

วงจรถัดสัญญาณมือถือ
CellPhone Jammer



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

วงจรถัดสัญญาณมือถือ
Cellphone Jammer



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

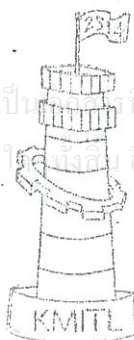
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรถัดสัญญาณมือถือ
CellPhone Jammer



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์

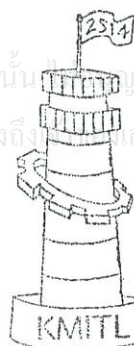
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556



ผ่านการตรวจรูปแบบแล้ว

(.....)
อาจารย์ที่ปรึกษา
29/4/57

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(.....)
กรรมการตรวจชิ้นงาน
29/4/57

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

ปริญญาโทปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง · วงจรตัดสัญญาณมือถือ

Cellphone Jammer

ผู้จัดทำ

1. นายกิตติทัต กองคำ 53010108
2. นายไกรวุฒิ ลิ้มปวิทยากุล 53010142



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จด้วยความช่วยเหลือจาก ดร.สิรภพ ตู่ประกาย พี่ๆปริญญโทที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำจนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณ ทูตส่งเสริมและสนับสนุนห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนา สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ ที่สนับสนุนเครื่องมือวัด ผู้จัดทำโครงการรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งและขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย



นายกิตติทัต กองคำ
นายไกรวุฒิ ลิ้มปวิทยากุล
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรถัดสัญญาณมือถือ
CELL PHONE JAMMER

โดย นายกิตติทัต กองคำ 53010108
นายไกรวุฒิ ลิ้มปวิทยากุล 53010142

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สิริภพ ตู้ประกาย
รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบและทดสอบอุปกรณ์รบกวนโทรศัพท์มือถือในสองย่านความถี่ อุปกรณ์นี้จะรบกวนความถี่ที่ความถี่ จีเอสเอ็ม 900 และ จีเอสเอ็ม 1800 ในเวลาเดียวกัน โครงการนี้มีจุดประสงค์คือเพื่อเรียนรู้ระบบ GSM และออกแบบสร้างระบบรบกวนโทรศัพท์ โดยเลือกใช้อุปกรณ์อย่างเหมาะสมโดยการจัดหาอุปกรณ์และออกแบบลายวงจรจากนั้นจึงทดสอบอุปกรณ์รบกวนสัญญาณ

ABSTRACT

This project presents the design and testing of dual-band cell-phone jammer. This device works at gsm 900 and gsm 1800. this project study for the gsm-system to find the best jamming technique. We establishing the system design and selecting suitable components by buying all components and we draw the overall schematics pcb layout and then test the device.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
บทที่ 2	
หลักการเบื้องต้นของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ DIGITAL	2
2.1 หลักการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ DIGITAL	2
2.1.1 DIGITAL RADIO	2
2.1.2 โครงสร้างของระบบ GSM	3
2.1.3 CHANNEL	6
2.1.3.1 TRAFFIC CHANNE	6
2.1.3.2 CONTROL CHANNEL	7
2.1.4 เส้นใยในการใช้ TRAFFIC CHANNEL และ CONTROL CHANNEL	7
2.1.5 TRAFFIC CASE	8
2.1.6 การ LOCATION UPDETE	9
2.1.7 การโทรไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อผู้โทรใช้โทรศัพท์ธรรมดา	9
2.1.8 การโทรออกของโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังโทรศัพท์ธรรมดา	10
2.1.9 LOCATING และ HANDOVER	11
2.1.10 AUTHENTICATION	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2 ทฤษฎีระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	12
2.2.1 หลักการของการรบกวนคลื่น	12
2.3 รูปแบบของเครื่องรบกวนสัญญาณและตรวจจับสัญญาณ โทรศัพท์มือถือ	14
2.4 องค์ประกอบของวงจรรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	16
2.5 หลักการทำงานของ POWER AMPLIFIERS	19
2.6 การวัดประสิทธิภาพของ POWER AMPLIFIERS	20
2.6.1 OUTPUT GAIN	20
2.6.2 POWER ADD EFFICIENCY	21
2.6.3 TOTAL EFFICIENCY	22
2.7 S-PARAMETER	22
2.8 สายอากาศ(ANTENNA)	25
2.8.1 การพิจารณาขั้นพื้นฐาน	25
2.8.2 กลไกของการแพร่กระจายคลื่น	26
2.8.3 พารามิเตอร์ (PARAMETERS) ของสายอากาศ	27
2.8.4 สายอากาศแบบโมโนโพล(MONOPOLE ANTENNA)	33
2.8.5 สายอากาศโมโนโพลมาตรฐาน	35
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	37
3.1 ก่อร่างแบบ TRIANGLE WAVE GENERATOR	37
3.1.1 BIASED CLAMPERS	41
3.2 VOLTAGE CONTROLLED OSCILLATOR(VCO)	42
3.3 ก่อร่างแบบวงจร RF POWER AMPLIFIER	43
3.4 สายอากาศ	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	ผลการทดลอง	หน้า
บทที่ 4	4.1 ผลการทดสอบวงจรสัญญาณสามเหลี่ยม(TRIANGLE)	48
	4.2 ผลการทดสอบวงจรควบคุมแรงดัน (VCO)	48
	4.2.1 ผลการทดสอบวงจรควบคุมแรงดัน (VCO) โดยใช้ไอซี CVCO-55CL	49
	4.2.2 ผลการทดสอบวงจรควบคุมแรงดัน (VCO) โดยใช้ไอซี CVCO-55BE	56
	4.3 ผลการวัดวงจรมอดูเลชันสัญญาณ	
	4.4 ผลการวัดสายอากาศ	63
	4.5 อุปกรณ์รวมที่ได้จากการออกแบบ	65
บทที่ 5	4.6 ผลการทดสอบระบบระบบทวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือทั้งระบบ	71
	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	71
	5.1 สรุปผล	72
	5.1.1 ปัญหาที่พบ	72
	5.2 ข้อเสนอแนะ	72
	5.2.1 ข้อเสนอแนะ	72
บรรณานุกรม		73
ภาคผนวก		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การส่งสัญญาณระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน	3
2.2	โครงสร้างของระบบ GSM 900	3
2.3	ภาพ SWITCHING SYSTEM	4
2.4	ภาพของ BASE STATION SYSTEM	5
2.5	การส่งข้อมูลโดยใช้ TRAFFIC CHANNEL	6
2.6	การทำงานของ CONTROL CHANNEL	7
2.7	การวัดสัญญาณของ CONTROL CHANNEL ทั้งหมดในระบบ	7
2.8	การทำงานของ TRAFFIC CASE	8
2.9	การ ROAMING	9
2.10	การโทรไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อผู้ใช้โทรศัพท์ธรรมดา	10
2.11	การโทรออกของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อผู้ใช้โทรศัพท์ธรรมดา	10
2.12	การวัดคุณภาพของสัญญาณ	11
2.13	ขบวนการ AUTHENTICATION	12
2.14	BLOCK DIAGRAM ของระบบควบคุมสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	14
2.15	กราฟแสดงค่ากำลังวัตต์ของเครื่องแจมเมอร์	15
2.16	การชาร์จและคายประจุของสัญญาณพื้นเรียบ	17
2.17	ตัวอย่างของวงจร VCO	18
2.18	ระบบวงจรขยายสัญญาณทั่วไป	19
2.19	หลักการการทำงานของ POWER AMPLIFIERS	20
2.20	หลักการขยายของ POWER AMPLIFIERS	21
2.21	BOX CIRCUIT	22
2.22	พฤติกรรมของสัญญาณเมื่อทำการส่งสัญญาณในเน็ตเวิร์ค	23
2.23	IMPEDANCE ของ SOURCE และ LOAD ในเน็ตเวิร์ค[4]	25
2.24	การแพร่กระจายจากสายส่ง	26
2.25	วิวัฒนาการของไดโพล	27
2.26	รูปแบบการแพร่กระจาย	30
2.27	รูปแบบการแพร่กระจายที่มีพูข้าง	31
2.28	ความกว้างลำ (BEAMWIDTHS)	31
2.29	โพลาริเซชันแบบเชิงเส้นแบบวงรีและแบบวงกลม	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

2.30	การแพร่คลื่นของสายอากาศแบบโมโนโพลหรือยูนิโพล	33
2.31	แสดงลักษณะของกระแส – แรงดันไฟฟ้าบนไดโพล	34
2.32	แสดงลักษณะของกระแสบนสายอากาศแบบเส้นทางไฟฟ้า	35
2.33	สายอากาศโมโนโพลที่ป้อนด้วยสายโคแอกเซียลและระนาบกราวด์	36
3.1	วงจรภายในของ XR2206	38
3.2	IC XR-2206	38
3.3	กราฟแสดงเปรียบเทียบค่าความต้านทาน R VERSUS OSCILLATION FREQUENCY	39
3.4	วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม	40
3.5	BIASED CLAMPERS	41
3.6	IC VCO	42
3.7	PAD LOCATION ของ IC	42
3.8	IC ADL5536	43
3.9	วงจรรวมของ ADL5536	44
3.10	EVALUATION BOARD SCHEMATIC ของADL5536	44
3.11	MGA-30489	45
3.12	วงจรรวมของ ADL5536	45
3.13	แสดงโครงสร้างของสายอากาศ2 DBI 900MHZ INDOOR OMNIANTENNA SMA(MALE) TYPE	46
3.14	แสดงโครงสร้างของสายอากาศ2 DBI 1800MHZ INDOOR OMNIANTENNA SMA(MALE) TYPE	47
4.1	เอ๊าท์พุทที่ผ่านวงจรรวมระดับสัญญาณ	48
4.2	แสดงสัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรรวมควบคุมแรงดันจากCVCO-55CLเมื่อVtuneคือสัญญาณไฟ DC=0 V, VCC=5 V0	49
4.3	แสดงสัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรรวมควบคุมแรงดันจากCVCO-55CLเมื่อVtuneคือสัญญาณไฟ DC=0.5V, VCC=5 V0	49
4.4	แสดงสัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรรวมควบคุมแรงดันจากCVCO-55CLเมื่อVtuneคือสัญญาณไฟ DC=1V, VCC=5 V0	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนการศึกษานานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

4.5	แสดงสัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุม แรงดันจากCVCO-55CLเมื่อVtuneคือสัญญาณไฟ DC=1.5V, VCC=5 V0	50
4.6	แสดงสัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุม แรงดันจากCVCO-55CLเมื่อVtuneคือสัญญาณไฟ DC=2V, VCC=5 V0	51
4.7	แสดงสัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุม แรงดันจากCVCO-55CLเมื่อVtuneคือสัญญาณไฟ DC=2.5V, VCC=5 V0	51
4.8	แสดงสัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุม แรงดันจากCVCO-55CLเมื่อVtuneคือสัญญาณไฟ DC=3V, VCC=5 V0	52
4.9	แสดงสัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุม แรงดันจากCVCO-55CLเมื่อVtuneคือสัญญาณไฟ DC=3.5V, VCC=5 V0	52
4.10	แสดงสัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุม แรงดันจากCVCO-55CLเมื่อVtuneคือสัญญาณไฟ DC=4V, VCC=5 V0	53
4.11	แสดงสัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุม แรงดันจากCVCO-55CLเมื่อVtuneคือสัญญาณไฟ DC=4.5V, VCC=5 V0	53
4.12	แสดงสัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุม แรงดันจากCVCO-55CLเมื่อVtuneคือสัญญาณไฟ DC=5V, VCC=5 V0	54
4.13	สัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุม แรงดันจาก CVCO-55CL เมื่อ Vtune คือสัญญาณสามเหลี่ยม 4 Vpp, VCC=5 V	55
4.14	สัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุม แรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 0 V, VCC=5 V	56
4.15	สัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุม แรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 0.5V,VCC=5 V	56
4.16	สัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุม แรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 1.5V,VCC=5 V	57
4.17	สัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุม แรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 2.5V,VCC=5 V	57
4.18	สัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุม แรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 2V,VCC=5 V	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

4.19	แรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 2.5V,VCC=5 V	58
4.20	สัญญาณเอาร์ทพุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 3V,VCC=5 V	59
4.21	สัญญาณเอาร์ทพุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 3.5V,VCC=5 V	59
4.22	สัญญาณเอาร์ทพุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 4V,VCC=5 V	60
4.23	สัญญาณเอาร์ทพุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 4.5V,VCC=5 V	60
4.24	สัญญาณเอาร์ทพุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 5V,VCC=5 V	61
4.25	สัญญาณเอาร์ทพุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรถบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณสามเหลี่ยม 4 Vpp, VCC=5 V	62
4.26	การขยายสัญญาณที่ได้จากโดยใช้C ADL5536 โดยที่ INPUT มี AMPLITUDE = 0 DBM	63
4.27	การขยายสัญญาณที่ได้จากโดยใช้C MGA-30489 โดยที่ INPUT มี AMPLITUDE = 0 DBM	64
4.28	ผลการวัดS11ของสายอากาศในย่านความถี่ 2 DBI 900MHZ INDOOR OMNIANTENNA SMA(MALE) TYPE ที่ความถี่ 900-970 MHZ	65
4.29	ผลการวัด VSWRของสายอากาศ 2 DBI 900MHZ INDOOR OMNIANTENNA SMA(MALE) TYPE ที่ความถี่ 900-970	66
4.30	ผลการวัด IMPEDANCE ของสายอากาศ 2 DBI 900MHZ INDOOR OMNIANTENNA SMA(MALE) TYPE ที่ความถี่ 900-970	67
4.31	ผลการวัดS11ของสายอากาศในย่านความถี่ 2 DBI 1800 MHZ INDOOR OMNIANTENNA SMA(MALE) TYPE ที่ความถี่ 1750-1900 MHZ	68
4.32	ผลการวัด VSWRของสายอากาศ 2 DBI 1800MHZ INDOOR OMNIANTENNA SMA(MALE) TYPE ที่ความถี่ 1750-1900 MHZ	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
4.33 ผลการวัด IMPEDANCE ของสายอากาศ 2 DBI 1800MHZ INDOOR OMNIANTENNA SMA(MALE) TYPE ที่ความถี่ 1750-1900 MHZ	70
4.34 อุปกรณ์รับกวนสัญญาณโทรศัพท์ย่านความถี่ 900-1000MHZ และ 1750- 1900MHZ	71
4.35 ผลการทดสอบระบบรับกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือทั้งระบบ	71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับดารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางความถี่ระบบ GSM	13
3.1 คุณสมบัติของ IC ADL5536	43
3.2 คุณสมบัติของ MGA-30489	44
4.1 แสดง SENSITIVITY ของ CVCO-55CL เมื่อ VCC = 5V	54
4.2 แสดง SENSITIVITY ของ CVCO-55BE เมื่อ VCC = 5V	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายและมีจำนวนผู้ใช้เพิ่มมากขึ้นและมีผู้ใช้เทคโนโลยีไปในทางที่ผิดโดยโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ถูกใช้เป็นอุปกรณ์ในการจุดฉนวนระเบิดในภาคใต้ขอประเทศไทยทำให้ประชาชนและทหารเสียชีวิตจากการระเบิดเป็นจำนวนมากและเนื่องจากอุปกรณ์ในการป้องกันการจุดฉนวนระเบิดจากโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นมีราคาค่อนข้างสูงทำให้ไม่สามารถที่จะหาจัดอุปกรณ์ดังกล่าวให้กับผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ได้อย่างทั่วถึง

โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและการสร้างอุปกรณ์สำหรับใช้ในการรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่เบื้องต้นโดยทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เข้ามาอยู่ในรัศมีทำการไม่สามารถใช้งานทั้งรับและส่งได้ซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถใช้ได้ในทางทหารและสถานที่ที่งดใช้โทรศัพท์หรือเครื่องมือสื่อสารทุกประเภทที่ใช้ความถี่ในย่านที่กล่าวมาข้างต้นอย่างเช่นโรงพยาบาลศูนย์ โรงพยาบาลโบสถ์หรือสถานที่ราชการที่เสี่ยงต่อการเป็นเป้าโจมตีของผู้ที่ต้องการก่อความไม่สงบ ฯลฯ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์และผลกระทบที่จะเกิดขึ้นหากมีการนำมาใช้จริงเพื่อประโยชน์ในการศึกษาและนำไปประยุกต์ใช้ในย่านความถี่อื่นๆต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาและออกแบบอุปกรณ์รบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่
- 2) เพื่อศึกษาถึงขอบเขตการทำงานของระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่
- 3) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและผลกระทบที่เกิดจากอุปกรณ์รบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่
- 4) เพื่อพัฒนาทักษะทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
- 5) สามารถนำไปใช้ในกิจการงานทางทหารและพลเรือนเกี่ยวข้องกับความไม่สงบ

1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

- 1) ศึกษาลักษณะการทำงานของระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ
- 2) ออกแบบวงจรรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ในย่านความถี่ 800-900 MHz และ 1800-1900 MHz
- 3) ทำการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานในเบื้องต้นของระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

หลักการเบื้องต้นของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

2.1 หลักการของโทรศัพท์เคลื่อนที่

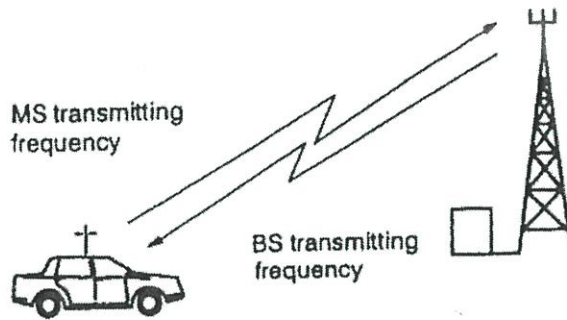
ความต้องการในการใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ CELLULAR เติบโตอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่ง CAPACITY ของระบบ CELLULAR แบบ ANALOG ไม่เพียงพอที่จะตอบสนองความต้องการได้และการเพิ่ม CAPACITY จะใช้การขยายความถี่ออกไปซึ่งเป็นการยากเนื่องจากต้องมีการแข่งขันกับผู้ให้บริการรายอื่นจึงได้มีการริเริ่มระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ DIGITAL ขึ้นและอยู่บนพื้นฐานของการส่งสัญญาณแบบ DIGITAL ซึ่งมีข้อดีคือ

1. สัญญาณ DIGITAL จะอยู่ในรูปของสัญญาณเสียงพูดที่ถูกเข้ารหัสซึ่งจะทำให้ความถี่คลื่นพาหะเดียวสามารถส่งสัญญาณเสียงพูดได้เป็นจำนวนมาก
2. สัญญาณ DIGITAL มีความทนทานต่อการรบกวนเนื่องจาก INTERFERENCE มากกว่าทำให้ระยะทางระหว่าง CELL ที่ใช้ความถี่เดียวกันลดลงได้ส่งผลให้เพิ่มโอกาสในการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (FREQUENCY REUSE) ได้มากขึ้น

2.1.1 DIGITAL RADIO

ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ ANALOG ความถี่ที่ใช้งานจะถูกแบ่งออกเป็นความถี่คลื่นพาหะหลายๆความถี่โดยการติดต่อสนทนาครั้งหนึ่งจะใช้ความถี่ 2 ความถี่ความถี่หนึ่งจะใช้ส่งสัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน (UPLINK) และอีกความถี่จะใช้ในการส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ (DOWNLINK) สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ DIGITAL จะใช้เทคนิค TDMA (TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS) ซึ่งเป็นวิธีการที่ยอมรับเป็นมาตรฐานและใช้แก้ปัญหาในการใช้ความถี่อย่างไม่มีประสิทธิภาพของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ ANALOG ในระบบ TDMA นั้นคลื่นพาหะแต่ละความถี่จะถูกแบ่งออกเป็น TIMESLOT และแต่ละ TIMESLOT จะใช้เป็นช่องสัญญาณในการส่งสัญญาณเสียงและข้อมูลในการติดต่อครั้งหนึ่งโดยเสียงและข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆเรียกว่า BURST โดยในแต่ละ BURST อยู่บน TIMESLOT และต่อละ TIMESLOT จะส่งสัญญาณคนละช่วงเวลากันดังนั้นจะมีการติดต่อสนทนามากกว่า 1 คู่สนทนาในแต่ละความถี่คลื่นพาหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



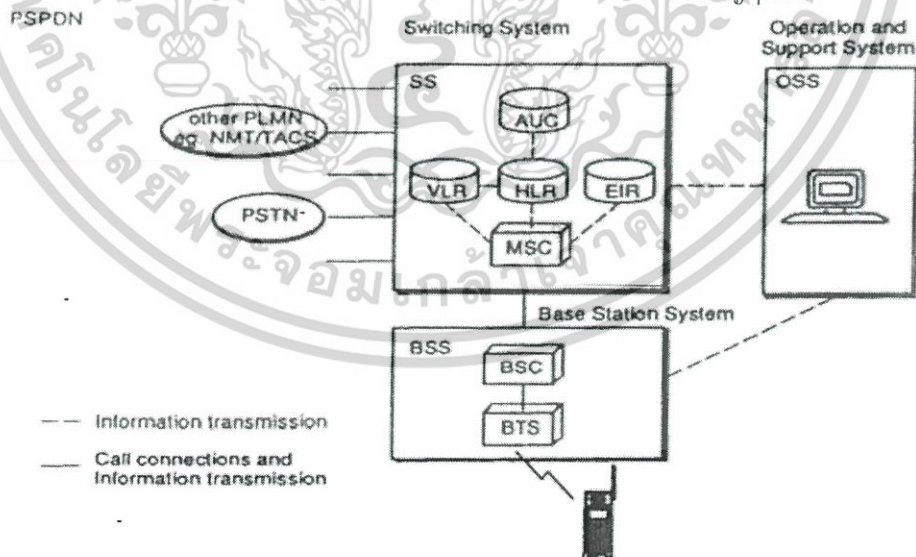
รูปที่ 2.1 การส่งสัญญาณระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน

โครงสร้างของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM 900

ระบบ GSM ย่อมาจาก GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATION เป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ CELLULAR แบบ DIGITAL ที่ใช้ความถี่ย่าน 900 MHz จุดเด่นของระบบ GSM

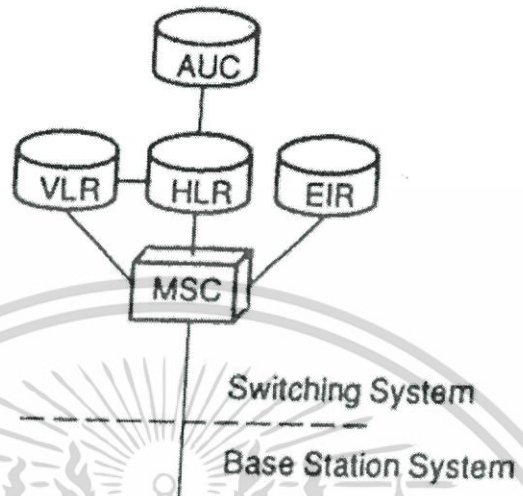
1. มี CAPACITY ที่สูงขึ้น
2. มีการ INTERNATIONAL ROAMING จะทำให้ผู้ใช้สามารถนำโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปใช้ยังประเทศอื่นที่ได้มีการตกลงกัน
3. เป็นมาตรฐานที่ใช้หลายๆประเทศ
4. มีบริการใหม่ๆเช่นการส่งข้อมูล, FAX, VIOCE MAIL
5. มีอุปกรณ์ HARDWARE ที่มีขนาดเล็กกว่า

2.1.2 โครงสร้างของระบบ GSM จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.2 โครงสร้างของระบบ GSM 900 เท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. SWITCHING SYSTEM (SS) ประกอบไปด้วย 5 ส่วนดังนี้



รูปที่ 2.3 ภาพ Switching System

1.1 MOBILE SERVICE SWITCHING CENTER (MSC) คือชุมสายขอระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM มีหน้าที่ควบคุมระบบและคิดเงินค่าใช้บริการ

1.2 HOME LOCATION REGISTER (HLR) เป็น DATABASE ใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับชื่อและที่อยู่ของเจ้าของโทรศัพท์เพื่อใช้ในการเก็บเงินค่าบริการนอกจากนี้ยังเก็บข้อมูลตำแหน่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ใน MSC ใหนการติดตั้ง HLR อาจจะติดตั้งอยู่ร่วมกับ MSC หรือแยกกันก็ได้

1.3 VISITOR LOCATION REGISTER (VLR) เป็น DATABASE ที่เก็บข้อมูลโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เข้ามาอยู่ในชุมสายนี้ในการติดตั้ง VLR ส่วนใหญ่จะติดตั้งร่วมกับ MSC เสมอ

1.4 AUTHENTICATION CENTER (AUC) ใช้สำหรับเก็บ AUTHENTICATION เพื่อตรวจสอบว่าผู้ใช้โทรศัพท์ได้ลงทะเบียนอย่างถูกต้องหรือไม่และ ENCRYPTION PARAMETER ซึ่งใช้สำหรับระบบการป้องกันการดักฟัง

1.5 EQUIPMENT INDETITY REGISTER (EIR) เป็น DATABASE ที่เก็บข้อมูล IDENTITY ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อป้องกันไม่ให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ไม่ลงทะเบียนหรือได้มายุ่งมาไม่ถูกต้องตามกฎหมายเข้ามาใช้งานในระบบได้การติดตั้ง ELR ส่วนใหญ่จะอยู่ร่วมกับ AUC

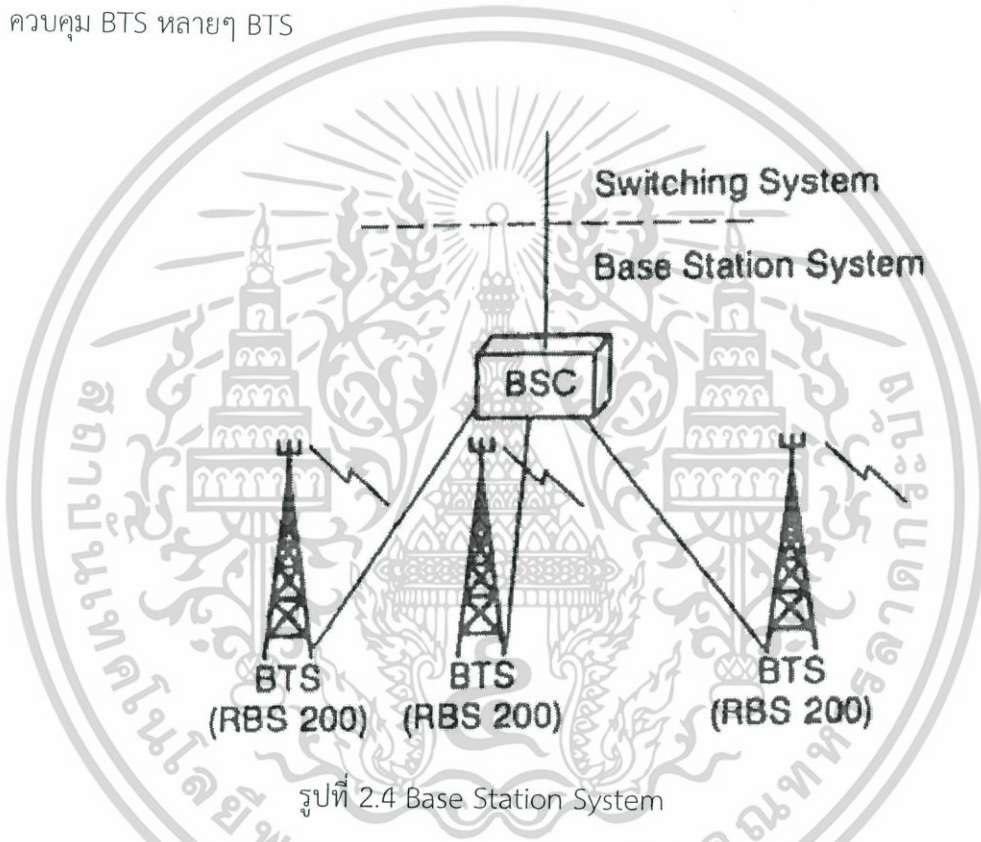
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. BASE STATION SYSTEM (BSS)

2.1 BASE STATION CONTROLLER (BSC)

2.2 BASE STATION TRANSCEIVER (BTS)

BASE STATION CONTROLLER (BSC) คือชุมสายหนึ่งที่ทำหน้าที่ควบคุมเกี่ยวกับคลื่นวิทยุในระบบเช่นควบคุมการ HANDOVER จัดการเกี่ยวกับช่องสัญญาณวิทยุต่างๆและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ CELL นอกจากนี้ยังควบคุมกำลังส่งสัญญาณของสถานีฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการทำงานนั้น MSC แต่ละ MSC จะควบคุม BSC 1 BSC หรือมากกว่าและในแต่ละ BSC จะควบคุม BTS หลายๆ BTS



รูปที่ 2.4 Base Station System

3. OPERATION & SUPPORT SYSTEM (OSS)

มีหน้าที่ในการควบคุมและรายงานสถานะภาพของอุปกรณ์ต่างๆในระบบ เช่นตรวจเช็คความผิดปกติอะไรที่เกิดขึ้นและความรุนแรงมากแค่ไหนจากนั้นจะส่ง ALARM ไปยัง OMC (OPERATION AND MAINTENANCE CENTER)

โทรศัพท์เคลื่อนที่ (MS) สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ของระบบ DIGITAL ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ

1. อุปกรณ์โทรศัพท์ซึ่งจะเก็บ IDENTITY CODE ที่เรียกว่า

INTERNATIONAL MOBILE EQUIPMENT IDENTITY (IMEI) ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอยู่ในบังคับใช้ของประเทศไทย

2. SUBSCRIBER IDENTITY MODULE (SIM CARD) ซึ่งมี 2 แบบคือ

2.1 ISO SMART CARD

2.2 IC PLUG IN

ซึ่งจะใช้เก็บข้อมูลประจำตัวผู้ใช้มีลักษณะเป็น IDENTITY CODE ที่เรียกว่า INTERNATIONAL MOBILE SUBSCRIBER IDENTITY (IMSI) ทั้งอุปกรณ์โทรศัพท์และ SIM CARD จะแยกออกจากกันนั่นคือเมื่อผู้ใช้โทรศัพท์ที่ใส่ SIM CARD ในเครื่องโทรศัพท์ของผู้อื่น โทรศัพท์เคลื่อนที่จะเหมือนโทรศัพท์ของเราทุกประการและถ้าโทรศัพท์และ SIM CARD ถูกขโมย เราสามารถที่จะไม่ให้ขโมยใช้เครื่องของเราได้โดยการ BAR ทั้งเครื่องโทรศัพท์และ SIM CARD ได้ที่ EIR และ HLR ตามลำดับ

2.1.3 CHANNEL

ช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานกับโทรศัพท์เคลื่อนที่มีหลายประเภทโดยแต่ละประเภทจะมีหน้าที่แตกต่างกัน (LOGICAL CHANNEL) และในการส่งข้อมูลและ SIGNALLING ต่างๆจะใช้ LOGICAL CHANNEL ส่งผ่านทาง PHYSICAL CHANNEL ซึ่งเป็น CHANNEL ที่บ่งบอกเป็น TIMESLOT NUMBER บน TDMA เฟรม

สามารถแบ่ง LOGICAL CHANNEL ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

- TRAFFIC CHANNEL (TCH) ใช้สำหรับส่งสัญญาณเสียงพูดและข้อมูล

- CONTROL CHANNEL ใช้สำหรับส่งข้อมูล SIGNALLING ต่างๆแบ่งออกเป็น

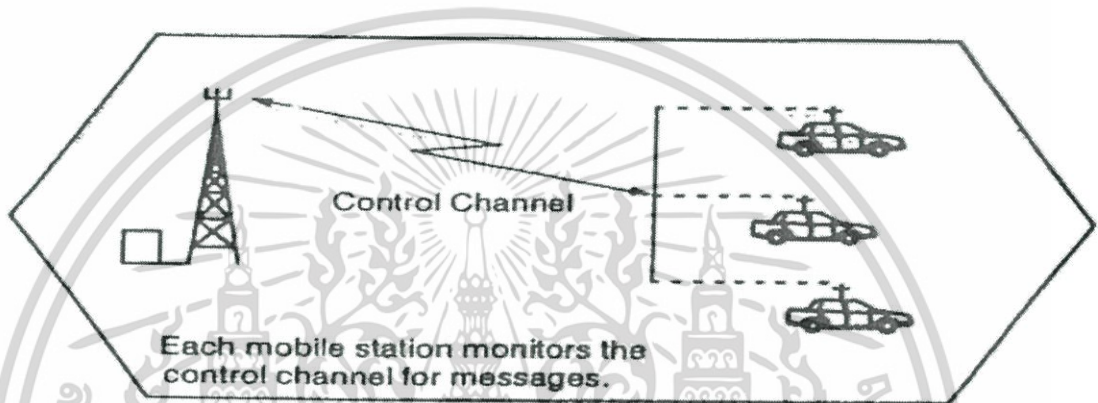
1. BROADCAST CHANNEL เป็น CHANNEL ที่สถานีฐานใช้ในการส่งข้อมูลเกี่ยวกับระบบเช่น LOCATION AREA, IDENTITY CODE โดยจะส่งออกมาอย่างต่อเนื่อง
2. COMMON CONTROL CHANNEL ใช้สำหรับการ PAGE หา โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อมีผู้โทรเข้าหาโทรศัพท์เคลื่อนที่และใช้เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต้องการโทรออก
3. DEDICATE CONTROL CHANNEL ใช้สำหรับทำ CALL SET UP ในขณะที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต้องการโทรออกและใช้ส่ง SIGNALLING เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการ HANDOVER

2.1.3.1 TRAFFIC CHANNE ในการสนทนาแต่ละครั้งต้องการ TRAFFIC CHANNEL 2 ทิศทางและทันทีที่การสนทนาดิ้นสุดลงช่องสัญญาณนั้นจะสามารถใช้สำหรับการสนทนาครั้งต่อไป

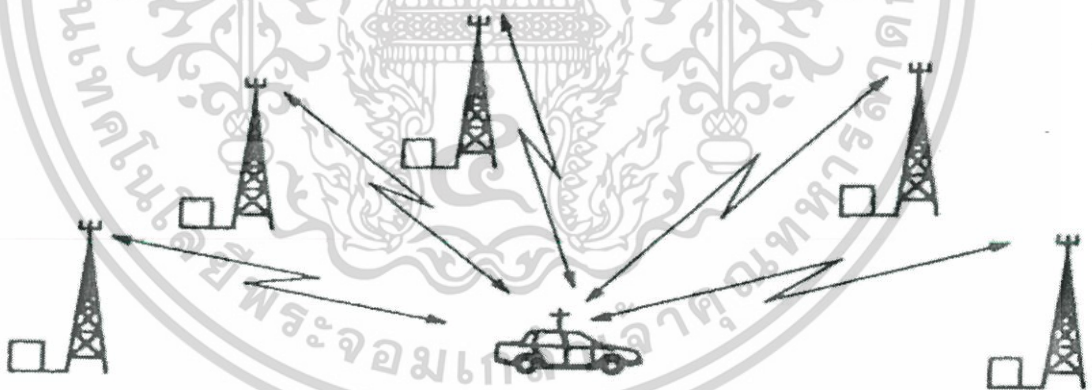


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.5 การส่งข้อมูลโดยใช้ Traffic Channel

2.1.3.2 CONTROL CHANNEL เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่เปิดเครื่องแต่ไม่มีการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จับอยู่ที่ CONTROL CHANNEL อย่างต่อเนื่องและในขณะที่เคลื่อนที่อยู่รอบๆภายใน CELL นั้นโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะตรวจสอบคุณภาพของการเชื่อมต่อกับ CONTROL CHANNEL อย่างต่อเนื่องถ้าคุณภาพของสัญญาณเริ่มแยกลงโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะจูนความถี่ไปยัง CONTROL CHANNEL อื่นแทนโดยที่โทรศัพท์จะตรวจสอบคุณภาพของ CONTROL CHANNEL ทุก CHANNEL ในสถานีฐานข้างเคียงและเลือก CONTROL CHANNEL ที่มีคุณภาพสัญญาณดีที่สุด



รูปที่ 2.6 การทำงานของ Control Channel



รูปที่ 2.7 การวัดสัญญาณของ Control Channel ทั้งหมดในระบบ

2.1.4 เจ็อนไขในการใช้ TRAFFIC CHANNEL และ CONTROL CHANNEL

2.1.4.1 โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ไม่สามารถจูนไปยัง CONTROL CHANNEL และ TRAFFIC CHANNEL ในเวลาเดียวกันได้

2.1.4.2 ในตอนแรกจะใช้ CONTROL CHANNEL สำหรับการ CALL SET UP การค้า ก่อนหลังจากนั้นจึงใช้ TRAFFIC CHANNEL สำหรับการติดต่อสนทนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

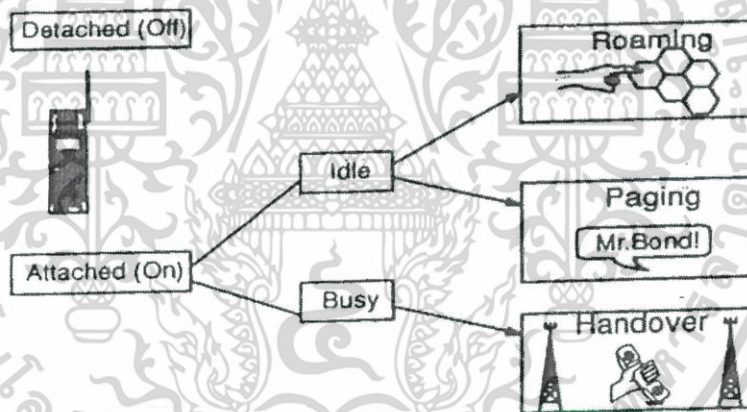
2.1.4.3. TRAFFIC CHANNEL ที่ใช้ในการสนทนาอยู่จะมีการตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณตลอดเวลา

2.1.4.4 ทุกๆ CELL จะมี CONTROL CHANNEL อย่างน้อย 2 CHANNEL และจำนวน TRAFFIC CHANNEL จำนวนหนึ่งซึ่งจะมีความมากน้อยไปตามความหนาแน่นในการใช้โทรศัพท์ของแต่ละ CELL

2.1.4.5 CONTROL CHANNEL ควบคุมการส่ง SIGNALLING ต่างๆเพื่อทำให้เกิดการติดต่อสนทนาขึ้นที่ TRAFFIC CHANNEL

2.1.5 TRAFFIC CASE แบ่งได้ดังนี้

2.1.5.1 การเปิดเครื่อง (ATTACHED) / และการปิดเครื่อง (DETACHED) เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่เปิดเครื่องจะส่งสัญญาณ ATTACHED ไปยังชุมสายเพื่อบอกให้ทราบว่าจะขณะนี้ยังทำการติดต่อกับชุมสายอยู่เมื่อมีการโทรเข้าหาโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะทำการ PAGE หาแต่ถ้าโทรศัพท์เคลื่อนที่ปิดเครื่องหรือออกนอก SERVICE AREA โทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะส่งสัญญาณ DETACHED ไปยังชุมสายเพื่อที่ว่าเมื่อมีการโทรเข้าหาจะไม่ต้องทำการ PAGE หาเพราะทราบแล้วว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่ปิดเครื่องอยู่ในขณะนี้



รูปที่ 2.8 การทำงานของ Traffic Case

2.1.5.2 การ ROAMING และการ LOCATION UPDATE ขณะที่โทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ในสภาพ IDLE (เปิดเครื่องแต่ไม่ได้ใช้งาน) จะต้องตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณตลอดเวลาซึ่งเมื่อพบว่าคุณภาพและระดับของสัญญาณในการติดต่อกับสถานีฐานหนึ่งเริ่มแยกว่าสถานีฐานข้างเคียงโทรศัพท์เคลื่อนที่จะพยายามเปลี่ยนการเชื่อมต่อไปยังสถานีฐานที่มีคุณภาพและระดับสัญญาณดีที่สุดขบวนการนี้เรียกว่าการ ROAMING ขณะเดียวกันถ้าโทรศัพท์เคลื่อนที่ ROAMING ไปอยู่สถานีฐานที่อยู่ใน LA ใหม่แล้วจะต้องทำการ UPDATE ตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ชุมสายเพื่อที่เมื่อมีการโทรเข้ามาหาโทรศัพท์เคลื่อนที่จะได้เชื่อมต่อไปยังสถานีฐานที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ติดต่อยู่ได้อย่างถูกต้องขบวนการนี้เรียกว่าการ LOCATION UPDATE โฆษณาด้านการค้า

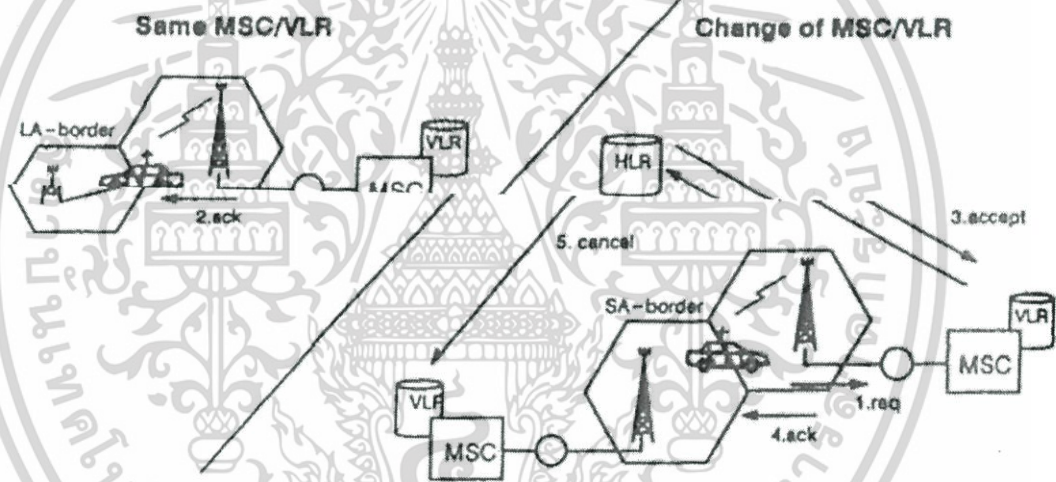
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 การ LOCATION UPDATE แบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

2.1.6.1 โทรศัพท์เคลื่อนที่เคลื่อนที่ออกจาก CELL หนึ่งไปยังอีก CELL หนึ่งที่อยู่ LA เดียวกันในกรณีนี้ไม่ต้อง UPDATE ข้อมูลใน MSC/VLR เนื่องจากเมื่อเปลี่ยนการเชื่อมต่อไปยังอีก CELL หนึ่งสถานีฐานจะส่ง LOCATION AREA IDENTITY เดียวกันกับเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ติดต่อกับ CELL ก่อน

2.1.6.2 โทรศัพท์เคลื่อนที่เคลื่อนที่ไปยัง CELL ที่อยู่ต่าง LA กันแต่อยู่ภายใน MSC SERVICE AREA เดียวกันในกรณีนี้ต้อง UPDATE ข้อมูล LA ใหม่ใน MSC/VLR

2.1.6.3 โทรศัพท์เคลื่อนที่เคลื่อนที่ไปยัง CELL ที่อยู่ต่าง LA และต่าง MSC SERVICE AREA กันด้วยในกรณีนี้จะต้อง UPDATE ข้อมูล LA ใน MSC/VLR และข้อมูล MSC SERVICE AREA ใน HLR ด้วย



รูปที่ 2.9 การ Roaming

2.1.7 การโทรไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อผู้ใช้โทรศัพท์ธรรมดา

2.1.7.1 โทรศัพท์ธรรมดาจะหมุนหมายเลขของโทรศัพท์เคลื่อนที่

2.1.7.2 PSTN เชื่อมต่อการโทรออกไปยัง GMSC (GATEWAY MSC) ที่ใกล้ที่สุด

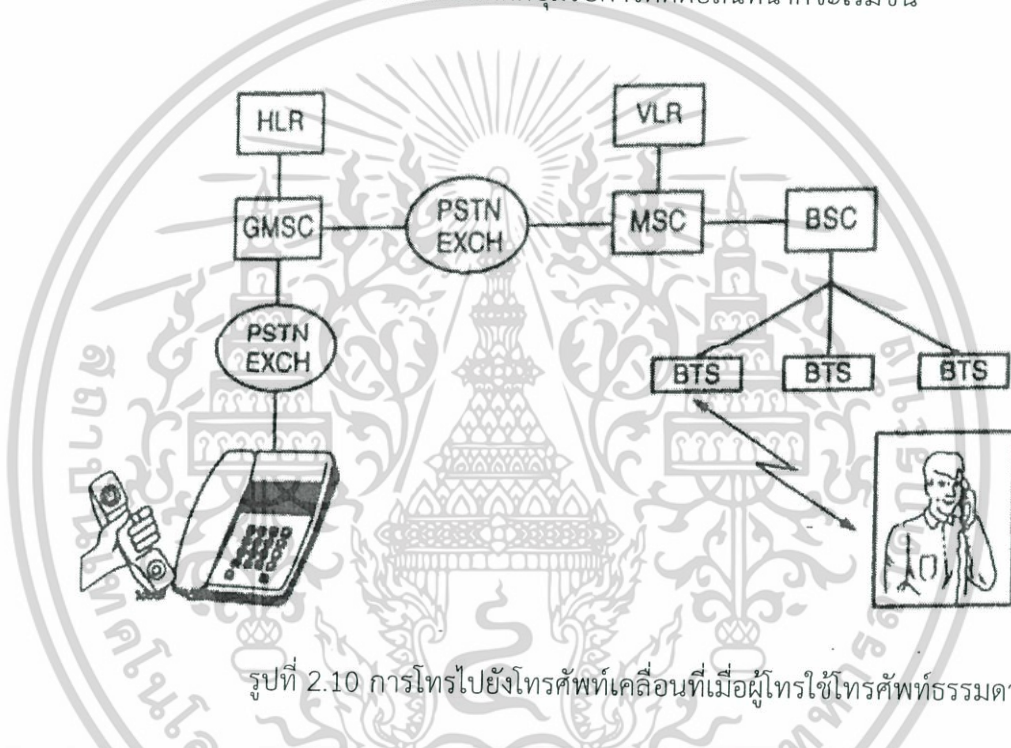
2.1.7.3 GMSC ร้องขอ IDENTITY ของ MSC ที่ซึ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ถูกละหายจาก HLR

