

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

ระบบระบุลักษณะของวัตถุด้วยคลื่นความถี่วิทยุ  
RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION

โดย

นางสาว วรรณิา ดวงสุดา รหัสนักศึกษา 47012227



๒๗.  
๐๒๖๗ร  
๒๕๕๐

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 82183  
วัน,เดือน,ปี..... - 9 ก.ค. 2551

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

11๙๔๕1๒๖  
.b.....  
f.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในทางอื่น  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบระบุลักษณะของวัตถุด้วยคลื่นความถี่วิทยุ  
RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2550

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบระบุลักษณะของวัตถุด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

ผู้จัดทำ นางสาว วรรณมา ควงสุดา

 ..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( 17 สิงหาคม 25 51 ..... )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# อาร์เอฟไอดีความถี่ 125 กิโลเฮิร์ตซ์

นางสาว วรรณมา ดวงสุตา รหัส 47012227

ผศ. ประภากร สุวรรณะ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

## บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ อธิบายการออกแบบและการสร้าง อาร์เอฟไอดี ความถี่ 125 กิโลเฮิร์ตซ์ การทำงานของอาร์เอฟไอดีนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนของแท็กส์ที่เป็นป้ายแบบพาสซีฟ และ ส่วนของเครื่องอ่าน วงจรภายในของอาร์เอฟไอดีนี้จะประกอบด้วย วงจรย่อยๆ หลายส่วน เช่น วงจรที่เป็นส่วนของแหล่งจ่ายที่จ่ายให้กับแท็กส์ วงจรขับเครื่องอ่าน วงจรที่ใช้วัดผลของโหนดมอดคูเลชันจากแท็กส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Radio Frequency Identification ( Frequency 125 kHz )

Ms. Wanna Duangsuda ID. 47012227

Assoc.Prof. Prapakorn Suwanna Advisor

Education Year 2550

## Abstract

This report describe design and create of RFID ( Radio Frequency Identification) at frequency 125 kHz. This project consist 2 main parts which are a tag or transponder and reader or interrogator. Within RFID system consist sub circuit in much parts such as tag regulator circuit , reader coil driver , tag's circuit for test load modulation.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ แม่ พ่อ พี่ และ ญาติๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ สนับสนุน และ  
เข้าใจในทุกๆเรื่อง จึงทำให้การทำงานโปรเจกสามารถดำเนินไปได้โดยราบรื่น

ขอขอบพระคุณ อ. ประภากร สุวรรณะ ที่คอยให้ความรู้ ให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ และ  
คอยช่วยเหลือ การทำงานโปรเจกตลอดมา ไม่ว่าจะการทำงานจะติดปัญหาใดๆก็ตามก็จะมีอาจารย์  
คอยให้คำปรึกษาและแนะนำ เป็นอย่างดี หรือว่าเวลาไม่เข้าใจการทำงาน โปรเจกในส่วนใดๆอาจารย์ก็  
จะคอยสอนให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น

ขอขอบใจเพื่อนๆทุกคนที่คอยช่วยงานโปรเจก ให้กำลังใจ คอยแนะนำและอยู่เป็นเพื่อน  
ตลอดงานโปรเจกมาตลอด ไม่ว่าจะเกิดปัญหาใดๆขึ้นมา (ขอบใจ ปลื้ม ปอนด์ แนท อิง พิท วุฒ  
เม่น ฟลุ๊ค เคียร์ ฟ้า กิม มากๆนะ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

หน้า

### บทที่ 1

#### บทนำ

- 1. ความรู้เกี่ยวกับระบบระบุสัญลักษณ์ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ 1
- 1.2 วัฒนาการของระบบอาร์เอฟไอดี 2
- 1.3 ความถี่ใช้งานของระบบอาร์เอฟไอดี 3

### บทที่ 2

#### ทฤษฎี

- 2.1 องค์ประกอบของอาร์เอฟไอดี 6
- 2.2 ป้าย ( Transponder or Tag ) 7
  - 2.2.1. ป้ายหรือแท็กอาร์เอฟไอดีชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag) 8
  - 2.2.2 ป้ายหรือแท็กอาร์เอฟไอดีชนิดพาสซีฟ (Passive Tag) 9
- 2.3 เครื่องอ่าน (Reader หรือ Interrogator ) 10
- 2.4 วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างแท็กส์และเครื่องอ่าน 11
- 2.5 การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-Collision) 11
- 2.6 การสื่อสารแบบไร้สาย 12
- 2.7 ลักษณะการทำงานรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ 14
- 2.8 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID 16
- 2.9 ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง 16
- 2.10 การส่งข้อมูลจากแท็กส์มายังเครื่องอ่าน 17
- 2.11 คุณลักษณะของการกำทอน และค่าคุณภาพของการกำทอน(Quality Factor,Q) 18
- 2.12 วงจรเรโซแนนซ์ 19
  - 2.12.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม(Series Resonance) 20
  - 2.12.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์ 21
- 2.13 ทฤษฎีพื้นฐานของการออกแบบ antenna 23
  - 2.13.1 กระแสและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 23
  - 2.13.2 แรงดันที่เหนี่ยวนำได้จากขดลวดสายอากาศ 25
  - 2.13.3 ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำและชนิดของลวด 28
  - 2.13.4 ความต้านทานกระแสสลับของตัวนำ 28
  - 2.13.5 ความต้านทานของตัวนำด้วยการประมาณที่ความถี่ต่ำ 31
  - 2.13.6 ตัวเหนี่ยวนำที่ประกอบด้วยขดลวดสี่เหลี่ยมหลายชั้น 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 ค่าเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance)	32
2.15 พลังงานในวงจรที่เชื่อมโยงกัน (Energy in a Coupled Circuit)	34
บทที่ 3	
การออกแบบ	
3.1 การออกแบบวงจรของตัวเครื่องอ่าน	35
-3.1.2 วงจร Oscillator และ Reader Coil Driver	36
-3.1.3 วงจร Demodulation	38
3.2 การออกแบบวงจรในส่วนของ Tag	39
-3.2.1 การออกแบบวงจร Tag Regulator	40
-3.3.2 วงจรสร้าง Data	44
-3.2.3 วงจร Modulation	44
3.2.2 การคำนวณหาค่า NQ ของ Tag	45
3.3 การทดลองการออกแบบ Voltage Regulator	46
บทที่ 4	
วิธีทดลองและผลการทดลอง	
4.1 วิธีทดลอง	47
4.2 บันทึกผลการทดลอง	48
4.3 ผลการทดลองวัดผลของ Load Modulation	56
บทที่ 5	
สรุปผลการทดลอง และวิจารณ์การทดลอง	
5.1 สรุปผลการทดลอง	59



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 รูปแบบ AUTO-ID รูปแบบต่างๆ	1
รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของอาร์เอฟไอดี	6
รูปที่ 2.1.1 ลักษณะการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี	7
รูปที่ 2.2.1 แท็กสแบบแอคทีฟที่มีแบตเตอรี่ลิเทียม 2 ก้อนอยู่ภายนอก	8
รูปที่ 2.2.2 แท็กสอาร์เอฟไอดีในรูปแบบต่างๆ	9
รูปที่ 2.3 เครื่องอ่าน (Reader) ในแบบต่างๆ	10
รูปที่ 2.6 แสดงการสื่อสารระหว่างแท็กสและตัวรับข้อมูล	12
รูปที่ 2.6.1 แสดงการส่งพลังงานในแบบ Inductive Coupling (LF&HF) และ Backscatter Coupling (UHF & Microwave )	12
รูปที่ 2.6.2 แสดงการมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (ASK )	13
รูปที่ 2.6.3 แสดงการมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK )	13
รูปที่ 2.6.4 แสดงการมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK )	14
รูปที่ 2.7 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential	16
รูปที่ 2.11.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและคุณภาพการกำทอนของวงจรอนุกรม R-L-C	18
รูปที่ 2.12 วงจรเรโซแนนซ์ที่ใช้ LC	20
รูปที่ 2.12.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	20
รูปที่ 2.12.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์	21
รูปที่ 2.13.1 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเส้นตรง	23
รูปที่ 2.13.2 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเป็นลูป	24
รูปที่ 2.13.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับระยะทาง r	25
รูปที่ 2.13.4 โครงสร้างพื้นฐานของตัวอ่านและแท็กสในการประยุกต์ใช้ RFID	26
รูปที่ 2.13.5 ตำแหน่งของสายอากาศของแท็กส	28
รูปที่ 2.13.6 ขดลวดลูปสี่เหลี่ยมหลายชั้น	31
รูปที่ 2.14 ฟลักซ์สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น	32
รูปที่ 2.14.1 ขดลวดที่ค่า Self-Inductance เท่ากับ $L_1$ และ $L_2$	33
รูปที่ 2.14.2 ทิศทางของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวด	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1	รูปแสดงวงจรรวมของตัวเครื่องอ่าน	35
รูปที่ 3.1.2	วงจร Oscillator และ Reader Coil Driver	36
รูปที่ 3.1.3	วงจร Demodulation	38
รูปที่ 3.2	บล็อกไดอะแกรมของวงจร Tag และรูปแสดงวงจรรวมของ Tag	39
รูปที่ 3.2.1	ส่วนของวงจร Tag Regulator	40
รูปที่ 3.3.2	วงจรสร้าง Data	44
รูปที่ 3.2.3	วงจร Modulation	44
รูปที่ 3.2.4	การคำนวณหาค่า NQ ของ Tag	45
รูปที่ 4.1	วงจร Tag ที่ใช้ในการทดลอง	47
รูปที่ 4.2.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RL ค่าต่างๆกับค่าของแรงดันที่จุดวัด ในระยะ 0 cm	48
รูปที่ 4.2.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RL ค่าต่างๆกับค่าของแรงดันที่จุดวัด ในระยะ 0.5 cm	49
รูปที่ 4.2.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RL ค่าต่างๆกับค่าของแรงดันที่จุดวัด ในระยะ 1 cm	50
รูปที่ 4.2.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RL ค่าต่างๆกับค่าของแรงดันที่จุดวัด ในระยะ 1.5 cm	51
รูปที่ 4.2.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RL ค่าต่างๆกับค่าของแรงดันที่จุดวัด ในระยะ 2 cm	52
รูปที่ 4.2.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RL ค่าต่างๆกับค่าของแรงดันที่จุดวัด ในระยะ 2.5cm	53
รูปที่ 4.2.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RL ค่าต่างๆกับค่าของแรงดันที่จุดวัด ในระยะ 3 cm	54
รูปที่ 4.2.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน (v) และระยะทาง (cm) เมื่อ $R_L = \text{no load}$	55
รูปที่ 4.3.1	ผลของ Load Modulation ที่ระยะ 0 cm.	56
รูปที่ 4.3.2	ผลของ Load Modulation ที่ระยะ 0.5 cm.	56
รูปที่ 4.3.3	ผลของ Load Modulation ที่ระยะ 1 cm.	56
รูปที่ 4.3.4	ผลของ Load Modulation ที่ระยะ 1.5 cm.	57
รูปที่ 4.3.5	ผลของ Load Modulation ที่ระยะ 2 cm.	57
รูปที่ 4.3.6	ผลของ Load Modulation ที่ระยะ 2.5 cm.	58
รูปที่ 4.3.7	ผลของ Load Modulation ที่ระยะ 3 cm.	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.3.1 แสดงตารางเปรียบเทียบระหว่างย่านความถี่ใช้งานและระยะที่อ่านได้	3
ตารางที่ 1.3.2 แสดงข้อแตกต่างของ อาร์เอฟไอดี ระบบต่างๆ	4
ตารางที่ 2.11.1 ค่าแสดงคุณลักษณะของการกำทอนของวงจร R-L-C	19
ตารางที่ 2.13.4 AWG WIRE CHART	30
ตารางที่ 3.2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนรอบและค่า b	46
ตารางที่ 3.3 การทดลองการออกแบบ Voltage Regulator	46
ตารางที่ 4.2.1 $V_{in}(\text{Reader Coil}) = 12V$ วัดที่ระยะ 0 cm	48
ตารางที่ 4.2.2 $V_{in}(\text{Reader Coil}) = 12V$ วัดที่ระยะ 0.5 cm	49
ตารางที่ 4.2.3 $V_{in}(\text{Reader Coil}) = 11V$ วัดที่ระยะ 1 cm	50
ตารางที่ 4.2.4 $V_{in}(\text{Reader Coil}) = 11V$ วัดที่ระยะ 1.5 cm	51
ตารางที่ 4.2.5 $V_{in}(\text{Reader Coil}) = 11V$ วัดที่ระยะ 2 cm	52
ตารางที่ 4.2.6 $V_{in}(\text{Reader Coil}) = 11V$ วัดที่ระยะ 2.5 cm	53
ตารางที่ 4.2.7 $V_{in}(\text{Reader Coil}) = 11V$ วัดที่ระยะ 3 cm	54
ตารางที่ 4.2.8 เมื่อ $V_{in}(\text{Reader Coil}) = 11V$ $R_L = \text{no load}$	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

## บทนำ

## 1. ความรู้เกี่ยวกับระบบระบุสัญลักษณ์ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

ระบบระบุสัญลักษณ์ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ หรือ อาร์เอฟไอดี ( RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION ) เป็นระบบบ่งชี้อัตโนมัติ ( Auto- ID ) แบบหนึ่งซึ่งเป็นคำเรียกของเทคโนโลยีที่ช่วยให้อุปกรณ์สามารถบ่งบอกวัตถุ สิ่งของได้โดยอัตโนมัติ ตัวอย่างของเทคโนโลยีระบบบ่งชี้อัตโนมัติ ได้แก่ เทคโนโลยีบัตรอิเล็กทรอนิกส์ ( Smart card ) ระบบลายพิมพ์นิ้วมือ ( Fingerprint scan ) ระบบสแกนม่านตา ( Iris scan ) ระบบระบุสัญลักษณ์ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ หรือ อาร์เอฟไอดี ( RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION )



รูปที่ 1.1 รูปแบบ AUTO-ID รูปแบบต่างๆ

วัตถุประสงค์หลักในการใช้งานของระบบอาร์เอฟไอดีที่ระบบฉลากแบบบาร์โค้ด ( Bar Code ) ไม่สามารถใช้งานได้ โดยจุดเด่นของระบบอาร์เอฟไอดี คือ ความสามารถในการอ่านข้อมูลของฉลากได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัส สามารถอ่านค่าได้แม่นยำแม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก และสามารถจะอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง จึงมีการนำระบบอาร์เอฟไอดีเข้ามาใช้แทนระบบฉลากแบบบาร์โค้ดกันมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันมีการนำ อาร์เอฟไอดี มาใช้งานกันในงานหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นในบัตรชนิดต่าง ๆ เช่น บัตรประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรสำหรับผ่านเข้าออกห้องพัก บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรจอดรถ ในฉลากของสินค้าหรือแม้แต่ใช้ฝังลงในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ เป็นสำหรับรูปแบบของเทคโนโลยี อาร์เอฟไอดี ที่ใช้ในการดังกล่าวก็มีทั้งแบบสมาร์ทการ์ดที่สามารถถูกเขียนหรืออ่านข้อมูลออกมาได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่านบัตรหรือคอนแทคเลสสมาร์ทการ์ด (Contact less Smart card), เหรียญ, ป้ายชื่อหรือฉลากซึ่งมีขนาดเล็กมากจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษหรือฝังเอาไว้ในตัวสัตว์ได้เลยทีเดียว

## 1.2 วิวัฒนาการของระบบอาร์เอฟไอดี

จุดเริ่มต้นของอาร์เอฟไอดี มีมาตั้งแต่ยุคสงครามโลกครั้งที่ 2 ทางด้านการพัฒนาได้ให้มีการจดสิทธิบัตรของอเมริกาเกี่ยวกับอาร์เอฟไอดี อันแรกให้กับ Mario. W.Cardullo เป็นสิทธิบัตรเกี่ยวกับป้ายแบบแอ็กทีฟ เมื่อวันที่ 23 มกราคม ค.ศ. 1973 และในปีเดียวกันได้มีการมอบสิทธิบัตรเกี่ยวกับป้ายแบบแพสซีฟแก่ Charles Walton โดยประยุกต์ใช้งานสำหรับการเปิดลิ้อประตู และ Charles Walton ได้อนุญาตสิทธิให้กับบริษัท Schlage เป็นผู้ผลิต

ในช่วงปี ค.ศ. 1970 รัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับอาร์เอฟไอดีเหมือนกันที่ ศูนย์วิจัยแห่งชาติ ลอส อลามอส ( Los Alamos National Laboratory ) มลรัฐนิวเม็กซิโก ใช้สำหรับการติดตามวัตถุนิวเคลียร์ให้กับกระทรวงพลังงาน โดยใช้อาร์เอฟไอดีติดกับรถบรรทุก และเครื่องอ่านที่ประตูทางเข้าออก และเมื่อที่มหาวิทยาลัยของศูนย์วิจัยแห่งนี้ ได้ออกมาตั้งบริษัทและพัฒนาเป็นระบบเก็บค่าทางด่วนอัตโนมัติ

ในขณะเดียวกันกระทรวงเกษตรของสหรัฐมีความต้องการป้ายแบบพาสซีฟที่ความถี่ 125 กิโลเฮิร์ตซ์ สำหรับติดวัวเพื่อแยกแยะว่าวัวตัวไหนฉีดวัคซีนและหรือไม่ ทางศูนย์วิจัยแห่งชาติ ลอส อลามอส ได้พัฒนา อาร์เอฟไอดีความถี่ 125 กิโลเฮิร์ตซ์ สำหรับฝังใต้ผิวหนังของวัว อาร์เอฟไอดีความถี่ 125 กิโลเฮิร์ตซ์ ได้มีการใช้เชิงพาณิชย์หลายรูปแบบ และต่อมาได้มีการพัฒนาไปที่ 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์

ในช่วงต้นปีค.ศ. 1990 บริษัทไอบีเอ็มได้พัฒนาและจดสิทธิบัตร อาร์เอฟไอดีในย่านความถี่ UHF ( ความถี่ตั้งแต่ 300 เมกะเฮิร์ตซ์ – 3 กิกะเฮิร์ตซ์ ) แต่เมื่อไอบีเอ็มมีปัญหาทางการเงิน ได้ขายสิทธิบัตรเกี่ยวกับอาร์เอฟไอดีให้กับบริษัท Intermec ในช่วงกลางปีค.ศ. 1990 ในช่วงนั้นการใช้งานยังไม่แพร่หลายนัก เนื่องจากอุปกรณ์ยังมีราคาแพงมาก

อาร์เอฟไอดีในย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF) ได้แจ้งเกิดอีกครั้งเมื่อปี ค.ศ. 1999 เมื่อ UCC ( Uniform Code Council ) EAN International บริษัท Procter & Gamble และบริษัท Gillette ได้ร่วมกันก่อตั้งศูนย์ Auto-ID ขึ้นที่สถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์ ( MIT ) ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อพัฒนาแนวทางการใช้อาร์เอฟไอดีในห่วงโซ่อุปทาน ( Supply Chain ) ในช่วงปีค.ศ. 1999-2003

เอ็กสตรีนเซ็นเซอร์ที่ส่งคลื่นวิทยุหรือการเชิงแม่เหล็กไปยังเสาเข็ม เมื่ออยู่ใต้พื้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออโต้-ไอดีได้รับการสนับสนุนการบริษัทเอกชนจำนวนมาก และได้มีการขยายศูนย์ออโต้-ไอดีไปยังประเทศ ออสเตรเลีย สวิสเซอร์แลนด์ ญี่ปุ่น และจีน ได้มีการพัฒนามาตรฐานใหม่ที่เรียกว่า รหัสสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ EPC ( Electronic Product Code ) และในปี ค.ศ. 2003 เทคโนโลยีนี้ก็ได้ถูกขายให้กับ UCC ซึ่งได้ร่วมกับ EAN ตั้งบริษัท EPCglobal เพื่อพัฒนา EPC ในเชิงพาณิชย์ ส่วนศูนย์ออโต้-ไอดี ก็ปิดตัวลงอย่างเป็นทางการ ยังคงเหลือเฉพาะส่วนวิจัยและพัฒนา ( Auto- ID Lab ) ในเดือนธันวาคม 2004 ทาง EPCglobal ได้รับรองมาตรฐาน EPC Gen 2

ส่วนการใช้งานนั้นบริษัทใหญ่ๆ เช่น Tesco และ Walmart หรือแม้แต่กระทรวงกลาโหมสหรัฐ ได้วางแผนที่จะใช้ EPC สำหรับติดตามสินค้าที่อยู่ในตามใจอุปทานตัวเอง

### 1.3 ความถี่ใช้งานของระบบอาร์เอฟไอดี

ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบอาร์เอฟไอดี จะอยู่ในย่านความถี่พลเรือน ISM ( Industrial – Scientific-Medical ) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ถูกกำหนดใช้งานในเชิงการแพทย์ วิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสารโดยทั่วไป โดยมี 4 ย่าน ความถี่ใช้งาน คือสำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันทั่วไปในระบบอาร์เอฟไอดี อาจแบ่งออกเป็น 4 ย่านใหญ่ๆ คือ

- ย่านความถี่ต่ำ ( Low frequency : LF ) ต่ำกว่า 150 กิโลเฮิร์ตซ์ ( kHz )
- ย่านความถี่สูง ( High frequency : HF ) 13.56/27.25 เมกะเฮิร์ตซ์ ( MHz )
- ย่านความถี่สูงยิ่ง ( Ultra High frequency : UHF ) 433/868/915 เมกะเฮิร์ตซ์ ( MHz )
- ย่านความถี่ไมโครเวฟ ( Microwave frequency ) 2.45/5.8 กิกะเฮิร์ตซ์ ( GHz )

ถ้าเปรียบเทียบคลื่นความถี่ที่ใช้งานกันในแต่ละย่านความถี่ ในด้านของระยะการอ่าน สามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ความถี่	ระยะที่อ่านได้
125-134 กิโลเฮิร์ตซ์	น้อยกว่า 1 เมตร ( 10 เซนติเมตร )
13.56 เมกะเฮิร์ตซ์	น้อยกว่า 1.5 เมตร ( ~1 เมตร )
860 – 960 เมกะเฮิร์ตซ์	2-5 เมตร และ 1-100 เมตร สำหรับป้ายแบบแอ็กทีฟ
2.45 กิกะเฮิร์ตซ์	น้อยกว่า 1 เมตร สำหรับป้ายแบบพาสซีฟ และ 1-15 เมตร สำหรับป้ายแบบแอ็กทีฟ

#### ตารางที่ 1.3.1 แสดงตารางเปรียบเทียบระหว่างย่านความถี่ใช้งานและระยะที่อ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้งาน 2 ย่านความถี่แรก จะเหมาะสำหรับงานที่มีระยะการสื่อสารในระยะใกล้ โดยย่านความถี่ (LF) 125-134 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งนิยมใช้สำหรับการควบคุมการเข้าออกสถานที่ ลากรถทะเบียนสัตว์ ส่วนย่านความถี่สูง ( High frequency : HF ) 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ นิยมใช้ในบัตรอเนกประสงค์แบบไร้สัมผัส และหนังสือเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนย่านความถี่สูงยังจะใช้กับงานที่มีระยะสื่อสารข้อมูลระยะไกล ( UHF ) ระยะอ่านประมาณ 2-5 เมตร เช่น ระบบเก็บค่าบริการทางด่วน ระบบขนส่งสินค้า เป็นต้น เนื่องจากอาร์เอฟไอดี มีหลายระบบและหลายมาตรฐาน ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นข้อแตกต่างได้ดังตารางข้างล่าง

พารามิเตอร์	ย่านความถี่ต่ำ (LF)	ย่านความถี่สูง ( HF)			ย่านความถี่สูงยิ่ง(UHF)	ย่านไมโครเวฟ
		13.56 MHz	13.56 MHz	PJM13.56 MHz(*)		
ความถี่	125-143 kHz	13.56 MHz	13.56 MHz	PJM13.56 MHz(*)	868-915 MHz	2.45 – 5.8 GHz
ส่วนแบ่งตลาด(**)	74%	17%	เริ่มใช้งานปี 2003	6%	3%	
ระยะในการอ่าน	ถึง 1.2 m	0.7-1.2m	ถึง 1.2m	ถึง 1.2m	ถึง 4m (***)	ถึง 15m (****)
Coupling	Magnetic	Magnetic			Electro Magnetic	Electro Magnetic
ความเร็วในการอ่าน	ไม่เร็วมาก	น้อยกว่า 1-5วินาที ( 5 s for 32KB )	ปานกลาง (0.5m/s)	เร็วมาก(4m/s)	เร็ว	เร็วมาก
สถานะที่ขึ้น	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ	มีผลกระทบ	มีผลกระทบ
มาตรฐาน ISO	11784/85 และ 14223	14443 A+B+C	18000-3.1/1569 3	18000-3.2	18000-6 และ EPC C0/C1/C1G2	18000-4
การประยุกต์ใช้งาน	Access, immobilizer, gas, laundry	Smart cards : identification,	Library, ticketing for big events,	Baggage handing at airports, boarding pass,	Palletts' registration, trucks registry , trailer	Road tolling, container tracking

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		electronic ID, ticketing	good logistics, tracking/ racing, Pallets'r egistratio n	postal, pharmacy	tracking	
ที่มา: (*) Phase jitter modulation , (**) VDC - Report 2002 , worldwide shipments of RFID transponders(units), (***) In U.S.A. , (****) Active transponder with battery						

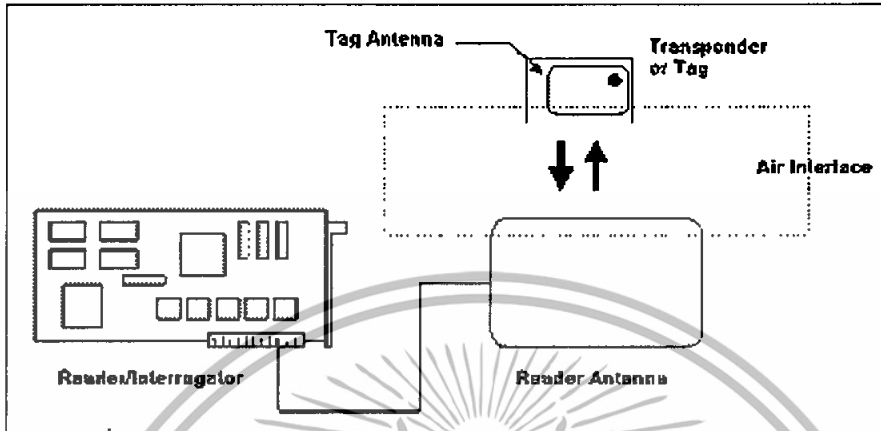
ตารางที่ 1.3.2 แสดงข้อแตกต่างของ อาร์เอฟไอดี ระบบต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎี

### 2.1 องค์ประกอบของอาร์เอฟไอดี



รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของอาร์เอฟไอดี

ในระบบอาร์เอฟไอดีมีองค์ประกอบหลักอยู่ 2 ส่วนคือ

1. ทรานสปอนเดอร์ หรือ ป้าย (Transponder or Tag) ที่ใช้ติดกับวัตถุต่างๆที่เราต้องการ โคนป้ายนั้นจะประกอบด้วยสายอากาศและวงจรที่มีการบันทึกหมายเลข หรือข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ

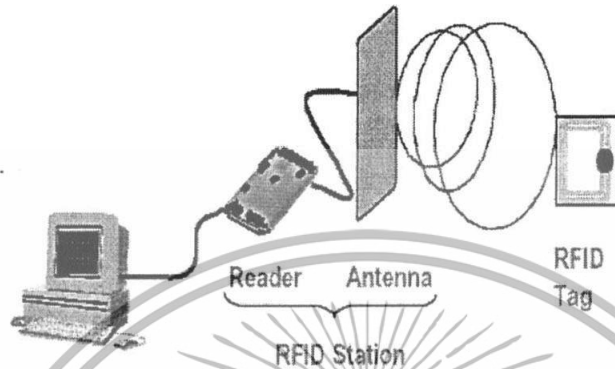
2. ทรานซิวเวอร์ หรือ เครื่องอ่าน (Transceiver / Interrogator or Reader) เป็นเครื่องสำหรับอ่าน / เขียนข้อมูล ภายในป้ายด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ถ้าเทียบกับระบบรหัสแท่งแล้ว ป้ายในระบบอาร์เอฟไอดี เปรียบได้กับตัวรหัสแท่งที่ติดกับสลากของสินค้า และเครื่องอ่านในระบบอาร์เอฟไอดี คือ เครื่องอ่านรหัสแท่ง (Scanner) โดยข้อแตกต่างของทั้งสองระบบคือ ระบบอาร์เอฟไอดีจะใช้คลื่นวิทยุในการอ่านหรือเขียน ส่วนระบบรหัสแท่งจะใช้แสงเลเซอร์ในการอ่าน โคนข้อเสียของระบบรหัสแท่งคือ การอ่าน (สแกน)เป็นการใช้แสงในการอ่านรหัสแท่ง ซึ่งจะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางและอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกับลำแสงที่ยิงจะเครื่องสแกน และสามารถอ่านได้ที่ละรหัสใน

ระยะใกล้ๆ แต่ระบบอาร์เอฟไอดี มีความแตกต่างโดย สามารถอ่านรหัสจากป้ายโดยไม่ต้องเห็นป้าย หรือป้ายนั้นส่วนอยู่ภายในวัตถุและไม่จำเป็นต้องอยู่ในแนวเส้นตรงกับคลื่น เพียงอยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้ และการอ่านป้ายในระบบอาร์เอฟไอดี ยังสามารถอ่านได้ที่ละหลายๆป้ายในเวลาเดียวกัน โดยระยะในการอ่านข้อมูลได้ไกลกว่าระบบรหัสแท่งอีกด้วย

ซึ่งทั้งสองส่วนคือ ตัว Reader และ Tag จะสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุ สัญญาณนี้ผ่านได้ทั้งโลหะและอโลหะแต่ละไม่สามารถติดต่อกับเครื่องอ่านให้อ่านได้โดยตรง เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุ แสดงถึงความต้องการข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากป้าย ป้ายจะตอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลกลับและเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องอ่านจะติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านสายเครือข่าย LAN (Local Area Network) หรือส่งผ่านทางความถี่วิทยุจากทั้งอุปกรณ์มีสายและอุปกรณ์ไร้สาย



รูปที่ 2.1.1 ลักษณะการทำงานจากระบบอาร์เอฟไอดี

## 2.2 ป้าย (Transponder or Tag)

ป้ายหรือแท็กส์ (Tag) นั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder) มาจากคำว่า ทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) ถ้าจะแปลให้ตรงตามศัพท์แท็กส์ก็จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในแท็กส์ตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างแท็กส์และตัวอ่านข้อมูลจะเป็นการสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุผ่านอากาศ โครงสร้างภายในแท็กส์จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ส่วนของไอซีซึ่งเป็นชิปสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Chip) และส่วนของขดลวดซึ่งทำหน้าที่เป็นเสาอากาศสำหรับรับส่งข้อมูล โดยทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมต่ออยู่ด้วยกัน ไอซีของแท็กส์ที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็น หรือไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปโครงสร้างภายในส่วนที่เป็นไอซีของแท็กส์นั้นก็จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่

1. ส่วนของการควบคุมภาครับส่งสัญญาณวิทยุ สำหรับโครงสร้างของส่วนนี้ประกอบด้วยภาคดีมอดูเลตและภาคมอดูเลต (สำหรับรับส่งข้อมูลระหว่างแท็กส์กับตัวเครื่องอ่าน) และวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

2. ส่วนของการควบคุมภาคดิจิทัล ซึ่งรับหน้าที่จัดการเกี่ยวกับกระบวนการทางดิจิทัลทั้งหมด โครงสร้างหลัก ๆ ของส่วนการทำงานนี้ประกอบด้วย ส่วนบันทึกข้อมูล (ประกอบด้วย

หน่วยความจำแรม (RAM), รม (ROM), อีอีพรอม (EEPROM)) ส่วนของการเข้ารหัส (Crypts เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Unit) ส่วนตอบรับสัญญาณร้องขอ (Answer to Request) ส่วนควบคุมและประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (Control & Arithmetic Unit)

โดยแท็กส์จะประกอบไปด้วยสายอากาศที่มีขนาดเล็กที่จะช่วยให้แท็กส์ตอบสนองกับเครื่องอ่าน โดยสายอากาศจะแผ่สัญญาณวิทยุจำนวนหนึ่งออกมา เพื่อกระตุ้นให้แท็กส์อ่านหรือเขียนข้อมูลลงไป สายอากาศสามารถทำได้ทุกขนาดและรูปร่าง เพื่อที่จะสามารถออกแบบให้ติดตั้งได้ทุกที่ และเพื่อให้เกิดความครอบคลุมได้ดีที่สุดในหลาย ๆ ระบบสายอากาศจะถูกติดไปโดยตรงกับ Transceiver เหมือนกับเป็นอุปกรณ์ติดกัน ซึ่งแท็กส์ที่มีการใช้งานกันอยู่นั้นจะมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ ๆ โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในแง่ของการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการการทำงานอยู่ ซึ่งจะสามารถแยกออกเป็นหัวข้อดังนี้

**2.2.1. ป้ายหรือแท็กส์อาร์เอฟไอไดซ์ชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag)** แท็กส์ชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็กอยู่ในตัวจึงไม่จำเป็นต้องอาศัยจากแหล่งจ่ายภายนอกใดๆ เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แท็กส์ทำงานโดยปกติ โดยแท็กส์ชนิดนี้มีฟังก์ชันการทำงานทั่วไปทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในแท็กได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กชนิดแอ็กทีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำแท็กส์ไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีคาร์ซีล (seal) ที่ตัวแท็กส์ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของแท็กส์ให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี

แท็กส์ชนิดแอ็กทีฟนี้จะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกลสูงสุดถึง 6 เมตร ซึ่งไกลกว่าแท็กส์ชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แม้แท็กส์ชนิดนี้จะมีข้อดีอยู่หลายข้อแต่ก็มีข้อเสียอยู่ด้วยเหมือนกัน เช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด



รูปที่ 2.2.1 แท็กส์แบบแอ็กทีฟที่มีแบตเตอรี่ลิเทียม 2 ก้อนอยู่ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ป้ายหรือแท็กสอาร์เอฟไอดีชนิดพาสซีฟ (Passive Tag) จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายในหรือไม่จำเป็นต้องรับแหล่งจ่ายไฟใด ๆ เพราะจะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว) หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ Transceiver จึงทำให้แท็กสชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าแท็กสชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะเวลารับส่งข้อมูลไกลซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตร ขึ้นกับกำลังงานที่ใช้ส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ ซึ่งเป็นระยะเวลาอ่านที่สั้น มีหน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้แท็กสชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าแท็กสชนิดแอ็กทีฟและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้แท็กสชนิดพาสซีฟเป็นที่นิยมมากกว่า

ไอซีของแท็กสชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ ไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.2.2 แท็กสอาร์เอฟไอดีในรูปแบบต่างๆ

นอกจากการแท็กสแบ่งจากชนิดที่ว่ามาแล้วแท็กสก็ยังถูกแบ่งประเภทจากรูปแบบในการใช้งานได้เป็น 3 แบบ คือ

แบบที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้อย่างอิสระ (Read-write)

แบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระ (Write-One, Read-Many หรือ WORM)

แบบอ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read-Only)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

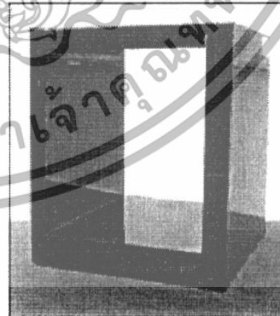
### 2.3 เครื่องอ่าน (Reader หรือ Interrogator )

