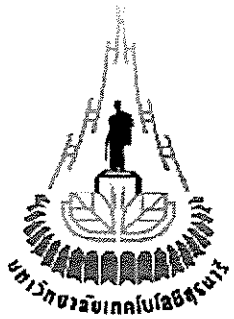


การศึกษาวิธีการออกแบบเครื่องส่งวิทยุระบบ FM ตามมาตรฐาน ITU สำหรับกิจการวิทยุชุมชน

โดย

1. นายนรเศรษฐ์ กุศลปรีดี รหัสประจำตัว B4917335
2. นายวิษรุต ศรีสุจันทร์ รหัสประจำตัว B5047154

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427494 โครงงานศึกษาวิศวกรรมโทรคมนาคม
และวิชา 427499 โครงงานวิศวกรรมโทรคมนาคม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2546
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2555

การศึกษาวิธีการออกแบบเครื่องส่งวิทยุระบบ FM ตามมาตรฐาน ITU สำหรับกิจการวิทยุชุมชน

คณะกรรมการสอบโครงงาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์)
กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก)
กรรมการ

(อ.เศรษฐวิทย์ ภูฉายา)
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับรายงานโครงงานฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม รายวิชา 427499 โครงงานวิศวกรรมโทรคมนาคม และรายวิชา 427494 โครงงานศึกษาวิศวกรรมโทรคมนาคม ประจำปีการศึกษา 2555

โครงงาน	การศึกษาวิธีการออกแบบเครื่องส่งวิทยุระบบ FM ตามมาตรฐาน ITU สำหรับกิจการวิทยุชุมชน
จัดทำโดย	นายนรเศรษฐ์ กุศลปรีดี รหัส B4917335
	นายวิษรุต ศรีสุจันทร์ รหัส B5047154
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาคการศึกษา	1 และ 3/2554

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเครื่องส่งวิทยุ FM ในประเทศเพื่อใช้งานภายในชุมชนที่ถูกออกแบบมายังขาดความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีเบื้องต้นและยังขาดอุปกรณ์ในการสร้างและการวัดบางชิ้น ซึ่งอุปกรณ์ในการสร้างและการวัดบางชิ้นยังคงต้องสั่งจากต่างประเทศทั้งยังมีราคาแพง และอีกปัญหาหนึ่งคือการที่สถานีวิทยุชุมชนใช้เครื่องส่ง FM ที่ไม่ได้มาตรฐาน ทำให้เกิดคลื่นวิทยุรบกวนกันระหว่างสถานีทั้งยังไปรบกวนวิทยุการบินซึ่งส่งผลต่อความปลอดภัยทางการจราจรทางอากาศ โครงงานนี้จึงได้นำเสนอทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับภาคการทำงานและวงจรพื้นฐานของเครื่องส่งวิทยุ FM และยังนำเสนอวิธีการวัดตามมาตรฐานทางเทคนิคที่ใช้กันในประเทศไทย ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนต่อสถานีวิทยุคมนาคมอื่นๆ เช่น กิจการวิทยุกระจายเสียง และกิจการวิทยุโทรทัศน์ เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษาในด้านต่างๆในระหว่างการดำเนินการจากบุคคลหลายท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดีเสมอมาอันได้แก่

- รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาในด้านต่างๆ ทั้งทางวิชาการการปฏิบัติงานและการส่งไปศึกษาวิธีการทดสอบมาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงสำหรับการทดลองประกอบกิจการที่ทางสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติจัดขึ้นและคอยดูแลการควบคุมการทำงานให้เป็นไปตามขั้นตอน

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา อาจารย์เป็นผู้ดูแลและให้การช่วยเหลือด้านต่างๆตอนไปศึกษาการทดสอบมาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงสำหรับการทดลองประกอบกิจการที่ทางสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติจัดขึ้นและให้การสนับสนุนอุปกรณ์การวัด

- บุคลากรสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมที่สนับสนุนด้านอุปกรณ์ด้านห้อง Lab และการดำเนินงาน

- พี่น้อง และเพื่อนชาววิศวกรรมโทรคมนาคมที่ให้การช่วยเหลือด้านต่างๆและคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่อบรมเลี้ยงดูและให้โอกาสทางการศึกษาทั้งยังคอยให้กำลังใจ สนับสนุนด้วยดีตลอดมาอย่างหาที่เปรียบมิได้

จึงเห็นสมควรที่จะมอบคุณงามความดีและเกียรติคุณเหล่านี้แด่ท่านที่กล่าวมานี้ รวมถึงบุคคลที่มิได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย

นายนรเศรษฐ์ กุศลปรีดี

นายวิษรุต ศรีสุจันทร์

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของการทำงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ระบบเครื่องส่งวิทยุ FM ทั่วไป	
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 โครงสร้างของระบบเครื่องส่ง FM	3
2.3 แหล่งกำเนิดเสียง (sound & media sources)	3
2.4 ตัวควบคุมกำลังเสียง (limiter)	4
2.5 การเข้ารหัสของสเตอริโอ (stereo encoder)	5
2.6 วงจรกระตุ้นแยก (FM exciter)	8
2.7 ภาคขยายกำลัง (RF amplifier)	12
2.8 วงจรกรองความถี่ (filter)	13
บทที่ 3 เครื่องส่ง FM สเตอริโอมัลติเพล็กซ์ต้นแบบ	
3.1 กล่าวนำ	18
3.2 บล็อกการทำงานของเครื่องส่ง FM สเตอริโอมัลติเพล็กซ์	18
บทที่ 4 มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องส่งวิทยุระบบ FM	
4.1 กล่าวนำ	28
4.2 ข้อกำหนดทางเทคนิคเครื่องส่งวิทยุ FM	28
4.3 ขั้นตอนในการทดสอบเครื่องส่งวิทยุ FM (ต้นแบบ) และผลการทดลอง	50

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 บทสรุป	
5.1 บทสรุปของโครงงาน	64
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนา	64
5.3 ข้อเสนอแนะ	65
ภาคผนวก	66
ประวัติผู้เขียน	80
บรรณานุกรม	81

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รายการ	หน้า
รูปที่ 2.1 บล็อกแสดงการทำงานของระบบเครื่องส่ง FM	3
รูปที่ 2.2 รูปตัวอย่างแหล่งกำเนิดเสียง	4
รูปที่ 2.3 วงจร Limiter	4
รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงาน stereo encoder	5
รูปที่ 2.5 สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณ composite signal	6
รูปที่ 2.6 วงจร stereo encoder โดยใช้ไอซี BH1417F	6
รูปที่ 2.7 แสดงวงจรภายในไอซี BH1417F	7
รูปที่ 2.8 วงจรที่ใช้กำเนิดสัญญาณ	8
รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมแสดงการผสมคลื่นทางความถี่	9
รูปที่ 2.10 การผสมคลื่นเสียงเข้ากับพาห์ในระบบ FM	10
รูปที่ 2.11 คลื่น FM ที่เกิดจากสัญญาณที่ขนาดต่างกัน	11
รูปที่ 2.12 วงจรบัฟเฟอร์	12
รูปที่ 2.13 วงจร RF amplifier	12
รูปที่ 2.14 กราฟแสดงช่วงการใช้งานของ Low Pass Filter	14
รูปที่ 2.15 วงจร Low Pass Filter	14
รูปที่ 2.16 กราฟแสดงช่วงการใช้งานของ High Pass Filter	15
รูปที่ 2.17 วงจร High Pass Filter	15
รูปที่ 2.18 กราฟแสดงช่วงการใช้งานของ Band Pass Filter	16
รูปที่ 2.19 วงจร Band Pass Filter	17
รูปที่ 3.1 บล็อกแสดงการทำงานของเครื่องส่ง FM สเตอริโอมัลติเพล็กซ์	18
รูปที่ 3.2 วงจร stereo encoder ของเครื่องส่งวิทยุ FM ตัวต้นแบบ	19
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจร stereo encoder	20
รูปที่ 3.4 วงจร Frequency Modulation ของเครื่องส่งวิทยุ FM ตัวต้นแบบ	21
รูปที่ 3.5 วงจร Phase Locked Loop ของเครื่องส่งวิทยุ FM ตัวต้นแบบ	22
รูปที่ 3.6 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ของเครื่องส่งวิทยุ FM ตัวต้นแบบ	23
รูปที่ 3.7 วงจร RF amplifier ของเครื่องส่งวิทยุ FM ตัวต้นแบบ	24
รูปที่ 3.8 วงจร Low Pass Filter ของเครื่องส่งวิทยุ FM ตัวต้นแบบ	25

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รายการ	หน้า
รูปที่ 3.9 วงจร Power Amplifier (PA) ของเครื่องส่งวิทยุ FM ตัวต้นแบบ	26
รูปที่ 3.10 วงจร Low Pass Filter ของเครื่องส่งวิทยุ FM ตัวต้นแบบ	27
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการต่อเครื่องมือวัดตามมาตรฐาน ETSI EN 302 018-1 V1.2.1	29
รูปที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการต่อเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบกำลังคลื่นพาห์	29
รูปที่ 4.3 แสดงการทดสอบค่ากำลังคลื่นพาห์ โดยใช้ RF communications test set	30
รูปที่ 4.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงการต่อเครื่องมือเพื่อทดสอบการแพร่แปลกปลอม	32
รูปที่ 4.5 แสดงการทดสอบค่ากำลังคลื่นพาห์ด้วย spectrum analyzer โดยยังไม่มีการ modulate	34
รูปที่ 4.6 แสดงการแพร่แปลกปลอมที่ความถี่ 9 kHz - 150 kHz	35
รูปที่ 4.7 แสดงการแพร่แปลกปลอมที่ความถี่ 150 kHz - 30 MHz	36
รูปที่ 4.8 แสดงการแพร่แปลกปลอมที่ความถี่ 30 MHz - 1 GHz	37
รูปที่ 4.9 ตารางแสดงขอบเขตการแพร่นอกแถบ	38
รูปที่ 4.10 กรอบของขอบเขตการแพร่นอกแถบ	39
รูปที่ 4.11 การต่อเครื่องมือวัดตามมาตรฐาน ETSI EN 302 018-1 V1.2.1 (2006- 03)	40
รูปที่ 4.12 บล็อกไดอะแกรมการต่อเครื่องมือวัดเพื่อวัดการแพร่นอกแถบ	40
รูปที่ 4.13 วงจรสำหรับสร้าง Colored Noise Generator	41
รูปที่ 4.14 ค่าการแพร่นอกแถบของเครื่องส่งวิทยุ FM ที่ความถี่ใช้งาน 99.00 MHz	42
รูปที่ 4.15 ตารางผลการวัดการแพร่นอกแถบเทียบกับค่ามาตรฐาน	43
รูปที่ 4.16 บล็อกไดอะแกรมการต่อเครื่องมือวัดเพื่อวัดค่าผิดพลาดทางความถี่	44
รูปที่ 4.17 แสดงค่าผิดพลาดทางความถี่ 99.00 MHz	45
รูปที่ 4.18 แสดงการต่อเครื่องมือวัดตามมาตรฐาน ETSI EN 302 018-1 V1.2.1 (2006- 03)	46
รูปที่ 4.19 บล็อกไดอะแกรมการต่อเครื่องมือเพื่อวัดค่าเบี่ยงเบนทางความถี่	47
รูปที่ 4.20 แสดงค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ที่ความถี่ใช้งาน 99.00 MHz ในขณะที่ไม่มีการมอดูเลต	48
รูปที่ 4.21 แสดงค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ที่ 99.00 MHz ตั้ง AF signal generator ที่ความถี่ 1 kHz	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

รายการ	หน้า
รูปที่ 4.22 แสดงค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ที่ 99.00 MHz ตั้งค่า AF generator ที่มอดูเลตแล้ว	49
รูปที่ 4.23 แสดงการต่อเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบกำลังคลื่นพาห์สำหรับเครื่องส่งวิทยุ FM	50
รูปที่ 4.24 แสดงค่ากำลังคลื่นพาห์ด้วย watt meter	51
รูปที่ 4.25 แสดงการต่อเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบการแพร่แปลกปลอม	52
รูปที่ 4.26 แสดงผลการวัด spurious ความถี่ 9 kHz - 150 kHz	53
รูปที่ 4.27 แสดงผลการวัด spurious ที่ความถี่ 150 kHz - 30 MHz	54
รูปที่ 4.28 แสดงผลการวัด spurious ที่ความถี่ 30 MHz – 500 GHz	54
รูปที่ 4.29 แสดงการต่อเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบการแพร่นอกแถบ	55
รูปที่ 4.30 ภาพขยายของมิกเซอร์หมายเลข 2	55
รูปที่ 4.31 การต่อ attenuator หมายเลข 4 เข้ากับเครื่อง spectrum analyzer หมายเลข 6	56
รูปที่ 4.32 ภาพแสดงค่า deviation ± 40.6 kHz จากเครื่อง service monitor	57
รูปที่ 4.33 รูปผลการทดลองการแพร่นอกแถบ	58
รูปที่ 4.34 ตารางแสดงค่าการแพร่นอกแถบเทียบกับค่าที่ทดลองได้	58
รูปที่ 4.35 แสดงการต่อเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบค่าผิดพลาดทางความถี่	59
รูปที่ 4.36 แสดงผลการทดสอบค่าผิดพลาดทางความถี่	60
รูปที่ 4.37 แสดงการต่อเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบค่าเบี่ยงเบนทางความถี่	61
รูปที่ 4.38 แสดงค่า deviation ± 40.7 kHz ของเครื่อง service monitor	62
รูปที่ 4.39 แสดงผลการวัดค่าเบี่ยงเบนทางความถี่	63

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้สถานีวิทยุ FM ได้มีการก่อตั้งขึ้นมากมายตามแหล่งชุมชนต่างๆ ทำให้เกิดปัญหาที่ตามมาคือ เกิดการรบกวนกันของสัญญาณวิทยุระหว่างสถานีวิทยุที่อยู่ใกล้เคียงกัน รวมทั้งยังมีสัญญาณบางส่วนไปรบกวนคลื่นวิทยุการบิน ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายอย่างยิ่ง เนื่องจากเส้นทางการบินภายในประเทศ ทั้งในส่วนที่เป็นของราชการและเชิงพาณิชย์นั้น มีโครงข่ายครอบคลุมเกือบทุกพื้นที่ของประเทศ จึงมีโอกาสที่จะได้รับผลกระทบจากสถานีวิทยุชุมชน ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นนั้น มีสาเหตุมาจากเครื่องส่งวิทยุ FM ของบางสถานีไม่ได้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เป็นเพราะบางสถานีไม่ได้มีการตรวจสอบหรือไม่มีเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบว่าเครื่องส่งวิทยุ FM ของตนเองนั้นมีสัญญาณไปรบกวนสถานีอื่นหรือไม่

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.รู้มาตรฐานสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union : ITU)

2.ต้องศึกษา block diagram ของระบบเครื่องส่งทั่วไป

2.1 exciter (มีส่วนประกอบพื้นฐานอะไรบ้าง)

2.2 High Power Amplifier (HPA)

3.ศึกษาว่าในระบบเครื่องส่งมี parameters อะไรบ้างที่เกี่ยวข้อง

4.ศึกษาว่าสิ่งที่ผิดไปจากมาตรฐาน ITU เกิดจากส่วนไหนบ้าง

5.ต้องศึกษาวงจรต้นแบบของเครื่องส่ง FM ที่กำหนดให้

6.ต้องศึกษาวิธีการ alignment ของวงจรต้นแบบ

7.ทดลองทำสิ่งที่เกิดขึ้นในข้อ 4 และข้อ 6

1.3 ขอบเขตของการทำงาน

1.ศึกษาลายวงจรและการทำงานของวงจร stereo encoder, วงจร exciter, วงจร filter และวงจร Power Amplifier (PA) ที่ใช้กับเครื่องส่งวิทยุ FM

2.ใช้วงจร limiter และวงจร filter เพื่อลดคลื่นรบกวนที่เกิดจากเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ FM

3.ใช้เครื่องมือวัด spectrum analyzer และเครื่องมือวัด service monitor เพื่อวิเคราะห์ปัญหาของสัญญาณที่ได้จากเครื่องส่งวิทยุ FM ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ITU

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.ศึกษาการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ FM

2.ศึกษาอุปกรณ์ทางด้านความถี่สูงและสายส่งสัญญาณ

3.ศึกษาการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณ

4.ศึกษาการออกแบบวงจรมอดูเลตแบบ FM

5.ศึกษาการออกแบบวงจรขยายความถี่วิทยุและวงจรกรอง

6.ศึกษาวิธีการใช้งานเครื่อง spectrum analyzer และเครื่อง service monitor

7.ศึกษาและทำการทดลองทั้งหมดในการส่งสัญญาณของเครื่องส่งวิทยุ FM ที่สร้างขึ้น

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.ตรวจสอบการใช้งานย่านความถี่วิทยุ

2.ลดปัญหาการเกิดคลื่นรบกวนระหว่างสถานีวิทยุ

3.สามารถนำทฤษฎีทางวิศวกรรมโทรคมนาคมมาประยุกต์ใช้ทางปฏิบัติ

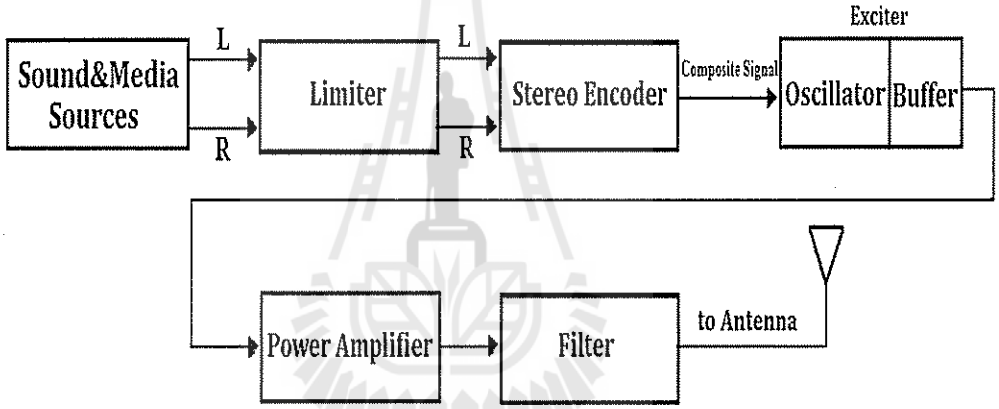
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ระบบเครื่องส่งวิทยุ FM ทั่วไป

2.1 กล่าวนำ

บทนี้จะกล่าวถึงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่ง FM โดยโครงสร้างของเครื่องส่ง FM จะมีส่วนประกอบหลักๆของเครื่องส่ง คือ stereo encoder, oscillator & buffer, Power Amplifier (PA), filter

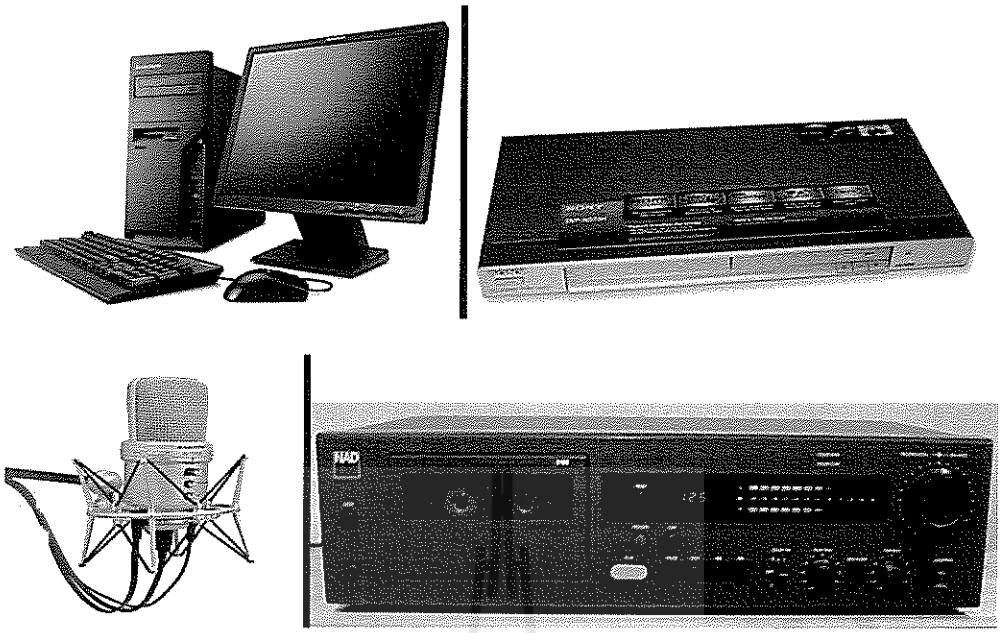
2.2 โครงสร้างของระบบเครื่องส่ง FM



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบเครื่องส่ง FM

2.3 แหล่งกำเนิดเสียง (sound & media sources)

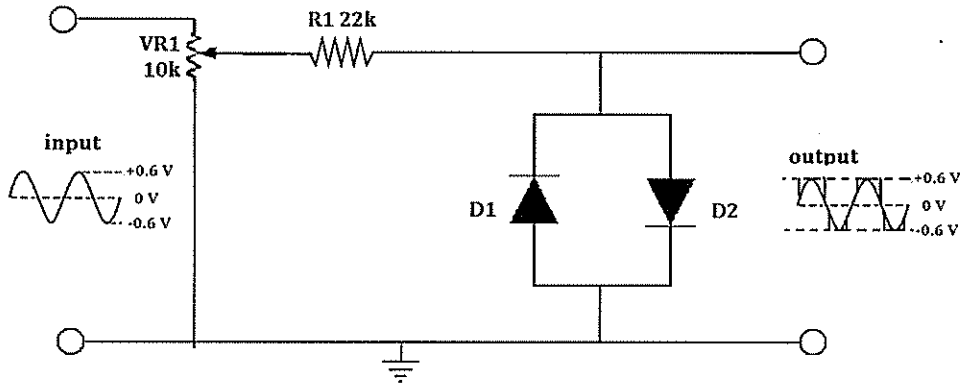
โดยปกติแล้วความถี่เสียงจะอยู่ที่ประมาณ 20 Hz - 20 kHz ซึ่งเป็นเสียงที่มาจากการเล่นแผ่นซีดี คอมพิวเตอร์ เทป ไมโครโฟน หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวกับเสียงสัญญาณเสียงนั้นจะต้องมีคุณสมบัติเสียงที่ดีและสามารถพัฒนาเสียงให้ดีได้กว่าเดิม โดยการเชื่อมต่อจากแหล่งกำเนิดเสียงไปยังตัวควบคุมกำลังเสียงของสัญญาณ (limiter) เพื่อควบคุมคุณภาพของสัญญาณให้ดีกว่าเดิม โดยที่เครื่องส่งนั้นจะต้องไม่มีสัญญาณรบกวน (noise) เข้ามารบกวนในการส่งสัญญาณ



รูปที่ 2.2 รูปตัวอย่างแหล่งกำเนิดเสียง

2.4 ตัวควบคุมกำลังเสียง (limiter)

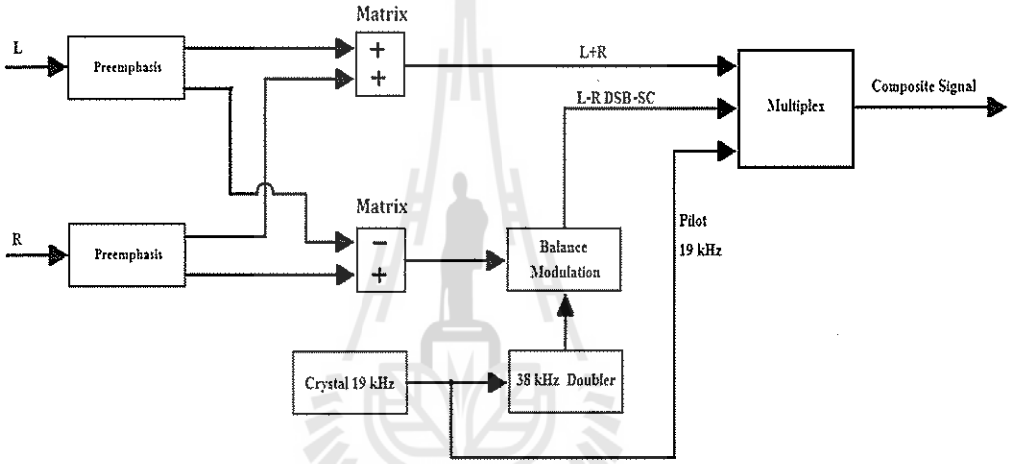
ลิมิตเตอร์จะทำหน้าที่รักษาระดับความแรงของสัญญาณให้มีระดับคงที่ตลอด เพราะสัญญาณเสียงที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิดเสียง (sound & media sources) จะมีระดับความแรงของสัญญาณไม่เท่ากัน เช่น ตั้งไว้ที่ 0 dB สัญญาณขาออกก็จะออกได้สูงสุดไม่เกิน 0 dB หรือตั้งไว้ที่ +5 dB สัญญาณขาออกก็จะออกได้สูงสุดไม่เกิน +5 dB



รูปที่ 2.3 วงจร limiter

จากรูปที่ 2.3 วงจรลิมิตเตอร์นี้จะรับสัญญาณอินพุตไม่ว่าจะขนาดเท่าใดก็ตาม ซึ่งจะให้สัญญาณเอาท์พุทที่มีขนาดจำกัดเพียง 600 มิลลิโวลต์ โดย D1 และ D2 เท่านั้น สามารถปรับตัวต้านทาน VR1 ให้สามารถขลิบแรงดันยอดของสัญญาณได้ (สัญญาณซายน์ที่ได้นี้จะมีความเพี้ยนประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์) หรือนำไปใช้ในการจำกัดสัญญาณรบกวนให้สัญญาณออดิโอ โดยการปรับตัวต้านทาน VR1 ให้เกิดการขลิบสัญญาณรบกวนออกไป

2.5 การเข้ารหัสของสเตอริโอ (stereo encoder)



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงาน stereo encoder

สัญญาณเสียงจากลิมิตเตอร์ด้านซ้าย (L) และด้านขวา (R) จะผ่านวงจรพรีเอมฟาซิส เพื่อยกระดับแอมปลิจูดของความถี่ให้มีระดับสูงขึ้นแล้วส่งไปยังวงจรเมตริกซ์ (matrix) เพื่อทำการบวกและลบสัญญาณทั้งสองจึงทำให้ได้สัญญาณเอาท์พุทเป็น L+R และ L-R ที่มีความถี่เสียงอยู่ระหว่าง 30 Hz - 15 kHz ทั้งสองสัญญาณ สัญญาณผลบวก (L+R) จะส่งเข้าไปพร้อมกับสัญญาณ (L-R) แบบ Double Side Band (DSB) ที่ได้จากเอาท์พุทของวงจร balanced modulator เพื่อจัดเฟสให้ตรงกันก่อนที่จะส่งไปยังอินพุทของภาค multiplex สัญญาณผลต่าง (L-R) จะส่งไปมอดูเลตกับคลื่นพาห์ย่อยความถี่ 38 kHz แบบ AM ที่วงจร balanced modulator ทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุต AM แบบ DSB-SC ที่กำจัดคลื่นพาห์ย่อยความถี่ 38 kHz ออกไป โดยสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จะมีเฉพาะไซด์แบนด์ด้านต่ำ (LSB) และไซด์แบนด์ด้านสูง (USB) เท่านั้น ซึ่งมีความถี่ต่ำกว่าและสูงกว่าความถี่คลื่นพาห์ย่อย 38 kHz คือความถี่ 23 kHz (38 kHz – 15 kHz) และ 53 kHz (38 kHz + 15 kHz)

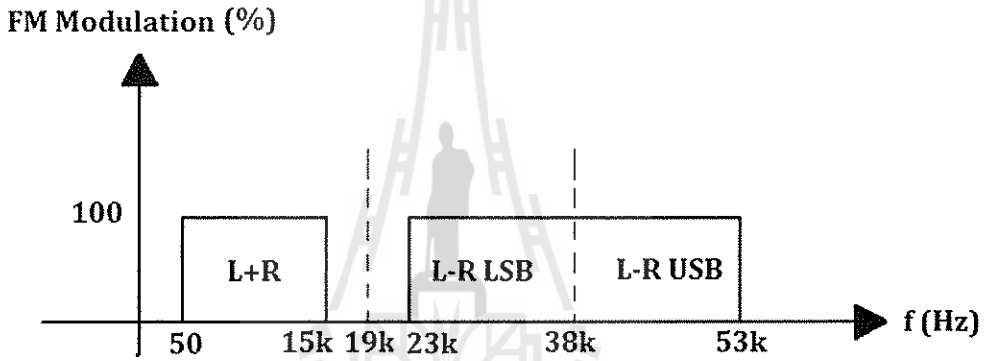
ตามลำดับ สัญญาณไพล็อตความถี่ 19 kHz จะส่งไปยังอินพุทของภาค multiplex โดยตรงและนำไปผ่านวงจรทวีคูณความถี่ 2 เท่าเพื่อทำเป็นความถี่คลื่นพาห์ย่อย 38 kHz แล้วป้อนให้แก่ภาค balanced modulator ดังนั้นที่อินพุทของภาค multiplex จะประกอบด้วยความถี่ 3 ความถี่ คือ

1) สัญญาณไซด์แบนด์ L+R ความถี่ 30 Hz – 15 kHz

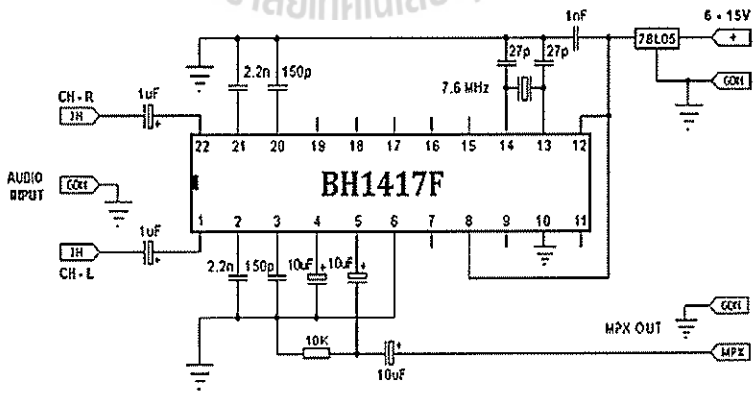
2) สัญญาณไซด์แบนด์ L-R ความถี่ 23 kHz – 53 kHz