2.1.7.4 GMSC เชื่อมต่อการโทรออกไปยัง MSC ที่โทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ที่

2.1.7.5 MSC ตรวจสอบข้อมูลจาก VLR ว่าขณะนี้โทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ที่ LA ไหน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำ ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.1.7.6 MSC สั่งให้ BSC PAGE หาโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยการ PAGE ไปยังทุกๆ BTS ที่อยู่ใน LA นั้นๆ
- 2.1.7.7 เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ถูกโทรหา DETECT สัญญาณเรียกได้ก็จะตอบ ACKNOWLEDGE กลับไป
- 2.1.7.8 BSC เลือก TC เพื่อใช้ในการติดต่อสนทนาและสั่งให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จูนความถี่ให้ตรงกับ TC นี้
- 2.1.7.9 โทรศัพท์เคลื่อนที่ GENERATE เสียงสัญญาณ RINGING
- 2.1.7.10 โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่กดปุ่มรับการติดต่อสนทนาจึงจะเริ่มขึ้น

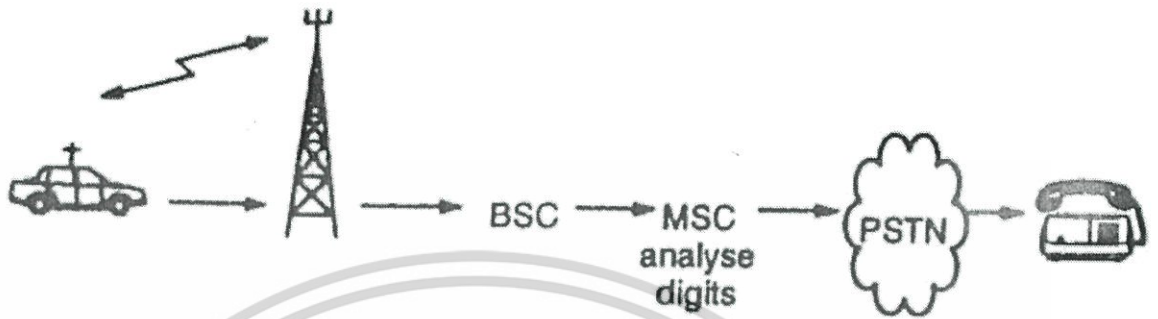


รูปที่ 2.10 การโทรไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อผู้โทรใช้โทรศัพท์ธรรมดา

2.1.8 การโทรออกของโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังโทรศัพท์ธรรมดา

การโทรออกของโทรศัพท์เคลื่อนที่เริ่มต้นเมื่อผู้โทรกดหมายเลขปลายทางและกดปุ่ม SEND หมายเลขปลายทางจะถูกส่งไปยัง MSC/VLR เพื่อตรวจสอบว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ จากนั้นก็จะเริ่มทำการวิเคราะห์หมายเลขโทรศัพท์และเริ่มขบวนการ CALL SET UP ขึ้น

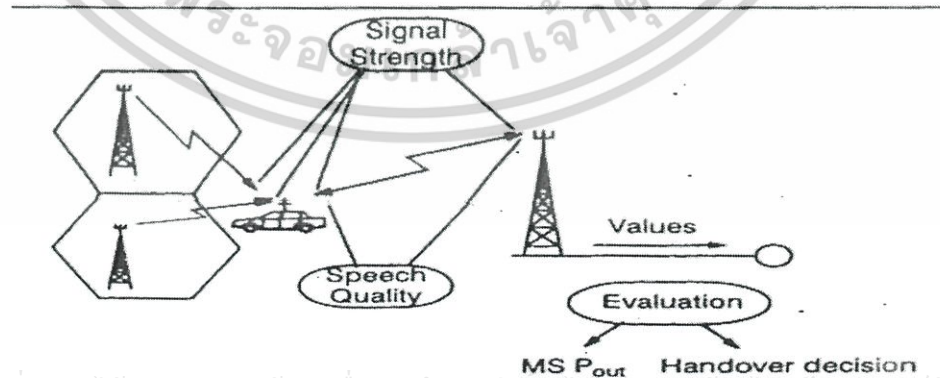
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การโทรออกของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อผู้รับใช้โทรศัพท์ธรรมดา

2.1.9 LOCATING และ HANDOVER

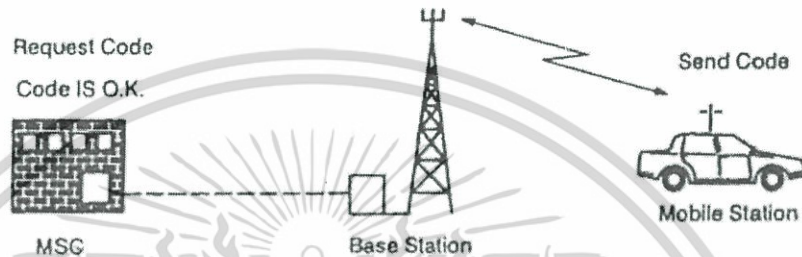
ในขณะที่ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ในการติดต่อสนทนานั้นผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นเพื่อให้คุณภาพและระดับสัญญาณในการติดต่อกับสถานีฐานอยู่ในระดับดีตลอดเวลาจึงต้องมีขบวนการที่ให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการวัด SIGNAL STRENGTH และ BIT ERROR RATE บน TRAFFIC CHANNEL ที่ใช้อยู่และ CONTROL CHANNEL ของ CELL ข้างเคียงตลอดเวลาแล้วส่งผลการวัดไปให้ BSC วิเคราะห์ผลและใช้ในการตัดสินใจในการ HANDOVER เรียกขบวนการนี้ว่าการ LOCATION เมื่อผลการวัดสัญญาณของ CELL ที่กำลังติดต่ออยู่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ BSC จะสั่งให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เปลี่ยนการเชื่อมต่อไปยังสถานีฐานใหม่ที่มีระดับและคุณภาพสัญญาณดีที่สุด โดยการให้โทรศัพท์เคลื่อนที่จูนไปยัง CHANNEL ใหม่ของสถานีฐานใหม่ซึ่งอาจจะเป็นของ BSC ตัวเดียวกันหรือต่าง BSC แต่อยู่ใน MSC SERVICE AREA เดียวกันหรือต่าง MSC SERVICE AREA ก็ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.12 การวัดคุณภาพของสัญญาณ

2.1.10 AUTHENTICATION

เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างที่มีการ CALL SET UP โดยจะมีการส่ง IDENTITY ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยัง BTS, BSC, MSC เพื่อตรวจสอบว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องนี้สามารถใช้งานได้หรือไม่



รูปที่ 2.13 ขบวนการ Authentication

2.2 ทฤษฎีระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

2.2.1 หลักการของการรบกวนคลื่น

โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำงานโดยอาศัยการติดต่อกับเครือข่ายที่ให้บริการผ่านคลื่นที่ส่งออกมาเสาสัญญาณของสถานีย่อยซึ่งสถานีย่อยเหล่านี้จะแบ่งพื้นที่ในเมืองออกเป็นพื้นที่ขนาดเล็กๆ ในขณะที่ผู้ใช้บริการกำลังขับรถอยู่ในเมืองสัญญาณโทรศัพท์ก็จะถูกส่งต่อจากสถานีหนึ่งไปอีกสถานีหนึ่ง ส่วนอุปกรณ์ส่งคลื่นรบกวนจะทำงานโดยการส่งคลื่นที่มีความถี่เดียวกับความถี่ที่โทรศัพท์ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับเสาสัญญาณ วิธีการนี้เรียกว่าการรบกวนแบบปฏิเสธการให้บริการ (denial-of-service attack) โดยสัญญาณที่อุปกรณ์นี้ส่งออกมาจะไปรบกวนสเปกตรัมของคลื่นวิทยุที่ผู้ใช้บริการส่งออกมาผ่านเสาสัญญาณทำให้เสมือนโทรศัพท์จะไม่รับรู้ว่ามีบริเวณนี้อยู่ในเขตให้บริการเมื่อภายในบริเวณที่สัญญาณของอุปกรณ์นี้สามารถส่งไปถึงอุปกรณ์ส่งคลื่นรบกวนนั้น จะถูก ออกแบบมาเพื่อให้สร้างความถี่ที่ตรงกับความถี่ที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้และมีกำลังส่งมากพอที่จะทำให้สัญญาณทั้งสองหักล้างกันไปจนหมดซึ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะทำการเพิ่มกำลังส่งให้มากขึ้นในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนระดับต่ำๆ จากภายนอกดังนั้นอุปกรณ์นี้จะต้องตอบสนองต่อกำลังส่งที่เพิ่มขึ้นของโทรศัพท์นี้ได้เป็นอย่างดี อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนน้อยจะสามารถปิดกั้นได้เพียงกลุ่มความถี่เดียวเท่านั้น (ทั้งความถี่ที่ใช้พูดและความถี่ที่ใช้ฟังเพียงคู่เดียว) เมื่ออุปกรณ์มีความซับซ้อนมากขึ้นจะสามารถปิดกั้นได้หลายๆกลุ่มเครือข่ายในกรณีที่โทรศัพท์เป็นแบบ Dual Band หรือ Tri Band จะสลับเปลี่ยนไปมาระหว่างเครือข่ายสัญญาณเปิดได้โดยอัตโนมัติในขณะที่อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนสูงมากจะสามารถปิดกั้นทุกความถี่ได้ในเวลาเดียวกันการจะปิดกั้นการทำงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมการสื่อสารโทรคมนาคม การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

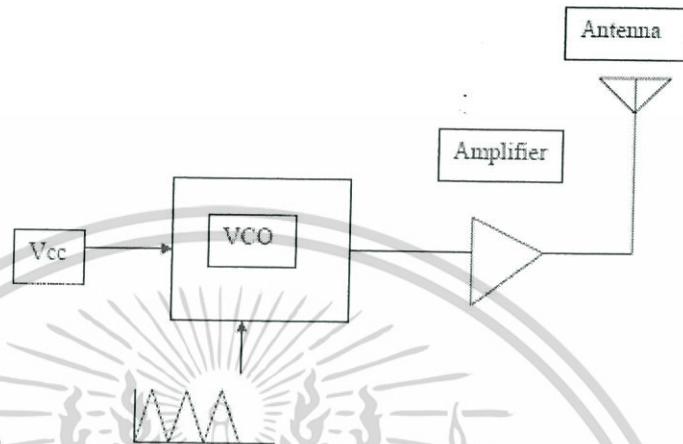
โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เราจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถกระจายคลื่นที่มีความถี่ถูกต้องแม้ว่าระบบการให้บริการของผู้ให้บริการรายต่างๆจะมีการประมวลสัญญาณแตกต่างกันแต่ทุกรายจะใช้คลื่นวิทยุที่ถูกรบกวนได้เช่นระบบ GSM เป็นระบบสื่อสารแบบดิจิทัลซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนระบบ PCS ที่ใช้ความถี่ 900-MHz และ 1800-MHz ในทวีปยุโรปและเอเชียและความถี่ 1900-MHz ในสหรัฐอเมริกาอุปกรณ์รบกวนในปัจจุบันสามารถส่งคลื่นที่รบกวนความถี่ในระบบต่างๆเช่น AMPS, CDMA, TDMA, GSM, PCS, DCS, jDEN และระบบ Nextel ได้ทั้งโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบอนาลอกแบบเก่าและระบบดิจิทัลรุ่นใหม่ในปัจจุบันล้วนได้รับผลกระทบจากการรบกวนทั้งสิ้น

ตารางที่ 2.1 ตารางความถี่ระบบ GSM

Band	Uplink(MHz)	dowlink(MHz)	Bandwidth(MHz)	Owner
1800	1710-1785	1805-1880	75	(CAT)
	1710-1722.6	1805-1817.6	12.6	(CAT->Truemove)
	1722.6-1747.9	1817.6-1842.9	25.3	(CAT->DTAC)
	1747.9-1760.5	1842.9-1855.5	12.6	(CAT->DPC->AIS)
	1760.5-1785	1855.5-1880	24.5	(CAR->DTAC)

Band	Uplink(MHz)	dowlink(MHz)	Bandwidth(MHz)	Owner
1900	1850-1910	1930-1990	60	
	1885-1900	1968-1980	15	GSM1900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 Block diagram ของระบบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

จาก Block diagram ของระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ (Mobile Jammer) ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลักอยู่ 4 ส่วนคือวงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth Generator) วงจรควบคุมแรงดัน (Voltage Control Oscillator : VCO) วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) สายอากาศ (Antenna)

โดยจะมีการป้อนสัญญาณรูปฟันเลื่อย (Sawtooth) ส่งเข้าสู่ วงจรควบคุมแรงดัน (VCO :- Voltage Control Oscillator) เพื่อทำการรักษาระดับแรงดันให้คงที่แต่ความถี่จะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณอินพุตทำให้การรบกวนสัญญาณสามารถสแกนความถี่ครอบคลุมหลายย่านความถี่สัญญาณที่ออกจากวงจรควบคุมแรงดัน (VCO) จะถูกนำไปขยายให้มีกำลังมากขึ้นด้วยวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) ก่อนส่งออกทางสายอากาศต่อไป

2.3 รูปแบบของเครื่องรบกวนสัญญาณและตรวจจับสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

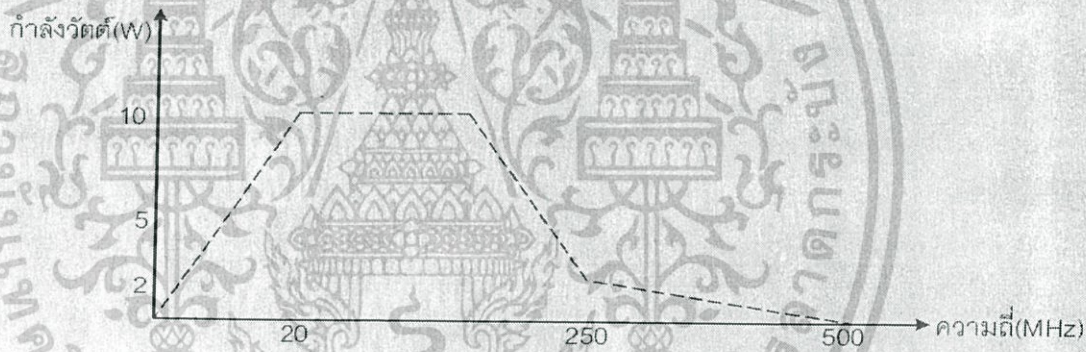
รูปแบบของเครื่องรบกวนโทรศัพท์มือถือและตรวจจับสัญญาณมือถือแบ่งตามหลักการทำงานของเครื่องและขอบเขตในการใช้งานแบ่งเป็น 5 แบบดังนี้

2.3.1 แบบ Type A : เครื่องแจมเมอร์ (Jammer) ใช้หลักการส่งสัญญาณนอยส์ (Noise)

หรือสัญญาณรบกวนไปกับความถี่ที่ต้องการรบกวนเช่นหากต้องการรบกวนโทรศัพท์ระบบที่ความถี่ 800-900 เมกะเฮิรตซ์ เครื่องแจมเมอร์จะสร้างสัญญาณนอยส์ผสมกับความถี่ 800-900 เมกะเฮิรตซ์ เครื่องรับโทรศัพท์ก็จะได้รับความถี่จากเครื่องแจมเมอร์ซึ่งมีกำลังวัตต์สูงกว่าเมื่อเทียบกับสถานี (Base station) ซึ่งมีระยะไกลกว่าและความถี่ดังกล่าวจะมีสัญญาณนอยส์แจมมาด้วยการสื่อสารของเครื่องโทรศัพท์ที่ไม่สามารถสื่อสารกับเครือข่ายได้ทำงานของวงจรแจมเมอร์สัญญาณโทรศัพท์มือถือหลักการการทำงานของเครื่องแจมเมอร์เริ่มจากการผลิตความถี่รูปสี่เหลี่ยม (Square

เอกสารนี้เป็นเอกสารของหน่วยงานราชการสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและเผยแพร่โดยไม่แสวงหาผลประโยชน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wave) แล้วส่งสัญญาณไปปรับรูปให้เป็นรูปฟันเลื่อย (Sawtooth) ด้วยวงจรอินทิเกรตเตอร์จากนั้นก็จะส่งไปขยายสัญญาณด้วยวงจรบัฟเฟอร์(Buffer) ในขณะเดียวกันวงจรสร้างสัญญาณนอยส์ (Noise Generator) จะผลิตสัญญาณรบกวนเพื่อผสมกับสัญญาณฟันเลื่อยที่วงจรมิกเซอร์(Mixer) สัญญาณที่ได้จากการผสมจะส่งเข้าสู่วงจรโวลเตจคอนโทรลอสซิลเลเตอร์ (VCO : Voltage Control Oscillator) เพื่อทำการรักษาระดับแรงดันให้คงที่แต่ความถี่จะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณอินพุตซึ่งพื้นฐานของสัญญาณฟันเลื่อยจะประกอบด้วยฮาร์โมนิคคู่และคี่หากเราวัดกับสเปกตรัมอะนาไลเซอร์จะพบว่า การป้อนสัญญาณฟันเลื่อยให้กับวงจรวีซีโอ (VCO) จะปรากฏสัญญาณสแกนทั้งฮาร์โมนิคคู่และคี่ทำให้การรบกวนสัญญาณสามารถสแกนความถี่ครอบคลุมหลายย่านความถี่ สัญญาณที่ออกจากวงจรวีซีโอ(VCO) จะถูกนำไปขยายให้มีกำลังมากขึ้นด้วยวงจรอาร์เอฟแอมพลิไฟเออร์ก่อนส่งออกทางสายอากาศในส่วนของกำลังส่งของเครื่องแจมเมอร์ประมาณ 2-10 วัตต์ซึ่งกำลังวัตต์จะลดต่ำลงเมื่อความถี่ที่ส่งสูงขึ้นรูปที่ 2.3 แสดงกราฟกำลังส่งของเครื่องแจมเมอร์ ความถี่ที่ส่งเปลี่ยนแปลงไปส่วนอากาศของเครื่องอาจจะมีมากกว่า 1 ต้นขึ้นอยู่กับว่าเครื่องแจมเมอร์มีคุณสมบัติรบกวนสัญญาณได้กี่ย่านความถี่



รูปที่ 2.15 กราฟแสดงค่ากำลังวัตต์ของเครื่องแจมเมอร์

2.3.2 แบบ Type B :เครื่องอินเทลลิเจนท์เซลลูลาร์ (Intelligent Cellular Disablers) จะมีลักษณะการทำงานแตกต่างกับเครื่องแจมเมอร์อย่างสิ้นเชิงเพราะการทำงานของเครื่องจะใช้หลักการดีเทกเตอร์สัญญาณร่วมกับสถานี(Base station)ในขณะมีการสื่อสารจากนั้นก็ทำการส่งสัญญาณไปขัดขวางกับความถี่ของเครื่องรับโทรศัพท์ที่ตรวจจับได้หลังจากนั้นเครื่องรบกวนอินเทลลิเจนท์เซลลูลาร์จะทำการถอดหมายเลขโทรศัพท์ที่เช็คตำแหน่งและตรวจเช็คระยะทางของเครื่องรับของเครื่องโทรศัพท์ไปพร้อมๆกันใช้ระยะการทำงานทั้งหมดให้การตรวจเช็คประมาณ 2 นาที

2.3.3 แบบ Type C :เครื่องเช็คสัญญาณโทรศัพท์แบบสัญญาณเตือน (Intelligent beacon disabler) พื้นการทำงานของเครื่องจะคล้ายกับเครื่องรับโทรศัพท์มือถือโดยที่ไม่มีภาคส่งระบบจะไม่มีการส่งสัญญาณไปก่อกวนการสื่อสารของโทรศัพท์ใดๆทั้งสิ้นหากแต่ตัวเครื่องจะเพิ่มเติมระบบไฟเตือนเพื่อเป็นการเตือนทุกครั้งเมื่อบริเวณพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้งานโทรศัพท์มือถือจะนิยมใช้งานใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากมีผู้คัดลอกและเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ดำเนินการตามกฎหมาย

ห้องเรียนหรือห้องประชุม

2.3.4 แบบ Type D :เครื่องรับสัญญาณและเครื่องแจมเมอร์ (Direct Receive & Transmit Jammers) รายละเอียดของเครื่องก็จะประกอบด้วยกัน 2 ส่วนใหญ่ๆคือภาครับที่สามารถพกพาไปได้ซึ่งนำเอาคุณสมบัติเครื่องแบบ Type C มาใช้งานในส่วนของภาคส่งก็จะเป็นลักษณะของเครื่องแจมเมอร์ขนาดเล็กที่มีอำนาจในการบล็อกสัญญาณในระยะใกล้การบล็อกสัญญาณจะใช้วิธีการสร้างสัญญาณแจมเมอร์ให้มีกำลังต่ำแต่เพียงพอที่จะกระจายคลื่นความถี่ให้รบกวนสื่อสารในบริเวณใกล้เคียงนอกเหนือจากนั้นแล้วตัวเครื่องยังสามารถโทรแจ่งไปยังหมายเลขฉุกเฉินเช่น 191 ในกรณีที่พื้นที่ดังกล่าวมีการใช้งานโทรศัพท์ที่มีหมายเลขแปลกปลอม

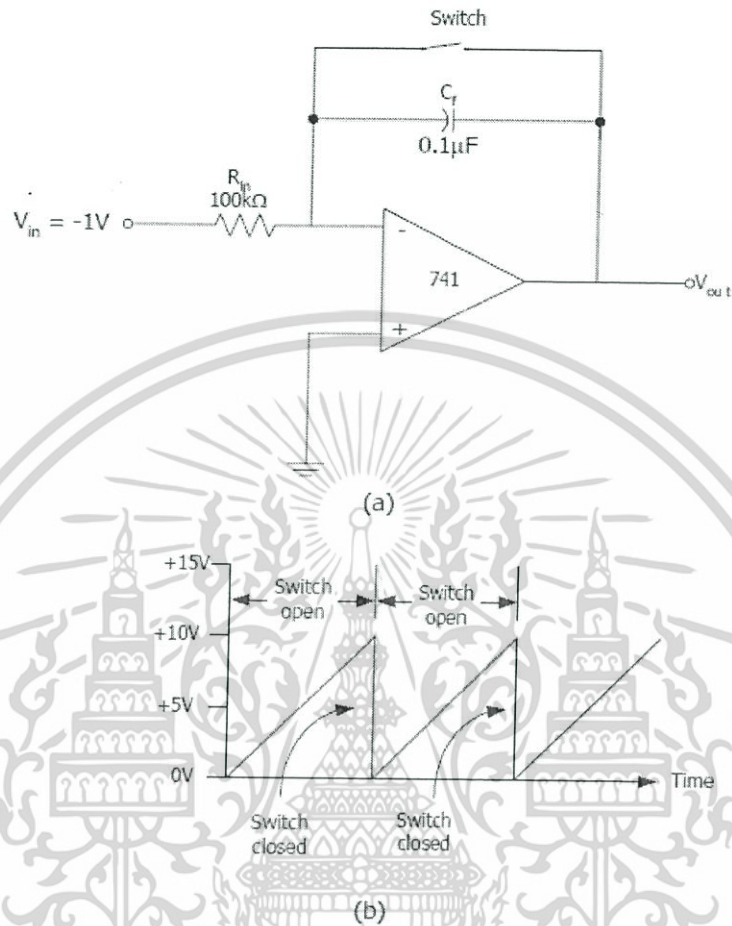
2.3.5 แบบ Type E :เครื่องรบกวนสัญญาณแบบสนามแม่เหล็กหรือแบบ(Electro Magnetic Interference Shield -Passive Jamming) เป็นเทคนิคการรบกวนสัญญาณโดยใช้ทฤษฎีของสนามแม่เหล็กไปก่อดคลื่นสนามแม่เหล็กของการสื่อสารระบบสถานีใกล้เคียงกับตัวเครื่องโทรศัพท์เป็นรูปแบบการรบกวนสัญญาณที่ไม่มีการทำงานยุ่งยากแต่รัศมีการรบกวนโทรศัพท์มือถือไม่สูงมากนักจึงเป็นที่นิยมใช้งานในใช้ห้องประชุมหรือโรงภาพยนตร์ เป็นต้น

2.4 องค์ประกอบของวงจรรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

2.4.1 แหล่งพลังงาน(Power Supply) อุปกรณ์รบกวนขนาดเล็กสามารถทำงานได้โดยใช้แบตเตอรี่มีอุปกรณ์บางชนิดที่มีลักษณะคล้ายกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็สามารถนำแบตเตอรี่ของโทรศัพท์บางรุ่นมาประยุกต์ใช้ได้ส่วนอุปกรณ์ที่มีกำลังส่งสูงและมีขนาดใหญ่นิยมต่อเข้ากับเต้ารับทั่วไปหรือต่อสายเข้ากับกริ่งกำเนิดไฟฟ้าอื่นๆตามความเหมาะสมในระบบนี้นั้นมีการใช้แหล่งพลังงานจากพาวเวอร์ซัพพลายที่สามารถควบคุมกระแสได้เพื่อให้สามารถควบคุมการใช้งานของอุปกรณ์บางอย่างเช่นวงจรขยายแรงดันสูงได้อย่างเหมาะสมและป้องกันการรบกวนของวงจร

2.4.2 วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย(Saw tooth Generator) วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยหรือที่เรียกว่าวงจรกำเนิดแรงดัน “แรมพ์” (Ramp-voltage generator) ในรูป 2.16a ก็คือวงจรอินทิเกรเตอร์นั่นเองจะเห็นว่าเมื่อป้อนแรงดันขนาด -1 โวลต์ให้ที่ขั้วอินพุตลบตัวเก็บประจุ C_1 ก็จะถูกชาร์จแบบเส้นตรง (อัตราค่าการเพิ่มของแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าคงที่) ในทิศทางบวกเพิ่มขึ้นสู่ $+V_{sat}$ แต่ถ้าเราสับสวิตซ์ลงก่อนที่แรงดันคร่อม C_1 จะมีค่าเท่ากับ $+V_{sat}$ แรงดันที่ถูกชาร์จไว้ก็จะคายประจุออกจนหมดอย่างรวดเร็วและเมื่อยกสวิตซ์ขึ้นตัวเก็บประจุก็จะค่อยๆชาร์จขึ้นอีกดังรูปที่ 2.16b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การชาร์จและคายประจุของสัญญาณพื่นเรื้อย

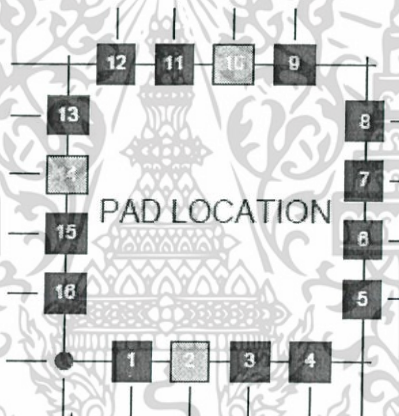
เราสามารถคำนวณแรงดันที่เอาต์พุตได้จากสมการ โดย t คือเวลาที่สวิทช์ถูกยกขึ้นในหน่วยวินาทีและมี V_{in} , R_{in} , C_f เป็นตัวกำหนดความชันของสัญญาณแรมพ์แต่ในการทำงานจริงนั้นเรามักไม่นิยมใช้การสับสวิทช์ดังกล่าวเพราะนอกจากจะมีความผิดพลาดสูงแล้วความถี่สูงสุดที่ทำได้ก็มีค่าค่อนข้างต่ำดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์สวิตซ์มาใช้รูปที่ 2.4 แสดงวงจรที่นำทรานซิสเตอร์ชนิดรอยต่อเดี่ยว (programmable unijunction transistor : PUT) มาใช้เป็นสวิทช์หลักการทำงานของอุปกรณ์ชนิดนี้คล้ายกับ SCR มากต่างกันตรงที่ PUT จะถูกทริกด้วยสัญญาณพัลส์ซึ่งกลับที่ขาเกตจากวงจรนี้จะสามารถวิเคราะห์หลักการทำงานได้ดังนี้เมื่อกำหนดแรงดันอ้างอิง V_p ให้ขาเกตของ PUT (โดยการปรับตัวต้านทาน R_4 และ R_5) ทันทีที่แรงดันคร่อมขั้วเอาต์ A กับคาโทด K หรือ VAK มีศักดาเป็นบวกสูงกว่า V_p PUT จะทำงาน (เสมือนลัดวงจร) และกระแสที่ไหลผ่าน PUT จะยังคงไหลต่อไปถึงแม้ VAK อาจลดลงต่ำกว่า V_p แล้วก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

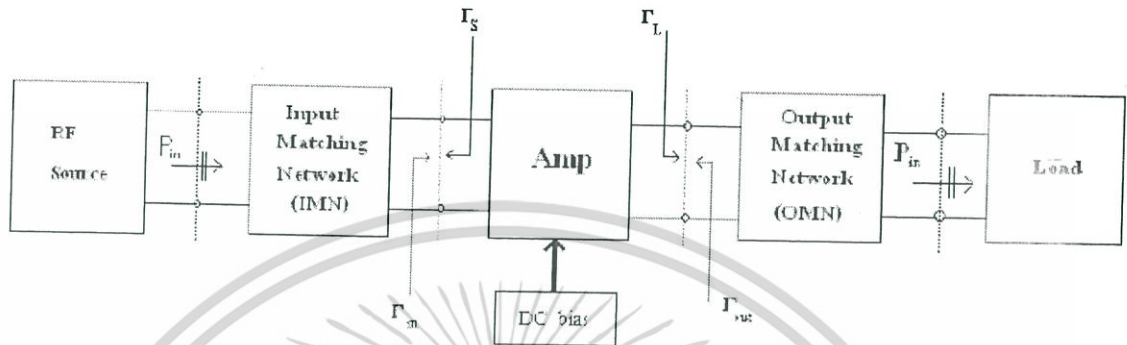
จนกระทั่งกระแสดังกล่าวลดลงต่ำกว่าค่าๆหนึ่ง (ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของตัว PUT) เมื่อนั้น PUT จะเสมือนวงจรเปิดหรือสวิตช์ที่ถูกยกขึ้นนั่นเอง

2.4.3 วงจรควบคุมแรงดัน (Voltage-controlled oscillator) ได้นำมาใช้เป็นวงจรมอดูเลตเชิงความถี่โดยจะมีวงจรต่างๆมากมายที่ใช้ในการควบคุมความถี่ของวงจรแต่วิธีที่ง่ายคือการใช้ตัวเก็บประจุที่แปรค่าตามแรงดันหรือไดโอดวาร์กเตอร์ในวงจรมัลติไวเบเตอร์เมื่อแรงดันไบอัสของไดโอดวาร์กเตอร์เปลี่ยนจะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของวงจรแกว่งตามแรงดันไบอัสที่เปลี่ยนนั่นเองวงจรควบคุมแรงดันมีหน้าที่สำหรับกำเนิดสัญญาณ RF ซึ่งจะมีกำลังมากพอสำหรับสัญญาณดาวนลิงค์ของโทรศัพท์มือถือถือการเลือก VCO มีปัจจัยหลักอยู่ 2 ประการคือความถี่ของระบบโทรศัพท์มือถือที่จะทำการรบกวนและการใช้ชิปสำหรับปัจจัยแรกซึ่งหมายความว่า VCO ควรจะคุมความถี่จาก 800MHz ถึง 900 MHz และ 1800MHz ถึง 1900MHz โดยพบว่า CVCO-55CL ทางเลือกที่ดีที่สุดซึ่งรูปที่ 2.5 ได้แสดงตัวอย่างวงจรของ CVCO-55CL



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างของวงจรVCO

2.4.4 วงจรขยายสัญญาณความถี่สูง วงจรขยายสัญญาณความถี่สูงซึ่งเป็นองค์ประกอบใน ส่วนที่ 3 ของวงจรรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือโดยวงจรขยายสัญญาณความถี่สูงจะทำหน้าที่ นำเอาสัญญาณความถี่ที่เลือกรับเข้ามาทำการขยายสัญญาณให้มีกำลังแรงมากขึ้นเพียงพอ กับสัญญาณที่ต้องการในย่านความถี่สูงเมื่อปรับออสซิลเลเตอร์เราจะได้แรงดันที่ต้องการสำหรับความถี่ 1.85 GHz และ 850 MHz ที่ออกแบบขึ้นสิ่งสำคัญในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณคือ เสถียรภาพอัตราการขยายกำลังแบนด์วิดท์และ 13สัญญาณรบกวนในการออกแบบนั้นจำเป็นจะต้อง เลือกคุณสมบัติและชนิดของทรานซิสเตอร์ให้เหมาะสมรวมทั้งการออกแบบโครงข่ายแม่ตขซึ่ง ทางด้านอินพุตและเอาต์พุตเพื่อให้ได้สัญญาณความถี่สูงที่มีเสถียรภาพในระบบวงจรขยายสัญญาณ ทั่วไปจะประกอบด้วยวงจรโครงข่ายที่ทำหน้าที่เป็นแม่ตขซึ่งอินพุตและเอาต์พุตที่ดังแสดงในรูปที่ เอกสารนี้เป็ 2.18 สารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ระบบวงจรขยายสัญญาณทั่วไป

วงจรโครงข่ายแมตซ์ซึ่งด้านอินพุตและเอาต์พุตในรูปที่ 2.18 วงจรขยายสัญญาณจะถูกกำหนดคุณสมบัติด้วยเมตริก S โดยเฉพาะที่จุดการป้อนไบอัสดีซีในรูปคุณสมบัติประสิทธิภาพนั้นจะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ที่สำคัญดังนี้

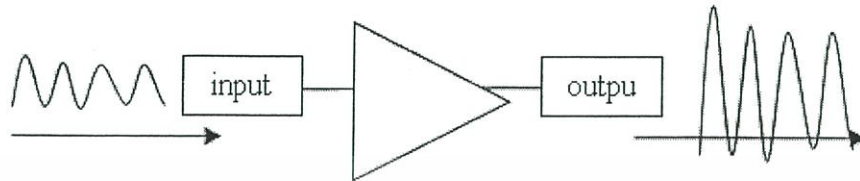
1. อัตราการขยายและความเรียบของอัตราการขยาย (dB)
2. ความถี่ที่ใช้งานและแบนวิดท์ (Hz)
3. กำลังงานด้านออก
4. ความต้องการกำลังงานแหล่งจ่าย (V และ A)
5. สัมประสิทธิ์การสะท้อนด้านเข้าและด้านออก (VSWR)
6. ตัวเลขของสัญญาณรบกวน (dB)

นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องพิจารณาค่าพารามิเตอร์อื่นๆอีกเช่นผลความเพี้ยนจากการมอดูเลตระหว่างกัน (Inter-Modulation Distance : IMD), ฮาร์โมนิก (Harmonic), ค่าการป้อนกลับและผลกระทบจากความร้อนซึ่งทั้งหมดนี้ต่างมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของวงจรขยายทั้งสิ้น

2.5 หลักการทำงานของ Power Amplifiers

เป็นส่วนที่ขยายสัญญาณเพื่อให้สัญญาณที่ถูกส่งออกไปในอากาศมีกำลังการส่งความต้องการ และเพื่อให้สัญญาณที่ถูกส่งสามารถเดินทางไปได้ในระยะทางที่ไกลๆ และมีความสามารถในการทะลุผ่านผนังต่างๆได้ โดยที่สัญญาณยังสามารถไปถึงตัวรับได้ และไม่เกิดความผิดพลาดของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 หลักการทำงานของ Power Amplifiers

จากรูปที่ 2.19 เป็นการขยายสัญญาณในอุดมคติ คือ เมื่อมีสัญญาณส่งเข้าถูกส่งมาที่เครื่องขยายกำลังของสัญญาณ เครื่องขยายกำลังของสัญญาณจะทำการขยายกำลังของสัญญาณที่ได้รับมาให้มีกำลังสัญญาณมากกว่าเดิม หรือหากมองในรูปที่ จะพบว่าแอมพลิจูดของสัญญาณมีความสูงเพิ่มมากขึ้น แต่ในทางปฏิบัติจะไม่เป็นอย่างในรูปที่ 4 เพราะมีปัจจัยอย่างอื่นที่มีส่วนทำให้ output ของสัญญาณเปลี่ยนไป วิธีการวัดอัตราขยายคือการเปรียบเทียบกำลังของสัญญาณที่ส่งออก ต่อสัญญาณที่ส่งเข้าสามารถแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$Gain = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (2-1)$$

Gain = อัตราขยาย

P_{out} = กำลังของสัญญาณที่ส่งออก

P_{in} = กำลังของสัญญาณที่ส่งเข้า

2.6 การวัดประสิทธิภาพของ Power Amplifiers

2.6.1 Output Gain

อัตราการขยายของสัญญาณและการวัดประสิทธิภาพของเครื่องขยายสัญญาณส่วนมากจะวัดในหน่วย dBm สามารถอยู่อธิบายในรูปสมการได้ดังนี้

$$G = 10 \log_{10} (10) \quad (2-2)$$

G = กำลังในหน่วย dB

P = กำลังในหน่วย W

ส่วน dBm = อัตราการขยายกำลังของสัญญาณเทียบกับ 1 mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

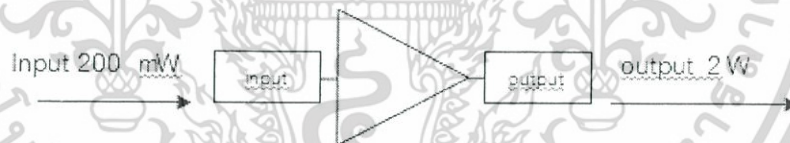
$$A = \frac{G}{G_{1mW}} \tag{2-3}$$

เมื่อ A มีหน่วยเป็น dBm
 เมื่อ $G_{1mW} = G$ at 1mW

ตัวอย่าง G ที่ 1 mW
 $G = 10 \log_{10}(0.01)$
 $G = 3 \text{ dB}$
 เมื่อแทนค่าใน (2-3) จะได้ $A = 10 \log_{10}(0.01) / 10 \log_{10}(0.01)$
 $A = 0 \text{ dBm}$

หรือสามารถหา $A = 10 \log_{10}(1000P)$
 ตัวอย่างเมื่อสัญญาณมีกำลัง 100 mW จะมีค่าเท่ากับ 20 dBm แสดงตามคำนวณได้ต่อไปนี้
 $A = 10 \log_{10}(1000P)$
 $A = 10 \log_{10}(1000 \times 100 \times 10^{-3})$
 $A = 20 \text{ dBm}$

ดังนั้นจึงใช้หน่วย dBm ในการวัดประสิทธิภาพของ output gain โดยเครื่องขยายสัญญาณที่ดีต้องมีความแตกต่างระหว่างของสัญญาณส่งออกและสัญญาณส่งเข้าที่มีค่าสูง กำลังในหน่วย dBm ดังแสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 หลักการขยายของ Power Amplifiers

จากรูปที่ 2.20 เมื่อสัญญาณส่งเข้ามีกำลัง 200 mW และสัญญาณส่งออกมีกำลัง 2 W เมื่อเปลี่ยนให้อยู่ในหน่วย dBm คือ 23 dBm และ 33 dBm ตามลำดับ แสดงว่าเครื่องขยายมีกำลังขยายเท่ากับ 10 dBm สามารถคำนวณดังสังการต่อไปนี้

$$Gain(dBm) = Output(dBm) - Input(dBm) \tag{2-4}$$

2.6.2 Power add efficiency

เป็นวัดประสิทธิภาพของการขยายสัญญาณที่เพิ่มขึ้น สามารถอธิบายดังสามารถต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ $n_{PA} = \left(\frac{P_o - P_i}{P_{supply}} \right) \times 100\%$ นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ (2-5) หนึ่งด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- n_{PA} คือ Power add efficiency
 P_o คือ กำลังสัญญาณส่งออก dBm
 P_i คือ กำลังสัญญาณส่งเข้า dBm
 V_{Supply} คือ ค่าความต่างศักย์ที่ป้อนให้เครื่องขยายสัญญาณ

Power add efficiency เป็นการวัดในส่วนกำลังที่เพิ่มขึ้นจากเดิมเปรียบเทียบกับความต่างศักย์ที่ป้อนให้วงจร ซึ่งในวงจร RF ซึ่งมีขนาดเล็กและเป็นวงจรที่ใช้กำลังไฟฟ้าในการทำงานต่ำ ดังนั้น ความต่างศักย์ที่ป้อนให้วงจร (V_{Supply}) เพื่อให้วงจรทำงาน จึงมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องขยายด้วย วงจรที่มีประสิทธิภาพควรมีค่า Power add efficiency ที่มีค่าสูง[3]

2.6.3 Total efficiency

เป็นการวัดประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องขยายกำลังของสัญญาณ สามารถอธิบายได้ตามสมการดังต่อไปนี้

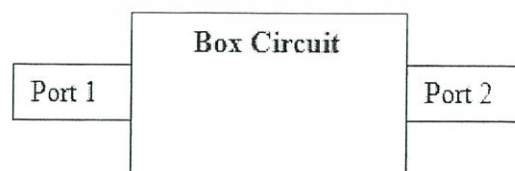
$$N_{tot} = \left(\frac{P_o}{V_{supply}^2} \right) \times 100\% \quad (2-6)$$

- n_{PA} คือ Power add efficiency
 P_o คือ กำลังสัญญาณส่งออก dBm
 V_{Supply} คือ ค่าความต่างศักย์ที่ป้อนให้เครื่องขยายสัญญาณ

Total efficiency เป็นการวัดประสิทธิภาพของสัญญาณที่ส่งออก เทียบกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้เครื่องขยายสัญญาณ วงจรที่มีประสิทธิภาพควรมีค่า Total efficiency ที่มีค่าสูง[3]

2.7 S-Parameter

เอส-พารามิเตอร์ เป็นวิธีการที่เป็นประโยชน์ในการแสดงการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีรูปแบบคล้ายกล่องของวงจร (Box Circuit) ซึ่งในกล่องวงจรสามารถเป็นได้หลายอย่าง เช่น ตัวต้านทาน ขดลวดเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ หรืออาจจะเป็นวงจรรวมต่างๆ โดยจะสนใจแค่เพียงข้อมูลขาเข้า (Input) และผลรับของข้อมูลที่ขาออก (Output) เท่านั้น โดยไม่สนใจว่าของในกล่องจะเป็นวงจรแบบใด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.21 Box Circuit
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่องวงจรหรือเรียกอีกอย่างว่าเน็ตเวิร์ค(Network) จะมีพอร์ตที่ใช้เชื่อมต่อกับสัญญาณภายนอกโดยที่ 1 เนตเวิร์คสามารถมีหลายพอร์ต จากรูปที่ 2.21 แสดงตัวอย่างกล่องวงจรที่มีเพียง 2 พอร์ต (แต่ละพอร์ตจะมี 1 คู่สาย)

S-Parameter เป็นวิธีการวัดประสิทธิภาพการทำงาน โดยส่งสัญญาณเพียงความถี่เดียวเข้าไปในเน็ตเวิร์คจากนั้นจะตรวจสอบการตอบสนองต่อคลื่นสัญญาณของแต่ละพอร์ต โดยที่ค่ากระแสกำลัง ศักย์ทางไฟฟ้าจะพิจารณาในรูปแบบของคลื่นที่เดินทางไปทั้งสองทาง (พอร์ต 1 และ พอร์ต 2)

สมมติให้กล่องวงจรเป็นเพียงสายส่งสัญญาณธรรมดา เมื่อมีสัญญาณส่งเข้าให้กล่องวงจรที่พอร์ต 1 (ต้นสาย) จะมีสัญญาณบางส่วนที่สะท้อนกลับออกมาที่พอร์ต 1 และมีสัญญาณที่สามารถส่งผ่านไปที่พอร์ต 2 (ปลายสาย)



รูปที่ 2.22 พฤติกรรมของสัญญาณเมื่อทำการส่งสัญญาณในเน็ตเวิร์ค

จากรูปที่ 2.22 แสดงการพฤติกรรมของสัญญาณ โดยเมื่อป้อนสัญญาณที่พอร์ต 1 เพื่อทำการส่งสัญญาณไปที่พอร์ต 2 จะมีสัญญาณบางส่วนที่ผ่านไปที่พอร์ต 2 และบางส่วนสะท้อนกลับออกมา

โดยสามารถอธิบายรูปแบบของ S-Parameter ได้ดังนี้

1. $S(11)$ คือสัญญาณที่สะท้อนกลับ โดยสามารถหาค่าได้เท่ากับ อัตราส่วนของสัญญาณที่สะท้อนที่พอร์ต 1 ต่อสัญญาณที่ส่งเข้าไปในเน็ตเวิร์คที่พอร์ต 1
2. $S(21)$ คือสัญญาณสามารถส่งออกเทียบเท่ากับสัญญาณที่ส่งเข้า โดยสามารถหาค่าได้เท่ากับ อัตราส่วนของสัญญาณที่ส่งออกที่พอร์ต 2 ต่อสัญญาณที่ส่งเข้าไปในเน็ตเวิร์คที่พอร์ต 1

ในทางกลับกันเมื่อส่งเข้าสัญญาณที่พอร์ต 2 สามารถอธิบายรูปแบบของ S-Parameter ได้ดังนี้

3. $S(22)$ คือสัญญาณที่สะท้อนกลับ โดยสามารถหาค่าได้เท่ากับ อัตราส่วนของสัญญาณที่สะท้อนที่พอร์ต 2 ต่อสัญญาณที่ส่งเข้าไปในเน็ตเวิร์คที่พอร์ต 2