หน้าที่สำคัญของตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) ก็คือการรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็กส์ แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้รับซึ่งกระทำโดย ไมโครคอนโทรลเลอร์ อัลกอริทึมที่อยู่ในเฟิร์มแวร์ (Firmware) ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณ ถอดรหัสสัญญาณที่ได้ เพื่อนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่น ในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อยๆ ไม่สิ้นสุด

ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ "Hands Down Polling" โดยตัวอ่านข้อมูล จะสั่งให้แท็กส์หยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีแท็กส์หลายแท็กส์อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกัน หรือที่เรียกว่า "Batch Reading" ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านแท็กส์ที่แต่ละตัวได้

ภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- ภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ (Transceiver)
- ภาครีสร้างสัญญาณพาหะ (Carrier)
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna)
- วงจรจูนสัญญาณ (Tuner)
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์ (Processing Unit)



รูปที่ 2.3 เครื่องอ่าน (Reader) ในแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างแท็กส์และเครื่องอ่าน

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

ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างแท็กส์กับเครื่องอ่าน จะได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้งาน สายอากาศที่เหมาะสมจะใช้ร่วมกับแท็กส์มากที่สุดก็คือ สายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็กหรือที่มีชื่ออย่างเป็นทางการว่า สายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (Magnetic dipole Antenna) รูปแบบของสายอากาศแบบนี้ก็จะมีอยู่หลากหลายทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันแกนอากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เป็นวงลูปที่ทำขึ้นจากลวดทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้งที่เป็นรูปแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะและประเภทของงานด้วยเช่นกัน

นอกจากการรับส่งข้อมูลแล้วสายอากาศก็ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับแท็กส์ด้วย โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของ ไมเคิล ฟาราเดย์ เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็ก (จากเครื่องอ่าน) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของแท็กส์ เมื่อแท็กส์และเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันในระยะ 0.16 เท่าของความยาวของคลื่นพาหะที่ใช้ เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า Transformer-type Coupling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์แบบเดียวกับการเกิดแรงดัน ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ในทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Transformer) จะเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของแท็กส์

## 2.5 การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-Collision)

เมื่อมีแท็กส์หลายๆอันเข้ามาอยู่ใกล้เครื่องอ่าน ถ้าแท็กมีพลังงานเพียงพอ แท็กส์แต่ละอันจะพยายามส่งข้อมูลตัวเองมาที่เครื่องอ่านพร้อมๆกัน ทำให้เครื่องอ่านไม่สามารถแยกแยะข้อมูลที่ส่งมาได้ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การชนกันของข้อมูล (Collusion) ดังนั้นในการที่จะรับข้อมูลจากแท็กส์หลาย ๆ อัน ทั้งแท็กส์และตัวเครื่องอ่านต้องได้รับการออกแบบให้รองรับสถานะที่มีแท็กส์มากกว่า 1 อันทำงาน (ส่งสัญญาณ) มิเช่นนั้นแล้ว จะทำให้ไม่มีข้อมูลใด ๆ ส่งถึงตัวเครื่องอ่านเลย การติดต่อระหว่างแท็กส์กับตัวเครื่องอ่านเปรียบเสมือน บัสแบบอนุกรม แต่บัสชนิดนี้จะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณ ในระบบบัสที่ใช้เคเบิลเป็นตัวกลางก็ต้องมีการควบคุมไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณ RFID ก็จำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันให้มีการส่งสัญญาณจากแท็กส์อันเดียวต่อช่วงเวลานั้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

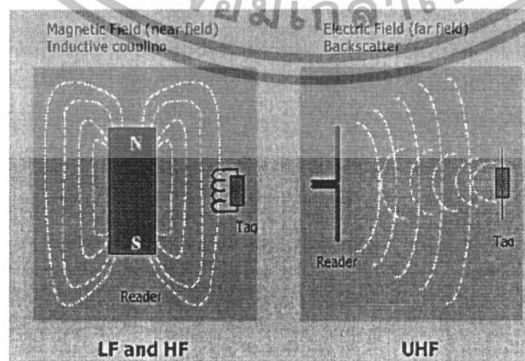
วิธีการแก้ไขโดยการทำการเพิ่มฟังก์ชันป้องกันการชนกันบนแท็กส์และเครื่องอ่าน (Anti-Collision) ซึ่งจะมีหลายเทคนิค เช่น จัดคิวการอ่านป้ายโดยทำเป็นช่วงเวลาสั้นๆ เมื่อป้ายโดนอ่านแล้วจะไม่มีมีการอ่านซ้ำอีก เช่น เทคนิค SDMA : Space Division Multiple Access TDMA , FDMA , CDMA หรือเทคนิคขั้นสูงจะใช้ การกระโดดความถี่เข้ามาช่วย

## 2.6 การสื่อสารแบบไร้สาย

การสื่อสารข้อมูลของระบบ RFID คือระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุโดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) กับ วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation Coupling)



รูปที่ 2.6 แสดงการสื่อสารระหว่างแท็กส์และตัวรับข้อมูล



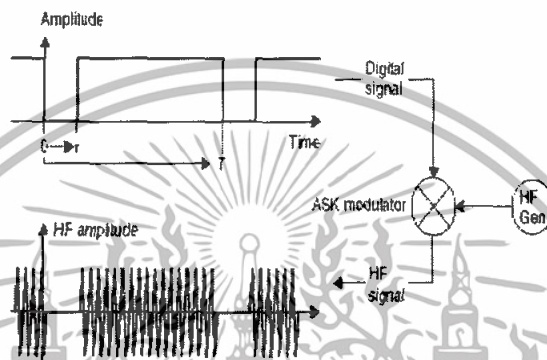
รูปที่ 2.6.1 แสดงการส่งพลังงานในแบบ Inductive Coupling (LF&HF)

และ Backscatter Coupling (UHF & Microwave )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

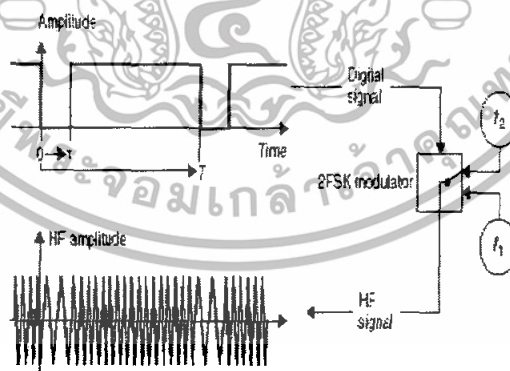
เทคนิคการมอดูเลตข้อมูลเข้ากับคลื่นพาหะก็มีด้วยกันหลายวิธี เช่น ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) หรือ PSK (Phase Shift Keying) ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบจะเลือกให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท

**การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (ASK)** ความถี่ของคลื่นพาหะ (Carrier Wave) ซึ่งทำหน้าที่นำสัญญาณอนาล็อกผ่านตัวกลางสื่อสารนั้นจะคงที่ ลักษณะของสัญญาณมอดูเลตเมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูลดิจิทัลมีค่าเป็น 1 ขนาดของคลื่นพาหะจะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ขนาดของคลื่นพาหะจะตกลงกว่าปกติ การมอดูเลต ASK มักจะไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะจะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย



รูปที่ 2.6.2 แสดงการมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (ASK)

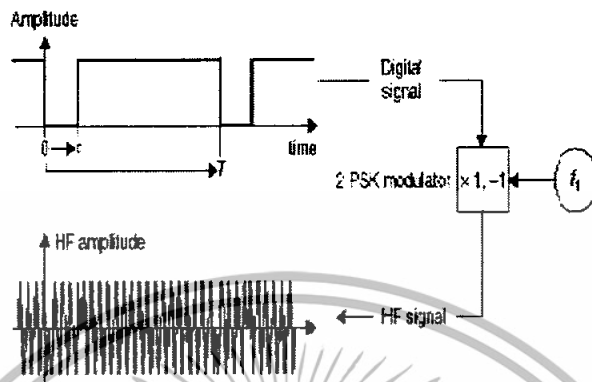
**การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK)** ในการมอดูเลตแบบFSK ขนาดของคลื่นพาหะจะไม่เปลี่ยนแปลงที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาหะนั้นคือ เมื่อบิตมีค่าเป็น1 ความถี่ของคลื่นพาหะจะสูงกว่าปกติและเมื่อบิตมีค่าเป็น0 ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะต่ำกว่าปกติ



รูปที่ 2.6.3 แสดงการมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK)

**การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK)** หลักการของPhase Keying (PSK) คือ ค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาหะจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ที่จะเปลี่ยนคือ เฟสของสัญญาณกล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะของบิตจาก 1 ไปเป็น 0 หรือเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน (Shift) ไป 180 องศาด้วย หลักการPSK สามารถทำได้ทั้งแบบ 2 เฟส (0, 180 และ 270 องศา) และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ 8 เฟส(0,45,90,135,180,225,270 และ 315 องศา) ในการมอดูเลตเพื่อเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกทั้ง 3 แบบ วิธีการแบบ PSK จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุดได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุดแต่วงจรการทำงานจะยุ่งยากกว่าและราคาสูงกว่า



รูปที่ 2.6.4 แสดงการมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK)

## 2.7 ลักษณะการทำงานรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ

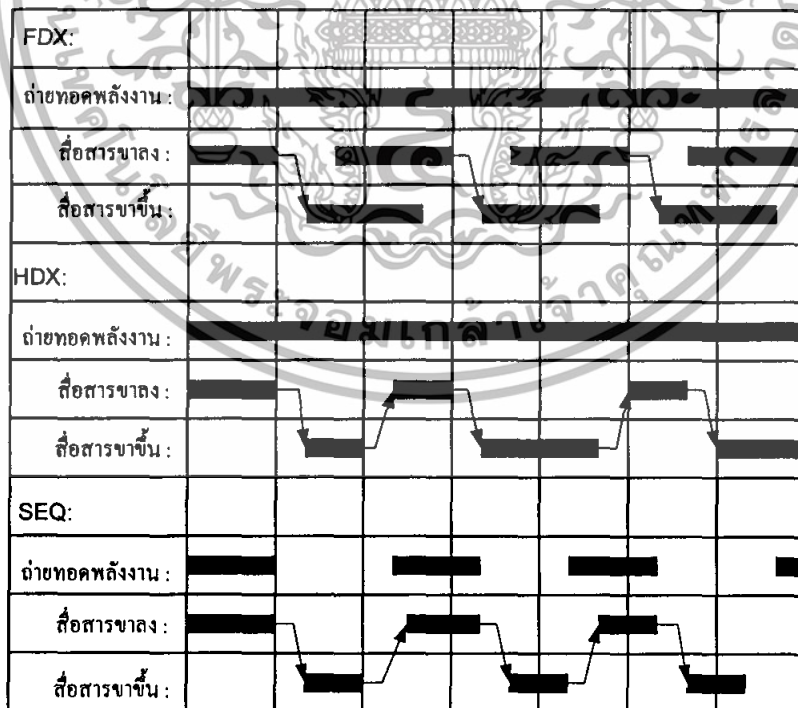
ถ้าแบ่งตามลักษณะการทำงานรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุได้อีก 2 ประเภท คือ มาตรฐาน RFID แบบที่ใช้การสื่อสารแบบ Full Duplex / Half Duplex และแบบ Sequential ซึ่งรูปแบบการสื่อสารทั้ง 3 ประเภทนี้มีความแตกต่างจากมาตรฐาน RFID ประเภท 1 บิต ที่ใช้เทคโนโลยีอื่นๆ ในการตรวจจับ โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องลูกข่าย เช่น การใช้วงจรออสซิลเลเตอร์กระตุ้น หรือการใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภท ไดโอด หรือวัสดุประเภทโลหะ ไร้สัญญาณซึ่งมีคุณสมบัติการตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กเฉพาะตัวแล้วตรวจจับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติโดยแทนเสมือนหนึ่งการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกของอุปกรณ์เครื่องลูกข่าย RFID จาก “0” เป็น “1” หรือในทางกลับกัน

สำหรับอุปกรณ์ RFID ประเภทที่จะกล่าวถึงในบทความตอนนี้มีรูปแบบโครงสร้างภายในของเครื่องลูกข่ายและรูปแบบการทำงานที่ซับซ้อนกว่ากรณีของระบบ RFID แบบ 1 บิต กล่าวคือมีการติดตั้งชิป(Chip) ซึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับบันทึกข้อมูลต่างๆ ไว้ภายในตัวเครื่องลูกข่ายซึ่งโดยทั่วไปขนาดความจุในการเก็บบันทึกข้อมูลของชิปเหล่านี้มีตั้งแต่หลักร้อยไบต์ไปจนถึงหลายๆ กิโลไบต์ ขึ้นอยู่กับความต้องการนำไปใช้งานเป็นสำคัญ นอกจากนี้รูปแบบในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายและเครื่องอ่านก็มีความแตกต่างกันออกไปตามกลวิธี ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานออกได้ตามรูปที่ 2.4 อันประกอบไปด้วยการสื่อสารแบบ Full Duplex ซึ่งเครื่องอ่านจะทำการส่งสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแปลงเป็นกำลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องลูกข่ายได้ตลอดเวลา

การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านไปยังเครื่องลูกข่าย (Downlink) และการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายกลับมายังเครื่องอ่าน (Uplink) สามารถกระทำขึ้นเมื่อใดก็ได้ ไม่จำเป็นต้องรอจังหวะในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งไปกลับแต่อย่างใด ต่างจากการสื่อสารแบบ Half Duplex ซึ่งแม้เครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้กับเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา แต่ก็ต้องมีการกำหนดจังหวะผลัดกันรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย สำหรับการสื่อสารแบบสุดท้ายคือ Sequential นั้น จะมีการจำกัดเวลาในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องอ่านไฟให้เครื่องลูกข่ายในลักษณะพัลส์ (Pulse) หรือก่อนพลังงานที่ส่งออกในแต่ละช่วงเวลาและใช้การปรากฏขึ้นของพลังงานไฟฟ้าหรือพัลส์เป็นสัญญาณกำหนดให้มีการส่งข้อมูล Downlink ส่วนช่วงที่ไม่มีพลังงานปรากฏอยู่จะเป็นการส่งสัญญาณ Uplink

สิ่งที่ยังคงความสับสนในแวดวงเทคโนโลยี RFID ปัจจุบันก็คือ ผู้ผลิตอุปกรณ์จำนวนมากยังไม่สามารถตกลงกันได้ในเรื่องของการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคของอุปกรณ์ RFID ที่มีการทำงานแบบ Half Duplex และ Sequential เนื่องจากหากไม่พิจารณาถึงความแตกต่างในเรื่องของการส่งพลังงานไฟฟ้าแล้ว รูปแบบการทำงานรับส่งข้อมูลของเทคโนโลยีทั้งสองแบบมีความเหมือนกันทุกประการ จนก่อให้เกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนในวงกว้างจนถึงขนาดที่ผู้ผลิตอุปกรณ์บางรายประกาศว่ามาตรฐานในการรับส่งข้อมูลมีอยู่เพียง 2 ประเภท คือ Full Duplex และ Half Duplex โดยเข้าใจว่ามาตรฐานแบบใดที่ใช้การส่งพลังงานแบบพัลส์นั้นก็คือระบบแบบ Half Duplex ส่วนมาตรฐานแบบใดที่มีการส่งพลังงานอยู่ตลอดเวลาเป็นมาตรฐานแบบ Full Duplex ซึ่งเป็นสิ่งที่คลาดเคลื่อนจากมาตรฐานทางเทคนิค และผู้เขียนขอทำความเข้าใจที่ถูกต้องโดยยึดหลักในการรับส่งข้อมูลประกอบกับแนวทางในการส่งพลังงานดังได้กล่าวถึงข้างต้นเป็นสำคัญ



รูปที่ 2.7 ความแตกต่างของการสื่อสารแบบ Full Duplex, Half Duplex และ Sequential

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID

1. ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีแท็กส์เข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามี การมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่

2. เมื่อมีแท็กส์เข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กเริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็กส์

3. คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็กส์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด, ความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต

4. ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

## 2.9 ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลในระบบ RFID ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator Power) กำลังส่งของแท็กส์ (Tag Power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะเวลาการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างแท็กส์และตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญ ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทาง โดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆ รอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่มีความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบ RFID ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบต่อระยะเวลาการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของแท็กส์ที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา

ถึงแม้ในทางเทคนิคเราจะสามารถทำให้ตัวอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากแค่ไหนก็ได้ แต่โดยทั่วไปก็จะถูกจำกัดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่ ดังนั้นในระบบ RFID โดยทั่วไปจะมีกำลังส่งเพียงระหว่าง 100 - 500 mW

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

### 2.10 การส่งข้อมูลจากแท็กส์มายังเครื่องอ่าน

มาตรฐาน RFID แบบ Inductive Coupling กำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลจากแท็กส์มายังเครื่องอ่าน หรือ Uplink Communication โดยใช้เทคโนโลยีตัวเลือกที่เป็นการส่งกระจายคลื่นความถี่วิทยุออกเป็น 3 ประเภท คือ Load Modulation, Load Modulation with subcarrier และ Subharmonic procedure

#### - เทคโนโลยี Load Modulation

พฤติกรรมในการส่งพลังงานและสัญญาณระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและขดลวดของแท็กส์มีแบบจำลองที่ไม่ต่างจากการทำงานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแต่อย่างใด หากแต่เพียงตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายทอดพลังงานเป็นอากาศมิใช่โลหะหรือแท่งแม่เหล็กดังเช่นที่พบเห็นในหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป อย่างไรก็ตามการใช้อากาศเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างขดลวดทั้งสองนั้น จะทำได้ก็ต่อเมื่อระยะห่างระหว่างขดลวดของเครื่องอ่านและแท็กส์ห่างกันไม่เกิน 0.16 เท่าของค่าความยาวคลื่น (0.16) ซึ่งหากคิดกรณีที่ใช้ความถี่ในย่าน 125 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่มีความยาวคลื่น 2,400 เมตร ก็จะหมายความว่า จะวางแท็กส์กับเครื่องอ่านห่างกันได้ในระยะทางไม่เกิน  $0.16 * 2,400 = 384$  เมตร

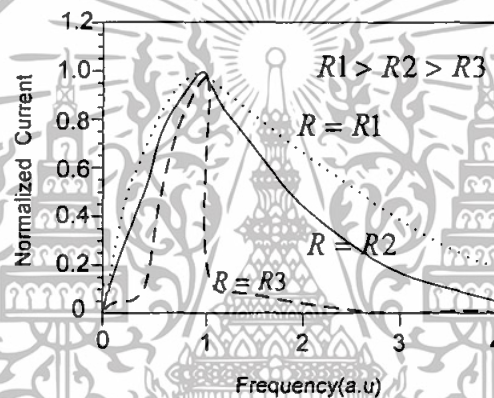
หากมีการนำแท็กส์ซึ่งมีคุณสมบัติของขดลวดและตัวเก็บประจุ(LC) ตรงกันกับค่าความถี่กำหนดของเครื่องอ่านมาใช้ในพื้นที่ตรวจสอบที่มีการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน แท็กส์จะดึงพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำเพื่อสร้างแรงดันไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายใน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของวงจรไฟฟ้าแล้ว เครื่องอ่านจะมองเห็นแท็กส์เป็นโหลดวงจรตัวหนึ่งที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ ZT ต่อพ่วงอยู่กับขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน การเปลี่ยนแปลงใดๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งหรือหยุดส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ ZT ที่เครื่องอ่านมองเห็นอย่างแน่นอน เนื่องจากวงจร Resonant เกิดจากขดลวด(L)และตัวเก็บประจุ (C) บนเครื่องแท็กส์ย่อมมีค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ที่ตกกระทบ และไม่มีมีการจ่ายพลังงานก็เทียบเท่ากับความถี่เท่ากับศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์เสมือน ZT นี้ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดสายอากาศของเครื่องอ่าน ซึ่งนี่เองที่เป็นสัญญาณแจ้งให้เครื่องอ่านทราบว่ากำลังจะมีการส่งข้อมูลจากเครื่องลูกข่ายมา เรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Load Modulation ส่วนจะประยุกต์ใช้งานส่งข้อมูลแบบ Half Duplex หรือ Full Duplex นั้นก็สุดแท้แต่การออกแบบวงจรตรวจจับและถอดรหัสสัญญาณซึ่งเป็นเรื่องที่ลงรายละเอียดไปในการออกแบบ

**82183**

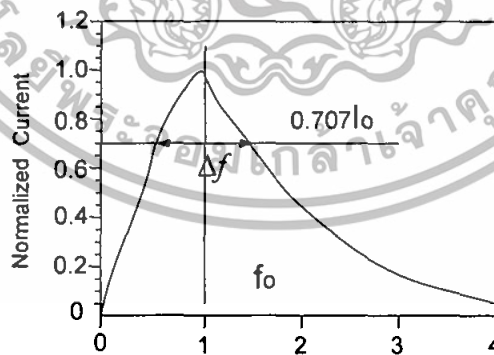
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11 คุณลักษณะของการกำทอน และค่าคุณภาพของการกำทอน(Quality Factor,Q)

เมื่อพิจารณาคุณลักษณะของการกำทอนของวงจร R-L-C แล้วจะเห็นว่าเป็นการเปลี่ยนแปลง(ดูด/คาย) พลังงาน โดยฉับพลัน ซึ่งปัจจัยหลักของการดูด/คาย นี้ก็คือความสามารถในการเก็บพลังงาน(ของ L,C) และความสามารถในการใช้พลังงาน (ของ R) ถ้านำวงจร R-L-C แบบอนุกรมมาหาการตอบสนองความถี่ของกระแสที่ไหลในวงจรที่มีค่า L,C คงที่ และเปลี่ยนค่า R แล้วจะได้รับความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.5(ก) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในวงจรที่มีค่า R สูง ในทางทฤษฎีได้กำหนดคุณภาพของการกำทอนเป็นค่า Factor ที่เรียกว่า Quality Factor หรือ Q Factor ด้วยคำจำกัดคืออัตราส่วนระหว่างพลังงานที่สูญเสียต่อพลังงานที่เก็บได้ หรือ อัตราส่วนระหว่างช่วงความถี่ที่พลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง ( $\Delta f$ ) ต่อความถี่กำทอน ( $f_0$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2.5(ข) จากนิยามดังกล่าวสามารถหา Q Factor ตามสมการข้างล่างนี้



แสดง Normalized Current ที่ค่าต่างๆ



แสดงคุณลักษณะที่ใช้ในการหาคุณภาพของการกำทอน

รูปที่ 2.11.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและคุณภาพ

การกำทอนของวงจรอนุกรม R-L-C

จาก  $Q =$  พลังงานที่เก็บได้ต่อพลังงานที่สูญเสีย

$$Q = \frac{|V_L|}{|V_R|} = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \frac{L}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.11-1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{f_0}{\Delta f} \quad (2.11-2)$$

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

ที่กล่าวมานี้ทั้งหมดจะเป็นการวิเคราะห์หาค่าคงที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะการก้ำทอนของวงจร R-L-C ที่ต่อแบบขนานจะมีขั้นตอนในการวิเคราะห์คล้ายกับการวิเคราะห์ที่กล่าวมาโดยใช้คุณสมบัติ Duality ของ วงจรไฟฟ้านั้นคือ

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

กล่าวโดยย่อได้คือในกรณีวงจร R-L-C แบบขนานนั้นเราใช้แหล่งจ่ายกระแสโดยมีตัวความต้านทาน ขนานกับ L และ C ที่ Resonance frequency จะทำให้ค่า Admittance ของวงจรต่ำสุดเท่ากับ  $1/R$  และมีผลทำให้ค่าศักดาที่คร่อม L และ C มีค่าสูงสุด และคุณภาพของการตอบสนองหรือค่า Q Factor สามารถดูได้จากการตอบสนองทางความถี่ของค่าศักดาที่คร่อม L และ C นั้นเอง คุณสมบัติต่างๆ ของการก้ำทอนของวงจร R-L-C สามารถนำมาเขียนสรุปได้ตามตารางที่ 2.11.1

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

ตารางที่ 2.11.1 ค่าแสดงคุณลักษณะของการก้ำทอนของวงจร R-L-C

## 2.12 วงจรเรโซแนนซ์

วงจรเรโซแนนซ์(resonance) เป็นวงจรที่ต่อร่วมกันระหว่างตัวเก็บประจุ (C) กับขดลวดเหนี่ยวนำ (L) บางคนอาจเรียกวจรแบบนี้ด้วยชื่ออื่น เช่น วงจรจูน (tune) วงจรแท็งก์ (tank) เป็นต้น วงจรเรโซแนนซ์ถูกนำมาใช้ในเครื่องรับและเครื่องส่งวิทยุทั่วไป ด้วยวัตถุประสงค์ให้วงจรเรโซแนนซ์เป็นตัวเลือกความถี่ และให้เป็นตัวกำหนดความถี่ที่กำเนิดขึ้น ให้เป็นตัวกันความถี่หรือให้เป็นทางผ่านของความถี่แล้วแต่กรณี วงจรเรโซแนนซ์แบบใช้ขดลวดร่วมกับตัวเก็บประจุ

มีอยู่ 2 แบบคือ วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม(series resonance) และวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน(parallel resonance) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



(ก) วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

(ข) วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

รูปที่ 2.12 วงจรเรโซแนนซ์ที่ใช้ LC

ธรรมชาติของวงจรเรโซแนนซ์จะยอมให้ความถี่ค่าหนึ่งผ่านได้ดี เรียกว่า ความถี่เรโซแนนซ์ เมื่อป้อนความถี่เรโซแนนซ์แก่วงจรเรโซแนนซ์อนุกรม กระแสจะผ่านได้มากที่สุด โดยมีแรงดันตกคร่อมวงจรต่ำที่สุด ถ้าป้อนความถี่เรโซแนนซ์แก่วงจรเรโซแนนซ์ขนาน กระแสจะผ่านได้น้อยที่สุด โดยมีแรงดันตกคร่อมวงจรสูงที่สุด โดยปกติวงจรเรโซแนนซ์จะต้องมีแบนด์วิดท์ที่ยอมให้ความถี่ข้างเคียงกับความถี่เรโซแนนซ์ทั้งด้านสูงและด้านต่ำผ่านไปได้ช่วงหนึ่ง ความถี่เรโซแนนซ์จึงหมายถึงความถี่ที่ผ่านวงจรตลอดแบนด์วิดท์ ซึ่งอาจจะกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์นั้นๆ

### 2.12.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม(Series Resonance)



รูปที่ 2.12.1 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

จากวงจรในรูปที่ 2.12.1 ได้

$$\frac{V_o(s)}{V_s(s)} = H(s) = \frac{R_L}{R_s + sL + \frac{1}{sC} + R_L} \quad (2.12-1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$\frac{V_o(s)}{V_s(s)} = \frac{\frac{R_L}{R_s + R_L} s \left( \frac{R_s + R_L}{L} \right)}{s^2 + s \left( \frac{R_s + R_L}{L} \right) + \frac{1}{LC}} \quad (2.12-2)$$

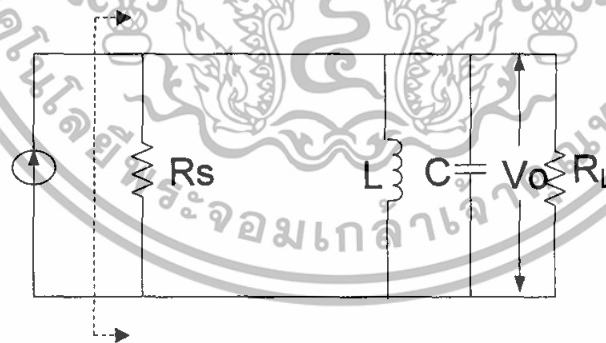
จะได้ Passband gain :  $K = \frac{R_L}{R_s + R_L}$

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

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

$$\text{และ } Q_p = \frac{\sqrt{b}}{a} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \times \frac{L}{R_s + R_L} = \frac{1}{R_s + R_L} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.12-3)$$

### 2.12.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์ (Parallel Resonance or Tank circuit)



รูปที่ 2.12.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน หรือ วงจรแทงค์

จากวงจรในรูปที่ 2.11.2  $R_s$  จะขนานอยู่กับ  $R_L$  ดังนั้น

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

อิมพีแดนซ์ของวงจรแทงค์ :  $Z_{tank}$  จะมีค่าเป็น

$$(Z_{tank})^{-1} = \frac{1}{R_T} + \frac{1}{SL} + SC$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{sL + R_L + s^2 LR_T C}{sLR_T} \quad (2.12-4)$$

จะได้

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

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

$$= \frac{R_T \cdot s \left[ \frac{1}{R_T C} \right]}{s^2 + s \left( \frac{1}{R_T C} \right) + \frac{1}{LC}} \quad (2.12-4)$$

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

$$\omega |_{Z_{\text{tankMAX}}} = \omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

และค่าของอิมพีแดนซ์ที่ความถี่  $1/\sqrt{b} = 1/\sqrt{LC}$  จะมีค่าเท่ากับ  $K : K = R_T$

$$\text{หรือ } Z_{\text{MAX}} = R_T$$

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

หมายเหตุ รูปทั่วไปของฟังก์ชัน Band pass filter ที่มีอัตราขยาย  $K$  เท่า จะเป็น

$$Gain_{\text{BPF}} = \frac{Kas}{s^2 + as + b} = \frac{K \frac{\omega_p}{Q_p} s}{s^2 + \frac{\omega_p}{Q_p} s + \omega_p^2} \quad (2.12-5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$K = \text{Passband gain}$

$\omega_p = \text{ความถี่ศูนย์กลางของ BPF}$

## 2.13 ทฤษฎีพื้นฐานของการออกแบบ antenna

### 2.13.1 กระแสและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จากกฎของแอมแปร์เมื่อกระแสจะไหลในตัวนำจะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบๆตัวนำ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะผลิตจากกระแสในตัวอุปกรณ์ ดังในรูปที่ 2.9 พิจารณานบนตัวนำวงกลมที่มีความยาวจำกัด

$$\beta_o = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad (\text{Weber/m}^2) \quad (2.13-1)$$

โดยที่

$I = \text{กระแส}$

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

$r = \text{ระยะทางจากศูนย์กลางของลวดตัวนำ}$

ถ้ากรณีที่ลวดตัวนำมีความยาวเป็นค่านันต์จะต้องแทน

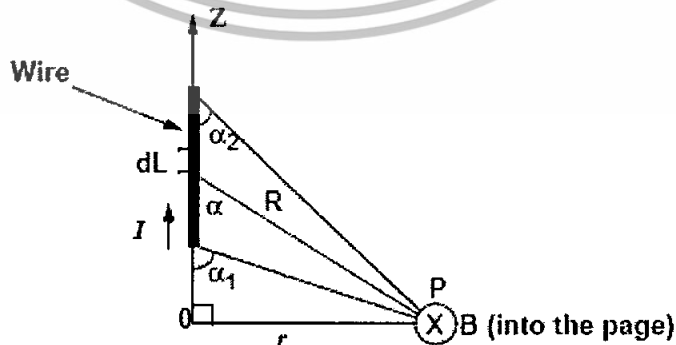
$$\alpha_1 = -180^\circ$$

$$\alpha_2 = 0^\circ$$

ฉะนั้นจากสมการที่ 2.3

สามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ 2.4

$$\beta_o = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (\text{Weber/m}^2) \quad (2.13-2)$$



รูปที่ 2.13.1 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กถูกสร้างขึ้นจากลูปเสอากาศ จะเป็นไปตามสมการที่ 2.5

$$V_o = 2\pi NSQB_0 \cos \alpha$$

$$B_z = \frac{\mu_0 INa^2}{2r^3} \quad \text{for } r^2 \gg a^2 \quad (2.13-3)$$

โดยที่

I = กระแส

a = รัศมีของลูป

r = ระยะทางจากศูนย์กลางของลูป

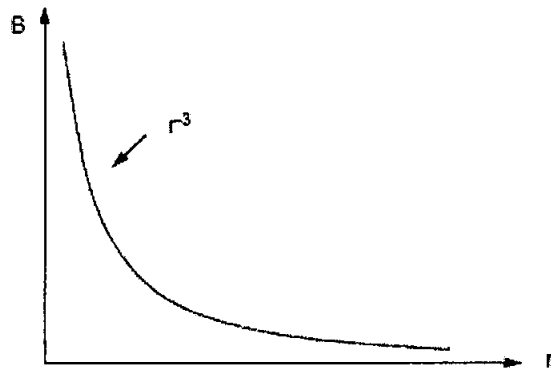
สมการที่ 2.13-3 ต้องการชี้ว่าความแรงของสนามแม่เหล็กลดลงด้วย  $1/r^3$  ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.11 สนามแม่เหล็กจะมี Amplitude มากที่สุดในระนาบของและขึ้นอยู่กับทั้งกระแสและจำนวนรอบ

นอกจากนั้นสมการที่ 2.13-3 ถูกใช้ในการหาค่ากระแสต่อรอบที่ต้องการสำหรับระยะการอ่าน



รูปที่ 2.13.2 การคำนวณสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P เนื่องจากกระแสที่ไหลในลวดเป็นลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับระยะทาง  $r$

### 2.13.2 แรงดันที่เหนี่ยวนำได้จากขดลวดสายอากาศ

จากกฎของฟาราเดย์กล่าวว่า สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ทะลุผ่านพื้นผิวที่ถูกครอบคลุมโดยเส้นทางเดินปิดจะเหนี่ยวนำให้เกิดรอบๆลูป

รูปที่ 2.12.4 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของการประยุกต์ใช้ RFID จากกฎของฟาราเดย์ เมื่อสายอากาศของแท็กส์และตัวอ่านอยู่ในบริเวณปิด สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาถูกสร้างขึ้นโดย สายอากาศของตัวอ่านเหนี่ยวนำแรงดัน (เรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือ EMF อย่างง่าย) ไปยังสายอากาศของแท็กส์ แรงดันเหนี่ยวนำที่ถูกเหนี่ยวนำในสายอากาศของตัวอ่านเป็นสาเหตุให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำในแท็กส์

แรงดันเหนี่ยวนำบนสายอากาศของแท็กส์ จะเท่ากับการชาร์ทของเส้นแรงแม่เหล็กสมการที่ 2.6

$$V = -N \frac{d\psi}{dt} \quad (2.13-4)$$

โดยที่

$N$  = จำนวนรอบของสายอากาศ

$\psi$  = เส้นแรงแม่เหล็กที่ทะลุผ่านในแต่ละรอบ

เครื่องหมายลบแสดงทิศทาง การเหนี่ยวนำซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น จากกฎของเลนส์ (Lenz's Law) เป็นการย้ำว่าทิศทาง การไหลของกระแสในวงจรมีทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กที่ผลิตขึ้นจากการเหนี่ยวนำของกระแสแต่จะตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กที่จุดกำเนิด

เส้นแรงแม่เหล็กในสมการที่ 2.13-4 คือ ผลรวมของสนามแม่เหล็ก ( $B_{total}$ ) ซึ่งทะลุผ่านเข้าไปยังพื้นผิวของสายอากาศ

$$\psi = \int B \cdot dS \quad (2.13-5)$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B = สนามแม่เหล็กจากสมการที่ 2.4

