

เครื่องตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือย่านความถี่ 900 MHz

GSM-900 MOBILE JAMMER



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

วิชา
วิศวกรรมโทรคมนาคม

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว
(ลงชื่อ) ปกิมภัสสร
ผู้ตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือย่านความถี่ 900 MHz

GSM-900 MOBILE JAMMER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

รฟ.
๗๑๖๓๑
๒๕๕๑

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 103146
วัน,เดือน,ปี 28 ส.ค. 2552



b. 12098760
i.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือย่านความถี่ 900 MHz

GSM-900 MOBILE JAMMER

ผู้จัดทำ

1. นายวชิราวุธ วงศ์มา 48010760
2. นายวรวิทย์ พงษ์พานิช 48010773



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาถิพงษ์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง เครื่องตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือย่านความถี่ 900 MHz

GSM-900 MOBILE JAMMER

ผู้จัดทำ

1. นายวิชราวุธ วงศ์มา 48010760

2. นายวรวิทย์ พงุชวานกิจ 48010773


อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาถิพงษ์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือย่านความถี่ 900 MHz

GSM-900 MOBILE JAMMER

โดย นายวชิราวุธ วงศ์มา 48010760

นายวรวิทย์ พฤษพานกิจ 48010773

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาถิพงษ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการสร้างเครื่องตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือในย่านความถี่ 900 เมกกะเฮิร์ต เนื่องจากมีบุคคลบางกลุ่มใช้เทคโนโลยีไปในทางไม่เหมาะสม เช่น กลุ่มก่อการร้ายที่ใช้โทรศัพท์มือถือในการจุดชนวนระเบิดและการใช้โทรศัพท์ในการโกงข้อสอบ เป็นต้น ซึ่งเครื่องตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือนี้มีหลักการทำงานโดยจะส่งสัญญาณรบกวนในย่านความถี่ที่โทรศัพท์ใช้งาน เพื่อให้โทรศัพท์ไม่สามารถโทรเข้าหรือโทรออกได้

ABSTRACT

In this project is to invent a cellular jammer in 900 MHz frequency range. Because there are some groups of people using these technologies in the wrong ways such as terrorists using them for bomb ignition or students cheating the exam by phone etc. The phone signal interceptors works by emitting disturbance signals into the area of frequency where the phone is being used in order to disconnect the in and out phones.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 ประวัติโทรศัพท์เคลื่อนที่	2
2.1.1 โทรศัพท์เซลลูลาร์	2
2.1.2 การจัดระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์	2
2.1.3 การทำงานของระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์	2
2.2 เทคนิคการรบกวน	3
2.2.1. การหลอก	3
2.2.2. การป้องกันการโจมตี	3
2.2.3. การปฏิเสธการบริการ	3
2.3 หลักการของการรบกวนคลื่น (Jamming Basics)	4
2.3.1 การทำงานของอุปกรณ์ส่งคลื่นรบกวน	4
2.3.2 การทำงานของเครือข่ายเมื่อเกิดการรบกวนสัญญาณ	5
2.3.3 วัตถุประสงค์ในการใช้อุปกรณ์รบกวนคลื่นโทรศัพท์	6
2.4 ออสซิลเลเตอร์แบบปรับค่าความถี่ได้ตามแรงดันไฟฟ้าควบคุม (Voltage Control Oscillator)	7
2.4.1 วาเรกเตอร์ไดโอด	7
2.4.2 ค่าคาปาซิแตนซ์ภายในรอยต่อพีเอ็น	8
2.5 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifier)	10
2.5.1 การตั้งจุดทำงานให้กับทรานซิสเตอร์	11
2.6 สายอากาศ	12
2.7 หลักการพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่น	13
2.8 คุณสมบัติของสายอากาศ	15
2.8.1 การต่อสายอากาศกับดิน (Grounded)	15
2.8.2 งานสายอากาศแบบเรโซแนนซ์ (Resonant Antennas)	16
2.9 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	16
2.9.1 แบบรูปแบบไอโซโทรปิก ไคเรคชันแนล และ ออมนิไดเรคชันแนล	16
2.9.2 แบบรูปหลัก	17
2.9.3 ลำคลื่น (Lobe) ของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	18
2.10 ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิทท์	19
2.11 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity)	19
2.12 ไคเรคติวิตี (Directivity)	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.13 ค่าทวีกำลัง (Gain)	20
2.14 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Efficiency)	22
2.15 อินพุทอิมพีแดนซ์ (Input Impedance)	23
2.16 คุณสมบัติของสายอากาศไดโพล	26
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	28
3.1 ระยะเวลาที่จะทำการรวมทวน	28
3.2 Free space loss (F)	28
3.3 แบนด์ความถี่ 900 MHz	29
3.4 Jamming-to-signal ratio (J/S)	29
3.5 ส่วน IF (Intermediate Frequency)	30
3.6 รายละเอียดทั่วไปของ XR2206	30
3.6.1 ลักษณะสำคัญของ XR2206	30
3.6.2 ค่าสูงสุดสัมบูรณ์	31
3.6.3 โครงสร้างลักษณะหน้าที่การทำงานของ XR2206	31
3.6.4 รายละเอียดของระบบของ XR2206	32
3.6.5 การควบคุมระดับแรงดันไฟตรงของเอาต์พุต	32
3.6.6 แนวทางการออกแบบ	32
3.7 วงจรออปแอมป์	33
3.8 VCO (Voltage Control Oscillator)	33
3.9 การออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ปรับค่าความถี่ตามแรงดัน	34
3.10 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifier)	38
3.11 การคำนวณวงจรถ่ายโดยใช้เอสพารามิเตอร์ (S Parameter)	40
3.12 อิมพีแดนซ์แมต칭 (Impedance Matching)	43
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 การทดลองวงจรกำเนิดคลื่นสามเหลี่ยม	44
4.2 การทดลองวงจร dc offset	45
4.3 การทดลองวงจร VCO	45
4.4 การทดลอง Frequency Response ของ Power Amplifier	46
4.4.1. Block diagram	46
4.4.2. ขั้นตอนการทดลอง	46
4.4.3. ผลการทดลอง	47
4.4.4. สรุปผลการทดลอง	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.5 การทดลอง Sensitivity ของ Power Amplifier	55
4.5.1. Block diagram	55
4.5.2. ขั้นตอนการทดลอง	55
4.5.3. ผลการทดลอง	56
4.5.4. สรุปผลการทดลอง	59
4.6 การทดลอง Return Loss, VSWR, Smith chart ของสายอากาศ	59
4.6.1 Block diagram	59
4.6.2 ขั้นตอนการทดลอง	59
4.6.3 ผลการทดลอง	59
4.7 การทดลอง Radiation Pattern ของสายอากาศ	62
4.7.1 Block diagram	62
4.7.2 ขั้นตอนการทดลอง	63
4.7.3 ผลการทดลอง	63
4.7.4 สรุปผลการทดลอง	68
4.8 การทดลองสมรรถนะย่านความถี่ 900 MHz	68
4.9 การทดลองค่า Effective Area ของเครื่องแจมเมอร์	69
4.9.1 Block Diagram	69
4.9.2 ขั้นตอนการทดลอง	69
4.9.3 ผลการทดลอง	69
4.9.4 สรุปผลการทดลอง	71
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	
5.1 สรุปผลการทดลอง	72
5.2 บทวิจารณ์	72

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์	4
รูปที่ 2.2 แสดงการนำอุปกรณ์ jammer ไปใช้ในงานเกี่ยวกับความปลอดภัย	6
รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของวาแรกเตอร์ไดโอด	8
รูปที่ 2.4 รอยต่อพีเอ็นชนิดเปลี่ยนแปลงทันที	8
รูปที่ 2.5 รอยต่อพีเอ็นชนิดเปลี่ยนแปลงอย่างนับปล้น	9
รูปที่ 2.6 ระบบโคออดิเนทสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ	16
รูปที่ 2.7 แบบรูปของสายอากาศชี้ทิศทาง (ออมนิไดเรกชั่นแนล)	17
รูปที่ 2.8 แบบรูปหลักสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กของสายอากาศปากแตร	17
รูปที่ 2.9 (a) ลำคลื่น (Lobe) ต่างๆและความกว้างลำคลื่น(Beam width) แบบรูปสายอากาศ (b) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	18 21
รูปที่ 2.10 สายอากาศส่งและวงจรสมมูลย์	26
รูปที่ 2.11 สายอากาศรับและวงจรสมมูลย์	26
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรแอมเมอร์	30
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของ XR2206	31
รูปที่ 3.3 วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม,สัญญาณซายน์และสัญญาณสี่เหลี่ยม	32
รูปที่ 3.4 วงจรยกระดับไฟ dc	33
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของการป้อนกลับแบบบวก	34
รูปที่ 3.6 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม	34
รูปที่ 3.7 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน	35
รูปที่ 3.8 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้วงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล(Differential amplifier) หาอินพุตริซิสแตนซ์(Input Resistance)	35
รูปที่ 3.9 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ปรับความถี่ได้ตามแรงดัน	36
รูปที่ 3.10 วงจร เฟทออสซิลเลเตอร์ (FET Oscillator)	36
รูปที่ 3.11 วงจรคอลพิทออสซิลเลเตอร์	37
รูปที่ 3.12 คอลพิทออสซิลเลเตอร์ ปรับค่าได้ตามแรงดัน	37
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรกำเนิดคลื่นสามเหลี่ยม	44
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณสามเหลี่ยม	44
รูปที่ 4.3 แสดงวงจร dc offset	45
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณที่เกิดจาก dc offset	45
รูปที่ 4.5 แสดงค่าที่วัดได้จาก vco ที่ 926.225 MHZ	45
รูปที่ 4.6 แสดงค่าที่วัดได้จาก vco ที่ 960.23 MHZ	46
รูปที่ 4.7 แสดง Loss ของระบบเมื่อป้อน 0 dB _m	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 100 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	47
รูปที่ 4.9 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 150 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	47
รูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 200 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	47
รูปที่ 4.11 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 250 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	48
รูปที่ 4.12 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 300 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	48
รูปที่ 4.13 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 350 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	48
รูปที่ 4.14 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 400 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	48
รูปที่ 4.15 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 450 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	49
รูปที่ 4.16 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 500 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	49
รูปที่ 4.17 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 550 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	49
รูปที่ 4.18 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 600 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	49
รูปที่ 4.19 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 650 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	50
รูปที่ 4.20 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 700 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	50
รูปที่ 4.21 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 750 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	50
รูปที่ 4.22 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 800 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	50
รูปที่ 4.23 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 850 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	51
รูปที่ 4.24 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	51
รูปที่ 4.25 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 950 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	51
รูปที่ 4.26 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 1000 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	51
รูปที่ 4.27 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 1050 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	52
รูปที่ 4.28 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 1100 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	52
รูปที่ 4.29 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 1150 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	52
รูปที่ 4.30 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 1200 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	52
รูปที่ 4.31 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 1250 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	53
รูปที่ 4.32 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 1300 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	53
รูปที่ 4.33 แสดง Frequency Response ช่วงความถี่ 100 -1300 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	53
รูปที่ 4.34 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน 0 dB _m	56
รูปที่ 4.35 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -10 dB _m	56
รูปที่ 4.36 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -20 dB _m	56
รูปที่ 4.37 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -30 dB _m	56
รูปที่ 4.38 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -40 dB _m	57
รูปที่ 4.39 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -50 dB _m	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.40 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -60 dB _m	57
รูปที่ 4.41 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -70 dB _m	57
รูปที่ 4.42 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -80 dB _m	58
รูปที่ 4.43 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -90 dB _m	58
รูปที่ 4.44 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -100 dB _m	58
รูปที่ 4.45 แสดง Return Loss ของสายอากาศตั้งแต่ 920-960 MHz	59
รูปที่ 4.46 แสดง VSWR ของสายอากาศตั้งแต่ 920-960 MHz	59
รูปที่ 4.47 แสดง Smith chart ของสายอากาศตั้งแต่ 920-960 MHz	60
รูปที่ 4.48 แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศตั้งแต่ 920-925 MHz	60
รูปที่ 4.49 แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศตั้งแต่ 926-931 MHz	60
รูปที่ 4.50 แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศตั้งแต่ 932-937 MHz	61
รูปที่ 4.51 แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศตั้งแต่ 938-943 MHz	61
รูปที่ 4.52 แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศตั้งแต่ 944-949 MHz	61
รูปที่ 4.53 แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศตั้งแต่ 950-955 MHz	62
รูปที่ 4.54 แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศตั้งแต่ 956-960 MHz	62
รูปที่ 4.55 แสดงการวางสายอากาศส่งและสายอากาศรับเพื่อหา Radiation Pattern ระนาบ H plane	63
รูปที่ 4.56 แสดงสายอากาศที่ใช้เป็นตัวส่งส่ง	63
รูปที่ 4.57 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศระนาบ H plane	65
รูปที่ 4.58 แสดงการวางสายอากาศส่งและสายอากาศรับเพื่อหา Radiation Pattern ระนาบ E plane	66
รูปที่ 4.59 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศระนาบ E plane	68
รูปที่ 4.60 แสดง Block Diagram การทดลองสเปกตรัม	68
รูปที่ 4.61 แสดงค่าที่วัดได้จาก vco ที่ 925-960.5 MHz	68
รูปที่ 4.62 แสดงค่าที่วัดได้จาก power amplifier ที่ 925-960.5 MHz	69

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าการลดทอนที่ระยะต่างๆ ของความถี่ 900 MHz	28
ตารางที่ 3.2 แสดงแบนด์ความถี่ GSM 900 MHz	29
ตารางที่ 4.1 แสดงผลที่วัดได้ของวงจรถ่ายเนคคูลีนสามเหลี่ยม	44
ตารางที่ 4.2 แสดงผลของค่าที่วัดได้จาก vco ที่ไฟ dc = 2.3V	45
ตารางที่ 4.3 แสดงผลของค่าที่วัดได้จาก vco ที่ไฟ dc = 4.5V	46
ตารางที่ 4.4 แสดง Output power ที่ย่านความถี่ต่างๆ	54
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าของ pattern ระนาบ H plane	64
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าของ pattern ระนาบ E plane	66
ตารางที่ 4.7 แสดงระยะระหว่างเครื่องแจมเมอร์กับ โทรศัพท์ที่ท้องศาต่างๆ	69



บทที่ 1

บทนำ

การสื่อสารในปัจจุบันนับว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อบุคคลภายในสังคม ซึ่งจะมียุ่หลายรูปแบบ และโทรศัพท์มือถือก็เป็นการติดต่อสื่อสารวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีวิธีการใช้ไม่ยุ่งยากสามารถติดต่อได้รวดเร็วและพกพาได้สะดวกสบาย

ในปัจจุบันได้มีการใช้โทรศัพท์มือถืออย่างกว้างขวาง ซึ่งโทรศัพท์มือถือสามารถสร้างปัญหาซึ่งเกิดจากเสียงเรียกเข้าที่กลายเป็นเสียงรบกวนหรือเป็นอุปสรรคต่อตัวเราและบุคคลอื่น สามารถเกิดขึ้นได้ในบางสถานที่เช่น ห้องประชุม ศาล ห้องสมุด ห้องเรียนและสุเหร่า เป็นต้น วิธีเดียวที่จะหยุดเสียงรบกวนเหล่านี้คือการติดตั้งเครื่องตัดสัญญาณ วิธีการที่รู้จักกันดีคือ ตัวส่งคลื่นรบกวนโทรศัพท์มือถือ หรือ “ตัวส่งคลื่นรบกวนจีเอสเอ็ม” ที่เป็นการวัดมาตรฐานทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยจะเป็นขั้นตอนที่ง่ายมาก เป็นการติดตั้งสัญญาณอาร์เอฟในลำดับความถี่ที่สงวนสำหรับโทรศัพท์มือถือที่เข้ามาแทรกสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ซึ่งเกิดผลในการแสดง “ การล้มเหลวของเครือข่าย ” ในหน้าจอของโทรศัพท์มือถือ โทรศัพท์ทั้งหมดภายในรัศมีที่มีประสิทธิภาพของเครื่องรบกวนจะเงียบ

สำหรับโครงการนี้เป็นโครงการ เครื่องตัดสัญญาณโทรศัพท์ระบบจีเอสเอ็ม 900 กล่าวคือสัญญาณโทรศัพท์มือถือที่อยู่ในระยะของเครื่องจะไม่สามารถใช้งานได้ โดยสามารถนำโครงการนี้ไปประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆ ได้ เช่น การตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือภายในโรงพยาบาล เมื่อมีการฉายภาพยนต์เพื่อป้องกันไม่ให้มีบุคคลโทรเข้าและมีเสียงดังขึ้นขณะชมภาพยนต์ ซึ่งเป็นการรบกวนบุคคลอื่น เป็นต้น

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ประวัติโทรศัพท์เคลื่อนที่

ในตอนแรกนั้น เมื่อปี พ.ศ. 2483 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งใช้ระบบการรับส่งคลื่นแบบ AM อยู่ ซึ่งมีข้อจำกัดอย่างมาก เพราะช่องสัญญาณแต่ละช่องสามารถใช้ได้เพียงผู้ใช้เดียวเท่านั้นและ การติดต่อหมายเลขปลายทางต้องเรียกผ่านศูนย์ควบคุม เพื่อให้พนักงานเป็นผู้ติดต่อให้ซึ่งไม่สะดวกมาก

ต่อมาในปี พ.ศ. 2490 ห้องทดลองเบลล์ได้จดสิทธิบัตรของระบบนี้ และได้พัฒนาระบบวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่กลายเป็นระบบโทรศัพท์แบบรวมฝั่ง หรือโทรศัพท์เซลลูลาร์ แต่ระบบยังไม่สามารถนำไปใช้ในทางธุรกิจได้

จนกระทั่ง พ.ศ. 2526 ระบบโทรศัพท์แบบเซลลูลาร์ก็ได้ถูกคิดตั้งขึ้นและเปิดให้ใช้บริการ โดยบริการทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนเล็กๆ ซึ่งเรียกว่าเซลล์ แต่ละเซลล์จะมีขนาดเล็กพ่วงต่อกันเป็นแบบรวมฝั่ง เนื่องจากพื้นที่ให้บริการมีขนาดเล็ก จึงไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องส่งที่มีกำลังสูงๆ และสามารถใช้เวลาใช้งานได้ จึงเป็นที่มาของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ไม่ใช่โทรศัพท์อยู่กับที่

2.1.1 โทรศัพท์เซลลูลาร์

โทรศัพท์เซลลูลาร์เป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบใหม่ ที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาให้เหมาะสมกับการใช้งานในระบบวิทยุสื่อสาร โทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบันและยังสามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้กว้างมากขึ้น รวมทั้งขยายขอบเขตการให้บริการแก่ผู้ใช้บริการ ได้ต่อเนื่อง ไม่มีขีดจำกัดอีกด้วย กล่าวคือ ในเขตพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่น เช่น กรุงเทพฯ มีความต้องการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่จำนวนมาก ก็ออกแบบให้มีจำนวนเซลล์มากขึ้นเพื่อรองรับอัตราใช้บริการให้มากขึ้น ส่วนในเขตพื้นที่ที่มีประชากรเบาบาง เช่น ในเขตต่างจังหวัด มีความต้องการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นจำนวนน้อยก็ออกแบบให้เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อความเหมาะสม แต่ละเซลล์ที่ติดกันจะใช้อ่านความถี่ที่แตกต่างกันด้วย เพื่อป้องกันการรบกวนซึ่งกันและกัน ส่วนเซลล์ที่อยู่ห่างออกไปจะนำความถี่เดิมมาใช้ซ้ำ เรียกว่า การนำความถี่กลับมาใช้ซ้ำ และยังไม่เกิดการสอดแทรกและสูญหายของสัญญาณด้วย เมื่อต้องการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นก็แบ่งจำนวนเซลล์ออกเป็นเซลล์ย่อย ให้มากขึ้นได้ตามต้องการ ทำให้การทำงานของระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์สามารถนำความถี่มาใช้งานอย่างคุ้มค่า

2.1.2 การจัดระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์

ระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์นี้จะนำความถี่ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ซ้ำ จำนวนช่องสัญญาณจะมากขึ้นอยู่กับจำนวนแถบคลื่นความถี่ที่จัดสรรให้ โดยองค์กรที่รับผิดชอบ และช่วงห่างของช่องสัญญาณที่เป็นมาตรฐานใช้กันอยู่เป็นเครือข่ายช่องสัญญาณในกลุ่มเซลล์ที่ติดกันจะต้องใช้ความถี่ที่แตกต่างกันด้วย ระบบการทำงานของโทรศัพท์เซลลูลาร์จะต้องระมัดระวัง การสอดแทรกของช่องสัญญาณที่ใช้ความถี่เดียวกัน โดยบริเวณที่ใกล้เคียงกัน ต้องให้อยู่ในขีดจำกัดที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานการสื่อสารในระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์ ส่วนในการนำความถี่เดิมมาใช้ใหม่นั้น จำเป็นต้องเลือกจำนวนช่องเซลล์สัญญาณที่แตกต่างกัน(K) ควรให้มีมากที่สุดที่จะจัดได้เท่าที่จำเป็น จะต้องไม่ให้เกิดการทับกันหรือเกิดช่องว่างระหว่างเซลล์ด้วย จำนวนช่องเซลล์สัญญาณที่แตกต่างกัน (K) ที่ยอมรับได้และนิยมใช้งานคือ K= 4,7,12 และ 19 เซลล์ เป็นต้น

2.1.3 การทำงานของระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์

เมื่อเครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์เริ่มเปิดเครื่อง ก็จะทำการตรวจสอบหาสัญญาณจากช่องสัญญาณที่มีอยู่ในเออากาศบริเวณนั้นเองอย่างอัตโนมัติทันที การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปรับความถี่เข้าหาช่องสัญญาณที่มีความแรงมากที่สุดของสถานีฐานที่อยู่ใกล้ที่สุด และก็จะไว้อย่างนั้นจนกว่าตัวเครื่องของโทรศัพท์จะเคลื่อนที่ไปที่เซลล์อื่นก็จะมีคนนำไปที่อื่น ในบริเวณที่มีความแรงของสัญญาณแรงกว่าเดิม
- เมื่อผู้ใช้ต้องการติดต่อโดยการกดหมายเลขแล้วคลุมโทรศัพท์เครื่องโทรศัพท์นี้ก็จะทำการค้นหาสถานีฐานให้เองโดยอัตโนมัติ ข้อมูลของสัญญาณควบคุมและสัญญาณเรียกจะถูกส่งไปยังสถานีฐานที่มีตำแหน่งที่ใกล้ที่สุด
- สถานีฐานจะเชื่อมต่ออยู่กับชุมสายโทรศัพท์เซลลูลาร์ ที่เป็นตัวควบคุมและสลับสายของสัญญาณสนทนา ซึ่งก็จะต่อกันเป็นระบบเครือข่ายของโทรศัพท์ โดยสัญญาณเรียกจะถูกส่งต่อไปยังชุมสายโทรศัพท์ขององค์การโทรศัพท์
- หากผู้รับปลายทางเป็นโทรศัพท์บ้าน หรือต่อไปยังชุมสายโทรศัพท์เซลลูลาร์ระบบอื่นหรือระบบเดียวกัน เมื่อผู้รับปลายทางเป็นโทรศัพท์ที่เซลลูลาร์ สัญญาณเรียกนี้ต้องส่งผ่านช่องปรับแต่งของระบบ ต่อช่องสัญญาณของผู้เรียกกับผู้รับเข้าหากัน
- กรณีใช้โทรศัพท์บ้านเรียกเข้าหาเครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์ ชุมสายโทรศัพท์ธรรมดาสามารถแยกได้ว่าเป็นการเรียกไปยังปลายทางชนิดใด จากกลุ่มรหัสเลขหมายนำหน้า
- ชุมสายโทรศัพท์ธรรมดา ก็จะเชื่อมสัญญาณเข้าหาชุมสายโทรศัพท์เซลลูลาร์ ชุมสายโทรศัพท์เซลลูลาร์ต้องส่งข้อมูลสั้นๆ เข้าหาเครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์ตามข้อมูลของเลขหมายนั้นในการค้นหาเครื่องถูกขยับด้วย
- แต่ละสถานีฐานนั้นก็ทำการส่งข้อความเรียกผ่านทางช่องปรับแต่ง และเมื่อเครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์รับทราบว่ามีผู้เรียกเข้าหาตัวเอง แล้วก็จะทำการติดต่อกลับผ่านทางช่องปรับแต่ง
- สถานีฐานก็จะจัดการหาช่องสัญญาณที่ว่างให้สามารถเชื่อมต่อ การสนทนาได้ เครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์ทำการจูนเข้าหาความถี่ของช่องสัญญาณตามคำสั่งของสถานีฐาน
- การเคลื่อนที่เปลี่ยนเซลล์ของเครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์ ระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์สามารถทราบได้ว่าสัญญาณการติดต่อของเครื่องโทรศัพท์ที่กำลังใช้งานไปยังเซลล์ถัดไป โดยอัตโนมัติในทิศทางที่เครื่องโทรศัพท์เดินทางไป เรียกว่า แชนค้อฟ หรือแฮนด์โอเวอร์

2.2 เทคนิคการรบกวน

มีหลายๆ วิธีในการรบกวน RF (Radio Frequency) วิธีการส่วนใหญ่สามารถแยกออกได้เป็น

2.2.1. การหลอก

รูปแบบนี้เป็นการทำให้โทรศัพท์มือถือปิดเครื่องเอง รูปแบบนี้ยากต่อการนำมาใช้งานจริงเนื่องจากการรบกวนจะได้รับการค้นพบในตอนแรกในพื้นที่เฉพาะ ดังนั้นจึงเป็นการส่งสัญญาณไปยังโทรศัพท์มือถือเพื่อให้ใช้งานไม่ได้ บางรูปแบบของเทคนิคนี้สามารถค้นพบได้ถ้าโทรศัพท์มือถืออยู่ใกล้ๆ และส่งข้อความไปบอกผู้ใช้ให้เปลี่ยนโทรศัพท์ให้อยู่ในรูปแบบเงียบ

2.2.2. การป้องกันการโจมตี

เป็นที่รู้จักกว่าคือ การป้องกัน TEMPEST หรือ EMF เป็นการปิดพื้นที่โดยไม่สามารถส่งหรือรับสัญญาณ RF จากภายนอกได้ พื้นที่นี้สามารถสร้างให้ใหญ่ได้

2.2.3. การปฏิเสธการบริการ

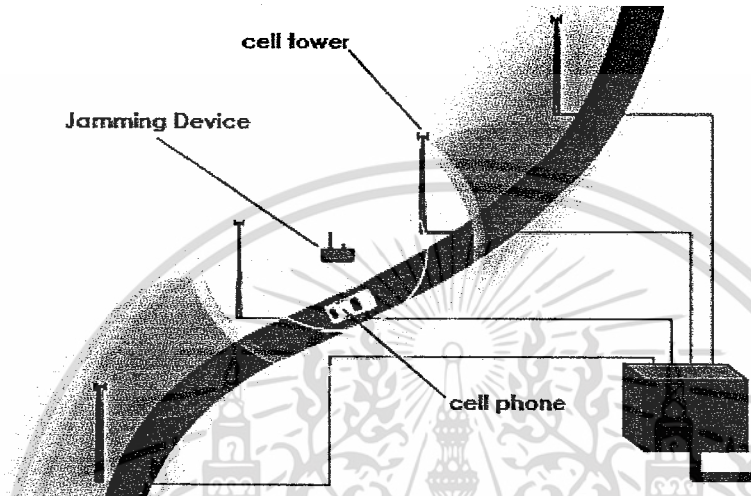
เทคนิคนี้อ้างถึง DOS เป็นการส่งสัญญาณรบกวนในความถี่เดียวกับของโทรศัพท์มือถือเพื่อลดค่า signal to noise ratio (SNR) ของโทรศัพท์มือถือภายใต้ค่าที่น้อยที่สุด รูปแบบของการรบกวนนี้ง่ายที่สุด เราจึงใช้

วิธีการนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการของการรบกวนคลื่น (Jamming Basics)

โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำงานโดยอาศัยการติดต่อกับเครือข่ายที่ให้บริการผ่านคลื่นที่ส่งออกมาเสาสัญญาณของสถานีย่อย ซึ่งสถานีย่อยเหล่านี้จะแบ่งพื้นที่ในเมืองออกเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก ๆ ในขณะที่ผู้ใช้บริการกำลังขับรถอยู่ในเมืองสัญญาณโทรศัพท์ก็จะถูกส่งต่อจากสถานีหนึ่ง ไปอีกสถานีหนึ่ง

ส่วนอุปกรณ์ส่งคลื่นรบกวนจะทำงาน โดยการส่งคลื่นที่มีความถี่เดียวกับความถี่ที่โทรศัพท์ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับเสาสัญญาณ



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์

วิธีการนี้เรียกว่า การรบกวนแบบปฏิเสธการให้บริการ (denial – of – service attack) โดยสัญญาณที่อุปกรณ์นี้ส่งออกมาจะไปรบกวนสเปกตรัมของคลื่นวิทยุที่ผู้ใช้บริการส่งออกมาผ่านเสาสัญญาณ ทำให้เสมือนโทรศัพท์จะไม่รับรู้ว่าบริเวณนี้อยู่ในเขตให้บริการ เมื่อภายในบริเวณที่สัญญาณของอุปกรณ์นี้สามารถส่งไปถึง

2.3.1 การทำงานของอุปกรณ์ส่งคลื่นรบกวน

อุปกรณ์ส่งคลื่นรบกวนนั้นจะถูกออกแบบมาเพื่อให้สร้างความถี่ที่ตรงกับความถี่ที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้ และมีกำลังส่งมากพอที่จะทำให้สัญญาณทั้งสองหักล้างกันไปจนหมด ซึ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะทำการเพิ่มกำลังส่งให้มากขึ้นในกรณีที่มิสัญญาณรบกวนระดับต่ำ ๆ จากภายนอก ดังนั้นอุปกรณ์นี้จะต้องตอบสนองต่อกำลังส่งที่เพิ่มขึ้นของโทรศัพท์นี้ได้เป็นอย่างดี โทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นอุปกรณ์สื่อสารสองทางแบบสมบูรณ์ (Full – duplex device) ซึ่งแสดงว่ามันใช้ความถี่ในการทำงาน 2 ความถี่ นั่นคือ ความถี่หนึ่งไว้สำหรับพูด และอีกความถี่หนึ่งไว้สำหรับฟังในเวลาเดียวกัน อุปกรณ์รบกวนบางชนิดจะป้องกันความถี่เพียงความถี่เดียว ซึ่งจะได้ผลเหมือนกับการปิดกั้นทั้งสองความถี่ โทรศัพท์จะถูกหลอกให้คิดว่าไม่ได้อยู่ในเขตให้บริการเพราะว่าสามารถรับได้เพียงความถี่เดียว อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนน้อย จะสามารถปิดกั้นได้เพียงกลุ่มความถี่เดียวเท่านั้น (ทั้งความถี่ที่ใช้พูดและความถี่ที่ใช้ฟังเพียงคู่เดียว) เมื่ออุปกรณ์มีความซับซ้อนมากขึ้นจะสามารถปิดกั้นได้หลาย ๆ กลุ่มเครือข่าย ในกรณีที่โทรศัพท์เป็นแบบ Dual Band หรือ Tri Band จะสลับเปลี่ยนไปมาระหว่างเครือข่ายสัญญาณเปิดได้โดยอัตโนมัติ

ในขณะที่อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนสูงมากจะสามารถปิดกั้นทุกความถี่ได้ในเวลาเดียวกัน การจะปิดกั้นการทำงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ เราจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถกระจายคลื่นที่มีความถี่ถูกต้อง แม้ว่าระบบไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การให้บริการของผู้ให้บริการรายต่าง ๆ จะมีการประมวลสัญญาณแตกต่างกัน แต่ทุกรายจะใช้คลื่นวิทยุที่ถูกรบกวนได้ เช่น ระบบ GSM เป็นระบบสื่อสารแบบดิจิทัล ซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนระบบ PCS ที่ใช้ความถี่ 900-MHz และ 1800-MHz ในทวีปยุโรปและเอเชีย และความถี่ 1900-MHz ในสหรัฐอเมริกา อุปกรณ์รบกวนในปัจจุบันสามารถส่งคลื่นที่รบกวนความถี่ในระบบต่าง ๆ เช่น AMPS , CDMA , TDMA , GSM , PCS , DCS , jDEN และระบบ Nextel ได้ ทั้งโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบอนาล็อกแบบเก่า และระบบดิจิทัลรุ่นใหม่ในปัจจุบันล้วนได้รับผลกระทบจากการรบกวนทั้งสิ้น

ระยะกระจายคลื่นที่แท้จริงของอุปกรณ์ขึ้นอยู่กับกำลังส่งของเครื่อง และสภาพแวดล้อมใกล้เคียง ไม่ว่าจะ เป็นเนินเขาหรือกำแพงอาคารที่สามารถกันสัญญาณรบกวนไม่ให้ผ่านไปได้ อุปกรณ์รบกวนที่มีกำลังส่งคลื่นต่ำ สามารถปิดกั้นการใช้โทรศัพท์ได้เป็นระยะประมาณ 30 ฟุต (9 เมตร) อุปกรณ์รบกวนที่มีกำลังส่งคลื่นสูง สามารถสร้างบริเวณปลอดการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ขนาดเท่ากับสนามฟุตบอล อุปกรณ์ที่นำมาบังคับใช้ทางกฎหมายสามารถปิดกั้นการให้บริการ โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ไกลถึง 1 ไมล์ (1.6 กิโลเมตร)

2.3.2 การทำงานของเครือข่ายเมื่อเกิดการรบกวนสัญญาณ

ถ้าระยะระหว่างเครื่องรบกวนและผู้รับเป็น 2 เท่า เครื่องรบกวนต้องมีเอาต์พุตเป็น 4 เท่าสำหรับการรบกวนในผลเดียวกัน สังเกตว่าเครื่องรบกวนจะเกิด path loss ที่ต่างจาก path loss ที่เกิดจากระบบการสื่อสาร ดังนั้นเครื่องรบกวนจึงมีข้อได้เปรียบมากกว่าเครื่องส่งของระบบการสื่อสาร ในเครือข่าย GSM ระบบย่อยสถานีฐาน (BSS) จะดูแลแหล่งกำเนิดคลื่น นอกจากนั้น สถานีฐานรับ (BTS) จะเป็นตัวรับ RF

BSS ประกอบด้วย 3 ส่วน เหล่านี้คือ สถานีฐานควบคุม (BSC) ที่รับผิดชอบในการจัดการและส่งสัญญาณในการเชื่อมต่อทางอากาศระหว่างสถานีเคลื่อนที่ (MS), สถานีฐานรับ (BTS) และการเชื่อมต่อทางอากาศระหว่าง BSS และ ศูนย์สับเปลี่ยนการบริการเคลื่อนที่ (MSC)

การเชื่อมต่อระบบ GSM จะประกอบด้วยการมัลติเพล็กซ์ 2 แบบคือ TDMA (Time Division Multiple Access) และ FDMA (Frequency Division Multiple Access) สเปกตรัมจะถูกแบ่งออกเป็น 220KHz แต่ละช่องสัญญาณจะถูกแบ่งเป็น 8 timeslots (TDMA) แต่ละ 8 timeslots เฟรม TDMA จะมีความกว้าง 4.6 ms (577s/timeslot)

การกระโดดของความถี่ใน GSM มีเจตนาเพื่อลดเฟดดิ้ง(fading)ที่เกิดแบบรวดเร็วลงเนื่องจากการเคลื่อนไหวของผู้ใช้งานสัญญาณ ในขณะที่ ความถี่ระหว่าง 2 ตำแหน่งอาจจะใช้กับความถี่ที่ต่างกัน 64 ที่ ซึ่งจำนวนเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับ ระบบ FH ของทหารที่ออกแบบสำหรับการหลีกเลี่ยงการรบกวน ดังนั้นความเร็วของ GSM ทั้งสองตำแหน่งประมาณ 200 hops/s ดังนั้น ความถี่ของ GSM ไม่เป็นการเตรียมการป้องกันในการโจมตีของการรบกวนอย่างแท้จริง

แม้ว่า FM ไม่ช่วยในการป้องกันการรบกวน แต่ระบบ GSM สามารถป้องกันจังหวะของการรบกวนได้ สำหรับ GSM แสดงระบบ SNRmin เฉพาะคือ 9 dB เครื่องรบกวนต้องการ 5 dB S/J เพื่อประสบความสำเร็จในการรบกวนช่องทางของ GSM ค่าที่ดีที่สุดของ GSM SNR คือ 12 dB หลังจากจุดนี้จะเริ่มลดระดับความสามารถ ระบบ GSM สามารถป้องกันการรบกวน โดยการตัด Traffic Channel (TCH) การตัดเหล่านี้เกิดจากการสูญเสียในการเผยแพร่เนื่องจากอุปสรรคอย่างเช่น สะพาน ตึก สิ่งก่อสร้าง เป็นต้น เซลล์อื่นๆ สามารถนำมาใช้ในการรักษาการสื่อสาร เมื่อ BTS ไม่มีการเชื่อมต่อ

โครงสร้าง GSM มีการเตรียมการแก้ปัญหาสองอย่างคือ อย่างแรกการส่งมอบ เมื่อการเชื่อมต่อยังใช้ได้สองการสร้างเซลล์ใหม่เมื่อการเชื่อมต่อแรกเสียหายทั้งหมด การตัดสินใจส่งมอบกระทำบนพื้นฐานของการส่งต่ออย่างมีคุณภาพและระดับการยอมรับที่ดำเนินการโดย MS และ BTS

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสถานการณ์การรบที่เรียกว่าการสร้างใหม่ อาจจะเป็นขั้นตอนของเครือข่ายที่จะเข้ามาในการเชื่อมต่อการรบ TCH เห็นได้ชัดว่า การรบด้าน Downlink (นั่นคือ การรบสถานีเคลื่อนที่ของ “อุปกรณ์ฝั่งรับ”) ซึ่งง่ายกว่าการรบด้าน Uplink เป็นสถานีฐานของเสาอากาศ ที่มักจะตั้งอยู่ห่างจาก MS ในหอคอยหรือตึกที่สูง ทำให้เกิดประสิทธิภาพสำหรับเครื่องรบที่มีพลังงานมากสำหรับสัญญาณจาก BS แต่ช่องทางการส่งในการเข้าถึง (RACH) เป็นการควบคุมช่องทางของ BS ทั้งหมด ในพื้นที่ที่ต้องการรบเพื่อตัดการส่งต่อ เพื่อตัดการเชื่อมต่อที่มีอยู่ การรบต้องน้อยที่สุดจนกว่าการติดตั้งใหม่ที่ MSC ที่หมดอายุ และการเชื่อมต่อจะถูกปล่อยออกมา ซึ่งก็หมายความว่า เซลล์ที่มีอยู่สามารถตัดหลังจากไม่กี่วินาทีของการรบที่มีประสิทธิภาพ แผนการส่งในการเข้าถึงของ GSM RACH ง่ายมาก เมื่อการร้องขอไม่ได้รับคำตอบ สถานีเคลื่อนที่จะทำซ้ำถ้าหลังจากการส่งแล้ว ดังนั้น เซลล์ในพื้นที่ควรจะถูกรบ ในกรณีส่วนใหญ่ ประสิทธิภาพของการรบโทรศัพท์มือถือยากต่อการกำหนด เนื่องจากขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย ซึ่งทำให้การรบบนั้น สับสน

2.3.3 วัตถุประสงค์ในการใช้อุปกรณ์รบบเคลื่อนที่โทรศัพท์

อุปกรณ์ส่งเคลื่อนที่รบบโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นแต่เดิมถูกพัฒนาขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการบังคับใช้กฎหมาย และวัตถุประสงค์ทางการทหาร เพื่อขัดขวางการติดต่อสื่อสารกันของพวกผู้ก่อการร้าย

