



สายอากาศล็อกเพอริโอดิก
LOGPERIODIC ANTENNA



โดย
นายอภิรักษ์ คอเลาะ
นายเอก นิมุขอ

เลขเรียกหนังสือ.....จพ.๑๕๓๑ ๒๕๔๑
เลขทะเบียน.....๐๔๐๓๗๑
วัน เดือน ปี..... ๑๑ ๓๐ ๕๑

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษิตตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๔๑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

040371

สายอากาศล็อกเพอริโอดิก
LOGPERIODIC ANTENNA

โดย

นายอภิรักษ์ ดอเลาะ 39013071

นายเอก มีมุขอ 39013074

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. สมผล โกศลวิตร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศล็อกเพอริโอดิก

LOGPERIODIC ANTENNA

ผู้จัดทำ

1. นายอภิรักษ์ ตอเถาะ 39013071

2. นายเอนก มีมูซอ 39013074

(ผศ.สมผล โกศลวิตร)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศล็อกเพอริโอดิก
LOGPERIODIC ANTENNA

โดย นายอภิรักษ์ คอเถาะ
นายเอนก มีมุข
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สมผล โกศลวิตร

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำเสนอสายอากาศล็อกเพอริโอดิก ซึ่งเป็นสายอากาศแบบไดโพลที่วางเรียงกันแบบอาร์เรย์ ทำให้สามารถรับสัญญาณที่มีช่วงความถี่กว้างได้ การใช้งานอยู่ในย่านความถี่วีเอชเอฟและยูเอชเอฟ สายอากาศชนิดนี้สามารถที่จะกำหนดช่วงความถี่ อัตราขยายและค่าอิมพีแดนซ์ได้เอง ตามการออกแบบว่าต้องการที่จะให้อยู่ในช่วงใด การประยุกต์ใช้งานอาจจะนำไปใช้กิจการทางด้านโทรทัศน์หรือในงานทางด้านอีเอ็มซี ซึ่งจำเป็นต้องใช้สายอากาศชนิดนี้ทำการสำรวจสภาพแวดล้อมสนามแม่เหล็กและจะเป็นการประหยัดโดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนสายอากาศหลายต้น

ABSTRACT

This project presents logperiodic antenna, which is an array antenna . This antenna is mostly used for broadband communication such as in VHF and UHF . This antenna is a limited frequency bandwidth ,gain and impedance can be determined. The application this antenna for television or EMC (Electromagnetic compatibility), which is necessary site survey electromagnetic field . It reduces the amount of antenna for operating.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

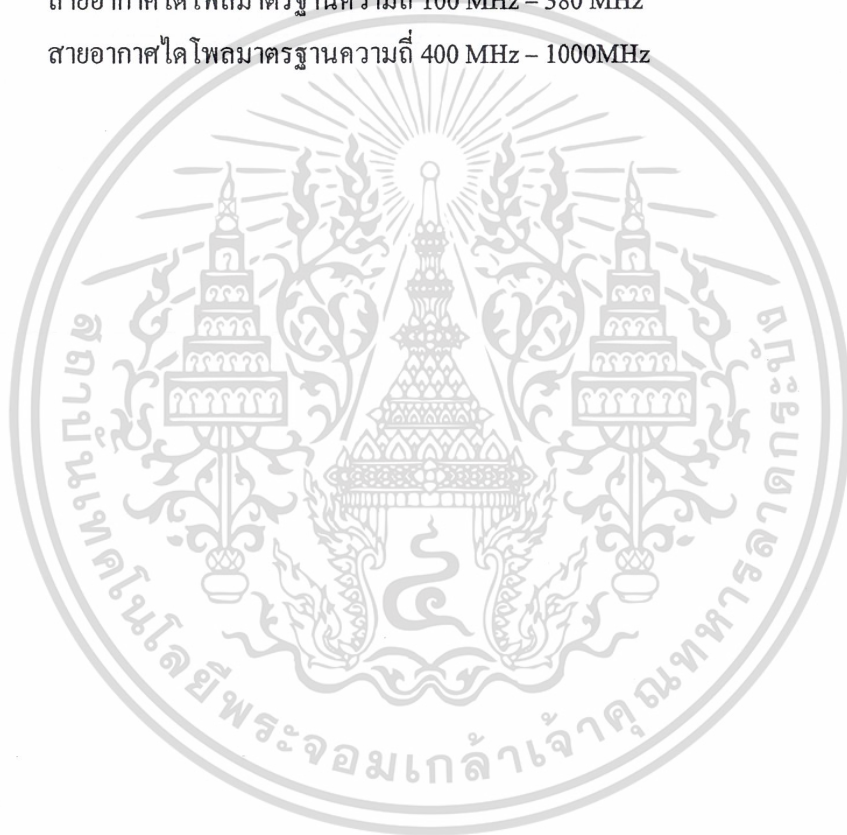
สารบัญ

	เนื้อหา	หน้า
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
	คุณสมบัติสายอากาศ	2
	พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ	12
	อาร์เรย์	27
	การแมทซ์ชิงสายอากาศ	32
บทที่ 3	การคำนวณและการสร้าง	
	วิธีการคำนวณและออกแบบ	42
	ขั้นตอนในการออกแบบ	46
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	
	การทดลองวัดค่า VSWR , Impedance และ Return loss	50
	การทดลองวัดแพทเทิร์นสายอากาศ	58
	การทดลองวัดหาค่าอัตราขยายสายอากาศ	82
บทที่ 5	บทวิจารณ์และสรุป	90
ภาคผนวก		
กิตติกรรมประกาศ		
หนังสืออ้างอิง		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	ชื่อรูป	หน้า
ภาพที่ 4.1	แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบวัดแพทเทอรันสายอากาศ	85
ภาพที่ 4.2	แสดงการใช้งานเครื่องมือวัดแพทเทอรันสายอากาศ	85
ภาพที่ 4.3	สายอากาศลีดอกเพอริ โอติกที่ทดสอบ	86
ภาพที่ 4.4	แสดงการติดตั้งสายอากาศลีดอกเพอริ โอติกเข้ากับแท่นหมุน (Turn table)	86
ภาพที่ 4.5	เครื่องซิกแนลเจนเนอเรเตอร์ความถี่ 10 MHz – 40 GHz	87
ภาพที่ 4.6	แสดงการต่อเครื่องซิกแนลเจนเนอเรเตอร์เข้ากับสายอากาศทางด้านส่ง	87
ภาพที่ 4.7	ไดโพลมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบในการหาค่าเกนสายอากาศ	88
ภาพที่ 4.8	แสดงการติดตั้งไดโพลมาตรฐานเพื่อใช้ในการทดสอบ	88
ภาพที่ 4.9	สายอากาศไดโพลมาตรฐานความถี่ 100 MHz – 380 MHz	89
ภาพที่ 4.10	สายอากาศไดโพลมาตรฐานความถี่ 400 MHz – 1000MHz	89



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

สายอากาศนั้นเป็นส่วนหนึ่งที่จะขาดไม่ได้ในระบบวิทยุสื่อสารที่เกี่ยวข้องกับคลื่นวิทยุ ถ้าจะเปรียบเทียบระบบสายอากาศเข้ากับส่วนประกอบของไฟฟ้ากำลัง ก็เปรียบเสมือนกับสายส่งที่เชื่อมสถานีจ่ายไฟทางด้านต้นทางและสถานีรับปลายทาง จะต่างกันก็ตรงที่ว่าไม่ได้จ่ายหรือรับเป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านทางสายส่ง แต่จ่ายและรับพลังงานในรูปที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยมีอากาศเป็นตัวกลางนั่นเอง

เนื่องจากสายอากาศเป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าประเภทพาสซีฟ (passive) เพราะฉะนั้นการสึกหรอหรือเสื่อมคุณภาพ เมื่อเทียบกับหลอดหรือทรานซิสเตอร์แทบจะไม่มีเลย สาเหตุการสึกหรอจะเนื่องมาจากการผุกร่อนของโลหะ เนื่องจากบรรยากาศที่เป็นกรดหรือด่าง หรือแรงลม เสถียรภาพของการติดตั้ง เพราะฉะนั้นการออกแบบ การติดตั้ง และการป้องกันการผุกร่อนจึงเป็นปัญหาสำคัญในการบำรุงรักษาสายอากาศ

ในการสื่อสาร โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในบางครั้งจำเป็นต้องใช้สายอากาศที่ทำงานได้ในแถบความถี่กว้างเพื่อให้ระบบทำงานได้ดี ประหยัดและสะดวกในการใช้งาน โดยที่สายอากาศแบบนี้อาจเรียกได้ว่าเป็นสายอากาศแบบบรอดแบนด์ (Broad-band Antenna) ตัวอย่างของสายอากาศแบบนี้คือสายอากาศล็อกเพอริโอดิก (Logperiodic Antenna)



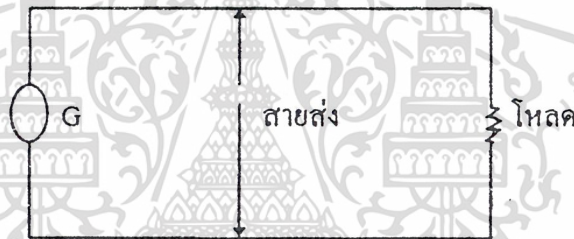
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติของสายอากาศ

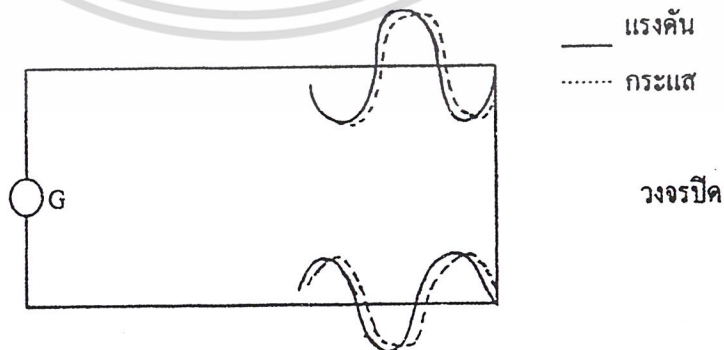
สายอากาศแบบง่ายที่สุด แบบไดโพลหรือโพลเดคไดโพล (folded dipole) ถูกนำไปใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ ของการสื่อสารทางวิทยุไดโพลชนิด $\lambda/2$ (half wave dipole) เป็นส่วนประกอบขั้นพื้นฐานของระบบสายอากาศ เมื่อมีการเพิ่มขึ้นส่วนบางส่วนจะทำให้การรับหรือส่งสัญญาณไปในทิศทางที่ต้องการ ได้สายอากาศแบบไดโพลนั้นสามารถเปรียบเทียบกับสายส่งชนิดอาร์เอฟ (RF) ที่เป็นวงจรเปิด มีความยาวเท่ากับ $\lambda/4$ โดยต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณซึ่งจะต้องรีโซแนนซ์ (resonance) กับเครื่องกำเนิดสัญญาณ โดยจะมีสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ารอบตัวมันมากมายซึ่งความชันของผลตอบสนองของสายอากาศแบบไดโพลคล้ายกับ แอล-ซี (L-C) ของวงจรรีโซแนนซ์ที่ความถี่ต่ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของส่วนที่เป็นไดโพล เช่น ถ้าไดโพลเป็นลวดทองแดงเล็ก ๆ จะมีคุณสมบัติคล้ายวงจรจูน (tuned circuit) ที่มีค่า Q มากคือ ชันมาก แต่จะมีความกว้างของความถี่ (bandwidth) แคบมาก

สายอากาศก็เหมือนสายส่งชนิดพิเศษที่ใช้ในการปล่อย หรือรับพลังงานในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 สายอากาศก็คือโหลดของเครื่องส่ง

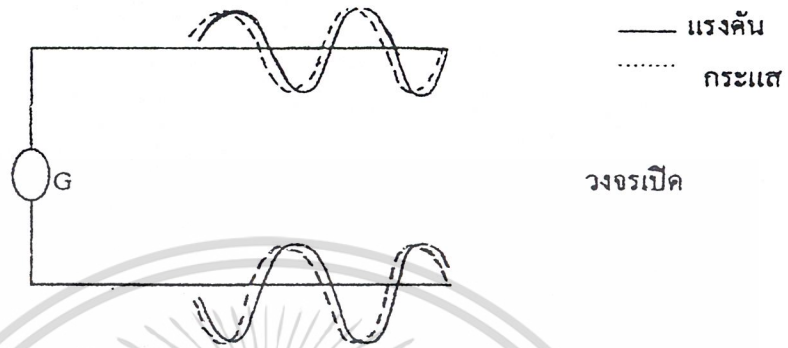
จากรูปที่ 2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปรียบเสมือนเครื่องกำเนิดความถี่ของสัญญาณ จะส่งสัญญาณความถี่วิทยุไปยังโหลด (load) โหลดเปรียบเสมือนสายอากาศซึ่งมีค่าความต้านทานของการแผ่รังสี (radiation resistance) ที่ดีพอเพื่อการส่งพลังงานให้ได้มากที่สุด



รูปที่ 2.2 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเมื่อวงจรปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.1 ถ้าเอาโหลดออกแล้วทำเป็นวงจรปิด (short circuit) จะได้ดังรูปที่ 2.2 ในขณะที่สัญญาณเป็นกระแสสลับ เมื่อวงจรเป็นวงจรปิดความต้านทานเท่ากับศูนย์ จะไม่มีการดูดซับหรือพลังงานจะสะท้อนออกมาทั้งหมดกลับไปยังแหล่งกำเนิด จะเกิดลูกคลื่นที่ (standing wave) เคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา (จากแหล่งกำเนิดไปยังโหลด) และพลังงานจะสะท้อนกับจากขวาไปซ้าย (จากโหลดไปแหล่งกำเนิด)



รูปที่ 2.3 แสดงสัญญาณและกระแสเมื่อวงจรเปิด

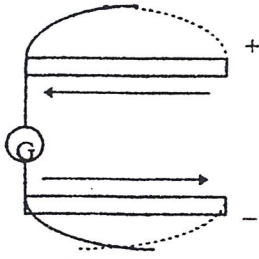
และถ้าเป็นสายส่งแบบวงจรเปิดคือรูปที่ 2.3 เพราะว่าเป็นวงจรเปิดจะมีความต้านทานสูงมากไม่จำกัด จะได้กระแสน้อยที่สุดและแรงดันมากที่สุดที่ปลาย

ทั้งสองกรณีที่เกิดขึ้นคือ วงจรเปิดและวงจรปิดเป็นตัวอย่างของการเกิดสแตนด์อิงเวฟ (standing wave) บนสายส่ง สายส่งเหล่านี้จะกระจายพลังงานบางส่วนที่อยู่ในสายโดยสายชิลด์ (shield line) จะกระจายพลังงานน้อยกว่าสายที่ไม่ได้ชิลด์ พิจารณาสายที่ไม่ได้ชิลด์สองสายที่ถูกปลายด้วยโหลดที่พอเหมาะ (matching load) คือเท่ากับลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสาย (characteristic impedance) ปกติของทีวีใช้ทวินลีด (twinlead) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 300 โอห์ม และ 75 โอห์ม สำหรับสายชิลด์หรือ coaxial cable) ถ้ามีการแมตชิ่งกันพอดีจะทำให้การกระจายพลังงานเพิ่มขึ้นตามเงื่อนไขการทำงานคือเพิ่มเป็นกำลังสองของกระแส เช่น สาย 1 มีกระแส 2 แอมแปร์ และสาย 2 มีกระแส 4 แอมแปร์สาย 2 จะมีการกระจายรังสีเป็น 4 เท่าของสาย 1

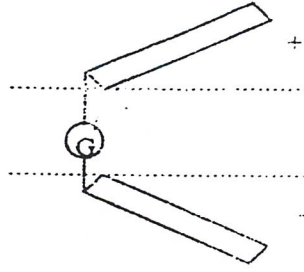
โดยจะมีการเพิ่มเป็นกำลังสองของช่องว่างระหว่างสายที่มีหน่วยเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่น เช่น สาย 1 มีช่องว่างระหว่างสายเป็น 0.3λ และสาย 2 มีช่องว่างระหว่างสายเป็น 0.6λ สาย 2 จะมีการกระจายรังสีเป็น 4 เท่าของสาย 1

และจะเกิดการเพิ่มเป็นกำลังสองของความยาวคลื่นที่ลดลง เช่น ถ้าสาย 1 ใช้กับคลื่นที่มีความยาวเป็น 6 ซม. และสาย 2 ใช้กับคลื่นที่มีความยาว 2 ซม. สาย 2 จะมีการกระจายคลื่นเป็น 9 เท่าของสาย 1

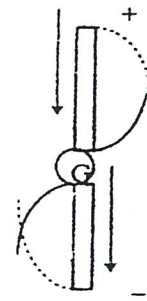
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



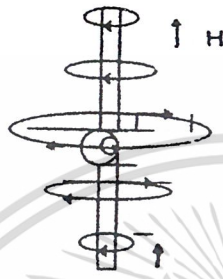
รูปที่ 2.4



รูปที่ 2.5



รูปที่ 2.6



รูปที่ 2.7

รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องกำเนิดสัญญาณต่อกับสายส่งยาว $\lambda/4$ แต่วางขนานกันและใกล้กัน ในแต่ละเส้นจะสร้างสนามไฟฟ้าซึ่งจะหักล้างซึ่งกันและกัน เพราะฉะนั้นจะ ไม่มีการกระจายของพลังงาน

รูปที่ 2.5 จะมีการกระจายพลังงานในทิศทางที่เป็นลูกศร ปลายของสายส่งจะอยู่ห่างกันมากกว่า รูปที่ 2.4 พลังงานจะหักล้างกันไม่หมด จะมีพลังงานบางส่วนกระจายออกมาที่ปลายที่เปิดกว้าง

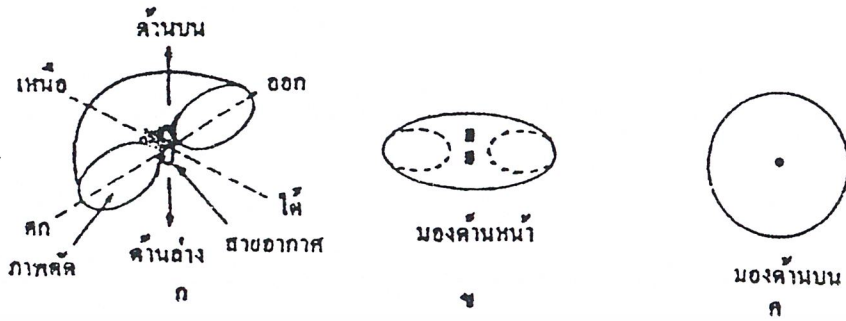
รูปที่ 2.6 จะมีการกระจายพลังงานมากที่สุด เพราะว่าสนามไฟฟ้าทั้ง 2 จะไม่มีทิศทางที่ตรงกัน ข้ามซึ่งกันและกันเลย ขณะที่ลวดเส้นหนึ่งเป็นบวกอีกเส้นหนึ่งจะเป็นลบ สนามทั้ง 2 จะมีทิศทางอนุกรมกัน จึงจะเป็นปรากฏการณ์ของสายอากาศจริง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ก เป็นการแสดงความสัมพันธ์ของ แรงดันและกระแสของสายอากาศแบบ $\lambda/2$ รูปที่ 2.7 ข แสดงทิศทางของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า

2.1.1 รูปแบบของการแพร่คลื่นของสายอากาศ

คงได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าไดโพลเป็นส่วนประกอบขั้นพื้นฐาน ของสายอากาศ ซึ่งจะส่งหรือรับ (สายอากาศของเครื่องส่ง และเครื่องรับจะมีคุณสมบัติเหมือนกัน) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระจายออกรอบ ตัวสายอากาศ ลักษณะรูปร่างของการกระจายพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นรูปร่างต่าง ๆ กันเรียก รูป แบบหรือแพทเทิร์น ซึ่งจะเป็นตัวกำหนด ค่าไดเรกทิวิตี (directivity) คือ การกระจายพลังงานไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าในทิศทางอื่น ๆ (หมายถึงไม่ได้กระจายออกรอบตัวเท่ากัน) ซึ่งมีความสำคัญในการรับหรือส่งในทิศทางเดียวและป้องกันการรบกวนจากสถานีอื่น ๆ

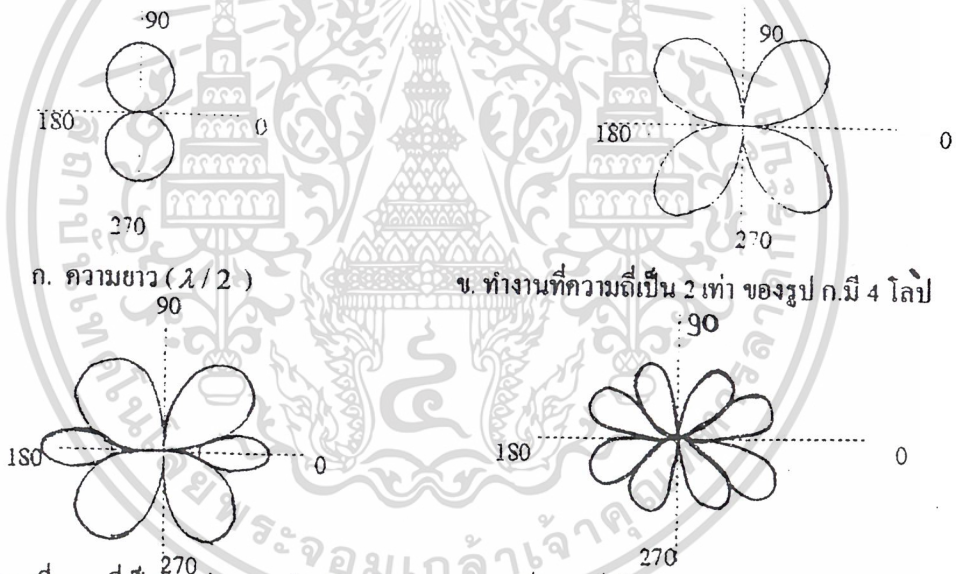
การหารูปร่างของแพทเทิร์นนั้นหาได้โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ หรือการบวกเวกเตอร์ที่ตำแหน่ง เอกสารต่าง ๆ รูปแบบของการกระจายคลื่นของสายอากาศถ้าพลังงานถูกแผ่กระจายไปทั่ว ๆ ในทุกทิศทาง รูป ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบของการแพร่กระจายจะเป็นรูปทรงกลมซึ่งมีสายอากาศแบบไดโพลอยู่ตรงจุดศูนย์กลางดังรูปที่ 2.8 ดังแสดงรูปแบบของสายอากาศ $\lambda/2$ ที่รีโซแนนซ์กับความถี่หนึ่ง ๆ



รูปที่ 2.8

ความเข้มของการกระจายพลังงานจะลดลง ในขณะที่ระยะทางจากสายอากาศเพิ่มขึ้น รูปแบบของสายอากาศแบบ $\lambda/2$ โดยทั่วไปจะเป็นขนมโค้นท์ ซึ่งโคเรคทีวิตีและรูปแบบจะแปรกับความยาวทางไฟฟ้าของสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งแสดงว่าไดโพลซึ่งมีความยาวทางฟิสิกส์ (ความยาวจริง ๆ) เท่ากันแต่ทำงานที่ความถี่ต่าง ๆ กัน จะสังเกตเห็นว่า รูปแบบที่ได้จะแตกต่างกันด้วย



รูปที่ 2.9

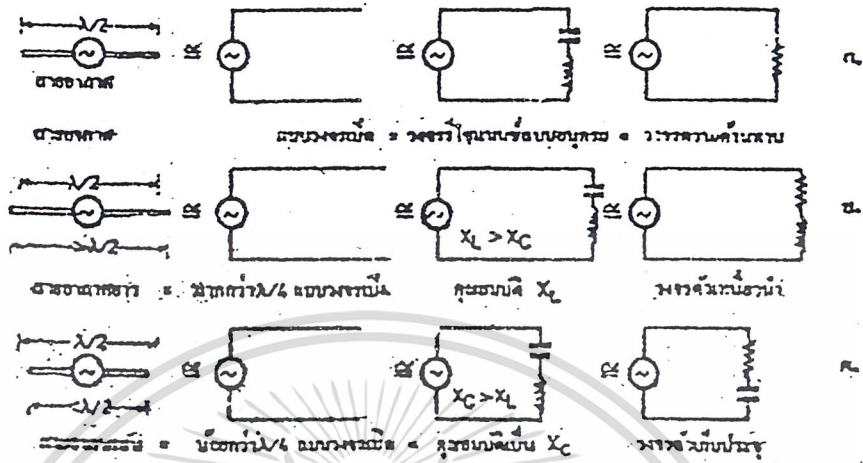
โดยทั่วไปที่ความยาวของสายอากาศตัวหนึ่ง เมื่อให้ทำงานที่ความถี่มีค่ามากขึ้น จำนวนโลบ (lobe) จะมากขึ้นด้วย ซึ่งไม่เป็นผลดีนักในแง่การส่งหรือการรับ เพราะกำลังจะได้น้อยลง แต่ดีในแง่การติดตั้งถ้าเครื่องรับดีพอ

นอกจากนี้เพื่อปรับปรุงให้รูปแบบมีรูปร่างต่าง ๆ ตามที่ต้องการก็จะมีกรเพิ่ม ส่วนประกอบอื่น ๆ ร่วมกับไดโพล เช่น โคเรคเตอร์หรือตัวชี้หน้า รีเฟล็คเตอร์หรือตัวสะท้อน นอกจากนี้รูปแบบของไดโพลชนิดเดียวกันจะแตกต่างกันถ้าต่อ (feed) สายส่งที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน เช่นตรงปลายกับตรงกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ความยาวของสายอากาศกับความถี่

ถ้าความยาวของสายอากาศพอดีก็จะเกิดวงจรรีโซแนนซ์ขึ้นซึ่งจะเป็นภาวะพอเหมาะที่จะส่งหรือรับพลังงานได้ดีที่สุด ซึ่งจะสามารถแทนสายอากาศด้วยโหลดที่เป็นความต้านทานล้วน (pure resistance) ดังแสดงในรูป 2.10 ก.



รูปที่ 2.10

รูปที่ 2.10 ข. แสดงสายอากาศที่มีความยาว ยาวกว่าที่เหมาะสมเล็กน้อย ก็จะแทนวงจรด้วยความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ และรูป 2.10 ค. ถ้าสั้นกว่าจะแทนด้วยตัวเก็บประจุ

สายอากาศที่มีความยาวต่าง ๆ กันจะนำไปใช้ที่ความถี่แตกต่างกัน สายอากาศแบบ $\lambda/2$ จะนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีความยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น (λ) สำหรับค่าความถี่ที่ใช้งานค่าหนึ่งเท่านั้นเมื่อค่า ความถี่ที่ใช้งาน (operative frequency) เปลี่ยนไป ความยาวทางฟิสิกส์ (ความยาวจริงๆ physical length) ของสายอากาศจะไม่เปลี่ยน แต่ความยาวทางไฟฟ้า (electric length) จะเปลี่ยน สามารถเห็นได้จากตัวอย่างดังรูปที่ 2.11 ที่ความถี่ใช้งาน 300 MHz สายอากาศแบบ $\lambda/2$ (จะยาวเท่ากับ 50 ซม.) คือรูปที่ 2.11 ก. ซึ่งสายอากาศตัวเดียวกันจะนำไปใช้งานที่ความถี่ต่างกันคือรูปที่ 2.11 ข. ความถี่เท่ากับ 600 MHz $\lambda/2$ เท่ากับ 25 ซม. (พิจารณาจากสูตร $V = f\lambda$ เมื่อคิดว่าการเคลื่อนที่ของคลื่นในอากาศเท่ากับการเคลื่อนที่ของคลื่นในโลหะซึ่งในทางปฏิบัติมันแตกต่างกัน

ความถี่และความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์ผกผันกัน โดยมีความเร็วเป็นตัวกำหนดความเร็วที่คลื่นวิทยุเคลื่อนที่ผ่านอากาศขึ้นกับคุณสมบัติของอากาศและความเร็วที่คลื่นวิทยุเคลื่อน ไปตามสายส่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสายส่งด้วย

ประกอบด้วยค่าคงที่ 2 อย่างคือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant) ซึ่งเป็น 8.85 ไมโครฟารัดต่อโวลท์ และค่าคงที่เพอมีอับิลิตี (permeability) เป็น 1.256 ไมโครเฮนรี่/โวลท์จะได้ความเร็วของการเคลื่อนที่ของคลื่นในอากาศเป็น 3×10^8 เมตร/วินาที หรือ 186,000 ไมล์/วินาที เพราะฉะนั้นความถี่ของคลื่นวิทยุและความยาวของโลหะที่นำมาทำเป็นสายอากาศก็อาจคำนวณโดยสูตร $f = v/\lambda$ สำหรับสายอากาศแบบไดโพลแบบ $\lambda/2$ ที่ความถี่ปานกลางและความถี่สูงอาจคำนวณได้จากสูตร

ความยาวของสายอากาศ(เมตร) = 150 / ความถี่(MHz)

ความยาวของสายอากาศ(ฟุต) = 492 / ความถี่(MHz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ความยาวจริงของสายอากาศโคโพลแบบ $\lambda / 2$ จะไม่เท่ากับในอากาศเลยทีเดียวแค่ขึ้นกับความหนาของตัวนำที่นำมาทำเป็นสายอากาศและชนิดของตัวนำ ดังแสดงในรูป 2.12 ซึ่งเค (K) เป็นค่าที่ต้องนำมาคูณกับ $\lambda / 2$ ในอากาศ (free space) เพื่อจะให้ได้รีโซแนนซ์ ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของคลื่นในตัวนำจะไปไม่ได้โดยสะดวก (จะไปได้ช้ากว่า) เพราะค่าความต้านทานของโลหะ (radiation resistance) ในทางปฏิบัติจึงทำให้สั้นกว่า $\lambda / 2$ ในอากาศประมาณ 6 %

ที่ความถี่ 3.5 MHz - 30 MHz

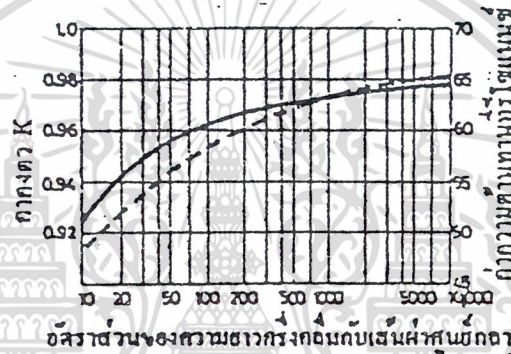
ความยาวของสายอากาศ $\lambda / 2$ (เมตร) = (150 x 0.95) / ความถี่ (MHz)

ความยาวของสายอากาศ $\lambda / 2$ (ฟุต) = (492 x 0.95) / ความถี่ (MHz)

ที่ความถี่มากกว่า

ความยาวของสายอากาศ $\lambda / 2$ (เมตร) = (150 x K) / ความถี่ (MHz)

ความยาวของสายอากาศ $\lambda / 2$ (ฟุต) = (492 x K) / ความถี่ (MHz)



รูปที่ 2.11

ถ้ามีสายอากาศที่มีความยาวจริงเท่ากับ 50 ซม. ที่ความถี่ต่างๆกันจะได้ความยาวคลื่นทางไฟฟ้าต่างกันดังนี้

ความถี่ MHz	ความยาวทางไฟฟ้า
300	$\lambda / 2$
600	λ
1200	2λ
150	$\lambda / 4$

จะแสดงว่าเมื่อความยาวทางฟิสิกส์คงที่ ความยาวทางไฟฟ้าของสายอากาศจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ และก็เป็นไปได้ที่จะตัดความยาวของสายอากาศเป็น $\lambda / 2$ ที่ความถี่ที่ใช้งานค่าใดค่าหนึ่ง และทำนองเดียวกัน ถ้าให้ความยาวทางไฟฟ้าคงที่ จะทำให้ความยาวจริงๆ เปลี่ยนไปโดยการตัดออกหรือต่อเข้าเช่นถ้าให้เป็นสายอากาศแบบ $\lambda / 2$ ที่ความถี่ 300 MHz ดังนั้นความยาวเท่ากับ 50 ซม. ถ้าที่ความถี่ 600 MHz จะเท่ากับ 25 ซม. ก็ให้ตัดออกเป็นต้น ที่ความถี่แตกต่างกันหรือความถี่เดียวกันก็จะให้ความยาวทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญขาดเหนาไปไซ้ประโยชน์ดานการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกัน (ในขณะที่ความยาวทางฟิสิกส์เท่ากัน) ก็จะได้รูปแบบดังรูปที่ 2.9 ก.ถึง 2.9 ง. ซึ่งบางครั้งเราไม่ต้องการรูปแบบดังกล่าวข้างต้น

2.1.3 อัตราขยายและสภาพชั้นนำของสายอากาศ

ถ้าเรามีสัญญาณที่มีกำลัง 0.0001mW หลังจากส่งสัญญาณนี้ผ่านสายที่ยาวจนเกิดการสูญเสียในสายไปเหลืออยู่ที่ด้านเอาต์พุทของสายเพียง $1/10$ ของสัญญาณเดิม เราอาจกล่าวได้ว่ากำลังสูญเสียในสายมีค่า -10 dB แต่ถ้าสมมุติว่าถ้านำสัญญาณนี้ป้อนเข้าเครื่องขยายที่มีอัตราขยาย $10,000,000,000$ เท่าเราจะพบว่าสิ่งหนึ่งที่เราจะคำนวณเอาต์พุทของเครื่องขยายทำได้โดยการใช้ตัวเลขมาคิดเป็นจำนวนมากถึง 10 หลัก แต่ถ้าเราคิดเป็น dB จะเห็นได้ว่าอัตราขยายของเครื่องมีเพียง 100dB นั่นคือสัญญาณอินพุทมีค่า 0.000001 mW ซึ่งถ้าเทียบสัญญาณ 1 mW เราจะพบว่าสัญญาณนี้มีขนาด 60 dB เทียบกับสัญญาณ 1 mW เมื่อเพิ่มอัตราขยาย 100 dB นั่นคือสัญญาณเอาต์พุทมีค่า 40 dB (เทียบกับสัญญาณ 1mW) ถ้าหาขนาดสัญญาณเอาต์พุทเราก็ตอบได้ว่ามีค่าเท่ากับ 10 W จะเห็นได้ว่าการคิดแบบ dB ทำให้เปลี่ยนการคูณหารมาเป็นบวกลบตามธรรมดา แต่มีข้อเสียที่ต้องแปลงกลับ เป็นหน่วยธรรมดาซึ่งก็ไม่ยากนัก (จะดูจากตารางก็ได้)

ในการวัดกำลัง เราสามารถวัดได้โดยใช้มิเตอร์วัดแรงดันที่โหลดที่รู้ค่าความต้านทานแล้วคำนวณกำลังได้ว่า $P=V^2/R$ ถ้าคิดเป็นเดซิเบลจะได้ว่า

$$\text{dB} = 10\log\{(v_2^2/R_2)/(v_1^2/R_1)\}$$

เมื่อ R_2 เป็นความต้านทานทางด้านเอาต์พุทซึ่งเป็น โหลด

R_1 เป็นความต้านทานทางอินพุทของเครื่องขยาย

ถ้า R_2 เท่ากับ R_1 จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\text{dB} &= 10\log(v_2^2/v_1^2) \\ &= 20\log(v_2/v_1)\end{aligned}$$

dB เป็นหน่วย ที่วัดอัตราขยายของสายอากาศโดยเทียบกับสายอากาศชนิดที่เรียกว่าสายอากาศไอโซโทรปิก (Isotropic Antenna) คือเป็นจุดของต้นกำเนิดสัญญาณแล้วแบ่งออกทุกทิศทางนั่นเอง สายอากาศชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่ให้ความเข้มของคลื่นสัญญาณ ณ.จุดที่ห่างสายมีค่าเท่ากัน จะมีความเข้มของคลื่นสัญญาณเท่ากัน

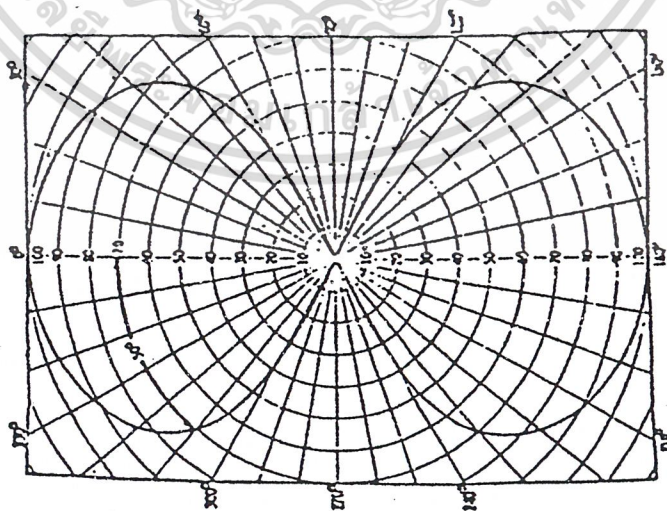
สายอากาศนั้น มีอัตราขยายได้อย่างไรในเมื่อเป็นอุปกรณ์พาสซีฟ (passive) อธิบายง่ายๆก็คืออัตราขยายของสายอากาศที่ได้นั้น ได้จากการที่เพิ่มความเข้มของคลื่นวิทยุเฉพาะทิศทางที่เราต้องการเท่านั้น ส่วนที่เพิ่มขึ้นนี้เราได้มาจากส่วนที่ไม่ต้องการให้ความเข้มของคลื่นวิทยุตกในทิศทางนั้น ตัวอย่างเกี่ยวกับทางด้านสัญญาณนี้ก็เห็นได้ยากแต่ถ้าทางด้านแสงจะเห็นได้ชัด ซึ่งแท้จริงแล้วแสงก็เป็นคลื่นวิทยุชนิดหนึ่ง เมื่อแสงสว่างกระทบกับวัตถุทำให้จักษุประสาทของคนเราเกิดความรู้สึกว่าสว่างหรือมืดอย่างเห็นได้ชัด

ถ้าเปรียบเทียบสายอากาศชนิดไอโซโทรปิกกับหลอดไฟกลม ซึ่งให้แสงสว่างเท่าๆกันทุกๆทิศทางของหลอดไฟ เราอาจจะออกแบบให้หลอดไฟสว่างเฉพาะจุดที่เราต้องการให้มันสว่างได้ เช่น การใช้โคมหลอดไฟยาว ซึ่งจะให้แสงสว่างในด้านความยาวมากกว่าทางด้านข้าง สายอากาศมีตัวชี้หน้า (director) ก็เหมือนเราใส่เลนส์นูนไว้ข้างหน้าหลอดไฟซึ่งก็จะพยายามบีบแสงให้เป็นลำพุ่งออกไป ทิศทางที่ลำแสงบีบไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้

ออกไปนั้นเราสามารถจะทำให้เกิดความเข้มของแสงสว่างได้มากขึ้น ถ้าเราใส่เลนส์ที่เหมาะสมและถูกต้อง สายอากาศที่เราใส่ตัวสะท้อน (reflector) ก็เหมือนกับเราใส่กระจกเงาไว้สะท้อนแสง ส่วนที่เราไม่ใช้ใน ด้านหลังของหลอดไฟให้สะท้อนออกไปในด้านหน้า ทำให้ความสว่างมากขึ้น ผลที่เราใส่ตัวชี้หน้าหรือตัว สะท้อนก็จะทำให้เราเพิ่มความเข้มของคลื่นวิทยุ ณ ทิศทางที่เราต้องการมากขึ้น แต่มุมของการส่งก็จะแคบ ลงตามลำดับ ถ้าเราพยายามที่จะเพิ่มอัตราขยายออกไปในทางทฤษฎีแล้วสายอากาศของเครื่องรับและของ เครื่องส่งไม่มีอะไรผิดแปลกจากกัน

ส่วนใหญ่นิยมที่จะเทียบอัตราขยายของสายอากาศกับไดโพล แทนที่จะเปรียบเทียบกับต้นกำเนิด ชนิดไอโซโทรปิก เนื่องจากว่าไดโพลเป็นสายอากาศชนิดง่ายที่สุดที่เราสามารถสร้างและทดสอบคุณสมบัติ ของมันได้ในทางปฏิบัติ

สภาพการชี้หน้าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสายอากาศ จะเป็นตัวบอกว่าสายอากาศจะรับสัญญาณ ได้ ดีในทิศทางใดทิศทางหนึ่งหรืออาจเรียกว่ารูปแบบของสภาพการชี้หน้า ถึงแม้ว่าสายอากาศแบบ ยูนิไดเรกชัน จะรับสัญญาณได้ดีในทิศทางหนึ่งทิศทางใดโดยเฉพาะของมัน แต่มันก็สามารถรับสัญญาณจากทิศทางอื่น ได้ด้วย แต่ความไวอาจจะน้อยกว่าทิศทางของรูปแบบ สภาพการชี้หน้าจะแสดงการเปลี่ยนแปลงของความไว ที่ทุกๆทิศทางโดยปกติจะแสดงกราฟในเชิงมุม รูปร่างของโลบของรูปแบบในเชิงมุม (Polar pattern) จะ แสดงคุณสมบัติสภาพการชี้หน้าของสายอากาศดังแสดงในรูป 2.12 ซึ่งแสดงรูปแบบของสายอากาศแบบได โพล $\lambda/2$ ในเทอมของแรงดันที่ตำแหน่งๆจะเป็นแบบสองทิศทาง (Bidirectional) มีโลบ (lobe) ที่มีขนาด เท่ากันทั้งด้านหน้าและด้านหลัง 2 ทิศทาง ทิศทางที่ความไวมีค่ามากที่สุดอยู่ในเส้นแนวตั้งฉากกับความยาว ของสายอากาศ ซึ่งรูปแบบนี้มีลักษณะเป็น 3 มิติ คือ ซีกแนวตั้งฉากกับกระดาษซึ่งจะมีรูปร่างเหมือนกัน โดยการหมุนแนวระนาบของกระดาษรอบตัวมันเองสังเกตว่าที่จุด 70.7 % บนเส้นศูนย์กลางเรียกจุด ครึ่ง กำลังงาน (half power point) และจะเป็นตำแหน่งที่มีความกว้างของโลบมากที่สุด มุมที่แสดงจุดนี้เรียก ความกว้างของลำคลื่นเชิงมุม (Beamwidth angle) จะเป็นตัวบอกคุณสมบัติเปรียบเทียบสภาพชี้หน้าของสาย อากาศชนิดต่างๆ จากโรงงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.12 แสดงรูปแบบ $\lambda/2$ ไดโพลมาตรฐาน ห้าหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากรูปนี้ความกว้างของลำคลื่นเชิงมุม (beamwidth angle) เป็น 50 องศา ในทางทฤษฎีสายอากาศแบบทิศทางเดียวที่สมบูรณ์จะมีความกว้างเชิงมุมเป็น 10 องศา ในการออกแบบจะมีค่านมนี้มากหรือน้อยกว่า 18 องศาเล็กน้อย นอกจากทิศทางที่มีค่ามากที่สุดแล้วยังมีทิศทางที่รับได้น้อยที่สุด เรียกว่า นัลโลบ (null lobe) ซึ่งจะอยู่ระหว่างทิศทางที่การรับดีที่สุดทั้งสอง โลบ ที่ตำแหน่งนี้สายอากาศแบบไดโพลจะรับสัญญาณไม่ได้เลยถึงแม้จะรีโซแนนซ์กับความถี่ของการส่ง

ปกติรูปแบบการชี้ทิศในสามมิติของสายอากาศ จะเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบไอโซโทรปิก (isotropic antenna) ซึ่งเป็นแบบอุดมคติทางทฤษฎีที่จะกระจายพลังงานในทุกทิศทางด้วยความเข้มของคลื่นเท่ากัน (omnidirection) ธรรมดาสายอากาศแบบ $\lambda/2$ ชนิดไดโพลจะมีอัตราขยายในทุกทิศทางเป็น 2.15dB เมื่อเทียบกับ ไอโซโทรปิกซึ่งมีอัตราขยาย 0dB คำว่าอัตราขยายของสายอากาศจะคล้ายคลึงกับสภาพการชี้หน้า เพราะว่าสภาพการชี้หน้าหรือรูปร่างของรูปแบบซึ่งไม่คิดกำลังที่สูญเสียไปคือเป็นสายอากาศที่มีประสิทธิภาพ 100% เพราะฉะนั้นจะได้สูตรอัตราขยาย $Gain = K \frac{P}{P_{av}}$ โดยที่อัตราขยายเป็น K เท่า เมื่อ P เป็นความเข้มทางพลังงานที่จุดที่รูปแบบมีค่ามากที่สุดบนผิวของทรงกลม (คิด space directivity) และ P_{av} เป็นความหนาแน่นของกำลังเฉลี่ย K เป็นค่าแสดงประสิทธิภาพมีค่ามากที่สุดเป็น 1, K ได้จากการแพร่พลังงานหารกับพลังงานอินพุต ถ้าสายอากาศมีประสิทธิภาพสูงคือ 100% ค่าอัตราขยายก็จะเท่ากับค่าสภาพการชี้หน้า อัตราขยายของสายอากาศในทางปฏิบัติวัดจากกำลังของสัญญาณที่วัดได้จากสายอากาศที่ต้องการหาอัตราขยายเปรียบเทียบกับกำลังที่เหนี่ยวนำจากสายอากาศแบบ $\lambda/2$ ไดโพล ที่มีขนาดรีโซแนนซ์ (ซึ่งทางทฤษฎีเทียบกับ ไอโซโทรปิกถ้าจะหาอัตราขยายสายอากาศเทียบกับ ไอโซโทรปิกก็บอกค่า 2.15dB กับค่าที่วัดได้เทียบกับ ไดโพล $\lambda/2$) สำหรับความถี่นั้นๆของสัญญาณ โดยวัดที่ระยะห่างเท่ากัน กำลังงานอินพุตเท่ากัน เช่น สายอากาศมีอัตราขยายกำลัง (power gain) เท่ากับ 10 หมายความว่าสายอากาศที่ต้องการเป็น 10 เท่าของไดโพลมาตรฐาน นอกจากนี้ในการทดลองมักจะวัดเป็นความเข้มสนามสัมพันธ์ (relative field strength)

ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับกำลังงานคือ $\frac{F1}{F2} = \frac{P1}{P2}$ เมื่อ F คือความเข้มสนามสัมพันธ์ ถ้าจะเปลี่ยนเป็นกำลังงานเพื่อหาอัตราขยายต่อไปก็ต้องยกกำลังสอง เพื่อความสะดวกในการหาอัตราขยายจะใช้หน่วยเป็น dB (เดซิเบล) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับกำลังงานดังนี้คือ

