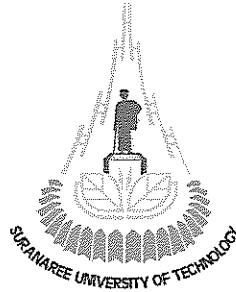


CONTRIBUTION



การออกแบบระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ (Mobile Jammer)

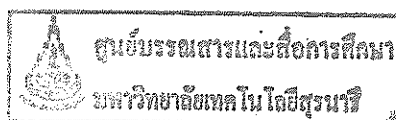
นางสาวมานวิกา

วงศ์โลหะทอง B4703075

นางสาวรัชชอุทัย

ทิพย์เนตร B4710790

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427494 โครงการศึกษาวิศวกรรมโทรคมนาคม
และวิชา 427499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม
ประจำภาคการศึกษาที่ 1 และ 2 ปีการศึกษา 2550
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง
พ.ศ.2546 สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



โครงการ	การออกแบบระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ (Mobile Jammer)		
โดย	นางสาวมานวิกา	วงศ์โลหะทอง	B4703075
	นางสาวรัชชอุทัย	ทิพย์เนตร	B4710790
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ชานูชัย ทองโสภ		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม		
ภาคการศึกษาที่	3/2550		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบสร้างอุปกรณ์รบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่(Mobile Jammer) ในย่านความถี่ 800-900 MHz และ 1800-1900 MHz ของทุกระบบในย่านความถี่ดังกล่าวนี้ที่ใช้ในประเทศไทย โดยให้มีระยะทำการในรัศมีประมาณ 10 เมตร รอบตัว การออกแบบจะประกอบไปด้วย ชุดกำเนิดสัญญาณความถี่ตลอดย่าน 800-900 MHz และ 1800-1900 MHz ที่ควบคุมด้วยแรงดัน (VCO) ชุดขยายสัญญาณ และชุดมอดูเลตสัญญาณข้อมูล และสายอากาศ รวมเป็นอุปกรณ์รบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการเรื่องการออกแบบระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ(Mobile Jammer) ที่ย่านความถี่ 800-900 MHz และ 1800-1900 MHz นี้สามารถเสร็จสิ้นสมบูรณ์ได้นั้น เนื่องด้วยความกรุณาของบุคคลหลายท่าน ซึ่งคอยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือ รวมไปถึงข้อเสนอแนะต่างที่เป็นประโยชน์แก่โครงการเรื่องนี้ ในการทำโครงการครั้งนี้ทางผู้จัดทำจึงขอแสดงความขอบคุณแต่

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภาก อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้มอบความรู้และคอยให้คำปรึกษาต่างแก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด
- คุณประพล จารตะคุ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องการดำเนินงานเกี่ยวกับงบประมาณในการทำโครงการ รวมไปถึงอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ในโครงการนี้
- นายไพรัตน์ ทศดี นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่คอยดูแลในการใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการวัด
- นายณัฐพัชร์ พรหมสุวรรณ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่คอยให้คำปรึกษาในการใช้งานไอซีบางชนิด ที่ไม่ค่อยได้พบเห็น รวมทั้งให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำโครงการ
- นายศรัณย์ คัมภีร์ภัก นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่คอยช่วยเหลือให้ความรู้ความเข้าใจ แนะนำ ในการปรับปรุงแก้ไขโครงการให้สำเร็จลุล่วง
- บุพการีอันเป็นที่รัก ที่คอยให้ความห่วงใย ให้กำลังใจที่ดีเสมอมา
- สมาชิกภายในกลุ่มที่ร่วมแรงร่วมใจกัน ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำงาน พร้อมทั้งร่วมฟันฝ่าอุปสรรคต่างๆ ในการทำโครงการ

นางสาวมานวิกา วงศ์โลหะทอง

นางสาวรัชชอุทัย ทิพยเนตร

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
- บทคัดย่อ	ก
- กิตติกรรมประกาศ	ข
- สารบัญ	ค
- สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบข่ายงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ทฤษฎีระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	3
2.2 รูปแบบของเครื่องรบกวนสัญญาณ และตรวจจับสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	4
2.3 องค์ประกอบของวงจรรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	6
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างวงจรรบกวนโทรศัพท์มือถือ	19
3.1 การเลือกใช้ไอซีในการออกแบบวงจรต่างๆที่ใช้ในระบบ	19
3.2 การออกแบบระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	22
3.3 การเลือกใช้สายอากาศ	33
3.4 วงจรรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	36
บทที่ 4 การทดสอบระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	38
4.1 ผลการทดสอบวงจรสัญญาณฟันเลื่อย(Sawtooth)	40
4.2 ผลการทดสอบวงจรควบคุมแรงดัน(VCO)	42
4.3 ผลการวัดวงจรขยายสัญญาณ	44
4.4 ผลการวัดการแผ่รังสีของสายอากาศ	48
4.5 ภาพวงจรต่างๆที่ได้จากการออกแบบ	53
4.6 ผลการทดสอบระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือทั้งระบบ	55

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 บทสรุป	58
5.1 ส่วนประกอบของระบบระบบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	58
5.2 คุณสมบัติทั่วไปของระบบระบบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	58
5.3 ปัญหาที่พบในการทำงาน	59
5.4 ข้อจำกัดของโครงการ	59
5.5 ผลที่ได้จากโครงการนี้	59
5.6 แนวทางการพัฒนาต่อไป	59

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก รายละเอียดการใช้งานของชิ้นงานบางชนิด

ประวัติผู้เขียน



สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 Block diagram ของระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	3
รูปที่ 2.2 กราฟแสดงค่ากำลังวัตต์ของเครื่องแจมเมอร์	5
รูปที่ 2.3 แสดงทฤษฎีวงจรกำเนิดสัญญาณพินเลี้ยง	8
รูปที่ 2.4 แสดงอุปกรณ์ภายในออปแอมป์บางชนิด	9
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างวงจรของ VCO	11
รูปที่ 2.6 วงจรแกว่งควบคุมโดยใช้ไดโอดวาร์เรเตอร์ในวงจรมัลติไวเบเตอร์	12
รูปที่ 2.7 กราฟคุณลักษณะของสัญญาณขาเข้ากับสัญญาณขาออกสำหรับ VCO	12
รูปที่ 2.8 ระบบวงจรขยายสัญญาณทั่วไป	13
รูปที่ 2.9 การแพร่คลื่นของสายอากาศแบบโมโนโพล หรือยูนิโพล	14
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของกระแส – แรงดันไฟฟ้าบนไดโพลแบบ $\lambda/2$	15
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของกระแสบนสายอากาศแบบเส้นทางไฟฟ้า	16
รูปที่ 2.12 สายอากาศโมโนโพลที่ป้อนด้วยสายโคแอกเชียลและระนาบกราวด์	17
รูปที่ 3.1 Block diagram ของ RF2126	19
รูปที่ 3.2 Schematic Diagram ของ ROS1700 และ ROS 2000	20
รูปที่ 3.3 วงจรภายในของ XR2206	21
รูปที่ 3.4 IC XR2206	22
รูปที่ 3.5 Equivalent Schematic Diagram ของ XR2206	22
รูปที่ 3.6 กราฟแสดงเปรียบเทียบค่าความต้านทาน R versus Oscillation Frequency	23
รูปที่ 3.7 วงจรกำเนิดสัญญาณพินเลี้ยง หรือ สัญญาณสามเหลี่ยม	24
รูปที่ 3.9 รูปของชิป RF2126	25
รูปที่ 3.10 Evaluation Board Schematic ของ RF2126	25
รูปที่ 3.11 การแมตซ์จิ้งระหว่างสายส่งด้านแหล่งจ่ายกับ RF2126	26
รูปที่ 3.12 แมตซ์จิ้งสายส่งด้านโหลดกับ RF2126	27
รูปที่ 3.13 Matching impedance ระหว่าง Z_{in} กับ Z_S ด้านอินพุต	29
รูปที่ 3.14 Matching impedance ระหว่าง Z_{in}^* กับ Z_L ด้านเอาต์พุต	30
รูปที่ 3.15 วงจรขยายสัญญาณความถี่ 850 MHz	30
รูปที่ 3.16 Matching impedance ระหว่าง Z_{in} กับ Z_S ด้านอินพุต	31
รูปที่ 3.17 Matching impedance ระหว่าง Z_{in}^* กับ Z_L ด้านเอาต์พุต	32
รูปที่ 3.18 วงจรขยายสัญญาณความถี่ 1850 MHz	32

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 3.19 แสดงกราฟที่ได้จากการวัด S11 SWR ของ 2 dBi Indoor Omni Antenna SMA(Male) Type	34
รูปที่ 3.20 แสดงรายละเอียดของ 2 dBi Indoor Omni Antenna SMA(Male) Type	34
รูปที่ 3.21 แสดงกราฟที่ได้จากการวัด S11 SWR ของ 2 dBi 1800MHz Indoor Omni Antenna SMA(Male) Type	35
รูปที่ 3.22 แสดงรายละเอียดของ 2 dBi 1800MHz Indoor Omni Antenna SMA(Male) Type	35
รูปที่ 3.23 แสดงวงจรของระบบระบบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือย่าน 800-900 MHz	36
รูปที่ 3.24 แสดงวงจรของระบบระบบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือย่าน 1800-1900 MHz	37
รูปที่ 4.1 SPECTRUM ANALYZER	38
รูปที่ 4.2 DC POWER SUPPLY	39
รูปที่ 4.3 OSCILLOSCOPE	39
รูปที่ 4.4 NETWORK ANALYZER	40
รูปที่ 4.5 แสดงเอาต์พุตที่ออกจากวงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย ที่ $V=14\text{ V}$	40
รูปที่ 4.6 แสดงเอาต์พุตที่ออกจากวงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย ที่ $V=4\text{ V}$	41
รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณที่ออกจากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ได้ทำการปรับปรุงให้มี ความถี่ประมาณ 680Hz โดยจ่ายแรงดัน $V_{CC}=9\text{ V}$	41
รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณเอาต์พุต วัดจาก SPECTRUM ANALYZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก ROS-2000 เมื่อ $V_{tune}=1\text{ V}$, $V_{CC}=11.2\text{ V}$	42
รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณเอาต์พุต วัดจาก SPECTRUM ANALYZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก ROS-1700W เมื่อ $V_{tune}=2\text{ V}$, $V_{CC}=11.2\text{ V}$	42
รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณเอาต์พุต วัดจาก SPECTRUM ANALYZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก ROS-1700W เมื่อ $V_{tune}=14\text{ V}$, $V_{CC}=11.2\text{ V}$	43
รูปที่ 4.12 การวัดอัตราขยายจาก SPECTRUM ANALYZER	44
รูปที่ 4.13 แสดงกราฟอัตราขยายจาก SPECTRUM ANALYZER ย่าน 850 MHz เมื่อจ่าย $V_{CC}=4\text{ V}$, $V_{PC}=2.5\text{ V}$, $I=70\text{ mA}$ ได้อัตราขยายประมาณ 12 dB	44
รูปที่ 4.14 แสดงกราฟอัตราขยายจาก SPECTRUM ANALYZER ย่าน 1850 MHz เมื่อจ่าย $V_{CC}=4.5\text{ V}$, $V_{PC}=2.5\text{ V}$, $I=40\text{ mA}$ ได้อัตราขยายประมาณ 10 dB	45

รูปที่ 4.15 แสดงกราฟที่ได้จาก NETWORK ANALZER ทำการวัด S21 ของวงจรขยายที่ย่าน 850 MHz โดย $V_{CC} = 3.5V$, $I=70$ mA, $V_{PC}=2.3$ V, Gain ≈ 13 dB	46
รูปที่ 4.16 แสดงกราฟที่ได้จาก NETWORK ANALZER ทำการวัด S21 ของวงจรขยายที่ย่าน 850 MHz โดย $V_{CC} = 4V$, $I=80$ mA, $V_{PC}=2.3$ V, Gain ≈ 12 dB	46
รูปที่ 4.17 แสดงกราฟที่ได้จาก NETWORK ANALZER ทำการวัด S21 ของวงจรขยายที่ย่าน 1850 MHz โดย $V_{CC} = 4.5V$, $I=20$ mA, $V_{PC}=2.4$ V, Gain ≈ 12 dB	46
รูปที่ 4.18 แสดงกราฟที่ได้จาก NETWORK ANALZER ทำการวัด S21 ของวงจรขยายที่ย่าน 1850 MHz โดย $V_{CC} = 5V$, $I=30$ mA, $V_{PC}=2.5$ V, Gain ≈ 14 dB	47
รูปที่ 4.19 แสดงผลการวัดแมตซ์ซิงของสายอากาศในย่านความถี่ 800 – 900MHz โดย Network Analyzer	48
รูปที่ 4.20 แสดงผลการวัด Bandwidth ของสายอากาศในย่านความถี่ 1800 – 1900MHz โดย Network Analyzer	48
รูปที่ 4.21 แสดงผลการวัด SWR ของสายอากาศในย่านความถี่ 800 – 900MHz โดย Network Analyzer	49
รูปที่ 4.22 แสดงผลการวัดแมตซ์ซิงของสายอากาศในย่านความถี่ 1800 – 1900MHz โดย Network Analyzer	49
รูปที่ 4.23 แสดงผลการวัดค่า Bandwidth ของสายอากาศในย่านความถี่ 1800 – 1900MHz โดย Network Analyzer	49
รูปที่ 4.24 แสดงผลการวัด SWR ของสายอากาศในย่านความถี่ 1800 – 1900MHz โดย Network Analyzer	50
รูปที่ 4.25 แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณพินเลี้ยง	53
รูปที่ 4.26 แสดงวงจรขยายสัญญาณที่ย่านความถี่ 850 MHz	53
รูปที่ 4.27 แสดงวงจรขยายสัญญาณที่ย่านความถี่ 1850 MHz	54
รูปที่ 4.28 สายอากาศย่านความถี่ 800 – 900 MHz และ 1800 - 1900 MHz	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 4.29 แสดงระบบโดยรวมทั้งหมดที่มีอัตราขยาย ย่านความถี่ 850 MHz และ 1850MHz	55
รูปที่ 4.30 แสดงผลหน้าจอโทรศัพท์มือถือระบบ one-to-call ซึ่งใช้ความถี่ในย่าน 800-900 MHz ขณะไม่มีการรับกวนสัญญาณ	55
รูปที่ 4.31 แสดงผลหน้าจอโทรศัพท์มือถือระบบ one-to-call ซึ่ง ใช้ความถี่ในย่าน 800-900 MHz เมื่อมีการรับกวนสัญญาณ จากระบบรับกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	56
รูปที่ 4.32 แสดงผลหน้าจอโทรศัพท์มือถือระบบ one-to-call ซึ่งใช้ความถี่ในย่าน 800-900 MHz เมื่อมีการรับกวนสัญญาณ จากระบบรับกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	56
รูปที่ 4.33 แสดงผลหน้าจอโทรศัพท์มือถือระบบ True Move ซึ่งใช้ความถี่ในย่าน 1800-1900 MHz เมื่อมีการรับกวนสัญญาณ จากระบบรับกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	57
รูปที่ 4.34 แสดงผลหน้าจอโทรศัพท์มือถือระบบ True Move ซึ่งใช้ความถี่ในย่าน 1800-1900 MHz เมื่อมีการรับกวนสัญญาณ จากระบบรับกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	57

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมา

ในปัจจุบันอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ถูกลำไยใช้อย่างแพร่หลาย และมีจำนวนผู้ใช้เพิ่มมากขึ้น เมื่อไม่นานมานี้โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ออกใช้เป็นอุปกรณ์ในการจดจนวนระเบิด ในภาคใต้ของประเทศไทย ทำให้ประชาชนและทหารเสียชีวิตจากการระเบิดเป็นจำนวนมาก และเนื่องจากอุปกรณ์ในการป้องกันการจดจนวนระเบิดจากโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นมีราคาค่อนข้างสูง ทำให้ไม่สามารถที่จะหาจัดอุปกรณ์ดังกล่าวให้กับผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ได้อย่างทั่วถึง

โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและการสร้างอุปกรณ์สำหรับใช้ในการรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เข้ามาอยู่ในรัศมีทำการ ไม่สามารถใช้งานทั้งรับและส่งได้ ซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถใช้ได้ในทางทหารและสถานที่ที่คงคใช้โทรศัพท์หรือเครื่องมือสื่อสารทุกประเภทที่ใช้ความถี่ในย่านที่กล่าวมาข้างต้น อย่างเช่น โรงภาพยนตร์ โรงพยาบาล โบสถ์ หรือสถานที่ราชการที่เสี่ยงต่อการเป็นเป้าโจมตีของผู้ที่ต้องการก่อความไม่สงบ ฯลฯ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ และผลกระทบที่จะเกิดขึ้นหากมีการนำมาใช้จริง เพื่อประโยชน์ในการศึกษาและนำไปประยุกต์ใช้ในย่านความถี่อื่นๆต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและออกแบบอุปกรณ์รบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่
2. เพื่อศึกษาถึงขอบเขตการทำงานของระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์รบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่
4. เพื่อพัฒนาทักษะทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
5. สามารถนำไปใช้ในกิจการงานทางทหารและพลเรือน เกี่ยวข้องกับความไม่สงบภายในบ้านเมืองที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

ขอบข่ายของงาน

1. ศึกษาลักษณะการทำงานและขอบเขตการทำงานของระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่

2. ออกแบบวงจรรับคลื่นสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในย่านความถี่ 800-900 MHz และ 1800-1900 MHz
3. ทำการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานในเบื้องต้นของระบบรับคลื่นสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษา ค้นคว้า หาข้อมูล
2. เขียนโครงการและเสนอโครงการกับอาจารย์ที่ปรึกษา
3. จัดซื้ออุปกรณ์ที่ต้องใช้ในโครงการ
4. วางแผนการทำงานและแบ่งงานให้กับผู้รับผิดชอบ
5. ออกแบบชุดให้กำเนิดสัญญาณ
6. ออกแบบชุดขยายสัญญาณ
7. สร้างอุปกรณ์ต้นแบบทั้งหมดและทำการทดสอบ เพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์
8. สรุปผลการทดลองและจัดทำรายงาน
9. สรุปและประเมินผล

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการประกอบวิชาชีพ
2. สามารถนำความรู้ทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้
3. ฝึกการทำงานร่วมกันเป็นทีม
4. ผลงานที่ได้ สามารถสร้างประโยชน์ต่อส่วนรวมต่อไปได้

บทที่ 2

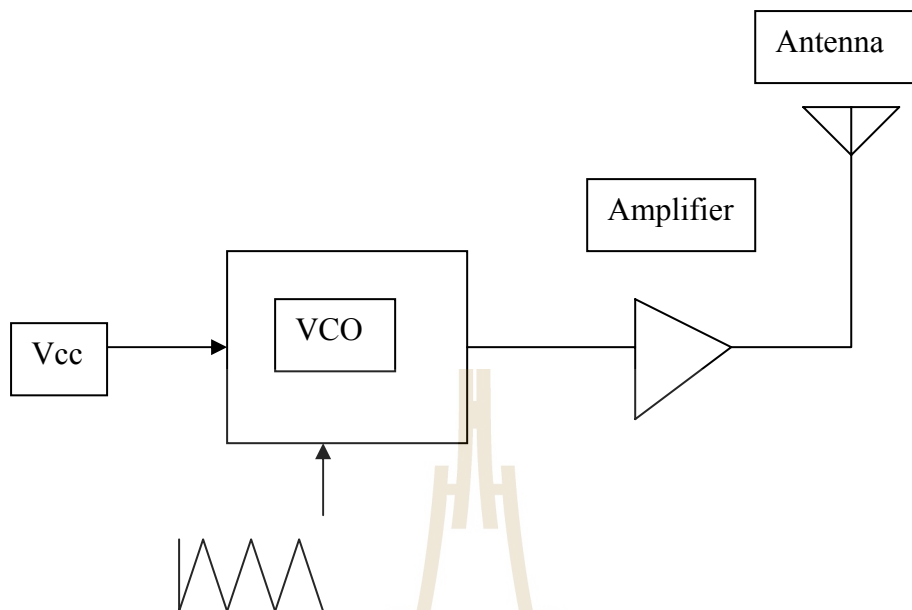
ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

หลักการของการรบกวนคลื่น

โทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำงานโดยอาศัยการติดต่อกับเครือข่ายที่ให้บริการผ่านคลื่นที่ส่งออกมาเสา สัญญาณของสถานีย่อย ซึ่งสถานีย่อยเหล่านี้จะแบ่งพื้นที่ในเมืองออกเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก ๆ ในขณะที่ผู้ใช้บริการกำลังขับรถอยู่ในเมือง สัญญาณโทรศัพท์ก็จะถูกส่งต่อจากสถานีหนึ่งไปอีกสถานีหนึ่ง ส่วนอุปกรณ์ส่งคลื่นรบกวน จะทำงานโดยการส่งคลื่นที่มีความถี่เดียวกับความถี่ที่โทรศัพท์ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับเสาสัญญาณ วิธีการนี้เรียกว่า การรบกวนแบบปฏิเสธการให้บริการ (denial – of – service attack) โดยสัญญาณที่อุปกรณ์นี้ส่งออกมาจะไปรบกวนสเปกตรัมของคลื่นวิทยุที่ผู้ใช้บริการส่งออกมาผ่านเสาสัญญาณ ทำให้เสมือนโทรศัพท์จะไม่รับรู้ว่ามีบริเวณนี้อยู่ในเขตให้บริการ เมื่อภายในบริเวณที่สัญญาณของอุปกรณ์นี้สามารถส่งไปถึง อุปกรณ์ส่งคลื่นรบกวนนั้น จะถูกออกแบบมาเพื่อให้สร้างความถี่ที่ตรงกับความถี่ที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้ และมีกำลังส่งมากพอที่จะทำให้สัญญาณทั้งสองหักล้างกันไปจนหมด ซึ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะทำการเพิ่มกำลังส่งให้มากขึ้นในกรณีที่มันมีสัญญาณรบกวนระดับต่ำ ๆ จากภายนอก ดังนั้นอุปกรณ์นี้จะต้องตอบสนองต่อกำลังส่งที่เพิ่มขึ้นของโทรศัพท์นี้ได้เป็นอย่างดี อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนน้อย จะสามารถปิดกั้นได้เพียงกลุ่มความถี่เดียวเท่านั้น (ทั้งความถี่ที่ใช้พูดและความถี่ที่ใช้ฟังเพียงคู่เดียว) เมื่ออุปกรณ์มีความซับซ้อนมากขึ้นจะสามารถปิดกั้นได้หลาย ๆ กลุ่มเครือข่าย ในกรณีที่โทรศัพท์เป็นแบบ Dual Band หรือ Tri Band จะสลับเปลี่ยนไปมาระหว่างเครือข่ายสัญญาณเปิดได้โดยอัตโนมัติ ในขณะที่อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนสูงมากจะสามารถปิดกั้นทุกความถี่ได้ในเวลาเดียวกัน การจะปิดกั้นการทำงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ เราจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถกระจายคลื่นที่มีความถี่ถูกต้อง แม้ว่าการให้บริการของผู้ให้บริการรายต่าง 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

รูปที่ 2.1 Block diagram ของระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ



จาก Block diagram ของระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ (Mobile Jammer) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลักอยู่ 4 ส่วนคือ วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย(Saw tooth Generator) วงจรควบคุมแรงดัน(Voltage Control Oscillator : VCO) วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) สายอากาศ (Antenna)

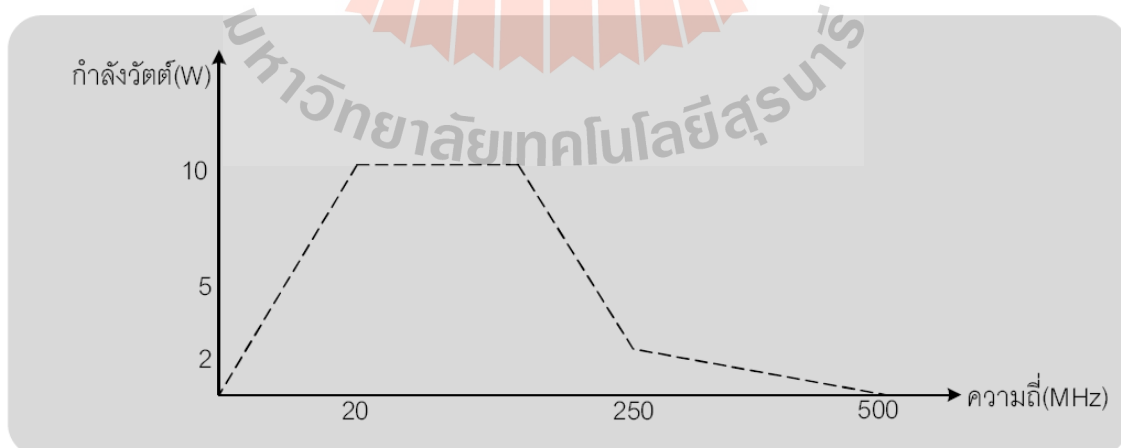
โดยจะมีการป้อนสัญญาณรูปฟันเลื่อย(Sawtooth) ส่งเข้าสู่วงจรควบคุมแรงดัน (VCO : Voltage Control Oscillator) เพื่อทำการรักษาระดับแรงดันให้คงที่ แต่ความถี่จะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณอินพุต ซึ่งพื้นฐานของสัญญาณฟันเลื่อยจะประกอบด้วยฮาร์โมนิกคู่และคี่ หากเราวัดกับสเปกตรัมอะนาไลเซอร์จะพบว่าการป้อนสัญญาณฟันเลื่อยให้กับวงจรควบคุมแรงดัน(VCO) จะปรากฏสัญญาณสแกนทั้งฮาร์โมนิกคู่และคี่ ทำให้การรบกวนสัญญาณสามารถสแกนความถี่ครอบคลุมหลายย่านความถี่ สัญญาณที่ออกจากวงจรควบคุมแรงดัน (VCO) จะถูกนำไปขยายให้มีกำลังมากขึ้นด้วยวงจรขยายสัญญาณ(Amplifier) ก่อนส่งออกทางสายอากาศต่อไป