การระเบิดที่เกิดขึ้นในประเทศสเปนเมื่อเดือนมีนาคม ค.ศ. 2004, ในบาห์ลีเมื่อเดือนตุลาคม ค.ศ. 2002 และที่กรุงจาการ์ตาเมื่อเดือนสิงหาคม ค.ศ. 2003 เหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นล้วนเกิดขึ้นจากการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ในการจู่โจมระเบิด มีรายงานอย่างแพร่หลายว่าอุปกรณ์ส่งเคลื่อนที่รบบช่วยในการป้องกันการลอบสังหารประธานาธิบดีฆาราลฟองปาภิสถานไว้ได้ เมื่อเดือนธันวาคม ค.ศ. 2003 ครั้งที่ประธานาธิบดีบุชไปเยือนลอนดอนเมื่อเดือนพฤศจิกายน ปีค.ศ. 2004 ก็ได้มีการใช้อุปกรณ์นี้ในการป้องกันขบวนการของประธานาธิบดีบนถนนทั่วกรุงลอนดอน



รูปที่ 2.2 แสดงการนำอุปกรณ์ jammer ไปใช้งานเกี่ยวกับความปลอดภัย

ในสถานการณ์ช่วยเหลือตัวประกัน ตำรวจสามารถควบคุมไม่ให้อาชญากรสามารถใช้โทรศัพท์ได้ไม่ว่าที่ไหนและเมื่อไหร่ อุปกรณ์ส่งสัญญาณรบบโทรศัพท์เคลื่อนที่นี้ยังสามารถใช้ได้ในการส่งคลื่นวิทยุเป็นอันตราย เช่น พื้นที่เก็บเคมีภัณฑ์ หรือในลิฟต์ลำเลียงเมล็ดพันธุ์พืช ซึ่งอาจเสี่ยงต่อการเกิดระเบิดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นประโยชน์ระยะยาวด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ออสซิลเลเตอร์แบบปรับค่าความถี่ได้ตามแรงดันไฟฟ้าควบคุม (Voltage Control Oscillator)

โดยทั่วไปมักเรียกสั้นๆ ว่า วิซีโอ (VCO) เป็นวงจรที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบการสื่อสารแอนะล็อกแทบทุกชนิด เป็นการแปลงจากสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นสัญญาณคลื่นวิทยุ ผลิตสัญญาณ RF

วงจรที่ใช้สำหรับการปรับแต่งความถี่ของวงจรรออสซิลเลเตอร์โดยใช้คาปาซิทีฟไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำหรือที่เรียกว่า “วาริแคป”(varicap) หรือ วาเรกเตอร์ (varactor) คุณสมบัติของไดโอดชนิดนี้คือ ค่าคาปาซิแตนซ์จะแปรผันตามค่าแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับไปป้อนให้แก่ตัวมัน ดังนั้นเมื่อวาเรกเตอร์ต่อक्रमขลวดเหนี่ยวนำในวงจรของออสซิลเลเตอร์จึงทำให้มีคุณสมบัติในการปรับความถี่ได้โดยการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอด

2.4.1 วาเรกเตอร์ไดโอด

หรือโวลเตจวาริเอเบิลคาปาซิเตอร์ไดโอด (Voltage – Variable Capacitor diodes : VVCs) เมื่อรอยต่อพีเอ็นถูกป้อนแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับจะทำให้คุณสมบัติเป็นคาปาซิเตอร์ได้ พีและเอ็นเปรียบได้กับตัวนำสองแผ่นที่ประกบกันอยู่ โดยมีย่านปลอดประจุของรอยต่อแทรกอยู่ ซึ่งย่านปลอดประจุนี้เปรียบเสมือนตัวต้านทาน เพราะไม่มีประจุไฟฟ้าอิสระใดๆ เคลื่อนที่ผ่านไปได้ ค่าคาปาซิแตนซ์จะมีค่าลดลงเมื่อแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับที่ป้อนมีค่าสูงขึ้น แต่ความสัมพันธ์ระหว่างพีและเอ็นของวาเรกเตอร์ส่วนใหญ่ไม่ได้มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น

สาเหตุที่ค่าคาปาซิแตนซ์ลดลงเมื่อระดับแรงดันย้อนกลับสูงขึ้น เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับจะไปขยายย่านปลอดประจุในรอยต่อพีเอ็นให้กว้างขึ้น เมื่อแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับสูงขึ้นเมื่อเปรียบเสมือนว่าความต้านทานระหว่างแผ่นเพลตมีค่าสูงขึ้นนั่นเอง จึงทำให้ค่าคาปาซิแตนซ์ลดลง และเมื่อแรงดันไฟฟ้าลดลงย่านปลอดประจุก็จะลดลง ทำให้ค่าคาปาซิแตนซ์มากขึ้นเหมือนกับค่าคาปาซิเตอร์ทั่วไป ซึ่งค่าคาปาซิแตนซ์ของย่านปลอดประจุ และย่านปลอดประจุเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าแรงดันย้อนกลับ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าไดโอดคาปาแตนซ์กับค่าแรงดันย้อนกลับดังนี้

$$C_j = C_0 \left(1 + \left| \frac{V_D}{V_r} \right| \right)^{-n} \quad (2.1)$$

โดยที่ค่า C_0 คือ ค่าคาปาซิแตนซ์ที่เรายังไม่ได้จ่ายแรงดันย้อนกลับให้ (zero bias capacitance)

V_r คือ ค่าไดโอดเทิร์นออนโวลเตจ (diode turn – on voltage)

n คือ เป็นเลขลบที่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการเจือสาร

สำหรับรอยต่อพีเอ็นแบบเปลี่ยนแปลงทันที (abruptly graded) ค่า n จะเท่ากับ $-1/2$ ดังนั้นจะได้คาปาซิแตนซ์

$$C_j = \frac{C_0}{\sqrt{1 + \left| \frac{V_D}{V_r} \right|}} \quad (2.2)$$

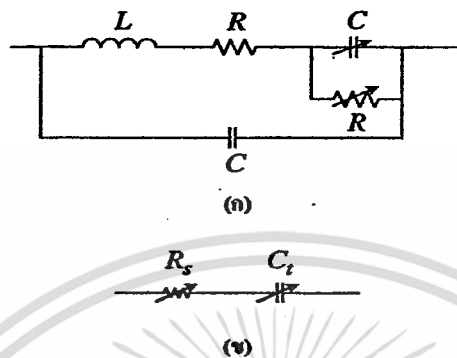
แต่สำหรับวาเรกเตอร์ไดโอดโดยทั่วไป ค่า n อาจมีค่าได้มากถึง -3 หรือ -4 และปกติจะมีค่าย้อนกลับ

ไบอัสคาปาซิแตนซ์ในช่วง 2 ถึง 100 pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ค่าคาปาซิแตนซ์ภายในรอยต่อพีเอ็น

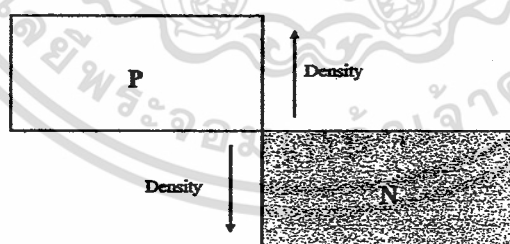
รอยต่อพีเอ็นเป็นพื้นฐานของไดโอดซึ่งพบในโครงสร้างของทรานซิสเตอร์มอสเฟตและ เจฟเฟตด้วยเหมือนกัน รอยต่อพีเอ็นนี้จะมีค่าคาปาซิแตนซ์ภายในได้เงื่อนไขทั้งการป้อนแรงดันไฟฟ้าแบบตรงและย้อนกลับ



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของวาแรกเตอร์ไดโอด

รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของวาแรกเตอร์ไดโอด C_j เป็นคาปาซิแตนซ์และรอยต่อ (Junction capacitance) ถูกขนาบโดย R_j ซึ่งเป็นค่าความต้านทานการรั่วไหลของรอยต่อ (R_j แทนค่าความต้านทานของวัสดุสารกึ่งตัวนำ L_p เบ็ดค่าแพคเกจอินดักแตนซ์ (package inductance) และเป็นค่าแพคเกจคาปาซิแตนซ์ (package capacitance)

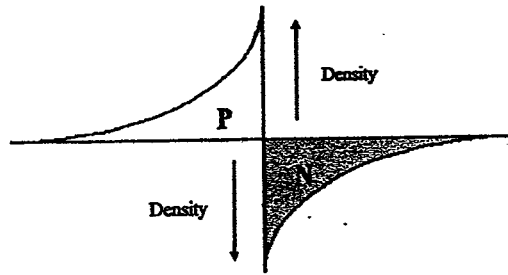
ปกติแล้ว L_p จะมีค่าน้อยมากและ R_j จะมีค่ามาก ซึ่งสามารถลดรูปแสดงวงจรของวาแรกเตอร์ไดโอดอย่างง่ายได้ตามรูปที่ 2.3 ซึ่งในกรณีค่าคาปาซิแตนซ์เท่ากับ $C_T = C_j + C_C$ ค่า Q สามารถมีค่าสูงถึง 600 ที่ความถี่สูงถึง 50 เมกะเฮิร์ตซ์ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่า Q เปลี่ยนตามแรงดันไบอัสและความถี่ตัวเลขนี้ใช้ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวาแรกเตอร์ที่ต่างกันเท่านั้น



รูปที่ 2.4 รอยต่อพีเอ็นชนิดเปลี่ยนแปลงทันที

ในรูปที่ 2.4 แสดงการเจือจางสารของรอยต่อพีเอ็นชนิดเปลี่ยนแปลงทันที ไดโอดสารกึ่งตัวนำจะมีการเจือจางสารเสมอกันและเปลี่ยนแปลงทันทีที่หันจาก P-type ไป N-type ที่รอยต่อ ส่วนในรูปที่ 2.5 แสดงการเจือจางของอุปกรณ์ที่มีรอยต่อชนิดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน (hyperabrupt junction)

ความหนาแน่นของการเจือจางสารจะเพิ่มขึ้นมากบริเวณใกล้รอยต่อ การเพิ่มความหนาแน่นนี้จะทำให้ย่านปลอดประจุแคบลง ซึ่งจะทำให้มีค่าคาปาซิแตนซ์ของรอยต่อมากขึ้นทำให้ความกว้างของย่านปลอดประจุมีความไวมากต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันย้อนกลับ และเนื่องจากสาเหตุนี้ทำให้สามารถมีค่า TR สูงๆ ได้ โยชน์ด้านการคำนวณ ไม่ว่าจะเป็นกรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 รอยต่อพีเอ็นชนิดเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน

ค่า TR (Capacitance Turning Ratio) เป็นอัตราส่วน ระหว่าง C_T ที่แรงดันย้อนกลับค่าน้อยต่อค่า C_T ที่แรงดันย้อนกลับมีค่ามาก โดยจะขึ้นกับการเจือสารของอุปกรณ์ TR อาจมีค่าน้อยถึง 2 หรืออาจมากกว่า 15 โดยค่าคาปาซิแตนซ์เนื่องจากรอยต่อ (junction capacitance) จะมีค่ามากกว่าค่าคาปาซิแตนซ์ตกค้าง (stray lead capacitance) ค่าคาปาซิแตนซ์ภายในรอยต่อเกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขของการไบอัสย้อนกลับ ซึ่งสามารถเข้าใจได้โดยการพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพของรอยต่อพีเอ็นและบริเวณปลอดประจุ

ภายใต้เงื่อนไขของการไบอัสย้อนกลับจะเกิดสนามไฟฟ้าจากค่าแกน ไอออนบวกในด้านสารกึ่งตัวนำเอ็นของย่านปลอดประจุ ไปยังแกน ไอออนลบทางด้านสารกึ่งตัวนำพี โดยปรากฏการณ์นี้จะเหมือนกับพลต 2 เพลตของคาปาซิเตอร์ทั่วไป โดยที่สนามไฟฟ้าจะเริ่มต้นจากประจุบวกทางเพลตด้านขวาไปสิ้นสุดบนประจุลบบนเพลตด้านซ้ายซึ่งสามารถเขียนค่าประจุได้เป็น

$$Q_+ = CV \text{ และ } Q_- = CV$$

โดยค่า C เป็นค่าเพลตคาปาซิแตนซ์ทั้งหมด และค่าสนามไฟฟ้าระหว่างเพลตมีค่าเป็น

$$E = \frac{V}{d}$$

โดยค่า d เป็นค่าระยะห่างระหว่างเพลต

สำหรับรอยต่อพีเอ็นเมื่อไบอัสย้อนกลับตามรูป ค่าประจุทั้งหมดทางด้านขวาของย่านปลอด

ประจุจะเท่ากับ

$$Q_+ = qN_D W_N A$$

โดยค่า N_D = ความเข้มข้นของผู้ให้

A = พื้นที่หน้าตัดของรอยต่อ

W_N = ความกว้างของครึ่งซีกขวาของย่านปลอดประจุ

ในทำนองเดียวกันกับค่าประจุทั้งหมดทางด้านซ้ายของย่านปลอดประจุจะเท่ากับ

$$Q_- = -qN_A W_P A$$

โดยค่า N_A = แอคเซปเตอร์คอนเซนเตรชัน (acceptor concentration)

W_P = ความกว้างของครึ่งซีกซ้ายของย่านปลอดประจุ

โดยที่ค่า Q_+ และ Q_- จะต้องมียุทธศาสตร์เท่ากัน เพราะว่าสนามไฟฟ้าจะเกิดขึ้นและสิ้นสุดในจำนวนประจุที่เท่ากัน

สำหรับโครงสร้างทางกายภาพ การเปลี่ยนค่าแรงดันที่จ่ายให้จะเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนค่า

Q_+ และ Q_- เมื่อ ΔV เพิ่มขึ้น ประจุ $\pm \Delta Q = C \Delta V$ ไหลผ่านคาปาซิเตอร์เพลตและสนามไฟฟ้าระหว่างขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งสองเพิ่มขึ้น เมื่อค่าแรงดันที่ไบอัสย้อนกลับที่รอยต่อพีเอ็นเพิ่มขึ้นเท่ากับ ΔV_D การเพิ่มขึ้นของ Q_p และ Q_n ซึ่งจะทำให้เหมาะสมโดยขยายย่านปลอดประจุ และเพิ่มสนามไฟฟ้าในย่านปลอดประจุ

สำหรับโครงสร้างของรอยต่อพีเอ็นชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน การเปลี่ยน ΔQ ใน Q_p และ Q_n ต่อหนึ่งหน่วยการเปลี่ยน ΔV_D เขียนได้เป็น

$$\frac{\Delta Q}{\Delta V_D} \approx C_j = A \sqrt{\frac{q\epsilon N_A N_D}{2 N_A + N_D}} \frac{1}{(I_0 - V_D)} \quad (2.3)$$

โดยที่ A = พื้นที่หน้าตัดของรอยต่อ

V_D = ค่าแรงดันไบอัสย้อนกลับ

ϵ = ค่าพหุคูณไดอิเล็กตริก (permittivity) ของสารกึ่งตัวนำ

I_0 = มิลท์อินโวลเตจซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของวัสดุสารกึ่งตัวนำ

โดยค่าไบอัสย้อนกลับที่รอยต่อคาพาซิแตนซ์ตามสมการที่ 2.3 เรียกว่า ค่าดีพลีชันคาพาซิแตนซ์ (depletion capacitance) ซึ่งค่าของมันมักจะแปรผกผันกับรากที่สองของ V_D

จากความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆของ C_j กับ V_D จะสามารถประมาณค่าไบอัสย้อนกลับที่รอยต่อคาพาซิแตนซ์ได้ โดยค่าคงที่สำหรับแรงดันเล็กๆใกล้กับจุดไบอัสรอยต่อพีเอ็นสำหรับรอยต่อที่มีการเจือสารซึ่งลดลงทีละน้อย (gradient doping) จะลดลงมากกว่ารอยต่อแบบลาดชันฉับพลัน ค่าดีพลีชันคาพาซิแตนซ์ จะเขียนได้เป็น

$$C_j = K_j (I_0 - V_D)^n \quad (2.4)$$

โดยที่ n เป็นตัวเลขระหว่าง 1/3 ถึง 4

K_j เป็นค่าคงที่เหมือนกับเทอมแรกในวงเล็บของสมการแรก

เมื่อรอยต่อพีเอ็นได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าแบบตรง จะมีค่าคาพาซิแตนซ์เดียวกันแต่เรียกว่า การเก็บประจุ (charge store) หรือค่า คาพาซิแตนซ์ที่เกิดจากการแพร่ (diffusion capacitance)

2.5 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifier)

ในวงจรขยายสัญญาณที่มีระดับต่ำ มักจะพิจารณาในด้านของความต้องการให้มีสัญญาณรบกวนระดับต่ำ อัตราขยายสัญญาณและการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรเป็นหลักใหญ่ แต่ในวงจรขยายกำลังแล้วมักจะเน้นถึงความสามารถในการที่จะขับโหลดได้ต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ยกตัวอย่างของโหลด เช่น ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โหลดที่วงจรขยายกำลังต้องขับมักเป็นลำโพง , เครื่องบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติ (Automatic Recorder) เป็นต้น เพื่อให้ได้งานทางกลจากโหลดเหล่านี้ แหล่งกำเนิดพลังงานที่จะต้องป้อนสัญญาณทางไฟฟ้าเข้าไป จะต้องจ่ายพลังงานออกมาได้หลายร้อยมิลลิวัตต์ โดยนัยกล่าวมาแล้วคือ การต้องการกำลังในการขับโหลดสูง ปัญหาที่ตามมาคือ การสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพเพียงพอก็จะจ่ายกับวงจรได้

เมื่อพิจารณาถึงทรานซิสเตอร์จะพบว่ามิชข้อเสียคือ สามารถทำงานที่ระดับไฟเลี้ยงต่ำแต่ยอมให้กระแสผ่านได้สูง ทำให้การสร้างแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่เหมาะสมกับวงจรทำได้ง่าย และมีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อเทียบกับการใช้หลอดสูญญากาศซึ่งต้องใช้ระดับศักดาสูง

ด้วยเหตุนี้เอง ถ้าไม่ใช้วงจรที่ขยายกำลังเป็นพิเศษ เช่น วงจรขยายเสียงที่ใช้หลอดสูญญากาศเป็นตัวขับโหลด หลอดสูญญากาศที่ใช้ในเครื่องส่งวิทยุเพื่อให้ได้กำลังงานสูง ๆ จะนิยมใช้ทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายกำลังเป็นส่วนใหญ่

แต่ตัวทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่ออุณหภูมิและการจ่ายกำลังไปยังโหลดเกินความสามารถ ดังนั้นจะต้องพิจารณาเกี่ยวกับสภาวะของการถ่ายเทความร้อนออกจากตัว และการจ่ายกำลังได้สูงสุดที่ทรานซิสเตอร์จะไม่เป็นอันตรายด้วย

ในการออกแบบวงจร จะใช้ทรานซิสเตอร์ซึ่งมีการแบ่งสภาวะการทำงานออกเป็น 3 สภาวะ คือ

1) สภาวะไม่นำกระแสของทรานซิสเตอร์ (Cut Off) คือ สภาวะที่ไม่จ่ายแรงดันไบอัสตรงหรือลดค่าแรงดันไบอัสตรง (V_{BE}) ให้ต่ำลงจนกระทั่งกระแสเบส (I_B) หยุดไหล จะทำให้กระแสคอลเลกเตอร์ (I_C) หยุดไหลด้วย แต่จะมีเพียงกระแสรั่วซึม ไหลเพียงเล็กน้อย

2) สภาวะนำกระแสของทรานซิสเตอร์ (Conduction) คือ สภาวะที่กระแสคอลเลกเตอร์สามารถไหลเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นสัดส่วนตามการควบคุมของกระแสเบส ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง (Linear) ในการทำงานของทรานซิสเตอร์จะถูกกำหนดจุดทำงานให้อยู่ในบริเวณนี้

3) สภาวะอิ่มตัวของทรานซิสเตอร์ (Saturation) คือ สภาวะที่เพิ่มกระแสเบสสูงถึงจุดๆ หนึ่งแล้วกระแสคอลเลกเตอร์จะไม่เปลี่ยนแปลงสูงขึ้น จุดที่กระแสคอลเลกเตอร์ไหลที่นี้เรียกว่า “จุดอิ่มตัว”

2.5.1 การตั้งจุดทำงานให้กับทรานซิสเตอร์

คือ การเลือกกำหนดค่ากระแสเบสของทรานซิสเตอร์ไว้ที่จุดต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. คลาสเอ คือ การตั้งค่าของกระแสเบสให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสอยู่ตรงบริเวณเส้นตรง ดังนั้นกระแสคอลเลกเตอร์จึงไหลอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ไม่มีสัญญาณอินพุตป้อนเข้ามา วงจรนี้จะขยายสัญญาณอินพุตทั้งช่วงบวกและช่วงลบ ส่งออกไปทางเอาต์พุตอย่างสมบูรณ์

ข้อดี รูปสัญญาณทางเอาต์พุตมีลักษณะเหมือนอินพุต ไม่เกิดความเพี้ยน (จากกลับเฟส 180°)

ข้อเสีย สิ้นเปลืองกระแสมาก เนื่องจากทรานซิสเตอร์จะมีกระแสอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ว่ายังไม่มีสัญญาณอินพุตเข้ามาก็ตาม

2. คลาสบี คือ การไม่จ่ายแรงดันไบอัสตรงกับทรานซิสเตอร์ จึงทำให้ทรานซิสเตอร์คัตออฟอยู่ตลอดเวลาขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุตเข้ามา เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเข้ามา ทำให้เบสกับอิมิตเตอร์ได้รับแรงดันไบอัสตรง ทรานซิสเตอร์จะนำกระแส (ในทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ส่วนบวกของสัญญาณจะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสและในทรานซิสเตอร์ชนิด NPN จะนำกระแสเมื่อเบสได้รับสัญญาณช่วงลบ) วงจรก็จะขยายสัญญาณส่วนนั้นออกไปทางเอาต์พุตเพียงส่วนเดียว คือ ส่วนบวกหรือส่วนลบก็แล้วแต่ชนิดของทรานซิสเตอร์

ข้อดี ไม่สิ้นเปลืองกระแสขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุตเข้ามา ทรานซิสเตอร์จะไม่นำกระแสจึงไม่มีกระแสคอลเลกเตอร์ไหล

ข้อเสีย รูปสัญญาณผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ดิสทอร์ชัน (Cross Over Distortion)

3. คลาสซี คือ การจ่ายแรงดันไบอัสตรงให้ทรานซิสเตอร์สูงกว่าจุดคัตออฟเล็กน้อยขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุตเข้ามา จึงทำให้มีกระแสเบสไหลและกระแสคอลเลกเตอร์ไหลได้เล็กน้อย เพื่อเป็นการแก้ไข

ข้อบกพร่องของวงจรขยายแบบคลาสบี เพราะว่าคลาสบีแม้จะต่อแบบวงจรพุช-พูล (Push - Pull) ในการขยาย สัญญาณก็ยังคงเกิดการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์คิสทอชัน

ข้อดี ทำให้การผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์คิสทอชันหมดไป

4. คลาสซี คือ การให้ไบอัสกับทรานซิสเตอร์ต่ำกว่าจุดคัตออฟ (จ่ายไบอัสทางอินพุตให้เป็นแบบไบอัสกลับ) ถึงแม้จะมีสัญญาณป้อนเข้าที่อินพุต ถ้ายังไม่แรงพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ได้รับไบอัสตรง ทรานซิสเตอร์จะยังไม่นำกระแส ถ้าสัญญาณช่วงใดช่วงหนึ่งมีค่าสูงพอจนทรานซิสเตอร์ได้รับไบอัสตรง ทรานซิสเตอร์จะขยายสัญญาณส่วนนั้นออกไปทางเอาต์พุต (ทรานซิสเตอร์นำกระแสเฉพาะช่วงนั้น)

ข้อดี ไม่สิ้นเปลืองกระแส

ข้อเสีย รูปร่างสัญญาณผิดเพี้ยนมาก ไม่เหมาะกับวงจรขยายเสียง

2.6 สายอากาศ

ในระบบสื่อสารมีการใช้คลื่นเพื่อรับ-ส่งข้อมูล คลื่นดังกล่าวได้จากการป้อนกำลังงานจากเครื่องส่งผ่านสายส่งสัญญาณ(Transmission Line) ไปยังอากาศ และสายอากาศจะแผ่รังสีพลังงานออกไปในอากาศด้วยความเร็วประมาณเท่ากับความเร็วของคลื่นแสง ส่วนทางด้านรับก็จะรับพลังงานผ่านสายอากาศผ่านสายส่งไปยังเครื่องรับ

สายอากาศเป็นส่วนสำคัญของทางเครื่องส่งและเครื่องรับ สายอากาศส่วนใหญ่ทำจากลวดตัวนำเป็นท่อนกลวงหรือตัน โครงสร้างเป็นเส้นตรงหรือ โค้งรอบแล้วแต่ชนิดของสายอากาศ ซึ่งสายอากาศมักจะมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น สายอากาศสามารถทำหน้าที่ได้ทั้งส่งและรับ จึงมีคุณสมบัติเหมือนกัน ดังนั้น จึงมีคำจำกัดความของสายอากาศไว้ต่างๆ ดังนี้

สายอากาศ ได้มีผู้ให้คำจำกัดความของสายอากาศไว้หลายอย่าง ดังนี้

“สายอากาศ คือ อุปกรณ์ประเภทโลหะที่อาจเป็นแท่งกลมหรือเส้นลวด ใช้สำหรับการแพร่กระจายคลื่น หรือรับคลื่นวิทยุ”

“สายอากาศ หมายถึง การแพร่กระจายคลื่น หรือการรับคลื่นวิทยุ”

“สายอากาศ คือ สิ่งที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการส่งผ่านคลื่นระหว่างช่องว่างอิสระ(free-space) กับอุปกรณ์นำคลื่น

อุปกรณ์นำคลื่นหรือสายส่งสัญญาณอาจเป็นสายเคเบิลแกนร่วม (Coaxial Cable) หรือท่อนำคลื่น (Waveguide) ซึ่งใช้ในการส่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดเครื่องส่ง ผ่านไปยังสายอากาศ หรือจากสายอากาศไปยังเครื่องรับ โดยที่จะต้องมีส่วนสายอากาศส่งก่อนแล้วจึงค่อยมีสายอากาศรับในภายหลัง

สายส่งสัญญาณหรือระบบสายอากาศ สามารถที่จะเขียนเป็นสมการเทเวนิน (Thevenin Equivalent) ได้ ซึ่งแหล่งกำเนิดแทนด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในอุดมคติ (Ideal Generator) และสายส่งแทนด้วยเส้นซิก โดยมีอิมพีแดนซ์ลักษณะ(Characteristic Impedance) เป็น Z_0 และสายอากาศแทนด้วย load Z_A [$Z_A = (R_L + R_r) + jX_A$] ต่ออยู่กับสายส่ง สำหรับความต้านทานของโหลด (Load resistance ; R_L) คือ ความต้านทานในการแพร่กระจาย (Radiation resistance) ใช้แทนการแพร่กระจายของสายอากาศ รีแอกแตนซ์ (Reactance ; X_A) ใช้แทนค่าอิมพีแดนซ์ในทางจินตภาพที่สัมพันธ์กับการแพร่กระจายคลื่น โดยสายอากาศ ภายใต้กรณีที่เป็นอุดมคติ พลังงานที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดควรจะเป็นพลังงานรวมทั้งที่ส่งผ่านไปยังความต้านทานในการแพร่กระจาย (R_L)

อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติจะมีการสูญเสียในตัวนำและฉนวนอันเนื่องมาจากธรรมชาติในสายส่งและสายอากาศเกิดขึ้น เช่น เดียวกันก็จะมีการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของคลื่นบางส่วนที่เกิดขึ้นระหว่าง

สายส่งและสายอากาศซึ่งเป็นผลมาจากค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งกับสายอากาศไม่สอดคล้องกัน (Mismatch Impedance) ด้วย

คลื่นสะท้อน (Reflected waves) ที่เกิดขึ้นจะวิ่งไปตามทางพร้อมๆ กับคลื่นเดินทาง (Traveling wave) ที่มาจากแหล่งกำเนิดตรงไปยังสายอากาศผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นคลื่นนิ่ง (Standing waves) และภายในสายส่งจะมีพลังงานสะสมอยู่ ซึ่งถือว่าสายส่งเป็นอุปกรณ์รีโซแนนซ์

ถ้าระบบสายอากาศไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ นั่นคือในสายส่งจะมีการเก็บพลังงานของอีลีเมนต์ไว้เป็นจำนวนมาก แทนที่จะเป็นการนำคลื่น (Wave guiding) ก็จะกลายเป็นอุปกรณ์ในการส่งพลังงานออกไป ถ้าค่าสูงสุดของความเข้มสนามของคลื่นนิ่งถูกทำให้มีค่ามากๆ ก็จะสามารถเป็นเหตุให้เกิดคลื่นนิ่ง (Standing waves) ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในสายส่ง

การสูญเสียอันเนื่องมาจากสายส่ง สายอากาศ และการเกิดคลื่นนิ่ง เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ การสูญเสียในสายส่งสามารถทำให้ลดน้อยลงได้ โดยการเลือกใช้สายส่งที่มีการสูญเสียต่ำ ขณะที่สายอากาศสามารถลดการสูญเสียได้โดยการลดค่าความต้านทานการสูญเสียซึ่งแทนด้วย R_L สำหรับคลื่นนิ่งสามารถลดลงได้และพลังงานที่สะสมอยู่ในสายส่งก็ทำให้ต่ำสุดได้ โดยการปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (Load) ให้มีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่ง

2.7 หลักการพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่น

สายอากาศเป็น โครงสร้างซึ่งมักจะถูกสร้างจากวัสดุที่เป็นตัวนำที่ดี ที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้มีรูปร่างและขนาดที่จะแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นที่ทราบกันดีว่ากระแสซึ่งมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นสายอากาศจึงมีโครงสร้างซึ่งถูกกระตุ้นด้วยกระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งมักจะทำโดยใช้สายส่งกำลังหรือท่อนำคลื่นซึ่งอาจมีรูปร่างแตกต่างกันไปมากมาย อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติโครงสร้างซึ่งมีรูปร่างที่ทำได้ง่ายประหยัดจะได้รับความนิยมในการใช้งานในการที่แพร่กระจายคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างน้อยที่สุดสายอากาศต้องมีขนาดเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นที่แพร่กระจาย

ถ้ารู้ความหนาแน่นของกระแส j ที่ป้อนให้กับสายอากาศ เราสามารถที่จะคำนวณหาสนามที่แพร่กระจายได้แต่ความยุ่งยากอยู่ที่การคำนวณหาความหนาแน่นของกระแส j บนสายอากาศที่จะทำให้สนามที่ได้เป็นไปตามเงื่อนไขขอบเขตบนสายอากาศนั้นไม่ใช่เรื่องง่าย

เนื่องจากสมการแมกซ์เวลล์ (Maxwells' Equations) เป็นสมการเชิงเส้น ดังนั้นถ้ารู้การแพร่กระจายคลื่นจากฟิลาเมนต์ขนาดจิ๋ว คือ IdL แล้วเราสามารถที่ใช้หลักการทับซ้อน (Superposition) เพื่อหาสนามที่แพร่กระจายจากกระแสซึ่งมีการกระจายรูปร่างเป็นรูปร่างใดๆ ได้ โดยรวมสนามที่ถูกสร้างแต่ละองค์ประกอบของกระแสเข้าด้วยกัน วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ใช้ทั่วไปในการคำนวณหาสนามที่แพร่กระจายจากสายอากาศสมการแมกซ์เวลล์และเงื่อนไขขอบเขต โดยจะเกี่ยวข้องกันโดยพื้นฐานกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาลักษณะสัญญาณรูปไซน์ (Sinusoidal) ดังนั้นจะวิเคราะห์ตามแบบเฟสเซอร์ทั่วๆ ไป ซึ่งจะไม่แสดงแฟคเตอร์ที่แสดงความแปรผันกับเวลา $e^{i\omega t}$ จะแสดงกระแสและสนามเป็นเวกเตอร์ฟังก์ชันของตำแหน่ง โคออดิเนต และโดยทั่วไปแต่ละส่วนประกอบจะเป็นฟังก์ชันเชิงซ้อนซึ่งประกอบด้วยส่วนของค่าจริงและค่าจินตภาพตัวอย่างจะเขียนสนามไฟฟ้าอยู่ในรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ก่อนที่อาจารย์จะตีพิมพ์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$\vec{E}(\vec{r}) = E_x(\vec{r})\vec{a}_x + E_y(\vec{r})\vec{a}_y + E_z(\vec{r})\vec{a}_z \quad (2.5)$$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโคออดิเนตทรงสี่เหลี่ยม แต่ละส่วนประกอบ เช่น E_x เป็นฟังก์ชันเชิงซ้อนอยู่ในรูป $E_{xy} + jE_{xi}$ โดย E_{xy} เป็นค่าจริง และ E_{xi} เป็นค่าจินตภาพ ถ้าต้องการรู้สนามไฟฟ้าทางกายภาพจริงๆ จะหาได้โดยคูณ $\vec{E}(\vec{r})$ ด้วย $e^{j\omega t}$ แล้วหาค่าจริงของผลคูณนี้ นั่นคือ

$$\xi(\vec{r}, t) = \text{Re} \vec{E}(\vec{r}) e^{j\omega t} \quad (2.6)$$

ซึ่งจะได้

$$\xi_x(\vec{r}, t) = E_{xr}(\vec{r}) \cos \omega t + E_{xi}(\vec{r}) \sin \omega t \quad (2.7)$$

สำหรับส่วนประกอบของ X ของสนามในทางกายภาพ

ปริมาณของสนาม 4 ปริมาณที่เราสนใจได้แก่ ความเข้มสนามไฟฟ้า $\vec{E}(\vec{r})$ ความเข้มสนามแม่เหล็ก $\vec{H}(\vec{r})$ ความหนาแน่นเส้นแรงไฟฟ้า $\vec{D}(\vec{r})$ และความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก $\vec{B}(\vec{r})$ สนามเหล่านี้ตลอดจนต้นกำเนิดของสนามคือความหนาแน่นของกระแส $\vec{j}(\vec{r})$ และความหนาแน่นของประจุสัมพันธกันด้วยสมการแมกซ์เวลล์ ดังนี้คือ

$$\nabla \times \vec{E} = -j\omega \vec{B} \quad (\text{กฎของฟาราเดย์}) \quad (2.8)$$

$$\nabla \times \vec{H} = j\omega \vec{D} + \vec{j} \quad (\text{กฎทั่วไปของแอมแปร์}) \quad (2.9)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (\text{กฎของเกาส์}) \quad (2.10)$$

$$\nabla \cdot \vec{j} = -j\omega \rho \quad (\text{กฎความต่อเนื่อง}) \quad (2.11)$$

ในช่องว่างอิสระมีความสัมพันธ์ว่า

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} \quad (2.12)$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (2.13)$$

เมื่อ $\epsilon_0 = 10^{-9} / 36\pi$ ฟารัดต่อเมตร เป็นค่าสภาพยอม (Permittivity) ของช่องว่างอิสระและ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ เฮนรีต่อเมตรเป็นค่าความซาบซึมได้ (Permeability) ของช่องว่างอิสระในตัวกลางไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียพลังงาน ซึ่งมีค่าสภาพยอม ϵ และค่าความนำ σ จะมีกระแสนำ (Conduction Current) \vec{j} ไหลมีค่าเท่ากับ $\sigma \vec{E}$ ถ้ารวมกระแส \vec{j} นี้เข้ากับกระแสที่เราป้อนเข้าไป \vec{j} สมการ (2.9) จะกลายเป็นดังนี้คือ

$$\begin{aligned} \nabla \times \vec{H} &= (j\omega \epsilon + \sigma) \vec{E} + \vec{j} \\ &= j\omega \left(\epsilon + \frac{\sigma}{j\omega} \right) \vec{E} + \vec{j} \end{aligned} \quad (2.14)$$

อาจเรียกเทอม $\left(\epsilon + \frac{\sigma}{j\omega} \right)$ ว่าเป็นค่าสภาพยอมเชิงซ้อน โดยทั่วไปสารไดอิเล็กตริกจะมีค่าสูญเสียพลังงาน

รวมอยู่นอกเหนือจากค่าความนำ ดังนั้นแม้ว่า σ จะเป็นศูนย์ แต่ก็ยังเป็นค่าเชิงซ้อนอยู่ในรูป $\epsilon'(\omega) + j\epsilon''(\omega)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การนำออกโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อไรก็ตามที่เราต้องเกี่ยวข้องกับสาร ไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียพลังงานเราจะใช้ค่าสภาพยอมเชิงซ้อนและคิดการสูญเสียจากการนำกระแสว่าเป็นส่วนของค่าจินตภาพ $\epsilon''(\omega)$

คำตอบของสมการแมกซ์เวลล์จะยังไม่สมบูรณ์จนกว่าจะได้ใส่เงื่อนไขขอบเขตที่เหมาะสมเข้าไปสำหรับในกรณีสนามที่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลาเงื่อนไขขอบเขตที่เหมาะสมได้แก่

$$\vec{n} \times (\vec{H}_2 - \vec{H}_1) = \vec{J}_s \quad (2.15)$$

$$\vec{n} \times (\vec{E}_2 - \vec{E}_1) = \vec{M}_s \quad (2.16)$$

เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ผิว J_s และกระแสแม่เหล็กที่ผิว M_s ไหลอยู่ในบริเวณรอยต่อของตัวกลางที่เป็นแบบโฮโมจีเนียส (Homogeneous) 2 ชนิด ซึ่งมีพารามิเตอร์เป็น $\epsilon_1, \mu_1, \sigma_1$ และ $\epsilon_2, \mu_2, \sigma_2$ ตามลำดับ จะเป็นศูนย์นอกเสียจากจะใช้แผ่นแม่เหล็กสมบูรณ์ และหน่วยที่ตั้งฉากที่ผิว จะชี้จากตัวกลางที่ 1 ไปยังตัวกลางที่ 2 ผลคูณเชิงเวกเตอร์ (Cross Product) ของเวกเตอร์กับหน่วยที่ตั้งฉากจะทำให้เกิดเป็นส่วนประกอบของสนามในแนวสัมผัสกับรอยต่อและสมการข้างต้นสามารถเขียนได้ใหม่เป็นดังนี้

$$H_{tan2} = H_{tan1} + J_s \quad (2.17)$$

$$E_{tan2} = E_{tan1} + M_s \quad (2.18)$$

ถ้าด้านหนึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าสมบูรณ์เงื่อนไขขอบเขตจะกลายเป็นดังต่อไปนี้

$$H_{tan} = J_s \quad (2.19)$$

$$E_{tan} = 0 \quad (2.20)$$

ปรากฏการณ์เกี่ยวกับการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากต้นกำเนิดของสนามที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งได้รวบรวมกฎต่างๆ เขียนเป็นสมการทั่วไปเรียกว่าสมการแมกซ์เวลล์ หากแก้สมการเหล่านี้ให้เป็นตามเงื่อนไขของต้นกำเนิดสนามอย่างเหมาะสมแล้วจะสามารถทำนายปรากฏการณ์เกี่ยวกับสายอากาศได้ สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับสายอากาศสิ่งแรกที่เราจะต้องหาได้คือสนามไฟฟ้าเพราะจะนำไปสู่การคำนวณหาคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ

2.8 คุณสมบัติของสายอากาศ

การเลือกใช้สายอากาศขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณที่ใช้ ยิ่งสัญญาณมีความถี่สูงมากเท่าไรก็จะทำให้ต้องใช้ตัวนำของสายอากาศสั้นมากเท่านั้น สายอากาศที่เป็นแบบเรโซแนนซ์ ดังเช่นสายอากาศที่ใช้ในย่านความถี่ 30 ถึง 300 เมกะเฮิรตซ์ มักจะมีความยาวครึ่งลูกคลื่น สายอากาศยิ่งยาวเท่าใด ก็สามารถส่งหรือรับสัญญาณได้มากเท่านั้น ที่ความยาวเรโซแนนซ์ของสายอากาศจะทำให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด สำหรับคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศมีดังต่อไปนี้