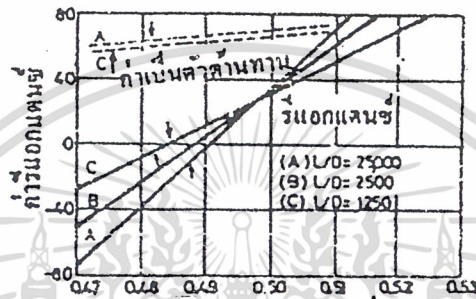
$$\begin{aligned} dB &= 10 \log \frac{P1}{P2} \\ &= 20 \log \frac{E1}{E2} \end{aligned}$$

อัตราขยายของสายอากาศยังแบ่งออกเป็นอัตราขยายของการส่ง (transmitting gain) โดยเปรียบเทียบกับไดโพลที่เป็นโพลดมีค่าเท่ากัน (ของทีวี 300 โอห์ม) กำลังเท่ากัน ระยะห่างเท่ากันและอัตราขยายของการรับ (receiving gain) โดยเทียบกับไดโพลมาตรฐานที่ความถี่ใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ความกว้างทางความถี่

สายอากาศที่มีค่า Q สูง จะทำให้การใช้งานได้ในช่วงความถี่ที่มีความกว้างทางความถี่แคบ คุณสมบัติของ Q ที่ค่ามากกว่าจะมีคุณสมบัติเหมือนวงจรรจุน (tuned circuit) ซึ่งมีความต้านทานภายในน้อย ความกว้างทางความถี่เป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศสามารถรับสัญญาณได้ดี สายอากาศที่มีความกว้างทางความถี่แคบเรียกสายอากาศชนิดแถบแคบ (narrow band antenna) ปกติในการออกแบบสายอากาศเพื่อการใช้งานจะออกแบบให้ทำงานได้ในช่วงความถี่กว้าง คือมีค่า Q น้อยๆหรือเรียกว่าสายอากาศแถบกว้าง (broad band antenna) วิธีที่ง่ายที่สุดในการทำให้ความกว้างทางความถี่ (bandwidth) กว้างขึ้นของสายอากาศแบบไดโพล $\lambda/2$ อันเดียวคือเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลางของโลหะ



รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวของสายอากาศกับค่ารีแอกแตนซ์

ซึ่งจะทำให้อัตราส่วนของความยาวกับเส้นผ่าศูนย์กลางเปลี่ยนไป จะทำให้ค่าความต้านทานและรีแอกแตนซ์ (reactance) ของสายส่งเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 2.11 และ 2.13

และความถี่ของการใช้งานก็จะเปลี่ยนไปจากความถี่รีโซแนนซ์เล็กน้อยเพื่อให้เกิดภาวะรีโซแนนซ์เช่นเดิม ต้องตัดสายอากาศให้สั้นลง

เมื่อไดโพล $\lambda/2$ ยาวหรือสั้นเกินไปที่รีโซแนนซ์ ค่าอิมพีแดนซ์ ที่จุดส่งสัญญาณจะแตกต่างกันไปในการแมทช์ (match) กับสายส่งดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งอิมพีแดนซ์จะสูงกว่าคุณสมบัติของสายส่ง คือเกิดไม่แมทช์ในทางปฏิบัติแล้วจะหาได้ โดยวัดอัตราส่วนของคลื่นที่ส่งกับคลื่นที่สะท้อนในสายส่ง

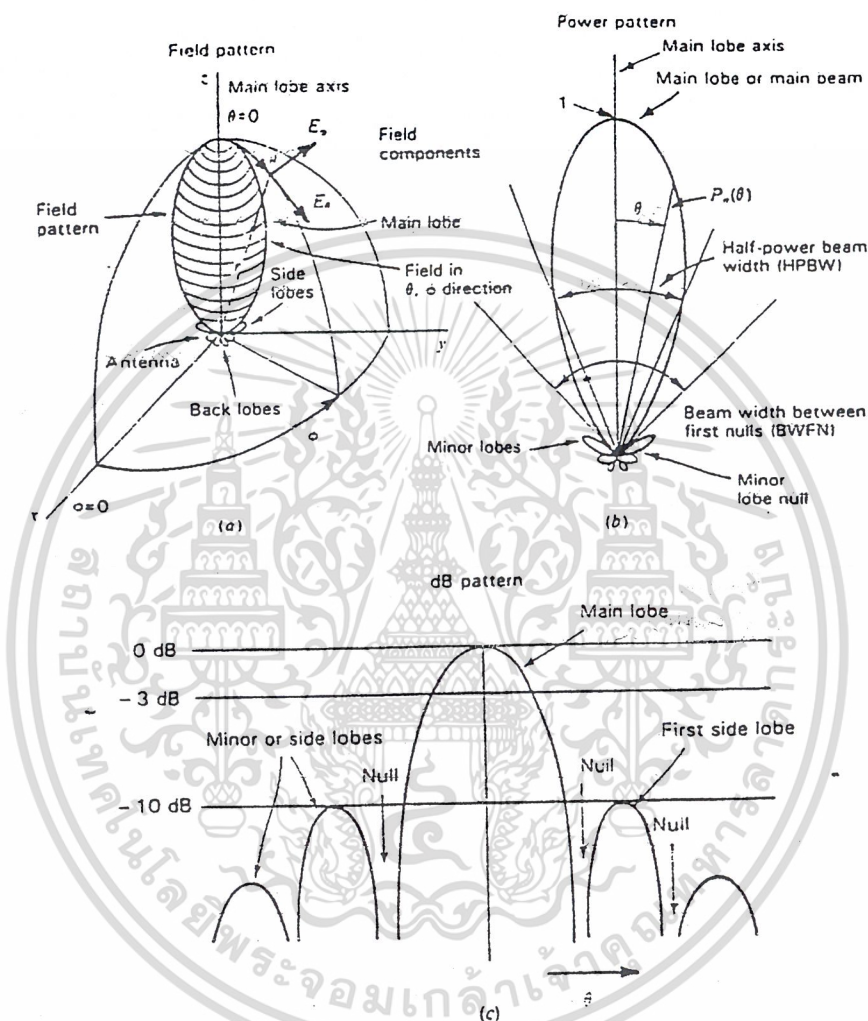
นอกจากนี้เราจะสังเกตได้ง่ายถ้ารับสัญญาณไม่ได้เลยที่ความถี่นั้นๆแสดงว่าสายอากาศยาวหรือสั้นเกินไป สายอากาศแบบยาคิวตัวแพร่สัญญาณหรือตัวขับจะรีโซแนนซ์กับความถี่และ แมทช์ (match) กับสายส่งได้รีเฟคเตอร์จะต้องยาวกว่า ตัวแพร่สัญญาณ (radiator) รีโซแนนซ์ที่ความถี่นั้นซึ่งจะทำให้ตัวเหมือนตัวเก็บประจุในการสะท้อนคลื่น ดังนั้นจะสรุปได้ว่าความกว้างทางความถี่ (bandwidth) ขึ้นกับค่าความต้านทานการแพร่ (radiation resistance) และรูปร่างของโลหะคือเส้นผ่าศูนย์กลาง ความกว้างทางความถี่ จะเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานการแพร่และเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ

2.2.1 แพทเทิร์นการแผ่กระจายคลื่น

แพทเทิร์นการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) คือรูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่น เมื่อเราสังเกตสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่บริเวณไกลจากตำแหน่งของแหล่งกำเนิดคลื่น (Far field) สนามไฟฟ้าจะสามารถเขียนออกมาในรูปดังนี้ คือ



รูปที่ 2.14 แสดงแพทเทิร์นการแผ่กระจายคลื่น

ซึ่งจะได้ สนามไฟฟ้าใน โคออดิเนตทรงกลม คือ

$$E(r, \theta, \phi) = \frac{e^{-jkr}}{r} D(\theta, \phi)$$

โดยที่ $D(\theta, \phi)$ นี้จะไม่แปรตามระยะทาง r แต่จะขึ้นอยู่กับ θ, ϕ เท่านั้น

การอธิบายคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่น จะอาศัยคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) ความเข้มของสนาม (Field Strength) เฟส (Phase) หรือ โพลาริเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงรูปของพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สามมิติที่รัศมีคงที่ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพทเทิร์นของการกระจายคลื่นโดยทั่วไปจะมี 2 แบบ คือ

ถ้าเขียนจากสนามไฟฟ้า $[D(\theta, \phi)]$ ในสมการ 2.24 จะเรียกว่า “ฟิลด์แพทเทิร์น (Field pattern)”

ดังรูป 2.14 (b)

ถ้าเป็น แพทเทิร์นที่เขียนจาก กำลังคลื่น $[D(\theta, \phi)^2]$ จะเรียกว่า “เพาเวอร์แพทเทิร์น (Power pattern)” ดังรูป 2.14 (b)

โดยปกติจะหาร ไปด้วยค่าสูงสุดซึ่งจะทำให้แพทเทิร์นมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 หรือ ถ้ากำกับหน่วยเป็น dB ค่าสูงสุดก็จะเป็น 0 dB

แพทเทิร์นของการกระจายคลื่นโดยทั่วไปแล้วจะมีรูปร่างทำนองเดียวกับ รูป 2.14 ซึ่งเรียก ลักษณะสำคัญๆ ในแพทเทิร์นนี้มีดังนี้

เมนบีม (Main beam) หรือ โลบหลัก (Major Lobe) คือบีมส่วนที่มีกำลังคลื่นกระจายออกไปมากที่สุด และ โดยทั่วไปจุดสูงสุดของแพทเทิร์นจะอยู่ในเมนบีมนี้ สำหรับสายอากาศบางชนิด อาจมีโบลหลักนี้มากกว่า หนึ่ง โลบ เช่น สายอากาศแยกบีม (Split – Beam Antenna)

โบลย่อย (Minor Lobe) ได้แก่โบลอื่นๆ นอกเหนือไปจากโบลหลัก

โบลข้าง (Side Lobe) เป็นโบลย่อยที่อยู่ติดโบลหลักจะอยู่ที่ทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโบลหลัก

โบลหลัง (Back Lobe) เป็นโบลย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโบลหลัก ปกติแล้ว โบลย่อยจะเกิดการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสำหรับสายอากาศที่ดีต้องจำกัดโบลหลักนี้ให้น้อยที่สุด

ระดับของโบลย่อยมักจะแสดงเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานใน โบลที่กำลังติดต่อความหนาแน่นของพลังงานในโบลหลัก ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนของ “ไซด์โบล (side lobe Ratio) หรือระดับไซด์โบล (Side lobe level : SLL) ในทางปฏิบัติมักจะต้องการระดับไซด์โบลน้อยกว่า -20 dB

แพทเทิร์นของการกระจายคลื่นนั้นในบางกรณี จะมีรูปร่างพิเศษ คือ

แพทเทิร์นแบบไอโซโทรปิก (Isotropic pattern) คือสายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้น โดยมีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นเท่ากันในทุกทิศทาง เช่น พอยท์ซอร์ส (point source) ซึ่งแพทเทิร์นเป็นรูปทรงกลม เป็นสายอากาศที่ไม่สามารถสร้างได้จริง แต่มักใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริง เกี่ยวกับคุณสมบัติการแสดงทิศทางสายอากาศ

สายอากาศชี้ทิศทาง (Directional Antenna) เป็นสายอากาศซึ่งมีคุณสมบัติของการส่งหรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีในเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น สายอากาศที่มีคุณสมบัติดังกล่าวคือ สายอากาศแบบออมนิไดเรกชันแนล (Omnidirection) ดังรูป 2.15

2.2.3 ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น : (Radiation Intensity)

ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (U) ในทิศทางที่กำหนดให้คือ กำลังงานที่แผ่กระจายออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศเกี่ยวกับสนามระยะไกล

$$U = r^2 W_{rad} \quad [W / \text{หน่วยมุมตัน}]$$

เมื่อ W_{rad} = ความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่น $[W / m^2]$ ซึ่งถ้าเขียนแสดงความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล คือ

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

เมื่อ E_θ, E_ϕ = ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล
 η = อินทริเนติกอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance) ของตัวกลาง และสามารถหาค่ากำลังงานทั้งหมดของการแผ่กระจายคลื่น โดยอินทิเกรตความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น ตลอดมุมตัน 4π srad รอบทรงกลม

$$Prad = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad (W)$$

2.2.4 ไคเรคตีวิตี : (Directivity)

ไคเรคตีวิตี คือ ค่าของ ไคเรคทีฟเกน (Directive Gain) ในทิศทางที่มีค่ามากที่สุด หรือค่าไคเรคตีวิตีของคั่นกำเนิด (สายอากาศ) ที่ไม่เป็นไอโซโทรปิก (Isotropic) คืออัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นที่มากที่สุด ต่อความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส

$$D_o = \frac{U_{max}}{U_o}$$

เมื่อ ไคเรคทีฟเกน (Directive Gain) ในทิศทางที่กำหนด คืออัตราส่วนของการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางนั้นต่อความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ซึ่งใช้สำหรับอ้างอิง ซึ่งปกติสายอากาศสำหรับอ้างอิงนี้จะใช้ไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส (Isotropic Point source)

$$D_g = \frac{U}{U_o}$$

- D_o = ไคเรคตีวิตี (ไม่มีหน่วย)
- D_g = ไคเรคทีฟเกน (ไม่มีหน่วย)
- U = ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (W / หน่วยมุมตัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

U_o = ความเข้มของการกระจายคลื่นของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส (W / หน่วยมมตัน)

P_{rad} = กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด

เมื่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของพอยท์ซอร์ส (U_o) คือ

$$U_o = \frac{Pr ad}{4\pi} \quad (\text{W/หน่วยมมตัน})$$

ดังนั้น

$$D_g = \frac{U}{U_o} = \frac{4\pi U}{Pr ad}$$

$$D_o = \frac{U \max}{U_o} = \frac{4\pi U \max}{Pr ad}$$

ซึ่งค่าไดเรกทีฟเฟน และไดเรกทีวิตีของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส มีค่าเป็นหนึ่งทั้งนี้ เพราะมีการแพร่กระจายคลื่นทุกทิศทางเท่ากันหมดคือ U, U_{\max} และ U_o ต่างมีค่าเท่ากัน ไดเรกทีวิตีของไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์ส มีค่าเท่ากับหนึ่งเสมอ เพราะว่ามันแพร่กระจายกำลังออกไปในทุกทิศทางด้วยค่าที่เท่ากัน แต่สำหรับคั่นกำเนิด (สายอากาศ) แบบอื่นๆ นั้น ย่อมมีไดเรกทีวิตี มากกว่าหนึ่งเสมอ

สรุป คือ ค่าไดเรกทีฟเฟนของสายอากาศ จะมากกว่า หรือเท่ากับศูนย์ และน้อยกว่าหรือเท่ากับไดเรกทีวิตีเสมอ

$$0 \leq D_g \leq D_o$$

โดยทั่วไป ไดเรกทีฟเฟนและไดเรกทีวิตี จะเป็นฟังก์ชันของมุม θ และ ϕ

$$U = B_o F(\theta, \phi)$$

$$U_{\max} = B_o F_{\max}(\theta, \phi)$$

ดังนั้นกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด คือ

$$P_{rad} = B_o \int_0^{2\pi} \int_0^\pi F(\theta, \phi) \sin \theta \, d\theta \, d\phi$$

ไดเรกทีฟเฟน คือ

$$D_g(\theta, \phi) = \frac{U}{U_o} = \frac{4\pi U}{Pr ad}$$

$$D_g(\theta, \phi) = \frac{4\pi F(\theta, \phi)}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi F(\theta, \phi) \sin \theta \, d\theta \, d\phi}$$

$$D_o(\theta, \phi) = \frac{4\pi}{\Omega A}$$

เมื่อ ΩA เป็นมุมตันของบีม ซึ่งเท่ากับ

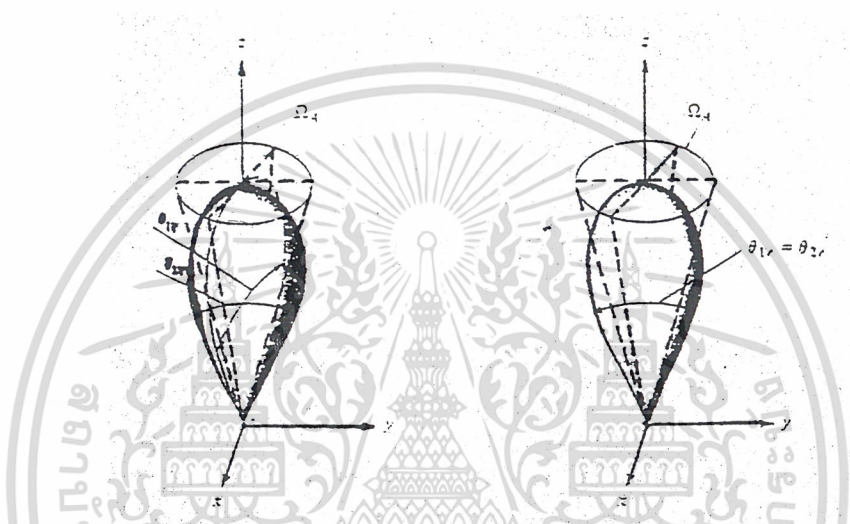
$$\Omega A = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi F(\theta, \phi) \sin \theta \, d\theta \, d\phi / F_{\max}(\theta, \phi)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \int_0^{2\pi} \int_0^\pi F_n(\theta, \phi) \sin \theta \, d\theta \, d\phi$$

$$F_n = [F(\theta, \phi)] / [F_{\max}(\theta, \phi)]$$

มุมตันของบีม $[\Omega_A]$ คือ มุมตันซึ่งกำลังงานทั้งหมดของสายอากาศ จะไหลผ่าน เมื่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นมีค่าคงที่ (และมีค่าเท่ากับค่าสูงสุดของ U) ในทุกมุมภายใน Ω_A สายอากาศซึ่งมีโลบลึกแคบๆ เพียง โลบลเดียว และมีโลบย่อยที่มีขนาดเล็กจนสามารถตัดทิ้งได้ มุมตันของบีมจะมีค่าประมาณเท่ากับผลคูณของ HPBW ในสองระนาบซึ่งตั้งฉากกัน ดังรูป



รูปที่ 2.17 แสดงแพทเทอรันของสายอากาศแบบสมมาตร และ แบบไม่สมมาตร จากการประมาณ โดยคิดจากค่าโลบลึกเพียงอย่างเดียว มุมตันของบีม Ω_A ประมาณเท่ากับ

$$\Omega_A = H_{1r} H_{2r}$$

เมื่อ $H_{1r} =$ HPBW ในระนาบใดๆ (เรเดียน)

$H_{2r} =$ HBW ในระนาบตั้งฉากกับระนาบแรก (เรเดียน)

ดังนั้น $D_o = \frac{4\pi}{\Omega_A} = \frac{4\pi}{H_{1r} H_{2r}}$

$$D_o = \frac{4\pi(180/\pi)^2}{H_{1d} H_{2d}}$$

เมื่อ H_{1d}, H_{2d} มีหน่วยเป็นองศา

จากสมการจะใช้ได้ก็เมื่อ แพทเทอรันมีโลบลึกโลบลเดียว และ โลบย่อยจะต้องมีขนาดเล็กมากๆ เท่านั้น สำหรับแพทเทอรันที่มีโลบย่อยที่มีระดับสูง การหาโคเรคทีวิตีโดยวิธีนี้ ซึ่งตัด โลบย่อยทิ้งจะมีค่าสูงเกินความจริง และการประมาณนี้จะใกล้เคียงขึ้น เมื่อบีมวิดท์แคบลงยิ่งขึ้น

โดยปกติเรามักแสดงค่าโคเรคทีฟเกน และ โคเรคทีวิตีเป็นหน่วยเดซิเบล (dB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน D_e (dB) = ศึกษา $10 \log_{10} D_e$ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.2.5 เกน : (Gain)

เกน ของสายอากาศนั้นเป็นความสัมพันธ์ที่ได้จากไดเรคทิวิตี้ โดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามามีด้วย ซึ่งในขณะที่ไดเรคทิวิตี้ แสดงคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น

เพาเวอร์เกน (Power Gain) ของสายอากาศในทิศทางที่กำหนดให้ นั้นมีค่าเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น ในทิศทางนั้นต่อกำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่ง เมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้ โดยทั่วไปแล้วเราจะคิดเพาเวอร์เกนในทิศทางที่มีการแผ่กระจายคลื่นแรงที่สุด

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

โดยทั่วไปแล้วเรามักพูดถึงเกนสัมพันธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของเพาเวอร์เกนในทิศทางที่กำหนดให้ ต่อเพาเวอร์เกนของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศทั้งสองนั้นต้องเท่ากัน สายอากาศเปรียบเทียบนั้นส่วนใหญ่ใช้แบบ ไอโซโทรปิคพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้น

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

เมื่อกำลังงานที่แผ่กระจายทั้งหมด (P_{rad}) สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ (P_{in}) คือ

$$P_{rad} = e_t P_{in}$$

e_t : เป็นประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ

$$\therefore G_g(\theta, \phi) = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{rad}}$$

จะ ได้ความสัมพันธ์คือ

$$G_g(\theta, \phi) = e_t G_g(\theta, \phi)$$

ค่าสูงสุดความสัมพันธ์กับค่าไดเรคทิวิตี้ คือ

$$G_o = G_g(\theta, \phi) |_{max} = e_t D_g(\theta, \phi) |_{max}$$

$$G_o = e_t D_o$$

G_o : Gain ของสายอากาศในทิศทางที่มีการแผ่กระจายคลื่นสูงสุด

คือค่าเพาเวอร์เกนที่มีค่าสูงสุด

$$G_o(\text{dB}) = 10 \log_{10} [e_t D_o]$$

2.2.6 ประสิทธิภาพของสายอากาศ : (Efficiency factor of antenna)

ประสิทธิภาพของสายอากาศ (e_t) จะใช้เมื่อเรากำลังพิจารณาถึงการสูญเสียต่าง ๆ ที่ขั้ว และภายใน โครงสร้างของสายอากาศด้วย การสูญเสียต่างๆ อาจเนื่องมาจาก ไม่ว่าจะเป็นการนำไฟฟ้า ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การสะท้อนกลับเนื่องจากการไม่แมทช์ (Mismatch) กันระหว่างสายส่ง (Transmission Line) กับสายอากาศ

- การสูญเสียภายในตัวนำและฉนวน (Γ^2)

โดยทั่วไปประสิทธิภาพทั้งหมด คำนวณได้จาก

$$e_t = e_r e_c e_d \quad 2.50$$

ซึ่งโดยทั่วไป $0 \leq e_t \leq 1$

เมื่อ e_t = ประสิทธิภาพของสายอากาศ

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

e_c = ประสิทธิภาพของตัวนำ

e_d = ประสิทธิภาพของฉนวน

Γ = สัมประสิทธิ์การสะท้อน ของศักย์ภาพไฟฟ้าที่หัวสายอากาศ

$$\Gamma = (Z_{in} - Z_0) / (Z_{in} + Z_0)$$

Z_{in} = อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

Z_0 = อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายส่ง

ปกติ e_c และ e_d มักหาจากการทดลอง ดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงรวมกัน

$$e_{cd} = e_c e_d$$

e_{cd} : ประสิทธิภาพในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศซึ่งเมื่อสายอากาศไม่มีการสูญเสีย $e_{cd} = 1$

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

2.2.7 ประสิทธิภาพของบีม : (Beam efficiency)

ประสิทธิภาพของบีม เป็นพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่ใช้ในการตัดสินว่าสายอากาศมีคุณภาพของการส่งหรือรับคลื่นดีเพียงใด สำหรับสายอากาศซึ่งมีโลบล็อกจากอยู่ที่ทิศทางแกน z ($\theta=0$) ประสิทธิภาพของบีม

(Beam efficiency : BE) คือ

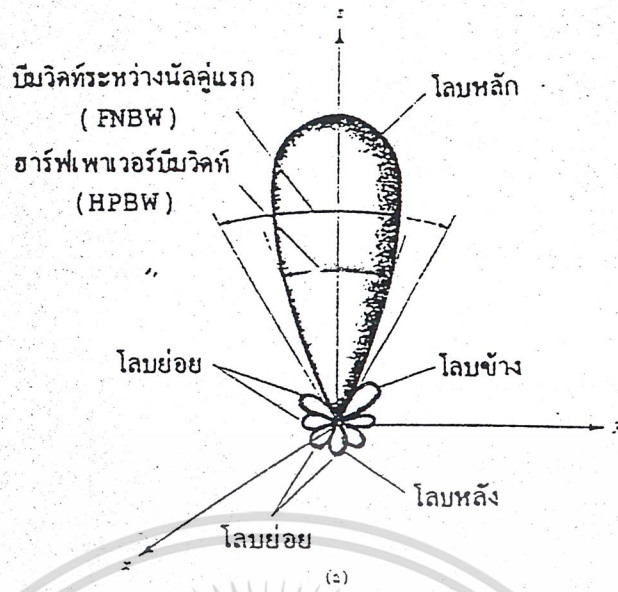
$$BE = \frac{\text{กำลังส่งหรือรับภายในกรวยซึ่งทำมุม } \theta_1}{\text{กำลังส่งหรือรับทั้งหมดด้วยสายอากาศนั้น}}$$

$$BE = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_1} U(\theta, \phi) \sin \theta \, d\theta \, d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} U(\theta, \phi) \sin \theta \, d\theta \, d\phi}$$

เมื่อ θ_1 เป็นมุมที่เกิดมี นัล (Null) คือจุดตำแหน่งที่กำลังมีค่าเป็นศูนย์เป็นคู่แรก ดังนั้นประสิทธิภาพของบีมจะเป็นปริมาณที่แสดงอัตราส่วนของจำนวนกำลังงานในโลบล็อกจาก (θ_1) ต่อกำลังงานที่มีทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

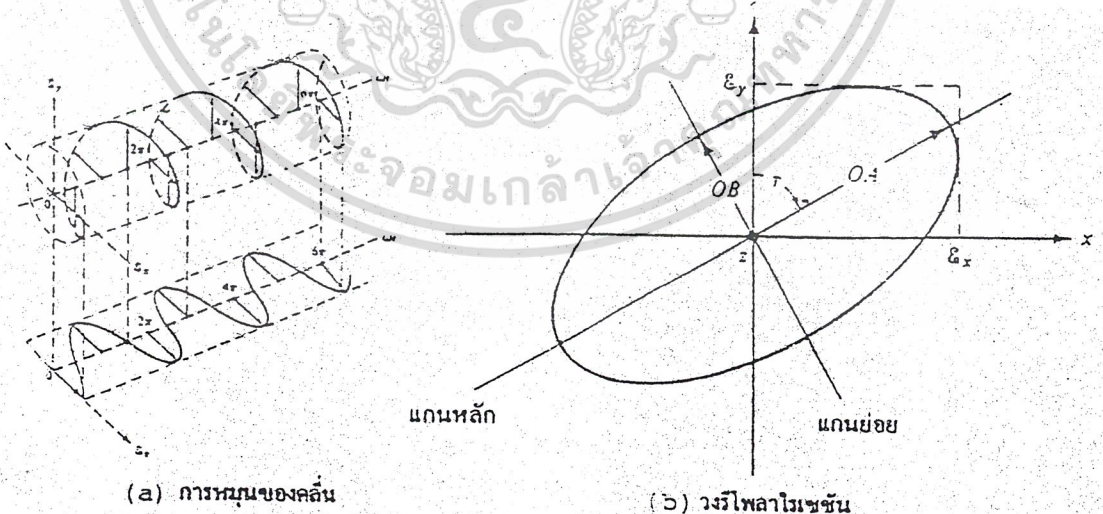
040371



รูปที่ 2.18 แสดงบีมของสายอากาศ

2.2.8 โพลาริเซชัน : (Polarization)

โพลาริเซชันของคลื่นที่แพร่กระจายนั้น เป็นรูปแสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกไป ที่อธิบายทิศทาง และขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าซึ่งแปรผันตามเวลา โดยโพลาริเซชัน จะแสดงการกวาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าต่างๆ ณ ตำแหน่งที่ทำการสังเกตซึ่งคงที่ และการสังเกตนี้จะทำโดยมองตามหลักคลื่นที่เดินทางไป ดังรูป 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะโพลาริเซชันของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโพลาไรเซชันของสายอากาศในทิศทางหนึ่งทิศทางใด จะเป็นโพลาไรเซชันของคลื่นที่มาตกกระทบสายอากาศนั้น จากทิศทางที่กำหนดให้ ซึ่งเมื่อสายอากาศรับคลื่นแล้วจะมีกำลังงานที่หัวของสายอากาศมากที่สุด ถ้าไม่ได้กำหนดทิศทางมาให้ จะหมายถึงทิศทางที่สายอากาศมีแกนมากที่สุด ดังนั้นโพลาไรเซชันของสายอากาศในทิศทางที่ต่างกัน จะต่างกัน

การแบ่งชนิดของโพลาไรเซชัน อาจแบ่งเป็น

- แบบลิเนียร์โพลาไรเซชัน (Linearly Polarization)
- แบบโพลาไรเซชันทรงกลม (Circularly Polarization)
- แบบโพลาไรเซชันวงรี (Elliptically Polarization)

ถ้าสนามไฟฟ้าหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (คือเมื่อมองตามหลังคลื่นแล้ว จะเห็นมีการหมุนตามเข็มนาฬิกา) จะเรียกว่าเป็นโพลาไรเซชันมือขวา ในขณะที่หากสนามไฟฟ้าหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา จะเป็นโพลาไรเซชันมือซ้าย

ซึ่งจะเขียนสนามชั่วขณะเวลานั้นของคลื่นระนาบ ที่เดินทางในทิศทาง $-z$ ได้ว่า

$$E(z, t) = a_x E_x(z, t) + a_y E_y(z, t)$$

เมื่อส่วนประกอบของสนามชั่วขณะเวลานั้นสัมพันธ์กับค่าเชิงซ้อนของสนามนั้นดังนี้

$$E_x(z, t) = E_1 \cos(\omega t - kz)$$

$$E_y(z, t) = E_2 \cos(\omega t - kz + \theta)$$

ถ้าให้เฟสของ E_2 เร็วกว่า E_1 อยู่ในมุม θ ที่ระนาบ $z = 0$

$$E_x(z, t) = E_1 \cos(\omega t)$$

$$E_y(z, t) = E_2 \cos(\omega t + \theta)$$

$$E_y(z, t) = E_2 (\sin \omega t \cos \theta + \cos \omega t \sin \theta)$$

$$\cos \omega t = \frac{E_x(z, t)}{E_1}, \sin \omega t = \sqrt{1 - \left(\frac{E_x}{E_1}\right)^2}$$

แทนค่า $\cos \omega t, \sin \omega t$ ในสมการ $E_y(z, t)$ จะได้

$$\frac{E_x^2}{E_1^2 \sin^2 \theta} - \frac{2 \cos \theta E_x E_y}{E_1 E_2 \sin^2 \theta} + \frac{E_y^2}{E_2 \sin^2 \theta} = 1$$

จากสมการเป็นสมการของวงรีที่มีแกนหลักทั้งสองไม่ตรงกับแกน x และ y

ลิเนียร์โพลาไรเซชัน

จากสมการข้างบนแทน $q = \theta$

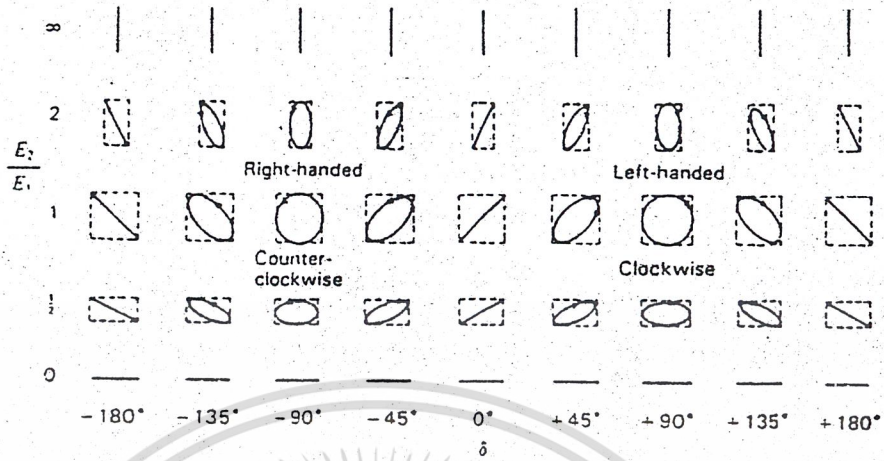
$$\frac{E_x^2}{E_1^2 \sin^2 \theta} - \frac{2 \cos \theta E_x E_y}{E_1 E_2 \sin^2 \theta} + \frac{E_y^2}{E_2 \sin^2 \theta} = 1$$

สมการ A

$$\frac{E_x^2}{E_1^2} - \frac{2 \cos \theta E_x E_y}{E_1 E_2} + \frac{E_y^2}{E_2^2} = \sin^2 \theta$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้เฟสของ E_1 และ E_2 ต่างกัน $n\pi$ คือ $\theta = n\pi$; $n = 1, 2, 3 \dots$ จะได้สมการเส้นตรง และยังเป็น
 ลิเนียร์โพลาไรเซชันได้อีกหลายเงื่อนไขดังรูป 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะการเกิดโพลาไรเซชัน

โพลาไรเซชันแบบวงกลม

จะเกิดโพลาไรเซชันแบบวงกลมได้ก็ต่อเมื่อขนาดของส่วนประกอบของสนามทั้งสองมีค่าเท่ากัน ($|E_1| = |E_2|$) และความต่างเฟสระหว่างส่วนประกอบทั้งสองเป็นจำนวนที่เท่าของ $\pi/2$ ดังรูป 2.20

$$\begin{aligned} |E_1| &= |E_2| \\ \theta &= \begin{aligned} &+((1/2) + 2n) \pi ; n=0, 1, 2, 3 \dots \text{CW} \\ &-((1/2) + 2n) \pi ; n=0, 1, 2, 3 \dots \text{CCW} \end{aligned} \end{aligned}$$

CW (Clockwise) คือสนามหมุนตามเข็มนาฬิกา

CCW (Counter Clockwise) คือสนามหมุนทวนเข็มนาฬิกา

ถ้าแทนค่าในสมการ A จะได้ $E_x^2 + E_y^2 = |E_1|^2$ คือสมการวงกลม

โพลาไรเซชันแบบวงรี

โพลาไรเซชันวงรีจะเกิดขึ้น เมื่อความต่างเฟสเป็นจำนวนที่ของ $\pi/2$ แต่ขนาดของสนามไฟฟ้าไม่เท่ากัน หรือความแตกต่างเฟสไม่เป็นจำนวนที่ของ $\pi/2$ ดังรูป 2.20

$$\begin{aligned} |E_1| &\neq |E_2| \\ \text{เมื่อ} \quad \theta &= \begin{aligned} &+((1/2) + 2n) \pi ; n=0, 1, 2, 3 \dots \text{CW} \\ &-((1/2) + 2n) \pi ; n=0, 1, 2, 3 \dots \text{CCW} \end{aligned} \end{aligned}$$

หรือ $\theta \neq \pm n\pi/2 ; n = 0, 1, 2, \dots$

ถ้าแทนค่าสมการ A จะได้สมการวงรี

$$\frac{E_x^2}{|E_1|^2} + \frac{E_y^2}{|E_2|^2} = 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีของโพลาริเซชันวงรี นั้นอัตราส่วนของแกนหลักต่อแกนย่อยจะเรียกว่าเป็นอัตราส่วนของแกน (Axial Ratio : AR) คือ

$$AR = \text{แกนหลัก/แกนย่อย} = \frac{OA}{OB}$$

เมื่อ $1 \leq AR \leq \infty$

โพลาริเซชันลอสเฟคเตอร์ (Polarization Loss Factor)

โดยทั่วไปแล้วโพลาริเซชันของสายอากาศไม่เหมือนกับโพลาริเซชันของคลื่นที่เดินทางมายังสายอากาศ ซึ่งเรียกว่าเกิดโพลาริเซชันมิสแมทช์ (Polarization Mismatch) ทำให้สายอากาศไม่สามารถดึงเอากำลังงานออกจากคลื่นได้สูงสุด เนื่องจากเกิดการสูญเสียจากโพลาริเซชัน (Polarization loss) สมมุติว่าสนามไฟฟ้าของคลื่นที่เดินทางเข้ามายังสายอากาศ (\overline{E}_i) เขียนได้ดังนี้

$$\overline{E}_i = \overline{\rho}_w E_i$$

ให้ $\overline{\rho}_w$ เป็นหน่วยเวกเตอร์ของคลื่น

โพลาริเซชันของสนามไฟฟ้าของสายอากาศรับ (E_a) มีค่าดังนี้

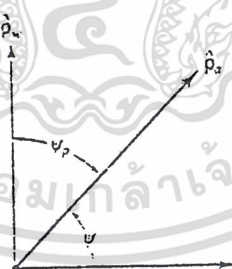
$$\overline{E}_a = \overline{\rho}_a E_a$$

ให้ $\overline{\rho}_a E_a$ เป็นหน่วยเวกเตอร์ของสายอากาศ

กำหนดให้โพลาริเซชันลอสเฟคเตอร์ (Polarization loss Factor : PLF) มีค่าดังนี้

$$PLF = |\overline{\rho}_w \cdot \overline{\rho}_a|^2 = |\cos \varphi_p|^2$$

เมื่อ φ_p เป็นมุมระหว่างหน่วยเวกเตอร์ทั้งสอง ดังรูป 2.21 ถ้าเกิดโพลาริเซชัน เมทซ์ ค่า PLF จะเป็นหนึ่ง และสายอากาศจะรับกำลังงานได้มากที่สุด ดังนั้นถ้าสายอากาศกับคลื่นที่มาตกกระทบสายอากาศตั้งฉากกันและกัน แล้วสายอากาศนั้นจะรับคลื่นไม่ได้เลย



รูปที่ 2.21 หน่วยเวกเตอร์โพลาริเซชัน

2.2.9 อินพุทอิมพีแดนซ์ : (Input Impedance)

อินพุทอิมพีแดนซ์ ของสายอากาศจะเป็นค่าอิมพีแดนซ์ที่ขั้วของสายอากาศนั้นๆ อาจเป็นอัตราส่วนระหว่างศักดาไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้า ที่ขั้วสายอากาศนั้น คือ อัตราส่วนของสนามไฟฟ้าต่อสนามแม่เหล็กที่จุดใดๆ อิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ Z_A การใช้งานเพื่อ $R_A + jX_A$ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $R_A =$ ความต้านทานที่ขั้วสายอากาศ
 $X_A =$ รีแอกแตนซ์ที่ขั้วสายอากาศ

โดยทั่วไปความต้านทานที่ขั้วสายอากาศ (R_A) จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

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

เมื่อ $R_r =$ ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

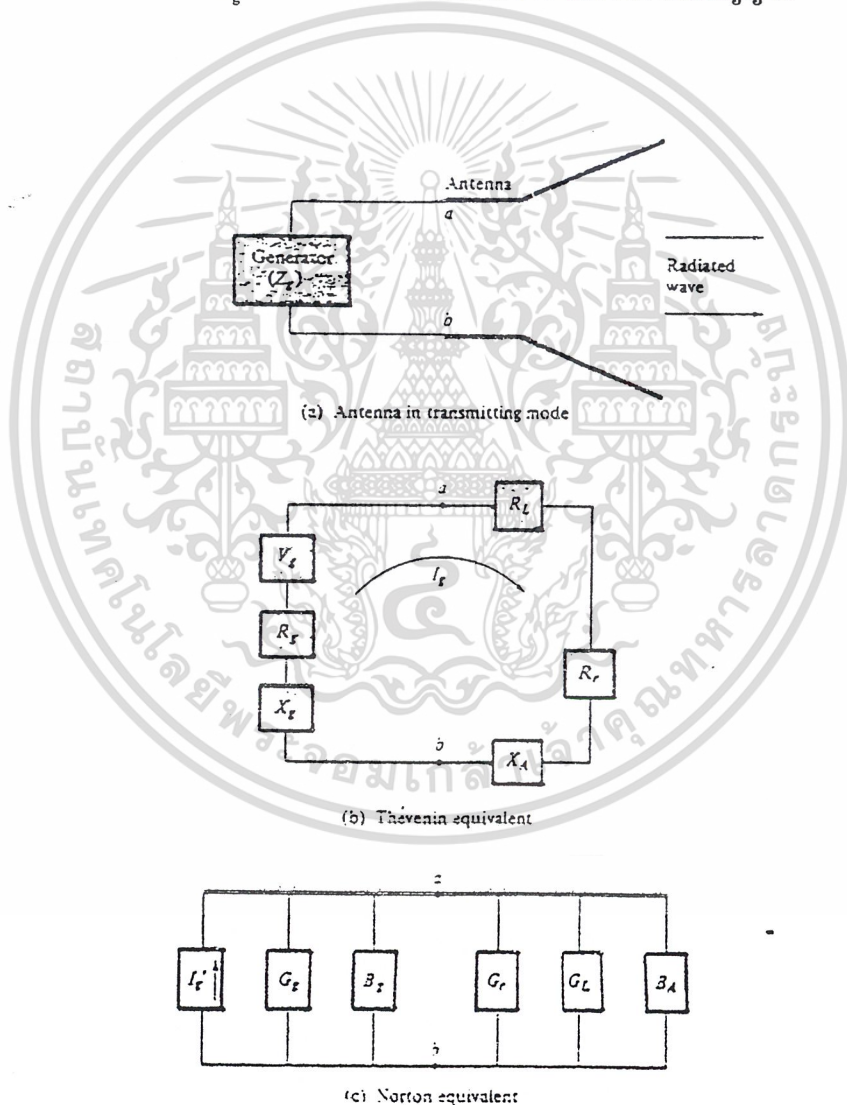
$R_L =$ ความต้านทานการสูญเสียของสายอากาศ

ถ้าให้สายอากาศต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดสัญญาณที่มี อินพีแดนซ์ ภายในเป็นดังนี้

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

เมื่อ $R_g =$ ความต้านทานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ

$X_g =$ รีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ



รูปที่ 2.22 แสดงวงจรสมมูลอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศในโหมดการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.22 หากกระแสที่ไหลภายในลูปได้คือ

$$I_g = \frac{V_g}{Z_t} = \frac{V_g}{Z_A + Z_g}$$

$$I_g = \frac{V_g}{(R_r + R_L + R_g) + j(X_A + X_g)} \quad (A)$$

ขนาดของกระแสมีค่าดังนี้

$$|I_g| = \frac{|V_g|}{\sqrt{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2}} \quad (A)$$

กำลังงานที่ถูกนำมายังสายอากาศเพื่อการเผยแพร่กระจายคลื่นจะมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} P_r &= \frac{1}{2} |I_g|^2 R_r \\ &= \frac{|V_g|^2}{2} \cdot \frac{R_r}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \end{aligned} \quad (W)$$

กำลังงานที่สูญเสียกลายเป็นความร้อนมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} P_L &= \frac{1}{2} |I_g|^2 R_L \\ &= \frac{|V_g|^2}{2} \cdot \frac{R_L}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \end{aligned} \quad (W)$$

กำลังงานที่เหลือจะเป็นส่วนที่สูญเสียเป็นความร้อนในความต้านทานที่ซ้ำ R_g ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ ซึ่งมีค่า

$$P_g = \frac{|V_g|^2}{2} \cdot \frac{R_g}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \quad (W)$$

จะเห็นว่ากำลังงานที่ถูกนำมายังสายอากาศ จะมีค่ามากที่สุด เมื่อเกิดการคอนจูเกตแมทซ์ (Conjugate Match) นั่นคือจะเกิดเมื่อ

$$R_g = R_r + R_L$$

และ $X_A = -X_g$

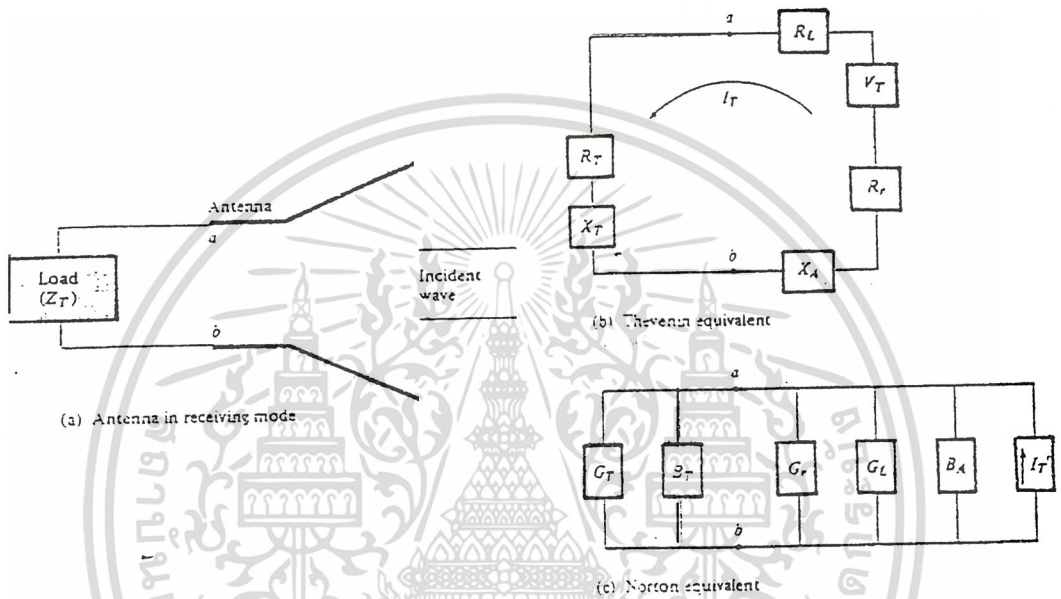
ซึ่งจะทำให้ $P_g = P_r + P_L = \frac{|V_g|^2}{8} \cdot \frac{R_g}{(R_r + R_L)^2}$

