สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบตรวจจับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่

MOBILE DETECTOR SYSTEM

โดย

นายธนาชัย ปิยะศิรินานันทร์

นายนนทวุฒิ โรจนศักดิ์ชัย

นางสาวนวพร ใจโต

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62551
วัน,เดือน,ปี 19 ส.ค. 2549

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจจับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่

MOBILE DETECTOR SYSTEM

โดย

นายธนาชัย ปิยะศิรินานันทร์ 45010327

นายนนทวุฒิ โรจนศักดิ์ชัย 45010366

นางสาวนวพร ใจโต 45010384

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์

รศ.ดร. สุวิพล สิทธิชีวภาค

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **ระบบตรวจจับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่**

MOBILE DETECTOR SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นายธนาชัย ปิยะศิรินานันทร์ 45010327
2. นายนนทวุฒิ โรจนศักดิ์ชัย 45010366
3. นางสาวนวพร ใจโต 45010384

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รศ.ดร. สุวิพล สิทธิชีวภาค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจจับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่

Mobile Detector System

โดย นายธนาชัย ปิยะศิรินานันทร์ 45010327
นายนนทวุฒิ โรจนศักดิ์ชัย 45010366
นางสาวนวพร ใจโต 45010384

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร. สุวิพล สิทธิชีวภาค

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการสร้างระบบตรวจจับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อใช้ในสถานที่ที่มีการงดใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ เช่น โรงพยาบาล ห้องสอบ บนเครื่องบิน หรือ เรือนจำ โดยจะทำการสร้างเครื่องตรวจจับสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งหากมีการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในพื้นที่ที่กำหนด ก็จะทำการบันทึกข้อมูลการใช้ไว้ในฐานข้อมูลของคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้แสดงแก่ผู้ดูแลระบบ

ABSTRACT

This project is investigating a mobile detector system for forbidden using mobile place such as hospital, airplane, examination room or prison. When the equipment detects a mobile signal, it will send data to main computer for storing in database. The data will be used to display for inspector.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 ขอบเขตของโครงงาน	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 ความเป็นมาของระบบจีเอสเอ็ม	2
2.2 โครงสร้างและองค์ประกอบของระบบ จีเอสเอ็ม	5
2.2.1 เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Station: MS)	5
2.2.2 ส่วนของสถานีฐาน (Base Station Subsystem: BSS)	7
2.2.3 ระบบเน็ตเวิร์กและสวิตชิ่ง (Network and Switching Subsystem: NSS)	8
2.2.4 ระบบปฏิบัติการ (Operation Subsystem)	10
2.3 การรับส่งคลื่นสัญญาณวิทยุในระบบ จีเอสเอ็ม	10
2.4 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องโทรศัพท์	12
2.4.1 การเลือกเซลล์ที่จะติดต่อ	12
2.4.2 การซิงโครไนซ์	13
2.4.3 การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบแรนดอม (Random Access)	14
2.4.4 การระบุตำแหน่งพื้นที่ (Location areas)	14
2.4.5 การแฮนด์โอเวอร์ (Handover)	15
2.5 การมอดูเลตสัญญาณ	15
2.6 สายอากาศ (Antenna)	17
2.7 ซอร์ฟิลเตอร์ (Surface acoustic wave filter: SAW filter)	18
2.7.1 คำนิยามเกี่ยวกับผลตอบสนองของวงจรกรองความถี่แถบผ่าน	19
2.7.1.1 แถบกว้าง (Bandwidth)	19
2.7.1.2 ค่าตัวประกอบคุณภาพ (Quality facter : Q)	20
2.7.1.3 ความชันของสัญญาณ (Shape Factor)	20
2.7.1.4 ค่าการลดทอนต่ำสุด (Ultimate Attenuation)	20
2.7.1.5 ความสูญเสียจากการลดทอน (Insertion loss)	20
2.7.1.6 ริปเปิล (Ripple)	21
2.8 วงจรดีเท็คเตอร์ (Detector)	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51	23
2.9.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51	23
2.9.2 คุณสมบัติทั่วไปของ AT89C51	23
2.9.3 การเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์	25
2.10 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม	27
2.10.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส	27
2.10.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	27
2.10.3 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232	29
2.10.4 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ	29
2.10.5 มาตรฐานการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (UART)	32
2.11 สเต็ปปิ้งมอเตอร์	33
2.11.1 หลักการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์	34
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	36
3.1 หลักในการออกแบบวงจร	36
3.2 วงจรกรองความถี่แถบผ่าน โดยใช้ซอว์ฟิวเตอร์	38
3.2.1 การออกแบบลายวงจรกรองความถี่แถบผ่าน	38
3.3 การออกแบบวงจรเรคติไฟเออร์	39
3.3.1 การออกแบบด้านอินพุต	41
3.4 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล	42
3.5 การออกแบบวงจรควบคุมไมโครคอลโทรลเลอร์ MCS-51	43
3.6 การออกแบบส่วนแสดงผล	45
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	50
4.1 การทดลองสายอากาศ	50
4.2 การทดลองตัวกรองความถี่แถบผ่าน	51
4.3 การทดลองวงจรเรคติไฟเออร์	56
4.4 การทดลองการรวมวงจรกรองความถี่แถบผ่านและวงจรเรคติไฟเออร์	59
4.5 การทดลองวัดค่าระดับแรงดันที่รับได้จากโทรศัพท์เคลื่อนที่	60
4.6 การทดลองระบบ	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6.1 การทดลองในโหมด 1	63
4.6.2 การทดลองในโหมด 2	64
บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	66
5.1 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์สายอากาศ	66
5.2 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์วงจรกรองความถี่แถบผ่าน	66
5.3 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์วงจรเรคติไฟเออร์	66
5.4 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์การรวมวงจรกรองความถี่แถบผ่านและวงจรเรคติไฟเออร์	66
5.5 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์การวัดค่าระดับแรงดันที่รับได้จากโทรศัพท์เคลื่อนที่	66
5.6 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์การทดลองระบบ	67
5.7 แนวทางการพัฒนาต่อ	67
ภาคผนวก	68
ภาคผนวก ก. วงจรรวม	69
ภาคผนวก ข. โปรแกรม	71
ภาคผนวก ค. datasheet	82
บรรณานุกรม	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของระบบ จีเอสเอ็ม	5
รูปที่ 2.2 ประเภทของแผ่นซิมทั้งสองแบบ	6
รูปที่ 2.3 ลักษณะและหน้าที่ของส่วนบีทีเอส และบีเอสซี	7
รูปที่ 2.4 มาตรฐานการอินเตอร์เฟซที่ใช้ระหว่างจุดต่อต่างๆ ภายในระบบ จีเอสเอ็ม	8
รูปที่ 2.5 ภาพรวมของการรับ-ส่งคลื่นสัญญาณในระบบ จีเอสเอ็ม	11
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของข้อมูลที่บรรจุใน SCH	13
รูปที่ 2.7 ลักษณะสัญญาณเอ็มเอสเค	16
รูปที่ 2.8 สายอากาศโมโนโพล	17
รูปที่ 2.9 การคิดสายอากาศภาพเสมือน	17
รูปที่ 2.10 แพทเทินของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบโมโนโพล	18
รูปที่ 2.11 โครงสร้างภายในของซอว์ฟิลเตอร์	18
รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลของซอว์ฟิลเตอร์แบบขนาน	19
รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลของซอว์ฟิลเตอร์แบบอนุกรม	19
รูปที่ 2.14 ลักษณะของผลตอบสนองของวงจรกรองความถี่แถบผ่าน	19
รูปที่ 2.15 ผลตอบสนองในทางอุดมคติของวงจรกรองความถี่แถบผ่าน	20
รูปที่ 2.16 โครงสร้างภายในของ IC AD8313	21
รูปที่ 2.17 วงจรภายในของด้านอินพุตของดีเท็คเตอร์	22
รูปที่ 2.18 วงจรภายในของด้านเอาต์พุตของดีเท็คเตอร์	22
รูปที่ 2.19 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	24
รูปที่ 2.20 การจัดขาของ MAX232 หรือ ICL232	25
รูปที่ 2.21 โครงสร้างภายในของ MAX232 หรือ ICL232	26
รูปที่ 2.22 แสดงวงจรเชื่อมต่อ MAX232 หรือ ICL232 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	26
รูปที่ 2.23 แผนผังการทำงานเวลาของการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส	27
รูปที่ 2.24 รูปแบบของข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	28
รูปที่ 2.25 คอนเน็กเตอร์อนุกรม 9 ขา หรือแบบ DB-9 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)	30
รูปที่ 2.26 คอนเน็กเตอร์อนุกรม 25 ขา หรือแบบ DB-25 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)	30
รูปที่ 2.27 การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ Null Modem	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.28 การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ RS-232 ในลักษณะที่ใช้สายสัญญาณน้อยที่สุดเพียง 3 เส้น	32
รูปที่ 2.29 ผังการทำงานภายในของขาสัญญาณต่างๆ ของพอร์ตอนุกรม	33
รูปที่ 2.30 แสดงตำแหน่งของ Stator คือตรงเลข 1, 2, 3 และ rotor คือ x-y	33
รูปที่ 2.31 ไดอะแกรมของระบบขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์	34
รูปที่ 2.32 แสดงแรงดึงดูดที่ทำให้เกิดทอร์คเพื่อหมุนอาร์เมเจอร์ให้ไปอยู่ในตำแหน่งสมดุล	35
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่	36
รูปที่ 3.2 การคำนวณหากำลังรับของระบบ	36
รูปที่ 3.3 การออกแบบวงจรกรองความถี่แถบผ่าน	38
รูปที่ 3.4 ลักษณะของตัวกรองความถี่แถบผ่านแบบซอว์ฟิลเตอร์ (SAW Filter)	39
รูปที่ 3.5 ตัวกรองความถี่แบบซอว์ฟิลเตอร์ (SAW filter) ที่ใช้งานจริง	39
รูปที่ 3.6 ลักษณะของตัวถังวงจรดีเท็คเตอร์เบอร์ AD8313	40
รูปที่ 3.7 โครงสร้างของวงจรดีเท็คเตอร์เบอร์ AD8313	40
รูปที่ 3.8 วงจร AD 8313 ที่ใช้งานจริง	40
รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่อทางด้านอินพุตอิมพิแดนซ์	41
รูปที่ 3.10 ไอซี ADC0820	42
รูปที่ 3.11 การเข้ารหัสสัญญาณในวงจร Analog to Digital ขนาด 8 บิท (256 ค่า)	42
รูปที่ 3.12 การออกแบบส่วนควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	43
รูปที่ 3.13 ผังการทำงานของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	44
รูปที่ 3.14 ผังการทำงานของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในโหมด 1	44
รูปที่ 3.15 ผังการทำงานของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในโหมด 2	45
รูปที่ 3.16 ผังการทำงานของโปรแกรม	46
รูปที่ 3.17 โปรแกรมที่เขียนขึ้นในโครงงานนี้	47
รูปที่ 3.18 หน้าต่างสำหรับเลือกวัน ที่จะแสดงข้อมูลเก่า	47
รูปที่ 3.19 หน้าต่างสำหรับแสดงข้อมูลเก่า	48
รูปที่ 3.20 วงจรภายในอุปกรณ์ตรวจจับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่	48
รูปที่ 3.21 อุปกรณ์ตรวจจับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1 อิมพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศ เท่ากับ 51.715 โอห์ม 50

รูปที่ 4.2 ค่า SWR ของสายอากาศ เท่ากับ 1.4631 51

รูปที่ 4.3 การต่อวงจรหาค่าอิมพุตอิมพิแดนซ์ 51

รูปที่ 4.4 อิมพุตอิมพิแดนซ์ของวงจรกรองความถี่แถบผ่านด้านอินพุต เท่ากับ 52.938 โอห์ม 52

รูปที่ 4.5 อิมพุตอิมพิแดนซ์ของวงจรกรองความถี่แถบผ่านด้านเอาท์พุต เท่ากับ 49.313 โอห์ม 52

รูปที่ 4.6 การต่อวงจรที่ใช้ในการทดลองที่ 4.2 53

รูปที่ 4.7 สเปกตรัมของสัญญาณหลังจากผ่านวงจรกรองความถี่ เมื่อสัญญาณที่ป้อนมีค่าเป็น 1700 เมกกะเฮิรตซ์ 53

รูปที่ 4.8 สเปกตรัมของสัญญาณหลังจากผ่านวงจรกรองความถี่ เมื่อสัญญาณที่ป้อนมีค่าเป็น 1800 เมกกะเฮิรตซ์ 54

รูปที่ 4.9 สเปกตรัมของสัญญาณหลังจากผ่านวงจรกรองความถี่ เมื่อสัญญาณที่ป้อนมีค่าเป็น 1900 เมกกะเฮิรตซ์ 54

รูปที่ 4.10 กราฟผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่แถบผ่าน 55

รูปที่ 4.11 การต่อวงจรที่ใช้ในการทดลองที่ 4.3 56

รูปที่ 4.12 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อกำลังอินพุทมีค่าเป็น 0 dBm 56

รูปที่ 4.13 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อกำลังอินพุทมีค่าเป็น -20 dBm 57

รูปที่ 4.14 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อกำลังอินพุทมีค่าเป็น -40 dBm 57

รูปที่ 4.15 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อกำลังอินพุทมีค่าเป็น -50 dBm 58

รูปที่ 4.16 กราฟผลการทดลองวงจรเรคติไฟเออร์ 59

รูปที่ 4.17 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระยะ 1 เมตร 60

รูปที่ 4.18 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระยะ 2 เมตร 60

รูปที่ 4.19 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระยะ 3 เมตร 61

รูปที่ 4.20 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระยะ 4 เมตร 61

รูปที่ 4.21 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระยะ 5 เมตร 61

รูปที่ 4.22 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระยะ 6 เมตร 62

รูปที่ 4.23 การทดลองที่ 4.6 63

รูปที่ 4.24 เมื่อเปิดสวิตช์ของอุปกรณ์ หน้าจอจะแสดงข้อความ “ready to use ok” 63

รูปที่ 4.25 เมื่อกดสวิตช์ตัวล่างสุด อุปกรณ์จะทำงานในโหมด 1 แล้วแสดงค่าระดับแรงดันที่วัดได้ 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.26 แสดงค่าระดับแรงดันที่วัดได้เมื่อมีการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่	64
รูปที่ 4.27 การแสดงค่าระดับแรงดันที่วัดได้ในรูปแบบของสัญลักษณ์ที่กำหนดไว้	64
รูปที่ 4.28 เมื่อหมุนครบ 360 องศา จะแสดงข้อความ “end..ok” เพื่อสอบถามว่าต้องการหมุนอีกครั้งหรือไม่	65
รูปที่ 4.29 การแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างรายชื่อประเทศและบริษัทที่ให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จีเอสเอ็ม	3
ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ตัวอย่างรายชื่อประเทศและบริษัทที่ให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จีเอสเอ็ม	4
ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ตัวอย่างรายชื่อประเทศและบริษัทที่ให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จีเอสเอ็ม	5
ตารางที่ 2.2 กำลังส่งของเครื่องโทรศัพท์แต่ละประเภทตามมาตรฐานของระบบ จีเอสเอ็ม	6
ตารางที่ 2.3 ระดับกำลังส่งของสถานีฐาน BTS ตามมาตรฐานของระบบ จีเอสเอ็ม	8
ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหมายเลขช่องสัญญาณกับค่าความถี่ที่แท้จริง	11
ตารางที่ 2.5 การสร้างสัญญาณ เอ็มเอสเค	16
ตารางที่ 2.6 การจัดขาสัญญาณของพอร์ตอนุกรมในแบบต่างๆ และหน้าที่การทำงาน	30
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรกรองความถี่แถบผ่าน	55
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวงจรเรคติไฟเออร์	58
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการรวมวงจรกรองความถี่แถบผ่านและวงจรเรคติไฟเออร์	59
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการวัดค่าแรงดันที่รับได้จากการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระยะต่างๆ	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

ในปัจจุบันระบบการสื่อสารได้ก้าวเข้าสู่ยุคใหม่ นั่นคือยุคของเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาให้มีความก้าวหน้าและทันสมัย เราอาจกล่าวได้ว่าระบบการสื่อสารช่วยทำให้เราสามารถย่อโลกทั้งโลกเข้าหากันได้ โดยประโยชน์ที่นำไปใช้ก็มีอยู่หลายด้านไม่ว่าจะเป็นทางด้านการแพทย์ การบริการ การทหาร การศึกษา หรือจะเป็นทางด้านธุรกิจต่างๆ ล้วนมีการสื่อสารเข้ามาเกี่ยวข้องทั้งนั้น ดังนั้นจึงปฏิเสธไม่ได้เลยว่าโลกของการสื่อสารในยุคปัจจุบันได้ให้ประโยชน์ในหลายๆ ด้าน ระบบสื่อสารที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เห็นได้ชัดและใกล้ตัวมากที่สุดก็คือ ระบบสื่อสารสัญญาณผ่านดาวเทียม ระบบสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่และวิทยุเคลื่อนที่ เป็นต้น

แต่ในระยะหลัง ได้มีผู้คิดค้นวิธีการที่จะนำเอาเทคโนโลยีเหล่านี้มาใช้ในทางที่ผิดมากขึ้น เช่น การลักลอบใช้อุปกรณ์สื่อสารในห้องสอบ ในสถานที่คุมขัง ฯลฯ ทำให้เกิดความเสียหายขึ้น โครงงานนี้จึงได้นำเสนอระบบตรวจจับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่ทำงานในย่านความถี่ 1800 เมกกะเฮิรตซ์ ซึ่งมีหลักการทำงานที่สำคัญคือ หากมีการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบ 1800 เมกกะเฮิรตซ์ เครื่องจะทำการตรวจจับแล้วแสดงเวลาและมุมที่มีการใช้โทรศัพท์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นจะทำการบันทึกข้อมูลเก็บไว้ ทำให้เราสามารถที่จะทราบได้ว่า เกิดการลักลอบใช้โทรศัพท์เกิดขึ้น ซึ่งทางผู้จัดทำก็หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะสามารถทำประโยชน์ได้บ้างไม่มากก็น้อย

1.2 ขอบเขตของโครงงาน

โครงงานฉบับนี้กล่าวถึงระบบตรวจจับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ ในย่านความถี่ 1800 เมกกะเฮิรตซ์ ซึ่งประกอบด้วยสายอากาศ วงจรกรองความถี่แถบผ่านในช่วงความถี่ 1800 เมกกะเฮิรตซ์ วงจรเรคติไฟเออร์ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนของภาคแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยระบบตรวจจับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ จะมีคุณสมบัติในการที่จะสามารถตรวจจับคลื่นความถี่ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ 1800 เมกกะเฮิรตซ์ โดยมีรัศมีตรวจจับอยู่ที่ระยะ 4 เมตร หากมีการใช้งานของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระยะดังกล่าว ระบบตรวจจับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ และทำการบันทึกข้อมูลเก็บไว้ สำหรับการตรวจสอบข้อมูลในภายหลังได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของระบบตรวจจับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่ทำงานในย่านความถี่ 1800 เมกกะเฮิรตซ์ ซึ่งมีวงจรที่เกี่ยวข้องในการทำโครงงานนี้คือ สายอากาศ วงจรกรองความถี่แถบผ่าน ซึ่งทำหน้าที่ในการกรองความถี่เฉพาะแถบความถี่ของระบบ 1800 เมกกะเฮิรตซ์ วงจรตรวจจับสัญญาณวิทยุ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณความถี่วิทยุให้เป็นสัญญาณไฟกระแสตรง วงจรควบคุมไมโครคอลโทรลเลอร์ วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล และส่วนแสดงผล ซึ่งแสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์และบันทึกข้อมูลเก็บไว้

2.1 ความเป็นมาของระบบจีเอสเอ็ม

คำว่า จีเอสเอ็ม เดิมเป็นชื่อย่อมาจากคำว่า "Group Special Mobile : GSM" ซึ่งเป็นกลุ่มวิจัยที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของประเทศในกลุ่มยุโรปหลายประเทศเพื่อศึกษาและพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในราวปี ค.ศ.1982 ภายใต้การดูแลและสนับสนุนจากหน่วยงาน CEPT (The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) โดยมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบใหม่ที่สามารถรองรับความต้องการการใช้งานของผู้ใช้บริการได้มากขึ้น และที่สำคัญคือ ต้องสามารถอนุญาตให้ผู้ใช้โทรศัพท์มีอิสระในการติดต่อสื่อสารจาก ณ ที่สถานที่ใดๆ ก็ได้ในพื้นที่ของกลุ่มประเทศในยุโรป ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จีเอสเอ็ม นั้นจัดว่าเป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 2 ซึ่งได้รับการพัฒนาต่อมาจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคแรก จุดแตกต่างที่สำคัญของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่สองกับยุคแรกก็คือ การนำเทคโนโลยีแบบดิจิตอลมาแทนการใช้เทคโนโลยีแบบอนาล็อกแบบเดิม เหตุผลที่กลุ่มวิจัยของ จีเอสเอ็ม ได้เลือกใช้เทคโนโลยีแบบดิจิตอลสำหรับการพัฒนาระบบ จีเอสเอ็ม ก็เพราะระบบดิจิตอลมีข้อดีกว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบอนาล็อกหลายประการดังต่อไปนี้

- ระบบดิจิตอลสามารถใช้ประโยชน์จากสเปกตรัมที่มีอยู่จำกัดได้ดีกว่าระบบอนาล็อก เพราะสามารถรับส่งสัญญาณได้จำนวนช่องมากกว่าและให้คุณภาพของสัญญาณที่ดีกว่า
- สัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิตอลยังสามารถนำมาติดต่อกับระบบโทรศัพท์ที่มีใช้งานตามบ้านปกติทั่วไป (Public Switched Telephone Network : PSTN) ได้โดยตรง เพราะในช่วงเวลานั้น ชุมสายของระบบโทรศัพท์ พีเอสทีเอ็น เหล่านี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก คือ จากเดิมที่ใช้สัญญาณอนาล็อกมาเป็นระบบดิจิตอล
- นอกจากนี้ในเวลานั้นได้มีการคาดคะเนกันว่าระบบไอเอสดีเอ็น(Integrated Services Digital Network : ISDN) จะมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายภายในยุโรปในอนาคตอันใกล้ ดังนั้นถ้าใช้ระบบดิจิตอลก็จะสะดวกต่อการสร้างวงจรเชื่อมต่อระหว่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เหตุผลสำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ในระบบดิจิตอล เราสามารถสร้างระบบป้องกันสัญญาณจากการดักฟัง และการแอบใช้บริการจากผู้ที่มิได้เป็นสมาชิก ได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าระบบอนาล็อกมาก

ด้วยเหตุผลนี้เองระบบ จีเอสเอ็ม จึงออกแบบเป็นระบบดิจิตอล โดยปัจจุบัน จีเอสเอ็ม เป็นที่รู้จักกันในชื่อเต็มว่า "Global System for Mobile Communications" ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ จีเอสเอ็ม มีการเริ่มนำมาใช้งานจริงครั้งแรกในราวปี ค.ศ. 1991 และในปัจจุบันระบบ จีเอสเอ็ม นี้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายกว่า 120 ประเทศทั่วโลก ซึ่งรวมถึงประเทศไทยด้วย จากปริมาณความต้องการการใช้งานที่มีมาก ทำให้มีการนำเอามาตรฐาน จีเอสเอ็ม ที่ใช้งานในย่าน 900 เมกกะเฮิรตซ์ ไปใช้กับความถี่ในย่าน 1800 เมกกะเฮิรตซ์ และมีการเรียกระบบดังกล่าวว่า "Digital Cellular System 1800 (DCS 1800)" หรือบางทีก็มีชื่อเรียกว่า "Personal Communications Networks (PCN)"

ประเทศ	ระบบ	MMC/MNC	บริษัทที่ให้บริการ	ปีที่ให้บริการ
Andorra	GSM 900	213 03	STA	March 1995
Australia	GSM 900/1800	505 01	Telstra Mobile Comms	April 1993
	GSM 900	505 02	Singtel Optus Limited	May 1993
	GSM 900/1800	505 03	Vodafone Pacifiv Pty Ltd	October 1993
Austria	GSM 900/1800	232 01	MobilKom Austria AG	December 1993
	GSM 900/1800	232 03	T-Mobile Austria GmbH	October 1996
	GSM 1800	232 05	Connect Austria	October 1998
	GSM 1800	232 07	Tele.ring Telekom Service GmbH & Co KG	May 2000
Belgium	GSM 1800	206 20	BASE NV/SA	March 1999
	GSM 900	206 10	Mobistar S.A	August 1996
	GSM 900/1800	206 01	Belgacom Mobile	January 1994
Finland	GSM 900	244 14	Alands Mobiltelefon A.B	July 1993
	GSM 1800	244 09	Finnet Group	April 1997
	GSM 900/1800	244 05	Radiolinja Origo Oy	December 1991
	GSM 900/1800	244 91	Sonera Coporation	June 1992
	GSM 900/1800	244 12	Suomen 2G Oy	February 2001
	GSM 1800	244 03	Telia Mobile AB	March 1998
France	GSM 900/1800	208 20	Bouygues Telecom–GSM 1800	June 1996
	GSM 900/1800	208 01	Orange France	July 1992
	GSM 900/1800	208 10	SFR	April 1993

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างรายชื่อประเทศและบริษัทที่ให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จีเอสเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศ	ระบบ	MMC/MNC	บริษัทที่ให้บริการ	ปีที่ให้บริการ
Malaysia	GSM 900	502 19	Celecom (Malaysia) Sdn Bhd	April 1995
	GSM 1800	502 16	DiGi Telecommunications Sdn Bhd	May 1995
	GSM 900	502 12	Maxis Mobile Sdn Bhd	August 1995
	GSM 1800	502 17	TIMECel Sdn Bhd	May 1995
	GSM 1800	502 13	Telecom Cellular Sdn Bhd	May 1995
Norway	GSM 900/1800	242 02	NETCOM AS	September 1993
	GSM 900/1800	242 01	Telenor Mobil AS	May 1993
Taiwan	GSM 900/1800	466 92	Chunghwa Telecom LDM	July 1995
	GSM 900/1800	466 01	Far EasTone Telecomms GSM	January 1998
	GSM 1800	466 88	KG Telecom	December 1997
	GSM 900	466 93	Mobitai Communications Corp.	December 1997
	GSM 1800	466 97	Taiwan Cellular Corp.	January 1998
	GSM 900	466 99	TransAsia Telecoms	January 1998
Thailand	GSM 900	520 01	Advanced Info Service Plc	October 1994
	GSM 1800	520 18	Total Access Comms Co.	November 1994
	GSM 1800	520 23	Digital Phone Co Ltd	May 1998
	GSM 1800	520 99	TA Orange Company Ltd	August 2001
UK	GSM 900/1800	234 10	O2 (UK) Limited	December 1993
	GSM 1800	234 33	Orange PCS Ltd	April 1994
	GSM 1800	234 30	T-Mobile (UK) Limited	September 1993
	GSM 900/1800	234 15	Vodafone Ltd	July 1992
USA	GSM 1900	310 38	AT&T Wireless PCS,LLC	July 2001
	GSM 1900	-	Message Espress	July 1999
	GSM 1900	310 630	Choice Wireless L.C	May 2001
	GSM 1900	310 150,170	Cingular Wireless	July 1996
	GSM 1900	310 690	Conestoga Wireless Company	May 1998
	GSM 1900	310 560	Dobson Comm. Corp.	September 2002
	GSM 1900	310 77	Iowa Wireless Services LP	August 1998
	GSM 1900	310 68	NPI Wireless	October 1997
	GSM 1900	310 580	PCS One Inc.	December 1996
	GSM 1900	310 790	PinPoint Wireless Inc.	July 1999

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ตัวอย่างรายชื่อประเทศและบริษัทที่ให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จีเอสเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศ	ระบบ	MMC/MNC	บริษัทที่ให้บริการ	ปีที่ให้บริการ
USA	GSM 1900	310 27	Powertel PCS Inc.	October 1996
	GSM 1900	310 530	Key Communications, LLC	April 2002

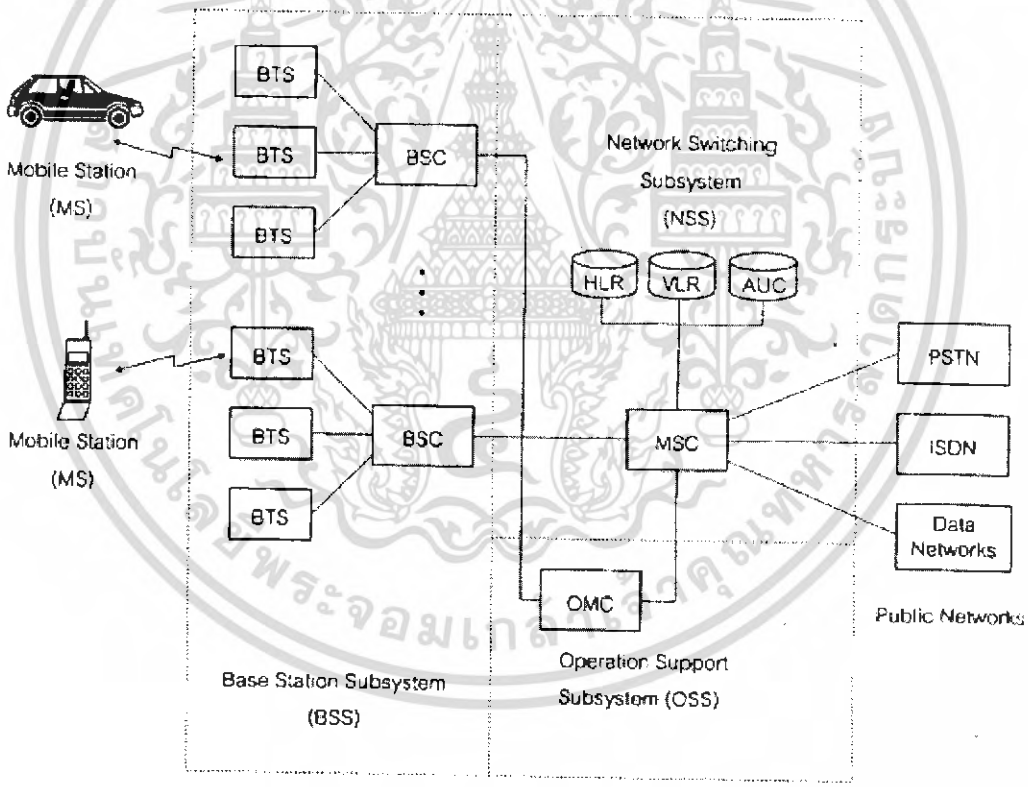
ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ตัวอย่างรายชื่อประเทศและบริษัทที่ให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จีเอสเอ็ม

2.2 โครงสร้างและองค์ประกอบของระบบ จีเอสเอ็ม

โครงสร้างของระบบ จีเอสเอ็ม ประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้คือ

1. เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Station: MS)
2. ส่วนของสถานีฐาน (Base Station Subsystem: BSS)
3. ส่วนของระบบเน็ตเวิร์กและสวิตชิ่ง (Network and Switching Subsystem: NSS)
4. ระบบปฏิบัติการ (Operation Support Subsystem: OSS)

แต่ละส่วนมีลักษณะการต่อเชื่อมกันดังที่แสดงในรูป



รูปที่ 2.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของระบบ จีเอสเอ็ม

2.2.1 เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Station: MS)

เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ คือ เครื่องโทรศัพท์ที่ผู้ใช้บริการใช้ในการโทรออกหรือรับสายเรียกเข้านั่นเอง ซึ่งในปัจจุบันมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน แต่ละประเภทจะแตกต่างกันตรงลักษณะการใช้งาน และกำลังส่งของเครื่อง สำหรับระบบ จีเอสเอ็ม ได้แบ่งชนิดของเครื่องโทรศัพท์ออกเป็น 5 กลุ่ม ตามขนาดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

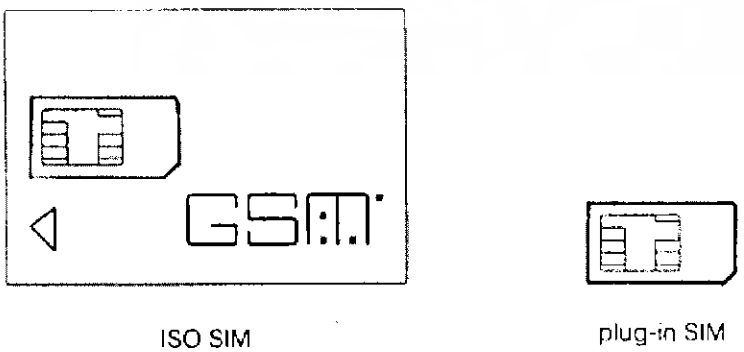
กำลังส่งสูงสุดที่ใช้ โดยระบบ ดีซีเอส 1800 มีวิธีการแบ่งประเภทของเครื่องโทรศัพท์ที่ต่างออกไปคือ แบ่งเพียง 2 กลุ่ม ทั้งนี้เพราะย่านความถี่ดังกล่าว เซลมักจะมีขนาดที่เล็กกว่า ทำให้ไม่ต้องใช้กำลังในการส่งที่สูงนัก

Power class	Maximum power of a GSM 900 mobile station	Maximum power of a DCS 1800 mobile station
1	20 W (43 dBm)	1 W (30 dBm)
2	8 W (39 dBm)	0.25 W (24 dBm)
3	5 W (37 dBm)	-
4	2 W (33 dBm)	-
5	0.8 W (29 dBm)	-

ตารางที่ 2.2 กำลังส่งของเครื่องโทรศัพท์แต่ละประเภทตามมาตรฐานของระบบ จีเอสเอ็ม

ภายในอุปกรณ์โทรศัพท์เครื่องหนึ่งประกอบด้วยส่วนย่อย 2 ส่วน คือ Mobile Equipment (ME) และ Subscriber Identity Module (SIM) ส่วนแรกทำหน้าที่จัดการกับการรับส่งคลื่นสัญญาณวิทยุระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับส่วนของสถานีฐาน และรวมไปถึงอุปกรณ์สำหรับใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้ เช่น ไมโครโฟน ลำโพง จอภาพ และปุ่มต่างๆ ขณะที่ในส่วนของซิม คือ สมาร์ตการ์ด (Smart Card) แผ่นบางๆ ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่เกี่ยวกับผู้ใช้ รายการประเภทของบริการที่ผู้ใช้ได้ขอไว้ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงข่าย เช่น เลขประจำตัวของผู้ใช้ ตำแหน่งหรือบริเวณที่เครื่องโทรศัพท์มีการใช้งานอยู่ และรหัสลับที่ใช้ในการเข้ารหัสสัญญาณเพื่อป้องกันการดักฟัง เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจจะเก็บหมายเลขโทรศัพท์ที่ผู้ใช้มีการติดต่อด้วยเป็นประจำเพื่อความสะดวกของผู้ใช้บริการ การจัดให้เครื่องโทรศัพท์มีโครงสร้างในลักษณะนี้ ช่วยให้เราสามารถเสียบแผ่นซิม เข้าไปในอุปกรณ์ ME ใดก็ได้ แผ่นซิม ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมี 2 รูปแบบด้วยกัน คือ

1. ISO SIM คือ แผ่นที่มีขนาดเท่ากับบัตรเครดิต
2. Plug-in SIM คือ แบบขนาดเล็ก

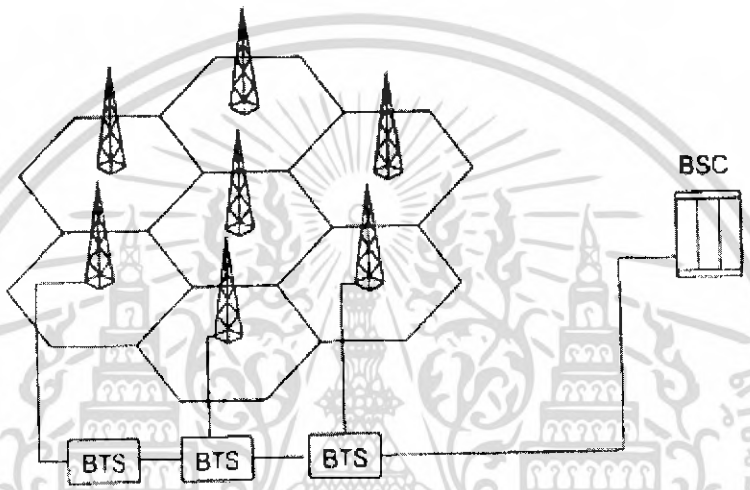


รูปที่ 2.2 ประเภทของแผ่นซิมทั้งสองแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ส่วนของสถานีฐาน (Base Station Subsystem: BSS)

สถานีฐาน ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ Base Transceiver Station (BTS) และ Base Station Controller (BSC) ส่วนของ BTS ทำหน้าที่ติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้งหลาย โดยที่ BTS หนึ่งตัวจะดูแลครอบคลุมบริเวณพื้นที่จำกัดบริเวณหนึ่ง ที่เรียกว่า "เซล" โดยหลักๆ แล้ว BTS ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับส่งคลื่นสัญญาณวิทยุคล้ายๆ กันกับส่วนของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยขนาดกำลังส่งของสถานีฐานมีได้หลายระดับ กลุ่มของ BTS ที่ครอบคลุมพื้นที่หลายๆ เซล จำนวนหนึ่งจะอยู่ภายใต้การดูแลของ BSC หนึ่งตัว ซึ่งโดยปกติแล้ว BSC หนึ่งตัวจะสามารถดูแลและควบคุม BTS ได้จำนวนมากถึงหลายสิบหรือหลายร้อยชุด

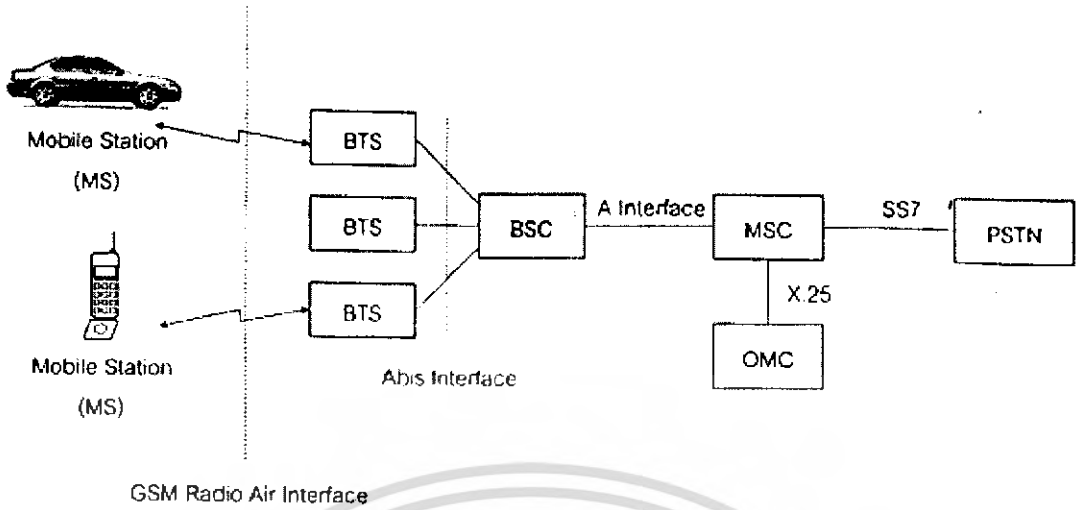


รูปที่ 2.3 ลักษณะและหน้าที่ของส่วน BTS และ BSC

ส่วนของ BSC มีหน้าที่หลักในการควบคุมการทำงานของ BTS ทุกตัวที่อยู่ภายใต้การดูแล เช่น การจัดสรรช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับติดต่อสื่อสาร การเริ่มต้น การเชื่อมต่อและสิ้นสุดของการใช้ช่องสัญญาณแต่ละช่อง การควบคุมกำลังส่งของเครื่องโทรศัพท์ และรวมไปถึงเรื่องของการตัดสินใจและการทำแฮนด์โอเวอร์ระหว่างเซลในกรณีที่โทรศัพท์เคลื่อนที่มีการย้ายจากเซลหนึ่งไปยังอีกเซลข้างเคียง สิ่งต่างๆ เหล่านี้เป็นหน้าที่ของ BSC ที่จะต้องจัดการทั้งหมด นอกจากนี้ BSC ยังมีขีดความสามารถในการทำสวิตชิ่งได้ระดับหนึ่งด้วย โดย BSC สามารถเชื่อมต่อคู่สายระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่สองเครื่องที่ใช้งานอยู่ ภายในพื้นที่บริเวณที่ BSC ดูแลรับผิดชอบอยู่ได้

อีกด้านหนึ่งของ BSC ต่ออยู่กับ ระบบเน็ตเวิร์คและสวิตชิ่ง (Network and Switching Subsystem: NNS) ซึ่งมี Mobile services Switching Centre (MSC) เป็นองค์ประกอบสำคัญ การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ทั้งสองนี้จะอาศัยมาตรฐานที่เรียกว่า A interface ส่วนการติดต่อระหว่าง BSC กับส่วน BTS ก็มีมาตรฐานที่แน่นอนเช่นกัน โดยมาตรฐานที่ใช้ มีชื่อเรียกว่า Abis interface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 มาตรฐานการอินเตอร์เฟซที่ใช้ระหว่างจุดต่อต่างๆ ภายในระบบ จีเอสเอ็ม

