



# CONTRIBUTION



เครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ

โดย

นางสาวเกาทัณฑ์ คำพิกุล B4606765

นายศรัณย์ คัมภีร์ภัทร B4608998

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2549



โครงการ	เครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ
โดย	นางสาวภาภักธา คำพิภูด B4606765 นายศรันย์ คัมภีร์ภัทร B4608998
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาคการศึกษาที่	3/ 2549

---

### บทคัดย่อ

การที่จะเลือกใช้สายอากาศให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในงานแต่ละด้าน จึงควรรู้ถึงคุณสมบัติของสายอากาศแบบนั้นๆว่ามีแบบรูปการกระจายคลื่นของสายอากาศเป็นแบบใด เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานในลักษณะต่างๆ และเพื่อความสะดวกในการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศว่ามีลักษณะของแบบรูปเป็นอย่างไร โครงการนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ซึ่งได้มีการออกแบบและสร้างภาคควบคุมการหมุนของสายอากาศและ โปรแกรมแสดงผลการวัด โดยขั้นตอนนี้จะได้ในรูปของกราฟฟิกแบบวงกลมและแบบตั้งฉากตามมาตรฐาน และได้ทำการออกแบบและสร้างวงจรรับคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 2.45 GHz ที่มีการแผ่มาจากสายอากาศภาคส่ง แล้วแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อทำการแสดงผลทางคอมพิวเตอร์

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สวรรค์ ผู้ที่เป็นเจ้าของแนวคิดเริ่มแรกของเครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ เพื่อใช้เป็นวงจรรวบรวมสัญญาณคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากสายอากาศภาคส่งที่ได้ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับแนวคิด การดูแลเอาใจใส่ติดตามงาน ชี้แนะข้อบกพร่อง ตลอดจนช่วยฝึกฝนและให้การสนับสนุนคณะผู้จัดทำให้มีความสามารถในการทำโครงการจนเสนอผลงานให้เป็นที่รู้จักและยอมรับได้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือแก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด พี่นักรักศึกษาปริญญาโทและเอกวิศวกรรมโทรคมนาคมและเพื่อนนักศึกษาสาขาสหวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกคนที่เป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณทุกๆท่านที่ได้กล่าวไปแล้วไว้ ณ ที่นี้ สำหรับส่วนดีของโครงการชิ้นนี้ ขออุทิศให้แก่อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำ

ภาภัทธา คำพิกุล

ศรันย์ คัมภีร์ภัทร

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตการทำงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี</b>	<b>3</b>
2.1 วงจรควบคุมการหมุนของสายอากาศด้วยสเต็ปมอเตอร์	3
2.2 วงจรขยายสัญญาณที่ย่านความถี่ 2.45 GHz (Amplifier)	6
2.3 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)	7
2.4 วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียงกระแส (Rectifier)	8
2.5 สรุป	10
<b>บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจรรับคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 2.45 GHz</b>	<b>11</b>
3.1 กล่าวนำ	11
3.2 วงจรควบคุมการหมุนของสายอากาศด้วยสเต็ปมอเตอร์	11
3.3 วงจรขยายสัญญาณที่ย่านความถี่ 2.45 GHz (Amplifier)	13
3.4 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)	17
3.5 วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียงกระแส (Rectifier)	20
3.6 สรุปเรื่องการออกแบบและการสร้างวงจรรับคลื่นความถี่วิทยุที่ ความถี่ 2.45 GHz	23

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 การทดสอบเครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ</b>	25
4.1 กล่าวนำ	25
4.2 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาคำสั่งงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ภาครับ	26
4.3 วัดคำสั่งงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	28
4.4 สรุปการทดสอบเครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ	39
<b>บทที่ 5 วิเคราะห์ สรุป และข้อเสนอแนะ</b>	40
5.1 กล่าวนำ	40
5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการทำโครงการและวิธีแก้ปัญหา	40
5.3 ข้อเสนอแนะ	41
5.4 แนวทางการพัฒนาต่อไป	41
5.5 บทสรุป	41
<b>บรรณานุกรม</b>	43
<b>ภาคผนวก ก</b>	44
โปรแกรม CodeVisionAVR C Compiler Evaluation	44
โปรแกรม Microsoft Visual Studio 6	48
<b>ภาคผนวก ข</b>	65
ตารางแสดงผลคำสั่งงานวัดคำสั่งงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทั้งในระนาบ E และระนาบ H	66
<b>ภาคผนวก ค</b>	86
อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำโครงการ	86

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
รูปในการปฏิบัติโครงการ	89
Data Sheet	91
Amplifier HMC414MS8G	92
Surface Mount RF Schottky Barrier Diodes HSMS-282x Series	100
High-speed diodes 1N4148	113
Dual Operational Amplifier LM358	121
6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output	133
N-Channel Enhancement Mode IRFZ44N TrenchMOS™ Transistor	139
คู่มือการใช้งาน ET-BASE AVR ATmega64/128	147
ประวัติผู้เขียน	164

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราขยายของ Amplifier ที่ค่า Power Level ต่างๆ	16
ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราขยายของ Amplifier 2 ตัว มาต่ออนุกรมกัน	16
ตารางที่ 3.3 แสดงค่าระดับแรงดันที่ค่า Power Level ต่างๆ	19
ตารางที่ 3.4 แสดงค่าระดับแรงดันเอาต์พุตที่ค่า Power Level ต่างๆ	22
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันที่ภาครับรับได้เมื่อสายอากาศไม่หมุน	27
ตารางที่ 5.1 แสดงรายละเอียดของปัญหาที่พบ และวิธีแก้ปัญหาของ โครงการงาน	40



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงผัง โคอะแกรมของ โครงการงาน	3
รูปที่ 2.2 มอเตอร์แบบมีสาย 6 เส้น	3
รูปที่ 2.3 แสดงภาพถ่าย โครงสร้างสเต็ปมอเตอร์	4
รูปที่ 2.4 สเต็ปมอเตอร์ ชนิดมีสาย 6 เส้น	4
รูปที่ 2.5 การสั่งงานควบคุมการหมุนของ สเต็ปมอเตอร์ แบบ Half Step	5
รูปที่ 2.6 วงจรขับ สเต็ปมอเตอร์	6
รูปที่ 2.7 วงจรภายใน MMIC เบอร์ HMC414MS8G	6
รูปที่ 2.8 แสดงวงจร Envelope Detector	7
รูปที่ 2.9 สัญลักษณ์และชื่อขาใช้งานพื้นฐานของออปแอมป์	8
รูปที่ 2.10 Non-Inverting Op-amp	8
รูปที่ 2.11 วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ (Bridge Rectifier)	9
รูปที่ 2.12 รูปคลื่นวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์	9
รูปที่ 3.1 (ก) วงจรขับมอเตอร์	11
รูปที่ 3.1(ข) ชุดวงจรขับมอเตอร์	11
รูปที่ 3.2 Microcontroller และชุดวงจรขับมอเตอร์	12
รูปที่ 3.3 สายอากาศที่ควบคุมการหมุนด้วยสเต็ปมอเตอร์	12
รูปที่ 3.4 (ก) วงจรของตัว Amplifier	13
รูปที่ 3.4 (ข) ลายวงจรที่ใช้ในการกัดแผ่น Print	14
รูปที่ 3.5 แสดง Transmission Line บนแผ่น Print	14
รูปที่ 3.6 วงจรขยายสัญญาณที่ย่านความถี่ 2.45 GHz	15
รูปที่ 3.7 ภาพแสดงอัตรายายของ Amplifier โดยใช้เครื่อง Spectrum Analysis	15
รูปที่ 3.8 กราฟแสดงอัตรายายของ Amplifier ที่ค่า Power Level ต่างๆ	17
รูปที่ 3.9 (ก) วงจร Envelope Detector	17
รูปที่ 3.9 (ข) ลายวงจรที่ใช้ในการกัดแผ่น Print ของวงจร Envelope Detector	18
รูปที่ 3.10 วงจร Envelope Detector	18
รูปที่ 3.11 กราฟแสดงการทดสอบวงจร Envelope Detector	18
รูปที่ 3.12 (ก) วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียงกระแส	20

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.12 (ข) สายวงจรที่ใช้ในการกัดแผ่น Print ของวงจร	20
รูปที่ 3.13 วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียงกระแส	21
รูปที่ 3.14 วงจร Envelope Detector วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียงกระแส	21
รูปที่ 3.15 กราฟแสดงการทดสอบวงจร Envelope Detector	23
รูปที่ 3.16 วงจรย่อยต่างๆถูกบรรจุลงในกล่องชุดอุปกรณ์ภาครับสัญญาณ	24
รูปที่ 3.17 กล่องชุดอุปกรณ์ภาครับสัญญาณ	24
รูปที่ 4.1 แสดงระบบโดยรวมของระบบทั้งหมด	25
รูปที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันที่ภาครับรับได้เมื่อสายอากาศไม่หมุน	28
รูปที่ 4.3 แสดงเปิด โปรแกรมภาษา C	29
รูปที่ 4.4 ทำการ Compile	29
รูปที่ 4.5 Setup ค่าต่างๆ	30
รูปที่ 4.6 เปิดไฟล์ที่ได้จากการ Compile	30
รูปที่ 4.7 ทำการโหลด โปรแกรมภาษา C	31
รูปที่ 4.8 เปิด โปรแกรม Visual Basic 6	31
รูปที่ 4.9 รัน โปรแกรม	32
รูปที่ 4.10 หน้าต่าง โปรแกรมหลังจากที่รัน โปรแกรม	32
รูปที่ 4.11 กราฟแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นจะเป็นแบบ Polar Plot	33
รูปที่ 4.12 กราฟแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นจะเป็นแบบ Rectangular	33
รูปที่ 4.13 กราฟแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นจะเป็นแบบ Table	34
รูปที่ 4.14 กราฟแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบ Polar Plot ที่ทำการ Normalize	34
รูปที่ 4.15 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ E ครั้งที่ 1	35
รูปที่ 4.16 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ E ครั้งที่ 2	36
รูปที่ 4.17 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ H ครั้งที่ 1	37
รูปที่ 4.18 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ H ครั้งที่ 2	38

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา

ในอดีตการสื่อสารแบบไร้สายยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก เนื่องจากปัจจัยหลายประการ อาทิเช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานในย่านความถี่สูงหายากและมีราคาแพงค่อนข้างซับซ้อนยุ่งยากเพราะอุปกรณ์มีขนาดเล็กมาก และไม่มีโปรแกรมช่วยในการออกแบบที่ดี

ปัจจุบันพบว่าเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายมีความเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบสื่อสารวิทยุไร้สาย ระบบอินเทอร์เน็ตไร้สาย และคอมพิวเตอร์ไร้สาย เป็นต้น จึงทำให้การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานในย่านความถี่สูงได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น ประกอบกับการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านอิเล็กทรอนิกส์ก้าวไปไกลขึ้น ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานในย่านความถี่สูงหาซื้อได้ง่าย ราคาถูก ข้อมูลและโปรแกรมในการออกแบบก็สามารถหาได้ง่ายจากเว็บไซต์ของผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้น และยังสามารถทำงานได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์

เครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ได้ทำการออกแบบและสร้างวงจรรับคลื่นความถี่วิทยุที่แพร่ออกมาจากสายอากาศภาคส่ง ที่ย่านความถี่ 2.45 GHz แล้วตีמודูเลตสัญญาณข่าวสารที่เป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ 1 kHz เพื่อนำมาวิเคราะห์ในรูปของค่าแรงดัน และทำการสร้าง โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้แสดงผลแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ได้ทั้งแบบตาราง แบบวงกลม และแบบตั้งฉากตามมาตรฐาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาออกแบบและสร้างวงจรรับคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 2.45 GHz เพื่อใช้เป็นวงจรรักษาสัญญาณคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากสายอากาศภาคส่งได้
- 1.2.2 เพื่อศึกษาออกแบบวงจรดีมอดูเลเตอร์ในการแยกสัญญาณคลื่นรูปไซน์ขนาดความถี่ 1 kHz เพื่อนำไปวิเคราะห์ในรูปของแรงดัน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาออกแบบวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล
- 1.2.4 เพื่อสร้าง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ใช้ทำการประมวลผลและแสดงผลได้ตามที่กำหนด

## 1.3 ขอบเขตการทำงาน

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ให้เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด
- 1.3.2 ออกแบบและสร้างวงจรรับคลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.45 GHz พร้อมวงจรประกอบอื่นๆ
- 1.3.3 สร้าง โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อรับค่าของแรงดันที่ได้จากการส่งของสายอากาศภาคส่งมาแสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่วัดได้ทางคอมพิวเตอร์ เมื่อสายอากาศมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางทุกๆ  $0.9^{\circ}$  จนครบ  $360^{\circ}$

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

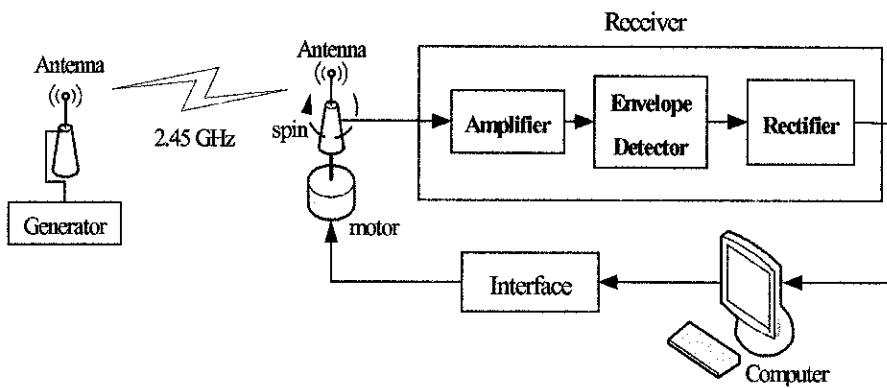
- 1.4.1 ศึกษาค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับการสร้างเครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ
- 1.4.2 วางแผนโครงการในการสร้างเครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ
- 1.4.3 เขียนโครงการและนำเสนอโครงการกับอาจารย์ที่ปรึกษา
- 1.4.4 ทำการออกแบบวงจรรับคลื่นความถี่วิทยุ
- 1.4.5 ทำการออกแบบวงจรการแปลงสัญญาณ Analog ไปเป็นสัญญาณ Digital
- 1.4.6 ศึกษาการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ
- 1.4.7 นำเครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศมาเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์
- 1.4.8 ทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์
- 1.4.9 สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน
- 1.4.10 นำเสนอโครงการ

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

เครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ได้ทำการออกแบบและสร้างวงจรรับคลื่นความถี่วิทยุที่แพร่ออกมาจากสายอากาศภาคส่ง ที่ย่านความถี่ 2.45 GHz โดยวงจรภาครับมีองค์ประกอบที่สำคัญดังรูปที่ 2.1 และมีรายละเอียดดังนี้

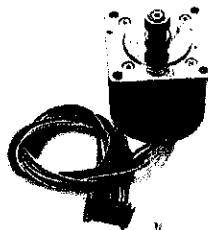
- วงจรควบคุมการหมุนของสายอากาศด้วยสเต็ปมอเตอร์
- วงจรขยายสัญญาณที่ย่านความถี่ 2.45 GHz (Amplifier)
- วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)
- วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียงกระแส (Rectifier)



รูปที่ 2.1 แสดงแผนผังโคจรแกรมของโครงการ

### 2.1 วงจรควบคุมการหมุนของสายอากาศด้วยสเต็ปมอเตอร์[1]

สเต็ปมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ ลักษณะการขับเคลื่อน จะหมุนรอบแกนได้ 360° มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง แต่มีลักษณะเป็นสเต็ป โดยแต่ละสเต็ปจะขับเคลื่อนได้ 1°, 1.5°, 1.8° หรือ 2° แล้วแต่ละโครงสร้างของมอเตอร์ ลักษณะที่นำมามอเตอร์ไปใช้จะเป็นงานที่ต้องการตำแหน่งแม่นยำ โครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์เป็นดังรูปที่ 2.2



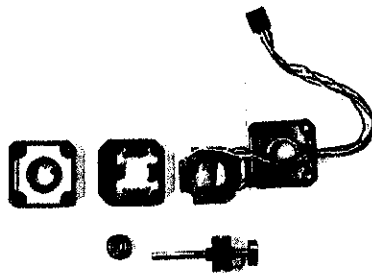
รูปที่ 2.2 มอเตอร์แบบมีสาย 6 เส้น

### 2.1.2 ความรู้เบื้องต้นและหลักการทำงานของสเต็ปมอเตอร์

สเต็ปมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะคือ เมื่อเราป้อนไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ ทำให้หมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งต่างจากมอเตอร์ทั่วไปที่จะหมุนทันทีและตลอดเวลาเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า ข้อดีของสเต็ปมอเตอร์คือสามารถกำหนดตำแหน่งของการหมุนได้ด้วยตัวเลข (เป็นองศาหรือระยะทาง) อย่างละเอียด โดยใช้สัญญาณที่สร้างจากคอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.1.3 โครงสร้างภายในของสเต็ปมอเตอร์

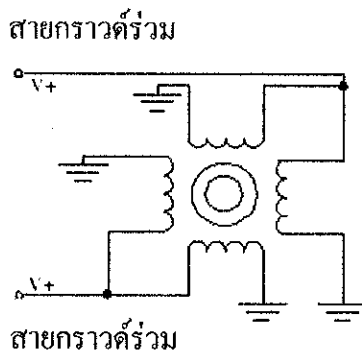
โครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบน Stator ทำมาจากแผ่นเหล็กวงแหวนที่มีซี่ยื่นออกมาประกบกันเป็นชั้นๆ โดยที่แต่ละชั้นนั้นจะมีขดลวดพันสวมอยู่ เมื่อมีการป้อนกระแสผ่านขดลวด ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) ถ้าเพิ่มจำนวนของขั้วแม่เหล็กมากขึ้นจะเพิ่มจำนวนของ Step ต่อวงจรรอบมากขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างสเต็ปมอเตอร์

### 2.1.4 การตรวจสอบหาสาย กราวด์ร่วม และสาย กราวด์ ของ สเต็ปมอเตอร์ แบบ PM

ชนิดที่เป็นกราวด์ร่วมภายนอก สเต็ปมอเตอร์ แบบนี้มีสายอยู่ 6 เส้น คือ สายที่เป็นสายกราวด์ร่วม 2 เส้น และสายที่เป็นกราวด์ 4 เส้น ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สเต็ปมอเตอร์ ชนิดมีสาย 6 เส้น

สาย 1 เส้น จะ Drive กราวด์ 2 เส้น ในการเช็คให้ใช้มิเตอร์วัดหาสายที่เป็น ก่อน โดยการตั้ง range ของมิเตอร์ที่ R\*1 จับที่สายทีละคู่ ถ้าหากวัดสายกราวด์ร่วม เทียบกับสายกราวด์ได้ถูกต้องค่าความต้านทานที่อ่านได้จะน้อย แต่ถ้าวัดผิดสาย คือวัดสายกราวด์เทียบกับกราวด์ค่าความต้านทานที่อ่านได้จะสูงกว่าแต่ถ้าวัดสายกราวด์ร่วม เทียบกับสายกราวด์ที่ไม่ใช่คู่กันแล้ว เข็มมิเตอร์ก็จะไม่กระดิก เมื่อเราทราบว่าสายเส้นใดเป็นสายกราวด์ร่วมแล้วแต่เรายังไม่ทราบว่าสายกราวด์เส้นใดเป็นเฟสที่ 1 เฟสที่ 2 เฟสที่ 3 และเฟสที่ 4 ในการเรียงเฟสนั้นให้ใช้มิเตอร์วัด โดยนำ V+ เข้าที่สายกราวด์ร่วม วัดเทียบกับสายกราวด์เส้นใดก็ได้ 1 เส้น จะทำให้แกนโรเตอร์เคลื่อนไปข้างหน้า 1 สเต็ป เมื่อเปลี่ยนสายกราวด์เส้นแรกเป็นเส้นที่ 2 ถ้ามอเตอร์ไม่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าแสดงว่าการเรียงเฟสไม่ถูกต้องก็ให้วัดเทียบกับสายกราวด์เส้นใหม่ต่อไป หากสเต็ปมอเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามกัน วัดที่สายกราวด์ เส้นต่อไปเรื่อย ๆ ก็จะทำให้ทราบว่าสายเส้นใดเป็นเฟสแรก สายเส้นใดเป็นเฟสที่ 2 เฟสที่ 3 และเฟสที่ 4

### 2.1.5 การสั่งงานควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์แบบ Half Step [2]

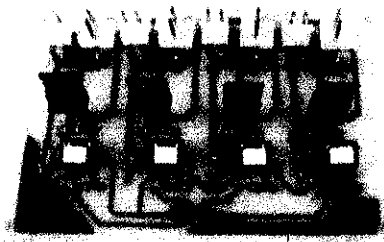
เป็นรูปแบบผสมผสานของการกระตุ้นระหว่างแบบ Wave กับแบบ 2 Phase เพื่อให้ได้จำนวนรอบของสเต็ปมากขึ้นเป็น 2 เท่า ซึ่งจะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเรื่อยๆ เป็นลำดับ แสดงดังรูปที่ 2.5 ข้อดีคือการกระตุ้นแบบนี้จะให้แรงบิดที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากช่วงสต๊อปที่มีระยะสั้นลง และอีกประการหนึ่งคือแต่ละสเต็ปจะเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน เป็นผลให้ค่าตำแหน่งความถูกต้องมากขึ้นไปด้วย ส่วนข้อเสียคือ ต้องใช้กำลังไฟมากขึ้นเป็น 2 เท่าของแบบ Wave

Step	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
Step 1	ON	ON	OFF	OFF
Step 2	ON	ON	OFF	OFF
Step 3	OFF	ON	OFF	OFF
Step 4	OFF	ON	ON	OFF
Step 5	OFF	OFF	ON	OFF
Step 6	OFF	OFF	ON	ON
Step 7	OFF	OFF	OFF	ON
Step 8	ON	OFF	OFF	ON
Step 9	ย้อนกลับ Step ที่ 1			

รูปที่ 2.5 การสั่งงานควบคุมการหมุนของ สเต็ปมอเตอร์ แบบ Half Step

### 2.1.6 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ (Drive Circuit) [3]

Drive Circuit คือ วงจรขับมอเตอร์ เป็นส่วนหนึ่งของระบบที่รับเอาคำสั่งจาก Motion Controller ที่เป็นสัญญาณอะนาล็อกกระแสต่ำมาเพิ่มกระแสให้สูงขึ้นเพื่อขับมอเตอร์ ดังรูปที่ 2.6 โดยคุณสมบัติต่างๆ ของวงจรขับมอเตอร์ก็จะขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของมอเตอร์ที่ใช้



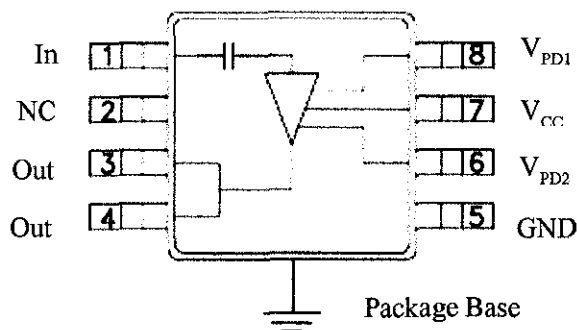
รูปที่ 2.6 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์

### 2.2 วงจรขยายสัญญาณที่ย่านความถี่ 2.45 GHz (Amplifier) [4, 5]

วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่แพร่ออกมาจากสายอากาศภาคส่งให้มีค่าสูงมากเพียงพอที่จะใช้งานสำหรับวงจรรองรับสัญญาณความถี่ต่ำ

ในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณที่ย่านความถี่ 2.45 GHz จะใช้ MMIC เบอร์ HMC414MS8G ที่มีคุณสมบัติในการขยายสัญญาณที่ช่วงความถี่ 2.2 GHz ถึง 2.8 GHz และมีอัตราขยายเฉลี่ย 20 dB ที่ความถี่ 2.45 GHz ซึ่งมีวงจรภายในดังรูปที่ 2.7

Functional Diagram



รูปที่ 2.7 วงจรภายใน MMIC เบอร์ HMC414MS8G



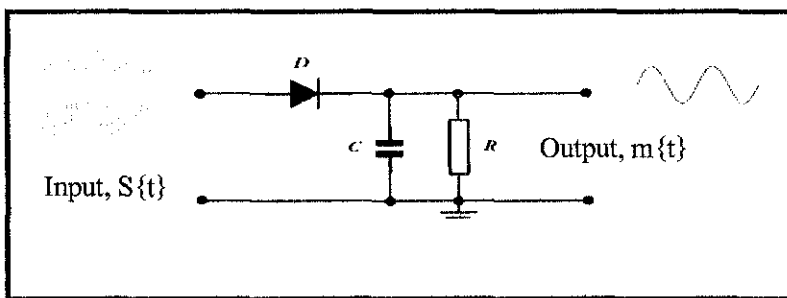
## 2.3 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) [6, 7]

เป็นวงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าที่ยอมให้ความถี่ตั้งแต่ 0 Hz ถึงความถี่  $f_c$  (ความถี่ Cutoff คือความถี่ที่ฟิลเตอร์ยอมให้กำลังของสัญญาณผ่านได้ครึ่งหนึ่งของกำลังที่ยอมให้ผ่านได้สูงสุด (Passband Power) ซึ่งยอมรับกันว่าสัญญาณยังคง "ผ่านได้" ซึ่งถ้าเลยจากจุดนี้ไปก็ว่าผ่านไม่ได้แล้ว) ผ่าน ไปยังขั้วเอาต์พุตของวงจรได้ ส่วนความถี่ที่สูงกว่า  $f_c$  ความถี่จะไม่ผ่าน ไปยังขั้วเอาต์พุตของวงจร

### 2.3.1 วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าแบบพาสซีฟ (Passive Filter)

วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าแบบพาสซีฟจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ทางพาสซีฟ (Passive Device) เป็นหลักได้แก่ ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ (บางครั้งอาจจะมีตัวต้านทานประกอบรวมอยู่ด้วย) ข้อดีของวงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าแบบพาสซีฟคือ สามารถตอบสนองความถี่ได้สูงมาก และสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟใดๆทั้งสิ้น ในความเป็นจริงแล้ว สัญญาณที่ออกมาจากเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าแบบพาสซีฟจะเกิดการสูญเสียขึ้น เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรและเมื่อพิจารณาถึงการส่งผ่านของแถบความถี่จะบ่งบอกได้อย่างชัดเจนว่า เป็นวงจรที่มีการส่งผ่านไม่ดัดจริต ใดๆก็ตามสามารถแก้ไขปรับปรุงได้ โดยเพิ่มอุปกรณ์เข้าไปแต่สิ่งที่จะตามมาคือการออกแบบที่ซับซ้อนยุ่งยากมากยิ่งขึ้น

ในการทำโครงงานได้ใช้วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่านที่เป็นแบบวงจร Envelope Detector



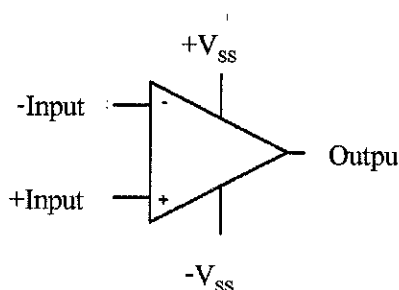
รูปที่ 2.8 แสดงวงจร Envelope Detector

## 2.4 วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียงกระแส (Rectifier)

### 2.4.1 วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp [8, 9]

ออปแอมป์เป็นไอซีแบบหนึ่งของตระกูลไอซีแบบลิเนียร์ที่ทำหน้าที่ได้สารพัดประโยชน์ แต่โดยพื้นฐานแล้วออปแอมป์ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อขยายสัญญาณ ออปแอมป์จะขยายความแตกต่างระหว่างแรงเคลื่อนหรือสัญญาณ (AC หรือ DC) ที่ป้อนเข้าที่อินพุตทั้งสอง แรงเคลื่อนหรือสัญญาณที่ต้องการจะขยายสามารถป้อนเข้าทางอินพุตใดอินพุตหนึ่งหรือทั้งสองอินพุตก็ได้ สัญลักษณ์และชื่อขาใช้งานพื้นฐานของออปแอมป์แสดงดังรูปที่ 2.9 โดยประกอบด้วย

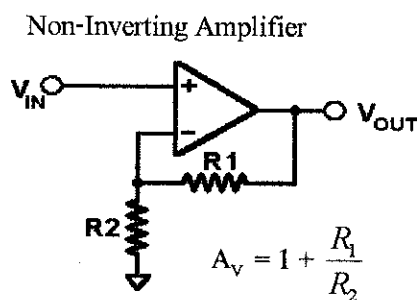
- ขั้วอินพุตบวก (Non-inverting)
- ขั้วอินพุตลบ (Inverting)
- ขั้วเอาต์พุต (Out put)
- ขั้วแรงดันไฟเลี้ยง บวก และลบ ซึ่งปกติไม่ได้แสดงในสัญลักษณ์



รูปที่ 2.9 สัญลักษณ์และชื่อขาใช้งานพื้นฐานของออปแอมป์

### 2.4.2 วงจรขยายแบบไม่กลับขั้วสัญญาณ (Non-Inverting Amplifier) [10]

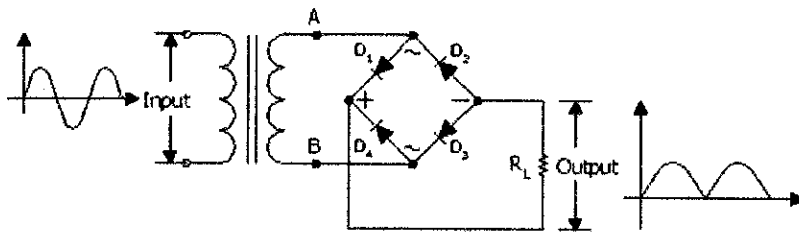
อัตราขยายของวงจร ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ต่อภายนอก  $R_1$  และ  $R_2$  และสัญญาณเอาต์พุต ไม่กลับเฟสเมื่อเทียบกับสัญญาณอินพุต แสดงรูปที่ 2.10



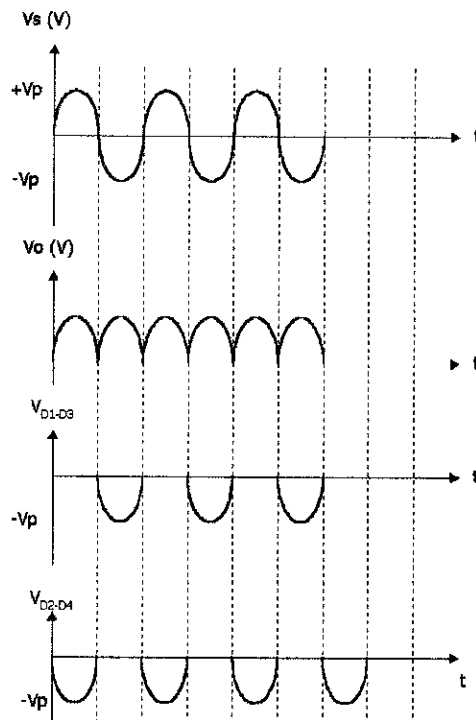
รูปที่ 2.10 Non-Inverting Op-amp

### 2.4.3 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) [11, 12]

วงจรเรียงกระแสเป็นวงจรที่ทำการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งมีทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า 2 ทิศทาง ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง นั่นคือ ทำให้การไหลของกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในทิศทางเดียว สำหรับวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ (Bridge Rectifier) ดังรูปที่ 2.11 โดยการทำงานของวงจรเมื่อได้รับสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาอยู่ในช่วงครึ่งคลื่นบวก การทำงานของวงจร โดยสัญญาณแรงดันไฟบวกที่ป้อนเข้ามาส่วนบนของวงจรบริดจ์จะส่งผลทำให้ไดโอดอยู่ในสถานะ ON จึงทำให้อิเล็กตรอนจากส่วนล่างของวงจรบริดจ์ซึ่งเป็นแรงดันไฟลบไหลผ่านโหลด



รูปที่ 2.11 วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ (Bridge Rectifier)



รูปที่ 2.12 รูปคลื่นวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์

จากรูปที่ 2.12 เมื่อมีสัญญาณไฟซิกบวกรวมเข้ามาที่จุด A จะทำให้ที่  $D_2$  และ  $D_4$  ได้รับไบแอสตรง กระแสไฟจะไหลผ่าน  $D_2$  โหลด และ  $D_4$  ครบวงจรที่จุด B ในขณะเดียวกันที่  $D_1$  และ  $D_3$  จะได้รับไบแอสกลับ ทำให้ไดโอดไม่นำกระแส และเมื่อที่จุด B มีสัญญาณไฟซิกบวกรวมเข้ามา กระแสจะไหลผ่าน  $D_3$  โหลด  $R_L$  และ  $D_1$  ครบวงจรที่จุด A แต่ในขณะเดียวกันที่  $D_2$  และ  $D_4$  จะไม่นำกระแส วงจรบริดจ์จะให้สัญญาณเอาต์พุตเหมือนกับวงจรฟูลเวฟ

## 2.5 สรุป

เครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz โดยวงจรภาครับมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ วงจรควบคุมการหมุนของสายอากาศด้วยสเต็ปมอเตอร์ วงจรขยายสัญญาณที่ย่านความถี่ 2.45 GHz วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำที่เป็น Envelope Detector วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียงกระแสแบบวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์

### บทที่ 3

## การออกแบบและสร้างวงจรรับคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 2.45 GHz

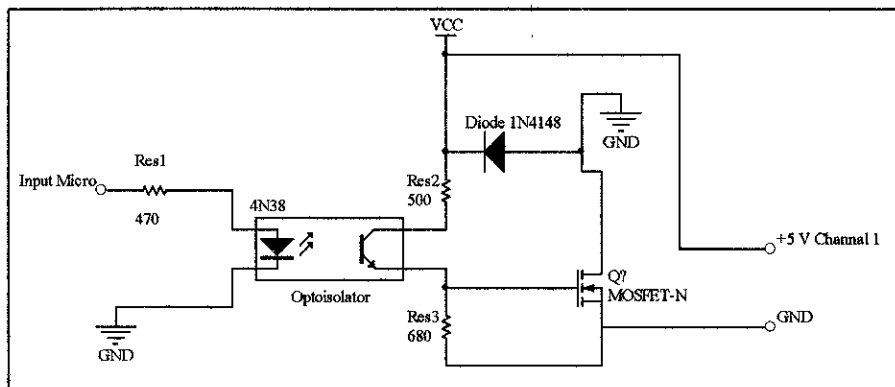
### 3.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการสร้างวงจรรับคลื่นสัญญาณความถี่วิทยุที่ความถี่ 2.45 GHz โดยจะพิจารณาแยกทีละวงจรแล้วทำการทดสอบการใช้งานได้จริงของวงจรมันๆ ก่อนที่จะนำมาประกอบกันเป็นวงจรรับคลื่น

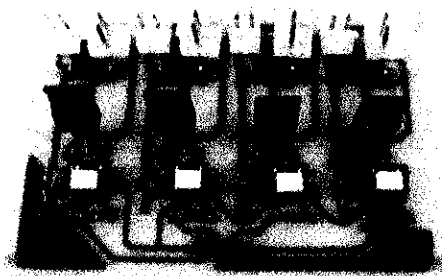
### 3.2 วงจรควบคุมการหมุนของสายอากาศด้วยสเต็ปมอเตอร์

วงจรควบคุมการหมุนของสายอากาศด้วยสเต็ปมอเตอร์ ประกอบด้วย สายอากาศ สเต็ปมอเตอร์ และ Microcontroller

#### 3.2.1 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์



(ก)



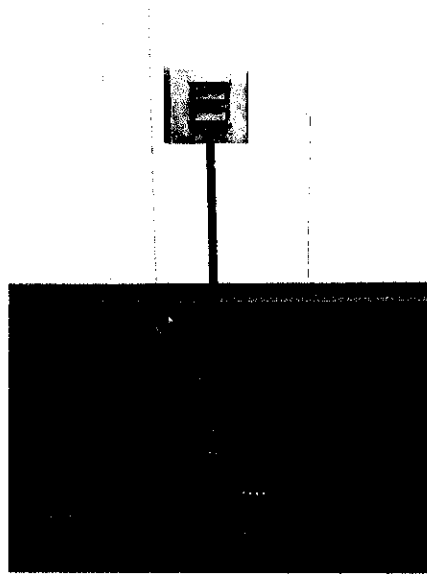
(ข)

รูปที่ 3.1 (ก) วงจรขับมอเตอร์

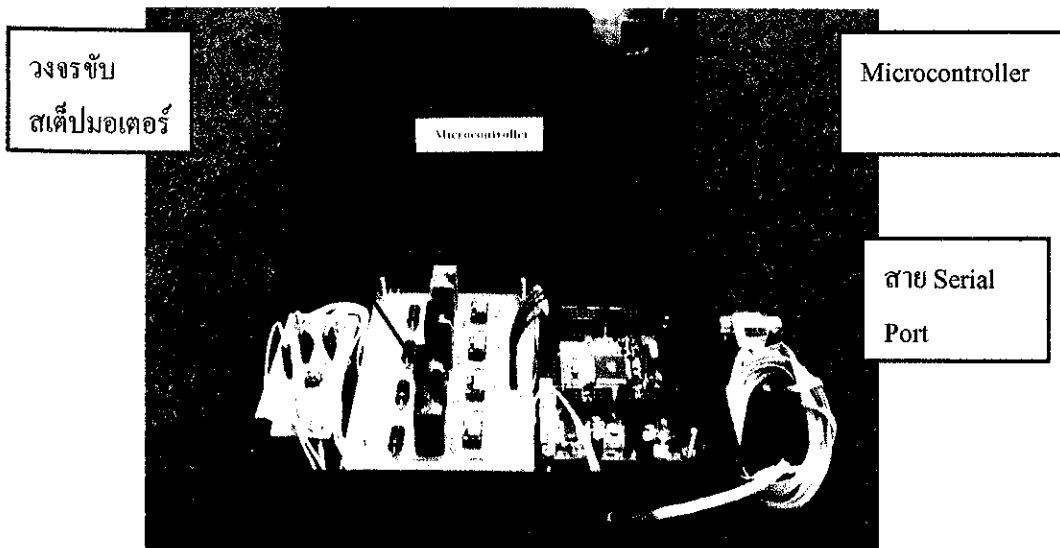
(ข) ชุดวงจรขับมอเตอร์

### 3.2.2 สายอากาศภาครับและสเต็ปมอเตอร์

ในส่วนของสายอากาศภาครับนี้จะใช้สายอากาศรูปตัว H ที่มีอยู่แล้วหมุนด้วย สเต็ปมอเตอร์ (1.8°/Step) ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งถูกควบคุมการหมุนจาก Microcontroller (AVR ATmega 128) ที่บรรจุลงในกล่องเดียวกับวงจรขับสเต็ปมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.3 โดยใช้โปรแกรมภาษา C ในการเขียนเพื่อควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ให้หมุนทีละครึ่ง สเต็ป จะได้ครึ่งละ 0.9° แล้วใช้โปรแกรม Visual Basic ในการเขียนเพื่อรับค่ากำลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สายอากาศรับได้ทุกๆ 0.9° แล้วนำมาแสดงเป็นแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ



รูปที่ 3.2 สายอากาศที่ควบคุมการหมุนด้วยสเต็ปมอเตอร์



รูปที่ 3.3 Microcontroller และชุดวงจรขับมอเตอร์

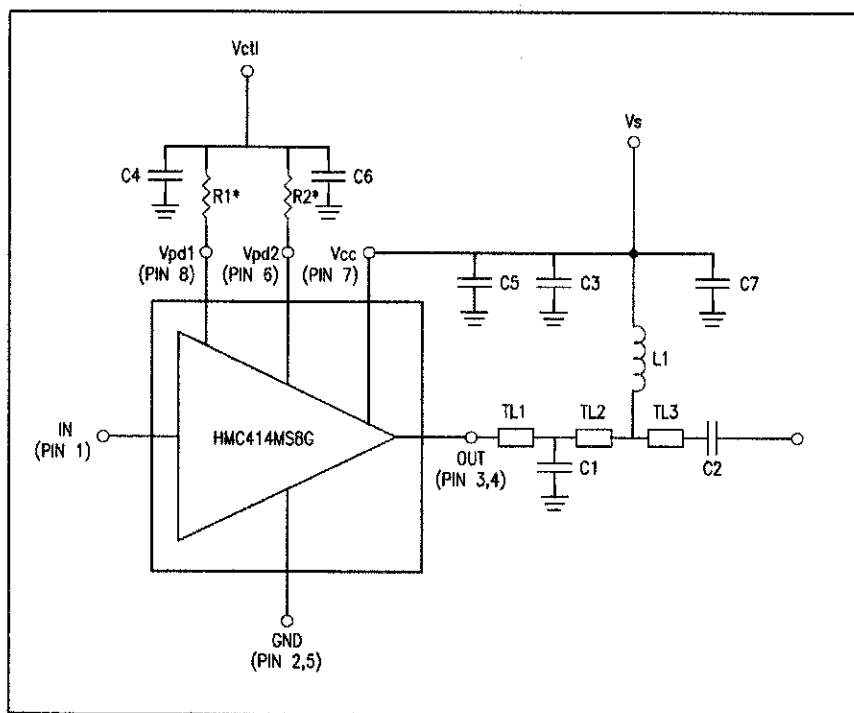
การทดสอบการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ว่าหมุนที่ละครั้งสเต็ปจะได้ครั้งละ  $0.9^\circ$  จริงหรือไม่นั้น ทำได้โดยการเขียนโปรแกรมภาษา C ให้สเต็ปมอเตอร์หมุนไป 400 สเต็ป ถ้าสเต็ปมอเตอร์หมุนครบหนึ่งรอบแล้วกลับมาที่ตำแหน่งเดิม แสดงว่าสเต็ปมอเตอร์หมุนที่ละครั้งสเต็ปจะได้  $0.9^\circ$  เนื่องจาก  $0.9^\circ/\text{step} \times 400 \text{ step} = 360^\circ$

### 3.3 วงจรขยายสัญญาณที่ย่านความถี่ 2.45 GHz (Amplifier)

ในการออกแบบและสร้างวงจขยายสัญญาณที่ย่านความถี่ 2.45 GHz จะใช้ MMIC เบอร์ HMC414MS8G ที่มีคุณสมบัติในการขยายสัญญาณในช่วงความถี่ 2.2 GHz ถึง 2.8 GHz และมีอัตราขยายเฉลี่ย 20 dB ที่ความถี่ 2.45 GHz โดยมีขั้นตอนดังนี้

#### 3.3.1 ออกแบบวงจขยายสัญญาณบนแผ่น Print

โดยแปลงวงจรดังรูปที่ 3.4 (ก) ไปออกแบบโดยใช้โปรแกรม Altium Designer 6.6 ดังรูปที่ 3.4 (ข)



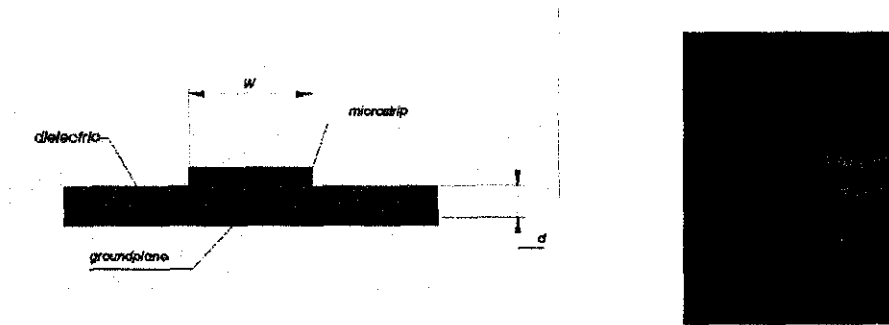
(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 (ก) วงจรของตัว Amplifier

(ข) ลายวงจรที่ใช้ในการกัดแผ่น Print

การออกแบบ Transmission Line บนแผ่น Print ( $Z_0 = 50\Omega$ ) ที่ความถี่ 2.45 GHz

รูปที่ 3.5 แสดง Transmission Line บนแผ่น Print

พิจารณาจากรูปที่ 3.5

หา w จาก

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2}$$

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left( 0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)}$$

$$\epsilon_r = 4.5$$

แทน A ในสมการ

$$A = \frac{50}{60} \sqrt{\frac{4.5 + 1}{2} + \frac{4.5 - 1}{4.5 + 1} \left( 0.23 + \frac{0.11}{4.5} \right)}$$

$$= (1.65)(0.83) + (0.63)(0.254)$$

$$= 1.4 + 0.16$$

$$= 1.56$$

$$\frac{w}{d} = \frac{8e^{1.56}}{e^{2 \times 1.56} - 2} = \frac{38.07}{20.64} = 1.84$$

$$d = 1.2 \text{ mm}$$

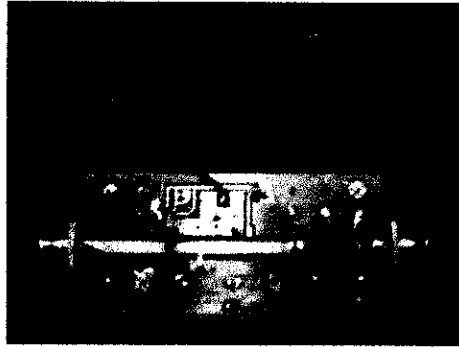
$$w = 1.84 \times 1.2 = 2.208 \text{ mm}$$