ดังนั้นกำลังงานที่เครื่องกำเนิดสัญญาณต้องจ่ายเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทซ์ จะมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} P_r &= \left(\frac{1}{2}\right) V_g I_g^* \\ &= \left(\frac{1}{2}\right) V_g \cdot \frac{V_g^*}{2(R_r + R_L)} \\ &= \frac{|V_g|^2}{4} \cdot \frac{1}{R_r + R_L} \end{aligned} \quad (W)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนกำลังที่เครื่องกำเนิดสัญญาณจ่ายทั้งหมด P_g ครึ่งหนึ่งจะสูญเสียเป็นความร้อนภายในความต้านทานภายใน (R_g) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ และอีกครึ่งหนึ่งจะถูกนำมายังสายอากาศซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทซ์เท่านั้น ในส่วนของกำลังงานที่ยังสายอากาศส่วนหนึ่งจะแพร่กระจายออกไปโดยผ่านกลไกที่เกิดจากความต้านทานการแพร่กระจายคลื่น P_r อีกส่วนหนึ่งจะสูญเสียเป็นความร้อน ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ ซึ่งถ้าสายอากาศไม่มีการสูญเสีย ($e_{cd} = 1$) ครึ่งหนึ่งของกำลังงานที่เครื่องกำเนิดสัญญาณจ่าย จะแพร่กระจายออกเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทซ์ สมมติว่าเป็นการแมทซ์ที่สมบูรณ์ระหว่างสายอากาศกับสายส่ง ($e_r = 1$) ถ้ามีการใช้สายอากาศเป็นสายอากาศรับ ดังรูป 2.23 ถ้ามีคลื่นตกกระทบเข้ามายังสายอากาศ จะเหนี่ยวนำให้เกิดศักดาไฟฟ้า V_i ซึ่งเทียบได้กับ V_g ในโหมดของการส่ง



รูปที่ 2.23 แสดงวงจรสมมูลอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศในโหมดการรับ

โดยปกติอินพุทอิมพีแดนซ์ ของสายอากาศจะเป็นฟังก์ชันของความถี่ และจะเหมาะสมกับสายส่งเฉพาะ ในช่วงความถี่ช่วงหนึ่งๆ เท่านั้น นอกจากนี้อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศยังขึ้นกับแฟคเตอร์ต่างๆ อีกได้แก่รูปทรง วิธีการป้อนสัญญาณ และสิ่งแวดล้อมข้างเคียง เนื่องจากคำนวณได้ยากจึงมัก จงหาค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ได้จากการทดลองวัด

2.2.10 แบนด์วิดท์ : (Band Width)

แบนด์วิดท์ของสายอากาศถูกกำหนดให้เป็นช่วงความถี่ ที่สายอากาศมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดให้ อาจเป็นช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่างๆ เช่น อินพุทอิมพีแดนซ์ แพทเทอรัน, บีมีวิดท์, โพลารไรเซชัน, ระดับของไซเคิลโอบ, แกน, ประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่นให้อยู่ในค่าที่ใช้งานได้คือไม่ต่างจากคุณสมบัติที่วัดที่ความถี่ตรงกลางที่ออกแบบ จนทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เสียไปจากข้อกำหนดหรือมาตรฐาน

เนื่องจากคุณสมบัติต่าง ๆ ของสายอากาศที่กล่าวมาจะไม่เปลี่ยนแปลง ตามความถี่ในลักษณะเดียว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้ากันทั้งหมด ดังนั้นจึง ไม่สามารถกำหนดแบนด์วิดท์ตามคุณสมบัติได้อย่างใดอย่างหนึ่ง ได้จึงต้องมีการกำหนด ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อบังคับให้เป็นไปตามการประยุกต์ใช้งานแต่ละอย่าง ปกติแล้วคุณสมบัติของแพทเทอรัน กับอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ จึงมักถูกใช้เป็นตัวกำหนดแบนด์วิดท์ของสายอากาศ

2.3 อาร์เรย์

จากการศึกษาคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเดี่ยวซึ่งมีแพทเทอรันข้างกว้างและแกนต่ำ แต่ในงานบางอย่างต้องการใช้สายอากาศที่มีแกนสูง การเพิ่มแกนนี้อาจทำได้โดยเพิ่มขนาดของสายอากาศ

แม้ว่าการเพิ่มขนาดของสายอากาศเดี่ยวจะทำให้คุณสมบัติในการชี้ทิศทางดีขึ้นก็ตามแต่ก็มีวิธีอื่นที่จะเพิ่มขนาดของสายอากาศ โดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของสายอากาศที่นำมาทำเป็นอีลีเมนต์ (Element) ซึ่งทำได้โดยจัดอีลีเมนต์ที่แพร่กระจายคลื่นให้เหมาะสมทั้งทางไฟฟ้าและรูปทรง ซึ่งเรียกว่าอาร์เรย์ (Array) ปกติแล้วจะเลือกให้แต่ละอีลีเมนต์ของอาร์เรย์เหมือนกัน

เมื่อตัดการคับปลิง (Coupling) ระหว่างอีลีเมนต์ทั้ง จะหาสนามลัพธ์ของอาร์เรย์ได้โดยบวกแอมพลิจูดของสนามที่แพร่กระจายจากแต่ละอีลีเมนต์ สนามจะรวมกัน ในทิศทางที่ต้องการ และจะหักล้างกันในทิศทางที่ไม่ต้องการ

วิธีที่จะควบคุมแพทเทอรันของสายอากาศ ซึ่งทำได้โดยควบคุมสิ่งต่าง ๆ ต่อไปนี้ มีอยู่ 5 วิธีคือ

1. การจัดเรียงอีลีเมนต์ ของอาร์เรย์ (เป็นเส้นตรง, วงกลม, สี่เหลี่ยม, ฯลฯ)
2. ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์
3. ขนาดของกระแสที่ป้อนแต่ละอีลีเมนต์
4. เฟสของกระแสที่ป้อนแต่ละอีลีเมนต์
5. แพทเทอรันของแต่ละอีลีเมนต์

$$\cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta_n + \beta) \right] = 0 - \frac{1}{2} (kd \cos \theta_n + \beta) = \left(\frac{2n+1}{2\pi d} \right) \pi$$

และ

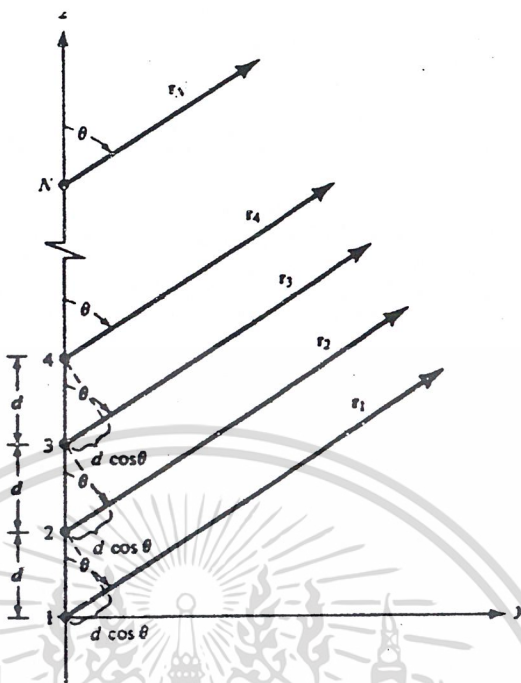
$$-\theta_n = \cos^{-1} \left(\frac{\lambda}{2\pi d} \left[\beta \pm (2n+1)\pi \right] \right), n = 0, 1, 2, \dots$$

จะมีนัลเกิดที่ $\theta = 90^\circ$ ซึ่งเกิดจากอีลีเมนต์แพทเทอรัน ในขณะที่นัลที่เหลือเกิดจากอาร์เรย์แฟลคเตอร์ถ้า $\beta = 0^\circ$ ในที่นี้ d ต้อง $\geq \frac{\lambda}{2}$ ถึงจะเกิดอย่างน้อย 1 นัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 อาร์เรย์ N อีลีเมนต์

เมื่อขนาดของกระแสป้อนแต่ละอีลีเมนต์และระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ที่มีค่าสม่ำเสมอ



รูปที่ 2.24 รูปการหาสนามระยะไกลของอาร์เรย์ N อีลีเมนต์

ของไอโซโทปิคเซอร์สวางตามแนวแกน Z

จากรูปข้างบน มีอีลีเมนต์ที่เหมือนกันอยู่ N ตัว แต่ละอีลีเมนต์มีเฟสต่างกัน จะเรียกอาร์เรย์แบบนี้ว่ายูนิฟอร์มอาร์เรย์ (Uniform Array)

สนามลิฟท์ของอาร์เรย์นี้จะเป็นการคูณแพทเทอรระหว่างอีลีเมนต์แพทเทอรร่วมกับอาร์เรย์เฟลคเตอร์ ในกรณีนี้อาร์เรย์เฟลคเตอร์ จะมีค่าดังต่อไปนี้

$$AF = 1 + e^{j(kd \cos \theta + \beta)} + e^{j2(kd \cos \theta + \beta)} + \dots + e^{j(n-1)(kd \cos \theta + \beta)}$$

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kd \cos \theta + \beta)} \tag{สมการ (2.3.1)}$$

ซึ่งเขียนได้ว่า

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\varphi} \tag{2.3.2}$$

เมื่อ

$$\varphi = kd \cos \theta + \beta$$

เมื่อคูณทั้งสองข้างของสมการ(3.2) ด้วย $e^{j\varphi}$ จะได้

$$(AF)e^{j\varphi} = e^{j\varphi} + e^{2j\varphi} + e^{3j\varphi} \dots + e^{j(N-1)\varphi} + e^{jN\varphi} \tag{2.3.3}$$

และเมื่อลบ (2.3.2) ออกจากสมการ (2.3.3) จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$AF = (e^{j\varphi} - 1) = (-1 + e^{jN\varphi}) \tag{2.3.4}$$

หรือเขียนได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 AF &= \left[\frac{e^{jN\varphi} - 1}{e^{j\varphi} - 1} \right] = e^{j[(N-1)/2]\varphi} \left[\frac{e^{j(N/2)\varphi} - e^{-j(N/2)\varphi}}{e^{j(1/2)\varphi} - e^{-j(1/2)\varphi}} \right] \\
 &= e^{j[(N-1)/2]\varphi} \left[\frac{\sin\left(\frac{N\varphi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)} \right]
 \end{aligned} \tag{2.3.5}$$

ถ้าจุดเปรียบเทียบเฟสเป็นจุดกึ่งกลางของอาร์เรย์ (2.3.5) จะกลายเป็นดังนี้

$$AF = \left[\frac{\sin(2^{N\varphi})}{\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)} \right] \tag{2.3.6}$$

ถ้าค่า φ มีน้อยกว่าจะประมาณได้ว่า

$$AF \approx \left[\frac{\sin\left(\frac{N\varphi}{2}\right)}{\frac{\varphi}{2}} \right] \tag{2.3.7}$$

(2.3.5) และ (2.3.6) มีค่าสูงสุดเท่ากับ N และค่าแอมพลิจูดอาร์เรย์แฟคเตอร์จะมีค่าดังนี้คือ

$$(AF)_n = \frac{1}{N} \left[\frac{\sin(2^{N\varphi})}{\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)} \right] \tag{2.3.8}$$

และ

$$(AF)_n \approx \left[\frac{\sin(2^{N\varphi})}{\frac{N\varphi}{2}} \right] \tag{2.3.9}$$

ถ้าจะหานัดจะกำหนดให้ (2.3.8) และ (2.3.9) เท่ากับศูนย์ เพราะฉะนั้น

$$\sin\left(\frac{N\varphi}{2}\right) = 0 \Rightarrow \frac{N\varphi}{2} \Big|_{\theta = \theta_n} = \pm n\pi \Rightarrow \theta_n = \cos^{-1} \left[\frac{\lambda}{2\pi d} \left(-\beta \pm \frac{2n\pi}{N}\right) \right] \tag{2.3.10}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

เมื่อ $n \neq N, 2N, 3N, \dots$ จะทำให้สมการ (2.3.8) มีค่าสูงสุด เพราะจะอยู่ในรูปแบบ $\sin(0)/0$ ค่าเป็นตัวกำหนดกำลังของนัด (ที่หนึ่ง, ที่สอง, ฯลฯ) สำหรับในกรณีที่มีค่าเป็นศูนย์ อาร์กิวเมนต์ของอาร์คโคไซน์ (Arc Cosine) ไม่สามารถเป็นหนึ่ง ดังนั้นจำนวนนัดที่มีได้จะเป็นฟังก์ชันของระยะระหว่างอิตีเมนต์ d และความต่างเฟส B

นอกจากนี้ค่าสูงสุดของ (2.3.8) จะเกิดขึ้นเมื่อ

$$\frac{\varphi}{2} = \frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \Big|_{\theta = \theta_m} = \pm m\pi - \theta_m = \cos^{-1} \left[\frac{\lambda}{2\pi d} \left(-\beta \pm \frac{2m\pi}{N}\right) \right] \tag{2.3.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนตัวเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาร์เรย์แฟคเตอร์ใน (2.3.8) มีค่าสูงสุดค่าเดียว ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อ $m = 0$ ใน (2.3.11) นั่นคือ

$$\theta_m = \cos^{-1}\left(\frac{\lambda\beta}{2\pi d}\right) \quad (2.3.12)$$

ซึ่งเป็นมุมที่ทำให้การสังเกตที่ทำให้ $\varphi = 0$

จุด -3dB ของอาร์เรย์แฟคเตอร์ใน (2.3.9) จะเกิดขึ้นเมื่อ

$$\begin{aligned} \frac{N\varphi}{2} &= \frac{N}{2}(kd \cos \theta + \beta) \Big|_{\theta = \theta_h} = \pm 1.391 \\ -\theta_h &= \cos^{-1}\left[\frac{\lambda}{2\pi d}\left(-\beta \pm \frac{2.782}{N}\right)\right] \end{aligned}$$

ซึ่งอาจเขียนได้ว่า

$$\theta_h = \frac{\pi}{2} - \sin^{-1}\left[\frac{\lambda}{2\pi d}\left(-\beta \pm \frac{2.782}{N}\right)\right] \quad (2.3.13)$$

ถ้า $d \gg \lambda$ จะได้ค่า

$$\theta_h = \left[\frac{\pi}{2} - \frac{\lambda}{2\pi d} \left(-\beta \pm \frac{2.782}{N}\right) \right] \quad (2.3.14)$$

จะหาค่า HPBW ได้ ซึ่งถ้าเพทเทอร์มีลักษณะสมมาตรตรงบริเวณบีมหลัก จะได้ว่า

$$\theta_h = 2 \left| \theta_m - \theta_n \right|$$

สำหรับอาร์เรย์แฟคเตอร์ใน (2.3.9) จะมีค่าสูงสุดค่าที่สอง (ค่าสูงสุดของไซด์โลบ) ซึ่งเกิดขึ้นโดยประมาณ เมื่อเศษของ (2.3.9) มีค่าสูงสุดนั่นคือ

$$\begin{aligned} \sin\left(\frac{N\varphi}{2}\right) &= \sin\left[\frac{N}{2}(kd \cos \theta + \beta)\right] \Big|_{\theta = \theta_s} \approx \pm 1 \\ \Rightarrow \frac{N}{2}(kd \cos \theta + \beta) \Big|_{\theta = \theta_s} &\approx \pm \left(\frac{2s+1}{2}\right)\pi \\ \Rightarrow \theta_s &\approx \cos^{-1}\left\{\frac{\lambda}{2\pi d}\left[-\beta \pm \left(\frac{2s+1}{N}\right)\pi\right]\right\} \\ S &= 1, 2, 3, \dots \end{aligned}$$

ซึ่งอาจเขียนได้ว่า

$$\theta_s \approx \frac{\pi}{2} - \sin^{-1}\left\{\frac{\lambda}{2\pi d}\left[-\beta \pm \left(\frac{2s+1}{N}\right)\pi\right]\right\} \quad (2.3.15)$$

$$S = 1, 2, 3, \dots$$

ถ้า $d \gg \lambda$ จะหาค่า θ ได้ดังนี้

$$\theta_s \approx \frac{\pi}{2} - \frac{\lambda}{2\pi d} \left[-\beta \pm \left(\frac{2s+1}{N}\right)\pi\right] \quad (2.3.16)$$

$$S = 1, 2, 3, \dots$$

ส่วนค่าสูงสุดของไซด์โลบแรกของ (2.3.9) เกิดขึ้นโดยประมาณ เมื่อ

$$\frac{N\varphi}{2} = \frac{N}{2}(kd \cos \theta + \beta) \Big|_{\theta = \theta_s} \approx \pm \left(\frac{3\pi}{2}\right) \quad (2.3.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

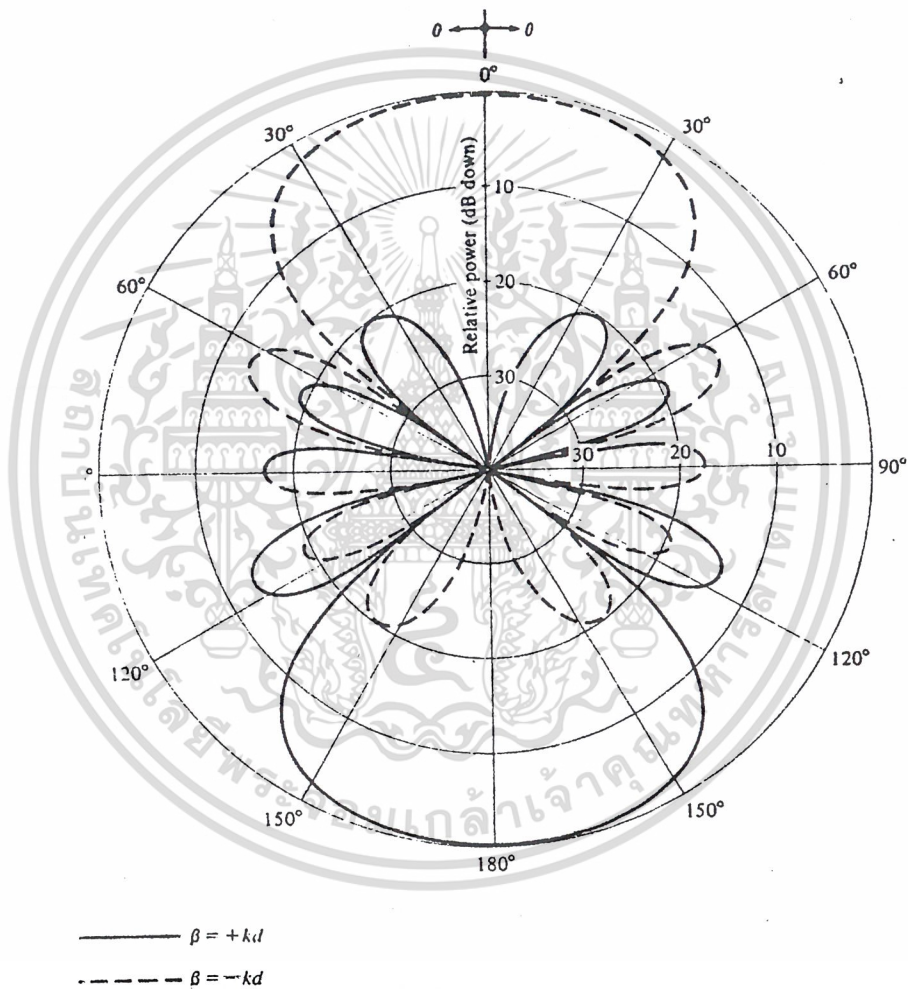
หรือเมื่อ

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\lambda}{2\pi d} \left[-\beta \pm \left(\frac{3\lambda}{N} \right) \right] \right\} \quad (2.3.18)$$

ที่จุดนั้น ขนาดของอาร์เรย์จะมีค่าดังนี้

$$(AF)_n \approx \left[\frac{\sin\left(\frac{N\varphi}{2}\right)}{\frac{N\varphi}{2}} \right] \theta = \theta_s = \frac{2}{3\pi} = 0.212 \quad (2.3.19)$$

$$(AF)_n = 20 \log_{10} \left(\frac{2}{3\pi} \right) = -13.46 \text{ dB} \quad (2.3.20)$$



รูปที่ 2.25 แพทเทิร์นของยูนิฟอร์มอาร์เรย์ที่มี 10 เอลเมนต์ ($N=10$, $d=\lambda/4$)

สรุป

จุดประสงค์ของการทำอาร์เรย์ก็คือต้องการเพิ่มขนาดของสายอากาศเพื่อปรับปรุงแพทเทิร์นของสายอากาศนั้น การที่เราเพิ่มขนาดของสายอากาศตัวเดียว แม้ว่าจะทำให้โลบหลักของสายอากาศแคบลงก็ตาม แต่จะมีผลทำให้โลบข้างมีขนาดสูงขึ้น ซึ่งไม่เป็นสิ่งที่พึงต้องการ และการปรับขนาดของกระแสที่ป้อนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้แต่ละอิมพีแดนซ์ จะมีผลทำให้รูปร่างของเพทเทอร์นเปลี่ยนแปลงในขณะที่การปรับเฟสระหว่างอิมพีแดนซ์ จะเป็นการกำหนดทิศทางของบีมของเพทเทอร์น

2.4 การแมทซ์ซึ่งสายอากาศ

สาเหตุที่มีการแมทซ์ซึ่ง การรับ - ส่งของระบบสายอากาศย่านความถี่หนึ่งๆ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับ การตอบสนองทางความถี่ของอิมพีแดนซ์เท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับคุณลักษณะทางความถี่ (frequency characteristic) ของการต่อสายส่งเข้ากับอิมพีแดนซ์ด้วย ในทางปฏิบัติค่าของอิมพีแดนซ์ของสายส่งเป็นค่าจริงและค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเป็นค่าเชิงซ้อน และการแปรเปลี่ยนค่าคุณสมบัติทั้งสองเป็นแบบฟังก์ชัน ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบวงจรคัปปลิง-แมทซ์ (coupling matching network) ขึ้นมาเพื่อจะได้ทำการแมทซ์ค่าคุณลักษณะทั้งสองในย่านความถี่ที่ต้องการ

2.4.1 การแมทซ์ด้วยช่วงนำสายสัญญาณยาว $(1/4)\lambda$

วิธีการแมทซ์ซึ่งด้วยวิธีนี้นับว่าง่ายดีเพราะใช้ความยาวสายที่พอเหมาะ แล้วต่อเชื่อมกัน โดยตรง โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์อื่นใดประกอบด้วย ตามที่เราทราบมาแล้วหากตัดความยาวของสายนำสัญญาณ ให้มีขนาดความยาวเพียง $(1/2)$ ของความยาวคลื่น และถ้าให้ปลายด้านหนึ่งลัดวงจร ค่าอิมพีแดนซ์ของสายจะมีค่าเป็นอนันต์และจะไม่ขึ้นกับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอีกด้วย อย่างไรก็ตามถ้าหากว่าใช้ค่าลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ และอิมพีแดนซ์ทางด้านแหล่งกำเนิดสัญญาณมาต่อเชื่อม ก็จะทำหน้าที่เป็นตัวแมทซ์ซึ่งได้ นั่นคือค่าอิมพีแดนซ์ของสายที่นำมาทำเป็นตัวแมทซ์ซึ่งจะมีสูตรดังนี้

$$Z_{ms} \geq \sqrt{Z_a Z_1}$$

เมื่อ Z_{ms} คือลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสายที่เป็นตัวแมทซ์ซึ่ง

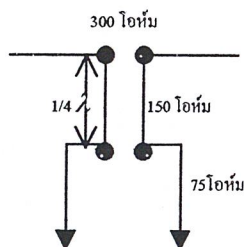
Z_a คืออิมพีแดนซ์ของตัวสายอากาศ

Z_1 คืออิมพีแดนซ์ของตัวเครื่องส่ง

จากรูปที่ 5.7 เป็นตัวอย่างการต่อแมทซ์ซึ่ง โดยสมมุติว่าด้วยสายอากาศเป็นชนิดที่มีอิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม เพื่อต่อเข้ากับเครื่องรับ ที่วิสัยที่มีอิมพีแดนซ์เพียง 75 โอห์ม ค่าอิมพีแดนซ์ของสายที่ต้องการ คือ

$$\begin{aligned} Z_{ms} &= \sqrt{75 \times 300} \\ &= 145 \text{ โอห์ม} \end{aligned}$$

ซึ่งเหมาะที่เราจะใช้สายขนาด 150 โอห์มดังแสดงในรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.26 การแมทซ์ซึ่งด้วยสายยาว $(1/4)\lambda$ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวของสายที่มีขนาด (¼) λ สามารถคำนวณได้จากสูตร (246 × Vc) / f หน่วยฟุต เมื่อ f คือค่าความถี่ของสัญญาณ

Vc คือค่าคงตัวของความเร็ว(ใช้ค่าประมาณ 0.77 สำหรับสายจำพวกทวินลีด ในบางครั้งการที่เราจะหาขนาดของสายมาใช้งานทำได้ยาก เพราะค่าอิมพีแดนซ์ของสายมีค่าไม่ต่อเนื่อง ตลอด ดังนั้นถ้าคำนวณได้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายแล้วก็อาจจะหาสายมาใช้งาน ไม่ได้ วิธีแก้ไขคืออาจจะใช้ท่ออูมิเนียม โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลาง d วางห่างกัน โดยค่าอิมพีแดนซ์ของอูมิเนียมคูมีค่าเป็น

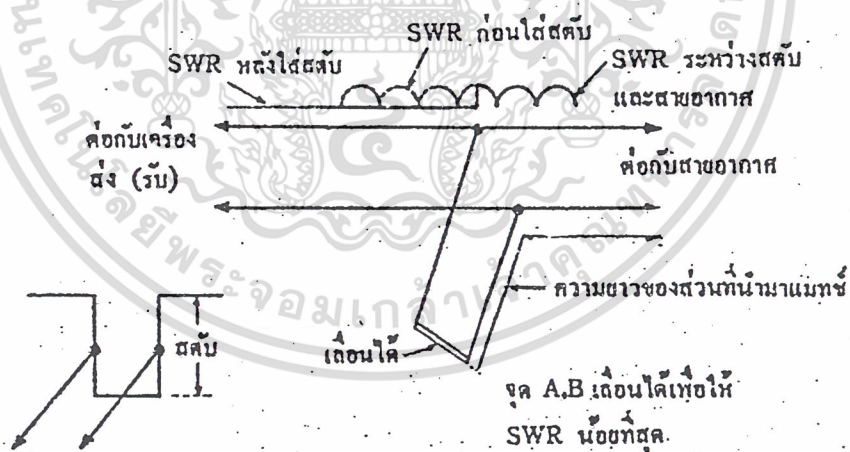
$$Z_o = \frac{276}{\sqrt{k}} \log \frac{2D}{d}$$

ค่าความยาวของแท่งอูมิเนียมที่ใช้ความยาว 242 / f(MHz) หน่วยฟุต

2.4.2 การแมทซ์ซึ่งด้วยสตัด

เมื่อนำสายสัญญาณสองเส้นมาต่อกัน โดยที่อิมพีแดนซ์ของสายไม่เท่ากัน การสะท้อนของคลื่นยอมเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะเป็นผลทำให้ค่า SWR มีค่าสูง ซึ่งจะทำให้ส่วนของสัญญาณที่เป็นรีแอกติฟปรากฏขึ้นมากมาย วิธีหนึ่งที่แก้ไขปัญหานี้ได้ก็คือใช้สตัด ซึ่งก็ต้องมีการหาขนาดของสตัดและวิธีการออกแบบ

ความหมายของคำว่าสตัดก็คือ สายที่นำมาต่อขนานกับสายนำสัญญาณเพื่อให้อิมพีแดนซ์รวมของสายแมทซ์ได้กับต้นกำเนิดสัญญาณหรือโหลด ถ้าพิจารณาในแง่ของการสะท้อนของคลื่นถ้าหากไม่มีสตัด การเคลื่อนที่เหนี่ยวนำของคลื่นในสายนำสัญญาณจะเสมือนเป็นคลื่นซึ่งให้ค่า SWR สูง แต่ครั้นเมื่อนำสตัดมาต่อก็จะทำให้คลื่นในสายราบเรียบดังรูป



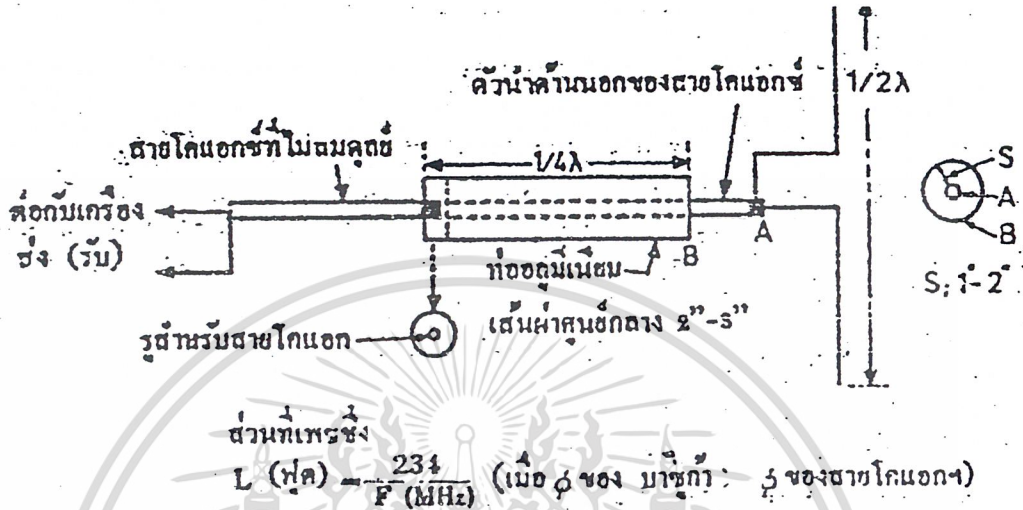
รูปที่ 2.27 สตัดที่ใช้ในการแมทซ์ซึ่ง

เมื่อเราใช้สายที่มีอิมพีแดนซ์ที่มีค่าไม่เท่ากับสายอากาศ เช่น ใช้สายนำสัญญาณ 70 โอห์ม ใช้กับสายอากาศฮาล์ฟเวฟไดโพล ซึ่งย่อมทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่น การสะท้อนของคลื่นมักจะเหนี่ยวนำออกมาภายนอกในกรณีที่มีค่าแรงดันสแตนด์เวฟมีค่าไม่เป็นศูนย์ ซึ่งก็ทำให้เกิดคลื่นในลักษณะในแนวตั้ง เกิดคลื่นขึ้นจากสายสัญญาณนี้ จะทำให้สายนำสัญญาณที่ใช้กับตัวสายอยู่ในสภาพที่ไม่แมทซ์กันมากยิ่งขึ้น

วิธีแก้ไขได้เพื่อให้สภาวะการแมทซ์เกิดขึ้นทำได้ดังนี้
เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวงวันวิเศษหรือการเชิงนี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 บาซูก้าบาลัน

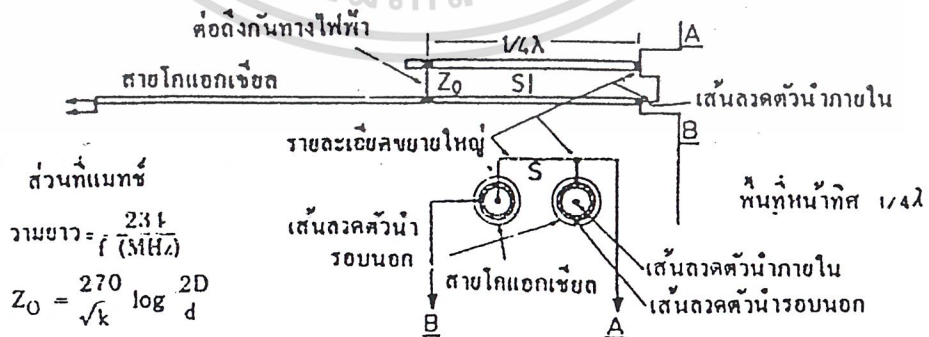
บาซูก้าบาลันเป็นวิธีหนึ่งในการช่วยทำการแมทช์สายตีขึ้น สาเหตุที่เรียกว่าบาซูก้า ก็เพราะว่ารูปร่างที่ใช้งานมีลักษณะเหมือนกับปืนบาซูก้า โดยใช้ท่อลูมิเนียมที่มีความยาว $(1/4)\lambda$ สวมใส่สายนำสัญญาณด้วยให้ตอนล่างของท่อลูมิเนียม เชื่อมติดกับกราวด์ของสายนำสัญญาณ ท่อที่ใช้ควรจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 1-2 นิ้วดังรูป



รูปที่ 2.28 บาซูก้า บาลัน

2.4.4 บาลันชนิดฮาล์ฟเวฟบาลันชนิดตัวนำขนาดความยาว $(1/4)\lambda$

บาลันชนิดบาซูก้ามีข้อเสียตรงที่จะใช้ไม่ได้กับความถี่ที่ทำให้ความยาวของตัวบาลันเท่ากับ $(1/4)$ จริงๆ ซึ่งเหมาะที่จะใช้กับความถี่สูงๆ คือ ย่านวีเอชเอฟและย่านยูเอชเอฟ ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือต้องใช้ท่อที่มีขนาดใหญ่จึงจะทำให้รูปร่างใหญ่โต ทางแก้ไขและให้ผลดีโดยใช้ตัวนำที่มีความยาวขนาด $(1/4)\lambda$ วางขนานกับสายนำสัญญาณ ส่วนปลายสุดของแท่ง ตัวนำที่วางขนานเชื่อมติดกับกราวด์ของสายโคแอกซ์ดังในรูป



รูปที่ 2.29 แสดงบาลันชนิดตัวนำขนาดความยาว $(1/4)\lambda$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

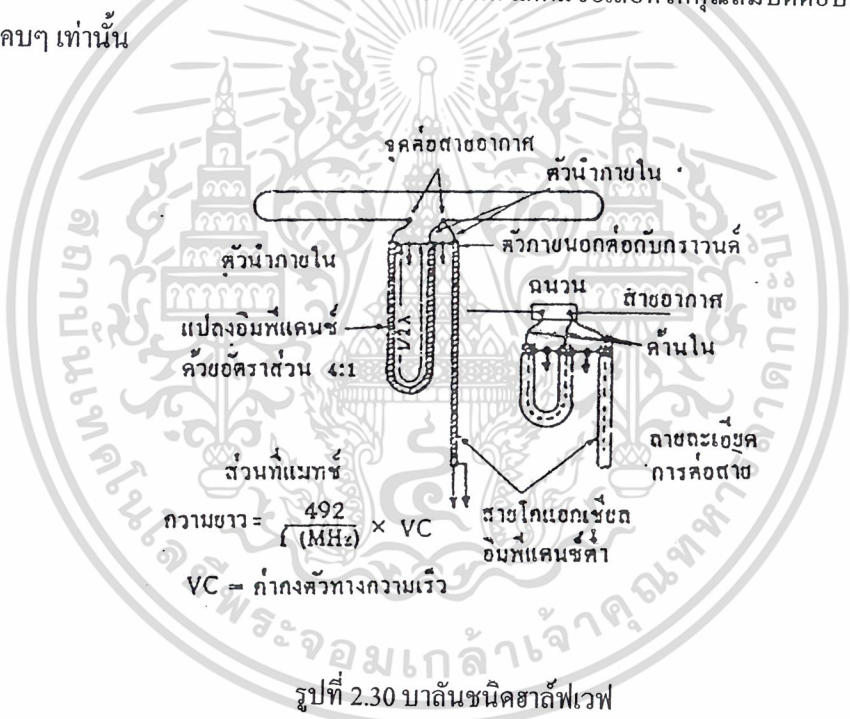
ค่าอิมพีแดนซ์ของสายเมื่อทำการแมทช์แล้วจะมีค่าซึ่งหาได้จากสูตร

$$Z_o = \frac{276}{\sqrt{K}} \log \frac{2D}{d}$$

ซึ่งก็คำนวณให้พอเหมาะกับสายอากาศได้แต่ความยาวของท่ออูมิเนียมโลหะต้องมีความยาวตามสูตร $\frac{234}{f(MHz)}$ โดยจะมีหน่วยเป็นฟุต

2.4.5 บาลันชนิดฮาล์ฟเวฟ

ในการใช้บาลันแบบก่อนเราทำให้ตัวสายนำสัญญาณมีขนาดอิมพีแดนซ์เท่ากับขนาดของสายอากาศซึ่งก็เป็นการแมทช์ด้วยอัตราส่วน 1:1 นั่นเอง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือการทำให้สายนำสัญญาณไม่มีผลต่ออิมพีแดนซ์รวมนั่นเอง ส่วนบาลันที่จะกล่าวถึงมีนี้จะทำหน้าที่แมทช์ระหว่างสายได้เป็นอย่างดี แต่จะทำให้ค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ด้วยค่าอัตราส่วน 4:1 ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่ง ในการใช้เปลี่ยนอิมพีแดนซ์ในระบบสายอากาศคือจาก 75 โอห์ม แต่ก็ยังมีข้อเสียที่ให้คุณสมบัติตอบสนองต่อความถี่ในช่วงแคบๆ เท่านั้น



รูปที่ 2.30 บาลันชนิดฮาล์ฟเวฟ

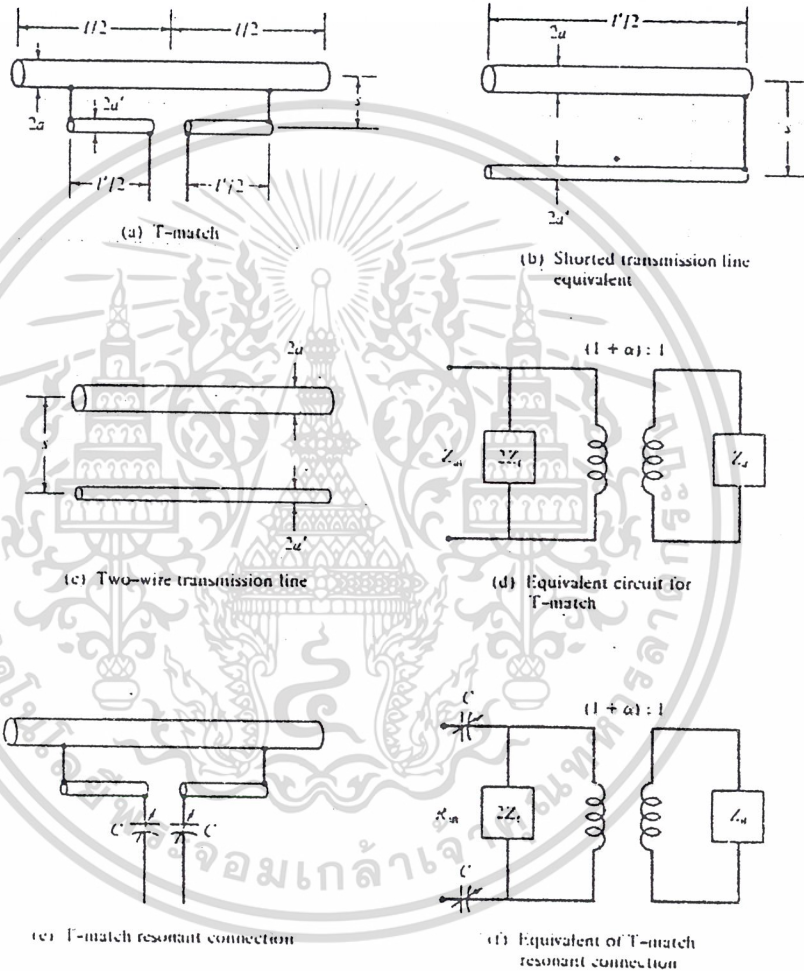
2.4.6 ที-แมทช์ (T-Match)

วิธีการแมทช์ซึ่งแบบขนานที่ให้ผลคืออีกแบบหนึ่งคือ การต่อแบบ ที-แมทช์ วิธีนี้ใช้ไดโพลความยาว l ซึ่งมีรัศมี a จ่ออยู่กับสายส่งโดยใช้ไดโพลอีกอันหนึ่ง ซึ่งมีความยาว l' ($l' < l$) และรัศมี a' ไดโพลอันเล็กกว่าต่ออยู่กับไดโพลอันใหญ่กว่าที่ระยะ $l/2$ จากจุดศูนย์กลาง และทั้ง 2 ไดโพลแยกห่างจากกันเป็นระยะ S สายส่งต่ออยู่กับ ไดโพลอันเล็กที่จุดศูนย์กลาง การต่อแบบที-แมทช์เป็นรูปแบบทั่วไปของโฟลด์เดดไดโพล (folded dipole) เพราะขาทั้งสองมักจะมี ความยาวหรือเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เท่ากัน ขบวนการออกแบบสำหรับที-แมทช์ได้รับการพัฒนาอย่างง่ายๆ มาเป็น โฟลด์เดด ไดโพล กระแสทั้งหมดที่จุดอินพุท แบ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาก็เท่านั้น เมื่อผู้รู้เห็นเห็นประโยชน์อันเป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างตัวนำ 2 ตัว ตามเส้นทางที่ขึ้นอยู่กับรัศมีเปรียบเทียบของตัวนำ 2 ตัว และระยะห่างระหว่างตัวนำ เพราะในตัวนำ 2 ตัว โดยทั่วไปมีขนาดรัศมีไม่เท่ากัน การแบ่งกระแสของโหมดสายอากาศ (antenna mode) จึงมีค่าไม่เท่ากัน และจะถูกกำหนดโดยแฟคเตอร์การแบ่ง (division factor) ซึ่งจะ ไปกำหนดการแบ่งโวลเตจของโหมดของสายส่ง

ที-แมทช์เป็นระบบที่สมมาตรและสมดุลมันจึงมีความเหมาะสมอย่างมากสำหรับการใช้กับสายส่งที่เป็นตัวนำแบบขนาน ดังเช่น สายทวินลีด (twin-lead) ส่วนสายโคแอกเซียลซึ่งเป็นสายไม่สมมาตรและไม่สมดุล เหมาะสำหรับการต่อไดโพลด้วยการใช้แกมมาแมทช์ (Gamma match)



รูปที่ 2.31 ที-แมทช์และวงจรสมมูลย์

การอธิบายถึงการวิเคราะห์ห้อยู่หลายขั้นตอน แต่ก็มีเพียงบางขั้นตอนเท่านั้นที่ใช้ในการออกแบบ ที-แมทช์

การออกแบบที-แมทช์

คำนวณแฟคเตอร์การแบ่งกระแส (current division factor) ตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a = \frac{\cosh^{-1}\left(\frac{v^2 - u^2 + 1}{2v}\right)}{\cosh^{-1}\left(\frac{v^2 + u^2 - 1}{2vu}\right)} \cong \frac{\ln(v)}{\ln(v) - \ln(u)} \geq 1 \quad (1)$$

$$u = a'/a' \quad (2)$$

$$v = s/a' \quad (3)$$

คำนวณค่าอิมพีแดนซ์ ณ จุดทางเข้าสำหรับ โหมดสายส่ง กล่าวคือสายส่ง 2 สายที่ขอร์ทันที่ความยาว $l'/2$ ด้วยรัศมี a, a' และระยะห่าง S ดังแสดงตามรูป b

$$Z_t = jZ_o \tan\left(K \frac{1}{2}\right) \quad (4)$$

เมื่อ
$$Z_o = 60 \cosh^{-1} \frac{(s^2 - a^2 - a'^2)}{2aa'} \cong 276 \log\left(\frac{S}{\sqrt{aa'}}\right) \quad (5)$$

Z_o คือ ค่าอิมพีแดนซ์ คุณลักษณะของสายส่ง 2 สาย (two-wire transmission line) ด้วยรัศมี a, a' และระยะห่าง S ดังแสดงในรูป c

อิมพีแดนซ์อิมพีแดนซ์ ทั้งหมดซึ่งเป็นผลรวมระหว่างสายอากาศ (กระจายคลื่น) และ โหมดการส่ง (ไม่กระจายคลื่น) เขียนได้เป็น

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} = \frac{2Z_t[(1+a)^{2Za}]}{2Z_t + (1+2)^2 Z_a} \quad (6)$$

อินพุทแอดมิทแตนซ์ (input admittance) หาได้โดย

$$Y_{in} = \frac{1}{Z_{in}} = \frac{Y_a}{(1+a)^2} + \frac{1}{2Z_t} \quad (7)$$

$Z_a = 1/y_a$ คือ ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ในฟรีสเปซ (free space) ที่จุดกลางของสายอากาศ เมื่อไม่มีการต่อ ที-แมทซ์

จากการพิจารณาสมการ (6) หรือ (7) ที-แมทซ์ ทำงานคล้ายกับวงจรสมมูลย์ ตามรูป a ซึ่งอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา $(1+a)$ และมันถูกจัดวางให้ขนาดเท่ากับค่า 2 เท่าของอิมพีแดนซ์ของโหมดที่ไม่มีการแพร่กระจายคลื่น (สายส่ง)

สำหรับ $l' = \lambda/2$ อิมพีแดนซ์ของสายส่ง Z_t มีค่ามากกว่า $(1+a)^2 Z_a$ มาก ดังนั้นค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ตามสมการ (6) ลดรูปเป็น

$$Z_{in} = (1+a)^2 Z_a \quad (8)$$

สำหรับตัวนำ 2 ตัวที่มีรัศมีเท่ากัน และค่าแฟคเตอร์การแบ่งกระแสมีค่าเป็น 1 สมการ (2.6) เขียนได้ดังนี้

$$Z_{in} \cong 4Z_a \quad (9)$$

ค่าอิมพีแดนซ์ของสมการ (6) โดยทั่วไปเป็นค่าเชิงซ้อน เพราะว่าแต่ละความยาว ($l'/2$) ของท่อนทีแมทซ์ โดยปกติถูกเลือกให้มีขนาดเล็กมาก ($0.03 - 0.06 \lambda$) Z_{in} มีค่าเป็นอินดักทีฟ (inductive) เพื่อลดค่ารีแอคแตนซ์ (รีโซแนนซ์ สายอากาศ) ณ ความถี่กลางที่กำหนดและรักษาความสมดุลย์ของระบบ จะใช้คาปาซิเตอร์เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตอร์ (capacitor) 2 ตัว ต่ออนุกรมกันและเปลี่ยนค่าได้ตามรูป c ค่าของคาปาซิเตอร์แต่ละตัวได้รับการเลือก เพื่อให้ Z_{in} ตามสมการ (6) มีค่าเท่ากับ R_{in} ($Z_{in}=R_{in}$) โดยจะต้องมีค่าคาปาซิเตอร์ ดังนี้