2.8.1 การต่อสายอากาศกับดิน (Grounded)

สายอากาศที่ทำงานโดยไม่มีการเชื่อมต่อกับดิน จะถูกเรียกว่ามีสองขั้วหรือที่เรียกว่า ไดโพล ในแต่ละขั้วจะมีกระแสไหล โดยมีแหล่งกำเนิดสัญญาณเดียวกันอยู่ที่ตรงกลาง การต่อเทียบดินไม่มีความจำเป็น เพราะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

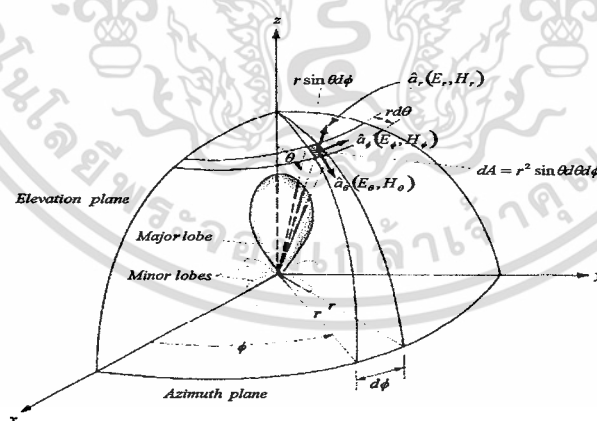
ตัวคาปาซิเตอร์ ของสายอากาศจะอยู่ระหว่างขั้วทั้งสอง ส่วนสายอากาศที่มีการเชื่อมต่อกับดินจะมีการต่อขั้วหนึ่งของสายอากาศลงดิน ส่วนอีกข้างหนึ่งทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กระแสในสายอากาศจะไหลเข้าตัวนำข้างเดียว สายอากาศดังกล่าวเรียกว่าขั้วนิคแอลหัวกลับ

2.8.2 จานสายอากาศแบบเรโซแนนซ์ (Resonant Antennas)

ค่าของตัวนำ (L) และ คาปาซิเตอร์ (C) ทำให้สายอากาศเสมือนเป็นวงจรเรโซแนนซ์ที่ต่ออย่างอนุกรม ถึงแม้จะไม่มีตัวนำและตัวเก็บประจุต่ออยู่จริง สายอากาศก็จะมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับวงจร LC ความยาวของสายอากาศซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นจะเป็นตัวกำหนดความถี่เรโซแนนซ์ โดยทั่วไปที่ความยาวครึ่งลูกคลื่นของความถี่ที่ต้องการ มักจะใช้เป็นความยาวของสายอากาศ ความยาวดังกล่าวใช้กับสายอากาศที่ไม่ต่อลงดิน หรือที่เรียกว่า ไดโพลครึ่งคลื่น สำหรับสัญญาณ ความถี่ต่ำสายอากาศแบบเรโซแนนซ์ที่ความยาวหนึ่งในสี่ของคลื่น จะเหมาะสมและมักจะใช้กับสายอากาศแบบต่อลงดิน

2.9 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) คือรูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของสเปซโคออดิเนต (Space Coordinate) ส่วนใหญ่แบบรูปของการแพร่กระจายคลื่นนี้มักจะคิดในบริเวณที่เป็นบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far field) การอธิบายคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่น จะอาศัยคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) เฟส (Phase) หรือ โพลาริเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงของพลังงานเป็นฟังก์ชัน ของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่มีรัศมีคงที่ รูปที่ 2.6 ระบบโคออดิเนตที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นสำหรับการใช้เส้นเพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่ มีชื่อเรียกว่า แบบรูปกำลังงาน (Power Pattern) ของสายอากาศและกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่างๆที่มีรัศมีคงที่มีชื่อเรียกว่าแบบรูปของสนาม (Field Pattern) ของสายอากาศนั้น

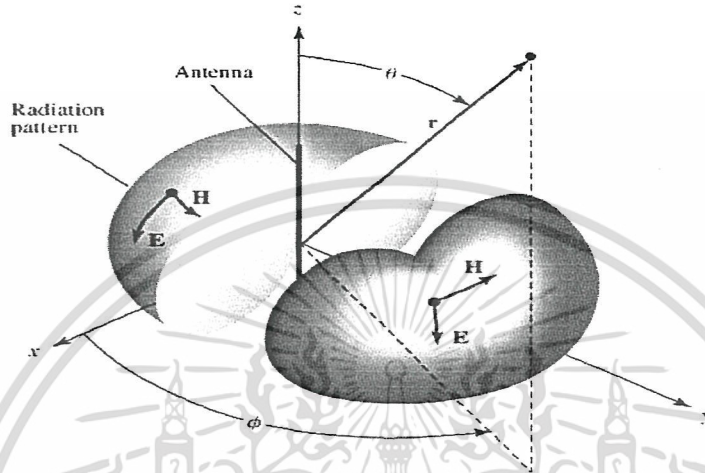


รูปที่ 2.6 ระบบโคออดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ

2.9.1 แบบรูปแบบไอโซโทรปิก ไดเรกชันแนล และ ออมนิไดเรกชันแนล

ตัวแพร่คลื่นไอโซโทรปิก (Isotropic Radiator) คือ สายอากาศที่ถูกสมมติขึ้น โดยมีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นเท่ากันทุกทิศทาง ยกตัวอย่างเช่น พอยท์ซอร์ส (Point Source) เป็นสายอากาศแบบหนึ่งที่ไม่สามารถสร้างได้จริง แต่มักจะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติแสดงทิศทางของสายอากาศ ส่วนนี้ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

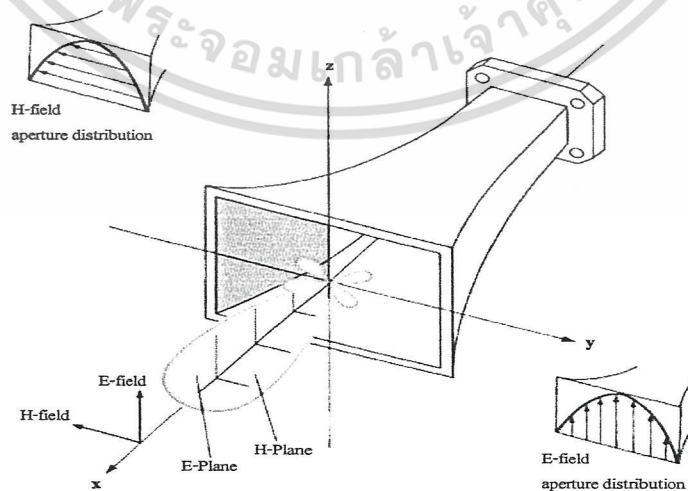
สายอากาศชี้ทิศทาง (Directional Antenna) เป็นสายอากาศซึ่งมีคุณสมบัติของการส่งหรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี ในเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น ตัวอย่างหนึ่งของสายอากาศที่มีคุณสมบัตินี้คือ สายอากาศแบบรอบทิศทาง (Omnidirectional Antenna) ซึ่งคุณสมบัติของสายอากาศชนิดนี้มีดังแสดงในรูปที่ 2.7 ตามรูปจะเห็นว่าแบบรูปแบบนี้ ไม่มีทิศทางในระนาบมุมกวาด (Azimuth Plane) [$f(\phi), \theta = \text{ค่าคงที่}$] แต่เป็นแบบชี้ทิศทางในระนาบมุมยก (Elevation Plane) [$g(\phi), \theta = \text{ค่าคงที่}$] แบบรูปแบบรอบทิศทางนี้เป็นกรณีพิเศษของแบบรูปของสายอากาศชี้ทิศทาง



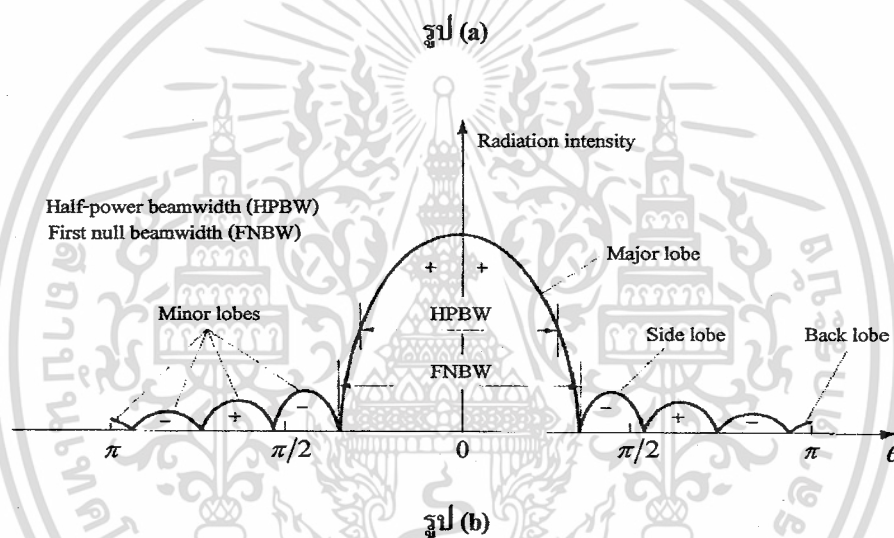
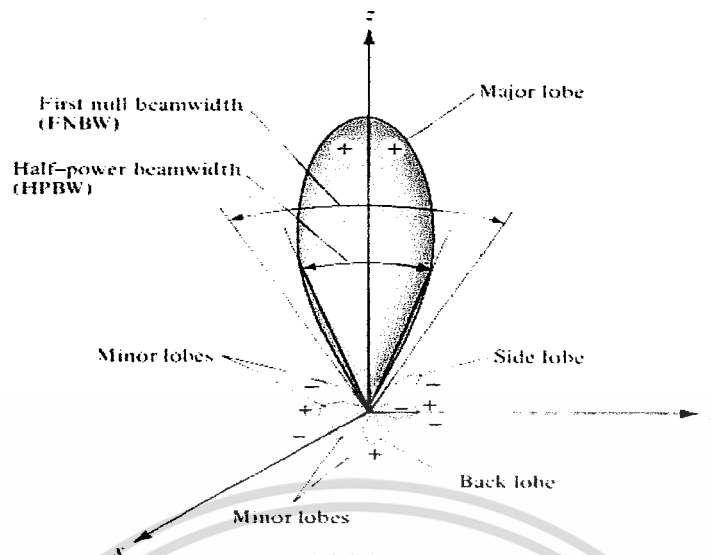
รูปที่ 2.7 แบบรูปของสายอากาศชี้ทิศทาง (ออมนิไดเรกชันแนล)

2.9.2 แบบรูปหลัก

เราอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศในทอมของแบบรูปหลัก (Principal Pattern) ของสนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก H สำหรับสายอากาศที่โพลาไรซ์เชิงเส้น แบบรูปในระนาบ E จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้า และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ส่วนแบบรูปในระนาบ H จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามแม่เหล็ก และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ตัวอย่างการแสดงผลแบบรูปหลักมีดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยมีระนาบ XZ (ระนาบยก, $\phi = 0$) เป็นระนาบ E หลักและมีระนาบ XY (ระนาบกวาด, $\theta = \pi/2$) เป็นระนาบ H หลัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 2.8 แบบรูปหลักสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กของสายอากาศปากแตร ระเบียบด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 (a) ลำคลื่น (Lobe) ต่างๆและความกว้างลำคลื่น (Beam width) แบบรูปสายอากาศ
(b) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

2.9.3 ลำคลื่น (Lobe) ของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

ลำคลื่นของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นต่ำ รูปที่ 2.9 แสดงแบบรูปเชิงขั้ว (Polar Pattern) แบบสามมิติ ซึ่งแบ่งเป็นลำคลื่นแบบต่างๆ ดังนี้

ลำคลื่นหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นลำคลื่นของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ตามรูปที่ 2.9 มีลำคลื่นหลักอยู่ในทิศทาง $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางชนิด อาจมีลำคลื่นหลักมากกว่าหนึ่งลำคลื่น เช่น สายอากาศแยก빔 (Split Beam Antenna)

ลำคลื่นย่อย (Minor Lobe) ได้แก่ลำคลื่นอื่นๆ นอกเหนือไปจากลำคลื่นหลัก

ลำคลื่นข้าง (Side Lobe) เป็นลำคลื่นย่อยที่อยู่ติดกับลำคลื่นหลัก และอยู่ในทิศทางบนครึ่ง

วงกลมซีกเดียวกับลำคลื่นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำคลื่นหลัง (Back Lobe) เป็นลำคลื่นที่ย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับลำคลื่นหลัก ปกติแล้วลำคลื่นย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสำหรับสายอากาศที่ดีจะต้องกำจัดลำคลื่นเหล่านี้ให้น้อยที่สุด ระดับของลำคลื่นย่อยมักแสดงเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในลำคลื่นที่กำลังคิดต่อความหนาแน่นของพลังงานในลำคลื่นหลัก ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนของลำคลื่นด้านข้าง (Side Lobe Ratio) หรือ ระดับของลำคลื่นด้านข้าง (Side Lobe Level : SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของลำคลื่นด้านข้างน้อยกว่า -20dB

2.10 ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิทท์

ความกว้างลำครึ่งกำลัง (Half Power Beamwidth : HPBW) เป็นมุมที่วัดระหว่างจุดที่ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในโลบหลัก มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดสองจุด

2.11 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity)

คำจำกัดความของคำว่า ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ในทิศทางที่กำหนดให้ คือกำลังงานที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นนี้เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศเกี่ยวกับสนามระยะไกล ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นสามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น และผลจากการยกกำลังสองของระยะทาง ซึ่งเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้คือ

$$U = r^2 W_{\text{rad}} \quad (2.21)$$

เมื่อ

U = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

W_{rad} = ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น (W/m^2)

ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น แสดงความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าในระยะไกลได้คือ

$$\begin{aligned} U(\theta, \phi) &= \frac{r^2}{2\eta} |E(r, \theta, \phi)|^2 \\ U(\theta, \phi) &= \frac{r^2}{2\eta} [|E_\theta(r, \theta, \phi)|^2 + |E_\phi(r, \theta, \phi)|^2] \\ &\approx \frac{1}{2\eta} [|E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2] \end{aligned} \quad (2.22)$$

เมื่อ

E = ความเข้มของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

$E_\theta - E_\phi$ = ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

η = อินทริเนสิกอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance) ของตัวกลาง

เอกสารนี้
ดังนั้น แพทเทิร์นของกำลังงานก็ใช้เพื่อแสดงถึงความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ได้เช่นกัน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 ไคเรคตีวิตี (Directivity)

ก่อนที่จะศึกษาเรื่อง ไคเรคตีวิตี เราจะต้องมีความรู้เรื่อง ไคเรคทีฟเกน (Directive Gain) เป็นพื้นฐานก่อน ไคเรคทีฟเกนในทิศทางที่กำหนด คือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้น ต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศซึ่งใช้สำหรับอ้างอิง ซึ่งปกติสายอากาศสำหรับใช้อ้างอิงนี้ จะเป็นไอโซทรอปิก พอยท์ซอร์ส (Isotropic Point Source) ซึ่งไคเรคตีวิตี ก็คือ ค่าไคเรคทีฟเกนในทิศทางที่มากที่สุด หรือกล่าวได้ว่า ไคเรคตีวิตีของต้นกำเนิด (สายอากาศ) ที่ไม่เป็น ไอโซทรอปิก คือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นที่มากที่สุดต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์ส สมการของ ไคเรคทีฟเกน และ ไคเรคตีวิตี แสดงได้ดังต่อไปนี้

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{\text{rad}}} \quad (2.23)$$

$$D_{\text{max}} = D_0 = \frac{U_{\text{max}}}{U_0} = \frac{4\pi U_{\text{max}}}{P_{\text{rad}}} \quad (2.24)$$

เมื่อ

- D = ไคเรคทีฟเกน (ไม่มีหน่วย)
- D_0 = ไคเรคตีวิตี (ไม่มีหน่วย)
- U = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W / หน่วยมุมตัน)
- U_{max} = ค่าสูงสุดของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W / หน่วยมุมตัน)
- U_0 = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของไอโซทรอปิก พอยท์ซอร์ส (W / หน่วยมุมตัน)
- P_{rad} = กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด (W)

จากสมการที่ 2.23 และ 2.24 เราจะทราบว่า ไคเรคทีฟเกนและไคเรคตีวิตีของไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์สมีค่าเป็นหนึ่ง ทั้งนี้เพราะว่า U , U_{max} และ U_0 ต่างมีค่าเท่ากัน ไคเรคตีวิตีของไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์สมีค่าเท่ากับหนึ่ง เพราะว่ามันแพร่กระจายกำลังออกไปทุกทิศทางด้วยค่าที่เท่ากัน แต่สำหรับต้นกำเนิด (สายอากาศ) แบบอื่น ๆ นั้นย่อมมีไคเรคตีวิตีมากกว่าหนึ่งเสมอ

ข้อสรุปอีกอย่างหนึ่งที่สามารถสรุปได้คือ ค่าของ ไคเรคทีฟเกนจะมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์และน้อยกว่าหรือเท่ากับ ไคเรคตีวิตี ($0 \leq D \leq D_0$)

โดยทั่วไปมักจะแสดงค่าไคเรคทีฟเกนและไคเรคตีวิตี เป็นเดซิเบล

$$D \text{ (dB)} = 10 \log_{10} D$$

$$D_0 \text{ (dB)} = 10 \log_{10} D_0$$

2.13 ค่าทวีกำลัง (Gain)

ค่าทวีกำลัง หรือเกน เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งสายอากาศ ซึ่งค่าทวีกำลังนี้เป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากไคเรคตีวิตี โดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วย ในขณะที่ไคเรคตีวิตี อธิบายคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น เพาเวอร์เกน (Power Gain) ของสายอากาศ ในทิศทางที่กำหนดให้ นั้นสามารถหาค่าได้โดยใช้ความสัมพันธ์ ดังนี้

ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Gain} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (\text{ไม่มีหน่วย}) \quad (2.25)$$

$U(\theta, \phi)$ คือ ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางนั้น

P_{in} คือ กำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่ง

ถ้าไม่มีการกำหนดทิศทางไว้โดยเฉพาะ โดยทั่วไปแล้วเราจะคิดเพาเวอร์เกนในทิศทางที่มีการแผ่กระจายคลื่นแรงที่สุด

โดยนัยทั่วไปแล้วเรามักจะพูดถึงเกนสัมพัทธ์ (Relative Gain) ซึ่งเป็นอัตราส่วนเพาเวอร์เกน ในทิศทางที่กำหนดให้ต่อเพาเวอร์เกนของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศทั้งสองนั้นเท่ากัน สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบอาจจะใช้ สายอากาศไดโพล สายอากาศปากแตร (Horn) หรือสายอากาศอื่นๆ ซึ่งคำนวณเกนได้ง่ายหรือรู้ค่าอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตาม โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็นไอโซทรอปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย (Lossless Isotropic) ดังนั้น

$$G_g = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in} (\text{lossless isotropic source})} \quad (\text{ไม่มีหน่วย}) \quad (2.26)$$

เราสามารถเขียนได้ว่า กำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมด (P_{rad}) สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ (P_{in}) ด้วย

$$P_{rad} = I_t P_{in} \quad (2.27)$$

เมื่อ I_t เป็นประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) ใช้สมการที่ 2.27 จะทำให้สมการ 2.23 มีความสัมพันธ์ง่ายขึ้นเป็น

$$G_g(\theta, \phi) = I_t \left| \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \right| \quad (2.28)$$

ซึ่งสัมพันธ์กับสมการไดเรกทิฟเกนในสมการที่ 2.23 คือ

$$G_g(\theta, \phi) = I_t D(\theta, \phi) \quad (2.29)$$

ในทำนองเดียวกันค่าสูงสุดของเกน จะสัมพันธ์กับไดเรกทิวิตี โดย

$$\begin{aligned} G_0 &= G_g(\theta, \phi)|_{\max} = I_t D(\theta, \phi)|_{\max} \\ G_0 &= I_t D_0 \end{aligned} \quad (2.30)$$

$$G_0 \approx \frac{30,000}{\theta_{1d} \theta_{2d}} \quad (2.31)$$

ในทางปฏิบัติ เมื่อกล่าวถึงเกนมันจะหมายถึงเพาเวอร์เกนที่มีค่าสูงสุด ดังแสดงในสมการที่ 2.30

$$G_0(\text{dB}) = 10 \log[I_r D_0] \quad (2.32)$$

2.14 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Efficiency)

ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ e_t จะใช้เมื่อเรากำลังพิจารณาการสูญเสียต่างๆ ที่ขั้วและภายในโครงสร้างของสายอากาศ การสูญเสียต่างๆ ของสายอากาศ นั้นอาจมีสาเหตุมาจาก

1. การสะท้อนกลับเนื่องจากความไม่สมพจน์ (Mismatch) กันระหว่าง สายส่ง (Transmission Line) กับสายอากาศ
2. การสูญเสียทั้งในตัวนำ (Conductor) และ ฉนวน (Dielectric) (I^2R)

โดยทั่วไป ค่าประสิทธิภาพทั้งหมด คำนวณได้จาก

$$e_t = e_r e_c e_d \quad (2.33)$$

เมื่อ

e_t = ประสิทธิภาพทั้งหมด (ไม่มีหน่วย)

e_r = ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการสะท้อนกลับ = $(1 - |\Gamma|^2)$ (ไม่มีหน่วย)

e_c = ประสิทธิภาพของตัวนำ (ไม่มีหน่วย)

e_d = ประสิทธิภาพของฉนวน (ไม่มีหน่วย)

Γ = สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ขั้วคัทคาของสายอากาศ

$$\Gamma = \frac{Z_m - Z_0}{Z_m + Z_0}$$

เมื่อ

Z_m = อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

Z_0 = อิมพีแดนซ์คุณสมบัติ (Characteristic Impedance) ของสายส่ง

ปกติ e_c และ e_d คำนวณได้ลำบากส่วนมากมักหาได้จากการทดลอง แต่ก็ยังแยก e_c จาก e_d ไม่ออก ดังนั้นเพื่อความสะดวกมักจะเขียน สมการที่ 2.33 ใหม่ได้ก็คือ

$$e_t = e_r e_{cd} = e_{cd} (1 - |\Gamma|^2) \quad (2.34)$$

เมื่อ $e_{cd} = e_c e_d$ = ประสิทธิภาพในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 อินพุทอิมพีแดนซ์ (Input Impedance)

อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศใดๆ จะเป็นอิมพีแดนซ์ที่ขั้วสายอากาศนั้นๆ อาจเป็นอัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าต่อกระแสที่ขั้วของสายอากาศนั้น หรือเป็นอัตราส่วนของสนามไฟฟ้าต่อสนามแม่เหล็กที่จุดใดๆ ดังในรูปที่ 2.10(ก)

โดยที่ $a - b$ เป็นขั้วของสายอากาศ อัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าต่อกระแสที่ขั้วนี้เมื่อไม่ได้ต่อโหลดจะเป็นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศซึ่งมีค่า

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.35)$$

เมื่อ

Z_A = อิมพีแดนซ์ที่ขั้ว $a-b$ ของสายอากาศ (โอห์ม)

R_A = ความต้านทานที่ขั้ว $a-b$ ของสายอากาศ (โอห์ม)

X_A = รีแอกแตนซ์ที่ขั้ว $a-b$ ของสายอากาศ (โอห์ม)

โดยทั่วไปความต้านทานในสมการที่ 2.35 จะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ดังนี้

$$R_A = R_r + R_L \quad (2.36)$$

เมื่อ

R_r = ความต้านทานการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ

R_L = ความต้านทานการสูญเสียของสายอากาศ

ถ้าหากว่าสายอากาศถูกต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดสัญญาณที่อิมพีแดนซ์ภายในเป็นดังนี้

$$Z_g = R_g + jX_g \quad (2.37)$$

เมื่อ

R_g = ความต้านทานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ (โอห์ม)

X_g = รีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ (โอห์ม)

สายอากาศที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่ง จะแสดงวงจรสมมูลย์ได้ดังรูปที่ 2.10(ข) ในการหาปริมาณกำลังงานที่ถูกนำมาสู่ความต้านทานการแผ่กระจายคลื่นเพื่อแผ่กระจายออกกับกำลังงานที่สูญเสียในความต้านทานการสูญเสีย R_L ที่กลายเป็นความร้อน ($I^2 R_{L/2}$) นั้นเราจะหากระแสที่ไหลภายในลูป (loop) ได้ดังนี้

$$I_g = \frac{V_g}{Z_T} = \frac{V_g}{(R_r + R_L + R_g)^2 + j(X_x + X_g)} \quad (\text{หน่วย Amp.}) \quad (2.38)$$

และขนาดของกระแสจะมีค่าดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$|I_g| = \frac{|V_g|}{\left| (R_r + R_L + R_g)^2 + (X_x + X_g)^2 \right|^{1/2}} \quad (\text{หน่วย Amp.}) \quad (2.39)$$

เมื่อ V_g เป็นศักย์ไฟฟ้าค่าสูงสุดของเครื่องกำเนิดสัญญาณ กำลังงานที่ถูกนำมาซึ่งสายอากาศเพื่อการแพร่กระจายคลื่น จะมีค่าดังนี้คือ

$$P_r = \frac{|I_g|^2 R_r}{2} = \frac{|V_g|^2}{2} \left\langle \frac{R_r}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \right\rangle \quad (\text{Watt.}) \quad (2.40)$$

และ กำลังงานที่สูญเสียกลายเป็นความร้อน จะมีค่าดังนี้

$$P_L = \frac{|I_g|^2 R_L}{2} = \frac{|V_g|^2}{2} \left\langle \frac{R_L}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \right\rangle \quad (\text{Watt.}) \quad (2.41)$$

กำลังงานส่วนที่เหลือจะเป็นส่วนที่สูญเสียเป็นความร้อนในด้านทานที่ขั้ว R_g ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ ซึ่งมีค่าดังนี้

$$P_g = \frac{|V_g|^2}{2} \left\langle \frac{R_g}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \right\rangle \quad (\text{Watt.}) \quad (2.42)$$

กำลังงานที่ถูกนำมาซึ่งสายอากาศ จะมีค่ามากที่สุด เมื่อเกิดคอนจูเกตแมทช์ (Conjugate Match) นั่นคือ จะเกิดเมื่อ

$$R_r + R_L = R_g \quad (2.43)$$

และ

$$X_A = -X_g \quad (2.44)$$

ในกรณีนี้ สมการที่ 2.40, 2.41 และ 2.42 จะกลายเป็นดังนี้

$$P_r = \frac{|V_g|^2}{2} \left\langle \frac{R_r}{4(R_r + R_L)^2} \right\rangle = \frac{|V_g|^2}{8} \left\langle \frac{R_r}{(R_r + R_L)^2} \right\rangle \quad (2.45)$$

$$P_L = \frac{|V_g|^2}{8} \left\langle \frac{R_L}{(R_r + R_L)^2} \right\rangle \quad (2.46)$$

$$P_g = \frac{|V_g|^2}{8} \left\langle \frac{R_g}{(R_r + R_L)^2} \right\rangle = \frac{|V_g|^2}{8} \left\langle \frac{1}{(R_r + R_L)} \right\rangle = \frac{|V_g|^2}{8R_g} \quad (2.47)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

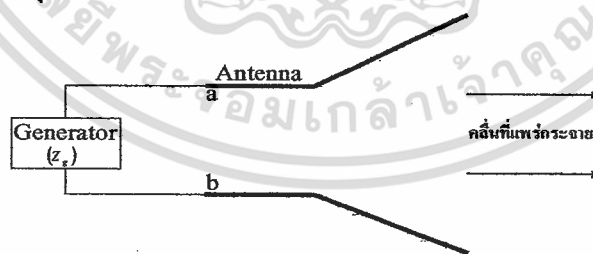
จากสมการที่ 2.46 ถึง 2.47 พบว่า

$$P_g = P_r + P_L = \frac{|V_g|^2}{8} \left\langle \frac{R_g}{(R_r + R_L)^2} \right\rangle = \frac{|V_g|^2}{8} \left\langle \frac{R_r + R_L}{(R_r + R_L)^2} \right\rangle \quad (2.48)$$

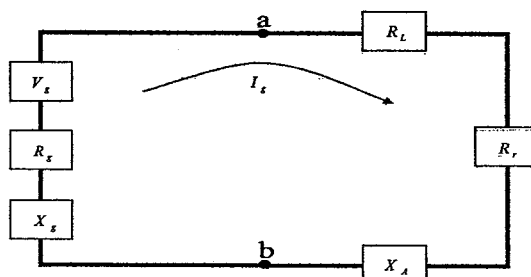
ดังนั้นกำลังที่เครื่องกำเนิดสัญญาณ จะต้องจ่ายเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทช์ จะมีค่าดังนี้

$$P_s = \frac{1}{2} V_g I_g^* = \frac{1}{2} V_g \left\langle \frac{V_g}{2(R_r + R_L)} \right\rangle = \frac{|V_g|^2}{4} \left\langle \frac{1}{(R_r + R_L)} \right\rangle \quad (2.49)$$

ในจำนวนกำลังงานที่เครื่องกำเนิดสัญญาณจ่ายออกมาทั้งหมด ครึ่งหนึ่งจะสูญเสียความร้อนภายใน (R_g) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ และอีกครึ่งหนึ่งจะถูกนำมายังสายอากาศ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทช์ เท่านั้น ในส่วนของกำลังงานซึ่งมายังสายอากาศ ส่วนหนึ่งจะแพร่กระจายออกไป โดยผ่านกลไกที่เกิดจากความต้านทานการแพร่กระจายคลื่น อีกส่วนหนึ่งจะสูญเสียเป็นความร้อน ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ ถ้าสายอากาศไม่มีการสูญเสีย ($e_{cu} = 1$) ครึ่งหนึ่งของกำลังงานที่เครื่องกำเนิดสัญญาณจ่าย จะแพร่กระจายเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทช์ ในตอนนี้สมมติว่าเป็นการแมทช์ที่สมบูรณ์ระหว่างสายอากาศกับสายส่ง ($e_r = 1$) ถ้ามีการสูญเสียเนื่องจากไม่แมทช์แล้ว จะทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลง ในรูปที่ 2.10 (ก) แสดงวงจรสมมูลย์นอร์ตันของสายอากาศ กับต้นกำเนิดสัญญาณเมื่อสายอากาศเป็นสายอากาศส่ง สำหรับการใส่สายอากาศเป็นสายอากาศรับ ดังแสดงในรูป 2.11 (ก) ถ้ามีคลื่นตกกระทบเข้ามายังสายอากาศ จะเหนี่ยวนำให้เกิดศักดาไฟฟ้า (V_p) ซึ่งเทียบได้กับ V_g ในโหมดการส่งได้มีการแสดงวงจรสมมูลย์เทวินินไว้ในรูปที่ 2.11(ข) ส่วนวงจรสมมูลย์นอร์ตันได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.11 (ค) ปกติอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะเป็นฟังก์ชันของความถี่ และจะแมทช์กับสายส่งเฉพาะในช่วงหนึ่งๆ เท่านั้น นอกจากนี้อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศยังขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ต่างๆอีก ได้แก่รูปทรง วิธีการป้อนสัญญาณ และสิ่งแวดล้อมข้างเคียง เนื่องจากคำนวณได้ยากจึงมักพบว่า ส่วนใหญ่จะหาค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ได้จากการทดลอง

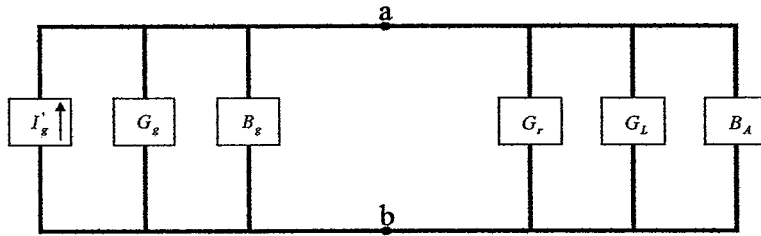


(ก) สายอากาศในโหมดการส่ง



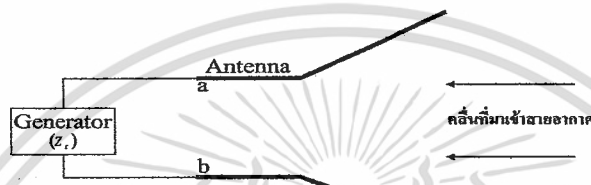
(ข) วงจรสมมูลย์เทวินิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

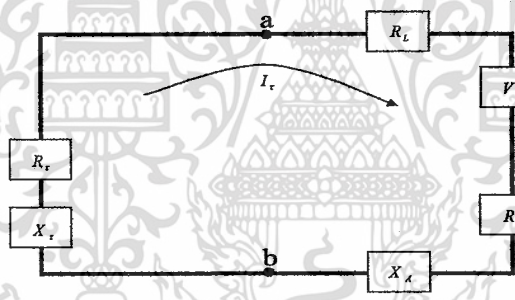


(ข) วงจรสมมูลย์นอร์ตัน

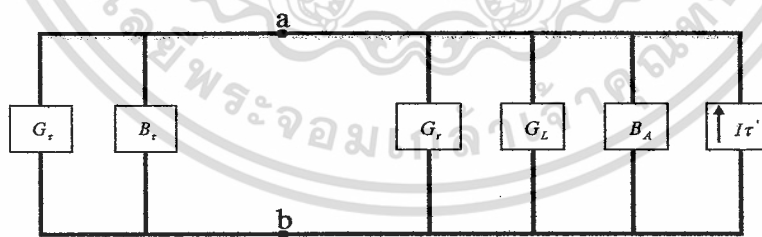
รูปที่ 2.10 สายอากาศส่งและวงจรสมมูลย์



(ก) สายอากาศในโหมดการรับ



(ข) วงจรสมมูลย์เทวินิน



(ค) วงจรสมมูลย์นอร์ตัน

รูปที่ 2.11 สายอากาศรับและวงจรสมมูลย์

2.16 คุณลักษณะของสายอากาศไดโพล

ในหัวข้อนี้จะบรรยายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระบนตัวนำที่แสดงตัวเป็นสายส่งสัญญาณและสายอากาศ เพื่อที่จะแสดงค่าการจางรูปกระแส และการแพร่กระจายของสายอากาศไดโพล

โดยเราเริ่มจากการพิจารณาสายส่งสัญญาณคู่ที่ไม่มีกระแสสูญเสีย การเคลื่อนที่ของประจุจะสร้างคลื่นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งออกไปสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นอนขาดใหญ่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กระแสเดินทางที่มีขนาด $I_0/2$ ตามเส้นลวด เมื่อกระแสเดินทางมาถึงปลายของลวดแต่ละเส้นมันจะเกิดการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะท้อนกลับอย่างสมบูรณ์ (ขนาดเท่าเดิม และเฟสกลับเท่ากับ 180° กับกระแสในครึ่งรอบของเส้นลวดอีกเส้นหนึ่ง

นอกจากนี้ถ้าช่องว่างระหว่างเส้นลวดทั้งสองมีค่าน้อยมากๆ ($S \ll \lambda$) สนามที่แพร่กระจายโดยกระแสของแต่ละเส้นลวดจะถูกหักล้างกันเองระหว่างเส้นลวดสองเส้น ผลลัพธ์สุดท้ายตามอุดมคติคือ จะไม่มีการแพร่กระจายของสายส่งสัญญาณ และเมื่อสายส่งสัญญาณระหว่าง $0 \leq Z \leq 1/2$ เริ่มที่จะกางออก เราสามารถที่จะสมมติได้ว่าการกระจายกระแสไม่เหมือนเดิมอย่างแท้จริงในแต่ละเส้นลวด อย่างไรก็ตามเพราะว่าส่วนที่กางออกของแต่ละเส้นลวดไม่ได้มีผลอย่างใกล้ชิดกับลวดอีกอันนั้นคือ สนามที่แพร่กระจายโดยเส้นลวดเส้นหนึ่งที่จะไม่ไปหักล้างกับเส้นลวดอีกเส้นหนึ่ง ดังนั้นจะมีการกระจายสุทธิของระบบเกิดขึ้นและในที่สุดส่วนที่ถูกกางออกของสายส่ง ซึ่งเป็นโครงสร้างของสายอากาศไดโพลทั่วๆ ไป เพราะว่ามีรูปแบบกระแสคลื่นนิ่งถูกจัดอยู่ในประเภทสายอากาศคลื่นนิ่ง ถ้า $1/\lambda$ เฟสของรูปแบบกระแสคลื่นนิ่งในแต่ละแขนจะเหมือนกันตลอดความยาวของสายอากาศ นอกจากนั้นจะหันในทิศทางเดียวกันในแต่ละแขน ดังนั้นสนามที่แพร่กระจายโดยแขนทั้งสองของไดโพล (ส่วนตั้งของสายส่งสัญญาณที่ถูกกางออก) จะเสริมกัน ในแต่ละอันและมุ่งไปยังจุดสังเกต (เฟสเนื่องจากความสัมพันธ์ทางตำแหน่งของแต่ละส่วนเล็กๆ ของแต่ละแขนต้องถูกรวมด้วย เพื่อที่จะได้รูปแบบของการกระจายคลื่นที่สมบูรณ์)



บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

ในระบบการสื่อสาร วิธีการที่จะทำให้โทรศัพท์มือถือไม่สามารถใช้งานได้ คือ การส่งสัญญาณรบกวนเพื่อแทรกแซงในระบบ ซึ่งจะพบว่าวิธีแบบที่ยากง่ายต่างกัน การที่จะรบกวนสัญญาณให้ประสพผลสำเร็จจะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณรบกวนไปรบกวนการส่งสัญญาณในระบบสื่อสารจนไม่สามารถใช้งานได้ ในระบบสื่อสารดิจิทัลจะไม่สามารถใช้งานได้ เมื่ออัตราข้อผิดพลาดของการส่งไม่ถูกแทนที่โดยกระบวนการแก้ไขข้อผิดพลาดเพื่อให้บรรลุเป้าหมายจึงต้องทำให้เพาเวอร์ของสัญญาณรบกวนมีค่าเท่ากับเพาเวอร์ของสัญญาณรับ

3.1 ระยะที่จะทำการรบกวน

ระยะที่รบกวนจะมีผลในการออกแบบอุปกรณ์แอมพลิฟายเออร์ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพาเวอร์เอาต์พุตกับระยะทาง เมื่อระยะทางไกลเพาเวอร์เอาต์พุตที่ใช้ต้องมีค่ามากตาม

<i>distance</i> (m)	900MHz attenuation (dB)	<i>distance</i> (m)	900MHz attenuation (dB)
1	38	25	70
2	44	30	72
3	50	35	74
4	54	40	75
5	56	45	76
6	58	50	77
7	60	60	78
8	61	70	80
9	62	80	81
10	63	90	82
15	64	100	82
20	68	200	84

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าการลดทอนที่ระยะต่างๆ ของความถี่ 900 MHz

3.2 Free space loss (F)

โดยสามารถหาได้จากสูตรดังนี้

$$\text{Path loss (dB)} = 32.44 + 20 \log d \text{ (km)} + 20 \log f \text{ (MHz)}$$

ค่า free space loss สูงสุดที่จะเกิดขึ้นได้ เมื่อความถี่เท่ากับ 960 MHz

$$F \text{ (dB)} = 32.44 + 20 \log d \text{ (km)} + 20 \log (960)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แบนด์ความถี่ 900 MHz

การเชื่อมต่อระบบ GSM จะประกอบด้วยการมัลติเพล็กซ์ 2 แบบคือ TDMA (Time Division Multiple Access) และ FDMA (Frequency Division Multiple Access) สเปกตรัมจะถูกแบ่งออกเป็น 220 KHz แต่ละช่องสัญญาณจะถูกแบ่งเป็น 8 timeslots (TDMA) แต่ละ 8 timeslots เฟรม TDMA จะมีความกว้าง 4.6 ms (577s/timeslot)