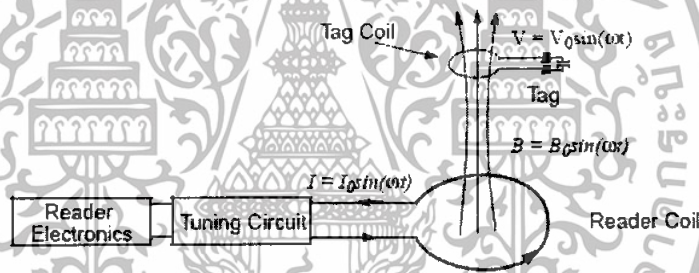
S = พื้นที่ผิวของขดลวด

$\mu$  = ผลคูณภายใน (มุม  $\cos$  ระหว่าง เวกเตอร์สองเวกเตอร์)

ซึ่งทั้ง B และ S เป็นปริมาณเวกเตอร์

ผลคูณภายในของสองเวกเตอร์ในสมการที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่า เส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดที่ทะลุผ่าน ขดลวดสายอากาศ เกิดจากการหาตำแหน่งมุมของขดลวดสายอากาศ ผลคูณภายในของสองเวกเตอร์จะมีค่าน้อยสุดเมื่อมุม  $\cos$  ระหว่างสองเวกเตอร์เท่ากับ 90 องศา หรือสองเวกเตอร์ตั้งฉากซึ่งกันและกัน และจะมากที่สุดเมื่อ มุม  $\cos$  คือ 0 องศา

ขดลวดของแท็กส์ได้รับขนาดเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดที่ทะลุผ่านเมื่อขดลวดของตัวอ่านและแท็กส์อยู่ในตำแหน่งที่ขนานกัน ซึ่งก็หมายถึงจะมีแรงดันเหนี่ยวนำมากที่สุดเกิดขึ้นที่ขดลวดของแท็กส์และจะได้ระยะอ่านมากที่สุดด้วย ผลคูณภายในที่แสดงดังสมการที่ 2.7 สามารถอธิบายในพจน์ของ mutual coupling ระหว่าง ขดลวดของตัวอ่านและแท็กส์ mutual coupling ระหว่างขดลวดทั้งสองจะสูงสุดในสภาวะที่กล่าวมาแล้วเบื้องต้น



รูปที่ 2.13.4 โครงสร้างพื้นฐานของตัวอ่านและแท็กส์ในการประยุกต์ใช้ RFID นำสมการที่ 2.13-4 และ 2.13-5 มาแทนลงในสมการที่ 2.13-6 จะได้

$$\begin{aligned}
 V &= -N_2 \frac{d\psi_{21}}{dt} = -N_2 \frac{d}{dt} \left( \int B \cdot dS \right) \\
 &= -N_2 \frac{d}{dt} \left[ \int \frac{\mu_0 i_1 N_1 a^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} dS \right] \\
 &= - \left[ \frac{\mu_0 N_1 N_2 a^2 (\pi b^2)}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \right] \frac{di_1}{dt} \\
 &= -M \frac{di_1}{dt} \\
 M &= \left[ \frac{\mu_0 \pi N_1 N_2 (ab)^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \right]
 \end{aligned} \tag{2.13-6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$V$  = แรงดันในขดลวดแท็กส์

$i_1$  = กระแสที่ไหลในขดลวดตัวอ่าน

$a$  = รัศมีของขดลวดตัวอ่าน

$b$  = รัศมีของขดลวดแท็กส์

$r$  = ระยะทางระหว่างขดลวดทั้งสอง

$M$  = mutual inductance ระหว่างขดลวดแท็กส์และขดลวดตัวอ่าน

โดยที่ค่า  $M$  เป็นไปตามสมการที่ (2.13-6)

$$M = \left[ \frac{\mu_0 \pi N_1 N_2 (ab)^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} \right] \quad (2.13-7)$$

เส้นแรงแม่เหล็กเกิดจากมีกระแสในขดลวดปฐมภูมิ ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กเป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิ

ในสมการที่ 2.13-7 แรงดันขดลวดของแท็กส์จะขึ้นอยู่กับ mutual inductance ระหว่างขดลวดทั้งสอง mutual inductance ขึ้นอยู่กับรูปร่างของขดลวดและระยะห่างระหว่างขดลวดทั้งสอง แรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดของแท็กส์ลดลงด้วยอัตรา  $r^{-3}$  ดังนั้น ระยะการอ่านจะลดลงในทางเดียวกัน

จากสมการที่ 2.13-6 และ 2.13-7 สมการรูปทั่วไปสำหรับแรงดันเหนี่ยวนำ  $V_0$  ในขดลวดรูป คือ

$$V_0 = 2\pi f N S Q B_0 \cos \alpha \quad (2.13-8)$$

โดยที่

$f$  = ความถี่ของสัญญาณที่เข้ามา

$N$  = จำนวนรอบของขดลวดในรูป

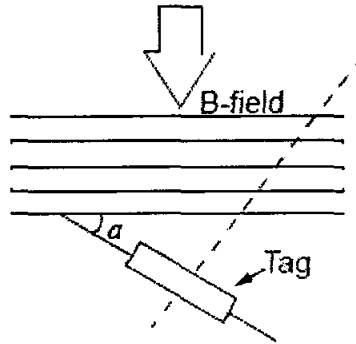
$S$  = พื้นที่ของรูป มีหน่วยเป็น  $m^2$

$Q$  = quality factor ของวงจร

$B_0$  = ความเข้มของสัญญาณที่เข้ามา

$\alpha$  = มุมของสัญญาณที่เข้ามา

สมการที่ 8 quality factor (Q) คือ มาตรการในการเลือกความถี่ที่สนใจ



รูปที่ 2.13.5 ตำแหน่งของสายอากาศของแท็กส์

แรงดันเหนี่ยวนำที่ทะลุขดลวดของสายอากาศในทิศทางมุมของสัญญาณที่เข้ามา แรงดันเหนี่ยวนำจะมากที่สุดเมื่อขดลวดตัวอ่านอยู่ในตำแหน่งที่ขนานกับสัญญาณที่เข้ามา นั่นก็คือ  $a = 0$

### 2.13.3 ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำและชนิดของลวด

American Wire Gauge (AWG) เป็นเลขที่แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดตัวนำ เลขนี้เป็นสัดส่วนตรงกันข้ามกับเส้นผ่านศูนย์กลาง ยิ่งลวดมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กก็就会有ความต้านทานกระแสตรงสูง ความต้านทานกระแสตรงสำหรับตัวนำจะมีรูปแบบที่สัมพันธ์กับพื้นที่ตัดขวาง ดังสมการที่ 2.9

$$R_{DC} = \frac{l}{\sigma S} = \frac{l}{\sigma \pi a^2} \quad (2.13-9)$$

โดยที่

$l$  = ความยาวทั้งหมดของลวด

$\sigma$  = ความนำไฟฟ้าของลวด

$S$  = พื้นที่ตัดขวาง

$a$  = รัศมีของลวด

ค่าความต้านทานค่าน้อยๆ อาจเป็นไปได้สำหรับค่า  $Q$  ที่สูงๆ ของวงจรสายอากาศ นั่นหมายถึง ขดลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางจะต้องถูกเลือกให้เป็นไปได้กับวงจร RFID ตามตารางที่ 2.13.4 แสดงถึง เส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับลวดที่มีสิ่งห่อหุ้มและเปลือย รวมถึงแสดงถึงความต้านทานกระแสตรง

### 2.13.4 ความต้านทานกระแสสลับของตัวนำ

สำหรับกระแสตรง พาหะตัวนำจะกระจายอยู่รอบๆ ส่วนต่างๆ ของลวด ถ้าความถี่เพิ่มขึ้นที่ศูนย์กลางของตัวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นความต้านทานของขดลวดที่มีต่อกรนำไฟฟ้าสลับที่ใกล้ๆ จุดศูนย์กลางของลวดจะเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้ ในบริเวณที่มีความหนาแน่นของกระแสความต้านทานจะสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 2.13-10

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (2.13-10)$$

โดยที่

$f$  = ความถี่

$\mu$  = ค่าความซึมซับ

$\mu_0$  = ค่าความซึมซับของอากาศ

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

= 4000 สำหรับ เหล็กบริสุทธิ์

$\sigma$  = 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 125 kHz จะได้

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi(125 \times 10^3)(4\pi \times 10^{-7})(5.8 \times 10^7)}} = 0.187 \text{ mm}$$

63 % ของการไหลกระแส RF ในทองแดงจะไหลอยู่ที่ระยะที่ห่างจากขอบนอกสุด 0.187 mm สำหรับความถี่ 125 kHz

ความต้านทานลวดเพิ่มขึ้นตามความถี่ และ ความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับ skin depth ถูกเรียกว่า ความต้านทานกระแสสลับ สูตรโดยประมาณของความต้านทานกระแสสลับ เป็นไปตามสมการที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{ac} = \frac{1}{\sigma A_{active}} \approx \frac{1}{2\pi a \delta \sigma} \quad (\Omega) \quad (2.13-11)$$

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

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

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	3260
16	50.8	52.9	4.02	2580
17	45.3	47.2	5.05	2060
18	40.3	42.4	6.39	1620
19	35.9	37.9	8.05	1290
20	32.0	34.0	10.1	1020
21	28.5	30.2	12.8	812
22	25.3	28.0	16.2	640
23	22.6	24.2	20.3	511
24	20.1	21.6	25.7	404
25	17.9	19.3	32.4	320

Note: 1 mil =  $2.54 \times 10^{-3}$  cm

Wire Size (AWG)	Dia. in Mils (bare)	Dia. in Mils (coated)	Ohms/1000 ft.	Cross Section (mils)
26	15.9	17.2	41.0	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 =  $2.54 \times 10^{-3}$  cm

ตารางที่ 2.13.4 AWG WIRE CHART

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.13.5 ความต้านทานของตัวนำด้วยการประมาณที่ความถี่ต่ำ

เมื่อ skin depth ส่วนใหญ่จะเปรียบเทียบกับรัศมีของตัวนำ ความต้านทานสามารถได้รับการประมาณด้วยความถี่ต่ำได้

$$R_{low\ freq} \approx \frac{1}{\sigma \pi a^2} \left[ 1 + \frac{1}{48} \left( \frac{a}{\delta} \right)^2 \right] \quad (2.13-12)$$

พจน์แรกของสมการที่ 2.12 คือ ความต้านทานกระแสตรง ส่วนพจน์ที่สองคือความต้านทานกระแสสลับ

### 2.13.6 ตัวเหนี่ยวนำที่ประกอบด้วยขดลวดสี่เหลี่ยมหลายชั้น

ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดสี่เหลี่ยมหลายชั้นคำนวณจากสมการที่ 2.13

$$L = \frac{0.0276(CN)^2}{1.908C + 9b + 10h} \quad \mu H \quad (2.13-13)$$

โดยที่

$N$  = จำนวนรอบ

$C = x + y + 2h$

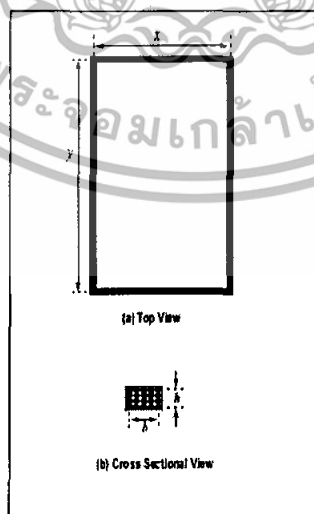
$X$  = ความกว้างของขดลวด

$Y$  = ความยาวของขดลวด

$b$  = ความกว้างของภาคตัดขวาง

$h$  = ความสูงของภาคตัดขวาง

หมายเหตุ อยู่ในหน่วย เซนติเมตร



รูปที่ 2.13.6 ขดลวดรูปสี่เหลี่ยมหลายชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.14 ค่าเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance)

ค่าความเหนี่ยวนำร่วม คือ ความสามารถของขดลวดหนึ่งที่เหนี่ยวนำแรงดันให้เกิดขึ้นที่ขดลวดข้างเคียง โดยมีหน่วยเป็นเฮนรี (H)

วงจรทางไฟฟ้าสามารถแบ่งการเชื่อมโยงได้ 2 แบบคือ

- การเชื่อมโยงทางตัวนำ (Conductively Coupled) หมายถึง ลูปหนึ่งในวงจรไปมีผลต่ออีกลูปหนึ่งในวงจรผ่านกระแส

- การเชื่อมโยงทางสนามแม่เหล็ก (Magnetically Coupled) หมายถึง ลูปหนึ่งในวงจรไปมีผลต่ออีกลูปหนึ่งในวงจรที่ไม่ได้เชื่อมต่อกันผ่านทางสนามแม่เหล็กหม้อแปลง (Transformer) เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งที่ใช้หลักการการเชื่อมต่อทางสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะถูกมองในรูปพลังงานที่ถ่ายเทจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่ง



รูปที่ 2.14 ฟลักซ์สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 2.14 ขดลวดพัน  $N$  รอบจะมี กระแสไหล,  $i(t)$  ผ่านทำให้เกิดฟลักซ์สนามแม่เหล็ก  $\phi$  ที่เกิดขึ้น

รอบๆขดลวด จากกฎของฟาราเดย์กล่าวไว้ว่า

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

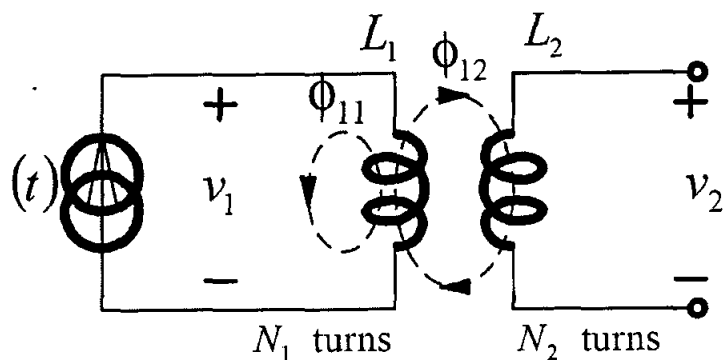
ฟลักซ์,  $\phi$  ก็เกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสต่อเวลาดังนั้น

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

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

โดยที่  $L$  จะถูกเรียกว่า Self-Inductance เนื่องจาก ผลของแรงดันที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงกระแสต่อเวลาในขดลวดเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14.1 ขดลวดที่ค่า Self-Inductance เท่ากับ  $L_1$  และ  $L_2$

ขดลวด 2 ขดที่ค่า Self-Inductance เท่ากับ  $L_1$  และ  $L_2$  มาวางใกล้กันดังรูปที่ 2.16 ขดลวด  $L_1$  และ  $L_2$  พัน  $N_1$  และ  $N_2$  รอบตามลำดับ เนื่องจากขดลวด  $L_2$  ไม่มีกระแสไหล ฟลักซ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขดลวดที่ 1 คือ  $\phi_1 = \phi_{11} + \phi_{12}$

$$\text{แรงดันที่เกิดขึ้นที่ขดลวดที่ 1: } v_1 = N_1 \frac{d\phi_1}{dt} = N_1 \frac{d\phi_1}{di_1} \frac{di_1}{dt} = L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (2.14-1)$$

$$\text{แรงดันที่เกิดขึ้นที่ขดลวดที่ 2: } v_2 = N_2 \frac{d\phi_{12}}{dt} = N_2 \frac{d\phi_{12}}{di_1} \frac{di_1}{dt} = M_{21} \frac{di_1}{dt} \quad (2.14-2)$$

โดยที่  $M_{21}$ : mutual-Inductance ของขดลวดในทางตรงกันข้าม ถ้าให้ขดลวด  $L_1$  ไม่มีกระแสไหลทำนองเดียวกัน ฟลักซ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขดลวดที่ 2 คือ:  $\phi_2 = \phi_{21} + \phi_{22}$

$$\text{แรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดที่ 2: } v_2 = N_2 \frac{d\phi_2}{dt} = N_2 \frac{d\phi_2}{di_2} \frac{di_2}{dt} = L_2 \frac{di_2}{dt} \quad (2.14-3)$$

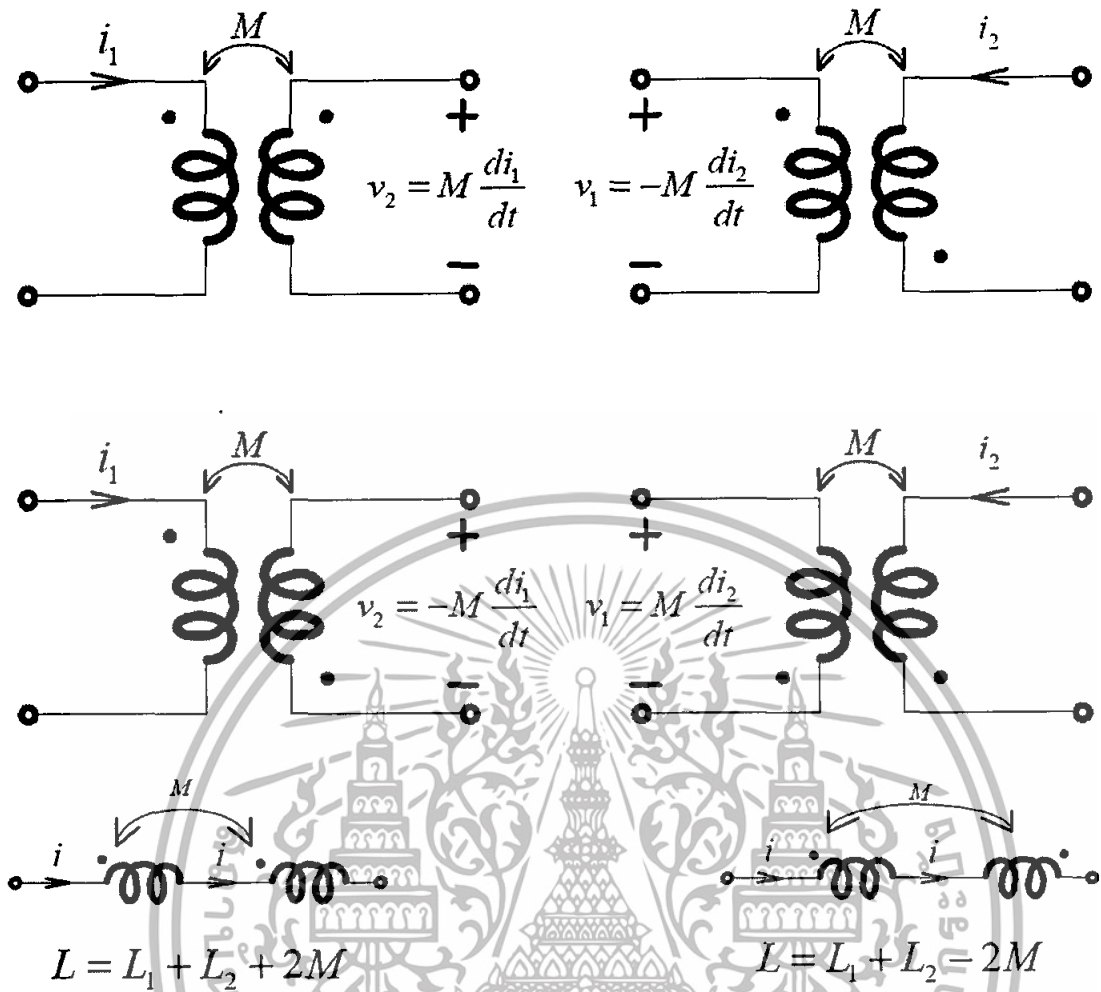
$$\text{ซึ่งทำให้ } v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt}$$

$$\text{แรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวดที่ 1: } v_1 = N_1 \frac{d\phi_{21}}{dt} = N_1 \frac{d\phi_{21}}{di_2} \frac{di_2}{dt} = M_{12} \frac{di_2}{dt} \quad (2.14-4)$$

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

ความยุ่งยากในการกำหนดแรงดัน ความเหนี่ยวนำร่วม สามารถพิจารณาได้โดยใช้ Dot Convention ดังนี้

- ถ้ากระแสไหลเข้าจุดของขดลวดอันแรก แรงดันเหนี่ยวนำร่วมของขดลวดที่สองที่ขั้วของจุดจะเป็นบวก
- ถ้ากระแสไหลออกจากจุดของขดลวดอันแรก แรงดันเหนี่ยวนำร่วมของขดลวดที่สองที่ขั้วของจุดจะเป็นลบ



รูปที่ 2.14.2 ทิศทางของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นในขดลวด

2.15 พลังงานในวงจรที่เชื่อมโยงกัน (Energy in a Coupled Circuit)

พลังงานสะสมในตัวเหนี่ยวนำ  $(w = \frac{1}{2} Li^2)$  (2.15-1)

พลังงานสะสมในขดลวดเหนี่ยวนำ  $(w = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 \pm M i_1 i_2)$  (2.15-2)

พลังงานที่เกิดขึ้นจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0 ดังนั้น  $\frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + M i_1 i_2 > 0$  (2.15-3)

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

อัตราส่วนของค่าความเหนี่ยวนำร่วม ต่อค่าเฉลี่ยของค่าความเหนี่ยวนำส่วนตัวคือค่าสัมประสิทธิ์การคัปปลิง(Coefficient of coupling),k

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}; 0 < k < 1$$
(2.15-3)

สำหรับ  $k < 0.5$  จะเรียกว่า Loosely Coupled

สำหรับ  $k > 0.5$  จะเรียกว่า Tightly Coupled

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

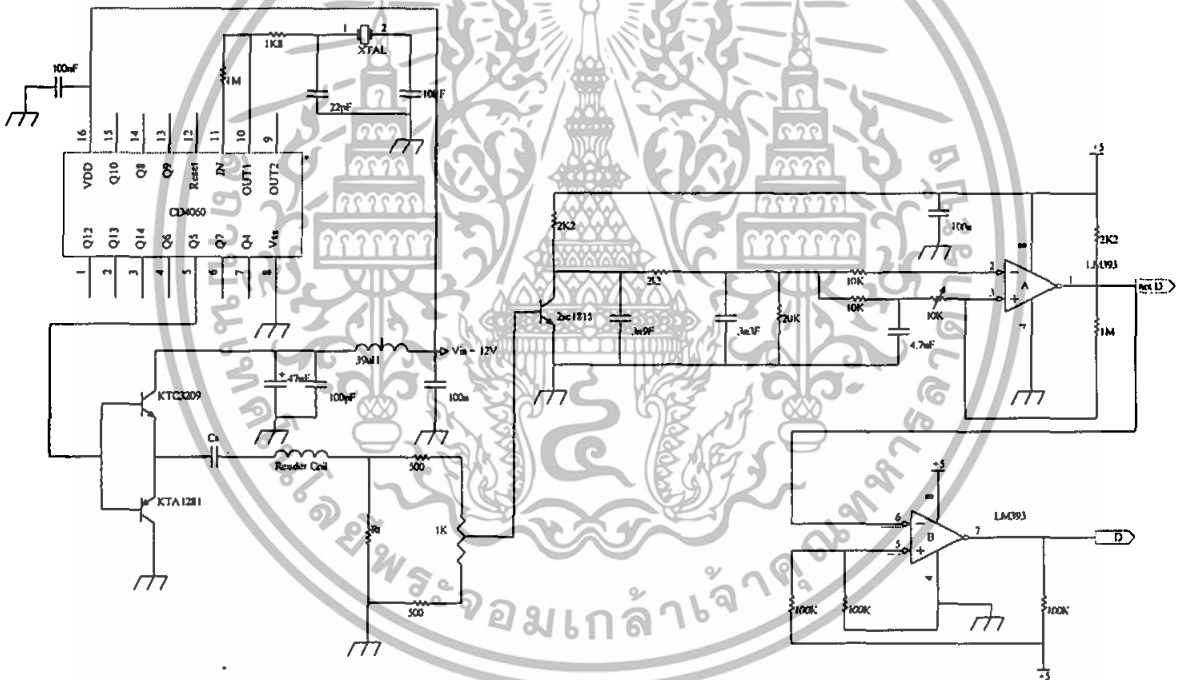
การออกแบบวงจรของ อาร์เอฟไอดีจะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ส่วนของเครื่องอ่าน ( Reader )
2. ส่วนของป้ายหรือ แท็กส์ (Tag)

3.1 การออกแบบวงจรของตัวเครื่องอ่าน

ในส่วนของวงจรเครื่องอ่าน จะประกอบด้วย

1. วงจร ออสซิลเลเตอร์ ( Oscillator and Reader Coil Driver)
2. วงจร Demodulation



3.1 รูปแสดงวงจรรวมของตัวเครื่องอ่าน

ในขั้นตอนการออกแบบวงจรของเครื่องอ่าน

1.) หาค่าของ  $(NQ_L)_{TAG}$  เพื่อใช้ในการคำนวณค่า  $(NI)_{READ}$  ได้ค่าของ

$$N_{TAG} = 17 \text{ รอบ}$$

2.) คำนวณหาค่า  $(NI)_{Reader}$  จากค่า  $(NQ_L)_{TAG}$  จากข้อ 1 จากสมการ

$$(NI)_{Rd} \text{ rms} = \frac{2V_{Tag} \text{ rms}(a^2 + r^2)^{1.5}}{2\pi f_s \text{Cos}\alpha \mu_0 a^2 (NQ_L)_{Tag}} \quad A_{\text{rms}} \quad (3.1-1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

$$a : \text{Read Radius} \approx 38 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$r : \text{Read Range} \approx 0 \rightarrow 3 \text{ cm}$$

$$s : \text{Read Surface} \approx (5 \times 8) \text{ cm}^2 \approx 4 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{\text{Tag}} \approx 6.25 V_{\text{rms}}$$

$$NQ_L \approx 276.554$$

$$\cos \alpha = 0.9 \quad (\pm 25.8^\circ)$$

ดังนั้น

$$(NI)_{\text{Rd}}^{\text{rms}} = \frac{2 \times 6.25 \times [(38 \times 10^{-3})^2 + 0.03^2]^{1.5}}{2\pi \times 125 \times 10^3 \times 4 \times 10^{-3} \times 0.9 \times 4\pi \times 10^{-7} \times (38 \times 10^{-3})^2 \times 276.554}$$

$$\approx 1015.005 \text{ mA}_{\text{rms}}$$

### 3.) พัน Reader Coil โดยใช้ (3x6) นิ้ว<sup>2</sup> Loop

เนื่องจากต้องการผลของ Load Modulation ที่ชัดเจน  $N_{\text{TAG}} > N_{\text{Rd}}$  ดังนั้นจึงใช้

$$N_{\text{Reader}} = 10.83 \text{ รอบ}$$

3.1) วัตค่า L ของ Reader Coil ( $L_{\text{Rd}}$ ) ที่ความถี่ต่ำได้ = 46.26  $\mu\text{H}$

3.2) วัตค่า Cs

$$\text{จาก } Cs = \frac{1}{4\pi^2 f_{sp}^2 L_{\text{Rd}}'} \quad (3.1-2)$$

$$\text{จะได้ } Cs = 35.66 \text{ nF}$$

4.) จากค่า  $(NI)_{\text{Read}}$  และจำนวนรอบของ Reader Coil จะได้

$$i_{\text{drive}} = i_{\text{Rd}} = \frac{(NI)_{\text{Read}}}{N_{\text{Rd}}} \quad (3.1-3)$$

$$= \frac{1015.005}{10.83} = 93.73 \text{ mA}_{\text{rms}}$$

5.) วัตค่า  $R_T$  จาก

$$R_T = 2\pi BwL_{\text{Rd}} \quad (3.1-4)$$

$$= 2 \times 3.14 \times 62.5 \times 10^3 \times 46.26 \times 10^{-6}$$

$$= 18.157 \quad \Omega$$

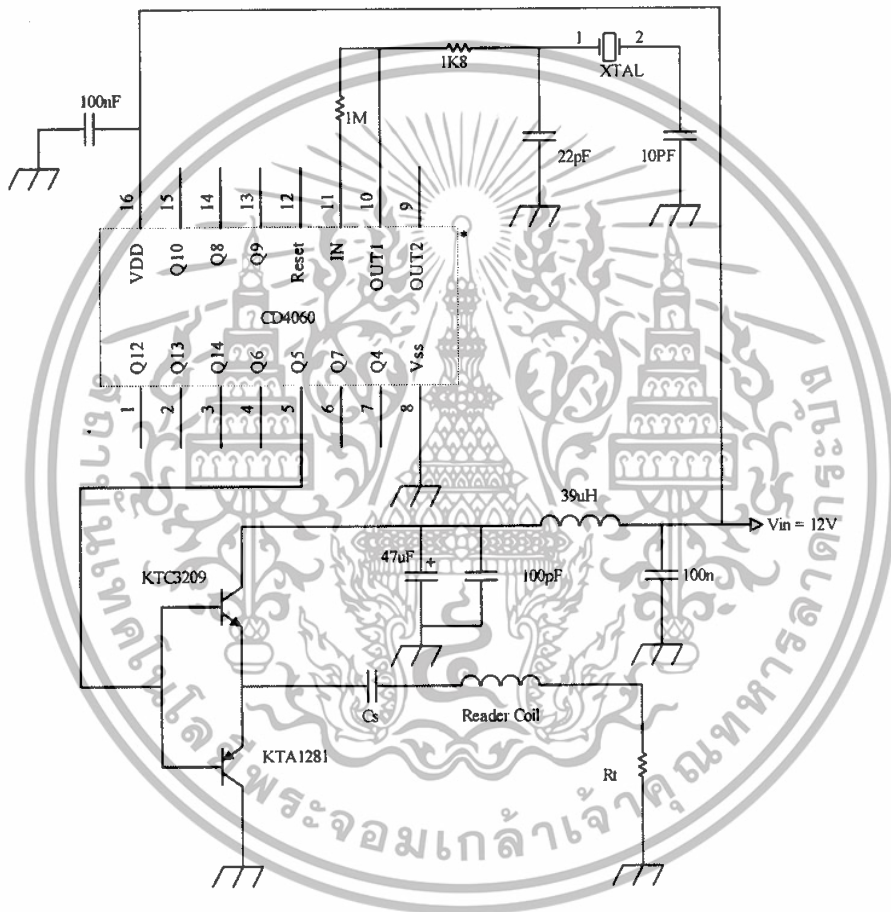
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.) หาค่า  $P_{drive}$  จาก

$$P_{drive} = R_T I_{Rd}^2 R_{ms} \quad (3.1-5)$$

$$= 159.51 \text{ mW}$$

### 3.1.2 วงจร Oscillator และ Reader Coil Driver

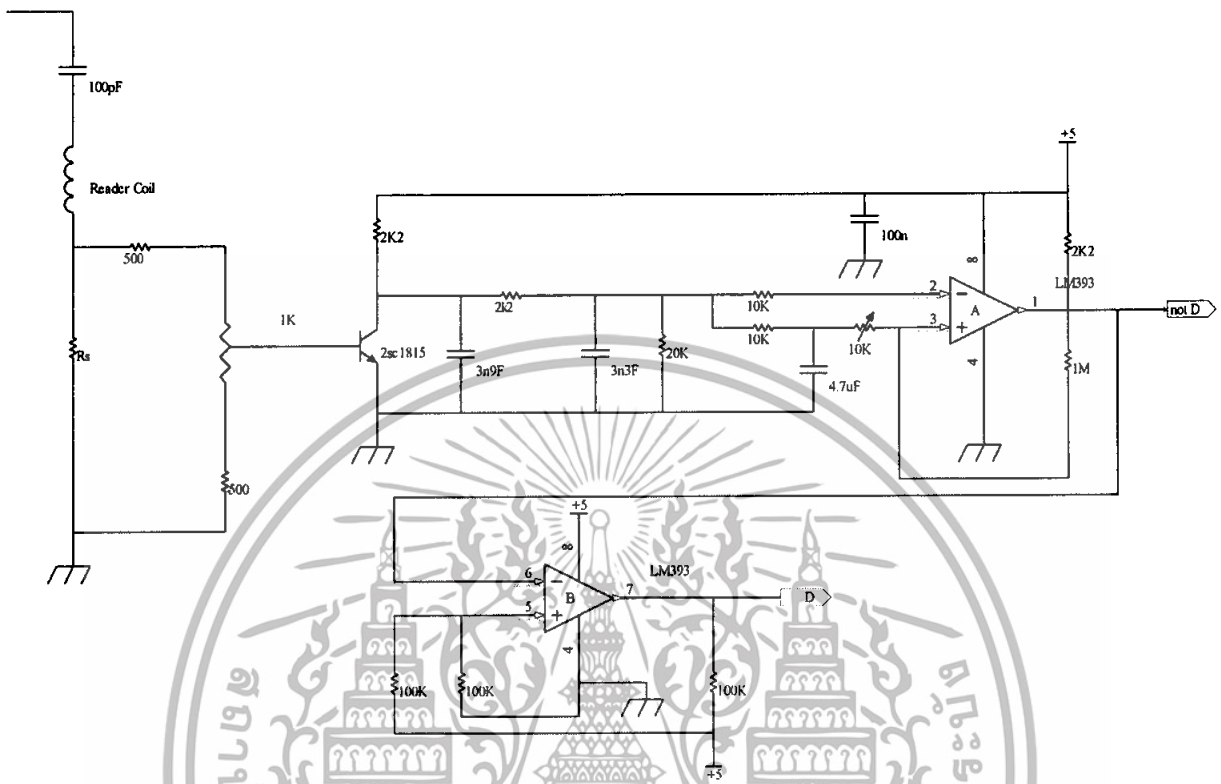


รูปที่ 3.1.2 แสดงวงจร Oscillator และ Reader Coil Driver

การสร้างวงจร Oscillator และ Reader Coil Driver นั้นจะใช้ IC CD 4060 โดยมี Crystal 4 MHz เป็นตัวผลิตความถี่ ออกมา 125 KHz ที่ขา 5 ของ IC รวมถึงมีทรานซิสเตอร์เบอร์ KTC 3209 และ KTA 1281 ที่มีการต่อแบบโทรเท็มโพลเพื่อขับกระแสไปให้กับ Reader Coil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 วงจร Demodulation