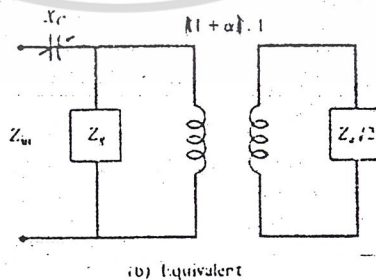
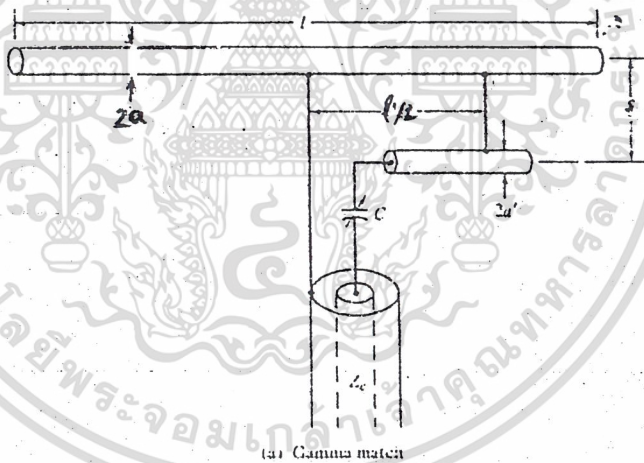
$$c = 2C_{in} = \frac{1}{\pi f x_{in}} \tag{10}$$

เมื่อ f เป็นความถี่กลาง และ C_{in} คือค่าของคาปาซิเตอร์ 2 ตัวต่อแบบอนุกรม วงจรรีโซแนนซ์สมบูรณ์ แสดงได้ตามรูป f

การต่อที่-แมทซ์ตามรูปที่ e ไม่ได้แต่เพียงเพื่อจะรีโซแนนซ์วงจรเท่านั้นแต่ยังใช้ทำให้อิมพีแดนซ์ที่แดนซ์ทั้งหมดมีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ คุณลักษณะของสายพีด (feed transmission line) ด้วยซึ่งทำได้โดยการเลือกค่า $l' / 2$ และ c ที่เหมาะสม (ค่า s โดยปกติไม่เปลี่ยนค่า เพราะว่า ค่าอิมพีแดนซ์ไม่แปรตามค่า S ไปได้มากนัก) ในกรณีทั้งหมดการทดลองผิดลองถูกได้นำมาใช้ แต่วิธีการทางกราฟโดยใช้สมิทชาร์ท โดยทั่วไปจะสะดวกมากกว่า

2.4.7 แกมมาแมทซ์ (gamma match)

บ่อยครั้งที่สายอากาศไดโพลได้รับการพีด โดยสายโคแอกเซียล (coaxial) ซึ่งเป็นสายส่งที่ไม่สมดุล (unbalanced) วิธีที่สะดวกในการต่อ ไดโพล หรือสายอากาศอื่นๆ เช่น ยากิ (yagi) ล็อกเพอริโอดิก (log-periodic)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะที่ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.32 แกมมาแมทซ์

เข้ากับสายโคแอกเชียลที่มีค่าความต้านทาน 50 หรือ 70 โอห์ม วิธีการแมทช์ คือ การใช้เกมม่าแมทช์ การต่อแบบนี้สมมูลกับครึ่งหนึ่งของทีแมทช์ และ ใช้คาปาซิเตอร์ 1 ตัว ต่ออนุกรมกับแขนเกมม่า วงจรสมมูลแสดงดังรูปที่ b และค่าอิมพิแดนซ์มีค่าเท่ากับ

$$Z_{in} \approx jxc + \frac{Zg[(1+a)^2 Za]}{2Zg + (1.2)^2 Za} \quad (1)$$

เมื่อ Z_a มีค่าฟรีสเปซ (free space) อิมพิแดนซ์ที่จุดศูนย์กลางของสายอากาศ เมื่อไม่มีการต่อเกมม่าแมทช์ เทอมที่สองของสมการที่ (1) คล้ายกับสมการที่ (6) ของที-แมทช์

ปัญหาที่พบอยู่เสมอคือความยาวของสายอากาศ l และค่าอิมพิแดนซ์ คุณลักษณะของสายอากาศ ฟีดโคแอก (Z_a) ซึ่งรู้ค่า (ในที่นี้คือ 50 โอห์ม) แต่ต้องการใช้คาร์คมี a และ a' ความยาว $l'/2$ และค่าคาปาซิเตอร์เท่าไร จึงจะแมทช์ได้ดี เพราะว่าการจัดเรียงคล้ายกับที-แมทช์ หรือ โพลเดคไดโพลการวิเคราะห์เกี่ยวกับเกมม่าแมทช์ จึงอยู่บนฐานเดียวกัน

ในการแมทช์จะใช้วิธีการออกแบบโดยใช้กราฟซึ่งใช้สมิทชาร์ทและอยู่บนพื้นฐานของวงจรสมมูลตามรูป b ขบวนการทางคณิตศาสตร์ก็นำมาใช้ด้วย แต่ในที่นี้ไม่ได้กล่าวถึงไว้ เพราะว่าค่าอิมพิแดนซ์อิมพิแดนซ์ไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปอย่างมากกับค่า a , a' และ S ดังนั้น ขบวนการโดยทั่วไปคือ การเลือกค่าเหล่านี้และรักษาให้คงที่ไว้ ค่าพารามิเตอร์ที่แปรเปลี่ยน คือ $l'/2$ เปลี่ยนไปโดยใช้แคลมป์เลื่อน (Sliding clamp) เพื่อกระทำการต่อชอร์ต ณ จุดปลายของท่อนเกมม่า (gamma rod) วิธีการออกแบบโดยใช้กราฟ สมมติว่า $l'/2$ ถูกกำหนดมาและค่า c ซึ่งรีโซแนนซ์วงจรที่ต้องการ ถ้าค่าอิมพิแดนซ์อิมพิแดนซ์ไม่เท่ากับค่าอิมพิแดนซ์คุณลักษณะของสายฟีด ค่าอื่น ๆ ของ $l'/2$ จะถูกเลือก ขบวนการจะทำงานน้อยกว่า $R_{in}=Z_0$ ข้อมูลทางกราฟจะให้ข้อแนะนำว่าความยาว $l'/2$ ควรจะเปลี่ยนอย่างไร (น้อยกว่าหรือมากกว่า) เพื่อทำการแมทช์

การออกแบบเกมม่า-แมทช์

หาค่าแฟคเตอร์การแบ่งกระแส (current division factor : α) โดยใช้สมการ ของที-แมทช์ (1)- (3)
หาค่าฟรี-สเปซอิมพิแดนซ์ (เมื่อยังไม่มีการแมทช์แบบเกมม่า) ของไดเรกชันอิมพีแดนซ์ ณ จุดศูนย์กลาง ใช้สัญลักษณ์ Z_a

หาร Z_a ด้วย 2 และคูณด้วยอัตราส่วนเพิ่ม $(1+\alpha)^2$ ผลที่ได้ใช้สัญลักษณ์ Z_2

$$Z_2 = R_2 + jx_2 = (1+\alpha)^2 \frac{Z_a}{2} \quad (2)$$

หาค่าอิมพิแดนซ์คุณลักษณะ Z_0 ของสายอันประกอบด้วยไดเรกชันอิมพีแดนซ์และท่อนเกมม่าโดยใช้สมการ (5) ของที-แมทช์

นอร์มอลไลซ์ Z_2 ของสมการ (2) ด้วย Z_0 ผลที่ได้ใช้สัญลักษณ์ Z_2'

$$Z_2' = \frac{Z_2}{Z_0} = \frac{R_2 + jx_2}{Z_0} = r_2 + jx_2 \quad (3)$$

และพล็อตลง สมิทชาร์ทต่อไป

กลับเศษเป็นส่วนของค่า Z_2' จากสมการ (3) และหาค่าแอดมิทแตนซ์สมมูล $Y_2 = g_2 + jb_2$ หรือใช้สมิทชาร์ทโดยการเลื่อนจุด Z_2' ข้ามไปเป็นเส้นทแยงมุมด้วยระยะเท่ากันจากจุดของมัน ขนานกับค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอดมิทแตนซ์ Y_2 จากขั้นตอนที่ 6 คือค่าอินดัคทีฟรีแอดแดนซ์ เนื่องจากสายส่งที่ชอร์ตวงจรอันประกอบ ด้วยเอเลเมนต์ของสายอากาศและท่อนแกรมม่า นี้คือค่าอินดัคทีฟรีแอดแดนซ์ (inductive reactance) เนื่องจาก จากความยาวของสายอากาศและท่อนแกรมม่า ซึ่งมีค่าน้อยโดยปกติค่า $0.03-0.06 \lambda$ แต่ก็มีค่าน้อยกว่า 0.5λ มาก และหาค่าที่นอร์มอลไลซ์โดย

$$Zg = j \tan(k \frac{\ell'}{2}) \quad (4)$$

และกำหนดจุดลงบนสมิทชาร์ทค่าอิมพีแดนซ์ Zg ตามสมการ (4) นี้สามารถที่จะหาได้โดยใช้ส มิทชาร์ทเริ่ม โดยกำหนดจุดโหลด (load) ที่ชอร์ตวงจร ณ จุด $Zs = 0 + j0$ และเลื่อนจุดนี้เป็นระยะทาง $\ell'/2$ ไปยังเจเนอเรเตอร์ (toward generator) ตามเส้นรอบวงภายนอกของสมิทชาร์ท ค่า ณ จุดใหม่นี้แสดงค่าอิม พีดแดนซ์ที่นอร์มอลไลซ์ Zg ของสมการ (4)

กลับเศษเป็นส่วนค่าอิมพีแดนซ์จากขั้นตอนที่ 7 (Zg) เพื่อหาค่าแอดมิทแตนซ์สมมูลย์ $Yg = g_g + jg_g$ หรือทำโดยเลื่อนจุด Zg บนสมิทชาร์ท เป็นเส้นทแยงมุมข้ามจากจุดของมัน บอกค่าแอดมิทแตนซ์ 2 ค่าที่ขนาดกัน (จากขั้นตอนที่ 6 และ 8) เพื่อหาค่าอินพุทแอดมิทแตนซ์ทั้งหมด ณ จุดแกรมม่าฟีด (gamma feed) กล่าวคือ

$$Yin = Y_2 + Yg = (g_2 + g_g) + j(b_2 + b_g) \quad (5)$$

และกำหนดจุดนี้ลงบนสมิทชาร์ท กลับเศษเป็นส่วนค่าอิมพีแดนซ์ที่นอร์มอลไลซ์ Yin ของสมการ (5) เพื่อหาค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ สมมูลย์ที่นอร์มอลไลซ์ หรือสมิทชาร์ท

$$Zin = yin + jxin \quad (6)$$

หาค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ที่ยังไม่นอร์มอลไลซ์ โดยการคูณ Zin ด้วย Z_0

$$Zin = Rin + jin = Z_0 Zin \quad (7)$$

เลือกค่าปาริเตอร์เพื่อทำให้ค่า (ขนาด) รีแอดแดนซ์ของมันเท่ากับ

$$\frac{1}{\omega c} = \frac{1}{2\pi f \omega c} = Xin \quad (8)$$

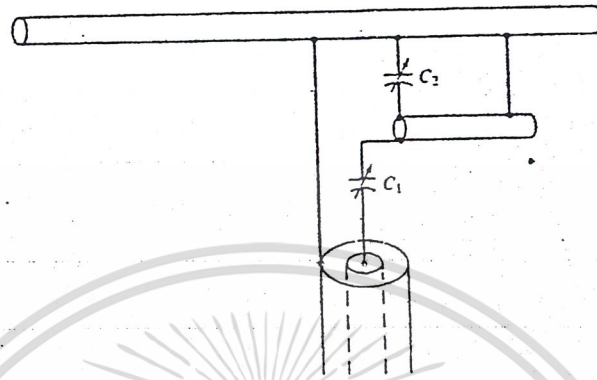
$$c = \frac{1}{2\pi f \omega Xin}$$

ถ้าองค์ประกอบทั้งหมดได้รับการเลือกโดยถูกต้องสำหรับการแมทช์ที่สมบูรณ์ ค่าจริง Rin ของ สมการ (7) ควรเท่ากับ Z_0 ถ้าไม่เท่าต้องมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหนึ่งอย่างหรือมากกว่า (โดยทั่วไป เปลี่ยนความยาว) และทำขบวนการซ้ำอีก จนกระทั่งค่า $Rin = Z_0$ ในทางปฏิบัติ ค่า c ถูกกำหนดให้เป็นตัว แปรค่า เพราะการปรับจะทำได้โดยง่าย เพื่อจะหาการแมทช์ที่ดีที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

2.4.8 โอเมก้า แมทช์ (Omega match)

เมื่อนำแกมม่าแมทช์มาเพื่อเติมอีกเล็กน้อย จะได้โอเมก้าแมทช์ ความแตกต่างเพียงอย่างเดียว ก็คือ นอกจากมี C_1 ที่ต่ออนุกรม ยังมี C_2 ซึ่งต่อขนานซึ่งสามารถจะช่วยให้แมทช์ได้ โดยปกติการไม่มี C_2 ทำให้ เป็นไปได้ที่จะใช้รอด (rod) ที่สั้นกว่า หรือทำให้เป็นการง่ายที่จะแมทช์ไครเวนอติเมนต์ที่รีโซแนนซ์ หน้าที่ ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบื้องต้นของ C_2 คือจะเปลี่ยนค่า ในขั้นตอนที่ 9 ของขบวนการออกแบบ เพื่อที่ว่าเมื่อมันกลับเศษเป็นส่วน (inverted) ค่าจริงที่ไม่นอร์มอลไลซ์ของมันจะได้เท่ากับค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งที่ทางเข้า วิธีนี้จะทำให้สามารถลดความต้องการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆ ของการแมทชิงอิมพีแดนซ์ ถ้าการแมทชิงไม่ได้ผล



รูปที่ 2.33 โอเมก้าแมทซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

วิธีการคำนวณและออกแบบ

สายอากาศแบบบล็อกเพอริ โอติกมีข้อดีหลายประการคืออัตราขยายสูงอินพุทอิมพีแดนซ์สามารถคำนวณได้ตามต้องการ อัตราส่วน โลปหน้าต่อ โลปหลัง(front-to-back) สูง ความกว้างของช่วงความถี่กว้าง ซึ่งค่าที่กล่าวเหล่านี้เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยมากเมื่อความถี่ของการทำงานเปลี่ยนไป (จะแตกต่างกับสายอากาศแบบอื่นๆ เมื่อความถี่รีโซแนนซ์เปลี่ยนไปจะทำให้ SWR เพิ่มขึ้น) ซึ่งค่าที่กล่าวมาข้างต้นมีความสัมพันธ์กันอย่างสเกดล็อกเป็นส่วนใหญ่

ก่อนที่จะทำการออกแบบ จะกล่าวถึงตัวย่อและความหมายเพื่อสะดวกในการคำนวณ

B = ช่วงกว้างของความถี่ของการใช้งาน (operating bandwidth)

B_s = ช่วงกว้างของความถี่สำหรับ โครงสร้าง (bandwidth for structure)

B_{ar} = ช่วงกว้างของความถี่ของบริเวณแอ็คทีฟ (bandwidth of the active region)

τ = ตัวคงที่ในการออกแบบ (design constant)

σ = ตัวคงที่ระยะห่างสัมพันธ์ (relative spacing constant)

σ_{opt} = ค่ามากที่สุดของ (optimum rate for σ)

α = มุมที่มีค่าครึ่งหนึ่งของมุมยอด (apex half-angle)

Z = ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวฟีดเดอร์ของสายอากาศ (antenna-feeder impedance)

R = ค่าเฉลี่ยความต้านทานของกระจายคลื่น (the mean radiation resistance level)

Z = ค่าเฉลี่ยอิมพีแดนซ์ประจำของไดโพล (average characteristic impedance of dipole)

σ' = ค่าระยะห่างเฉลี่ย (mean spacing factor)

f_l = ความถี่ต่ำสุดของการใช้งาน (lowest frequency, MHz)

f_h = ความถี่สูงสุดของการใช้งาน (highest frequency, MHz)

l = ความยาวของไดโพล (element length)

d = ระยะห่างระหว่างไดโพล (element spacing)

1) เลือกความกว้างของความถี่ที่ต้องการใช้งานตามที่เรากำลังต้องการ ระหว่างความถี่ต่ำสุดและความถี่สูงสุด ใช้สมการที่ 5 จะได้ว่า B

2) เลือก τ และ σ เพื่อให้ได้อัตราขยายตามที่เรากำลังต้องการจากรูปที่ 3.2 โดยค่า τ และ σ ที่เหมาะสมควรเป็น

$$0.8 < \tau < 0.98$$

$$0.9 < \sigma < \sigma_{opt}$$

ค่าของ σ_{opt} อาจคำนวณได้จากสมการที่ 8

$$3) \text{ หาค่ามุม } \alpha \text{ จากสูตร } \cot \alpha = \frac{4\sigma}{1-\tau}; \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{1-\tau}{4\sigma}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
4) หาค่า B_{ar} จากรูปที่ 3.1 โดยใช้ α และ τ จากข้อ 2
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) คำนวณค่า B_s จากสมการที่ 4
- 6) คำนวณความยาวของบวม, L , จำนวนของโคโพล N และความยาวของโคโพลตัวที่ยาวที่สุด จากสูตร

$$L = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s} \right) \cot \alpha \cdot \lambda_{\max}$$

$$N = 1 + \frac{\log_{10} B_s}{\log_{10} \left(\frac{1}{\tau} \right)}$$

$$l_1 = \frac{492}{f_1} \quad \text{เมื่อ} \quad \lambda_{\max} = \frac{984}{f_1}$$

$$\text{หรือ} \quad l_1 = \frac{150}{f_1}$$

ดูว่าความยาว L , N , l_1 เป็นค่าที่เหมาะสมกับความต้องการของเราหรือไม่ ถ้าความยาวของบวมยาวเกินไป เพิ่มบวมทีละ 5 องศาและคำนวณซ้ำจากข้อ 2-6

- 7) หาค่าสลับ Z_1 ที่ความถี่แบนด์ 3-30 MHz (HF) ปิดวงจรตัวโคโรนที่ยาวที่สุดด้วยเส้นลวดยาว 6 นิ้วทำเป็นวงจรปิด สำหรับความถี่วีเอชเอฟและยูเอชเอฟคำนวณจาก $Z = \lambda_{\max} / 8$
- 8) ในที่สุดค่า τ และ σ ก็จะได้ตามที่ต้องการ คำนวณ Z_0 จากสมการที่ 9 เพื่อที่จะได้รับทราบที่เราต้องใช้อำนาจในการแมตซ์ซึ่งเท่าไร โดยหาว่า R_0 ได้จากรูปที่ 6.4 และหา ค่า Z_1 ได้จากรูปที่ 3.4 สมการที่ 11 ค่า h/a ต้องเลือกความยาวครึ่งหนึ่งของโคโพล (h เป็นความของครึ่งหนึ่งของโคโพล a เป็นรัศมีของตัวนำ) ที่ความถี่ ตรงกลางของของแบนด์ได้ใกล้เคียง $\lambda/4$
- 9) คำนวณค่าความยาวของโคโพลตัวที่เหลือจากสมการที่ 2
- 10) คำนวณค่าระยะห่างระหว่างโคโพลแต่ละตัวจากสูตร

$$d_{12} = \frac{1}{2} (l_1 - l_2) \cot \alpha$$

เมื่อ d_{12} เป็นระยะห่างระหว่างโคโพลตัวยาวที่สุดกับโคโพลตัวถัดไปแล้วคำนวณระยะห่างของโคโพลที่เหลือจากสูตร

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวความถี่ และระยะห่างจะแสดงในรูปสมการดังต่อไปนี้

$$f_n = \frac{f_1}{\tau^{n-1}} \quad (1)$$

$$l_n = \tau l_{(n-1)} \quad (2)$$

$$d_{n-1,n} = \tau d_{n-2,n-1} \quad (3)$$

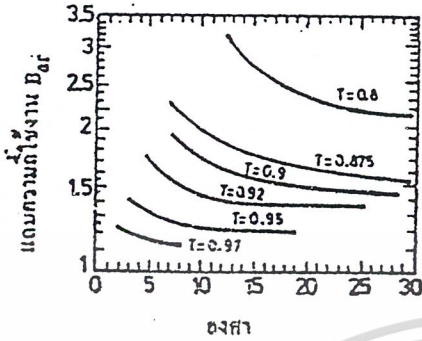
$$\text{เมื่อ} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$\tau = \frac{l_n}{l_{n-1}} = \frac{d_{n-1,n}}{d_{n-2,n-1}}$$

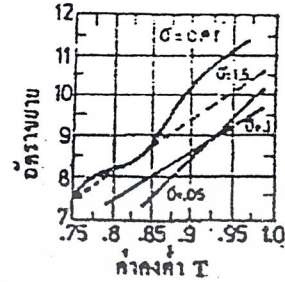
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B_s = B \times B_{ar} \tag{4}$$

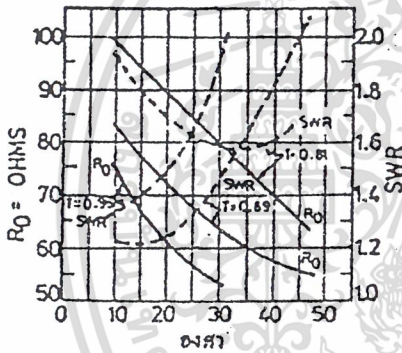
$$B = \frac{f_n}{f_1} \tag{5}$$



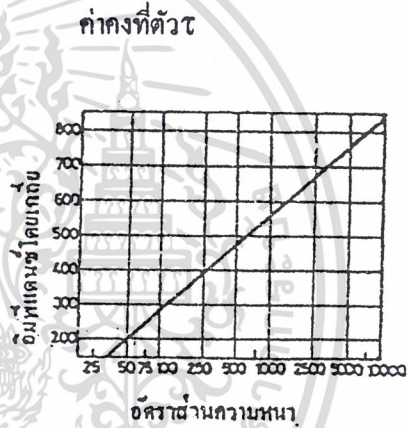
รูปที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ที่ใช้งานกับ α



รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราขยายกับ



รูปที่ 3.3 แสดงอัตราหัพทอิมพีแดนซ์กับ α



รูปที่ 3.4 แสดงอิมพีแดนซ์โดยเฉลี่ยกับอัตราส่วน h/a

ค่า B_{ar} จะแปรกับ τ และ α ดังแสดงในรูปที่ 3.1 อัตราขยายของ LPDA หาโดย τ และ σ , σ_{opt} จะเกิดขึ้นในช่วงของ τ ระหว่าง $0.8 < \tau < 1.0$ ซึ่งจะให้ค่าอัตราขยายมากที่สุด ในการเพิ่มอัตราขยายทำได้โดยใช้ σ_{opt} และ τ ใกล้เคียง 1.0 (เช่น 0.98) ซึ่งจะเป็น 3dBi เมื่อเทียบกับค่า σ น้อยที่สุด ($= 0.05$) และ $\tau = 0.9$ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

เพิ่ม τ หมายถึงการเพิ่มจำนวนขึ้นมากขึ้นและถ้าใช้ σ_{opt} จะทำให้อิมพีแดนซ์ที่อัตราขยายสูง (8.5dBi) LPDA ที่ย่านความถี่สูง (HF) โดยใช้ $\tau = 0.9$ และ $\sigma = 0.05$ ความสัมพันธ์ระหว่าง τ, α คือ

$$\sigma = \frac{1}{4}(1 - \tau) \cot \alpha \tag{6}$$

$$\sigma = \frac{d_{n-1,n}}{2l_{n-1}} \tag{7}$$

$$\sigma_{opt} = 0.258 - 0.066 \tag{8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การป้อนสัญญาณจากสายอากาศที่ตัวโคโรนาแต่ละตัวจะมีเฟส 180° ซึ่งกันและกันกระทำทางปฏิบัติโดยต่อสลับขั้วกัน

$$Z_0 = \frac{R_0^2}{8\sigma Z_a} + R_0 \sqrt{\left(\frac{R_0}{8\sigma Z_a}\right)^2} + 1 \quad (9)$$

$$Z_a = 120 \left(\ln \frac{h}{a} - 2.255 \right) \quad (10)$$

$$\sigma = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}} \quad (11)$$

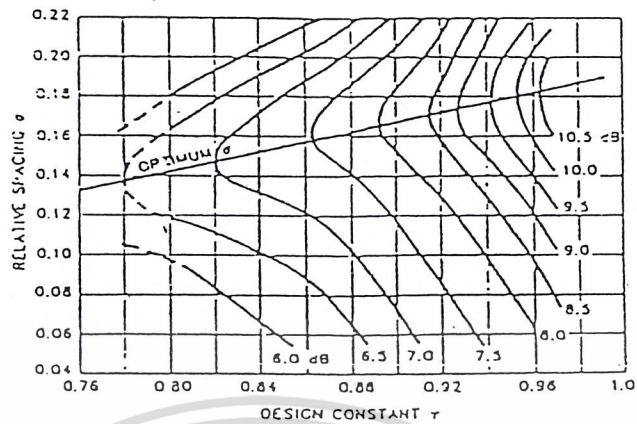
$$Z_t = \frac{\lambda_{\max}}{8} \quad (12)$$

จะเห็นว่า R_0 จะลดลงเมื่อ τ และ α เพิ่มขึ้น VSWR จะมีค่าน้อยสุด (เมื่อเทียบกับ R_0) ประมาณ 1.1-1 ที่ σ_{opt} และมีค่า 1.8-1 ที่ $\tau = 0.05$ (เมื่อใช้สายส่งแบบ RG-8/U 52 โอห์ม และ RG-11/U 72 โอห์ม แบบโคแอกเชียล ค่า Z_0 จะสามารถหาได้ในแต่ละแบนด์ ควรจะเลือกใช้บารันและสายให้เหมาะสม เช่น ถ้า $Z_0 = 100$ โอห์ม ถ้าใช้สายโคแอกเชียล 72 โอห์มอาจใช้บารัน 1:1 ถ้า $Z_0 = 220$ โอห์มเลือกบารัน 4:1 เมื่อใช้โคแอกเชียลแบบ 52 โอห์ม สำหรับ Z_t (ดูรูปที่ 8.1) ที่ใช้ควรมีความยาวไม่เกิน $\lambda_{\max}/8$ เพื่อช่วยให้อัตราส่วน F/B (front-to-back) สูงขึ้นสำหรับความถี่ต่ำสุดที่ใช้งาน เพื่อความสะดวกในการคำนวณจะใช้กราฟจากข้อมูลรูปที่ 3.1-3.4 ซึ่งก็สามารถใช้คำนวณหาขนาดของสายอากาศที่มีความกว้างของช่วงคลื่นเท่าใดก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการออกแบบ

1. เลือกค่าคงที่จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง τ กับ σ และ Gain



ในที่นี้เลือกค่า $\tau = 0.86$, $\sigma = 0.07$ และ Gain = 6.25

2. คำนวณหาค่าอัตราช่วงความถี่ที่ใช้งาน (B)

$$B = f_h / f_l$$

f_h คือความถี่สูงสุด

f_l คือความถี่ต่ำสุด

สายอากาศที่ทำการออกแบบอยู่ในช่วง 200 – 2,000 MHz

$$\text{จะได้ค่า } B = 2,000 / 200 = 10$$

3. คำนวณหาค่า $\cot \alpha$ เมื่อ α เป็นมุมครึ่งหนึ่งของความกว้างทั้งหมด

ของสายอากาศจากสูตร $\cot \alpha = 4\sigma / (1 - \tau)$

$$\text{แทนค่า } \cot \alpha = 4(0.86) / (1 - 0.07) = 2$$

$$\alpha = \tan^{-1} (1 - \tau) / 4\sigma$$

$$= \tan^{-1} (1 - 0.86) / (4 * 0.07)$$

$$= 26.565 \text{ องศา}$$

4. คำนวณหาค่าแบนด์วิดท์แอกทีฟรีเซชัน (Bar)

$$\text{Bar} = 1.1 + 7.7(1 - \tau)^2 \cot \alpha$$

$$= 1.1 + 7.7(1 - 0.86)^2 * 2$$

$$= 1.40184$$

5. คำนวณหาค่าแบนด์วิดท์โครงสร้างแบบอาร์เรย์ (Bs)

$$\text{Bs} = B * \text{Bar}$$

$$= 10 * 1.40184$$

$$= 14.0184$$

6. คำนวณหาค่าความยาวของแกนสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานำไปปฏิบัติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda_{\max} = (3 \cdot 10^8) / (200 \cdot 10^6)$$

$$= 150 \text{ cm}$$

$$\text{แทนค่า } L = 150 [1/4 \cdot (1 - 1/14.0184)^2]$$

$$= 69.64 \approx 70 \text{ cm}$$

7. กำหนดหาค่าจำนวนอิลีเมนต์ของสายอากาศ

$$N = 1 + (\log Bs) / \log (1/\tau)$$

$$= 1 + (\log 14.0184) / \log (1/0.86)$$

$$= 18.5 \approx 16 \text{ element}$$

เพราะค่าที่ได้เมื่อนำ n ไปคูณกับ $1/\tau$ จะได้จำนวน n ค่าสุดท้าย 16 element จึงจะอยู่ในย่านความถี่ที่ออกแบบ

8. กำหนดหาค่าความยาวของไดโพลในแต่ละอิลีเมนต์ ($l_1 - l_{16}$)

$$\text{จาก } l_n = l_1 \cdot \tau^{n-1} \text{ หรือ } l_{n+1} = l_n \cdot \tau$$

$$l_1 = \lambda_{\max} / 2 = 75 \text{ cm}$$

$$l_2 = l_1 \cdot \tau = 75 \cdot 0.86 = 64.50 \text{ cm}$$

$$l_3 = l_1 \cdot \tau^2 = 75 \cdot 0.86^2 = 55.47 \text{ cm}$$

$$l_4 = l_1 \cdot \tau^3 = 75 \cdot 0.86^3 = 47.70 \text{ cm}$$

$$l_5 = l_1 \cdot \tau^4 = 75 \cdot 0.86^4 = 41.02 \text{ cm}$$

$$l_6 = l_1 \cdot \tau^5 = 75 \cdot 0.86^5 = 35.28 \text{ cm}$$

$$l_7 = l_1 \cdot \tau^6 = 75 \cdot 0.86^6 = 30.34 \text{ cm}$$

$$l_8 = l_1 \cdot \tau^7 = 75 \cdot 0.86^7 = 26.09 \text{ cm}$$

$$l_9 = l_1 \cdot \tau^8 = 75 \cdot 0.86^8 = 22.44 \text{ cm}$$

$$l_{10} = l_1 \cdot \tau^9 = 75 \cdot 0.86^9 = 19.30 \text{ cm}$$

$$l_{11} = l_1 \cdot \tau^{10} = 75 \cdot 0.86^{10} = 16.60 \text{ cm}$$

$$l_{12} = l_1 \cdot \tau^{11} = 75 \cdot 0.86^{11} = 14.27 \text{ cm}$$

$$l_{13} = l_1 \cdot \tau^{12} = 75 \cdot 0.86^{12} = 12.27 \text{ cm}$$

$$l_{14} = l_1 \cdot \tau^{13} = 75 \cdot 0.86^{13} = 10.55 \text{ cm}$$

$$l_{15} = l_1 \cdot \tau^{14} = 75 \cdot 0.86^{14} = 9.07 \text{ cm}$$

$$l_{16} = l_1 \cdot \tau^{15} = 75 \cdot 0.86^{15} = 7.80 \text{ cm}$$

9. กำหนดหาค่าระยะห่างระหว่างอิลีเมนต์

$$\text{โดยที่ } R_{1,2} = \frac{1}{2} (l_1 - l_2) \cot \alpha \text{ และ } R_{i+1,i+2} = R_{1,2} \cdot \tau^i$$

$$R_{1,2} = \frac{1}{2} (75 - 64.5) \cdot 2 = 10.5 \text{ cm}$$

$$R_{2,3} = R_{1,2} \cdot \tau = 10.5 \cdot 0.86 = 9 \text{ cm}$$

$$R_{3,4} = R_{1,2} \cdot \tau^2 = 10.5 \cdot 0.86^2 = 7.7 \text{ cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{4,5} = R_{1,2} * \tau^3 = 10.5 * 0.86^3 = 6.6 \text{ cm}$$

$$R_{5,6} = R_{1,2} * \tau^4 = 10.5 * 0.86^4 = 5.7 \text{ cm}$$

$$R_{6,7} = R_{1,2} * \tau^5 = 10.5 * 0.86^5 = 5 \text{ cm}$$

$$R_{7,8} = R_{1,2} * \tau^6 = 10.5 * 0.86^6 = 4.2 \text{ cm}$$

$$R_{8,9} = R_{1,2} * \tau^7 = 10.5 * 0.86^7 = 3.6 \text{ cm}$$

$$R_{9,10} = R_{1,2} * \tau^8 = 10.5 * 0.86^8 = 3.0 \text{ cm}$$

$$R_{10,11} = R_{1,2} * \tau^9 = 10.5 * 0.86^9 = 2.7 \text{ cm}$$

$$R_{11,12} = R_{1,2} * \tau^{10} = 10.5 * 0.86^{10} = 2.3 \text{ cm}$$

$$R_{12,13} = R_{1,2} * \tau^{11} = 10.5 * 0.86^{11} = 2 \text{ cm}$$

$$R_{13,14} = R_{1,2} * \tau^{12} = 10.5 * 0.86^{12} = 1.7 \text{ cm}$$

$$R_{14,15} = R_{1,2} * \tau^{13} = 10.5 * 0.86^{13} = 1.5 \text{ cm}$$

$$R_{15,16} = R_{1,2} * \tau^{14} = 10.5 * 0.86^{14} = 1.2 \text{ cm}$$

10. คำนวณหาค่าความถี่ที่สอดคล้องกันกับอิตีเมนท์

จาก $f_n = f_1 / \tau^{n-1}$ หรือ $f_{n+1} = f_n / \tau$

$$f_1 = 200 \text{ MHz}$$

$$f_2 = f_1 / \tau = 200 / 0.86 = 232.5 \text{ MHz}$$

$$f_3 = f_1 / \tau^2 = 200 / 0.86^2 = 270.4 \text{ MHz}$$

$$f_4 = f_1 / \tau^3 = 200 / 0.86^3 = 314.4 \text{ MHz}$$

$$f_5 = f_1 / \tau^4 = 200 / 0.86^4 = 365.6 \text{ MHz}$$

$$f_6 = f_1 / \tau^5 = 200 / 0.86^5 = 425.15 \text{ MHz}$$

$$f_7 = f_1 / \tau^6 = 200 / 0.86^6 = 494.35 \text{ MHz}$$

$$f_8 = f_1 / \tau^7 = 200 / 0.86^7 = 574.8 \text{ MHz}$$

$$f_9 = f_1 / \tau^8 = 200 / 0.86^8 = 668.4 \text{ MHz}$$

$$f_{10} = f_1 / \tau^9 = 200 / 0.86^9 = 777.2 \text{ MHz}$$

$$f_{11} = f_1 / \tau^{10} = 200 / 0.86^{10} = 903.7 \text{ MHz}$$

$$f_{12} = f_1 / \tau^{11} = 200 / 0.86^{11} = 1,050.8 \text{ MHz}$$

$$f_{13} = f_1 / \tau^{12} = 200 / 0.86^{12} = 1,221.9 \text{ MHz}$$

$$f_{14} = f_1 / \tau^{13} = 200 / 0.86^{13} = 1,420.86 \text{ MHz}$$

$$f_{15} = f_1 / \tau^{14} = 200 / 0.86^{14} = 1,652.16 \text{ MHz}$$

$$f_{16} = f_1 / \tau^{15} = 200 / 0.86^{15} = 1,921 \text{ MHz}$$

11. คำนวณหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของอิตีเมนท์

จาก $d_n = d_{n+1} * \tau$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าที่คำนวณจากความสัมพันธ์ข้างต้นจะทำให้ขนาดของ diameter ตัวสุดท้ายเล็กมาก ในทางปฏิบัติทำไม่ได้แต่ในการออกแบบสามารถกำหนดค่า diameter ของอิมพีแดนซ์โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ เล็ก, กลาง และ ใหญ่ ในที่นี้กำหนดให้มีขนาด 1.27 cm, 0.95 cm, 0.79 cm ตามลำดับ

12. คำนวณหาค่าระยะห่างสัมพันธ์เฉลี่ย (σ')

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } \sigma' &= \sigma / \sqrt{\tau} \\ &= 0.07 / \sqrt{0.86} \\ &= 0.07548 \end{aligned}$$

13. คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์เฉลี่ยประจำของอิมพีแดนซ์ (Z_a)

$$\begin{aligned} \text{จาก } Z_a &= 120 [\ln (l_n / d_n) - 2.25] \\ \text{ที่ } l_{\max} / d_{\max} &= 75 / 1.27 \\ &= 59.055 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } Z_a &= 120 [\ln (59.055) - 2.25] \\ &= 219.416 \end{aligned}$$

14. คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (Z_o)

$$\begin{aligned} \text{จาก } Z_o &= (R_o^2 / 8\sigma' Z_a) + R_o \sqrt{[(R_i / 8\sigma' Z_a)^2 + 1]} \\ &= (50^2 / 8 * 0.07548 * 219.416) + 50 \sqrt{[(50 / 8 * 0.07548 * 219.416)^2 + 1]} \\ &= 18.869 + 53.442 \\ &= 72.31 \Omega \end{aligned}$$

15. คำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างแกนของสายอากาศจาก center ถึง center (S)

$$\begin{aligned} S &= d * \cosh (Z_o / 120) ; d \text{ คือ diameter ของแกนสายอากาศ} \\ &= 2.54 * \cosh (72.31 / 120) \\ &= 3.0152 \text{ cm} \end{aligned}$$

16. คำนวณหาค่า VSWR ของสายอากาศ

$$\begin{aligned} \text{จาก } VSWR &= (1 + |\Gamma|) / (1 - |\Gamma|) \\ \text{เมื่อ } \Gamma &= (Z_o - R_o) / (Z_o + R_o) \\ &= (72.31 - 50) / (72.31 + 50) \\ &= 0.1824 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } VSWR &= (1 + 0.1824) / (1 - 0.1824) \\ &= 1.4462 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หรือ } VSWR &= Z_o / R_o \\ &= 72.31 / 50 \\ &= 1.4462 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

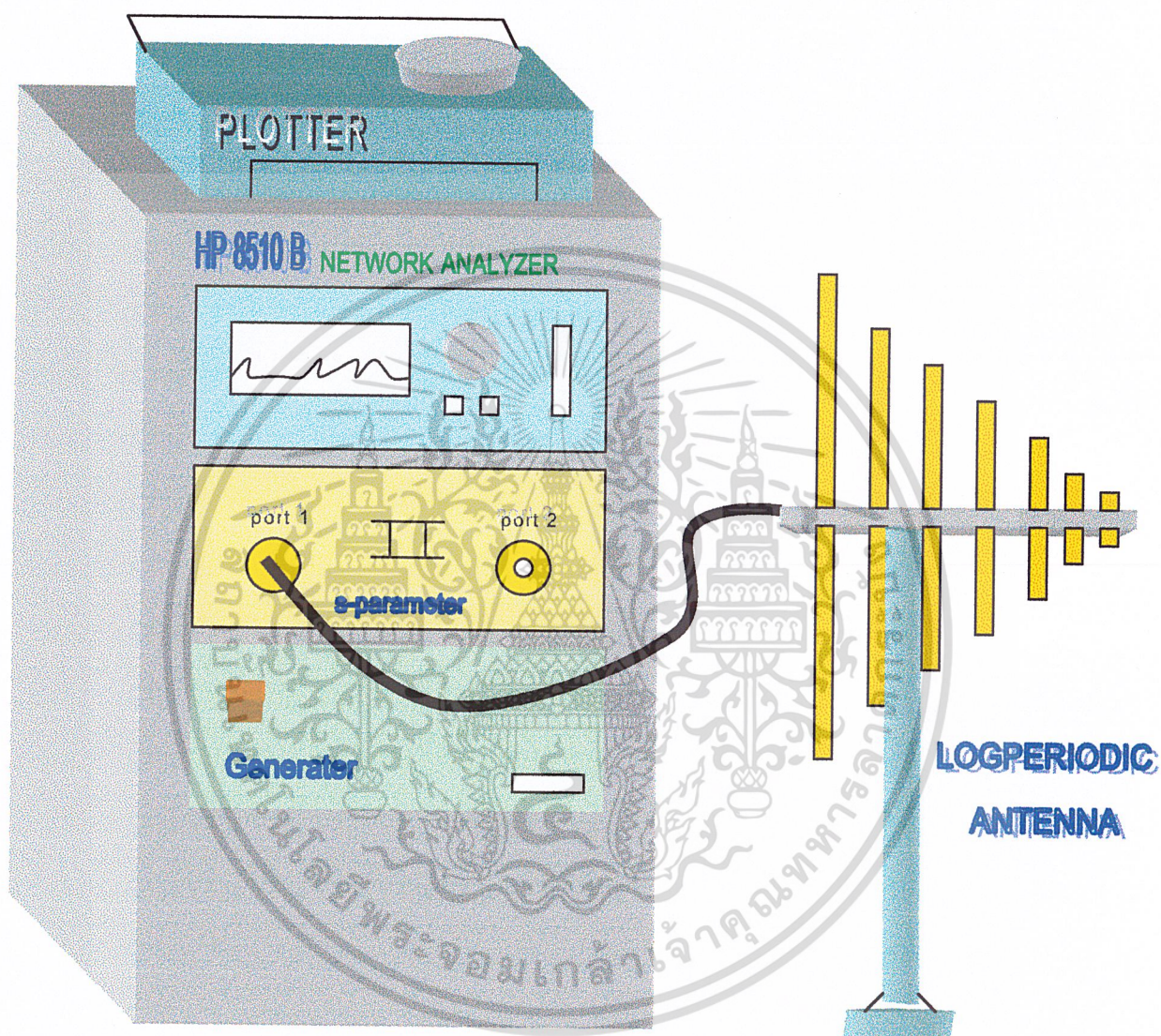
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การวัดค่า VSWR, อิมพีแดนซ์ และค่าการสูญเสียสะท้อนกลับ

ในการวัดค่าดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เน็ตเวิร์ก (Network analyzer) โดยจะมีขั้นตอนการใช้เครื่องดังต่อไปนี้

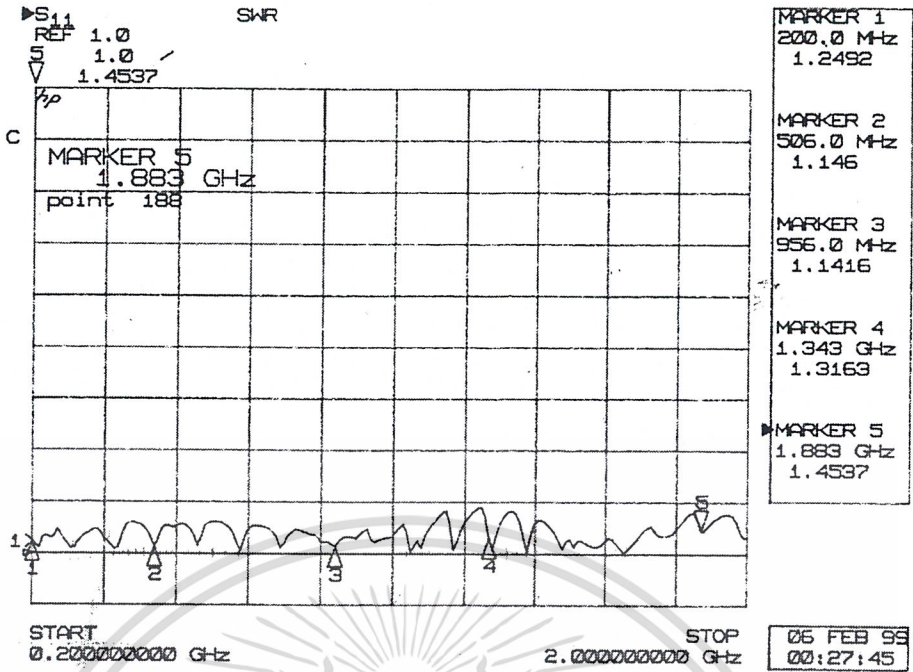
1. เปิดเครื่อง Network analyzer แล้วปล่อยให้เครื่องเย็นกว่าเครื่องหมาย “oven cold” จะหายไปจากมุมมองของหน้าจอ
2. ต่อสายสัญญาณที่มีมาพร้อมเครื่อง เพื่อทำการ calibrate เข้าที่ port 1 หรือ port 2 ของ Network analyzer ข้างใดข้างหนึ่ง โดยยังไม่ต้องต่อสายอากาศที่ต้องการวัด เพื่อที่จะให้เครื่องมองโครงข่ายภายในของสายอากาศ โดยจะมองตรงจุดปลายของสายที่ทำการ calibrate ว่าเป็นจุดเริ่มต้น
3. เริ่มตั้งค่าความถี่เริ่มต้นที่ปุ่ม START และความถี่สุดท้ายที่ปุ่ม STOP ตามย่านความถี่ที่ต้องการหาค่า
4. กดปุ่ม CAL ที่เครื่อง จากนั้นจะมีรายการให้เลือกใช้ที่ soft key ข้างจอ
5. กดที่ CAL MANU จะขึ้นรายการของชุด CAL ให้เลือกรายการตามชุด CAL ที่มี ในที่นี้เลือกชุด 3.5 mm
6. เลือก port ตามสายสัญญาณที่ต่อ เลือก S11 หรือ S22 เพราะว่าการวัดค่าของสายอากาศจะใช้ S11 และ S22 เท่านั้น ส่วน S12 และ S21 จะใช้สำหรับอุปกรณ์ที่มีอินพุตและเอาต์พุต
7. เมื่อเลือก port แล้วจะมีรายการให้เลือกอยู่ 3 รายการ คือ OPEN, SHORT และ LOAD
8. ให้ทำการต่อหัว 3.5 จากชุด CAL โดยเริ่มจาก open load เมื่อต่อเสร็จ กดที่ OPEN เครื่องจะทำเครื่องหมายขีดเส้นใต้ที่ soft key ของ OPEN
9. เปลี่ยนหัว 3.5 เป็น short load เมื่อต่อเสร็จ กดที่ SHORT เครื่องจะทำเครื่องหมายขีดเส้นใต้ที่ soft key ของ SHORT
10. เปลี่ยนหัว 3.5 เป็น dummy load เมื่อต่อเสร็จ กดที่ LOAD จะมีรายการให้เลือกว่าจะใช้ load แบบไหน ในที่นี้เลือกแบบ BROAD BAND
11. จากนั้นทำการกดที่ DONE รอจนกว่าเครื่องจะมีข้อความ “COR 1-8” ขึ้นเป็น soft key ข้างจอ
12. เลือกลำดับที่ต้องการบันทึกสภาวะการค่าที่ cal ไว้ในเครื่อง
13. เมื่อทำการ cal เสร็จแล้วให้ถอดหัว cal ออกต่อสายสัญญาณของเครื่องเข้ากับสายอากาศที่ต้องการจะทดสอบ
14. จากนั้นดูที่ส่วนของ FORMAT บนเครื่องเพื่อเลือกค่าที่ต้องการวัด โดยจะมีปุ่มเลือก เช่น ค่าอิมพีแดนซ์ ให้เลือกที่ SMITH CHART
15. เมื่อได้ผลที่ต้องการ ทำการบันทึกผลการทดลอง โดยกดปุ่ม copy เลือกที่ PLOTTER จะได้ผลออกมาตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