ความถี่ของการส่งสัญญาณ GSM แสดงได้ดังนี้

	Uplink	Downlink
GSM900	890-915 MHz	935-960 MHz

ตารางที่ 3.2 แสดงแบนด์ความถี่ GSM 900 MHz

ในการออกแบบจะให้ความถี่ของการรบกวนสัญญาณมีค่าเหมือน downlink เพราะที่ใช้เพาเวอร์น้อยกว่าในการรบกวนเมื่อเทียบกับย่านความถี่ uplink และไม่มีควมจำเป็นที่จะต้องรบกวนสถานีฐาน (base station)

3.4 Jamming-to-signal ratio (J/S)

การรบกวนสัญญาณจะบรรลุเป้าหมายเมื่อสัญญาณรบกวนไปทำให้การติดต่อสื่อสารไม่สามารถใช้งานได้โดยสามารถคำนวณค่า Jamming-to-signal ratio ได้จากสูตรดังนี้

$$\frac{J}{S} = \frac{P_j G_{jr} G_{rt}^2 R_{jr} L_r B_r}{P_t G_{tr} G_{rt}^2 R_{tr} L_j B_j} \quad (3.1)$$

โดย

P_j = เพาเวอร์แจมเมอร์

G_{jr} = เกนสายอากาศจากแจมเมอร์ถึงเครื่องรับ

G_{rt} = เกนสายอากาศจากเครื่องรับถึงแจมเมอร์

R_{jr} = ระยะระหว่างเครื่องส่งถึงเครื่องรับ

B_r = แบนด์วิดค์เครื่องรับ

L_r = loss ของสัญญาณในระบบสื่อสาร

P_t = เพาเวอร์เครื่องส่ง

G_{tr} = เกนสายอากาศจากเครื่องส่งถึงเครื่องรับ

G_{rt} = เกนสายอากาศจากเครื่องรับถึงเครื่องส่ง

R_{tr} = ระยะระหว่างแจมเมอร์ถึงเครื่องรับ

B_j = แบนด์วิดค์แจมเมอร์

L_j = loss สัญญาณแจมเมอร์

สำหรับระบบ GSM, ค่า SNR_{min} ของระบบคือ 9 dB ซึ่งน้อยที่สุดที่จะสามารถรบกวนได้ และค่า SNR

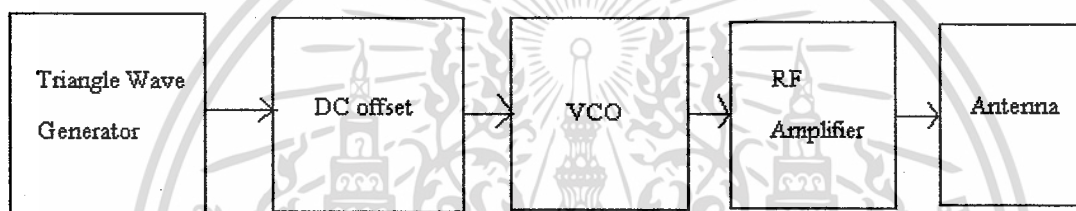
ที่ดีที่สุดในการรบกวนคือ 12 dB สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ส่วน IF (Intermediate Frequency)

เป็นการปรับเครื่องส่งสัญญาณ ไปยัง VCO ผ่านลำดับความถี่ที่ต้องการ โดยพื้นฐานแล้ว เครื่องกำเนิดที่มีคลื่นรูปฟันเลื่อยหรือสามเหลี่ยม จะมีลักษณะที่เหมาะสม ดังนั้นจึงใช้รูปสามเหลี่ยมผสมกับสัญญาณ noise ส่วน IF ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ ดังนี้

1. เครื่องกำเนิดคลื่นสามเหลี่ยม
2. วงจรออปแอมป์

เนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์ jammer จะใช้การสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมแล้วทำการยกระดับสัญญาณไฟดค ซึ่งสัญญาณสามเหลี่ยมเราจะสร้างจากไอซี XR2206 จากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้ไปผ่าน VCO(Voltage Controlled Oscillator) เพื่อให้เกิดสเปกตรัมครอคลุมย่านความถี่ที่เราต้องการตัดสัญญาณเพื่อให้เกิดการรบกวนสัญญาณในย่านนั้น สุดท้ายเราจะนำสัญญาณที่ได้ไปผ่าน Power Amplifier เพื่อให้มีกำลังงานของสัญญาณแรงมากกว่าสัญญาณจากเมฆ่าย และต่อเข้ากับสายอากาศเพื่อให้เกิดการเรดิเอทคลื่น



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรแจมเมอร์

3.6 รายละเอียดทั่วไปของ XR2206

XR2206 เป็นอุปกรณ์โมโนลิทิกฟังก์ชันเจเนเรเตอร์ (Monolithic function generator) ใช้งานสำหรับสร้างสัญญาณไซน์ (sine), สี่เหลี่ยม (square), สามเหลี่ยม (triangle), แรมป์ (ramp), พัลส์ (pulse) ที่มีคุณภาพเสถียรภาพและความเที่ยงตรงสูง รูปคลื่นเอาท์พุทสามารถมอดูเลตได้ทั้งทางขนาด และทางความถี่ ค่าแรงดันภายนอกโดยมีช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 0.01 เฮิรตซ์ ถึง 1 เมกะเฮิรตซ์ ไอซีเบอร์นี้เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบสื่อสารในระบบเครื่องมือวัด และระบบที่ต้องการแหล่งกำเนิดสัญญาณไซน์ เอเอ็ม เอฟเอ็ม หรือสัญญาณที่ผ่านการเข้ารหัสแบบเลื่อนความถี่ มีค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนของอุณหภูมิเป็น 20 ppm/องศาเซลเซียส ความถี่ออสซิลเลเตอร์ สามารถกวาดเป็นเชิงเส้นได้สูงกว่า 2000:1 ช่วงความถี่ โดยการควบคุมของแรงดันภายนอกในขณะที่มีความเพี้ยนต่ำ

3.6.1 ลักษณะสำคัญของ XR2206

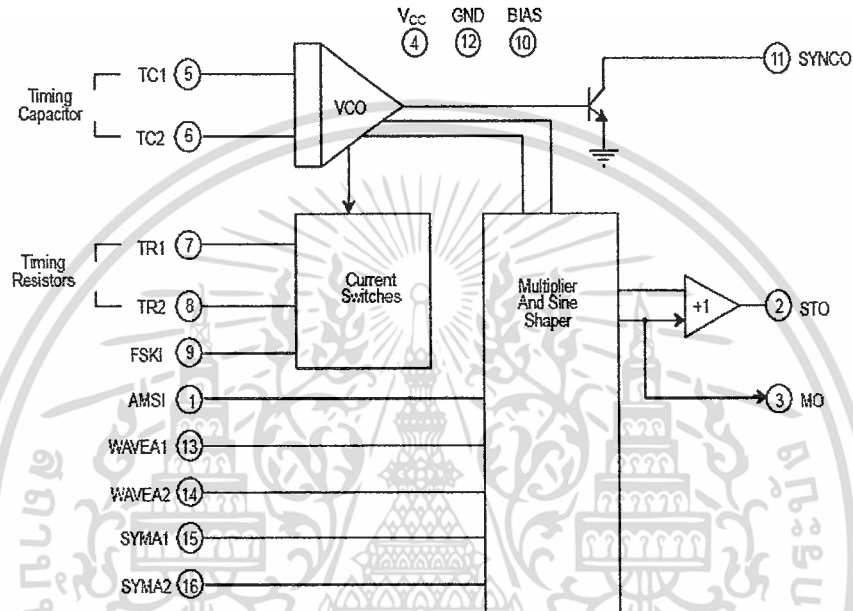
ความเพี้ยนของคลื่นไซน์ต่ำ	0.5% Typical
เสถียรภาพทางอุณหภูมิสูง	20ppm/ °c Typical
ช่วงกวาดของความถี่กว้าง	2000:1 Typical
ความไวต่อไฟเลี้ยงต่ำ	0.01% Typical
ช่วงกว้างของไฟเลี้ยง	10 V ถึง 26 V
คิวตี้ไซเคิล (duty cycle) สามารถปรับได้	1% ถึง 99%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 ค่าสูงสุดสัมบูรณ์

ไฟเลี้ยงวงจร	26 V
กำลังสูญเสีย	750 mW
การสูญเสียเหนือ 25 °C	5 mW/ °C
ช่วงอุณหภูมิใช้งาน	-65 °C ถึง +150 °C

3.6.3 โครงสร้างลักษณะหน้าที่การทำงานของ XR2206



รูปที่ 3.2 บล็อกโคอะแกรมของ XR2206

ขาที่ 1 เอเอ็ม อินพุต (A.M. Input) เป็นขาที่ใส่สัญญาณจากภายนอก เพื่อให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณแบบแอมพลิจูดมอดูเลชัน โดยสัญญาณจากภายนอกจะควบคุมขนาดของสัญญาณเอาต์พุต

ขาที่ 2 เป็นขาที่ให้สัญญาณเอาต์พุตที่เป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์และสัญญาณสามเหลี่ยม

ขาที่ 3 เป็นขาที่กำหนดขนาดของสัญญาณเอาต์พุต โดยต่อขานี้ไปยังจุดอ้างอิงในการสวิง (swing) หรือใช้ออฟเซต

ขาที่ 4 เป็นขาซัพพลาย ป้อนไฟเลี้ยง

ขาที่ 5,6 เป็นขาสำหรับเก็บประจุ เพื่อใช้ในการปรับความถี่ ที่สองขานี้จะมีสวิทช์เลือกเพื่อปรับย่านความถี่ โดยที่เมื่อ C มีค่าน้อยกว่าความถี่จะมีค่ามากตาม $f = 1/RC$

ขาที่ 7,8 เป็นขาที่ใช้ปรับความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตอย่างต่อเนื่อง โดยเลือกใช้เพียงขาใดขาหนึ่งเท่านั้น

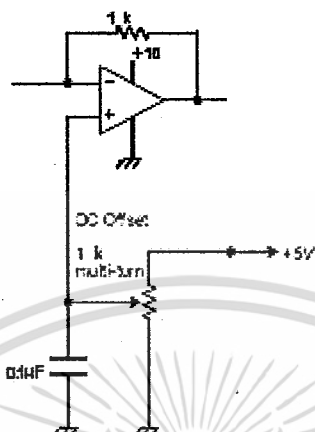
ขาที่ 9 เอฟเอสเค อินพุต (FSK Input) เป็นขาสำหรับใช้ค่า R_1 หรือ R_2 ในการใช้ความถี่เอาต์พุต เมื่อโวลต์ที่ขา 9 สูงกว่า 2 โวลต์ ควรเลือกใช้ความต้านทานที่ขาที่ 7 เพื่อกำหนดความถี่และเมื่อโวลต์ที่ขาที่ 9 ต่ำกว่า 1 โวลต์ วงจรจะเลือกใช้ความต้านทานที่ขาที่ 8 ในการกำหนดความถี่

ขาที่ 10 บายพาส (by pass) เป็นขาที่ใช้เก็บประจุกับกราวด์

ขาที่ 11 เป็นขาที่ให้สัญญาณเอาต์พุตแบบ open-collector โดยให้สัญญาณที่ซิงค์กับขาที่ 2

3.7 วงจรออปแอมป์

ออปแอมป์ที่ใช้มีหน้าที่ปรับแรงดันไฟ dc ของสัญญาณสามเหลี่ยมเพื่อให้เกิดการยกระดับของสัญญาณ ซึ่งจะใช้ IC UA741 โดยที่ขา 7 ต่อไฟบวกและขา 4 ต่อไฟลบ ให้ขา 3 ต่อกับไฟ +5V โดยมี R ปรับค่าได้ต่ออยู่



รูปที่ 3.4 วงจรยกระดับไฟ dc

3.8 VCO (Voltage Control Oscillator)

VCO จะทำหน้าที่ผลิตสัญญาณความถี่โดยการควบคุมระดับ Voltage โดย คอนเวอร์ชัน เกน เท่ากับ K_o (อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงความถี่ output voltage input) ระดับ voltage input จะได้จาก output ของ loop filter ความถี่ lock มาจาก LPF จะมีผลต่อ output ของ vco เปลี่ยนความถี่ด้วย

$$\omega(t) = \omega_0 + K_o V_c(t) \quad (3.2)$$

โดยที่ ω_0 คือความถี่กลางของ vco

K_o คือค่า conversion gain

$V_c(t)$ คือ สัญญาณ output จาก lowpass filter ที่มาควบคุม vco

VCO มีคุณสมบัติที่เราพิจารณาได้ดังนี้

1. การเบี่ยงเบนความถี่ (Frequency Deviation) จุดสูงสุดของแคปเจอร์เรนจ์จะเท่ากับเกนการขยายของลูปเปิด (Open Loop Gain)
2. เสถียรภาพทางความถี่ (Frequency Stability) การมีเสถียรภาพทางความถี่ที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับวงจร เฟสล็อกลูป รวมถึงวงจรที่นำเฟสล็อกลูปไปประยุกต์ใช้ เช่น ความไวของการมอดูเลตของวงจรสังเคราะห์ความถี่ (Modulation Sensitivity) ซึ่งจะมีค่าสูง
3. การตอบสนอง (Response) VCO ควรมีการตอบสนองสัญญาณได้ดีและไม่ควรให้มีผลต่อคุณสมบัติทางด้านเสถียรภาพของลูป
4. คุณสมบัติของความถี่และแรงดัน(Frequency Voltage Characteristic) VCO จะมีอัตราส่วนของความถี่ต่อแรงดัน (F/V) ที่มีความเป็นเชิงเส้น (linear)

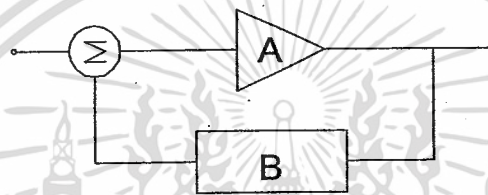
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Spectral Purity (ความบริสุทธิ์ของสเปกตรัม) ในการประยุกต์ใช้งาน เช่น การสังเคราะห์ ความถี่แบบอนาล็อก วงจรผลิตความถี่ควบคุมโดยแรงดัน ควรจะมีสัญญาณเอาต์พุต

ผลลัพธ์ของ VCO มีความถี่ซึ่งเป็นสัดส่วนกับการป้อนแรงดันไฟฟ้า ดังนั้น เราสามารถควบคุมความถี่ โดยการเปลี่ยนการป้อนแรงดันไฟฟ้า เมื่อแรงดันไฟฟ้าเป็น DC ผลลัพธ์คือ ความถี่เฉพาะ ในขณะที่ถ้าการป้อนแรงดันเป็นคลื่นสามเหลี่ยม ผลลัพธ์จะขยายลำดับความถี่เฉพาะ ในการออกแบบจึงเป็นที่มาของโมดูล VCO ย่านความถี่ 935-960 MHz

3.9 การออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ปรับค่าความถี่ตามแรงดัน

การออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์อาศัยหลักการของการป้อนกลับแบบบวก (positive feedback) ตามบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของการป้อนกลับแบบบวก

โดย A คือ เกน(Gain)ของวงจรขยายในส่วนของฟอร์เวิร์ด พาท (Forward Path)

B คือ อัตราส่วนป้อนกลับ(Feedback Ratio) ในส่วนย้อนกลับ

วงจรจะออสซิลเลตได้ก็ต่อเมื่อ (Barkhausen Criterion)

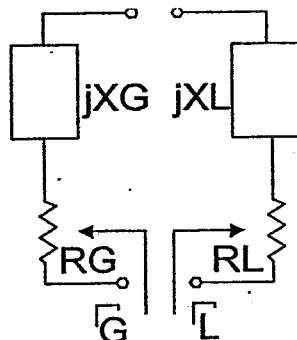
1. $|AB| = 1$ และ

2. $\angle AB = 360^\circ$

ดังนั้น $A_{รวม} = \frac{A}{1 - AB}$ จะมีค่า = 1 เมื่อเกิดการออสซิลเลต

วงจรขยาย (A) จะทำการขยายสัญญาณรบกวนซึ่งเป็นการเริ่มต้นให้วงจรเกิดการออสซิลเลตหลังจากนั้นความถี่ที่ถูกออสซิลเลตจะถูกเลือก โดยวงจรเรโซแนนซ์ซึ่งแบบออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

การเรโซแนนซ์แบบอนุกรม(Series Resonance)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.6 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมก่อนอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสถานะเริ่มต้นของออสซิลเลต

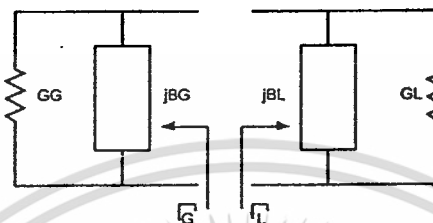
$$|G_G| > G_L \text{ เมื่อ } G_G \text{ มีค่าเป็นเนกาทีฟ คอนดักแตนซ์ (Negative Conductance)}$$

ในสถานะเรโซแนนท์ (Steady State)

$$R_G + R_L = 0$$

$$X_G + X_L = 0$$

การเรโซแนนซ์แบบขนาน (Parallel Resonance)



รูปที่ 3.7 วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

ในสถานะเริ่มต้นของออสซิลเลต

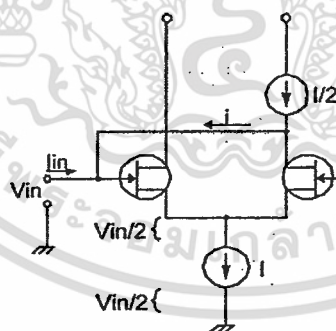
$$|G_G| > G_L \text{ เมื่อ } G_G \text{ มีค่าเป็นเนกาทีฟ คอนดักแตนซ์}$$

ในสถานะเรโซแนนท์

$$G_G + G_L = 0$$

$$B_G + B_L = 0$$

เราต้องการวงจรที่มีการสูญเสียต่ำแต่มีค่า Q (Quality Factor) สูงๆ การออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์จะต้องอาศัยหลักของ เนกาทีฟ รีซิสแตนซ์ (Negative Resistance) มาอธิบายเพราะง่ายกว่า ตัวอย่างของวงจรที่จะยกมาอธิบายการอธิบายในเชิงเนกาทีฟ รีซิสแตนซ์ เช่นเดียวกันเริ่มต้นจาก



รูปที่ 3.8 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้วงจรรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล(Differential amplifier)

หาอินพุทรีซิสแตนซ์(Input Resistance)

$$i = g_m \frac{V_i}{2}$$

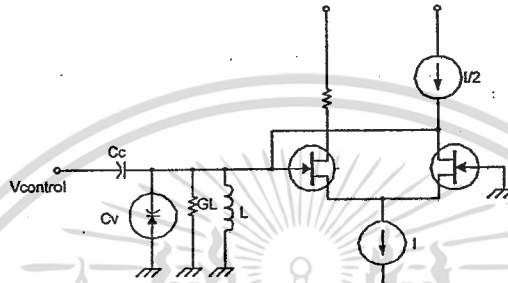
เมื่อสมมติให้ อินพุท รีซิสแตนซ์ของ เฟต (FET) และคอนสแตนท์เคอร์เรนท์ (Constant Current) มีค่ามากๆ ดังนั้น V ที่ตกคร่อม

เอกสารนี้เป็น $V_{gs} \approx V_{in} / 2$ วิชาไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{V_{in}}{i_{in}} = \frac{-2}{g_m}$$

$$R_{in} = \frac{-2}{g_m}$$

ดังนั้นหากทำการใช้ เรโซเนเตอร์ ทางด้านอินพุทของออสซิลเลเตอร์ (V_{in}) เพื่อเลือกความถี่ และใช้ วาริแคป แทนตัวเก็บประจุ จะได้วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ปรับความถี่ได้ตามแรงดัน ตามรูปที่ 3.8 ไอซีสำเร็จรูปที่อาศัยองค์ประกอบภายในเป็นออสซิลเลเตอร์ประเภทนี้ เช่น MC 1648 ทำงานได้ดีที่ความถี่น้อยกว่า 500 เมกกะเฮิรตซ์



รูปที่ 3.9 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ปรับความถี่ได้ตามแรงดัน

เงื่อนไขการทำงานของวงจรประเภทนี้ คือ

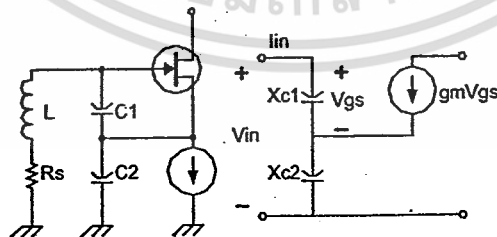
$$|G_G| > G_L$$

$$\frac{g_m}{2} > G_L$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$Q = \frac{R_L}{j\omega L} = R_L j\omega C$$

เฟท (FET)



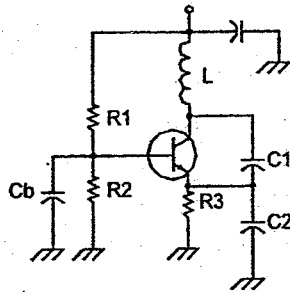
รูปที่ 3.10 วงจร เฟทออสซิลเลเตอร์ (FET Oscillator)

$$V_{in} = i_{in} (X_{c1} + X_{c2}) + g_m V_{gs} X_{c2}$$

$$V_{gs} = V_{Xc1} = i_{in} X_{c1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้

วงจรคอลลพิทออสซิลเลเตอร์ (Collpit Oscillator)



รูปที่ 3.11 วงจรคอลลพิทออสซิลเลเตอร์

อาศัยหลักการอธิบายเช่นเดียวกันจะได้

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left[\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right]}} \quad (3.3)$$

เมื่อ R_3 มากกว่า X_{c2} มากๆ

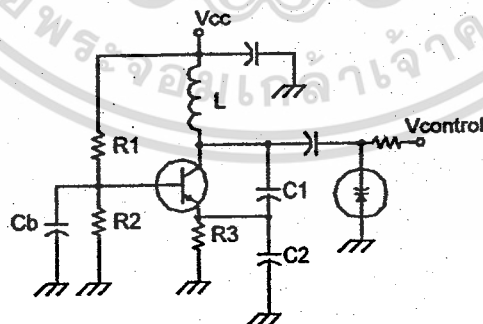
$$\text{และ } R_m = \frac{-g_m}{\omega^2 C_1 C_2}$$

$$\text{เมื่อ } g_m = \frac{I_c}{V_T} ; V_T \approx 25\text{mV ที่ } 25^\circ\text{C}$$

ดังนั้น

$$Z_m = \frac{-g_m}{\omega^2 C_1 C_2} + \frac{1}{j\omega \left[\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right]} \quad (3.4)$$

หากต้องการออสซิลเลเตอร์ที่ปรับความถี่ได้โดยใช้แรงดันสามารถใช้วาริแคปในการทำงานโดยวงจรจะอยู่ในรูปแบบของวงจรในรูปที่ 2.17 ทำหน้าที่บล็อก ดีซี ดังนั้นจึงต้องมีค่ามากๆ ที่ความถี่สูงๆ อาจจะมีมากกว่า $0.1 \mu\text{F}$



รูปที่ 3.12 คอลลพิทออสซิลเลเตอร์ ปรับค่าได้ตามแรงดัน

ดังนั้นความถี่ที่กำเนิดได้คือ

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left[\left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right) \parallel C_v \right]}} \quad (3.5)$$

เอาที่พูดสามารถเหนี่ยวนำกระแสที่คลลวดเหนี่ยวนำไปใช้งานได้หรืออาจดึงจากคอลเลคเตอร์ได้แต่ต้องระวังค่าตัวต้านทานด้วย มิฉะนั้นวงจรไม่เกิดการออสซิลเลตได้เนื่องจากค่าเนกาทีฟรีซิสแตนซ์ น้อยกว่าโพสิทีฟ รีซิสแตนซ์ (Load) และที่สำคัญ Q และ L ควรมีค่ามากๆเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสีย (Loss) ในวงจรมาก อาจเป็นสาเหตุไม่ให้เกิดการออสซิลเลตได้เช่นเดียวกันคอลพิทออสซิลเลเตอร์

3.10 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifier)

ในวงจรขยายสัญญาณที่มีระดับต่ำ มักจะพิจารณาในด้านของความต้องการให้มีสัญญาณรบกวนระดับต่ำ อัตราขยายสัญญาณและการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรเป็นหลักใหญ่ แต่ในวงจรขยายกำลังแล้วมักจะเน้นถึงความสามารถในการที่จะขับโหลดได้ต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ยกตัวอย่างของโหลด เช่น ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โหลดที่วงจรขยายกำลังต้องขับมักเป็นลำโพง , เครื่องบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติ (Automatic Recorder) เป็นต้น เพื่อที่จะให้ได้งานทางกลจากโหลดเหล่านี้ แหล่งกำเนิดพลังงานที่จะต้องป้อนสัญญาณทางไฟฟ้าเข้าไป จะต้องจ่ายพลังงานออกมาได้หลายร้อยมิลลิวัตต์ โดยนัยกล่าวมาแล้วคือ การต้องการกำลังในการขับโหลดสูง ปัญหาที่ตามมาคือ การสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพดีเพียงพอที่จะจ่ายกับวงจรได้

เมื่อพิจารณาถึงทรานซิสเตอร์จะพบว่ามิมีข้อเสียคือ สามารถทำงานที่ระดับไฟเลี้ยงต่ำแต่ยอมให้กระแสผ่านได้สูง ทำให้การสร้างแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่เหมาะสมกับวงจรทำได้ง่าย และมีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อเทียบกับการใช้หลอดสุญญากาศซึ่งต้องใช้ระดับศักดาสูง

ด้วยเหตุนี้เอง ถ้าไม่ใช่วงจรที่ขยายกำลังเป็นพิเศษ เช่น วงจรขยายเสียงที่ใช้หลอดสุญญากาศเป็นตัวขับโหลด หลอดสุญญากาศที่ใช้ในเครื่องส่งวิทยุเพื่อให้ได้กำลังงานสูง ๆ จะนิยมใช้ทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายกำลังเป็นส่วนใหญ่ แต่ตัวทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่ออุณหภูมิและการจ่ายกำลัง ไปยังโหลดเกินความสามารถ ดังนั้นจะต้องพิจารณาเกี่ยวกับสภาวะของการถ่ายเทความร้อนออกจากตัว และการจ่ายกำลังได้สูงสุดที่ทรานซิสเตอร์จะไม่เป็นอันตรายด้วย

ในการออกแบบวงจร จะให้ทรานซิสเตอร์ซึ่งมีการแบ่งสภาวะการทำงานออกเป็น 3 สภาวะ คือ

1) สภาวะไม่นำกระแสของทรานซิสเตอร์ (Cut Off) คือ สภาวะที่ไม่จ่ายแรงดันไบอัสตรงหรือลดค่าแรงดันไบอัสตรง (V_{BE}) ให้ต่ำลงจนกระทั่งกระแสเบส (I_B) หยุดไหล จะทำให้กระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) หยุดไหลด้วย แต่จะมีเพียงกระแสรั่วซึม ไหลเพียงเล็กน้อย

2) สภาวะนำกระแสของทรานซิสเตอร์ (Conduction) คือ สภาวะที่กระแสคอลเลคเตอร์สามารถไหลเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นสัดส่วนตามการควบคุมของกระแสเบส ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง (Linear) ในการทำงานของทรานซิสเตอร์จะถูกกำหนดจุดทำงานให้อยู่ในบริเวณนี้

3) สภาวะอิ่มตัวของทรานซิสเตอร์ (Saturation) คือ สภาวะที่เพิ่มกระแสเบสสูงถึงจุด ๆ หนึ่งแล้วกระแสคอลเลคเตอร์จะไม่เปลี่ยนแปลงสูงขึ้น จุดที่กระแสคอลเลคเตอร์ไหลที่นี้เรียกว่า “จุดอิ่มตัว”

โดยปกติแล้วเรามักจะไม่ค่อยให้ความสนใจในรูปทรงของเอนVELOPE ของคลื่นนิ่งที่ได้รับ เท่ากับให้ความสนใจในอัตราส่วนของค่ามากที่สุดต่อค่าน้อยที่สุดสำหรับเอนVELOPE ซึ่งจะเรียกว่าเป็นอัตราคลื่นนิ่ง (standing Wave Ratio ; SWR) ค่าคคคาไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ที่ระยะทาง X ใดๆ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสนาม ดังนั้น SWR ในกรณีนี้จะเรียกว่าเป็นอัตราส่วนคลื่นนิ่งเชิงศักดาไฟฟ้า (Voltage Standing Wave Ratio ; VSWR) ค่ามากที่สุดของเอนVELOPE จะขึ้นอยู่กับผลรวมของขนาดของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนคือ ($E_0 + E_1$) ในขณะที่ค่าน้อยที่สุดจะขึ้นอยู่กับขนาดของคลื่นทั้งสองคือ ($E_0 - E_1$) จากข้อมูลที่ได้นี้เราสามารถหาส่วนของคลื่นตกกระทบที่สะท้อนกลับมาได้ในรูปของคลื่นสะท้อนและสามารถสะท้อนและสามารถหาส่วนที่

ส่งผ่านได้ด้วย สิ่งที่เราจะรู้ว่ามีค่ามากในการหาสภาพหรือธรรมชาติของเงื่อนไขต่าง ๆ ที่จุดเกิดการสะท้อนของคลื่นคงจะได้อีกต่อไป

$$\text{ดังนั้นสำหรับ } VSWR = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{E_0 + E_1}{E_0 - E_1}$$

เมื่อคลื่นสะท้อนเป็นศูนย์ ($E_1 = 0$) ค่าของ VSWR จะเท่ากับหนึ่ง เมื่อคลื่นสะท้อนมีขนาดเท่ากับคลื่นตกกระทบ ($E_1 = E_0$) ค่าของ VSWR จะเท่ากับอนันต์ ดังนั้นสำหรับค่าต่างๆ ทั้งหมดของคลื่นสะท้อนที่อยู่ในระหว่างนี้ค่าของ VSWR จะอยู่ระหว่างหนึ่งและอนันต์

จากสารจะพบว่าค่า SWR ที่ได้รับจะเป็นค่าที่ดีที่สุดสำหรับการแมทซิ่ง (matching) ของเครื่องส่งไป ยังสายโคแอกเซียลและระบบสายอากาศ แต่สิ่งนี้ไม่อาจกล่าวได้ว่า มันไม่มีการสูญเสีย (Loss) เกิดขึ้นมันเพียงแต่หมายความว่า เอาท์พุทของเครื่องส่งเกิดการแมทชิ่ง (matched) กับรูปแบบอิมพีแดนซ์ ของโหลดโดยสายส่งสัญญาณ โดยจะ matched กับโหลดที่อยู่ในระยะของสายเคเบิลซึ่งในความเป็นจริงผลของสายอากาศที่แมทชิ่ง ไม่ถูกต้อง จะทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ ในสายเคเบิล โดยสิ่งที่เกิดขึ้นนี้ ก็เพราะว่าทั้งกำลังส่งและกำลังสะท้อน ก็มีผลทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณได้เช่นกัน

เป็นธรรมดาสำหรับการสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายโคแอกเซียลเนื่องจากคัมมีโหลด (dummy load) ซึ่งเป็นตัวดูดกลืนสัญญาณ ความยาวของสายโคแอกเซียล ซึ่งมีการลดทอนมากกว่า 20 dB ที่การทดสอบความถี่จะมีกำลังสะท้อนเพียงเล็กน้อย จากคุณลักษณะดังกล่าว สามารถกล่าวได้ว่า มันจะมีลักษณะเป็นความต้านทานที่ในตัวส่งสัญญาณ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง เป็นผลมาจากการมิสแมทซิ่ง (Mismatched) ในช่วงจาก 1.5 ถึง 2.0 นักวิทยุสมัครเล่นส่วนมากจะยอมรับเกี่ยวกับอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่สูงกว่า 2 เพื่อเป็นการกำหนดในการค้นหาสาเหตุของการมิสแมทซิ่ง หรือมีค่ามากกว่า 11% ของกำลังที่สูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของเพาเวอร์ดีนเหตุอีกอย่างของการมิสแมทซิ่ง อาจจะได้จากการจูนเครื่องขยายความถี่วิทยุ (RF amplifiers) ไม่ถูกต้อง, ส่วนของสายโคแอกเซียลที่มีค่าอิมพีแดนซ์ไม่ถูกต้อง ปกติเป็นที่รู้จักกันคือ 50/75 โอห์ม นกจับอยู่บนสายอากาศ น้ำแข็งที่เกาะอยู่กับสายอากาศ น้ำในสายโคแอกเซียล หรือความผิดพลาดของตัวคอนเนคเตอร์ (Connector) แต่จะเป็นสาเหตุอะไรก็ตาม สามารถทำให้แน่ใจได้ในการกำจัดสิ่งเหล่านี้ก่อนที่จะเริ่มต้นการส่ง ไม่ว่าจะเกี่ยวกับเครื่องขยายความถี่วิทยุ สายโคแอกเซียล ตลอดจนระบบงานสายอากาศโดยรายละเอียดนั้นจะใช้ซิงเกิ้ลไซด์แบนด์ (Single Side band) และวิธีเชิงเส้นอื่นๆ เพื่อไม่ให้เอาท์พุทเกิดการมิสแมทซิ่งและไม่ให้สเปคตรัมของเอาท์พุทมีขนาดกว้างเกินไป

นอกจากนี้ ยังมีวิธีที่จะใช้ในการคำนวณหาอัตราส่วนคลื่นนิ่งได้อีก ถ้าทราบถึงค่ากำลังส่งและกำลังสะท้อน โดยสามารถหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$VSWR = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_{\text{ส่ง}}}{P_{\text{สะท้อน}}}}}{1 - \sqrt{\frac{P_{\text{ส่ง}}}{P_{\text{สะท้อน}}}}} \quad (3.6)$$

แต่สำหรับรายละเอียดในการทดลอง จะใช้สูตรก่อนหน้านี้เป็นหลัก ซึ่งจะมีความง่ายในการคำนวณมากกว่าและเป็นวิธีที่นิยมมากกว่า และค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (SWR) ในรูปของ dB สามารถคำนวณได้โดย

$$SWR \text{ (dB)} = 20 \log VSWR$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 การคำนวณวงจรรขยายโดยใช้เอสพารามิเตอร์ (S Parameter)

เอสพารามิเตอร์ เป็นที่นิยมใช้มากเนื่องจากง่ายและสะดวกในการใช้งาน นอกจากนี้แล้วยังเป็นวิธีการออกแบบวงจรรขยายกำลังต่ำที่มีประสิทธิภาพสูงและเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป

เอสพารามิเตอร์สามารถบอกคุณสมบัติต่าง ๆ ของวงจรรขยาย เช่น อิมพีแดนซ์แมตซ์ , อัตราขยาย และเสถียรภาพของวงจร ซึ่งจะแสดงในรูปของสมการคณิตศาสตร์ แนวคิดของเอสพารามิเตอร์นั้นได้มาจากส่งคลื่นที่สร้างจากแหล่งกำเนิดส่งผ่านสายอากาศส่งไปยังโหลด ซึ่งเรียกว่า “คลื่นตกกระทบ (Incident wave)” ถ้าหากอิมพีแดนซ์ไม่แมตซ์กันจะทำให้เกิดสัญญาณสะท้อนกลับมายังแหล่งกำเนิด ซึ่งเรียกลักษณะนี้ว่า “คลื่นสะท้อน (Reflected wave)”

สำหรับเนตเวิร์กแบบ 2 พอร์ต (2-port network) เช่น ทรานซิสเตอร์ ถ้าเนตเวิร์กทั้งระบบสามารถวัดค่าความต้านทานได้ 50 โอห์ม แล้วเอสพารามิเตอร์จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนกลับได้

S_{11} และ S_{22} ในระบบที่มีความต้านทานเท่ากับ 50 โอห์ม จะเป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของโวลต์ตรงทางอินพุตและทางเอาต์พุต (Input / Output Voltage Reflection Coefficient) และสามารถหาความสัมพันธ์ได้จากสมการ

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3.7)$$

เมื่อ $|\Gamma|$ คือ ขนาดสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของโวลต์ตรง

$|S_{21}|^2$ คือ อัตราขยายกำลัง (Power gain) ของทรานซิสเตอร์ขณะที่ไบอัสที่ความถี่ต่าง ๆ เนตเวิร์ก 2 พอร์ตจะถูกต่อกับแหล่งกำเนิดที่มีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม และ โหลด

ค่าของเอสพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณสามารถหาได้จากค่าต่างๆของทรานซิสเตอร์ที่ใช้ที่จุดไบอัสที่เราออกแบบไว้

เสถียรภาพ (Stability)

การคำนวณเสถียรภาพของทรานซิสเตอร์ด้วยเอสพารามิเตอร์ขั้นแรกต้องคำนวณหาปริมาณ D_s :

$$D_s = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{23} \quad (3.8)$$

ค่าของเสถียรภาพ (K) หาได้จาก

$$K = \frac{1 + |D_s|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2 - |S_{21}| |S_{12}|} \quad (3.9)$$

ถ้าค่า $K > 1$ ทรานซิสเตอร์จะอยู่ในสถานะอันคอนชันแนลีสเตเบิล (Unconditionally Stable) หมายความว่า ทรานซิสเตอร์จะมีเสถียรภาพทุก ๆ ค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดและ โหลด

ถ้าค่า $K < 1$ ทรานซิสเตอร์จะอยู่ในสถานะโพเทนเชียลอันสเตเบิล (Potentially Unstable) หมายความว่า จะมีบางค่าของแหล่งกำเนิดและ โหลดคิมพีแดนซ์ที่ทำให้วงจรรขยายเกิดการออสซิลเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะที่งานวิจัยด้านวิศวกรรมไฟฟ้าเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ไม่ได้หมายความว่า จะใช้ทรานซิสเตอร์ไม่ได้ เพียงแต่ต้องใช้ความระมัดระวังในการออกแบบ มีหลายวิธี เช่น เลือกจุดไบอัสทรานซิสเตอร์ใหม่ , ใช้ทรานซิสเตอร์ตัวอื่น เป็นต้น

เกนสูงสุดที่สามารถขยายได้ (Maximum Available Gain : MAG)

เป็นเกนสูงสุดที่สามารถขยายได้ สามารถหาได้โดย

$$\text{MAG} = 10 \log \left| \frac{S_{21}}{S_{12}} \right| \quad (\text{เดซิเบล}) \quad (3.10)$$

ในการหา MAG ค่า K ต้องมีค่ามากกว่า 1 มิฉะนั้นจะไม่สามารถหาค่าได้

ซิมัลทานีเยสคอนจูเกตแมตช์ (Simultaneous Conjugate Match)

เป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนโหลด - แหล่งกำเนิดของวงจรขยาย (Load - source Reflection Coefficient) เพื่อใช้ในการแมตช์ซึ่งอิมพีแดนซ์กับวงจรอื่น ๆ ซึ่งคำนวณตามขั้นตอนดังนี้

- 1) หาค่า C_2 : $C_2 = S_{22} - (D_s S_{11}^*)$
- 2) หาค่า B_2 : $B_2 = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |D_s|^2$
- 3) เราจะได้ค่าขนาด (Magnitude) ของสัมประสิทธิ์การสะท้อนของโหลดจาก

$$\Gamma_L = \frac{B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4|C_2|^2}}{2|C_2|}$$

- จะใช้เครื่องหมาย (+) หรือลบ (-) พิจารณาโดยใช้ค่าตรงกันข้ามกับเครื่องหมายของ B_2
- มุมของสัมประสิทธิ์การสะท้อนของโหลดนั้น จะใช้ค่าของมุมของ C_2 โดยจะใช้เครื่องหมายตรงกันข้าม