เมื่อ w คือ ความกว้างของ Transmission Line

D คือ ความหนาของ Dielectric



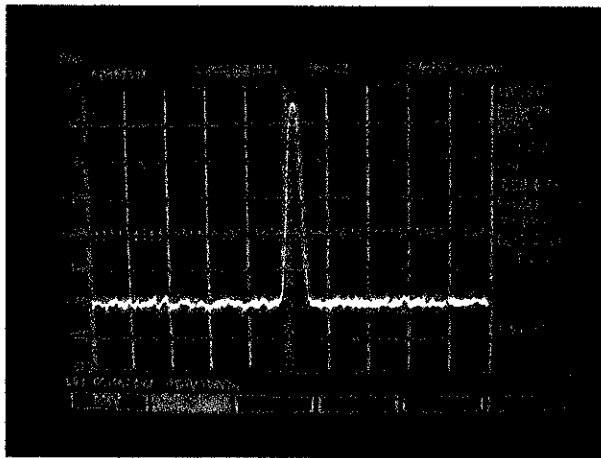
3.3.2 เมื่อได้ลายวงจรบนแผ่น Print แล้วก็ทำการบัดกรีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ  
จะได้วงจรดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรขยายสัญญาณที่ย่านความถี่ 2.45 GHz

3.3.3 ทำการทดสอบเพื่อหาอัตราขยาย

โดยใช้เครื่อง Spectrum Analysis จากการทดสอบที่ความถี่ 2.45 GHz  
ส่ง Power Level 0 dBm การสูญเสียภายในสาย 2.2 dB อ่านค่าได้ 15 dB  
ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ภาพแสดงอัตราขยายของ Amplifier โดยใช้เครื่อง Spectrum Analysis

ดังนั้น Amplifier มีอัตราขยาย 17.2 dB เมื่อเทียบกับอินพุตที่ป้อนเข้ามา  
โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\begin{aligned} G(\text{dB}) &= P_2(\text{dBm}) - P_1(\text{dBm}) - \text{Loss}(\text{dB}) \\ &= 15 \text{ dBm} - 0 \text{ dBm} - (-2.2 \text{ dB}) \\ &= 17.2 \text{ dB} \end{aligned}$$

เมื่อ  $P_2$  คือ Power ที่เอาต์พุต  
 $P_1$  คือ Power ที่อินพุต  
 Loss คือ การสูญเสียภายในสาย

### 3.3.5 พิจารณาอัตราขยายของ Amplifier 1 ตัว

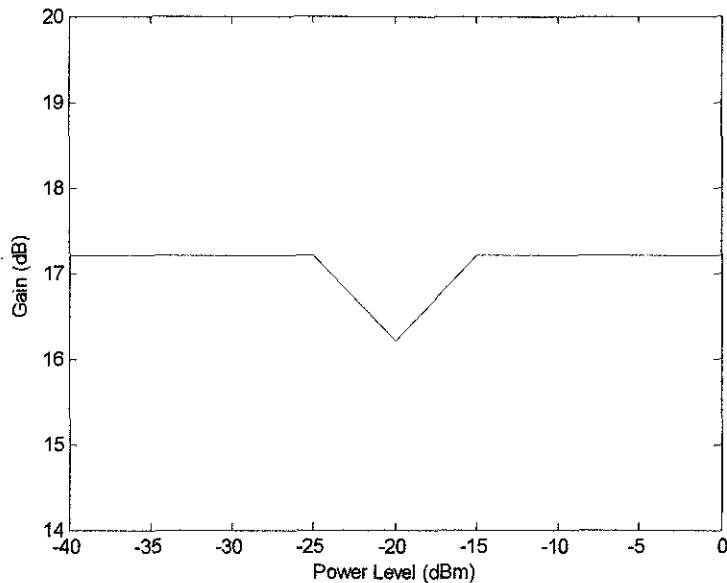
ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราขยายของ Amplifier ที่ค่า Power Level ต่างๆ

Power Level (dBm)	Transmission Line Loss (dB)	ค่าที่อ่านได้ (dB)	อัตราขยาย (dB)
-40	2.2	-25	17.2
-35	2.2	-20	17.2
-30	2.2	-15	17.2
-25	2.2	-10	17.2
-20	2.2	-6	16.2
-15	2.2	0	17.2
-10	2.2	5	17.2
-5	2.2	10	17.2
0	2.2	15	17.2

### 3.3.6 นำ Amplifier 2 ตัว มาต่ออนุกรมกัน ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราขยายของ Amplifier 2 ตัว มาต่ออนุกรมกัน

Power Level (dBm)	Transmission Line Loss (dB)	ค่าที่อ่านได้ (dB)	อัตราขยาย (dB)
-40	2.2	-9	33.2
-35	2.2	-4	33.2
-32	2.2	0	34.2
-30	2.2	2	34.2
-25	2.2	7	34.2
-20	2.2	11	33.2
0	2.2	16	18.2



รูปที่ 3.8 กราฟแสดงอัตราขยายของ Amplifier ที่ค่า Power Level ต่างๆ

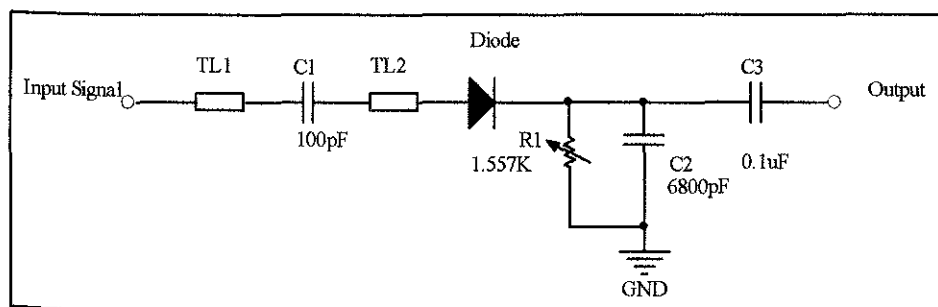
จากตารางที่ 3.1 และกราฟรูปที่ 3.8 เมื่อป้อนสัญญาณข่าวสารความถี่ 1 kHz ที่มีอูดุเลต มากับสัญญาณพาหะความถี่ 2.45 GHz แบบ AM พบว่า Amplifier มีอัตราขยายที่เป็นเชิงเส้น และเมื่อนำ Amplifier สองตัวมาต่ออนุกรมกันจะทำให้ได้อัตราขยายที่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าและมีอัตราขยายที่เป็นเชิงเส้นด้วยเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

### 3.4 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)

ในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำจะออกแบบ โดยใช้วงจรที่เป็น Envelope Detector มีขั้นตอนการออกแบบและสร้างวงจรดังนี้

#### 3.4.1 ออกแบบวงจร Envelope Detector บนแผ่น Print

โดยแปลงวงจรดังรูปที่ 3.9 (ก) ไปออกแบบ โดยใช้โปรแกรม Altium Designer 6.6 ดังรูปที่ 3.9 (ข)



(ก)

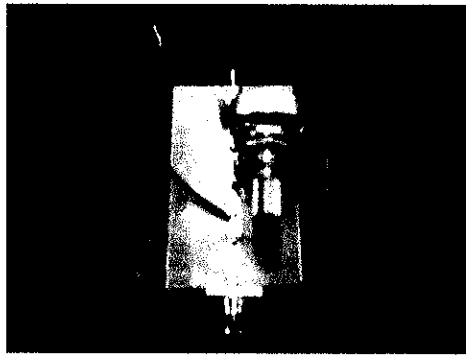


(ข)

รูปที่ 3.9 (ก) วงจร Envelope Detector

(ข) ลายวงจรที่ใช้ในการกัดแผ่น Print ของวงจร Envelope Detector

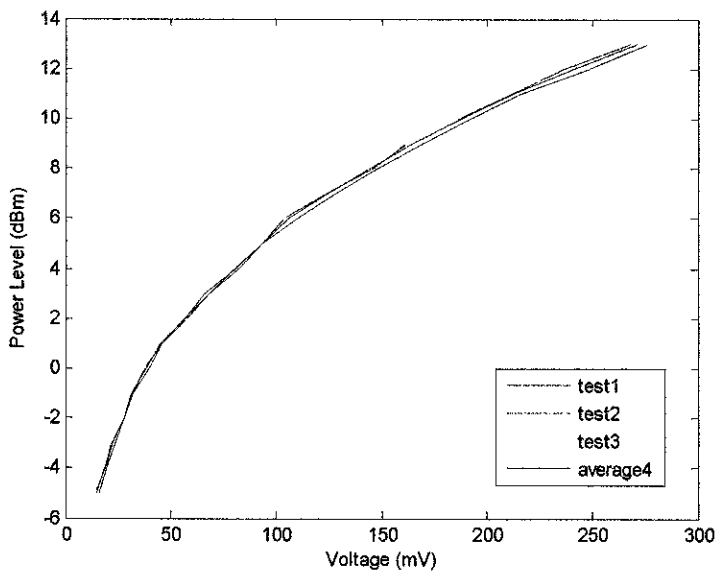
3.4.2 เมื่อได้ลายวงจรบนแผ่น Print แล้วก็ทำการบัดกรีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ  
จะได้วงจรดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจร Envelope Detector

### 3.4.3 ทำการทดสอบวงจร Envelope Detector

ได้ผลดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงการทดสอบวงจร Envelope Detector

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าระดับแรงดันที่ค่า Power Level ต่างๆ

Power Level (dBm)	วัดครั้งที่ 1 (mV)	วัดครั้งที่ 2 (mV)	วัดครั้งที่ 3 (mV)	ค่าเฉลี่ย (mV)
-5	16	16	14	14.67
-4	20	20	18	19.33
-3	24	22	22	22.67
-2	28	28	28	28
-1	32	32	31	31.67
0	40	38	38	38.67
1	46	46	44	45.33
2	58	56	58	57.33
3	68	68	62	66
4	80	82	80	80.67
5	94	94	92	93.33
6	110	104	104	106
7	128	124	122	124.67
8	148	146	140	144.67
9	170	162	162	164.67
10	192	186	186	188
11	216	212	210	212.67
12	248	236	238	240.67
13	276	268	270	271.33

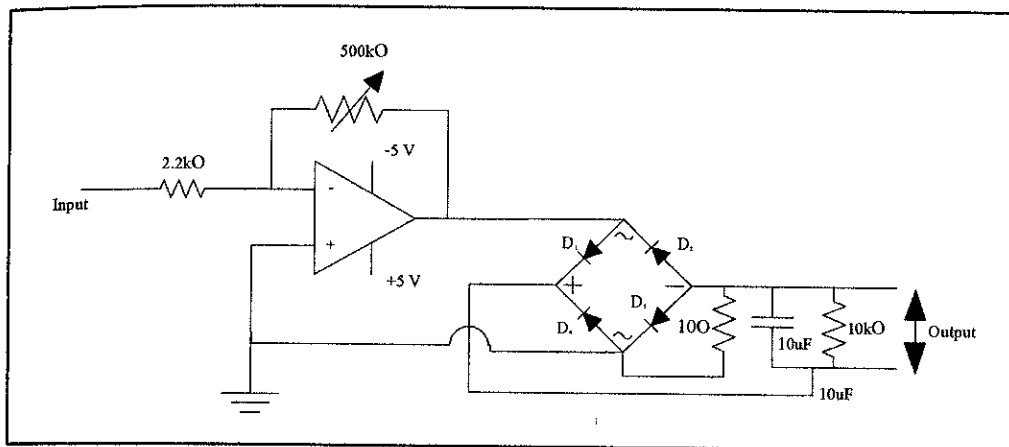
จากตารางที่ 3.3 และกราฟรูปที่ 3.11 แสดงให้เห็นว่า เมื่อ Power Level เพิ่มขึ้น ระดับแรงดันที่เอาต์พุตของวงจรก็เพิ่มขึ้นด้วย และจากการทดสอบเมื่อมีสัญญาณข่าวสาร ความถี่ 1 kHz มอดูเลตตามกับสัญญาณพาหะความถี่ 2.45 GHz แบบ AM เข้ามา วงจรจะทำการถอดสัญญาณข่าวสารที่ความถี่ 1 kHz ออกมาได้

### 3.5 วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียงกระแส (Rectifier)

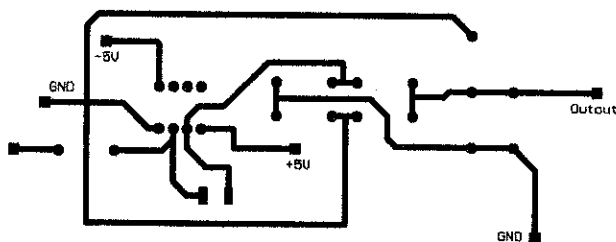
ในการออกแบบและสร้างวงจร มีวิธีดังนี้

#### 3.5.1 ออกแบบวงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียงกระแส บนแผ่น Print

โดยแปลงวงจรดังรูปที่ 3.12 (ก) ไปออกแบบโดยใช้โปรแกรม Altium Designer 6.6 ดังรูปที่ 3.12 (ข)



(ก)

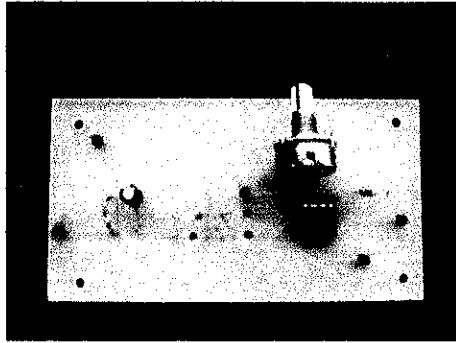


(ข)

รูปที่ 3.12 (ก) วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียงกระแส

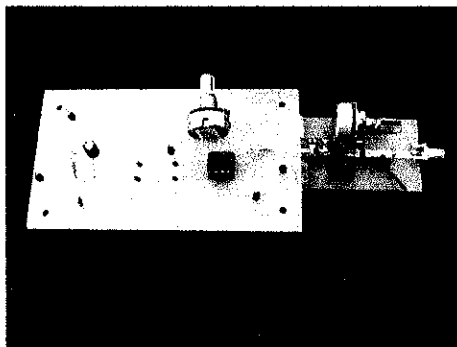
(ข) ลายวงจรที่ใช้ในการกัดแผ่น Print ของวงจร

3.5.2 เมื่อได้ลายวงจรบนแผ่น Print แล้วก็ทำการบัดกรีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ  
จะได้วงจรดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียงกระแส

3.5.3 นำวงจร Envelope Detector วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียง  
กระแสมาต่อกัน  
จะได้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 วงจร Envelope Detector วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียงกระแส

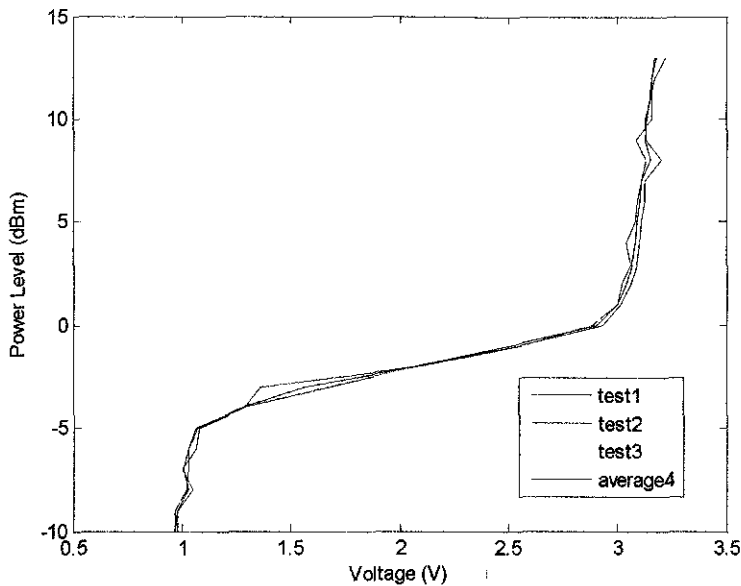
### 3.5.4 ทำการทดสอบวงจร Envelope Detector วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และ วงจรเรียงกระแส

ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าระดับแรงดันเอาต์พุตที่ค่า Power Level ต่างๆ

Power Level (dBm)	วัดครั้งที่ 1 (V)	วัดครั้งที่ 2 (V)	วัดครั้งที่ 3 (V)	ค่าเฉลี่ย (V)
-10	0.98	0.97	0.96	0.97
-9	0.98	0.97	0.98	0.98
-8	1.05	1.02	1.01	1.03
-7	1.00	1.03	1.00	1.01
-6	1.06	1.03	1.00	1.03
-5	1.08	1.07	1.03	1.06
-4	1.30	1.29	1.27	1.29
-3	1.67	1.36	1.66	1.56
-2	2.07	2.09	2.07	2.08
-1	2.57	2.58	2.45	2.53
0	2.93	2.88	2.89	2.90
1	3.01	3.00	2.98	3.00
2	3.06	3.02	3.03	3.04
3	3.09	3.06	3.06	3.07
4	3.10	3.04	3.10	3.08
5	3.11	3.08	3.07	3.09
6	3.12	3.09	3.11	3.10
7	3.12	3.11	3.12	3.11
8	3.20	3.13	3.13	3.15
9	3.13	3.08	3.14	3.12
10	3.13	3.16	3.14	3.14
11	3.15	3.16	3.15	3.15
12	3.17	3.16	3.15	3.16
13	3.22	3.17	3.16	3.18





รูปที่ 3.15 กราฟแสดงการทดสอบวงจร Envelope Detector

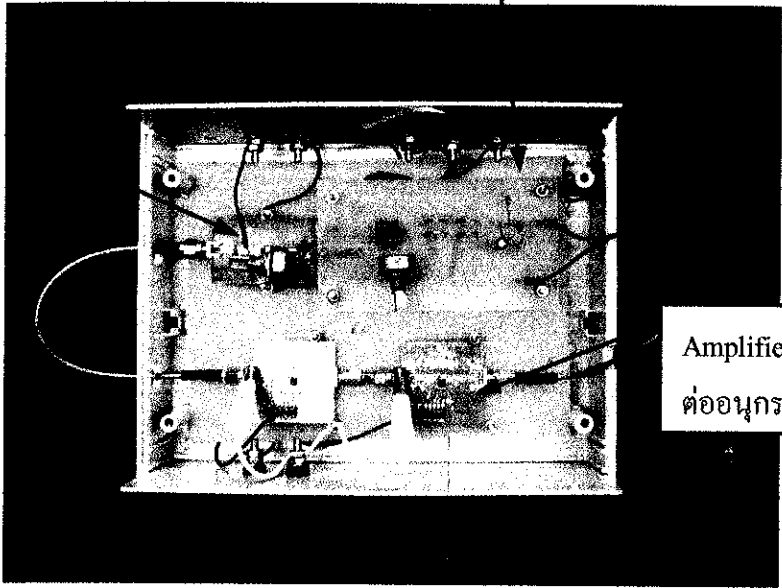
จากตารางที่ 3.4 และกราฟรูปที่ 3.15 แสดงการทดสอบวงจร Envelope Detector วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียงกระแส ที่นำมาต่อเรียงกัน เมื่อทำการป้อนสัญญาณเข้าสารความถี่ 1 kHz มอดูเลตมากับสัญญาณพาหะความถี่ 2.45 GHz แบบ AM เข้ามา พบว่าระดับแรงดันที่เอาท์พุทจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่ม Power Level ของเครื่องส่ง

### 3.6 สรุปเรื่องการออกแบบและการสร้างวงจรรับคลื่นความถี่วิทยุที่ความถี่ 2.45 GHz

เมื่อทำการทดสอบวงจรย่อยแต่ละวงจรที่เป็นองค์ประกอบของวงจรรับคลื่นสัญญาณความถี่วิทยุที่ความถี่ 2.45 GHz แล้ว จากนั้นได้นำวงจรย่อยต่างๆมาต่อกัน แล้วบรรจุลงในกล่องดังรูปที่ 3.16 แสดงวงจรภายในกล่อง และรูปที่ 3.17 แสดงกล่องภายนอกที่ปิดฝาแล้ว เพื่อความเป็นระเบียบและไม่ซับซ้อนในการต่อระบบรวมทั้งหมด และได้ทำการทดสอบวงจรโดยรวมอีกครั้ง พบว่าวงจรย่อยแต่ละวงจรสามารถนำมาใช้งานร่วมกันได้ เนื่องจากเอาท์พุทที่ได้ในแต่ละวงจรมันให้ผลเป็นไปตามที่ต้องการ

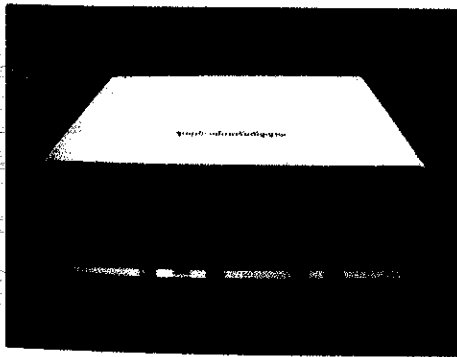
วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp  
และวงจรเรียงกระแส

Envelope  
Detector

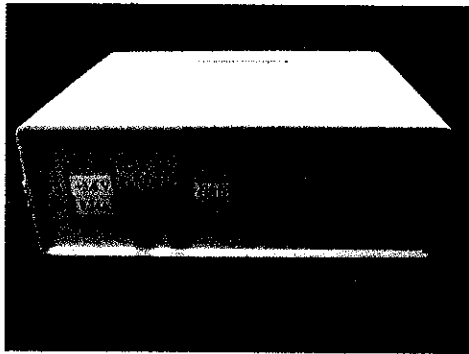


Amplifier 2 ตัว  
ต่ออนุกรมกัน

รูปที่ 3.16 วงจรย่อยต่างๆ ถูกบรรจุลงในกล่องชุดอุปกรณ์ภาครับสัญญาณ



ด้านหน้า



ด้านหลัง

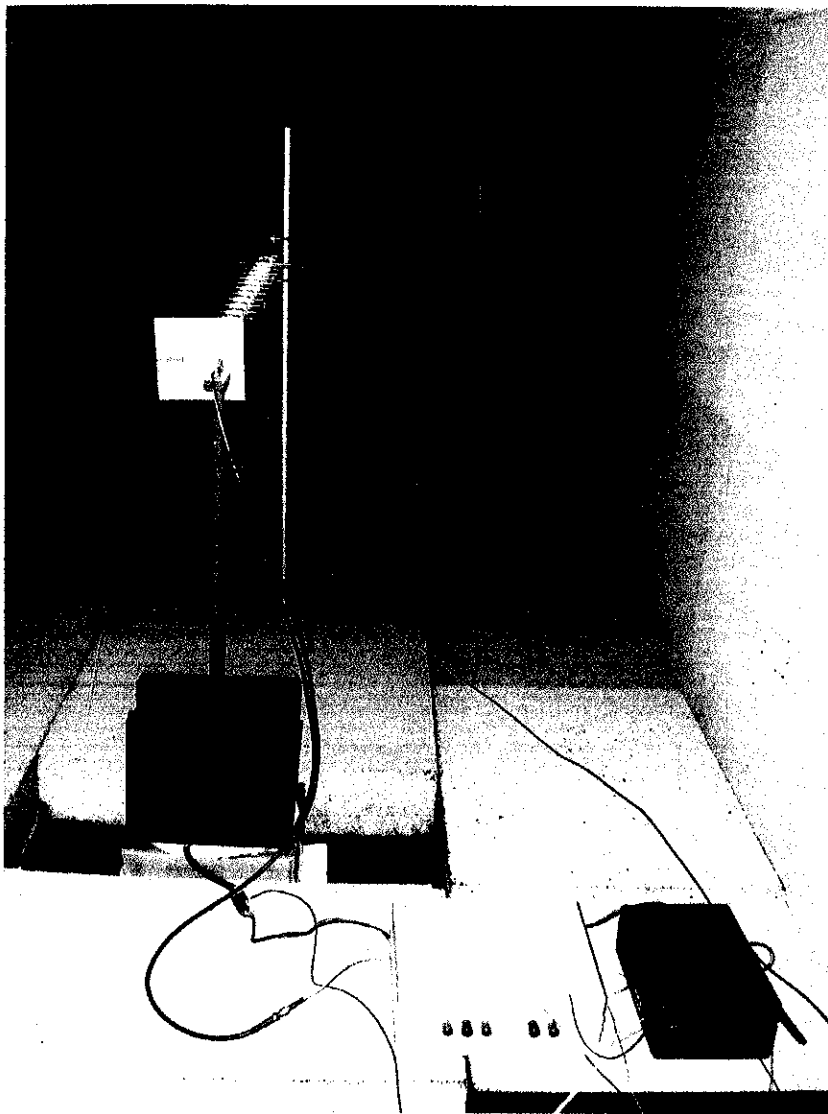
รูปที่ 3.17 กล่องชุดอุปกรณ์ภาครับสัญญาณ

## บทที่ 4

### การทดสอบเครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ

#### 4.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการนำวงจรทั้งหมดที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น มาประกอบเข้าเป็นเครื่องรับสัญญาณคลื่นที่มีความถี่ 2.45 GHz แล้วเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วย Serial Port เพื่อทำการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศตั้งแต่มุม  $0^{\circ}$ -  $360^{\circ}$  โดยมีการเชื่อมต่อวงจรและอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูป



รูปที่ 4.1 แสดงระบบโดยรวมของระบบทั้งหมด

## 4.2 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาค่าพลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ภาครับ

เป็นการทดสอบทั้งระบบเพื่อหาค่าพลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ภาครับสามารถรับได้มากที่สุด โดยจะทดสอบระบบรวมทั้งหมด แต่ไม่หมุนสายอากาศ แล้วทำการปรับลดระดับ Power Level ที่ภาคส่งแทน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

### 4.2.1 ต่อชุดอุปกรณ์ต่างๆ

ที่ประกอบด้วยสายอากาศภาครับและภาคส่ง Microcontroller และชุดอุปกรณ์ภาครับ

### 4.2.3 ป้อนสัญญาณข่าวสารที่ความถี่ 1 kHz มอดูเลตกับสัญญาณพาหะที่ความถี่ 2.45 GHz

ให้ที่สายอากาศภาคส่ง โดยให้ Power ของเครื่องส่งอยู่ที่ระดับสูงสุดคือที่ 13 dBm

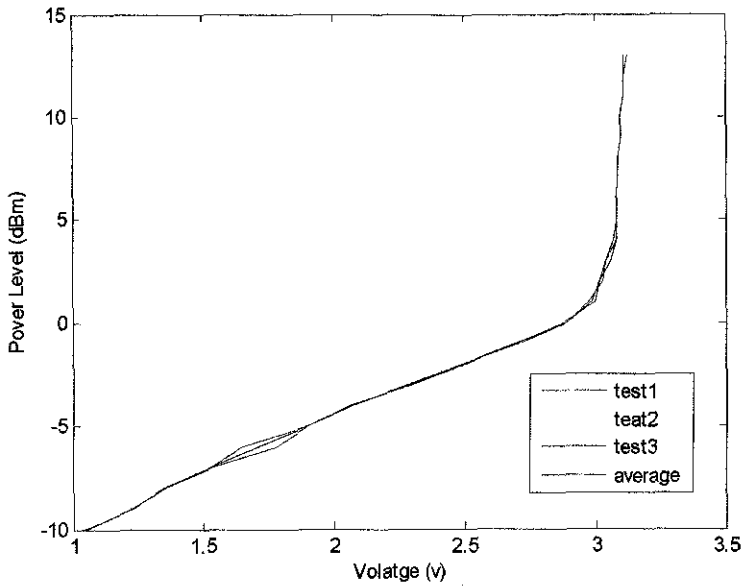
### 4.2.4 ทำการปรับลดระดับ Power ของเครื่องส่ง

โดยลดลงทีละ 1 dBm ไปเรื่อยๆ จนภาครับไม่สามารถถอดสัญญาณข่าวสารออกมาได้

ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.1 และกราฟดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันที่ภาครับรับได้เมื่อสายอากาศไม่หมุน

Power Level (dBm)	วัดครั้งที่ 1 (V)	วัดครั้งที่ 2 (V)	วัดครั้งที่ 3 (V)	ค่าเฉลี่ย (V)
-10	1.04	1.05	1.05	1.05
-9	1.23	1.21	1.22	1.22
-8	1.35	1.36	1.36	1.36
-7	1.53	1.53	1.54	1.53
-6	1.65	1.70	1.78	1.71
-5	1.90	1.89	1.90	1.90
-4	2.07	2.08	2.08	2.08
-3	2.30	2.28	2.29	2.28
-2	2.50	2.48	2.51	2.50
-1	2.72	2.70	2.71	2.71
0	2.89	2.90	2.88	2.89
1	2.98	2.99	3.00	2.99
2	3.03	3.02	3.02	3.02
3	3.04	3.05	3.06	3.04
4	3.08	3.07	3.08	3.07
5	3.08	3.08	3.08	3.08
6	3.08	3.08	3.08	3.08
7	3.09	3.09	3.09	3.09
8	3.09	3.09	3.09	3.09
9	3.10	3.10	3.10	3.10
10	3.10	3.10	3.10	3.10
11	3.11	3.10	3.11	3.11
12	3.11	3.11	3.11	3.11
13	3.11	3.11	3.12	3.11



รูปที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันที่ภาครับรับได้เมื่อสายอากาศไม่หมุน

จากตารางที่ 4.1 และกราฟรูปที่ 4.2 เมื่อทดสอบระบบรวมทั้งหมด แต่ไม่หมุนสายอากาศ แล้วทำการปรับลดระดับ Power ที่ภาคส่งแทน จะเห็นได้ว่าที่ระดับ Power สูงสุด คือ 13 dBm ที่ภาครับจะมีกำลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามากที่สุด ดังนั้นในการทดสอบระบบรวมทั้งหมดเมื่อหมุนสายอากาศจะทำการปรับระดับ Power ของเครื่องส่งให้อยู่ที่ 13 dBm

### 4.3 วัดกำลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

เป็นการทดสอบระบบรวมทั้งหมดและให้สายอากาศในภาครับหมุน  $360^\circ$  เพื่อวัดกำลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งในระนาบ E และระนาบ H ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาครับและภาคส่ง 1 เมตร แล้วนำค่าที่ได้ไปประมวลผลต่อในคอมพิวเตอร์เพื่อวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

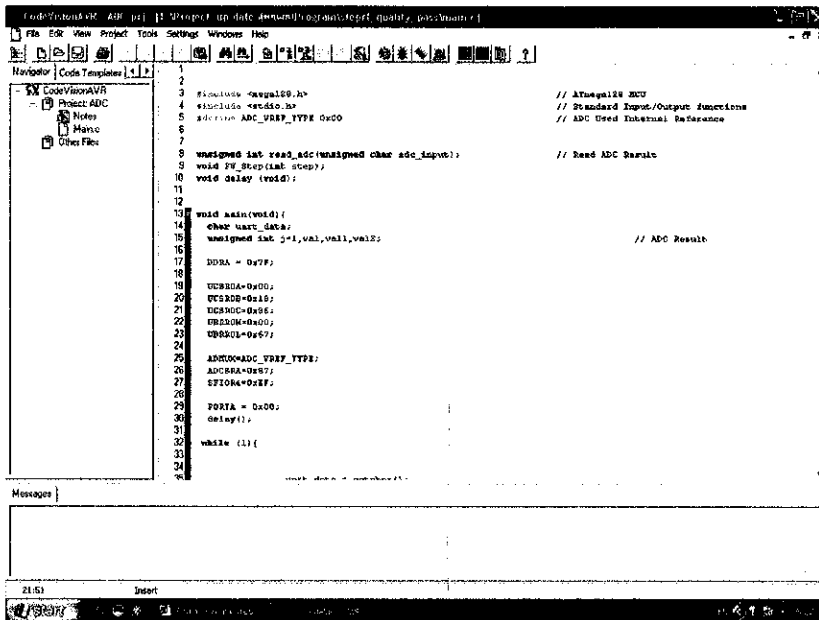
#### 4.3.1 ต่อชุดอุปกรณ์ต่างๆ

ที่ประกอบด้วยสายอากาศภาครับและภาคส่ง Microcontroller และชุดอุปกรณ์ภาครับ

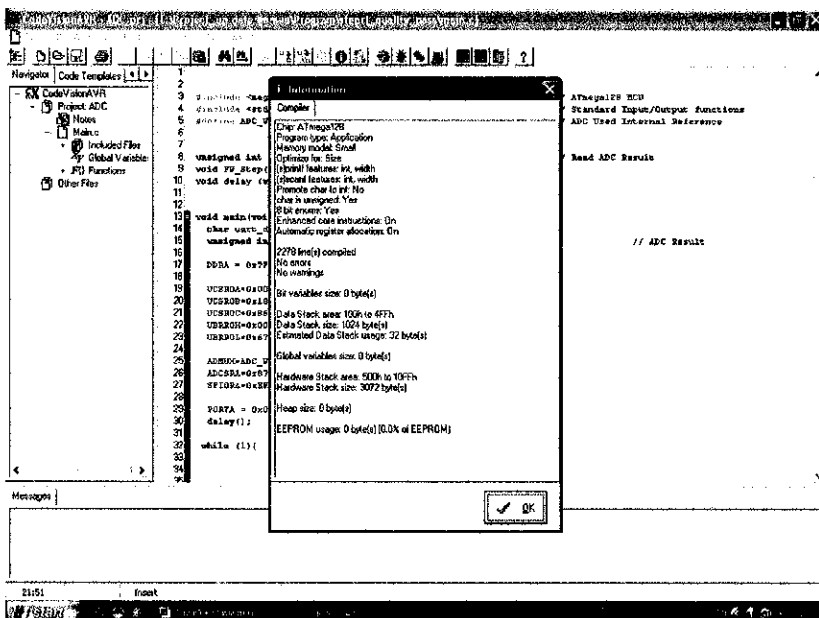
4.3.2 ป้อนสัญญาณข่าวสารที่มีความถี่ 1 kHz มอดูเลตกับสัญญาณพาหะที่มีความถี่ 2.45 GHz ให้ที่สายอากาศภาคส่ง โดยให้ Power ของเครื่องส่งอยู่ที่ระดับสูงสุดคือที่ 13 dBm

### 4.3.3 เปิดโปรแกรมภาษา C

เปิดโปรแกรมดังรูปที่ 4.3 เพื่อใช้ในการควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ แล้วทำการ Compile ตามรูปที่ 4.4




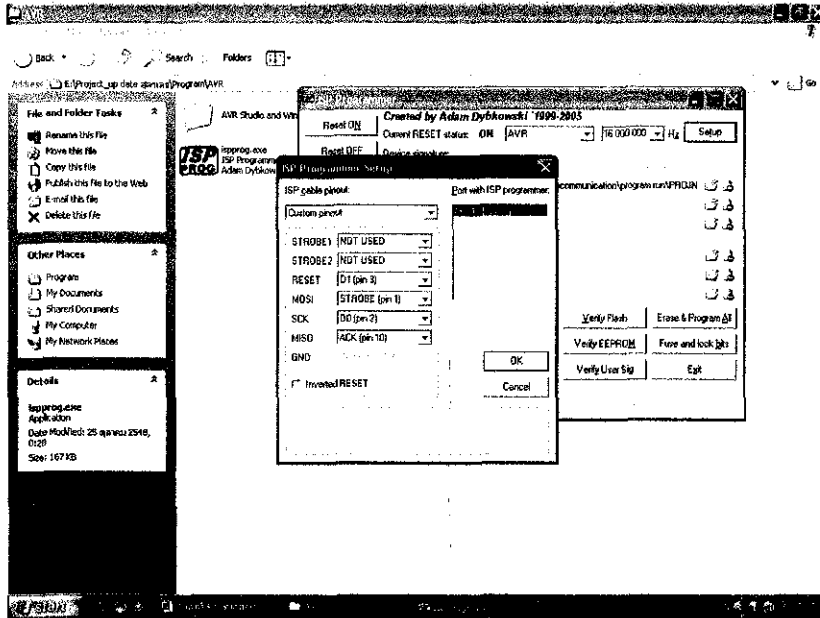
รูปที่ 4.3 แสดงเปิดโปรแกรมภาษา C



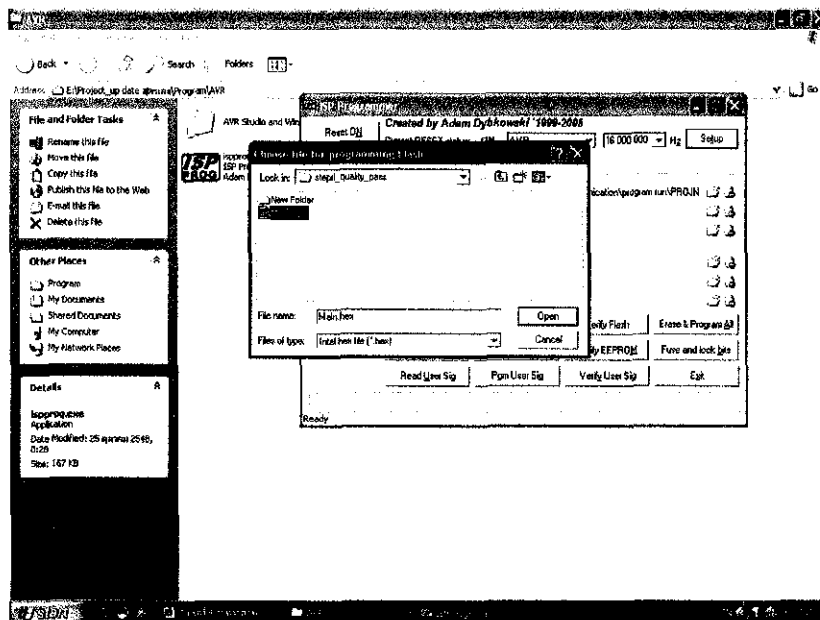
รูปที่ 4.4 ทำการ Compile

#### 4.3.4 ทำการโหลดโปรแกรมภาษา C ลงในบอร์ด Microcontroller

โดยใช้  และต้อง Setup ค่าต่างๆก่อนดังรูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6 แล้วจึงโหลดโปรแกรม ดังรูปที่ 4.7

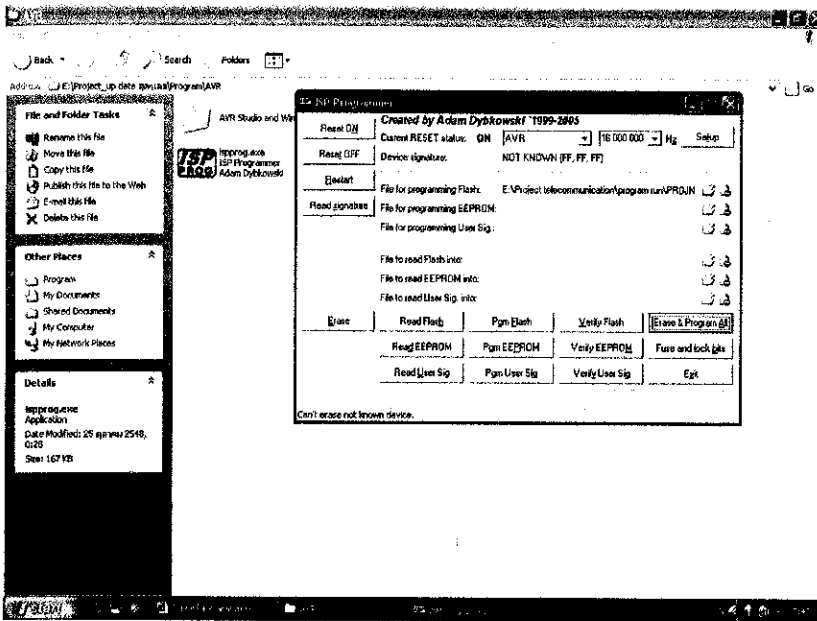


รูปที่ 4.5 Setup ค่าต่างๆ




รูปที่ 4.6 เปิดไฟล์ที่ได้จากการ Compile

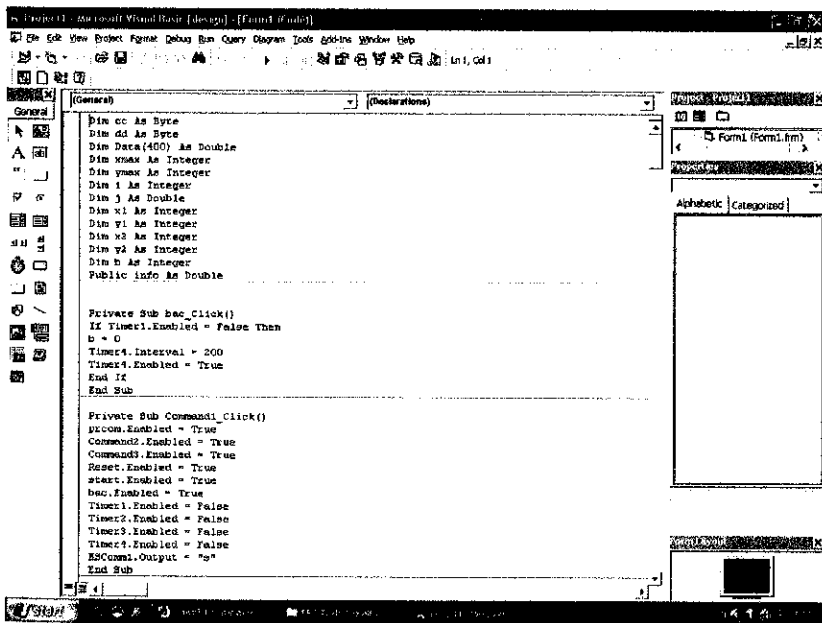




รูปที่ 4.7 ทำการโหลดโปรแกรมภาษา C

### 4.3.5 เปิดโปรแกรม Visual Basic 6

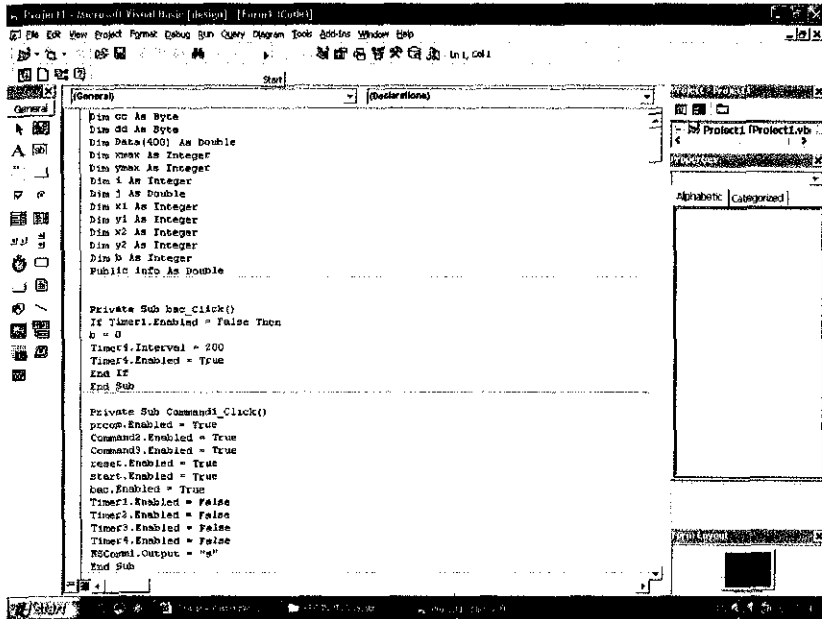
โดยคลิกที่  จะได้นหน้าต่างดังรูปที่ 4.8 เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับ Microcontroller เพื่อทำการรับค่ากำลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า