4. $S(12)$ คือสัญญาณสามารถส่งออกเทียบเท่ากับสัญญาณที่ส่งเข้า โดยสามารถหาค่าได้เท่ากับ อัตราส่วนของสัญญาณที่ส่งออกที่พอร์ต 1 ต่อสัญญาณที่ส่งเข้าไปในเนตเวิร์คที่พอร์ต 2

จากที่กล่าวไปแล้วสามารถแสดงการคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้[5]

$$S(11) = P1 \text{ out} / P1 \text{ in} \quad (2-7)$$

$$S(21) = P2 \text{ out} / P1 \text{ in} \quad (2-8)$$

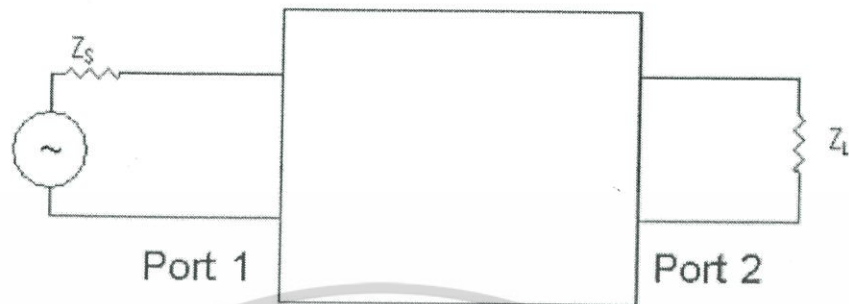
$$S(22) = P2 \text{ out} / P2 \text{ in} \quad (2-9)$$

$$S(12) = P1 \text{ out} / P2 \text{ in} \quad (2-10)$$

จากสมการจะเห็นได้ว่า S-Parameter เป็นการเปรียบเทียบระหว่าง Output และ Input ในแต่ละ พอร์ตที่ต้องการวัดค่าค่าต่างๆของ S-Parameter จะขึ้นกับเนตเวิร์ค โดยปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ค่าต่างๆของ S-Parameter เปลี่ยนคือลักษณะเฉพาะของ Impedance ใน Source และ Load รวมถึงความถี่ของสัญญาณที่ส่งในเนตเวิร์คนั้นๆ โดยสามารถแบ่งสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของ S-Parameter ได้ดังนี้

1. เมื่อเนตเวิร์คเปลี่ยนไปค่า S-Parameter จะเปลี่ยนด้วย
คือ เมื่อมีหลายเนตเวิร์คที่ต่างชนิดกันค่า S-Parameter ไม่ว่าจะ เป็น $S(11)$, $S(21)$, $S(22)$ และ $S(12)$ ของแต่ละเนตเวิร์คจะต่างกันไปด้วย
2. เมื่อความถี่เปลี่ยนไปค่า S-Parameter จะเปลี่ยนด้วย
คือ เมื่อความถี่ของสัญญาณส่งเข้าเปลี่ยนไปจากเดิม ค่า S-Parameter ไม่ว่าจะ เป็น $S(11)$, $S(21)$, $S(22)$ และ $S(12)$ จะเปลี่ยนไปตามการตอบสนองต่อความถี่ของแต่ละเนตเวิร์ค
3. เมื่อค่าความต้านทานของ Load เปลี่ยนไปค่า S-Parameter จะเปลี่ยนด้วย
คือ เมื่อค่าความต้านทานของ Load เปลี่ยนไปจากเดิม ค่า S-Parameter ไม่ว่าจะ เป็น $S(11)$, $S(21)$, $S(22)$ และ $S(12)$ จะเปลี่ยนไปตามการลักษณะเฉพาะของเนตเวิร์ค
4. เมื่อค่าความต้านทานของ Source เปลี่ยนไปค่า S-Parameter จะเปลี่ยนด้วย
คือ เมื่อค่าความต้านทานของ Source เปลี่ยนไปจากเดิม ค่า S-Parameter ไม่ว่าจะ เป็น $S(11)$, $S(21)$, $S(22)$ และ $S(12)$ จะเปลี่ยนไปตามการลักษณะเฉพาะของเนตเวิร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 Impedance ของ Source และ Load ในเน็ตเวิร์ค[4]

จากรูปที่ 2.23 แสดงสัญลักษณ์ Impedance ของ Source และ Load ในเน็ตเวิร์คที่อยู่ในด้านส่งเข้า และส่งออก โดย Z_s เป็นความต้านทานที่อยู่ในแหล่งกำเนิดสัญญาณ(Source) และ Z_L เป็นความต้านทานของ Load โดยค่ามูลฐานที่นิยมใช้สำหรับการออกแบบ RF Amplifier คือ $Z_i = 50 \text{ Ohm}$

2.8 สายอากาศ (Antenna)

สายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับสัญญาณวิทยุโดยใช้ต่อกับปลายสายส่งของเสาอากาศเครื่องส่งเปลี่ยนสัญญาณเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วแพร่กระจายคลื่นไปในอากาศและทางด้านเครื่องรับสายอากาศจะรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นความถี่วิทยุป้อนเข้าเครื่องรับสายอากาศจึงเป็นเสมือนตัวเชื่อมระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับสายอากาศมีมากมายหลายชนิด อาจจะเป็นแบบเล็กๆ ประกอบด้วยสายพันรอบแกนเฟอร์ไรท์ 2-3 รอบ หรือแบบจานพาราโบลิค ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เมตร หรือแบบแถววางบนพื้นที่เป็นตารางกิโลเมตร ฯลฯ การติดตั้งสายอากาศสามารถติดตั้งที่ต่างๆ เช่น บนปีกหรือตัวเครื่องบินบนดาวเทียมบนเรือนรถบนยอดภูเขาบนบ้านบนตึก ฯลฯ แต่ไม่ว่าสายอากาศจะมีขนาดรูปร่างน้ำหนักตำแหน่งติดตั้งแตกต่างกันอย่างไรหลักการเบื้องต้นของสายอากาศคงเหมือนกันและทำหน้าที่รับหรือส่งสัญญาณเช่นเดียวกัน ในบทนี้จะกล่าวถึงสายอากาศขั้นพื้นฐานโดยทั่วไปคุณสมบัติต่างๆ ตลอดจนสายอากาศหลายๆแบบที่ใช้งานจริงโดยจะมีการคำนวณง่ายๆ ไม่ยุ่งยากซับซ้อนแต่อย่างใด

2.8.1 การพิจารณาขั้นพื้นฐาน

เมื่อป้อนกระแสความถี่สูงเข้าทางปลายด้านหนึ่งของสายจะพบว่าพลังงานที่ส่งออกไปไม่ได้ปรากฏทั้งหมดทางปลายทางของสายโดยบางส่วนได้หายไปทั้งนี้เพราะว่าเกิดการแพร่กระจาย

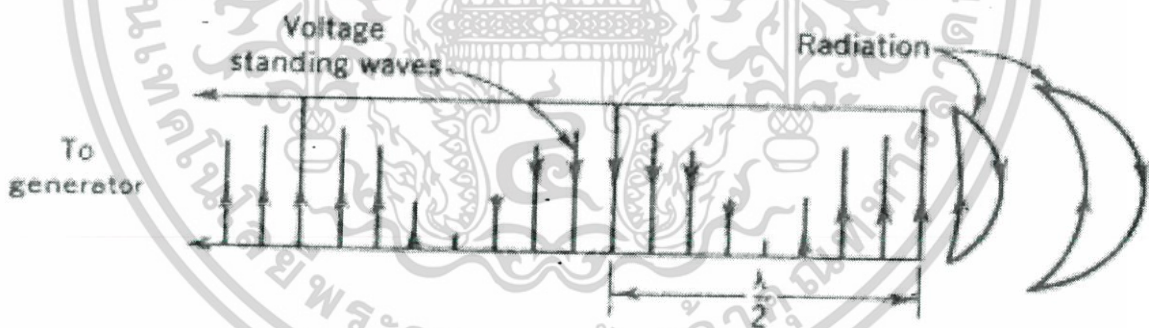
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานของอาจารย์เท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หายไปบางส่วนถึงแม้จะมองไม่เห็นแต่กลไกของการแพร่กระจายสามารถอธิบายได้ด้วยสมการของ Maxwell การคำนวณทางคณิตศาสตร์สำหรับหาพลังงานที่หายไปนี้ไม่เพียงหาปริมาตรที่หายไปเท่านั้นแต่ยังสามารถบอกทิศทางได้ด้วยวิธีการคำนวณนั้นค่อนข้างซับซ้อนและยุ่งยากพอสมควร จึงจะไม่ขอกล่าวถึงในที่นี้

2.8.2 กลไกของการแพร่กระจายคลื่น

เมื่อมีการป้อนสัญญาณเข้าไปในสายส่งวงจรเปิดสัญญาณจะเดินทางไปถึงปลายและเกิดการสะท้อนกลับอันเนื่องมาจากภาระไม่แมตช์ผลรวมของสัญญาณที่เดินทางไปข้างหน้ากับสัญญาณที่สะท้อนกลับทำให้เกิดคลื่นนิ่ง [Standing wave] บนสายดังแสดงในรูปที่ 1 สัญญาณที่สะท้อนกลับจะไม่เท่ากับสัญญาณที่ป้อนเข้าทั้งหมดทั้งนี้เพราะมีพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งหลุดออกไปจากระบบที่ปลายสายและถูกแพร่กระจายออกไปพลังงานที่หลุดออกไปในรูปของการแพร่กระจายที่ปลายสายนี้จะมีปริมาณน้อยมากด้วยสาเหตุสองประการคือ

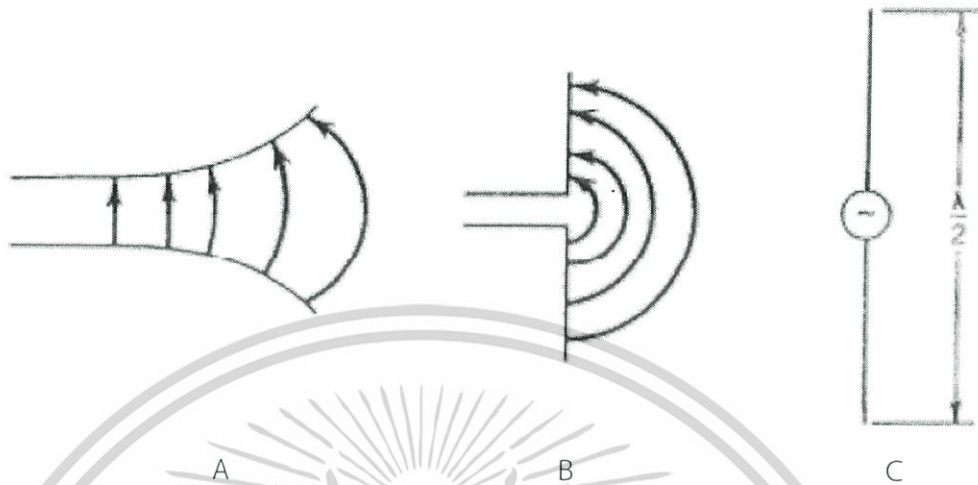
1. เนื่องจากปลายเปิดดังนั้นภาระของสายก็คือพื้นที่บริเวณปลายสาย จึงเท่ากับไม่แมตช์การถ่ายเทกำลังงานสู่ภาระจึงมีน้อยมาก
2. การแพร่กระจายจากปลายข้างหนึ่งจะมีขั้วตรงกันข้ามกับการแพร่กระจายจากปลายอีกข้างหนึ่งและด้วยเหตุที่สายทั้งสองอยู่ใกล้กันระยะห่างน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นจึงเกิดการหักล้างกันซึ่งก็เป็นเหตุผลเดียวกันที่ว่าทำไมสายส่งแบบคู่ขนานที่ใช้สำหรับความถี่ต่ำจึงไม่มีการแพร่กระจาย



รูปที่ 2.24 การแพร่กระจายจากสายส่ง

หากเราแยกให้ปลายสายทั้งสองห่างออกจากกันดังรูปที่ 2a จะทำให้การหักล้างของการแพร่กระจายจากปลายสายน้อยลงซึ่งนั่นก็คือทำให้เกิดการแพร่กระจายจากสายส่งมากขึ้นในพื้นที่รอบๆปลายสายยิ่งแยกปลายสายให้ห่างกันมากขึ้นที่เดินทางมาตามสายจะสะท้อนกลับตอนปลายด้วยความยากลำบากด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการแพร่กระจายเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการแพร่กระจายของระบบนี้จะดีที่สุดเมื่อแยกให้ปลายสายทั้งสองอยู่ในระนาบเหมือนกับเส้นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 วิวัฒนาการของไดโพล

- (A) สายส่งปลายเปิดแยกปลายให้กว้างขึ้น
- (B) ปลายสายเมื่อแยกให้เป็นเส้นแนวเดียวกัน
- (C) สายอากาศไดโพลครึ่งคลื่น

คู่พื้นที่รอบๆ อย่างเต็มที่ชนิดของตัวแพร่กระจายแบบนี้เรียกว่าไดโพล [Dipole] เมื่อความยาวทั้งหมดจากปลายถึงปลายเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเราเรียกตัวแพร่กระจายนี้ว่าสายอากาศแบบไดโพลครึ่งคลื่น [Half-wave dipole] มีรูปแบบดังในรูปที่ 2.25 c การที่มีการแพร่กระจายมากขึ้นก็ด้วยเหตุผลที่ว่าไดโพลครึ่งคลื่นมีคุณสมบัติพื้นฐานเหมือนกับสายส่งปลายเปิดที่มีความยาว $1/4$ ของความยาวคลื่นนำมาแยกปลายออกจากกันซึ่งที่ปลายจะมีอิมพีแดนซ์สูงส่วนที่จุดบ่อนจะมีอิมพีแดนซ์ต่ำกระแสจึงไหลมากที่สุดที่จุดบ่อนดังนั้นไดโพลครึ่งคลื่นจึงเป็นสายอากาศที่มีประสิทธิภาพดี

ในการแพร่กระจายคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศถูกกำหนดด้วยวิธีการเทียบกับสายอากาศมาตรฐานซึ่งเป็นสายอากาศในทางทฤษฎีไม่มีจริงในทางปฏิบัติแต่มีลักษณะที่ไม่ซับซ้อนง่ายแก่การเข้าใจและคำนวณ

2.8.3 พารามิเตอร์ (Parameters) ของสายอากาศ

1. อัตราการขยาย (Gain)

แกนสายอากาศคืออัตราส่วนปริมาณกำลังงานการแพร่กระจายในทิศทางที่กำหนดของสายอากาศเทียบกับปริมาณกำลังงานการแพร่กระจายในทิศทางเดียวกันที่ระยะทางเท่ากันและป้อนกำลังงานเท่ากันของจุดกำเนิด (Point source) หรือสายอากาศไอโซโทรปิก (Isotropic) สายอากาศไอโซโทรปิกเป็นสายอากาศในอุดมคติที่ไม่มีจริงในทางปฏิบัติมีรูปแบบการ

แพร่กระจายเป็นรูปทรงกลมถือว่ามีการทำงานการแพร่กระจายเท่ากันในทุกทิศทางอัตราส่วนของปริมาณกำลังงานเรียกว่า Directive gain ในการหา Directive gain ของสายอากาศอันดับแรกให้หาปริมาณกำลังงานของสายอากาศในระยะทางและทิศทางตามค่ากำหนดอาจจะคำนวณหรือวัดก็ได้ขั้นต่อไปก็คำนวณหาปริมาณกำลังงานจากสายอากาศไอโซโทรปิกที่ระยะเดียวกันและป้อนกำลังงานเท่ากันนำผลที่ได้มาเทียบอัตราส่วนได้เป็น Directive gain ซึ่งจะมีค่ามากกว่า 1 เสมอ สายอากาศไดโพลค่าของ Directive gain จะเปลี่ยนแปลงตามความยาวเช่นความยาว/2 มีเกน 1.64 และความยาว 8 λ มีเกน 7.1 ค่าเหล่านี้วัดในอวกาศที่ความยาวเดียวกันสายอากาศไม่เรโซแนนซ์จะมีเกน 3.2 และ 17.4 ตามลำดับจะเห็นว่าสายอากาศไม่เรโซแนนซ์มีเกนสูงกว่าสายอากาศเรโซแนนซ์จริงๆแล้วค่าเกนเหล่านี้ได้จากการวัดที่พหุคูณซึ่งเป็นค่า Directive gain สูงสุด บางครั้งอาจจะเรียกว่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) ก็ได้

2. อัตราการขยายกำลัง (Power gain)

ในการวัดอัตราการขยายกำลังใช้วิธีการปรับเปลี่ยนกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศที่วัดเพื่อให้ได้ค่าความเข้มสนามในทิศทางพหุคูณที่ระยะทางเท่ากันเท่ากับค่าความเข้มสนามของสายอากาศมาตรฐานแล้วเทียบอัตราส่วนกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศทั้งสอง

$$Power\ Gain = 10 \log\left(\frac{P_r}{P_t}\right) (dB) \quad (2-11)$$

P_r = กำลังของสายอากาศอ้างอิง (มาตรฐาน)

P_t = กำลังของสายอากาศที่ทดสอบ

3. ความต้านทานในสายอากาศ

ความต้านทานของสายอากาศ $[R_a]$ ประกอบด้วยความต้านทานสองส่วนคือความต้านทานของการแพร่กระจายคลื่น $[R_r]$ เกิดขึ้นเพราะการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและความต้านทานที่กำหนดจากค่าสูญเสียในสายอากาศความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นกำหนดจากอัตราส่วนของกำลังงานการแพร่กระจายต่อกำลังสองของกระแสที่จุดป้อนความต้านทานของการสูญเสียในสายอากาศเกิดจากการสูญเสียหลายอย่างเช่นการดิสซิปาหรือโคโรนาเอฟเฟ็ค, ฉนวนที่อยู่ใกล้สายอากาศไม่ดีพอ, กระแสเอ็ดดี้ (eddy current) การเหนี่ยวนำในโลหะที่อยู่ใกล้สายอากาศเช่นลวดยึดเสาอากาศเป็นต้นความสูญเสียเหล่านี้ทำให้เหมือนกับมีความต้านทานต่ออยู่ระหว่างสายอากาศกับพื้นดินเราวมเรียกว่า R_d เพราะฉะนั้นความต้านทานในสายอากาศ

$$R_a = R_r + R_d \quad (2-12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงจะต้องทำให้ R_d มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ R_r โดยประสิทธิภาพของสายอากาศหาได้จาก

$$n = \frac{R_r}{R_r + R_d} \quad (2-13)$$

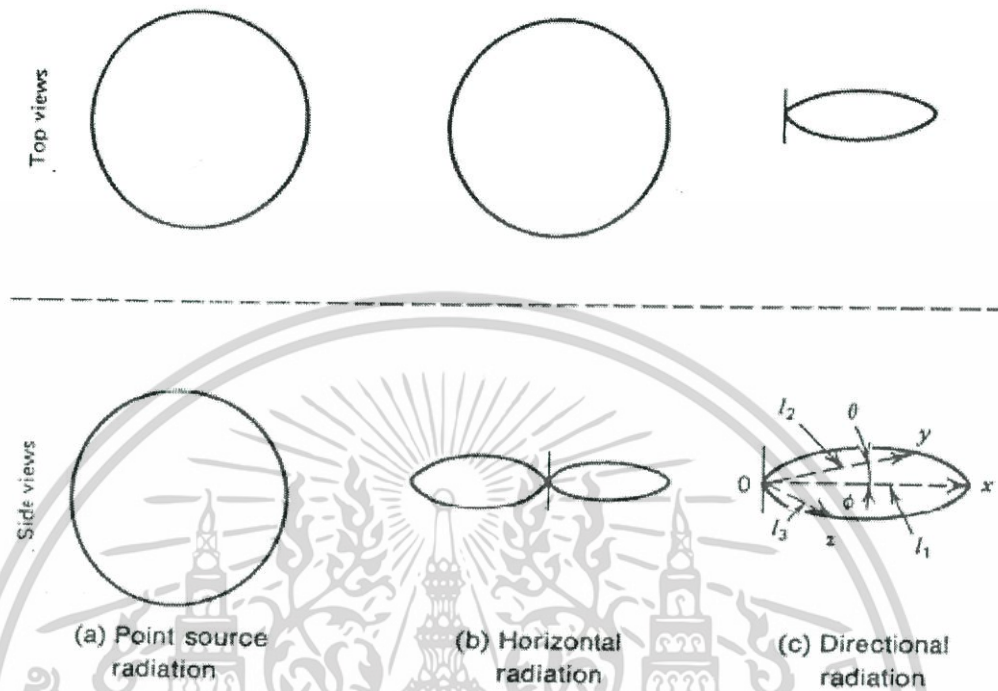
4. แบนด์วิดธ์สายอากาศ

แบนด์วิดธ์ของสายอากาศคือช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดหรือช่วงความถี่ที่สายอากาศยังคงมีคุณสมบัติต่างๆ อยู่ในค่าที่ใช้งานได้คือไม่ต่างจากคุณสมบัติที่ออกแบบไว้ที่ความถี่กลางจนทำให้คุณสมบัติเหล่านี้ผิดไปจากข้อกำหนดมาตรฐานเช่น อินพุทอิมพีแดนซ์, รูปแบบการแพร่กระจาย, บีมวิดธ์, โพลาริเซชัน, เกน, และประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่นเนื่องจากคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ในลักษณะเดียวกันทั้งหมดดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดแบนด์วิดธ์ตามคุณสมบัติได้อย่างใดอย่างหนึ่งได้จึงต้องมีการกำหนดให้เป็นไปตามการประยุกต์ใช้งานแต่ละอย่างไปปกติเราใช้คุณสมบัติของรูปแบบการแพร่กระจายกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิดธ์เป็นตัวกำหนดแบนด์วิดธ์ของสายอากาศแบบรูปแบนด์วิดธ์ (Pattern bandwidth) คือค่าความแตกต่างระหว่างความถี่ที่ทำให้กำลังที่ได้รับลดลงครึ่งหนึ่ง [half power] ของค่าสูงสุดในทิศทางการแพร่กระจายคลื่นสูงสุดสายอากาศที่วิ้งง่ายเช่นสายอากาศไดโพลหรือสายอากาศหูกข่ายต้องสามารถรับสัญญาณจาก VHF แบนด์ความถี่ตั้งแต่ 54 MHz ถึง 216 MHz หรือสายอากาศแบบบ่วง (loop antenna) เล็กๆรับ UHF แบนด์ความถี่ตั้งแต่ 470 MHz ถึง 1000 MHz ผลต่างของความถี่จะเรียกว่าเป็นแบนด์วิดธ์ของสายอากาศก็ได้แต่โดยความจริงแล้วสายอากาศที่วิ้งกล่าวถึงนี้เป็นสายอากาศที่มีประสิทธิภาพแย่มากที่สุดที่พอรับสัญญาณได้เพราะอาศัยเครื่องรับมีความไวสูง

5. รูปแบบการแพร่กระจาย (Radiation Pattern)

รูปแบบการแพร่กระจายแสดงลักษณะความแรงของสัญญาณที่แพร่กระจายรอบๆ สายอากาศทุกทิศทางตัวแพร่กระจายในอุดมคติที่เราเรียกว่าจุดกำเนิด (Point source) มีรูปแบบการแพร่กระจายเป็นรูปทรงกลมซึ่งหมายความว่าความเข้มสนามที่ระยะทางเท่าๆกันจะเท่ากันหมดในทุกทิศทางดังรูปที่ 2.24a สายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายทางแนวนอนจะมีรูปร่างเหมือนขนมโดนัทโดยมีสายอากาศเป็นแกนทางแนวตั้งดังรูปที่ 2.26b สายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายแคบมากๆจะเป็นสายอากาศชนิดมีทิศทาง (Directional) ดังรูปที่ 2.26c

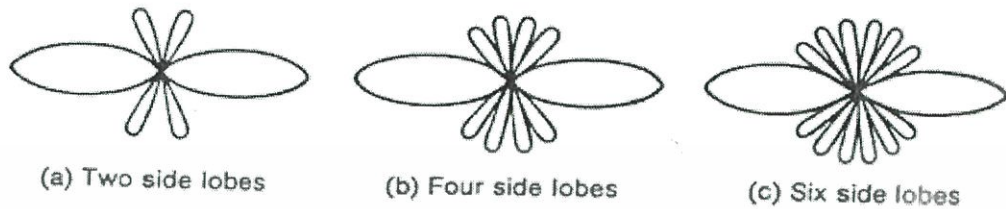
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



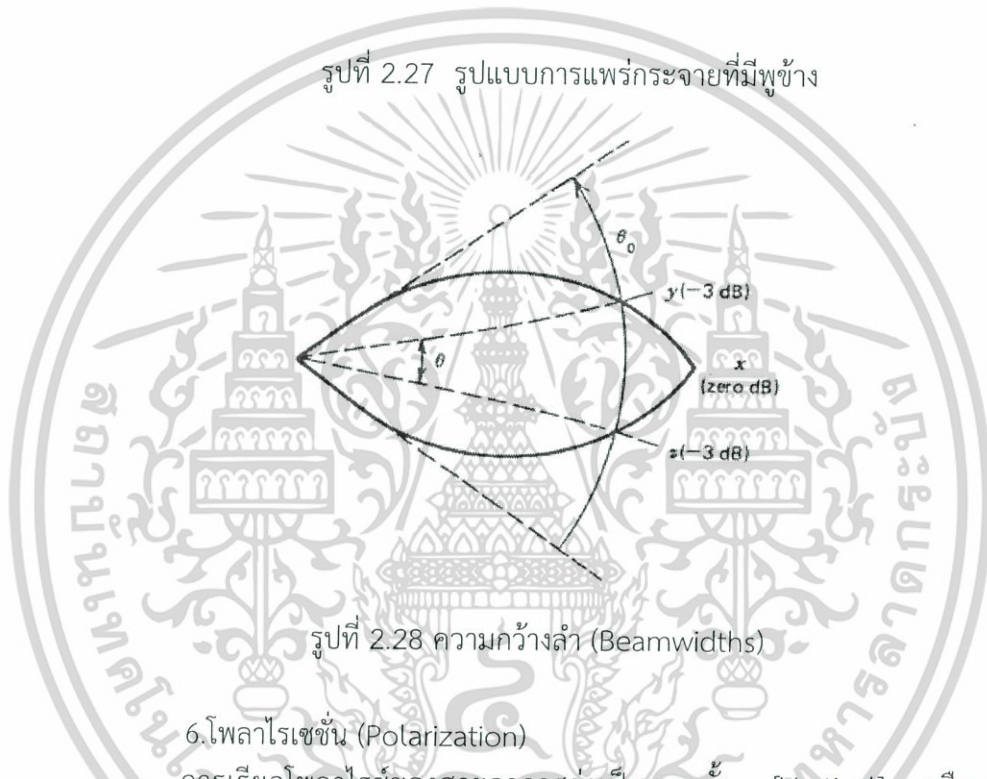
รูปที่ 2.26 รูปแบบการแพร่กระจาย

พูข้าง (Side lobe) คือส่วนหนึ่งของรูปแบบการแพร่กระจายที่มีความเข้มสนามน้อยเกิดขึ้นนอกเหนือจากรูปแบบการแพร่กระจายหลัก [Major lobe] ที่มีความเข้มของสนามมากในทางปฏิบัติเป็นการยากที่จะทำให้มีรูปแบบการแพร่กระจายหลักอย่างเดียวแต่ก็มักจะมีพูข้างเกิดขึ้นด้วยเสมอพูข้างของสายอากาศจะแพร่กระจายพลังงานในทิศทางที่ไม่ต้องการซึ่งถ้าเป็นสายอากาศเครื่องรับก็จะรับสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการเข้ามาความกว้างลำ (Beamwidth) การกำหนดความกว้างลำ (Beamwidth) ของสายอากาศมีอยู่ 2 แบบคือแบบแรกกำหนดจากมุมที่เกิดจากการลากเส้นที่จุดตัดของเส้นโค้งกับเส้นขอบทั้งสองด้านของรูปแบบการแพร่กระจายมายังสายอากาศในรูปที่ 2.28 คือมุม θ จุดตัดคือ y และ z สำหรับรัศมีของเส้นโค้งคือระยะกำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง [-3dB] ในแนวที่มีกำลังงานสูงสุดซึ่งในรูปคือแนว x และแบบนี้เราเรียกว่าความกว้างลำครึ่งกำลัง (half power point beamwidth) อีกแบบกำหนดจากมุมที่ได้จากการลากเส้นในแนวที่ไม่มีความเข้มสนามเลยมาบรรจบกันที่สายอากาศเรียกว่า First-nulls beamwidth คือมุม θ ในรูปที่ 2.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 รูปแบบการแพร่กระจายที่มีพูข้าง



รูปที่ 2.28 ความกว้างลำ (Beamwidths)

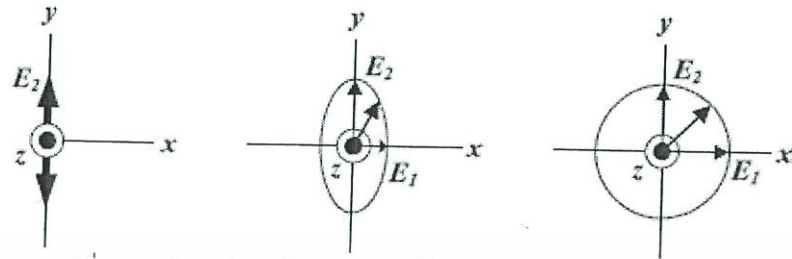
6. โพลาริเซชัน (Polarization)

การเรียกโพลาริเซชันของสายอากาศว่าเป็นแบบตั้ง [Vertical] หรือแบบนอน [Horizontal] โดยปกติจะกำหนดตามระนาบของสนามไฟฟ้าซึ่งจะมีแนวขนานกับตัวสายอากาศ ดังนั้น polarization จึงสามารถสังเกตได้ตามลักษณะสายอากาศความถี่ต่ำมักเลือกโพลาริเซชันแบบตั้งเนื่องจากมีความสัมพันธ์กับพื้นดินซึ่งจะกล่าวถึงในตอนหลังส่วนโพลาริเซชันแบบนอนสัญญาณจะถูกรบกวนน้อยในทางปฏิบัติจะเลือกใช้กับสายอากาศความถี่สูง

การแบ่งชนิดของโพลาริเซชันแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ

1. โพลาริเซชันแบบเชิงเส้น (linearly polarization)
2. โพลาริเซชันแบบวงกลม (circularly polarization)
3. โพลาริเซชันแบบวงรี (elliptically polarization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 โพลาริเซชันแบบเชิงเส้นแบบวงรีและแบบวงกลม

7. อัตราส่วนหน้า-หลัง (Front to back Ratio)

สายอากาศชนิดทิศทางเดียวจะต้องมีการแพร่กระจายมากที่สุดทางเดียว ฉะนั้นค่าอัตราส่วนหน้า-หลังจึงมีความสำคัญอัตราส่วนนี้หาได้จากค่าการแพร่กระจายในทิศทางที่สูงสุดต่อค่าการแพร่กระจายในทิศทางตรงกันข้ามในกรณีของสายอากาศเครื่องรับการรับสัญญาณจากทิศทางตรงกันข้ามได้ด้วยจะทำให้ผลการรับไม่ดี เช่น ความแรงของสัญญาณจะลดลงหากสัญญาณจากอีกด้านมีเฟสตรงกันข้ามกันหรือเกิดเงาในกรณีเครื่องรับโทรทัศน์รับสัญญาณที่สะท้อนมาจากด้านหลังด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4 สายอากาศแบบโมโนโพล(Monopole Antenna)

การส่งคลื่นโดยใช้สายอากาศในย่านความถี่ตั้งแต่ต่ำมาก (VLF), ต่ำ (LF) และปานกลาง (MF) จะต้องให้ความสนใจในแง่ของความสูงของสายอากาศและการติดตั้งในแนวตั้งกับพื้นโลก เนื่องจากที่ความถี่ระดับนี้ค่าความยาวคลื่นมีค่ามากดังนั้นจึงคิดค้นวิธีใช้สายอากาศที่มีความยาวเพียง $\lambda/4$ แทนด้วยเหตุผลที่แสดงในรูป 2.29

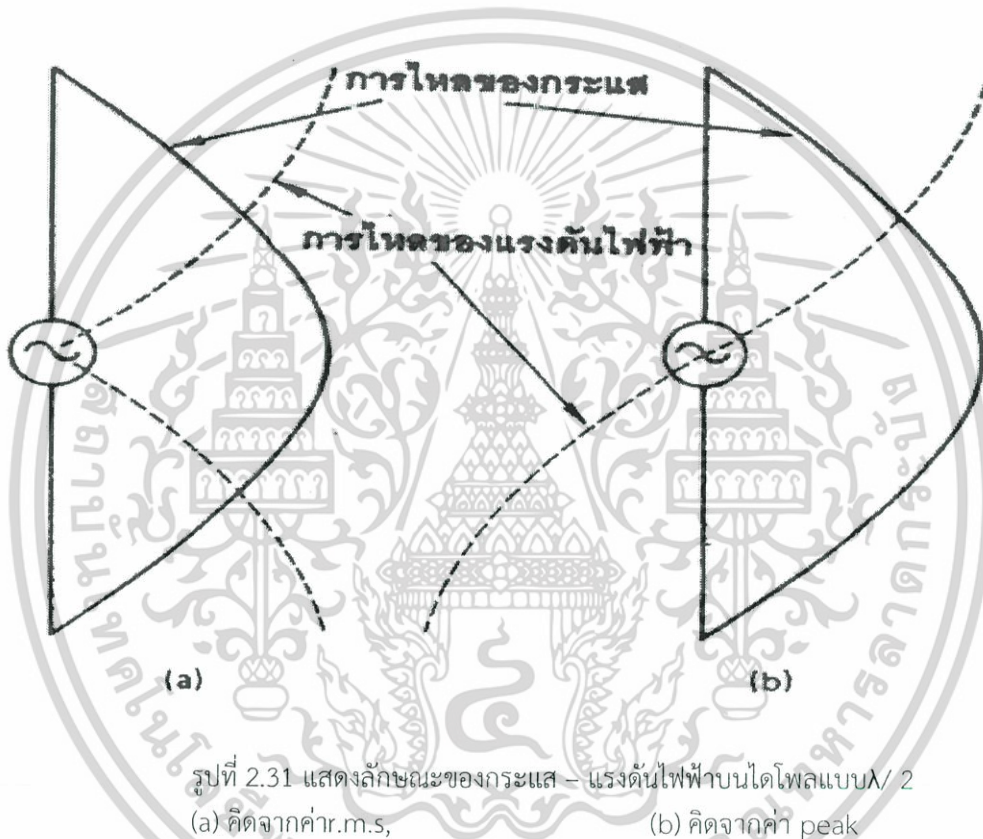


รูปที่ 2.30 การแพร่คลื่นของสายอากาศแบบโมโนโพลหรือยูนิโพล

จากรูปที่ 2.30 แสดงภาพของสายอากาศขนาด $\lambda/4$ ติดตั้งในแนวตั้งกับพื้นโลกโดยมีจุดป้อนที่บริเวณด้านล่างระหว่างสายอากาศกับพื้นดินเราเรียกสายอากาศชนิดนี้ว่ายูนิโพล(unipole) หรือโมโนโพล(monopole) ซึ่งมีคุณสมบัติในการแพร่คลื่นได้ขนาดเท่ากันทุกทิศทางทุกทางในระนาบแนวนอนส่วนระนาบแนวตั้งมีพลังงานบางส่วนพุ่งสู่ฟ้าและอีกบางส่วนพุ่งเข้าหาพื้นดินดังที่แสดงด้วยเส้นประในรูปคลื่นที่มีทิศลงจะกระทบพื้นดินและสะท้อนกลับขึ้นมาโดยมีค่ามุมตกกระทบเท่ากับค่ามุมสะท้อน(คิดจากพื้นโลกที่เรียบ) ณ จุดหนึ่งที่อยู่ห่างจากสายอากาศพลังงานคลื่นที่รับได้เกิดจากคลื่นตรงและคลื่นที่สะท้อนกับพื้นโลกค่าความเข้มสนามที่จุดนี้เป็นค่ารวมของความเข้มสนามในคลื่นแต่ละแบบถ้ามีผู้สังเกตอยู่ที่จุดนี้อาจคิดว่าคลื่นสะท้อนนั้นสามารถจินตนาการว่าแพร่ออกสายอากาศส่วนที่ได้พื้นดิน(ความจริงไม่มีส่วน) จากรูปเราเห็นสายอากาศในความคิดนี้เรียกว่าสายอากาศจำลอง(image antenna) ก็ได้ซึ่งจะแสดงว่าสายอากาศถูกใช้งานที่ความยาว 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารผลงานวิจัยหรือทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

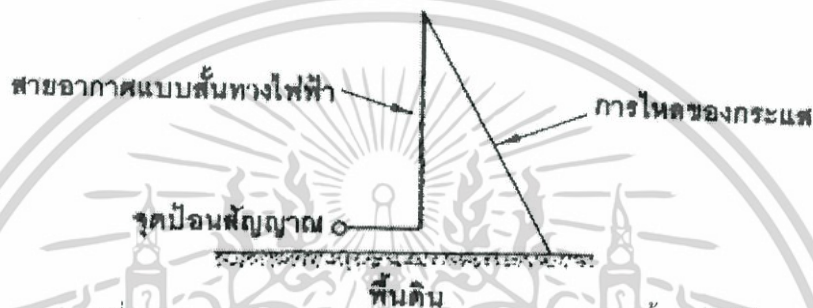
เท่าของความจริงของมันความสูงทั้งหมดของสายอากาศ(รวมส่วนจำลอง) มีค่า $\lambda/2$ ดังนั้นการไหลของกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะเหมือนกับสายอากาศไดโพลขนาด $\lambda/2$ ทุกประการค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศนี้มีค่าเป็นความต้านทานอย่างเดียวคือ 37 โอห์มและในรูปจะแสดงการกระจายของกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศไดโพลแบบ $\lambda/2$



จากรูป 2.31 ซึ่งแสดงลักษณะของกระแส นำมาวิเคราะห์กับสายอากาศแบบ $\lambda/2$ หรือโมโนโพลได้ว่าคลื่นนิ่งหรือสแตนด์เวฟที่เกิดขึ้นจะมีค่ากระแสมากที่สุดที่จุดปลายสายอากาศอาจมีผลลัพธ์ให้ค่ากระแสปริมาณมากไหลจากสายอากาศลงพื้นดินและสูญเสียพลังงานส่วนนี้ไปการแก้ไขให้สูญเสียพลังงานส่วนนี้น้อยที่สุดเพื่อรักษาค่าประสิทธิภาพของสายอากาศให้สูงสุดเท่าที่ทำได้มีแนวทางคือพื้นดินต้องมีสภาพตัวนำสูงโดยการนำลวดทองแดงต่อออกจากฐานรอบสายอากาศเป็นระยะทางเท่ากับ ความสูงของเสาและฝังลงดินด้วยความลึกประมาณ $1/3$ เมตรซึ่งเส้นลวดนี้ทำหน้าที่คล้ายกราวด์ให้กับสายอากาศทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นอย่างสมบูรณ์บางกรณีการใช้สายอากาศแนวตั้งลักษณะไม่จำเป็นต้องเป็นโมโนโพลเสมอไป (มีความสูงหรือความยาวเท่ากับ $\lambda/4$) อย่างเช่นที่ค่าความถี่ต่ำมากค่าความยาวขนาด $\lambda/4$ จัดว่าสูงมากได้เช่นที่ความถี่ 300 KHZ มีค่า $\lambda/2 = 500$ เมตร, ค่า $\lambda/4 = 250$ เมตรหรือความถี่ 30 KHZ มีค่า $\lambda/2 = 5,000$ เมตร, ค่า $\lambda/4 =$

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของกรมการศึกษานานาชาติ มีอยู่ภายใต้การดูแลของสถาบันการศึกษา
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้

2,500 เมตรเห็นได้ว่าการสร้างสายอากาศโมโนโพลในย่านความถี่ต่ำขนาดนี้ไม่คุ้มค่าเลยจึงแก้ไขโดยสร้างสายอากาศให้มีขนาดสั้นลงและไม่จำเป็นต้องมีขนาด $\lambda/4$ เสมอไปอาจจะสร้างที่ขนาด $\lambda/16$ หรือน้อยกว่านี้เราเรียกสายอากาศแบบนี้ว่าสายอากาศอย่างสั้นทางไฟฟ้า (electrically short) ซึ่งมีการตั้งเสาในแนวตั้งกับโลกและมีจุดป้อนที่จุดฐานของสายอากาศกับพื้นดินส่วนการไหลของกระแสที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง (Linear) ดังแสดงในรูป 2.32



รูปที่ 2.32 แสดงลักษณะของกระแสนสายอากาศแบบสั้นทางไฟฟ้า การสร้างสายอากาศที่ขนาดน้อยกว่า $\lambda/4$ จะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆดังนี้

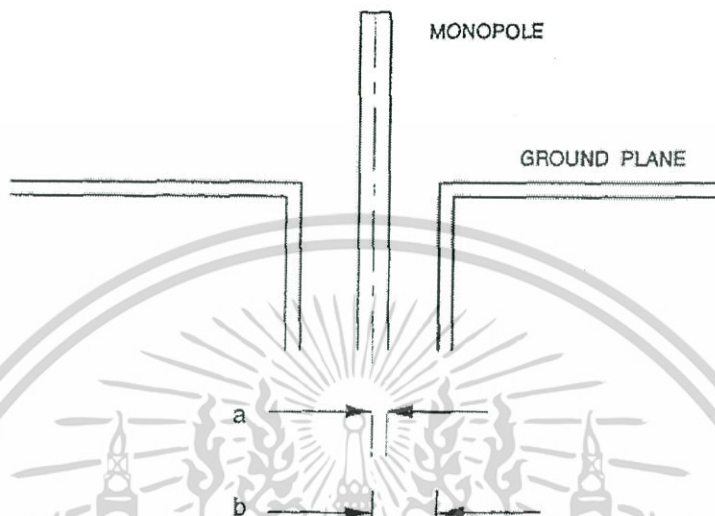
- ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์มีองค์ประกอบทางประจุไฟฟ้าเพิ่มเข้ามา (เกิดรีแอ็กแตนซ์)
- ลดค่าความต้านทานการแผ่คลื่นของสายอากาศ
- ลดค่ากระแสในสายอากาศ (ค่ากระแสในวงจรรจุนทั่วไปมีค่าสูงสุดที่รีโซแนนซ์)

การที่จะทำให้สายอากาศกลับมารีโซแนนซ์ใหม่ต้องต่อค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าอนุกรมเข้าที่จุดป้อน สัญญาณแต่พบว่าโซลิตีที่ค่าสูงสุดของกระแสที่มีขึ้นอยู่เลยความยาวสายอากาศไปด้วยเหตุนี้ทำให้กำลังส่งที่ออกมาของสายอากาศแบบสั้นทางไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าที่ประเมินไว้

2.8.5 สายอากาศโมโนโพลมาตรฐาน

สายอากาศโมโนโพลมาตรฐานที่ใช้ในการปฏิบัติการได้แสดงไว้รูปที่ 2.27 ซึ่งจะมีการป้อนสัญญาณโดยผ่านสายโคแอกเซียล 50Ω ผ่านช่องของแผ่นระนาบกรวดขนาดใหญ่เข้าไปที่หัวอินพุตของสายอากาศโมโนโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 สายอากาศโมโนโพลที่บ่อนด้วยสายโคแอกเซียลและระนาบกราวด์
 แผ่นระนาบกราวด์คือส่วนที่จำเป็นสำหรับการออกแบบสายอากาศโมโนโพลในทางอุดมคติ
 นั้นจะต้องมีขนาดเป็นอนันต์แต่ในทางปฏิบัติจะกำหนดให้มีรัศมีเท่ากับ 5λ ก็เพียงพอที่จะให้เกิด
 เงื่อนไขใกล้เคียงกับขนาดในอุดมคติได้หรือจะใช้ขนาดที่ต่ำที่สุดซึ่งจะให้เงื่อนไขใกล้เคียงอุดมคติได้
 เช่นกันก็คือที่ 0.5λ ซึ่งสายอากาศโมโนโพลที่ใช้ในปฏิบัติการจะใช้แผ่นระนาบกราวด์ที่มีขนาด
 ดังกล่าวนี้สายเคเบิลที่ใช้สำหรับบ่อนสัญญาณให้กับตัวสายอากาศจะเป็นสายโคแอกเซียลที่มีค่า
 อิมพีแดนซ์ 50Ω ซึ่งจะต้องมีการแปลงค่าอิมพีแดนซ์นี้ให้ลดลงไปอยู่ที่ 37.5Ω เพื่อให้เกิดการแมตซ์
 กับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโมโนโพลในกรณีนี้ค่าอิมพีแดนซ์ที่จะเปลี่ยนไปจะเป็นฟังก์ชันของ
 เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำที่อยู่ตรงกลางกับระยะห่าง b ระหว่างตัวนำตรงกลางกับขอบของช่อง
 วงกลมในแผ่นระนาบกราวด์ดังแสดงในรูปที่ 2.33 และสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าอิมพีแดนซ์
 นี้ได้แสดงไว้ในสมการ (2-14)

$$Z_0 = 60 \log \left(\frac{b}{a} \right) \quad (2-14)$$

เมื่อ $a = 0.159$ ซม. และ $b = 0.317$ ซม. อิมพีแดนซ์ที่ได้จะเท่ากับ 41.5Ω ซึ่งเป็นค่าตรง
 กลางระหว่างค่าอิมพีแดนซ์ของสายโคแอกเซียลและค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโมโนโพล 37.5Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