สัมประสิทธิ์การสะท้อนของแหล่งกำเนิด (Source Reflection Coefficient)

$$\Gamma_s = \left(S_{11} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_L}{1 - (\Gamma_L - S_{22})} \right) \quad (3.11)$$

นำค่า Γ_s ที่ได้ไปหาอินพุตอิมพีแดนซ์และ Γ_L ไปหาเอาต์พุตอิมพีแดนซ์เพื่อนำไปสร้างวงจรแมตช์ซึ่งอิมพีแดนซ์

โดยอินพุตอิมพีแดนซ์หาจาก

$$Z_{in} = Z_s \times 50 \quad (3.12)$$

โดย

$$Z_s = \left(\frac{1 + \Gamma_s}{1 - \Gamma_s} \right) \quad (3.13)$$

และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์หาจาก

$$Z_{out} = Z_L \times 50 \quad (3.14)$$

โดย

$$Z_L = \left(\frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L} \right) \quad (3.15)$$

การคำนวณโดยกำหนดค่าเกณฑ์ (Design for a Specified Gain)

เป็นการออกแบบโดยกำหนดค่าเกณฑ์ ซึ่งคำนวณโดยการหาวงกลมซึ่งมีแกนคงที่ (a constant gain circle) โดยพล็อตลงบนสมิทชาร์ท ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$1. \text{ หาค่า } D_s : D_s = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$$

$$2. \text{ หาค่า } D_2 : D_2 = |S_{22}|^2 - |D_s|^2$$

$$3. \text{ หาค่า } C_2 : C_2 = S_{22} - D_s S_{11}^*$$

$$4. \text{ หาค่า } G : G = \frac{|Gain|}{|S_{22}|^2} \quad (3.16)$$

5. จุดศูนย์กลางของวงกลมซึ่งมีแกนคงที่คือ

$$d_0 = \frac{GC_2^*}{1 + D_2 G} \quad (3.17)$$

6. รัศมีของวงกลมที่มีแกนคงที่คือ

$$r_0 = \frac{\sqrt{1 - 2K|S_{12}S_{21}|G + |S_{12}S_{21}|^2 G^2}}{1 + D_2 G} \quad (3.18)$$

นำค่าที่ได้ไปวาดลงบนสมิทชาร์ทซึ่งค่าของเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่จะทำให้ได้แกนตามต้องการจะต้องอยู่บนเส้นรอบวงของวงกลมนี้เท่านั้น เมื่อได้ค่าของ I_L แล้วก็จะได้ค่า I_S ซึ่งนำค่าต่างที่ได้นี้ไปสร้างวงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์ต่อไป

วงกลมเสถียรภาพ (Stability Circles)

ในการคำนวณค่าทรานซิสเตอร์ซึ่งอยู่ในสถานะโพเทนเชียลอันสเตเบิล ($K < 1$) จำเป็นต้องหาวงกลมเสถียรภาพของอินพุตและวงกลมเสถียรภาพของเอาต์พุต เพื่อใช้ในการหาเลือกค่า I_S แล้วก็จะได้ค่า I_L ที่เหมาะสมต่อไป ขั้นตอนการหาค่าวงกลมเสถียรภาพมีดังนี้

1. หาค่า D_s

$$2. \text{ หาค่า } C_1 : C_1 = S_{11} - D_s S_{22}^* \quad (3.19)$$

$$3. \text{ หาค่า } C_2 : C_2 = S_{22} - D_s S_{11}^* \quad (3.20)$$

4. หาจุดศูนย์กลางของวงกลมเสถียรภาพของอินพุต

$$r_{s1} = \frac{C_1^*}{|S_{11}|^2 - |D_s|^2} \quad (3.21)$$

5. หารัศมีของวงกลมเสถียรภาพของอินพุต

$$R_{s1} = \frac{|S_{12}S_{21}|}{|S_{11}|^2 - |D_s|^2} \quad (3.22)$$

6. หาจุดศูนย์กลางของวงกลมเสถียรภาพของเอาต์พุต

$$r_{s2} = \frac{C_2^*}{|S_{22}|^2 - |D_s|^2} \quad (3.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. หาร์ศมีของวงกลมเสถียรภาพของเอาต์พุต

$$R_{s2} = \frac{|S_{12}S_{21}|}{|S_{22}|^2 - |D_s|^2} \quad (3.24)$$

3.12 อิมพีแดนซ์แมตชิ่ง (Impedance Matching)

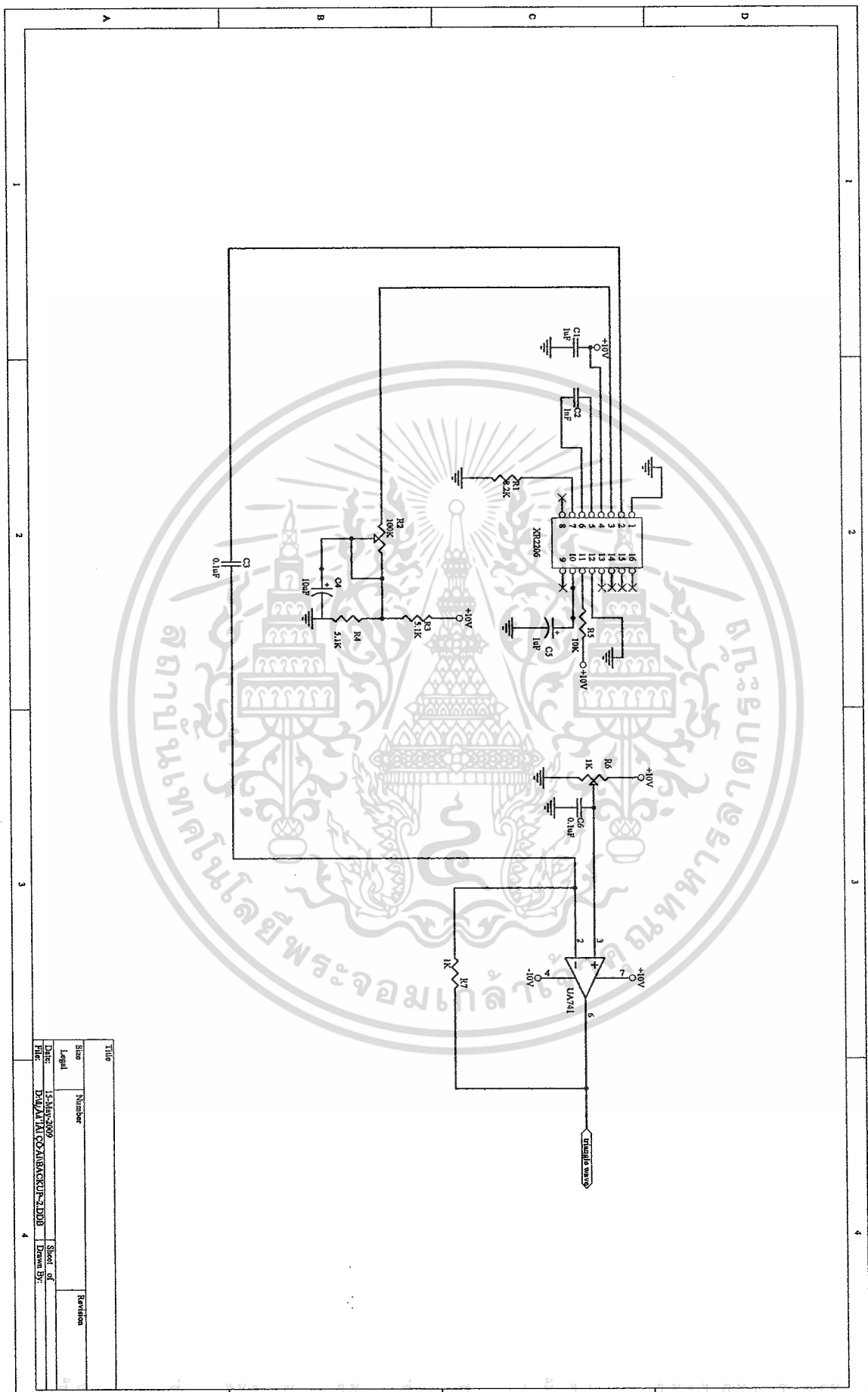
เมื่อเราคำนวณได้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์แล้ว เราต้องคำนวณวงจรแมตชิ่งอิมพีแดนซ์เพื่อให้ได้การส่งกำลังงานที่มากที่สุด (Maximum Power Transfer) เราสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_s = Q_p = \sqrt{\frac{R_p}{R_s} - 1} \quad (3.25)$$

$$Q_s = \frac{X_s}{R_s} \quad (3.26)$$

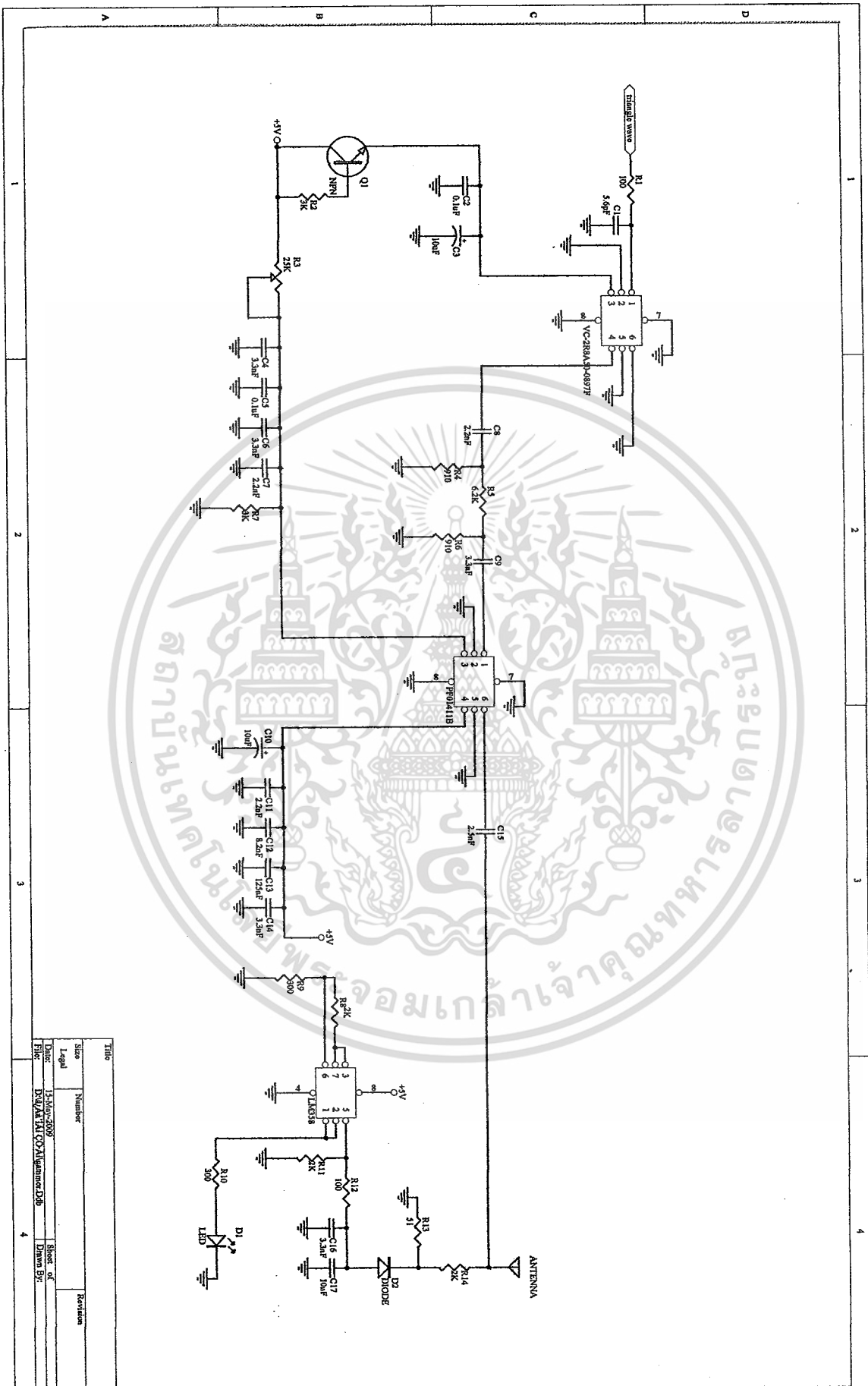
$$Q_p = \frac{X_p}{R_p} \quad (3.27)$$

โดยที่ Q_s คือ ค่า Q ของส่วนอนุกรม
 Q_p คือ ค่า Q ของส่วนขนาน
 R_p คือ ค่าของความต้านทานที่นำมาขนาน
 X_p คือ ค่ารีแอกแตนซ์ที่นำมาขนาน
 R_s คือ ค่าของความต้านทานที่นำมาอนุกรม
 X_s คือ ค่ารีแอกแตนซ์ที่นำมาอนุกรม
 ซึ่งค่าของ X_p และ X_s อาจเป็นได้ทั้งค่าปฏิกิริยาและอินดักทีฟ



Title	
Drawn	Number
Label	Revision
Date: 15-May-2009	
File: D:\MAY\1\1\00\XIBKORU-2.DBF	Sheet of
	Drawn By:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



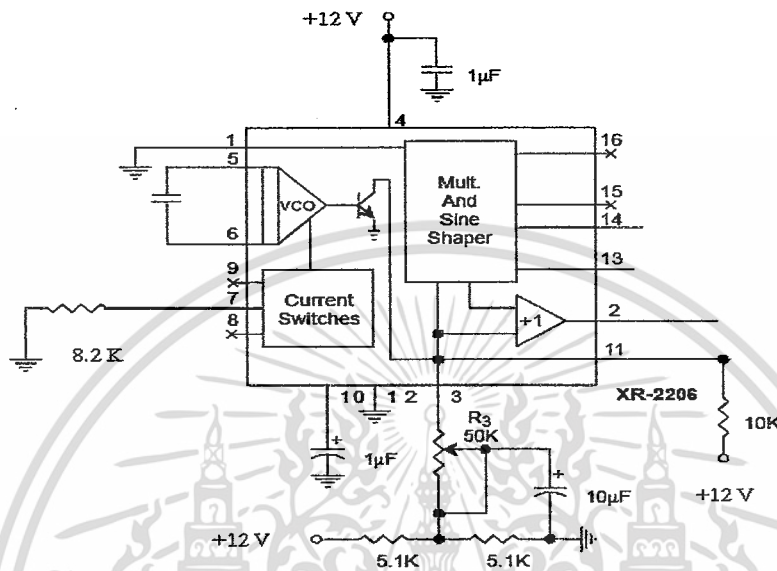
Title		Revision
Size	Number	
Legend		
Date	15-Mar-2008	Board of
File	D:\D\AN\ALCOA\Document\208	Drawn By

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่วนงานได้สำเนาเก็บไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การทดลองวงจรกำเนิดคลื่นสามเหลี่ยม



รูปที่ 4.1 แสดงวงจรกำเนิดคลื่นสามเหลี่ยม

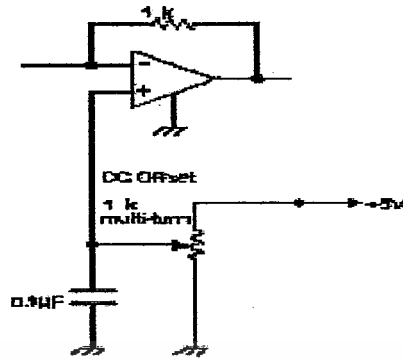


รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณสามเหลี่ยม

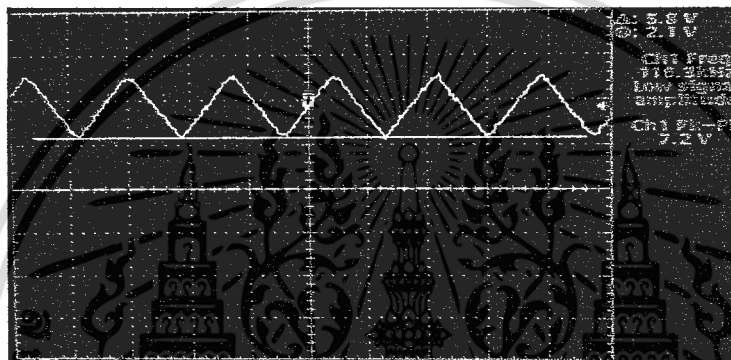
ตารางที่ 4.1 แสดงผลที่วัดได้ของวงจรกำเนิดคลื่นสามเหลี่ยม

พารามิเตอร์	เงื่อนไข	ค่าที่วัดได้	หน่วย
ค่า V_{pp} ของสัญญาณสามเหลี่ยม	$R = 8.2 \text{ k}\Omega$, $C = 1 \text{ nF}$	2	V
ความถี่ของสัญญาณสามเหลี่ยม	$R = 8.2 \text{ k}\Omega$, $C = 1 \text{ nF}$	113.9	KHz

4.2 การทดลองวงจร dc offset

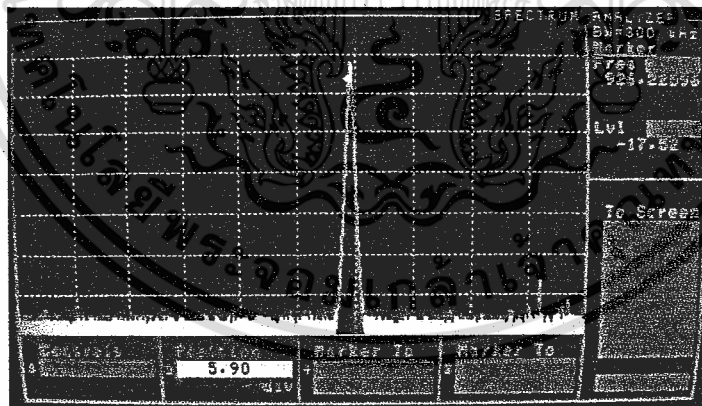


รูปที่ 4.3 แสดงวงจร dc offset



รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณที่เกิดจาก dc offset

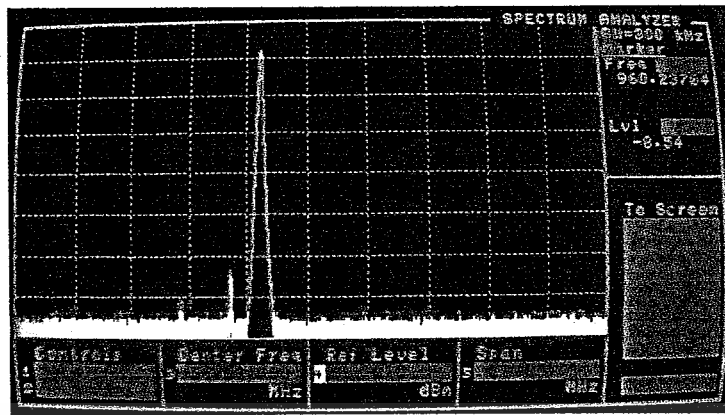
4.3 ผลการทดลอง VCO



รูปที่ 4.5 แสดงค่าที่วัดได้จาก vco ที่ 926.225 MHz

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของค่าที่วัดได้จาก vco ที่ไฟ dc = 2.3V

พารามิเตอร์	เงื่อนไข	ค่าที่วัดได้	หน่วย
ค่า power ของสัญญาณที่ป้อนไฟdc	ค่าV = 2.3 Volts	-17.52	dB _m
ความถี่ของสัญญาณที่ป้อนไฟdc	ค่าV = 2.3 Volts	926.225	MHz



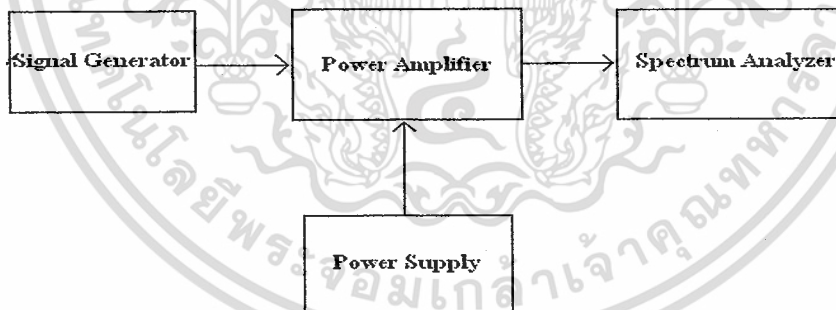
รูปที่ 4.6 แสดงค่าที่วัดได้จาก vco ที่ 960.23 MHz

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของค่าที่วัดได้จาก vco ที่ไฟ dc = 4.5V

พารามิเตอร์	เงื่อนไข	ค่าที่วัดได้	หน่วย
ค่า power ของสัญญาณที่ป้อนไฟ dc	ค่า V = 4.5 Volts	-8.54	dB _m
ความถี่ของสัญญาณที่ป้อนไฟ dc	ค่า V = 4.5 Volts	960.23	MHz

4.4 การทดลอง Frequency Response ของ Power Amplifier

4.4.1. Block diagram



4.4.2. ขั้นตอนการทดลอง

1. นำ Signal Generator ป้อนความถี่เข้า Spectrum Analyzer ที่มี Attenuator ค่า 10 dB_m เพื่อหาค่า loss ของระบบ

2. ให้ป้อนความถี่ตั้งแต่ 100 -1300 MHz โดยมีช่วงความถี่ห่างกัน 50 MHz และมี power เท่ากับ 0 dB_m เข้า PA ที่ขา 1 ซึ่งเป็นขา P_{in}

3. จ่ายไฟ 3.5 V และ 2.2 V เข้าที่ขา 2 และ 3 ของ PA ตามลำดับ

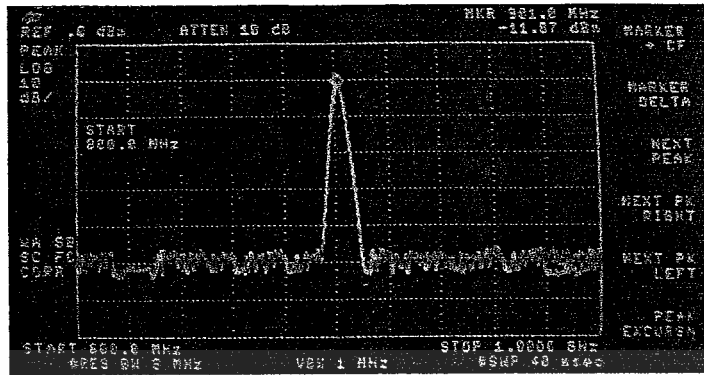
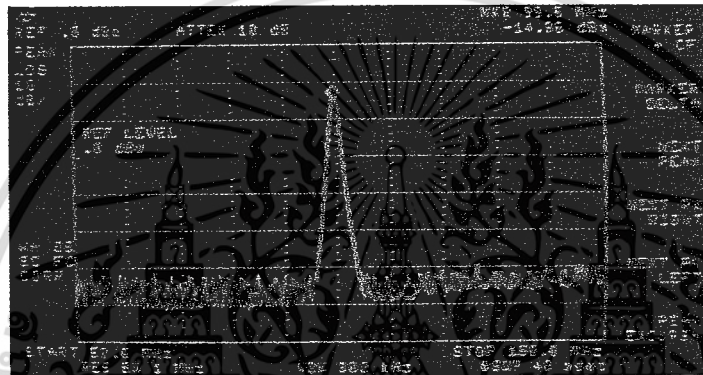
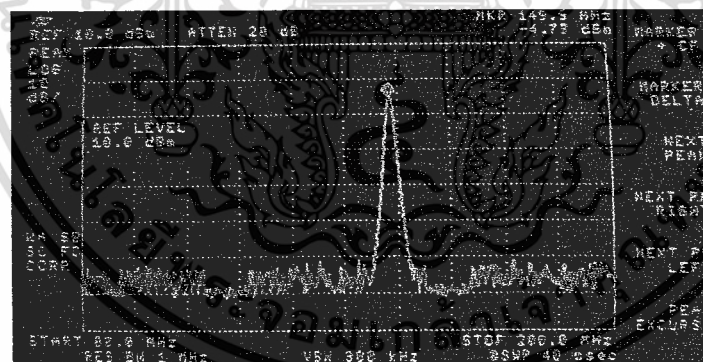
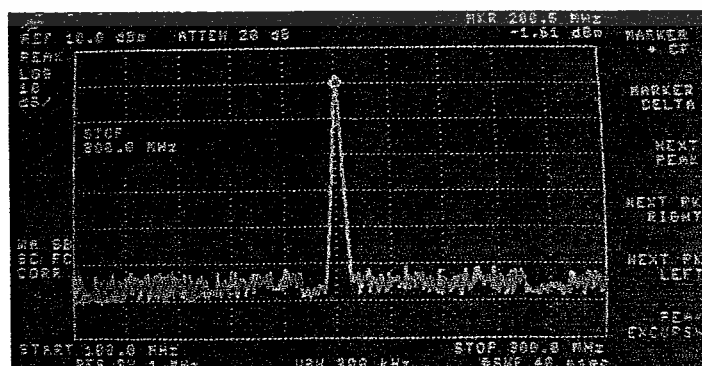
4. วัดค่า Output power ที่ขา 4 ของ PA อ่านค่าที่ได้จาก Spectrum Analyzer แล้วจดบันทึก

5. วัดค่า Frequency Response โดยกด trace ตามด้วย Max Hold A

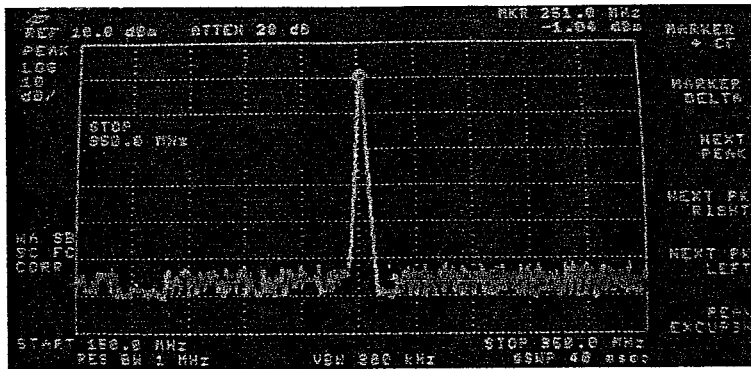
6. ค่อยๆ ป้อนความถี่ตั้งแต่ 100-1300 MHz โดยเพิ่มทีละ 2 MHz แล้วจดบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

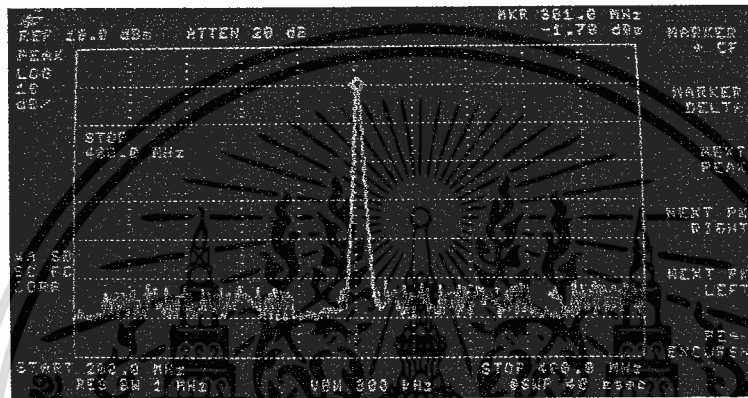
4.4.3. ผลการทดลอง

รูปที่ 4.7 แสดง Loss ของระบบเมื่อป้อน 0 dB_mรูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 100 MHz เมื่อป้อน 0 dB_mรูปที่ 4.9 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 150 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m

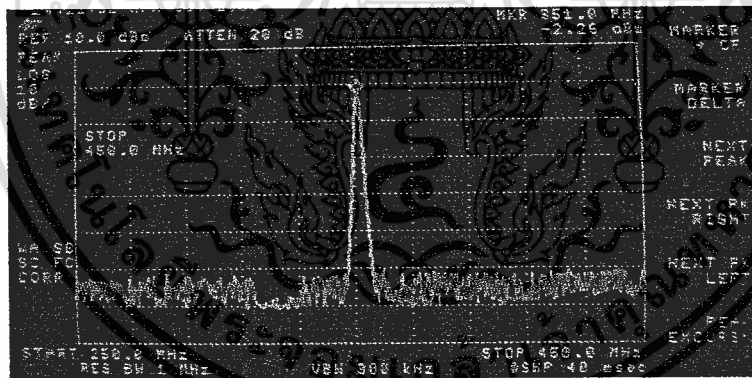
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่ง รูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 200 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m นี้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



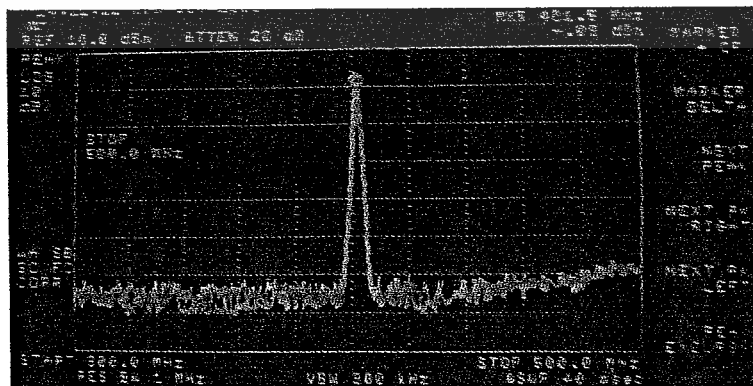
รูปที่ 4.11 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 250 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m



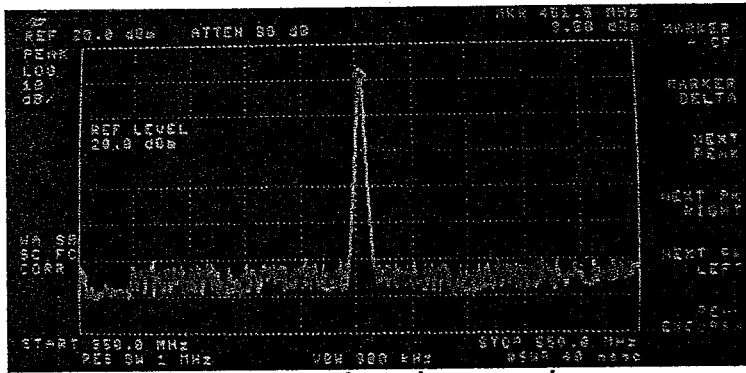
รูปที่ 4.12 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 300 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m



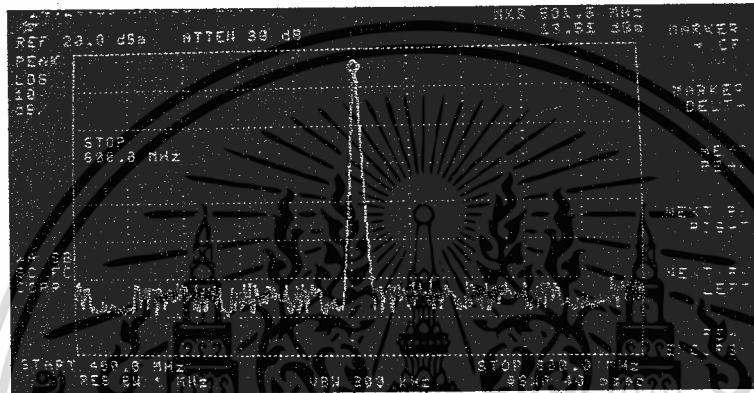
รูปที่ 4.13 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 350 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งรูปที่ 4.14 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 400 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



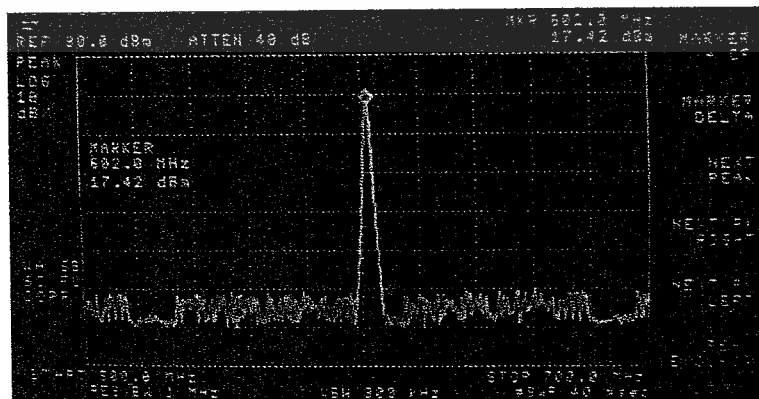
รูปที่ 4.15 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 450 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m



รูปที่ 4.16 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 500 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m

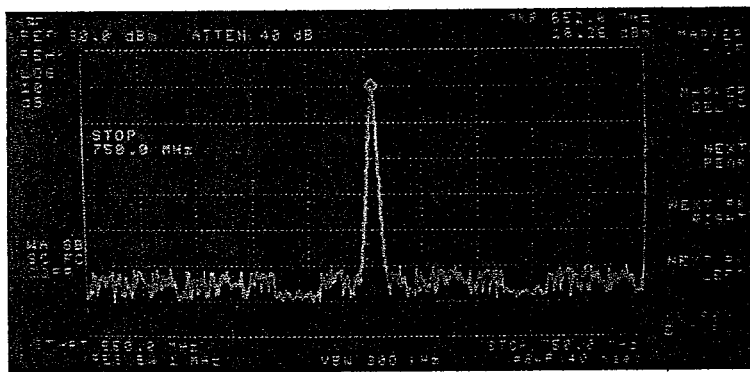


รูปที่ 4.17 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 550 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m



รูปที่ 4.18 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 600 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



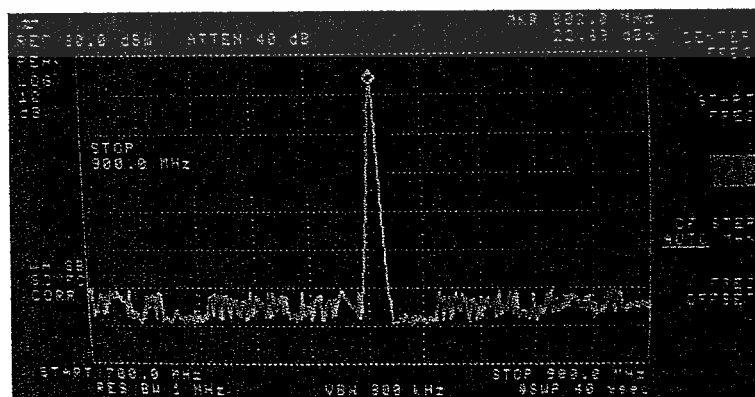
รูปที่ 4.19 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 650 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m



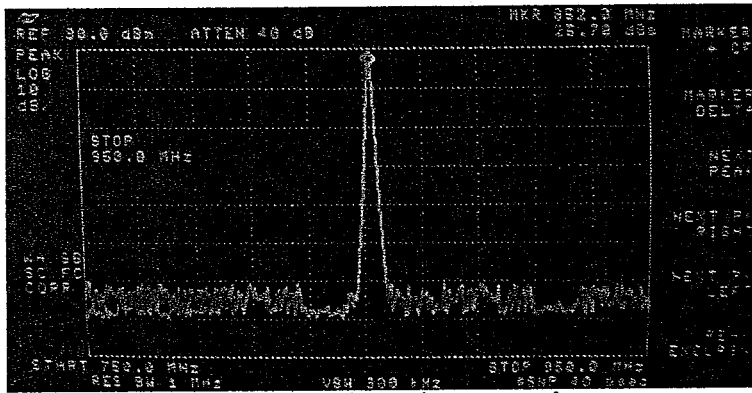
รูปที่ 4.20 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 700 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m



รูปที่ 4.21 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 750 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m



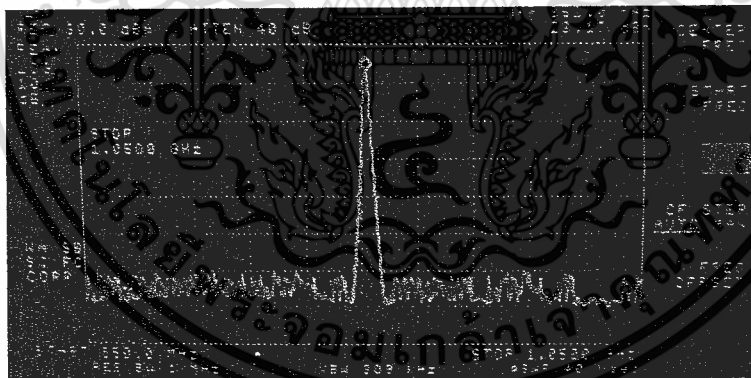
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งรูปที่ 4.22 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 800 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



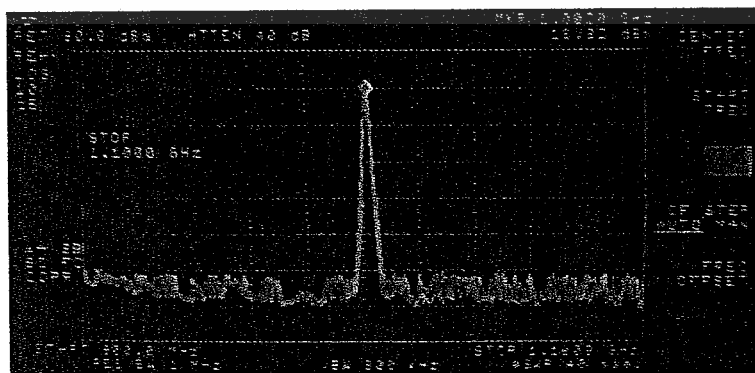
รูปที่ 4.23 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 850 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m



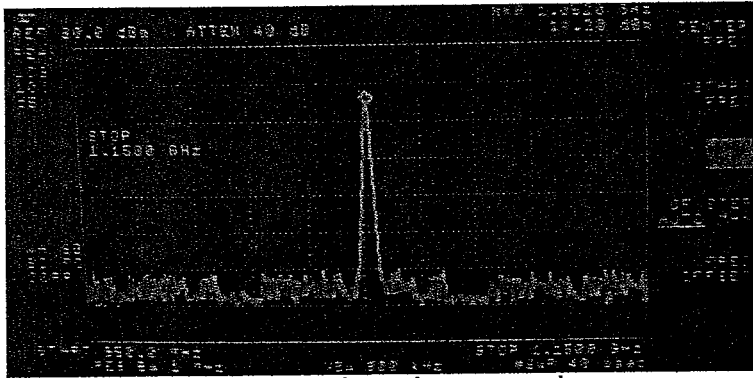
รูปที่ 4.24 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m



รูปที่ 4.25 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 950 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m



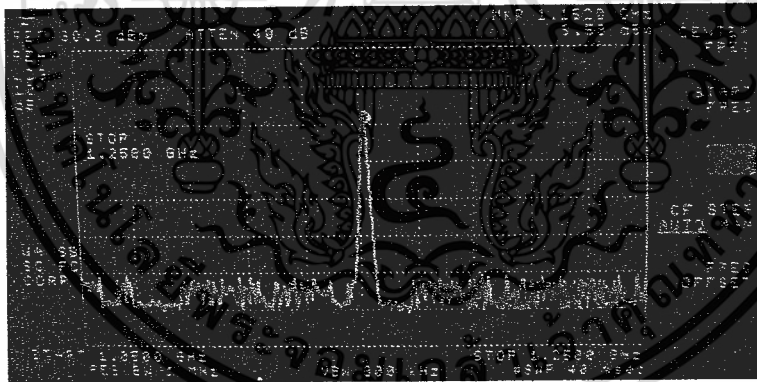
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สรุปที่ 4.26 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 1000 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m นี้จะไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