3) สัญญาณไพล็อตความถี่ 19 kHz

สัญญาณทั้งหมด เรียกว่า สัญญาณรวม (composite signal) ที่จะถูกมัลติเพล็กซ์ (multiplex) เข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 2.5

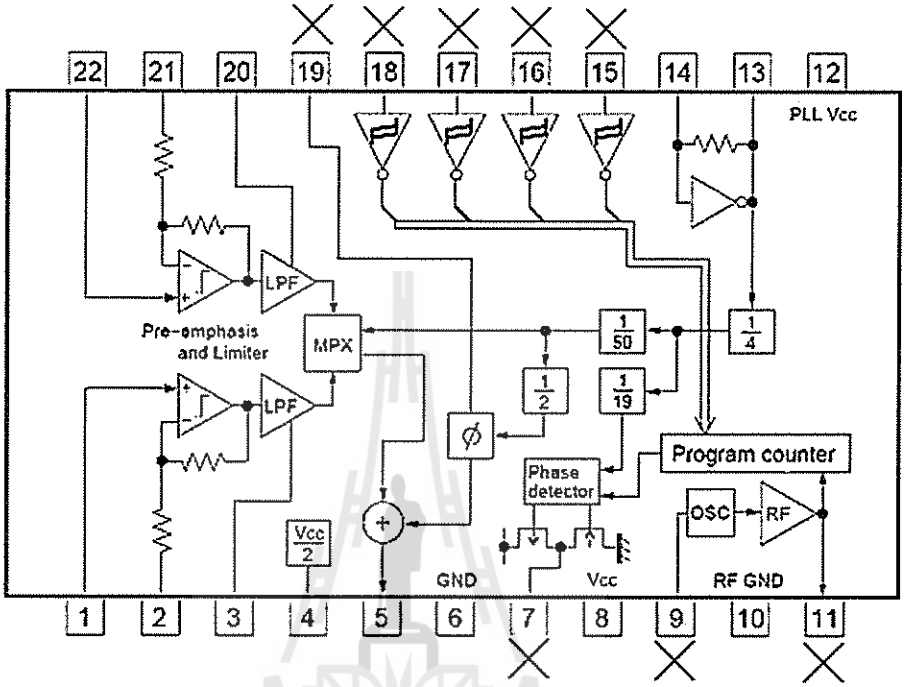


รูปที่ 2.5 สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณ composite signal



รูปที่ 2.6 วงจร stereo encoder โดยใช้ไอซี BH1417F

การสร้างสัญญาณสเตอริโอ โดยใช้ไอซี BH1417F ดังรูปที่ 2.6 เป็นตัวสร้างสัญญาณ ซึ่งสัญญาณที่ถูกส่งเข้ามาจะถูกคัปปลิ้งเข้ามาที่ไอซี BH1417F ที่ขา 1 และขา 22

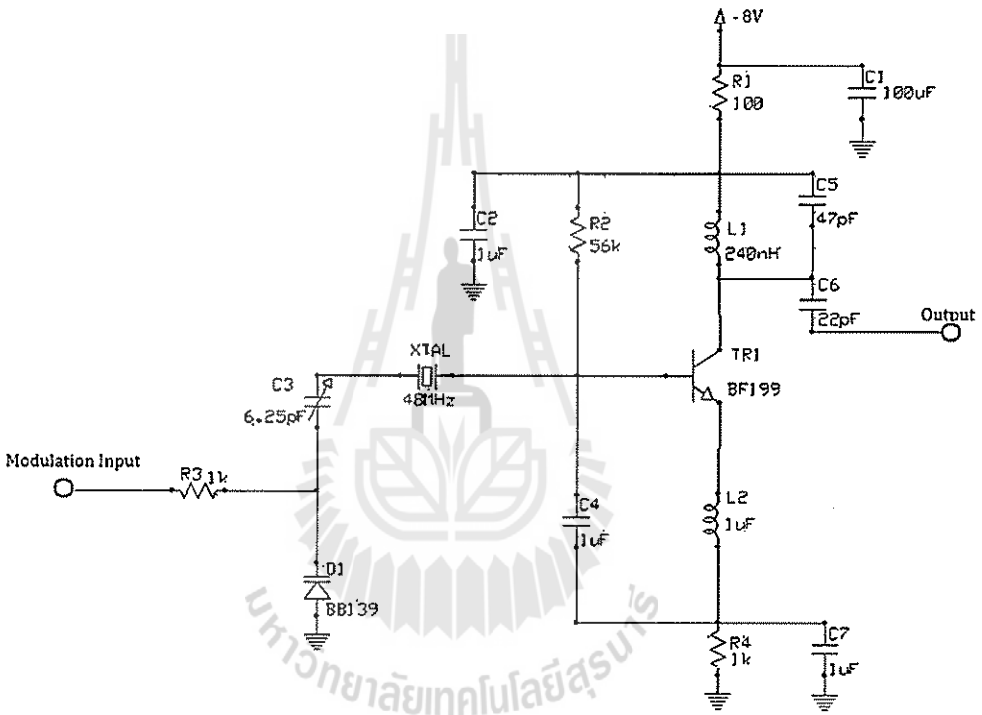


รูปที่ 2.7 แสดงวงจรภายในไอซี BH1417F

แล้วผ่านวงจรพรีเอมฟาซิสสัญญาณจะไปสู่วงจร 15 kHz LPF ซึ่งกำหนดความถี่ cut off ได้ที่ขา 3 และขา 20 ที่ชุดนี้จะต่อด้วยคาปาซิเตอร์ค่า 150 พิโกฟารัด หลังจากนั้นเอาสัญญาณช่องซ้ายและช่องขวาผ่านเข้าไปในวงจรมัลติเพล็กซ์ ซึ่งความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์คือค่า 38 kHz โดยค่าความถี่ 38 kHz นั้นได้มาจากคริสตอลที่ต่อระหว่างขา 13 และ ขา 14 ก็คือค่า 7.6 MHz ซึ่งที่ส่วนแรกจะหารความถี่ 7.6 MHz ลงมา 4 เท่าจะได้ความถี่ที่หารลงมา เท่ากับ 1.9 MHz จากนั้นก็จะหารความถี่ 1.9 MHz ด้วย 50 ก็ จะได้ความถี่ 38 kHz พอดี เพื่อใช้กับวงจรมัลติเพล็กซ์และความถี่ 38 kHz ที่ได้นั้นจะนำไปหาร 2 ก็จะได้ความถี่ 19 kHz เพื่อใช้สำหรับเป็นสัญญาณไพล็อตโทน ซึ่งสัญญาณมัลติเพล็กซ์ที่ออกมาจะนำมารวมกับสัญญาณไพล็อตโทน 19 kHz หลังจากนั้นก็จะได้สัญญาณ composite signal ที่ขา 5

2.6 วงจรกระตุ้นแยก (FM exciter)

ทำหน้าที่สร้างสัญญาณเสียงที่ถูกรวมสัญญาณทั้งทางด้านซ้ายและขวาจากชุด stereo encoder รวมเข้ากับสัญญาณวิทยุ เพื่อให้สัญญาณเสียงสามารถเดินทางไปในอากาศได้ ส่วนนี้จะถือเป็นหัวใจสำคัญของเครื่องส่งวิทยุ FM เพราะหากการสร้างสัญญาณ FM ที่ดีโดยไม่มีการเพี้ยนของสัญญาณเสียงที่สร้างนั้น สัญญาณที่นำไปขยายก็จะไม่เกิดการเพี้ยนของสัญญาณตามไปด้วย ดังนั้นการสร้างเครื่องส่งวิทยุ FM ควรจะเลือกเอาวงจรหรือแผงวงจรที่มีคุณภาพ



รูปที่ 2.8 วงจรที่ใช้กำเนิดสัญญาณ

1. แหล่งกำเนิดสัญญาณ (oscillator)

แหล่งกำเนิดสัญญาณจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณคลื่นพาห์ (carrier) โดยการใช้ค่าอินดักเตอร์ (L) และค่าคาปาซิเตอร์ (C) ต่างๆ ในการคำนวณหาค่าความถี่สัญญาณได้จาก

$$f = \frac{1}{(2\pi\sqrt{LC})} \text{ Hz}$$

แหล่งกำเนิดสัญญาณเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะต้องใช้ในการส่งและการรับของสัญญาณ ซึ่งกำลังงานเอาท์พุทของทรานซิสเตอร์นั้นจะสามารถส่งได้น้อยมากคือ ส่งได้เพียง 50 มิลลิวัตต์ หรือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

น้อยกว่านั้นก็ได้ถ้าเครื่องส่งไม่มีการแยกช่องสัญญาณหรือขยายสัญญาณจะทำให้แหล่งกำเนิดสัญญาณให้กำเนิดสัญญาณความถี่ไปแบบไร้ทิศทางและเมื่อทำการส่งออกอากาศจะทำให้สัญญาณของความถี่เปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งแหล่งกำเนิดสัญญาณสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ดังนี้

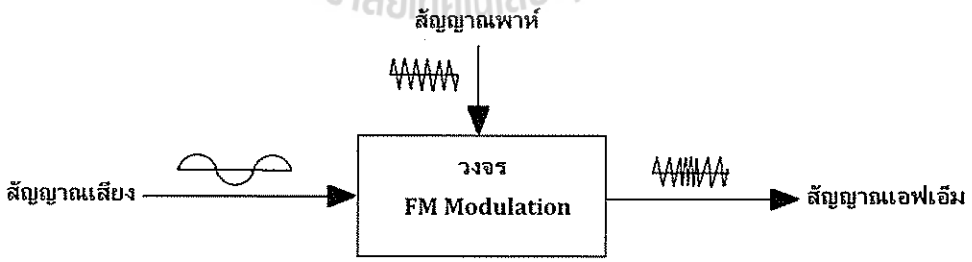
1) VFO (Variable Frequency Oscillator) ตัวแปรความถี่ของแหล่งกำเนิดสัญญาณซึ่งแหล่งกำเนิดสัญญาณสามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ของเอาท์พุทได้ โดยการปรับค่าตัวแปรของตัวเหนี่ยวนำ (Conductor) และตัวเก็บประจุ (Capacitor)

2) VCO (Voltage Controlled Oscillator) ควบคุมแรงดันของแหล่งกำเนิดสัญญาณ โดยความถี่ของเอาท์พุทที่ถูกควบคุมจากแรงดันจากภายนอก ซึ่ง VCO จะใช้วาริแคปของไดโอดเปลี่ยนแปลงค่าตัวเก็บประจุเพื่อให้ระดับของแรงดันมีความแตกต่างกันเพื่อนำไปใช้งาน

3) PLL (Phase Locked Loop) ระยะของการวนซ้ำ โดย PLL จะใช้การซิงโครไนซ์ความถี่ของ VCO กับความถี่ของแหล่งกำเนิดสัญญาณ โดยใช้การเปรียบเทียบเฟสของทั้งสองสัญญาณ ซึ่ง PLL ใช้ความถี่ของ VCO ที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ของแหล่งกำเนิดสัญญาณ โดยที่ใช้เครื่องขยายส่งแรงดันกลับไปยัง VCO เพื่อเก็บความถี่ที่ต้องการส่ง

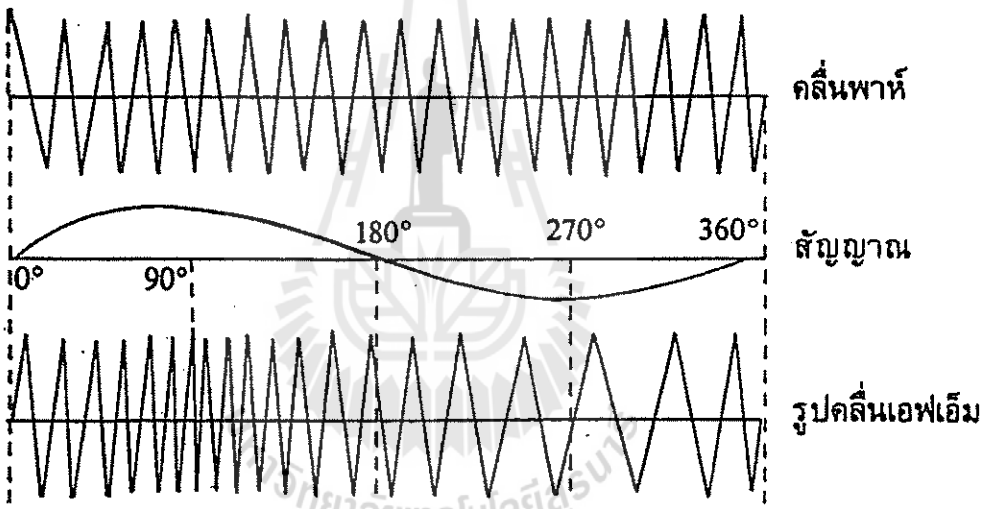
4) crystal oscillator เนื่องจากใช้แร่คริสตอลเป็นตัวกำเนิดความถี่ ความผิดพลาดจะต่ำมาก เมื่อแรงดันไฟเลี้ยงเปลี่ยนหรืออุณหภูมิเปลี่ยนก็ไม่ทำให้ความถี่เปลี่ยนแปลงจึงนำไปใช้ในวงจรเปรียบเทียบความถี่อ้างอิงอื่นๆ

2. การผสมคลื่นทางความถี่ (Frequency Modulator)



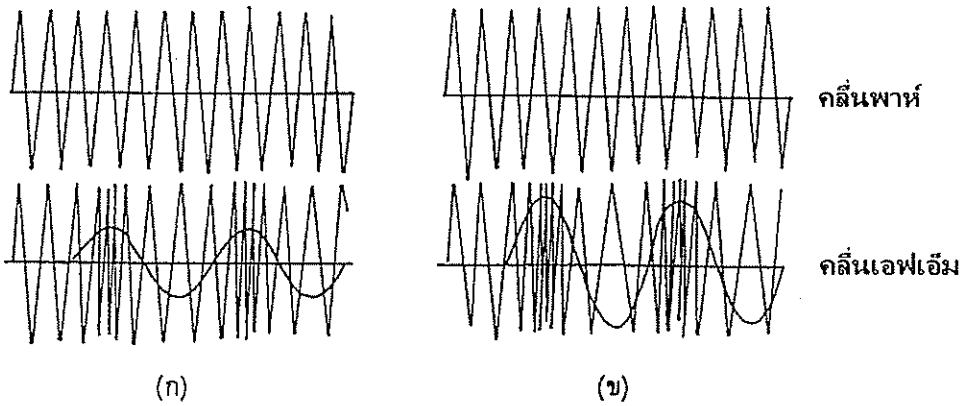
รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมแสดงการผสมคลื่นทางความถี่

การนำสัญญาณข้อมูลแทรกไปกับสัญญาณคลื่นพาห์ในการทำการส่งสัญญาณแบบ FM เมื่อทำการมอดูเลตสัญญาณ ถ้าแอมปลิจูดของสัญญาณมอดูเลตมีค่าสูงขึ้นความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์ก็จะสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ในทางอุดมคติ FM จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าวาริแคปไดโอด ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวเก็บประจุเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ค่าของแรงดันเกิดการเปลี่ยนแปลงตามค่าของตัวเก็บประจุ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันอยู่ในช่วงประมาณ 1/10 ต่อ 1 โวลต์ จะทำให้แอมปลิจูดของสัญญาณที่มอดูเลตแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ออดิโอ วิดีโอ และดิจิตอล หลังจากการใช้วาริแคปเชื่อมต่อกับวงจรทำให้คาปาซิแตนซ์เกิดการแกว่งทำให้มีผลต่อความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์หรือที่เรียกว่าการเปลี่ยนความถี่ของคลื่น (Frequency Modulation) การเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่สมบูรณ์จะมีการเปลี่ยนแปลงของความถี่อยู่ระหว่าง ±75 kHz



รูปที่ 2.10 การผสมคลื่นเสียงเข้ากับพาห์ในระบบ FM

จากรูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของคลื่นพาห์ และหลังถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณที่เป็นคลื่นรูปไซน์ รูปที่แสดงนี้เป็นเพียงตัวอย่างให้เข้าใจง่ายในทางปฏิบัติ ความถี่ของคลื่นพาห์กับสัญญาณจะต่างกันมากกว่าที่แสดงไว้รวมทั้งสัญญาณปกติจะเป็นคลื่นเชิงซ้อน แต่ผลที่ได้ก็เหมือนกับสัญญาณรูปไซน์

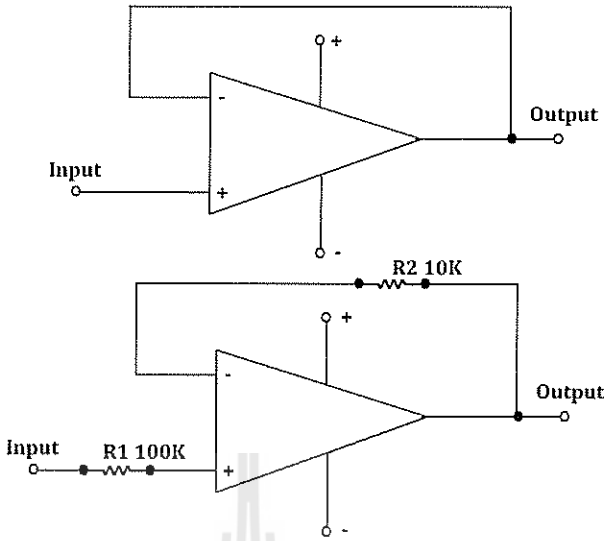


รูปที่ 2.11 คลื่น FM ที่เกิดจากสัญญาณที่ขนาดต่างกัน

ในคลื่น FM ความถี่คลื่นพาห์ที่เปลี่ยนแปลงไปจากความถี่เดิมหรือความถี่ศูนย์กลางไปมากหรือน้อย เรียกว่า ความถี่เบี่ยงเบน โดยถูกกำหนดด้วยขนาดสูงสุดของสัญญาณ ถ้าขนาดสูงสุดถูกเปลี่ยนแปลงความถี่เบี่ยงเบนก็จะเปลี่ยนตามไปด้วย รูปที่ 2.11 แสดงถึงผลที่เกิดในคลื่น FM เมื่อขนาดของสัญญาณสูงขึ้นแต่ความถี่ยังคงที่อยู่ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบจึงใช้รูปคลื่นของสัญญาณซ้อนอยู่บนรูปคลื่น FM ให้สังเกตความถี่เบี่ยงเบนเพิ่มขึ้นเมื่อสัญญาณมีขนาดเพิ่มขึ้นในรูปที่ 2.11 (ข)

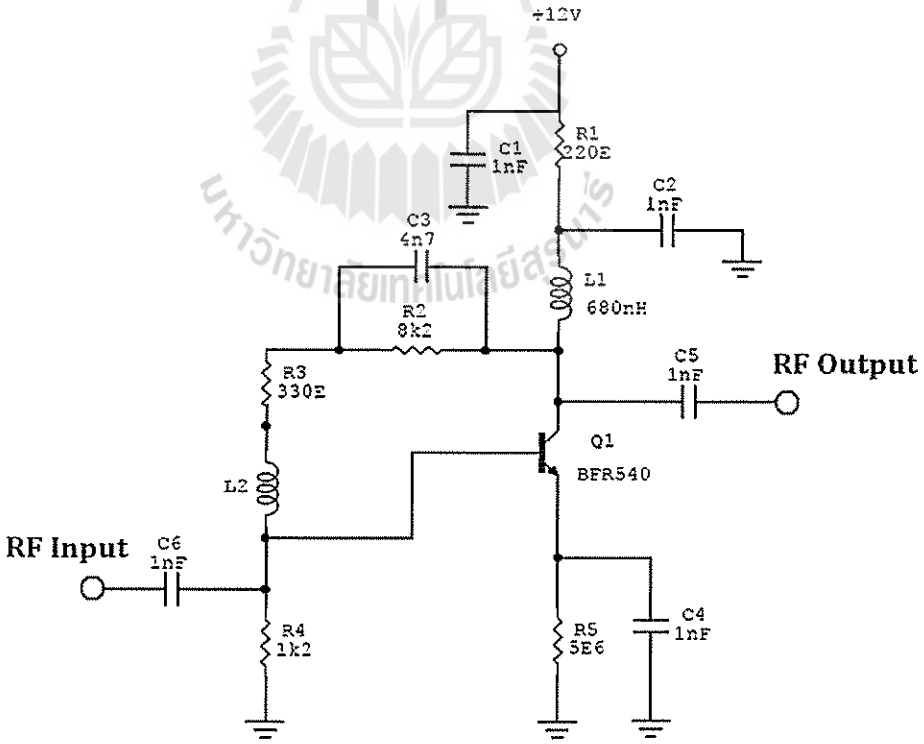
3. วงจรบัฟเฟอร์ (buffer)

ภาคบัฟเฟอร์จะทำหน้าที่เป็นภาคกันชนไม่ให้การเปลี่ยนแปลงใดๆ ในภาคขยายกำลังสูงมามีผลกระทบต่อการทำงานของภาคออสซิลเลเตอร์ ดังนั้น ภาคขยายนี้จึงไม่ได้มุ่งที่จะให้มีอัตราการขยายหรือประสิทธิภาพสูง แต่เพื่อป้องกันไม่ให้ออสซิลเลเตอร์ถูกรบกวนจากภาคขยายอื่นๆ วงจรบัฟเฟอร์เป็นวงจรที่ใช้เชื่อมวงจรสองวงจรเข้าด้วยกัน เช่น ระบบไอซีที่ต่างตระกูลกันหรือทรานซิสเตอร์ที่ไม่แมทชิ่งอิมพีแดนซ์กัน เพราะคุณสมบัติของออปแอมป์ทางเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ต่ำ เมื่อเชื่อมต่อกับวงจรอื่นแล้วจะไม่ทำให้วงจรอื่นมีผลแตกต่างไปจากเดิม วงจรบัฟเฟอร์นั้นจะมีอัตราการขยายเท่ากับ 1 วงจรบัฟเฟอร์แสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วงจรบัฟเฟอร์

2.7 ภาคขยายกำลัง (RF amplifier)



L2=6windings,4mm core,0.4mm wire

รูปที่ 2.13 วงจร RF amplifier

ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณคลื่นวิทยุ FM ที่รวมสัญญาณเสียงที่ต้องการส่งออกอากาศมาขยายให้มีความแรงขึ้นจากภาค exciter ซึ่งระยะทางในการส่งนั้นอาจจะไม่ไกลนัก เนื่องจากกำลังส่งเพียง 50 มิลลิวัตต์ และสภาพแวดล้อมของสถานีหรือจุดกระจายสัญญาณเองด้วย ดังนั้นภาคขยายกำลังจะทำหน้าที่ขยายความแรงของสัญญาณขึ้นและพร้อมจะส่งออกอากาศเพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้วงจรขยายกำลังงานที่มีใช้ในปัจจุบันนี้มีหลายชนิดมาก แต่ที่ได้ทำการศึกษามามี 2 ชนิด ดังนี้

1) วงจรขยายกำลังงานคลาส A เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Low Noise Amplifier (LNA) จะส่งสัญญาณแบบดิจิตอลเพราะวงจรขยายกำลังงานคลาส A เป็นแบบไม่ เป็นเชิงเส้น (non-linear) ซึ่งจะใช้สำหรับรับสัญญาณจากสายอากาศและออดิโอ โดยการออกแบบนั้นจะทำการออกแบบทาง DC เมื่อทำการกำหนดให้ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นวงจรขยายกำลังงานคลาส A จะใช้กระแสในการควบคุมการทำงาน โดยที่การออกแบบจะใช้วิธีแมทชิ่งกับทรานซิสเตอร์ ซึ่งถ้าเกิดการไบอัสทรานซิสเตอร์แล้วทำให้ได้กระแสจากการไหลผ่านขาคอลเล็กเตอร์ กำลังงานเอาท์พุทมีประสิทธิภาพเพียง 50 % ของความแรงของสัญญาณทั้งหมด

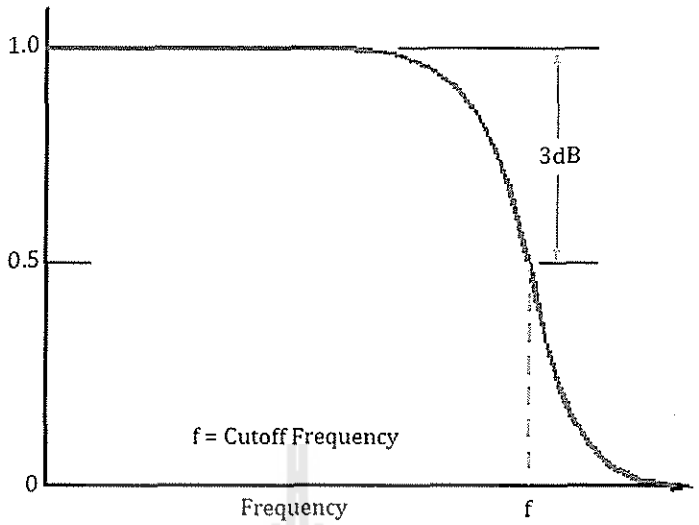
2) วงจรขยายกำลังงานคลาส B เป็นวงจรที่ให้กำลังงานน้อยมากแต่จะมีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดีกว่าคลาส A ใช้ในการขยายกำลังงานแบบเชิงเส้นแต่โดยส่วนมากวงจรขยายชนิดนี้จะใช้สำหรับขยายวงจรที่มีความถี่สูงคือย่านความถี่ HF bands โดยที่วงจรขยายคลาส B นี้สามารถทำงาน ได้ 50 % ของสัญญาณอินพุท ส่วนเอาท์พุทนั้นจะให้ค่าของสัญญาณเพียงครึ่งเดียว

2.8 วงจรกรองความถี่ (filter)

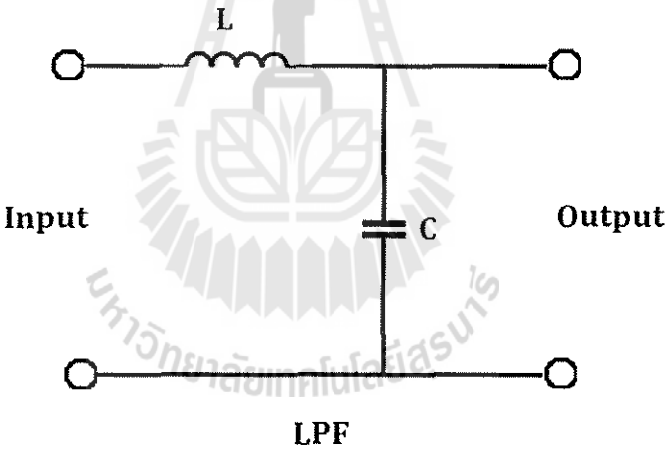
ฟิลเตอร์พบได้มากในด้านเครื่องมือและอุตสาหกรรมการสื่อสาร ซึ่งไม่มีหนังสือที่สามารถที่จะครอบคลุมได้อย่างสมบูรณ์ในความเป็นจริงแล้วเราไม่สามารถที่จะครอบคลุมทุกหัวข้อทั้งหมดของฟิลเตอร์ทุกประเภทได้ ฟิลเตอร์ที่นิยมใช้ 3 ชนิด และศึกษาให้เข้าใจได้อย่างง่ายดาย ประเภทของฟิลเตอร์หลักๆ ซึ่งได้แก่ butterworth, chebyshev และ bessel filter ในโครงสร้างทั่วไป คือ Low Pass Filter, High Pass Filter และ Band Pass Filter

1. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

Low Pass Filter จะยอมให้สัญญาณทั้งหมดที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่คัตออฟผ่านไปได้และจะลดทอนสัญญาณความถี่อื่นไปหมดดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงช่วงการใช้งานของ Low Pass Filter

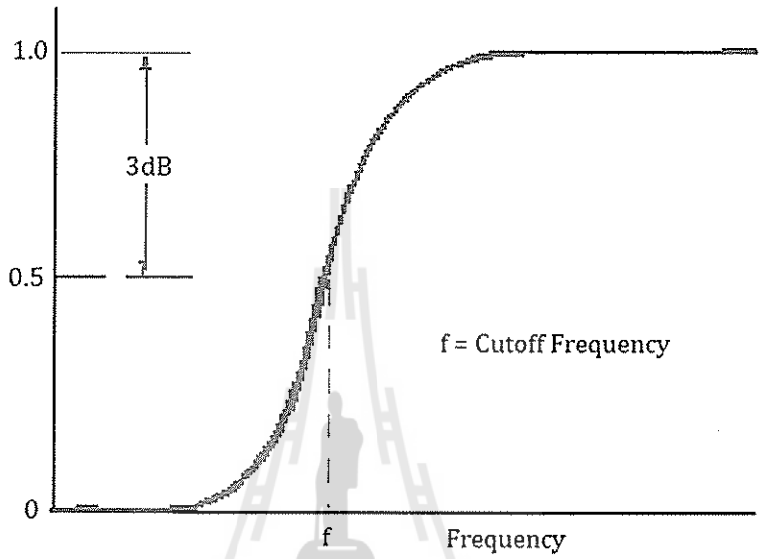


รูปที่ 2.15 วงจร Low Pass Filter

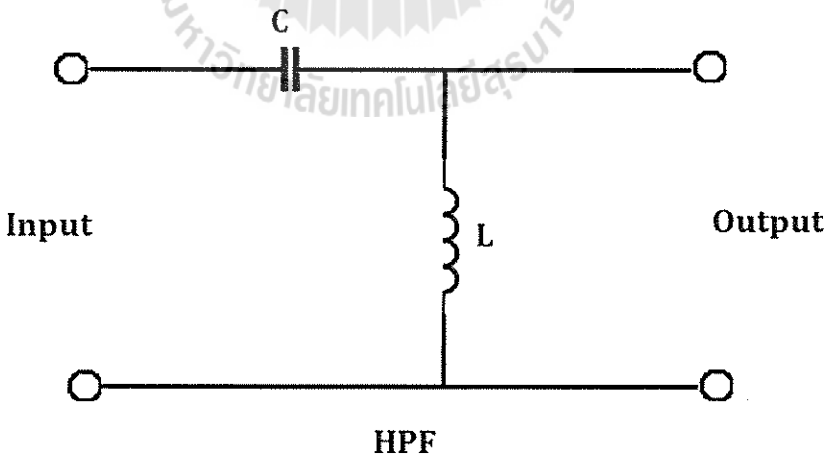
จากรูปที่ 2.15 คุณสมบัติของวงจร เมื่อป้อนความถี่ต่ำเข้าวงจร L จะมีค่า X_L (ค่า capacitive reactance) ต่ำ C จะมีค่า X_C สูงทำให้ความถี่ต่ำๆผ่าน L ได้สะดวก จึงมีความถี่ออกเอาท์พุทได้มาก ไม่มีความถี่ถูกผ่านลงกราวด์ เมื่อค่อยๆปรับความถี่ให้สูงขึ้นเรื่อยๆ L จะมีค่า X_L ค่อยๆมาก C จะมีค่า X_C ค่อยๆน้อยลงทำให้ความถี่ผ่าน Lได้น้อยลงและ C ก็ทำให้ความถี่ถูกกรองลงกราวด์ได้มากขึ้นความถี่จะผ่านออกเอาท์พุทค่อยๆลดลงจนระดับความแรงของสัญญาณลดลงจากเดิมเหลือเพียง 70.7 % หรือลดลงจากปกติเหลือน้อยกว่า -3 dB เรียกย่านนี้ว่า ย่านความถี่คัตออฟ

2. วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter)

High Pass Filter มีการตอบสนองที่ตรงกันข้าม (mirror image) กับการตอบสนองแบบ Low Pass Filter และจะลดทอนสัญญาณที่ต่ำกว่าความถี่คัตออฟ ทำให้ความถี่ที่มากกว่าคัตออฟผ่านไปได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 กราฟแสดงช่วงการใช้งานของ High Pass Filter

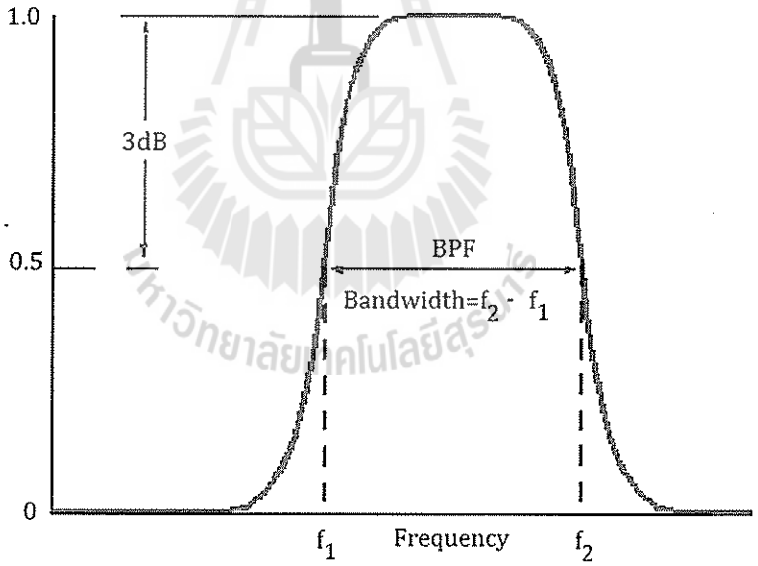


รูปที่ 2.17 วงจร High Pass Filter

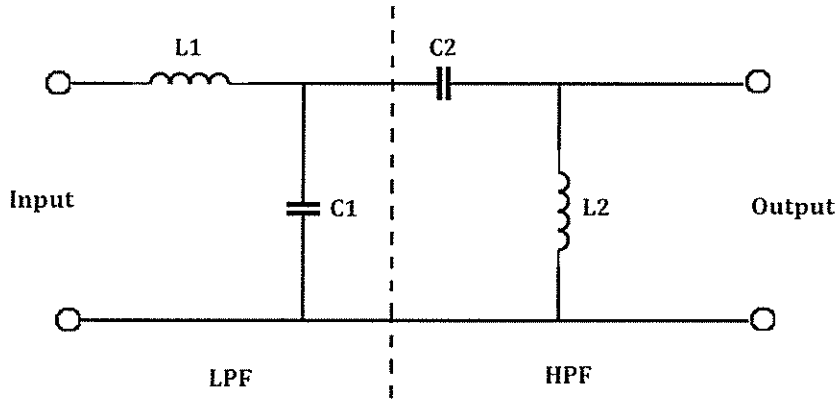
จากรูปที่ 2.17 การทำงานของวงจร เมื่อความถี่ต่ำป้อนเข้ามาตัว C จะมีค่า X_C สูงต้านความถี่ให้ผ่านตัวมันได้น้อยตัว L มีค่า X_L ต่ำยอมให้ความถี่ผ่านลงกราวด์ได้ง่ายทำให้ความถี่ต่ำผ่านวงจรได้ยากจะถูกตัดทิ้งลงกราวด์หมด เมื่อความถี่ที่ป้อนเข้ามาค่อยๆ สูงขึ้นทำให้ค่า X_C ค่อยๆ ต่ำลงยอมให้ความถี่ผ่านได้มากขึ้นและค่า X_L จะค่อยๆ สูงขึ้นต้านความถี่ให้ลงกราวด์ได้น้อยลงทำให้ความถี่ถูกผ่านออกเอาท์พุทมากขึ้นจนถึงค่าระดับความแรงประมาณ 70.7 % จากความแรงสูงสุด 100 % ระดับนี้เอง เรียกว่า ช่วงความถี่คัตออฟ เมื่อความถี่ที่ป้อนเข้ามาสูงกว่าค่าความถี่คัตออฟนี้ค่า X_C จะยอมให้ความถี่ผ่านออกเอาท์พุทได้สะดวกและค่า X_L จะต้านความถี่ไม่ให้ลงกราวด์จึงมีความถี่ผ่านออกเอาท์พุทได้ทั้งหมด

3. วงจรกรองผ่านความถี่ (Band Pass Filter)

Band Pass Filter จะทำการตัดความถี่ที่สูงและความถี่ที่ต่ำกว่าความถี่คัตออฟทิ้งไปดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 กราฟแสดงช่วงการใช้งานของ Band Pass Filter



รูปที่ 2.19 วงจร Band Pass Filter

จากรูปที่ 2.19 เราสามารถสร้างวงจรกรองย่านความถี่ผ่านได้ โดยการนำเอาวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านมาต่อรวมกับวงจรกรองความถี่สูงผ่าน ทำให้สามารถกำหนดความถี่ในย่านที่ผ่านได้ ย่านหนึ่งจากคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ทั้งสอง Band Pass Filter จะทำการตัดความถี่ที่สูงและความถี่ที่ต่ำกว่าความถี่คัตออฟทิ้งไป

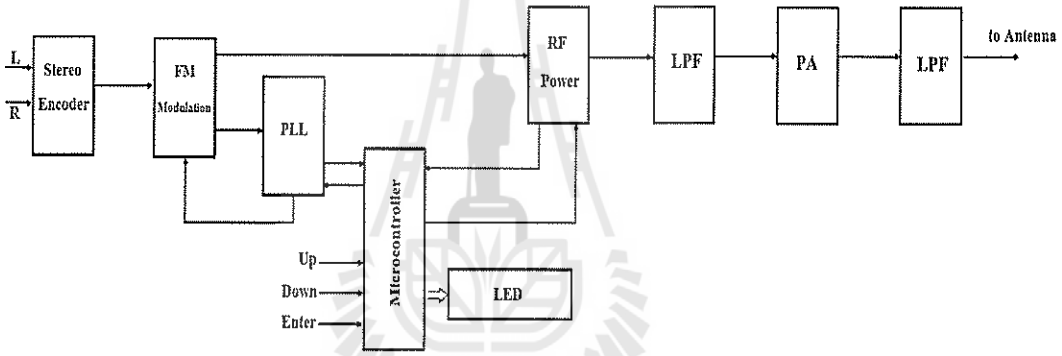
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
เครื่องส่ง FM สเตอริโอมัลติเพล็กซ์ต้นแบบ

3.1 กล่าวนำ

บทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาวงจรเครื่องส่ง FM ต้นแบบว่าประกอบไปด้วยภาคการทำงานอะไรบ้าง และนำไปเปรียบเทียบว่าในแต่ละภาคของวงจรต้นแบบกับบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องส่ง FM ทั่วไปในบทที่ 2 มีความสอดคล้องกันอย่างไร

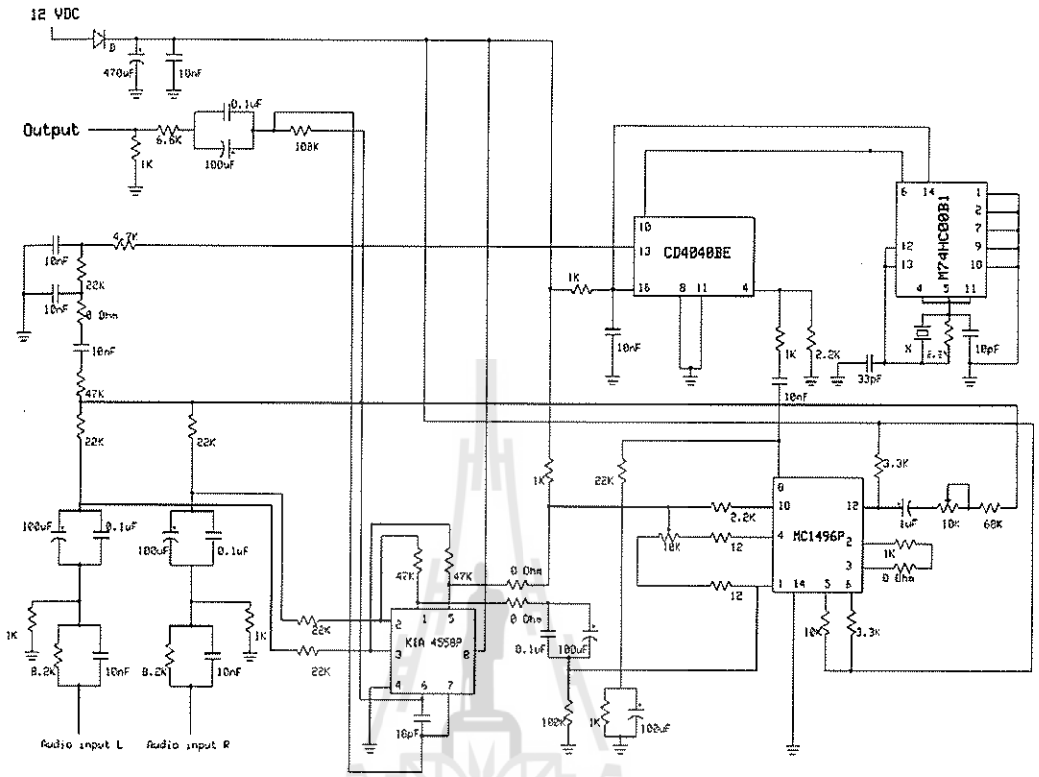
3.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องส่ง FM สเตอริโอมัลติเพล็กซ์ต้นแบบ



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องส่ง FM สเตอริโอมัลติเพล็กซ์ต้นแบบ

การศึกษาวงจรเครื่องส่ง FM สเตอริโอมัลติเพล็กซ์ แบ่งเป็น 6 วงจรหลักได้แก่ 1) วงจร stereo encoder 2) วงจร Frequency Modulation (FM) 3) วงจร Phase Locked Loop (PLL) 4) วงจร microcontroller 5) วงจร RF power 6) วงจร Low Pass Filter (LPF) และ 7) วงจร Power Amplifier (PA) ดังรูปที่ 3.1

3.2.1. วงจร stereo encoder



รูปที่ 3.2 วงจร stereo encoder ของเครื่องส่งวิทยุ FM ตัวต้นแบบ

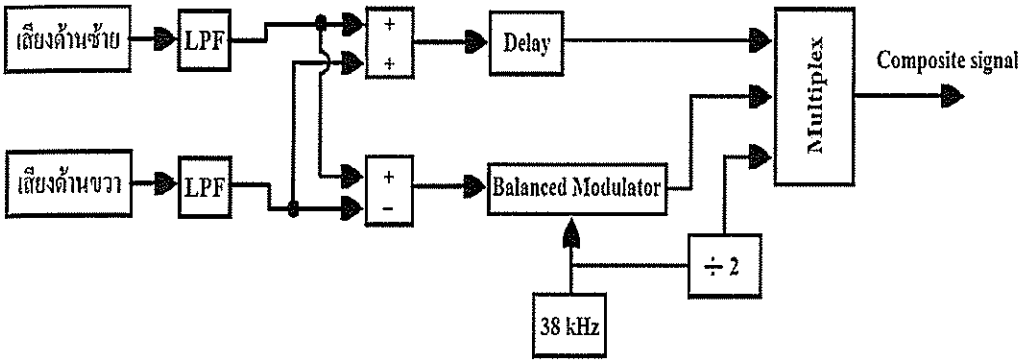
วงจร stereo encoder นี้ ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณ composite signal ซึ่งสัญญาณ composite signal นี้จะประกอบไปด้วย

1) สัญญาณไซด์แบนด์ L+R

2) สัญญาณไซด์แบนด์ (L-R) DSB + 38 kHz

3) สัญญาณไพล็อตความถี่ 19 kHz

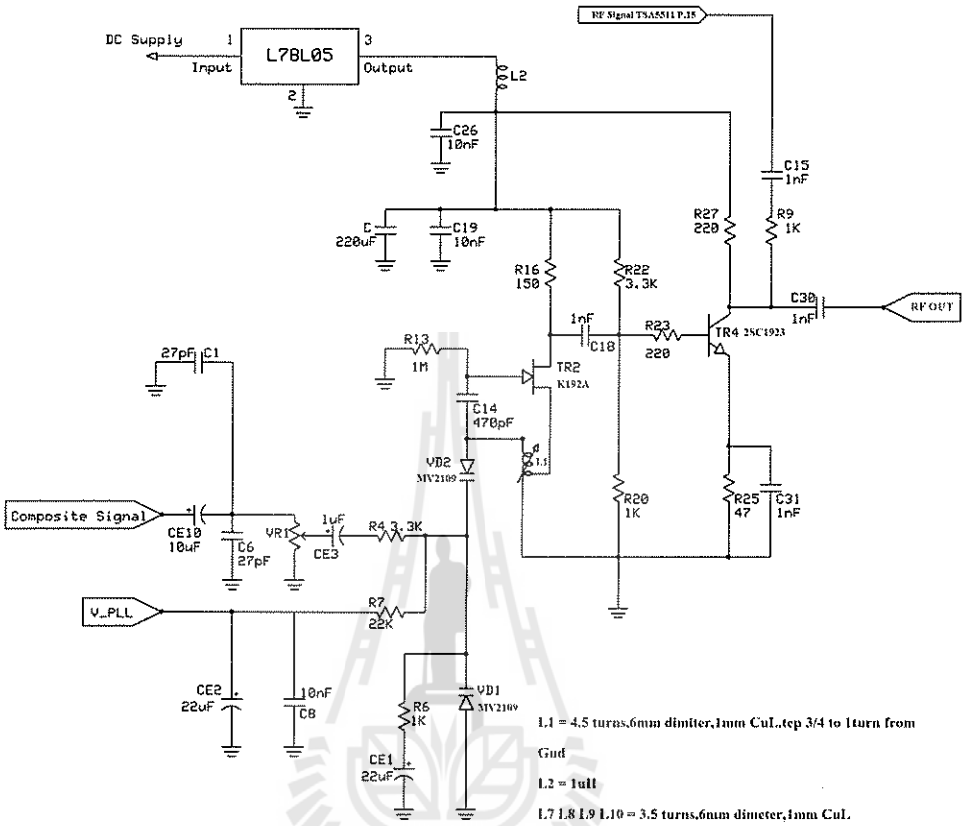
เมื่อดูจากรูปที่ 3.2 จะสามารถอธิบายเป็นบล็อก stereo encoder เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้นดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจร stereo encoder

เสียงด้านซ้าย (L) กับเสียงด้านขวา (R) จะผ่านวงจร LPF เข้าสู่ไอซี KIA4558P จะได้สัญญาณ L+R และอีกด้านหนึ่งจะถูกส่งเข้าไอซี MC1496P ซึ่ง ไอซี MC1496P ตัวนี้ทำหน้าที่เป็นวงจร balanced modulation โดยจะรับสัญญาณคริสตัล 38 kHz จากไอซี M74HCOON สัญญาณที่ได้ออกมาคือสัญญาณ (L-R) DSB + 38 kHz ในส่วนสุดท้ายสัญญาณ L+R กับสัญญาณ (L-R) DSB + 38 kHz และสัญญาณไพล็อตโทน 19 kHz ที่ได้จากไอซี MC1496P จะมารวมกันที่ไอซี KIA4558P ได้เอาท์พุทเป็นสัญญาณ composite signal เพื่อส่งต่อวงจร modulation ต่อไป วงจร stereo encoder นี้จะมีหลักการทำงานเหมือนกับรูปที่ 2.6 วงจร stereo encoder โดยใช้ไอซี BH1417F ในบทที่ 2 ต่างกันตรงที่การใช้ไอซี ในรูป 2.6 จะใช้ไอซี BH1417F เพียงตัวเดียวก็สามารถใช้สร้างสัญญาณ composite signal ได้ แต่ในรูป 3.2 จะใช้ไอซีจำนวนมากกว่าในการสร้างสัญญาณ composite signal ทั้งนี้ก็อยู่ที่การปรับแต่ง แต่โดยพื้นฐานนั้นเหมือนกัน

3.2.2. วงจร Frequency Modulation (FM)

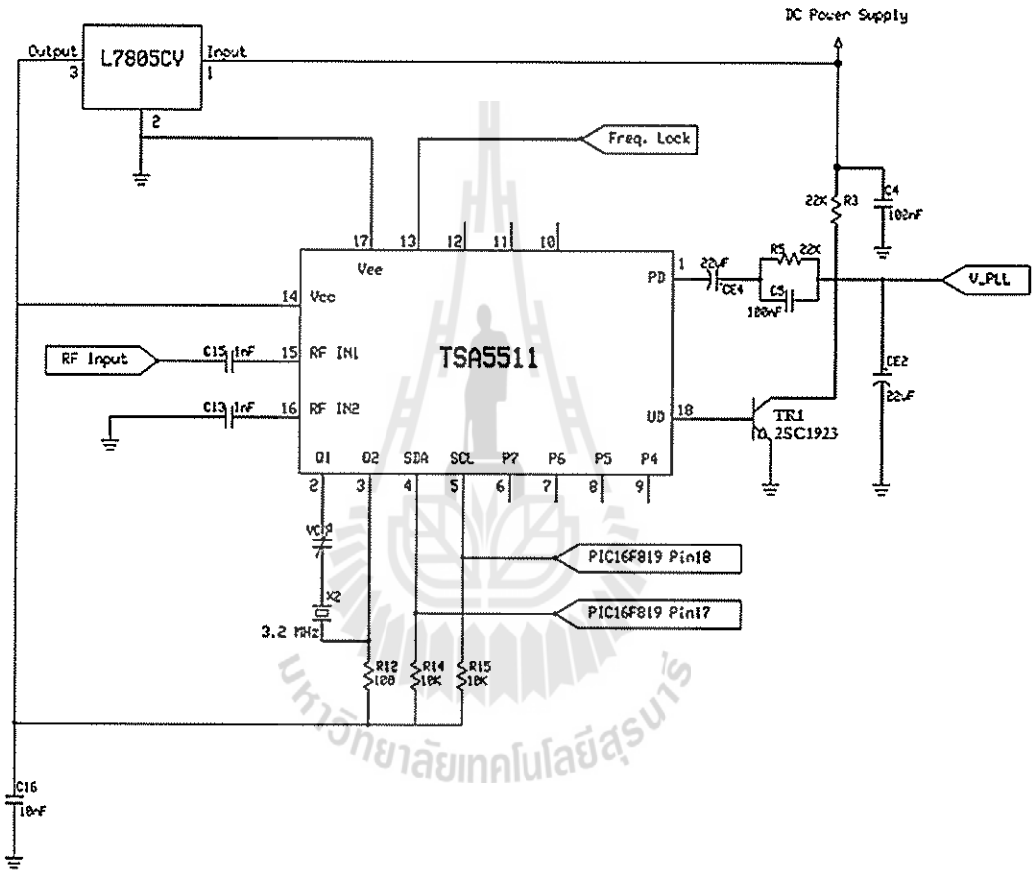


รูปที่ 3.4 วงจร Frequency Modulation ของเครื่องส่งวิทยุ FM ตัวต้นแบบ

วงจร Frequency Modulation มีหน้าที่ผสมสัญญาณ composite signal เข้ากับคลื่นพาห์ในระบบ FM โดยใช้ TR2 เบอร์ MPF102 กับขดลวด L1 เป็นวงจรแบบฮาร์ตเลย์ ซึ่งเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณ โดยใช้แรงดันควบคุมความถี่แล้วส่งเข้าไปมอดูเลชั่นกับสัญญาณ composite signal ที่ VD1 และ VD2 ซึ่งเป็นวาแรกเตอร์ไดโอด วาแรกเตอร์ไดโอดจะมีคุณสมบัติเป็นตัวเก็บประจุที่เปลี่ยนแปลงได้ตามแรงดันที่ไบแอสกลับ เมื่อเกิดการมอดูเลชั่นแล้วจะได้คลื่น FM ออกมา โดยใช้ขดลวดต่อออกตรงกลางตัวของ L1 เป็นตัวจูนความจุ คลื่น FM ที่ได้นี้จะถูกส่งผ่าน TR4 ซึ่งทำงานเป็น buffer ขยายกำลังคลื่น FM และทำหน้าที่เป็นภาคกันชนระหว่างภาคกำเนิดความถี่และภาคขยายกำลัง ซึ่งการทำงานของ TR4 นี้จะมีลักษณะการทำงานเหมือนรูปที่ 2.12 ในบทที่ 2 แล้วส่งคลื่น FM ที่ได้ไปตรวจสอบความถี่ให้ถูกต้องที่ไอซี TSA5511 ก่อนส่งต่อภาค PA ซึ่งในรูปที่ 3.4 กับรูปที่ 2.8 นั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้วผลสุดท้ายจะมีเอาท์พุทออกมาเหมือนกันคือ ได้คลื่น

FM ออกมาเหมือนกัน แต่จะต่างกันตรงที่รูปแบบของวงจร โดยในรูปที่ 2.8 จะใช้คริสตัลเป็นตัวกำเนิดสัญญาณ แต่ในรูปที่ 3.4 จะใช้แรงดันควบคุมระหว่าง TR2 กับขดลวด L1 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณออกมา ลักษณะการทำงานของวงจรต่างกัน แต่ผลลัพธ์ที่ต้องการเป็นอันเดียวกัน

3.2.3. วงจร Phase Locked Loop (PLL)

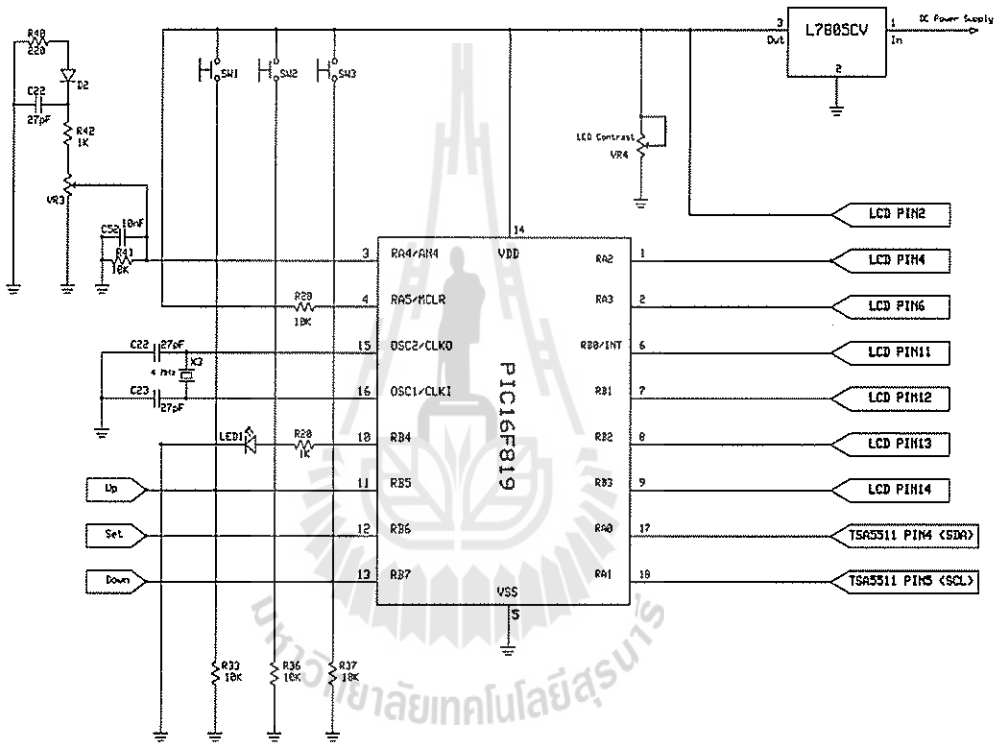


รูปที่ 3.5 วงจร Phase Locked Loop ของเครื่องส่งวิทยุ FM ตัวต้นแบบ

วงจร Phase Locked Loop จะทำหน้าที่ในการนำความถี่ทางด้านเอาท์พุทของวงจร Frequency Modulation มาตรวจสอบและแก้ไขเพื่อส่งแรงดันไปควบคุมการกำเนิดความถี่ในวงจร VCO ลักษณะการทำงานของวงจรจะเป็นลักษณะของการทำงานที่เป็นวงรอบตลอดเวลาสามารถทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยความถี่เอาท์พุทของวงจร VCO จะป้อนเข้ามาที่ขา 15 ของไอซีภายหลังจากการเปรียบเทียบเฟสจะส่งแรงดันเอาท์พุทจากขา 18 ไปควบคุมการกำเนิดความถี่ในวงจร VCO สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างตัวไอซีกับ

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะผ่านทางขา 4 และ 5 ถ้านำวงจรในรูปที่ 3.4 ไปเปรียบเทียบการทำงานในบทที่ 2 แล้ววงจรนี้น่าจะเป็นส่วนเสริมของวงจรรูปที่ 2.8 ก็เพื่อทำให้ได้คลื่น FM ที่จะออกอากาศสามารถเปลี่ยนความถี่ได้หลายความถี่ ตรงตามที่ต้องการขึ้นและสะดวกสบายขึ้นเพราะสามารถปรับได้ โดยไม่จำเป็นต้องทำเป็นวงจรที่ออกอากาศได้ความถี่เดียวดังที่ออกแบบในรูปที่ 2.8

3.2.4. วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

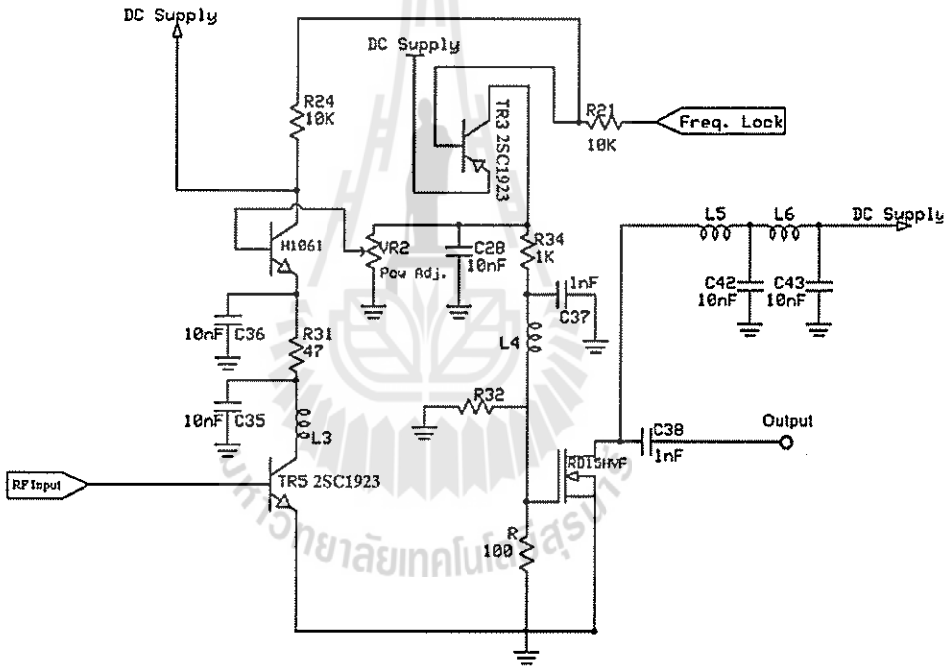


รูปที่ 3.6 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ของเครื่องส่งวิทยุ FM ตัวต้นแบบ

การทำงานของวงจร Phase Locked Loop จะใช้ไอซี TSA5511 ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความถี่ในระบบ Phase Locked Loop และสังเคราะห์ความถี่ ซึ่งโครงสร้างภายในตัวไอซีออกแบบมาให้ทำงานกับความถี่สูง ไอซี TSA5511 สามารถทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยความถี่เอาท์พุทของวงจร VCO จะป้อนเข้ามาที่ขา 15 ของไอซี ภายหลังจากการเปรียบเทียบเฟสจะส่งแรงดันเอาท์พุทจากขา 18 ไปควบคุมการกำเนิดความถี่ในวงจร VCO สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างตัวไอซีกับไมโครคอนโทรลเลอร์จะผ่านทางขา 4 และขา 5 องค์ประกอบสำคัญในกระบวนการควบคุมความถี่ให้คงที่และมีประสิทธิภาพ นอกจากวงจร VCO ที่ถูกควบคุม

การกำเนิดความถี่จากวงจร Phase Locked Loop แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ ส่วนสำคัญที่ควบคุมและตรวจสอบการทำงานของวงจร Phase Locked Loop ให้ทำงานอย่างถูกต้องและเที่ยงตรง การออกแบบวงจรควบคุมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลือกใช้เบอร์ PIC16F819 วงจรนี้เป็นส่วนเสริมของวงจรในรูปที่ 3.6 วงจร Phase Locked Loop เพื่อเป็นวงจรความคุมความถี่ที่ต้องการ และสามารถปรับความถี่ที่ต้องการได้ โดยดูผลจากจอ LCD ทั้งยังสามารถควบคุมกำลังวัตต์ที่จะส่งเข้าสายอากาศได้ ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนเสริมของรูปที่ 2.13 วงจร RF amplifier ก็ว่าได้