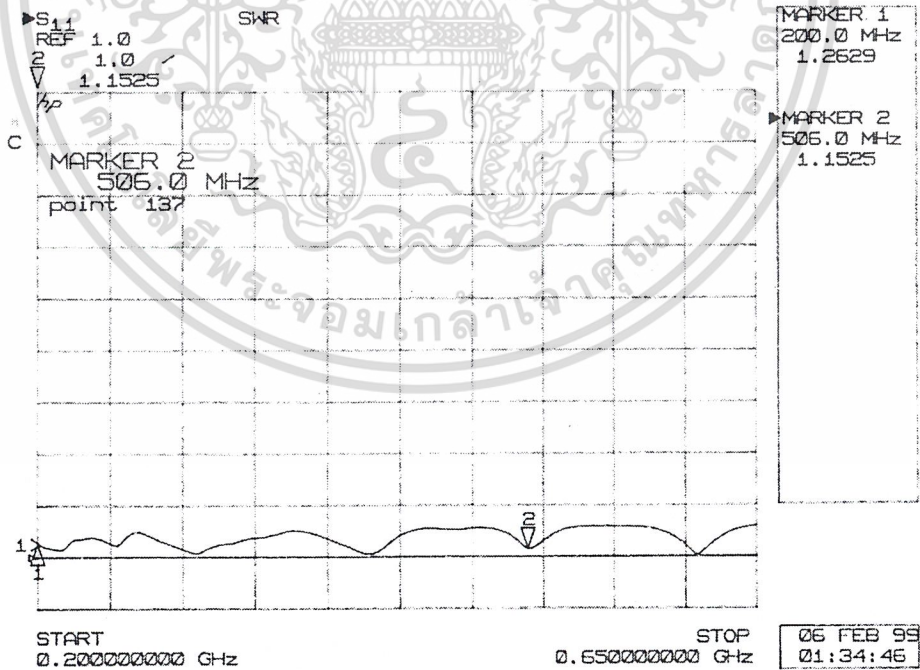


รูปที่ 4.1 แสดงการวัดค่าอิมพีแดนซ์, VSWR, และการสูญเสียของการสะท้อนกลับ (Return loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

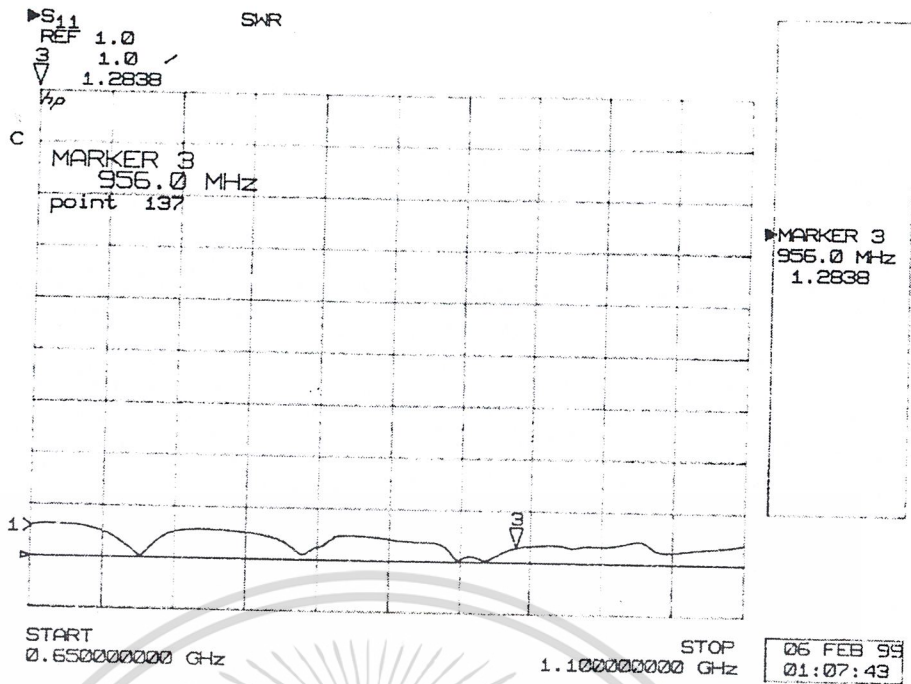


รูปแสดงผลการวัดค่า VSWR ตั้งแต่ความถี่ 200 MHz – 2000 MHz

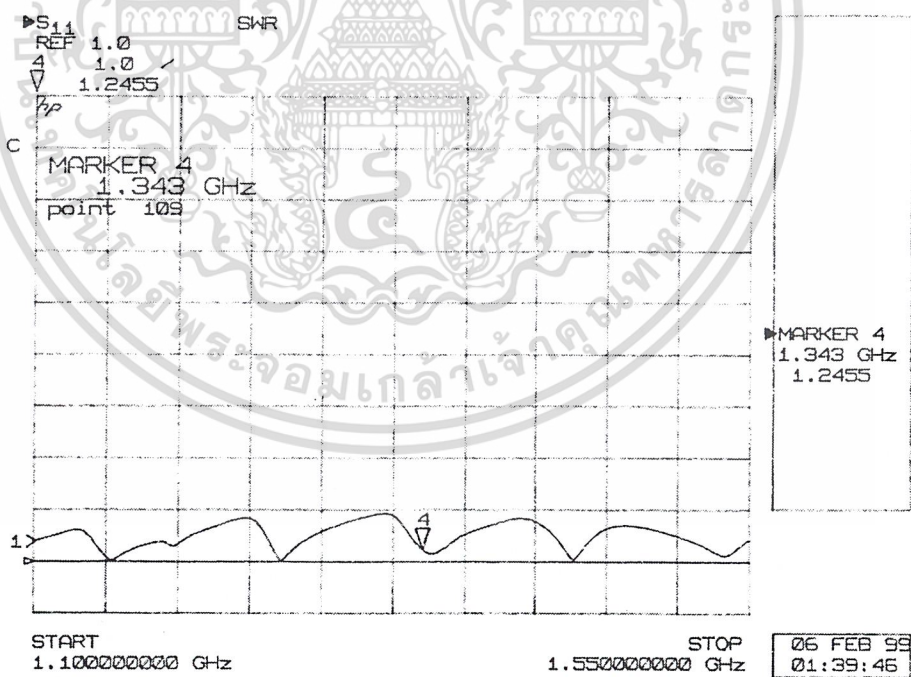


รูปขยายแสดงผลการวัดค่า VSWR ที่ Marker 1 และ Marker 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

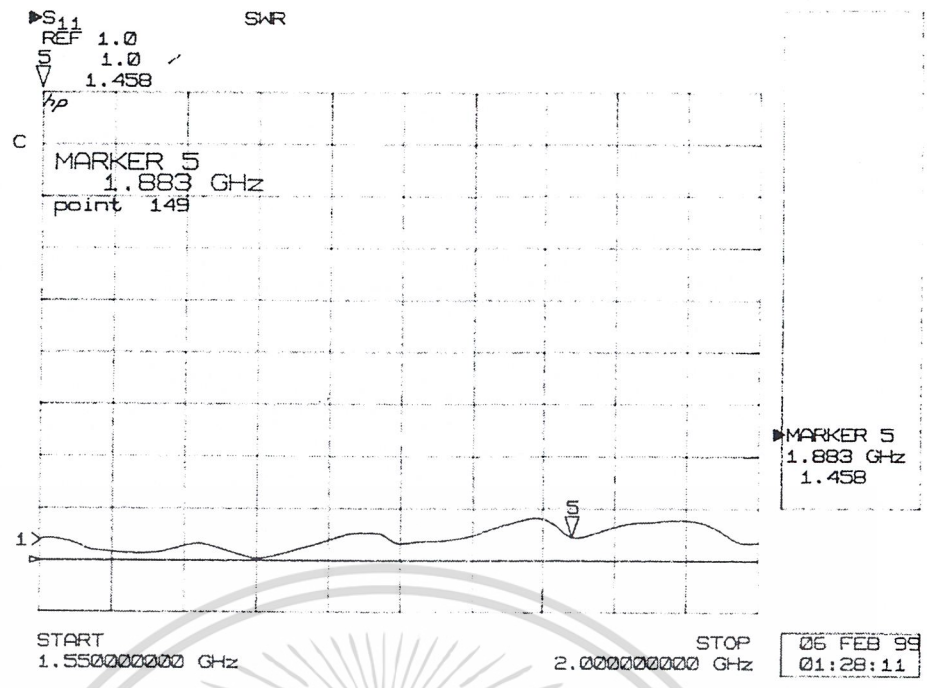


รูปขยายแสดงผลการวัดค่า VSWR ที่ Marker 3

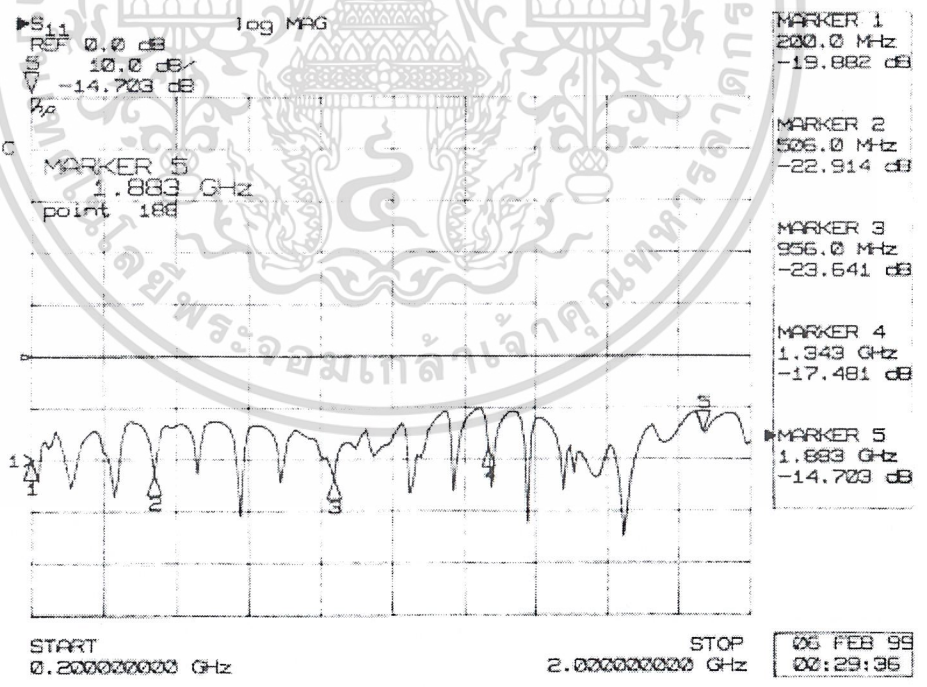


รูปขยายแสดงผลการวัดค่า VSWR ที่ Marker 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

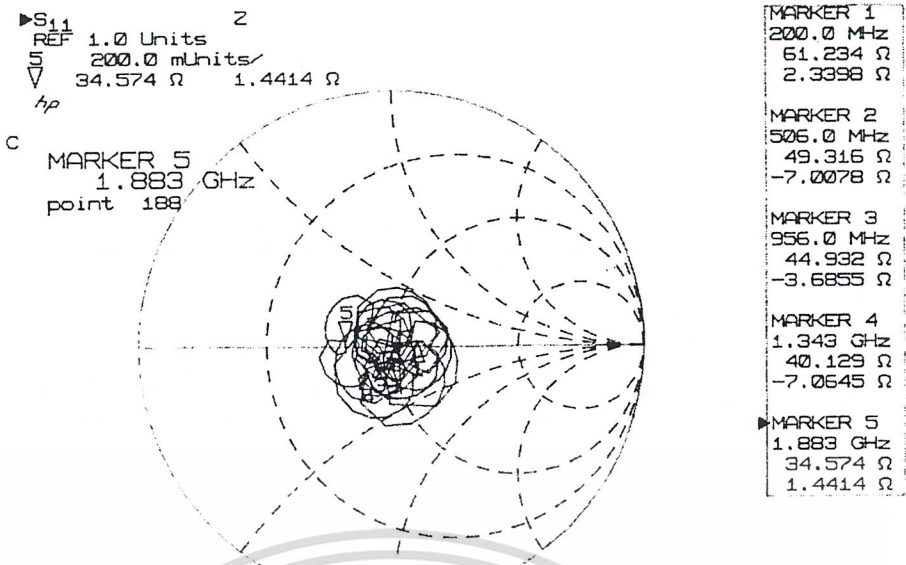


รูปขยายแสดงผลการวัดค่า VSWR ที่ Marker 5



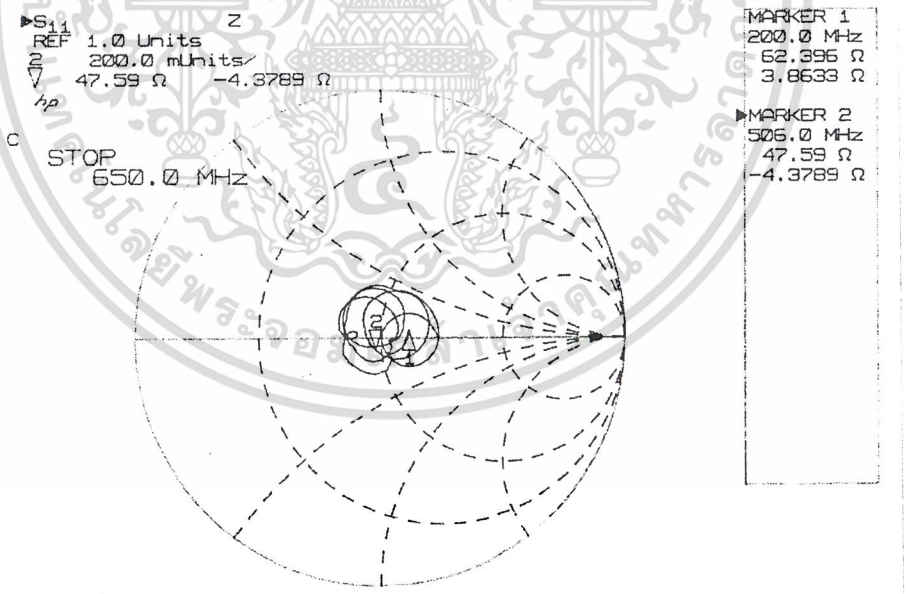
รูปแสดงผลการวัดค่า return loss ตั้งแต่ความถี่ 200 MHz – 2000 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



START 0.20000000 GHz STOP 2.00000000 GHz 06 FEB 99 00:32:35

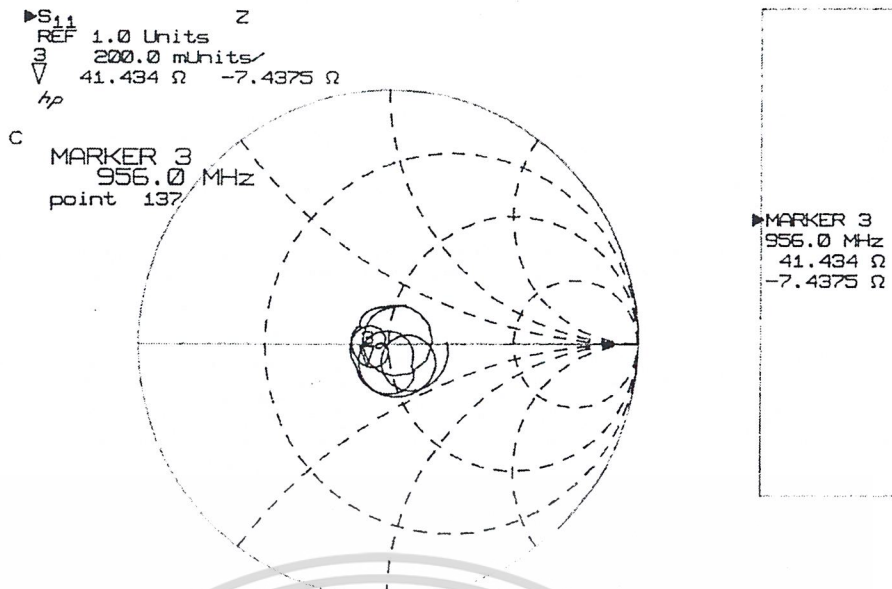
รูปแสดงผลการวัดค่า Impedance



START 0.20000000 GHz STOP 0.65000000 GHz 06 FEB 99 00:59:37

รูปขยายแสดงผลการวัดค่า Impedance ที่ Marker 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



START 0.65000000 GHz STOP 06 FEB 99 01:09:50
 1.10000000 GHz

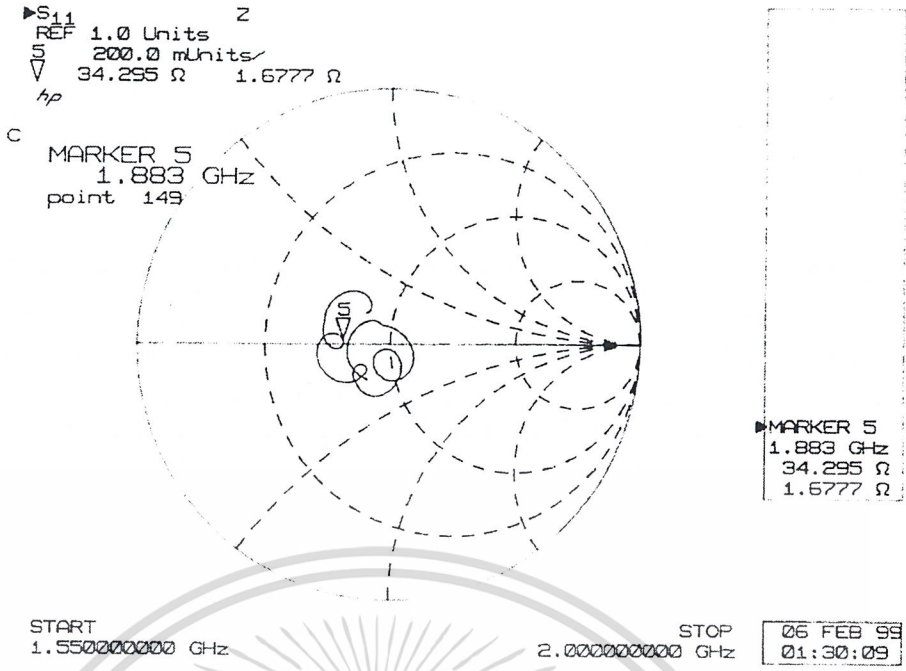
รูปขยายแสดงผลการวัดค่า Impedance ที่ Marker 3



START 1.10000000 GHz STOP 06 FEB 99 01:18:15
 1.55000000 GHz

รูปขยายแสดงผลการวัดค่า Impedance ที่ Marker 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปขยายแสดงผลการวัดค่า Impedance ที่ Marker 5



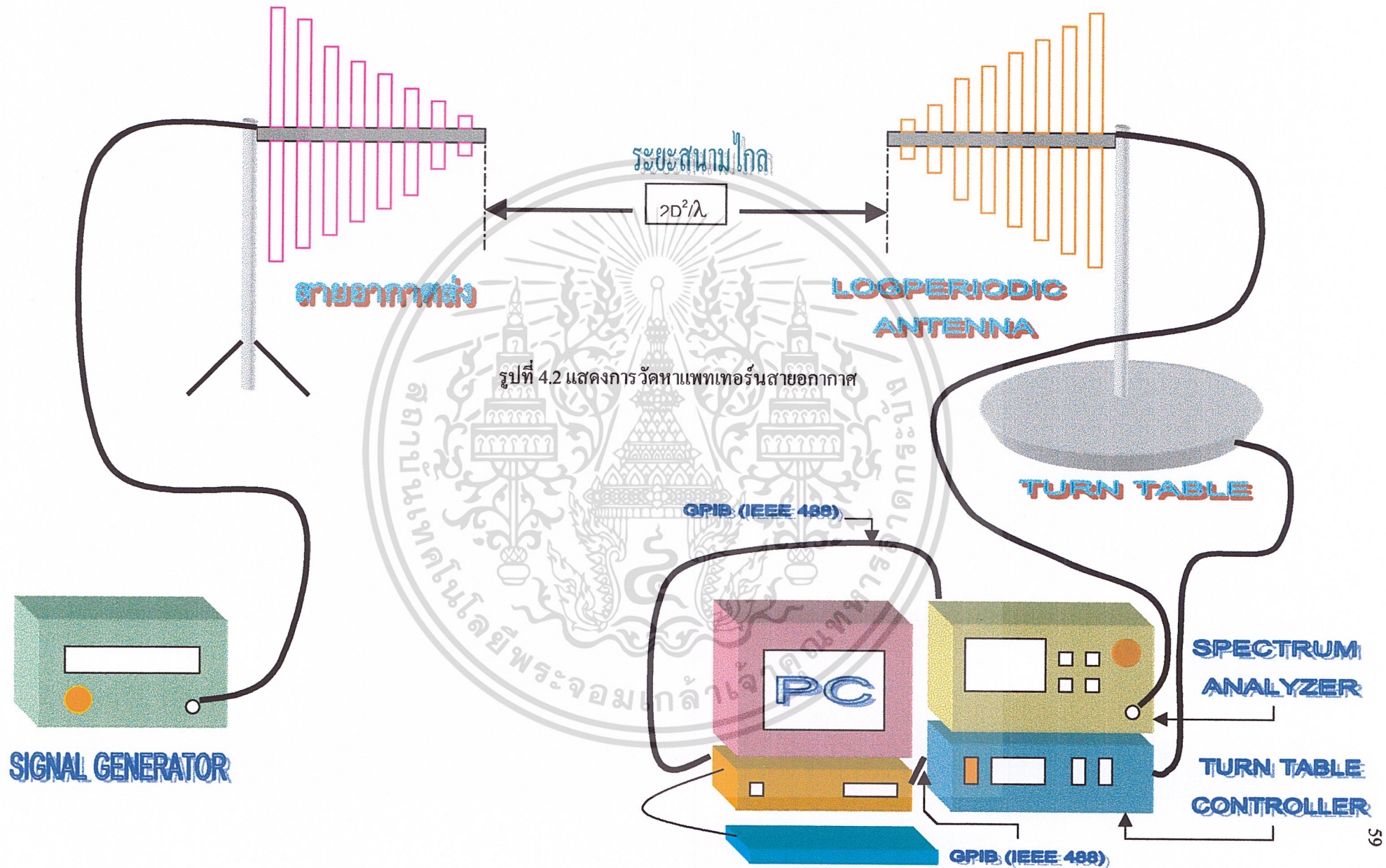
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสายอากาศ (แพทเทิร์นสายอากาศ)

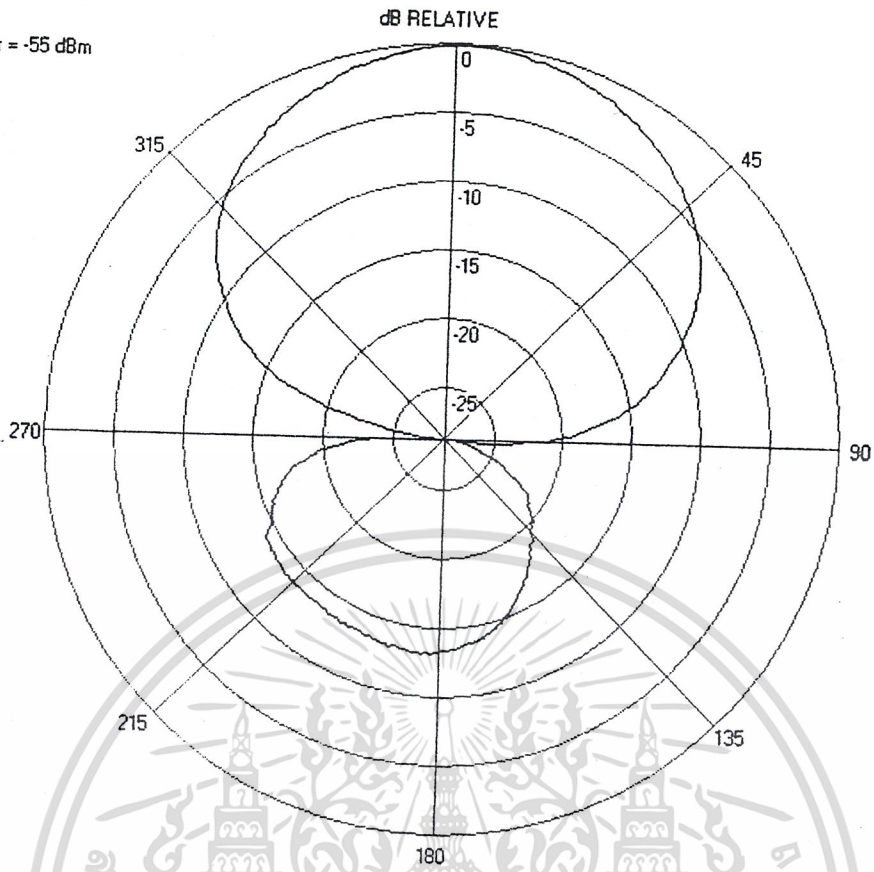
แพทเทิร์นสายอากาศแสดงถึงความสามารถในกานแพร่กระจายคลื่นหรือรับคลื่น จะบ่งบอกถึงคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ เช่นความกว้างของลำบีม โดยทั่วไปสายอากาศที่เป็นแบบที่มีโพลาริเซชันเป็นแบบลิเนียร์ จะสามารถวัดได้ 2 ระนาบ คือระนาบ E (Vertical Polarization) และระนาบ H (Horizontal Polarization) :ซึ่งมีวิธีการวัดดังรูปที่ 4.2 โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ต่อเครื่องมือดังรูปที่ 4.2 โดยต่อสายอากาศที่ทดสอบเข้ากับแท่นหมุน (Turn table) และเดินสายสัญญาณมาเข้าเครื่อง Spectrum analyzer และจากเครื่อง Spectrum analyzer เข้ากับ PC โดยมีสาย GPIB (มาตรฐานการเชื่อมต่ออุปกรณ์ IEEE 488) เป็นตัวเชื่อมต่อ และ สาย GPIB อีกเส้นต่อระหว่าง PC กับเครื่องควบคุมแท่นหมุน (Turn table controller)
2. เชตเครื่องมือทางด้านส่ง โดยต่อสายอากาศส่งเข้ากับ Signal generator และตั้งความถี่ที่ต้องการทดสอบ พร้อมกับความแรงของสัญญาณที่ส่ง เว้นระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศที่ทดสอบให้มีค่า \geq ระยะสนามไกล $2D^2/\lambda$ (m)
โดยที่ D คือความยาวของส่วนที่ยาวที่สุดของสายอากาศ (m)
 λ คือความยาวคลื่นที่ทดสอบ (m)
3. เปิดเครื่องส่ง และตั้งสายอากาศทางด้านรับให้ตรงกันกำหนดให้เป็นมุม 0 องศา
4. เข้าโปรแกรมทดสอบโดยตั้งค่าให้สอดคล้องกับ Spectrum analyzer เขียนชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึกกด Enter เริ่มทำการทดสอบ
5. Turn table controller จะ ควบคุมการหมุนของแท่นหมุนที่ละองศา และส่งค่ามุมไปให้ PC ส่วน Spectrum analyzer จะส่งค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ไปให้ PC จนครบ 360 องศา โปรแกรมก็จะทำค่าที่ได้ไปพล็อตเป็นรูปกราฟ โดยจะมีอยู่ 2 แบบคือ polar plot และ rectangular plot
6. เปลี่ยนระนาบโพลาริเซชันจากแนวตั้งเป็นแนวนอน หรือจากแนวนอนเป็นแนวตั้ง
7. แล้วเริ่มทำการวัดใหม่ตามขั้นตอนข้างต้น ก็จะได้แพทเทิร์นสายอากาศ 2 ระนาบโพลาริเซชันตามต้องการ

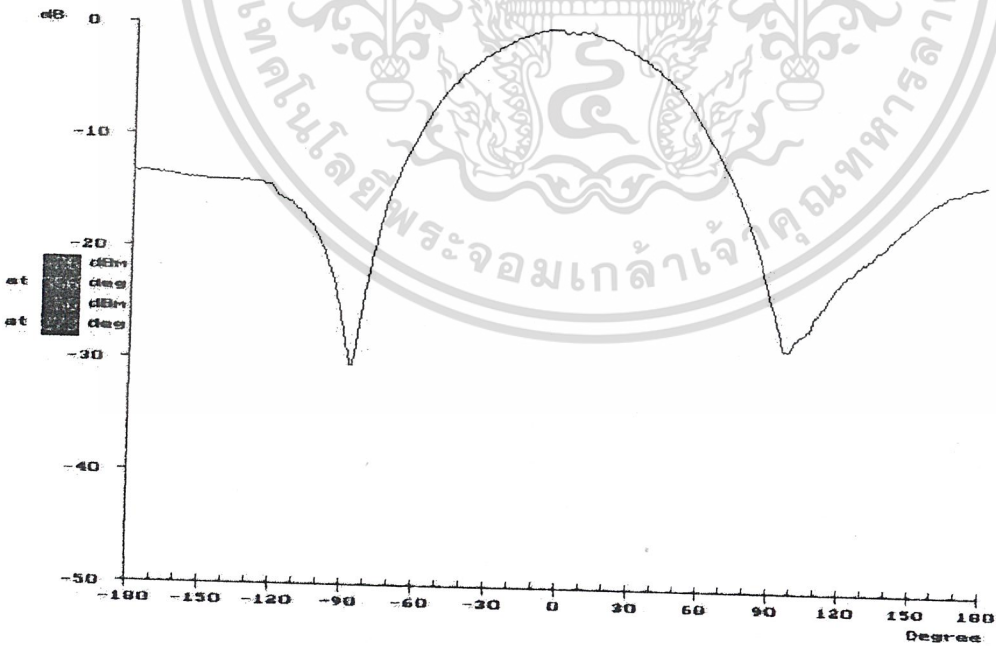
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Maximum Power = -25 dBm
At 0 Degree
Minimum Power = -55 dBm
At 274 Degree

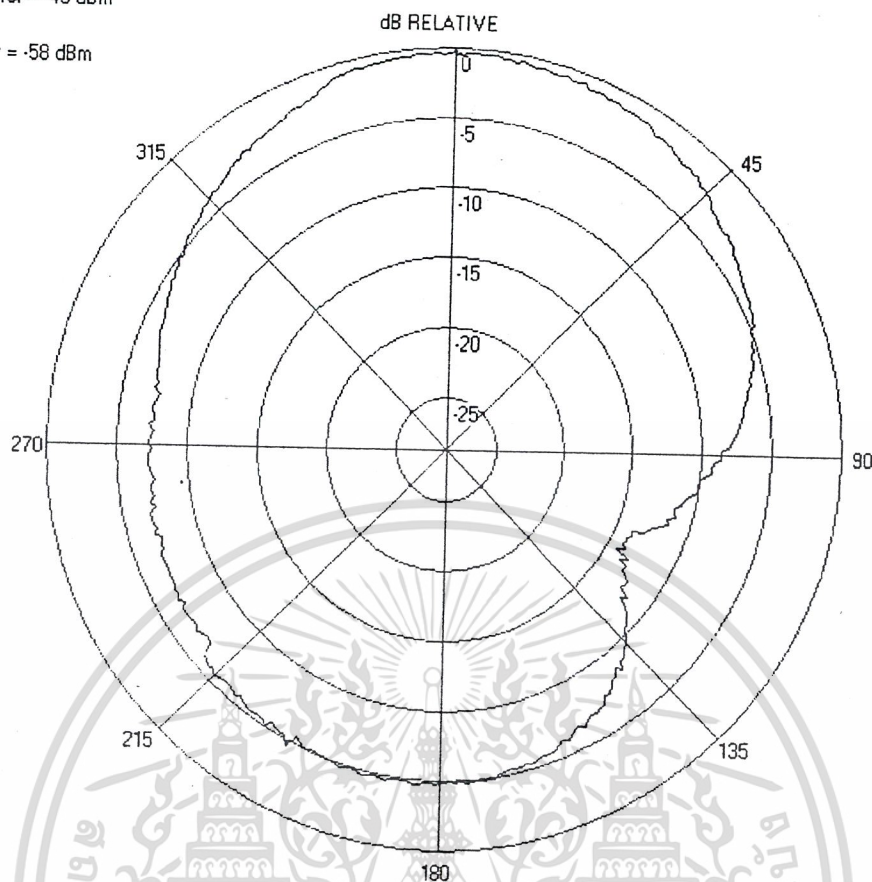


รูปแสดงผลการวัดแพทเทิร์นแบบ polar plot ที่ความถี่ 200 MHz . ในระนาบแนวแกนนอน

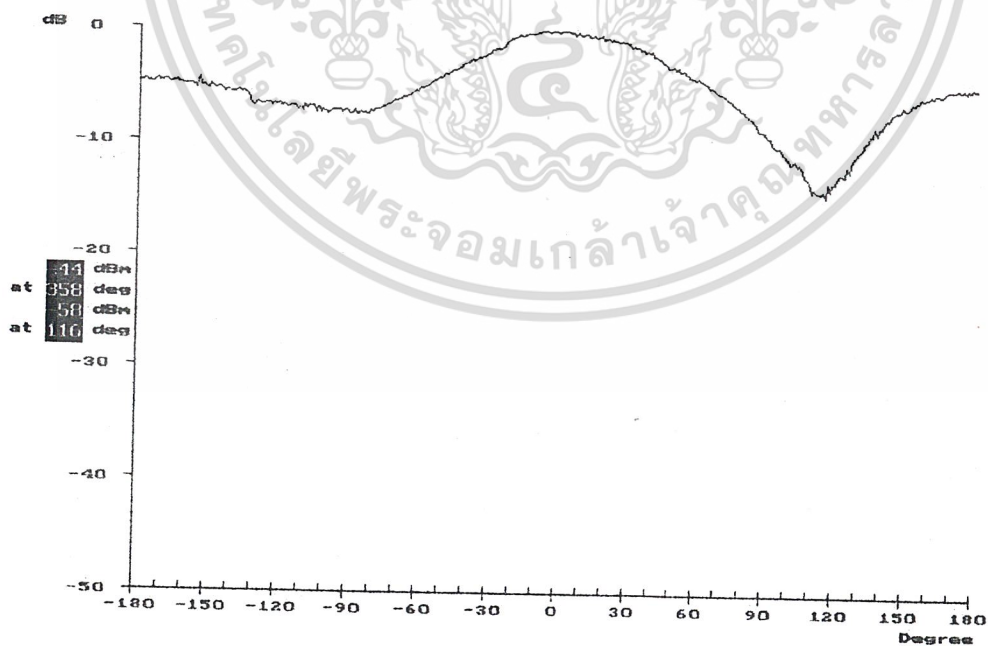


รูปแสดงผลการวัดแพทเทิร์นแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 200 MHz . ในระนาบแนวแกนนอน
เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการวิจัย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -43 dBm
 At 0 Degree
 Minimum Power = -58 dBm
 At 116 Degree



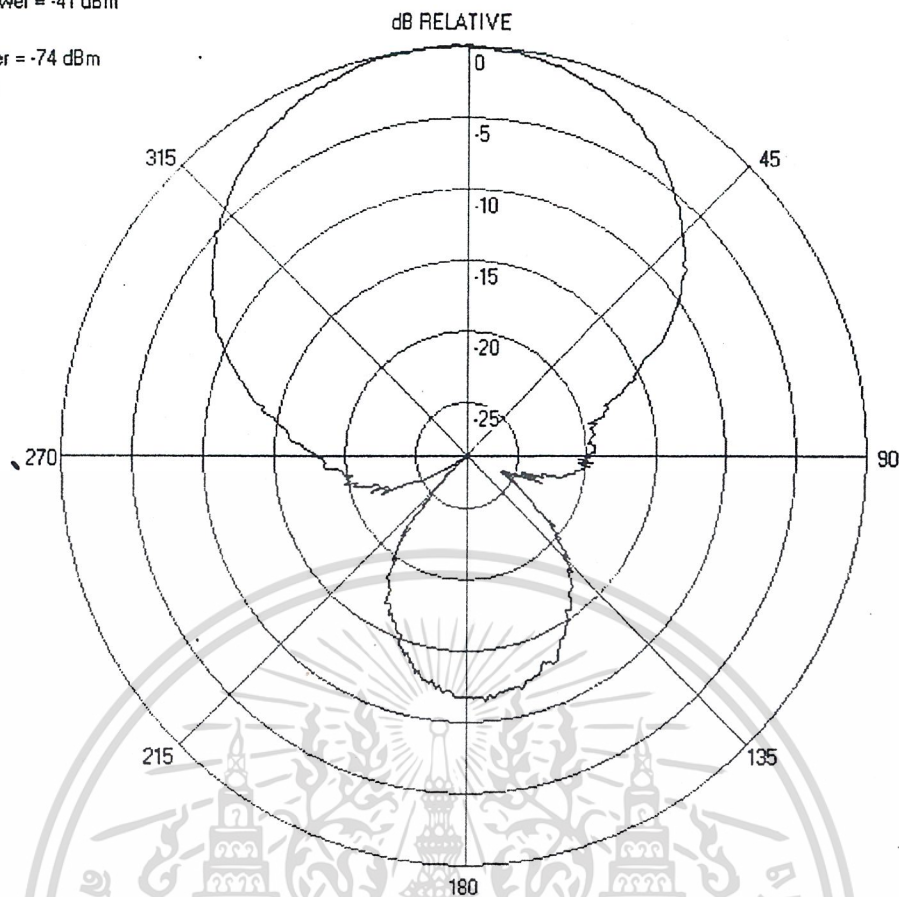
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ polar plot ที่ความถี่ 200 MHz .ในระนาบแนวแกนตั้ง



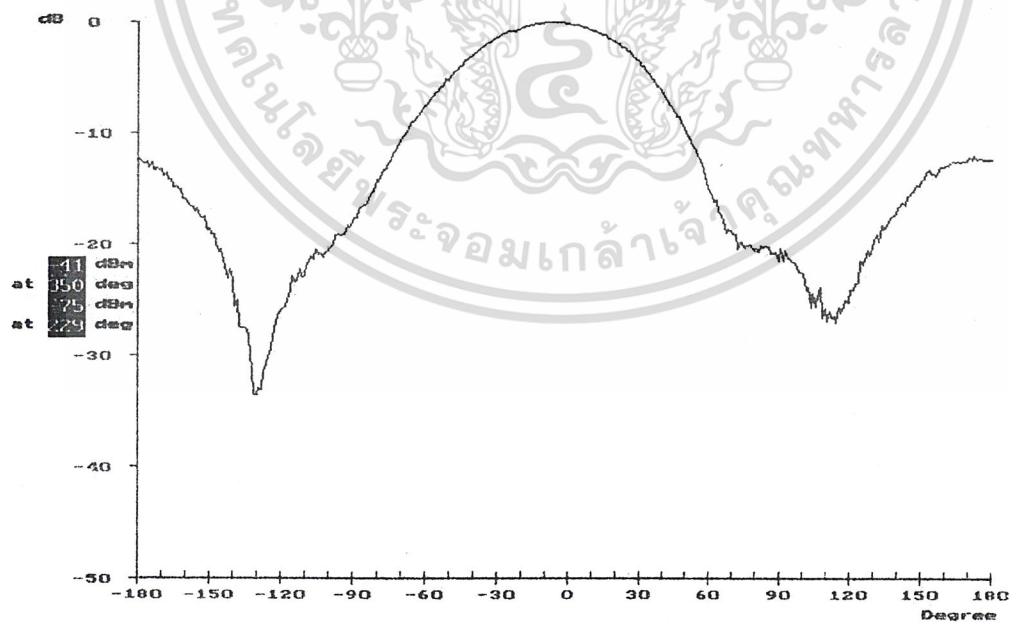
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 200 MHz .ในระนาบแนวแกนตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -41 dBm
At 0 Degree
Minimum Power = -74 dBm
At 232 Degree

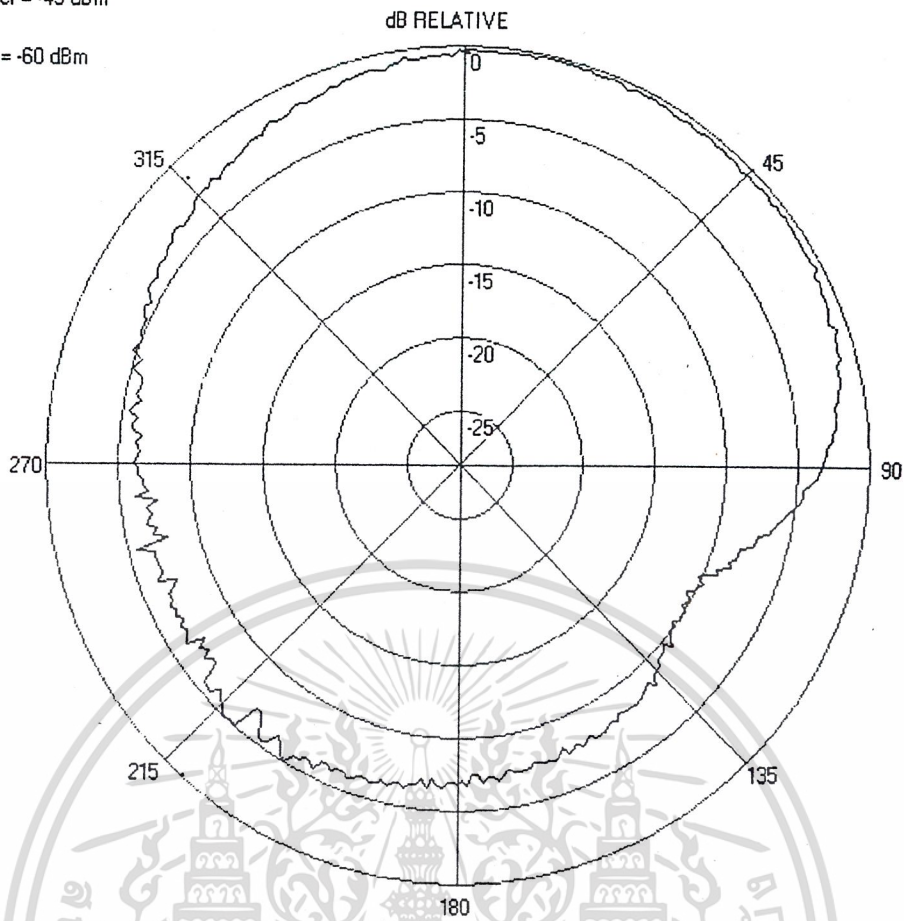


รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ polar plot ที่ความถี่ 300 MHz . ในระนาบแนวแกนนอน

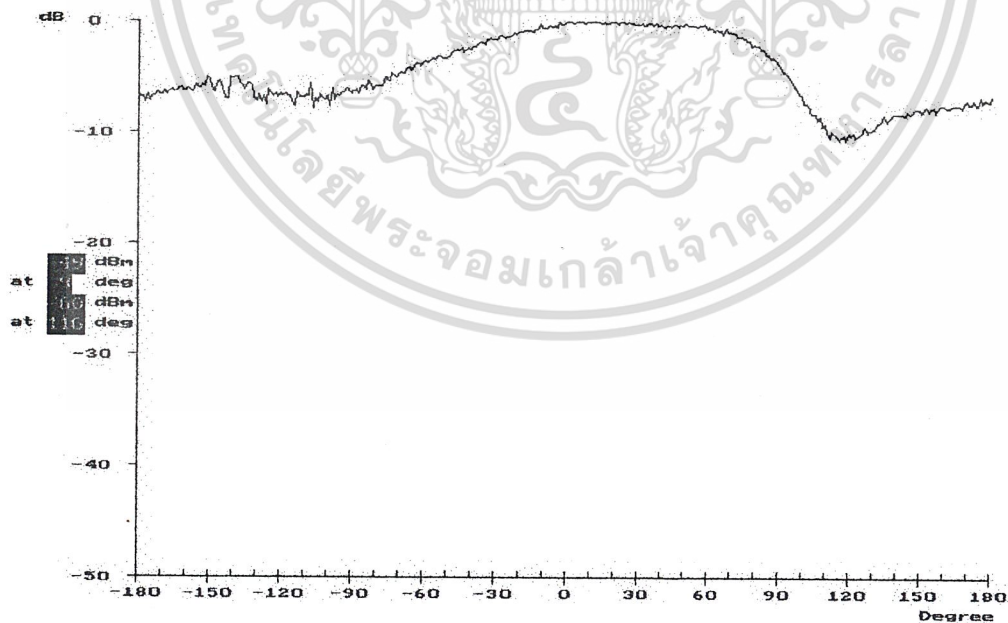


เอกสารนี้รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 300 MHz . ในระนาบแนวแกนนอน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -49 dBm
At 0 Degree
Minimum Power = -60 dBm
At 119 Degree

