

ระบบไมโครเวฟในการตรวจตำแหน่งผู้รอดชีวิต



นาย ประจักษ์ ทองจันทร์
นาย สุขุม ลัยกิจมงคล



โครงการพิเศษที่เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เลขหน้.....
เลขทะเบียน **43931**
วัน, เดือน, ปี **18 มี.ค. 2545**

b.....
i.....

Microwave life detection system



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of
the Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ ระบบไมโครเวฟในการตรวจตำแหน่งผู้รอดชีวิต
โดย นายประจักษ์ ทองจันทร์
นายสุขุม ลัยกิจมงคล
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.อนุพงษ์ สรงประภา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

(ผศ.วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชา

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

(ผศ.เครือวัลย์ สีตะจิตต์)

ประธานกรรมการ

(ผศ.อนุพงษ์ สรงประภา)

กรรมการ

(ผศ.ดร.เสน่ห์ เอกะวิภาต)

กรรมการ

(อาจารย์กัทธิยา กิตติเดชาชาญ)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ระบบไมโครเวฟในการตรวจตำแหน่งผู้รอดชีวิต
โดย	นาย ประจักษ์ ทองจันทร์ นาย สุขุม ลัยกิจมงคล
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. อนุพงศ์ สรงประภา
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

เป้าหมายของโครงการพิเศษนี้จะเป็นการพัฒนา ระบบไมโครเวฟกำลังต่ำซึ่งอาศัยปรากฏการณ์ดอปเลอร์ เพื่อใช้ในการตรวจค้นหาผู้รอดชีวิตภายใต้ซากอาคารปรักหักพัง โดยทำการออกแบบประกอบและทดสอบระบบพื้นฐานที่ทนทานที่ความถี่ 10 กิกะเฮิร์ต ซึ่งการหักล้างสัญญาณขนาดใหญ่เนื่องจากการพื้นผิวของชั้นอิฐที่กีดขวางใช้การปรับทั้งเฟสและการลดทอนสัญญาณอ้างอิง มีการพัฒนาระบบสายอากาศไมโครสตริปต้นแบบต้นทุนต่ำที่ความถี่ 2 กิกะเฮิร์ต ซึ่งใช้สองสายอากาศตัวรับวางตัวในลักษณะสมมูลย์ข้างสายอากาศตัวส่งเดี่ยวแล้วใช้เทคนิคการขยายผลต่างในการลบสัญญาณจากสิ่งกีดขวาง ผลการทดสอบในขั้นต้นพบว่าระบบแรกมีการตอบสนองสัญญาณที่ดีกว่า ที่กำลังสัญญาณเพียง 20 มิลลิวัตต์ ระบบสามารถตรวจสอบการเคลื่อนที่ของกระบังลมจำลองการหายใจซึ่งอยู่ใต้อิฐหนา 1 ฟุต

Special Project Title	Microwave Life Detection System
Name	Mr. Prajak Tongjan Mr. Sukum Luikitmongkol
Special Project Advisor	Asst.Prof. Annupong Songprapa
Department	Applied Physics
Academic Year	2001

Abstract

The aim of this special project is the development of low power microwave systems based on Doppler effect for the detection of trapped human being under rubble . The 10 GHz basic waveguide unit and 2GHz microstrip-based low cost prototype have been designed and implemented. Large clutter signals due to reflection from brick surface were cancelled in the first system by using adjustable attenuation and phase shifting technique . The cancellation can also be done by differential amplification of the signals received from the two symmetric antenna aligned on both sides of the transmitting one, the concept of which is used in the second system. Preliminary testing results show that the sensitivity of waveguide unit is better. At 20 mw illuminating level, the system can be used to detect artificial thoracic breathing signals from a phantom located under 1 feet of brick layer.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากความสนับสนุนช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผศ.อนุพงศ์ ตรงประภา

ผู้ซึ่งถ่ายทอดวิชาความรู้ทั้งทางด้านกระบวนการความคิด วิชาการและคำปรึกษาแนะนำต่าง ๆ ในการทำงานเป็นอย่างดีตลอดมาจนโครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