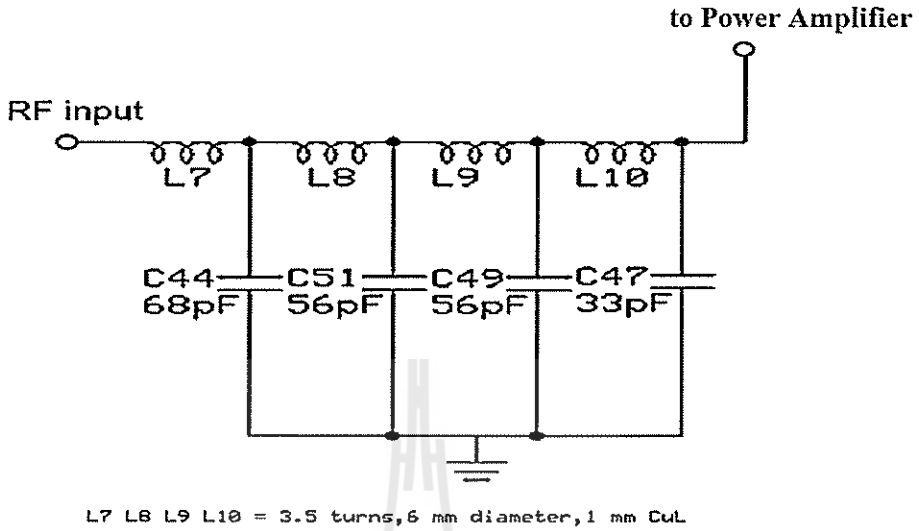
3.2.5. วงจร RF amplifier



รูปที่ 3.7 วงจร RF amplifier ของเครื่องส่งวิทยุ FM ตัวต้นแบบ

วงจร RF amplifier ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายกำลังคลื่นวิทยุในย่าน FM ก่อนที่จะส่งสัญญาณไปกรองเอา harmonics ที่ไม่ต้องการออก วงจรนี้ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ RD15HVF เป็นตัวขยาย RD15HVF ตัวนี้ขยายกำลังส่งได้สูงสุด 5 วัตต์ RF amplifier นี้เมื่อนำไปเทียบกับบทที่ 2 ก็จะไปตรงกับรูปที่ 2.13 ซึ่งหน้าที่หลักคือ การขยายกำลังส่งเหมือนกัน ต่างกันก็ตรงที่กำลังวัตต์ที่ทำการขยาย

3.2.6.วงจร Low Pass Filter (LPF)

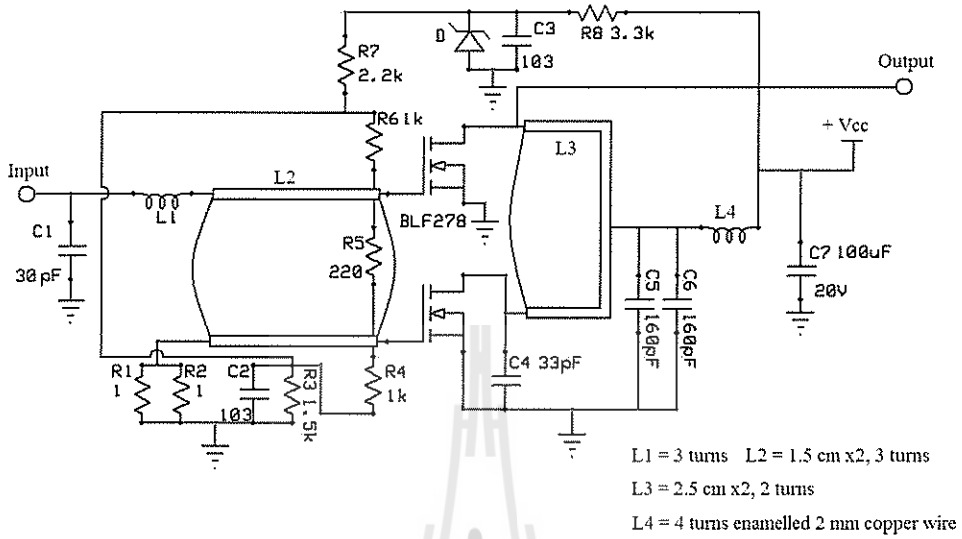


รูปที่ 3.8 วงจร Low Pass Filter ของเครื่องส่งวิทยุ FM ตัวต้นแบบ

วงจร Low Pass Filter มีหน้าที่กรองความถี่ harmonics ที่ไม่ต้องการก่อนส่งออกสายอากาศ วงจรนี้สำคัญมาก เนื่องจากทรานซิสเตอร์เบอร์ RD15HVF ขยายกำลังส่งขึ้นย่อมต้องมีความถี่ harmonics ที่ไม่ต้องการเกิดขึ้นด้วยจึงต้องมีวงจรนี้เพื่อกรองเอา harmonics ออก วงจรนี้เปรียบได้กับวงจรในรูปที่ 2.15 ในบทที่ 2 โดยการที่ความต้องการของเอาท์พุทที่ไม่ต้องการความถี่สูงผ่านเหมือนกัน แต่ต่างกันตรงที่การปรับแต่ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

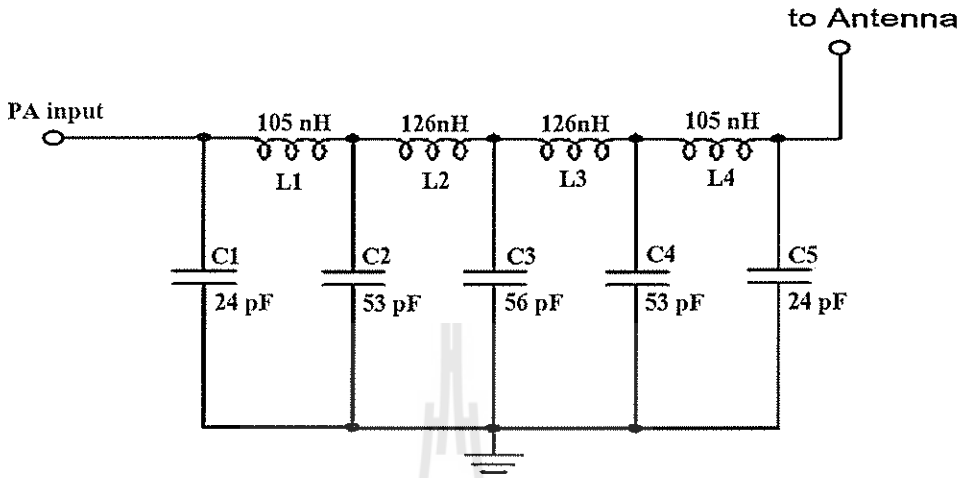
3.2.7.วงจร Power Amplifier (PA)



รูปที่ 3.9 วงจร Power Amplifier (PA) ของเครื่องส่งวิทยุ FM ตัวต้นแบบ

รับสัญญาณ FM มาจากวงจร Low Pass Filter (รูปที่ 3.8) เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้แรงขึ้น โดยตัววงจร PA ใช้ power MosFET ของ Philips เบอร์ BLF278 ต้องการไฟเลี้ยงวงจร 48 V ทางด้านอินพุทของวงจรจะมีตัวต้านทานปรับค่าได้ใช้สำหรับปรับแต่งอัตราการขยายของสัญญาณ PA ที่ใช้ทดสอบ วงจร PA มีอัตราการขยายสัญญาณสูงสุดที่ช่วงความถี่ 88.00 MHz – 90.00 MHz ได้กำลังของสัญญาณสูงสุดคือ 226 วัตต์ ที่อินพุท 5 วัตต์ วงจรนี้ก็เปรียบได้กับรูปที่ 2.13 กับรูปที่ 3.7 แต่ต่างกันที่กำลังการขยาย แต่โดยพื้นฐานแล้วเหมือนกัน

3.2.8.วงจร Low Pass Filter (LPF)



รูปที่ 3.10 วงจร Low Pass Filter ของเครื่องส่งวิทยุ FM ตัวต้นแบบ

วงจร Low Pass Filter มีหน้าที่กรองความถี่ harmonics ที่ไม่ต้องการในภาคสุดท้าย ก่อนส่งออกสายอากาศและมีการออกแบบให้สามารถทนกำลังวัตต์ที่สูงได้ เนื่องจาก BLF278 ขยายกำลังส่งที่สูงมากย่อมเกิดความถี่ harmonics ที่ไม่ต้องการสูงขึ้นด้วยจึงต้องมีวงจรนี้เพื่อกรองเอา harmonics ออก วงจรนี้เปรียบได้กับวงจรในรูปที่ 2.15 และรูปที่ 3.8 โดยการที่ความต้องการของเอาท์พุทที่ไม่ต้องการความถี่สูงผ่านเหมือนกัน แต่ต่างกันที่การปรับแต่ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องส่งวิทยุระบบ FM

4.1 กล่าวนำ

มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องส่งวิทยุระบบ FM ที่กล่าวถึงในบทนี้เป็นมาตรฐานของ International Telecommunication Union (ITU) ซึ่งทางคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)ได้นำมาใช้เป็นมาตรฐานทางเทคนิคในประเทศไทย ซึ่งมีการใช้งานในย่านความถี่วิทยุ 87.5 MHz ถึง 107.75 MHz ที่มีการมอดูเลตแบบ FM และมีช่องห่างระหว่างคลื่นพาห์ 250 kHz

4.2 ข้อกำหนดทางเทคนิคเครื่องส่งวิทยุ FM

4.2.1 กำลังคลื่นพาห์ที่กำหนด (rated carrier power)

กำลังคลื่นพาห์ที่กำหนด หมายถึง กำลังคลื่นพาห์ (carrier power) ของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงตามที่ผู้ผลิตประกาศหรือแจ้งในเอกสารลักษณะทางเทคนิคของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงนั้น โดยกำลังคลื่นพาห์ หมายถึง กำลังเฉลี่ย (average power) ที่ส่งไปยังสายอากาศเทียมในขณะที่ไม่มีการมอดูเลต ซึ่งค่ากำลังคลื่นพาห์ที่วัดได้จากการทดสอบจะต้องมีค่าไม่เกิน ±0.5 dB ของกำลังคลื่นพาห์ที่กำหนด

4.2.1.1 ขีดจำกัด

1) กำลังคลื่นพาห์ที่กำหนด (rated carrier power) ที่อนุญาตให้ใช้งานจะต้องมีค่าไม่เกิน 500 วัตต์

2) ค่ากำลังส่งที่ทดสอบได้จะต้องไม่เกิน ± 0.5 dB จากค่ากำลังส่งคลื่นพาห์ที่กำหนด

4.2.1.2 สภาพแวดล้อมการทดสอบ

ให้ดำเนินการทดสอบในสภาวะแวดล้อมปกติตามที่กำหนดในเอกสารการแสดงลักษณะทางวิชาการหรือตามที่ผู้ผลิตยืนยัน

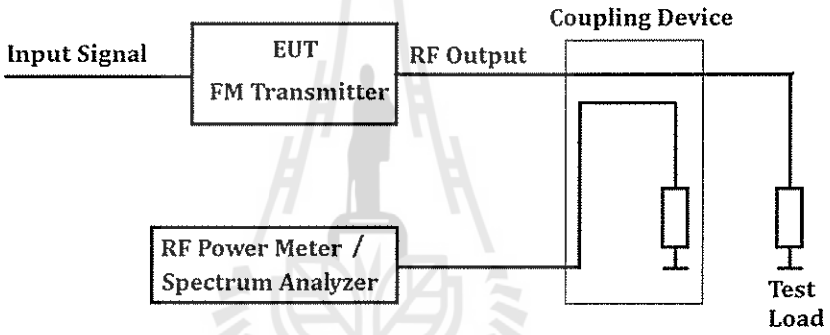
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2.1.3 การเลือกความถี่วิทยุเพื่อใช้ในการทดสอบ

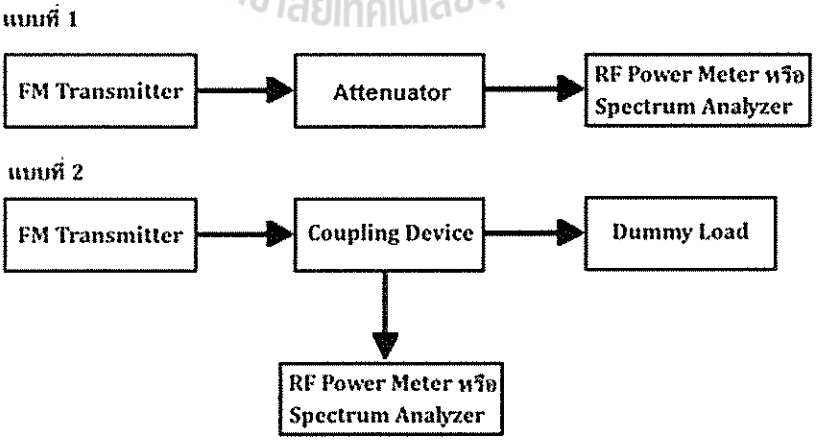
ให้ดำเนินการทดสอบความถี่วิทยุที่ได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) หรือที่ความถี่วิทยุต่ำที่สุด ความถี่วิทยุตรงกึ่งกลางและความถี่วิทยุที่สูงสุดของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงนั้นๆ

4.2.1.4 ลักษณะการต่อเครื่องมือเพื่อการทดสอบ

ในการทดสอบให้ทำการต่อสายนำสัญญาณเข้าเครื่องส่งวิทยุและเครื่องมือวัด เพื่อวัดหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามที่ต้องการตามรูปที่ 4.1 (อ้างอิงจากมาตรฐาน ETSI EN 302 018-1 V1.2.1 (2006-03)



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการต่อเครื่องมือวัดตามมาตรฐาน ETSI EN 302 018-1 V1.2.1



รูปที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการต่อเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบกำลังคลื่นพาห์

4.2.1.5 ขั้นตอนในการทดสอบ

1) ต่ออุปกรณ์ตามรูป โดยยังไม่ต้องต่อสายเข้าเครื่องมือทดสอบ

2) เปิดเครื่องส่งวิทยุ FM และเครื่องมือทดสอบเพื่อให้เครื่องทำงานก่อนการเริ่มทดสอบประมาณ 30 นาที

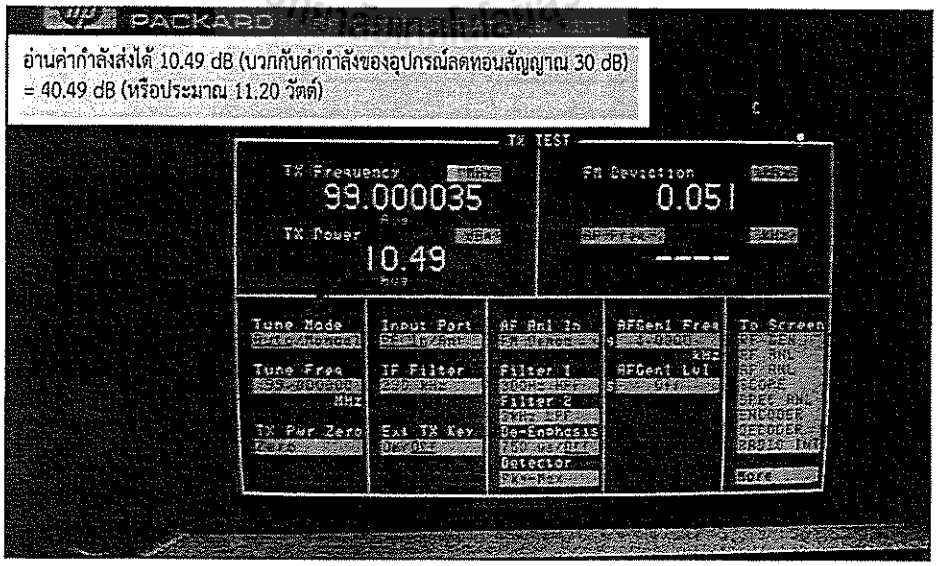
3) ต่อสายเข้ากับเครื่องมือทดสอบแล้วอ่านค่ากำลังส่งที่ได้

หมายเหตุ ให้มีการวัดค่าการสูญเสียในสายนำสัญญาณและอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบที่ใช้ในการทดสอบ ก่อนทำการทดสอบทุกครั้ง แล้วนำมาคิดรวมกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด เพื่อให้ค่าการวัดที่ได้มีความเที่ยงตรงและใกล้เคียงกับค่าแท้จริง

ข้อควรระวัง การเลือกใช้อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ (attenuator) อุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ (coupling device) หรือโหลดเทียม (dummy load) จะต้องเลือกขนาดที่สามารถรองรับกำลังส่งได้มากกว่ากำลังส่งของเครื่องส่งวิทยุ FM ที่จะทำการทดสอบ และต้องมั่นใจว่ากำลังส่งที่ต่อเข้าเครื่องมือทดสอบต้องไม่เกินค่าสูงสุดที่เครื่องมือทดสอบรองรับได้ เพื่อป้องกันการเสียหายของเครื่องมือทดสอบ

4.2.1.6 ตัวอย่างการอ่านค่า

การทดสอบกำลังส่งของเครื่องส่งวิทยุ FM ที่ใช้ความถี่วิทยุ 99.00 MHz กำลังส่ง 10 วัตต์ (ตามที่ผู้ผลิต แจ้งในเอกสาร specification) และใช้อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ (attenuator) 30 dB



รูปที่ 4.3 แสดงการทดสอบค่ากำลังคลื่นพาห์ โดยใช้ RF communications test set

จากรูปที่ 4.3 อ่านค่ากำลังส่งได้ 10.49 dB แล้วนำมาบวกกับค่ากำลังของอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ 30 dB จะได้ 40.49 dB (ประมาณ 11.2 วัตต์)

4.2.2 การแพร่แปลกปลอม (conducted spurious emission)

การแพร่แปลกปลอม หมายถึง การแพร่ที่ขั้วต่อสายอากาศที่ความถี่วิทยุใดๆที่อยู่นอกเหนือแถบความถี่ที่จำเป็น (necessary bandwidth) และหมายความรวมถึงการแพร่ฮาร์มอนิก (harmonic emission) การแพร่พาราซิติก (parasitic emission) ผลจากการมอดูเลตระหว่างกัน (intermediation product) และผลจากการแปลงความถี่ (frequency conversion product) แต่ไม่รวมถึงการแพร่นอกแถบ (out of band emission)

4.2.2.1 ขีดจำกัด

ค่าของการแพร่แปลกปลอมสำหรับกิจการวิทยุกระจายเสียงในระบบ FM ต้องต่ำกว่าค่ากำลังคลื่นพาห์ (carrier power) ในขณะที่ไม่มีการมอดูเลตอย่างน้อยที่สุดตามสูตรคำนวณที่กำหนดดังนี้ 46 + 10 log P หรือ 70 dBc โดยให้เลือกใช้ค่าที่ต่ำกว่า โดยที่ P หมายถึง กำลังคลื่นพาห์ที่กำหนด

4.2.2.2 สภาวะแวดล้อมในการทดสอบ

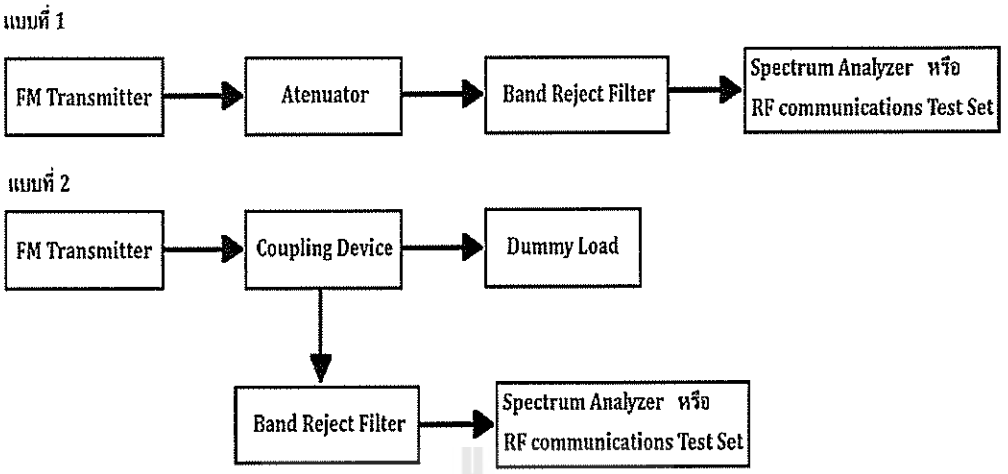
ให้ดำเนินการทดสอบในสภาวะแวดล้อมปกติ ตามที่กำหนดในเอกสารสารแสดงลักษณะทางวิชาการหรือตามที่ผู้ผลิตยืนยัน

4.2.2.3 การเลือกความถี่วิทยุเพื่อใช้ในการทดสอบ

ให้ดำเนินการทดสอบความถี่วิทยุที่ได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) หรือที่ความถี่วิทยุต่ำที่สุด ความถี่วิทยุตรงกึ่งกลางและความถี่วิทยุที่สูงสุดของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงนั้นๆ

4.2.2.4 ลักษณะการต่อเครื่องมือเพื่อการทดสอบ

ในการทดสอบให้ทำการต่อสายนำสัญญาณเข้าเครื่องส่งวิทยุ FM และเครื่องมือวัด เพื่อวัดหาค่าต่างๆตามที่ต้องการ ตามรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงการต่อเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบการแพร่แปลกปลอม

4.2.2.5 ขั้นตอนในการทดสอบ

1) ต่ออุปกรณ์ตามรูป โดยยังไม่ต้องต่อสายเข้ากับเครื่องมือทดสอบ

2) เปิดเครื่องส่งวิทยุ FM และเครื่องมือทดสอบเพื่อให้เครื่องทำงานก่อนการเริ่มทดสอบประมาณ 30 นาที

3) ต่อสายเข้ากับเครื่องมือทดสอบ (spectrum analyzer) ตั้งความถี่ที่ทำการทดสอบและอ่านค่า กำลังส่งสูงสุด โดยที่ไม่ต้องมีการ modulate สัญญาณ AF เข้าที่ input ของเครื่องส่งวิทยุ FM ที่ทำการทดสอบ แล้วบันทึกไว้เป็นค่าเปรียบเทียบที่ 1

4) ปรับ band reject filter เพื่อให้ลดทอนความแรงสัญญาณที่ความถี่วิทยุที่ทำการทดสอบให้มีกำลังต่ำที่สุด ดูผลจาก spectrum analyzer

5) ปรับ spectrum analyzer เพื่อให้อ่านค่าความแรงของสัญญาณที่ความถี่ harmonic ต่างๆ ของความถี่ที่ทำการทดสอบ และนำค่าที่อ่านได้มาลบออกจากสัญญาณเปรียบเทียบจากข้อ 3) แล้วบันทึกค่าที่สูงที่สุด

6) ปรับ spectrum analyzer เพื่อให้อ่านค่า spurious ที่ความถี่ต่าง ๆ ดังนี้

6.1) 9 kHz - 150 kHz โดยตั้งค่า resolution bandwidth 1 kHz อ่านค่าความแรงของ spurious ที่สูงสุดและนำค่าที่อ่านได้มาลบออกจากสัญญาณเปรียบเทียบจากข้อ 3)บันทึกค่า

6.2) 150 kHz - 30 MHz โดยตั้งค่า resolution bandwidth 10 kHz อ่านค่าความแรงของ spurious ที่สูงสุดและนำค่าที่อ่านได้มาลบออกจากสัญญาณเปรียบเทียบจากข้อ 3)บันทึกค่า

6.3) 30 MHz - 1 GHz โดยตั้งค่า resolution bandwidth 100 kHz อ่านค่าความแรงของ spurious ที่สูงสุดและนำค่าที่อ่านได้มาลบออกจากสัญญาณเปรียบเทียบจากข้อ 3)บันทึกค่า

ข้อแนะนำ ควรตั้ง video bandwidth ≥ 3 เท่าของ resolution bandwidth

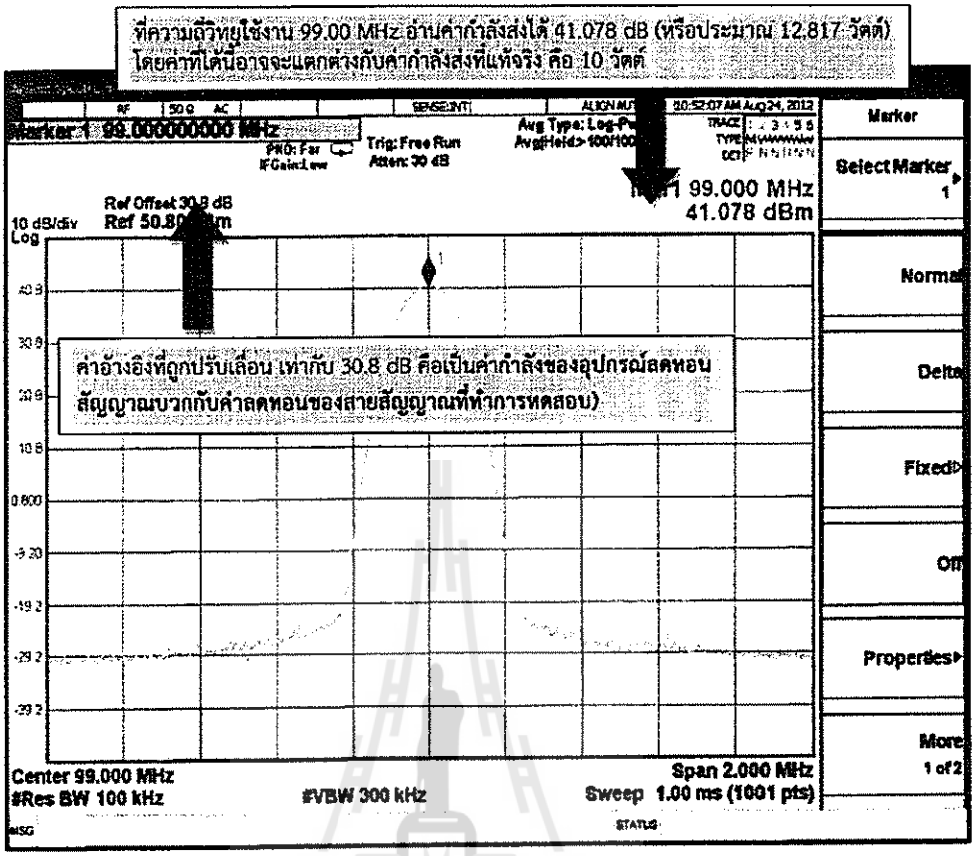
หมายเหตุ ให้มีการวัดค่าการสูญเสียในสายนำสัญญาณและอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบที่ใช้ในการทดสอบ ก่อนทำการทดสอบทุกครั้ง แล้วนำมาคิดรวมกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด เพื่อให้ค่าการวัดที่ได้มีความเที่ยงตรงและใกล้เคียงกับค่าแท้จริง

ข้อควรระวัง การเลือกใช้อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ (attenuator) อุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ (coupling Device) หรือโหลดเทียม (dummy load) จะต้องเลือกขนาดที่สามารถรองรับกำลังส่งได้มากกว่ากำลังส่งของเครื่องส่งวิทยุ FM ที่จะทำการทดสอบ และต้องมั่นใจว่ากำลังส่งที่ต่อเข้าเครื่องมือทดสอบต้องไม่เกินค่าสูงสุดที่เครื่องมือทดสอบรองรับได้ เพื่อป้องกันการเสียหายของเครื่องมือทดสอบ

4.2.2.6 ตัวอย่างการอ่านค่า

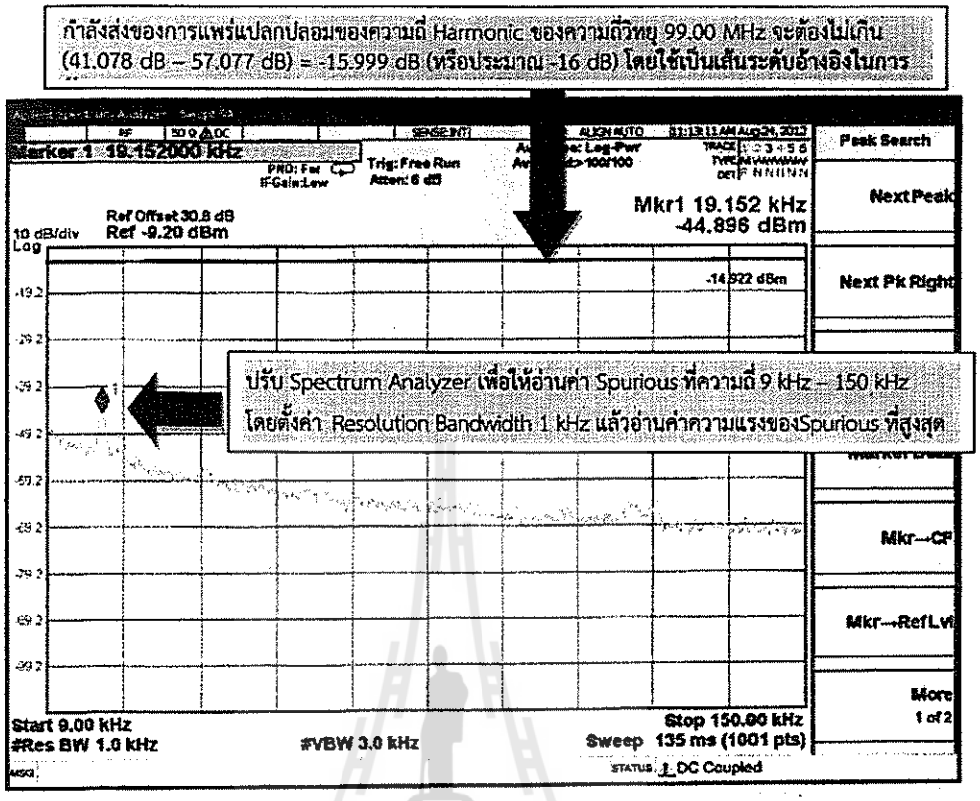
การทดสอบกำลังของการแพร่แปลกปลอมของเครื่องส่งวิทยุ FM ที่ใช้ความถี่วิทยุ 99.00 MHz กำลังส่ง 10 วัตต์ (ตามที่ผู้ผลิตแจ้งในเอกสาร specification) และใช้อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ (attenuator) 30 dB ในที่นี้ใช้ค่าจากสมการ $46 + 10 \log P$ โดยที่ $P = 12.817$ วัตต์ จะมีค่าเท่ากับ 57.077 dB ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 70 dBc จึงใช้ค่าที่ 57.077 dB เป็นค่าอ้างอิงในการวัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