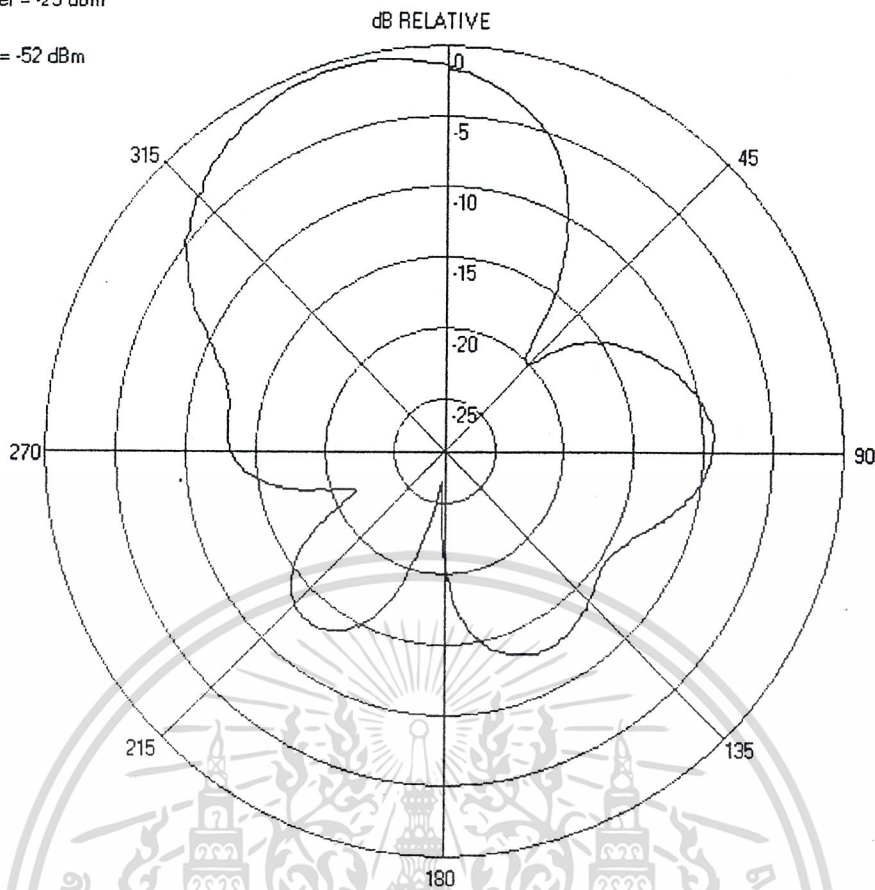


รูปแสดงผลการวัดแพทเทิร์นแบบ polar plot ที่ความถี่ 300 MHz .ในระนาบแนวแกนตั้ง

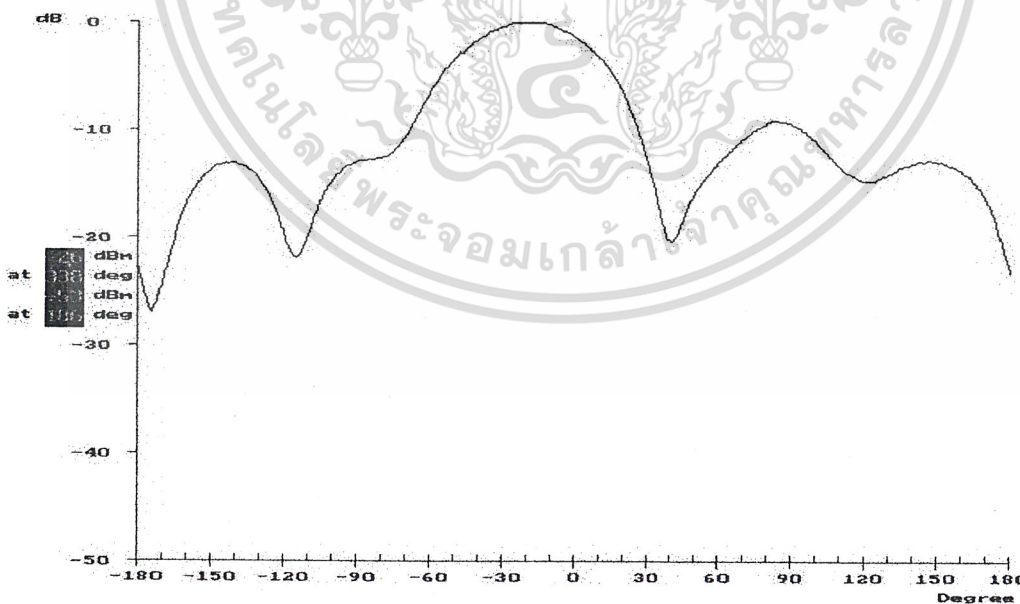


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การแจ้งให้ทราบเท่านั้น มิใช่ผู้รู้เห็นหรือยินยอมหรือให้การคำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -25 dBm
At 333 Degree
Minimum Power = -52 dBm
At 187 Degree



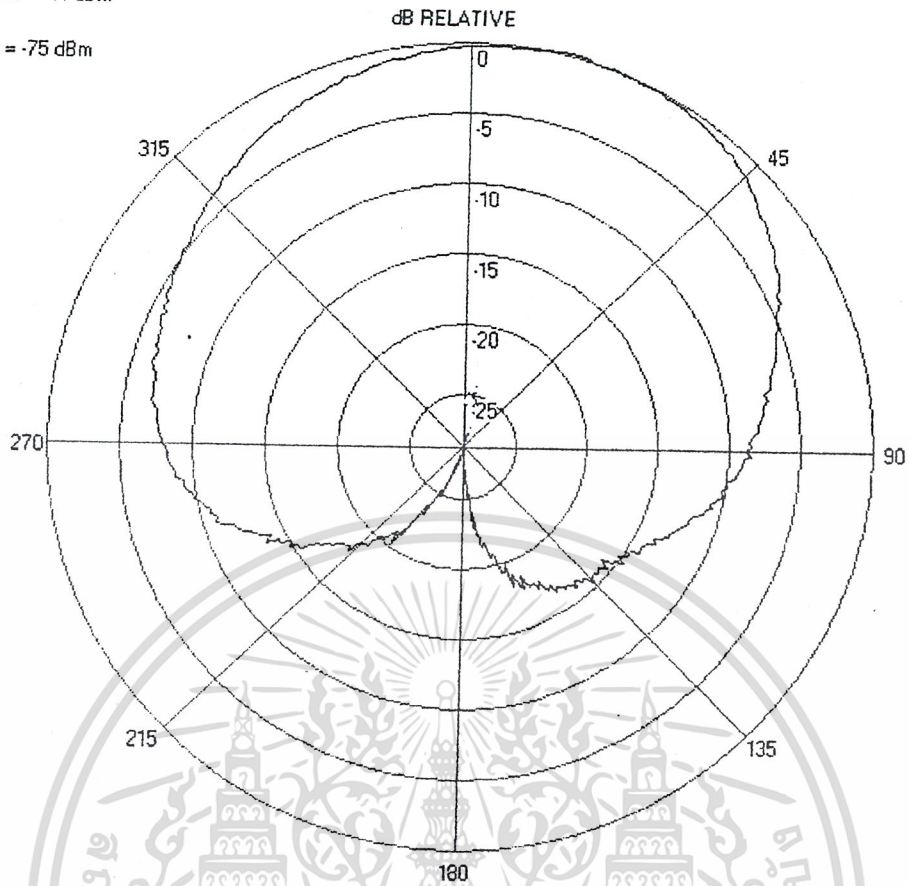
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ polar plot ที่ความถี่ 400 MHz .ในระนาบแนวแกนนอน



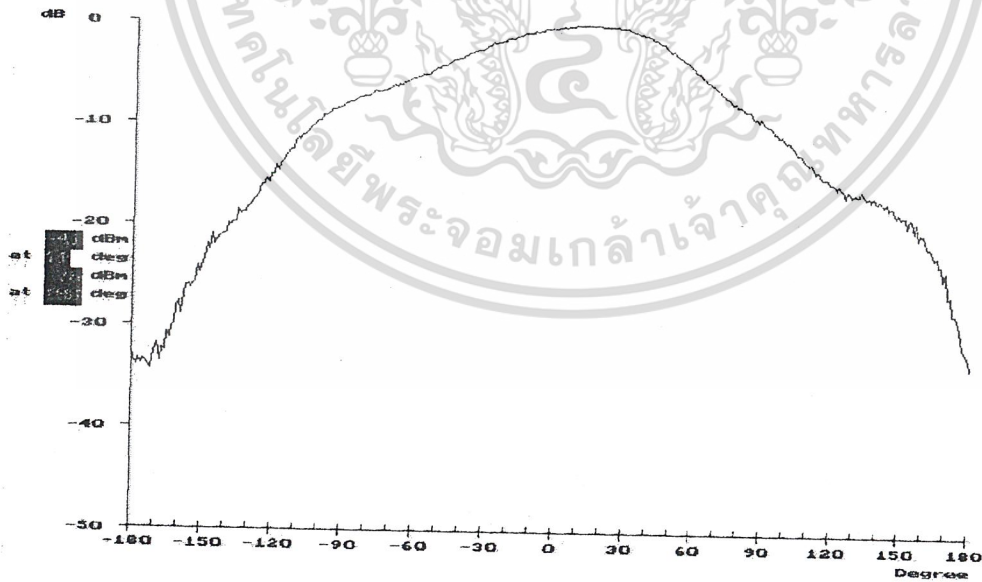
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 400 MHz .ในระนาบแนวแกนนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -41 dBm
 At 0 Degree
 Minimum Power = -75 dBm
 At 180 Degree



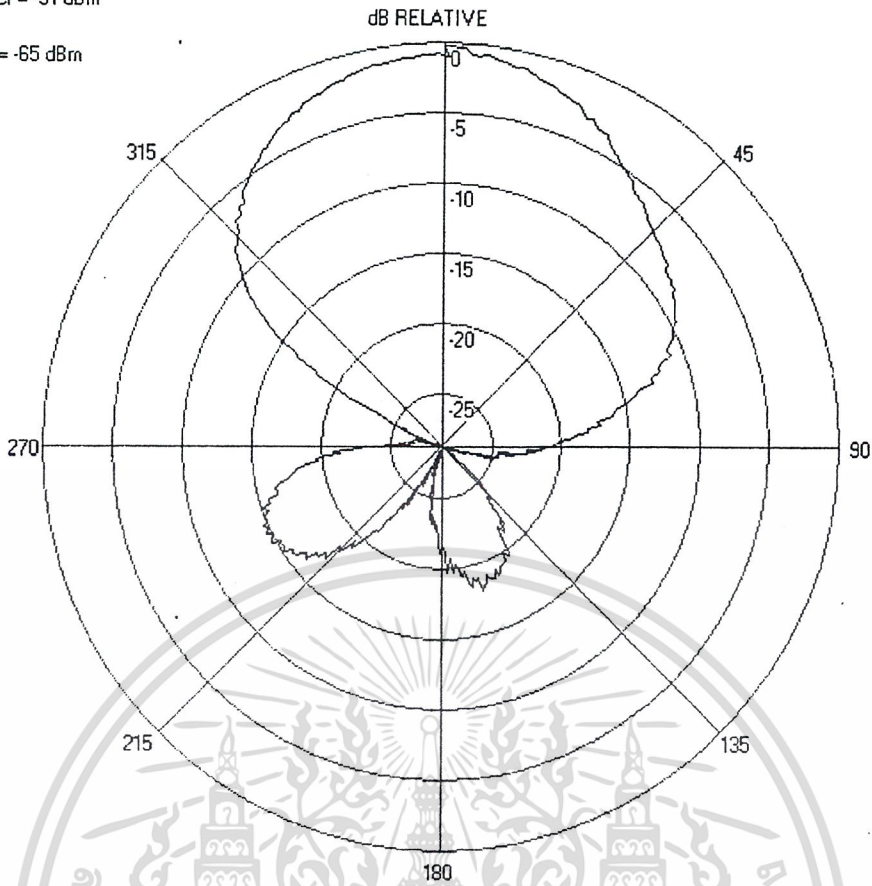
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ polar plot ที่ความถี่ 400 MHz . ในระนาบแนวแกนตั้ง



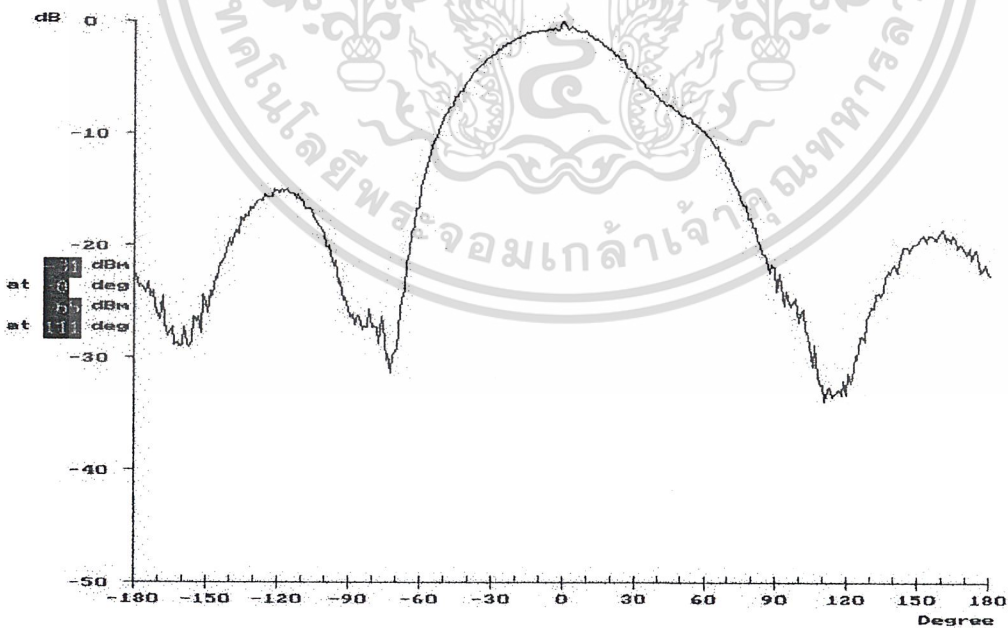
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 400 MHz . ในระนาบแนวแกนตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -31 dBm
 At 0 Degree
 Minimum Power = -65 dBm
 At 111 Degree



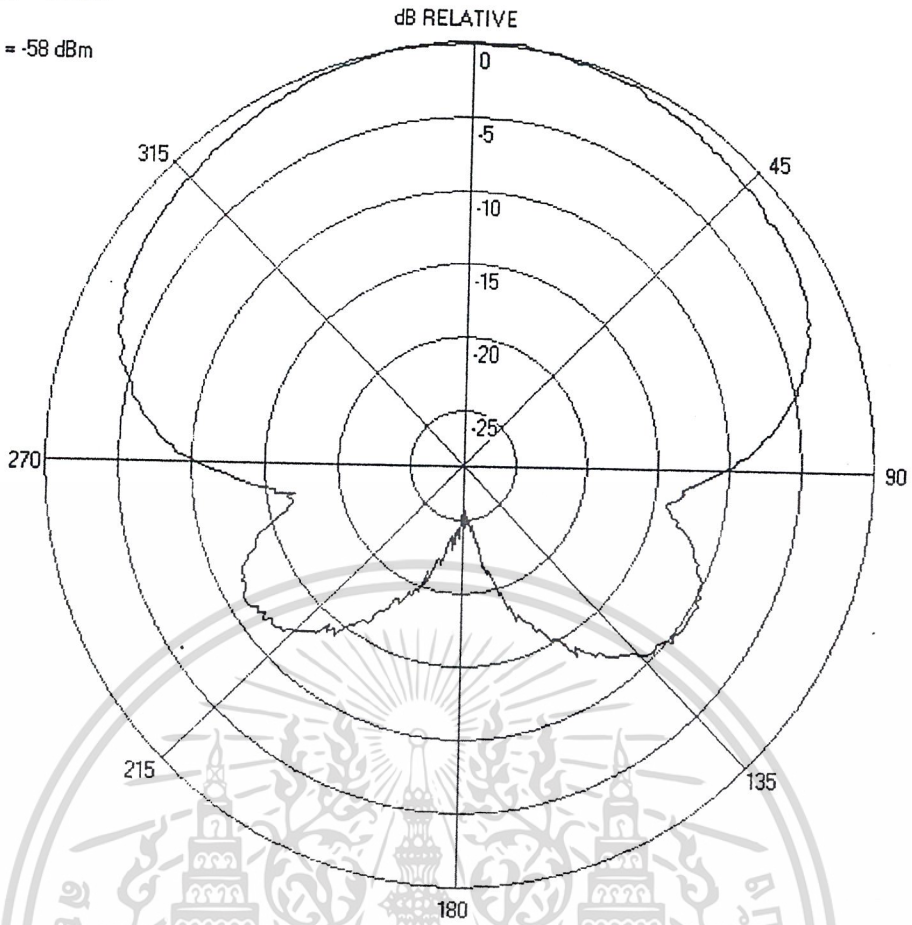
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ polar plot ที่ความถี่ 500 MHz .ในระนาบแนวแกนนอน



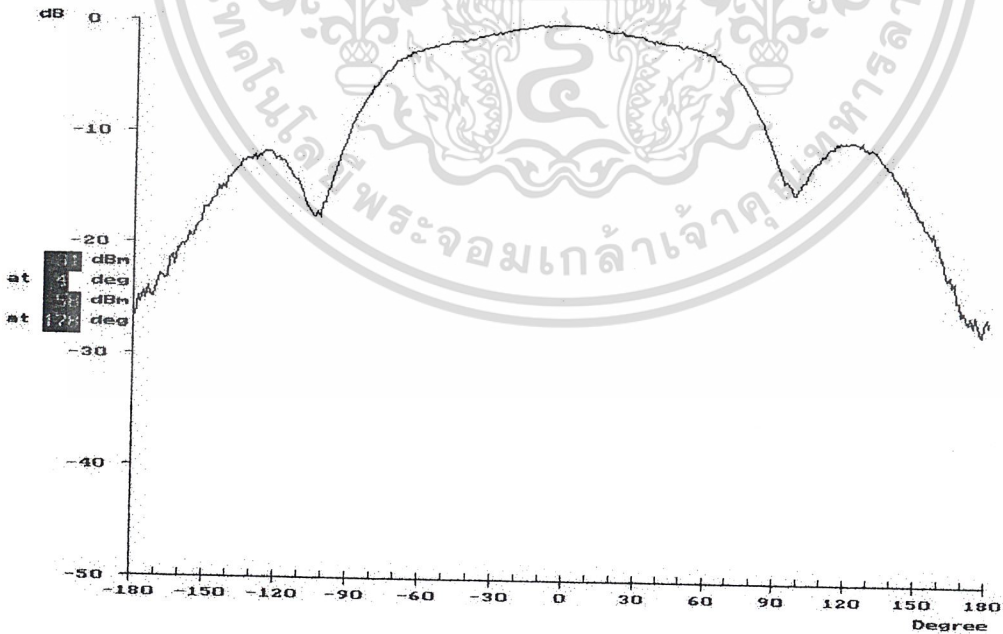
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 500 MHz .ในระนาบแนวแกนนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -31 dBm
At 0 Degree
Minimum Power = -58 dBm
At 178 Degree



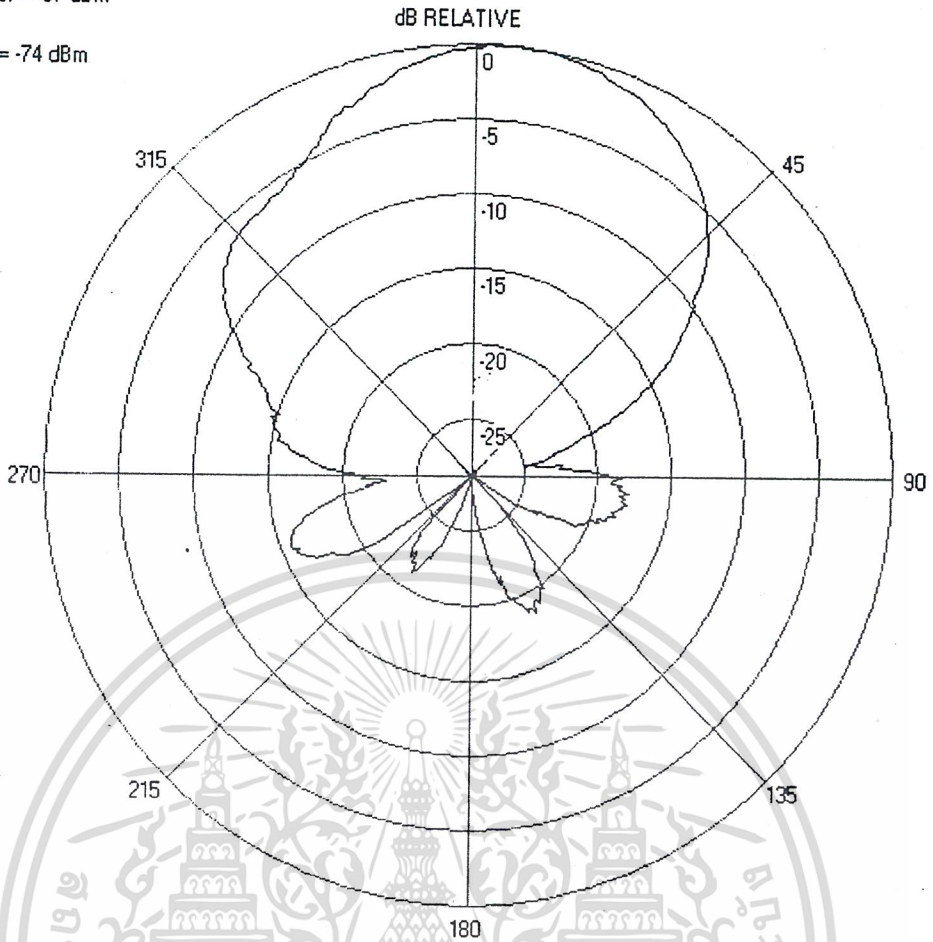
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ polar plot ที่ความถี่ 500 MHz .ในระนาบแนวแกนตั้ง



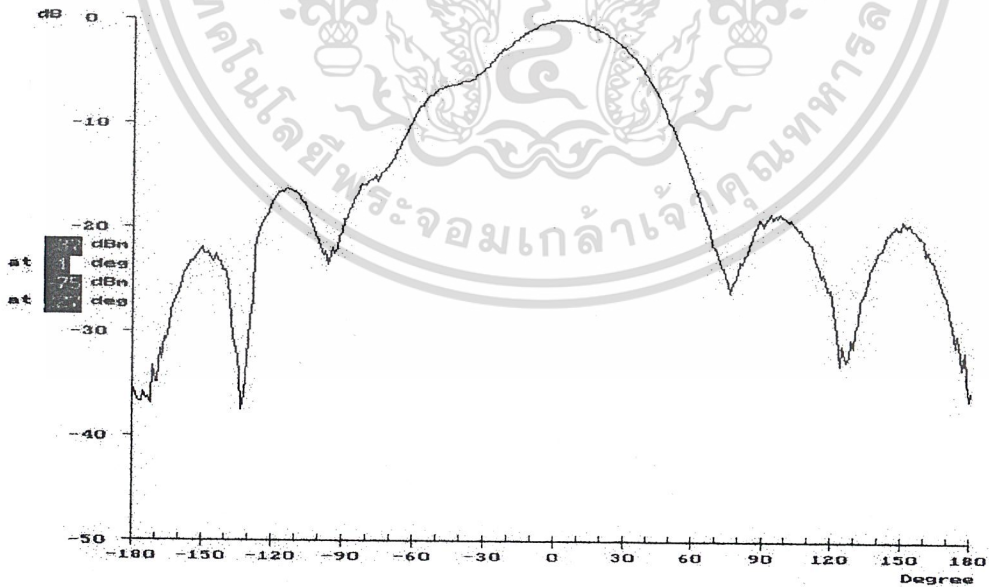
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 500 MHz .ในระนาบแนวแกนตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -37 dBm
At 0 Degree
Minimum Power = -74 dBm
At 227 Degree



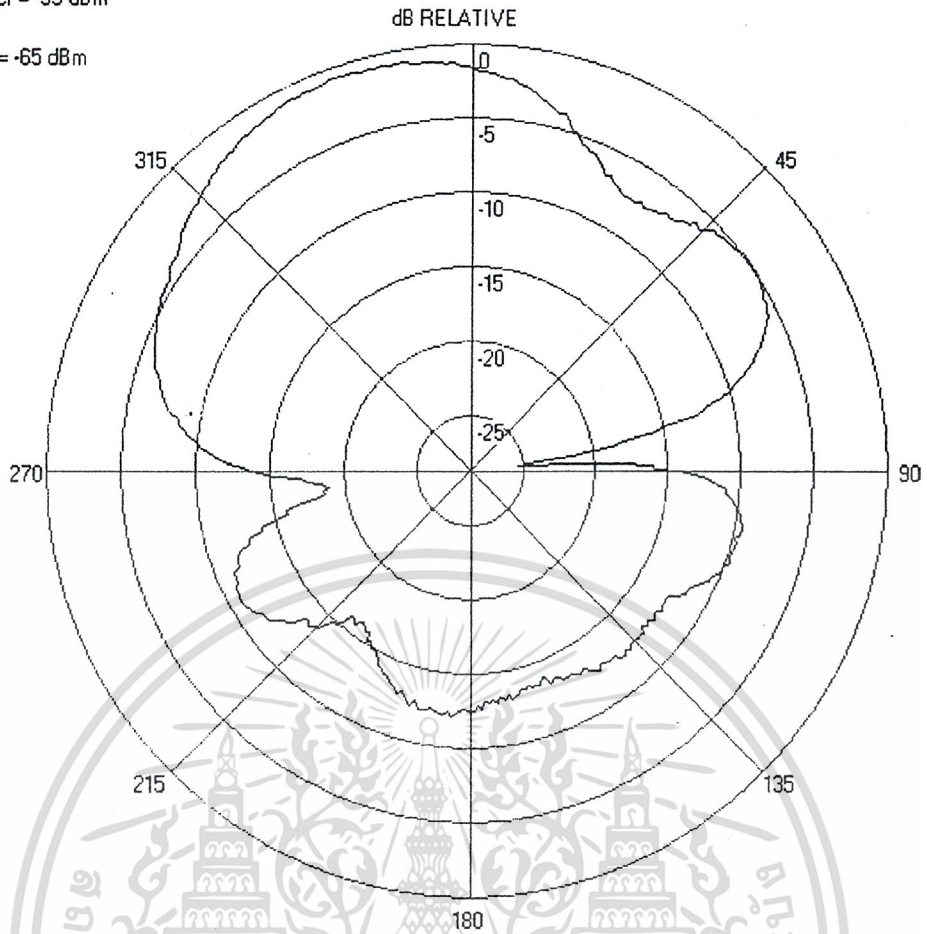
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ polar plot ที่ความถี่ 600 MHz . ในระนาบแนวแกนนอน



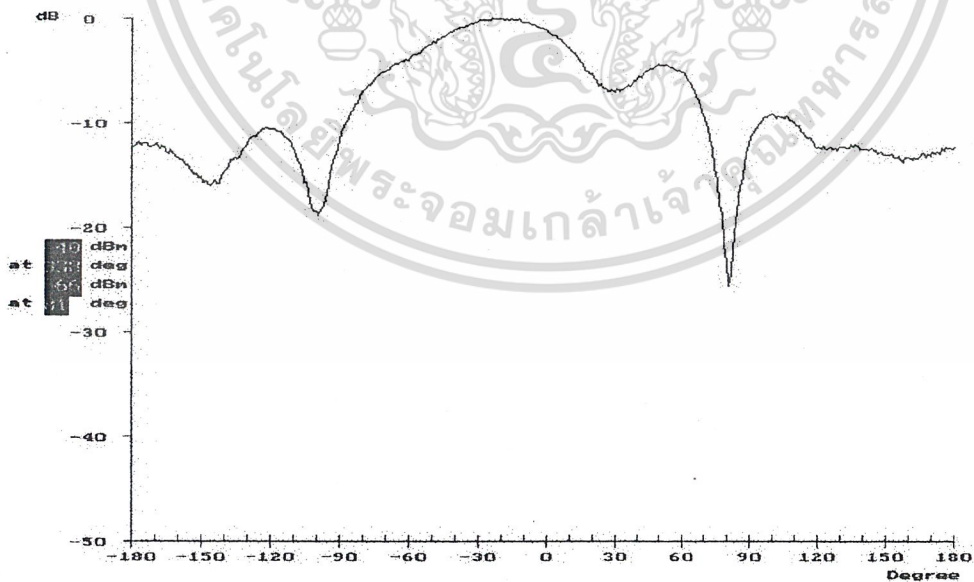
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 600 MHz . ในระนาบแนวแกนนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนเวสหาหรับการเขงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -39 dBm
At 338 Degree
Minimum Power = -65 dBm
At 81 Degree

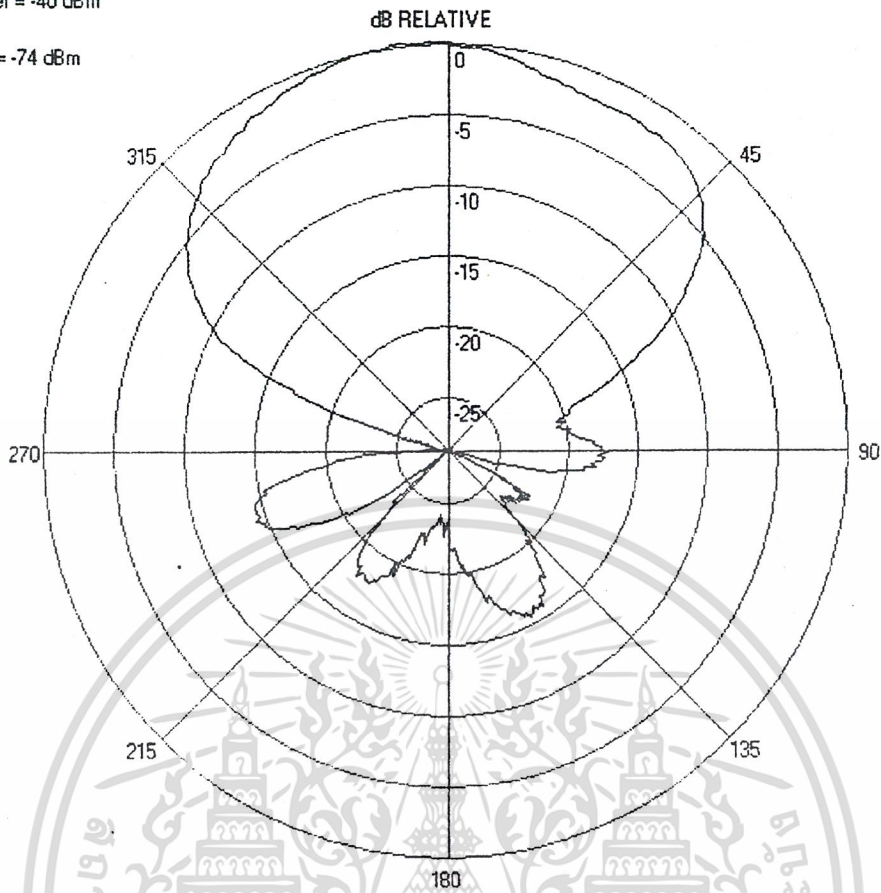


รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ polar plot ที่ความถี่ 600 MHz . ในระนาบแนวแกนตั้ง

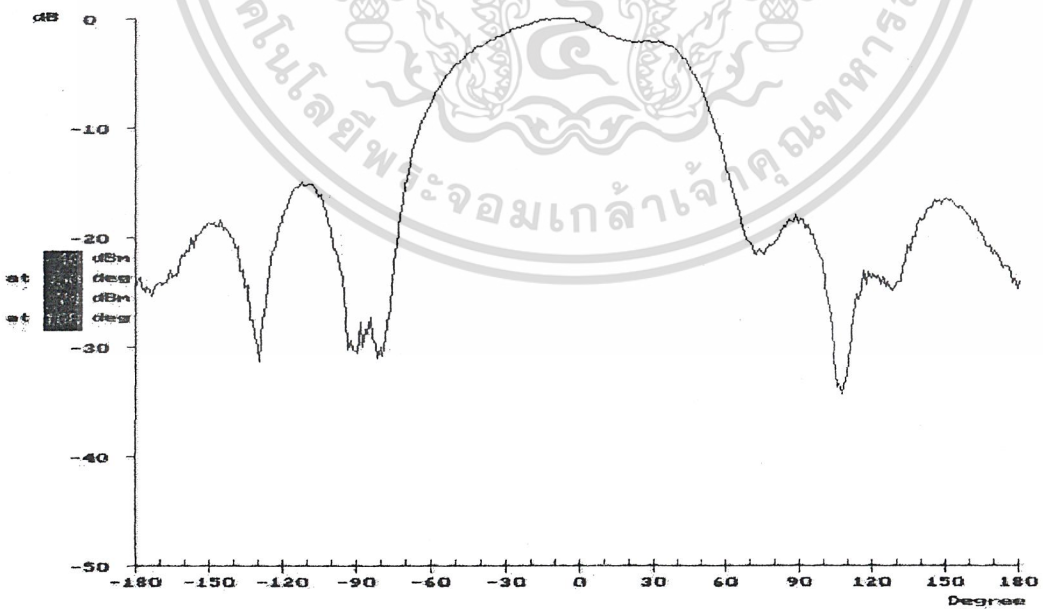


เอกสารนี้รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 600 MHz . ในระนาบแนวแกนตั้ง โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -40 dBm
At 0 Degree
Minimum Power = -74 dBm
At 108 Degree



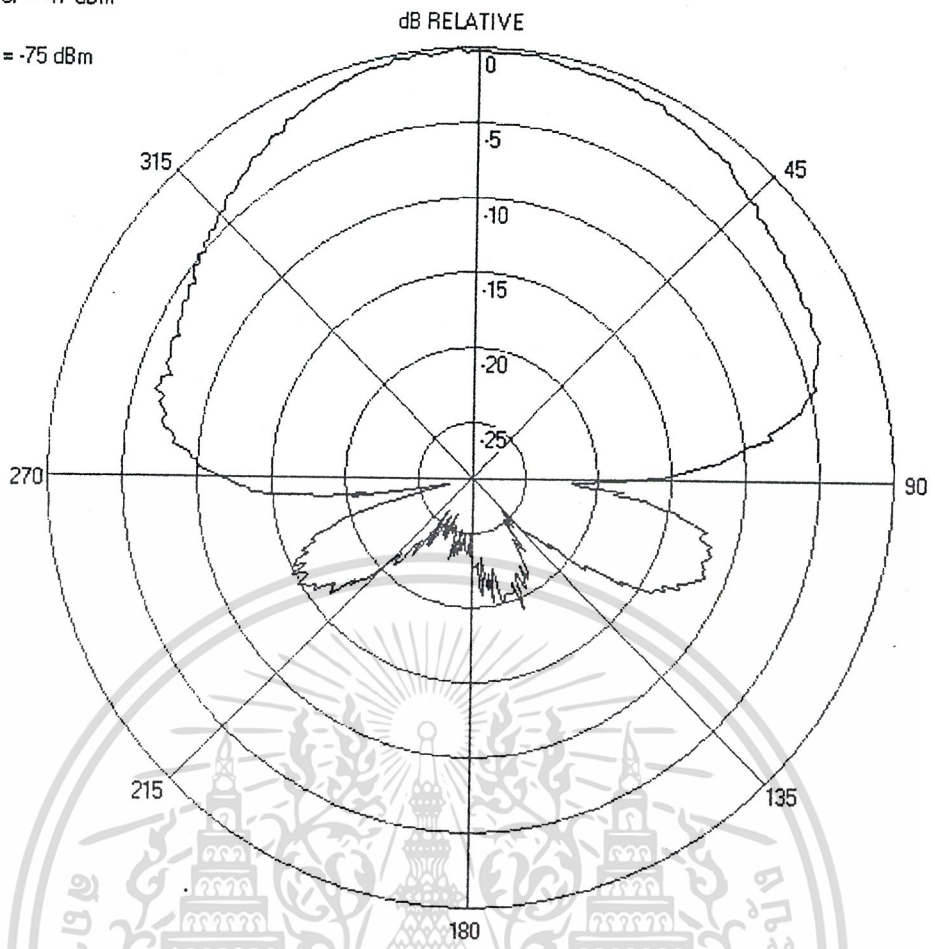
รูปแสดงผลการวัดแพทเทิร์นแบบ polar plot ที่ความถี่ 700 MHz .ในระนาบแนวแกนนอน



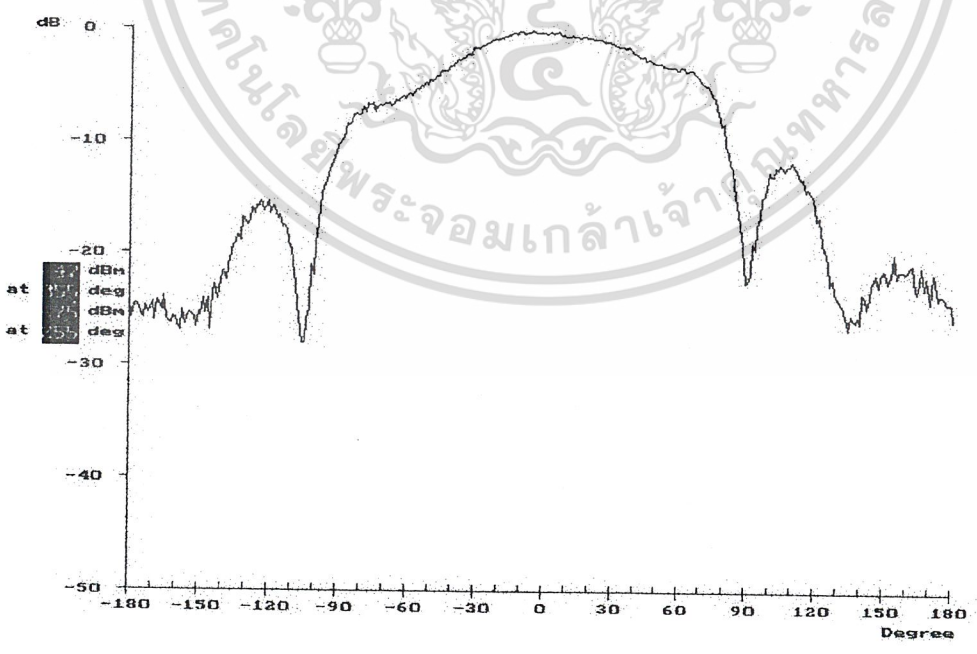
รูปแสดงผลการวัดแพทเทิร์นแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 700 MHz .ในระนาบแนวแกนนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นาเบไซบระโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -47 dBm
At 0 Degree
Minimum Power = -75 dBm
At 256 Degree



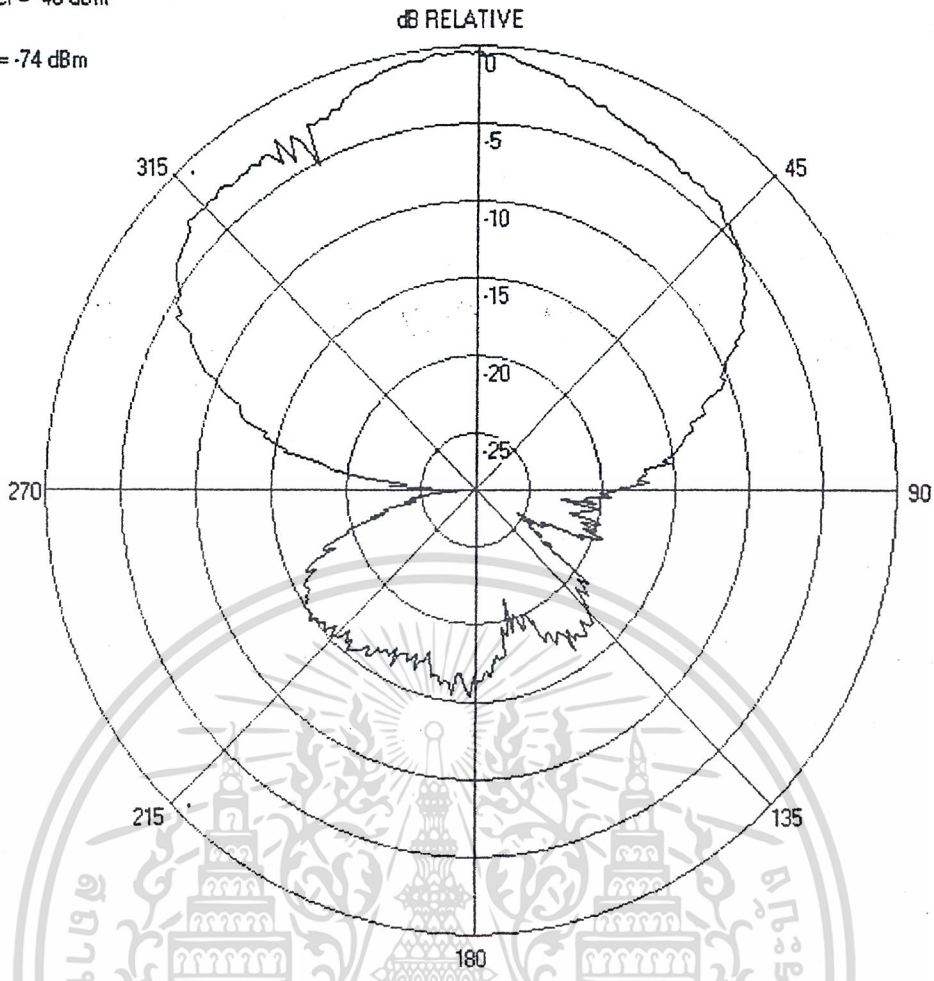
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอร์นแบบ polar plot ที่ความถี่ 700 MHz .ในระนาบแนวแกนตั้ง



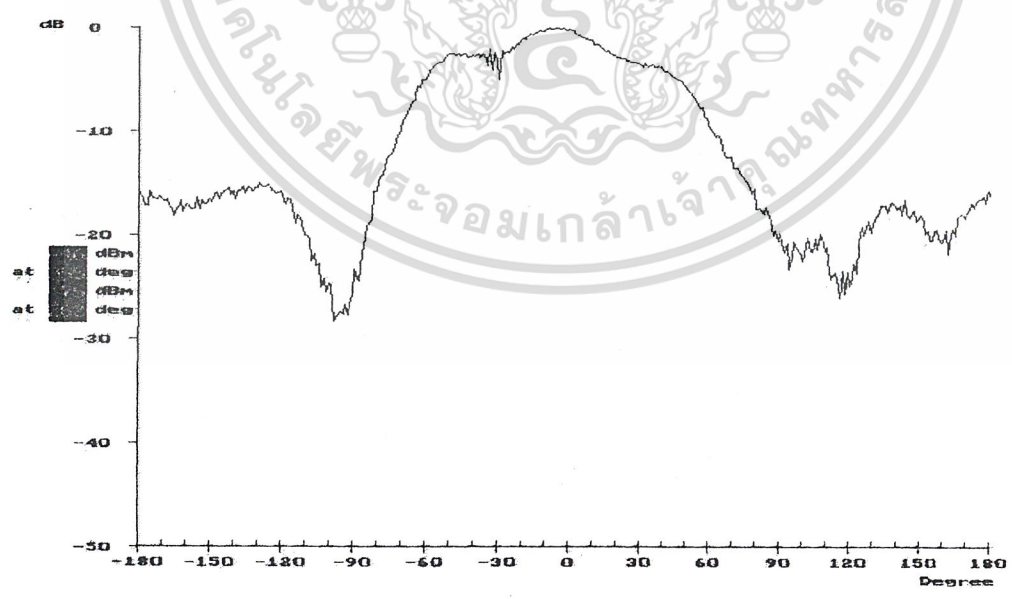
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอร์นแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 700 MHz .ในระนาบแนวแกนตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเชิงพาณิชย์โดย บริษัท ไทย อินโฟ เทคโนโลยี จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในชื่อและเครื่องหมายการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -46 dBm
At 0 Degree
Minimum Power = -74 dBm
At 268 Degree



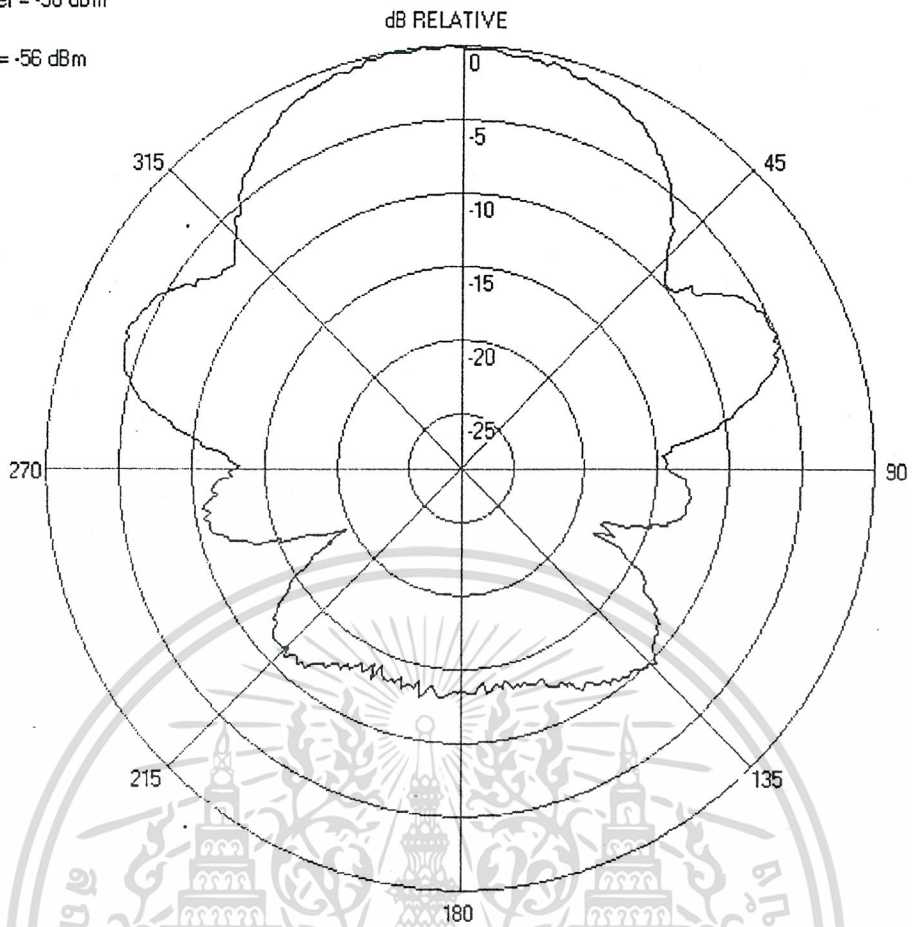
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ polar plot ที่ความถี่ 800 MHz .ในระนาบแนวแกนนอน