Power class	Maximum power of a GSM 900 base station	Maximum power of a DCS 1800 base station
1	320 W	20 W
2	160 W	10 W
3	80 W	5 W
4	40 W	2.5 W
5	20 W	-
6	10 W	-
7	5 W	-
8	2.5 W	-
Micro-BTS 1	0.25 W	1.6 W
Micro-BTS 2	0.08 W	0.5 W
Micro-BTS 3	0.03 W	0.16 W

ตารางที่ 2.3 ระดับกำลังส่งของสถานีฐาน BTS ตามมาตรฐานของระบบ จีเอสเอ็ม

2.2.3 ระบบเน็ตเวิร์คและสวิตชิ่ง (Network and Switching Subsystem: NSS)

ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ Mobile services Switching Centre (MSC) และฐานข้อมูลสำหรับการจัดการกับการใช้งานของผู้ใช้บริการ ในส่วนของ MSC นั้น ด้านหนึ่งต่อเชื่อมอยู่กับ BSC ซึ่งเป็นส่วนที่ดูแลการรับส่งสัญญาณระหว่างสมาชิกผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่กับส่วนของโครงข่าย ส่วนอีกด้านหนึ่งต่อเชื่อมอยู่กับระบบโทรศัพท์อื่นๆ ดังนั้น MSC จึงเป็นส่วนที่ทำหน้าที่สวิตช์และเชื่อมต่อคู่สายทั้งระหว่างผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ 2 เครื่องเข้าด้วยกัน และระหว่างผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่กับผู้ใช้โทรศัพท์ธรรมดา หรือผู้ใช้บริการจากโครงข่ายประเภทอื่นๆ ด้วย ในการเชื่อมต่อระหว่าง MSC กับโครงข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายนอกอาศัยมาตรฐานการเชื่อมต่อที่เรียกว่า CCITT Signaling System no.7 (SS7) โดยปกติแล้ว MSC หนึ่งชุดสามารถใช้ควบคุมดูแล BSC ได้หลายชุด ทั้งระบบรวมกันสามารถครอบคลุมการให้บริการประชากรได้มากถึงประมาณ 1 ล้านคน ฉนั้นหน้าที่ของ MSC จึงเปรียบได้กับอุปกรณ์สวิตชิ่งของระบบโทรศัพท์พื้นฐาน อย่างไรก็ตาม MSC มีหน้าที่อื่นต้องทำเพิ่มด้วย ได้แก่ การจัดการกับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการ ซึ่งหมายถึง การทำแฮนด์โอเวอร์ (Handover) และการรายงานตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Location update)

สำหรับฐานข้อมูลภายใน NSS ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนหลัก คือ

- Home Location Register (HLR) เป็นฐานข้อมูลที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้บริการ เช่น สถานะของเครื่องโทรศัพท์ การเปิด-ปิด การใช้งานโทรออก การรับสายเข้า บริเวณพื้นที่การใช้งานของเครื่องโทรศัพท์ครั้งหลังสุด และรวมไปถึงประเภทของการบริการเสริมที่ผู้ใช้ต้องการ ในช่วงเวลาที่ผู้ใช้โทรศัพท์เริ่มการใช้งานเพื่อการติดต่อสื่อสาร ข้อมูลที่บรรจุอยู่ในแผ่น ซิม บางส่วนจะถูกส่งผ่านจากเครื่องโทรศัพท์ไปยังฐานข้อมูล HLR เพื่อใช้ในการระบุถึงหมายเลขประจำตัวของผู้ใช้ และเพื่อตรวจสอบว่าผู้ใช้บริการดังกล่าวมีสิทธิหรือได้รับอนุญาตให้ใช้บริการหรือไม่ โดยที่ข้อมูล HLR จะเก็บรหัสลับของผู้ใช้แต่ละคน
- Authentication Centre (AUC) เป็นฐานข้อมูลที่เก็บข้อมูลที่เป็นความลับ เช่น รหัสลับ K_i ของสมาชิกผู้ใช้บริการแต่ละคน ดังนั้นฐานข้อมูลประเภทนี้จึงมักจะจัดให้อยู่ในสถานที่ที่ปลอดภัย และจะอนุญาตให้เข้าได้เฉพาะบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องดูแลและรับผิดชอบกับระบบเท่านั้น การจะเข้าถึงข้อมูลเหล่านี้ได้ก็จะต้องมีการใส่รหัสอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งฐานข้อมูล AUC นี้จะติดต่อกับส่วน HLR เท่านั้น
- Visitor Location Register (VLR) เป็นฐานข้อมูลที่อยู่คู่กับ MSC หนึ่งชุดหรือกลุ่มของ MSC จำนวนหนึ่ง มีหน้าที่เก็บข้อมูลชั่วคราวของผู้ใช้บริการในขณะที่มีการใช้งานอยู่ เช่น เก็บตำแหน่งหรือบริเวณที่เครื่องโทรศัพท์ใช้งานอยู่ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา เนื่องจากในปัจจุบันผู้ใช้งานสามารถนำโทรศัพท์เคลื่อนที่พกพาติดตัวไปใช้งานในพื้นที่อื่น เช่น ในประเทศอื่นได้ ดังนั้นจึงเป็นประโยชน์ที่ทาง MSC ทำสำเนาฐานข้อมูลของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จากต่างถิ่นไปเก็บไว้ใน VLR ของตนชั่วคราว ในระหว่างที่รองรับการใช้งานของเครื่องโทรศัพท์ดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณการร้องขอข้อมูลจาก HLR ที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นได้ลงทะเบียนเป็นสมาชิกไว้

โดยรวมแล้วส่วนของ NSS ที่ประกอบขึ้นจาก MSC, HLR, AUC, และ VLR มีหน้าที่ในการควบคุมการเรียก (Call control) จัดการกับตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของเครื่องโทรศัพท์ (Mobility management) และการดูแลในเรื่องของการให้บริการเสริม (Supplementary services)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ระบบปฏิบัติการ (Operation Subsystem)

ในส่วนสุดท้ายนี้ประกอบด้วย Operations and Maintenances Centre (OMC) ซึ่งมีหน้าที่หลักในการดูแลจัดการเรื่องการปฏิบัติการของระบบโดยรวม การจัดการกับปัญหาของอุปกรณ์บางส่วนที่อาจเกิดความเสียหาย การปรับตั้งค่าต่างๆ ภายในระบบให้เหมาะสม การจัดการเรื่องสมาชิกผู้ใช้บริการของระบบ ซึ่งรวมไปถึงการคิดค่าบริการและออกบิลเก็บค่าบริการการทำงานของ OMC ส่วนใหญ่แล้วจำต้องมีการติดต่อกับฐานข้อมูล HLR

2.3 การรับส่งคลื่นสัญญาณวิทยุในระบบ จีเอสเอ็ม

ในช่วงเริ่มแรกนั้นได้มีการกำหนดคลื่นความถี่ให้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จีเอสเอ็ม 900 สำหรับใช้งานไว้ทั้งหมด 50 เมกกะเฮิรตซ์ ในย่านความถี่ 890-915 เมกกะเฮิรตซ์ และ 935-960 เมกกะเฮิรตซ์ ในย่านความถี่ต่ำนั้นมีไว้สำหรับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการส่งข้อมูลไปยังสถานีฐาน และเรียกการส่งสัญญาณในทิศทางนี้ว่าเป็นการส่งสัญญาณขาขึ้น (Up-link transmission) ส่วนของย่านความถี่สูงมีไว้ส่งข้อมูลในทิศตรงกันข้ามคือจากสถานีฐานไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ และเรียกการส่งในทิศทางนี้ว่าการส่งสัญญาณขาลง ภายในแบนวิดท์ขนาด 25 เมกกะเฮิรตซ์ ของการส่งข้อมูลในแต่ละทิศทางนี้ จีเอสเอ็มได้แบ่งจำนวนช่องของคลื่นพาห์ไว้ทั้งหมด 124 ช่อง โดยแต่ละช่องมีความถี่ห่างกันเท่ากับ 200 กิโลเฮิรตซ์ ลักษณะการแบ่งช่องสัญญาณแบบนี้มีชื่อเรียกว่า “Frequency Division Multiple Access : FDMA” และในแต่ละคลื่นพาห์ใช้ส่งสัญญาณได้ทั้งหมด 8 ไทม์สล็อต โดยวิธีที่เรียกว่า “Time Division Multiple Access :TDMA” ดังนั้นจะเห็นว่า จีเอสเอ็ม อาศัยทั้งวิธี FDMA และ TDMA

ในเวลาต่อมาได้มีการจัดสรรช่วงความถี่เพิ่มเติมให้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จีเอสเอ็ม ที่ใช้งานในย่านความถี่ 900 เมกกะเฮิรตซ์ อีก 20 เมกกะเฮิรตซ์ ในช่วงความถี่ 880-890 เมกกะเฮิรตซ์ และ 925-935 เมกกะเฮิรตซ์ และเรียกคลื่นความถี่เพิ่มเติมนี้ว่า extended GSM 900 (E-GSM 900) โดยเรียกย่านความถี่เดิมว่าเป็น primary GSM 900 (P-GSM 900)

สำหรับการใช้งานในย่านความถี่ 1800 เมกกะเฮิรตซ์ หรือระบบ ดีซีเอส 1800 ได้มีการกำหนดช่วงความถี่ 1710-1785 เมกกะเฮิรตซ์ สำหรับการส่งสัญญาณขาขึ้น (up link) คือ จากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน และช่วงความถี่ 1805-1880 เมกกะเฮิรตซ์ สำหรับการส่งสัญญาณขาลง (down link) คือ จากสถานีฐานไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมแบนด์วิดท์มากถึง 150 เมกกะเฮิรตซ์

โดยทั่วไปเพื่อความสะดวกในการระบุถึงคลื่นพาห์แต่ละความถี่ มักจะอาศัยหมายเลขช่องสัญญาณแทน โดยค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กันดังในตาราง

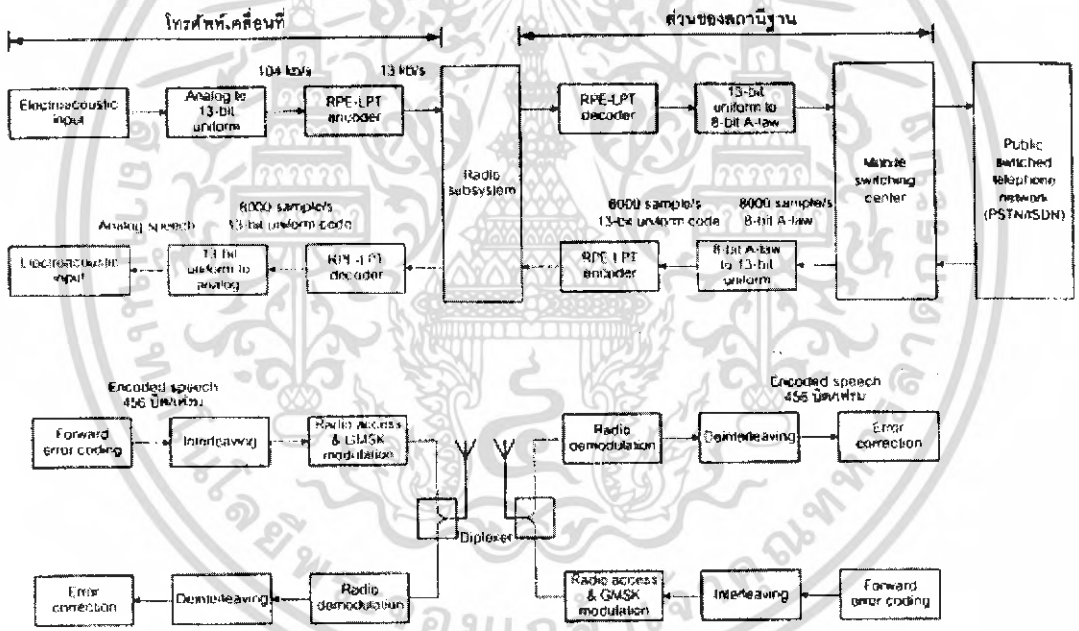
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่านความถี่	ค่าความถี่ (เมกกะเฮิรตซ์)	หมายเลขช่องสัญญาณ
P-GSM 900	Fl(n) = 890 + 0.2n Fu(n) = Fl(n) + 45	$1 \leq n \leq 124$
E-GSM 900	Fl(n) = 890 + 0.2n Fu(n) = Fl(n) + 45 Fl(n) = 890 + 0.2(n-1024) Fu(n) = Fl(n) + 45	$1 \leq n \leq 124$ $975 \leq n \leq 1023$
DCS 1800	Fl(n) = 1710.2 + 0.2(n-512) Fu(n) = Fl(n) + 95	$512 \leq n \leq 885$

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหมายเลขช่องสัญญาณกับค่าความถี่ที่แท้จริง

เมื่อ Fl(n) คือ ความถี่คลื่นพาห์ในย่านความถี่ต่ำสำหรับการส่งสัญญาณขาขึ้น

Fu(n) คือ ความถี่คลื่นพาห์ในย่านความถี่สูงสำหรับการส่งสัญญาณขาลง



รูปที่ 2.5 ภาพรวมของการรับ-ส่งคลื่นสัญญาณในระบบ จีเอสเอ็ม

รูปที่ 2.5 คือ แผนภาพกระบวนการสร้างสัญญาณสำหรับการส่งผ่านข้อมูลของระบบ จีเอสเอ็ม ในส่วนด้านซ้ายคือ ส่วนของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งประกอบด้วยวงจรแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล และวงจรเข้ารหัสสัญญาณเพื่อลดขนาดของอัตราบิตที่ต้องใช้ลงโดยที่คุณภาพของเสียงยังคงอยู่ในระดับที่ใช้งานได้ (RPE-LTP encoder) สัญญาณที่ได้นี้จะผ่านกระบวนการเข้ารหัสช่องสัญญาณ (channel coding) เช่น การเข้ารหัสคอนโวลูชั่น และการทำอินเทอร์ลีฟ ก่อนที่จะทำการส่งออก ทั้งนี้เพื่อป้องกันสัญญาณจากช่องสัญญาณที่มีสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รบกวนมาก การเข้ารหัสช่องสัญญาณนี้มีข้อเสียอย่างหนึ่งคือ ทำให้อัตราบิตของข้อมูลมีขนาดสูงขึ้นซึ่งทำให้การส่งผ่านสัญญาณจำเป็นต้องใช้แบนด์วิดท์มีขนาดกว้างขึ้น จากนั้นสัญญาณนี้จะถูกส่งออกโดยใช้วิธีการมอดูเลตแบบ Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK)

เมื่อสัญญาณนี้เดินทางถึงภาครับซึ่งคือสถานีฐาน ก็จะถูกนำไปผ่านกระบวนที่กลับกันกับที่ภาคส่งเพื่อดึงสัญญาณที่ต้องการออกมา สัญญาณที่ได้ซึ่งจะอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอลก็จะถูกสวิตช์เพื่อเชื่อมต่อโทรศัพท์เครื่องนี้กับอีกเครื่องหนึ่งซึ่งอาจจะเป็นโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือเป็นโทรศัพท์พื้นฐานธรรมดาก็ได้ โดยอาศัยส่วนที่เรียกว่า Mobile Switching Center (MSC) ในทางกลับกันสัญญาณที่ได้ออกจากส่วนของวงจรสวิตช์จะถูกส่งกลับไปที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้วิธีและขั้นตอนคล้ายคลึงกับทิศทางการส่งจากเครื่องโทรศัพท์ไปที่สถานีฐานดังที่อธิบายไว้ข้างต้น

2.4 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องโทรศัพท์

ทันทีที่ผู้ใช้เปิดเครื่องโทรศัพท์เพื่อใช้งาน เครื่องโทรศัพท์จะไม่ทราบข้อมูลที่เกี่ยวกับระบบโครงข่ายที่จะเริ่มการติดต่อด้วยเลย เช่น จะไม่ทราบถึงตำแหน่งว่าอยู่ภายในขอบข่ายการดูแลของเซลล์ใด ดังนั้นอุปกรณ์โทรศัพท์ก็จะต้องทำการหาข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นทั้งหมดสำหรับการติดต่อกับสถานีฐานของระบบ ในขั้นแรกเครื่องโทรศัพท์จะต้องหาคลื่นความถี่ที่ช่องสัญญาณ BCCH ก่อนเพื่อจะได้อ่านข้อมูลบางส่วนของระบบโทรศัพท์ที่ต้องใช้ในการติดต่อ เนื่องจากในระบบ จีเอสเอ็ม 900 นั้นมีคลื่นความถี่สำหรับใช้งานมากถึง 124 ช่อง การที่เครื่องโทรศัพท์จะสแกนคลื่นความถี่ทั้งหมดเพื่อหาช่องสัญญาณ BCCH นั้นจะต้องใช้เวลานานพอสมควร ดังนั้นเพื่อให้การค้นหาช่องสัญญาณมีความรวดเร็วขึ้น ระบบ จีเอสเอ็ม จึงได้กำหนดให้เครื่องโทรศัพท์ทำการจดบันทึกชุดคลื่นความถี่ของเซลล์ครั้งสุดท้ายที่มีการติดต่อด้วย รวมไปถึงคลื่นความถี่ของเซลล์รอบข้างดังกล่าวด้วย เมื่อมีการเปิดเครื่องโทรศัพท์เพื่อใช้งาน ตัวเครื่องจะทำการสแกนหาความถี่ที่บันทึกอยู่ในแผ่น ซิม ก่อน ตามมาตรฐานของ จีเอสเอ็ม คลื่นความถี่ที่มีช่องสัญญาณ BCCH อยู่จะต้องส่งออกด้วยกำลังที่สูงสุดตลอดเวลา ไม่อนุญาตให้มีการปรับลดระดับของกำลังสัญญาณเลย

2.4.1 การเลือกเซลล์ที่จะติดต่อ

หลังจากที่เครื่องโทรศัพท์ได้ข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการจากสถานีฐานของเซลล์รอบข้างแต่ละแห่งทั้งหมดแล้ว เครื่องโทรศัพท์ก็จะต้องทำการตัดสินใจว่าจะเลือกที่จะติดต่อกับสถานีฐานใด จึงจะมีความเหมาะสมที่สุด ในการเลือกเซลล์นั้นเครื่องโทรศัพท์ก็จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ หลายปัจจัยดังนี้ ปัจจัยแรกที่ต้องพิจารณาคือ กำลังของสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์รับได้ ปัจจัยนี้นับได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด เพราะกำลังของคลื่นสัญญาณของช่อง BCCH สามารถใช้บ่งบอกถึงคุณภาพการรับส่งของช่องสัญญาณได้ ถ้าคลื่นสัญญาณ BCCH ที่รับได้มีกำลังที่แรงก็น่าจะหมายถึงว่าสถานีฐานได้รับสัญญาณที่มีกำลังที่ดีด้วย แต่หากสัญญาณที่รับได้มีกำลังอ่อนก็แสดงว่าการสนทนาของผู้ใช้ผ่านช่องสัญญาณนี้ก็น่าจะมีคุณภาพที่ไม่ดีตามไปด้วย ทั้งนี้จะต้องไม่ลืมว่าคลื่นสัญญาณในช่อง BCCH มีกำลังส่งที่แรงที่สุดตลอดเวลา เพราะฉะนั้นช่องสัญญาณอื่นๆ ที่ใช้ในภายหลังก็จะมีกำลังต่ำกว่าเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยต่อมาที่ต้องคำนึงถึงก็คือ ขนาดกำลังส่งสูงสุดของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ยกตัวอย่างเช่น หากเซลล์ที่ใช้งานอยู่ได้ออกแบบไว้สำหรับเครื่องโทรศัพท์ประเภทที่มีกำลังส่งสูงสุด 20 W (class 1) การที่เครื่องโทรศัพท์สามารถรับสัญญาณที่มีความแรงพอก็มิได้หมายความว่า สถานีฐานจะต้องสามารถรับสัญญาณได้ดีตามไปด้วย เพราะหากเครื่องโทรศัพท์ที่ใช้มีกำลังส่งสูงสุดเพียง 0.8 W (class 5) กำลังของสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานก็อาจจะมีขนาดที่อ่อนมากได้

ปัจจัยสุดท้ายที่จะต้องนำมาพิจารณาด้วยคือ ตำแหน่งหรือบริเวณการใช้งานของเครื่องโทรศัพท์ ปัจจัยนี้มิได้มีผลกระทบต่อคุณภาพการรับส่งสัญญาณเลย แต่ก็มีส่วนช่วยลดปริมาณการรับส่งสัญญาณควบคุมที่เครื่องโทรศัพท์ใช้ในการรายงานถึงการเปลี่ยนตำแหน่งหรือบริเวณการใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่เครื่องโทรศัพท์มีการใช้งานอยู่ในบริเวณรอยต่อของเซลล์

2.4.2 การซิงโครไนซ์

ในการที่เครื่องโทรศัพท์จะสามารถซิงโครไนซ์การทำงานให้เข้ากับส่วนของสถานีฐานได้นั้น ในช่วงต้นของการติดต่อเครื่องโทรศัพท์จะต้องปรับความถี่ของคลื่นพาห์ให้ตรงกับความถี่ของสถานีฐานก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดยดูจาก FCB ที่ส่งออกโดยสถานีฐานบนคลื่นพาห์ BCCH จากนั้นเครื่องโทรศัพท์ก็จะต้องปรับจังหวะการรับส่งข้อมูลในเชิงเวลาให้เข้ากับส่วนของสถานีฐานด้วย ซึ่งส่วนของข้อมูลตรงนี้สามารถอ่านได้จาก Synchronization Burst (SB) วงจรนับที่มีใช้ในระบบ จีเอสเอ็ม เพื่อซิงโครไนซ์จังหวะเวลาระหว่างเครื่องโทรศัพท์และส่วนของสถานีฐานประกอบด้วย

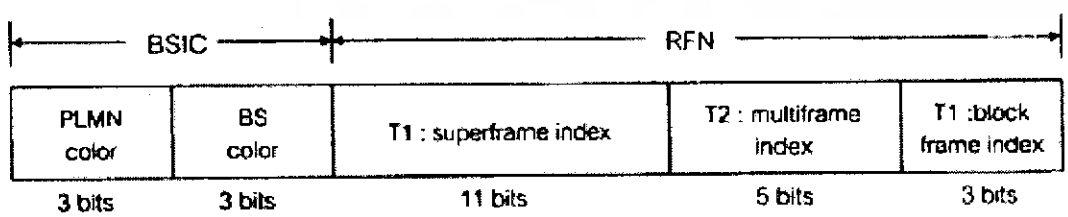
QN = 0-624: quarter-bit number

BN = 0-156: bit number

TN = 0-7: timeslot number

FN = 0-(26 x 51 x 2048): frame number

ทันทีที่เครื่องโทรศัพท์ได้รับสัญญาณจาก SB ก็จะทำการตั้งค่าของวงจรนับภายในเครื่องให้ตรงกับส่วนของสถานีฐาน โดยจะอ่านค่าของ QN ได้จาก extended training sequence ที่มีขนาด 64 บิต ซึ่งบรรจุอยู่ใน SB จากนั้นตั้งค่าเริ่มต้นของ TN = 0 และท้ายสุดก็ทำการถอดรหัสค่า Encrypted Sync Bits จำนวน 78 บิต เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการซิงโครไนซ์จำนวน 25 บิต ซึ่งมีโครงสร้างและรายละเอียดดังที่แสดงในรูป



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของข้อมูลที่บรรจุใน SCH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเหล่านี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ BSIC และ RFN ส่วน BSIC (Base Station Identifier Code) จำนวน 6 บิต มีหน้าที่ในการบ่งบอกถึงหมายเลขประจำตัวของสถานีฐานที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่กำลังติดต่ออยู่ สำหรับส่วน RFN (Reduced TDMA Frame Number) อีก 19 บิต มีไว้สำหรับระบุหมายเลขของ TDMA frame โดยหมายเลขที่ RFN สามารถบ่งได้มีค่าจำกัดอยู่ระหว่าง 0 ถึง 26 x 51 x 2048-1

2.4.3 การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบแรนดอม (Random Access)

ในการติดต่อครั้งแรกของเครื่องโทรศัพท์ไปที่สถานีฐานแต่ละครั้งนั้น จะมีปัญหาอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาคือ จังหวะการเข้าใช้ช่องสัญญาณของเครื่องโทรศัพท์ในไทม์สล็อต เพราะในช่วงเวลานี้โครงข่ายยังมิได้มีการจัดสรรช่องสัญญาณแต่ละไทม์สล็อตที่ชัดเจนให้เครื่องโทรศัพท์ใช้ ดังนั้นจึงมีโอกาสที่เครื่องโทรศัพท์มากกว่าหนึ่งเครื่องส่งสัญญาณการขอติดต่อออกพร้อมกันลงบนไทม์สล็อตเดียวกัน ผลที่เกิดขึ้นก็คือสัญญาณเหล่านี้เกิดการชนกัน สำหรับในระบบ จีเอสเอ็ม นั้นได้กำหนดช่องสัญญาณเฉพาะสำหรับการแสดงความต้องการโทรศัพท์ออกคือ Random Access Channel (RACH) ซึ่งได้มีการอธิบายถึงโครงสร้างไว้ในส่วนก่อนหน้านี้แล้ว เนื่องจากโครงสร้างของช่องสัญญาณ RACH มีลักษณะเป็นไทม์สล็อตที่แน่นอน ดังนั้นการชนกันของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดต่างๆ จะเกิดขึ้นภายในแต่ละไทม์สล็อตแยกจากกัน สมมติว่า ณ ที่เวลาไทม์สล็อตหนึ่งมีเครื่องโทรศัพท์จำนวน 2 เครื่อง ส่งสัญญาณออกพร้อมกัน จะเกิดเหตุการณ์ได้ 2 ลักษณะ คือ สถานีฐานสามารถรับสัญญาณจากเครื่องโทรศัพท์เครื่องหนึ่งได้ถูกต้อง เพราะระดับสัญญาณที่รับได้มีกำลังสูงกว่าสัญญาณจากอีกเครื่องหนึ่งมาก หรือสถานีฐานไม่สามารถรับสัญญาณที่ถูกต้องจากเครื่องใดเครื่องหนึ่งเลย สำหรับในกรณีหลังเครื่องโทรศัพท์แต่ละเครื่องจะต้องทำการส่งสัญญาณชุดเดิมใหม่อีกครั้ง ในการที่จะส่งสัญญาณใหม่อีกครั้งนั้น จะต้องมีการเตรียมมาตรการที่สามารถป้องกันมิให้เกิดการชนกันของสัญญาณอีก สำหรับในระบบ จีเอสเอ็ม นั้นได้นำวิธีที่เรียกว่า Slotted Aloha มาใช้ เมื่อใดที่มีการชนกันของสัญญาณเกิดขึ้น เครื่องโทรศัพท์แต่ละเครื่องจะไม่ส่งสัญญาณเดิมออกไปทันที เพราะจะเกิดการชนกันของสัญญาณขึ้นอีกไม่สิ้นสุด ดังนั้นในสถานการณ์ดังกล่าวนี้ เครื่องโทรศัพท์แต่ละเครื่องจะหน่วงเวลาการส่งออกไปเป็นช่วงเวลาช่วงหนึ่ง โดยขนาดของช่วงเวลาที่หน่วงไว้นี้ได้มาจากการแรนดอมค่าขึ้นมา ด้วยเหตุนี้โอกาสที่จะเกิดการชนกันจึงมีขนาดลดลงอย่างมาก

2.4.4 การระบุตำแหน่งพื้นที่ (Location areas)

เนื่องจากโดยปกติการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่มักจะมีการเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งานอยู่เสมอๆ ดังนั้นการค้นหาตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์จึงเป็นเรื่องที่จำเป็นและมีความสำคัญอย่างมากในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยทั่วไปแล้วเราสามารถแบ่งวิธีการค้นหาตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์ออกได้เป็น 2 วิธี วิธีแรก ระบบโทรศัพท์จะไม่ทำการเก็บข้อมูลใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์เลย และเมื่อใดที่ระบบโทรศัพท์ต้องการจะติดต่อด้วย เช่น มีการโทรศัพท์เข้าจากผู้ใช้อื่น ระบบโทรศัพท์ก็จะส่งคำสั่งให้สถานีฐานทั้งหมดทำการเพจ เพื่อค้นหาตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์ เมื่อโทรศัพท์มีการตอบรับการเรียก ระบบก็จะสามารถทราบถึงตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์ สังเกตว่าวิธีนี้ไม่เหมาะสมกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำมาใช้กับโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้าง เช่น พื้นที่ทั้งประเทศหรือหลายๆ ประเทศ เพราะจะมีการส่งสัญญาณเพจออกไปเป็นจำนวนมาก ส่วนวิธีที่สอง ระบบจะทำการเก็บข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งหรือบริเวณที่เครื่องใช้โทรศัพท์ที่มีการใช้งานอยู่อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อใดที่เครื่องโทรศัพท์พบว่าได้เคลื่อนที่ออกจากบริเวณการใช้งานเดิมเข้าสู่บริเวณการใช้งานในบริเวณใหม่ เครื่องโทรศัพท์จะต้องรายงานถึงการเปลี่ยนตำแหน่งหรือบริเวณที่ใช้งานดังกล่าวนี้ บริเวณการใช้งานบริเวณหนึ่งอาจจะมีขนาดที่แตกต่างกันไปตามที่ต้องการ เช่น อาจจะเป็นพื้นที่ของเซลล์หนึ่งเซลล์ สำหรับวิธีนี้เมื่อใดที่ระบบโทรศัพท์ต้องการจะติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์ ก็สามารถเพจหรือค้นหาเฉพาะในบริเวณที่เครื่องโทรศัพท์อยู่ ซึ่งช่วยให้จำนวนสัญญาณ Signaling ที่ต้องใช้ในการเพจหาเครื่องโทรศัพท์มีปริมาณที่ลดลงมาก หากแต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ ปริมาณของสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์ต้องส่งไปบอกระบบถึงการเปลี่ยนบริเวณการใช้งานจะมีค่อนข้างมาก หากมีการแบ่งบริเวณพื้นที่ที่มีขนาดเล็กเกินไป เช่น แบ่งขนาดของพื้นที่เท่ากับขนาดของเซลล์หนึ่งเซลล์ ด้วยเหตุนี้ระบบ จีเอสเอ็ม จึงเลือกใช้วิธีที่สองโดยกำหนดให้บริเวณพื้นที่แต่ละส่วนจะมีขนาดครอบคลุมเซลล์จำนวนหลายเซลล์ เพื่อลดปริมาณสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์จะต้องส่ง โดยที่ขอบเขตของพื้นที่แต่ละแห่งจะเรียกว่า Location area

2.4.5 การแฮนด์โอเวอร์ (Handover)

การทำแฮนด์โอเวอร์จะเกิดขึ้นเมื่อเครื่องโทรศัพท์มีการเคลื่อนออกห่างจากขอบเขตการดูแลของเซลล์ที่ติดต่ออยู่ ส่งผลให้การติดต่อสื่อสารระหว่างทั้งสองฝ่ายมีคุณภาพที่ต่ำลงเรื่อยๆ และเมื่อเครื่องโทรศัพท์เริ่มเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณของเซลล์ใหม่ซึ่งโดยปกติแล้วจะสามารถให้คุณภาพการรับส่งสัญญาณที่ดีกว่าของเซลล์เดิม ระบบโทรศัพท์ก็จะทำการโอนย้ายการติดต่อไป ให้กับสถานีฐานของเซลล์ใหม่เพื่อให้การสนทนาของผู้ใช้มีความต่อเนื่องและมีคุณภาพในระดับที่ดีตลอดช่วงเวลาการสนทนา กระบวนการดังกล่าวเรียกว่า การทำแฮนด์โอเวอร์ สำหรับระบบ จีเอสเอ็ม เครื่องโทรศัพท์มีส่วนสำคัญในกระบวนการทำแฮนด์โอเวอร์ค่อนข้างมาก โดยระบบมอบหมายให้เครื่องโทรศัพท์ทำหน้าที่ในการตรวจวัดระดับสัญญาณที่รับได้จากเซลล์ที่ติดต่ออยู่ด้วยและสัญญาณที่รับได้จากเซลล์รอบๆ จากนั้นจะรายงานผลที่ได้ไปให้สถานีฐานเพื่อใช้ในการตัดสินใจการทำแฮนด์โอเวอร์ต่อไป การทำแฮนด์โอเวอร์ในลักษณะนี้มีชื่อเรียกว่า MAHO (Mobile Assisted Handover)

2.5 การมอดูเลตสัญญาณ

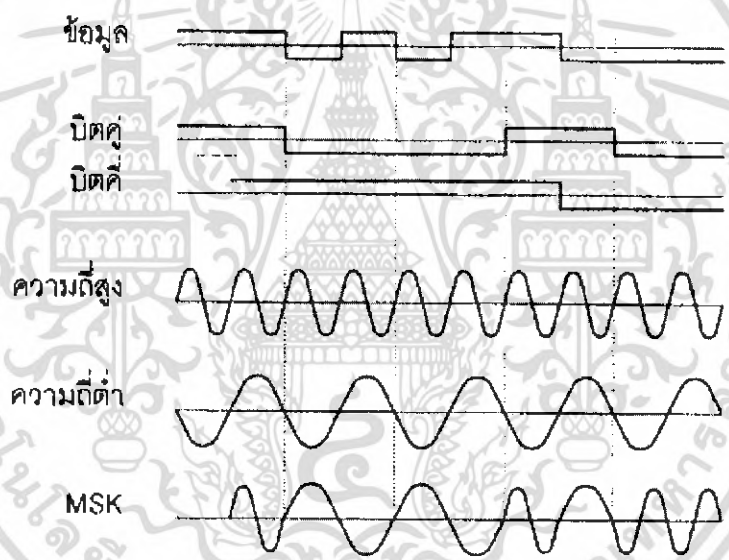
ระบบ จีเอสเอ็ม อาศัยการมอดูเลตสัญญาณแบบ Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) ซึ่งสามารถส่งสัญญาณดิจิตอลด้วยอัตรา 270.833 กิโลบิตต่อวินาที โดยใช้แบนด์วิดท์ขนาด 200 กิโลเฮิรตซ์ ดังนั้นค่าประสิทธิภาพการใช้แบนด์วิดท์มีค่าเท่ากับ 270.833/200 = 1.35 บิตต่อวินาทีต่อเฮิรตซ์ ในแบนด์วิดท์ขนาด 200 กิโลเฮิรตซ์ นี้สามารถใช้ส่งข้อมูลได้ 8 ช่องสัญญาณ ดังนั้นสเปกตรัมที่มีอยู่ทั้งหมด 2 x 25 เมกกะเฮิรตซ์ จึงสามารถใช้ส่งข้อมูลได้ทั้งหมด 8 x 124 = 992 ช่องสัญญาณ ซึ่งมิใช่ค่าที่สูงนัก เพราะระบบอนาล็อกก็สามารถให้จำนวนช่องสัญญาณใกล้เคียงกันด้วยขนาดของแบนด์วิดท์ที่เท่ากัน ในแง่มุมนี้ระบบดิจิตอลที่ จีเอสเอ็ม มิได้ดีไปกว่าระบบอนาล็อกที่มีการใช้งานอยู่เดิม หากแต่ว่าระบบ จีเอสเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถทำงานได้ที่ค่า Co channel-Interference (C/I) ประมาณ 10-12 dB ซึ่งต่ำกว่าของระบบอนาล็อกถึง 6 dB นั่นหมายถึงว่าเราสามารถใช้ความถี่ชุดเดียวกันมาใช้ในบริเวณอื่นที่อยู่ใกล้กันได้มากขึ้น ส่งผลให้ระบบมีความจุเพิ่มขึ้นและรองรับจำนวนผู้ใช้โทรศัพท์ได้มากขึ้น

การมอดูเลตสัญญาณแบบจีเอ็มเอสเคนั้น เริ่มจากการนำข้อมูลดิจิตอลไปผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ ที่มีลักษณะเป็นรูปเกาส์เซียน ด้วยค่าพารามิเตอร์ BT = 0.3 โดย B เป็น 3 dB แบนด์วิดท์ที่มีความกว้างเท่ากับ 81.3 กิโลเฮิรตซ์ และ T คือ คาบของสัญญาณ 1 บิตซึ่งมีค่าเท่ากับ 1/270.833 = 3.7 ไมโครวินาที จากนั้นก็นำสัญญาณนี้ไปเข้าวงจรมอดูเลเตอร์แบบเอ็มเอสเค การที่นำข้อมูลไปผ่านวงจรกรองก่อนจะช่วยให้สเปกตรัมของสัญญาณที่มอดูเลตแล้วมีขนาดแคบลง

ในส่วนของการมอดูเลตแบบเอ็มเอสเค นั้นเริ่มด้วยการแบ่งแยกบิตข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ บิตคู่และบิตคี่ สัญญาณที่แยกออกมาแต่ละส่วนนั้นจะทำการเพิ่มขนาดของคาบเวลาเป็น 2 เท่า โดยที่ส่วนของสัญญาณบิตคู่จะมีการดีเลย์เป็นเวลาหนึ่งคาบของสัญญาณข้อมูล จากนั้นค่าของสัญญาณทั้ง 2 ส่วนก็นำไปใช้เลือกคลื่นสัญญาณตามที่แสดงไว้ในตารางเพื่อการส่งออก



รูปที่ 2.7 ลักษณะสัญญาณเอ็มเอสเค

ข้อมูล		MSK	
บิตคู่	บิตคี่	ความถี่	ขั้วสัญญาณ
1	1	สูง	+
-1	1	ต่ำ	-
1	-1	ต่ำ	+
-1	-1	สูง	-

ตารางที่ 2.5 การสร้างสัญญาณ เอ็มเอสเค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

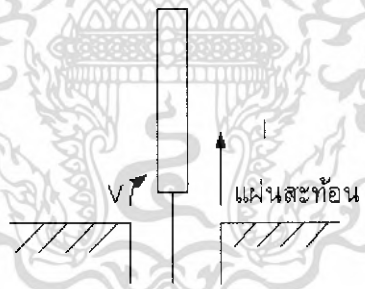
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.6 สายอากาศ (Antenna)

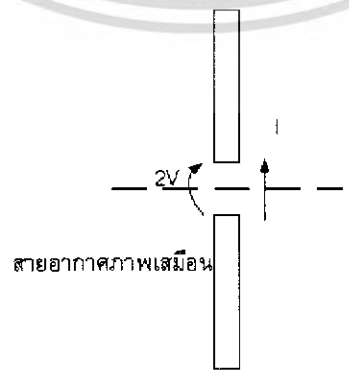
สายอากาศเป็นโครงสร้างซึ่งมักจะถูกสร้างจากวัสดุที่เป็นตัวนำที่ดี ที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้มีรูปร่างและขนาดที่แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันได้มีการศึกษาพัฒนาเกี่ยวกับสายอากาศมากขึ้น มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบของสายอากาศให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน มีรูปทรงที่พอเหมาะกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสาร ซึ่งมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ ตามความต้องการ ทั้งยังมีความสะดวกสบายและมีประสิทธิภาพเทียบที่ดีกว่าอุปกรณ์ที่ใช้สื่อสารกันในอดีต อีกทั้งการส่งข้อมูลการสื่อสารจากผู้ส่งไปยังผู้รับต้องการข่าวสารและภาพไปด้วยในเวลาเดียวกัน ความถี่ที่ใช้ก็ต้องสูงไปด้วยเพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูล สายอากาศที่ใช้ในการดักจับสัญญาณต้องมีประสิทธิภาพพอที่จะรับข้อมูลและไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณข้างเคียง

สายอากาศที่มีลักษะทางกายภาพที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งบนอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ และใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดคือ สายอากาศโมโนโพล ซึ่ง ที่มีขนาดเล็กและง่ายต่อการพกพา อีกทั้งยังเหมาะกับการใช้งานในย่านความถี่สูง ตามทฤษฎีความยาวคลื่น $\lambda = c / f$ ถ้าความถี่ยิ่งสูงมากจะทำให้สายอากาศยิ่งสั้นลง สำหรับสายอากาศแบบโมโนโพลนั้นจะจัดอยู่ในกลุ่มของสายอากาศแบบเส้นลวด (Wire Antenna)

สายอากาศแบบโมโนโพลมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.8 คือมีการป้อนกำลังงานมาจากทางส่วนล่างที่ติดกับแผ่นสะท้อน ถ้าแรงดันที่ขั้วเป็น V จากทฤษฎีภาพเสมือนเราจะได้เหมือนกับว่ามีสายอากาศเสมือนอยู่ด้านล่างอีกส่วนหนึ่ง ซึ่งมีทิศทางของกระแสเหมือนกับสายอากาศจริง