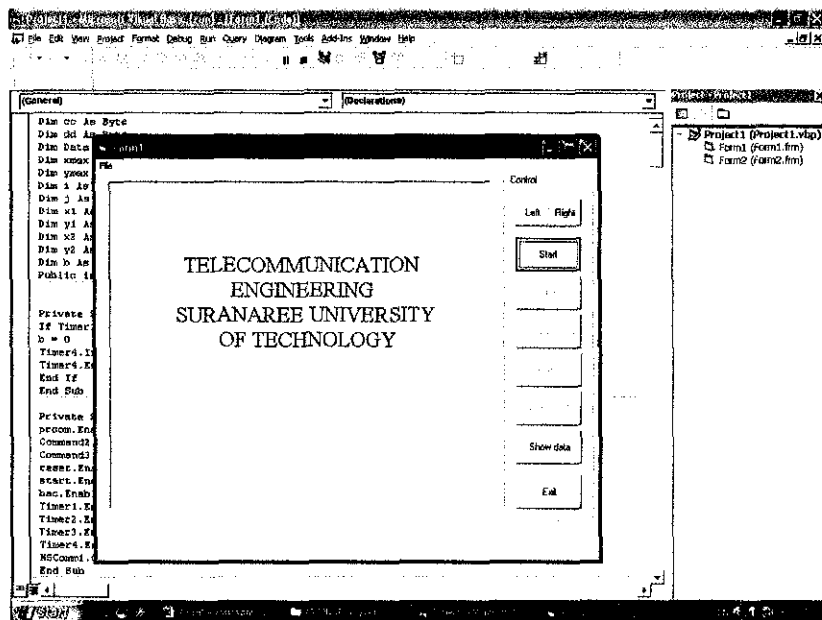
รูปที่ 4.8 เปิดโปรแกรม Visual Basic 6

### 4.3.6 ทำการรันโปรแกรม

รันโปรแกรมดังรูปที่ 4.9 แล้วจะได้นหน้าต่างดังรูปที่ 4.10



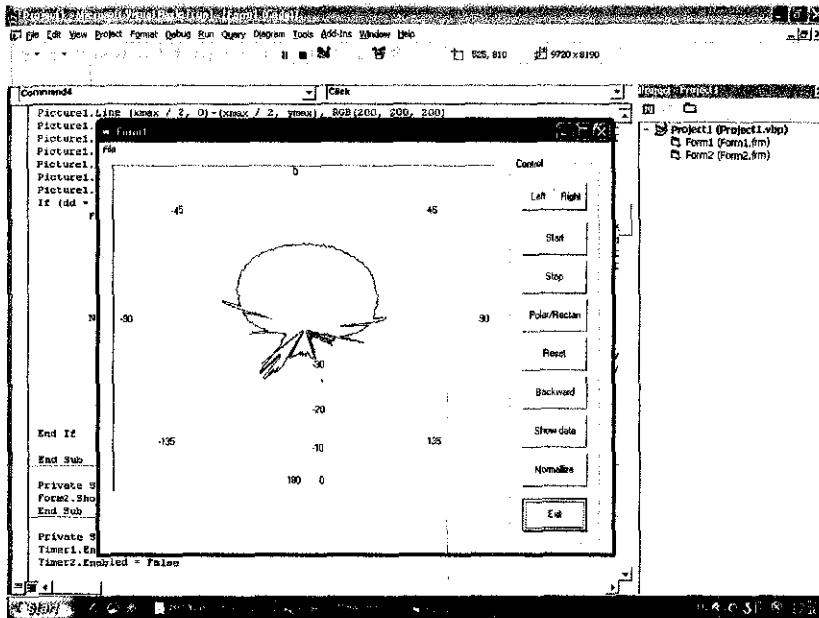
รูปที่ 4.9 รันโปรแกรม



รูปที่ 4.10 หน้าต่าง โปรแกรมหลังจากที่รันโปรแกรม

### 4.3.7 ทำการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ

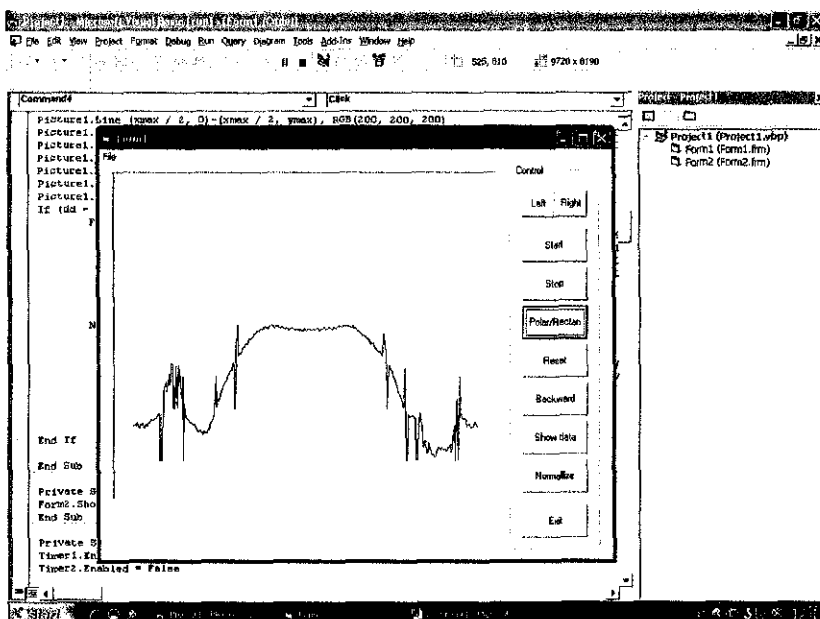
โดยกด Start จากนั้นโปรแกรมจะทำการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นจะเป็นแบบ Polar Plot

### 4.3.8 ดูกราฟแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบ Rectangular

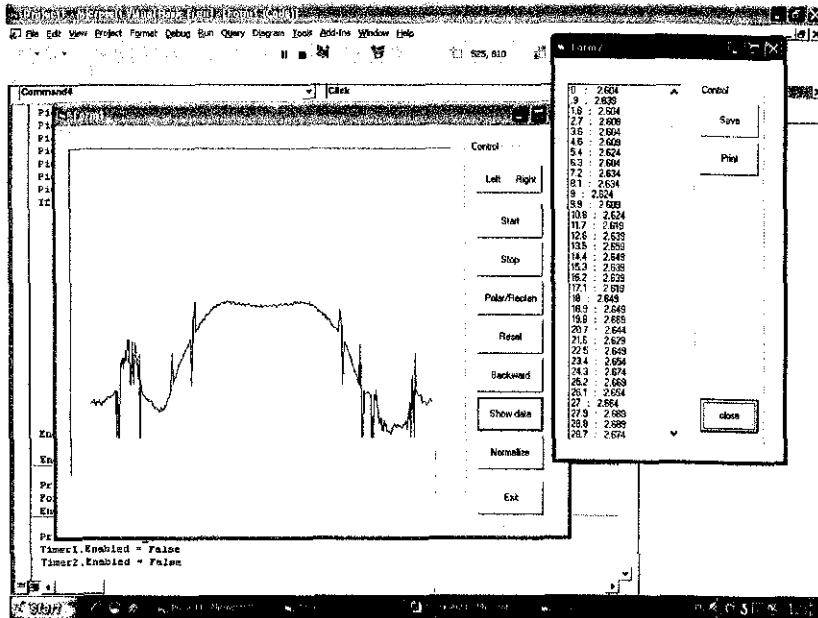
โดยการกดที่ Polar/Rectan หนึ่งครั้ง จะได้หน้าต่างโปรแกรม ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นจะเป็นแบบ Rectangular

### 4.3.9 ดูกราฟแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบ Table

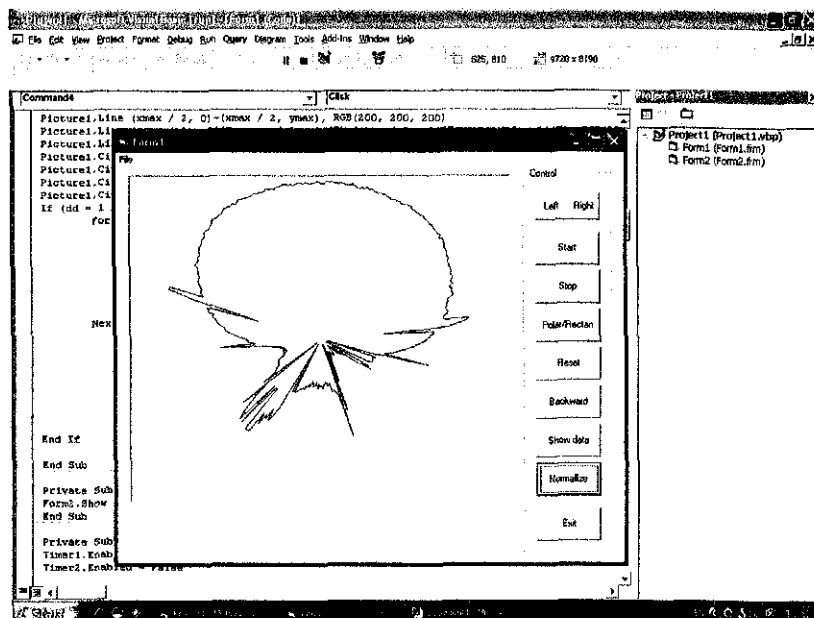
ได้โดยการกดที่ Show data แล้วจะขึ้นหน้าต่างที่แสดงค่าเป็นตาราง ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 กราฟแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นจะเป็นแบบ Table

### 4.3.10 ดูกราฟแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบ Polar Plot ที่ทำการ Normalize

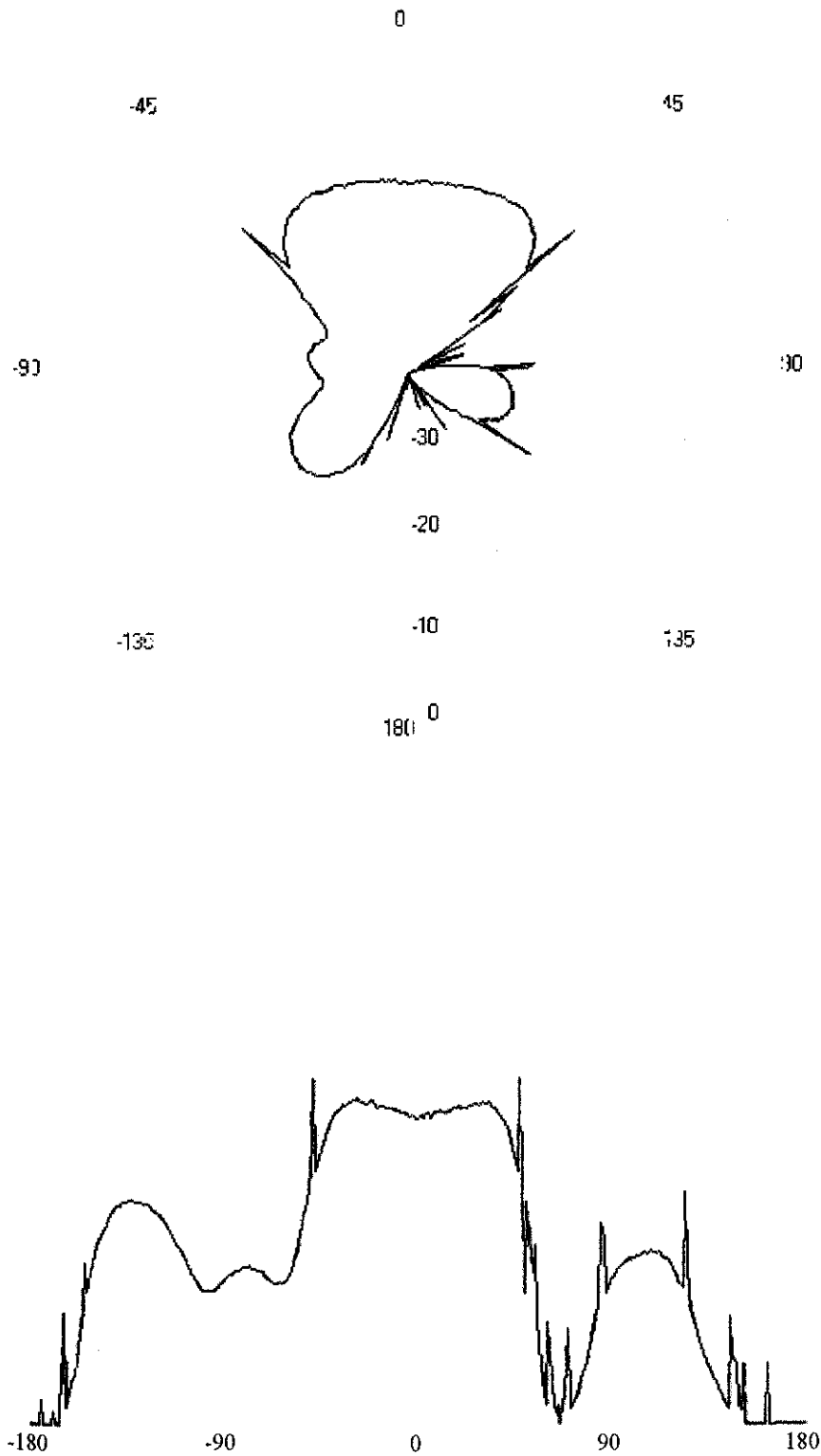
โปรแกรมสามารถที่จะแสดงค่าที่เป็น Normalize ได้โดยการกดที่ Normalize จะได้กราฟแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบ Polar Plot ที่ทำการ Normalize

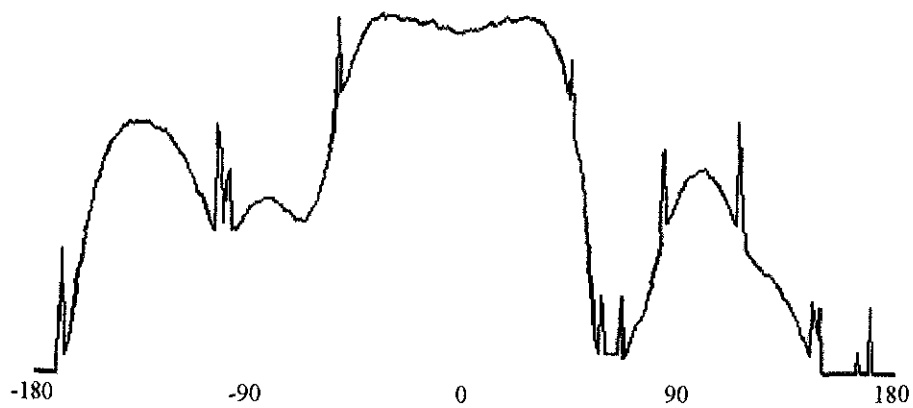
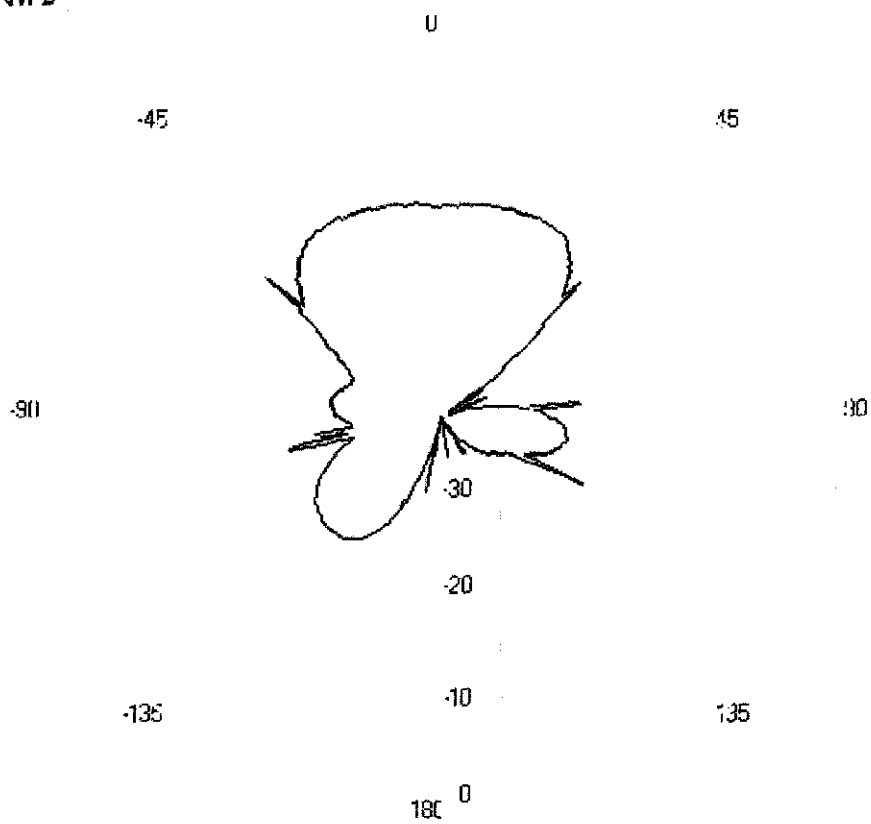
#### 4.3.11 วัดกำลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระนาบ E

ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาครับและภาคลส่ง 1 เมตร ได้ผลดังนี้  
ครั้งที่ 1



รูปที่ 4.15 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ E ครั้งที่ 1

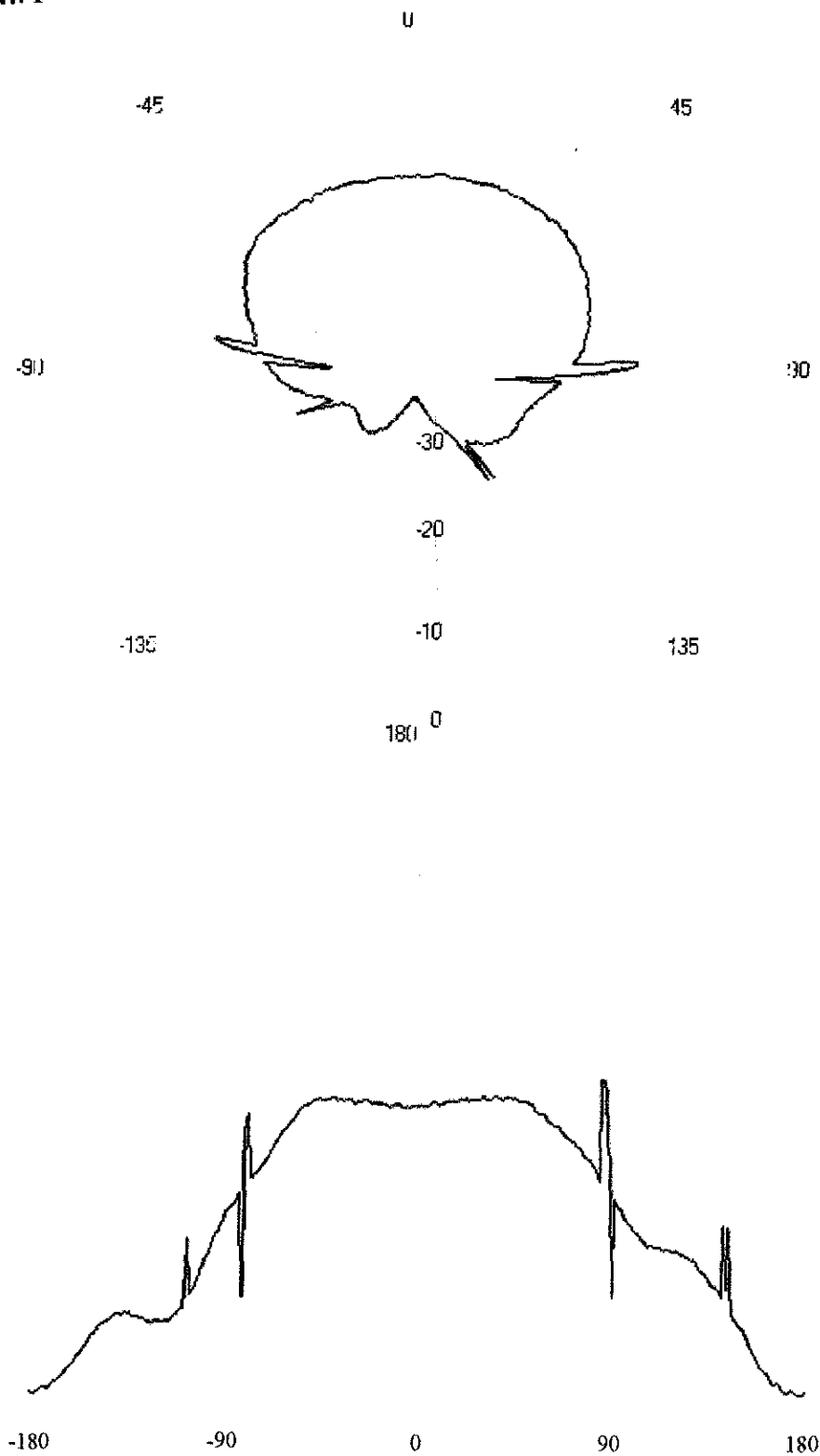
ครั้งที่ 2



รูปที่ 4.16 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ E ครั้งที่ 2

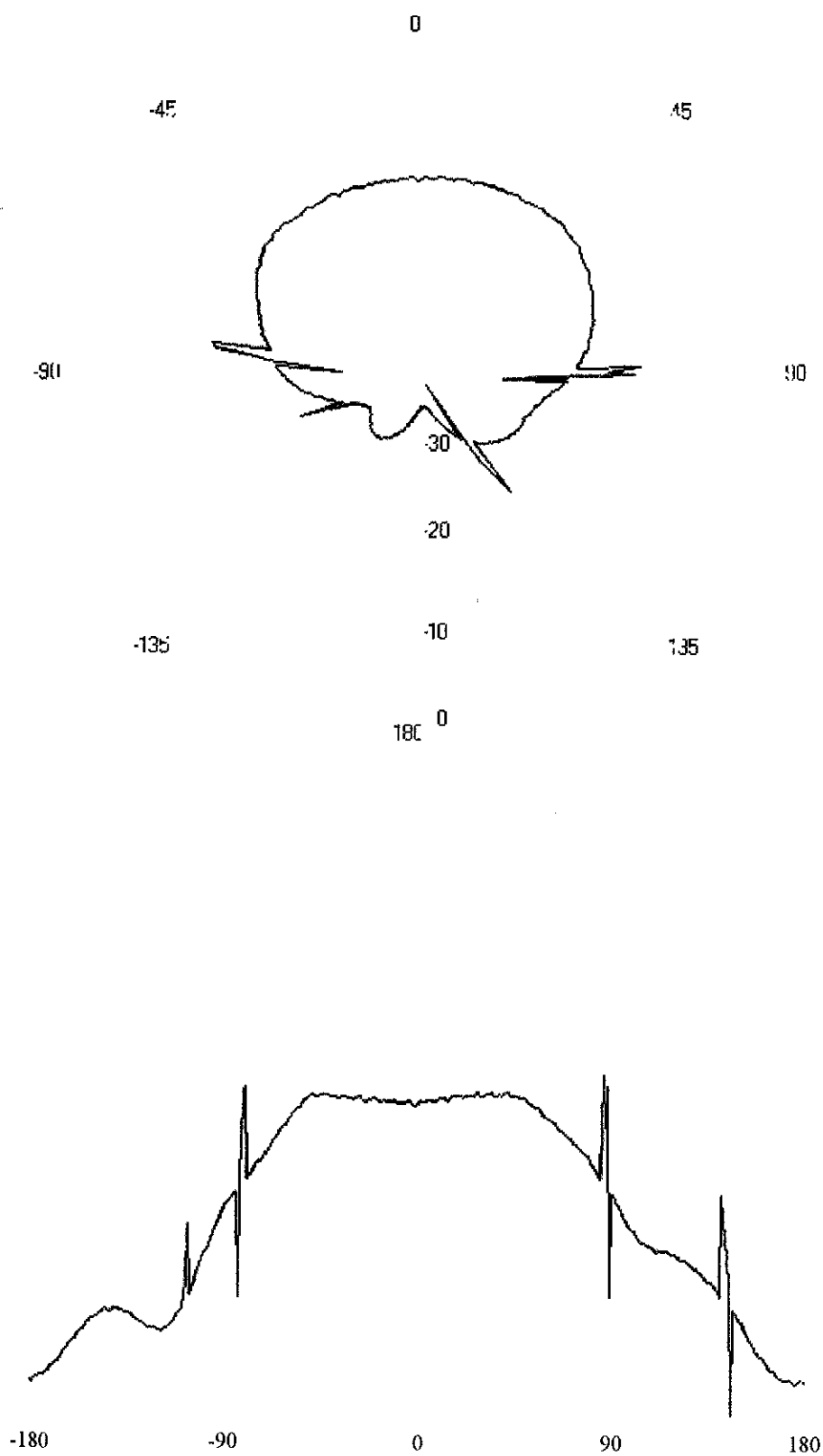
#### 4.3.12 วัดกำลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระนาบ H

ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาครับและภาคล่ง 1 เมตร ได้ผลดังนี้  
ครั้งที่ 1



รูปที่ 4.17 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ H ครั้งที่ 1

ครั้งที่ 2



รูปที่ 4.18 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบ H ครั้งที่ 2



#### 4.4 สรุปการทดสอบเครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ

เครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ออกแบบและสร้างขึ้นมานี้ สามารถวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่น แล้วแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ได้ 4 แบบ คือ Polar Plot, Rectangular Plot, Table และ Polar Plot ที่ Normalize แล้ว จากการทดสอบได้ทำการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศซ้ำหลายๆ รอบ ในระนาบ E และระนาบ H พบว่าแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่วัดได้ในแต่ละครั้งมีแบบรูปที่คล้ายคลึงกันทั้งในสองระนาบ แสดงว่าเครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศนี้มีความเที่ยงตรงและแม่นยำ สามารถนำมาใช้งานในการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศได้

## บทที่ 5

### บทสรุป และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงระบบรวมของเครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz โดยได้อธิบายถึงปัญหาที่พบในระหว่างการทำโครงการงาน วิธีแก้ปัญหาคือข้อเสนอแนะ แนวทางการพัฒนาต่อไป และบทสรุปของโครงการงานที่จัดทำขึ้น

#### 5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการทำโครงการงานและวิธีแก้ปัญหาคือ

ตารางที่ 5.1 แสดงรายละเอียดของปัญหาที่พบ และวิธีแก้ปัญหาคือของโครงการงาน

ปัญหาที่พบ	สาเหตุและแนวทางแก้ไข
1. MMIC เบอร์ HMC414MS8G ที่เป็น Amplifier พังบ่อย	<u>สาเหตุ</u> เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากการบัดกรี <u>แนวทางแก้ไข</u> ใช้ที่เป่าลมร้อนในการบัดกรีแทนการใช้หัวแร้ง
2. ลายวงจรที่กัดบนแผ่น Print มีขนาดเล็กมาก	<u>สาเหตุ</u> เนื่องจากความถี่ที่ใช้งานอยู่ในย่าน 2.45 GHz ดังนั้น Transmission Line จึงมีขนาดเล็ก <u>แนวทางแก้ไข</u> ในการออกแบบลายวงจรบนแผ่น Print จะใช้โปรแกรม Altium Designer ที่สามารถทำให้ Transmission Line ที่ได้มีขนาดเล็กและคมตามที่ต้องการ
3. สัญญาณที่รับได้ที่ภาครับมี Power ก่อนข้างต่ำ	<u>สาเหตุ</u> เนื่องจากเกิดการสูญเสียภายในวงจร สายส่ง และอากาศ <u>แนวทางแก้ไข</u> ใช้ Amplifier 2 ตัว มาต่ออนุกรมกัน เพื่อให้ได้อัตราขยายเพิ่มขึ้น

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

- 5.3.1 ลายวงจรบนแผ่น Print ที่ออกแบบเสร็จแล้วควรที่จะใช้เครื่อง Network วัดเพื่อจะดูว่าอินพุตและเอาต์พุต Matching ที่  $50 \Omega$  หรือไม่
- 5.3.2 เนื่องจาก MMIC และ IC มีขนาดเล็ก ควรที่จะระมัดระวังในการบัดกรี เพราะเวลาบัดกรีขาของ MMIC หรือ IC อาจติดกันทำให้เกิดการ Short Circuit ได้ และควรระวังเรื่องความร้อนในการบัดกรีด้วย เช่น ไม่ควรจี้ขา IC เป็นเวลานานๆ อาจทำให้ IC พังได้

### 5.4 แนวทางการพัฒนาต่อไป

- 5.4.1 เพิ่มชุดวงจรขยายสัญญาณที่ภาคส่งและภาครับให้มากขึ้น เพื่อให้สัญญาณมีความแรงมากขึ้น สามารถรับ-ส่งสัญญาณได้ระยะทางที่ไกลขึ้น
- 5.4.2 ปรับปรุงสเต็ปมอเตอร์ให้หมุนอย่างราบเรียบ ซึ่งจะทำให้ผลในการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศมีความเที่ยงตรงและแม่นยำยิ่งขึ้น
- 5.4.3 ปรับปรุง และ พัฒนาเครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ให้สามารถใช้งานได้ในทุกๆ ย่านความถี่

### 5.5 บทสรุป

ระบบรวมของเครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz ประกอบไปด้วย

- วงจรควบคุมการหมุนของสายอากาศด้วยสเต็ปมอเตอร์
- วงจรขยายสัญญาณที่ย่านความถี่ 2.45 GHz (Amplifier)
- วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)
- วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียงกระแส (Rectifier)

ก่อนที่จะทำการต่อชุดอุปกรณ์และวงจรต่างๆในระบบ จะทำการทดสอบชุดอุปกรณ์และวงจรข้างต้น ซึ่งได้ผลตามบทที่ 3 อธิบายได้ดังต่อไปนี้

#### 5.5.1 วงจรควบคุมการหมุนของสายอากาศด้วยสเต็ปมอเตอร์

สเต็ปมอเตอร์ที่ถูกควบคุมด้วย Microcontroller จะหมุนสายอากาศทีละครึ่งสเต็ป โดยจะได้มุม  $0.9^\circ$  ในแต่ละครึ่งสเต็ป ดังนั้นสเต็ปมอเตอร์จะหมุน 400 สเต็ป ทำให้ได้มุมทั้งหมด  $360^\circ$

### 5.5.2 วงจรขยายสัญญาณที่ย่านความถี่ 2.45 GHz

วงจรขยายสัญญาณจะใช้ MMIC เบอร์ HMC414MS8G ที่มีคุณสมบัติในการขยายสัญญาณในช่วงความถี่ 2.2 GHz ถึง 2.8 GHz และมีอัตราขยายเฉลี่ย 20 dB ที่ความถี่ 2.45 GHz จากการทดสอบด้วยเครื่อง Spectrum Analyzer วัดอัตราขยายได้ 17.2 dB ที่ Power 0 dB เมื่อทำการปรับเพิ่มค่าของ Power พบว่าวงจรขยายสัญญาณมีอัตราขยายที่เป็นเชิงเส้น และเมื่อนำวงจรขยายสัญญาณมาต่อกันแบบอนุกรมกันสองวงจรจะได้อัตราขยายที่เพิ่มขึ้นเกือบสองเท่าและมีอัตราขยายที่เป็นเชิงเส้นด้วยเช่นกัน

### 5.5.3 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ

วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำโดยออกแบบให้เป็นวงจร Envelope Detector ภายในวงจรจะใช้ Diode เบอร์ HSMS 2862 ที่สามารถทำงานได้ที่ย่านความถี่ 2.45 GHz จากการทดสอบเมื่อมีสัญญาณข่าวสารความถี่ 1 kHz มอดูเลตมากับสัญญาณพาหะความถี่ 2.45 GHz แบบ AM เข้ามา วงจรจะทำการถอดสัญญาณข่าวสารที่ความถี่ 1 kHz ออกมาได้

### 5.5.4 วงจรขยายสัญญาณด้วย Op-amp และวงจรเรียงกระแส

ภายในวงจรจะใช้ Op-amp เบอร์ LM358 ที่เป็นแบบ Non-inverting Amplifier และ Diode เบอร์ 1N4148 จำนวน 4 ตัวต่อกันแบบบริดจ์ เมื่อมีสัญญาณข่าวสารที่ความถี่ 1 kHz เข้ามาวงจรจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณแล้วแปลงเป็นสัญญาณ DC เพื่อส่งให้โปรแกรมในคอมพิวเตอร์ประมวลผลต่อไป

จากการทดสอบเมื่อทำการต่อชุดอุปกรณ์และวงจรต่างๆ ในระบบรวมทั้งหมด แล้วทำการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz โดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาครับและภาคส่งห่างกัน 1 เมตร แล้วทำการวัดค่ากำลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ภาครับสามารถรับได้ ทั้งในระนาบ E และระนาบ H เมื่อทำการวัดค่าซ้ำหลายๆ รอบ พบว่าแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นที่วัดได้ในแต่ละครั้งมีความคล้ายคลึงกัน ทั้งในสองระนาบ แสดงว่าเครื่องวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศนี้มีประสิทธิภาพและมีความเที่ยงตรงแม่นยำที่สามารถนำมาใช้งานได้จริง

## บรรณานุกรม

- [1] <http://www.chontech.ac.th/~electric/html/stepermotor.htm>
- [2] [http://www.sangtawan.org/news\\_detail.asp?lng=th&news\\_id=7](http://www.sangtawan.org/news_detail.asp?lng=th&news_id=7)
- [3] [http://eestaff.kku.ac.th/~krit/book\\_project4/Project%20B4/2546/high%20voltage%20motor%20drive/high%20voltage%20motor%20drive\\_pdf+ppt.pdf](http://eestaff.kku.ac.th/~krit/book_project4/Project%20B4/2546/high%20voltage%20motor%20drive/high%20voltage%20motor%20drive_pdf+ppt.pdf)
- [4] [http://www.hittite.com/index.cfm?body\\_content=products&type=amplifier&catid=1&part\\_number=HMC414MS8G&source=dropdown&sort=function](http://www.hittite.com/index.cfm?body_content=products&type=amplifier&catid=1&part_number=HMC414MS8G&source=dropdown&sort=function)
- [5] กัมปนาท ลานอก และ สุรเดช สุวรรณ โมรา. “วงจรรขยายสัญญาณสำหรับเครือข่ายไร้สายย่านความถี่ 2.45 GHz โดยใช้วงจรรขยายแบบ MMIC.” วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา, 2548
- [6] [http://www.eng.mut.ac.th/electronics/article\\_detail.asp?ArticleID=291](http://www.eng.mut.ac.th/electronics/article_detail.asp?ArticleID=291)
- [7] [http://www.st-andrews.ac.uk/~jcgl/Scots\\_Guide/RadCom/part9/page2.html](http://www.st-andrews.ac.uk/~jcgl/Scots_Guide/RadCom/part9/page2.html)
- [8] <http://www.en.kku.ac.th/engineer/project/files/ee%202004-20-286-1-12%20%BA%B7%B7%D5%E8%203%20%C7%A7%A8%C3%A2%C2%D2%C2%CA%D1%AD%AD%D2%B3.pdf>
- [9] <http://mylesson.swu.ac.th/ee210/Lesson05.htm>
- [10] <http://www.sukhothaitc.ac.th/kraisorn/teaching/OP-A.htm>
- [11] <http://www.chontech.ac.th/~electric/e-learn/unit15/unit15.htm>
- [12] <http://www.chontech.ac.th/~electric/html/rectifier.htm>

## ภาคผนวก ก

โปรแกรม CodeVisionAVR C Compiler Evaluation ที่ใช้ในการ

ควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์

```

#include <mega128.h> // ATmega128 MCU
#include <stdio.h> // Standard Input/Output functions
#define ADC_VREF_TYPE 0xC0 // ADC Used Internal Reference

unsigned int read_adc(unsigned char adc_input); // Read ADC Result
void FW_Step(int step);
void delay (void);

void main(void)
{
char uart_data;
unsigned int j=1,val,val1,val2; // ADC Result

DDRA = 0x7F;

UCSR0A=0x00;
UCSR0B=0x18;
UCSR0C=0x86;
UBRR0H=0x00;
UBRR0L=0x67;

ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA=0x87;
SPIOR&=0xEF;

```

```
PORTA = 0x00;
```

```
delay();
```

```
while (1)
```

```
{
```

```
    uart_data = getchar();
```

```
    if(uart_data=='s')
```

```
    {
```

```
        printf("\rStop");
```

```
        PORTA = 0x00;
```

```
    }
```

```
    if(uart_data=='d')
```

```
    {
```

```
        val = read_adc(0);
```

```
        val1=(val*5)/1023;
```

```
        val2=(val*5)%1023;
```

```
        printf("\r%.2u.%.2u",val1,val2);
```

```
    }
```

```
Else
```

```
{
```

```
    if(uart_data=='l')
```

```
    {
```

```
        if(j<8){j++;}
```

```
        else if(j==8){j=1;}
```

```
        FW_Step(j);
```

```
    }
```

```
    if(uart_data=='r')
```

```
    {
```

```
        if(j>1){j--;}  
        else if(j==1){j=8;}
```

```
        FW_Step(j);
```

```
    }
```

```

    }
}

/*****/;
/***** Read the AD conversion result *****/;
/*****/;

unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)    // Read Result ADC
{
    ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;

    ADCSRA|=0x40;                                // Start the AD conversion

    while ((ADCSRA & 0x10)==0);                  // Wait for the AD conversion to
                                                    complete

    ADCSRA|=0x10;

    return ADCW;
}

/*****/;
/*****FW-STEP*****/;
/*****/;

void FW_Step(int step)
{
    switch(step)
    {
        case 1: PORTA=0b00000001;delay();break;
        case 2: PORTA=0b00000011;delay();break;
        case 3: PORTA=0b00000010;delay();break;
        case 4: PORTA=0b00000110;delay();break;
        case 5: PORTA=0b00000100;delay();break;
        case 6: PORTA=0b00001100;delay();break;
        case 7: PORTA=0b00001000;delay();break;
        case 8: PORTA=0b00001001;delay();break;
    }
}

```



```
void delay ()
```

```
{
```

```
    unsigned char d1,d2;
```

```
    for(d1=0x0ff;d1>0;d1--)
```

```
        {for(d2=0x0ff;d2>0;d2--){}}
```

```
    for(d1=0x0ff;d1>0;d1--)
```

```
        {for(d2=0x0ff;d2>0;d2--){}}
```

```
    for(d1=0x0ff;d1>0;d1--)
```

```
        {for(d2=0x0ff;d2>0;d2--){}}
```

```
    for(d1=0x0ff;d1>0;d1--)
```

```
        {for(d2=0x0ff;d2>0;d2--){}}
```

```
    for(d1=0x0ff;d1>0;d1--)
```

```
        {for(d2=0x0ff;d2>0;d2--){}}
```

```
    for(d1=0x0ff;d1>0;d1--)
```

```
        {for(d2=0x0ff;d2>0;d2--){}}
```

```
    for(d1=0x0ff;d1>0;d1--)
```

```
        {for(d2=0x0ff;d2>0;d2--){}}
```

```
    for(d1=0x0ff;d1>0;d1--)
```

```
        {for(d2=0x0ff;d2>0;d2--){}}
```

```
}
```

## โปรแกรม Microsoft Visual Studio 6

### ที่ใช้ในการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ

```
Dim cc As Byte
```

```
Dim dd As Byte
```

```
Dim Data(400) As Double
```

```
Dim Data_n(400) As Double
```

```
Dim Data_max As Double
```

```
Dim xmax As Integer
```

```
Dim ymax As Integer
```

```
Dim i As Integer
```

```
Dim j As Double
```

```
Dim x1 As Integer
```

```
Dim y1 As Integer
```

```
Dim x2 As Integer
```

```
Dim y2 As Integer
```

```
Dim b As Integer
```

```
Public info As Double
```

```
*****
```

```
Private Sub bac_Click()
```

```
Timer1.Enabled = False Then
```

```
0 = 0
```

```
Timer4.Interval = 200
```

```
Timer4.Enabled = True
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
com.Enabled = True
```

```
Command2.Enabled = True
```

```
Command3.Enabled = True
```

```
reset.Enabled = True
```

```
start.Enabled = True
```

```
bac.Enabled = True
```

```
Timer1.Enabled = False
```

```
Timer2.Enabled = False
```

```
Timer3.Enabled = False
```

```
Timer4.Enabled = False
```

```
MSComm1.Output = "s"
```

```
End Sub
```

```
*****  
Private Sub Command2_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As  
Single)
```

```
If Timer1.Enabled = False Then
```

```
Timer2.Interval = 40
```

```
Timer2.Enabled = True
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
*****  
Private Sub Command3_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As  
Single)
```

```
If Timer1.Enabled = False Then
```

```
Timer3.Interval = 40
```

```
Timer3.Enabled = True
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
*****  
Private Sub Command2_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As  
Single)
```

```
If Timer1.Enabled = False Then
```

```
Timer2.Enabled = False
```

```
MSComm1.Output = "s"
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
Private Sub Command3_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As  
Single)
```

```
    If Timer1.Enabled = False Then
```

```
        Timer3.Enabled = False
```

```
        MSComm1.Output = "s"
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
Private Sub Command4_Click()
```

```
    Data_max = 0
```

```
    For j = 0 To 400
```

```
        If Data(j) > Data_max Then
```

```
            Data_max = Data(j)
```

```
        End If
```

```
    Next j
```

```
    For j = 0 To 400
```

```
        If Data(j) > 0 Then
```

```
            n(j) = Data(j) / Data_max * 5
```

```
        End If
```

```
        If Data(j) = 0 Then
```

```
            n(j) = 0
```

```
        End If
```

```
    Next j
```

```
    Picture1.BackColor = RGB(255, 255, 255)
```

```
    Picture1.Line (0, ymax / 2)-(xmax, ymax / 2), RGB(200, 200, 200)
```

```
    Picture1.Line (xmax / 2, 0)-(xmax / 2, ymax), RGB(200, 200, 200)
```

```
    Picture1.Line (xmax / 2 + 2147, ymax / 2 + 2147)-(xmax / 2 - 2147, ymax / 2 - 2147),
```

```
    RGB(200, 200, 200)
```

```

Picture1.Line (xmax / 2 - 2147, ymax / 2 + 2147)-(xmax / 2 + 2147, ymax / 2 - 2147),
RGB(200, 200, 200)
Picture1.Circle (xmax / 2, ymax / 2), ymax / 8, RGB(200, 200, 200)
Picture1.Circle (xmax / 2, ymax / 2), ymax / 8 * 2, RGB(200, 200, 200)
Picture1.Circle (xmax / 2, ymax / 2), ymax / 8 * 3, RGB(200, 200, 200)
Picture1.Circle (xmax / 2, ymax / 2), ymax / 8 * 4, RGB(200, 200, 200)

```

```

If (dd = 1 And Timer1.Enabled = False) Then

```

```

  For j = 1 To 399

```

```

    x1 = xmax / 2 + (Data_n(j - 1) * ymax / 10 * Cos(((j - 1) * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))
    y1 = ymax / 2 + (Data_n(j - 1) * ymax / 10 * Sin(((j - 1) * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))
    x2 = xmax / 2 + (Data_n(j) * ymax / 10 * Cos((j * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))
    y2 = ymax / 2 + (Data_n(j) * ymax / 10 * Sin((j * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))
    Picture1.Line (x1, ymax - y1)-(x2, ymax - y2), RGB(200, 0, 0)
    Picture1.PSet (x2, ymax - y2), RGB(200, 0, 0)

```

```

  Next j

```

```

    x1 = xmax / 2 + (Data_n(0) * ymax / 10 * Cos((90) * 3.14159 / 180))
    y1 = ymax / 2 + (Data_n(0) * ymax / 10 * Sin((90) * 3.14159 / 180))
    x2 = xmax / 2 + (Data_n(399) * ymax / 10 * Cos((399 * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))
    y2 = ymax / 2 + (Data_n(399) * ymax / 10 * Sin((399 * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))

```

```

    Picture1.Line (x1, ymax - y1)-(x2, ymax - y2), RGB(200, 0, 0)

```

```

    Picture1.PSet (x2, ymax - y2), RGB(200, 0, 0)

```

```

End If

```

```

End Sub

```

```

*****

```

```

Private Sub Command5_Click()

```

```

  Form2.Show

```

```

End Sub

```

```

*****

```

```

Private Sub exit_Click()

```

```
Timer1.Enabled = False
```

```
Timer2.Enabled = False
```

```
Timer3.Enabled = False
```

```
Timer4.Enabled = False
```

```
MSComm1.Output = "s"
```

```
MSComm1.PortOpen = False
```

```
End
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
    i = 0
```

```
    j = 0
```

```
    i_max = Picture1.ScaleWidth
```

```
    j_max = Picture1.ScaleHeight
```

```
    Picture1.BackColor = RGB(255, 255, 255)
```

```
    MSComm1.CommPort = 1
```

```
    MSComm1.Settings = "9600, n, 8, 1"
```

```
    MSComm1.PortOpen = True
```

```
    Timer1.Enabled = False
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
```

```
    Timer1.Enabled = False
```

```
    Timer2.Enabled = False
```

```
    Timer3.Enabled = False
```

```
    Timer4.Enabled = False
```

```
    MSComm1.Output = "s"
```

```
    MSComm1.PortOpen = False
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
Private Sub mnuExit_Click(Index As Integer)
```

```
    Timer1.Enabled = False
```

```
Timer2.Enabled = False
```

```
Timer3.Enabled = False
```

```
Timer4.Enabled = False
```

```
MSComm1.Output = "s"
```

```
MSComm1.PortOpen = False
```

```
End
```

```
End Sub
```

```
*****  
Private Sub mnuOpen_Click(Index As Integer)
```

```
    dlg1.ShowOpen
```

```
    If dlg1.FileName <> "" Then
```

```
        Picture1.Picture = LoadPicture(dlg1.FileName)
```

```
        Label1.Height = 0
```

```
        Label1.Width = 0
```

```
        Label1.Visible = False
```

```
        Label1.Enabled = False
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
*****  
Sub polarplot()
```

```
    Label2.Visible = True
```

```
    Label3.Visible = True
```

```
    Label4.Visible = True
```

```
    Label5.Visible = True
```

```
    Label6.Visible = True
```

```
    Label7.Visible = True
```

```
    Label8.Visible = True
```

```
    Label9.Visible = True
```

```
    Label10.Visible = True
```

```
    Label11.Visible = True
```

```
    Label12.Visible = True
```

```
    Label13.Visible = True
```

```
Picture1.BackColor = RGB(255, 255, 255)
```

```
Picture1.Line (0, ymax / 2)-(xmax, ymax / 2), RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Line (xmax / 2, 0)-(xmax / 2, ymax), RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Line (xmax / 2 + 2147, ymax / 2 + 2147)-(xmax / 2 - 2147, ymax / 2 - 2147),  
RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Line (xmax / 2 - 2147, ymax / 2 + 2147)-(xmax / 2 + 2147, ymax / 2 - 2147),  
RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Circle (xmax / 2, ymax / 2), ymax / 8, RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Circle (xmax / 2, ymax / 2), ymax / 8 * 2, RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Circle (xmax / 2, ymax / 2), ymax / 8 * 3, RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Circle (xmax / 2, ymax / 2), ymax / 8 * 4, RGB(200, 200, 200)
```

```
If (dd = 1 And Timer1.Enabled = False) Then
```

```
For j = 1 To 399
```

```
x1 = xmax / 2 + (Data(j - 1) * ymax / 10 * Cos(((j - 1) * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))
```

```
y1 = ymax / 2 + (Data(j - 1) * ymax / 10 * Sin(((j - 1) * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))
```

```
x2 = xmax / 2 + (Data(j) * ymax / 10 * Cos((j * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))
```

```
y2 = ymax / 2 + (Data(j) * ymax / 10 * Sin((j * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))
```

```
Picture1.Line (x1, ymax - y1)-(x2, ymax - y2), RGB(0, 0, 200)
```

```
Picture1.PSet (x2, ymax - y2), RGB(0, 0, 200)
```

```
Next j
```

```
x1 = xmax / 2 + (Data(0) * ymax / 10 * Cos((90) * 3.14159 / 180))
```

```
y1 = ymax / 2 + (Data(0) * ymax / 10 * Sin((90) * 3.14159 / 180))
```

```
x2 = xmax / 2 + (Data(399) * ymax / 10 * Cos((399 * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))
```

```
y2 = ymax / 2 + (Data(399) * ymax / 10 * Sin((399 * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))
```

```
Picture1.Line (x1, ymax - y1)-(x2, ymax - y2), RGB(0, 0, 200)
```

```
Picture1.PSet (x2, ymax - y2), RGB(0, 0, 200)
```

```
End If
```

```
End Sub
```



```

*****
Private Sub mnuSave_Click(Index As Integer)
    dlg1.DialogTitle = "Save image"
    dlg1.Filter = "Image(*.bmp)|*.bmp|Image(*.jpg)|*.jpg|All fiels (*.*)|*.*"
    dlg1.DefaultExt = ".bmp"
    dlg1.FileName = ""
    dlg1.ShowSave
    If dlg1.FileName <> "" Then
        SavePicture Picture1.Image, dlg1.FileName
    End If
End Sub
*****

Private Sub prcom_Click()
    If Timer1.Enabled = False Then
        cc = 1 Then
            cc = 2
            Call rectanplot
        ElseIf cc = 2 Then
            cc = 1
            Call polarplot
        End If
    End If
End Sub
*****

Call rectanplot()
obj2.Visible = False
obj3.Visible = False
obj4.Visible = False