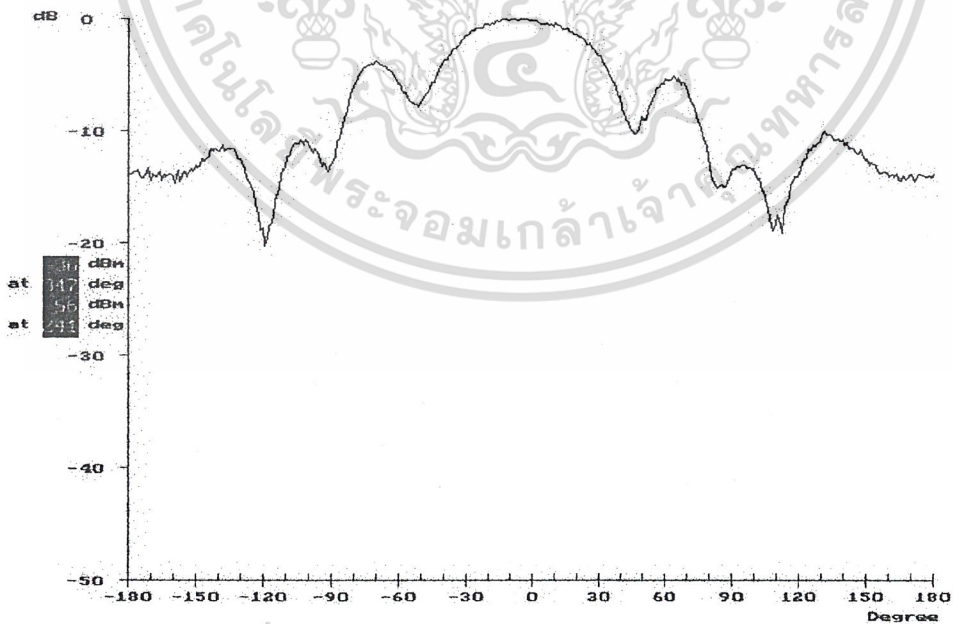
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 800 MHz .ในระนาบแนวแกนนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -36 dBm
 At 0 Degree
 Minimum Power = -56 dBm
 At 241 Degree

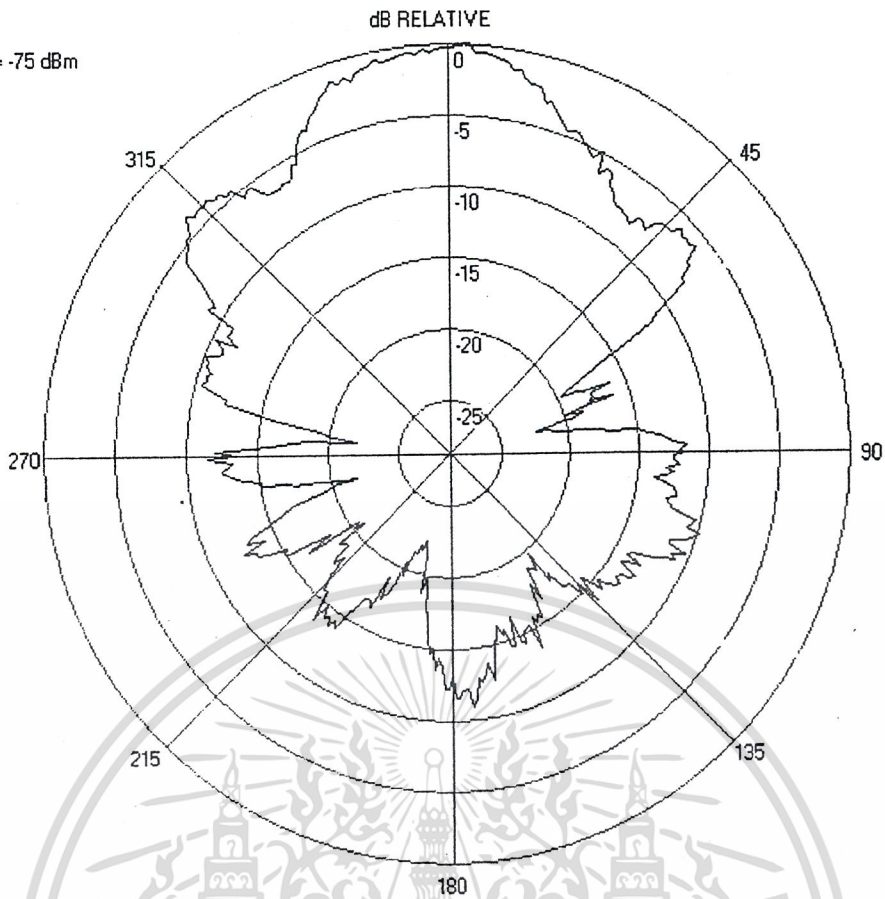


รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ polar plot ที่ความถี่ 800 MHz .ในระนาบแนวแกนตั้ง

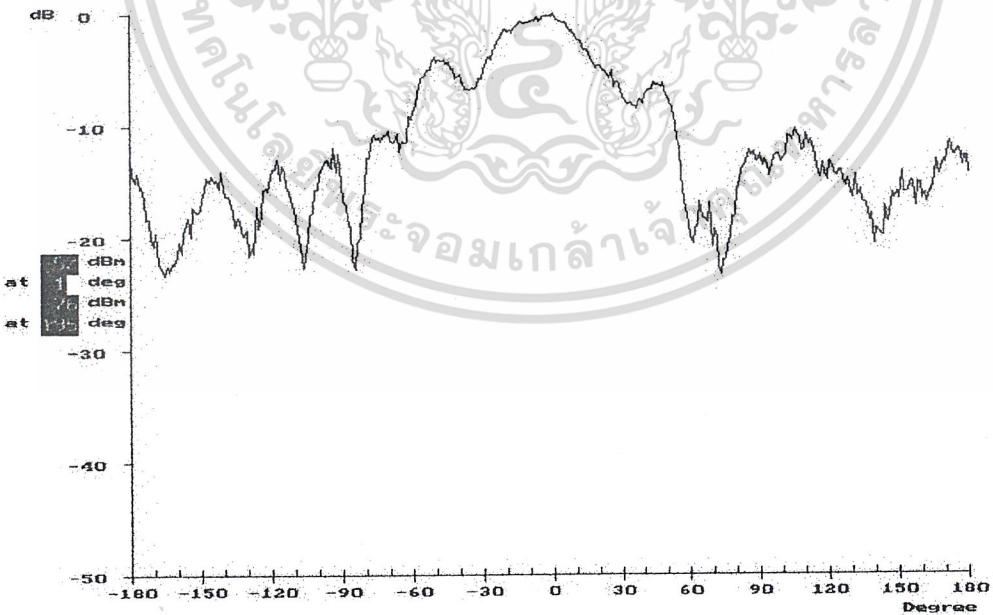


รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 800 MHz .ในระนาบแนวแกนตั้ง
 เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการรคศึกษาเท่านั้น ไม่นูญาตเห็นาไปไซ่ประยชนด้านกรค้า
 ไม่ว่ากรณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกรทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

At 0 Degree
Minimum Power = -75 dBm
At 197 Degree



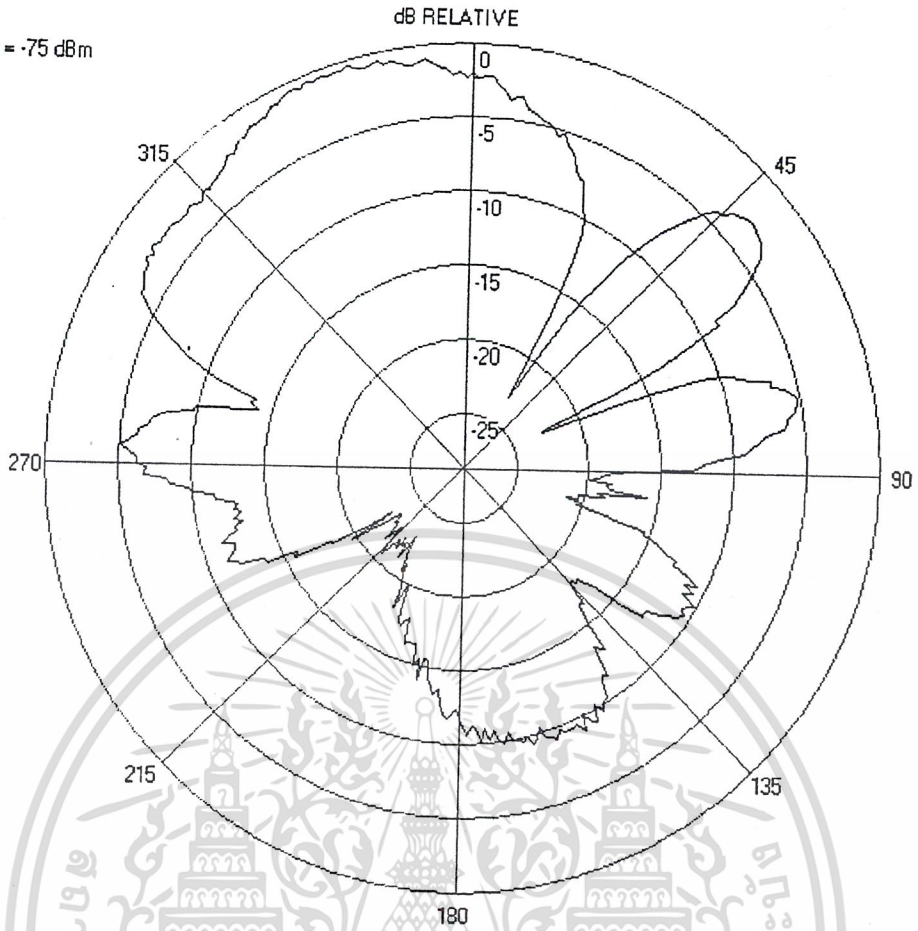
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ polar plot ที่ความถี่ 1000 MHz .ในระนาบแนวแกนนอน



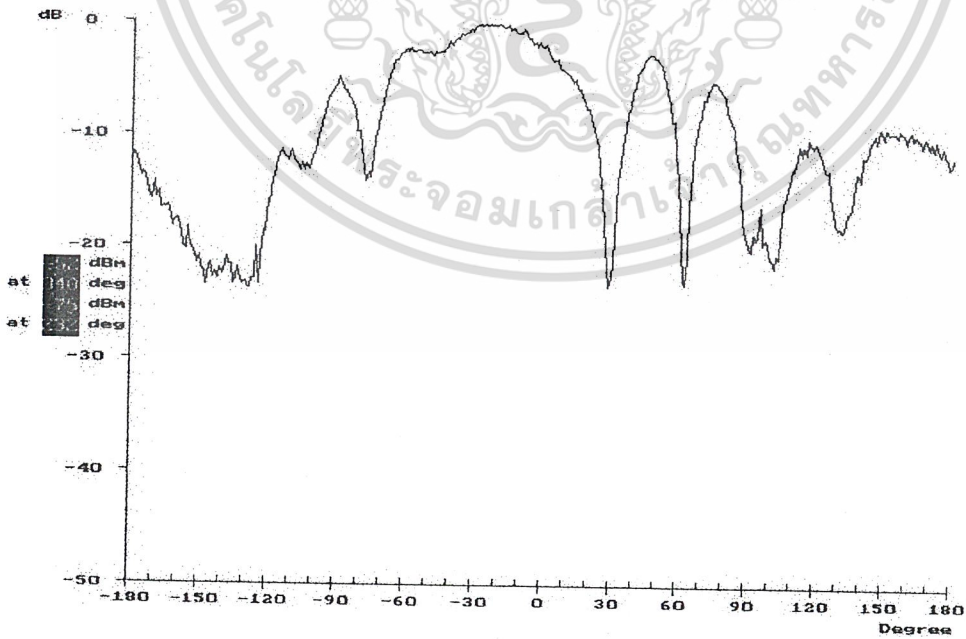
รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 1000 MHz .ในระนาบแนวแกนนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -51 dBm
 At 330 Degree
 Minimum Power = -75 dBm
 At 232 Degree

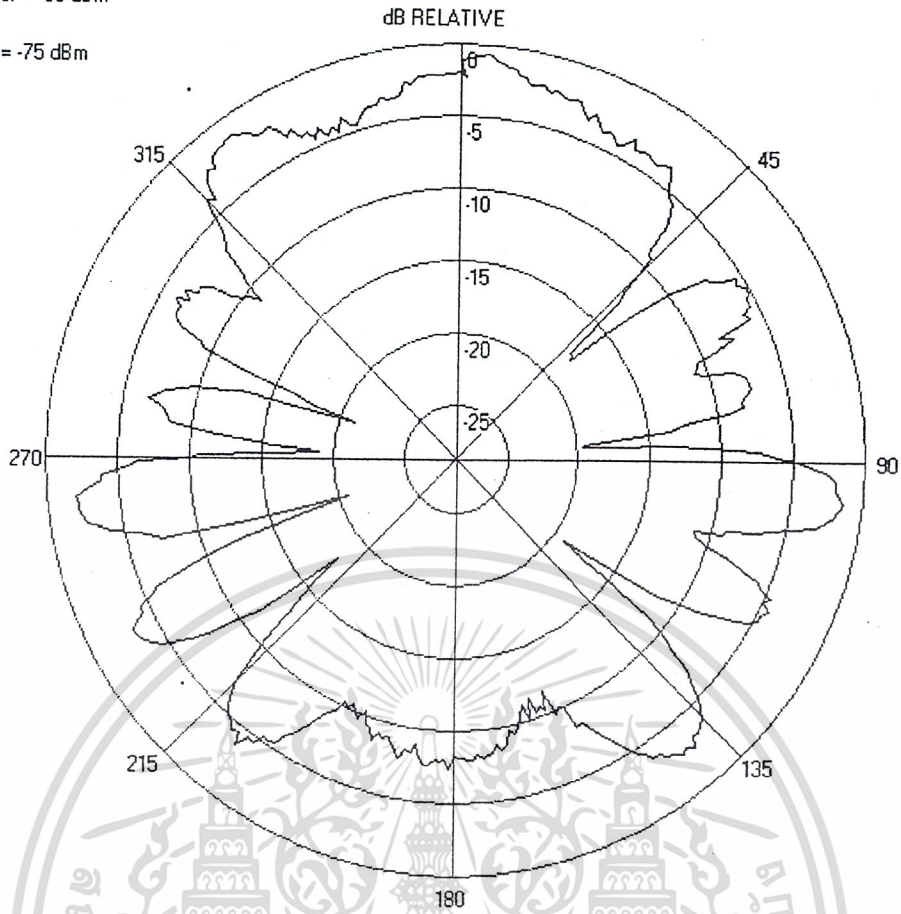


รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ polar plot ที่ความถี่ 1000 MHz . ในระนาบแนวแกนตั้ง

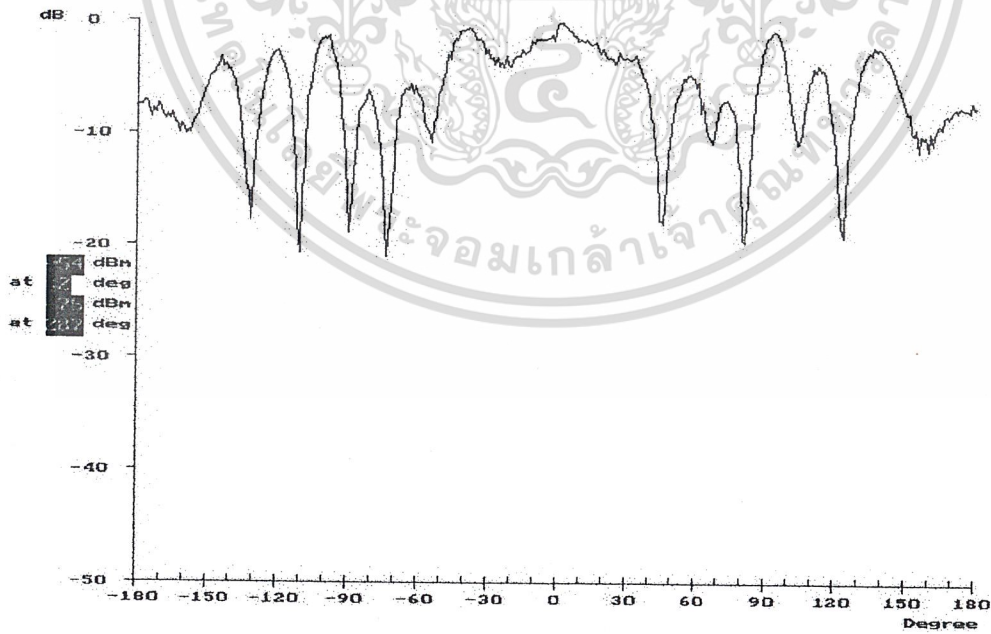


เอกสารนี้รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 1000 MHz . ในระนาบแนวแกนตั้ง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -53 dBm
At 2 Degree
Minimum Power = -75 dBm
At 287 Degree

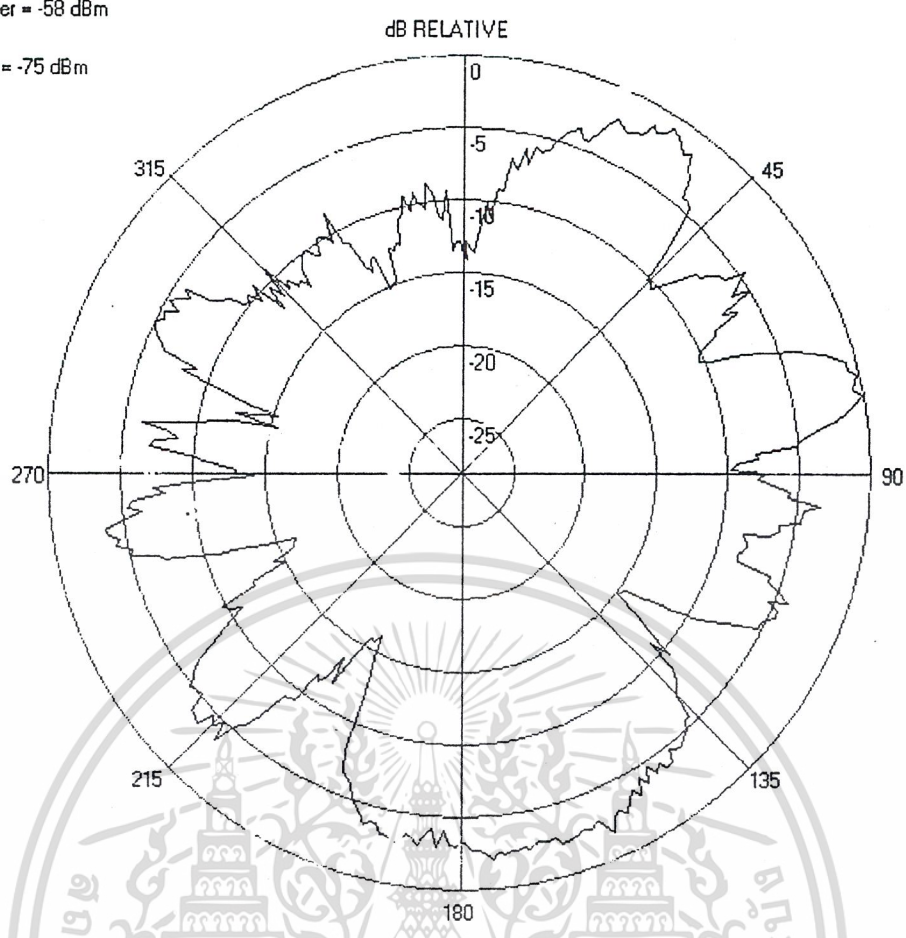


รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ polar plot ที่ความถี่ 1200 MHz . ในระนาบแนวแกนนอน

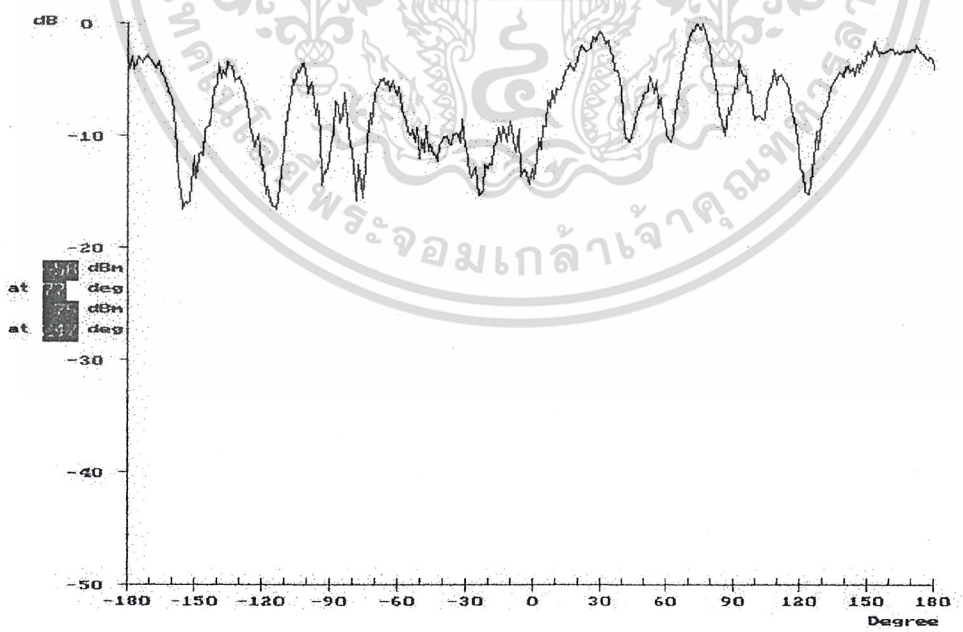


เอกสารรูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 1200 MHz . ในระนาบแนวแกนนอน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -58 dBm
At 74 Degree
Minimum Power = -75 dBm
At 247 Degree

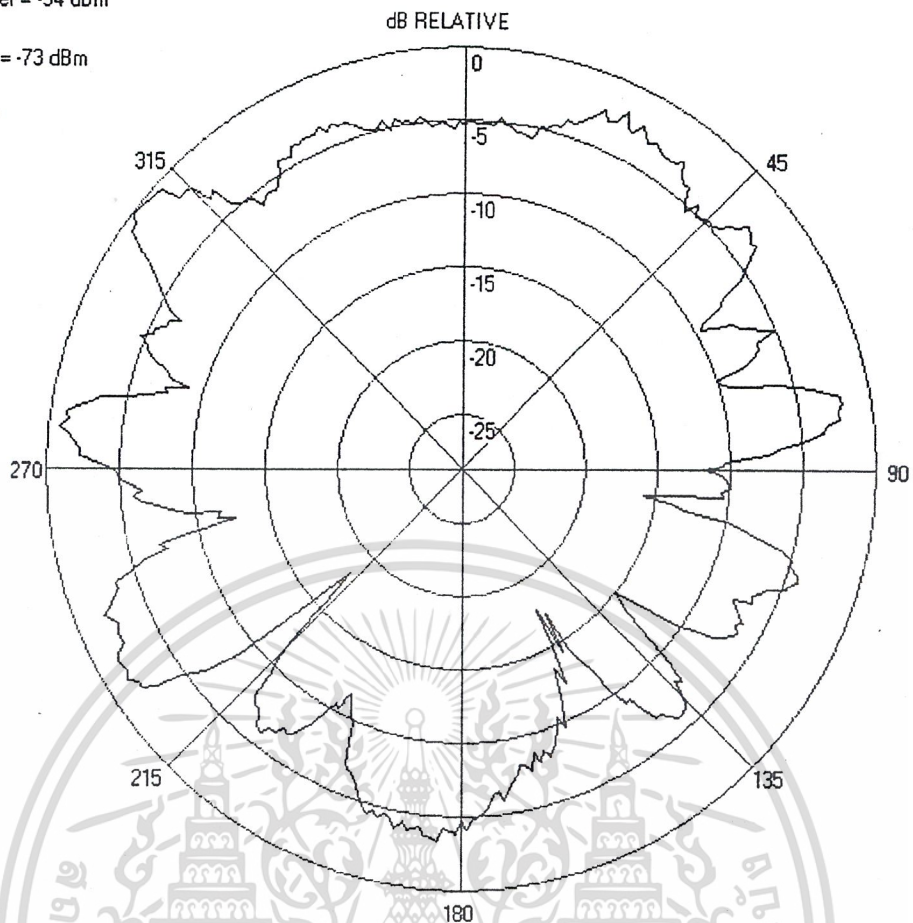


รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ polar plot ที่ความถี่ 1200 MHz. ในระนาบแนวแกนตั้ง

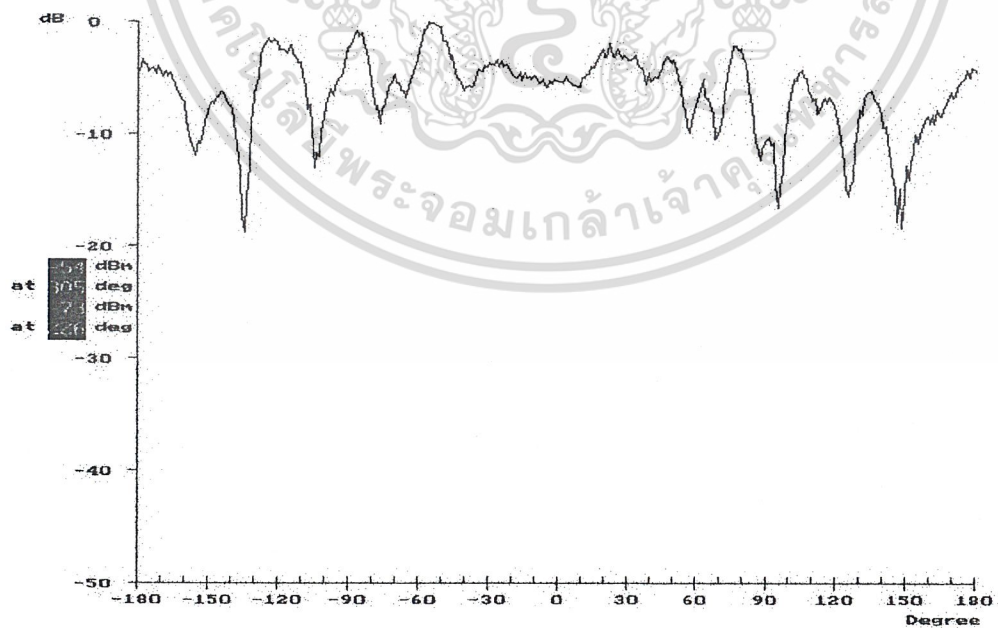


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -54 dBm
At 303 Degree
Minimum Power = -73 dBm
At 226 Degree



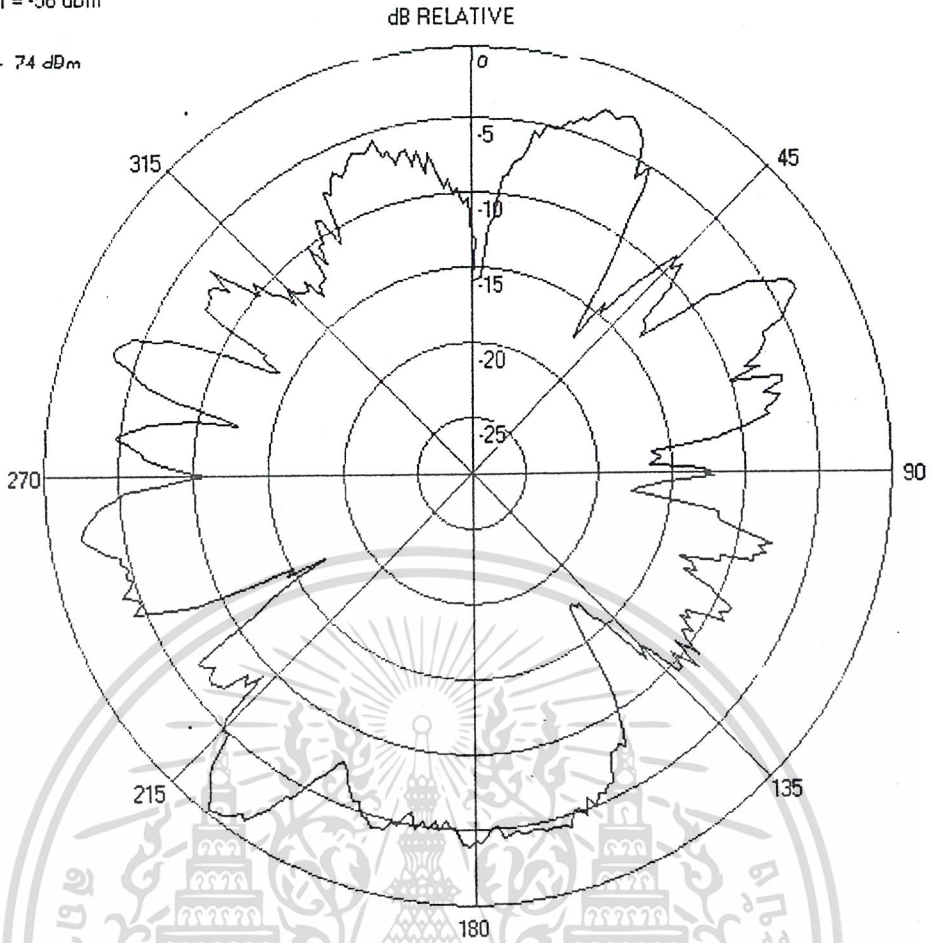
รูปแสดงผลการวัดแพทเทิร์นแบบ polar plot ที่ความถี่ 1700 MHz . ในระนาบแนวแกนนอน



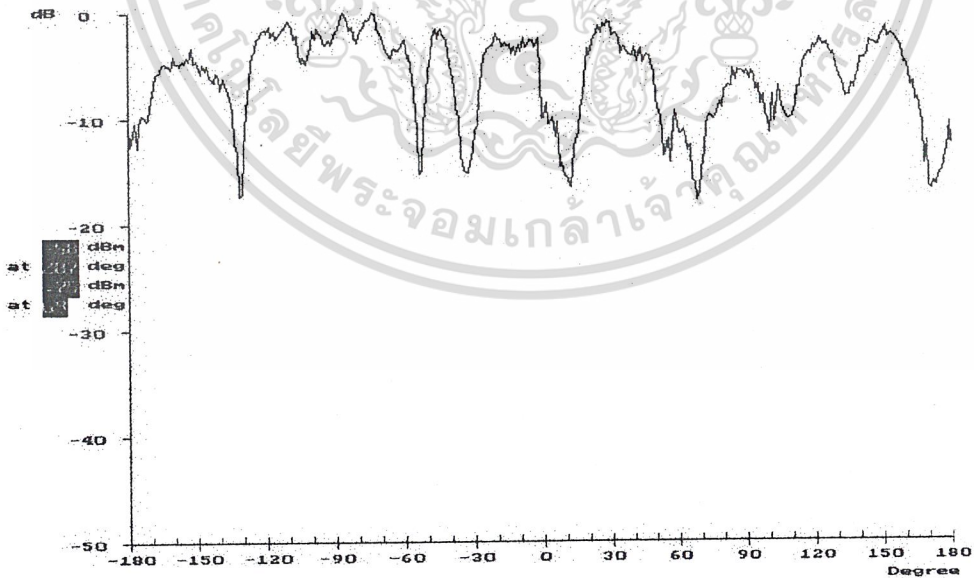
รูปแสดงผลการวัดแพทเทิร์นแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 1700 MHz . ในระนาบแนวแกนนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -56 dBm
 At 215 Degree
 Minimum Power = -74 dBm
 At 239 Degree

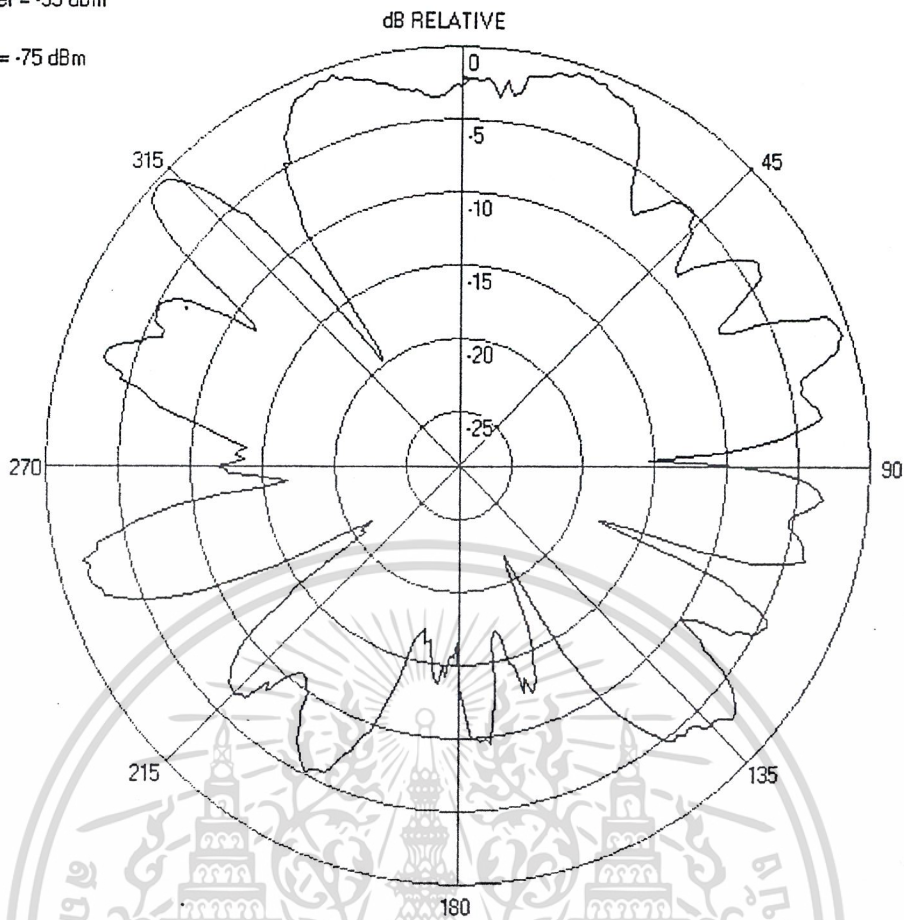


รูปแสดงผลการวัดแพทเทอร์นแบบ polar plot ที่ความถี่ 1700 MHz .ในระนาบแนวแกนตั้ง

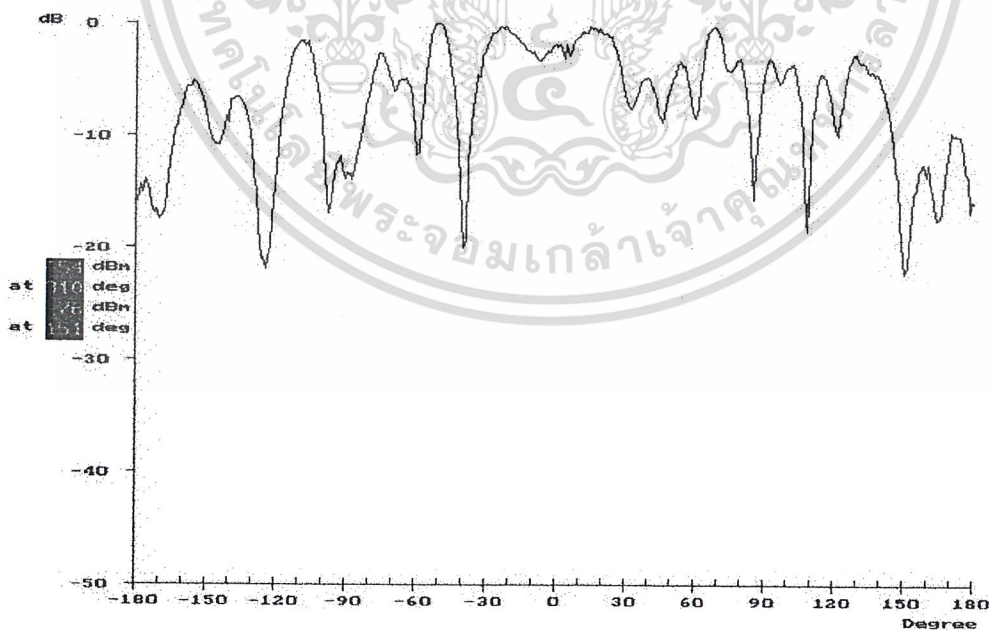


เอกสารนี้เป็นรูปแสดงผลการวัดแพทเทอร์นแบบ rectangular plot ที่ความถี่ 1700 MHz .ในระนาบแนวแกนตั้ง
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -53 dBm
At 15 Degree
Minimum Power = -75 dBm
At 236 Degree

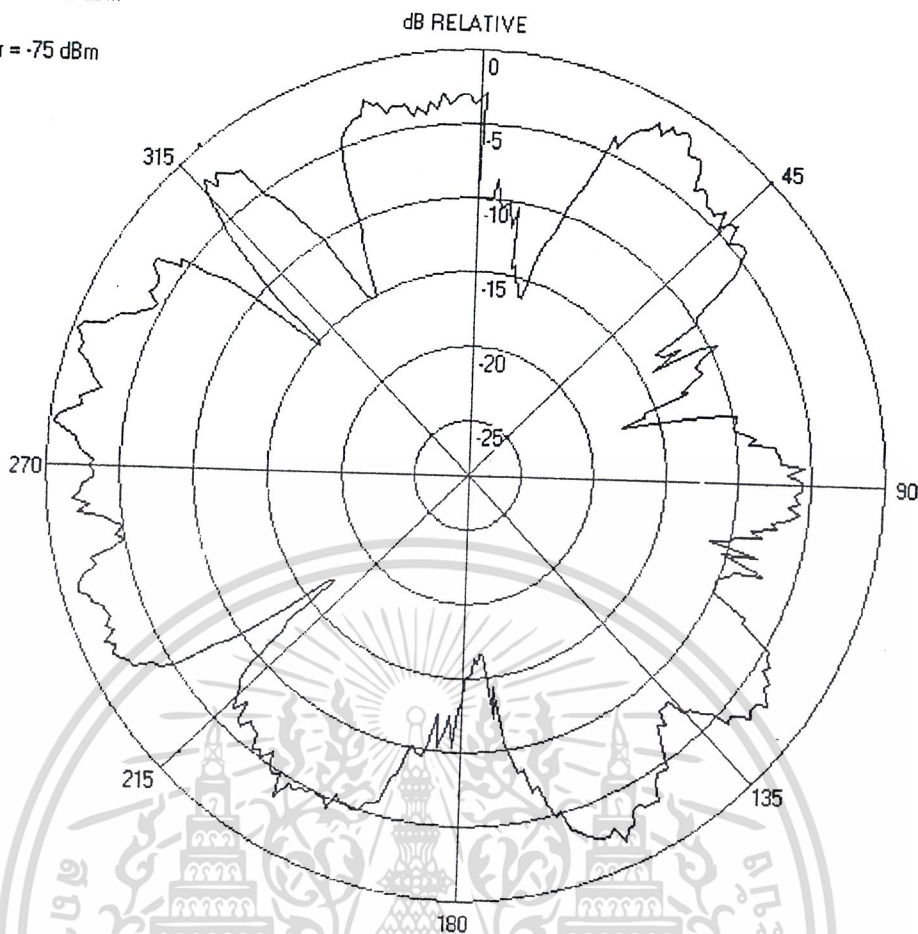


รูปแสดงผลการวัดแพทเทิร์นแบบ polar plot ที่ความถี่ 2000 MHz . ในระนาบแนวแกนนอน

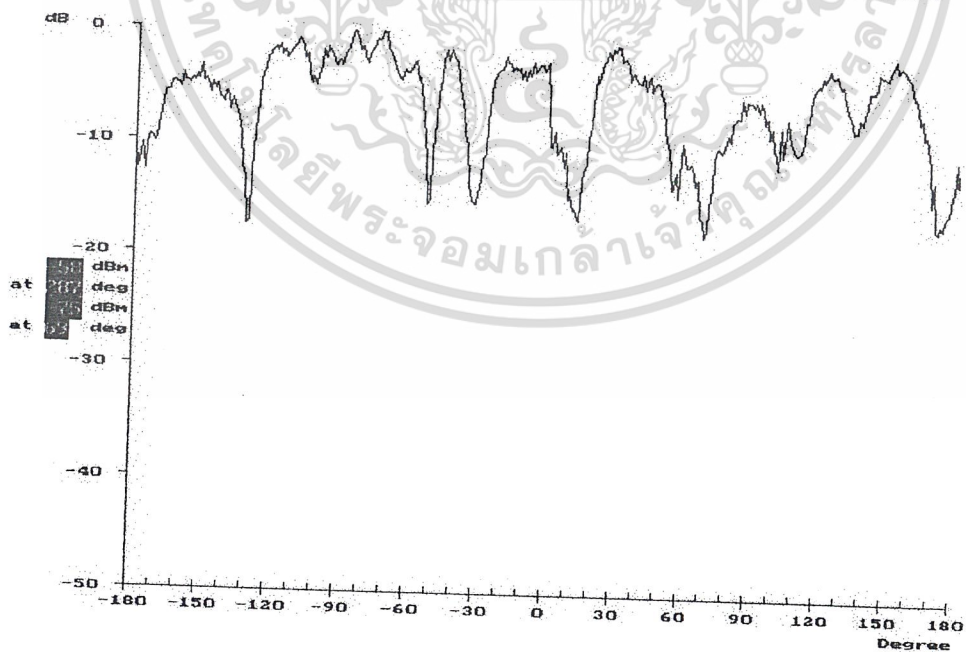


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูงานนี้ ไปขอจดหมายไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Power = -57 dBm
 At 274 Degree
 Minimum Power = -75 dBm
 At 69 Degree



รูปแสดงผลการวัดแพทเทอรันแบบ polar plot ที่ความถี่ 2000 MHz . ในระนาบแนวแกนตั้ง



เอกสารนี้เป็นภาพที่ถ่ายไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวัดอัตราขยายของสายอากาศ

โดยทั่วไปการวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศจะทำการคิดเทียบกับสายอากาศไอโซโทรปิก แต่ในทางปฏิบัตินั้นไม่สามารถสร้างสายอากาศที่มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นได้เท่ากันทุกทิศทางได้ ดังนั้นจึงต้องหาสายอากาศอื่นมาทดแทน สายอากาศไดโพลมาตรฐานได้ถูกใช้มาเป็นตัวทดสอบเปรียบเทียบ ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้คือ

1. ทำการต่อเครื่องมือดังรูปที่ 4.3 ต่อ เครื่องกำเนิดความถี่ (Signal generator) เข้ากับสายอากาศส่งโดยเว้นระยะห่างสายอากาศ $\geq 2D^2/\lambda$ (m)
2. ตั้งสายอากาศทางด้านส่งให้ตรงกับทางด้านรับ ต่อสายอากาศที่ต้องการทดสอบหาค่าอัตราขยาย เข้ากับ Spectrum analyzer
3. เปิดเครื่อง Signal generator ทางด้านส่งตั้งความถี่พร้อมกับความแรงของสัญญาณส่ง และเปิดเครื่อง Spectrum analyzer ทางด้านรับ
4. บันทึกค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้จากสายอากาศที่ทดสอบ
5. เปลี่ยนสายอากาศรับเป็นไดโพลมาตรฐาน
6. บันทึกค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้จากสายอากาศไดโพลมาตรฐาน
7. นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกันดังสูตร

$$G_t = Ft - Fr + Gr + \text{loss system} \quad (\text{dBi})$$

โดยที่ F_t คือความแรงของสัญญาณที่อ่านได้สูงสุด ณ ตำแหน่ง 0 องศา ของสายอากาศที่ต้องการทดสอบ (dBm)

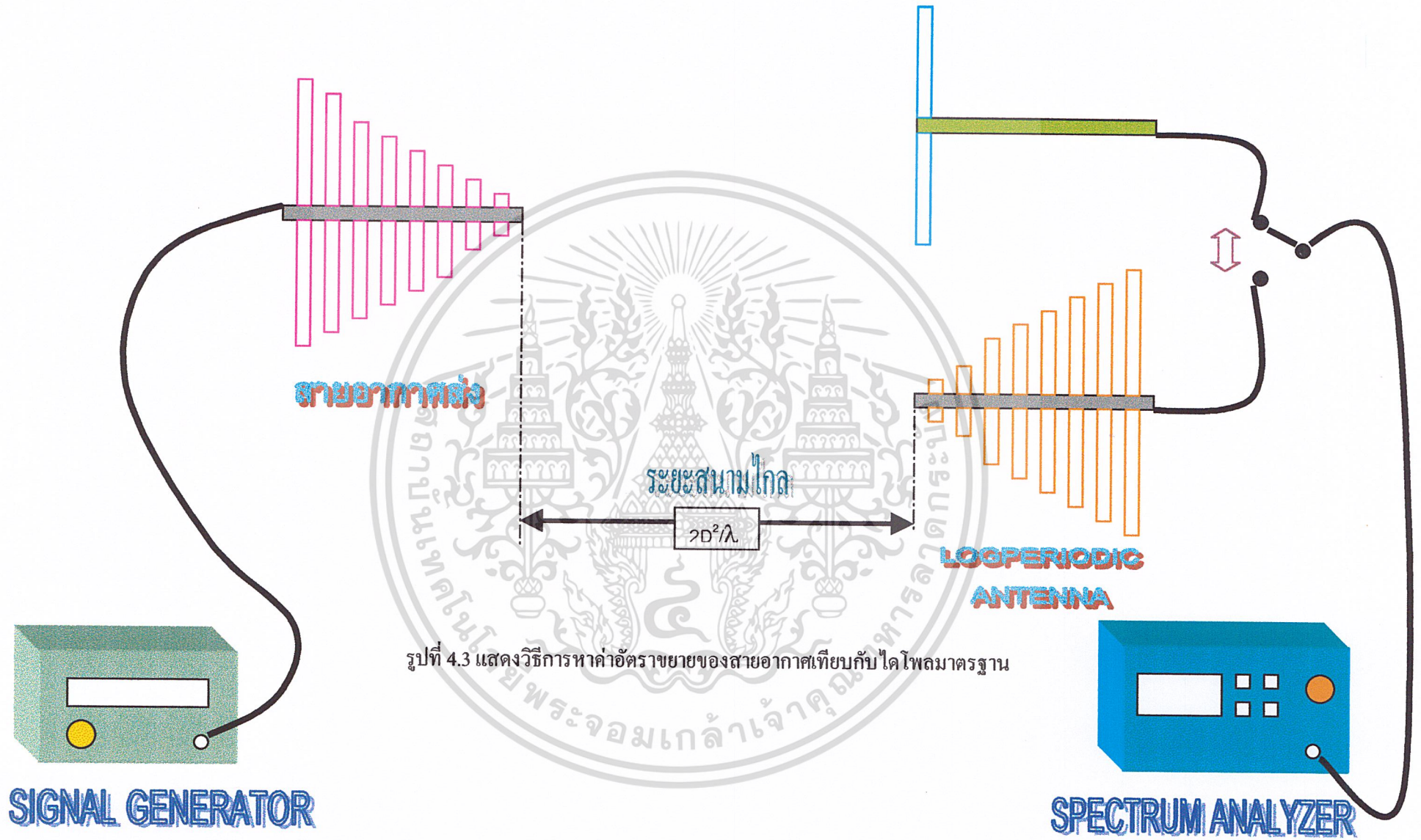
F_r คือความแรงของสัญญาณที่อ่านได้สูงสุด ณ ตำแหน่ง 0 องศา ของสายอากาศไดโพลมาตรฐาน (dBm)