การออกแบบวงจรรับคลื่นสัญญาณโทรศัพท์มือถือที่มีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องทำการเลือกไอซีและออกแบบให้เหมาะสม เพื่อให้การทำงานของระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดวงจรรับคลื่นสัญญาณโทรศัพท์มือถือนี้ได้ออกแบบให้ใช้งานในย่านความถี่ 850 MHz และ 1,850 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ใช้ในโทรศัพท์มือถือในประเทศไทย โดยทำการออกแบบให้มีองค์ประกอบอยู่ 4 ส่วน ลักษณะการทำงาน

3.1 การออกแบบ triangle wave generator

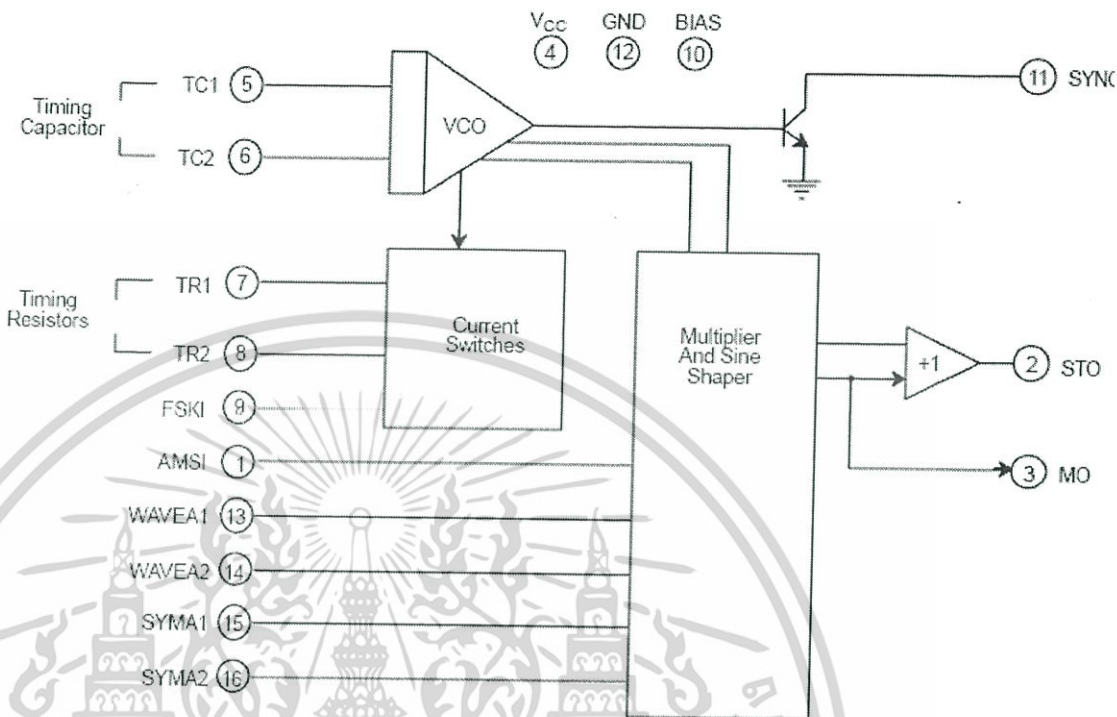
XR 2206 เป็น ไอซี ไมโครโวลติค สามารถสร้างสัญญาณ sine square, triangle ramp และ pulse ที่มีคุณภาพสูง มีความเสถียร และสัญญาณที่ได้สามารถ modulate ได้ทั้ง Amplitude และ Frequency โดยมีช่วงกว้าง ความถี่ถึง 0.01Hz-1MHz เพื่อใช้งานเป็นฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์ โดยเฉพาะความถี่ที่สร้างขึ้นถูก กำหนดโดยตัวเก็บประจุ และตัวต้านทาน โวลเตจคอนโทรลลอซซิลเลเตอร์ ซึ่งจะให้ความถี่ออกมาขึ้นอยู่กับค่า คาปาซิเตอร์ (Timing Capacitor) ที่ต่ออยู่ระหว่างขา 5 และ ขา 6 กับค่า รีซิสเตอร์ (Timing Resistor) ที่ขา 7 และ ขา 8

คุณสมบัติเฉพาะของ XR2206

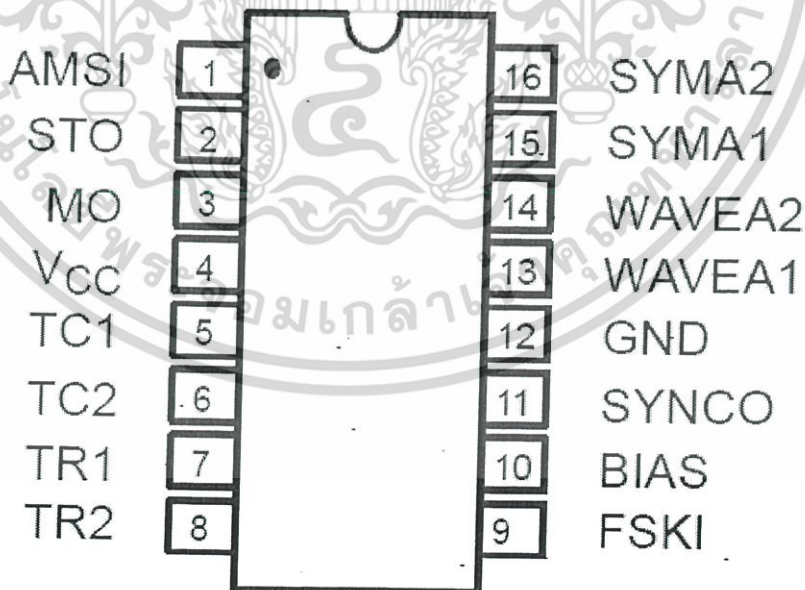
- มีการบิดเบี้ยวของ Sinusoidal Wave ต่ำเพียงประมาณ 0.5%
- มีเสถียรภาพต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ดี (20 ppm/°C)
- ตอบสนองต่อแรงดันที่ต่ำ (0.01%V)
- มีการ Modulate Amplitude แบบ Linear
- สามารถควบคุม FSK ได้ด้วยสัญญาณ TTL
- รองรับช่วงแรงดันที่กว้าง 10 – 26 V
- สามารถปรับ Duty cycle ได้ 1 - 99%

โดย XR 2206 มี Block Diagram ดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

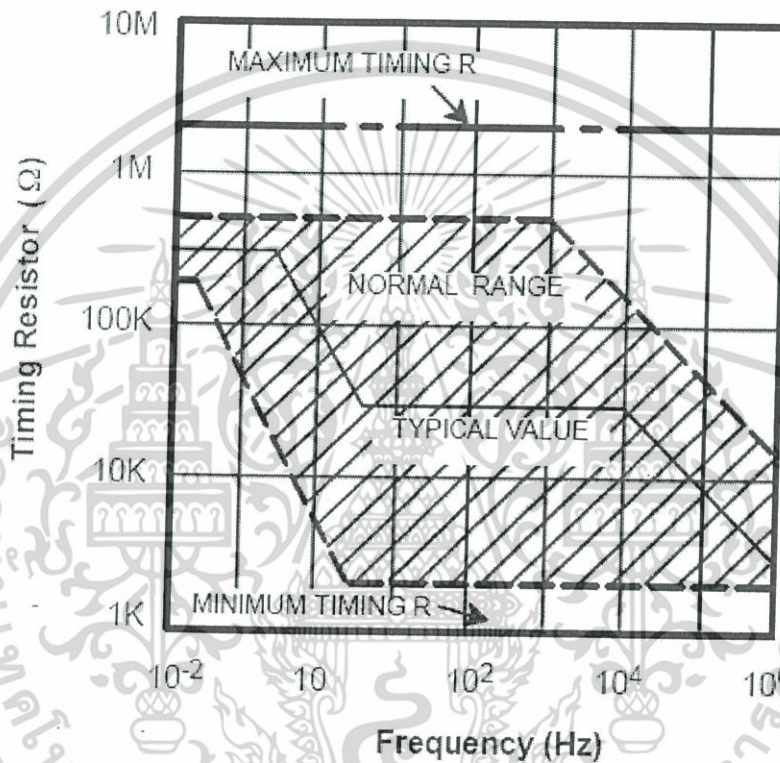


รูปที่ 3.1 วงจรภายในของ XR2206



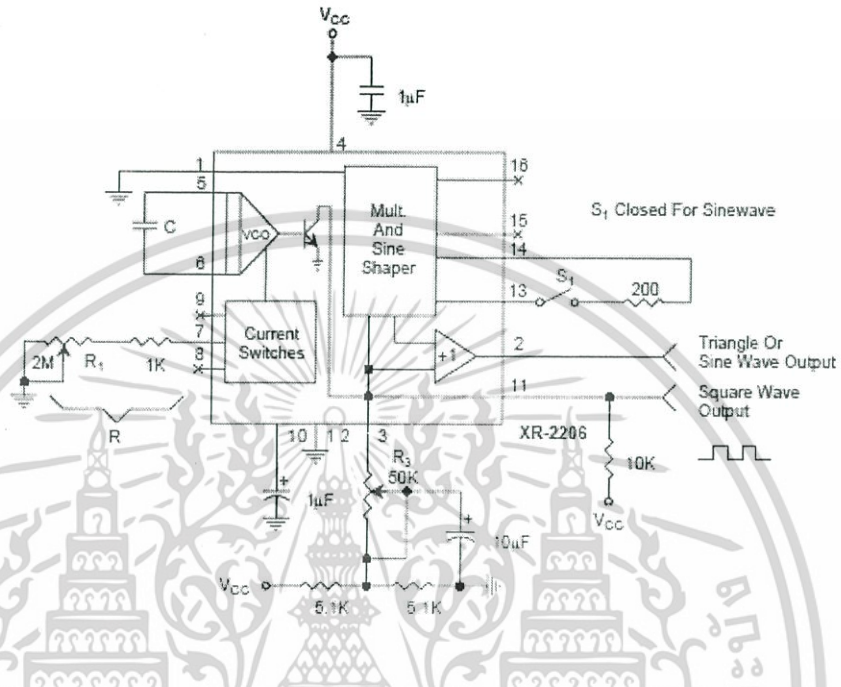
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 3.2 IC XR-2206 มอนูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใน IC1 จะมีวงจรถูกกำเนิดแรงดันอ้างอิงคงที่ 3 โวลต์ ซึ่งจะอยู่ที่ขา 10 โดยมีตัวเก็บประจุ C4 ทำหน้าที่ดีคัปปลิ่ง และแรงดันนี้ยังใช้ในการกำหนดย่านความถี่ โดยการปรับค่าที่ VR3 แรงดันคงที่ค่าเดียวกันนี้จะไม่ปรากฏที่ขา 7 ของ IC1 ด้วย ความถี่ของ IC1 จะถูกกำหนดโดยกระแสที่ไหลเข้ามายังขา 11 ซึ่งปริมาณกระแสที่ไหลเข้ามานี้ขึ้นอยู่กับค่าการปรับแรงดันโดย VR3 ถ้าแรงดันที่ขา 7 นี้จะน้อยที่สุด ซึ่งเป็นการกำหนดค่าความถี่ต่ำสุดของย่านกำหนดสัญญาณนั้น



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงเปรียบเทียบค่าความต้านทาน R versus Oscillation Frequency
 กราฟด้านบนนี้นำไปใช้ในการอ้างอิง ในการเลือกใช้ค่าความต้านทานเพื่อสร้างความถี่ที่เหมาะสมของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณพัลส์หรือสัญญาณสามเหลี่ยม โดยที่ค่าความต้านทานที่เลือกใช้จะอยู่ในช่วงระหว่าง $1k\Omega$ ถึง $2M\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม

การคำนวณหาความถี่

จากรูปวงจรตัวแปรที่เราต้องการคำนวณหาค่าคือค่า R ที่ขา8 และ C ที่คร่อมอยู่ระหว่างขา 5และขา6 โดยสูตรการคำนวณมีดังนี้

$$F = \frac{1}{RC} \tag{3-1}$$

จากสูตรนั้นเราสามารถหาค่าความถี่ได้โดยแทนค่า C และ R ลงไปในสมการจะได้

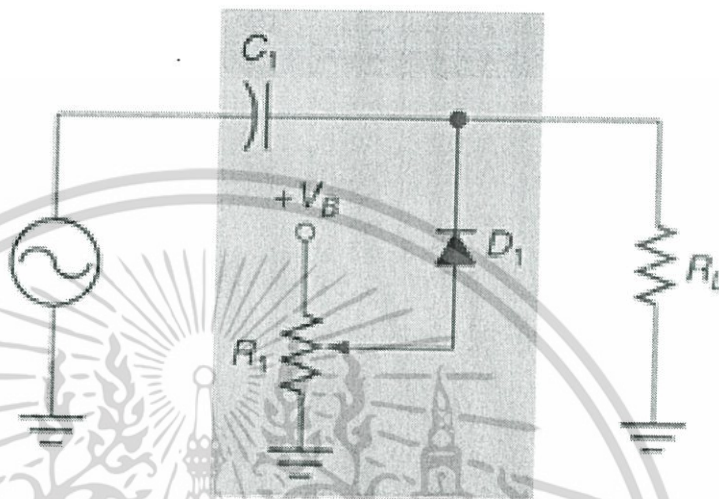
$$F = \frac{1}{10 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-12}}$$

$$F = 80 \text{ KHz}$$

จะเห็นได้ว่าค่า C และ R มีผลต่อความถี่ที่ออกมาจากวงจร โดยเป็นส่วนที่แปรผกผัน ยิ่งค่า R น้อยลงความถี่ก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 Biased clampers



รูปที่ 3.5 Biased clampers

เนื่องจาก VCO ที่จะนำมาทดลองนั้นรองรับ V สำหรับจูนความถี่ที่ด้านบวกเท่านั้น ดังนั้น เราจำเป็นต้องทำการยกระดับแรงดันของสัญญาณที่ได้จาก Xr-2206 ให้อยู่เฉพาะด้านบวก เท่านั้น โดยใช้หลักการ Biased clamper โดยส่วนประกอบของ clampers คือ silicon Diode , Resister, capacitor โดยที่ C ทำหน้าที่เก็บแรงดันคงที่ และไดโอดเป็นสวิตช์ให้กระแสไหลอัดประจุ เมื่อ C ถูกอัดเต็มที่แล้วไดโอดจะ OFF เนื่องจาก Vc ออกแรงต้านกระแสในวงจร
 วิธีการคำนวณ

ในช่วงของ negative half cycle ไดโอดจะนำกระแสทำหน้าที่เป็นเหมือน switch shot circuit ตัวเก็บประจุจะ charges $V_i + V_s$ ตามสมการดังนี้

$$V_c = V_s + V_i \tag{3-2}$$

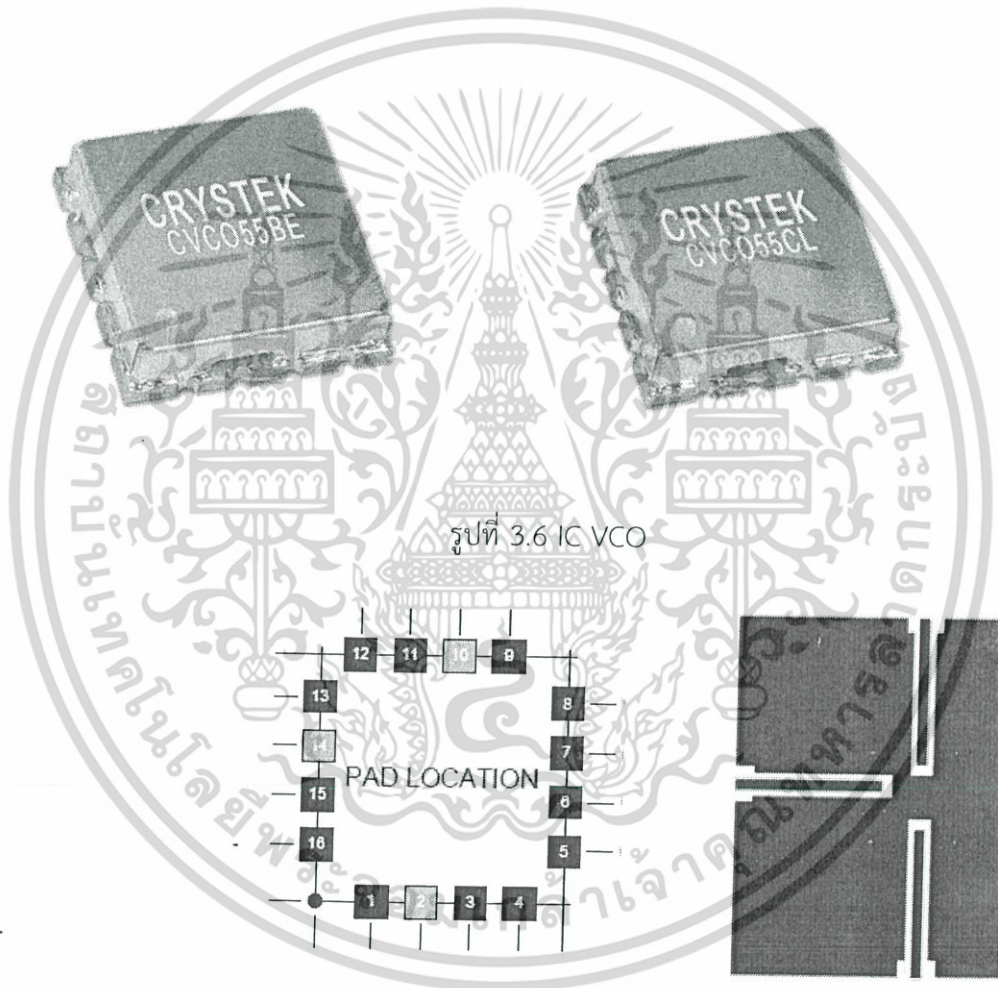
ในช่วงของ positive half cycle ไดโอดจะหยุดนำกระแสทำหน้าที่เป็น Open circuit V_s จะไม่มีผลกับวงจร

$$V_o = V_i + V_c \tag{3-3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 voltage controlled oscillator(VCO)

CVCO-55CL 925-960 MHzและ CVCO-55BE 1750-1900 MHz เป็นอุปกรณ์ในส่วนสำคัญที่ถูกเลือกใช้เพื่อที่จะสร้างความถี่ สามารถทำงานแบบ wide band เป็น low phase noise ทางด้านแรงดันที่จะจ่ายให้ ไอซีตัวนี้สามารถรับแรงดันที่จ่ายให้ไอซีได้สูงสุด +5V และ V_{tune} ที่สามารถรองรับได้ ตั้งแต่ 0 ถึง 4.75 V มีค่า Tuning Sensitivity 13 MHz/V



รูปที่ 3.7 Pad location ของ IC

ขาที่2 เป็นตำแหน่งของ V_{tune} ขาที่14เป็นตำแหน่งของVcc และขาที่10เป็นตำแหน่งของ RF out โดย V_{tune} นั้นคือสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จากวงจร XR-2206 เพื่อทำให้เกิดย่านความถี่

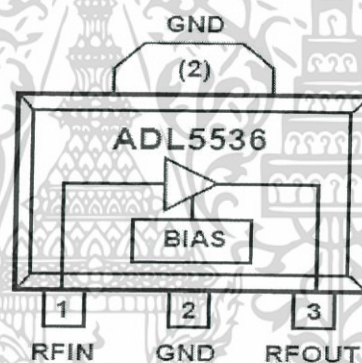
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบวงจร RF Power Amplifier

โดยในส่วนของวงจรขยายในย่านความถี่ 100-1000MHz นี้เราได้เลือกใช้ IC ADL5536 มีอัตราขยายเท่า +20dBm ตามทฤษฎี คุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ และในย่านความถี่ 1700-1900 เลือกใช้ IC Mga-30489 สามารถอธิบายได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของ IC ADL5536

Parameter	Vs = 5V	Unit
Frequency Range	0.1-1	GHz
Gain	20	dBm
Gain Variation Over Temperature	0.03	dB/c
Noise Figure	2.5-2.8	dB
Supply Current (Icq)	105 / 122	mA



รูปที่ 3.8 IC ADL5536

จากรูปแสดงโครงตำแหน่งของ IC ADL5536

IN คือ RF in เป็นขาที่ใช้ต่อกับสัญญาณ RF ที่ส่งเข้า

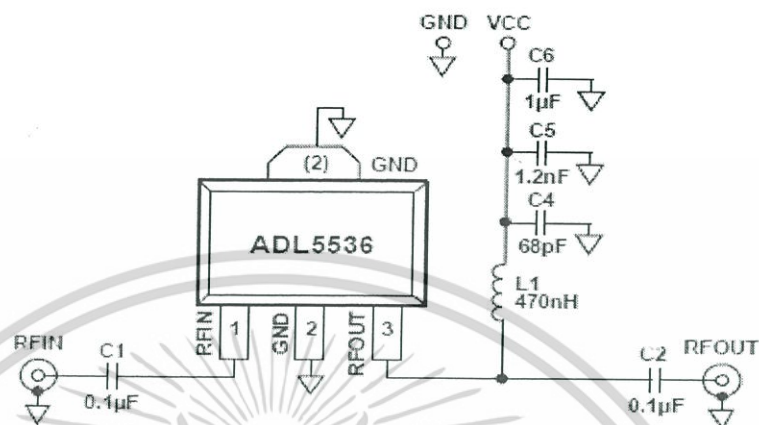
OUT คือ RF out เป็นขาที่ใช้ต่อเพื่อส่งออกสัญญาณที่ขยายแล้ว

Vcc คือ Supply Volte เป็นสัญญาณความต่างศักย์เพื่อเลี้ยงวงจรให้ทำงาน

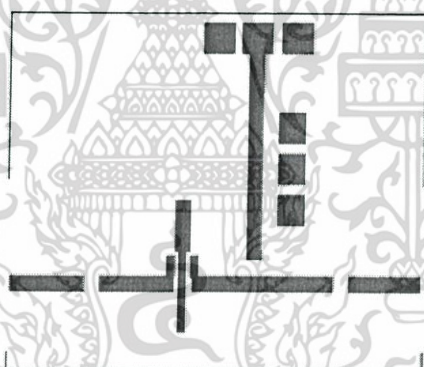
GND คือ ขาที่ใช้ต่อกับกราวนด์

IC ADL5536 มีเกนสูงสุดอยู่ที่ 20dB ทั้งนี้ค่าของอัตราขยายอาจได้ไม่ตรงกับค่าที่กำหนด เนื่องจากผลสภาพของการออกแบบวงจรและค่าของสัญญาณรบกวนและค่า Er ของแผ่น PCB โดยการออกแบบครั้งนี้เราเลือกใช้แผ่น FR-4 ซึ่งมีราคาถูกและหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 วงจรรวมของ ADL5536

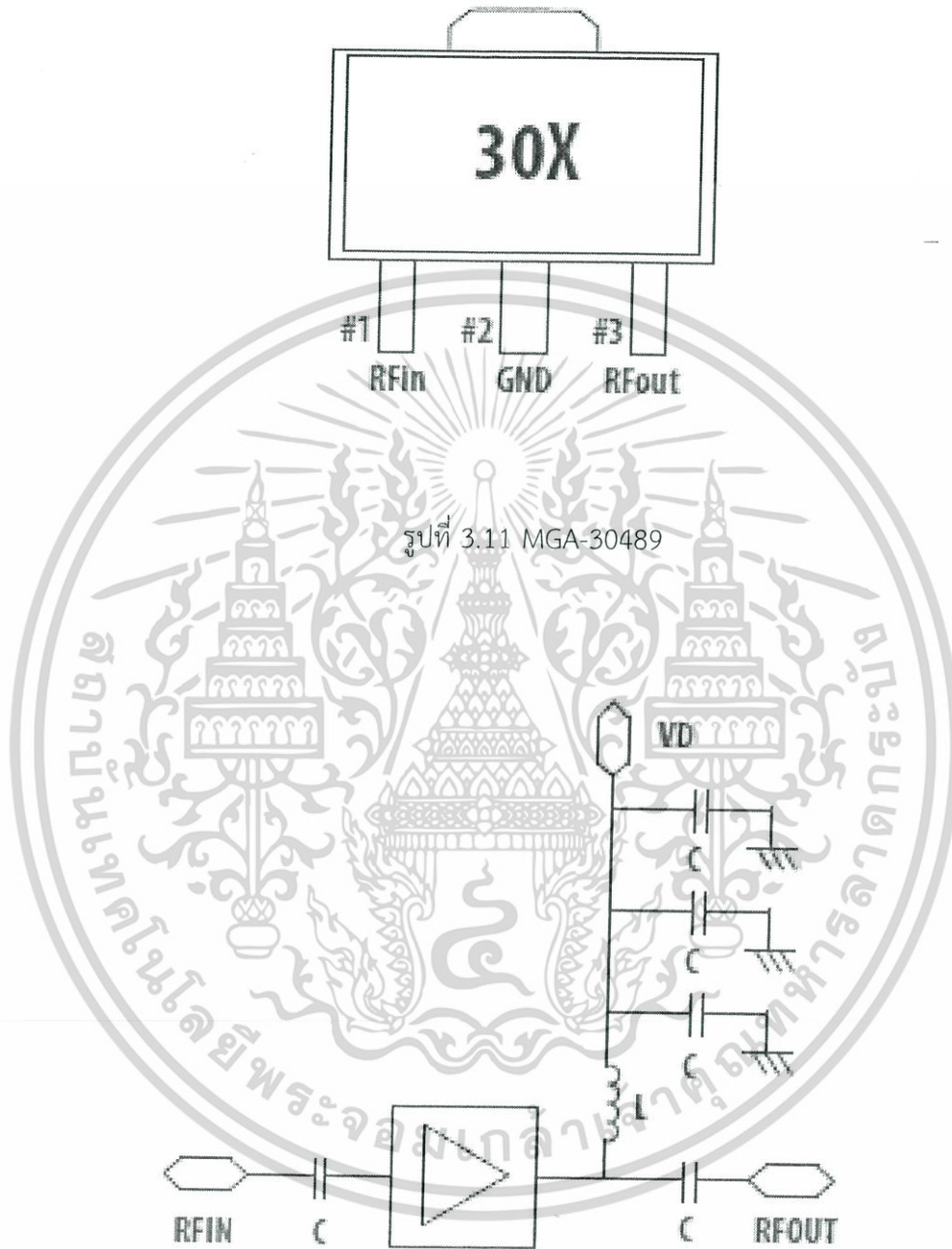


รูปที่ 3.10 Evaluation Board Schematic ของ ADL5536

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของ MGA-30489

Parameter	Vs = 5V	Unit
Frequency Range	0.45-2.5	GHz
Gain	13.3	dBm
Gain Variation Over Temperature	0.03	dB/c
Noise Figure	3	dB
Supply Current (Icq)	97	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุยให้ไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ กรุณาแจ้งผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีปัญหา



รูปที่ 3.12 วงจรรวมของ ADL5536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 สายอากาศ

เลือกใช้สายอากาศชนิดที่มีเป็นแบบช่วงความถี่ เพื่อสะดวกในการใช้งานและครอบคลุมย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน คือย่าน 800-900 MHz และ 1800-1900 MHz โดยสายอากาศที่ใช้คือ 2 dBi Indoor Omni Antenna SMA(Male) Type และ 2 dBi 1800MHz Indoor OmniAntenna SMA(Male) Type เป็นสายอากาศที่เรานำมาใช้งานในระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือในย่านความถี่ 800-900 MHz และ 1800-1900 MHz

คุณสมบัติของสายอากาศ 2 dBi 900MHz Indoor OmniAntenna SMA(Male) Type

- ชนิดของสายอากาศ 800-900MHz และ, ใช้ภายในอาคาร
- อัตราขยาย 2 dBi
- ค่า V.S.W.R น้อยกว่า 2
- องศาการแพร่คลื่นแนวนอน (Width-H Plane) : 360 องศา
- องศาการแพร่คลื่นแนวตั้ง (Width-E Plane) : 70 องศา
- Polarization : Vertical (Linear)
- ค่าความต้านทานอินพุต : 50 โอห์ม
- Connector : SMA Male
- ช่วงอุณหภูมิใช้งาน : -20°C ถึง $+70^{\circ}\text{C}$
- ช่วงอุณหภูมิสะสม : -30°C ถึง $+85^{\circ}\text{C}$
- Humidity : 95% maximum (non-condensing)

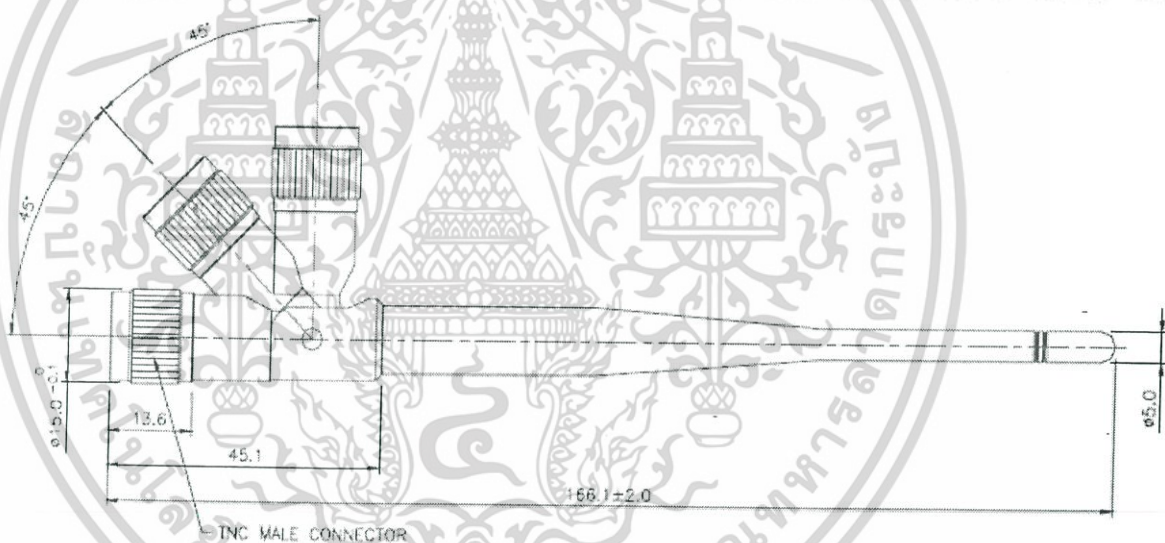


รูปที่ 3.13 แสดงโครงสร้างของสายอากาศ 2 dBi 900MHz Indoor OmniAntenna SMA(Male) Type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของสายอากาศ 2 dBi 1800MHz Indoor OmniAntenna SMA(Male) Type

- ชนิดของสายอากาศ 800-900MHzและ, ใช้ภายในอาคาร
- อัตราขยาย 2 dBi
- ค่า V.S.W.R น้อยกว่า 2
- องศาการแพร่คลื่นแนวนอน (Width-H Plane) : 360 องศา
- องศาการแพร่คลื่นแนวตั้ง (Width-E Plane) : 70 องศา
- Polarization : Vertical (Linear)
- ค่าความต้านทานอินพุต : 50 โอห์ม
- Connector : SMA Male
- ช่วงอุณหภูมิใช้งาน : -20°C ถึง $+70^{\circ}\text{C}$
- ช่วงอุณหภูมิสะสม : -30°C ถึง $+85^{\circ}\text{C}$
- Humidity : 95% maximum (non-condensing)



รูปที่ 3.14 แสดงโครงสร้างของสายอากาศ 2 dBi 1800MHz Indoor OmniAntenna SMA(Male) Type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

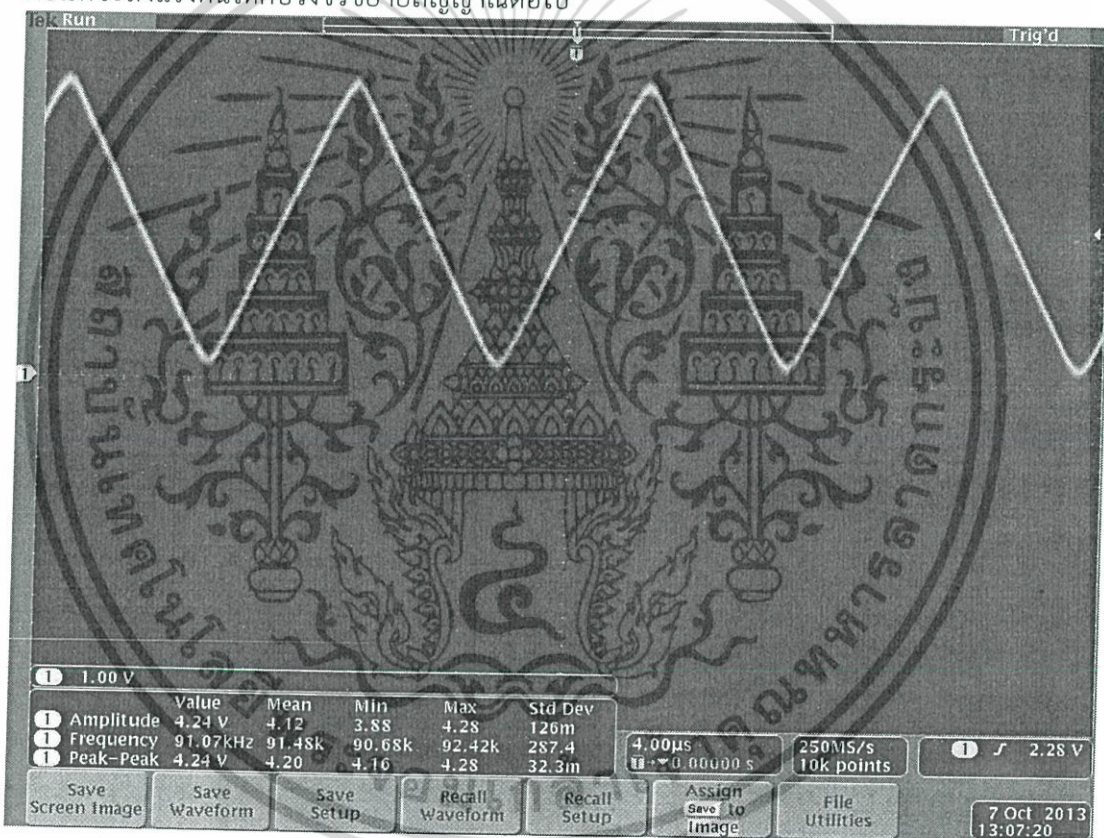
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการทดลองจะเป็นที่น่าเอาใจจรรยาที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นในแต่ละส่วนตั้งแต่ วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม, VCO, วงจรขยาย และ สายอากาศแบบ Microstrip โดยการ วัดผลการทดลองในส่วนของสัญญาณสามเหลี่ยมจะเชื่อมวงจรเข้ากับ OSCILLOSCOPE เพื่อ ดูสัญญาณในแกนของเวลา และใช้ SPECTRUM ANALYZER เพื่อวัดสัญญาณVCO ในแกนความถี่

4.1 ผลการทดสอบวงจรสัญญาณสามเหลี่ยม(triangle)

วงจรกำเนิดสัญญาณซึ่งหน้าที่กำเนิดหรือสัญญาณสามเหลี่ยมให้กับวงจรควบคุมแรงดัน ก่อนที่จะส่งแรงดันให้กับวงจรขยายสัญญาณต่อไป



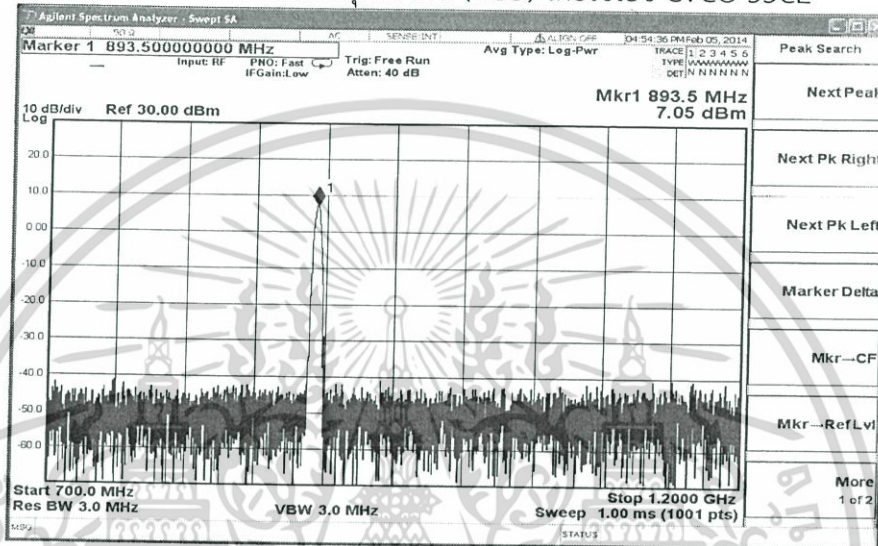
รูปที่ 4.1 เอาท์พุทที่ผ่านวงจรระดับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

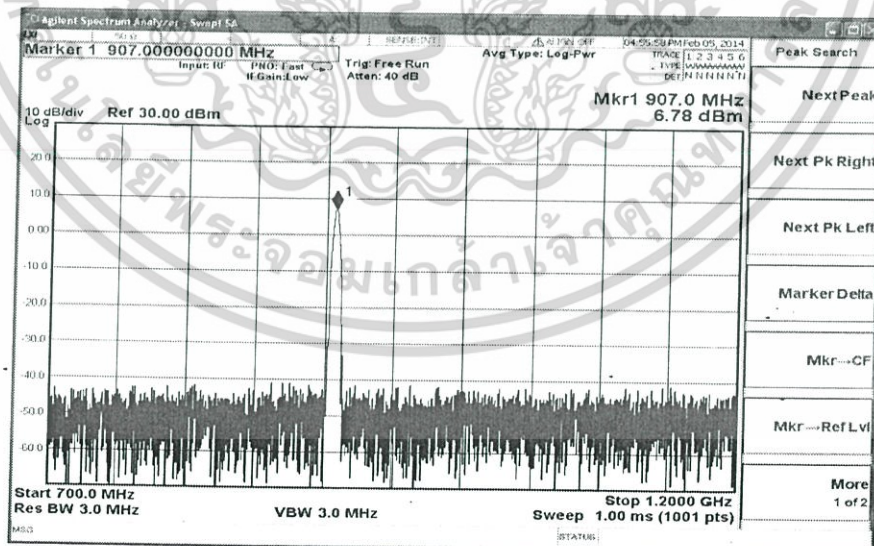
4.2 ผลการทดสอบวงจรควบคุมแรงดัน (VCO)

ผลการทดลองนี้เป็นการวัด output ของ VCO โดยการป้อน Vtune ที่ต่างระดับกันเพื่อวัดผลตอบสนองของ VCO โดย Vtune ที่ใช้จะเป็นไฟ DC ตั้งแต่ 0-5 V

4.2.1 ผลการทดสอบวงจรควบคุมแรงดัน (VCO) โดยใช้ไอซี CVCO-55CL

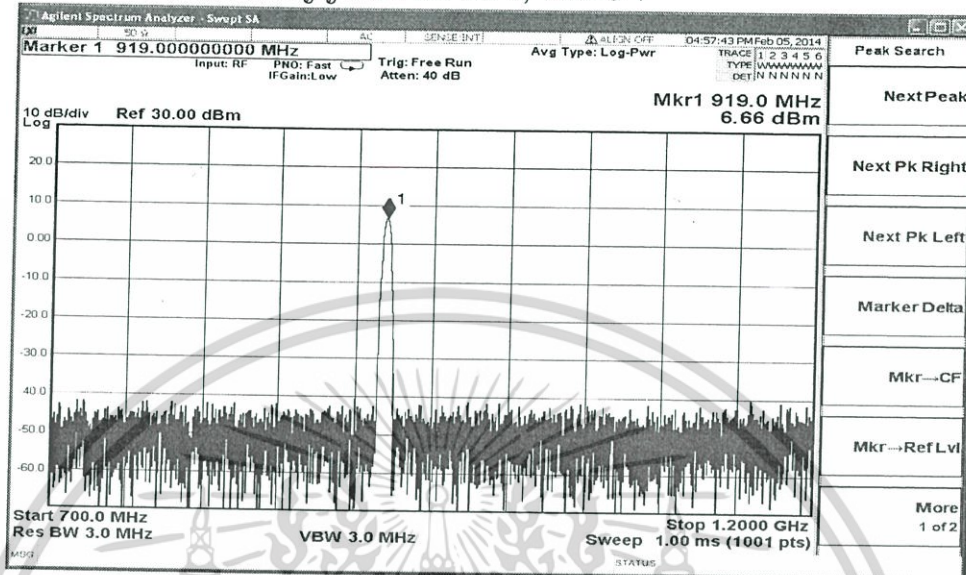


รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALYZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55CL เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC = 0 V, VCC=5 V

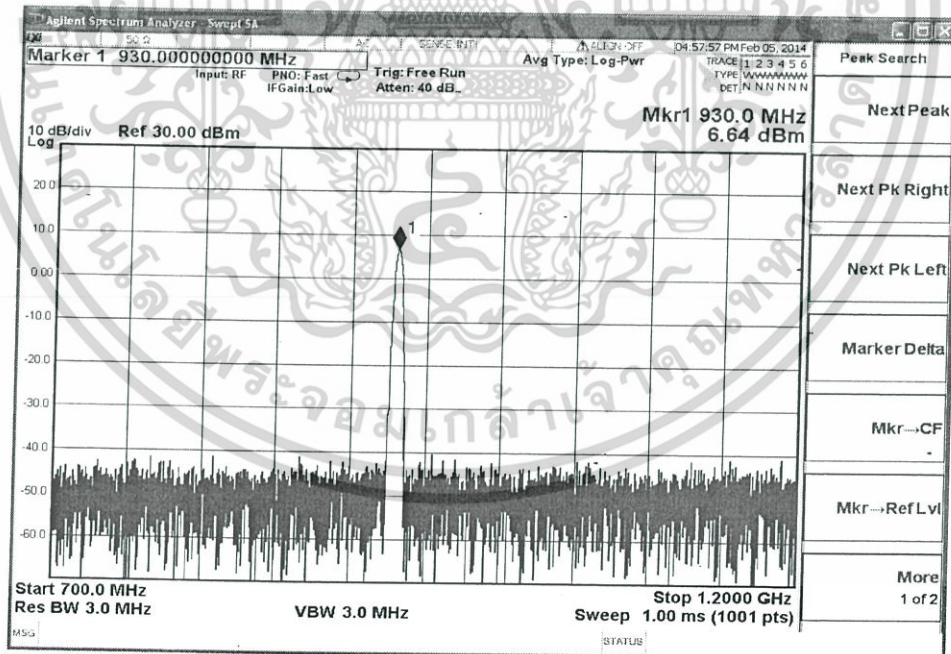


รูปที่ 4.3 สัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALYZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55CL เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC = 5 V, VCC=5 V

CVCO-55CL เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 0.5 V, VCC=5 V

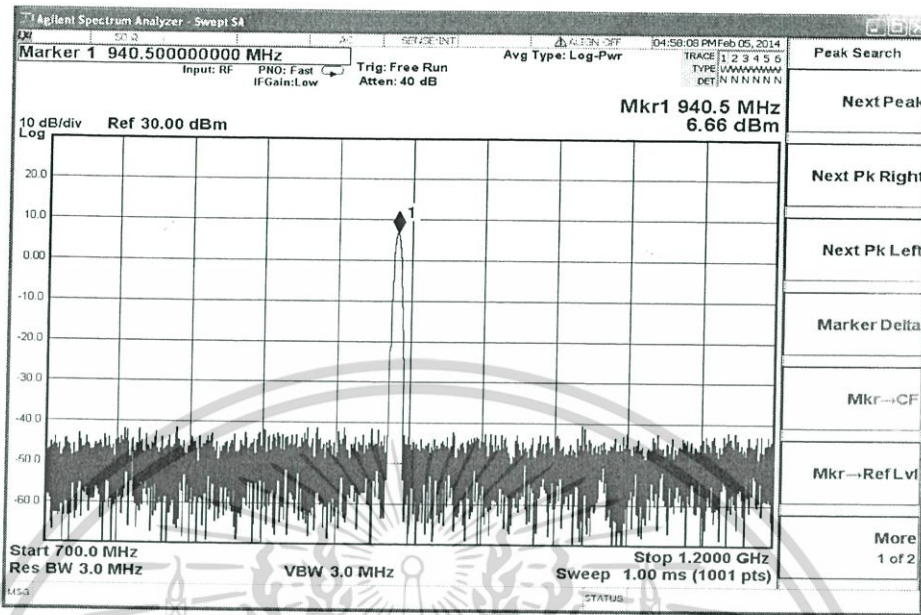


รูปที่ 4.4 สัญญาณเอาต์พุต วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55CL เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 1 V, VCC=5 V

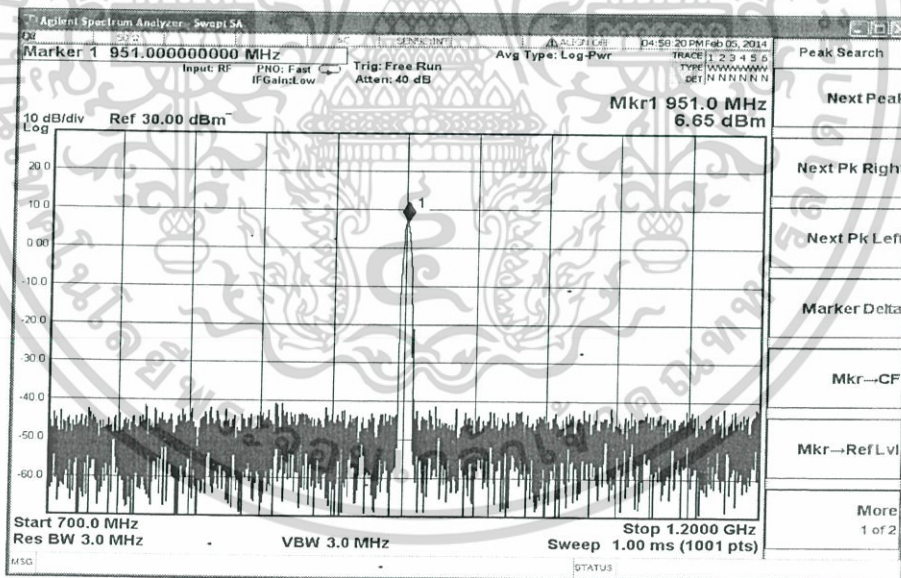


รูปที่ 4.5 สัญญาณเอาต์พุต วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55CL เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 1.5 V, VCC=5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับครู ใช้งานเพื่อการศึกษาด้านอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้นเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