```

Label5.Visible = False

Label6.Visible = False

Label7.Visible = False

Label8.Visible = False

Label9.Visible = False

Label10.Visible = False

Label11.Visible = False

Label12.Visible = False

Label13.Visible = False

Picture1.BackColor = RGB(255, 255, 255)

Picture1.Line (xmax / 20, ymax / 10)-(xmax - xmax / 20, ymax / 10), RGB(200, 200, 200)

Picture1.Line (xmax / 20, (ymax / 10 + (ymax - 2 \* ymax / 10) / 5))-(xmax - xmax / 20, (ymax / 10 + (ymax - 2 \* ymax / 10) / 5)), RGB(200, 200, 200)

Picture1.Line (xmax / 20, (ymax / 10 + 2 \* (ymax - 2 \* ymax / 10) / 5))-(xmax - xmax / 20, (ymax / 10 + 2 \* (ymax - 2 \* ymax / 10) / 5)), RGB(200, 200, 200)

Picture1.Line (xmax / 20, (ymax / 10 + 3 \* (ymax - 2 \* ymax / 10) / 5))-(xmax - xmax / 20, (ymax / 10 + 3 \* (ymax - 2 \* ymax / 10) / 5)), RGB(200, 200, 200)

Picture1.Line (xmax / 20, (ymax / 10 + 4 \* (ymax - 2 \* ymax / 10) / 5))-(xmax - xmax / 20, (ymax / 10 + 4 \* (ymax - 2 \* ymax / 10) / 5)), RGB(200, 200, 200)

Picture1.Line (xmax / 20, (ymax / 10 + 5 \* (ymax - 2 \* ymax / 10) / 5))-(xmax - xmax / 20, (ymax / 10 + 5 \* (ymax - 2 \* ymax / 10) / 5)), RGB(200, 200, 200)

Picture1.Line (xmax / 20, (ymax / 10 + 5 \* (ymax - 2 \* ymax / 10) / 5))-(xmax / 20, ymax / 10), RGB(200, 200, 200)

Picture1.Line (xmax / 20 + (xmax - 2 \* xmax / 20) / 4, (ymax / 10 + 5 \* (ymax - 2 \* ymax / 10) / 5))-(xmax / 20 + (xmax - 2 \* xmax / 20) / 4, ymax / 10), RGB(200, 200, 200)

Picture1.Line (xmax / 20 + 2 \* (xmax - 2 \* xmax / 20) / 4, (ymax / 10 + 5 \* (ymax - 2 \* ymax / 10) / 5))-(xmax / 20 + 2 \* (xmax - 2 \* xmax / 20) / 4, ymax / 10), RGB(200, 200, 200)

```
Picture1.Line (xmax / 20 + 3 * (xmax - 2 * xmax / 20) / 4, (ymax / 10 + 5 * (ymax - 2 *
ymax / 10) / 5)-(xmax / 20 + 3 * (xmax - 2 * xmax / 20) / 4, ymax / 10), RGB(200, 200,
200)
```

```
Picture1.Line (xmax / 20 + 4 * (xmax - 2 * xmax / 20) / 4, (ymax / 10 + 5 * (ymax - 2 *
ymax / 10) / 5)-(xmax / 20 + 4 * (xmax - 2 * xmax / 20) / 4, ymax / 10), RGB(200, 200,
200)
```

```
If dd = 1 And Timer1.Enabled = False Then
```

```
For j = 1 To 400
```

```
  If j <= 200 Then
```

```
    x1 = xmax / 2 - ((j - 1) * ((xmax - 2 * xmax / 20) / 400))
```

```
    y1 = ymax - ((ymax / 10) + (ymax - 2 * ymax / 10) * Data(j - 1) / 5)
```

```
    x2 = xmax / 2 - (j * ((xmax - 2 * xmax / 20) / 400))
```

```
    y2 = ymax - ((ymax / 10) + (ymax - 2 * ymax / 10) * Data(j) / 5)
```

```
    Picture1.Line (x1, y1)-(x2, y2), RGB(0, 0, 200)
```

```
    Picture1.PSet (x2, y2), RGB(0, 0, 200)
```

```
  ElseIf j > 200 And j < 400 Then
```

```
    x1 = xmax - xmax / 20 - ((j - 200 - 1) * ((xmax - 2 * xmax / 20) / 400))
```

```
    y1 = ymax - ((ymax / 10) + (ymax - 2 * ymax / 10) * Data(j - 1) / 5)
```

```
    x2 = xmax - xmax / 20 - ((j - 200) * ((xmax - 2 * xmax / 20) / 400))
```

```
    y2 = ymax - ((ymax / 10) + (ymax - 2 * ymax / 10) * Data(j) / 5)
```

```
    Picture1.Line (x1, y1)-(x2, y2), RGB(0, 0, 200)
```

```
    Picture1.PSet (x2, y2), RGB(0, 0, 200)
```

```
  ElseIf j = 400 Then
```

```
    x1 = xmax / 2
```

```
    y1 = ymax - ((ymax / 10) + (ymax - 2 * ymax / 10) * Data(0) / 5)
```

```
    Picture1.Line (x1, y1)-(x2, y2), RGB(0, 0, 200)
```

```
    Picture1.PSet (x2, y2), RGB(0, 0, 200)
```

End If

Next j

End If

End Sub

\*\*\*\*\*

Private Sub reset\_Click()

Command1.Enabled = False

prcom.Enabled = False

reset.Enabled = False

If cc <> 0 Then

cc = 0

xmax = Picture1.ScaleWidth

ymax = Picture1.ScaleHeight

Picture1.BackColor = RGB(255, 255, 255)

Timer1.Enabled = False

Timer2.Enabled = False

Timer3.Enabled = False

MSComm1.Output = "s"

For i = 0 To 399

Data(i) = 0

Next i

Picture1.BackColor = RGB(255, 255, 255)

Picture1.Line (0, ymax / 2)-(xmax, ymax / 2), RGB(200, 200, 200)

Picture1.Line (xmax / 2, 0)-(xmax / 2, ymax), RGB(200, 200, 200)

Picture1.Line (xmax / 2 + 2147, ymax / 2 + 2147)-(xmax / 2 - 2147, ymax / 2 - 2147),  
RGB(200, 200, 200)

Picture1.Line (xmax / 2 - 2147, ymax / 2 + 2147)-(xmax / 2 + 2147, ymax / 2 - 2147),  
RGB(200, 200, 200)

```
Picture1.Circle (xmax / 2, ymax / 2), ymax / 8, RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Circle (xmax / 2, ymax / 2), ymax / 8 * 2, RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Circle (xmax / 2, ymax / 2), ymax / 8 * 3, RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Circle (xmax / 2, ymax / 2), ymax / 8 * 4, RGB(200, 200, 200)
```

```
End If
```

```
Label2.Visible = True
```

```
Label3.Visible = True
```

```
Label4.Visible = True
```

```
Label5.Visible = True
```

```
Label6.Visible = True
```

```
Label7.Visible = True
```

```
Label8.Visible = True
```

```
Label9.Visible = True
```

```
Label10.Visible = True
```

```
Label11.Visible = True
```

```
Label12.Visible = True
```

```
Label13.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
Private Sub start_Click()
```

```
Command1.Enabled = True
```

```
start.Enabled = False
```

```
Command2.Enabled = False
```

```
Command3.Enabled = False
```

```
prcom.Enabled = False
```

```
reset.Enabled = False
```

```
pac.Enabled = False
```

```
Label1.Height = 0
```

```
Label1.Width = 0
```

```
Label1.Visible = False
```

```
Label1.Enabled = False
```

```
MSComm1.Output = "s"
```

```
Timer1.Interval = 200
```

```
Timer1.Enabled = True
```

```
i = 1
```

```
dd = 0
```

```
cc = 1
```

```
Picture1.BackColor = RGB(255, 255, 255)
```

```
Picture1.Line (0, ymax / 2)-(xmax, ymax / 2), RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Line (xmax / 2, 0)-(xmax / 2, ymax), RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Line (xmax / 2 + 2147, ymax / 2 + 2147)-(xmax / 2 - 2147, ymax / 2 - 2147),  
RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Line (xmax / 2 - 2147, ymax / 2 + 2147)-(xmax / 2 + 2147, ymax / 2 - 2147),  
RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Circle (xmax / 2, ymax / 2), ymax / 8, RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Circle (xmax / 2, ymax / 2), ymax / 8 * 2, RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Circle (xmax / 2, ymax / 2), ymax / 8 * 3, RGB(200, 200, 200)
```

```
Picture1.Circle (xmax / 2, ymax / 2), ymax / 8 * 4, RGB(200, 200, 200)
```

```
Label2.Visible = True
```

```
Label3.Visible = True
```

```
Label4.Visible = True
```

```
Label5.Visible = True
```

```
Label6.Visible = True
```

```
Label7.Visible = True
```

```
Label8.Visible = True
```

```
Label9.Visible = True
```

```
Label10.Visible = True
```

```
Label11.Visible = True
```

```
Label12.Visible = True
```

```
Label13.Visible = True
```

```
l = 0
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
Private Sub Timer1_Timer()
```

```
On Error Resume Next
```

```
Const SpeedBaud = 16000
```

```
Dim lngSize As Long, X
```

```
MSComm1.DTREnable = False
```

```
MSComm1.DTREnable = True
```

```
MSComm1.InputLen = 0
```

```
If dd = 1 Then
```

```
MSComm1.Output = "I"
```

```
End If
```

```
Call plot
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
Sub plot()
```

```
If dd = 0 Then 'get first data
```

```
MSComm1.Output = "d"
```

```
datain = MSComm1.Input
```

```
j = datain
```

```
dd = 1
```

```
Data(0) = j
```

```
info = Data(0)
```

```
Form2.List1.List(0) = 0 & " : " & info
```

```
Else
```

```

MSComm1.Output = "d"
datain = MSComm1.Input
j = datain                                     'get data 2 - 360 and plot line
Data(i) = j
info = Data(i)
Form2.List1.List(i) = (i) * 0.9 & " : " & info

x1 = xmax / 2 + (Data(i - 1) * ymax / 10 * Cos(((i - 1) * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))
y1 = ymax / 2 + (Data(i - 1) * ymax / 10 * Sin(((i - 1) * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))
x2 = xmax / 2 + (Data(i) * ymax / 10 * Cos((i * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))
y2 = ymax / 2 + (Data(i) * ymax / 10 * Sin((i * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))

Picture1.Line (x1, ymax - y1)-(x2, ymax - y2), RGB(0, 0, 200)
Picture1.PSet (x2, ymax - y2), RGB(0, 0, 200)

i = i + 1

End If

If i >= 400 Then 'limit data and plot line data(0)-data(360)

    Timer1.Enabled = False
    MSComm1.Output = "s"
    prcom.Enabled = True
    Command2.Enabled = True
    Command3.Enabled = True
    reset.Enabled = True
    start.Enabled = True
    bac.Enabled = True

MSComm1.Output = "d"
datain = MSComm1.Input

```



```
j = datain
```

```
Data(i) = j
```

```
info = Data(i)
```

```
Form2.List1.List(i) = (i) * 0.9 & " : " & info
```

```
x1 = xmax / 2 + (Data(0) * ymax / 10 * Cos((90) * 3.14159 / 180))
```

```
y1 = ymax / 2 + (Data(0) * ymax / 10 * Sin((90) * 3.14159 / 180))
```

```
x2 = xmax / 2 + (Data(400) * ymax / 10 * Cos((400 * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))
```

```
y2 = ymax / 2 + (Data(400) * ymax / 10 * Sin((400 * 0.9 + 90) * 3.14159 / 180))
```

```
Picture1.Line (x1, ymax - y1)-(x2, ymax - y2), RGB(0, 0, 200)
```

```
Picture1.PSet (x2, ymax - y2), RGB(0, 0, 200)
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
Private Sub Timer2_Timer()
```

```
MSComm1.PortOpen = True
```

```
MSComm1.Output = "l"
```

```
MSComm1.PortOpen = False
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
Private Sub Timer3_Timer()
```

```
MSComm1.PortOpen = True
```

```
MSComm1.Output = "r"
```

```
MSComm1.PortOpen = False
```

```
End Sub
```

```
*****
```

```
Private Sub Timer4_Timer()
```

```
MSComm1.Output = "r"
```

```
Count = Count + 1
```

```
If Count = 402 Then
```

```
Timer4.Interval = 0  
Timer4.Enabled = False  
End If  
End Sub
```

```
*****
```

**ภาคผนวก ข**

**ตารางแสดงผลกำลังงานวัดกำลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า  
ทั้งในระนาบ E และระนาบ H**

## วัดกำลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระนาบ E ครั้งที่ 1

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
0.0	2.604	25.2	2.739	50.4	1.907
0.9	2.624	26.1	2.774	51.3	1.832
1.8	2.614	27.0	2.764	52.2	1.762
2.7	2.619	27.9	2.754	53.1	1.712
3.6	2.649	28.8	2.759	54.0	1.607
4.5	2.644	29.7	2.744	54.9	1.547
5.4	2.654	30.6	2.739	55.8	1.477
6.3	2.649	31.5	2.724	56.7	1.427
7.2	2.664	32.4	2.714	57.6	1.372
8.1	2.659	33.3	2.714	58.5	1.317
9.0	2.674	34.2	2.719	59.4	1.272
9.9	2.674	35.1	2.684	60.3	1.242
10.8	2.679	36.0	2.664	61.2	1.217
11.7	2.694	36.9	2.639	62.1	1.202
12.6	2.689	37.8	2.604	63.0	1.202
13.5	2.699	38.7	2.569	63.9	1.207
14.4	2.704	39.6	2.544	64.8	1.197
15.3	2.704	40.5	2.504	65.7	1.197
16.2	2.704	41.4	2.499	66.6	1.202
17.1	2.694	42.3	2.434	67.5	1.212
18.0	0.689	43.2	2.384	68.4	1.227
18.9	2.729	44.1	2.324	69.3	1.242
19.8	2.749	45.0	2.259	70.2	1.247
20.7	2.749	45.9	2.219	71.1	1.267
21.6	2.734	46.8	2.154	72.0	1.302
22.5	2.724	47.7	2.940	72.9	1.297
23.4	2.729	48.6	2.390	73.8	1.307
24.3	2.734	49.5	1.982	74.7	1.327

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
75.6	1.317	101.7	1.217	127.8	1.892
76.5	1.317	102.6	1.232	128.7	1.897
77.4	0.352	103.5	1.252	129.6	1.897
78.3	1.342	104.4	1.277	130.5	1.897
79.2	1.342	105.3	1.297	131.4	1.912
80.1	1.342	106.2	1.347	132.3	1.907
81.0	1.337	107.1	1.387	133.2	1.907
81.9	1.322	108.0	1.422	134.1	1.902
82.8	1.297	108.9	1.462	135.0	1.897
83.7	1.307	109.8	1.492	135.9	1.887
84.6	1.297	110.7	1.527	136.8	1.867
85.5	1.272	111.6	1.552	137.7	1.867
86.4	1.277	112.5	1.577	138.6	1.852
87.3	1.257	113.4	1.607	139.5	1.837
88.2	1.237	114.3	1.637	140.4	1.817
89.1	1.217	115.2	1.677	141.3	1.802
90.0	1.207	116.1	1.702	142.2	1.762
90.9	1.202	117.0	1.727	143.1	1.737
91.8	1.172	117.9	1.737	144.0	1.707
92.7	1.162	118.8	1.777	144.9	1.657
93.6	1.137	119.7	1.777	145.8	1.637
94.5	1.137	120.6	1.792	146.7	1.602
95.4	1.137	121.5	1.812	147.6	1.537
96.3	1.127	122.4	1.817	148.5	1.497
97.2	1.132	123.3	1.857	149.4	1.437
98.1	1.132	124.2	1.877	150.3	1.352
99.0	1.137	125.1	1.872	151.2	1.287
99.9	1.157	126.0	1.882	152.1	1.202
100.8	1.182	126.9	1.882	153.0	1.122

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
153.9	1.370	180.0	0.000	206.1	0.000
154.8	0.945	180.9	0.000	207.0	0.000
155.7	0.865	181.8	0.000	207.9	0.000
156.6	0.740	182.7	0.000	208.8	0.500
157.5	0.635	183.6	0.000	209.7	0.100
158.4	0.525	184.5	0.000	210.6	0.150
159.3	0.425	185.4	0.000	211.5	0.150
160.2	0.340	186.3	0.000	212.4	0.500
161.1	0.275	187.2	0.000	213.3	0.550
162.0	0.195	188.1	0.000	214.2	0.900
162.9	0.135	189.0	0.000	215.1	0.110
163.8	0.950	189.9	0.000	216.0	0.145
164.7	0.350	190.8	0.000	216.9	0.165
165.6	0.500	191.7	0.000	217.8	0.200
166.5	0.000	192.6	0.000	218.7	0.225
167.4	0.000	193.5	0.000	219.6	0.270
168.3	0.000	194.4	0.000	220.5	0.305
169.2	0.100	195.3	0.000	221.4	0.345
170.1	0.000	196.2	0.000	222.3	0.370
171.0	0.000	197.1	0.000	223.2	0.400
172.9	0.000	198.0	0.500	224.1	0.440
172.8	0.000	198.9	0.000	225.0	0.480
173.7	0.000	199.8	0.000	225.9	0.535
174.6	0.200	200.7	0.000	226.8	0.595
175.5	0.000	201.6	0.000	227.7	0.635
176.4	0.000	202.5	0.000	228.6	0.685
177.3	0.000	203.4	0.000	229.5	0.775
178.2	0.000	204.3	0.000	230.4	0.810
179.1	0.000	205.2	0.000	231.3	0.865

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
232.2	0.930	258.3	1.427	284.4	0.360
233.1	0.960	259.2	1.417	285.3	0.305
234.0	1.120	260.1	1.412	286.2	0.240
234.9	1.320	261.0	1.397	287.1	0.190
235.8	1.970	261.9	1.392	288.0	0.150
236.7	1.142	262.8	1.372	288.9	0.120
237.6	1.187	263.7	1.367	289.8	0.800
238.5	1.217	264.6	1.352	290.7	0.500
239.4	1.252	265.5	1.342	291.6	0.250
240.3	1.282	266.4	1.327	292.5	0.150
241.2	1.317	267.3	1.297	293.4	0.150
242.1	1.347	268.2	1.257	294.3	0.000
243.0	1.382	269.1	1.247	295.2	0.150
243.9	1.392	270.0	1.222	296.1	0.100
244.8	1.402	270.9	1.197	297.0	0.150
245.7	1.402	271.8	1.152	297.9	0.350
246.6	1.427	272.7	1.107	298.8	0.850
247.5	1.437	273.6	1.570	299.7	0.145
248.4	1.452	274.5	1.700	300.6	0.255
249.3	1.437	275.4	0.975	301.5	0.365
250.2	1.457	276.3	0.945	302.4	0.495
251.1	1.467	277.2	0.880	303.3	0.685
252.0	1.462	278.1	0.815	304.2	0.895
252.9	1.447	279.0	0.725	305.1	1.520
253.8	1.452	279.9	0.645	306.0	1.282
254.7	1.457	280.8	0.585	306.9	1.432
255.6	1.447	281.7	0.515	307.8	1.612
256.5	1.432	282.6	0.475	308.7	1.767
257.4	1.422	283.5	0.425	309.6	1.897

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
310.5	1.102	327.6	2.729	344.7	2.664
311.4	2.940	328.5	2.734	345.6	2.649
312.3	2.149	329.4	2.719	346.5	2.644
313.2	2.234	330.3	2.709	347.4	2.654
314.1	2.289	331.2	2.729	348.3	2.659
315.0	2.354	332.1	2.729	349.2	2.639
315.9	2.414	333.0	2.724	350.1	2.639
316.8	2.474	333.9	2.704	351.0	2.639
317.7	2.534	334.8	2.709	351.9	2.619
318.6	2.564	335.7	2.699	352.8	2.604
319.5	2.584	336.6	2.694	353.7	2.639
320.4	2.619"	337.5	2.689	354.6	2.629
321.3	2.634	338.4	2.684	355.5	2.634
322.2	2.664	339.3	2.714	356.4	2.599
323.1	2.674	340.2	2.694	357.3	2.624
324.0	2.689	341.1	2.689	358.2	2.614
324.9	2.719	342.0	2.689	359.1	2.604
325.8	2.734	342.9	2.674		
326.7	2.729	343.8	2.669		



## วัดกำลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระนาบ E ครั้งที่ 2

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
0.0	2.614	25.2	2.724	50.4	2.164
0.9	2.609	26.1	2.719	51.3	2.740
1.8	2.614	27.0	2.754	52.2	2.140
2.7	2.614	27.9	2.754	53.1	2.190
3.6	2.624	28.8	2.759	54.0	1.887
4.5	2.644	29.7	2.754	54.9	1.812
5.4	2.639	30.6	2.754	55.8	1.732
6.3	2.659	31.5	2.749	56.7	1.662
7.2	2.649	32.4	2.729	57.6	1.612
8.1	2.659	33.3	2.764	58.5	1.532
9.0	2.644	34.2	2.754	59.4	1.462
9.9	2.644	35.1	2.744	60.3	1.442
10.8	2.679	36.0	2.724	61.2	1.337
11.7	2.694	36.9	2.719	62.1	1.287
12.6	2.704	37.8	2.694	63.0	1.252
13.5	2.699	38.7	2.689	63.9	1.242
14.4	2.694	39.6	2.644	64.8	1.202
15.3	2.699	40.5	2.619	65.7	1.182
16.2	2.699	41.4	2.614	66.6	1.172
17.1	2.694	42.3	2.574	67.5	1.177
18.0	2.699	43.2	2.549	68.4	1.177
18.9	2.729	44.1	2.504	69.3	1.182
19.8	2.729	45.0	2.464	70.2	1.187
20.7	2.719	45.9	2.449	71.1	1.217
21.6	2.729	46.8	2.364	72.0	1.232
22.5	2.724	47.7	2.309	72.9	1.257
23.4	2.734	48.6	2.254	73.8	1.262
24.3	2.719	49.5	2.219	74.7	1.252

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
75.6	1.297	101.7	1.820	127.8	1.897
76.5	1.302	102.6	1.920	128.7	1.897
77.4	1.312	103.5	1.107	129.6	1.907
78.3	1.327	104.4	1.127	130.5	1.922
79.2	1.347	105.3	1.167	131.4	1.942
80.1	1.357	106.2	1.202	132.3	1.942
81.0	1.357	107.1	1.247	133.2	1.942
81.9	1.352	108.0	1.302	134.1	1.942
82.8	1.347	108.9	1.337	135.0	1.942
83.7	1.347	109.8	1.377	135.9	1.937
84.6	1.337	110.7	1.377	136.8	1.932
85.5	1.327	111.6	1.442	137.7	1.927
86.4	1.327	112.5	1.492	138.6	1.932
87.3	1.307	113.4	1.532	139.5	1.932
88.2	1.287	114.3	1.562	140.4	1.912
89.1	1.287	115.2	1.592	141.3	1.902
90.0	1.247	116.1	1.647	142.2	1.902
90.9	1.227	117.0	1.677	143.1	1.857
91.8	1.192	117.9	1.687	144.0	1.842
92.7	1.157	118.8	1.697	144.9	1.822
93.6	1.147	119.7	1.742	145.8	1.812
94.5	1.112	120.6	1.767	146.7	1.802
95.4	1.107	121.5	1.782	147.6	1.757
96.3	1.127	122.4	1.812	148.5	1.712
97.2	1.102	123.3	1.847	149.4	1.672
98.1	1.570	124.2	1.877	150.3	1.637
99.0	1.470	125.1	1.862	151.2	1.587
99.9	1.170	126.0	1.872	152.1	1.527
100.8	1.670	126.9	1.892	153.0	1.477

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
153.9	1.467	180.0	0.000	206.1	0.000
154.8	1.357	180.9	0.000	207.0	0.000
155.7	1.287	181.8	0.000	207.9	0.000
156.6	1.212	182.7	0.000	208.8	0.000
157.5	1.117	183.6	0.000	209.7	0.000
158.4	1.120	184.5	0.000	210.6	0.000
159.3	0.930	185.4	0.000	211.5	0.500
160.2	0.815	186.3	0.000	212.4	0.300
161.1	0.795	187.2	0.000	213.3	0.450
162.0	0.655	188.1	0.000	214.2	0.550
162.9	0.535	189.0	0.000	215.1	0.125
163.8	0.435	189.9	0.500	216.0	0.175
164.7	0.330	190.8	0.000	216.9	0.225
165.6	0.260	191.7	0.000	217.8	0.265
166.5	0.180	192.6	0.000	218.7	0.265
167.4	0.130	193.5	0.000	219.6	0.335
168.3	0.950	194.4	0.000	220.5	0.380
169.2	0.400	195.3	0.150	221.4	0.420
170.1	0.500	196.2	0.000	222.3	0.460
171.0	0.000	197.1	0.000	223.2	0.490
172.9	0.000	198.0	0.000	224.1	0.515
172.8	0.000	198.9	0.000	225.0	0.560
173.7	0.000	199.8	0.000	225.9	0.565
174.6	0.000	200.7	0.000	226.8	0.600
175.5	0.000	201.6	0.000	227.7	0.640
176.4	0.000	202.5	0.000	228.6	0.670
177.3	0.000	203.4	0.000	229.5	0.675
178.2	0.000	204.3	0.000	230.4	0.710
179.1	0.000	205.2	0.000	231.3	0.730

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
232.2	0.745	258.3	1.547	284.4	0.495
233.1	0.755	259.2	1.562	285.3	0.435
234.0	0.755	260.1	1.557	286.2	0.415
234.9	0.760	261.0	1.547	287.1	0.385
235.8	0.810	261.9	1.542	288.0	0.350
236.7	0.805	262.8	1.527	288.9	0.295
237.6	0.845	263.7	1.517	289.8	0.240
238.5	0.870	264.6	1.517	290.7	0.240
239.4	0.890	265.5	1.497	291.6	0.160
240.3	0.890	266.4	1.487	292.5	0.130
241.2	0.935	267.3	1.457	293.4	0.110
242.1	0.965	268.2	1.417	294.3	0.600
243.0	1.200	269.1	1.412	295.2	0.400
243.9	1.570	270.0	1.352	296.1	0.150
244.8	1.920	270.9	1.322	297.0	0.150
245.7	1.132	271.8	1.277	297.9	0.150
246.6	1.167	272.7	1.247	298.8	0.150
247.5	1.177	273.6	1.192	299.7	0.150
248.4	1.257	274.5	1.142	300.6	0.150
249.3	1.287	275.4	1.720	301.5	0.500
250.2	1.332	276.3	1.670	302.4	0.600
251.1	1.377	277.2	0.985	303.3	0.140
252.0	1.412	278.1	0.925	304.2	0.235
252.9	1.437	279.0	0.855	305.1	0.270
253.8	1.462	279.9	0.810	306.0	0.480
254.7	1.452	280.8	0.755	306.9	0.650
255.6	1.497	281.7	0.690	307.8	0.875
256.5	1.507	282.6	0.615	308.7	1.107
257.4	1.507	283.5	0.605	309.6	1.302

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
310.5	1.502	327.6	2.709	344.7	2.689
311.4	1.682	328.5	2.714	345.6	2.684
312.3	1.697	329.4	2.719	346.5	2.669
313.2	1.902	330.3	2.724	347.4	2.689
314.1	2.400	331.2	2.724	348.3	2.689
315.0	2.104	332.1	2.729	349.2	2.684
315.9	2.189	333.0	2.739	350.1	2.669
316.8	2.259	333.9	2.734	351.0	2.664
317.7	2.339	334.8	2.724	351.9	2.639
318.6	2.409	335.7	2.724	352.8	2.654
319.5	2.409	336.6	2.714	353.7	2.634
320.4	2.489	337.5	2.714	354.6	2.649
321.3	2.509	338.4	2.704	355.5	2.624
322.2	2.569	339.3	2.704	356.4	2.644
323.1	2.589	340.2	2.719	357.3	2.634
324.0	2.614	341.1	2.734	358.2	2.634
324.9	2.674	342.0	2.714	359.1	2.634
325.8	2.694	342.9	2.704		
326.7	2.699	343.8	2.689		

## วัดกำลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระนาบ H ครั้งที่ 1

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
0.0	2.759	25.2	2.799	50.4	2.774
0.9	2.749	26.1	2.804	51.3	2.769
1.8	2.759	27.0	2.804	52.2	2.754
2.7	2.759	27.9	2.804	53.1	2.759
3.6	2.739	28.8	2.774	54.0	2.739
4.5	2.759	29.7	2.784	54.9	2.719
5.4	2.744	30.6	2.814	55.8	2.699
6.3	2.734	31.5	2.819	56.7	2.664
7.2	2.744	32.4	2.819	57.6	2.629
8.1	2.764	33.3	2.814	58.5	2.629
9.0	2.769	34.2	2.804	59.4	2.599
9.9	2.769	35.1	2.804	60.3	2.584
10.8	2.764	36.0	2.809	61.2	2.569
11.7	2.759	36.9	2.804	62.1	2.539
12.6	2.744	37.8	2.839	63.0	2.504
13.5	2.754	38.7	2.839	63.9	2.474
14.4	2.764	39.6	2.834	64.8	2.444
15.3	2.774	40.5	2.824	65.7	2.439
16.2	2.789	41.4	2.824	66.6	2.404
17.1	2.784	42.3	2.824	67.5	2.389
18.0	2.784	43.2	2.819	68.4	2.364
18.9	2.779	44.1	2.824	69.3	2.329
19.8	2.789	45.0	2.824	70.2	2.309
20.7	2.789	45.9	2.834	71.1	2.269
21.6	2.779	46.8	2.819	72.0	2.254
22.5	2.779	47.7	2.809	72.9	2.239
23.4	2.799	48.6	2.809	73.8	2.204
24.3	2.809	49.5	2.789	74.7	2.174

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
75.6	2.169	101.7	1.317	127.8	0.920
76.5	2.144	102.6	1.242	128.7	0.925
77.4	2.134	103.5	1.217	129.6	0.925
78.3	2.690	104.4	1.172	130.5	0.930
79.2	2.640	105.3	1.152	131.4	0.935
80.1	2.490	106.2	1.122	132.3	0.930
81.0	2.240	107.1	1.620	133.2	0.940
81.9	1.102	108.0	1.320	134.1	0.960
82.8	1.102	108.9	1.170	135.0	0.945
83.7	1.992	109.8	0.995	135.9	0.960
84.6	1.962	110.7	0.985	136.8	0.945
85.5	1.917	111.6	0.955	137.7	0.940
86.4	1.892	112.5	0.950	138.6	0.945
87.3	1.882	113.4	0.930	139.5	0.945
88.2	1.857	114.3	0.905	140.4	0.945
89.1	1.822	115.2	0.890	141.3	0.935
90.0	1.797	116.1	0.885	142.2	0.920
90.9	1.757	117.0	0.885	143.1	0.905
91.8	1.737	117.9	0.880	144.0	0.890
92.7	1.672	118.8	0.875	144.9	0.890
93.6	1.652	119.7	0.885	145.8	0.875
94.5	1.637	120.6	0.880	146.7	0.860
95.4	1.577	121.5	0.880	147.6	0.840
96.3	1.547	122.4	0.885	148.5	0.810
97.2	1.507	123.3	0.870	149.4	0.805
98.1	1.462	124.2	0.890	150.3	0.785
99.0	1.432	125.1	0.885	151.2	0.780
99.9	1.367	126.0	0.895	152.1	0.760
100.8	1.347	126.9	0.905	153.0	0.725

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
153.9	0.695	180.0	0.270	206.1	0.660
154.8	0.650	180.9	0.275	207.0	0.695
155.7	0.650	181.8	0.260	207.9	0.750
156.6	0.635	182.7	0.250	208.8	0.780
157.5	0.590	183.6	0.250	209.7	0.795
158.4	0.590	184.5	0.250	210.6	0.835
159.3	0.570	185.4	0.265	211.5	0.845
160.2	0.515	186.3	0.280	212.4	0.885
161.1	0.505	187.2	0.300	213.3	0.920
162.0	0.485	188.1	0.270	214.2	0.960
162.9	0.475	189.0	0.270	215.1	1.200
163.8	0.445	189.9	0.285	216.0	1.700
164.7	0.425	190.8	0.300	216.9	1.170
165.6	0.405	191.7	0.325	217.8	1.420
166.5	0.395	192.6	0.340	218.7	1.720
167.4	0.375	193.5	0.355	219.6	1.107
168.3	0.37	194.4	0.350	220.5	1.142
169.2	0.37	195.3	0.350	221.4	1.162
170.1	0.345	196.2	0.380	222.3	1.197
171.0	0.315	197.1	0.400	223.2	1.202
172.9	0.305	198.0	0.435	224.1	1.197
172.8	0.305	198.9	0.440	225.0	1.252
173.7	0.310	199.8	0.455	225.9	1.272
174.6	0.295	200.7	0.485	226.8	1.307
175.5	0.285	201.6	0.510	227.7	1.317
176.4	0.275	202.5	0.535	228.6	1.327
177.3	0.275	203.4	0.58	229.5	1.342
178.2	0.260	204.3	0.600	230.4	1.367
179.1	0.255	205.2	0.635	231.3	1.377



องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
232.2	1.432	258.3	1.662	284.4	2.369
233.1	1.417	259.2	1.652	285.3	2.399
234.0	1.422	260.1	1.667	286.2	2.404
234.9	1.437	261.0	1.702	287.1	2.439
235.8	1.447	261.9	1.732	288.0	2.439
236.7	1.462	262.8	1.757	288.9	2.469
237.6	1.477	263.7	1.782	289.8	2.479
238.5	1.487	264.6	1.792	290.7	2.479
239.4	1.497	265.5	1.862	291.6	2.509
240.3	1.497	266.4	1.882	292.5	2.529
241.2	1.502	267.3	1.872	293.4	2.539
242.1	1.502	268.2	1.927	294.3	2.569
243.0	1.512	269.1	1.947	295.2	2.584
243.9	1.527	270.0	1.101	296.1	2.579
244.8	1.517	270.9	2.14	297.0	2.589
245.7	1.522	271.8	2.54	297.9	2.599
246.6	1.502	272.7	2.84	298.8	2.609
247.5	1.522	273.6	2.99	299.7	2.654
248.4	1.532	274.5	2.99	300.6	2.674
249.3	1.542	275.4	2.114	301.5	2.689
250.2	1.542	276.3	2.159	302.4	2.699
251.1	1.552	277.2	2.209	303.3	2.689
252.0	1.547	278.1	2.234	304.2	2.699
252.9	1.532	279.0	2.249	305.1	2.714
253.8	1.552	279.9	2.284	306.0	2.734
254.7	1.587	280.8	2.289	306.9	2.774
255.6	1.587	281.7	2.304	307.8	2.774
256.5	1.607	282.6	2.314	308.7	2.779
257.4	1.612	283.5	2.344	309.6	2.779

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
310.5	2.794	327.6	2.814	344.7	2.804
311.4	2.794	328.5	2.814	345.6	2.804
312.3	2.804	329.4	2.854	346.5	2.804
313.2	2.804	330.3	2.834	347.4	2.789
314.1	2.809	331.2	2.824	348.3	2.789
315.0	2.834	332.1	2.814	349.2	2.769
315.9	2.819	333.0	2.819	350.1	2.764
316.8	2.839	333.9	2.814	351.0	2.789
317.7	2.839	334.8	2.819	351.9	2.794
318.6	2.834	335.7	2.804	352.8	2.804
319.5	2.829	336.6	2.834	353.7	2.784
320.4	2.819	337.5	2.819	354.6	2.769
321.3	2.819	338.4	2.819	355.5	2.759
322.2	2.839	339.3	2.809	356.4	2.759
323.1	2.839	340.2	2.814	357.3	2.759
324.0	2.844	341.1	2.799	358.2	2.759
324.9	2.834	342.0	2.799	359.1	2.774
325.8	2.819	342.9	2.794		
326.7	2.809	343.8	2.799		

## วัดกำลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระนาบ H ครั้งที่ 2

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
0.0	2.744	25.2	2.784	50.4	2.799
0.9	2.729	26.1	2.814	51.3	2.784
1.8	2.739	27.0	2.809	52.2	2.779
2.7	2.769	27.9	2.804	53.1	2.754
3.6	2.774	28.8	2.799	54.0	2.729
4.5	2.764	29.7	2.789	54.9	2.704
5.4	2.754	30.6	2.799	55.8	2.704
6.3	2.759	31.5	2.794	56.7	2.699
7.2	2.749	32.4	2.799	57.6	2.674
8.1	2.749	33.3	2.824	58.5	2.639
9.0	2.754	34.2	2.824	59.4	2.629
9.9	2.749	35.1	2.809	60.3	2.599
10.8	2.779	36.0	2.804	61.2	2.574
11.7	2.764	36.9	2.804	62.1	2.559
12.6	2.774	37.8	2.809	63.0	2.544
13.5	2.769	38.7	2.814	63.9	2.529
14.4	2.774	39.6	2.814	64.8	2.479
15.3	2.779	40.5	2.814	65.7	2.459
16.2	2.769	41.4	2.834	66.6	2.444
17.1	2.764	42.3	2.839	67.5	2.414
18.0	2.764	43.2	2.834	68.4	2.389
18.9	2.789	44.1	2.829	69.3	2.359
19.8	2.794	45.0	2.829	70.2	2.324
20.7	2.794	45.9	2.824	71.1	2.334
21.6	2.784	46.8	2.809	72.0	2.289
22.5	2.784	47.7	2.814	72.9	2.264
23.4	2.779	48.6	2.829	73.8	2.264
24.3	2.759	49.5	2.819	74.7	2.234

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
75.6	2.194	101.7	1.337	127.8	0.880
76.5	2.164	102.6	1.317	128.7	0.895
77.4	2.144	103.5	1.247	129.6	0.900
78.3	2.139	104.4	1.192	130.5	0.910
79.2	2.109	105.3	1.167	131.4	0.920
80.1	2.890	106.2	1.117	132.3	0.935
81.0	2.840	107.1	1.720	133.2	0.950
81.9	2.390	108.0	1.220	134.1	0.960
82.8	2.140	108.9	1.120	135.0	0.965
83.7	1.102	109.8	0.990	135.9	0.965
84.6	1.992	110.7	0.965	136.8	0.975
85.5	1.987	111.6	0.935	137.7	0.980
86.4	1.937	112.5	0.905	138.6	0.990
87.3	1.927	113.4	0.890	139.5	0.995
88.2	1.907	114.3	0.865	140.4	0.995
89.1	1.872	115.2	0.860	141.3	0.995
90.0	1.837	116.1	0.840	142.2	0.985
90.9	1.812	117.0	0.840	143.1	0.965
91.8	1.777	117.9	0.820	144.0	0.985
92.7	1.742	118.8	0.815	144.9	0.990
93.6	1.702	119.7	0.815	145.8	0.995
94.5	1.672	120.6	0.820	146.7	0.970
95.4	1.647	121.5	0.830	147.6	0.955
96.3	1.597	122.4	0.840	148.5	0.940
97.2	1.557	123.3	0.835	149.4	0.935
98.1	1.512	124.2	0.835	150.3	0.920
99.0	1.477	125.1	0.845	151.2	0.915
99.9	1.422	126.0	0.860	152.1	0.895
100.8	1.362	126.9	0.870	153.0	0.895

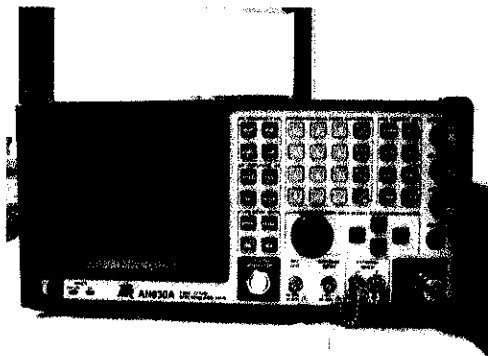
องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
153.9	0.850	180.0	0.380	206.1	0.750
154.8	0.825	180.9	0.385	207.0	0.785
155.7	0.820	181.8	0.390	207.9	0.800
156.6	0.805	182.7	0.385	208.8	0.845
157.5	0.790	183.6	0.375	209.7	0.880
158.4	0.760	184.5	0.370	210.6	0.890
159.3	0.740	185.4	0.370	211.5	0.905
160.2	0.725	186.3	0.380	212.4	0.950
161.1	0.700	187.2	0.395	213.3	0.975
162.0	0.665	188.1	0.400	214.2	0.101
162.9	0.655	189.0	0.395	215.1	1.200
163.8	0.640	189.9	0.395	216.0	1.420
164.7	0.605	190.8	0.410	216.9	1.620
165.6	0.590	191.7	0.410	217.8	1.770
166.5	0.555	192.6	0.430	218.7	1.970
167.4	0.555	193.5	0.455	219.6	1.107
168.3	0.525	194.4	0.470	220.5	1.152
169.2	0.515	195.3	0.475	221.4	1.162
170.1	0.495	196.2	0.470	222.3	1.192
171.0	0.500	197.1	0.500	223.2	1.207
172.9	0.450	198.0	0.525	224.1	1.222
172.8	0.435	198.9	0.550	225.0	1.232
173.7	0.430	199.8	0.580	225.9	1.252
174.6	0.430	200.7	0.595	226.8	1.262
175.5	0.425	201.6	0.625	227.7	1.297
176.4	0.410	202.5	0.620	228.6	1.302
177.3	0.405	203.4	0.660	229.5	1.327
178.2	0.390	204.3	0.700	230.4	1.347
179.1	0.365	205.2	0.720	231.3	1.342

องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
232.2	1.367	258.3	1.632	284.4	2.349
233.1	1.362	259.2	1.657	285.3	2.369
234.0	1.382	260.1	1.657	286.2	2.399
234.9	1.402	261.0	1.672	287.1	2.399
235.8	1.412	261.9	1.712	288.0	2.449
236.7	1.417	262.8	1.747	288.9	2.449
237.6	1.417	263.7	1.762	289.8	2.469
238.5	1.447	264.6	1.797	290.7	2.474
239.4	1.442	265.5	1.837	291.6	2.494
240.3	1.452	266.4	1.877	292.5	2.509
241.2	1.457	267.3	1.897	293.4	2.519
242.1	1.457	268.2	1.917	294.3	2.524
243.0	1.472	269.1	1.962	295.2	2.559
243.9	1.482	270.0	1.972	296.1	2.579
244.8	1.487	270.9	1.1012	297.0	2.589
245.7	1.492	271.8	2.900	297.9	2.604
246.6	1.487	272.7	2.540	298.8	2.614
247.5	1.492	273.6	2.990	299.7	2.629
248.4	1.502	274.5	2.114	300.6	2.629
249.3	1.472	275.4	2.124	301.5	2.659
250.2	1.517	276.3	2.169	302.4	2.689
251.1	1.522	277.2	2.184	303.3	2.709
252.0	1.537	278.1	2.209	304.2	2.709
252.9	1.542	279.0	2.224	305.1	2.714
253.8	1.547	279.9	2.264	306.0	2.719
254.7	1.562	280.8	2.304	306.9	2.744
255.6	1.567	281.7	2.309	307.8	2.739
256.5	1.572	282.6	2.324	308.7	2.754
257.4	1.602	283.5	2.334	309.6	2.779

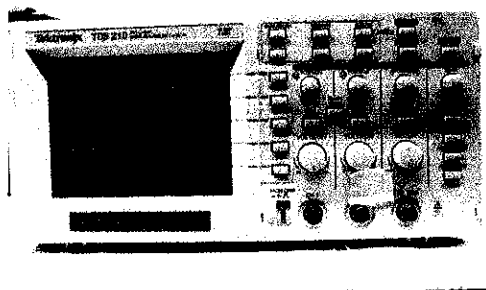
องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)	องศา (Degree)	ระดับแรงดัน (V)
310.5	2.804	327.6	2.834	344.7	2.794
311.4	2.799	328.5	2.819	345.6	2.774
312.3	2.799	329.4	2.814	346.5	2.774
313.2	2.809	330.3	2.809	347.4	2.804
314.1	2.814	331.2	2.814	348.3	2.799
315.0	2.819	332.1	2.844	349.2	2.799
315.9	2.809	333.0	2.829	350.1	2.789
316.8	2.819	333.9	2.824	351.0	2.774
317.7	2.844	334.8	2.814	351.9	2.769
318.6	2.849	335.7	2.814	352.8	2.764
319.5	2.829	336.6	2.814	353.7	2.764
320.4	2.839	337.5	2.809	354.6	2.789
321.3	2.819	338.4	2.804	355.5	2.774
322.2	2.829	339.3	2.824	356.4	2.769
323.1	2.814	340.2	2.814	357.3	2.759
324.0	2.819	341.1	2.814	358.2	2.764
324.9	2.844	342.0	2.814	359.1	2.774
325.8	2.839	342.9	2.814		
326.7	2.834	343.8	2.809		

## ภาคผนวก ก

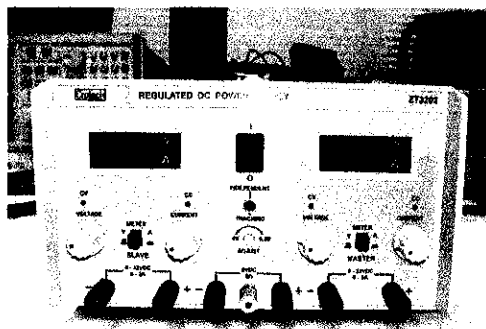
อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำโครงการ



Spectrum Analyzer

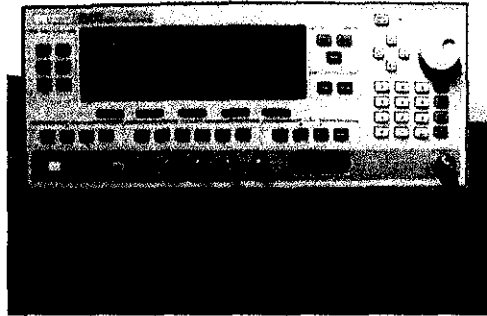


Digital Real-Time Oscilloscope (Tektronix)

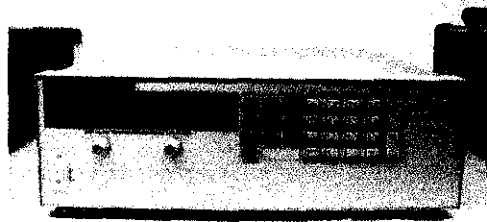


Regulated DC Power Supply (Crotech)

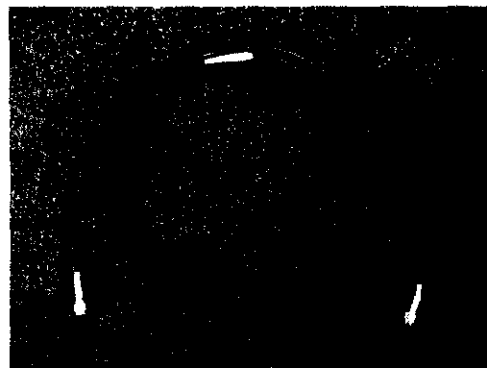




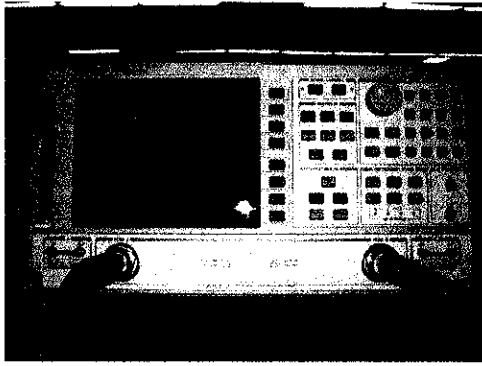
Signal Generator (HEWLETT PACKARD)



DC Power Supply 6553A (HEWLETT PACKARD)



สายวัดสัญญาณที่ความถี่สูง



Network Analyzer

## รูปในการปฏิบัติโครงการ



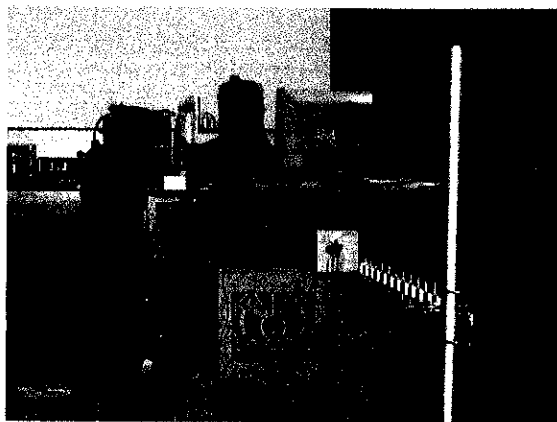
การบัดกรี MMIC และ IC ลงในวงจร



นำเอาวงจรย่อยต่างๆบรรจุลงในกล่องวงจรภาครับ



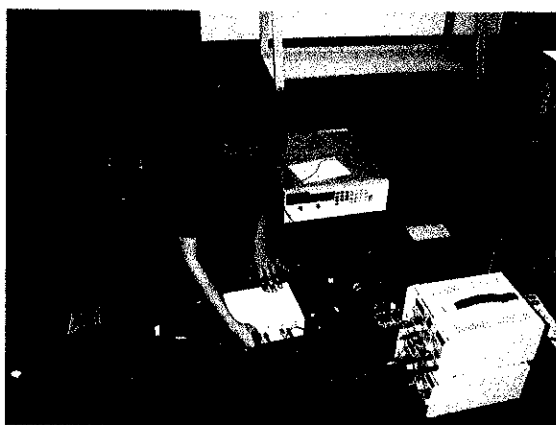
ต่อเชื่อมวงจรต่างๆในกล่องวงจรภาครับ



ทำการรันโปรแกรม



ทำการต่อสายอากาศ



ต่อชุดอุปกรณ์และกล่องวงจรภาครับ

**Data Sheet**



## HMC414MS8G / 414MS8GE



GaAs InGaP HBT MMIC  
POWER AMPLIFIER, 2.2 - 2.8 GHz

5

### Typical Applications

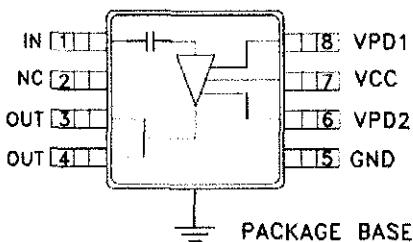
This amplifier is ideal for use as a power amplifier for 2.2 - 2.7 GHz applications:

- BLUETOOTH
- MMDS

### Features

- Gain: 20 dB
- Saturated Power: +30 dBm
- 32% PAE
- Supply Voltage: +2.75V to +5.0 V
- Power Down Capability
- Low External Part Count

### Functional Diagram



### General Description

The HMC414MS8G & HMC414MS8GE are high efficiency GaAs InGaP Heterojunction Bipolar Transistor (HBT) MMIC Power amplifiers which operate between 2.2 and 2.8 GHz. The amplifier is packaged in a low cost, surface mount 8 leaded package with an exposed base for improved RF and thermal performance. With a minimum of external components, the amplifier provides 20 dB of gain, +30 dBm of saturated power at 32% PAE from a +5.0V supply voltage. The amplifier can also operate with a 3.6V supply. Vpd can be used for full power down or RF output power/current control.