2.2 รูปแบบของเครื่องรบกวนสัญญาณและตรวจจับสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

รูปแบบของเครื่องรบกวนโทรศัพท์มือถือและตรวจจับสัญญาณมือถือแบ่งตามหลักการทำงานของเครื่องและขอบเขตในการใช้งานแบ่งเป็น 5 แบบดังนี้

2.2.1 แบบ Type A : เครื่องแจมเมอร์ (Jammer) ใช้หลักการส่งสัญญาณนอยส์(Noise) หรือ สัญญาณรบกวนไปกับคลื่นที่ต้องการรบกวน เช่น หากต้องการรบกวนโทรศัพท์ที่ความถี่ 800-900 เมกะเฮิรตซ์ เครื่องแจมเมอร์จะสร้างสัญญาณนอยส์ผสมกับความถี่ 800-900 เมกะเฮิรตซ์เครื่องรับโทรศัพท์ก็จะได้รับความถี่จากเครื่องแจมเมอร์ ซึ่งมีกำลังวัตต์สูงกว่าเมื่อเทียบกับสถานี (Base station) ซึ่งมีระยะไกลกว่าและความถี่ดังกล่าวจะมีสัญญาณนอยส์แจมมาด้วยทำให้การสื่อสารของเครื่องโทรศัพท์ที่ไม่สามารถสื่อสารกับเครือข่ายได้

การทำงานของวงจรแจมเมอร์สัญญาณโทรศัพท์มือถือ หลักการทำงานของเครื่องแจมเมอร์ เริ่มจากการผลิตความถี่รูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) แล้วส่งสัญญาณไปปรับรูปให้เป็นรูปฟันเลื่อย (Sawtooth) ด้วยวงจรอินทิเกรตเตอร์จากนั้นก็ส่งไปขยายสัญญาณด้วยวงจรบัฟเฟอร์(Buffer) ในขณะเดียวกันวงจรสร้างสัญญาณนอยส์(Noise Generator)จะผลิตสัญญาณรบกวนเพื่อผสมกับสัญญาณฟันเลื่อยที่วงจรมิกเซอร์(Mixer) สัญญาณที่ได้จากการผสมจะส่งเข้าสู่วงจรโวลเตจคอนโทรลลออสซิลเลเตอร์ (VCO : Voltage Control Oscillator)เพื่อทำการรักษาระดับแรงดันให้คงที่ แต่ความถี่จะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณอินพุต ซึ่งพื้นฐานของสัญญาณฟันเลื่อยจะประกอบด้วยฮาร์โมนิกคู่และคี่ หากเราวัดกับสเปกตรัมอะนาไลเซอร์จะพบว่าการป้อนสัญญาณฟันเลื่อยให้กับวงจรวีซีโอ (VCO) จะปรากฏสัญญาณสแกนทั้งฮาร์โมนิกคู่และคี่ ทำให้การรบกวนสัญญาณสามารถสแกนความถี่ครอบคลุมหลายย่านความถี่ สัญญาณที่ออกจากวงจรวีซีโอ(VCO) จะถูกนำไปขยายให้มีกำลังมากขึ้นด้วยวงจรอาร์เอฟแอมพลิไฟเออร์ก่อนส่งออกทางสายอากาศในส่วนของกำลังส่งของเครื่องแจมเมอร์ประมาณ 2-10 วัตต์ ซึ่งกำลังวัตต์จะลดต่ำลงเมื่อความถี่ที่ส่งสูงขึ้น รูปที่ 2.2 แสดงกราฟกำลังส่งของเครื่องแจมเมอร์ ณ ความถี่ที่ส่งเปลี่ยนแปลงไปส่วนอากาศของเครื่องอาจจะมีมากกว่า 1 ดัน ขึ้นอยู่กับว่าเครื่องแจมเมอร์มีคุณสมบัติรบกวนสัญญาณได้กี่ย่านความถี่



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงค่ากำลังวัตต์ของเครื่องแจมเมอร์

2.2.2 แบบ Type B : เครื่องอินเทลลิเจนท์ เซลลูลาร์ (Intelligent Cellular Disablers) จะมีลักษณะการทำงานแตกต่างกับเครื่องแจมเมอร์อย่างสิ้นเชิง เพราะการทำงานของเครื่องจะใช้หลักการดีเทกเตอร์สัญญาณร่วมกับสถานี (Base station) ในขณะมีการสื่อสาร จากนั้นก็จะทำการส่งสัญญาณไปขัดขวางกับความถี่ของเครื่องรับโทรศัพท์ที่ตรวจจับได้ หลังจากนั้นเครื่องรบกวนอินเทลลิเจนท์เซลลูลาร์จะทำการถอดหมายเลขโทรศัพท์ที่เข้าตำแหน่ง และตรวจเช็คระยะทางของเครื่องรับของเครื่องโทรศัพท์ไปพร้อมๆกัน ใช้ระยะการทำงานทั้งหมดให้การตรวจเช็คประมาณ 2 นาที

2.2.3 แบบ Type C : เครื่องเช็คสัญญาณโทรศัพท์แบบสัญญาณเตือน (Intelligent beacon disabler) พื้นที่การทำงานของเครื่องจะคล้ายกับเครื่องรับโทรศัพท์มือถือ โดยที่ไม่มีภาคส่งระบบจะไม่มี การส่งสัญญาณไปก่อกวนการสื่อสารของโทรศัพท์ใด ๆ ทั้งสิ้น หากแต่ตัวเครื่องจะเพิ่มเติมระบบไฟเตือน เพื่อเป็นการเตือนทุกครั้งเมื่อบริเวณพื้นที่ดังกล่าว มีการใช้งานโทรศัพท์มือถือ จะนิยมใช้งานในห้องเรียนหรือห้องประชุม

2.2.4 แบบ Type D : เครื่องรับสัญญาณและเครื่องแจมเมอร์ (Direct Receive & Transmit Jammers) รายละเอียดของเครื่องก็จะประกอบด้วยกัน 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ภาครับที่สามารถพกพาไปได้ ซึ่งนำเอาคุณสมบัติเครื่องแบบ Type C มาใช้งาน ในส่วนของภาคส่งก็จะเป็นลักษณะของเครื่องแจมเมอร์ขนาดเล็ก ที่มีอำนาจในการบล็อกสัญญาณในระยะใกล้ การบล็อกสัญญาณจะใช้วิธีการสร้างสัญญาณแจมเมอร์ ให้มีกำลังต่ำแต่เพียงพอที่จะกระจายคลื่นความถี่ให้รบกวนสื่อสารในบริเวณใกล้เคียงนอกเหนือจากนั้นแล้ว ตัวเครื่องยังสามารถโทรแจ้งไปยังหมายเลขฉุกเฉินเช่น 191 ในกรณีที่พื้นที่ดังกล่าวมีการใช้งานโทรศัพท์ที่มีหมายเลขแปลกปลอม

2.2.5 แบบ Type E : เครื่องรบกวนสัญญาณแบบสนามแม่เหล็กหรือแบบ (Electro Magnetic Interference Shield -Passive Jamming) เป็นเทคนิคการรบกวนสัญญาณ โดยใช้ทฤษฎีของสนามแม่เหล็กไปก่อกวนคลื่นสนามแม่เหล็กของการสื่อสารระบบสถานีใกล้เคียงกับตัวเครื่องโทรศัพท์ เป็นรูปแบบการรบกวนสัญญาณที่ไม่มีการทำงานยุ่งยาก แต่มีวิธีการรบกวนโทรศัพท์มือถือไม่สูงมากนัก จึงเป็นที่นิยมใช้งานในใช้ห้องประชุมหรือโรงภาพยนตร์ เป็นต้น

2.3 องค์ประกอบของวงจรรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

2.3.1 แหล่งพลังงาน (Power Supply)

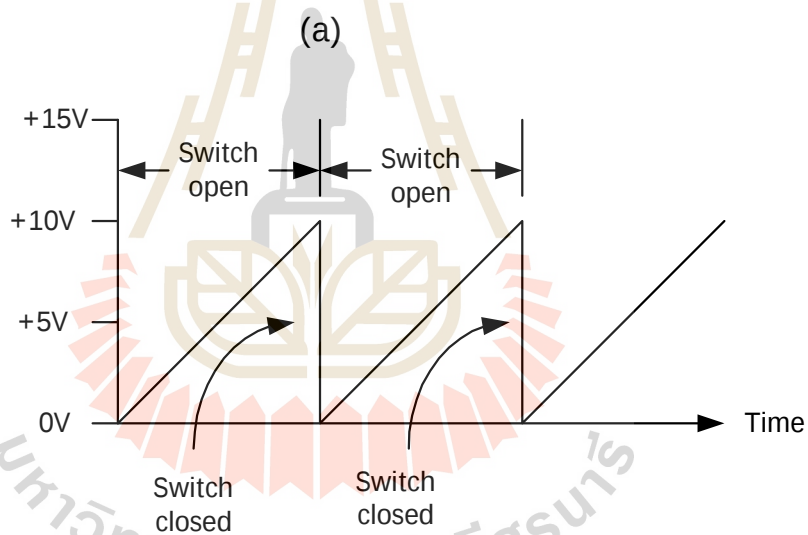
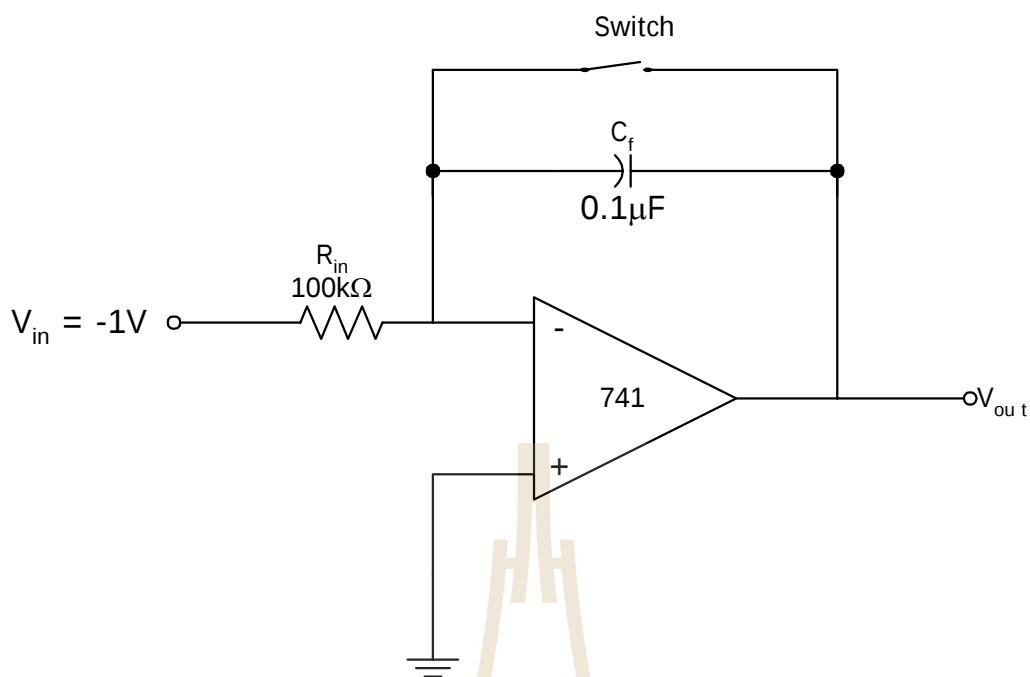
อุปกรณ์รบกวนขนาดเล็กสามารถทำงานได้โดยใช้แบตเตอรี่ มีอุปกรณ์บางชนิดที่มีลักษณะคล้ายกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็สามารถนำแบตเตอรี่ของโทรศัพท์บางรุ่นมาประยุกต์ใช้ได้ ส่วนอุปกรณ์ที่มีกำลังส่งสูงและมีขนาดใหญ่ นิยมต่อเข้ากับเต้ารับทั่วไปหรือต่อสายเข้ากับรถกำเนิดไฟฟ้าอื่น ๆ ตามความเหมาะสม ในระบบนี้นั้นมีการใช้แหล่งพลังงานจากพาวเวอร์ซัพพลายที่สามารถควบคุมกระแส

ได้ เพื่อให้สามารถควบคุมการใช้งานของอุปกรณ์บางอย่างเช่น วงจรขยายแรงดันสูงได้อย่างเหมาะสม และป้องกันการรบกวนของวงจร

2.3.2 วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย(Saw tooth Generator)

วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยหรือที่เรียกว่าวงจรกำเนิดแรงดัน “เรมพ์” (Ramp-voltage generator) ในรูป 2.3a ก็คือวงจรอินทิเกรเตอร์นั่นเอง จะเห็นว่าเมื่อป้อนแรงดันขนาด -1 โวลต์ให้กับขั้วอินพุตลบ ตัวเก็บประจุ $C1$ ก็จะถูกชาร์จแบบเส้นตรง (อัตราการเพิ่มของแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าคงที่) ในทิศทางบวกเพิ่มขึ้นสู่ $+V_{sat}$ แต่ถ้าเราสับสวิตช์ลงก่อนที่แรงดันคร่อม $C1$ จะมีค่าเท่ากับ $+V_{sat}$ แรงดันที่ถูกชาร์จไว้ก็จะคายประจุออกจนหมดอย่างรวดเร็ว และเมื่อยกสวิตช์ขึ้นตัวเก็บประจุก็จะค่อย ๆ ชาร์จขึ้นอีก ดังรูปที่ 2.3b





(b)

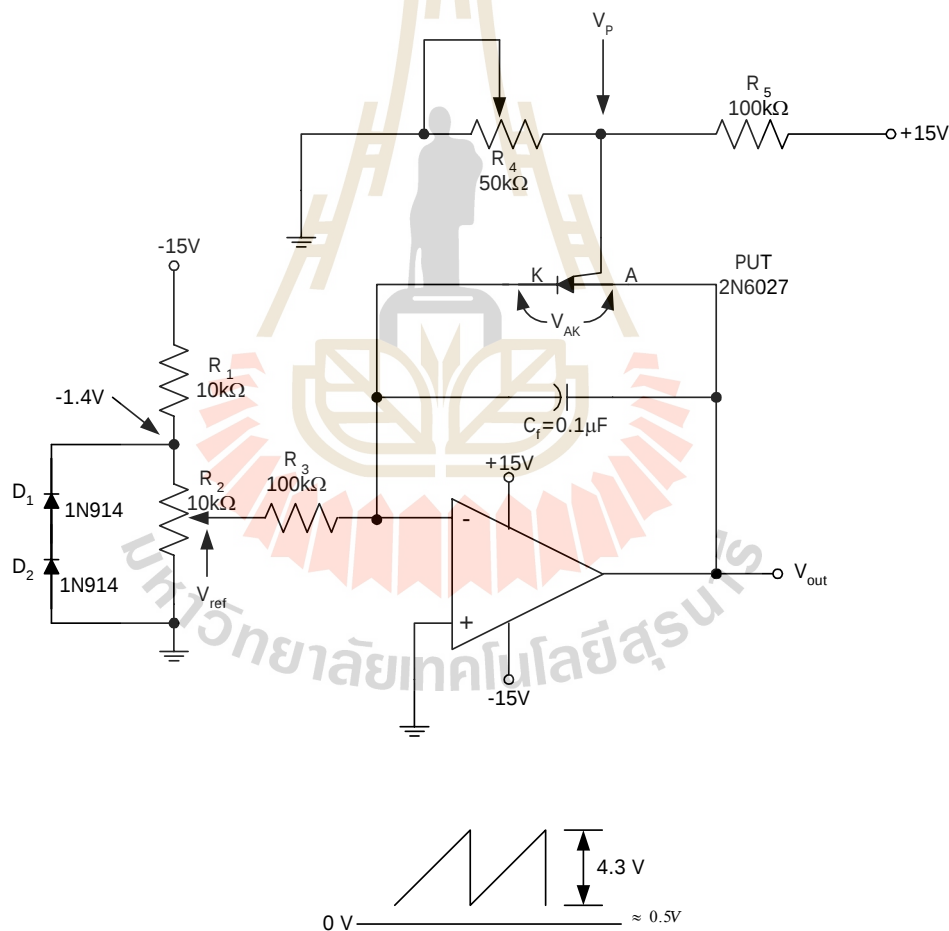
รูปที่ 2.3

เราสามารถคำนวณแรงดันที่เอาต์พุตได้จากสมการ

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{1}{R_{in} \cdot C_f} \right) t$$

โดย t คือเวลาที่สวิตช์ถูกยกขึ้นในหน่วยวินาทีและมี V_{in} , R_{in} , C_f เป็นตัวกำหนดความชันของสัญญาณแรมป์

แต่ในการใช้งานจริงนั้น เรามักไม่นิยมใช้การสับสวิตช์ดังกล่าว เพราะนอกจากจะมีความผิดพลาดสูงแล้วความถี่สูงสุดที่ทำได้ก็มีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์มาใช้ รูปที่ 2.4 แสดงวงจรที่นำทรานซิสเตอร์ชนิดรอยต่อเดียว (programmable unijunction transistor : PUT) มาใช้เป็นสวิตช์ หลักการทำงานของอุปกรณ์ชนิดนี้คล้ายกับ SCR มาก ต่างกันตรงที่ PUT จะถูกทริกด้วยสัญญาณพัลส์ซิกลอปที่ขาเกต จากวงจรนี้จะสามารถวิเคราะห์หลักการทำงานได้ดังนี้ เมื่อกำหนดแรงดันอ้างอิง V_p ให้ขาเกตของ PUT (โดยการปรับตัวต้านทาน R_4 และ R_5) ทันทีที่แรงดันคร่อมขั้ว อาโนด A กับคาโทด K หรือ VAK มีศักดาเป็นบวกสูงกว่า V_p PUT จะทำงาน (เสมือนลัดวงจร) และกระแสที่ไหลผ่าน PUT จะยังคงไหลต่อไปถึงแม้ VAK อาจลดลงต่ำกว่า V_p แล้วก็ตาม จนกระทั่งกระแสดังกล่าวลดลงต่ำกว่าค่า ๆ หนึ่ง (ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของตัว PUT) เมื่อนั้น PUT จะเสมือนวงจรเปิดหรือสวิตช์ที่ถูกยกขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 2.4

ค่าของอุปกรณ์ในรูปที่ 2.4 แสดงในลักษณะที่เราจะสามารถปรับความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตได้ โดยที่ R_1 และ R_2 ทำหน้าที่แบ่งแรงดัน -15 โวลต์ เพื่อสร้างแรงดัน V_{ref} ไดโอด D_1, D_2

ช่วยบังคับให้แรงดันคร่อม R_2 มีค่าคงที่ในขณะที่ปรับตัวต้านทานตัวนี้เพื่อเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต ส่วนแอมพลิจูด หรือขนาดของสัญญาณออกจะถูกกำหนดด้วยตัวต้านทาน R_4 ซึ่งก็มีผลต่อความถี่เช่นกัน และจากวงจรนี้จะสามารถคำนวณความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตได้จากสมการ

$$f_{\text{out}} = \frac{V_{\text{ref}}}{R_3 C_f} \left(\frac{1}{V_P - 0.5V} \right)$$

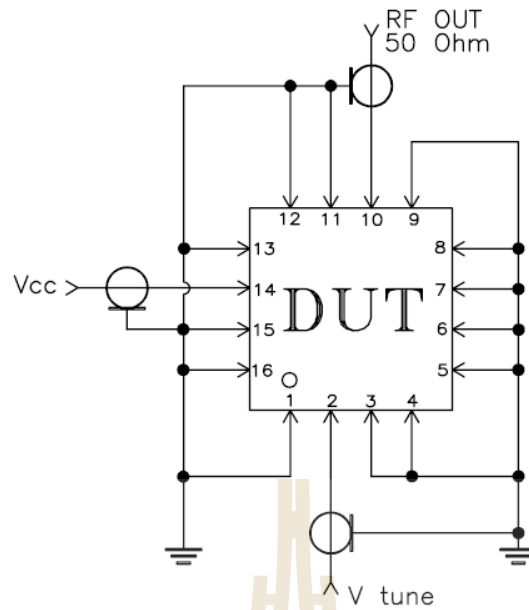
ตัวอย่างเช่น สำหรับ $V_{\text{ref}} = -1$ โวลต์ และ $V_P = 4$ โวลต์ จะได้

$$\begin{aligned} f_{\text{out}} &= \frac{1}{(100k)(0.1\mu)} \left(\frac{1}{4 - 0.5V} \right) \\ &= \frac{1}{0.01} \left(\frac{1}{3.5} \right) \\ &= 29 \text{ Hz} \end{aligned}$$

โดยมีแอมพลิจูดของเอาต์พุตประมาณ $(V_P + 0.3)$ โวลต์ จากการวิเคราะห์วงจรจะพบว่าแรงดันมีผลทำให้ความถี่เปลี่ยนไป จึงนิยมเรียกวจรดังกล่าวว่าวงจรออสซิลเลเตอร์ซึ่งถูกควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Controller Oscillator)

2.3.3 วงจรควบคุมแรงดัน (VCO)

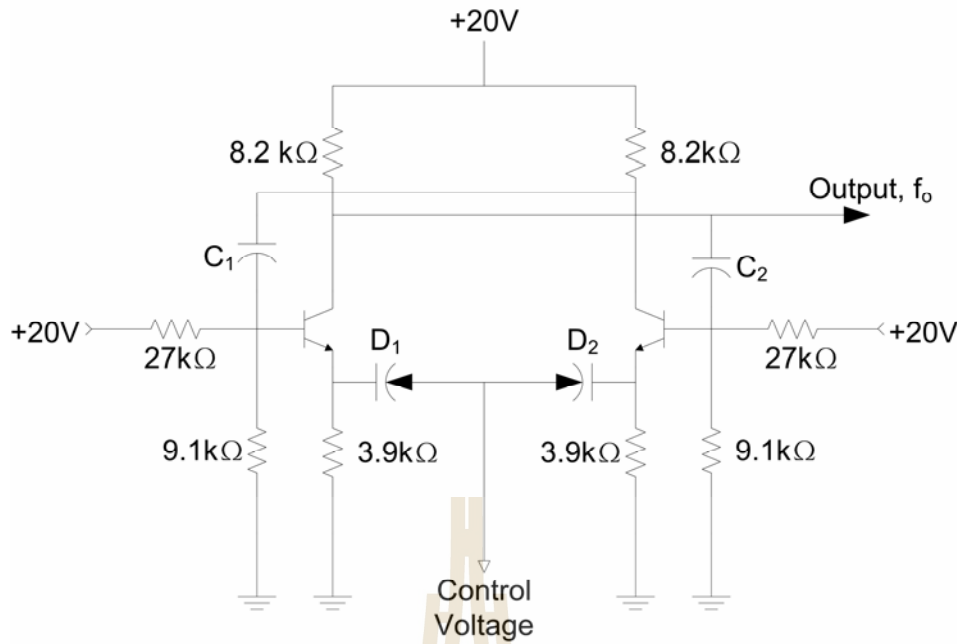
VCO มีหน้าที่สำหรับกำเนิดสัญญาณ RF ซึ่งจะมีกำลังมากพอสำหรับสัญญาณดาวนัลลิงค์ของโทรศัพท์มือถือ การเลือก VCO มีปัจจัยหลักอยู่ 2 ประการคือ ความถี่ของระบบโทรศัพท์มือถือที่จะทำการรบกวน และการใช้ชิป สำหรับปัจจัยแรกซึ่งหมายความว่า VCO ควรจะคุมความถี่จาก 800 MHz ถึง 900 MHz และ 1800MHz ถึง 1900MHz โดยพบว่า ROH-1700 และ ROS-2000 เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ซึ่งรูปที่ 2.5 ได้แสดงตัวอย่างวงจรของ ROS-1700



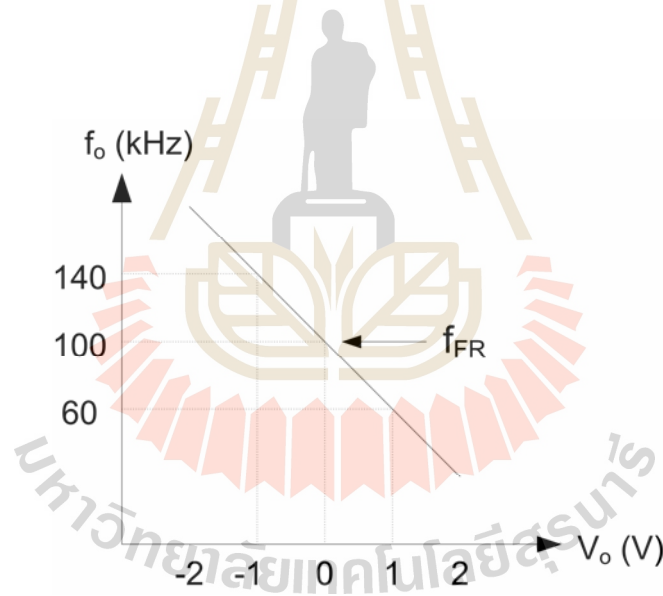
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างวงจรของ VCO