บิดา – มารดา

ผู้ซึ่งให้กำเนิด เลี้ยงดู อบรม และให้โอกาสทางการศึกษาตลอดมา จนสามารถสำเร็จการศึกษาได้

เพื่อนภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ รุ่น 17

ผู้ซึ่งคอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดปรากฏการณ์คอปเลอร์	3
รูปที่ 2.2 แสดงแนวคิดพื้นฐานของปรากฏการณ์คอปเลอร์	4
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของไมโครสตริป	6
รูปที่ 2.4 การคิดค่า $\tan \delta$	7
รูปที่ 2.5 เส้นแรงไฟฟ้าในระนาบตามขวางของไมโครสตริป	8
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยม	9
รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะสายอากาศแบบแพทช์	10
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะสายอากาศแบบ Traveling – Wave	10
รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะสายอากาศแบบ Slot	11
รูปที่ 2.10 แสดงการป้อนสัญญาณโดยใช้สายส่งไมโครสตริป(Microstrip Line Feed)	15
รูปที่ 2.11 แสดงการป้อนสัญญาณโดยใช้สายโคแอกเซียล (Coaxial Feed)	15
รูปที่ 2.12 แสดงการป้อนสัญญาณโดยใช้สายส่งสัญญาณแบบฝัง (Buried Feed)	16
รูปที่ 2.13 การป้อนสัญญาณโดยใช้การส่งแบบผ่านช่องว่าง (Slot Feed)	16
รูปที่ 2.14 แสดงการกระจายของประจุและความหนาแน่นของกระแสบนไมโครสตริปแพทช์	17
รูปที่ 2.15 แสดง Rectangular microstrip patch	19
รูปที่ 2.16 แสดง โหมดต่างๆใน Rectangulr microstrip patch	21
รูปที่ 2.17 แสดง กระแสในแต่ละด้านของ Rectangulr microstrip patch	22
รูปที่ 2.18 แสดงกระแสแม่เหล็กใน Rectangulr microstrip patch	23
รูปที่ 2.19 แสดง E และ H pattern ในแต่ละด้านของ microstrip patch slot และ ทั้ง2ด้านรวมกัน	23
รูปที่ 2.20 แสดง ความหนาแน่นของกระแสนอนแผ่ Nonradiating Slots ใน Rectangulr microstrip patch	24
รูปที่ 2.21 แสดง E และ H pattern ของ microstrip patch ตามแบบจำลอง cavity เปรียบเทียบกับที่คำนวณด้วยวิธีอื่นและค่าที่ได้จากการวัด	26

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.1 ระบบพื้นฐานที่ใช้ในการทดลอง	28
รูปที่ 3.2 ระบบที่ไม่ใช้เทคนิคการบาลานซ์	30
รูปที่ 3.3 ระบบที่ใช้เทคนิคการบาลานซ์	32
รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยม	33
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะและขนาดของสายอากาศไมโครสตริป รูปสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 2GHz	34
รูปที่ 4.9 ลักษณะสายอากาศไมโครสตริปที่ออกแบบเพื่อใช้งานในระบบ	
(ก) ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแต่ละแผ่น $0.70\lambda \cong (44.86 \text{ mm})$	35
(ข) ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแต่ละแผ่น $0.85\lambda \cong (54.48 \text{ mm})$	35
(ค) ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแต่ละแผ่น $1.00\lambda \cong (64.09 \text{ mm})$	35
(ง) ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแต่ละแผ่น $1.20\lambda \cong (76.91 \text{ mm})$	35
(จ) ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแต่ละแผ่น $1.50\lambda \cong (96.14 \text{ mm})$	35
รูปที่ 4.1 การทดลองเมื่อใช้สายอากาศแบบฮอร์นและไม่มีกำแพงบัง	
(ก) ภาพการทดลอง	36
(ข) สัญญาณคอปเลอร์เมื่อวัดมุมมีการเคลื่อนไหว	36
รูปที่ 4.2 การทดลองเมื่อใช้สายอากาศแบบฮอร์นและมีกำแพงหนา 7.5 เซนติเมตร	
(ก) ภาพการทดลอง	37
(ข) สัญญาณคอปเลอร์เมื่อวัดมุมมีการเคลื่อนไหว	37
รูปที่ 4.3 การทดลองเมื่อใช้สายอากาศแบบฮอร์นและมีกำแพงหนา 15 เซนติเมตร	
(ก) ภาพการทดลอง	38
(ข) สัญญาณคอปเลอร์เมื่อวัดมุมมีการเคลื่อนไหว	38
รูปที่ 4.4 การทดลองเมื่อใช้สายอากาศแบบฮอร์นและมีกำแพงหนา 22.5 เซนติเมตร	
(ก) ภาพการทดลอง	39
(ข) สัญญาณคอปเลอร์เมื่อวัดมุมมีการเคลื่อนไหว	39
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่วัดได้กับความหนาของกำแพง	40
รูปที่ 4.6 ลักษณะของสายอากาศที่ความถี่ 2GHz	40

