

สายอากาศภาครับแอกทีฟอาร์เรย์บนผิวทรงกลม
ACTIVE RECEIVING SPHERICAL ARRAY ANTENNA



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 37162
วัน, เดือน, ปี... 4 ก.ย. 2543

สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศภาครับแอกทีฟอาร์เรย์บนผิวทรงกลม
ACTIVE RECEIVING SPHERICAL ARRAY ANTENNA

โดย

นางสาวนิติกาญจน์ พาศรี 39014261

นางสาวสุธาสิณี ละมุลตรี 39014593

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศภาครับแอดที่ฟอาร์เรย์บนผิวทรงกลม

ACTIVE RECEIVING SPHERICAL ARRAY ANTENNA

ผู้จัดทำ

1. นางสาวนิติกาญจน์ พาศรี 39014261
2. นางสาวสุธาสนี ละมุลตรี 39014593


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศสphericalอาร์เรย์บนผิวทรงกลม
ACTIVE RECEIVING SPHERICAL ARRAY ANTENNA

โดย นางสาวนิติกาญจน์ พาศรี 39014261
นางสาวสุชาลีณี ละมุลตรี 39014593

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษา ออกแบบ สร้างและทดสอบสายอากาศสphericalอาร์เรย์บนผิวทรงกลมที่มีความสามารถในการผสมสัญญาณด้วยตัวเอง โครงสร้างของสายอากาศประกอบด้วยสายอากาศแอคทีฟ จำนวน 6 องค์ประกอบ โดยองค์ประกอบตัวที่ 1 เป็นท่อนำคลื่นปลายเปิดตัดตรงเสมอกัน และองค์ประกอบตัวที่ 2 ถึง 6 เป็นท่อนำคลื่นปลายเปิดคดเฉียงทำมุม 15 องศาแต่ละองค์ประกอบมีกนนำไดโอดทำหน้าที่ผลิตความถี่ท้องถิ่นที่ 10.5 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยใช้วาร์เรกเตอร์ไดโอดทำหน้าที่ปรับจูนความถี่อย่างละเอียด ใช้สกรูจูนและตัวลัดวงจรที่ปรับตำแหน่งได้ในการปรับจูนความถี่อย่างหยาบ สายอากาศอาร์เรย์นี้ใช้งานที่ความถี่ 10.8 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งสามารถปรับลำคลื่นได้โดยวิธีควบคุมโวลเตจ ทั้งนี้ต้องอยู่ในช่วงอินเจกชันแบนด์วิดท์ ปริมาณอินเจกชันที่รายงานผลการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นการสูญเสียการแปลงผัน และการอินเจกชันล็อกกิ้งของสัญญาณ โดยคุณลักษณะดังกล่าวได้นำเสนอทั้งแบบองค์ประกอบเดี่ยวและแบบอาร์เรย์ทรงกลม พบว่ากรณีของอาร์เรย์ทรงกลมนั้น ค่าการสูญเสียแปลงผันมีค่าเท่ากับ 21.39 เดซิเบล ซึ่งต่ำกว่าในแต่ละองค์ประกอบเดี่ยว และการอินเจกชันสัญญาณค่อนข้างดี แต่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีลำคลื่นย่อยด้านข้างค่อนข้างสูง ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการออกแบบสายอากาศที่ปรับลำคลื่นได้

ABSTRACT

This project is concerned with the study, calculation, design, fabrication and measurement of an active receiving spherical array antenna, which has capability to mix signals internally. The antenna structure is composed of six array elements viz., the first element is an open-ended waveguide, the other five elements are the 15° slice-ended waveguides. Each element has a Gunn oscillator to generate the local frequency of 10.5 GHz, which can be fine tuned by using varactor diode. The coarse tune can be performed by either a tuning screw or sliding short circuit plate. The main beam can be steered by means of the control voltage, which results in the change of frequency restricted only in the injection bandwidth. The antenna is operated at 10.8 GHz. This thesis reports the experimental results of the radiation patterns, the conversion loss and the signal injection-locking in both single element and spherical array cases. It has been found in this experiment that the conversion loss of the spherical array yields the value of 21.39 dB, which is lower than that of each single element. The signal injection-locking is quite good, but the radiation pattern shows pretty high side lobe level, The information provided in this thesis will be useful in the design of steerable antenna.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 สายอากาศอินทีเกรตและอินทีเกรตแอกทีฟ	3
2.2 สายอากาศอาร์เรย์	4
2.3 ทฤษฎีโดยทั่วไปของออสซิลเลเตอร์	5
2.3.1 กัมน์ออสซิลเลเตอร์	7
2.4 วาแรกเตอร์ไดโอด	9
2.5 วงจรฟิลเตอร์และออสซิลเลเตอร์ที่ใช้วาแรกเตอร์ปรับความถี่	10
2.6 ทฤษฎีอินเตอร์แจกชันล็อกกิ้ง	14
2.7 การวิเคราะห์สายอากาศแอกทีฟองค์ประกอบเดียว	14
2.8 ลิเนียร์แคสเคดของอินเตอร์แจกชันออสซิลเลเตอร์	14
2.9 การกวาดลำคลื่นของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์	18
2.10 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	18
2.11 สมการการส่งคลื่นของฟรีส	18
2.12 คุณลักษณะของสายอากาศแอกทีฟ	18
2.12.1 การสูญเสียของการแปลงผัน และอัตราขยายการแปลงผัน	19
2.12.2 แบนด์วิดท์ของอินเตอร์แจกชันล็อกกิ้ง	20
2.13 มิวชวลคัปปลิง	21
2.14 การชิงโครไนซ์ของออสซิลเลเตอร์	21
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้างสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ทรงกลม	25
3.1 โครงสร้างของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ทรงกลมที่ผสมสัญญาณในตัวเอง	25
3.1.1 โครงสร้างของสายอากาศแอกทีฟองค์ประกอบเดียว	25
3.1.2 ขนาดของท่อนำคลื่น	27
3.1.3 ตำแหน่งของกัมน์ไดโอด สกรูจูน และวาแรกเตอร์ไดโอด	27
3.1.4 สายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ทรงกลมที่ผสมสัญญาณในตัวเอง	28
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	31
4.1 การวัดแกนของสายอากาศอ้างอิง	31
4.2 การวัดช่วงการปรับไบอัสของกัมน์ไดโอดและวาแรกเตอร์	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.3 การวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแอกทีฟเดี่ยว	36
4.4 การวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ทรงกลม	40
4.5 การวัดการสูญเสียของการเปลี่ยนผืนของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ทรงกลม	45
4.6 การวัดแบนด์วิดท์ของอินเจกชันล็อกกิ้ง	48
4.7 การวัดมิวชวลคัปปลิง	50
4.7.1 มิวชวลคัปปลิงระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศอาร์เรย์	50
4.7.2 มิวชวลคัปปลิงเมื่อเปลี่ยนระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ	51
4.8 การวัดความถี่ของวงจรรอสซิลเลเตอร์	52
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	55
หนังสืออ้างอิง	



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 โครงสร้างของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์เสมือนอยู่ทรงกลมที่สร้างจริง	2
รูปที่ 1.2 โครงสร้างของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ทรงกลม	2
รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบกันระหว่างระบบสายอากาศธรรมดาและ สายอากาศอินทิเกรต	4
รูปที่ 2.2 วงจรออสซิลเลเตอร์โดยทั่วไป	6
รูปที่ 2.3 วงจรของท่อนำคลื่นการส่งอิเล็กทรอนิกส์ของกัมมันต์ไดโอด	7
รูปที่ 2.4 กัมมันต์ออสซิลเลเตอร์ที่อยู่ในท่อนำคลื่นปากเปิดหนึ่งข้าง	9
รูปที่ 2.5 คุณลักษณะของวาแรกเตอร์	10
รูปที่ 2.6 ออสซิลเลเตอร์ปรับจูนโดยวาแรกเตอร์: (a) ไม่มีวาแรกเตอร์ (b) มีวาแรกเตอร์	11
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ค่าไบอัสวาแรกเตอร์กับความถี่และกำลังงานขาออก	12
รูปที่ 2.8 วงจรควาวิตีโคแอกเซียลวาแรกเตอร์จูนกัมมันต์ออสซิลเลเตอร์	13
รูปที่ 2.9 วงจรท่อนำคลื่นวาแรกเตอร์จูนกัมมันต์ออสซิลเลเตอร์	13
รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลของออสซิลเลเตอร์	14
รูปที่ 2.11 วงจรแคสเคดของอินเตอร์อินเจกชันล็อกออสซิลเลเตอร์	15
รูปที่ 2.12 วงจรลิเนียร์ของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์	16
รูปที่ 2.13 การวัดการสูญเสียแปลงผันของสายอากาศอาร์เรย์บนผิวทรงกลมที่มีผสมสัญญาณ ในตัวเอง	19
รูปที่ 2.14 การวัดค่าอัตราขยายอินเจกชันล็อกกิ้งและค่าอินเจกชันล็อกกิ้งแบนด์วิดท์	20
รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมของแรงดัน	24
รูปที่ 2.16 เฟส กับความถี่สำหรับวงจรจูนทั่วไป	24
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศแอกทีฟท่อนำคลื่นจำนวน 1 องค์ประกอบ	25
รูปที่ 3.2 สายอากาศแอกทีฟแต่ละองค์ประกอบที่สร้างจริง	26
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งที่เกิดค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดในท่อนำคลื่น	28
รูปที่ 3.4 รูปทรงเรขาคณิตของอาร์เรย์ทรงกลม	28
รูปที่ 3.5 โครงสร้างของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ทรงกลมที่มีผสมสัญญาณในตัวเอง	29
รูปที่ 3.6 สายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ทรงกลม	30
รูปที่ 4.1 การวัดแกนของสายอากาศอ้างอิง	31
รูปที่ 4.2 ค่ากำลังด้านรับเทียบกับด้านส่ง	33
รูปที่ 4.3 SWR ของสายอากาศอ้างอิง	34
รูปที่ 4.4 บล็อกไดอะแกรมการวัดช่วงการปรับไบอัสของกัมมันต์ไดโอด	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ไบอัสกับความถี่ และกำลังงานที่ผลิตของกันนำไดโอด	35
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ไบอัสกับความถี่ และกำลังงานที่ผลิตของวาทเรกเตอร์	35
รูปที่ 4.7 การวัดแบบรูปการกระจายคลื่น เมื่อสายอากาศแอกทีฟอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา	36
รูปที่ 4.8 การวัดแบบรูปการกระจายคลื่น เมื่อสายอากาศแอกทีฟอยู่ที่ตำแหน่ง θ องศา	36
รูปที่ 4.9 แบบรูปการกระจายคลื่นขององค์ประกอบเดี่ยว	39
รูปที่ 4.10 ไดอะแกรมการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	40
รูปที่ 4.11 การจัดเครื่องมือเพื่อวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์	41
รูปที่ 4.12 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ณ ตำแหน่งลำคลื่นสูงสุดที่มุม 0 องศา ในระนาบ yz และ xz	42
รูปที่ 4.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ในระนาบ yz ณ ตำแหน่งลำคลื่นสูงสุดที่มุมต่างๆ	44
รูปที่ 4.14 ไดอะแกรมการวัดค่าการสูญเสียของการแปลงผันของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์	45
รูปที่ 4.15 บล็อกไดอะแกรมลำดับการหาค่าการสูญเสียของการแปลงผันของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์	46
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ย่านกลางกับการสูญเสียของการแปลงผันของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์	47
รูปที่ 4.17 ไดอะแกรมการวัดแบนด์วิดท์ของอินเจกชันล็อกกิ้งของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์	48
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าล็อกกิ้งแบนด์วิดท์กับค่าอัตราขยายล็อกกิ้ง	49
รูปที่ 4.19 การจัดเครื่องมือเพื่อการวัดแบนด์วิดท์ของอินเจกชันล็อกกิ้งของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์	49
รูปที่ 4.20 การวางแต่ละองค์ประกอบตามลักษณะของสายอากาศอาร์เรย์	50
รูปที่ 4.21 ลักษณะการวัดมิวชวลคัปปลิงเมื่อเปลี่ยนระยะห่าง	51
รูปที่ 4.22 ค่านิวชวลคัปปลิงระหว่างสายอากาศอ้างอิงสองตัวเมื่อเปลี่ยนระยะห่าง	51
รูปที่ 4.23 การวัดความถี่ของออสซิลเลเตอร์	52
รูปที่ 4.24 ความถี่ที่ออสซิลเลเตอร์แต่ละองค์ประกอบ ณ 10.5 กิกะเฮิรตซ์	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ตำแหน่งของแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์	30
ตารางที่ 4.1 ความถี่ของแต่ละองค์ประกอบเพื่อการปรับเปลี่ยนตำแหน่งลำคลื่นสูงสุด	40
ตารางที่ 4.2 มีวชวลคัปปลิงระหว่างแต่ละองค์ประกอบ	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

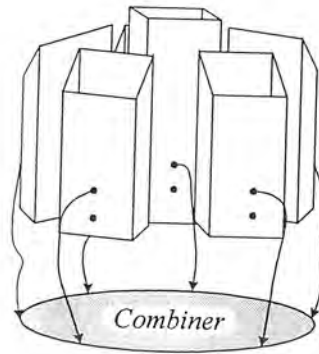
บทที่ 1

บทนำ

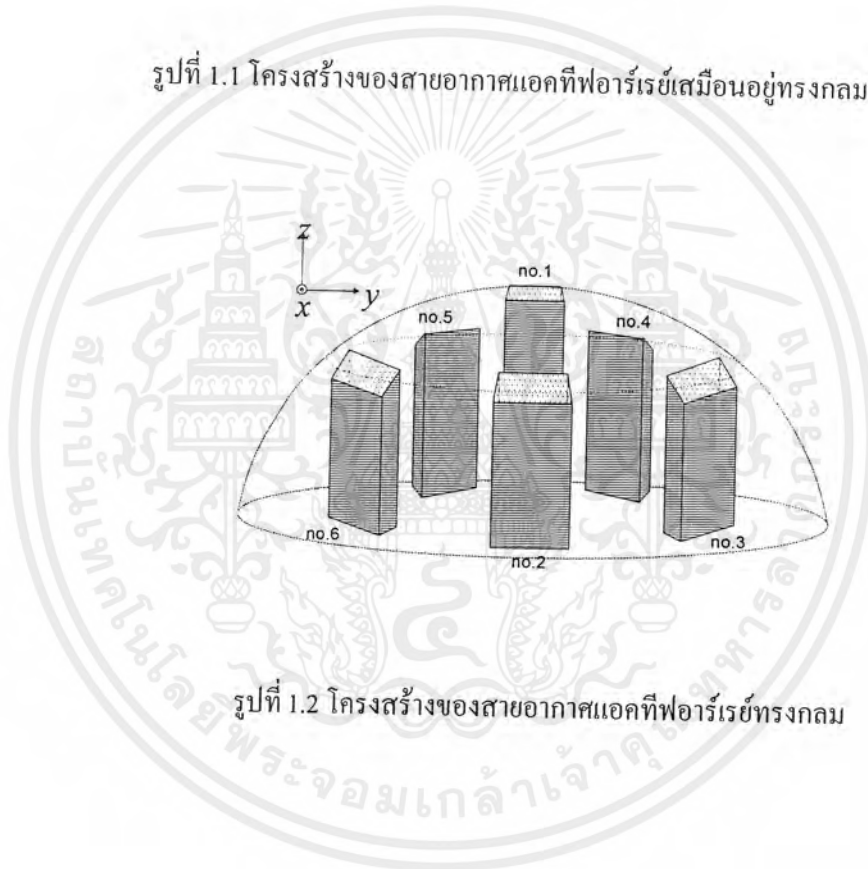
สายอากาศแอคทีฟอาร์เรย์ทรงกลม (active spherical array antenna) เป็นที่น่าสนใจอย่างมาก เนื่องจากมาจากสายอากาศอาร์เรย์ทรงกลม (spherical array antenna) เป็นสายอากาศที่มีคุณสมบัติของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นคงที่ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทาง ซึ่งสายอากาศชนิดนี้นำมาประยุกต์ใช้ในระบบเรดาร์ของการทหาร (military radar) และติดต่อสื่อสารเคลื่อนที่ผ่านดาวเทียม (mobile satellite communication) ส่วนสายอากาศแอคทีฟและออสซิลเลเตอร์แบบผสมสัญญาณในตัวเอง ได้รับความสนใจเนื่องจากมีขนาดเล็กกะทัดรัด น้ำหนักเบาและราคาถูก ซึ่งเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสารไมโครเวฟ (microwave communication) เช่นระบบสื่อสารไมโครเวฟของระบบสื่อสารท้องถิ่น (LAN) ระบบระบุสัญญาณไมโครเวฟและสื่อสารระยะใกล้ (short distance communication) โดยมีทั้งไดโอดเป็นอุปกรณ์แอคทีฟ สามารถทำงานเป็นออสซิลเลเตอร์โดยการไบอัสสัญญาณกระแสตรง (DC bias) ในขณะเดียวกันทำงานเป็นออสซิลเลเตอร์ที่ผสมสัญญาณในตัวเอง (self-mixing oscillator) ได้เมื่อมีสัญญาณจากภายนอกเข้ามารวมกัน

เพื่อศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศแอคทีฟอาร์เรย์ทรงกลมที่ผสมสัญญาณในตัวเอง ต้องทดสอบทุกองค์ประกอบเพื่อมั่นใจว่าทุกองค์ประกอบออสซิลเลตที่ความถี่ 10.5 กิกะเฮิรตซ์ และในการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศนี้ จะต้องวัดอัตราการขยายการแปลงผัน อัตราการสูญเสียของการแปลงผัน การอินแจ็กชันล็อก และวัดมิวชวลคัปปลิง (mutual coupling)

สายอากาศแอคทีฟอาร์เรย์ทรงกลมภาครับ ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบของสายอากาศแอคทีฟ 6 องค์ประกอบ กล่าวคือ องค์ประกอบตัวที่ 1 เป็นท่อนำคลื่นตัดตรงเสมอกัน และองค์ประกอบตัวที่ 2 ถึง 6 เป็นท่อนำคลื่นปลายเปิดตัดเฉียงทำมุม 15 องศา แต่ละองค์ประกอบประกบประกบด้วยกันไดโอดออสซิลเลเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวส่ง ออสซิลเลเตอร์ประจำเครื่อง (local oscillator) และมิกเซอร์ที่ผสมสัญญาณในตัวเอง และมีวาแรกเตอร์ไดโอดเพื่อใช้ในการปรับความถี่โดยละเอียด มีสกรูจูนและตัวลัดวงจรปรับตำแหน่งได้ทำหน้าที่ปรับจูนอย่างหยาบ สายอากาศแต่ละองค์ประกอบสามารถผลิตความถี่ประจำเครื่อง 10.5 กิกะเฮิรตซ์ ดังนั้นเมื่อรับสัญญาณจากภายนอก 10.8 กิกะเฮิรตซ์ จะได้ความถี่ย่านกลาง (intermediate frequency) 300 เมกะเฮิรตซ์ สายอากาศแอคทีฟอาร์เรย์ทรงกลมนี้สามารถทำงานเป็นเครื่องรับที่ผสมสัญญาณในตัวเอง โดยมีอัตราการสูญเสียของการแปลงผัน (conversion loss) เท่ากับ 21.39 เดซิเบล โดยแสดงโครงสร้างการจูนสายอากาศแอคทีฟอาร์เรย์ทรงกลมได้ดังรูปที่ 1.1 และรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของสายอากาศแอกทีฟที่ฟาร์มรีเลย์เสมือนอยู่ทรงกลมที่สร้างจริง



รูปที่ 1.2 โครงสร้างของสายอากาศแอกทีฟที่ฟาร์มรีเลย์ทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 สายอากาศอินทิเกรตและอินทิเกรตแอคทีฟ (Integrated and Active Integrated Antennas)

สายอากาศแบบแอคทีฟกล่าวได้ว่า เป็นสายอากาศที่มีแหล่งจ่ายพลังงานใดๆหรืออัตรการขยาย มีความเกี่ยวเนื่องอย่างใกล้ชิดกับการรับหรือการแพร่กระจายคลื่นขององค์ประกอบในกรณีที่อยู่กับแอคทีฟ ถูกคัปปลิง โดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและความเหมาะสมของสายส่งชนิดใดๆ อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับอุปกรณ์โซลิดสเตต (solid-state) ด้วย

หรือกล่าวได้ว่าสายอากาศแอคทีฟคือ สายอากาศที่มีอุปกรณ์พวกแอคทีฟโซลิดสเตตรวมอยู่ด้วยซึ่ง อุปกรณ์แอคทีฟได้แก่ อุปกรณ์ที่มีอัตรการขยายหรือแหล่งจ่ายในตัว เช่น อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ ออปแอมป์ ไดโอด ฯลฯ สำหรับสายอากาศแอคทีฟที่ทำหน้าที่ทั้งเป็นออสซิลเลเตอร์ประจำเครื่อง และผสมสัญญาณได้ในตัวเองได้นี้ เป็นการลดการสูญเสียที่เสียไปในระบบสายส่ง ทำให้ระบบการส่งสัญญาณเล็กและประหยัดราคา ทั้งนี้เนื่องจากลดวงจรผสมสัญญาณ วงจรความถี่ท้องถิ่น (local oscillator) และสายส่งบางส่วนของระบบลง

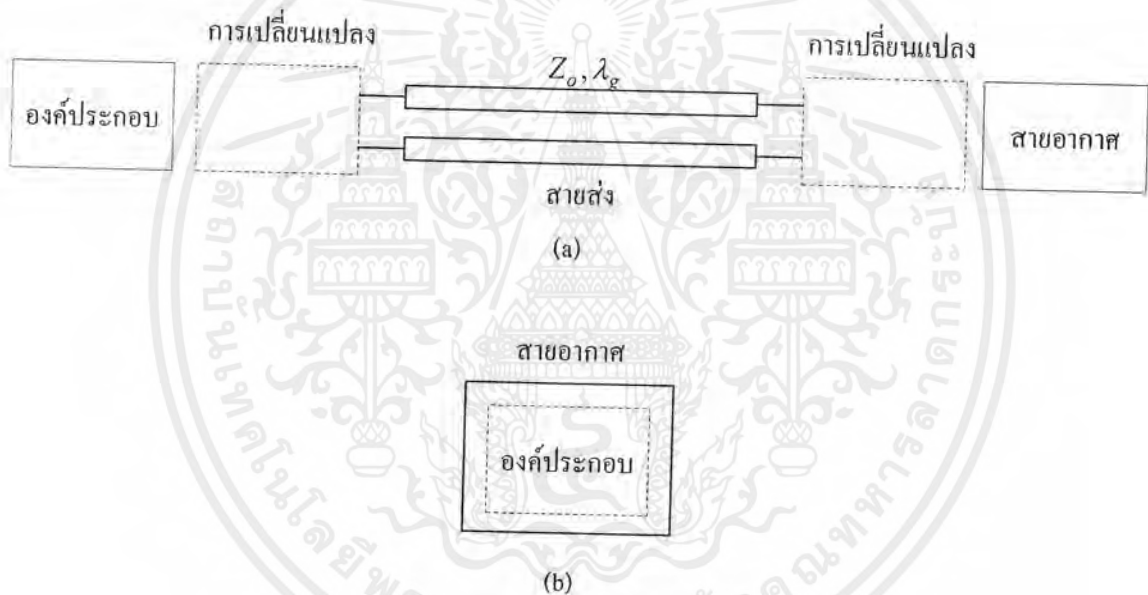
สายอากาศอินทิเกรต (integrated antenna) คือบรรดาตัวแปรคลื่นที่ถูกรวมกับอุปกรณ์โซลิดสเตต เช่น พิน (pin) วาเรกเตอร์ เพื่อทำหน้าที่สวิตช์ ปรับจูน หรือผสมสัญญาณ การประยุกต์ใช้งานของสายอากาศอินทิเกรตนั้นต้องการซับสเตรต (substrate) และโครงสร้างของสายอากาศจะต้องให้การแพร่กระจายคลื่นมีประสิทธิภาพ แพกเกจของอุปกรณ์ที่สร้างในซิลิกอน (Si) หรือแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) จะรวมไว้กับสายอากาศได้อย่างสะดวกบนซับสเตรตที่ซึ่งจะให้การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ดีที่สุด

สายอากาศอินทิเกรตแอคทีฟ (active integrated antenna) หรือเรียกสั้นๆ ว่า สายอากาศแอคทีฟ คือสายอากาศอินทิเกรตที่ใช้อุปกรณ์แอคทีฟ เช่น กันนำไดโอด เฟท (FET) ฯลฯ เพื่อทำการเปลี่ยนพลังงานกระแสตรงหรือกำลังงานความถี่วิทยุ ได้แก่ ออสซิลเลเตอร์ แอมพลิไฟเออร์ เป็นต้น สายอากาศอินทิเกรตและสายอากาศแอคทีฟมีข้อดี คือ สามารถลดขนาด น้ำหนัก และราคาลงได้ในการออกแบบเครื่องส่ง (transmitter) เครื่องรับ (receiver) และเครื่องส่งรับ (transceiver) ธรรมดาได้โดยการรวมฟังก์ชันองค์ประกอบวงจร (circuit component) เข้าไว้ที่สายอากาศ

ในระบบเครื่องรับเครื่องส่งต่างๆ ไปจะใช้องค์ประกอบวงจรที่ต่าง กันต่อกับสายอากาศ โดยผ่านสายส่งที่จุดต่อระหว่างวงจรและสายส่งจะต้องพยายามให้สัญญาณส่งผ่านไปได้อย่างไม่สะดุด ในทำนองเดียวกับการเปลี่ยนแปลงจากสายส่งไปยังสายอากาศเปลี่ยนจากคลื่นในสายส่งไปยังตัวแปรกระจายคลื่น ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะยอมให้มีการแยกคุณสมบัติที่ดีที่สุดของสายอากาศ สายส่ง และองค์ประกอบวงจร แต่ก็มีข้อจำกัดองค์ประกอบที่สำคัญๆ ด้วย การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและสายอากาศโดยผ่านสายส่งจะเป็นการเพิ่มขนาด น้ำหนัก และราคาของระบบทั้งหมด การเปลี่ยนแปลง (transition) ยังเพิ่มความซับซ้อนของวงจร และทำให้เกิด