วงจรควบคุมแรงดัน (Voltage-controlled oscillator) ได้นำมาใช้เป็นวงจรมอดูเลตเชิงความถี่ โดยจะมีวงจรต่าง ๆ มากมายที่ใช้ในการควบคุมความถี่ของวงจร แต่วิธีที่ง่ายคือการใช้ตัวเก็บประจุที่แปรค่าตามแรงดัน หรือไดโอดวาร์เรกเตอร์ในวงจรมัลติไวเบเตอร์ เมื่อแรงดันไบอัสของไดโอดวาร์เรกเตอร์เปลี่ยนจะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของวงจรแกว่งตามแรงดันไบอัสที่เปลี่ยนนั่นเอง ความถี่ทำงานเสรีของวงจรมัลติไวเบเตอร์ดังในรูปที่ 2.6 จะถูกควบคุมโดยค่ารีแอคแตนซ์ของ D_1 และ D_2 และค่าแรงดันควบคุมต้องมีค่าไม่เกิน $V_E + 0.5 \text{ V} + v_c$ โดย v_c เป็นค่ายอดทางบวกสูงสุดของสัญญาณวงจรแกว่งที่ตกคร่อม R_E และ 0.5 V เป็นค่าแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดซิลิกอนเมื่อมีการไบอัสไปหน้า คุณลักษณะของสัญญาณขาเข้ากับสัญญาณขาออก สำหรับ VCO จะแสดงได้ดังในรูปที่ 2.7 VCO ควรจะทำงานแบบเชิงเส้นระหว่าง 60 และ 140 kHz อัตราขยายของ VCO หาได้จาก

$$k_o = \frac{\Delta f_o}{\Delta V_o} = \frac{(60-140) \text{ kHz}}{(1-(-1)) \text{ V}} = -40 \text{ kHz/V}$$



รูปที่ 2.6 วงจรแกว่งควบคุมโดยใช้ไดโอดวาร์กเตอร์ในวงจรมัลติไวเบเตอร์



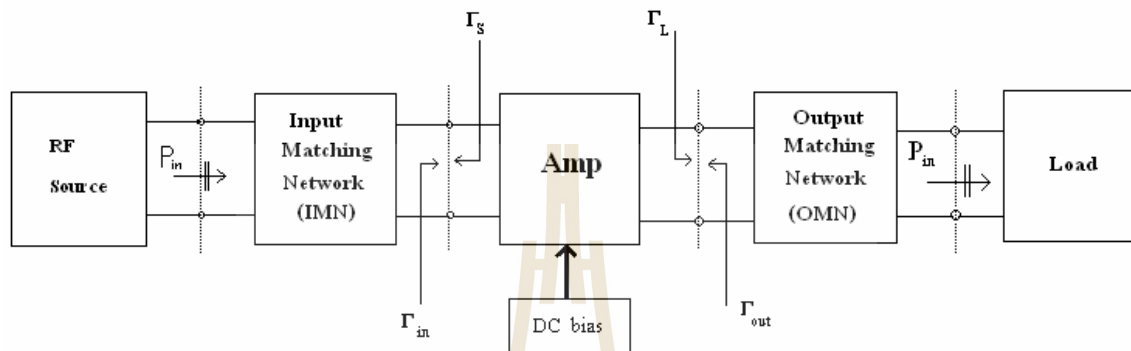
รูปที่ 2.7 กราฟคุณลักษณะของสัญญาณขาเข้ากับสัญญาณขาออกสำหรับ VCO

2.3.4 วงจรขยายสัญญาณความถี่สูง

วงจรขยายสัญญาณความถี่สูง ซึ่งเป็นองค์ประกอบในส่วนที่ 3 ของวงจรรับกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ โดยวงจรขยายสัญญาณความถี่สูงจะทำหน้าที่นำเอาสัญญาณความถี่ที่เลือกรับเข้ามา มาทำการขยายสัญญาณให้มีกำลังแรงมากขึ้นเพียงพอกับสัญญาณที่ต้องการในย่านความถี่สูง เมื่อปรับออสซิลเลเตอร์ เราจะได้แรงดันที่ต้องการสำหรับความถี่ 1.85 GHz และ 850 MHz ที่ออกแบบขึ้น สิ่งสำคัญในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณคือ เสถียรภาพ อัตราการขยายกำลัง แบนด์วิดท์ และ

สัญญาณรบกวน ในการออกแบบนั้นจำเป็นต้องเลือกคุณสมบัติและชนิดของทรานซิสเตอร์ให้เหมาะสม รวมทั้งการออกแบบโครงข่ายแมตซ์ซึ่งทางด้านอินพุตและเอาต์พุต เพื่อให้ได้สัญญาณความถี่สูงที่มีเสถียรภาพ

ในระบบวงจรขยายสัญญาณทั่วไป จะประกอบด้วยวงจรโครงข่ายที่ทำหน้าที่เป็นแมตซ์ซึ่งอินพุตและเอาต์พุต ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ระบบวงจรขยายสัญญาณทั่วไป

วงจรโครงข่ายแมตซ์ซึ่งด้านอินพุตและเอาต์พุต ในรูปที่ 2.8 วงจรขยายสัญญาณจะถูกกำหนดคุณสมบัติด้วยเมตริก S โดยเฉพาะที่จุดการป้อนไบอัสด้วยดีซี ในรูปคุณสมบัติการประสิทธิภาพนั้นจะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ที่สำคัญดังนี้

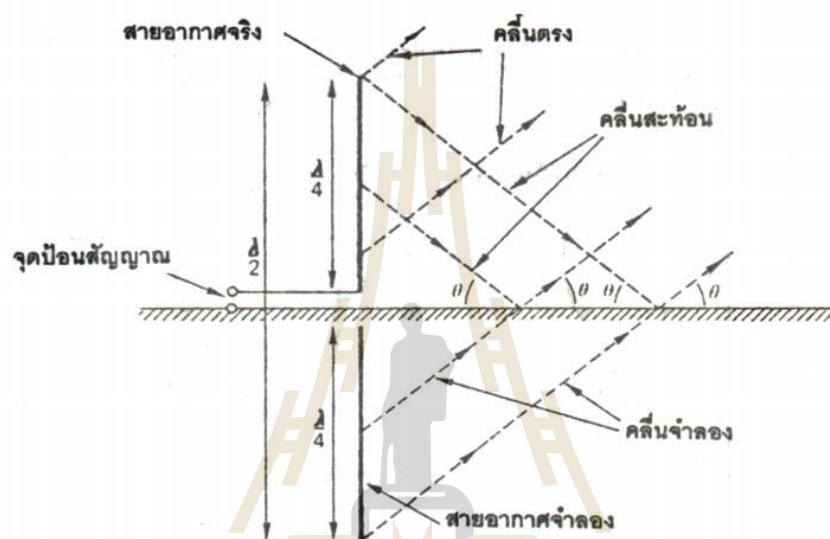
1. อัตราการขยายและความเรียบของอัตราการขยาย (dB)
2. ความถี่ที่ใช้งานและแบนวิดท์ (Hz)
3. กำลังงานด้านออก
4. ความต้องการกำลังงานแหล่งจ่าย (V และ A)
5. สัมประสิทธิ์การสะท้อน ด้านเข้าด้านออก(VSWR)
6. ตัวเลขของสัญญาณรบกวน(dB)

นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องพิจารณาค่าพารามิเตอร์อื่นๆอีก เช่น ผลความเพี้ยนจากการมอดูเลตระหว่างกัน(Inter-Modulation Distance : IMD),ฮาโมนิก(Harmonic),ค่าการป้อนกลับ และผลกระทบจากความร้อน ซึ่งทั้งหมดนี้ต่างมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของวงจรขยายทั้งสิ้น

2.3.5 สายอากาศ (Antenna)

สายอากาศแบบ โมโนโพล (Monopole Antenna)

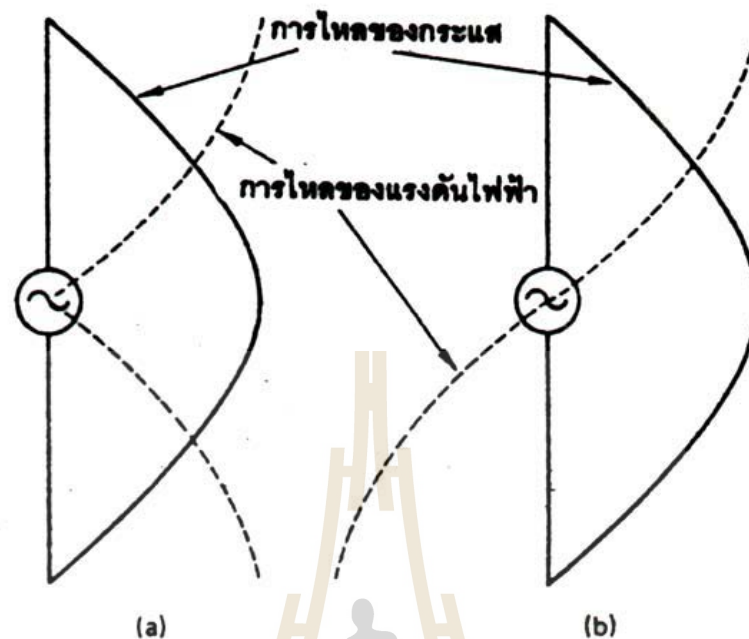
การส่งคลื่นโดยใช้สายอากาศในย่านความถี่ตั้งแต่มาก (VLF), ต่ำ (LF) และปานกลาง (MF) จะต้องให้ความสนใจในแง่ของความสูงของสายอากาศ และการติดตั้งในแนวตั้งกับพื้นโลก เนื่องจากที่ความถี่ระดับนี้ค่าความยาวคลื่นมีค่ามาก ดังนั้นจึงคิดค้นวิธีใช้สายอากาศที่มีความยาวเพียง $\lambda/4$ แทน ด้วยเหตุผลที่แสดงในรูป 2.9



รูปที่ 2.9 การแพร่คลื่นของสายอากาศแบบ โมโนโพล หรือยูนิโพล

จากรูปที่ 2.9 แสดงภาพของสายอากาศขนาด $\lambda/4$ ติดตั้งในแนวตั้งกับพื้นโลก โดยมีจุดป้อนที่บริเวณด้านล่างระหว่างสายอากาศกับพื้นดิน เราเรียกสายอากาศชนิดนี้ว่า ยูนิโพล (unipole) หรือ โมโนโพล (monopole) ซึ่งมีคุณสมบัติในการแพร่คลื่นได้ขนาดเท่ากันทุกทิศทุกทางในระนาบแนวนอน ส่วนระนาบแนวตั้งมีพลังงานบางส่วนพุ่งสู่ฟ้าและอีกบางส่วนพุ่งเข้าหาพื้นดิน ดังที่แสดงด้วยเส้นประในรูปคลื่นที่มีทิศลงจะกระทบพื้นดินและสะท้อนกลับขึ้นมาโดยมีค่ามุมตกกระทบเท่ากับค่ามุมสะท้อน (คิดจากพื้นโลกที่เรียบ) ณ จุดหนึ่งที่ห่างจากสายอากาศ พลังงานคลื่นที่รับได้เกิดจากคลื่นตรงและคลื่นที่สะท้อนกับพื้นโลก ค่าความเข้มสนามที่จุดนี้ เป็นค่ารวมของความเข้มสนาม ในคลื่นแต่ละแบบ ถ้ามีผู้สังเกตอยู่ที่จุดนี้ อาจคิดว่าคลื่นสะท้อนนั้นสามารถจินตนาการว่าแพร่จากสายอากาศส่วนที่ได้พื้นดิน(ความจริงไม่มีส่วน) จากรูปเราเห็นสายอากาศในความคิดนี้ เรียกว่า สายอากาศจำลอง (image antenna) ก็ได้ ซึ่งจะแสดงว่าสายอากาศถูกใช้งานที่ความยาว 2 เท่าของความจริงของมัน ความสูงทั้งหมด ของสายอากาศ(รวมส่วนจำลอง) มีค่า $\lambda/2$ ดังนั้นการไหลของกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะเหมือนกับสายอากาศไดโพลขนาด $\lambda/2$ ทุกประการค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศนี้ มีค่าเป็น

ความต้านทานอย่างเดียวคือ 37 โอห์ม และในรูป จะแสดงการกระจายของกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศไดโพลแบบ $\lambda/2$



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของกระแส - แรงดันไฟฟ้าบนไดโพลแบบ $\lambda/2$

(a) คิดจากค่า r.m.s

(b) คิดจากค่า peak

จากรูป 2.10 ซึ่งแสดงลักษณะของกระแสนำมาวิเคราะห์กับสายอากาศแบบ $\lambda/2$ หรือโมโนโพลได้ว่า คลื่นนิ่งหรือสแตนด์เวฟ ที่เกิดขึ้นจะมีค่ากระแสมากที่สุด ที่จุดปลายสายอากาศอาจมีผลลัพธ์ให้ค่ากระแสปริมาณมากไหลจากสายอากาศลงพื้นดิน และสูญเสียพลังงานส่วนนี้ไปการแก้ไขให้สูญเสียพลังงานส่วนนี้น้อยที่สุด เพื่อรักษาค่าประสิทธิภาพของสายอากาศให้สูงสุดเท่าที่ทำได้ มีแนวทางคือ พื้นดินต้องมีสภาพตัวนำสูง โดยการนำลวดทองแดงต่อออกจากรอบสายอากาศ เป็นระยะทางเท่ากับความสูงของเสา และฝังลงดินด้วยความลึกประมาณ $1/3$ เมตรซึ่งเส้นลวดนี้ทำหน้าที่คล้ายกราวด์ให้กับสายอากาศทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นอย่างสมบูรณ์บางกรณีการใช้สายอากาศแนวตั้งลักษณะไม่จำเป็นต้องเป็นโมโนโพลเสมอไป (มีความสูงหรือความยาวเท่ากับ $\lambda/4$) อย่างเช่นที่ค่าความถี่ต่ำมาก ค่าความยาวขนาด $\lambda/4$ จัดว่าสูงมากได้เช่น ที่ความถี่ 300 KHZ มีค่า $\lambda/2 = 500$ เมตร, ค่า $\lambda/4 = 250$ เมตร หรือความถี่ 30 KHZ มีค่า $\lambda/2 = 5,000$ เมตร, ค่า $\lambda/4 = 2,500$ เมตร เห็นได้ว่าการสร้างสายอากาศโมโนโพลในย่านความถี่ต่ำขนาดนี้ไม่คุ้มค่าเลย จึงแก้ไขโดยสร้างสายอากาศให้มีขนาดสั้นลงและไม่จำเป็นต้องมีขนาด $\lambda/4$ เสมอไป อาจจะสร้างที่ขนาด $\lambda/16$ หรือน้อยกว่านี้ เราเรียกสายอากาศแบบนี้ว่าสายอากาศอย่างสั้นทางไฟฟ้า (electrically short) ซึ่งมีการตั้งเสาในแนวตั้ง

กับโลก และมีจุดป้อนที่ฐานของสายอากาศกับพื้นดิน ส่วนการไหลของกระแสที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง (Linear) ดังแสดงในรูป 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของกระแสบนสายอากาศแบบสั้นทางไฟฟ้า

การสร้างสายอากาศที่ขนาดน้อยกว่า $\lambda/4$ จะมีผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์มีองค์ประกอบทางประจุไฟฟ้าเพิ่มเข้ามา (เกิดรีแอ็กแตนซ์)
- ลดค่าความต้านทานการแผ่คลื่นของสายอากาศ
- ลดค่ากระแสในสายอากาศ (ค่ากระแสในวงจรจวนทั่วไปมีค่าสูงสุดที่รีโซแนนซ์)

การที่จะทำให้สายอากาศกลับมามีรีโซแนนซ์ใหม่ ต้องต่อค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าอนุกรมเข้าที่จุดป้อนสัญญาณ แต่พบว่าโชคไม่ดีที่ค่าสูงสุดของกระแสที่มีขึ้นอยู่เลยความยาวสายอากาศไปด้วยเหตุนี้ทำให้กำลังส่งที่ออกมาของสายอากาศแบบสั้นทางไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าที่ประเมินไว้

ความสูงประสิทธิผล (Effective Height)

กระแสที่ไหลบนสายอากาศจะมีค่าไม่คงที่ตลอดทุกจุดของสายอากาศ แต่มีค่าเปลี่ยนแปลงในรูป 2.9 และ 2.10 ค่าความสูงหรือความยาวประสิทธิผลเป็นการคิด โดยกำหนดให้กระแสนบนสายอากาศมีขนาดคงที่ค่าหนึ่ง และให้ความเข้มสนามเท่ากันทุกจุดดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ผลคูณของค่าความสูงหรือความยาวจริงของสายอากาศ (physical length : I_{phys}) กับค่าเฉลี่ยของกระแส (I_{mean}) มีค่าเท่ากับผลคูณของความสูงหรือความยาวประสิทธิผล (I_{eff}) กับค่าคงที่ของกระแส (I)

เขียนเป็นสมการ คือ

$$I_{phys} I_{mean} = I_{eff} I$$

หรือ

$$L_{eff} = \frac{I_{eff} I_{mean}}{I}$$

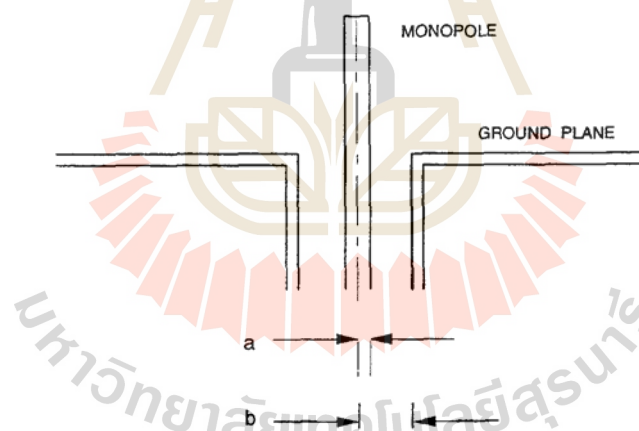
ในกรณีของสายอากาศแบบสั้นทางไฟฟ้า กระแสมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรงจากค่ามากที่สุด (I) ที่ฐานเสาไปจนมีค่าศูนย์ที่จุดยอดสุด ดังนั้นค่า $I_{mean} = I/2$

$$L_{eff} = \frac{l_{phys} I_{mean}}{I}$$

ส่วนกรณีของโมโนโพล เนื่องจากการสะท้อนของคลื่นกับพื้นดินทำให้เหมือนมีสายอากาศขนาด 2 เท่าของความยาวจริงอยู่ ดังนั้นค่า $L_{eff} = l_{phys}$ (กรณีโมโนโพล) ค่าความสูงประสิทธิผลเป็นค่าความสูงของจุดศูนย์กลางในการแพร่คลื่นของอากาศส่งเทียบกับระดับพื้นดิน

สายอากาศโมโนโพลมาตรฐาน

สายอากาศโมโนโพลมาตรฐาน ที่ใช้ในการปฏิบัติการได้แสดงไว้ รูปที่ 2.12 ซึ่งจะมีการป้อนสัญญาณโดยผ่านสายโคแอกเซียล 50Ω ผ่านช่องของแผ่นระนาบกราวด์ขนาดใหญ่เข้าไปที่หัวอินพุตของสายอากาศโมโนโพล



รูปที่ 2.12 สายอากาศโมโนโพลที่ป้อนด้วยสายโคแอกเซียลและระนาบกราวด์

แผ่นระนาบกราวด์ คือ ส่วนที่จำเป็นสำหรับการออกแบบสายอากาศโมโนโพล ในทางอุดมคตินั้นจะต้องมีขนาดเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติจะกำหนดให้มีรัศมีเท่ากับ 5λ ก็เพียงพอที่จะให้เกิดเงื่อนไขใกล้เคียงกับขนาดในอุดมคติได้ หรือจะใช้ขนาดที่ต่ำที่สุดซึ่งจะให้เงื่อนไขใกล้เคียงอุดมคติได้เช่นกัน ก็คือที่ 0.5λ ซึ่งสายอากาศโมโนโพลที่ใช้ในการปฏิบัติการ จะใช้แผ่นระนาบกราวด์ที่มีขนาดดังกล่าวนี้

สายเคเบิลที่ใช้สำหรับป้อนสัญญาณให้กับตัวสายอากาศจะเป็นสายโคแอกเซียลที่มีค่าอิมพีแดนซ์ 50Ω ซึ่งจะต้องมีการแปลงค่าอิมพีแดนซ์นี้ให้ลดลงไปอยู่ที่ 37.5Ω เพื่อให้เกิดการแมตช์กับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโมโนโพล ในกรณีนี้ค่าอิมพีแดนซ์ที่จะเปลี่ยนไปจะเป็นฟังก์ชันของเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำที่อยู่ตรงกลางกับระยะห่าง b ระหว่างตัวนำตรงกลางกับขอบของช่องวงกลมในแผ่นระนาบกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 1.4 และสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าอิมพีแดนซ์นี้ได้แสดงไว้ในสมการ (1.4)

$$Z_0 = 60 \log\left(\frac{b}{a}\right)$$

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



บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างวงจรรับคลื่นโทรศัพท์มือถือ

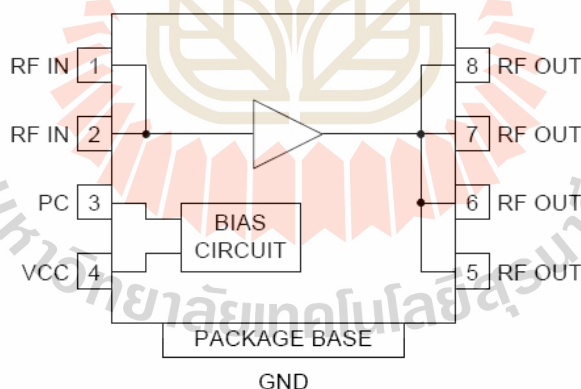
การออกแบบวงจรรับคลื่นสัญญาณโทรศัพท์มือถือมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องทำการเลือกไอซีและออกแบบให้เหมาะสม เพื่อให้การทำงานของระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด

วงจรรับคลื่นสัญญาณโทรศัพท์มือถือได้ออกแบบให้ใช้งานในย่านความถี่ 850 MHz และ 1,850 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ใช้ในโทรศัพท์มือถือในประเทศไทย โดยทำการออกแบบให้มีองค์ประกอบอยู่ 4 ส่วน ลักษณะการทำงาน

3.1 การเลือกใช้ไอซีในการออกแบบวงจรต่างๆที่ใช้ในระบบ

RF2126

เป็นไอซีขยาย ซึ่งให้กำลังสูง ประสิทธิภาพสูง อุปกรณ์นี้ออกแบบเพื่อใช้ขยายความถี่ RF สามารถส่งได้ที่ย่านระหว่าง 400 MHz ถึง 2700 MHz สร้างขึ้นเป็นแบบให้กำลังเอาต์พุตอยู่ที่ 1 วัตต์ จากรูปที่ 3.1 ขาที่ 1 และ 2 เป็นขาอินพุตที่รับสัญญาณ RF เข้ามา โดยขาที่ 4 เป็นขาที่รับไฟ DC จากแหล่งจ่าย เพื่อจ่ายแรงดันให้กับตัวไอซี ขาที่ 5,6,7,8 เป็นขาที่เอาต์พุตส่งออกไปยังสายอากาศ



รูปที่ 3.1 Block diagram ของ RF2126

ROS1700

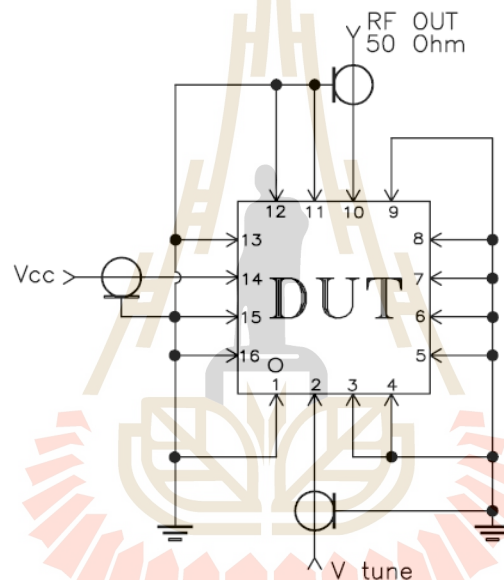
ไอซี ROS1700 เป็น VCO ที่ทำงานในย่านความถี่ ตั้งแต่ 770MHz – 1700MHz ลักษณะการทำงาน สามารถทำงานแบบ wide band เป็น low phase noise ทางด้านแรงดันที่จะจ่ายให้ไอซีตัวนี้นั้น รับได้สูงสุด +15V และ V_{tune} ที่สามารถรับได้ ± 30 V

ROS2000

ไอซี ROS 2000 เป็น VCO อีกตัวหนึ่งที่ได้เลือกมาใช้งานในระบบนี้ ซึ่งมีการทำงานในย่าน 1350 MHz – 2000MHz และมีคุณสมบัติคล้ายกับ ไอซี ROS1700 แต่อาจแตกต่างกันที่ความสามารถในการรับแรงดันจากแหล่งจ่าย ไอซี ROS 2000 รับแรงดันที่จ่ายจากแหล่งจ่าย V_{cc} ได้ + 13V และ $V_{tune} = +22V$

ซึ่งทั้ง ROS1700 และ ROS 2000 เป็นตัว VCO ที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับความถี่ IF ซึ่งถูกออกแบบมาสำหรับระบบสื่อสารไร้สาย เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นต้น และยังมี Noise ต่ำด้วย

จากรูปที่ 3.2 ขา ที่ 2 จะต่อเข้ากับ V_{tune} ที่ได้มาจากวงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย ขา 14 จะเป็น แรงดัน V_{cc} จากแหล่งจ่าย อีกขาที่เป็นเอาต์พุต คือ ขา 10 ซึ่งจะจ่ายเอาต์พุตให้กับวงจรขยายสัญญาณ