รูปที่ 3.1.3 แสดงวงจร Demodulation

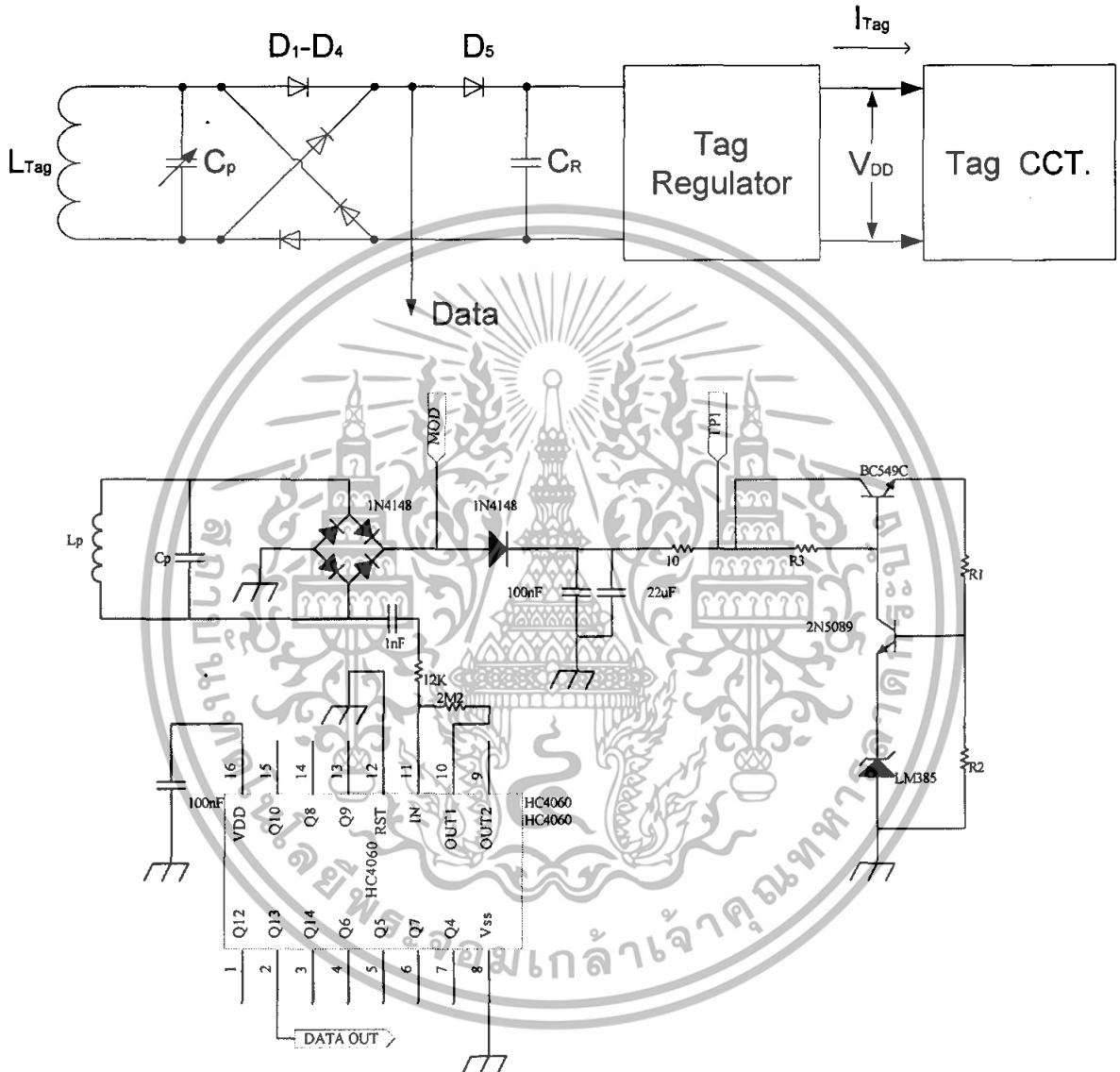
วงจร Demodulation คือ วงจรที่ใช้ถอดรหัสข้อมูลที่อยู่ในแท็กส์ หลักการออกแบบนั้น จะใช้ Op-Amp เบอร์ LM393 เป็นตัวถอดรหัส สัญญาณที่มาจากแท็กส์ ที่มีการต่อแบบ Adaptive Theshold Comparator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การออกแบบวงจรในส่วนของ Tag

ในส่วนของแท็กจะประกอบด้วยส่วนของ

1. วงจร Regulator
2. วงจร Modulation
3. วงจร สร้าง Data

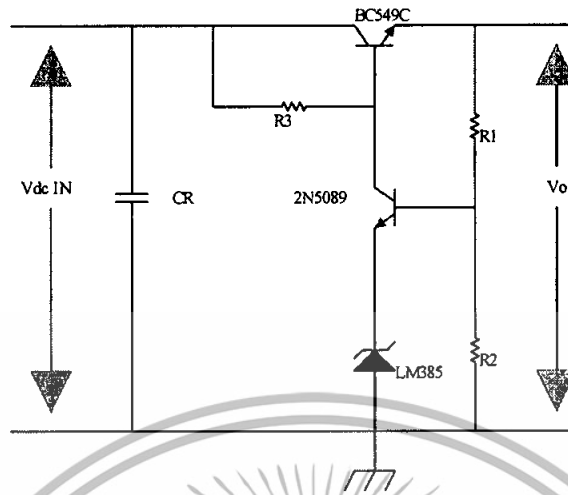


#### บล็อกไดอะแกรมของวงจร Tag และรูปแสดงวงจรรวมของ Tag

ส่วนประกอบของวงจรฝั่ง Tag โดย  $L_{Tag}$  เป็นขดลวดซึ่งทำหน้าที่เป็นเสาอากาศรับ-ส่ง สัญญาณระหว่าง Reader และ Tag ส่วน  $C_p$  ทำหน้าที่เป็นวงจรรีโซแนนซ์ร่วมกับ  $L_{Tag}$  ที่ความถี่ 125kHz และเนื่องจาก Tag ที่ใช้ชนิด Passive ไม่มีแหล่งจ่ายพลังงานอยู่ภายใน แต่จะใช้การเหนี่ยวนำพลังงาน (อยู่ในรูปของกระแสสลับ) จาก Reader ผ่านเข้ามาทาง  $L_{Tag}$  แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1 การออกแบบวงจร Tag Regulator



รูปที่ 3.2 1 ส่วนของวงจร Tag Regulator

สำหรับขั้นตอนการออกแบบวงจร Tag Regulator มีดังนี้

#### 1.) กำหนดค่า $V_o$

เนื่องจาก Brown Out Detect ของ PIC มีค่าประมาณ 4 V ดังนั้น แรงดันเอาต์พุตของ วงจรเรกกูเลเตอร์จึงควรมีค่ามากกว่า 4 V

$$\text{กำหนดให้ } V_o \approx 4.3 \text{ V} \quad (3.2-1)$$

เมื่อ  $\Delta V_o$  เป็นแรงดันรีปเปลที่ เกิดจากการ discharge ของ  $C_2$  ในขณะที่ Reader Coil OFF

#### 2.) การหาค่า $R_3$

เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่าน  $R_3$  มีค่า ดังสมการ

$$I_{R3} = I_{C2 \text{ min}} + I_{B1 \text{ max}} \quad (3.2-2)$$

โดยที่  $I_{C2 \text{ min}}$  เป็นกระแสที่ใช้ไบอัส LM 385-1.2 ให้เกิดการเบรกควาน์ ซึ่งจะต้องมีค่า ไม่น้อยกว่า  $20 \mu\text{A}$  ดังนั้นจึงกำหนดให้  $I_{C2 \text{ min}}$  มีค่าเท่ากับ  $40 \mu\text{A}$  (Double for margin จากการ บัดค่า  $R_3$ )

ส่วน  $I_{B1 \text{ max}}$  เป็นกระแสเบสที่นำไปไบอัส  $Q_1$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$I_{B1 \text{ MAX}} \approx \frac{I_{O \text{ MAX}}}{\beta_1} \quad (3.2-3)$$

ซึ่ง  $I_{O \text{ MAX}}$  ที่ต้องการมีค่าประมาณ 8.5 mA และจาก Datasheet ของ BC 549B พบว่ามีค่า

$\beta$  ประมาณ 200 ดังนั้นจะได้ค่าของ  $I_{B1 \text{ max}}$  จึงเท่ากับ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{B1 \text{ MAX}} = 5 \times 10^{-3} / 200 = 25 \mu\text{A} \quad (3.2-4)$$

เพราะฉะนั้นกระแสที่ไหลผ่าน  $R_3'$  จึงมีค่าเท่ากับ

$$I_{R3} = 40 + 25 = 65 \mu\text{A} \quad (3.2-5)$$

ถ้ากำหนดให้แรงดันตกคร่อม  $R_3'$  มีค่าประมาณ 1 V ดังนั้นค่าของ  $R_3'$  จะมีค่าดังสมการ

$$R_3' = 1\text{V} / 65\mu\text{A} \quad (3.2-6)$$

$$\text{จะได้} \quad R_3' = 15.384 \text{ k}\Omega \quad (3.2-7)$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้

$$R_3 = 15 \text{ k}\Omega \quad (3.2-8)$$

3.) กำหนดค่า  $I_{C2}$  ใหม่จากค่า  $R_3$  โดยถือว่าแรงดันตกคร่อม  $R_3$  มีค่าเท่ากับ 1 V

$$\text{จาก} \quad I_{R3} = \frac{1\text{V}}{R_3} = I_{C2 \text{ min}} + I_{B1 \text{ max}} \quad (3.2-9)$$

$$\text{จะได้} \quad I_{C2 \text{ min}} = [1/15 \times 10^3] - I_{B1 \text{ max}} \quad (3.2-10)$$

แทนค่า  $R_3$  จากสมการ 1-10 และค่า  $I_{B1 \text{ max}}$  จากสมการ 1-6 จะได้

$$I_{C2 \text{ min}} = [1/15 \times 10^3] - 25 \mu\text{A} \quad (3.2-11)$$

$$I_{C2 \text{ min}} = 41.66 \mu\text{A} \quad (3.2-12)$$

จะเห็นได้ว่าค่า  $I_{C2 \text{ min}}$  มีค่ามากกว่ากระแสที่ LM385-1.2 ใช้ในการเบรกดาว์น คือ 20  $\mu\text{A}$

เนื่องจากในขั้นตอนการหาค่า  $R_3'$  ได้มีการกำหนดค่าของ  $I_{C2 \text{ min}}$  ไว้ถึง 40  $\mu\text{A}$  (2 เท่าของ 20  $\mu\text{A}$ )

ดังนั้นกระแส  $I_{C2 \text{ min}}$  ที่เกิดจาก  $R_3$  จึงเพียงพอต่อการเบรกดาว์นของ LM 385-1.2 นั่นเอง

4.) การหาค่า  $R_1$  และ  $R_2$

เนื่องจาก  $Q_2$  ทำหน้าที่เป็นวงจรป้อนกลับ (Feedback) ร่วมกับ  $R_1$ ,  $R_2$  และถ้าเรากำหนดให้  $I_{R2} \geq 20I_{B2 \text{ max}}$  ก็จะสามารถประมาณได้ว่า  $I_{B2 \text{ max}}$  มีค่าน้อยมาก ดังนั้น

$$1.25 + V_{BE2} = V_O \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (3.2-13)$$

$$\text{หรือ} \quad V_O \approx (1.25 + V_{BE2}) \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (3.2-14)$$

และยังสามารถหาค่าของ  $R_2$  ได้จาก

$$R_2' = \frac{V_Z + V_{BE2}}{I_{R2}} = \frac{1.25 + V_{BE2}}{20I_{B2 \text{ max}}} \quad (3.2-15)$$

$$\text{โดยที่} \quad V_{BE2} \approx V_T \ln \left( \frac{I_{C2 \text{ min}}}{I_S(Q_2)} \right) \quad (3.2-16)$$

เมื่อ  $V_T = 26 \text{ mV}$   
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$I_S(Q_2)$  จาก SPICE Model ของ MPSA 18 พบว่ามีค่าประมาณ  $5.911 \times 10^{-15}$  A และค่าของ  $I_{C2 \min}$  จากสมการที่ 1-13 มีค่าเท่ากับ  $40.83 \mu\text{A}$  ดังนั้น แทนค่าลงในสมการ 1-17

$$\text{จะได้} \quad V_{BE2} = 0.589 \quad (3.2-17)$$

$$\text{และจาก} \quad I_{B2 \max} = \frac{I_{C2 \max}}{\beta_2} \approx \frac{I_{R3}}{\beta_2} \quad (I_{B1} \ll I_{C2 \max}) \quad (3.2-18)$$

เมื่อค่า  $\beta$  ต่ำสุดของ MPSA 18 จาก Datasheet เท่ากับ 400

$$\text{จะได้} \quad I_{B2 \max} = 166.6 \text{ nA} \quad (3.2-19)$$

จากนั้นจึงแทนค่า  $V_{BE2}$  และ  $I_{B2 \max}$  ลงในสมการที่ 1-16 ก็จะได้ค่าของ  $R_2'$  เท่ากับ

$$R_2' = 552.070 \text{ k}\Omega \quad (3.2-20)$$

แต่เนื่องจากความต้านทานค่าดังกล่าวไม่มี ดังนั้นจึงปัดค่า  $R_2$  ลงเพื่อให้ได้  $V_O$  มากกว่าที่ต้องการ คือ

$$R_2 = 560 \text{ k}\Omega \quad (3.2-21)$$

และจากสมการที่ 1-15 ก็จะได้อัตราส่วนของ  $R_1/R_2$  เท่ากับ

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{V_O}{V_{BE2} + 1.25} - 1 \quad (3.2-22)$$

แทนค่า  $V_O$  จากสมการ 1-2 และ  $V_{BE}$  จากสมการ 1-18 จะได้

$$R_1/R_2 = 1.34375 \quad (3.2-23)$$

แทนค่า  $R_2$  จากสมการ 1-22 จะได้

$$R_1 = 749.051 \text{ k}\Omega \quad (3.2-24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เนื่องจากความต้านทานค่าดังกล่าวไม่มี ดังนั้นจึงปิดค่า  $R_1$  ขึ้นเพื่อให้ได้  $V_o$  มากกว่าที่ต้องการ คือ

$$R_1 = 750 \text{ k}\Omega \quad (3.2-25)$$

### 5.) การหาค่า $C_R$

จากคุณสมบัติของ C  $i_c = C \frac{dV}{dt}$  (3.2-26)

จะได้  $C_R = \frac{i_c}{\frac{dV}{dt}}$  (3.2-27)

โดยที่  $i_c$  คือ กระแสที่  $C_R$  discharge ด้วยอัตรา  $\frac{dV}{dt}$  และถ้าสมมุติให้การ discharge ของ  $C_R$  เป็นกระแสคงที่มีค่าเท่ากับ  $I_o$

จะได้ว่า  $\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta V_r (p-p)}{\Delta t_{off}}$  (3.2-28)

ถ้ากำหนดให้  $\Delta V_r = 1 \text{ V}$  (3.2-29)

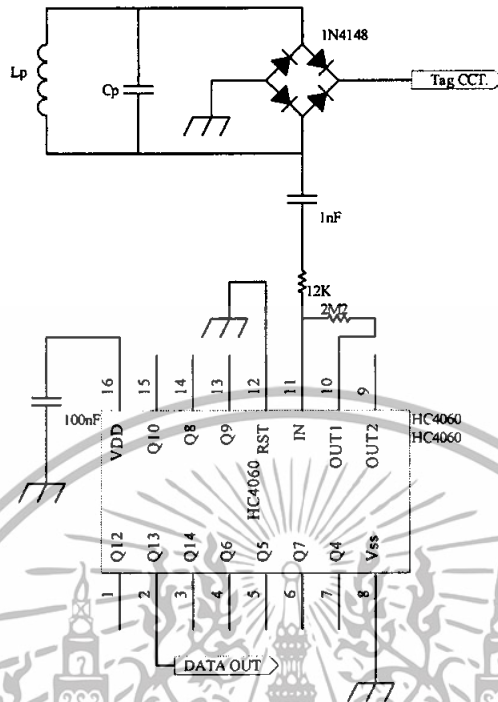
ดังนั้น  $\frac{dv}{dt} = 1953 \text{ V/Sec}$  (3.2-30)

จะได้ว่า  $C_R \geq I_o / 333.3 \geq 5 \times 10^{-3} / 1953$  (3.2-31)

ดังนั้น  $C_R \geq 2.560 \mu\text{F}$  (3.2-32)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

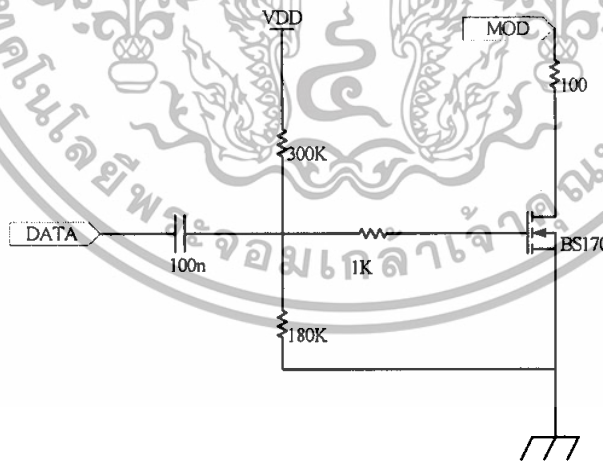
### 3.3.2 วงจรสร้าง Data



รูปที่ 3.2.2 แสดงวงจรสร้าง Data

การออกแบบวงจรสร้าง Data จะใช้ HC 4060 ผลิตความถี่ซึ่งเป็น Data จำลองให้กับแท็กต์

### 3.2.3 วงจร Modulation

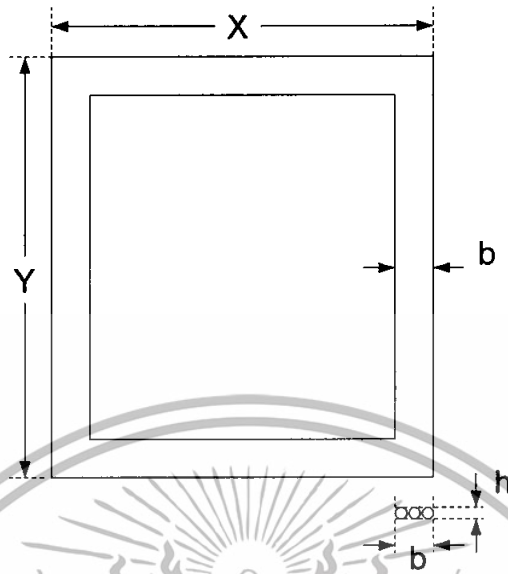


รูปที่ 3.2.3 แสดงวงจร Modulation

การออกแบบวงจร Modulation จะใช้ BS170 เป็นตัวสวิตช์ เมื่อแท็กต์ได้รับ Data เข้ามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 การคำนวณหาค่า NQ ของ Tag



รูปที่ 3.2.4 Tag Coil ชนิด Rectangular loop

Tag Coil เป็น Rectangular loop ขนาด  $\approx (5 \times 8) \text{ cm}^2$  จำนวน 15-19 รอบ ใช้ลวด No.36 ซึ่งมีค่า Bare die ( $d_r$ )  $\approx 0.36 \text{ mm}$  , Total die  $\approx 0.4 \text{ mm}$  ใช้งาน ณ ความถี่ใช้งาน 125 kHz กำหนดให้  $V_{DCIN} = 4.3 \text{ V}$  และ  $I_{DCIN} = 5 \text{ mA}$  คำนวณหาค่า  $(NI)_{rms}$  ของวงจรรีบ Reader coil ได้ดังนี้

#### Step1 หาค่าของ $L_{TAG}$

X : Average width of coil  $\approx 5 \text{ cm}$

Y : Average Length of coil  $\approx 8 \text{ cm}$

H : coil height  $\approx 0.015 \text{ cm}$

$$C = x+y+2h = 5+8+(2 \times 0.015) = 13.03 \text{ cm}$$

$$d_r = 0.36 \text{ mm} \approx 0.4 \text{ mm}$$

$$b : \text{width of cross section} \approx Nd_r + (N-1)0.1 \text{ mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 3.2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนรอบและค่า b

N(รอบ)	15	16	17	18	19	20
b(mm)	7.40	7.90	8.40	8.90	9.40	9.90

### 3.3 การทดลองการออกแบบ Voltage Regulator

ถ้า  $V_{in} = V_{inmin} = 7.75 \text{ V}$

RL	No load	6.8k	3.3k	2.2k	1.8k	1.2k
$V_o$	4.5V	4.5V	4.4V	4.4V	4.4V	4.4V
$I_{in}(100 \Omega)$	0.07A	0.07A	0.07A	0.07A	0.07A	0.07A
$I_o$	0	0.661 mA	1.333mA	2mA	2.44mA	3.666mA

ถ้า  $V_{in} = 12 \text{ V}$

RL	No load	6.8k	3.3k	2.2k	1.8k	1.2k
$V_o$	4.4V	4.4V	4.4V	4.4V	4.4V	4.4V
$I_{in}(100 \Omega)$	0.12A	0.12A	0.12A	0.12A	0.12A	0.12A
$I_o$	0	0.647 mA	1.333mA	2mA	2.44mA	3.666mA

ถ้า  $V_{in} = 15 \text{ V}$

RL	No load	6.8k	3.3k	2.2k	1.8k	1.2k
$V_o$	4.4V	4.4V	4.4V	4.4V	4.4V	4.4V
$I_{in}(100 \Omega)$	0.15A	0.15A	0.15A	0.15A	0.15A	0.15A
$I_o$	0	0.647 mA	1.333mA	2mA	2.44mA	3.666mA

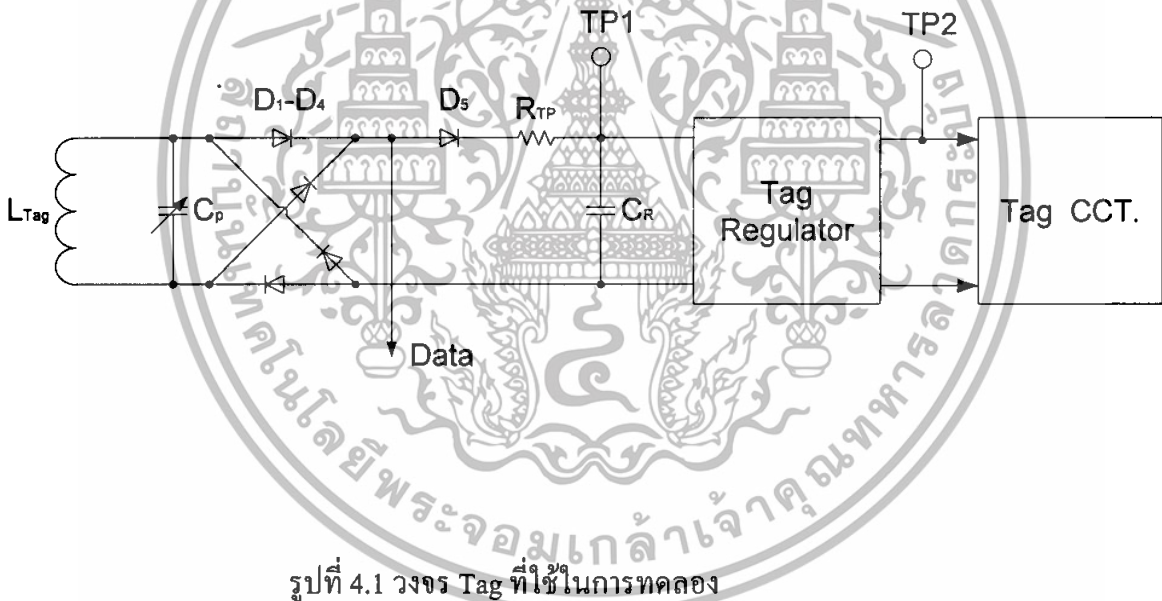
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

## วิธีทดลองและผลการทดลอง

## 4.1 วิธีทดลอง

- ป้อนไฟให้กับวงจรของ Reader Coil 12V
- นำส่วนของวงจร Tag ไปวางภายในส่วนของ Reader coil เพื่อให้เกิดแรงดันไฟเลี้ยงป้อนเข้าสู่วงจรของ Tag
- ทดลองปรับค่า  $C_p$  เพื่อให้ได้ค่า แรงดันที่จุด TP1 มีค่าสูงสุด
- ทดลองเปลี่ยนค่า  $R_L$  ค่าต่างๆ คือ no load, 6.8k , 3.3k , 2.2k , 1.8k , 1.2k ohm
- บันทึกผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 บันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2.1  $V_{in}(\text{Reader Coil}) = 11\text{V}$  วัดที่ระยะ 0 cm

ค่า $R_L$ ( $\Omega$ )	จุดวัด TP1 (V)	จุดวัด TP2 (V)
No load	18.2	5.0
6.8k	18.0	5.0
3.3k	17.6	5.0
2.2k	17.3	5.0
1.8k	17.0	4.9
1.2k	16.2	4.8



รูปที่ 4.2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $R_L$  ค่าต่างๆกับค่าของแรงดันที่จุดวัด  
ใน ระยะ 0 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.2  $V_{in}(\text{Reader Coil}) = 11\text{V}$  วัดที่ระยะ 0.5 cm

ค่า $R_L$ ( $\Omega$ )	จุดวัดTP1 (V)	จุดวัดTP2 (V)
No load	18.6	5.1
6.8k	18.2	5.0
3.3k	17.7	5.0
2.2k	17.2	4.9
1.8k	17.2	4.9
1.2k	16.5	4.9

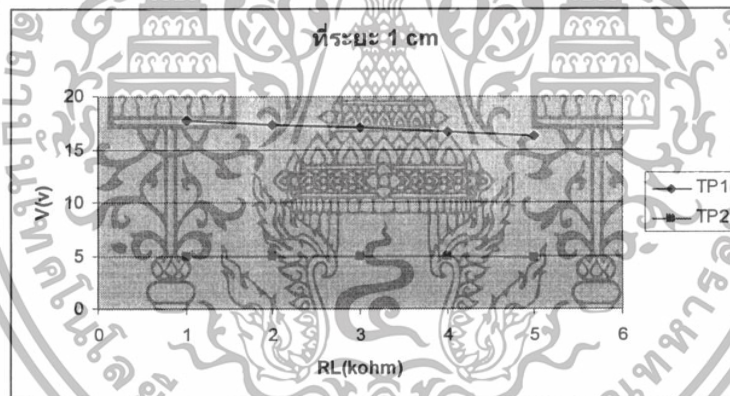


รูปที่ 4.2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $R_L$  ค่าต่างๆกับค่าของแรงดันที่จุดวัด  
ในระยะ 0.5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.3  $V_{in}(\text{Reader Coil}) = 11\text{V}$  วัดที่ระยะ 1 cm

ค่า $R_L (\Omega)$	จุดวัดTP1 (V)	จุดวัดTP2 (V)
No load	17.8	5.0
6.8k	17.8	5.0
3.3k	17.4	4.9
2.2k	17.1	4.9
1.8k	16.6	4.9
1.2k	16.3	4.8



รูปที่ 4.2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $R_L$  ค่าต่างๆกับค่าของแรงดันที่จุดวัด  
ในระยะ 1 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.4  $V_{in}(\text{Reader Coil}) = 11\text{V}$  วัดที่ระยะ 1.5 cm

ค่า $R_L (\Omega)$	จุดวัดTP1 (V)	จุดวัดTP2 (V)
No load	18.4	5.0
6.8k	17.6	5.0
3.3k	16.9	4.9
2.2k	16.6	4.9
1.8k	16.5	4.9
1.2k	15.8	4.8



รูปที่ 4.2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $R_L$  ค่าต่างๆกับค่าของแรงดันที่จุดวัด  
ในระยะ 1.5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.5  $V_{in}(\text{Reader Coil}) = 11\text{V}$  วัดที่ระยะ 2 cm

ค่า $R_L (\Omega)$	จุดวัด TP1 (V)	จุดวัด TP2 (V)
No load	18.1	5.0
6.8k	17.3	5.0
3.3k	16.3	4.9
2.2k	16.2	4.8
1.8k	16.2	4.8
1.2k	14.7	4.7

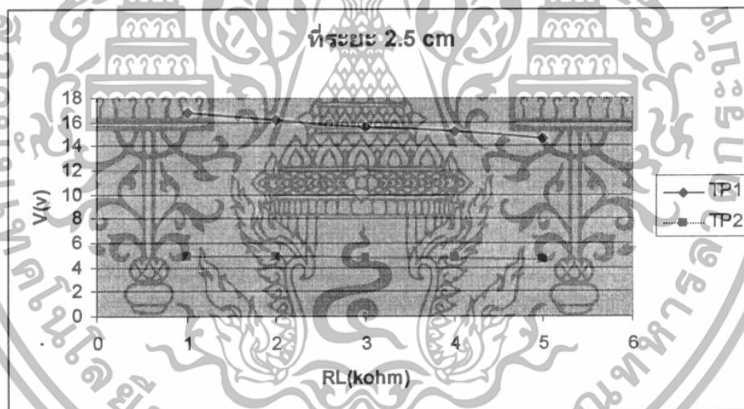


รูปที่ 4.2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $R_L$  ค่าต่างๆกับค่าของแรงดันที่จุดวัด  
ในระยะ 2 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.6  $V_{in}(\text{Reader Coil}) = 11\text{V}$  วัดที่ระยะ 2.5 cm

ค่า $R_L (\Omega)$	จุดวัด TP1 (V)	จุดวัด TP2 (V)
No load	17.0	5.0
6.8k	16.8	4.9
3.3k	16.2	4.9
2.2k	15.6	4.8
1.8k	15.2	4.8
1.2k	14.6	4.7

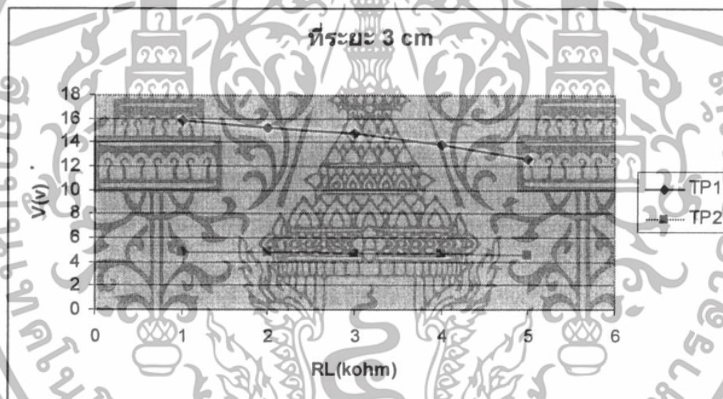


รูปที่ 4.2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $R_L$  ค่าต่างๆกับค่าของแรงดันที่จุดวัด  
ใน ระยะ 2.5cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.7  $V_{in}(\text{Reader Coil}) = 11\text{V}$  วัดที่ระยะ 3 cm

ค่า $R_L (\Omega)$	จุดวัดTP1 (V)	จุดวัดTP2 (V)
No load	16.9	4.9
6.8k	15.8	4.8
3.3k	15.2	4.8
2.2k	14.8	4.7
1.8k	13.8	4.7
1.2k	12.6	4.6



รูปที่ 4.2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $R_L$  ค่าต่างๆกับค่าของแรงดันที่จุดวัด  
ใน ระยะ 3 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.8 เมื่อ  $V_{in}(\text{Reader Coil}) = 11\text{V}$   $R_L = \text{no load}$

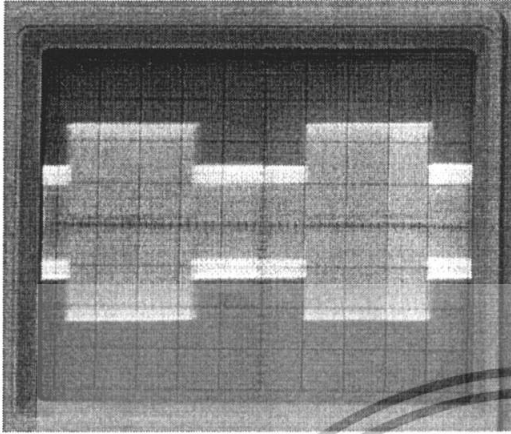
ระยะ ( cm )	TP1 (V) (ก่อนเข้าRegulator)	TP2 ( V ) (หลังเข้าRegulator)
0	18.2	5.0
0.5	18.6	5.1
1.0	17.8	5.0
1.5	18.4	5.0
2.0	18.1	5.0
2.5	17.0	5.0
3.0	16.9	4.9



รูปที่ 4.2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน (v) และระยะทาง (cm)  
เมื่อ  $R_L = \text{no load}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการทดลองวัดผลของ Load Modulation

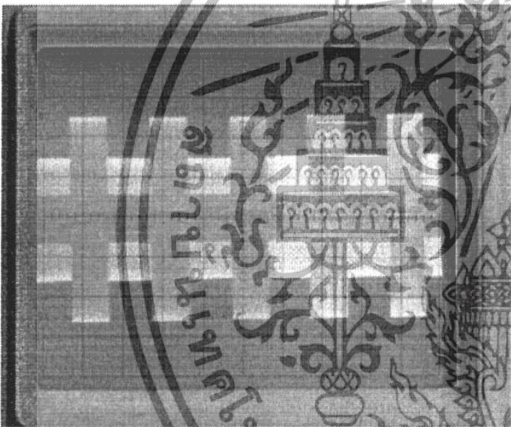


ที่ระยะ 0 cm.

Volts/div = 2 Volts/div

Time/div = 2 ms /div

รูปที่ 4.3.1 ผลของ Load Modulation ที่ระยะ 0 cm.

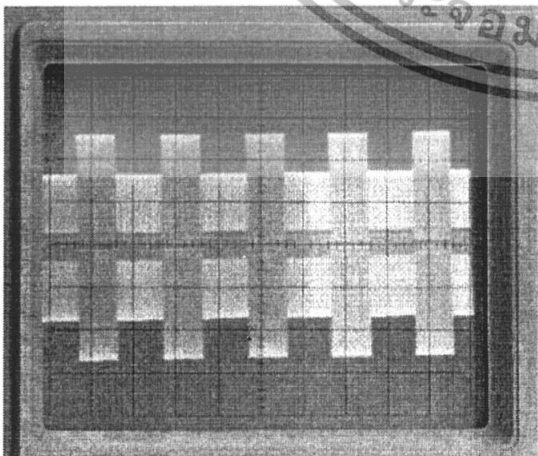


ที่ระยะ 0.5 cm.

Volts/div = 2 Volts/div

Time/div = 5 ms /div

รูปที่ 4.3.2 ผลของ Load Modulation ที่ระยะ 0.5 cm.



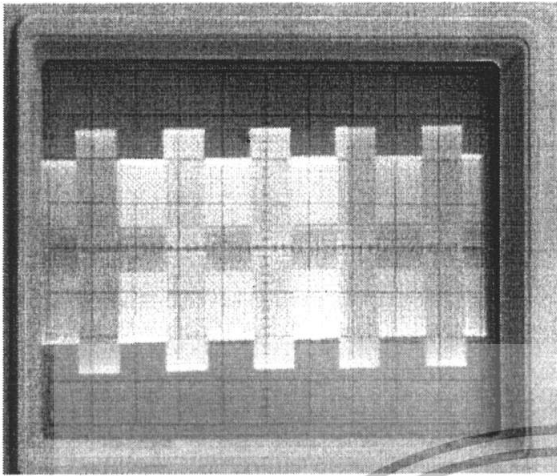
ที่ระยะ 1 cm.

Volts/div = 2 Volts/div

Time/div = 5 ms /div

รูปที่ 4.3.3 ผลของ Load Modulation ที่ระยะ 1 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

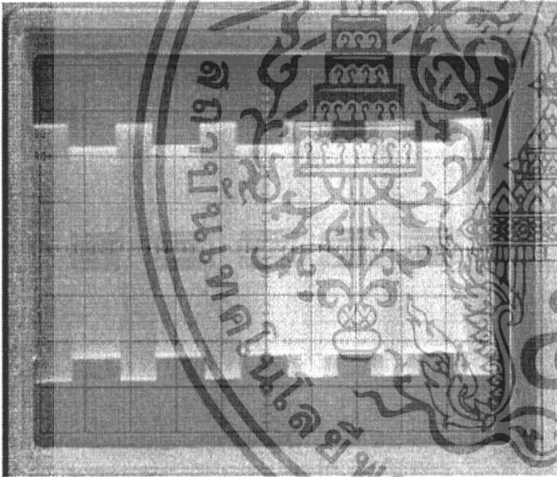


ที่ระยะ 1.5 cm.

Volts/div = 2 Volts/div

Time/div = 5 ms /div

รูปที่ 4.3.4 ผลของ Load Modulation ที่ระยะ 1.5 cm.



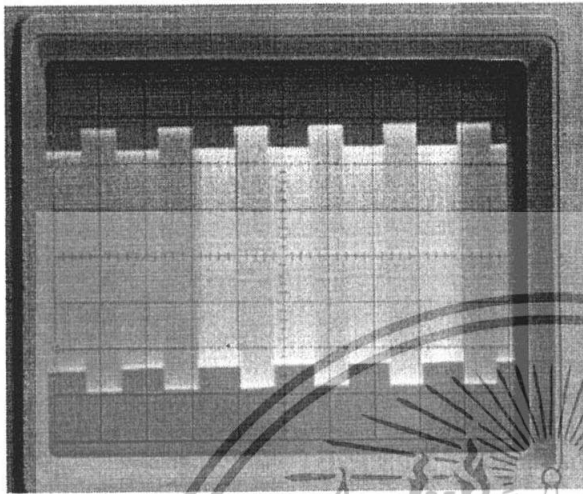
ที่ระยะ 2 cm.