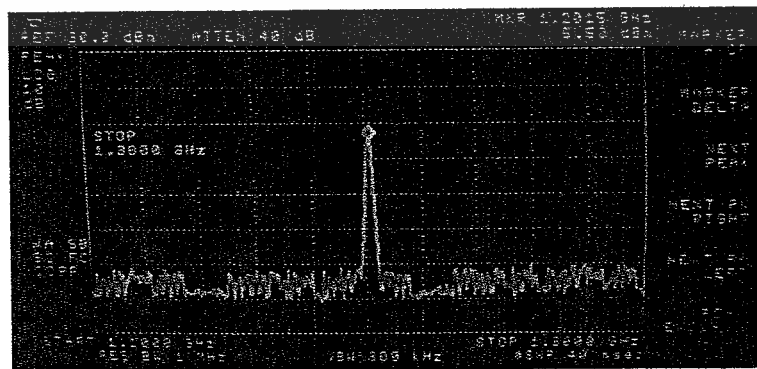
รูปที่ 4.27 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 1050 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m



รูปที่ 4.28 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 1100 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m

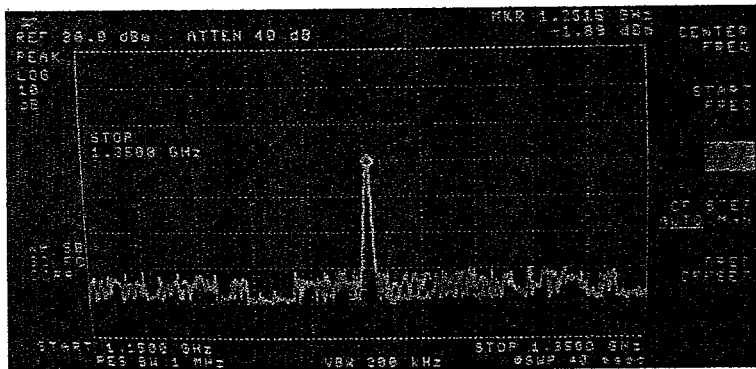


รูปที่ 4.29 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 1150 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m

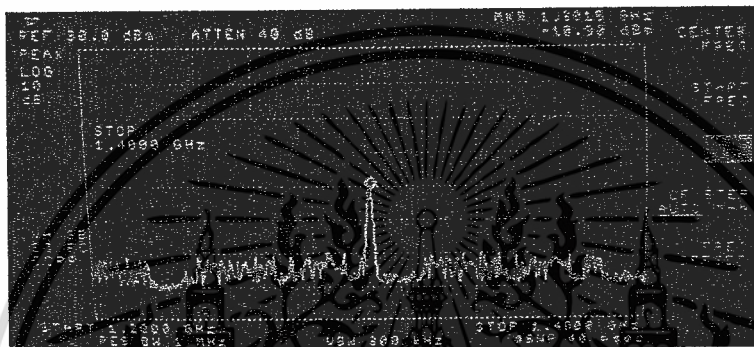


รูปที่ 4.30 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 1200 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m

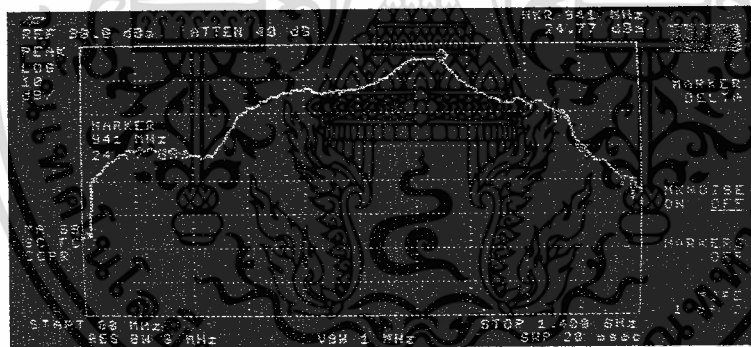
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 1250 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m



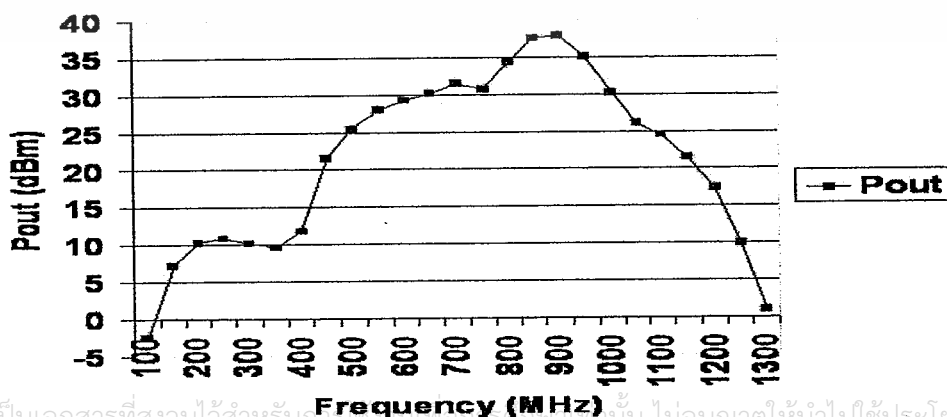
รูปที่ 4.32 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 1300 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m



รูปที่ 4.33 แสดง Frequency Response ช่วงความถี่ 100 -1300 MHz เมื่อป้อน 0 dB_m

กราฟแสดง Frequency Response ตั้งแต่ 100 – 1300 MHz

Pout v.s. Frequency



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดง Output power ที่ย่านความถี่ต่างๆ

	Frequency Input (MHz)	P_{out} (dB _m)
$P_{in} = 0 \text{ dB}_m$	100	-2.49
	150	7.15
	200	10.26
	250	10.83
	300	10.17
	350	9.61
	400	11.78
	450	21.45
	500	25.42
	550	28.03
	600	29.29
	650	30.13
	700	31.53
	750	30.78
	800	34.35
	850	37.57
900	37.92	
950	35.04	
1000	30.19	
1050	26.07	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

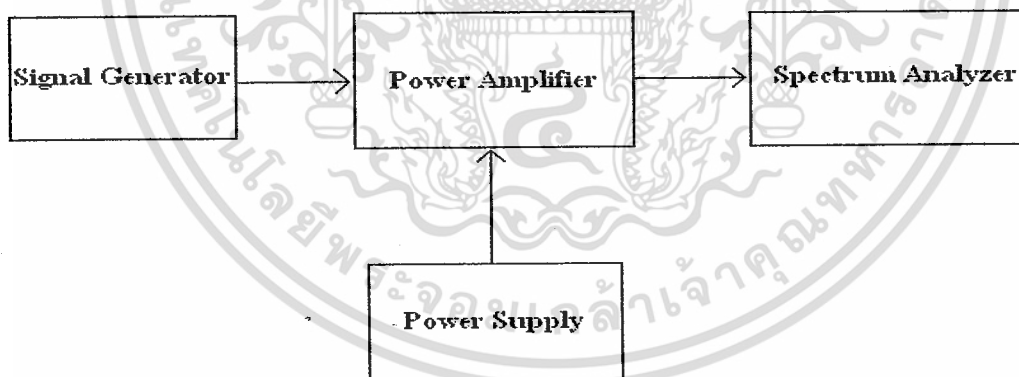
	Frequency Input (MHz)	P_{out} (dB _m)
$P_{in} = 0$ dB _m	1100	24.55
	1150	21.45
	1200	17.37
	1250	9.98
	1300	0.97

4.4.4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำให้ทราบว่า PA จุดเริ่มต้นการทำงานอยู่ที่ความถี่ 100 MHz ขึ้นไป และสิ้นสุดการทำงานที่ความถี่ 1.3 GHz ซึ่งไม่เกิดการขยายของ power ที่ป้อนเข้าไป โดยช่วงที่ PA ทำงานได้ดีที่สุด คือช่วงความถี่ 855 – 940 MHz มีค่าประมาณ 37 dB_m ซึ่งเป็นช่วงที่ค่า Frequency Response ตอบสนองได้ดี

4.5 การทดลอง Sensitivity ของ Power Amplifier

4.5.1. Block diagram

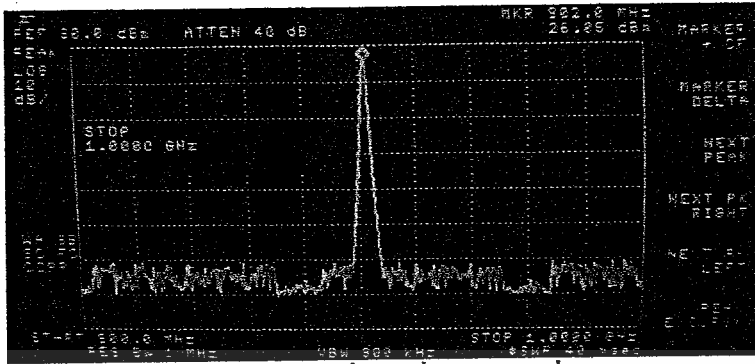
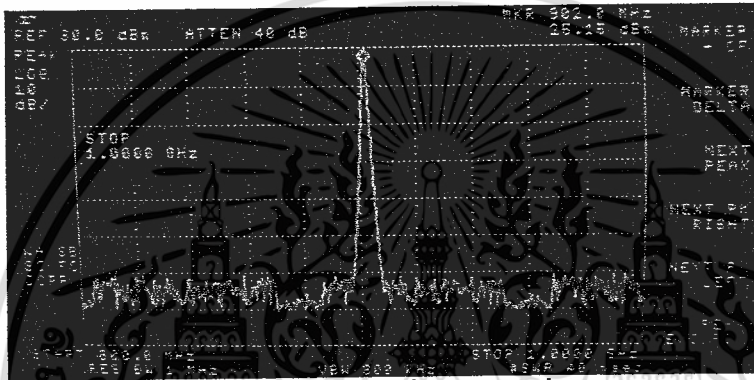
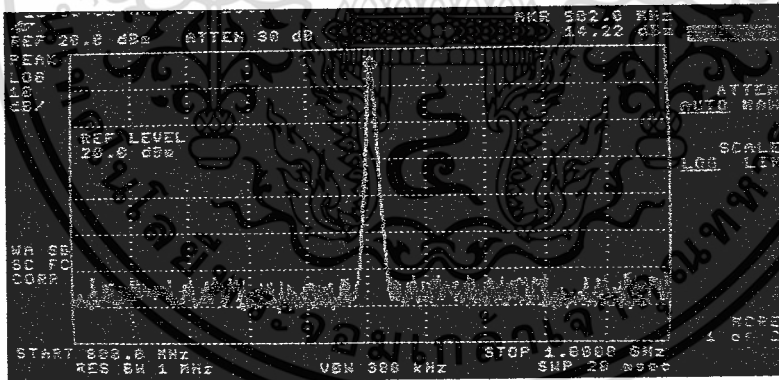
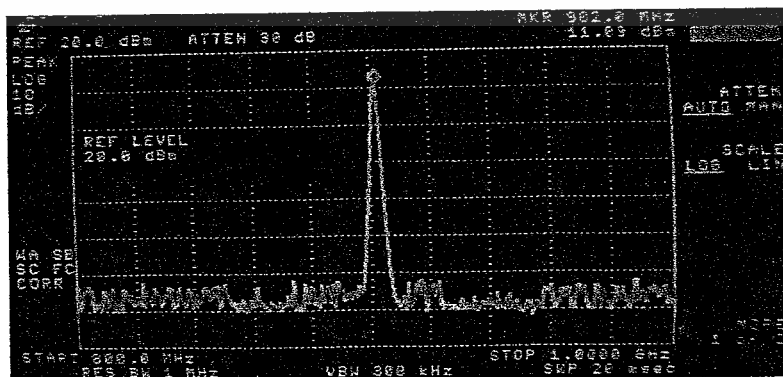


4.5.2. ขั้นตอนการทดลอง

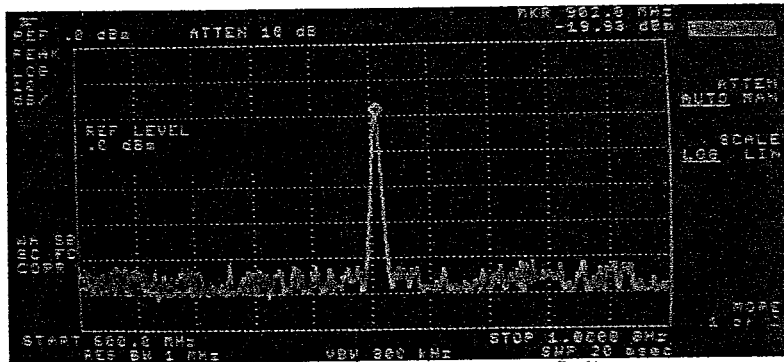
1. นำ Signal Generator ป้อนความถี่เข้า Spectrum Analyzer ที่มี Attenuator ค่า 10 dB_m เพื่อหาค่า loss ของระบบ
2. ป้อนความถี่ที่ 900 MHz โดยมี power เท่ากับ 0 dB_m เข้า PA ที่ขา 1 ซึ่งเป็นขา P_{in}
3. ปรับค่า power ลดลงทีละ 10 dB_m
4. จ่ายไฟ 3.5 V และ 2.2 V เข้าที่ขา 2 และ 3 ของ PA ตามลำดับ
5. วัดค่า Output power ที่ขา 4 ของ PA อ่านค่าที่ได้จาก Spectrum Analyzer แล้วจดบันทึก
6. หาสัญญาณ input ที่ต่ำที่สุดที่ PA ยังทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

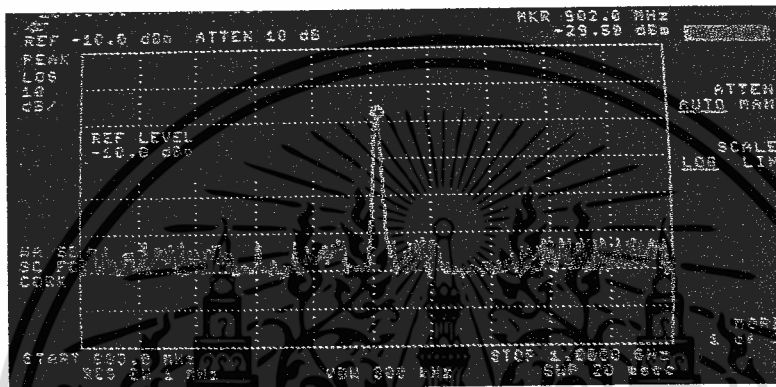
4.5.3. ผลการทดลอง

รูปที่ 4.34 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน 0 dB_mรูปที่ 4.35 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -10 dB_mรูปที่ 4.36 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -20 dB_mรูปที่ 4.37 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -30 dB_m

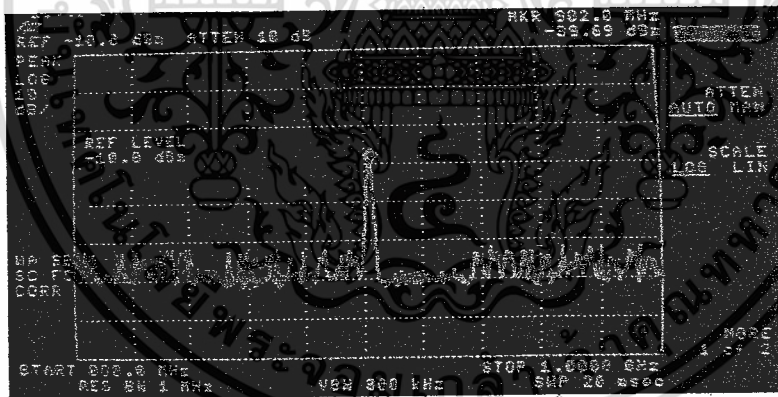
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



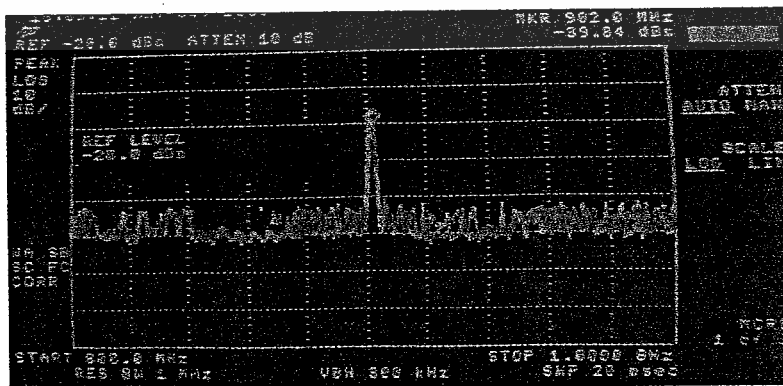
รูปที่ 4.38 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -40 dB_m



รูปที่ 4.39 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -50 dB_m

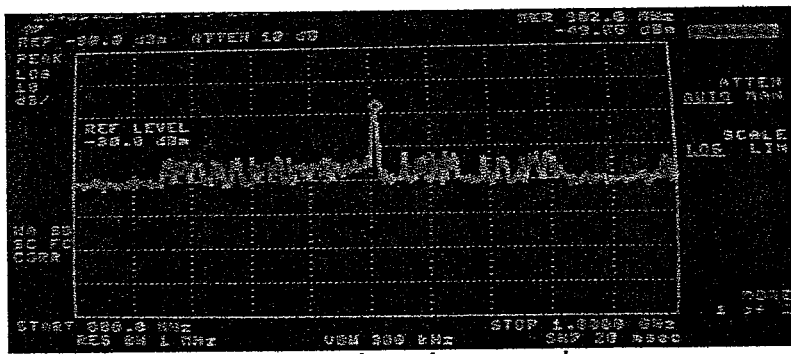


รูปที่ 4.40 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -60 dB_m

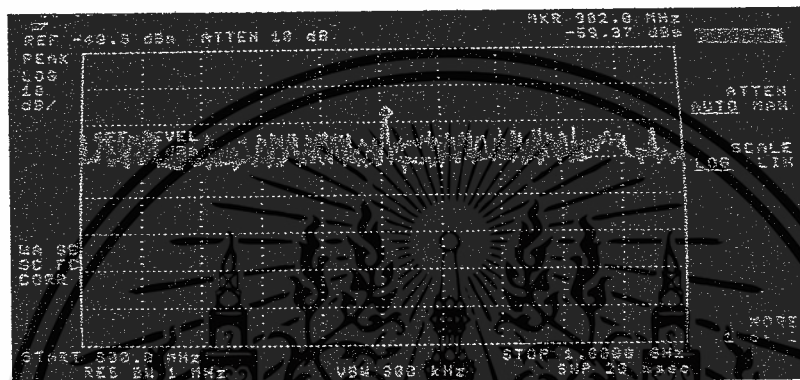


รูปที่ 4.41 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -70 dB_m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่โรงเรียนฯ ได้ทำขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -80 dB_m



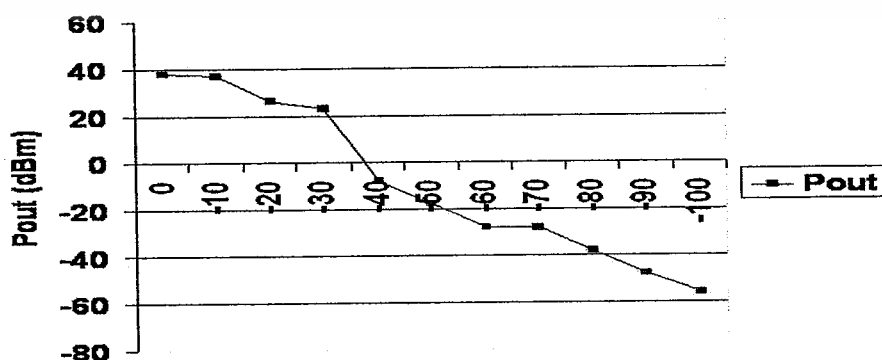
รูปที่ 4.43 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -90 dB_m



รูปที่ 4.44 แสดงสเปกตรัมที่ความถี่ 900 MHz เมื่อป้อน -100 dB_m

กราฟแสดง Output Power ตั้งแต่ 0 ถึง -100dB_m

Pout v.s. Pin



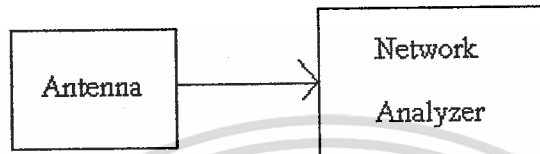
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.4.สรุปผลการทดลอง

PA จะทำงานได้ดีที่สุดที่ช่วง 0 ถึง -10 dB_m ซึ่งจะขยายให้ output power ประมาณ 37 dB_m จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงตาม input power ที่ได้รับ สัญญาณ input ที่ต่ำที่สุดที่ PA ยังทำงานได้คือ -90 dB_m ดังนั้นค่า sensitivity เท่ากับ -90 dB_m

4.6 การทดลอง Return Loss, VSWR, Smith chart ของสายอากาศ

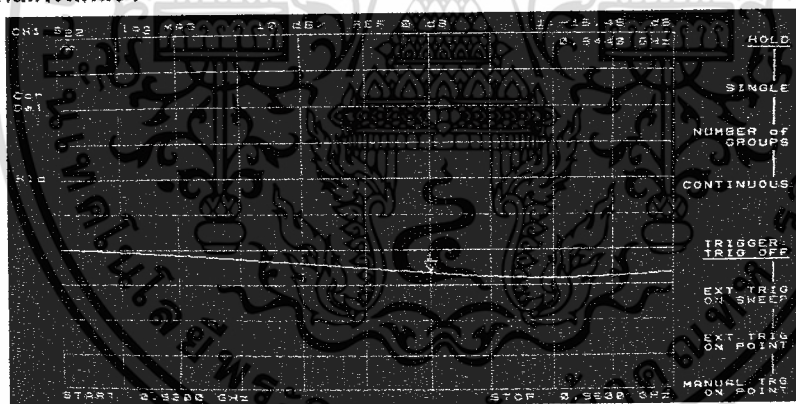
4.6.1 Block diagram



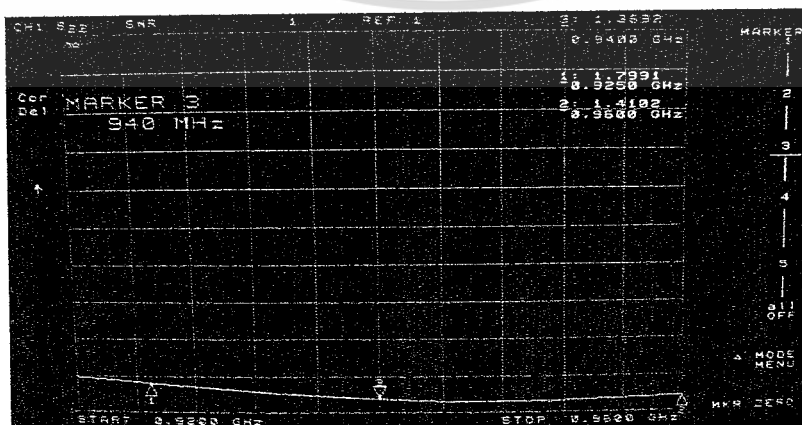
4.6.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ตั้ง start ความถี่ที่ 920 MHz และ stop ความถี่ที่ 960 MHz
2. กด cal แล้วกดเข้าที่ calibrate menu
3. กดเลือกพอร์ทที่ใช้
4. ใส่ short ,open และ loads ตามลำดับ เพื่อทำการ calibrate
5. วัดค่าและจดบันทึกผลการทดลอง

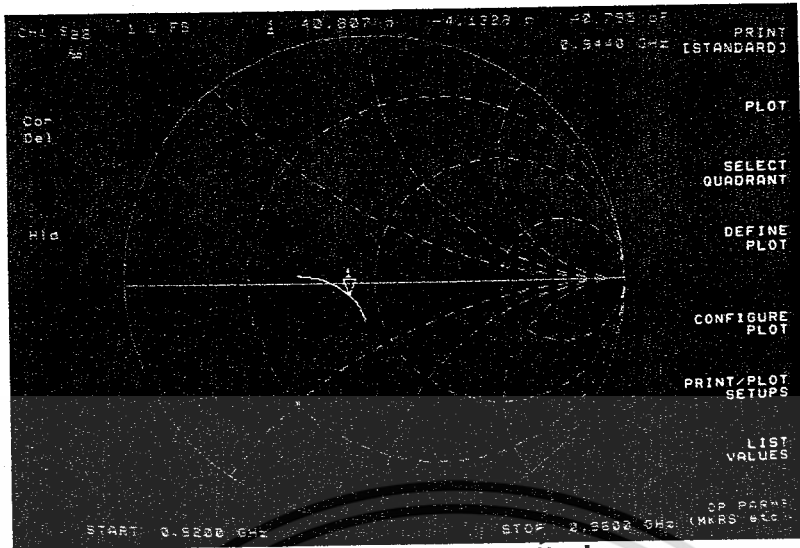
4.6.3 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.45 แสดง Return Loss ของสายอากาศตั้งแต่ 920-960 MHz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่ง รูปที่ 4.46 แสดง VSWR ของสายอากาศตั้งแต่ 920-960 MHz ให้กับอาจารย์ที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.47 แสดง Smith chart ของสายอากาศตั้งแต่ 920-960 MHz

STIMULUS GHz	CH1 S22	CH1 S22
0.92000	27.200	1.8957
0.92020	27.293	1.9345
0.92040	27.454	1.9823
0.92060	27.52	1.9453
0.92080	27.625	1.9072
0.92100	27.78	1.8252
0.92120	27.858	1.8119
0.92140	27.971	1.8632
0.92160	28.271	1.8652
0.92180	28.172	1.8037
0.92200	28.312	1.8336
0.92220	28.388	1.8252
0.92240	28.499	1.8252
0.92260	28.513	1.8154
0.92280	28.589	1.8721
0.92300	28.614	1.7441
0.92320	28.666	1.752
0.92340	28.683	1.7773
0.92360	28.688	1.7734
0.92380	28.688	1.75
0.92400	28.688	1.7314
0.92420	28.688	1.7305
0.92440	28.688	1.7912
0.92460	28.688	1.827
0.92480	28.688	1.7119
0.92500	28.688	1.797
0.92520	28.688	1.8035
0.92540	28.688	1.855
0.92560	28.688	1.8143
0.92580	28.688	1.8221

PRINT [STANDARD]
PLOT
NEXT PAGE
PREV PAGE
RESTORE DISPLAY

รูปที่ 4.48 แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศตั้งแต่ 920-925 MHz

STIMULUS GHz	CH1 S22	CH1 S22
0.92600	30.505	1.6495
0.92620	30.700	1.6273
0.92640	30.930	1.5555
0.92660	31.143	1.5555
0.92680	31.377	1.5555
0.92700	31.650	1.5555
0.92720	31.973	1.5555
0.92740	32.346	1.5555
0.92760	32.769	1.5555
0.92780	33.242	1.5555
0.92800	33.765	1.5555
0.92820	34.338	1.4365
0.92840	34.961	1.4834
0.92860	35.634	1.3721
0.92880	36.357	1.4123
0.92900	37.130	1.3691
0.92920	37.953	1.4223
0.92940	38.826	1.3889
0.92960	39.749	1.2422
0.92980	40.722	1.2224
0.93000	41.745	1.1879
0.93020	42.818	1.1309
0.93040	43.941	1.1426
0.93060	45.114	1.0335
0.93080	46.337	1.0723
0.93100	47.610	1.0746
0.93120	48.933	0.9806
0.93140	50.306	0.9806
0.93160	51.729	0.9806

PRINT [STANDARD]
PLOT
NEXT PAGE
PREV PAGE
RESTORE DISPLAY

รูปที่ 4.49 แสดงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศตั้งแต่ 926-931 MHz

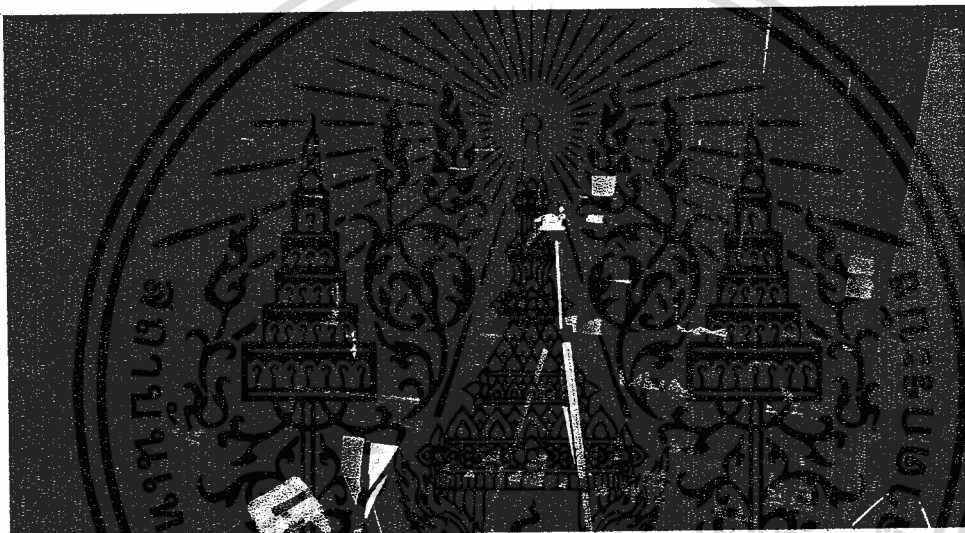
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลที่ไม่ใช่ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STIMULUS GHz	CH1 S22	CH1 S22
0.93200	0.4224	0.7808
0.93202	0.4441	0.7188
0.93204	0.4501	0.6888
0.93206	0.4688	0.6888
0.93208	0.4813	0.5684
0.93210	0.4924	0.5388
0.93212	0.5109	0.4688
0.93214	0.5244	0.2949
0.93216	0.5307	0.3088
0.93218	0.5408	0.2688
0.93220	0.5508	0.1888
0.93222	0.5558	0.0988
0.93224	0.5647	0.0088
0.93226	0.5747	-1.0088
0.93228	0.5847	-1.1088
0.93230	0.5947	-1.2088
0.93232	0.6047	-1.3088
0.93234	0.6147	-1.4088
0.93236	0.6247	-1.5088
0.93238	0.6347	-1.6088
0.93240	0.6447	-1.7088
0.93242	0.6547	-1.8088
0.93244	0.6647	-1.9088
0.93246	0.6747	-2.0088
0.93248	0.6847	-2.1088
0.93250	0.6947	-2.2088
0.93252	0.7047	-2.3088
0.93254	0.7147	-2.4088
0.93256	0.7247	-2.5088
0.93258	0.7347	-2.6088
0.93260	0.7447	-2.7088
0.93262	0.7547	-2.8088
0.93264	0.7647	-2.9088
0.93266	0.7747	-3.0088
0.93268	0.7847	-3.1088
0.93270	0.7947	-3.2088
0.93272	0.8047	-3.3088
0.93274	0.8147	-3.4088
0.93276	0.8247	-3.5088
0.93278	0.8347	-3.6088
0.93280	0.8447	-3.7088
0.93282	0.8547	-3.8088
0.93284	0.8647	-3.9088
0.93286	0.8747	-4.0088
0.93288	0.8847	-4.1088
0.93290	0.8947	-4.2088
0.93292	0.9047	-4.3088
0.93294	0.9147	-4.4088
0.93296	0.9247	-4.5088
0.93298	0.9347	-4.6088
0.93300	0.9447	-4.7088
0.93302	0.9547	-4.8088
0.93304	0.9647	-4.9088
0.93306	0.9747	-5.0088
0.93308	0.9847	-5.1088
0.93310	0.9947	-5.2088
0.93312	1.0047	-5.3088
0.93314	1.0147	-5.4088
0.93316	1.0247	-5.5088
0.93318	1.0347	-5.6088
0.93320	1.0447	-5.7088
0.93322	1.0547	-5.8088
0.93324	1.0647	-5.9088
0.93326	1.0747	-6.0088
0.93328	1.0847	-6.1088
0.93330	1.0947	-6.2088
0.93332	1.1047	-6.3088
0.93334	1.1147	-6.4088
0.93336	1.1247	-6.5088
0.93338	1.1347	-6.6088
0.93340	1.1447	-6.7088
0.93342	1.1547	-6.8088
0.93344	1.1647	-6.9088
0.93346	1.1747	-7.0088
0.93348	1.1847	-7.1088
0.93350	1.1947	-7.2088
0.93352	1.2047	-7.3088
0.93354	1.2147	-7.4088
0.93356	1.2247	-7.5088
0.93358	1.2347	-7.6088
0.93360	1.2447	-7.7088
0.93362	1.2547	-7.8088
0.93364	1.2647	-7.9088
0.93366	1.2747	-8.0088
0.93368	1.2847	-8.1088
0.93370	1.2947	-8.2088
0.93372	1.3047	-8.3088
0.93374	1.3147	-8.4088
0.93376	1.3247	-8.5088
0.93378	1.3347	-8.6088
0.93380	1.3447	-8.7088
0.93382	1.3547	-8.8088
0.93384	1.3647	-8.9088
0.93386	1.3747	-9.0088
0.93388	1.3847	-9.1088
0.93390	1.3947	-9.2088
0.93392	1.4047	-9.3088
0.93394	1.4147	-9.4088
0.93396	1.4247	-9.5088
0.93398	1.4347	-9.6088
0.93400	1.4447	-9.7088
0.93402	1.4547	-9.8088
0.93404	1.4647	-9.9088
0.93406	1.4747	-10.0088
0.93408	1.4847	-10.1088
0.93410	1.4947	-10.2088
0.93412	1.5047	-10.3088
0.93414	1.5147	-10.4088
0.93416	1.5247	-10.5088
0.93418	1.5347	-10.6088
0.93420	1.5447	-10.7088
0.93422	1.5547	-10.8088
0.93424	1.5647	-10.9088
0.93426	1.5747	-11.0088
0.93428	1.5847	-11.1088
0.93430	1.5947	-11.2088
0.93432	1.6047	-11.3088
0.93434	1.6147	-11.4088
0.93436	1.6247	-11.5088
0.93438	1.6347	-11.6088
0.93440	1.6447	-11.7088
0.93442	1.6547	-11.8088
0.93444	1.6647	-11.9088
0.93446	1.6747	-12.0088
0.93448	1.6847	-12.1088
0.93450	1.6947	-12.2088
0.93452	1.7047	-12.3088
0.93454	1.7147	-12.4088
0.93456	1.7247	-12.5088
0.93458	1.7347	-12.6088
0.93460	1.7447	-12.7088
0.93462	1.7547	-12.8088
0.93464	1.7647	-12.9088
0.93466	1.7747	-13.0088
0.93468	1.7847	-13.1088
0.93470	1.7947	-13.2088
0.93472	1.8047	-13.3088
0.93474	1.8147	-13.4088
0.93476	1.8247	-13.5088
0.93478	1.8347	-13.6088
0.93480	1.8447	-13.7088
0.93482	1.8547	-13.8088
0.93484	1.8647	-13.9088
0.93486	1.8747	-14.0088
0.93488	1.8847	-14.1088
0.93490	1.8947	-14.2088
0.93492	1.9047	-14.3088
0.93494	1.9147	-14.4088
0.93496	1.9247	-14.5088
0.93498	1.9347	-14.6088
0.93500	1.9447	-14.7088
0.93502	1.9547	-14.8088
0.93504	1.9647	-14.9088
0.93506	1.9747	-15.0088
0.93508	1.9847	-15.1088
0.93510	1.9947	-15.2088
0.93512	2.0047	-15.3088
0.93514	2.0147	-15.4088
0.93516	2.0247	-15.5088
0.93518	2.0347	-15.6088
0.93520	2.0447	-15.7088
0.93522	2.0547	-15.8088
0.93524	2.0647	-15.9088
0.93526	2.0747	-16.0088
0.93528	2.0847	-16.1088
0.93530	2.0947	-16.2088
0.93532	2.1047	-16.3088
0.93534	2.1147	-16.4088
0.93536	2.1247	-16.5088
0.93538	2.1347	-16.6088
0.93540	2.1447	-16.7088
0.93542	2.1547	-16.8088
0.93544	2.1647	-16.9088
0.93546	2.1747	-17.0088
0.93548	2.1847	-17.1088
0.93550	2.1947	-17.2088
0.93552	2.2047	-17.3088
0.93554	2.2147	-17.4088
0.93556	2.2247	-17.5088
0.93558	2.2347	-17.6088
0.93560	2.2447	-17.7088
0.93562	2.2547	-17.8088
0.93564	2.2647	-17.9088
0.93566	2.2747	-18.0088
0.93568	2.2847	-18.1088
0.93570	2.2947	-18.2088
0.93572	2.3047	-18.3088
0.93574	2.3147	-18.4088
0.93576	2.3247	-18.5088
0.93578	2.3347	-18.6088
0.93580	2.3447	-18.7088
0.93582	2.3547	-18.8088
0.93584	2.3647	-18.9088
0.93586	2.3747	-19.0088
0.93588	2.3847	-19.1088
0.93590	2.3947	-19.2088
0.93592	2.4047	-19.3088
0.93594	2.4147	-19.4088
0.93596	2.4247	-19.5088
0.93598	2.4347	-19.6088
0.93600	2.4447	-19.7088
0.93602	2.4547	-19.8088
0.93604	2.4647	-19.9088
0.93606	2.4747	-20.0088
0.93608	2.4847	-20.1088
0.93610	2.4947	-20.2088
0.93612	2.5047	-20.3088
0.93614	2.5147	-20.4088
0.93616	2.5247	-20.5088
0.93618	2.5347	-20.6088
0.93620	2.5447	-20.7088
0.93622	2.5547	-20.8088
0.93624	2.5647	-20.9088
0.93626	2.5747	-21.0088
0.93628	2.5847	-21.1088
0.93630	2.5947	-21.2088
0.93632	2.6047	-21.3088
0.93634	2.6147	-21.4088
0.93636	2.6247	-21.5088
0.93638	2.6347	-21.6088
0.93640	2.6447	-21.7088
0.93642	2.6547	-21.8088
0.93644	2.6647	-21.9088
0.93646	2.6747	-22.0088
0.93648	2.6847	-22.1088
0.93650	2.6947	-22.2088
0.93652	2.7047	-22.3088
0.93654	2.7147	-22.4088
0.93656	2.7247	-22.5088
0.93658	2.7347	-22.6088
0.93660	2.7447	-22.7088
0.93662	2.7547	-22.8088
0.93664	2.7647	-22.9088
0.93666	2.7747	-23.0088
0.93668	2.7847	-23.1088
0.93670	2.7947	-23.2088
0.93672	2.8047	-23.3088
0.93674	2.8147	-23.4088
0.93676	2.8247	-23.5088
0.93678	2.8347	-23.6088
0.93680	2.8447	-23.7088
0.93682	2.8547	-23.8088
0.93684	2.8647	-23.9088
0.93686	2.8747	-24.0088
0.93688	2.8847	-24.1088
0.93690	2.8947	-24.2088
0.93692	2.9047	-24.3088
0.93694	2.9147	-24.4088
0.93696	2.9247	-24.5088
0.93698	2.9347	-24.6088
0.93700	2.9447	-24.7088
0.93702	2.9547	-24.8088
0.93704	2.9647	-24.9088
0.93706	2.9747	-25.0088
0.93708	2.9847	-25.1088
0.93710	2.9947	-25.2088
0.93712	3.0047	-25.3088
0.93714	3.0147	-25.4088
0.93716	3.0247	-25.5088
0.93718	3.0347	-25.6088
0.93720	3.0447	-25.7088
0.93722	3.0547	-25.8088
0.93724	3.0647	-25.9088
0.93726	3.0747	-26.0088
0.93728	3.0847	-26.1088
0.93730	3.0947	-26.2088
0.93732	3.1047	-26.3088
0.93734	3.1147	-26.4088
0.93736	3.1247	-26.5088
0.93738	3.1347	-26.6088
0.93740	3.1447	-26.7088
0.93742	3.1547	-26.8088
0.93744	3.1647	-26.9088
0.93746	3.1747	-27.0088
0.93748	3.1847	-27.1088
0.93750	3.1947	-27.2088
0.93752	3.2047	-27.3088
0.93754	3.2147	-27.4088
0.93756	3.2247	-27.5088
0.93758	3.2347	-27.6088
0.93760	3.2447	-27.7088
0.93762	3.2547	-27.8088
0.93764	3.2647	-27.9088
0.93766	3.2747	-28.0088
0.93768	3.2847	-28.1088
0.93770	3.2947	-28.2088
0.93772	3.3047	-28.3088
0.93774	3.3147	-28.4088
0.93776	3.3247	-28.5088
0.93778	3.3347	-28.6088
0.93780	3.3447	-28.7088
0.93782	3.3547	-28.8088
0.93784	3.3647	-28.9088
0.93786	3.3747	-29.0088
0.93788	3.3847	-29.1088
0.93790	3.3947	-29.2088
0.93792	3.4047	-29.3088
0.93794	3.4147	-29.4088
0.93796	3.4247	-29.5088
0.93798	3.4347	-29.6088
0.93800	3.4447	-29.7088
0.93802	3.4547	-29.8088
0.93804	3.4647	-29.9088
0.93806	3.4747	-30.0088
0.93808	3.4847	-30.1088
0.93810	3.4947	-30.2088
0.93812	3.5047	-30.3088
0.93814	3.5147	-30.4088
0.93816	3.5247	-30.5088

4.7.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการเชื่อมต่อเครื่อง Network Analyzer โดยให้สายอากาศส่งต่อกับพอร์ต 1 และสายอากาศรับต่อกับพอร์ต 2
2. กด Menu เลือกที่ CW freq จากนั้นใส่ความถี่ที่เราต้องการวัดคือ 935 MHz
3. กด Measurement เลือก S21
4. ทำการวัดสายอากาศที่ Far Field โดยจะหมุนสายอากาศรับทุก 10 องศา จนครบ 360 องศา
5. วัดค่าจากสายอากาศระนาบ H plane และระนาบ E plane
6. นำค่าที่ได้มาพลอต pattern

4.7.3 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.55 แสดงการวางสายอากาศส่งและสายอากาศรับเพื่อหา Radiation Pattern ระนาบ H plane



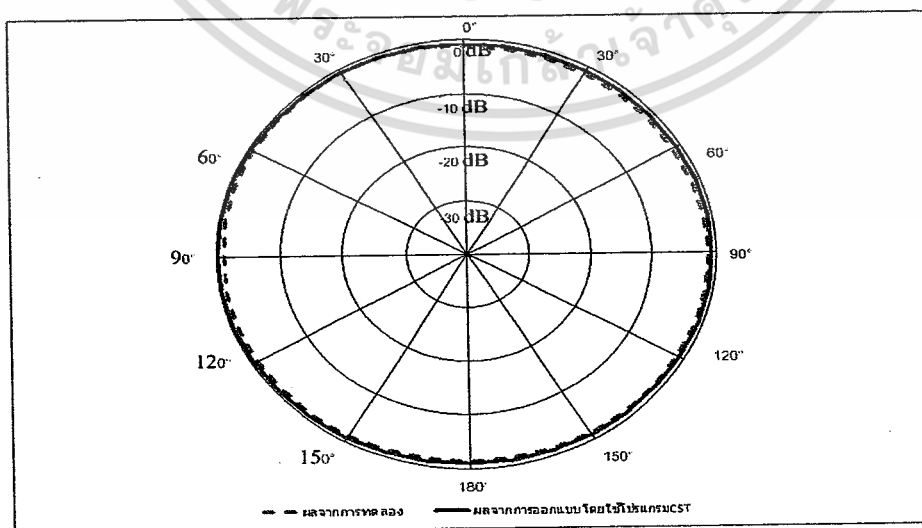
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ส่วนตัวรูปที่ 4.56 แสดงสายอากาศที่ใช้เป็นตัวส่ง
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าของ pattern ระนาบ H plane

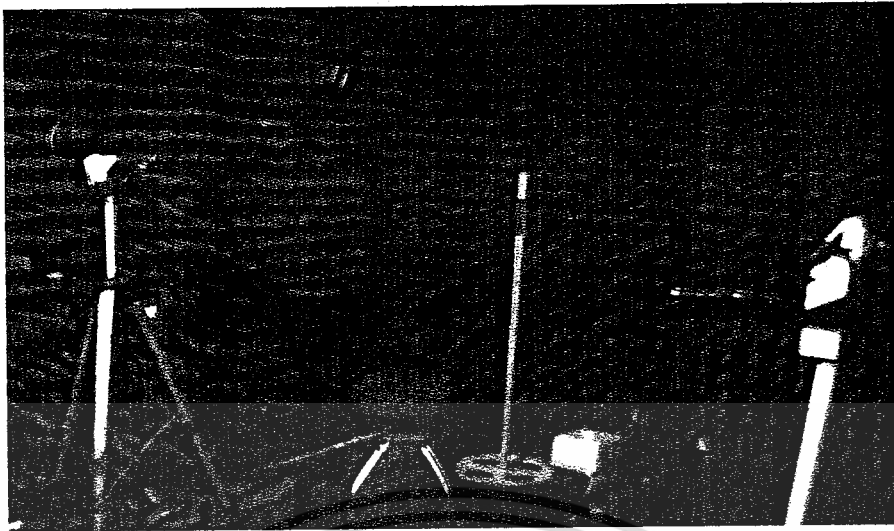
องศา	Gain(dB)
0	-21.821
10	-21.883
20	-21.934
30	-22.009
40	-22.056
50	-21.962
60	-22.075
70	-21.986
80	-21.936
90	-21.815
100	-21.823
110	-21.375
120	-21.818
130	-21.641
140	-21.687
150	-21.713
160	-21.736
170	-21.799
180	-21.758
190	-21.759
200	-21.776

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

210	-21.786
220	-21.85
230	-21.906
240	-22.003
250	-22.093
260	-22.137
270	-22.342
280	-22.128
290	-1.998
300	-21.836
310	-21.731
320	-21.597
330	-21.407
340	-21.352
350	-21.336
360	-21.186



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.57 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศระนาบ H plane
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.58 แสดงการวางสายอากาศส่งและสายอากาศรับเพื่อหา Radiation Pattern ระนาบ E plane

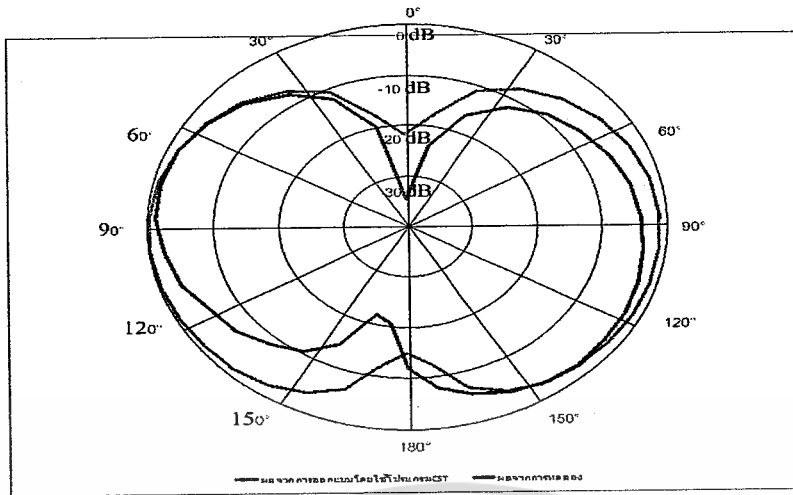
ตารางที่ 4.6 แสดงค่า pattern ระนาบ E plane

องศา	Gain(dB)
0	-66.76
10	-56
20	-48.78
30	-44.75
40	-42.36
50	-41.13
60	-40.36
70	-39.97
80	-39.96
90	-40.26
100	-40.53
110	-41.03
120	-41.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

130	-42.22
140	-43.65
150	-45.23
160	-47.55
170	-50
180	-54.2
190	-62.7
200	-63.8
210	-56.3
220	-51.9
230	-49.35
240	-46.7
250	-44.78
260	-41.74
270	-39.43
280	-37.91
290	-37.16
300	-36.72
310	-37.51
320	-38.97
330	-41.53
340	-45.23
350	-52.23
360	-72.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุยให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

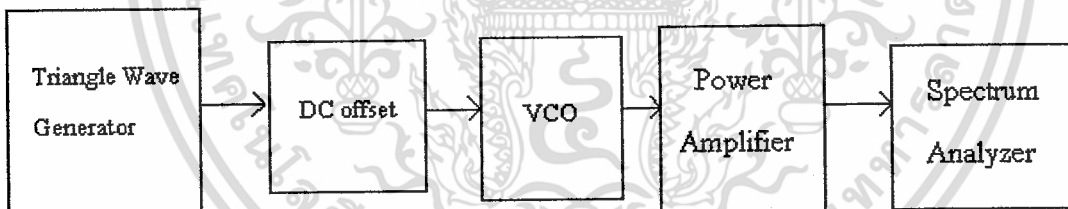


รูปที่ 4.59 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศระนาบ E plane

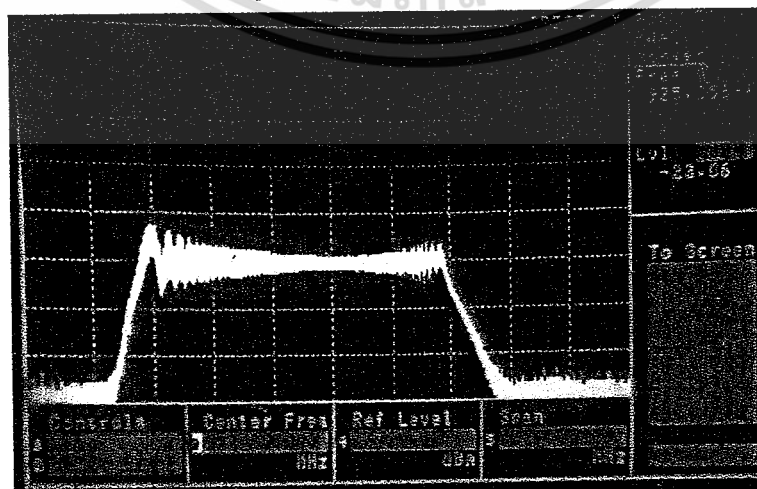
4.7.4 สรุปผลการทดลอง

สายอากาศที่ใช้เป็นแบบ omnidirectional monopole ซึ่งจะมี pattern ระนาบ H plane เป็นแบบกระจายรอบตัว เห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกับที่ออกแบบด้วยโปรแกรม ส่วน pattern ระนาบ E plane ช่วง 0 องศาถึง 180 องศา จะมีค่าน้อยสุด หลังจากทีวัดค่าทุกๆ 10 องศาจนครบ 360 องศา แล้วทำการ normalize เมื่อนำมาพลอตจะเห็นได้ว่าช่วง 0 องศาถึง 200 องศาจะมีค่าน้อยสุด

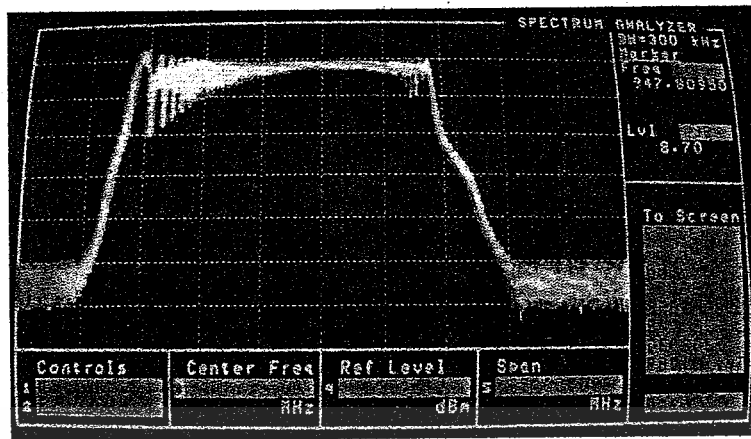
4.8 การทดลองสเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz



รูปที่ 4.60 แสดง Block Diagram การทดลองสเปกตรัม



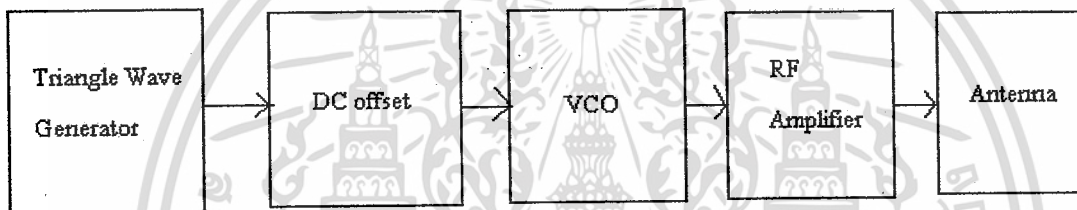
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 4.61 แสดงค่าที่วัดได้จาก vco ที่ 925-960.5 MHz าดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.62 แสดงค่าที่วัดได้จาก power amplifier ที่ 925-960.5 MHz

4.9 การทดลองค่า Effective Area ของเครื่องแจมเมอร์

4.9.1 Block Diagram



4.9.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดเครื่องแจมเมอร์ในที่โล่ง
2. วัดระยะทางที่เครื่องสามารถทำงานได้ไกลสุด ทีละ 10 องศา จนครบ 360 องศา
3. บันทึกผลการทดลองที่ได้และพลอตกราฟ

4.9.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.7 แสดงระยะระหว่างเครื่องแจมเมอร์กับโทรศัพท์ที่องศาต่างๆ

องศา	ระยะทาง(เมตร)
0	8
10	8
20	8
30	8
40	8
50	8
60	8.5

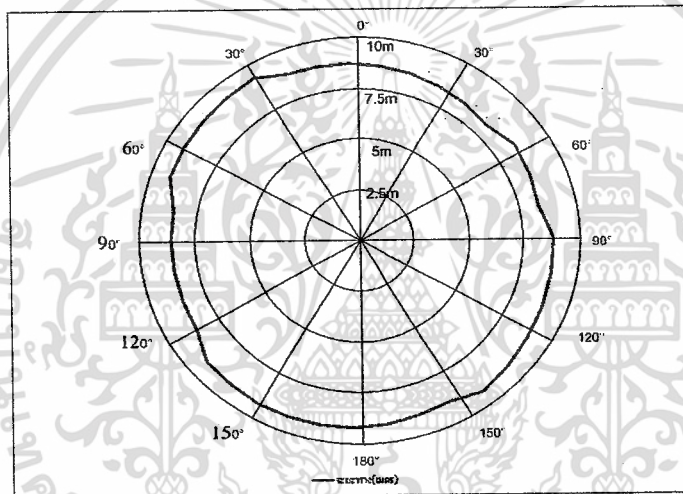
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

70	8.5
80	8.5
90	9
100	9
110	9
120	9
130	9
140	9
150	8.5
160	8.5
170	8.5
180	8.5
190	8.5
200	8.5
210	8.5
220	8.5
230	8.5
240	8
250	8
260	8
270	8
280	8
290	8.5
300	8.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

310	8.5
320	8.5
330	8.5
340	8
350	8
360	8

กราฟแสดงระยะทางที่มุมต่างๆ



4.9.4 สรุปผลการทดลอง

ลักษณะของกราฟที่ได้จะใกล้เคียงกับ Radiation Pattern ซึ่งสายอากาศเป็นแบบ omni directional จึงมีการแพร่กระจายคลื่นโดยรอบเป็นวงกลม ระยะทางที่ไกลที่สุดที่วัดได้คือ 9 เมตร และระยะทางที่น้อยที่สุดคือ 8 เมตร

บทที่ 5

สรุปผลและวิจารณ์การทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้เป็นการศึกษาทดลองการรับกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือย่านความถี่ 900 MHz โดยแบ่งการส่งออกเป็น 2 ส่วน คือ IF (Intermediate Frequency) และ RF (Radio Frequency) โดยส่วน IF ประกอบด้วย

1. ส่วนกำเนิดคลื่นสามเหลี่ยม ซึ่งเกิดจากการใช้ XR 2206 ซึ่งเป็นไอซี Monolithic Function Generator จะได้รูปสัญญาณสามเหลี่ยม

2. ส่วน dc offset ของวงจร ซึ่งจะใช้ออปแอมป์ UA 741 จะได้สัญญาณสามเหลี่ยมที่มีการยกระดับไฟ dc ส่วนของ RF ประกอบด้วย

1. ส่วนกำเนิดสัญญาณความถี่ 900 MHz ซึ่งเกิดจากการใช้ VCO ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการทำงานของวงจร จะทำให้ได้สัญญาณความถี่ในช่วงที่ต้องการคือประมาณ 925 – 960 MHz

2. ส่วนของขยายกำลัง (Power Amplifier) มีจุดเริ่มต้นการทำงานอยู่ที่ความถี่ 100 MHz ขึ้นไป และสิ้นสุดการทำงานที่ความถี่ 1.3 GHz ซึ่งไม่เกิดการขยายของ power ที่ป้อนเข้าไป โดยช่วงที่ PA ทำงานได้ดีที่สุด คือช่วงความถี่ 855 – 940 MHz มีค่าประมาณ 37 dB_m และ sensitivity คือ -90 dB_m

3. ส่วนของสายอากาศ ซึ่งเกิดจากการทำสายอากาศแบบ omnidirectional มี pattern เป็นแบบกระจายรอบตัว ซึ่งจะทำการรับกวนสัญญาณได้ในระยะที่ไกลขึ้นมากกว่าเดิม

5.2 บทวิจารณ์

- Power Amplifier ที่ใช้เกิดความร้อนจึงต้องทำการระบายโดยการติดฮีตซิงค์และมีการเจาะรูที่พีซีด้านบนเพื่อยัดเข้ากับตัวฮีตซิงค์
- การบัดกรีอุปกรณ์ประเภท SMD ซึ่งมีขนาดเล็กต้องใช้ความละเอียดในการบัดกรีชิ้นงาน
- การสร้างเสาอากาศที่ย่านความถี่สูงๆ ต้องมีการคิดกราวนด์เพลนที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการ Radiate ของคลื่น
- การ match impedance ต้องศึกษาจากดาต้าชีท เพื่อใช้ค่าที่เหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASSP for Mobile Telephone

VCO (230 to 2300 MHz)

VC-50 Series

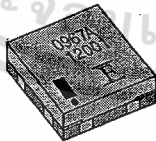
■ DESCRIPTION

With excellent C/N characteristics and low current consumption, this VCO series is ideal for CDMA, PCS, PHS and GSM mobile communication equipment. The VC-50 series can be used in any frequency band in the 230MHz to 2300MHz range. The device utilizes FUJITSU MEDIA DEVICE's high-frequency design technology, high-density mounting technology, and frequency adjustment technology to provide a high level of reliability in addition to high performance and small size.

■ FEATURES

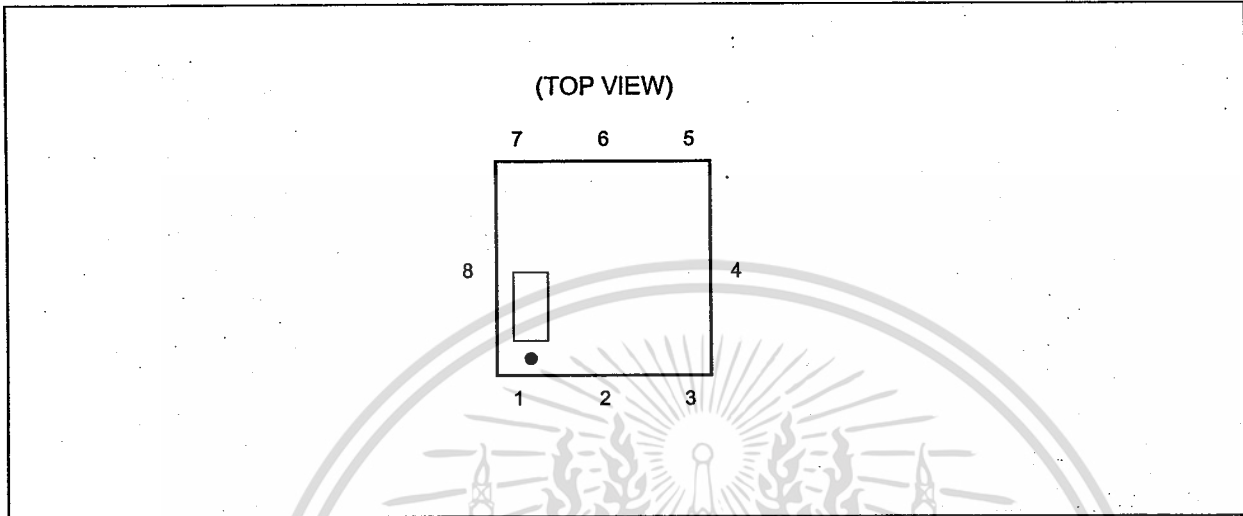
- Superior noise characteristics (C/N, S/N)
- High level of stability in response to ambient temperature and load variations
- FUJITSU MEDIA DEVICE's proprietary fabrication process provides the uniformity of the central frequency distribution
- Small size, light-weight, slim-package : 6.0 × 6.0 × 1.8 mm (Typ.)
- SMD-type taping specifications suitable for automatic mounting and reflow soldering

■ PACKAGE



VC-50 Series

■ PIN ASSIGNMENT



■ PIN DESCRIPTION

Pin No.	Symbol	Description
1	Vt	Control voltage
2	GND	GND
3	Vcc	Power supply voltage
4	GND	GND
5	OUT	Output
6	GND	GND
7	GND	GND
8	GND	GND

VC-50 Series

■ PRODUCT LINEUP (STANDARD MODELS)

System	Center Frequency (MHz)	Band Width (MHz)	Power Supply Voltage (V)	Part Number
CDMA	967	± 13	3.0 ± 0.25	VC-3R0A50-0967A
	991	± 13	2.5 ± 0.15	VC-2R5A50-0991
	1035	± 15.5	2.55 ± 0.15	VC-2R5A50-1035
PCS	1750	± 30	3.0 ± 0.16	VC-3R0A50-1750
K-PCS	1635	± 15	2.7 ± 0.15	VC-2R7A50-1635
		± 15	3.0 ± 0.15	VC-3R0A50-1635S
GSM	897	± 17.5	2.8 ± 0.1	VC-2R8A50-0897F
	1171	± 35	2.8 ± 0.07	VC-2R8A50-1171
GSM/DCS	1360	± 80	2.85 ± 0.15	VC-2R8A50-1360
PHS	1652	± 20	2.7 ± 0.1	VC-2R7A50-1652
	1668	± 18.3	3.0 ± 0.2	VC-3R0A50-1668N

VC-50 Series

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

1. For CDMA (Part number : VC-3RA50-0967A)

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Rating		Unit
		Min.	Max.	
Input DC voltage	V _{cc}	—	+3.25	V
Control voltage	V _t	—	+3.25	V
Operating temperature	T _a	-30	+80	°C
Storage temperature	T _{stg}	-40	+85	°C
Storage humidity	H _{stg}	5	95	%

WARNING: VCO can be permanently damaged by application of stress (voltage, temperature, humidity, etc.) in excess of absolute maximum ratings. Do not exceed these ratings.

Electrical Characteristics

(T_a = +25°C ± 3°C)

Parameter	Symbol	Conditions	Value			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Current consumption	I _{cc}	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.7 V	—	—	6.4*	mA
Frequency	f _{min}	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 0.7 V	—	—	954.0*	MHz
Frequency	f _{max}	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 2.7 V	980.0*	—	—	MHz
Control voltage sensitivity	k _v	(f _{max} - f _{min}) / 2.0	18.0	23.0	28.0	MHz/V
Oscillator output	P _o	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.7 V	-6.0*	—	1.0*	dBm
C/N	C/N	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.7 V, Offset = 1 kHz, BW = 1 Hz	70.0*	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.7 V, Offset = 10 kHz, BW = 1 Hz	100.0*	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.7 V, Offset = 30 kHz, BW = 1 Hz	110.0*	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.7 V, Offset = 60 kHz, BW = 1 Hz	115.0*	—	—	dBc/Hz
Higher harmonics	H _s	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.7 V, 2nd, 3rd	—	—	-10.0*	dBc
Spurious	S _p	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.7 V	—	—	-70.0*	dBc
Power supply variation	Push	V _{cc} = 3.0 V ± 0.25 V, V _t = 1.7 V	—	—	±800*	kHz
Load variation	Pull	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.7 V, VSWR = 2 ALL PHASE	—	—	±1000	kHz
Temperature drift	T _d	T _a = +25 °C ± 55 °C	—	—	±3000*	kHz

* : T_a = -30°C to +80°C

VC-50 Series

2. For CDMA (Part number : VC-2R5A50-0991)

• Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Rating		Unit
		Min.	Max.	
Input DC voltage	V _{cc}	—	+6.0	V
Control voltage	V _t	—	+10.0	V
Operating temperature	T _a	-40	+85	°C
Storage temperature	T _{stg}	-50	+125	°C
Storage humidity	H _{stg}	5	95	%

WARNING: VCO can be permanently damaged by application of stress (voltage, temperature, humidity, etc.) in excess of absolute maximum ratings. Do not exceed these ratings.

• Electrical Characteristics

(T_a = -40°C to +85°C)

Parameter	Symbol	Conditions	Value			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Current consumption	I _{cc}	V _{cc} = 2.5 V, V _t = 1.4 V	—	—	8.0 7.0*	mA
Frequency	f _{min}	V _{cc} = 2.5 V, V _t = 0.6 V	—	—	978.0	MHz
Frequency	f _{max}	V _{cc} = 2.5 V, V _t = 2.2 V	1004.0	—	—	MHz
Control voltage sensitivity	k _v	(f _{max} - f _{min}) / 1.6	23.0	27.0	31.0	MHz/V
Oscillator output	P _o	V _{cc} = 2.5 V, V _t = 1.4 V	-4.5	-1.5	1.5	dBm
C/N	C/N	V _{cc} = 2.5 V, V _t = 1.4 V, Offset = 20 kHz, BW = 1 Hz	107.0 108.0*	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 2.5 V, V _t = 1.4 V, Offset = 25 kHz, BW = 1 Hz	110.0 111.0*	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 2.5 V, V _t = 1.4 V, Offset = 60 kHz, BW = 1 Hz	118.0	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 2.5 V, V _t = 1.4 V, Offset = 900 kHz, BW = 1 Hz	140.0	—	—	dBc/Hz
Higher harmonics	H _s	V _{cc} = 2.5 V, V _t = 1.4 V, Up to 3rd	—	—	-15.0	dBc
Spurious	S _p	V _{cc} = 2.5 V, V _t = 1.4 V, Up to 3 GHz	—	—	-70.0	dBc
Power supply variation	Push	V _{cc} = 2.5 V ± 0.15 V, V _t = 1.4 V	—	—	±500	kHz
Load variation	Pull	V _{cc} = 2.5 V, V _t = 1.4 V, VSWR = 2 ALL PHASE	—	—	±500	kHz

* : T_a = +25 °C ± 3°C

VC-50 Series

3. For CDMA (Part number : VC-2R5A50-1035)

• Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Rating		Unit
		Min.	Max.	
Input DC voltage	V _{cc}	—	+6.0	V
Control voltage	V _t	—	+10.0	V
Operating temperature	T _a	-40	+85	°C
Storage temperature	T _{stg}	-50	+125	°C
Storage humidity	H _{stg}	5	95	%

WARNING: VCO can be permanently damaged by application of stress (voltage, temperature, humidity, etc.) in excess of absolute maximum ratings. Do not exceed these ratings.

• Electrical Characteristics

(T_a = -40°C to +85°C)

Parameter	Symbol	Conditions	Value			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Current consumption	I _{cc}	V _{cc} = 2.55 V, V _t = 1.35 V	—	—	10.0	mA
Frequency	f _{min}	V _{cc} = 2.55 V, V _t = 0.5 V	—	—	1019.0	MHz
Frequency	f _{max}	V _{cc} = 2.55 V, V _t = 2.2 V	1050.0	—	—	MHz
Control voltage sensitivity	k _v	(f _{max} - f _{min}) / 1.7, V _t = 1.35 V	24.0	28.0	32.0	MHz/V
Oscillator output	P _o	V _{cc} = 2.55 V, V _t = 1.35 V	-3.0	0.0	3.0	dBm
C/N	C/N	V _{cc} = 2.55 V, V _t = 1.35 V, Offset = 625 kHz, BW = 1 Hz	137.0	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 2.55 V, V _t = 1.35 V, Offset = 1.25 MHz, BW = 1 Hz	143.0	—	—	dBc/Hz
Higher harmonics	H _s	V _{cc} = 2.55 V, V _t = 1.35 V, 2nd, 3rd, 4th	—	—	-15.0	dBc
Spurious	S _p	V _{cc} = 2.55 V, V _t = 1.35 V, Up to 3 GHz	—	—	-70.0	dBc
Power supply variation	Push	V _{cc} = 2.55 V ± 0.15 V, V _t = 1.35 V	—	—	±500	kHz
Load variation	Pull	V _{cc} = 2.55 V, V _t = 1.35 V, VSWR = 2 ALL PHASE	—	—	±500	kHz

VC-50 Series

4. For PCS (Part number : VC-3R0A50-1750)

• Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Rating		Unit
		Min.	Max.	
Input DC voltage	V _{cc}	—	+3.2	V
Control voltage	V _t	—	+3.2	V
Operating temperature	T _a	-30	+80	°C
Storage temperature	T _{stg}	-35	+85	°C
Storage humidity	H _{stg}	5	95	%

WARNING: VCO can be permanently damaged by application of stress (voltage, temperature, humidity, etc.) in excess of absolute maximum ratings. Do not exceed these ratings.

• Electrical Characteristics

(T_a = -30°C to +80°C)

Parameter	Symbol	Conditions	Value			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Current consumption	I _{cc}	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.65 V	—	—	8.5	mA
Frequency	f _{min}	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 0.3 V	—	—	1720.0	MHz
Frequency	f _{max}	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 3.0 V	1780.0	—	—	MHz
Control voltage sensitivity	k _v	(f _{max} - f _{min}) / 2.7	30.0	40.0	50.0	MHz/V
Oscillator output	P _o	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.65 V	-3.0	0.0	3.0	dBm
C/N	C/N	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.65 V, Offset = 100 kHz, BW = 1 Hz	112.0	—	—	dBc/Hz
Higher harmonics	H _s	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.65 V, Up to 3rd	—	—	-10.0	dBc
Spurious	S _p	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.65 V	—	—	-80.0	dBc
Power supply variation	Push	V _{cc} = 3.0 V ± 0.16 V, V _t = 1.65 V	—	—	±600	kHz
Load variation	Pull	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.65 V, VSWR = 2 ALL PHASE	—	—	±1200	kHz
Temperature drift	T _d	T _a = +25 °C ± 55 °C	—	—	±6000	kHz

VC-50 Series

5. For K-PCS (Part number : VC-2R7A50-1635)

• Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Rating		Unit
		Min.	Max.	
Input DC voltage	V _{cc}	—	+3.0	V
Operating temperature	T _a	-30	+80	°C
Storage temperature	T _{stg}	-40	+90	°C
Storage humidity	H _{stg}	5	95	%

WARNING: VCO can be permanently damaged by application of stress (voltage, temperature, humidity, etc.) in excess of absolute maximum ratings. Do not exceed these ratings.

• Electrical Characteristics

(T_a = +25°C ± 3°C)

Parameter	Symbol	Conditions	Value			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Current consumption	I _{cc}	V _{cc} = 2.7 V, V _t = 0.5 V to 2.5 V	—	—	8.5*	mA
Frequency	f _{min}	V _{cc} = 2.7 V, V _t = 0.5 V	—	—	1620.0*	MHz
Frequency	f _{max}	V _{cc} = 2.7 V, V _t = 2.5 V	1650.0*	—	—	MHz
Control voltage sensitivity	k _v	(f _{max} - f _{min}) / 2.0	22.0	—	—	MHz/V
Oscillator output	P _o	V _{cc} = 2.7 V, V _t = 1.5 V	-3.0	—	—	dBm
C/N	C/N	V _{cc} = 2.7 V, V _t = 1.5 V, Offset = 1 kHz, BW = 1 Hz	70.0	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 2.7 V, V _t = 1.5 V, Offset = 100 kHz, BW = 1 Hz	111.0	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 2.7 V, V _t = 1.5 V, Offset = 1.25 MHz, BW = 1 Hz	134.0	—	—	dBc/Hz
Higher harmonics	H _s	V _{cc} = 2.7 V, V _t = 1.5 V, 2nd, 3rd	—	—	-10.0	dBc
Power supply variation	Push	V _{cc} = 2.7 V ± 0.15 V, V _t = 1.5 V	—	—	±800	kHz
Load variation	Pull	V _{cc} = 2.7 V, V _t = 1.5 V, VSWR = 2 ALL PHASE	—	—	±1500	kHz

* : T_a = -30°C to +80°C

VC-50 Series

6. For K-PCS (Part number : VC-3R0A50-1635S)

• Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Rating		Unit
		Min.	Max.	
Input DC voltage	V _{cc}	—	+6.0	V
Control voltage	V _t	—	+6.0	V
Operating temperature	T _a	-30	+80	°C
Storage temperature	T _{stg}	-40	+90	°C
Storage humidity	H _{stg}	5	95	%

WARNING: VCO can be permanently damaged by application of stress (voltage, temperature, humidity, etc.) in excess of absolute maximum ratings. Do not exceed these ratings.

• Electrical Characteristics

(T_a = +25°C ± 3°C)

Parameter	Symbol	Conditions	Value			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Current consumption	I _{cc}	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.5 V	—	—	8.5	mA
Frequency	f _{min}	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 0.5 V	—	—	1620.0	MHz
Frequency	f _{max}	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 2.5 V	1650.0	—	—	MHz
Control voltage sensitivity	k _v	(f _{max} - f _{min}) / 2.0	22.0	—	—	MHz/V
Oscillator output	P _o	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.5 V	-3.0	—	—	dBm
C/N	C/N	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.5 V, Offset = 1 kHz, BW = 1 Hz	70.0*	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.5 V, Offset = 100 kHz, BW = 1 Hz	111.0*	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.5 V, Offset = 1.25 MHz, BW = 1 Hz	134.0*	—	—	dBc/Hz
Higher harmonics	H _s	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.5 V, 2nd, 3rd	—	—	-10.0	dBc
Spurious	S _p	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.5 V	—	—	-70.0*	dBc
Power supply variation	Push	V _{cc} = 3.0 V ± 0.15 V, V _t = 1.5 V	—	—	±500	kHz
Load variation	Pull	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.5 V, VSWR = 2 ALL PHASE	—	—	±1000	kHz
Temperature drift	T _d	T _a = +25 °C ± 55 °C	—	—	±3000*	kHz

* : T_a = -30°C to +80°C

VC-50 Series

7. For GSM (Part number : VC-2R8A50-0897F)

• Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Rating		Unit
		Min.	Max.	
Input DC voltage	V _{cc}	—	+4.0	V
Control voltage	V _t	0	+2.9	V
Operating temperature	T _a	-20	+75	°C
Storage temperature	T _{stg}	-40	+85	°C
Storage humidity	H _{stg}	5	95	%

WARNING: VCO can be permanently damaged by application of stress (voltage, temperature, humidity, etc.) in excess of absolute maximum ratings. Do not exceed these ratings.

• Electrical Characteristics

(T_a = +25°C ± 3°C)

Parameter	Symbol	Conditions	Value			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Current consumption	I _{cc}	V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.2 V	—	—	25.0*	mA
Frequency	f _{min}	V _{cc} = 2.8 V, V _t = 0.5 V	—	—	880.0*	MHz
Frequency	f _{max}	V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.9 V	915.0*	—	—	MHz
Control voltage sensitivity	k _v	(f _{max} - f _{min}) / 1.4	24.0	—	36.0	MHz/V
Oscillator output	P _o	V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.2 V	2.0	—	—	dBm
C/N	C/N	V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.2 V, Offset = 100 kHz, BW = 1 Hz	100.0	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.2 V, Offset = 400 kHz, BW = 1 Hz	125.0	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.2 V, Offset = 20 MHz, BW = 1 Hz	165.0	—	—	dBc/Hz
Higher harmonics	H _s	V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.2 V, 2nd, 3rd	—	—	-15.0	dBc
Power supply variation	Push	V _{cc} = 2.8 V ± 0.1 V, V _t = 1.2 V	—	—	±1000	kHz
Load variation	Pull	V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.2 V, VSWR = 2 ALL PHASE	—	—	±2000	kHz
Temperature drift	T _d	T _a = +25 (+50/-45) °C	—	—	±2000*	kHz

* : T_a = -20°C to +75°C

VC-50 Series

8. For GSM (Part number : VC-2R8A50-1171)

• Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Rating		Unit
		Min.	Max.	
Input DC voltage	V _{cc}	-0.3	+2.9	V
Control voltage	V _t	0	+2.9	V
Operating temperature	T _a	-20	+75	°C
Storage temperature	T _{stg}	-30	+85	°C
Storage humidity	H _{stg}	5	95	%

WARNING: VCO can be permanently damaged by application of stress (voltage, temperature, humidity, etc.) in excess of absolute maximum ratings. Do not exceed these ratings.

• Electrical Characteristics

(T_a = +25°C ± 3°C)

Parameter	Symbol	Conditions	Value			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Current consumption	I _{cc}	V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.425 V	—	—	8.0*	mA
Frequency	f _{min}	V _{cc} = 2.8 V, V _t = 0.85 V	—	—	1136.0*	MHz
Frequency	f _{max}	V _{cc} = 2.8 V, V _t = 2.0 V	1206.0*	—	—	MHz
Control voltage sensitivity	k _v	(f _{max} - f _{min}) / 1.15	70.0*	—	90.0*	MHz/V
Oscillator output	P _o	V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.425 V	-5.0*	—	+1.0*	dBm
C/N	C/N	V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.425 V, Offset = 10 kHz, BW = 1 Hz	85.0*	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.425 V, Offset = 400 kHz, BW = 1 Hz	117.0*	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.425 V, Offset = 600 kHz, BW = 1 Hz	122.0*	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.425 V, Offset = 1.6 MHz, BW = 1 Hz	132.0*	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.425 V, Offset = 3 MHz, BW = 1 Hz	142.0*	—	—	dBc/Hz
		V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.425 V, Offset = 10 MHz, BW = 1 Hz	147.0*	—	—	dBc/Hz
Higher harmonics	H _s	V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.425 V, 2nd, 3rd	—	—	-10.0*	dBc
Power supply variation	Push	V _{cc} = 2.8 V ± 0.07 V, V _t = 1.425 V	—	—	±500*	kHz
Load variation	Pull	V _{cc} = 2.8 V, V _t = 1.425 V, VSWR = 2 ALL PHASE	—	—	±1000*	kHz
Temperature drift	T _d	T _a = +25 (+50/-45) °C	—	—	±3000*	kHz

* : T_a = -20°C to +75°C

VC-50 Series

9. For GSM (Part number : VC-2R8A50-1360)

• Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Rating		Unit
		Min.	Max.	
Input DC voltage	Vcc	—	+3.0	V
Control voltage	Vt	—	+3.0	V
Operating temperature	Ta	-20	+80	°C
Storage temperature	Tstg	-30	+80	°C
Storage humidity	Hstg	5	95	%

WARNING: VCO can be permanently damaged by application of stress (voltage, temperature, humidity, etc.) in excess of absolute maximum ratings. Do not exceed these ratings.

• Electrical Characteristics

(Ta = +25°C ± 3°C)

Parameter	Symbol	Conditions	Value			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Current consumption	Icc	Vcc = 2.85 V, Vt = 1.3 V	—	—	9.0	mA
Frequency	fmin	Vcc = 2.85 V, Vt = 0.3 V	—	—	1280.0	MHz
Frequency	fmax	Vcc = 2.85 V, Vt = 2.3 V	1440.0	—	—	MHz
Control voltage sensitivity	kv	(fmax - fmin) / 2.0	86.0	—	106.0	MHz/V
Oscillator output	Po	Vcc = 2.85 V, Vt = 1.3 V	-3.0	—	—	dBm
C/N	C/N	Vcc = 2.85 V, Vt = 1.3 V, Offset = 10 kHz, BW = 1 Hz	94.0	—	—	dBc/Hz
		Vcc = 2.85 V, Vt = 1.3 V, Offset = 3 MHz, BW = 1 Hz	145.0	—	—	dBc/Hz
Higher harmonics	Hs	Vcc = 2.85 V, Vt = 1.3 V, 2nd, 3rd	—	—	-10.0	dBc
Power supply variation	Push	Vcc = 2.85 V ± 0.15 V, Vt = 1.3 V	—	—	±1000	kHz
Load variation	Pull	Vcc = 2.85 V, Vt = 1.3 V, VSWR = 2 ALL PHASE	—	—	±2000	kHz
Temperature drift	Td	Ta = +25 (+55/-45) °C	—	—	±3000	kHz

VC-50 Series

10. For PHS (Part number : VC-2R7A50-1652)

• Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Rating		Unit
		Min.	Max.	
Input DC voltage	V _{cc}	—	+5.0	V
Control voltage	V _t	—	+5.0	V
Operating temperature	T _a	-20	+60	°C
Storage temperature	T _{stg}	-35	+85	°C
Storage humidity	H _{stg}	5	95	%

WARNING: VCO can be permanently damaged by application of stress (voltage, temperature, humidity, etc.) in excess of absolute maximum ratings. Do not exceed these ratings.

• Electrical Characteristics

(T_a = +25°C ± 3°C)

Parameter	Symbol	Conditions	Value			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Current consumption	I _{cc}	V _{cc} = 2.7 V, V _t = 0.4 V to 2.1 V	—	—	5.5*	mA
Frequency	f _{min}	V _{cc} = 2.7 V, V _t = 0.4 V	—	—	1632.5*	MHz
Frequency	f _{max}	V _{cc} = 2.7 V, V _t = 2.1 V	1672.5*	—	—	MHz
Control voltage sensitivity	k _v	(f _{max} - f _{min}) / 1.7	36.0	—	48.0	MHz/V
Oscillator output	P _o	V _{cc} = 2.7 V, V _t = 0.4 V to 2.1 V	-6.0*	—	—	dBm
		V _{cc} = 2.7 V, V _t = 0.0 V to 2.7 V	-10.0*	—	—	dBm
C/N	C/N	V _{cc} = 2.7 V, V _t = 0.4 V to 2.1 V, Offset = 100 kHz, BW = 1 Hz	109.0*	—	—	dBc/Hz
Higher harmonics	H _s	V _{cc} = 2.7 V, V _t = 0.4 V to 2.1 V, 2nd, 3rd	—	—	-15.0*	dBc
Power supply variation	Push	V _{cc} = 2.7 V ± 0.1 V, V _t = 0.4 V to 2.1 V	—	—	±600	kHz
Load variation	Pull	V _{cc} = 2.7 V, V _t = 0.4 V to 2.1 V, VSWR = 2 ALL PHASE	—	—	±1000	kHz
Temperature drift	T _d	T _a = +25 (+45/-35) °C	—	—	±3000	kHz

* : T_a = -20°C to +60°C

VC-50 Series

11. For PHS (Part number : VC-3R0A50-1668N)

• Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Rating		Unit
		Min.	Max.	
Input DC voltage	V _{cc}	—	+3.2	V
Operating temperature	T _a	-10	+60	°C
Storage temperature	T _{stg}	-30	+85	°C
Storage humidity	H _{stg}	5	85	%

WARNING: VCO can be permanently damaged by application of stress (voltage, temperature, humidity, etc.) in excess of absolute maximum ratings. Do not exceed these ratings.

• Electrical Characteristics

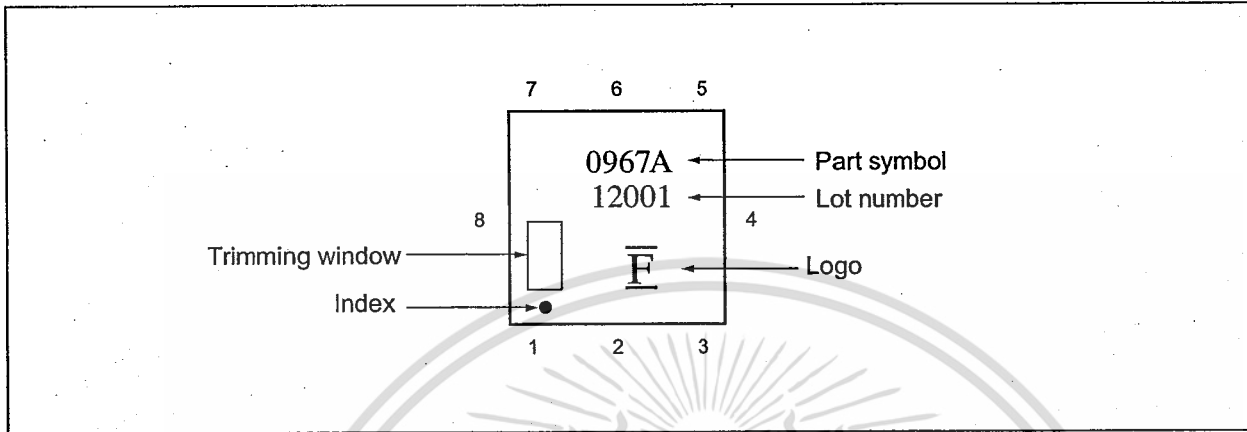
(T_a = +25°C ± 3°C)

Parameter	Symbol	Conditions	Value			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Current consumption	I _{cc}	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.5 V	—	—	7.0*	mA
Frequency	f _{min}	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 0.5 V	—	—	1649.7*	MHz
Frequency	f _{max}	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 2.5 V	1686.3*	—	—	MHz
Control voltage sensitivity	k _v	(f _{max} - f _{min}) / 2.0	25.0	31.0	37.0	MHz/V
Oscillator output	P _o	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.5 V	-6.0*	—	—	dBm
C/N	C/N	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.5 V, Offset = 100 kHz, BW = 1 Hz	110.0*	—	—	dBc/Hz
Higher harmonics	H _s	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.5 V, Up to 3rd	—	—	-15.0	dBc
Power supply variation	Push	V _{cc} = 3.0 V ± 0.2 V, V _t = 1.5 V	—	—	±800	kHz
Load variation	Pull	V _{cc} = 3.0 V, V _t = 1.5 V, VSWR = 2 ALL PHASE	—	—	±1000	kHz
Temperature drift	T _d	T _a = +25°C ± 35°C	—	—	±4000*	kHz

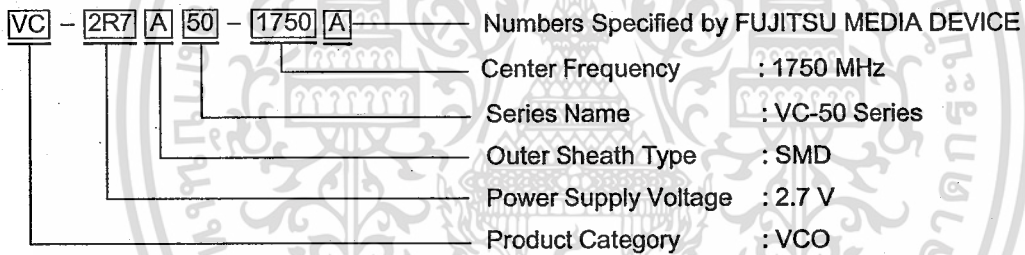
* : T_a = -10°C to +60°C

VC-50 Series

MARKING

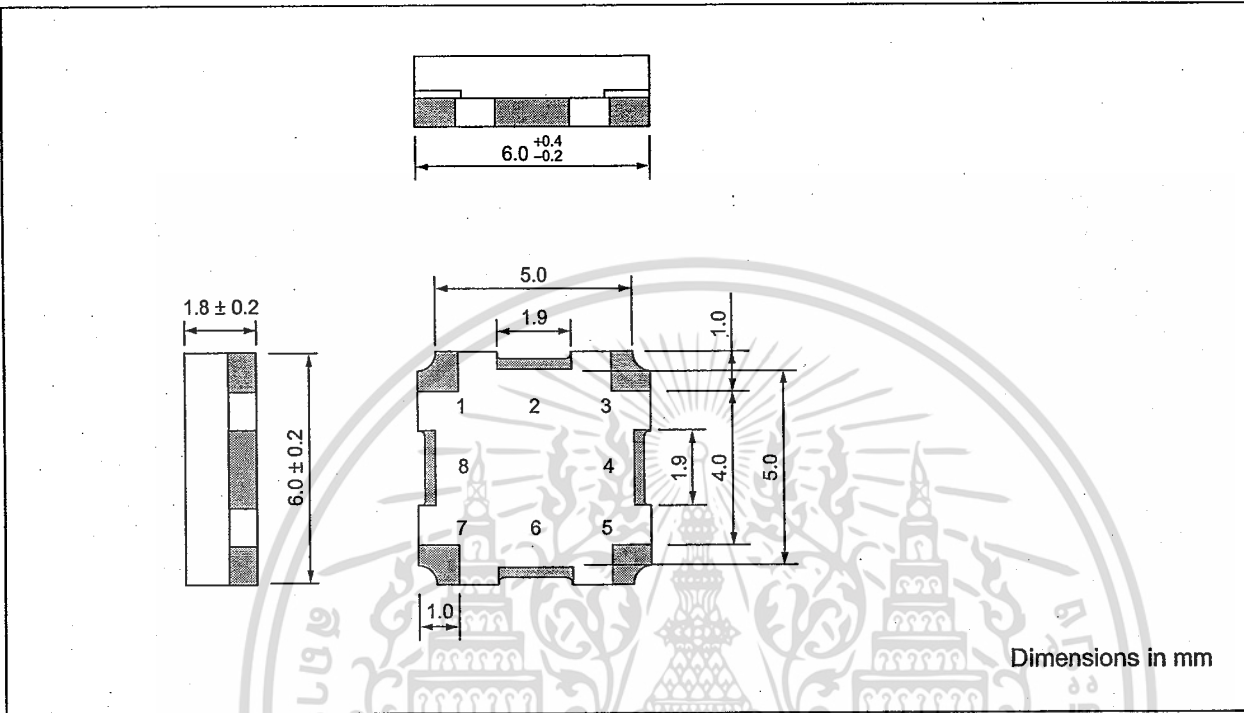


PART NUMBER DESIGNATION

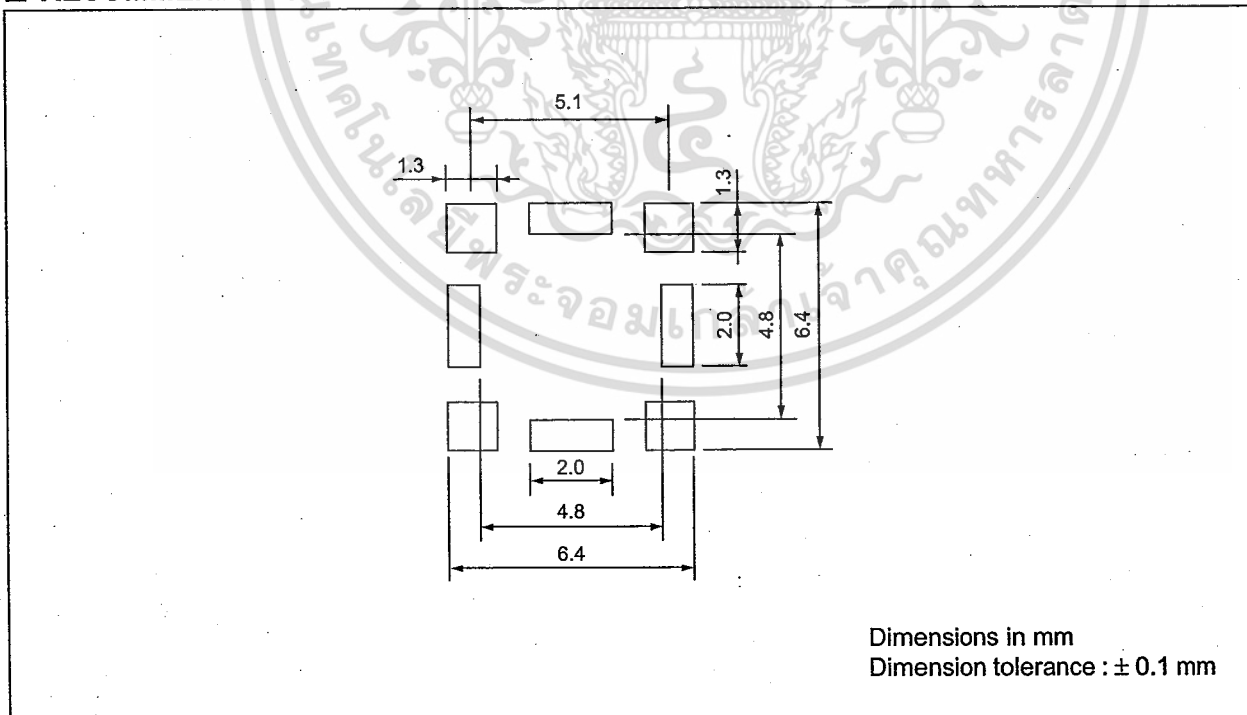


VC-50 Series

PACKAGE DIMENSION



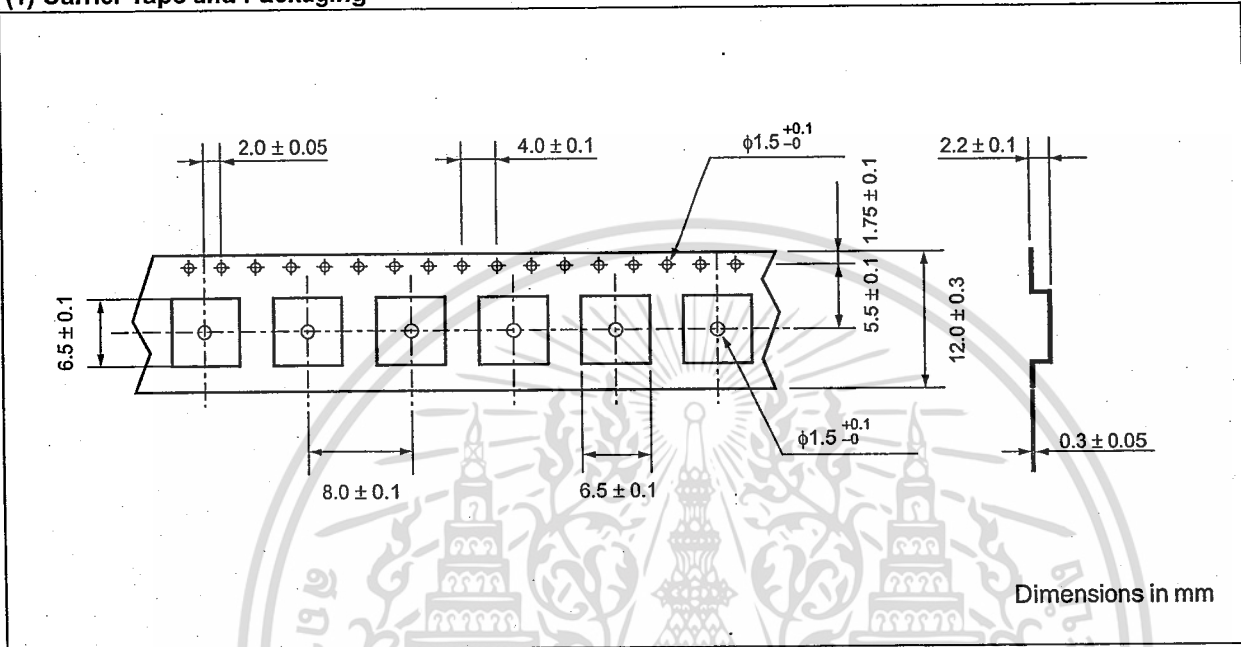
RECOMMENDED PATTERN FOR SOLDERING



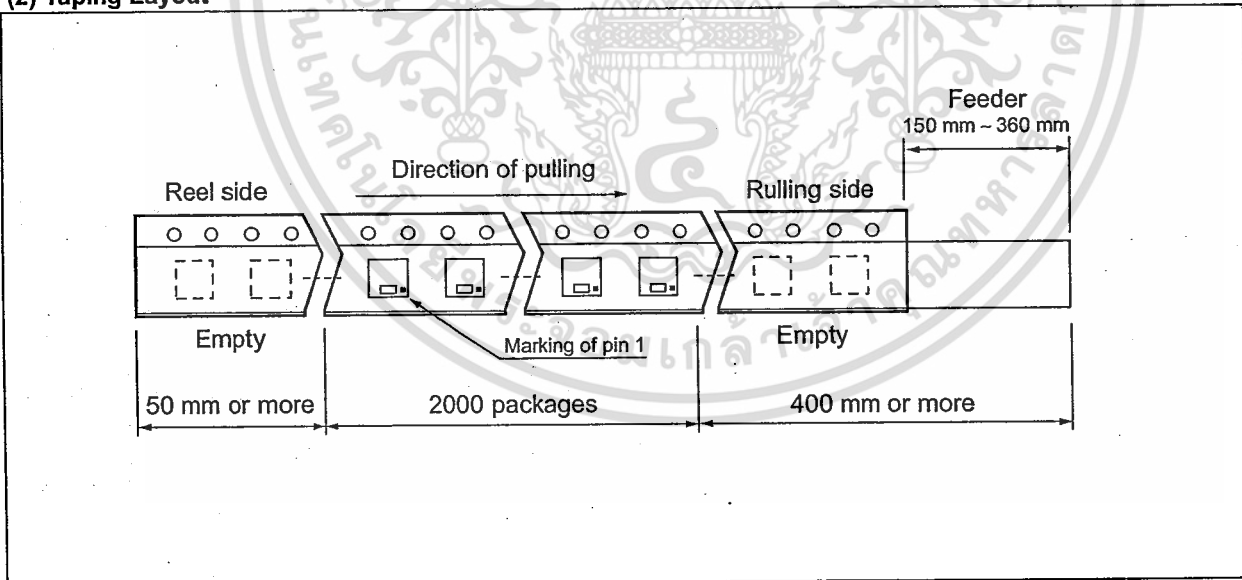
VC-50 Series

■ TAPING AND PACKAGING

(1) Carrier Tape and Packaging

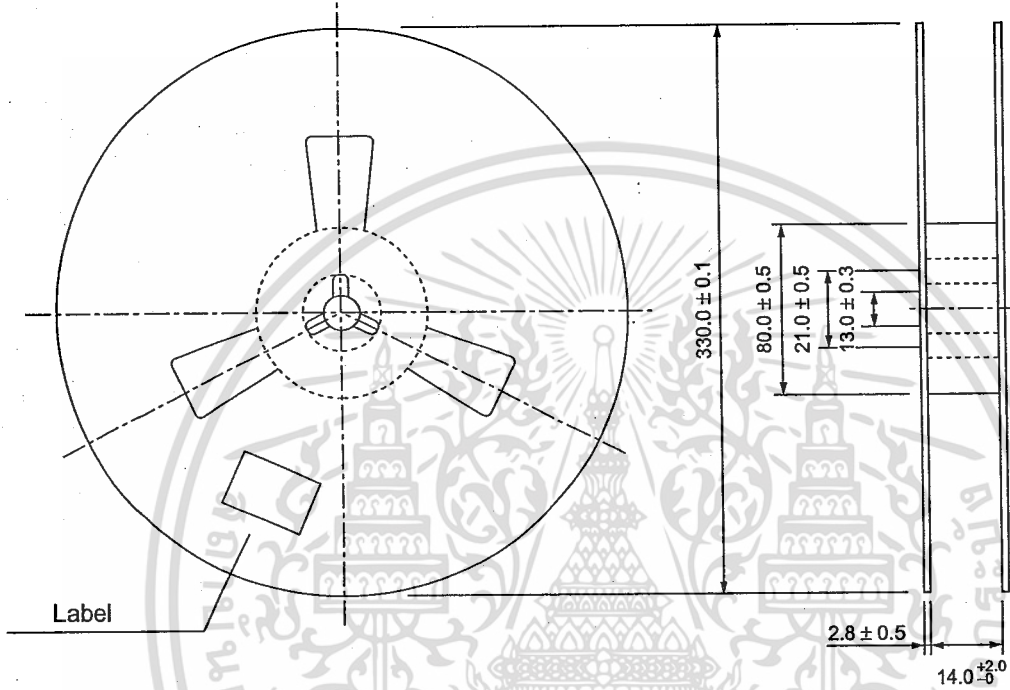


(2) Taping Layout



VC-50 Series

(3) Reel Shape and Dimensions



Note : The label specifies the part number, quantity, and lot number.

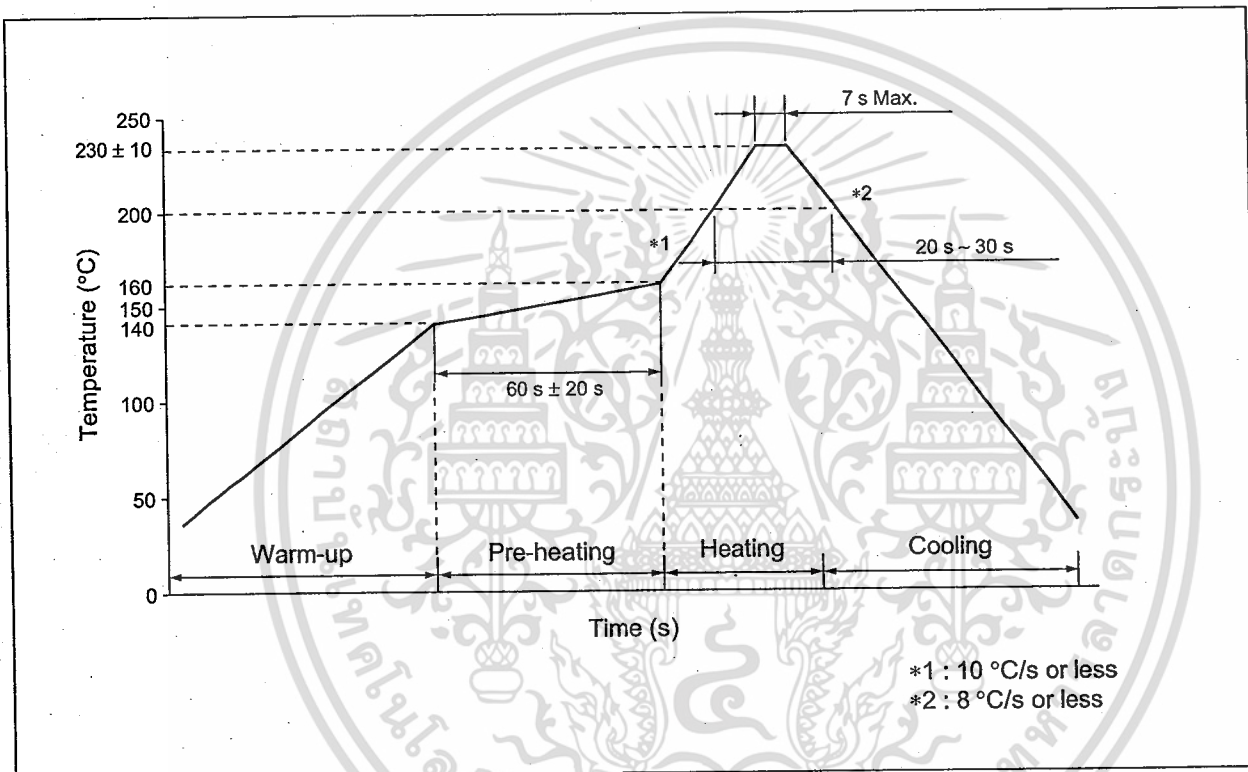
Volume : 2000 pcs/reel
Type : (L) 340 × (W) 340 × (t) 30 (mm)

Dimensions in mm

VC-50 Series

REFLOW MOUNTING CONDITIONS (RECOMMENDED)

- Perform mounting using the temperature profile shown below. To prevent thermal stress to the VCO, ensure gentle temperature gradients and use preheating whenever possible. (Recommended preheating: 140°C to 160°C for 60 s ± 20 s)
- Always consult FUJITSU MEDIA DEVICE beforehand if mounting more than once.
- Never remove a VCO that has already been mounted and attempt to reuse.
- For mounting, use a general-purpose flux suitable for mounting electronic components.



WASHING CONDITIONS

- Washing solution: Use isopropyl alcohol.
- Washing procedure: Immersion or steam cleaning is recommended.
- Washing time: For immersion: Less than 5 minutes at 40°C or less.
For steam: Less than 2 minutes at 90°C or less is recommended.

VC-50 Series

FUJITSU MEDIA DEVICES LIMITED

For further information please contact:

Japan

FUJITSU MEDIA DEVICE LIMITED
International Sales & Marketing DEPT.
Shin-Yokohama Square Bldg., 14F,
Shin-yokohama 2-3-12,
Kohoku-ku, Yokohama,
Kanagawa 222-0033, Japan
Tel: +81-45-471-0061
Fax: +81-45-471-0076

<http://www.fujitsu.co.jp/hypertext/fmd/English/index.html>

North and South America

FUJITSU MICROELECTRONICS, INC.
3545 North First Street,
San Jose, CA 95134-1804, U.S.A.
Tel: +1-408-922-9000
Fax: +1-408-922-9179

Customer Response Center
Mon. - Fri.: 7 am - 5 pm (PST)
Tel: +1-800-866-8608
Fax: +1-408-922-9179

<http://www.fujitsumicro.com/>

Europe

FUJITSU MICROELECTRONICS EUROPE GmbH
Am Siebenstein 6-10,
D-63303 Dreieich-Buchsschlag,
Germany
Tel: +49-6103-690-0
Fax: +49-6103-690-122

<http://www.fujitsu-fme.com/>

Asia Pacific

FUJITSU MICROELECTRONICS ASIA PTE. LTD.
#05-08, 151 Lorong Chuan,
New Tech Park,
Singapore 556741
Tel: +65-281-0770
Fax: +65-281-0220

<http://www.fmap.com.sg/>

F0101

© FUJITSU LIMITED Printed in Japan

All Rights Reserved.

The contents of this document are subject to change without notice. Customers are advised to consult with FUJITSU sales representatives before ordering.

The information and circuit diagrams in this document are presented as examples of semiconductor device applications, and are not intended to be incorporated in devices for actual use. Also, FUJITSU is unable to assume responsibility for infringement of any patent rights or other rights of third parties arising from the use of this information or circuit diagrams.

The contents of this document may not be reproduced or copied without the permission of FUJITSU LIMITED.

FUJITSU semiconductor devices are intended for use in standard applications (computers, office automation and other office equipments, industrial, communications, and measurement equipments, personal or household devices, etc.).

CAUTION:

Customers considering the use of our products in special applications where failure or abnormal operation may directly affect human lives or cause physical injury or property damage, or where extremely high levels of reliability are demanded (such as aerospace systems, atomic energy controls, sea floor repeaters, vehicle operating controls, medical devices for life support, etc.) are requested to consult with FUJITSU sales representatives before such use. The company will not be responsible for damages arising from such use without prior approval.

Any semiconductor devices have inherently a certain rate of failure. You must protect against injury, damage or loss from such failures by incorporating safety design measures into your facility and equipment such as redundancy, fire protection, and prevention of over-current levels and other abnormal operating conditions.

If any products described in this document represent goods or technologies subject to certain restrictions on export under the Foreign Exchange and Foreign Trade Control Law of Japan, the prior authorization by Japanese government should be required for export of those products from Japan.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PF01411B

MOS FET Power Amplifier Module for E-GSM Handy Phone

HITACHI

ADE-208-434B (Z)
3rd Edition
Nov. 1997

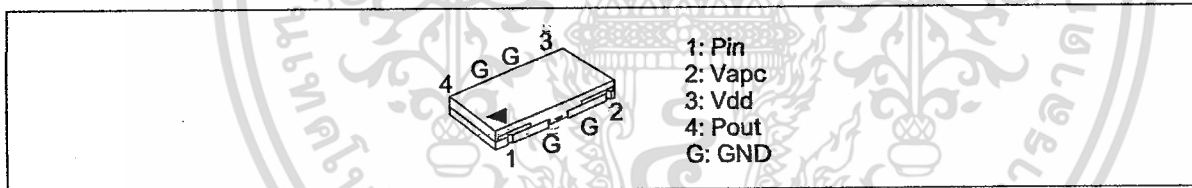
Application

- For E-GSM class4 880 to 915 MHz
- For 3.5 V nominal battery use

Features

- High gain 3stage amplifier : 0 dBm input
- Lead less thin & Small package : 2 mm Max, 0.2cc
- High efficiency : 45% Typ at 35.5 dBm
- Wide gain control range : 70 dB Typ

Pin Arrangement



Absolute Maximum Ratings ($T_c \cong 25^\circ\text{C}$)

Item	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V_{DD}	8	V
Supply current	I_{DD}	3	A
V_{APC} voltage	V_{APC}	4	V
Input power	Pin	10	mW
Operating case temperature	T_c (op)	-30 to +100	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	T_{stg}	-30 to +100	$^\circ\text{C}$
Output power	Pout	5	W



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PF01411B

Electrical Characteristics ($T_c = 25^\circ\text{C}$)

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Condition
Frequency range	f	880	—	915	MHz	
Control voltage range	V_{APC}	0.5	—	2.2	V	
Drain cutoff current	I_{DS}	—	—	100	μA	$V_{DD} = 8\text{V}, V_{APC} = 0\text{V}$
Total efficiency	η_T	40	45	—	%	$P_{in} = 0\text{dBm}, V_{DD} = 3.5\text{V},$ $P_{out} = 35.5\text{dBm}, V_{apc} = \text{control}$
2nd harmonic distortion	2nd H.D.	—	-45	-35	dBc	$R_L = R_g = 50\Omega, T_c = 25^\circ\text{C}$
3rd harmonic distortion	3rd H.D.	—	-45	-35	dBc	
Input VSWR	VSWR (in)	—	1.5	3	—	
Output power (1)	$P_{out} (1)$	35.5	36.0	—	dBm	$P_{in} = 0\text{dBm}, V_{DD} = 3.5\text{V},$ $V_{APC} = 2.2\text{V}, R_L = R_g = 50\Omega,$ $T_c = 25^\circ\text{C}$
Output power (2)	$P_{out} (2)$	33.5	34.2	—	dBm	$P_{in} = 0\text{dBm}, V_{DD} = 3.0\text{V},$ $V_{APC} = 2.2\text{V}, R_L = R_g = 50\Omega,$ $T_c = 85^\circ\text{C}$
Isolation	—	—	-40	-36	dBm	$P_{in} = 0\text{dBm}, V_{DD} = 3.5\text{V},$ $V_{APC} = 0.5\text{V}, R_L = R_g = 50\Omega,$ $T_c = 25^\circ\text{C}$
Switching time	t_r, t_f	—	1	2	μs	$P_{in} = 0\text{dBm}, V_{DD} = 3.5\text{V},$ $P_{out} = 0 \text{ to } 35.5\text{dBm}$ $R_L = R_g = 50\Omega, T_c = 25^\circ\text{C}$
Stability	—	No parasitic oscillation			—	$P_{in} = 0\text{dBm}, V_{DD} = 3 \text{ to } 5.1\text{V},$ $P_{out} \leq 35.5\text{dBm},$ $V_{apc} \leq 2.2\text{V GSM pulse.}$ $R_g = 50\Omega, T_c = 25^\circ\text{C},$ Output VSWR = 6 : 1 All phases
Load VSWR tolerance	—	No degradation			—	$P_{in} = 0\text{dBm}, V_{DD} = 3 \text{ to } 5.1\text{V},$ $P_{out} \leq 35.5\text{dBm},$ $V_{apc} \leq 2.2\text{V GSM pulse.}$ $R_g = 50\Omega, t = 20\text{sec.}, T_c = 25^\circ\text{C},$ Output VSWR = 10 : 1 All phases

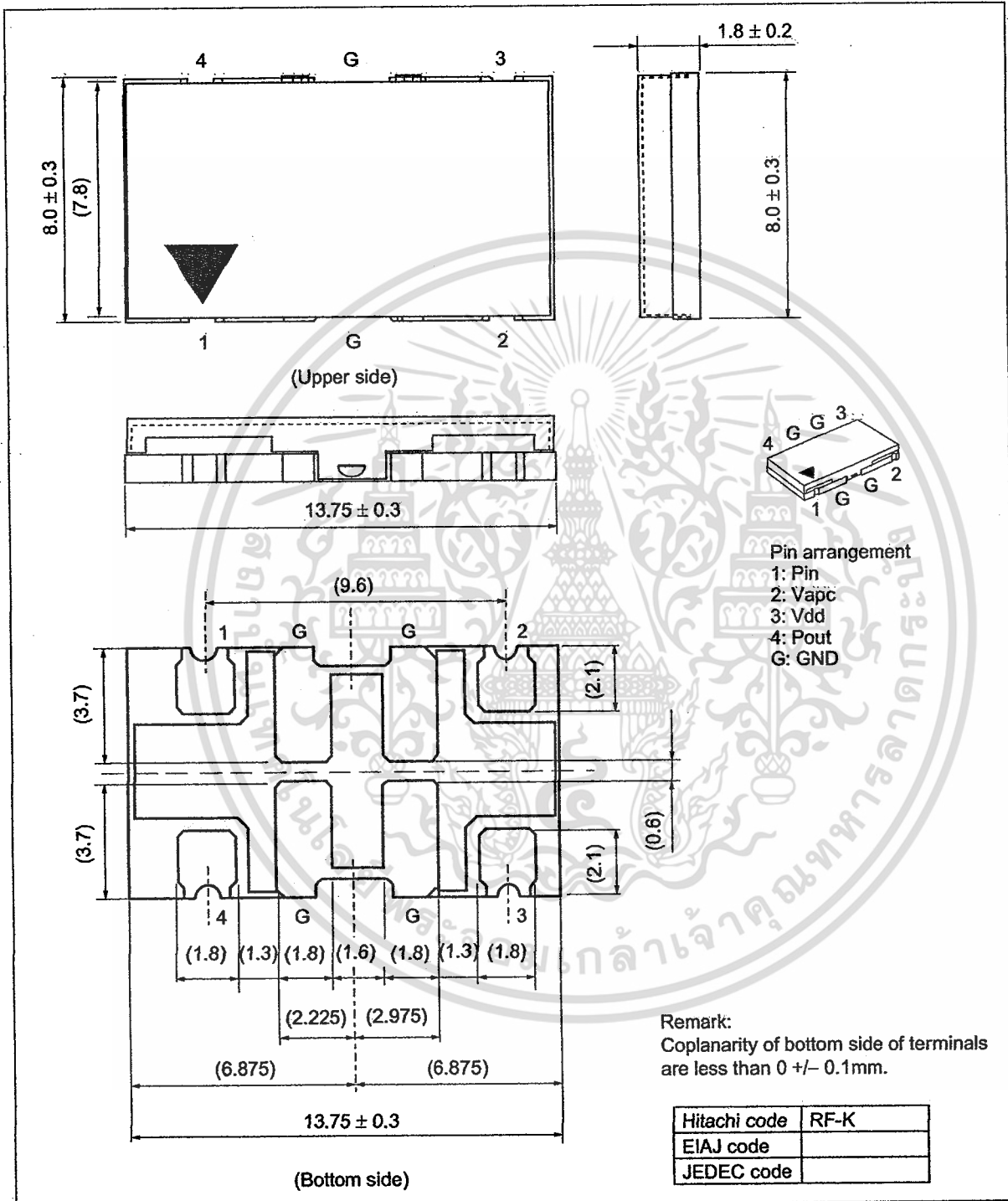
HITACHI

2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Dimensions

Unit: mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cautions

1. Hitachi neither warrants nor grants licenses of any rights of Hitachi's or any third party's patent, copyright, trademark, or other intellectual property rights for information contained in this document. Hitachi bears no responsibility for problems that may arise with third party's rights, including intellectual property rights, in connection with use of the information contained in this document.
2. Products and product specifications may be subject to change without notice. Confirm that you have received the latest product standards or specifications before final design, purchase or use.
3. Hitachi makes every attempt to ensure that its products are of high quality and reliability. However, contact Hitachi's sales office before using the product in an application that demands especially high quality and reliability or where its failure or malfunction may directly threaten human life or cause risk of bodily injury, such as aerospace, aeronautics, nuclear power, combustion control, transportation, traffic, safety equipment or medical equipment for life support.
4. Design your application so that the product is used within the ranges guaranteed by Hitachi particularly for maximum rating, operating supply voltage range, heat radiation characteristics, installation conditions and other characteristics. Hitachi bears no responsibility for failure or damage when used beyond the guaranteed ranges. Even within the guaranteed ranges, consider normally foreseeable failure rates or failure modes in semiconductor devices and employ systemic measures such as fail-safes, so that the equipment incorporating Hitachi product does not cause bodily injury, fire or other consequential damage due to operation of the Hitachi product.
5. This product is not designed to be radiation resistant.
6. No one is permitted to reproduce or duplicate, in any form, the whole or part of this document without written approval from Hitachi.
7. Contact Hitachi's sales office for any questions regarding this document or Hitachi semiconductor products.

HITACHI

Hitachi, Ltd.

Semiconductor & Integrated Circuits.
Nippon Bldg., 2-6-2, Ohte-machi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0004, Japan
Tel: Tokyo (03) 3270-2111 Fax: (03) 3270-5109

URL NorthAmerica : <http://semiconductor.hitachi.com/>
Europe : <http://www.hitachi-eu.com/hel/ecg>
Asia (Singapore) : <http://www.has.hitachi.com.sg/grp3/sicd/index.htm>
Asia (Taiwan) : http://www.hitachi.com.tw/E/Product/SICD_Frame.htm
Asia (HongKong) : <http://www.hitachi.com.hk/eng/bo/grp3/index.htm>
Japan : <http://www.hitachi.co.jp/Sicd/indx.htm>

For further information write to:

Hitachi Semiconductor
(America) Inc.
179 East Tasman Drive,
San Jose, CA 95134
Tel: <1> (408) 433-1990
Fax: <1> (408) 433-0223

Hitachi Europe GmbH
Electronic components Group
Domacher Straße 3
D-85622 Feldkirchen, Munich
Germany
Tel: <49> (89) 9 9180-0
Fax: <49> (89) 9 29 30 00

Hitachi Europe Ltd.
Electronic Components Group.
Whitebrook Park
Lower Cookham Road
Maidenhead
Berkshire SL6 8YA, United Kingdom
Tel: <44> (1628) 585000
Fax: <44> (1628) 778322

Hitachi Asia Pte. Ltd.
16 Collyer Quay #20-00
Hitachi Tower
Singapore 049318
Tel: 535-2100
Fax: 535-1533

Hitachi Asia Ltd.
Taipei Branch Office
3F, Hung Kuo Building, No.167,
Tun-Hwa North Road, Taipei (105)
Tel: <886> (2) 2718-3666
Fax: <886> (2) 2718-8180

Hitachi Asia (Hong Kong) Ltd.
Group III (Electronic Components)
7/F., North Tower, World Finance Centre,
Harbour City, Canton Road, Tsim Sha Tsui,
Kowloon, Hong Kong
Tel: <852> (2) 735 9218
Fax: <852> (2) 730 0281
Telex: 40815 HITEC HX

Copyright © Hitachi, Ltd., 1999. All rights reserved. Printed in Japan.

HITACHI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงจะสำเร็จลงไม่ได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากอาจารย์ที่ปรึกษา ต้องขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาศิพงษ์ซึ่งเป็นผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้ ให้คำแนะนำ และคำปรึกษารวมถึงประสบการณ์เป็นอย่างมาก และต้องขอขอบพระคุณบิดามารดา ผู้ซึ่งคอยให้โอกาสและให้การสนับสนุนคณะผู้จัดทำ นอกจากนี้คณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมที่คอยให้ความรู้ในการทำโครงการนี้ ต้องขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- [1] ดร.สิทธิชัย โภไคยอุดม และดร.พีรศักดิ์ วรสุนโรสถ, “ ทฤษฎีการคำนวณวงจรรีเลย์ทรอนิกส์”, พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ.2533, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด
- [2] ร.ต.อ.สุชาติ กังวารจิตต์, “ เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร”, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด,2536
- [3] ชื่น ภูสุวรรณ, “ ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์”, กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด,2536
- [4] นิกร สุขุมตันติ, “อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน”, กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.,2533



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้