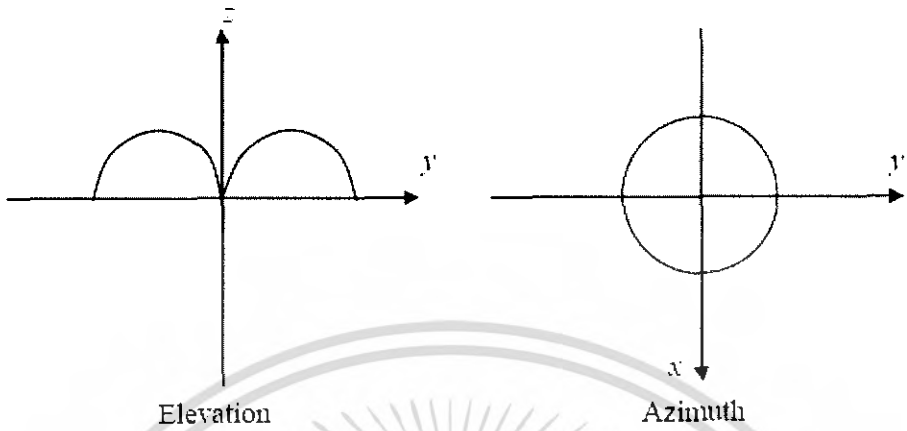
รูปที่ 2.8 สายอากาศโมโนโพล



รูปที่ 2.9 การคิดสายอากาศภาพเสมือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62551

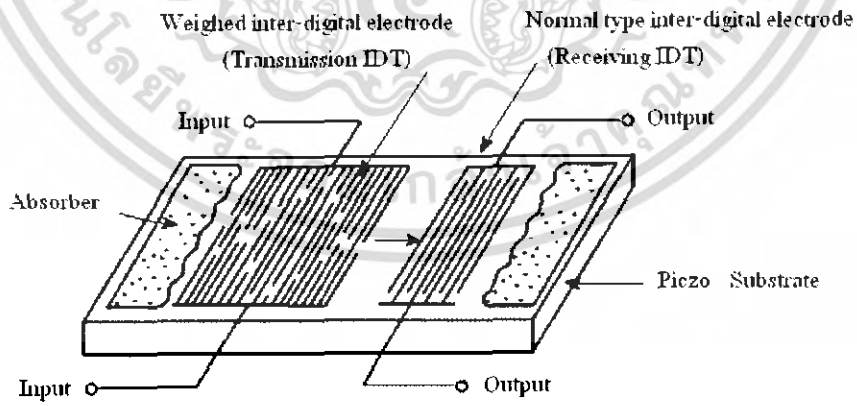
ในสภาพดังกล่าวนี้สนามไฟฟ้าบนผิวสัมผัสของแผ่นสะท้อนจะเป็นศูนย์ จากรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำสายอากาศภาพเสมือนมาคิดร่วมด้วยจะได้เป็นสายอากาศไดโพลที่ถูกป้อนด้วยแรงดัน 2 โวลต์



รูปที่ 2.10 แพทเทินของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบโมโนโพล

2.7 ซอว์ฟิลเตอร์ (Surface acoustic wave filter: SAW filter)

โครงสร้างของซอว์ฟิลเตอร์ประกอบด้วยอินเตอร์ดิจิตอลอิเล็กโทรด ที่เรียกว่า "Inter-digital transducers : IDT" ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เกิดเป็นคลื่นบนพื้นผิว (Surface acoustic wave) แต่ละหน้าดังรูป ถ้าสัญญาณที่เป็นความถี่สูงเข้ามาทางขาอินพุต จะถูกกระตุ้นโดยสนามไฟฟ้าที่เกิดจากอิเล็กโทรด และแผ่กระจายอยู่บนพื้นผิวจากซ้ายไปขวา เมื่อความยาวคลื่นของคลื่นบนพื้นผิวและระยะของอิเล็กโทรดมีค่าเท่ากับคลื่นบนพื้นผิวจะถูกกระตุ้นอย่างแรงเพราะสัญญาณความถี่สูงดังกล่าวจะมีเฟสตรงกัน ซึ่งเมื่อออกแบบให้ตรงกับความถี่ที่ต้องการความถี่ที่นอกเหนือจากความถี่ที่ต้องการก็จะไม่สามารถผ่านไปได้ ซึ่งจะเห็นว่าสามารถนำมาใช้เป็นตัวกรองความถี่ได้

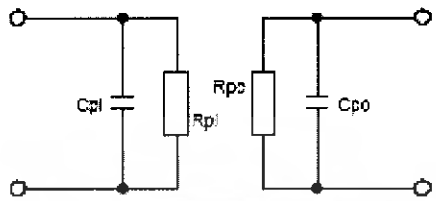


รูปที่ 2.11 โครงสร้างภายในของซอว์ฟิลเตอร์

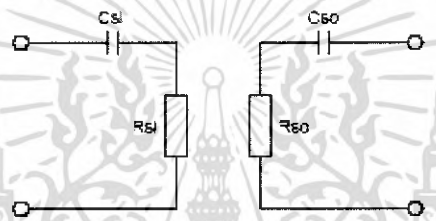
วงจรสมมูลของซอว์ฟิลเตอร์ประกอบไปด้วยตัวความต้านทานและตัวเก็บประจุทั้งแบบขนานและอนุกรม ค่าความเก็บประจุ ถูกยกเลิกเมื่อใส่ตัวต้านทานขนานลงไป อิมพิแดนซ์ของซอว์ฟิลเตอร์ (รวมถึงตัวต้านทานที่ขนาน) ที่ความถี่กลาง โดยในกรณีนี้ค่าของอิมพิแดนซ์มีค่ามากกว่าค่าที่ไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับอิมพิแดนซ์ เมื่อใส่ตัวต้านทานอนุกรมลงไป ดังรูปที่ 2.12 ต่อแบบขนานควรเปลี่ยนเป็นต่อแบบอนุกรมดังรูปที่ 2.13 เพราะในกรณีปรับตัวต้านทานและ ในการต่ออนุกรมเรโซแนนซ์ อิมพิแดนซ์ของซอว์ฟิลเตอร์ (รวมถึงการปรับตัวต้านทาน) เท่ากับค่านี้มีค่าน้อยกว่าอิมพิแดนซ์ของฟิลเตอร์โดยไม่ได้ปรับตัวต้านทาน



รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลของซอว์ฟิลเตอร์แบบขนาน

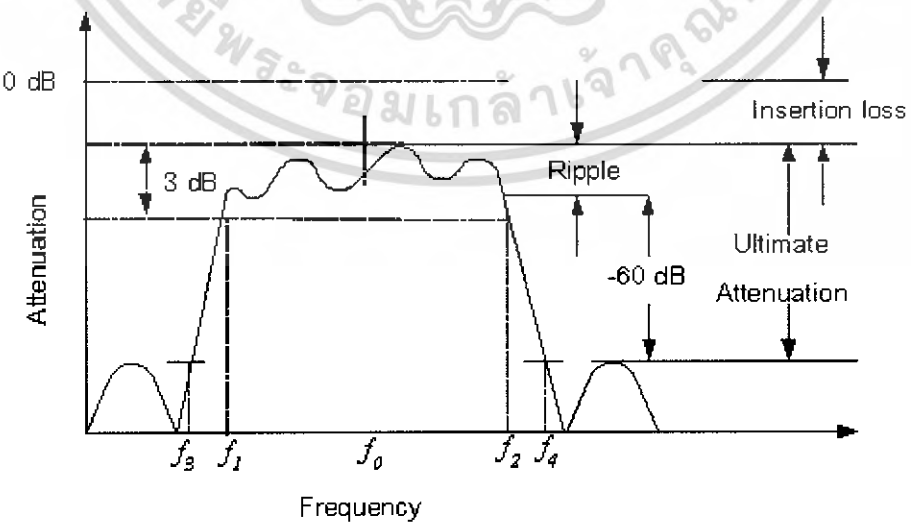


รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลของซอว์ฟิลเตอร์แบบอนุกรม

2.7.1 คำนิยามเกี่ยวกับผลตอบสนองของวงจรกรองความถี่แถบผ่าน

2.7.1.1 แถบกว้าง (Bandwidth)

แถบกว้างของวงจรเรโซแนนซ์ (Resonant) จะให้คำจำกัดความว่าความแตกต่างระหว่างด้านความถี่สูงและด้านความถี่ต่ำ $(f_2 - f_1)$ ของวงจรที่มีขนาด (Amplitude) สูงสุดในส่วนของผลตอบสนองแถบผ่าน (Pass band) ที่มีค่าต่ำลง 3ดีบี หรือที่เรียกว่า "Half-power bandwidth (HPBW)"



รูปที่ 2.14 ลักษณะของผลตอบสนองของวงจรกรองความถี่แถบผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1.2 ค่าตัวประกอบคุณภาพ (Quality factor: Q)

เป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่กึ่งกลางกับแถบกว้าง ซึ่งมีสมการดังนี้

$$Q = \frac{f_c}{f_2 - f_1} \tag{2.1}$$

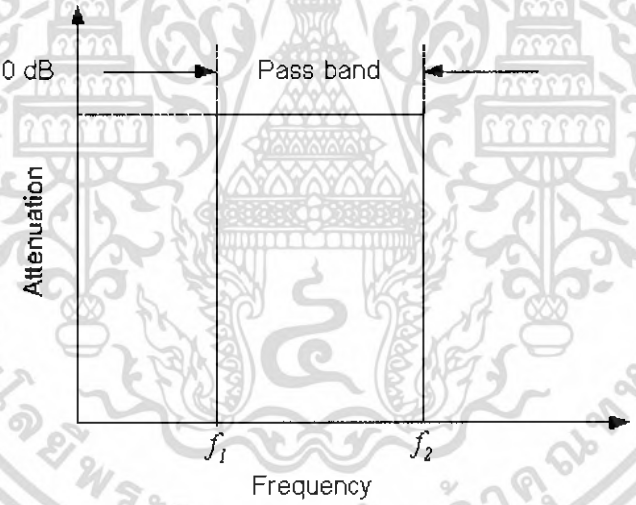
โดยค่า Q เป็นตัววัดการเรโซแนนซ์ ของวงจรถ้า Q มีค่าสูงแสดงถึงแถบความกว้างแคบ (Narrow bandwidth)

2.7.1.3 ความชันของสัญญาณ (Shape Factor)

เป็นอัตราส่วนแถบกว้าง ที่ 60 ดีบี ต่อแถบกว้าง ที่ 3 ดีบี

$$SF = \frac{Bandwidth \;\; 60 \;\; dB}{Bandwidth \;\; 3 \;\; dB} \tag{2.2}$$

SF เป็นตัววัดความชันของสัญญาณ โดยมีจำนวนน้อยเท่าไรก็แสดงว่าความชันมากเท่านั้นในรูปที่ 2.15 จะมีค่า SF เป็น 1



รูปที่ 2.15 ผลตอบสนองในทางอุดมคติของวงจรกรองความถี่แถบผ่าน

2.7.1.4 ค่าการลดทอนต่ำสุด (Ultimate Attenuation)

เป็นค่าการลดทอนต่ำสุดในส่วนของแถบผ่าน และจะมีค่าเป็นอนันต์ภายนอกของแถบผ่านซึ่งจะเห็นจากรูปที่ 2.14 จะพิจารณาได้เป็นไปไม่ได้ที่จะเป็นอนันต์เพราะจะไม่สนใจในส่วนนี้

2.7.1.5 ความสูญเสียจากการลดทอน (Insertion loss)

คือ ส่วนประกอบหรือกลุ่มของส่วนประกอบที่ใส่ระหว่างแหล่งกำเนิด และโหลดโดยสัญญาณจากแหล่งกำเนิดจะดูดกลืน ในส่วนประกอบที่ทำให้เกิด ความต้านทานจากความสูญเสีย ทำให้สามารถส่งผ่านสัญญาณถ่ายโอนไปยังโหลดได้เมื่อโหลดต่อกลับแหล่งกำเนิดหรือกล่าวได้ว่าอิมพีแดนซ์เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่แมตซ์กันซึ่งการลดทอนนี้เราเรียกว่าการสูญเสียสอดแทรก และเป็นคุณลักษณะการเรโซแนนซ์ของวงจรโดยจะมีหน่วยเป็นดีบี

2.7.1.6 ริปเปิล (Ripple)

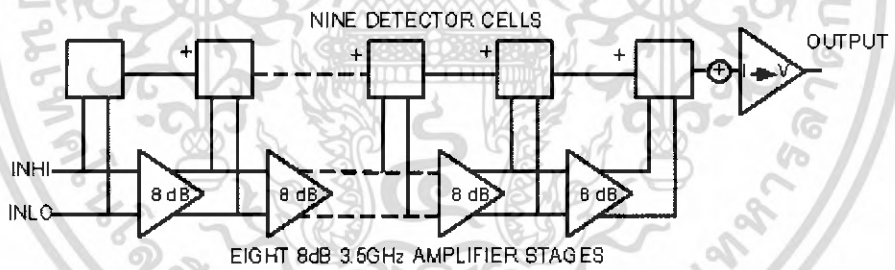
เป็นการวัดความเรียบของแถบผ่านซึ่งจะมีหน่วยเป็นดีบี โดยการวัดจากคุณลักษณะของผลตอบสนองของความแตกต่าง ระหว่างการลดทอนสูงสุดในแถบผ่านและการลดทอนต่ำสุดในแถบผ่าน

2.8 วงจรเรคติไฟเออร์ (Rectifier)

วงจรเรคติไฟเออร์ เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการเรคติไฟสัญญาณ สำหรับในโครงงานนี้เราจะใช้วงจรเรคติไฟเออร์ในการแปลงสัญญาณ โดยแปลงสัญญาณความถี่วิทยุให้เป็นสัญญาณไฟกระแสตรงเพื่อที่จะนำเข้าวงจรภาคอื่นต่อไปโดยใช้ IC AD8313

AD8313 จะเป็นอุปกรณ์ทางด้านอนาล็อก สร้างด้วยอุปกรณ์จำพวก ซิลิกอนไบโพลาร์โดยจะผ่านกระบวนการ SOIC เพื่อให้ออกมาในรูปของแพ็กเกต โดยจะสามารถทำงานได้ที่ -40 องศาเซลเซียส ถึง +85 องศาเซลเซียส AD8313 เป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ในย่านความถี่ที่ 0.1 ถึง 2.5 กิกะเฮิรตซ์ และสามารถใช้ได้ดีที่ความถี่ 10 เมกกะเฮิรตซ์ ถึง 2.5 เมกกะเฮิรตซ์

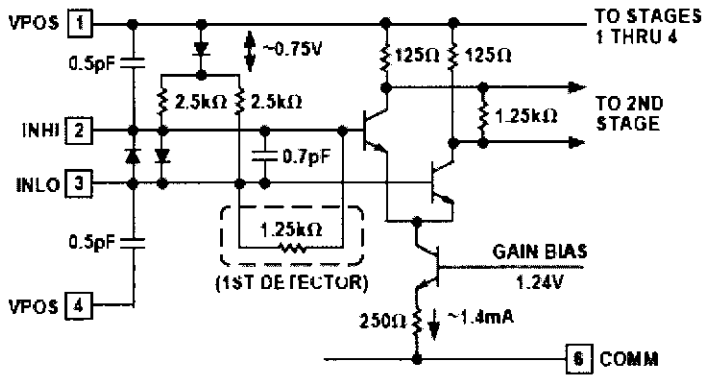
AD8313 เป็นอุปกรณ์ที่ดีเท็คสัญญาณได้ดีมากยิ่งขึ้นเมื่อความถี่ยิ่งสูง คือ เมื่อความถี่มีค่ามากขึ้นความแรงของสัญญาณที่ดีเท็คนั้นดีขึ้นและมีค่าของแรงดันเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 2.16 โครงสร้างภายในของ IC AD8313

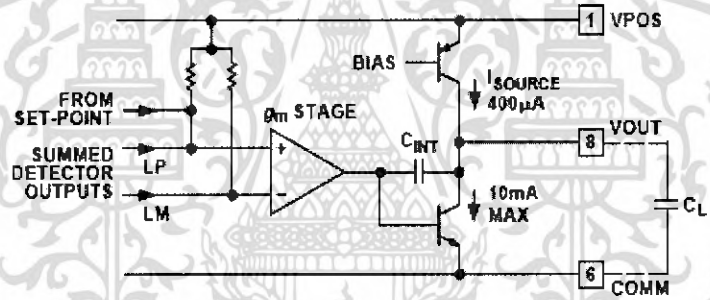
จากรูปที่ 2.16 แสดงถึงโครงสร้างภายในของ AD8313 จากรูปนี้จะเห็นได้ว่าภายในของ AD8313 นั้นมีวงจรขยายอยู่ด้วย วงจรขยายหนึ่งตัวมีอัตราขยายเท่ากับ 8 ดีบี มาต่อแบบคาสเคดจำนวน 8 สเตจ เพื่อต้องการให้ได้อัตราขยายมากถึง 64 ดีบี และโครงสร้างภายในของ AD8313 ยังมีวงจรควบคุมการทำงานในการดีเท็คสัญญาณด้วย ซึ่งภายในจะมี เรคติไฟเออร์เซลอยู่ 9 ตัว โดยเรคติไฟเออร์ตัวแรกต่ออยู่กับภาคอินพุทและอีกแปดตัวที่เหลือต่ออยู่กับเอาต์พุทของวงจรขยายแต่ละสเตจซึ่งเรคติไฟเออร์เซลแต่ละตัวจะทำการแปลงสัญญาณที่รับเข้ามาให้อยู่ในรูปแบบของกระแสซึ่งมารวมกันแล้วจะถูกแปลงจากกระแสให้เป็นแรงดันไฟตรงออกมาทางด้านเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 วงจรภายในของด้านอินพุตของเรดติไฟเออร์

แรงดันไฟฟ้าอินพุตที่แสดงสำหรับทำให้ชิพสามารถทำงานเมื่อไม่ใช้มันจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย 100 มิลลิโวลต์ ถ้ามีอินพุตถูกคัปเปิ้ลผ่านทางตัวเก็บประจุการเปลี่ยนแปลงนี้อาจจะเป็นสาเหตุให้ระดับสัญญาณต่ำ ชั่วขณะในเบื้องต้นมีที่รูปแบบค่าคงที่ทางเวลาโดย ตัวเก็บประจุและ สำหรับเหตุผลนี้ ตัวเก็บประจุที่มีค่ามากควรจะแมทช์ เมื่อใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าน้อยในการเปลี่ยนอิมพิแดนซ์ที่ค่ามากเพื่อใช้กับวงจรที่มีความถี่สูง



รูปที่ 2.18 วงจรภายในของด้านเอาต์พุตของเรดติไฟเออร์

จากรูปที่ 2.18 สามารถเริ่มทำงานจากภายในประมาณ 50 มิลลิโวลต์ ของคราวด์ ถึง 100 มิลลิโวตท์ จากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า และป้องกันการลัดวงจรถึงแต่ละแหล่งจ่าย อย่างไรก็ตามต้นกระแสจ่ายโหลด ถูกจำกัดโดยโดยทรานซิสเตอร์พีเอ็นพี โดยทั่วไป 400 มิลลิแอมป์ กระแสโหลดมากสามารถที่จะทำงานได้โดยเพิ่มทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็น ภายนอก เกนของสัญญาณไฟดรง ขณะเปิดลูปที่วงจรขยายสูง และอาจจะพิจารณาความสำคัญเป็นการรวมที่มีค่าความจุ 2 พิโคฟารัด (CINT ขับโดยโหมดกระแสเป็นสัญญาณที่เกิดขึ้นโดยการรวมผลลัพธ์ทางด้านเอาต์พุตจากดีเท็กเดอร์เก้าตัว สิ่งซึ่งได้สเกลประมาณ 4.0 uA/dB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51

2.9.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51

คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ที่สำคัญๆมีดังนี้

- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5โวลต์ เพียงชุดเดียว
- มีหน่วยความจำ สำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานอยู่ภานในชิปจำนวน 4 กิโลไบต์ (เบอร์ 8031, 8032 ไม่มีหน่วยความจำส่วนนี้ ส่วนเบอร์ 8052 มีหน่วยความจำส่วนนี้ 8 กิโลไบต์ และเบอร์ 83C51FB จะมีหน่วยความจำส่วนนี้รวมทั้งสิ้น 16 กิโลไบต์)
- มีหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและข้อมูล (RAM) อยู่ภายในชิปจำนวน 128 ไบต์ (ในเบอร์8031, 8051) หรือ 256 ไบต์ (ในเบอร์ 8031, 8052)
- สามารถใช้หน่วยความจำสำหรับโปรแกรมและข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิปได้อย่างละ 64 กิโลไบต์ แยกจากกัน
- คำสั่งส่วนใหญ่ใช้เวลาเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้คริสตอลความถี่ 12 เมกกะเฮิรตซ์
- มีพอร์ตที่สามารถรับหรือส่งข้อมูลได้ทั้ง 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิต หรือสามารถใช้งานเป็นพอร์ตขนาด 1 บิต แยกจากกัน ทำให้เหมือนมีพอร์ตขนาด 1 บิต ใช้งานรวมทั้งสิ้น 32 พอร์ต
- รับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้ในตัวโดยสามารถกำหนดความเร็วในการรับและส่งข้อมูล (Baud rate) ได้ตั้งแต่ 300 ถึง 375 กิโลบิตต่อวินาที
- จัดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ 2 ระดับ
- มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้งานเป็นไทเมอร์ หรือ เคาน์เตอร์ เพื่อนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาภายในชิปหรือนับเปลี่ยนสถานะของสัญญาณภายนอก 16 บิต จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้สำหรับนับจำนวน pulse วัดความกว้างของ pulse หรือใช้วัดช่วงเวลา (ในเบอร์ 8052 จะมี 3ตัว)
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในบางส่วน สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งระดับบิต เพื่อให้การออกแบบโปรแกรมและการควบคุมระบบทำได้ง่ายขึ้น
- มีคำสั่งคูณและหารเลขในตัวเอง
- สามารถประมวลผลแบบบูลีน เพื่อใช้งานควบคุมโดยเฉพาะ

2.9.2 คุณสมบัติทั่วไปของ AT89C51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 จะมีขาใช้งานพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 2.19 โดยมีรายละเอียดขั้นต้น ดังนี้

ขา Vcc (ขา 20) ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5

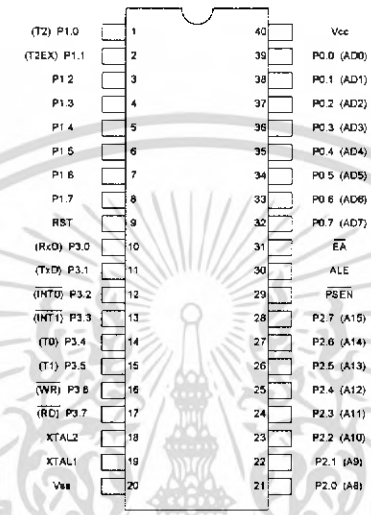
ขา GND (ขา 40) เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ

ขาพอร์ต 0 (ขา 32-39 หรือ P0.7-P0.0) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย เพื่อให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีสถานะ high impedance จึงจะสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้ในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล(D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานให้เป็นได้ทั้งขาติดต่อแอดเดรสและขาข้อมูล

ขาพอร์ต 1 (ขา 1-8 หรือ P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย เพื่อให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย



รูปที่ 2.19 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ขาพอร์ต 2 (ขา 21-28 หรือ P2.0-P2.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอยซึ่งมีสถานะ high impedance สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15)

ขาพอร์ต 3 (ขา 10-17 หรือ P3.0-P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอยซึ่งมีสถานะ high impedance สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดขั้นต้นต่อไปนี้

ขา P3.0 ใช้สำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD

ขา P3.1 ใช้สำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD

ขา P3.2 ใช้รับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา $\overline{\text{INT0}}$

ขา P3.3 ใช้รับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา $\overline{\text{INT1}}$

ขา P3.4 ใช้รับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา T0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา P3.5 ใช้รับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา T1

ขา P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ $\overline{WR}$ ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

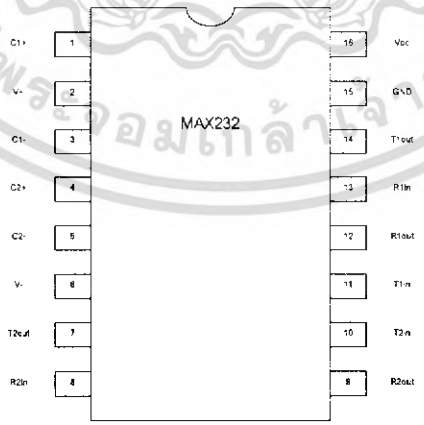
ขา P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ $\overline{RD}$ ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

ซึ่งการใช้งานขาพอร์ต 3 ในหน้าที่พิเศษดังกล่าวนี้ จะต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตที่ต้องการใช้ก่อนทุกครั้ง

ขารีเซต(ขา 9 หรือ RST) ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่ ซึ่งจะใช้เมื่อเริ่มจ่ายพลังงานหรือเมื่อโปรแกรมทำงานผิดพลาด โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซต สถานะที่ขานี้ต้องอยู่ในระดับรีเซตอย่างน้อย 2 แมชชีนไซเคิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างปกติ

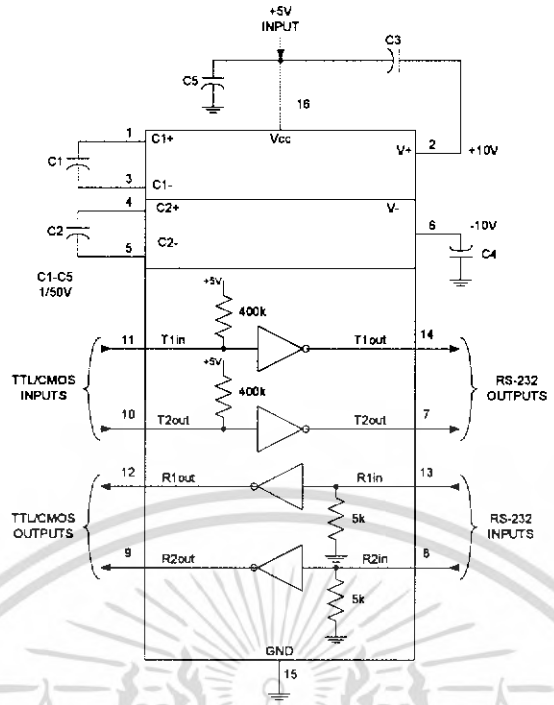
2.9.3 การเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

การใช้งานวงจรพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มักนิยมใช้ในการติดต่อเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมในมาตรฐาน RS-232 เป็นส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากระดับสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีระดับตั้งแต่ ± 3 ถึง ± 12 V ในขณะที่ระดับสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อยู่ในระดับทีทีแอล ดังนั้นจึงไม่สามารถเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง จึงต้องอาศัยการเชื่อมต่อผ่าน ไอซีที่ทำหน้าที่ในการแปลงระดับแรงดันของสัญญาณจากระดับทีทีแอลไปเป็นระดับแรงดันตามมาตรฐาน RS-232 ไอซีดังกล่าวมีด้วยกันหลายเบอร์จากหลายผู้ผลิต อาทิ MAX232 จาก MAXIM หรือ ICL232 จาก HARRIS เป็นต้น ในรูปที่ 2.20 แสดงการจัดขาของไอซี ICL232 ซึ่งใช้ในการแปลงสัญญาณ RS-232 และในรูปที่ 2.21แสดงโครงสร้างภายในของไอซีส่วนวงจรของการต่อกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แสดงในรูปที่ 2.22

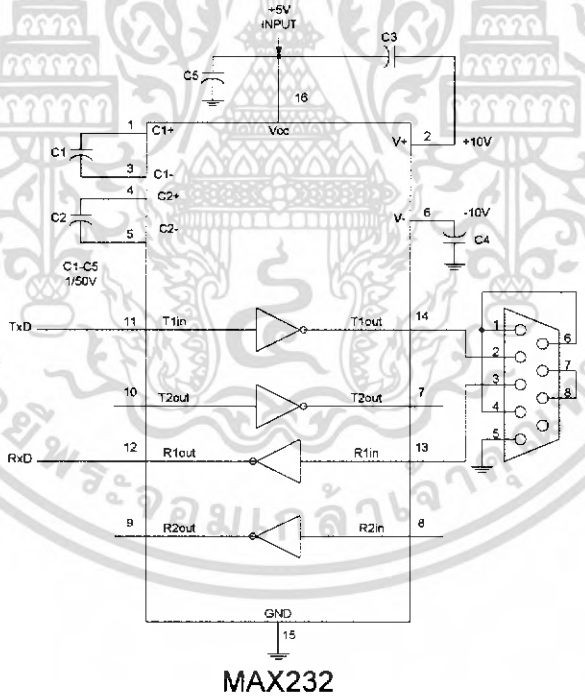


รูปที่ 2.20 การจัดขาของ MAX232 หรือ ICL232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 โครงสร้างภายในของ MAX232 หรือ ICL232



รูปที่ 2.22 แสดงวงจรเชื่อมต่อ MAX232 หรือ ICL232 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

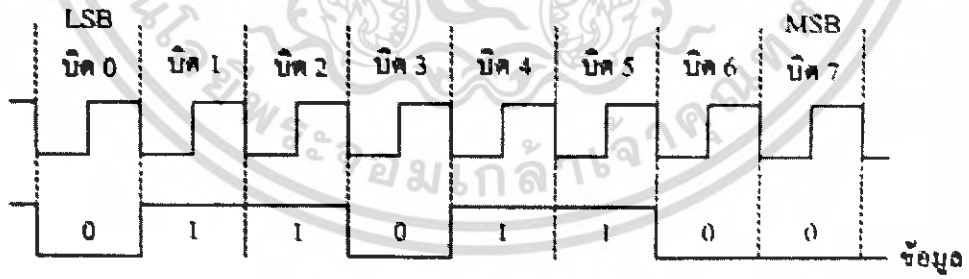
2.10 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม

การเคลื่อนที่ย้ายข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงภายนอกหรือคอมพิวเตอร์ด้วยกันมี 2 รูปแบบคือ รับส่งข้อมูลแบบขนานและรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

- การรับส่งข้อมูลแบบขนานเป็นการรับและส่งข้อมูลคราวละ 4 ถึง 8 บิตในเวลาเดียวกัน ทำให้การรับและส่งข้อมูลมีความเร็วสูง แต่จำนวนสายที่ใช้ในการถ่ายทอดข้อมูลมีมากเท่ากับจำนวนบิตของข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด นอกจากนั้นยังมีสายที่ใช้สำหรับควบคุมและตรวจสอบการรับส่งข้อมูลด้วย ซึ่งอาจต้องใช้สายมากเป็น 2 เท่าของจำนวนบิตข้อมูลก็ได้
- การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะเป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต โดยมีรูปแบบการรับ ส่งข้อมูลที่เป็นมาตรฐาน ต้องมีการตรวจสอบความพร้อมในการรับและส่งข้อมูลของตัวส่งและตัวรับ การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีข้อดีในเรื่องจำนวนสายสัญญาณที่น้อยมาก และไม่แปรผันตามจำนวนบิตของข้อมูล ระยะทางในการรับส่งข้อมูลสูงกว่าแบบขนานมาก การสื่อสารแบบอนุกรมแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัสและการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

2.10.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

การสื่อสารแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิการ่วมกันอยู่กับการรับและการส่งสัญญาณ ด้วยตัวอย่างการส่งแบบซิงโครนัส ก็คือคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายของนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครนัสนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา, ข้อมูลและกราวด์ รูปที่ 2.23 แสดงให้เห็นถึงไดอะแกรมเวลาของการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส



รูปที่ 2.23 แผนผังการทำงานเวลาของการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

2.10.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือการรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วย แต่จะใช้การกำหนดอัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่า อัตราบอดเรต (Baud Rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัส ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

1) บิตเริ่มต้น

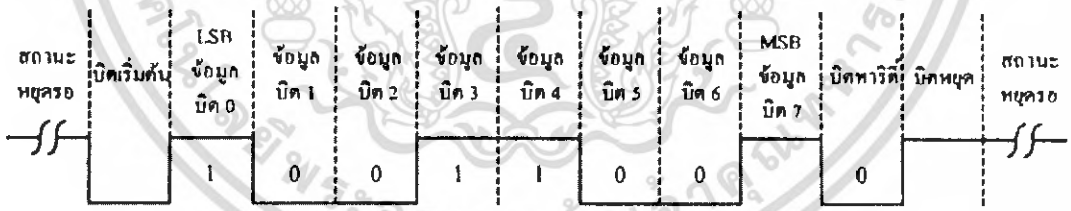
2) บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต

3) บิตตรวจสอบพาริตี้ (Parity Bit) มีขนาด 1 บิต หรือไม่มีบิต

4) บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (Stop Bit) มีขนาด 1, 1.5 หรือ 2 บิต

รูปที่ 2.24 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เมื่อไม่มีการส่งข้อมูลขา DATA จะมีสถานะลอจิก "1" เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (Waiting Stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากให้ขา DATA มีลอจิก "0" ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่าบิตเริ่มต้น (Start Bit) จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไปโดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดหรือบิต LSB ก่อน ซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งอาจมีจำนวน 5, 6, 7 หรือ 8 บิตก็ได้ จากนั้นตามด้วยพาริตี้บิต (Parity Bit) ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งก็คือ บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (Stop Bit) โดยจะเป็นการทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก "1" อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต 1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสหรือ อัตราบอด หรือ บอดเรตที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีด้วยกันหลายค่า ได้แก่ 110, 150, 300, 600, 1200, 2,400, 4,800, 9,600 และ 19,200 บิตต่อวินาที โดยมีค่ามากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์เนื่องจากบอดเรตคือค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที สมมติว่า ข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิตไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ มีบิตเริ่มต้น 1 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบต์ จะมีความยาวเท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9,600 ต่อวินาที ก็จะสามารถส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที



รูปที่ 2.24 รูปแบบของข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การตรวจสอบพาริตี้สามารถกำหนดเป็นแบบคี่ (Odd), แบบคู่ (Even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ก็ได้ พาริตี้คี่ หรือพาริตี้คู่แสดงถึงจำนวนลอจิก "1" ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์รวมพาริตี้ว่ามีจำนวนเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ ยกตัวอย่างข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิต มีค่าเท่ากับ 99H หรือ 10011001B จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์มีจำนวนลอจิก "1" จำนวน 4 ตัว ซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตี้เป็นคู่ ค่าของพาริตี้บิตจะต้องมีลอจิกเป็น "0" แต่ถ้ากำหนดพาริตี้เป็นคี่ ค่าของพาริตี้บิตจะต้องมีลอจิกเป็น "1" เพื่อให้ข้อมูลไบต์รวมทั้งบิตพาริตี้เป็นคี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิตพาริตี้ถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ซึ่งทางภาครับจะต้องกำหนดคุณสมบัติการตรวจสอบพาริตี้ที่ตรงกันเอาไว้ว่า จะตรวจสอบพาริตี้คี่ หรือพาริตี้คู่ โดยการนับจำนวนลอจิก "1" ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตี้ด้วย ถ้ากำหนดพาริตี้ไว้เป็นคู่ แต่อ่านค่าตัวเลขในการนับออกมาได้ตัวเลขเป็นคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้รับทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่มันสามารถตรวจสอบได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการรับส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตี้บิตเป็น NONE นั้นทั้งภาครับและภาคส่ง จะไม่มีการตรวจสอบพาริตี้

2.10.3 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้ส่งผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดซึ่งอยู่ห่างไกล โดยสมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association: EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ -3V จนถึง -12V แสดงว่ามีข้อมูล (mark) และ +3V จนถึง +12V แสดงว่าเป็นช่องว่าง (Space)

มาตรฐาน RS-232 ถูกใช้ในการกำหนดรูปแบบการสื่อสารข้อมูลกันระหว่างอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment: DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating: DCE) อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น

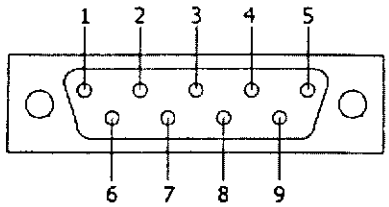
ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัดคือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ในโมเด็มจะเป็นแบบ DCE

สำหรับการใช้งานคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 ถูกใช้เพื่อเชื่อมต่อกับโมเด็ม, เมาส์ และเครื่องพิมพ์ที่สามารถติดต่อทางพอร์ตอนุกรมได้

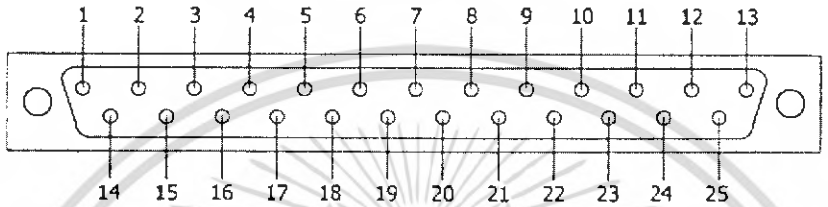
2.10.4 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้ หรือ DB-9 ตัวผู้ ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาใช้งานเพียง 9 เส้น เช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่นๆ ที่เคยมีใช้งานมาในอดีต ไม่ค่อยมีความสำคัญมากนักจึงถูกยกเลิกไป โดยแสดงรูปร่างตำแหน่งขาในรูปที่ 2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 คอนเน็กเตอร์อนุกรม 9 ขา หรือแบบ DB-9 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)



รูปที่ 2.26 คอนเน็กเตอร์อนุกรม 25 ขา หรือแบบ DB-25 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)

คอนเน็กเตอร์ DB-9	คอนเน็กเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	8	Data Carrier Detect: DCD	อินพุต
2	3	Received Data: RxD	อินพุต
3	2	Transmitted Data: TxD	เอาต์พุต
4	20	Data Terminal Ready: DTR	เอาต์พุต
5	7	Single Ground: GND	-
6	6	Data Set Ready: DSR	อินพุต
7	4	Request To Send: RTS	เอาต์พุต
8	5	Clear To Send: CTS	อินพุต
9	22	Ring Indicator: RI	อินพุต

ตารางที่ 2.6 การจัดขาสัญญาณของพอร์ตอนุกรมในแบบต่างๆ และหน้าที่การทำงาน

ขา Data Carrier Detect: DCD หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect: CD ขานี้จะแอคทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห์จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็ม สำหรับใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ถูกนำมาใช้งานมากนัก

ขา Received Data: RD หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์โดยจะนำข้อมูลที่อ่านได้ไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา Transmitted Data: TD หรือ TxD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลอนุกรมออกจากคอมพิวเตอร์โดยการนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลส่งออกไป

ขา Data Terminal Ready: DTR เป็นขาเอาต์พุตที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าต้องการติดต่อกับอุปกรณ์ปลายทาง โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์และถ้าใช้การเชื่อมต่อแบบ 3 สาย ต้องเชื่อมต่อขา DTR และ DSR ของพอร์ตอนุกรมเข้าด้วยกัน และจะต้องต่อเชื่อมเข้ากับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห์

ขา Single Ground: GND เป็นขากราวด์ของสัญญาณ

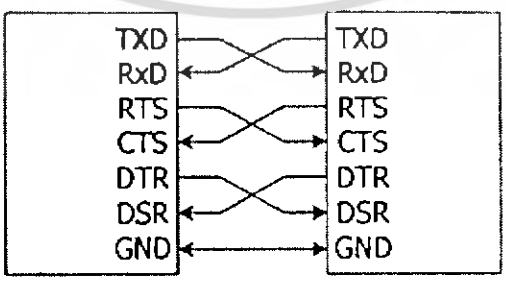
ขา Data Set Ready: DSR ขานี้จะใช้ควบคู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอก

ขา Request To Send: RTS เป็นขาเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้อุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลมาให้คอมพิวเตอร์โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ซึ่งในกรณีที่มีการเชื่อมต่อแบบ 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS เข้าด้วยกัน เพื่อให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

ขา Clear To Send: CTS เป็นขาอินพุตทำหน้าที่รอรับสัญญาณที่ส่งเข้ามา เมื่อมีการส่งสัญญาณเข้ามาที่ขานี้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ขานี้จะใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้วหรือยัง

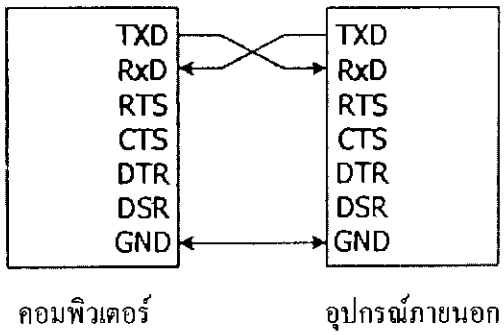
ขา Ring Indicator: RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มแล้วยังมีความต้องการตรวจสอบสัญญาณเรียกสายโทรศัพท์

สำหรับการเชื่อมต่อสายระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกแสดงดังในรูปที่ 2.8 ลูกศรในรูป แสดงถึงทิศทางของข้อมูล การเชื่อมต่อ การเชื่อมต่อในรูปที่ 2.27 เป็นการเชื่อมต่อแบบ NULL MODEM หรือการเชื่อมต่อโดยตรง โดยไม่ต้องผ่านโมเด็ม ส่วนการเชื่อมต่อในรูปที่ 2.28 เป็นการเชื่อมต่อโดยใช้สัญญาณน้อยที่สุดเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์