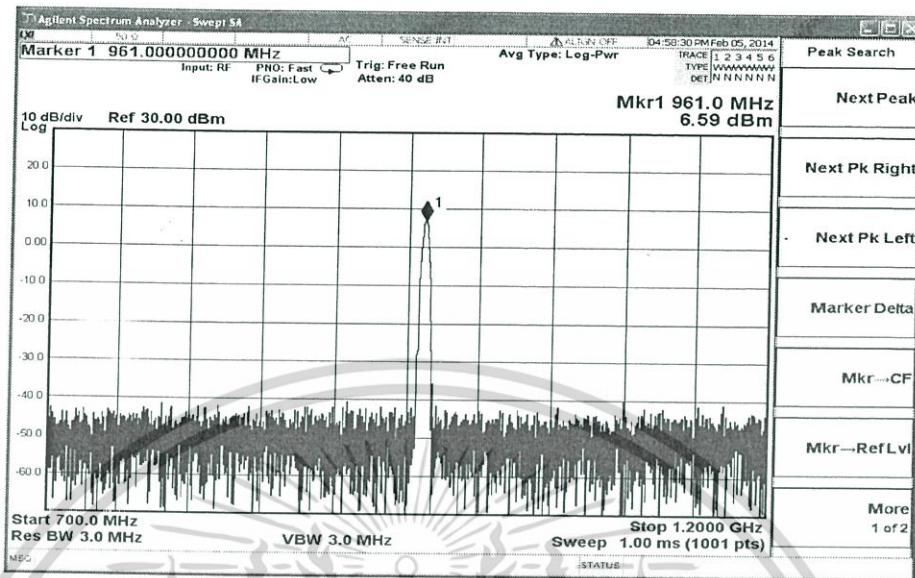


รูปที่ 4.6 สัญญาณเอาท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALYZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55CL เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 2 V, VCC=5 V

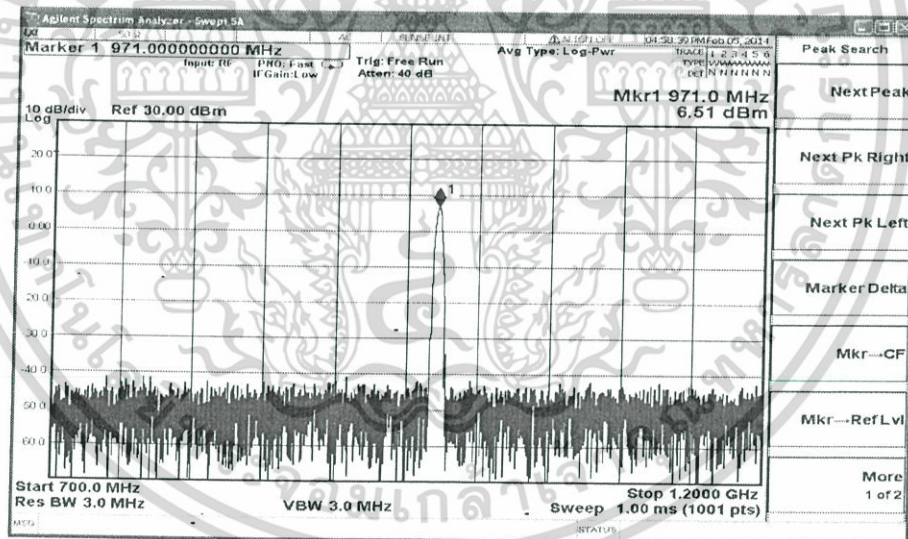


รูปที่ 4.7 สัญญาณเอาท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALYZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55CL เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 2.5 V, VCC=5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

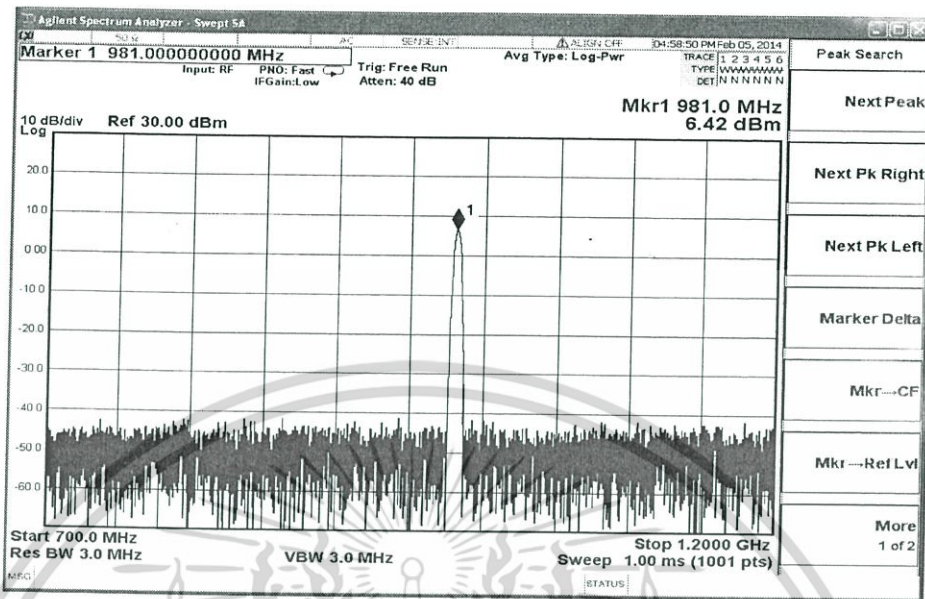


รูปที่ 4.8 สัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55CL เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 3 V, VCC=5 V

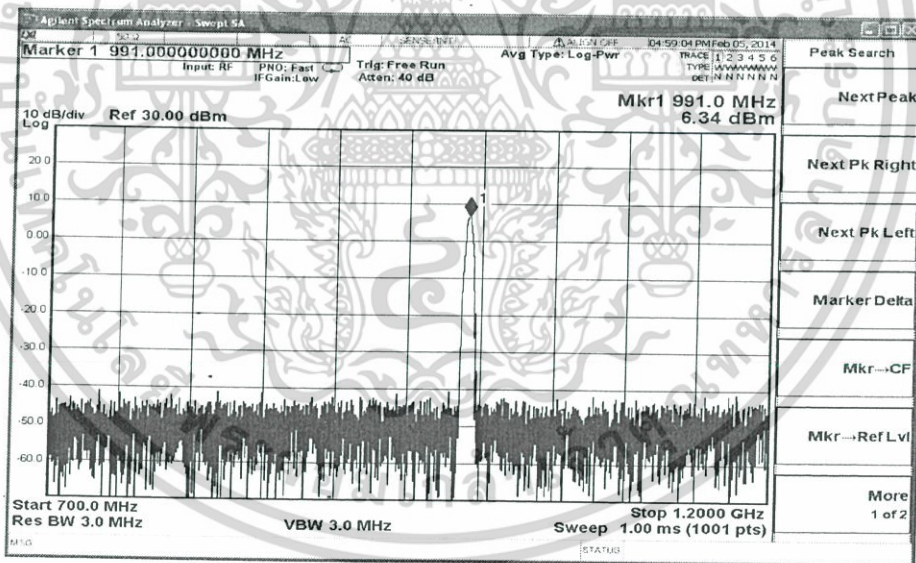


รูปที่ 4.9 สัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55CL เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 3.5 V, VCC=5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

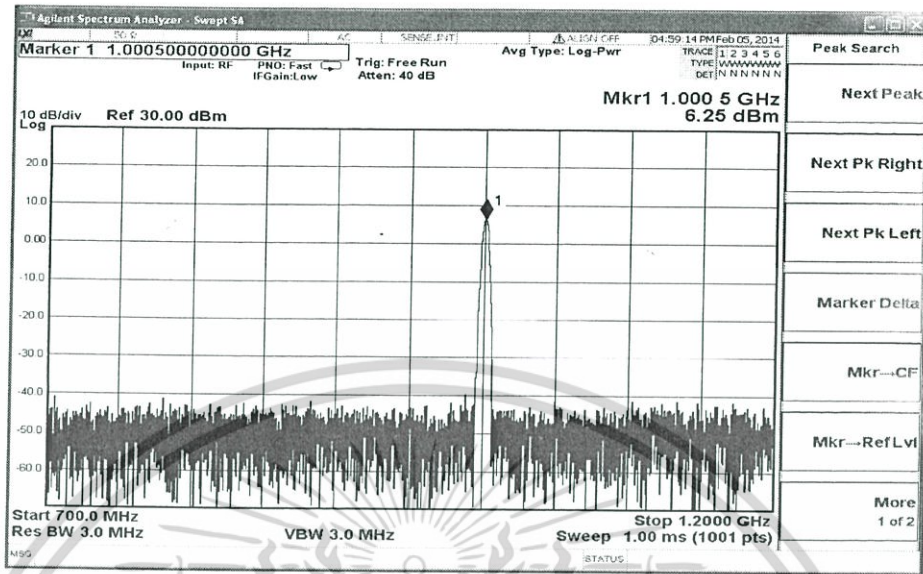


รูปที่ 4.10 สัญญาณเอาร์ทพุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55CL เมื่อ V_{tune} คือสัญญาณไฟ DC 4 V, $V_{CC}=5$ V



รูปที่ 4.11 สัญญาณเอาร์ทพุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55CL เมื่อ V_{tune} คือสัญญาณไฟ DC 4.5 V, $V_{CC}=5$ V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

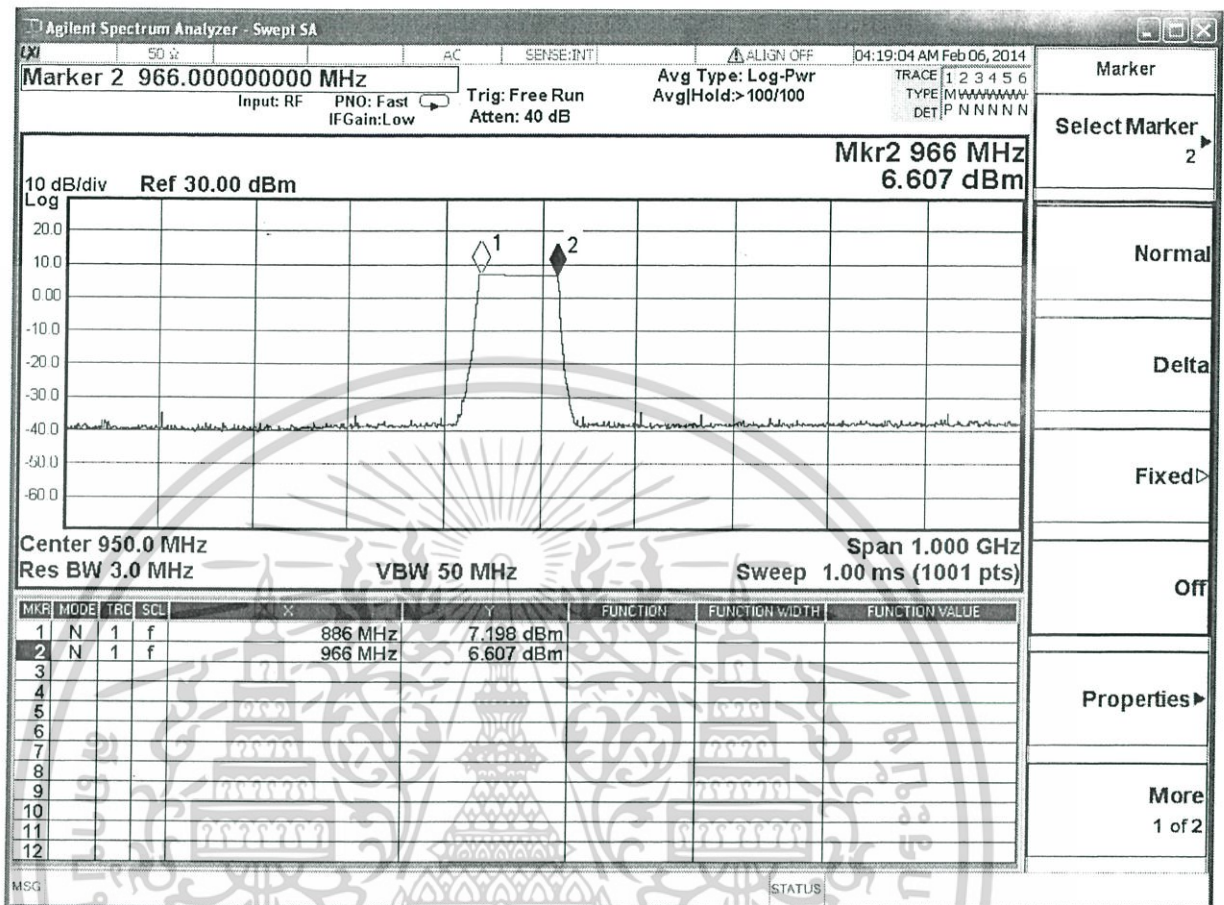


รูปที่ 4.12 สัญญาณเอาท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALYZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55CL เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 5 V, VCC=5 V

ตารางที่ 4.1 แสดง sensitivity ของ CVCO-55CL เมื่อ Vcc = 5V

Vtune (V)	Frequency(MHz)	Amplitude (dBm)
0	893.5	7.05
0.5	907	6.78
1	919	6.66
1.5	930	6.64
2	940.5	6.66
2.5	951	6.65
3	961	6.59
3.5	971	6.51
4	981	6.42
4.5	991	6.34
5	1.005	6.25

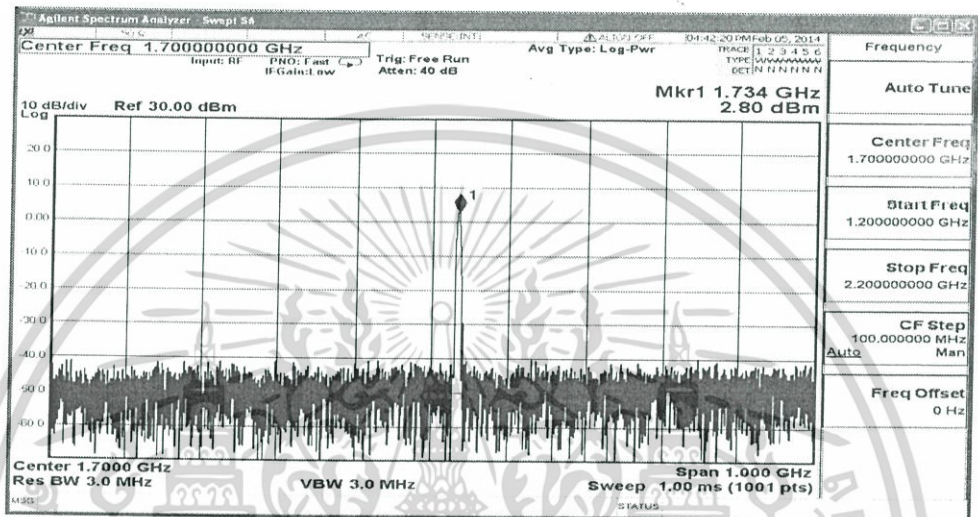
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



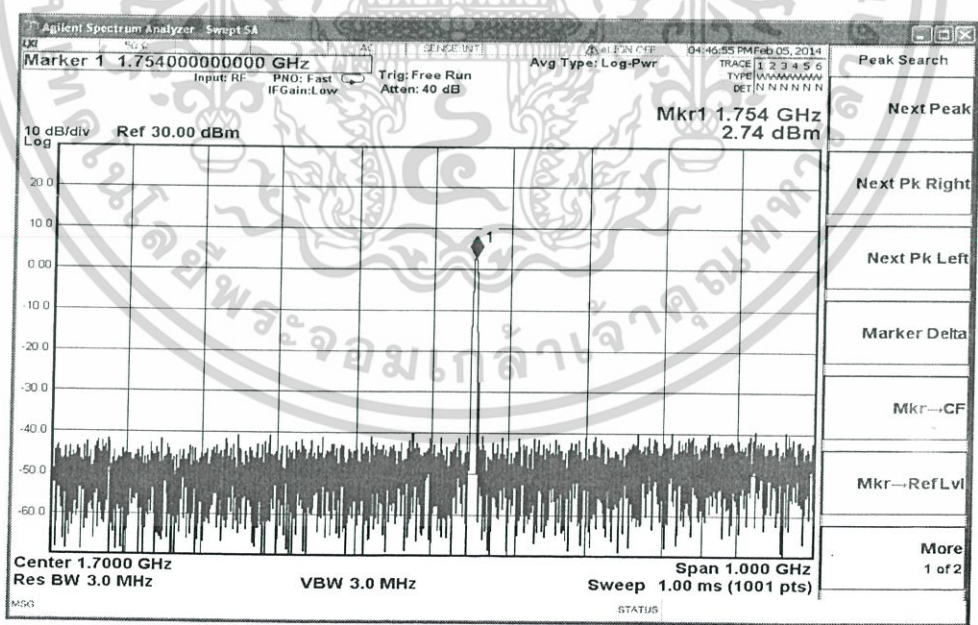
รูปที่ 4.13 สัญญาณเอาต์พุต วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55CL เมื่อ Vtune คือสัญญาณสามเหลี่ยม 4 Vpp, VCC=5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดสอบวงจรควบคุมแรงดัน (VCO) โดยใช้ไอซี CVCO-55BE
 ผลการทดลองนี้เป็นการวัด output ของ VCO โดยการป้อน Vtune ที่ต่างระดับกันเพื่อ
 วัดผลตอบสนองของ VCO โดย Vtune ที่ใช้จะเป็นไฟ DC ตั้งแต่ 0-5 V

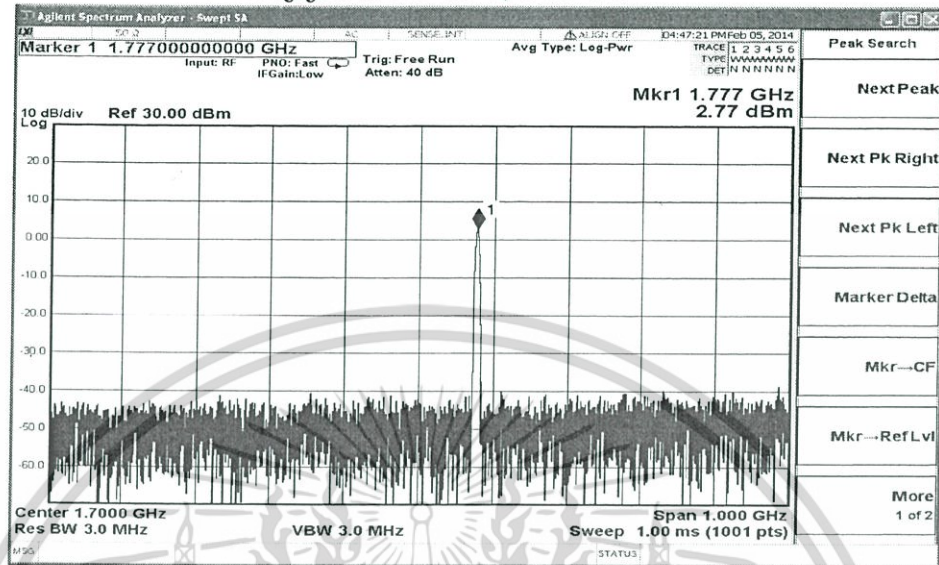


รูปที่ 4.14 สัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 0 V, VCC=5 V

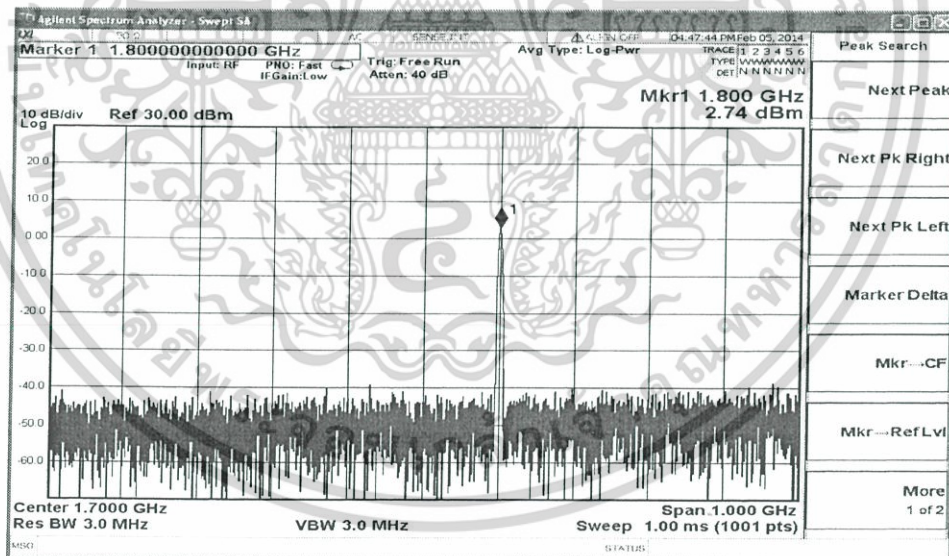


เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.15 สัญญาณเอ๊าท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก การการค่า
 ไม่ว่าจะผิดใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 0.5 V, VCC=5 V

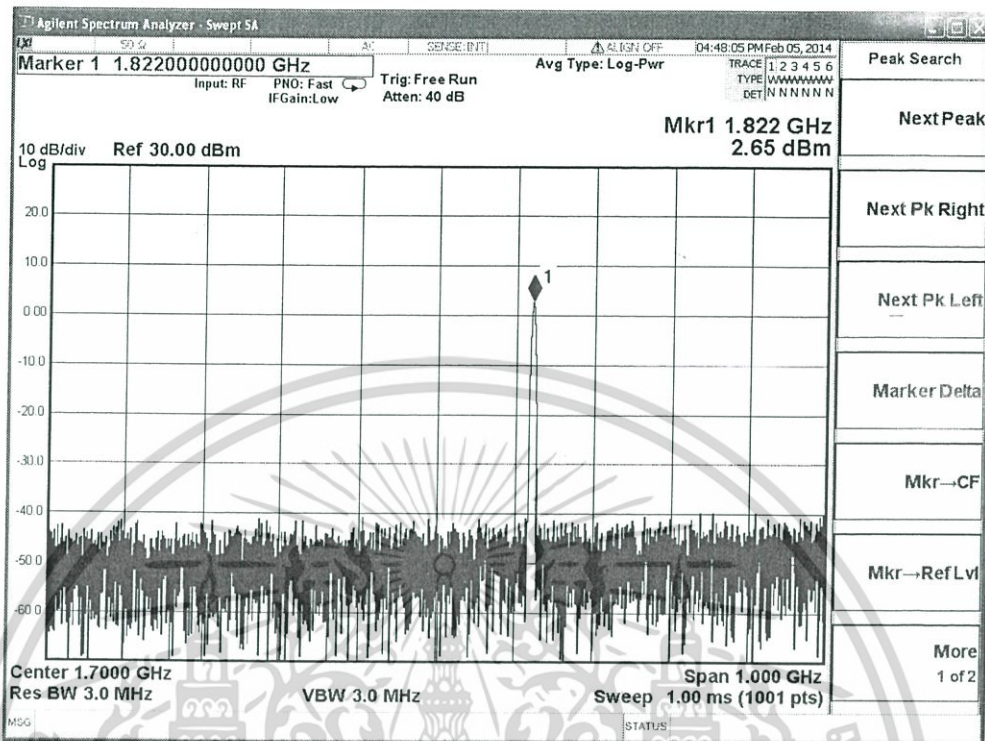


รูปที่ 4.16 สัญญาณเอาต์พุต วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 1 V, VCC=5 V

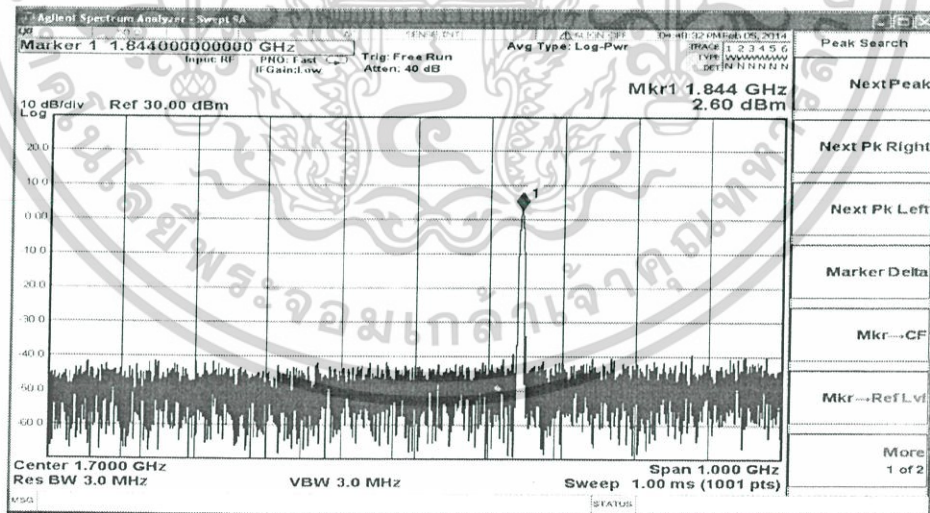


รูปที่ 4.17 สัญญาณเอาต์พุต วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 1.5 V, VCC=5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

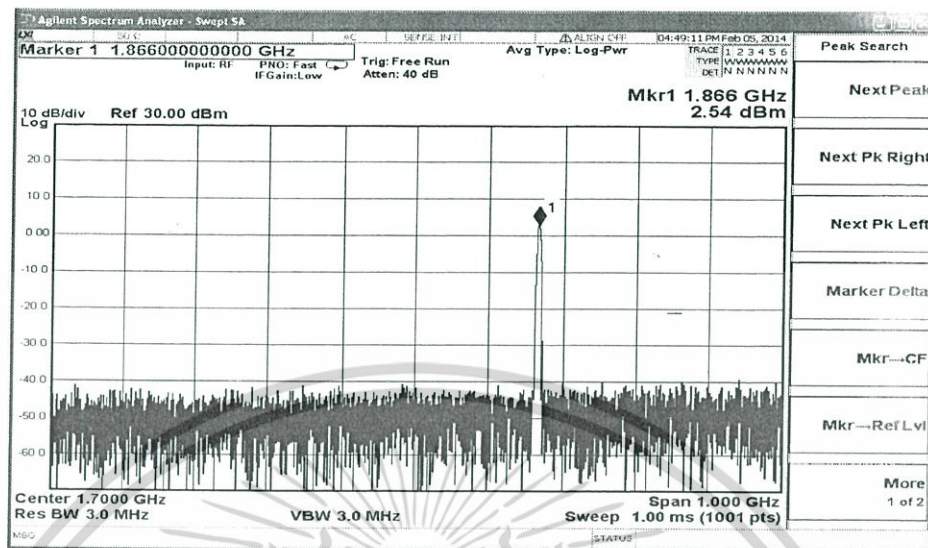


รูปที่ 4.18 สัญญาณเอาร์ทพุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 2 V, VCC=5 V

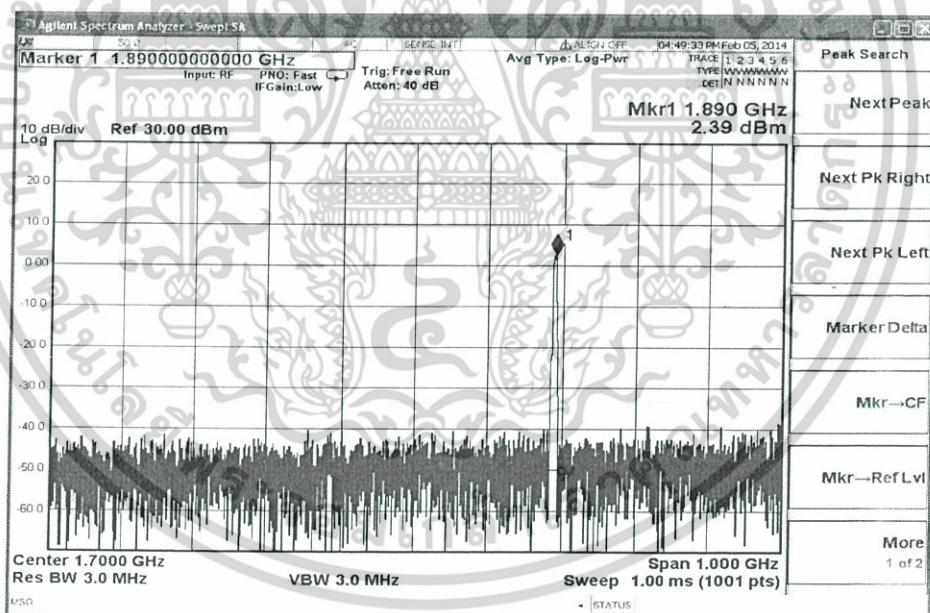


รูปที่ 4.19 สัญญาณเอาร์ทพุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 2.5 V, VCC=5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท อีเอส อีที จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

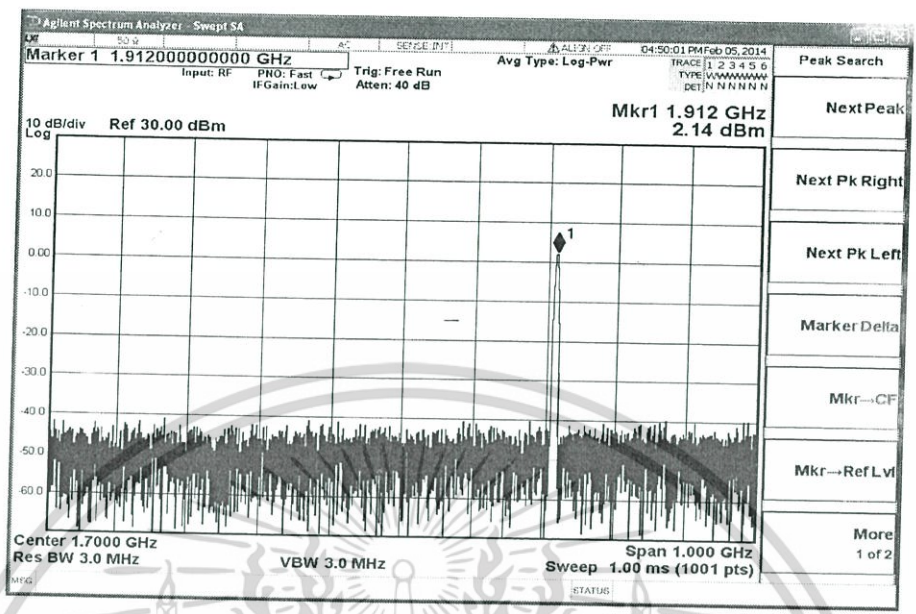


รูปที่ 4.20 สัญญาณเอาร์ทพุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 3 V, VCC=5 V

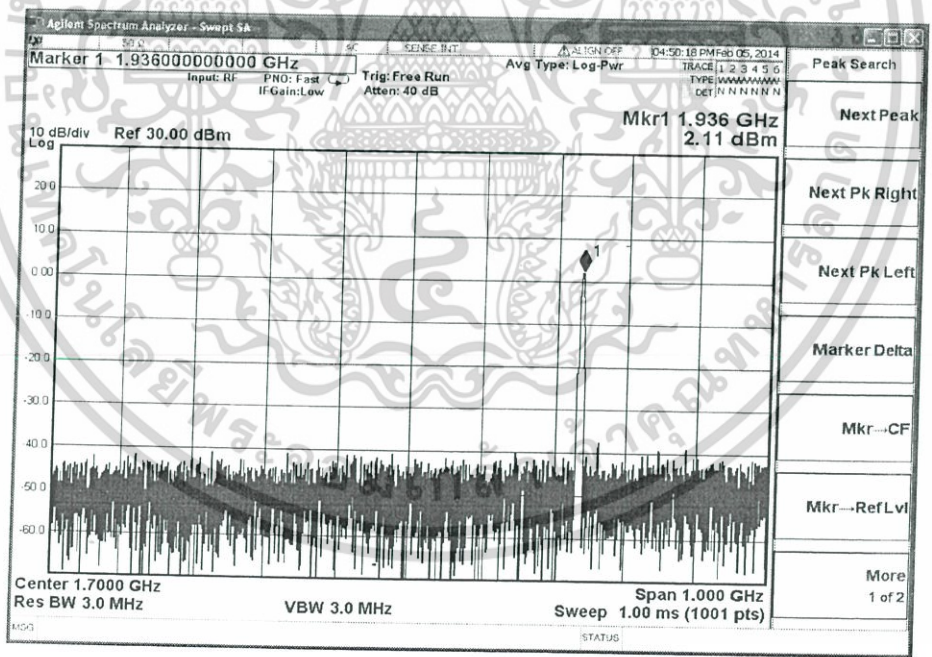


รูปที่ 4.21 สัญญาณเอาร์ทพุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 3.5 V, VCC=5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

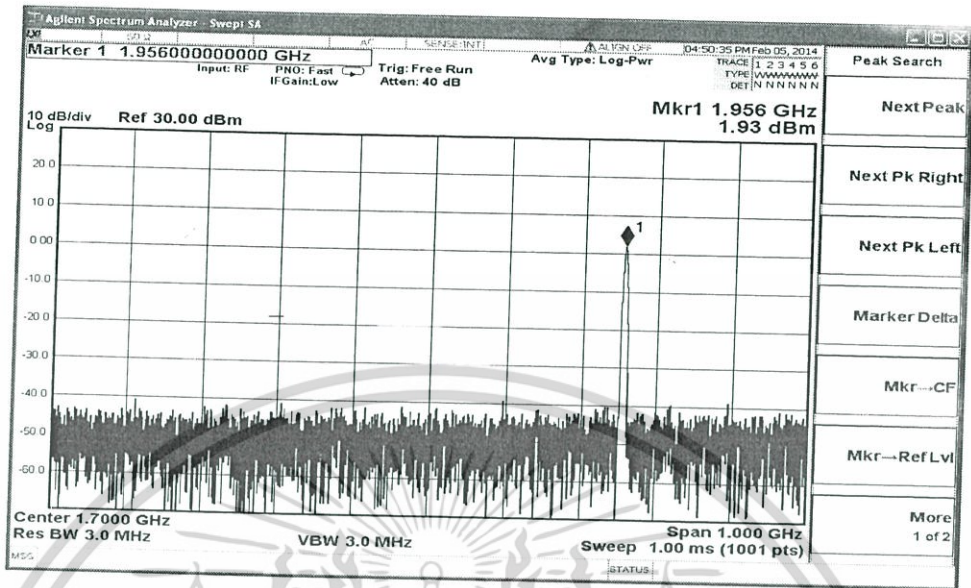


รูปที่ 4.22 สัญญาณเอาร์ทพุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 4 V, VCC=5 V



รูปที่ 4.23 สัญญาณเอาร์ทพุท วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 4.5 V, VCC=5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

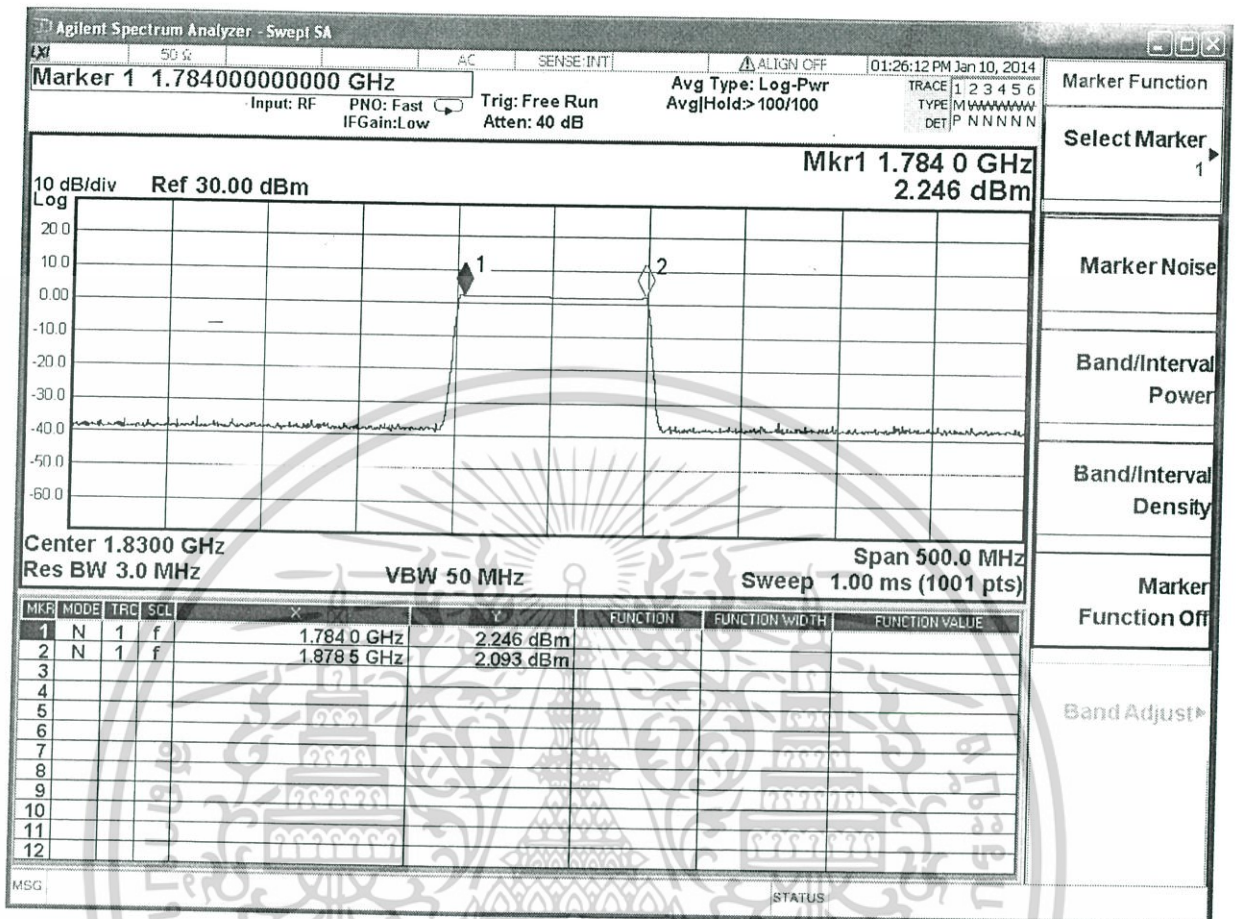


รูปที่ 4.24 สัญญาณเอาท์พุท วัดจาก SPECTRUM ANALYZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณไฟ DC 5 V, VCC=5 V

ตารางที่ 4.2 แสดง sensitivity ของ CVCO-55BE เมื่อ Vcc = 5V

Vtune (V)	Frequency(GHz)	Amplitude (dBm)
0	1.734	-2.80
0.5	1.754	2.74
1	1.777	2.77
1.5	1.800	2.74
2	1.822	2.65
2.5	1.844	2.60
3	1.866	2.54
3.5	1.890	2.39
4	1.912	2.14
4.5	1.936	2.11
5	1.956	1.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

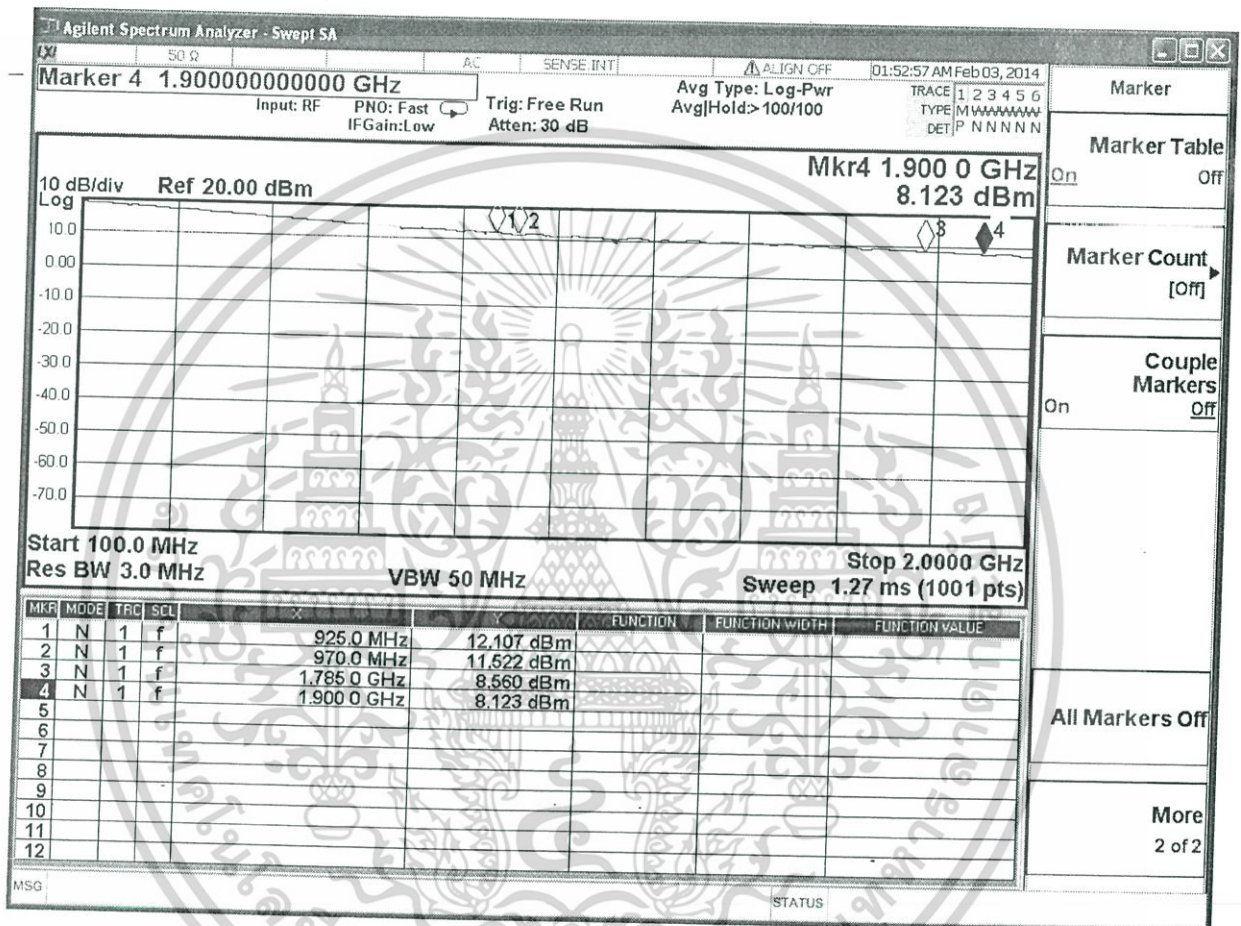


รูปที่ 4.25 สัญญาณเอาต์พุต วัดจาก SPECTRUM ANALZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก CVCO-55BE เมื่อ Vtune คือสัญญาณสามเหลี่ยม 4 Vpp, VCC=5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการวัดวงจรถายสัญญาณ

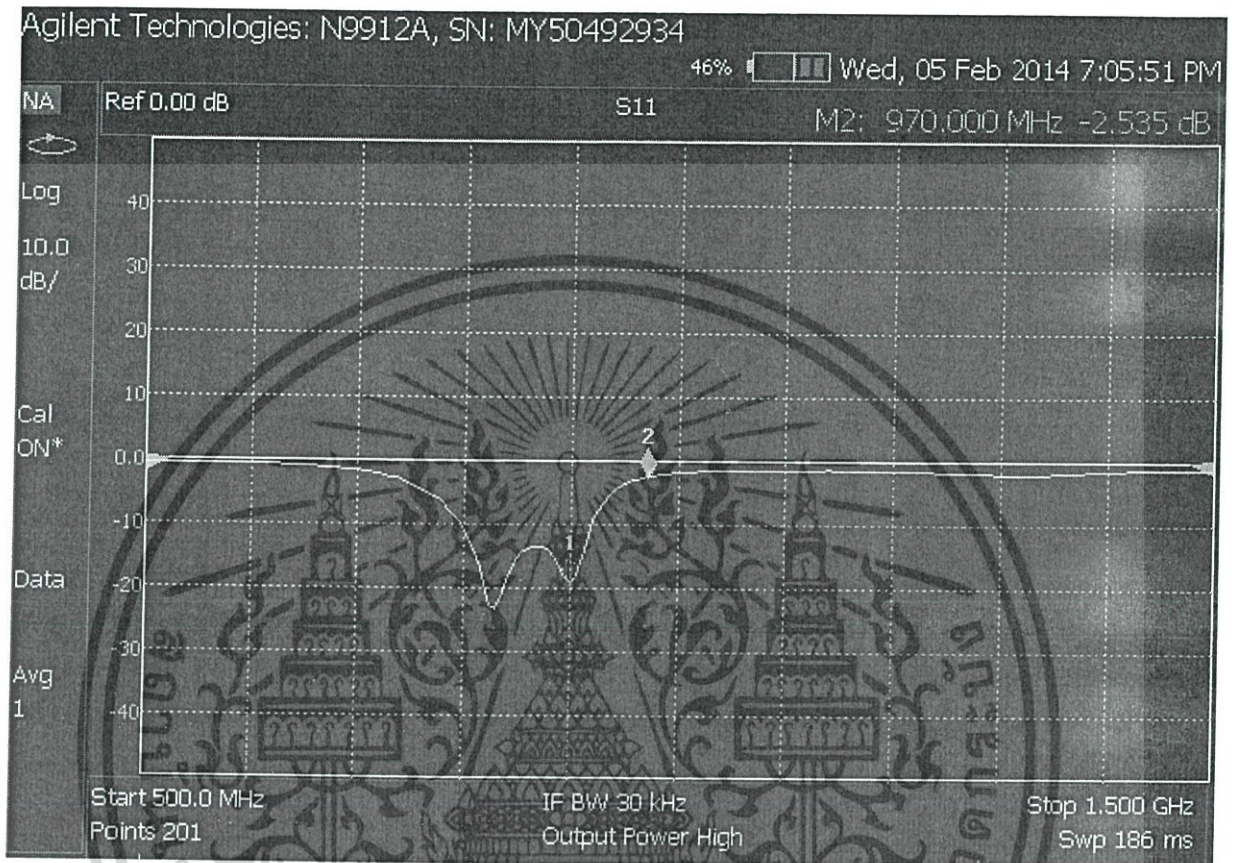
ผลการวัดอัตราการขยายของวงจรถายสัญญาณที่ย่านความถี่ 930-960MHz และ1750-1900MHz โดยเครื่อง Signal Analyzer ซึ่งเป็นการวัดเอาต์พุตที่ออกจากวงจรถายสัญญาณที่จะส่งออกไปรับกวนสัญญาณ โดยได้ออกแบบในย่านความถี่ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 4.26 การขยายสัญญาณที่ได้จากโดยใช้ IC ADL5536 โดยที่ input มี amplitude = 0 dBm