ความไม่ต่อเนื่อง (discontinuity) ซึ่งเป็นเหตุทำให้เกิดการสูญเสียและจำกัดความถี่ที่ใช้งาน การสูญเสียเหล่านี้เพิ่มเข้ากับการสูญเสียที่เกิดในสายส่งซึ่งจะเลวร้ายตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น การประยุกต์ใช้งานต่างๆ ไปของเอ็มไอซี (MIC : microwave integrated circuit) และ เอ็มเอ็มไอซี (MMIC : monolithic microwave integrated circuit) เพื่อลดขนาดขององค์ประกอบวงจร สายส่ง และสายอากาศ เพื่อให้ลดการสูญเสียเหล่านี้ ในทางตรงกันข้ามสายอากาศอินทิเกรตพยายามที่จะกำจัดการสูญเสียทั้งหมด โดยการรวมอุปกรณ์โซลิตสเตทไว้ที่สายอากาศ อย่างไรก็ตาม การรวมนี้จะมีผลต่อการทำงานของสายอากาศและฟังก์ชันขององค์ประกอบ

ไม่เหมือนกับเครื่องส่งธรรมดา คือสายอากาศแอกทีฟจะรวมอุปกรณ์แอกทีฟมารวมไว้ที่สายอากาศ โดยการออกแบบสายอากาศและออสซิลเลเตอร์บนชั้นสเตรตเด็คและการหลีกเลี่ยงการสูญเสียในสายส่ง รูปที่ 2.1 แสดงสายอากาศส่งธรรมดากับสายอากาศอินทิเกรต สายอากาศแอกทีฟในอุดมคติ จะให้คุณลักษณะองค์ประกอบที่ดีโดยไม่ต้องมีการประณีประนอมในการทำงานของสายอากาศ ถึงแม้ว่าแนวคิดจะง่ายแต่ก็ยากที่จะทำให้สำเร็จได้



รูปที่ 2.1 (a) วิธีสายอากาศธรรมดา

(b) วิธีสายอากาศอินทิเกรต

2.2 สายอากาศอาร์เรย์ (Array Antennas)

แม้ว่าการเพิ่มขนาดของสายอากาศเดียวจะทำให้คุณสมบัติในการชี้ทิศทางดีขึ้นก็ตาม แต่ก็มีวิธีอื่นในการเพิ่มขนาดของสายอากาศ โดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของสายอากาศที่นำมาทำแต่ละองค์ประกอบซึ่งทำได้โดยจัดองค์ประกอบที่แพร่กระจายคลื่นให้เหมาะสมทั้งทางไฟฟ้าและรูปทรง ซึ่งเรียกว่าอาร์เรย์ ปกติจะเลือกให้แต่ละองค์ประกอบของอาร์เรย์มีลักษณะเหมือนกัน

เมื่อคัปปลิง (coupling) ระหว่างองค์ประกอบ จะหาสนามลัพธ์ของอาร์เรย์ได้โดยบวกเวกเตอร์ของสนามที่แพร่กระจายแต่ละองค์ประกอบสนามจะรวมกันในทิศทางที่ต้องการติดต่อสื่อสาร

มีอยู่ 5 วิธีด้วยกันที่จะควบคุมแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศซึ่งทำได้โดยควบคุมสิ่งต่างๆต่อไปนี้

- 1) การจัดเรียงองค์ประกอบของสายอากาศ
- 2) ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ
- 3) ขนาดกระแสที่ป้อนแต่ละองค์ประกอบ
- 4) เฟสกระแสที่ป้อนแต่ละองค์ประกอบ
- 5) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของแต่ละองค์ประกอบ

2.3 ทฤษฎีโดยทั่วไปของออสซิลเลเตอร์

ทฤษฎีทั่วไปของออสซิลเลเตอร์สามารถค้นคว้าได้จากตำราหลายเล่ม [1]-[2] ถิ่นนี้โคโอดเป็นอุปกรณ์สองเทอร์มินัล และสามารถประยุกต์ใช้งานเป็นออสซิลเลเตอร์และแอมพลิฟายเออร์ ซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถแสดงในเทอมของอิมพีแดนซ์หรือแอดมิตแตนซ์ที่ช่วงความถี่ของการทำงาน อิมพีแดนซ์หรือแอดมิตแตนซ์ของอุปกรณ์มีส่วนจริงที่เป็นลบในช่วงความถี่ที่สนใจ

อิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ที่ความถี่พื้นฐานสามารถแสดงได้ดังนี้

$$Z_D = -R_D + jX_D \quad \text{โดยที่ } R_D > 0 \quad (2.1)$$

อิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์เป็นฟังก์ชันของความถี่ (f) กระแสตรง (I_o) กระแสความถี่วิทยุ (I_{RF}) และอุณหภูมิ (T) ดังนั้น

$$Z_D = Z_D(f, I_o, I_{RF}, T) = -R_D + jX_D \quad (2.2)$$

วงจรออสซิลเลเตอร์โดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.2 โดยที่ Z_D คืออิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์และ Z_c คือ อิมพีแดนซ์ของวงจรที่เทอร์มินัลของอุปกรณ์ ซึ่งอิมพีแดนซ์ของวงจรเป็นฟังก์ชันของความถี่อย่างเดียวกันเท่านั้น Z_c แสดงได้ดังนี้

$$Z_c(f) = R_c(f) + jX_c(f) \quad (2.3)$$

ความถี่ที่ออสซิลเลตถูกกำหนดโดยความถี่เรโซแนนซ์ของวงจร เมื่อวงจรเรโซแนนซ์ค่ารีแอกแตนซ์ทั้งหมด (หรือแอดมิตแตนซ์) เท่ากับศูนย์ เงื่อนไขอีกข้อหนึ่งของการออสซิลเลต คือ ความต้านทานสุทธิ (หรือ

ความนำไฟฟ้า) ของวงจรเป็นศูนย์ ความต้านทานที่เป็นลบเป็นคุณลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์แอกทีฟโซลิตสเตต 2 เทอร์มินัล เงื่อนไขการออสซิลเลต 2 ข้อนี้อธิบายได้เป็นดังนี้

$$\text{Im}(Z_D) = -\text{Im}(Z_C) \text{ หรือ } \text{Im}(Z_D) + \text{Im}(Z_C) = 0 \quad (2.4)$$

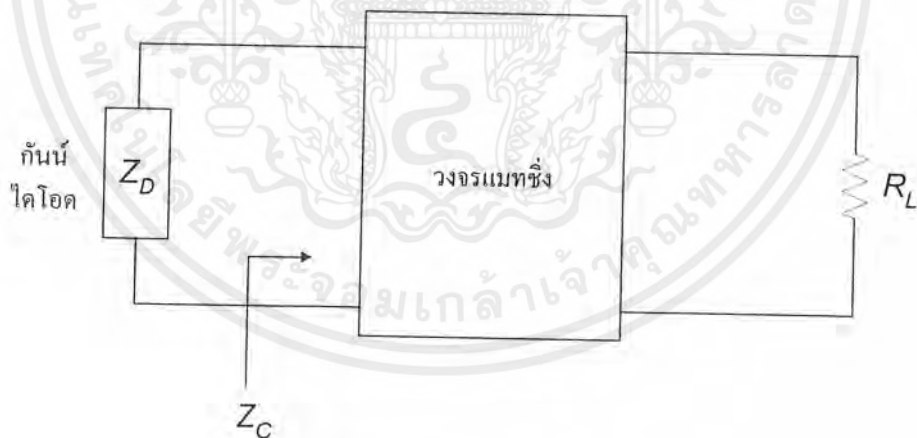
$$|\text{Re}(Z_D)| \geq \text{Re}(Z_C) \quad (2.5)$$

Im และ Re หมายถึง ส่วนจินตภาพและส่วนจริงตามลำดับ ดังนั้นที่ความถี่ที่ออสซิลเลต f_o จึงเขียนได้เป็น

$$R_c(f_o) \leq R_D(f_o, I_o, I_{RF}, T) \quad (2.6)$$

$$X_c(f_o) = -X_D(f_o, I_o, I_{RF}, T) \quad (2.7)$$

เงื่อนไขของสมการ (2.6) จะควบคุมกำลังงานเอาต์พุต สมการ (2.7) สามารถใช้ในการคำนวณความถี่ที่ออสซิลเลตได้



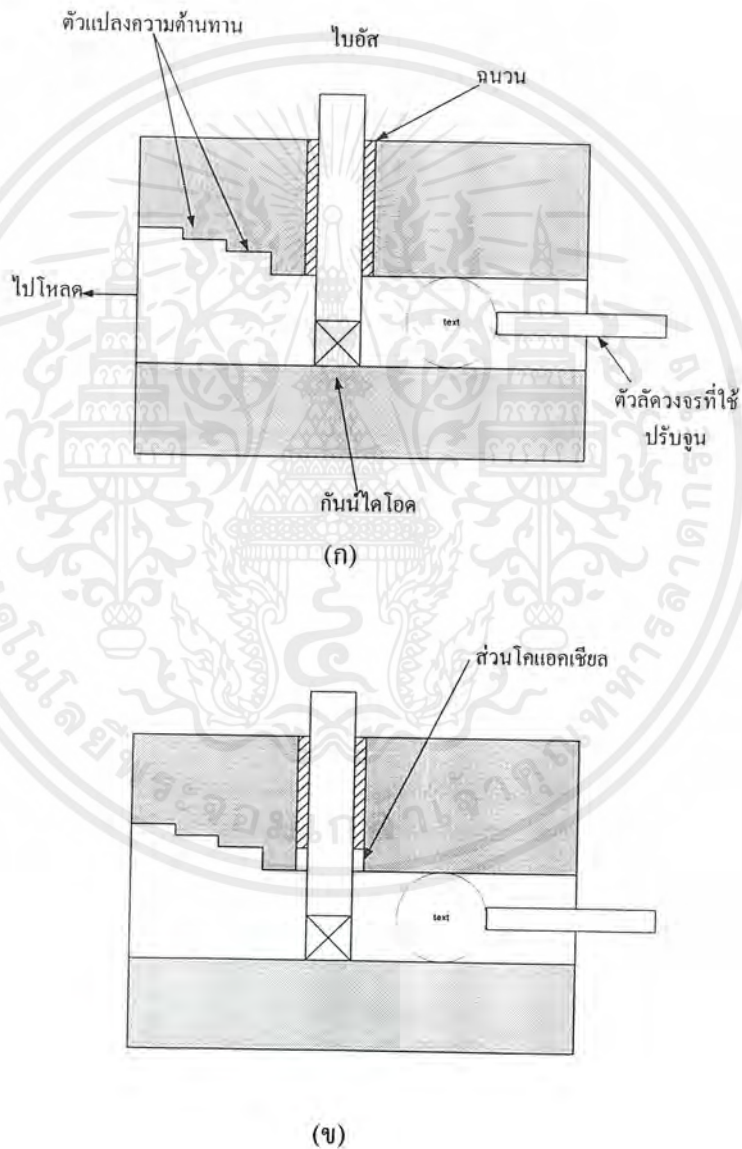
รูปที่ 2.2 วงจรออสซิลเลเตอร์โดยทั่วไป

จากสมการ (2.4) พบว่าสามารถเปลี่ยนความถี่ได้โดยการเปลี่ยนกระแสไบอัส (I_o) ซึ่งเป็นการปรับไบอัส และอีกวิธีการหนึ่งคือโดยการปรับตำแหน่งของตัวลัดวงจรที่ปรับตำแหน่งได้ (sliding short) ซึ่งเป็นการปรับทางกล

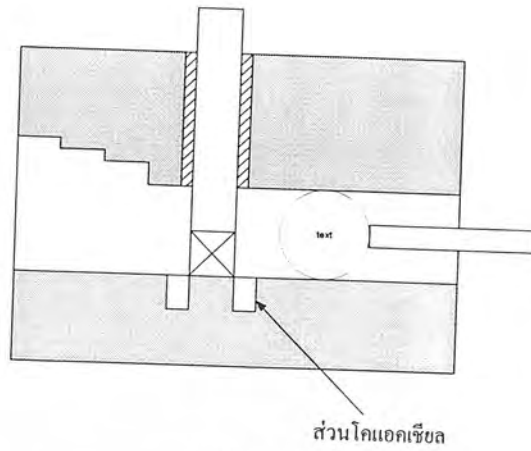
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 กัณน้อสซิลเลเตอร์ (Gunn Oscillator) [2]

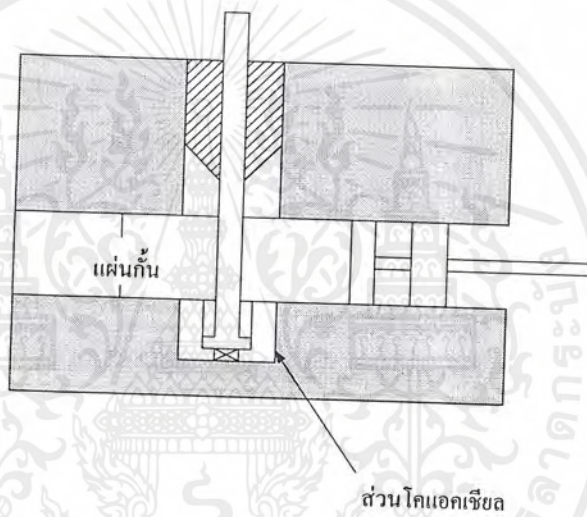
กัณน้อสซิลเลเตอร์ได้นำมาสร้างในท่อนำคลื่น สายโคแอกเซียล และไมโครสตริป สำหรับความถี่ 9 ถึง 94 กิกะเฮิร์ตซ์ อุปกรณ์กัณน้อสซิลเลเตอร์ที่อยู่ในท่อนำคลื่นโดยทั่วไปจะมีการคับปลิงด้วยการปิดโคโอดไว้ติดกับไบอัสโพสต์ (bias post) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.3 ในส่วนของโคแอกเซียล และตัวแปลงระดับความต้านทานในท่อนำคลื่น จะถูกนำมาใช้ในการทำให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่มีความต้านทานต่ำไปยังอุปกรณ์ที่มีความต้านทานสูงของท่อนำคลื่น ส่วนยอดของตัวปล่อยคลื่นที่แสดงในรูปที่ 2.3 (จ) สามารถใช้ได้ง่ายกับความต้านทานที่เหมาะสม และควบคุมความถี่ที่ออสซิลเลต ส่วนตัวลัดวงจรที่เลื่อนระยะได้จะใช้ในการปรับจูนความถี่และกำลังงานสูงสุด



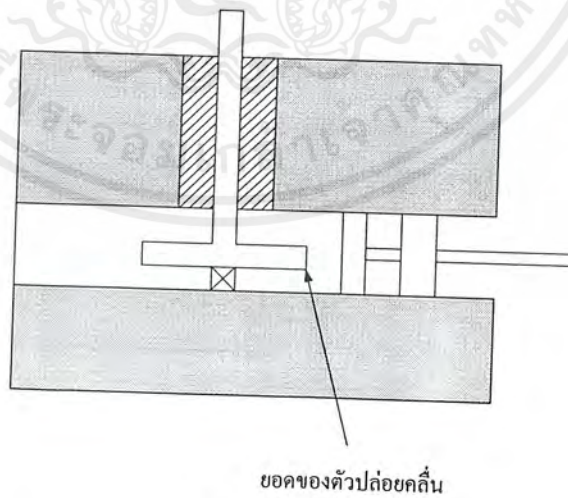
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



(ง)

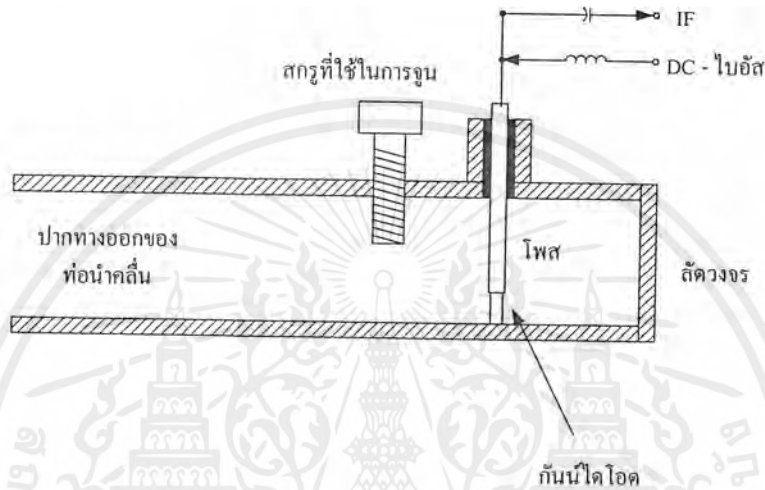


(จ)

รูปที่ 2.3 วงจรของท่อนำคลื่นการส่งอิเล็กตรอนของกันน้ำไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของควาวิตี้แบบง่ายแสดงดังรูปที่ 2.4 ก้านไนโคโดจะวางใต้โพสท์ (post) ในท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยม ควาวิตี้จะถูกทำให้รีโซแนนท์ที่ความถี่ที่ทำการลัดวงจร (short circuit position) ยอดของโพสท์จะถูกป้องกันจากท่อนำคลื่น ค่าไบอัสไฟตรงจะถูกใช้ที่โพสท์ มีคาปาซิแตนซ์ที่เพียงพอระหว่างโพสท์และท่อนำคลื่นโดยรอบ เพื่อจัดความต้านทานต่ำของ RF ที่เพียงพอในการบายพาสคาปาซิแตนซ์ ทำให้กระแส RF ไม่ผ่านโวลเตจไบอัสของแหล่งกำเนิด หากการจูนของควาวิตี้สามารถได้รับโดยผลจากการปรับจูนสกรู



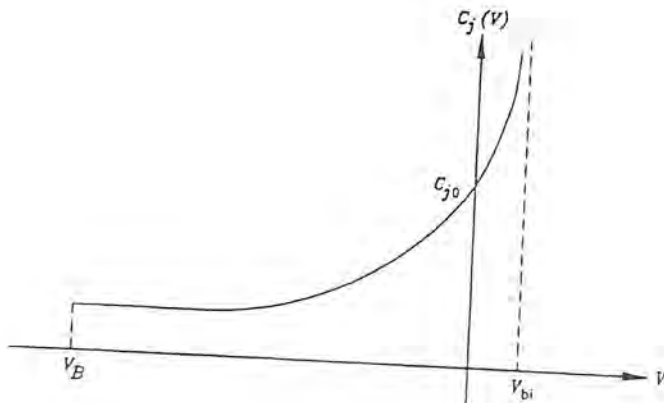
รูปที่ 2.4 ก้านน้อสซิลเลเตอร์ที่อยู่ในท่อนำคลื่นปากเปิดหนึ่งข้าง

2.4 วาเรกเตอร์ไดโอด (Varactor Diode)

วาเรกเตอร์ไดโอด เป็นหนึ่งในอุปกรณ์โซลิดสเตทไมโครเวฟ ซึ่งเรียกว่า พาราเมทริกไดโอด (parametric diode) วาเรกเตอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์ไม่เชิงเส้นและให้ค่าตัวเก็บประจุปรับค่าได้โดยขึ้นอยู่กับแรงดัน รูปที่ 2.5 เป็นการแสดงค่าคาปาซิแตนซ์ซึ่งเป็นฟังก์ชันของแรงดันไบอัส วาเรกเตอร์ไดโอดเป็นสารกึ่งตัวนำรอยต่อ พี-เอ็น (P-N junction) จุดสัมผัสไดโอดทำจาก GaAs วาเรกเตอร์ส่วนใหญ่เป็นแบบสารกึ่งตัวนำชนิด เอ็น (N-type) และใช้สารกึ่งตัวนำชนิด พี (P-type) แพร่เข้าไปเพื่อสร้างรอยต่อชั้น

วาเรกเตอร์ไดโอดถูกนำมาประยุกต์ใช้เกี่ยวกับการปรับค่าความถี่เพื่อวงจรแอกทิฟและพาสซีฟ การคูณความถี่ (frequency multiplication) การแปลงความถี่ (frequency conversion) การกำเนิดฮาร์โมนิก (harmonic generator) และวงจรมอดูเลชันพาราเมทริก (parametric modulation) วาเรกเตอร์ถูกบรรจุได้หลายรูปแบบ การเลือกรูปแบบแพ็คเกจขึ้นอยู่กับความถี่ใช้งาน สายส่ง ค่าใช้จ่าย และการประยุกต์ใช้งาน ในปริญญานิพนธ์นี้จะเลือกใช้แบบฟิลแพ็คเกจ (pill package) ก็จะเป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการใช้งาน และมีความแข็งแรง ทนทาน เหมาะใช้ในท่อนำคลื่น และวงจรสายโคแอกเซียล (coaxial line)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 คุณลักษณะของวาเรกเตอร์

2.5 วงจรฟิลเตอร์และออสซิลเลเตอร์ที่ใช้วาเรกเตอร์ปรับความถี่ (Varactor Tuned Oscillator and Filter Circuit)

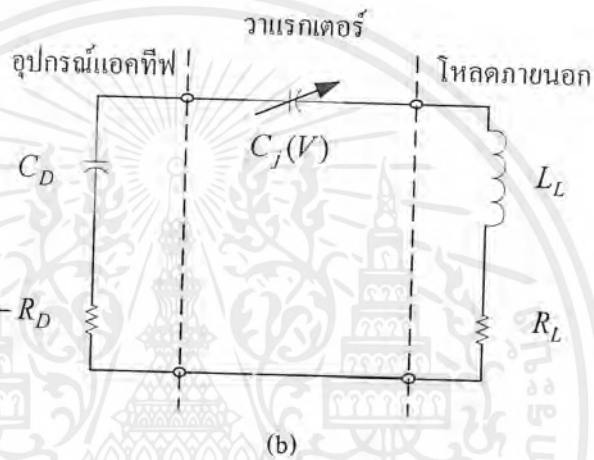
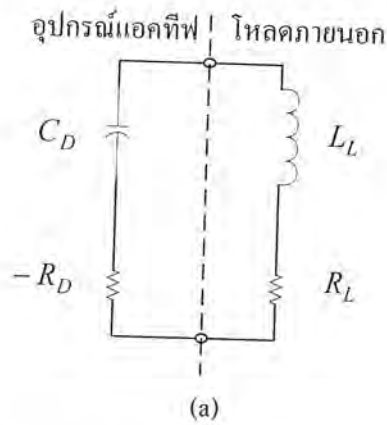
ออสซิลเลเตอร์ในย่านไมโครเวฟ สามารถปรับค่าความถี่โดยใช้การแปรค่าไบอัสที่จ่ายให้กับอุปกรณ์แอกทีฟ หรือโดยการเพิ่มวาเรกเตอร์ขึ้นในวงจร การใช้เทคนิคไบอัสเป็นเทคนิคพื้นฐาน แต่การปรับค่าจะไม่เป็นเชิงเส้นและการเปลี่ยนแปลงของกำลังงานตลอดช่วงการจูนจะค่อนข้างมาก การใช้การปรับค่าวาเรกเตอร์ไดโอดมีความซับซ้อนกว่า แต่กำลังงานขาออกค่อนข้างคงที่ การปรับจูนออสซิลเลเตอร์ทางอิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่า VCO (voltage – controlled oscillator)

รูปที่ 2.6 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์พร้อมตัวอย่างแสดงการปรับจูนวาเรกเตอร์ อุปกรณ์แอกทีฟไมโครเวฟ ประกอบด้วย ความต้านทานลบ (negative resistance) $-R_D$ และตัวเก็บประจุ C_D ต่อเชื่อมกับวงจรภายนอก ซึ่งประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ L_L และโหลด R_L โดยไม่มีวาเรกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.6(a) ความถี่ของออสซิลเลเตอร์จะเท่ากับความถี่รีโซแนนท์ ดังสมการที่ 2.8

$$f_o = f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_L C_D}} \quad (2.8)$$

เนื่องจาก C_D ขึ้นกับแรงดันไบอัสของอุปกรณ์แอกทีฟ (ในที่นี้ใช้กันไดโอด) ดังนั้นการปรับค่าไบอัสจึงเป็นหนึ่งในการเปลี่ยน C_D และความถี่ที่ออสซิลเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ออสซิลเลเตอร์ปรับจูนโดยวาเรกเตอร์
(a) ไม่มีวาเรกเตอร์ (b) มีวาเรกเตอร์

เมื่อนำวาเรกเตอร์มาใช้ในวงจรดังรูปที่ 2.6(b) ความถี่ของออสซิลเลเตอร์ คือ

$$f_o = f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_L C_T}} \quad (2.9)$$

ซึ่ง

$$C_T = \frac{C_j(V)C_D}{C_j(V) + C_D} \quad (2.10)$$

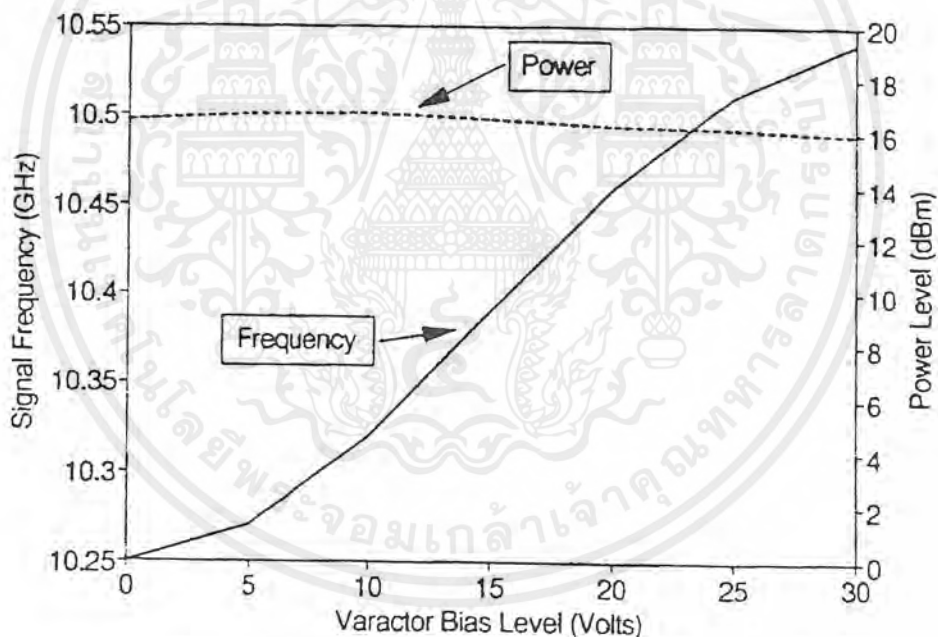
เพื่อความง่าย จะกำหนดให้วาเรกเตอร์ถูกแทนด้วยค่าตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ $C_j(V)$ บริเวณรอยต่อ จากสมการ 2.9 และ 2.10 แสดงให้เห็นว่า ความถี่ของออสซิลเลเตอร์ถูกปรับโดยการปรับค่า $C_j(V)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