รูปที่ 2.27 การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ Null Modem

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ RS-232
ในลักษณะที่ใช้สายสัญญาณน้อยที่สุดเพียง 3 เส้น

2.10.5 มาตรฐานการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (UART)

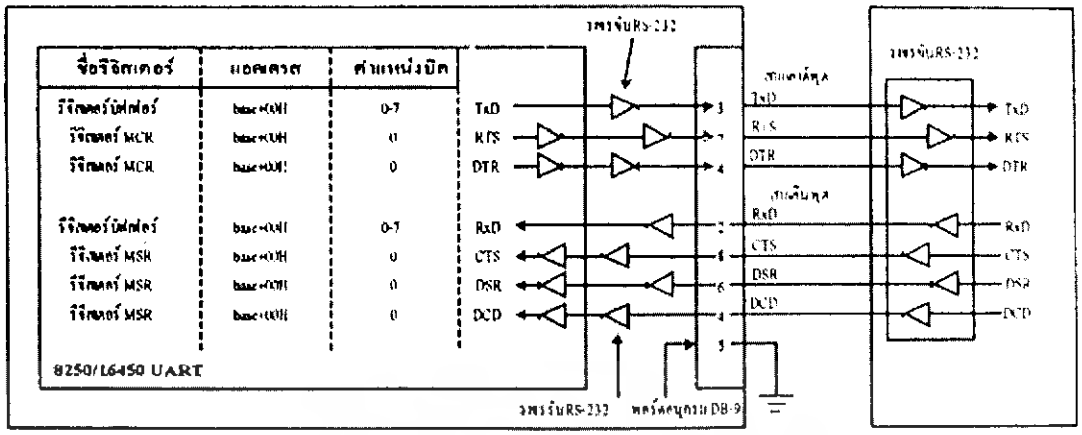
UART มาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั่นเอง สำหรับการสื่อสารอนุกรมบนคอมพิวเตอร์แล้ว UART ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการสื่อสารอนุกรม

หน้าที่หลักของ UART คือแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบขนานจากซีพียูให้อยู่ในรูปแบบอนุกรมแบบอะซิงโครนัส แล้วทำการส่งออกไปและแปลงสัญญาณอนุกรมแบบอะซิงโครนัสที่ป้อนเข้ามายัง UART ให้เป็นแบบขนานก่อนที่จะส่งเข้าสู่ซีพียู ซึ่งนอกจาก UART จะส่งข้อมูลไปยังซีพียูแล้วยังแจ้งรายละเอียดอื่นๆ ของข้อมูล ให้คอมพิวเตอร์รับทราบด้วย เช่น อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลหรือบอดเรต, รูปแบบการส่งข้อมูล, ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งข้อมูล เช่น ผิดพลาดจากพาริตี้, เฟรมข้อมูล, โอเวอร์รัน เป็นต้น

ภายใน UART จะมีวงจรสร้างบอดเรตโปรแกรมได้ (Programmable Baud rate Generator) โดยการกำหนดค่าตัวหารให้กับสัญญาณนาฬิกาของ UART โดยตัวหารนี้จะมีขนาด 16 บิต ดังนั้นจะสามารถกำหนดตัวหารอยู่ในช่วง 1-65, 535

มาตรฐานการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสที่ใช้คอมพิวเตอร์ทั่วไปจะมี UART ที่ใช้งานกันอยู่ 2 เบอร์ คือ เบอร์ 8250 และ 16550 สำหรับ UART เบอร์ 8250 เป็น UART มาตรฐานที่มีใช้กันมายาวนาน UART เบอร์นี้มีบัฟเฟอร์สำหรับรับและส่งข้อมูลเป็นตำแหน่งเดียวกัน ทำให้การรับและส่งข้อมูลถูกจำกัดความเร็วอยู่ที่ 57.6 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับ UART เบอร์ 16550 จะเพิ่มส่วนของชิฟรีจิสเตอร์แบบ FIFO (First In First Out) ขนาด 16 ไบต์ เข้าไปด้วย ทำให้สามารถสนับสนุนความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ระดับ 256 กิโลบิตต่อวินาทีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



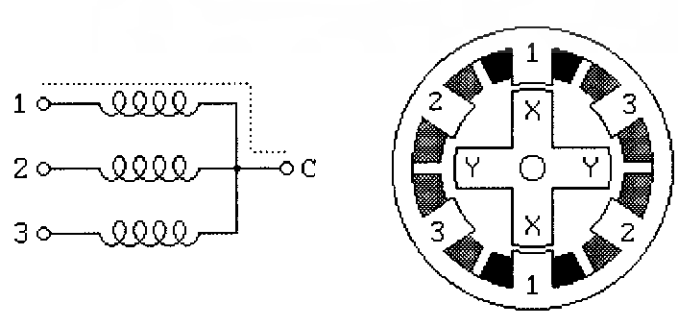
คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ภายนอก

รูปที่ 2.29 ผังการทำงานภายในของขาสัญญาณต่างๆ ของพอร์ตอนุกรม

2.11 สเต็ปปิ้งมอเตอร์

สเต็ปปิ้งมอเตอร์คือมอเตอร์ที่สามารถให้เพลาหมุนในลักษณะเป็นขั้นๆ หรือเป็นสเต็ป สเต็ปละกี่องศาขึ้นอยู่กับโครงสร้างและการออกแบบชุดควบคุม โดยการป้อนอินพุทพัลส์ที่มีความถี่ค่าหนึ่งซึ่งจะทำให้เกิดการหมุนไปหนึ่งสเต็ปในแต่ละพัลส์ ซึ่งชุดควบคุมนั้นสามารถออกแบบให้หมุนเป็นสเต็ปหรือหมุนอย่างต่อเนื่องและสามารถกลับทางหมุนได้

สเต็ปปิ้งมอเตอร์มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ สเตเตอร์ (stator) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ซึ่งจะเป็นส่วนที่มีขดลวดพันล้อมอยู่บนแกนเหล็ก อีกส่วนคือ โรเตอร์ (rotor) เป็นส่วนที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ซึ่งจะมีฟัน 4 ซี่ ทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์จะเป็นเหล็กอ่อน จากรูป 2.30 โดยเมื่อจ่ายไฟเข้าที่ขดลวดที่พันอยู่บน stator ที่ขด 1 ก่อน จะทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นที่ตำแหน่ง 1 และผลักให้ rotor (จากรูปคือ x-y) เกิดการเคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่นี้คือการเคลื่อนที่ 1 step และถ้าหยุดจ่ายไฟเข้าที่ขดลวด1 และไปจ่ายไฟเข้าที่ขดลวด 2 แทน จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่บริเวณ 2 บน stator และจะทำให้สนามแม่เหล็กนี้ผลัก rotor ให้เคลื่อนที่ต่อไปได้ และถ้าเราหยุดจ่ายกระแสเข้าที่ 2 และไปจ่ายเข้าที่ขด 3 แทนก็จะทำให้สนามแม่เหล็กมาเกิดที่บริเวณ 3 และผลักให้ rotor เคลื่อนที่ต่อไปได้อีก

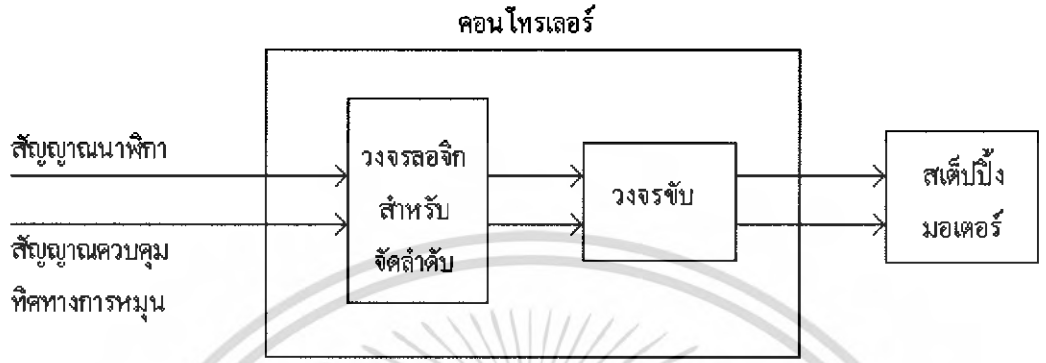


รูปที่ 2.30 แสดงตำแหน่งของ Stator คือตรงเลข 1, 2, 3 และ rotor คือ x-y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1 หลักการทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

การทำงานของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ ขึ้นอยู่กับพัลส์ที่ป้อนให้กับขดลวดเฟสของมันในลักษณะที่ถูกต้อง ด้วยวงจรลอจิกสำหรับจัดลำดับ(Sequencer logic) และสามารถจ่ายกระแสให้กับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ได้อย่างเพียงพอโดยวงจรขับ (Driver)



รูปที่ 2.31 ไดอะแกรมของระบบขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์

จากที่กล่าวมาพอที่จะทราบถึงคุณสมบัติของสเตปปิ้งมอเตอร์ได้ว่า

1. การหมุนของมอเตอร์จะเป็นสเตป (เป็นขั้นๆ) สเตปละกี่องศาขึ้นอยู่กับชนิดของมอเตอร์
2. ความเร็วในการหมุนของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับสัญญาณพัลส์ ให้เข้ามาทางอินพุตของมอเตอร์ (ความถี่)
3. ความผิดพลาดในการหมุน 1 สเตปมีค่าน้อยมาก แต่ต้องจำกัดอยู่ในความเร็วที่พอดี
4. คุณสมบัติของการตอบสนองสัญญาณในขณะที่มอเตอร์เริ่มทำงานและหยุดทำงานดีมาก
5. เนื่องจากไม่มีแปลงถ่าน (Commutator) เหมือนมอเตอร์ในระบบดีซี ดังนั้นจึงมีความแน่นอนในการทำงาน
6. แหล่งจ่ายแรงดันไฟที่ใช้ในการขับมอเตอร์มีค่าไม่มาก
7. ไม่ทำให้เกิดเสียงรบกวน เนื่องจากแรงขับมอเตอร์มีค่าไม่มาก
8. ทำงานแบบโอเพนลูป (Open loop)

ส่วนของการควบคุมของสเต็ปปิ้งมอเตอร์นั้นจะสามารถต่อเชื่อม (Interface) ได้โดยตรงได้กับไมโครโพรเซสเซอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ โดยสเต็ปปิ้งมอเตอร์จะสามารถกำหนดตำแหน่งของโหลดได้อย่างเที่ยงตรงมาก เนื่องจากแต่ละอินพุทพัลส์จะทำให้สเต็ปปิ้งมอเตอร์เคลื่อนที่ไปหนึ่งสเต็ปพอดี

จากรูปที่ 2.32 แท่งแม่เหล็กถาวรติดอยู่บนเพลา และหมุนได้อิสระเหมือนอาร์เมเจอร์มีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ขั้ว ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงโลหะที่สเตเตอร์ ตำแหน่งแกนอาร์เมเจอร์แม่เหล็กคือ a-a' ซึ่งต่างไปจากตำแหน่งแกนขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าเล็กน้อยเป็นมุม θ แรงแม่เหล็กที่เกิดจากแรงดึงดูดของขั้วแม่เหล็กที่ต่างกัน ทำให้เกิดแรงปกติซึ่งตั้งฉากกับแกน a-a' จะเป็นไปตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = f \cdot \cos\theta \tag{2.3}$$

เมื่อ F = แรงปกติซึ่งตั้งฉากกับแกน a-a' (N)

f = แรงดึงดูดจากขั้วแม่เหล็กที่ต่างกัน (N)

θ = มุมระหว่างแกนอาร์เมเจอร์และแกนขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า (องศา)

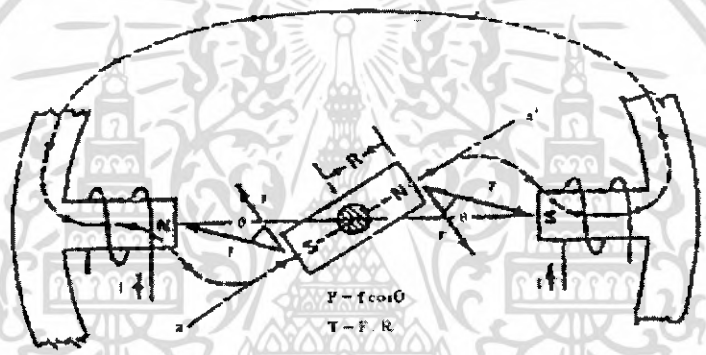
ค่าแรงบิดรวมที่ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (Clock Wise: CW) จนกว่าแกนของอาร์เมเจอร์ a-a' จะอยู่ในแนวเดียวกับแกนตั้งของสเตเตอร์เป็นไปตามสมการ

$$T = F \cdot R \tag{2.4}$$

เมื่อ T = แรงบิดรวมที่ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (N.m)

F = แรงปกติซึ่งตั้งฉากกับแกน a-a'(N)

R = รัศมีของแกนอาร์เมเจอร์ (m)



รูปที่2.32 แสดงแรงดึงดูดที่ทำให้เกิดทอร์คเพื่อหมุนอาร์เมเจอร์ให้ไปอยู่ในตำแหน่งสมดุล

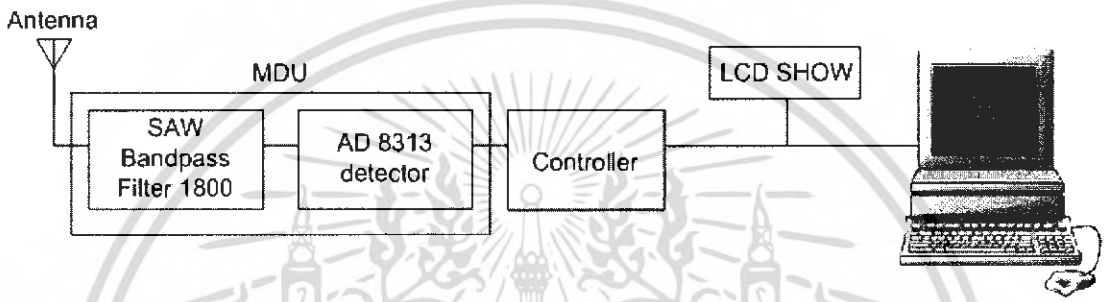
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการออกแบบวงจรต่างๆ รวมทั้งโปรแกรมที่ใช้ในโครงงานนี้ ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ได้เขียนขึ้น รวมทั้งผังการทำงานของโปรแกรม

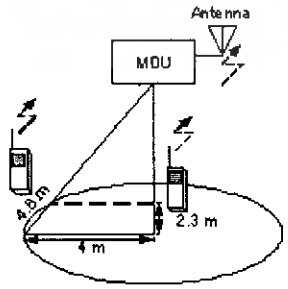
3.1 หลักในการออกแบบวงจร

โครงสร้างการทำงานที่สำคัญๆ มีดังนี้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องตรวจจับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่

จากรูปที่ 3.1 ประกอบด้วยส่วนที่ตรวจจับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Detector Unit : MDU) และส่วนของซอฟต์แวร์ระบบ คือโปรแกรมที่ใช้ในการแสดงผลและควบคุมการทำงานของระบบที่อยู่ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ โครงสร้างของระบบนั้นคือ จะให้สัญญาณที่รับได้จากสายอากาศผ่านการเลือกช่วงความถี่ด้วยวงจรกรองความถี่แถบผ่านที่ 1800 เมกกะเฮิรตซ์ หลังจากนั้นก็ผ่านส่วนเรคติไฟเออร์ เปลี่ยนกำลังงานที่รับมาได้เป็นแรงดันผ่านไปยังส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วแสดงผลที่ได้ออกทางจอ LCD และจอคอมพิวเตอร์ ในส่วนของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศนั้นเราสามารถหาจากสมการในการคำนวณหากำลังของการรับส่งสัญญาณที่ใช้ในระบบ คิดมาจากหากเราต้องการรัศมีในการรับสัญญาณเท่ากับ 4 เมตร เนื่องจากขณะโทรศัพท์นั้น คิดที่ความสูงจากพื้นขณะยืนไว้สูงสุด 2.3 เมตร ดังนั้นระยะทางสูงสุดในการรับเท่ากับ 4.6 เมตร ตามที่แสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การคำนวณหากำลังรับของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราทราบระยะทางสูงสุดในการรับแล้ว สามารถที่จะคำนวณหาค่ากำลังในการรับจากสมการ

$$P_r = (P_t)(G_t)(G_r)\frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (3.1)$$

P_r = กำลังในการรับของสายอากาศ

P_t = กำลังในการส่งของสายอากาศ

G_r = อัตราการขยายของสัญญาณที่รับ

G_t =อัตราการขยายของสัญญาณที่ส่ง

และค่า P_t ได้มาจากค่าของกำลังส่งต่ำสุดและกำลังส่งสูงสุดของความถี่ จีเอสเอ็ม 1800 เมกกะเฮิรตซ์

$$P_{t\min} = 3.7 \quad mW$$

$$P_{t\max} = 1 \quad W$$

ส่วน G_r และ G_t นั้นสามารถตัดออกไปได้เนื่องจากเกนในการส่งได้คิดรวมออกมาในกำลังที่ส่งแล้ว ส่วนเกนในการรับ เช่นกัน ได้คิดรวมในขณะรับแล้วการสูญเสียของสัญญาณในการส่งได้จากสมการ

$$loss = \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^3} \quad (3.2)$$

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (3.3)$$

λ = ความยาวคลื่น

สามารถคำนวณหากำลังงานในการรับของระบบจาก Pt ที่กำลังงานส่งต่ำสุดดังนี้

$$\lambda = \frac{3\times10^8}{1800\times10^6}$$

$$loss = \frac{(1/6)^2}{(4\pi\times4.6)^3}$$

$$= 1.4381\times10^{-7}$$

$$= 10\log 1.4381\times10^{-7}$$

$$= -68.42dB$$

$$\mathrm{Pr}_{\min} = 5.68 - 68.42dBm$$

$$\mathrm{Pr}_{\min} = -62.74dBm$$

ในการรับของระบบจาก P_t ที่กำลังงานส่งสูงสุดดังนี้

$$\mathrm{Pr}_{\max} = 30 - 68.42 \quad dBm$$

$$\mathrm{Pr}_{\max} = -38.42 \quad dBm$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเราสามารถรับสัญญาณมาใช้ได้ เนื่องจากวงจรเรคติไฟเออร์ สามารถรับกำลังงานในช่วง –65 dBm ถึง 0 dBm กำลังงานที่คำนาณได้นั้นเป็นกำลังงานค่าน้อยที่สุดที่ MDU จะรับได้ และกำลังงานที่มากที่สุดที่ MDU จะรับได้ หาได้จากกำลังส่งสูงสุด

โครงงานนี้ได้เลือกใช้สายอากาศไดโพลในการนำมารับสัญญาณเมื่อมีการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณที่มีการตรวจจับ โดยได้เลือกสายอากาศสำเร็จรูปสำหรับรับคลื่นความถี่ 1800 เมกกะเฮิรตซ์

3.2 วงจรกรองความถี่แถบผ่าน โดยใช้ซอว์ฟิวเตอร์ (Surface Acoustic wave Filter: SAW Filter)

ในการออกแบบวงจรกรองความถี่แถบผ่านนั้น ในโครงงานนี้ ได้เลือกใช้อุปกรณ์สำเร็จรูปที่สามารถทำงานเป็นตัวกรองความถี่ได้ ที่ได้จากโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่น โนเกีย 3310 คือตัวกรองแบบซอว์ฟิลเตอร์ ซึ่งมีแบนด์วิดเท่ากับ 25 เมกกะเฮิรตซ์ทำหน้าที่กรองความถี่แถบผ่านที่รับมาจากสายอากาศ โดยการทำงานของวงจรกรองความถี่จะอยู่ในช่วงความถี่ 1780 เมกกะเฮิรตซ์ถึง 1815 เมกกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นช่วงความถี่ขาขึ้น (Up-link) ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 1800 เมกกะเฮิรตซ์

3.2.1 การออกแบบลายวงจรกรองความถี่แถบผ่าน

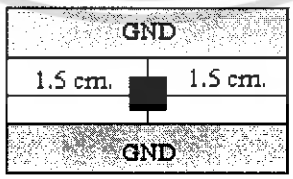
ความยาวคลื่นของความถี่ 1800 เมกกะเฮิรตซ์ มีค่าเป็น

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

$$\lambda = \frac{3\times10^{8}}{1800\times10^{6}}$$

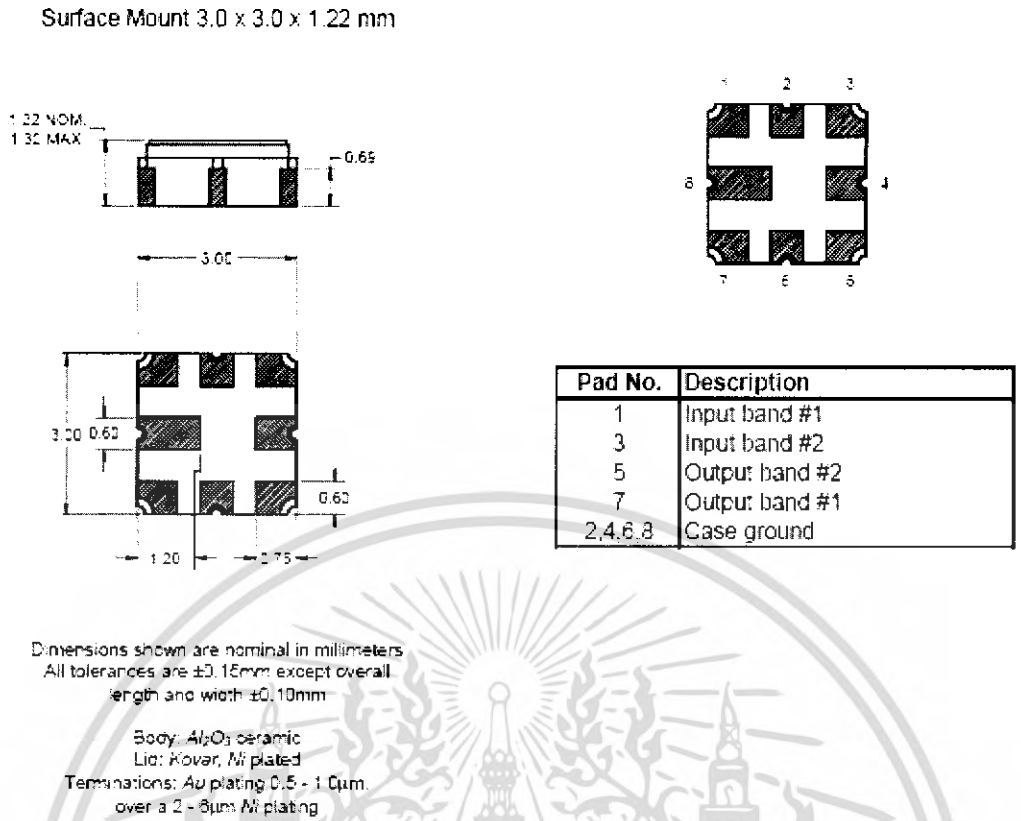
$$\lambda = 0.16 \text{ เมตร}$$

ดังนั้นลายทองแดงที่ออกแบบในวงจรกรองความถี่แถบผ่านจะต้องมีค่าความยาวไม่เท่ากับความยาวคลื่นนี้ เพื่อไม่ให้ลายทองแดงประพฤติตัวเปรียบเสมือนเป็นสายอากาศ และออกแบบกราวน์รอบข้างของฟิวเตอร์และคอนเนคเตอร์ให้เป็นตัวเดียวกัน

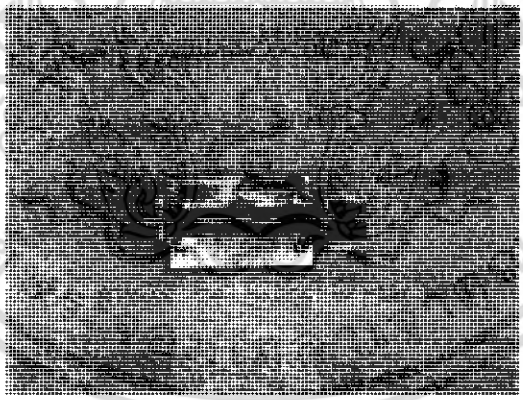


รูปที่ 3.3 การออกแบบวงจรกรองความถี่แถบผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ลักษณะของตัวกรองความถี่แถบผ่านแบบซอว์ฟิลเตอร์ (SAW Filter)



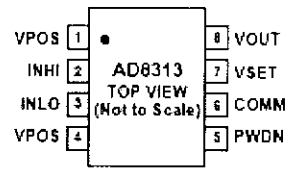
รูปที่ 3.5 ตัวกรองความถี่แบบซอว์ฟิลเตอร์ (SAW filter) ที่ใช้งานจริง

3.3 การออกแบบวงจรเรคติไฟเออร์

ในการออกแบบวงจรเรคติไฟเออร์นั้น โครงงานนี้ได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ AD8313 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงสัญญาณความถี่วิทยุให้เป็นสัญญาณไฟกระแสตรง เหมาะสำหรับในการใช้งานในย่านความถี่สูง AD8313 สร้างออกมาอยู่ในรูปของแพ็กเกตโดยมีลักษณะของตัวถังดังรูปที่ 3.6

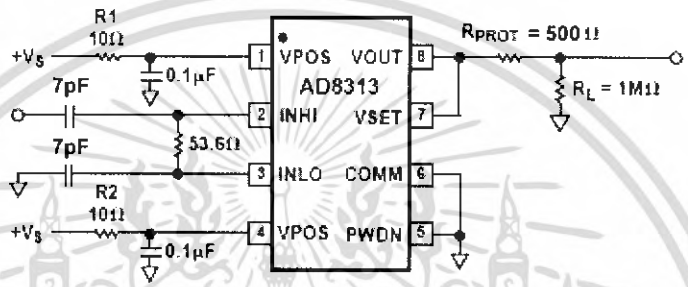
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN CONFIGURATION

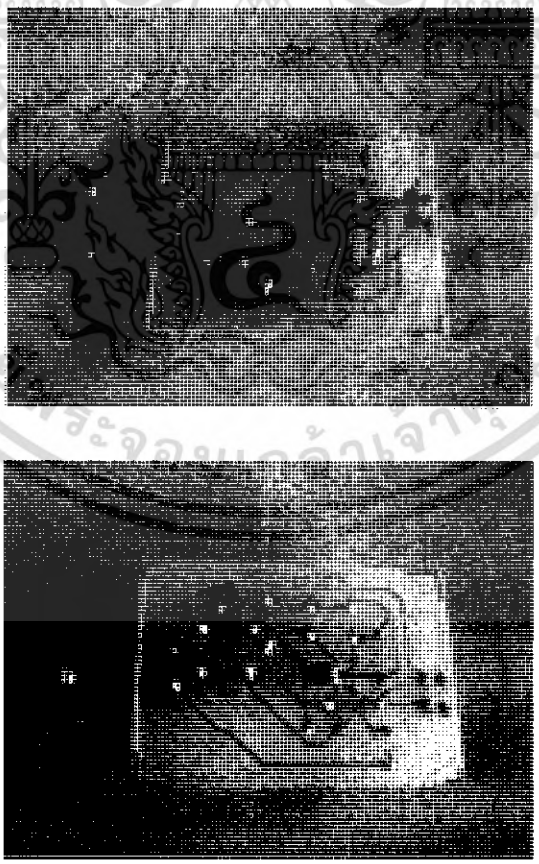


รูปที่ 3.6 ลักษณะของตัวถังวงจรเรคติไฟเออร์เบอร์ AD8313

ลักษณะการต่อใช้งานของวงจรเรคติไฟเออร์ที่ใช้ AD8313 เพื่อนำไปใช้งานในการเรคติไฟสัญญาณความถี่วิทยุที่รับมาจากวงจรขยายสัญญาณ



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของวงจรเรคติไฟเออร์เบอร์ AD8313

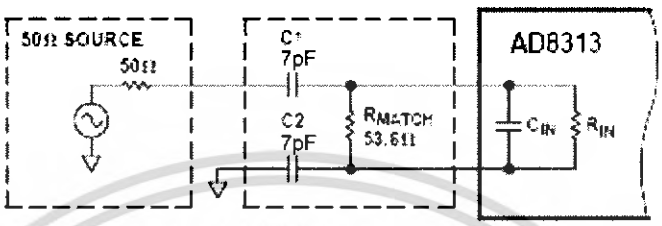


รูปที่ 3.8 วงจร AD 8313 ที่ใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การออกแบบด้านอินพุต

อินพุตเชื่อมต่อเข้ามาผ่านตัวเก็บประจุเพื่อกรองสัญญาณส่วนของ ที่ผ่านเข้ามาโดยตรงจากอินพุต ตัวต้านทานที่ต่อมีค่า 53.6 โอห์ม เพื่อให้ค่าอินพุตอิมพิแดนซ์มีค่าประมาณ 50 โอห์ม และผ่านเข้าทางขา INLO และ INHI ซึ่งช่วยลดผลกระทบโดยตรงที่เข้ามาทางด้านอินพุต ที่มีผลกระทบต่อ dynamic range ที่ความถี่ต่ำ แต่ไม่น่าสนใจทั้งหมดเพราะยังต้องใช้ตัวเก็บประจุในการคัปเปิ้ลสัญญาณเป็นส่วนใหญ่ ค่าความเก็บประจุที่ใช้ 3.5 พิโคฟารัด ที่ความถี่ผ่าน 1800 เมกกะเฮิรตซ์



รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่อทางด้านอินพุตอิมพิแดนซ์

สามารถหาความถี่ที่ใช้ดังสมการ

$$f_{dB} = \frac{1}{2\pi \times C \times 50}$$

และ $C = \frac{C1 \times C2}{C1 + C2}$

เราใช้งานที่ความถี่ 1800 เมกกะเฮิรตซ์ดังนั้น

$$1800\ \ MHz = \frac{1}{2\pi \times C \times 50}$$

$$C = \frac{1}{2\pi \times 1800MHz \times 50}$$

$$C = 1.75pF$$

ดังนั้น C1 และ C2 เท่ากับ 3.5 พิโคฟารัด

จากรูปที่ 3.6 เป็นโครงสร้างของวงจรเรคติไฟเออร์โดยใช้แหล่งจ่ายไฟที่ +2.7 ถึง 5.5โวลต์
ขา 4 คือขา VPOS ซึ่งเป็นขาที่ได้จ่ายแรงดันอินพุตเข้าไปให้ตัวไอซี
ขา PWDN จะต่อลงกราวด์ VSET จะต่อถึง VOUT โดยจะส่งผ่านกลับไปทั้งหมดเพื่อควบคุมการสเกลของวงจรขยายภายใน AD8313 และสำหรับการต่อโหลดควรใช้ค่าไม่น้อยกว่า 5 กิโลโอห์ม ซึ่งเอาต์พุตมีสเกลสูงสุดอยู่ที่1.75 โวลต์

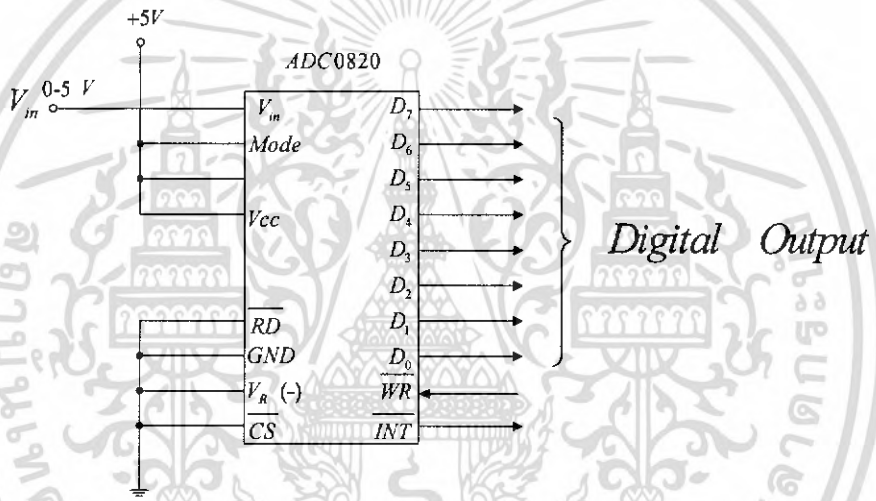
โดยขา VPOS ซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายเชื่อมต่อมาจากตัวต้านทาน 10 โอห์ม และคาปาซิสเตอร์ 0.1 ไมโครฟารัด ทางด้านอินพุตเป็นอินพุตแบบดิฟเฟอร์เรนเชียลซึ่งมีขา INHI และ INLO ต่ออยู่กับวงจรแมชชิ่งเน็ตเวิร์คซึ่งมีคาปาซิสเตอร์ 680 พิโคฟารัด 2 ตัวต่ออยู่ที่ขา INHI และ INLO และมีรีซิสเตอร์ 53.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

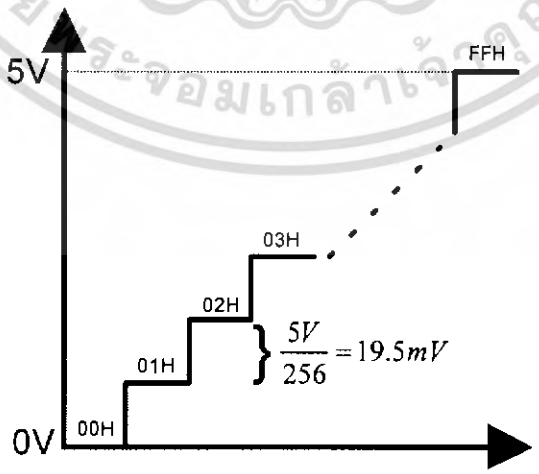
โอห์ม ต่อค่อมที่ขา INHI และINLO โดยในส่วนของรีซิสเตอร์ที่ต่ออยู่ที่ขา VOUT จะมี R_{PROT} ที่มีค่า 500 โอห์ม เพื่อป้องกันแรงดันเกินสูงสุด 5 โวลต์ และ 1000 โอห์ม ควรใช้สำหรับแรงดันเกินสูงถึง 15 โวลต์ เพื่อใช้ในการขับโหลดไม่มากกว่า 400 ส่วน RL ไม่ควรน้อยกว่า 5 โอห์ม ต้องการเอาต์พุตเต็มเสกล 1.75 โวลต์

3.4 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog- to-Digital Converter)

ในวงจรนี้ได้เลือกใช้ไอซี ADC0820 รับอินพุทที่เป็นสัญญาณอนาล็อก จากวงจรวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กเข้ามาทางขา Vin (ขา1) และแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลเอาท์พุทมีขนาด 8 บิทออกทางขา D0-D7 โดยในการทำงานจะมีสัญญาณควบคุมเข้ามาทางขา $\overline{WR}$ (ขา16) โดยถ้ามีพัลส์ "0" เข้ามาที่ขา $\overline{WR}$ แล้วไอซี ADC0820 ก็จะเริ่มการทำงานและเมื่อการทำงานเสร็จสิ้น (ใช้เวลาประมาณ $1.5\mu s$) ก็จะมีส่งค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.10 ไอซี ADC0820



รูปที่ 3.11 การเข้ารหัสสัญญาณในวงจร Analog to Digital ขนาด 8 บิท (256 ค่า)

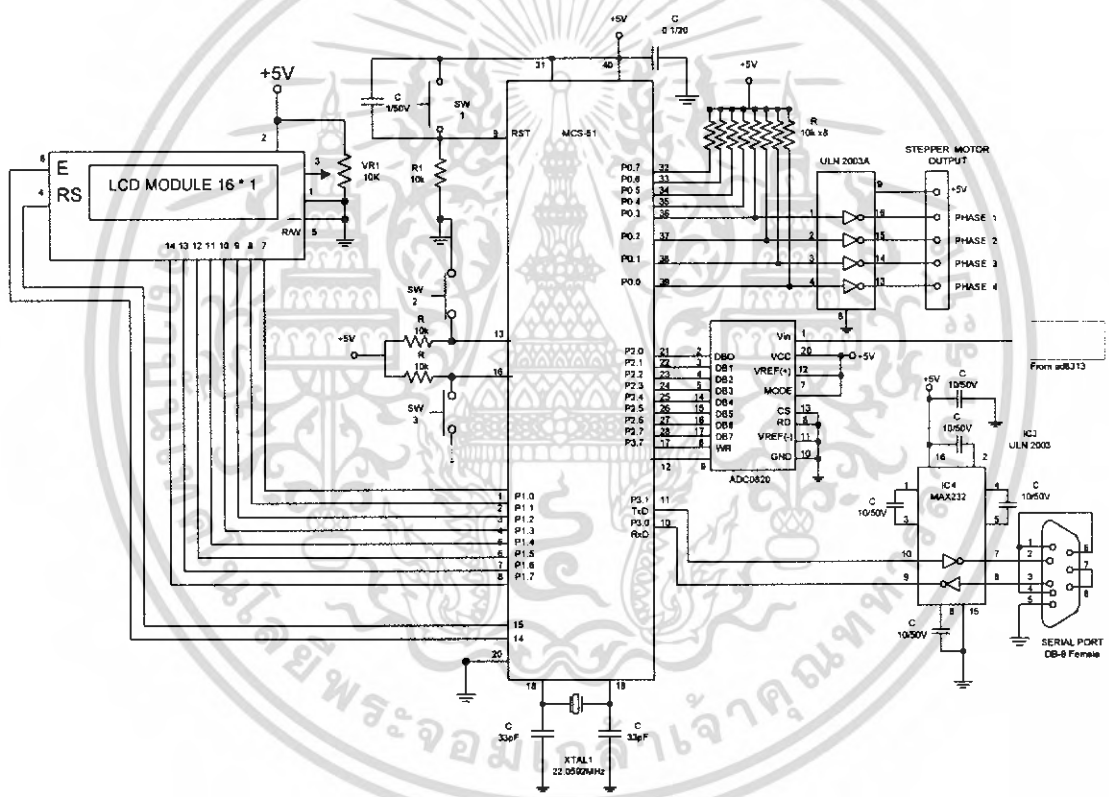
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบวงจรควบคุมไมโครคอลโทรลเลอร์ MCS-51

การทำงานของวงจรไมโครคอลโทรลเลอร์จะแบ่งออกเป็น 2 โหมด ดังนี้

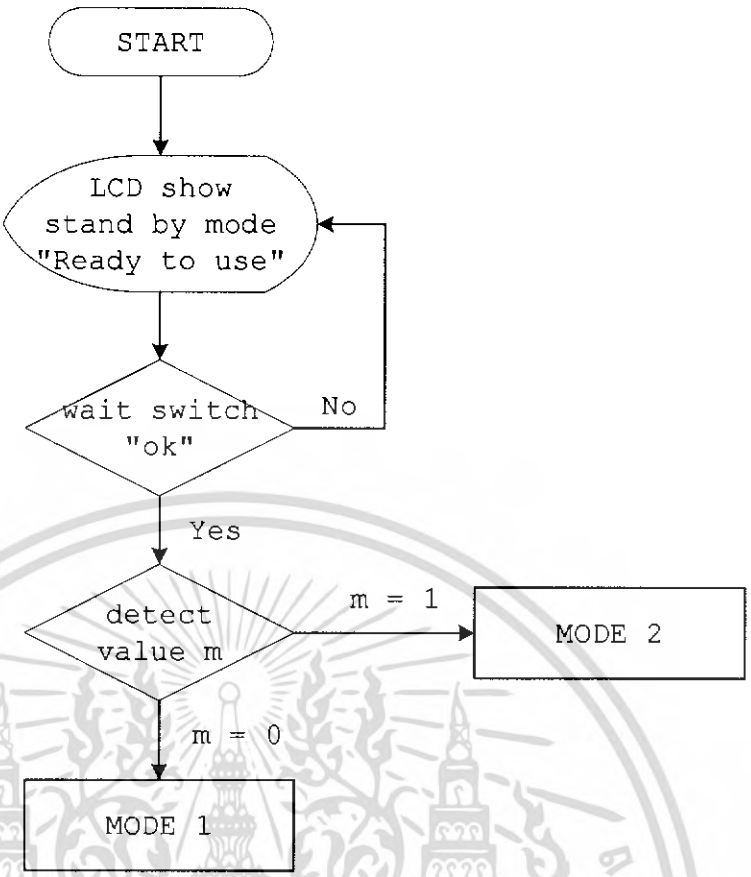
โหมด 1 : รับค่าแรงดันจากวงจรเรคติไฟเออร์ แล้วนำมาแสดงผล ที่หน้าจอ LCD โดยแสดงค่าระดับแรงดันใหม่ในทุกๆ 1 วินาที