### Electrical Specifications, $T_a = +25^\circ\text{C}$ , As a Function of $V_s$ , $V_{pd} = 3.6\text{V}$

Parameter	$V_s = 3.6\text{V}$			$V_s = 5.0\text{V}$			Units
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Frequency Range	2.2 - 2.8			2.2 - 2.8			GHz
Gain	17	20	25	17	20	25	dB
Gain Variation Over Temperature		0.03	0.04		0.03	0.04	dB/°C
Input Return Loss		8			8		dB
Output Return Loss		9			9		dB
Output Power for 1 dB Compression (P1dB)	21	25		23	27		dBm
Saturated Output Power (Psat)		27			30		dBm
Output Third Order Intercept (IP3)	30	35		35	39		dBm
Noise Figure		6.5			7.0		dB
Supply Current (Icc) $V_{pd} = 0\text{V} / 3.6\text{V}$		0.002 / 240			0.002 / 300		mA
Control Current (Ipd) $V_{pd} = 3.6\text{V}$		7			7		mA
Switching Speed $t_{ON}, t_{OFF}$		45			45		ns

For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:  
20 Alpha Road, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373  
Order On-line at [www.hittite.com](http://www.hittite.com)



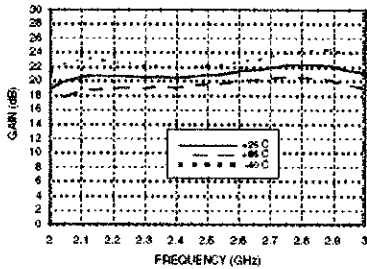
**HMC414MS8G / 414MS8GE**

**GaAs InGaP HBT MMIC  
POWER AMPLIFIER, 2.2 - 2.8 GHz**

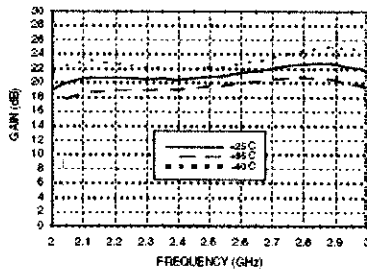
5

AMPLIFIERS - SMT

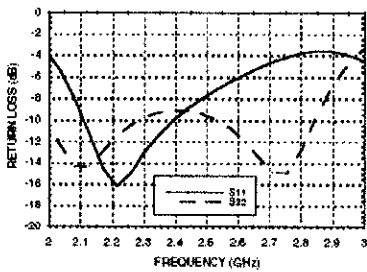
**Gain vs. Temperature,  $V_s = 3.6V$**



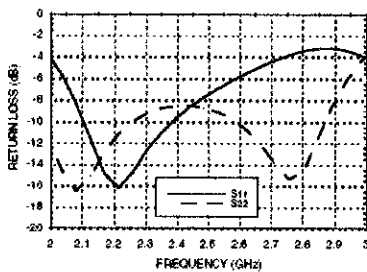
**Gain vs. Temperature,  $V_s = 5.0V$**



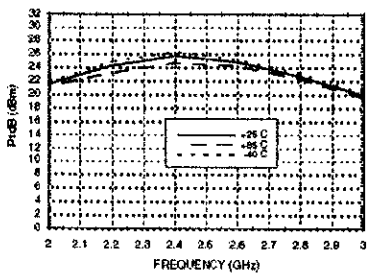
**Return Loss,  $V_s = 3.6V$**



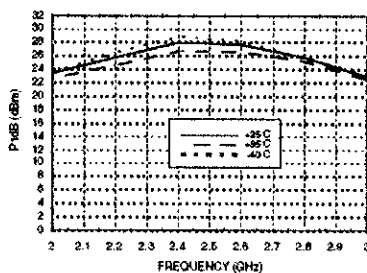
**Return Loss,  $V_s = 5.0V$**



**P1dB vs. Temperature,  $V_s = 3.6V$**



**P1dB vs. Temperature,  $V_s = 5.0V$**



For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:  
20 Alpha Road, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373  
Order On-line at [www.hittite.com](http://www.hittite.com)

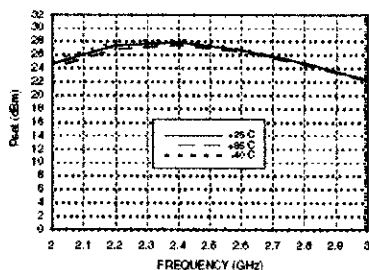


## HMC414MS8G / 414MS8GE

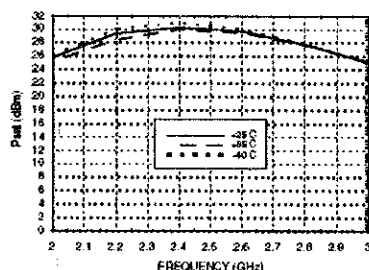
GaAs InGaP HBT MMIC  
POWER AMPLIFIER, 2.2 - 2.8 GHz

5

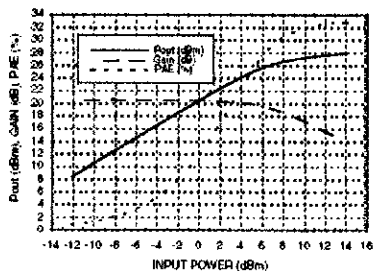
**Psat vs. Temperature, Vs= 3.6V**



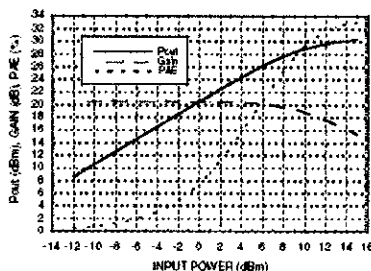
**Psat vs. Temperature, Vs= 5.0V**



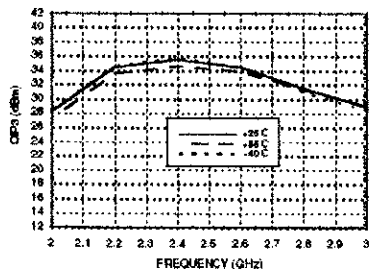
**Power Compression@ 2.4 GHz, Vs= 3.6V**



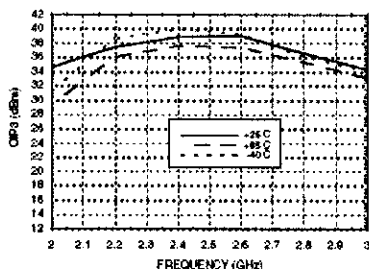
**Power Compression@ 2.4 GHz, Vs= 5.0V**



**Output IP3 vs. Temperature, Vs= 3.6V**



**Output IP3 vs. Temperature, Vs= 5.0V**



For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:  
20 Alpha Road, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373  
Order On-line at [www.hittite.com](http://www.hittite.com)





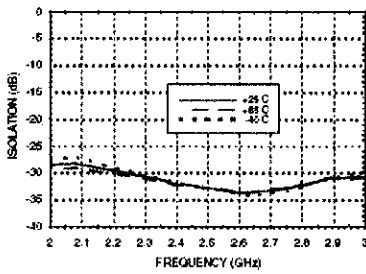
**HMC414MS8G / 414MS8GE**

**GaAs InGaP HBT MMIC  
POWER AMPLIFIER, 2.2 - 2.8 GHz**

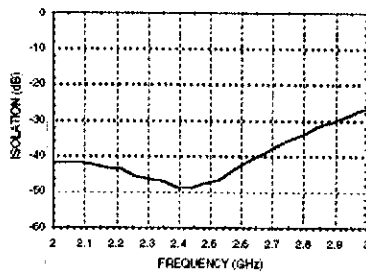
5

AMPLIFIERS - SMT

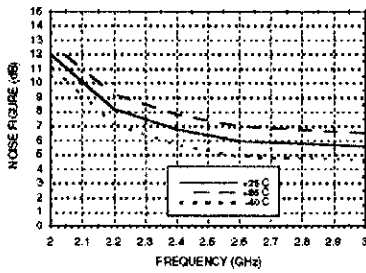
**Reverse Isolation vs. Temperature,  $V_s = 3.6V$**



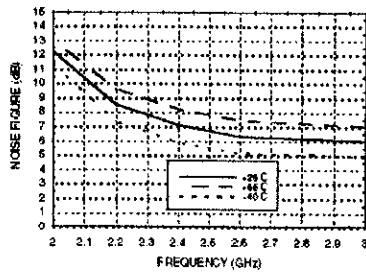
**Power Down Isolation,  $V_s = 3.6V$**



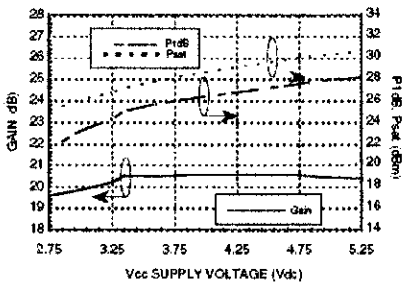
**Noise Figure vs. Temperature,  $V_s = 3.6V$**



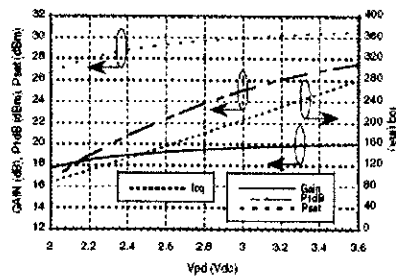
**Noise Figure vs. Temperature,  $V_s = 5.0V$**



**Gain & Power vs. Supply Voltage**



**Gain, Power & Quiescent  
Supply Current vs  $V_{pd}$  @ 2.4 GHz**



For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:  
20 Alpha Road, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373  
Order On-line at [www.hittite.com](http://www.hittite.com)





## HMC414MS8G / 414MS8GE

GaAs InGaP HBT MMIC  
POWER AMPLIFIER, 2.2 - 2.8 GHz

5

### Pin Descriptions

Pin Number	Function	Description	Interface Schematic
1	RFIN	This pin is AC coupled and matched to 50 Ohms from 2.2 to 2.8 GHz.	RFIN
2	NC	Not Connected.	
3,4	RFOUT	RF output and DC bias for the output stage.	
5	GND	Ground: Backside of package has exposed metal ground slug that must be connected to ground thru a short path. Vias under the device are required.	
6,8	Vpd1, Vpd2	Power control pin. For maximum power, this pin should be connected to 3.6V. For 5V operation, a dropping resistor is required. A higher voltage is not recommended. For lower idle current, this voltage can be reduced.	
7	Vcc	Power supply voltage for the first amplifier stage. An external bypass capacitor of 330 pF is required as shown in the application schematic.	

AMPLIFIERS - SMT

For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:  
20 Alpha Road, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373  
Order On-line at [www.hittite.com](http://www.hittite.com)

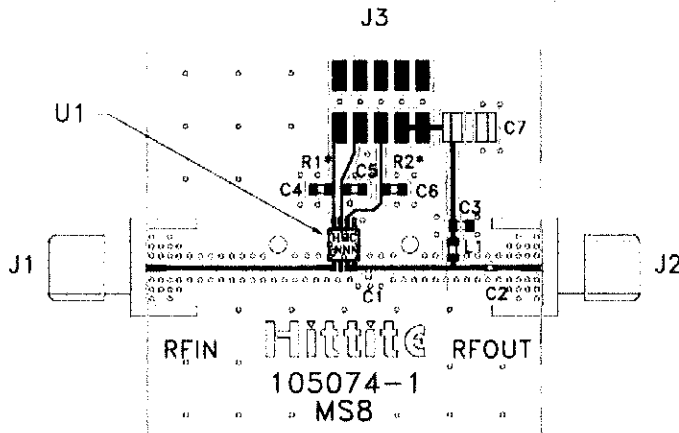


## HMC414MS8G / 414MS8GE

GaAs InGaP HBT MMIC  
POWER AMPLIFIER, 2.2 - 2.8 GHz



### Evaluation PCB



\* For 5V operation on Vcc1 line,  
select R1, R2 such that 3.6V is  
presented on Pins 6 and 8.

### List of Materials for Evaluation PCB 105006 <sup>[1]</sup>

Item	Description
J1 - J2	PCB Mount SMA RF Connector
J3	2 mm DC Header
C1	2.7 pF Capacitor, 0603 Pkg.
C2	100 pF Capacitor, 0402 Pkg.
C3 - C6	330 pF Capacitor, 0603 Pkg.
C7	2.2 $\mu$ F Capacitor, Tantalum
L1	18nH Inductor 0603 Pkg.
U1	HMC414MS8G / HMC414MS8GE Amplifier
PCB <sup>[2]</sup>	105074 Eval Board

[1] Reference this number when ordering complete evaluation PCB

[2] Circuit Board Material: Rogers 4350

The circuit board used in the final application should use RF circuit design techniques. Signal lines should have 50 ohm impedance while the package ground leads and exposed paddle should be connected directly to the ground plane similar to that shown. A sufficient number of VIA holes should be used to connect the top and bottom ground planes. The evaluation board should be mounted to an appropriate heat sink. The evaluation circuit board shown is available from Hittite upon request.

For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:  
20 Alpha Road, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373  
Order On-line at [www.hittite.com](http://www.hittite.com)



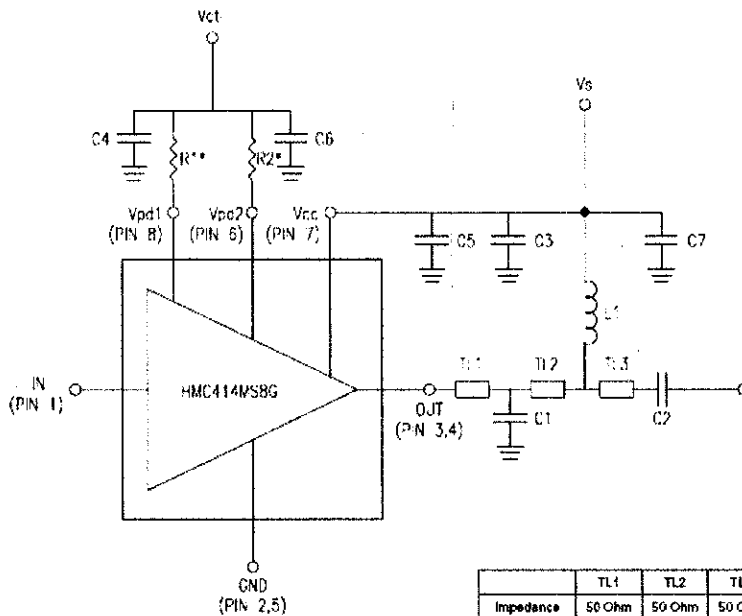
MICROWAVE CORPORATION v03.0505



## HMC414MS8G / 414MS8GE

GaAs InGaP HBT MMIC  
POWER AMPLIFIER, 2.2 - 2.8 GHz

### Application Circuit



	TL1	TL2	TL3
Impedance	50 Ohm	50 Ohm	50 Ohm
Length	0.036"	0.3"	0.11"

\* For 5V operation on Vct line, select R1, R2 such that 3.6V is presented on Pins 6 and 8.

For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:  
20 Alpha Road, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373  
Order On-line at [www.hittite.com](http://www.hittite.com)

5

AMPLIFIERS - SMT

## Surface Mount RF Schottky Barrier Diodes

### Technical Data

#### HSMS-282x Series

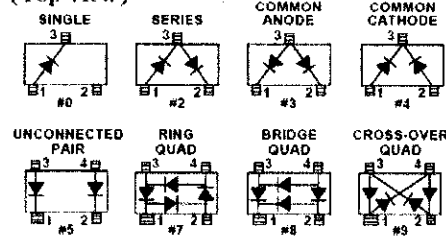
#### Features

- Low Turn-On Voltage (As Low as 0.34V at 1 mA)
- Low FIT (Failure in Time) Rate<sup>1</sup>
- Six-sigma Quality Level
- Single, Dual and Quad Versions
- Unique Configurations in Surface Mount SOT-363 Package
  - increase flexibility
  - save board space
  - reduce cost
- HSMS-282K Grounded Center Leads Provide up to 10 dB Higher Isolation
- Matched Diodes for Consistent Performance
- Better Thermal Conductivity for Higher Power Dissipation
- <sup>1</sup> For more information see the Surface Mount Schottky Reliability Data Sheet.

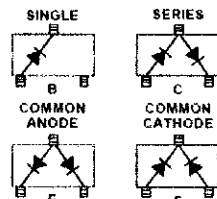
#### Description/Applications

These Schottky diodes are specifically designed for both analog and digital applications. This series offers a wide range of specifications and package configurations to give the designer wide flexibility. Typical applications of these Schottky diodes are mixing, detecting, switching, sampling, clamping, and wave shaping. The HSMS-282x series of diodes is the

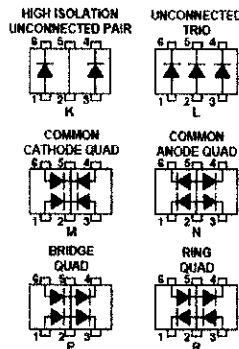
#### Package Lead Code Identification, SOT-23/SOT-143 (Top View)



#### Package Lead Code Identification, SOT-323 (Top View)



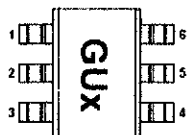
#### Package Lead Code Identification, SOT-363 (Top View)



best all-around choice for most applications, featuring low series resistance, low forward voltage at all current levels and good RF characteristics.

Note that Agilent's manufacturing techniques assure that dice found in pairs and quads are taken from adjacent sites on the wafer, assuring the highest degree of match

### Pin Connections and Package Marking



#### Notes:

1. Package marking provides orientation and identification.
2. See "Electrical Specifications" for appropriate package marking.

### Absolute Maximum Ratings<sup>(1)</sup> $T_c = 25^\circ\text{C}$

Symbol	Parameter	Unit	SOT-23/SOT-143	SOT-323/SOT-363
$I_F$	Forward Current (1 $\mu\text{s}$ Pulse)	Amp	1	1
$V_{IR}$	Peak Inverse Voltage	V	15	15
$T_J$	Junction Temperature	$^\circ\text{C}$	150	150
$T_{\text{stg}}$	Storage Temperature	$^\circ\text{C}$	-65 to 150	-65 to 150
$\theta_{\text{jc}}$	Thermal Resistance <sup>(2)</sup>	$^\circ\text{C}/\text{W}$	500	150

#### Notes:

1. Operation in excess of any one of these conditions may result in permanent damage to the device.
2.  $T_c = +25^\circ\text{C}$ , where  $T_c$  is defined to be the temperature at the package pins where contact is made to the circuit board.

### Electrical Specifications $T_c = 25^\circ\text{C}$ , Single Diode<sup>(4)</sup>

Part Number BSMS <sup>(5)</sup>	Package Marking Code	Lead Code	Configuration	Minimum Breakdown Voltage $V_{BR}$ (V)	Maximum Forward Voltage $V_F$ (mV)	Maximum Forward Voltage $V_F$ (V) @ $I_F$ (mA)	Maximum Reverse Leakage $I_R$ (nA) @ $V_R$ (V)	Maximum Capacitance $C_T$ (pF)	Typical Dynamic Resistance $R_D$ ( $\Omega$ ) <sup>(6)</sup>
2820	C0 <sup>(7)</sup>	0	Single	15	340	0.5 10	100 1	1.0	12
2822	C2 <sup>(7)</sup>	2	Series						
2823	C3 <sup>(7)</sup>	3	Common Anode						
2824	C4 <sup>(7)</sup>	4	Common Cathode						
2825	C5 <sup>(7)</sup>	5	Unconnected Pair						
2827	C7 <sup>(7)</sup>	7	Ring Quad <sup>(8)</sup>						
2828	C8 <sup>(7)</sup>	8	Bridge Quad <sup>(9)</sup>						
2829	C9 <sup>(7)</sup>	9	Cross-over Quad						
282B	C0 <sup>(7)</sup>	B	Single						
282C	C2 <sup>(7)</sup>	C	Series						
282E	C3 <sup>(7)</sup>	E	Common Anode						
282F	C4 <sup>(7)</sup>	F	Common Cathode						
282K	C3 <sup>(7)</sup>	K	High Isolation						
			Unconnected Pair						
282L	CL <sup>(7)</sup>	L	Unconnected Trio						
282M	HH <sup>(7)</sup>	M	Common Cathode Quad						
282N	NN <sup>(7)</sup>	N	Common Anode Quad						
282P	CP <sup>(7)</sup>	P	Bridge Quad						
282R	OO <sup>(7)</sup>	R	Ring Quad						
Test Conditions				$I_F = 100 \mu\text{A}$	$I_F = 1 \text{ mA}^{(1)}$			$V_F = 0 \text{ V}$ $f = 1 \text{ MHz}^{(2)}$	$I_F = 5 \text{ mA}$

#### Notes:

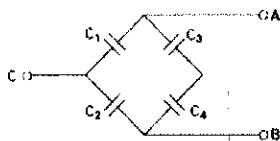
1.  $\Delta V_F$  for diodes in pairs and quads is 15 mV maximum at 1 mA.
2.  $\Delta C_T$  for diodes in pairs and quads is 0.2 pF maximum.
3. Package marking code is in white.
4. Effective Carrier Lifetime ( $\tau$ ) for all these diodes is 100 ps maximum measured with Krausauer method at 5 mA.
5. See section titled "Quad Capacitance."
6.  $R_D = R_S + 5.2 \Omega$  at  $25^\circ\text{C}$  and  $I_F = 5 \text{ mA}$ .
7. Package marking code is laser marked.

### Quad Capacitance

Capacitance of Schottky diode quads is measured using an HP4271 LCR meter. This instrument effectively isolates individual diode branches from the others, allowing accurate capacitance measurement of each branch or each diode. The conditions are: 20 mV R.M.S. voltage at 1 MHz. Agilent defines this measurement as "CM", and it is equivalent to the capacitance of the diode by itself. The equivalent diagonal and adjacent capacitances can then be calculated by the formulas given below.

In a quad, the diagonal capacitance is the capacitance between points A and B as shown in the figure below. The diagonal capacitance is calculated using the following formula

$$C_{\text{DIAGONAL}} = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} + \frac{C_3 \times C_4}{C_3 + C_4}$$

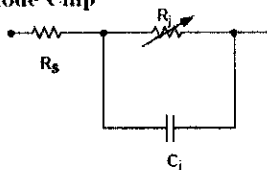


The equivalent adjacent capacitance is the capacitance between points A and C in the figure below. This capacitance is calculated using the following formula

$$C_{\text{ADJACENT}} = C_1 + \frac{1}{\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}}$$

This information does not apply to cross-over quad diodes.

### Linear Equivalent Circuit Model Diode Chip



$R_s$  = series resistance (see Table of SPICE parameters)

$C_j$  = junction capacitance (see Table of SPICE parameters)

$$R_j = \frac{8.33 \times 10^{-6} nT}{I_b + I_s}$$

where

$I_b$  = externally applied bias current in amps

$I_s$  = saturation current (see table of SPICE parameters)

$T$  = temperature, °K

$n$  = ideality factor (see table of SPICE parameters)

Note:

To effectively model the packaged HSMS-282x product, please refer to Application Note AN1124.

### END WARNING:

Handling Precautions Should Be Taken To Avoid Static Discharge.

### SPICE Parameters

Parameter	Units	HSMS-282x
$B_V$	V	15
$C_{j0}$	pF	0.7
$E_G$	eV	0.69
$I_{BV}$	A	1E-4
$I_s$	A	2.2E-8
$N$		1.08
$R_s$	$\Omega$	6.0
$P_B$	V	0.65
$P_T$		2
$M$		0.5



### Typical Performance, $T_c = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted). Single Diode

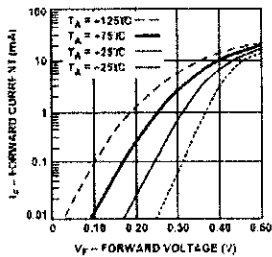


Figure 1. Forward Current vs. Forward Voltage at Temperatures.

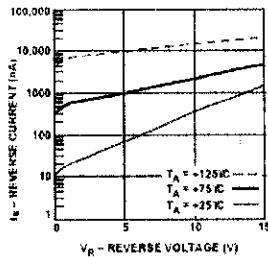


Figure 2. Reverse Current vs. Reverse Voltage at Temperatures.

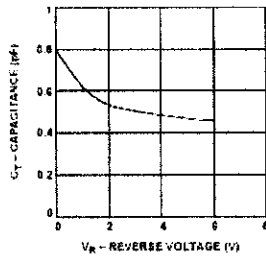


Figure 3. Total Capacitance vs. Reverse Voltage.

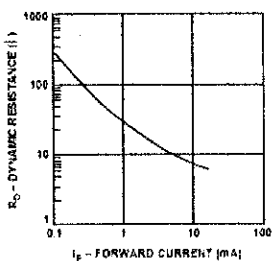


Figure 4. Dynamic Resistance vs. Forward Current.

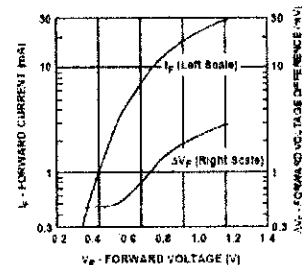


Figure 5. Typical  $V_f$  Match, Series Pairs and Quads at Mixer Bias Levels

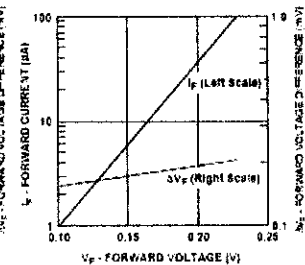


Figure 6. Typical  $V_f$  Match, Series Pairs at Detector Bias Levels

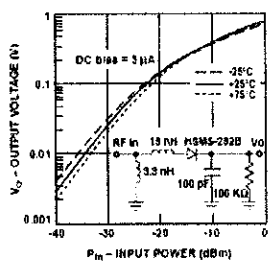


Figure 7. Typical Output Voltage vs. Input Power, Small Signal Detector Operating at 850 MHz.

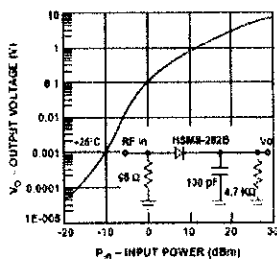


Figure 8. Typical Output Voltage vs. Input Power, Large Signal Detector Operating at 915 MHz.

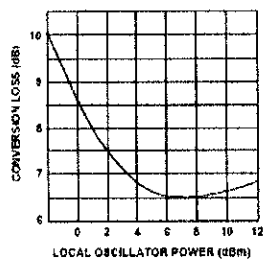


Figure 9. Typical Conversion Loss vs. L.O. Drive, 2.0 GHz (Ref AN997).

## Applications Information Product Selection

Agilent's family of surface mount Schottky diodes provide unique solutions to many design problems. Each is optimized for certain applications.

The first step in choosing the right product is to select the diode type. All of the products in the HSMS-282x family use the same diode chip—they differ only in package configuration. The same is true of the HSMS-280x, -281x, 283x, -286x and -270x families. Each family has a different set of characteristics, which can be compared most easily by consulting the SPICE parameters given on each data sheet.

The HSMS-282x family has been optimized for use in RF applications, such as

- ✓ DC biased small signal detectors to 1.5 GHz.
- ✓ Biased or unbiased large signal detectors (AGC or power monitors) to 4 GHz.
- ✓ Mixers and frequency multipliers to 6 GHz.

The other feature of the HSMS-282x family is its unit-to-unit and lot-to-lot consistency. The silicon chip used in this series has been designed to use the fewest possible processing steps to minimize variations in diode characteristics. Statistical data on the consistency of this product, in terms of SPICE parameters, is available from Agilent.

For those applications requiring very high breakdown voltage, use the HSMS-280x family of diodes. Turn to the HSMS-281x when you

need very low flicker noise. The HSMS-285x is a family of zero bias detector diodes for small signal applications. For high frequency detector or mixer applications, use the HSMS-286x family. The HSMS-270x is a series of specialty diodes for ultra high speed clipping and clamping in digital circuits.

## Schottky Barrier Diode Characteristics

Stripped of its package, a Schottky barrier diode chip consists of a metal-semiconductor barrier formed by deposition of a metal layer on a semiconductor. The most common of several different types, the passivated diode, is shown in Figure 10, along with its equivalent circuit.

$R_s$  is the parasitic series resistance of the diode, the sum of the bondwire and leadframe resistance, the resistance of the bulk layer of silicon, etc. RF energy coupled into  $R_s$  is lost as heat—it does not contribute to the rectified output of the diode.  $C_j$  is parasitic junction capacitance of the diode, controlled by the thickness of the epitaxial layer and the diameter of the Schottky contact.  $R_j$  is the junction resistance of the diode, a function of the total current flowing through it.

$$R_j = \frac{8.33 \times 10^5 n T}{I_s + I_b} = R_V - R_s$$

$$= \frac{0.026}{I_s + I_b} \text{ at } 25^\circ\text{C}$$

where

- $n$  = ideality factor (see table of SPICE parameters)
- $T$  = temperature in °K
- $I_s$  = saturation current (see table of SPICE parameters)
- $I_b$  = externally applied bias current in amps
- $R_s$  = sum of junction and series resistance, the slope of the V-I curve

$I_s$  is a function of diode barrier height, and can range from picoamps for high barrier diodes to as much as 5  $\mu\text{A}$  for very low barrier diodes.

## The Height of the Schottky Barrier

The current-voltage characteristic of a Schottky barrier diode at room temperature is described by the following equation:

$$I = I_s \left( e^{\frac{V - IR_s}{0.026}} - 1 \right)$$

On a semi-log plot (as shown in the Agilent catalog) the current graph will be a straight line with inverse slope  $2.3 \times 0.026 = 0.060$  volts per cycle (until the effect of

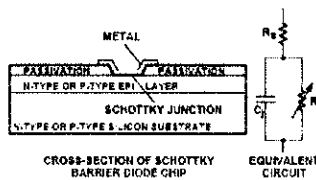


Figure 10. Schottky Diode Chip.

$R_s$  is seen in a curve that droops at high current). All Schottky diode curves have the same slope, but not necessarily the same value of current for a given voltage. This is determined by the saturation current,  $I_s$ , and is related to the barrier height of the diode.

Through the choice of p-type or n-type silicon, and the selection of metal, one can tailor the characteristics of a Schottky diode. Barrier height will be altered, and at the same time  $C_j$  and  $R_s$  will be changed. In general, very low barrier height diodes (with high values of  $I_s$ , suitable for zero bias applications) are realized on p-type silicon. Such diodes suffer from higher values of  $R_s$  than do the n-type. Thus, p-type diodes are generally reserved for detector applications (where very high values of  $R_v$  swamp out high  $R_s$ ) and n-type diodes such as the HSMS-282x are used for mixer applications (where high L.O. drive levels keep  $R_v$  low). DC biased detectors and self-biased detectors used in gain or power control circuits.

#### Detector Applications

Detector circuits can be divided into two types, large signal ( $P_{in} > -20$  dBm) and small signal ( $P_{in} < -20$  dBm). In general, the former use resistive impedance matching at the input to improve flatness over frequency—this is possible since the input signal levels are high enough to produce adequate output voltages without the need for a high Q reactive input matching network. These circuits are self-biased (no external DC bias) and are used for gain and power control of amplifiers.

Small signal detectors are used as very low cost receivers, and require a reactive input impedance matching network to achieve adequate sensitivity and output voltage. Those operating with zero bias utilize the HSMS-285x family of detector diodes. However, superior performance over temperature can be achieved with the use of 3 to 30  $\mu$ A of DC bias. Such circuits will use the HSMS-282x family of diodes if the operating frequency is 1.5 GHz or lower.

Typical performance of single diode detectors (using HSMS-2820 or HSMS-282B) can be seen in the transfer curves given in Figures 7 and 8. Such detectors can be realized either as series or shunt circuits, as shown in Figure 11.

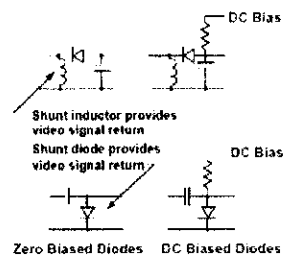


Figure 11. Single Diode Detectors.

The series and shunt circuits can be combined into a voltage doubler<sup>[1]</sup>, as shown in Figure 12. The doubler offers three advantages over the single diode circuit.

- ✓ The two diodes are in parallel in the RF circuit, lowering the input impedance and making the design of the RF matching network easier.
- ✓ The two diodes are in series in the output (video) circuit, doubling the output voltage.
- ✓ Some cancellation of even-order harmonics takes place at the input.

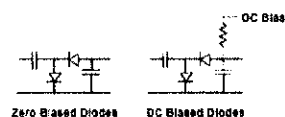


Figure 12. Voltage Doubler.

The most compact and lowest cost form of the doubler is achieved when the HSMS-2822 or HSMS-282C series pair is used.

Both the detection sensitivity and the DC forward voltage of a biased Schottky detector are temperature sensitive. Where both must be compensated over a wide range of temperatures, the differential detector<sup>[2]</sup> is often used. Such a circuit requires that the detector diode and the reference diode exhibit identical characteristics at all DC bias levels and at all temperatures. This is accomplished through the use of two diodes in one package, for example the HSMS-2825 in Figure 13. In the Agilent assembly facility, the two dice in a surface mount package are taken from adjacent sites on the wafer (as illustrated in Figure 14). This

[1] Agilent Application Note 956-1, "Schottky Diode Voltage Doubler."

[2] Raymond W. Waugh, "Designing Large-Signal Detectors for Hand-sets and Base Stations," *Wireless Systems Design*, Vol. 2, No. 7, July 1997, pp. 42-48.

assures that the characteristics of the two diodes are more highly matched than would be possible through individual testing and hand matching.

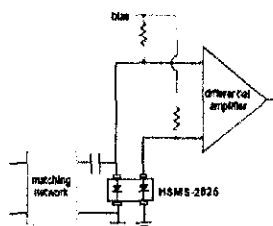


Figure 13. Differential Detector.

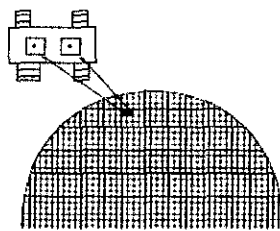


Figure 14. Fabrication of Agilent Diode Pairs.

In high power applications, coupling of RF energy from the detector diode to the reference diode can introduce error in the differential detector. The HSMS-282K diode pair, in the six lead SOT-363 package, has a copper bar between the diodes that adds 10 dB of additional isolation between them. As this part is manufactured in the SOT-363 package it also provides the benefit of being 40% smaller than larger SOT-143 devices. The HSMS-282K is illustrated in Figure 15—note that the ground connections must be made as close to the package as possible to minimize stray inductance to ground.

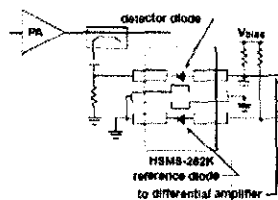


Figure 15. High Power Differential Detector.

The concept of the voltage doubler can be applied to the differential detector, permitting twice the output voltage for a given input power (as well as improving input impedance and suppressing second harmonics).

However, care must be taken to assure that the two reference diodes closely match the two detector diodes. One possible configuration is given in Figure 16, using two HSMS-2825. Board space can be saved through the use of the HSMS-282P open bridge quad, as shown in Figure 17.

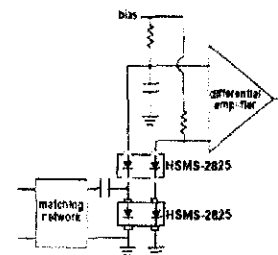


Figure 16. Voltage Doubler Differential Detector.

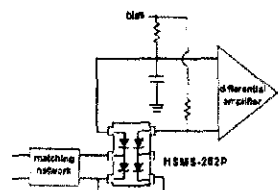


Figure 17. Voltage Doubler Differential Detector.

While the differential detector works well over temperature, another design approach<sup>[3]</sup> works well for large signal detectors. See Figure 18 for the schematic and a physical layout of the circuit. In this design, the two 4.7 K $\Omega$  resistors and diode D2 act as a variable power divider, assuring constant output voltage over temperature and improving output linearity.

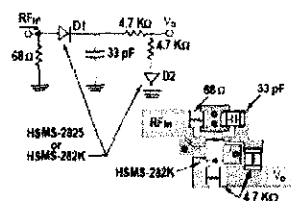


Figure 18. Temperature Compensated Detector.

In certain applications, such as a dual-band cellphone handset operating at both 900 and 1800 MHz, the second harmonics generated in the power control output detector when the handset is working at 900 MHz can cause problems. A filter at the output can reduce unwanted emissions at 1800 MHz in this case, but a

[3] Hans Eriksson and Raymond W. Wough, "A Temperature Compensated Linear Diode Detector," to be published.

lower cost solution is available<sup>14</sup>. Illustrated schematically in Figure 19, this circuit uses diode D2 and its associated passive components to cancel all even order harmonics at the detector's RF input. Diodes D3 and D4 provide temperature compensation as described above. All four diodes are contained in a single HSMS-282R package, as illustrated in the layout shown in Figure 20.

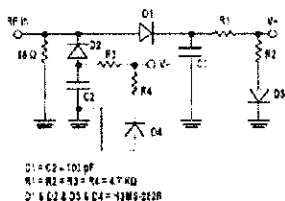


Figure 19. Schematic of Suppressed Harmonic Detector.

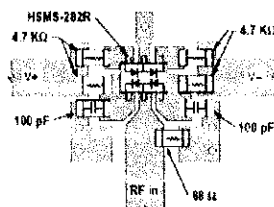


Figure 20. Layout of Suppressed Harmonic Detector.

Note that the foregoing discussion refers to the output voltage being extracted at point V+ with respect to ground. If a differential output is taken at V+ with respect to V-, the circuit acts as a voltage doubler.

**Mixer applications**

The HSMS-282x family, with its wide variety of packaging, can be used to make excellent mixers at frequencies up to 6 GHz.

The HSMS-2827 ring quad of matched diodes (in the SOT-143 package) has been designed for double balanced mixers. The smaller (SOT-363) HSMS-2828R ring quad can similarly be used, if the quad is closed with external connections as shown in Figure 21.

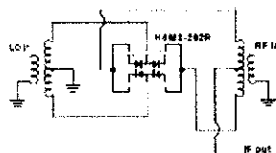


Figure 21. Double Balanced Mixer.

Both of these networks require a crossover or a three dimensional circuit. A planar mixer can be made using the SOT-143 crossover quad, HSMS-2829, as shown in Figure 22. In this product, a special lead frame permits the crossover to be placed inside the plastic package itself, eliminating the need for via holes (or other measures) in the RF portion of the circuit itself.

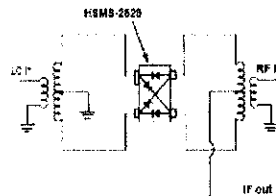


Figure 22. Planar Double Balanced Mixer.

A review of Figure 21 may lead to the question as to why the HSMS-282R ring quad is open on the ends. Distortion in double balanced mixers can be reduced if LO drive is increased, up to the point where the Schottky diodes are driven into saturation. Above this point, increased LO drive will not result in improvements in distortion. The use of expensive high barrier diodes (such as those fabricated on GaAs) can take advantage of higher LO drive power, but a lower cost solution is to use a eight (or twelve) diode ring quad. The open design of the HSMS-282R permits this to easily be done, as shown in Figure 23.

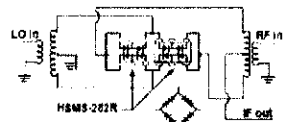


Figure 23. Low Distortion Double Balanced Mixer.