รูปที่3.2 Schematic Diagram ของ ROS1700 และ ROS 2000

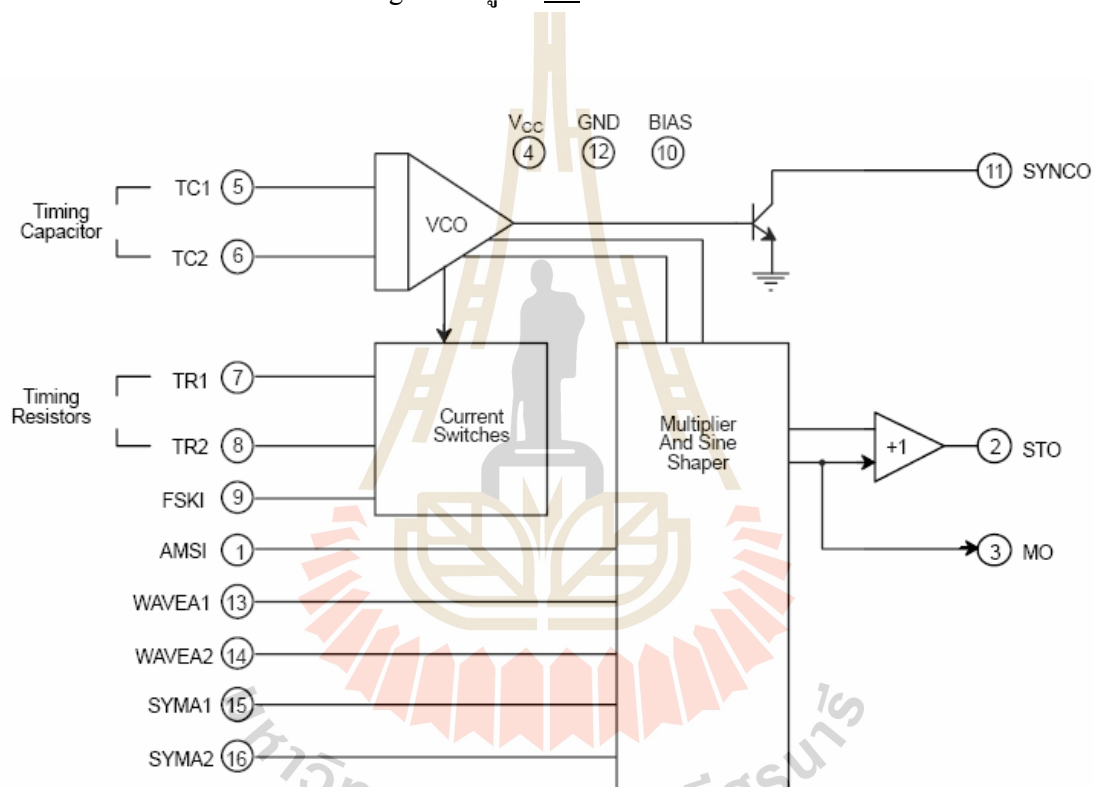
IC XR 2206

XR 2206เป็น ไอซีโมโนลิธิค สามารถสร้างสัญญาณ sine square ,triangle ramp และ pulse ที่มีคุณภาพสูง มีความเสถียร และสัญญาณที่ได้สามารถ modulate ได้ทั้ง Amplitude และ Frequency โดยมีช่วงกว้าง ความถี่ถึง 0.01Hz-1MHz เพื่อใช้งานเป็นฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์โดยเฉพาะ ความถี่ที่สร้างขึ้นถูก กำหนดโดยตัวเก็บประจุ และตัวต้านทาน โวลเตจคอนโทรลลออสซิลเลเตอร์ ซึ่ง จะให้ความถี่ออกมาขึ้นอยู่กับค่า คาพาซิเตอร์ (Timing Capacitor) ที่ต่ออยู่ระหว่างขา 5 และ ขา 6 กับค่า รีซิสเตอร์ (Timing Resistor) ที่ขา 7 และ ขา 8

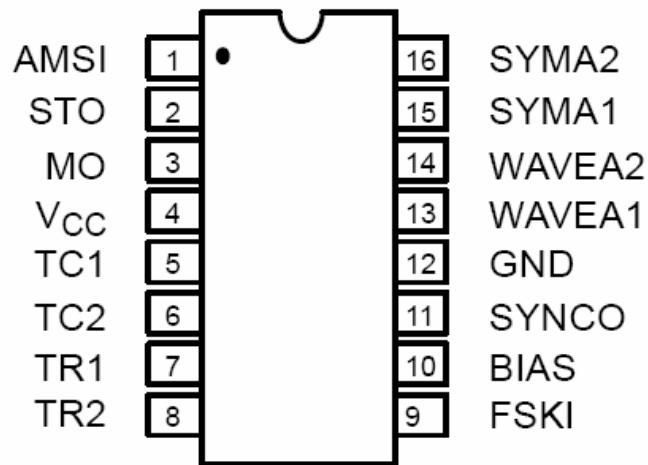
คุณสมบัติเฉพาะของ XR2206

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

โดย XR 2206 มี Block Diagram ดังรูปที่ 3.3



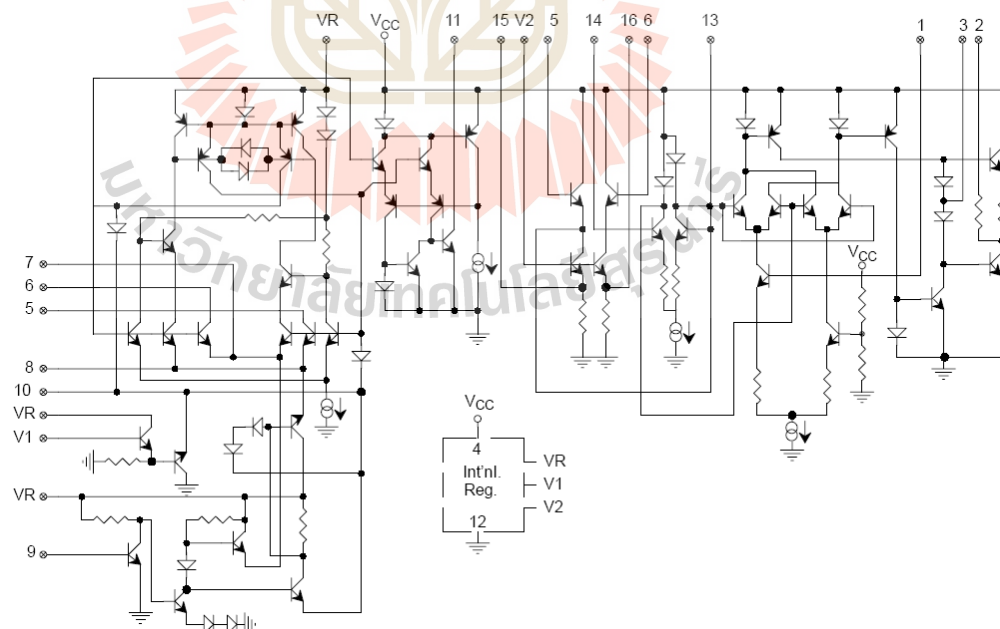
รูปที่ 3.3 วงจรภายในของ XR2206



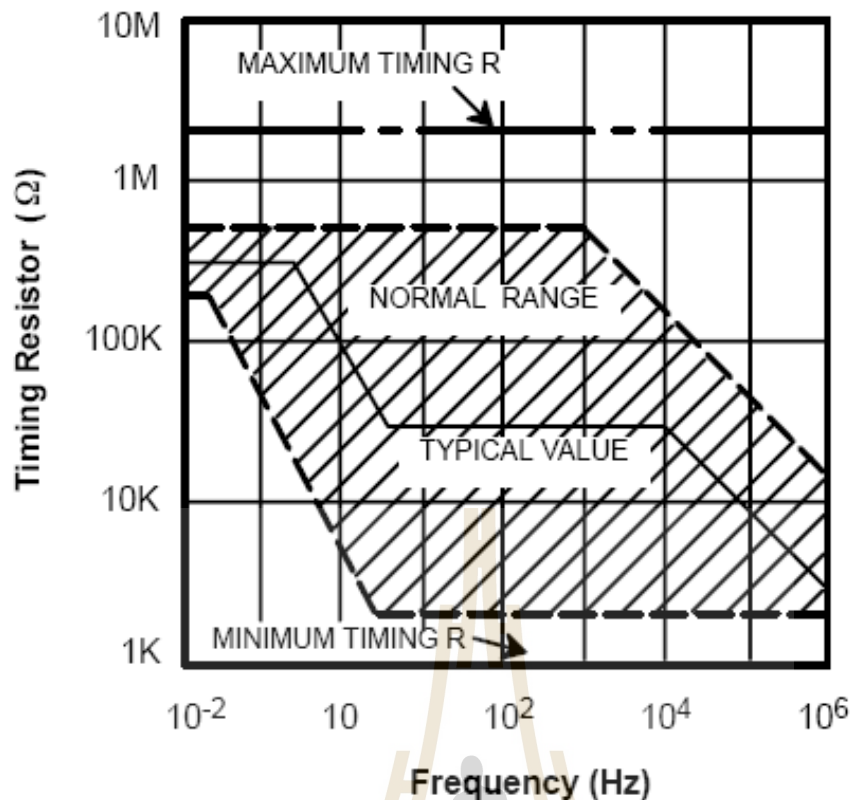
รูปที่ 3.4 IC XR2206

การทำงานของ IC XR2206

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



รูปที่ 3.5 Equivalent Schematic Diagram ของ XR2206



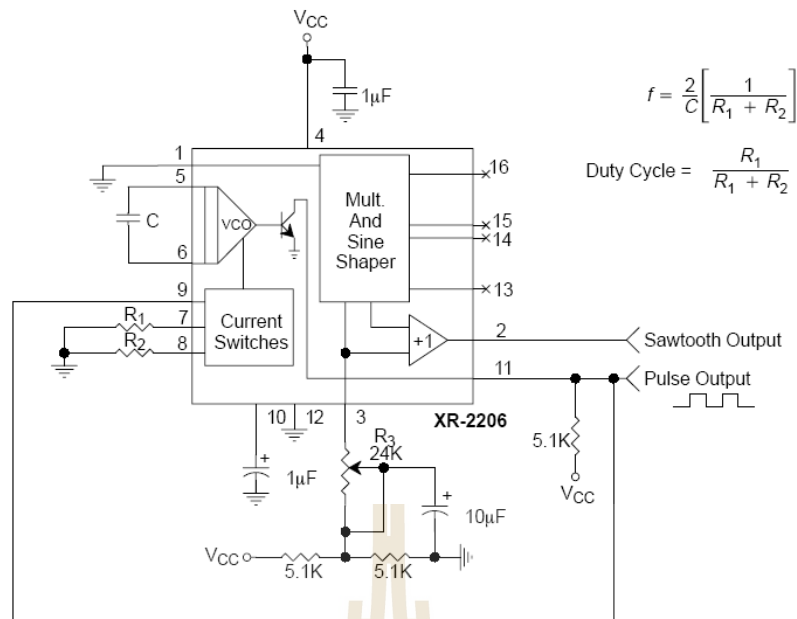
รูปที่ 3.6 กราฟแสดงเปรียบเทียบค่าความต้านทาน R versus Oscillation Frequency

กราฟด้านบนนี้ นำไปใช้ในการอ้างอิง ในการเลือกใช้ค่าความต้านทานเพื่อสร้างความถี่ที่เหมาะสมของวงจรกำเนิดสัญญาณพินเลื้อยหรือสัญญาณสามเหลี่ยม โดยที่ค่าความต้านทานที่เลือกใช้จะอยู่ในช่วงระหว่าง $1k\Omega$ ถึง $2M\Omega$

3.2 การออกแบบระบบประมวลสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

3.3.1 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพินเลื้อยหรือสัญญาณสามเหลี่ยม

วงจรกำเนิดสัญญาณพินเลื้อยหรือสัญญาณสามเหลี่ยมนั้น ใช้ IC เบอร์ XR2206 มาเป็นตัวหลักในการสร้างสัญญาณและจ่ายแรงดันที่มีความเหมาะสมให้แก่ VCO เมื่อ VCO ได้รับแรงดันและความถี่ที่เหมาะสมการทำงานจะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สัญญาณที่ออกจาก VCO นั้นจะทำงานโดยอาศัยความถี่จากวงจรกำเนิดสัญญาณพินเลื้อยหรือสัญญาณสามเหลี่ยมเป็นหลัก และจะทำการสแกนตามช่วงความถี่ที่ได้จูนไว้จากแรงดันที่จ่ายให้



รูปที่3.7 วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย หรือ สัญญาณสามเหลี่ยม

การคำนวณหาความถี่

จากรูปวงจรข้างต้น มีตัวแปร 3 ตัวที่เราต้องคำนวณหาค่า นั่นคือ C ที่ต่อคร่อมอยู่ระหว่างขา 5 และขา 6 และระหว่างขา 7 และขา 8 ซึ่งก็คือ R_1, R_2 โดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$f = \frac{2}{C} * \left[\frac{1}{R_1 + R_2} \right]$$

จากสูตรนี้นั้นเราสามารถหาค่าความถี่ได้โดยแทนค่า C และ R ลงไปในสมการจะได้

$$f = \frac{2}{0.1\mu F} * \left[\frac{1}{20K\Omega + 20K\Omega} \right]$$

$$f = 500Hz$$

จะเห็นได้ว่าค่า C และ R มีผลต่อความถี่ที่ออกมาจากวงจร โดยเป็นสัดส่วนที่แปรผกผัน

ยิ่งค่า R น้อยลงความถี่ก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น

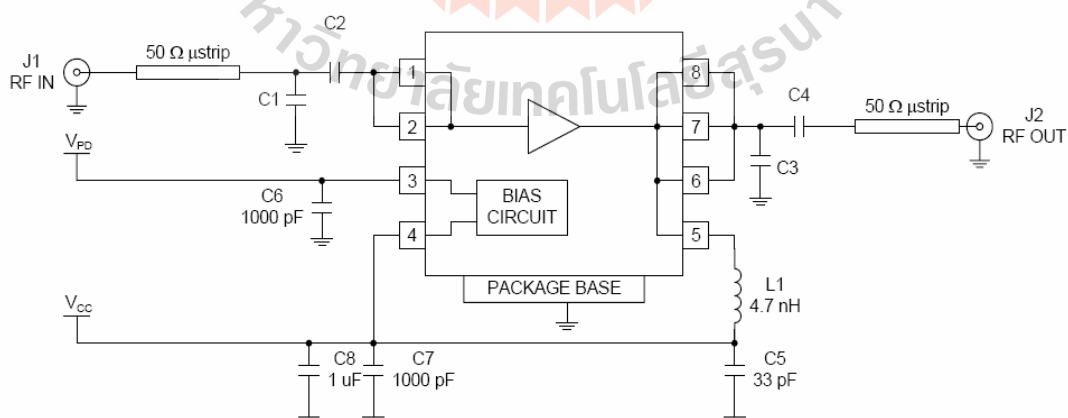
3.3.2 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณ

การออกแบบแมตซ์ชิงอิมพีแดนซ์

การ Match Impedance มีความสำคัญมากในวงจร RF เพื่อที่จะทำให้มีการส่งผ่านกำลังงานจากแหล่งจ่ายไปยังโหลดได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เช่น ความจำเป็นในการส่งผ่านกำลังงานไปยังด้านอินพุตของเครื่องรับ ซึ่งการสูญเสียที่ไม่จำเป็นในวงจรจะทำให้สัญญาณขนาดเล็กเกินกว่าที่จะยอมรับได้ ดังนั้นในแต่ละอุปกรณ์ต้องมั่นใจว่าการต่อจะต้องแมตซ์ด้วยโหลดที่ถูกต้อง เป็นที่ทราบกันดีว่าในวงจรดีซี การส่งผ่านกำลังงานสูงสุดจากแหล่งจ่ายไปยังโหลด จะเกิดเมื่อตัวต้านทานของโหลดเท่ากับตัวต้านทานของแหล่งจ่าย ส่วนในกรณีของวงจรเอซี อิมพีแดนซ์ของโหลด (Z_L) จะต้องเท่ากับการคอนจูเกตจำนวนเชิงซ้อนของอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย เพื่อให้ส่วนของจำนวนจินตภาพหักล้างกันไป เหลือแต่ส่วนของจำนวนจริง (R_S กับ R_L) เมื่อ R_S กับ R_L เท่ากัน ดังนั้นการส่งผ่านกำลังงานสูงสุดก็จะเกิดขึ้น

โดยในโครงงานนี้เราเลือกใช้ชิป RF2126 มีช่วงความถี่อยู่ที่ 400 MHz ถึง 2700 MHz ดังรูปที่ 3.9 และ 3.10 จะแสดงรูปของชิปและ Evaluation Board Schematic ของชิป RF2126 ตามลำดับ

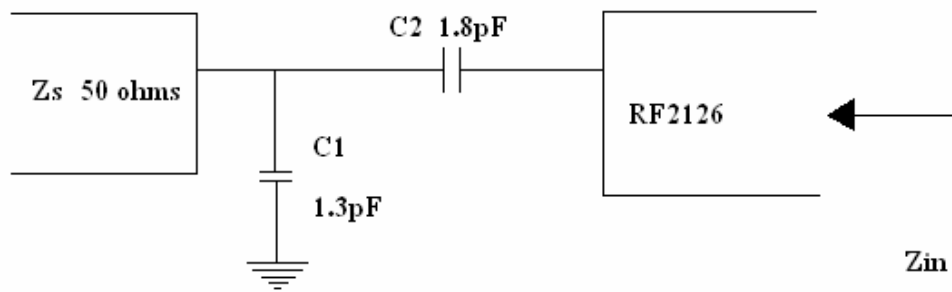
รูปที่ 3.9 รูปของชิป RF2126



รูปที่ 3.10 Evaluation Board Schematic ของ RF2126

ขั้นตอนที่ 1 ทำการ Math สายส่งด้านแหล่งจ่ายกับ RF2126

โดยกำหนดให้ $Z_0 = 50\Omega$ ความถี่ 2.45 GHz



รูปที่ 3.11 การแมตซ์จิ้งระหว่างสายส่งด้านแหล่งจ่ายกับ RF2126

$$Z_S = 50\Omega ; R_S = \frac{Z_S}{Z_0} = 1$$

$$Z_{in} = \frac{X}{50}$$

จาก Z_{in} ไปหา Source

C อนุกรม;

$$X_C = A$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f R_n X_{C2}}$$

$$X_{C2} = \frac{1}{2\pi f R_n C2}$$

$$= \frac{1}{2\pi(2.45\text{GHz})(50\Omega)(1.8\text{pF})}$$

$$= 0.72\Omega$$

(1)

จากนั้นนำค่า X_{C2} ไปพรอทต์ในสมิทธิชาติ จะได้ว่า

$$B \text{ ได้ } 0.5$$

$$\therefore \text{ระยะห่าง} = X - 0.5$$

$$0.72 = X - 0.5$$

$$X = 1.22$$

$$Z_{in} \text{ ได้ } 1.22$$

C ขนาน;

$$X_{C1} = \frac{1}{A}$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f R_n X_{C1}}$$

$$C_1 = \frac{A}{2\pi f R_n X_{C1}}$$

$$A = 2\pi C_1 f R_n$$

$$= 2\pi(2.45\text{GHz})(50\Omega)(1.3\text{pF})$$

$$= 1.0$$

$$X_{C1} = \frac{1}{A} = \frac{1}{1.0}$$

$$= 0.9994\Omega \approx 1$$

(2)

พหุคูณในสมิทซ์ชาท

$$B \text{ ได้ } 0.9994$$

$$R_s = 0$$

$$\therefore \text{ระยะห่าง} \approx 1$$

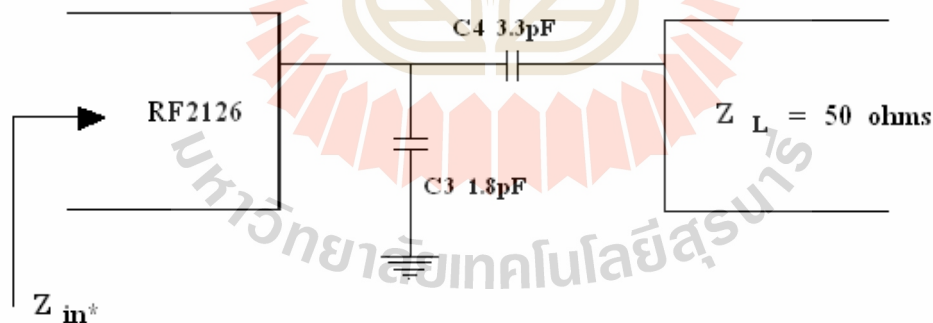
$$Z_{in} = 1.22 + j0.5\Omega$$

$$= 50(1.22 + j0.5)$$

$$= 61 + j25.5$$

$$= 66.12 \angle 22.69^\circ$$

ขั้นตอนที่ 2 ทำการ Math สายส่งด้านโหลดกับ RF2126



รูปที่ 3.12 แมตซ์ซิ่งสายส่งด้านโหลดกับ RF2126

จากรูปที่ 3.12 ทำการมองจากโหลดไปยังแหล่งจ่ายจะได้

ทำการนอมอลไลส์ Z_L ด้วย 50 โอห์ม ได้ Z_L^*

C อนุกรม ;

$$X_{C4} = A$$

$$X_{C4} R_n = \frac{1}{2\pi f C_4}$$

$$\begin{aligned}
 X_{C4} &= \frac{1}{2\pi f C_4 R_n} \\
 &= \frac{1}{2\pi(2.45\text{GHz})(3.3\text{pF})(50)} \\
 &= 0.39\Omega
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

ทำการพล็อตในสมิทชาร์ท

จุด $Z_L^* = 1$ ลากไปตามด้าน Toward Load ได้ระยะ 0

จุด B ลากไปตามด้าน Toward Load ระยะ 0.39

C ขนาน ;

$$\begin{aligned}
 X_{C3} &= \frac{1}{A} \\
 \frac{1}{A} R_n &= \frac{1}{2\pi f C_3} \\
 A &= R_n 2\pi f C_3 \\
 &= 2\pi(50)(2.45\text{GHz})(1.8\text{pF}) \\
 &= 0.72 \\
 X_{C3} &= \frac{1}{A} = \frac{1}{0.72} = 1.39\Omega
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

ทำการพล็อตในสมิทชาร์ทได้

จุด B ที่ระยะ 0.31

$$Z_{in} \text{ ได้จาก } 1.39 = y - 0.31$$

$$y = 1.7$$

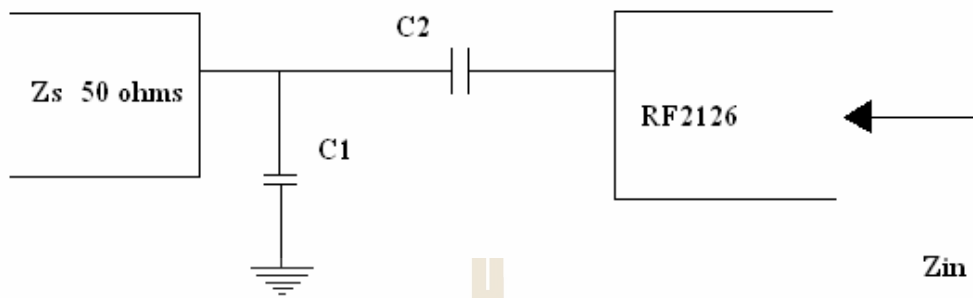
$$\therefore Z_{in} = 0.23 - j0.47$$

$$= 50(0.23 - j0.47)$$

$$= 11.5 - j23.5\Omega$$

$$= 26.16\angle -63.92^\circ\Omega$$

ขั้นตอนที่ 3 นำค่า X_C ที่ได้มาหาค่า C ที่ใช้กับความถี่ 850 MHz และ 1850 MHz
 หาค่า C_1, C_2, C_3, C_4 ที่ย่านความถี่ 850 MHz