โหมด 2 : หมุนตัวหุ้มสายอากาศเป็นสเตป ครั้งละ 3.75 องศา จนครบ 360 องศา ในแต่ละสเตปที่หมุนก็จะทำการรับค่าระดับแรงดันที่วัดได้มาแสดงที่หน้าจอ LCD โดยจะทำการเปลี่ยนค่าระดับแรงดันที่รับมาให้แสดงในรูปแบบของสัญลักษณ์ที่กำหนดไว้ เป็นตัวแปร “X” โดยหนึ่งตัวแสดงแรงดัน 0.25 โวลต์ เนื่องจากการหมุนแต่ละครั้งใช้เวลาเพียง 0.1 วินาที ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าตัวเลขจากหน้าจอ LCD ได้ทัน และนำข้อมูลส่งผ่าน Serial port ให้แสดงที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ด้วย

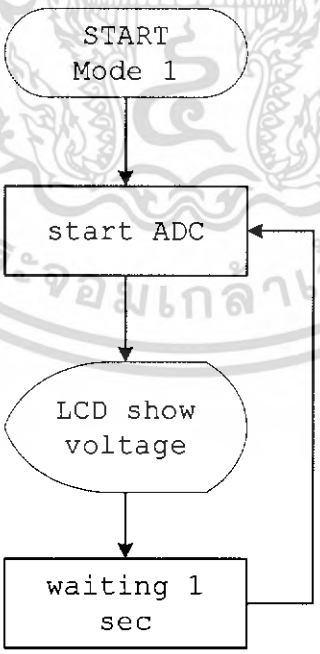


รูปที่ 3.12 การออกแบบส่วนควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

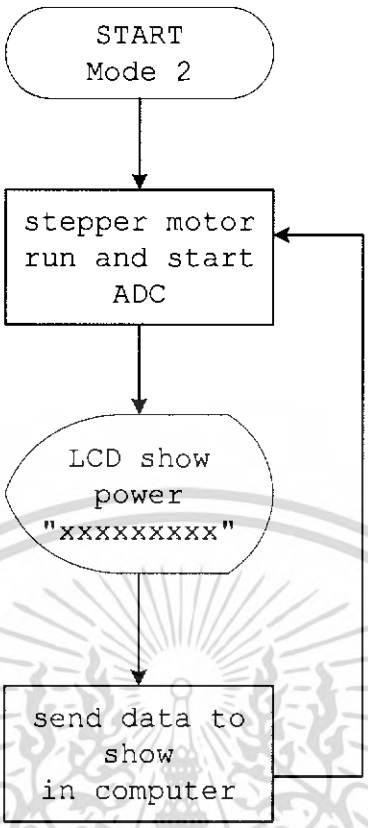


รูปที่ 3.13 ผังการทำงานของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.14 ผังการทำงานของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในโหมด 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

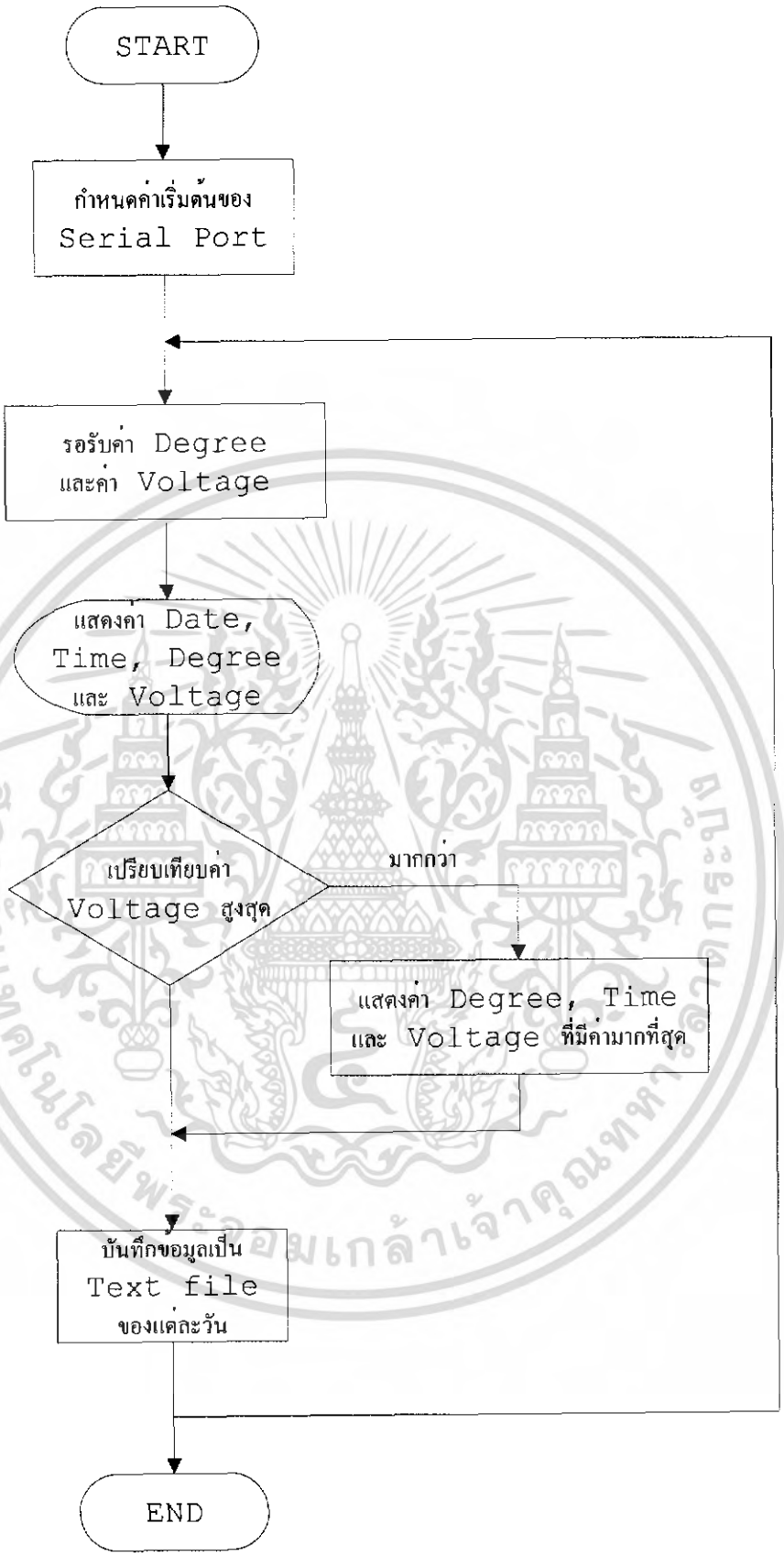


รูปที่ 3.15 ผังการทำงานของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในโหมด 2

3.6 การออกแบบส่วนแสดงผล

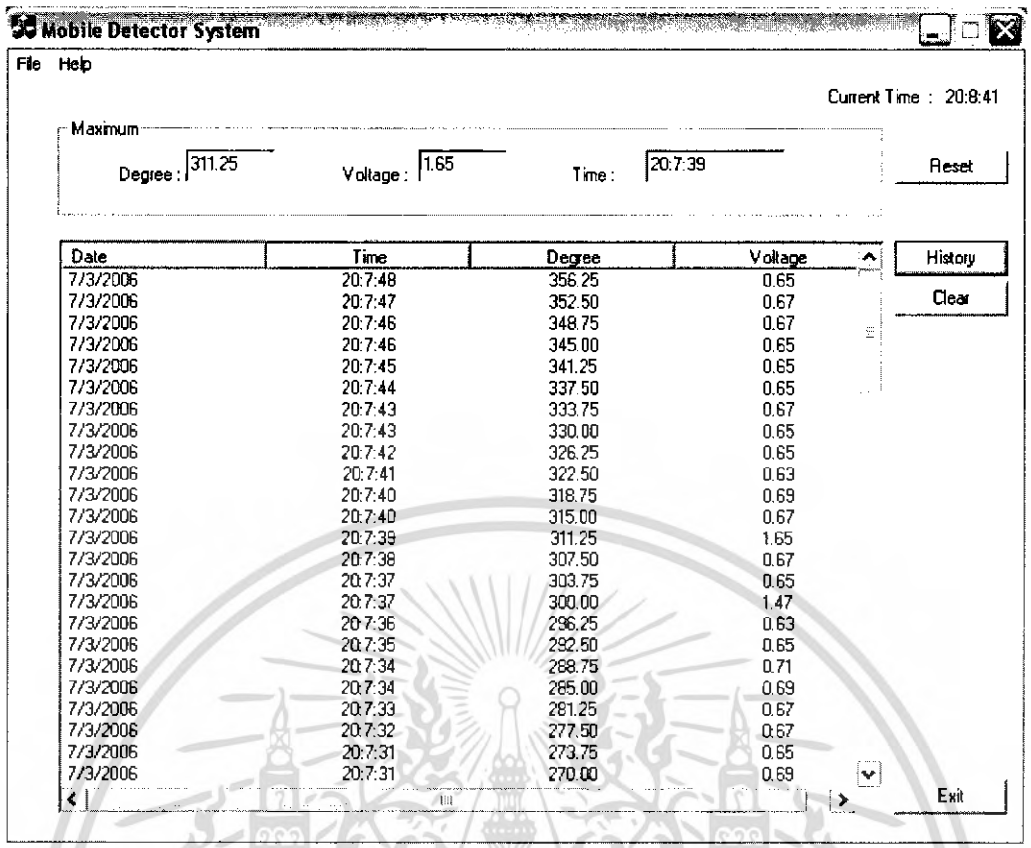
โปรแกรมส่วนนี้ถูกพัฒนาโดยใช้ภาษา Visual C++ 6.0 หน้าที่หลักของโปรแกรมคือ ควบคุมการรับข้อมูลอนุกรมระหว่างคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามรูปแบบการรับข้อมูลที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาแสดงผลที่จอคอมพิวเตอร์ แล้วทำการบันทึกข้อมูลเก็บไว้ สำหรับผู้ดูแลระบบเรียกดูข้อมูลในภายหลังได้ โดยโปรแกรมจะประกอบด้วยหน้าจอที่จะเป็นหน้าจอติดต่อกับผู้ใช้ เพื่อแสดงการใช้งานโทรศัพท์ในที่ที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ การทำงานของโปรแกรมสามารถแสดงได้ดังผังการทำงานต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

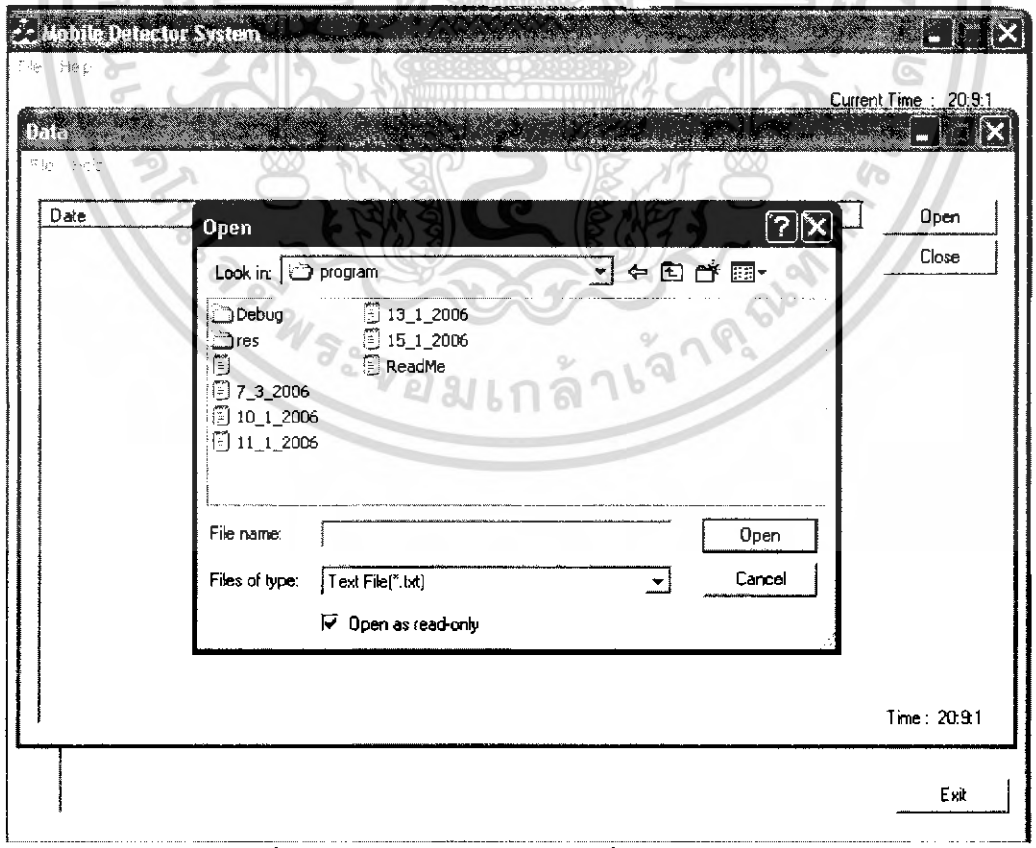


รูปที่ 3.16 ผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

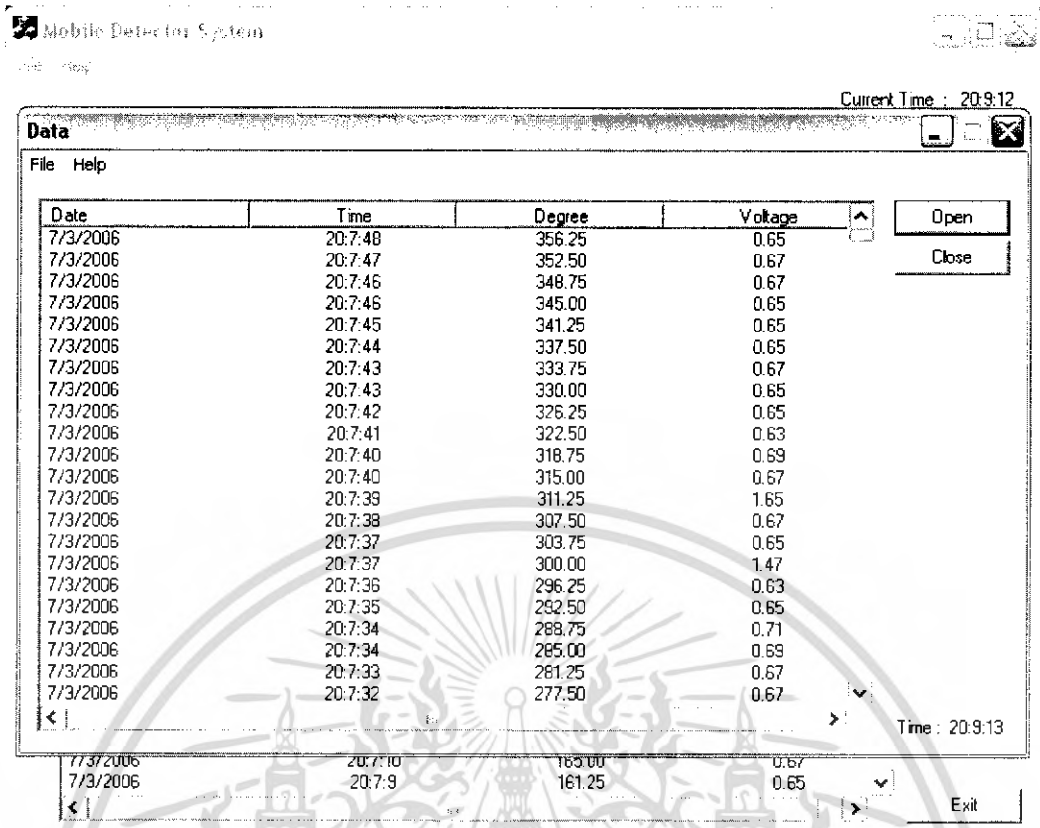


รูปที่ 3.17 โปรแกรมที่เขียนขึ้นในโครงงานนี้



รูปที่ 3.18 หน้าต่างสำหรับเลือกวัน ที่จะแสดงข้อมูลเก่า

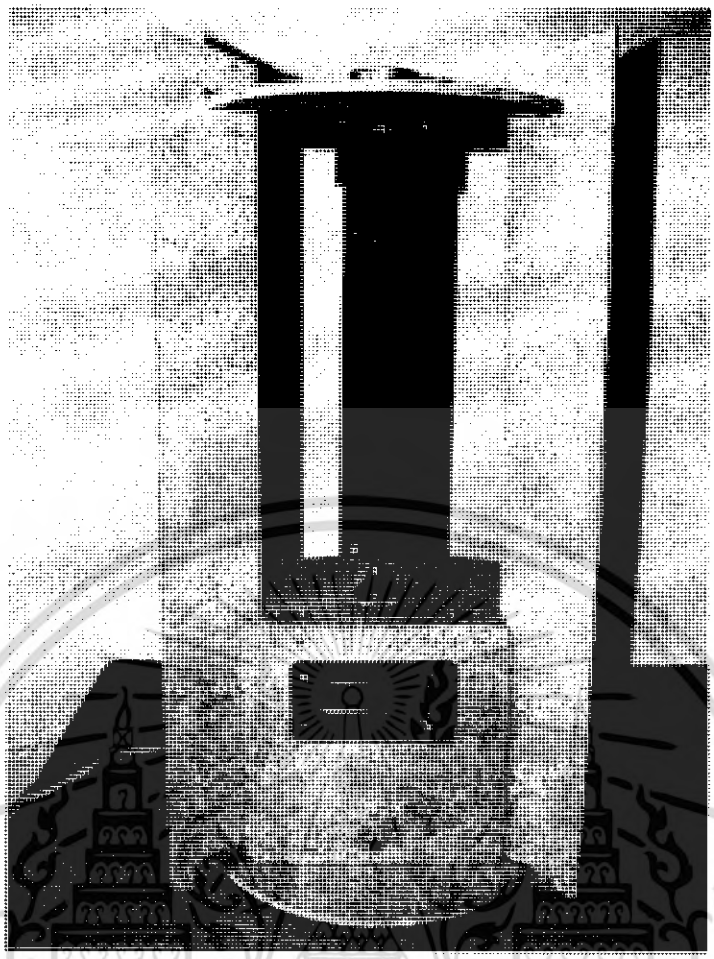
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 หน้าต่างสำหรับแสดงข้อมูลเก่า

รูปที่ 3.20 วงจรภายในอุปกรณ์ตรวจจับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 อุปกรณ์ตรวจจับการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

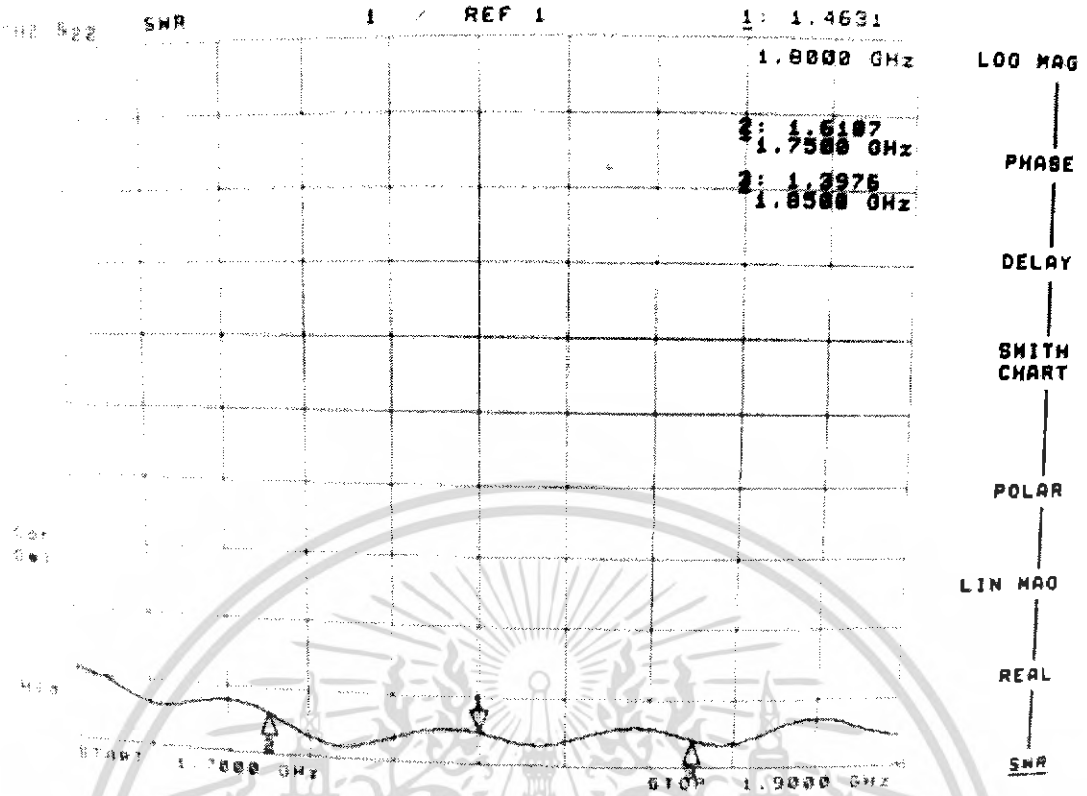
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองสายอากาศ

ทำการทดสอบสายอากาศโดยนำสายอากาศมาต่อเข้ากับสายหัวต่อ SMA จากนั้นใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) ทำการวัดอิมพิแดนซ์ของสายอากาศ และ การสะท้อนกลับของคลื่นในสายส่งและค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR)

รูปที่ 4.1 อินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศ เท่ากับ 51.715 โอห์ม

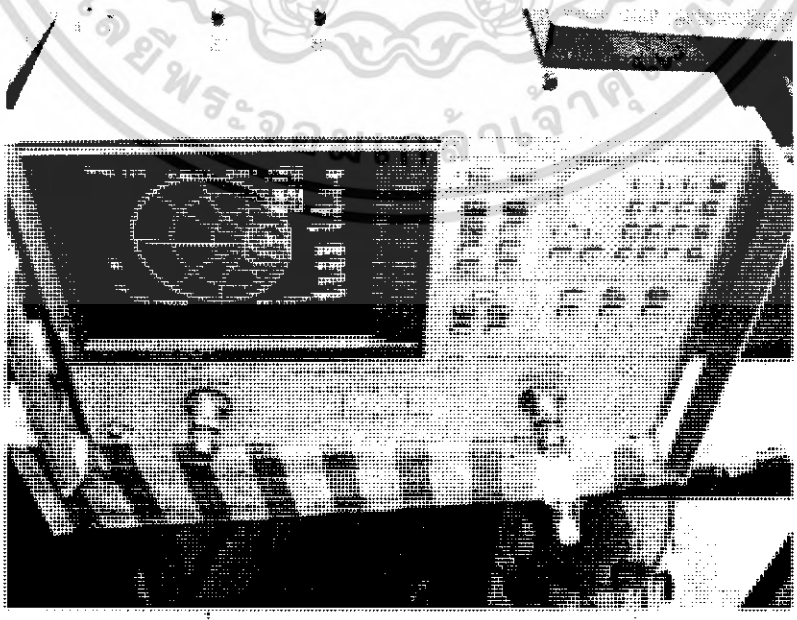
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ค่า SWR ของสายอากาศ เท่ากับ 1.4631

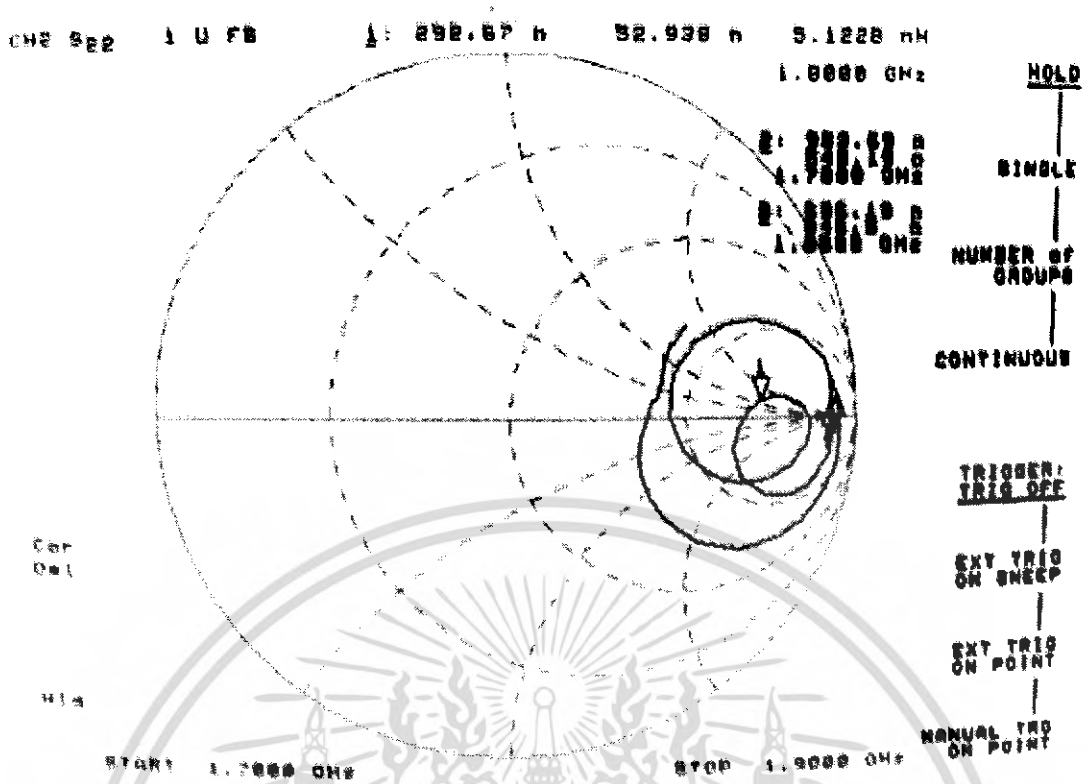
4.2 การทดลองวงจรกรองความถี่แถบผ่าน

การทดสอบในส่วนของวงจรกรองความถี่แถบผ่าน จะทำการต่อวงจรกรองความถี่กับเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย หาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ หลังจากนั้นจะใช้วงจรกรองแบบซอว์ฟิวเตอร์ เพื่อกรองสัญญาณในย่านความถี่ 1800 เมกกะเฮิรตซ์ ทำการทดลองโดยป้อนสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) ที่ความถี่ต่างๆ แล้ววัดค่าแรงดันเอาท์พุท

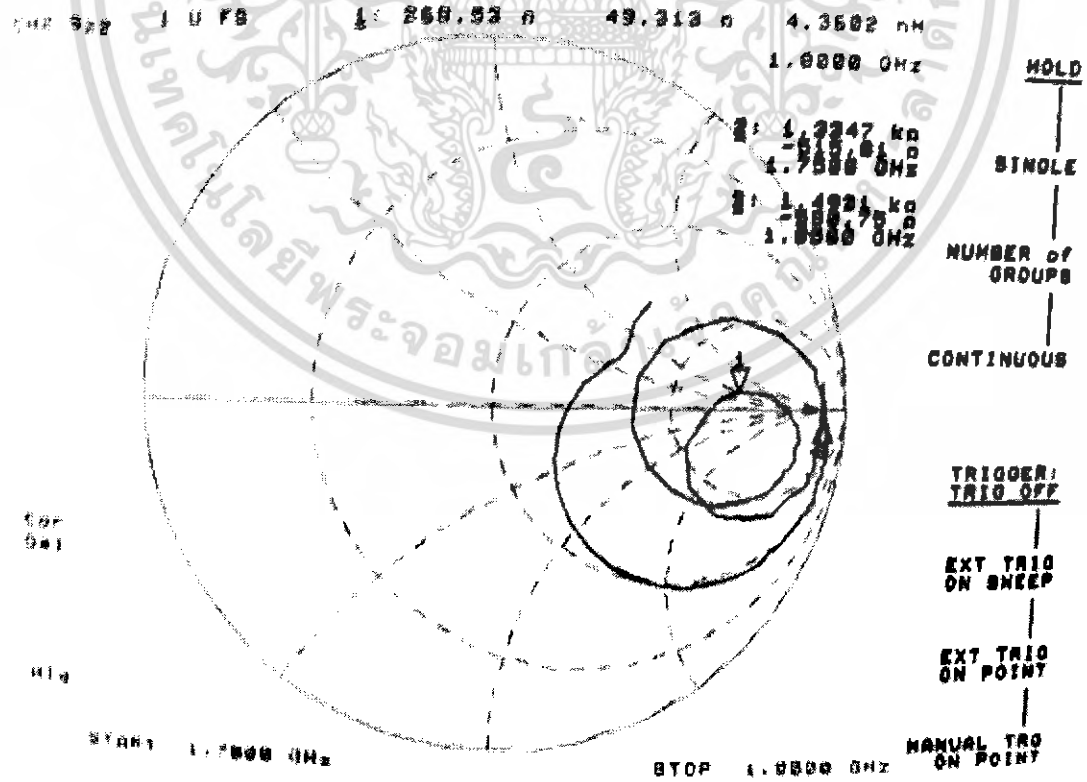


รูปที่ 4.3 การต่อวงจรหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

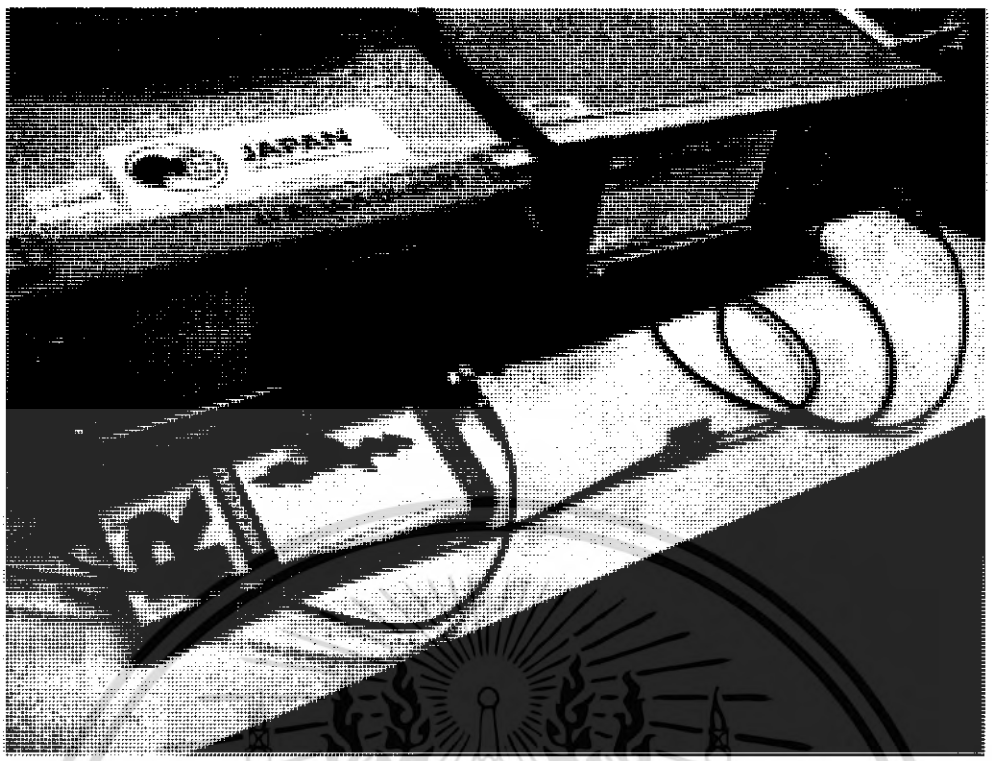


รูปที่ 4.4 อินพุตอิมพิแดนซ์ของวงจรกรองความถี่แถบผ่านด้านอินพุต เท่ากับ 52.938 โอห์ม

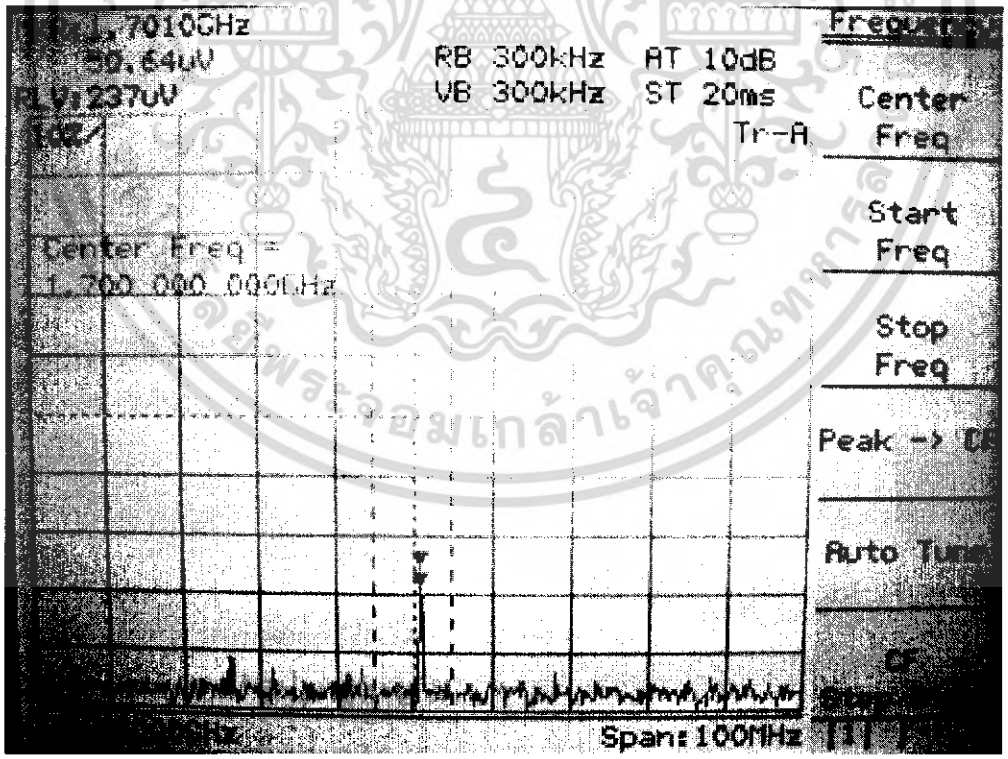


รูปที่ 4.5 อินพุตอิมพิแดนซ์ของวงจรกรองความถี่แถบผ่านด้านเอาท์พุต เท่ากับ 49.313 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

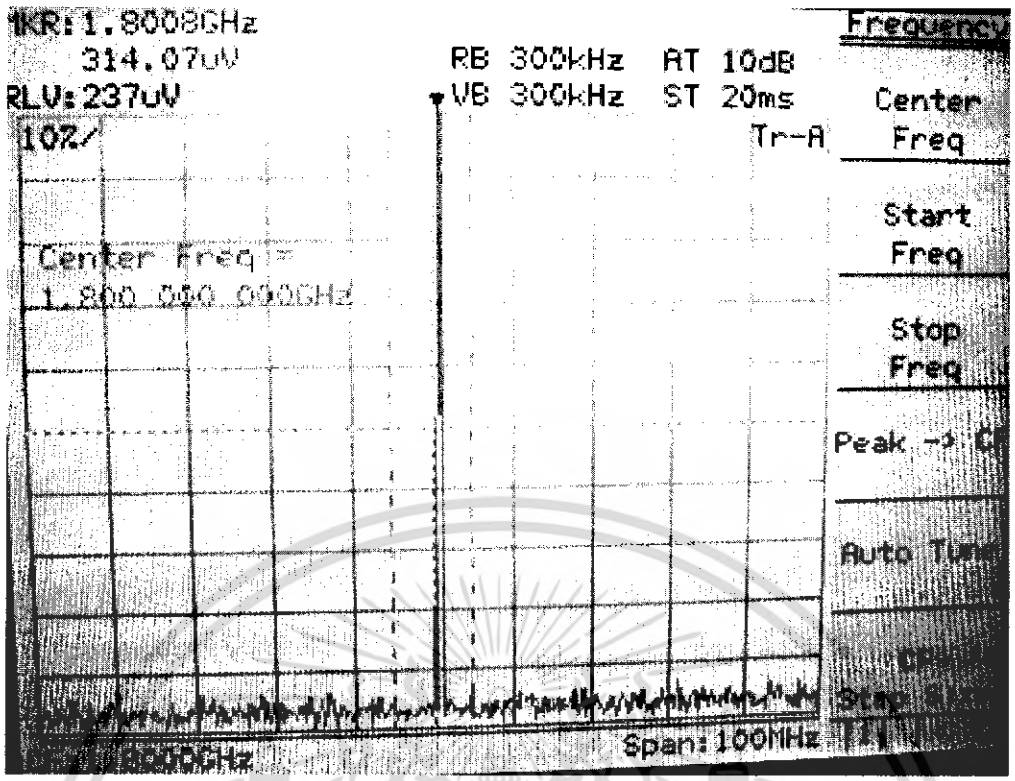


รูปที่ 4.6 การต่อวงจรที่ใช้ในการทดลองที่ 4.2

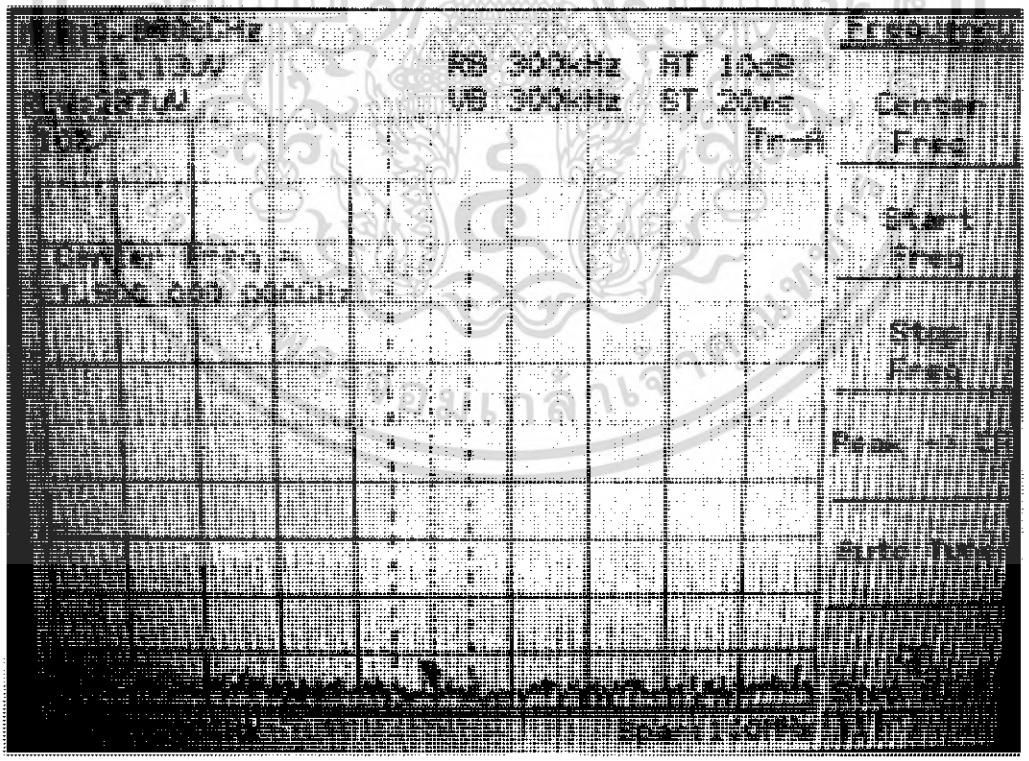


รูปที่ 4.7 สเปกตรัมของสัญญาณหลังจากผ่านวงจรกรองความถี่
เมื่อสัญญาณที่ป้อนมีค่าเป็น 1700 เมกกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 สเปกตรัมของสัญญาณหลังจากผ่านวงจรกรองความถี่
เมื่อสัญญาณที่ป้อนมีค่าเป็น 1800 เมกกะเฮิรตซ์

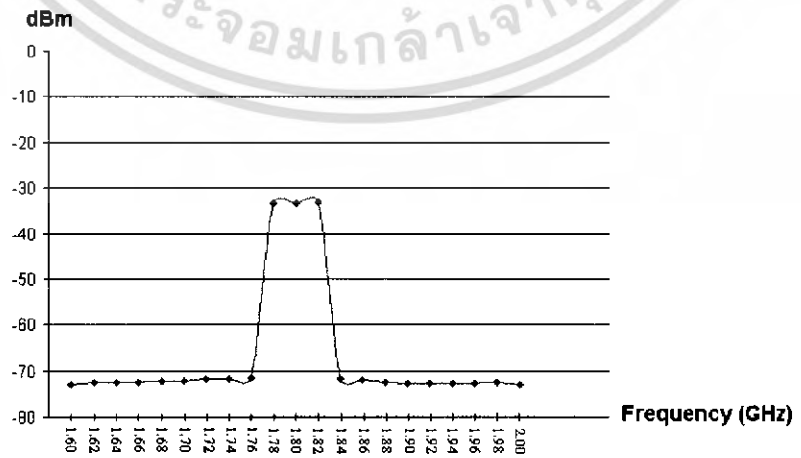


รูปที่ 4.9 สเปกตรัมของสัญญาณหลังจากผ่านวงจรกรองความถี่
เมื่อสัญญาณที่ป้อนมีค่าเป็น 1900 เมกกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ (GHz)	ค่าแรงดันเอาท์พุท (dBm)
1.60	-72.95
1.62	-72.59
1.64	-72.54
1.66	-72.45
1.68	-72.24
1.70	-72.15
1.72	-71.85
1.74	-71.76
1.76	-71.54
1.78	-33.37
1.80	-33.30
1.82	-33.22
1.84	-71.86
1.86	-72.1
1.88	-72.54
1.90	-72.7
1.92	-72.8
1.94	-72.85
1.96	-72.7
1.98	-72.6
2.00	-72.9