This same technique can be used in the single-balanced mixer. Figure 24 shows such a mixer, with two diodes in each spot normally occupied by one. This mixer, with a sufficiently high LO drive level, will display low distortion.

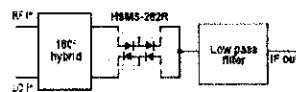


Figure 24. Low Distortion Balanced Mixer.

<sup>14</sup> Alan Nixon and Kayne and W. Waugh, "A Suppressed Harmonic Power Detector for Dual Band Phones," to be published.

### Sampling Applications

The six lead HSMS-282P can be used in a sampling circuit, as shown in Figure 25. As was the case with the six lead HSMS-282R in the mixer, the open bridge quad is closed with traces on the circuit board. The quad was not closed internally so that it could be used in other applications, such as illustrated in Figure 17.

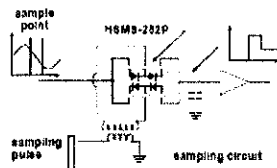


Figure 25. Sampling Circuit.

### Thermal Considerations

The obvious advantage of the SOT-323 and SOT-363 over the SOT-23 and SOT-142 is combination of smaller size and extra leads. However, the copper leadframe in the SOT-3x3 has a thermal conductivity four times higher than the Alloy 42 leadframe of the SOT-23 and SOT-143, which enables the smaller packages to dissipate more power.

The maximum junction temperature for these three families of Schottky diodes is 150°C under all operating conditions. The following equation applies to the thermal analysis of diodes:

$$T_j = (\sqrt{I_f} + P_{RF}) \theta_{jc} + T_a \quad (1)$$

where

- $T_j$  = junction temperature
- $T_a$  = diode case temperature
- $\theta_{jc}$  = thermal resistance
- $\sqrt{I_f}$  = DC power dissipated
- $P_{RF}$  = RF power dissipated

Note that  $\theta_{jc}$ , the thermal resistance from diode junction to the foot of the leads, is the sum of two component resistances,

$$\theta_{jc} = \theta_{pkg} + \theta_{chp} \quad (2)$$

Package thermal resistance for the SOT-3x3 package is approximately 100°C/W, and the chip thermal resistance for the HSMS-282x family of diodes is approximately 40°C/W. The designer will have to add in the thermal resistance from diode case to ambient—a poor choice of circuit board material or heat sink design can make this number very high.

Equation (1) would be straightforward to solve but for the fact that diode forward voltage is a function of temperature as well as forward current. The equation for  $V_f$  is:

$$I_f = I_s \left[ e^{\frac{11600 (V_f - I_f R_s)}{nT}} - 1 \right] \quad (3)$$

where  $n$  = ideality factor  
 $T$  = temperature in °K  
 $R_s$  = diode series resistance

and  $I_s$  (diode saturation current) is given by

$$I_s = I_0 \left( \frac{T}{298} \right)^{\frac{3}{n}} e^{-4000 \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right)} \quad (4)$$

Equation (4) is substituted into equation (3), and equations (1) and (3) are solved simultaneously to obtain the value of junction temperature for given values of diode case temperature, DC power dissipation and RF power dissipation.

### Diode Burnout

Any Schottky junction, be it an RF diode or the gate of a MESFET, is relatively delicate and can be burned out with excessive RF power. Many crystal video receivers used in RFID (tag) applications find themselves in poorly controlled environments where high power sources may be present. Examples are the areas around airport and FAA radars, nearby ham radio operators, the vicinity of a broadcast band transmitter, etc. In such environments, the Schottky diodes of the receiver can be protected by a device known as a limiter diode [1]. Formerly available only in radar warning receivers and other high cost electronic warfare applications, these diodes have been adapted to commercial and consumer circuits.

Agilent offers a complete line of surface mountable PIN limiter diodes. Most notably, our HSMP-4820 (SOT-23) can act as a very fast (nanosecond) power-sensitive switch when placed between the antenna and the Schottky diode, shorting out the RF circuit temporarily and reflecting the excessive RF energy back out the antenna.

[1] Agilent Application Note 1050, "Low Cost, Surface Mount Power Limiters."

### Assembly Instructions SOT-3x3 PCB Footprint

Recommended PCB pad layouts for the miniature SOT-3x3 (SC-70) packages are shown in Figures 26 and 27 (dimensions are in inches). These layouts provide ample allowance for package placement by automated assembly equipment without adding parasitics that could impair the performance.

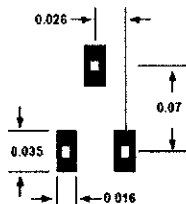


Figure 26. PCB Pad Layout, SOT-323 (dimensions in inches)

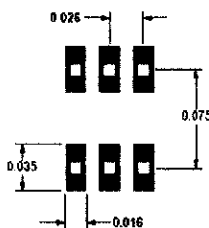


Figure 27. PCB Pad Layout, SOT-363 (dimensions in inches)

### SMT Assembly

Reliable assembly of surface mount components is a complex process that involves many material, process, and equipment factors, including: method of heating (e.g., IR or vapor phase reflow, wave soldering, etc.) circuit board material, conductor thickness and pattern, type of solder alloy, and the thermal conductivity and thermal mass of components. Components with a low mass, such as the SOT packages, will reach solder reflow temperatures faster than those with a greater mass.

Agilent's diodes have been qualified to the time-temperature profile shown in Figure 28. This profile is representative of an IR reflow type of surface mount assembly process.

After ramping up from room temperature, the circuit board with components attached to it (held in place with solder paste)

passes through one or more preheat zones. The preheat zones increase the temperature of the board and components to prevent thermal shock and begin evaporating solvents from the solder paste. The reflow zone briefly elevates the temperature sufficiently to produce a reflow of the solder.

The rates of change of temperature for the ramp-up and cool-down zones are chosen to be low enough to not cause deformation of the board or damage to components due to thermal shock. The maximum temperature in the reflow zone ( $T_{MAX}$ ) should not exceed 235°C.

These parameters are typical for a surface mount assembly process for Agilent diodes. As a general guideline, the circuit board and components should be exposed only to the minimum temperatures and times necessary to achieve a uniform reflow of solder.

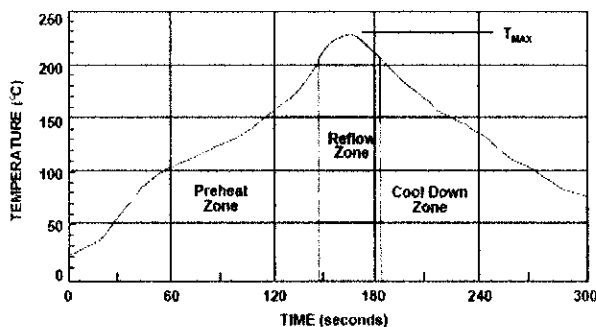


Figure 28. Surface Mount Assembly Profile.

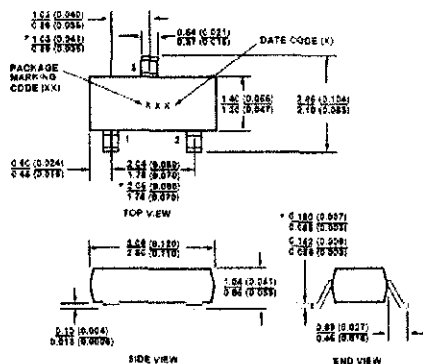
**Part Number Ordering Information**

Part Number	No. of Devices	Container
HSMS-282x-TR2 <sup>1</sup>	10000	13" Reel
HSMS-282x-TR1 <sup>1</sup>	3000	7" Reel
HSMS-282x-BLK <sup>1</sup>	100	antistatic bag

x = 0, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, B, C, E, F, K, L, M, N, P or R

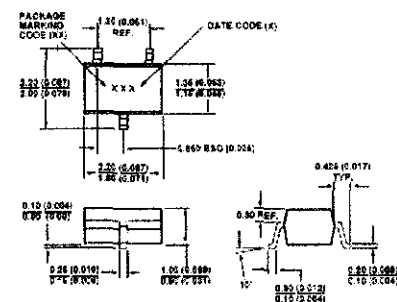
**Package Dimensions**

**Outline 23 (SOT-23)**



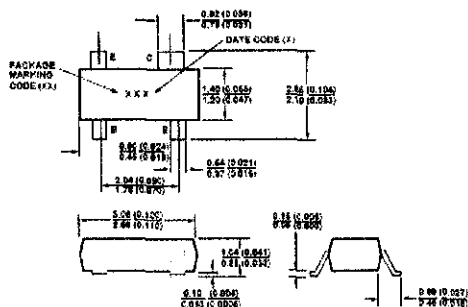
\* THESE DIMENSIONS FOR HSMS-282X AND 281X FAMILIES ONLY.  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS (INCHES)

**Outline SOT-323 (SC-70 3 Lead)**



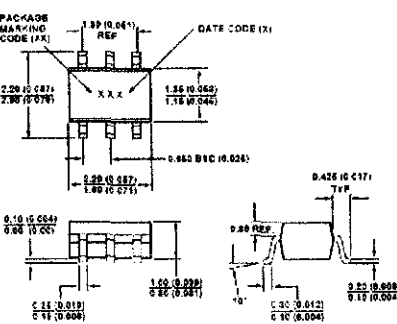
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS (INCHES)

**Outline 143 (SOT-143)**



DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS (INCHES)

**Outline SOT-363 (SC-70 6 Lead)**

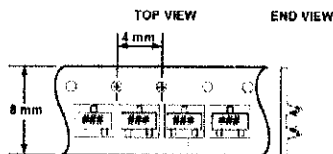
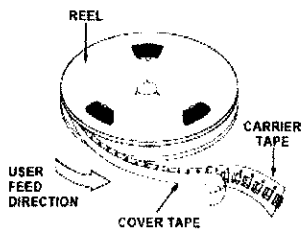


DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS (INCHES)



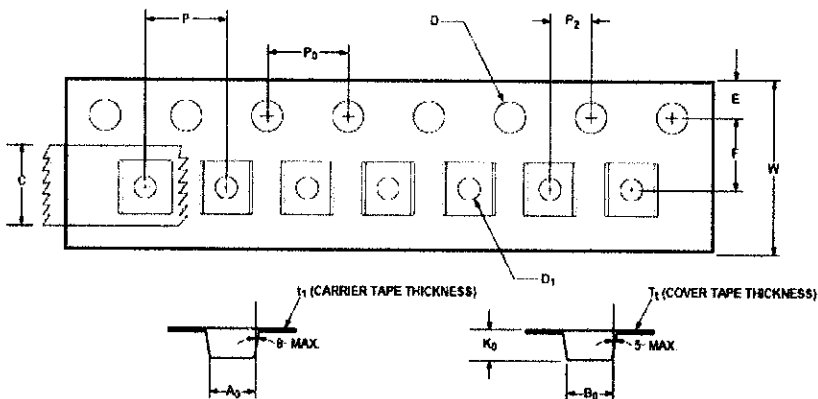


### Device Orientation



Note: "###" represents Package Marking Code. Package marking is right side up with carrier tape perforations at top. Conforms to Electronic Industries RS-481, "Taping of Surface Mounted Components for Automated Placement". Standard quantity is 3,000 devices per reel.

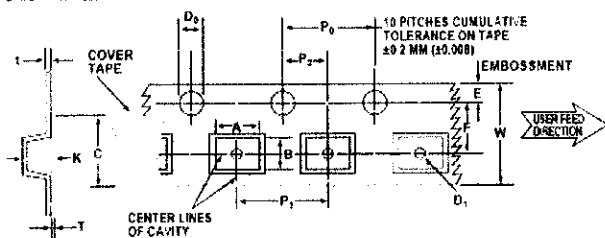
### Tape Dimensions and Product Orientation For Outline SOT-323 (SC-70 3 Lead)



DESCRIPTION	SYMBOL	SIZE (mm)	SIZE (INCHES)	
CAVITY	LENGTH	$A_0$	$2.24 \pm 0.10$	$0.088 \pm 0.004$
	WIDTH	$B_0$	$2.34 \pm 0.10$	$0.092 \pm 0.004$
	DEPTH	$K_0$	$1.22 \pm 0.10$	$0.048 \pm 0.004$
	PITCH	$P$	$4.00 \pm 0.10$	$0.157 \pm 0.004$
	BOTTOM HOLE DIAMETER	$D_1$	$1.00 \pm 0.25$	$0.039 \pm 0.010$
PERFORATION	DIAMETER	$D$	$1.55 \pm 0.05$	$0.061 \pm 0.002$
	PITCH	$P_0$	$4.00 \pm 0.10$	$0.157 \pm 0.004$
	POSITION	$E$	$1.75 \pm 0.10$	$0.069 \pm 0.004$
CARRIER TAPE	WIDTH	$W$	$8.00 \pm 0.30$	$0.315 \pm 0.012$
	THICKNESS	$t_1$	$0.255 \pm 0.013$	$0.010 \pm 0.0005$
COVER TAPE	WIDTH	$C$	$5.4 \pm 0.10$	$0.205 \pm 0.004$
	TAPE THICKNESS	$T_1$	$0.062 \pm 0.001$	$0.0025 \pm 0.00004$
DISTANCE	CAVITY TO PERFORATION (WIDTH DIRECTION)	$F$	$3.50 \pm 0.05$	$0.138 \pm 0.002$
	CAVITY TO PERFORATION (LENGTH DIRECTION)	$P_2$	$2.00 \pm 0.05$	$0.079 \pm 0.002$

[www.semicondutor.agilent.com](http://www.semicondutor.agilent.com)  
Data subject to change.  
Copyright © 2000 Agilent Technologies  
Obsoletes 5068-2502E, 5068-5034E  
5068-8014E (1/00)

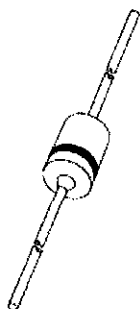
### Tape Dimensions and Product Orientation For Outline SOT-23



DESCRIPTION		SYMBOL	SIZE (mm)	SIZE (INCHES)
CAVITY	LENGTH	A	3.15 ± 0.15	0.124 ± 0.006
	WIDTH	B	2.65 ± 0.25	0.104 ± 0.010
	DEPTH	K	1.30 ± 0.10	0.051 ± 0.004
	PITCH	P <sub>1</sub>	4.00 ± 0.10	0.157 ± 0.004
	BOTTOM HOLE DIAMETER	D <sub>1</sub>	1.00 min.	0.04 min.
PERFORATION	DIAMETER	D <sub>0</sub>	1.55 + 0.10/-0	0.061 + 0.004/-0
	PITCH	P <sub>0</sub>	4.00 ± 0.10	0.157 ± 0.004
	POSITION	E	1.75 ± 0.10	0.069 ± 0.004
CARRIER TAPE	WIDTH	W	8.00 ± 0.2	0.315 ± 0.008
	THICKNESS	t	0.30 ± 0.05	0.012 ± 0.002
COVER TAPE	WIDTH	C	5.40 ± 0.25	0.285 ± 0.010
	TAPE THICKNESS	T	0.084 ± 0.01	0.003 ± 0.0004
DISTANCE BETWEEN CENTERLINE	CAVITY TO PERFORATION (WIDTH DIRECTION)	F	3.50 ± 0.10	0.138 ± 0.004
	CAVITY TO PERFORATION (LENGTH DIRECTION)	P <sub>2</sub>	2.00 ± 0.05	0.079 ± 0.002

DISCRETE SEMICONDUCTORS

# DATA SHEET



## **1N4148; 1N4448** High-speed diodes

Product specification  
Supersedes data of 1996 Sep 03

1999 May 25

Philips  
Semiconductors



# PHILIPS

## High-speed diodes

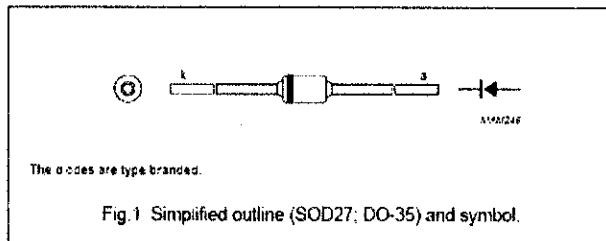
1N4148; 1N4448

## FEATURES

- Hermetically sealed leaded glass SOD27 (DO-35) package
- High switching speed: max. 4 ns
- General application
- Continuous reverse voltage: max. 75 V
- Repetitive peak reverse voltage: max. 75 V
- Repetitive peak forward current: max. 450 mA.

## DESCRIPTION

The 1N4148 and 1N4448 are high-speed switching diodes fabricated in planar technology, and encapsulated in hermetically sealed leaded glass SOD27 (DO-35) packages.



## APPLICATIONS

- High-speed switching.

## LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{RRM}$	repetitive peak reverse voltage		–	75	V
$V_R$	continuous reverse voltage		–	75	V
$I_F$	continuous forward current	see Fig.2; note 1	–	200	mA
$I_{FRM}$	repetitive peak forward current		–	450	mA
$I_{FSM}$	non-repetitive peak forward current	square wave; $T = 25\text{ }^\circ\text{C}$ prior to surge; see Fig.4			
		$t = 1\text{ }\mu\text{s}$	–	4	A
		$t = 1\text{ ms}$	–	1	A
		$t = 1\text{ s}$	–	0.5	A
$P_{tot}$	total power dissipation	$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ; note 1	–	500	mW
$T_{stg}$	storage temperature		–65	+200	$^\circ\text{C}$
$T_j$	junction temperature		–	200	$^\circ\text{C}$

## Note

1. Device mounted on an FR4 printed circuit-board; lead length 10 mm.

## High-speed diodes

1N4148; 1N4448

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $T_j = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_F$	forward voltage	see Fig.3			
	1N4148	$I_F = 10\text{ mA}$	-	1	V
	1N4448	$I_F = 5\text{ mA}$	0.62	0.72	V
		$I_F = 100\text{ mA}$	-	1	V
$I_R$	reverse current	$V_R = 20\text{ V}$ ; see Fig.5		25	nA
		$V_R = 20\text{ V}$ ; $T_j = 150^\circ\text{C}$ ; see Fig.5	-	50	$\mu\text{A}$
$I_R$	reverse current; 1N4448	$V_R = 20\text{ V}$ ; $T_j = 100^\circ\text{C}$ ; see Fig.5	-	3	$\mu\text{A}$
$C_d$	diode capacitance	$f = 1\text{ MHz}$ ; $V_R = 0$ ; see Fig.6		4	pF
$t_{rr}$	reverse recovery time	when switched from $I_F = 10\text{ mA}$ to $I_R = 60\text{ mA}$ ; $R_L = 100\ \Omega$ ; measured at $I_R = 1\text{ mA}$ ; see Fig.7		4	ns
$V_{FR}$	forward recovery voltage	when switched from $I_F = 50\text{ mA}$ ; $t_s = 20\text{ ns}$ ; see Fig.8	-	2.5	V

## THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th(j-p)}$	thermal resistance from junction to tie-point	lead length 10 mm	240	K/W
$R_{th(j-a)}$	thermal resistance from junction to ambient	lead length 10 mm; note 1	350	K/W

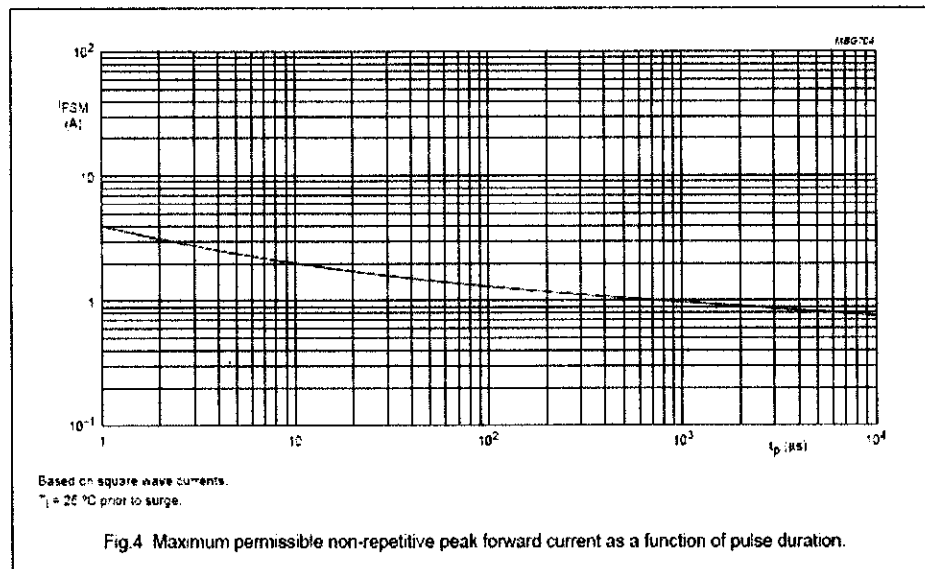
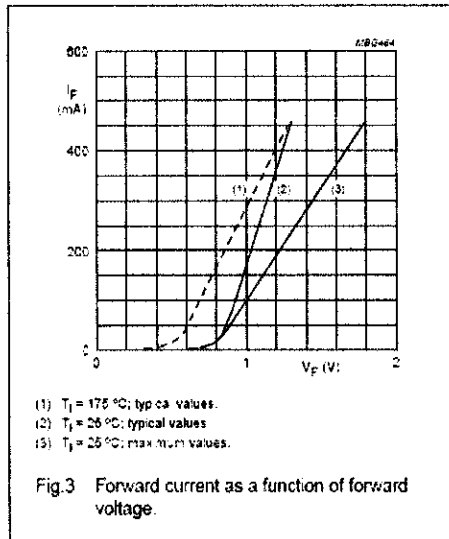
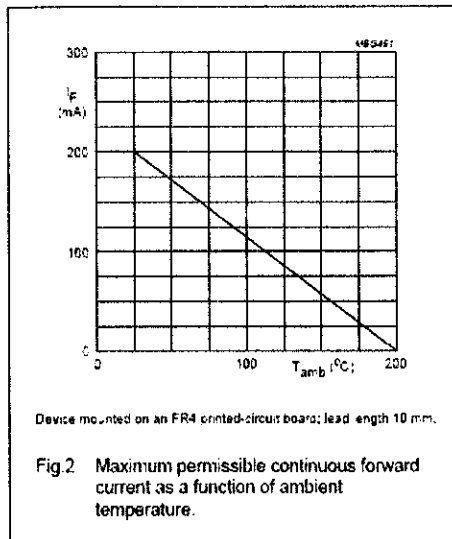
## Note

1. Device mounted on a printed circuit-board without metallization pad.

## High-speed diodes

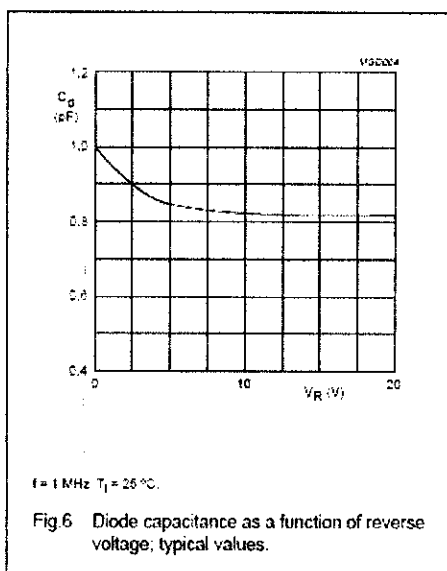
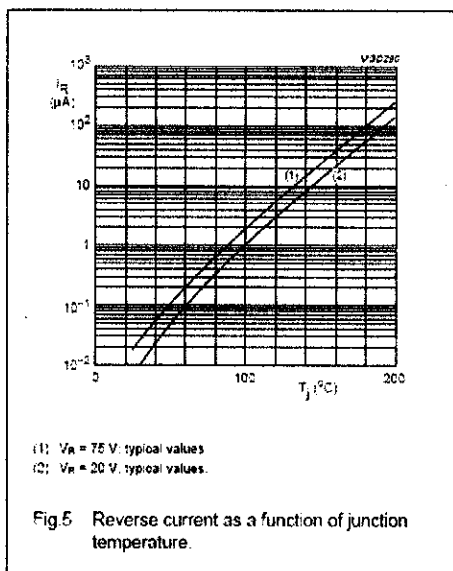
1N4148; 1N4448

## GRAPHICAL DATA



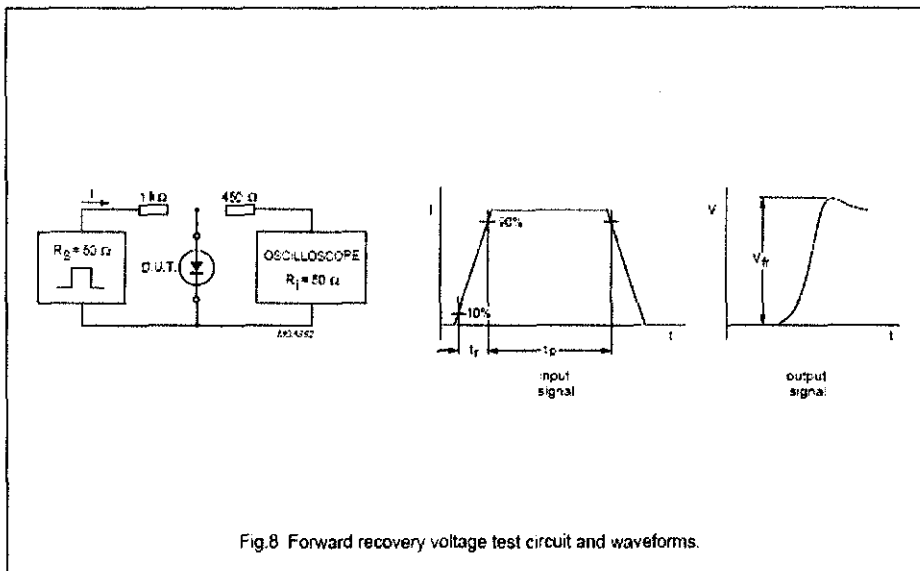
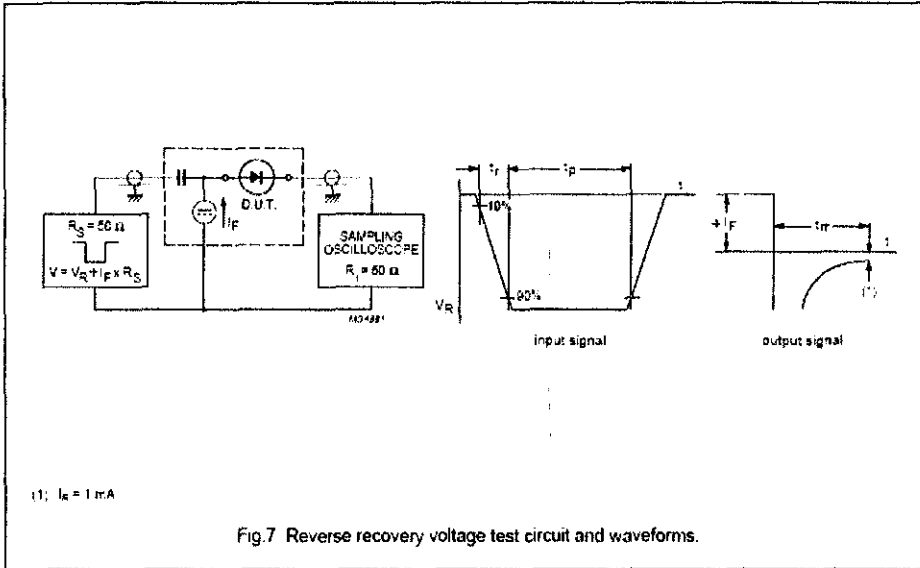
## High-speed diodes

1N4148; 1N4448



High-speed diodes

1N4148; 1N4448





## High-speed diodes

1N4148; 1N4448

## PACKAGE OUTLINE

Hermetically sealed glass package; axial leaded; 2 leads

SOD27



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	b max.	D max.	G <sub>1</sub> max.	L min.
mm	0.56	1.05	4.25	25.4

0 1 2 mm  
scale

## Note

1. The marking band indicates the cathode.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOD27	A24	DO-35	SC-40		97-08-09

## DEFINITIONS

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

## LIFE SUPPORT APPLICATIONS

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

## Philips Semiconductors – a worldwide company

### Argentina: see South America

Australia: 34 Watrillon Road, NORTH RYDE, NSW 2113  
Tel. +61 2 9806 4455, Fax. +61 2 2605 4466

Austria: Computerstr. 8, A-1101 WEN, P.O. Box 213  
Tel. +43 1 80 101 1245, Fax. +43 1 80 101 1210

Belarus: Hotel Minsk Business Center, Bld. 3, r. 1211, Volodarski Str. 8,  
220020 MINSK, Tel. +375 172 20 2733, Fax. +375 172 20 0775

### Belgium: see The Netherlands

### Brazil: see South America

Bulgaria: Philips Bulgaria Ltd., Energoprojekt, 15th floor,  
51 James Bourchier Blvd., 1407 SOF A  
Tel. +359 2 25 2211, Fax. +359 2 25 9102

Canada: PHILIPS SEMICONDUCTORS COMPONENTS,  
Tel. +1 800 234 7331, Fax. +1 800 943 0057

China/Hong Kong: 501 Hong Kong Industrial Technology Centre,  
72 Tat Chee Avenue, Kowloon Tong, HONG KONG.  
Tel. +852 2312 7888 Fax. +852 2319 7700

### Colombia: see South America

### Czech Republic: see Austria

Denmark: Sydhavnsgade 25, 1750 COPENHAGEN V,  
Tel. +45 33 29 3333, Fax. +45 33 29 3095

Finland: Sinkkosenie 5, FIN-02830 ESPOO,  
Tel. +358 9 216 800, Fax. +358 9 2168 0920

France: 61 Rue Carnot, BP317, 92168 SURESNES Cedex,  
Tel. +33 1 4099 8121, Fax. +33 1 4099 8427

Germany: Hammerbrookstraße 89, D-20067 HAMBURG,  
Tel. +49 40 2363 00, Fax. +49 40 2363 0300

### Hungary: see Austria

India: Philips INDIA Ltd., Bano Box Building, 2nd floor,  
254-C, Cr. Ann & Besant Road, Worli, MUMBAI 400 026,  
Tel. +91 22 493 8241, Fax. +91 22 493 0986

Indonesia: PT Philips Development Corporation, Semiconductors Division  
Sedung Philips, J. Buncu Raya Kav. 99-100, JAKARTA 12510  
Tel. +62 21 784 0040 ext. 2201, Fax. +62 21 784 0085

Ireland: Newstead, Clonskeagh, DUBLIN 14,  
Tel. +353 1 7640 020, Fax. +353 1 7640 200

Israel: RAPAC Electronics, 7 Kehilat Saloniki St., P.O. Box 18055,  
TEL AVIV 61180, Tel. +972 3 842 2444, Fax. +972 3 840 1007

Italy: PHILIPS SEMICONDUCTORS, Piazza IV Novembre 3,  
20124 MILANO, Tel. +39 02 67 82 2531, Fax. +39 02 67 82 2557

Japan: Philips Bldg 13-37, Kohrikan 2-chome, Minato-ku  
TOKYO 105-8507, Tel. +81 3 9740 5100, Fax. +81 3 3740 6057

Korea: Philips Korea, 280-109, Inwon-dong, Yongsan-ku, SEOUL  
Tel. +82 2 709 1412, Fax. +82 2 709 1415

Malaysia: No. 76 Jalan Universiti, 40200 PETALING JAYA, SELANGOR,  
Tel. +60 3 750 5214, Fax. +60 3 757 4880

Mexico: 6000 Gateway East, Suite 200, EL PASO TEXAS 79905,  
Tel. +9-5 800 234 7351, Fax. +9-5 800 943 0387

### Middle East: see Italy

Netherlands: Postbus 90050, 5200 PB EINDHOVEN Bldg. VB  
Tel. +31 40 27 82766 Fax. +31 40 27 55369

New Zealand: 2 Wagener Place, C.P.O. Box 1041, AUCKLAND,  
Tel. +64 9 649 4100, Fax. +64 9 649 7311

Norway: Box 1, Manglerud 0212 OSLO,  
Tel. +47 22 74 8000, Fax. +47 22 74 8341

### Pakistan: see Singapore

Philippines: Philips Semiconductors Philippines Inc.,  
100 Valero St. Salcedo Village, P.O. Box 2105 MGC, MAKATI,  
Metro-MANILA, Tel. +63 2 516 6250, Fax. +63 2 817 3474

Poland: Ul. Lukska 10, PL 04-123 WARSZAWA  
Tel. +48 22 612 2351, Fax. +48 22 612 2327

### Portugal: see Spain

### Romania: see Italy

Russia: Philips Russia, Ul. Usatcheva 35A, 110046 MOSCOW  
Tel. +7 095 755 6218, Fax. +7 095 755 6019

Singapore: Lorong 1, Toa Payoh, SINGAPORE 519762  
Tel. +65 360 2538 Fax. +65 251 2500

### Slovakia: see Austria

### Slovenia: see Italy

South Africa: S.A. PHILIPS Pty Ltd., 165-215 Main Road Martindale,  
2092 JOHANNESBURG, P.O. Box 58056 Newville 2114,  
Tel. +27 11 471 5401 Fax. +27 11 471 5398

South America: A. Vicente Pinzon, 172, 6th floor  
24647-130 SÃO PAULO, SP, Brazil,  
Tel. +55 11 821 2353 Fax. +55 11 821 2382

Spain: Balmes 22, 08007 BARCELONA,  
Tel. +34 93 301 0312, Fax. +34 93 301 4107

Sweden: Kottbygatan 7, Akalla, S-16485 STOCKHOLM,  
Tel. +40 8 6925 2200, Fax. +46 8 6925 2745

Switzerland: Almandstrasse 143, CH-8027 ZÜRICH  
Tel. +41 1 482 2741 Fax. +41 1 485 3263

Taiwan: Philips Semiconductors, 6F, No. 26, Chien Kuo N. Rd., Sec. 1,  
TAIPEI, Taiwan Tel. +886 2 2134 2886, Fax. +886 2 2134 2874

Thailand: PHILIPS ELECTRONICS (THAILAND) Ltd.,  
209/2 Sanpavuth-Bangna Road Prakanong, BANGKOK 10220,  
Tel. +66 2 745 4090, Fax. +66 2 388 0789

Turkey: Yukari Dudulu, Org. San. Bg., 2 Cad. No. 25 61260 Ümraniye,  
İSTANBUL, Tel. +90 216 522 1600, Fax. +90 216 522 1513

Ukraine: PHILIPS UKRAINE, 4 Farica Lomonosova str., Building 5, Floor 7,  
262042 KIEV, Tel. +380 44 264 2776, Fax. +380 44 269 0461

United Kingdom: Philips Semiconductors Ltd., 278 Bath Road, Hayes  
MIDDLESEX UB9 8BX, Tel. +44 181 730 5000, Fax. +44 181 754 8421

United States: 811 East Arques Avenue, SUNNYVALE, CA 94085-3400,  
Tel. +1 800 234 7351, Fax. +1 800 945 0087

### Uruguay: see South America

### Vietnam: see Singapore

Yugoslavia: PHILIPS, Trg N. Pasic 5V, 11000 BEOGRAD,  
Tel. +381 11 62 8344 Fax. +381 11 83 5777

For all other countries apply to: Philips Semiconductors,  
International Marketing & Sales Communications, Building BE-p, P.O. Box 218,  
5000 MD EINDHOVEN, The Netherlands. Fax. +31 40 27 24825

Internet: <http://www.semiconductors.philips.com>

© Philips Electronics N.V. 1992

3CA65

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other intellectual or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands

1-652223ppp

Date of release: 1992 May 28

Document order number: 9397 760 2592

*Let's make things better.*

**Philips  
Semiconductors**



**PHILIPS**

# LM2904, LM358/LM358A, LM258/ LM258A

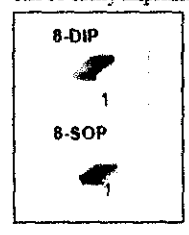
## Dual Operational Amplifier

### Features

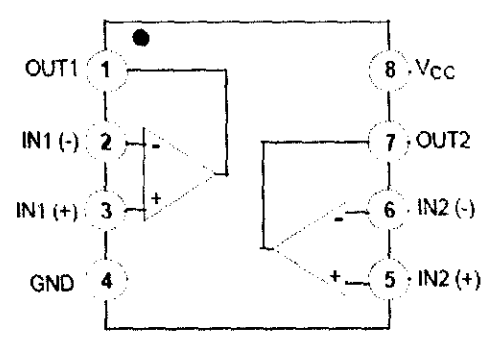
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100dB
- Wide Power Supply Range  
LM258/LM258A, LM358/LM358A: 3V-32V (or ±1.5V ~ 16V)  
LM2904: 3V-26V (or ±1.5V ~ 13V)
- Input Common Mode Voltage Range Includes Ground
- Large Output Voltage Swing: 0V DC to Vcc -1.5V DC
- Power Drain Suitable for Battery Operation

### Description

The LM2904, LM358, LM358A, LM258, LM258A consist of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltage. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP-AMP circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.



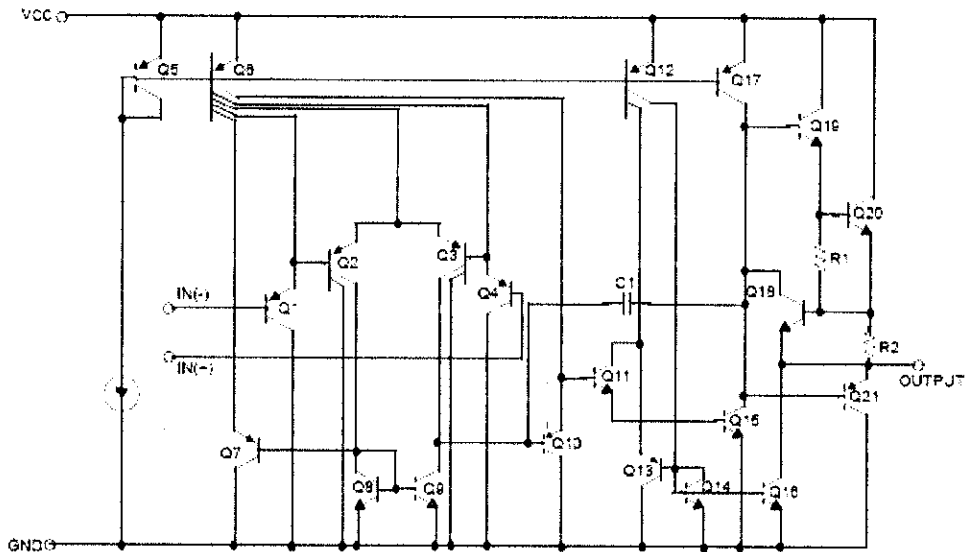
### Internal Block Diagram



LM2904, LM358/LM358A, LM258/LM258A

## Schematic Diagram

(One section only)



## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	LM258/LM258A	LM358/LM358A	LM2904	Unit
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	±16 or 32	±16 or 32	±13 or 26	V
Differential Input Voltage	V <sub>I(DIFF)</sub>	32	32	26	V
Input Voltage	V <sub>I</sub>	-0.3 to +32	-0.3 to +32	-0.3 to +26	V
Output Short Circuit to GND V <sub>CC</sub> ≤ 15V, T <sub>A</sub> = 25°C (One Amp)	-	Continuous	Continuous	Continuous	-
Operating Temperature Range	T <sub>OPR</sub>	-25 ~ +85	0 ~ +70	-40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	T <sub>STG</sub>	-65 ~ +150	-65 ~ +150	-65 ~ +150	°C

**Electrical Characteristics**(V<sub>CC</sub> = 5.0V, V<sub>EE</sub> = GND, T<sub>A</sub> = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM258			LM358			LM2904			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V <sub>IO</sub>	V <sub>CM</sub> = 0V to V <sub>CC</sub> -1.5V V <sub>O(P)</sub> = 1.4V, R <sub>S</sub> = 0Ω	-	2.9	5.0	-	2.9	7.0	-	2.9	7.0	mV	
Input Offset Current	I <sub>IO</sub>	-	-	3	30	-	5	50	-	5	50	nA	
Input Bias Current	I <sub>BIAS</sub>	-	-	45	150	-	45	250	-	45	250	nA	
Input Voltage Range	V <sub>I(R)</sub>	V <sub>CC</sub> = 30V (LM2904, V <sub>CC</sub> = 26V)	0	-	V <sub>CC</sub> -1.5	0	-	V <sub>CC</sub> -1.5	0	-	V <sub>CC</sub> -1.5	V	
Supply Current	I <sub>CC</sub>	R <sub>L</sub> = ∞, V <sub>CC</sub> = 30V (LM2904, V <sub>CC</sub> = 26V)	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	mA	
		R <sub>L</sub> = ∞, V <sub>CC</sub> = 5V	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	mA	
Large Signal Voltage Gain	G <sub>V</sub>	V <sub>CC</sub> = 15V, R <sub>L</sub> = 2kΩ V <sub>O(P)</sub> = 1V to 11V	50	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV	
Output Voltage Swing	V <sub>O(H)</sub>	V <sub>CC</sub> = 30V (V <sub>CC</sub> = 26V for LM2904)	R <sub>L</sub> = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
		R <sub>L</sub> = 10kΩ	27	28	-	27	28	-	23	24	-	-	V
	V <sub>O(L)</sub>	V <sub>CC</sub> = 5V, R <sub>L</sub> = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	-	5	20	mV	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	80	-	50	80	-	dB	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	dB	
Channel Separation	CS	f = 1kHz to 20kHz (Note 1)	-	120	-	-	120	-	-	120	-	dB	
Short Circuit to GND	I <sub>SC</sub>	-	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA	
Output Current	I <sub>SOURCE</sub>	V <sub>I(+)</sub> = 1V, V <sub>I(-)</sub> = 0V, V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	20	30	-	20	30	-	20	30	-	mA	
			V <sub>I(+)</sub> = 0V, V <sub>I(-)</sub> = 1V, V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	10	15	-	10	15	-	10	15	-	mA
	I <sub>SINK</sub>	V <sub>I(+)</sub> = 0V, V <sub>I(-)</sub> = 1V, V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 200mV	12	100	-	12	100	-	-	-	-	μA	
Differential Input Voltage	V <sub>I(DIFF)</sub>	-	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	V	

**Note:**

1. This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production.

LM2904, LM358, LM358A, LM258, LM258A

**Electrical Characteristics** (Continued)(V<sub>CC</sub> = 5.0V, V<sub>EE</sub> = GND, unless otherwise specified)The following specifications apply over the range of -25°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +85°C for the LM258; and the 0°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +70°C for the LM358; and the -40°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +85°C for the LM2904

Parameter	Symbol	Conditions	LM258			LM358			LM2904			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V <sub>IO</sub>	V <sub>CM</sub> = 0V to V <sub>CC</sub> - 1.5V V <sub>O(P)</sub> = 1.4V, R <sub>S</sub> = 0Ω	-	-	7.0	-	-	9.0	-	-	10.0	mV
Input Offset Voltage Drift	ΔV <sub>IO</sub> /ΔT	R <sub>S</sub> = 0Ω	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	μV/°C
Input Offset Current	I <sub>IO</sub>	-	-	-	100	-	-	150	-	45	200	nA
Input Offset Current Drift	ΔI <sub>IO</sub> /ΔT	-	-	10	-	-	10	-	-	10	-	pA/°C
Input Bias Current	I <sub>BIAS</sub>	-	-	40	300	-	40	500	-	40	500	nA
Input Voltage Range	V <sub>I(R)</sub>	V <sub>CC</sub> = 30V (LM2904, V <sub>CC</sub> = 26V)	0	-	V <sub>CC</sub> - 2.0	0	-	V <sub>CC</sub> - 2.0	0	-	V <sub>CC</sub> - 2.0	V
Large Signal Voltage Gain	G <sub>V</sub>	V <sub>CC</sub> = 15V, R <sub>L</sub> = 2.0kΩ V <sub>O(P)</sub> = 1V to 11V	25	-	-	15	-	-	15	-	-	V/mV
Output Voltage Swing	V <sub>O(H)</sub>	V <sub>CC</sub> = 30V (V <sub>CC</sub> = 26V for LM2904) R <sub>L</sub> = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
		R <sub>L</sub> = 10kΩ	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	V <sub>O(L)</sub>	V <sub>CC</sub> = 5V, R <sub>L</sub> = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	-	5	20	mV
Output Current	I <sub>SOURCE</sub>	V <sub>I(-)</sub> = 1V, V <sub>I(+)</sub> = 0V V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	10	30	-	10	30	-	10	30	-	mA
	I <sub>SINK</sub>	V <sub>I(-)</sub> = 0V, V <sub>I(+)</sub> = 1V V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	5	8	-	5	9	-	5	9	-	mA
Differential Input Voltage	V <sub>I(DIFF)</sub>	-	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	V