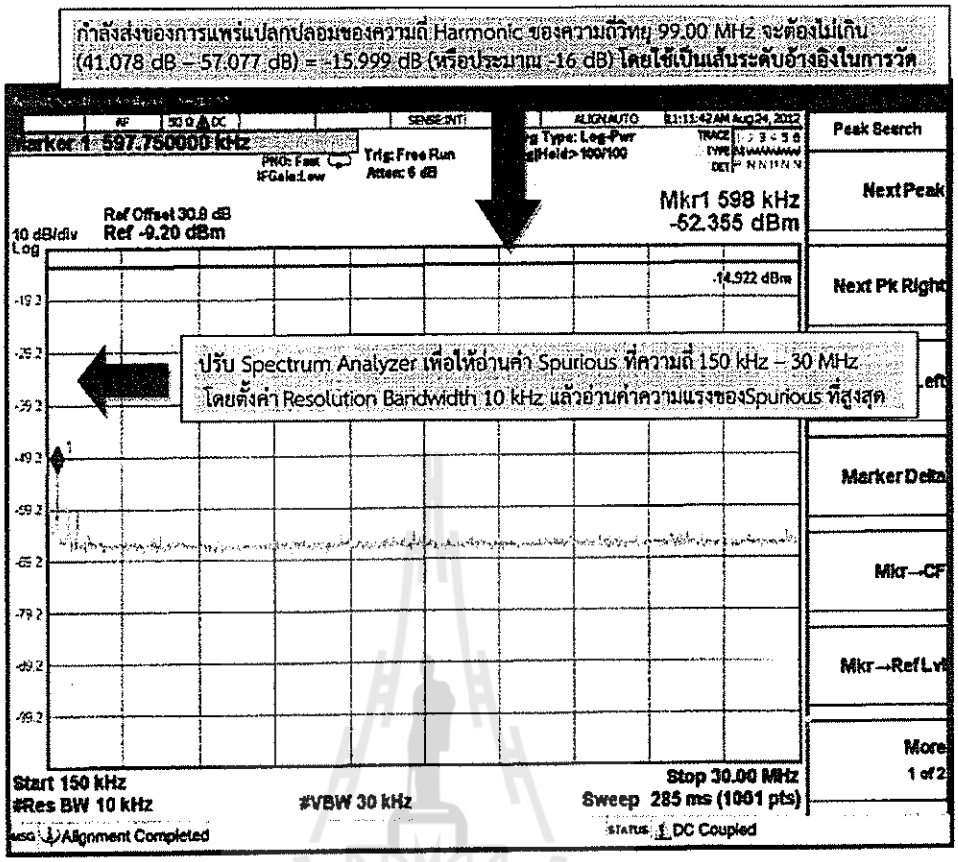
รูปที่ 4.5 แสดงการทดสอบค่ากำลังคลื่นพาห์ด้วย spectrum analyzerโดยยังไม่มีการ modulate

จากรูปที่ 4.5 ที่ความที่ใช้งาน 99.00 MHz อ่านค่ากำลังส่งได้ 41.078 dB (ประมาณ 12.817 วัตต์) โดยค่านี้อาจจะแตกต่างจากค่ากำลังส่งที่แท้จริง คือ 10 วัตต์ ส่วนค่าอ้างอิงที่ถูกปรับเลื่อนเท่ากับ 30.8 dB คือเป็นค่ากำลังของอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณบวกกับค่าลดทอนของสายสัญญาณที่ทำการทดสอบ



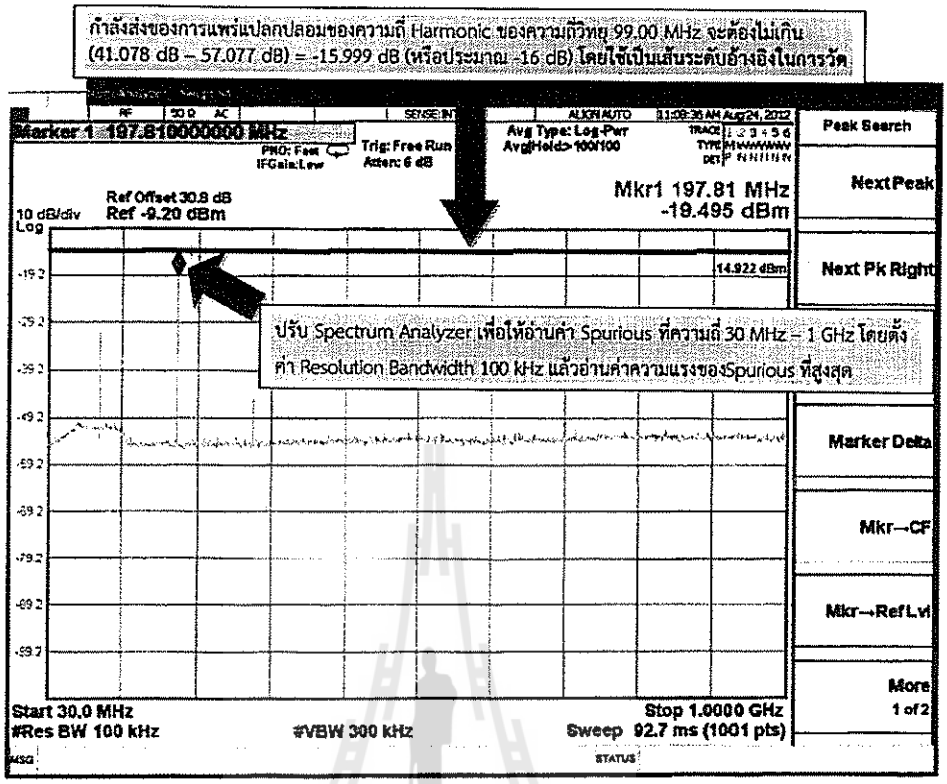
รูปที่ 4.6 แสดงการแพร่แปลกปลอมที่ความถี่ 9 kHz - 150 kHz

จากรูปที่ 4.6 กำลังส่งของการแพร่แปลกปลอมของความถี่ harmonic ของความถี่วิทยุ 99.00 MHz จะต้องไม่เกิน 41.078 dB – 57.077 dB = -16 dB เพื่อใช้เป็นเส้นระดับอ้างอิง ปรับ spectrum analyzer เพื่ออ่านค่า spurious ที่ความถี่ 9 kHz – 150 kHz resolution bandwidth 1 kHz ซึ่ง spurious สูงสุดที่อ่านได้ไม่เกินเส้นอ้างอิง สรุปว่าช่วงความถี่ 9 kHz – 150 kHz ผ่านมาตรฐานการทดสอบ



รูปที่ 4.7 แสดงการแพร่แปลกปลอมที่ความถี่ 150 kHz - 30 MHz

จากรูปที่ 4.7 กำลังส่งของการแพร่แปลกปลอมของความถี่ harmonic ของความถี่วิทยุ 99.00 MHz จะต้องไม่เกิน 41.078 dB – 57.077 dB = -16 dB เพื่อใช้เป็นเส้นระดับอ้างอิง ปรับ spectrum analyzer เพื่ออ่านค่า spurious ที่ความถี่ 150 kHz – 30 MHz resolution bandwidth 10 kHz ซึ่ง spurious สูงสุดที่อ่านได้ไม่เกินเส้นอ้างอิง สรุปว่าช่วงความถี่ 150 kHz – 30 MHz ผ่านมาตรฐานการทดสอบ



รูปที่ 4.8 แสดงการแพร่แปลกปลอมที่ความถี่ 30 MHz - 1 GHz

จากรูปที่ 4.8 กำลังส่งของการแพร่แปลกปลอมของความถี่ harmonic ของความถี่วิทยุ 99.00 MHz จะต้องไม่เกิน 41.078 dB – 57.077 dB = -16 dB เพื่อใช้เป็นเส้นระดับอ้างอิง ปรับ spectrum analyzer เพื่ออ่านค่า spurious ที่ความถี่ 30 MHz - 1 GHz resolution bandwidth 100 kHz ซึ่ง spurious สูงสุดที่อ่านได้ไม่เกินเส้นอ้างอิง สรุปว่าช่วงความถี่ 30 MHz - 1 GHz ผ่านมาตรฐานการทดสอบ

หมายเหตุ การพิจารณาตัดสินว่าเครื่องส่งวิทยุ FM เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ดูจากรูปแสดงการวัดค่ากำลังส่งของการแพร่แปลกปลอมทั้งสามส่วนประกอบ (รูปที่ 4.6 ถึง 4.8) ว่ามีค่ากำลังส่งของการแพร่แปลกปลอมของความถี่ harmonic สูงเกินไปจากเส้นระดับอ้างอิงหรือไม่

4.2.3 การแพร่นอกแถบ (out of band emission)

การแพร่นอกแถบ หมายถึง การแพร่ที่ขั้วต่อสายอากาศที่ความถี่วิทยุใดๆ ที่อยู่นอกเหนือแถบความถี่ที่จำเป็น (necessary bandwidth) ในขณะที่มีการมอดูเลตความถี่เสียงตามที่กำหนด โดยไม่รวมถึงการแพร่แปลกปลอม (spurious emission)

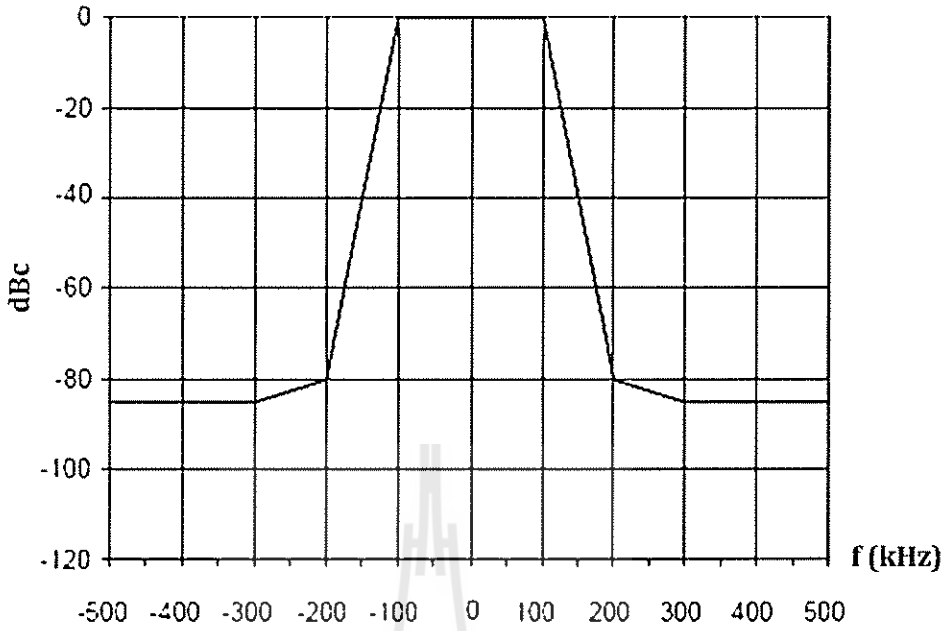
4.2.3.1 ขีดจำกัด

การแพร่นอกแถบต้องอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดไว้ในรูปที่ 4.9 ตารางแสดงขอบเขตการแพร่นอกแถบ

Frequency relative to the canter of the channel (kHz)	Relative level (dBc)
-500	-85
-400	-85
-300	-85
-200	-80
-100	0
100	0
200	-80
300	-85
400	-85
500	-85

รูปที่ 4.9 ตารางแสดงขอบเขตการแพร่นอกแถบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.10 กรอบของขอบเขตการแพร่นอกแถบ

4.2.3.2 สภาวะแวดล้อมในการทดสอบ

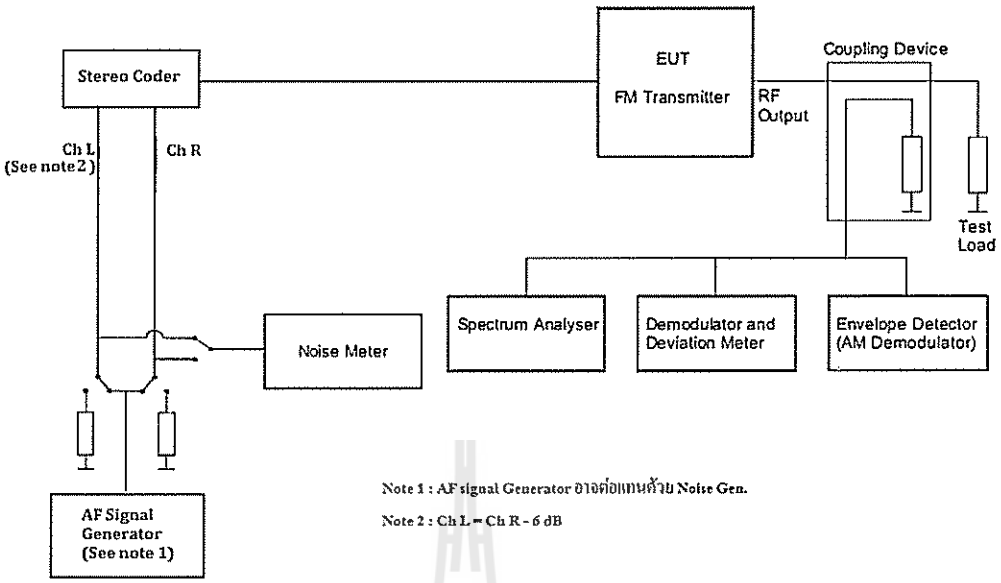
ให้ดำเนินการทดสอบในสภาวะแวดล้อมปกติตามที่กำหนดในเอกสารสารการแสดงลักษณะทางวิชาการ หรือตามที่ผู้ผลิตยืนยัน

4.2.3.3 การเลือกความถี่วิทยุเพื่อใช้ในการทดสอบ

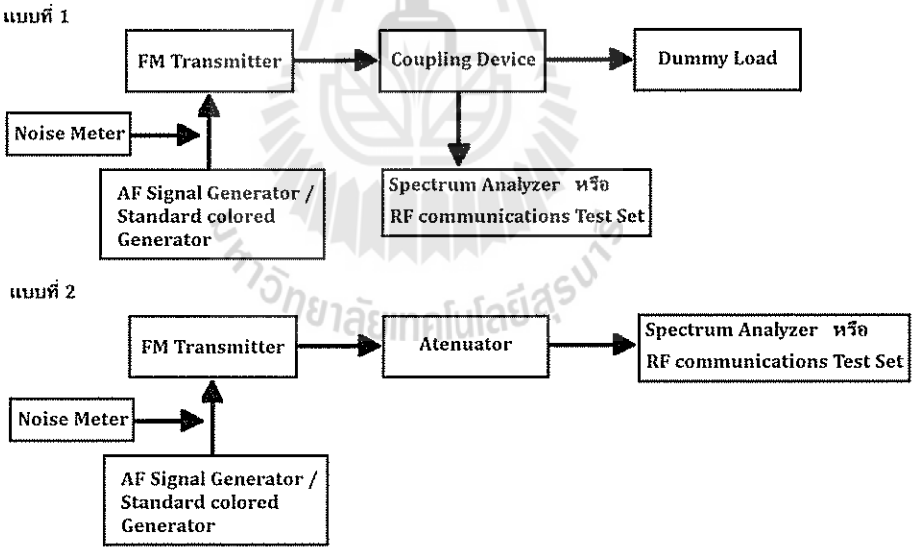
ให้ดำเนินการทดสอบความถี่วิทยุที่ได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการ โทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือ ที่ความถี่วิทยุที่ต่ำที่สุด ความถี่วิทยุตรงกลาง และความถี่วิทยุที่สูงสุดของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงนั้นๆ

4.2.3.4 ลักษณะการต่อเครื่องมือเพื่อการทดสอบ

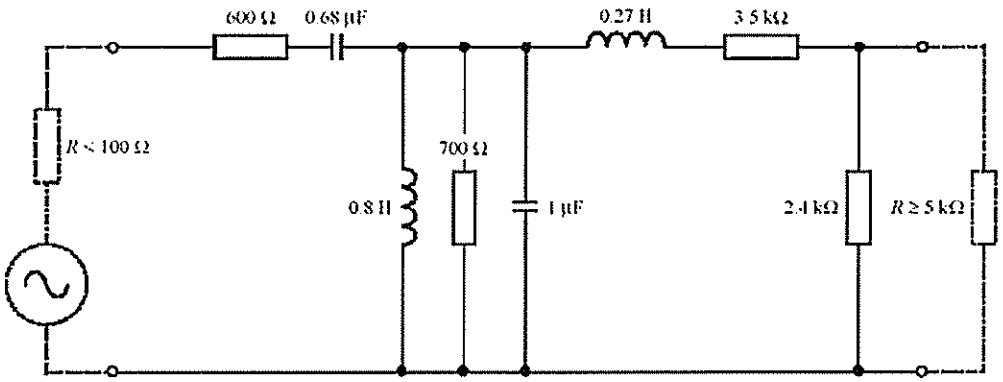
ในการทดสอบให้ทำการต่อสายนำสัญญาณเข้าเครื่องส่งวิทยุ FM และเครื่องมือวัด เพื่อวัดหาค่าต่างๆตามที่ต้องการ ตามรูปที่ 4.11 อ้างอิงจากมาตรฐาน ETSI EN 302 018-1 V1.2.1 (2006-03)



รูปที่ 4.11 การต่อเครื่องมือวัดตามมาตรฐาน ETSI EN 302 018-1 V1.2.1 (2006-03)



รูปที่ 4.12 บล็อกไดอะแกรมแสดงการต่อเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบการแพร่นอกแถบ



รูปที่ 4.13 วงจรสำหรับสร้าง colored noise generator

4.2.3.5 ขั้นตอนในการทดสอบ

1) ต่ออุปกรณ์ตามรูป โดยยังไม่ต้องต่อสายเข้าเครื่องมือทดสอบ

2) เปิดเครื่องส่งวิทยุ FM และเครื่องมือทดสอบเพื่อให้เครื่องทำงานก่อนการเริ่มทดสอบประมาณ 30 นาที

3) ต่อสัญญาณจาก AF signal generator เข้าที่ audio in R และ L โดยให้ความแรงของสัญญาณ L = R - 6 dB

4) ต่อสายทดสอบเข้ากับ spectrum analyzer ตั้งค่า resolution bandwidth 1 kHz

5) ตั้งความถี่วิทยุที่ spectrum analyzer ให้ตรงกับความถี่ที่ทำการทดสอบ แล้วเลื่อนค่าความแรงของสัญญาณสูงสุดที่ spectrum analyzer ขณะที่ไม่มีการ modulate มายังเส้น reference level (เปรียบเสมือนระดับ 0 dB)

6) ตั้งค่าความถี่ของ AF signal generator ที่ความถี่ 1 kHz โดยมีความแรงของสัญญาณ เท่ากับ ค่าที่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนทางความถี่ ±40 kHz ป้อนเข้าที่ audio in R และ L ตามข้อ 3)

7) วัดความแรงของสัญญาณ audio จากข้อ 5) ด้วย noise meter

8) ถอด audio generator ออกแล้วแทนด้วย colored noise generator มาตรฐาน

9) วัดความแรงของ colored noise generator ด้วย noise meter

10) ปรับความแรงของ colored noise generator เพื่อให้ได้ความแรงเท่ากับความแรงในข้อ 7)

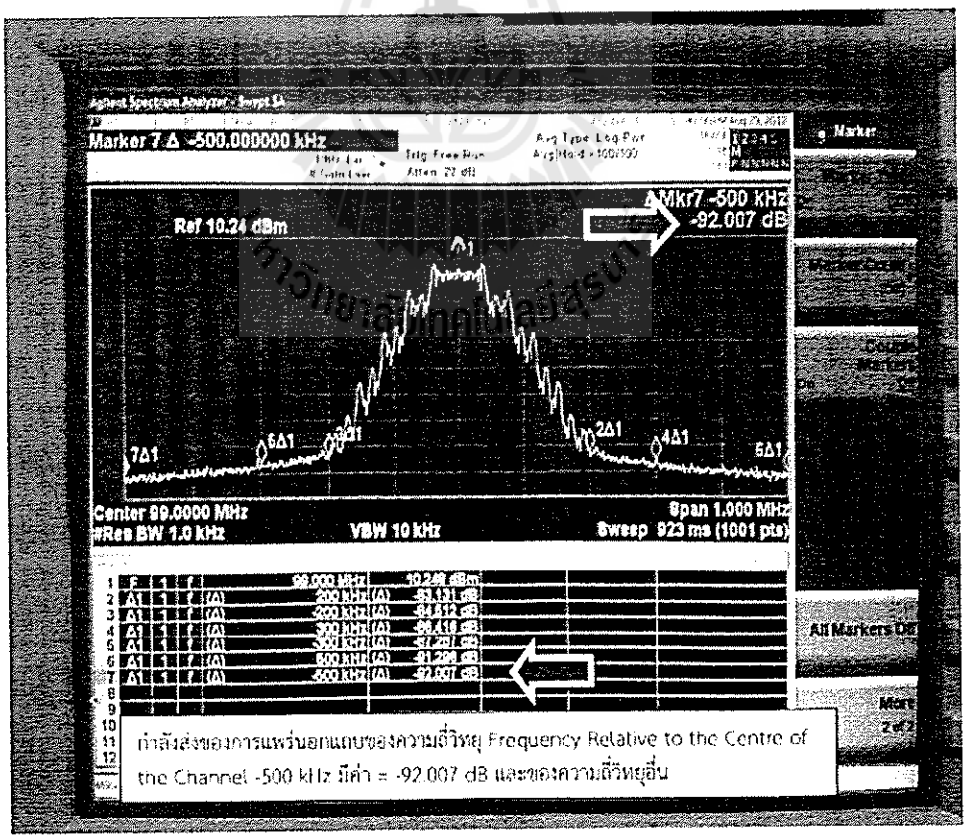
11) อ่านค่า spectrum analyzer ที่ได้เทียบกับมาตรฐาน (อ่านค่าความแรงของสัญญาณที่ความถี่ที่ห่างจากความถี่วิทยุที่ทดสอบ ±100 kHz, ±200 kHz, ±300 kHz, ±400 kHz และ ±500 kHz ตามลำดับ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่า reference level และบันทึกผล)

หมายเหตุ ให้มีการวัดค่าการสูญเสียในสายนำสัญญาณและอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบที่ใช้ในการทดสอบก่อนทำการทดสอบทุกครั้ง แล้วนำมาคิดรวมกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด เพื่อให้ค่าการวัดที่ได้มีความเที่ยงตรงและใกล้เคียงกับค่าแท้จริง

ข้อควรระวัง การเลือกใช้อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ (attenuator) อุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ (coupling device) หรือโหลดเทียม (dummy load) จะต้องเลือกขนาดที่สามารถรองรับกำลังส่งได้มากกว่ากำลังส่งของ เครื่องส่งวิทยุฯที่จะทำการ ทดสอบ และต้องมั่นใจว่ากำลังส่งที่ต่อเข้าเครื่องมือทดสอบต้องไม่เกินค่าสูงสุดที่ เครื่องมือทดสอบรองรับได้ เพื่อป้องกันการเสียหายของเครื่องมือทดสอบ

4.2.3.6 ตัวอย่างการอ่านค่า

การทดสอบกำลังส่งการแพร่นอกแถบ (ภายใน marker) ของเครื่องส่งวิทยุ ที่ใช้ความถี่วิทยุ 99.00 MHz กำลังส่ง 10 วัตต์ (ตามที่ผู้ผลิตแจ้งในเอกสาร specification) และใช้อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ (attenuator) 30 dB



รูปที่ 4.14 ค่าการแพร่นอกแถบของเครื่องส่งวิทยุ FM ที่ความถี่ใช้งาน 99.00 MHz

จากรูปที่ 4.14 สรุปผลการวัดซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานแล้วผล คือ ไม่ผ่านมาตรฐานการทดสอบ ดังรูปที่ 4.15 ตารางผลการวัดการแพร่นอกแถบเทียบกับค่ามาตรฐาน

Frequency relative to the canter of the channel(kHz)	Relative level (dBc)	
	ค่ามาตรฐาน	ค่าทดลอง
-500	-85	-92.007
-400	-85	-90.00
-300	-85	-87.281
-200	-80	-84.512
-100	0	-45.00
100	0	-45.00
200	-80	-83.131
300	-85	-86.416
400	-85	-90.00
500	-85	-91.298

รูปที่ 4.15 ตารางผลการวัดการแพร่นอกแถบเทียบกับค่ามาตรฐาน

4.2.4 ค่าผิดพลาดทางความถี่ (frequency error)

ค่าผิดพลาดทางความถี่ หมายถึง ค่าแตกต่างระหว่างความถี่คลื่นพาห์ในขณะที่ไม่มีการมอดูเลตกับความถี่ที่ระบุของภาคเครื่องส่ง

4.2.4.1 ขีดจำกัด

ค่าผิดพลาดทางความถี่จะต้องไม่เกิน ±2 kHz ของความถี่คลื่นพาห์ในขณะที่ไม่มีการมอดูเลต

4.2.4.2 สภาวะแวดล้อมในการทดสอบ

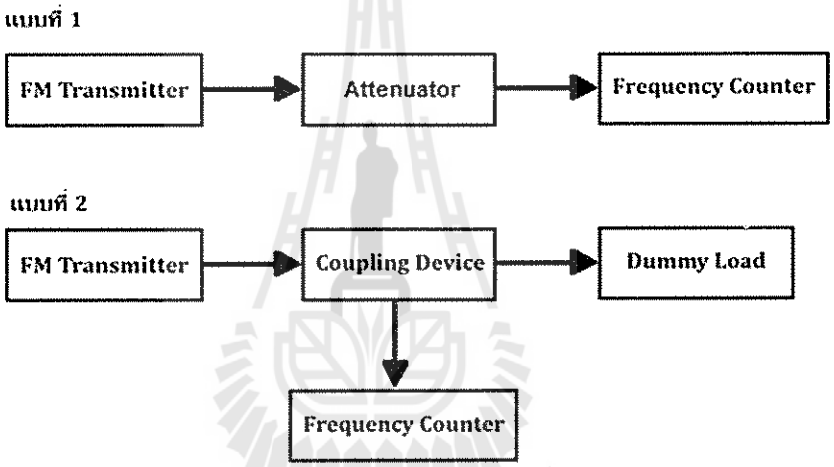
ให้ดำเนินการทดสอบในสภาวะแวดล้อมปกติตามที่กำหนดในเอกสารสารแสดงลักษณะทางวิชาการหรือตามที่ผู้ผลิตยืนยัน

4.2.4.3 การเลือกความถี่วิทยุเพื่อใช้ในการทดสอบ

ให้ดำเนินการทดสอบความถี่วิทยุที่ได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) หรือที่ความถี่วิทยุต่ำที่สุด ความถี่วิทยุตรงกึ่งกลางและความถี่วิทยุที่สูงสุดของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงนั้นๆ

4.2.4.4 ลักษณะการต่อเครื่องมือเพื่อการทดสอบ

ในการทดสอบให้ทำการต่อสายนำสัญญาณเข้าเครื่องส่งวิทยุ FM และเครื่องมือวัด เพื่อวัดหาค่าต่าง ๆ ตามที่ต้องการ ตามรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 บล็อกไดอะแกรมการต่อเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบค่าผิดพลาดทางความถี่

4.2.4.5 ขั้นตอนในการทดสอบ

1) ต่ออุปกรณ์ตามรูป โดยยังไม่ต้องต่อสายเข้าเครื่องมือทดสอบ

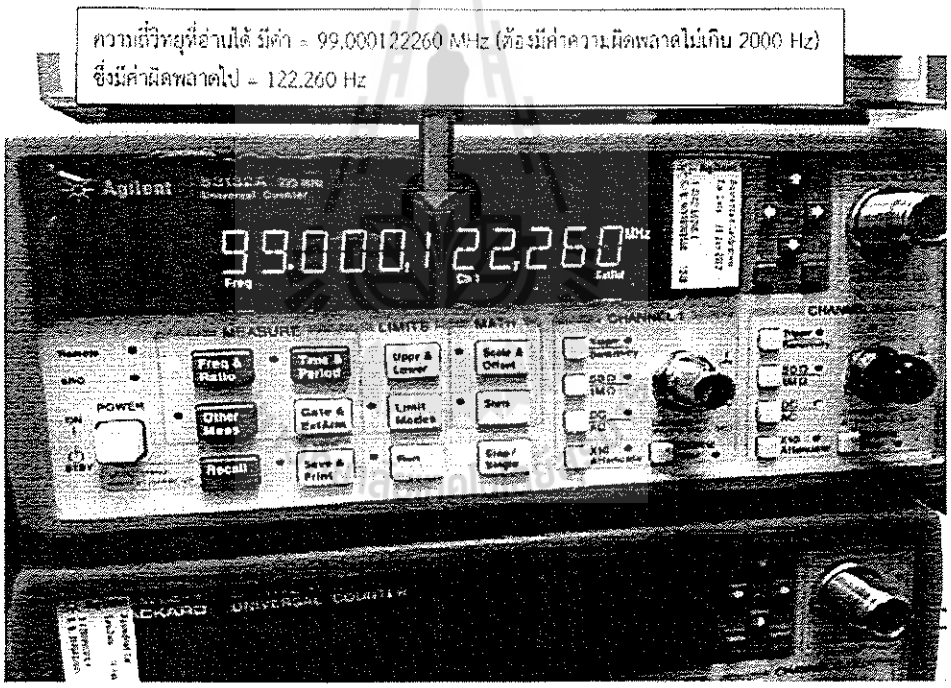
2) เปิดเครื่องส่งวิทยุและเครื่องมือทดสอบเพื่อให้เครื่องทำงานก่อนการเริ่มทดสอบประมาณ 30 นาที

3) ตั้งค่าของ frequency counter เพื่อการทดสอบและแสดงค่าความถี่ให้ได้ความแม่นยำที่เหมาะสม แล้วบันทึกผล

ข้อควรระวัง การเลือกใช้อุปกรณ์การลดทอนสัญญาณ (attenuator) อุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ (coupling device) หรือโหลดเทียม (dummy load) จะต้องเลือกขนาดที่สามารถรองรับกำลังส่งได้มากกว่ากำลังส่งของ เครื่องส่งวิทยุ FM ที่จะทำการทดสอบ และต้องมั่นใจว่ากำลังส่งที่ต่อเข้าเครื่องมือทดสอบต้องไม่เกินค่าสูงสุดที่เครื่องมือทดสอบรองรับได้ เพื่อป้องกันการเสียหายของเครื่องมือทดสอบ

