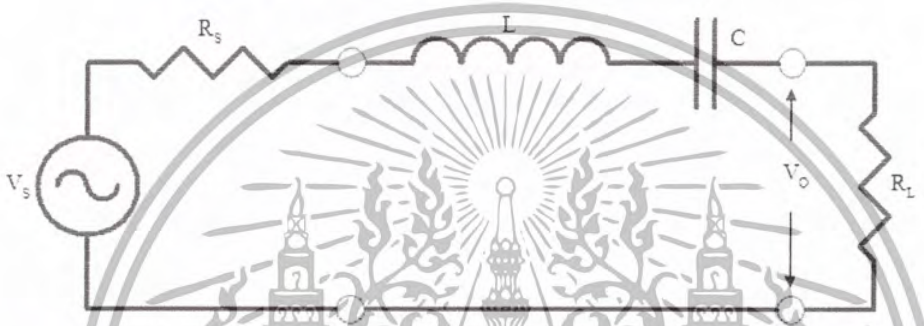
เมื่อความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารมีค่าสูงมากขึ้น จะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้สำหรับขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายจะมีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงใช้จำนวนรอบการพันลดลงเช่นกัน ตัวอย่างเช่น หากใช้งานที่ความถี่ย่าน 135 กิโลเฮิรตซ์ จะต้องมีการพันขดลวดอากาศที่เครื่องลูกข่ายในช่วง 100 – 1,000 รอบ แต่หากเพิ่มความถี่ในการใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิรตซ์ ก็จะสามารถลดจำนวนรอบของขดลวดจะเหลือเพียง 3 – 10 รอบเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 วงจรเรโซแนนซ์

ธรรมชาติของวงจรเรโซแนนซ์จะยอมให้ความถี่ค่าหนึ่งผ่านได้ดี เรียกว่าความถี่เรโซแนนซ์ เมื่อป้อนความถี่เรโซแนนซ์แก่วงจรเรโซแนนซ์อนุกรมกระแสจะผ่านได้มากที่สุดโดยมีแรงดันตกคร่อมวงจรต่ำที่สุดถ้าป้อนความถี่เรโซแนนซ์แก่วงจรเรโซแนนซ์ขนานกระแสจะผ่านได้น้อยที่สุดโดยมีแรงดันตกคร่อมวงจรสูงที่สุด โดยปกติวงจรเรโซแนนซ์จะต้องมีแบนด์วิดธ์ ที่ยอมให้ความถี่ข้างเคียงกับความถี่เรโซแนนซ์ทั้งด้านสูงและด้านต่ำผ่านไปได้ช่วงหนึ่ง ความถี่เรโซแนนซ์จึงหมายถึงความถี่ที่ผ่านวงจรตลอดแบนด์วิดธ์ซึ่งอาจจะกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์นั้นๆ

2.11.1 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม (Series Resonance)



รูปที่ 2.20 วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม (Series Resonance)

$$\frac{V_O}{V_S} = H(s) = \frac{R_L}{R_S+sL+\frac{1}{sC}+R_L}$$

$$= \frac{\frac{sCR_L}{s^2LC+sC(R_S+R_L)+1}}{\frac{\left[\frac{1}{LC}\right]}{\left[\frac{1}{LC}\right]}}$$

$$= \frac{sR_L\left[\frac{R_S}{R_S}+\frac{R_L}{R_L}\right]}{s^2+s\left(\frac{R_S+R_L}{L}\right)+\frac{1}{LC}}$$

$$\frac{V_O(s)}{V_S(s)} = \frac{\frac{R_L}{R_S+R_L}\,s\left(\frac{R_S+R_L}{L}\right)}{s^2+s\left(\frac{R_S+R_L}{L}\right)+\frac{1}{LC}}$$

จะได้ Pass band gain: $K = \dfrac{R_L}{R_S+R_L}$

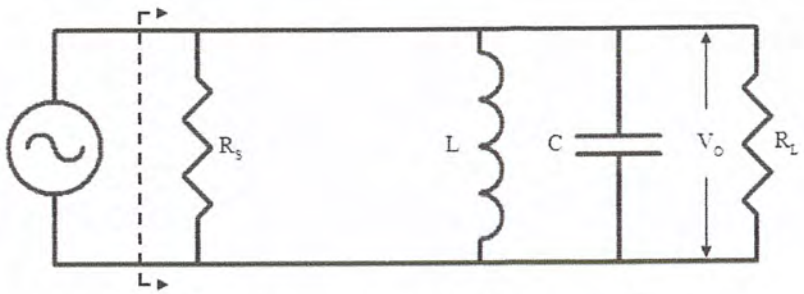
ความถี่ศูนย์กลาง : $\omega_p = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ **R/S**

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือวงจรแทงค์ (Parallel Resonance or Tank circuit)



รูปที่ 2.21 วงจรเรโซแนนซ์ หรือวงจรแทงค์

จากวงจรในรูปที่ R_s จะขนานอยู่กับ R_L

$$R_{total} = R_S \,//\, R_L$$

$$(Z_{tank})^{-1} = \frac{1}{R_T} + \frac{1}{sL} + sC$$

$$= \frac{sL + R_L + s^2 LR_T C}{sLR_T}$$

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

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

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

จากหลักการของสมการ Band pass filter ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรขนาน RLC จะมีค่าสูงสุดความถี่

$$\omega_p : \omega_p \approx \frac{1}{\sqrt{b}}$$

$$\omega_p |_{Z\ tank\ MAX} = \omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

และค่าของอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ $\frac{1}{\sqrt{b}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ *จะมีค่าเท่ากับ* K: $K = R_T$ หรือ $Z_{MAX} = R_T$

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

หมายเหตุ : รูปทั่วไปของฟังชั่น Band pass filter ที่มีอัตราการขยาย K เท่า จะเป็น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ K = Pass band gain

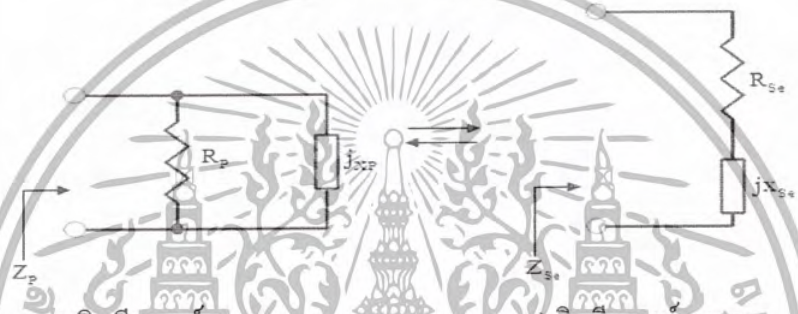
ω_p = ความถี่ศูนย์กลางของ BPF

2.12 วงจรแมทช์อิมพีแดนซ์ (Impedance Matching)

วงจรแมทช์ชิ่ง (Matching Circuit) เป็นวงจรที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร หรือโครงข่ายเพื่อให้วงจร หรือโครงข่ายมีค่า Z_S หรือ Z_L ตามที่เราต้องการ เพื่อทำให้วงจรหรือโครงข่ายทำงานได้อย่างมีเสถียรและให้เกิดการถ่ายทอดกำลังสูงสุด

หลักการที่สำคัญของการออกแบบวงจรแมทช์อิมพีแดนซ์ คือการแปลงอิมพีแดนซ์ที่อยู่ในรูป

$$Z_P = R_P // jX_P \longleftrightarrow R_{Se} + jX_{Se} = Z_{se}$$



ก) อิมพีแดนซ์ขนาน ข) อิมพีแดนซ์อนุกรม

รูปที่ 2.22 วงจรเสมือนอิมพีแดนซ์

จากรูปที่ 2.22 (ก) จะได้ $Z_P = R_P // jX_P$

$$Z_P = \frac{R_P \times jX_P}{R_P + jX_P}\left(\frac{R_P - jX_P}{R_P - jX_P}\right)$$

$$Z_P = \frac{R_P^2 \times jX_P + X_P^2 \times R_P}{R_P^2 + X_P^2}$$

$$\therefore Z_P = \frac{X_P^2 \times R_P}{R_P^2 + X_P^2} + j\frac{R_P^2 \times jX_P}{R_P^2 \times X_P^2} \qquad (2.14.1a)$$

จากรูปที่ 2.22 ข) จะได้ $Z_{se} = R_{se} + jX_{se}$ (2.14.1b)

$$Z_P = Z_{se} \qquad (2.14.1b)$$

จะได้ $$\frac{X_P^2 \times R_P}{R_P^2 + X_P^2} + j\frac{R_P^2 \times jX_P}{R_P^2 \times X_P^2} = R_{se} + jX_{se}$$

Real part ;

$$R_{se} = \frac{X_P^2 \times R_P}{R_P^2 + X_P^2} \qquad (2.14.1c)$$

$$\mathrm{Re}\{Z_{se}\} = R_{se} = \frac{R_P}{1 + \left(\frac{R_P}{X_P}\right)^2} \qquad (2.14.1d)$$

Imaginary part ;

$$X_{se} = \frac{R_P^2 \times jX_P}{R_P^2 + X_P^2} \qquad (2.14.1e)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ(2.14.1c) $$R_P^2 + X_P^2 = \frac{X_P^2 \times R_P}{Rse}$$

แทนลงในสมการที่ (2.14.1e) จะได้

$$X_{se} = R_P^2 + X_P^2 \times \frac{Rse}{X_P^2 \times R_P}$$

$$\mathrm{Im}\{Z_{se}\} = X_{se} = R_{se}\left(\frac{R_P}{1+(R_P/X_P)^2}\right) \qquad (2.14.1f)$$

และจากสมการที่ (2.14.1d)

$$R_P = R_{se}\left(1 + \frac{R_P^2}{X_P^2}\right) \qquad (2.14.1g)$$

จากสมการที่ (2.14.1f)

$$\frac{R_P}{X_P} = Q_p = \frac{X_{se}}{R_{se}} = Q_{se} \qquad (2.14.1h)$$

จากสมการที่ (2.14.1h)

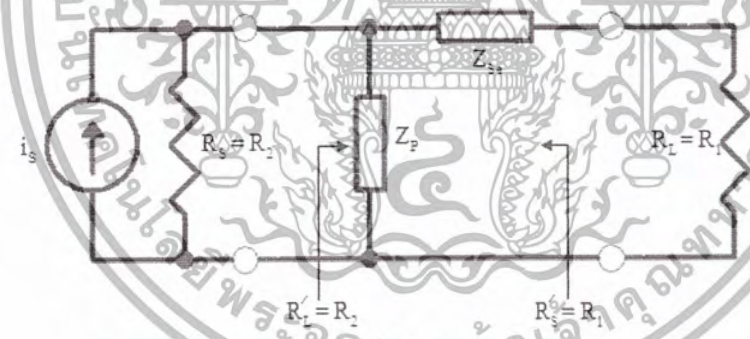
$$\mathrm{Im}\{Z_{se}\} = X_p = \left(\frac{R_P}{X_S/R_{se}}\right) \qquad (2.14.1i)$$

แทนค่า R_P/X_P ในสมการที่(2.14.1g) ด้วย X_s/R_s จะได้

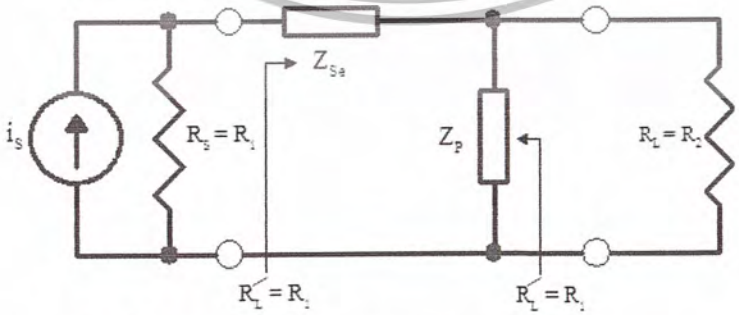
$$\mathrm{Re}\{Z_p\} = R_p = R_{se}\left(1 + \frac{(X_{se})^2}{R_{se}}\right) \qquad (2.14.1j)$$

ค่าอัตราส่วน R_P/X_P หรือ X_{se}/R_{se} อาจถูกเรียกว่าค่า Q ของอิมพีแดนซ์

2.12.1 วงจรแมทช์อิมพีแดนซ์อย่างง่าย



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



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

รูปที่ 2.23 วงจรแมทช์อิมพีแดนซ์อย่างง่ายที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

- แหล่งกำเนิด i_s ควรต่อกับโหลดที่มีค่า $R'_L = R_s$
- R_L ควรต่อกับแหล่งกำเนิดที่มีค่า $R'_s = R_L$

การถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าในรูปที่ 2.23 อาจหมายถึง

ก) การถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไปสู่วงจรขยาย ในกรณีนี้อิมพีแดนซ์ที่ทางเข้าของวงจรขยายจะเหมือนเป็น R_L หรือ $R_L = R_{in}$

ข) การถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าจากวงจรขยายไปยัง R_L ในกรณีนี้อิมพีแดนซ์ที่ทางออกของวงจรขยายจะเหมือนเป็น R_s หรือ $R_o = R_s$

ค) การถ่ายทอดกำลังไฟฟ้าจากภาคที่ n ไปสู่ภาคขยายที่ n+1 ในกรณีนี้ $R_{o(n)} = R_s$ และ $R_{in(n+1)} = R_L$

จากรูปที่ 2.23 R_2 หมายถึงด้านที่มีอิมพีแดนซ์สูงกว่า ในกรณีที่

$R_s > R_L$: $R_2 \equiv R_s$ และ $R_1 \equiv R_L$ ดังในรูปที่ 2.23 ก

$R_s < R_L$: $R_1 \equiv R_s$ และ $R_2 \equiv R_L$ ดังในรูปที่ 2.23 ข

โดยการนำอิมพีแดนซ์ Z_p ไปต่อขนานกับฝั่งที่มีความต้านทานสูงกว่าหรือ R_2 เลือกค่าของ Z_p เพื่อทำให้

$$R_2 \,//\, \pm jX_p = R_1 \pm jX_{sccl}$$

วงจรขนาน $\longleftrightarrow$ วงจรอนุกรม

นั่นคือ R_2 จะถูกทำให้มีค่าความต้านทานเสมือนเป็น R_1 จากสมการที่ (2.14.1d)

(2.14.1d);

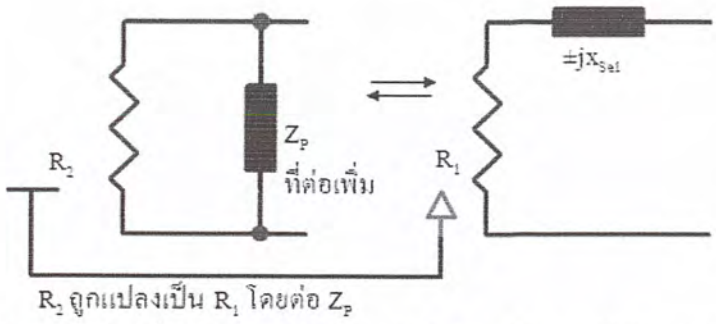
$$R_{sc} = \frac{R_p}{1+\left(\frac{R_p}{X_p}\right)^2}$$

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

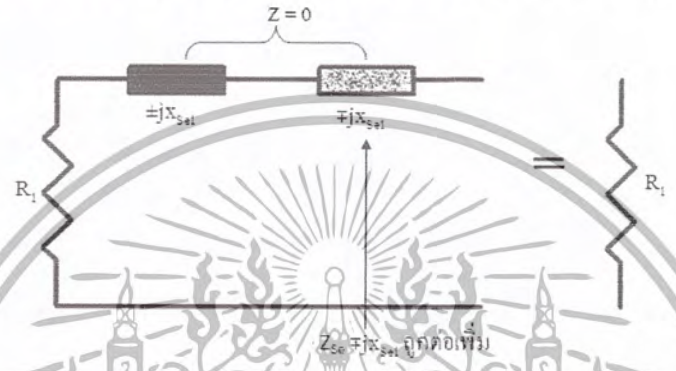
จะได้ $$X_P = \left(\frac{R_2}{\sqrt{R_2/R_1 - 1}}\right) \qquad (2.15ก)$$

ซึ่ง $$Z_P = \pm jX_P = \frac{\pm jR_2}{\sqrt{R_2/R_1 - 1}} \qquad (2.15ข)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) R_2 ถูกแปลงเป็น $R_1 \pm jX_{sel}$ โดยการนำ $Z_P = \pm jX_P$ ไปต่อขนานกับ R_2



ข) $\pm jX_{sel}$ ที่เกิดจากการนำ Z_p ไปต่อขนานกับ R_2 ถูกกำจัดโดยการนำ $Z_{sc} = \mp jX_{sel}$ ไปต่ออนุกรมเพิ่ม

รูปที่ 2.24 วงจรการแมทช์อิมพีแดนซ์ $R_2 \leftrightarrow R_1$

โดยการนำ $Z_P = \pm jX_P = \pm jR_2/\sqrt{(R_2/R_1) - 1}$ ไปต่อขนานกับ R_2

R_2 ถูกแปลงเป็น R_1 ต่ออนุกรมกับ $\pm jX_{sel}$ ดังในรูปที่ 2.24 ก จากสมการที่ (2.14.1i) ค่าของ X_{sel} จะมีค่าเป็น (2.14.1i);

$$X_{sel} = R_{sc}\frac{R_P}{X_P}$$

$$X_{sel} = \frac{R_2 \times R_1}{R_2/\sqrt{(R_2/R_1)-1}} = R_1\sqrt{\frac{R_2}{R_1} - 1}$$

หรือ

$$Z_{sc} = \pm jR_1\sqrt{\frac{R_2}{R_1} - 1} \qquad (2.15.1)$$

นั่นคือ

$$R_2 // \frac{\pm jR_2}{\sqrt{(R_2/R_1)-1}} = R_1 \pm jR_1\sqrt{\frac{R_2}{R_1} - 1}$$

โดยการนำอิมพีแดนซ์ $Z_{sc} = \mp jX_{sel}$ ไปต่ออนุกรมกับ R_1 ; $R_1 \pm jZ_{sel} \mp Z_{sel} = R_1$ ดังรูปที่ 2.24 ข จะได้ค่าของอิมพีแดนซ์ Z_{sc} ที่นำไปต่ออนุกรมกับ R_1 เป็น

$$Z_{sc} = \mp jR_1\sqrt{\frac{R_2}{R_1} - 1} \qquad (2.15.2)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$|Z_p|$ ขนานกับ R_2 $= \dfrac{R_2}{\sqrt{(R_2/R_1)-1}}$ (2.15.3)

$|Z_{se}|$อนุกรมกับ R_2 $= R_1\sqrt{\dfrac{R_2}{R_1}-1}$ (2.15.4)

โดย $R_2 > R_1$

2.12.2 Reader coil MATCHING CCT

รูปที่ 2.25 Reader coil MATCHING CCT

MATCHING EQn

$$X_{C1} = Q_L R_1 \quad , \quad Q_L = \frac{fpk}{Bw}$$

$$X_{C2} = R_2\sqrt{\frac{R_1}{R_2-R_1}}$$

$$X_2 = \frac{R_1 R_2}{Xc_2} + X_{C1}$$

กำหนดค่า Q_L , X_2 , R_2 จะได้ค่า R_1 เป็น

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

2.13 Class C Power Amplifier

$$P_{o(MAX)} = \frac{(V_{CC}-V_{CE})^2}{2Re\{Z_{CP}\}}$$

จะได้ $$R_C = Re\{Z_{cp}\} = \frac{(V_{CC}-V_{CE(SAT)})^2}{2P_{O(MAX)}}$$

เพื่อให้สามารถ Mod เป็น ASK ได้ (Reader → TAG) Base driverของ PA จะต้องมากพอที่จะทำให้

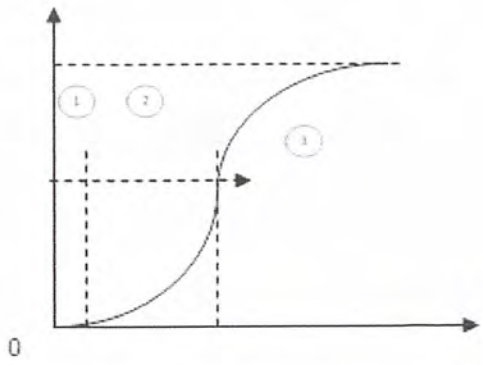
$$i_c = \frac{(V_{CC}+V_{mod(PK)}-V_{CE(SAT)})}{Re\{Z_{CP}\}}$$

ในสภาวะ un-mod หรือ $v_{mod} = 0$ TR จะอยู่ในสภาวะ over drive คุณสมบัติของ Class C PA โดยทั่วไปจะเป็นดังรูป

$$P_o \approx 1.6\frac{V^2}{2R_c} \approx \frac{V^2}{1.25R_c}$$

$$P_o = \frac{V^2}{2R_c}$$

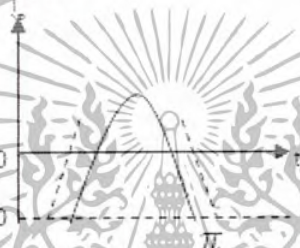
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 กราฟแสดงวงจรขยายคลาส C

ช่วงที่ 1: P_{in} ต่ำๆ $V_{in} \leq V_{Threshold}$ $P_O \approx 0$

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

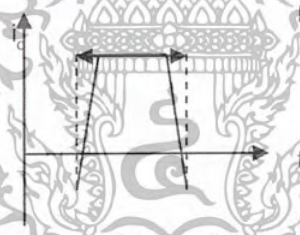


รูปที่ 2.27 กราฟแสดงการ drive กระแสของวงจรขยายคลาส C

ช่วงที่ 3: เริ่ม over drive i_c(t) จะมีรูปคลื่นเป็น Rectangular pulse มากขึ้น

เพิ่ม Overdrive ic เกือบเป็น pulse

ทำให้ P_O เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.28 กราฟแสดงการ driver กระแสของวงจรขยาย C ขณะ overdrive

2.14 วงจรกรองความถี่แบบบัทเทอร์เวิท (butterworth)

วงจรกรองความถี่แบบบัทเทอร์เวิทนี้ ออกแบบโดยมุ่งหวังให้มีคุณสมบัติทางความถี่ตอบสนองที่ราบเรียบ โดยเลือกค่า Q ได้พอสมควร ค่าการสูญเสียในวงจรกรองความถี่แบบนี้หาได้จากสมการ

$$A_{bd} = 10\log[1+(\omega/\omega_c)^{2n}]$$

ω = ความถี่ที่ต้องการทราบค่าการสูญเสียของสัญญาณ

ω_c = ความถี่จุดตัดของความถี่ตอบสนองคิดที่ -3 dB

V = จำนวนอินดักเตอร์และคาปาซิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

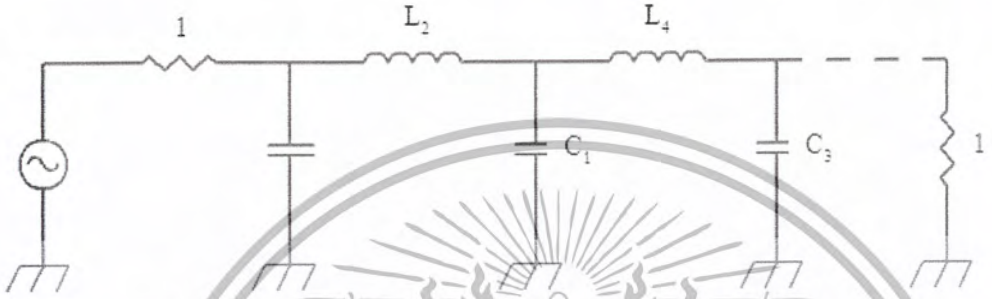
ในวงจรกรองความถี่แบบบัทเทอร์เวิท เมื่อทำการนอร์มอลไลด์ (คิดเสมือนนำความต้านทานโอมห์ไปต่อ) จะได้

$A_k = 2\sin[(2k-1)\pi/2n]$

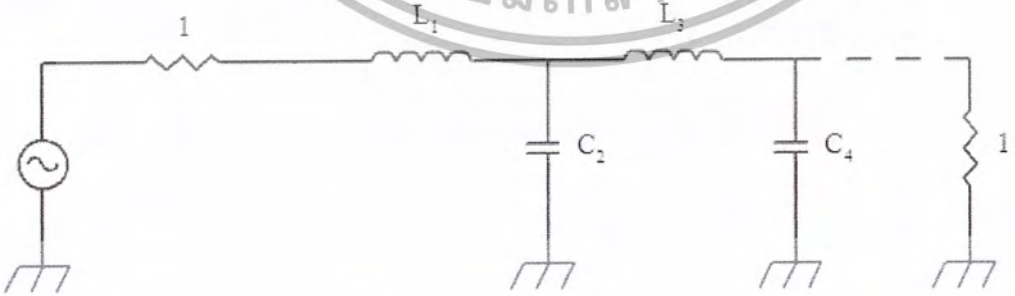
V = จำนวนอินดักเตอร์และคาปาซิเตอร์

A_k = ค่าของรีแอคแทนซ์ (reactance) ที่แต่ละค่าของ k

ค่าของ A_k หาได้ตามตารางที่ 2.2



N	C_1	L_2	C_3	L_4	C_5	L_6	C_7
2	1.414	1.414					
3	1.000	2.000	1.000				
4	0.765	1.848	1.848	0.765			
5	0.618	1.618	2.000	1.618	0.618		
6	0.518	1.414	1.932	1.932	1.414	0.518	
7	0.445	1.247	1.802	2.000	1.802	1.247	0.445
N	C_1	L_2	C_3	L_4	C_5	L_6	C_7



ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างค่าอินดักแทนซ์และคาปาซิแทนซ์ เมื่อค่า $R_S = R_L = 1\Omega$ โดยใช้วงจรบัทเทอร์เวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบวงจรและการคำนวณ

3.1 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆของ TAG

การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของ TAG Sequential และ TAG Load modulation จาก Sequential Excitation TAG Power supply and Block Diagram

จะได้ $V_{TAG\ DC} = V_{DC\ in\ PK} \approx V_O + V_{REG} + V_{SW} + \Delta V_{DC\ in}$

$\therefore\ V_{TAG\ DC} \approx 5 + 2 + 2 + 2$

$V_{TAG\ DC} \approx 11\ V$

$V_{TAG\ PK} = V_{TAG\ DC} + V_{D1}$

$\approx 11 + 1 = 12\ V$

$V_{TAG(rms)} = \frac{V_{TAG\ PK}}{\sqrt{2}} = \frac{12}{\sqrt{2}} = 8.5\ V_{rms}$

การคำนวณหา $I_{TAG\ DC}$

จาก Block Diagram จะได้

$I_{TAG\ DC} \approx I_{QREG} + I_{CPU} + I_{CARGATE\ \&\ ASK\ MOD} + I_{CAR\ DET} + I_{TX\ Driver}$

$\approx 0.2\ mA + 4\ mA + 2\ mA + 0.2\ mA + 1.0\ mA$

$\approx 7.40\ mA$

ดังนั้น $P_{TAG\ DC} \approx V_{TAG\ DC} \times I_{TAG\ DC} \approx (11 \times 7.4 \times 10^{-3}) \approx 81.4\ mW$

P_{TAG} WITH 25% MARGIN $\approx 81.4\ mW + \left(\frac{25}{100}\right)(81.4\ mW) \approx 101.8\ mW$

การคำนวณหาค่า

จาก $P_{TAG(AC)} \approx P_{TAG}$ WITH 25% MARGIN

$\frac{V^2_{TAG(rms)}}{R_{LAC}} \approx P_{TAG}$ WITH 25% MARGIN

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

การคำนวณหาค่า C_{FR} จาก

$C_{FR} \geq \frac{I_{TAG\ DC}}{F_r \Delta V_{DC\ in}}$, $\frac{1}{F_r} = t_{off} \approx 3.6$ ms เผื่อเป็น 4 ms

$\geq \frac{(I_{TAG\ DC})toff}{\Delta V_{DC\ in}}$, ให้ $\Delta V_{DC\ in} \approx 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\geq \quad \frac{(7.4\ \text{mA})(4\ \text{ms})}{1} \geq 30\ \mu\text{F}$$

จาก Continuous Excitation TAG Power Supply

จะได้ $V_{TAG\ DC} = V_{DC\ in\ PK} \approx V_O + V_{REG} + V_D + \Delta V$

$\therefore\ V_{TAG\ DC} \approx 5 + 2 + 1 + 1$

$V_{TAG\ DC} \approx 9\ \text{V}$

$V_{TAG\ PK} = V_{TAG\ DC} + V_{REGTIFIER}$

$\approx 9\ \text{V} + 2\ \text{V} \approx 11\ \text{V}$

$V_{TAG(rms)} = \frac{V_{TAG\ PK}}{\sqrt{2}} = \frac{11}{\sqrt{2}} = 7.8\ V_{rms}$

การคำนวณหา $I_{TAG\ DC}$ จะได้ว่า

$I_{TAG\ DC} \approx I_{Q\ REG} + I_{CPU} + I_{SUBCARRIER\ (HC4060)} + I_{HC08} + I_{LOAD\ MOD}$

$\approx 0.2\ \text{mA} + 4\ \text{mA} + 4.3\ \text{mA} + 1\ \text{mA} + 5\ \text{mA}$

$\approx 14.5\ \text{mA}$

ดังนั้น $P_{TAG\ DC} \approx V_{TAG\ DC} \times I_{TAG\ DC}$

$\approx (9 \times 14.5 \times 10^{-3}) \approx 130.5\ \text{mW}$

P_{TAG} WITH 25% MARGIN $\approx 130.5\ \text{mW} + \left(\frac{25}{100}\right)(130.5\ \text{mW}) \approx 163.1\ \text{mW}$

จาก $P_{TAG(AC)} \approx P_{TAG}$ WITH 25% MARGIN

$\frac{V^2_{TAG(rms)}}{R_{LAC}} \approx P_{TAG}$ WITH 25% MARGIN

ดังนั้น $R_{LAC} \approx \frac{V^2_{TAG(rms)}}{P_{TAG\ with\ 25\%\ Magin}} \approx \frac{(7.8)^2}{(168.1 \times 10^{-3})} = 373\ \Omega$

การคำนวณหาค่า C_{FR} จาก

$C_{FR} \geq \frac{I_{TAG\ DC}}{F_r \Delta V_{DC\ in}}$ ให้ $\Delta V_{DC\ in} \approx 0.2\ V_{PP}$

$\geq \frac{(14.5\ \text{mA})}{F_r \Delta V_{DC\ in}}$

F_r ที่ความถี่ 13.56 M จะได้ว่า

$F_r = 2F_P$

$= 2 \times 13.56 \times 10^6$

$= 27.12\ \text{MHz}$

จะได้ $C_{FR} \geq \frac{14.5 \times 10^{-3}}{27.12 \times 10^6 \times 0.2} \geq 2.67\ \text{nF}$

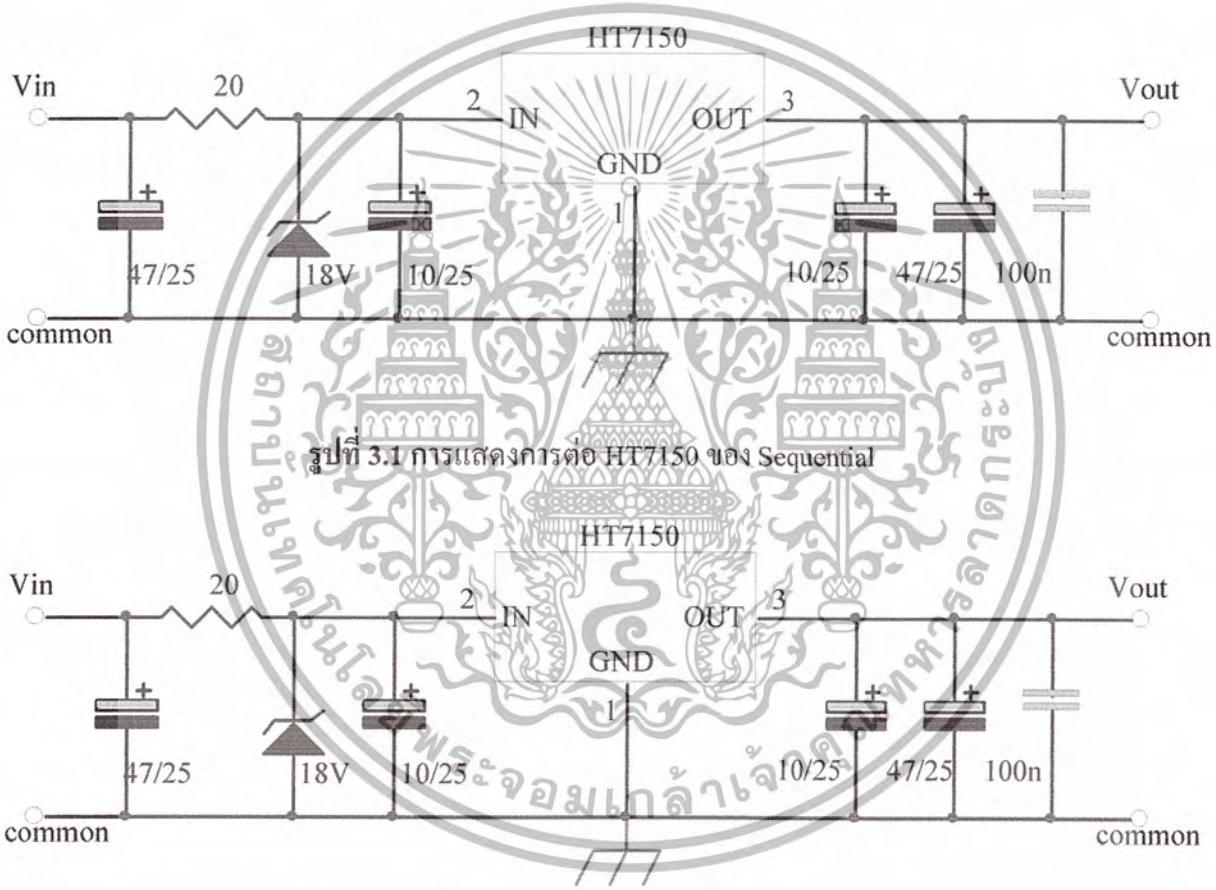
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกใช้ C_{FR} $= 2.2\ \mu F$

การออกแบบในส่วนของ TAG Voltage Regulator

สำหรับ TAG Voltage Regulator ของส่วน Sequential และ Load Modulation จะใช้ IC เบอร์ HT7150 ซึ่งเป็น High Voltage Regulator ซึ่งกินกระแส Iss current Consumption กรณี No Load น้อยมาก ซึ่ง HT7150 จะกินกระแส Iss current Consumption ประมาณ 5 – 9 μA ซึ่งจะทำให้ Line Regulation มีคุณภาพขึ้น

3.2 การออกแบบในส่วนของ TAG Voltage Regulator

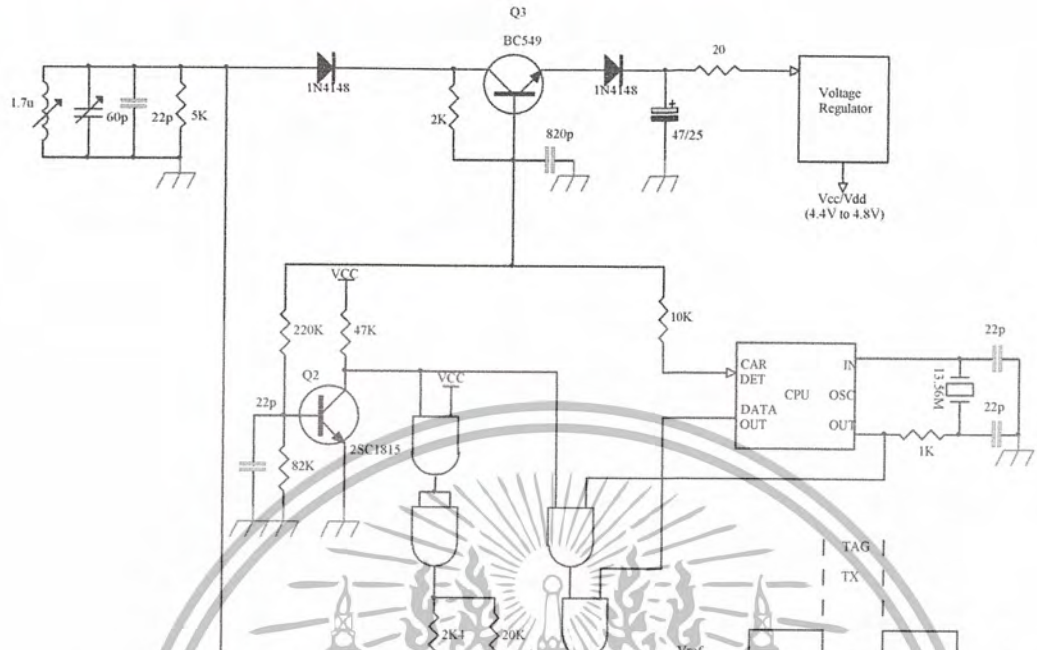


รูปที่ 3.1 การแสดงการต่อ HT7150 ของ Sequential

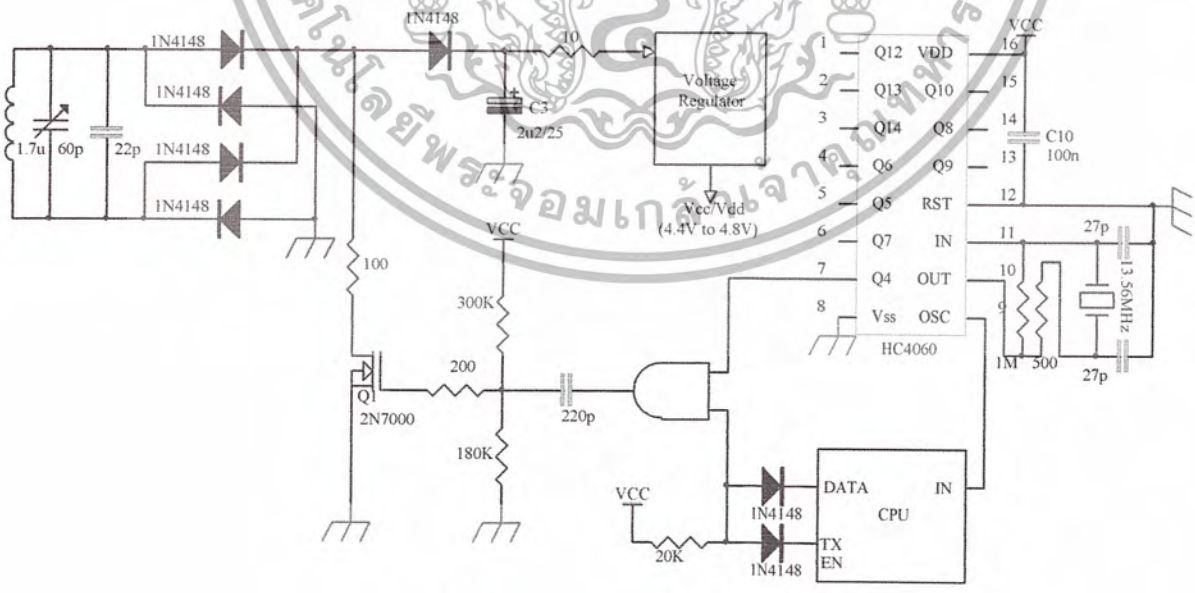
รูปที่ 3.2 การแสดงการต่อ HT7150 ของ Load Modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจร TAG (ทดสอบ) ของ Sequential และ Load Modulation