LM2904, LM358/LM358A, LM258/LM258A

**Electrical Characteristics** (Continued)(V<sub>CC</sub> = 5.0V, V<sub>EE</sub> = GND, T<sub>A</sub> = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM258A			LM358A			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V <sub>IO</sub>	V <sub>CM</sub> = 0V to V <sub>CC</sub> - 1.5V V <sub>O(P)</sub> = 1.4V, R <sub>S</sub> = 0Ω	-	1.0	3.0	-	2.0	3.0	mV	
Input Offset Current	I <sub>IO</sub>	-	-	2	15	-	5	30	nA	
Input Bias Current	I <sub>BIAS</sub>	-	-	40	80	-	45	100	nA	
Input Voltage Range	V <sub>I(R)</sub>	V <sub>CC</sub> = 30V	0	-	V <sub>CC</sub> -1.5	0	-	V <sub>CC</sub> -1.5	V	
Supply Current	I <sub>CC</sub>	R <sub>L</sub> = ∞, V <sub>CC</sub> = 30V	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	mA	
		R <sub>L</sub> = ∞, V <sub>CC</sub> = 5V	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	mA	
Large Signal Voltage Gain	G <sub>V</sub>	V <sub>CC</sub> = 15V, R <sub>L</sub> = 2kΩ V <sub>O</sub> = 1V to 11V	50	100	-	25	100	-	V/mV	
Output Voltage Swing	V <sub>OH</sub>	V <sub>CC</sub> = 30V	R <sub>L</sub> = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	V
			R <sub>L</sub> = 10kΩ	27	28	-	27	28	-	V
	V <sub>OL</sub>	V <sub>CC</sub> = 5V, R <sub>L</sub> = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	mV	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	85	-	dB	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	dB	
Channel Separation	CS	f = 1kHz to 20kHz (Note 1)	-	120	-	-	120	-	dB	
Short Circuit to GND	I <sub>SC</sub>	-	-	40	60	-	40	60	mA	
Output Current	I <sub>SOURCE</sub>	V <sub>I(+)</sub> = 1V, V <sub>I(-)</sub> = 0V V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	20	30	-	20	30	-	mA	
		V <sub>I(+)</sub> = 1V, V <sub>I(-)</sub> = 0V V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	10	15	-	10	15	-	mA	
	I <sub>SINK</sub>	V <sub>IN(+)</sub> = 0V, V <sub>IN(-)</sub> = 1V V <sub>O(P)</sub> = 200mV	12	100	-	12	100	-	μA	
Differential Input Voltage	V <sub>I(DIFF)</sub>	-	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	V	

**Note:**

1. This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production.

LM2904, LM358/LM358A, LM258/LM258A

**Electrical Characteristics** (Continued)(V<sub>CC</sub> = 5.0V, V<sub>EE</sub> = GND, unless otherwise specified)The following specifications apply over the range of -25°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +85°C for the LM258A; and the 0°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +70°C for the LM358A

Parameter	Symbol	Conditions	LM258A			LM358A			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V <sub>IO</sub>	V <sub>CM</sub> = 0V to V <sub>CC</sub> - 1.5V V <sub>O(P)</sub> = 1.4V, R <sub>S</sub> = 0Ω	-	-	4.0	-	-	5.0	mV	
Input Offset Voltage Drift	ΔV <sub>IO</sub> /ΔT	-	-	7.0	15	-	7.0	20	μV/°C	
Input Offset Current	I <sub>IO</sub>	-	-	-	30	-	-	75	nA	
Input Offset Current Drift	ΔI <sub>IO</sub> /ΔT	-	-	10	200	-	10	300	pA/°C	
Input Bias Current	I <sub>BIAS</sub>	-	-	40	100	-	40	200	nA	
Input Common-Mode Voltage Range	V <sub>I(R)</sub>	V <sub>CC</sub> = 30V	0	-	V <sub>CC</sub> - 2.0	0	-	V <sub>CC</sub> - 2.0	V	
Output Voltage Swing	V <sub>O(H)</sub>	V <sub>CC</sub> = 30V	R <sub>L</sub> = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	V
			R <sub>L</sub> = 10kΩ	27	28	-	27	28	-	V
	V <sub>O(L)</sub>	V <sub>CC</sub> = 5V, R <sub>L</sub> = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	mV	
Large Signal Voltage Gain	G <sub>V</sub>	V <sub>CC</sub> = 15V, R <sub>L</sub> = 2.0kΩ V <sub>O(P)</sub> = 1V to 11V	25	-	-	15	-	-	V/mV	
Output Current	I <sub>SOURCE</sub>	V <sub>I(+)</sub> = 1V, V <sub>I(-)</sub> = 0V V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	10	30	-	10	30	-	mA	
	I <sub>SINK</sub>	V <sub>I(-)</sub> = 1V, V <sub>I(+)</sub> = 0V V <sub>CC</sub> = 15V, V <sub>O(P)</sub> = 2V	5	9	-	5	9	-	mA	
Differential Input Voltage	V <sub>I(DIFF)</sub>	-	-	-	V <sub>CC</sub>	-	-	V <sub>CC</sub>	V	



Typical Performance Characteristics

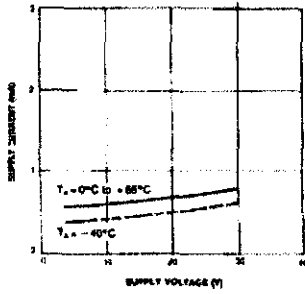


Figure 1. Supply Current vs Supply Voltage

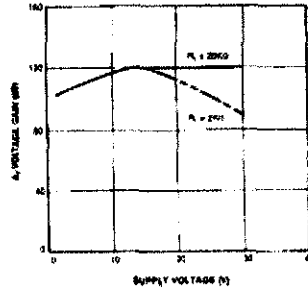


Figure 2. Voltage Gain vs Supply Voltage

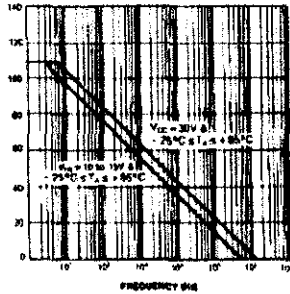


Figure 3. Open Loop Frequency Response

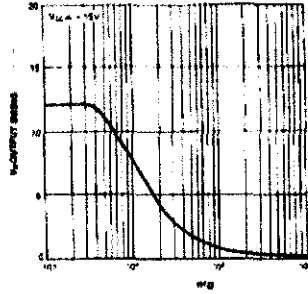


Figure 4. Large Signal Output Swing vs Frequency

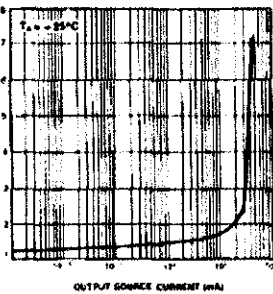


Figure 5. Output Characteristics vs Current Sourcing

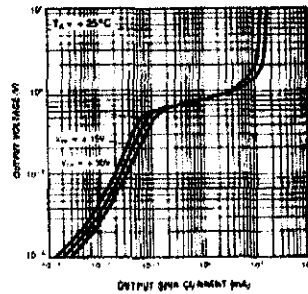


Figure 6. Output Characteristics vs Current Sinking

Typical Performance Characteristics (Continued)

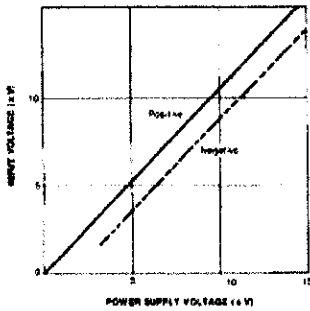


Figure 7. Input Voltage Range vs Supply Voltage

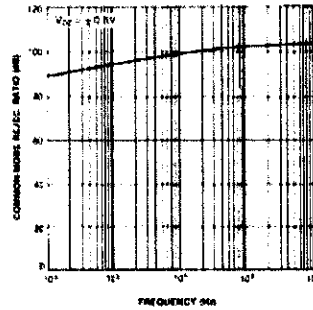


Figure 8. Common-Mode Rejection Ratio

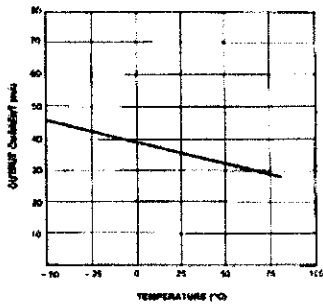


Figure 9. Output Current vs Temperature (Current Limiting)

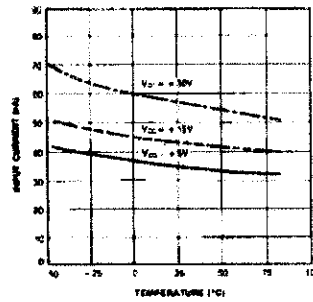


Figure 10. Input Current vs Temperature

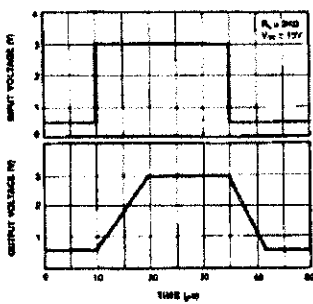


Figure 11. Voltage Follower Pulse Response

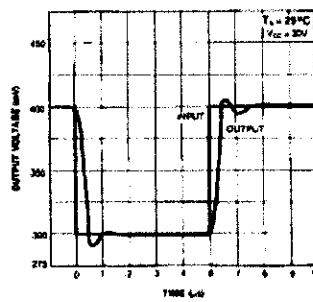


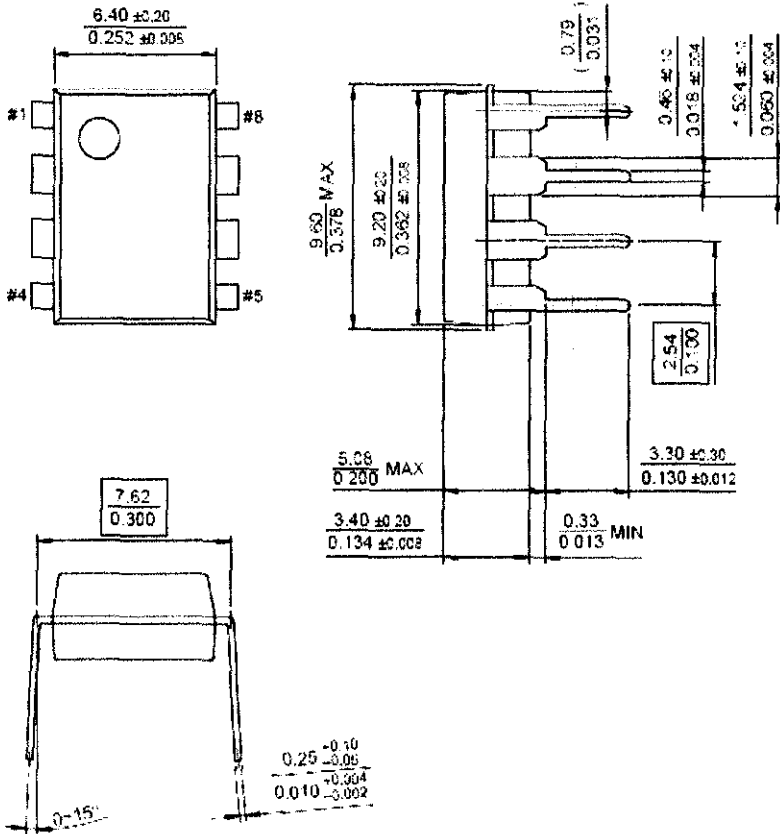
Figure 12. Voltage Follower Pulse Response (Small Signal)

Mechanical Dimensions

Package

Dimensions in millimeters

8-DIP





LM2904, LM359/LM358A, LM258/LM258A

**Ordering Information**

Product Number	Package	Operating Temperature
LM358N	8-DIP	0 ~ +70°C
LM358AN		
LM358M	8-SOP	
LM358AM		
LM2904N	8-DIP	-40 ~ +85°C
LM2904M	8-SOP	
LM258N	8-DIP	-25 ~ +85°C
LM258AN		
LM258M	8-SOP	
LM258AM		

LM2904, LM358/LM358A, LM258/LM258A

#### DISCLAIMER

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

#### LIFE SUPPORT POLICY

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

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

[www.fairchildsemi.com](http://www.fairchildsemi.com)

**MOTOROLA**  
**SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA**

 Order this document  
 by 4N38/D

**6-Pin DIP Optoisolators**  
**Transistor Output**

The 4N38 and 4N38A<sup>(1)</sup> devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Guaranteed 80 Volt Collector-to-Emitter Breakdown ((BR)CEO) Minimum
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- *To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.*

**Applications**

- General Purpose Switching Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedances
- Monitor and Detection Circuits

**MAXIMUM RATINGS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
<b>INPUT LED</b>			
Reverse Voltage	$V_R$	3	Volts
Forward Current — Continuous	$I_F$	80	mA
Forward Current — PK ( $PW = 300 \mu\text{s}$ , 2% duty cycle)	$I_F(\text{pk})$	3	A
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Output Detector	$P_D$	150	mW
Derate above $25^\circ\text{C}$		1.41	mW/ $^\circ\text{C}$
<b>OUTPUT TRANSISTOR</b>			
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	80	Volts
Emitter-Collector Voltage	$V_{ECO}$	7	Volts
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	80	Volts
Collector Current — Continuous	$I_C$	100	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Input LED	$P_D$	150	mW
Derate above $25^\circ\text{C}$		1.76	mW/ $^\circ\text{C}$

**TOTAL DEVICE**

Isolation Surge Voltage <sup>(2)</sup> (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	$V_{ISO}$	7500	$V_{ac}(\text{pk})$
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	250 2.94	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range <sup>(3)</sup>	$T_A$	-55 to +100	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range <sup>(3)</sup>	$T_{stg}$	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	$T_L$	260	$^\circ\text{C}$

1. 4N38 does not require UL approval. 4N38A does. Otherwise both parts are identical. Both parts built by Motorola have UL approval.
2. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
3. Refer to Quality and Reliability Section in Coto Data Book for information on test conditions.

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

Global Optoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

REV 2

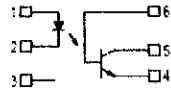
© Motorola, Inc. 1995

**4N38**  
**4N38A\***  
 [CTR = 20% Min]

\*Motorola Preferred Device

**STYLE 1 PLASTIC**

**STANDARD THRU HOLE**  
 CASE 730A-04

**SCHEMATIC**


- PIN 1. LED ANODE  
 2. LED CATHODE  
 3. N.C.  
 4. EMITTER  
 5. COLLECTOR  
 6. BASE

**MOTOROLA**

**4N38 4N38A****ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)<sup>(1)</sup>

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>INPUT LED</b>					
Forward Voltage ( $I_F = 10\text{ mA}$ )	$V_F$	—	1.15 1.3 1.05	1.5	Volts
Reverse Leakage Current ( $V_R = 3\text{ V}$ )	$I_R$	—	—	100	$\mu\text{A}$
Capacitance ( $V = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ )	$C_J$	—	18	—	pF
<b>OUTPUT TRANSISTOR</b>					
Collector-Emitter Dark Current	$I_{CEO}$	—	20	50	nA
		—	6	—	$\mu\text{A}$
Collector-Base Dark Current ( $V_{CB} = 60\text{ V}$ )	$I_{CBO}$	—	2	20	nA
Collector-Emitter Breakdown Voltage ( $I_C = 1\text{ mA}$ )	$V_{(BR)CEO}$	80	120	—	Volts
Collector-Base Breakdown Voltage ( $I_C = 1\text{ }\mu\text{A}$ )	$V_{(BR)CBO}$	80	120	—	Volts
Emitter-Collector Breakdown Voltage ( $I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$ )	$V_{(BR)ECO}$	7	7.6	—	Volts
DC Current Gain ( $I_C = 2\text{ mA}$ , $V_{CE} = 5\text{ V}$ )	$h_{FE}$	—	400	—	—
Collector-Emitter Capacitance ( $f = 1\text{ MHz}$ , $V_{CE} = 0$ )	$C_{CE}$	—	8	—	pF
Collector-Base Capacitance ( $f = 1\text{ MHz}$ , $V_{CB} = 0$ )	$C_{CB}$	—	21	—	pF
Emitter-Base Capacitance ( $f = 1\text{ MHz}$ , $V_{EB} = 0$ )	$C_{EB}$	—	8	—	pF
<b>COUPLED</b>					
Output Collector Current ( $I_F = 20\text{ mA}$ , $V_{CE} = 1\text{ V}$ )	$I_C$ (CTR) <sup>(2)</sup>	4 (20)	7 (35)	—	mA (%)
Collector-Emitter Saturation Voltage ( $I_C = 4\text{ mA}$ , $I_F = 20\text{ mA}$ )	$V_{CE(sat)}$	—	—	1	Volts
Turn-On Time ( $I_C = 2\text{ mA}$ , $V_{CC} = 10\text{ V}$ , $R_L = 100\text{ }\Omega$ ) <sup>(3)</sup>	$t_{on}$	—	5	—	$\mu\text{s}$
Turn-Off Time ( $I_C = 2\text{ mA}$ , $V_{CC} = 10\text{ V}$ , $R_L = 100\text{ }\Omega$ ) <sup>(3)</sup>	$t_{off}$	—	4	—	$\mu\text{s}$
Rise Time ( $I_C = 2\text{ mA}$ , $V_{CC} = 10\text{ V}$ , $R_L = 100\text{ }\Omega$ ) <sup>(3)</sup>	$t_r$	—	2	—	$\mu\text{s}$
Fall Time ( $I_C = 2\text{ mA}$ , $V_{CC} = 10\text{ V}$ , $R_L = 100\text{ }\Omega$ ) <sup>(3)</sup>	$t_f$	—	3	—	$\mu\text{s}$
Isolation Voltage ( $f = 60\text{ Hz}$ , $t = 1\text{ sec}$ ) <sup>(4)</sup>	$V_{ISO}$	7500	—	—	Vac(pk)
Isolation Resistance ( $V = 500\text{ V}$ ) <sup>(4)</sup>	$R_{ISO}$	$10^{11}$	—	—	$\Omega$
Isolation Capacitance ( $V = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ ) <sup>(4)</sup>	$C_{ISO}$	—	0.2	—	pF

- Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).
- Current Transfer Ratio (CTR) =  $I_C/I_F \times 100\%$ .
- For test circuit setup and waveforms, refer to Figure 11.
- For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

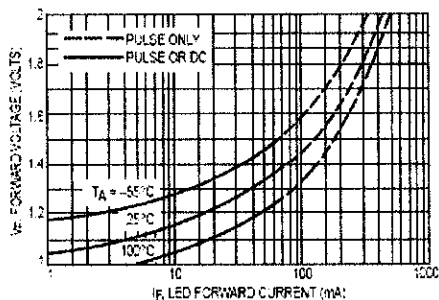
**TYPICAL CHARACTERISTICS**

Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

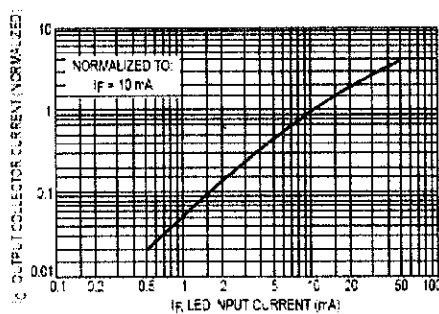


Figure 2. Output Current versus Input Current



4N38 4N38A

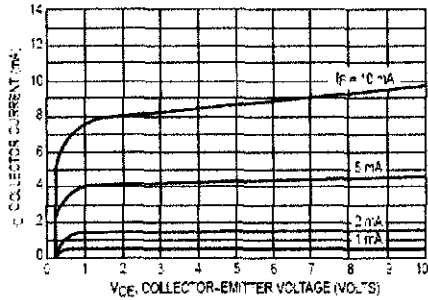


Figure 3. Collector Current versus Collector-Emitter Voltage

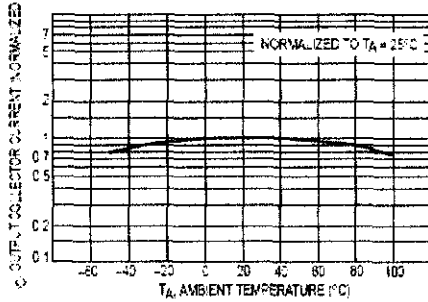


Figure 4. Output Current versus Ambient Temperature

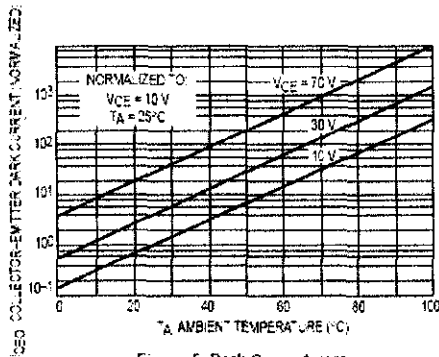


Figure 5. Dark Current versus Ambient Temperature

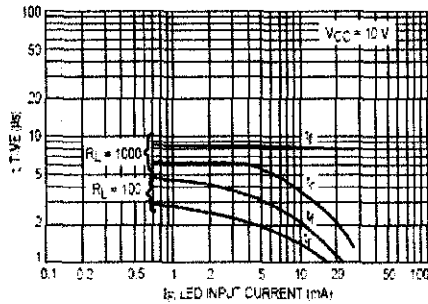


Figure 6. Rise and Fall Times (Typical Values)

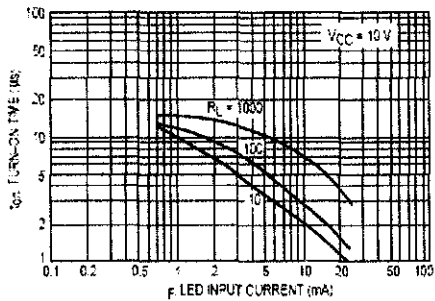


Figure 7. Turn-On Switching Times (Typical Values)

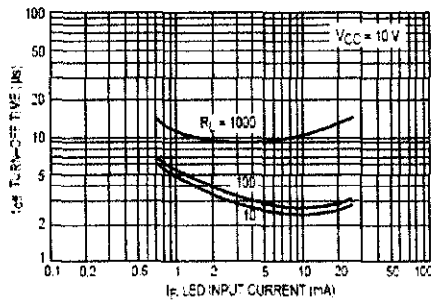


Figure 8. Turn-Off Switching Times (Typical Values)

**4N38 4N38A**

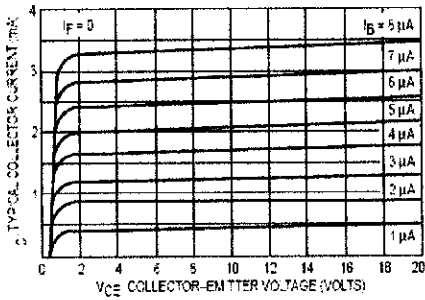


Figure 9. DC Current Gain (Detector Only)

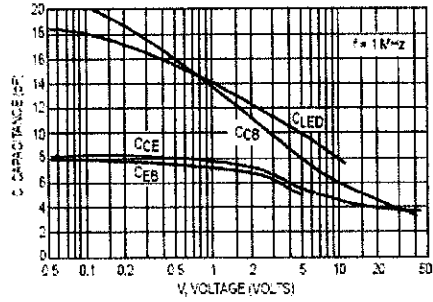


Figure 10. Capacitances versus Voltage

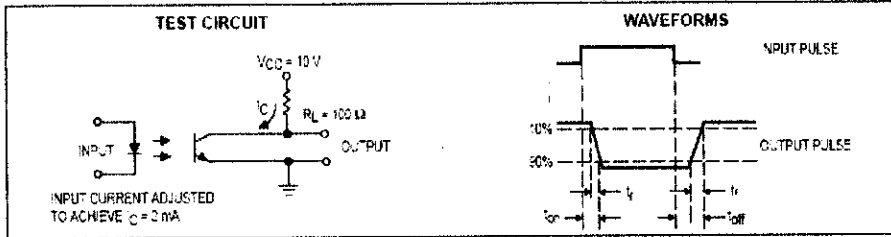
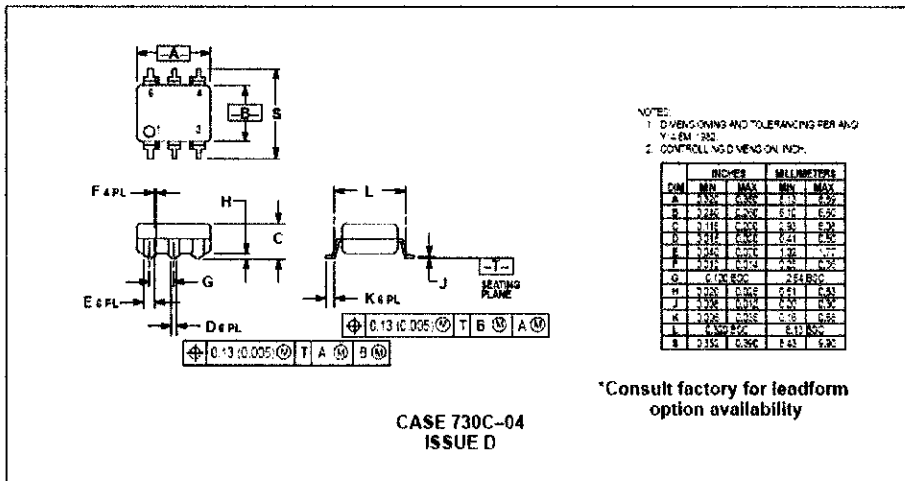
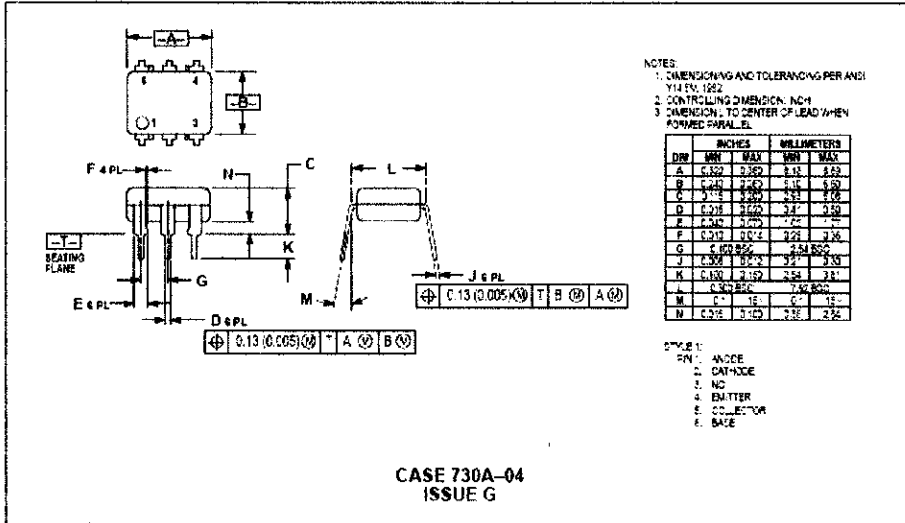


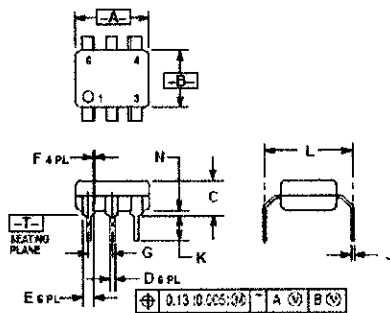
Figure 11. Switching Time Test Circuit and Waveforms

4N38 4N38A

PACKAGE DIMENSIONS



## 4N38 4N38A



- NOTES  
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1995.  
 2. CONTROLLING DIMENSION INCH.  
 3. DIMENSIONS TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.325	0.335	8.28	8.51
B	0.245	0.255	6.23	6.48
C	0.215	0.225	5.47	5.71
D	0.215	0.225	5.47	5.71
E	0.245	0.255	6.23	6.48
F	0.215	0.225	5.47	5.71
G	0.125	0.135	3.18	3.43
H	0.200	0.210	5.08	5.33
I	0.200	0.210	5.08	5.33
J	0.200	0.210	5.08	5.33
K	0.200	0.210	5.08	5.33
L	0.200	0.210	5.08	5.33
M	0.215	0.225	5.47	5.71

\*Consult factory for leadform option availability

CASE 730D-05  
 ISSUE D

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products hereon. 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 can and do vary in different applications. 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 (M) are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

## How to reach us:

USA/EUROPE: Motorola Literature Distribution,  
 P.O. Box 23512, Phoenix, Arizona 85038 1-800-441-2447

JAPAN: Nissan Motorola Ltd., Tatsunuma-SPD-JLDC, Toshikats, Otsuki,  
 6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsunuma-Kocho, Tokyo 356, Japan. 03-3521-2316

MFAX: RMFAXQ@emsl.sps.mot.com - TOLL-CO\*ONE (800) 244-8600  
 INTERNET: http://Des ign-NET.com

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd., 8B Tai Ping Industrial Park,  
 61 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26522288



4N38/D



Philips Semiconductors

Product specification

## N-channel enhancement mode TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

### GENERAL DESCRIPTION

N-channel enhancement mode standard level field-effect power transistor in a plastic envelope using 'trench' technology. The device features very low on-state resistance and has integral zener diodes giving ESD protection up to 2kV. It is intended for use in switched mode power supplies and general purpose switching applications.

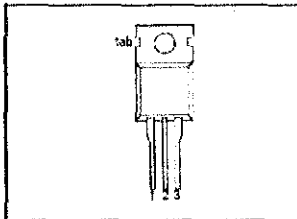
### QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	UNIT
$V_{DS}$	Drain-source voltage	55	V
$I_D$	Drain current (DC)	49	A
$P_{tot}$	Total power dissipation	110	W
$T_J$	Junction temperature	175	°C
$R_{DS(on)}$	Drain-source on-state resistance $V_{GS} = 10\text{ V}$	22	mΩ

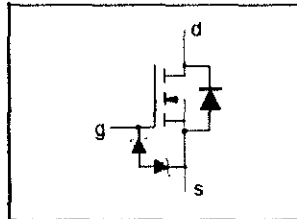
### PINNING - TO220AB

PIN	DESCRIPTION
1	gate
2	drain
3	source
tab	drain

### PIN CONFIGURATION



### SYMBOL



### LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{DS}$	Drain-source voltage	-	-	55	V
$V_{DGS}$	Drain-gate voltage	$R_{DS} = 20\text{ k}\Omega$	-	55	V
$\pm V_{GS}$	Gate-source voltage	-	-	20	V
$I_D$	Drain current (DC)	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	49	A
$I_D$	Drain current (DC)	$T_{mb} = 100\text{ }^\circ\text{C}$	-	35	A
$I_{DM}$	Drain current (pulse peak value)	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	160	A
$P_{tot}$	Total power dissipation	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	110	W
$T_{stg}, T_J$	Storage & operating temperature	-	-55	175	°C

### ESD LIMITING VALUE

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_C$	Electrostatic discharge capacitor voltage, all pins	Human body model (100 pF, 1.5 kΩ)	-	2	kV

### THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{\theta(j-c)}$	Thermal resistance junction to mounting base	-	-	1.4	K/W
$R_{\theta(j-a)}$	Thermal resistance junction to ambient	in free air	60	-	K/W

Philips Semiconductors

Product specification

**N-channel enhancement mode  
TrenchMOS™ transistor**
**IRFZ44N****STATIC CHARACTERISTICS** $T_J = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_{(BR)DSS}$	Drain-source breakdown voltage	$V_{GS} = 0\text{ V}; I_D = 0.25\text{ mA}; T_J = -55^\circ\text{C}$	55	-	-	V
$V_{GS(th)}$	Gate threshold voltage	$V_{DS} = V_{GS}; I_D = 1\text{ mA}; T_J = 175^\circ\text{C}$	2.0	3.0	4.0	V
		$T_J = -55^\circ\text{C}$	1.0	-	-	V
$I_{DSS}$	Zero gate voltage drain current	$V_{DS} = 55\text{ V}; V_{GS} = 0\text{ V}; T_J = 175^\circ\text{C}$	-	0.05	10	$\mu\text{A}$
$I_{SS}$	Gate source leakage current	$V_{GS} = \pm 10\text{ V}; V_{DS} = 0\text{ V}; T_J = 175^\circ\text{C}$	-	0.04	1	$\mu\text{A}$
$\pm V_{(BR)SS}$	Gate source breakdown voltage	$I_D = \pm 1\text{ mA}; T_J = 175^\circ\text{C}$	16	-	-	V
$R_{DS(on)}$	Drain-source on-state resistance	$V_{GS} = 10\text{ V}; I_D = 25\text{ A}; T_J = 175^\circ\text{C}$	-	15	22	$\text{m}\Omega$
			-	-	42	$\text{m}\Omega$

**DYNAMIC CHARACTERISTICS** $T_{JRC} = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$g_s$	Forward transconductance	$V_{DS} = 25\text{ V}; I_D = 25\text{ A}$	6	-	-	S
$C_{iss}$	Input capacitance	$V_{GS} = 0\text{ V}; V_{DS} = 25\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	-	1350	1800	pF
$C_{oss}$	Output capacitance		-	330	400	pF
$C_{fss}$	Feedback capacitance		-	155	215	pF
$Q_g$	Total gate charge	$V_{DS} = 44\text{ V}; I_D = 50\text{ A}; V_{GS} = 10\text{ V}$	-	-	62	nC
$Q_{gs}$	Gate-source charge		-	-	15	nC
$Q_{gd}$	Gate-drain (miller) charge		-	-	26	nC
$t_{don}$	Turn-on delay time	$V_{DS} = 30\text{ V}; I_D = 25\text{ A}; V_{GS} = 10\text{ V}; R_G = 10\ \Omega$	-	18	26	ns
$t_r$	Turn-on rise time		-	50	75	ns
$t_{doff}$	Turn-off delay time	Resistive load	-	40	50	ns
$t_f$	Turn-off fall time		-	30	40	ns
$L_d$	Internal drain inductance	Measured from contact screw on tab to centre of die	-	3.5	-	nH
$L_d$	Internal drain inductance	Measured from drain lead 6 mm from package to centre of die	-	4.5	-	nH
$L_s$	Internal source inductance	Measured from source lead 6 mm from package to source bond pad	-	7.5	-	nH

**REVERSE DIODE LIMITING VALUES AND CHARACTERISTICS** $T_J = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified

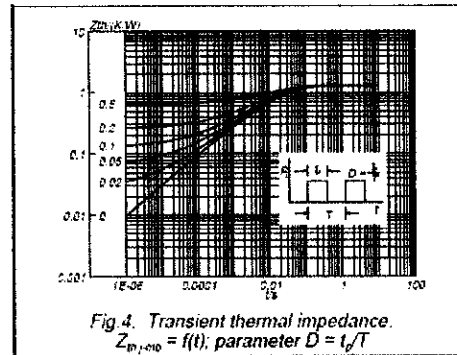
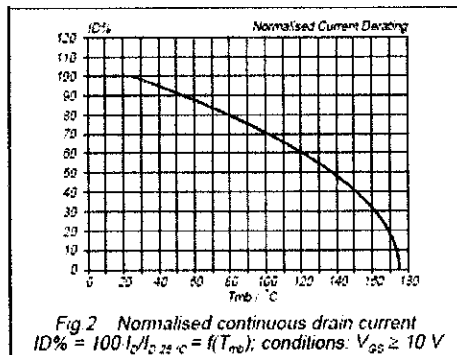
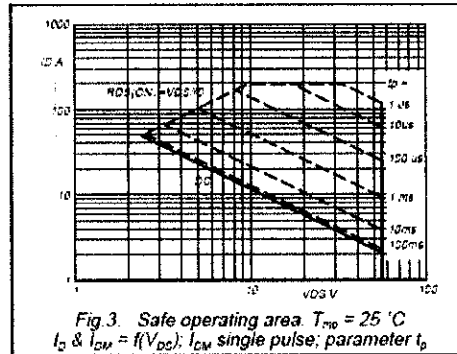
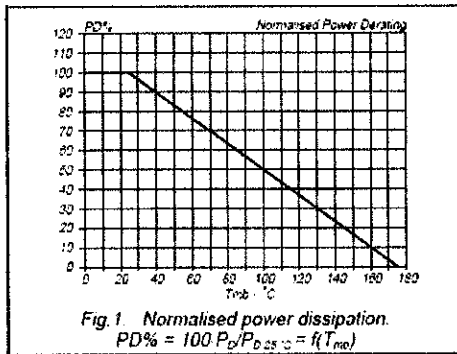
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$I_{DRM}$	Continuous reverse drain current		-	-	49	A
$I_{DRM}$	Pulsed reverse drain current		-	-	160	A
$V_{SD}$	Diode forward voltage	$I_F = 25\text{ A}; V_{GS} = 0\text{ V}$	-	0.95	1.2	V
		$I_F = 40\text{ A}; V_{GS} = 0\text{ V}$	-	1.0	-	
$t_r$	Reverse recovery time	$I_F = 40\text{ A}; -dI_F/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}; V_{GS} = -10\text{ V}; V_R = 30\text{ V}$	-	47	-	ns
$Q_{rr}$	Reverse recovery charge		-	0.15	-	$\mu\text{C}$

N-channel enhancement mode  
TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

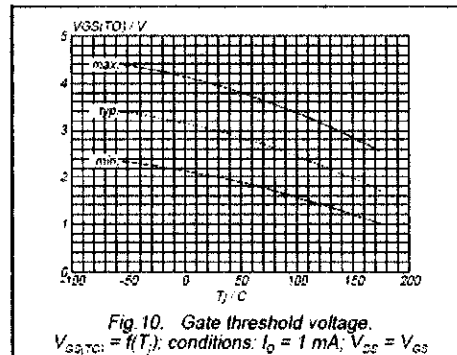
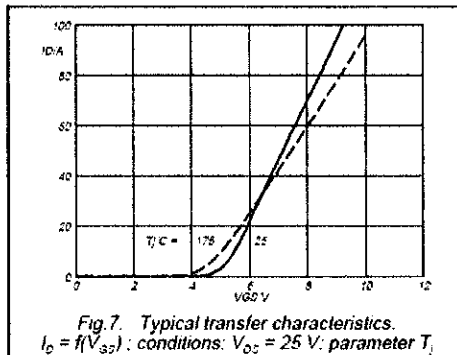
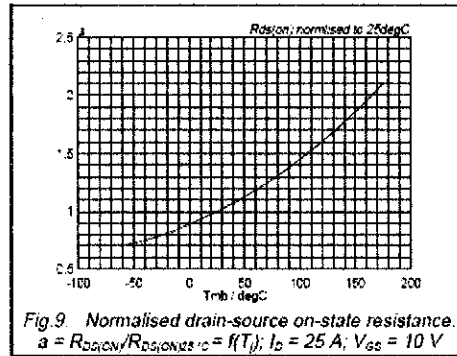
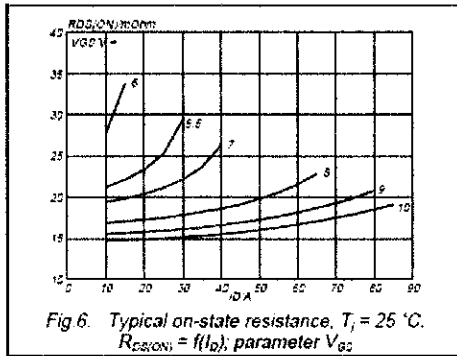
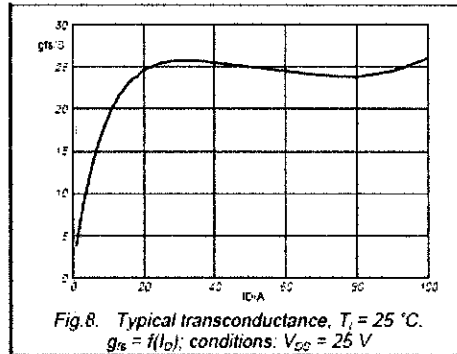
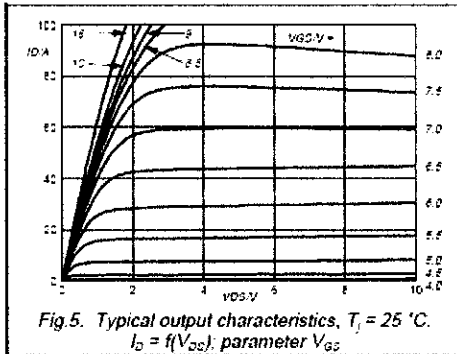
AVALANCHE LIMITING VALUE

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$W_{DSS}$	Drain-source non-repetitive unclamped inductive turn-off energy	$I_D = 45\text{ A}$ ; $V_{DS} \leq 25\text{ V}$ ; $V_{GS} = 10\text{ V}$ ; $R_{GS} = 50\ \Omega$ ; $T_{rc} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	110	mJ



N-channel enhancement mode  
TrenchMOS™ transistor

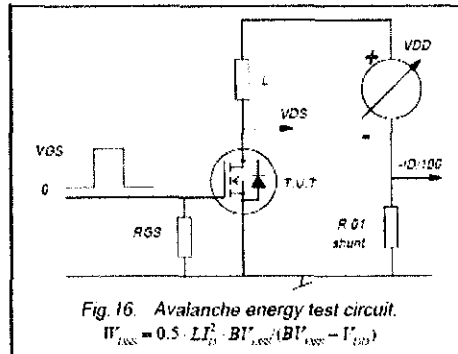
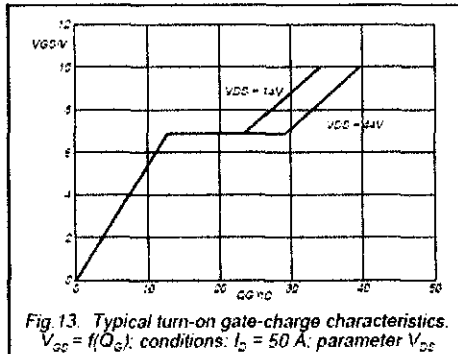
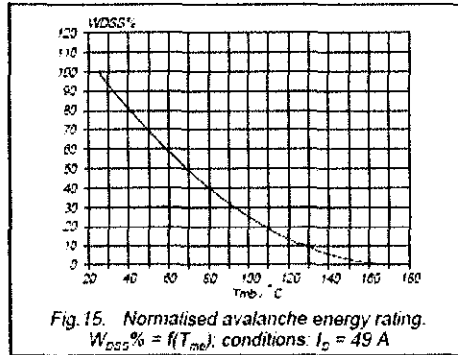
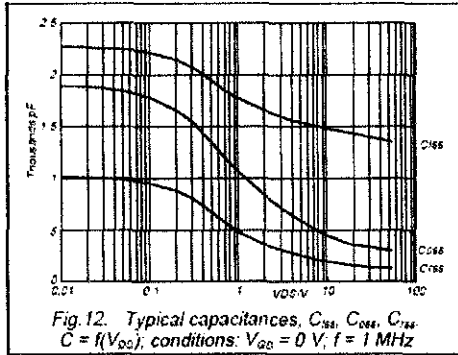
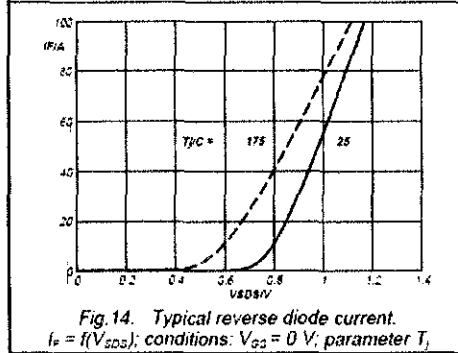
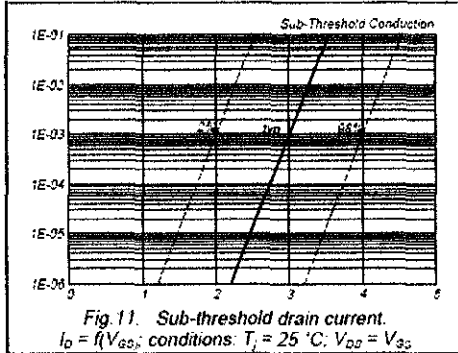
IRFZ44N





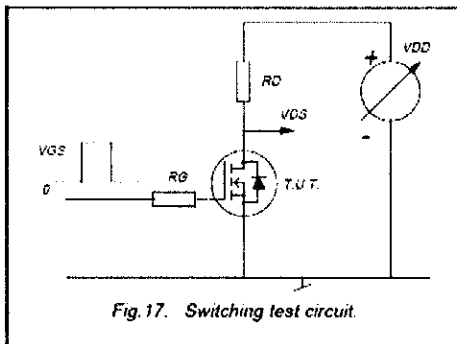
N-channel enhancement mode  
TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N



Philips Semiconductors

Product specification

**N-channel enhancement mode  
TrenchMOS™ transistor****IRFZ44N***Fig. 17. Switching test circuit.*

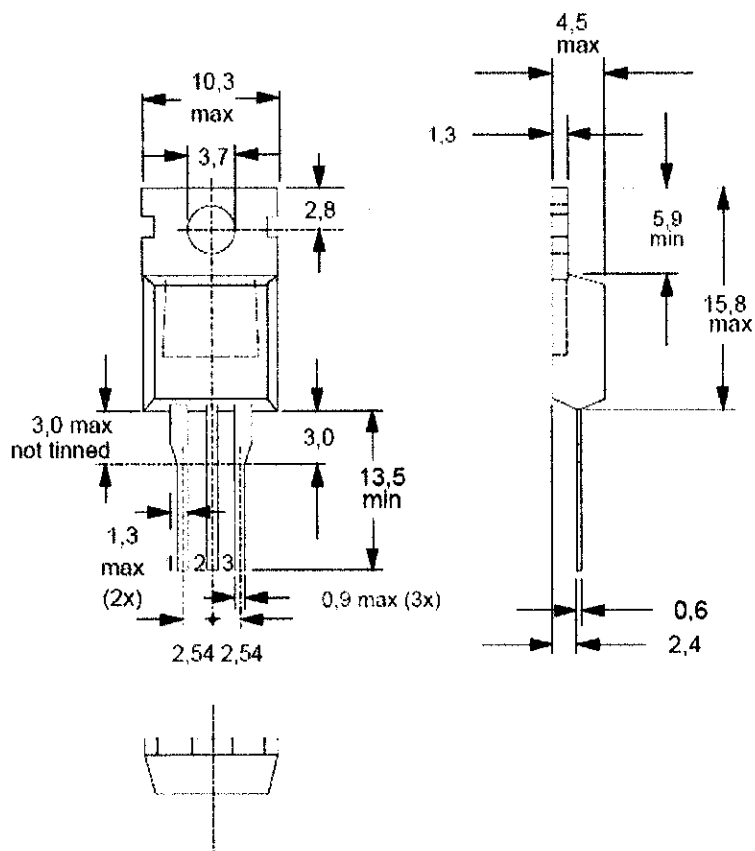
**N-channel enhancement mode  
TrenchMOS™ transistor**
**IRFZ44N**
**MECHANICAL DATA**
*Dimensions in mm*
*Net Mass: 2 g*


Fig. 18. SOT78 (TO220AB); pin 2 connected to mounting base.