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรกรองความถี่แถบผ่าน

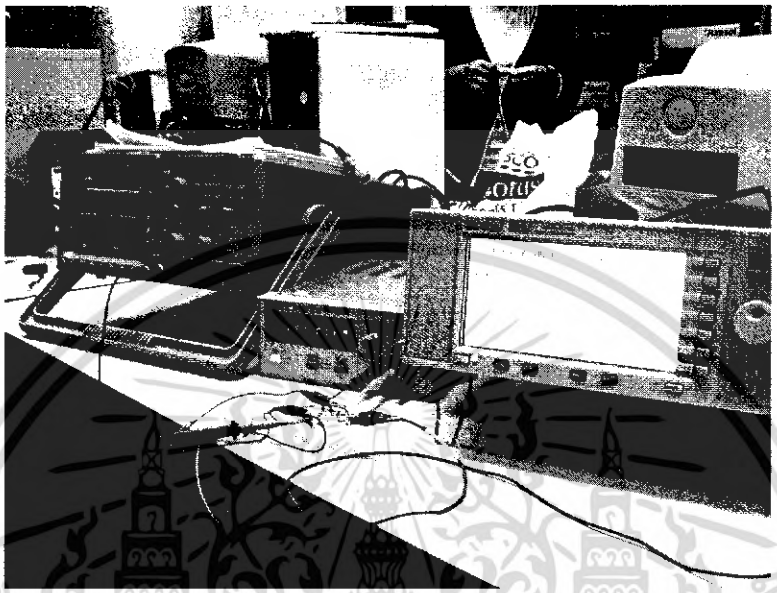


รูปที่ 4.10 กราฟผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่แถบผ่าน

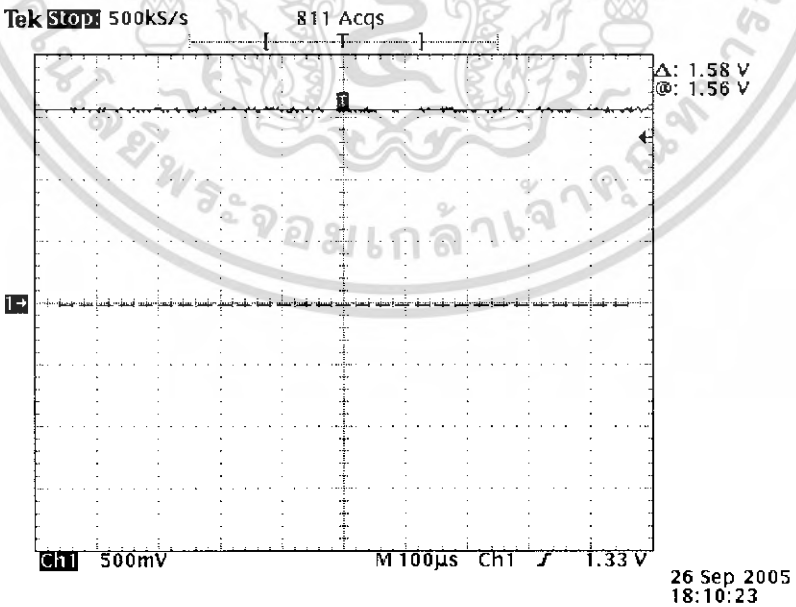
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองวงจรเรคติไฟเออร์

ทำการทดสอบโดย ต่อวงจรเรคติไฟเออร์เข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) โดยกำหนดความถี่ที่ 1800 เมกกะเฮิรตซ์ แล้วทำการปรับค่ากำลังอินพุทตั้งแต่ -70 dBm จนถึง 0 dBm แล้วใช้ออสซิโลสโคปวัดค่าแรงดันเอาท์พุท

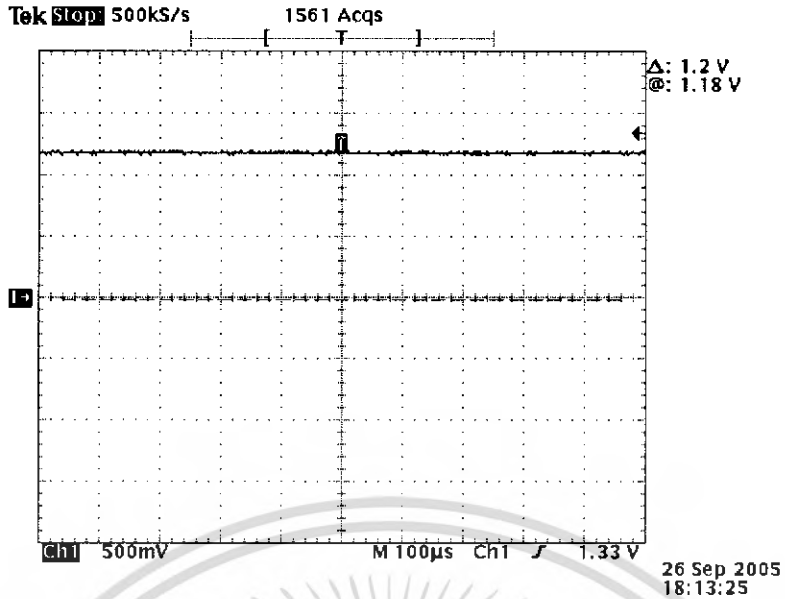


รูปที่ 4.11 การต่อวงจรที่ใช้ในการทดลองที่ 4.3

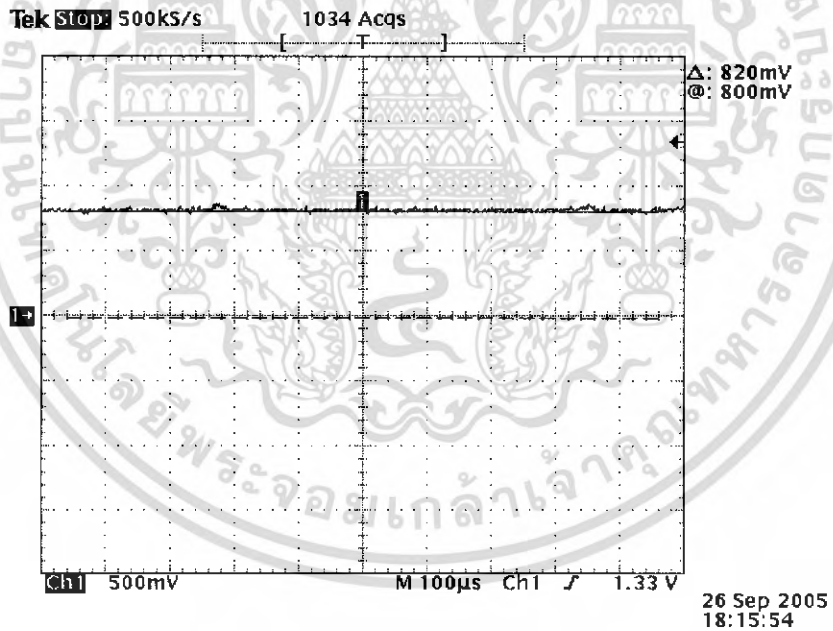


รูปที่ 4.12 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อกำลังอินพุทมีค่าเป็น 0 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

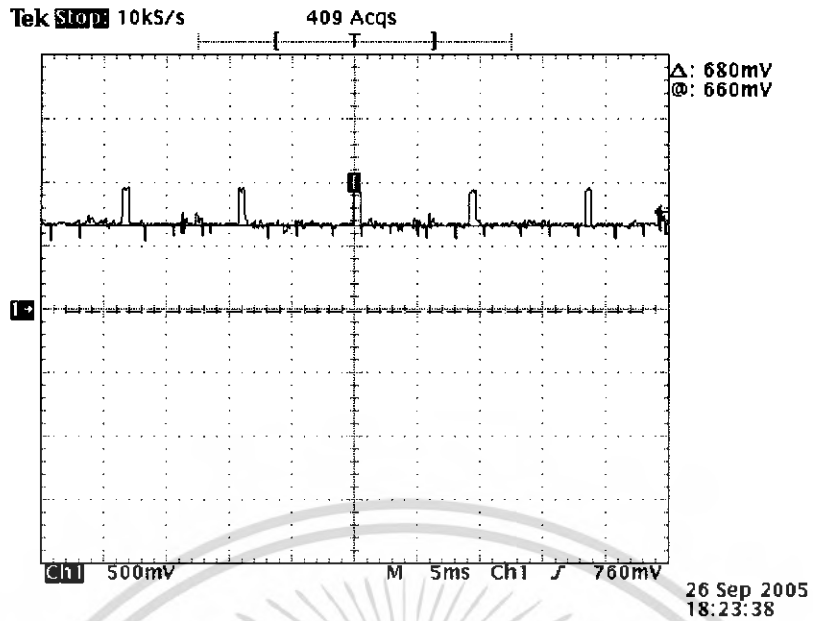


รูปที่ 4.13 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อกำลังอินพุทมีค่าเป็น -20 dBm



รูปที่ 4.14 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อกำลังอินพุทมีค่าเป็น -40 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

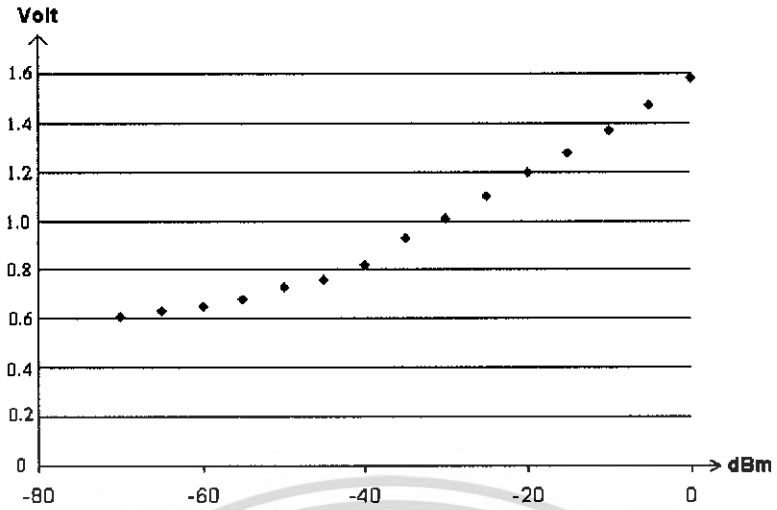


รูปที่ 4.15 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อกำลังอินพุทมีค่าเป็น -50 dBm

ค่ากำลังงานอินพุท (dBm)	แรงดันเอาท์พุท (V)
-70	0.61
-65	0.63
-60	0.65
-55	0.68
-50	0.73
-45	0.76
-40	0.82
-35	0.93
-30	1.01
-25	1.10
-20	1.20
-15	1.28
-10	1.37
-5	1.47
0	1.58

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวงจรเรคติไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟผลการทดลองวงจรเรคติไฟเออร์

4.4 การทดลองรวมวงจรกรองความถี่แถบผ่านและวงจรเรคติไฟเออร์

ทำการทดลองโดยต่อวงจรกรองความถี่แถบผ่านและวงจรเรคติไฟเออร์เข้าด้วยกันแล้วป้อนอินพุทเป็นสัญญาณที่มีความถี่ 1800 เมกกะเฮิรตซ์ ทำการเปลี่ยนค่ากำลังของอินพุท ตั้งแต่ -50 dBm ถึง 20 dBm แล้วทำการวัดแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์

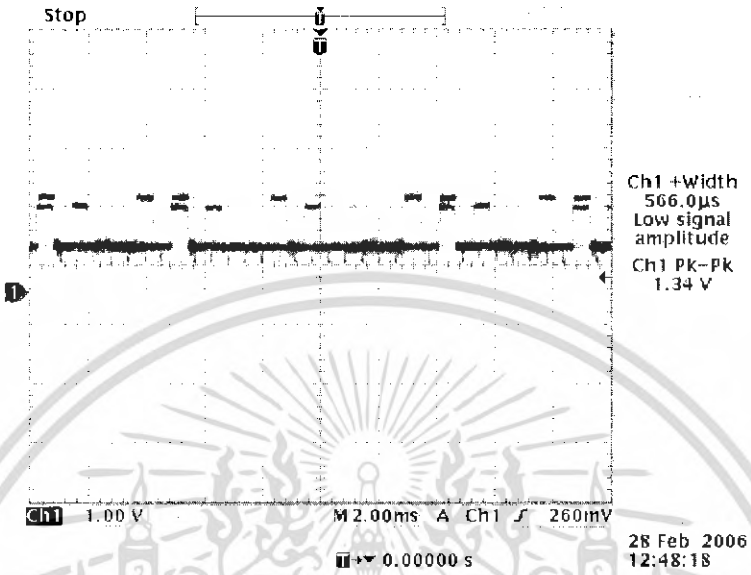
ค่ากำลังงานอินพุท (dBm)	แรงดันเอาท์พุท (V)
-50	0.59
-45	0.64
-40	0.71
-35	0.79
-30	0.89
-25	0.97
-20	1.06
-15	1.14
-10	1.23
-5	1.32
0	1.41
5	1.52
10	1.62
15	1.67
20	1.67

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการรวมวงจรกรองความถี่แถบผ่านและวงจรเรคติไฟเออร์

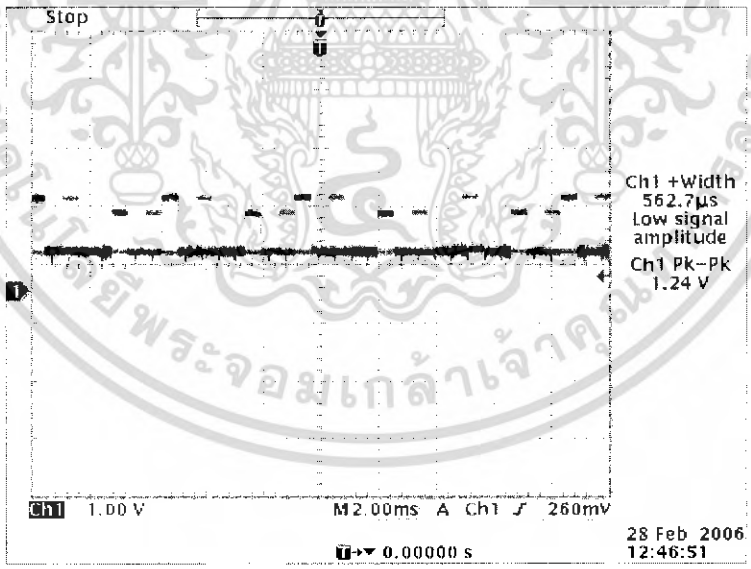
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองวัดค่าระดับแรงดันที่รับได้จากโทรศัพท์เคลื่อนที่

ทำการทดลองโดยต่อวงจรสายอากาศ วงจรกรองความถี่แถบผ่าน และวงจรเรคติไฟเออร์เข้าด้วยกัน หลังจากนั้นวัดค่าแรงดันที่รับได้จากการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่ระยะต่างๆ

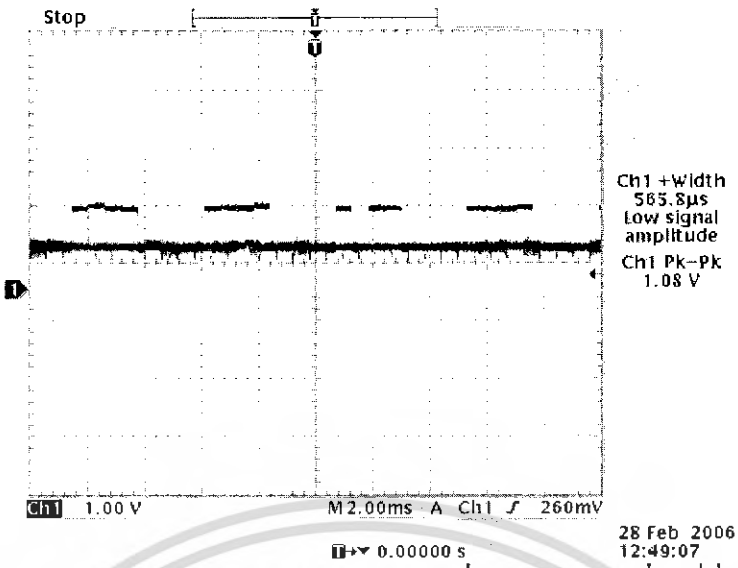


รูปที่ 4.17 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระยะ 1 เมตร

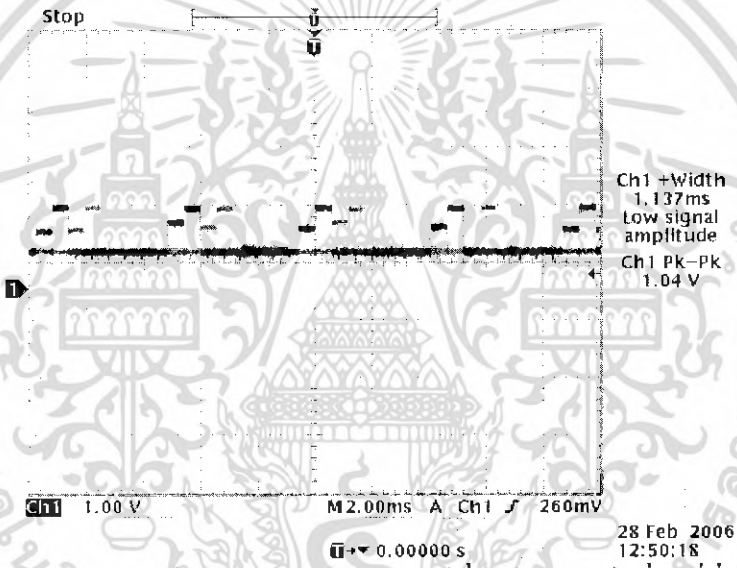


รูปที่ 4.18 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระยะ 2 เมตร

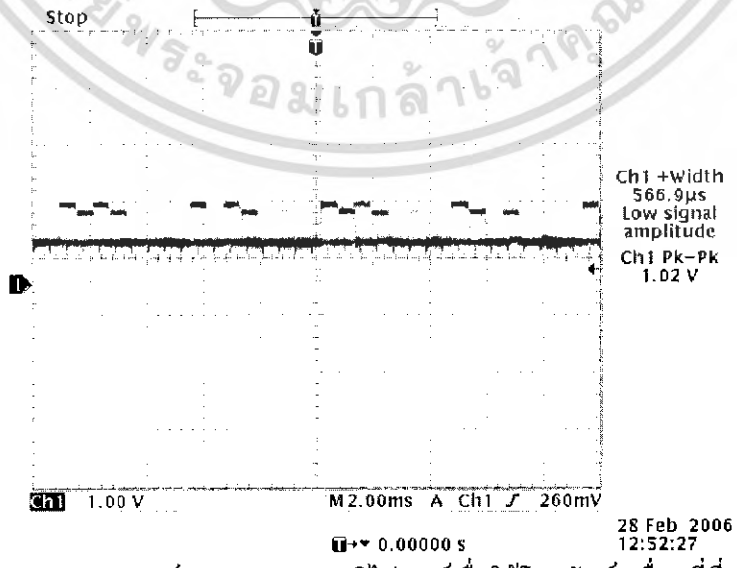
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระยะ 3 เมตร

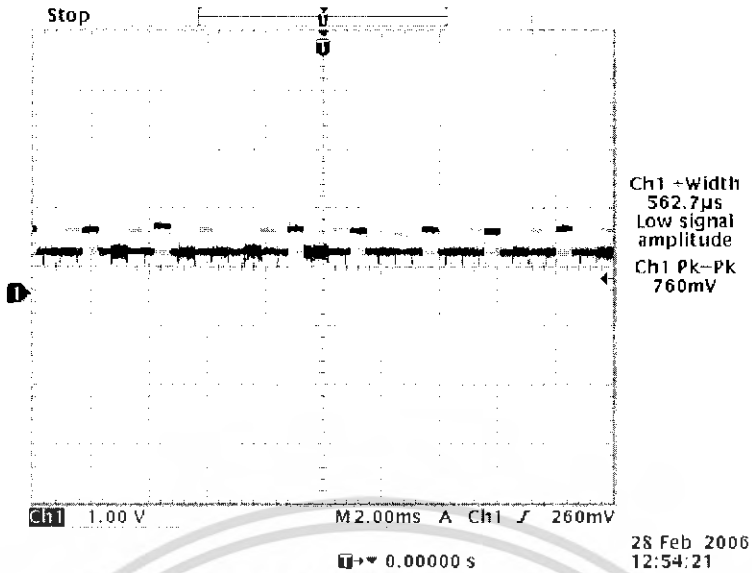


รูปที่ 4.20 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระยะ 4 เมตร



รูปที่ 4.21 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระยะ 5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ระดับแรงดันเอาท์พุทของวงจรเรคติไฟเออร์เมื่อใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระยะ 6 เมตร

ระยะห่างระหว่างสายอากาศและโทรศัพท์	ค่าแรงดันที่วัดได้ (โวลต์)
1 เมตร	1.34
2 เมตร	1.24
3 เมตร	1.08
4 เมตร	1.04
5 เมตร	1.02
6 เมตร	0.76

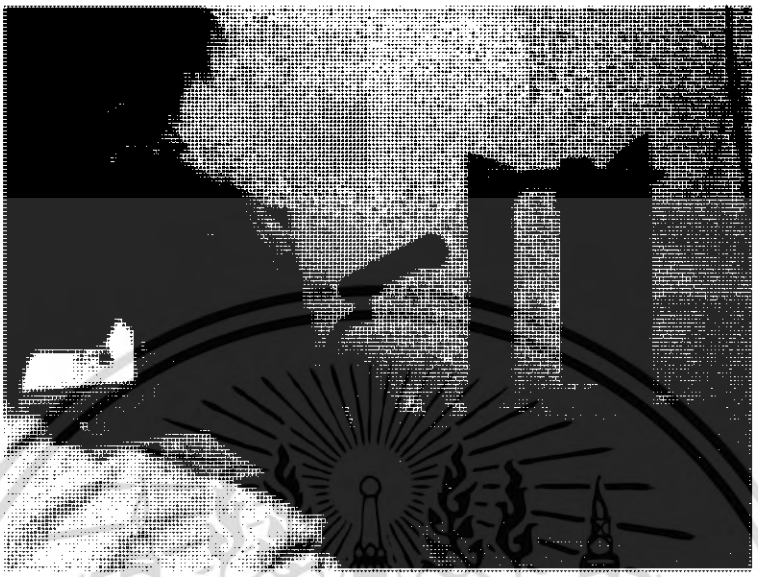
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการวัดค่าแรงดันที่รับได้จากการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระยะต่างๆ

เราต้องการให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้ภายในรัศมีตรวจจับ 4 เมตร จากการทดลองจะเห็นได้ว่าภายในระยะ 5 เมตร อุปกรณ์สามารถวัดค่าระดับแรงดันได้มากกว่า 1 โวลต์ เมื่อมีการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เกิดขึ้น ดังนั้นเราจึงทำการสรุปว่า หากค่าแรงดันที่วัดได้นั้นมีค่าน้อยกว่า 1 โวลต์ จะถือว่าไม่มีการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เกิดขึ้นภายในรัศมีตรวจจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองระบบ

ทำการทดลองโดยต่อวงจรทุกวงจรเข้าด้วยกัน แล้วทดสอบโดยการใช้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่โทรออกหรือเรียกเข้า ดูความถูกต้องของเวลาและมุมที่รับค่าเข้ามาได้



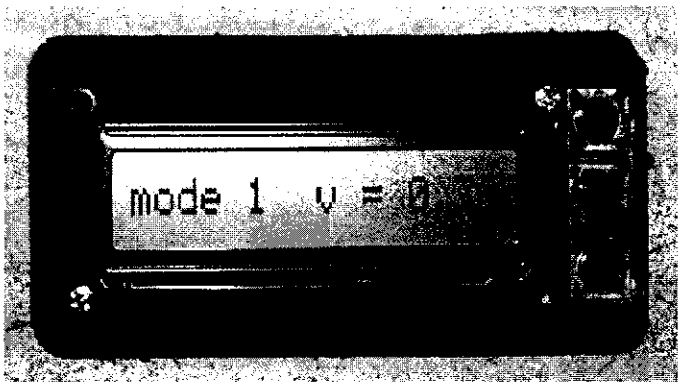
รูปที่ 4.23 การทดลองที่ 4.6

4.6.1 การทดลองในโหมด 1

การทำงานในโหมด 1 คือ วัดค่าระดับแรงดันแล้วแสดงที่หน้าจอ LCD โดยแสดงค่าระดับแรงดันใหม่ในทุกๆ 1 วินาที

รูปที่ 4.24 เมื่อเปิดสวิตช์ของอุปกรณ์ หน้าจอจะแสดงข้อความ “ready to use ok”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 เมื่อกดสวิตช์ตัวล่างสุด อุปกรณ์จะทำงานในโหมด 1 แล้วแสดงค่าระดับแรงดันที่วัดได้

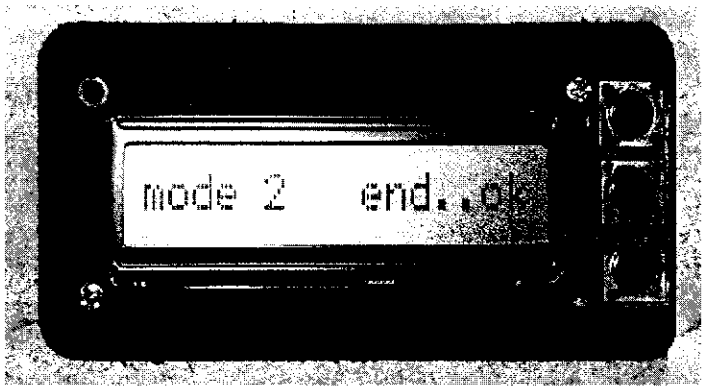
รูปที่ 4.26 แสดงค่าระดับแรงดันที่วัดได้เมื่อมีการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่

4.6.2 การทดลองในโหมด 2

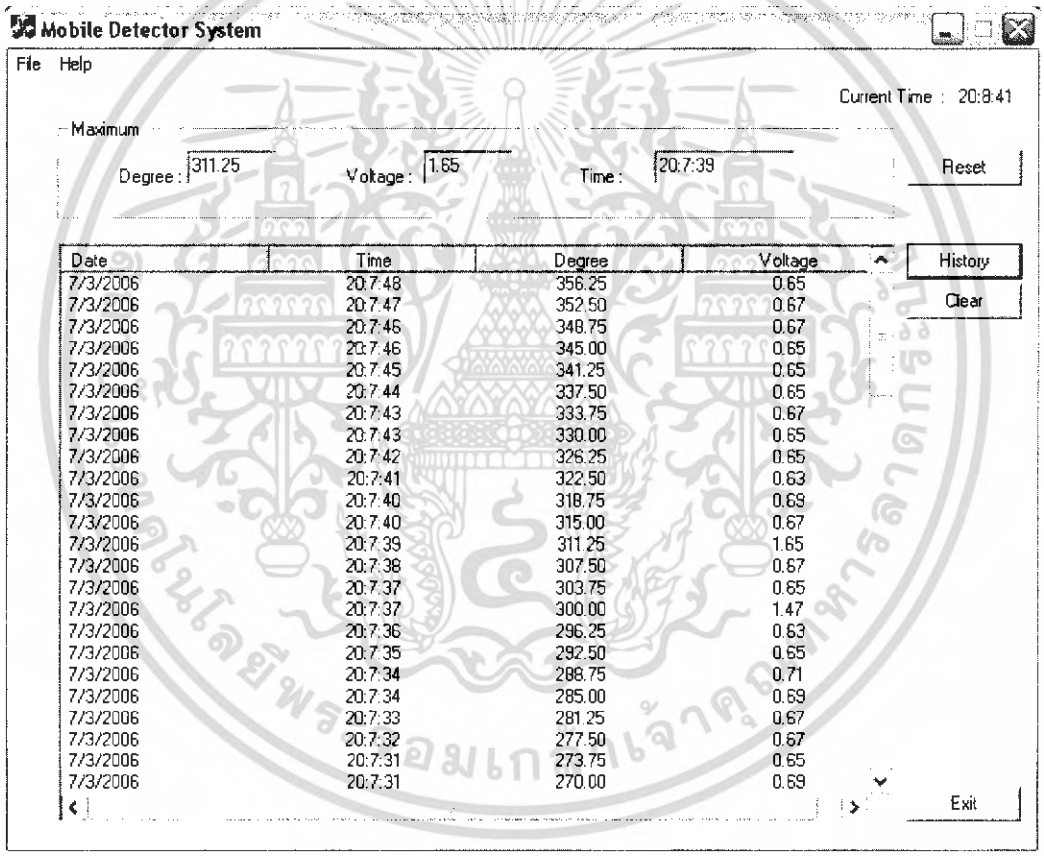
การทำงานในโหมด 2 คือ หมุนตัวหุ้มสายอากาศเป็นสเตป ครั้งละ 3.75 องศา จนครบ 360 องศา ในแต่ละสเตปที่หมุนก็จะทำการรับค่าระดับแรงดันที่วัดได้มาแสดงที่หน้าจอ LCD โดยจะทำการเปลี่ยนค่าระดับแรงดันที่รับมาให้แสดงในรูปแบบของสัญลักษณ์ที่กำหนดไว้ เนื่องจากการหมุนแต่ละครั้งใช้เวลาเพียง 0.1 วินาที ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าตัวเลขจากหน้าจอ LCD ได้ทัน และนำข้อมูลส่งผ่าน Serial port ให้แสดงที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ด้วย

รูปที่ 4.27 การแสดงค่าระดับแรงดันที่วัดได้ในรูปแบบของสัญลักษณ์ที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 เมื่อหมุนครบ 360 องศา จะแสดงข้อความ “end..ok”
เพื่อสอบถามว่าต้องการหมุนอีกครั้งหรือไม่



Date	Time	Degree	Voltage
7/3/2006	20:7:48	356.25	0.65
7/3/2006	20:7:47	352.50	0.67
7/3/2006	20:7:46	348.75	0.67
7/3/2006	20:7:46	345.00	0.65
7/3/2006	20:7:45	341.25	0.65
7/3/2006	20:7:44	337.50	0.65
7/3/2006	20:7:43	333.75	0.67
7/3/2006	20:7:43	330.00	0.65
7/3/2006	20:7:42	326.25	0.65
7/3/2006	20:7:41	322.50	0.63
7/3/2006	20:7:40	318.75	0.69
7/3/2006	20:7:40	315.00	0.67
7/3/2006	20:7:39	311.25	1.65
7/3/2006	20:7:38	307.50	0.67
7/3/2006	20:7:37	303.75	0.65
7/3/2006	20:7:37	300.00	1.47
7/3/2006	20:7:36	296.25	0.63
7/3/2006	20:7:35	292.50	0.65
7/3/2006	20:7:34	288.75	0.71
7/3/2006	20:7:34	285.00	0.69
7/3/2006	20:7:33	281.25	0.67
7/3/2006	20:7:32	277.50	0.67
7/3/2006	20:7:31	273.75	0.65
7/3/2006	20:7:31	270.00	0.69

รูปที่ 4.29 การแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์สายอากาศ

เมื่อนำสายอากาศมาทดสอบหาค่าอินพุตอิมพิแดนซ์ และค่า SWR ผลของการทดสอบพบว่าค่า SWR มีค่าเป็น 1.4631 ถือว่าเป็นค่าที่ดี เพราะค่า SWR ที่ดีควรมีค่าไม่เกิน 1.5:1 และค่าอินพุตอิมพีแดนซ์มีค่าเท่ากับ 51.715 โอห์ม

5.2 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์วงจรกรองความถี่แถบผ่าน

จากการป้อนสัญญาณที่ความถี่ 1600 เมกกะเฮิรตซ์ ถึง 2000 เมกกะเฮิรตซ์ ผลปรากฏว่ามีการลดทอนเป็นอย่างมากในย่านความถี่ 1600 เมกกะเฮิรตซ์ ถึง1760 เมกกะเฮิรตซ์ และ 1840 เมกกะเฮิรตซ์ ถึง 2000 เมกกะเฮิรตซ์ (-72.9 dBm ถึง -71.54 dBm) แต่ในย่านความถี่ 1780 เมกกะเฮิรตซ์ ถึง1820 เมกกะเฮิรตซ์จะมีค่าการลดทอนที่ต่ำกว่ามาก (-33.37 dBm ถึง -33.22) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า วงจรนี้เป็นวงจรกรองความถี่แถบผ่าน ที่มีแถบผ่านอยู่ที่ 1780 เมกกะเฮิรตซ์ถึง 1820 เมกกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นไปตามที่คาดหวัง

แต่ในการทดลองนี้ แม้แต่ใน แถบผ่าน ที่มีการลดทอนต่ำที่สุดแล้ว ก็ยังมีการลดทอนจากการป้อนกำลังที่ 0 dBm ซึ่งอาจจะเกิดจากที่วงจรเป็นวงจรความถี่สูง จึงมีผลกระทบต่อสัญญาณรบกวนมาก

5.3 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์วงจรเรกติไฟเออร์

เมื่อทำการป้อนค่ากำลังส่งเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 dBm ทำให้แรงดันเอาท์พุทเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าวงจรสามารถทำงานได้ตั้งแต่ -70 dBm ซึ่งเป็นประโยชน์ในการรับสัญญาณที่มีกำลังต่ำได้ เมื่อเราวัดสัญญาณไฟตรงในครั้งแรก จะมีสัญญาณไฟตรงจากไฟเลี้ยงมารบกวนอยู่ และอาจจะย้อนกลับไปรบกวนวงจรกรองความถี่แถบผ่านได้ จึงต้องมีตัวเก็บประจุไว้ที่จุดเชื่อมต่อวงจร เพื่อกรองสัญญาณไฟตรง ไม่ให้ไปรบกวนส่วนอื่น

5.4 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์การรวมวงจรกรองความถี่แถบผ่านและวงจรเรกติไฟเออร์

เมื่อเรานำผลที่ได้ไปเทียบกับ ผลของการทดสอบแยกวงจร จะสามารถสรุปได้ว่า เมื่อต่อเข้าด้วยกันแล้วเอาท์พุทที่วัดได้ภายหลัง จะมีการลดทอนลง ซึ่งก็อาจจะเป็นการสูญเสียระหว่างตัวเชื่อมต่อระหว่างสองวงจรรวมถึงจากตัวกรองความถี่เอง การแก้ปัญหาที่อาจจะแก้ได้จากการป้องกันสัญญาณรบกวนให้ทั้งสองวงจร รวมถึงการทำอินพุทอิมพีแดนซ์ของทั้ง 2 วงจรให้มีค่าเท่ากัน

5.5 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์การวัดค่าระดับแรงดันที่รับได้จากโทรศัพท์เคลื่อนที่

เมื่อเพิ่มระยะห่างในการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ออกไป แล้วทำการวัดค่าระดับแรงดัน จะเห็นได้ว่าค่าระดับแรงดันที่วัดได้จะมีค่าน้อยลง เนื่องจากกำลังงานของคลื่นความถี่ที่อยู่ห่างออกไป มีค่าลดน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์การทดลองระบบ

เมื่อนำวงจรทั้งหมดมาต่อรวมกันแล้วทำการทดสอบ พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับยังมีความผิดพลาดเกิดขึ้นเป็นบางครั้ง เนื่องจากความถี่ที่ใช้เป็นระบบที่มีความถี่สูง การออกแบบลายวงจรและอุปกรณ์ทุกตัวจะต้องคำนึงถึงการใช้งานในความถี่สูงด้วย การแก้ไขจึงจำเป็นต้องมีโลหะหุ้มสายอากาศไว้เพราะสามารถป้องกันสัญญาณรบกวนได้ เนื่องจากโลหะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนคลื่นได้ จึงจะสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

5.7 แนวทางการพัฒนาต่อ

ระบบตรวจจับการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่นี้สามารถตรวจจับได้ว่ามีการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในทิศทางใด ซึ่งหากมีการสร้างอุปกรณ์นี้ขึ้นมาหลายๆ ตัว แล้วนำมาประมวลผลเข้าด้วยกันก็จะสามารถบ่งบอกถึงตำแหน่งของการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] สัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ, "หลักการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่", พิมพ์ครั้งที่ 2 (ฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม), สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ พ.ศ. 2546

[2] รศ.ดร. ถวิล พึ่งมา , "ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์ Cellular Mobile Telephone System", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 2 พ.ศ.2541

[3] ศ.โมไนย ไกรฤกษ์, "ทฤษฎีสายอากาศ", โครงการตำราเรียน สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ กรุงเทพฯ พ.ศ. 2535

[4] ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, "คัมภีร์เทคโนโลยีโทรศัพท์มือถือยุค 3G" , ซีเอ็ดยูเคชั่น กรุงเทพฯ พ.ศ. 2548

[5] ดร.ดวงแก้ว สวามิภักดิ์, "การโปรแกรมภาษา C" , ซีเอ็ดยูเคชั่น กรุงเทพฯ

[6] นิรุธ อำนวยศิลป์, "คู่มือการเขียนโปรแกรม Microsoft Visual C++ Version 6.0" ,ซัคเซส มีเดีย กรุงเทพฯ พ.ศ. 2544

[7] ประจิน พลังสันติกุล, "เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์ เขียนโปรแกรมภาษา C ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC", บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด

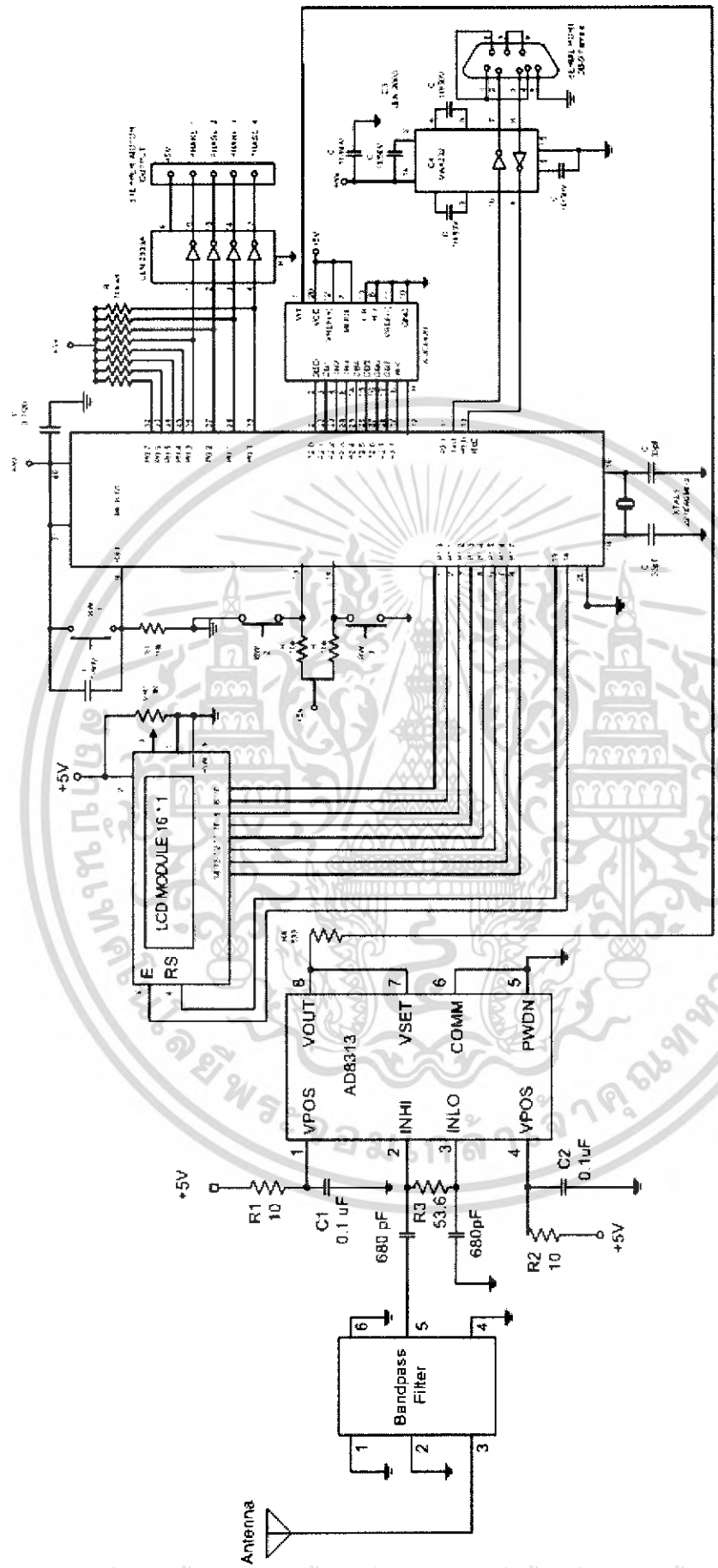
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. วงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include<AT89x52.h>
#include<lcd.h>
#include<showv.h>
#include<showv2.h>
#include<serial.h>
#include<page.h>
//-------------------------------------------------------------------
code unsigned char
step[]={0x00,0x08,0x0C,0x04,0x06,0x02,0x03,0x01,0x09};
sbit sw_ok = P3^6;//pin16
sbit wr=P3^7; //pin 17
unsigned char x1,x2,res,round=0,blink=0;
sbit k=P3^2;
unsigned char a=0,m,i;
//-------------------------------------------------------------------
void delay_1(int time)
{
      while(time-->0);
}
//-----------------------------------------------------------
void motor(void)
{
            cd_clear();
            i=0;
            P0=0x00;//output
            for (a=0;a<96;a++)  // 360 degree
            {           page3();
                        wr=0;       // start A2D
                        wr=1;
                        delay_1(0x3500); // start motor
                        i++;
                        if(i>=9)
                        i=1;
                        P0=step[i];
                        delay_1(0x0200);

                        while(k);
                        showv2(x1);
                        serial_snd("s");
                        serial_snd(a);
                        serial_snd("_");
                        serial_snd(x1);
                        serial_snd("e");
            }
            page4();
}
//-----------------------------------------------------------
void A2D_intrp() interrupt 0
{
      x1 = P2;
      k=1;
}
//-----------------------------------------------------------
void service_sw() interrupt 2
{
            if(m==0)
      {
         m=1;
      }
      else
      {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        m=0;
      }
}
//-------------------------------------------------------
void sevice_timer0(void) interrupt 1
{
      round++;
      if (round >=100)
      {
            lcd_clear2();
            page2();
            if (blink)
            {
                  lcd_showtext("*",0x87);
                  blink=0;
            }
            else
            {
                  lcd_showtext(" ",0x87);
                  blink=1;
            }
            showv(x1);
            round=0;
      }
}
//-------------------------------------------------------
void main(void)
{
      P0 = 0x00; //stepper motor output
      sw_ok = 1 ; // ok
      P2= 0xFF;   //set Port2 is Input A2D
      k=0;
      wr  = 1;
      IE = 0x85;
      IT0 = 1;
      IT1 = 1;
      m=0;
      TMOD=0x21;
      TH0=0xB7;
      TL0=0xA9;
      ET0=0;
      TR0=1;
      serial_init();
      lcd_init();
      page1();
      while(sw_ok);
      lcd_clear();
      while(1)          // mode 1
      {
            if(m==0)
            {
                  ET0=1;
                  wr=0;       // start A2D
                  wr=1;
                  while(k);
            }
             if(m==1)   //mode 2
             {
                  ET0=0;
                  lcd_clear();
                  motor();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                while(sw_ok);
             }
            }//while
}//main
// showv.h
void showv(unsigned char dat)
{
      unsigned char *r;
      switch(dat)
      {
            case 0x00   :     r = "v = 0.00";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x01   :     r = "v = 0.02";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x02   :     r = "v = 0.04";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x03   :     r = "v = 0.06";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x04   :     r = "v = 0.08";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x05   :     r = "v = 0.10";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x06   :     r = "v = 0.12";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x07   :     r = "v = 0.14";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x08   :     r = "v = 0.16";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x09   :     r = "v = 0.18";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x0A   :     r = "v = 0.20";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x0B   :     r = "v = 0.22";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x0C:        r="v = 0.24";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x0D:        r="v = 0.26";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x0E:        r="v = 0.28";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x0F:        r="v = 0.30";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x10:        r="v = 0.32";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
case 0x11:          r="v = 0.34";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x12:          r="v = 0.36";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x13:          r="v = 0.38";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x14:          r="v = 0.40";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x15:          r="v = 0.42";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x16:          r="v = 0.44";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x17:          r="v = 0.46";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x18:          r="v = 0.48";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x19:          r="v = 0.50";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x1A:          r="v = 0.52";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x1B:          r="v = 0.54";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x1C:          r="v = 0.56";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x1D:          r="v = 0.58";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x1E:          r="v = 0.60";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x1F:          r="v = 0.62";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x20:          r="v = 0.64";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x21:          r="v = 0.66";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x22:          r="v = 0.68";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x23:          r="v = 0.70";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x24:          r="v = 0.72";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x25:          r="v = 0.74";
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x26:          r="v = 0.76";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x27:          r="v = 0.78";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x28:          r="v = 0.80";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x29:          r="v = 0.82";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x2A:          r="v = 0.84";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x2B:          r="v = 0.86";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x2C:          r="v = 0.88";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x2D:          r="v = 0.90";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x2E:          r="v = 0.92";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x2F:          r="v = 0.94";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x30:          r="v = 0.96";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x31:          r="v = 0.98";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x32:          r="v = 1.00";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x33:          r="v = 1.02";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x34:          r="v = 1.04";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x35:          r="v = 1.06";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x36:          r="v = 1.08";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x37:          r="v = 1.10";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x38:          r="v = 1.12";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x39:          r="v = 1.14";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    break;
case 0x3A:          r="v = 1.16";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x3B:          r="v = 1.18";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x3C:          r="v = 1.20";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x3D:          r="v = 1.22";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x3E:          r="v = 1.24";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x3F:          r="v = 1.26";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x40:          r="v = 1.28";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x41:          r="v = 1.30";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x42:          r = "v = 1.32";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x43:          r = "v = 1.34";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x44:          r = "v = 1.36";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x45:          r = "v = 1.38";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x46:          r = "v = 1.40";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x47:          r = "v = 1.42";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x48:          r = "v = 1.44";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x49:          r = "v = 1.46";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x4A:          r = "v = 1.48";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x4B:          r = "v = 1.50";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x4C:          r = "v = 1.52";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
case 0x4D:          r = "v = 1.54";
                    lcd_showtext(r,0xC0);
                    break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
case 0x4E:      r = "v = 1.56";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x4F:      r = "v = 1.58";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x50:      r = "v = 1.60";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x51:      r = "v = 1.62";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x52:      r = "v = 1.64";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x53:      r = "v = 1.66";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x54:      r = "v = 1.68";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x55:      r = "v = 1.70";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x56:      r = "v = 1.72";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x57:      r = "v = 1.74";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x58:      r = "v = 1.76";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x59:      r = "v = 1.78";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x5A:      r = "v = 1.80";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x5B:      r = "v = 1.82";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x5C:      r = "v = 1.84";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x5D:      r = "v = 1.86";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x5E:      r = "v = 1.88";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x5F:      r = "v = 1.90";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x60:      r = "v = 1.92";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x61:      r = "v = 1.94";
                lcd_showtext(r,0xC0);
                break;
case 0x62:      r = "v = 1.96";
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x63:        r = "v = 1.98";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            case 0x64:        r = "v = 2.00";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
            default          :r = "volt = x.xx";
                              lcd_showtext(r,0xC0);
                              break;
      }
}
// lcd.h
#include<string.h>
//-------------------------------------------------------------------------
--
sbit e = P3^4;                //pin 14
sbit rs = P3^5;               //pin 15
//-------------------------------------------------------------------------
---
void delay(int tick)
{
      int i,j;                        // For keep counter loop
      for(i=0;i<tick;i++)             // Loop delay
      for(j=0;j<200;j++);
}
void lcd_command(unsigned char com) //write command
{
      rs = 0;                         // Write Command to LCD
      e = 1;                          // Start generate pulse clock LCD
      P1 = com;                 // Send data to LCD port
      delay(10);
      e = 0;
      delay(10);
}
void lcd_oncursor()
{
      lcd_command(0x0F);
}
void lcd_offcursor()
{
      lcd_command(0x0C);
}
void lcd_clear()
{
      lcd_command(0x01);
}
void lcd_clear2()
{
      lcd_command(0x02);
}
void lcd_right()
{
      lcd_command(0x14);
}
void lcd_left()
{
      lcd_command(0x10);
}
void lcd_origin()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
      lcd_command(0x02);
}
void lcd_showchar(unsigned char character)
{
      rs = 1;                          // Write Data to LCD
      e = 1;                           //Start generate pulse clock LCD
      P1 = character;          // Send data to LCD port
      delay(10);
      e = 0;
      delay(10);
}
void lcd_showtext(unsigned char *text,unsigned char position)
{
      unsigned char i;
      lcd_origin();
      lcd_command(position);
      for(i=0;i<strlen(text);i++)
            lcd_showchar(*(text+i));
}
void lcd_showtime(unsigned char dat,unsigned char position)
{
      unsigned char buf1,buf2 = 0;
      buf1 = dat & 0xF0;
      buf1 = (buf1>>4)|(0x30);
      buf2 = dat & 0x0F;
      buf2 = (buf2)|(0x30);
      lcd_origin();
      lcd_command(position);
      lcd_showchar(buf1);
      lcd_showchar(buf2);
}
void lcd_init()
{
      delay(500);                      // Delay for initial LCD
      lcd_command(0x38);       // 8 bit display ,5*7 dot,1 lines
      lcd_offcursor();                 // Display ON , none cursor
      lcd_clear();                     // Clear screen
}
// serial.h
void serial_init(void)
{
      PCON = 0x00;
      SCON = 0x50;
      TMOD = 0x20;
      TH1 = 0xFA;        //Baud Rate = 9600
      TR1 = 1;
}
void serial_snd(unsigned char dat)
{
      SBUF = dat;
      while(~TI);
      TI = 0;
}
unsigned char serial_rcv(void)
{
      unsigned char dat;
      while(~RI);
      RI = 0;
      dat = SBUF;
      return(dat);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}

//page.h
void page1(void)
{
      unsigned char *line = "ready to";
      unsigned char *line2 = " use ok";
      lcd_showtext(line,0x80);
      lcd_showtext(line2,0xC0);
      //lcd_clear();
}
void page2(void)
{
      unsigned char *line = "mode 1";
      lcd_showtext(line,0x80);
}
void page3(void)
{
      unsigned char *line = "mode 2";
      lcd_showtext(line,0x80);
}
void page4(void)
{
      unsigned char *line = " end..ok";
      lcd_showtext(line,0xC0);
}

// showdb.h
void showv2(unsigned char dat)
{
      if((dat>=0x00)&&(dat<=0x0C))
      {lcd_showtext("        ",0xC0);
      }
      if((dat>=0x0D)&&(dat<=0x19))
      {lcd_showtext("x       ",0xC0);
      }
      if((dat>=0x1A)&&(dat<=0x25))
      {lcd_showtext("xx      ",0xC0);
      }
      if((dat>=0x26)&&(dat<=0x32))
      {lcd_showtext("xxx     ",0xC0);
      }
      if((dat>=0x33)&&(dat<=0x3E))
      {lcd_showtext("xxxx    ",0xC0);
      }
      if((dat>=0x3F)&&(dat<=0x4B))
      {lcd_showtext("xxxxx   ",0xC0);
      }
      if((dat>=0x4C)&&(dat<=0x57))
      {lcd_showtext("xxxxxx  ",0xC0);
      }
      if((dat>=0x58)&&(dat<=0x64))
      {lcd_showtext("xxxxxxx ",0xC0);
      }
      if(dat>0x64)
      {lcd_showtext("xxxxxxxx",0xC0);
      }
      else
      {lcd_showtext("        ",0xC0);
      }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค. datasheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.1 GHz–2.5 GHz, 70 dB Logarithmic Detector/Controller

AD8313

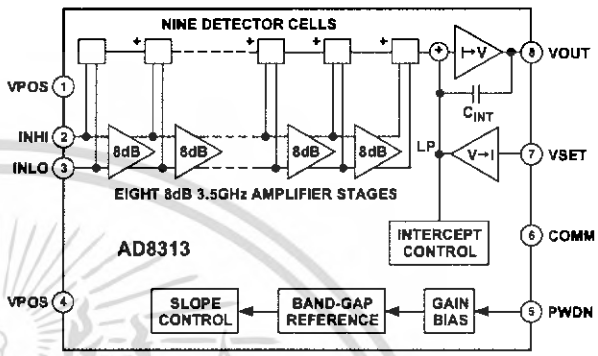
FEATURES

Wide Bandwidth: 0.1 GHz to 2.5 GHz Min
High Dynamic Range: 70 dB to ±3.0 dB
High Accuracy: ±1.0 dB over 65 dB Range (@ 1.9 GHz)
Fast Response: 40 ns Full-Scale Typical
Controller Mode with Error Output
Scaling Stable Over Supply and Temperature
Wide Supply Range: +2.7 V to +5.5 V
Low Power: 40 mW at 3 V
Power-Down Feature: 60 μW at 3 V
Complete and Easy to Use

APPLICATIONS

RF Transmitter Power Amplifier Setpoint Control and Level Monitoring
Logarithmic Amplifier for RSSI Measurement
Cellular Base Stations, Radio Link, Radar

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



PRODUCT DESCRIPTION

The AD8313 is a complete multistage demodulating logarithmic amplifier, capable of accurately converting an RF signal at its differential input to an equivalent decibel-scaled value at its dc output. The AD8313 maintains a high degree of log conformance for signal frequencies from 0.1 GHz to 2.5 GHz and is useful over the range of 10 MHz to 3.5 GHz. The nominal input dynamic range is –65 dBm to 0 dBm (re: 50 Ω), and the sensitivity can be increased by 6 dB or more with a narrow band input impedance matching network or balun. Application is straightforward, requiring only a single supply of 2.7 V–5.5 V and the addition of a suitable input and supply decoupling. Operating on a 3 V supply, its 13.7 mA consumption (for T_A = +25°C) amounts to only 41 mW. A power-down feature is provided; the input is taken high to initiate a low current (20 μA) sleep mode, with a threshold at half the supply voltage.

The AD8313 uses a cascade of eight amplifier/limiter cells, each having a nominal gain of 8 dB and a –3 dB bandwidth of 3.5 GHz, for a total midband gain of 64 dB. At each amplifier output, a detector (rectifier) cell is used to convert the RF signal to baseband form; a ninth detector cell is placed directly at the input of the AD8313. The current-mode outputs of these cells are summed to generate a piecewise linear approximation to the logarithmic function, and converted to a low impedance voltage-mode output by a transresistance stage, which also acts as a low-pass filter.

When used as a log amp, the scaling is determined by a separate feedback interface (a transconductance stage) that sets the slope to approximately 18 mV/dB; used as a controller, this stage accepts the setpoint input. The logarithmic intercept is positioned to nearly –100 dBm, and the output runs from about 0.45 V dc at –73 dBm input to 1.75 V dc at 0 dBm input. The scale and intercept are supply and temperature stable.

The AD8313 is fabricated on Analog Devices' advanced 25 GHz silicon bipolar IC process and is available in a 8-lead μSOIC package. The operating temperature range is –40°C to +85°C. An evaluation board is available.

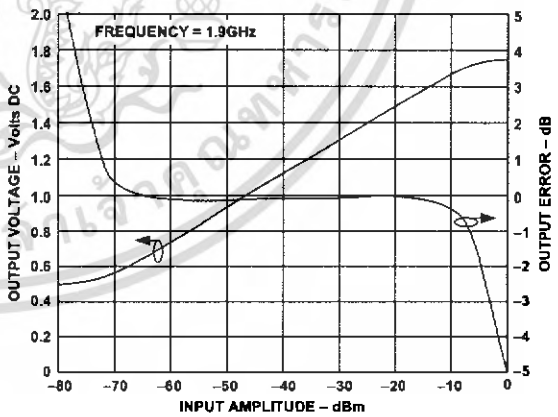


Figure 1. Typical Logarithmic Response and Error vs. Input Amplitude

REV. B

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: http://www.analog.com
Fax: 781/326-8703
© Analog Devices, Inc., 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD8313—SPECIFICATIONS (@ T_A = +25°C, V_S = +5.0 V[1], $R_L \geq 10$ kΩ unless otherwise noted)

Parameter	Conditions	Min[2]	Typ	Max[2]	Units
SIGNAL INPUT INTERFACE					
Specified Frequency Range		0.1		2.5	GHz
DC Common-Mode Voltage			V_{POS} – 0.75		V
Input Bias Currents			10		μA
Input Impedance	f_{RF} < 100 MHz[3]		900‖1.1		Ω‖pF[4]
LOG (RSSI) MODE	Sinusoidal, input termination configuration shown in Figure 27.				
100 MHz[5]	Nominal Conditions				
±3 dB Dynamic Range[6]		53.5	65		dB
Range Center			–31.5		dBm
±1 dB Dynamic Range			56		dB
Slope		17	19	21	mV/dB
Intercept		–96	–88	–80	dBm
	+2.7 V ≤ V_S ≤ +5.5 V, –40°C ≤ T ≤ +85°C				
±3 dB Dynamic Range		51	64		dB
Range Center			–31		dBm
±1 dB Dynamic Range			55		dB
Slope		16	19	22	mV/dB
Intercept		–99	–89	–75	dBm
Temperature Sensitivity	P_{IN} = –10 dBm		–0.022		dB/°C
900 MHz[5]	Nominal Conditions				
±3 dB Dynamic Range		60	69		dB
Range Center			–32.5		dBm
±1 dB Dynamic Range			62		dB
Slope		15.5	18	20.5	mV/dB
Intercept		–105	–93	–81	dBm
	+2.7 V ≤ V_S ≤ +5.5 V, –40°C ≤ T ≤ +85°C				
±3 dB Dynamic Range		55.5	68.5		dB
Range Center			–32.75		dBm
±1 dB Dynamic Range			61		dB
Slope		15	18	21	mV/dB
Intercept		–110	–95	–80	dBm
Temperature Sensitivity	P_{IN} = –10 dBm		–0.019		dB/°C
1.9 GHz[7]	Nominal Conditions				
±3 dB Dynamic Range		52	73		dB
Range Center			–36.5		dBm
±1 dB Dynamic Range			62		dB
Slope		15	17.5	20.5	mV/dB
Intercept		–115	–100	–85	dBm
	+2.7 V ≤ V_S ≤ +5.5 V, –40°C ≤ T ≤ +85°C				
±3 dB Dynamic Range		50	73		dB
Range Center			36.5		dBm
±1 dB Dynamic Range			60		dB
Slope		14	17.5	21.5	mV/dB
Intercept		–125	–101	–78	dBm
Temperature Sensitivity	P_{IN} = –10 dBm		–0.019		dB/°C
2.5 GHz[7]	Nominal Conditions				
±3 dB Dynamic Range		48	66		dB
Range Center			–34		dBm
±1 dB Dynamic Range			46		dB
Slope		16	20	25	mV/dB
Intercept		–111	–92	–72	dBm
	+2.7 V ≤ V_S ≤ +5.5 V, –40°C ≤ T ≤ +85°C				
±3 dB Dynamic Range		47	68		dB
Range Center			–34.5		dBm
±1 dB Dynamic Range			46		dB
Slope		14.5	20	25	mV/dB
Intercept		–128	–92	–56	dBm
Temperature Sensitivity	P_{IN} = –10 dBm		–0.040		dB/°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameter	Conditions	Min[2]	Typ	Max[2]	Units
3.5 GHz[5]					
±3 dB Dynamic Range			43		dB
±1 dB Dynamic Range			35		dB
Slope			24		mV/dB
Intercept			–65		dBm
CONTROL MODE					
Controller Sensitivity	f = 900 MHz		23		V/dB
Low Frequency Gain	VSET to VOUT[8]		84		dB
Open-Loop Corner Frequency	VSET to VOUT[8]		700		Hz
Open-Loop Slew Rate	f = 900 MHz		2.5		V/µs
VSET Delay Time			150		ns
VOUT INTERFACE					
Current Drive Capability					
Source Current			400		µA
Sink Current			10		mA
Minimum Output Voltage	Open Loop		50		mV
Maximum Output Voltage	Open Loop		V_{POS} – 0.1		V
Output Noise Spectral Density	P_{IN} = –60 dBm, f_{SPOT} = 100 Hz		2.0		µV/√Hz
	P_{IN} = –60 dBm, f_{SPOT} = 10 MHz		1.3		µV/√Hz
Small Signal Response Time	P_{IN} = –60 dBm to –57 dBm, 10% to 90%		40	60	ns
Large Signal Response Time	P_{IN} = No Signal to 0 dBm, Settled to 0.5 dB		110	160	ns
VSET INTERFACE					
Input Voltage Range		0		V_{POS}	V
Input Impedance			18k‖1		Ω‖pF
POWER-DOWN INTERFACE					
PWDN Threshold			V_{POS}/2		V
Power-Up Response Time	Time delay following HI to LO transition until device meets full specifications.		1.8		µs
PWDN Input Bias Current	PWDN = 0 V		5		µA
	PWDN = V_S		<1		µA
POWER SUPPLY					
Operating Range		+2.7		+5.5	V
Powered Up Current			13.7	15.5	mA
	+4.5 V ≤ V_S ≤ +5.5 V, –40°C ≤ T ≤ +85°C			18.5	mA
	+2.7 V ≤ V_S ≤ +3.3 V, –40°C ≤ T ≤ +85°C			18.5	mA
Powered Down Current	+4.5 V ≤ V_S ≤ +5.5 V, –40°C ≤ T ≤ +85°C		50	150	µA
	+2.7 V ≤ V_S ≤ +3.3 V, –40°C ≤ T ≤ +85°C		20	50	µA

NOTES

[1]Except where otherwise noted, performance at V_S = +3.0 V is equivalent to +5.0 V operation.

[2]Minimum and maximum specified limits on parameters that are guaranteed but not tested are six sigma values.

[3]Input impedance shown over frequency range in Figure 24.

[4]Double slashes (‖) denote "in parallel with."

[5]Linear regression calculation for error curve taken from –40 dBm to –10 dBm for all parameters.

[6]Dynamic range refers to range over which the linearity error remains within the stated bound.

[7]Linear regression calculation for error curve taken from –60 dBm to –5 dBm for 3 dB dynamic range. All other regressions taken from –40 dBm to –10 dBm.

[8]AC response shown in Figure 10.

Specifications subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD8313

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Supply Voltage V_S ..... 5.5 V
VOUT, VSET, PWDN ..... 0 V, VPOS
Input Power Differential (re: 50 Ω, 5.5 V) ..... +25 dBm
Input Power Single-Ended (re: 50 Ω, 5.5 V) ..... +19 dBm
Internal Power Dissipation ..... 200 mW
θ_{jA} ..... 200°C/W
Maximum Junction Temperature ..... +125°C
Operating Temperature Range ..... –40°C to +85°C
Storage Temperature Range ..... –65°C to +150°C
Lead Temperature Range (Soldering 60 sec) ..... +300°C

*Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may effect device reliability.

PIN CONFIGURATION

PIN FUNCTION DESCRIPTIONS

Pin	Name	Description
1, 4	VPOS	Positive supply voltage (VPOS), +2.7 V to +5.5 V.
2	INHI	Noninverting Input. This input should be ac coupled.
3	INLO	Inverting Input. This input should be ac coupled.
5	PWDN	Connect pin to ground for normal operating mode. Connect pin to supply for power-down mode.
6	COMM	Device Common.
7	VSET	Setpoint input for operation in controller mode. To operate in RSSI mode, short VSET and VOUT.
8	VOUT	Logarithmic/Error Output.

ORDERING GUIDE

Model	Temperature Range	Package Descriptions	Package Option	Brand Code
AD8313ARM	–40°C to +85°C	8-Lead μSOIC	RM-08	J1A
AD8313ARM-REEL	–40°C to +85°C	13" Tape and Reel	RM-08	J1A
AD8313ARM-REEL7	–40°C to +85°C	7" Tape and Reel	RM-08	J1A
AD8313-EVAL		Evaluation Board		

CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although the AD8313 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high energy [>250 V HBM] electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics–AD8313

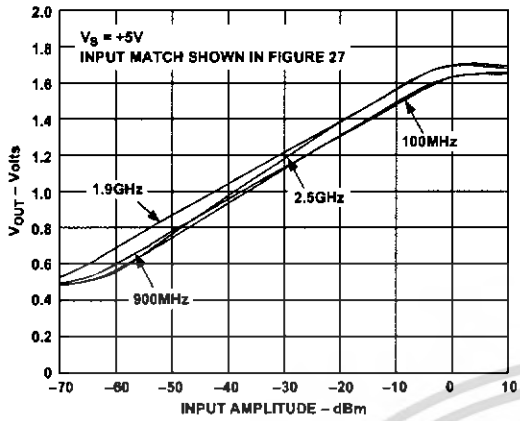


Figure 2. V_{OUT} vs. Input Amplitude

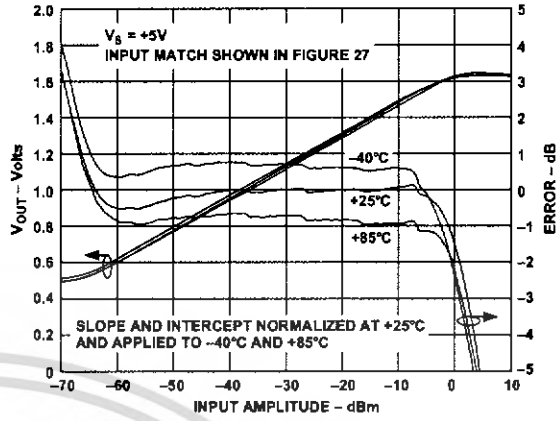


Figure 5. V_{OUT} and Log Conformance vs. Input Amplitude at 900 MHz; –40°C, +25°C and +85°C

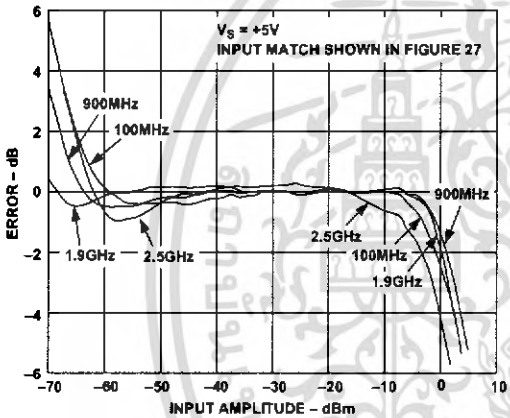


Figure 3. Log Conformance vs. Input Amplitude

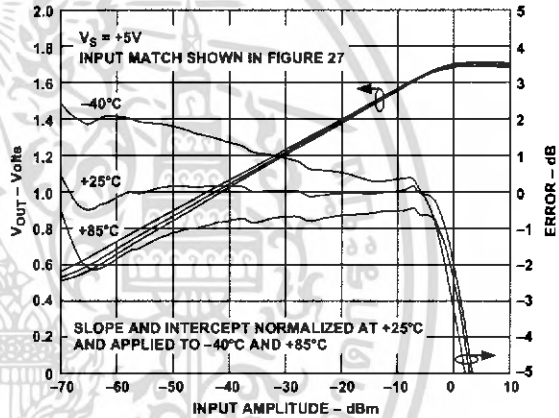


Figure 6. V_{OUT} and Log Conformance vs. Input Amplitude at 1.9 GHz; –40°C, +25°C and +85°C

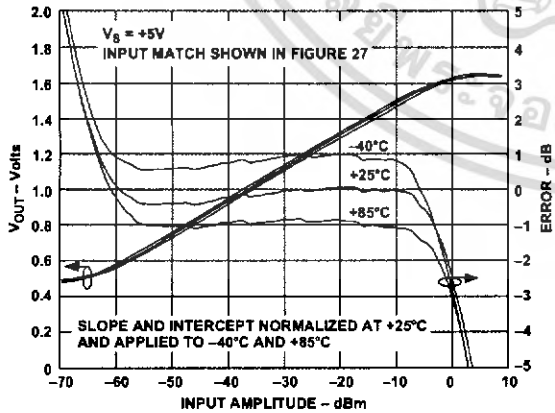


Figure 4. V_{OUT} and Log Conformance vs. Input Amplitude at 100 MHz; –40°C, +25°C and +85°C

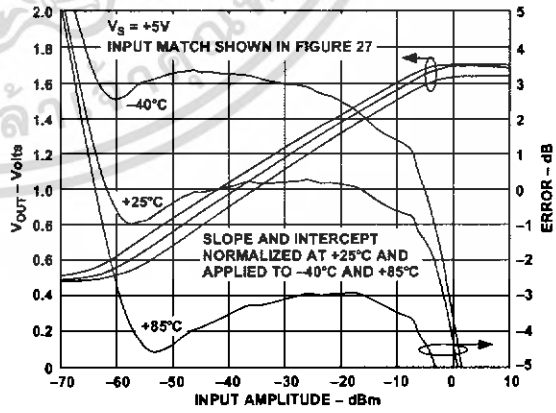


Figure 7. V_{OUT} and Log Conformance vs. Input Amplitude at 2.5 GHz; –40°C, +25°C and +85°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

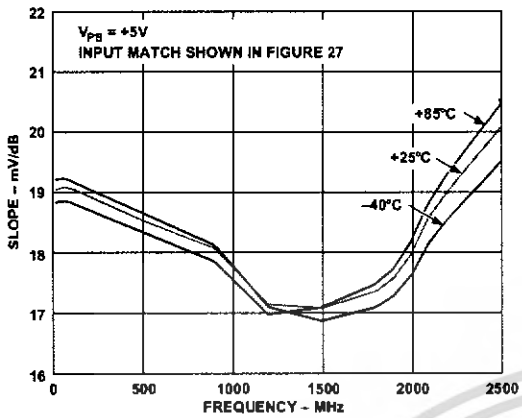


Figure 8. V_{OUT} Slope vs. Frequency; –40°C, +25°C and +85°C

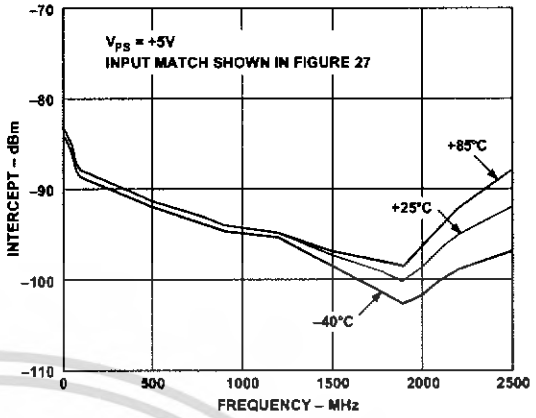


Figure 11. V_{OUT} Intercept vs. Frequency; –40°C, +25°C and +85°C

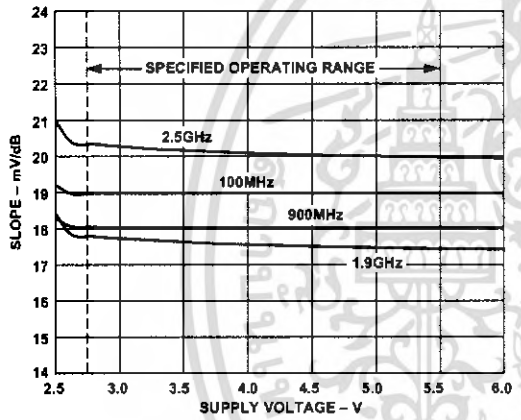


Figure 9. V_{OUT} Slope vs. Supply Voltage

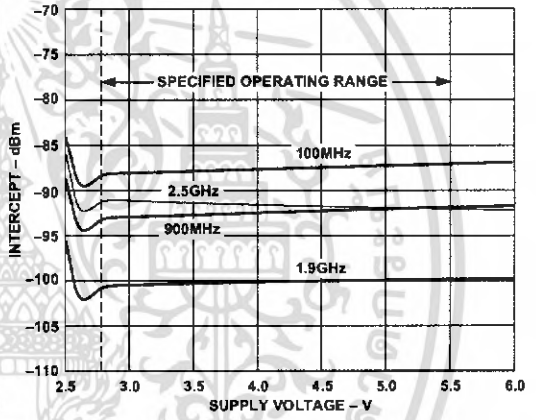


Figure 12. V_{OUT} Intercept vs. Supply Voltage

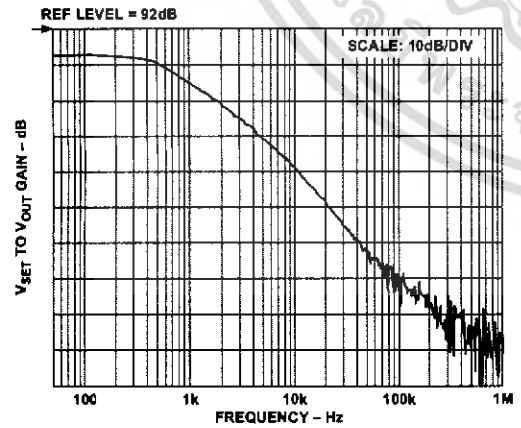


Figure 10. AC Response from V_{SET} to V_{OUT}

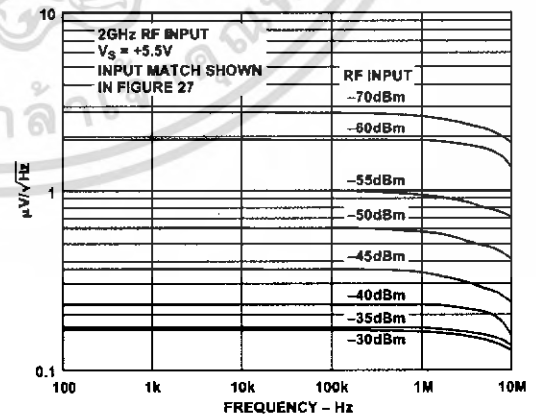


Figure 13. V_{OUT} Noise Spectral Density

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

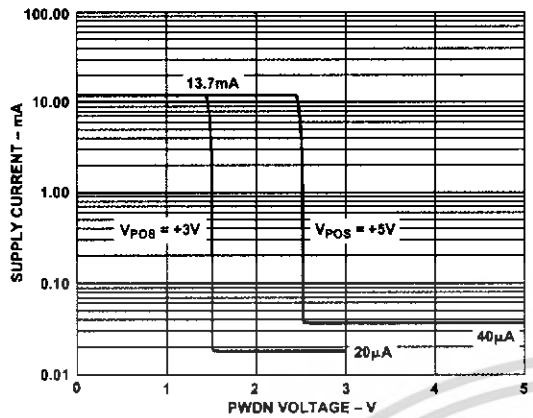


Figure 14. Typical Supply Current vs. PWDN Voltage

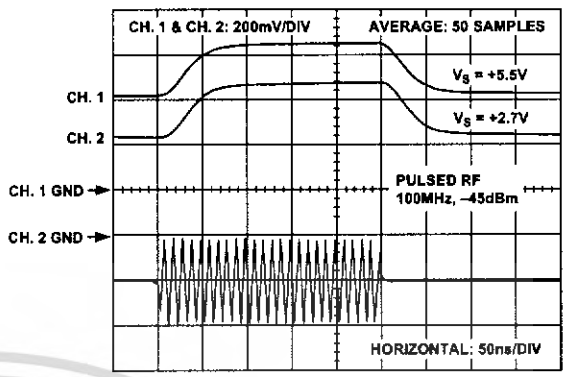


Figure 17. Response Time, No Signal to –45 dBm

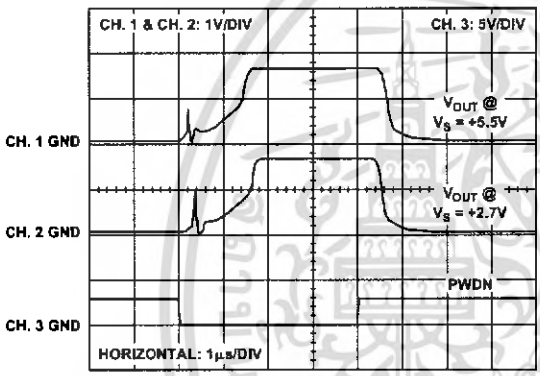


Figure 15. PWDN Response Time

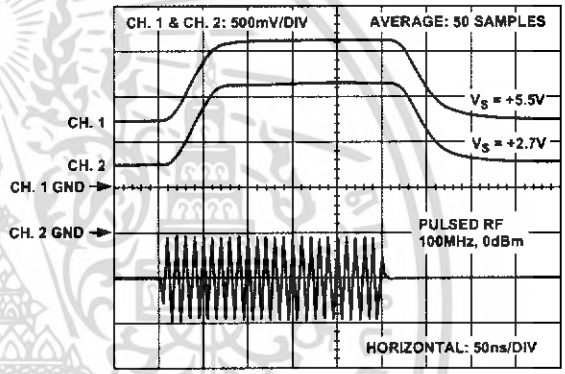


Figure 18. Response Time, No Signal to +0 dBm

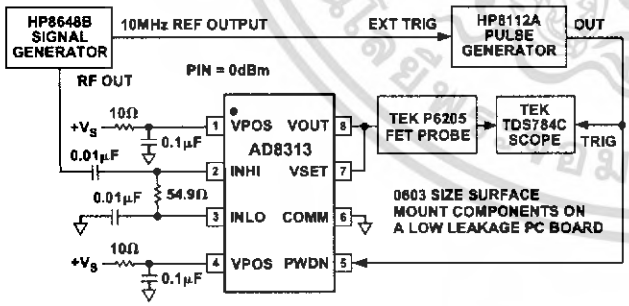


Figure 16. Test Setup for PWDN Response Time

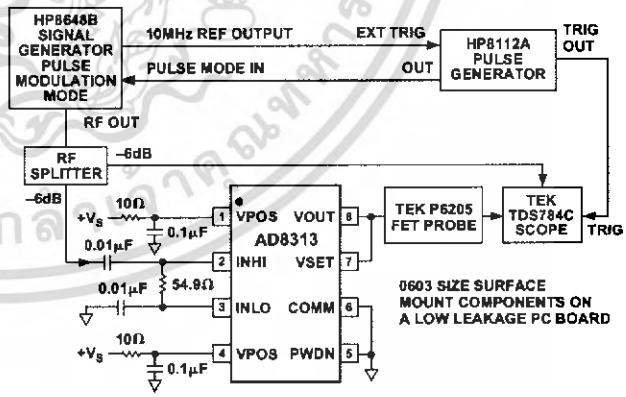


Figure 19. Test Setup for RSSI-Mode Pulse Response

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AD8313

CIRCUIT DESCRIPTION

The AD8313 is essentially an 8-stage logarithmic amplifier, specifically designed for use in RF measurement and power amplifier control applications at frequencies up to 2.5 GHz. A block diagram is shown in Figure 20. (For a full treatment of log-amp theory and design principles, consult the AD8307 data sheet).

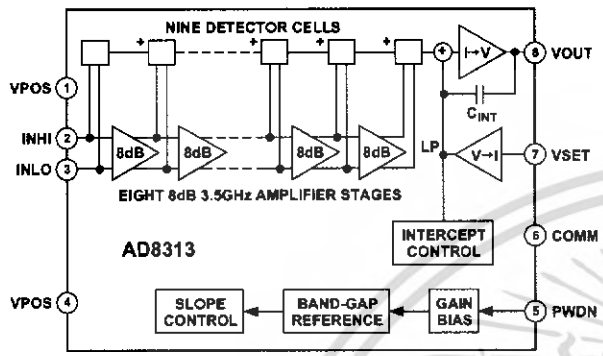


Figure 20. Block Diagram

A fully-differential design is used, and the inputs INHI and INLO (Pins 2 and 3) are internally biased to approximately 0.75 V below the supply voltage, and present a low frequency impedance of nominally 900 Ω in parallel with 1.1 pF. The noise spectral density referred to the input is 0.6 nV/√Hz, equivalent to a voltage of 35 μV rms in a 3.5 GHz bandwidth, or a noise power of −76 dBm re: 50 Ω. This sets the lower limit to the dynamic range; the Applications section shows how to increase the sensitivity by the use of a matching network or input transformer. However, the low end accuracy of the AD8313 is enhanced by specially shaping the demodulation transfer characteristic to partially compensate for errors due to internal noise.

Each of the eight cascaded stages has a nominal voltage gain of 8 dB and a bandwidth of 3.5 GHz, and is supported by precision biasing cells which determine this gain and stabilize it against supply and temperature variations. Since these stages are direct-coupled and the dc gain is high, an offset-compensation loop is included. The first four of these stages, and the biasing system, are powered from Pin 4, while the later stages and the output interfaces are powered from Pin 1. The biasing is controlled by a logic interface PWDN (Pin 5); this is grounded for normal operation, but may be taken high (to V_S) to disable the chip. The threshold is at $V_{POS}/2$ and the biasing functions are enabled and disabled within 1.8 μs.

Each amplifier stage has a detector cell associated with its output. These nonlinear cells essentially perform an absolute-value (full-wave rectification) function on the differential voltages along this backbone, in a transconductance fashion; their outputs are in current-mode form and are thus easily summed. A ninth detector cell is added at the input of the AD8313. Since the mid-range response of each of these nine detector stages is separated by 8 dB, the overall dynamic range is about 72 dB (Figure 21). The upper end of this range is determined by the capacity of the first detector cell, and occurs at approximately 0 dBm. The practical dynamic range is over 70 dB, to the ±3 dB error points. However, some erosion of this range will occur at temperature and frequency extremes. Useful operation to over 3 GHz is possible, and the AD8313 remains serviceable at 10 MHz (see Typical Performance Characteristics), needing only a small amount of additional ripple filtering.