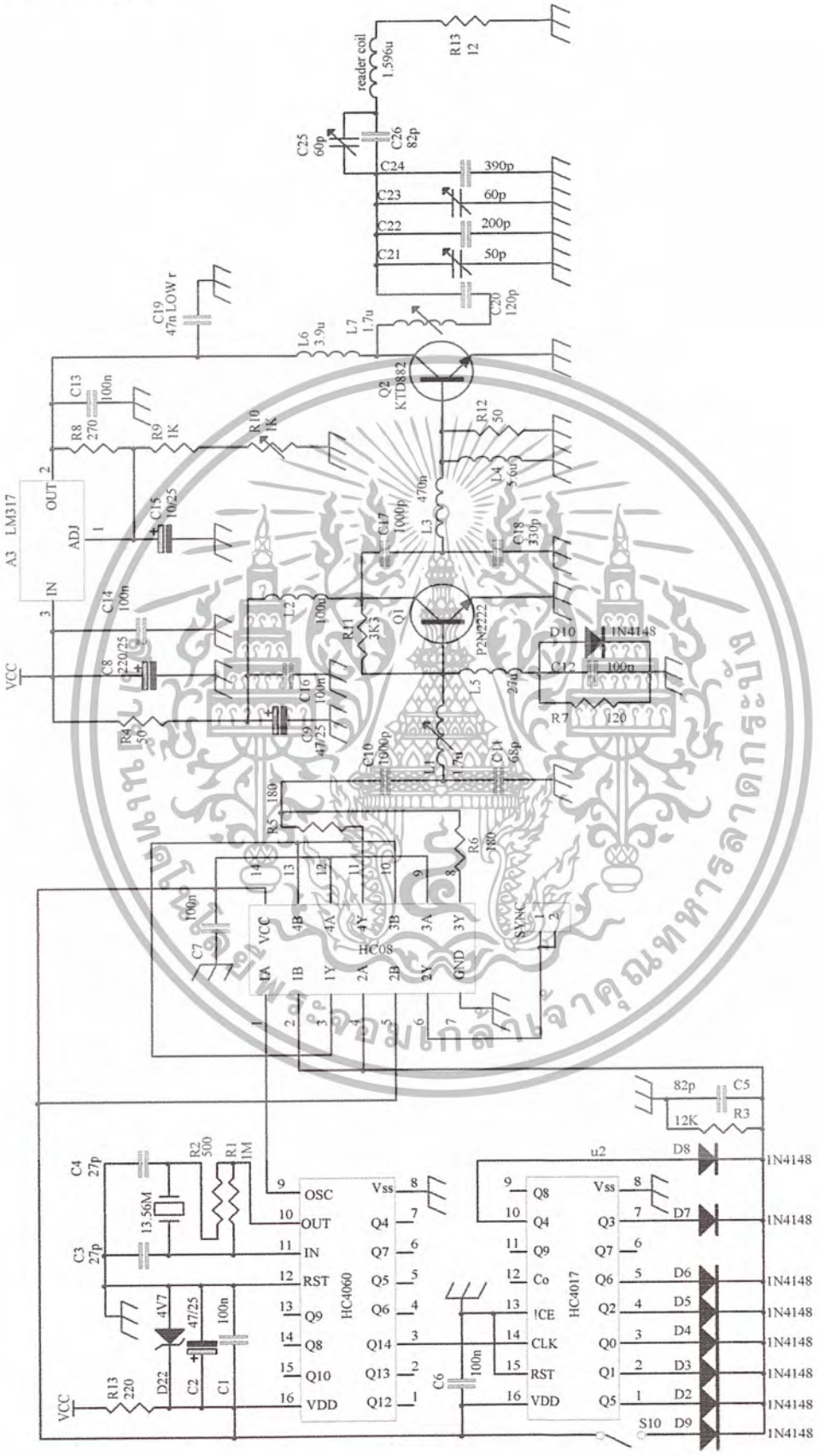
รูปที่ 3.3 วงจร Sequential TAG



รูปที่ 3.4 วงจร Load Modulation TAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรทดสอบ TAG



รูปที่ 3.5 วงจรทดสอบ TAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 เครื่องอ่าน (Reader)

3.5.1 ทฤษฎีของวงจรขับ Reader coil

จากสมการ AN710 ของ Microchip Ltd. จาก Equation 8 และ 10 จะได้

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

ดังนั้น (NI)rms ของ Reader coil drive จะได้

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

โดยที่ S = TAG Surface Area

α = มุมของ Coil ของ Reader กับ Coil ของ TAG

Q = Radius ของ Reader Coil

r = ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader

$(NQ_L)_{TAG}$ ขึ้นอยู่กับ TAG Coil และ Load ของ TAG Coil ถ้าทราบค่า $(NQ_L)_{TAG}$ ก็จะทราบค่า $(NI)_{rms}$ ของ Reader Coil

จากทฤษฎีของวงจร Parallel Resonant

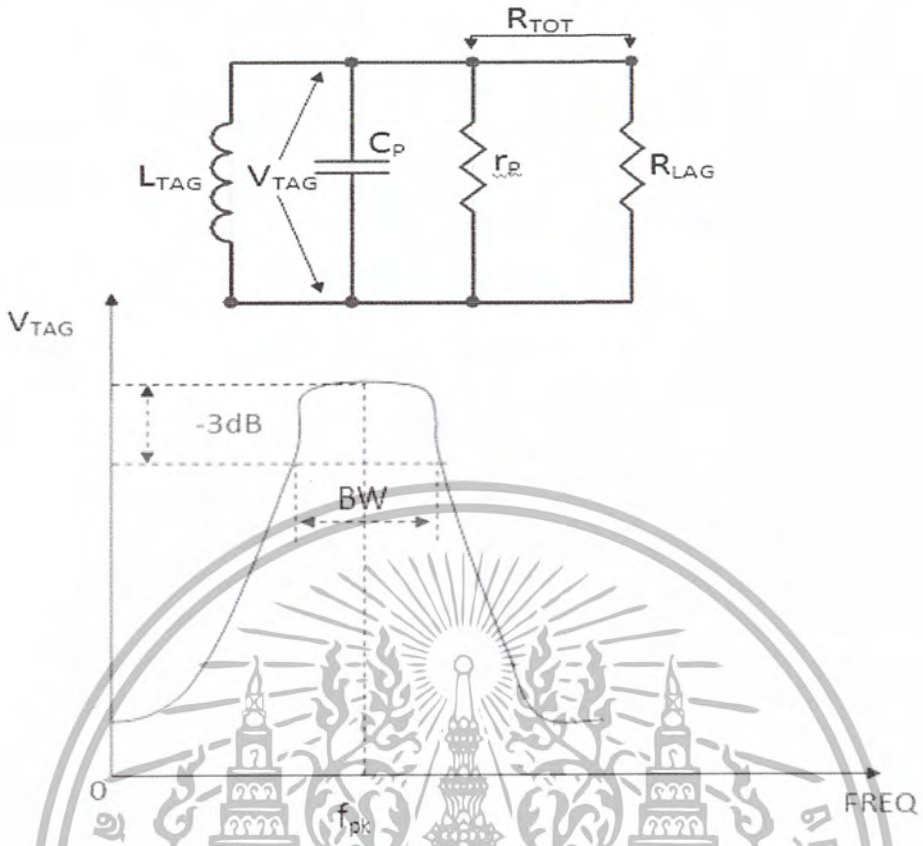
$$f_{pk} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{TAG}C_P}}$$

$$B_W = \frac{1}{2\pi C_P R_{TOT}}$$

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

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

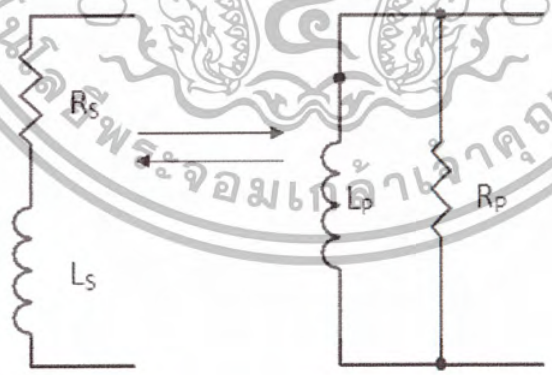
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจร Parallel Resonant and Frequency Response

โดยที่ r_p คือ Equivalent loss ของ L_{TAG} ในรูปวงจรขนาน

R_{LAC} คือ Equivalent Load ของ TAG



รูปที่ 3.7 Equivalent ของ TAG

(UN LOAD a)
$$Q_U = \frac{\omega L_S}{r_S} = \frac{r_p}{\omega L_P}$$

$$L_P = L_S\left(1 + \frac{1}{Q_u^2}\right)$$

$$r_p = r_s\left(1 + \frac{1}{Q_u^2}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การคำนวณของวงจรขับ Reader Coil

การคำนวณหาค่า $(NI)_{rms}$ ของวงจรขับ Reader Coil Drive TAG Coil เป็น Rectangular loop ขนาด $\approx (5 \times 8)cm^2$ จำนวน 1 รอบ (N=1) ใช้ลวด NO 27 ซึ่งมีค่า Bare diameter $\approx 0.36mm$ และมี Total diameter $\approx 0.4mm$ ใช้งานที่ความถี่ 13.56 MHz $V_{TAG\ DC} \approx 11.0V$ และ $I_{TAG\ DC} \approx 7.40mA$

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

*ขั้นตอนที่ 1 หาค่า L_{TAG}

เมื่อกำหนดให้

X : Average width of coil $\approx$ 5.0 cm

Y : Average Length of coil $\approx$ 8.0 cm

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

b : width 0f cross section

โดยที่ b $\cong$ [(จำนวนรอบของ TAG Coil × Total diameter) + (จำนวนช่องว่างเส้นลวด × 0.1)]

$\therefore b \cong [(1 \times 0.4) + (1 - 1)(0.1)]mm \approx 0.04$ cm

$c \cong X + Y + 2h = 5.0 + 8.0 + 2(0.04) = 13.08$ cm

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

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

$$L_S = \frac{0.0276(13.08 \times 1)^2}{(1.908 \times 13.08)+(9 \times 0.04)+(10 \times 0.04)} = \frac{0.0276 \times 171.0864}{24.96+0.36+0.4}$$

$L_{TAG} = L_S = 0.1836\ \mu H$

*ขั้นตอนที่ 2 หาค่า $r_{S(AC)}$, $r_{P(AC)}$ ของ coil

เมื่อกำหนดให้

l_T : ความยาวของลวดทั้งหมด $\approx 2N(X+Y) \approx 2 \times (1)(5+8) \approx 26$ cm ≈ 0.26 m

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

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

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

$\therefore r_{dc} \frac{Pl_T}{A} \approx \frac{(1.8 \times 10^{-8} \times 0.26)}{(101.78 \times 10^{-9})} = 0.0460\ \Omega$

δ : 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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า $d > 2\delta$ จะได้

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

$$A_{AC} \approx \frac{\pi}{4}[(0.36\times10^{-3}) - (0.36\times10^{-3} - (2\times17.92\times10^{-6}))]^2$$

เราสามารถหาค่า $r_{S(AC)}$ ได้ดังนี้ $A_{AC} \approx 1.00 \times 10^{-9}\, m^2$

$$\therefore r_{S(AC)} \approx \frac{Pl_T}{A_{AC}} = \frac{(1.8\times10^{-8}\times0.26)}{1.00\times10^{-9}} \approx 4.68\ \Omega$$

$$Qu \approx \frac{2\pi fLs}{r_{SAC}} \approx \frac{2\pi\times13.56\times10^{6}\times0.1836\times10^{-6}}{4.68} \approx 3.3425$$

เราสามารถหาค่า $r_{P(AC)}$ ได้ดังนี้

$$L_P = L_S\left(1 + \frac{1}{Q_u^2}\right) = 0.1836\times10^{-6}\left(1 + \frac{1}{(3.3425)^2}\right) = 0.2000\ \mu H$$

$$r_{P(AC)} \approx r_{S(AC)}(1+Q_u^2) = 4.68(1+(3.3425)^2) \approx 56.9664\ \Omega$$

* ขั้นตอนที่ 3.1 หาค่า C_p(Resonant), R_{TOT} , Q_2 , NQL (ในส่วนของ SEQ)

จากครั้งที่แล้วเราได้หาค่า $r_{L(AC)}$ มาแล้วว่ามีค่าเท่ากับ 710 Ω

เราสามารถหาค่า R_{TOT} ได้ดังนี้

$$R_{TOT} \approx r_{P(AC)} \,//\, R_{L(AC)} \approx (56.9664) \,//\, 710\ \Omega \approx 52.7352\ \Omega$$

$$C_P \approx \frac{1}{4\pi^2 f^2 L_{TAG}} \approx \frac{1}{4\pi^2(13.56\times10^{6})^2\times0.1836\times10^{-6}} = 750.32\ \text{pF}$$

$$BW \approx \frac{1}{2\pi C_P R_{TOT}} \approx \frac{1}{2\pi(750.32\times10^{-12})(52.7352)} \approx 4.0223\ \text{MHz}$$

$$Q_L \approx \frac{f_{PK}}{BW} \approx \frac{13.56\ MHz}{4.0223\ MHz} \approx 3.3712$$

$$NQ_L \approx (1)\times3.3712 \approx 3.3712$$

คำนวณเช่นเดิมตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 3 โดยใช้ N = 2, 3, 4 จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TAG (NQ_L) Product Calculation (ของ SEQ)

Loop size and wire parameter

Loop size ≈ (5.0 × 8.0) cm^2

Wire : Total dia 0.4 mm

NO.27 Bare dia 0.36 mm

TAG parameter: Operating FREQ 13.56 MHz

$V_{TAG\ DC} \approx 11.0$ v, $I_{TAG\ DC} \approx 7.40$ mA $P_{TAG\ DC} \approx 81.40$ mw

$V_{TAG\ DC} \approx 8.5\ V_{rms}$, P_{TAG} with 25% Margin ≈ 101.8 mw

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

Turns N	Height h:(cm)	Width c:(cm)	X+Y+2h c:(cm)	Ls (μH)	TOTwire Length l_T:(m)	$r_{S\,DC}$ (Ω)	$r_{S\,AC}$ (Ω)	Q_U	L_P (μH)	$r_{P\,AC}$ (Ω)	$R_{TOT\ AC}$ (Ω)	C_P (PF)	B_W (MHz)	Q_L	NQ_L
1	0.04	0.04	13.08	0.1836	0.26	0.0460	4.68	3.3425	0.2000	56.9664	52.7352	750.32	4.0223	3.3712	3.3712
2	0.04	0.09	13.08	0.7218	0.52	0.0920	9.36	6.5702	0.7385	413.4081	261.2736	190.86	3.1916	4.2487	8.4974
3	0.04	0.14	13.08	1.5967	0.78	0.1379	14.04	9.6894	1.6137	1332.1780	463.1560	86.28	3.9828	3.4046	10.2138
4	0.04	0.19	13.08	2.7913	1.04	0.1839	18.72	12.7040	2.8086	3039.9711	575.5723	49.35	5.6032	2.4200	9.6800

ตารางที่ 3.1 TAG (NQ_L) Product Calculation

* ขั้นตอนที่ 3.2 หาค่า C_P(Resonant), R_{TOT} , Q_2, NQL (ในส่วนของ Load Mod)

จากครั้งที่แล้วเราได้หาค่า $r_{L(AC)}$ มาแล้วว่ามีค่าเท่ากับ 373 Ω

เราสามารถหาค่า R_{TOT} ได้ดังนี้

$R_{TOT} \approx r_{P(AC)} // R_{L(AC)} \approx (56.9664) // 373\ \Omega \approx 49.4189\ \Omega$

$$C_P \approx \frac{1}{4\pi^2 f^2 L_{TAG}} \approx \frac{1}{4\pi^2 (13.56\times10^6)^2 \times 0.1836\times10^{-6}} = 750.32\ \text{pF}$$

$$BW \approx \frac{1}{2\pi C_P R_{TOT}} \approx \frac{1}{2\pi(750.32\times10^{-12})(49.4189)} \approx 4.2922\ \text{MHz}$$

$$Q_L \approx \frac{f_{PK}}{BW} \approx \frac{13.56\ MHz}{4.2922\ MHz} \approx 3.1592$$

$NQ_L \approx (1) \times 3.1592 \approx 3.1592$

คำนวณเช่นเดิมตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 3 โดยใช้ N = 2, 3, 4 จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TAG (NQ_L) Product Calculation (ของ Load Mod)

Loop size and wire parameter

Loop size ≈ (5.0 × 8.0) cm^2

Wire: Total dia 0.4 mm

NO.27 Bare dia 0.36 mm

TAG parameter: Operating FREQ 13.56 MHz

$V_{TAG\ DC} \approx 9.0$ v, $I_{TAG\ DC} \approx 14.5$ mA $P_{TAG\ DC} \approx 130.5$ mw

$V_{TAG\ DC} \approx 7.8\ V_{rms}$, P_{TAG} with 25% Margin ≈ 163.1 mw

Equivalent $R_{LAC} \approx 373\ \Omega$

Turns N	Height h:(cm)	Width c:(cm)	X+Y+2h c:(cm)	Ls (μH)	TOTwire Length L_T:(m)	$r_{S\ DC}$ (Ω)	$r_{S\ AC}$ (Ω)	Q_U	L_P (μH)	$r_{P\ AC}$ (Ω)	$R_{TOT\ AC}$ (Ω)	C_P (PF)	B_W (MHz)	Q_L	NQ_L
1	0.04	0.04	13.08	0.1836	0.26	0.0460	4.68	3.3425	0.2000	56.9664	49.4189	750.32	4.2922	3.1592	3.1592
2	0.04	0.09	13.08	0.7218	0.52	0.0920	9.36	6.5702	0.7385	413.4081	196.0830	190.86	4.2527	3.1887	6.3774
3	0.04	0.14	13.08	1.5967	0.78	0.1379	14.04	9.6894	1.6137	1332.1780	291.4079	86.28	6.3301	2.1421	6.4263
4	0.04	0.19	13.08	2.7913	1.04	0.1839	18.72	12.7040	2.8086	3039.9711	332.2352	49.35	9.7071	1.3969	5.5876

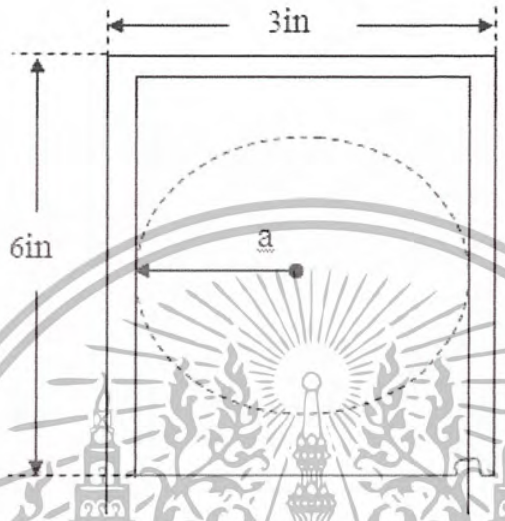
ตารางที่ 3.2 TAG (NQ_L) Product Calculation

* ขั้นตอนที่ 4.1 หาค่า $(NI)_{rms}$ ของ Reader Coil Drive (ในส่วนของ SEQ)

จาก

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

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



รูปที่ 3.8 Reader Coil (3×6) in^2 Loop

a = Radius ของ coil

Reader coil (3×6) in^2 Loop ประมาณผลว่าเป็น Loop วงกลม

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

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

S = TAG Surface Area

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

f = 13.56 MHz

ดังนั้นจะได้

$$(NI)_{rms} = \frac{2(8.5)(0.038115^2+r^2)^{3/2}}{2\pi(13.56\times10^6)(4.675\times10^{-3})(0.95)(4\pi\times10^{-7})(0.038115)^2(NQ_L)_{TAG}}$$

$$(NI)_{rms} = \frac{(24609.4764)(0.038115^2+r^2)^{3/2}}{(NQ_L)_{TAG}} \quad \text{(A-T)}$$

จากขั้นตอนที่ 3 $(NQ_L)_{TAG} \approx 3.36$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้ $(NI)_{rms} = \frac{(24609.47964)(0.038115^2 + r^2)^{3/2}}{3.36}$

$(NI)_{rms} = (7324.25)(0.038115^2 + r^2)^{3/2}$

r (Reader Range) : cm	$(NI)_{rms}$: m(A-T)
0.0	405.56
1.0	448.14
2.0	584.10
3.0	835.85
4.0	1235.38

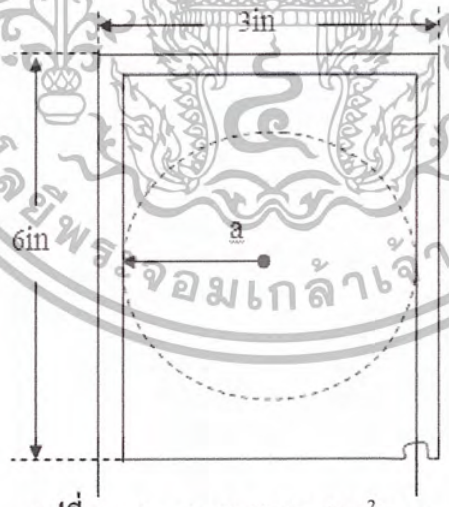
ตารางที่ 3.3 ตาราง Read Range กับ $(NI)_{rms}$ ที่ $(NO_L)_{TAG} = 3.36$

* ขั้นตอนที่ 4.2 หาค่า $(NI)_{rms}$ ของ Reader Coil Drive (ในส่วนของ Load Mod)

จาก

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

โดยที่ $V_{TAG\,(rms)} = 7.8\ V_{rms}$



รูปที่ 3.9 Reader Coil (3×6) in^2 Loop

a = Radius ของ coil

Reader coil (3×6) in^2 Loop ประมวลผลว่าเป็น Loop วงกลม

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

Cos α = 0.95[$\pm 18^{o}$ Margin]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S = TAG Surface Area

$\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}$ H/m

f = 13.56 MHz

ดังนั้นจะได้

$$(NI)_{rms} = \frac{2(7.8)(0.038115^2+r^2)^{3/2}}{2\pi(13.56\times10^6)(4.675\times10^{-3})(0.95)(4\pi\times10^{-7})(0.038115)^2(NQ_L)_{TAG}}$$

$$(NI)_{rms} = \frac{(24609.4764)(0.038115^2+r^2)^{3/2}}{(NQ_L)_{TAG}} \quad \text{(A-T)}$$

จากขั้นตอนที่ 3 $(NQ_L)_{TAG} \approx 3.13$

ดังนั้นจะได้ $(NI)_{rms} = \frac{(24609.47964)(0.038115^2+r^2)^{3/2}}{3.13}$

$$(NI)_{rms} = (7862.454)(0.038115^2+r^2)^{3/2}$$

r (Reader Range) : cm	$(NI)_{rms}$: m(A-T)
0.0	435.36
1.0	481.07
2.0	627.02
3.0	897.27
4.0	1326.16

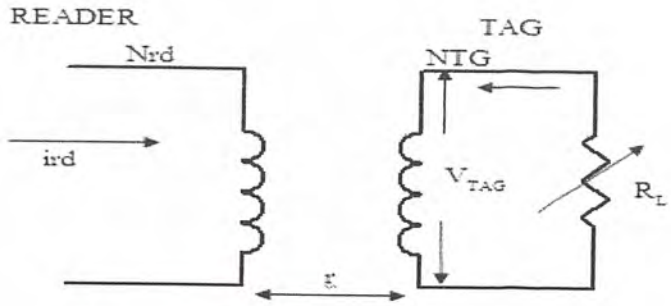
ตารางที่ 3.4 ตาราง Read Range กับ $(NI)_{rms}$ ที่ $(NQ_L)_{TAG} = 3.13$

3.5.3 การพิจารณาเลือกค่า $N.Q_L$ ของ TAG (ทั้ง SEQ และ Load Mod)

จากการคำนวณพบว่า จะมีค่า N ที่ทำให้เกิดค่า $N.Q_L$ Maximum ถ้าเราสามารถเลือกค่า N ที่ทำให้เกิดเงื่อนไข $N.Q_{L\,MAX}$ เราน่าจะเลือกค่า N นั้น เนื่องจากยิ่ง $(NQ_L)_{TAG}$ มีค่ายิ่งสูง ก็จะมีผลทำให้ $(NI)_{DRVE}$ ของ Reader มีค่าน้อย แต่อย่างไนก็ตาม อาจมีความขัดแย้งเกิดขึ้น กล่าวคือ

1) เพื่อให้เกิดผลของ Load Modulation เกิดขึ้นที่ Reader coil ชัดๆ เราควรให้ $N_{TAG} > N_{READER}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงการเหนี่ยวนำของ Reader coil & TAG

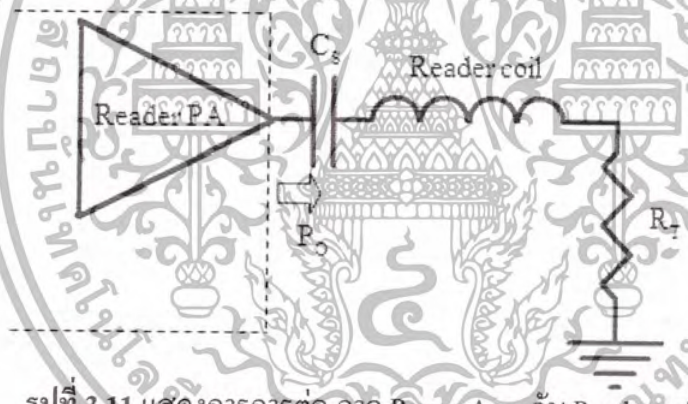
จากหลักการของ Transfer จะพบว่า

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

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

เพื่อให้ Δi_{rd} มีค่ามาก ค่าของ N_{TG}/N_{red} ควรมีค่ามากกว่า 1 หรือ $N_{TG} > N_{rd}$

2) รูปทั่วไปของการต่อวงจร ของ Reader coil จะอยู่ในรูปของวงจร resonant เพื่อให้มีกระแสไหลผ่านสูงสุด



รูปที่ 3.11 แสดงการการต่อ ภาค Power Amp กับ Reader coil

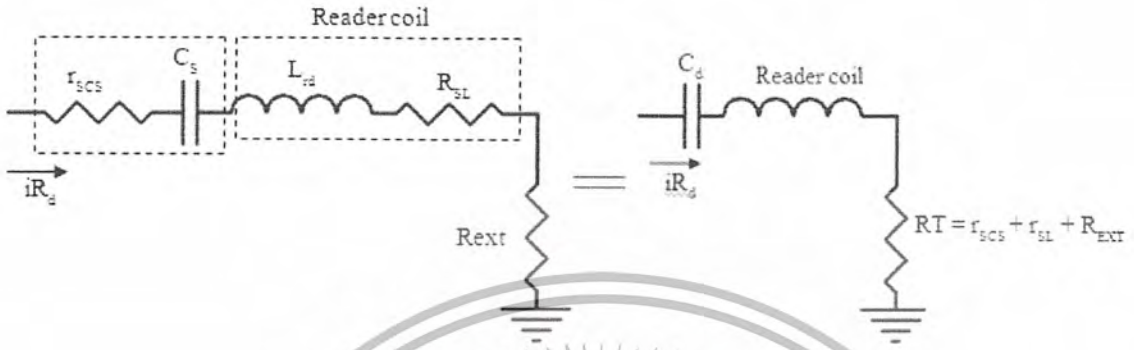
ที่สภาวะ Resonant $-jx_{CS} = +jx_{Lrd}$ $(X_C = \frac{1}{\omega C}, X_L = \omega L)$

ถ้าเป็น L,C ในอุดมคติ $jx_{Lrd} - jx_{CS}$ จะมีค่าเท่ากับศูนย์ที่ความถี่ Resonant กำลังไฟฟ้า P_o ที่วงจร PA ขับออกมาจะสะท้อนกลับไปยัง PA ทั้งหมด หาก R = 0 จะทำให้เกิดความร้อนที่ PA อาจทำให้ PA เกิดความเสียหาย สภาวะที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า Total Mismatch หรือ SWR = ∞

เพื่อมิให้กำลังไฟฟ้า P_o ที่วงจร PA ขับออกมา สะท้อนกลับไปยัง PA จะต้องต่อ R เพิ่มให้กับวงจรเพื่อดูดกลืน กำลังไฟฟ้าที่ PA ขับออกมา ถ้า R มีค่าเท่ากับ R_o ของ PA จะเกิดสภาวะ Maximum Power Transfer P_o ที่ PA ขับออกมา จะไม่สะท้อนกลับคืน PA เลย PA จะมีความร้อนต่ำสุด สภาวะนี้เรียกว่า Perfect Matching หรือ SWR = 1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการต่อวงจรเราจะพยายามทำให้ R = R_O ของ PA ซึ่งในทางปฏิบัติทำให้ยากมาก ยิ่งไปกว่านั้น L และ C ไม่ใช่ L , C ในอุดมคติ ความต้านทานที่เกิดขึ้นจริงในวงจร จะเป็นผลรวมของ r_{SCS} และ r_{SL} และ R_{EX} ในวงจรภายนอก



รูปที่ 3.12 แสดง Equivalent Reader coil

กำลังไฟฟ้า P_O ที่ PA จะต้องขับ จะมีค่า

$$P_O \approx i_{rd\,rms}{}^2 R_T$$

ซึ่ง $$R_T = r_{SCS} + r_{SL} + R_{ext}$$

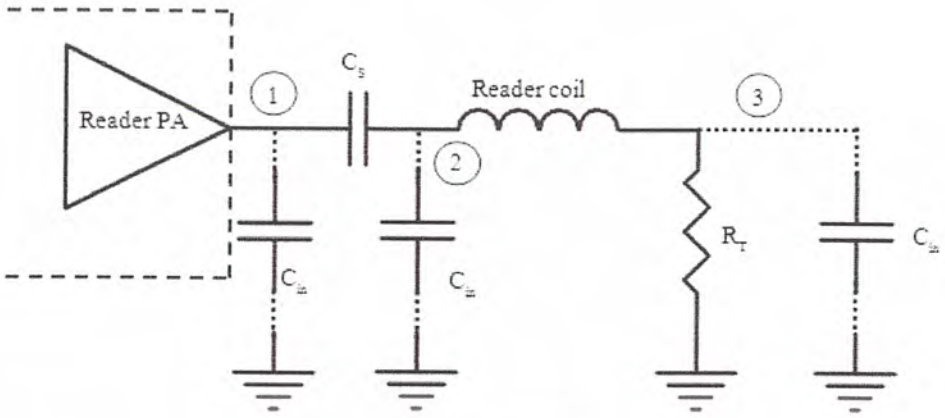
และ $$i_{rd\,rms}{}^2 = \frac{(NI)_{rms}}{N_{Reader\ coil}}$$

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

ในขณะที่จำนวนรอบของ Reader เพิ่มขึ้น ถ้า $N_{TG} < N_{rd}$ ผลของ Load Modulation ปรากฏต่อ Reader coil จะลดลงหาก N_{TG} ที่ทำให้ $(N.Q_L)_{TAG}$ MAXIMUM มีค่าต่ำๆ เช่น N_{TG} ที่ทำให้ $(N.Q_L)_{TAG}$ มีค่าเท่ากับ 1 เป็นไปไม่ได้เลยที่จะทำให้ $N_{TG} > N_{rd}$ ในกรณี เพื่อให้เกิดผลของ Load Modulation ที่ชัดเจนที่สุด N_{rd} จะต้องมีค่าเท่ากับ 1 นั้นคือ i_{rd} จะต้องมีค่ามากขึ้น ทำให้ P_O ของ P_A มีค่าเพิ่มขึ้น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงการต่อ C_{in} ของวงจร data demod ของ Reader coil

ที่ Resonant

$$\Delta v_1 = \Delta i_{rd} R_T$$

$$\Delta v_3 = \Delta i_{rd} (R_T - r_{SCS} - r_{SL})$$

$$\Delta v_2 = \Delta i_{rd} (+ j\omega L_{rd} + (R_T - r_{SCS}))$$

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

ค่า R_T นอกจาก จะมีผลต่อค่า P_O ของ P_A แล้ว ยังมีผลต่อ BW ของ Reader cct ด้วย BW ควรมีค่ามากพอที่จะผ่าน Modulated Side Band

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

เนื่องจาก R_T เป็นผลรวมของ r_{SCS} , r_{SL} และ R

R_T ค่าต่ำลง - P_O ของ P_A น้อยลง

- BW แคบลง
- วงจร Matching จะมีผลมากขึ้น เราอาจคำนวณค่า r_{SL} แต่ $r_{SCS} \approx ?$

R_T ค่าเพิ่มขึ้น - P_O ของ P_A เพิ่มขึ้น

- BW กว้างขึ้น
- วงจร Matching จะมี error น้อยลง และปรับง่ายกว่า

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 การหาค่า Power coil Drive ให้กับ TAG (ในส่วนของ SEQ)

จากตารางที่ 3.1 TAG ($N.Q_L$) Product calculation เลือกจำนวนรอบของ TAG coil จำนวน 3 รอบ (N=3) จะได้ $(N.Q_L)_{TAG} = 9.71$

ดังนั้นจากสมการ AN710 ของ Microchip Ltd. จาก Equation 8 และ 10 จะได้

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

จะได้ $$(NI)_{rms} = \frac{(24609.47964)(0.038115^2 + r^2)^{3/2}}{(9.71)}$$

$$(NI)_{rms} = (2534.45)(0.038115^2 + r^2)^{3/2} \quad \text{(A-T)}$$

R (Read Range) : cm	$(NI)_{rms}$: m(A-T)
0.0	140.34
1.0	155.07
2.0	202.12
3.0	289.23

ตารางที่ 3.5 Read Range กับ $(NI)_{rms}$ ที่ $(NQ_L)_{TAG} = 9.71$

จากตารางที่ 3.5 เลือก $(NI)_{rms} = 282.23$ m (A-T) ที่ r = 3 cm

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

เลือก $R_T \approx 12\ \Omega$ (Q = 9)

ดังนั้นจะได้ I_{rms} จาก $(NI)_{rms} = 282.23$ m (A-T)

ที่ $N \approx 1.8$ จะได้ $I_{rms} \approx \frac{289.23 \times 10^{-3}}{1.8}$

$I_{rms} \approx 160.69\ mA_{rms}$

ดังนั้นจาก $P = I^2R$

จะได้ $P_O = (I_{rms})^2 R_L$, เมื่อ $R_L = 12\ \Omega$

จะได้ $P_O \approx (0.16068)^2(12) \approx 309.82$ mW

Margin 50% จะได้ $P_O \approx 309.82\ mw + \frac{50}{100}(309.82mW) \approx 464.73$ mW

ที่ $V_{CC} = 12$ V

$$(V_{CC} - V_{SAT}) = 9\ V,\ Z_C \approx \frac{(V_{CC} - V_{SAT})^2}{2P_O} \approx \frac{(9)^2}{2(464.73 \times 10^{-3})} \approx 87.15\ \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5 การหาค่า Power coil Drive ให้กับ TAG (ในส่วนของ Load Mod)

จากตารางที่ 3.2 TAG ($N.Q_L$) Product calculation เลือกจำนวนรอบของ TAG coil จำนวน 3 รอบ (N=3) จะได้ $(N.Q_L)_{TAG} = 5.97$

ดังนั้นจากสมการ AN710 ของ Microchip Ltd. จาก Equation 8 และ 10 จะได้

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

จะได้

$$(NI)_{rms} = \frac{(24609.47964)(0.038115^2 + r^2)^{3/2}}{(5.97)}$$

$$(NI)_{rms} = (4122.191)(0.038115^2 + r^2)^{3/2} \quad \text{(A-T)}$$

R (Read Range) : cm	$(NI)_{rms}$: m(A-T)
0.0	228.25
1.0	252.22
2.0	328.74
3.0	470.43