4.2.4.6 ตัวอย่างการทดสอบและอ่านค่า

การทดสอบค่าผิดพลาดทางความถี่ของเครื่องส่งวิทยุ FM ที่ใช้ความถี่วิทยุ 99.00 MHz กำลังส่ง 10 วัตต์ (ตามที่ผู้ผลิตแจ้งในเอกสาร specification) และใช้อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ (attenuator) 30 dB



รูปที่ 4.17 แสดงค่าผิดพลาดทางความถี่ 99.00 MHz

จากรูปที่ 4.17 แสดงการวัดค่าด้วย frequency counter มีค่าความผิดพลาด 122.260 Hz ซึ่งผลการวัดที่ได้มีค่าต่ำกว่า ±2 kHz สรุปว่าผ่านมาตรฐานการทดสอบ

4.2.5 ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ (frequency deviation)

ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ หมายถึง ค่าแตกต่างที่มากที่สุดระหว่างความถี่ขณะใดขณะหนึ่ง (instantaneous frequency) เมื่อมีการมอดูเลตกับความถี่คลื่นพาห์ในขณะที่ไม่มีการมอดูเลต

4.2.5.1 ขีดจำกัด

ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่จะต้องไม่เกิน ±75 kHz

4.2.5.2 สภาวะแวดล้อมในการทดสอบ

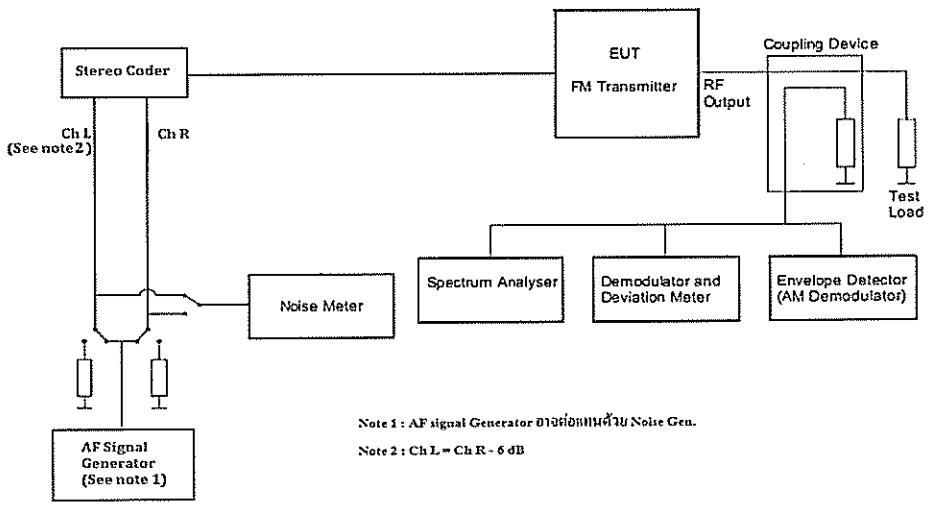
ให้ดำเนินการทดสอบในสภาวะแวดล้อมปกติ ตามที่กำหนดในเอกสารสารแสดงลักษณะทางวิชาการหรือตามที่ผู้ผลิตยืนยัน

4.2.5.3 การเลือกความถี่วิทยุเพื่อใช้ในการทดสอบ

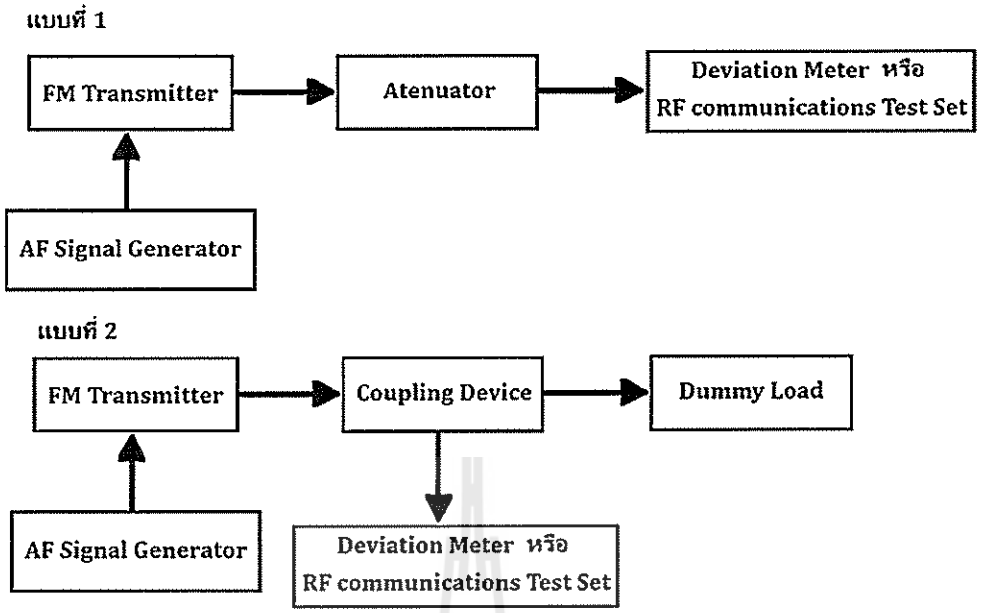
ให้ดำเนินการทดสอบความถี่วิทยุที่ได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) หรือที่ความถี่วิทยุต่ำที่สุด ความถี่วิทยุตรงกึ่งกลาง และ ความถี่วิทยุที่สูงสุดของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงนั้นๆ

4.2.5.4 ลักษณะการต่อเครื่องมือเพื่อการทดสอบ

ในการทดสอบให้ทำการต่อสายนำสัญญาณเข้าเครื่องส่งวิทยุ FM และเครื่องมือวัด เพื่อวัดหาค่าต่างๆ ตามที่ต้องการ ตามรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงการต่อเครื่องมือวัดตามมาตรฐาน ETSI EN 302 018-1 V1.2.1 (2006-03)



รูปที่ 4.19 บล็อกไดอะแกรมการต่อเครื่องมือวัดเพื่อวัดค่าเบี่ยงเบนทางความถี่

4.2.5.5 ขั้นตอนในการทดสอบ

1) ต่ออุปกรณ์ตามรูป โดยยังไม่ต้องต่อสายเข้าเครื่องมือทดสอบ

2) เปิดเครื่องส่งวิทยุและเครื่องมือทดสอบเพื่อให้เครื่องทำงานก่อนการเริ่มทดสอบประมาณ 30นาที

3) ต่อสัญญาณจาก AF signal generator เข้าที่ audio in R และ L โดยให้ความแรงของสัญญาณ L = R-6 dB

4) ตั้งค่าความถี่ของ AF signal generator ที่ความถี่ 1 kHz ปรับค่าความแรงของสัญญาณให้ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ที่ได้ ±40 kHz

5) วัดความแรงของสัญญาณ audio จากข้อ 4)

6) เพิ่มความแรงของ AF signal generator ที่วัดได้จากข้อ 4) อีก 12 dB

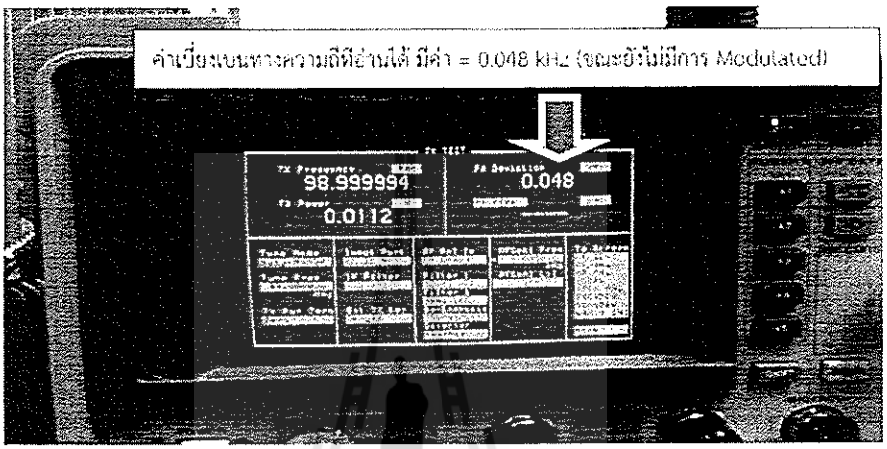
7) อ่านค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ที่ได้ ซึ่งจะต้องไม่เกิน ±75 kHz ± 3 %

หมายเหตุ กรณีเครื่องมือวัดไม่มี deviation limiter เมื่อเพิ่มค่าความแรงของ AF signal generator อีก 12 dB แล้ว ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ต้องไม่เกิน ±75 kHz (เสมือนว่าเป็นการ deviation limiter enable ตลอดเวลา)

ข้อควรระวัง การเลือกใช้อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ (attenuator) อุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ (coupling device) หรือโหลดเทียม (dummy load) จะต้องเลือกขนาดที่สามารถรองรับกำลังส่งได้

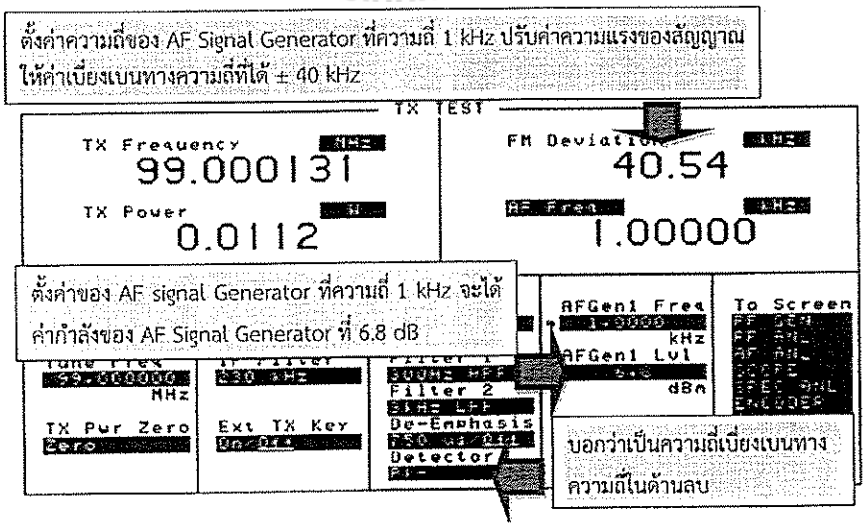
มากกว่ากำลังส่งของเครื่องส่งวิทยุ FM ที่จะทำการทดสอบ และต้องมั่นใจว่ากำลังส่งที่ต่อเข้าเครื่องมือทดสอบต้องไม่เกินค่าสูงสุดที่เครื่องมือทดสอบรองรับได้ เพื่อป้องกันการเสียหายของเครื่องมือทดสอบ

4.2.5.6 ตัวอย่างการอ่านค่า



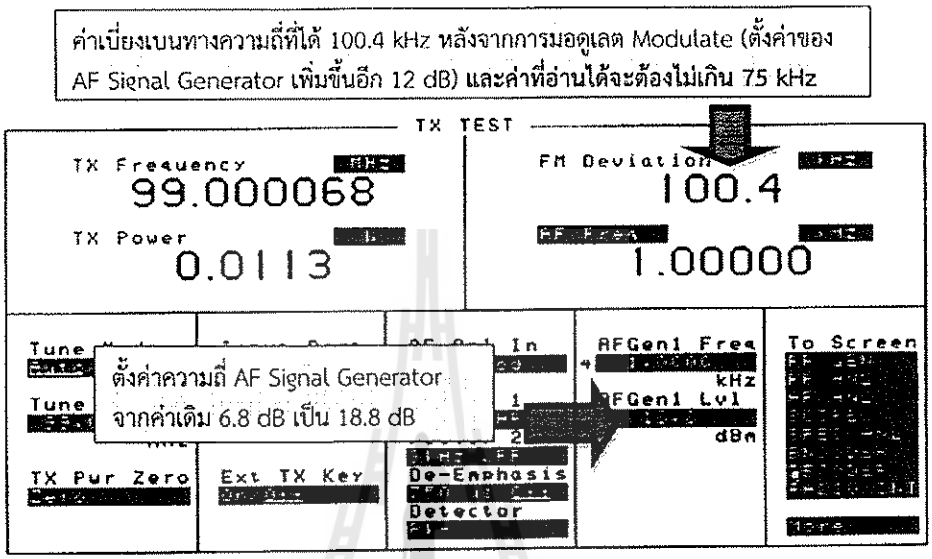
รูปที่ 4.20 แสดงค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ที่ความถี่ใช้งาน 99.00 MHz ในขณะที่ไม่มีการมอดูเลต

จากรูปที่ 4.20 การทดสอบค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ของเครื่องส่งวิทยุ FM ที่ใช้ความถี่วิทยุ 99.00 MHz กำลังส่ง 10 วัตต์ (ตามที่ผู้ผลิตแจ้งในเอกสาร specification) และใช้อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ (attenuator) 30 dB



รูปที่ 4.21 แสดงค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ที่ 99.00 MHz ตั้ง AF signal generator ที่ความถี่ 1 kHz

จากรูปที่ 4.21 ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ด้านลบของเครื่องส่งวิทยุ FM ที่ความถี่ใช้งาน 99.00 MHz ในขณะที่มีการตั้งค่าของ AF signal generator ที่ความถี่ 1 kHz ปรับค่าความแรงของสัญญาณให้ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ได้ ±40 kHz ซึ่งวัดค่าด้วย RF communications test set



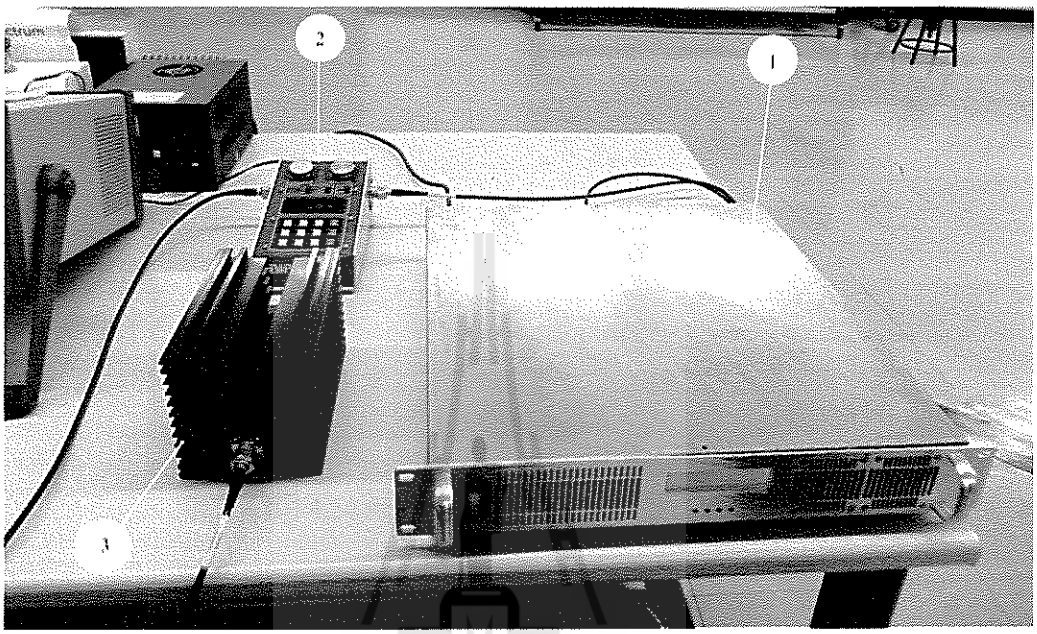
รูปที่ 4.22 แสดงค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ที่ 99.00 MHz ตั้งค่า AF generator ที่มอดูเลตแล้ว

จากรูปที่ 4.22 ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ที่ทดสอบของเครื่องส่งวิทยุที่ความถี่ใช้งาน 99.00 MHz ได้ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ เท่ากับ 100.4 kHz ซึ่งมีค่ามากกว่า ±75 kHz สรุปว่าไม่ผ่านมาตรฐานการทดสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.3 ขั้นตอนในการทดสอบเครื่องส่งวิทยุ FM (ต้นแบบ) และผลการทดลอง

4.3.1 การทดสอบกำลังคลื่นพาห์ที่กำหนด (rated carrier power)



รูปที่ 4.23 แสดงการต่อเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบกำลังคลื่นพาห์สำหรับเครื่องส่งวิทยุ FM

4.3.1.1 ขั้นตอนในการทดสอบ

1) จากรูปที่4.23 ต่อสาย RG 58 หัว N-Type จาก RF out ของเครื่องส่งวิทยุ FM หมายเลข 1 และที่ปลายสาย RG 58 หัว N-Type อีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับเครื่อง watt meter หมายเลข 2

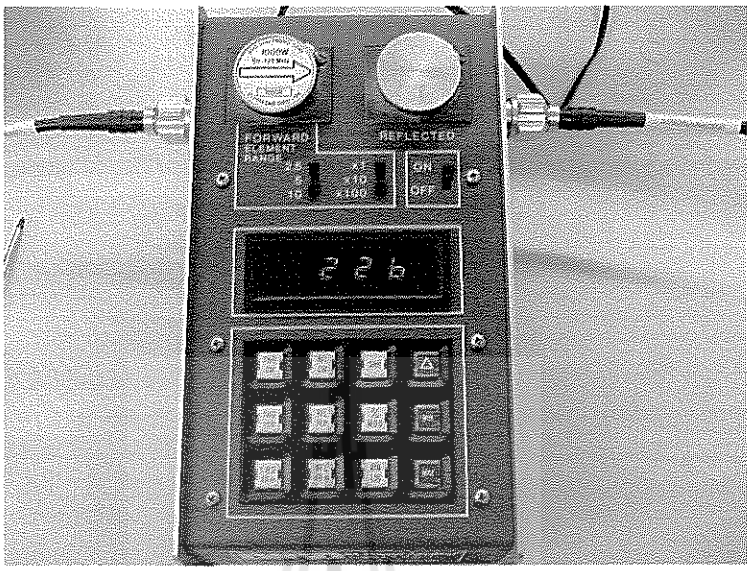
2) ต่อสาย RG58 หัว N-Type จากเครื่อง watt meter หมายเลข 2 และปลายสาย RG58 หัว N-Type อีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับ dummy load หมายเลข 3

3) ทำการเปิดเครื่อง watt meter หมายเลข 2 และเครื่องส่ง FM หมายเลข 1 ตามลำดับ

4) บันทึกผลการทดสอบที่ได้จากเครื่อง watt meter หมายเลข 2

หมายเหตุ การใช้งาน dummy load ต้องดูด้วยว่าสามารถทนกำลังวัตต์ของเครื่องส่งได้หรือไม่ ระหว่างต่อสายเข้ากับอุปกรณ์ห้ามเปิดเครื่องส่งก่อนโดยเด็ดขาด ก่อนทำการทดสอบควรเปิดเครื่องส่งกับอุปกรณ์การวัดทิ้งไว้ 30 นาที

4.3.1.2 ผลการทดสอบ

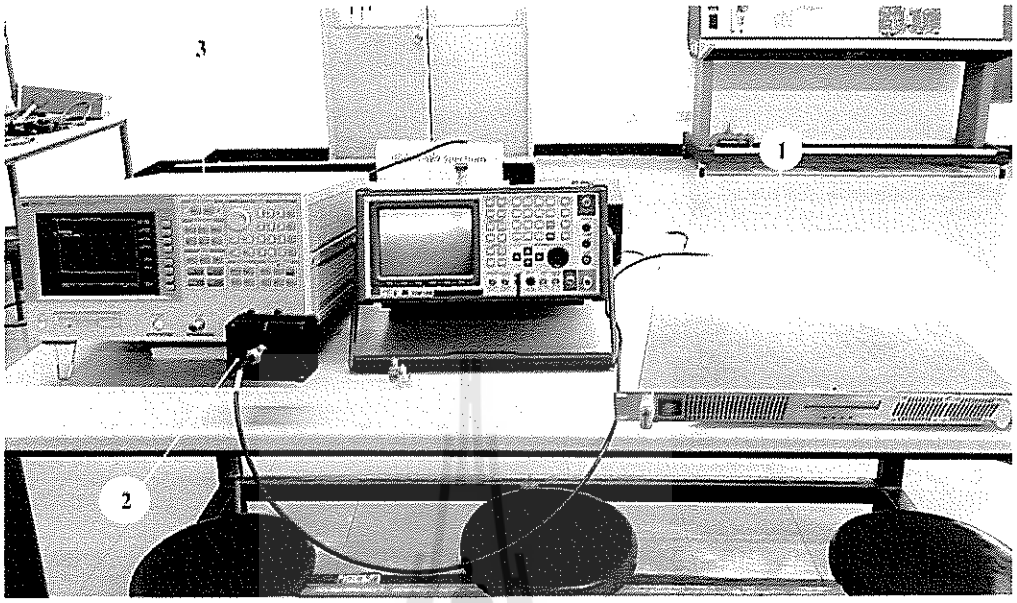


รูปที่ 4.24 แสดงค่ากำลังคลื่นพาห์ด้วย watt meter

สเปคเครื่องส่ง FM ที่เป็นต้นแบบมีกำลังส่งสูงสุดที่ 226 วัตต์ จากรูปที่ 4.24 กำลังคลื่นพาห์สูงสุดที่วัดได้จากเครื่องส่ง FM คือ 226 วัตต์ เป็นค่าที่ไม่เกินมาตรฐานและเป็นค่าสูงสุด เมื่อป้อนกำลังงานที่อินพุต 5 วัตต์ ซึ่งมาตรฐานกำหนดไว้ไม่ให้เกิน 500 วัตต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.3.2 การทดสอบการแพร่แปลกปลอม (conducted spurious emission)



รูปที่ 4.25 แสดงการต่อเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบการแพร่แปลกปลอม

4.3.2.1 ขั้นตอนในการทดสอบ

1) จากรูปที่ 4.25 ต่อสาย RG 58 หัว N-Type เข้ากับ RF out ของเครื่องส่งวิทยุ FM หมายเลข 1 และที่ปลายอีกด้านหนึ่งของสาย RG 58 หัว N-Type ต่อเข้ากับ attenuator หมายเลข 2

2) ต่อ attenuator หมายเลข 2 เข้ากับเครื่อง spectrum analyzer หมายเลข 3

3) เปิดเครื่อง spectrum analyzer หมายเลข 3 ตั้งโหมด attenuator ไว้ที่ 30 dB

4) ตั้งความถี่ที่ทำการทดสอบในที่นี้ตั้งไว้ 90 MHz และอ่านค่า กำลังส่งสูงสุด โดยที่ไม่ต้องมีการ modulate สัญญาณ AF เข้าที่ input ของเครื่องส่งวิทยุ FM ที่ทำการทดสอบ แล้วบันทึกไว้เป็นค่าเปรียบเทียบ

5) ปรับ spectrum analyzer เพื่อให้อ่านค่า spurious ที่ความถี่ 9 kHz - 150 kHz โดยตั้งค่า resolution bandwidth 1 kHz อ่านค่าความแรงของ spurious ที่สูงสุด และนำค่าที่อ่านได้มาเปรียบเทียบกันกับข้อที่ 4)

6) ปรับ spectrum analyzer เพื่อให้อ่านค่า spurious ที่ความถี่ 150 kHz - 30 MHz โดยตั้งค่า resolution bandwidth 10 kHz อ่านค่าความแรงของ spurious ที่สูงสุด และนำค่าที่อ่านได้มาเปรียบเทียบกับข้อ 4)

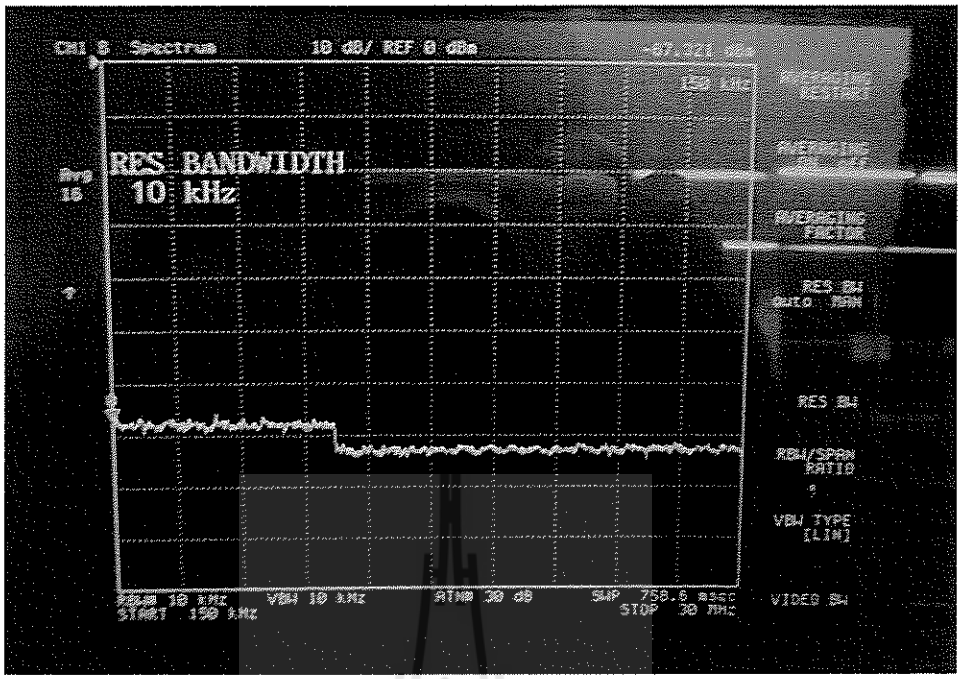
7) ปรับ spectrum analyzer เพื่อให้อ่านค่า spurious ที่ความถี่ 30 MHz - 1 GHz โดยตั้งค่า resolution bandwidth 100 kHz อ่านค่าความแรงของ spurious ที่สูงสุด และนำค่าที่อ่านได้มาเปรียบเทียบกับข้อ 4)

หมายเหตุ การใช้งาน attenuator ต้องคำนึงด้วยว่าสามารถทนกำลังวัตต์ของเครื่องส่งได้หรือไม่ ระหว่างต่อสายเข้ากับอุปกรณ์ห้ามเปิดเครื่องส่งโดยเด็ดขาดและก่อนทำการทดสอบควรเปิดเครื่องส่ง FM และอุปกรณ์การวัด ทิ้งไว้ 30 นาที

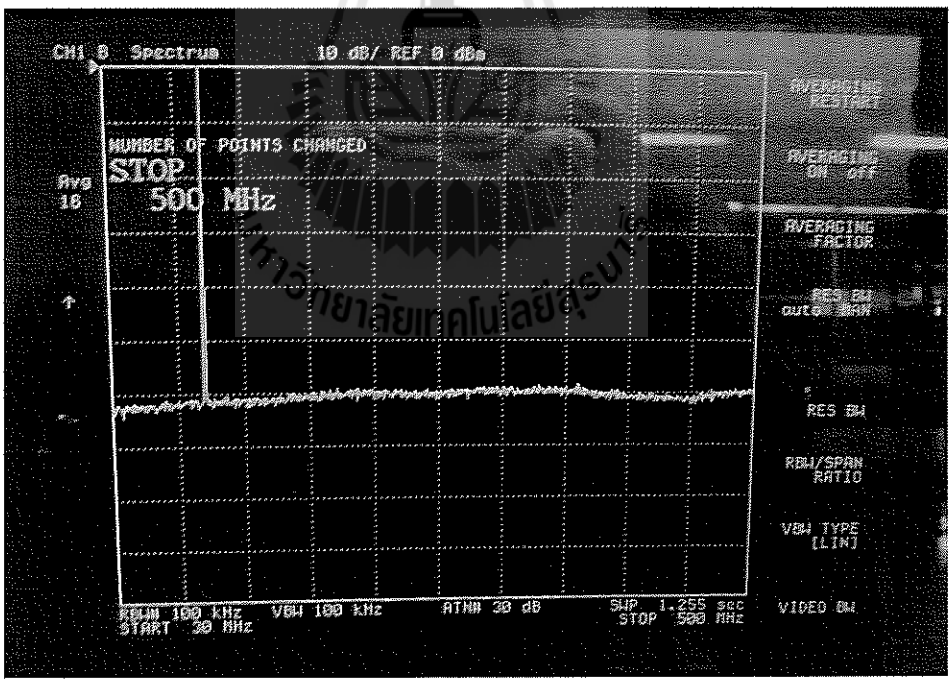
4.3.2.2 ผลการทดลอง

ค่าเปรียบเทียบที่วัดได้จากข้อ 4) มีค่าประมาณ 5.12 dBm เนื่องจาก attenuator ลดทอนกำลังวัตต์ลง 30 dB หรือประมาณ 3 เท่า ดังนั้นค่าจริงที่ได้คือประมาณ 5 วัตต์ นำค่าที่บันทึกได้มาเข้าสูตร 46 + 10 log P ซึ่งค่า P ที่ว่านี้ คือ ค่ากำลังคลื่นพาห์สูงสุดที่ความถี่ใช้ทดสอบในที่นี้ใช้ความถี่ที่ 90 MHz วัดได้ 5 วัตต์ เมื่อนำ 5 วัตต์ มาเข้าสูตรจะได้ประมาณ 53 dBc ซึ่งน้อยกว่า 70 dBc ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า 53 dBc เป็นค่าอ้างอิงเปรียบเทียบ