Volts/div = 2 Volts/div

Time/div = 5 ms /div

รูปที่ 4.3.5 ผลของ Load Modulation ที่ระยะ 2 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

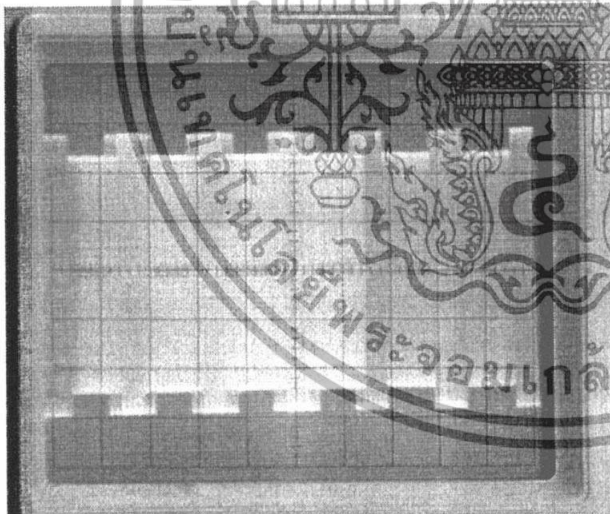


ที่ระยะ 2.5 cm.

Volts/div = 2 Volts/div

Time/div = 5 ms /div

รูปที่ 4.3.6 ผลของ Load Modulation ที่ระยะ 2.5 cm.



ที่ระยะ 3 cm.

Volts/div = 2 Volts/div

Time/div = 5 ms /div

รูปที่ 4.3.7 ผลของ Load Modulation ที่ระยะ 3 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง และวิจารณ์การทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นว่าระยะห่างระหว่าง Tag และ Reader จะส่งผลต่ออัตราการเหนี่ยวนำของขดลวดจาก Reader ไปยัง Tag โดยระยะยิ่งห่างจากตัว Reader มากขึ้นเท่าใดก็ส่งผลให้แรงดันที่ตกคร่อม TP1(ก่อนเข้าRegulator) ของ Tag มีค่าลดลงตามลงไปด้วย เนื่องจากความแรงในการเหนี่ยวนำก็จะลดลง แต่เมื่อวัดแรงดันที่ TP2(หลังเข้าRegulator) จะพบว่าแรงดันที่ออกมาจะมีค่าคงที่ คือประมาณ 5 Volt และความถี่ที่ใช้ในโครงการเป็นความถี่ต่ำ คือ 125 กิโลเฮิรตซ์ ดังนั้นระยะในการอ่านค่าใช้งานก็จะได้ไม่ไกลมากนัก และเมื่อวัดผลของโพลด Modulation จะพบว่าผลของโพลด Modulation จะชัดเจนที่สุดเมื่อระยะ 0 cm และเมื่อระยะห่างระหว่าง Tag และ Reader มากยิ่งขึ้น ความชัดเจนของ โพลด Modulation จะมีค่าลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากระยะห่างที่มากขึ้นมีผลกับความเหนี่ยวนำของขดลวดของตัว Reader กับตัว Tag ที่ความถี่ต่ำนั่นเอง

#### 5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ได้อาจคลาดเคลื่อนเนื่องจาก

- ความคลาดเคลื่อนของตัวอุปกรณ์ที่ใช้ เช่น ตัวต้านทาน หรือ ตัวเก็บประจุ เป็นต้น
- รูปแบบของการต่อวงจร

## ภาคผนวก

วิโรจน์ พึ่งพระจิตต์ และ โสรัตน์ อุณหะวารการ.

RFID เทคโนโลยีฉลากแท่งอนาคต. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2545.

ประจักษ์กฤษณ์ ชูมี. RFID เทคโนโลยีที่ช่วยเสริมหรือมาแทนบาร์โค้ด. กรุงเทพมหานคร : ส.เอเชียเพรส(1989) , 2544.

วีรพล พัวพันธ์. เทคโนโลยี RFID. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2545.

ระบบบาร์โค้ด : ระบบการแยกแยะด้วยคอมพิวเตอร์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

[http://industrial.se-ed.com/itr101/itr101\\_102.asp](http://industrial.se-ed.com/itr101/itr101_102.asp)

ID ไร้สาย เครื่องจับแท่งไฮโซ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

<http://www.kcs.co.th/kcspage/term/library/rfid.htm>

เทคโนโลยี RFID. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

[http://industrial.se-ed.com/itr93/itr93\\_107.asp](http://industrial.se-ed.com/itr93/itr93_107.asp)

รู้จักกับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Order this document by LM393/D

# LM393, LM393A, LM293, LM2903, LM2903V

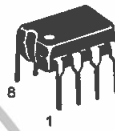
## Low Offset Voltage Dual Comparators

The LM393 series are dual independent precision voltage comparators capable of single or split supply operation. These devices are designed to permit a common mode range-to-ground level with single supply operation. Input offset voltage specifications as low as 2.0 mV make this device an excellent selection for many applications in consumer automotive, and industrial electronics.

- Wide Single-Supply Range: 2.0 Vdc to 36 Vdc
- Split-Supply Range:  $\pm 1.0$  Vdc to  $\pm 18$  Vdc
- Very Low Current Drain Independent of Supply Voltage: 0.4 mA
- Low Input Bias Current: 25 nA
- Low Input Offset Current: 5.0 nA
- Low Input Offset Voltage: 2.0 mV (max) LM393A  
5.0 mV (max) LM293/393
- Input Common Mode Range to Ground Level
- Differential Input Voltage Range Equal to Power Supply Voltage
- Output Voltage Compatible with DTL, ECL, TTL, MOS, and CMOS Logic Levels
- ESD Clamps on the Inputs Increase the Ruggedness of the Device without Affecting Performance

### SINGLE SUPPLY, LOW POWER DUAL COMPARATORS

SEMICONDUCTOR  
TECHNICAL DATA

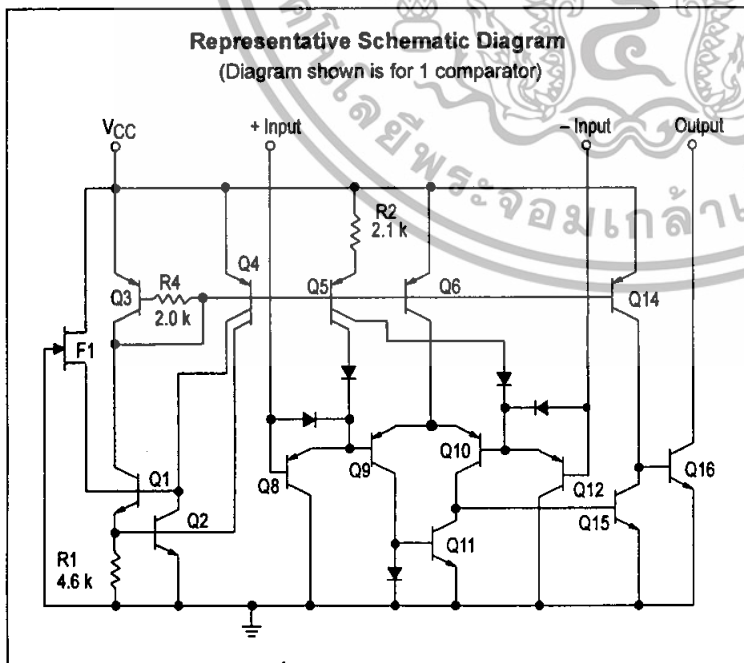


**N SUFFIX**  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 626

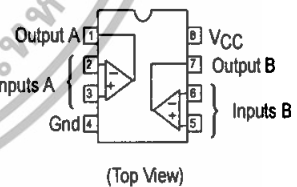


**D SUFFIX**  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751  
(SO-8)

**Representative Schematic Diagram**  
(Diagram shown is for 1 comparator)



### PIN CONNECTIONS



### ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
LM293D	$T_A = -25^\circ$ to $+85^\circ\text{C}$	SO-8
LM393D	$T_A = 0^\circ$ to $+70^\circ\text{C}$	SO-8
LM393AN,N		Plastic DIP
LM2903D	$T_A = -40^\circ$ to $+105^\circ\text{C}$	SO-8
LM2903N		Plastic DIP
LM2903VD	$T_A = -40^\circ$ to $+105^\circ\text{C}$	SO-8
LM2903VN		Plastic DIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LM393, LM393A, LM293, LM2903, LM2903V

### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	+36 or ±18	Vdc
Input Differential Voltage Range	V <sub>IDR</sub>	36	Vdc
Input Common Mode Voltage Range	V <sub>ICR</sub>	-0.3 to +36	Vdc
Output Short Circuit-to-Ground Output Sink Current (Note 1)	I <sub>SC</sub> I <sub>Sink</sub>	Continuous 20	mA
Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C Derate above 25°C	P <sub>D</sub> 1/R <sub>θJA</sub>	570 5.7	mW mW/°C
Operating Ambient Temperature Range LM293 LM393, 393A LM2903 LM2903V	T <sub>A</sub>	-25 to +85 0 to +70 -40 to +105 -40 to +125	°C
Maximum Operating Junction Temperature LM393, 393A, 2903, LM2903V LM293	T <sub>J(max)</sub>	125 150	°C
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	-65 to +150	°C

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V<sub>CC</sub> = 5.0 Vdc, T<sub>low</sub> ≤ T<sub>A</sub> ≤ T<sub>high</sub>, \* unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LM393A			Unit
		Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage (Note 2) T <sub>A</sub> = 25°C T <sub>low</sub> ≤ T <sub>A</sub> ≤ T <sub>high</sub>	V <sub>IO</sub>	-	±1.0	±2.0 4.0	mV
Input Offset Current T <sub>A</sub> = 25°C T <sub>low</sub> ≤ T <sub>A</sub> ≤ T <sub>high</sub>	I <sub>IO</sub>	-	±50	±50 ±150	nA
Input Bias Current (Note 3) T <sub>A</sub> = 25°C T <sub>low</sub> ≤ T <sub>A</sub> ≤ T <sub>high</sub>	I <sub>IB</sub>	-	25	250 400	nA
Input Common Mode Voltage Range (Note 4) T <sub>A</sub> = 25°C T <sub>low</sub> ≤ T <sub>A</sub> ≤ T <sub>high</sub>	V <sub>ICR</sub>	0 0	-	V <sub>CC</sub> - 1.5 V <sub>CC</sub> - 2.0	V
Voltage Gain R <sub>L</sub> ≥ 15 kΩ, V <sub>CC</sub> = 15 Vdc, T <sub>A</sub> = 25°C	A <sub>VOL</sub>	50	200	-	V/mV
Large Signal Response Time V <sub>in</sub> = TTL Logic Swing, V <sub>ref</sub> = 1.4 Vdc V <sub>RL</sub> = 5.0 Vdc, R <sub>L</sub> = 5.1 kΩ, T <sub>A</sub> = 25°C	-	-	300	-	ns
Response Time (Note 5) V <sub>RL</sub> = 5.0 Vdc, R <sub>L</sub> = 5.1 kΩ, T <sub>A</sub> = 25°C	t <sub>TLH</sub>	-	1.3	-	μs
Input Differential Voltage (Note 6) All V <sub>in</sub> ≥ Gnd or V- Supply (if used)	V <sub>ID</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	V
Output Sink Current V <sub>in</sub> ≥ 1.0 Vdc, V <sub>in+</sub> = 0 Vdc, V <sub>O</sub> ≤ 1.5 Vdc, T <sub>A</sub> = 25°C	I <sub>Sink</sub>	6.0	16	-	mA
Output Saturation Voltage V <sub>in</sub> ≥ 1.0 Vdc, V <sub>in+</sub> = 0 Vdc, I <sub>Sink</sub> ≤ 4.0 mA, T <sub>A</sub> = 25°C T <sub>low</sub> ≤ T <sub>A</sub> ≤ T <sub>high</sub>	V <sub>OL</sub>	-	150	400 700	mV

\* T<sub>low</sub> = 0°C, T<sub>high</sub> = +70°C for LM393/393A

- NOTES:**
- The maximum output current may be as high as 20 mA, independent of the magnitude of V<sub>CC</sub>. output short circuits to V<sub>CC</sub> can cause excessive heating and eventual destruction.
  - At output switch point, V<sub>O</sub> = 1.4 Vdc, R<sub>S</sub> = 0 Ω with V<sub>CC</sub> from 5.0 Vdc to 30 Vdc, and over the full input common mode range (0 V to V<sub>CC</sub> = -1.5 V).
  - Due to the PNP transistor inputs, bias current will flow out of the inputs. This current is essentially constant, independent of the output state, therefore, no loading changes will exist on the input lines.
  - Input common mode of either input should not be permitted to go more than 0.3 V negative of ground or minus supply. The upper limit of common mode range is V<sub>CC</sub> - 1.5 V.
  - Response time is specified with a 100 mV step and 5.0 mV of overdrive. With larger magnitudes of overdrive faster response times are obtainable.
  - The comparator will exhibit proper output state if one of the inputs becomes greater than V<sub>CC</sub>. the other input must remain within the common mode range. The low input state must not be less than -0.3 V of ground or minus supply.

## LM393, LM393A, LM293, LM2903, LM2903V

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $V_{CC} = 5.0 \text{ Vdc}$ ,  $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$ , \* unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LM393A			Unit
		Min	Typ	Max	
Output Leakage Current $V_{in-} = 0 \text{ V}$ , $V_{in+} \geq 1.0 \text{ Vdc}$ , $V_O = 5.0 \text{ Vdc}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{in-} = 0 \text{ V}$ , $V_{in+} \geq 1.0 \text{ Vdc}$ , $V_O = 30 \text{ Vdc}$ , $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$	$I_{OL}$	-	0.1	-	$\mu\text{A}$
Supply Current $R_L = \infty$ Both Comparators, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_L = \infty$ Both Comparators, $V_{CC} = 30 \text{ V}$	$I_{CC}$	-	0.4	1.0	$\text{mA}$
		-	1.0	2.5	

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $V_{CC} = 5.0 \text{ Vdc}$ ,  $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$ , unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LM392, LM393			LM2903, LM2903V			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage (Note 2) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$	$V_{IO}$	-	$\pm 1.0$	$\pm 5.0$	-	$\pm 2.0$	$\pm 7.0$	$\text{mV}$
		-	-	9.0	-	9.0	15	
Input Offset Current $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$	$I_{IO}$	-	$\pm 5.0$	$\pm 50$	-	$\pm 5.0$	$\pm 50$	$\text{nA}$
		-	-	$\pm 150$	-	$\pm 50$	$\pm 200$	
Input Bias Current (Note 3) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$	$I_{IB}$	-	25	250	-	25	250	$\text{nA}$
		-	-	400	-	200	500	
Input Common Mode Voltage Range (Note 3) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$	$V_{ICR}$	0	-	$V_{CC} - 1.5$	0	-	$V_{CC} - 1.5$	$\text{V}$
		0	-	$V_{CC} - 2.0$	0	-	$V_{CC} - 2.0$	
Voltage Gain $R_L \geq 15 \text{ k}\Omega$ , $V_{CC} = 15 \text{ Vdc}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	$A_{VOL}$	50	200	-	25	200	-	$\text{V/mV}$
Large Signal Response Time $V_{in} = \text{TTL Logic Swing}$ , $V_{ref} = 1.4 \text{ Vdc}$ $V_{RL} = 5.0 \text{ Vdc}$ , $R_L = 5.1 \text{ k}\Omega$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	-	300	-	-	300	-	$\text{ns}$
Response Time (Note 5) $V_{RL} = 5.0 \text{ Vdc}$ , $R_L = 5.1 \text{ k}\Omega$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	$t_{TLH}$	-	1.3	-	-	1.5	-	$\mu\text{s}$
Input Differential Voltage (Note 6) All $V_{in} \geq \text{Gnd}$ or $V^-$ Supply (if used)	$V_{ID}$	-	-	$V_{CC}$	-	-	$V_{CC}$	$\text{V}$
Output Sink Current $V_{in} \geq 1.0 \text{ Vdc}$ , $V_{in+} = 0 \text{ Vdc}$ , $V_O \leq 1.5 \text{ Vdc}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	$I_{Sink}$	6.0	16	-	6.0	16	-	$\text{mA}$
Output Saturation Voltage $V_{in} \geq 1.0 \text{ Vdc}$ , $V_{in+} = 0$ , $I_{Sink} \leq 4.0 \text{ mA}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$	$V_{OL}$	-	150	400	-	-	400	$\text{mV}$
		-	-	700	-	200	700	
Output Leakage Current $V_{in-} = 0 \text{ V}$ , $V_{in+} \geq 1.0 \text{ Vdc}$ , $V_O = 5.0 \text{ Vdc}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{in-} = 0 \text{ V}$ , $V_{in+} \geq 1.0 \text{ Vdc}$ , $V_O = 30 \text{ Vdc}$ , $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$	$I_{OL}$	-	0.1	-	-	0.1	-	$\text{nA}$
		-	-	1000	-	-	1000	
Supply Current $R_L = \infty$ Both Comparators, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_L = \infty$ Both Comparators, $V_{CC} = 30 \text{ V}$	$I_{CC}$	-	0.4	1.0	-	0.4	1.0	$\text{mA}$
		-	-	2.5	-	-	2.5	

\*  $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ ,  $T_{high} = +70^\circ\text{C}$  for LM393/393A

LM293  $T_{low} = -25^\circ\text{C}$ ,  $T_{high} = +85^\circ\text{C}$

LM2903  $T_{low} = -40^\circ\text{C}$ ,  $T_{high} = +105^\circ\text{C}$

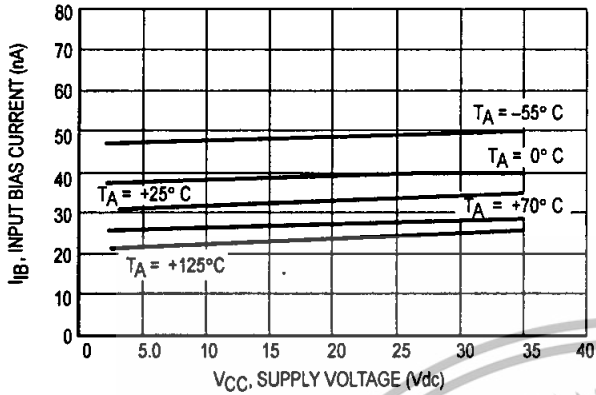
LM2903V  $T_{low} = -40^\circ\text{C}$ ,  $T_{high} = +125^\circ\text{C}$

- NOTES:**
- At output switch point,  $V_O = 1.4 \text{ Vdc}$ ,  $R_S = 0 \Omega$  with  $V_{CC}$  from  $5.0 \text{ Vdc}$  to  $30 \text{ Vdc}$ , and over the full input common mode range ( $0 \text{ V}$  to  $V_{CC} = -1.5 \text{ V}$ ).
  - Due to the PNP transistor inputs, bias current will flow out of the inputs. This current is essentially constant, independent of the output state, therefore, no loading changes will exist on the input lines.
  - Response time is specified with a  $100 \text{ mV}$  step and  $5.0 \text{ mV}$  of overdrive. With larger magnitudes of overdrive faster response times are obtainable.
  - The comparator will exhibit proper output state if one of the inputs becomes greater than  $V_{CC}$ , the other input must remain within the common mode range. The low input state must not be less than  $-0.3 \text{ V}$  of ground or minus supply.

# LM393, LM393A, LM293, LM2903, LM2903V

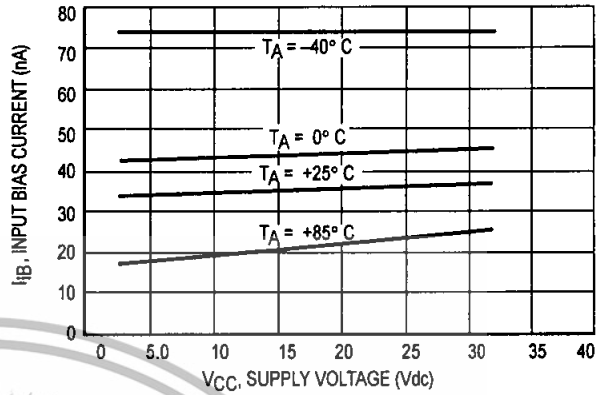
## LM293/393,A

**Figure 1. Input Bias Current versus Power Supply Voltage**

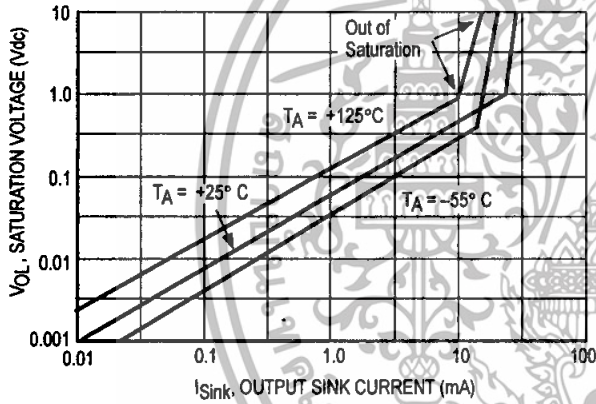


## LM2903

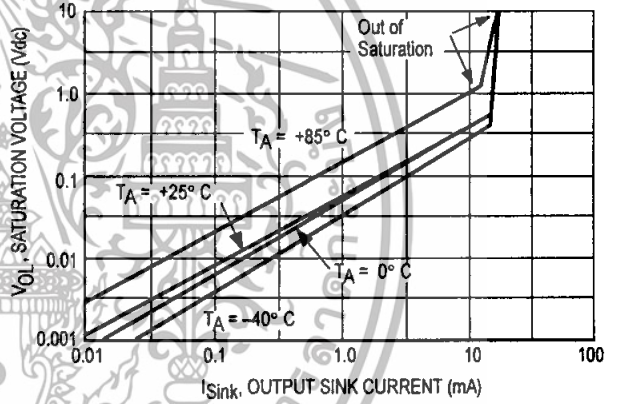
**Figure 2. Input Bias Current versus Power Supply Voltage**



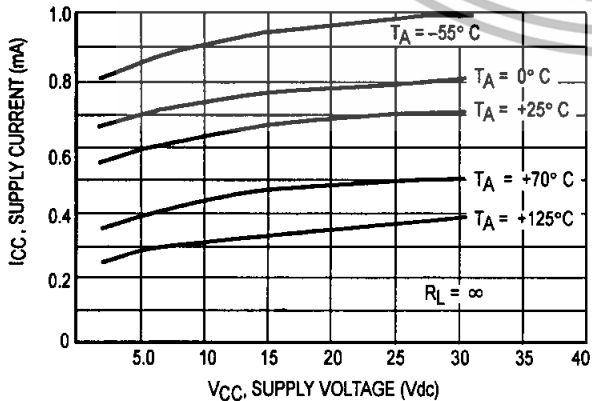
**Figure 3. Output Saturation Voltage versus Output Sink Current**



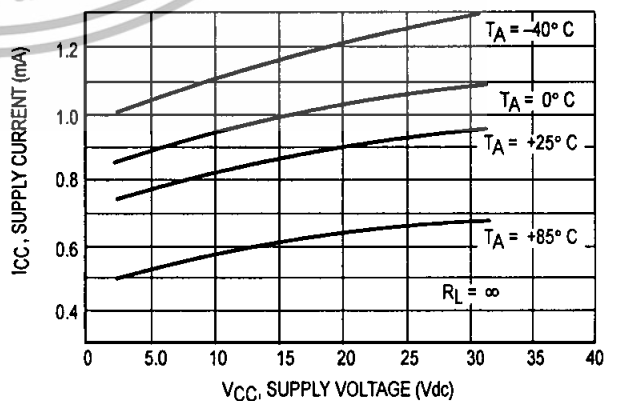
**Figure 4. Output Saturation Voltage versus Output Sink Current**



**Figure 5. Power Supply Current versus Power Supply Voltage**



**Figure 6. Power Supply Current versus Power Supply Voltage**



## LM393, LM393A, LM293, LM2903, LM2903V

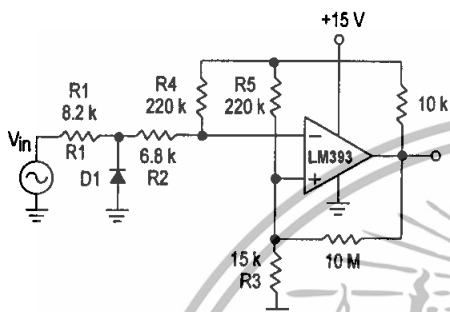
### APPLICATIONS INFORMATION

These dual comparators feature high gain, wide bandwidth characteristics. This gives the device oscillation tendencies if the outputs are capacitively coupled to the inputs via stray capacitance. This oscillation manifests itself during output transitions ( $V_{OL}$  to  $V_{OH}$ ). To alleviate this situation, input resistors  $< 10\text{ k}\Omega$  should be used.

The addition of positive feedback ( $< 10\text{ mV}$ ) is also recommended. It is good design practice to ground all unused pins.

Differential input voltages may be larger than supply voltage without damaging the comparator's inputs. Voltages more negative than  $-0.3\text{ V}$  should not be used.

**Figure 7. Zero Crossing Detector (Single Supply)**

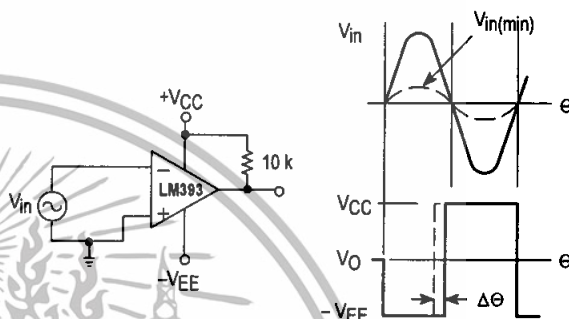


D1 prevents input from going negative by more than 0.6 V.

$$R1 + R2 = R3$$

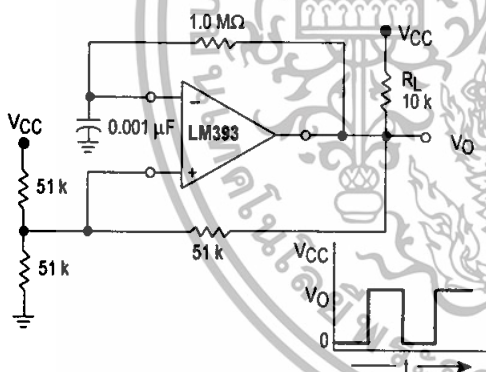
$$R3 \leq \frac{R5}{10} \text{ for small error in zero crossing.}$$

**Figure 8. Zero Crossing Detector (Split Supply)**

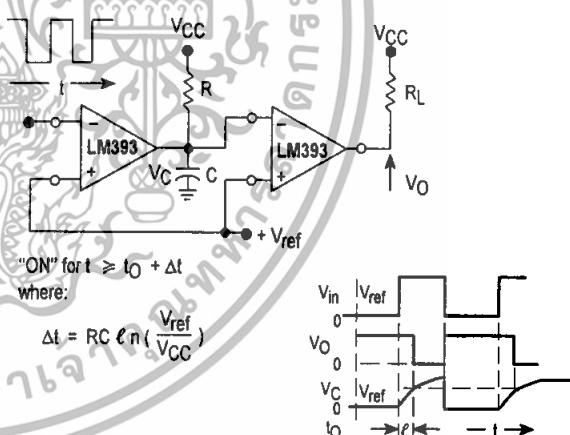


$V_{in(min)} \approx 0.4\text{ V}$  peak for 1% phase distortion ( $\Delta\theta$ ).

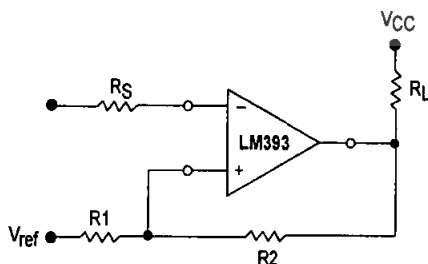
**Figure 9. Free-Running Square-Wave Oscillator**



**Figure 10. Time Delay Generator**



**Figure 11. Comparator with Hysteresis**



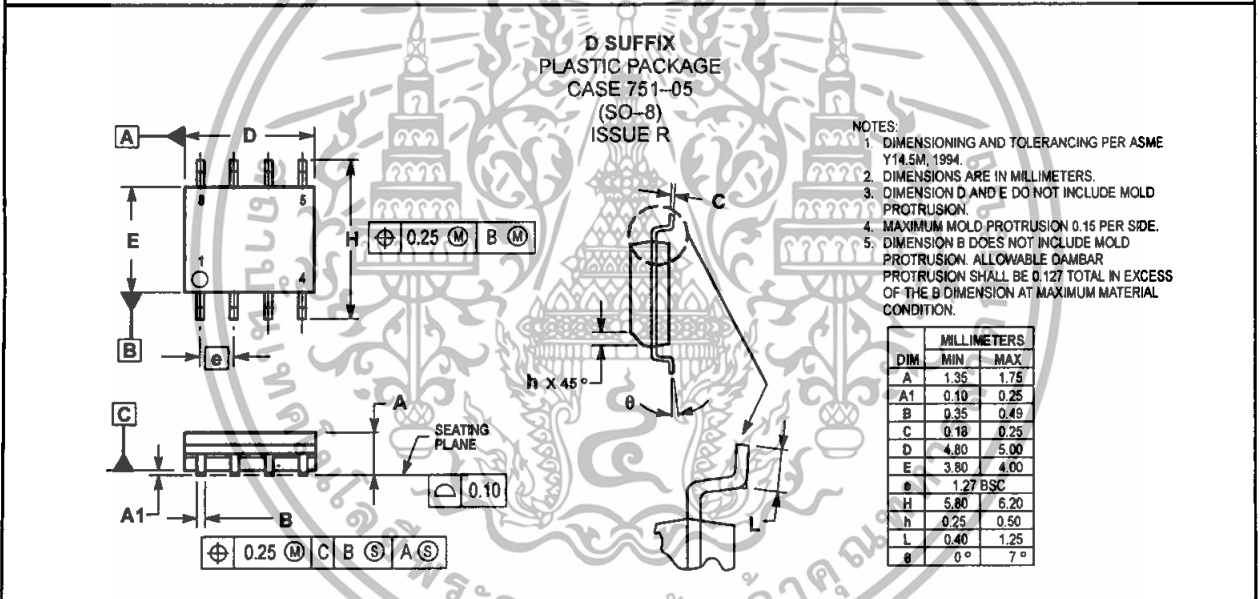
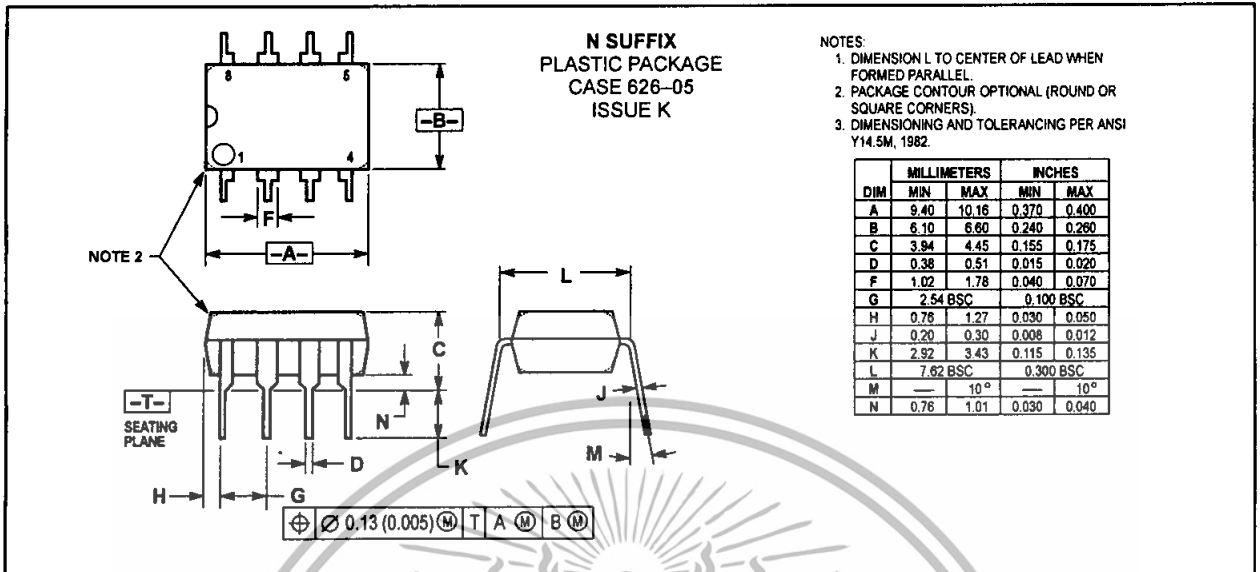
$$R_S = R1 || R2$$

$$V_{th1} = V_{ref} + \frac{(V_{CC} - V_{ref}) R1}{R1 + R2 + R_L}$$

$$V_{th2} = V_{ref} - \frac{(V_{ref} - V_{O\ Low}) R1}{R1 + R2}$$

# LM393, LM393A, LM293, LM2903, LM2903V

## OUTLINE DIMENSIONS



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola 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 consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola 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. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola 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 Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola 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 Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and  $\textcircled{M}$  are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

**How to reach us:**

USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;  
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,  
3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6609  
INTERNET: http://Design-NET.com

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,  
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



**MOTOROLA**

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้าน LM393/D

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีงานไปใช้



**CD4020BM/CD4020BC**  
**14-Stage Ripple Carry Binary Counters**  
**CD4040BM/CD4040BC**  
**12-Stage Ripple Carry Binary Counters**  
**CD4060BM/CD4060BC**  
**14-Stage Ripple Carry Binary Counters**

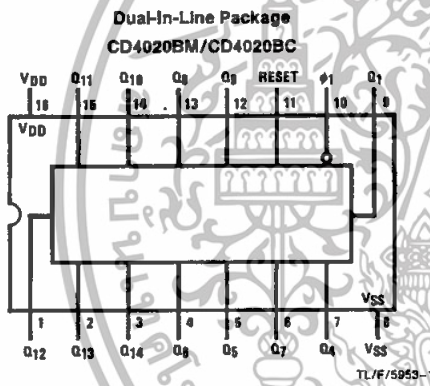
**General Description**

The CD4020BM/CD4020BC, CD4060BM/CD4060BC are 14-stage ripple carry binary counters, and the CD4040BM/CD4040BC is a 12-stage ripple carry binary counter. The counters are advanced one count on the negative transition of each clock pulse. The counters are reset to the zero state by a logical "1" at the reset input independent of clock.