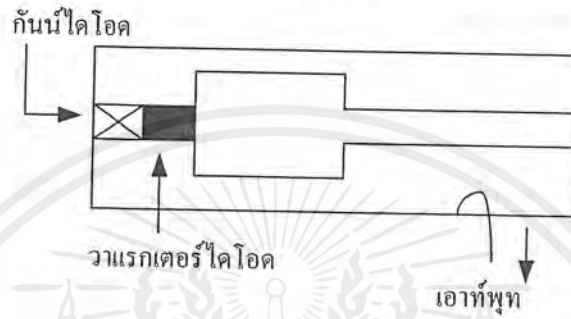
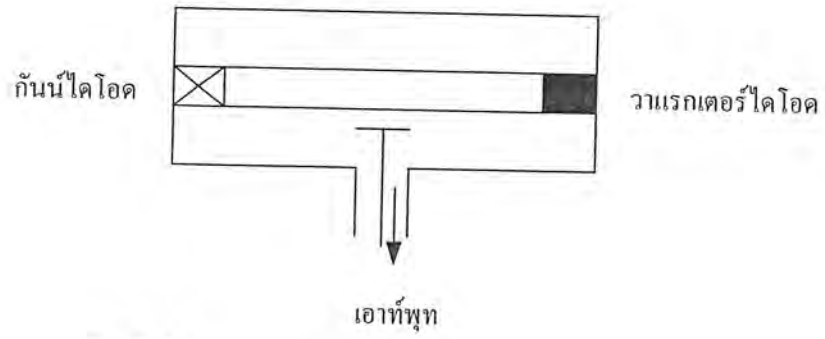
แต่ในความเป็นจริง โครงข่ายวาเรกเตอร์จูน (varactor tuned network) มีความซับซ้อนมากกว่าวงจรที่แสดงในรูปที่ 2.6 ผลกระทบของการปรับค่าโดยทั่วไปขึ้นกับ วาเรกเตอร์ วงจรคัปปลิ่ง โหลด และอุปกรณ์แอคทีฟ

ถึงแม้ว่าการปรับจูนโดยไบอัสสามารถปรับความถี่ที่ออสซิลเลตของกันน้อออสซิลเลเตอร์ได้ แต่กำลังงานขาออกจะไม่คงที่และเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงกว้างตลอดช่วงการปรับจูน วงจรวาเรกเตอร์จูนสามารถที่จะแก้ปัญหานี้ได้ ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้วาเรกเตอร์จะให้ค่ากำลังขาออกค่อนข้างคงที่ ช่วงการปรับจูนที่กว้าง และให้ผลตอบสนองที่รวดเร็ว คึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไบอัสวาเรกเตอร์กับความถี่และกำลังงานที่แสดงในรูป 2.7

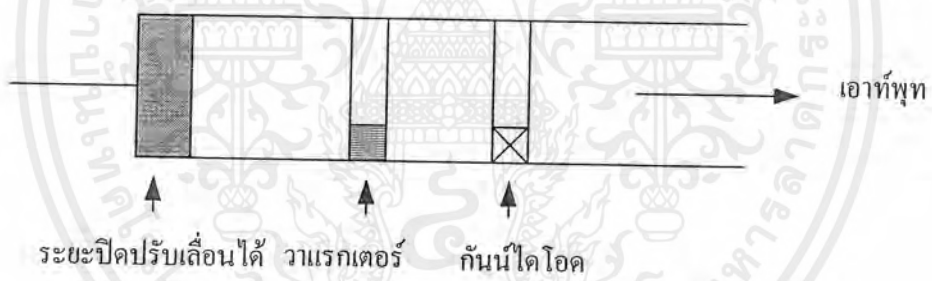
กันน้อออสซิลเลเตอร์ที่ใช้วาเรกเตอร์ปรับจูนได้นำมาสร้างในท่อนำคลื่น สายโคแอกเซียล และไมโครสตริป รูปที่ 2.8 แสดงกันน้อออสซิลเลเตอร์ที่ใช้วาเรกเตอร์ปรับจูนในสายโคแอกเซียล และรูปที่ 2.9 แสดงวงจรท่อนำคลื่น วงจรท่อนำคลื่นจะให้ค่า Q (quality factor) ที่สูงกว่าแต่จะมีช่วงการจูนที่แคบกว่าวงจรไมโครสตริป



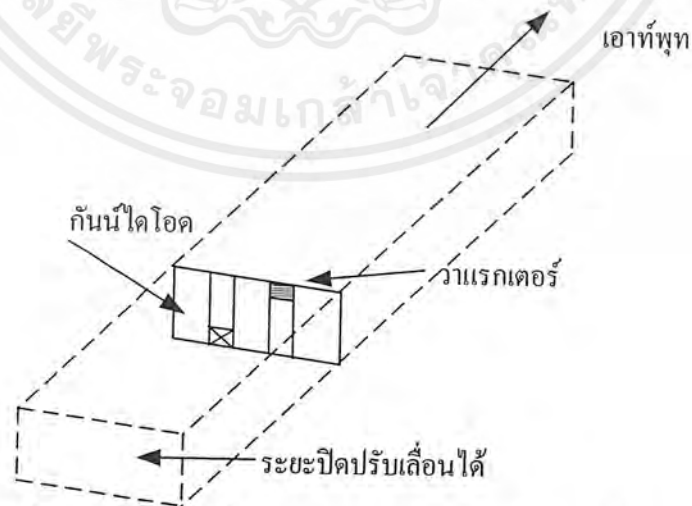
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไบอัสวาเรกเตอร์กับความถี่และกำลังงานขาออก



รูปที่ 2.8 วงจรควิตีโคแอกเซียลวาล์วเรกเตอร์จูนก้านนํ้าออสซิลเลเตอร์



ระยะปิดปรับเลื่อนได้ วาล์วเรกเตอร์ ก้านนํ้าไดโอด



รูปที่ 2.9 วงจรท่อนํ้าคั่นวาล์วเรกเตอร์จูนก้านนํ้าออสซิลเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ทฤษฎีอินเตอร์ล็อกกิ้ง (Interjection-Locking)

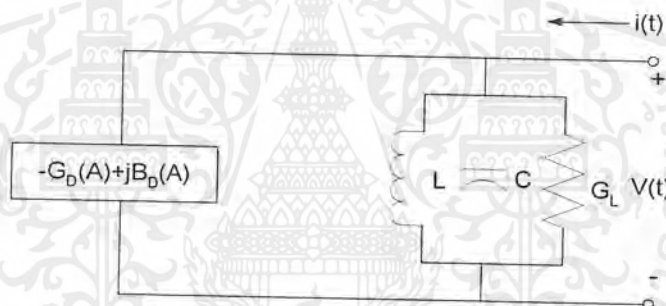
อินเตอร์ล็อกกิ้ง คือ วิธีการรวมกำลังงาน (power combining) จากแหล่งกำเนิดแต่ละตัวที่กระจายสัญญาณให้แก่ละองค์ประกอบของอาร์เรย์ การที่สามารถควบคุมเฟสได้เป็นผลที่เกิดการทำงานร่วมกันของวงจรรออสซิลเลเตอร์จะถูกควบคุมเพื่อให้เกิดค่าเฟสโปรเกรสชัน (phase progression) เป็นไปตามความต้องการของสายอากาศ

2.7 การวิเคราะห์สายอากาศแอกทีฟองค์ประกอบเดียว (Single Element Active Antenna)

วงจรรออสซิลเลเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.10 จะมีส่วนที่เป็นแอกทีฟไม่เชิงเส้น (active nonlinear) ซึ่งมีค่าแอดมิตแตนซ์ของอุปกรณ์เป็น

$$Y_D(A) = -G_D(A) + jB_D(A) \quad (2.11)$$

ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับค่าแอมพลิจูด (A) ของโวลเตจ



รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลของออสซิลเลเตอร์

เนื่องจากวงจรเทงก์ประกอบด้วยค่าอินดักแตนซ์ (L) คาปาซิแตนซ์ (C) และโหลดคอนดักแตนซ์ (G_L) ค่าโวลเตจสมมูลให้เป็นสัญญาณไซน์ (sinusoidal) ที่มีความถี่เชิงมุม (ω_1) ขนาด $A(t)$ และความเร็วเฟสขณะใดขณะหนึ่ง $\phi(t)$ จะได้

$$V = A(t)\cos[\omega_1 t + \phi(t)] \quad (2.12)$$

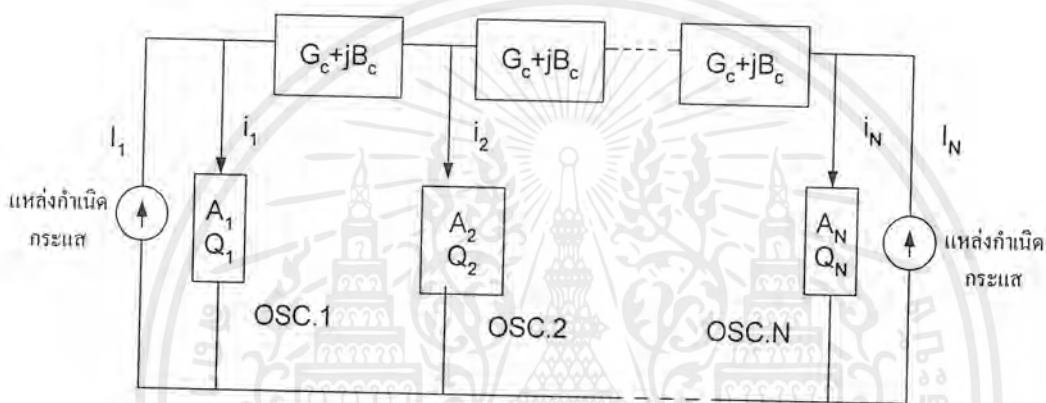
2.8 ลิเนียร์แคสเคดของอินเตอร์ล็อกกิ้งออสซิลเลเตอร์ (Linear Cascade of Interjection-Locked Oscillator)

สำหรับออสซิลเลเตอร์หลายๆตัวซึ่งแต่ละตัวมีความถี่ ขนาด และเฟส เฉพาะตัว ถ้าออสซิลเลเตอร์ N ตัวซึ่งเป็นเนตเวอร์ค แสดงดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคัปปลิง (coupling) ภายในองค์ประกอบสามารถสมมุติขึ้นแรกเนื่องจากมันใกล้เคียงกับตัวใกล้เคียงกัน ซึ่งการคัปปลิงนี้เกิดที่แอดมิแตนซ์ $Y_C = G_C + jB_C$ สมมุติให้คงที่และเหมือนกันในอาร์เรย์สำหรับกรณีนอกเหนือจากการคัปปลิงสามารถอาศัยความถี่ได้ (นำความถี่แต่ละองค์ประกอบซึ่งใกล้เคียงกันในช่วงล็อกกิ้งแบนด์วิดท์มารวมกัน จะเกิดการล็อกกันของความถี่ที่ความถี่หนึ่งๆเสมือนมีความถี่เดียวเกิดขึ้น

แหล่งกำเนิดตัวแรกเป็นตัวอ้างอิง (injection source) ด้วยกระแส I_1 และ $\theta = 0$ ขณะที่แหล่งกำเนิดตัวสุดท้าย I_N และมีเฟส θ_N ผลของกระแส $I_1, I_2, I_3, \dots, I_N$ และส่วนประกอบเฟสสามารถคำนวณโดยออสซิลเลเตอร์แต่ละตัว ค่าคงที่เหล่านี้และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในลิเนียร์แคสเคดสามารถใช้หาค่าความถี่ขณะใดขณะหนึ่งและแอมพลิจูดของออสซิลเลเตอร์ได้จากสมการ (2.13) และ (2.14)



รูปที่ 2.11 วงจรแคสเคดของอินเตอร์อินเจกชันล็อกออสซิลเลเตอร์

$$\frac{d\phi_i}{dt} = \Delta\omega_i - \frac{1}{2C} \left[2B_c + \frac{A_{i-1}}{A_i} (G_c \sin(\phi_i - \phi_{i+1}) - B_c \cos(\phi_i - \phi_{i-1})) \right. \\ \left. + \frac{I_i}{A_i} \sin(\phi_i - \theta_i) + \frac{A_{i+1}}{A_i} (G_c \sin(\phi_i - \phi_{i+1}) - B_c \cos(\phi_i - \phi_{i+1})) \right] \quad (2.13)$$

$$\frac{dA_i}{dt} = \frac{1}{2C} \left[A_i (G_{Di} - G_{Li} - 2G_c) + I_i \cos(\phi_i - \theta_i) \right. \\ \left. + \frac{1}{2C} [A_{i-1} (G_c \cos(\phi_i - \phi_{i-1}) + B_c \sin(\phi_i - \phi_{i-1}))] \right. \\ \left. + \frac{1}{2C} [A_{i+1} (G_c \cos(\phi_i - \phi_{i+1}) + B_c \sin(\phi_i - \phi_{i+1}))] \right] \quad (2.14)$$

อธิบายการเปลี่ยนแปลงขนาดและความถี่ออสซิลเลเตอร์แต่ละตัวในอาร์เรย์ ความละเอียดแน่นอนของการวิเคราะห์จะแปรตามค่าแอดมิแตนซ์ของออสซิลเลเตอร์แต่ละตัว

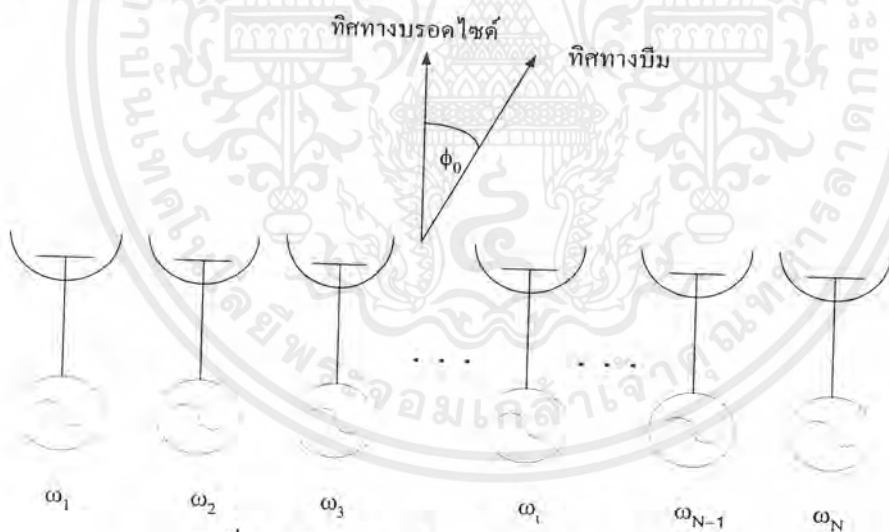
2.9 การกวาดลำคลื่นของสายอากาศแอคทีฟอาร์เรย์ (Beam Steering of Active Antenna Arrays)

กระบวนการอินเตอร์เฟกชันล็อกกิ้งจะสร้างค่าเฟสโปรเกรสชันระหว่างอาร์เรย์ที่มีค่าคงที่ค่าหนึ่งจากการคัปปลิงสัญญาณจากวงจรออสซิลเลเตอร์ เมื่อทำการปรับวงจรรออสซิลเลเตอร์ตัวใดตัวหนึ่ง การรวมสัญญาณในอาร์เรย์ สามารถอธิบายได้โดยสมการการคัปปลิงของแวนเดอ ปอล (Coupled Vander Pol Equation) [3] การเปลี่ยนแปลงค่าเฟสของออสซิลเลเตอร์ทั้ง N ตัว ซึ่งเกิดจากการคัปปลิงจากวงจรออสซิลเลเตอร์ที่อยู่ใกล้เคียงเท่านั้น แสดงค่าดังสมการ (2.15)

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_f = \omega_i \left[1 - \sum_{j=1, j \neq i}^N \frac{\epsilon_{ij}}{2Q} \frac{A_j}{A_i} \sin(\theta_i - \theta_j + \phi_{ij}) \right] \tag{2.15}$$

โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, N$

- ω_i คือค่าความถี่อิสระ (Free-Running Frequency)
- ω_f ค่าเฟสที่ขณะใดขณะหนึ่ง (Steady-State Frequency)
- A คือค่าแอมพลิจูดของออสซิลเลเตอร์
- Q คือค่าแสดงคุณภาพ (Quality Factor)
- ϵ และ ϕ คือค่าขนาดและเฟสของสัญญาณคัปปลิง



รูปที่ 2.12 วงจรลิเนียร์ของสายอากาศแอคทีฟอาร์เรย์

ความแตกต่างระหว่างความถี่จรรออสซิลเลเตอร์ 2 ตัว ขณะเกิดการชิงโครไนซ์จะมีค่าอยู่ช่วงหนึ่งเท่านั้น จากสมการแอดเลอร์ (Adler's equation) [4]-[5] จะได้ว่าช่วงล็อกกิ้งแบนด์วิธเท่ากับ

$$\Delta\omega_m = \frac{\omega_i A_{mj}}{2QA_i} \quad (2.16)$$

สมการข้างต้นสามารถเขียนในรูปที่ง่ายขึ้น ในกรณีที่ออสซิลเลเตอร์ทุกตัวมีแอมพลิจูดเท่ากันได้ว่า

$$\Delta\omega = \frac{\varepsilon\omega_i}{2Q} \quad (2.17)$$

ด้วยเหตุที่การกระจายความถี่อิสระให้กับวงจรออสซิลเลเตอร์ มีผลต่อความสัมพันธ์เฟสในสภาวะคงตัว (steady-state phase relationship) สายอากาศแบบเฟสอาร์เรย์ สามารถกำหนดทิศทางการชี้ของลำคลื่นในทิศทางหนึ่งได้ โดยการสร้างค่าเฟสโปรเกรสชัน (phase progression) ที่เหมาะสมในอาร์เรย์ค่าหนึ่ง โดยที่ค่ามุมของลำคลื่นหลักที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกน $Z(\varphi)$ มีความสัมพันธ์กับค่าเฟสโปรเกรสชัน $\Delta\phi$ ระหว่างองค์ประกอบตามสมการที่ (2.18)

$$\Delta\phi = \frac{2\pi d}{\lambda_o} \sin \varphi \quad (2.18)$$

ที่ซึ่ง d คือ ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ (Element Spacing)
 λ_o คือ ความยาวคลื่นในอากาศ (Free Space Wavelength)

จากสมการ (2.15) สามารถแสดงได้ว่า ค่าเฟสโปรเกรสชัน ($\Delta\theta_i = \Delta\phi$) ที่ต้องการ เกิดได้จากการกระจายค่าความถี่อิสระให้กับแต่ละองค์ประกอบดังนี้

$$\omega_i = \begin{cases} \omega + \Delta\omega_m \sin(\Phi + \Delta\phi) & \text{if } \dots i = 1 \\ \omega + 2\Delta\omega_m \sin \Phi \cos \Delta\phi & \text{if } \dots 1 < i < N \\ \omega + \Delta\omega_m \sin(\Phi - \Delta\phi) & \text{if } \dots N = 1 \end{cases} \quad (2.19)$$

กล่าวได้ว่าการกวาดลำคลื่นของลำคลื่นหลักควบคุมได้ โดยการควบคุมการกัปลังของวงจรออสซิลเลเตอร์ในอาร์เรย์ ในการกวาดลำคลื่นเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (electronic beam steering) ของสายอากาศแอดทีฟสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนค่ากระแสไบอัสให้แต่ละองค์ประกอบของอาร์เรย์ เมื่อเกิดความแตกต่างระหว่างความถี่ที่ออสซิลเลตของแต่ละองค์ประกอบ ซึ่ง อยู่ภายในช่วงล็อกกิ้งแบนด์วิดท์สำหรับล็อกกิ้งแกนที่กำหนด สายอากาศจะเกิดอินเทกชันล็อก ความถี่ที่ออสซิลเลตที่ความถี่เดียว ความแตกต่างระหว่างความถี่ที่แต่ละออสซิลเลเตอร์ในองค์ประกอบต่างๆ ของอาร์เรย์ สายอากาศแอดทีฟจะเกิดการอินเทกชันล็อกของสัญญาณซึ่งนำ

ไปสู่การเลื่อนเฟส (phase shift) เฟสที่เลื่อนไปนี้จะทำให้ลำคลื่นของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์เปลี่ยนไปจึงอิเล็กทรอนิกส์ เทคนิคที่กล่าวมานี้สามารถหลีกเลี่ยงการใช้อุปกรณ์เลื่อนเฟส (phase shifter) มีราคาต่ำ และลดความยุ่งยากได้

2.10 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

แบบรูปของการแพร่กระจายคลื่นคือแบบรูปที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของสเปซโคออดิเนท (Space Coordinate) ส่วนใหญ่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนี้มักจะคิดบริเวณสนามระยะไกล (Far Field) ซึ่งบริเวณการกระจายสนามของสายอากาศระยะไกลเป็นบริเวณของสายอากาศที่แพร่สนามของสายอากาศตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางของสายอากาศถ้าสายอากาศมีมิติที่ใหญ่ที่สุดเท่ากับ D บริเวณสนามระยะไกลจะเกิดขึ้นที่ระยะทาง R มากกว่า $2D^2/\lambda$ จากสายอากาศ

2.11 สมการการส่งคลื่นของฟรีส (Friis Transmission Equation)

สมการการส่งคลื่นของฟรีส แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสายอากาศ 2 ตัว ที่สายอากาศรับได้ต่อกำลังส่งออกไป ซึ่งแสดงได้ ดังนี้

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_t G_r \quad (2.20)$$

โดยที่	P_r	คือ กำลังรับของสายอากาศรับ (วัตต์)
	P_t	คือ กำลังส่งของสายอากาศส่ง (วัตต์)
	λ	คือ ความยาวคลื่น (เมตร)
	d	คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่ง-รับ (เมตร)
	G_r	คือ เกนของสายอากาศรับ
	G_t	คือ เกนของสายอากาศส่ง

2.12 คุณลักษณะของสายอากาศแอกทีฟ (Characteristics of Active Antenna)

คุณลักษณะของสายอากาศจะเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพของสายอากาศว่าดีมากน้อยเพียงใดจะเกิดการสูญเสีย หรือ อัตรายาย และสามารถบอกได้ถึงช่วงความถี่ที่ทำงานได้

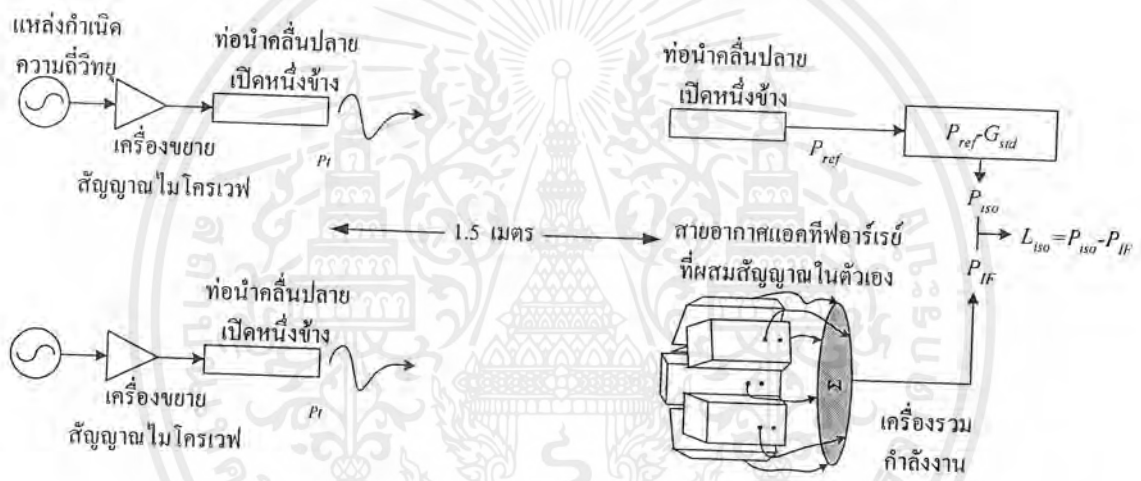
2.12.1 การสูญเสียของการแปลงผัน และอัตราการขยายการแปลงผัน (Conversion Loss and Conversion Gain)

ในการทำงานที่ผสมสัญญาณในตัวเองนั้น ถ้านำไดโอดจะทำหน้าที่เป็นออสซิลเลเตอร์ประจำเครื่อง (LO) และมิกเซอร์ ซึ่งการวัดคุณลักษณะการผสมสัญญาณในตัวเองของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ [6] นี้แสดง ดังรูปที่ 2.13 การสูญเสียของการแปลงผันในกรณีไอโซโทรอปิกแสดงเป็นอัตราส่วนดังนี้

$$L_{iso} = P_{iso} - P_{IF} \tag{2.21}$$

โดย P_{IF} คือ กำลังงานที่ความถี่ย่านกลาง (เดซิเบล)

P_{iso} คือ กำลังงานที่รับได้ของสายอากาศรับในกรณีที่เป็นไอโซโทรอปิก (เดซิเบล)



รูปที่ 2.13 การวัดการสูญเสียแปลงผันของสายอากาศอาร์เรย์บนผิวทรงกลมที่มีผสมสัญญาณในตัวเอง

เนื่องจากสายอากาศไอโซโทรอปิกไม่สามารถสร้างได้จริง จึงมีการสร้างสายอากาศอ้างอิงขึ้น ซึ่งสามารถหา กำลังงานของสายอากาศรับในกรณีไอโซโทรอปิกดังนี้

$$P_{iso} = P_{ref} - G_{std} \tag{2.23}$$

โดย P_{ref} คือ กำลังงานที่รับได้ของสายอากาศอ้างอิง (เดซิเบล)

G_{std} คือ อัตราขยายของสายอากาศอ้างอิง (เดซิเบล)

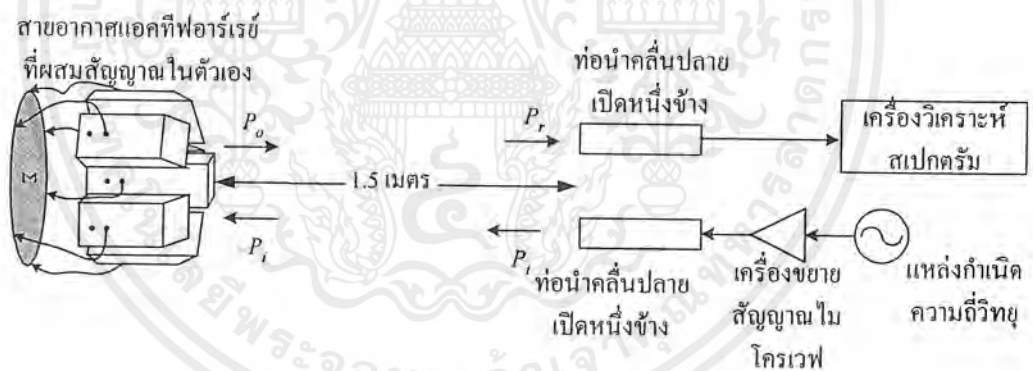
ดังนั้นสามารถหาค่าการสูญเสียของการแปลงผันในกรณีไอโซโทรอปิกได้จากสมการ

$$L_c = L_{iso} + G_{aa} \quad (2.24)$$

โดย G_{aa} คือ อัตราขยายของสายอากาศแอกทีฟ (เดซิเบล)

2.12.2 แบนด์วิดท์ของอินเจกชันล็อกกิ้ง (Injection Locking Bandwidth)

เนื่องจากสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ที่ผสมสัญญาณในตัวเอง มีความสามารถในการออกสวิตเลตตลอดช่วงความถี่ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าสัญญาณอินพุตจากภายนอกจะอินเจกชันล็อก (injection-lock) เข้ากับออสซิลเลเตอร์ได้ [7]-[8] ซึ่งการอินเจกชัน-ล็อกนี้ไม่เป็นที่ต้องการในการใช้งานที่ต้องมีการผสมสัญญาณในตัวเอง เนื่องจากการอินเจกชัน-ล็อกจะไปทำให้คุณสมบัติในการผสมสัญญาณในตัวเองเสียไป ในสายอากาศอาร์เรย์ ถ้าไม่มีกลไกในการซิงโครไนซ์กันแล้วออสซิลเลเตอร์แต่ละตัวจะทำงานอย่างอิสระโดยมีเฟสแบบสุ่ม ในสายอากาศอาร์เรย์ ออสซิลเลเตอร์แต่ละตัวต้องมีการซิงโครไนซ์กันเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการรวมกำลังงาน ซึ่งล็อกกิ้งแบนด์วิดท์ (locking bandwidth) และอัตราขยายล็อกกิ้ง (locking gain) มีความสำคัญเป็นอย่างมากในการซิงโครไนซ์ [1] อัตราขยายล็อกกิ้งเป็นปริมาณของกำลังงานภายนอกที่จำเป็นในการล็อกเข้ากับออสซิลเลเตอร์ ล็อกกิ้งแบนด์วิดท์เป็นช่วงความถี่ที่ล็อกกิ้งซึ่งสัมพันธ์กับกำลังงานของออสซิลเลเตอร์



รูปที่ 2.14 การวัดค่าอัตราขยายอินเจกชันล็อกกิ้งและค่าอินเจกชันล็อกกิ้งแบนด์วิดท์

เมื่อสัญญาณภายนอกที่ความถี่ f_i และมีกำลังงาน P_i ถูกส่งมาที่ออสซิลเลเตอร์ที่ทำงานอย่างอิสระ (free-running oscillator) ที่ความถี่ f_o และมีกำลังงานเอาต์พุต P_o เมื่อ f_i เข้าใกล้ f_o ออสซิลเลเตอร์ที่ทำงานอย่างอิสระจะอินเจกชัน-ล็อกเข้ากับสัญญาณภายนอกและกำลังงานเอาต์พุตทั้งหมดจะอยู่ที่ความถี่ f_i อัตราส่วน (P_o/P_i) เรียกว่า อัตราขยายล็อกกิ้ง ผลต่างของความถี่ระหว่าง f_o และ f_i คือแบนด์วิดท์ของการอินเจกชันล็อกกิ้งด้านเดียว ช่วงการล็อกกิ้งขึ้นอยู่กับค่าตัวประกอบคุณภาพภายนอก (Q_e) ของออสซิลเลเตอร์และกำลังงาน

ของระบบ ถ้าค่าตัวประกอบคุณภาพภายนอกยิ่งสูงช่วงแบนด์วิดท์ของการอินเจกชันล็อกกิ้งก็จะยิ่งแคบ ดังสมการ

$$\frac{2\Delta f}{f_o} = \frac{2}{Q_e} \left(\frac{P_o}{P_i} \right)^{-1/2} \quad (2.25)$$

โดยที่ Δf คือ ล็อกกิ้งแบนด์วิดท์ (locking bandwidth) ด้านเดียว และ $2\Delta f$ คือล็อกกิ้งแบนด์วิดท์ทั้งหมด โดยการสมมติให้ล็อกกิ้งแบนด์วิดท์ด้านสูงและล็อกกิ้งแบนด์วิดท์ด้านต่ำประมาณว่าเท่ากัน f_o คือ ความถี่ที่ใช้งาน P_o คือ กำลังงานของออสซิลเลเตอร์ที่ทำงานอย่างอิสระ และ P_i คือ กำลังงานของสัญญาณที่อินเจกชันล็อก

2.13 มีขวลคัปปลิง (Mutual Coupling)

สายอากาศแอกทีฟทั่วไป มีขวลคัปปลิงจะใช้ในการซิงโครไนซ์ของแหล่งกำเนิดความถี่ เมื่อทำงานที่เฟสเหมือนกัน การรวมกำลังงานบรอดไซด์จะมีค่าสูงสุด อย่างไรก็ตามมีขวลคัปปลิง หรือครอสทอล์ค (cross talk) จะสอดแทรกกับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ทำให้เกิดการแกว่งของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

สำหรับออสซิลเลเตอร์จำนวนมาก ออสซิลเลเตอร์ในแต่ละตัวจะมีความถี่ ขนาด และองค์ประกอบเฟสของตนเอง ถ้า N ออสซิลเลเตอร์เรียงตัวกันอยู่ในแบบโครงข่ายแลดเดอร์ (ladder network) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ดังนั้นการคัปปลิงภายในของแต่ละองค์ประกอบสามารถที่จะสมมุติว่าเกิดจากองค์ประกอบที่ใกล้ที่สุด และมีค่าคงที่และมีค่าเฉพาะตลอดอาร์เรย์ ในกรณีทั่วไปการคัปปลิงนั้นยังขึ้นอยู่กับความถี่อีกด้วย

ระดับของมีขวลคัปปลิงจะแสดงถึงความสามารถในการกวาดลาคัลลัน นอกเหนือจากค่าองค์ประกอบคุณภาพของออสซิลเลเตอร์อีกด้วย การที่มีค่ามีขวลคัปปลิงระหว่างแต่ละองค์ประกอบจะทำให้ค่าแบนด์วิดท์อินเจกชันล็อกกิ้งเพิ่มขึ้นด้วย นั่นก็คือ ทำให้มุมในการกวาดลาคัลลันกว้างขึ้นด้วยนั่นเอง

2.14 การซิงโครไนซ์ของออสซิลเลเตอร์ (Oscillator Synchronization)

ให้แรงดันออสซิลเลเตอร์ (E) และแรงดันอินเจก (E_i) จะได้ผลบวกระหว่าง E และ E_i คือแรงดันลัพธ์ E_g ดังรูปที่ 2.15 มุมที่สอดคล้องกับความถี่สำหรับ E , E_i และ E_g คือ ω_o , ω_i และ ω ความแตกต่างเฟส ระหว่างแรงดันเหนี่ยวนำและแรงดันอินเจก คือ

$$\phi = \frac{-E_i}{E} \sin(\alpha) \quad (2.26)$$

สำหรับออสซิลเลเตอร์จูนเดี่ยว (single tuned oscillator) ดังแสดงในรูปที่ 2.16 สามารถประมาณอย่างเชิงเส้นของการเปลี่ยนแปลงเฟสกับความถี่โดยความชันนั้น คือ $A = \frac{d\phi}{d\omega}$ トラบที่ความถี่ใกล้เคียงกับ ω_0 ดังนั้นความแตกต่างความถี่ระหว่าง E_g และ E นำไปคำนวณเฟสโดย

$$\phi = A(\omega - \omega_0) \quad (2.27)$$

เนื่องจากสัญญาณอินพุตที่ความถี่แตกต่างจากสัญญาณออสซิลเลเตอร์ ดังนั้น จะมีการสร้างความถี่ที่เกิดช่วงขณะสั้นๆ ซึ่งเป็นผลจากการกระทบของสัญญาณอินพุต $\Delta\omega$ ซึ่งถูกอธิบายโดยการเปลี่ยนแปลงเชิงมุมระหว่าง E และ E_i กับเวลานั้นคือ $\frac{d\alpha}{dt}$ จากสมการ 2.26 และ 2.27 จะได้ว่า

$$\Delta\omega = \frac{d\alpha}{dt} = \frac{-E_i}{EA} \sin(\alpha) + \Delta\omega_0 \quad (2.28)$$

ซึ่ง $\Delta\omega = \omega - \omega_i$ และ $\Delta\omega_0 = \omega_0 - \omega_i$

สมการที่ 2.28 สามารถเขียนใหม่เพื่อแสดงว่า ความถี่ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ (ω) จะถูกเลื่อนจากความถี่อิสระ (free-running frequency) ω_0 โดยเป็นจำนวนสัดส่วนกับค่าไซน์ของมุมเฟส (α) และแอมพลิจูดสัมพัทธ์ อัตราของสัญญาณอินพุตกับสัญญาณออสซิลเลเตอร์ ($\frac{E_i}{E}$) จะเกิดขึ้นขณะที่มีการล็อกกิ้ง

$$\omega = \frac{-E_i}{E} \sin(\alpha) + \omega_0 \quad (2.29)$$

สำหรับวงจรจูนเดี่ยวที่ทำงานใกล้โซแนนซ์ จะได้

$$\tan(\phi) = 2Q \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \quad (2.30)$$

และสำหรับ ϕ ที่มีค่าน้อยๆ จะได้

$$\phi \approx 2Q \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}$$

สมการนี้จะมีรูปแบบเหมือนกับสมการ 2.27 นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = \frac{2Q}{\omega_o} \quad (2.31)$$

แทนค่า A ลงในสมการ 2.28 และใช้การประมาณสำหรับค่ามุมน้อยๆ ในสมการ 2.31 มีผลให้ได้สมการที่ 2.27 ใหม่ คือ

$$\Delta\omega = \frac{d\alpha}{dt} = \frac{-E_i}{E} \frac{\omega_o}{2Q} \sin(\alpha) + \Delta\omega_o \quad (2.32)$$

สมการ 2.32 จะต้องเท่ากับศูนย์ สำหรับระบบที่เข้าใกล้สภาวะคงตัว มุมเฟสระหว่างสัญญาณออกสวิตเซอร์ และสัญญาณอินพุต เท่ากับ

$$\sin(\alpha) = 2Q \frac{E}{E_i} \left(\frac{\omega_o - \omega_i}{\omega_o} \right) \quad (2.33)$$

สมการ 2.33 นำตรงไปสู่เงื่อนไขสำหรับการชิงโครไนซ์ เนื่องจากทางด้านขวาของสมการถูกจำกัดโดย ± 1 ดังนั้น เงื่อนไขสำหรับการชิงโครไนซ์ คือ

$$\frac{E_i}{E} > 2Q \left| \frac{\omega_o - \omega_i}{\omega_o} \right| \quad (2.34)$$

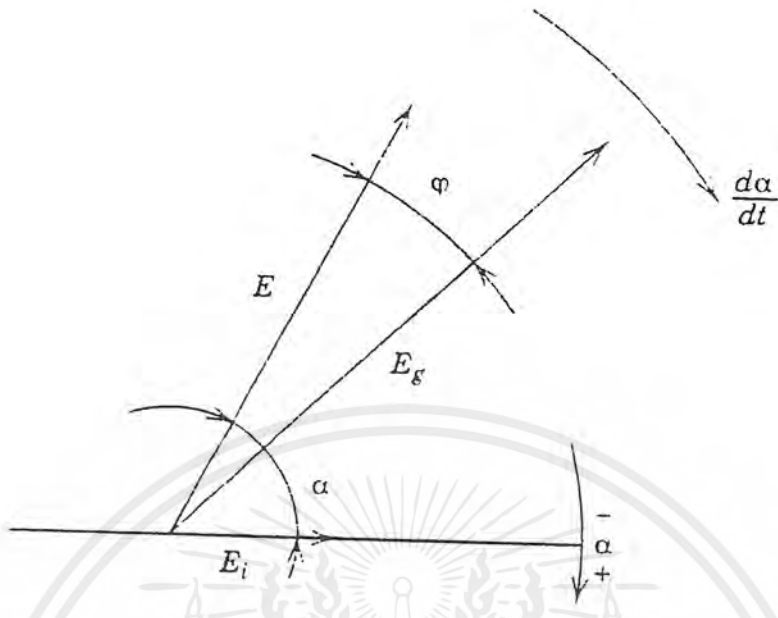
จุดที่น่าสนใจเป็นพิเศษ คือ แบนด์วิดท์ที่ล็อกกิ้ง (BW_L) ซึ่งจำเป็นต่อการหาช่วงความถี่สูงสุด $\Delta\omega_{\max}$ ที่ยังคงไว้ซึ่งการชิงโครไนซ์ ทราบว่า การเปลี่ยนแปลงเฟสกับความถี่ยังให้ความชันใกล้ ω_o แบนด์วิดท์ที่ล็อกกิ้งสองข้าง จากสมการที่ 2.28 จะได้ว่า

$$BW_L = 2\Delta\omega_{\max} = \frac{\omega_o}{Q} \frac{E_i}{E} \quad (2.35a)$$

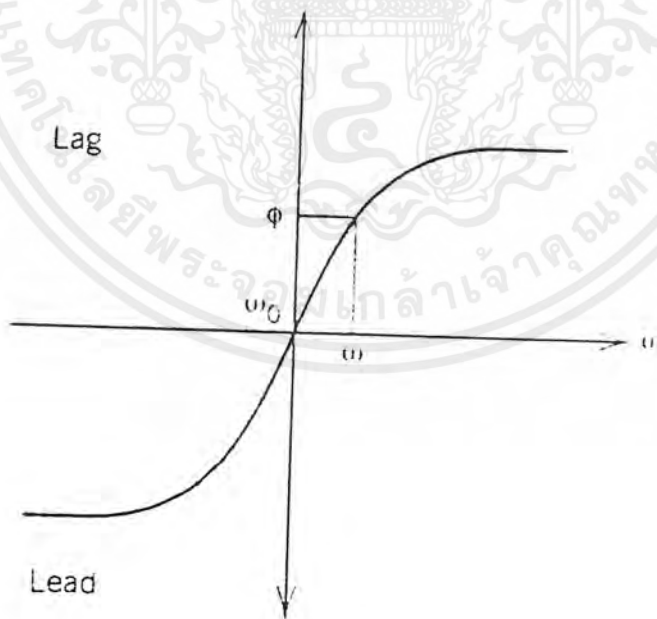
เขียนในเทอมของกำลังงานจะได้ว่า

$$\frac{\Delta f_{\max}}{f_o} = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{P_i}{P}} \quad (2.25b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ไคอะแกรมของแรงดัน



รูปที่ 2.16 เฟส กับความถี่สำหรับวงจรถุนทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

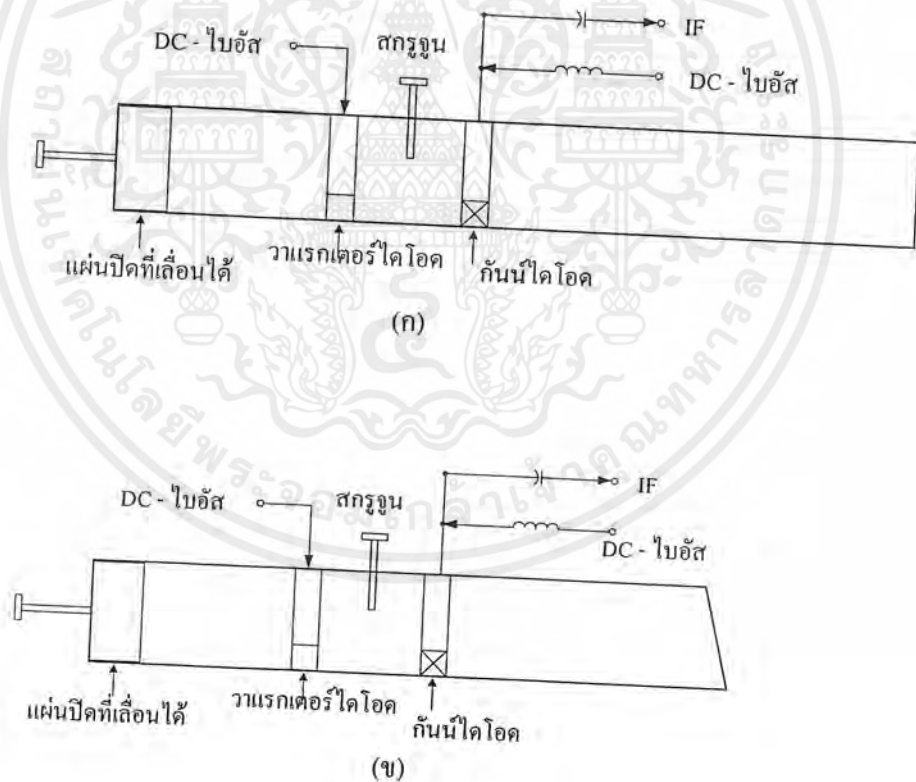
บทที่ 3

การคำนวณและการสร้างสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ทรงกลม

3.1 โครงสร้างของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ทรงกลมที่ผสมสัญญาณในตัวเอง

สายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ทรงกลมที่ผสมสัญญาณในตัวเองนี้เป็นการนำสายอากาศแอกทีฟที่เป็นท่อนำคลื่นที่มีอุปกรณ์แอกทีฟคือกั้นไดโอดและอุปกรณ์โซลิตสเตทที่ใช้ในการปรับความถี่ทางอิเล็กทรอนิกส์คือวาแรกเตอร์ไดโอดอยู่ภายใน โดยมีสกรูจูนช่วยในการปรับเปลี่ยนอิมพีแดนซ์อย่างหยาบ จำนวน 6 องค์ประกอบมาประกอบรวมกันเป็นสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ทรงกลมที่ผสมสัญญาณในตัวเอง ซึ่งในแต่ละองค์ประกอบนี้มีองค์ประกอบ 1 องค์ประกอบที่ปลายเปิดของท่อนำคลื่นตัดตรงเสมอเท่ากัน และในอีก 5 องค์ประกอบที่ปลายเปิดของท่อนำคลื่นตัดเฉียงทำมุม 15 องศา

3.1.1 โครงสร้างของสายอากาศแอกทีฟองค์ประกอบเดียว



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศแอกทีฟท่อนำคลื่นจำนวน 1 องค์ประกอบ

(ก) ท่อนำคลื่นที่ปลายเปิดตัดตรงเสมอเท่ากัน

(ข) ท่อนำคลื่นที่ปลายเปิดตัดเฉียงทำมุม 15 องศา

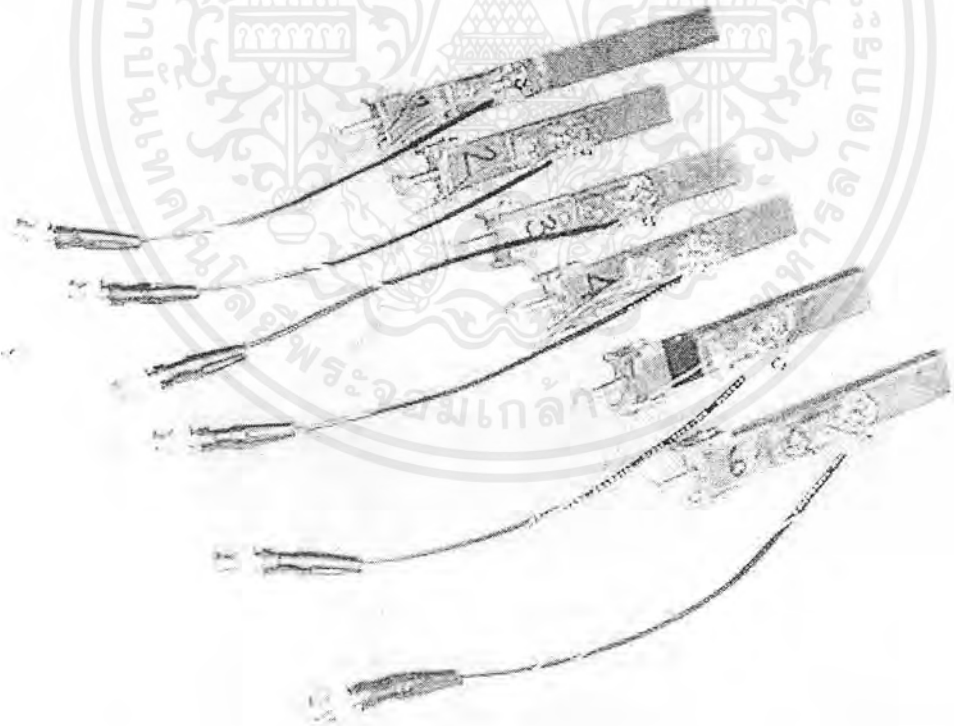
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศแอกทีฟองค์ประกอบเดียว มีส่วนประกอบ ดังนี้

1. อุปกรณ์แอกทีฟทำหน้าที่เป็นออสซิลเลเตอร์ที่ผสมสัญญาณในตัวเอง (กันนำไดโอด)
2. อุปกรณ์ปรับเปลี่ยนอิมพีแดนซ์อย่างหยาบ (สกรูจูน)
3. อุปกรณ์ปรับเปลี่ยนอิมพีแดนซ์อย่างละเอียด (วาแรกเตอร์ไดโอด)
4. รีโซเนเตอร์ (ท่อนำคลื่น) ปากเปิดหนึ่งข้าง

ในการออกแบบสายอากาศให้เป็นไปตามเงื่อนไขการออสซิลเลต ควรคำนึงถึงเงื่อนไขการออสซิลเลตในหัวข้อ 2.3 ด้วย และความถี่ในการออสซิลเลต คือ 10.5 กิกะเฮิร์ตซ์ ในทางปฏิบัติเพื่อให้ออสซิลเลเตอร์ผลิตความถี่ที่ต้องการ กันนำไดโอดและวาแรกเตอร์ไดโอดจะถูกป้อนสัญญาณไฟกระแสตรง (DC bias) และมีตัวเก็บประจุต่อกับกันนำไดโอดเพื่อกันไม่ให้สัญญาณไฟกระแสตรงผ่าน เพื่อให้สัญญาณความถี่ย่านกลางผ่านออกมาเพียงอย่างเดียว

โครงสร้างของสายอากาศแอกทีฟที่ท่อนำคลื่นที่ปลายเปิดตัดตรงเสมอกันซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.1(ก) และโครงสร้างของสายอากาศแอกทีฟที่ท่อนำคลื่นที่ปลายเปิดตัดเฉียงทำมุม 15 องศา ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.1 (ข) และรูปที่ 3.2 แสดงสายอากาศแอกทีฟจริงแต่ละองค์ประกอบ



รูปที่ 3.2 สายอากาศแอกทีฟแต่ละองค์ประกอบที่สร้างจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ขนาดของท่อนำคลื่น

ในการกำหนดขนาดของท่อนำคลื่นที่จะนำมาใช้ ต้องคำนึงถึงความถี่คutoff (cut off frequency) ของท่อนำคลื่นนี้ ๆ ด้วย โดยที่ความถี่คutoffนั้นหาได้จาก

$$f_{c, nm} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{b}\right)^2} \quad \begin{array}{l} m = 0, 1, 2 \\ n = 0, 1, 2 \\ m = n \neq 0 \end{array} \quad (3.1)$$

โดยที่ $f_{c, nm}$ คือ ความถี่คutoffของคลื่นโหมด TE_{nm}

μ คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็กได้ของตัวกลาง (permeability of medium)

ϵ คือ ค่าสภาพยอมของตัวกลาง (permittivity of medium)

a คือ ความกว้างของท่อนำคลื่น

b คือ ความสูงของท่อนำคลื่น ($a > b$)

โดยทั่วไป โหมดที่มีความถี่คutoffน้อยสุดจะหมายถึง โดมินันท์โหมด (dominant mode) ดังนั้น สำหรับท่อนำคลื่นที่มี $a > b$ โดมินันท์โหมดก็คือโหมด TE_{10} นั่นเอง และให้คลื่นเดินทางในฟรีสเปซ (free space) จะทำให้ได้สมการข้างต้นเป็น

$$f_{c, 10} = \frac{1}{2a\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \quad (3.2)$$

โดยที่ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ เฮนรีต่อเมตร

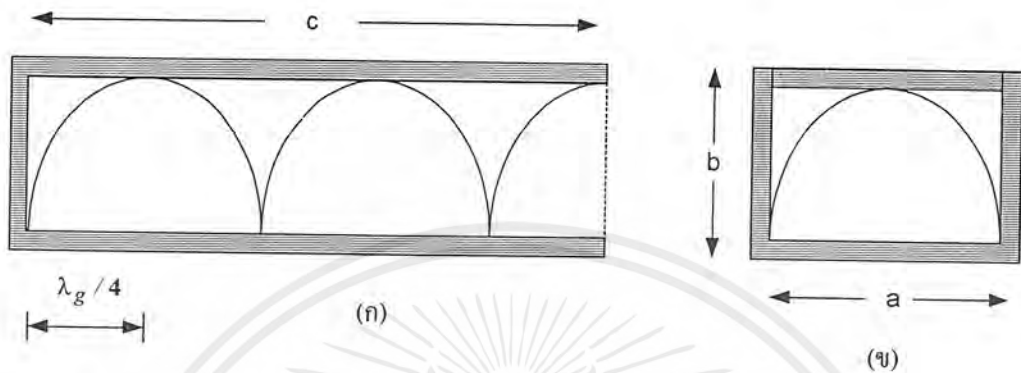
$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ ฟารัดต่อเมตร

ดังนั้นท่อนำคลื่นที่นำมาสร้างเป็นส่วนประกอบของสายอากาศมีความกว้างของท่อนำคลื่นเท่ากับ 1.6 เซนติเมตรและมีความสูงเท่ากับ 0.7 เซนติเมตร จะมีความถี่คutoffสำหรับท่อนำคลื่นนี้ คือ 9.38 กิกะเฮิร์ตซ์ จึงสรุปได้ว่าท่อนำคลื่นนี้สามารถใช้ได้สำหรับสายอากาศที่ใช้รับความถี่ 10.8 กิกะเฮิร์ตซ์และความถี่ของโลคัล ออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 10.5 กิกะเฮิร์ตซ์

3.1.3 ตำแหน่งของก้านนำไดโอด สกรูจูน และวาระกเตอร์ไดโอด

ในการวางตำแหน่งของก้านนำไดโอด จะเลือกตำแหน่งที่เกิดค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดในท่อนำคลื่น คลื่นที่

เดินทางในท่อนำคลื่นคือ TE_{10} ดังนั้นตำแหน่งที่จะเกิดค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดจะอยู่ห่างจากปลายปิดเป็นจำนวนเท่าของ $\lambda_g/4$ และตำแหน่งกึ่งกลางตามยาวของท่อ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

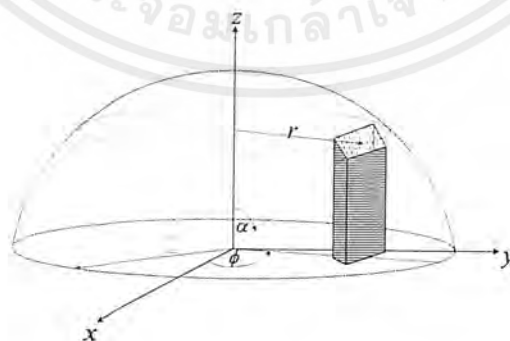


รูปที่ 3.3 ตำแหน่งที่เกิดค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดในท่อนำคลื่น

- ก) มองด้านข้างของท่อนำคลื่น
- ข) มองตรงเข้าไปในท่อนำคลื่น

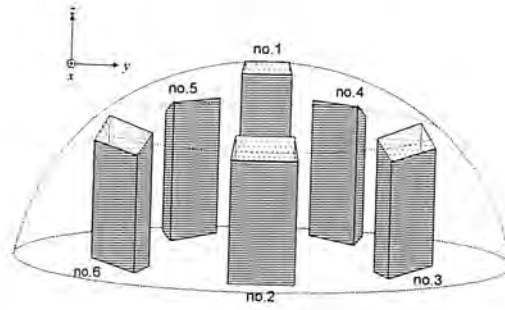
3.1.4 สายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ทรงกลมที่ผสมสัญญาณในตัวเอง

สายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ทรงกลมที่ผสมสัญญาณในตัวเองเป็นการนำสายอากาศแอกทีฟที่เป็นท่อนำคลื่นปลายเปิดด้านหนึ่งตั้งที่ใดก็ได้ไว้เบื้องต้นทั้ง 6 องค์ประกอบมาประกอบรวมกันเป็นแถวลำดับทรงกลม ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5

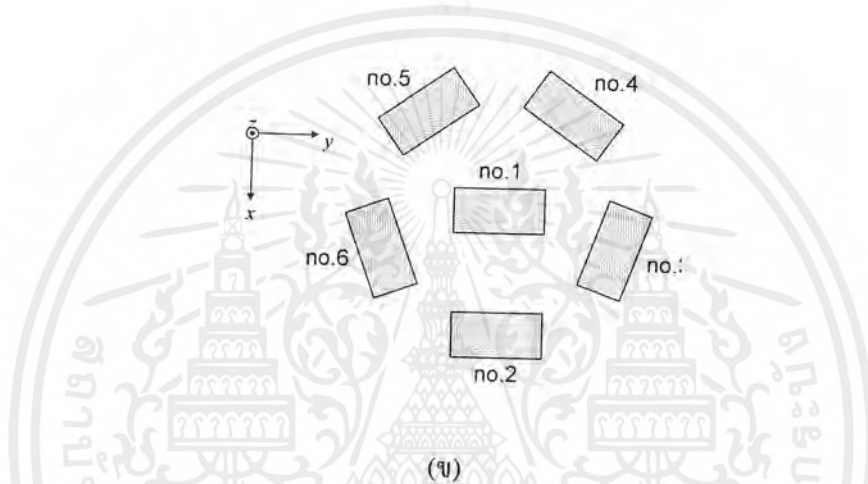


รูปที่ 3.4 รูปทรงเรขาคณิตของอาร์เรย์ทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.5 โครงสร้างของสายอากาศแอคทีฟอาร์เรย์ทรงกลมที่ผสมสัญญาณในตัวเอง
(ก) ภาพด้านหน้า (ข) ภาพด้านบน

จากงานวิจัย [9] ได้ทำการศึกษาว่าจำนวนและตำแหน่งการจัดวางขององค์ประกอบของอาร์เรย์ทรงกลมจะต้องถูกออกแบบอย่างเหมาะสม เพื่อการรักษารูปแบบของการกระจายคลื่นให้มีรูปแบบที่คงที่แม้ว่าจะทำการกวาดลำบีมคลื่นไปยังตำแหน่งใด ๆ จากรูปที่ 3.4 ในการออกแบบได้กำหนดมุมบนพื้นผิวทรงกลม (α) เท่ากับ 15 องศา และจำนวนองค์ประกอบที่เหมาะสมเท่ากับ 6 องค์ประกอบ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.5 และระยะห่างเฉลี่ยแต่ละองค์ประกอบที่เหมาะสม คือ

$$s \approx 0.3 \alpha \quad (3.3)$$

โดยที่ s คือระยะห่างโดยเฉลี่ยในแต่ละองค์ประกอบ

α คือรัศมีของทรงกลม

ณ ตำแหน่งมุม α เท่ากับ 15 องศา จะมีความยาวเส้นรอบวง (l) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$l = 2\pi r \quad (3.4)$$

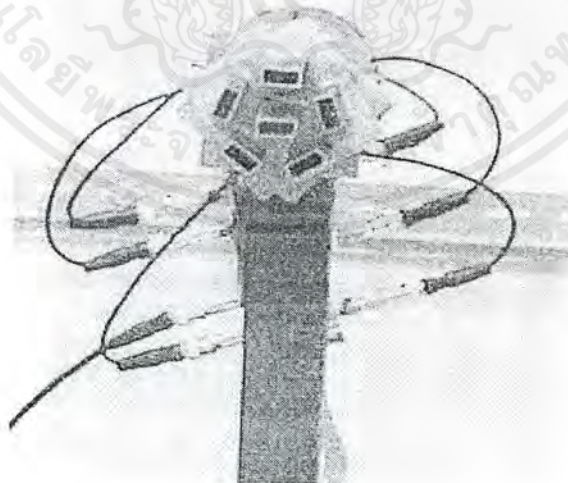
และ

$$r = a \sin(\alpha) \quad (3.5)$$

ดังนั้นจะได้ระยะห่างเฉลี่ยแต่ละองค์ประกอบมีค่าเท่ากับ $l/5$ สำหรับองค์ประกอบที่ 2 ถึง 6 และมีค่าเท่ากับรัศมีทรงกลม (r) สำหรับองค์ประกอบที่ 6 เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องความถี่และขนาดของท่อนำคลื่นปลายเปิดทำให้สามารถกำหนด r เท่ากับ 2.3 เซนติเมตร สามารถหารรัศมีทรงกลมได้เท่ากับ 8.89 เซนติเมตร ดังนั้นจึงได้ระยะห่างโดยเฉลี่ยแต่ละองค์ประกอบเท่ากับ 2.67 เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าความยาวคลื่น (ความยาวคลื่นเท่ากับ 2.78 เซนติเมตร) และรูปที่ 3.6 แสดงสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ที่สร้างจริง

No.	α	ϕ
1	0°	0°
2	15°	0°
3	15°	72°
4	15°	144°
5	15°	216°
6	15°	288°

ตารางที่ 3.1 ตำแหน่งของแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์



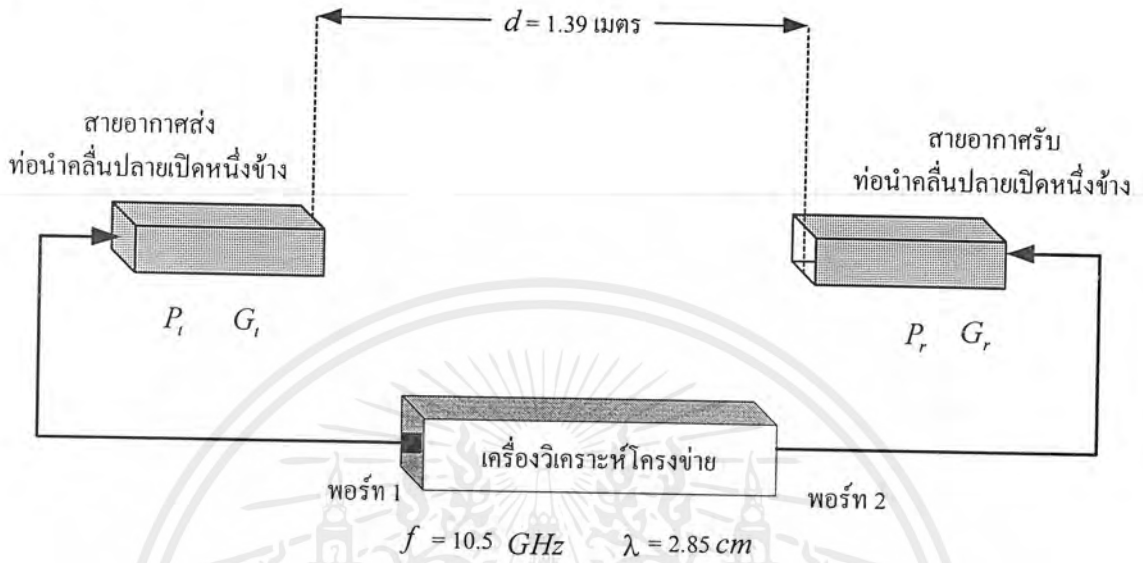
รูปที่ 3.6 สายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

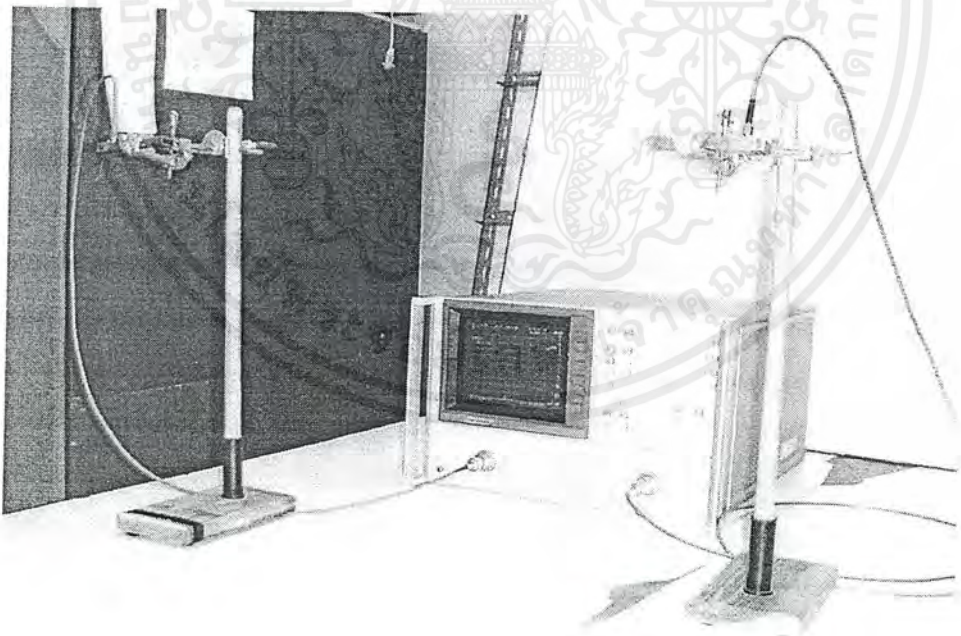
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การวัดเกณฑ์ของสายอากาศอ้างอิง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 การวัดเกณฑ์ของสายอากาศอ้างอิง

(ก) บล็อกไดอะแกรม

(ข) การจัดเครื่องมือวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. ขั้นตอนการทดลอง

1. ปรับให้สายอากาศอ้างอิงมีอิมพีแดนซ์แมทซ์กันมากที่สุด
2. จัดตั้งอุปกรณ์ในการวัดดังรูปที่ 4.1
3. กำหนดคุณสมบัติของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (8720C Hewlett Packard) ดังนี้
 - เลือกใช้โหมด S_{21}
 - ความถี่ศูนย์กลางที่ 10.5 กิกะเฮิรตซ์ ช่วงความถี่ที่แสดงผลบนจอ 100 เมกะเฮิรตซ์
 - กำลังที่พอร์ทส่ง 10 dBm
 - เลือกสเกล log magnitude
4. อ่านค่ากำลังที่รับได้ ณ. สายอากาศรับเทียบกับกำลังส่ง ณ. สายอากาศส่ง ค่าที่อ่านได้อยู่ในหน่วย dB
5. นำค่าที่อ่านได้มาคำนวณหาเกนโดยใช้สมการการส่งคลื่นของฟรีส

ข. ผลการทดลอง

จากสมการการส่งคลื่นของฟรีส (Friis transmission equation) ในกรณีที่เป็นสายอากาศที่โพลาไรเซชันแมทซ์ (polarization matching) และหันสายอากาศให้ส่งและรับได้แรงที่สุด แสดงได้ดังนี้

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_t G_r \quad (4.1)$$

โดยที่	P_r	คือ กำลังรับของสายอากาศรับ (วัตต์)
	P_t	คือ กำลังส่งของสายอากาศส่ง (วัตต์)
	λ	คือ ความยาวคลื่น (เมตร)
	d	คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่ง-รับ (เมตร)
	G_r	คือ เกนของสายอากาศรับ
	G_t	คือ เกนของสายอากาศส่ง

ทำให้อยู่ในรูปของเดซิเบลได้ คือ

$$[P_r]_{dB} - [P_t]_{dB} = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) + [G_t]_{dB} + [G_r]_{dB} \quad (4.2)$$

ให้สายอากาศอ้างอิงตัวที่ 1 และ 2 มีความเหมือนกันทุกประการ จะได้ว่า

$$G_t = G_r = G \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) จะทำการแคลิเบรท (Calibrate) สายส่งจนถึงตัวสายอากาศทั้งของพอร์ท 1 และพอร์ท 2 ความถี่ที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ 10.5 กิกะเฮิร์ตซ์ สายอากาศอ้างอิงทั้งสองวางห่างกัน 1.39 เมตร วัดโดยใช้พอร์ท 1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเป็นพอร์ทส่ง และใช้พอร์ท 2 เป็นพอร์ทรับ นั่นคือทำการวัดแบบ S_{21} จะได้ค่าความแตกต่างระหว่างกำลังทางด้านรับและกำลังทางด้านส่งเท่ากับ -44.726 dB ดังแสดงในรูปที่ 4.2 จากสมการ (4.2) และ (4.3) สามารถคำนวณหาเกนของสายอากาศอ้างอิงได้ คือ

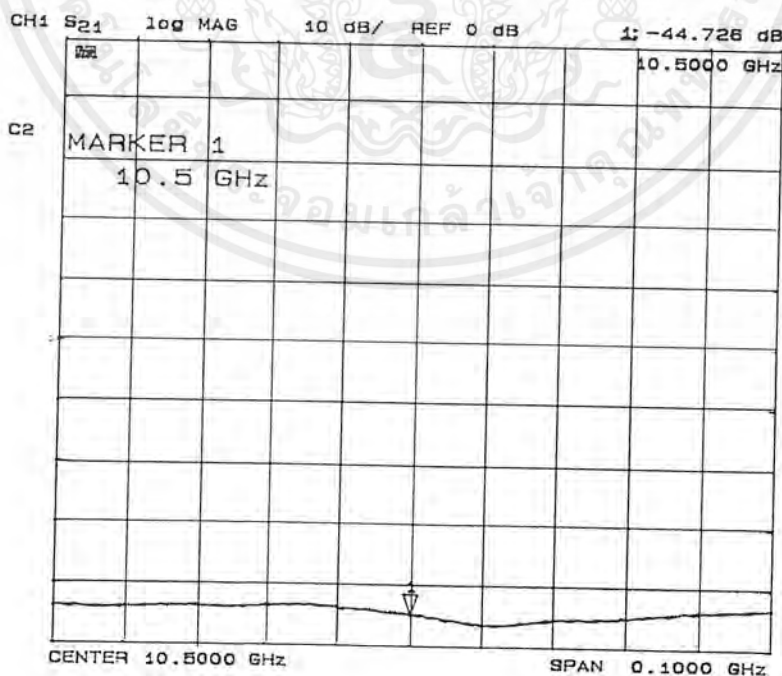
$$2[G]dB = [P_r]dB - [P_t]dB - 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) \quad (4.4)$$

โดยที่ λ ณ. ความถี่ 10.5 กิกะเฮิร์ตซ์เท่ากับ 2.857 เซนติเมตร
 d ระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ 1.39 เมตร

จะได้เกนของสายอากาศอ้างอิงเท่ากับ

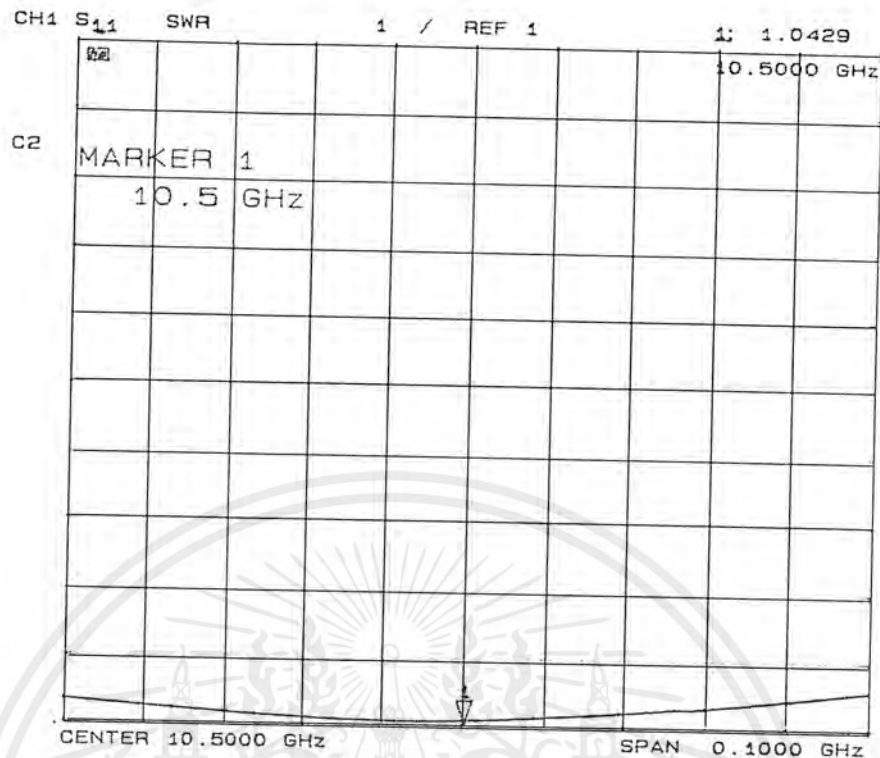
$$G = 5.5 \text{ dBi}$$

ดังนั้นสายอากาศอ้างอิงแต่ละตัวจะมีอัตราขยายเท่ากับ 5.5 dBi และจากการวัดสายอากาศอ้างอิงที่สร้างขึ้นมาได้ค่า SWR (standing wave ratio) เท่ากับ 1: 1.0429 ดังผลที่แสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 ค่ากำลังด้านรับเทียบกับด้านส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 SWR ของสายอากาศอ้างอิง

4.2 การวัดช่วงการปรับไบอัสของกัมมันต์ไดโอดและวาเรกเตอร์



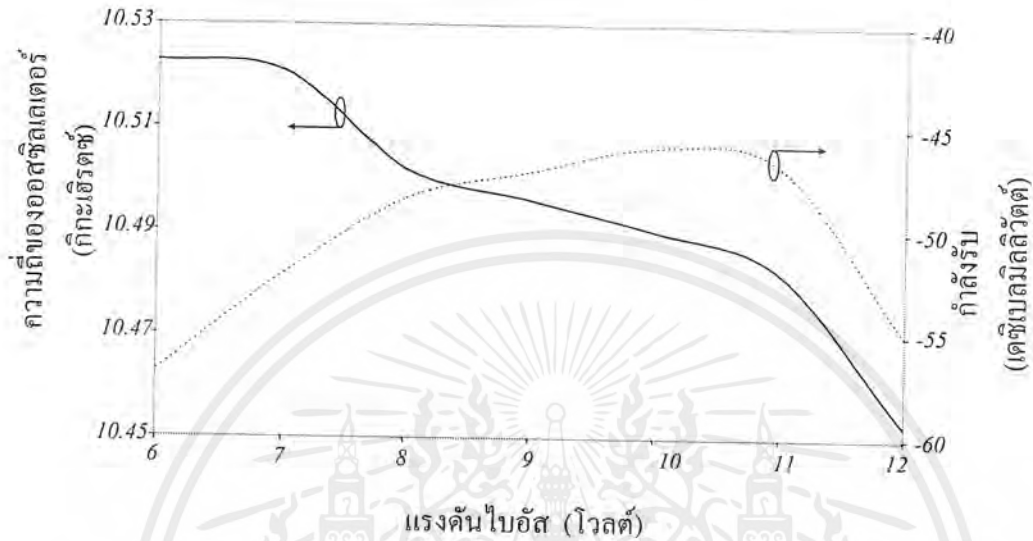
รูปที่ 4.4 บล็อกไดอะแกรมการวัดช่วงการปรับไบอัสของกัมมันต์ไดโอด

ขั้นตอนการทดสอบและผล

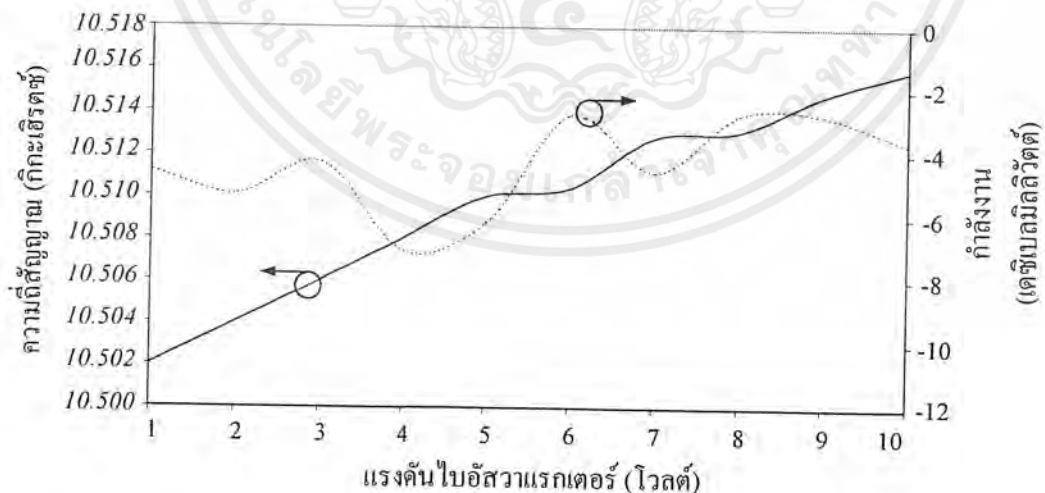
1. แหล่งกำเนิดไฟตรงจะไบอัสกระแสไฟตรงให้แก่กัมมันต์ไดโอด เพื่อทำหน้าที่เป็นออสซิลเลเตอร์ ผลิตความถี่ซึ่งจะสัมพันธ์กับแรงดันที่ไบอัส สายอากาศแอกทีฟจะทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่ง
2. สายอากาศอ้างอิงจะรับสัญญาณความถี่ที่ถูกออสซิลเลตจากสายอากาศแอกทีฟ แล้วอ่านค่ากำลังงานที่รับได้โดยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ไบอัส ความถี่ที่ออกซิลเลตและกำลังงานที่รับได้ ณ ความถี่นั้น ดังรูปที่ 4.5 แสดงถึงประสิทธิภาพช่วงการปรับไบอัสขององค์ประกอบตัวที่ 6 และจากรูปที่ 4.6 แสดงถึงคุณลักษณะของวาแรกเตอร์ระหว่างแรงดันที่ไบอัส ความถี่ของสัญญาณ และกำลังงาน



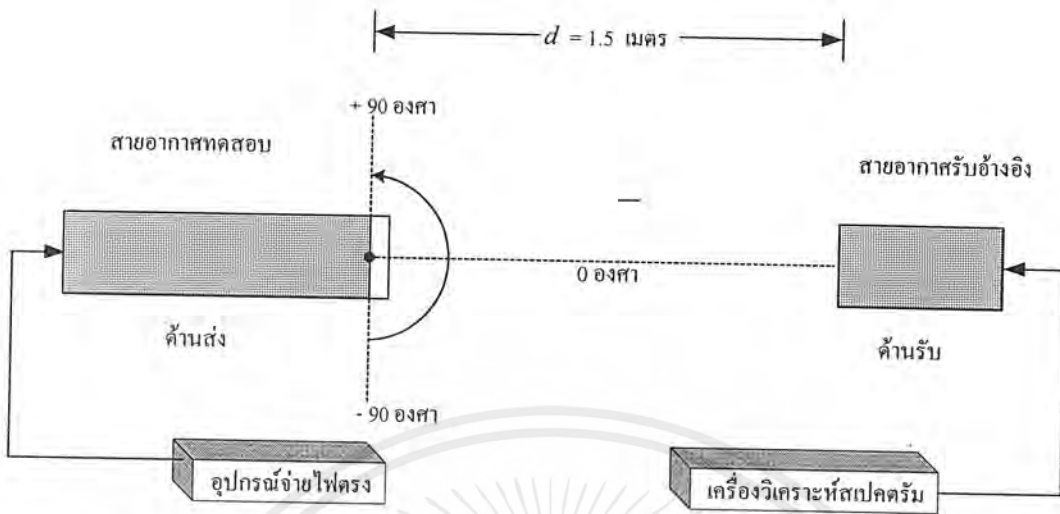
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ไบอัสกับความถี่ และกำลังงานที่ผลิตของกันนำโคโอด



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ไบอัส ความถี่สัญญาณ และกำลังงานของวาแรกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

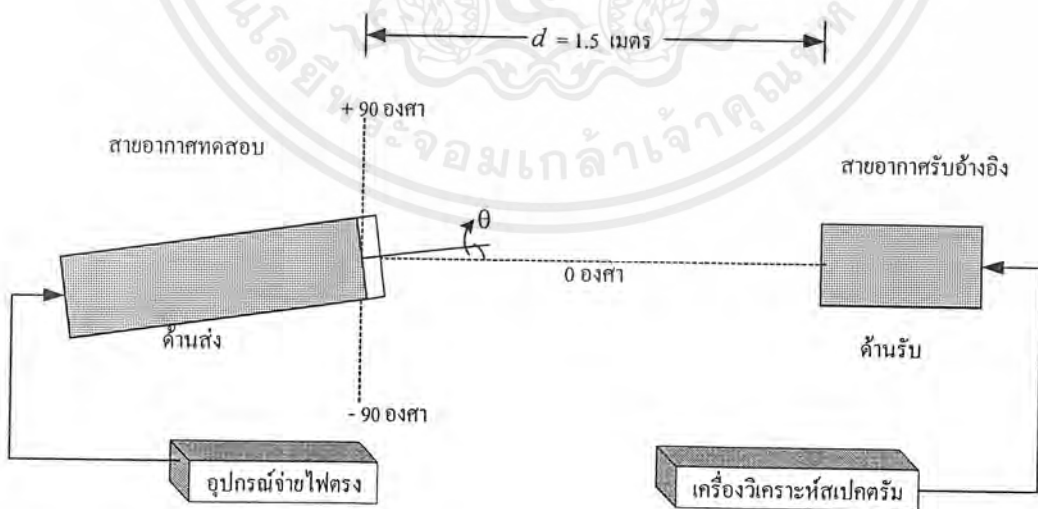
4.3 การวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแอกทีฟเดี่ยว



รูปที่ 4.7 การวัดแบบรูปการกระจายคลื่น เมื่อสายอากาศแอกทีฟอยู่ ณ ตำแหน่ง 0 องศา

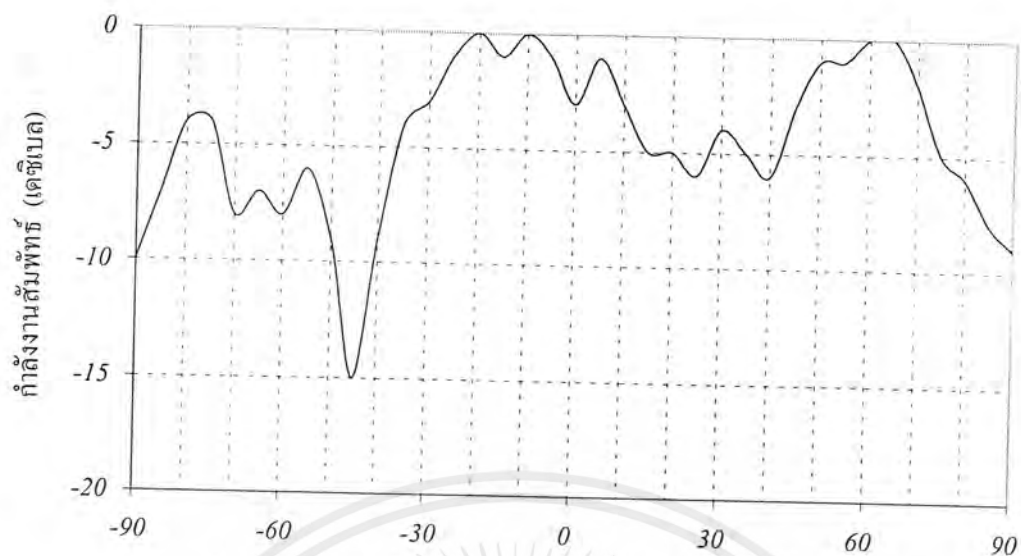
ก. ขั้นตอนการทดลอง

1. จัดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.7
2. จ่ายแรงดันไบอัสให้แก่กำเนิดไอโอดผลิตความถี่ที่ 10.5 กิโลเฮิร์ตซ์
3. อ่านและบันทึกค่ากำลังทางด้านรับ เมื่อสายอากาศแอกทีฟกวาดไปที่ละตำแหน่ง ๆ ละ 5 องศา จาก +90 องศา ถึง -90 องศา
4. นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟซึ่งแสดงผลได้ดังรูปที่ 4.9

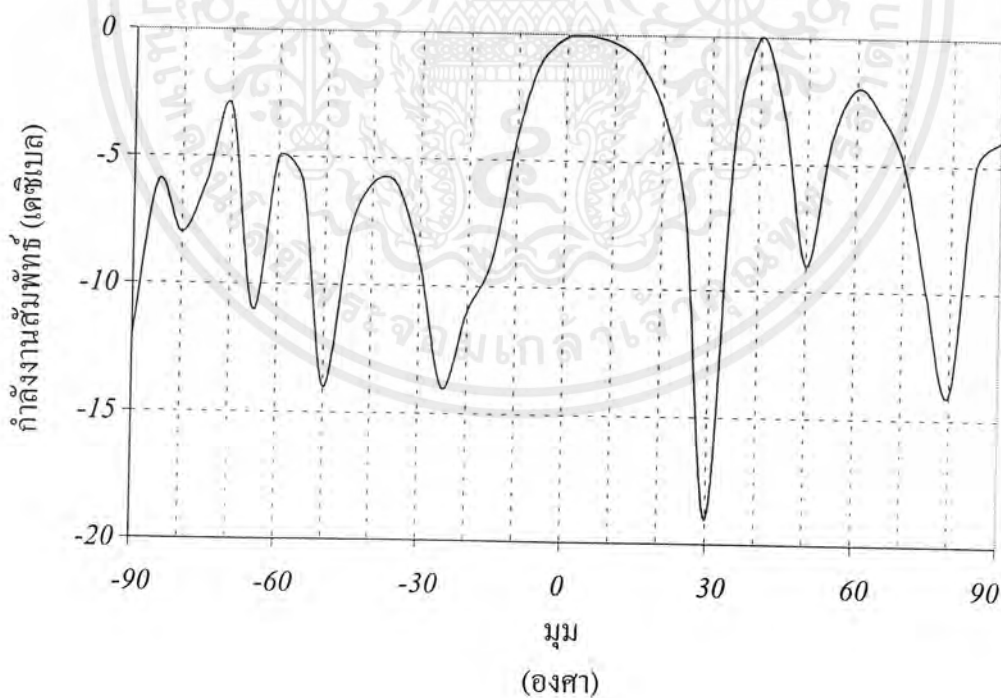


รูปที่ 4.8 การวัดแบบรูปการกระจายคลื่น เมื่อสายอากาศแอกทีฟอยู่ ณ ตำแหน่ง θ องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

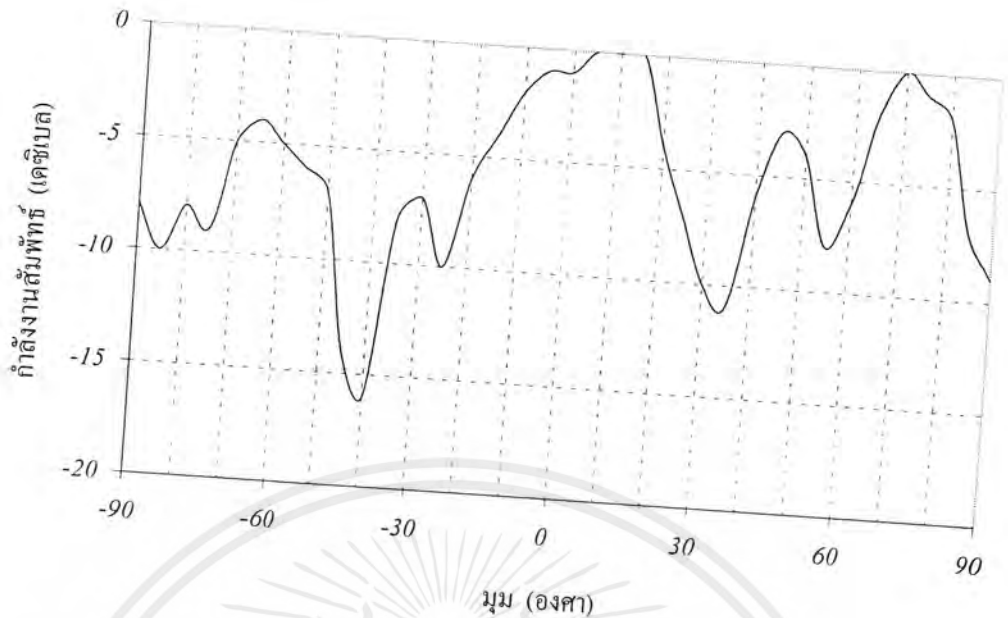


(a) องค์ประกอบที่ 1

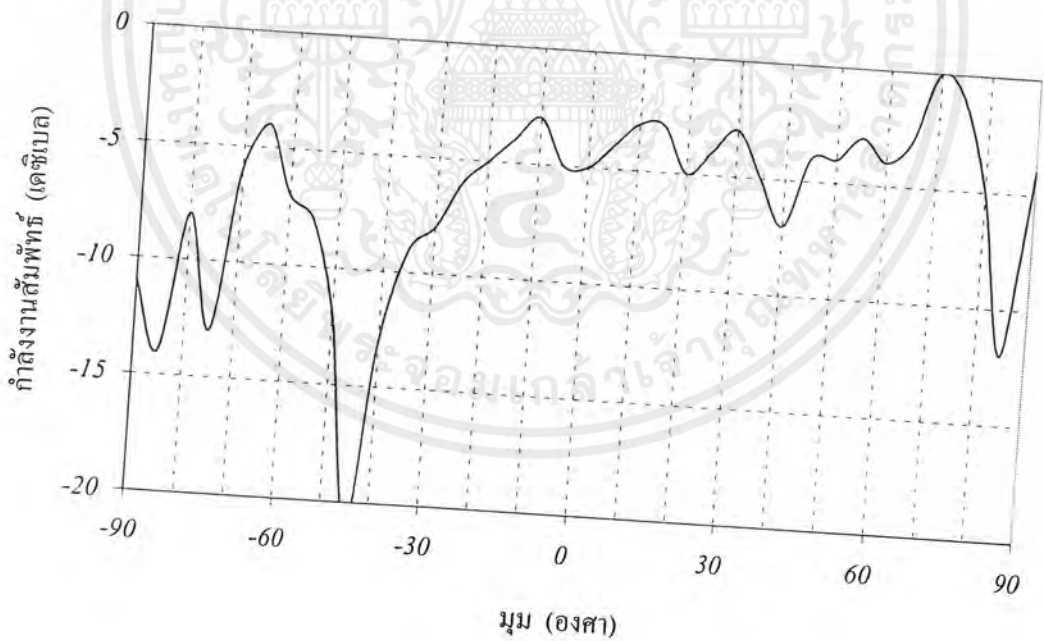


(b) องค์ประกอบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

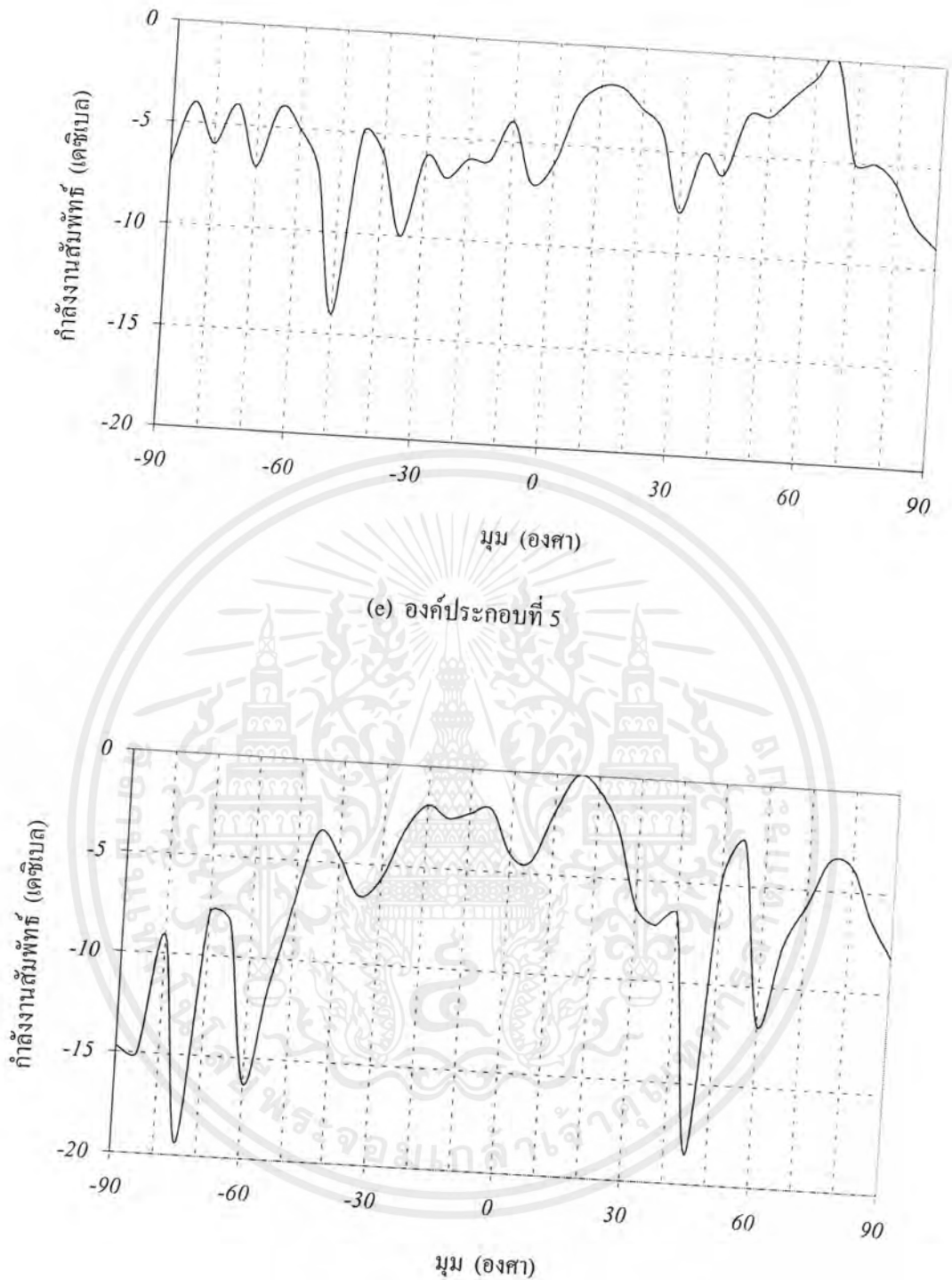


(c) องค์ประกอบที่ 3



(d) องค์ประกอบที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



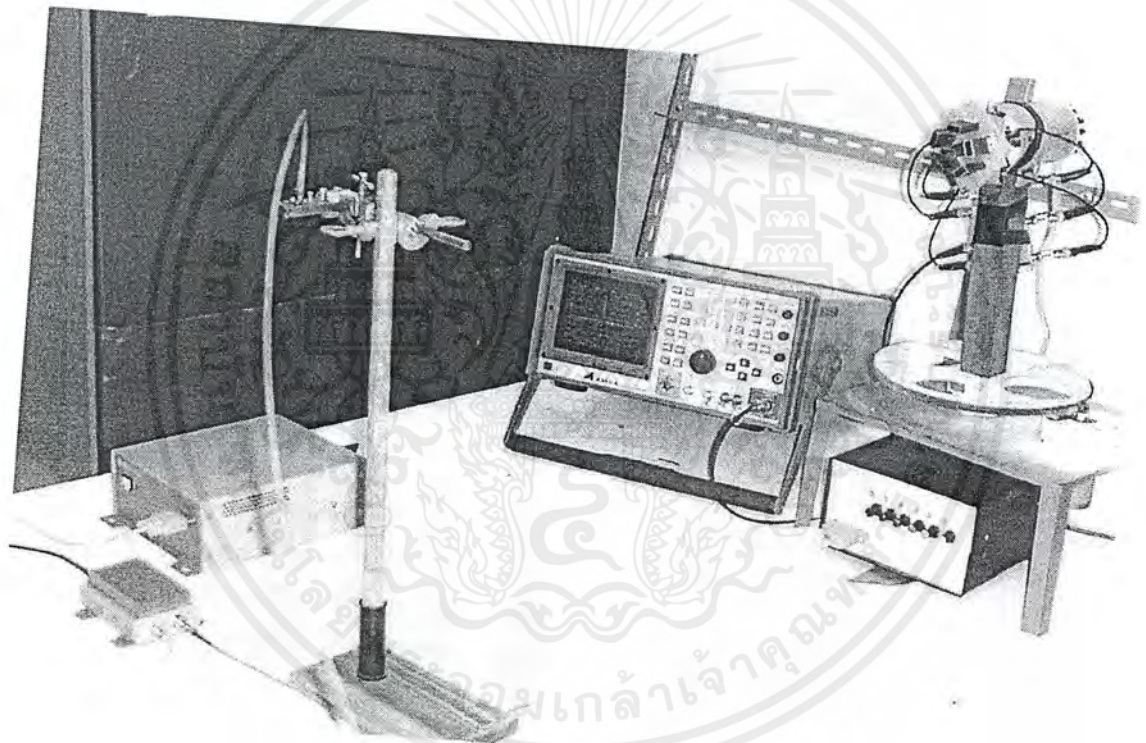
รูปที่ 4.9 แบบรูปการกระจายคลื่นขององค์ประกอบเดี่ยว

- | | |
|---------------------|---------------------|
| (a) องค์ประกอบที่ 1 | (b) องค์ประกอบที่ 2 |
| (c) องค์ประกอบที่ 3 | (d) องค์ประกอบที่ 4 |
| (e) องค์ประกอบที่ 5 | (f) องค์ประกอบที่ 6 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

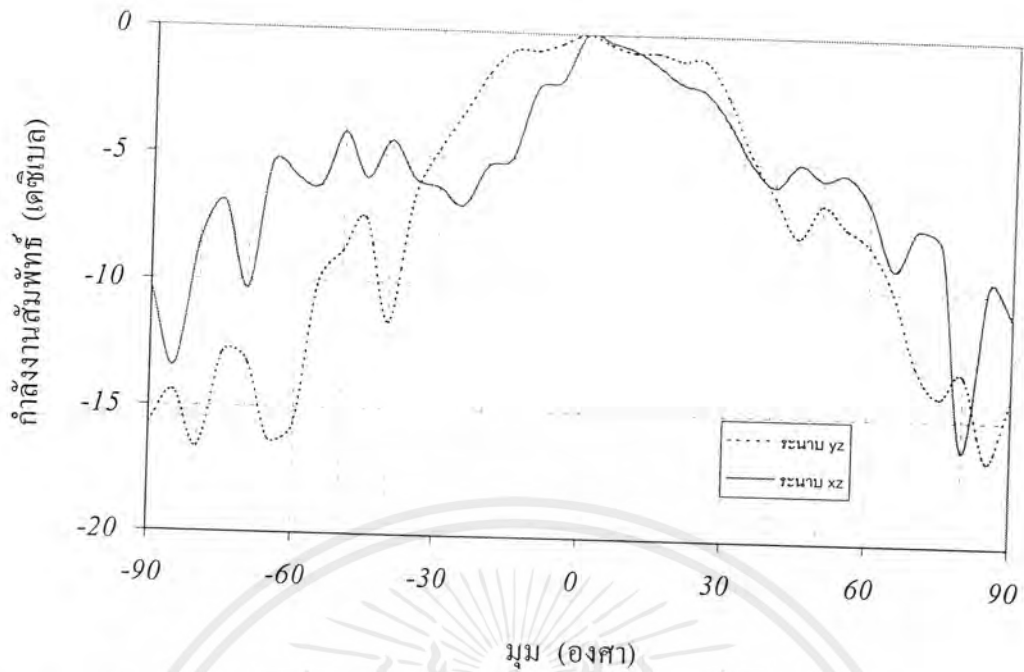
0	10.5019	10.5012	10.4988	10.4996	10.501	10.505
-5	10.5012	10.502	10.504	10.5019	10.5033	10.497
-10	10.5033	10.502	10.5023	10.5027	10.5025	10.5022
-15	10.5027	10.5018	10.5027	10.5006	10.5016	10.5012
-20	10.502	10.5014	10.5026	10.5008	10.5025	10.5013
-25	10.5023	10.5021	10.5027	10.5022	10.5024	10.5024

ตารางที่ 4.1 ความถี่ของแต่ละองค์ประกอบเพื่อการปรับเปลี่ยนตำแหน่งลำคลื่นสูงสุด

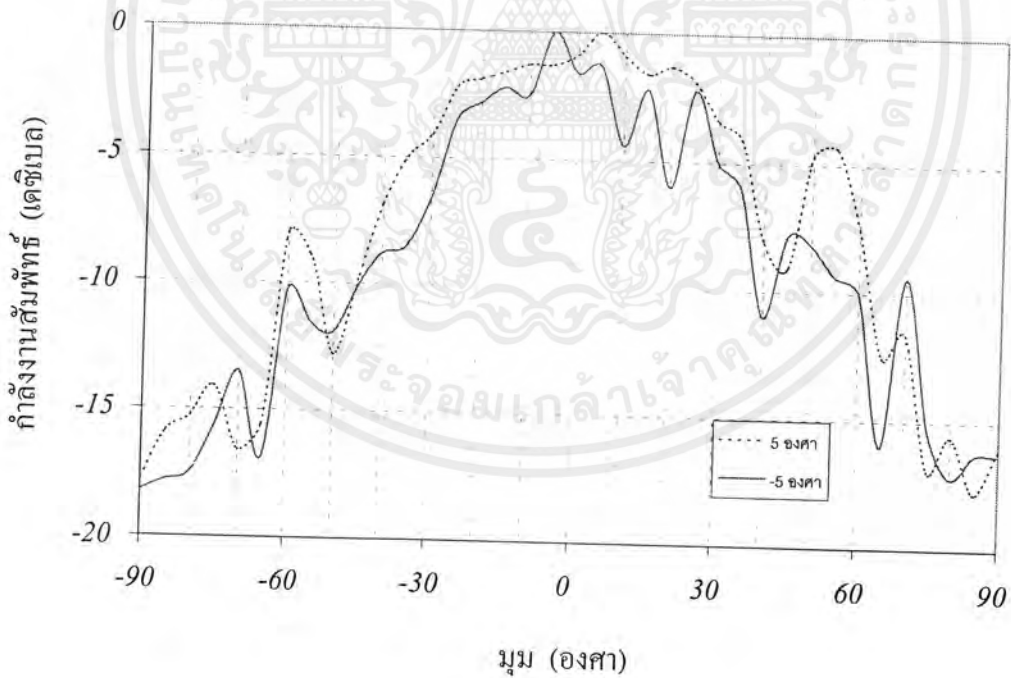


รูปที่ 4.11 การจัดเครื่องมือเพื่อวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเอททิฟอาร์เรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

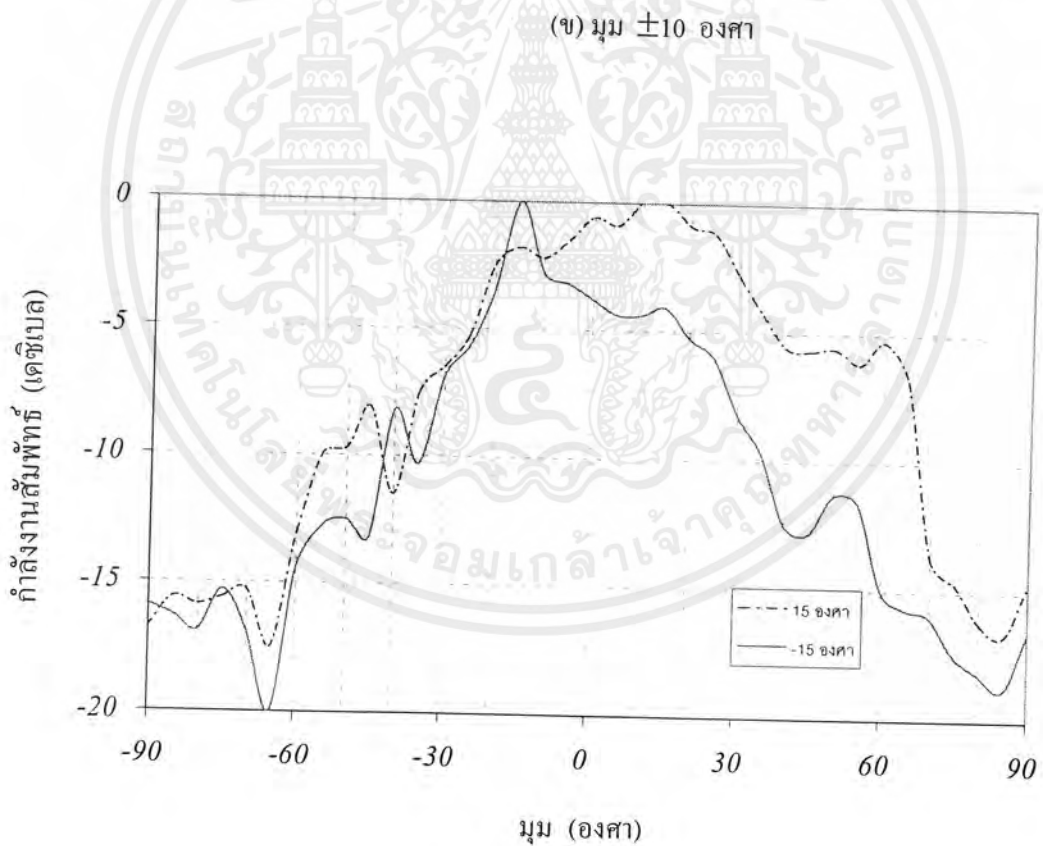
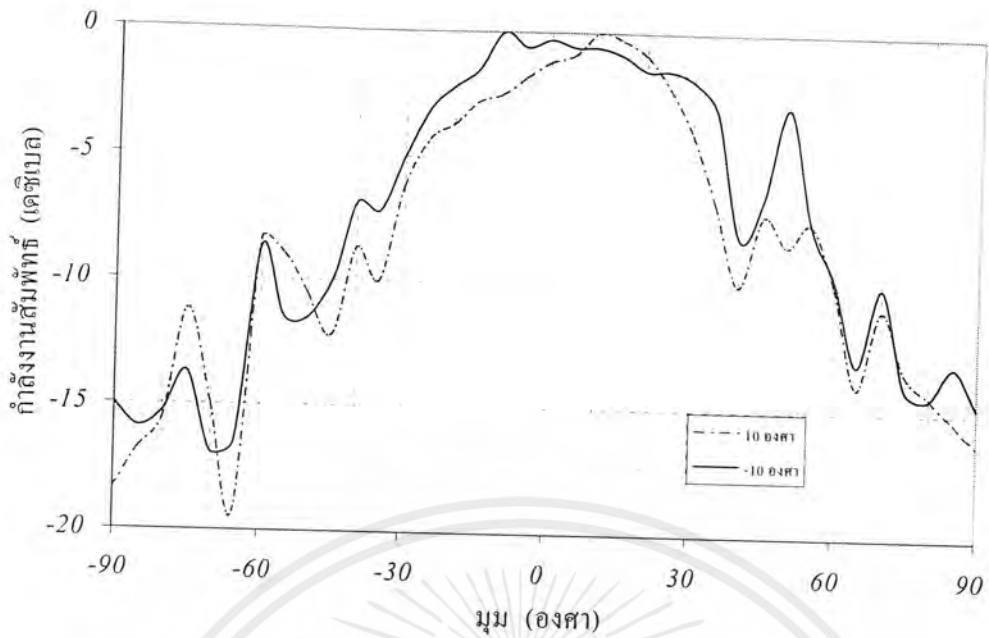


รูปที่ 4.12 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ณ ตำแหน่งลำคลื่นสูงสุดที่มุม 0 องศา ในระนาบ yz และ xz



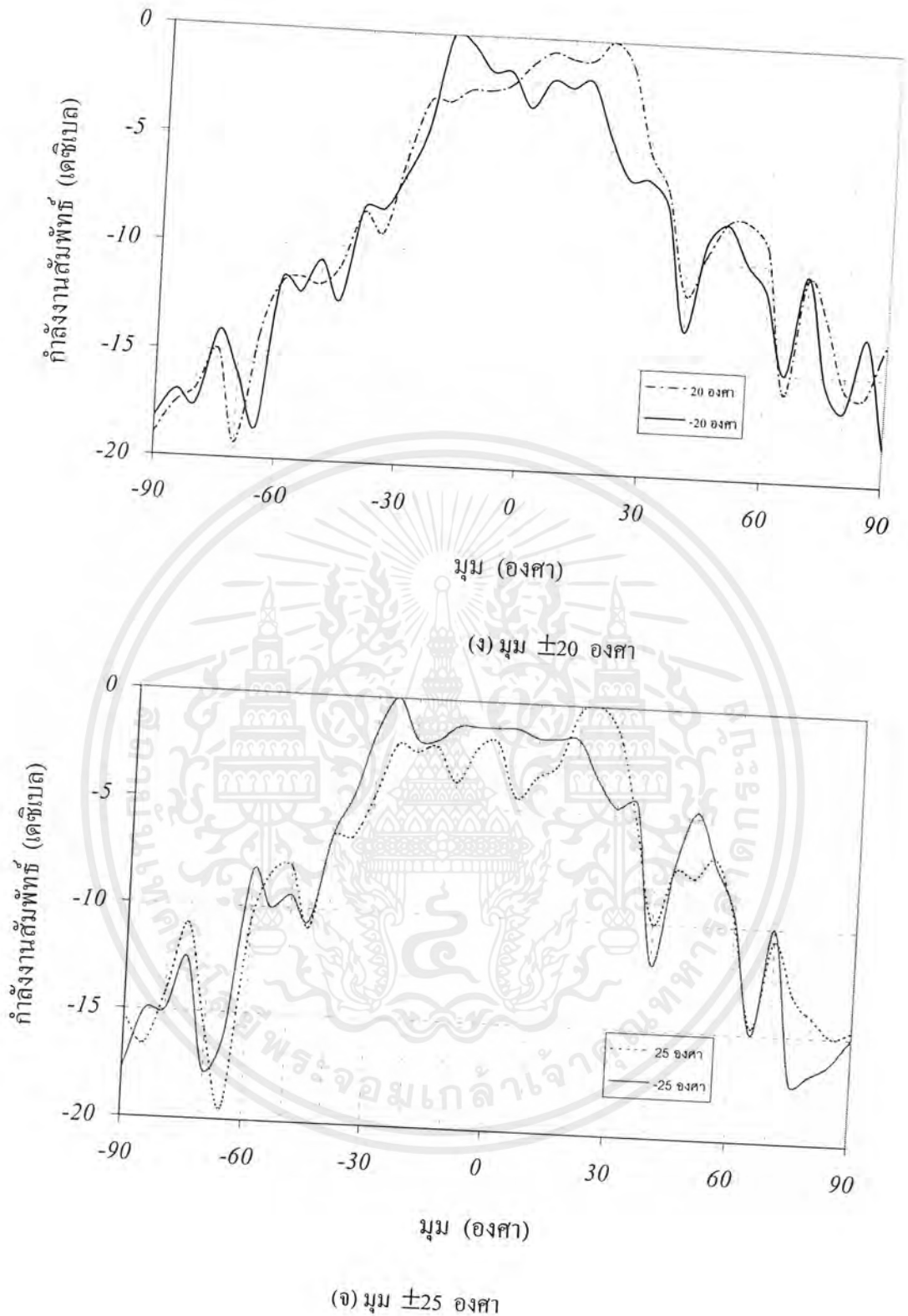
(ก) มุม ± 5 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) มม ± 15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

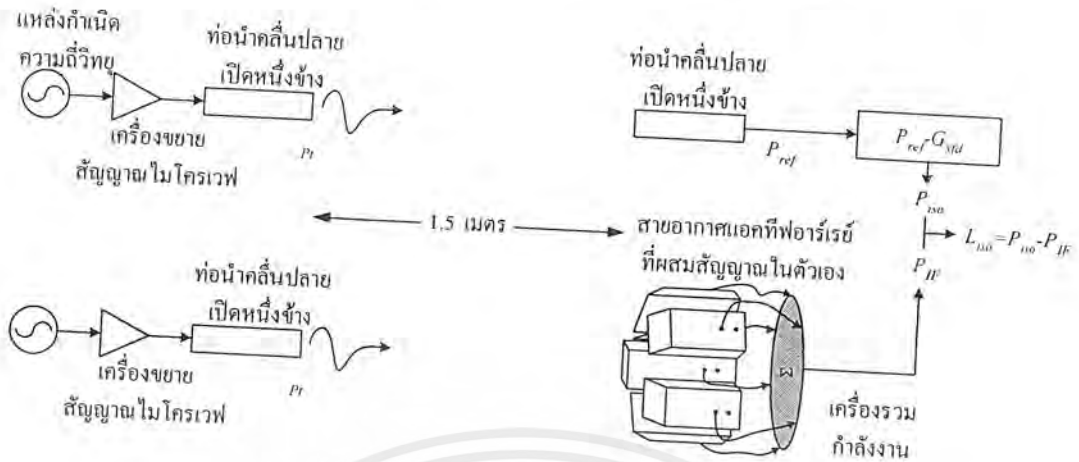


รูปที่ 4.13 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ในระนาบ yz ณ ตำแหน่งลำคลื่นสูงสุดที่มุมต่างๆ

- (ก) มุม ± 5 องศา
- (ข) มุม ± 10 องศา
- (ค) มุม ± 15 องศา
- (ง) มุม ± 20 องศา
- (จ) มุม ± 25 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การวัดการสูญเสียของการแปลงผันของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ทรงกลม



รูปที่ 4.14 โค้ดะแกรมการวัดค่าการสูญเสียของการแปลงผันของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์

ขั้นตอนการทดสอบและผล

1. สายอากาศอ้างอิง (ท่อนำคลื่นปลายเปิดหนึ่งข้าง)

1.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุที่ 10.75 กิกะเฮิร์ตซ์ ผ่านเครื่องขยายสัญญาณไมโครเวฟ และส่งผ่านไปยังสายอากาศส่ง

1.2 สายอากาศส่งและรับ ห่างกัน 1.5 เมตร สายอากาศส่งและรับจะใช้ท่อนำคลื่นปลายเปิดหนึ่งข้าง ทางด้านรับอ่านค่ากำลังงานได้ P_{ref} จากเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม จะหาลำกำลังงานของไอโซโทรปิก P_{iso} ได้โดยนำค่าเกณฑ์ของสายอากาศอ้างอิงซึ่งเท่ากับ 3.23 dB มาลบออกจาก P_{ref}

1.3 ทำซ้ำข้อ 1.1 และ 1.2 เพียงเปลี่ยนความถี่ที่ส่งเป็น 10.8 และ 10.85 กิกะเฮิร์ตซ์

2. สายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์

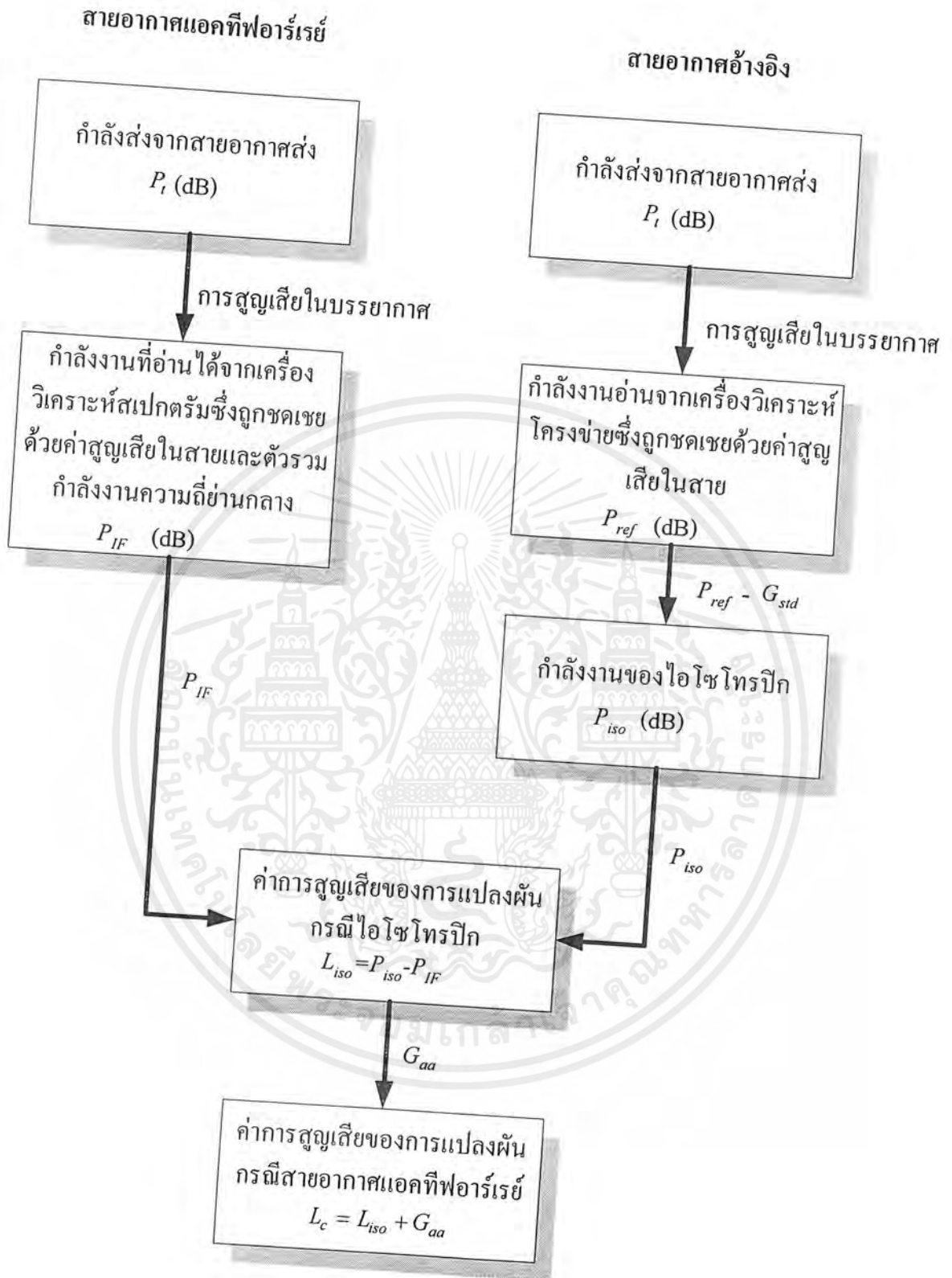
2.1 ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (ใช้ความถี่เหมือนกับกรณีสายอากาศอ้างอิงทุกความถี่) โดยจะถูกขยายโดยเครื่องขยายสัญญาณไมโครเวฟ ก่อนที่จะส่งผ่านสายอากาศส่ง (ใช้ตัวเดียวกันกับกรณีสายอากาศอ้างอิง)

2.2 ใช้สายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์เป็นสายอากาศรับ จะได้กำลังงานความถี่ย่านกลาง P_{IF} ซึ่งผ่านเครื่องรวมกำลังงาน

3. จากข้อ 2 และ 3 จะได้กำลังงานของไอโซโทรปิก P_{iso} และกำลังงานความถี่ย่านกลางของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ P_{IF} และจาก

$$L_{iso} = P_{iso} - P_{IF}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 บล็อกไดอะแกรมลำดับการหาค่าการสูญเสียของการแปลงผันของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์

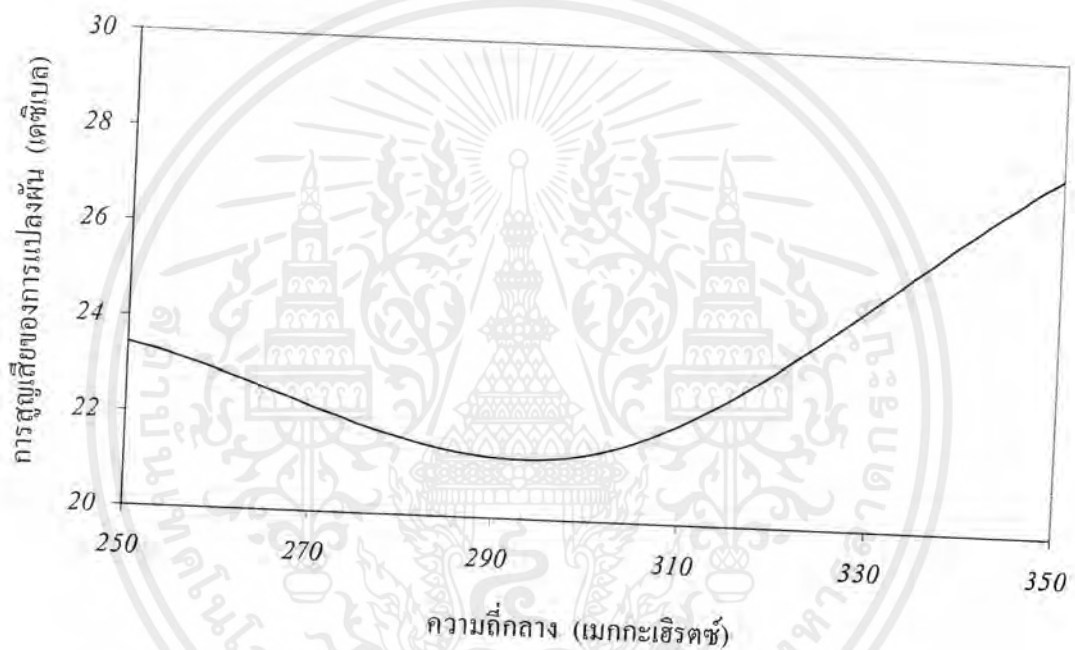
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสามารถหาการสูญเสียของการแปลงผันในกรณีไอโซโทรปิก L_{iso}

4. สามารถหาการสูญเสียของการแปลงผันของสายอากาศที่พอร์เรย์ได้จาก

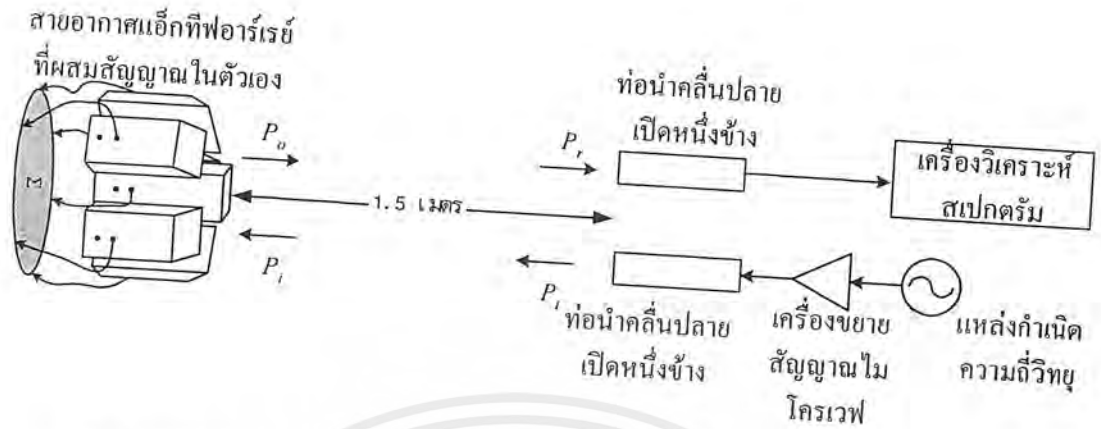
$$L_c = L_{iso} + G_{aa}$$

โดยที่ G_{aa} คืออัตราขยายของสายอากาศที่พอร์เรย์ซึ่งเท่ากับ 5 dB จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ย่านกลางกับการสูญเสียของการแปลงผันของสายอากาศที่พอร์เรย์ ได้ดังรูปที่ 4.16 จะเห็นว่าที่ความถี่ย่านกลาง 300 เมกะเฮิร์ตซ์จะมีค่าการสูญเสียของการแปลงผันของสายอากาศที่พอร์เรย์ต่ำสุด



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ย่านกลางกับการสูญเสียของการแปลงผันของสายอากาศที่พอร์เรย์

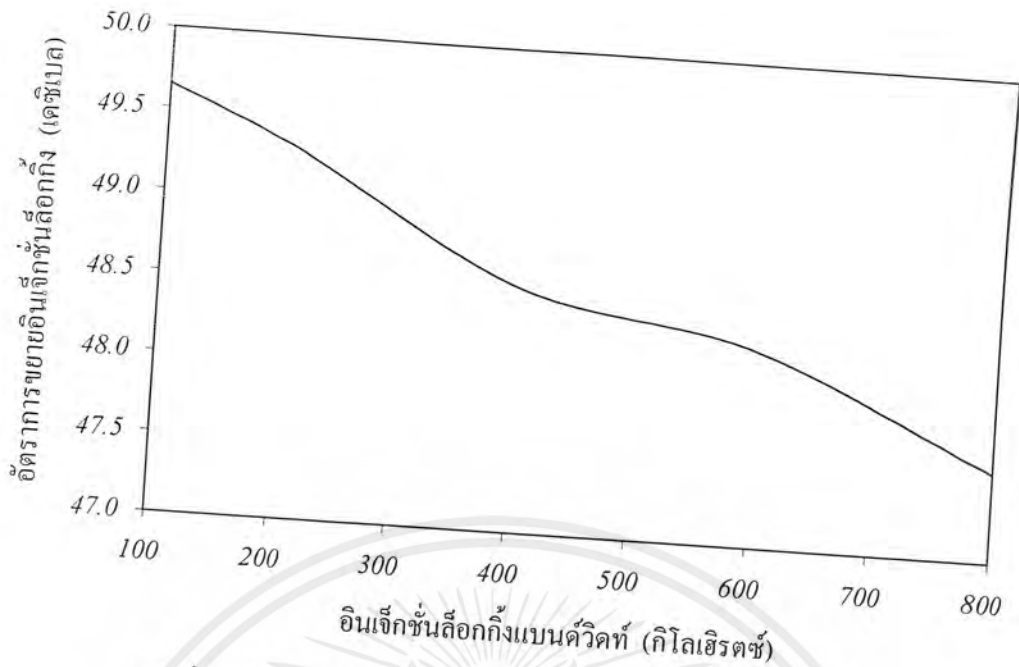
4.6 การวัดแบนด์วิดท์ของอินเจกชันล็อกกิ้ง



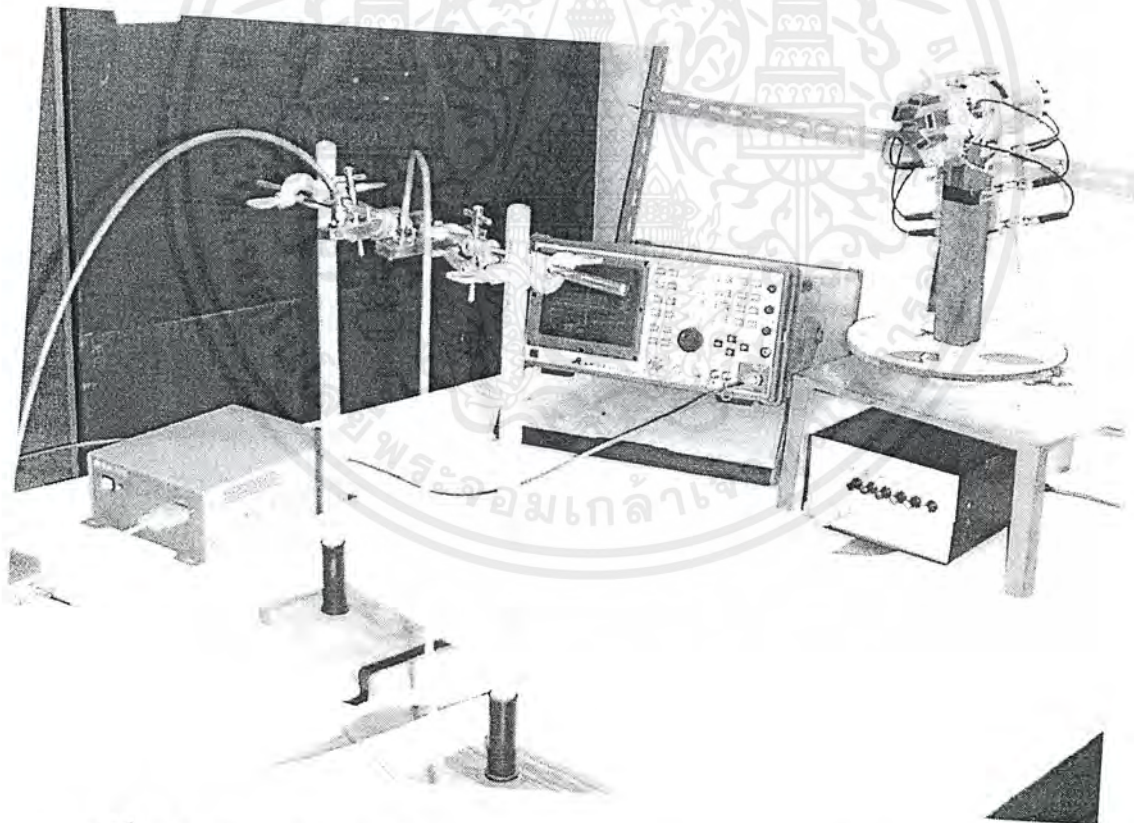
รูปที่ 4.17 ไดอะแกรมการวัดแบนด์วิดท์ของอินเจกชันล็อกกิ้งของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์

ขั้นตอนการทดสอบและผล

1. เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายจะกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ แล้วส่งผ่านสายอากาศท่อนำคลื่นปลายเปิดหนึ่งข้างซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่งสัญญาณความถี่ f_i
2. ทางด้านรับจะมีสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ที่มีออสซิลเลเตอร์ผลิตความถี่อิสระที่ 10.5 กิกะเฮิรตซ์ ทำหน้าที่รับสัญญาณ เนื่องจากอินเจกชันล็อกจะทำให้สัญญาณที่ส่งออกจากสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์เปลี่ยนความถี่เป็น f_i สามารถใช้กำลังงานที่อ่านได้จากเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมคำนวณค่า P_o และ P_i โดยใช้สมการส่งคลื่นของฟรีส
3. ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าล็อกกิ้งแบนด์วิดท์กับค่าอัตราขยายล็อกกิ้งได้ดังรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 จะแสดงการจัดเครื่องมือเพื่อการวัดแบนด์วิดท์ของอินเจกชันล็อกกิ้งของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสติกกิ้งแบนด์วิดท์กับค่าอัตราความล่าช้าสติกกิ้ง



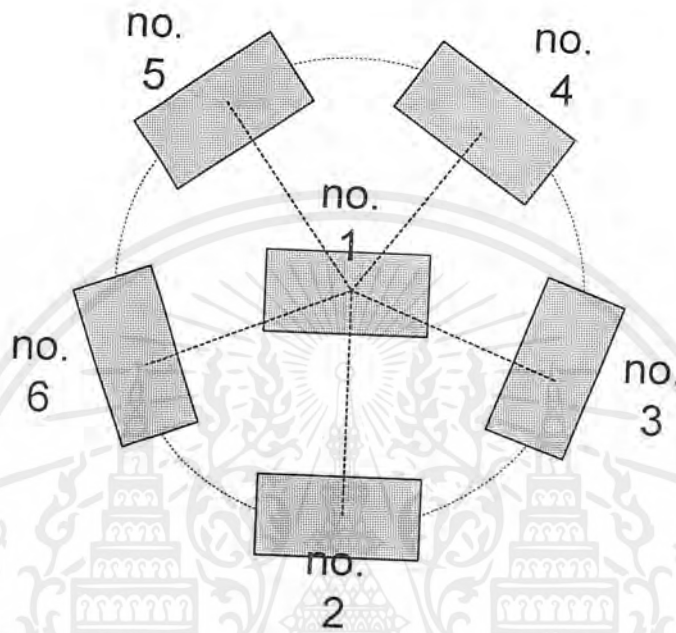
รูปที่ 4.19 การจัดเครื่องมือเพื่อการวัดแบนด์วิดท์ของอินเจกชันสติกกิ้งของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การวัดมิชวลคัปปลิง

4.7.1 มิชวลคัปปลิงระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศอาร์เรย์

จะทำการวัดมิชวลคัปปลิงระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศอาร์เรย์โดยแต่ละองค์ประกอบวางลักษณะดังรูปที่ 4.20 เป็นวงกลมที่มีรัศมี 2.3 เซนติเมตร และได้ผลการวัดแสดงดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.20 การวางตำแหน่งองค์ประกอบตามลักษณะของสายอากาศแอคทีฟอาร์เรย์

ด้านส่ง	ด้านรับ	องค์ประกอบที่ 1	องค์ประกอบที่ 2	องค์ประกอบที่ 3	องค์ประกอบที่ 4	องค์ประกอบที่ 5	องค์ประกอบที่ 6
องค์ประกอบที่ 1		-	-19.9	-30.6	-17.5	-27.9	-19.9
องค์ประกอบที่ 2		-18.7	-	-29.3	-24.7	-25.4	-30.5
องค์ประกอบที่ 3		-29.8	-29.9	-	-30.2	-25.7	-25.6
องค์ประกอบที่ 4		-18.0	-25.1	-29.4	-	-30.2	-25.9
องค์ประกอบที่ 5		-25.2	-25.8	-25.4	-31.2	-	-30.7
องค์ประกอบที่ 6		-19.5	-30.1	-25.0	-25.6	-29.8	-

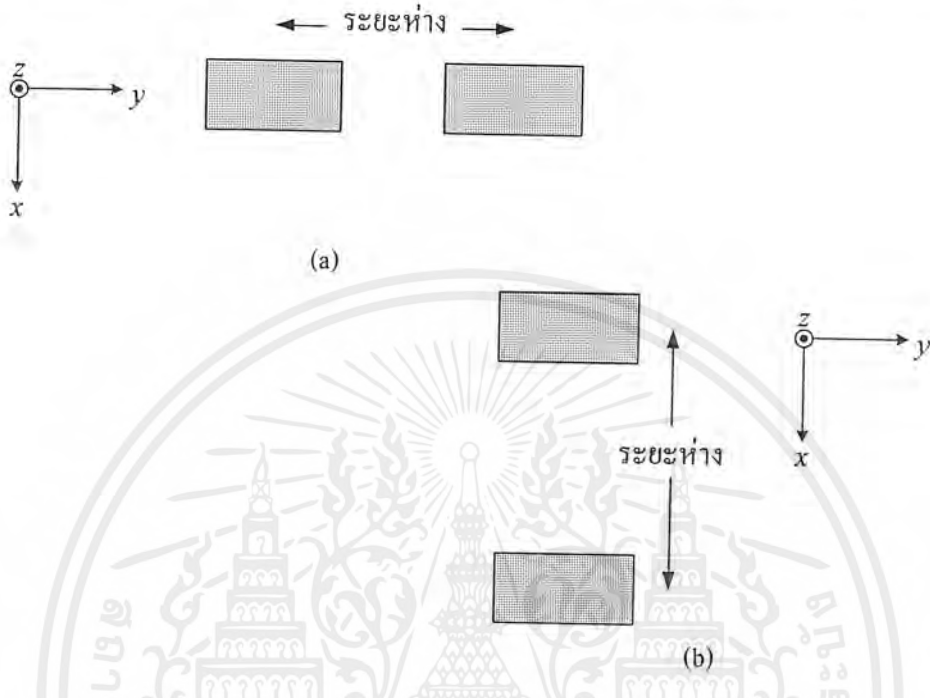
ตารางที่ 4.2 มิชวลคัปปลิงระหว่างแต่ละองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

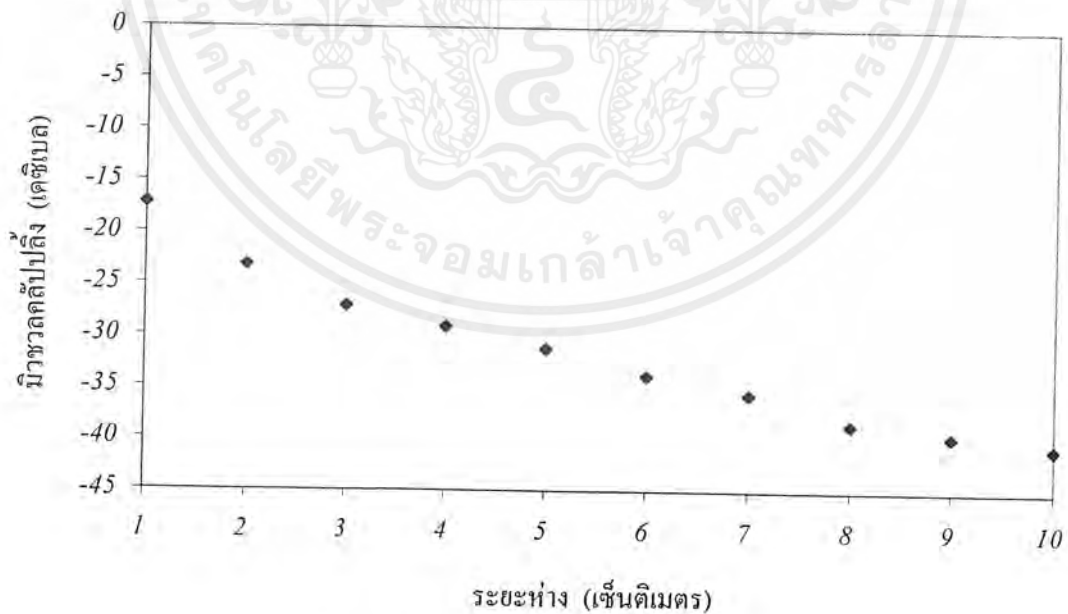
4.7.2 มีขวลคัปปลิงเมื่อเปลี่ยนระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ

ทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างมีขวลคัปปลิงและระยะห่างที่เปลี่ยนไปตามรูปที่

4.21(a) เมื่อเปลี่ยนระยะห่างตามแนวแกน y และรูปที่ 4.21(b) เมื่อเปลี่ยนระยะห่างตามแนวแกน x จะได้ผลการวัดดังรูปที่ 4.22 เมื่อสาขาอากาศที่ใช้เป็นแบบท่ออากาศปลายเปิดหนึ่งข้าง (สาขาอากาศอ้างอิงนั่นเอง)

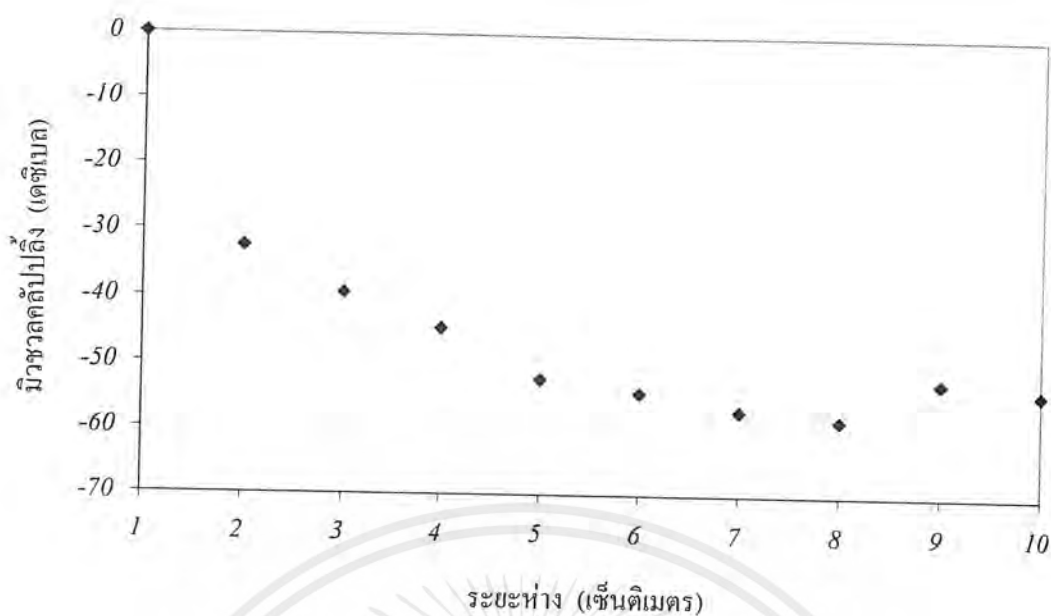


รูปที่ 4.21 ลักษณะการวัดมีขวลคัปปลิงเมื่อเปลี่ยนระยะห่าง



(a) ระยะห่างตามแนวแกน y (เคลื่อนเดินทางในทิศ z)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



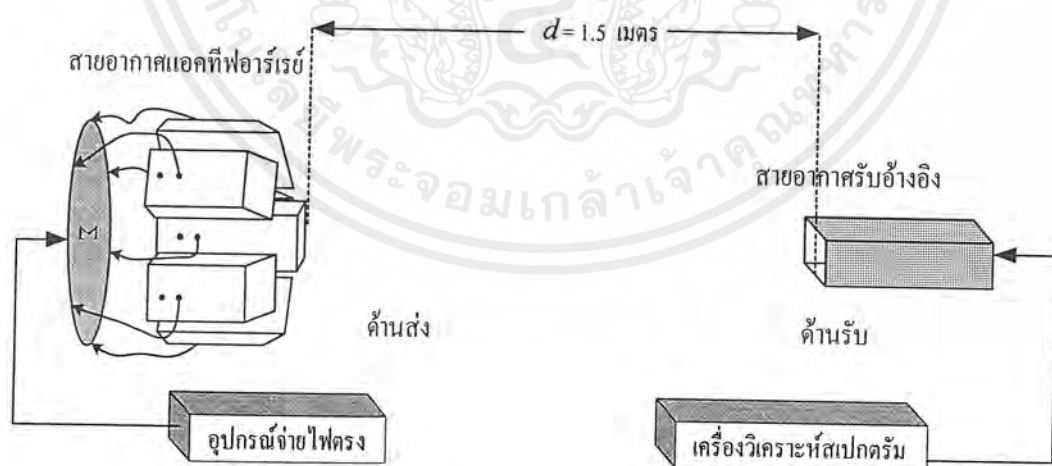
(b) ระยะห่างตามแนวแกน x (เคลื่อนเดินทางในทิศ z)

รูปที่ 4.22 ค่ามิถวาลคัลป์ปลิ่งระหว่างสายอากาศอ้างอิงสองตัว เมื่อเปลี่ยนระยะห่าง

(a) ระยะห่างตามแนวแกน y (เคลื่อนเดินทางในทิศ z)

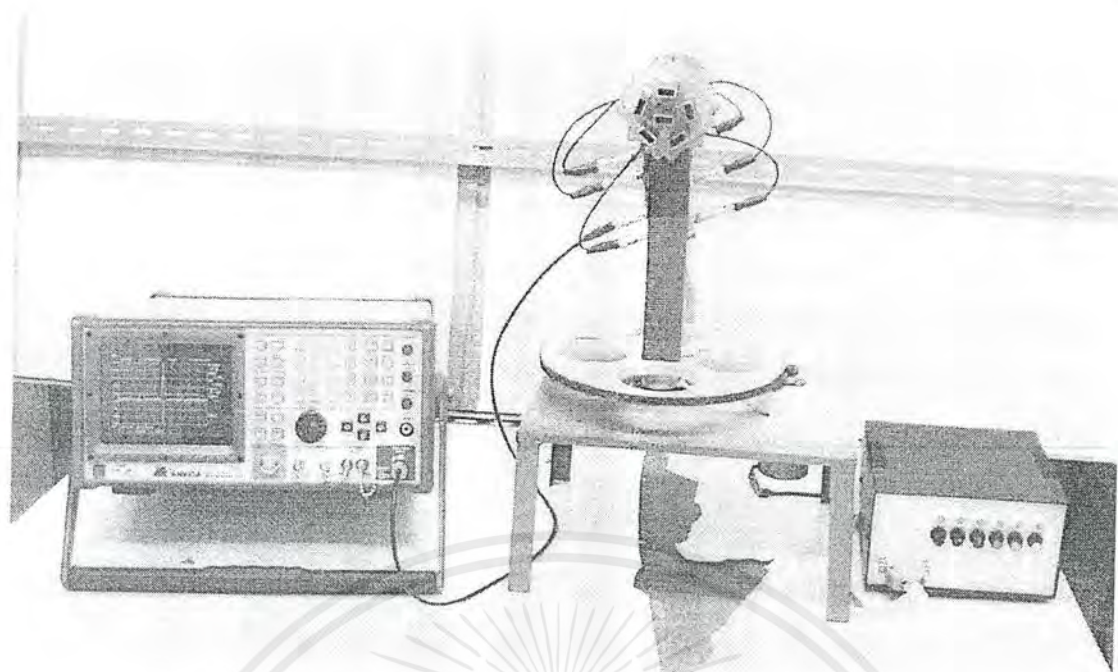
(b) ระยะห่างตามแนวแกน x (เคลื่อนเดินทางในทิศ z)

4.8 การวัดความถี่ของวงจรรออสซิลเลเตอร์



(ก) บล็อกไดอะแกรมการวัดความถี่ของออสซิลเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(๗)

รูปที่ 4.23 การวัดความถี่ของออสซิลเลเตอร์

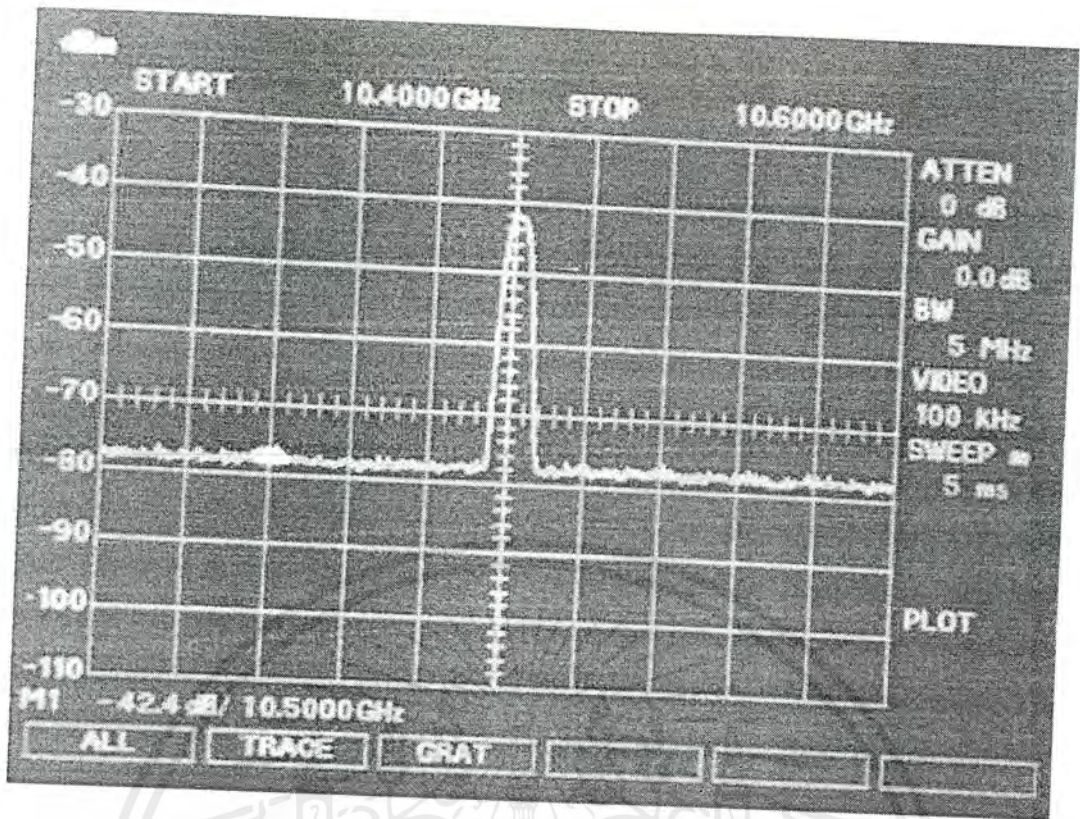
- ก) บล็อกไดอะแกรม
- ข) การจัดเตรียมเครื่องมือในการวัด

ก. ขั้นตอนการทดลอง

1. จัดอุปกรณ์ตามรูปที่ 4.23
2. ปรับค่ากระแสที่ไบอัสให้แก่นิโคโด
3. อ่านค่าความถี่ที่วงจรออสซิลเลเตอร์ผลิตได้
4. ปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเพื่อให้ออสซิลเลเตอร์ผลิตความถี่ที่ต้องการ คือ 10.5 กิกะเฮิร์ตซ์

ข. ผลการทดลอง

แสดงได้ดังรูปที่ 4.24 ซึ่งเป็นความถี่ของการปรับออสซิลเลเตอร์ของสายอากาศแอกทีฟอาร์เรย์ให้ทุกๆ องค์ประกอบออสซิลเลตที่ 10.5 กิกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 4.24 ความถี่ที่วงจรถออสซิลเลเตอร์ของแต่ละองค์ประกอบ ณ 10.5 กิกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป

ปฏิญานิพนธ์เรื่องสายอากาศอาร์เรย์ทรงกลมนี้ เป็นการศึกษาออกแบบ การสร้าง และการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศอาร์เรย์ ได้ใช้กันน้ำไดโอดซึ่งเป็นอุปกรณ์อาร์เรย์ ทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายพลังงาน และออสซิลเลเตอร์ความถี่อย่างอิสระที่ความถี่ 10.5 กิกะเฮิรตซ์ และสามารถผสมสัญญาณในตัวเอง เมื่อได้รับสัญญาณจากภายนอก โดยโครงสร้างของแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศอาร์เรย์เป็นท่อนำคลื่นปากเปิดหนึ่งข้าง ซึ่งลักษณะของสายอากาศมีสองลักษณะ คือ ท่อนำคลื่นที่ปลายเปิดตัดเฉียงทำมุม 15 องศา และท่อนำคลื่นที่ปลายเปิดตัดตรงทำมุม 0 องศา นำมาประกอบกันเป็นสายอากาศอาร์เรย์ที่มีลักษณะเป็นอาร์เรย์ทรงกลม และสายอากาศอาร์เรย์นี้สามารถปรับลำคลื่นหลัก โดยการให้ออสซิลเลเตอร์ของแต่ละองค์ประกอบผลิตความถี่ตามตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนความถี่ของออสซิลเลเตอร์สามารถทำได้ โดยการเปลี่ยนกระแสไบอัสซึ่งได้จากการปรับแรงดันไบอัสให้แก่กันน้ำไดโอด และวาร์เพอร์ไดโอดของแต่ละองค์ประกอบนั่นเอง และอีกวิธีหนึ่ง คือการปรับอิมพีแดนซ์ของโหลดของวงจรออสซิลเลเตอร์ โดยการปรับตำแหน่งของตัวลัดวงจร (sliding short) และ สกรูจูน ในการปรับความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์ของแต่ละองค์ประกอบต้องอยู่ในช่วงแบนด์วิดท์ของอินเจกชันล็อกกิ้ง เพื่อให้ออสซิลเลเตอร์แต่ละตัวทำงานอย่างซิงโครไนซ์กัน เพื่อให้ได้การรวมกำลังงานมีประสิทธิภาพ

ในการศึกษาถึงคุณลักษณะของสายอากาศอาร์เรย์ทรงกลมนี้ได้ศึกษาถึงการออสซิลเลต ความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์ของแต่ละองค์ประกอบ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น การสูญเสียของการแปลงผัน แบนด์วิดท์ของอินเจกชันล็อกกิ้ง และมีมวลคัปปลิงระหว่างองค์ประกอบ และจากการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศอาร์เรย์พบว่า

- 1) ออสซิลเลเตอร์ของแต่ละองค์ประกอบทำงานได้ ณ ความถี่ที่กำหนด
- 2) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นมีทิศทางของลำคลื่นหลักเป็นไปตามที่ต้องการ แต่ก็ยังมีโลบข้างก่อนข้างสูงอยู่
- 3) ค่าการสูญเสียของการแปลงผันของสายอากาศอาร์เรย์มีค่าต่ำสุด ณ ความถี่ย่านกลาง 300 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.39 เดซิเบล
- 4) แบนด์วิดท์ของอินเจกชันล็อกกิ้งค่อนข้างแคบ ทำให้การกวาดลำคลื่นของสายอากาศอาร์เรย์นี้มีข้อจำกัด

สายอากาศอาร์เรย์ทรงกลมที่ได้ทำการสร้างยังมีข้อบกพร่องอยู่บ้าง ในเรื่องของระดับโลบข้างยังมีค่าสูงอยู่ รูปร่างของลำคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อทำการเปลี่ยนทิศทางที่ชี้ และวาร์เพอร์ที่ออกแบบยังใช้งานยังไม่เป็นที่พอใจ ซึ่งคุณสมบัติที่กล่าวมานี้เป็นประโยชน์อย่างมากในการปรับปรุงประสิทธิภาพของสายอากาศ ดังนั้นการศึกษาและวิเคราะห์เพิ่มเติมสามารถปรับปรุงและพัฒนาสายอากาศอาร์เรย์ทรงกลมให้ดียิ่งขึ้นได้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการดำเนินงานจากบุคคลหลาย ๆ ท่าน ดังนี้

รศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์	อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร. จร สุรวุฒน์ปัญญา	
อ.รังสรรค์ วงศ์สวรรค์	
นายคมศักดิ์ เมฆสมุทร	
อ.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์	
นายดวงอาทิตย์ ศรีมูล	
นายไพศาล งามจรรยาภรณ์	
นายวุฒิพงษ์ เลิศวิริยะประภา	
นายอาทิตย์ เหมือนชู	
นายชัยวัฒน์ หลีกภัย	
นางสาววัลย์ลิกา บัวสมบุญ	

อาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการประจำภาควิชาเครื่องกล อาหารและเกษตร

ผู้จัดทำ

นางสาวนิติกาญจน์ พาศรี

นางสาวสุชาตินี ทะมุลตรี

25 มีนาคม 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- [1] J.A. Navarro, and K. Chang, *Integrated Active Antennas and Spatial Power Combining*. New York : Wiley, 1996.
- [2] K. Chang, *Microwave Solid-State Circuits and Applications*. New York : Wiley, 1994.
- [3] R. A. York, *Nonlinear Analysis of Phase Relationship in Quasi-Optical Oscillator Arrays*, IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol.41, no.10, pp. 1799-1809, October 1993.
- [4] R. Adler, *A Study of Locking Phenomena in Oscillators*, Proc. IRE, vol.34, pp. 351-357, June 1946; also reprinted in Proc. IEEE, vol.61, pp. 1380-1385, October 1973.
- [5] K. Kurokawa, *Injection-Locking of Solid-State Microwave Oscillators*, Proc. IEEE, vol.61, pp. 1386-1407, October 1973.
- [6] C. M. Montiel, L. Fan and K. Chang, *A novel active antenna with self-mixing and wideband varactor-tuning capabilities for communication and vehicle identification applications*, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 44, no. 12, pp. 2421-2430, Dec. 1996.
- [7] K. Chang, K. A. Hummer, and J. L. Klein, *Experiments on injection locking of active antenna elements for active phase arrays and spatial power combiners*, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 37, no. 7, pp. 1078-1084, July 1989.
- [8] J. A. Navarro, L. Fan, and K. Chang, *Active inverted stripline circular patch antennas for spatial power combining*, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 41, no. 10, pp. 1856-1863, October 1993.
- [9] D.L. Sengupta, T.M. Smith and R. W. Larson, *Radiation Characteristics of a Spherical Array of Circularly Polarized Element*, IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol.AP-16, no.1, pp.2-8, January 1968.
- [10] C.A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons Inc, 1989.
- [11] C.A. Balanis, *Antenna Theory Analysis And Design*, Harper & Row Publishers, NewYork, 1982.