ตารางที่ 3.6 Read Range กับ $(NI)_{rms}$ ที่ $(NQ_L)_{TAG} = 5.97$

จากตารางที่ 3.6 เลือก $(NI)_{rms} = 470.43$ m (A-T) ที่ r = 3 cm

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

เลือก $R_T \approx 12\ \Omega$ (Q = 9)

ดังนั้นจะได้ I_{rms} จาก $(NI)_{rms} = 470.43$ m (A-T)

ที่ $N \approx 1.8$ จะได้ $I_{rms} \approx \frac{470.43 \times 10^{-3}}{1.8}$

$$I_{rms} \approx 261.35\ mA_{rms}$$

ดังนั้นจาก $P = I^2R$

จะได้ $P_O = (I_{rms})^2 R_L$, เมื่อ $R_L = 12\ \Omega$

จะได้ $P_O \approx (0.26135)^2(12) \approx 819.65$ mw

Margin 50% จะได้ $P_O \approx 819.65\ mw + \frac{50}{100}(819.65mw) \approx 1.23$ W

ที่ $V_{CC} = 12$ V

$$(V_{CC} - V_{SAT}) = 9\ V, Z_C \approx \frac{(V_{CC} - V_{SAT})^2}{2P_O} \approx \frac{(9)^2}{2(1.23)} \approx 33\ \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.6 Reader coil MATCHING CCT (แบบ Multi Mode)

ทำการพันขดลวดของ Reader โดยใช้ Loop (3×6) in^2 จำนวน 1.8 รอบ (N = 1.8) แล้วทำการวัดหาค่าความเหนี่ยวนำ ($L_{LOW\ FREQ}$) และความถี่ (f_{SELF})

จะได้ $L_{LOW\ FREQ} = 1.54\ \mu H$

$f_{SELF} = 72.2$ MHz

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

$$C_P = \frac{1}{4\pi^2 (72.2\times10^6)^2 (1.54\times10^{-6})} = 3.11\ PF$$

ดังนั้นที่

f = 13.56 MHz $XL_{LOW\ FREQ} = \omega L_{LOW\ FREQ} = (2\pi \times 13.56 \times 10^6)(1.54 \times 10^{-6})$

จะได้ $XL_{LOW\ FREQ} = 131.21\ \Omega$

และ $X_{CP} = \dfrac{1}{\omega C_P} = \dfrac{1}{(2\pi\times13.56\times10^6)3.11\times10^{-12}} = 3773.98\ \Omega$

ดังนั้น $Z = (jXL)\ //\ (-jXc)$

$Z = (j131.21)\ //\ (-j3773.98)$

$Z = +j135.94$

$\therefore L_{READER\ COIL} = \dfrac{135.94}{2\pi\times13.56\times10^6} = 1.596\ \mu H$

รูปที่ 3.14 แสดง Reader coil MATCHING CCT

จากวงจร MATCHING

จะได้ค่า R_1 เป็น $(Q^2 + 1)R_1^2 - (R_2 + 2QX_L)R_1 + (X_L)^2 = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการ MATCHING $R_2 = 50\ \Omega$ กับ R_1 โดยใช้ Loop (3X6) in^2 X_L ที่ 13.56 MHz = +j135.94 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง Q และ R_1 ดังตารางที่ 3.7

Q	R_1 (Ω)	
3	38.25	48.32
5	22.21	31.99
7	16.08	22.98
9	12.69	17.76
11	10.51	14.42
13	8.98	12.10
15	7.85	10.42

ตารางที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Q และ R_1 Loop (3X6) in^2 X_L = +j135.94 และ $R_2 = 50\ \Omega$

3.6 วงจรที่ใช้ในส่วนของเครื่องอ่าน (Reader)

3.6.1 AC source Power Amp ของ Reader

วงจรในส่วนของ AC source Power Amp ของ Reader จะประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

1.) วงจร Oscillator 13.56 MHz และ AND Gate

2.) วงจร Sequential ON (8.4 ms), OFF (3.6 ms)

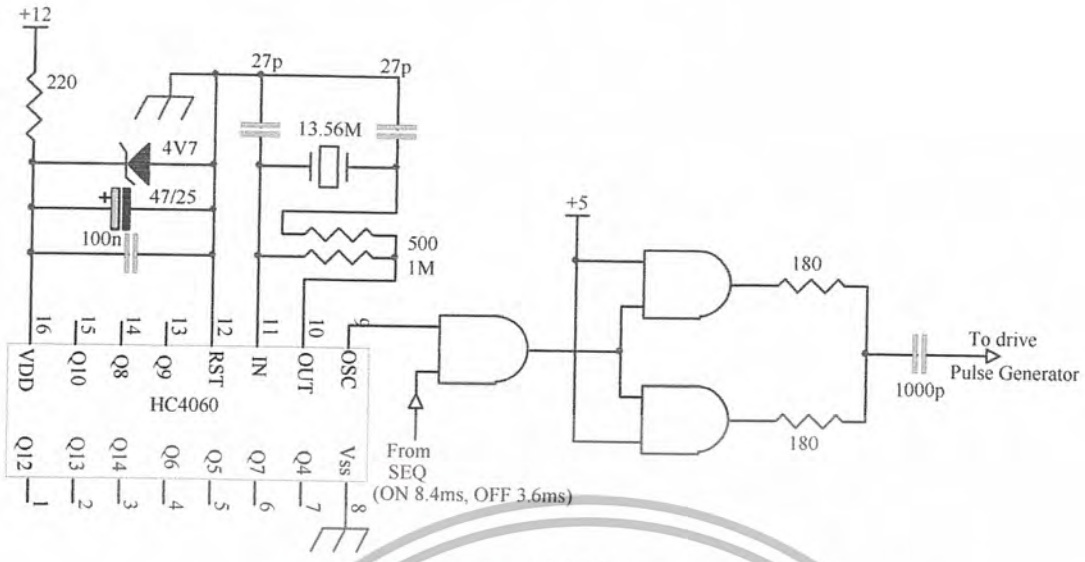
3.) วงจร ภาครับ (Drive)

4.) วงจร ภาคขยาย (Power Amp)

1.) วงจร Oscillator 13.56 MHz และ AND Gate

ในส่วนของวงจร Oscillator ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณความถี่ 13.56 MHz เพื่อส่งสัญญาณความถี่ 13.56 MHz มา AND กับสัญญาณ SEQ CTL ที่ได้รับจากวงจร Sequential ON (8.4 ms), OFF (3.6 ms) และทำหน้าที่เป็นความถี่ Input ให้กับวงจรภาคขับ (Drive) และก่อนเข้า Input จะผ่านวงจร Buffer ซึ่งใช้ IC HC08 เป็น Buffer

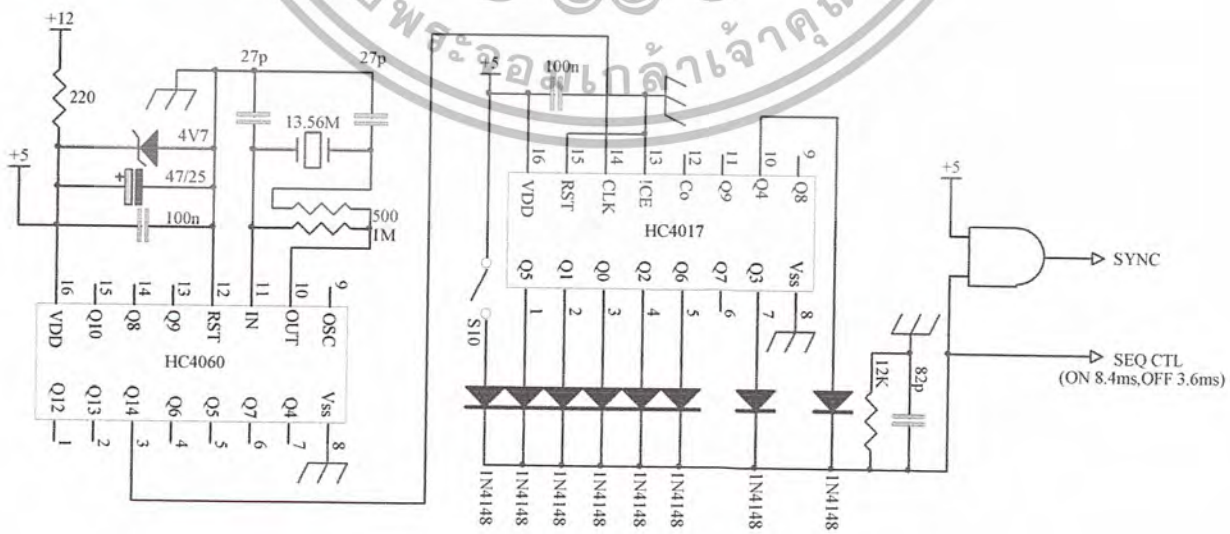
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 วงจร Oscillator 13.56 MHz และ AND Gate

2.) วงจร Sequential ON (8.4 ms), OFF (3.6 ms)

ในส่วนของวงจร Sequential ON (8.4 ms), OFF (3.6 ms) จะสร้างโดยใช้ HC4060 เป็นตัวสร้าง Pulse Generator ซึ่งเลือกความถี่ Clock Output = 827.64 Hz (13.56 M / 2^{14}) หรือมีคาบ (T) ของ Clock Output ประมาณ 1.2 ms จากนั้นนำความถี่ Output ที่ได้จาก HC4060 ไปป้อนเป็น Clock Frequency ให้กับ HC4017 ซึ่งมีความถี่ Clock = 827.64 Hz ซึ่ง Output HC4017 = (827.64 / 10) = 82.764 Hz แต่ต้องการให้ Output ของ HC4017 ON (8.4 ms), OFF (3.6 ms) จึงนำขา Output ของ HC 4017 ซึ่งประกอบไปด้วย Q_0, Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6, มารวมกัน (OR) จากนั้นจึงนำสัญญาณ Sequential นี้ไป AND กับสัญญาณความถี่ 13.56 MHz ที่ได้จากวงจร Oscillator 13.56 MHz และใช้ AND Gate อีกสองตัว ทำหน้าที่เป็น Buffer โดย AND Gate จะใช้ HC08



รูปที่ 3.16 วงจรSequential ON (8.4 ms), OFF (3.6 ms)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) วงจร ภาคขับ (Drive)

ในส่วนของวงจรภาคขับ (Drive) จะทำหน้าที่ในการขับกำลังที่เหมาะสมให้กับภาค Power Amp และในส่วนของวงจร Oscillator 13.56 MHz และ AND GATE ที่สร้าง Pulse Generator ให้กับวงจรภาคขับ (Drive)

$P_O \approx 202$ mw

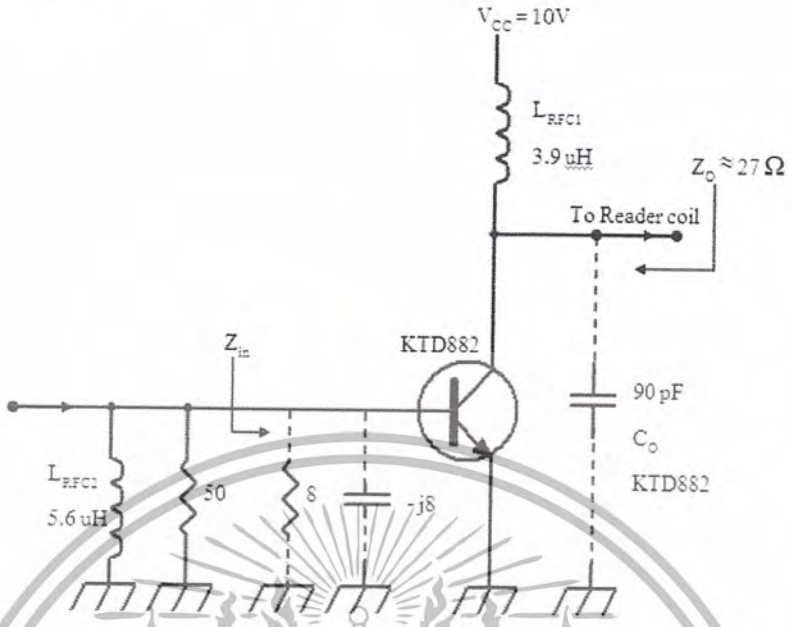
$$Re(Z_O) \approx \frac{V_{CC}-V_{CE\,SAT})^2}{2P_O} \approx 300\ \Omega$$

$(V_{CC} - V_{SAT}) \approx 11$ V ; ที่ $V_{CC} = 12$ V, $V_{CE\,SAT} \approx 1$ V

รูปที่ 3.17 วงจรภาคขับ (Drive)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) วงจร ภาคขยาย (Power Amp)



รูปที่ 3.18 วงจรภาค Power Amp

วงจรภาคPower Amp จะทำหน้าที่ในการขยายกำลังให้สูงขึ้นเพื่อให้มีกำลังส่งเพียงพอที่จะส่งไปยังส่วนของ TAG ผ่านทาง Reader coil ซึ่งจากการคำนวณ Power ที่เพียงพอที่จะขับตัว TAGให้สามารถทำงานได้คือ $P_O \approx 819.65\ mw$ แต่ Margin 50% จะได้ $P_O \approx 1.23$ W แต่เพื่อที่จะให้มั่นใจว่าสามารถส่งกำลังให้กับตัว TAG ได้เพียงพอจึงออกแบบให้ภาค Power Amp มีการขยายกำลังให้สูงขึ้นเป็น $P_O \approx 1.5$ W

ในส่วนของการออกแบบวงจรภาค Power Amp จะให้ทรานซิสเตอร์เบอร์ KTD 882 ดังที่แสดงในรูปที่ 3.17 ทำการออกแบบให้มีอัตราขยายกำลังประมาณ 8.7 dB ที่ Power input $\approx$ 202 mw (ได้มาจาก output ของภาคขับ) จะได้ output ประมาณ 1.5 W และมีอิมพีแดนซ์ทางด้าน Input (Z_{in}) ประมาณ 8 // - j8 Ω

การหาค่า Z_O โดยประมาณ โดย $P_O(max) \approx 1.5$ W และ $V_{CC} = 10$ V , $V_{CE(SAT)} \approx 1$ V

จะได้ $V_O(pk) \approx V_{CC} - V_{CE}(sat) \approx 9$ V

จาก $P_O(max) \approx \dfrac{(V_O(pk))^2}{2Z_O}$

ดังนั้น $R_e(Z_O)$

$$R_e(Z_O) \approx \frac{(9)^2}{2(1.5)} \approx 27\ \Omega$$

การประมาณค่าตัวเก็บประจุที่ Output ของภาค Power Amp จะมีค่าประมาณ

$C_{O\,KTD}\,882 \approx 90\,PF$ การคำนวณในส่วนของ L REC 2 ควรมีค่าสูงกว่า $R_e(Z_{in})$ มากๆ

ดังนั้น $XL_{RFC\,2}$ จะมีค่ามากกว่า $50 \times 8 \geq 400\ \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore L \geq \frac{XL_{REC\,2}}{2\pi f} \geq \frac{400}{2\pi \times 13.56 \times 10^6} \geq 4.69\ \mu H$$

เลือกใช้ $L_{RFC\,2} = 5.6\ \mu H$

การคำนวณค่าในส่วนของ $L_{RFC\,1}$ ควรมีค่าสูงกว่า $R_e(Z_O)$ มากๆ ดังนั้น $X_{LRFC\,1}$ จะมีค่ามากกว่า $12 \times 27 = 324\ \Omega$

$$\therefore L \geq \frac{X_{LREC\,1}}{2\pi f} \geq \frac{324}{2\pi \times 13.56 \times 10^6} \geq 3.8\ \mu H$$

เลือกใช้ $L_{RFC\,1} = 3.9\ \mu H$

3.7 วงจรแมทชิ่ง (Matching Circuit)

วงจรแมทชิ่ง (Matching Circuit) เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรหรือโครงข่าย เพื่อให้วงจรหรือโครงข่ายทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพหรือเพื่อให้เกิดการถ่ายทอดกำลังสูงสุด

3.7.1การออกแบบวงจรแมทชิ่งระหว่าง Pulse Generator กับภาคขับ (drive)

โดยที่ Z_Oของ Pulse Generator = 400 Ω, Z_{in} ของภาครับ (drive) = 50 Ω

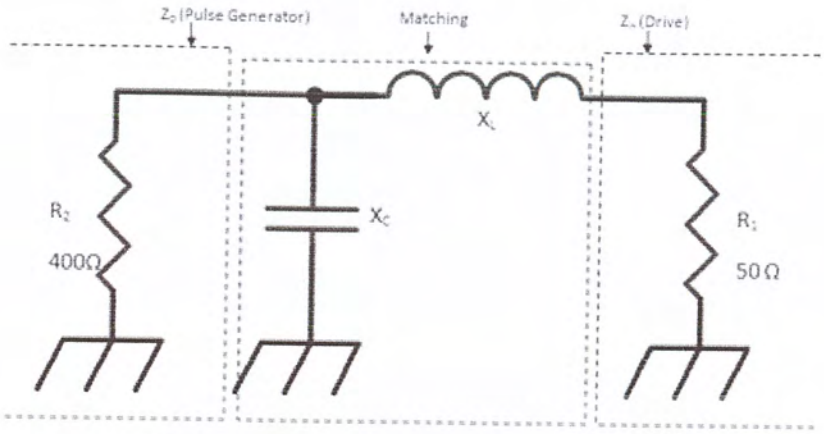
รูปที่ 3.19 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้งสองด้านที่จะทำการแมทชิ่งระหว่าง Pulse Generator กับ ภาคขับ Drive

จะได้

Z_o ของ Pulse Generator ≈ 400 Ω (การประมาณค่าจากการทดลอง)

Z_{in} ของภาคขับ (drive) = 50 Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 รูปแบบของวงจรที่ใช้ในการแมทชิ่งระหว่าง Pulse Generator กับ ภาคขับ Drive

หาค่า x_c จาก x_c $= \dfrac{R_2}{\sqrt{\frac{R_2}{R_1}-1}}$

$= \dfrac{400}{\sqrt{\frac{400}{50}-1}}$

$= 151.19\ \Omega$

หาค่า x_L จาก x_L $= R_1\sqrt{\dfrac{R_2}{R_1}-1}$

$= 50\sqrt{\dfrac{400}{50}-1}$

$= 132.28\ \Omega$

ที่ f = 13.56 MHz $C = \dfrac{1}{\omega x_C}$

$= \dfrac{1}{(2\pi\times13.56\times10^6)(151.19)}$

$= 77.63$ PF

∴ เลือก C $= 68$ PF

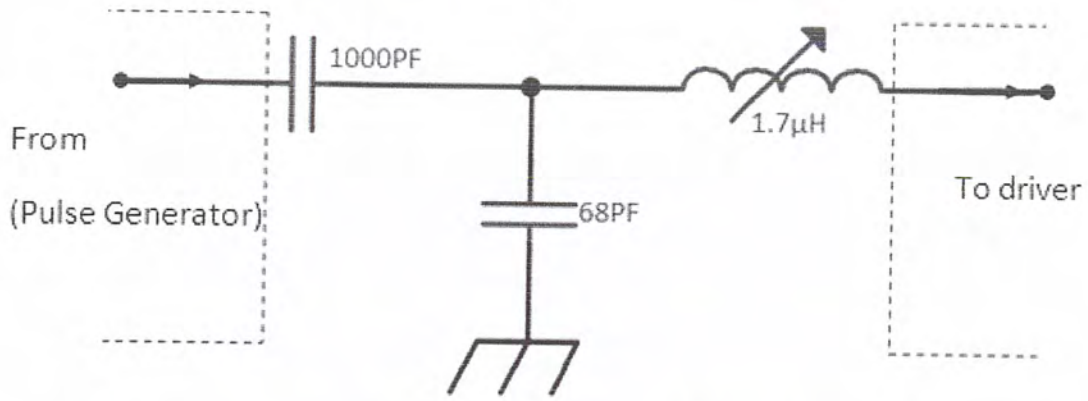
ที่ f = 13.56 MHz $L = \dfrac{x_L}{\omega}$

$= \dfrac{132.28}{2\pi\times13.56\times10^6}$

$= 1.55\ \mu$H

∴ เลือก L $= 1.7\ \mu$H (แบบปรับค่าได้)

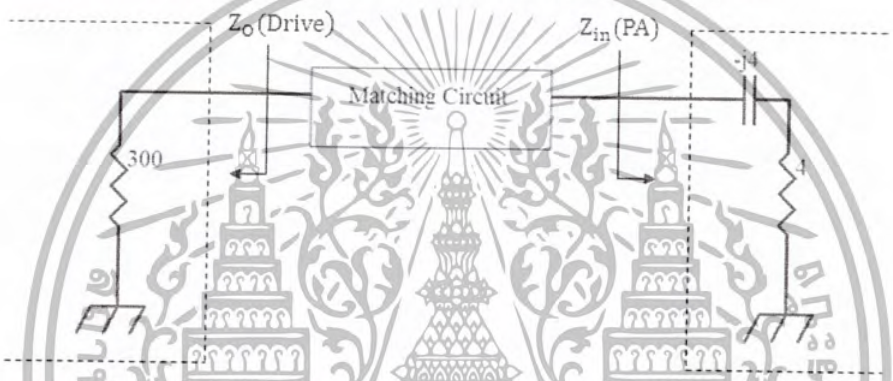
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 แสดงวงจรแมทชิ่งระหว่าง Pulse Generator กับ ภาคขับ Drive ที่ใช้งานจริง

หมายเหตุ : C Coupling ควรเลือก X_C น้อยๆ

3.7.2การออกแบบวงจรแมทชิ่งระหว่าง ภาคขับ (drive) กับ ภาค Power Amp

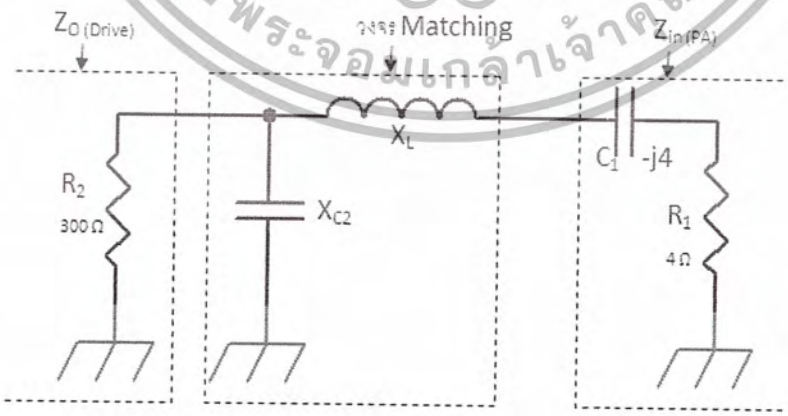


รูปที่ 3.22 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้งสองด้านที่จะทำการแมทชิ่งระหว่าง ภาคขับ Drive กับ ภาค Power Amp

จะได้

Z_O ของภาครับ Driver $\approx 300\ \Omega$

Z_{in} ของภาค Power Amp $\approx 8\ //\ -j8\ \Omega$



รูปที่ 3.23 รูปแบบของวงจรที่ใช้ในการแมทชิ่งระหว่าง ภาคขับ Drive กับ ภาค Power Amp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า X_{C_2} จาก X_{C_2} = $R_2\sqrt{\frac{R_1}{R_2-R_1}}$

= $300\sqrt{\frac{4}{300-4}}$

≈ $35\ \Omega$

X_L จาก X_L = $X_{C_1}+\frac{R_1R_2}{X_{C_2}}$

= $4+\frac{4\times300}{35}$

= $38.29\ \Omega$

ที่ f = 13.56 M C_2 = $\frac{1}{\omega X_{C2}}$

= $\frac{1}{2\pi\times13.45\times10^6(35)}$

= 335 PF

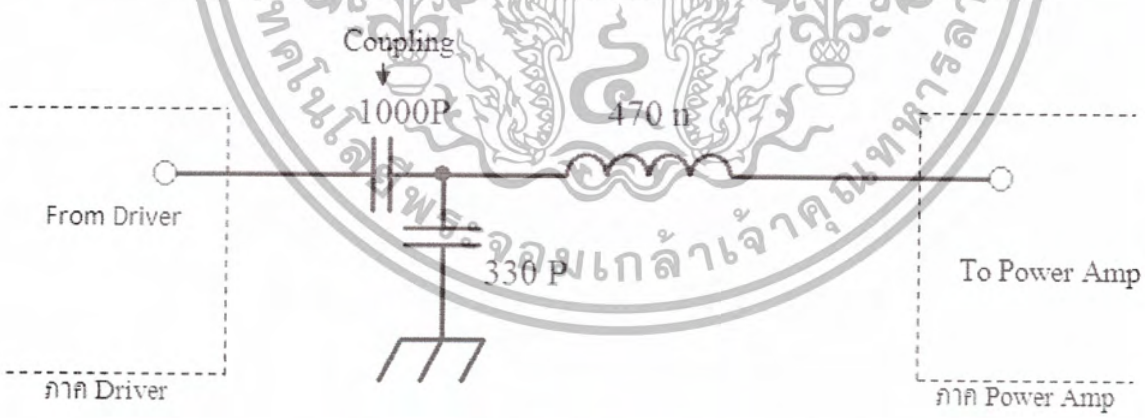
∴ เลือก C_2 = 330 PF

ที่ f = 13.56 M L = $\frac{X_L}{\omega}$

= $\frac{38.29}{2\pi\times13.56\times10^6}$

= 449.4 nH

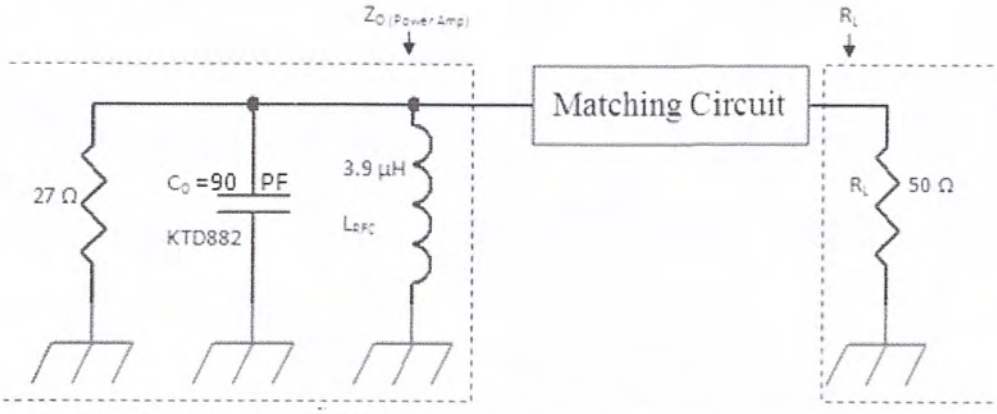
∴ เลือก L = 470 nH



รูปที่ 3.24 แสดงวงจรแมทชิ่งระหว่าง Pulse Generator กับ ภาคขับ Drive ที่ใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

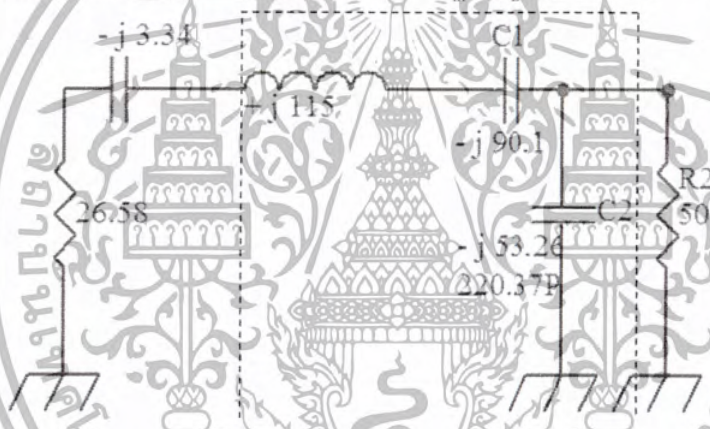
3.7.3 การออกแบบวงจรแมทชิ่งระหว่างภาค Power Amp กับโหลด 50 Ω



รูปที่ 3.25 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้ง 2 ด้านที่จะทำการแมทชิ่งภาค Power Amp กับโหลด 50 Ω

ภาค Power Amp

เมื่อ Z_O ของภาค Power Amp = 27 // -j214.66 Ω $Z_{in} = R_L = 50\ \Omega$



รูปที่ 3.26 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้ง 2 ด้านที่จะทำการแมทชิ่งภาค Power Amp กับโหลด 50 Ω

หาค่า X_{C2} จาก $X_{C2} = R_2\sqrt{\frac{R_1}{R_2 - R_1}}$

$$= 50\sqrt{\frac{26.58}{50-26.58}}$$

$$= 53.26\ \Omega$$

หาค่า $X_{C1} = QR_1$

จากการออกแบบกำหนดให้ BW ≈ 4 MHz ที่ความถี่ 13.56 MHz

จะได้ $Q = \frac{f_P}{BW} = \frac{13.56 \times 10^6}{4 \times 10^6}$

$\therefore$ $Q = 3.39$

$\therefore$ จะได้ $X_{C1} = 3.39 \times 26.58$

$X_{C2} = 90.1\ \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X_L จาก $X_L = X_{C1} + \left(\frac{R_1 R_2}{X_{C_2}}\right)$

$= 90.1 + \left(\frac{50 \times 26.58}{53.26}\right)$

$= 115.05\ \Omega$

ที่ f = 13.56 MHz $C_2 = \frac{1}{\omega X_{C2}} = \frac{1}{(2\pi \times 13.56 \times 10^6)(53.26)} = 220.37$ PF

∴ เลือก C_2 = 100 PF 2 ตัว และ C_{VARY} 50 PF 1 ตัวในการปรับ Matching

ที่ f = 13.56 M $C_1 = \frac{1}{\omega X_{C1}} = \frac{1}{2\pi \times 13.56 \times 10^6 \times 90.1} = 130.27$ PF

เลือกใช้ C_1 = 120 PF

ที่ f = 13.56 M $L = \frac{X_L}{\omega}$

$L = \frac{115.05}{2\pi \times 13.56 \times 10^6} = 1.35\ \mu H$

เลือกใช้ค่า $L_{VARY} = 1.7\ \mu H$

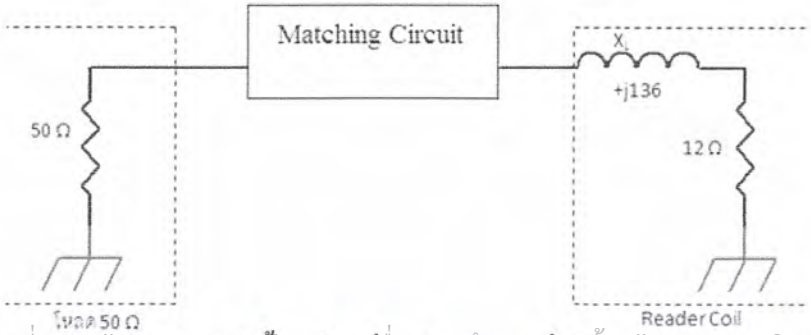
เพราะฉะนั้นวงจรแมทชิ่งระหว่าง Power Amp กับ Read Coil มีดังนี้

รูปที่ 3.27 แสดงวงจรแมทชิ่งระหว่างภาค Power Amp กับ Load 50 Ω (Reader Coil) ที่ใช้งานจริง

3.7.4 การออกแบบวงจรแมทชิ่งระหว่างโหลด 50 Ω กับ Reader Coil

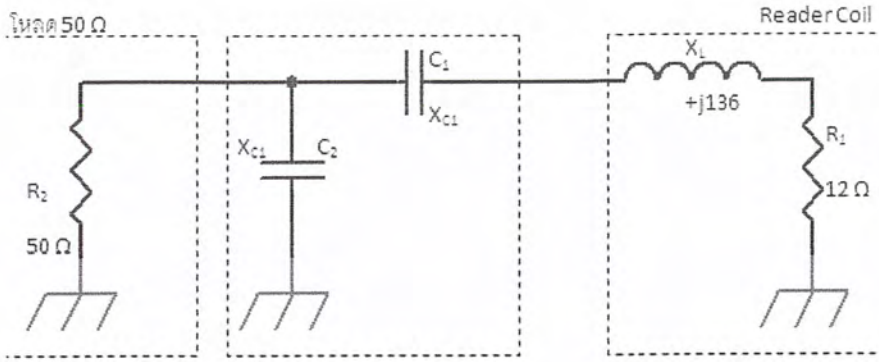
จากการออกแบบ Reader Coil จะได้ x_L ของ Reader Coil ≈ 136 Ω

จากตารางที่ 3.7 เลือก Q = 9 จะได้ R_1 ค่าน้อยเท่ากับ 12.69 Ω เลือกใช้ R_1 = 12 Ω (ในการเลือกค่า R_1 ควรเลือก R_1≈ 10-20 Ω เพราะเวลาทำการปรับแมทชิ่งจะไม่ยากเกินไปนัก)



รูปที่ 3.28 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ทั้ง 2 ด้านที่จะทำการแมทชิ่งโหลด 50 Ω กับ Reader Coil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 แสดงรูปวงจรที่จะใช้ในการแมทชิ่งโหลด 50 Ω กับ Reader Coil

หาค่า x_{c2} จาก $x_{c2} = R_2\sqrt{\frac{R_1}{R_2-R_1}} = 50\sqrt{\frac{12}{50-12}} = 28.10\ \Omega$

หาค่า x_{c1} จาก $x_{c1} = Q\,R_1$ เมื่อ $Q = 9$, $R = 12\ \Omega$

$x_{c1} = 9\times12 = 108\ \Omega$

ที่ความถี่ f = 13.56 MHz

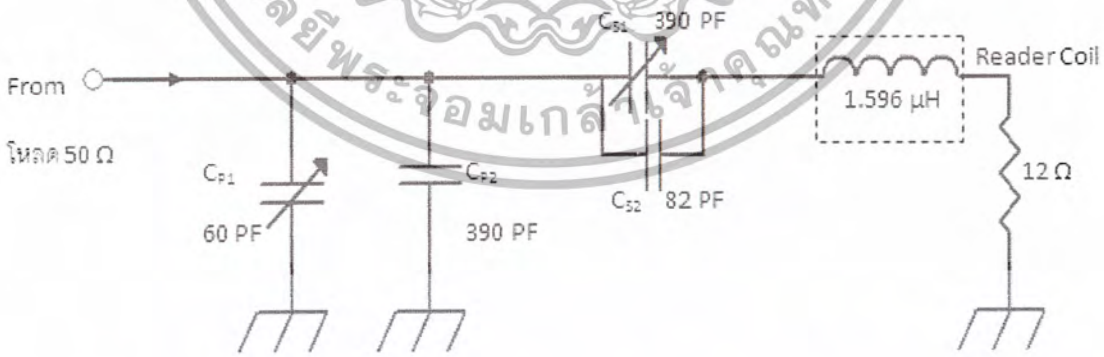
$C_1 = \frac{1}{\omega x_{c1}} = \frac{1}{(2\pi\times13.56\times10^6)(108)} = 108.68$ PF

$C_2 = \frac{1}{\omega x_{c2}} = \frac{1}{(2\pi\times13.56\times10^6)(28.10)} = 417.70$ PF

จะได้ว่า $C_1 = C_{S1} + C_{S2}$

$C_2 = C_{P1} + C_{P2}$

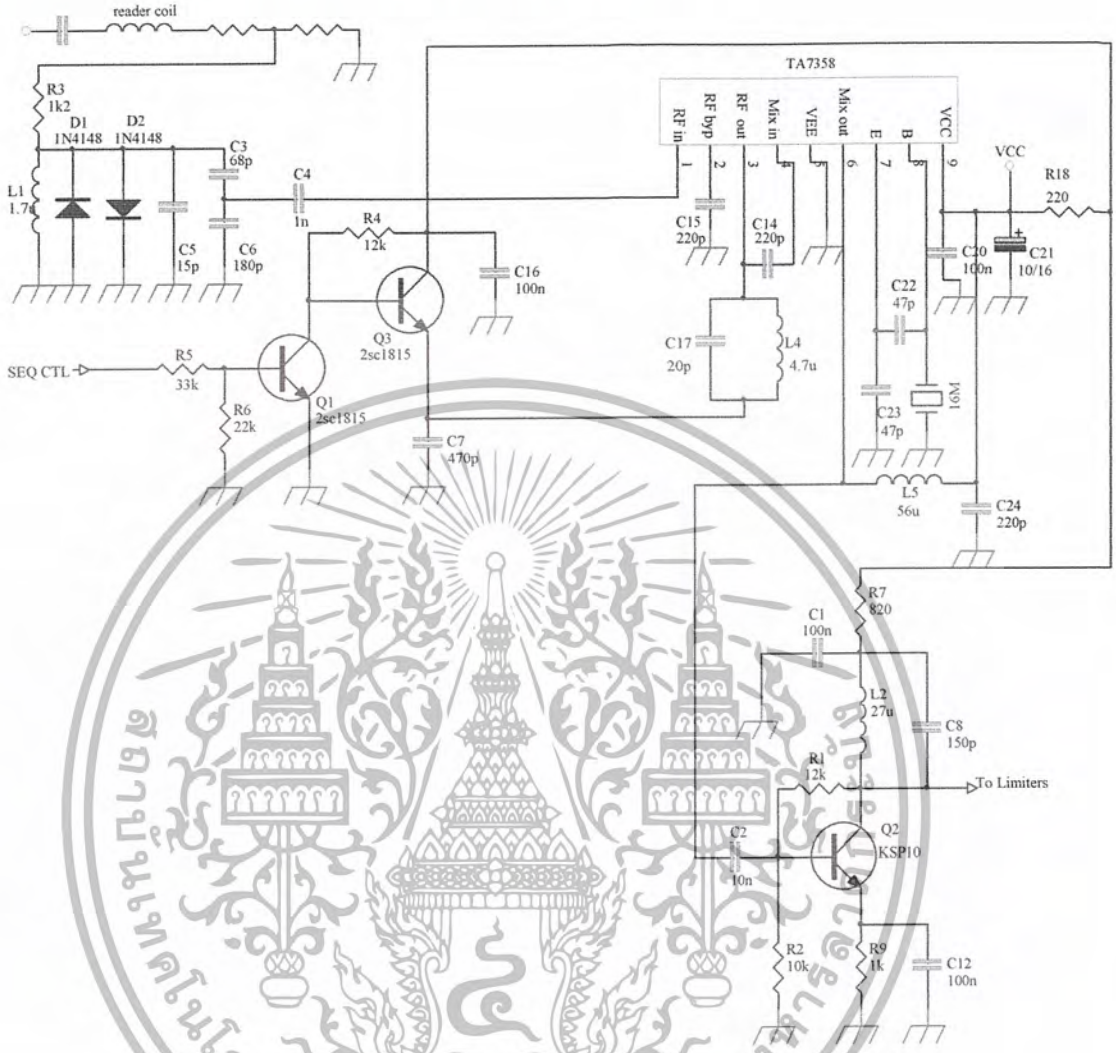
การปรับค่า C_1 จะมีผลมากกว่าการปรับค่า C_2 และถ้าปรับ C_1 ลดลงจะทำให้ความถี่ resonant สูงขึ้น



รูปที่ 3.30 แสดงแมทชิ่งระหว่างโหลด 50 Ω กับ Reader Coil ที่ใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 วงจรในส่วนของการถอดรหัสสัญญาณ (Sequential)

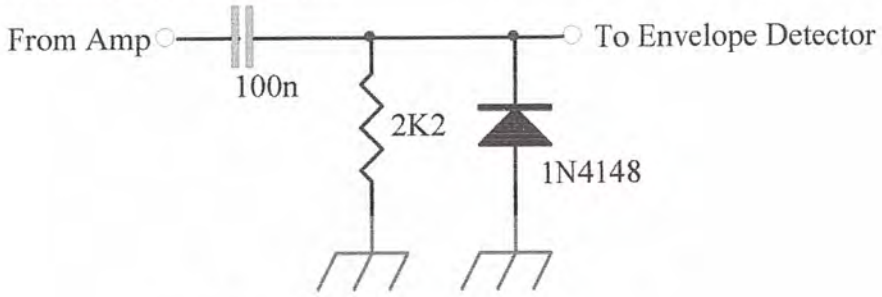


รูปที่ 3.31 วงจรในส่วนของการถอดรหัสสัญญาณ (Sequential)

Amplifier and mixer ซึ่งทำหน้าที่ คือ เมื่อรับสัญญาณความถี่สูง 13.56 MHz จาก Reader coil ผ่านวงจร Matching และวงจร Clip diode เข้าขา RF in ของ TA 7358 (หรือ LA 1185)นำสัญญาณ Sequential control มารวมกับสัญญาณที่ออกมาจากขา RF Out เข้าขา Mix in เมื่อนำไป Mix กับความถี่ 16 MHz ซึ่งจะทำให้เกิดความถี่บวกผลต่าง และนำความถี่ผลต่างเข้าไปยัง input ของวงจรขยาย transresistance amplifier โดยใช้วงจร ในการเลือกความถี่ผลต่างซึ่ง Band Pass Filter มี f_p= 2.5 MHz จากนั้นนำ O/P ที่ได้ไปเข้าวงจร Limiters And Envelope Detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.1 วงจรจำกัดสัญญาณ (Limiters)



รูปที่ 3.32 วงจรจำกัดสัญญาณ (Limiters)

วงจรจำกัดสัญญาณ (Limiters) ทำหน้าที่กำจัดสัญญาณทางด้านซีกลบไม่ให้มีค่าต่ำกว่า 0.7V เพื่อไม่ให้สัญญาณซีกลบผ่านดังนั้นแรงดัน ในส่วนของวงจรกำจัดสัญญาณจะผ่านได้เฉพาะซีกบวกเท่านั้น

ความสำคัญของวงจรจำกัดสัญญาณในส่วนนี้คือ เพื่อป้องกันไม่ให้ Diodeของภาค Envelope Detector เกิดการพังทลายของรอยต่อ พี-เอ็น (Break down) ในกรณีที่ Diode ของภาค Envelope Detector ได้รับ Reverse Bias

3.8.2 ภาค Envelope Detector

รูปที่ 3.33 ภาค Envelope Detector

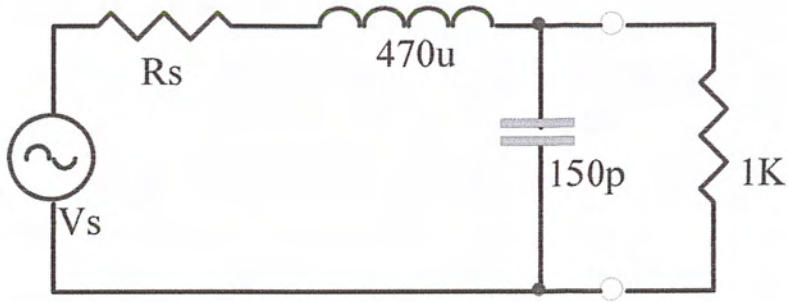
วงจรภาค Envelope Detector จุดประสงค์ในการใช้งานคือ เพื่อใช้ในการตรวจจับและคงค่าขนาดสูงสุดของสัญญาณไว้ หรือสัญญาณ Output ที่ได้จากวงจรนี้มีค่าเท่ากับขนาดสูงสุดของสัญญาณ Input (Vout = Vin (peak)) การทำงานสามารถแยกได้ โหมดคือ โหมดตรวจจับสัญญาณสูงสุด (Peak Tracking Mode หรือ "Track") และโหมดการคงค่าขนาดสัญญาณสูงสุด (Peak Storage Mode หรือ "Hold")

การทำงานของวงจรในโหมด "Track" เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณ Input ลูกใหม่ที่เข้ามามีขนาดโตกว่าสัญญาณ Input ลูกเดิม วงจรจะพยายามทำการตรวจจับขนาดสัญญาณสูงสุดเพื่อให้สัญญาณ Output ของวงจรมีขนาดเท่ากับสัญญาณ Inputสูงสุดลูกใหม่ที่เข้ามา

การทำงานในโหมด "Hold" จะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณ Input ลูกใหม่ที่เข้ามามีขนาดต่ำกว่าสัญญาณ Input ลูกเดิม วงจรจะทำการคงค่าของสัญญาณสูงสุดของลูกเดิมเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.3 ภาค Low Pass Filter



รูปที่ 3.34 วงจรภาค Low Pass Filter

คำนวณค่า Transfer f^{n} $\left(\frac{V_{O(\omega)}}{V_S}\right)$

จาก $V_{O(\omega)} = \dfrac{V_S\left(\frac{1}{j\omega C}//R\right)}{R_S+j\omega L+\left(\frac{1}{j\omega C}//R\right)}$

$$= \frac{V_S\left(\frac{\frac{1}{j\omega C}R}{\frac{1}{j\omega C}+R}\right)}{R_S+j\omega L+\left(\frac{\frac{1}{j\omega C}R}{\frac{1}{j\omega C}+R}\right)}$$

$$\frac{V_{O(\omega)}}{V_S} = \frac{\frac{1}{j\omega C}R}{(R_S+j\omega L)\left(\frac{1}{j\omega C}+R\right)+\left(\frac{1}{j\omega C}\right)R}$$

$$= \frac{\frac{R}{j\omega C}}{(R_S+j\omega L)+\left(\frac{1+j\omega CR}{j\omega C}\right)+\frac{R}{j\omega C}}$$

$$= \frac{\frac{1}{j\omega C}R}{\frac{1}{j\omega C}[(R_S+j\omega L)+(1+j\omega CR)+R]}$$

$$= \frac{R}{R_S+j\omega CRR_S+j\omega L-\omega^2RLC+R}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{R}{-\omega^2(RLC)+j\omega(L+CRR_S)+(R+R_S)}$$

นำ $\frac{\frac{1}{RLC}}{\frac{1}{RLC}}$ คูณเข้าไปในสมการ จะได้

$$\frac{V_{o(\omega)}}{V_S} = \frac{\frac{1}{LC}}{-\omega^2+j\omega\left(\frac{L+CRR_S}{RLC}\right)+\left(\frac{R+R_S}{RLC}\right)}$$

เพื่อให้ $\frac{1}{LC} = \frac{R+R_S}{RLC}$ จะต้องให้ $R \gg R_s$; เลือก R = 1 KΩ สำหรับ Sequential

ดังนั้น จะได้ $\frac{1}{LC} \simeq \frac{1}{LC}$

จาก $\omega^2{}_c = \frac{1}{LC}$

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

จะได้ $f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

เลือก $f_{LPF} \simeq$ 600 KHz

จะได้ L = 470 μH , C = 150 pF

เพื่อให้ $\frac{1}{LC} = \frac{R+R_S}{RLC}$ จะต้องให้ $R \gg R_s$; เลือก R = 500 KΩ สำหรับ Load Modulation

ดังนั้น จะได้ $\frac{1}{LC} \approx \frac{1}{LC}$

จาก $\omega^2{}_c = \frac{1}{LC}$

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

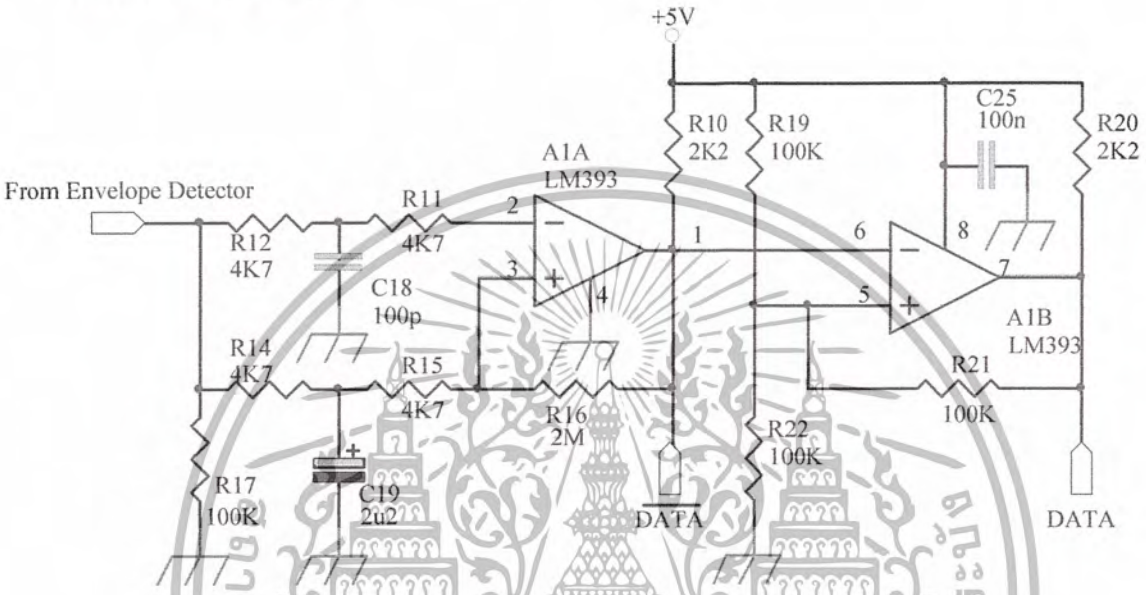
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

เลือก $f_{LPF} \approx 200$ KHz

จะได้ L = 560 μH , C = 680 pF

3.8.4 วงจร Comparator

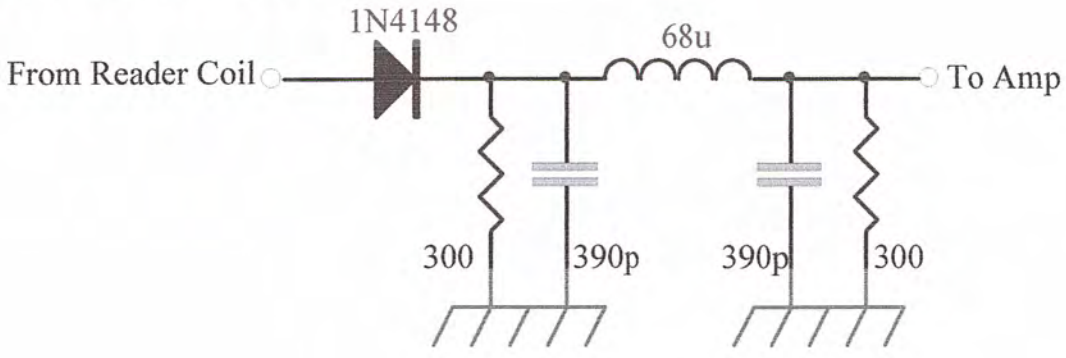


รูปที่ 3.35 วงจร Comparator

วงจร Comparator ทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดัน อาศัยหลักการป้อนกลับแบบบวก โดยการนำเอาสัญญาณ Input บางส่วนมาป้อนกลับเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณ Input ของวงจรอีก จะทำให้เกิดค่าความแตกต่างขึ้นระหว่าง Output ทั้งสองสภาวะ

3.9 วงจรในส่วนของการถอดรหัสสัญญาณ (Load Modulation)

3.9.1 วงจร Butter worth Filter

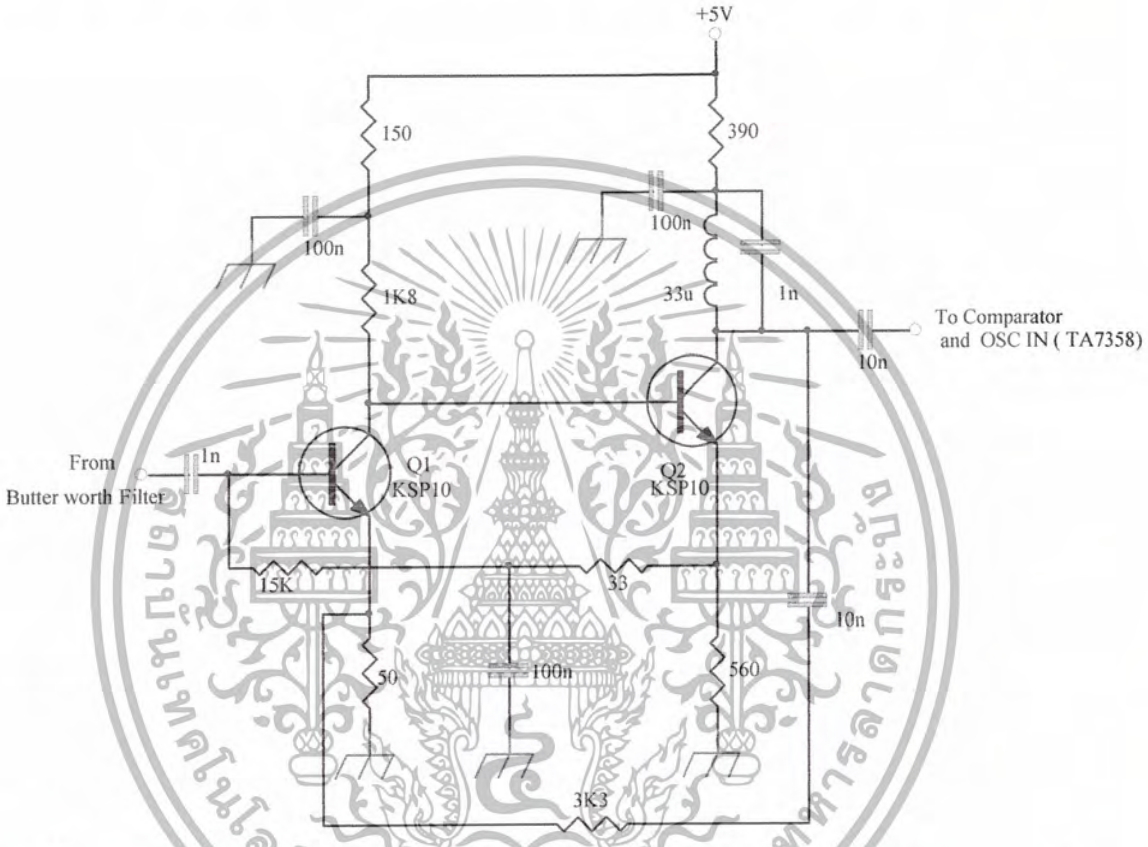


รูปที่ 3.36 วงจร Butter worth Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองความถี่สูง 13.56 MHz ออกไปเพื่อให้ได้สัญญาณที่มีความถี่ 84.75 kHz (sub-carrier) ที่ทำการเข้ารหัสกับบิตข้อมูลออกมา โดยวงจรนี้จะใช้การกรองแบบ Low Pass Filter order 3 (n=3) ของ ที่ความถี่ 13.56 MHz และ R_L 300Ω ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่ความถี่ 850 kHz มีอัตราการลดทอน 0.5 dB และสัญญาณที่ความถี่ 13.56 MHzมีอัตราการลดทอน 60 dB

3.9.2 วงจรขยายแรงดันที่มีการป้อนกลับแบบลบแบบ Parallel Output Series Input (POSI)

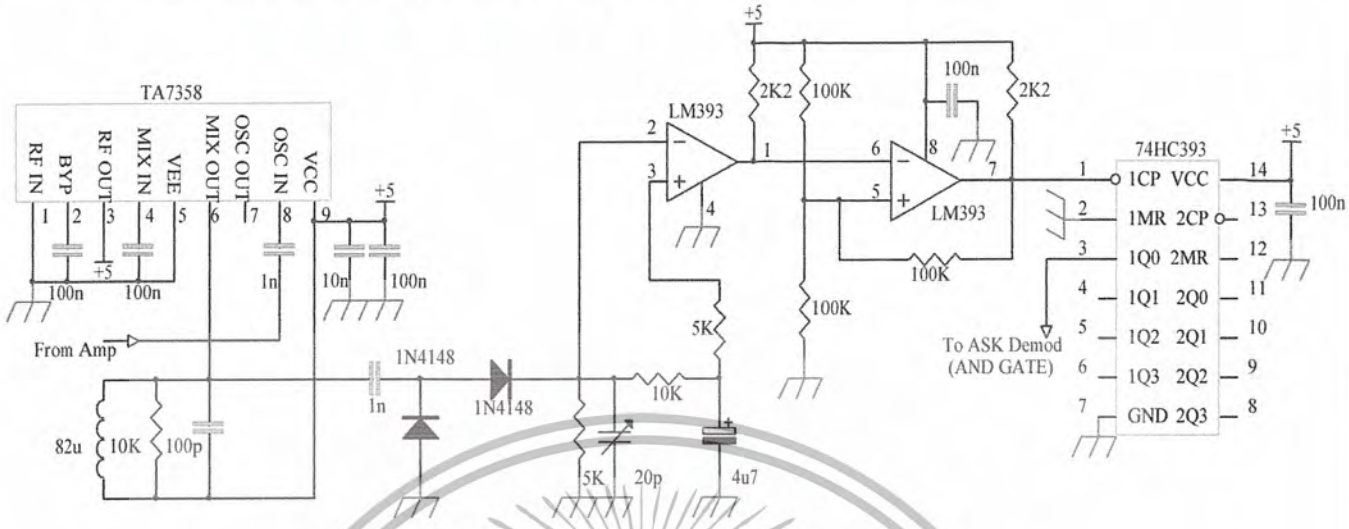


รูปที่ 3.37 วงจรขยายแรงดันที่มีการป้อนกลับแบบลบแบบ Parallel Output Series Input (POSI)

โดยวงจรนี้จะทำหน้าที่ในการขยายแรงดันของสัญญาณที่ได้รับมาจากวงจร Envelope Detector โดยมีอัตราขยายแรงดันของวงจร (A_{VCCT}) ประมาณ 55 เท่า สำหรับค่า LC ที่ขาคอลเลคเตอร์ซึ่งเป็นทางออกของวงจรสมมติว่ามีความต้านทาน R_L ในภาคต่อไปประมาณ 1 kΩ ที่ความถี่ sub-carrier 847.5 kHz กำหนดให้มี Bandwidth 400 kHz C = 1nF และ L = 33 μH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.3 วงจรการสร้างคืนสัญญาณ Sub-carrier 847.5 kHz

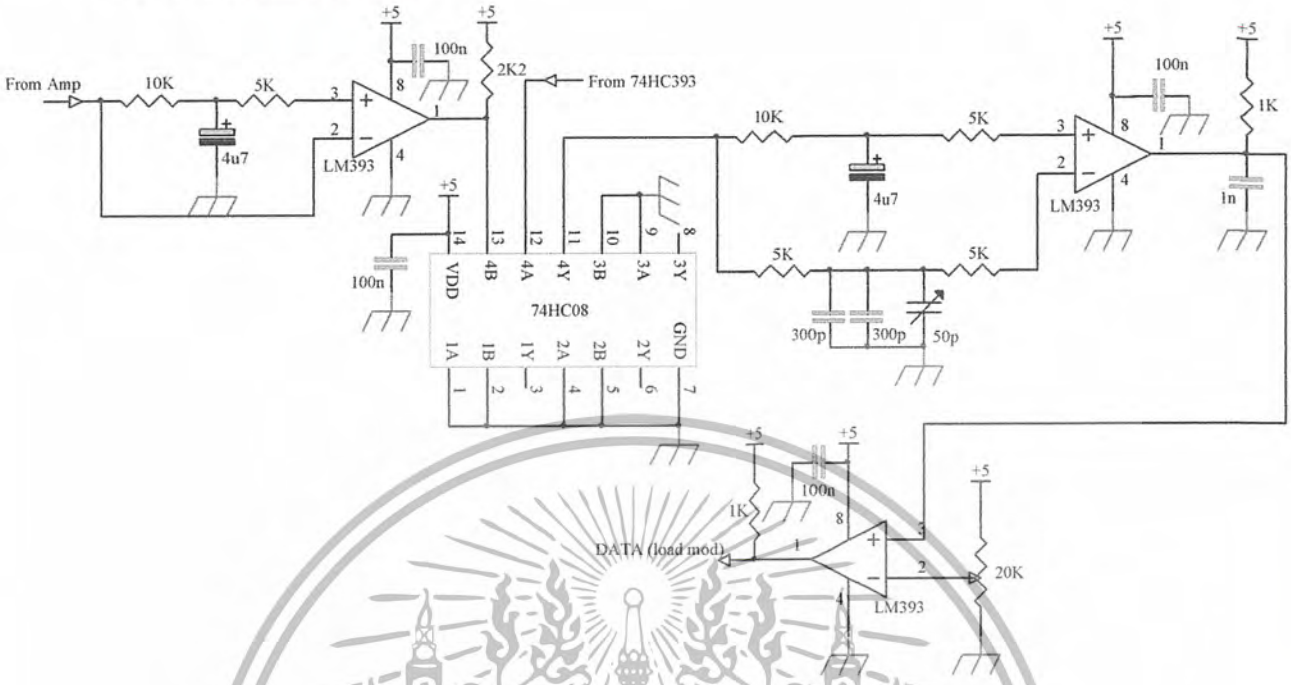


รูปที่ 3.38 วงจรการสร้างคืนสัญญาณ Sub-carrier 847.5 kHz

สาเหตุที่ต้องมีการสร้างคืนสัญญาณ Sub-carrier เนื่องจากสัญญาณ Sub-carrier นี้ต้องนำไปใช้ในการ Demodulate จึงจำเป็นที่จะต้องมีเฟสตรงกัน เพื่อจะได้ถอดรหัสข้อมูลจาก Tag แบบ ASK ได้อย่างถูกต้อง โดยวงจรนี้เริ่มจากการนำสัญญาณที่ผ่านการกรองความถี่สูงและมีแรงดันที่มากพอ มาทำการคูณกันเอง (Mix signal) ด้วย IC TA7358 จะได้สัญญาณที่มีความถี่เป็น 2 เท่าของความถี่สัญญาณเดิม ซึ่งก็คือสัญญาณที่มีความถี่ประมาณ 1.695 แต่เนื่องจากสัญญาณที่ได้มีขนาดเล็กมาก จึงนำมาขยายขนาดของสัญญาณด้วย IC LM393 ที่มีการป้อนแรงดันอ้างอิงที่ขาบวก แล้วจึงนำสัญญาณที่ได้นี้ไปป้อนเข้า IC 74HC393 ที่เป็นตัวหารสัญญาณความถี่ 1.695 MHz ไปเป็นสัญญาณความถี่ 847.5 kHz แต่อาจจะมีการกลับเฟสหรือมีเฟสเดียวกันกับสัญญาณแรกก็ได้ ซึ่งสัญญาณนี้ก็คือ สัญญาณ Sub-carrier นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.4 วงจรถอดรหัสบิตข้อมูล



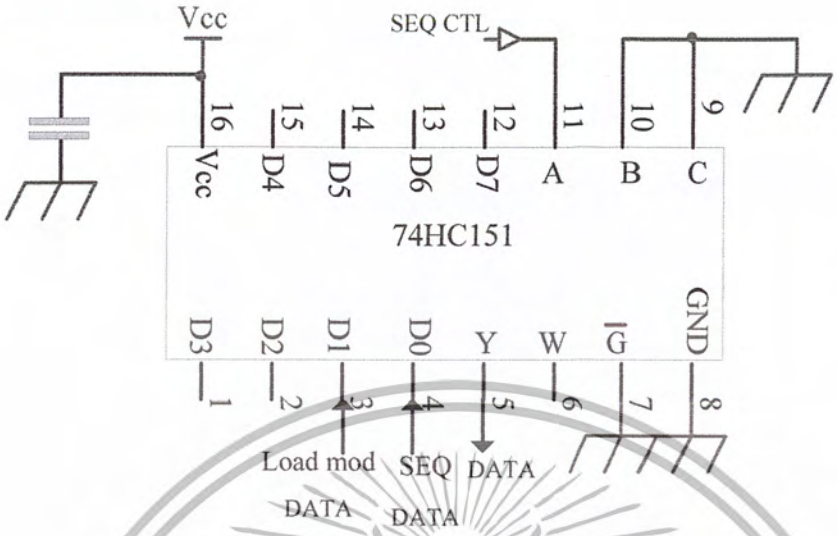
รูปที่ 3.39 วงจรถอดรหัสบิตข้อมูล

บิตข้อมูลนั้นจะได้จากการถอดรหัสสัญญาณด้วยการ AND สัญญาณกับ Sub-carrier ที่มีการเข้ารหัสบิตข้อมูลแบบ ASK กับสัญญาณ Sub-carrier ที่สร้างขึ้น

ในการ AND ที่ทางเข้านั้นต้องมีแรงดันที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงได้มีการนำสัญญาณ Sub-carrier ที่มีการเข้ารหัสบิตข้อมูลแบบ ASK ที่มีขนาดประมาณ 60 mV มาขยายขนาดให้มีค่าประมาณ 5 V เข้า IC LM393 แล้วจึงนำไป AND กับสัญญาณ Sub-carrier ที่สร้างขึ้น โดยใช้ iC 74HC08 ในการ AND สัญญาณ ซึ่ง Output ที่ได้คือข้อมูลที่ถอดรหัสออกมาได้แต่ยังมีสัญญาณรบกวนที่มีความถี่ 1.695 MHz และ 847.5 KHz ออกมาด้วย ดังนั้นจึงมีการทำวงจรกรองให้ข้อมูลเท่านั้นที่สามารถผ่านมาได้ โดยใช้วงจร Low Pass Filter ที่ความถี่ 50 KHz และแรงดันอ้างอิงที่สามารถปรับหาค่าที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ข้อมูลที่ต้องการเท่านั้นด้วย IC LM393 จากนั้นนำบิตข้อมูลที่ได้ไปใช้งาน ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.5 วงจร Multiplexer

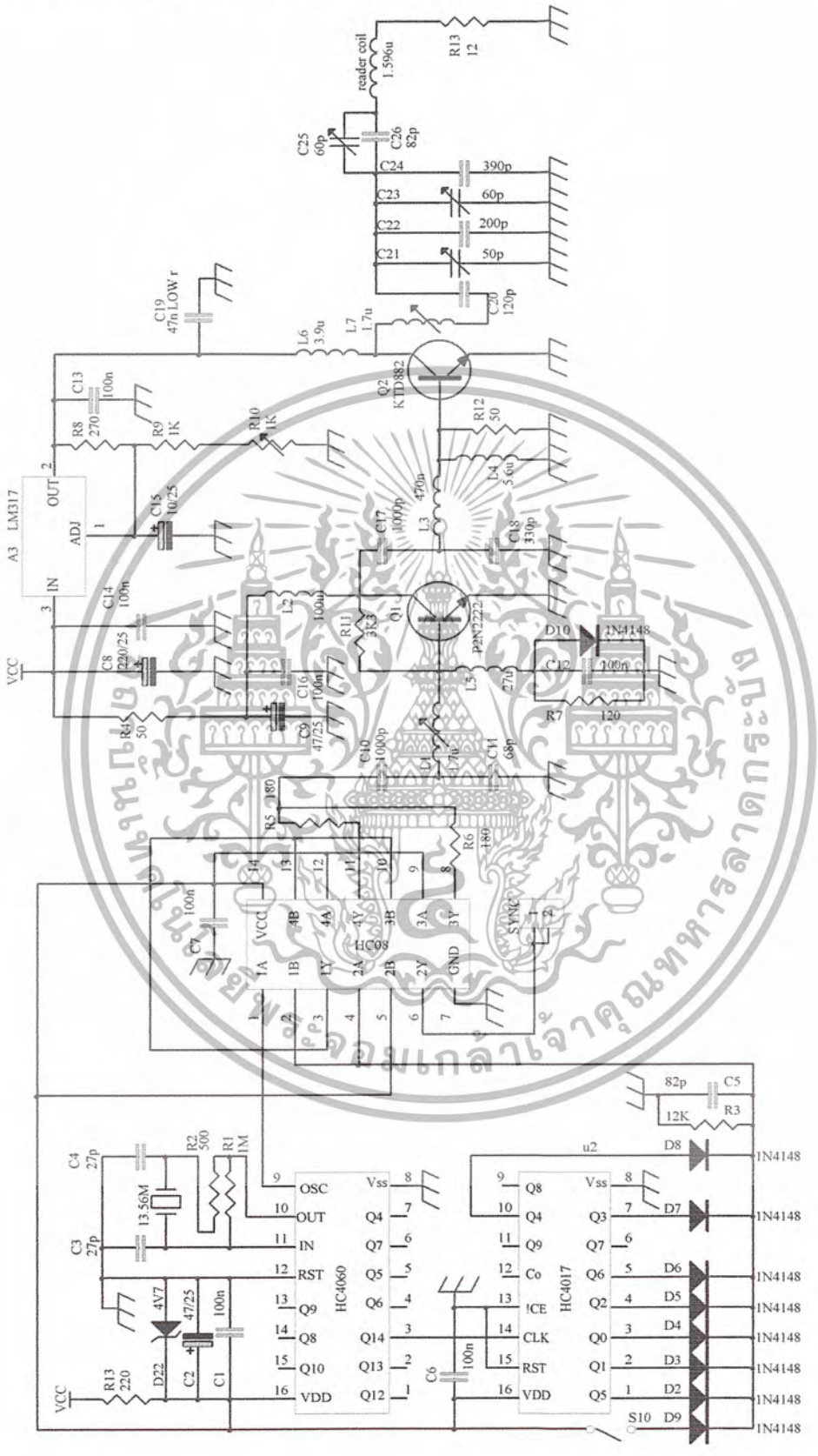


รูปที่ 3.40 วงจร Multiplexer

วงจร Multiplexer ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลดิจิตอลหลายข้อมูลไปในสายส่งเดียวกัน ซึ่งจะมีสัญญาณ Sequential Control เป็นตัวควบคุมอยู่ถ้า Sequential Control เป็น High ให้ส่ง DATA ของ Load Modulation ออกมาถ้า Sequential Control เป็น Logic Low ให้ส่ง DATA ของ Sequential ออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

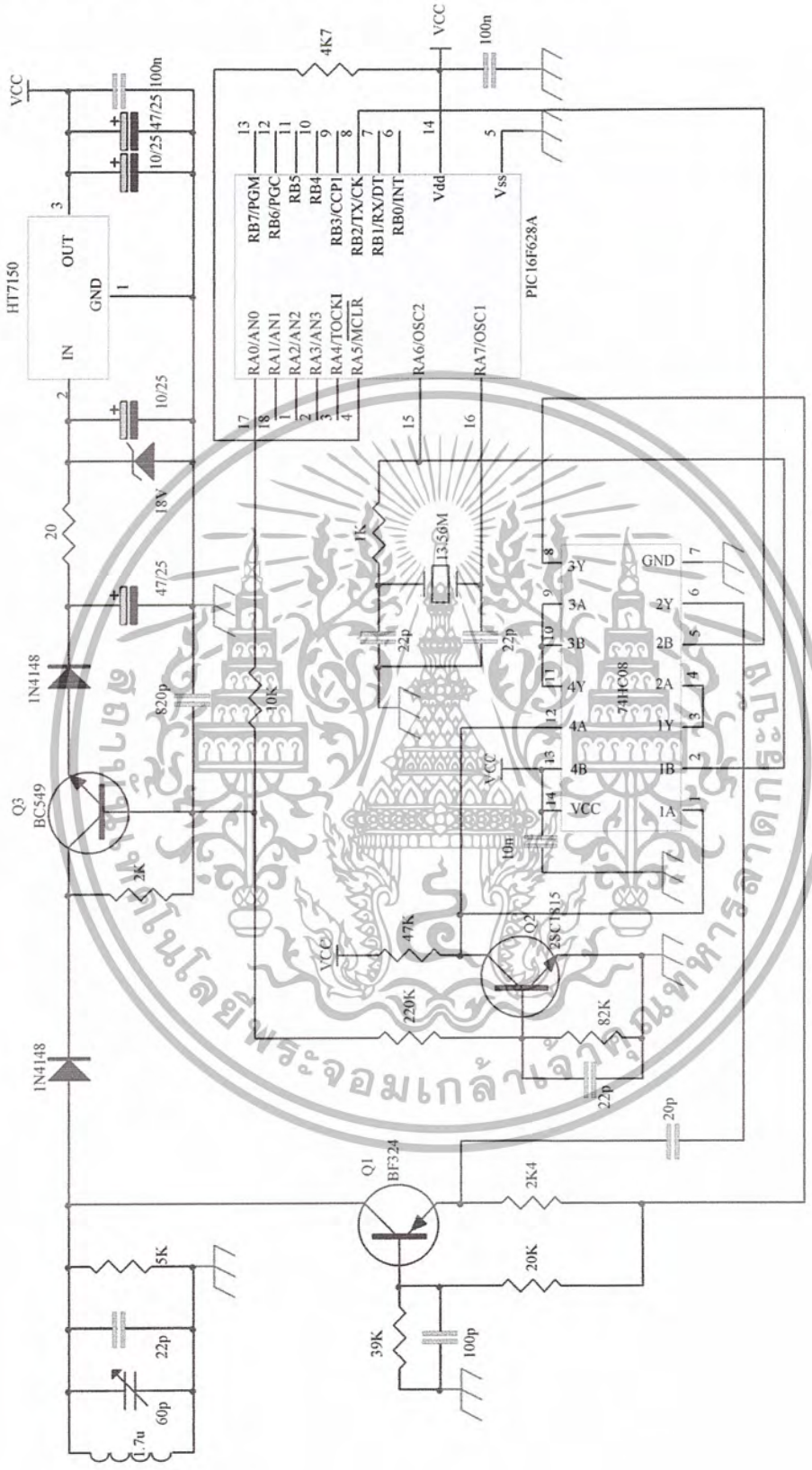
วงจรรวมทั้งหมดในส่วนของ Reader coil drive $P_O \approx 1.5$ w



รูปที่ 3.41 วงจรรวมทั้งหมดในส่วนของ Reader coil drive $P_O \approx 1.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

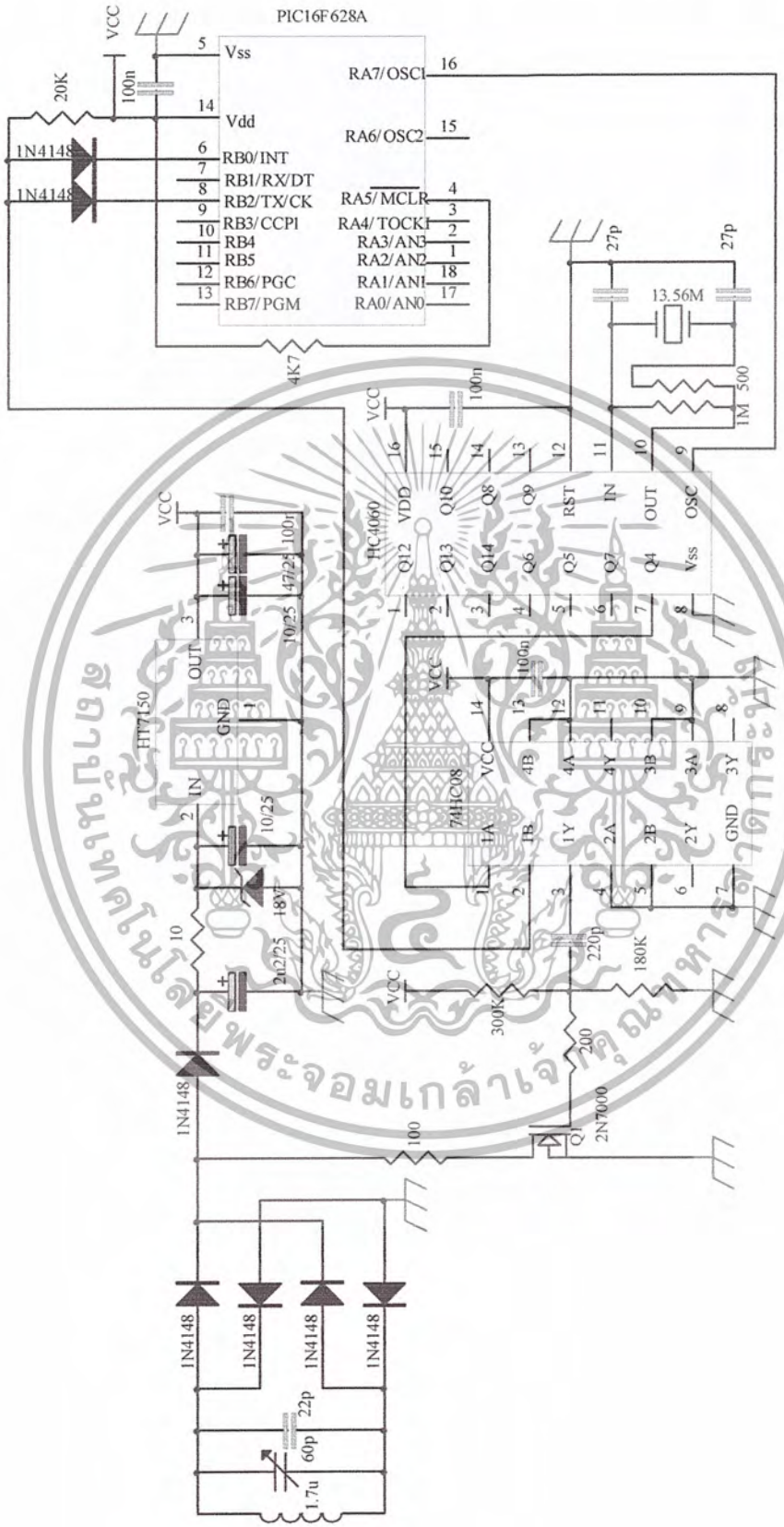
วงจรรวมทั้งหมดในส่วนของเครื่องลูกข่าย (TAG) ที่ใช้งานจริงของ Sequential



รูปที่ 3.42 วงจรรวมทั้งหมดในส่วนของเครื่องลูกข่าย (TAG) ที่ใช้งานจริงของ Sequential

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

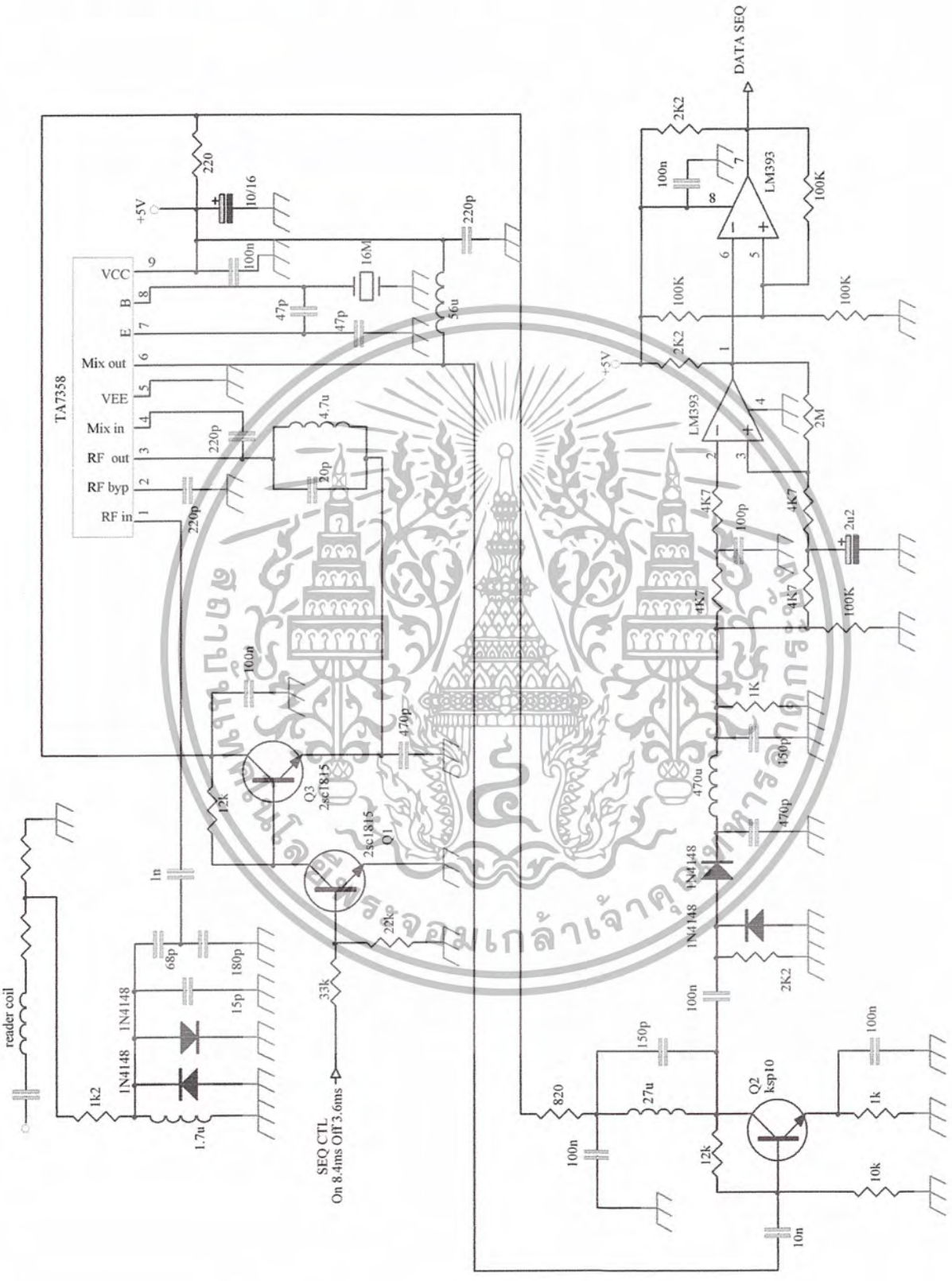
วงจรรวมทั้งหมดในส่วนของเครื่องลูกข่าย (TAG) ที่ใช้งานจริงของ Load Modulation



รูปที่ 3.43 วงจรรวมทั้งหมดในส่วนของเครื่องลูกข่าย (TAG) ที่ใช้งานจริงของ Load Modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

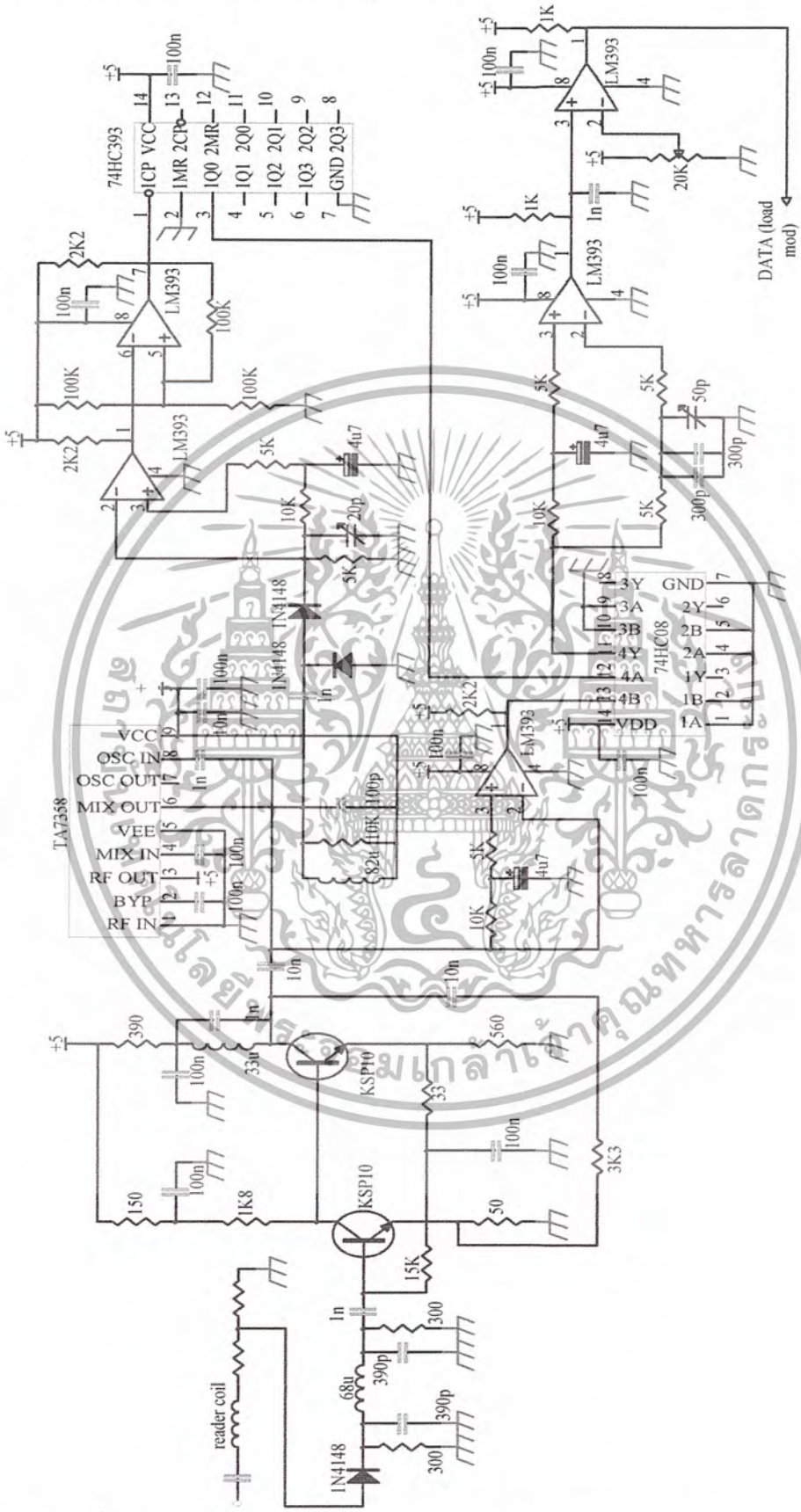
วงจรในส่วนของการ Demodulation ของ Sequential



รูปที่ 3.44 วงจรในส่วนของการ Demodulation ของ Sequential

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

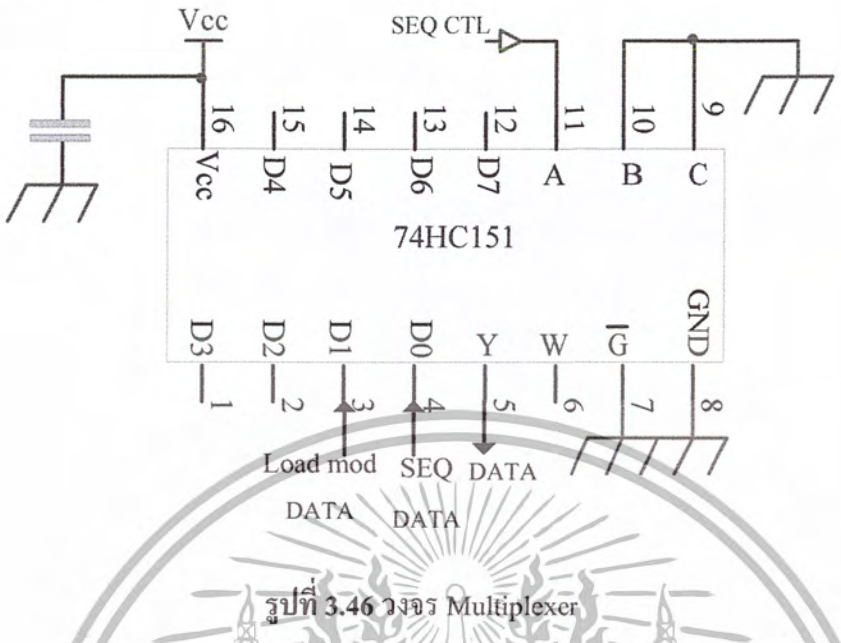
วงจรในส่วนของการ Demodulation ของ Load modulation



รูปที่ 3.45 วงจรในส่วนของการ Demodulation ของ Load modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร Multiplexer



รูปที่ 3.46 วงจร Multiplexer

วงจร Multiplexer และ CPU Reader

รูปที่ 3.47 วงจร Multiplexer และ CPU Reader

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
โปรแกรม

4.1 Flowchart ของ Sequential TAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 โปรแกรมของ Sequential TAG

```
#include <16F628a.h>
#fuses HS, NOPROTECT, NOLVP, NOWDT
#use delay (clock=13560000)
#use rs232 (baud=52969, xmit=PIN_B2)
#define output PIN_B2
int x;
unsigned char id[4]={0x53,0x33,0x38,0x4A};
  void main (){
    SET_TRIS_A(0x01);
      delay_ms (12);
    write_eeprom (0,id[0]); delay_us (200);
    write_eeprom(1,id[1]); delay_us(200);
    write_eeprom(2,id[2]); delay_us(200);
    write_eeprom(3,id[3]); delay_us(200);
    delay_us(400);
      while (true){
     if(input(PIN_A0)==0)
       {
       for(x=0;x<4;x++)
    {
    id[x]=read_eeprom(x);
    delay_us(100);
    putc(id[x]);
    }
    delay_us(300);
      }
   }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 Flowchart ของ Load Modulation TAG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

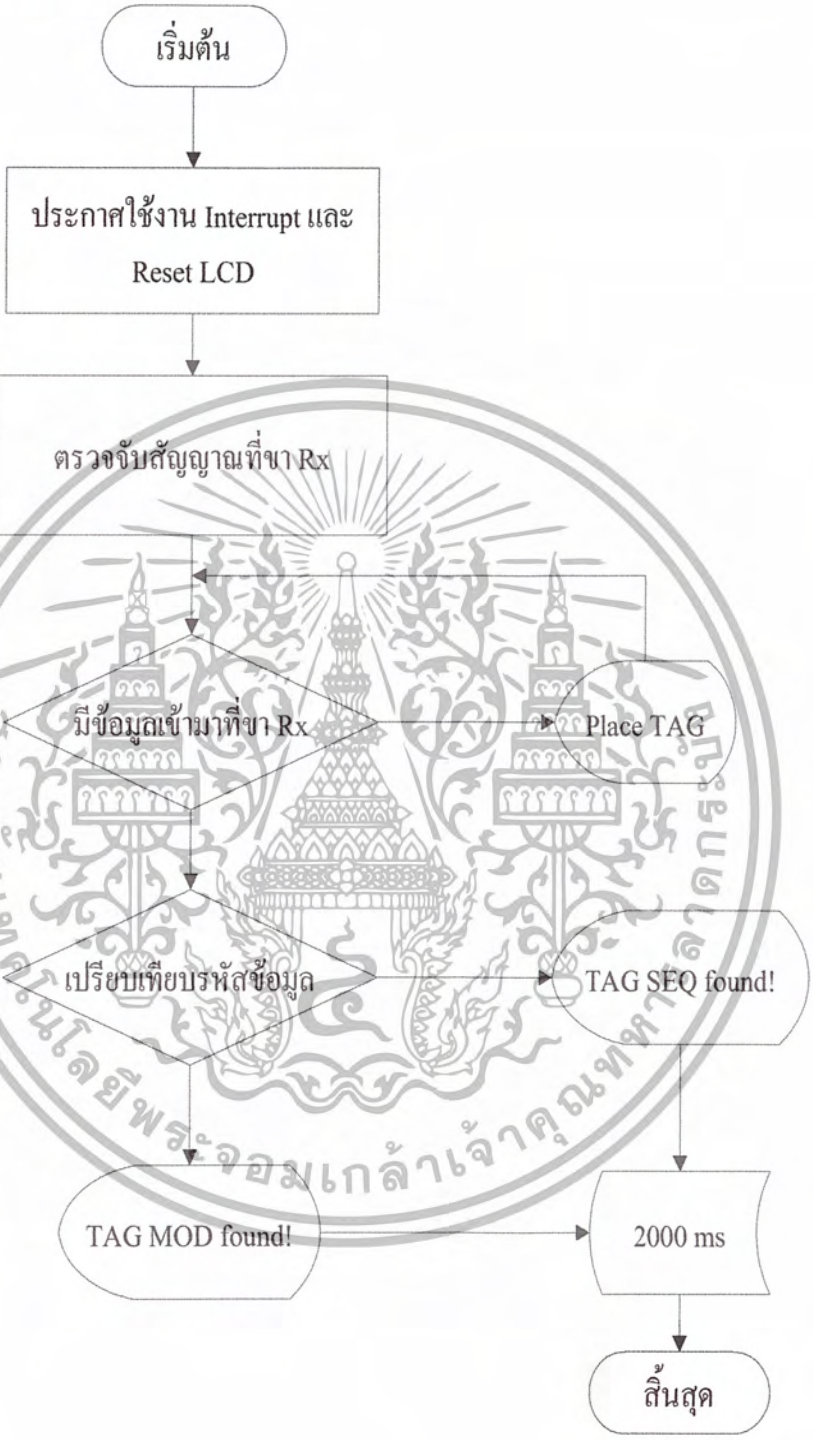
4.4 โปรแกรมของ Load Modulation TAG

```
#include <16F628a.h>
#fuses HS, NOPROTECT, NOLVP, NOWDT
#use delay (clock=13560000)
#use rs232 (baud=52969, xmit=PIN_B2)
int x;
unsigned char id[4]={0x4D,0x34,0x46,0x42};
  void main ()
  {
    SET_TRIS_B(0x00);
    output_high(PIN_B0);
    write_eeprom(0,id[0]); delay_ms(2);
    write_eeprom(1,id[1]); delay_ms(2);
    write_eeprom(2,id[2]); delay_ms(2);
    write_eeprom(3,id[3]); delay_ms(2);
    delay_ms(5);

    while (true)
    {
     for(x=0;x<4;x++)
     {
     id[x]=read_eeprom(x);
      delay_ms(20);
     putc(id[x]);
     }
     delay_ms(20);
   }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 Flowchart ของ Reader



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 โปรแกรมของ Reader

```
#include <16F877a.h>
#use delay(clock=13560000)
#fuses HS,NOLVP,NOPROTECT,NOWDT
#use rs232(baud=52969,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7)
#include <lcd.c>

unsigned char id[4];
BOOLEAN rx_int=FALSE;
#INT_RDA
void rcv_id()
{
  unsigned char x;
  for (x=0;x<4;x++)
  {
    id[x] = getc();
  } rx_int = true;
}

void main(void)
{   enable_interrupts(GLOBAL);
    enable_interrupts(INT_RDA);
    lcd_init();

  while(true)
  {
    if( rx_int )
    {
      if((id[0]=='M')&(id[1]=='4')&(id[2]=='F')&(id[3]=='B'))
      {
        printf(lcd_putc,"\f\n TAG MOD found!");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      delay_ms(500);
      }
    else if((id[0]=='S')&(id[1]=='3')&(id[2]=='8')&(id[3]=='J'))
      {
       printf(lcd_putc,"\f\n TAG SEQ found!");
       delay_ms(200);
      }

   }
   rx_int=FALSE;
   {
    printf(lcd_putc,"\f  Place TAG");
    delay_ms(100);
   }
  }
}
}
```

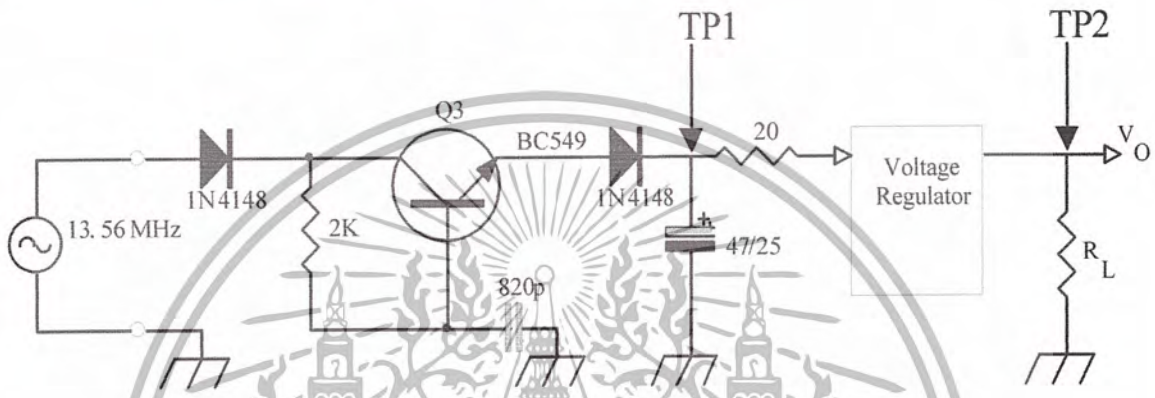
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและการบันทึกผล

5.1 การทดลองวงจร Voltage Regulator

5.1.1 การทดลองวงจร Voltage Regulator ของ Sequential



รูปที่ 5.1 วงจรการทดลอง Voltage Regulator ของ Sequential

ทำการจ่ายแรงดันเข้าไปที่จุด TP1 เพื่อการทดลองวงจร Voltage Regulator ของ Sequential โดยใช้แรงดันไฟที่จ่ายให้ด้าน จุด TP1 นั้นเปรียบเสมือน ได้รับการเหนี่ยวนำของขดลวดของ TAG โดยใช้แรงดันทดสอบเลย ทำการวัด โดยใช้ R_L แต่ละค่าต่างๆ ไปดังนี้ R_L = 500, 1k, 2k, ∞ (Ω)

ตารางที่ 5.1 R_L = 500 Ω

V_{in} (V)	I_{in} (μA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)
4	296.4	1.269	2.538
5	366.4	1.997	3.994
6	396.0	2.579	5.158
10	398.0	4.950	9.900
12	398.0	4.970	9.940
15	398.2	4.980	9.960
18	640.0	4.980	9.960

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 $R_L = 1\ k\Omega$

V_{in} (V)	I_{in} (μA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)
4	77.8	1.675	1.675
5	100.0	2.305	2.305
6	100.2	2.955	2.955
10	100.6	4.960	4.960
12	100.8	4.980	4.980
15	100.8	4.980	4.980
18	286.5	4.990	4.990

ตารางที่ 5.3 $R_L = 2\ k\Omega$

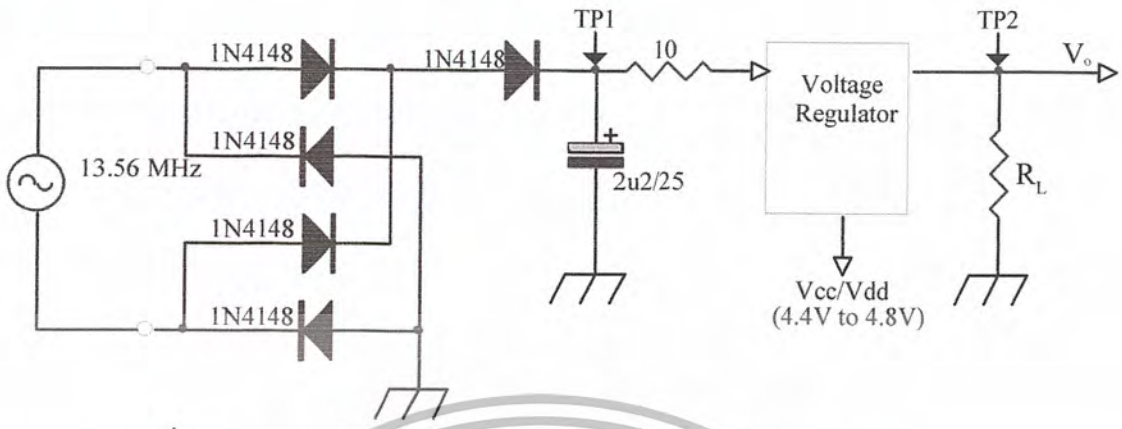
V_{in} (V)	I_{in} (μA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)
4	19.60	1.985	0.993
5	24.45	2.804	1.402
6	24.80	3.557	1.779
10	24.90	4.970	2.485
12	24.95	4.980	2.490
15	24.95	4.990	2.495
18	110.90	4.990	2.495

ตารางที่ 5.4 $R_L = \infty$

V_{in} (V)	I_{in} (μA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)
4	0	3.21	0
5	0	3.90	0
6	0	4.94	0
10	0	4.98	0
12	0	4.99	0
15	0	5.00	0
18	0	5.00	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 การทดลองวงจร Voltage Regulator ของ Load Modulation



รูปที่ 5.2 วงจรการทดลอง Voltage Regulator ของ Load Modulation

ทำการจ่ายแรงดันเข้าไปที่จุด TP1 เพื่อการทดลองวงจร Voltage Regulator ของ Load Modulation โดยใช้แรงดันไฟที่จ่ายให้ด้าน จุด TP1 นั้นเปรียบเสมือน ได้รับการเหนี่ยวนำของขดลวดของ TAG โดยใช้แรงดันทดสอบเลย ทำการวัด โดยใช้ R_L แต่ละค่าต่างๆ ไปดังนี้ R_L = 500, 1k, 2k, ∞ (Ω)

ตารางที่ 5.5 $R_L = 500\Omega$

V_{in} (V)	I_{in} (μA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)
4	144.0	3.579	7.158
5	186.0	4.610	9.220
6	199.6	4.960	9.920
10	200.2	4.980	9.960
12	200.4	4.980	9.960
15	200.6	4.980	9.960
18	356.8	4.990	9.980

ตารางที่ 5.6 $R_L = 1\ k\Omega$

V_{in} (V)	I_{in} (mA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)
4	39.20	3.82	3.82
5	49.00	3.83	4.83
6	50.50	4.96	4.96
10	50.70	4.98	4.98
12	50.80	4.98	4.98
15	50.80	4.90	4.99
18	102.00	4.90	4.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 $R_L = 2\ k\Omega$

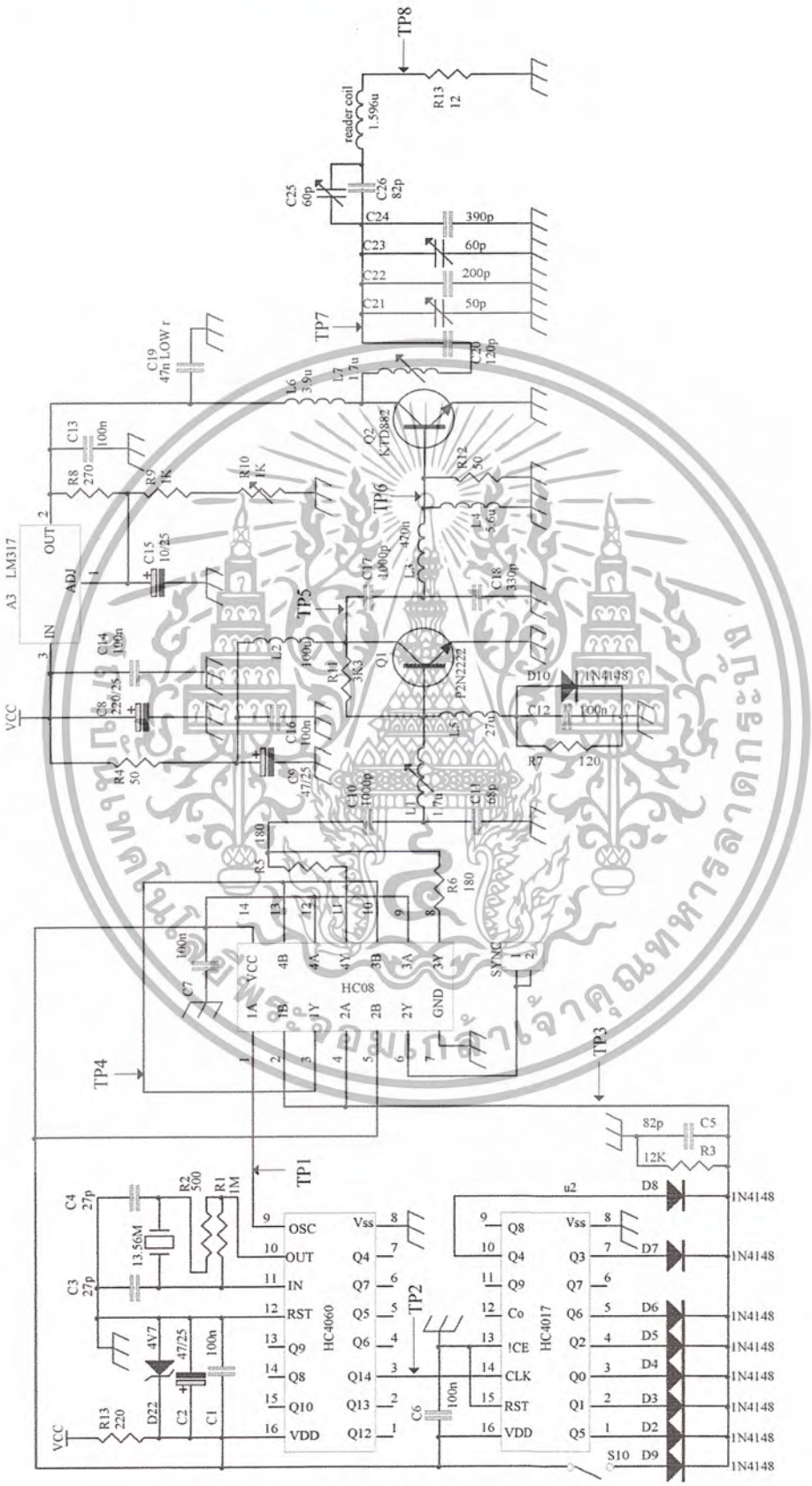
V_{in} (V)	I_{in} (μA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)
4	10.10	3.980	1.990
5	12.30	4.870	2.440
6	12.50	4.960	2.448
10	12.55	4.980	2.480
12	12.55	4.990	2.490
15	12.55	4.990	2.500
18	48.55	4.990	2.500

ตารางที่ 5.8 $R_L = \infty$

V_{in} (V)	I_{in} (mA)	V_{out} (V)	I_{out} (mA)
4	0	4.04	0
5	0	4.96	0
6	0	4.97	0
10	0	4.99	0
12	0	4.99	0
15	0	5.00	0
18	0	5.00	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

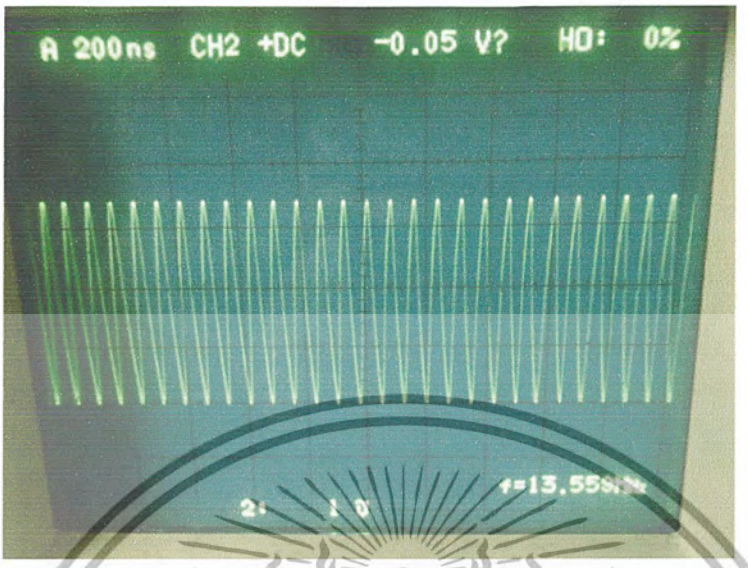
5.2 ทดลองวงจร AC SOUCE TAG EXCITER



รูปที่ 5.3 วงจร AC SOUCE TAG EXCITER

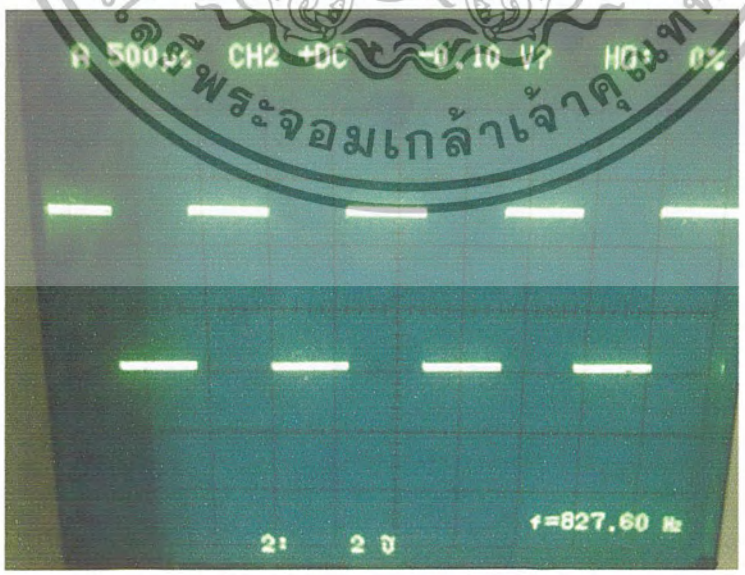
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 สัญญาณที่จุด TP1 คือจุด Oscillation ของ HC4060 ซึ่งมีความถี่ 13.56 MHz



รูปที่ 5.4 สัญญาณที่จุด TP1

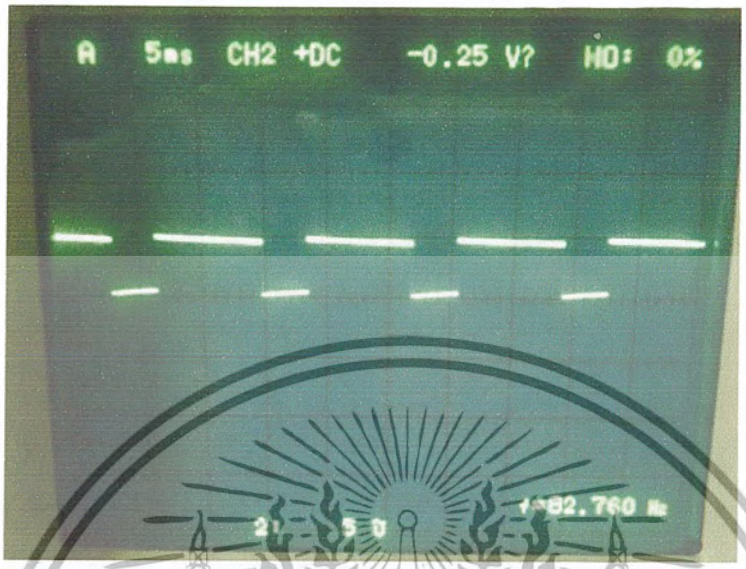
5.2.2 สัญญาณที่จุด TP2 คือจุดที่ขา 3 ของ HC4060 ซึ่งทำการหารความถี่ด้วย 2^{14} จะได้ 13.56 MHz/2^{14} = 827.64 Hz



รูปที่ 5.5 สัญญาณที่จุด TP2

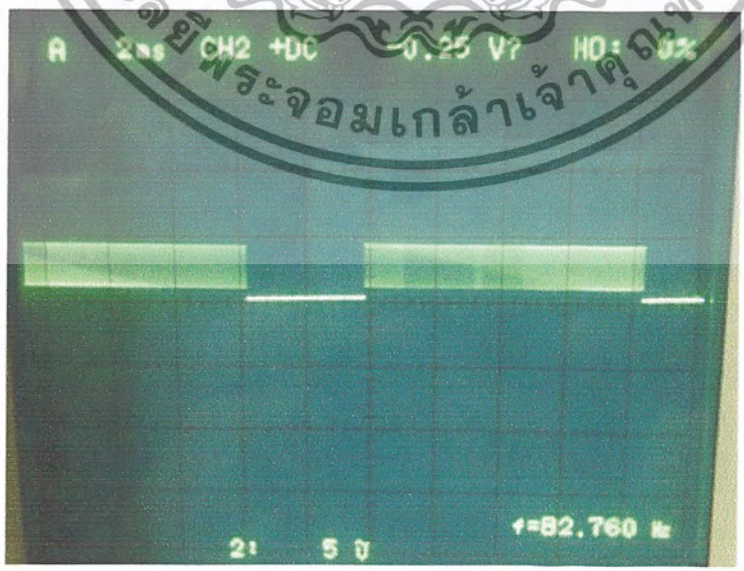
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 สัญญาณที่จุด TP3 คือจุดที่ขา 2 ของ HC08 ซึ่งทำการหาร 10 ด้วย IC HC4017 จะได้ความถี่ คือ 827.64 Hz/10 = 82.764 Hz



รูปที่ 5.6 สัญญาณที่จุด TP3

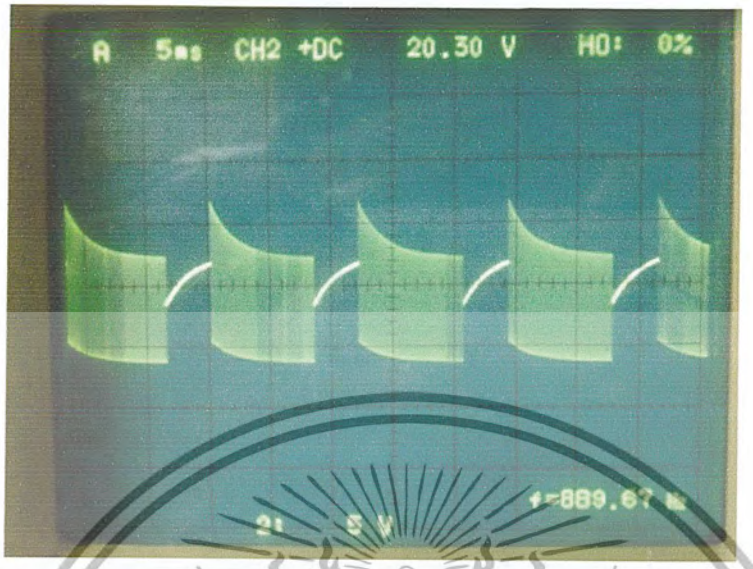
5.2.4 สัญญาณที่จุด TP4 คือจุดที่ขา 3 ของ HC08 ANDกับสัญญาณที่จุด TP1



รูปที่ 5.7 สัญญาณที่จุด TP4

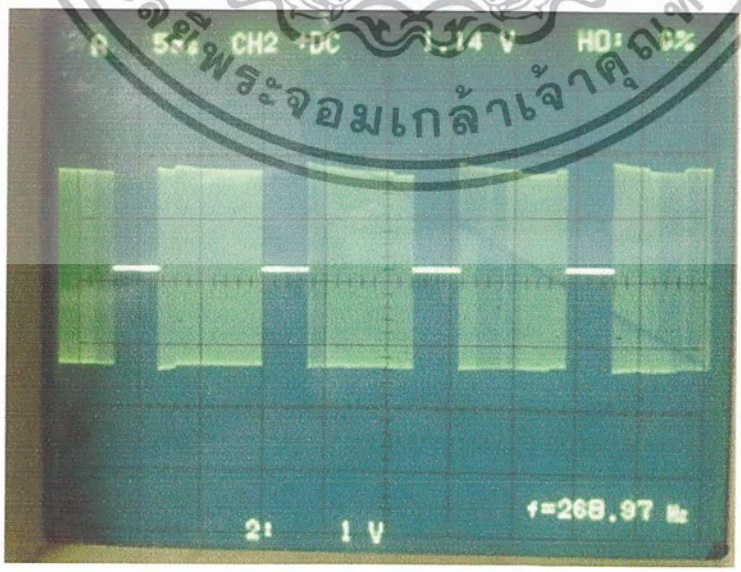
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.5 สัญญาณที่จุด TP5 คือจุดที่ขา Collector ของ P2N222



รูปที่ 5.8 สัญญาณที่จุด TP5

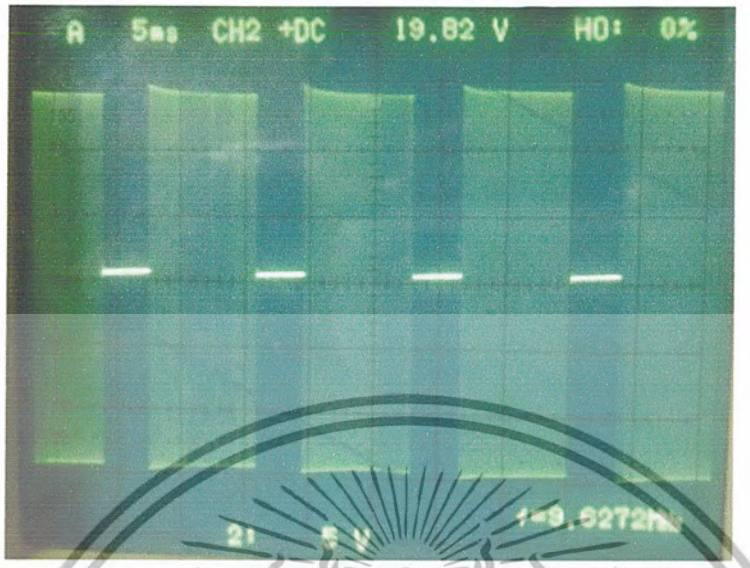
5.2.6 สัญญาณที่จุด TP6 คือจุดที่ขา Base ของ KTD882



รูปที่ 5.9 สัญญาณที่จุด TP6

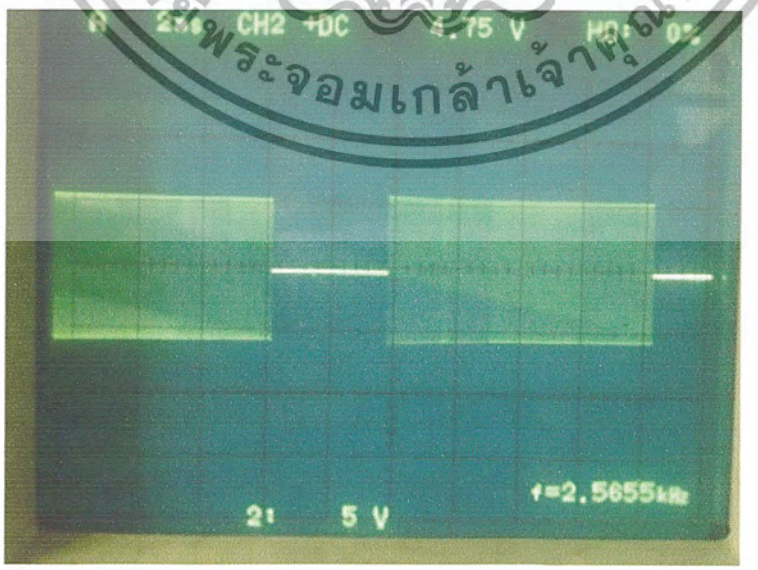
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.7 สัญญาณที่จุด TP7 คือจุดที่ทำการ Matching ไปยังโหลด 50 Ω



รูปที่ 5.10 สัญญาณที่จุด TP7

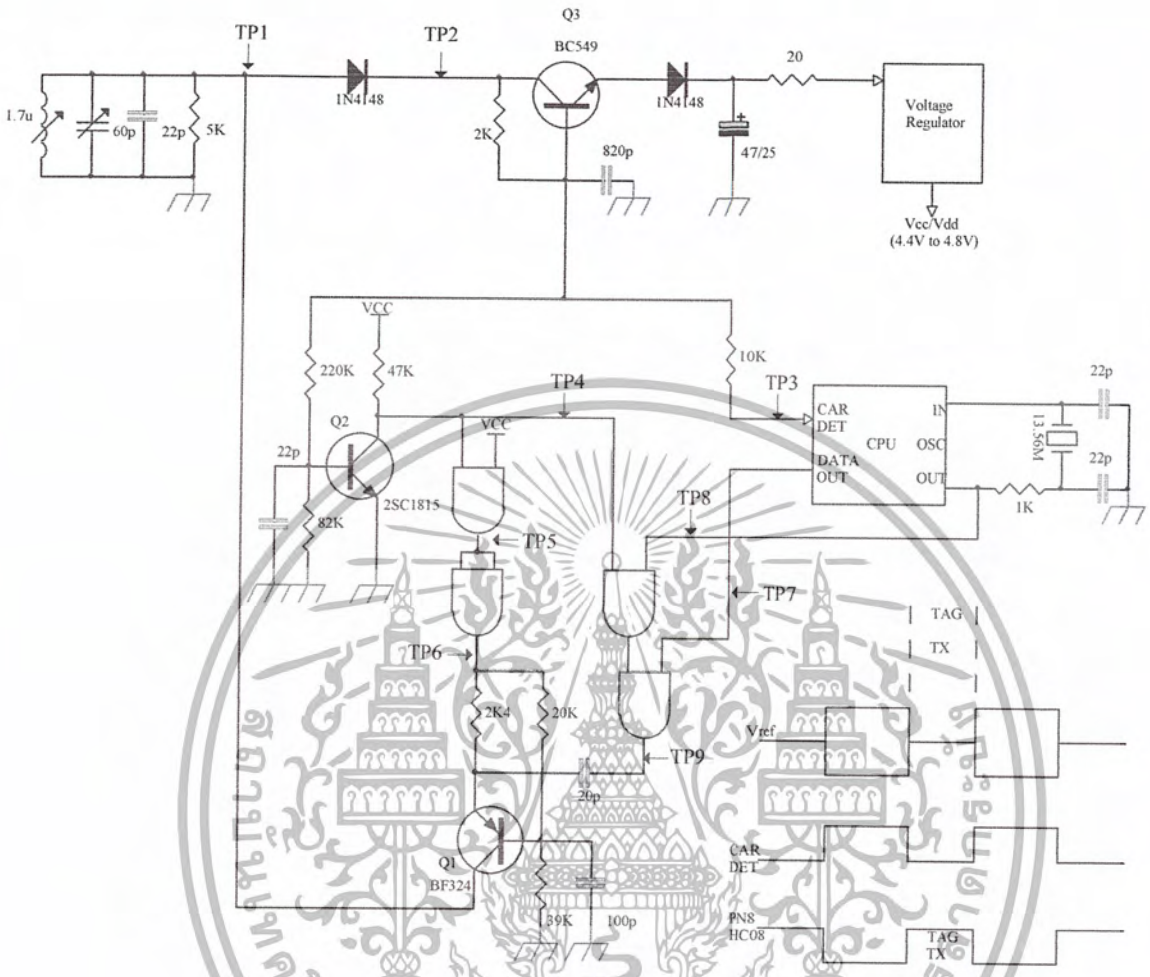
5.2.8 สัญญาณที่จุด TP8 คือสัญญาณเอาต์พุตของ Reader coil



รูปที่ 5.11 สัญญาณที่จุด TP8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

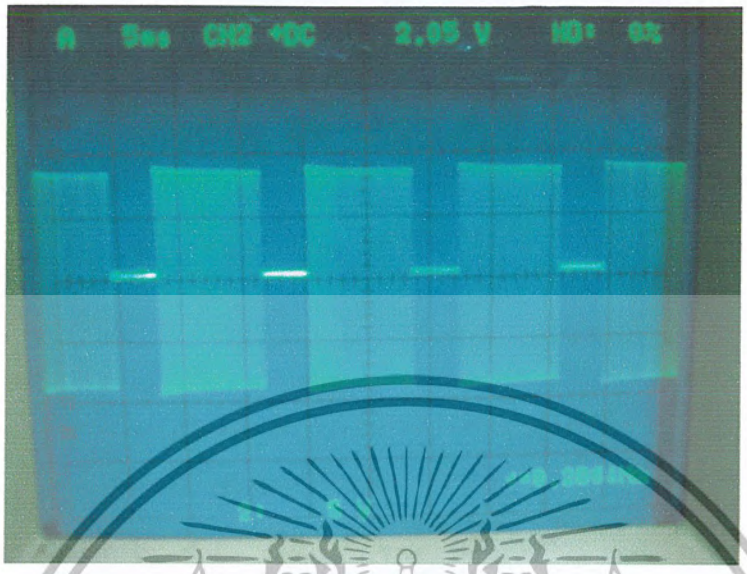
5.3 ทดลองวงจร TEMPORALY TAG (ทดสอบ TAG ของ Sequential)



รูปที่ 5.12 วงจร TEMPORALY TAG (ทดสอบ TAG ของ Sequential)

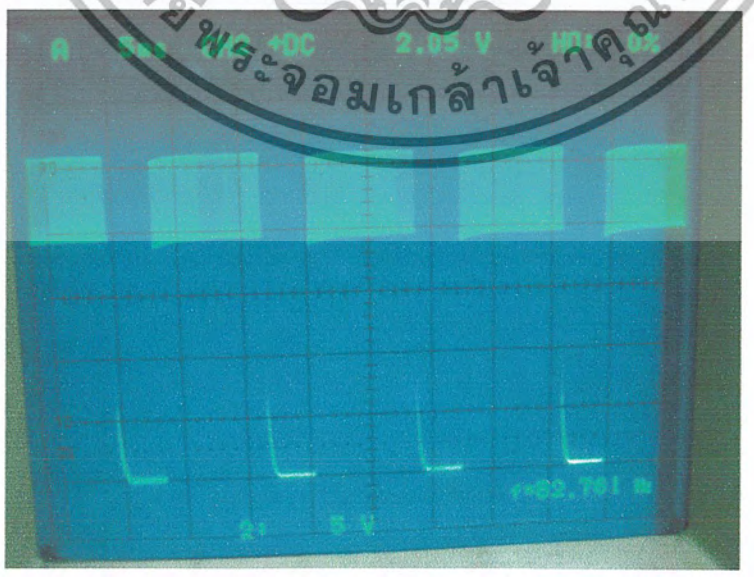
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1 สัญญาณที่จุด TP1 เป็นสัญญาณที่ TAG ได้รับพลังงานจาก Reader Zone



รูปที่ 5.13 สัญญาณที่จุด TP1

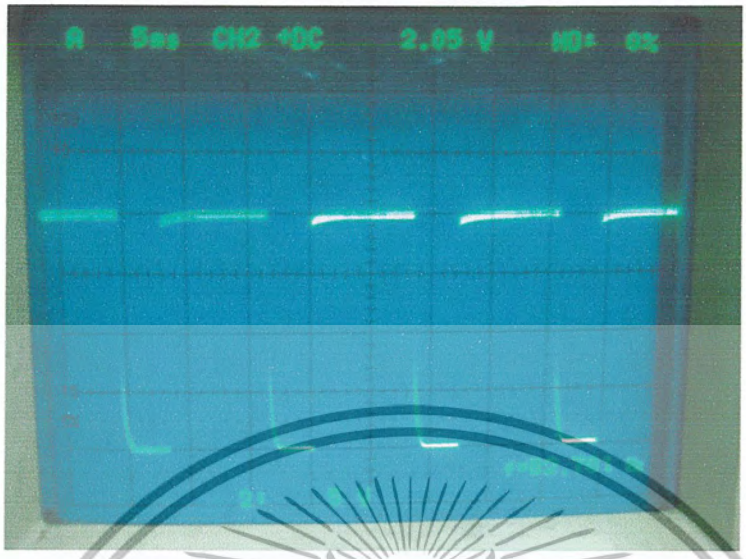
5.3.2 สัญญาณที่จุด TP2 เป็นสัญญาณที่ผ่าน Diode Rectifier



รูปที่ 5.14 สัญญาณที่จุด TP2

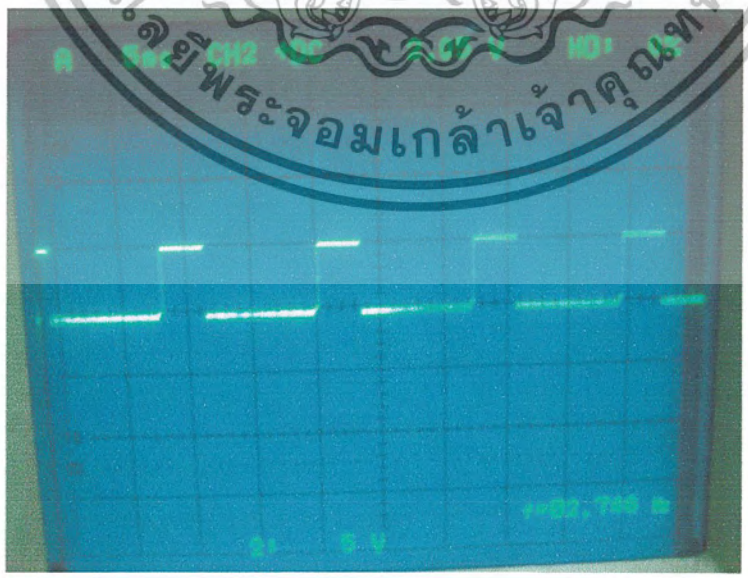
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 สัญญาณที่จุด TP3 เป็นสัญญาณ Carrier Detector



รูปที่ 5.15 สัญญาณที่จุด TP3

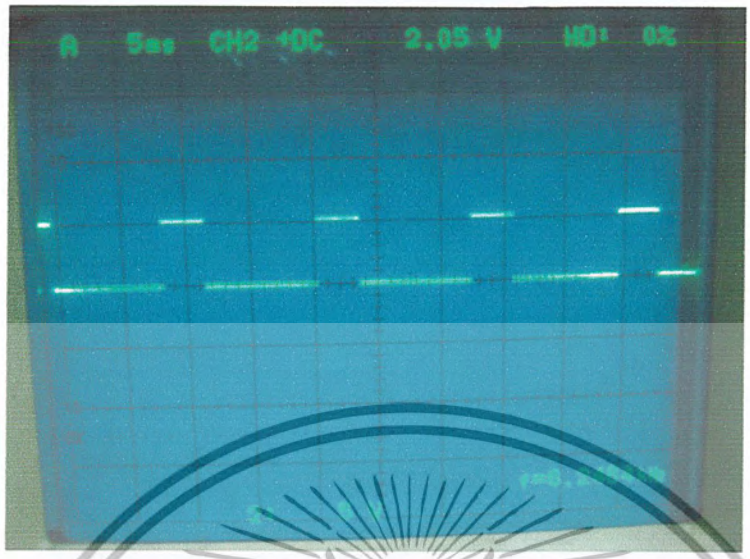
5.3.4 สัญญาณที่จุด TP4 เป็นสัญญาณที่กลับเฟสของ Carrier



รูปที่ 5.16 สัญญาณที่จุด TP4

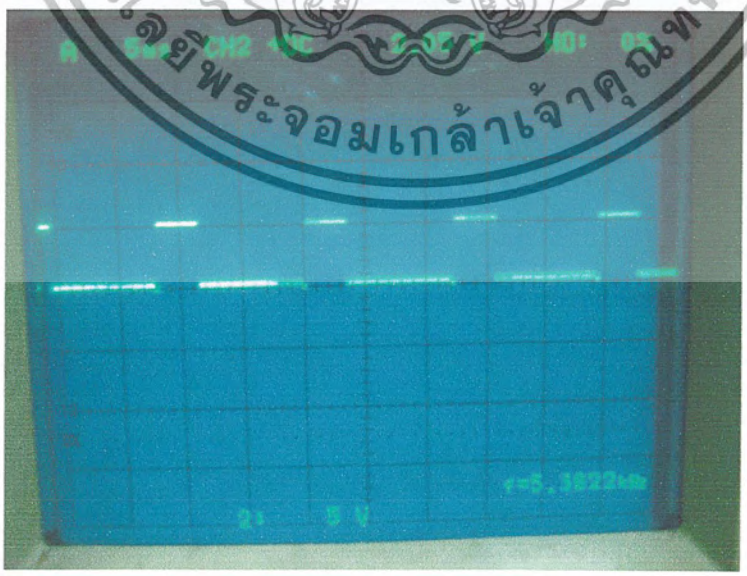
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.5 สัญญาณที่จุด TP5 เป็นสัญญาณที่วัดหลังผ่าน AND GATE 1 ตัว ซึ่งเป็น Buffer ตัวที่ 1



รูปที่ 5.17 สัญญาณที่จุด TP5

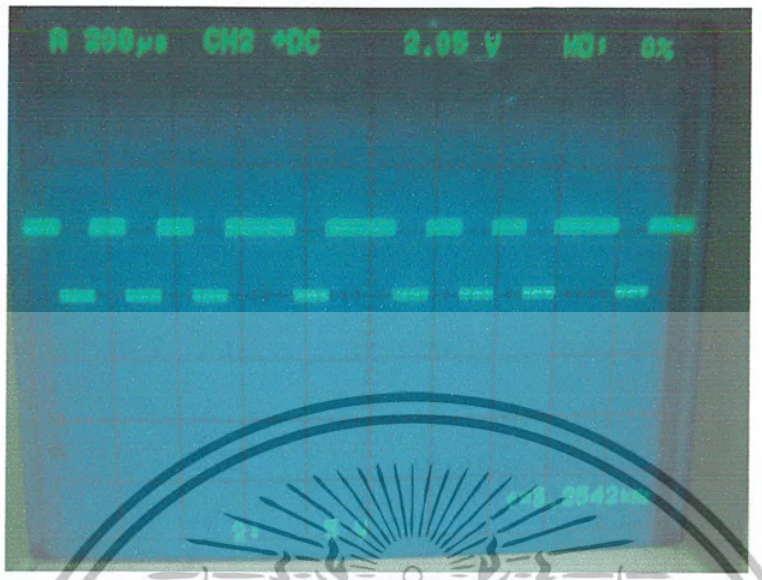
5.3.6 สัญญาณที่จุด TP6 เป็นสัญญาณที่วัดหลังผ่าน AND Gate 2 ตัว ซึ่งเป็น Buffer ตัวที่ 2



รูปที่ 5.18 สัญญาณที่จุด TP6

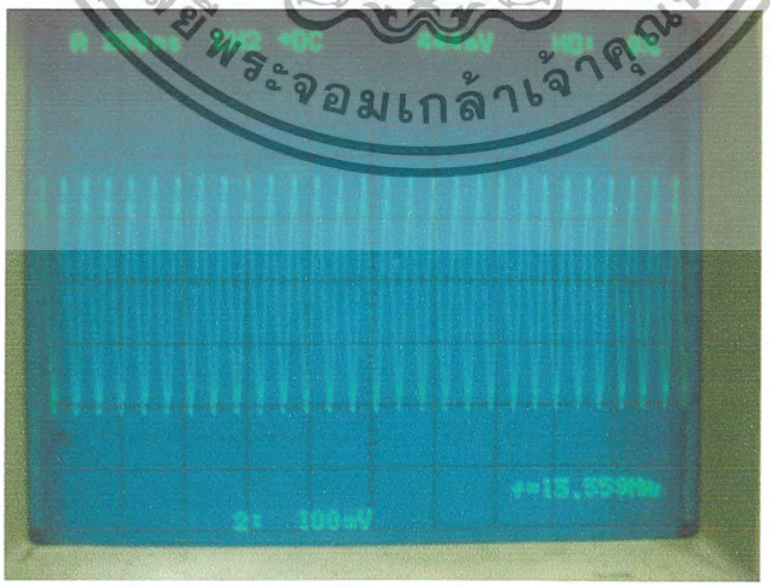
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.7 สัญญาณที่จุด TP7 เป็นจุด DATA OUT ซึ่งเป็นข้อมูลที่จะนำไปส่ง



รูปที่ 5.19 สัญญาณที่จุด TP7

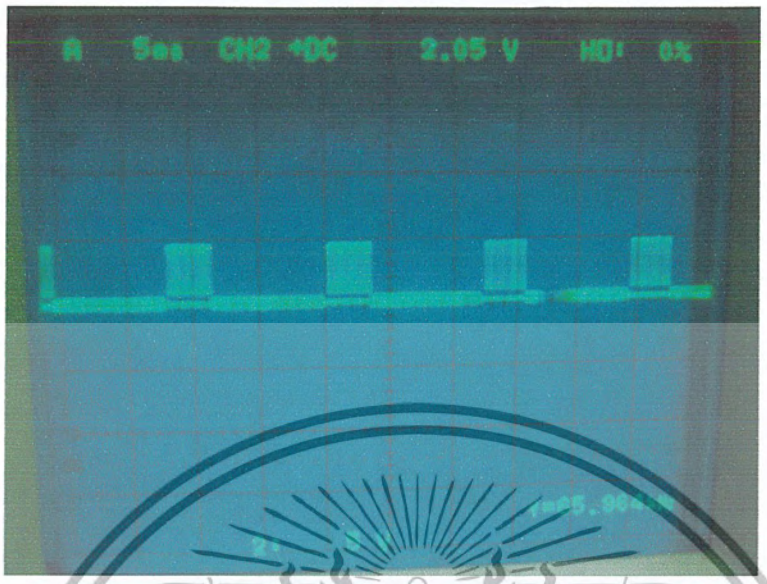
5.3.8 สัญญาณที่จุด TP8 เป็นสัญญาณ Carrier ที่ความถี่ 13.56 MHz



รูปที่ 5.20 สัญญาณที่จุด TP8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

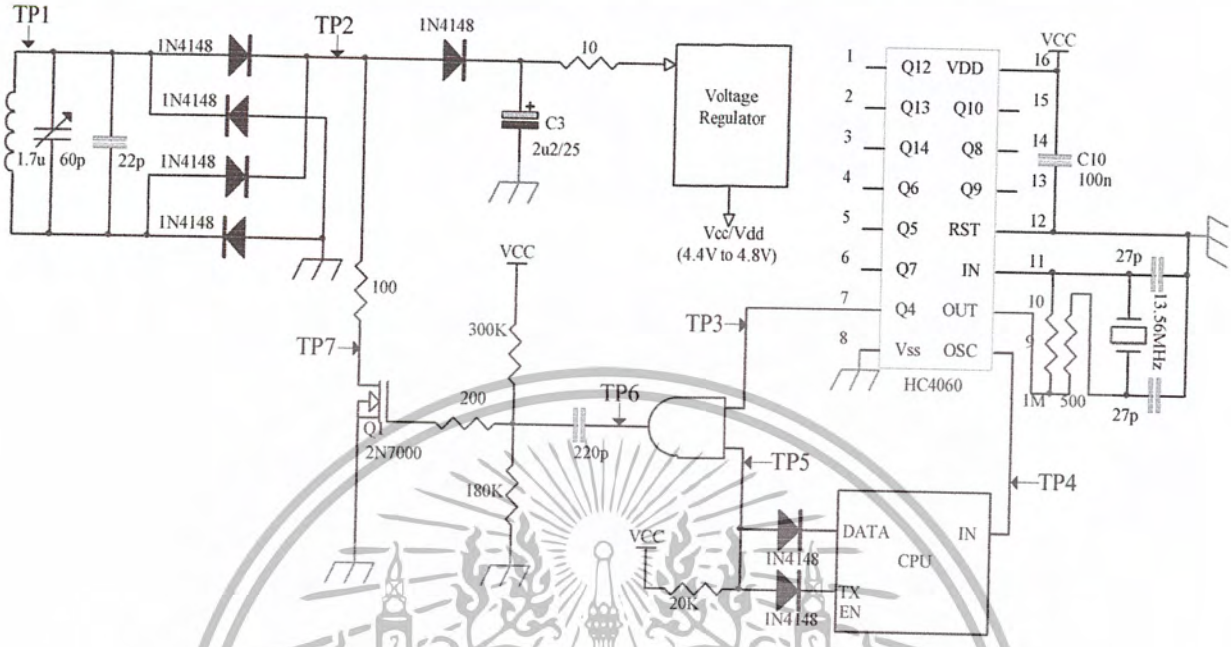
5.3.9 สัญญาณที่จุด TP9 เป็นสัญญาณ DATA ที่ AND สัญญาณ Carrier



รูปที่ 5.21 สัญญาณที่จุด TP9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

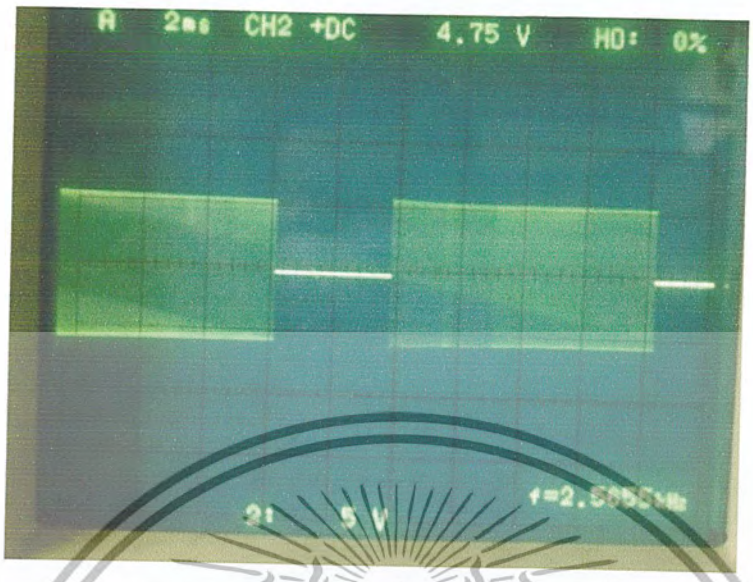
5.4 ทดลองวงจร TEMPORALY TAG (ทดสอบ TAG ของ Load modulation)



รูปที่ 5.22 ทดลองวงจร TEMPORALY TAG (ทดสอบ TAG ของ Load modulation)

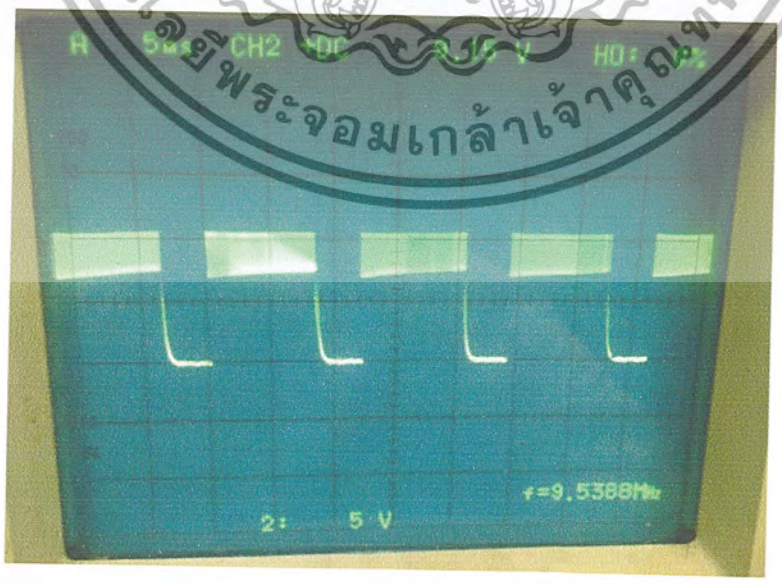
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1 สัญญาณที่จุด TP1 เป็นสัญญาณที่ TAG ได้รับพลังงานจาก Reader Zone



รูปที่ 5.23 สัญญาณที่จุด TP1

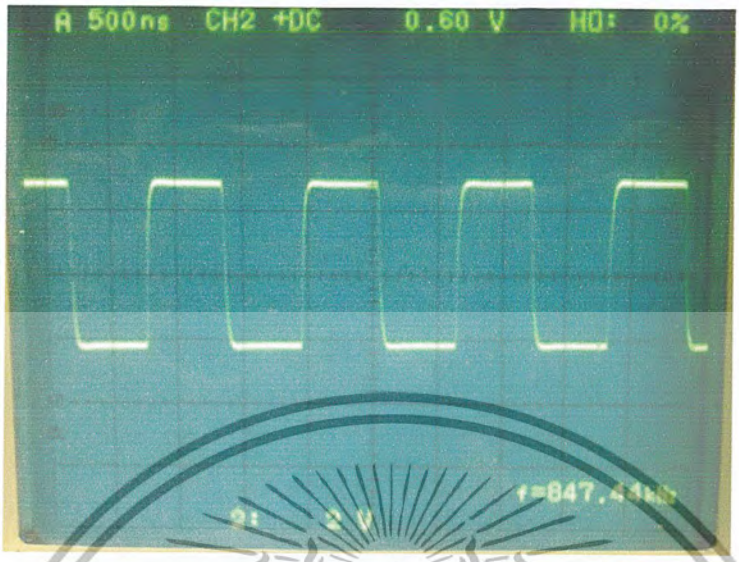
5.4.2 สัญญาณที่จุด TP2 เป็นสัญญาณที่ผ่านวงจร Full Bridge Rectifier



รูปที่ 5.24 สัญญาณที่จุด TP2

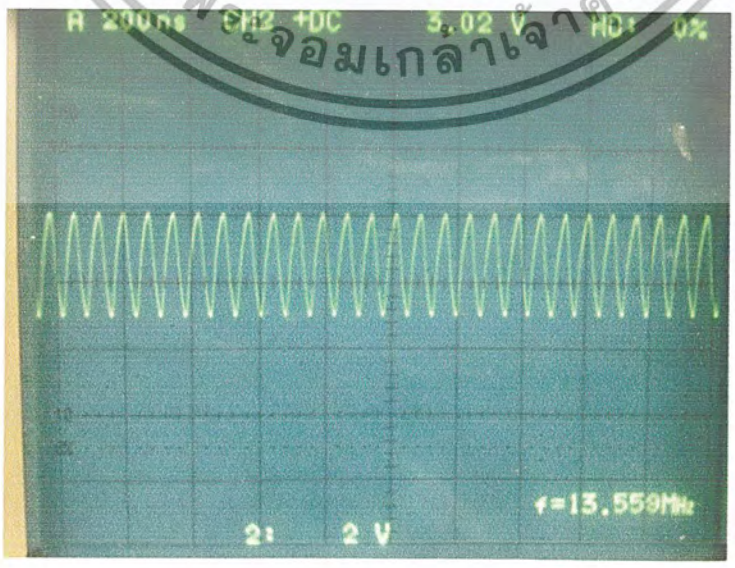
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3 สัญญาณที่จุด TP3 เป็นสัญญาณ Sub-carrier ที่จะนำไป Modulate กับ DATA



รูปที่ 5.25 สัญญาณที่จุด TP3

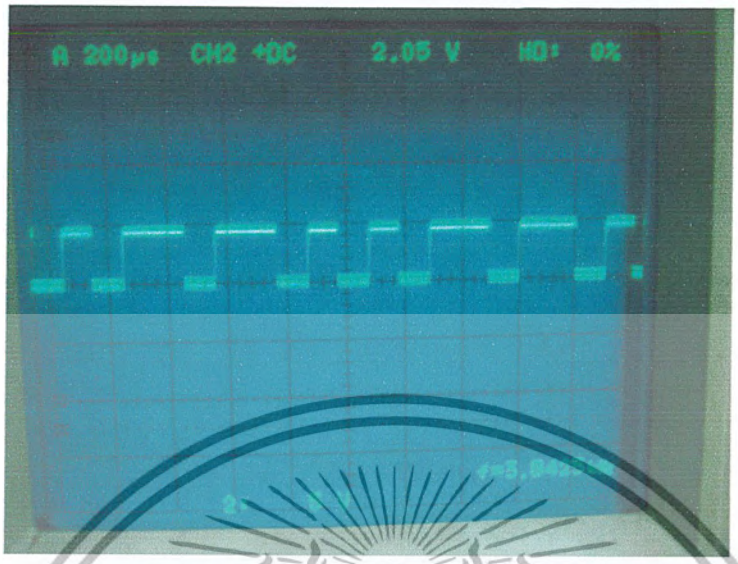
5.4.4 สัญญาณที่จุด TP4 เป็นสัญญาณ Oscillator ของ HC 4060 ซึ่งมีความถี่ 13.56 MHz



รูปที่ 5.26 สัญญาณที่จุด TP4

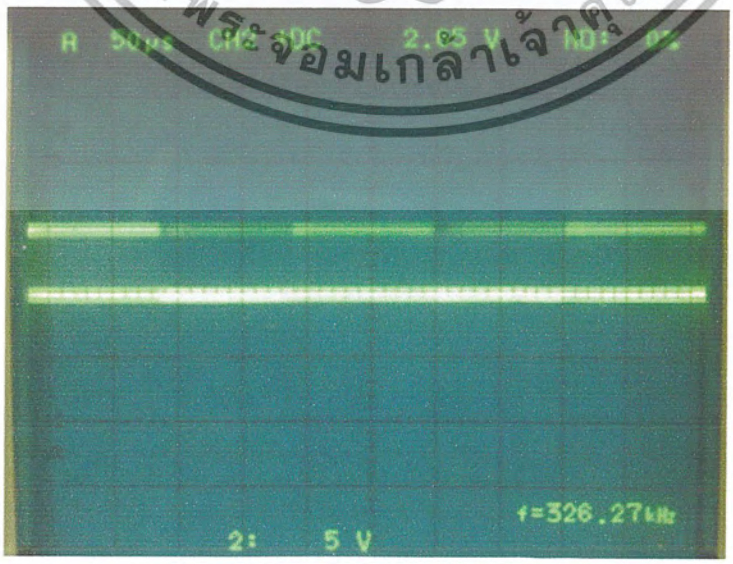
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.5 สัญญาณที่จุด TP5 เป็นสัญญาณ DATA OUT ซึ่งเป็น DATA ที่จะนำไปส่ง



รูปที่ 5.27 สัญญาณที่จุด TP5

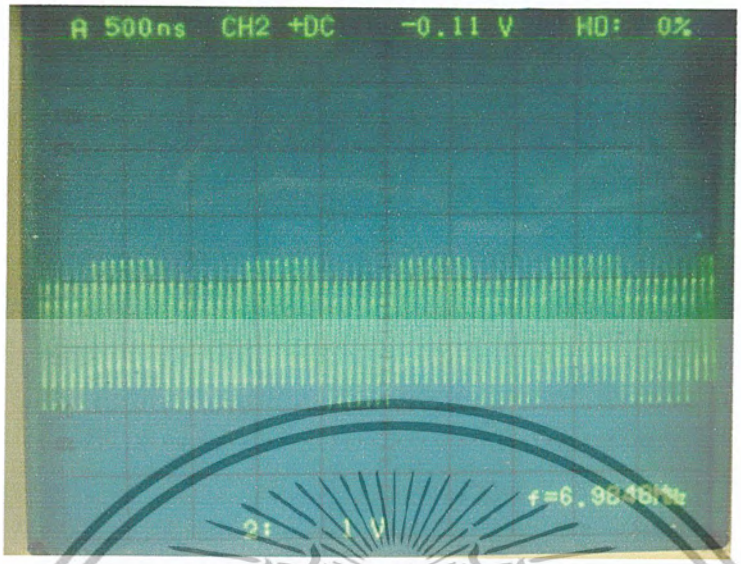
5.4.6 สัญญาณที่จุด TP6 เป็นสัญญาณ DATA ที่ AND กับ Sub-carrier



รูปที่ 5.28 สัญญาณที่จุด TP6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.7 สัญญาณที่จุด TP7 เป็นสัญญาณจากจุด TP6 นำมา Modulate กับ MOSFET อีกครั้ง



รูปที่ 5.29 สัญญาณที่จุด TP7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) มายังเครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ยังไม่ต่อโหลด

5.5.1 ของ Sequential

ตารางที่ 5.9 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจาก Reader มายัง TAG ในกรณีที่ยังไม่ต่อโหลด

ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)	แรงดันที่จุด V_{in} ของ TAG Regulator (V)	ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)	แรงดันที่จุด V_{in} ของ TAG Regulator (V)
0.0	17.88	4.5	9.91
0.5	17.85	5.0	7.85
1.0	17.84	5.5	5.78
1.5	17.75	6.0	5.00
2.0	17.69	6.5	4.45
2.5	17.58	7.0	4.35
3.0	17.37	7.5	3.70
3.5	15.05	8.0	3.95
4.0	12.80	8.5	3.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 ของ Load modulation

ตารางที่ 5.10 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจาก Reader มายัง TAG ในกรณีที่ยังไม่ต่อโหลด

ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)	แรงดันที่จุด V_{in} ของ TAG Regulator (V)	ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)	แรงดันที่จุด V_{in} ของ TAG Regulator (V)
0.0	18.45	4.5	11.78
0.5	18.30	5.0	9.65
1.0	18.20	5.5	7.70
1.5	18.10	6.0	6.10
2.0	17.92	6.5	4.85
2.5	17.83	7.0	4.58
3.0	17.69	7.5	4.26
3.5	16.45	8.0	3.92
4.0	14.15	8.5	3.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 ผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) มายังเครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator

5.6.1 ของ Sequential

ตารางที่ 5.11 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) เครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่ใช้งานจริง ของ Sequential

(R_{TAG} = 710 Ω)

ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)	แรงดันที่จุด V_{in} ของ TAG Regulator (V)	แรงดันที่จุด V_{out} ของ TAG Regulator (V)
0.0	18.05	5.15
0.5	18.06	5.15
1.0	18.03	5.15
1.5	17.93	5.15
2.0	17.85	5.15
2.5	17.75	5.15
3.0	17.64	5.15
3.5	16.02	5.15
4.0	14.17	5.15
4.5	12.13	5.14
5.0	10.08	5.14
5.5	8.23	4.88
6.0	6.59	4.15
6.5	4.98	3.67
7.0	4.52	3.17
7.5	4.35	2.62
8.0	4.01	2.34
8.5	3.82	2.01
9.0	3.76	1.65
9.5	3.62	1.37
10.0	3.21	1.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.12 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) เครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่ใช้งานจริง ของ Sequential

(R_{TAG} = 500 Ω)

ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)	แรงดันที่จุด V_{in} ของ TAG Regulator (V)	แรงดันที่จุด V_{out} ของ TAG Regulator (V)
0.0	17.98	5.15
0.5	17.83	5.14
1.0	17.83	5.14
1.5	17.66	5.14
2.0	16.76	5.14
2.5	14.40	5.14
3.0	10.71	5.14
3.5	8.64	5.14
4.0	6.77	5.13
4.5	4.83	4.53
5.0	4.13	3.96
5.5	3.69	3.43
6.0	3.16	2.93
6.5	2.67	2.32
7.0	2.18	1.93
7.5	1.89	1.63
8.0	1.66	1.36
8.5	1.51	1.18
9.0	1.37	0.97
9.5	1.29	0.81
10.0	1.20	0.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) เครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่ใช้งานจริง ของ Sequential

(R_{TAG} = 1 KΩ)

ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)	แรงดันที่จุด V_{in} ของ TAG Regulator (V)	แรงดันที่จุด V_{out} ของ TAG Regulator (V)
0.0	18.27	5.15
0.5	18.20	5.15
1.0	18.15	5.15
1.5	18.03	5.15
2.0	17.82	5.15
2.5	17.53	5.15
3.0	14.25	5.15
3.5	12.28	5.15
4.0	10.18	5.15
4.5	8.16	5.14
5.0	6.49	5.14
5.5	5.03	4.88
6.0	4.32	4.15
6.5	3.81	3.67
7.0	3.29	3.17
7.5	2.76	2.62
8.0	2.49	2.34
8.5	2.14	2.01
9.0	1.77	1.65
9.5	1.52	1.37
10.0	1.32	1.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

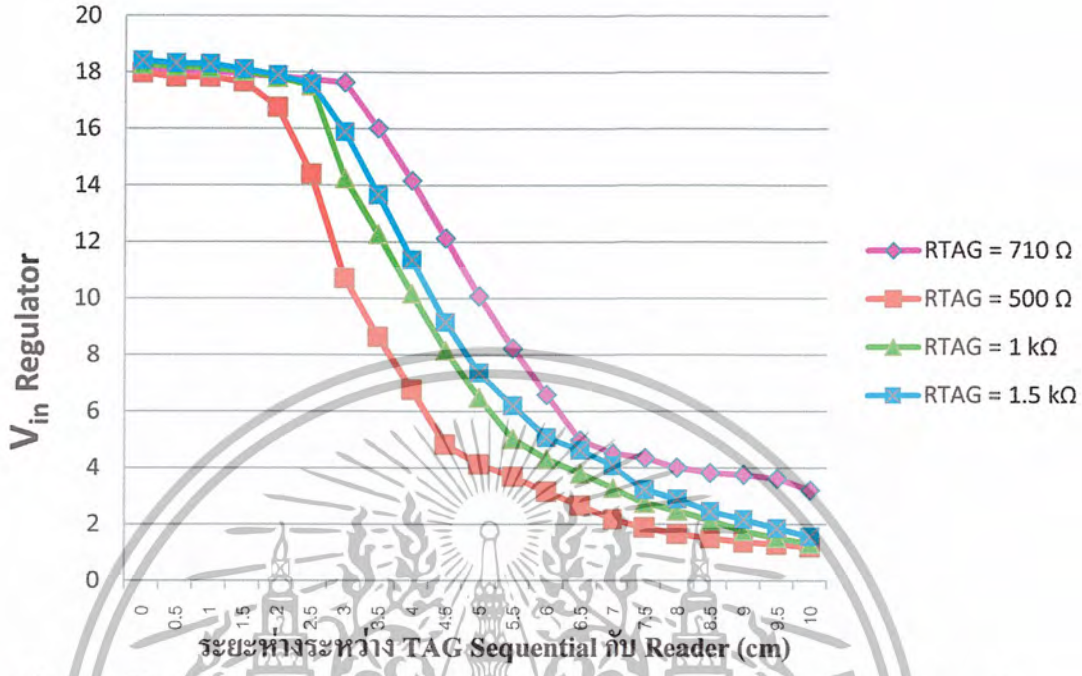
ตารางที่ 5.14 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) เครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่ใช้งานจริง ของ Sequential

(R_{TAG} = 1.5 KΩ)

ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)	แรงดันที่จุด V_{in} ของ TAG Regulator (V)	แรงดันที่จุด V_{out} ของ TAG Regulator (V)
0.0	18.42	5.15
0.5	18.32	5.15
1.0	18.30	5.15
1.5	18.11	5.15
2.0	17.90	5.15
2.5	17.59	5.15
3.0	15.90	5.15
3.5	13.67	5.15
4.0	11.37	5.15
4.5	9.16	5.15
5.0	7.37	5.14
5.5	6.21	5.14
6.0	5.08	4.95
6.5	4.63	4.41
7.0	4.08	3.87
7.5	3.23	3.13
8.0	2.90	2.78
8.5	2.46	2.36
9.0	2.18	2.01
9.5	1.86	1.72
10.0	1.57	1.46

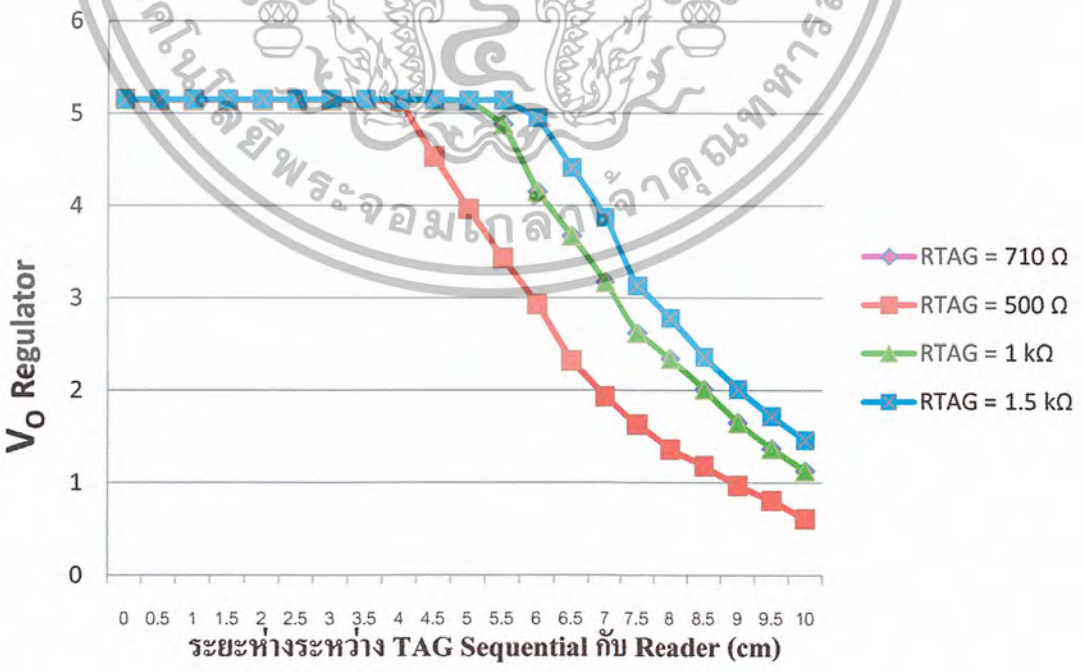
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน V_{in} (V) ของ TAG Regulator กับ ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)



รูปที่ 5.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน V_{in} (V) ของ TAG Regulator กับ ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน V_{out} (V) ของTAG Regulator กับระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)



รูปที่ 5.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน V_{out}(V) ของ TAG Regulator กับ ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.2 ของ Load modulation

ตารางที่ 5.15 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) เครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่ใช้งานจริง ของ Load modulation

(R_{TAG} = 373 Ω)

ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)	แรงดันที่จุด V_{in} ของ TAG Regulator (V)	แรงดันที่จุด V_{out} ของ TAG Regulator (V)
0.0	18.27	4.94
0.5	18.06	4.94
1.0	18.00	4.94
1.5	17.89	4.94
2.0	17.82	4.94
2.5	17.67	4.94
3.0	17.33	4.94
3.5	14.30	4.94
4.0	11.53	4.94
4.5	9.30	4.94
5.0	7.33	4.94
5.5	5.25	4.94
6.0	4.78	4.94
6.5	4.33	4.21
7.0	4.31	4.21
7.5	4.17	4.15
8.0	4.08	3.80
8.5	3.72	3.62
9.0	3.51	3.25
9.5	3.15	3.02
10.0	2.88	2.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.16 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) เครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่ใช้งานจริง ของ Load modulation

(R_{TAG} = 500 Ω)

ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)	แรงดันที่จุด V_{in} ของ TAG Regulator (V)	แรงดันที่จุด V_{out} ของ TAG Regulator (V)
0.0	17.86	4.96
0.5	17.81	4.96
1.0	17.73	4.96
1.5	17.59	4.95
2.0	17.30	4.95
2.5	15.83	4.95
3.0	12.13	4.95
3.5	9.61	4.95
4.0	6.65	4.94
4.5	4.82	4.61
5.0	4.27	4.09
5.5	3.86	3.61
6.0	3.48	3.23
6.5	3.10	2.82
7.0	2.76	2.50
7.5	2.51	2.23
8.0	2.29	1.99
8.5	2.04	1.78
9.0	1.89	1.62
9.5	1.85	1.42
10.0	1.62	1.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.17 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) เครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่ใช้งานจริง ของ Load modulation (R_{TAG} = 1 kΩ)

ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)	แรงดันที่จุด V_{in} ของ TAG Regulator (V)	แรงดันที่จุด V_{out} ของ TAG Regulator (V)
0.0	18.34	4.96
0.5	18.20	4.93
1.0	18.17	4.93
1.5	18.09	4.92
2.0	18.00	4.92
2.5	17.91	4.92
3.0	17.70	4.92
3.5	17.54	4.92
4.0	18.85	4.92
4.5	12.72	4.92
5.0	9.51	4.92
5.5	7.52	4.92
6.0	5.23	4.89
6.5	4.63	4.46
7.0	4.34	4.05
7.5	3.71	3.60
8.0	3.37	3.21
8.5	3.08	2.87
9.0	2.72	2.60
9.5	2.49	2.35
10.0	2.30	2.09

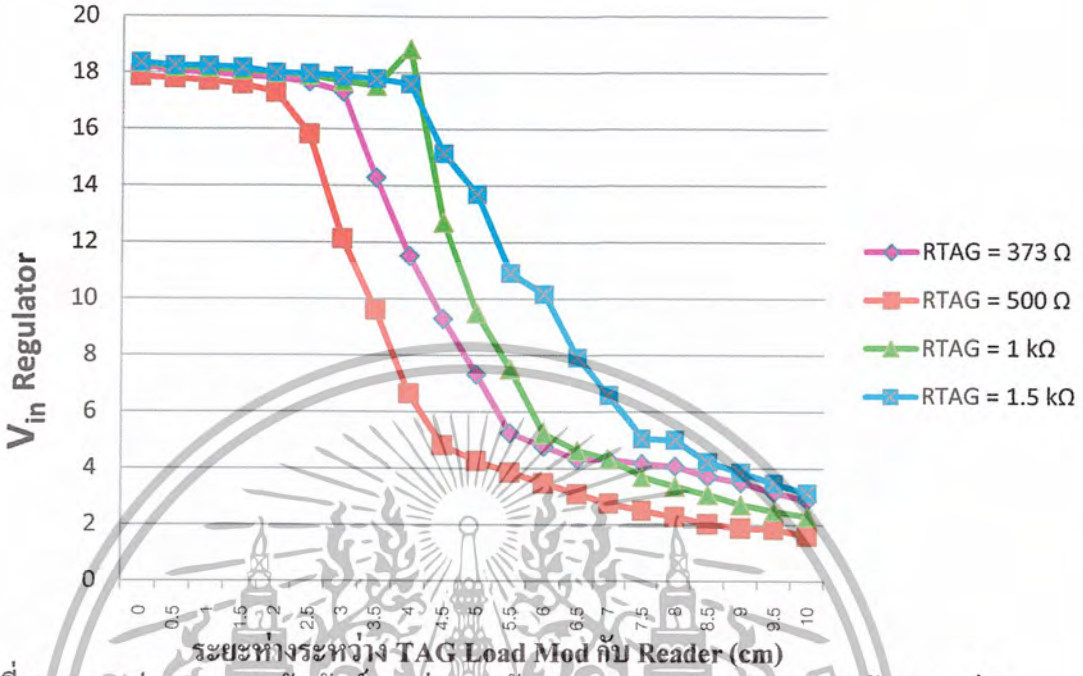
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.18 แสดงผลการทดลองของการส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน (Reader) เครื่องลูกข่าย (TAG) ในกรณีที่ต่อโหลดของ TAG Regulator ที่ใช้งานจริง ของ Load modulation (R_{TAG} = 1.5 kΩ)

ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)	แรงดันที่จุด V_{in} ของ TAG Regulator (V)	แรงดันที่จุด V_{out} ของ TAG Regulator (V)
0.0	18.36	4.94
0.5	18.26	4.94
1.0	18.25	4.94
1.5	18.18	4.94
2.0	18.00	4.94
2.5	17.97	4.94
3.0	17.88	4.94
3.5	17.79	4.94
4.0	17.61	4.94
4.5	15.15	4.94
5.0	13.71	4.98
5.5	10.92	4.98
6.0	10.17	4.98
6.5	7.92	4.97
7.0	6.59	4.97
7.5	5.05	4.94
8.0	5.01	4.58
8.5	4.23	4.18
9.0	3.86	3.72
9.5	3.47	3.37
10.0	3.13	3.02

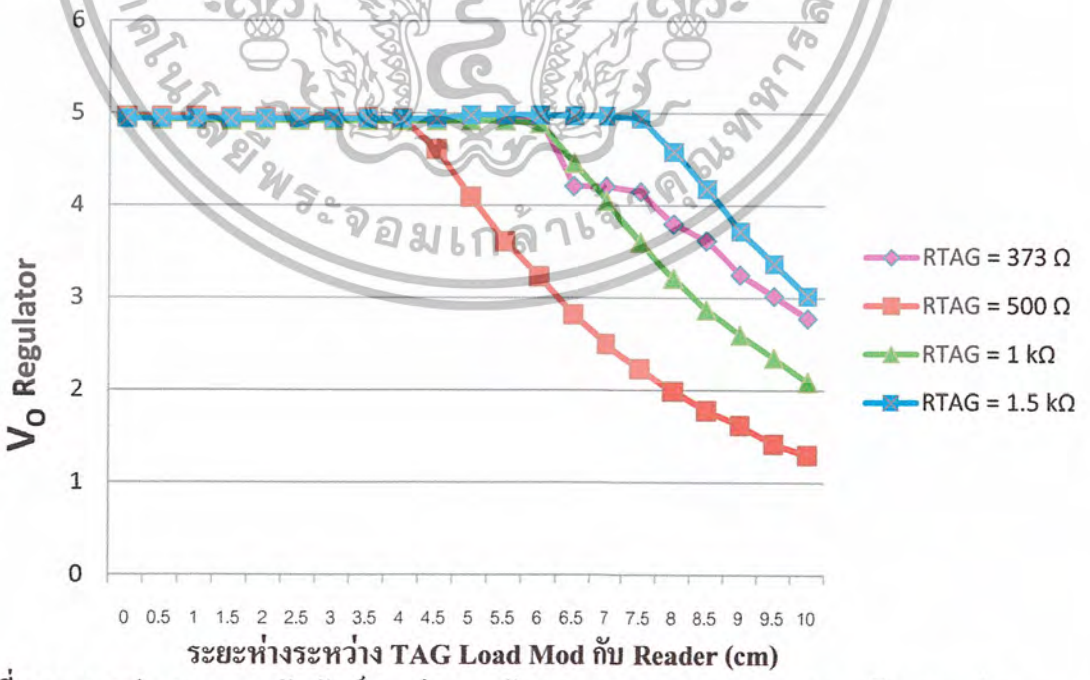
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน V_{in} (V) ของ TAG Regulator กับ ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)



รูปที่ 5.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน V_{in} (V) ของ TAG Regulator กับ ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)

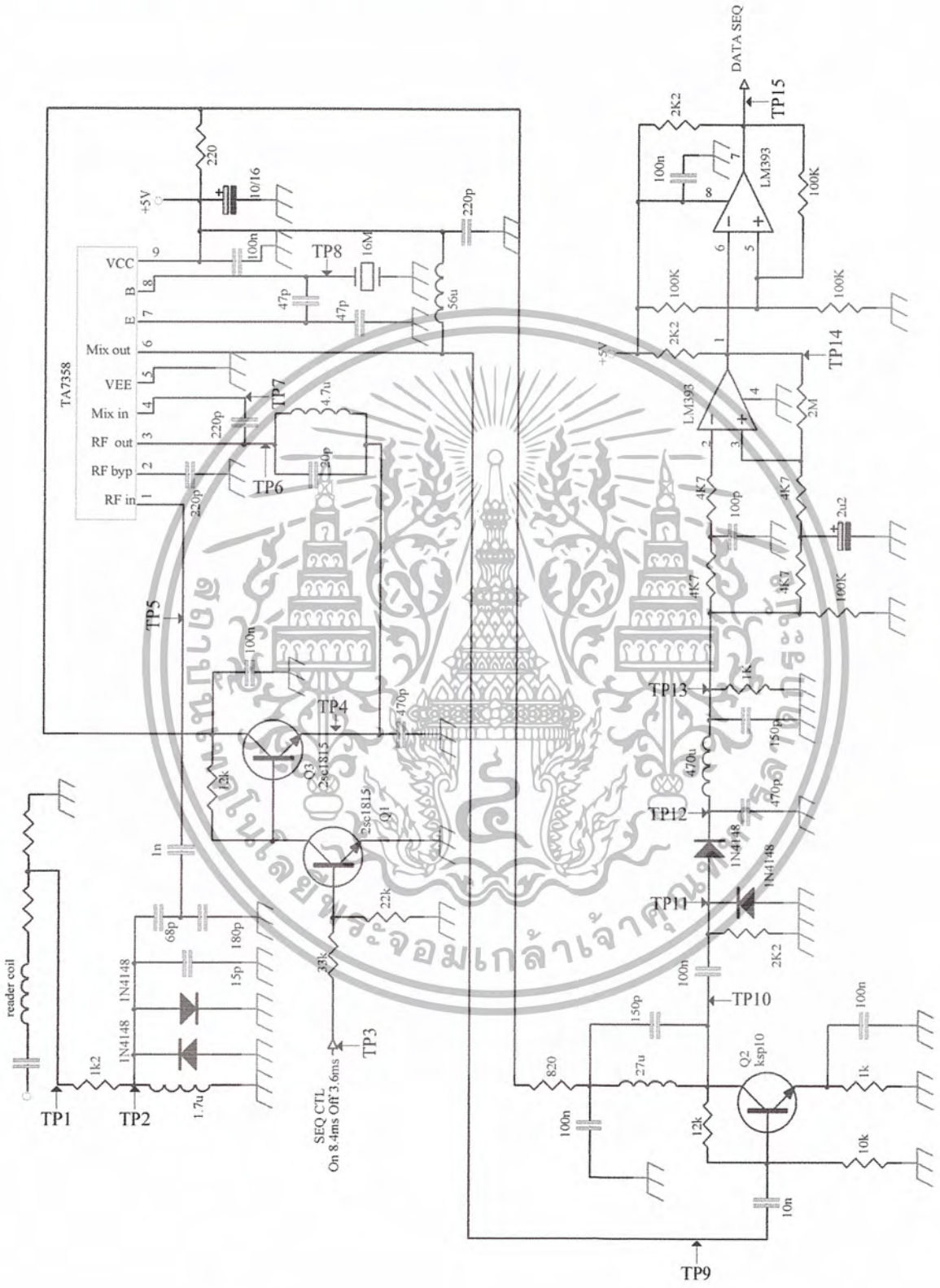
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน V_O (V) ของ TAG Regulator กับ ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)



รูปที่ 5.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน V_{out} (V) ของ TAG Regulator กับ ระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader (cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

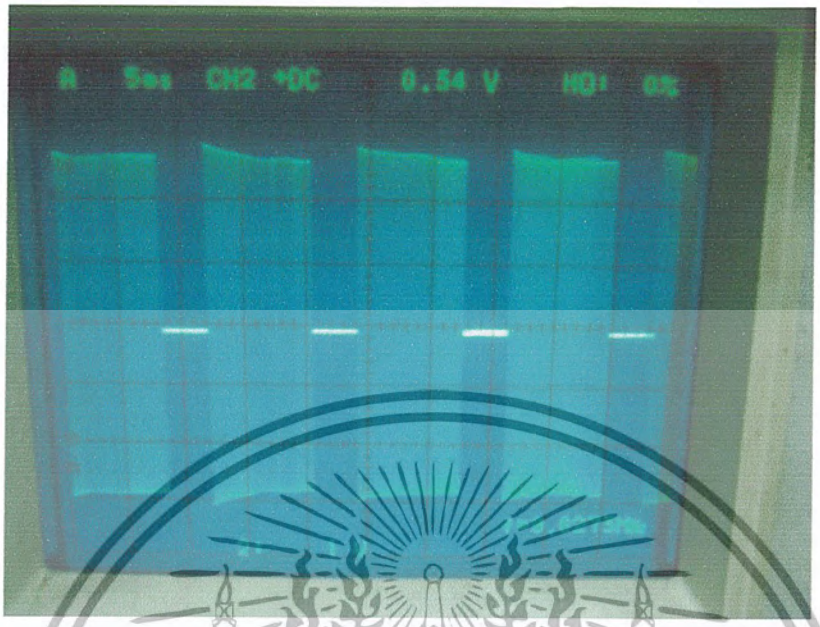
5.7 ผลการทดลองการ Demodulation ของ Sequential



รูปที่ 5.34 ผลการทดลองการ Demodulation ของ Sequential

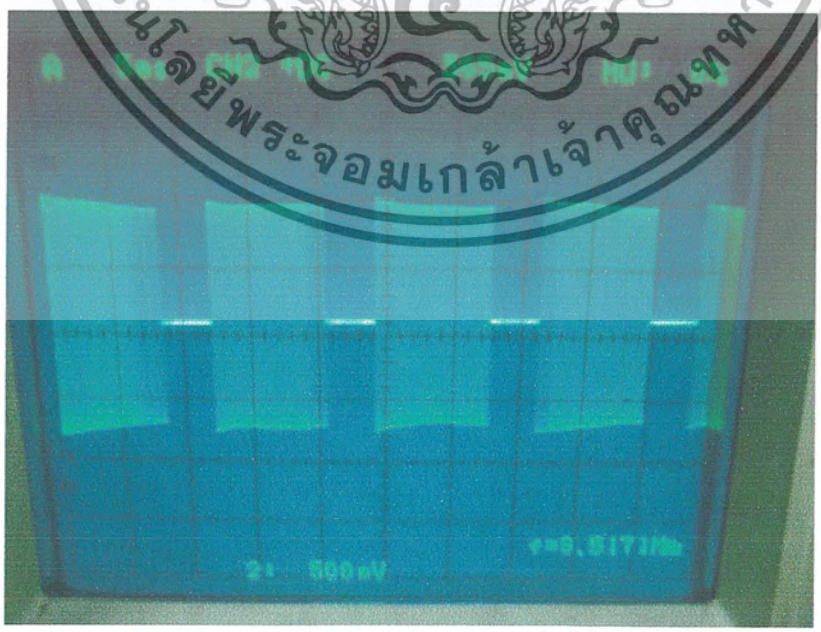
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.1 สัญญาณที่จุด TP1 ซึ่งเป็นสัญญาณที่มาจาก Reader Coil



รูปที่5.35 สัญญาณที่จุด TP1

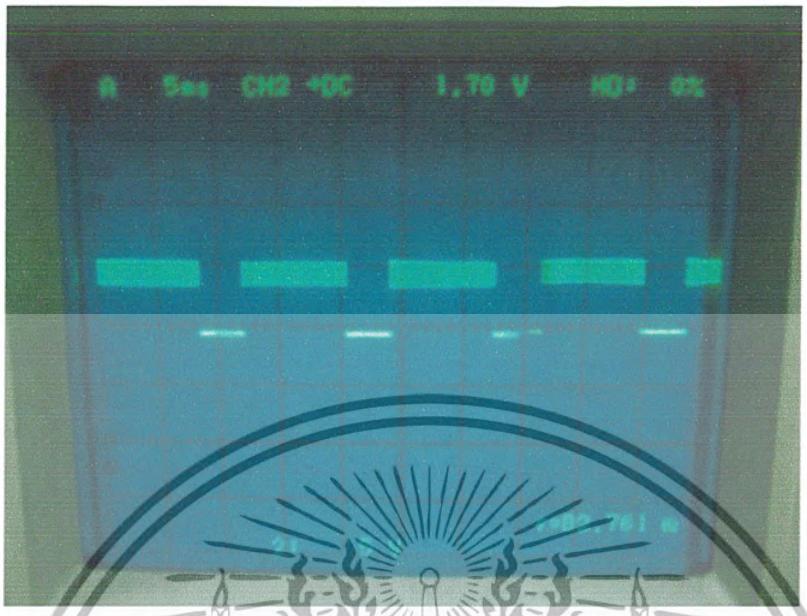
5.7.2 สัญญาณที่จุด TP2 ซึ่งเป็นสัญญาณก่อนเข้า RF in



รูปที่5.36 สัญญาณที่จุด TP2

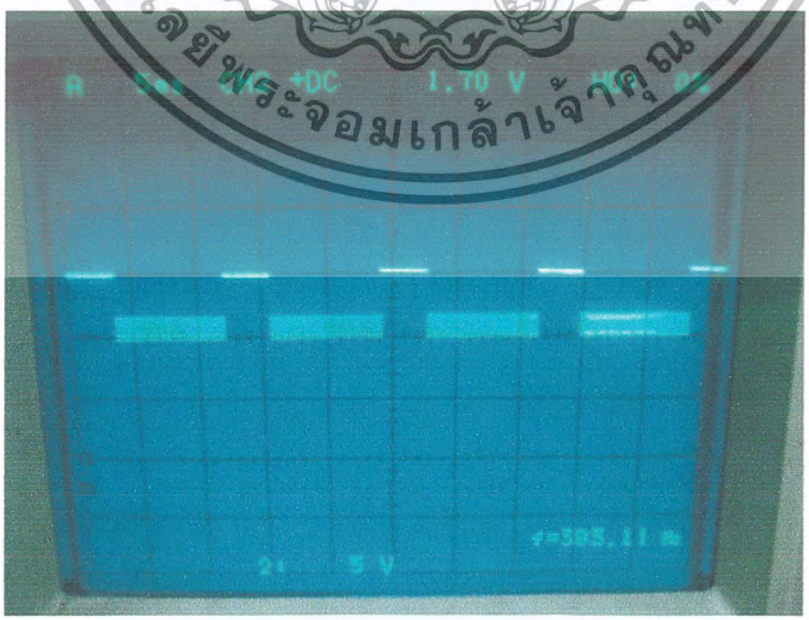
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.3 สัญญาณที่จุด TP3 ซึ่งเป็นสัญญาณที่มาจาก Sequential Control



รูปที่5.37 สัญญาณที่จุด TP3

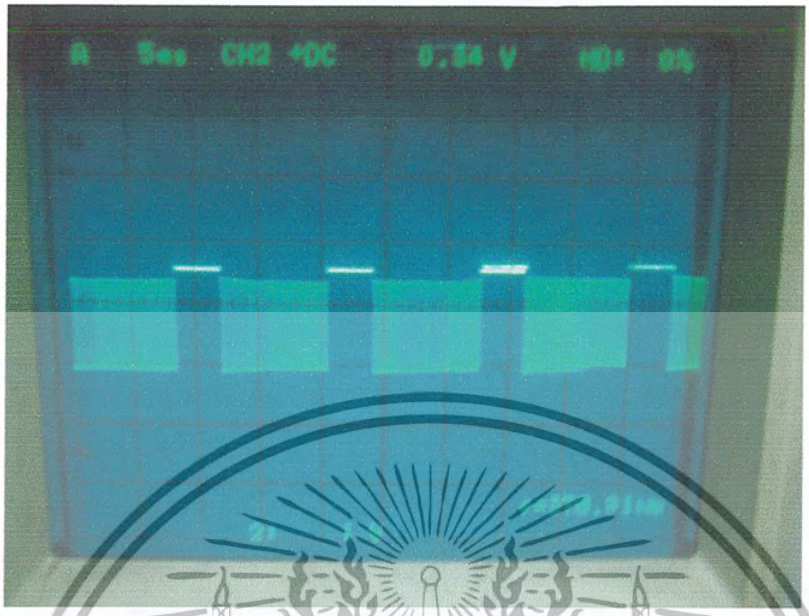
5.7.4 สัญญาณที่จุด TP4 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ออกจาก Output ขา E 2SC1815 ของ Q2



รูปที่5.38 สัญญาณที่จุด TP4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.5 สัญญาณที่จุด TP5 ซึ่งเป็นสัญญาณที่มาจาก Reader coil เข้า RF in



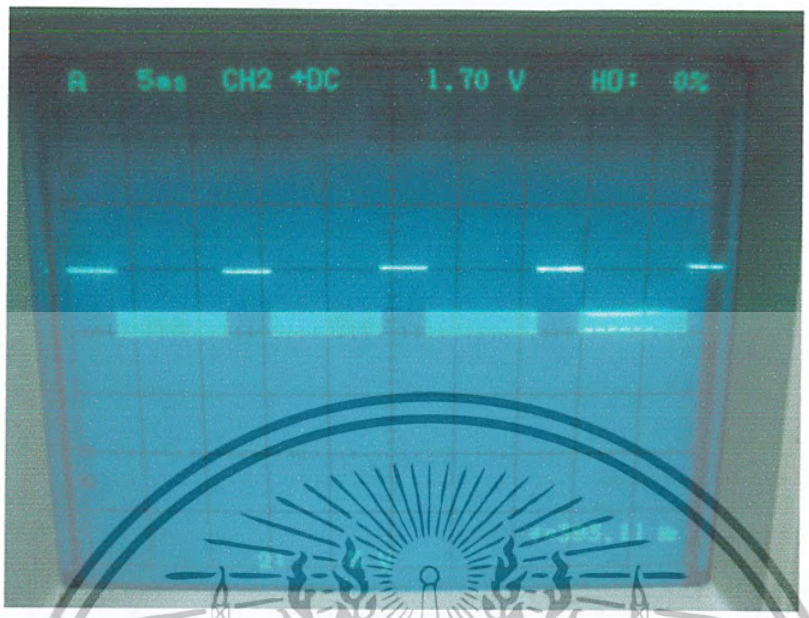
รูปที่5.39 สัญญาณที่จุด TP5

5.7.6 สัญญาณที่จุด TP6 ซึ่งเป็นสัญญาณที่มาจาก RF out

รูปที่5.40 สัญญาณที่จุด TP6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.7 สัญญาณที่จุด TP7 ซึ่งเป็นสัญญาณที่มาจาก Input Mixer



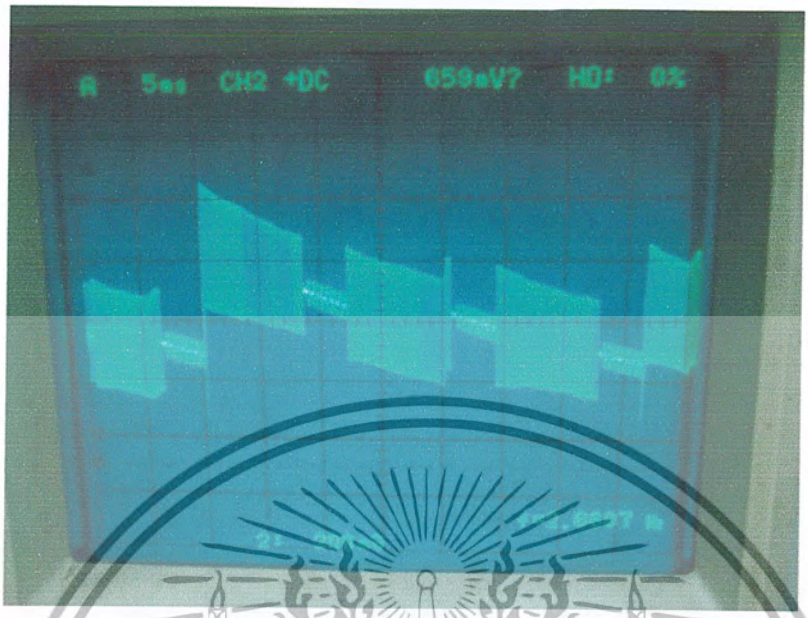
รูปที่5.41 สัญญาณที่จุด TP7

5.7.8 สัญญาณที่จุด TP8 ซึ่งเป็นสัญญาณที่มาจากขา 8 ของ TA7358

รูปที่5.42 สัญญาณที่จุด TP8

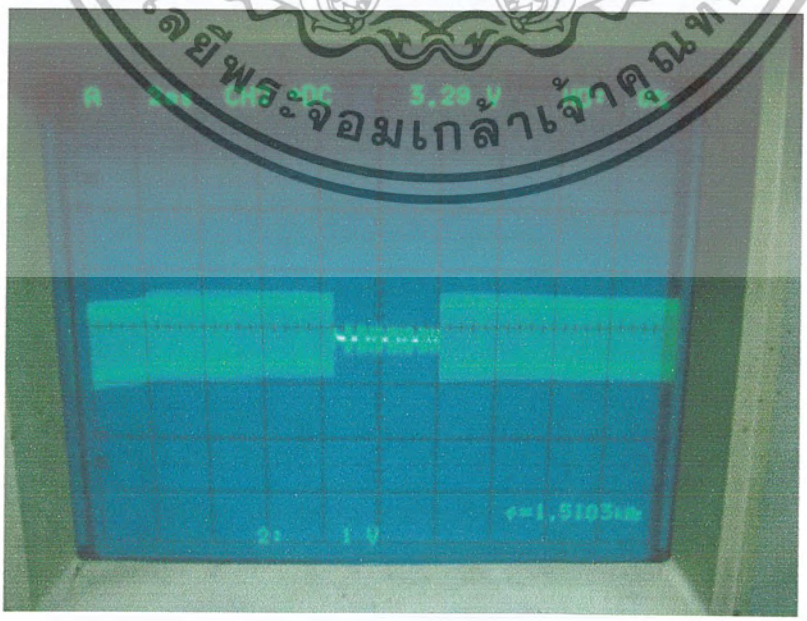
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.9 สัญญาณที่จุด TP9 ซึ่งเป็นสัญญาณที่มาจากขา 6 Mix out