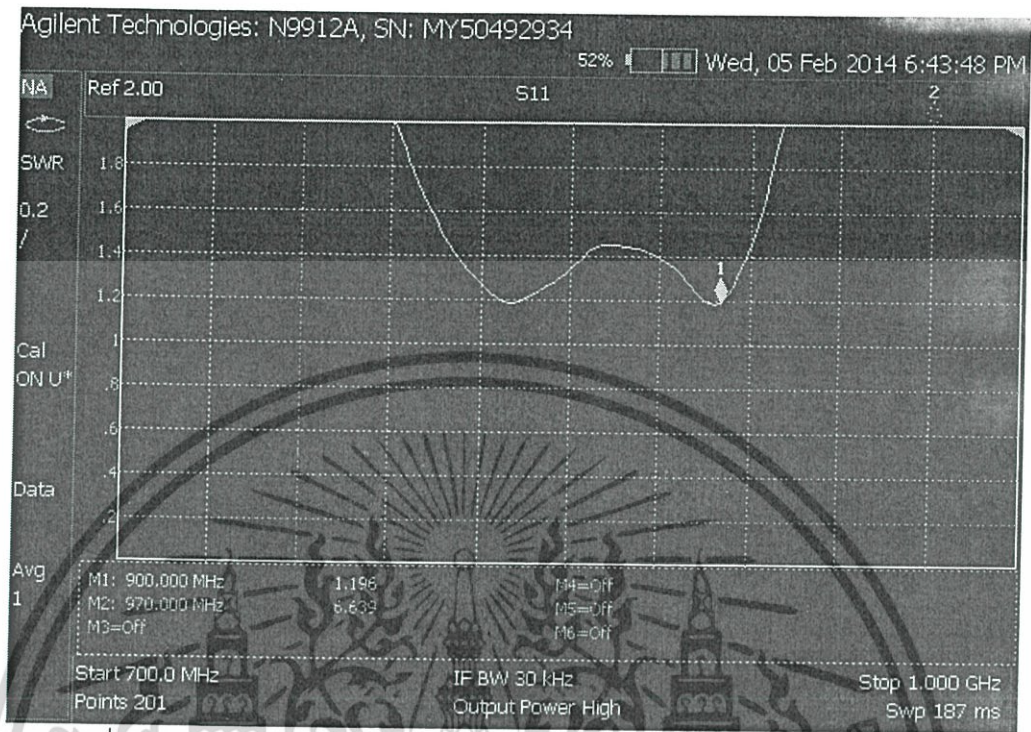
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการวัดสายอากาศ



รูปที่ 4.28 ผลการวัด S11 ของสายอากาศในย่านความถี่ 2 dBi 900 MHz Indoor OmniAntenna SMA(Male) Type ที่ความถี่ 900-970 MHz

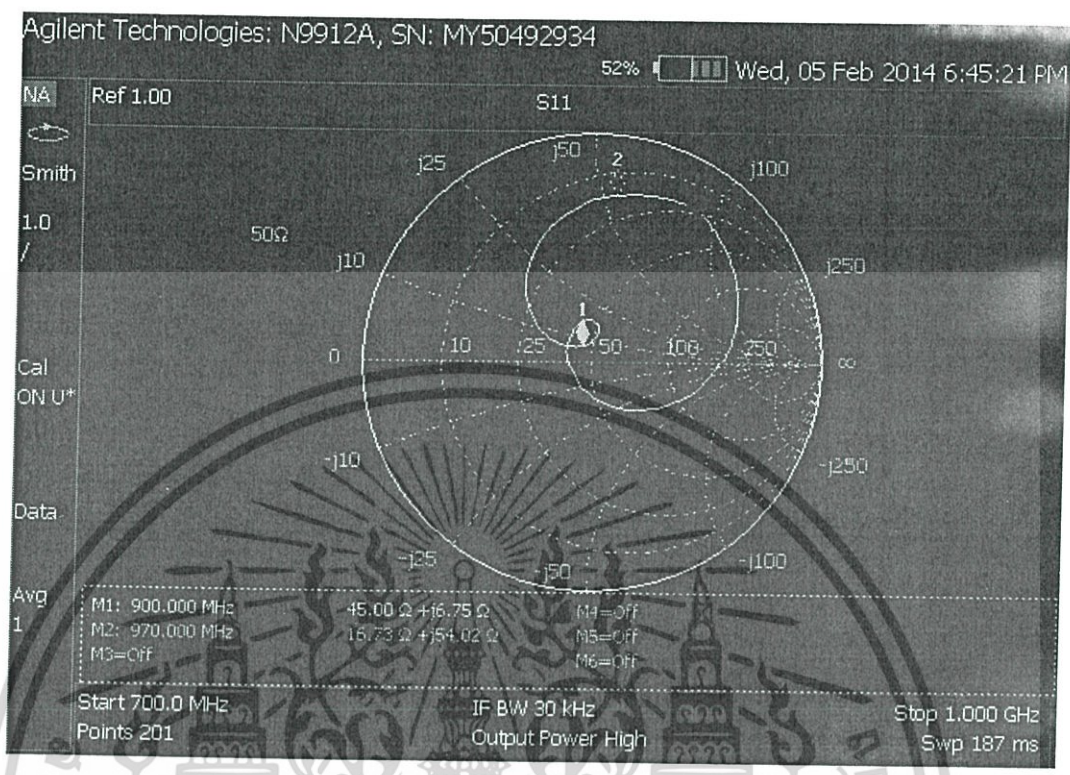
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ผลการวัด VSWRของสายอากาศ 2 dBi 900MHz Indoor OmniAntenna SMA(Male) Type ที่ความถี่ 900- 970

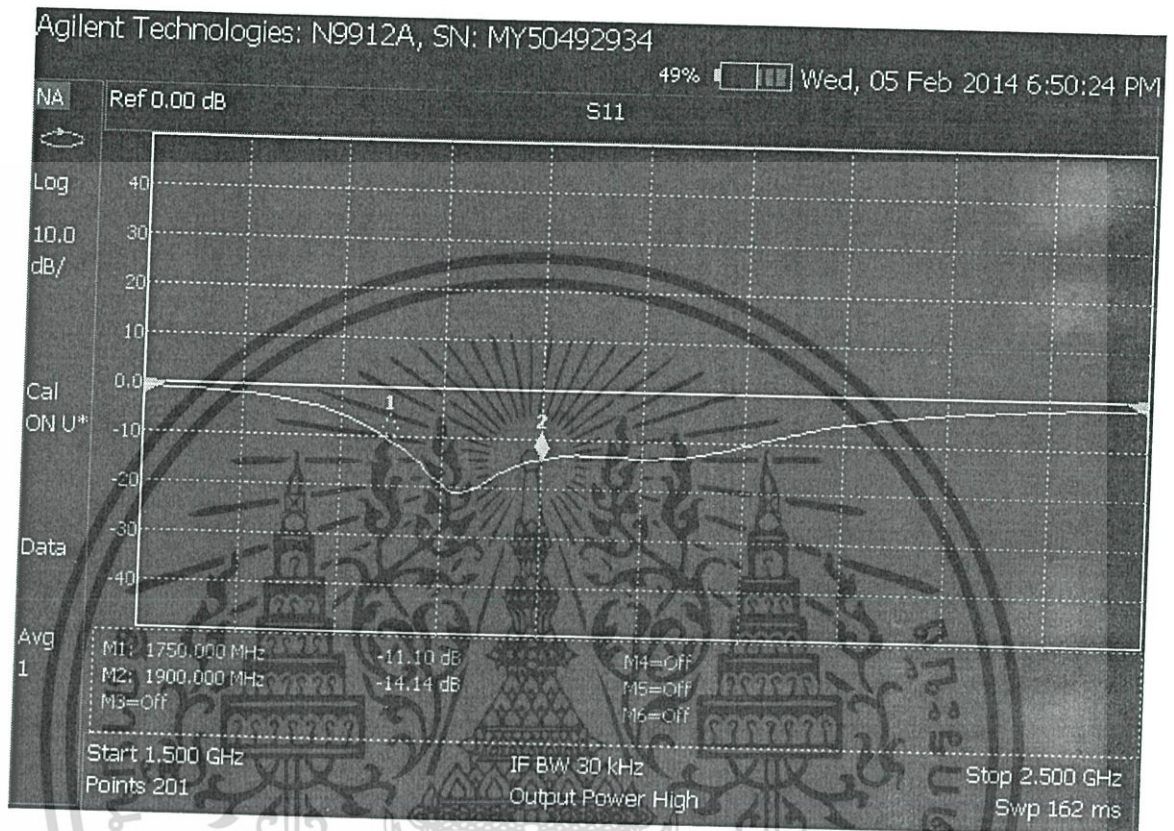


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



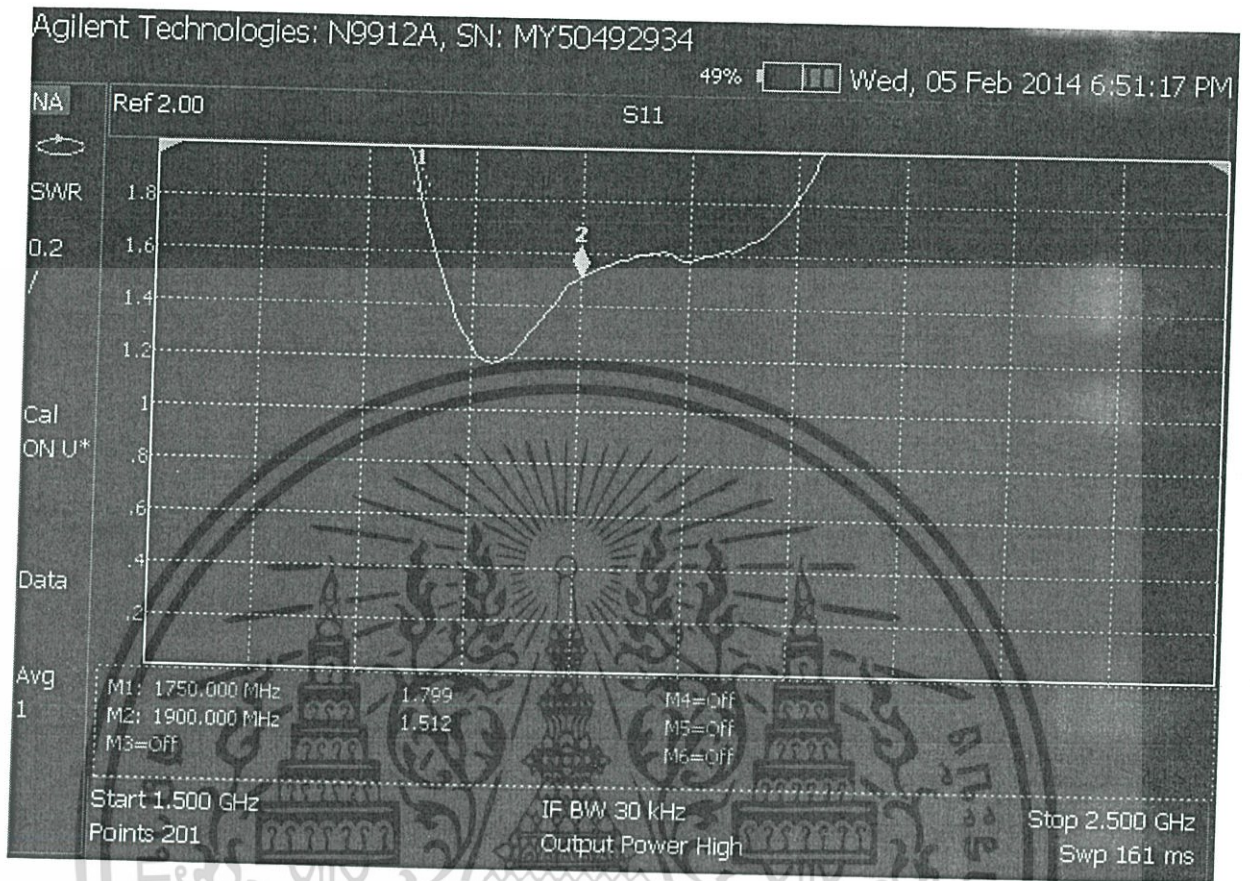
รูปที่ 4.30 ผลการวัด impedance ของสายอากาศ 2 dBi 900MHz Indoor OmniAntenna SMA(Male) Type ที่ความถี่ 900- 970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



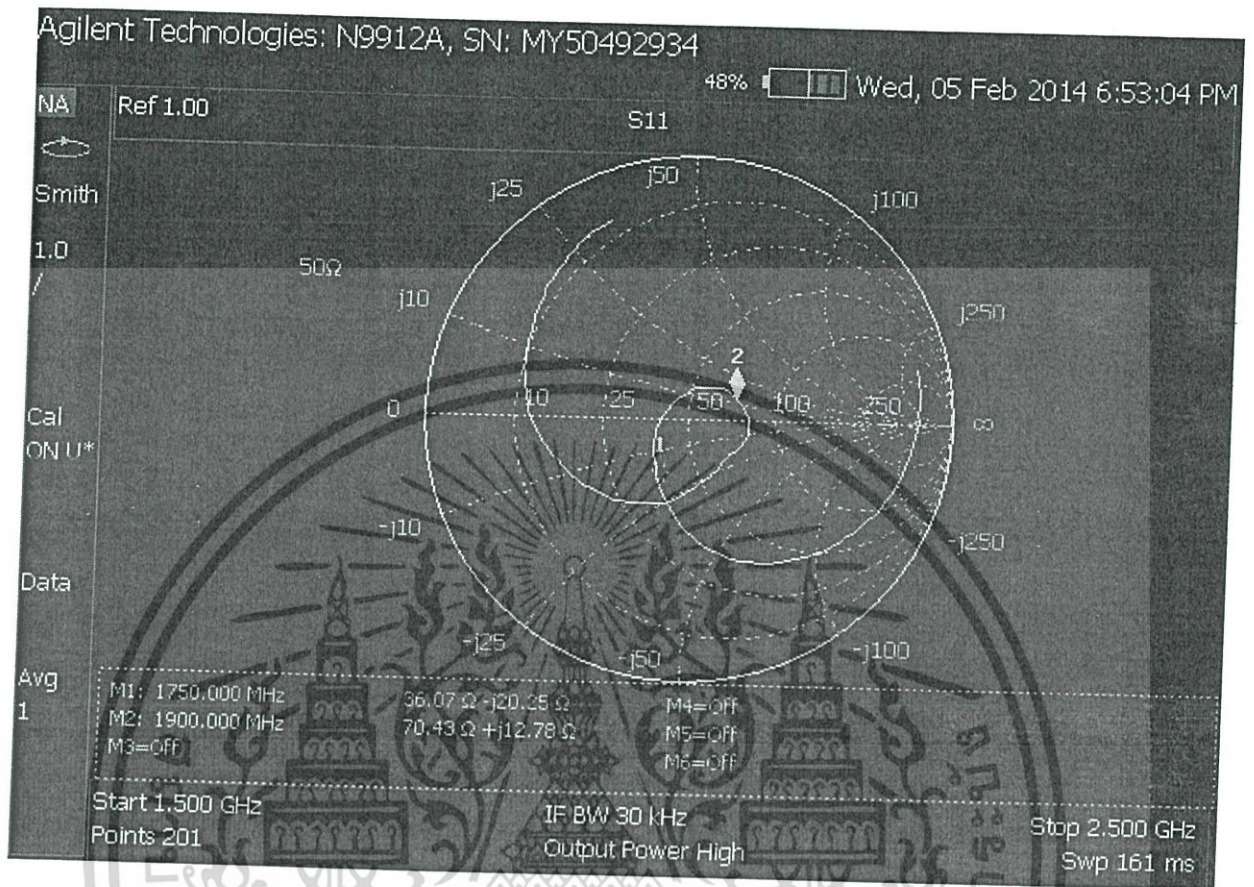
รูปที่ 4.31 ผลการวัด S11 ของสายอากาศในย่านความถี่ 2 dBi 1800 MHz Indoor OmniAntenna SMA(Male) Type ที่ความถี่ 1750-1900 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ผลการวัด VSWRของสายอากาศ 2 dBi 1800MHz Indoor OmniAntenna SMA(Male) Type ที่ความถี่ 1750- 1900 MHz

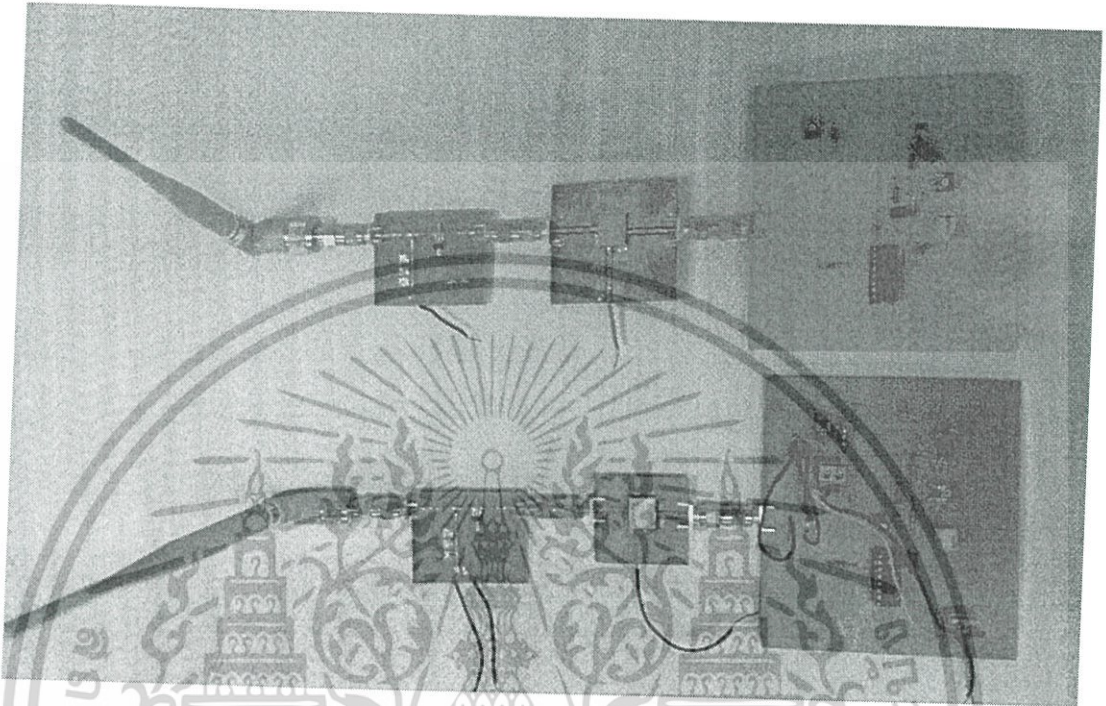
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 ผลการวัด impedance ของสายอากาศ 2 dBi 1800MHz Indoor OmniAntenna SMA(Male) Type ที่ความถี่ 1750- 1900 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 อุปกรณ์รวมที่ได้จากการออกแบบ



รูปที่ 4.34 อุปกรณ์รับคลื่นสัญญาณโทรศัพท์ย่านความถี่ 900-1000MHz และ 1750-1900MHz

4.6 ผลการทดสอบระบบรับคลื่นสัญญาณโทรศัพท์มือถือทั้งระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.35 ผลการทดสอบระบบรับคลื่นสัญญาณโทรศัพท์มือถือทั้งระบบ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

อุปกรณ์รบกวนโทรศัพท์มือถือจะประกอบไปด้วย

- 1) วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมโดยใช้ไอซี XR-2206 ให้กำเนิดสัญญาณป้อนให้กับ VCO เพื่อสร้างความถี่ให้ครอบคลุมย่านที่ต้องการ
- 2) VCO ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรขยายสัญญาณ โดยรับ Vtune จาก IC Xr-2206
- 3) วงจรขยายสัญญาณ
- 4) สายอากาศที่ Indoor OmniAntenna SMA(Male) Type

5.1.1 ปัญหาที่พบ

- 1) ไอซีมีขนาดเล็กมากขาดความชำนาญในการลงอุปกรณ์ทำให้การทำงานเป็นไปได้ช้าและมีอุปกรณ์บางตัวเสียหาย
- 2) ไอซีส่วนใหญ่ไม่มีขายในประเทศ และหาซื้อได้ยากทำให้เสียเวลาในการสั่งซื้อ อีกทั้งมีราคาแพงเพราะต้องเสียค่าภาษี
- 3) ขาดความรู้ในคุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์แต่ละตัวทำให้เกิดการผิดพลาดต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่
- 4) ในส่วนของวงจรขยาย เมื่อประกอบวงจรแล้วคุณสมบัติไม่ได้ตามdatasheet ซึ่งอาจมาจากการไม่matchingของวงจรเนื่องจากขาดความชำนาญในการออกแบบและอุปกรณ์ในแต่ละตัวมีค่าความผิดพลาดสูงเนื่องจากหาอุปกรณ์เฉพาะตามdatasheetไม่ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ผู้ทำโครงการควรมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับอุปกรณ์ในแต่ละชนิดเนื่องจากเสียเวลาในการเลือกใช้อุปกรณ์เพราะว่าอุปกรณ์แต่ละชนิดมีคุณลักษณะเฉพาะไม่เหมือนกัน
- 2) ผู้ทำโครงการควรฝึกฝนความชำนาญในการลงอุปกรณ์แต่ละชนิดเนื่องจากอุปกรณ์ในแต่ 1 ละตัวมีขนาดเล็กซึ่งส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ชนิด surface-mount

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1]K.S.Shanmungam“Digital and Analog Communication Systems”,John Wiley & Sons,1987.
- [2]Sayre,Cotter W. “Complete Wireless Design. Second edition.”McGraw-Hill,2008.
- [3]Chris Bowick, “RF Citcuit Design ”,Howard W.sam & Company, 1982



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



20 MHz to 1.0 GHz IF Gain Block

ADL5536

FEATURES

- Fixed gain of 20 dB
- Operation from 20 MHz to 1.0 GHz
- Input and output internally matched to 50 Ω
- Integrated bias control circuit
- OIP3
 - 45.0 dBm at 190 MHz
 - 49.0 dBm at 380 MHz
- Noise figure
 - 2.6 dB at 190 MHz
 - 2.7 dB at 380 MHz
- P1dB of 19.6 dBm at 190 MHz
- Single 5 V power supply
- Low quiescent current of 105 mA
- MSL-1 rated SOT-89 package
- ESD rating of ± 2 kV (Class 2)
- Pin-compatible with the 16 dB gain ADL5535

GENERAL DESCRIPTION

The ADL5536 is a 20 dB linear amplifier that operates at frequencies up to 1 GHz. The device can be used in a wide variety of cellular, CATV, military, and instrumentation equipment.

The ADL5536 provides the highest dynamic range available from an internally matched IF gain block. This is accomplished by providing extremely low noise figures and very high OIP3 specifications simultaneously across the entire 1 GHz frequency range. The ADL5536 also provides extremely flat gain and P1dB over frequency, which are stable over temperature, power supply, and from device to device.

The device is internally matched to 50 Ω at the input and output, making the ADL5536 very easy to implement in a wide variety of applications. Only input/output ac coupling capacitors, power supply decoupling capacitors, and an external inductor are required for operation.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

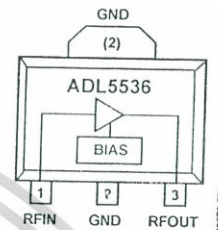


Figure 1.

The ADL5536 is fabricated on a GaAs HBT process and has an ESD rating of ± 2 kV (Class 2). The device is assembled in an MSL-1 rated SOT-89 package that uses an exposed paddle for excellent thermal impedance.

The ADL5536 consumes only 105 mA on a single 5 V supply and is fully specified for operation from -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$.

The ADL5536 is also pin-compatible with the 16 dB gain ADL5535. Fully populated evaluation boards are available for each amplifier.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Rev. A
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 that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 ©2010–2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.
Technical Support www.analog.com

TABLE OF CONTENTS

Features	1	Basic Connections	11
Functional Block Diagram	1	Soldering Information and Recommended PCB Land Pattern	11
General Description	1	ACPR Performance	12
Revision History	2	Error Vector Magnitude (EVM) Performance	12
Specifications	3	Evaluation Board	13
Typical Scattering Parameters (S-Parameters)	5	Outline Dimensions	14
Absolute Maximum Ratings	6	Ordering Guide	14
ESD Caution	6		
Pin Configuration and Function Descriptions	7		
Typical Performance Characteristics	8		

REVISION HISTORY

11/13—Rev. 0 to Rev. A

Added Figure 15, Renumbered Sequentially	10
Changes to Figure 17	11
Updated Outline Dimensions	14

4/10—Revision 0: Initial Version



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIFICATIONS

$V_{CC} = 5\text{ V}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
OVERALL FUNCTION					
Frequency Range		20		1000	MHz
FREQUENCY = 20 MHz					
Gain			20.2		dB
Output 1 dB Compression Point (P1dB)			18.0		dBm
Output Third-Order Intercept (OIP3)	$\Delta f = 1\text{ MHz}$, output power (P_{OUT}) = 3 dBm per tone		39.5		dBm
Second Harmonic	$P_{OUT} = 0\text{ dBm}$		-59.2		dBc
Third Harmonic	$P_{OUT} = 0\text{ dBm}$		-89.1		dBc
Noise Figure			2.5		dB
FREQUENCY = 70 MHz					
Gain			20.1		dB
vs. Frequency	$\pm 50\text{ MHz}$		± 0.10		dB
vs. Temperature	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$		± 0.20		dB
vs. Supply Voltage	4.75 V to 5.25 V		± 0.07		dB
Output 1 dB Compression Point (P1dB)			19.6		dBm
Output Third-Order Intercept (OIP3)	$\Delta f = 1\text{ MHz}$, output power (P_{OUT}) = 3 dBm per tone		41.0		dBm
Second Harmonic	$P_{OUT} = 0\text{ dBm}$		-63		dBc
Third Harmonic	$P_{OUT} = 0\text{ dBm}$		-88		dBc
Noise Figure			2.4		dB
FREQUENCY = 190 MHz					
Gain		18.8	19.8	20.8	dB
vs. Frequency	$\pm 50\text{ MHz}$		± 0.06		dB
vs. Temperature	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$		± 0.19		dB
vs. Supply Voltage	4.75 V to 5.25 V		± 0.07		dB
Output 1 dB Compression Point (P1dB)		18.6	19.6		dBm
Output Third-Order Intercept (OIP3)	$\Delta f = 1\text{ MHz}$, output power (P_{OUT}) = 3 dBm per tone		45.0		dBm
Second Harmonic	$P_{OUT} = 0\text{ dBm}$		-59.6		dBc
Third Harmonic	$P_{OUT} = 0\text{ dBm}$		-90.4		dBc
Noise Figure			2.6		dB
FREQUENCY = 380 MHz					
Gain		18.4	19.4	20.4	dB
vs. Frequency	$\pm 50\text{ MHz}$		± 0.10		dB
vs. Temperature	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$		± 0.20		dB
vs. Supply Voltage	4.75 V to 5.25 V		± 0.08		dB
Output 1 dB Compression Point (P1dB)		18.7	19.7		dBm
Output Third-Order Intercept (OIP3)	$\Delta f = 1\text{ MHz}$, output power (P_{OUT}) = 3 dBm per tone		49.0		dBm
Second Harmonic	$P_{OUT} = 0\text{ dBm}$		-61.4		dBc
Third Harmonic	$P_{OUT} = 0\text{ dBm}$		-77.2		dBc
Noise Figure			2.7		dB
FREQUENCY = 748 MHz					
Gain			18.5		dB
vs. Frequency	$\pm 50\text{ MHz}$		± 0.14		dB
vs. Temperature	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$		± 0.23		dB
vs. Supply Voltage	4.75 V to 5.25 V		± 0.09		dB
Output 1 dB Compression Point (P1dB)			19.7		dBm
Output Third-Order Intercept (OIP3)	$\Delta f = 1\text{ MHz}$, output power (P_{OUT}) = 3 dBm per tone		42.5		dBm
Second Harmonic	$P_{OUT} = 0\text{ dBm}$		-53.2		dBc
Third Harmonic	$P_{OUT} = 0\text{ dBm}$		-70.7		dBc
Noise Figure			2.7		dB

Parameter	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
FREQUENCY = 900 MHz					
Gain			18.5		dB
vs. Frequency	±50 MHz		±0.14		dB
vs. Temperature	-40°C ≤ T _A ≤ +85°C		±0.23		dB
vs. Supply Voltage	4.75 V to 5.25 V		±0.10		dB
Output 1 dB Compression Point (P1dB)			19.9		dBm
Output Third-Order Intercept (OIP3)	Δf = 1 MHz, output power (P _{OUT}) = 3 dBm per tone		41.5		dBm
Second Harmonic	P _{OUT} = 0 dBm		-64.9		dBc
Third Harmonic	P _{OUT} = 0 dBm		-68		dBc
Noise Figure			2.7		dB
FREQUENCY = 1000 MHz					
Gain			18.1		dB
vs. Frequency	±50 MHz		±0.14		dB
vs. Temperature	-40°C ≤ T _A ≤ +85°C		±0.23		dB
vs. Supply Voltage	4.75 V to 5.25 V		±0.10		dB
Output 1 dB Compression Point (P1dB)			19.7		dBm
Output Third-Order Intercept (OIP3)	Δf = 1 MHz, output power (P _{OUT}) = 3 dBm per tone		40.5		dBm
Second Harmonic	P _{OUT} = 0 dBm		-54.8		dBc
Third Harmonic	P _{OUT} = 0 dBm		-66.6		dBc
Noise Figure			2.8		dB
POWER INTERFACE					
Supply Voltage (V _{CC})		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current			105	122	mA
vs. Temperature	-40°C ≤ T _A ≤ +85°C		±2.0		mA
Power Dissipation	V _{CC} = 5 V		0.53		W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL SCATTERING PARAMETERS (S-PARAMETERS)

$V_{CC} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, and the effects of the test fixture have been de-embedded up to the pins of the device.

Table 2.

Frequency (MHz)	S11		S21		S12		S22	
	Magnitude (dB)	Angle (°)	Magnitude (dB)	Angle (°)	Magnitude (dB)	Angle (°)	Magnitude (dB)	Angle (°)
20	-14.53	-120.58	20.45	171.91	-22.63	+7.79	-16.26	-139.94
70	-19.07	-156.59	20.01	172.48	-22.66	+0.45	-16.29	-164.26
120	-19.61	-160.48	19.91	169.98	-22.65	-1.59	-16.26	-166.95
190	-19.62	-159.92	19.84	165.55	-22.64	-3.78	-16.06	-165.90
240	-19.43	-157.66	19.77	162.37	-22.63	-5.22	-15.84	-164.33
290	-19.04	-155.64	19.74	159.05	-22.62	-6.64	-15.58	-162.72
340	-18.78	-153.97	19.65	155.59	-22.62	-7.93	-15.28	-161.62
390	-18.37	-150.66	19.54	152.48	-22.59	-9.34	-14.97	-159.87
440	-17.83	-149.87	19.50	149.29	-22.57	-10.74	-14.53	-158.25
490	-17.32	-149.82	19.41	146.05	-22.61	-12.05	-14.14	-158.63
540	-16.88	-149.59	19.34	142.73	-22.61	-13.36	-13.80	-158.50
590	-16.51	-148.73	19.22	139.62	-22.59	-14.66	-13.47	-158.24
640	-16.06	-148.92	19.14	136.53	-22.59	-16.00	-13.12	-158.50
690	-15.72	-149.26	19.04	133.27	-22.59	-17.30	-12.80	-158.89
740	-15.37	-149.29	18.92	130.33	-22.58	-18.61	-12.51	-159.33
790	-15.04	-149.83	18.82	127.22	-22.57	-19.92	-12.23	-159.94
840	-14.73	-150.32	18.70	124.22	-22.57	-21.26	-11.96	-160.63
900	-14.35	-150.94	18.57	120.78	-22.56	-22.85	-11.65	-161.64
950	-14.10	-151.64	18.44	117.74	-22.56	-24.21	-11.42	-162.56
1000	-13.83	-152.27	18.32	115.01	-22.56	-25.53	-11.19	-163.52
1050	-13.59	-153.23	18.21	112.08	-22.55	-26.89	-10.99	-164.55
1100	-13.38	-153.86	18.06	109.34	-22.56	-28.24	-10.80	-165.66
1150	-13.16	-154.76	17.96	106.63	-22.55	-29.58	-10.63	-166.70
1200	-12.99	-155.57	17.82	103.80	-22.55	-30.95	-10.47	-167.80
1250	-12.77	-156.33	17.69	101.33	-22.54	-32.33	-10.30	-168.91
1300	-12.61	-157.32	17.57	98.53	-22.55	-33.74	-10.16	-170.07
1350	-12.44	-158.19	17.44	95.98	-22.56	-35.12	-10.03	-171.34
1400	-12.30	-159.08	17.32	93.44	-22.57	-36.43	-9.92	-172.44
1450	-12.17	-159.85	17.19	90.86	-22.56	-37.74	-9.81	-173.47
1500	-12.01	-160.65	17.06	88.41	-22.56	-39.12	-9.70	-174.66
1550	-11.89	-161.57	16.95	85.90	-22.56	-40.49	-9.59	-175.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Table 3.

Parameter	Rating
Supply Voltage, V_{CC}	6.5 V
Input Power (Referred to 50 Ω)	20 dBm
Internal Power Dissipation (Paddle Soldered)	650 mW
θ_{JA} (Junction to Air)	30.7°C/W
θ_{JC} (Junction to Paddle)	5.0°C/W
Maximum Junction Temperature	150°C
Lead Temperature (Soldering, 60 sec)	240°C
Operating Temperature Range	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°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 affect device reliability.

ESD CAUTION

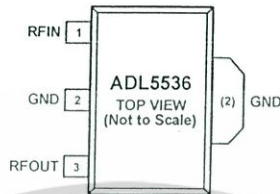


ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Charged devices and circuit boards can discharge without detection. Although this product features patented or proprietary protection circuitry, damage may occur on devices subjected to high energy ESD. Therefore, proper ESD precautions should be taken to avoid performance degradation or loss of functionality.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN CONFIGURATION AND FUNCTION DESCRIPTIONS



NOTES

1. THE EXPOSED PADDLE IS INTERNALLY CONNECTED TO GND AND MUST BE SOLDERED TO A LOW IMPEDANCE GROUND PLANE.

Figure 2. Pin Configuration

Table 4. Pin Function Descriptions

Pin No.	Mnemonic	Description
1	RFIN	RF Input. This pin requires a dc blocking capacitor.
2	GND	Ground. Connect this pin to a low impedance ground plane.
3	RFOUT	RF Output and Supply Voltage. A dc bias is provided to this pin through an inductor that is connected to the external power supply. The RF path requires a dc blocking capacitor.
(2)	Exposed Paddle	Exposed Paddle. The exposed paddle is internally connected to GND and must be soldered to a low impedance ground plane.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

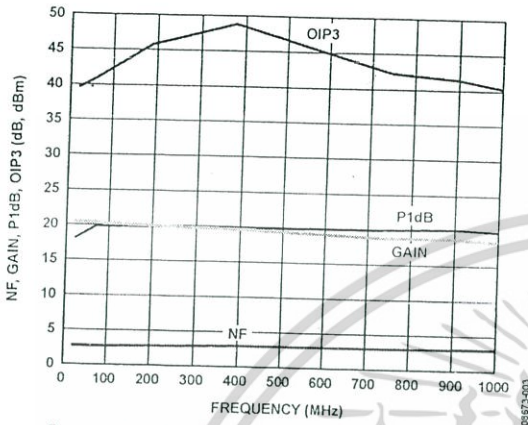


Figure 3. Noise Figure, Gain, P1dB, and OIP3 vs. Frequency

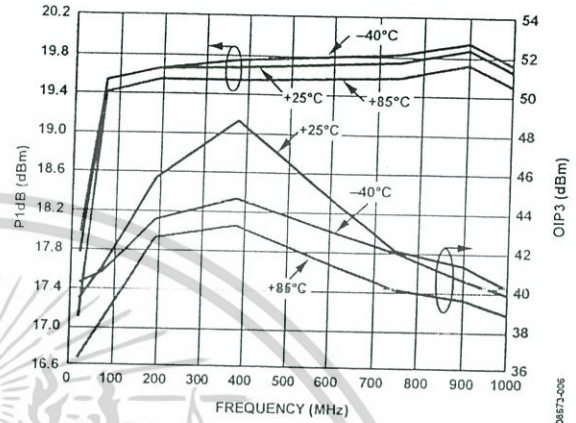


Figure 6. P1dB and OIP3 vs. Frequency and Temperature

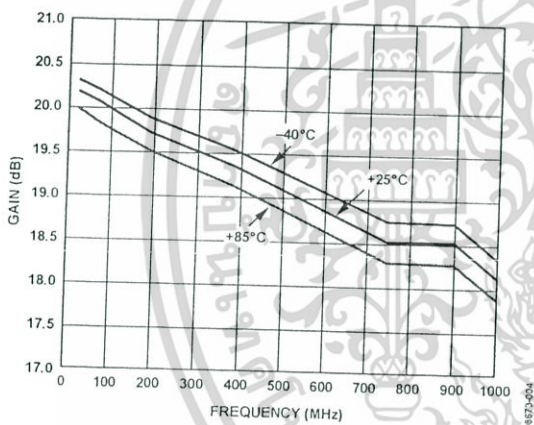


Figure 4. Gain vs. Frequency and Temperature

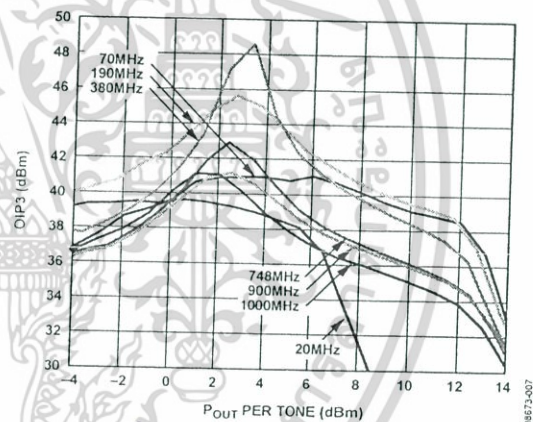


Figure 7. OIP3 vs. Output Power (P_{out}) and Frequency

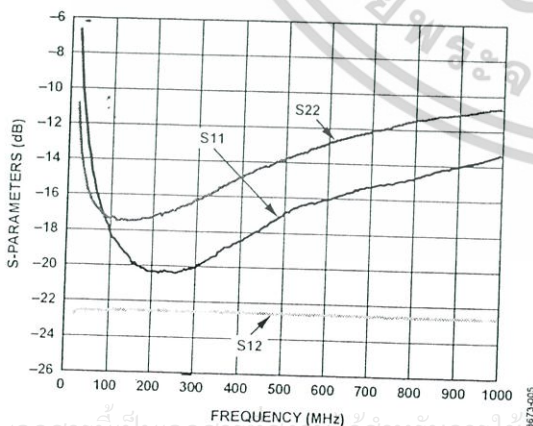


Figure 5. Input Return Loss (S11), Output Return Loss (S22), and Reverse Isolation (S12) vs. Frequency

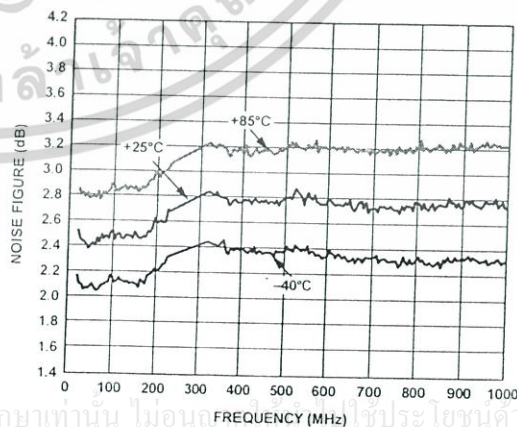


Figure 8. Noise Figure vs. Frequency and Temperature

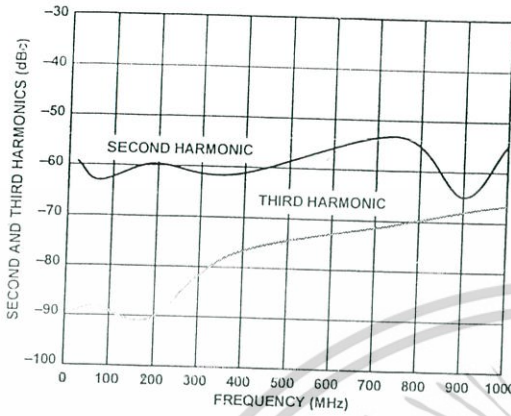


Figure 9. Single-Tone Harmonics vs. Frequency, $P_{OUT} = 0 \text{ dBm}$

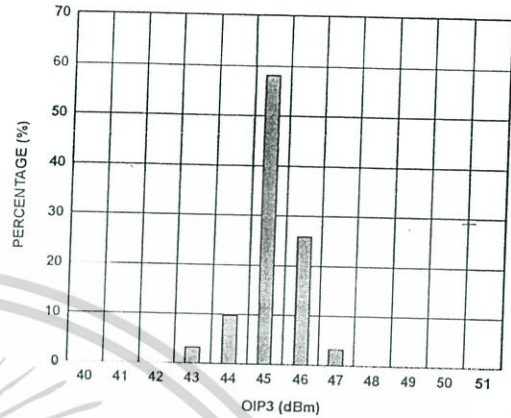


Figure 12. OIP3 Distribution at 190 MHz, $P_{OUT} = 3 \text{ dBm}$

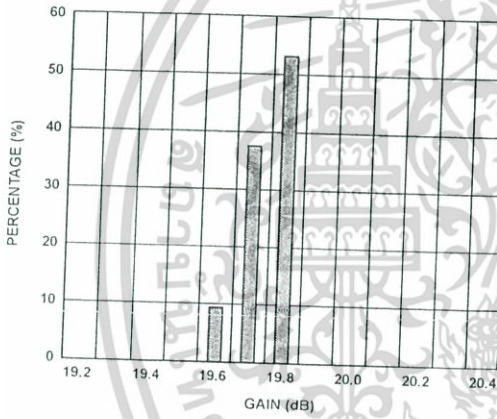


Figure 10. Gain Distribution at 190 MHz

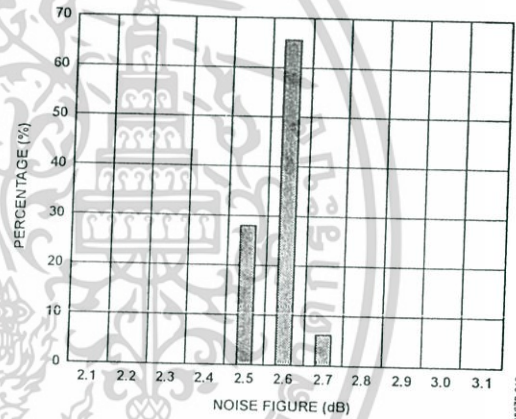


Figure 13. Noise Figure Distribution at 190 MHz

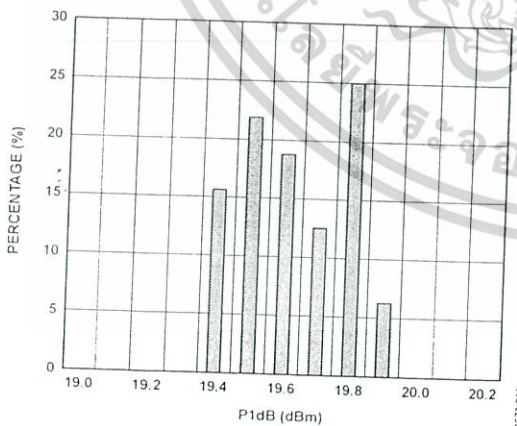


Figure 11. P1dB Distribution at 190 MHz

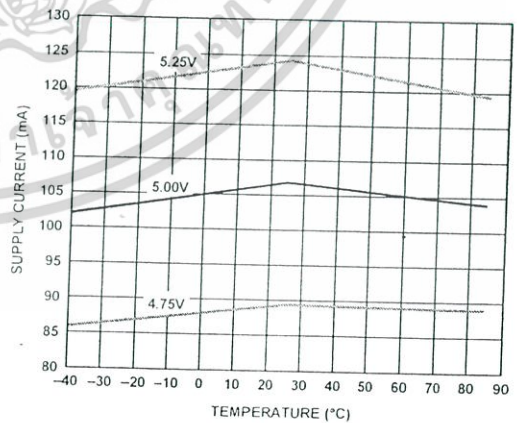


Figure 14. Supply Current vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

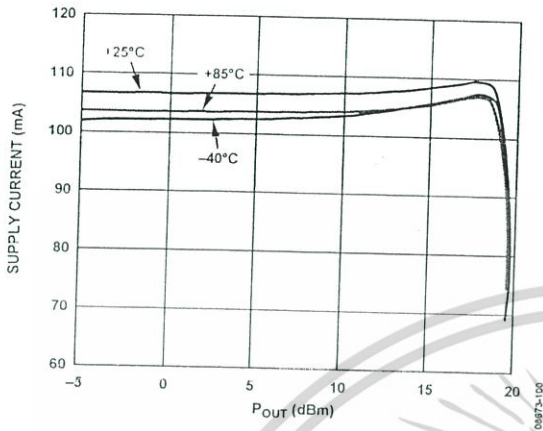


Figure 15. Supply Current vs. P_{OUT} and Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BASIC CONNECTIONS

The basic connections for operating the ADL5536 are shown in Figure 16. Recommended components are listed in Table 5. The input and output should be ac-coupled with appropriately sized capacitors (device characterization was performed with 0.1 μ F capacitors). A 5 V dc bias is supplied to the amplifier through the bias inductor connected to RFOUT (Pin 3). The bias voltage should be decoupled using a 1 μ F capacitor, a 1.2 nF capacitor, and a 68 pF capacitor.