รูปที่ 3.13 Matching impedance ระหว่าง Z_{in} กับ Z_S ด้านอินพุต

นอล์มอลไลซ์ด้วย 50Ω ;

$$Z_S = \frac{50}{50} = 1\Omega$$

$$Z_{in1} = \frac{61 + j25.5}{50} = 1.22 + j0.51\Omega$$

$X_{C2} \text{ อนุกรม} = 0.72\Omega$;

$$X_{C2} = \frac{1}{2\pi f C_2 R_n}$$

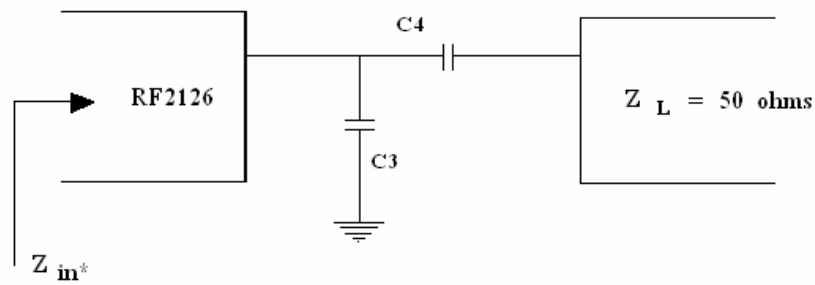
$$C_2 = \frac{1}{2\pi f X_{C2} R_1} = \frac{1}{2\pi (850M)(0.72)(50)}$$

$$C_2 = 5.2 pF$$

$X_{C1} \text{ ขนาน} = 1\Omega$;

$$C_1 = \frac{X_{C1}}{2\pi f R_n} = \frac{1}{2\pi (850M)(50)}$$

$$C_1 = 3.74 pF$$



รูปที่ 3.14 Matching impedance ระหว่าง Z_{in}^* กับ Z_L ด้านเอาต์พุต

นอลล์มอดไลด์ด้วย 50Ω ;

$$Z_s = \frac{50}{50} = 1\Omega$$

$$Z_{in2} = \frac{11.5 + j23.5}{50} = 0.23 + j0.47\Omega$$

$X_{C4} \text{ ออนุกรม} = 0.39\Omega$;

$$X_{C4} = \frac{1}{2\pi f C_4 R_n}$$

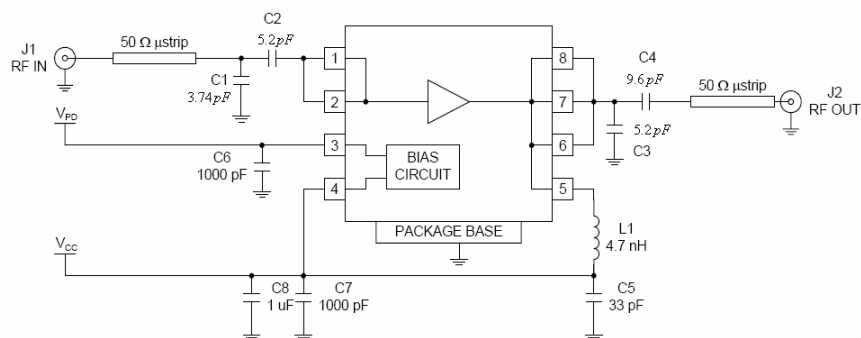
$$C_4 = \frac{1}{2\pi f X_{C4} R_n} = \frac{1}{2\pi (850M)(0.39)(50)}$$

$$C_4 = 9.6 pF$$

$X_{C3} \text{ ขนาน} = 1.39\Omega$;

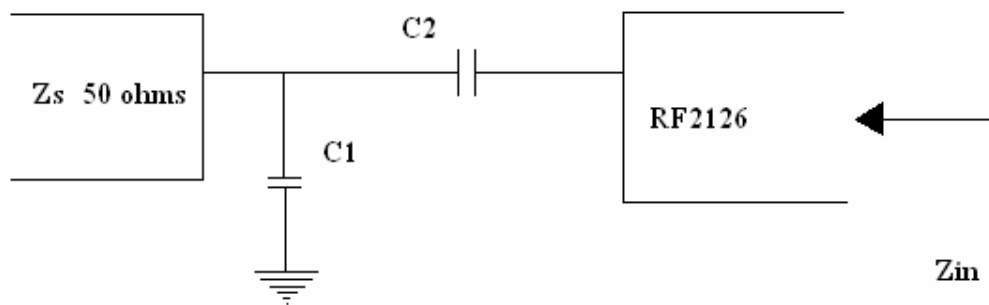
$$C_3 = \frac{X_{C3}}{2\pi f R_n} = \frac{1.39}{2\pi (850M)(50)}$$

$$C_3 = 5.2 pF$$



รูปที่ 3.15 วงจรขยายสัญญาณความถี่ 850 MHz

หาค่า C_1, C_2, C_3, C_4 ที่ย่านความถี่ 1850 MHz



รูปที่ 3.16 Matching impedance ระหว่าง Z_{in} กับ Z_s ด้านอินพุต

นอลล์มอดไลต์ด้วย 50Ω ;

$$Z_s = \frac{50}{50} = 1\Omega$$

$$Z_{in1} = \frac{61 + j25.5}{50} = 1.22 + j0.51\Omega$$

X_{C2} อนุกรม = 0.72Ω ;

$$X_{C2} = \frac{1}{2\pi f C_2 R_n}$$

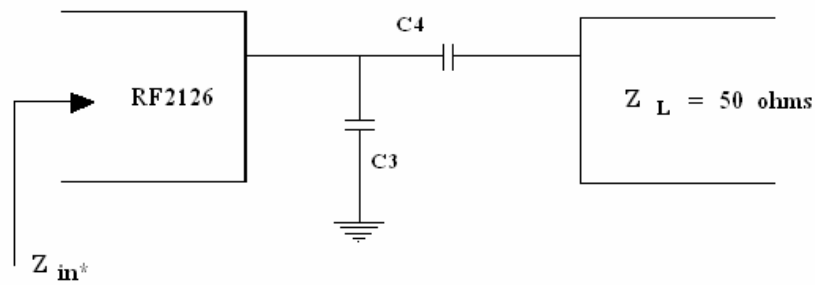
$$C_2 = \frac{1}{2\pi f X_{C2} R_1} = \frac{1}{2\pi (1850M)(0.72)(50)}$$

$$C_2 = 2.39 pF$$

X_{C1} ขนาน = 1Ω ;

$$C_1 = \frac{X_{C1}}{2\pi f R_n} = \frac{1}{2\pi (1850M)(50)}$$

$$C_1 = 1.72 pF$$



รูปที่ 3.17 Matching impedance ระหว่าง Z_{in}^* กับ Z_L ด้านเอาต์พุต

นอลล์มอดไลด์ด้วย 50Ω ;

$$Z_s = \frac{50}{50} = 1\Omega$$

$$Z_{in2} = \frac{11.5 + j23.5}{50} = 0.23 + j0.47\Omega$$

X_{C4} อนุกรม = 0.39Ω ;

$$X_{C4} = \frac{1}{2\pi f C_4 R_n}$$

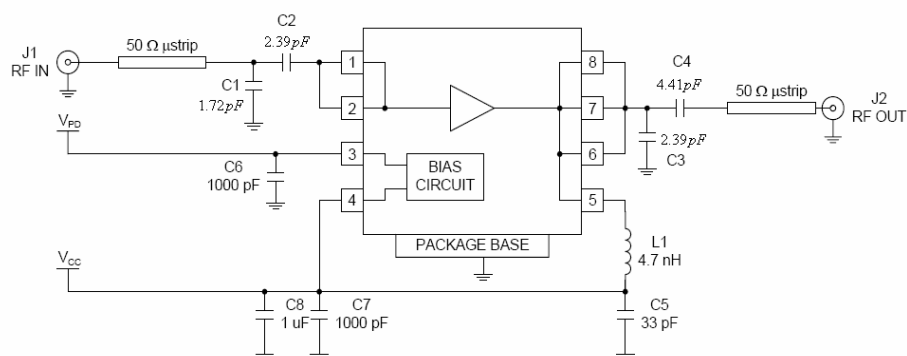
$$C_4 = \frac{1}{2\pi f X_{C4} R_n} = \frac{1}{2\pi (1850M)(0.39)(50)}$$

$$C_4 = 4.41pF$$

X_{C3} ขนาน = 1.39Ω ;

$$C_3 = \frac{X_{C3}}{2\pi f R_n} = \frac{1.39}{2\pi (1850M)(50)}$$

$$C_3 = 2.39pF$$



รูปที่ 3.18 วงจรขยายสัญญาณความถี่ 1850 MHz

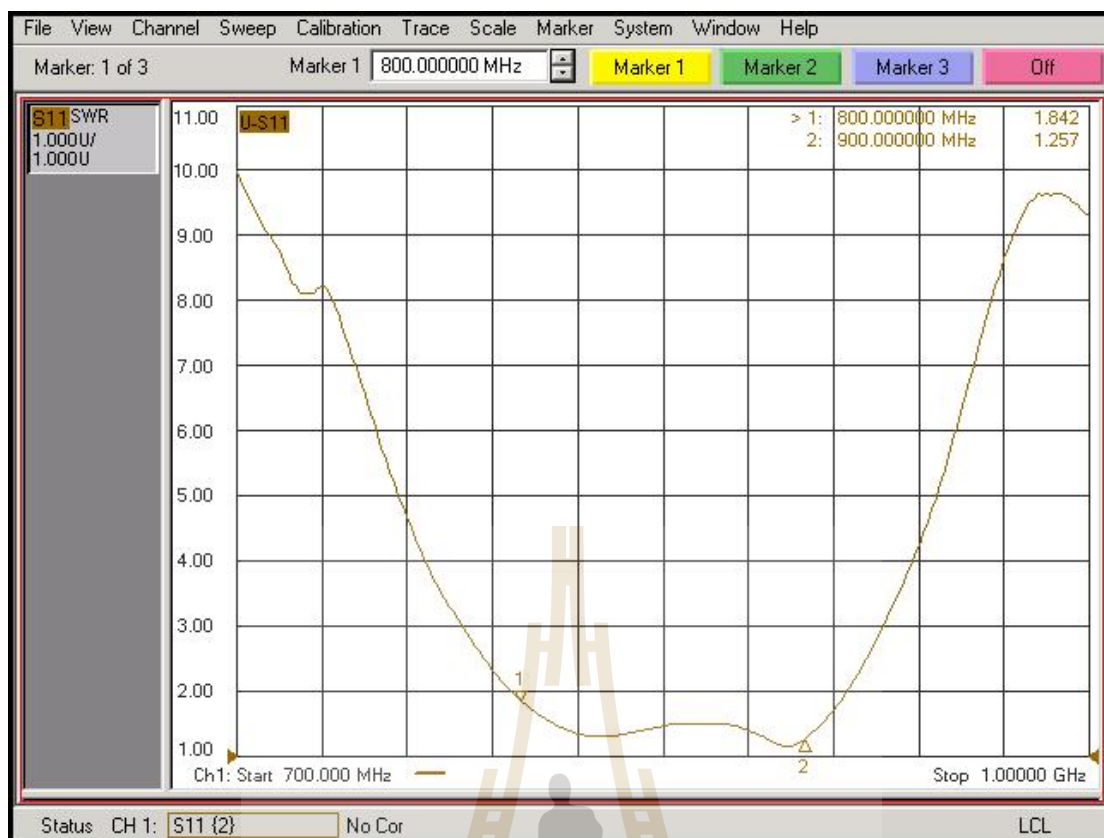
3.4 การเลือกใช้สายอากาศ

ในการเลือกใช้สายอากาศในระบบบรอดแบนด์สัญญาณโทรศัพท์มือถือนั้น เราจะเลือกใช้สายอากาศชนิดที่มีเป็นแบบช่วงความถี่ เพื่อสะดวกในการใช้งานและครอบคลุมย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน คือย่าน 800-900 MHz และ 1800-1900 MHz

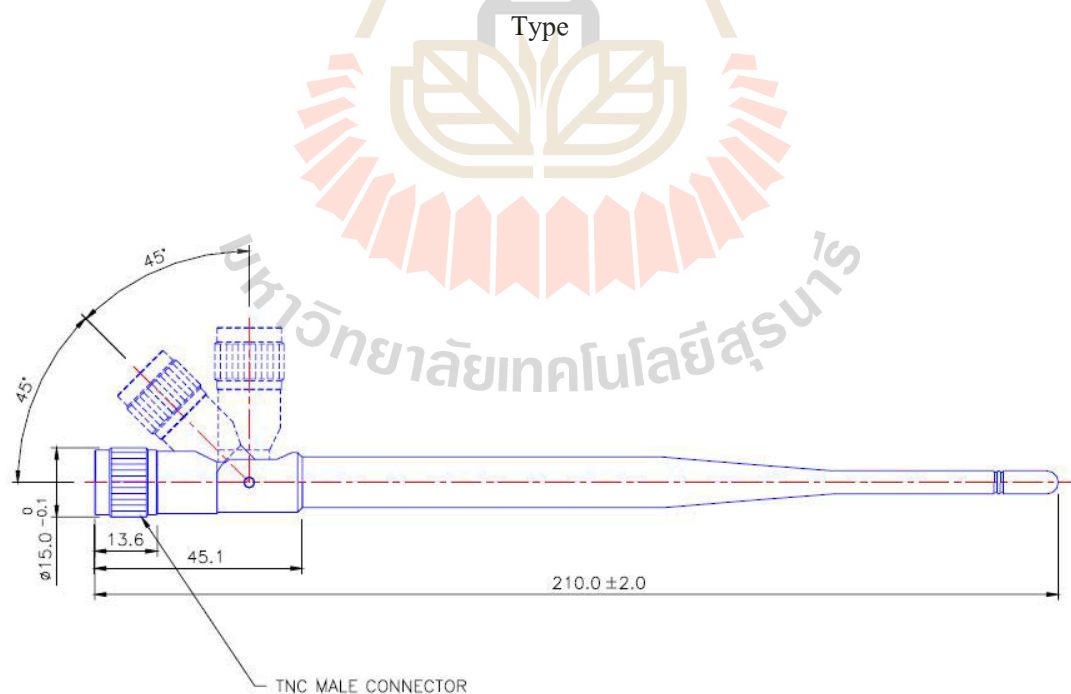
2 dBi Indoor Omni Antenna SMA(Male) Type และ 2 dBi 1800MHz Indoor Omni Antenna SMA(Male) Type เป็นสายอากาศที่เรานำมาใช้งานในระบบบรอดแบนด์สัญญาณโทรศัพท์มือถือในย่านความถี่ 800-900 MHz และ 1800-1900 MHz ตามลำดับ สมบัติการใช้งานของสายอากาศทั้งสองชนิดนี้จะคล้ายกันต่างกันเพียงช่วงความถี่ในการใช้งานและความยาวของสายอากาศเท่านั้น รูปที่ 3.19 จะแสดงกราฟที่ได้จากการวัด S11 SWR ของ 2 dBi Indoor Omni Antenna SMA(Male) Type รูปที่ 3.20 จะแสดงรายละเอียดของ 2 dBi Indoor Omni Antenna SMA(Male) Type รูปที่ 3.21 จะแสดงกราฟที่ได้จากการวัด S11 SWR ของ 2 dBi 1800MHz Indoor Omni Antenna SMA(Male) Type และรูปที่ 3.22 จะแสดงรายละเอียดของ 2 dBi 1800MHz Indoor Omni Antenna SMA(Male) Type

สมบัติการใช้งานของสายอากาศทั้งสองชนิด

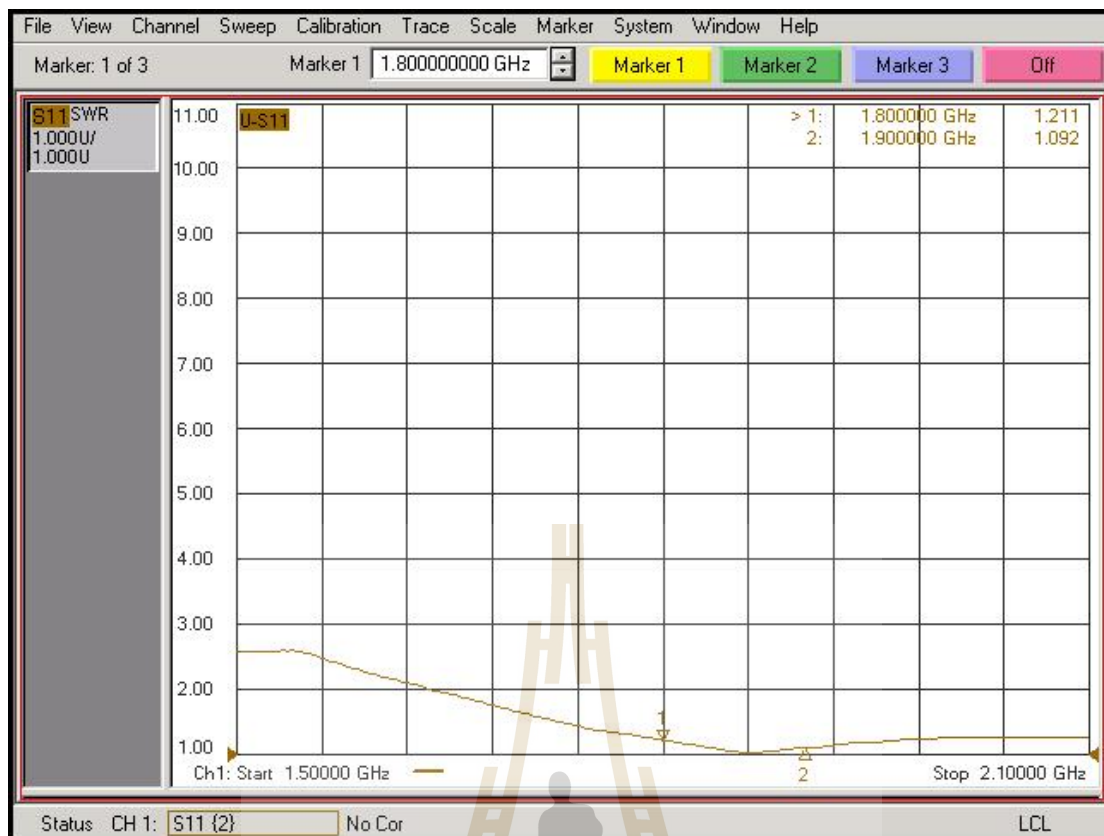
- อัตราขยาย : 2 dBi
- ค่า V.S.W.R น้อยกว่า 2
- องศาการแพร่คลื่นแนวนอน (Width-H Plane) : 360 องศา
- องศาการแพร่คลื่นแนวตั้ง (Width-E Plane) : 70 องศา
- Polarization : Vertical (Linear)
- ค่าความต้านทานอินพุต : 50 โอห์ม
- Connector : SMA Male
- ช่วงอุณหภูมิใช้งาน : -20°C ถึง +70°C
- ช่วงอุณหภูมิสะสม : -30°C ถึง +85°C
- Humidity : 95% maximum (non-condensing)



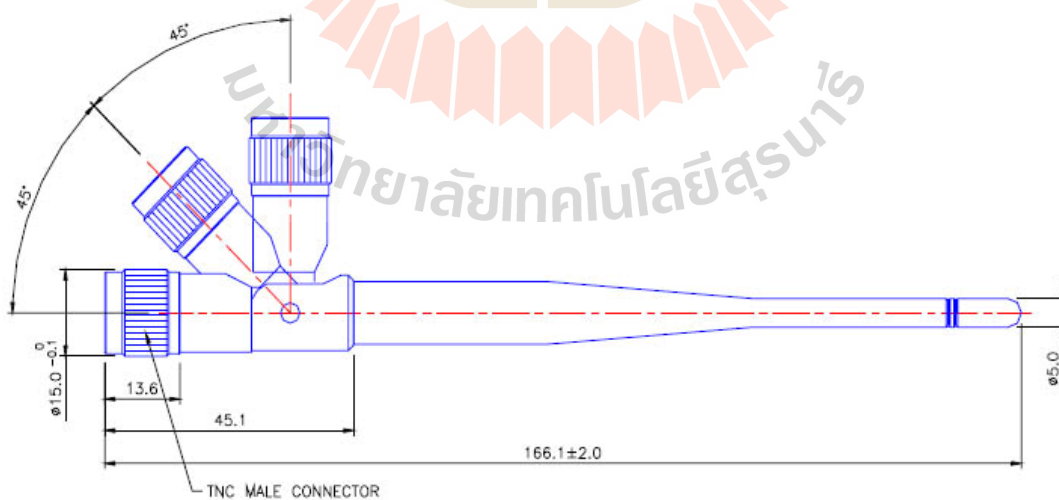
รูปที่ 3.19 แสดงกราฟที่ได้จากการวัด S11 SWR ของ 2 dBi Indoor Omni Antenna SMA(Male)



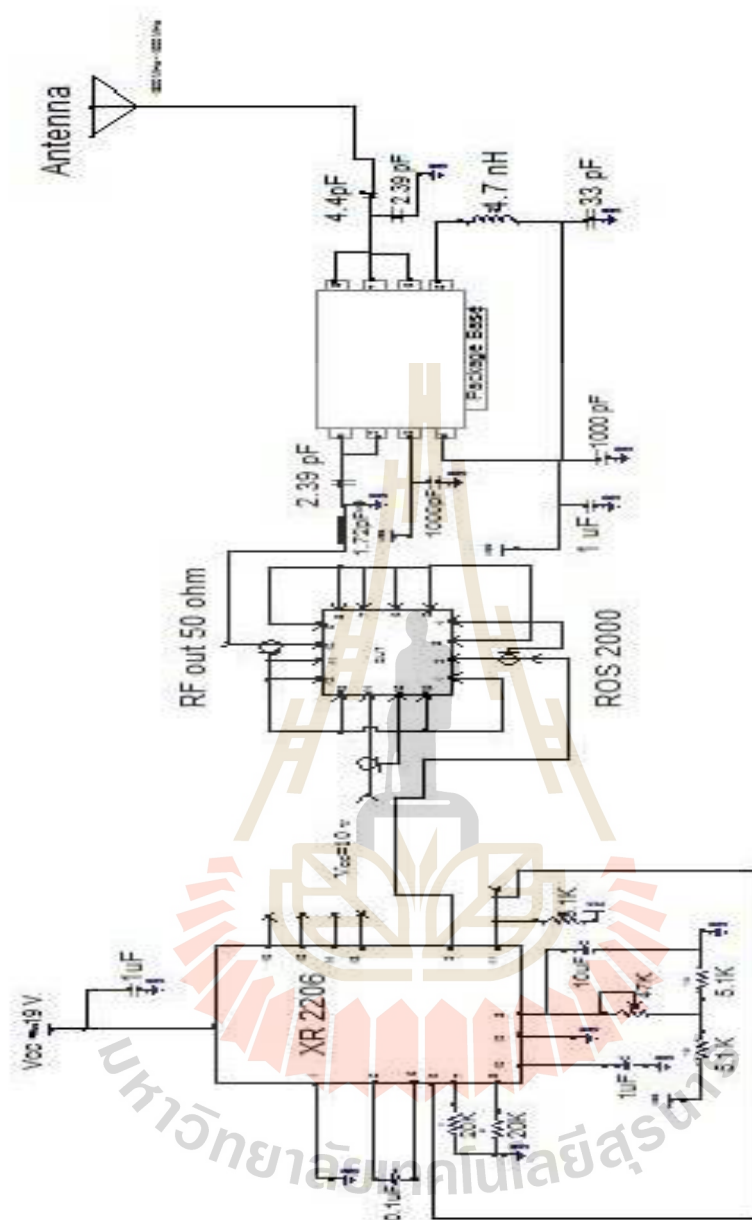
รูปที่ 3.20 แสดงรายละเอียดของ 2 dBi Indoor Omni Antenna SMA(Male) Type



รูปที่ 3.21 แสดงกราฟที่ได้จากการวัด S11 SWR ของ 2 dBi 1800MHz Indoor Omni Antenna SMA(Male) Type



รูปที่ 3.22 แสดงรายละเอียดของ 2 dBi 1800MHz Indoor Omni Antenna SMA(Male) Typ



รูปที่ 3.24 แสดงวงจรของระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือย่าน 1800-1900 MHz

บทที่ 4

การทดสอบระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

เนื้อหาของบทนี้จะเป็นการนำเอาวงจรทั้งหมดที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นมานำมาประกอบกันเป็นระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ (Mobile Jammer) ที่ย่านความถี่ 850 MHz และ 1850 MHz โดยจะเชื่อมวงจรเข้ากับ OSCILLOSCOPE เพื่อวัดสัญญาณพื่นเลื่อยและจับสัญญาณคิซีที่อาจออกมาจากวงจรขยายสัญญาณ ใช้เครื่อง SPECTRUM ANALZER เพื่อทำการวัดการขยายสัญญาณของวงจรขยายสัญญาณ ใช้เครื่อง DC POWER SUPPLY ในการจ่ายไฟคิซีให้กับวงจร และใช้เครื่อง NETWORK ANALZER เพื่อวัดความถี่ย่านต่างที่วงจรขยายสัญญาณสามารถขยายได้ โดยได้แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์และวงจรต่างดังรูป