รูปที่ 4.26 แสดงผลการวัด spurious ความถี่ 9 kHz - 150 kHz



รูปที่ 4.27 แสดงผลการวัด spurious ที่ความถี่ 150 kHz - 30 MHz

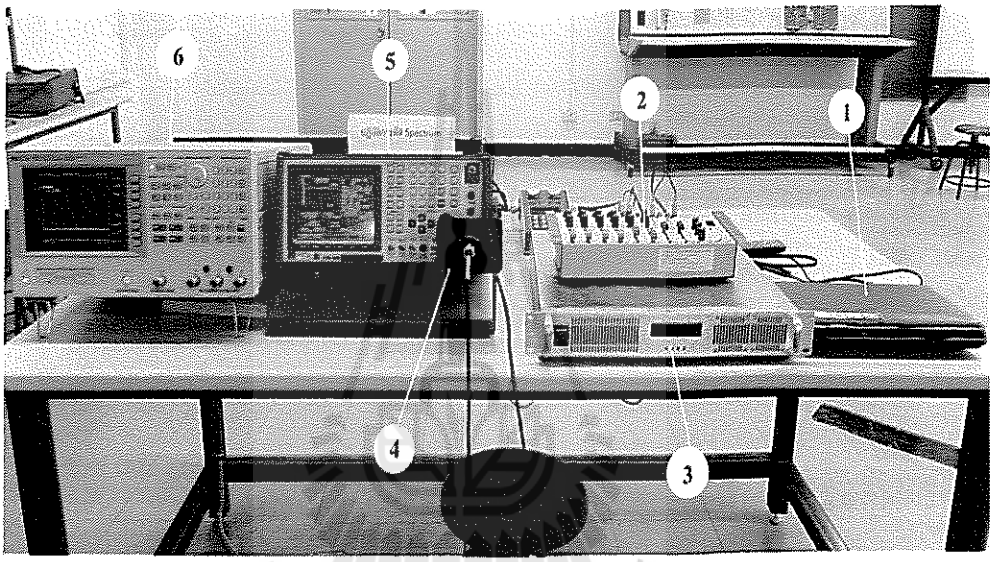


รูปที่ 4.28 แสดงผลการวัด spurious ที่ความถี่ 30 MHz – 500 GHz

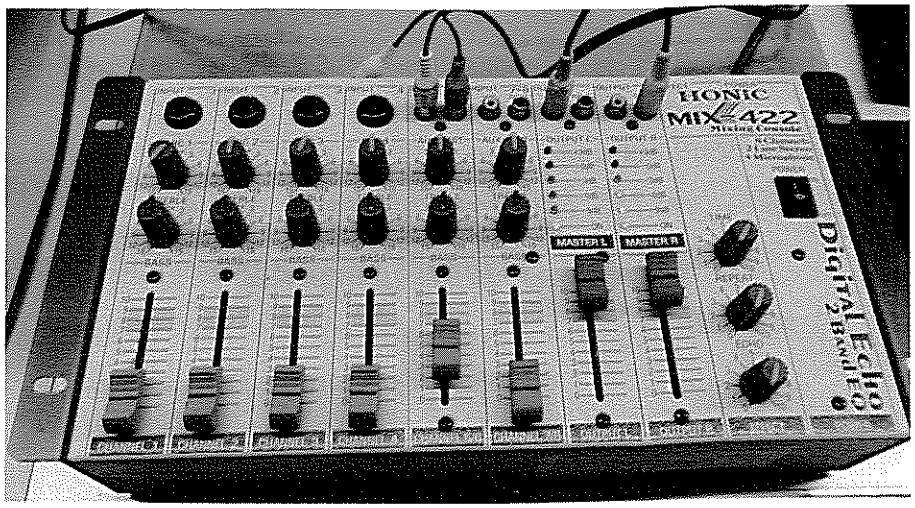
จากรูปที่ 4.26 ถึงรูปที่ 4.28 สรุปได้ว่าไม่มี spurious เกิดขึ้นเลย สมมุติถ้ามี spurious เกิดขึ้น ต้องไม่เกิน 53 dBc ถ้าเกินแสดงว่าไม่ผ่านมาตรฐานการทดสอบ

หมายเหตุ ตามมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ที่ 30 MHz – 1 GHz แต่เนื่องจากเครื่อง spectrum analyzer ในการทดสอบนี้สามารถวัดได้ถึง 500 MHz เท่านั้น จึงได้แสดงภาพพอเป็นแนวทางในการวัดผล และ attenuator ที่ใช้ทดลองทนกำลังวัตต์ได้สูงสุด 30 วัตต์ ดังนั้นในการทดสอบนี้จึงใช้แค่ 5 วัตต์ เพื่อพอเป็นแนวทางการวัดผล ซึ่งการวัด spurious emission ตามมาตรฐานต้องวัดผลที่กำลังวัตต์สูงสุดของเครื่องส่งที่ใช้จริง

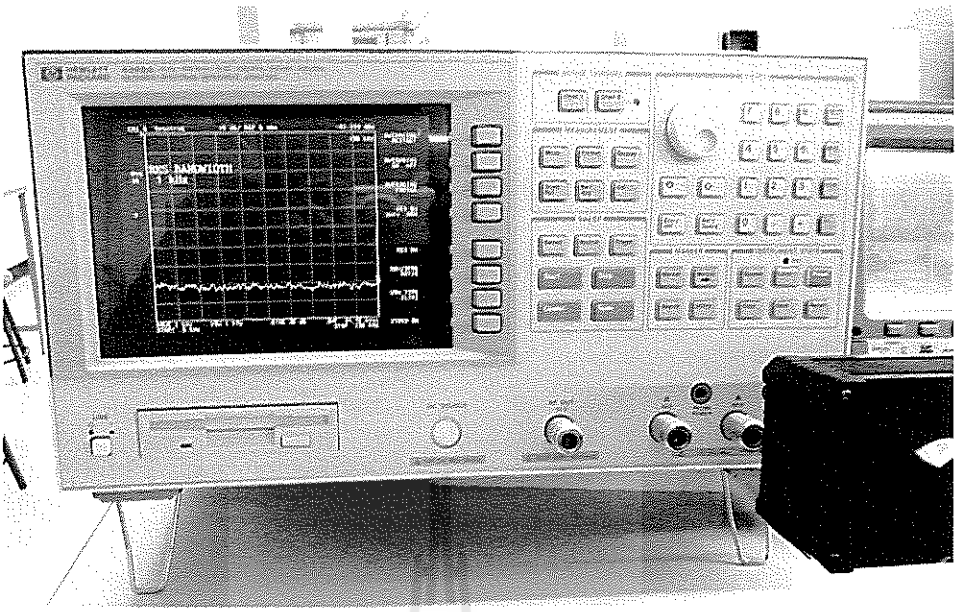
4.3.3 การทดสอบการแพร่นอกแถบ (out of band emissions)



รูปที่ 4.29 แสดงการต่อเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบการแพร่นอกแถบ



รูปที่ 4.30 ภาพขยายของมิกเซอร์หมายเลข 2



รูปที่ 4.31 การต่อ attenuator หมายเลข 4 เข้ากับเครื่อง spectrum analyzer หมายเลข 6

4.3.3.1 ขั้นตอนการทดสอบ

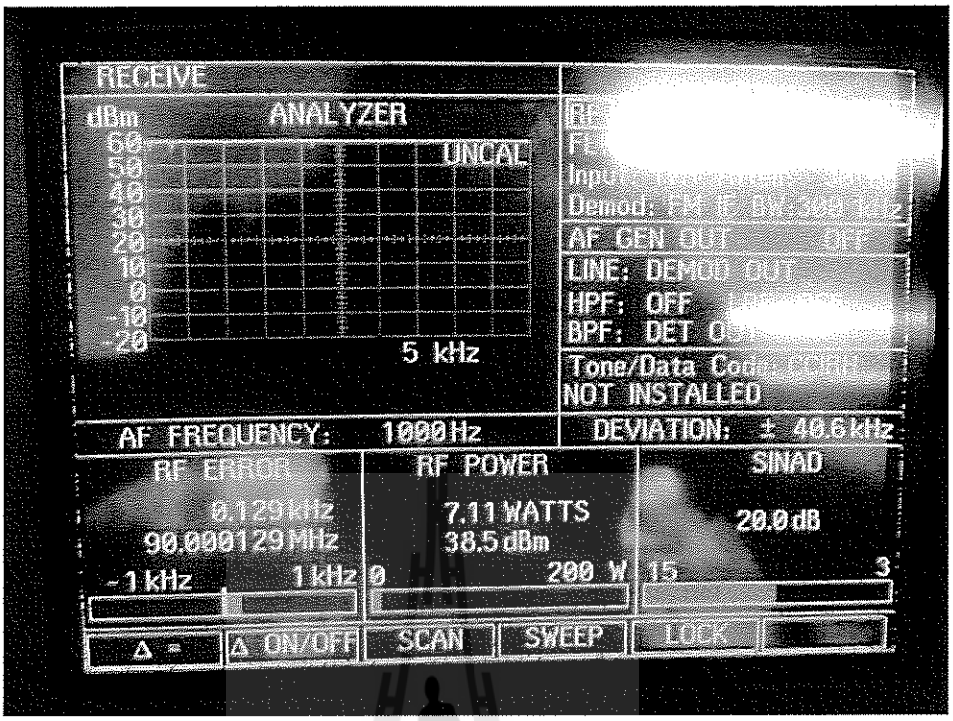
1) ต่อสาย RCA จากเครื่องเล่น DVD หมายเลข 1 ไปเข้าอินพุตของมิกเซอร์หมายเลข 2 ดังจากรูปที่ 4.27

2) ต่อสาย RCA จากเอาท์พุตของมิกเซอร์หมายเลข 2 ไปเข้าออดิโอของอินพุตเครื่องส่ง FM หมายเลข 3

3) ต่อสาย RG 58 หัว N-Type กับ RF output ของเครื่องส่ง FM หมายเลข 3 และที่ปลายสาย RG 58 หัว N-Type อีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับ attenuator หมายเลข 4 แล้วต่อ attenuator หมายเลข 4 เข้ากับเครื่อง service monitor หมายเลข 5

4) เปิดเครื่องเล่น DVD หมายเลข 1 เพื่อเล่นไฟล์ 01_Tone1K_Baseline_(L=R-6dB Stereo)

5) ที่เครื่อง service monitor หมายเลข 5 ดูค่า frequency deviation โดยปรับที่มิกเซอร์หมายเลข 2 เพื่อให้ได้ค่า frequency deviation ที่ ±40 kHz ดังรูปที่ 4.30 เมื่อได้ค่า frequency deviation ที่ ±40 kHz แล้วห้ามไปปรับมิกเซอร์หมายเลข 2 อีกเป็นอันขาด



รูปที่ 4.32 ภาพแสดงค่า deviation ±40.6 kHz จากเครื่อง service monitor

6) ปิดเครื่องส่ง FM แล้วย้าย attenuator หมายเลข 4 ไปเข้าเครื่อง spectrum analyzer หมายเลข 6 ดังรูปที่ 4.31

7) ที่เครื่อง spectrum analyzer หมายเลข 6 ตั้งค่า resolution bandwidth 1 kHz, span 1 MHz, video bandwidth 3 kHz, reference level 0 dB ตั้งความถี่วิทยุที่ 102.00 MHz (ความถี่ที่ทำการทดสอบ)

6) ทำการเปิดเครื่องส่ง FM แล้วเปลี่ยนไฟล์ที่เครื่องเล่น DVD หมายเลข 1 เป็นไฟล์ 03_ColouredNoise_Baseline_(L=R-6dB Stereo)

7) ถ่ายรูปบันทึกผลการทดลองเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.10 ว่าอยู่ในกรอบหรือไม่

หมายเหตุ การเลือกใช้อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ (attenuator) และอุปกรณ์ในการวัดจะต้องเลือกขนาดที่สามารถรองรับกำลังส่งได้มากกว่ากำลังส่งของเครื่องส่งวิทยุ FM ที่จะทำการ ทดสอบ และต้องมั่นใจว่ากำลังส่งที่ต่อเข้าเครื่องมือทดสอบต้องไม่เกินค่าสูงสุดที่ เครื่องมือทดสอบรองรับได้ เพื่อป้องกันการเสียหายของเครื่องมือทดสอบ

4.3.3.2 ผลการทดลอง

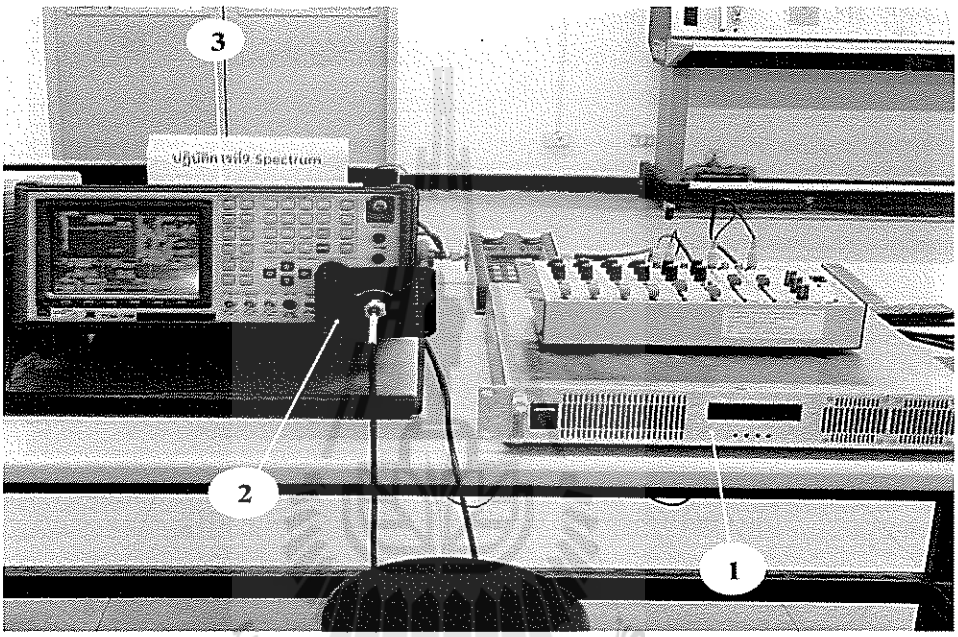
รูปที่ 4.33 รูปผลการทดลองการแพร่นอกแถบ

Frequency relative to the center of the channel(kHz)	Relative level (dBc)	
	ค่าจริง	ผลทดลอง
-500	-85	-83
-400	-85	-83
-300	-85	-80
-200	-80	-65
-100	0	-30
100	0	-30
200	-80	-65
300	-85	-80
400	-85	-83
500	-85	-83

รูปที่ 4.34 ตารางแสดงค่าการแพร่นอกแถบเทียบกับค่าที่ทดลองได้

จากรูปที่ 4.34 สรุปได้ว่าผลการทดลองการแพร่นอกแถบไม่ผ่านมาตรฐาน จริงๆแล้วก่อนทำการวัดได้ลองเช็ค noise floor จากเครื่องสเปกตรัมผลปรากฏว่า แค่ noise floor ก่อนการวัดก็ยังไม่ผ่านมาตรฐานแล้ว ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยใช้ตู้คอนเทนเนอร์เป็นห้อง Lab หรือไม่ก็ใช้กรงฟาราเดย์ครอบจุดที่ทำการทดลองทั้งหมด อาจจะพอช่วยได้

4.3.4 การทดสอบค่าผิดพลาดทางความถี่ (frequency error)



รูปที่ 4.35 แสดงการต่อเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบค่าผิดพลาดทางความถี่

4.3.4.1 ขั้นตอนในการทดลอง

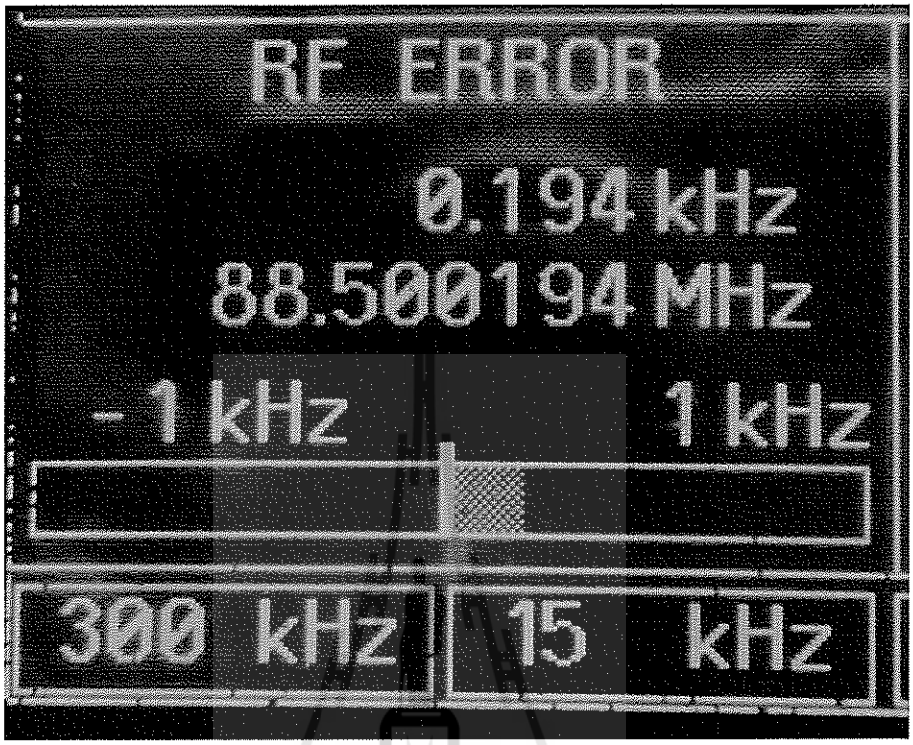
1) จากรูปที่ 4.35 ต่อสาย RG 58 หัว N-Type กับ RF output ของเครื่องส่ง FM หมายเลข 1 อีกด้านหนึ่งของสาย RG 58 หัว N-Type ต่อเข้ากับ attenuator หมายเลข 2

2) ต่อ attenuator หมายเลข 2 เข้ากับเครื่อง service monitor หมายเลข 3

3) เปิดเครื่องส่งวิทยุ FM ตั้งความถี่ที่ 88.5 MHz (ความถี่ที่ใช้ทดสอบ) และ บันทึกผลการทดลอง

หมายเหตุ การเลือกใช้อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ (attenuator) จะต้องเลือกขนาดที่สามารถรองรับกำลังส่งได้มากกว่ากำลังส่งของ เครื่องส่งวิทยุ FM ที่จะทำการทดสอบ และต้องมั่นใจว่ากำลังส่งที่ต่อเข้าเครื่องมือทดสอบต้องไม่เกินค่าสูงสุดที่เครื่องมือทดสอบรองรับได้ เพื่อป้องกันการเสียหายของเครื่องมือทดสอบ

4.3.4.2 ผลการทดลอง

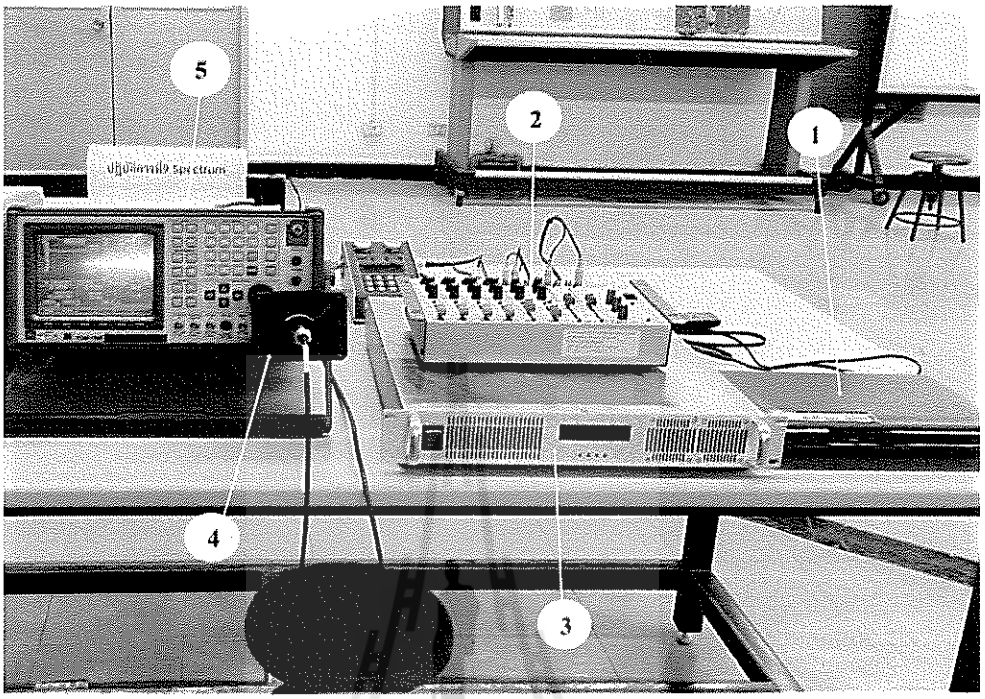


รูปที่ 4.36 แสดงผลการทดสอบค่าผิดพลาดทางความถี่

จากรูปที่ 4.36 แสดงค่าผิดพลาดทางความถี่เท่ากับ 0.194 kHz ซึ่งยังน้อยกว่าค่ามาตรฐาน คือ 2 kHz สรุปว่าผ่านมาตรฐานการวัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.3.5 การทดสอบค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ (Frequency Deviation)



รูปที่ 4.37 แสดงการต่อเครื่องมือวัดเพื่อทดสอบค่าเบี่ยงเบนทางความถี่

4.3.5.1 ขั้นตอนในการทดสอบ

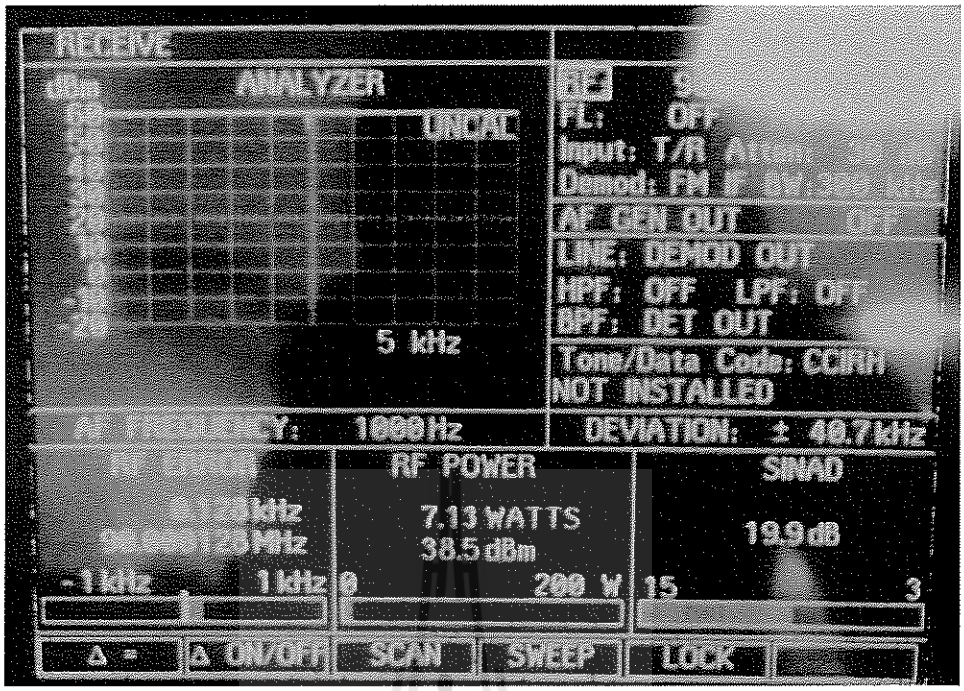
1) ต่อสาย RCA จากเครื่องเล่น DVD หมายเลข 1 ไปเข้าอินพุตของมิกเซอร์หมายเลข 2 ดังรูปที่ 4.37

2) ต่อสาย RCA จากเอาท์พุตของมิกเซอร์หมายเลข 2 ไปเข้าออดิโอของอินพุตเครื่องส่ง FM หมายเลข 3

3) ต่อสาย RG 58 หัว N-Type กับ RF output ของเครื่องส่ง FM หมายเลข 3 และอีกด้านของสาย RG 58 หัว N-Type ต่อเข้ากับ attenuator หมายเลข 4 แล้วต่อ attenuator หมายเลข 4 เข้ากับเครื่อง service monitor หมายเลข 5

4) เปิดเครื่องส่ง FM ตั้งความถี่ที่ 90.00 MHz (ความถี่ที่ใช้ทดสอบ) และเปิดเครื่องเล่น DVD หมายเลข 1 เพื่อเล่นไฟล์ 01_Tone1K_Baseline_(L=R-6dB Stereo)

5) ที่เครื่อง service monitor หมายเลข 5 ดูค่า frequency deviation โดยปรับที่มิกเซอร์หมายเลข 2 เพื่อให้ได้ค่า frequency deviation ที่ ±40 kHz ดังรูปที่ 4.35 ซึ่งในการปรับมิกเซอร์ที่ช่องซ้ายและขวาจะต้องปรับที่ความแรงเท่ากัน เนื่องจากไฟล์เสียงนี้ถูกปรับระดับความแรงของสัญญาณเสียง L=R-6dB เรียบร้อยแล้ว เมื่อได้ค่า frequency deviation ที่ ±40 kHz แล้วห้ามไปปรับมิกเซอร์หมายเลข 2 อีกเป็นอันขาด



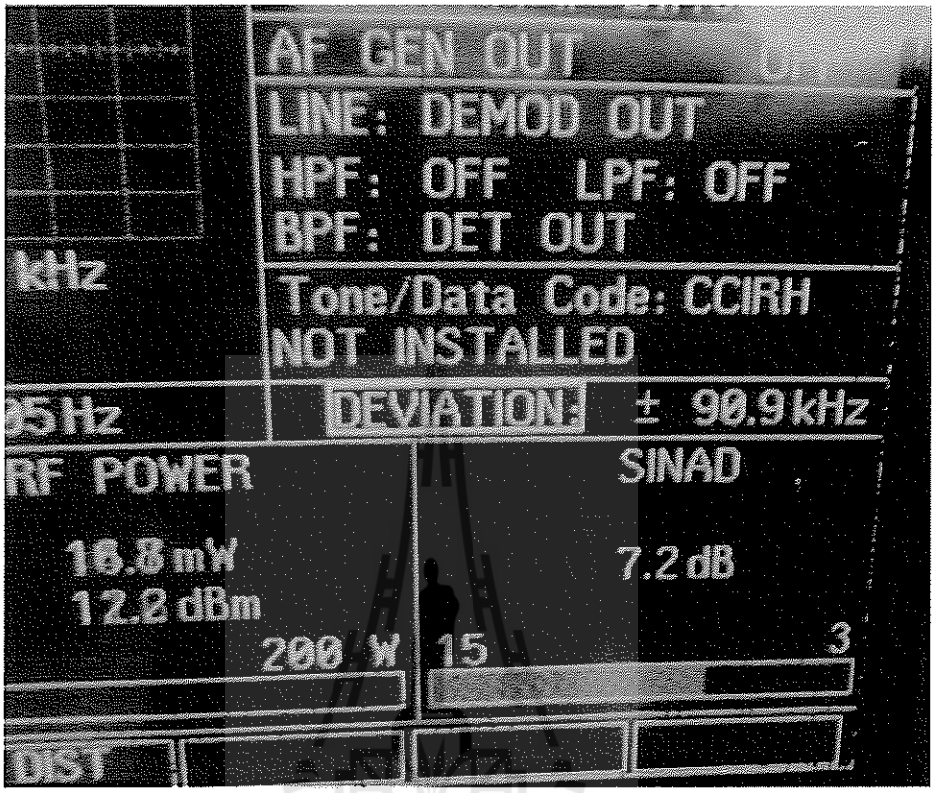
รูปที่ 4.38 แสดงค่า deviation ± 40.7 kHz ของเครื่อง service monitor

6) เปลี่ยนไฟล์ที่เครื่องเล่น DVD หมายเลข 1 เป็นไฟล์ 02_Tone1K_+12dB_(L=R-6dB Stereo)

7) อ่านค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ที่ได้ ซึ่งจะต้องไม่เกิน ±75kHz

หมายเหตุ การเลือกใช้อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ (attenuator) และอุปกรณ์ในการวัดจะต้องเลือกขนาดที่สามารถรองรับกำลังส่งได้มากกว่ากำลังส่งของเครื่องส่งวิทยุ FM ที่จะทำการ ทดสอบ และต้องมั่นใจว่ากำลังส่งที่ต่อเข้าเครื่องมือทดสอบต้องไม่เกินค่าสูงสุดที่ เครื่องมือทดสอบรองรับได้ เพื่อป้องกันการเสียหายของเครื่องมือทดสอบ

4.3.5.2 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.39 แสดงผลการวัดค่าเบี่ยงเบนทางความถี่

จากรูปที่ 4.39 ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่เท่ากับ ±90.9 kHz ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐาน ±75 kHz ปกติการจะลดค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ ที่ภาค stereo encoder ควรจะต้องมีวงจร audio limiter เพื่อป้องกันสัญญาณเสียงที่จะนำไปมอดูเลตที่ภาค exciter ไม่ให้มีความแรงของสัญญาณมากจนเกินไป

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 บทสรุปของโครงงาน

โครงงานนี้ได้ศึกษาเครื่องส่งวิทยุระบบ FM ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ITU สำหรับกิจการวิทยุชุมชน ซึ่งประกอบไปด้วยภาคการทำงานของวงจร limiter เพื่อขลิบสัญญาณที่ไม่ต้องการทิ้งไป สถานีวิทยุทั่วไปจะต่อ limiter นอกเครื่องส่ง โดยสัญญาณเสียง L และ R ที่ได้จากวงจร limiter จะเข้าไปยังวงจร stereo encoder แล้วทำการสร้างสัญญาณ composite signal เพื่อส่งสัญญาณ composite signal นี้ไปเข้าวงจร exciter เพื่อทำการผลิตสัญญาณ FM แล้วนำสัญญาณที่ได้นี้ไปขยายที่วงจร RF power และวงจร PA ซึ่งเป็นวงจรขยายกำลังภาคสุดท้าย เพื่อเพิ่มกำลังส่งต่อไป ซึ่งจากการที่ได้ทำการศึกษาภาคการทำงานเครื่องส่ง FM ทำให้ทราบว่าเครื่องส่ง FM ไม่ว่าจะมีลายวงจรแบบไหนมีการปรับแต่งเพิ่มเติมยังไง แต่สุดท้ายแล้วโดยพื้นฐานนั้นเหมือนกันทั้งหมด ซึ่งการศึกษาเครื่องส่ง FM นี้ เพื่อนำมาประกอบการวัดตามมาตรฐานทางเทคนิคของสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ มีด้วยกัน 5 ข้อ อันได้แก่ 1) การวัดกำลังส่งของคลื่นพาห์ 2) การวัดการแพร่แปลกปลอม 3) การแพร่นอกแถบ 4) ค่าผิดพลาดทางความถี่ 5) ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ ซึ่งทั้ง 5 ข้อนี้ ต่างมีผล คือ ไปรบกวนสถานีวิทยุ FM ด้วยกันเองรวมไปถึงวิทยุการบินด้วย

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนา

1.ในการนำบอร์ดเครื่องส่ง FM มาศึกษาการทำงาน การแกะลายวงจร การตัดลายวงจรทำได้ยากมาก เพราะลายปริ้นของวงจรมีขนาดเล็กมากและเป็นแผ่นปริ้น 2 หน้า

2. เครื่องมือในการใช้วัดตามมาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องส่งวิทยุระบบ FM มีสเปคเครื่องที่ต่ำกว่าความต้องการในการใช้วัด

3. อุปกรณ์เสริมในการใช้วัดมีราคาแพงมาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

การที่สัญญาณเสียงที่ป้อนเข้าไปเครื่องส่งวิทยุ FM มีความแรงของสัญญาณมากเกินไป มีผลทำให้ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่เพิ่มมากขึ้นจนเกิน ±75 kHz ซึ่งถ้าหากว่าค่านี้มีมากเท่าใด ก็จะยิ่งมีส่วนส่งผลให้เกิดการแพร่นอกแถบมากขึ้นเท่านั้น เพราะฉะนั้นในภาค stereo encoder จึงควรจะต้องมีวงจร audio limiter เพื่อป้องกันสัญญาณเสียงที่จะนำไปมอดูเลตที่ภาค exciter ไม่ให้มีความแรงของสัญญาณเสียงมากจนเกินไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อ IC ที่ใช้ในภาคต่างๆ

stereo encoder

1. KIA4558P
2. MC1496P
3. M74HC00B1
4. CD4040BE

microcontroller

1. PIC16F819

Phase Lock Loop (PLL)

1. TSA5511

Power Amplifier (PA)

1. BLF278

รายชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องส่งวิทยุ FM

1. dummy load 50 โอห์ม 300 วัตต์
2. mixer honic-mix 422
3. attenuator agilent 8498A 30 dB
4. bird RF power meter 4391A with bird element 1000B
5. IFR FM/AM - 1600 communication service monitor
6. HP 4395A network, spectrum, impedance analyzer
7. CD DVD player DiStar AV-605 D2

datasheet KIA4558P

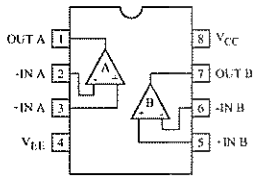
KEC **SEMICONDUCTOR** **KIA4558P/S/F/FK**
TECHNICAL DATA **BIPOLAR LINEAR INTEGRATED CIRCUIT**

DUAL LOW NOISE OPERATIONAL AMPLIFIER

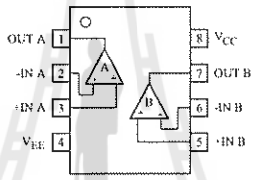
- Internal Frequency Compensation Type.
- Possible to Exchange the Position of Pin ⑧ for Pin ①, Because of Pin Connection Being Symmetric. (KIA4558S Device Only).
- Pin ① and Pin ⑤ of lead frame was each other connected. (KIA4558S Only).
- Wide Band Range : f_T=3MHz (Typ.)
- Suitable Application for Active Filter and Equalizer Amplifier.