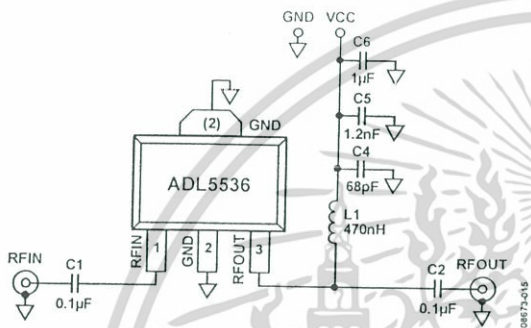


Figure 16. Basic Connections

SOLDERING INFORMATION AND RECOMMENDED PCB LAND PATTERN

Figure 17 shows the recommended land pattern for the ADL5536. To minimize thermal impedance, the exposed paddle on the package underside, along with Pin 2, should be soldered to a ground plane. If multiple ground layers exist, they should be stitched together using vias. For more information about land pattern design and layout, refer to the AN-772 Application Note, *A Design and Manufacturing Guide for the Lead Frame Chip Scale Package (LFCSP)*.

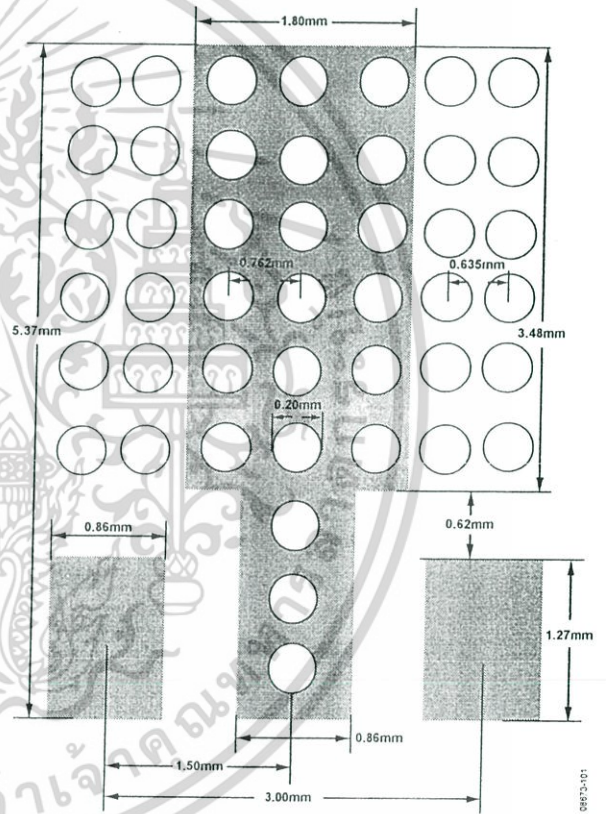


Figure 17. Recommended Land Pattern

Table 5. Recommended Components for Basic Connections

Frequency	C1	C2	L1	C4	C5	C6
20 MHz to 1000 MHz	0.1 μ F	0.1 μ F	470 nH (Coilcraft 0603LS-NX or equivalent)	68 pF	1.2 nF	1 μ F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACPR PERFORMANCE

Figure 18 shows a plot of the adjacent channel power ratio (ACPR) vs. P_{OUT} for the ADL5536. The signal type used is a single wideband code division multiple access (W-CDMA) carrier (Test Model 1-64). This signal is generated by a very low ACPR source. ACPR is measured at the output by a high dynamic range spectrum analyzer that incorporates an instrument noise-correction function. At an output power level of +8 dBm, ACPR is still very low at -65 dBc, making the device suitable for use in driver applications.

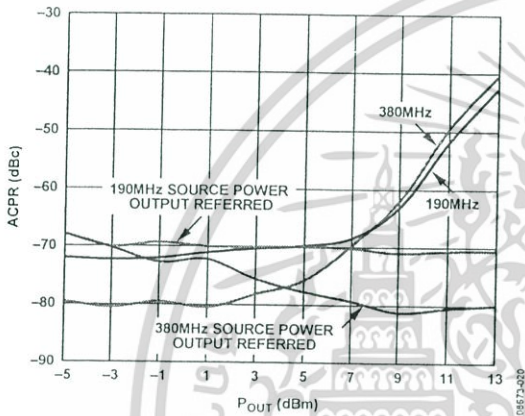


Figure 18. ACPR vs. P_{OUT} , Single W-CDMA Carrier (Test Model 1-64) at 190 MHz and 380 MHz

ERROR VECTOR MAGNITUDE (EVM) PERFORMANCE

Error vector magnitude (EVM) is a measure used to quantify the performance of a digital radio transmitter or receiver. A signal received by a receiver has all constellation points at their ideal locations; however, various imperfections in the implementation (such as magnitude imbalance, noise floor, and phase imbalance) cause the actual constellation points to deviate from their ideal locations. The ADL5536 shows excellent performance when used with higher-order modulation schemes, such as a 16 QAM.

Figure 19 illustrates the EVM performance of the ADL5536 when driven with a 16 QAM 10 Msym/s signal. Degradation of the EVM performance starts to occur at an output power of +12 dBm.

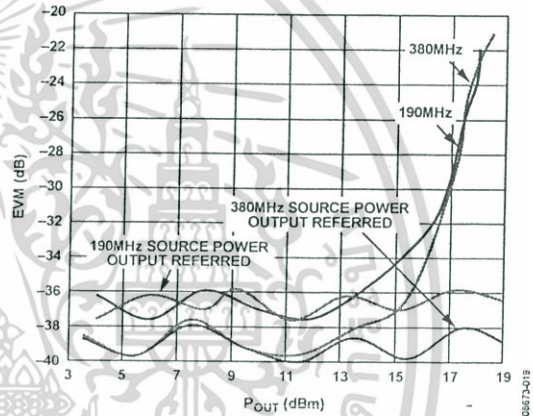


Figure 19. EVM Performance vs. P_{OUT} with a 16 QAM, 10 Msym/s Signal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EVALUATION BOARD

Figure 20 shows the evaluation board layout, and Figure 21 shows the schematic for the ADL5536 evaluation board. The board is powered by a single 5 V supply.

The components used on the board are listed in Table 6. Power can be applied to the board through clip-on leads (VCC and GND).

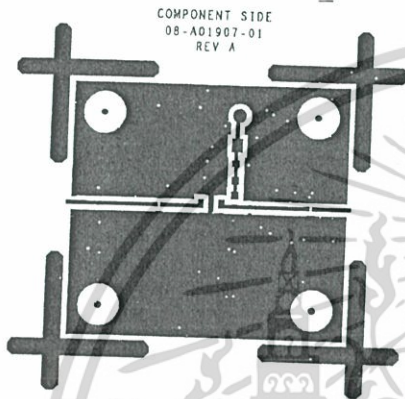


Figure 20. Evaluation Board Layout (Top)

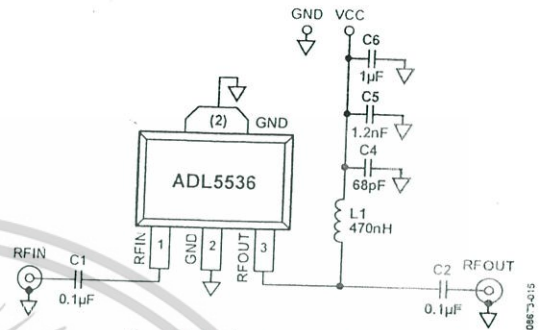


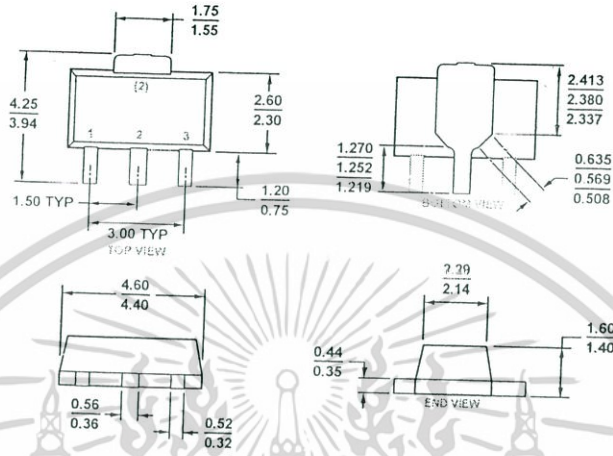
Figure 21. Evaluation Board Schematic

Table 6. Evaluation Board Components

Component	Description	Default Value
C1, C2	AC coupling capacitors	0.1 μF, 0402
L1	DC bias inductor	470 nH, 0603 (Coilcraft 0603LS-NX or equivalent)
VCC, GND	Clip-on terminals for power supply	
C4	Power supply decoupling capacitor	68 pF, 0603
C5	Power supply decoupling capacitor	1.2 nF, 0603
C6	Power supply decoupling capacitor	1 μF, 1206

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTLINE DIMENSIONS



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS TO-243

Figure 22. 3-Lead Small Outline Transistor Package [SOT-89] (RK-3)
Dimensions shown in millimeters

ORDERING GUIDE

Model ¹	Temperature Range	Package Description	Package Option
ADL5536ARKZ-R7	-40°C to +85°C	3-Lead SOT-89, 7" Tape and Reel	RK-3
ADL5536-EVALZ		Evaluation Board	

¹ Z = RoHS Compliant Part.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOTES



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOTES



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

MGA-30489

0.25W Driver Amplifier



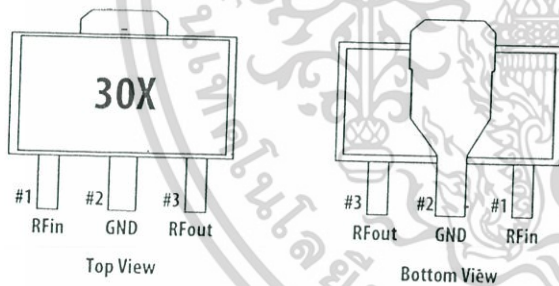
Data Sheet

Description

Avago Technologies's MGA-30489 is a 0.25W highly dynamic range Driver Amplifier MMIC, housed in a SOT-89 standard plastic package. The device features excellent input and output return loss, highly linear performance. The device can be easily matched to obtain optimum power and linearity.

MGA-30489 is especially ideal for 50Ω wireless infrastructure application such as Cellular/PCS/W-CDMA/WLL and new generation wireless technologies systems in the 250MHz to 3GHz frequency range applications. With high IP3 and low noise figure and wideband operation, the MGA-30489 may be utilized as a driver amplifier in the transmit chain and as a second stage LNA in the receive chain.

Pin connections and Package Marking



Note:
 Top View : Package marking provides orientation and identification
 "30" = Device Code
 "X" = Date Code character identifies month of manufacturing



Attention: Observe precautions for handling electrostatic sensitive devices.
 ESD Machine Model = 80 V
 ESD Human Body Model = 350 V
 Refer to Avago Application Note A004R:
 Electrostatic Discharge, Damage and Control.

Features

- ROHS compliant
- Halogen free
- Very high linearity at low DC bias power⁽¹⁾
- Low noise figure
- High OIP3
- Advanced enhancement mode PHEMT Technology
- Excellent uniformity in product specification
- SOT-89 standard package

Specifications

At 1.9GHz, V_{dd} = 5V, I_{dd} = 97mA (typ) @ 25°C

- OIP3 = 39 dBm
- Noise Figure = 3 dB
- Gain = 13.3 dB
- P1dB = 23.3 dBm
- IRL = 15dB, ORL = 14.5dB

Notes:

1. The MGA-30489 has a superior LFOM of 13dB, Linearity Figure of Merit (LFOM) is essentially OIP3 divided by DC bias power. There are few devices in the market that can match its combination of high linearity and low noise figure at the low DC bias power of 5V/97mA.

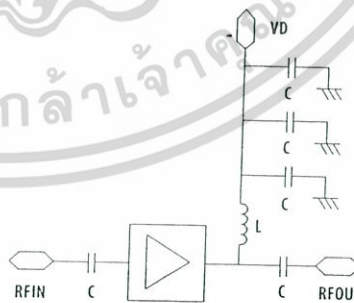


Figure 1. Simplified Schematic diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MGA-30489 Absolute Maximum Rating [1]

Symbol	Parameter	Units	Absolute Maximum
$I_{d,max}$	Drain Current	mA	180
$V_{d,max}$	Devices voltage, RF output to ground	V	8.4
P_{diss}	Power Dissipation [2]	mW	1512
$P_{in,max}$	CW RF Input Power	dBm	24
$T_{j,max}$	Junction Temperature	°C	150
T_{stg}	Storage Temperature	°C	-65 to 150

Thermal Resistance

Thermal Resistance [3]
 $(V_d = 5.0 V) \theta_{jc} = 50.50^\circ C/W$

Notes:

1. Operation of this device in excess of any of these limits may cause permanent damage
2. Source lead temperature is 25°C. Derate 19.8mW/°C for $T_L > 54.56^\circ C$
3. Thermal resistance measured using 150°C Infra-Red Microscopy Technique.

MGA-30489 Electrical Specification [4]

$T_C = 25^\circ C, Z_o = 50\Omega, V_d = 5V$, unless noted

Symbol	Parameter and Test Condition	Frequency	Units	Min.	Typ.	Max.
I_{ds}	Quiescent Current	N/A	mA	80	97	120
NF	Noise Figure	0.45GHz 0.9GHz 1.9GHz 2.5GHz	dB	-	2.8 3 3 3.5	3.6
Gain	Gain	0.45GHz 0.9GHz 1.9GHz 2.5GHz	dB	11.8	19.3 16.5 13.3 12	14.8
OIP3 [5]	Output Third Order Intercept Point	0.45GHz ⁽²⁾ 0.9GHz ⁽²⁾ 1.9GHz ⁽²⁾ 2.5GHz ⁽²⁾	dBm	36.5	40.5 40.5 39 39	-
P1dB	Output Power at 1dB Gain Compression	0.45GHz 0.9GHz 1.9GHz 2.5GHz	dBm	22.5	23.5 23.5 23.3 23	-
PAE	Power Added Efficiency at P1dB	0.45GHz 0.9GHz 1.9GHz 2.5GHz	%	-	44 43 40 37	-
IRL	Input Return Loss	0.45GHz 0.9GHz 1.9GHz 2.5GHz	dB	-	10.5 11 15 18	-
ORL	Output Return Loss	0.45GHz 0.9GHz 1.9GHz 2.5GHz	dB	-	9.5 12 14.5 12	-
ISOL	Isolation	0.45GHz 0.9GHz 1.9GHz 2.5GHz	dB	-	29 28 25.5 24	-

Notes:

4. Measurements obtained from a test circuit described in Figure 43.

5. OIP3 test condition: $F_1 - F_2 = 10MHz$, with input power of -10dBm per tone measured at worst case side band.

MGA-30489 Consistency Distribution Chart [1,2]

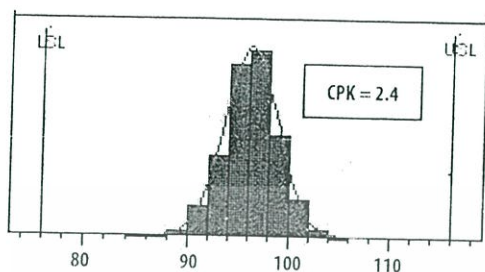


Figure 2. Idd @ 1900MHz, 5V, 97mA

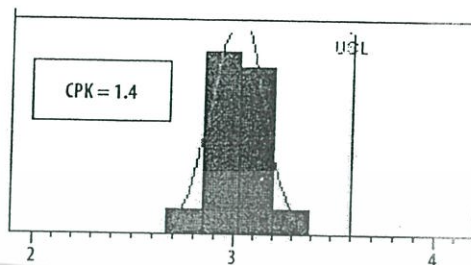


Figure 3. NF @ 1900MHz, 5V, 97mA

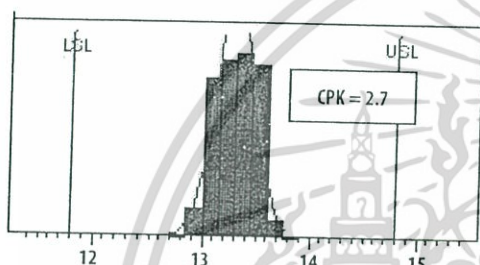


Figure 4. Gain @ 1900MHz, 5V, 97mA

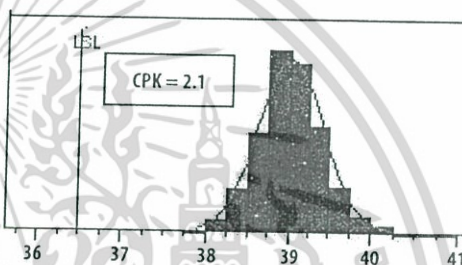


Figure 5. OIP3 @ 1900MHz, 5V, 97mA

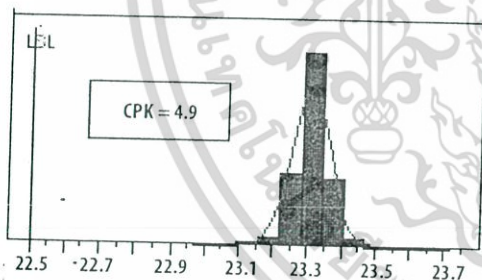


Figure 6. P1dB @ 1900MHz, 5V, 97mA

Notes:

1. Data sample size is 3000 samples taken from 2 different wafers and 2 different lots. Future wafers allocated to this product may have nominal values anywhere between the upper and lower limits
2. Measurements are made on production test board which represents a trade-off between optimal Gain, NF, OIP3 and OP1dB. Circuit losses have been de-embedded from actual measurements.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MGA-30489 Application Circuit Data for 450MHz

$T_c = 25^\circ\text{C}$, $V_d = 5.0\text{V}$, $I_d = 97\text{mA}$

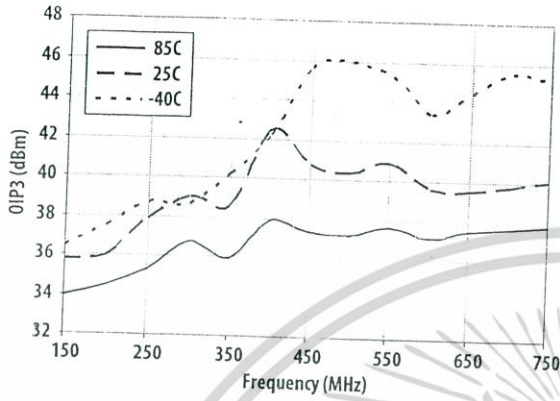


Figure 7. OIP3 vs Frequency and Temperature

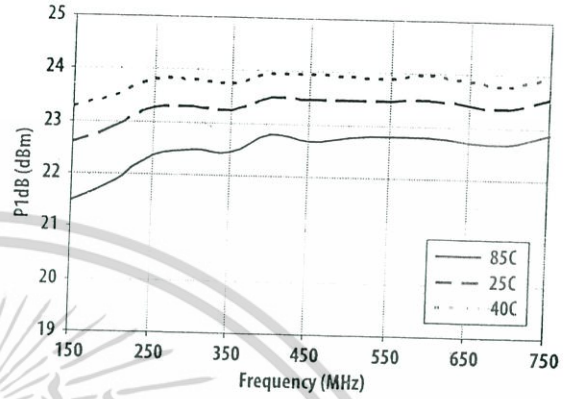


Figure 8. P1dB vs Frequency and Temperature

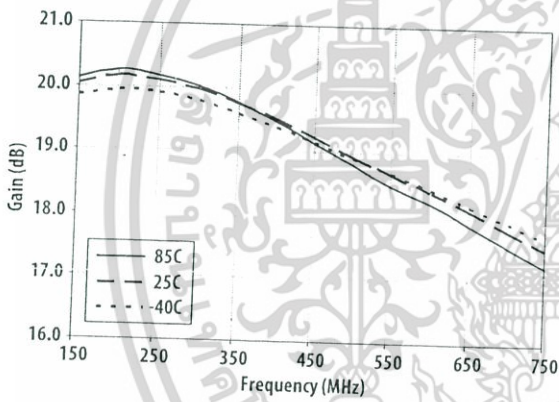


Figure 9. Gain vs Frequency and Temperature

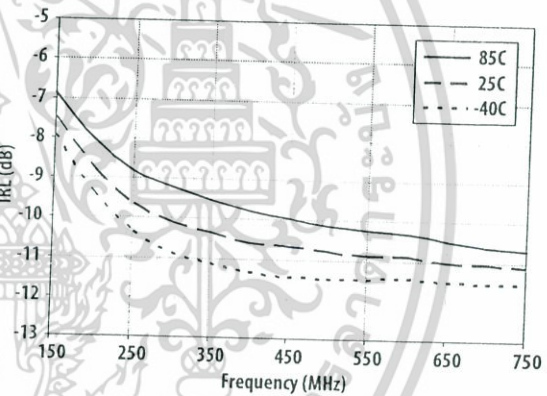


Figure 10. IRL vs Frequency and Temperature

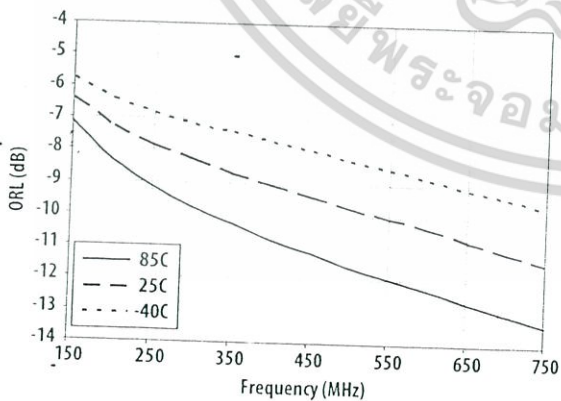


Figure 11. ORL vs Frequency and Temperature

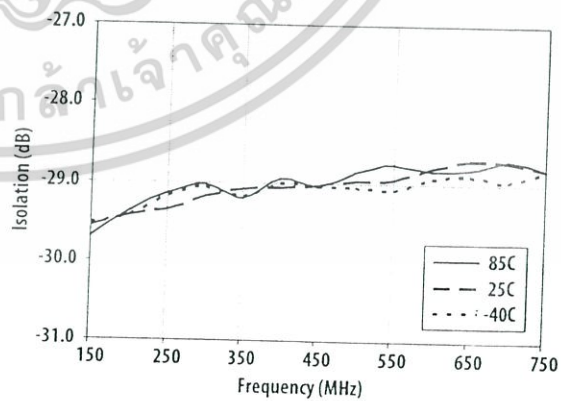


Figure 12. Isolation vs Frequency and Temperature

MGA-30489 Application Circuit Data for 450MHz (cont'd)

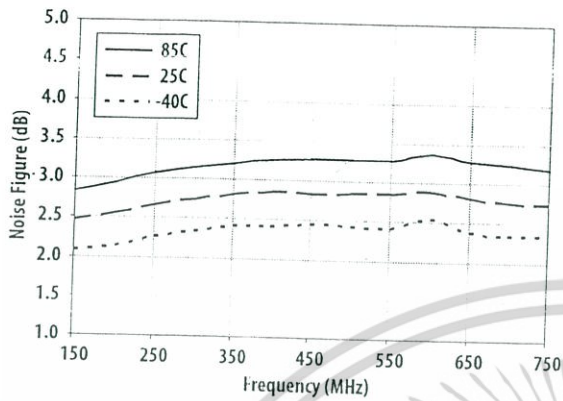


Figure 13. Noise Figure vs Frequency vs Temperature

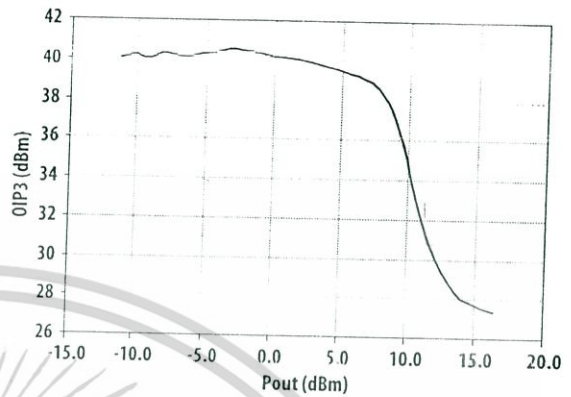


Figure 14. OIP3 vs Output Power at 450MHz

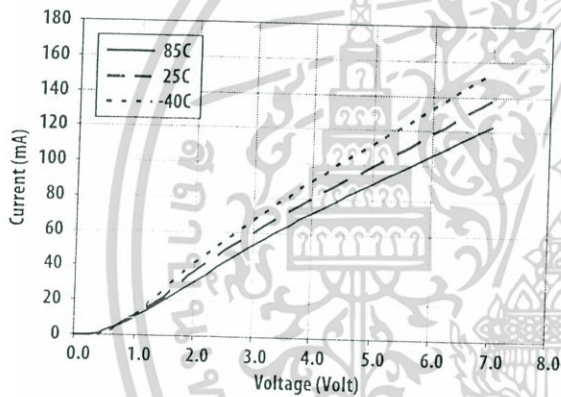


Figure 15. Current vs Voltage and Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MGA-30489 Application Circuit Data for 900MHz

$T_c = 25^\circ\text{C}$, $V_d = 5.0\text{V}$, $I_d = 97\text{mA}$

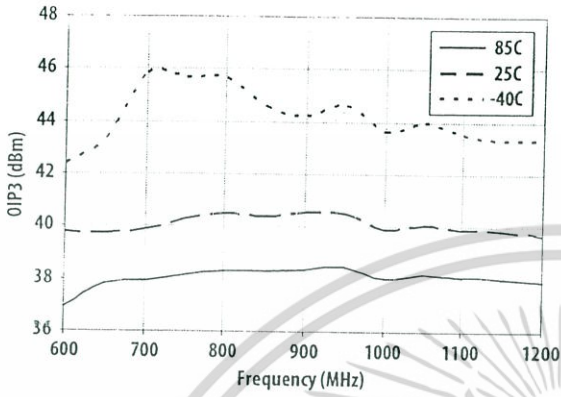


Figure 16. OIP3 vs Frequency and Temperature

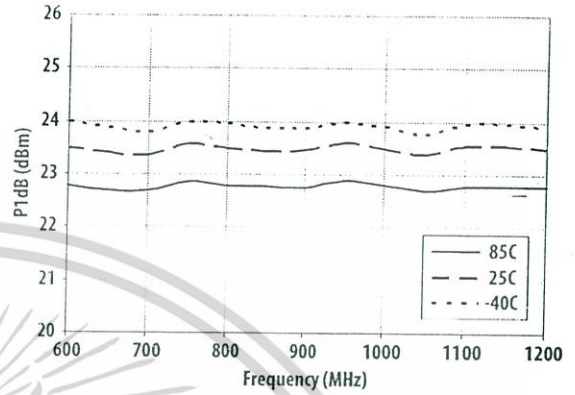


Figure 17. P1dB vs Frequency and Temperature

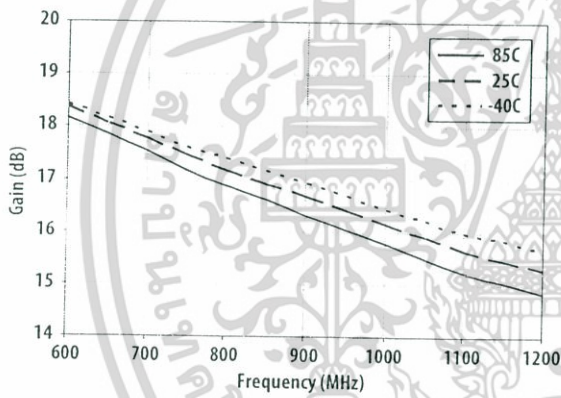


Figure 18. Gain vs Frequency and Temperature

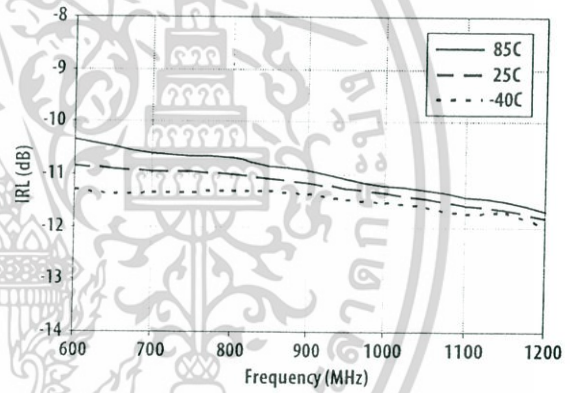


Figure 19. IRL vs Frequency and Temperature

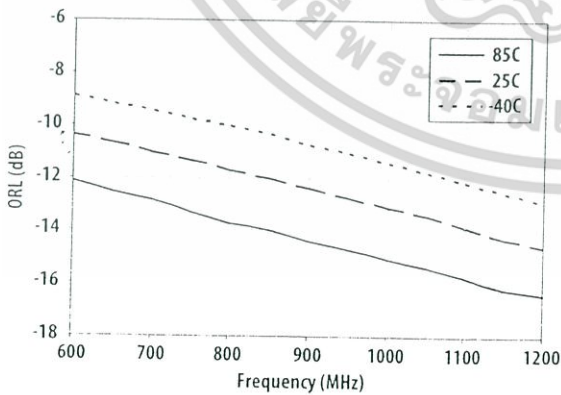


Figure 20. ORL vs Frequency and Temperature

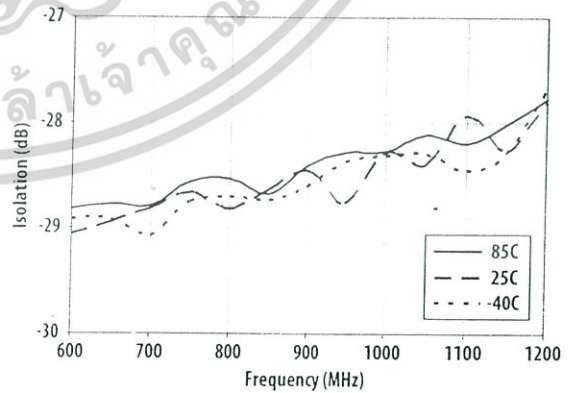


Figure 21. Isolation vs Frequency and Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MGA-30489 Application Circuit Data for 900MHz (cont'd)

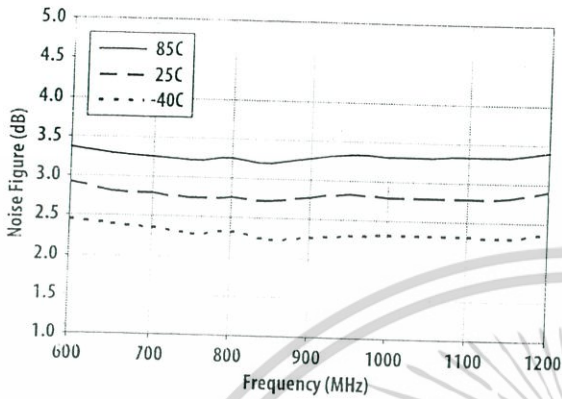


Figure 22. Noise Figure vs Frequency vs Temperature

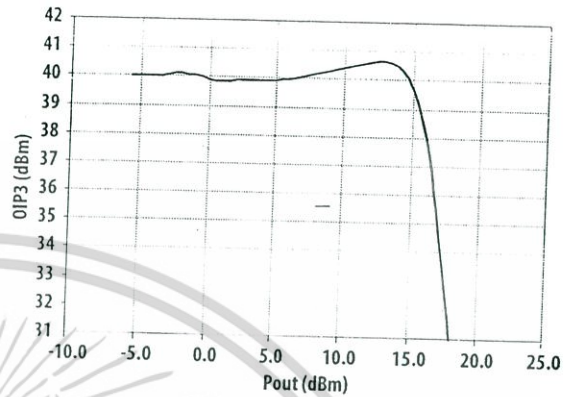


Figure 23. OIP3 vs Output Power at 1900MHz

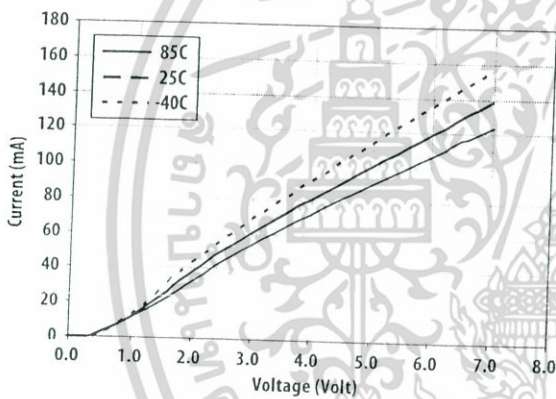


Figure 24. Current vs Voltage and Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MGA-30489 Application Circuit Data for 1900MHz

$T_c = 25^\circ\text{C}$, $V_d = 5.0\text{V}$, $I_d = 97\text{mA}$

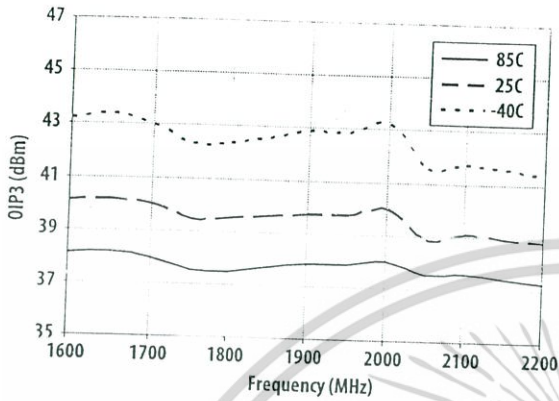


Figure 25. OIP3 vs Frequency and Temperature

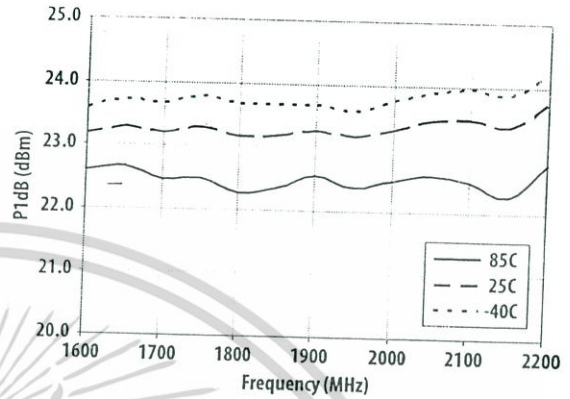


Figure 26. P1dB vs Frequency and Temperature

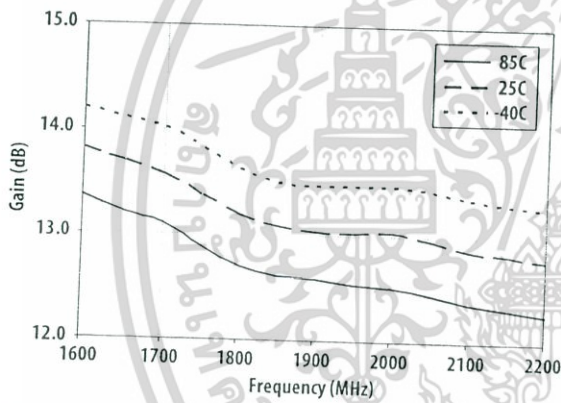


Figure 27. Gain vs Frequency and Temperature

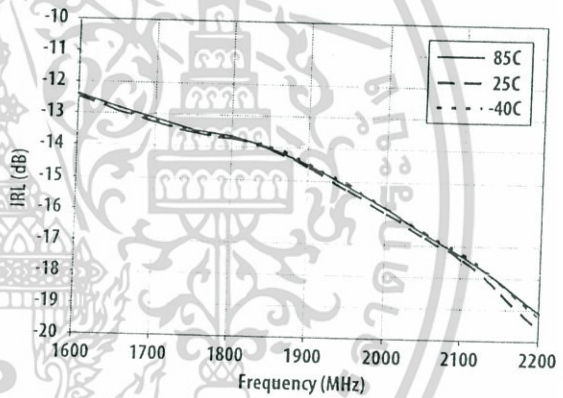


Figure 28. IRL vs Frequency and Temperature

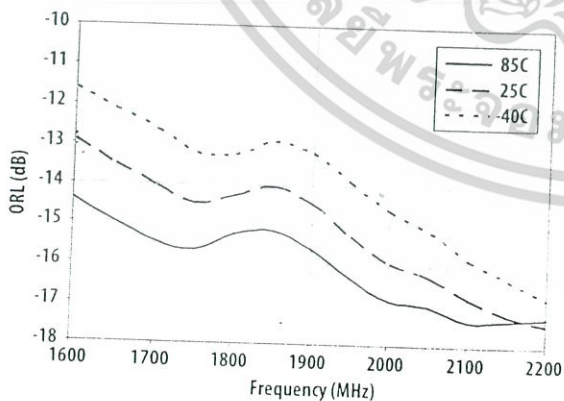


Figure 29. ORL vs Frequency and Temperature

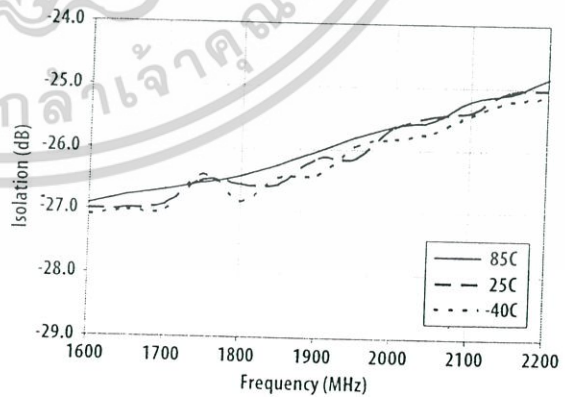


Figure 30. Isolation vs Frequency and Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MGA-30489 Application Circuit Data for 1900MHz (cont'd)

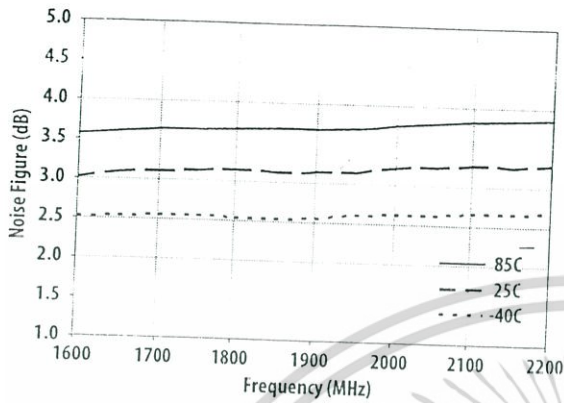


Figure 31. Noise Figure vs Frequency vs Temperature

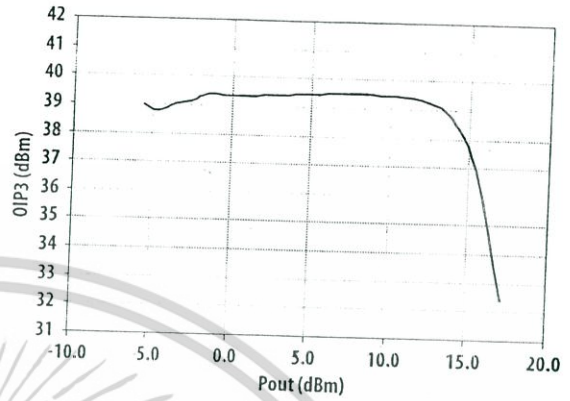


Figure 32. OIP3 vs Output Power at 1900MHz

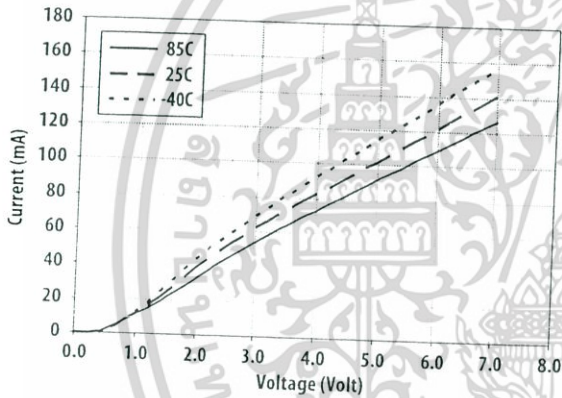


Figure 33. Current vs Voltage and Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MGA-30489 Application Circuit Data for 2500MHz

$T_c = 25^\circ\text{C}$, $V_d = 5.0\text{V}$, $I_d = 97\text{mA}$

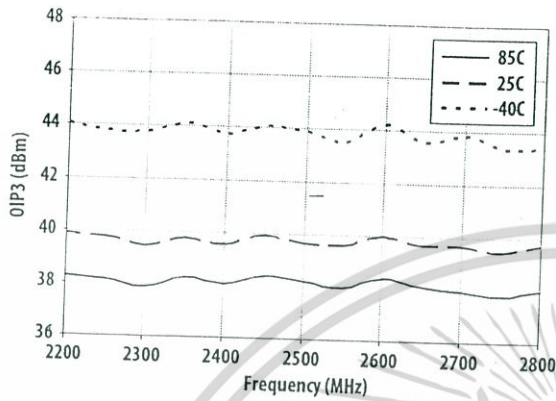


Figure 34. OIP3 vs Frequency and Temperature

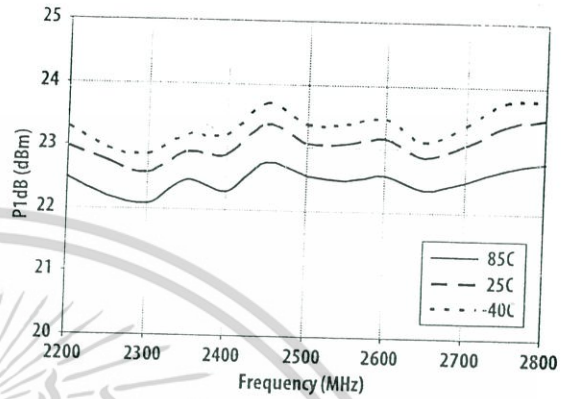


Figure 35. P1dB vs Frequency and Temperature

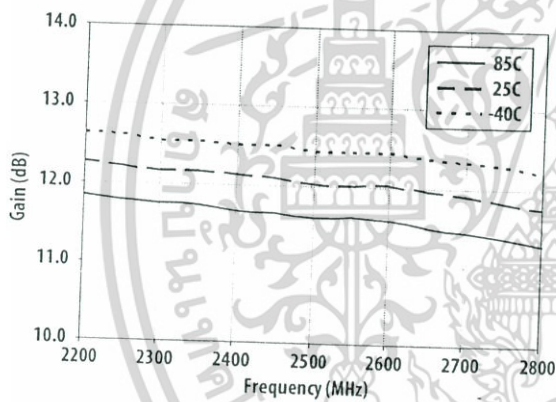


Figure 36. Gain vs Frequency and Temperature

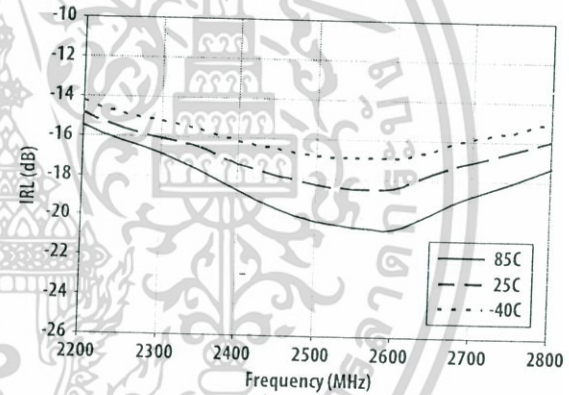


Figure 37. IRL vs Frequency and Temperature

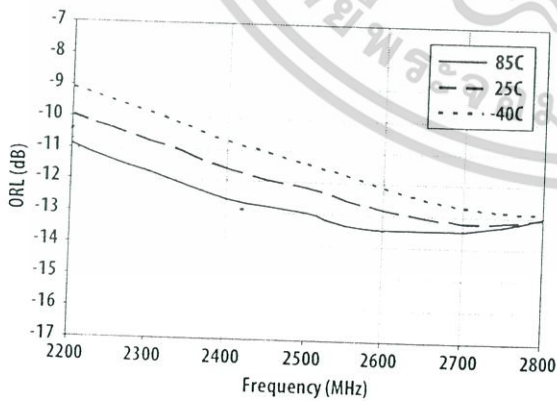


Figure 38. ORL vs Frequency and Temperature

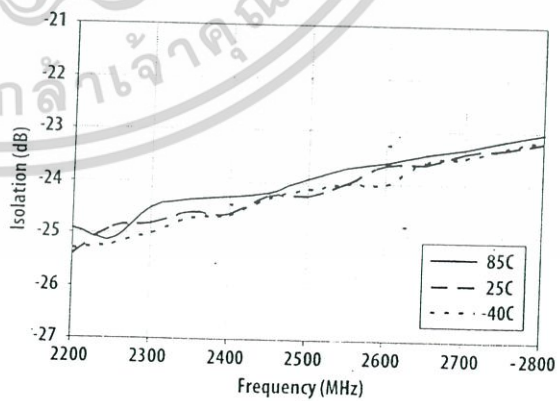


Figure 39. Isolation vs Frequency and Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการฝึกอบรมเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MGA-30489 Application Circuit Data for 2500MHz (cont'd)