รูปที่ 4.1 SPECTRUM ANALZER



รูปที่ 4.2 DC POWER SUPPLY



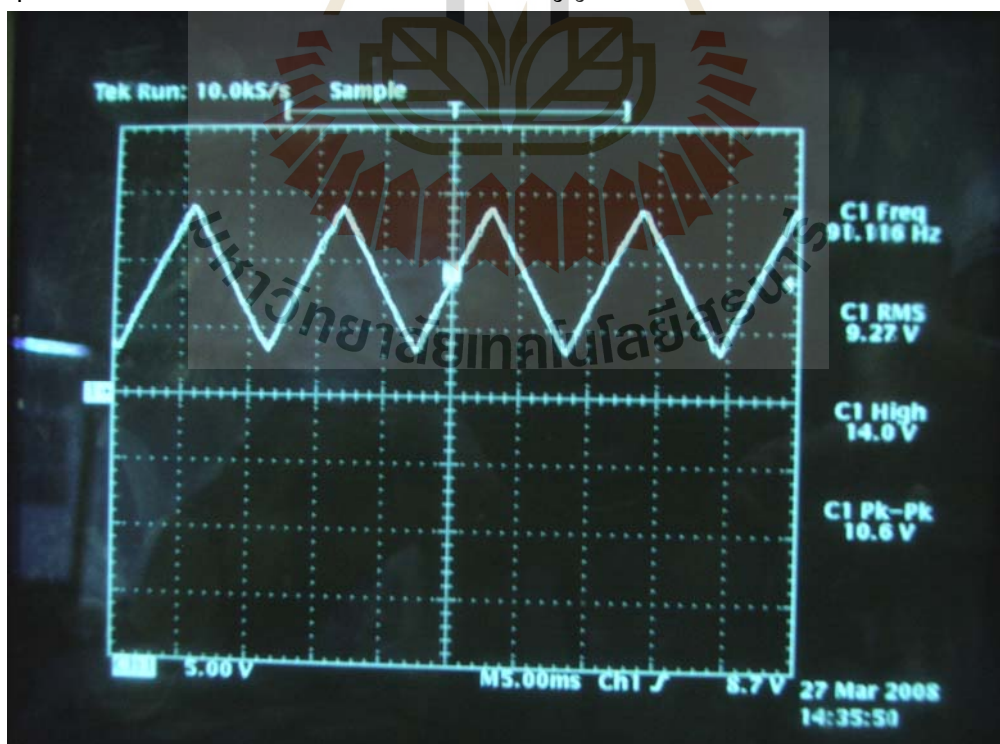
รูปที่ 4.3 OSCILLOSCOPE



รูปที่ 4.4 NETWORK ANALYZER

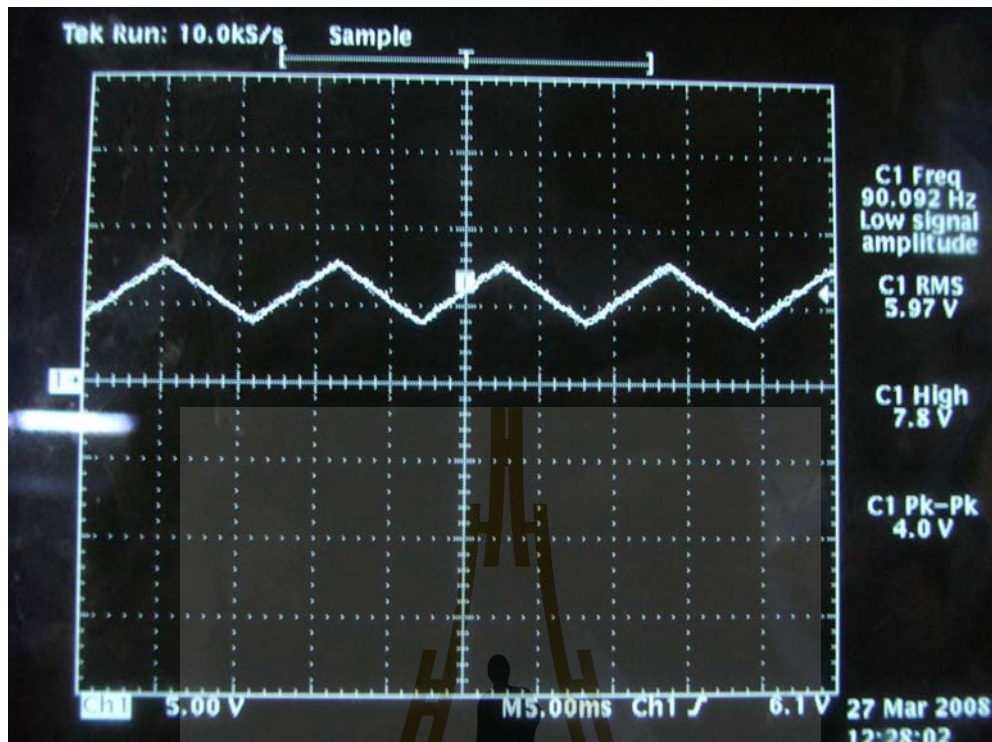
4.1 ผลการทดสอบวงจรสัญญาณฟันเลื่อย(Sawtooth)

วงจรกำเนิดสัญญาณซึ่งหน้าที่กำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยหรือสัญญาณสามเหลี่ยมให้กับวงจรควบคุมแรงดันก่อนที่จะส่งแรงดันให้กับวงจรขยายสัญญาณต่อไป



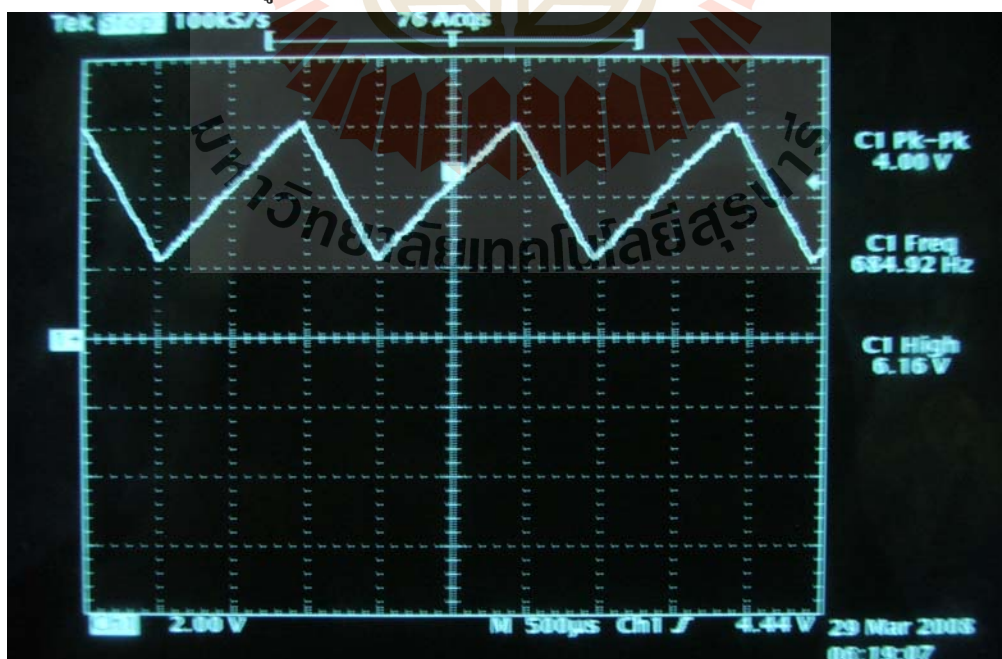
รูปที่ 4.5 แสดงเอาต์พุตที่ออกจากวงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย ที่ $V=14\text{ V}$

จากรูปสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาและวัดโดยออสซิลโลสโคปนั้นความถี่ที่ได้ในครั้งแรกที่ทำการทดลองประมาณ 90 – 100 Hz



รูปที่ 4.6 แสดงเอาต์พุตที่ออกจากวงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย ที่ $V = 4$ V

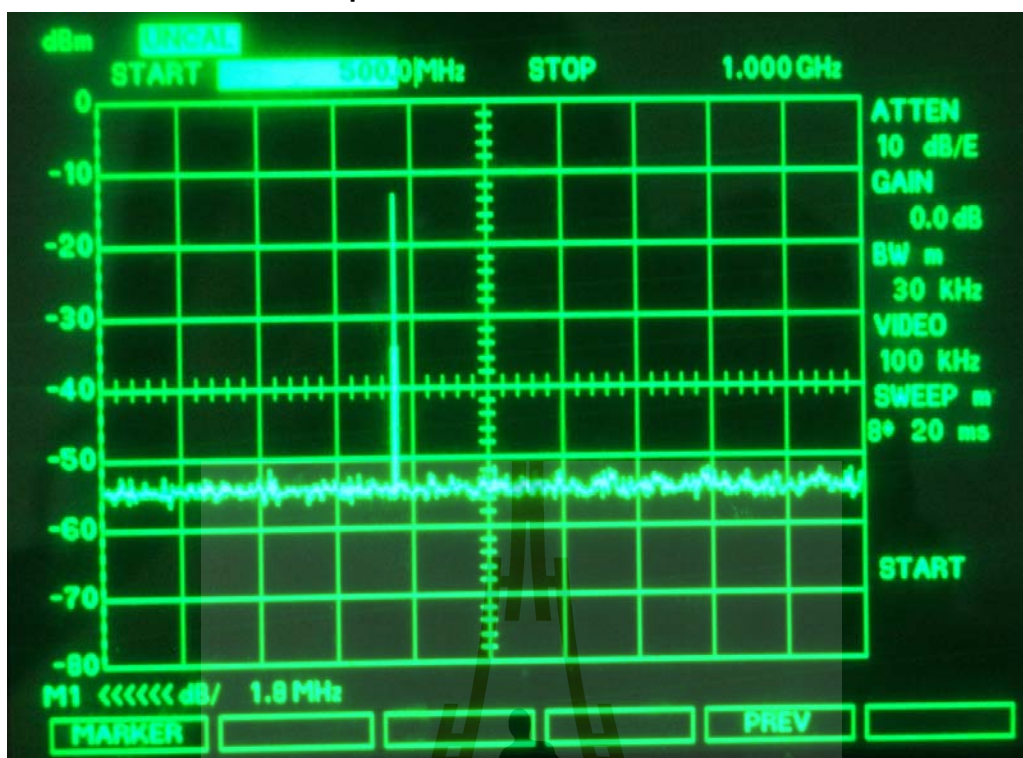
หลังจากนั้นทำการปรับปรุงและเพิ่มความถี่ของสัญญาณที่ออกมาให้สูงขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณที่ออกจากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ได้ทำการปรับปรุงให้มีความถี่ประมาณ

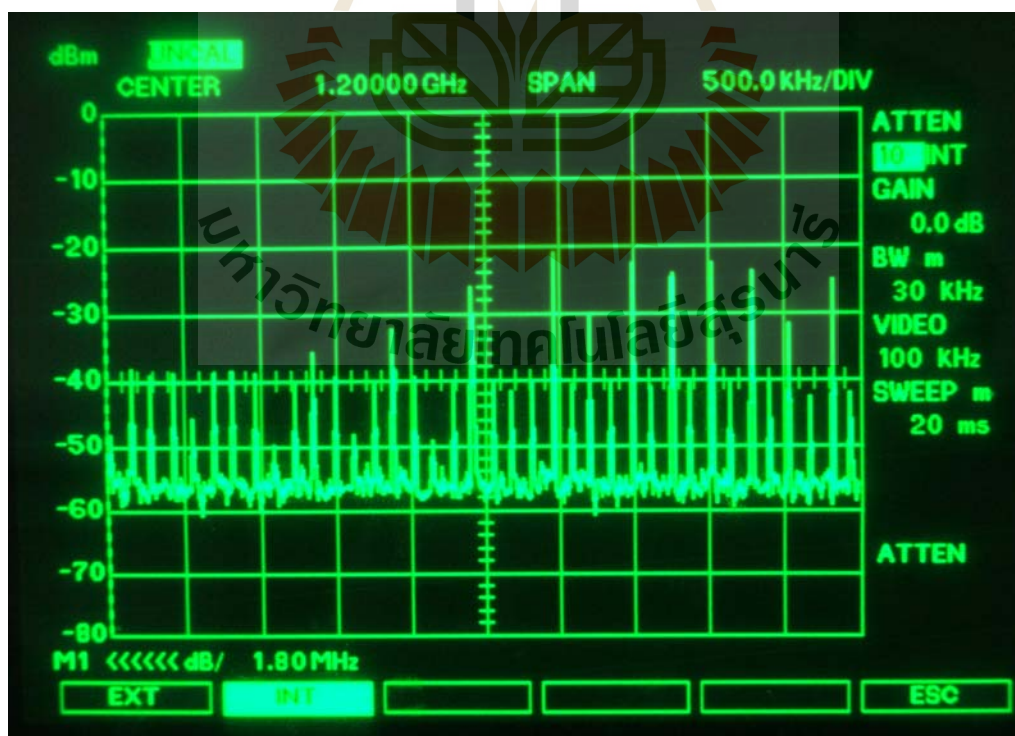
680Hz โดยจ่ายแรงดัน $V_{CC} = 9$ V

4.2 ผลการทดสอบวงจรควบคุมแรงดัน(VCO)



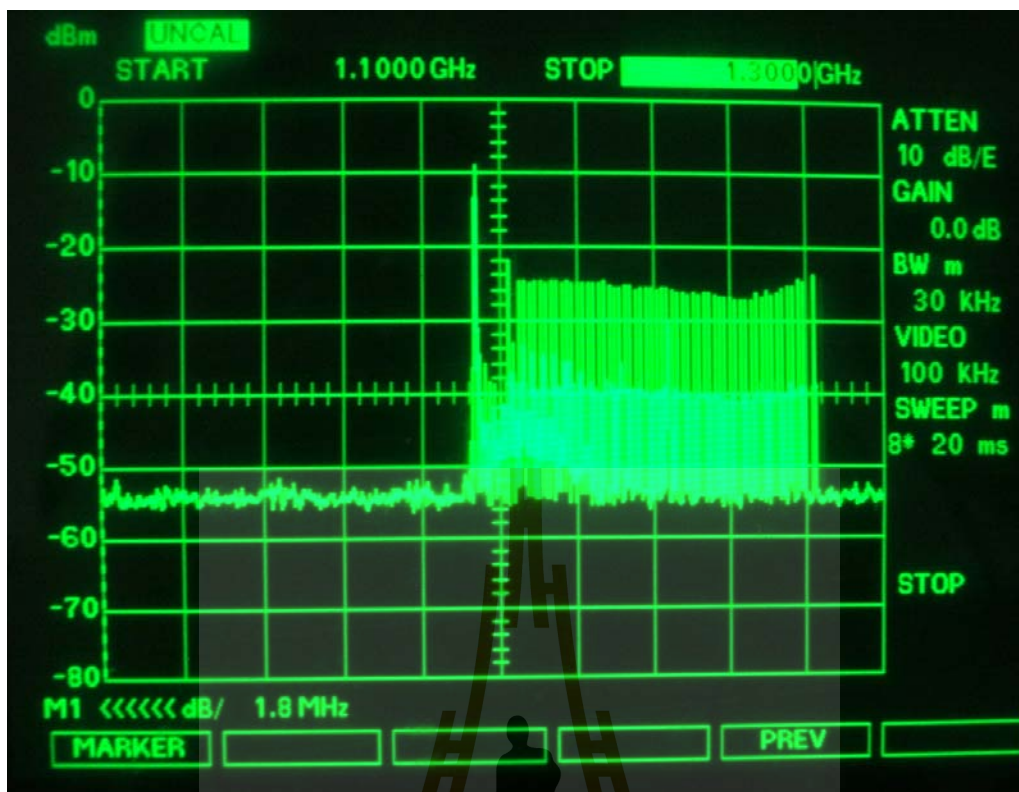
รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณเอาต์พุต วัดจาก SPECTRUM ANALYZER ของวงจรควบคุมแรงดันจาก

ROS-2000 เมื่อ $V_{\text{tune}} = 1 \text{ V}$, $V_{\text{cc}} = 11.2 \text{ V}$



รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณเอาต์พุต วัดจาก SPECTRUM ANALYZER ของวงจรควบคุมแรงดัน

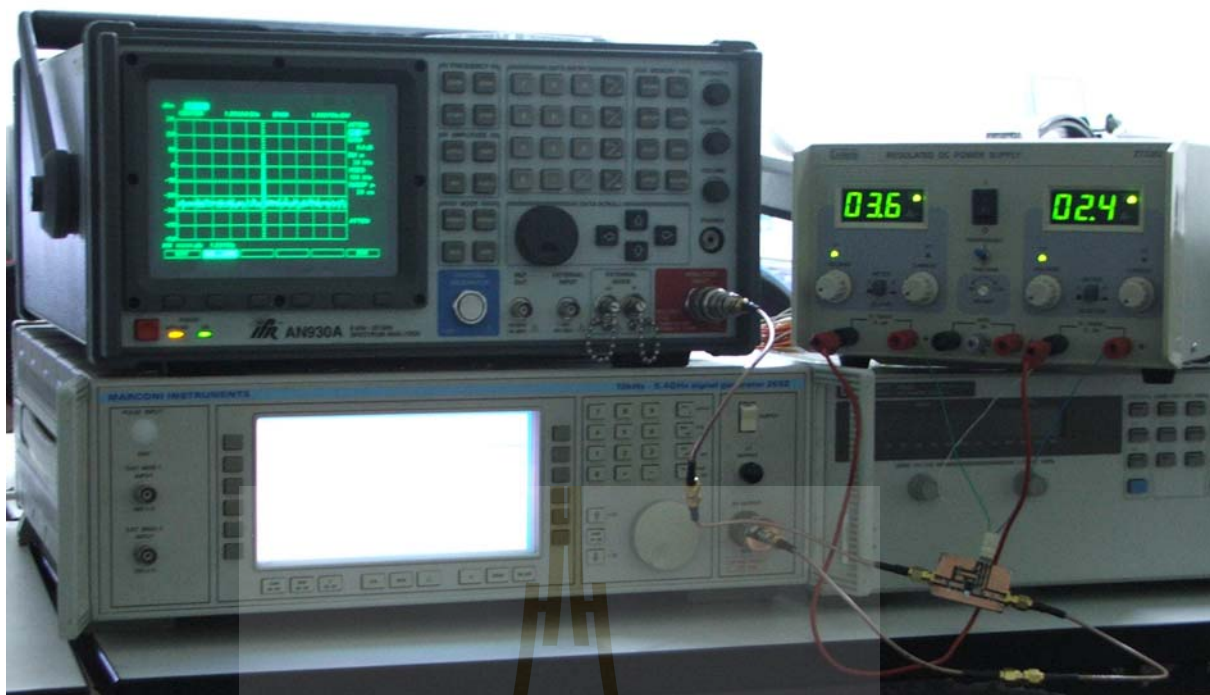
จาก ROS-1700W เมื่อ $V_{\text{tune}} = 2 \text{ V}$, $V_{\text{cc}} = 11.2 \text{ V}$



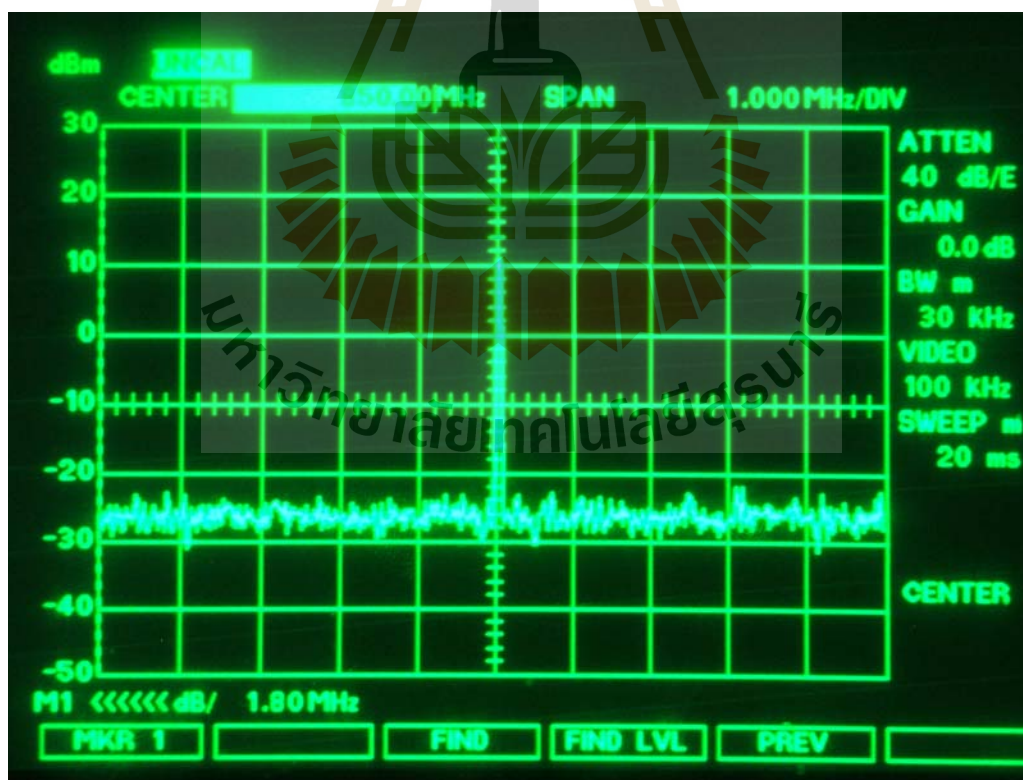
รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณเอาต์พุต วัดจาก SPECTRUM ANALYZER ของวงจรควบคุมแรงดัน
จาก ROS-1700W เมื่อ $V_{tune} = 14 \text{ V}$, $V_{cc} = 11.2 \text{ V}$

4.3 ผลการวัดวงจรมอดูเลชัน

ในส่วนถัดมานี้เป็นผลการวัดอัตราการขยายของวงจรมอดูเลชันที่ขยายความถี่ 850 MHz และ 1850 MHz โดยเครื่อง SPECTRUM ANALYZER ซึ่งเป็นการวัดเอาต์พุตที่ออกจากวงจรมอดูเลชันที่จะส่งออกไปรบกวนสัญญาณ โดยได้ออกแบบในย่านความถี่ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

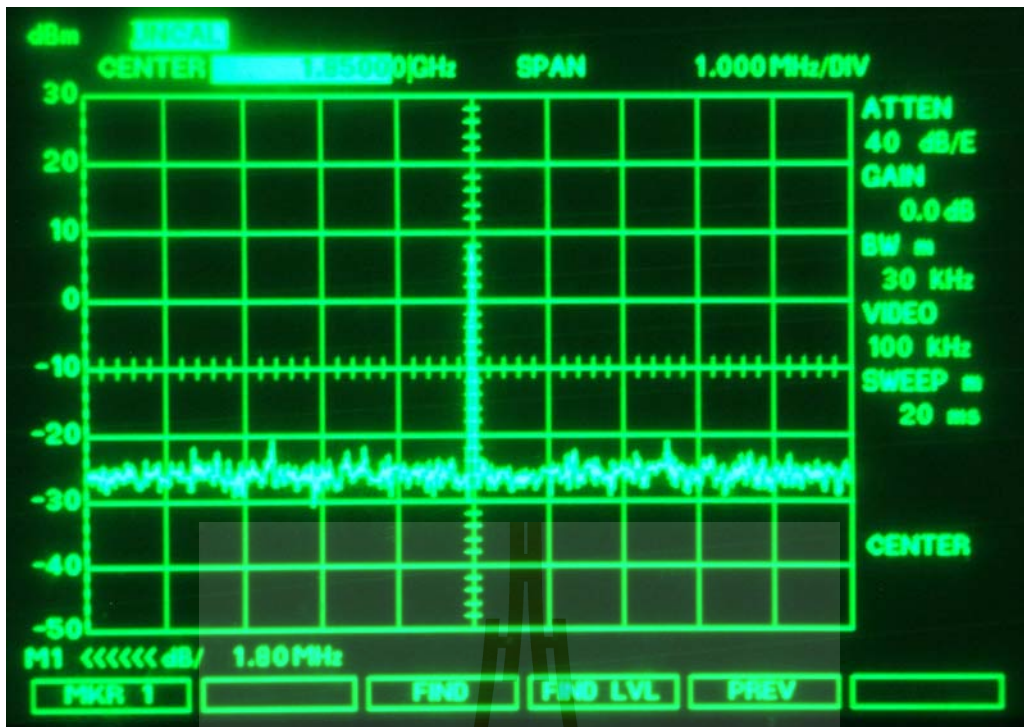


รูปที่ 4.12 การวัดอัตราขยายจาก SPECTRUM ANALZER



รูปที่ 4.13 แสดงกราฟอัตราขยายจาก SPECTRUM ANALZER ย่าน 850 MHz

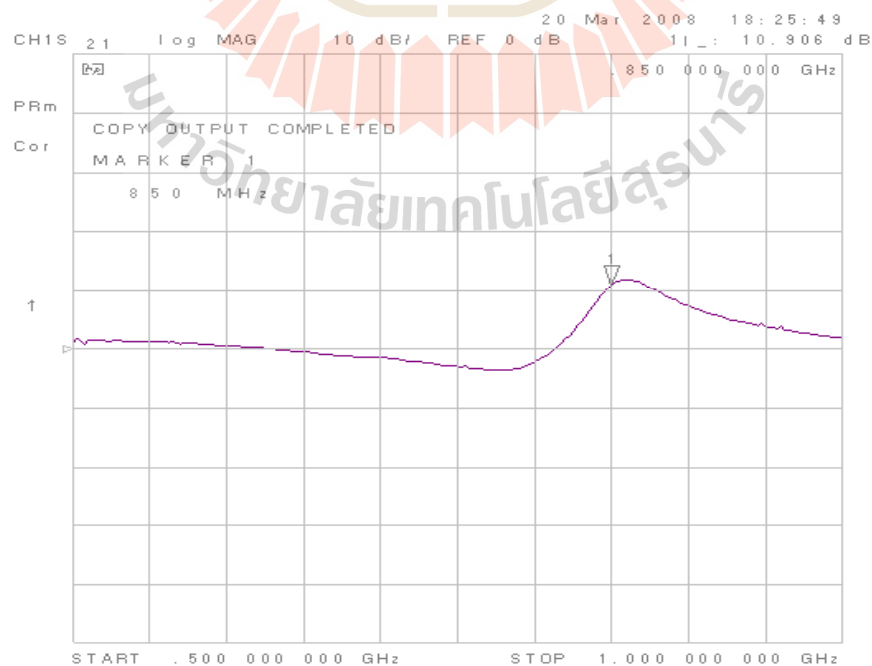
เมื่อจ่าย $V_{CC} = 4V$, $V_{PC} = 2.5V$, $I = 70mA$ ได้อัตราขยายประมาณ 12 dB