PIN CONNECTION (TOP VIEW)

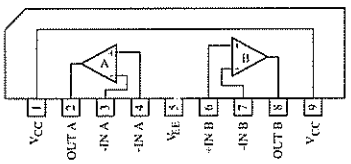
KIA4558P



KIA4558F, KIA4558FK

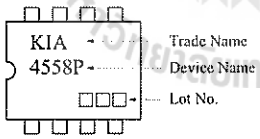


KIA4558S

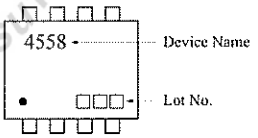


MARKING

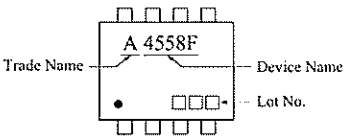
KIA4558P



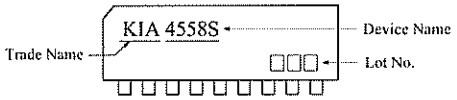
KIA4558FK



KIA4558F



KIA4558S



datasheet MC1496P

Order this document by MC1496/D

MOTOROLA

MC1496, B

Balanced Modulators/ Demodulators

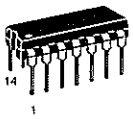
These devices were designed for use where the output voltage is a product of an input voltage (signal) and a switching function (carrier). Typical applications include suppressed carrier and amplitude modulation, synchronous detection, FM detection, phase detection, and chopper applications. See Motorola Application Note AN531 for additional design information.

- Excellent Carrier Suppression –65 dB typ @ 0.5 MHz
  –50 dB typ @ 10 MHz
- Adjustable Gain and Signal Handling
- Balanced Inputs and Outputs
- High Common Mode Rejection –85 dB typical

This device contains 8 active transistors.

BALANCED MODULATORS/DEMODULATORS

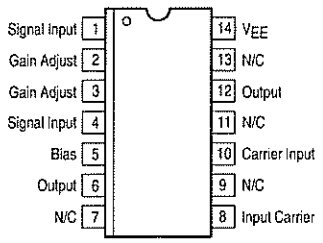
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751A
(SO–14)

P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
MC1496D	T_A = 0°C to +70°C	SO–14
MC1496P		Plastic DIP
MC1496BP	T_A = –40°C to +125°C	Plastic DIP

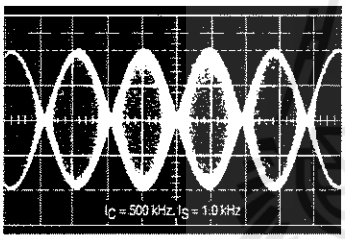


Figure 1. Suppressed Carrier Output Waveform

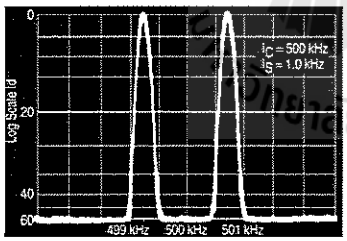


Figure 2. Suppressed Carrier Spectrum

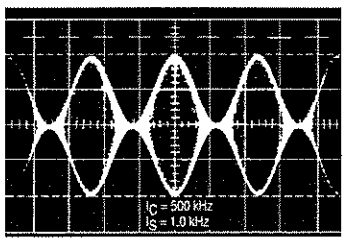
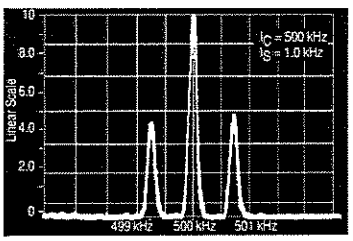


Figure 3. Amplitude Modulation Output Waveform

Figure 4. Amplitude–Modulation Spectrum



datasheet M74HC00B1

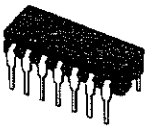
SGS-THOMSON MICROELECTRONICS

M54HC00
M74HC00

QUAD 2-INPUT NAND GATE

- HIGH SPEED
  t_{PD} = 6 ns (TYP.) AT V_{CC} = 5 V
- LOW POWER DISSIPATION
  I_{CC} = 1 μA (MAX.) AT T_A = 25 °C
- HIGH NOISE IMMUNITY
  $V_{NIH} = V_{NIL}$ = 28 % V_{CC} (MIN.)
- OUTPUTS DRIVE CAPABILITY
  10 LSTTL LOADS
- BALANCED PROPAGATION DELAYS
  $t_{PLH} = t_{PHL}$
- WIDE OPERATING VOLTAGE RANGE
  V_{CC} (OPR) = 2 V TO 6 V
- PIN AND FUNCTION COMPATIBLE
  WITH 54/74LS00
- SYMMETRICAL OUTPUT IMPEDANCE
  $|I_{OH}| = I_{OL}$ = 4 mA (MIN.)

B1R
(Plastic Package)



F1R
(Ceramic Package)

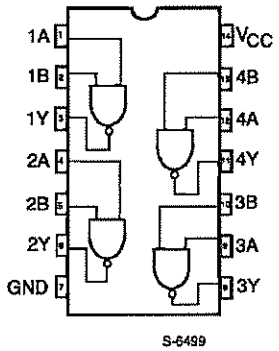
M1R
(Micro Package)

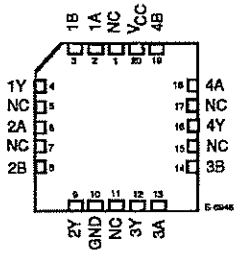
C1R
(Chip Carrier)

ORDER CODES :

M54HC00F1R M74HC00M1R
M74HC00B1R M74HC00C1R

PIN CONNECTIONS (top view)



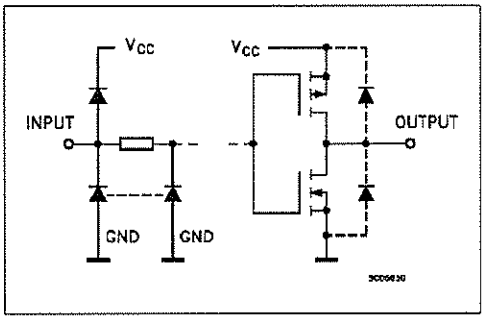


NC =
No Internal
Connection

DESCRIPTION

The M54/74HC00 is a high speed CMOS QUAD 2-INPUT NAND GATE fabricated in silicon gate C^2MOS technology. It has the same high speed performance of LSTTL combined with true CMOS low power consumption. The internal circuit is composed of 3 stages including buffer output, which enables high noise immunity and stable output. All inputs are equipped with protection circuits against static discharge and transient excess voltage.

INPUT AND OUTPUT EQUIVALENT CIRCUIT



datasheet CD4040BE

TEXAS INSTRUMENTS

Data sheet acquired from Harris Semiconductor
SCHS030D – Revised December 2003

CD4020B, CD4024B, CD4040B Types

CMOS Ripple-Carry Binary Counter/Dividers

High-Voltage Types (20-Volt Rating)

CD4020B – 14 Stage
CD4024B – 7 Stage
CD4040B – 12 Stage

■ CD4020B, CD4024B, and CD4040B are ripple-carry binary counters. All counter stages are master-slave flip-flops. The state of a counter advances one count on the negative transition of each input pulse; a high level on the RESET line resets the counter to its all zeros state. Schmitt trigger action on the input-pulse line permits unlimited rise and fall times. All inputs and outputs are buffered.

The CD4020B and CD4040B types are supplied in 16-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (F3A suffix), 16-lead dual-in-line plastic packages (E suffix), 16-lead small-outline packages (NSR suffix), and 16-lead thin shrink small-outline packages (PW and PWR suffixes). The CD4040B type also is supplied in 16-lead small-outline packages (M and M96 suffixes).

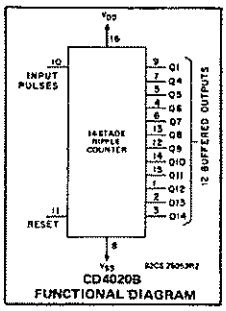
The CD4024B types are supplied in 14-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (F3A suffix), 14-lead dual-in-line plastic packages (E suffix), 14-lead small-outline packages (M, MT, M96, and NSR suffixes), and 14-lead thin shrink small-outline packages (PW and PWR suffixes).

Features:

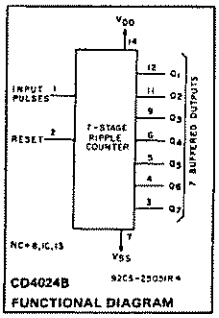
- Medium-speed operation
- Fully static operation
- Buffered inputs and outputs
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- Standardized, symmetrical output characteristics
- Fully static operation
- Common reset
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Maximum input current of 1 μA at 18 V over full package-temperature range; 100 nA at 18 V and 25°C
- Noise margin (over full package-temperature range): 1 V at V_{DD} = 5 V; 2 V at V_{DD} = 10 V; 2.5 V at V_{DD} = 15 V
- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of 'B' Series CMOS Devices"

Applications:

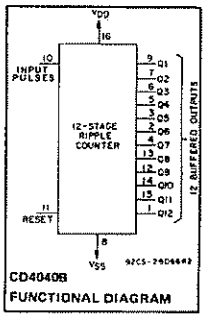
- Control counters
- Timers
- Frequency dividers
- Time-delay circuits



CD4020B
FUNCTIONAL DIAGRAM



CD4024B
FUNCTIONAL DIAGRAM



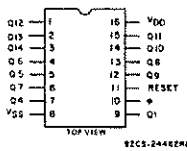
CD4040B
FUNCTIONAL DIAGRAM

MAXIMUM RATINGS, *Absolute-Maximum Values:*

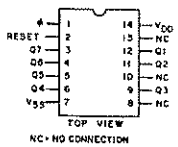
DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, (V_{DD})
Voltages referenced to V_{SS} Terminal) ..... -0.5V to +20V
INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS ..... -0.5V to V_{DD} +0.5V
DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT ..... ±10mA
POWER DISSIPATION PER PACKAGE (P_D):
For T_A = -55°C to +100°C 500mW
For T_A = +100°C to +125°C ..... Derate Linearly at 12mW/°C to 200mW
DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR
FOR T_A = FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types) 100mW
OPERATING-TEMPERATURE RANGE (T_A) ..... -55°C to +125°C
STORAGE TEMPERATURE RANGE (T_{stg}) ..... -65°C to +150°C
LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING):
At distance 1/16 ± 1/32 inch (1.59 ± 0.79mm) from case for 10s max ..... +265°C

TERMINAL ASSIGNMENTS

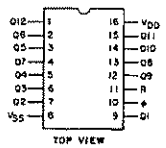
CD4020B



CD4024B



CD4040B



datasheet PIC16F819

MICROCHIP

PIC16F818/819

18/20-Pin Enhanced Flash Microcontrollers with nanoWatt Technology

Low-Power Features:

- Power-Managed modes:
  - Primary Run: XT, RC oscillator, 87 µA, 1 MHz, 2V
  - INTRC: 7 µA, 31.25 kHz, 2V
  - Sleep: 0.2 µA, 2V
- Timer1 oscillator: 1.8 µA, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 0.7 µA, 2V
- Wide operating voltage range:
  - Industrial: 2.0V to 5.5V

Oscillators:

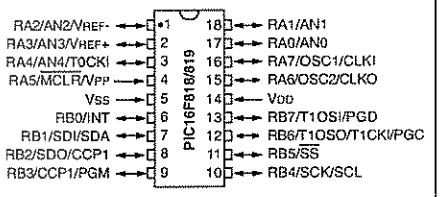
- Three Crystal modes:
  - LP, XT, HS: up to 20 MHz
- Two External RC modes
- One External Clock mode:
  - ECIO: up to 20 MHz
- Internal oscillator block:
  - 8 user selectable frequencies: 31 kHz, 125 kHz, 250 kHz, 500 kHz, 1 MHz, 2 MHz, 4 MHz, 8 MHz

Peripheral Features:

- 16 I/O pins with individual direction control
- High sink/source current: 25 mA
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during Sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Capture, Compare, PWM (CCP) module:
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit, 5-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master/Slave) and I²C™ (Slave)

Pin Diagram

18-Pin PDIP, SOIC



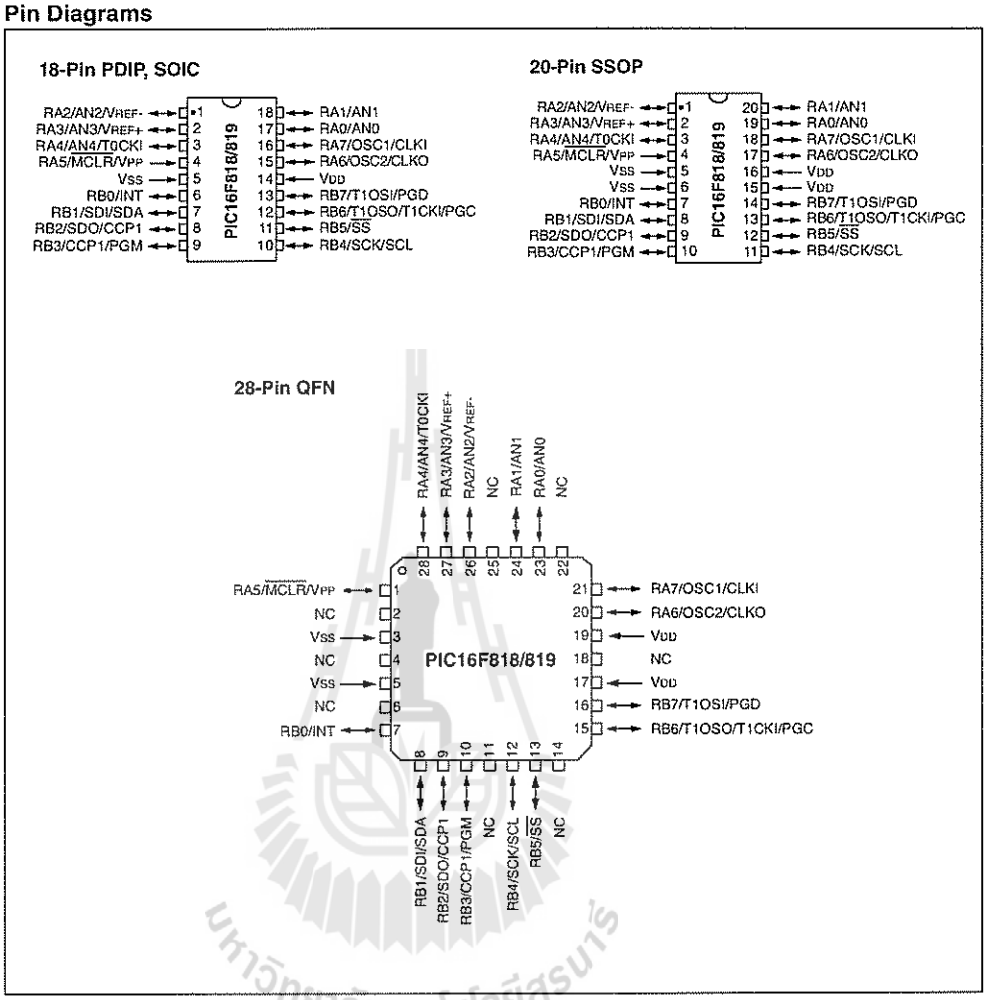
Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycles Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 typical erase/write cycles EEPROM data memory typical
- EEPROM Data Retention: > 40 years
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Low-Voltage Programming
- In-Circuit Debugging via two pins

Device	Program Memory		Data Memory		I/O Pins	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	SSP		Timers 8/16-bit
	Flash (Bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)				SPI™	Slave I²C™	
PIC16F818	1792	1024	128	128	16	5	1	Y	Y	2/1
PIC16F819	3584	2048	256	256	16	5	1	Y	Y	2/1

PIC16F818/819

Pin Diagrams



datasheet TSA5511

QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
V_{CC}	positive supply voltage	–	5	–	V
I_{CC}	supply current	–	35	–	mA
Δf	frequency range	64	–	1300	MHz
V_I	input voltage level				
	80 MHz to 150 MHz	12	–	300	mV
	150 MHz to 1 GHz	9	–	300	mV
	1 GHz to 1.3 GHz	40	–	300	mV
f_{XTAL}	crystal oscillator frequency	3.2	4.0	4.48	MHz
I_O	open-collector output current	10	–	–	mA
I_O	current–limited output current	–	1	–	mA
T_{amb}	operating ambient temperature range	–10	–	+80	°C
T_{stg}	IC storage temperature range	–40	–	+150	°C

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

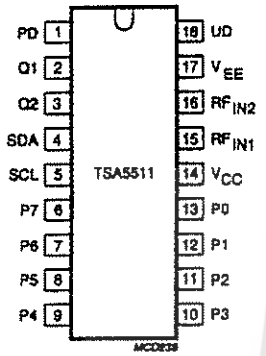


Fig.2 Pin configuration for SOT102.

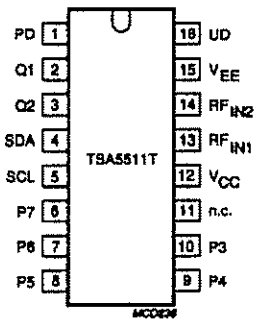


Fig.3 Pin configuration for SOT109.

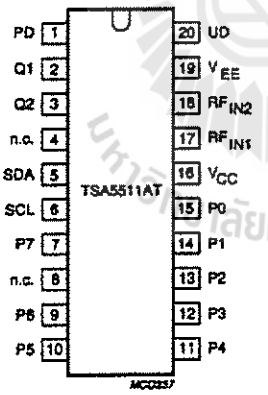


Fig.4 Pin configuration for SOT163.

PINNING

SYMBOL	PIN			DESCRIPTION
	SOT102	SOT109	SOT163	
PD	1	1	1	charge-pump output
Q1	2	2	2	crystal oscillator input 1
Q2	3	3	3	crystal oscillator reference voltage
n.c.	–	–	4	not connected
SDA	4	4	5	serial data input/output
SCL	5	5	6	serial clock input
P7	6	6	7	port output/input (general purpose)
n.c.	–	–	8	not connected
P6	7	7	9	port output/input for general purpose ADC
P5	8	8	10	port output/input (general purpose)
P4	9	9	11	port output/input (general purpose)
P3	10	10	12	port output/input for address selection
P2	11	–	13	port output
n.c.	–	11	–	not connected
P1	12	–	14	port output
P0	13	–	15	port output
V_{CC}	14	12	16	voltage supply
RF_{IN1}	15	13	17	UHF/VHF signal input 1
RF_{IN2}	16	14	18	UHF/VHF signal input 2 (decoupled)
V_{EE}	17	15	19	ground
UD	18	16	20	drive output

FUNCTIONAL DESCRIPTION

The TSA5511 is controlled via the two-wire I²C-bus. For programming, there is one module address (7 bits) and the R/$\overline{W}$ bit for selecting READ or WRITE mode.

WRITE mode : R/$\overline{W}$ = 0 (see Table 1)

After the address transmission (first byte), data bytes can be sent to the device. Four data bytes are required to fully program the TSA5511. The bus transceiver has an auto-increment facility which permits the programming of the TSA5511 within one single transmission (address + 4 data bytes).

The TSA5511 can also be partially programmed on the condition that the first data byte following the address is byte 2 or byte 4. The meaning of the bits in the data bytes is given in Table 1. The first bit of the first data byte transmitted indicates whether frequency data (first bit = 0) or charge pump and port information (first bit = 1) will follow. Until an I²C-bus STOP condition is sent by the controller, additional data bytes can be entered without the need to re-address the device. This allows a smooth frequency sweep for fine tuning or AFC purposes. At power-on the ports are set to the high impedance state.

The 7.8125 kHz reference frequency is obtained by dividing the output of the 4 MHz crystal oscillator by 512. Because the input of UHF/VHF signal is first divided by 8 the step size is 62.5 kHz. A 3.2 MHz crystal can offer step sizes of 50 kHz.

datasheet BLF278

VHF push-pull power MOS transistor BLF278

FEATURES

- High power gain
- Easy power control
- Good thermal stability
- Gold metallization ensures excellent reliability.

APPLICATIONS

- Broadcast transmitters in the VHF frequency range.

DESCRIPTION

Dual push-pull silicon N-channel enhancement mode vertical D-MOS transistor encapsulated in a 4-lead, SOT262A1 balanced flange package with two ceramic caps. The mounting flange provides the common source connection for the transistors.

CAUTION
This product is supplied in anti-static packing to prevent damage caused by electrostatic discharge during transport and handling. For further information, refer to Philips specs.: SNW-EQ-608, SNW-FQ-302A, and SNW-FQ-302B.

PINNING - SOT262A1

PIN	DESCRIPTION
1	drain 1
2	drain 2
3	gate 1
4	gate 2
5	source

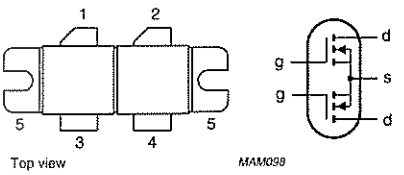


Fig.1 Simplified outline and symbol.

QUICK REFERENCE DATA

RF performance at T_h = 25 °C in a push-pull common source test circuit.

MODE OF OPERATION	f (MHz)	V_{DS} (V)	P_L (W)	G_p (dB)	η_D (%)
CW, class-B	108	50	300	>20	>60
CW, class-C	108	50	300	typ. 18	typ. 80
CW, class-AB	225	50	250	>14 typ. 16	>50 typ. 55

WARNING
Product and environmental safety - toxic materials
This product contains beryllium oxide. The product is entirely safe provided that the BeO discs are not damaged. All persons who handle, use or dispose of this product should be aware of its nature and of the necessary safety precautions. After use, dispose of as chemical or special waste according to the regulations applying at the location of the user. It must never be thrown out with the general or domestic waste.

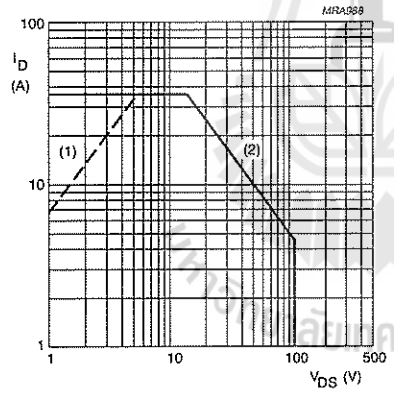
LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum System (IEC 60134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
Per transistor section					
V_{DS}	drain-source voltage		–	125	V
V_{GS}	gate-source voltage		–	±20	V
I_D	drain current (DC)		–	18	A
P_{tot}	total power dissipation	$T_{mb} \leq 25$ °C; total device; both sections equally loaded	–	500	W
T_{stg}	storage temperature		–65	150	°C
T_j	junction temperature		–	200	°C

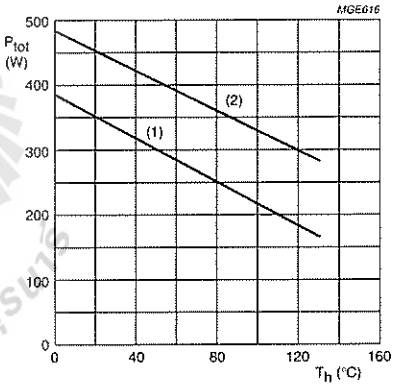
THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th\ j\text{-}mb}$	thermal resistance from junction to mounting base	total device; both sections equally loaded.	max. 0.35	K/W
$R_{th\ mb\text{-}h}$	thermal resistance from mounting base to heatsink	total device; both sections equally loaded.	max. 0.15	K/W



Total device; both sections equally loaded.
(1) Current is this area may be limited by R_{DSon}.
(2) T_{mb} = 25 °C.

Fig.2 DC SOAR.



Total device; both sections equally loaded.
(1) Continuous operation.
(2) Short-time operation during mismatch.

Fig.3 Power derating curves.

CHARACTERISTICS

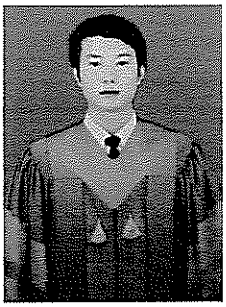
T_j = 25 °C unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Per transistor section						
$V_{(BR)DSS}$	drain-source breakdown voltage	V_{GS} = 0; I_D = 100 mA	125	–	–	V
I_{DSS}	drain-source leakage current	V_{GS} = 0; V_{DS} = 50 V	–	–	2.5	mA
I_{GSS}	gate-source leakage current	V_{GS} = ±20 V; V_{DS} = 0	–	–	1	µA
V_{GSth}	gate-source threshold voltage	V_{DS} = 10 V; I_D = 50 mA	2	–	4.5	V
ΔV_{GS}	gate-source voltage difference of both sections	V_{DS} = 10 V; I_D = 50 mA	–	–	100	mV
g_{fs}	forward transconductance	V_{DS} = 10 V; I_D = 5 A	4.5	6.2	–	S
g_{fs1}/g_{fs2}	forward transconductance ratio of both sections	V_{DS} = 10 V; I_D = 5 A	0.9	–	1.1	
R_{DSon}	drain-source on-state resistance	V_{GS} = 10 V; I_D = 5 A	–	0.2	0.3	Ω
I_{DSX}	drain cut-off current	V_{GS} = 10 V; V_{DS} = 10 V	–	25	–	A
C_{is}	input capacitance	V_{GS} = 0; V_{DS} = 50 V; f = 1 MHz	–	480	–	pF
C_{os}	output capacitance	V_{GS} = 0; V_{DS} = 50 V; f = 1 MHz	–	190	–	pF
C_{rs}	feedback capacitance	V_{GS} = 0; V_{DS} = 50 V; f = 1 MHz	–	14	–	pF
C_{d-f}	drain-flange capacitance		–	5.4	–	pF

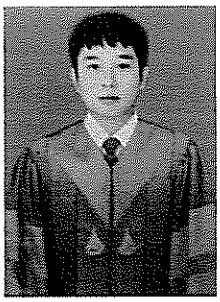
V_{GS} group indicator

GROUP	LIMITS (V)		GROUP	LIMITS (V)	
	MIN.	MAX.		MIN.	MAX.
A	2.0	2.1	O	3.3	3.4
B	2.1	2.2	P	3.4	3.5
C	2.2	2.3	Q	3.5	3.6
D	2.3	2.4	R	3.6	3.7
E	2.4	2.5	S	3.7	3.8
F	2.5	2.6	T	3.8	3.9
G	2.6	2.7	U	3.9	4.0
H	2.7	2.8	V	4.0	4.1
J	2.8	2.9	W	4.1	4.2
K	2.9	3.0	X	4.2	4.3
L	3.0	3.1	Y	4.3	4.4
M	3.1	3.2	Z	4.4	4.5
N	3.2	3.3			

ประวัติผู้เขียน



นายนรเศรษฐ์ กุศลปรีดี เกิดเมื่อวันที่ 9 ธันวาคม 2530 ภูมิลำเนา 38-40 ถนนเทศบาล 23 ตำบลกาฬสินธุ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ ปัจจุบันกำลังศึกษาชั้นปีที่ 7 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



นายวิษรุต ศรีสุจันทร์ เกิดเมื่อวันที่ 4 เมษายน 2530 ภูมิลำเนา 640 หมู่ 7 ซอยสุวรรณ ตำบลหมากแข้ง ถนนอำเภอ อำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอุดรพิชัยรักษ์พิทยา จังหวัดอุดรธานี ปัจจุบันกำลังศึกษาชั้นปีที่ 6 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

[1] http://antenna-km.blogspot.com/2011/03/2.html

[2] http://www.youtube.com/user/hs4hf

[3] https://wiki.stjohn.ac.th/groups/poly_computer/wiki/bac70/index.html

[4] หนังสือคู่มือประกอบการวัดทางเทคนิค กสทช.

[5] หนังสือ FM MPX #2 ศ.ดร.บุญถึง แน่นหนา

[6] เครื่องส่งวิทยุ By ประดิษฐ์ วัชรพิบูลย์

[7] http://www.electron.rmutphysics.com/news/index.php?option=com_content&task=view&id=734&Itemid=5&limit=1&limitstart=1

[8] www.google.com

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี