

ระบบชี้เฉพาะคลื่นวิทยุ

RFID (Radio Frequency Identifications)



T104014

โดย

นางสาวพิมพ์ บัญญัติ

นายภชพน ชื่อสังข์สกุล

นางสาวภัทรวดี เครือละม้าย

นายมงคล บุญอนุรักษ์ัญญา

๒/๗

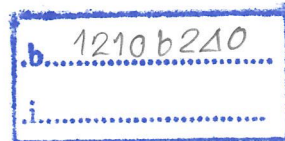
พ.๗๘๘ ร

๑๕๖

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน...104014

วัน,เดือน,ปี...2.8.๓.๒๕52



ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

ระบบชี้เฉพาะคลื่นวิทยุ

RFID (Radio Frequency Identifications)

โดย

น.ส.พิมพา บุญฐิติ	รหัส 48010623
นาย ภาชน ชื้อสัจจลือสกุล	รหัส 48010651
น.ส.ภัทรวดี เครือละม้าย	รหัส 48010658
นาย มงคล บุญญรักษ์ชัยญา	รหัส 48010693

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ประภากร สุวรรณะ

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

ปริญญาโทปีการศึกษา 2551

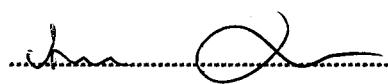
ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบชี้เฉพาะคลื่นวิทยุ

ผู้จัดทำ

1. น.ส.พิมพา บุญฐิติ รหัส 48010623
2. นาย ภรพน ซื่อสัจฉิ์สกุล รหัส 48010651
3. น.ส.ภัทรวดี เครือละม้าย รหัส 48010658
4. นาย มงคล บุญญรักษ์ธัญญา รหัส 48010693

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ. ประภากร สุวรรณะ)

ระบบชี้เฉพาะคลื่นวิทยุ

น.ส.พิมพา บุญฐิติ รหัส 48010623
นาย ภาชน ชื่อสังข์ลีอสกุล รหัส 48010651
น.ส.ภัทรวดี เกรือละม้าย รหัส 48010658
นาย มงคล บุญญรักษ์ธัญญา รหัส 48010693
ผศ. ประภากร สุวรรณะ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย หรือที่เรียกกันว่า RFID (Radio Frequency Identification) มีเนื้อหาเกี่ยวกับทฤษฎี ขั้นตอนการออกแบบ และการทดลอง โดยการใช้การส่งแบบไม่มีคลื่นพาห์ และมอดคูเลชันแบบโพลมอดคูเลชัน ที่ความถี่ 13.56 MHz ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือส่วนของเครื่องอ่าน (Reader) และส่วนของลูกข่าย (Transponder or Tag) โดยจะได้รับพลังงานมาจากการถ่ายเทพลังงานจากเครื่องอ่านจ่ายให้กับส่วนของวงจรของลูกข่าย เครื่องอ่านจะทำการถอดรหัสเอาแต่ข้อมูลที่ต้องการเพื่อนำไปใช้งาน และได้ นำไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มาประยุกต์ใช้ในการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายอีกด้วย

RFID (Radio Frequency Identifications)

Miss.Pimpa Boonyatee ID. 48010623

Mr. Pochpon Suesajlausakul ID. 48010651

Miss.Pattaravadee Krallamai ID. 48010658

Mr.Mongkon Bunyaraktanya ID. 48010693

Asst. Prof. Prapakorn Suwanna Advisor

Educational Year 2008

Abstract

This project is a study of wireless system communication called RFID. This report is about the theorem report, design process and experiment. So we sending no subcarrier mode and used load modulation mode at frequency 13.56 MHz. This system consists of 2 main parts, reader and transponder or tag. The energy will be transmitted from the reader. In communication between Reader, The Reader will decode and extract data to be used later. And we will use PIC Microcontroller applied for transferring information between Reader and Transponder.

คำนำ

รายงานฉบับนี้ เป็นรายงานเรื่อง ระบบชี้เฉพาะโดยคลื่นวิทยุ หรือ RFID (Radio Frequency Indentifications) ในรายงานฉบับนี้จะอธิบายถึงการทำงานของระบบ ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ เครื่องส่งสัญญาณ (Tag) และ เครื่องอ่านสัญญาณ (Reader) โดยความถี่ที่ใช้อยู่ที่ 13.56 MHz

คณะผู้จัดทำหวังว่ารายงานฉบับนี้จะให้ความรู้เกี่ยวกับระบบของRFID แก่ผู้อ่านได้พอสมควร หากรายงานฉบับนี้มีข้อผิดพลาด บกพร่อง ต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดีนั้น ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ
อาจารย์ที่ปรึกษา คือ อ.ประภากร สุวรรณะ ที่ได้ให้คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางในการทำ
ปริญญาบัตร ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้กับทางคณะผู้จัดทำทั้งในอดีตและปัจจุบัน
รวมทั้งผู้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำปริญญาบัตรตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ผู้ที่เป็นแรงบันดาลใจอันสำคัญยิ่ง รวมถึงกำลังใจที่
ได้รับเสมอมาจากคุณพ่อคุณแม่อีกทั้งญาติพี่น้องของทางคณะผู้จัดทำ ทำให้คณะผู้จัดทำมีความ
มานะพากเพียรทำปริญญาบัตรฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	
Abstract	
คำนำ	
กิตติกรรมประกาศ	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 RFID คืออะไร	1
1.2 มาตรฐานของ RFID	2
1.3 คลื่นพาห้ในระบบ RFID	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 ส่วนประกอบของระบบ RFID	4
2.1.1 แท็ก	5
2.1.2 เครื่องอ่าน	7
2.1.3 ขั้นตอนการทำงานระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก	8
2.2 หลักการทำงานของ RFID	8
2.3 การเข้ารหัส (Coding)	10
2.4 การผสมข้อมูลแบบดิจิทัล	12
2.4.1 Amplitude Shift Keying (ASK)	13
2.4.2 Frequency Shift Keying (FSK)	13
2.4.3 Phase Shift Keying (PSK)	14
2.5 การสื่อสารแบบไร้สาย	14
2.6 อัตรารับส่งข้อมูลและแบนด์วิธ	15
2.7 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง	15
2.8 รูปแบบการรับส่งข้อมูลโดยใช้ความถี่คลื่นวิทยุ	16
2.8.1 การสื่อสารแบบ Full Duplex	16
2.8.2 การสื่อสารแบบ Half Duplex	17
2.8.3 การสื่อสารแบบ Sequential	17
2.9 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing	17

2.10 ทฤษฎีพื้นฐานของการออกแบบสายอากาศ	19
2.10.1 กระแสและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	19
2.10.2 แรงดันที่เหนี่ยวนำได้จากขดลวดสายอากาศ	21
2.10.3 ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำและชนิดของลวด	25
2.10.4 ความต้านทานกระแสสลับของตัวนำ	26
2.10.5 ความต้านทานของตัวนำด้วยการประมาณที่ความถี่ต่ำ	28
2.10.6 ตัวเหนี่ยวนำที่ประกอบด้วยขดลวดสี่เหลี่ยมหลายชั้น	29
2.11 การแมทซ์อิมพีแดนซ์ (Impedance Matching)	29
2.11.1 วงจรเสมือน การแปลงระหว่าง อิมพีแดนซ์อนุกรม และอิมพีแดนซ์ขนาน	30
2.10.2 วงจรแมทซ์จิ้งอิมพีแดนซ์อย่างง่าย	32
2.10.3 Reader Coil Matching Using Quarter Wave Transformer	35
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบวงจร	39
3.1 โปรแกรม PIC	39
3.1.1 Flow chart โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในส่วนของตัวส่งข้อมูล	39
3.1.2 โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนของตัวรับข้อมูล	40
3.1.3 Flow chart ของไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนของตัวรับข้อมูล	42
3.1.4 โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนของตัวรับข้อมูล	43
3.2 วงจร Tag	46
3.3 วงจร Reader	47
3.3.1 Reader coil Driver	47
3.3.2 Reader Coil MATCHING	48
3.3.3 D-Mod	49
3.3.4 Comparator	51
3.4 วงจรการแสดงผล	52
บทที่ 4 การทดลอง และบันทึกผล	53
4.1 การทดลองวงจร Voltage Regulator	53
4.2 กราฟแสดงผลของสัญญาณที่จุดต่างๆ	56
4.3 ผลของค่ากระแสและแรงดันที่ระยะต่างๆ	60

บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
ภาคผนวก
เอกสารอ้างอิง

62

สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1	
รูปที่ 1.1 ความถี่ย่านที่ระบบ RFID ถูกใช้งาน	2
บทที่ 2	
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบหลักของระบบ RFID	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของแท็ก	5
รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของ Passive tag	6
รูปที่ 2.4 Active Tag ที่มีแบตเตอรี่ Lithium 2 ก้อนอยู่ภายนอก	6
รูปที่ 2.5 โครงสร้างภายในของ Reader	7
รูปที่ 2.6 รูปคลื่นของสัญญาณระหว่างแท็กและเครื่องอ่านแบบ AM	8
รูปที่ 2.7 รูปตัวนำที่ถูกลื่นยวนำด้วยสนามแม่เหล็ก (ขวา) แสดงวงจรที่สมมูลกับรูปทางซ้ายมือ	9
รูปที่ 2.8 การเข้ารหัสแบบต่างๆ	11
รูปที่ 2.9 การกระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของไลน์โค้ดชนิดต่างๆ	12
รูปที่ 2.10 การมอดูเลตเชิงขนาด (ASK)	13
รูปที่ 2.11 การมอดูเลตเชิงความถี่ (FSK)	13
รูปที่ 2.12 การมอดูเลตเชิงเฟส (PSK)	14
รูปที่ 2.13 การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล	15
รูปที่ 2.14 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex , Half Duplex และ Sequential	17
รูปที่ 2.15 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเส้นตรง	20
รูปที่ 2.16 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเป็นรูป	21
รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับระยะทาง r	21
รูปที่ 2.18 โครงสร้างพื้นฐานของตัวอ่านและแท็กส์ในการประยุกต์ใช้ RFID	23
รูปที่ 2.19 ตำแหน่งของสายอากาศของแท็กส์	25
รูปที่ 2.20 ขดลวดลูปสี่เหลี่ยมหลายชั้น	29

รูปที่ 2.21 วงจรเสมือนอิมพีแดนซ์	30
รูปที่ 2.22 วงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์อย่างง่ายที่สุด	32
รูปที่ 2.23 การแมทซ์อิมพีแดนซ์ ระหว่าง R_2 และ R_1	34
รูปที่ 2.24 วงจรเสมือนของสายส่ง	35
รูปที่ 2.25 การคำนวณค่าอิมพีแดนซ์แมทซ์ของสายส่งด้วยวงจร LC	37
รูปที่ 2.26 การคำนวณค่าอิมพีแดนซ์แมทซ์ของสายส่งด้วยวงจร LC (ต่อ)	38
บทที่ 3	
รูปที่ 3.1 Block diagram ของตัวส่งข้อมูล	39
รูปที่ 3.2 Block diagram ของตัวส่งรับมุล	42
รูปที่ 3.3 วงจร Tag	46
รูปที่ 3.4 วงจร Reader coil Driver	47
รูปที่ 3.5 การสร้าง LC Network	48
รูปที่ 3.6 การคำนวณเรโซแนน	48
รูปที่ 3.7 D-Mod	50
รูปที่ 3.8 Comparator	51
รูปที่ 3.9 การต่อ LCD	52
บทที่ 4	
รูปที่ 4.1 กราฟ Load Regulation	54
รูปที่ 4.2 กราฟ Line Regulation	55
รูปที่ 4.3 กราฟแสดง Data จาก Pic16F628	56
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลของ Reader coil Driver	56
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลของ Data ที่ Load Mod (0cm.)	57
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลของ Data ที่ Load Mod (1cm.)	57
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลของ Data ที่ Load Mod (2cm.)	58
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลของ Data ที่ Load Mod (3cm.)	58
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลของ Data ที่ Load Mod (4cm.)	59
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลของ Data ที่ Demod	59
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลของ Data ที่ Comparator	60

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
บทที่ 2	
ตารางที่ 2.1 ความถี่มาตรฐานกับ RFID tags แบบ ต่างๆ	16
ตารางที่ 2.2 AWG WIRE CHART	28
บทที่ 4	
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลอง Load Regulation	53
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลอง Line Regulation (0.5Io max)	54
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลอง Line Regulation(Io max)	55
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่ P.Min	60
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่ P.Max	61

บทที่ 1

บทนำ

1.1 RFID คืออะไร

RFID เป็นระบบระบุลักษณะของวัตถุด้วยคลื่นความถี่ มีมานานเกือบร้อยปีแล้ว แต่ยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ยังมีขนาดใหญ่ไม่สะดวกในการติดตั้งและใช้งาน ปัจจุบันเทคโนโลยีนี้กำลังจะมีบทบาทมากขึ้นอย่างรวดเร็วและเข้ามาเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเราอย่างเลี่ยงไม่ได้ ส่วนประกอบของระบบRFID มี 2 ส่วนดังนี้

1. RFID Tags หรือ Transponder
2. เครื่องอ่าน Reader หรือ Interrogator

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

RFID มีระบบที่ทำงานคล้ายคลึงกับ Smart Card และทำหน้าที่แทนBarcode ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในระบบ Smart Card จะใช้บัตรที่มีหน่วยความจำ และไมโครโปรเซสเซอร์บรรจุอยู่ภายใน สัมผัสโดยตรงกับเครื่องอ่านบัตร ทำให้สามารถทราบข้อมูลต่างๆที่ต้องการให้ทราบของผู้ถือบัตรได้ ส่วนระบบRFID ตัวบัตรสามารถอยู่ห่างจากเครื่องอ่านได้ ไม่ต้องสัมผัสเครื่องอ่านแบบบัตรสมาท์การ์ด และไม่ต้องหันบัตรเข้าหาเครื่องอ่านเหมือนBarcodeนอกจากนี้ RFID ยังมีจุดเด่นอยู่ที่การอ่านข้อมูลจากแท็ก (Tag) ได้หลายๆ แท็กแบบไร้สัมผัสและสามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก สามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ในแท็ก RFID

ในปัจจุบันได้มีการนำ RFID ไปประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นๆ นอกเหนือจากการนำมาใช้งานในระบบบาร์โค้ดแบบเดิม เช่น ใช้ในบัตรชนิดต่างๆ อาทิ บัตรสำหรับผ่านเข้าออกสถานที่ต่างๆ

บัตรที่จัดตามศูนย์การค้าต่างๆ ที่เราอาจพบเห็นอยู่ในรูปของแท็กสินค้า มีขนาดเล็กมากจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษได้ หรือเป็นแคปซูลขนาดเล็กฝังเอาไว้ในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติต่างๆ เป็นต้น

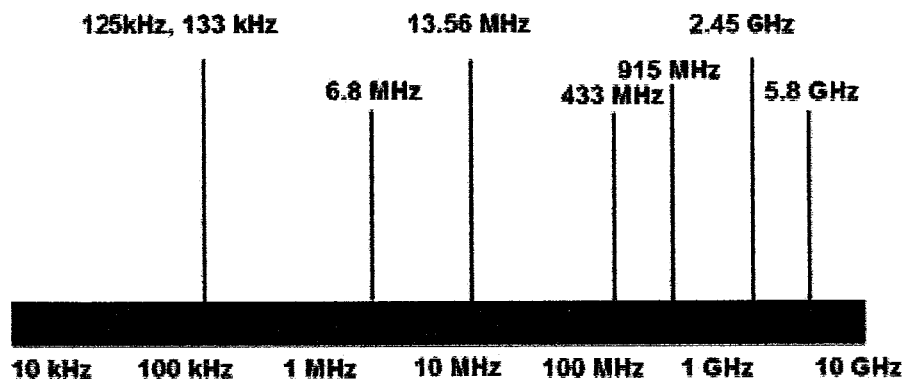
1.2 มาตรฐานของ RFID

เนื่องจากการที่กำหนดมาตรฐานออกมาใช้ในประเทศอย่างเป็นทางการล่าช้าจะส่งผลให้เทคโนโลยี RFID ในประเทศมีการพัฒนาช้าตามไปด้วย ซึ่งมาตรฐานของ RFID สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

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

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

1.3 คลื่นพาห้ในระบบ RFID



รูปที่ 1.1 ความถี่ย่านที่ระบบ RFID ถูกใช้งาน

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

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

การใช้งาน 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสมสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ (LF ระยะอ่านประมาณ 10-20 เซนติเมตร และ HF ระยะอ่านประมาณ 1 เมตร) เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่การตรวจหาและเก็บประวัติในสัตว์ ส่วนย่านความถี่สูงยิ่ง จะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (UHF ระยะอ่านประมาณ 1-10 เมตร) เช่น ระบบเก็บค่าบริการทางด่วน และในปัจจุบันระบบ RFID กำลังถูกวิจัยและพัฒนาในย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.4 GHz และความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้งานที่ต้องการระยะอ่านที่ไกลกว่า 10 เมตร เป็นต้น ดังรูปที่ 3 ในแง่ของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเทียบกันแล้ว RFID ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบ

ที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด และมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วน RFID ที่ใช้คลื่นพาหะในอีก 2 ย่านความถี่จะมีระดับราคาและความเร็วลดหลั่น กัน ไป

บทที่ 2

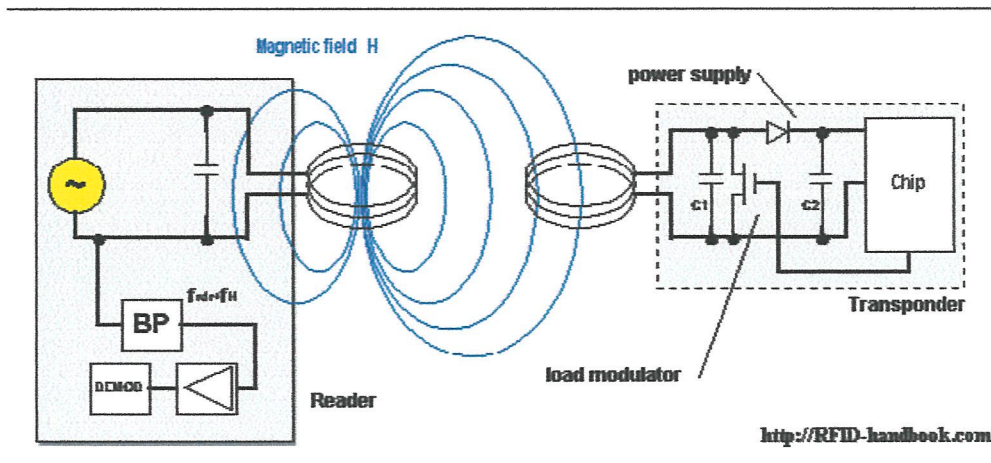
ทฤษฎี

2.1 ส่วนประกอบของระบบ RFID

ในระบบ RFID จะมีองค์ประกอบหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ

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

ส่วนที่สอง: เครื่องสำหรับอ่าน/เขียนข้อมูลภายในแท็ก (Interrogator/Reader) ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

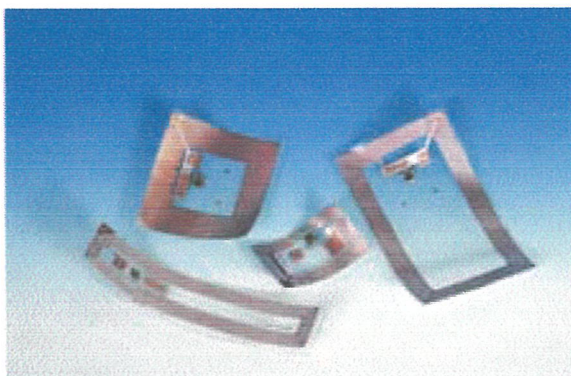


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบหลักของระบบ RFID

ถ้าจะเปรียบเทียบระบบ RFID นี้กับระบบบาร์โค้ด สามารถอธิบายได้ว่า แท็กในระบบ RFID ก็คือ ตัวบาร์โค้ดที่ติดกับฉลากของสินค้า และเครื่องอ่านในระบบ RFID ก็คือ เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Scanner) โดยข้อแตกต่างของทั้งสองระบบ คือ ระบบ RFID จะใช้ความถี่วิทยุในการอ่าน/เขียน ส่วนระบบรหัสแท่งจะใช้แสงเลเซอร์ โดยข้อเสียของระบบบาร์โค้ด คือ หลักการอ่านเป็นการใช้แสงในการอ่านแท็กบาร์โค้ด ซึ่งจะต้องอ่านแท็กในขณะที่ไม่มีวัตถุมาบังหรือจะต้องอยู่ในเส้นตรงเดียวกับลำแสงที่ยิงมาจากเครื่องสแกน และอ่านได้ที่ละแท็กในระยะใกล้ๆ แต่ระบบ RFID จะแตกต่างโดยสามารถอ่านแท็กได้โดยไม่ต้องเห็นแท็กหรือแท็กนั้นซ่อนอยู่ภายในวัตถุ และไม่จำเป็นต้องอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกับคลื่น เพียงอยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถ

อ่านข้อมูลได้ และการอ่านแท็กในระบบ RFID ยังสามารถอ่านได้หลายๆ แท็กในเวลาเดียวกัน โดยระยะอ่านข้อมูลได้ไกลกว่าระบบบาร์โค้ดอีกด้วย

2.1.1 แท็ก(Tag)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของแท็ก

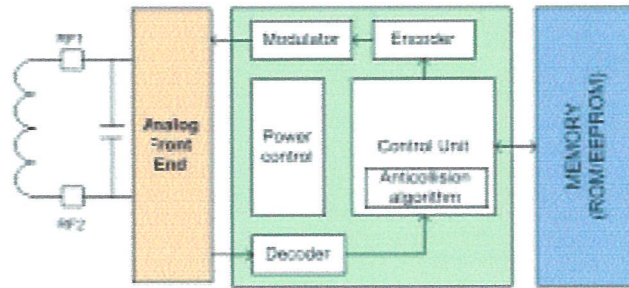
โครงสร้างภายในของแท็กจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ และสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของไมโครชิพที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุ เช่น รหัสสินค้า โดยทั่วไปตัวแท็กอาจอยู่ทั้งในชนิดที่เป็นกระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างต่างๆ กันไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำมาไปคิดและมีหลายรูปแบบ เช่น ขนาดเท่าบัตรเครดิต เหยียบ กระจุม ฉลากสินค้า เป็นต้น ดังรูป แต่โดยหลักการอาจแบ่งแท็กที่มีการใช้งานกันอยู่ 2 ประเภทใหญ่ๆ แต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในแง่ของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการทำงานอยู่ ซึ่งจะขอกล่าวอธิบายเป็นหัวข้อดังนี้

Passive RFID Tags

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

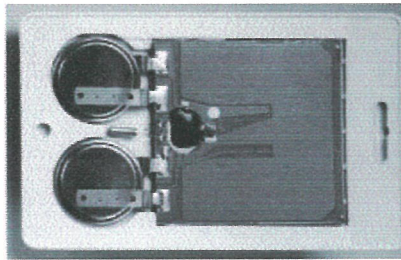
ไอซีของแท็กชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมา จะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นแท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่ต่างกัน ส่วนโครงสร้างภายในที่เป็นไอซีของแท็กนั้น ก็ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ

ได้แก่ ส่วนควบคุมการทำงานของภาครับ-ส่งสัญญาณวิทยุ (Analog Front -End) ส่วนควบคุมลอจิก (Digital Control Unit) ส่วนของหน่วยความจำ(Memory) ซึ่งอาจจะเป็นแบบ ROM หรือ EEPROM ดังรูป



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของ Passive tag

Active RFID Tags



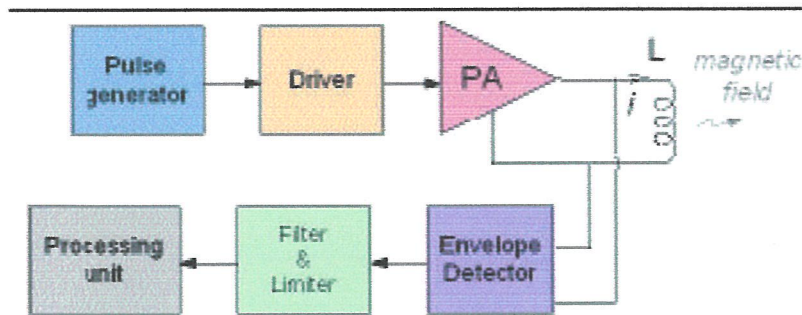
รูปที่ 2.4 Active Tag ที่มีแบตเตอรี่ Lithium 2 ก้อนอยู่ภายนอก

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

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

2.1.2 เครื่องอ่าน (Reader)

โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือ การเชื่อมต่อเพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลลงในแท็กด้วยความถี่วิทยุภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วย เสาอากาศที่ทำจากลวดทองแดงเพื่อใช้รับส่งสัญญาณภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุและวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล จำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ดังรูป



รูปที่ 2.5 โครงสร้างภายในของ Reader

โดยทั่วไปเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

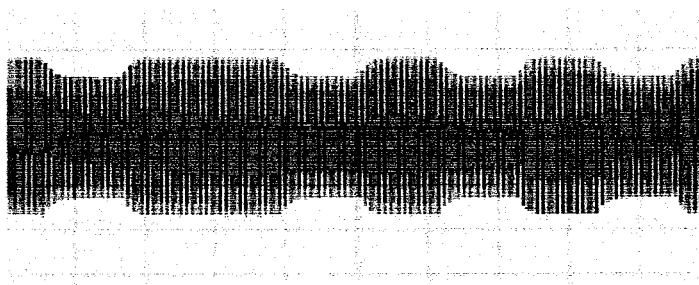
- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- ส่วนประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

หน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในโปรแกรมจะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (Decoding) ที่ได้รับและทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ลักษณะขนาดและรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็กหรือติดผนัง จนถึงขนาดใหญ่เท่าประตู เป็นต้น

2.1.3 ขั้นตอนการทำงานระหว่างเครื่องอ่านกับแท็ก

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

2.2 หลักการทำงานของ RFID

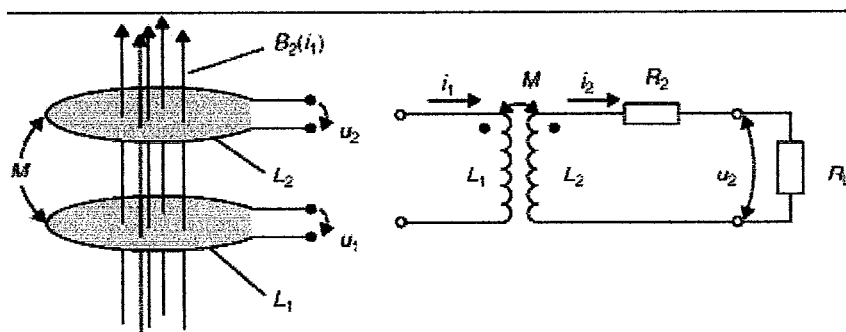


รูปที่ 2.6 รูปคลื่นของสัญญาณระหว่างแท็กและเครื่องอ่านแบบ AM

โดยมากเทคนิคในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและแท็กจะใช้หลักการมอดูเลตทางแอมพลิจูด (Amplitude Modulation: AM) หรือ ใช้การมอดูเลตทางแอมพลิจูดบวกกับการเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester encoded AM) แต่ทว่าในปัจจุบันก็มีแท็กที่ใช้การมอดูเลตแบบ

อื่นๆ ด้วย เช่น การมอดูเลชันแบบเฟสชิฟต์คีย์อิง (Phase Shift Keying: PSK) , ฟรีควเอนซีชิฟต์คีย์อิง (Frequency Shift Keying: FSK) หรือการใช้การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation: FM)

ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุ ระหว่างแท็กกับเครื่องอ่าน จะทำได้โดยมีประสิทธิภาพต่อเมื่อ สายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้ งาน เช่น เมื่อความถี่ใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ความยาวของเสาอากาศ (เป็นเส้นตรง) ที่เหมาะสมก็คือ 22.12 เมตรแน่นอนว่าในทางปฏิบัติเราคงไม่สามารถนำเสาอากาศที่ใหญ่ขนาดนั้นมาใช้งานกับแท็กขนาดเล็กของเราได้ สายอากาศที่ดูเหมาะสมจะใช้ร่วมกับแท็กมากที่สุดก็คือสายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็ก หรือที่มีชื่ออย่างเป็นทางการว่าสายอากาศแบบแมกเนติก ไดโพล (magnetic dipole antenna) รูปแบบของสายอากาศแบบนี้ก็มีอยู่หลากหลาย ทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันบนแกน อากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เป็นวงลูปที่ทำขึ้นจากสายทองแดง บนแผ่นวงจรพิมพ์ทั้งที่เป็นรูปแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะ และประเภทของงานด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.7 ลูปตัวนำที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็ก (ขวา) แสดงวงจรที่สมมูลกับรูปทางซ้ายมือ

นอกจากการรับส่งข้อมูลแล้วสายอากาศก็ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับแท็กด้วย โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของไมเคิล ฟาราเดย์ เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็ก (จากเครื่องอ่าน) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของแท็กเมื่อแท็กและเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันในระยะ 0.16 เมตรของความยาวคลื่นพาหะที่ใช้เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่า transformer-type coupling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์แบบเดียวกับการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ (primary) และ

ขดลวดทุติยภูมิ (secondary) ในหม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) จะเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบาย กลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของแท็ก

2.3 การเข้ารหัส (Coding)

สัญญาณ PCM(Pulse Code Modulation) ที่ได้จะประกอบด้วยกลุ่มข้อมูลของ “1” และ “0” ซึ่งจะถูกส่งผ่านไป ในสื่อสัญญาณต่างๆ และเพื่อให้ข้อมูลนี้สามารถส่ง ไปถึงปลายทาง ได้อย่าง ถูกต้อง จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนรูปของสัญญาณ PCM ที่ได้ให้มีรูปแบบที่เหมาะสมก่อนจึงจะส่ง ไป ในสื่อสัญญาณต่างๆ ได้ ซึ่งรูปแบบแต่ละรูปแบบเราเรียกว่า Line Code (หรือการเข้ารหัสทางสาย ส่ง) โดยมี Code Conversion ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณ PCM ให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการ และ มีหลักในการกำหนด Line Code ดังนี้

1. สัญญาณนั้นจะต้อง ไม่มีส่วนประกอบของสัญญาณไฟตรง(DC) ตลอดเวลาหรือเป็นช่วง เวลานาน เพราะสัญญาณไฟตรงไม่สามารถผ่านอุปกรณ์พวก Capacitor หรือ Transfotmer ซึ่งมีไว้ อยู่ในวงจรส่วนต่างๆ ได้

2. พลังงานที่ความถี่ต่ำจะต้องมีค่าน้อย เนื่องจากจะทำให้ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ใน ส่วนของวงจร Equalization

3. สามารถซิงโครไนซ์ได้เอง(Self-synchronization) หมายถึงการที่ลำดับหรือชุดของ สัญญาณที่รับได้มีข่าวสารของสัญญาณนาฬิกาที่เพียงพอผนวกมาพร้อมกับข่าวสารของบิตข้อมูล

4. ความน่าจะเป็นที่เกิดความผิดพลาดบิตต่ำ (low probability of bit error) คือ สามารถ ทนทานต่อสัญญาณรบกวน ได้ดี

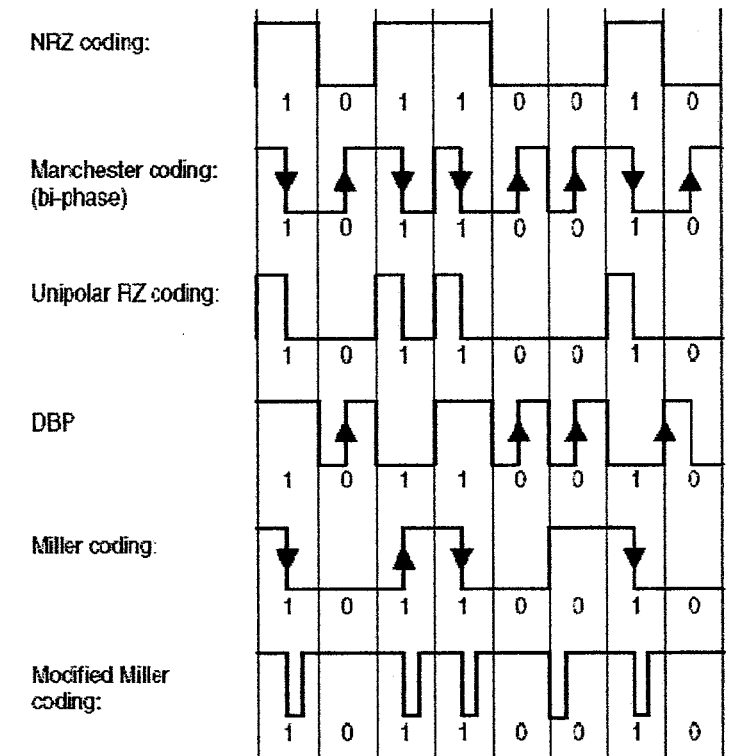
5. สัญญาณ Code นั้นจะต้องมีเพียง Code เดียวเพื่อไม่ให้เกิดความคลุมเครือที่จะทำให้การ Decode แปลงค่าผิดไป

5. ต้องใช้ Bandwidth ในการส่งสัญญาณนั้นน้อยที่สุด และในขณะเดียวกันสเปกตรัมของ สัญญาณนั้นจะต้องมีรูปลักษณ์ที่เหมาะสมกับช่องสัญญาณด้วย(a spectrum that is suitable for the channel)

6. จะต้องมีการตรวจจับหรือแก้ไขข้อผิดพลาดจากการส่งได้ (Error Detection and Correction)

7. ทรานส์พารেন্টซี (transparency) หมายถึงคุณสมบัติที่ระบบสามารถรับส่งชุดบิตที่มี รูปแบบใดก็ได้โดยไม่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของระบบ

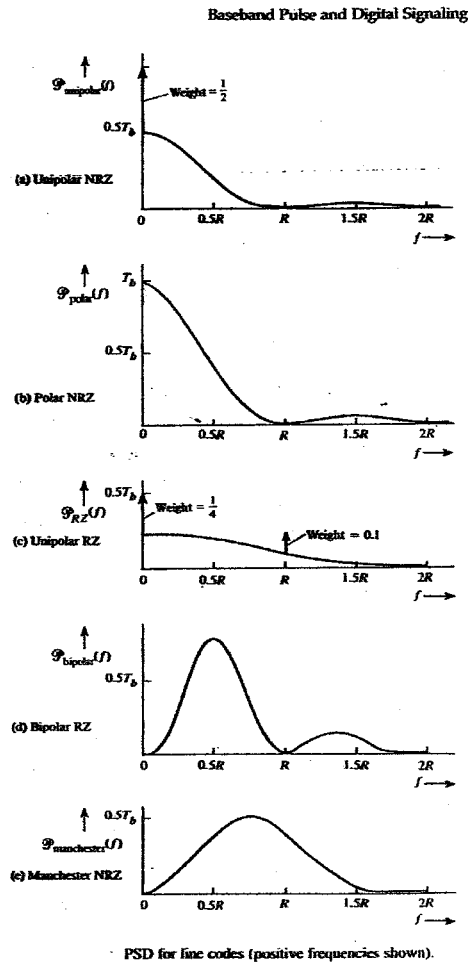
มาตรฐานการทำ line code มีหลายลักษณะ ดังนี้



รูปที่ 2.8 การเข้ารหัสแบบต่างๆ

เมื่อพิจารณาการกระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของไลน์โค้ด แต่ละประเภท อธิบายได้ดังรูปที่ 2.8

1. ไลน์โค้ด Unipolar NRZ: จัดว่ามีองค์ประกอบของกระแสตรงอยู่ในสัดส่วนที่สูงมาก และพลังงานของสัญญาณส่วนที่เหลือกระจายอยู่ในช่วงความถี่ $[0-R]$
2. ไลน์โค้ด Polar NRZ: ถือว่ามีองค์ประกอบของกระแสตรงอยู่บ้างแต่ด้วยสัดส่วนที่น้อยมาก และพลังงานส่วนใหญ่มีการกระจายตัวอยู่ที่ความถี่ $[0-R]$
3. ไลน์โค้ดแบบ Unipolar RZ: มีลักษณะการกระจายกำลังงานที่คล้ายกับ Unipolar NRZ เพียงแต่มีความหนาแน่นของสเปกตรัมกว้างขึ้นอีกเท่าตัวเมื่อเทียบกับ NRZ
4. ไลน์โค้ดแบบ Bipolar RZ: แม้ว่าจะมีการกระจายกำลังงานส่วนใหญ่อยู่ที่ $[0-R]$ เช่นเดียวกับ 2 กรณีแรก แต่สิ่งที่น่าสังเกตคือ ไลน์โค้ดชนิดนี้ไม่มีองค์ประกอบของไฟตรงปนอยู่เลย
5. ไลน์โค้ด Manchester: การกระจายตัวของพลังงานครอบคลุมช่วงความถี่ $[0-2R]$ ซึ่งหมายความว่าไลน์โค้ด Manchester มีความต้องการ Bandwidth ในการส่งที่กว้างกว่าไลน์โค้ดชนิดอื่นเท่าตัว



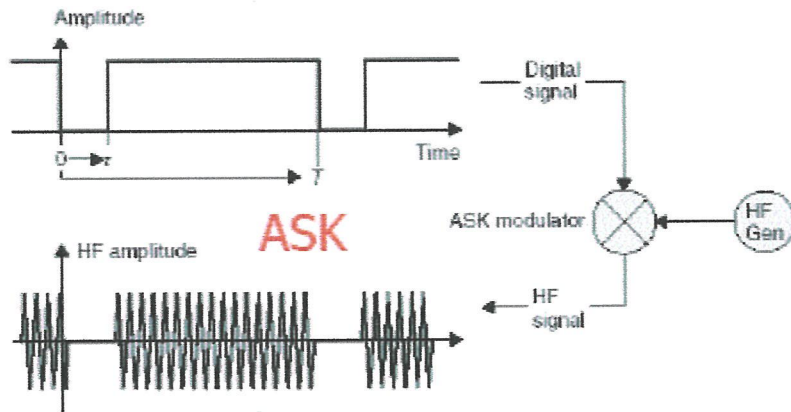
รูปที่ 2.9 การกระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของไลน์โค้ดชนิดต่างๆ

2.4 การผสมข้อมูลแบบคิจิตอล (Digital Modulation Procedure)

เนื่องจากหลักการพื้นฐานของ RFID คือใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสื่อสารรับส่งข้อมูล ดังนั้นก่อนการสื่อสารจะต้องมีกระบวนการผสมข้อมูลที่เข้ารหัสไว้แล้ว ไปกับคลื่นพาหะ (Modulation) แต่เนื่องจากลักษณะข้อมูลเป็นคิจิตอลจึงต้องใช้วิธีการผสมแบบคิจิตอลซึ่งจะแตกต่างจากการผสมแบบอนาล็อกที่ใช้กันอยู่หลายระบบในปัจจุบันเช่น FM และ AM

การผสมข้อมูลแบบคิจิตอล คือ กระบวนการแปลงข้อมูลคิจิตอลที่อยู่ในรูป 0 และ 1 ให้ได้เป็นสัญญาณที่มีรูปลักษณะเหมาะสมกับการส่งผ่านช่องสัญญาณ โดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่ง สัญญาณที่ใช้กันทั่วไปจะเป็นสัญญาณไซน์ซอซอค์ และเราเรียกสัญญาณนี้ว่า คลื่นพาห้ (Carrier) การมอดูเลตสัญญาณข่าวสารคิจิตอลลงบนคลื่นพาห้สามารถกระทำได้ 3 วิธีดังนี้

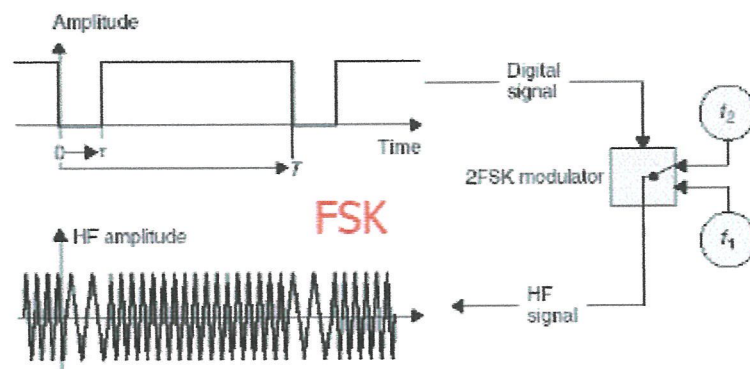
2.4.1 Amplitude Shift Keying (ASK)



รูปที่ 2.10 การมอดูเลตเชิงขนาด (ASK)

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

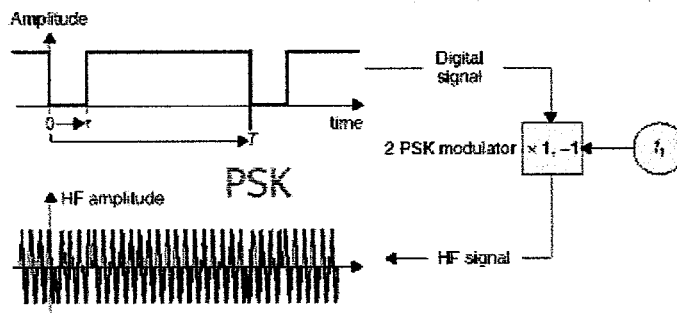
2.4.2 Frequency Shift Keying (FSK)



รูปที่ 2.11 การมอดูเลตเชิงความถี่ (FSK)

วิธีนี้แอมพลิจูดของสัญญาณคลื่นพาห้ที่ใช้จะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง แต่จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นพาห้ระหว่าง 2 ความถี่ขึ้นอยู่กับสถานะของข้อมูล 0 กับ 1 โดยความถี่สูงใช้แทนข้อมูลดิจิทัลที่มีค่าเป็น 1 และความถี่ต่ำใช้แทนข้อมูลที่มีค่าเป็น 0

2.4.3 Phase Shift Keying (PSK)

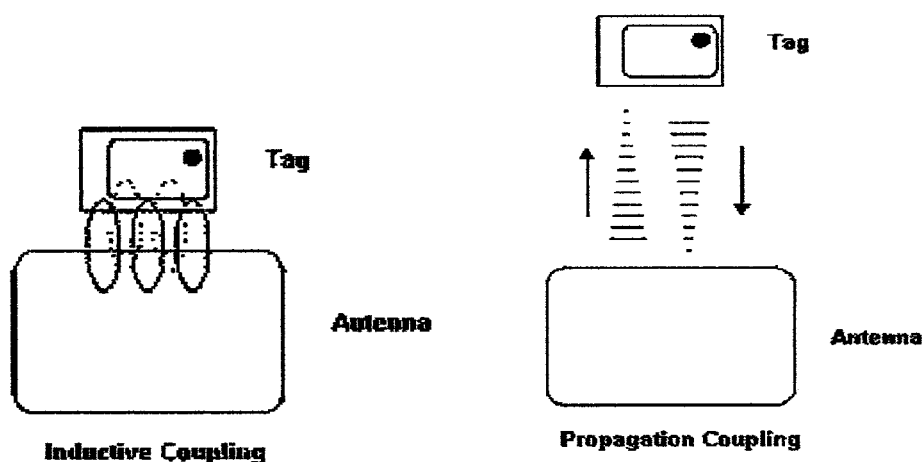


รูปที่ 2.12 การมอดูเลตเชิงเฟส (PSK)

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

2.5 การสื่อสารแบบไร้สาย

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



รูปที่ 2.13 การสื่อสารระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวรับข้อมูล

2.6 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิธ

อัตราการรับส่งข้อมูล (Data Transfer Rate) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาหะ โดยปกติถ้าความถี่ของคลื่นพาหะยิ่งสูง อัตราการรับส่งข้อมูลก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ส่วนการเลือกแบนด์วิธหรือย่านความถี่นั้นก็จะมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลเช่นกัน โดยมีหลักว่า แบนด์วิธควรจะมีค่ามากกว่าอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อยสองเท่า ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้แบนด์วิธในช่วง 2.4-2.5 GHz ก็จะสามารถรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลได้ถึงประมาณ 2 megabits ต่อวินาที เป็นต้น แต่การใช้แบนด์วิธที่กว้างเกินไปก็อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนมาก หรือทำให้ S/N Ratio ต่ำลงนั่นเอง ดังนั้นการเลือกใช้แบนด์วิธให้ถูกต้องก็เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณา

2.7 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะการรับส่งข้อมูลในระบบการสื่อสาร โดยเฉพาะโดยคลื่นความถี่วิทยุ ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator Power) กำลังส่งของเครื่องลูกข่าย (Tag Power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างเครื่องลูกข่ายและตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญ ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆรอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่ง

ความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบการชี้เฉพาะ โดยคลื่นความถี่วิทยุ ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบกับระยะการรับส่งข้อมูล และพยายามคิดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของเครื่องลูกข่ายที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมาก เมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา

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

ตารางที่ 2.1 ความถี่มาตรฐานกับ RFID tags แบบ ต่างๆ

ที่มา : “RFID Overview”, Greg Leeming, Intel Corporation, 2004

2.8 รูปแบบการรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ

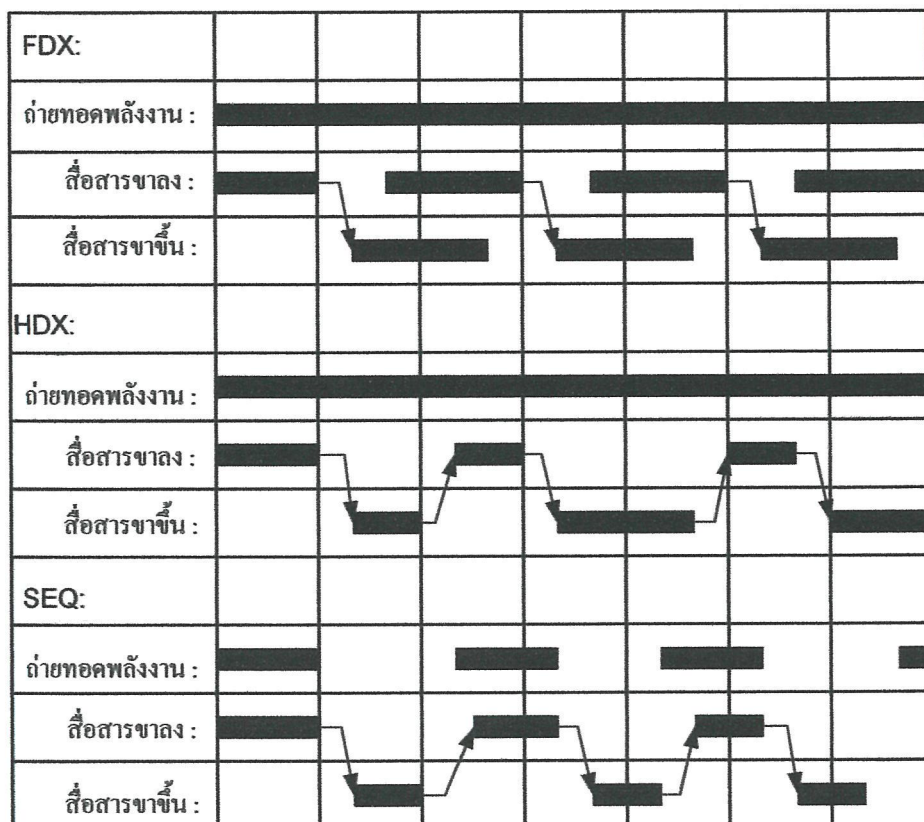
รูปแบบการรับส่งข้อมูลโดยการใช้คลื่นวิทยุสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

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

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.8.2 การสื่อสารแบบ Half Duplex : แบบ Half Duplex แม้ว่าเครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา แต่ก็ต้องมีการกำหนดจังหวะผลัดกันรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย

2.8.3 การสื่อสารแบบ Sequential : แบบ Sequential นั้น จะมีการจำกัดเวลาในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไฟให้เครื่องลูกข่ายในลักษณะพัลส์ (Pulse) หรือก้อนพลังงานที่ส่งออกในแต่ละช่วงเวลาและใช้การปรากฏขึ้นของพลังงานไฟฟ้าหรือพัลส์เป็นสัญญาณกำหนดให้มีการส่งข้อมูล(Downlink) ส่วนช่วงที่ไม่มีพลังงานปรากฏอยู่จะเป็นการส่งสัญญาณ (Uplink)



รูปที่ 2.14 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential

2.9 เทคโนโลยี RFID ที่ใช้การสื่อสารแบบ Duplexing

มาตรฐานการสื่อสาร RFID แบบ Duplexing ซึ่งสามารถจำแนกตามรูปแบบการทำงานได้ 4 ประเภท อันได้แก่เทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling, Electromagnetic backscatter Coupling, Close Coupling และเทคโนโลยี Electrical Coupling ซึ่งจะขอล่าวเฉพาะเทคโนโลยีแบบ Inductive Coupling

เทคโนโลยี แบบ Inductive Coupling เป็นมาตรฐานที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็ก โครงสร้างของเครื่องลูกข่ายประกอบไปด้วยแผงวงจรหรือชิปที่ใช้เก็บข้อมูลต่างๆ โดยมีขดลวดพื้นที่กว้าง ทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณ ทั้งนี้จะกล่าวถึงเทคนิคในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องลูกข่ายเพื่อเลี้ยงให้อุปกรณ์ชิปสามารถทำงานได้ก่อนจะกล่าวถึงเทคนิคที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน

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

ประกอบทั้งความยาวคลื่นของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งกระจายออกมาจากเครื่องอ่านนี้มีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเครื่องอ่าน ซึ่งโดยทั่วไปมักวางห่างกันในหลักไม้มากนัก ในขณะที่เทคโนโลยี RFID แบบ Inductive Coupling ส่วนใหญ่ใช้ความถี่ค่าเพียง 135 กิโลเฮิร์ตซ์หรืออาจจะต่ำกว่า ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีความยาวคลื่นสูงมากถึง 2,400 เมตร แม้ในบางระบบที่ความถี่ใช้ความถี่สูงในย่าน 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ก็ยังกำเนิดคลื่นสัญญาณที่มีความยาวคลื่นถึง 22.1 เมตร จึงไม่มีปัญหาในเรื่องของความยาวคลื่นที่สั้นเกินไปจนเกิดปรากฏการณ์เลี้ยวเบนหรือถูกกลทอนจากผนังอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ หากพิจารณาถึงพื้นที่ใช้งานโดยทั่วไปที่มีได้ไกลหรือกว้างใหญ่มากนัก

สัญญาณคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะตกกระทบขดลวดสายอากาศของเครื่องลูกข่ายก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดอ่อนๆ ขึ้นบนขดลวดดังกล่าว ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกนำไปเข้ากระบวนการเรกติไฟร์โดยตัวเก็บประจุและ ไดโอดเพื่อกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับป้อนให้กับอุปกรณ์ชิป ทั้งนี้หัวใจของการออกแบบอยู่ที่การเลือกค่าของตัวเก็บประจุ C1 ซึ่งจะต้องมีค่าสัมพันธ์กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด L เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความถี่ก้ำกอน (Resonance Frequency) ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องอ่านเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องลูกข่าย

สิ่งที่ผู้ออกแบบอุปกรณ์เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย RFID แบบ Inductive Coupling ให้ความสำคัญมากที่สุดก็คือ การออกแบบขดลวดทั้งที่เครื่องอ่านและเครื่องลูกข่ายให้สามารถถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าให้แก่กัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด หากจินตนาการเปรียบเทียบการ

ถ่ายทอดพลังงาน ไฟฟ้าระหว่างขดลวดทั้งสองมิได้พันอยู่บนแกนแม่เหล็กเดียวกัน กลับกลายเป็นใช้อากาศซึ่งมีคุณสมบัติในการนำพาสัญญาณที่เลวร้ายกว่าแกนแม่เหล็กหลายๆ

ดังนั้นในการออกแบบระบบแบบ Inductive Coupling ให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดพลังงานให้มากที่สุดจึงต้องเน้นไปที่ย่านความถี่ที่เหมาะสมต่อการส่งกระจายพลังงาน จำนวนรอบของขดลวดที่เครื่องอ่าน พื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่เครื่องลูกข่าย มุมติดตั้ง และระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่าย

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

2.10 ทฤษฎีพื้นฐานของการออกแบบสายอากาศ

2.10.1 กระแสและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จากกฎของแอมแปร์เมื่อกระแสจะไหลในตัวนำจะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบๆตัวนำ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะผลิตจากกระแสในตัวอุปกรณ์ ดังในรูปที่ 2.15 พิจารณานในตัวนำวงกลมที่มีความยาวจำกัด

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

โดยที่ I = กระแส

r = ระยะทางจากศูนย์กลางของลวดตัวนำ

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

ถ้ากรณีที่ลวดตัวนำมีความยาวเป็นค่าอนันต์จะต้องแทน

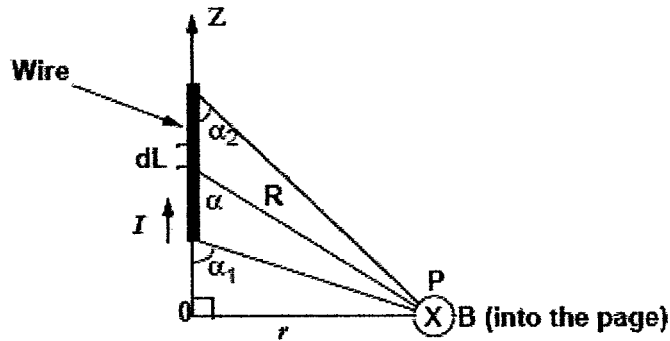
$$\alpha_1 = -180^\circ$$

$$\alpha_2 = 0^\circ$$

ฉะนั้นจากสมการที่ 2.10.1a

สามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ 2.10.1b

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



รูปที่ 2.15 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเส้นตรง

สนามแม่เหล็กถูกสร้างขึ้นจากลูปเสาอากาศ จะเป็นไปตามสมการที่ 2.10.1c

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

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

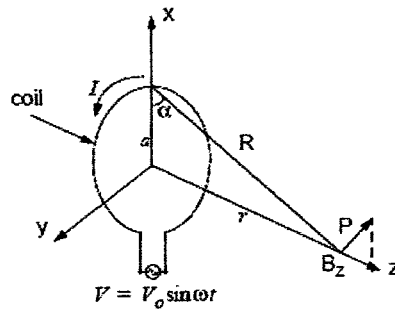
โดยที่ I = กระแส

a = รัศมีของลูป

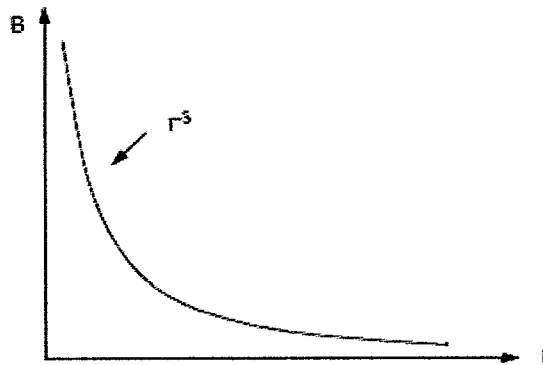
r = ระยะทางจากศูนย์กลางของลูป

สมการที่ 2.10.1c ต้องการชี้ว่าความแรงของสนามแม่เหล็กลดลงด้วย $1/r^3$ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.17 สนามแม่เหล็กจะมี Amplitude มากที่สุดในระนาบของและขึ้นอยู่กับทั้งกระแสและจำนวนรอบ

นอกจากนั้นสมการที่ 2.10.1c ถูกใช้ในการหาค่ากระแสต่อรอบที่ต้องการสำหรับระยะการอ่าน



รูปที่ 2.16 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเป็นรูป



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับระยะทาง r

2.10.2 แรงแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำได้จากขดลวดสายอากาศ

จากกฎของฟาราเดย์กล่าวว่า สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ทะลุผ่านพื้นผิวที่ถูกครอบคลุมโดยเส้นทางเดินปิดจะเหนี่ยวนำให้เกิดรอบๆ ลูป

รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของการประยุกต์ใช้ RFID จากกฎของฟาราเดย์ เมื่อสายอากาศของแท็กส์และตัวอ่านอยู่ในบริเวณเปิด สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาถูกสร้างขึ้นโดย สายอากาศของตัวอ่านเหนี่ยวนำแรงแม่เหล็ก (เรียกว่า แรงแม่เหล็กไฟฟ้าหรือ EMF อย่างง่าย) ไปยังสายอากาศของแท็กส์ แรงแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำที่ถูกเหนี่ยวนำในสายอากาศของตัวอ่านเป็นสาเหตุให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำในแท็กส์

แรงแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำบนสายอากาศของแท็กส์ จะเท่ากับการชาร์ตของเส้นแรงแม่เหล็ก ดังสมการที่

2.10.2a

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

โดยที่ N = จำนวนรอบของสายอากาศ

ψ = เส้นแรงแม่เหล็กที่ทะลุผ่านในแต่ละรอบ

เครื่องหมายลบแสดงทิศทางการเหนี่ยวนำซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น จากกฎของเลนส์ (Lenz's Law) เป็นการย้ำว่าทิศทางการไหลของกระแสในวงจรจะมีทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กที่ผลิตขึ้นจากการเหนี่ยวนำของกระแสแต่จะตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กที่จุดกำเนิด

เส้นแรงแม่เหล็กในสมการที่ 2.10.2 คือ ผลรวมของสนามแม่เหล็ก (B_{total}) ซึ่งทะลุผ่านเข้าไปยังพื้นผิวของสายอากาศ

$$\psi = \int B \cdot dS \quad (2.10.2b)$$

โดยที่ B = สนามแม่เหล็กจากสมการที่ 2.4

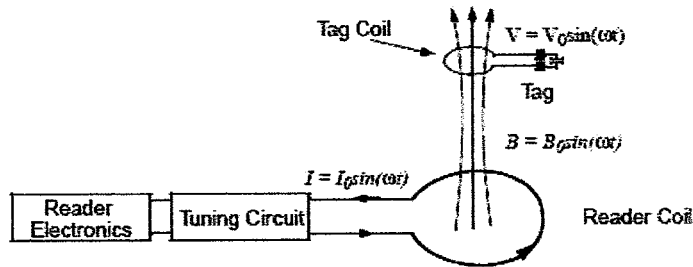
S = พื้นที่ผิวของขดลวด

μ = ผลคูณภายใน (มุม \cos ระหว่าง เวกเตอร์สองเวกเตอร์)

ซึ่งทั้ง B และ S เป็นปริมาณเวกเตอร์

ผลคูณภายในของสองเวกเตอร์ในสมการที่ 2.10.2b แสดงให้เห็นว่า เส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่ทะลุผ่าน ขดลวดสายอากาศ เกิดจากการหาตำแหน่งมุมของขดลวดสายอากาศ ผลคูณภายในของสองเวกเตอร์จะมีค่าน้อยสุดเมื่อมุม \cos ระหว่างสองเวกเตอร์เท่ากับ 90 องศา หรือสองเวกเตอร์ตั้งฉากซึ่งกันและกัน และจะมากที่สุดเมื่อ มุม \cos คือ 0 องศา

ขดลวดของแท่งสี่เหลี่ยมได้รับขนาดเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดที่ทะลุผ่านเมื่อขดลวดของตัวอ่านและแท่งสี่เหลี่ยมอยู่ในตำแหน่งที่ขนานกัน ซึ่งก็หมายถึงจะมีแรงดันเหนี่ยวนำมากที่สุดเกิดขึ้นที่ขดลวดของแท่งสี่เหลี่ยมและจะได้ระยะอ่านมากที่สุดด้วย ผลคูณภายในที่แสดงดังสมการที่ 2.10.2b สามารถอธิบายในพจน์ของ mutual coupling ระหว่าง ขดลวดของตัวอ่านและแท่งสี่เหลี่ยม mutual coupling ระหว่างขดลวดทั้งสองจะสูงสุดในสถานะที่กล่าวมาแล้วเบื้องต้น



รูปที่ 2.18 โครงสร้างพื้นฐานของตัวอ่านและแท็กส์ในการประยุกต์ใช้ RFID

นำสมการที่ 2.10.1c และ 2.10.2b มาแทนลงในสมการที่ 2.10.2a จะได้

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

โดยที่

V = แรงดันในขดลวดแท็กส์

i_1 = กระแสที่ไหลในขดลวดตัวอ่าน

a = รัศมีของขดลวดตัวอ่าน

b = รัศมีของขดลวดแท็กส์

r = ระยะทางระหว่างขดลวดทั้งสอง

M = mutual inductance ระหว่างขดลวดแท็กส์และขดลวดตัวอ่าน โดยที่

ค่า M เป็นไปตามสมการที่ 2.10.2c

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

เส้นแรงแม่เหล็กเกิดจากมีกระแสในขดลวดปฐมภูมิ ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กเป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิ

ในสมการที่ 2.6 แรงดันขดลวดของแท่งจะขึ้นอยู่กับ mutual inductance ระหว่างขดลวดทั้งสอง mutual inductance ขึ้นอยู่กับรูปร่างของขดลวดและระยะห่างระหว่างขดลวดทั้งสอง แรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดของแท่งลดลงด้วยอัตรา r^{-3} ดังนั้น ระยะการอ่านจะลดลงในทางเดียวกัน

จากสมการที่ 2.10.2a และ 2.10.2b สมการรูปทั่วไปสำหรับแรงดันเหนี่ยวนำ V_0 ในขดลวดรูป คือ

$$V_0 = 2\pi fNSQB_0 \cos \alpha \quad (2.10.2c)$$

โดยที่ f = ความถี่ของสัญญาณที่เข้ามา

N = จำนวนรอบของขดลวดในรูป

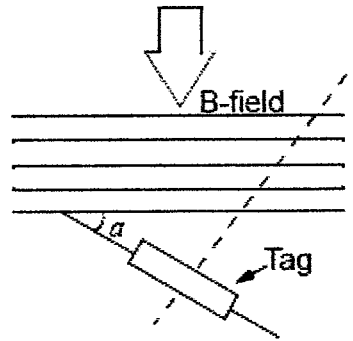
S = พื้นที่ของรูป มีหน่วยเป็น m^2

Q = quality factor ของวงจร

B_0 = ความเข้มของสัญญาณที่เข้ามา

α = มุมของสัญญาณที่เข้ามา

จากสมการที่ 2.10.2c ค่า quality factor (Q) คือ มาตรการในการเลือกความถี่ที่สนใจ



รูปที่ 2.19 ตำแหน่งของสายอากาศของแท็กส์

แรงดันเหนี่ยวนำที่ทะลุขดลวดของสายอากาศในทิศทางมุมของสัญญาณที่เข้ามา แรงดันเหนี่ยวนำจะมากที่สุดเมื่อขดลวดตัวอ่านอยู่ในตำแหน่งที่ขนานกับสัญญาณที่เข้ามา นั่นก็คือ $a = 0$

2.10.3 ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำและชนิดของลวด

American Wire Gauge (AWG) เป็นเลขที่แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตัวนำ เลขนี้เป็นสัดส่วนตรงกันข้ามกับเส้นผ่านศูนย์กลาง ยิ่งลวดมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กก็就会有ความต้านทานกระแสตรงสูง ความต้านทานกระแสตรงสำหรับตัวนำจะมีรูปแบบที่สัมพันธ์กับพื้นที่ตัดขวาง ดังสมการที่ 2.10.3

$$R_{DC} = \frac{l}{\sigma S} = \frac{l}{\sigma \pi a^2} \quad (2.10.3)$$

โดยที่ l = ความยาวทั้งหมดของลวด

σ = ความนำไฟฟ้าของลวด

S = พื้นที่ตัดขวาง

a = รัศมีของลวด

ค่าความต้านทานค่าน้อยๆ อาจเป็นไปได้สำหรับค่า Q ที่สูงๆ ของวงจรสายอากาศ นั่นหมายถึง ขดลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางจะต้องถูกเลือกให้เป็นไปได้กับวงจร RFID ตามตารางที่ 2.4 แสดงถึง เส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับลวดที่มีสิ่งห่อหุ้มและเปลือย และแสดงถึงความต้านทานกระแสตรง

2.10.4 ความต้านทานกระแสสลับของตัวนำ

สำหรับกระแสตรง พาหะตัวนำจะกระจายอยู่รอบๆ ส่วนต่างๆ ของลวด ถ้าความถี่เพิ่มขึ้น ที่ศูนย์กลางของตัวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นความต้านทานของขดลวดที่มีต่อการนำไฟฟ้าสลับที่ใกล้ๆ จุดศูนย์กลางของลวดจะเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้ ในบริเวณที่มีความหนาแน่นของกระแสความต้านทานจะสูงขึ้น

ดังนั้น ประจุจะเคลื่อนจากจุดศูนย์กลางของลวดตรงไปยังขอบๆ ของลวด เป็นผลทำให้ความหนาแน่นที่จุดศูนย์กลางของลวดลดลงและเพิ่มขึ้นที่บริเวณใกล้กับขอบของลวด นี่คือ 'skin effect' ลึกเข้าไปในตัวนำ ความหนาแน่นของกระแสตกลงเป็น $1/e$ หรือ 37% (= 0.3679) ของค่าที่พื้นผิว เป็นที่รู้กันว่าเป็นลักษณะของ skin depth และ คือปัจจัยของความถี่และค่าความซึมซับและค่าความนำของตัวกลาง ผลต่างๆ ของ skin effect ทั้งหมดทั้งปวงเพิ่มขึ้นในความต้านทานกระแสสลับของลวด

ค่า skin depth คำนวณได้จากสมการที่ 2.10.4a

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

โดยที่

f = ความถี่

μ = ค่าความซึมซับ

μ_0 = ค่าความซึมซับของอากาศ

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

บริสุทธ์

σ = ค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุ

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

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

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

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

ค่า skin depth ทองแดง ที่ความถี่ 13.56 MHz จะได้

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi(13.56 \times 10^6)(4\pi \times 10^{-7})(5.8 \times 10^7)}} = 17.9 \times 10^{-6} \text{ m}$$

63 % ของการไหลกระแส RF ในทองแดงจะไหลอยู่ที่ระยะที่ห่างจากขอบนอกสุด 17.9×10^{-6} m สำหรับความถี่ 13.56 MHz

ความต้านทานลวดเพิ่มขึ้นตามความถี่ และ ความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับ skin depth ถูกเรียกว่า ความต้านทานกระแสสลับ สูตรโดยประมาณของความต้านทานกระแสสลับ เป็นไปตามสมการที่ 2.10.4b

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

(2.10.4b)

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

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

โดยที่ พื้นที่ skin depth บนลวดตัวนำคือ

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

ความต้านทานกระแสสลับเพิ่มขึ้นด้วยรากที่สองของความถี่ที่ใช้

Wire Size (AWG)	Dia. in Mils (bare)	Dia. in Mils (coated)	Ohms/1000 ft.	Cross Section (mils)
1	289.3	—	0.126	83690
2	287.6	—	0.156	66360
3	229.4	—	0.197	52620
4	204.3	—	0.249	41740
5	181.9	—	0.313	33090
6	162.0	—	0.395	26240
7	166.3	—	0.498	20820
8	128.5	131.6	0.628	16510
9	114.4	116.3	0.793	13090
10	101.9	106.2	0.999	10380
11	90.7	93.5	1.26	8230
12	80.8	83.3	1.59	6530
13	72.0	74.1	2.00	5180
14	64.1	66.7	2.52	4110
15	57.1	59.5	3.18	3280
16	50.8	52.9	4.02	2580
17	45.3	47.2	5.05	2060
18	40.3	42.4	6.39	1620
19	35.9	37.9	8.05	1290
20	32.0	34.0	10.1	1020
21	28.5	30.2	12.8	812
22	25.3	28.0	16.2	640
23	22.6	24.2	20.3	511
24	20.1	21.6	25.7	404
25	17.9	19.3	32.4	320

Note: 1 mil = 2.54×10^{-3} cm

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

Note: 1 mil = 2.54×10^{-3} cm

ตารางที่ 2.2 AWG WIRE CHART

2.10.5 ความต้านทานของตัวนำด้วยการประมาณที่ความถี่ต่ำ

เมื่อ skin depth ส่วนใหญ่จะเปรียบเทียบกับรัศมีของตัวนำ ความต้านทานสามารถได้รับการประมาณด้วยความถี่ต่ำได้

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

(2.10.5)

พจน์แรกของสมการที่ 2.10.5 คือ ความต้านทานกระแสตรง ส่วนพจน์ที่สองคือความต้านทานกระแสสลับ

2.10.6 ตัวเหนี่ยวนำที่ประกอบด้วยขดลวดสี่เหลี่ยมหลายชั้น

ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดสี่เหลี่ยมหลายชั้นคำนวณจากสมการที่ 2.10.6

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

(2.10.6)

โดยที่ N = จำนวนรอบ

$$C = x + y + 2h$$

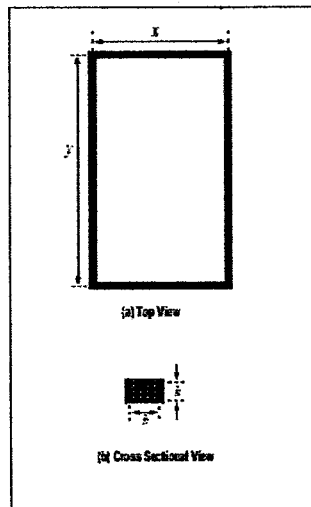
X = ความกว้างของขดลวด

Y = ความยาวของขดลวด

b = ความกว้างของภาคตัดขวาง

h = ความสูงของภาคตัดขวาง

หมายเหตุ อยู่ในหน่วย เซนติเมตร



รูปที่ 2.20 ขดลวดรูปสี่เหลี่ยมหลายชั้น

2.11 การแมทซ์อิมพีแดนซ์ (Impedance Matching)

วงจรแมทซ์ซิง (Matching circuit) เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร หรือ โครงข่ายเพื่อให้วงจร หรือ โครงข่าย มีค่า Z_s และ / หรือ Z_L ตามที่เราต้องการ เพื่อให้วงจร หรือ โครงข่ายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ/หรือ ให้เกิดการถ่ายทอดกำลังสูงสุด

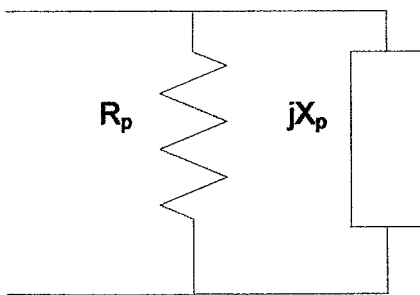
วงจรที่ใช้ในการแมทซ์ซิงอาจใช้เพียง ตัวความต้านทาน หรือ หม้อแปลง หรือวงจร L-C

2.11.1 วงจรเสมือน การแปลงระหว่าง อิมพีแดนซ์อนุกรม และอิมพีแดนซ์ขนาน

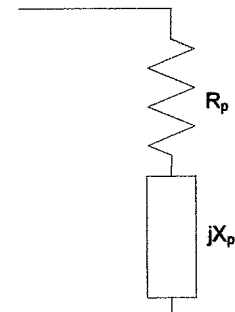
หลักการที่สำคัญของการออกแบบวงจรแม่เหล็กอิมพีแดนซ์ คือการแปลงอิมพีแดนซ์ที่อยู่ใน

รูป

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



(ก) อิมพีแดนซ์ขนาน



(ข) อิมพีแดนซ์อนุกรม

รูปที่ 2.21 วงจรเสมือนอิมพีแดนซ์

จากรูปที่ 22(ก)จะได้ $Z_p = R_p // jX_p$

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

(2.13.1a)

จากรูปที่ 22(ข)จะได้ $Z_{se} = R_{se} + jX_{se}$

$$Z_p \equiv Z_{se}$$

(2.13.1b)

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

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

(2.13.1a)

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

(2.13.1b)

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

(2.13.1c)

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

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

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

(2.13.1d)

และจากสมการที่ 2.13.1b

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

(2.13.1e)

$$\text{จากสมการที่ 2.13.1d: } \frac{R_p}{X_p} = Q_p = \frac{X_{se}}{R_{se}} = Q_{se}$$

(2.13.1f)

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

(2.13.1g)

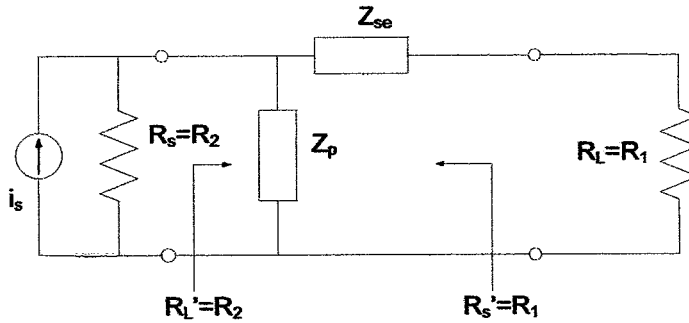
แทนค่า $\frac{R_p}{X_p}$ ในสมการที่ 2.13.1e ด้วย $\frac{X_{se}}{R_{se}}$ จะได้

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

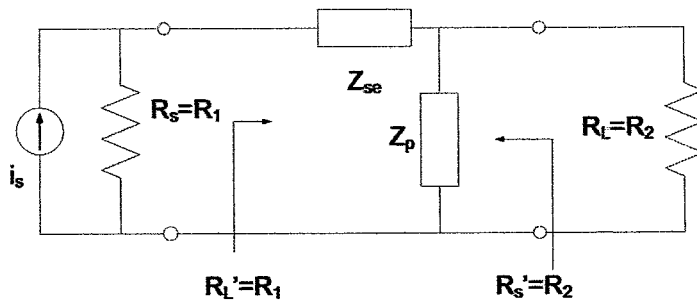
(2.13.1h)

ค่าอัตราส่วน R_p/X_p หรือ X_{se}/R_{se} อาจถูกเรียกว่าค่า Q ของอิมพีแดนซ์

2.10.2 วงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์อย่างง่าย



(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 2.22 วงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์อย่างง่ายที่สุด

จากรูปที่ 23 แหล่งกำเนิดสัญญาณ i_s ซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์ R_s จะต้องแมทซ์กับ R_L เพื่อให้ได้การถ่ายเทกำลังไฟฟ้าจาก i_s ไปยัง R_L ให้มากที่สุด

- แหล่งกำเนิด i_s ควรต่อกับโหลดที่มีค่า $R_L' = R_s$
- R_L ควรต่อกับแหล่งกำเนิดที่มีค่า $R_s' = R_L$ การถ่ายเทกำลังไฟฟ้าใน รูปที่ 23 อาจหมายถึง
- การถ่ายเทกำลังไฟฟ้าในจากแหล่งกำเนิดไปสู่วงจรขยาย ในกรณีนี้อิมพีแดนซ์ที่ทางเข้าของวงจรขยาย จะเสมือนเป็น R_L หรือ $R_L = R_{IN}$
- การถ่ายเทกำลังไฟฟ้าจากวงจรขยายไปยัง R_L ในกรณีนี้อิมพีแดนซ์ที่ทางออกของวงจรขยาย จะเสมือนเป็น R_s หรือ $R_{o(n)} = R_s$ และ $R_{IN(n+1)} = R_L$

จากรูปที่ 24 R_2 หมายถึง ด้านที่มีอิมพีแดนซ์สูงกว่า ในกรณีที่

- $R_s > R_L$ $R_2 \equiv R_s$ และ $R_1 \equiv R_L$ ดังในรูปที่ 24 (ก)

- $R_s < R_L$ $R_2 \equiv R_L$ และ $R_1 \equiv R_s$ ดังในรูปที่ 24(ข)

โดยการนำอิมพีแดนซ์ Z_p ไปต่อขนานกับฝั่งที่มีความต้านทานสูงกว่า หรือ R_2 เลือกราคาของ Z_p เพื่อให้

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

นั่นคือ R_2 จะถูกทำให้มีค่าความต้านทานเสมือนเป็น R_1 จากสมการที่ 2.13.1b

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

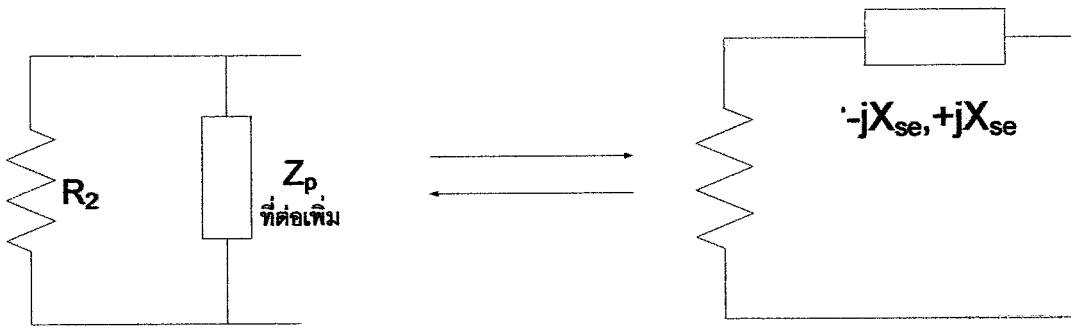
$$R_1 = \frac{R_2}{1 + \left(\frac{R_2}{X_p}\right)^2}$$

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

(2.13.2a)

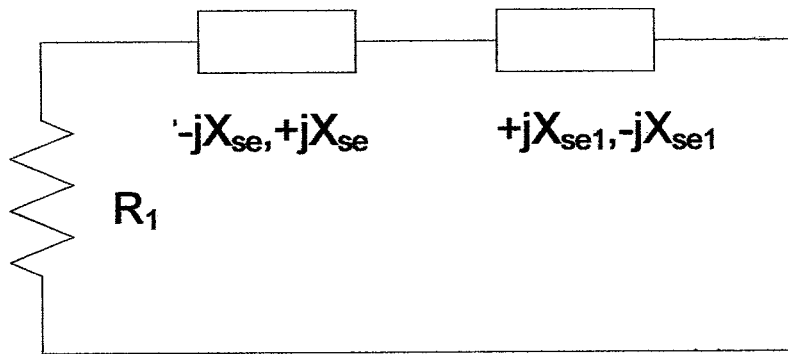
ซึ่ง $Z_p = \pm jX_p = \frac{\pm jR_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 - 1}}$

(2.13.2b)



R_2 ถูกแปลงเป็น R_1 โดยต่อ Z_p

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



$Z_{se} = \mp jX_{se1}$ ถูกต่อเพิ่ม

(ข) $\pm jX_{se1}$ ที่เกิดจากการนำ Z_p ไปต่อขนานกับ R_2 ถูกกำจัดโดยการนำ $Z_{se} = \mp jX_{se1}$ ไปต่ออนุกรมเพิ่ม
รูปที่ 2.23 การเมทซ์อิมพีแดนซ์ ระหว่าง R_2 และ R_1

โดยการนำ $Z_p = \pm jX_p = \frac{\pm jR_2}{\sqrt{\frac{R_2}{R_1}-1}}$ ไปต่อขนานกับ R_2 ทำให้ R_2 ถูกแปลงเป็น R_1 ต่ออนุกรมกับ

$\pm jX_{se1}$ ดังรูปที่ 24 (ก) จากสมการ ที่ 2.13.1f ค่าของ X_{se1} จะมีค่าเป็น $X_{se} = R_{se} \cdot \frac{R_p}{X_p}$

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

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

(2.13.2c)

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

โดยการนำอิมพีแดนซ์ $Z_{se} = \mp Z_{se1}$ ไปต่ออนุกรมกับ R_1 ดังรูปที่ 24(ข) จะได้ค่าของอิมพีแดนซ์ Z_{sc} ที่นำไปต่ออนุกรมกับ R_1 เป็น

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

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

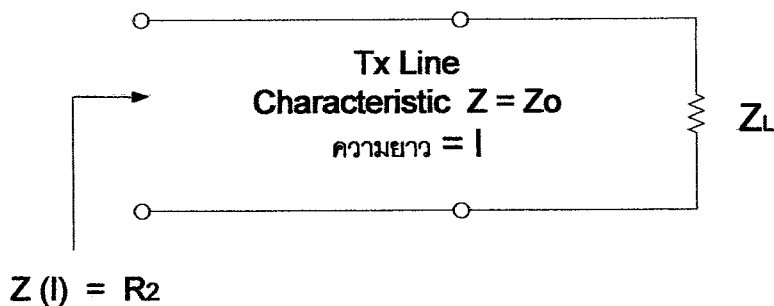
$$|Z_p|_{\text{ขนานกับ } R_2} = \frac{R_2}{\sqrt{\frac{R_2}{R_1}-1}} \quad (2.13.2e)$$

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

โดยที่ $R_2 > R_1$

2.10.3 Reader Coil Matching Using Quarter Wave Transformer

Transmission Line Theory



รูปที่ 2.24 วงจรเสมือนของสายส่ง

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

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

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

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

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

ถ้ากำหนดให้ $\frac{l}{\lambda} = \frac{L}{\lambda}$

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

ดังนั้น $Z_L = Z_0 \left[\frac{Z_L + jZ_0 \tan 2\pi \frac{L}{\lambda}}{Z_0 + jZ_L \tan 2\pi \frac{L}{\lambda}} \right]$

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

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

λ ในสมการ Tx Line เป็นความยาวคลื่นของ Tx Line มีใช้ค่า λ_0 ของ Free Space เนื่องจากความเร็วของคลื่นใน Tx Line ไม่เท่ากับความเร็วแสง ซึ่ง λ_0 มีค่าดังสมการ

$$\lambda_0 = \frac{C}{f}$$

เมื่อ C คือค่าความเร็วแสงซึ่งมีค่าเท่ากับ 3×10^8 m/s

และจาก
$$\lambda = \frac{V_p}{f}$$

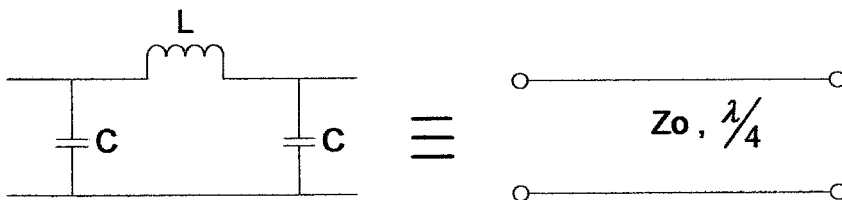
โดยที่ V_p คือ Phase Velocity

จะกำหนดได้ว่า $\frac{V_p}{C} = U = \text{Velocity Coefficient}$ ซึ่งจะเป็นค่าคงที่ของ T_x Line ชนิดต่างๆ เช่น สาย RG 58 มีค่า $U \approx 0.66$ ดังนั้นค่าความยาวคลื่นของ T_x Line จะเท่ากับ

$$\lambda_{T_x} = \frac{3 \times 10^8 U}{f}$$

Quarter Wave Transformer

$\lambda/4$ T_x Line ที่มีค่า Characteristic Impedance เท่ากับ Z_0 สามารถสร้างด้วยวงจร LC ดังรูป

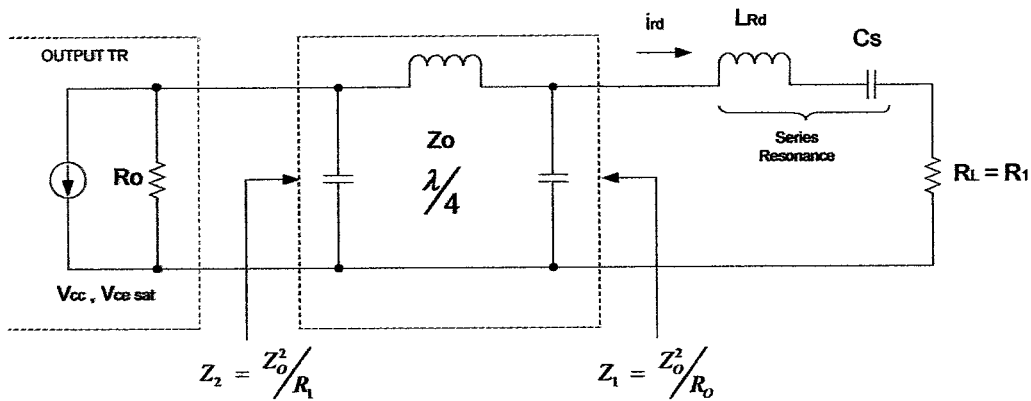


รูปที่ 2.25 การคำนวณค่าอิมพีแดนซ์แมทซ์ของสายส่งด้วยวงจร LC

โดยที่

$$L = \frac{Z_0}{2\pi f}$$

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



รูปที่ 2.26 การคำนวณค่าอิมพีแดนซ์แมตซ์ของสายส่งด้วยวงจร LC (ต่อ)

จากการทดลองพบว่า P_o ของ Class C Power Amp. ที่อยู่ในสถานะ Overdrive เพื่อรองรับ ASK Modulation จะมีค่าประมาณ 1.6 เท่าของ P_o ที่คำนวณจากสมการ $P_o = \frac{(V_{CC} - V_{SAT})^2}{2R_2}$ ดังนั้นจึงควรเพิ่มค่า R_2 ขึ้นไป 1.6 เท่าของ R_2 ที่คำนวณจาก $R_2 = \frac{(V_{CC} - V_{SAT})^2}{2P_o}$ ดังนั้นจะ
ได้ว่า

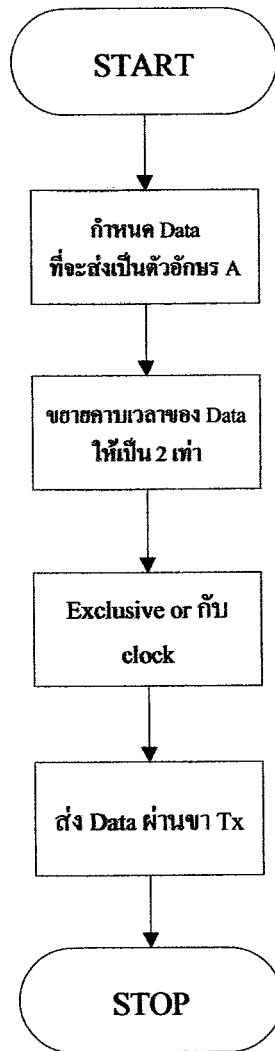
$$R_2 \approx \frac{(V_{CC} - V_{CE(SAT)})^2}{1.25 I_{rd}^2 R_L} \approx \frac{(V_{CC} - V_{CE(SAT)})^2}{1.25 P_o}$$

บทที่ 3

การออกแบบวงจร

3.1 โปรแกรม PIC

3.1.1 Flow chart โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนของตัวส่งข้อมูล



รูปที่ 3.1 Blockdiagram ของตัวส่งข้อมูล

3.1.2 โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนของตัวรับข้อมูล

```

#include <16F628.h>

#include <stdio.h>

#define CLOCK_T 13560000

#define TxD PIN_B2 //PIN C6 IS TRANSMITTER//

#define RxD PIN_B1 //PIN C7 IS RECIEVE//

#define EC_IO,NOPUT,BROWNOUT,MCLR,NOWDT,
NOPROTECT,NOLVP

#define delay(clock=CLOCK_T)

#define rs232(baud=9600,parity=N,xmit=TxD,rcv=RxD,bits=8)

int i;
char a[5],data,data1,data2,x,y,c;

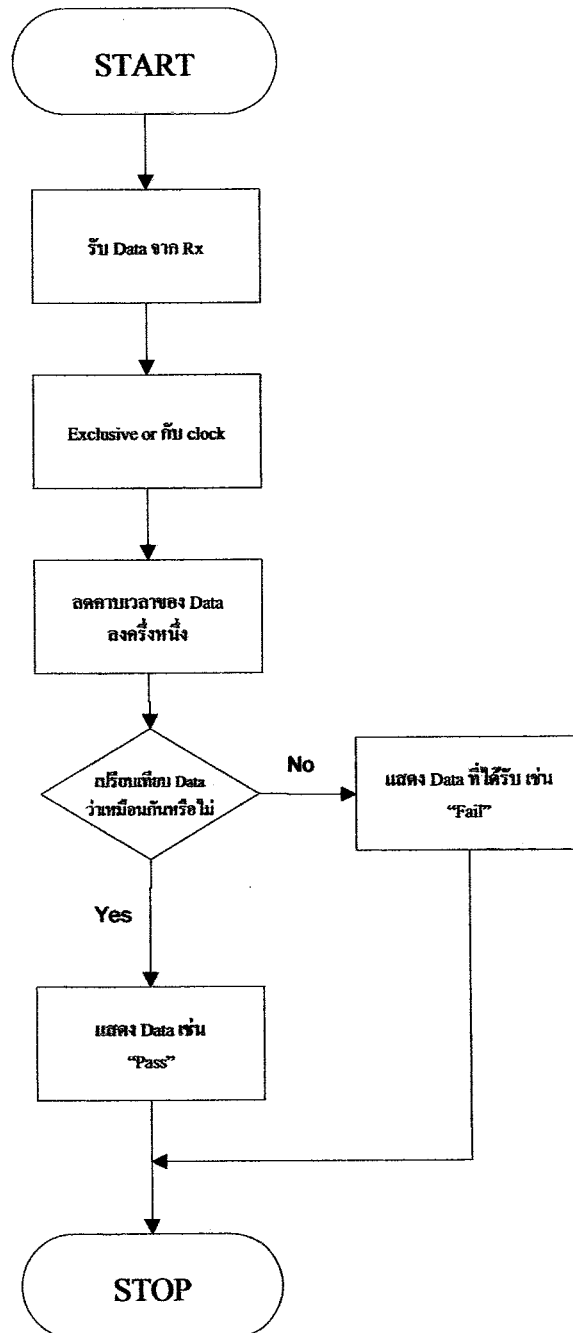
void cut()
{
    y=0x00;
    a[4]=x & 0b00001000;    //a[4]=0x00//
    a[3]=x & 0b00000100;    //a[3]=0x00//
    a[2]=x & 0b00000010;
    a[1]=x & 0b00000001;    //a[1]=0x01//
    for (i=4;i>=1;i--)
    {
        a[i] = a[i]<<(i-1);    //0b0x000000//
        y = y + a[i];        //0b0x000000//
        a[i] = a[i]<<1;        //0bx0000000//
        y = y + a[i];        //0bxx000000//
    }
}

void send()
{
    data1= data & 0b00001111; //data1 = 4bit 1st 0b00000001//

```

```
data2= data & 0b11110000; //data2 = 4bit 2nd 0b01000000//
data2=data2>>4;      //data2 = 0b00000100//
x=data1;
cut();
data1=y^0x55;      //0b00000011 ^ 0b01010101//
x=data2;
cut();
data2=y^0x55;
while(TRUE)
{
    putc(data1);
    putc(data2);
    delay_ms(10);
}
}
main()
{
    c='A';
    data=c;
    send();
}
```

3.1.3 Flow chart ของไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนของตัวรับข้อมูล



รูปที่ 3.2 Blockdiagram ของตัวส่งรับมูด

3.1.4 โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนของตัวรับข้อมูล

```

#include <16F877.h>
#include <stdio.h>
#define CLOCK_T 13560000
#define TxD PIN_C6 //PIN C6 IS TRANSMITTER//
#define RxD PIN_C7 //PIN C7 IS RECIEVE//
#fuses XT,NOPUT,BROWNOUT,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#use delay(clock=CLOCK_T)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=TxD,rcv=RxD,bits=8)
#use fast_io (B)
#define use_portb_lcd
#include <lcd.c>
//////////Subfunction//////////
int i,j;
char d,x,y,a[5],data[2],code;
void mix()
{
  y=0x00;
  a[4]=x & 0b10000000;
  a[3]=x & 0b00100000;
  a[2]=x & 0b00001000;
  a[1]=x & 0b00000010;
  for (i=1;i<=4;i++)
  {
    a[i] = a[i]>>i;   y = y + a[i];
  }
}
void rcv()
{
  data[0]=getc();
  data[1]=getc();
}

```

```

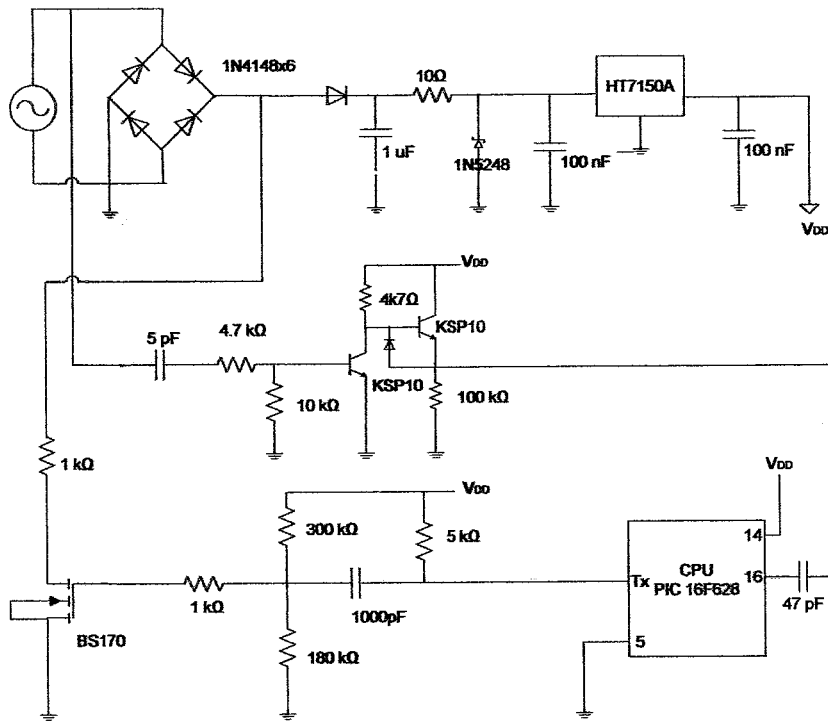
data[0]=data[0] ^ 0x55;
data[1]=data[1] ^ 0x55;
x=data[0];
mix();
data[0]=y;
x=data[1];
mix();
data[1]=y<<4;
code=data[0]+data[1];
}

//////////Mainfunction//////////
main()
{  lcd_init();
   output_high(PIND0);
   lcd_gotoxy(1,1);
   lcd_putc(" RFID 13.56MHz ");
   lcd_gotoxy(1,2);
   lcd_putc("  PROJECT 4C  ");
   while(1){
     if(kbhit() {
       rcv();
       d=code;
       lcd_init();
       if (d == 'A')
       {
         output_low(PIN_D0);
         output_high(PIN_D1);
         lcd_gotoxy(1,1);
         lcd_putc(" DATA RECIEVE ");
         delay_ms(1000);

```

```
    lcd_gotoxy(1,2);
    lcd_putc(" ^o^=PASS=^o^ ");
    delay_ms(2000);
    output_low(PIN_D1);
    lcd_putc("\f");
}
else
{
    output_low(PIN_D0);
    output_high(PIN_D2);
    lcd_gotoxy(4,1);
    lcd_putc(" DATA RECEIVE ");
    delay_ms(1000);
    lcd_gotoxy(1,2);
    lcd_putc("o_O=FAIL=o_O ");
    delay_ms(2000);
    output_low(PIN_D2);
    lcd_putc("\f");
}
}
output_high(PIN_A0);
output_low(PIN_A0);
}
}
```

3.2 วงจร Tag

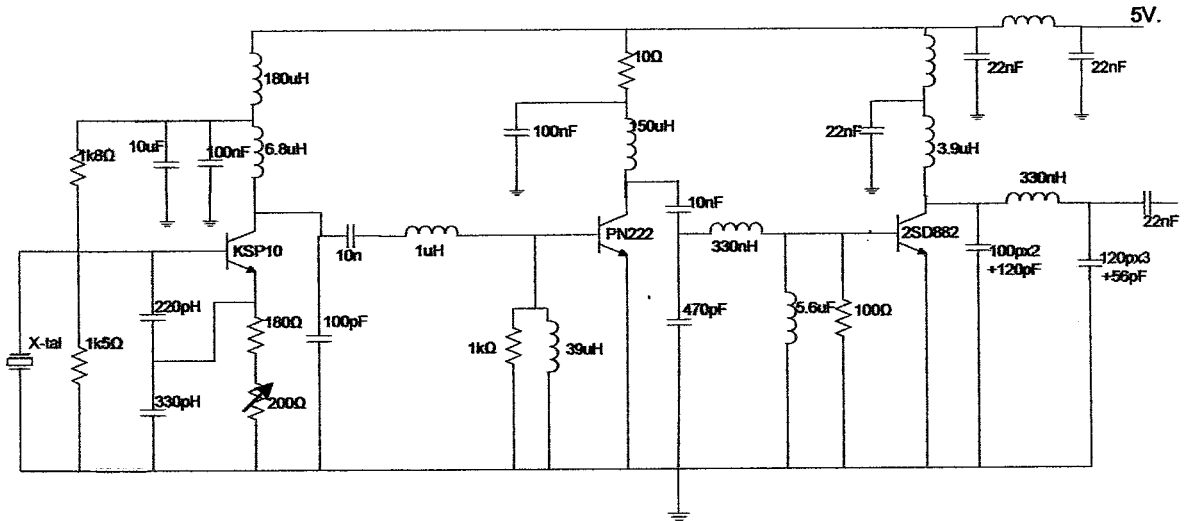


รูปที่ 3.3 วงจร Tag

ทรานซิสเตอร์ เบอร์ KSP10 จะทำหน้าที่ปรับสัญญาณพิก้าที่ได้จากขดลวดเพื่อเป็นสัญญาณพิก้าให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628 ในส่วนของมอสเฟสตัวล่างสุดจะทำงานและหยุดทำงานตามสัญญาณที่ได้จากวงจรหารความถี่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ตามไปด้วยสัญญาณความถี่พาหะที่ขดลวดเครื่องอ่านเกิดการเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่มีคุณเลตมาจากตัวเครื่องลูกข่าย พลังงานที่ถูกส่งผ่านมายังเครื่องลูกข่าย ทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ที่ความถี่ 13.56 MHz กับ C ที่เราได้ต่อขนานไว้แล้วนำมาเรกติไฟเออร์จากนั้นก็มาผ่านวงจรรักษาระดับแรงดัน โดยมี HT7150A เป็น IC รักษาระดับแรงดันไม่ให้เกินกว่าที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628 จะรับได้ ซึ่งเป็นตัวสร้างไฟเลี้ยงให้กับวงจรทั้ง Tag

3.3 วงจร Reader

3.3.1 Reader coil Driver



รูปที่ 3.4 Reader coil Driver

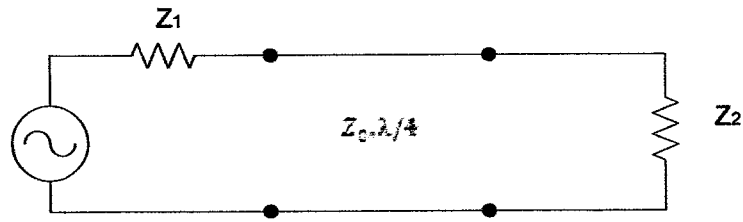
วงจร Reader Coil Driver จะเป็นวงจรที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณออสซิลเลเตอร์ในลักษณะของ sine wave ความถี่ 13.56 MHz โดยในชุดแรกทำหน้าที่สร้างสัญญาณออสซิลเลเตอร์ออกมา ซึ่งมี x-tal คอยควบคุมความถี่ 13.56 MHz และมี R ปรับค่าคอยควบคุมขนาดของสัญญาณ อีก 2 ชุดต่อมา จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ได้นี้อีกทีหนึ่ง ซึ่งที่ Output สามารถปรับสัญญาณได้สูงสุดถึง 40 Vpp ในแต่ละส่วนจะเชื่อมต่อกัน โดยการ Matching เพื่อให้ได้การส่งถ่ายพลังงานที่สูงที่สุดดังแสดงในวงจรข้างล่าง

PA MATCHING

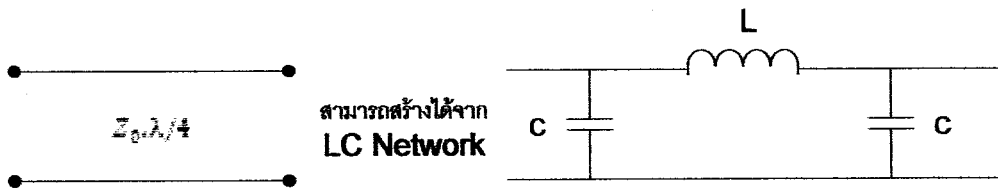
$$P_{\text{Out MAX}} = \frac{(V_{\text{cc}} - V_{\text{sat}})^2}{2Z_c}$$

$$V_{\text{cc}} - V_{\text{SAT}} = 4V, P_{\text{O MAX}} = 0.5W - Z_c = 16\Omega$$

ต้องใช้สายสัญญาณ $\lambda/4$



$$Z_0 = \sqrt{Z_1 \times Z_2} = \sqrt{16 \times 50} = 28.28\Omega$$



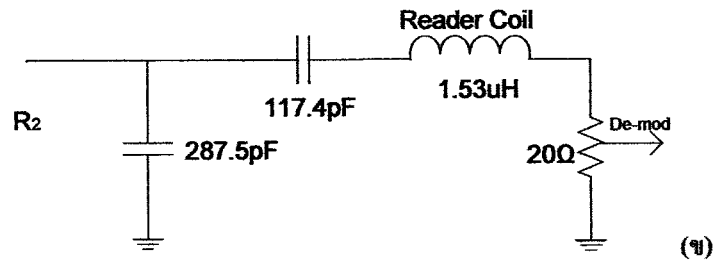
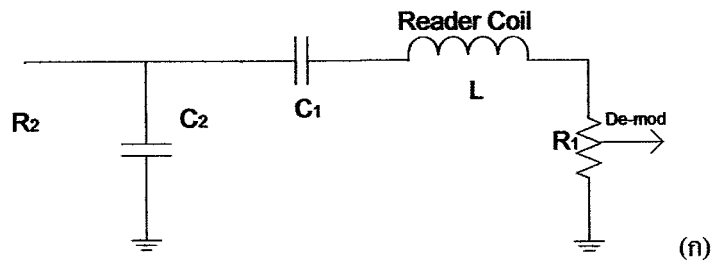
$$C = \frac{1}{2\pi f Z_0} = 415 \text{ pF}$$

$$L = \frac{Z_0}{2\pi f} = 331.9 \text{ nH}$$

รูปที่ 3.5 การสร้าง LC Network

3.3.2 Reader Coil MATCHING

เป็นการคำนวณค่าเรโซแนนซ์ของขดลวดของ Reader เพื่อให้เกิดการส่งถ่ายพลังงานสูงสุดกับขดลวดที่ฝัง Tag



รูปที่ 3.6 การคำนวณเรโซแนนซ์

$$L = 1.53\mu\text{H}$$

$$F_{\text{self}} = 63\text{MHz}$$

$$C_p = \frac{1}{(2\pi f_{\text{self}})^2 L} = 4.17\text{p}$$

$$X_L = (2\pi f)L = j130.36\Omega$$

$$X_{cp} = \frac{1}{\omega_{cp}} = \frac{1}{(2\pi f_{\text{self}} C_p)} = -j2.81\text{k}\Omega$$

$$Z_c = X_{cp} / X_L = 124.6\Omega$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = 1.462\mu\text{H}$$

ใช้ $Q=5$ จะได้

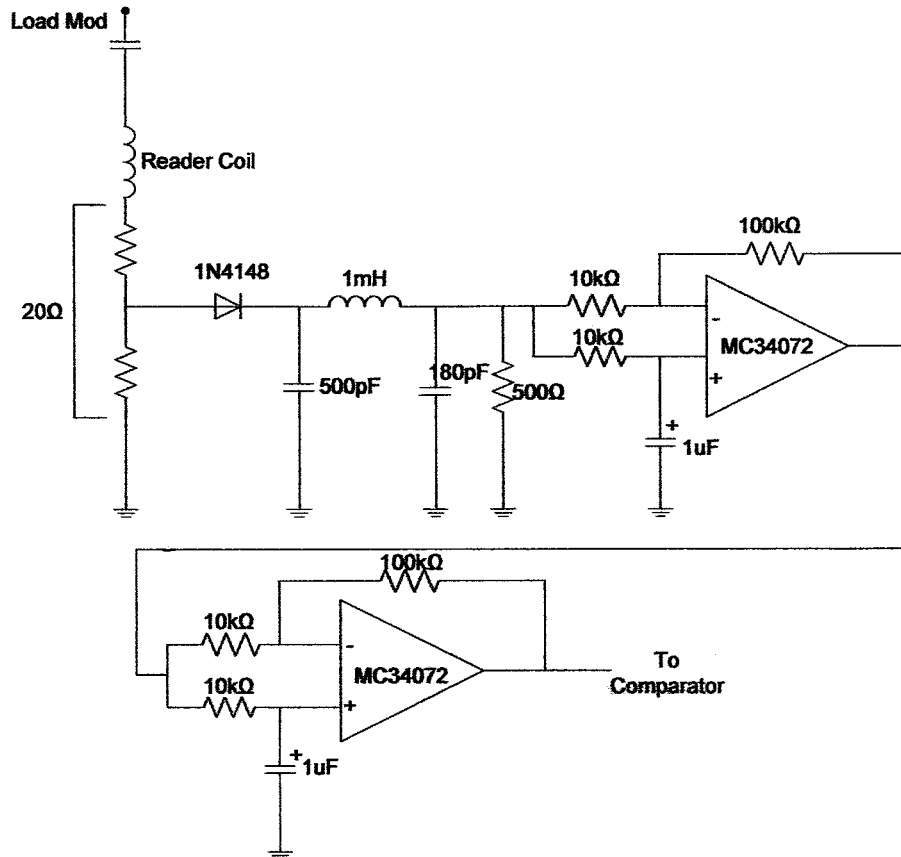
$$R_1 = \frac{R_2 + 2QX_L \pm \sqrt{(R_2 + 2QX_L)^2 - 4(Q^2 + 1)X_L^2}}{2(Q^2 + 1)} = 21.4 = 20\Omega$$

$$X_{C1} = QR_1 = 100, C_1 = \frac{1}{\omega X_{C1}} = 117.4\text{pF}$$

$$X_{C2} = R_2 \sqrt{\frac{R_1}{R_2 - R_1}} = 40.82, C_2 = \frac{1}{\omega X_{C2}} = 287.5\text{pF}$$

จะได้คั้งรูป (ข)

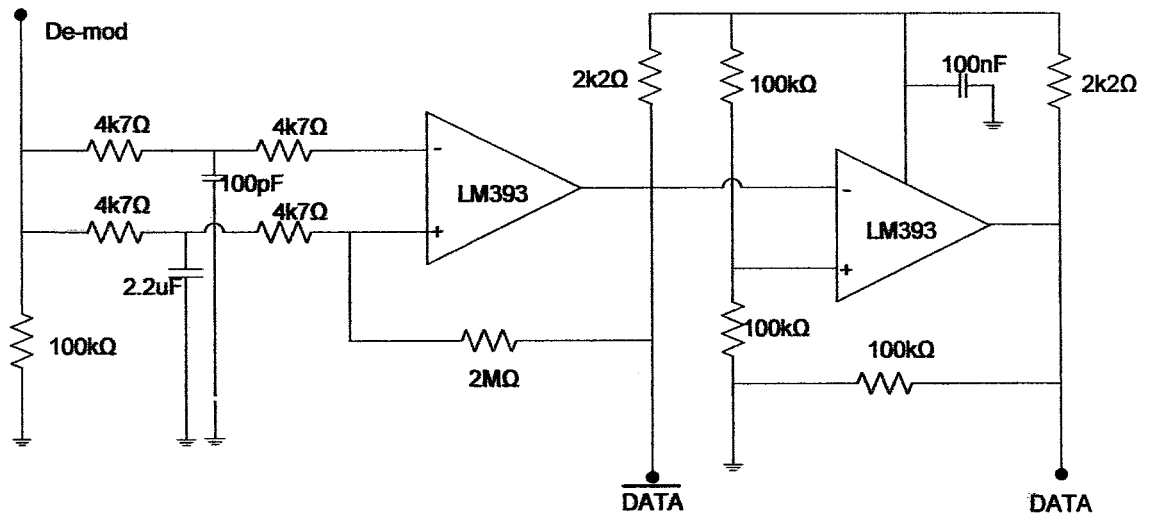
3.3.3 D-Mod



รูปที่ 3.7 D-Mod

รับสัญญาณข้อมูลมาจาก Load Modulator ผ่าน develop detector ทำหน้าที่กรองเอาเฉพาะสัญญาณซีกบวก ผ่าน Low Pass Filter กรองเอาสัญญาณความถี่สูงออก และนำสัญญาณที่ได้นี้ผ่าน วงจรขยาย โดยใช้ IC MC34072 จากนั้นส่งสัญญาณที่ได้ไปยัง Comparator ต่อไป

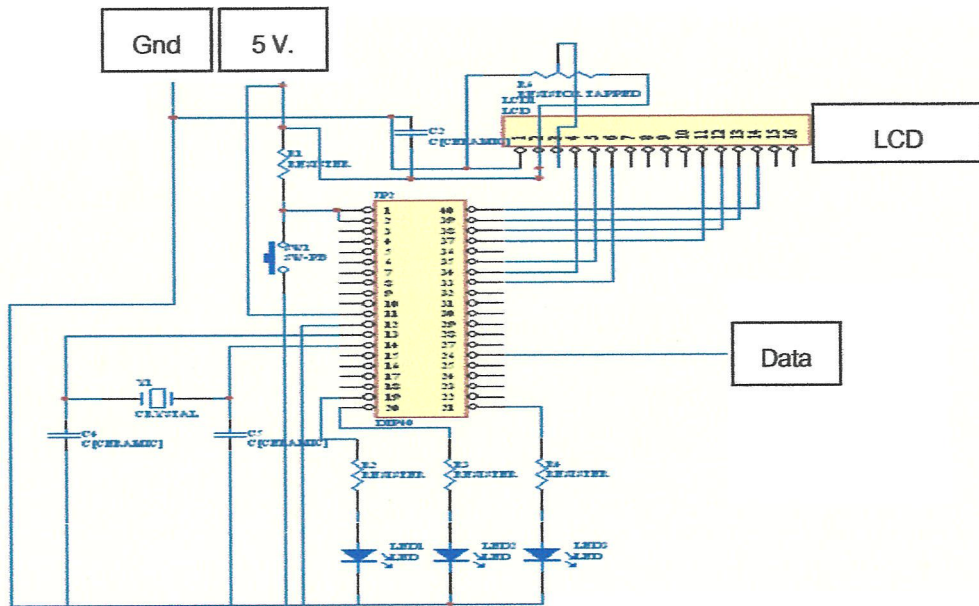
3.3.4 Comparator



รูปที่ 3.8 Comparator

รับสัญญาณจากวงจร De mod และทำการเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อปรับระดับข้อมูลให้เป็น "low" หรือ "high" โดยป้อนสัญญาณเข้าที่ขาลบ และขาบวกเป็นสัญญาณอ้างอิง

3.4 วงจรการแสดงผล



รูปที่ 3.9 การต่อ LCD

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ Pic16F877 รับข้อมูลจากวงจร Comparator และได้รับไฟเลี้ยงก็จะส่งข้อมูลออกมา ทำให้อจอ LCD แสดงผลข้อมูลที่ได้รับ และหลอด LED ก็จะมีแสงสว่างขึ้นเช่นกัน

บทที่ 4

การทดลอง และบันทึกผล

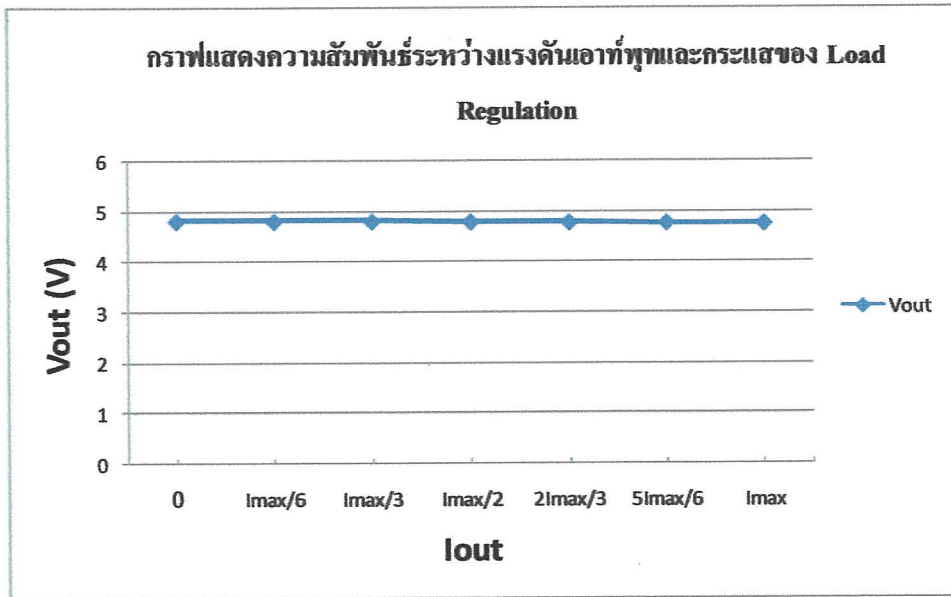
4.1 การทดลองวงจร Voltage Regulator

- การทดลอง Load Regulation

โดยการเปลี่ยนค่า R_{load} ดังตาราง แล้วทำการวัดค่า V_o ที่โหลด

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลอง Load Regulation

I_o	R_{Ω}	$V_o(V)$	$I_{in} (mA)$
0	∞	4.81	1.61
$I_{max}/6$	3.6k	4.80	3.20
$I_{max}/3$	1.8k	4.80	5.95
$I_{max}/2$	1.2k	4.79	8.13
$2I_{max}/3$	900	4.78	10.18
$5I_{max}/6$	750	4.77	12.41
I_{max}	600	4.76	14.98



รูปที่ 4.1 กราฟ Load Regulation

- การทดลอง Line Regulation

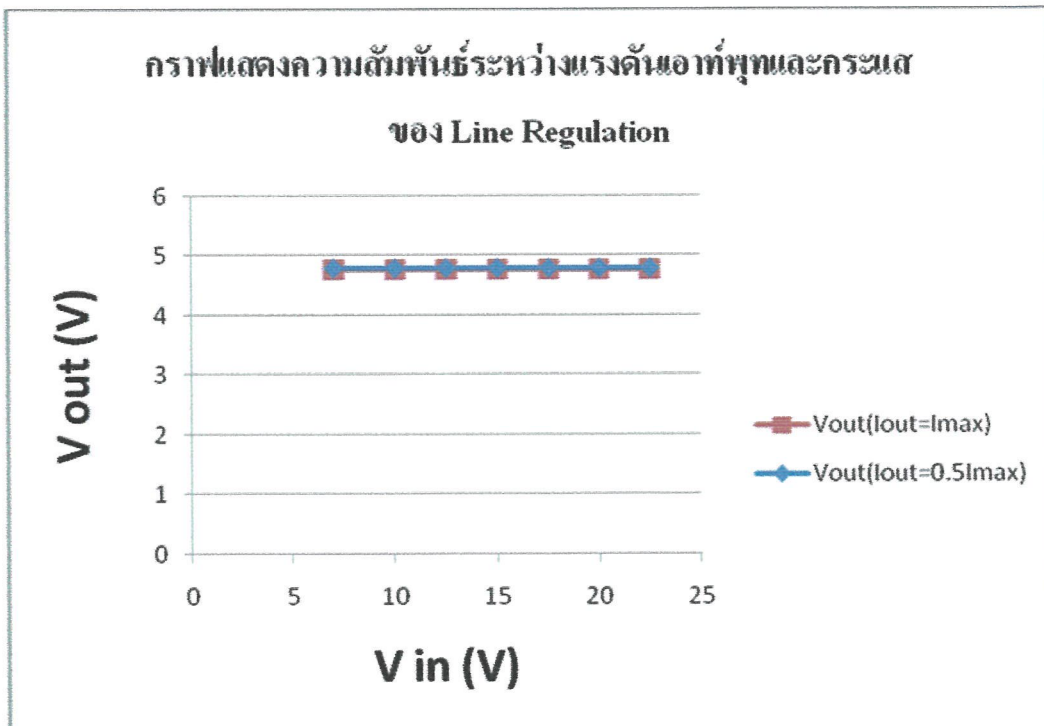
โดยเพิ่มค่า V_{in} ดังตารางแล้ววัดค่า V_o

ตาราง 4.2 แสดงผลการทดลอง Line Regulation ($0.5I_o$ max)

$V_{in}(V)$	$V_o(V)$	$I_{in}(mA)$
7	4.79	8.13
10	4.79	8.13
12.5	4.79	8.13
15	4.79	8.13
17.5	4.79	8.13
20	4.79	8.13
22.5	4.79	8.13

ตาราง 4.3 แสดงผลการทดลอง Line Regulation(I_o max)

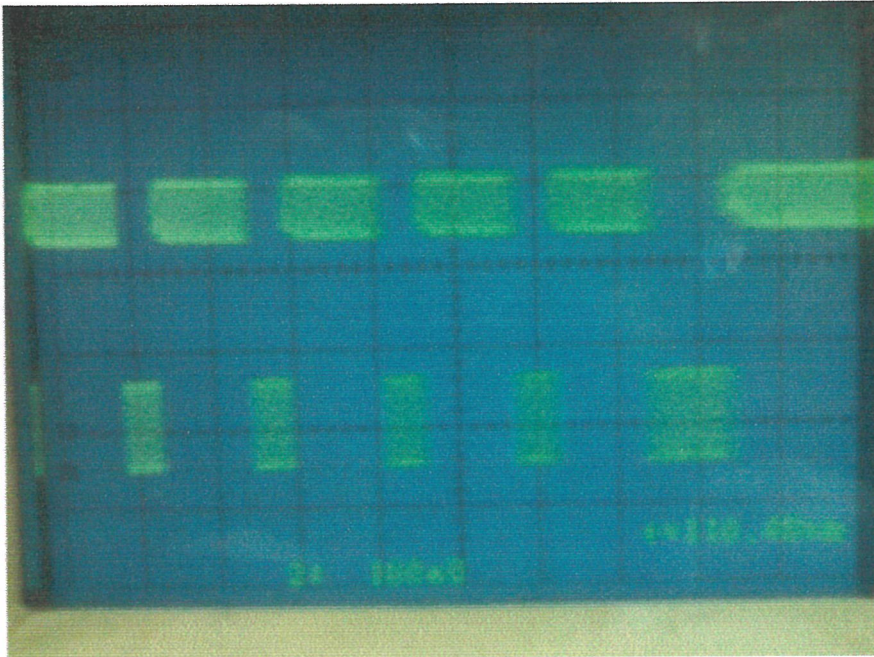
$V_{in}(V)$	$V_o(V)$	$I_{in}(mA)$
7	4.76	14.48
10	4.77	14.48
12.5	4.77	14.48
15	4.77	14.49
17.5	4.77	14.49
20	4.77	14.50
22.5	4.77	14.50



รูปที่ 4.2 กราฟ Line Regulation

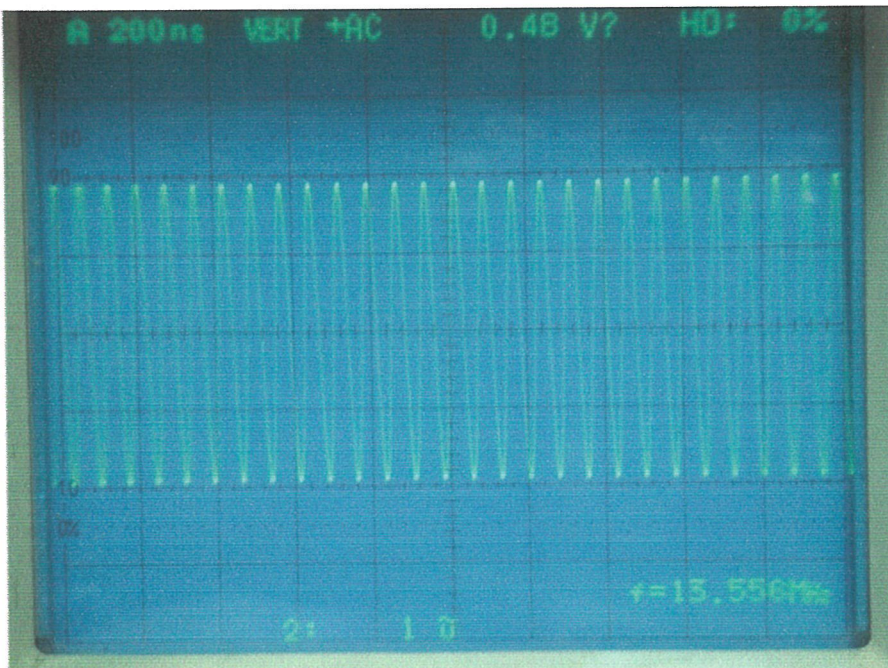
4.2 กราฟแสดงผลของสัญญาณที่จุดต่างๆ

กราฟแสดง Data ที่ได้จาก Pic16F628



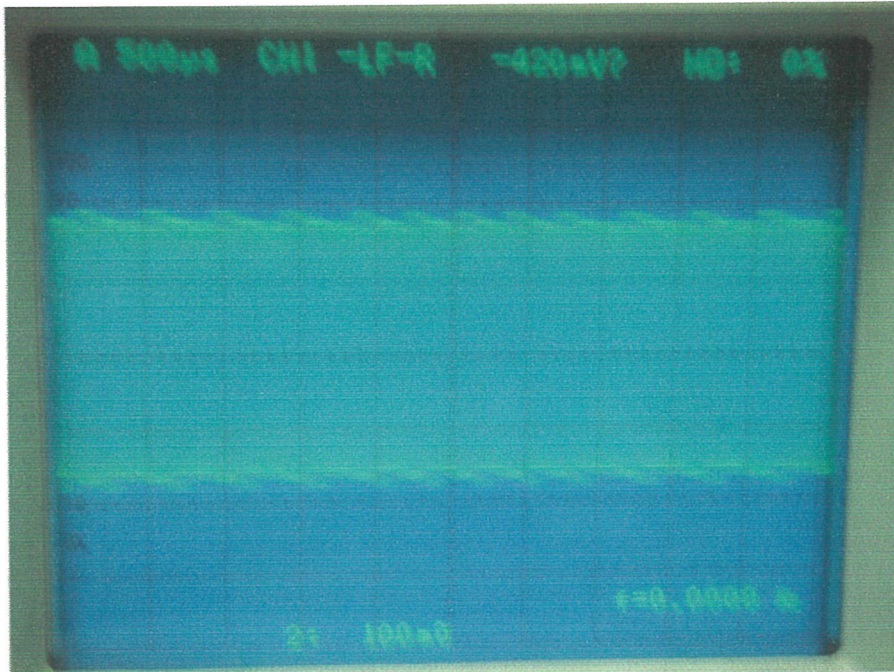
รูปที่ 4.3 กราฟแสดง Data จาก Pic16F628

กราฟแสดงผลของ Reader coil Driver



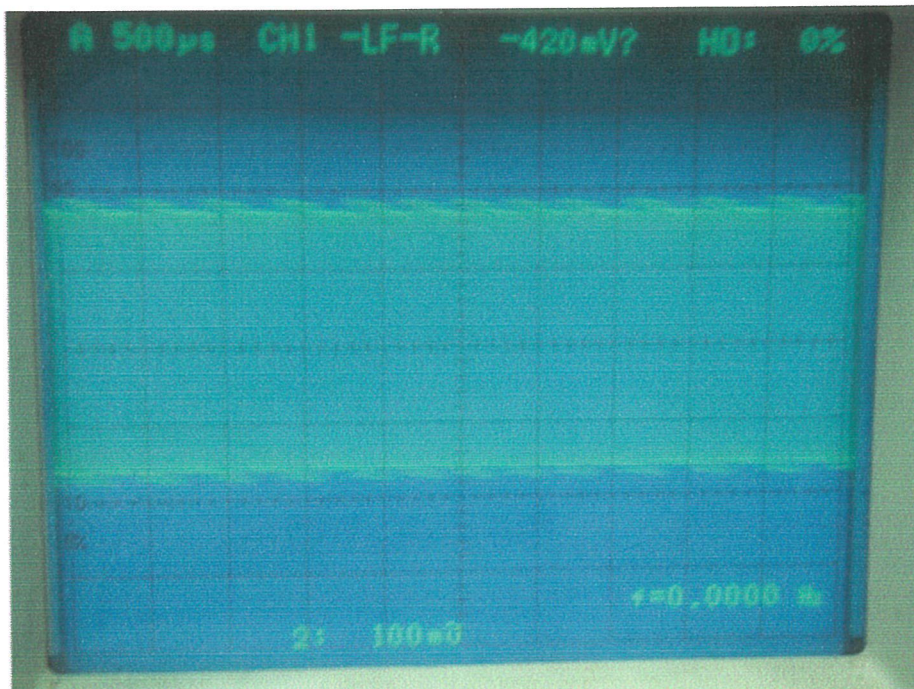
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลของ Reader coil Driver

กราฟแสดงผลของ Data ที่ Load Mod (0cm.)



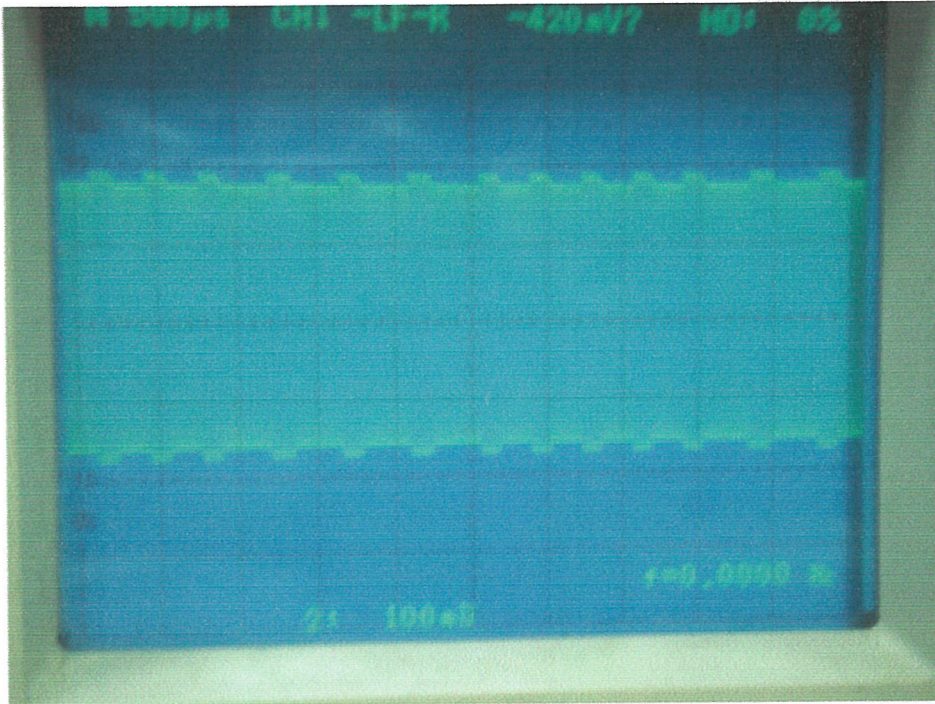
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลของ Data ที่ Load Mod (0cm.)

กราฟแสดงผลของ Data ที่ Load Mod (1cm.)



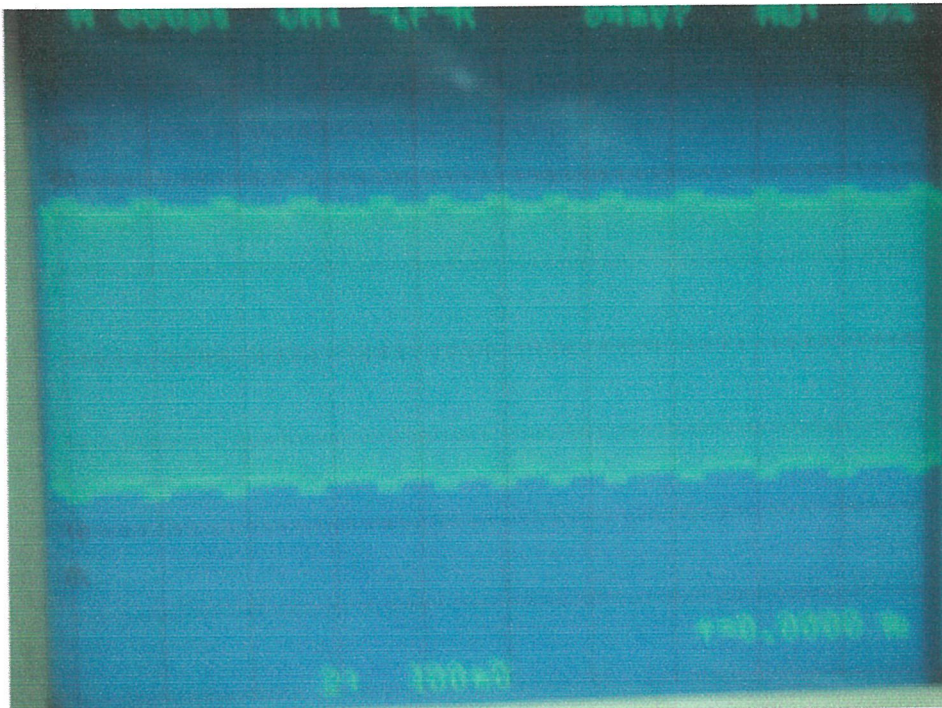
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลของ Data ที่ Load Mod (1cm.)

กราฟแสดงผลของ Data ที่ Load Mod (2cm.)