G_r คือค่าอัตราขยายของสายอากาศไดโพลมาตรฐาน (dBi)

loss system คือค่าสูญเสียในระบบทดสอบ (dBm)

8. ค่าอัตราขยายของสายอากาศไดโพลมาตรฐานที่ความถี่ที่ทดสอบ สามารถทราบค่าได้จากคู่มือสายอากาศไดโพลมาตรฐานดังแสดงในภาคผนวก นำค่าที่ได้ทั้งหมดมาเปรียบเทียบกัน ก็จะได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

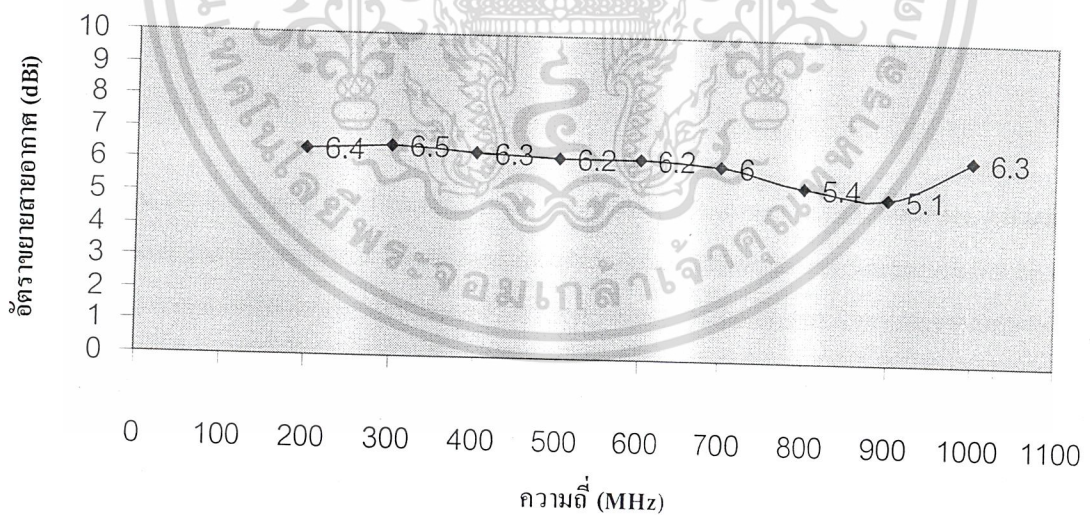


รูปที่ 4.3 แสดงวิธีการหาค่าอัตราขยายของสายอากาศเทียบกับไดโพลมาตรฐาน

ผลการทดสอบหาค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ต่างๆมีค่าดังนี้

ความถี่ (MHz)	Ft ค่าที่วัดได้ (dBm)	Fr ค่าที่วัดได้จาก ไดโพลมาตรฐาน (dBm)	Gr เหนของสายอากาศไดโพลมาตรฐาน(dBi)	ค่าสูญเสียในระบบทดสอบ (dBm)	Gt เหนของสายอากาศสี่เหลี่ยมโอดิก (dBi)
200	-30	-32.9	1.5	2	6.4
300	-31.4	-33.9	2.0	2	6.5
400	-31.6	-34.5	1.4	2	6.3
500	-34.1	-36.9	1.4	2	6.2
600	-34.9	-37.6	1.5	2	6.2
700	-36.8	-39.5	1.3	2	6
800	-41	-43.6	0.8	2	5.4
900	-46.7	-48.4	1.4	2	5.1
1000	-62.0	-66.0	0.3	2	6.3

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราขยายที่วัดได้จริงกับความถี่ต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

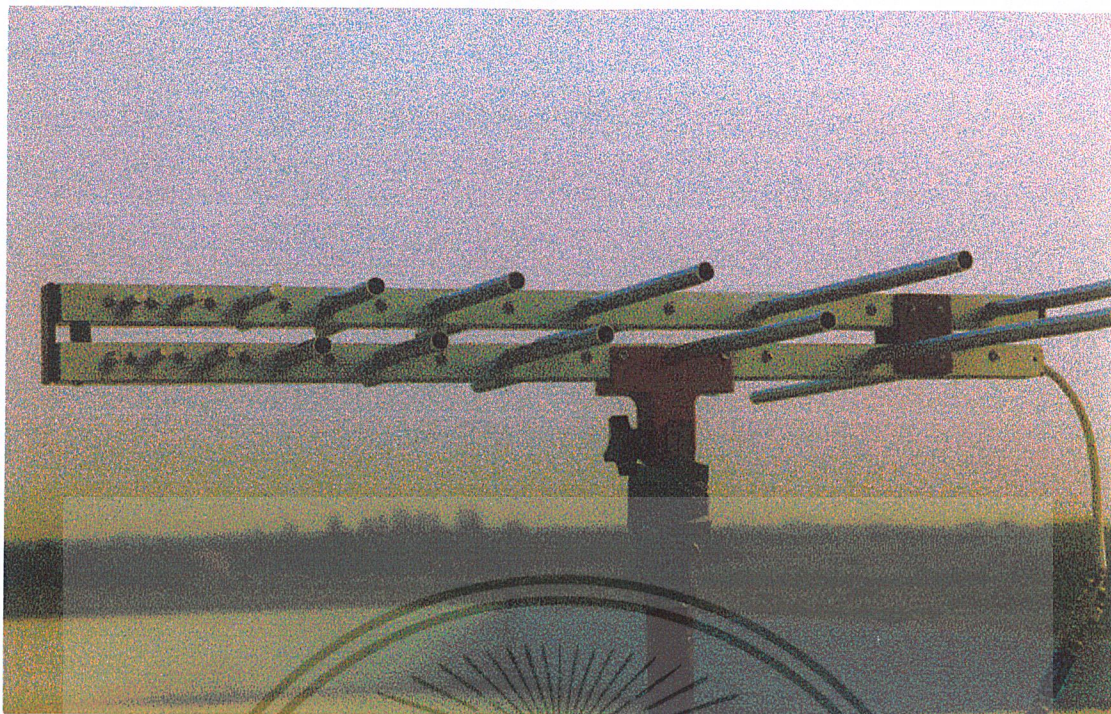


ภาพที่ 4.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบวัดแพทเทอร์นสายอากาศ

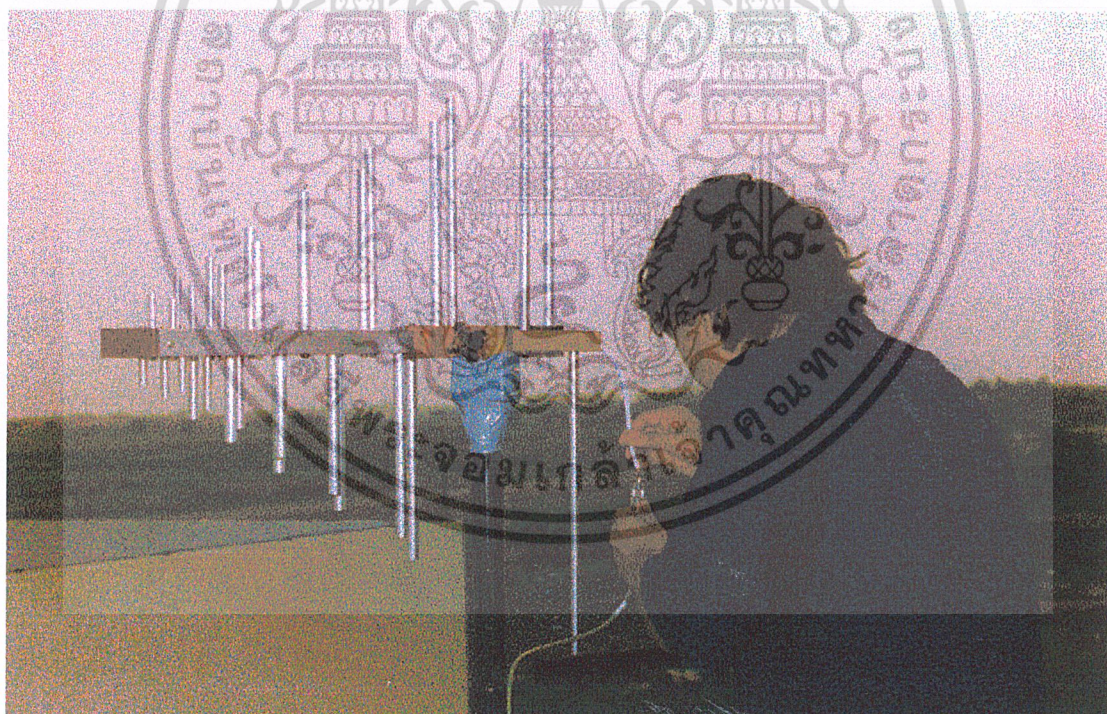


ภาพที่ 4.2 แสดงการใช้งานเครื่องมือวัดแพทเทอร์นสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

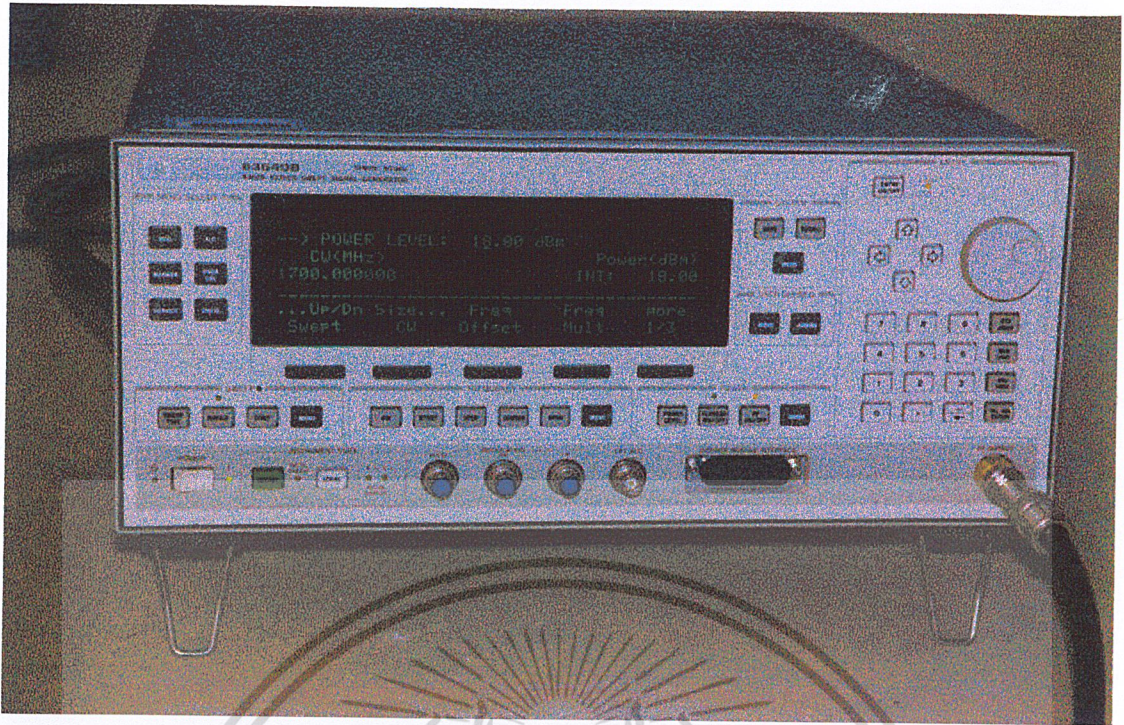


ภาพที่ 4.3 สายอากาศสี่อวกเพอร์โอดิกที่ทดสอบ

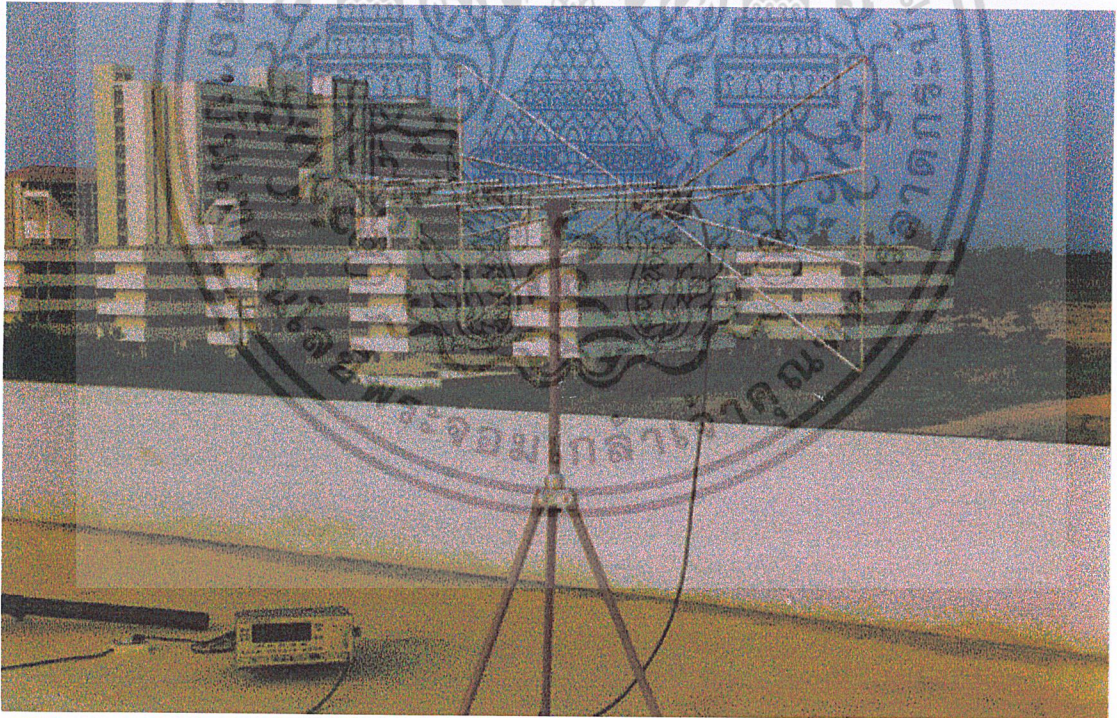


ภาพที่ 4.4 แสดงการติดตั้งสายอากาศสี่อวกเพอร์โอดิกเข้ากับแท่นหมุน (Turn table)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

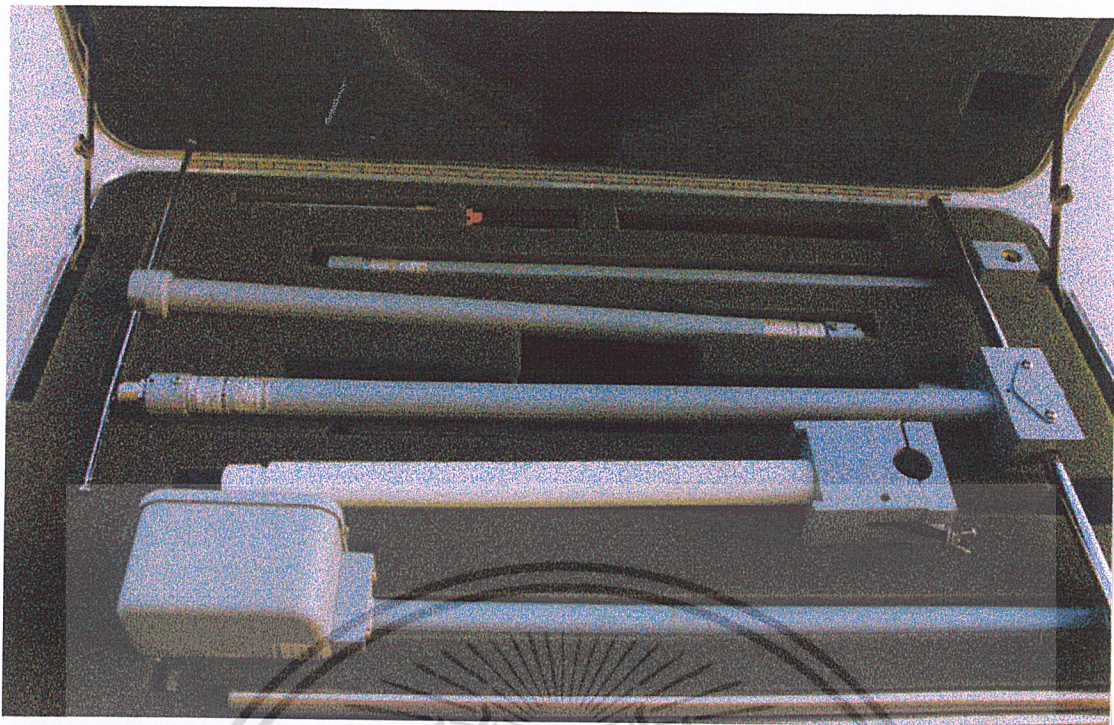


ภาพที่ 4.5 เครื่องซิกแนลเจนเนอเรเตอร์ความถี่ 10MHz – 40GHz



ภาพที่ 4.6 แสดงการต่อเครื่องซิกแนลเจนเนอเรเตอร์เข้ากับสายอากาศทางด้านส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

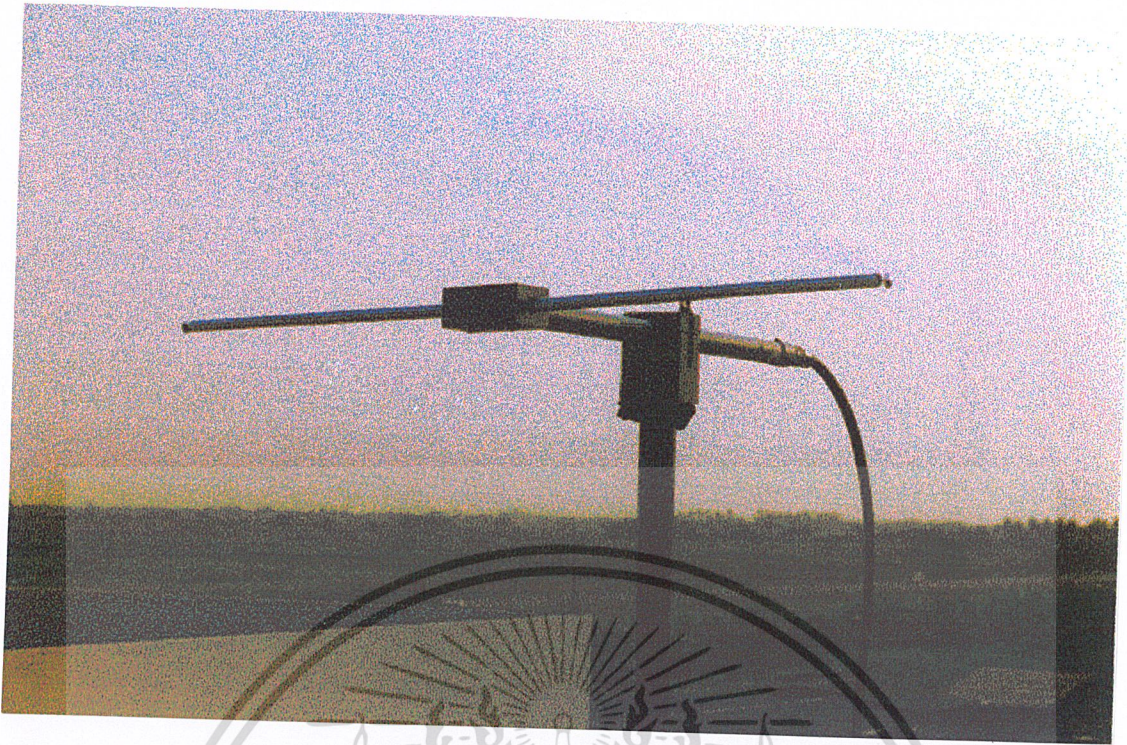


ภาพที่ 4.7 ไดโพลมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบหาค่าเกินสายอากาศ

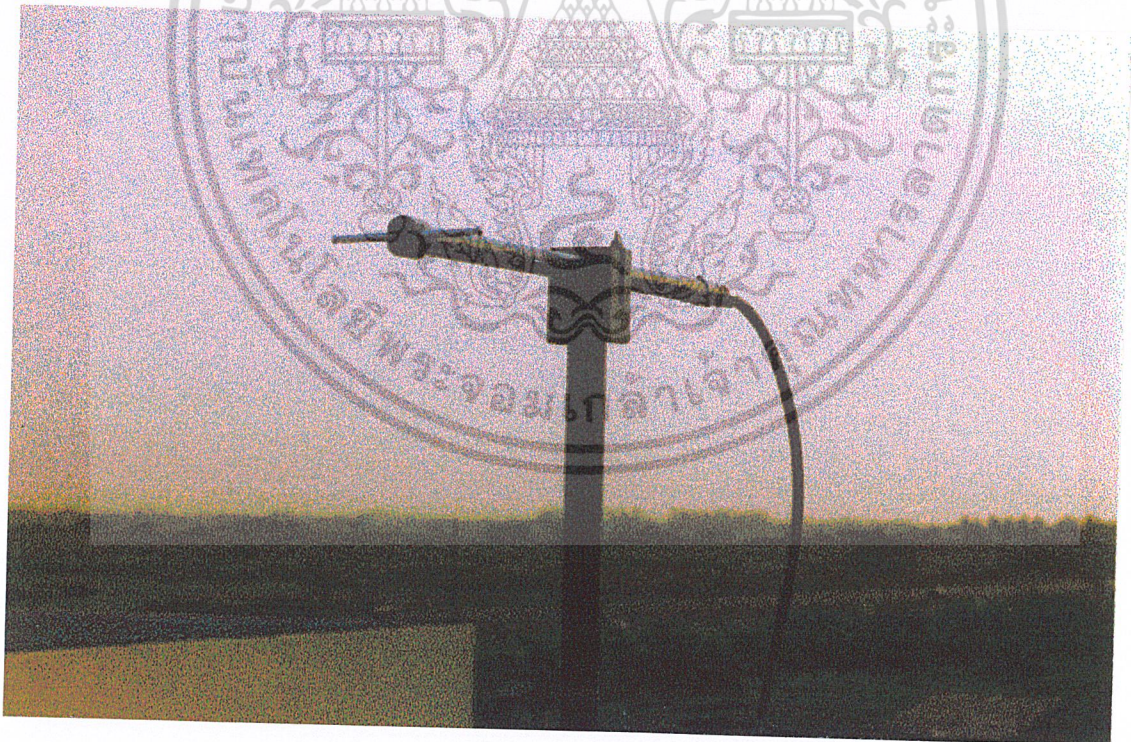


ภาพที่ 4.8 แสดงการติดตั้งไดโพลมาตรฐานเพื่อใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 สายอากาศไดโพลมาตรฐานความถี่ 100 MHz – 380 MHz



ภาพที่ 4.10 สายอากาศไดโพลมาตรฐานความถี่ 400 MHz – 1 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

ในการออกแบบสายอากาศลือกเพอริโอดิกเพื่อให้ใช้งานได้ดีนั้น จำเป็นจะต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดบางอย่าง และผลการทดลองทางภาคปฏิบัติประกอบด้วย ข้อจำกัดที่สำคัญมีอยู่ 2 ประการ ด้วยกันคือ ช่วงที่ค่าคงที่ของโครงสร้างคือ τ และ σ และแบนด์วิดท์ของสายอากาศที่เกี่ยวกับช่วงของ τ และ σ ที่ทำงานได้ดี เพราะการที่เรากำหนดค่า τ และ σ ได้เหมาะสมกับการออกแบบก็จะทำให้เราได้ สายอากาศที่มีความเหมาะสมในการใช้งานจริง

ถ้าห้บในการคำนวณออกแบบสร้างสายอากาศลือกเพอริโอดิก ค่าที่ได้จากการคำนวณเพื่อนำมาเป็นโครงสร้างของสายอากาศ ในบางครั้งก็มีค่าที่ได้ยากและไม่เหมาะสม ดังนั้นอาจจะมีการปรับแต่งบ้าง เช่น ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละอีลีเมนต์ หรือ ค่าระยะห่างระหว่างบูม ที่ต้องมีการปรับแต่งเพื่อให้่ายในการออกแบบสร้างและการนำไปใช้งานจริง

การป้อนสายอากาศแบบลือกเพอริโอดิกนี้ จากการทดลองและการวิเคราะห์ทางทฤษฎี พบว่าการป้อนในลักษณะสลับเฟสจะทำให้ได้คุณสมบัติที่ดี และการป้อนจะป้อนจากสายอากาศสั้นไปทางสายอากาศยาวด้วยสายนำสัญญาณ และคลื่นที่กระจายออกจากสายอากาศนี้จะมีเมนเบีมชี้ไปทางด้านสายอากาศสั้น

ส่วนอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบนี้ ถ้ามีการออกแบบที่ดีจะได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่เกือบจะเป็นค่ารีซิสแตนซ์ อย่างเดียวและมีค่าใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ

สำหรับทางด้านแพทเทอรันของการแพร่กระจายคลื่นและอัตราขยายของสายอากาศจะคำนวณได้โดยอาศัยหลักการของสายอากาศแบบอาร์เรย์ ถ้าให้กระแสนสายอากาศอยู่ในรูป $I_{(z)} = I_1 \sin(k(l_1 - |z|))$ จะได้สนามไฟฟ้าในระนาบ E และ H เป็นดังต่อไปนี้

$$\text{ระนาบ E, } E_\theta(r, \theta, 270^\circ) = j 60 \left(e^{-jkr} / r \right) \sum_{l=1}^N \left((I_1 \cos(k l_1 \cos \theta) - \cos(k l_1)) / \sin \theta \right) e^{-jkR \sin \theta}$$

$$\text{ระนาบ H, } E_\theta(r, 90^\circ, \phi) = j 60 \left(e^{-jkr} / r \right) \sum_{l=1}^N \left((I_1 - \cos(k l_1)) e^{-jkR i} \right)$$

สำหรับในการวัดแพทเทอรันจริงจะเห็นได้ว่า แพทเทอรันที่ได้ในย่านความถี่ตั้งแต่ 200 MHz - 1000 MHz จะให้คุณสมบัติของการชี้ทิศทางที่ดี ส่วนที่ย่านความถี่ 1000 MHz - 2000 MHz จะมีคุณสมบัติของการชี้ทิศทางที่ไม่ดีนัก ซึ่งตรงนี้จะเห็นได้ว่าเกี่ยวเนื่องมาจากการที่เราได้ทำการปรับแต่งโครงสร้างของสายอากาศใหม่ เพื่อให้่ายในการออกแบบ

โดยแพทเทอรันที่วัดได้ในแบนนอนในย่านความถี่ตั้งแต่ 200 MHz - 1000 MHz จะมีลักษณะเมนเบีมที่แคบ โดยมีมุม half power beamwidth อยู่ประมาณ 65 องศา ถึง 70 องศา และอัตราของไซด์โลบน้อย โดยอัตราส่วนของเมนโลบต่อไซด์โลบจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 13 dBm ถึง 15 dBm ส่วนในย่านความถี่ 1000 MHz - 2000 MHz จะมีลักษณะของเมนโลบที่ผิดปกติออกไป และไซด์โลบที่ไม่ต้องการก็มีมากด้วย

สำหรับแพทเทอรันที่วัดได้ในแนวตั้งในย่านความถี่ตั้งแต่ 200 MHz - 1000 MHz จะมีลักษณะเมนเบีมที่กว้าง โดยมีมุม half power beamwidth อยู่ประมาณ 110 องศา ถึง 130 องศา แต่ไซด์โลบมีไม่มากนัก โดยอัตราส่วนของเมนโลบต่อไซด์โลบจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 15 dBm ถึง 20 dBm ส่วนในย่านความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1000 MHz - 2000 MHz จะมีลักษณะของเมนโลปที่ผิดแปลกออกไป เหมือนกับในแนวนอน และโซลิตอปที่ไม่ต้องการก็มีมากด้วย

ในส่วนของค่า VSWR ที่วัดได้นั้น ตลอดทั้งย่านความถี่ที่ทำการออกแบบจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.5 : 1 ซึ่งก็ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี สำหรับค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้นั้นจะมีค่ารีซิสแตนซ์อยู่ประมาณ 50 โอห์ม และมีค่าของรีแอกแตนซ์ที่ปรากฏน้อยมาก

จากการวัดคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศที่ทำการออกแบบจึงสามารถกล่าวได้ว่าย่านความถี่ที่สามารถนำไปใช้งานได้ดีนั้นจะอยู่ในช่วง 200 MHz - 1000 MHz สำหรับในย่านความถี่ 1000 MHz - 2000 MHz นั้นถึงค่า VSWR ที่วัดได้จะมีค่าที่ดีก็จริงแต่อันเนื่องเหตุผลจากปัญหาของแพทเทิร์นที่มีลักษณะของการแพร่กระจายไม่ดีพอ ดังนั้นในย่านนี้จึงไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน

ในส่วนของอัตราขยายสายอากาศที่วัดได้ในย่านความถี่ 200 MHz - 1000 MHz ค่าที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับการออกแบบไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION AND INSTRUCTION MANUAL
EMCO MODEL 3121C
ADJUSTABLE DIPOLE ANTENNA



11966H
DIPOLE ANTENNA
SET
EMCO NO. 3121C
MADE IN USA



399041
Revision C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE OF CONTENTS

Warranty

EMCO Model 3121C Illustration

Description

Specifications

Operation

Length Frequency Chart

Individual Calibration Charts

Appendix A

Shipping list



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WARRANTY

The Electro-Mechanics Company (EMCO) warrants that our products are free from defects in materials and workmanship for a period of two years from the date of shipment. If you notify us of a defect within the warranty period, we will, at our option, either repair or replace those products which prove to be defective. If applicable, we will also recalibrate the product.

There will be no charge for warranty services performed at the location we designate. You must however, prepay inbound shipping costs and any duties or taxes. We will pay outbound shipping costs for a carrier of our choice, exclusive of any duties or taxes. You may request warranty services to be performed at your location, but it is our option to do so. If we determine that warranty service can only be performed at your location, you will not be charged for our travel related costs.

This warranty does not apply to:

1. Normal wear and tear of materials
2. Consumable items such as fuses, batteries, etc.
3. Products which have been improperly installed, maintained, or used.
4. Products which have been operated outside of specifications.
5. Products which have been modified without authorization.
6. Calibration of products, unless necessitated by defects.

THIS WARRANTY IS EXCLUSIVE. NO OTHER WARRANTY, WRITTEN OR ORAL, IS EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.

THE REMEDIES PROVIDED BY THIS WARRANTY ARE YOUR SOLE AND EXCLUSIVE REMEDIES. IN NO EVENT ARE WE LIABLE FOR ANY DAMAGES WHATSOEVER, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, DIRECT, INDIRECT, SPECIAL, INCIDENTAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES, WHETHER BASED ON CONTRACT, TORT, OR ANY OTHER LEGAL THEORY.

Please contact our Sales Department for a Return Material Authorization Number before shipping equipment to us.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESCRIPTION AND USE OF THE EMCO MODEL 3121C ADJUSTABLE DIPOLE ANTENNA

GENERAL DESCRIPTION

The EMCO Model 3121C Adjustable Dipole Antenna System is designed to operate over the 28 MHz to 1000 MHz frequency range for measurements to meet Military, DOD, VDE, and FCC EME measurement specifications. The antennas are lightweight and sturdily constructed for portability and ruggedness. A carrying case supplied with the antenna set allows for neat storage and access to all antenna components. Also included is a measuring tape for adjusting the dipole elements to frequency.

The dipole elements are made from nickel plated brass extension elements with four special extension rods for operation at the lowest frequencies. Each set of elements are designed to be mounted into a particular balun.

SPECIFICATIONS

Frequency Range:	28 - 1000 MHz overall
DB-1 (balun)	28 - 60 MHz
DB-2	60 - 140 MHz
DB-3	140 - 400 MHz
DB-4	400 - 1000 MHz
Impedance:	Matched to 50 ohms
Maximum Length:	17 feet

Maximum Power Handling Capability of 50 WATTS

VSWR of less than 1.6 to 1

Balun loss see Appendix A.

OPERATION

Note that the elements for baluns can be extended to dipole lengths above and below the specified frequency of each particular balun. The elements should be used with the specified balun and should not be adjusted to frequencies beyond the specified range of each balun. This is to prevent errors in calibration of the antenna receiving system.

To set up antenna, choose a balun which covers the frequency desired. On Baluns DB-1, DB-2, and DB-3 insert the proper elements (DB-4 elements are already inserted). The lowest frequency baluns DB-1 and DB-2 requires the use of two extension rods on each leg of the dipole, then the longest collapsible elements should be attached to the extension rods. Place the balun in the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

tripod clamp and extend the elements to proper length as specified by the "Length-Frequency Chart". This method is used for baluns DB-1, DB-2, and DB-3. At frequencies above 400 MHz, balun DB-4 should be used and the dipole length adjusted as specified on the engraved plastic ruler.

The Antenna Factors on the pages following the "Length Frequency Chart" are the factors in dB which should be added to the receiver or spectrum analyzer reading (in dBuV) in order to calculate the field strength in dB uV/Meter.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LENGTH FREQUENCY CHART

ELEMENT LENGTH FOR EMCO MODEL 3121C DIPOLE ANTENNA

FREQ. MHZ	LG. MM	FREQ. MHZ	LG. MM
28	- 2577	130	- 540
29	- 2488	135	- 520
30	- 2412	140	- 502
31	- 2340	145	- 484
32	- 2272	155	- 453
34	- 2137	160	- 439
35	- 2073	165	- 425
36	- 2013	170	- 413
37	- 1954	175	- 401
38	- 1899	180	- 390
39	- 1848	190	- 370
40	- 1802	200	- 351
42	- 1713	210	- 334
44	- 1634	220	- 319
46	- 1561	230	- 305
48	- 1494	240	- 293
50	- 1434	250	- 281
55	- 1304	260	- 270
60	- 1194	270	- 260
65	- 1103	280	- 250
70	- 1022	290	- 241
75	- 951	300	- 234
80	- 887	310	- 226
85	- 836	320	- 219
90	- 788	330	- 212
95	- 747	340	- 206
100	- 710	350	- 200
105	- 676	360	- 195
110	- 646	370	- 190
115	- 616	380	- 185
120	- 590	390	- 180
125	- 565	400	- 175

Use High Frequency Ruler for DB4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CERTIFICATE OF CALIBRATION CONFORMANCE

THE ELECTRO-MECHANICS COMPANY

P. O. BOX 1546

AUSTIN TX 78767

(512)-835-4684

THIS ANTENNA HAS BEEN INDIVIDUALLY CALIBRATED USING ONE OR MORE OF THE FOLLOWING STANDARD PROCEDURES

ANSI C63.5 THE AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, COMMITTEE 63.5

SAE, ARP 958 THE SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, AEROSPACE RECOMMENDED PRACTICE 958

CALIBRATION ACCURACY: ± 2 dB

CALIBRATION TRACEABILITY: ALL MEASUREMENT INSTRUMENTATION TRACEABLE TO THE NATIONAL INSTITUTE FOR STANDARDS AND TECHNOLOGY. (NIST)

MEASUREMENT PROCEDURE PER MILITARY HANDBOOK-52A AS GUIDANCE FOR MILITARY STANDARD (MIL-STD) 45662A

ENVIRONMENT: TEMPERATURE: -5 to 35 DEGREES CENTIGRADE
HUMIDITY: 10 to 90% (NON-CONDENSING)

MANUFACTURER: THE ELECTRO-MECHANICS CO.

MODEL NUMBER: 3121C

SERIAL NUMBER: 896

TRACKING NUMBER: 1930

DATE OF CALIBRATION: 21/07/93 (DD/MM/YY)

RE-CERTIFICATION DATE: 18 MONTHS FROM INITIAL CALIBRATION DATE
12 MONTHS FOR SUBSEQUENT RECALIBRATIONS

EQUIPMENT USED:

H/P 8350B	2436A03807	6/2/94
H/P 83595A	2316A00374	6/2/94
H/P 85660B	2532A02289	8/8/93

CONDITION OF ANTENNA:

PRE CALIBRATION
 IN TOLERANCE
 OUT OF TOLERANCE
 OTHER

POST CALIBRATION
 IN TOLERANCE
 OUT OF TOLERANCE
 OTHER

TECHNICIAN

ROBERT DEVILLEZ JR.

ENGINEER IN CHARGE

CHARLES HAIGHT

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทหรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE ELECTRO-MECHANICS CO.
 GAIN AND ANTENNA FACTORS
 FOR
 ADJUSTABLE ELEMENT DIPOLE ANTENNA
 MANUFACTURED BY
 THE ELECTRO-MECHANICS CO.
 MODEL NUMBER 3121C-DB1
 S/N 896

10 METER CALIBRATION

FREQUENCY (MHz)	ANTENNA FACTOR (dB)	GAIN NUMERIC	GAIN dBi
30	-1.5	1.34	1.3
35	-.3	1.37	1.4
40	.7	1.44	1.6
45	1.5	1.50	1.8
50	2.7	1.41	1.5
55	3.7	1.36	1.3
60	4.6	1.30	1.1



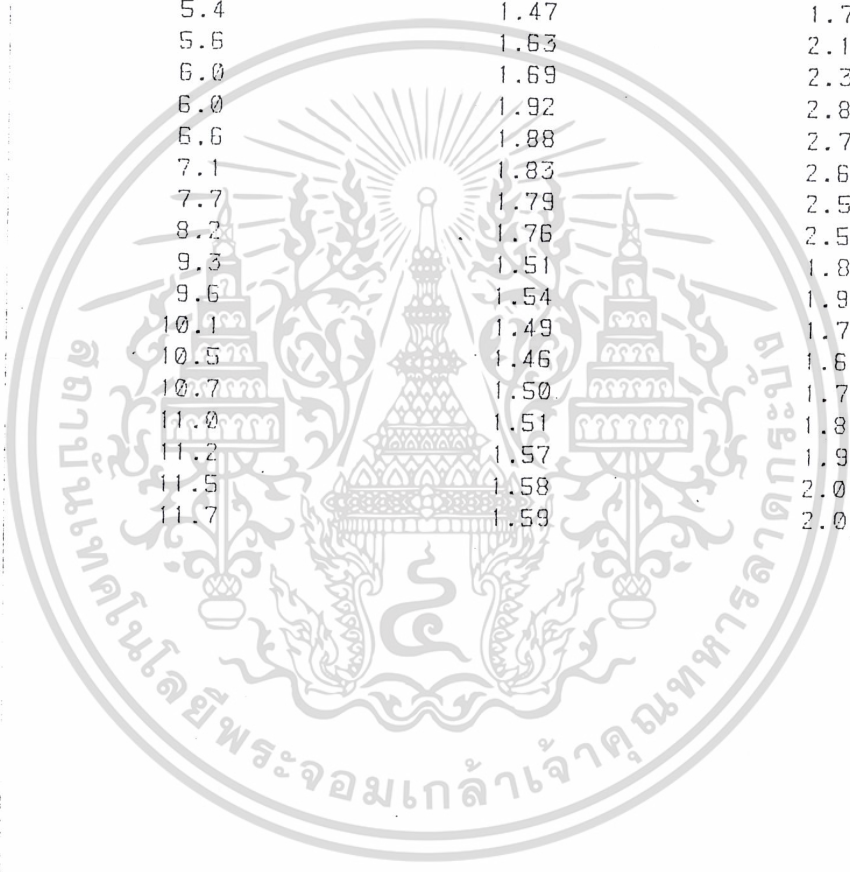
SPECIFICATION COMPLIANCE TESTING FACTOR (10 METER SPACING)
 TO BE ADDED TO RECEIVER METER READING IN dBuV TO CONVERT TO
 FIELD INTENSITY IN dBuV/METER, CALIBRATED 16/07/93 (DD/MM/YY)
 CALIBRATION, PER ANSI C.63.5 METHODOLOGY.

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันฯ ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE ELECTRO-MECHANICS CO.
 GAIN AND ANTENNA FACTORS
 FOR
 ADJUSTABLE ELEMENT DIPOLE ANTENNA
 MANUFACTURED BY
 THE ELECTRO-MECHANICS CO.
 MODEL NUMBER 3121C-DB2
 S/N 896

10 METER CALIBRATION

FREQUENCY (MHz)	ANTENNA FACTOR (dB)	GAIN NUMERIC	GAIN dBi
50	2.4	1.51	1.8
55	3.5	1.41	1.5
60	4.2	1.43	1.5
65	5.3	1.31	1.2
70	5.4	1.47	1.7
75	5.6	1.63	2.1
80	6.0	1.69	2.3
85	6.0	1.92	2.8
90	6.6	1.88	2.7
95	7.1	1.83	2.6
100	7.7	1.79	2.5
105	8.2	1.76	2.5
110	9.3	1.51	1.8
115	9.6	1.54	1.9
120	10.1	1.49	1.7
125	10.5	1.46	1.6
130	10.7	1.50	1.7
135	11.0	1.51	1.8
140	11.2	1.57	1.9
145	11.5	1.58	2.0
150	11.7	1.59	2.0



SPECIFICATION COMPLIANCE TESTING FACTOR (10 METER SPACING)
 TO BE ADDED TO RECEIVER METER READING IN dBuV TO CONVERT TO
 FIELD INTENSITY IN dBuV/METER. CALIBRATED 16/07/93 (DD/MM/YY).

เอกสารนี้จัดทำขึ้นตามข้อกำหนดของ ANSI C.63.5 METHODOLOGY. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE ELECTRO-MECHANICS CO.
 GAIN AND ANTENNA FACTORS
 FOR
 ADJUSTABLE ELEMENT DIPOLE ANTENNA
 MANUFACTURED BY
 THE ELECTRO-MECHANICS CO.
 MODEL NUMBER 3121C-DB3
 S/N 896

10 METER CALIBRATION

FREQUENCY (MHz)	ANTENNA FACTOR (dB)	GAIN NUMERIC	GAIN dBi
140	11.6	1.43	1.5
150	12.0	1.49	1.7
160	13.1	1.32	1.2
170	13.0	1.52	1.8
180	13.5	1.52	1.8
190	14.1	1.48	1.7
200	14.7	1.43	1.5
210	14.6	1.61	2.1
220	15.3	1.50	1.8
230	15.6	1.53	1.9
240	15.7	1.63	2.1
250	16.0	1.65	2.2
260	16.9	1.45	1.6
270	17.3	1.43	1.5
280	17.6	1.43	1.6
290	17.8	1.47	1.7
300	17.8	1.57	2.0
310	18.0	1.60	2.0
320	18.9	1.39	1.4
330	19.4	1.32	1.2
340	18.9	1.57	1.9
350	20.2	1.23	.9
360	20.3	1.27	1.0
370	20.8	1.25	1.0
380	20.5	1.35	1.3
390	20.7	1.36	1.3
400	22.1	1.04	.2

SPECIFICATION COMPLIANCE TESTING FACTOR (10 METER SPACING)
 TO BE ADDED TO RECEIVER METER READING IN dBμV TO CONVERT TO
 FIELD INTENSITY IN dBμV/METER. CALIBRATED 16/07/93 (DD/MM/YY)
 CALIBRATION PER ANSI C.63.5 METHODOLOGY.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งไปศาลากลางซึ่งมีผลเป็นการคุ้มครองเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปเผยแพร่
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GAIN AND ANTENNA FACTORS

FOR

ADJUSTABLE ELEMENT DIPOLE ANTENNA

MANUFACTURED BY

THE ELECTRO-MECHANICS CO.

MODEL NUMBER 3121C-DB4

S/N 896

10 METER CALIBRATION

FREQUENCY (MHz)	ANTENNA FACTOR (dB)	GAIN NUMERIC	GAIN dBi
400	20.8	1.40	1.4
425	21.7	1.28	1.1
450	21.9	1.37	1.4
475	21.8	1.57	2.0
500	22.8	1.38	1.4
525	23.5	1.30	1.1
550	23.9	1.31	1.2
575	24.3	1.31	1.2
600	24.3	1.41	1.5
625	24.9	1.31	1.2
650	24.9	1.42	1.5
675	25.8	1.25	1.0
700	25.8	1.35	1.3
725	26.4	1.26	1.0
750	26.5	1.32	1.2
775	27.3	1.17	0.7
800	27.5	1.19	0.8
825	27.5	1.27	1.0
850	27.9	1.24	0.9
875	28.8	1.06	0.3
900	27.9	1.39	1.4
925	28.6	1.24	1.0
950	29.4	1.10	0.4
975	29.4	1.16	0.6
1000	29.9	1.07	0.3

SPECIFICATION COMPLIANCE TESTING FACTOR (10 METER SPACING)

TO BE ADDED TO RECEIVER METER READING IN dBuV TO CONVERT TO

FIELD INTENSITY IN dBuV/METER, CALIBRATED 14/07/93 (DD/MM/YY)

CALIBRATION PER ANSI C.63.5 METHODOLOGY.

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิทยุวิศวกรรม ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับความอนุเคราะห์เครื่องมือต่างๆในการวัดคุณสมบัติของสายอากาศและสถานที่ทำการทดสอบ จากศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะคุณมนตรี พรรณรัตน์ และคุณวานิจ ศรีรักษ์ ที่อนุญาตให้ใช้เครื่องมือทดสอบ และต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ สมผล โกศลวิตร ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ตลอดจนถึงครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และวิทยาการต่างๆ รวมไปถึงครอบครัวของกลุ่มผู้จัดทำที่คอยเป็นกำลังใจเสมอมา กลุ่มผู้จัดทำพึงระลึกไว้ ณ ที่นี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. โมไนย ไกรฤกษ์ ; ทฤษฎีสายอากาศ ; สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
2. บัณฑิต ไรจน์อารยานนท์ ; วิศวกรรมสายอากาศ ; สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. บัณฑิต ไรจน์อารยานนท์ ; คู่มือการติดตั้ง MATV,CATV ; สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
4. วิสันต์ อาชาเดโชพล ; สายอากาศและเทคนิคการติดตั้ง ; สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
5. ยืน ภู่วรวรรณ ; เทคนิคการติดตั้งสายอากาศที่วี-เอฟเอ็ม ; ซีเอ็ดยูเคชั่นม , 2527
6. Constantine A.Balanis ; Antenna theory ; John Wiley & Sons,inc.,1997
7. Edward A Wolff ; Antenna Analysis ; ; John Wiley & Sons,inc., 1966
8. Y.T.LO , S.W.Lee ; Antenna Handbook Volume I Fundamentals And Mathematical Techniques ;
CHAPMAN & HALL
9. Robert E.Conllin ; Antenna and Radiowave propagation ; McGraw – Hill Book Company,1985
10. Television Antenna Part II Receiving Antenna ; NHK communication Training Institute



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้