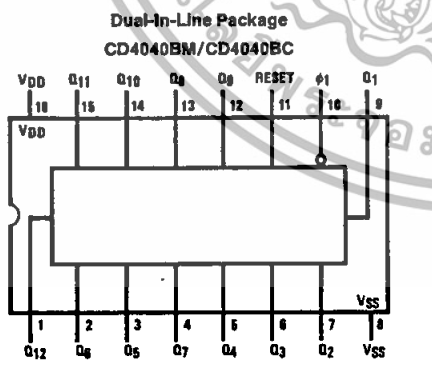
**Features**

- Wide supply voltage range 1.0V to 15V
- High noise immunity 0.45 V<sub>DD</sub> (typ.)
- Low power TTL compatibility Fan out of 2 driving 74L or 1 driving 74LS
- Medium speed operation 8 MHz typ. at V<sub>DD</sub> = 10V
- Schmitt trigger clock input

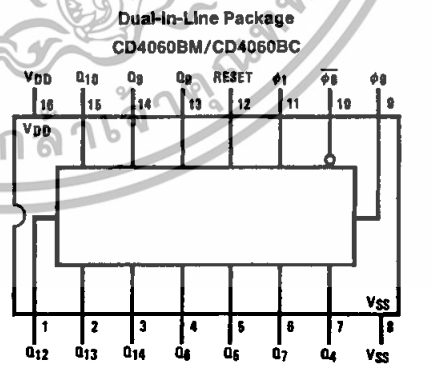
**Connection Diagrams**



Top View



Top View



Top View

**CD4020BM/BC 14-Stage Ripple Carry Binary Counters/CD4040BM/BC 12-Stage Ripple Carry Binary Counters CD4060BM/BC 14-Stage Ripple Carry Binary Counters**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Absolute Maximum Ratings (Notes 1 and 2)

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

Supply Voltage ( $V_{DD}$ )	-0.5V to +18V
Input Voltage ( $V_{IN}$ )	-0.5V to $V_{DD}$ + 0.5V
Storage Temperature Range ( $T_S$ )	-65°C to +150°C
Package Dissipation ( $P_D$ )	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature ( $T_L$ )	
(Soldering, 10 seconds)	260°C

### Recommended Operating Conditions

Supply Voltage ( $V_{DD}$ )	+3V to +15V
Input Voltage ( $V_{IN}$ )	0V to $V_{DD}$
Operating Temperature Range ( $T_A$ )	
CD40XXBM	-55°C to +125°C
CD40XXBC	-40°C to +85°C

### DC Electrical Characteristics CD40XXBM (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-55°C		+25°C			+125°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
$I_{DD}$	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V, V_{IN} = V_{DD}$ or $V_{SS}$		5		5		150	$\mu A$	
		$V_{DD} = 10V, V_{IN} = V_{DD}$ or $V_{SS}$		10		10		300	$\mu A$	
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = V_{DD}$ or $V_{SS}$		20		20		600	$\mu A$	
$V_{OL}$	Low Level Output Voltage	$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 15V$		0.05		0	0.05		0.05	V
$V_{OH}$	High Level Output Voltage	$V_{DD} = 5V$	4.95		4.95	5		4.95		V
		$V_{DD} = 10V$	9.95		9.95	10		9.95		V
		$V_{DD} = 15V$	14.95		14.95	15		14.95		V
$V_{IL}$	Low Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or $4.5V$	1.5		2	1.5		1.5		V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1.0V$ or $9.0V$	3.0		4	3.0		3.0		V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ or $13.5V$	4.0		6	4.0		4.0		V
$V_{IH}$	High Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or $4.5V$	3.5		3.5	3		3.5		V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1.0V$ or $9.0V$	7.0		7.0	6		7.0		V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ or $13.5V$	11.0		11.0	9		11.0		V
$I_{OL}$	Low Level Output Current (See Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$	0.64		0.51	0.88		0.36		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$	1.6		1.3	2.25		0.9		mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	4.2		3.4	8.8		2.4		mA
$I_{OH}$	High Level Output Current (See Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$	-0.64		-0.51	-0.88		-0.36		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$	-1.6		-1.3	-2.25		-0.9		mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	-4.2		-3.4	-8.8		-2.4		mA
$I_{IN}$	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$		-0.10		-10 <sup>-5</sup>	-0.10		-1.0	$\mu A$
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.10		10 <sup>-5</sup>	0.10		1.0	$\mu A$

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The tables of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provide conditions for actual device operation.

Note 2:  $V_{SS} = 0V$  unless otherwise specified.

Note 3: Data does not apply to oscillator points  $\phi_0$  and  $\phi_1$  of CD4060BM/CD4060BC.  $I_{OH}$  and  $I_{OL}$  are tested one output at a time.

### DC Electrical Characteristics 40XXBC (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		+25°C			+85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
$I_{DD}$	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V, V_{IN} = V_{DD}$ or $V_{SS}$		20		20		150	$\mu A$	
		$V_{DD} = 10V, V_{IN} = V_{DD}$ or $V_{SS}$		40		40		300	$\mu A$	
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = V_{DD}$ or $V_{SS}$		80		80		600	$\mu A$	
$V_{OL}$	Low Level Output Voltage	$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 15V$		0.05		0	0.05		0.05	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC Electrical Characteristics 40XXBC (Note 2) (Continued)										
Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		+25°C			+85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
V <sub>OH</sub>	High Level Output Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V	4.95		4.95	5		4.95		V
		V <sub>DD</sub> = 10V	9.95		9.95	10		9.95		V
		V <sub>DD</sub> = 15V	14.95		14.95	15		14.95		V
V <sub>IL</sub>	Low Level Input Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V		1.5		2	1.5		1.5	V
		V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1.0V or 9.0V		3.0		4	3.0		3.0	V
		V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V		4.0		6	4.0		4.0	V
V <sub>IH</sub>	High Level Input Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V or 4.5V	3.5		3.5	3		3.5		V
		V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1.0V or 9.0V	7.0		7.0	6		7.0		V
		V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V or 13.5V	11.0		11.0	9		11.0		V
I <sub>OL</sub>	Low Level Output Current (See Note 3)	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.4V	0.52		0.44	0.88		0.36		mA
		V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 0.5V	1.3		1.1	2.25		0.9		mA
		V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V	3.6		3.0	8.8		2.4		mA
I <sub>OH</sub>	High Level Output Current (See Note 3)	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 4.6V	-0.52		-0.44	-0.88		-0.36		mA
		V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 9.5V	-1.3		-1.1	-2.25		-0.9		mA
		V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 13.5V	-3.6		-3.0	-8.8		-2.4		mA
I <sub>IN</sub>	Input Current	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 0V		-0.30		-10 <sup>-5</sup>	-0.30		-1.0	μA
		V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 15V		0.30		10 <sup>-5</sup>	0.30		1.0	μA
AC Electrical Characteristics* CD4020BM/CD4020BC, CD4040BM/CD4040BC T <sub>A</sub> = 25°C, C <sub>L</sub> = 50 pF, R <sub>L</sub> = 200k, t <sub>r</sub> = t <sub>f</sub> = 20 ns, unless otherwise noted										
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units				
t <sub>PHL1</sub> , t <sub>PLH1</sub>	Propagation Delay Time to Q <sub>1</sub>	V <sub>DD</sub> = 5V		250	550	ns				
		V <sub>DD</sub> = 10V		100	210	ns				
		V <sub>DD</sub> = 15V		75	150	ns				
t <sub>PHL</sub> , t <sub>PLH</sub>	Interstage Propagation Delay Time from Q <sub>n</sub> to Q <sub>n+1</sub>	V <sub>DD</sub> = 5V		150	330	ns				
		V <sub>DD</sub> = 10V		60	125	ns				
		V <sub>DD</sub> = 15V		45	90	ns				
t <sub>THL</sub> , t <sub>TLH</sub>	Transition Time	V <sub>DD</sub> = 5V		100	200	ns				
		V <sub>DD</sub> = 10V		50	100	ns				
		V <sub>DD</sub> = 15V		40	80	ns				
t <sub>WL</sub> , t <sub>WH</sub>	Minimum Clock Pulse Width	V <sub>DD</sub> = 5V		125	335	ns				
		V <sub>DD</sub> = 10V		50	125	ns				
		V <sub>DD</sub> = 15V		40	100	ns				
t <sub>CL</sub> , t <sub>CL</sub>	Maximum Clock Rise and Fall Time	V <sub>DD</sub> = 5V			No Limit	ns				
		V <sub>DD</sub> = 10V			No Limit	ns				
		V <sub>DD</sub> = 15V			No Limit	ns				
f <sub>CL</sub>	Maximum Clock Frequency	V <sub>DD</sub> = 5V	1.5	4		MHz				
		V <sub>DD</sub> = 10V	4	10		MHz				
		V <sub>DD</sub> = 15V	5	12		MHz				
t <sub>PHL(R)</sub>	Reset Propagation Delay	V <sub>DD</sub> = 5V		200	450	ns				
		V <sub>DD</sub> = 10V		100	210	ns				
		V <sub>DD</sub> = 15V		80	170	ns				
t <sub>WH(R)</sub>	Minimum Reset Pulse Width	V <sub>DD</sub> = 5V		200	450	ns				
		V <sub>DD</sub> = 10V		100	210	ns				
		V <sub>DD</sub> = 15V		80	170	ns				
C <sub>in</sub>	Average Input Capacitance	Any Input		5	7.5	pF				
C <sub>pd</sub>	Power Dissipation Capacitance			50		pF				

\*AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>AC Electrical Characteristics*</b> CD4060BM/CD4060BC						
$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $C_L = 50\text{ pF}$ , $R_L = 200\text{ k}$ , $t_r = t_f = 20\text{ ns}$ , unless otherwise noted						
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$t_{PHL4}$ , $t_{PLH4}$	Propagation Delay Time to $Q_4$	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		550 250 200	1300 525 400	ns ns ns
$t_{PHL}$ , $t_{PLH}$	Interstage Propagation Delay Time from $Q_n$ to $Q_{n+1}$	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		150 60 45	330 125 90	ns ns ns
$t_{THL}$ , $t_{TLH}$	Transition Time	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		100 50 40	200 100 80	ns ns ns
$t_{WL}$ , $t_{WH}$	Minimum Clock Pulse Width	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		170 65 50	500 170 125	ns ns ns
$t_{rCL}$ , $t_{fCL}$	Maximum Clock Rise and Fall Time	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$			No Limit No Limit No Limit	ns ns ns
$f_{CL}$	Maximum Clock Frequency	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$	1 3 4	3 8 10		MHz MHz MHz
$t_{PHL(R)}$	Reset Propagation Delay	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		200 100 80	450 210 170	ns ns ns
$t_{WH(R)}$	Minimum Reset Pulse Width	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		200 100 80	450 210 170	ns ns ns
$C_{in}$	Average Input Capacitance	Any Input		5	7.5	pF
$C_{pd}$	Power Dissipation Capacitance			50		pF

\*AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

### CD4060B Typical Oscillator Connections

**RC Oscillator**

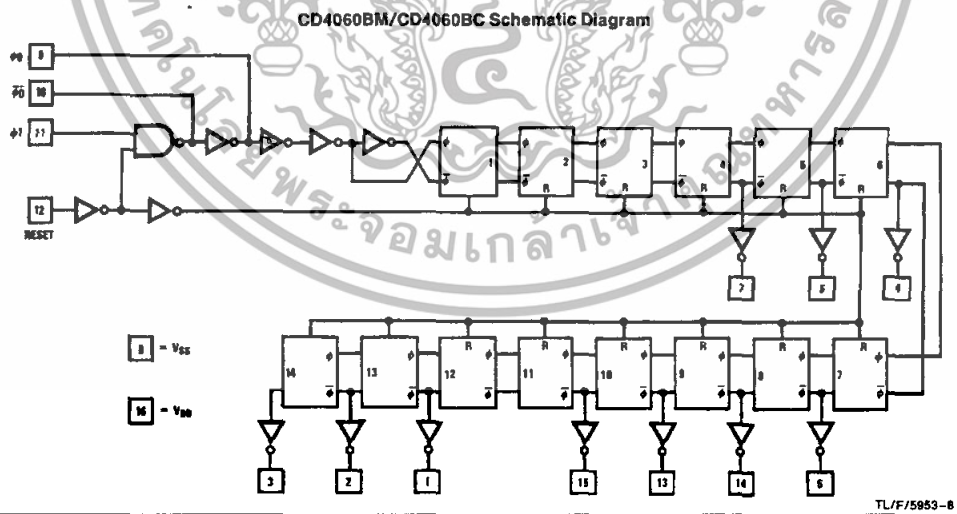
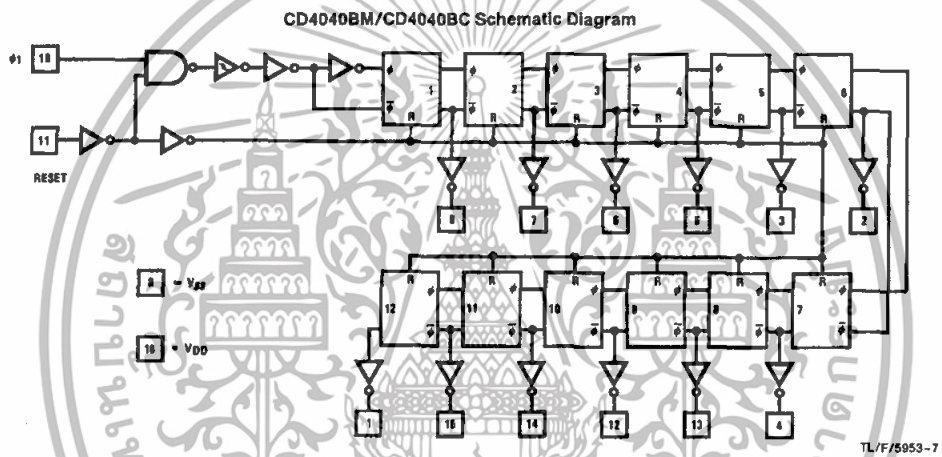
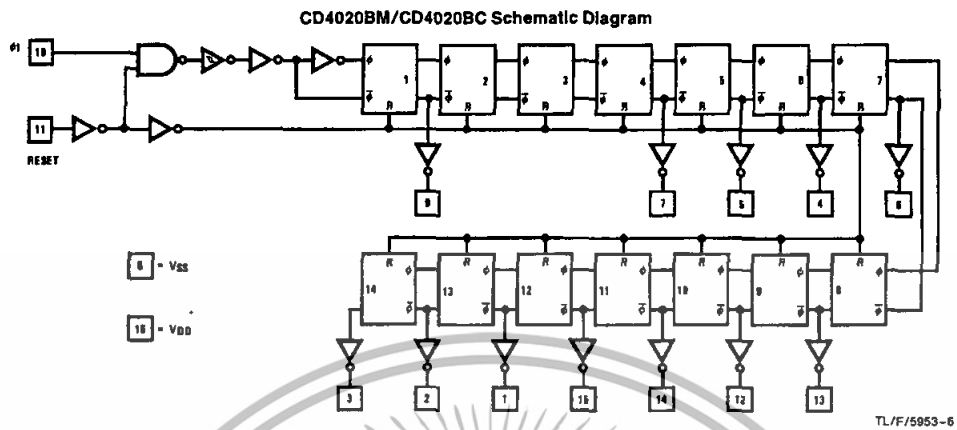
TL/F/5953-4

**Crystal Oscillator**

TL/F/5953-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

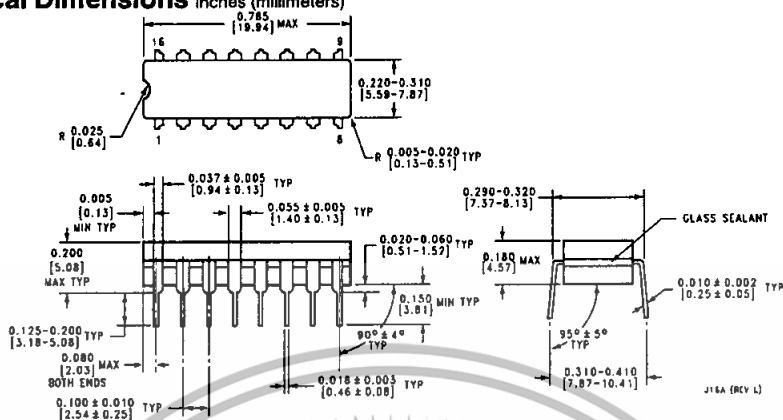
## Schematic Diagrams



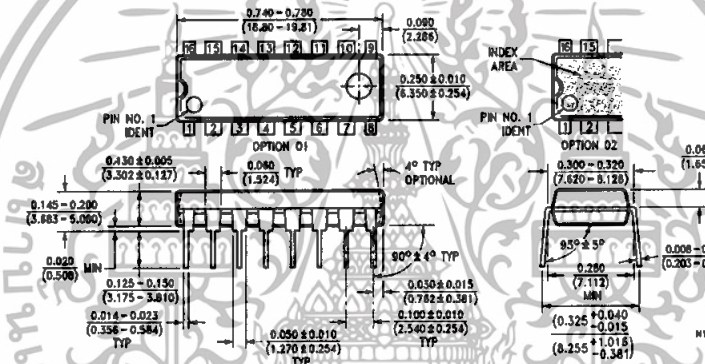
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**CD4020BM/BC 14-Stage Ripple Carry Binary Counters/CD4040BM/BC 12-Stage Ripple Carry Binary Counters**  
**Ripple Carry Binary Counters CD4060BM/BC 14-Stage Ripple Carry Binary Counters**

**Physical Dimensions** Inches (millimeters)



**Ceramic Dual-In-Line Package (J)**  
**Order Number CD4020BMJ, CD4020BCJ,**  
**CD4040BMJ, CD4040BCJ, CD4060BMJ or CD4060BCJ**  
**NS Package Number J16A**



**Molded Dual-In-Line Package (N)**  
**Order Number CD4020BMN, CD4020BCN,**  
**CD4040BMN, CD4040BCN, CD4060BMN or CD4060BCN**  
**NS Package Number N16E**

**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:

- 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.
- 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 86  
 Email: cnjwge@lsvm2.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.  
 Tsimshatsui, Kowloon  
 Hong Kong  
 Tel: (852) 2737-1600  
 Fax: (852) 2736-9960

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

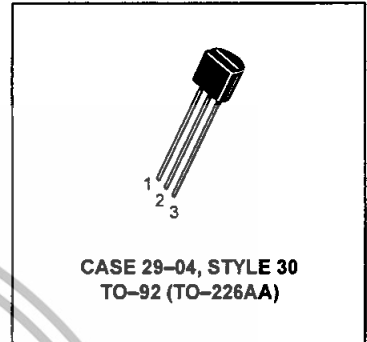
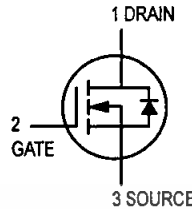
National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TMOS FET Switching

## N-Channel — Enhancement

**BS170**



### MAXIMUM RATINGS

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

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
Gate Reverse Current ( $V_{GS} = 15 \text{ Vdc}, V_{DS} = 0$ )	$I_{GSS}$	—	0.01	10	nAdc
Drain-Source Breakdown Voltage ( $V_{GS} = 0, I_D = 100 \mu \text{Adc}$ )	$V_{(BR)DSS}$	60	90	—	Vdc
<b>ON CHARACTERISTICS(2)</b>					
Gate Threshold Voltage ( $V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1.0 \text{ mAdc}$ )	$V_{GS(Th)}$	0.8	2.0	3.0	Vdc
Static Drain-Source On Resistance ( $V_{GS} = 10 \text{ Vdc}, I_D = 200 \text{ mAdc}$ )	$r_{DS(on)}$	—	1.8	5.0	$\Omega$
Drain Cutoff Current ( $V_{DS} = 25 \text{ Vdc}, V_{GS} = 0 \text{ Vdc}$ )	$I_{D(off)}$	—	—	0.5	$\mu A$
Forward Transconductance ( $V_{DS} = 10 \text{ Vdc}, I_D = 250 \text{ mAdc}$ )	$g_{fs}$	—	200	—	mmhos

### SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

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

### SWITCHING CHARACTERISTICS

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

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

REV 1

RESISTIVE SWITCHING

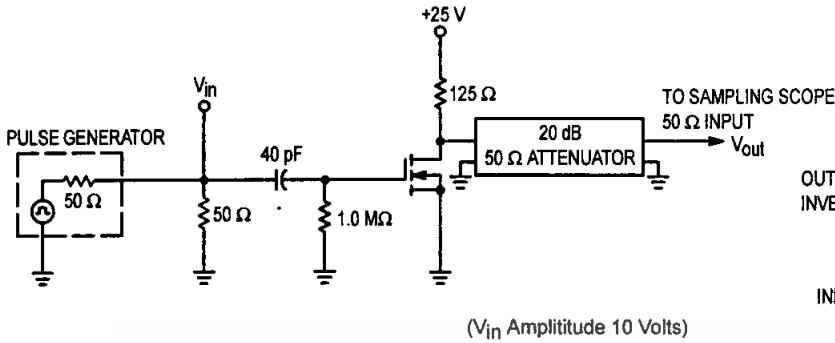


Figure 1. Switching Test Circuit

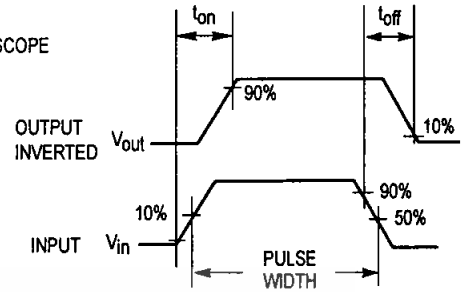


Figure 2. Switching Waveforms

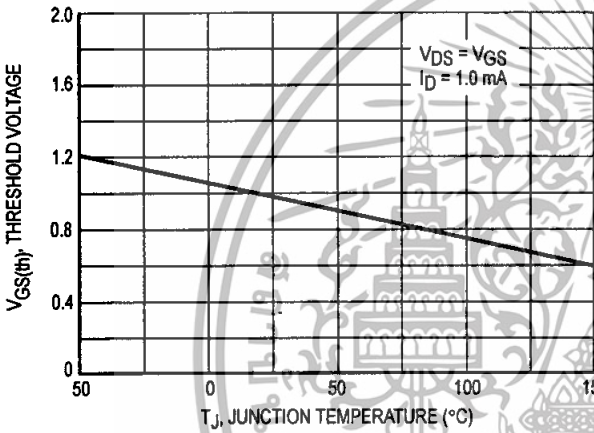


Figure 3.  $V_{GS(th)}$  Normalized versus Temperature

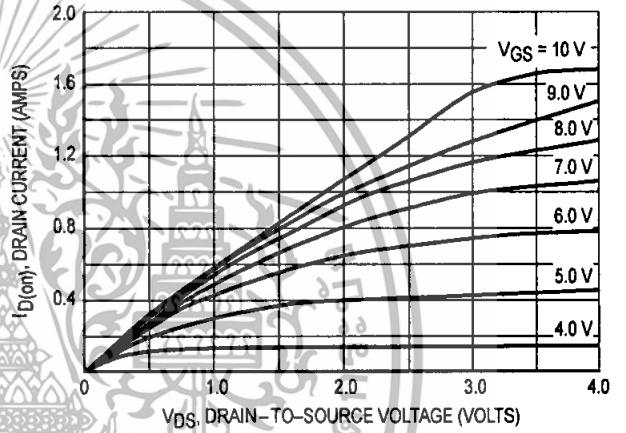


Figure 4. On-Region Characteristics

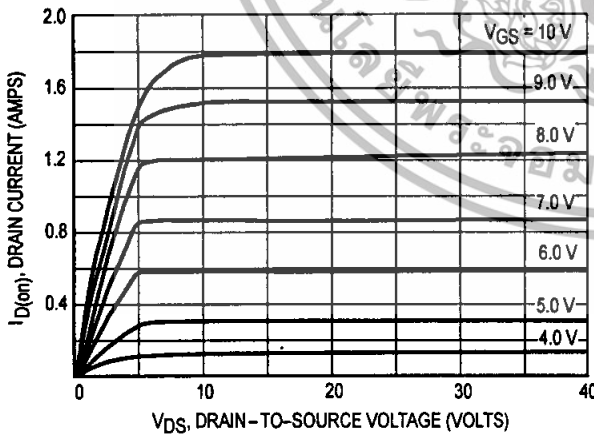


Figure 5. Output Characteristics

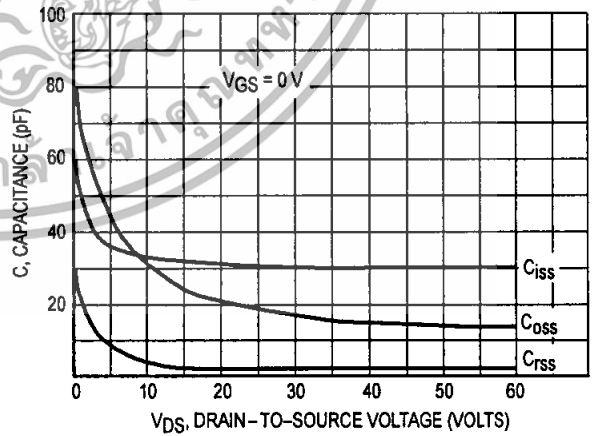
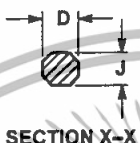
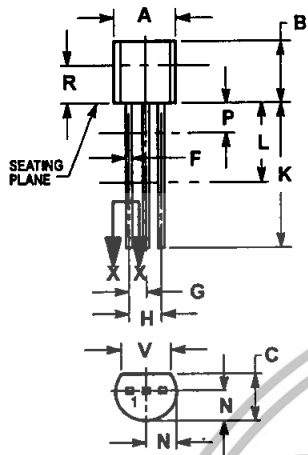


Figure 6. Capacitance versus Drain-To-Source Voltage

PACKAGE DIMENSIONS

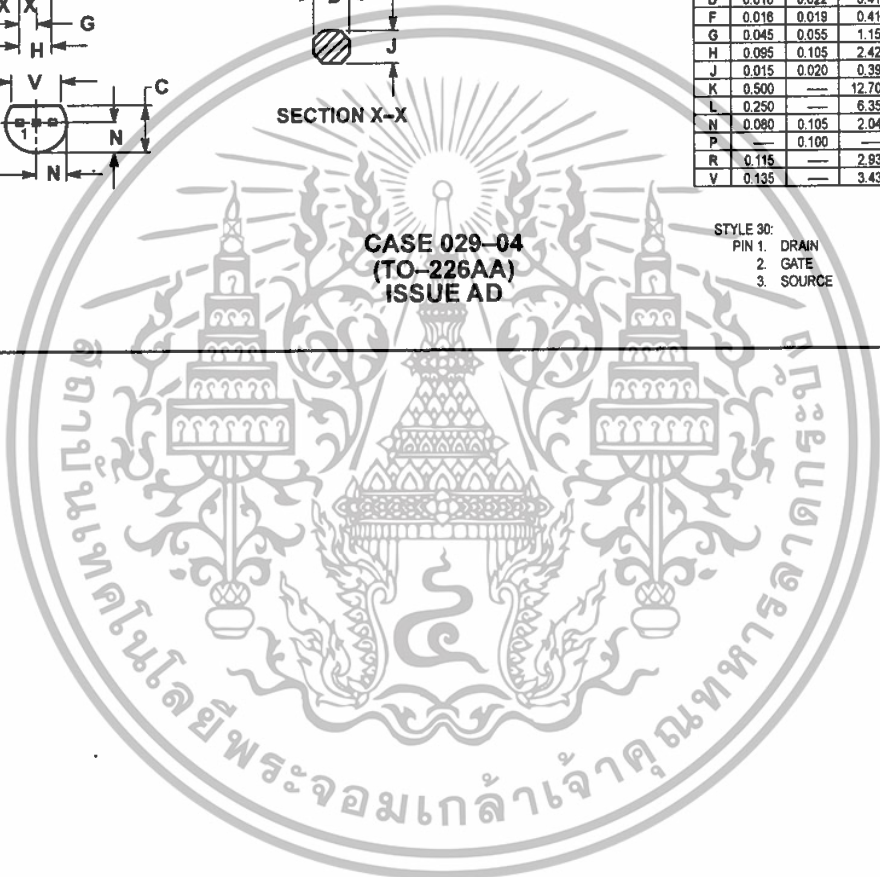


- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
  2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
  3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
  4. DIMENSION F APPLIES BETWEEN P AND L. DIMENSION D AND J APPLY BETWEEN L AND K. MINIMUM LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION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


DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.185	3.18	4.19
D	0.016	0.022	0.41	0.55
F	0.016	0.019	0.41	0.48
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	---	12.70	---
L	0.250	---	6.35	---
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	---	0.100	---	2.54
R	0.115	---	2.93	---
V	0.135	---	3.43	---

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

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





Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola 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 consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola 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. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola 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 Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola 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 Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and  are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

Mfax is a trademark of Motorola, Inc.

How to reach us:

USA / EUROPE / Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution; P.O. Box 5405, Denver, Colorado 80217. 303-675-2140 or 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 81-3-3521-8315

Mfax™: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6609

ASIA / PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park, 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298

INTERNET: <http://motorola.com/sps>

- US & Canada ONLY 1-800-774-1848



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

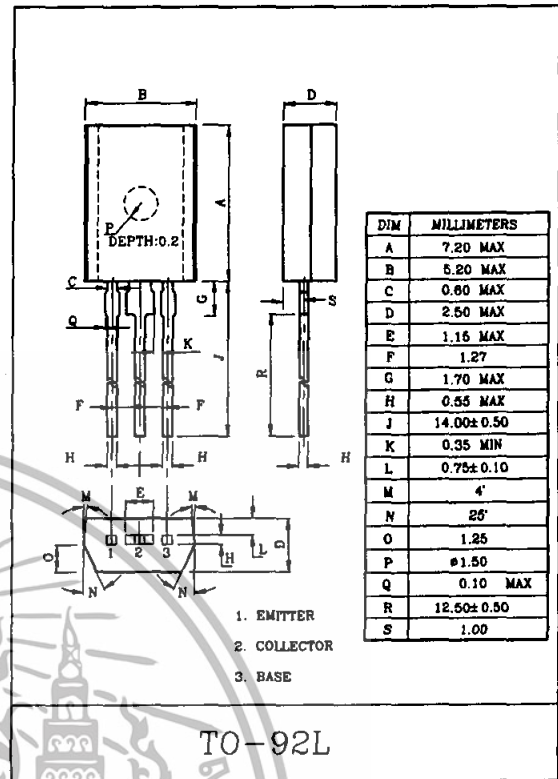
POWER AMPLIFIER APPLICATION.  
POWER SWITCHING APPLICATION.

### FEATURE

- Low Saturation Voltage.  
:  $V_{CE(sat)}=0.5V(MAX)$  ( $I_C=1A$ )
- High Speed Switching Time :  $t_{stg}=1.0\mu S(TYP.)$
- Complementary to KTA1281.

### MAXIMUM RATINGS ( $T_a=25^\circ C$ )

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	50	V
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	50	V
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$	5	V
Collector Current	$I_C$	2	A
Emitter Current	$I_E$	-2	A
Collector Power Dissipation	$P_C$	1	W
Junction Temperature	$T_j$	150	$^\circ C$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55~150	$^\circ C$



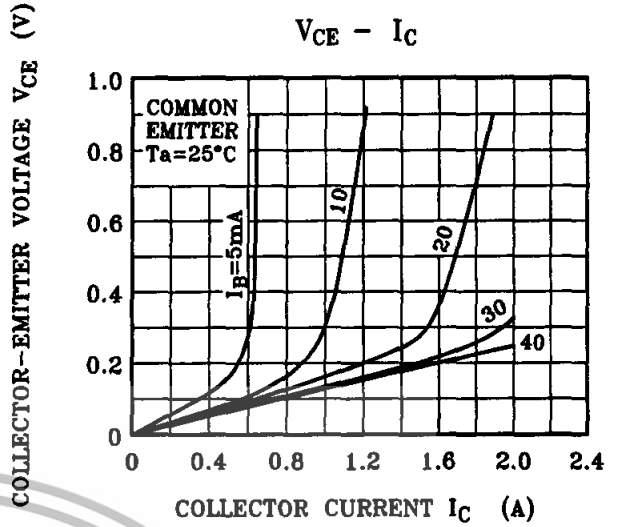
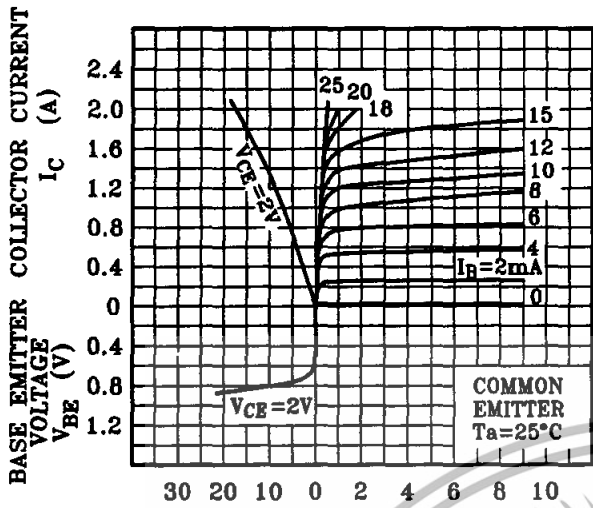
### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_a=25^\circ C$ )

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Collector Cut-off Current	$I_{CBO}$	$V_{CB}=50V, I_E=0$	-	-	0.1	$\mu A$
Emitter Cut-off Current	$I_{EBO}$	$V_{EB}=5V, I_C=0$	-	-	0.1	$\mu A$
Collector-Emitter Breakdown Voltage	$V_{(BR)CEO}$	$I_C=10mA, I_B=0$	50	-	-	V
Emitter-Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)EBO}$	$I_E=1mA, I_C=0$	5	-	-	V
DC Current Gain	$h_{FE(1)}$ (Note)	$V_{CE}=2V, I_C=0.5A$	70	-	240	
	$h_{FE(2)}$ (Note)	$V_{CE}=2V, I_C=1.5A$	40	-	-	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C=1.0A, I_B=0.05A$	-	-	0.5	V
Base-Emitter Satiratompm Voltage	$V_{BE(SAT)}$	$I_C=1.0A, I_B=0.05A$	-	-	1.2	V
Transition Frequency	$f_T$	$V_{CE}=2V, I_C=0.5A$	-	100	-	MHz
Collector Output Capacitance	$C_{ob}$	$V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz$	-	30	-	pF
Switching Time	Turn on Time	$t_{on}$	-	0.1	-	$\mu S$
	Storage Time	$t_{stg}$	-	1.0	-	
	Fall Time	$t_f$	-	0.1	-	

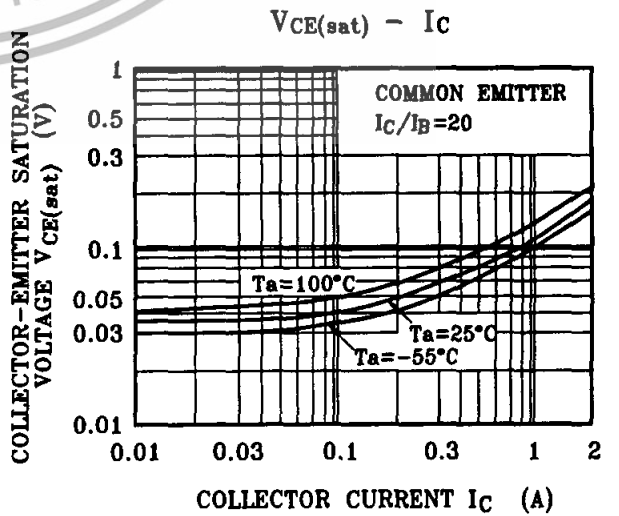
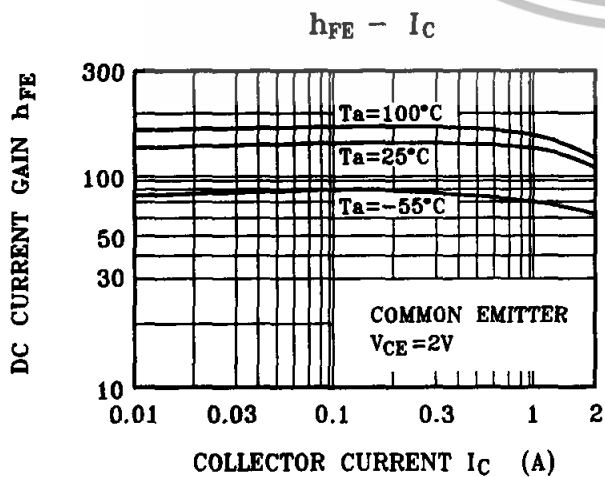
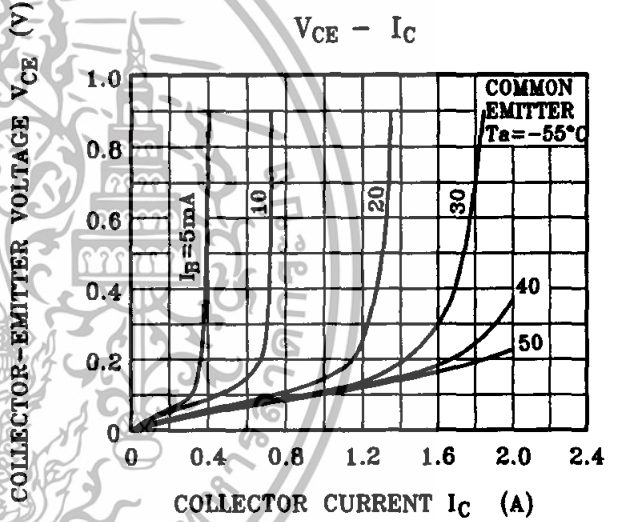
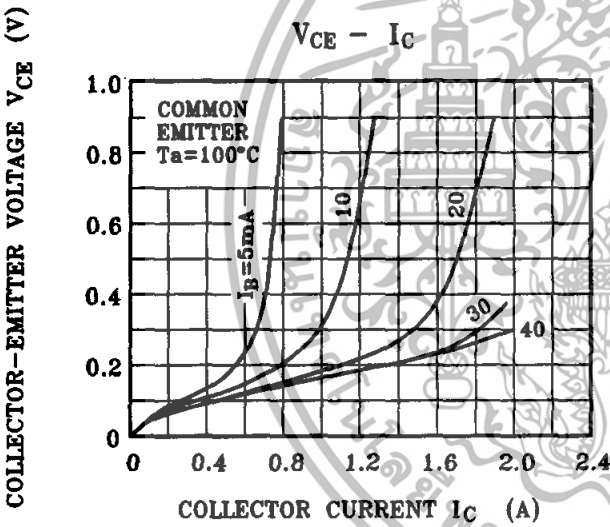
Note :  $h_{FE}$  Classification O:70~140, Y:120~240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STATIC CHARACTERISTICS



BASE CURRENT  $I_B$  (mA)      COLLECTOR-EMITTER VOLTAGE  $V_{CE}$  (V)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



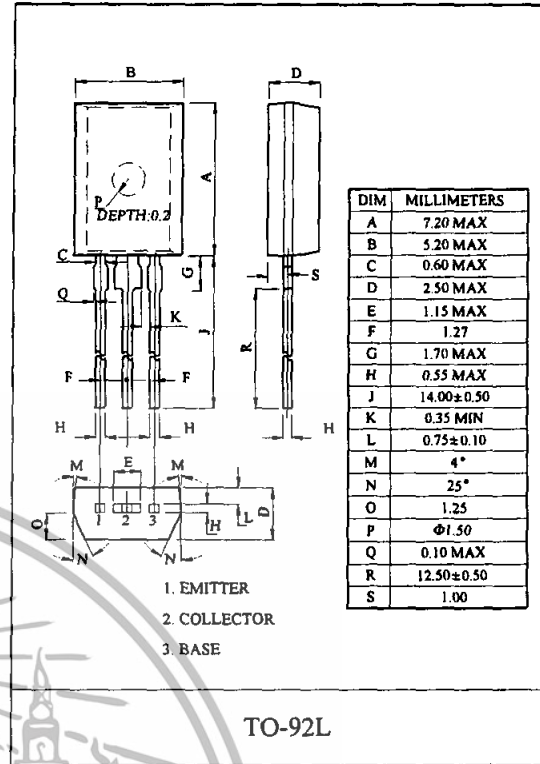
POWER AMPLIFIER APPLICATIONS.  
POWER SWITCHING APPLICATIONS.