รูปที่5.43 สัญญาณที่จุด TP9

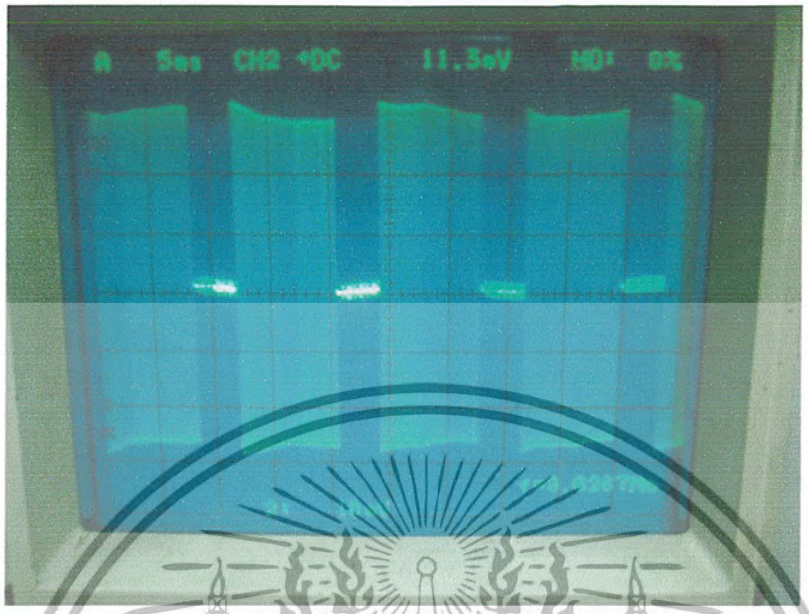
5.7.10 สัญญาณที่จุด TP10 ซึ่งเป็นสัญญาณที่มาจากขา C ของ KSP 10



รูปที่5.44 สัญญาณที่จุด TP10

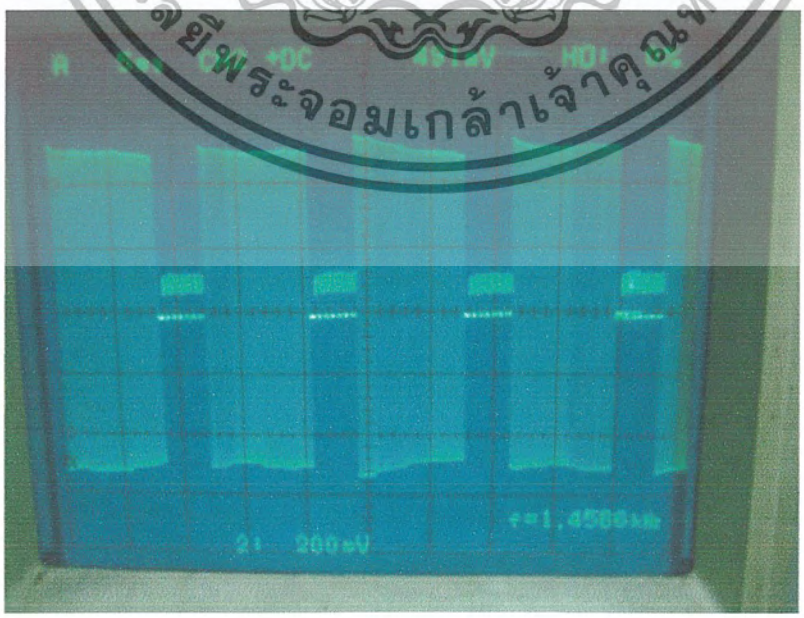
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.11 สัญญาณที่จุด TP11 ซึ่งเป็นสัญญาณที่จุดวงจร Limiter



รูปที่5.45 สัญญาณที่จุด TP11

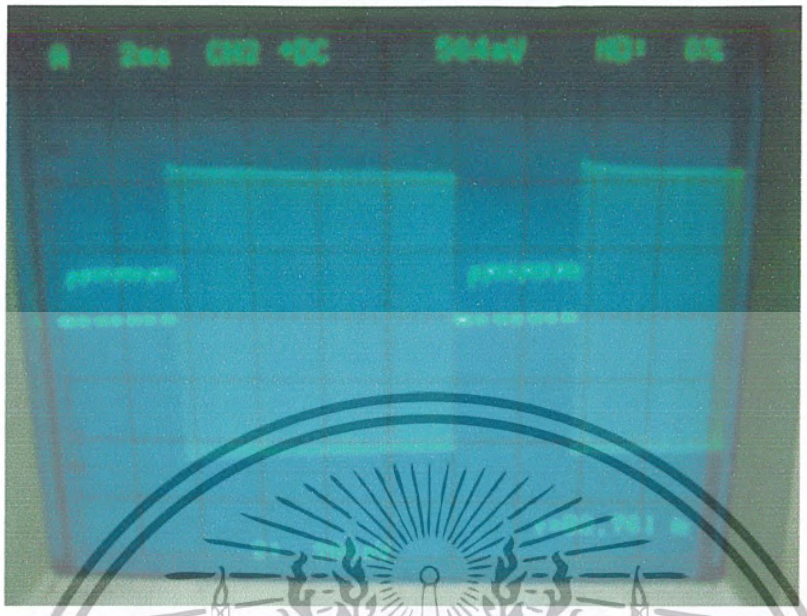
5.7.12 สัญญาณที่จุด TP12 ซึ่งเป็นสัญญาณที่จุดวงจร Envelope Detector



รูปที่5.46 สัญญาณที่จุด TP12

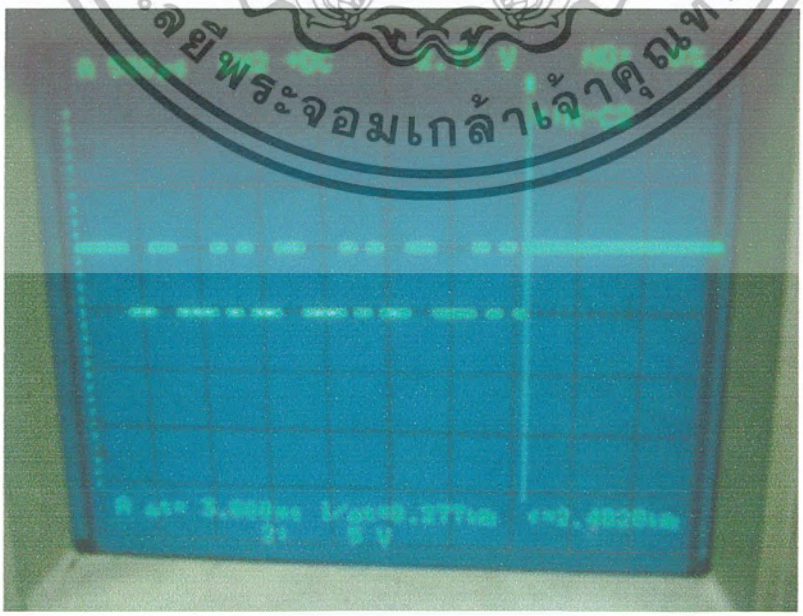
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.13 สัญญาณที่จุด TP13 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ผ่าน Low Pass Filter



รูปที่5.47 สัญญาณที่จุด TP13

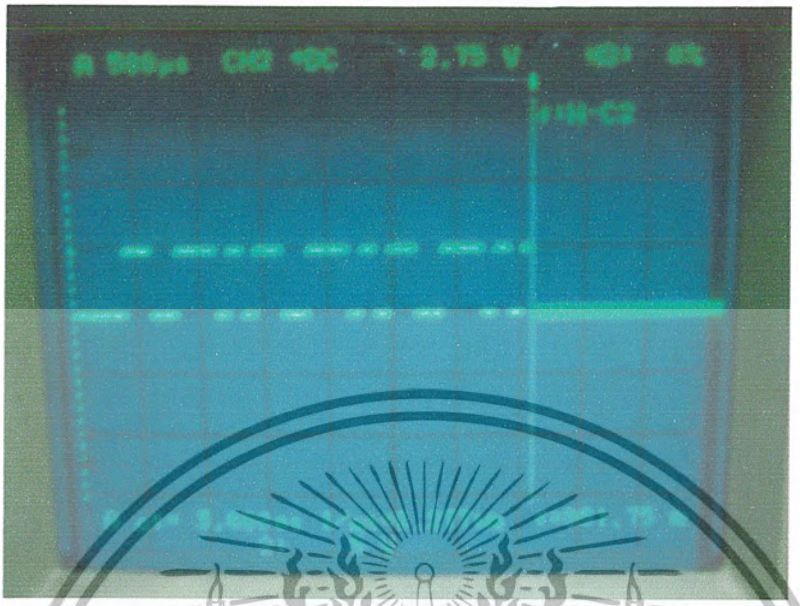
5.7.14 สัญญาณที่จุด TP14 ซึ่งเป็นสัญญาณ $\overline{DATA}$



รูปที่5.48 สัญญาณที่จุด TP14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.15 สัญญาณที่จุด TP15 ซึ่งเป็นสัญญาณ DATA



รูปที่5.49 สัญญาณที่จุด TP15

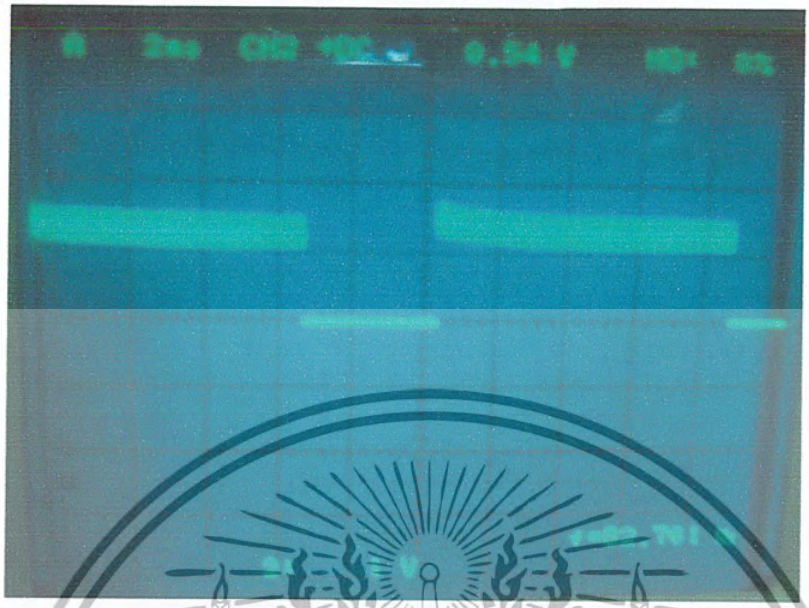
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8 ผลการทดลองการ Demodulation ของ Load Modulation

รูปที่5.50 ผลการทดลองการ Demodulation ของ Load Modulation

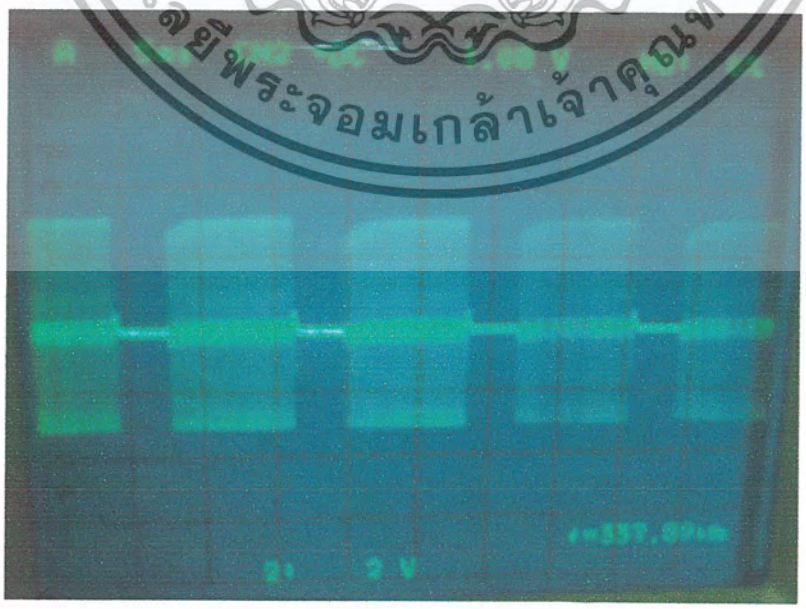
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8.1 สัญญาณที่จุด TP1 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ Output ของวงจรกรองความถี่แบบ Butterworth Filter



รูปที่5.51 สัญญาณที่จุด TP1

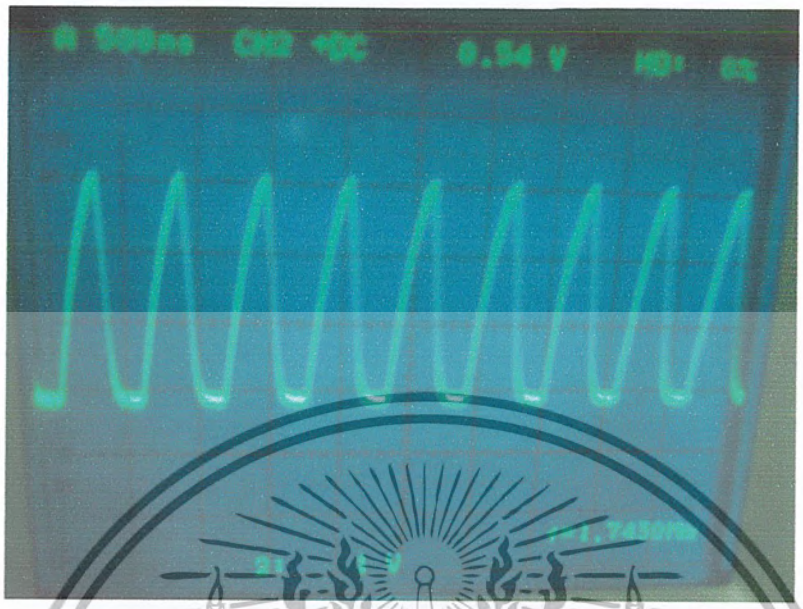
5.8.2 สัญญาณที่จุด TP2 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ Output ของวงจรขยาย Voltage Amplifier แบบ POSI Amplifier



รูปที่5.52 สัญญาณที่จุด TP2

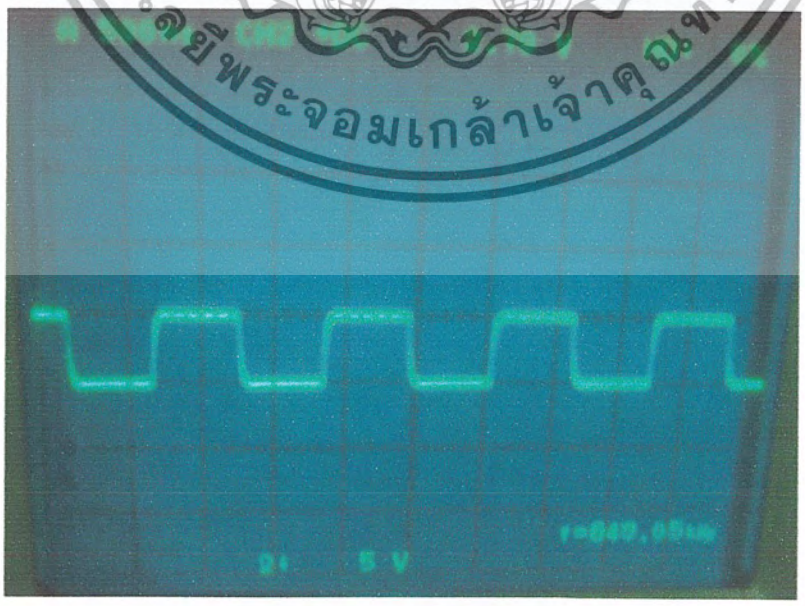
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8.3 สัญญาณที่จุด TP3 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ผ่านวงจร Comparator



รูปที่5.53 สัญญาณที่จุด TP3

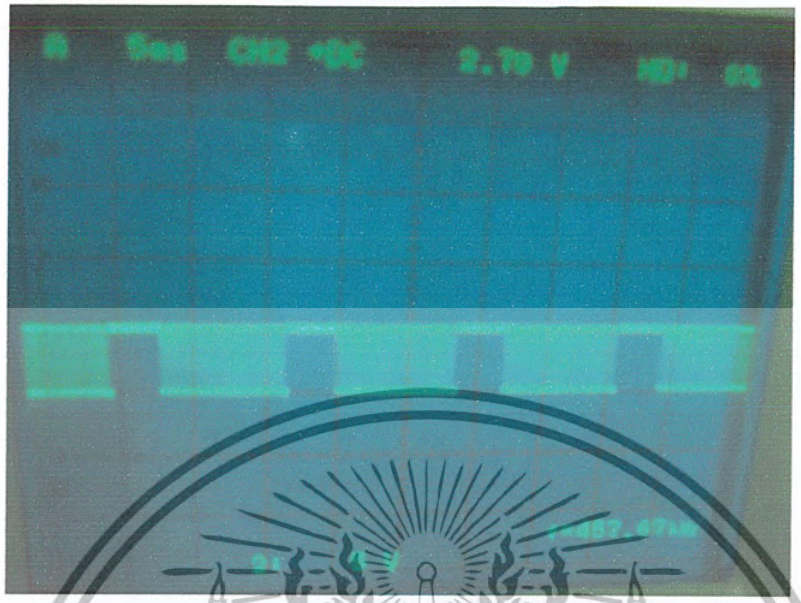
5.8.4 สัญญาณที่จุด TP4 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ผ่านวงจรหาร 2 เพื่อสร้างคืนสัญญาณ Sub-carrier 847.5kHz



รูปที่5.54 สัญญาณที่จุด TP4

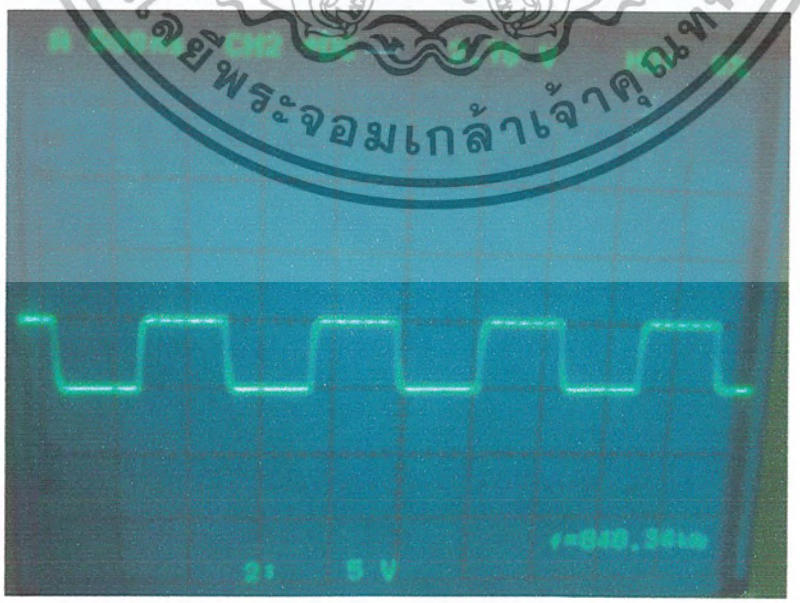
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8.5 สัญญาณที่จุด TP5 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ผ่านวงจร Comparator ที่มีสัญญาณ Sub-carrier และ DATA



รูปที่5.55 สัญญาณที่จุด TP5

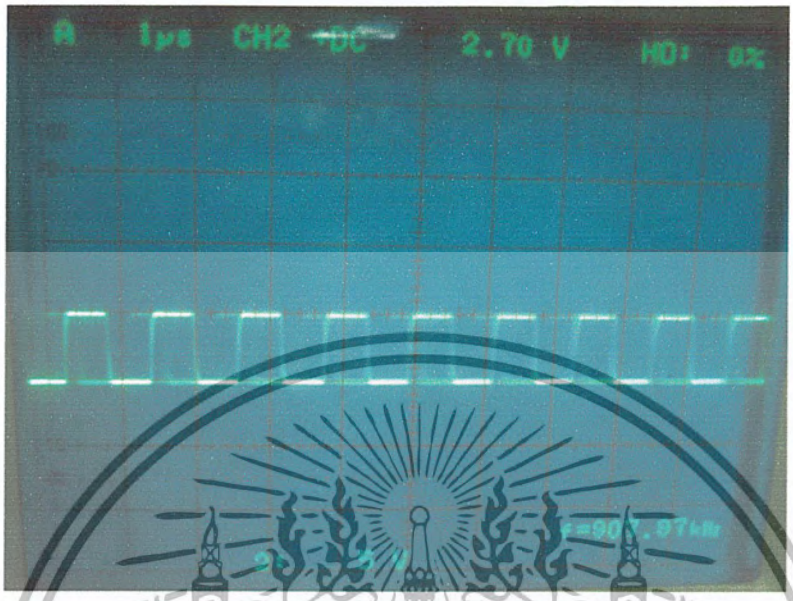
5.8.6 สัญญาณที่จุด TP6 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ Sub-carrier ที่สร้างขึ้นเอง



รูปที่5.56 สัญญาณที่จุด TP6

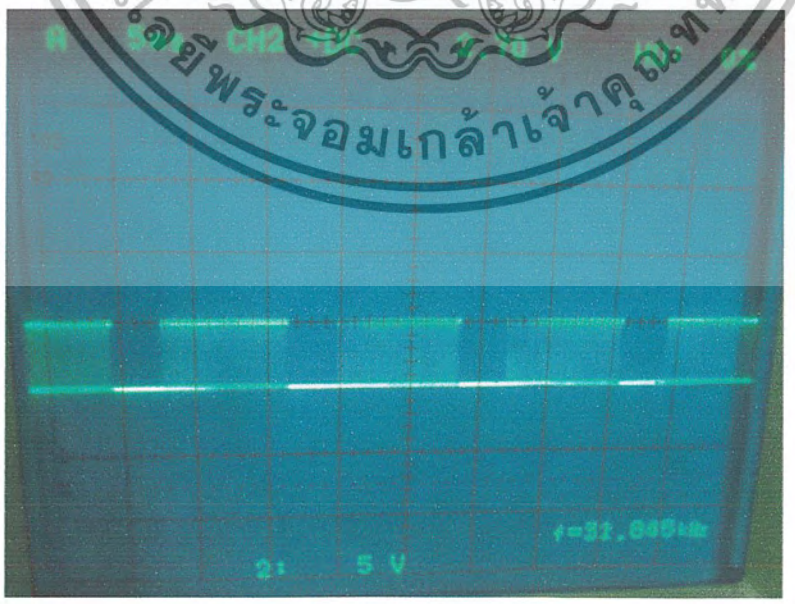
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8.7 สัญญาณที่จุด TP7 ซึ่งเป็นสัญญาณ Sub-carrier ที่เข้ารหัสกับบิตข้อมูลแบบ ASK มา AND กับสัญญาณ Sub-carrier ที่สร้างขึ้น



รูปที่5.57 สัญญาณที่จุด TP7

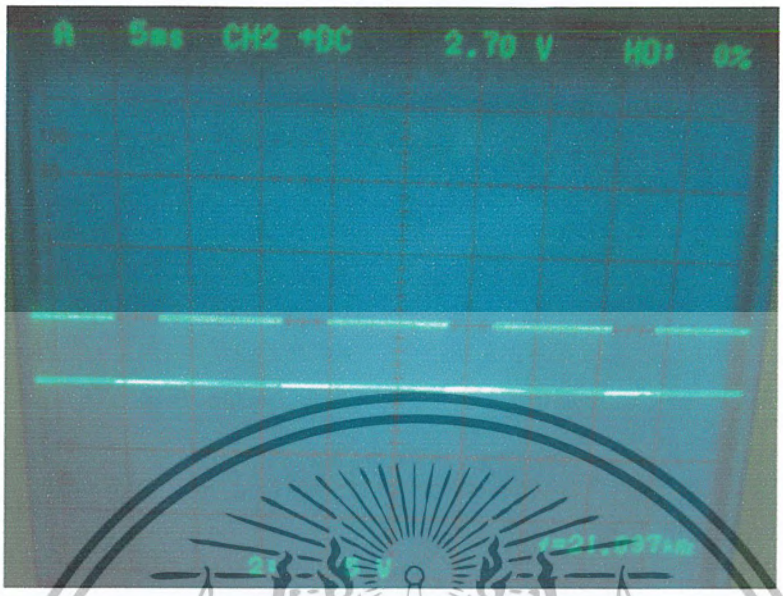
5.8.8 สัญญาณที่จุด TP8 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ Output Comparator ที่ผ่าน Low Pass Filter แล้ว



รูปที่5.58 สัญญาณที่จุด TP8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

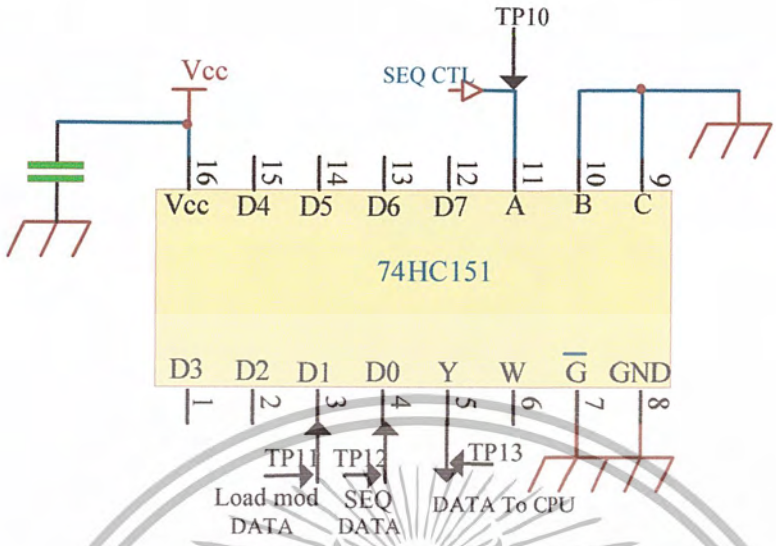
5.8.9 สัญญาณที่จุด TP9 ซึ่งเป็นสัญญาณ DATA ที่จะนำไปใช้ต่อไป



รูปที่5.59 สัญญาณที่จุด TP9

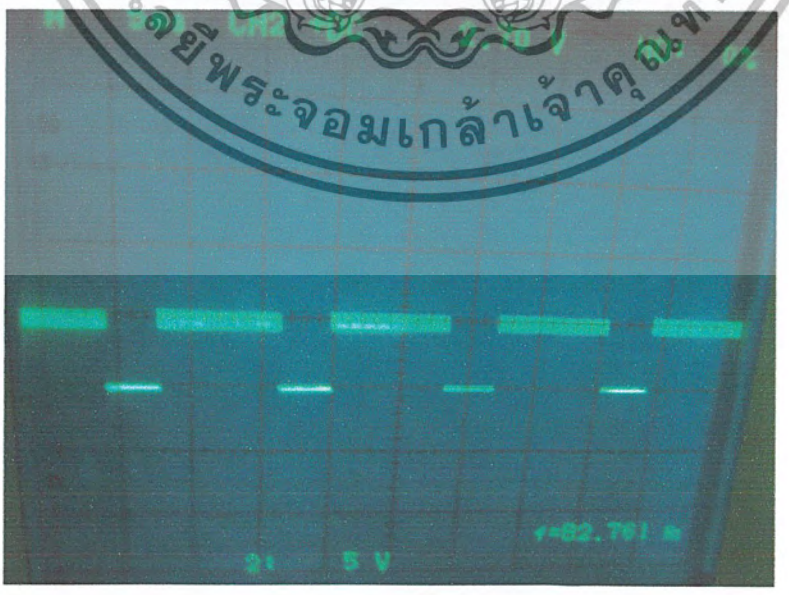
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9 วงจร Multiplexer



รูปที่5.61 วงจร Multiplexer

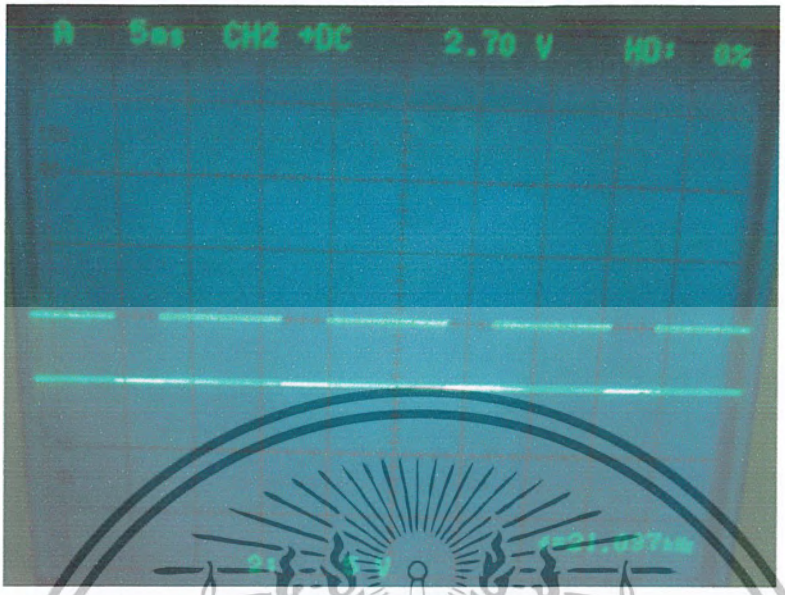
5.9.1สัญญาณที่จุด TP10 ซึ่งเป็นสัญญาณ Sequential Control ที่ใช้ควบคุมการส่ง DATA ของ TAG แบบ Multi-mode



รูปที่5.62 สัญญาณที่จุด TP10

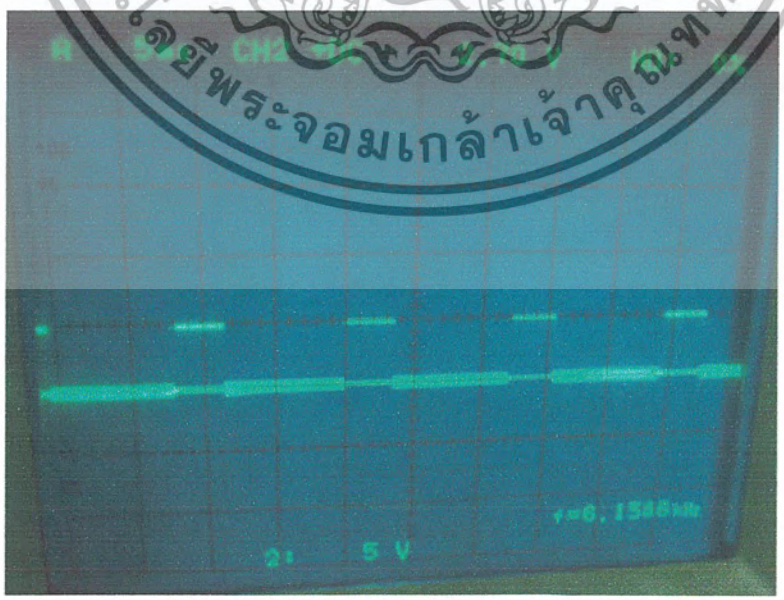
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9.2 สัญญาณที่จุด TP11 ซึ่งเป็นสัญญาณ DATA ของ Load Modulation



รูปที่5.63 สัญญาณที่จุด TP11

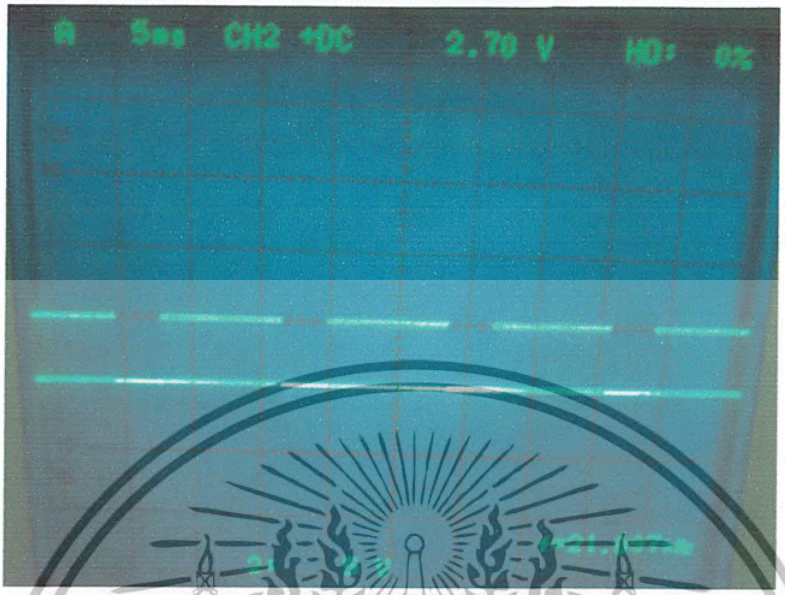
5.9.3 สัญญาณที่จุด TP12 ซึ่งเป็นสัญญาณ DATA ของ Sequential



รูปที่5.64 สัญญาณที่จุด TP12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9.4 สัญญาณที่จุด TP13 ซึ่งเป็นสัญญาณ DATA ของ Load Modulation เมื่อ สัญญาณ Sequential Control เป็น Logic High



สัญญาณที่จุด TP13 ซึ่งเป็นสัญญาณ DATA ของ Sequential เมื่อ สัญญาณ Sequential Control เป็น Logic Low

รูปที่5.65 สัญญาณที่จุด TP13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทสรุปและวิจารณ์

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองเรื่อง RFID ที่ใช้ความถี่ในการสื่อสาร 13.56 MHz โดยเครื่องอ่านจะมีกำลังส่งประมาณ 1.5 W ซึ่งประมาณค่าจากการกินกระแสของ TAG ซึ่งเครื่องอ่านที่สร้างนั้นจะประกอบไปด้วยวงจรกำเนิดความถี่ 13.56 MHz และส่วนของวงจรเพาเวอร์แอมป์ ซึ่งในส่วนนี้ทำหน้าที่ในการส่งพลังงานไปให้ TAG ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านทางขดลวดของเครื่องอ่าน โดยจำนวนขดลวดที่ใช้ 1.8 รอบโดยการประมาณค่าระยะห่างระหว่าง TAG กับ Reader ในส่วนของการพันขดลวดของ TAG ทั้งแบบ Sequential กับ Load Modulation ใช้ 3 รอบ และการที่จะทำให้ TAG กับ Reader ส่งพลังงานได้สูงสุดต้องอาศัยการปรับจูนเมื่อนำTAG กับ Reader มาทดลองการส่งข้อมูลระหว่างกัน ระยะห่างที่ได้ไกลที่สุดของทั้งแบบ Sequential กับ Load Modulation ที่ TAG ยังสามารถทำงานได้อยู่ที่ระยะทาง 5.5 เซนติเมตร ถ้าเกินจากนี้จะทำให้ Reader ไม่สามารถที่จะอ่านรหัสหรือข้อมูลได้เนื่องจากพลังงานที่ส่งมายัง TAG ไม่เพียงพอ

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. การออกแบบ Layout ควรที่จะทำให้กราวด์เพลนของ Power มีเส้นลายปริ้นขนาดใหญ่ สั้น แล้วต่อไฟกับกราวด์ให้ใกล้ตัวกินกระแสสูงที่สุด

2. ในการต่อแต่ละภาค จะส่งสัญญาณได้ไม่สูงสุด เนื่องจากแต่ละภาคไม่ Match กัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการ Matching ของจุดต่อแต่ละภาค

3. กระแสของ Reader Coil จะมีกระแสสูง ดังนั้นควรทำให้กราวด์ของ Reader Coil มีขนาดเส้นใหญ่

4. การต่อสายสัญญาณระหว่าง Power ไป Reader Coil ควรใช้สายโคแอคเชียล ซึ่งจะทำให้รู้ค่าความต้านทานของสายด้วย เพื่อนำไป Matching กับสัญญาณรบกวนจากภายนอกได้ด้วย

5. การคำนวณจำนวนรอบ และขนาดของตัวเหนี่ยวนำ รวมทั้งค่าความต้านทาน และค่าความเก็บประจุของตัวเก็บประจุที่ได้ ไม่ตรงกับค่าอุปกรณ์ที่มีอยู่จริง จึงต้องมีการประยุกต์ และดัดแปลงอุปกรณ์เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณมากที่สุด

6. สำหรับวงจรความถี่สูง ในการต่อสายไฟหรือสายสัญญาณ ถ้าสายที่ใช้มีความยาวมากจะมีผลต่อการทำงานของวงจร เนื่องจากจะมีสัญญาณความถี่สูงรบกวนได้ รวมไปถึงการออกแบบ แผ่นลายแผ่นปริ้นที่ไม่ดีก็ย่อมมีผลต่อสัญญาณเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

ผศ.ประภากร สุวรรณะ (อาจารย์ที่ปรึกษา) ที่ให้การอุปการะในการให้คำปรึกษา แนะนำเกี่ยวกับโครงงาน RFID รวมทั้งให้ยืมเครื่องมือในการทดลอง และทางภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ที่สั่งสอนให้มีความรู้จนสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในการทำโครงงานนี้

นอกจากนี้ ขอขอบคุณ คุณพ่อคุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนทางด้านการเงิน ทำให้โครงงานนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้

.....

(นางสาวกมลวรรณ จันทมิพ)

.....

(นายกฤษวรา วาวิลัย)

.....

(นางสาวกัญญ์วรีย์ แก้วไทย)

.....

(นางสาวกาญจนา ลิ้มรัก)

.....

(นางสาวแครอล เอียตระกูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. http://www.ladkrabangcustoms.com/images/1151075738/TECHNOLOGY_RFID1.doc
2. http://www.rfidbasic.com/
3. http://www2.cs.science.cmu.ac.th/seminar/2550/RFID/index.html
4. http://rfid-datacom.blogspot.com/2008/09/blog-post_1251.html
5. http://chaimon24.exteen.com/20090307/rfid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้