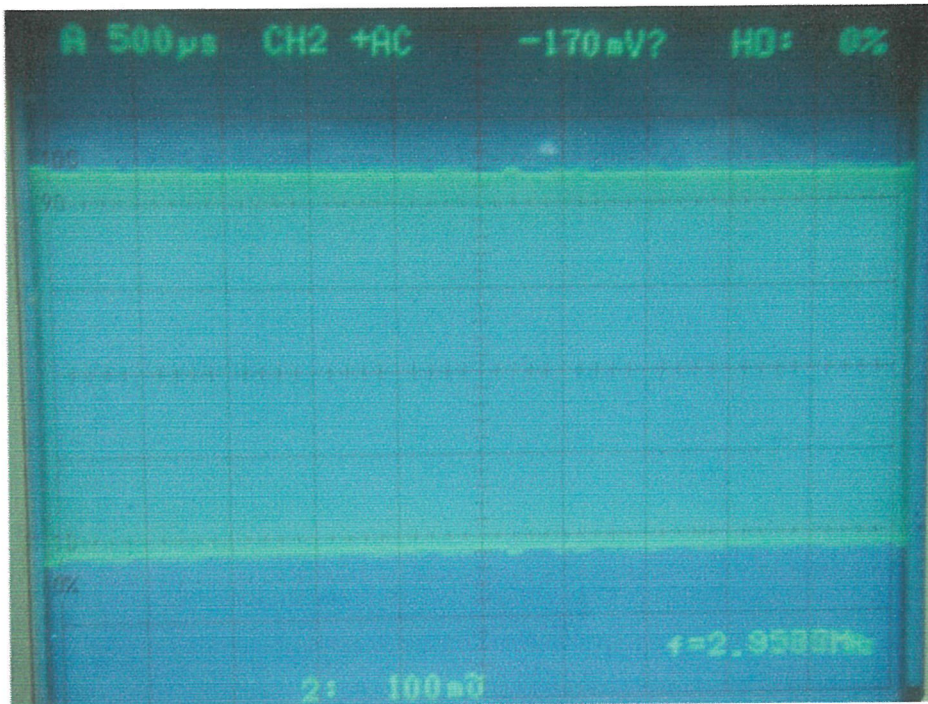
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลของ Data ที่ Load Mod (2cm.)

กราฟแสดงผลของ Data ที่ Load Mod (3cm.)



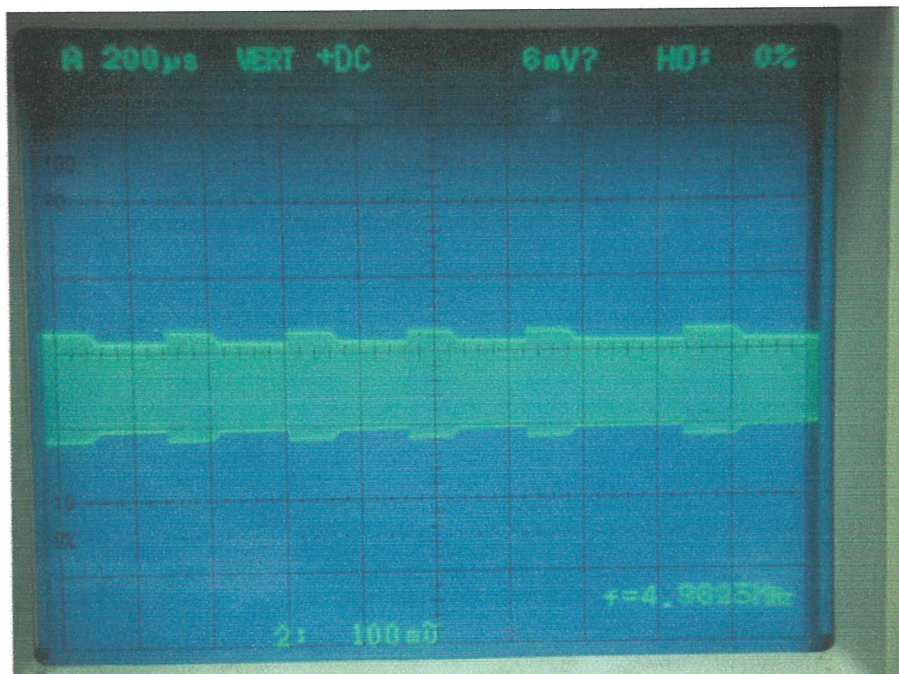
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลของ Data ที่ Load Mod (3cm.)

กราฟแสดงผลของ Data ที่ Load Mod (4cm.)



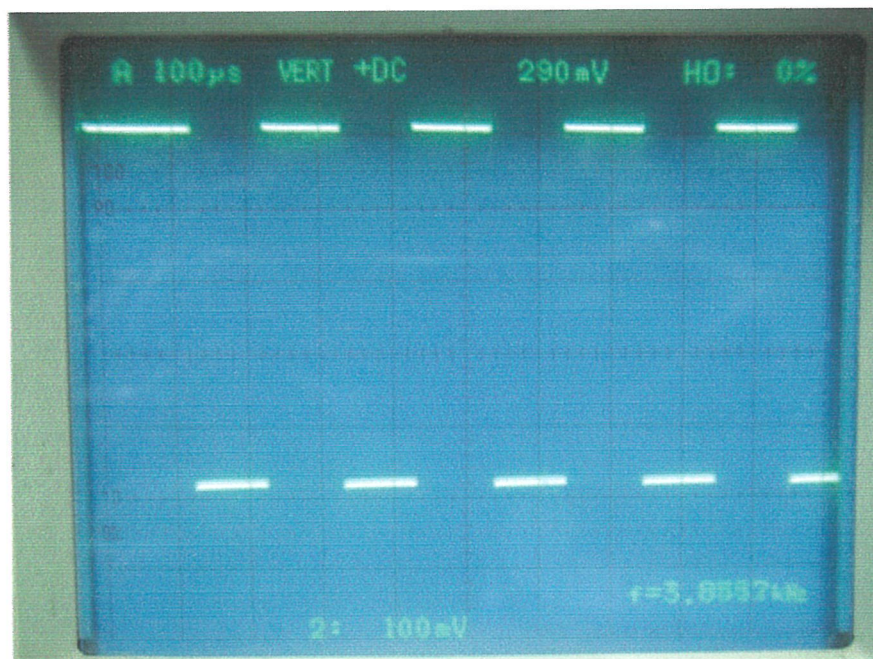
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลของ Data ที่ Load Mod (4cm.)

กราฟแสดงผลของ Data ที่ Demod



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลของ Data ที่ Demod

กราฟแสดงผลของ Data ที่ Comparator



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลของ Data ที่ Comparator

4.3 ผลของค่ากระแสและแรงดันที่ระยะต่างๆ

ตารางแสดงค่าแรงดันและกระแสที่ P.Min

ระยะห่าง (cm.)	แรงดันก่อน Regulate(V.)	แรงดันหลัง Regulate(V.)	กระแสไฟฟ้าเข้า (mA.)	กำลังไฟฟ้าคร่อม R/2(W)
0	4.26	4.13	3.62	0.11
1	4.23	4.08	3.59	0.13
2	4.39	4.26	3.69	0.20
3	4.50	4.18	3.72	0.34
4	4.01	3.92	3.60	0.39

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่ P.Min

ตารางแสดงค่าแรงดันและกระแสที่ P.Max

ระยะห่าง (cm.)	แรงดันก่อน Regulate(V.)	แรงดันหลัง Regulate(V.)	กระแสไฟฟ้าเข้า (mA.)	กำลังไฟฟ้าพร้อม R/2(W)
0	7.67	5.02	6.33	0.45
1	6.28	5.02	5.75	0.45
2	4.96	4.82	3.96	0.45
3	2.83	2.74	2.09	0.45
4	3.74	3.62	3	0.45

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าแรงดันและกระแสที่ P.Max

บทที่ 5

วิเคราะห์และ สรุปผลการทดลอง

โครงการ RFID นี้ประกอบด้วยวงจรสร้างพลังงานของ Reader และ Tag โดยความต้องการเบื้องต้น คือ สามารถเหนี่ยวนำพลังงานจาก Reader มายัง Tag ผ่านทางขดลวดเหนี่ยวนำได้ จาก การทดลองเมื่อจ่ายพลังงานให้กับ Reader แล้วนำ Tag มาวางภายในลูบของ Reader Coil จากนั้น จึงวัดสัญญาณ ณ จุด Test Point ต่างๆ พบว่า Tag สามารถเหนี่ยวนำพลังงานจาก Reader ได้ดี โดยที่จุด ก่อน Rectifier สามารถเหนี่ยวนำได้มากที่สุดถึง 32 โวลต์ ส่วนจุด หลัง Rectifier ซึ่ง แรงดันได้รับการเรกจูเลตแล้วสามารถวัดแรงดันได้มากที่สุดประมาณ 5 โวลต์ เมื่อเทียบกับ พลังงานที่ Tag ต้องการ คือ 4.8 โวลต์แล้ว จะเห็นได้ว่าแรงดันที่เหนี่ยวนำได้มีค่าพอเพียงความ ต้องการสำหรับการจ่ายพลังงานให้กับวงจรต่างๆ ที่อยู่บน Tag ซึ่งเราสามารถปรับลดพลังงานให้ พอเหมาะกับพลังงานที่วงจร Tag ต้องการได้ในภายหลัง นอกจากนี้เมื่อทดลองวาง Tag ที่ ระยะห่างจาก Reader Coil ก็พบว่าแรงดันที่เหนี่ยวนำมีค่าลดลงเล็กน้อยตามระยะทางที่เพิ่มมา กขึ้น แต่ก็มีค่าค่อนข้างคงที่และยังคงเพียงพอสำหรับการจ่ายพลังงานให้วงจรบน Tag และในการ รับส่งข้อมูลของ Reader กับ Tag เราได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เข้ามาช่วยในการรับส่ง ซึ่ง จะต้องมีการเขียน โปรแกรมให้เหมาะสมกับการใช้งานนั้นๆ

ภาคผนวก

PN2222, PN2222A

PN2222A is a Preferred Device

General Purpose Transistors

NPN Silicon

Features

- Pb-Free Packages are Available*

MAXIMUM RATINGS

Rating		Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	PN2222	V_{CE0}	30	Vdc
	PN2222A		40	
Collector-Base Voltage	PN2222	V_{CB0}	60	Vdc
	PN2222A		75	
Emitter-Base Voltage	PN2222	V_{EB0}	5.0	Vdc
	PN2222A		6.0	
Collector Current – Continuous		I_C	600	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C		P_D	625	mW
			5.0	mW/°C
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C		P_D	1.5	W
			12	mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range		T_J, T_{stg}	-55 to +150	°C

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

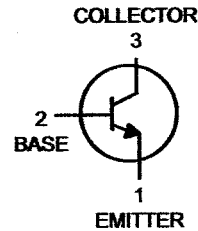
THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C/W



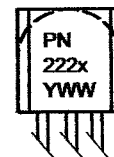
ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



TO-92
CASE 29
STYLE 1

MARKING DIAGRAM



PN222 = Device Code
x = 2 or A
Y = Year
WW = Work Week

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 2 of this data sheet.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

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

PN2222, PN2222A

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
PN2222	TO-92	5000 Units / Box
PN2222A	TO-92	5000 Units / Box
PN2222AG	TO-92 (Pb-Free)	5000 Units / Box
PN2222ARLRA	TO-92	2000 Tape & Reel
PN2222ARLRAG	TO-92 (Pb-Free)	2000 Tape & Reel
PN2222ARLRM	TO-92	2000 / Ammo Pack
PN2222ARLRP	TO-92	2000 / Ammo Pack

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

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

OFF CHARACTERISTICS

Collector-Emitter Breakdown Voltage (I _C = 10 mAdc, I _B = 0)	PN2222 PN2222A	V _{(BR)CEO}	30 40	- -	Vdc
Collector-Base Breakdown Voltage (I _C = 10 μAdc, I _E = 0)	PN2222 PN2222A	V _{(BR)CBO}	60 75	- -	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage (I _E = 10 μAdc, I _C = 0)	PN2222 PN2222A	V _{(BR)EBO}	5.0 6.0	- -	Vdc
Collector Cutoff Current (V _{CE} = 60 Vdc, V _{EB(off)} = 3.0 Vdc)	PN2222A	I _{CEX}	-	10	nAdc
Collector Cutoff Current (V _{CB} = 50 Vdc, I _E = 0)	PN2222	I _{CBO}	-	0.01	μAdc
(V _{CB} = 60 Vdc, I _E = 0)	PN2222A		-	0.01	
(V _{CB} = 50 Vdc, I _E = 0, T _A = 125°C)	PN2222		-	10	
(V _{CB} = 50 Vdc, I _E = 0, T _A = 125°C)	PN2222A		-	10	
Emitter Cutoff Current (V _{EB} = 3.0 Vdc, I _C = 0)	PN2222A	I _{EBO}	-	100	nAdc
Base Cutoff Current (V _{CE} = 60 Vdc, V _{EB(off)} = 3.0 Vdc)	PN2222A	I _{BL}	-	20	nAdc

ON CHARACTERISTICS

DC Current Gain (I _C = 0.1 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc) (I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc) (I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc) (I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, T _A = -55°C) (I _C = 150 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc) (Note 1) (I _C = 150 mAdc, V _{CE} = 1.0 Vdc) (Note 1) (I _C = 500 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc) (Note 1)	PN2222A only	h _{FE}	35 50 75 35 100 50 30 40	- - - - 300 - - -	-			
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 1) (I _C = 150 mAdc, I _B = 15 mAdc)	PN2222 PN2222A		V _{CE(sat)}	- -	0.4 0.3	Vdc		
(I _C = 500 mAdc, I _B = 50 mAdc)	PN2222 PN2222A			- -	1.6 1.0			
Base-Emitter Saturation Voltage (Note 1) (I _C = 150 mAdc, I _B = 15 mAdc)	PN2222 PN2222A			V _{BE(sat)}	- 0.6		1.3 1.2	Vdc
(I _C = 500 mAdc, I _B = 50 mAdc)	PN2222 PN2222A				- -		2.6 2.0	

1. Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2.0%.

PN2222, PN2222A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS				
Current-Gain - Bandwidth Product (Note 2) ($I_C = 20 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 20 \text{ Vdc}$, $f = 100 \text{ MHz}$)	f_T	250 300	- -	MHz
Output Capacitance ($V_{CB} = 10 \text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $f = 1.0 \text{ MHz}$)	C_{obo}	-	8.0	pF
Input Capacitance ($V_{EB} = 0.5 \text{ Vdc}$, $I_C = 0$, $f = 1.0 \text{ MHz}$)	C_{ibo}	- -	30 25	pF
Input Impedance ($I_C = 1.0 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$) ($I_C = 10 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	h_{ie}	2.0 0.25	8.0 1.25	k Ω
Voltage Feedback Ratio ($I_C = 1.0 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$) ($I_C = 10 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	h_{re}	- -	8.0 4.0	$\times 10^{-4}$
Small-Signal Current Gain ($I_C = 1.0 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$) ($I_C = 10 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	h_{fe}	50 75	300 375	-
Output Admittance ($I_C = 1.0 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$) ($I_C = 10 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	h_{oe}	5.0 25	35 200	μmhos
Collector Base Time Constant ($I_E = 20 \text{ mAdc}$, $V_{CB} = 20 \text{ Vdc}$, $f = 31.8 \text{ MHz}$)	$r_b \cdot C_c$	-	150	ps
Noise Figure ($I_C = 100 \mu\text{Adc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $R_S = 1.0 \text{ k}\Omega$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	NF	-	4.0	dB

SWITCHING CHARACTERISTICS (PN2222A only)

Delay Time	$(V_{CC} = 30 \text{ Vdc}$, $V_{BE(off)} = -0.5 \text{ Vdc}$, $I_C = 150 \text{ mAdc}$, $I_{B1} = 15 \text{ mAdc}$) (Figure 1)	t_d	-	10	ns
Rise Time		t_r	-	25	ns
Storage Time	$(V_{CC} = 30 \text{ Vdc}$, $I_C = 150 \text{ mAdc}$, $I_{B1} = I_{B2} = 15 \text{ mAdc}$) (Figure 2)	t_s	-	225	ns
Fall Time		t_f	-	60	ns

2. f_T is defined as the frequency at which $|h_{fe}|$ extrapolates to unity.

SWITCHING TIME EQUIVALENT TEST CIRCUITS

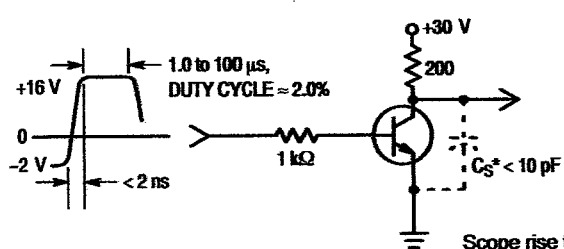


Figure 1. Turn-On Time

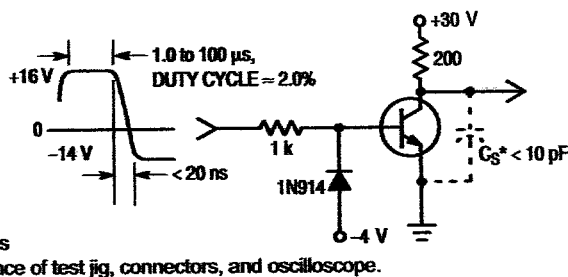


Figure 2. Turn-Off Time

PN2222, PN2222A

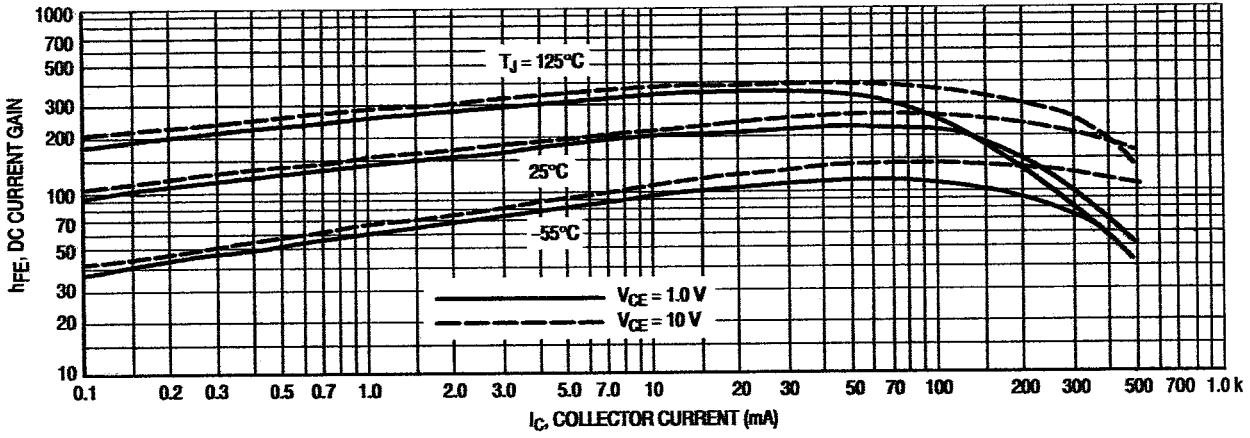


Figure 3. DC Current Gain

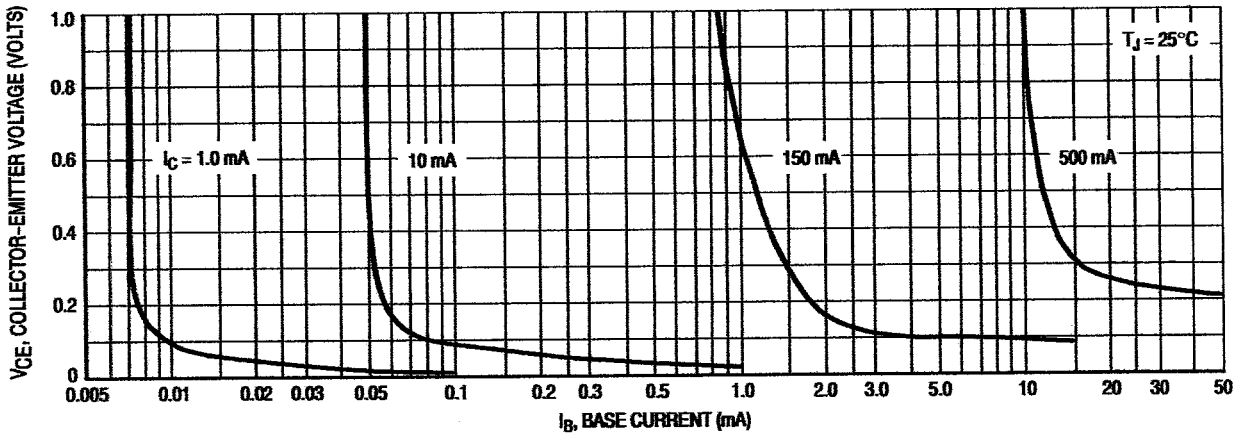


Figure 4. Collector Saturation Region

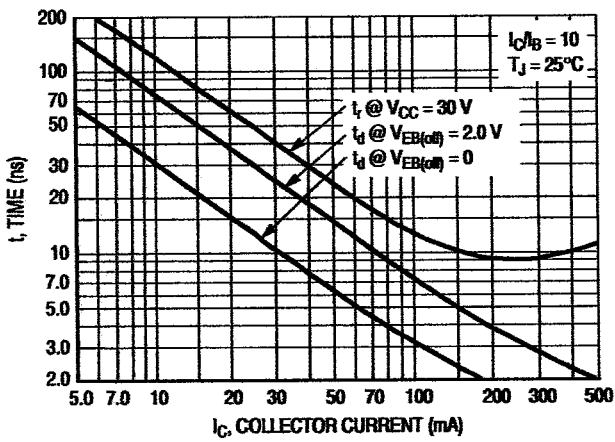


Figure 5. Turn-On Time

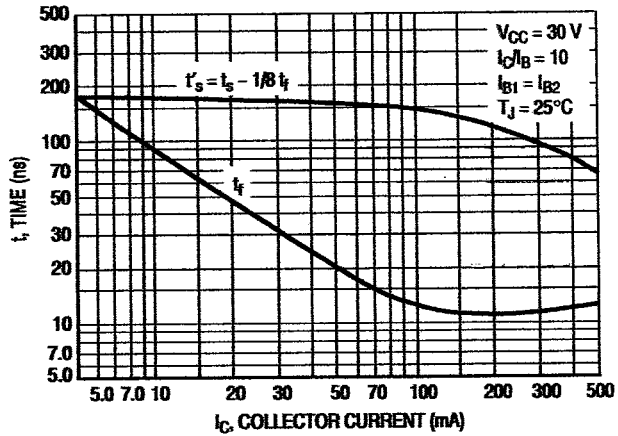


Figure 6. Turn-Off Time

PN2222, PN2222A

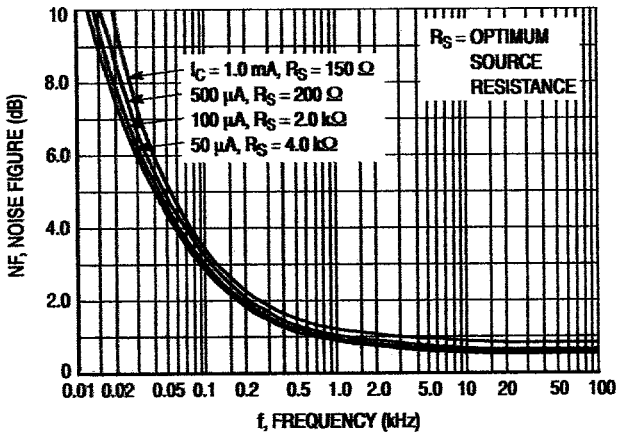


Figure 7. Frequency Effects

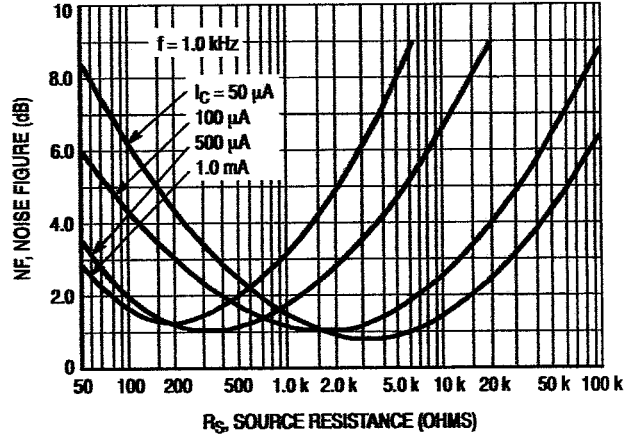


Figure 8. Source Resistance Effects

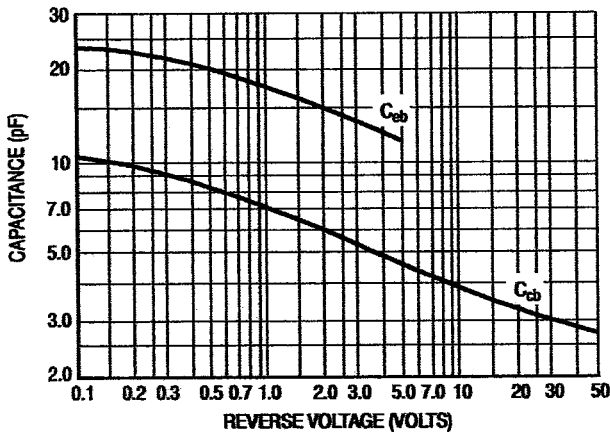


Figure 9. Capacitances

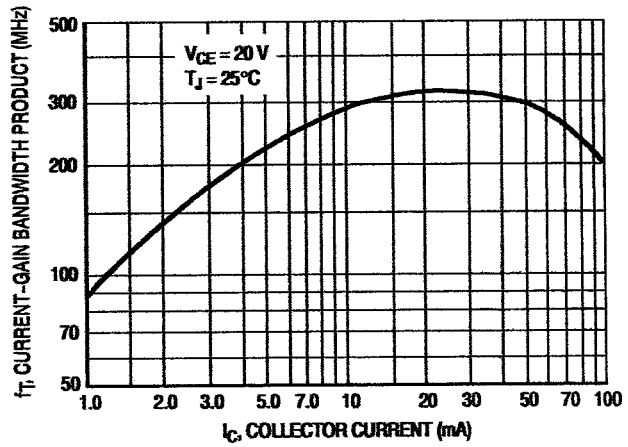


Figure 10. Current-Gain Bandwidth Product

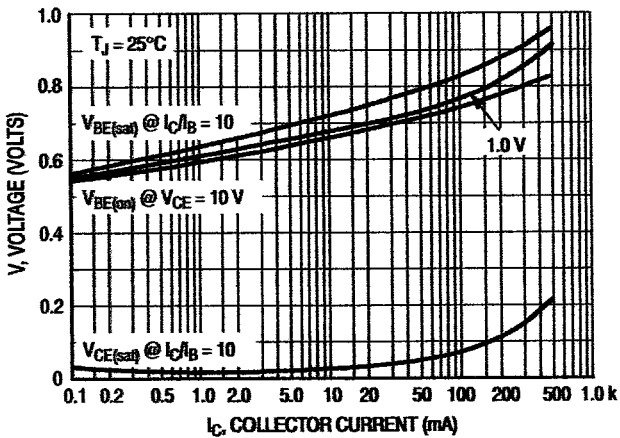


Figure 11. "On" Voltages

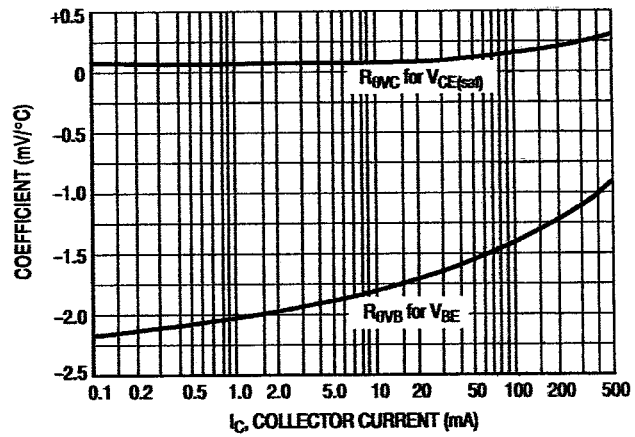
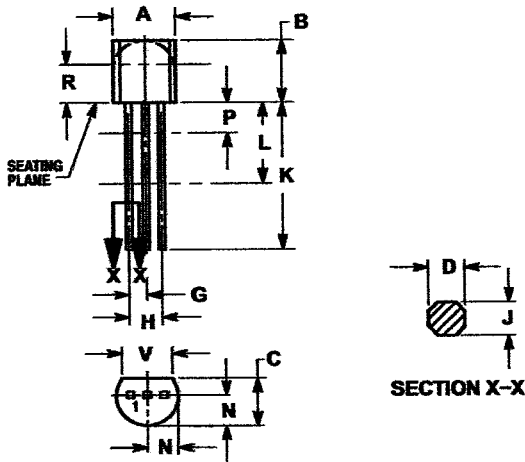


Figure 12. Temperature Coefficients

PN2222, PN2222A

PACKAGE DIMENSIONS

TO-92
TO-226AA
CASE 29-11
ISSUE AL



NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.185	3.18	4.19
D	0.016	0.021	0.407	0.533
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.085	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	—	12.70	—
L	0.250	—	6.35	—
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	—	0.100	—	2.54
R	0.115	—	2.93	—
V	0.135	—	3.43	—

STYLE 1:

1. EMITTER
2. BASE
3. COLLECTOR

ON Semiconductor and are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 61312, Phoenix, Arizona 85062-1312 USA
Phone: 480-829-7710 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 480-829-7709 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada

Japan: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center
2-9-1 Kamimeguro, Meguro-ku, Tokyo, Japan 153-0051
Phone: 81-3-5773-3850

ON Semiconductor Website: <http://onsemi.com>

Order Literature: <http://www.onsemi.com/order>

For additional information, please contact your
local Sales Representative.

PN2222/D

NPN SILICON POWER TRANSISTOR 2SD882

DESCRIPTION

The 2SD882 is NPN silicon transistor suited for the output stage of 3 watts audio amplifier, voltage regulator, DC-DC converter and relay driver.

FEATURES

- Low saturation voltage.
 $V_{CE(sat)} \leq 0.5 \text{ V}$ (@ $I_C = 2 \text{ A}$, $I_B = 0.2 \text{ A}$)
- Excellent h_{FE} linearity and high h_{FE} .
 $h_{FE} : 60 \text{ to } 400$ (@ $V_{CE} = 2 \text{ V}$, $I_C = 1 \text{ A}$)
- Less cramping space required due to small and thin package and reducing the trouble for attachment to a radiator.
No insulator bushing required.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Maximum Temperatures

Storage Temperature	-55 to +150 °C
Junction Temperature	150 °C Maximum

Maximum Power Dissipations

Total Power Dissipation ($T_a = 25 \text{ °C}$)	1.0 W
Total Power Dissipation ($T_c = 25 \text{ °C}$)	10 W

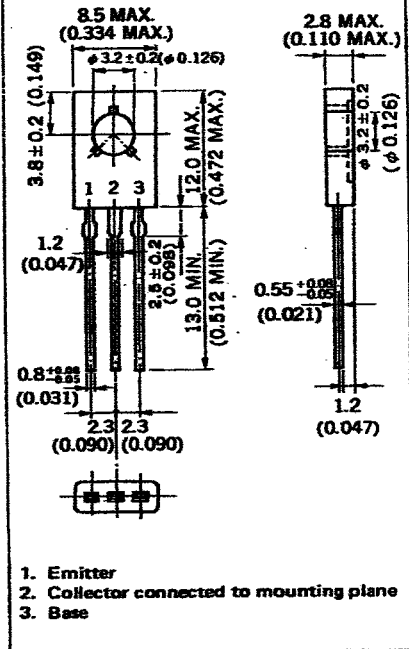
Maximum Voltages and Currents ($T_a = 25 \text{ °C}$)

V_{CBO} Collector to Base Voltage	40 V
V_{CEO} Collector to Emitter Voltage	30 V
V_{EBO} Emitter to Base Voltage	5.0 V
$I_{C(DC)}$ Collector Current (D.C.)	3.0 A
$I_{C(pulse)}$ Collector Current (pulse)	7.0 A

*Pulse Test $PW \leq 350 \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2 \%$

PACKAGE DIMENSIONS

in millimeters (inches)



ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_a = 25 \text{ °C}$)

SYMBOL	CHARACTERISTIC	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	TEST CONDITIONS
h_{FE1}	DC Current Gain	30	150			$V_{CE} = 2.0 \text{ V}$, $I_C = 20 \text{ mA}^{**}$
h_{FE2}	DC Current Gain	60	160	400		$V_{CE} = 2.0 \text{ V}$, $I_C = 1.0 \text{ A}^{**}$
f_T	Gain Bandwidth Product		90		MHz	$V_{CE} = 5.0 \text{ V}$, $I_C = 0.1 \text{ A}$
C_{ob}	Output Capacitance		45		pF	$V_{CB} = 10 \text{ V}$, $I_E = 0$, $f = 1.0 \text{ MHz}$
I_{CBO}	Collector Cutoff Current			1.0	μA	$V_{CB} = 30 \text{ V}$, $I_E = 0$
I_{EBO}	Emitter Cutoff Current			1.0	μA	$V_{EB} = 3.0 \text{ V}$, $I_C = 0$
$V_{CE(sat)}$	Collector Saturation Voltage		0.3	0.5	V	$I_C = 2.0 \text{ A}$, $I_B = 0.2 \text{ A}^{**}$
$V_{BE(sat)}$	Base Saturation Voltage		1.0	2.0	V	$I_C = 2.0 \text{ A}$, $I_B = 0.2 \text{ A}^{**}$

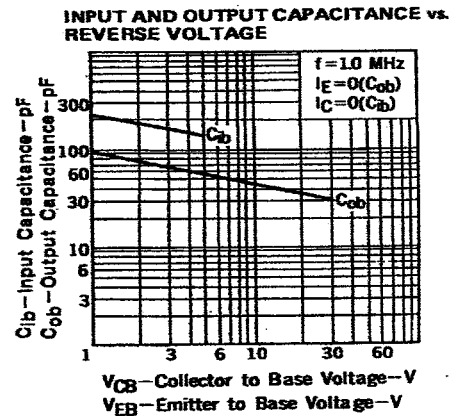
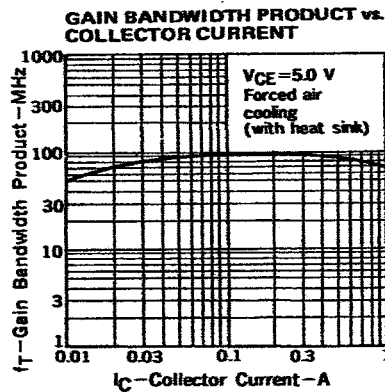
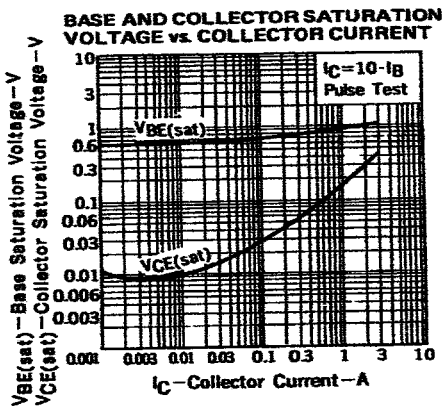
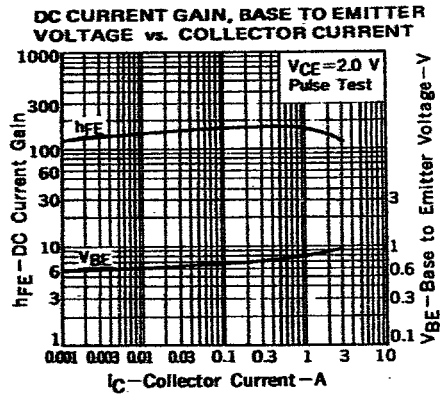
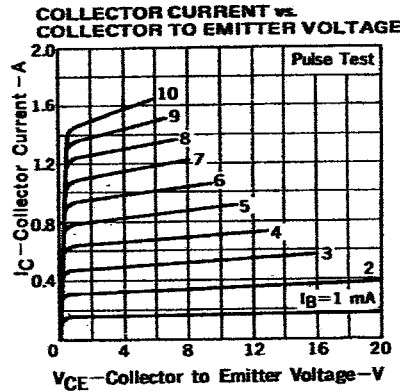
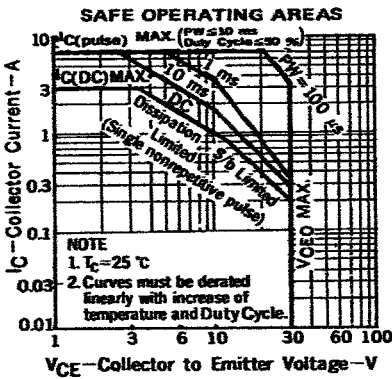
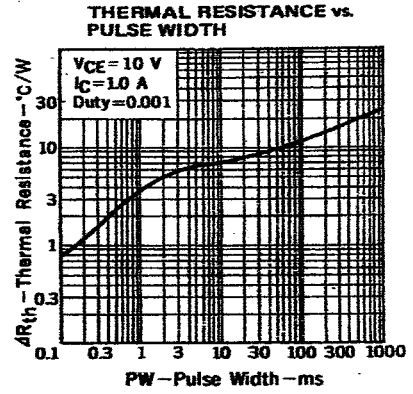
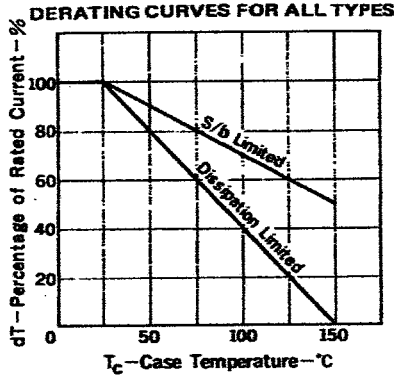
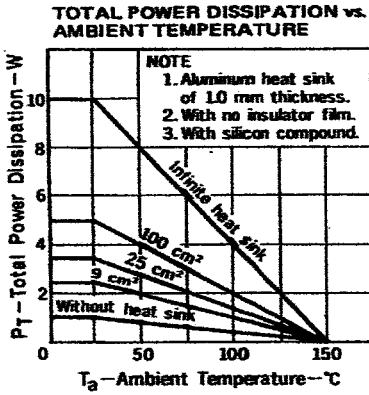
**Pulse Test : $PW \leq 350 \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2 \%$

Classification of h_{FE}

Rank	R	Q	P	E
Range	60 to 120	100 to 200	160 to 320	200 to 400

Test Conditions : $V_{CE} = 2.0 \text{ V}$, $I_C = 1.0 \text{ A}$

TYPICAL CHARACTERISTICS ($T_a = 25^\circ\text{C}$)



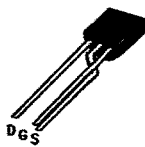
BS170/MMBF170 N-Channel Enhancement Mode Field Effect Transistor

General Description

These N-channel enhancement mode field effect transistors are produced using National's very high cell density third generation DMOS technology. These products have been designed to minimize on-state resistance, provide rugged and reliable performance and fast switching. They can be used, with a minimum of effort, in most applications requiring up to 500 mA DC. This product is particularly suited to low voltage, low current applications, such as small servo motor controls, power MOSFET gate drivers, and other switching applications

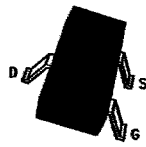
Features

- Efficient high density cell design approaching (3 million/in²)
- Voltage controlled small signal switch
- Rugged
- High saturation current
- Low $R_{DS(on)}$



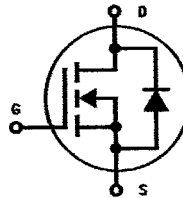
TO-92
BS170

TL/G/11379-1



TO-236AB
(SOT-23)
MMBF170

TL/G/11379-2



TL/G/11379-3

Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	BS170	MMBF170	Units
V_{DSS}	Drain-Source Voltage		60	V
V_{DGR}	Drain-Gate Voltage ($R_{GS} \leq 1 \text{ M}\Omega$)		60	V
V_{GSS}	Gate-Source Voltage		± 20	V
I_D	Drain Current—Continuous —Pulsed	500	500	mA
			800	mA
P_D	Total Power Dissipation Derate above 25°C	830	300	mW
		6.6	2.4	mW/°C
T_J, T_{STG}	Operating and Storage Temperature Range	-55 to 150		°C
T_L	Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, $\frac{1}{16}$ " from Case for 10 Seconds	300		°C

BS170/MMBF170 N-Channel Enhancement Mode Field Effect Transistor

BS170

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

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
OFF CHARACTERISTICS						
BV_{DSS}	Drain-Source Breakdown Voltage	$V_{GS} = 0V, I_D = 100 \mu A$	60			V
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	$V_{DS} = 25V, V_{GS} = 0V$			0.5	μA
I_{GSSF}	Gate-Body Leakage, Forward	$V_{GS} = 15V, V_{DS} = 0V$			10	nA
ON CHARACTERISTICS (Note 1)						
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1 \text{ mA}$	0.8	2.1	3	V
$R_{DS(on)}$	Static Drain-Source On-Resistance	$V_{GS} = 10V, I_D = 200 \text{ mA}$		1.2	5	Ω
g_{FS}	Forward Transconductance	$V_{DS} = 10V, I_D = 200 \text{ mA}$		320		mS
DYNAMIC CHARACTERISTICS						
C_{iss}	Input Capacitance	$V_{DS} = 10V, V_{GS} = 0V,$ $f = 1.0 \text{ MHz}$		24	40	pF
C_{oss}	Output Capacitance			17	30	pF
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance			7	10	pF
SWITCHING CHARACTERISTICS (Note 1)						
t_{on}	Turn-On Time	$V_{DD} = 25V, I_D = 200 \text{ mA}, V_{GS} = 10V$			10	ns
t_{off}	Turn-Off Time	$R_G = 25\Omega$			10	ns
THERMAL CHARACTERISTICS						
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient				150	$^\circ\text{C/W}$

MMBF170

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

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
OFF CHARACTERISTICS						
BV_{DSS}	Drain-Source Breakdown Voltage	$V_{GS} = 0V, I_D = 100 \mu A$	60			V
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	$V_{DS} = 25V, V_{GS} = 0V$			0.5	μA
I_{GSSF}	Gate-Body Leakage, Forward	$V_{GS} = 15V, V_{DS} = 0V$			10	nA
ON CHARACTERISTICS (Note 1)						
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1.0 \text{ mA}$	0.8	2.1	3	V
$R_{DS(on)}$	Static Drain-Source On-Resistance	$V_{GS} = 10V, I_D = 200 \text{ mA}$		1.2	5	Ω
g_{FS}	Forward Transconductance	$V_{DS} \geq 2 V_{DS(on)}, I_D = 200 \text{ mA}$		320		mS
DYNAMIC CHARACTERISTICS						
C_{iss}	Input Capacitance	$V_{DS} = 10V, V_{GS} = 0V, f = 1.0 \text{ MHz}$		24	40	pF
C_{oss}	Output Capacitance			17	30	pF
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance			7	10	pF
SWITCHING CHARACTERISTICS (Note 1)						
t_{on}	Turn-On Time	$V_{DD} = 25V, I_D = 500 \text{ mA}, V_{GS} = 10V$			10	ns
t_{off}	Turn-Off Time	$R_G = 50\Omega$			10	ns
THERMAL CHARACTERISTICS						
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient				417	$^\circ\text{C/W}$

Note 1: Pulse Test: Pulse Width $\leq 300 \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

Typical Electrical Characteristics

BS170/MMBF170

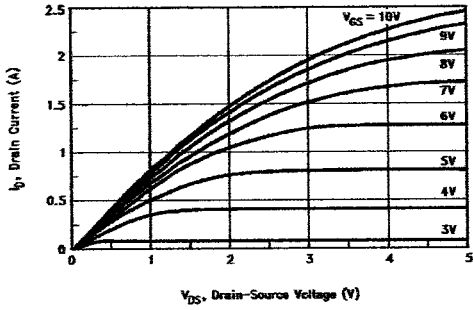


FIGURE 1. On-Region Characteristics
TL/G/11379-6

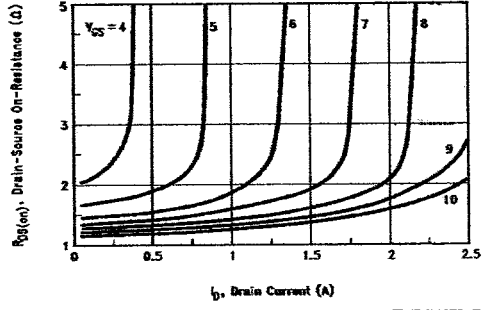


FIGURE 2. $R_{DS(on)}$ Variation with Drain Current and Gate Voltage
TL/G/11379-7

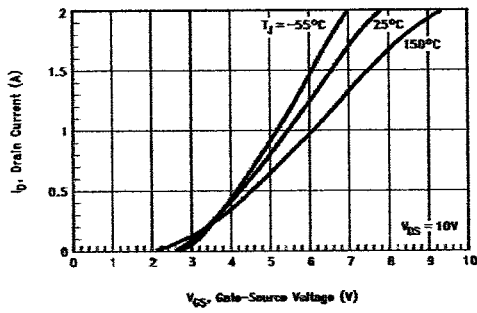


FIGURE 3. Transfer Characteristics
TL/G/11379-8

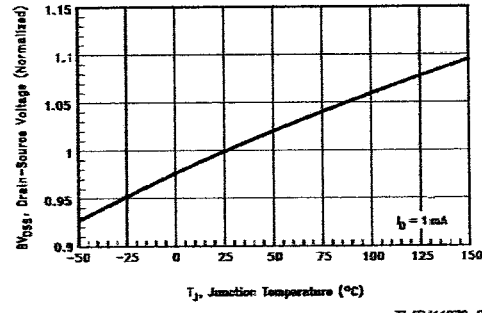


FIGURE 4. Breakdown Voltage Variation with Temperature
TL/G/11379-9

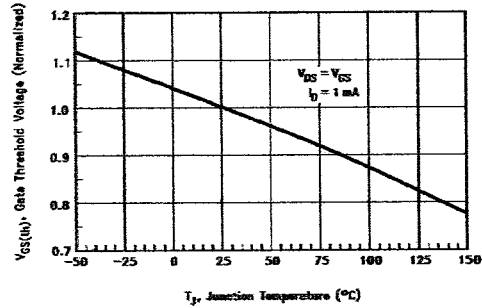


FIGURE 5. Gate Threshold Variation with Temperature
TL/G/11379-10

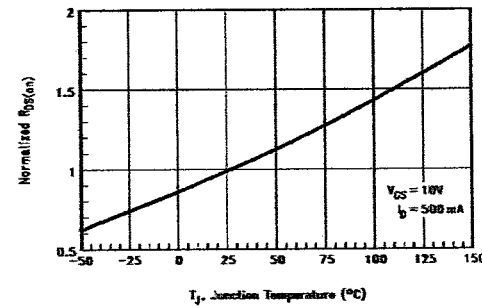
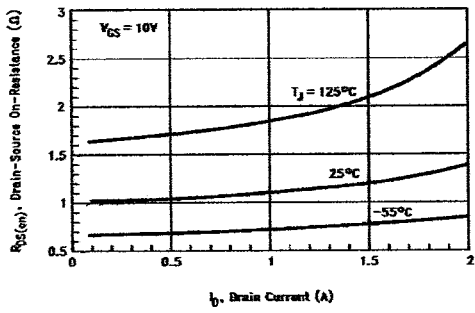


FIGURE 6. On-Resistance Variation with Temperature
TL/G/11379-11

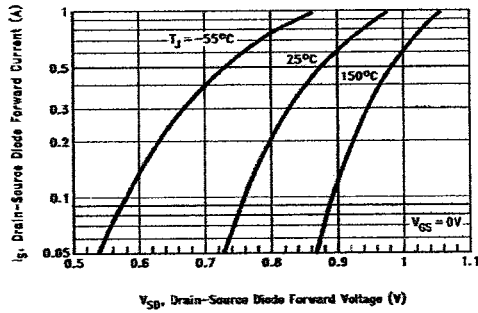
Typical Electrical Characteristics (Continued)

BS170/MMBF170



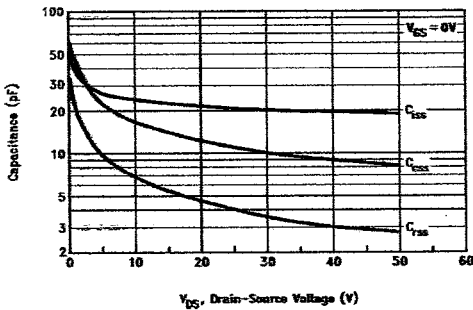
TL/G/11379-12

FIGURE 7. On-Resistance vs Drain Current



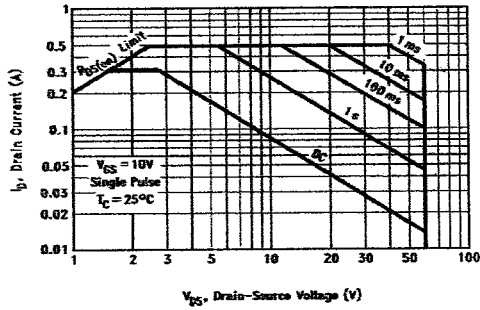
TL/G/11379-13

FIGURE 8. Body Diode Forward Voltage Variation with Current and Temperature



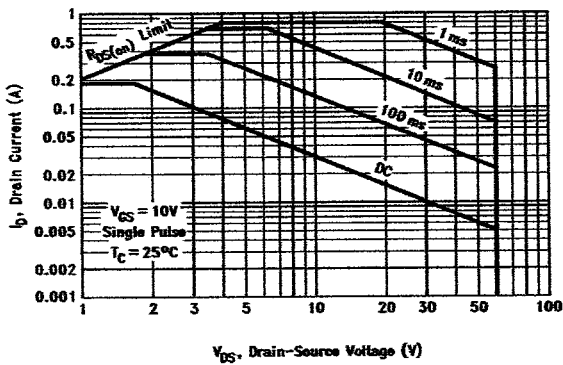
TL/G/11379-14

FIGURE 9. Capacitance vs Drain-Source Voltage



TL/G/11379-15

FIGURE 10. BS170 Safe Operating Area



TL/G/11379-16

FIGURE 11. MMBF170 Safe Operating Area

Typical Electrical Characteristics (Continued)

BS170/MMBF170

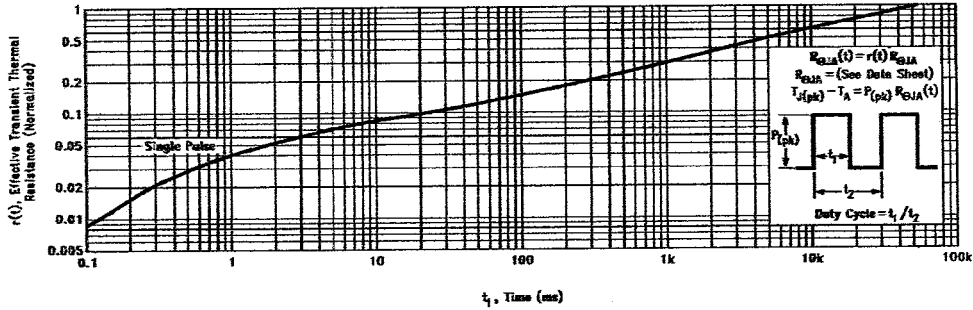


FIGURE 12. TO-92 Transient Thermal Response

TL/G/11379-17

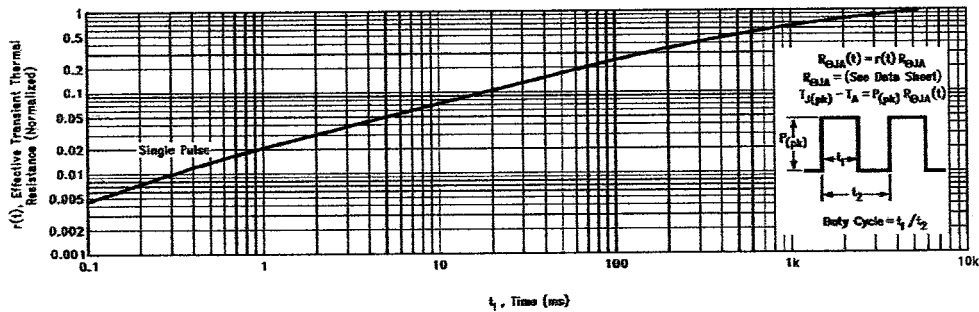
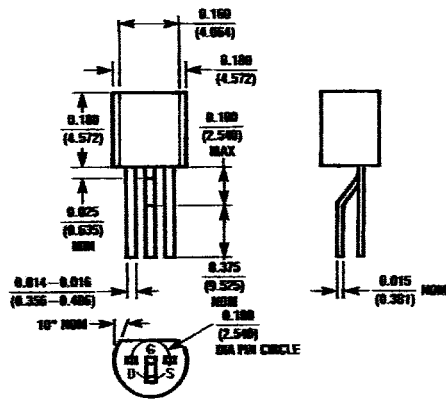


FIGURE 13. SOT-23 Transient Thermal Response

TL/G/11379-18

Physical Dimensions inches (millimeters)

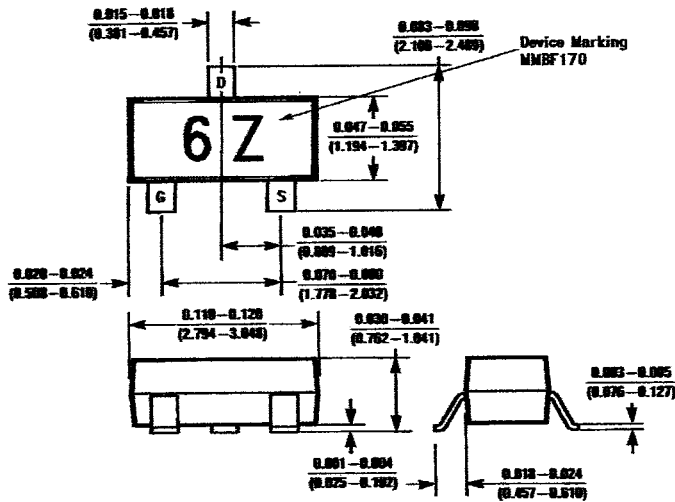


TL/G/11379-4

Note: All 1 transistors are lead formed to this configuration prior to bulk shipment.