**Notes**

1. Observe the general handling precautions for electrostatic-discharge sensitive devices (ESDs) to prevent damage to MOS gate oxide.
2. Refer to mounting instructions for SOT78 (TO220) envelopes.
3. Epoxy meets UL94 V0 at 1/8".

Philips Semiconductors

Product specification

**N-channel enhancement mode  
TrenchMOS™ transistor**

IRFZ44N

## DEFINITIONS

<b>Data sheet status</b>	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
<b>Limiting values</b>	
Limiting values are given in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of this specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
<b>Application information</b>	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	
© Philips Electronics N.V. 1999	
All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.	
The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, it is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent or other industrial or intellectual property rights.	

## LIFE SUPPORT APPLICATIONS

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

## ET-BASE AVR ATmega64/128

**ET-BASE AVR ATmega64/128** เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR ของบริษัท Atme ซึ่งบอร์ดนี้เลือกใช้ MCU เบอร์ ATmega64 และ ATmega128 ขนาด 64 Pin โดยในบอร์ด ET-BASE AVR ATmega64/128 นี้จะเน้นจะเน้นการใช้งานทรัพยากรของตัว MCU เองเป็นหลัก ซึ่งจะมีการต่อขาสัญญาณ I/O ออกมาจัดเรียงให้เป็นพอร์ต PA,PB,PC,PD,PE,PF และพอร์ต ET-CLCD เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน พร้อมทั้งพอร์ตสำหรับดาวน์โหลดโปรแกรม นอกจากนี้ยังได้เพิ่มวงจรโคร์ฟเวอร์ RS-232 เข้าไปด้วยเพื่อให้สามารถใช้งานทางด้านพอร์ตอนุกรม RS-232 ได้ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น

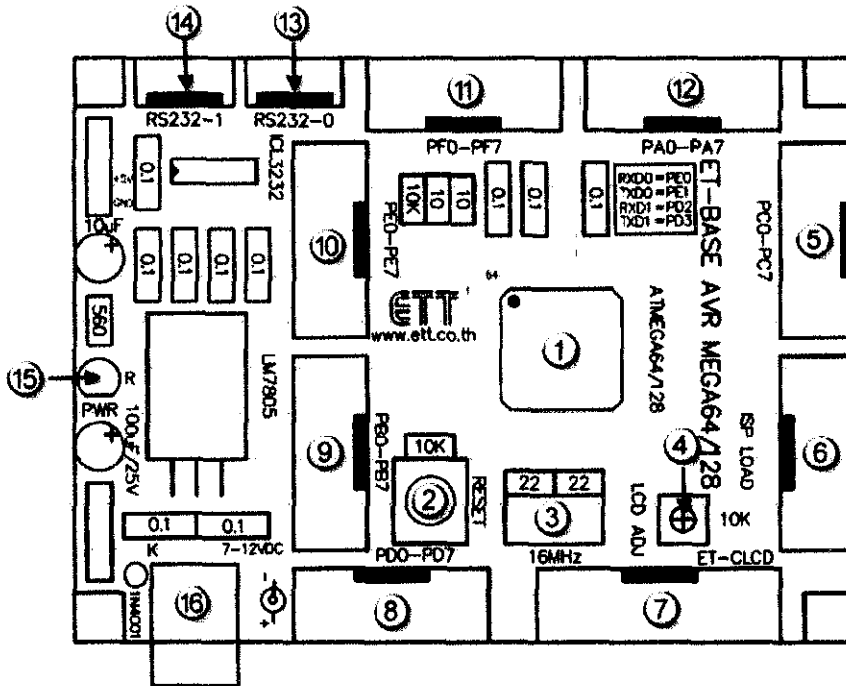
**คุณสมบัติของบอร์ด**

- เลือกใช้ MCU ตระกูล AVR เบอร์ ATmega64 , ATmega128 ของ Atme ซึ่งเป็น MCU ขนาด 8-Bit โดยเลือกใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ XTAL ค่า 16 MHz ซึ่งคุณสมบัติเด่น ๆ ของ MCU ได้แก่
  - มีหน่วยความจำ Flash สำหรับเขียนโปรแกรม 64 KBytes สำหรับ ATmega64 และ 128K Bytes สำหรับ ATmega128 และมี RAM 4 KBytes
  - มีหน่วยความจำข้อมูลถาวรแบบ EEPROM ขนาด 2K Bytes สำหรับ ATmega64 และ 4 K Byte สำหรับ ATmega128 ซึ่งสามารถลบและเขียนซ้ำได้กว่า 100,000 ครั้ง
  - จำนวน I/O สูงสุดถึง 53 I/O Pins
  - มีวงจรรีโอสสาร SPI จำนวน 1 ช่อง , I2C จำนวน 1 ช่อง , Programmable Serial USARTs จำนวน 2 ช่อง
  - มี ADC ขนาด 10-Bit จำนวน 8 ช่อง
  - มี Timers/Counters 8-Bit จำนวน 2 ช่อง , Timers/Counters 16-Bit จำนวน 2 ช่อง , 8-Bit PWM 2 ช่อง , Watchdog Timer , Real Time Counter
- I/O PORT 10 PIN จำนวน 6 PORT ดังนี้ PA,PB,PC,PD,PE,PF
- พอร์ต ISP LOAD สำหรับโปรแกรม MCU ( ต้องใช้ร่วมกับ ET-AVR ISP หรือเครื่องโปรแกรม ISP อื่นที่มีการจัดเรียงขาสัญญาณเหมือนกัน )
- วงจร Line Driver สำหรับพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 จำนวน 2 ช่อง โดยเชื่อมต่อกับสัญญาณ PE0(RXD0) และ PE1(TXD0) จำนวน 1 ช่อง ส่วนที่เหลืออีก 1 ช่อง จะต่อกับสัญญาณ PD2(RXD1) และ PD3(TXD1) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถต่อทดลองการติดต่อสื่อสาร RS232

## คู่มือการใช้งาน ET-BASE AVR ATmega64/128

- วงจรเชื่อมต่อจอแสดงผล LCD แบบ Character (ET-CLCD) พร้อม VR ปรับความสว่างของ LCD ซึ่งให้การเชื่อมต่อวงจรกับ LCD แบบ 4 Bit Interface
- วงจร Regulate ขนาด +5V / 1A สำหรับใช้งานเป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรให้กับจอแสดงผล LCD และอุปกรณ์ I/O ต่างๆที่ไว้กับแหล่งจ่ายขนาดขนาด +5V พร้อม LED แสดงสถานะสีเ็ดง
- ขนาด PCB Size เล็กเพียง 8 X 6 cm

## โครงสร้างของบอร์ด



- หมายเลข 1 คือ MCU เบอร์ ATmega64 หรือ ATmega128 ซึ่งเป็น MCU ตระกูล AVR จาก ATMEL
- หมายเลข 2 คือ Switch RESET ใช้สำหรับ Reset การทำงานของ MCU
- หมายเลข 3 คือ Crystal ค่า 16 MHz
- หมายเลข 4 คือ ตัวต้านทานสำหรับปรับค่าความสว่างให้ LCD
- หมายเลข 5 คือ PORTC มีขนาด 8 Bit คือ PC0-PC7
- หมายเลข 6 คือ พอร์ต ISP LOAD ใช้สำหรับดาวน์โหลด Hex File ให้กับ MCU

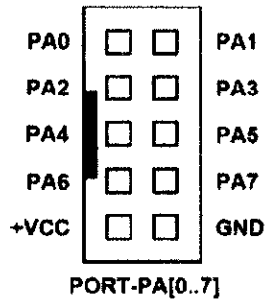
- หมายเลข 7 คือ พอร์ต ET-CLCD สำหรับเชื่อมต่อกับ LCD ชนิด Character Type ซึ่งใช้การเชื่อมต่อแบบ 4 Bit
- หมายเลข 8 คือ PORTD มีขนาด 8 Bit คือ PD0-PD7
- หมายเลข 9 คือ PORTB มีขนาด 8 Bit คือ PB0-PB7
- หมายเลข 10 คือ PORTE มีขนาด 8 Bit คือ PE0-PE7
- หมายเลข 11 คือ PORTF มีขนาด 8 Bit คือ PF0-PF7
- หมายเลข 12 คือ PORTA มีขนาด 8 Bit คือ PA0-PA7
- หมายเลข 13 และ 14 คือ ขั้วต่อ RS232 สำหรับใช้งานทั่วไป
- หมายเลข 15 คือ LED Power ใช้สำหรับแสดงสถานะของแหล่งจ่ายไฟ +5VDC
- หมายเลข 16 คือ ขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟสำหรับเลี้ยงวงจรของบอร์ด

### ขั้วต่อสัญญาณต่าง ๆ

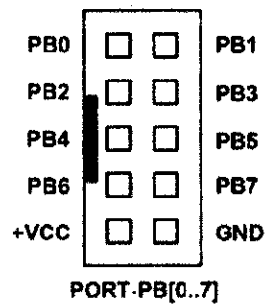
สำหรับขั้วต่อสัญญาณของพอร์ต I/O จาก MCU นั้นจะถูกออกแบบและจัดเตรียมไว้ผ่านทางขั้วต่อแบบ IDC-Header ขนาด 10 Pin (2X5) จำนวน 6 จุด คือ PA,PB,PC,PD,PE,PF ตามลำดับ โดยที่ขั้วต่อสัญญาณแต่ละจุด จะประกอบไปด้วยสัญญาณของ I/O ที่เชื่อมตอมายังจากขาสัญญาณของ MCU โดยตรงทั้งหมด โดยจุดเชื่อมต่อกับสัญญาณภายนอกบอร์ดมีดังนี้

- ขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟสำหรับเลี้ยงวงจรของบอร์ด
- ขั้วต่อ PORTA มีขนาด 8 Bit คือ PA0-PA7
- ขั้วต่อ PORTB มีขนาด 8 Bit คือ PB0-PB7
- ขั้วต่อ PORTC มีขนาด 8 Bit คือ PC0-PC7
- ขั้วต่อ PORTD มีขนาด 8 Bit คือ PD0-PD7
- ขั้วต่อ PORTE มีขนาด 8 Bit คือ PE0-PE7
- ขั้วต่อ PORTF มีขนาด 8 Bit คือ PF0-PF7
- ขั้วต่อ ET-CLCD สำหรับเชื่อมต่อกับ LCD ชนิด Character Type
- ขั้วต่อ RS232 จำนวน 2 ช่อง โดยเชื่อมต่อกับสัญญาณ PE0(RXD0) และ PE1(TXD0) จำนวน 1 ช่อง ส่วนที่เหลืออีก 1 ช่อง จะต่อกับสัญญาณ PD2(RXD1) และ PD3(TXD1) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทดสอบการติดต่อสื่อสาร RS232
- ขั้วต่อ ISP LOAD ใช้สำหรับดาวน์โหลด Hex File ให้กับ MCU

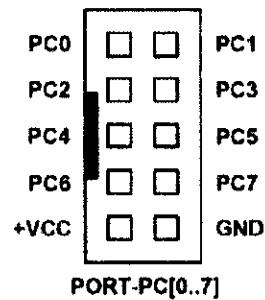
พอร์ต PA มีขนาด 8 บิต



พอร์ต PB มีขนาด 8 บิต



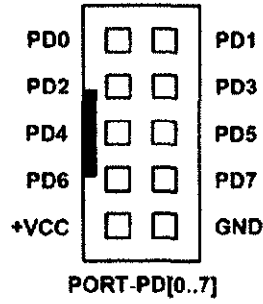
พอร์ต PC มีขนาด 8 บิต



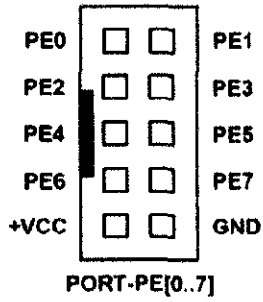


## คู่มือการใช้งาน ET-BASE AVR ATmega64/128

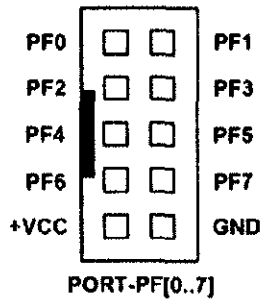
พอร์ต PD มีขนาด 8 บิต



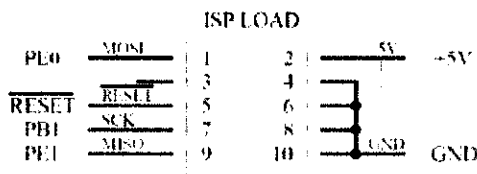
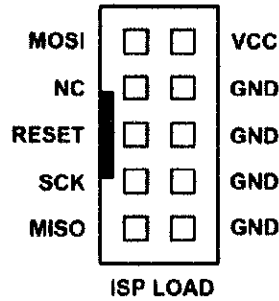
พอร์ต PE มีขนาด 8 บิต



พอร์ต PF มีขนาด 8 บิต

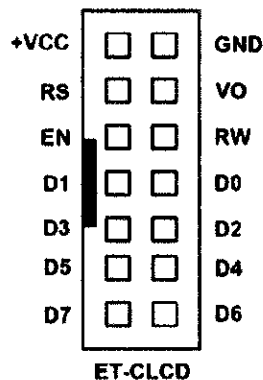


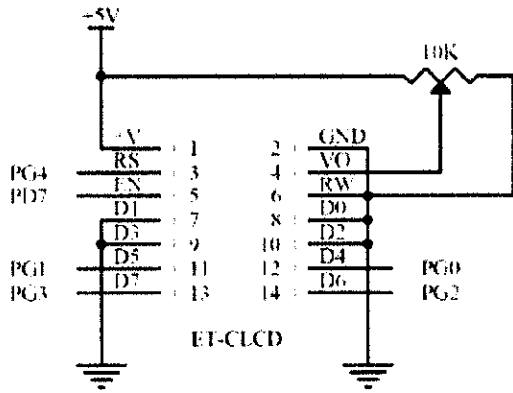
## พอร์ต ISP LOAD



รูปแสดง วงจรส่วนที่เชื่อมต่อกับ ISP LOAD

พอร์ต ET-CLCD ให้กับ Character Type LCD โดยใช้การเชื่อมต่อแบบ 4 บิต โดยสัญญาณที่ใช้เชื่อมต่อกับ LCD จะเป็นสัญญาณจากพอร์ต PG และ PD (PD7) โดยในการเชื่อมต่อสายสัญญาณจากขั้วต่อของพอร์ต LCD ไปยังจอแสดงผล LCD นั้นให้ยึดชื่อขาสัญญาณเป็นจุดอ้างอิง โดยให้ต่อสัญญาณที่มีชื่อตรงกันเข้าด้วยกันให้ครบทั้ง 14 เส้น

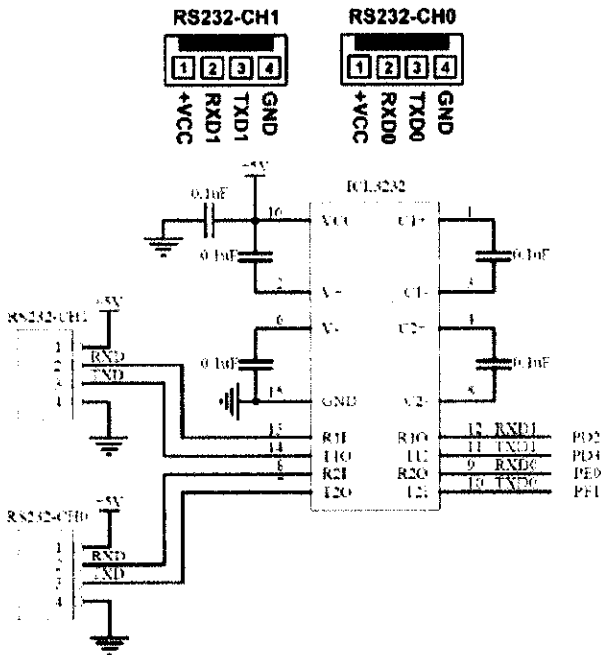




1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
GND	+VCC	VO	RS	RW	EN	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7

แสดงการจัดเรียงขาสัญญาณของ Character LCD มาตรฐาน

พอร์ต RS232 จำนวน 2 ช่อง โดยเชื่อมต่อกับสัญญาณ PE0(RXD0) และ PE1(TXD0) จำนวน 1 ช่อง ส่วนที่เหลืออีก 3 ช่อง จะต่อกับสัญญาณ PD2(RXD1) และ PD3(TXD1)

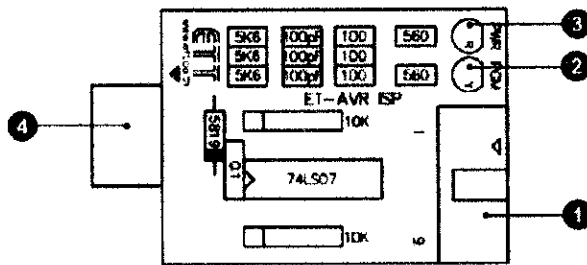


รูปแสดง วงจรส่วนที่เชื่อมต่อกับ RS232

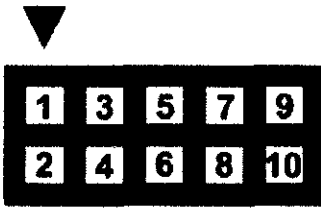
## การดาวน์โหลด Hex File ให้กับ MCU

การดาวน์โหลด Hex File ให้กับ MCU นั้นจำเป็นจะต้องใช้ **ET-AVR ISP** หรือเครื่องโปรแกรมแบบ ISP อื่นๆ เช่น AVRISP ของ ATMEL เพื่อใช้ในการดาวน์โหลด Hex File ให้กับ MCU ตระกูล AVR ของ Atmel โดยใช้วิธีการแบบ Serial Programming ซึ่งการดาวน์โหลด Hex File ในกรณีที่ใช้ **ET-AVR ISP** จะกระทำผ่านทางพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ โดยที่จะต้องใช้งานร่วมกับ **ET-CAP10P** ของอีทีที และ Software ที่ใช้ร่วมกับ ET-AVR ISP ก็คือ PonyProg2000 ซึ่ง PonyProg2000 เป็นโปรแกรม Download ข้อมูลแบบ HEX File ให้กับ CPU ตระกูล AVR โดยใช้วิธีการแบบ Serial Programming ซึ่งสามารถใช้งานกับบอร์ดตระกูล AVR ของ อีทีที ได้เป็นอย่างดี ซึ่งวิธีการใช้งานโปรแกรมโดยทั่วไปนั้น สามารถศึกษาได้จาก Help ของโปรแกรมได้เอง โดยในที่นี้จะขอแนะนำให้ทราบถึงวิธีการ Setup โปรแกรม PonyProg2000 เพื่อใช้งานกับบอร์ดตระกูล AVR ของ อีทีที ซึ่งสามารถใช้งานได้กับบอร์ดตระกูล AVR ทุกรุ่นของ อีทีที

## โครงสร้างของบอร์ด ET-AVR ISP



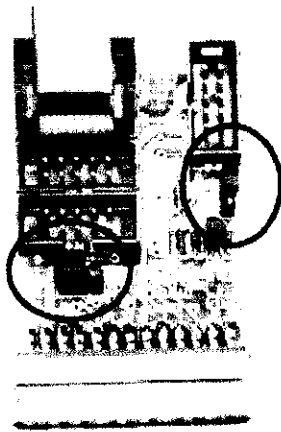
- หมายเลข 1 คือ พอร์ตสำหรับเชื่อมต่อกับ **ET-CAP10P** ของอีทีที เพื่อโปรแกรม Hex File ให้กับ MCU
- หมายเลข 2 คือ LED PGM (สีเขียว) แสดงสถานะของการโปรแกรมหรือดาวน์โหลด Hex File ลง MCU
- หมายเลข 3 คือ LED PWR (สีแดง) แสดงสถานะของไฟเลี้ยงบอร์ด
- หมายเลข 4 คือ พอร์ตสำหรับเชื่อมต่อกับบอร์ด Target ซึ่งสามารถใช้โปรแกรม Hex File ให้กับบอร์ด ET-AVR STAMP ATmega64 โดยเสียบบอร์ด ET-AVR ISP เข้าที่ พอร์ต ET-PSPI ซึ่งมีการจัดเรียงขาสัญญาณดังรูป



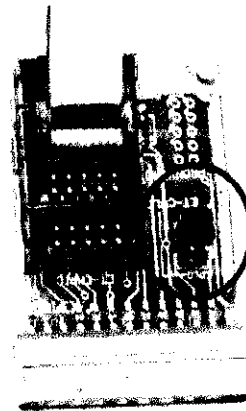
ตำแหน่งขา	ชื่อสัญญาณ
1	MOSI
2	VCC
3	ไม่ได้ใช้งาน
4,6,8,10	GND
5	RESET
7	SCK
9	MISO

### การเชื่อมต่ออุปกรณ์สำหรับโปรแกรม Hex File

การโปรแกรมไครด์ (Hex File) ให้กับ AVR MCU ต้องใช้งานร่วมกับ ET-CAB10PIN และโปรแกรม PonyProg2000 โดยต่อ ET-CAP10PIN เข้ากับพอร์ต Programmer พร้อมทั้งเลือก Jumper สำหรับใช้งานกับโปรแกรม PonyProg2000 แล้วต่อสาย Download ที่ซื้อต่อ ET-PSPI Download ของบอร์ด พร้อมทั้งจ่ายไฟเข้าบอร์ดให้เรียบร้อยแล้ว ถ้ามีการต่ออุปกรณ์ภายนอกที่พอร์ต PB ให้ปลดออกก่อน โดยการเชื่อมต่อนี้จะมีลักษณะดังรูปต่อไปนี้

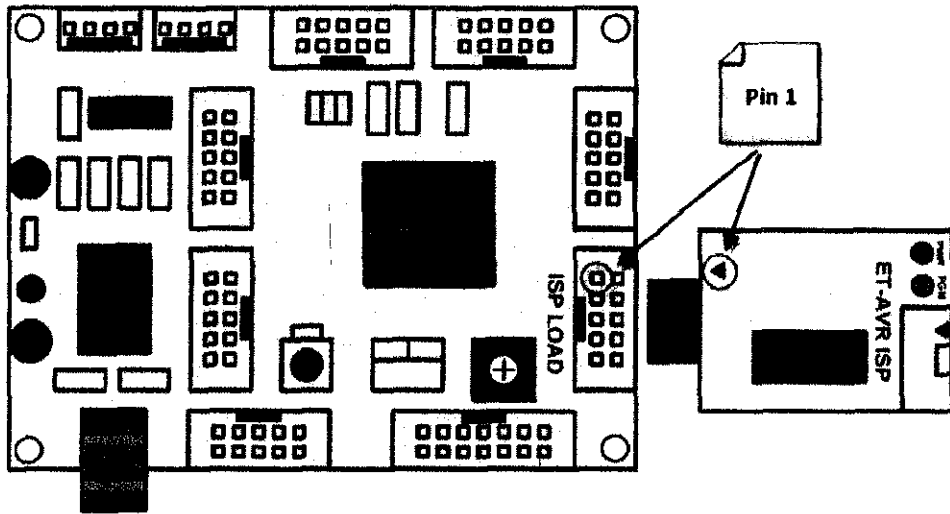


(ซ้าย) ET-CAP10P V2.0



(ขวา) ET-CAP10P V1.0

รูปแสดง การเลือก Jumper และการต่อสาย Download ของ ET-CAP10P เพื่อใช้กับ AVR



รูปแสดงการต่อ ET-AVR ISP เข้ากับ ET-BASE AVR ATmega64/128 โดยการต่อบอร์ดทั้งสองเข้าด้วยกันนั้นจะให้สังเกตที่ตำแหน่งขา 1 จะต้องตรงกัน

#### การ Program ไม้ Board ET-BASE AVR ATmega64/128 ด้วยโปรแกรม PonyProg2000

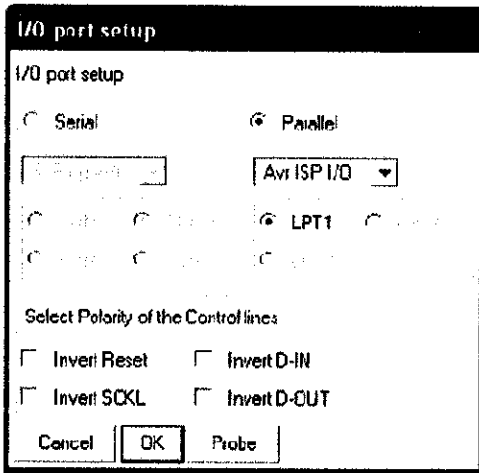
โปรแกรม PonyProg2000 เป็นโปรแกรม Download ข้อมูลแบบ HEX File ให้กับ CPU ตระกูล AVR โดยใช้วิธีการแบบ Serial Programming ซึ่งสามารถใช้งานกับบอร์ดตระกูล AVR ของ ฮี ซีที ได้เป็นอย่างดี ซึ่งวิธีการใช้งานโปรแกรมโดยทั่วไปนั้น สามารถศึกษาได้จาก Help ของโปรแกรมได้เอง โดยในที่นี้จะขอแนะนำให้ทราบถึงวิธีการ Setup โปรแกรม PonyProg2000 เพื่อใช้งานกับบอร์ดตระกูล AVR ของ ฮี ซีที ซึ่งสามารถใช้งานได้กับบอร์ดตระกูล AVR ทุกรุ่นของ ฮี ซีที

สำหรับกรณีที่ใช้ CPU ตระกูล AVR แบบ ATmega64 นั้นจะมีข้อควรระวังอยู่อย่างหนึ่ง เนื่องจากโครงสร้างภายในของ ATmega64 นั้นจะมี Fuse Bit สำหรับกำหนดเงื่อนไขการทำงานของ CPU รวมอยู่ด้วยหลายบิต ซึ่ง Fuse Bit ต่างๆเหล่านี้ บางบิตจะมีผลต่อการ Download แบบ Serial Programming ด้วย เนื่องจากถ้าเลือกกำหนดคุณสมบัติของ Fuse Bit ไม่ถูกต้องอาจทำให้ไม่สามารถส่งโปรแกรม CPU ตัวนั้นด้วยวิธีการ Serial Programming ได้อีก นอกจากนี้จะนำ CPU ตัวนั้นไปแก้ไข Fuse Bit ด้วยเครื่องโปรแกรมแบบ Parallel ให้ได้ค่าที่ถูกต้องเสียก่อน

โดยในการส่งโปรแกรม CPU ตระกูล AVR ที่ใช้งานกับบอร์ดของ ฮี ซีที นั้น ถ้าใช้การโปรแกรมด้วยโปรแกรมของ "PonyProg2000" จะต้องกำหนด Option ของโปรแกรม เพื่อให้สามารถใช้งานกับบอร์ดของ ฮี ซีที ดังนี้

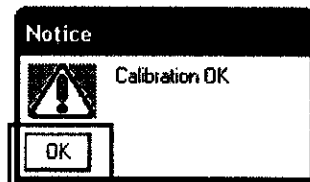
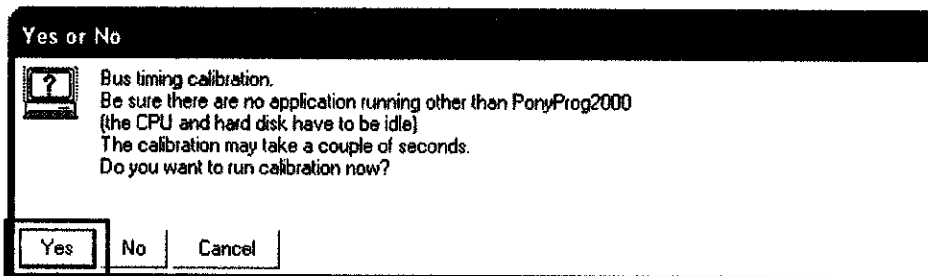
## คู่มือการใช้งาน ET-BASE AVR ATmega64/128

1. กำหนด Setup → Interface Setup... เป็นดังนี้



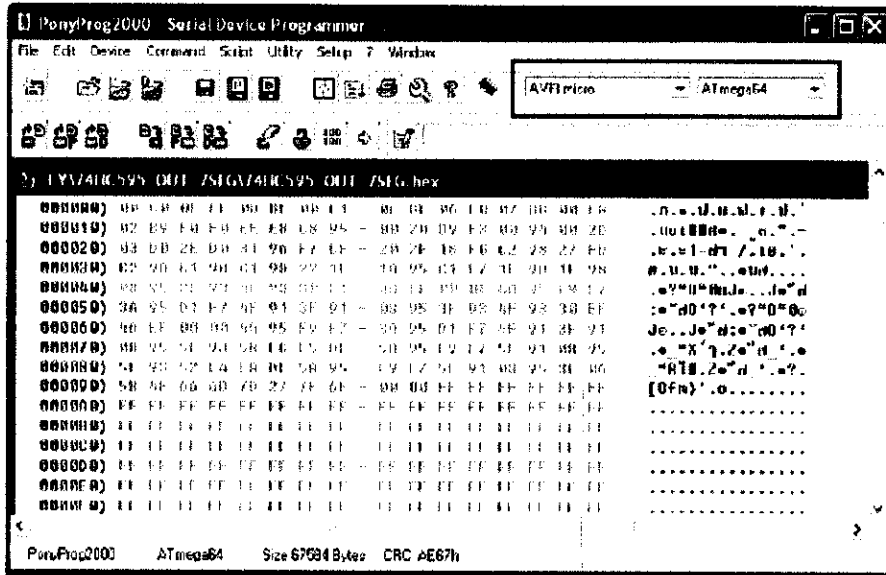
- ให้เลือก I/O Port เป็น Parallel และเลือกรูปแบบการโปรแกรมเป็น Avr ISP I/O
- ให้เลือก Printer Port ตามที่ต่อจริง เช่น LPT1 ในกรณีที่ใช้กับ Printer Port LPT1
- ส่วนของ Polarity Control Line ไม่ต้องเลือก
- การ Setup นี้ทำเพียงครั้งเดียวตอนเริ่มใช้งานโปรแกรมในครั้งแรกเท่านั้น

2. ส่งให้โปรแกรม PonyProg2000 ทำการคำนวณหาเสถียรภาพความเร็วที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการส่งสัญญาณไปโปรแกรม CPU โดยเลือกจาก Setup → Calibration

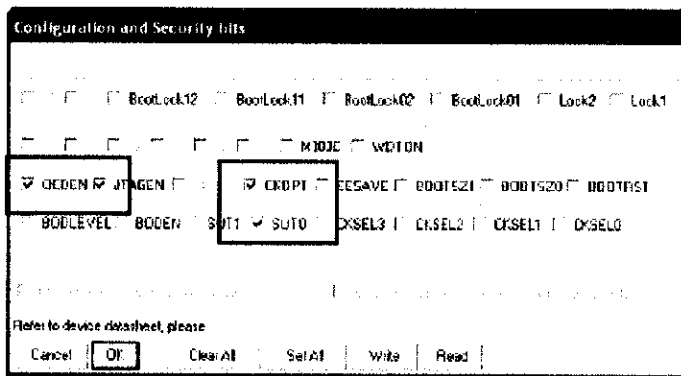


- การส่ง Calibration จะกระทำเพียงครั้งเดียวในตอนเริ่มใช้งานโปรแกรมครั้งแรกเท่านั้น

## 3. เลือกกำหนดเบอร์ CPU จาก Device → AVR Micro → เซมิ Atmega64



4. เลือกกำหนด Command → Security and Configuration Bits โดยถ้าเป็น AVR เบอร์อื่นๆ สามารถกำหนดการทำงานของ Fuse Bit ได้ตามต้องการ โดยสามารถศึกษารายละเอียดของ Fuse Bit ต่างๆได้จาก Data Sheet ของ CPU ที่ใช้ได้เอง แต่ในกรณีที่ใช้ร่วมกับ Atmega64 นั้นต้องระมัดระวังในการเลือกกำหนด Fuse Bit ให้ถูกต้องด้วย ซึ่งถ้ากำหนดผิดพลาดจะส่งผลให้ไม่สามารถสั่งโปรแกรม CPU ด้วยวิธีการ Serial Programming ได้อีก โดยให้กำหนดเป็นดังนี้



รูปแสดง การเลือกกำหนด Fuse Bit เพื่อใช้กับ CPU เบอร์ ATmega64



## คู่มือการใช้งาน ET-BASE AVR ATmega64/128

## ความหมายของ Fuse Bit ต่างๆของ ATmega64

- ๖ ในกรณีที่เลือก [✓] ที่หน้า Fuse Bit ตัวใด หมายถึงการกำหนดให้ Fuse Bit นั้นๆ มีค่าเป็น "0" หรือการสั่งโปรแกรม Fuse Bit นั้นๆ
- ๖ ในกรณีที่ไมเลือก [✓] ที่หน้า Fuse Bit ตัวใด หมายถึงการกำหนดให้ Fuse Bit นั้นๆ มีค่าเป็น "1" หรือสั่งไม่โปรแกรม Fuse Bit นั้นๆ

## ความหมายของ Fuse Bit ของ ATmega64 ที่มีผลต่อ Serial Programming

- **SPIEN** เป็น Serial Programming Enable Bit ซึ่งจะต้องสั่งโปรแกรม Fuse Bit นี้ไว้เสมอ เพื่อให้สามารถสั่ง Download โปรแกรมให้กับ CPU ด้วยวิธีการ in-System Serial Programming ได้ ซึ่งตามปกติแล้ว Fuse Bit นี้จะถูกสั่งโปรแกรมมาจากโรงงานอยู่แล้ว และไม่สามารถสั่งลบหรือแก้ไข Fuse Bit นี้ได้ด้วยโหมด Serial Programming แต่ถ้ามีการนำ CPU ไปโปรแกรมด้วยเครื่องแบบ Parallel Programming จะต้องไม่สั่งสั่งโปรแกรม Fuse Bit นี้ไว้ด้วยเสมอทุกครั้ง
- **OCDEN** และ **JTAGEN** ทั้งสองบิตนี้จะใช้ในกรณีที่ต้องการ Debug การทำงานของ MCU และโปรแกรมผ่านทาง JTAG Interface ซึ่งต้องร่วมกับ AVR JTAG Debugger ซึ่งถ้าไม่ได้ใช้งานก็ไม่จำเป็นต้องเลือกทั้งสองบิตนี้
- **CKOPT** เป็น Oscillator Option Bit ถ้าสั่งโปรแกรม Fuse Bit นี้จะเป็นการกำหนดให้ CPU ทำงานที่ย่านความถี่ 16MHz แต่ถ้าไม่ได้สั่งโปรแกรม Fuse Bit นี้จะเป็นการกำหนดให้ CPU ทำงานที่ย่านความถี่ไม่เกิน 8MHz ซึ่งถ้าใช้กับขั้วมาตรฐานของชิพทีจะใช้ XTAL เป็นแหล่งกำเนิดความถี่ ดังนั้นควรสั่งโปรแกรมค่า Fuse Bit นี้ไว้ เพื่อให้ CPU สามารถทำงานได้ที่ย่านความถี่ของ XTAL ตั้งแต่ 1.0MHz-16.0MHz
- **CKSEL3...0** เป็น Select Clock Source Bit ใช้ร่วมกันสำหรับเลือกแหล่งกำเนิดและย่านของความถี่ที่จะใช้กับ CPU ซึ่งในกรณีใช้งานขั้วมาตรฐานของชิพทีนี้ ต้องเลือกเป็น External Crystal ค่า 1.0 MHz - 16.0 MHz ซึ่งถ้าเลือกเป็นอย่างอื่นจะทำให้การทำงานของโปรแกรมผิดพลาด และที่สำคัญถ้าเลือกแหล่งกำเนิดความถี่ผิด เช่น เลือกเป็น External Clock หรือ External RC Oscillator จะทำให้ CPU ไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากไม่มีกรต่อสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกไว้ให้ และจะทำให้ไม่สามารถสั่งโปรแกรม CPU ตัวนี้ด้วยวิธีการแบบ Serial Programming ได้อีก จนกว่าจะมี

การนำ CPU ไปแก้ไขค่า Fuse Bit เพื่อเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาเป็น External Crystal ให้ถูกต้องเสียก่อน

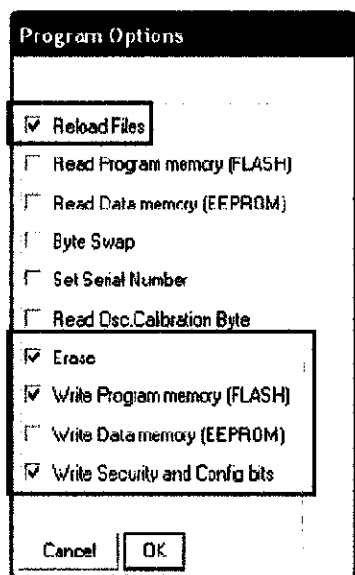
แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาของ AVR Atmega64	การกำหนด Fuse Bit ของ CKSEL[3...0] (0=Program,1=Un-Program)
External Crystal/Ceramic Resonator	1111-1010
External Low Frequency Crystal	1001
External RC Oscillator	1000-0101
Calibrated Internal RC Oscillator	0100-0001
External Clock	0000

ตารางแสดง การเลือกแหล่งกำเนิดความถี่จาก Fuse Bit CKSEL [3...0]

#### หมายเหตุ

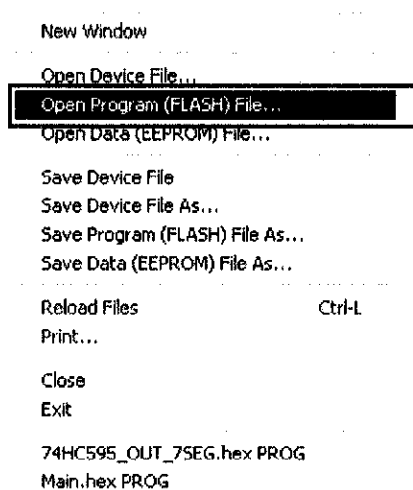
- ค่า 1 หมายถึง การสั่งไม่โปรแกรม Fuse Bit นั้นๆ โดยไม่ต้องใส่เครื่องหมาย [√] หน้า Fuse Bit
- ค่า 0 หมายถึง การสั่งโปรแกรม Fuse Bit นั้นๆ โดยการเลือกเครื่องหมาย [√] หน้าชื่อ Fuse Bit
- ควรสั่งโปรแกรม Fuse Bit ของ CKOPT เพื่อให้ใช้งานที่ย่านความถี่ 1.0MHz-16.00MHz
- ห้ามสั่งโปรแกรม Fuse Bit ของ CKSEL[3..0] เพราะจะทำให้การทำงานไม่ถูกต้อง ตัวอย่างเช่น ถ้าเลือกสั่งโปรแกรม Fuse Bit ของ CKSEL[3..0] ให้มีค่าเป็น 0 ทั้งหมด ซึ่งหลังจากโปรแกรม PonyProg2000 ทำการเขียนค่า Fuse Bit นี้ให้กับ CPU เรียบร้อยแล้ว จะทำให้ CPU ไม่สามารถใช้งานได้กับบอร์ดของ อีทีที อีจ และจะไม่สามารถสั่งโปรแกรมแก้ไขค่า Fuse Bit ใหม่ให้กับ CPU ด้วยวิธีการแบบ Serial Programming ได้อีก เนื่องจาก CPU ไม่สามารถทำงานได้อีก เพราะว่าการสั่งโปรแกรม Fuse Bit ของ CKSEL[3..0] ให้เป็น 0 ทั้งหมด จะเป็นการสั่งให้ CPU ทำงานด้วยความถี่ของสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก (External Clock) ซึ่งจะทำให้วงจรกำเนิดความถี่ของ External Crystal หยุดทำงาน โดย CPU จะรอรับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่บอร์ดของ อีทีที จะใช้สัญญาณนาฬิกาจาก วงจร Crystal (External Crystal) เท่านั้น ดังนั้นเมื่อ CPU ไม่สามารถเริ่มต้นทำงานได้ ก็จะทำให้เราไม่สามารถสั่งโปรแกรมแก้ไขค่า Fuse Bit ที่ถูกต้องให้กับ CPU ด้วยวิธีการแบบ Serial Programming ได้อีก ซึ่งจะต้องนำ CPU ตัวนั้น ไปทำการแก้ไขค่า Fuse Bit ด้วยเครื่องโปรแกรมแบบ Parallel เสียก่อนจึงจะสามารถนำมาใช้งานกับวิธีการโปรแกรมแบบ Serial Programming ได้เหมือนเดิม
- ตำแหน่ง Fuse Bit ของ Lock[2..1] สามารถกำหนดได้ตามต้องการ

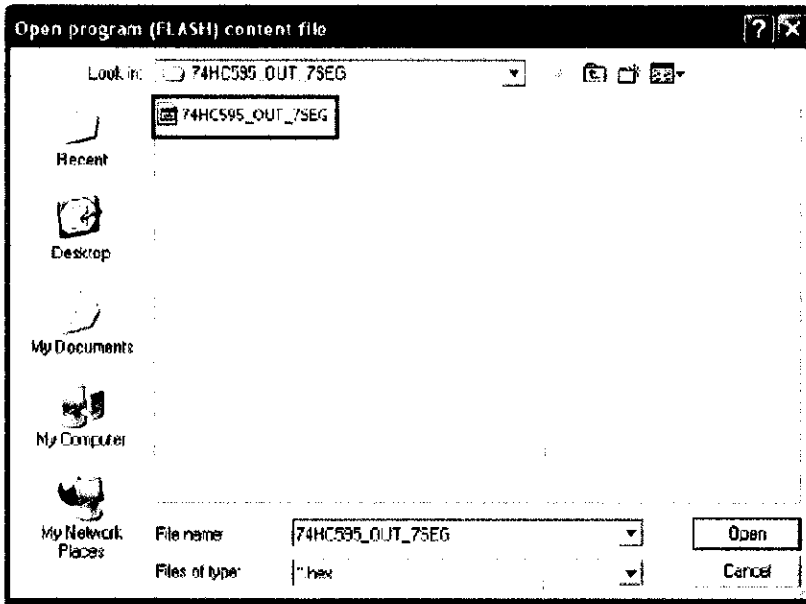
5. เลือกกำหนด Command → Program Option เป็นดังนี้



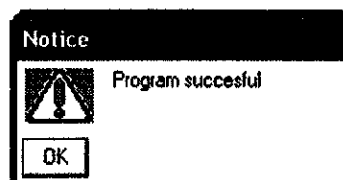
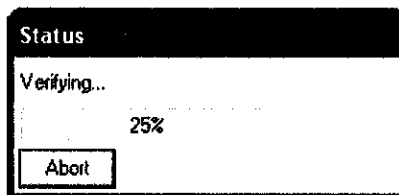
6. ส่งเปิดไฟล์สำหรับที่จะใช้โปรแกรมให้กับ CPU โดยเลือกจาก File → Open Program (FLASH)

File... → พร้อมทั้งระบุชื่อและที่อยู่ของ HEX File ที่จะใช้โปรแกรมให้เรียบร้อยแล้ว





7. สังเกตเริ่มต้นโปรแกรม ข้อมูลให้กับ CPU โดยเลือก **Command** → **Program** จากนั้นโปรแกรมจะเริ่มทำงานตามคำสั่งที่เราเลือกกำหนดไว้ในข้อ 5 คือ **Load File** → **Erase** → **Write Program memory (FLASH)** และ **Write Security and Config Bits** ตามลำดับ ซึ่งให้รอจนกระทั่งการทำงานของโปรแกรมเสร็จสมบูรณ์



ซึ่งหลังจากการโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้ว CPU จะเริ่มต้นทำงานตามข้อมูลในโปรแกรมที่ส่ง Download ให้ทันที

### การตรวจสอบเบื้องต้นเมื่อไม่สามารถดาวน์โหลดโปรแกรมได้

ถ้าเกิดการ Error ในขั้นตอนของการโปรแกรมให้ตรวจสอบปัญหาดังนี้

- อ่านคู่มือการใช้งานบอร์ด และคู่มือวิธีการ Download โปรแกรม AVR ด้วย PonyProg2000 ให้ละเอียด
- ตรวจสอบการเชื่อมต่อของสายสัญญาณต่างๆ และในการ Download โปรแกรมโดยใช้ PonyProg2000 นั้น จะต้องใช้งานร่วมกับชุด Cable Download รุ่น ET-CAP10PIN ของ ETT ด้วย จึงต้องมีการกำหนด JUMPER ให้เป็น PonyProg ให้ถูกต้องด้วย (รายละเอียดหน้า 9)
- ตรวจสอบการจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด
- ตรวจสอบการตั้งค่าต่างๆของโปรแกรมสำหรับดาวน์โหลด PonyProg2000
- ตรวจสอบว่ามีอาการนำสัญญาณจากพอร์ต PORT-PB ของ CPU ไปต่อไว้กับอุปกรณ์ภายนอก ในขณะที่ส่ง Download หรือไม่ ตัวอย่างเช่น ต่อกับ LED หรือ นำสัญญาณจากพอร์ต PB ไปต่อไว้กับวงจรอื่นๆในขณะที่ส่ง Download ข้อมูลอยู่
- ไม่ควรต่อสายสัญญาณ RS232 เข้าที่พอร์ต RS232-CH0 เนื่องจากการโปรแกรมแบบ SPI ของ ATMEGA64 จะใช้ขาสัญญาณร่วมกับ RS232 ( RXD0,TXD0)

## ประวัติผู้จัดทำ



นางสาวเกศภัทร คำพิกุล เกิดเมื่อวันศุกร์ที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2527 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลจอหอ อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียน สุรนารีวิทยา อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2545 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรม โทecomนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี



นายสรันย์ คัมภีร์ภัทร เกิดเมื่อวันอังคารที่ 12 มิถุนายน พ.ศ. 2527 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลตลาด อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียน สุราษฎร์พิทยา อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี เมื่อปี พ.ศ. 2545 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรม โทecomนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี