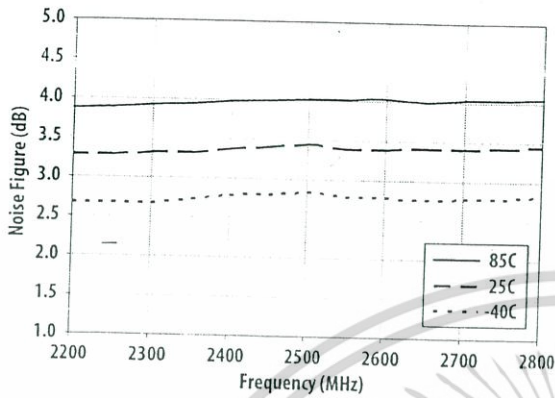


Figure 40. Noise Figure vs Frequency vs Temperature

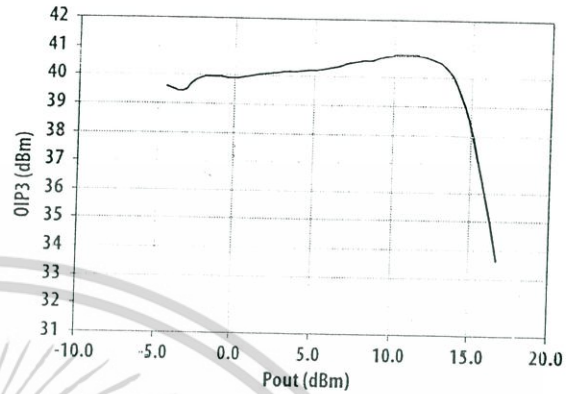


Figure 41. OIP3 vs Output Power at 1900MHz

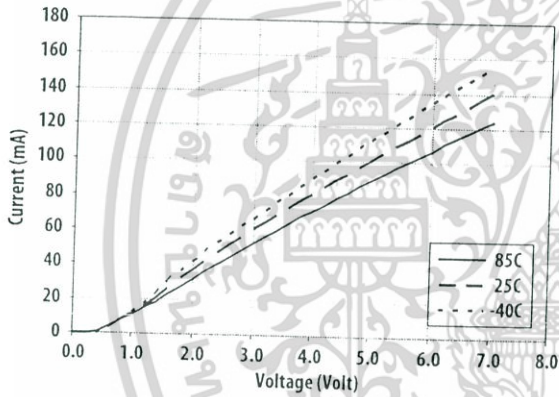


Figure 42. Current vs Voltage and Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Circuit Description and Layout

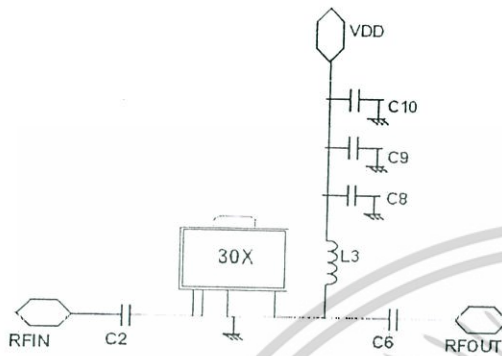


Figure 43. Circuit diagram

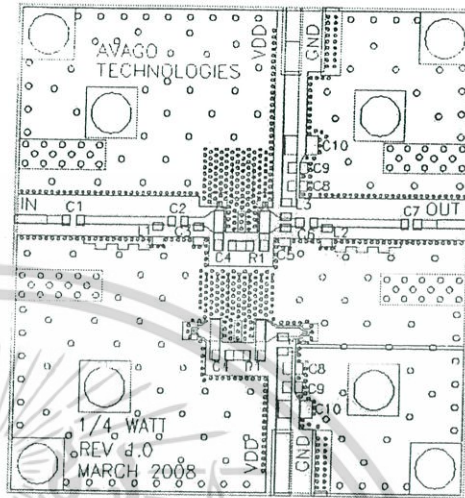


Figure 44. Demoboard

Bill of Materials

Circuit Symbol	Size	Description		For 0.45GHz		For 0.9GHz		For 1.9GHz		For 2.5GHz	
		Value	Manufacturer	Value	Manufacturer	Value	Manufacturer	Value	Manufacturer		
C1	0402	00hm	NR	00hm	NR	00hm	NR	00hm	NR	00hm	NR
C2	0402	100pF	MURATA	100pF	MURATA	100pF	MURATA	100pF	MURATA	100pF	MURATA
C3	0402	NA	NR	NA	NR	NA	NR	NA	NR	NA	NR
C4	0402	NA	NR	NA	NR	NA	NR	NA	NR	NA	NR
C5	0402	NA	NR	NA	NR	NA	NR	NA	NR	NA	NR
C6	0402	100pF	MURATA	100pF	MURATA	100pF	MURATA	100pF	MURATA	100pF	MURATA
C7	0402	00hm	NR	00hm	NR	00hm	NR	00hm	NR	00hm	NR
C8	0402	10pF	MURATA	10pF	MURATA	10pF	MURATA	10pF	MURATA	2.7pF	MURATA
C9	0402	0.1uF	MURATA	0.1uF	MURATA	0.1uF	MURATA	0.1uF	MURATA	0.1uF	MURATA
C10	0603	2.2uF	MURATA	2.2uF	MURATA	2.2uF	MURATA	2.2uF	MURATA	2.2uF	MURATA
L1	0402	NA	NR	NA	NR	NA	NR	NA	NR	NA	NR
L2	0402	NA	NR	NA	NR	NA	NR	NA	NR	NA	NR
L3	0402	47nH	MURATA	47nH	MURATA	10nH	MURATA	3.0nH	MURATA	3.0nH	MURATA
R1	0402	NA	NR	NA	NR	NA	NR	NA	NR	NA	NR

Note: NR – not required in actual PCB design

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

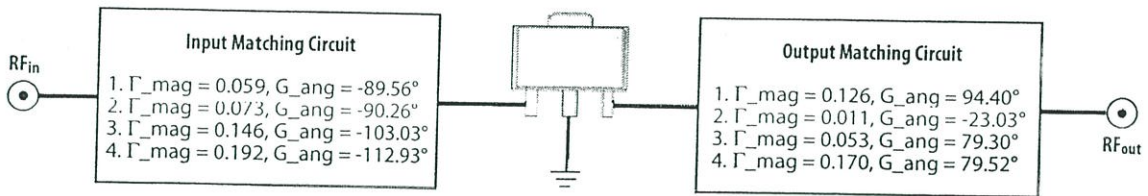


Figure 45. Gamma location for Demoboards

MGA-30489 is a input fully matched and output pre-matched component. To bias MGA-30489, a +5V supply (Vdd) is connected to the output pin thru a RF choke, L3 (which isolates the inband signal from the DC supply) The bypass capacitor helps to eliminate out of low band frequency signals from the power supply, C8, C9 and C10.

The L3 and C8 also acts as the output tuning circuitry. Blocking capacitors are required for its input (C2) and output (C6), to isolate the supply voltage from succeeding circuits. The circuit topology at its output port is changed to achieve best OIP3 while meeting typical specifications for other parameters.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MGA-30489 Typical Scatter Parameters

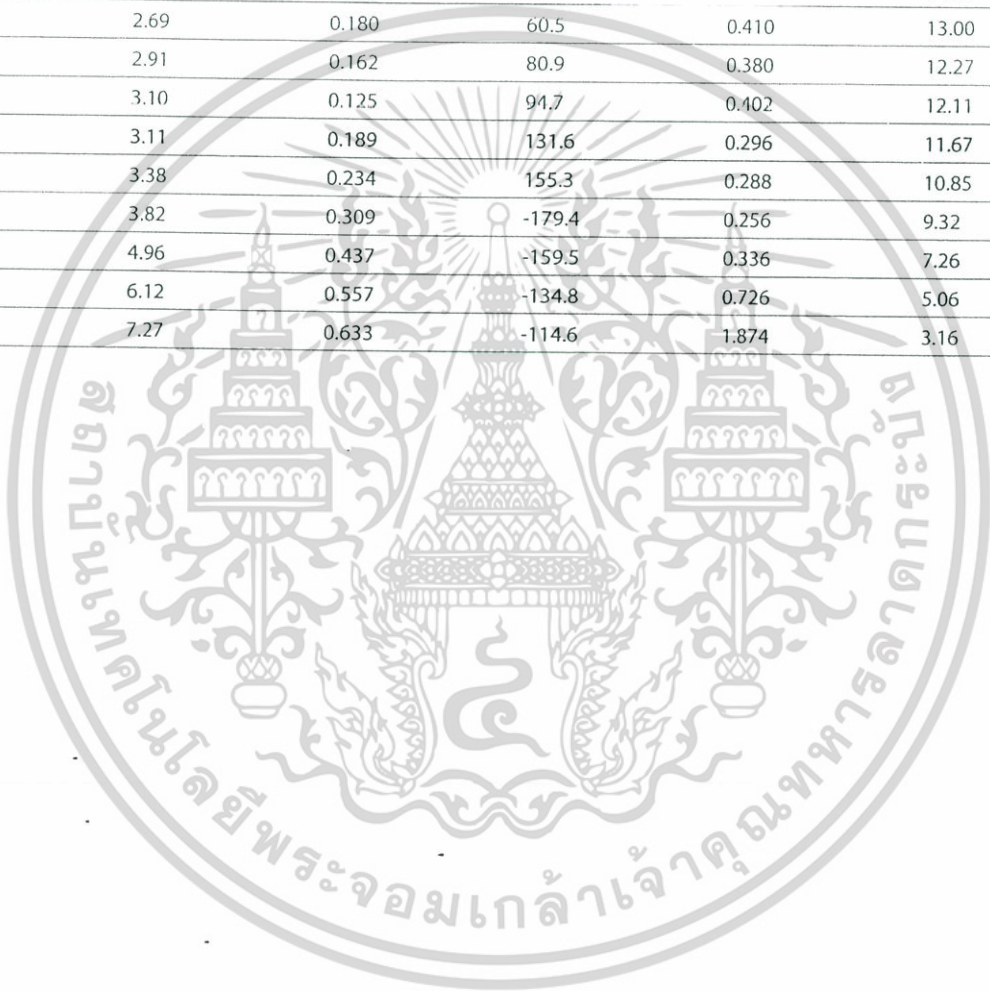
$T_c = 25^\circ\text{C}$, $V_d = 5.0\text{V}$, $I_d = 97\text{mA}$, $Z_0 = 50\Omega$

Freq GHz	S11	S11	S11	S21	S21	S21	S12	S12	S12	S22	S22	S22	K
	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.	dB	
0.10	0.186	-45.8	-14.6	11.598	159.0	21.3	0.038	3.7	-28.4	0.313	-173.9	-10.1	1.154
0.20	0.184	-61.3	-14.7	11.028	149.2	20.8	0.038	0.1	-28.3	0.300	174.2	-10.5	1.209
0.30	0.184	-86.6	-14.7	10.345	137.4	20.3	0.038	-2.2	-28.3	0.293	165.7	-10.7	1.281
0.40	0.190	-103.9	-14.4	9.696	127.0	19.7	0.038	-2.9	-28.3	0.290	154.4	-10.8	1.356
0.50	0.208	-119.2	-13.6	9.009	116.9	19.1	0.039	-4.3	-28.2	0.274	149.8	-11.3	1.425
0.60	0.220	-132.4	-13.2	8.378	107.5	18.5	0.040	-5.5	-28.0	0.260	146.4	-11.7	1.495
0.70	0.229	-144.5	-12.8	7.793	98.6	17.8	0.041	-6.9	-27.8	0.248	142.8	-12.1	1.562
0.80	0.235	-155.6	-12.6	7.280	90.5	17.2	0.042	-8.5	-27.6	0.238	139.9	-12.5	1.624
0.90	0.239	-166.4	-12.4	6.818	82.6	16.7	0.043	-10.4	-27.3	0.229	137.1	-12.8	1.681
1.00	0.242	-176.6	-12.3	6.417	75.3	16.1	0.044	-12.2	-27.1	0.219	134.6	-13.2	1.731
1.10	0.244	173.5	-12.3	6.063	68.1	15.7	0.046	-14.5	-26.8	0.212	132.0	-13.5	1.775
1.20	0.246	163.7	-12.2	5.756	61.3	15.2	0.047	-16.9	-26.5	0.202	129.8	-13.9	1.810
1.30	0.247	154.1	-12.1	5.480	54.7	14.8	0.049	-19.5	-26.2	0.194	127.5	-14.2	1.844
1.40	0.249	144.8	-12.1	5.245	48.3	14.4	0.050	-22.1	-26.0	0.184	125.5	-14.7	1.869
1.50	0.246	137.8	-12.2	5.049	42.0	14.1	0.052	-25.0	-25.7	0.172	119.1	-15.3	1.885
1.60	0.245	130.2	-12.2	4.881	35.6	13.8	0.054	-28.2	-25.3	0.169	112.7	-15.5	1.887
1.70	0.245	122.1	-12.2	4.729	29.4	13.5	0.056	-31.5	-25.1	0.162	109.0	-15.8	1.889
1.80	0.246	113.5	-12.2	4.600	23.2	13.3	0.058	-35.1	-24.8	0.155	105.6	-16.2	1.886
1.90	0.247	105.1	-12.2	4.481	16.9	13.0	0.060	-38.9	-24.5	0.147	102.0	-16.6	1.880
2.00	0.246	96.6	-12.2	4.382	10.7	12.8	0.061	-42.8	-24.2	0.139	99.5	-17.1	1.868
2.10	0.246	88.0	-12.2	4.303	4.5	12.7	0.063	-46.9	-24.0	0.132	97.0	-17.6	1.849
2.20	0.247	79.2	-12.2	4.225	-1.8	12.5	0.065	-51.2	-23.7	0.124	95.7	-18.1	1.834
2.30	0.241	69.4	-12.4	4.179	-8.0	12.4	0.068	-55.6	-23.4	0.116	94.3	-18.7	1.804
2.40	0.241	61.7	-12.4	4.149	-14.6	12.4	0.069	-60.8	-23.2	0.115	95.4	-18.8	1.778
2.50	0.235	51.9	-12.6	4.118	-21.4	12.3	0.072	-65.8	-22.9	0.107	97.1	-19.4	1.745
3.00	0.171	-5.6	-15.3	4.016	-58.2	12.1	0.079	-96.6	-22.0	0.147	121.3	-16.6	1.652
3.50	0.117	-110.8	-18.7	3.211	-97.8	11.4	0.075	-132.9	-22.5	0.287	109.1	-10.8	1.787
4.00	0.318	166.3	-9.9	3.435	-144.5	10.7	0.064	179.4	-23.8	0.459	83.8	-6.8	1.838
5.00	0.538	46.9	-5.4	1.674	122.3	4.5	0.022	35.8	-33.1	0.572	13.9	-4.9	6.495
6.00	0.651	-25.3	-3.7	0.573	60.5	-4.8	0.030	-87.5	-30.5	0.609	-30.2	-4.3	10.279
7.00	0.827	-55.2	-1.6	0.286	18.1	-10.9	0.035	124.9	-29.1	0.723	-54.2	-2.8	6.850
8.00	0.916	-102.7	-0.8	0.155	-36.6	-16.2	0.045	178.2	-26.9	0.755	-95.3	-2.4	4.238
9.00	0.893	-154.6	-1.0	0.071	-94.6	-23.0	0.030	123.1	-30.4	0.803	-148.3	-1.9	16.074
10.00	0.878	174.6	-1.1	0.030	-135.4	-30.4	0.019	88.0	-34.3	0.860	180.0	-1.3	50.759
11.00	0.770	146.5	-2.3	0.040	-143.0	-27.9	0.012	-134.8	-38.2	0.882	157.9	-1.1	90.774
12.00	0.896	112.6	-0.9	0.034	-154.3	-29.3	0.018	-126.6	-34.7	0.886	130.7	-1.1	34.318
13.00	0.949	90.8	-0.5	0.056	172.3	-25.0	0.042	-177.8	-27.5	0.862	97.6	-1.3	6.212
14.00	0.974	50.0	-0.2	0.057	118.4	-24.9	0.047	122.2	-26.6	0.878	61.5	-1.1	2.736
15.00	0.915	14.7	0.8	0.044	85.9	-27.1	0.038	90.0	-28.4	0.916	33.6	-0.8	8.234
16.00	0.816	-33.4	-1.8	0.043	67.0	-27.3	0.039	72.1	-28.1	-0.909	10.0	-0.8	17.848
17.00	0.789	-29.7	-2.1	0.049	58.2	-26.3	0.046	61.9	-26.7	0.884	-22.5	-1.1	19.184
18.00	0.922	-73.9	-0.7	0.061	35.3	-24.3	0.059	37.7	-24.6	0.840	-56.6	-1.5	6.913
19.00	0.881	-116.5	-1.1	0.083	-7.8	-21.6	0.082	-5.9	-21.7	0.777	-85.9	-2.2	7.148
20.00	0.564	-156.7	-5.0	0.070	-53.1	-23.1	0.072	-51.1	-22.9	0.619	-117.7	-4.2	42.516

MGA-30489 Typical Noise Parameters

$T_c = 25^\circ\text{C}$, $V_d = 5.0\text{V}$, $I_d = 97\text{mA}$, $Z_o = 50\Omega$

Freq (GHz)	F_{min} (dB)	Γ_{opt} Mag	Γ_{opt} Ang	R_n/Z_o	G_n (dB)
0.5	2.08	0.298	15.6	0.524	19.67
0.8	2.23	0.341	13.9	0.444	17.19
0.9	2.25	0.259	25.3	0.456	16.89
1	2.31	0.272	24.9	0.446	16.27
1.5	2.44	0.238	33.7	0.424	14.10
2	2.69	0.180	60.5	0.410	13.00
2.5	2.91	0.162	80.9	0.380	12.27
3	3.10	0.125	94.7	0.402	12.11
3.5	3.11	0.189	131.6	0.296	11.67
4	3.38	0.234	155.3	0.288	10.85
4.5	3.82	0.309	-179.4	0.256	9.32
5	4.96	0.437	-159.5	0.336	7.26
5.5	6.12	0.557	-134.8	0.726	5.06
6	7.27	0.633	-114.6	1.874	3.16

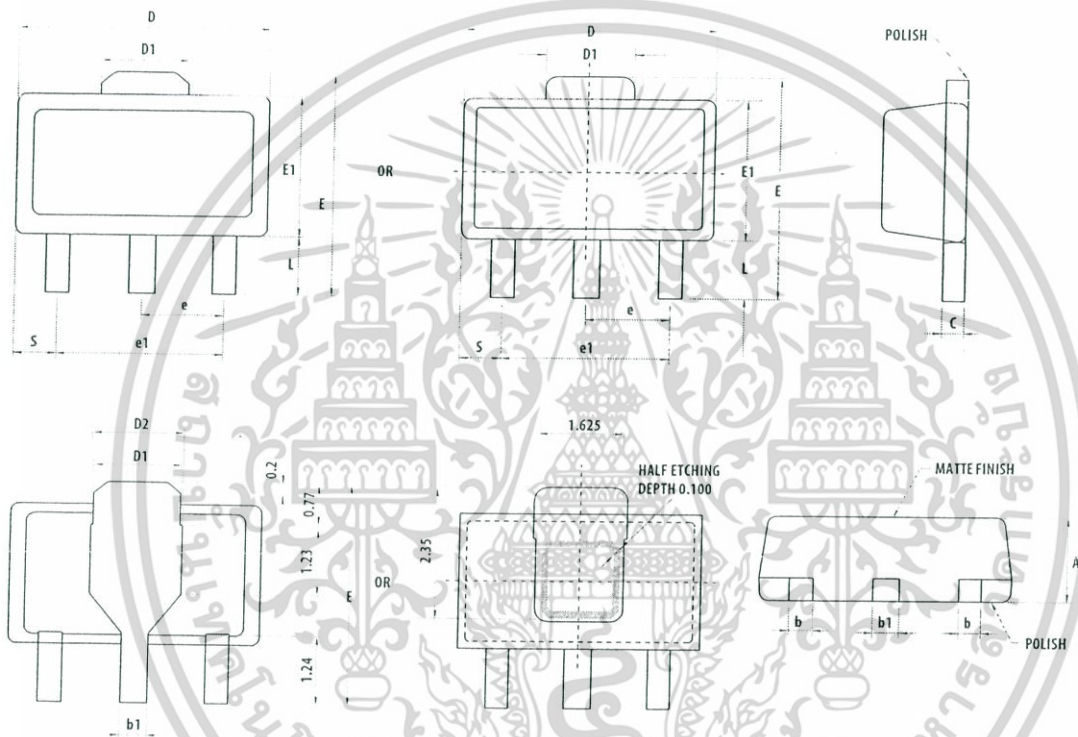


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Part Number Ordering Information

Part Number	No of Devices	Container
MGA-30489-BLKG	100	7" Tape/Reel
MGA-30489-TR1G	3000	13" Tape/Reel

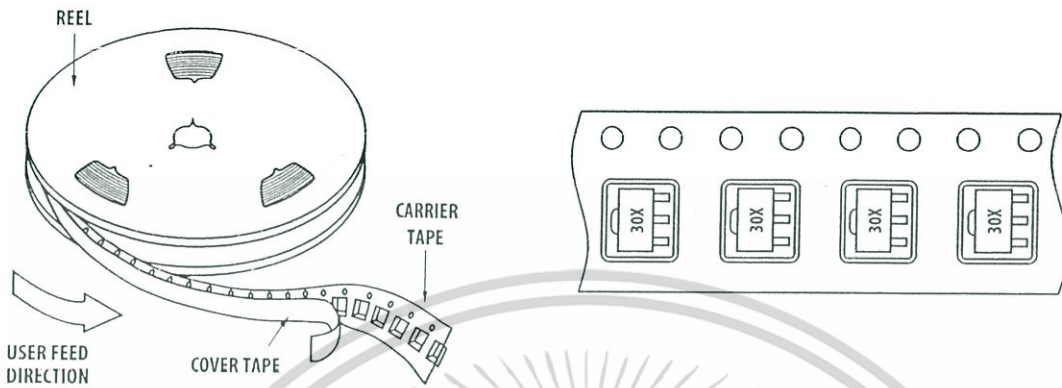
SOT89 Package Dimensions



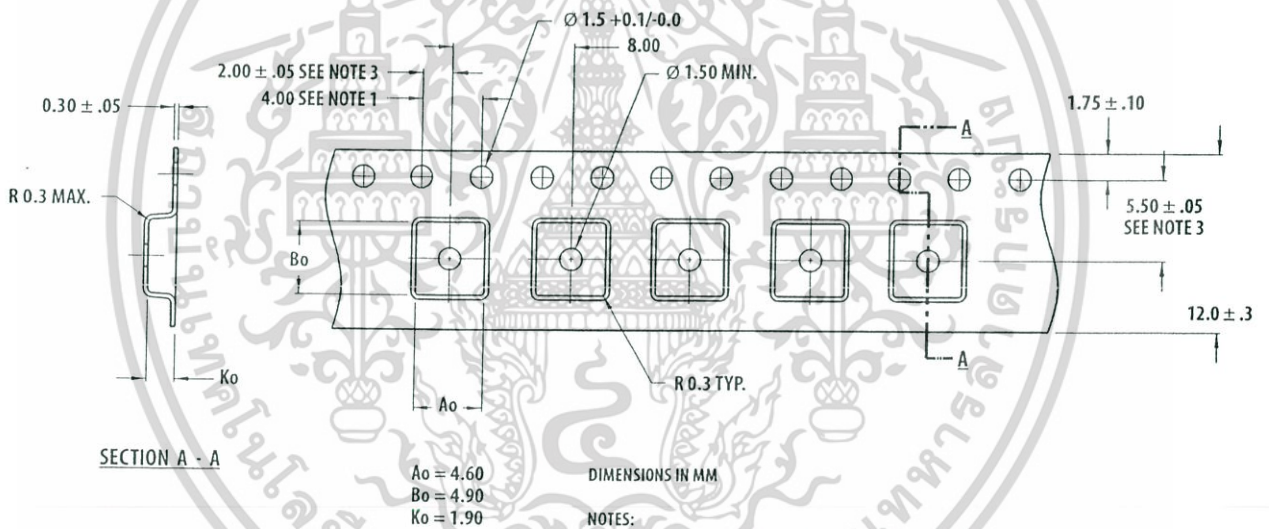
Symbols	Dimensions in mm			Dimensions in inches		
	Minimum	Nominal	Maximum	Minimum	Nominal	Maximum
A	1.40	1.50	1.60	0.055	0.059	0.063
L	0.89	1.04	1.20	0.0350	0.041	0.047
b	0.36	0.42	0.48	0.014	0.016	0.018
b1	0.41	0.47	0.53	0.016	0.018	0.030
C	0.38	0.40	0.43	0.014	0.015	0.017
D	4.40	4.50	4.60	0.173	0.177	0.181
D1	1.40	1.60	1.75	0.055	0.062	0.069
D2	1.45	1.65	1.80	0.055	0.062	0.069
E	3.94	-	4.25	0.155	-	0.167
E1	2.40	2.50	2.60	0.094	0.098	0.102
e1	2.90	3.00	3.10	0.114	0.118	0.122
S	0.65	0.75	0.85	0.026	0.030	0.034
e	1.40	1.50	1.60	0.054	0.059	0.063

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้หรือโฆษณาในด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Device Orientation



Tape Dimensions

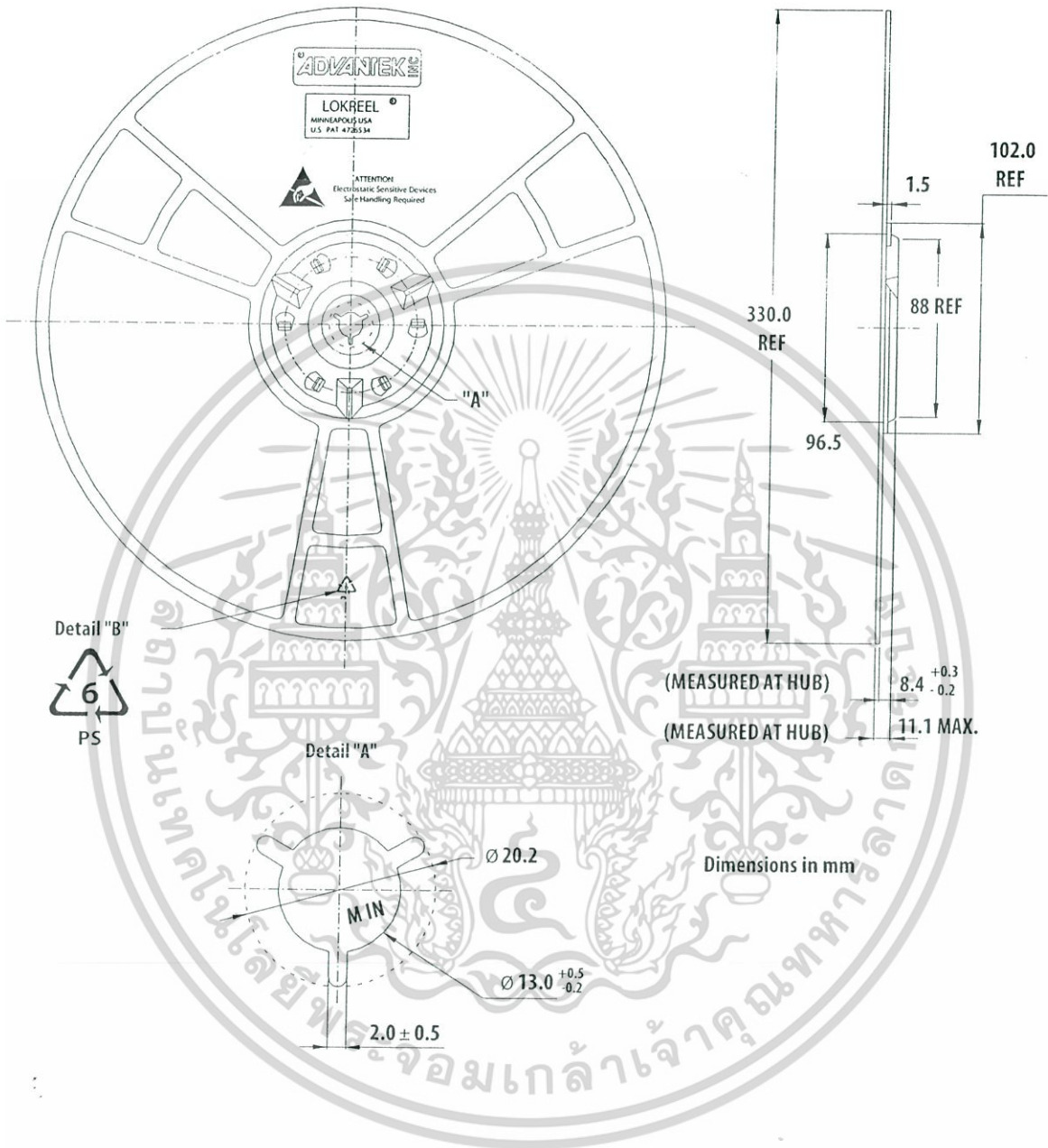


NOTES:

1. 10 SPROCKET HOLE PITCH CUMULATIVE TOLERANCE ± 0.2
2. CAMBER IN COMPLIANCE WITH EIA 481
3. POCKET POSITION RELATIVE TO SPROCKET HOLE MEASURED AS TRUE POSITION OF POCKET, NOT POCKET HOLE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reel Dimensions – 13" Reel



For product information and a complete list of distributors, please go to our web site: www.avagotech.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Avago, Avago Technologies, and the A logo are trademarks of Avago Technologies in the United States and other countries.

Data subject to change. Copyright © 2005-2013 Avago Technologies. All rights reserved.

AV02-1764EN - November 11, 2013

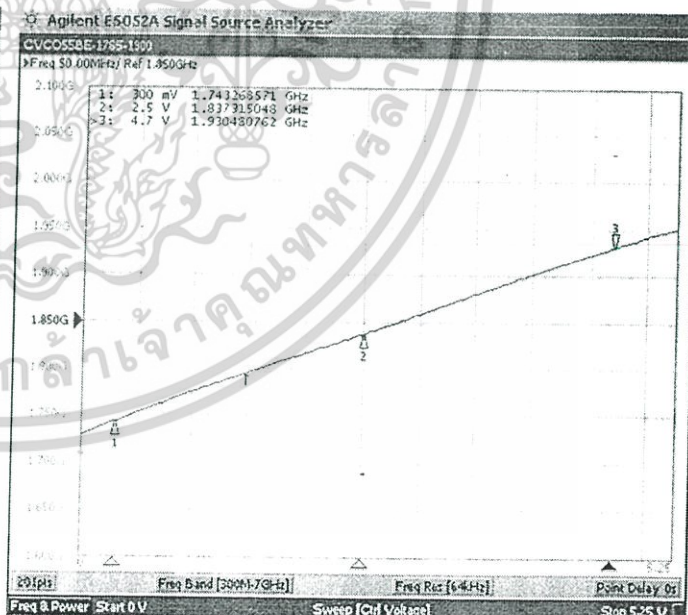
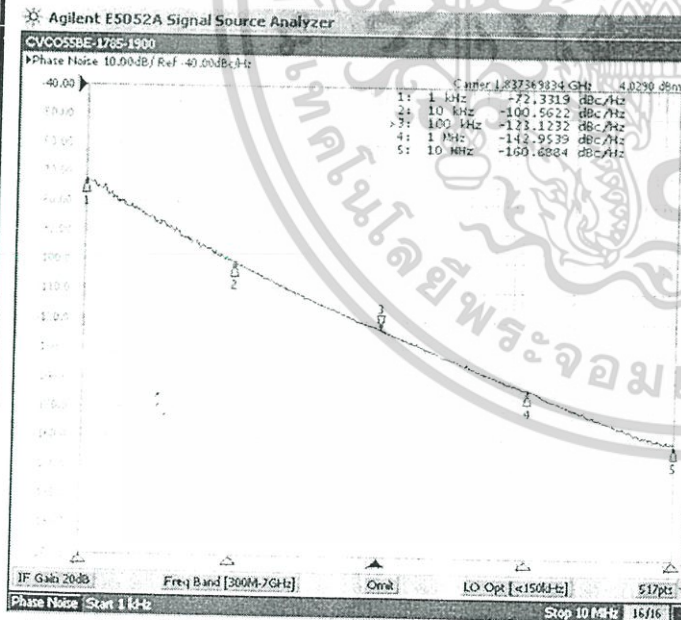




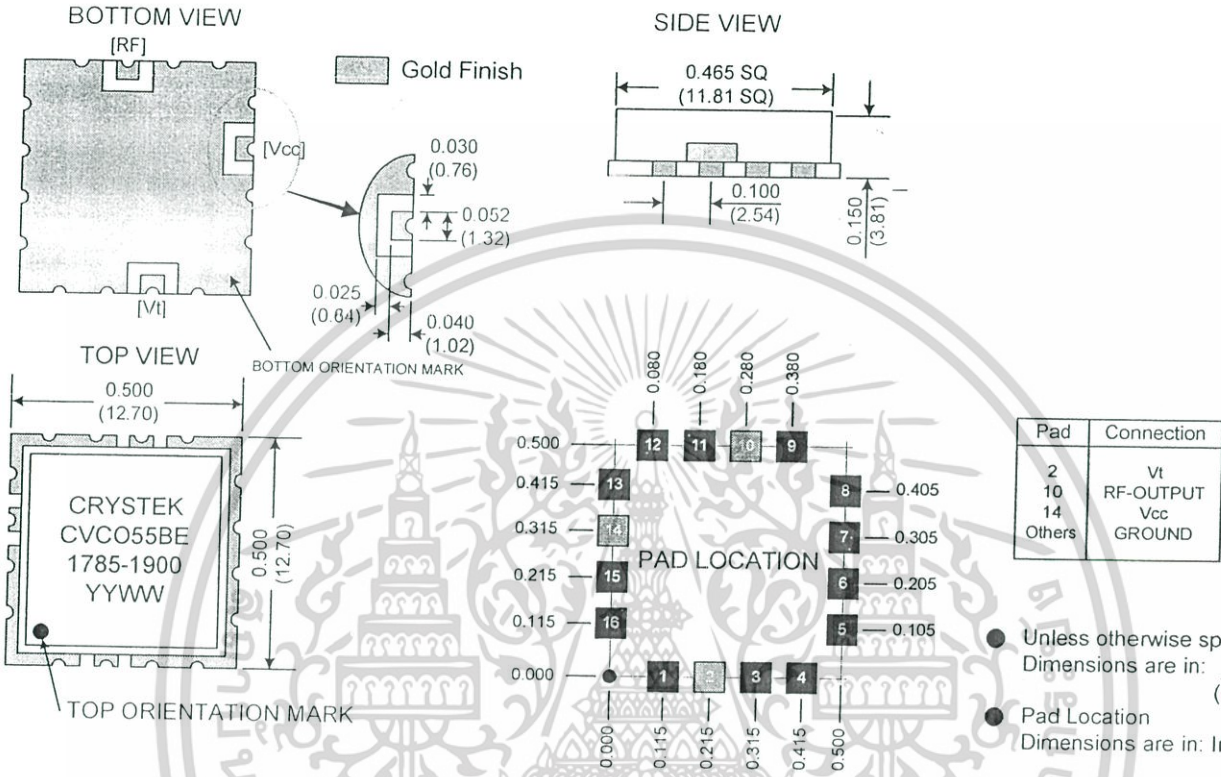
PERFORMANCE SPECIFICATION	MIN	TYP	MAX	UNITS
Lower Frequency:			1785	MHz
Upper Frequency:	1900			MHz
Tuning Voltage:	0.3		4.7	VDC
Supply Voltage:	4.75	5.0	5.25	VDC
Output Power:	0	+2.5	+5.0	dBm
Supply Current:			35	mA
Harmonic Suppression (2 nd Harmonic):		-15		dBc
Pushing:			2.0	MHz/V
Pulling, all Phases:			3.0	MHz pk-pk
Tuning Sensitivity:		45		MHz/V
Phase Noise @ 10kHz offset:		-100		dBc/Hz
Phase Noise @ 100kHz offset:		-122		dBc/Hz
Load Impedance:		50		Ω
Input Capacitance:			50	pF
Operating Temperature Range:	-40		+85	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range:	-45		+90	$^{\circ}\text{C}$

Phase Noise (1 Hz BW, Typical)

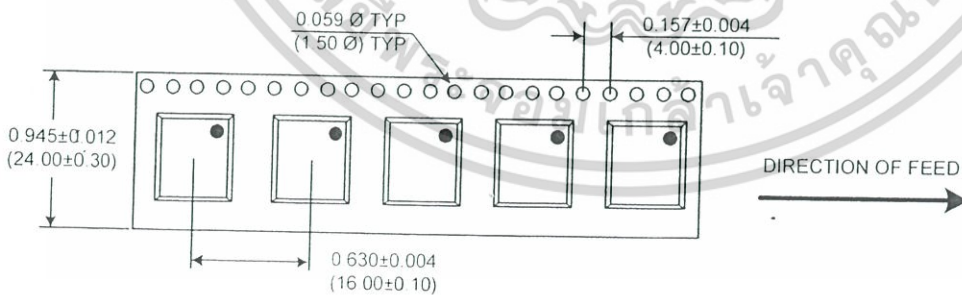
Tuning Curve (Typical)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TAPE AND REEL



Drawing not to scale

Product Control:

Crystek Part Number:	CVCO55BE-1785-1900	Release Date:	10-March-08
Revision Level:	C	Responsible:	C. Vales

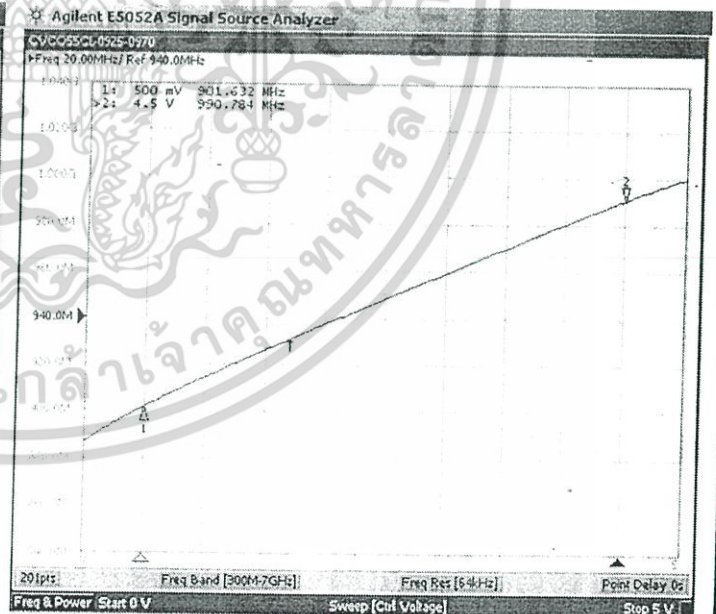
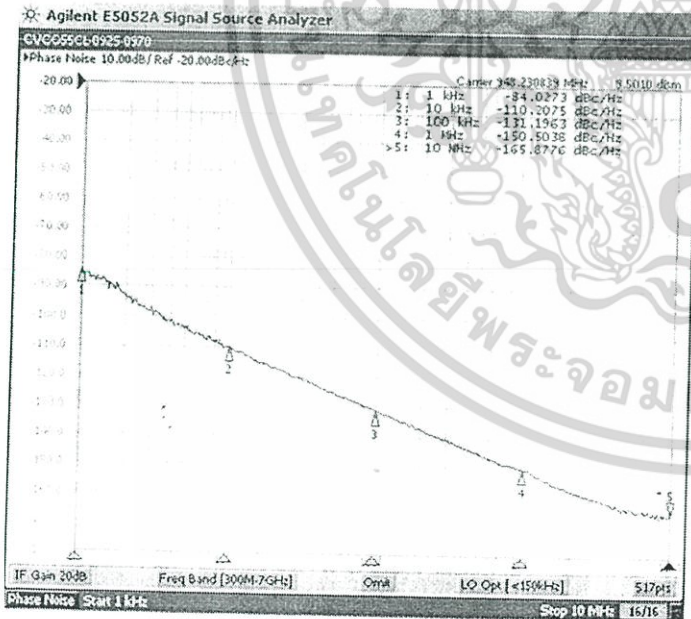
Specification is subject to change without notice

PERFORMANCE SPECIFICATION	MIN	TYP	MAX	UNITS
Lower Frequency:			925	MHz
Upper Frequency:	970			MHz
Tuning Voltage:	0.5		4.5	VDC
Supply Voltage:	4.75	5.0	5.25	VDC
Output Power:	+3.0	+6.0	+9.0	dBm
Supply Current:	-		30	mA
Harmonic Suppression (2 nd Harmonic):		-15	-10	dBc
Pushing:			1.7	MHz/V
Pulling, all Phases:			4.4	MHz pk-pk
Tuning Sensitivity:		13		MHz/V
Phase Noise @ 10kHz offset:		-108		dBc/Hz
Phase Noise @ 100kHz offset:		-128		dBc/Hz
Load Impedance:		50		Ω
Input Capacitance:			50	pF
Operating Temperature Range:	-40		+85	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range:	-45		+90	$^{\circ}\text{C}$

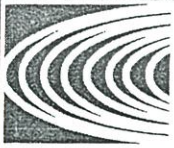


Phase Noise (1 Hz BW, Typical)

Tuning Curve (Typical)



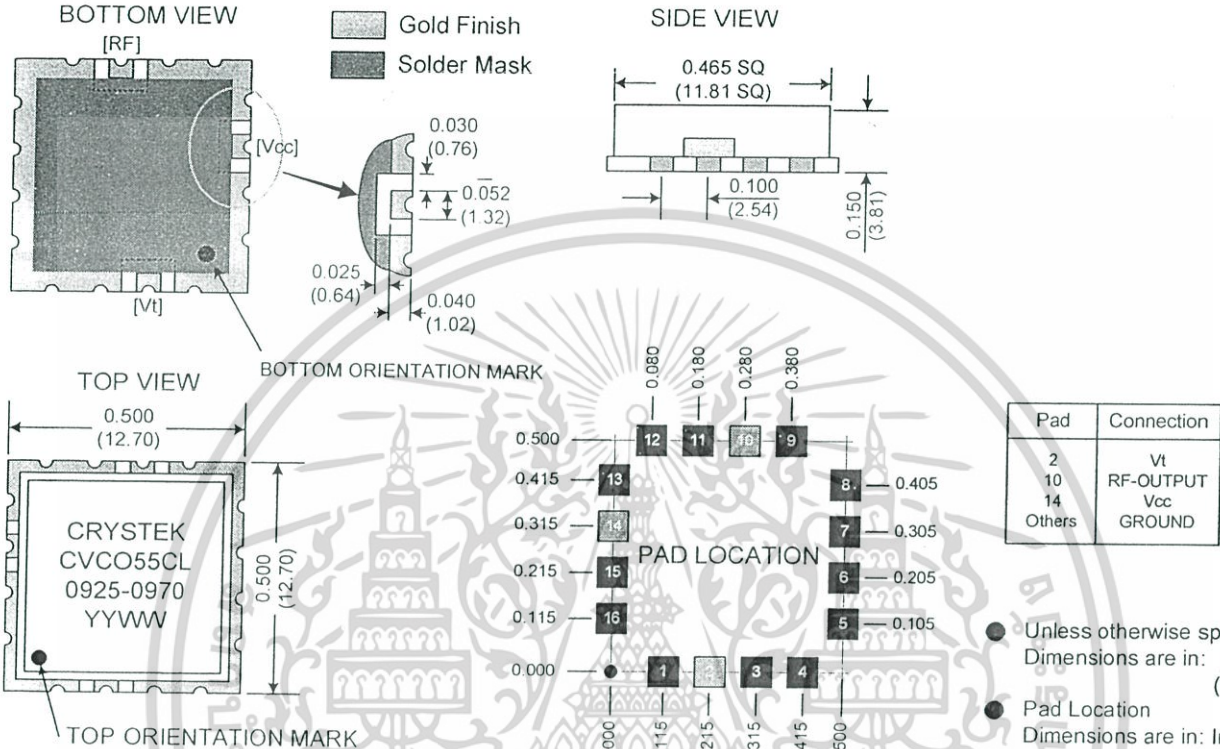
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



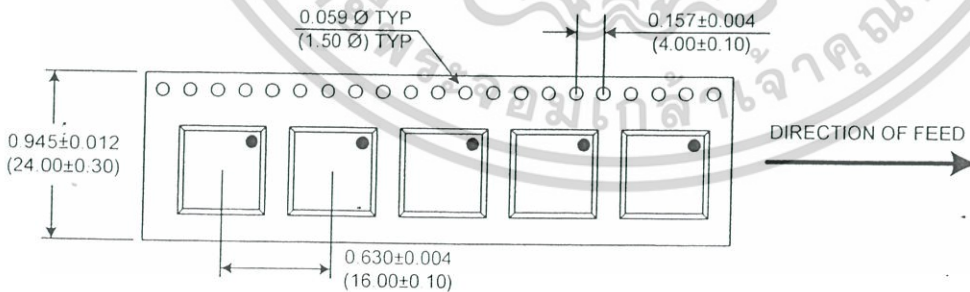
CRYSTEK MICROWAVE

A DIVISION OF CRYSTEK CORPORATION

Voltage Controlled Oscillator-VCO CVCO55CL-0925-0970



TAPE AND REEL



Drawing not to scale

Product Control:	
Crystek Part Number:	CVCO55CL-0925-0970
Revision Level:	D

Release Date:	23-Feb-11	Specification is subject to change without notice
Responsible:	C. Vales	