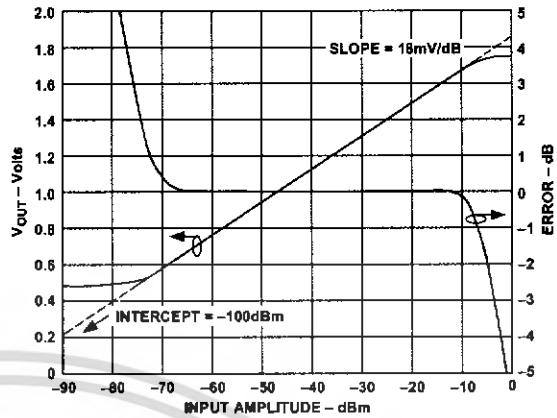


Figure 21. Typical RSSI Response and Error vs. Input Power at 1.9 GHz

The fluctuating current output generated by the detector cells, with a fundamental component at twice the signal frequency, is filtered first by a low-pass section inside each cell, and also by the output stage. The output stage converts these currents to a voltage, V_{OUT}, at pin VOUT (Pin 8), which can swing "rail-to-rail." The filter exhibits a two-pole response with a corner at approximately 12 MHz and full-scale rise time (10%–90%) of 40 ns. The residual output ripple at an input frequency of 100 MHz has an amplitude of under 1 mV. The output can drive a small resistive load: it can source currents of up to 400 μA, and sink up to 10 mA. The output is stable with any capacitive load, though settling time may be impaired. The low frequency incremental output impedance is approximately 0.2 Ω.

In addition to its use as an RF power measurement device (that is, as a logarithmic amplifier) the AD8313 may also be used in controller applications, by breaking the feedback path from VOUT to the VSET (Pin 7), which determines the slope of the output (nominally 18 mV/dB). This pin becomes the setpoint input in controller modes. In this mode, the voltage V_{OUT} remains close to ground (typically under 50 mV) until the decibel equivalent of the voltage V_{SET} is reached at the input, when V_{OUT} makes a rapid transition to a voltage close to V_{POS} (see controller mode). The logarithmic intercept is nominally positioned at −100 dBm (re: 50 Ω) and this is effective in both the log amp mode and the controller mode.

Thus, with Pins 7 and 8 connected (log amp mode) we have:

$$V_{OUT} = V_{SLOPE}\ (P_{IN} + 100\ dBm)$$

where P_{IN} is the input power, stated in dBm when the source is directly terminated in 50 Ω. However, the input impedance of the AD8313 is much higher than 50 Ω and the sensitivity of this device may be increased by about 12 dB by using some type of matching network (see below), which adds a voltage gain and lowers the intercept by the same amount. This dependence on the choice of reference impedance can be avoided by restating the expression as:

$$V_{OUT} = 20 \times V_{SLOPE} \times \log\ (V_{IN}/2.2\ \mu V)$$

where V_{IN} is the rms value of a sinusoidal input appearing across Pins 2 and 3; here, 2.2 μV corresponds to the intercept, expressed in voltage terms. (For a more thorough treatment of the effect of signal waveform and metrics on the intercept positioning for a log amp, see the AD8307 data sheet).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

With Pins 7 and 8 disconnected (controller mode), the output may be stated as

$$V_{OUT} \rightarrow V_S \quad \text{when} \quad V_{SLOPE}\,(P_{IN} + 100) > V_{SET}$$
$$V_{OUT} \rightarrow 0 \quad \text{when} \quad V_{SLOPE}\,(P_{IN} + 100) < V_{SET}$$

when the input is stated in terms of the power of a sinusoidal signal across a net termination impedance of 50 Ω. The transition zone between high and low states is very narrow, since the output stage behaves essentially as a fast integrator. The above equations may be restated as

$$V_{OUT} \rightarrow V_S \quad \text{when} \quad V_{SLOPE} \log (V_{IN}/2.2\ \mu V) > V_{SET}$$
$$V_{OUT} \rightarrow 0 \quad \text{when} \quad V_{SLOPE} \log (V_{IN}/2.2\ \mu V) < V_{SET}$$

A further use of the separate VOUT and VSET pins is in raising the load-driving current capability by the inclusion of an external NPN emitter follower. More complete information about usage in these various modes is provided in the Applications section.

INTERFACES

This section describes the signal and control interfaces and their behavior. On-chip resistances and capacitances exhibit variations of up to ±20%. These resistances are sometimes temperature dependent and the capacitances may be voltage dependent.

Power-Down Interface, PWDN

The power-down threshold is accurately centered at the midpoint of the supply as shown in Figure 22. If Pin 5 is left unconnected or tied to the supply voltage (recommended) the bias enable current is shut off, and the current drawn from the supply is predominately through a nominal 300 kΩ chain (20 μA at 3 V). When grounded, the bias system is turned on. The threshold level is accurately at $V_{POS}/2$. The input bias current at the PWDN pin when operating in the device "ON" state is approximately 5 μA for V_{POS} = 3 V.

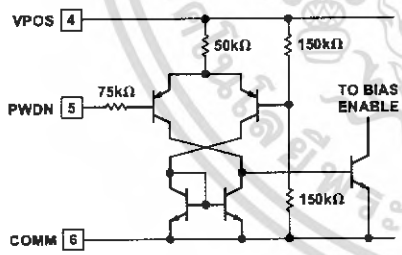


Figure 22. Power-Down Threshold Circuitry

Signal Inputs, INHI, INLO

The simplest low frequency ac model for this interface consists of just a 900 Ω resistance R_{IN} in shunt with a 1.1 pF input capacitance, C_{IN} connected across INHI and INLO. Figure 23 shows these distributed in the context of a more complete schematic. The input bias voltage shown is for the enabled chip; when disabled, it will rise by a few hundred millivolts. If the input is coupled via capacitors, this change may cause a low-level signal transient to be introduced, having a time-constant formed by these capacitors and R_{IN}. For this reason, large-valued coupling capacitors should be well matched; this is not necessary when using the small capacitors found in many impedance transforming networks used at high frequencies.

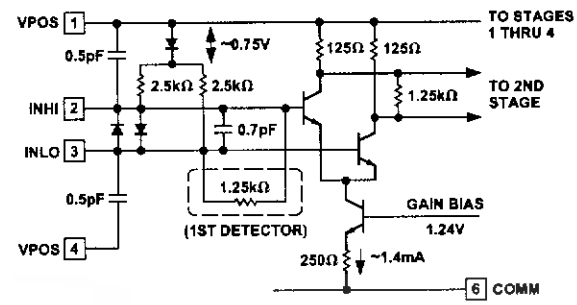


Figure 23. Input Interface Simplified Schematic

For high frequency use, Figure 24 shows the input impedance plotted on a Smith chart. This measured result of a typical device includes a 191 mil 50 Ω trace and a 680 pF capacitor to ground from the INLO pin.

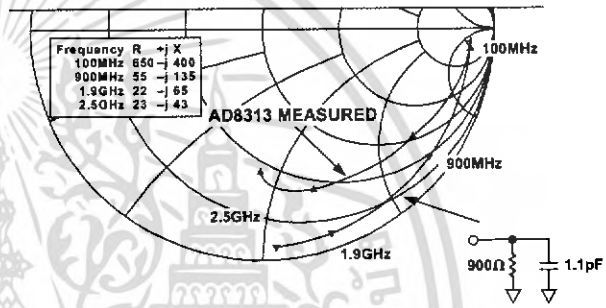


Figure 24. Typical Input Impedance

Logarithmic/Error Output, VOUT

The rail-to-rail output interface is shown in Figure 25. V_{OUT} can run from within about 50 mV of ground, to within about 100 mV of the supply voltage, and is short-circuit safe to either supply. However, the sourcing load current I_{SOURCE} is limited by that provided by the PNP transistor, to typically 400 μA. Larger load currents can be provided by adding an external NPN transistor (see Applications). The dc open-loop gain of this amplifier is high, and it may be regarded essentially as an integrator having a capacitance of 2 pF (C_{INT}) driven by the current-mode signals generated by the summed outputs of the nine detector stages, which is scaled approximately 4.0 μA/dB.

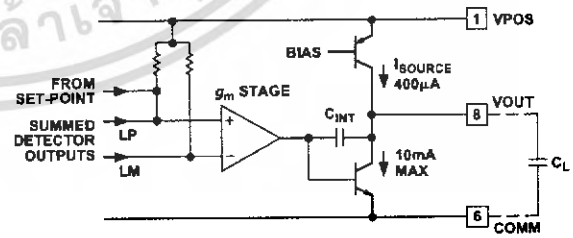


Figure 25. Output Interface Circuitry

Thus, for a midscale RF input of about 3 mV, which is some 40 dB above the minimum detector output, this current is 160 μA and the output changes by 8 V/μs. When VOUT is connected to VSET, the rise and fall times are approximately 40 ns (for $R_L \geq 10$ kΩ). The nominal slew rate is ±2.5 V/μs. The HF compensation technique results in stable operation with a large capacitive load, C_L, though the positive-going slew rate will then be limited by I_{SOURCE}/C_L to 1 V/μs for C_L = 400 pF.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Setpoint Interface, VSET

The setpoint interface is shown in Figure 26. The voltage V_{SET} is divided by a factor of three in a resistive attenuator of total resistance 18 kΩ. The signal is converted to a current by the action of the op amp and the resistor R3 (1.5 kΩ), which balances the current generated by the summed output of the nine detector cells at the input to the previous cell. The logarithmic slope is nominally 3 × 4.0 μA/dB × 1.5 kΩ ≈ 18 mV/dB.

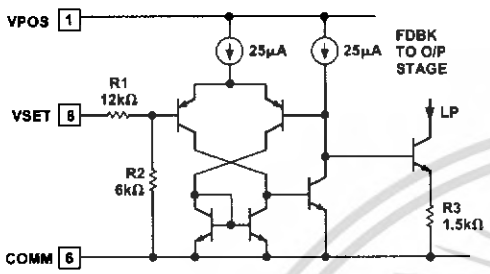


Figure 26. Setpoint Interface Circuitry

APPLICATIONS

Basic Connections for Log (RSSI) Mode

Figure 27 shows the AD8313 connected in its basic measurement mode. A power supply of +2.7 V to +5.5 V is required. The power supply to each of the VPOS pins should be decoupled with a 0.1 μF, surface mount ceramic capacitor and a series resistor of 10 Ω.

The PWDN pin is shown as grounded. The AD8313 may be disabled by a logic "HI" at this pin. When disabled, the chip current is reduced to about 20 μA from its normal value of 13.7 mA. The logic threshold is at $V_{POS}/2$ and the enable function occurs in about 1.8 μs; note, however, that further settling time is generally needed at low input levels. While the input in this case is terminated with a simple 50 Ω broadband resistive match, there are a wide variety of ways in which the input termination can be accomplished. These are discussed in the Input Coupling section.

VSET is connected to VOUT to establish a feedback path that controls the overall scaling of the logarithmic amplifier. The load resistance, R_L, should not be lower than 5 kΩ in order that the full-scale output of 1.75 V can be generated with the limited available current of 400 μA max.

As stated in the Absolute Maximum Ratings, an externally applied overvoltage on the VOUT pin that is outside the range 0 V to V_{POS} is sufficient to cause permanent damage to the device. If overvoltages are expected on the VOUT pin, a series resistor (R_{PROT}) should be included as shown. A 500 Ω resistor is sufficient to protect against overvoltage up to ±5 V; 1000 Ω should be used if an overvoltage of up to ±15 V is expected. Since the output stage is meant to drive loads of no more than 400 μA, this resistor will not impact device performance for more high impedance drive applications (higher output current applications are discussed in the Increasing Output Current section).

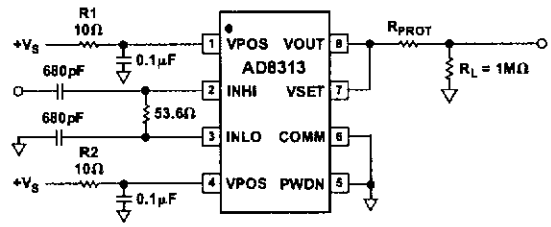


Figure 27. Basic Connections for Log (RSSI) Mode

Operating in the Controller Mode

Figure 28 shows the basic connections for operation in controller mode. The link between VOUT and VSET is broken and a "setpoint" is applied to VSET. Any difference between V_{SET} and the equivalent input power to the AD8313, will drive V_{OUT} either to the supply rail or close to ground. If V_{SET} is greater than the equivalent input power, V_{OUT} will be driven towards ground and vice versa.

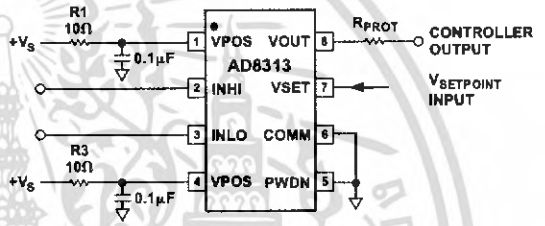


Figure 28. Basic Connections for Operation in the Controller Mode

This mode of operation is useful in applications where the output power of an RF power amplifier (PA) is to be controlled by an analog AGC loop (Figure 29). In this mode, a setpoint voltage, proportional in dB to the desired output power, is applied to the VSET pin. A sample of the output power from the PA, via a directional coupler or other means, is fed to the input of the AD8313.

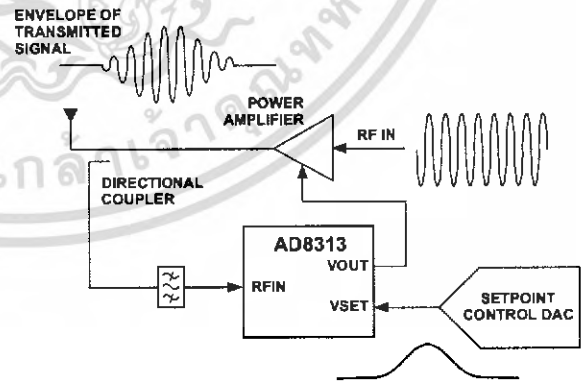


Figure 29. Setpoint Controller Operation

V_{OUT} is applied to the gain control terminal of the power amplifier. The gain control transfer function of the power amplifier should be an inverse relationship, i.e., increasing voltage decreases gain.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A positive input step on V_{SET} (indicating a demand for increased power from the PA) will drive V_{OUT} towards ground. This should be arranged to increase the gain of the PA. The loop will settle when V_{OUT} settles to a voltage that sets the input power to the AD8313 to the dB equivalent of V_{SET}.

Input Coupling

The signal may be coupled to the AD8313 in a variety of ways. In all cases, there must not be a dc path from the input pins to ground. Some of the possibilities include: dual input coupling capacitors, a flux-linked transformer, a printed-circuit balun, direct drive from a directional coupler, or a narrow-band impedance matching network.

Figure 30 shows a simple broadband resistive match. A termination resistor of 53.6 Ω combines with the internal input impedance of the AD8313 to give an overall resistive input impedance of approximately 50 Ω. The termination resistor should preferably be placed directly across the input pins, INHI to INLO, where it serves to lower the possible deleterious effects of dc offset voltages on the low end of the dynamic range. At low frequencies, this may not be quite as attractive, since it necessitates the use of larger coupling capacitors. The two 680 pF input coupling capacitors set the high-pass corner frequency of the network at 9.4 MHz.

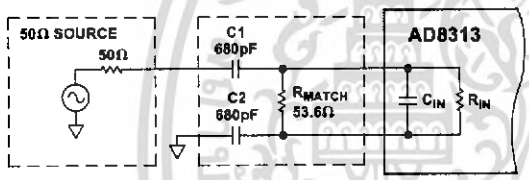


Figure 30. A Simple Broadband Resistive Input Termination

The high pass corner frequency can be set higher according to the equation:

$$f_{3dB} = \frac{1}{2 \times \pi \times C \times 50}$$

where: $C = \frac{C1 \times C2}{C1 + C2}$

In high frequency applications, the use of a transformer, balun or matching network is advantageous. The impedance matching characteristics of these networks provide what is essentially a gain stage before the AD8313 that increases the device sensitivity. This gain effect is further explored in the following matching example.

Figures 31 and 32 show device performance under these three input conditions at 900 MHz and 1900 MHz.

While the 900 MHz case clearly shows the effect of input matching by realigning the intercept as expected, little improvement is seen at 1.9 GHz. Clearly, if no improvement in sensitivity is required, a simple 50 Ω termination may be the best choice for a given design based on ease of use and cost of components.

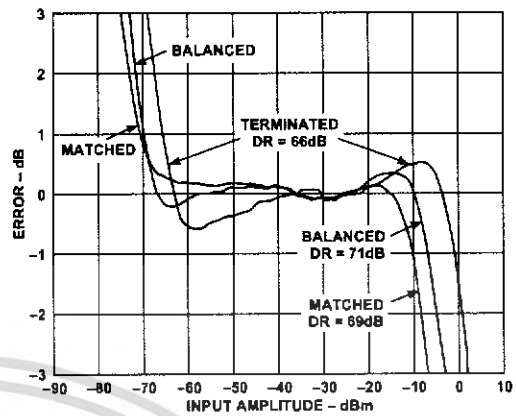


Figure 31. Comparison of Terminated, Matched and Balanced Input Drive at 900 MHz

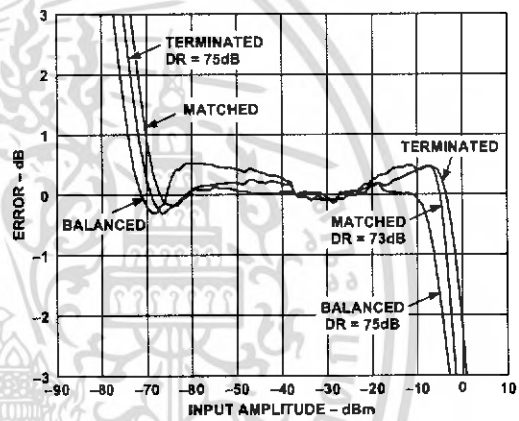


Figure 32. Comparison of Terminated, Matched and Balanced Input Drive at 1900 MHz

A Narrow-Band LC Matching Example at 100 MHz

While numerous software programs are available that allow the values of matching components to be easily calculated, a clear understanding of the calculations involved is valuable. A low frequency (100 MHz) value has been used for this exercise because of the deleterious board effects at higher frequencies. RF layout simulation software is useful when board design at higher frequencies is required.

A narrow-band LC match can be implemented either as a series-inductance/shunt-capacitance or as a series-capacitance/shunt-inductance. However, the concurrent requirement that the AD8313 inputs, INHI and INLO, be ac-coupled, makes a series-capacitance/shunt-inductance type match more appropriate (see Figure 33).

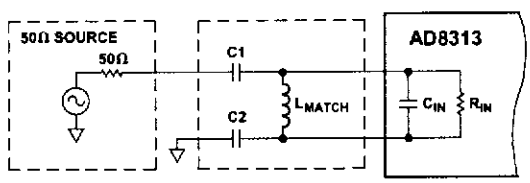


Figure 33. Narrow-Band Reactive Match

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typically, the AD8313 will need to be matched to 50 Ω. The input impedance of the AD8313 at 100 MHz can be read from the Smith Chart (Figure 24) and corresponds to a resistive input impedance of 900 Ω in parallel with a capacitance of 1.1 pF.

To make the matching process simpler, the input capacitance of the AD8313, C_{IN}, can be temporarily removed from the calculation by adding a virtual shunt inductor (L_2), which will resonate away C_{IN} (Figure 34). This inductor will be factored back into the calculation later. This allows the main calculation to be based on a simple resistive-to-resistive match (i.e., 50 Ω to 900 Ω).

The resonant frequency is defined by the equation

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_{IN}}}$$

therefore: $L_2 = \frac{1}{\omega^2 C_{IN}} = 2.3\ \mu H$

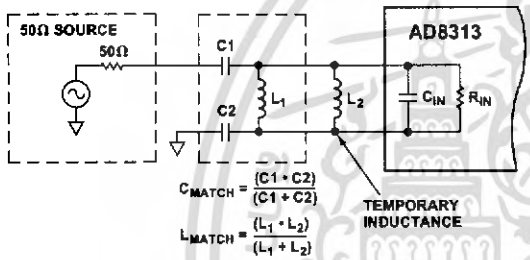


Figure 34. Input Matching Example

With C_{IN} and L_2 temporarily out of the picture, the focus is now on matching a 50 Ω source resistance to a (purely resistive) load of 900 Ω and calculating values for C_{MATCH} and L_1.

When $R_S R_{IN} = \frac{L_1}{C_{MATCH}}$

the input will look purely resistive at a frequency given by

$$f_O = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_{MATCH}}} = 100\ \text{MHz}$$

Solving for C_{MATCH} gives

$$C_{MATCH} = \frac{1}{\sqrt{R_S R_{IN}}} \frac{1}{2\pi f_O} = 7.5\ pF$$

Solving for L_1 gives

$$L_1 = \frac{\sqrt{R_S R_{IN}}}{2\pi f_O} = 337.6\ nH$$

Because L_1 and L_2 are in parallel, they can be combined to give the final value for L_{MATCH} (i.e.)

$$L_{MATCH} = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} = 294\ nH$$

C1 and C2 can be chosen in a number of ways. First C2 can be set to a large value such as 1000 pF, so that it appears as an RF short. C1 would then be set equal to the calculated value of C_{MATCH}. Alternatively, C1 and C2 can each be set to twice C_{MATCH} so that the total series capacitance is equal to C_{MATCH}. By making C1 and C2 slightly unequal (i.e., select C2 to be about 10% less than C1) but keeping their series value the same, the amplitude of the signals on INHI and INLO can be equalized so that the AD8313 is driven in a more balanced manner. Any one of the three options detailed above can be used as long as the combined series value of C1 and C2 (i.e., C1 × C2/(C1 + C2)) is equal to C_{MATCH}.

In all cases, the values of C_{MATCH} and L_{MATCH} must be chosen from standard values. At this point, these values need now be installed on the board and measured for performance at 100 MHz. Because of board and layout parasitics, the component values from the above example had to be tuned to the final values of C_{MATCH} = 8.9 pF and L_{MATCH} = 270 nH shown in Table I.

Assuming a lossless matching network and noting conservation of power, the impedance transformation from R_S to R_{IN} (50 Ω to 900 Ω) has an associated voltage gain given by

$$Gain_{dB} = 20 \times \log\sqrt{\frac{R_{IN}}{R_S}} = 12.6\ dB$$

Because the AD8313 input responds to *voltage* and not true power, the voltage gain of the matching network will increase the effective input low-end power sensitivity by this amount. Thus, in this case, the dynamic range will be shifted downwards, that is, the 12.6 dB voltage gain will shift the 0 dBm to −65 dBm input range downwards to −12.6 dBm to −77.6 dBm. However, because of network losses this gain will not be fully realized in practice. Reference Figures 31 and 32 for an example of practical attainable voltage gains.

Table I shows recommended values for the inductor and capacitors in Figure 32 for some selected RF frequencies along with the associated theoretical voltage gain. These values for a reactive match are optimal for the board layout detailed as Figure 45. As previously discussed, a modification of the board layout will produce networks that may not perform as specified. At 2.5 GHz, a shunt inductor is sufficient to achieve match. Consequently, C1 and C2 are set sufficiently high that they appear as RF shorts.

Table I. Recommended Values for C1, C2 and L_{MATCH} in Figure 33

Freq. (MHz)	C_{MATCH} (pF)	C1 (pF)	C2 (pF)	L_{MATCH} (nH)	Voltage Gain (dB)
100	8.9	22	15	270	12.6
		9	1000	270	
900	1.5	3	3	8.2	9.0
		1.5	1000	8.2	
1900	1.5	3	3	2.2	6.2
		1.5	1000	2.2	
2500	Large	390	390	2.2	3.2

Figure 35 shows the voltage response of the 100 MHz matching network; note the high attenuation at lower frequencies typical of a high-pass network.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

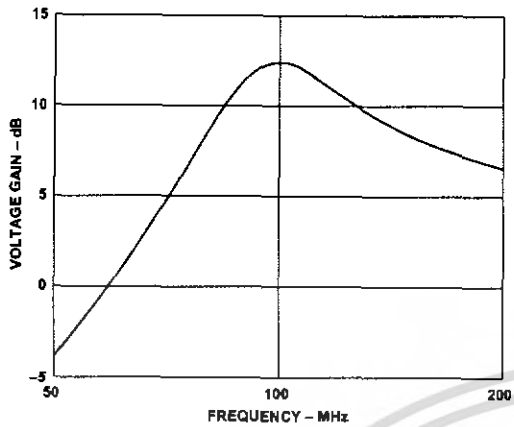


Figure 35. Voltage Response of 100 MHz Narrow-Band Matching Network

Adjusting the Log Slope

Figure 36 shows how the log slope may be adjusted to an exact value. The idea is simple: the output at pin VOUT is attenuated by the variable resistor R2 working against the internal 18 kΩ of input resistance at the VSET pin. When R2 is zero, the attenuation it introduces is zero, and thus the slope is the basic 18 mV/dB (note that this value varies with frequency, see Figure 8). When R2 is set to its maximum value of 10 kΩ, the attenuation from VOUT to VSET is the ratio 18/(18+10), and the slope is raised to (28/18) × 18 mV, or 28 mV/dB. At about the midpoint, the nominal scale will be 23 mV/dB. Thus, a 70 dB input range will change the output by 70 × 23 mV, or 1.6 V.

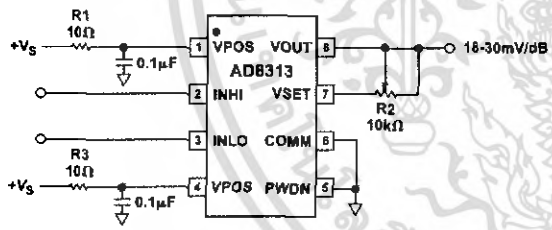


Figure 36. Adjusting the Log Slope

As already stated, the unadjusted log slope varies with frequency from 17 mV/dB to 20 mV/dB, as shown in Figure 8. By placing a resistor between VOUT and VSET, the slope can be adjusted to a convenient 20 mV/dB as shown in Figure 37. Table II shows the recommended values for this resistor R_{EXT}. Also shown are values for R_{EXT} that increase the slope to approximately 50 mV/dB. The corresponding voltage swings for a *–65 dBm to 0 dBm input range are also shown in Table II.*

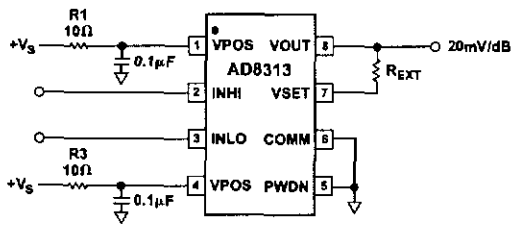


Figure 37. Adjusting the Log Slope to a Fixed Value

Table II. Values for R_{EXT} in Figure 37

Frequency MHz	R_{EXT} kΩ	Slope mV/dB	V_{OUT} Swing for Pin –65 dBm to 0 dBm – V
100	0.953	20	0.44 to 1.74
900	2.00	20	0.58 to 1.88
1900	2.55	20	0.70 to 2.00
2500	0	20	0.54 to 1.84
100	29.4	50	1.10 to 4.35
900	32.4	50.4	1.46 to 4.74
1900	33.2	49.8	1.74 to 4.98
2500	26.7	49.7	1.34 to 4.57

The value for R_{EXT} is calculated using the equation:

$$R_{EXT} = \frac{(New\ Slope - Original\ Slope)}{Original\ Slope} \times 18\ k\Omega$$

The value for the *Original Slope*, at a particular frequency, can be read from Figure 8. The resulting output swing is calculated by simply inserting the *New Slope* value and the intercept at that frequency (Figures 8 and 11) into the general equation for the AD8313's output voltage:

$$V_{OUT} = Slope\ (P_{IN} - Intercept)$$

Increasing Output Current

Where it is necessary to drive a more substantial load, one of two methods can be used. In Figure 38, a 1 kΩ pull-up resistor is added at the output which provides the load current necessary to drive a 1 kΩ load to +1.7 V for V_S = 2.7 V. The pull-up resistor will slightly lower the intercept and the slope. As a result, the transfer function of the AD8313 will be shifted upwards (intercept shifts downward).

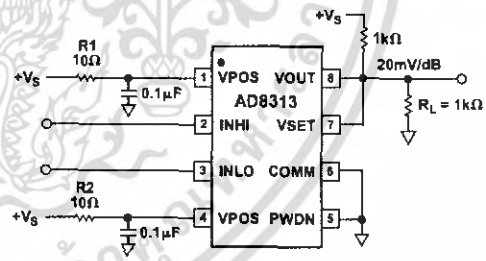


Figure 38. Increasing AD8313 Output Current Capability

In Figure 39, an emitter-follower is used to provide current gain, when a *100 Ω load can readily be driven to full-scale output.* While a high β transistor such as the BC848BLT1 (min β = 200) is recommended, a 2 kΩ pull-up resistor between VOUT and $+V_S$ can provide additional base current to the transistor.

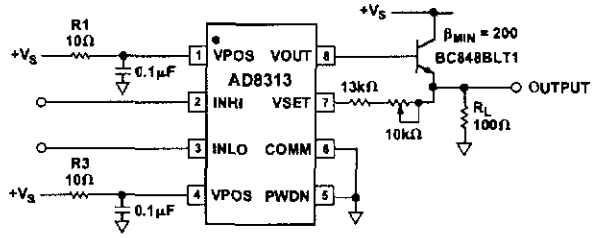


Figure 39. Output Current Drive Boost Connection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

In addition to providing current gain, the resistor/potentiometer combination between VSET and the emitter of the transistor increases the log slope to as much as 45 mV/dB, at maximum resistance. This will give an output voltage of 4 V for a 0 dBm input. If no increase in the log slope is required, VSET can be connected directly to the emitter of the transistor.

Effect of Waveform Type On Intercept

Although it is specified for input levels in dBm (dB relative to 1 mW), the AD8313 fundamentally responds to voltage and not to power. A direct consequence of this characteristic is that input signals of equal rms power but differing crest factors will produce different results at the log amp's output.

The effect of different signal waveforms is to vary the effective value of the log amp's intercept upwards or downwards. Graphically, this looks like a vertical shift in the log amp's transfer function. The device's logarithmic slope, however, is in principle not affected. For example, consider the case of the AD8313 being alternately fed from a continuous wave and a single CDMA channel of the same rms power. The AD8313's output voltage will differ by the equivalent of 3.55 dB (64 mV) over the complete dynamic range of the device (the output for a CDMA input being lower).

Table III shows the correction factors that should be applied to measure the rms signal strength of a various signal types. A continuous wave input is used as a reference. To measure the rms power of a square-wave, for example, the mV equivalent of the dB value given in the table (18 mV/dB times 3.01 dB) should be subtracted from the output voltage of the AD8313.

Table III. Shift in AD8313 Output for Signals with Differing Crest Factors

Signal Type	Correction Factor (Add to Output Reading)
CW Sine Wave	0 dB
Square Wave or DC	–3.01 dB
Triangular Wave	+0.9 dB
GSM Channel (All Time Slots On)	+0.55 dB
CDMA Channel	+3.55 dB
PDC Channel (All Time Slots On)	+0.58 dB
Gaussian Noise	+2.51 dB

EVALUATION BOARD

Schematic and Layout

Figure 44 shows the schematic of the evaluation board that was used to characterize the AD8313. Note that uninstalled components are drawn in as dashed.

This is a 3-layer board (signal, ground and power), with a Duroid dielectric (RT 5880, h = 5 mil, ε_R = 2.2). FR4 can also be used, but microstrip dimensions must be recalculated because of the different dielectric constant and board height. The trace layout and silkscreen of the signal and power layers are shown in Figures 40 to 43. A detail of the PCB footprint for the μSOIC package and the pads for the matching components are shown in Figure 45.

The vacant portions of the signal and power layers are filled out with ground plane for general noise suppression. To ensure a low impedance connection between the planes, there are multiple through-hole connections to the RF ground plane. While the ground planes on the power and signal planes are used as general purpose ground returns, any RF grounds related to the input matching network (e.g., C2) are returned directly to the RF internal ground plane.

General Operation

The board should be powered by a single supply in the range, +2.7 V to +5.5 V. The power supply to each of the VPOS pins is decoupled by a 10 Ω resistor and a 0.1 μF capacitor.

The two signal inputs are ac-coupled using 680 pF high quality RF capacitors (C1, C2). A 53.6 Ω resistor across the differential signal inputs (INHI, INLO) combines with the internal 900 Ω input impedance to give a broadband input impedance of 50.6 Ω. This termination is not optimal from a noise perspective due to the Johnson noise of the 53.6 Ω resistor. Neither does it take account for the AD8313's reactive input impedance or of the decrease over frequency of the resistive component of the input impedance. However, it does allow evaluation of the AD8313 over its complete frequency range without having to design multiple matching networks.

For optimum performance, a narrowband match can be implemented by replacing the 53.6 Ω resistor (labeled L/R) with an RF inductor and replacing the 680 pF capacitors with appropriate values. The section on Input Matching includes a table of recommended values for selected frequencies and explains the method of calculation.

Switch 1 is used to select between power-up and power-down modes. Connecting the PWDN pin to ground enables normal operation of the AD8313. In the opposite position, the PWDN pin can either be driven externally (SMA connector labeled EXT ENABLE) to either device state or allowed to float to a disabled device state.

The evaluation board ships with the AD8313 configured to operate in RSSI measurement mode, the logarithmic output appearing on the SMA connector labeled VOUT. This mode is set by the 0 Ω resistor (R11), which shorts the VOUT and VSET pins to each other.

Varying the Logarithmic Slope

The slope of the AD8313 can be increased from its nominal value of 18 mV/dB to a maximum of 40 mV/dB by removing R11, the 0 Ω resistor, which shorts VSET to VOUT. VSET and VOUT are now connected through a 20 kΩ potentiometer.

Operating in Controller Mode

To put the AD8313 into controller mode, R7 and R11 should be removed, breaking the link between VOUT and VSET. The VSET pin can then be driven externally via the SMA connector labeled EXT VSET IN ADJ.

Increasing Output Current

To increase the output current of V_{OUT}, set both R3 and R11 to 0 Ω and install potentiometer R4 (1 kΩ to 5 kΩ).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

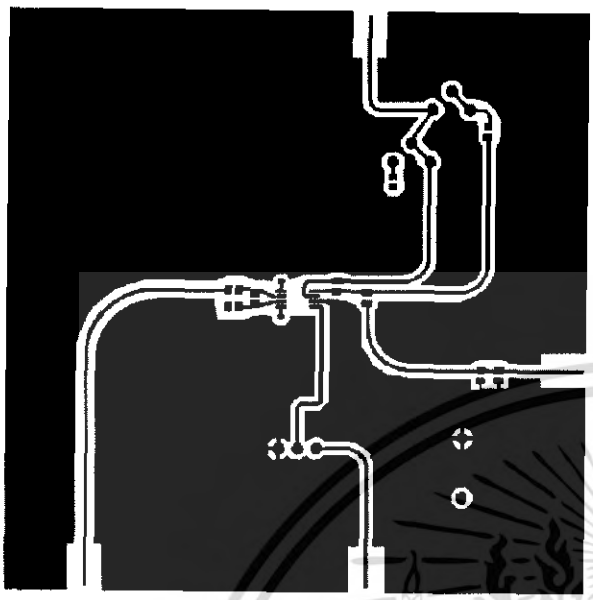


Figure 40. Layout of Signal Layer

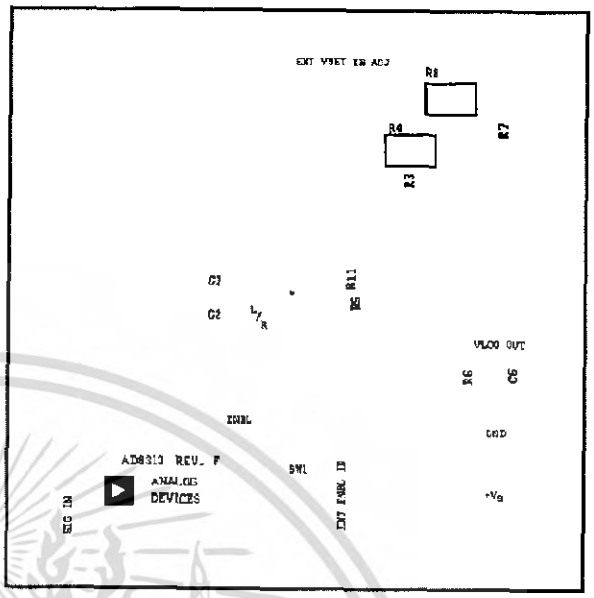


Figure 42. Signal Layer Silkscreen

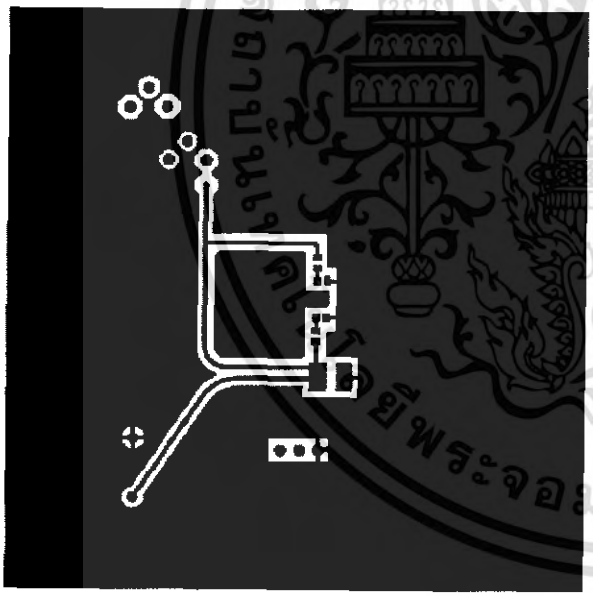


Figure 41. Layout of Power Layer

Figure 43. Power Layer Silkscreen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

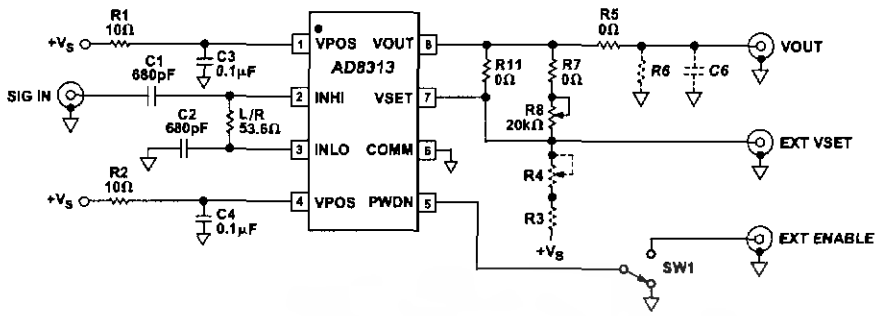


Figure 44. Evaluation Board Schematic

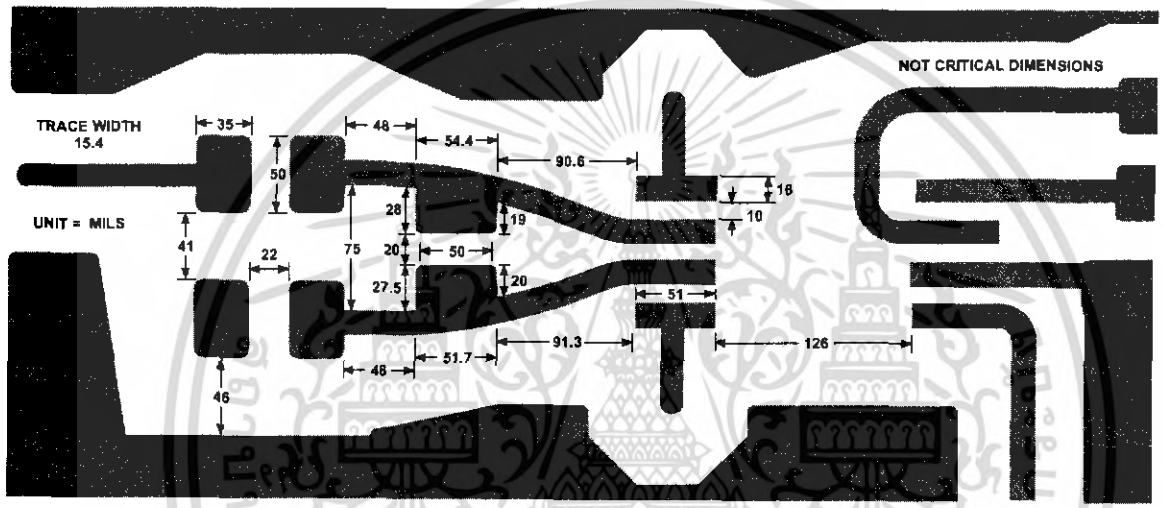
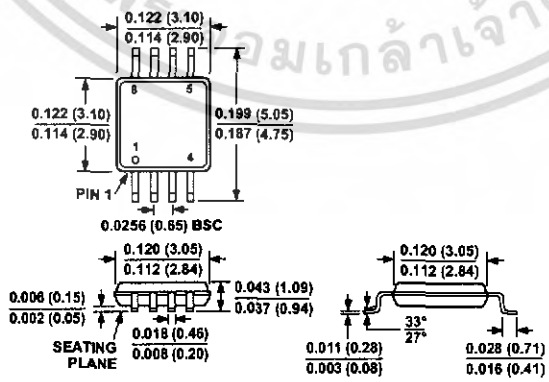


Figure 45. Detail of PCB Footprint for Package and Pads for Matching Network

OUTLINE DIMENSIONS

Dimensions shown in inches and (mm).

8-Lead µSOIC Package
(RM-08)



C3390b–0–8/99

PRINTED IN U.S.A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้