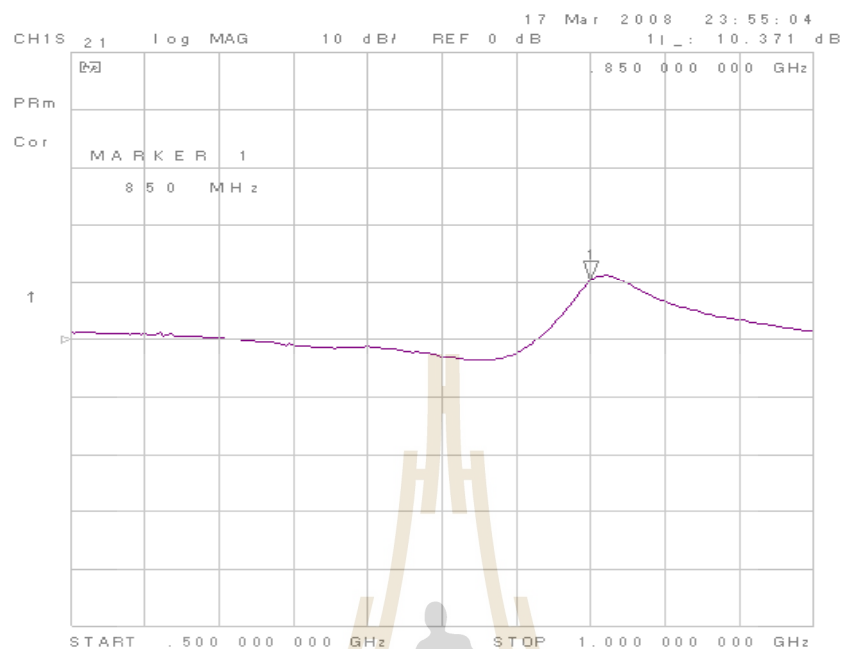
รูปที่ 4.14 แสดงกราฟอัตราขยายจาก SPECTRUM ANALZER ย่าน 1850 MHz

เมื่อจ่าย $V_{CC} = 4.5V$, $V_{PC} = 2.5V$, $I = 40mA$ ได้อัตราขยายประมาณ 10 dB

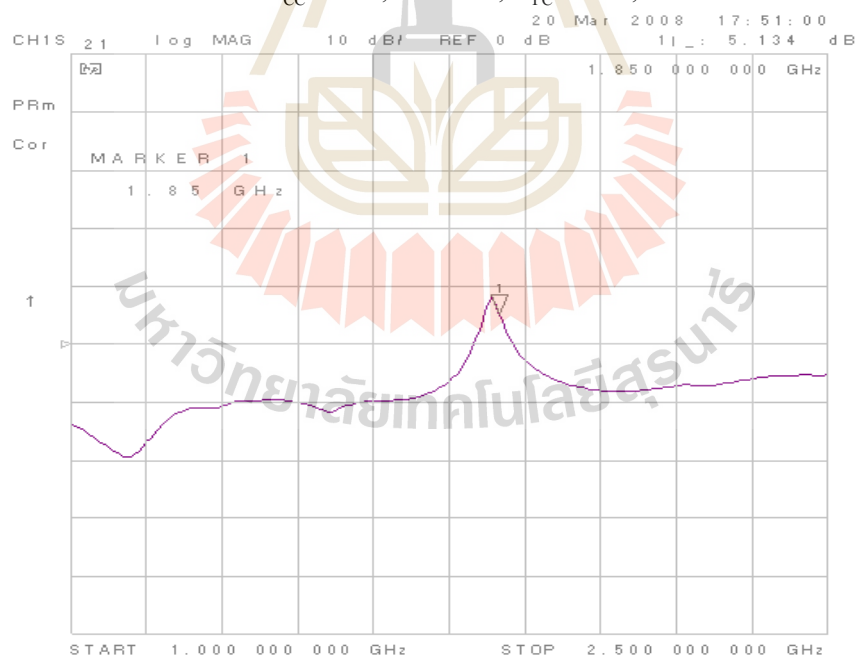
เมื่อทำการวัดค่าวงจรขยายสัญญาณที่ออกแบบมานั้นสามารถขยายสัญญาณได้หรือไม่โดยการวัดอัตราขยายสัญญาณจากเครื่อง SPECTRUM ANALZER แล้วนั้น เราทำการวัดกราฟการขยายของวงจรจากเครื่อง NETWORK ANALZER เพื่อดูอัตราขยายที่ความถี่ที่ได้ออกแบบไว้จาก S พารามิเตอร์



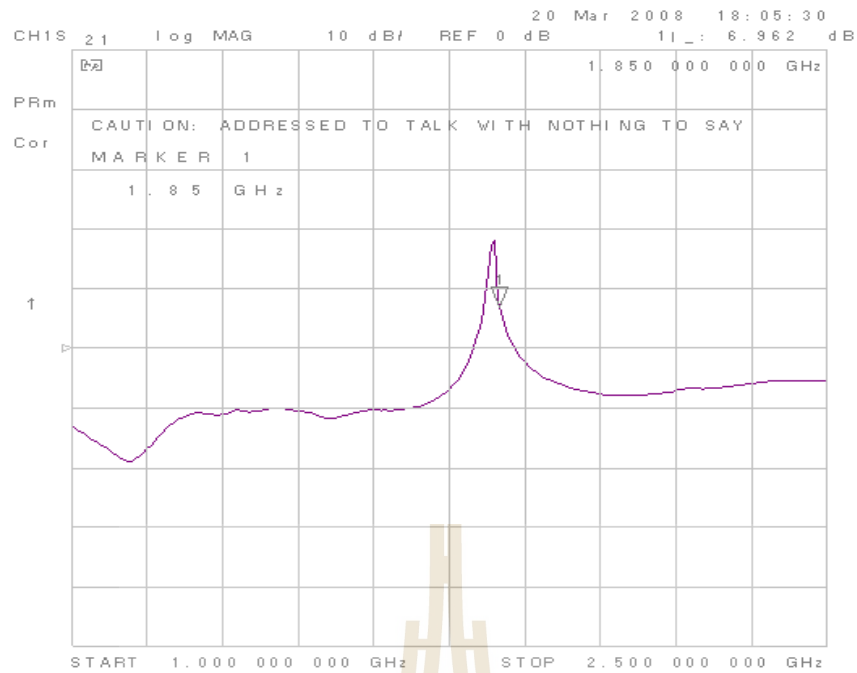
รูปที่ 4.15 แสดงกราฟที่ได้จาก NETWORK ANALZER ทำการวัด S21 ของวงจรขยายที่ย่าน 850 MHz โดย $V_{CC} = 3.5V$, $I = 70\text{ mA}$, $V_{PC} = 2.3\text{ V}$, $\text{Gain} \approx 13\text{ dB}$



รูปที่ 4.16 แสดงกราฟที่ได้จาก NETWORK ANALZER ทำการวัด S21 ของวงจรขยายที่ย่าน 850 MHz โดย $V_{CC} = 4V$, $I = 80\text{ mA}$, $V_{PC} = 2.3\text{ V}$, $\text{Gain} \approx 12\text{ dB}$

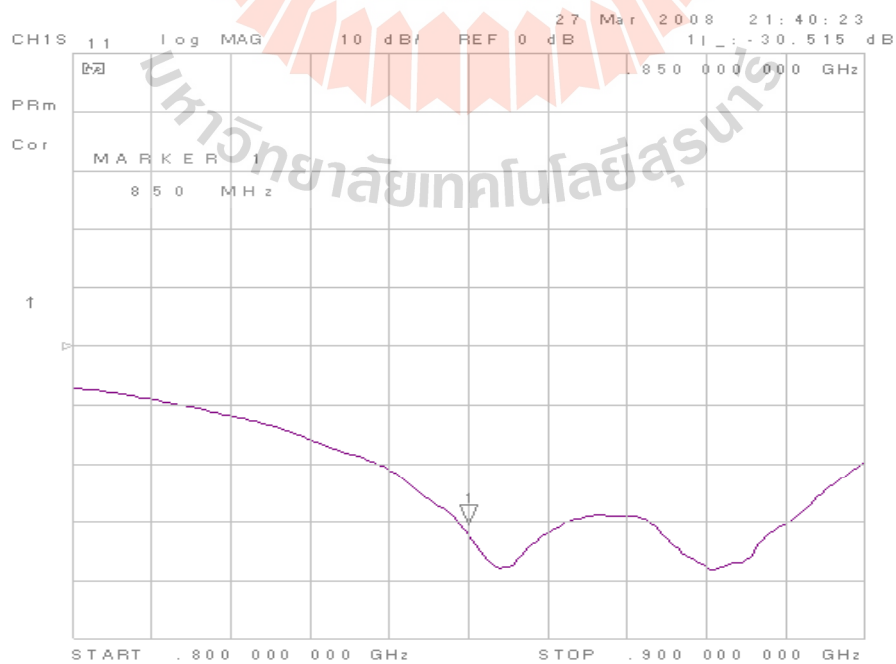


รูปที่ 4.17 แสดงกราฟที่ได้จาก NETWORK ANALZER ทำการวัด S21 ของวงจรขยายที่ย่าน 1850 MHz โดย $V_{CC} = 4.5V$, $I = 20\text{ mA}$, $V_{PC} = 2.4\text{ V}$, $\text{Gain} \approx 12\text{ dB}$

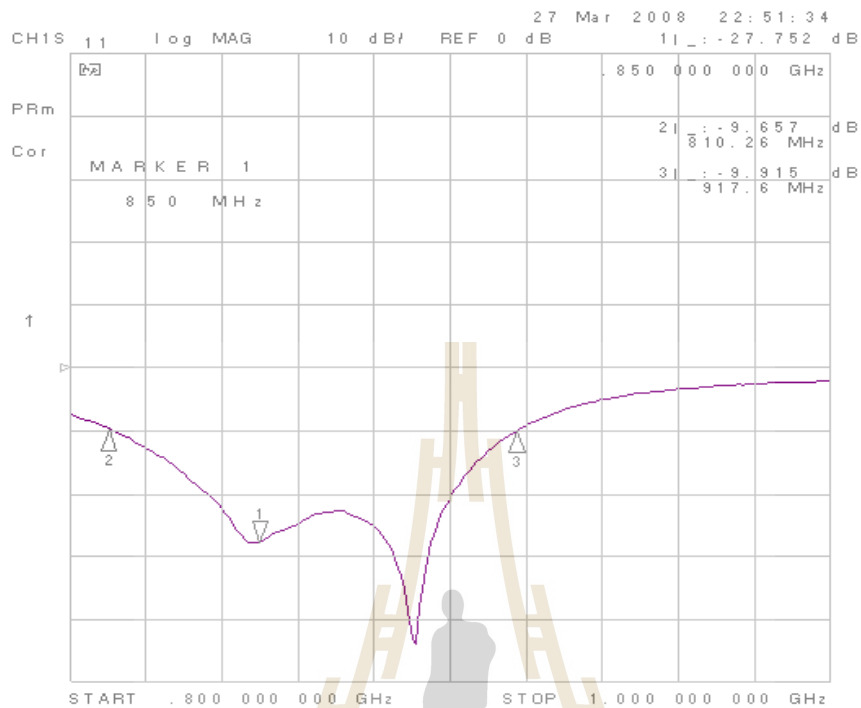


รูปที่ 4.18 แสดงกราฟที่ได้จาก NETWORK ANALYZER ทำการวัด S21 ของวงจรขยายที่ย่าน 1850 MHz โดย $V_{CC} = 5V$, $I = 30\text{ mA}$, $V_{PC} = 2.5\text{ V}$, Gain $\approx 14\text{ dB}$

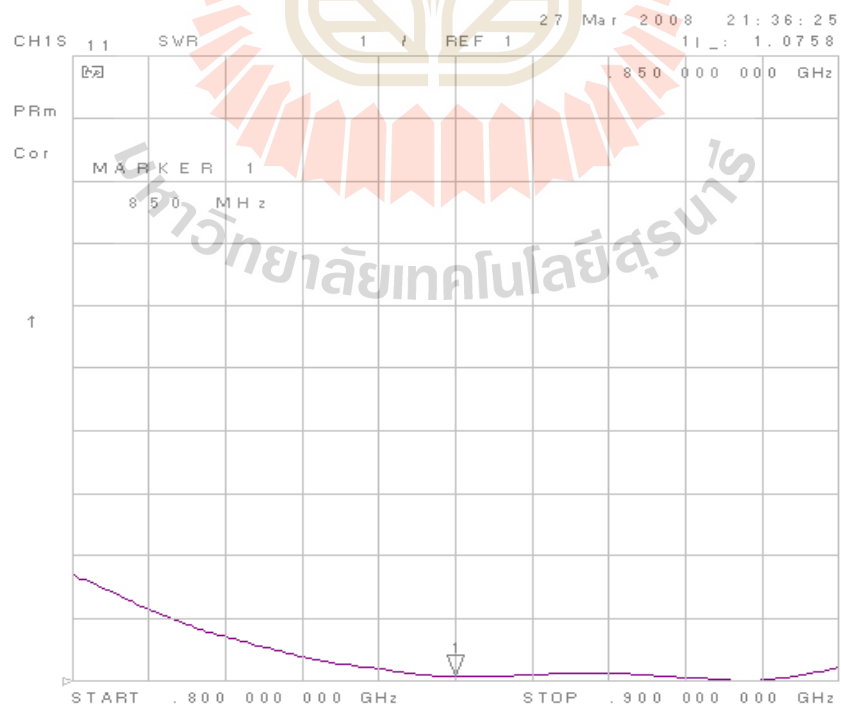
4.4 ผลการวัดการแมตต์ซิงของสายอากาศ



รูปที่ 4.19 แสดงผลการวัดแมตซ์ซิงของสายอากาศในย่านความถี่ 800 – 900MHz
โดย Network Analyzer

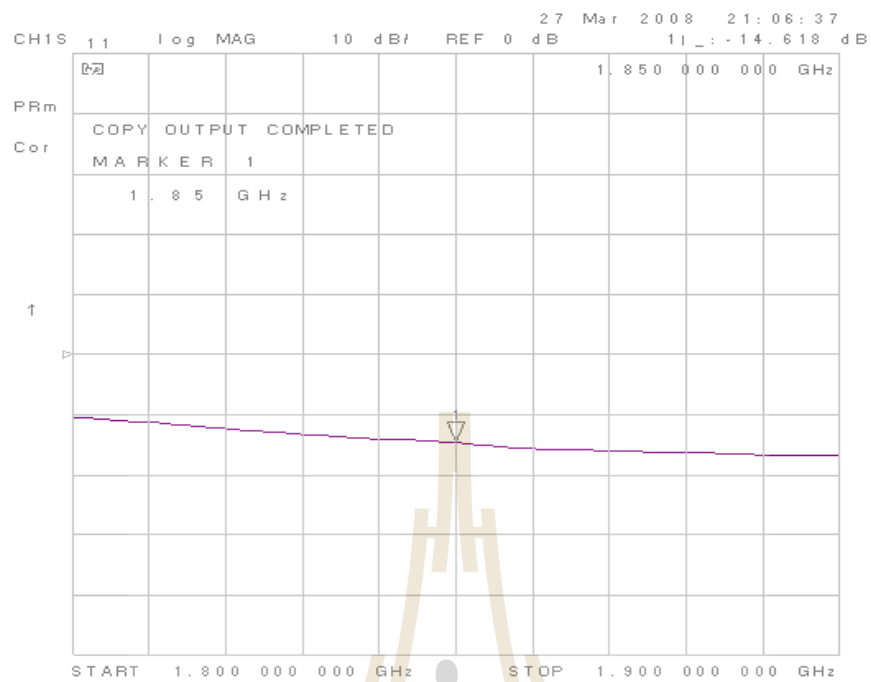


รูปที่ 4.20 แสดงผลการวัด Bandwidth ของสายอากาศในย่านความถี่ 1800 – 1900MHz
โดย Network Analyzer



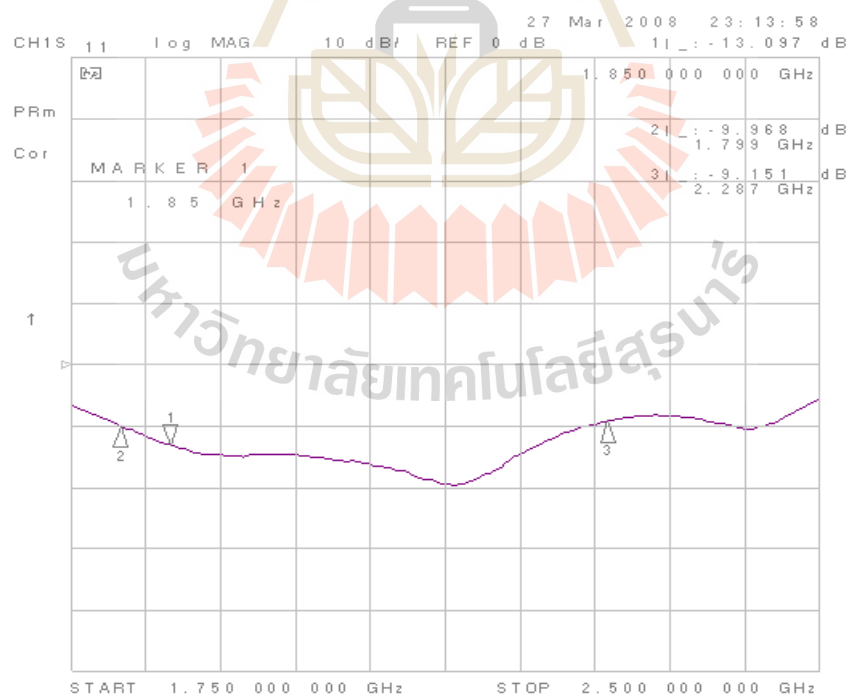
รูปที่ 4.21 แสดงผลการวัด SWR ของสายอากาศในย่านความถี่ 800 – 900MHz

โดย Network Analyzer



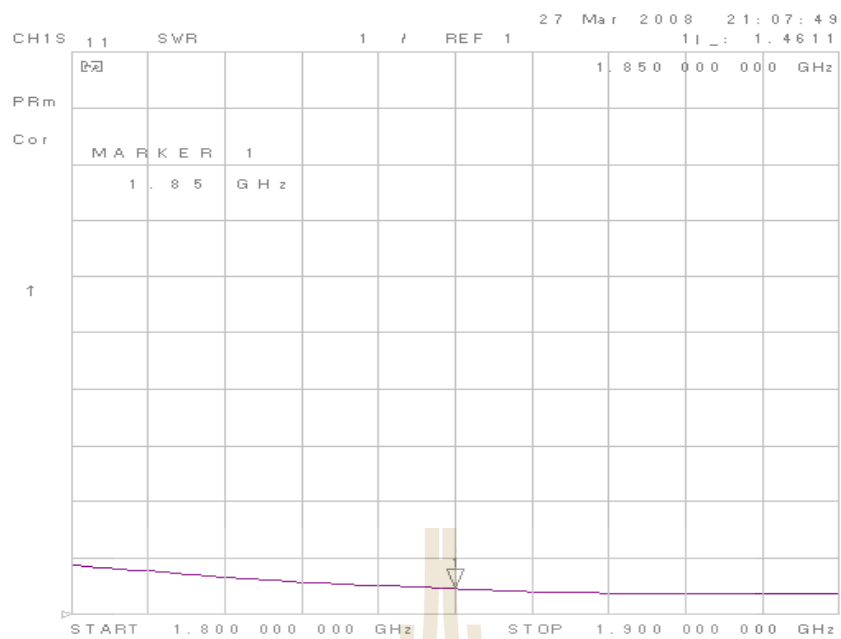
รูปที่ 4.22 แสดงผลการวัดแมตซ์ซิงของสายอากาศในย่านความถี่ 1800–1900MHz

โดย Network Analyzer



รูปที่ 4.23 แสดงผลการวัดค่าBandwidth ของสายอากาศในย่านความถี่1800 – 1900MHz

โดย Network Analyzer



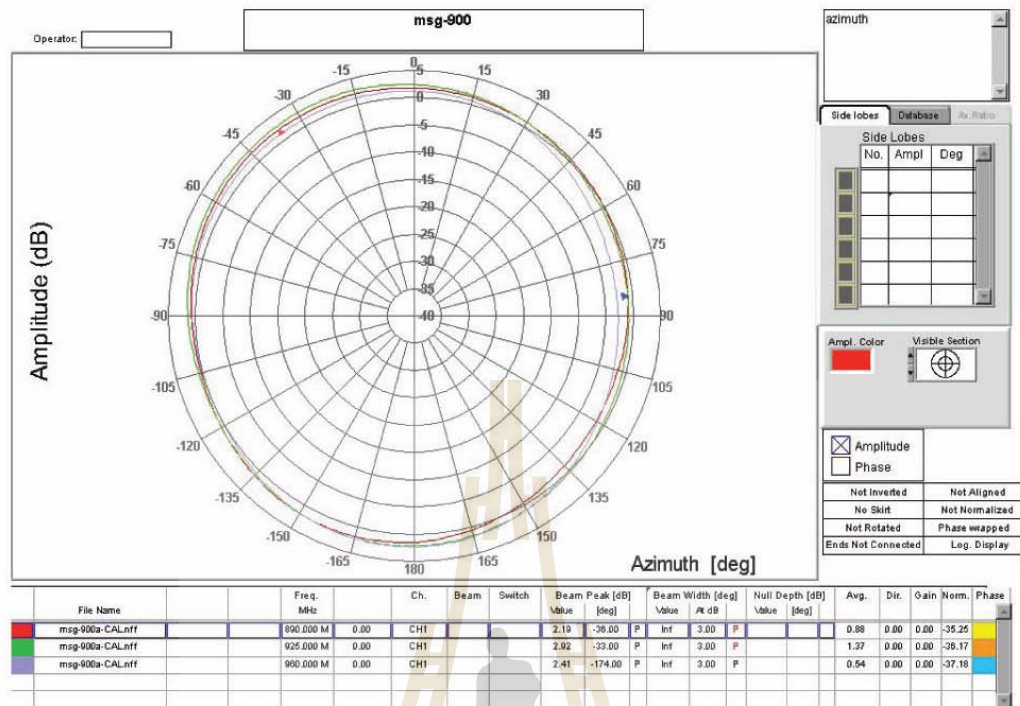
รูปที่ 4.24 แสดงผลการวัด SWR ของสายอากาศในย่านความถี่ 1800 – 1900 MHz

โดย Network Analyzer

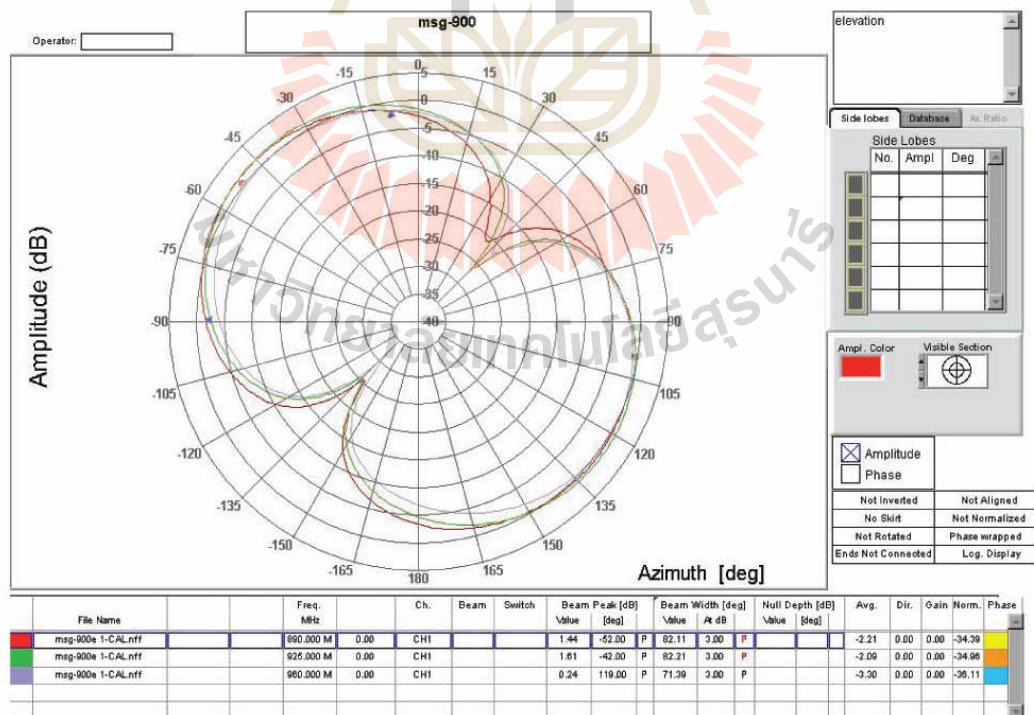


Radiation Pattern

AZIMUTH

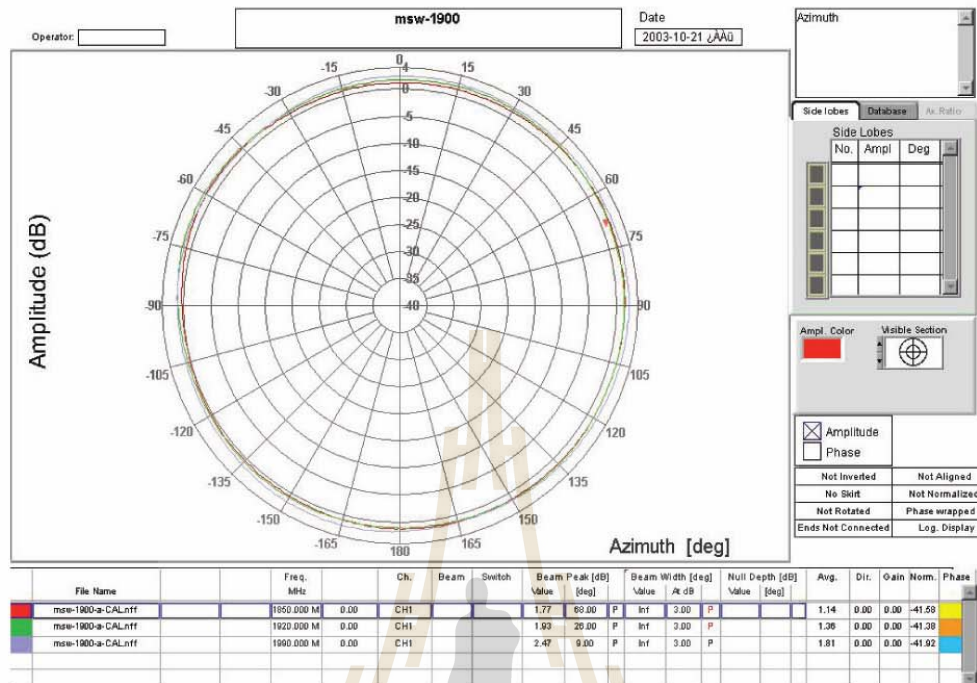


ELEVATION

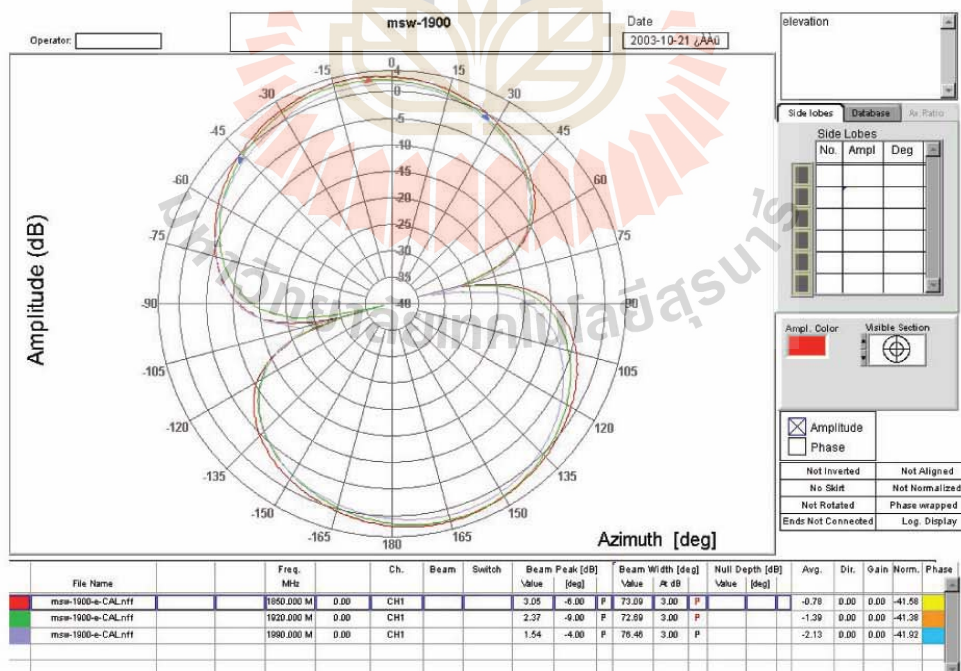


Radiation Pattern

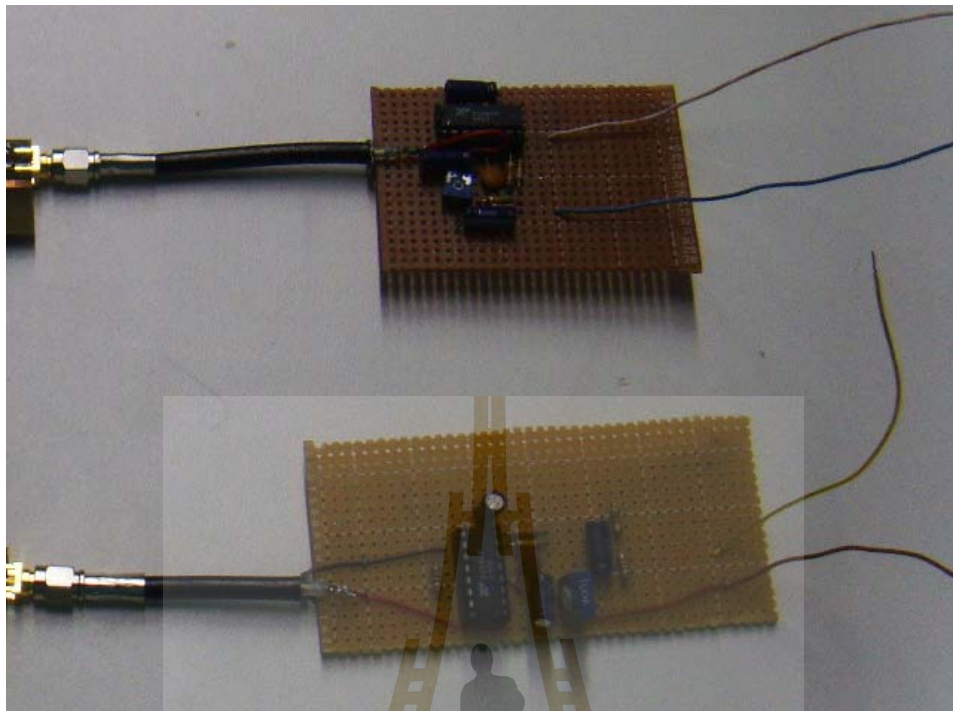
AZIMUTH



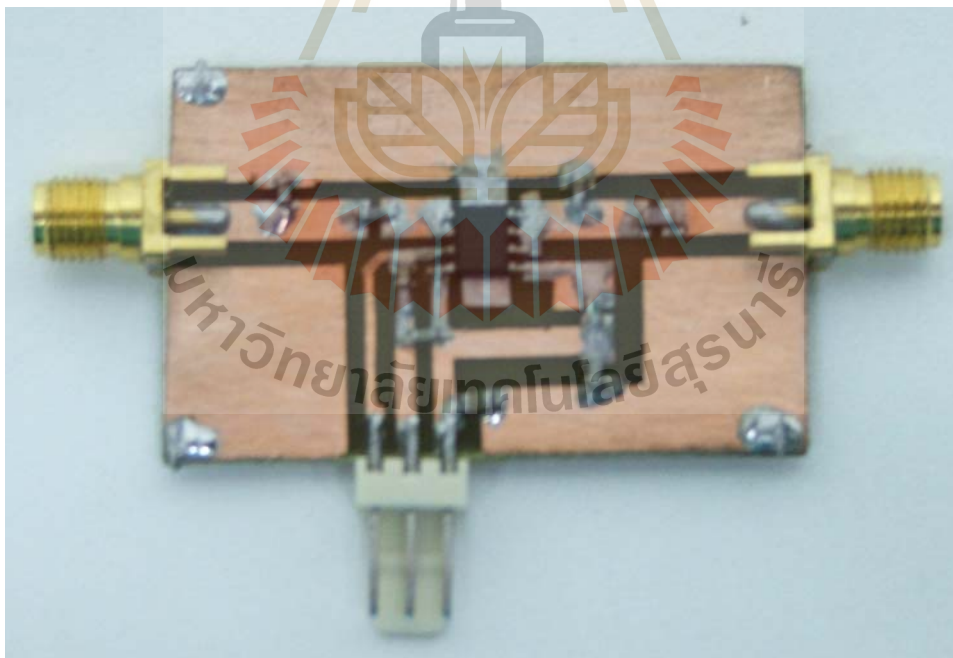
ELEVATION



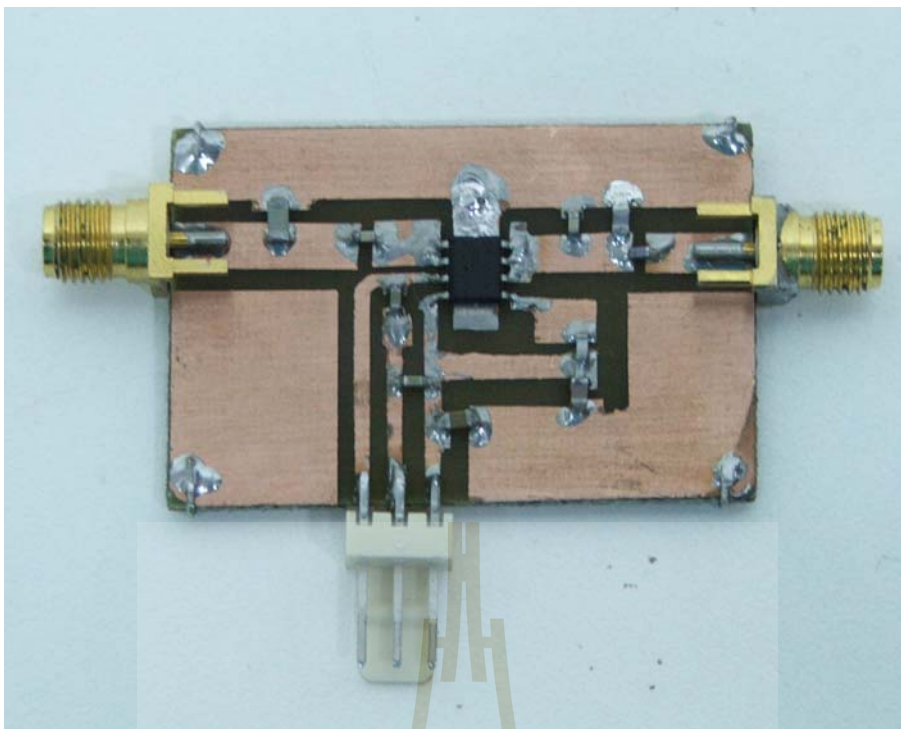
4.5 ภาพวงจรต่างๆที่ได้จากการออกแบบ



รูปที่ 4.25 แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณพินเลื่อย



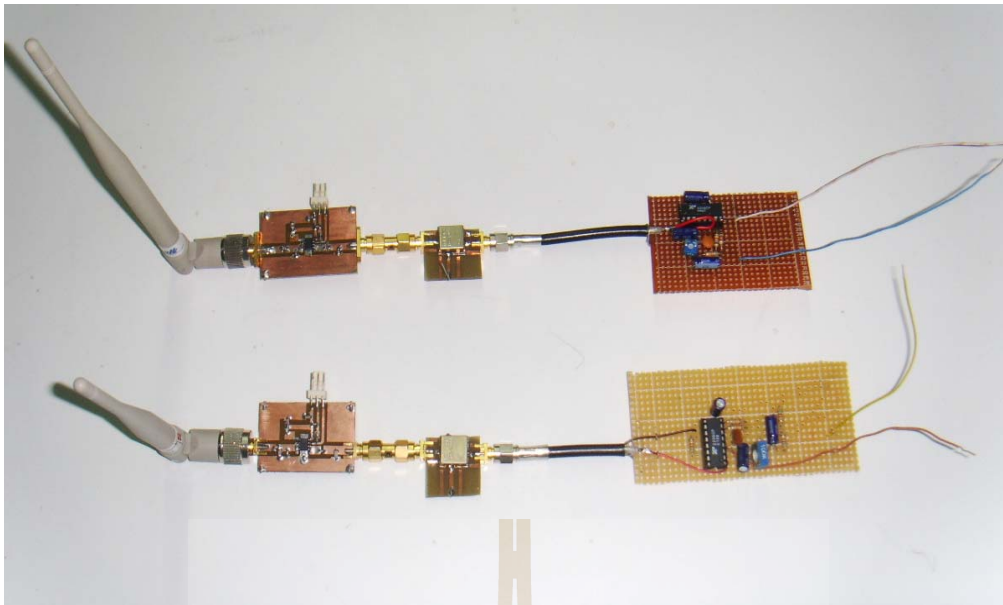
รูปที่ 4.26 แสดงวงจรขยายสัญญาณที่ย่านความถี่ 850 MHz



รูปที่ 4.27 แสดงวงจรขยายสัญญาณที่ย่านความถี่ 1850 MHz

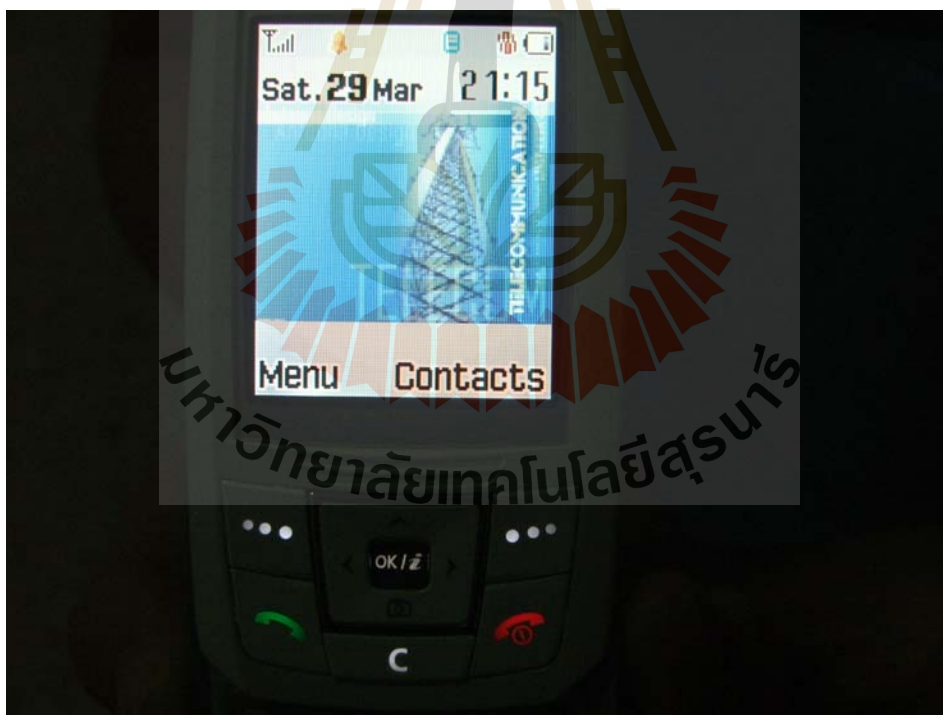


รูปที่ 4.28 สายอากาศย่านความถี่ 800 – 900 MHz และ 1800 - 1900 MHz

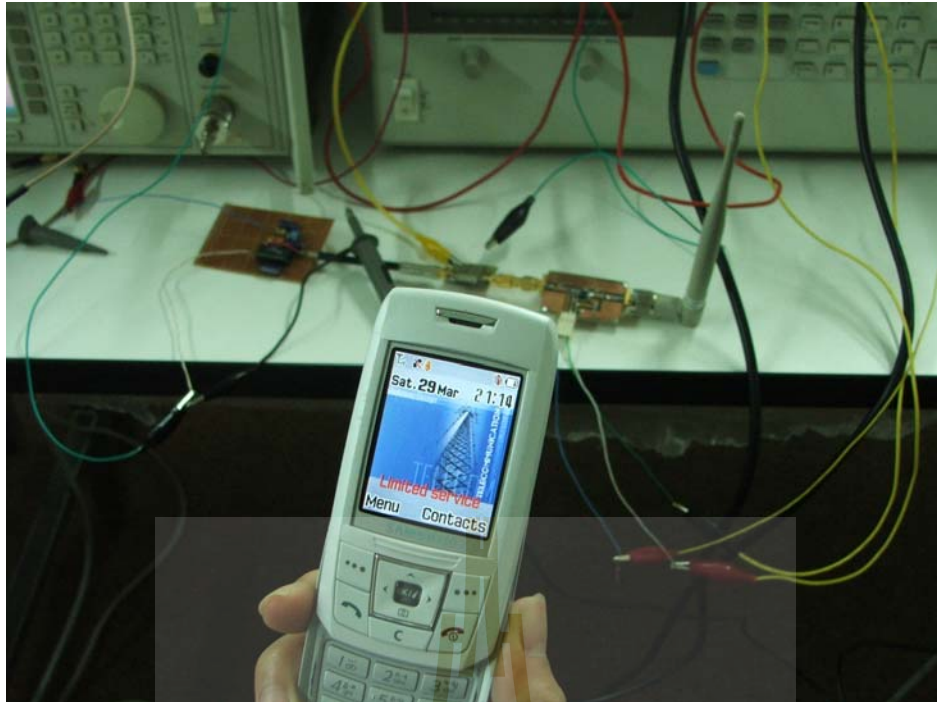


รูปที่ 4.29 แสดงระบบโดยรวมทั้งหมดที่มีอัตราขยายย่านความถี่ 850 MHz และ 1850MHz

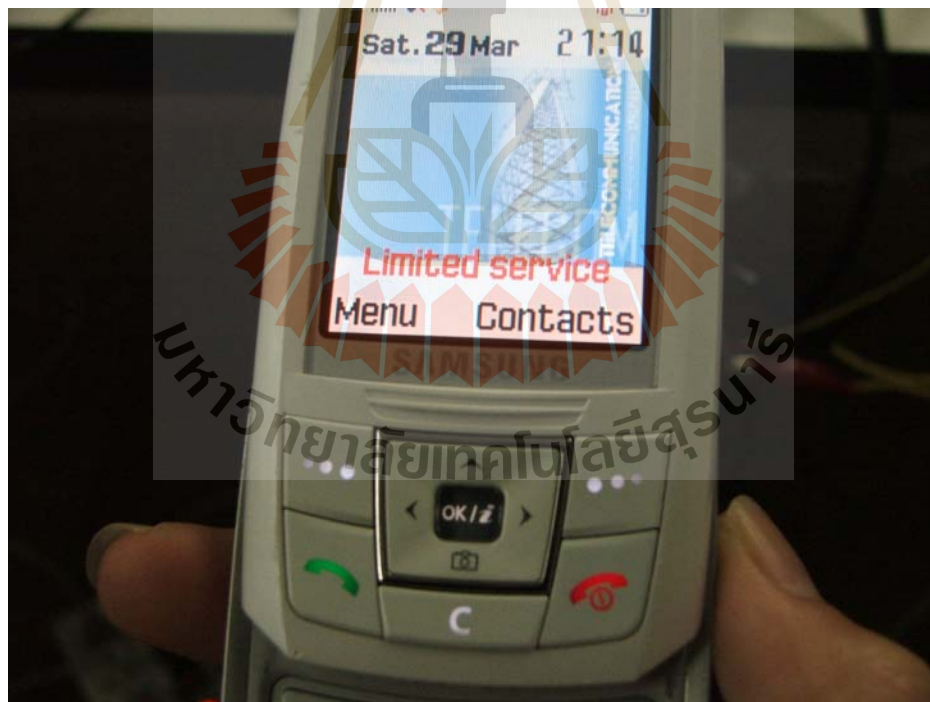
4.6 ผลการทดสอบระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือทั้งระบบ



รูปที่ 4.30 แสดงผลหน้าจอโทรศัพท์มือถือระบบ one-to-call ซึ่งใช้ความถี่ในย่าน 800-900 MHz
ขณะไม่มีการรบกวนสัญญาณ



รูปที่ 4.31 แสดงผลหน้าจอโทรศัพท์มือถือระบบ one-to-call ซึ่งใช้ความถี่ในย่าน 800-900 MHz
เมื่อมีการรบกวนสัญญาณจากระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ



รูปที่ 4.32 แสดงผลหน้าจอโทรศัพท์มือถือระบบ one-to-call ซึ่งใช้ความถี่ในย่าน 800-900 MHz
เมื่อมีการรบกวนสัญญาณจากระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ



รูปที่ 4.33 แสดงผลหน้าจอโทรศัพท์มือถือระบบ True Move ซึ่งใช้ความถี่ในย่าน 1800-1900 MHz เมื่อมีการรับคลื่นสัญญาณจากระบบรับคลื่นสัญญาณโทรศัพท์มือถือ



รูปที่ 4.34 แสดงผลหน้าจอโทรศัพท์มือถือระบบ True Move ซึ่งใช้ความถี่ในย่าน 1800-1900 MHz เมื่อมีการรับคลื่นสัญญาณจากระบบรับคลื่นสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

บทที่ 5

บทสรุป

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงการทำงานในโครงงานโดยรวมของระบบทั้งหมด โดยจะอธิบายส่วนประกอบของระบบระบบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ คุณสมบัติทั่วไปของระบบ และผลการทดลองโดยรวม รวมทั้งปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการทำโครงงานและข้อจำกัดในการทำการทดลอง

5.1 ส่วนประกอบของระบบระบบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

ระบบระบบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ประกอบไปด้วย

1. วงจรกำเนิดสัญญาณ ซึ่งใช้ไอซี XR 2206 ให้กำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยป้อนให้กับ VCO
2. VCO ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรขยายสัญญาณ
3. วงจรขยายสัญญาณ ความถี่ความถี่ 850 MHz และ 1850 MHz
4. สายอากาศที่ช่วง 800-900 MHz และ 1800-1900 MHz

5.2 คุณสมบัติทั่วไปของระบบระบบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

1. ความถี่ที่ส่งออกอากาศ : 850 MHz และ 1850 MHz
2. ช่วงความถี่ที่ครอบคลุม : 800-900 MHz และ 1800-1900 MHz
3. รัศมีในการทำงานของระบบ : ประมาณ 10 เมตร
4. การแสดงผล
 - การแสดงสถานะการทำงาน : โทรศัพท์มือถือไม่สามารถใช้งานได้
5. ขนาดของวงจร
 - ความกว้าง : 10 เซนติเมตร
 - ความยาว : 25 เซนติเมตร
 - ความสูง : 15 เซนติเมตร(ย่านความถี่ 1800- 1900 MHz) และ 20 เซนติเมตร(ย่านความถี่800–900 MHz)
 - น้ำหนัก : 200 กรัม (ไม่รวมแหล่งจ่ายพลังงาน)
6. กำลังในการส่งออก(Power output) : 17 dBm

5.3 ปัญหาที่พบในการทำงาน

1. ไอซีที่ใช้ส่วนใหญ่หาซื้อในประเทศได้ยาก เนื่องจากไม่มีขายในประเทศไทย จึงทำให้ต้องเสียเวลาในการสั่งซื้อจากต่างประเทศ ทั้งยังมีราคาค่อนข้างสูง
2. ไอซีมีขนาดเล็กมาก อีกทั้งผู้ปฏิบัติการยังขาดความชำนาญในการบัดกรี จึงทำให้ไอซีบางตัวเสียหายและไม่สามารถใช้งานได้
3. ไอซีएमพลิไฟล์ที่ได้ส่วนใหญ่ไม่ได้มีค่าตามคุณสมบัติใน data sheet ทำให้ยากในการออกแบบและต้องเสียเวลาเพื่อให้ได้ค่าตามที่ต้องการ
4. ขาดความเข้าใจและความชำนาญในคุณสมบัติ และการนำไปใช้งานของไอซีบางตัวทำให้วงจรที่ออกแบบมาใช้งานไม่ได้

5.4 ข้อจำกัดของโครงการ

1. ไอซีส่วนใหญ่ที่ใช้ในโครงการนี้หาซื้อได้ยาก และ VCO ที่ความถี่ในย่านนี้ มีราคาแพง จึงทำให้งบประมาณที่ใช้มีไม่เพียงพอที่จะทำให้โครงการนี้ออกมาสมบูรณ์เท่าที่ควร
2. ไม่มีเครื่องมือที่ใช้ในการบัดกรีอุปกรณ์ขนาดเล็ก ทำให้ไอซีขนาดเล็กเสียหายได้ง่ายซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองและเสียเวลา

5.5 ผลที่ได้จากโครงการนี้

1. ทำให้มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคตได้
2. ทำให้มีความรู้ในการออกแบบวงจรด้านความถี่วิทยุ(RF circuit design)
3. สามารถใช้งานเครื่องมือวัดทางด้านโทรคมนาคมได้
4. ได้เรียนรู้วิธีการออกแบบลายวงจร และขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์
5. มีความเข้าใจหลักการทำงาน และวิธีการออกแบบจากการศึกษาข้อมูลของไอซีแต่ละตัว

5.6 แนวทางการพัฒนาต่อไป

จากระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือที่ได้สร้างขึ้นมาและได้ทำการทดสอบพบว่าผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจตรงตามวัตถุประสงค์ แต่ยังคงมีปัญหามากมายที่ต้องแก้ไข เนื่องจากมีงบประมาณและเวลาที่จำกัดอีกทั้งยังขาดประสบการณ์ในการทำงาน จึงขอฝากไว้เพื่อการพัฒนาต่อไปด้วย

1. วงจรยังเป็นวงจรต้นแบบ ซึ่งยังต้องนำไปพัฒนาเป็นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สวยงามและง่ายต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆได้

2. ความถี่ของวงจรขยายสัญญาณยังต้องอาศัยการจูนช่วยทำให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งานเนื่องจากไม่มีชิปที่ตรงตามค่าที่ออกแบบมา ทำให้มีความคลาดเคลื่อนบ้าง ซึ่งการใช้ไอซีและชิปที่มีคุณภาพจะทำให้ผลเป็นตามต้องการมากขึ้น
3. วงจรโดยรวมยังมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ซึ่งสามารถพัฒนาให้มีขนาดเล็กลง เพื่อให้สะดวกแก่การใช้งานและการพกพา
4. วงจรของระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือที่ออกแบบนี้ เป็นเพียงการส่งสัญญาณเข้าไปรบกวนความถี่เดียวกับที่ใช้ในโทรศัพท์มือถือเท่านั้น หากเพิ่ม Noise เข้าไปรบกวนจะทำให้ประสิทธิภาพในการรบกวนดีขึ้น
5. ควรเพิ่มสัญญาณไฟ เพื่อแสดงสถานะการทำงานของระบบ



ภาคผนวก



ประวัติผู้เขียน



นางสาวมานวิกา วงศ์โลหะทอง เกิดวันที่ 2 มกราคม 2530 ภูมิลำเนาเดิมอยู่บ้านเลขที่ 141/1 ถ. กลั่นแก้ว ต.ตะกั่วป่า อ. ตะกั่วป่า จ. พังงา จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนตะกั่วป่าศิริเขต อ.ตะกั่วป่า จ. พังงา ปีการศึกษา 2546 ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา



นางสาวรัชฎทัย ทิพยเนตร เกิดวันที่ 5 มีนาคม 2529 ภูมิลำเนาเดิมอยู่บ้านเลขที่ 169 หมู่ 1 ตำบลด่านช้าง อำเภอบัวใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย ชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ ปีการศึกษา 2546 ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