### FEATURES

- Low Collector Saturation Voltage  
:  $V_{CE(sat)} = -0.5V(\text{Max.}) (I_C = -1A)$
- High Speed Switching Time :  $t_{sig} = 1.0\mu S(\text{Typ.})$
- Complementary to KTC3209.

### MAXIMUM RATING (Ta=25°C)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	-50	V
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	-50	V
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$	-5	V
Collector Current	$I_C$	-2	A
Collector Power Dissipation	$P_C$	1	W
Junction Temperature	$T_j$	150	°C
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55 ~ 150	°C



### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta=25°C)

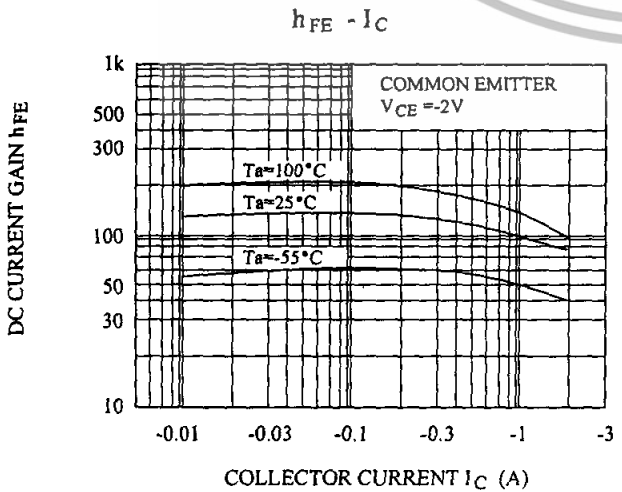
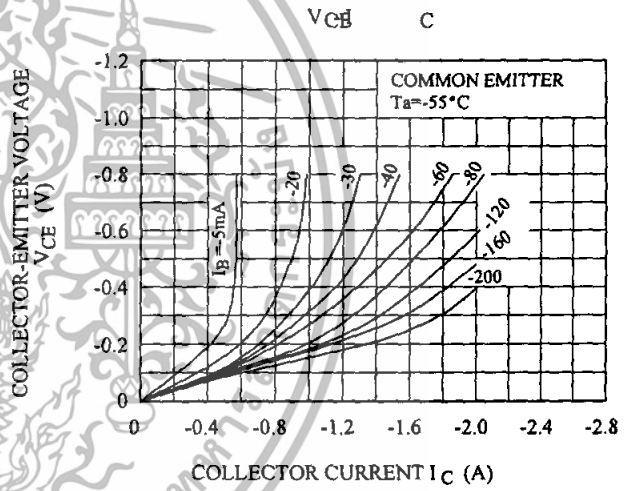
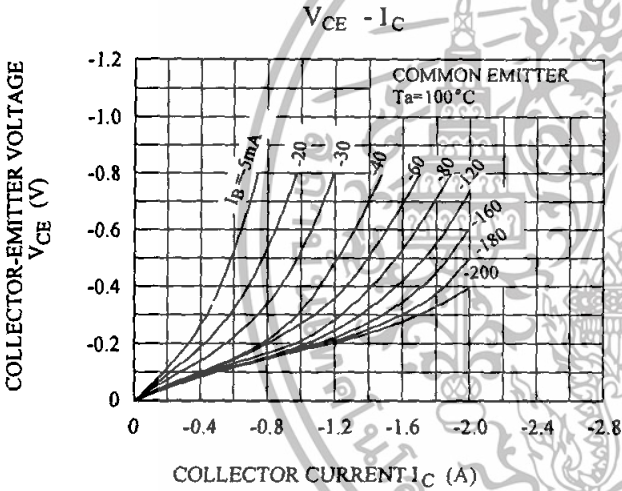
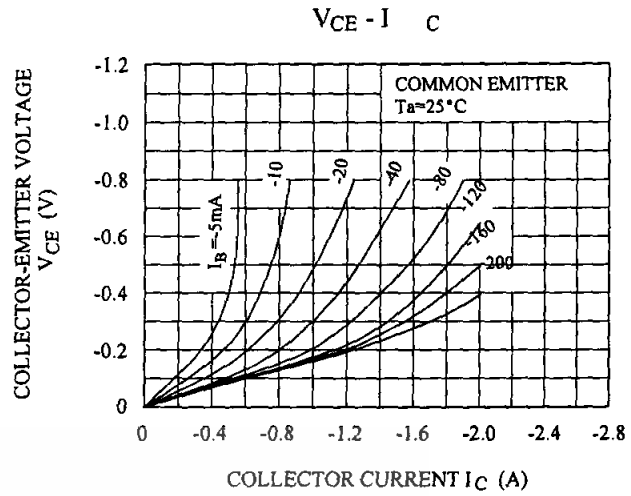
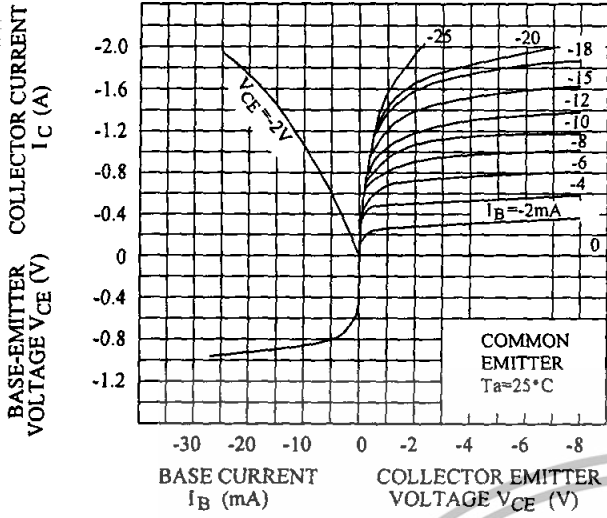
CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Collector Cut-off Current	$I_{CBO}$	$V_{CB} = -50V, I_E = 0$	-	-	-0.1	μA
Emitter Cut-off Current	$I_{EBO}$	$V_{EB} = -5V, I_C = 0$	-	-	-0.1	μA
Collector-Emitter Breakdown Voltage	$V_{(BR)CEO}$	$I_C = -10mA, I_B = 0$	-50	-	-	V
DC Current Gain	$h_{FE}(1)$	$V_{CE} = -2V, I_C = -0.5A$ (Note)	70	-	240	
	$h_{FE}(2)$	$V_{CE} = -2V, I_C = -1.5A$	40	-	-	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = -1A, I_B = -0.05A$	-	-	-0.5	V
Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$	$I_C = -1A, I_B = -0.05A$	-	-	-1.2	V
Transition Frequency	$f_T$	$V_{CE} = -2V, I_C = -0.5A$	-	100	-	MHz
Collector Output Capacitance	$C_{ob}$	$V_{CB} = -10V, I_E = 0, f = 1MHz$	-	40	-	pF
Switching Time	Turn-on Time	$t_{on}$	-	0.1	-	μS
	Storage Time	$t_{sig}$	-	1.0	-	
	Fall Time	$t_f$	-	0.1	-	

- $I_{B1} = I_{B2} = 0.05A$   
DUTY CYCLE  $\leq 1\%$

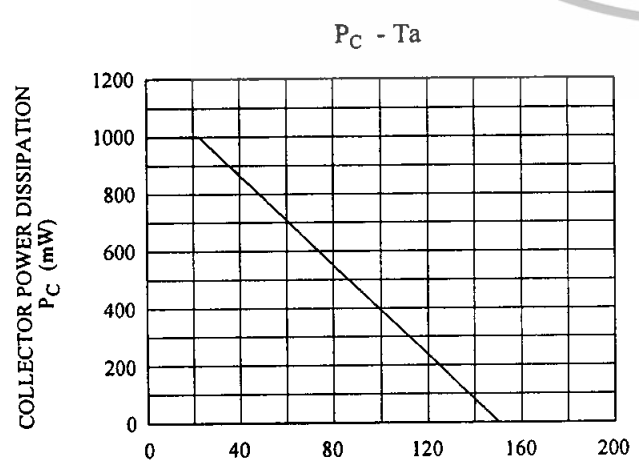
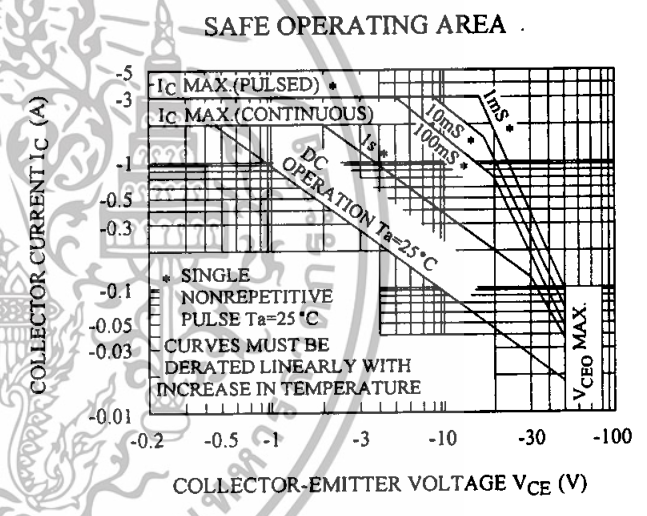
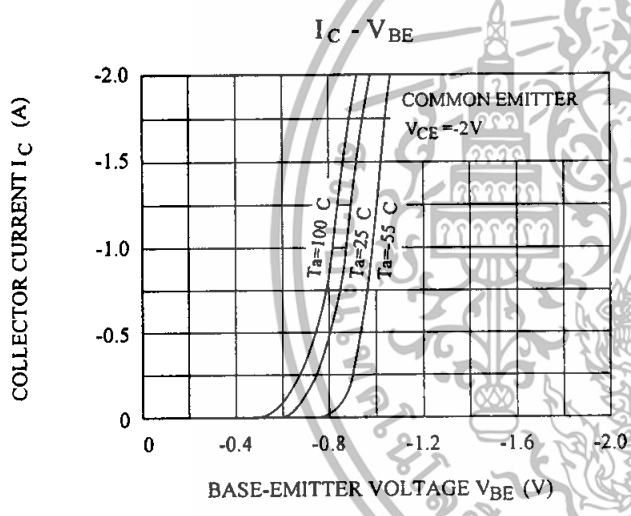
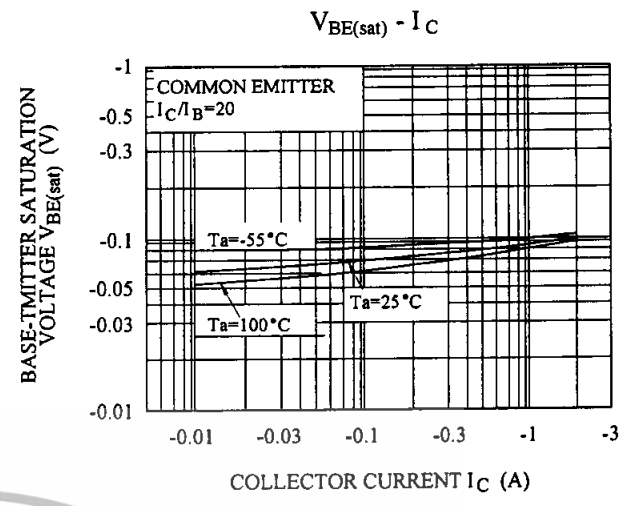
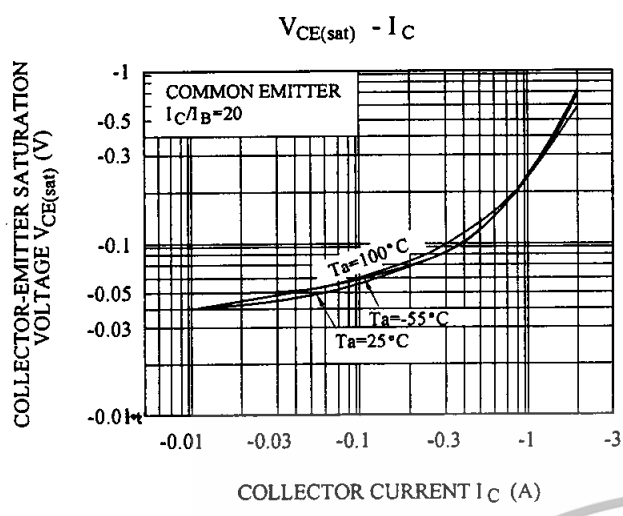
Note :  $h_{FE}$  Classification 0:70 ~ 140, Y:120 ~ 240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STATIC CHARACTERISTICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า



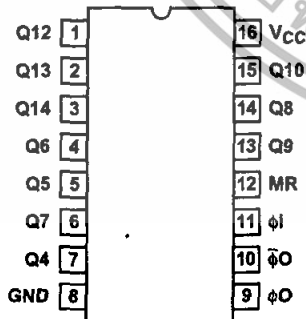
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัทฯ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้

### Features

- Onboard Oscillator
- Common Reset
- Negative Edge Clcking
- Typical  $f_{MAX} = 50\text{MHz}$  at  $V_{CC} = 5\text{V}$ ,  $C_L = 15\text{pF}$ ,  
 $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Fanout (Over Temperature Range)
  - Standard Outputs . . . . . 10 LSTTL Loads
  - Bus Driver Outputs . . . . . 15 LSTTL Loads
- Wide Operating Temperature Range . . .  $-55^\circ\text{C}$  to  $125^\circ\text{C}$
- Balanced Propagation Delay and Transition Times
- Significant Power Reduction Compared to LSTTL Logic ICs
- HC Types
  - 2V to 6V Operation
  - High Noise Immunity:  $N_{IL} = 30\%$ ,  $N_{IH} = 30\%$  of  $V_{CC}$  at  $V_{CC} = 5\text{V}$
- HCT Types
  - 4.5V to 5.5V Operation
  - Direct LSTTL Input Logic Compatibility,  $V_{IL} = 0.8\text{V}$  (Max),  $V_{IH} = 2\text{V}$  (Min)
  - CMOS Input Compatibility,  $I_I \leq 1\mu\text{A}$  at  $V_{OL}$ ,  $V_{OH}$

### Pinout

CD74HC4060, CD74HCT4060  
(PDIP, SOIC)  
TOP VIEW



# CD74HC4060, CD74HCT4060

## Description

The Harris CD74HC4060 and CD74HCT4060 each consist of an oscillator section and 14 ripple-carry binary counter stages. The oscillator configuration allows design of either RC or crystal oscillator circuits. A Master Reset input is provided which resets the counter to the all-0's state and disables the oscillator. A high level on the MR line accomplishes the reset function. All counter stages are master-slave flip-flops. The state of the counter is advanced one step in binary order on the negative transition of  $\phi I$  (and  $\phi O$ ). All inputs and outputs are buffered. Schmitt trigger action on the input-pulse-line permits unlimited rise and fall times.

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

TTL switching levels.

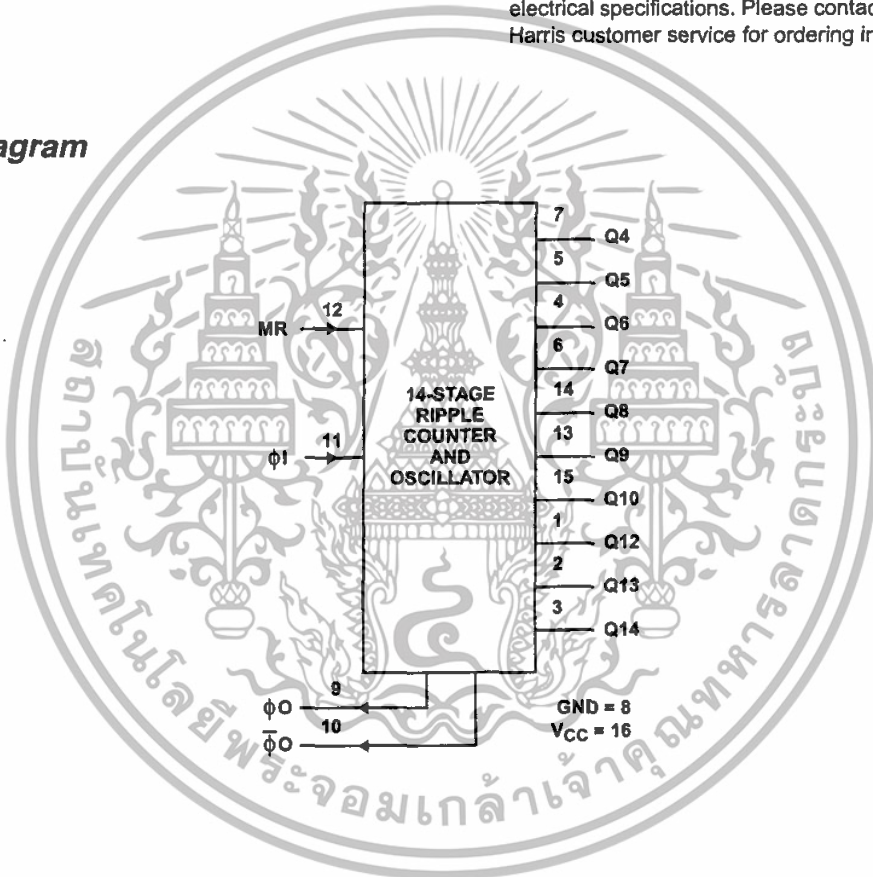
## Ordering Information

PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
CD74HC4060E	-55 to 125	16 Ld PDIP	E16.3
CD74HCT4060E	-55 to 125	16 Ld PDIP	E16.3
CD74HC4060M	-55 to 125	16 Ld SOIC	M16.15
CD74HCT4060M	-55 to 125	16 Ld SOIC	M16.15

### NOTES:

- When ordering, use the entire part number. Add the suffix 96 to obtain the variant in the tape and reel.
- Wafer and die for this part number is available which meets all electrical specifications. Please contact your local sales office or Harris customer service for ordering information.

## Functional Diagram



CD74HC4060, CD74HCT4060

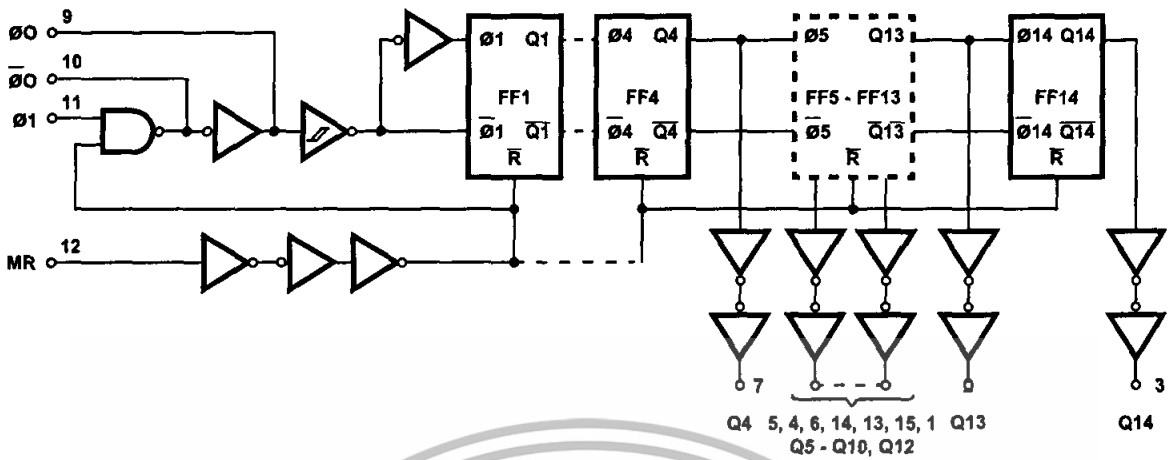


FIGURE 1. LOGIC BLOCK DIAGRAM

TRUTH TABLE

CP	MR	OUTPUT STATE
↑	L	No Change
↓	L	Advance to Next State
X	H	All Outputs are Low

# CD74HC4060, CD74HCT4060

## Absolute Maximum Ratings

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

## Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 3)	$\theta_{JA}$ ( $^{\circ}C/W$ )
PDIP Package .....	90
SOIC Package .....	160
Maximum Junction Temperature .....	150 $^{\circ}C$
Maximum Storage Temperature Range .....	-65 $^{\circ}C$ to 150 $^{\circ}C$
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s) .....	300 $^{\circ}C$ (SOIC - Lead Tips Only)

## Operating Conditions

Temperature Range, $T_A$ .....	-55 $^{\circ}C$ to 125 $^{\circ}C$
Supply Voltage Range, $V_{CC}$	
HC Types .....	.2V to 6V
HCT Types .....	4.5V to 5.5V
DC Input or Output Voltage, $V_I, V_O$ .....	0V to $V_{CC}$
Input Rise and Fall Time	
2V .....	1000ns (Max)
4.5V .....	500ns (Max)
6V .....	400ns (Max)

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

### NOTE:

- $\theta_{JA}$  is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

## DC Electrical Specifications

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**CD74HC4060, CD74HCT4060**

**DC Electrical Specifications (Continued)**

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		V <sub>CC</sub> (V)	25°C			-40°C TO 85°C		-55°C TO 125°C		UNITS
		V <sub>I</sub> (V)	I <sub>O</sub> (mA)		MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
High-Level Output Voltage $\phi$ O Output (Pin 10) TTL Loads Note 6	V <sub>OH</sub>	V <sub>CC</sub> or GND	-2.6	4.5	3.98	-	-	3.84	-	3.7	-	V
			-3.3	6	5.48	-	-	5.34	-	5.2	-	V
Low-Level Output Voltage $\phi$ O Output (Pin 10) CMOS Loads	V <sub>OL</sub>	V <sub>CC</sub> or GND	0.02	2	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
			0.02	4.5	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
			0.02	6	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
Low-Level Output Voltage $\phi$ O Output (Pin 10) TTL Loads	V <sub>OL</sub>	V <sub>CC</sub> or GND	2.6	4.5	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
			3.3	6	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
High-Level Output Voltage $\phi$ O Output (Pin 9) TTL Loads	V <sub>OH</sub>	V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub>	-3.2	4.5	3.98	-	-	3.84	-	3.7	-	V
			-4.2	6	5.48	-	-	5.34	-	5.2	-	V
Low-Level Output Voltage $\phi$ O Output (Pin 9) TTL Loads	V <sub>OL</sub>	V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub>	-2.6	4.5	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
			-3.3	6	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
Input Leakage Current	I <sub>I</sub>	V <sub>CC</sub> or GND	-	6	-	-	±0.1	-	±1	-	±1	μA
Quiescent Device Current	I <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> or GND	0	6	-	-	8	-	80	-	160	μA
<b>HCT TYPES</b>												
High Level Input Voltage	V <sub>IH</sub>	-	-	4.5 to 5.5	2	-	-	2	-	2	-	V
Low Level Input Voltage	V <sub>IL</sub>	-	-	4.5 to 5.5	-	-	0.8	-	0.8	-	0.8	V
High Level Output Voltage Q Outputs CMOS Loads	V <sub>OH</sub>	V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub> Note 5	-0.02	4.5	4.4	-	-	4.4	-	4.4	-	V
			-4	4.5	3.98	-	-	3.84	-	3.7	-	V
Low Level Output Voltage Q Outputs CMOS Loads	V <sub>OL</sub>	V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub> Note 5	0.02	4.5	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
			4	4.5	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
Low Level Output Voltage Q Outputs TTL Loads	V <sub>OL</sub>	V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub> Note 5	4	4.5	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
High-Level Output Voltage $\phi$ O Output (Pin 10) CMOS Loads	V <sub>OH</sub>	V <sub>CC</sub> or GND	-0.02	4.5	4.4	-	-	4.4	-	4.4	-	V
High-Level Output Voltage $\phi$ O Output (Pin 10) TTL Loads Note 6	V <sub>OH</sub>	V <sub>CC</sub> or GND	-2.6	4.5	3.98	-	-	3.84	-	3.7	-	V
Low-Level Output Voltage $\phi$ O Output (Pin 10) CMOS Loads	V <sub>OL</sub>	V <sub>CC</sub> or GND	0.02	4.5	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CD74HC4060, CD74HCT4060

## DC Electrical Specifications (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		V <sub>CC</sub> (V)	25°C			-40°C TO 85°C		-55°C TO 125°C		UNITS
		V <sub>I</sub> (V)	I <sub>O</sub> (mA)		MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
Low-Level Output Voltage $\phi$ O Output (Pin 10) TTL Loads	V <sub>OL</sub>	V <sub>CC</sub> or GND	2.6	4.5	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
High-Level Output Voltage $\phi$ O Output (Pin 9) TTL Loads	V <sub>OH</sub>	V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub>	-3.2	4.5	3.98	-	-	3.84	-	3.7	-	V
Low-Level Output Voltage $\phi$ O Output (Pin 9) TTL Loads	V <sub>OL</sub>	V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub> Note 5	3.2	4.5	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
Input Leakage Current	I <sub>I</sub>	Any Voltage Between V <sub>CC</sub> and GND	0	5.5	-	-	±0.1	-	±1	-	±1	µA
Quiescent Device Current	I <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> or GND	0	5.5	-	-	8	-	80	-	160	µA
Additional Quiescent Device Current Per Input Pin: 1 Unit Load	$\Delta$ I <sub>CC</sub> (Note 4)	V <sub>CC</sub> -2.1	-	4.5 to 5.5	-	100	360	-	450	-	490	µA

**NOTES:**

4. For dual-supply systems theoretical worst case (V<sub>I</sub> = 2.4V, V<sub>CC</sub> = 5.5V) specification is 1.8mA.
5. For pin 11 V<sub>IH</sub> = 3.15V, V<sub>IL</sub> = 0.9V.
6. Limits not valid when pin 12 (instead of pin 11) is used as control input.

### HCT Input Loading Table

INPUT	UNIT LOADS
MR	0.35

NOTE: Unit Load is  $\Delta$ I<sub>CC</sub> limit specified in DC Electrical Specifications Table, e.g. 360µA max at 25°C.

### Prerequisite for Switching Specifications

PARAMETER	SYMBOL	V <sub>CC</sub> (V)	25°C			-40°C TO 85°C			-55°C TO 125°C			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
<b>HC TYPES</b>												
Maximum Input Pulse Frequency	t <sub>MAX</sub>	2	6	-	-	5	-	-	4	-	-	MHz
		4.5	30	-	-	25	-	-	20	-	-	MHz
		6	35	-	-	29	-	-	23	-	-	MHz
Input Pulse Width	t <sub>w</sub>	2	80	-	-	100	-	-	120	-	-	ns
		4.5	16	-	-	20	-	-	24	-	-	ns
		6	14	-	-	17	-	-	20	-	-	ns
Reset Removal Time	t <sub>REM</sub>	2	100	-	-	125	-	-	150	-	-	ns
		4.5	20	-	-	25	-	-	30	-	-	ns
		6	17	-	-	21	-	-	26	-	-	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CD74HC4060, CD74HCT4060

### Prerequisite for Switching Specifications (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	V <sub>CC</sub> (V)	25°C			-40°C TO 85°C			-55°C TO 125°C			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Reset Pulse Width	t <sub>W</sub>	2	80	-	-	100	-	-	120	-	-	ns
		4.5	16	-	-	20	-	-	24	-	-	ns
		6	14	-	-	17	-	-	20	-	-	ns
<b>HCT TYPES</b>												
Maximum Input, Pulse Frequency	t <sub>MAX</sub>	4.5	30	-	-	25	-	-	20	-	-	MHz
Input Pulse Width	t <sub>W</sub>	4.5	16	-	-	20	-	-	24	-	-	ns
Reset Removal Time	t <sub>REM</sub>	4.5	26	-	-	33	-	-	39	-	-	ns
Reset Pulse Width	t <sub>W</sub>	4.5	25	-	-	31	-	-	38	-	-	ns

### Switching Specifications Input t<sub>r</sub>, t<sub>f</sub> = 6ns

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	V <sub>CC</sub> (V)	25°C			-40°C TO 85°C		-55°C TO 125°C		UNITS
				MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
<b>HC TYPES</b>											
Propagation Delay φ <sub>I</sub> to Q <sub>4</sub>	t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	C <sub>L</sub> = 50pF	2	-	-	300	-	375	-	450	ns
			4.5	-	-	60	-	75	-	90	ns
		C <sub>L</sub> = 15pF	5	-	25	-	-	-	-	-	ns
			6	-	-	51	-	64	-	78	ns
Q <sub>n</sub> to Q <sub>n+1</sub>	t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	C <sub>L</sub> = 50pF	2	-	-	80	-	100	-	120	ns
			4.5	-	-	16	-	20	-	24	ns
		C <sub>L</sub> = 15pF	5	-	6	-	-	-	-	-	ns
			6	-	-	14	-	17	-	20	ns
MR to Q <sub>n</sub>	t <sub>PHL</sub>	C <sub>L</sub> = 50pF	2	-	-	175	-	220	-	265	ns
			4.5	-	-	35	-	44	-	53	ns
		C <sub>L</sub> = 15pF	5	-	14	-	-	-	-	-	ns
			6	-	-	30	-	37	-	45	ns
Output Transition Time	t <sub>THL</sub> , t <sub>TLH</sub>	C <sub>L</sub> = 50pF	2	-	-	75	-	95	-	110	ns
			4.5	-	-	15	-	19	-	22	ns
			6	-	-	13	-	16	-	19	ns
Input Capacitance	C <sub>I</sub> (TBD)										
Propagation Dissipation Capacitance	C <sub>PD</sub>	-	-	-	40	-	-	-	-	-	pF
<b>HCT TYPES</b>											
Propagation Delay φ <sub>I</sub> to Q <sub>4</sub>	t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	C <sub>L</sub> = 50pF	2	-	-	-	-	-	-	-	-ns
			4.5	-	-	66	-	83	-	100	ns
		C <sub>L</sub> = 15pF	5	-	25	-	-	-	-	-	-ns
			6	-	-	-	-	-	-	-	-ns

# CD74HC4060, CD74HCT4060

## Switching Specifications Input $t_r, t_f = 6\text{ns}$ (Continued)

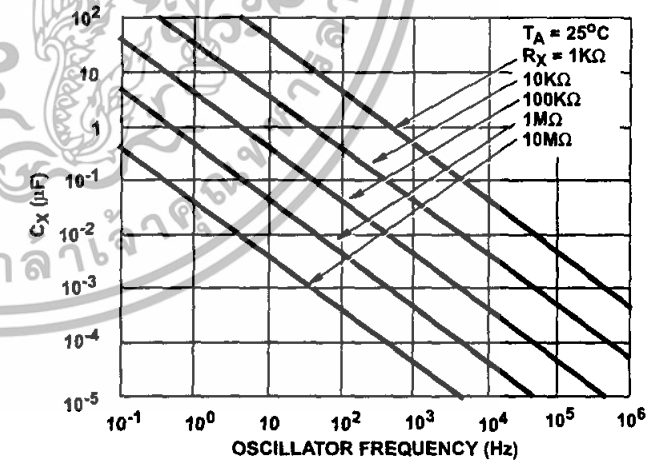
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	$V_{CC}$ (V)	25°C			-40°C TO 85°C		-55°C TO 125°C		UNITS
				MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
$Q_n$ to $Q_{n+1}$	$t_{PLH}, t_{PHL}$	$C_L = 50\text{pF}$	2	-	-	-	-	-	-	-	ns
			4.5	-	-	16	-	20	-	24	ns
		$C_L = 15\text{pF}$	5	-	6	-	-	-	-	-	ns
		$C_L = 50\text{pF}$	6	-	-	-	-	-	-	-	ns
MR to $Q_n$	$t_{PHL}$	$C_L = 50\text{pF}$	2	-	-	-	-	-	-	-	ns
			4.5	-	-	44	-	55	-	66	ns
		$C_L = 15\text{pF}$	5	-	17	-	-	-	-	-	ns
		$C_L = 50\text{pF}$	6	-	-	-	-	-	-	-	ns
Output Transition Time	$t_{THL}, t_{TLH}$	$C_L = 50\text{pF}$	2	-	-	-	-	-	-	-	ns
			4.5	-	-	15	-	19	-	22	ns
			6	-	-	-	-	-	-	-	ns
Input Capacitance	$C_i$ (TBD)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Propagation Dissipation Capacitance	$C_{PD}$	-	-	40	-	-	-	-	-	pF	

**NOTES:**

7.  $C_{PD}$  is used to determine the dynamic power consumption, per package.
8.  $P_D = C_{PD} V_{CC}^2 f_i \sum (C_L V_{CC}^2 f_i / M)$  where  $M = 2^1, 2^2, 2^3, \dots, 2^{14}$ ,  $f_i$  = input frequency,  $C_L$  = output load capacitance.

### TYPICAL LIMIT VALUES FOR $R_X$ AND $C_X$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	VOLTAGE	TYPICAL MAXIMUM LIMITS
$R_X$ Minimum	$C_X > 1000\text{pF}$	2	1K $\Omega$
	$C_X > 10\text{pF}$	4.5	
	$C_X > 10\text{pF}$	6	
$R_X$ Maximum	$C_X > 10\text{pF}$	2	20M $\Omega$
	$C_X > 10\text{pF}$	4.5	
	$C_X > 10\text{pF}$	6	
$C_X$ Minimum	$R_X > 10\text{K}\Omega$	2	10pF
	$R_X > 10\text{K}\Omega$	4.5	
	$R_X > 10\text{K}\Omega$	6	
	$R_X = 1\text{K}\Omega$	2	1000pF
	$R_X = 1\text{K}\Omega$	4.5	10pF
	$R_X = 1\text{K}\Omega$	6	10pF
Maximum Astable Oscillator Frequency	$C_X = 1000\text{pF}$ , $R_X = 1\text{K}\Omega$	2	0.5MHz (Note 9)
	$C_X = 100\text{pF}$ , $R_X = 1\text{K}\Omega$	4.5	3MHz (Note 9)
	$C_X = 100\text{pF}$ , $R_X = 1\text{K}\Omega$	6	3MHz (Note 9)



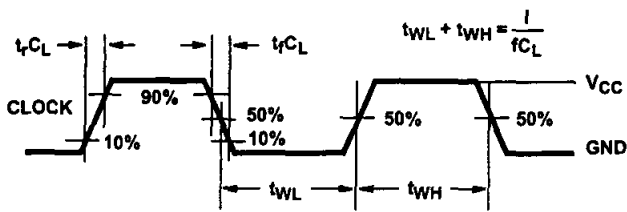
NOTE: OSC Frequency  $\approx 1/2.2 R_X C_X$   
For  $1\text{M}\Omega > R_X > 1\text{K}\Omega$ ,  $C_X > 10\text{pF}$ ,  $f < 1\text{MHz}$

**FIGURE 2. FREQUENCY OF ON-BOARD OSCILLATOR AS A FUNCTION OF  $C_X$  AND  $R_X$**

**NOTE:**

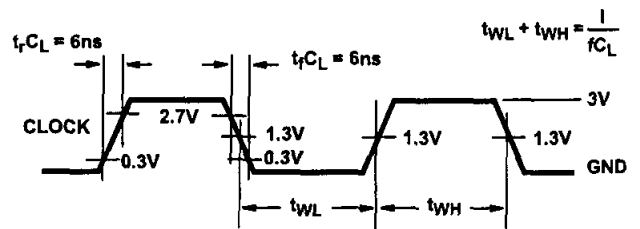
9. At very high frequencies  $f = 1/2.2 R_X C_X$  no longer gives an accurate approximation.

## Typical Performance Curves



NOTE: Outputs should be switching from 10%  $V_{CC}$  to 90%  $V_{CC}$  in accordance with device truth table. For  $f_{MAX}$ , input duty cycle = 50%.

FIGURE 3. HC CLOCK PULSE RISE AND FALL TIMES AND PULSE WIDTH



NOTE: Outputs should be switching from 10%  $V_{CC}$  to 90%  $V_{CC}$  in accordance with device truth table. For  $f_{MAX}$ , input duty cycle = 50%.

FIGURE 4. HCT CLOCK PULSE RISE AND FALL TIMES AND PULSE WIDTH

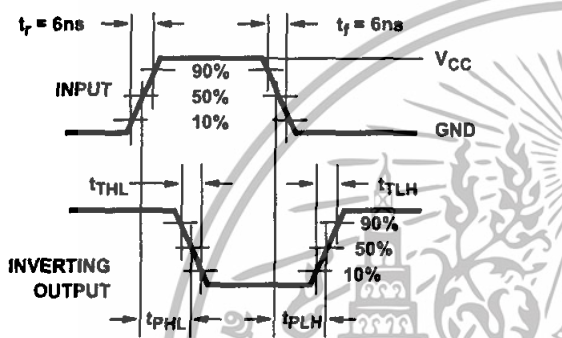


FIGURE 5. HC AND HCT TRANSITION TIMES AND PROPAGATION DELAY TIMES, COMBINATION LOGIC

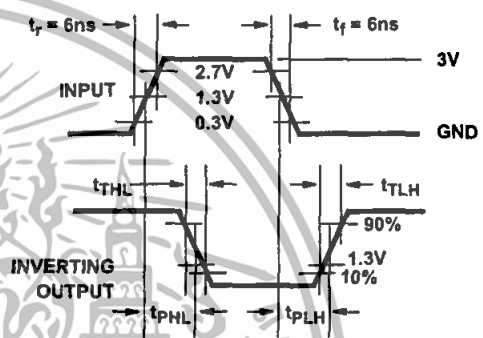


FIGURE 6. HCT TRANSITION TIMES AND PROPAGATION DELAY TIMES, COMBINATION LOGIC

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments and its subsidiaries (TI) reserve the right to make changes to their products or to discontinue any product or service without notice, and advise customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that information being relied on is current and complete. All products are sold subject to the terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgement, including those pertaining to warranty, patent infringement, and limitation of liability.

TI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent TI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except those mandated by government requirements.

CERTAIN APPLICATIONS USING SEMICONDUCTOR PRODUCTS MAY INVOLVE POTENTIAL RISKS OF DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE ("CRITICAL APPLICATIONS"). TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS. INCLUSION OF TI PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS IS UNDERSTOOD TO BE FULLY AT THE CUSTOMER'S RISK.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards must be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used. TI's publication of information regarding any third party's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# BS170

Preferred Device

## Small Signal MOSFET 500 mA, 60 Volts

N-Channel TO-92 (TO-226)



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

500 mA, 60 Volts

$R_{DS(on)} = 5.0 \Omega$

### Features

- Pb-Free Package is Available\*

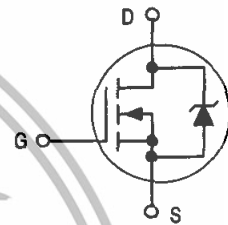
### MAXIMUM RATINGS

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

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.

NOTE: The Power Dissipation of the package may result in a lower continuous drain current.

N-Channel



TO-92 (TO-226)  
CASE 29  
STYLE 30

### MARKING DIAGRAM & PIN ASSIGNMENT



1 2 3  
Drain Gate Source

- BS170 = Device Code
  - A = Assembly Location
  - Y = Year
  - WW = Work Week
  - = Pb-Free Package
- (Note: Microdot may be in either location)

### 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.

# BS170

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

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

### OFF CHARACTERISTICS

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

### ON CHARACTERISTICS (Note 1)

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

### SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

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

### SWITCHING CHARACTERISTICS

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

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

### ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
BS170	TO-92 (TO-226)	1000 Unit/Tube
BS170G	TO-92 (TO-226) (Pb-Free)	1000 Unit/Tube
BS170RLRA	TO-92 (TO-226)	2000 Tape & Reel
BS170RLRAG	TO-92 (TO-226) (Pb-Free)	2000 Tape & Reel
BS170RLRM	TO-92 (TO-226)	2000 Tape & Reel
BS170RLRMG	TO-92 (TO-226) (Pb-Free)	2000 Tape & Reel
BS170RLRP	TO-92 (TO-226)	2000 Tape & Reel
BS170RLRPG	TO-92 (TO-226) (Pb-Free)	2000 Tape & Reel
BS170RL1	TO-92 (TO-226)	2000 Tape & Reel
BS170RL1G	TO-92 (TO-226) (Pb-Free)	2000 Tape & Reel
BS170ZL1	TO-92 (TO-226)	2000 Tape & Reel
BS170ZL1G	TO-92 (TO-226) (Pb-Free)	2000 Tape & Reel

†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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
<http://onsemi.com>  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 2 อย่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# BS170

## RESISTIVE SWITCHING

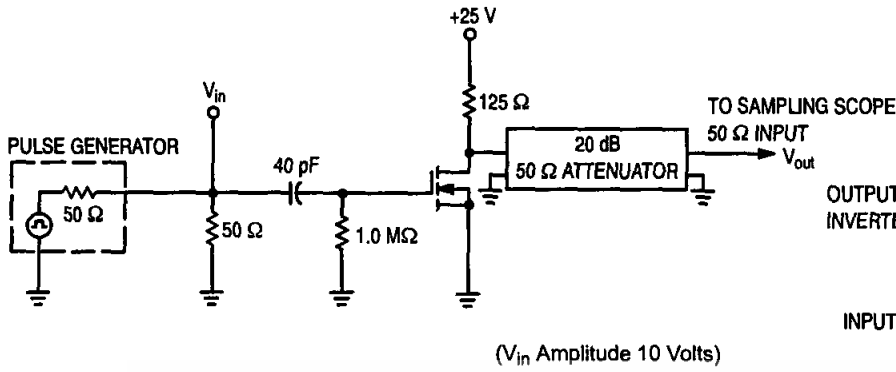


Figure 1. Switching Test Circuit

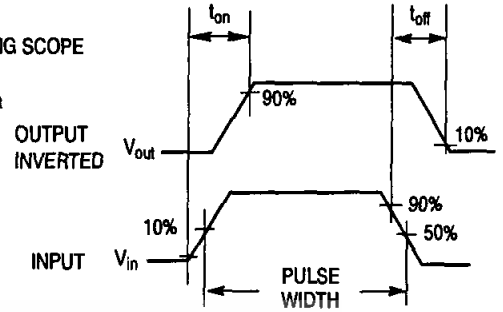


Figure 2. Switching Waveforms

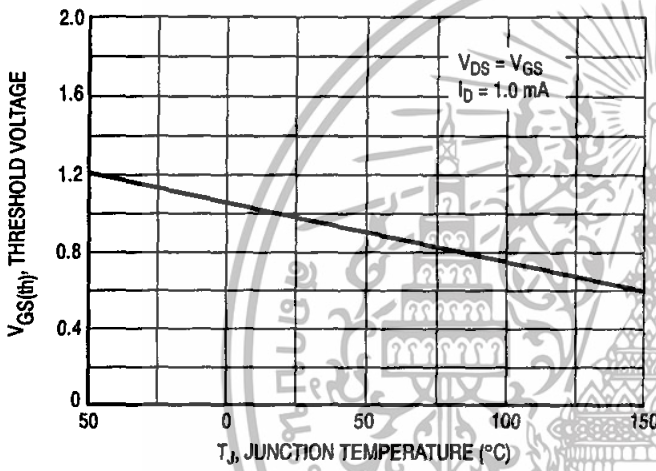


Figure 3.  $V_{GS(th)}$  Normalized versus Temperature

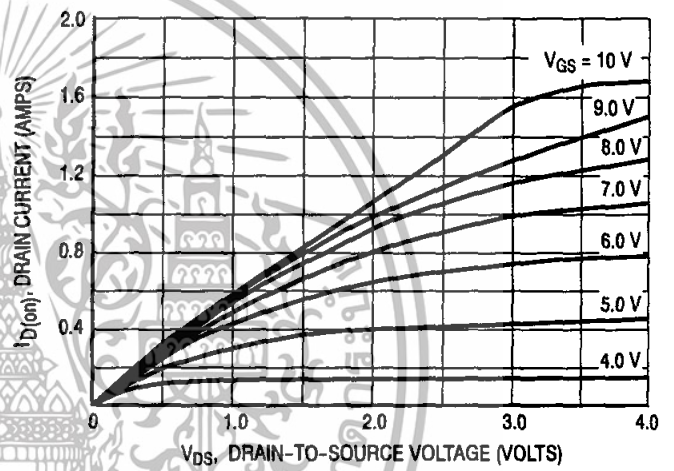


Figure 4. On-Region Characteristics

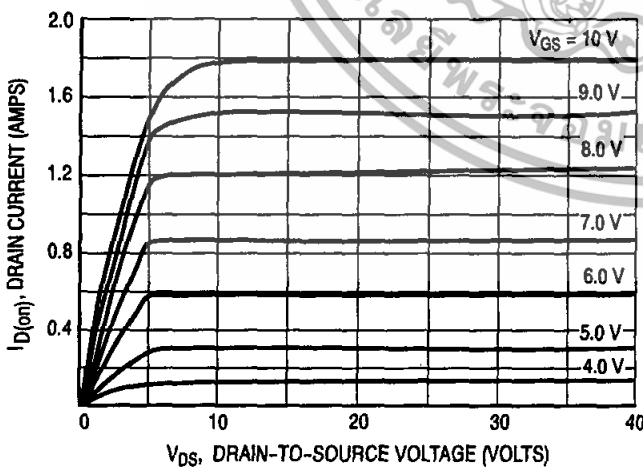


Figure 5. Output Characteristics

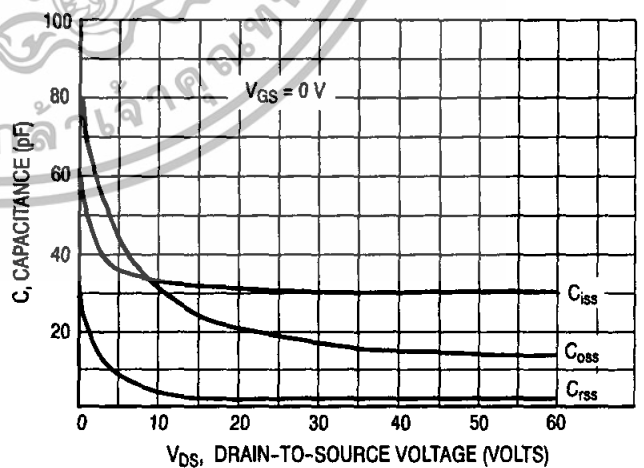
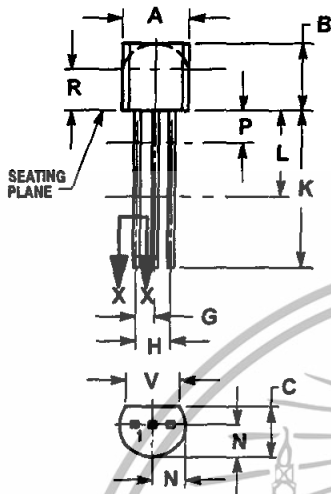


Figure 6. Capacitance versus Drain-To-Source Voltage

# BS170

## PACKAGE DIMENSIONS

### TO-92 (TO-226) CASE 29-11 ISSUE A1



**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	0.165	3.18	4.19
D	0.016	0.021	0.407	0.533
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	---	12.70	---
L	0.250	---	6.35	---
N	0.090	0.105	2.04	2.66
P	---	0.100	---	2.54
R	0.115	---	2.93	---
V	0.135	---	3.43	---

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

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](mailto: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/litorder>

For additional information, please contact your local Sales Representative.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 BS170/D  
 ไม่ว่าจะผิดใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

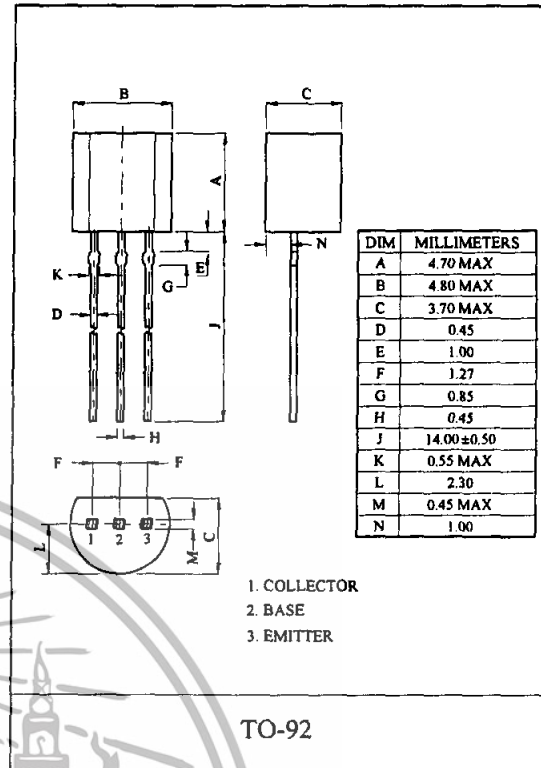
LOW NOISE AMPLIFIER APPLICATION.

### FEATURE

For Complementary with PNP Type BC559/560.

### MAXIMUM RATING (Ta=25°C)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING	UNIT
Collector-Base Voltage	BC549	$V_{CBO}$	30	V
	BC550		50	
Collector-Emitter Voltage	BC549	$V_{CEO}$	30	V
	BC550		45	
Emitter-Base Voltage		$V_{EBO}$	5	V
Collector Current		$I_C$	100	mA
Collector Power Dissipation		$P_C$	625	mW
Junction Temperature		$T_j$	150	°C
Storage Temperature Range		$T_{sig}$	-55 ~ 150	°C



### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta=25°C)

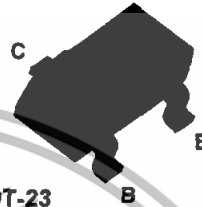
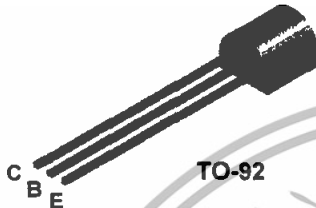
CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Collector-Emitter Breakdown Voltage	BC549	$V_{(BR)CEO}$	$I_C=10mA, I_B=0$	30	-	-	V
	BC550			45			
Collector-Base Breakdown Voltage	BC549	$V_{(BR)CBO}$	$I_C=10\mu A, I_E=0$	30	-	-	V
	BC550			50			
Emitter-Base Breakdown Voltage		$V_{(BR)EBO}$	$I_E=10\mu A, I_C=0$	5.0	-	-	V
Collector Cut-off Current		$I_{CBO}$	$V_{CB}=30V, I_E=0$	-	-	15	nA
DC Current Gain		$h_{FE}(\text{Note})$	$I_C=2mA, V_{CE}=5V$	110	-	800	
Base-Emitter Voltage		$V_{BE(ON)}$	$I_C=2mA, V_{CE}=5V$	0.55	-	0.7	V
Collector-Emitter Saturation Voltage		$V_{CE(sat)}$	$I_C=100mA, I_B=5mA$	-	-	0.6	V
Base-Emitter Saturation Voltage		$V_{BE(sat)}$	$I_C=100mA, I_B=5mA$	-	0.9	-	V
Transition Frequency		$f_T$	$I_C=10mA, V_{CE}=5V, f=100MHz$	-	300	-	MHz
Collector Output Capacitance		$C_{ob}$	$V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz$	-	-	4.5	pF
Noise Figure	BC549	NF	$I_C=200\mu A, V_{CE}=5V$ $R_g=10k\Omega, f=1kHz$	-	-	4.0	dB
	BC550			-	-	10	

Note :  $h_{FE}$  Classification A:110 ~ 220, B:200 ~ 450, C:420 ~ 800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2N5088**  
**2N5089**

**MMBT5088**  
**MMBT5089**



### NPN General Purpose Amplifier

This device is designed for low noise, high gain, general purpose amplifier applications at collector currents from 1 $\mu$ A to 50 mA.

#### Absolute Maximum Ratings\*

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V <sub>CEO</sub>	Collector-Emitter Voltage	2N5088	30
		2N5089	25
V <sub>CBO</sub>	Collector-Base Voltage	2N5088	35
		2N5089	30
V <sub>EBO</sub>	Emitter-Base Voltage	4.5	V
I <sub>c</sub>	Collector Current - Continuous	100	mA
T <sub>J</sub> , T <sub>stg</sub>	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

\*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

**NOTES:**

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

#### Thermal Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max		Units
		2N5088 2N5089	*MMBT5088 *MMBT5089	
P <sub>D</sub>	Total Device Dissipation Derate above 25°C	625	350	mW
		5.0	2.8	mW/°C
R <sub>θJC</sub>	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3		°C/W
R <sub>θJA</sub>	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	°C/W

\*Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.06."

## NPN General Purpose Amplifier

(continued)

### Electrical Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Max	Units
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage*	$I_C = 1.0 \text{ mA}, I_B = 0$	5088 5089	30 25	V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 100 \mu\text{A}, I_E = 0$	5088 5089	35 30	V
$I_{CBO}$	Collector Cutoff Current	$V_{CB} = 20 \text{ V}, I_E = 0$ $V_{CB} = 15 \text{ V}, I_E = 0$	5088 5089	50 50	nA
$I_{EBO}$	Emitter Cutoff Current	$V_{EB} = 3.0 \text{ V}, I_C = 0$ $V_{EB} = 4.5 \text{ V}, I_C = 0$		50 100	nA

### ON CHARACTERISTICS

$h_{FE}$	DC Current Gain	$I_C = 100 \mu\text{A}, V_{CE} = 5.0 \text{ V}$ $I_C = 1.0 \text{ mA}, V_{CE} = 5.0 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 5.0 \text{ V}^*$	5088 5089 5088 5089 5088 5089	300 400 350 450 300 400	900 1200	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1.0 \text{ mA}$			0.5	V
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 5.0 \text{ V}$			0.8	V

### SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS

$f_T$	Current Gain - Bandwidth Product	$I_C = 500 \mu\text{A}, V_{CE} = 5.0 \text{ mA},$ $f = 20 \text{ MHz}$		50		MHz
$C_{cb}$	Collector-Base Capacitance	$V_{CB} = 5.0 \text{ V}, I_E = 0, f = 100 \text{ kHz}$			4.0	pF
$C_{eb}$	Emitter-Base Capacitance	$V_{BE} = 0.5 \text{ V}, I_C = 0, f = 100 \text{ kHz}$			10	pF
$h_{fe}$	Small-Signal Current Gain	$I_C = 1.0 \text{ mA}, V_{CE} = 5.0 \text{ V},$ $f = 1.0 \text{ kHz}$	5088 5089	350 450	1400 1800	
NF	Noise Figure	$I_C = 100 \mu\text{A}, V_{CE} = 5.0 \text{ V},$ $R_S = 10 \text{ k}\Omega,$ $f = 10 \text{ Hz to } 15.7 \text{ kHz}$	5088 5089		3.0 2.0	dB dB

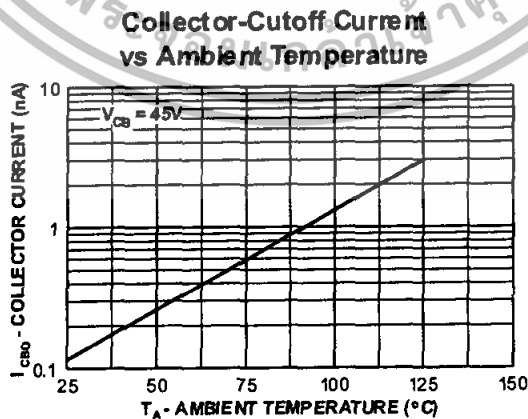
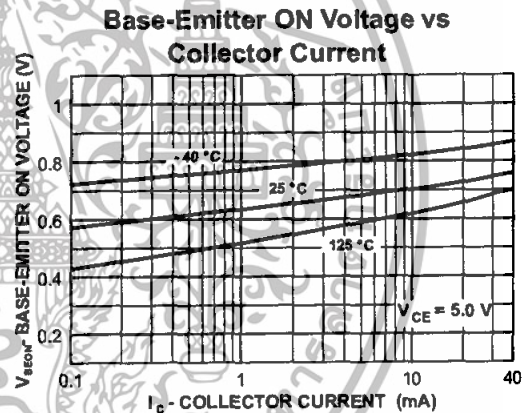
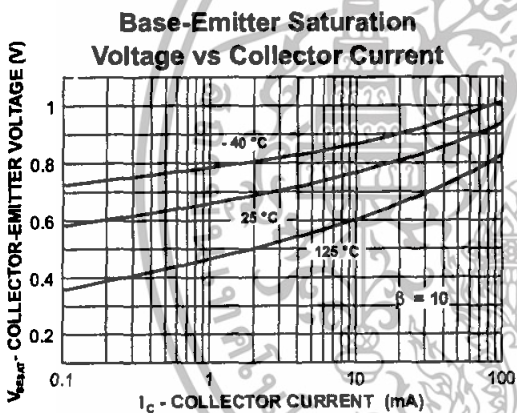
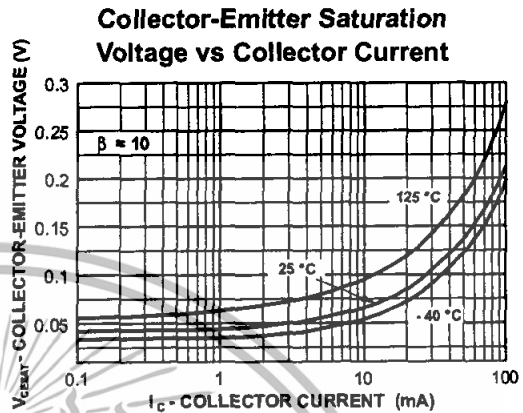
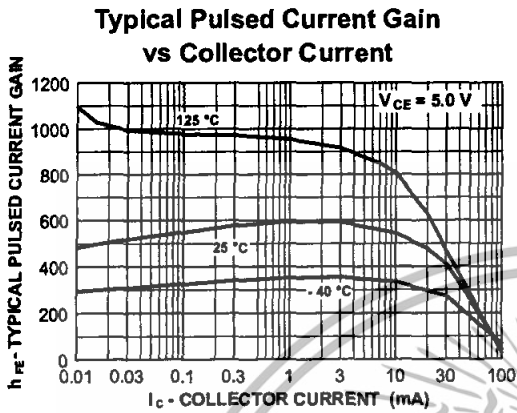
\* Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300 \mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$

### Spice Model

NPN (Is=5.911f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=62.37 Bf=1.122K Ne=1.394 Ise=5.911f Ikf=14.92m Xtb=1.5 Br=1.271 Nc=2 Isc=0 Ikr=0 Rc=1.61 Cjc=4.017p Mjc=.3174 Vjc=.75 Fc=.5 Cje=4.973p Mje=.4146 Vje=.75 Tr=4.673n Tf=821.7p Itf=.35 Vtf=4 Xtf=7 Rb=10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

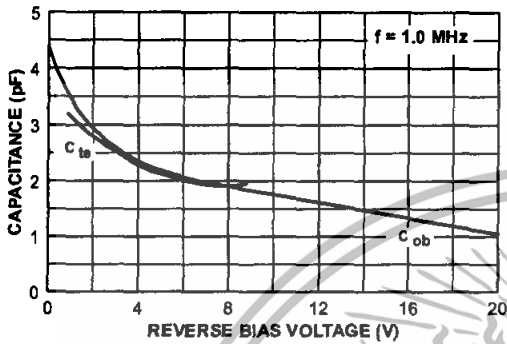
# NPN General Purpose Amplifier

(continued)

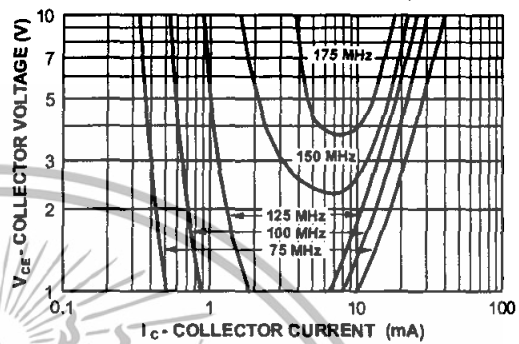
2N5088 / MMBT5088 / 2N5089 / MMBT5089

## Typical Characteristics (continued)

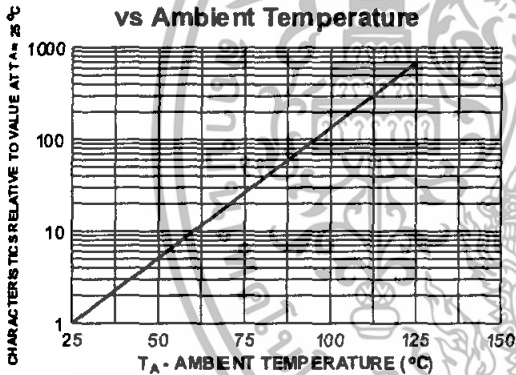
**Input and Output Capacitance vs Reverse Bias Voltage**



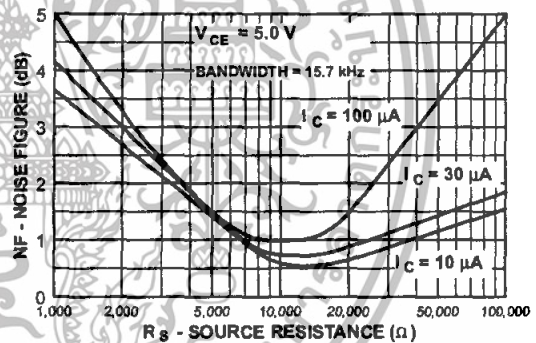
**Contours of Constant Gain Bandwidth Product ( $f_T$ )**



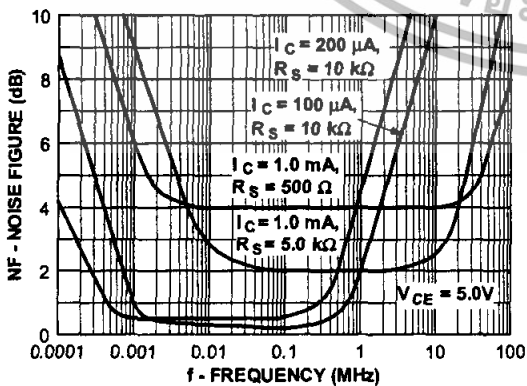
**Normalized Collector-Cutoff Current vs Ambient Temperature**



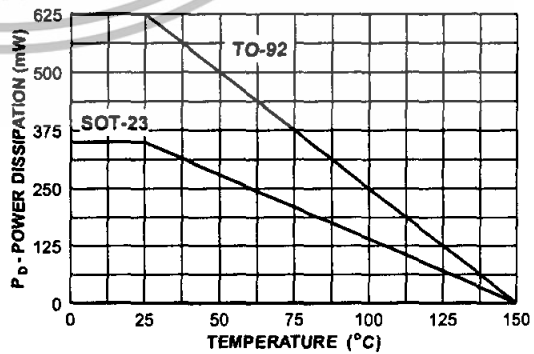
**Wideband Noise Frequency vs Source Resistance**



**Noise Figure vs Frequency**

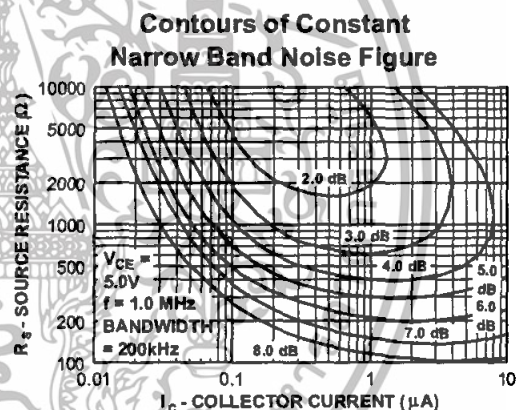
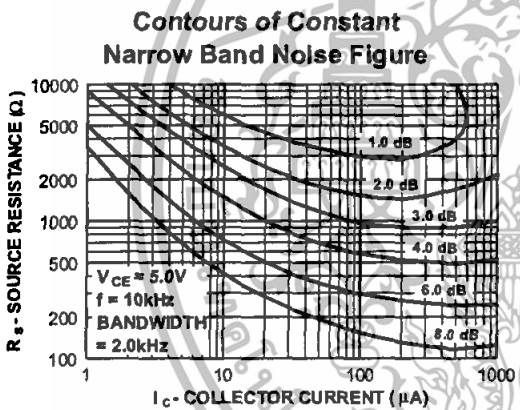
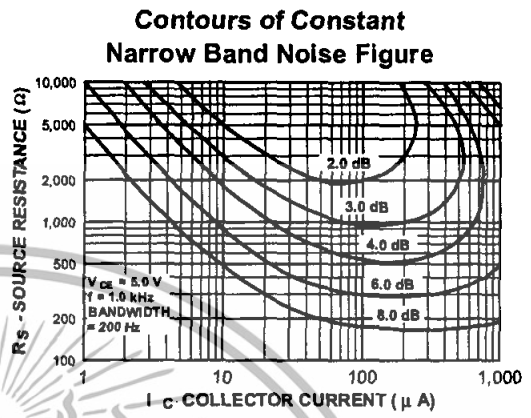
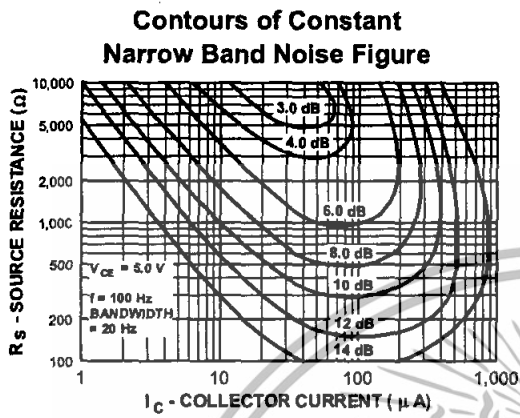


**Power Dissipation vs Ambient Temperature**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics (continued)

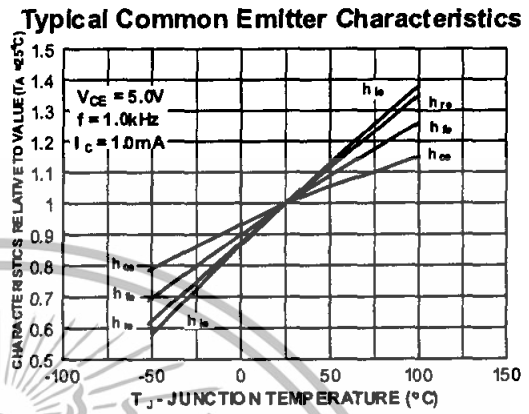
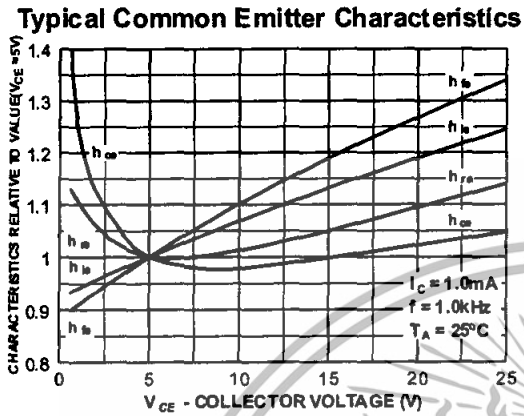


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

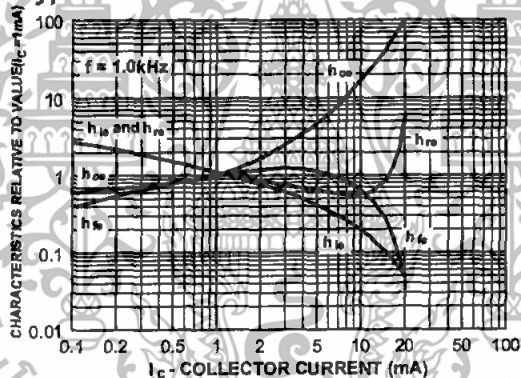
# NPN General Purpose Amplifier (continued)

2N5088 / MMBT5088 / 2N5089 / MMBT5089

## Typical Common Emitter Characteristics (f = 1.0 kHz)



## Typical Common Emitter Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้