TO-92
TO-18 Lead Form STD*

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



TLG/11379-5

Note 1: Meets all JEDEC dimensional requirements for TO-236AB.

Note 2: Controlling dimension: millimeters.

Note 3: Available also in TO-236AA. Contact your local National Semiconductor representative for delivery and ordering information.

Note 4: Tape and reel is the standard packing method for TO-236.

TO-236AB
(SOT-23) (Notes 3,4)

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
1111 West Bardin Road
Arlington, TX 76017
Tel: 1(800) 272-9959
Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
Fax: (+49) 0-180-530 85 85
Email: cnjpage@lewm2.nsc.com
Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58
Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
13th Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 5 Canton Rd.
Tsimshatsai, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1600
Fax: (852) 2736-0960

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-043-298-2309
Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.



HT71XX

High Voltage Regulator

Features

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

Applications

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

General Description

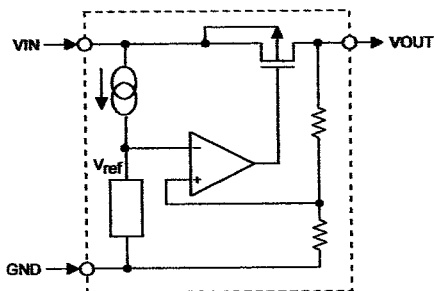
The HT71XX series is a set of three-terminal low power high voltage regulators implemented in CMOS technology. They allow input voltages as high as 24V. They are available with several fixed output voltages ranging from 3.0V to 5.0V. CMOS technology ensures low voltage drop and low quiescent current.

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

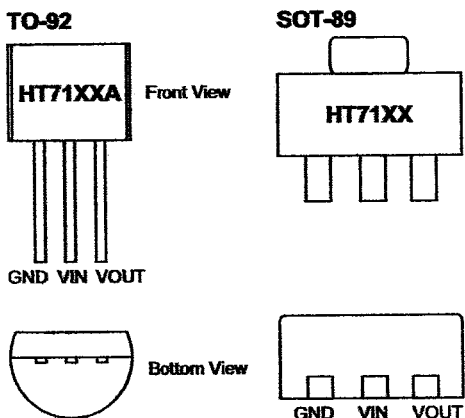
Selection Table

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

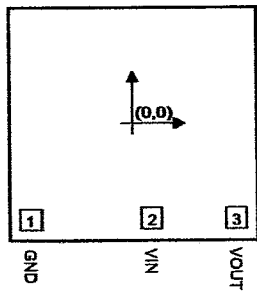
Block Diagram



Pin Assignment



Pad Assignment



Pad Coordinates

Unit: μm

Pad No.	X	Y
1	-480.00	-451.50
2	87.50	-444.50
3	482.00	-444.50

Chip size: $1374 \times 1294 (\mu\text{m})^2$

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

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage-0.3V to 28V Storage Temperature-50°C to 125°C
 Power Consumption 200mW Operating Temperature0°C to 70°C

Note: These are stress ratings only. Stresses exceeding the range specified under Absolute Maximum Ratings may cause substantial damage to the device. Functional operation of this device at other conditions beyond those listed in the specification is not implied and prolonged exposure to extreme conditions may affect device reliability.

Electrical Characteristics
HT7130, +3.0V output type

Ta=25°C

Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
		V _{IN}	Conditions				
V _{OUT}	Output Voltage	5V	I _{OUT} =10mA	2.85	3.0	3.15	V
I _{OUT}	Output Current	5V	—	20	30	—	mA
ΔV _{OUT}	Load Regulation	5V	1mA<I _{OUT} ≤20mA	—	60	100	mV
V _{DIF}	Voltage Drop	—	I _{OUT} =1mA	—	100	—	mV
I _{SS}	Current Consumption	5V	No load	—	4	6.0	μA
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN} \times V_{OUT}}$	Line Regulation	—	4V≤V _{IN} ≤24V I _{OUT} =1mA	—	0.2	—	%/V
V _{IN}	Input Voltage	—	—	—	—	24	V
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta T_a}$	Temperature Coefficient	5V	I _{OUT} =10mA 0°C<Ta<70°C	—	±0.45	—	mV/°C

HT7133, +3.3V output type

Ta=25°C

Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
		V _{IN}	Conditions				
V _{OUT}	Output Voltage	5.5V	I _{OUT} =10mA	3.135	3.3	3.465	V
I _{OUT}	Output Current	5.5V	—	20	30	—	mA
ΔV _{OUT}	Load Regulation	5.5V	1mA<I _{OUT} ≤30mA	—	60	100	mV
V _{DIF}	Voltage Drop	—	I _{OUT} =1mA	—	100	—	mV
I _{SS}	Current Consumption	5.5V	No load	—	4	6	μA
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN} \times V_{OUT}}$	Line Regulation	—	4.5V≤V _{IN} ≤24V I _{OUT} =1mA	—	0.2	—	%/V
V _{IN}	Input Voltage	—	—	—	—	24	V
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta T_a}$	Temperature Coefficient	5.5V	I _{OUT} =10mA 0°C<Ta<70°C	—	±0.5	—	mV/°C

HT7136, +3.6V output type

Ta=25°C

Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
		V _{IN}	Conditions				
V _{OUT}	Output Voltage	5.6V	I _{OUT} =10mA	3.42	3.6	3.78	V
I _{OUT}	Output Current	5.6V	—	20	30	—	mA
ΔV _{OUT}	Load Regulation	5.6V	1mA ≤ I _{OUT} ≤ 30mA	—	60	100	mV
V _{DIF}	Voltage Drop	—	I _{OUT} =1mA	—	60	—	mV
I _{SS}	Current Consumption	5.6V	No load	—	3.0	7.0	μA
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN} \times V_{OUT}}$	Line Regulation	—	4.6V ≤ V _{IN} ≤ 12V I _{OUT} =1mA	—	0.2	—	%/V
V _{IN}	Input Voltage	—	—	—	—	24	V
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta T_a}$	Temperature Coefficient	5.6V	I _{OUT} =10mA 0°C < Ta < 70°C	—	±0.6	—	mV/°C

HT7144, +4.4V output type

Ta=25°C

Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
		V _{IN}	Conditions				
V _{OUT}	Output Voltage	6.4V	I _{OUT} =10mA	4.18	4.4	4.62	V
I _{OUT}	Output Current	6.4V	—	20	30	—	mA
ΔV _{OUT}	Load Regulation	6.4V	1mA ≤ I _{OUT} ≤ 30mA	—	60	100	mV
V _{DIF}	Voltage Drop	—	I _{OUT} =1mA	—	100	—	mV
I _{SS}	Current Consumption	6.4V	No load	—	4	7.5	μA
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN} \times V_{OUT}}$	Line Regulation	—	5.4V ≤ V _{IN} ≤ 24V I _{OUT} =1mA	—	0.2	—	%/V
V _{IN}	Input Voltage	—	—	—	—	24	V
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta T_a}$	Temperature Coefficient	6.4V	I _{OUT} =10mA 0°C < Ta < 70°C	—	±0.7	—	mV/°C

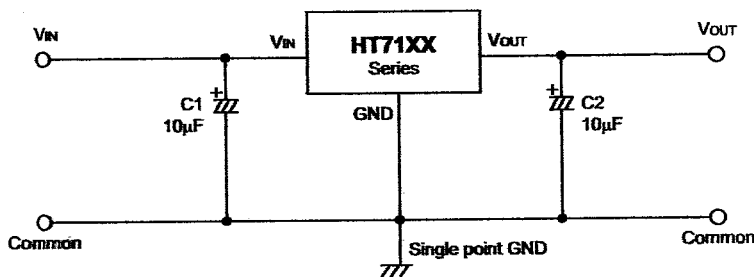
HT7150, +5.0V output type

Ta=25°C

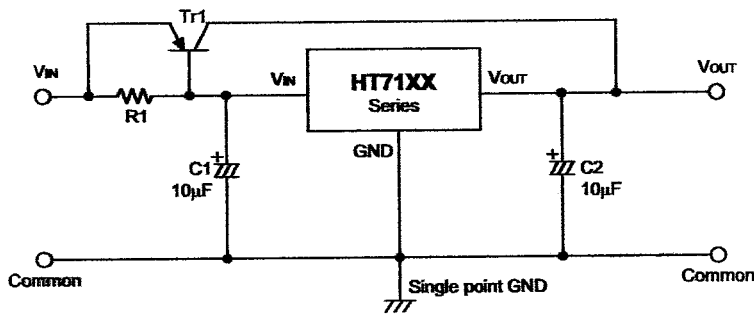
Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
		V _{IN}	Conditions				
V _{OUT}	Output Voltage	7V	I _{OUT} =10mA	4.75	5.0	5.25	V
I _{OUT}	Output Current	7V	—	20	30	—	mA
ΔV _{OUT}	Load Regulation	7V	1mA ≤ I _{OUT} ≤ 30mA	—	60	100	mV
V _{DIF}	Voltage Drop	—	I _{OUT} =1mA	—	100	—	mV
I _{SS}	Current Consumption	7V	No load	—	5	9	μA
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN} \times V_{OUT}}$	Line Regulation	—	6V ≤ V _{IN} < 24V I _{OUT} =1mA	—	0.2	—	%/V
V _{IN}	Input Voltage	—	—	—	—	24	V
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta T_a}$	Temperature Coefficient	7V	I _{OUT} =10mA 0°C < T _a < 70°C	—	±0.75	—	mV/°C

Application Circuits

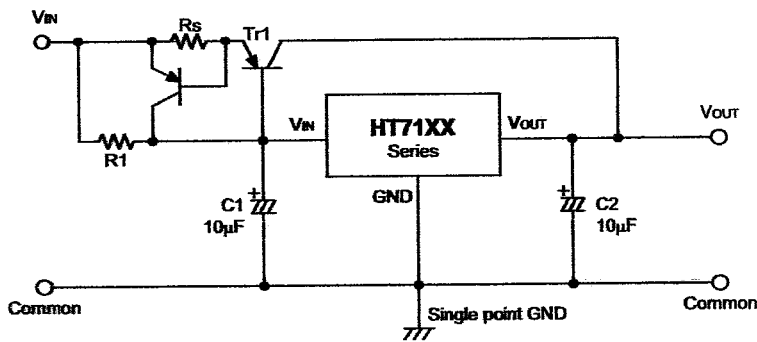
Basic circuits



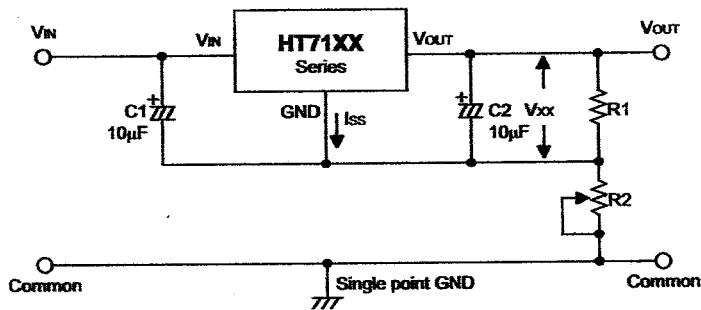
High output current positive voltage regulator



Short-Circuit protection by $Tr1$

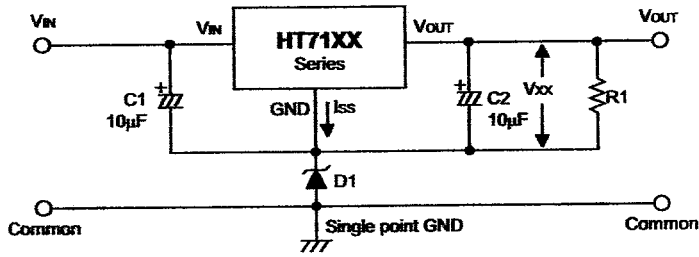


Circuit for increasing output voltage



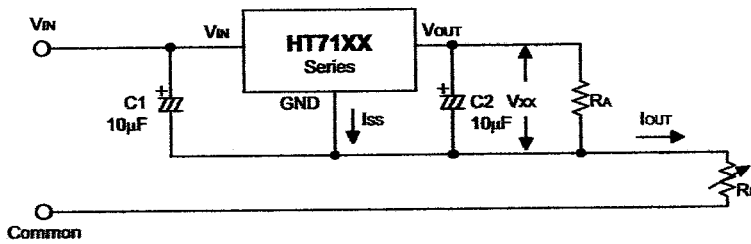
$$V_{OUT} = V_{XX} \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) + I_{SS} R2$$

Circuit for increasing output voltage



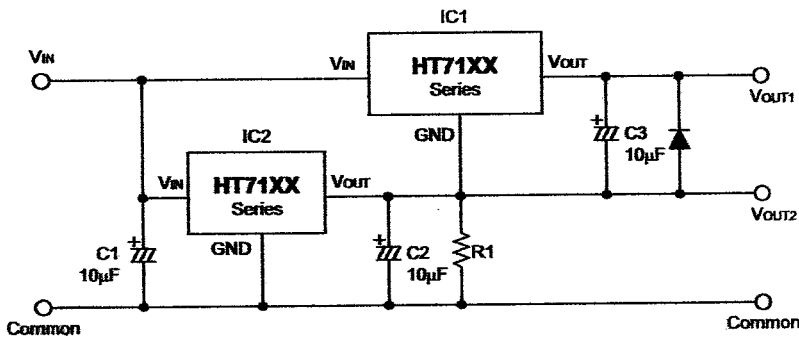
$$V_{OUT} = V_{XX} + V_{D1}$$

Constant current regulator



$$I_{OUT} = \frac{V_{XX}}{R_A} + I_{SS}$$

Dual supply



Holtek Semiconductor Inc. (Headquarters)

No.3 Creation Rd. II, Science-based Industrial Park, Hsinchu, Taiwan, R.O.C.
Tel: 886-3-563-1999
Fax: 886-3-563-1189

Holtek Semiconductor Inc. (Taipei Office)

5F, No.576, Sec.7 Chung Hsiao E. Rd., Taipei, Taiwan, R.O.C.
Tel: 886-2-2782-9635
Fax: 886-2-2782-9636
Fax: 886-2-2782-7128 (International sales hotline)

Holtek Semiconductor (Hong Kong) Ltd.

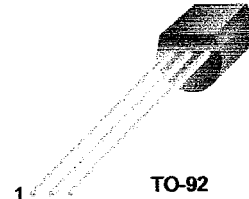
RM.711, Tower 2, Cheung Sha Wan Plaza, 833 Cheung Sha Wan Rd., Kowloon, Hong Kong
Tel: 852-2-745-8288
Fax: 852-2-742-8657

Copyright © 2000 by HOLTEK SEMICONDUCTOR INC.

The information appearing in this Data Sheet is believed to be accurate at the time of publication. However, Holtek assumes no responsibility arising from the use of the specifications described. The applications mentioned herein are used solely for the purpose of illustration and Holtek makes no warranty or representation that such applications will be suitable without further modification, nor recommends the use of its products for application that may present a risk to human life due to malfunction or otherwise. Holtek reserves the right to alter its products without prior notification. For the most up-to-date information, please visit our web site at <http://www.holtek.com.tw>.

FAIRCHILD
 SEMICONDUCTOR®

KSP10

VHF/UHF transistor

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

NPN Epitaxial Silicon Transistor

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

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

Electrical Characteristics

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

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

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

Typical Characteristics

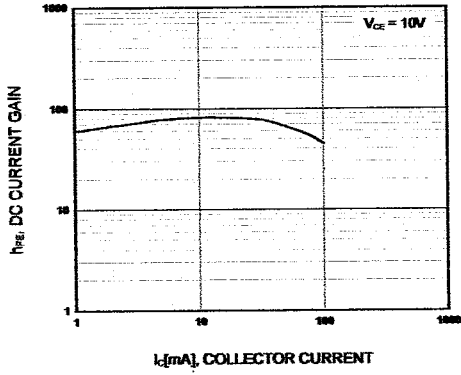


Figure 1. DC current Gain

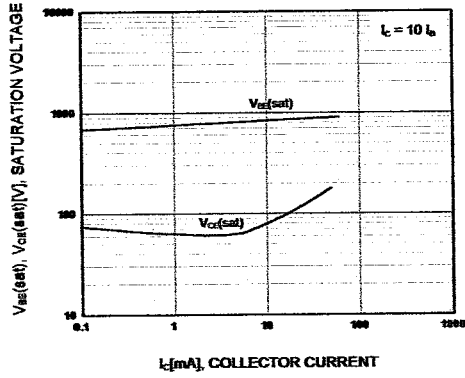


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

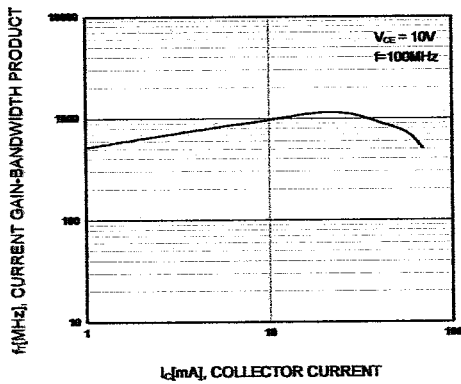


Figure 3. Current Gain Bandwidth Product

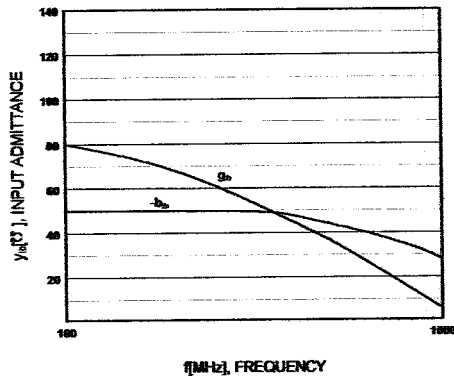


Figure 4. Rectangular Form

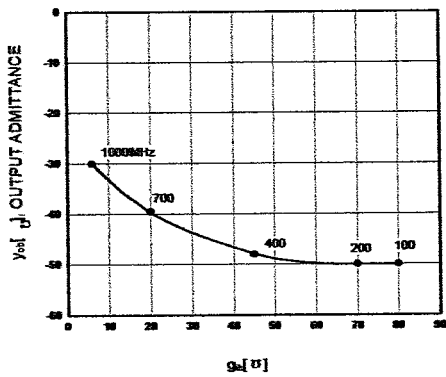


Figure 5. Polar Form

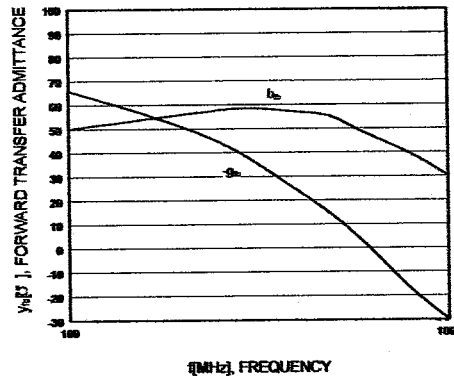


Figure 6. Rectangular Form

Typical Characteristics (Continued)

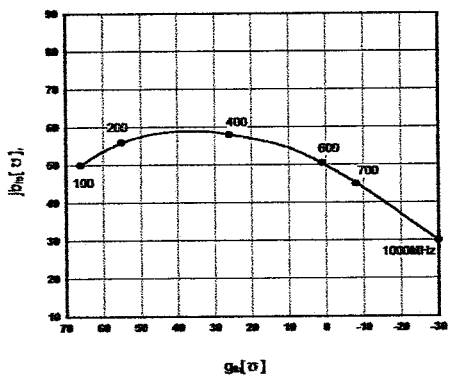


Figure 7. Polar Form

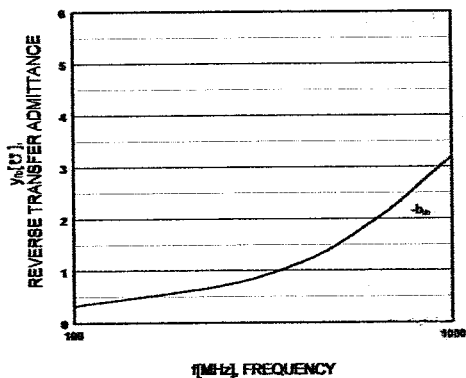


Figure 8. Rectangular Form

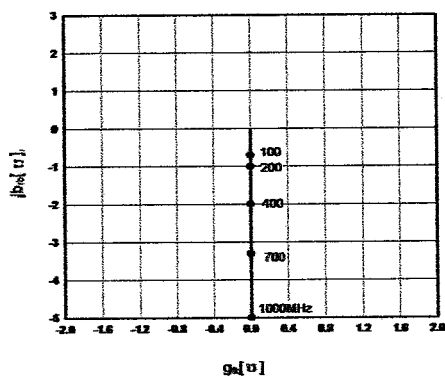


Figure 9. Polar Form

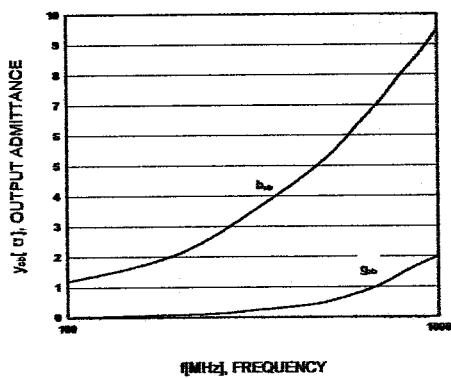


Figure 10. Rectangular Form

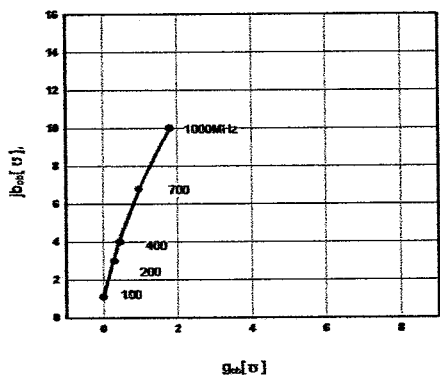
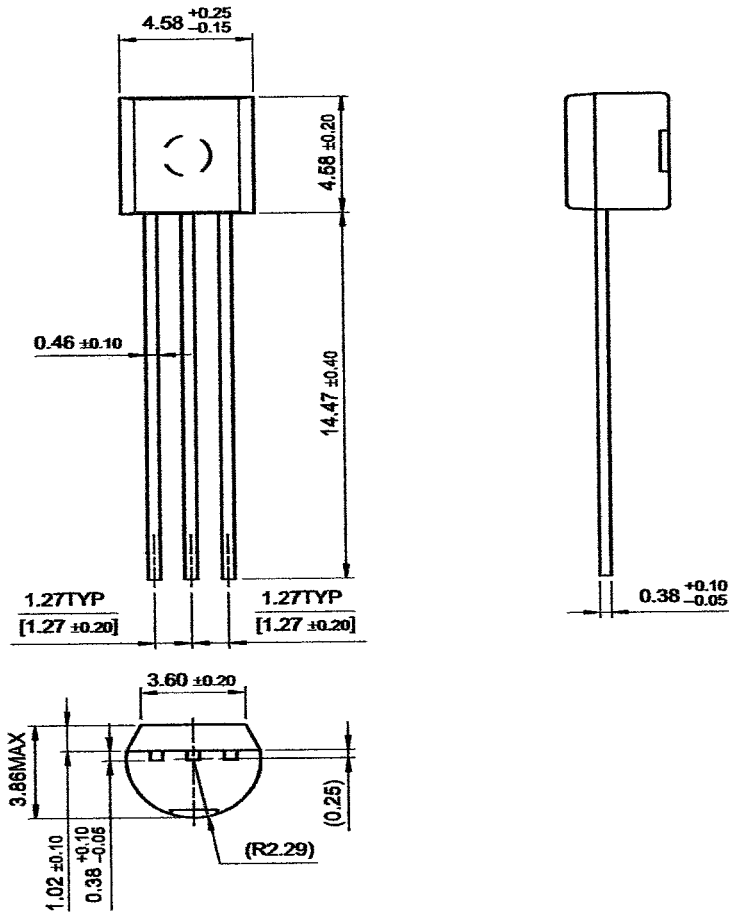


Figure 11. Polar Form

Package Dimensions

TO-92



Dimensions in Millimeters

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACEx™	FAST®	OPTOPLANAR™	STAR*POWER™
Bottomless™	FASTr™	PACMAN™	Stealth™
CoolFET™	FRFET™	POP™	SuperSOT™-3
CROSSVOLT™	GlobalOptoisolator™	Power247™	SuperSOT™-6
DenseTrench™	GTO™	PowerTrench®	SuperSOT™-8
DOME™	HiSeC™	QFET™	SyncFET™
EcoSPARK™	ISOPLANAR™	QS™	TruTranslation™
E ² CMOS™	LittleFET™	QT Optoelectronics™	TinyLogic™
EnSigna™	MicroFET™	Quiet Series™	UHC™
FACT™	MICROWRE™	SLIENT SWITCHER®	UltraFET®
FACT Quiet Series™	OPTOLOGIC™	SMART START™	VCX™

STAR*POWER is used under license

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

เอกสารอ้างอิง

1. รศ.เฉลิมพล น้ำค้าง, "ทฤษฎีสานามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก", ศูนย์หนังสือกรุงเทพ 2541
2. สันติ อัสวศรีพงษ์, "สนามแม่เหล็กไฟฟ้า", ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. Rachel Waddington, "RFID Handbook" ,(Second Edition), Jone Wilry & Sons Ltd 1999