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 แพทเทิร์นของสายอากาศ	
(ก) ผลการวัด E-field ในแนว θ	41
(ข) ผลการวัด E-field ในแนว ϕ	41
(ค) ผลจากการ Simulate E-field ในแนว θ	42
(ง) ผลจากการ Simulate E-field ในแนว ϕ	42
รูปที่ 4.8 ผลการวัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	
(ก) ผลการวัดด้วยเครื่อง Network Analyzer Hp8510C	43
(ข) ผลจากการ Simulate	43
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของสองสายอากาศ แต่ละแผ่นกับสัดส่วนกำลังของการคับปลิง	44
รูปที่ 4.10 การทดลองเมื่อใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปและไม่มีกำแพงบัง	
(ก) ภาพการทดลอง	45
(ข) สัญญาณคอปเลอร์เมื่อวัดอยู่หนึ่ง	45
รูปที่ 4.11 การทดลองเมื่อใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปและมีกำแพงหนา 7.5 เซนติเมตร	
(ก) ภาพการทดลอง	46
(ข) สัญญาณคอปเลอร์เมื่อวัดมีการเคลื่อนไหว	46
รูปที่ 4.12 การทดลองเมื่อใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปและมีกำแพงหนา 15 เซนติเมตร	
(ก) ภาพการทดลอง	47
(ข) สัญญาณคอปเลอร์เมื่อวัดมีการเคลื่อนไหว	47
รูปที่ 4.13 การทดลองเมื่อใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปและมีกำแพงหนา 22.5 เซนติเมตร	
(ก) ภาพการทดลอง	48
(ข) สัญญาณคอปเลอร์เมื่อวัดมีการเคลื่อนไหว	48
รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่วัดได้กับความหนาของกำแพง	49
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีกำแพงบัง	
(ก) แบบไม่มีการบาลานซ์	50
(ข) แบบมีการบาลานซ์	50

สารบัญญรฐป (ต่อ)

	หน้า
รฐปที่ 4.16 การเปรียบเทียบระบบที่มีกำแพงบั้ง	
(ก) แบบไม่มีการบาลานซ์	51
(จ) แบบมีการบาลานซ์	51



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 แสดงค่า dielectric constant ,Loss tangent ของสารแต่ละชนิด	12
ตาราง 2.2 แสดงค่าสมบัติอื่นๆพร้อมทั้งราคาของฉาบสเตรท	13



สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของ โครงการงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงานพิเศษ	2
1.3 ขอบข่ายของ โครงการงานพิเศษ	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้น	3
2.1 ปรัชญาการคัดลอกเลออร์	3
2.2 ทฤษฎีและการออกแบบสายอากาศแบบไมโครสตริป	5
2.2.1 โครงสร้างพื้นฐานของสายส่งไมโครสตริป	6
2.2.2 การส่งผ่านของคลื่นในสายส่งไมโครสตริป	8
2.2.3 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศแบบไมโครสตริป	9
2.2.4 ชนิดสายอากาศไมโครสตริป	10
2.2.5 ชนิดของขั้วเสถียรที่ใช้ในการออกแบบ สายอากาศไมโครสตริป	11
2.2.6 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศไมโครสตริป	14
2.2.7 เทคนิคการป้อนสัญญาณสายอากาศไมโครสตริป	14
2.2.8 Cavity Model	17

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ระบบที่ใช้ในการทดลอง	27
3.1 ระบบทดลองพื้นฐานซึ่งใช้สายอากาศแบบฮอร์นที่ความถี่ 10 GHz	27
3.2 ระบบที่ได้รับการพัฒนาแล้วโดยใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปที่ความถี่ 2 GHz	29
3.2.1 ระบบที่ไม่ใช้เทคนิคการบาลานซ์	29
3.2.2 ระบบที่ใช้เทคนิคการบาลานซ์	31
3.3 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม	33
บทที่ 4 ระบบและผลการทดลอง	36
4.1 ผลการทดลองระบบที่ใช้สายอากาศแบบฮอร์นที่ความถี่ 10 กิกะเฮิร์ต	36
4.2 ผลการทดลองระบบที่ใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปที่ความถี่ 2 กิกะเฮิร์ต	41
4.2.1 ผลการวัดแพทเทิร์นของสายอากาศที่ความถี่ 2 GHz	41
4.2.2 ผลการวัดและ simulate ค่าอิมพีแดนซ์ ของสายอากาศเดี่ยวที่ความถี่ 2 GHz	43
4.2.3 ผลการวัดการคับปลิงที่ความถี่ 2GHz	44
4.2.4 ผลการวัดสัญญาณของระบบแบบไม่มีการบาลานซ์	45
4.2.5 ผลการวัดสัญญาณที่มีการบาลานซ์ระบบแบบมีการบาลานซ์	50
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
ภาคผนวก	
เอกสารอ้างอิง	

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาของโรงงานพิเศษ วัตถุประสงค์ของโรงงานพิเศษ วิธีการและขั้นตอนในการดำเนินงาน ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโรงงานพิเศษนี้ โดยจะกล่าวเป็นลำดับหัวข้อดังต่อไปนี้

1.1 ความเป็นมาของโรงงานพิเศษ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านไมโครเวฟมีความเจริญก้าวหน้าไปเป็นอย่างมาก ซึ่งจะพบเห็นการใช้งานของเทคโนโลยีนี้ได้โดยทั่วไป เช่น ในด้านการสื่อสาร การแพทย์ การอุตสาหกรรม และการทหาร เป็นต้น โดยเฉพาะด้านการสื่อสารได้ใช้เทคโนโลยีทางด้านไมโครเวฟกันอย่างกว้างขวาง ดังจะเห็นได้จากการสื่อสารผ่านโทรศัพท์มือถือ ตลอดจนการรับส่งสัญญาณหรือข้อมูลผ่านดาวเทียม อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารดังกล่าวมาแล้วข้างต้นล้วนแล้วแต่ใช้คลื่นพาหะในการส่งข่าวสารและข้อมูล โดยคลื่นพาหะที่ใช้กับระบบนี้ได้ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในย่าน 1–30 กิโลเฮิร์ต (GHz) อยู่ในย่านที่เรียกว่า ความถี่ย่านไมโครเวฟ

ในการปฏิบัติการกู้ภัย การตรวจค้นหาตำแหน่งผู้รอดชีวิตจากการถล่มของอาคารสิ่งก่อสร้างเนื่องจากแผ่นดินไหว เพลิงไหม้หรือการก่อวินาศกรรม ยังจัดว่าเป็นงานที่ยุ่ยากซึ่งต้องทำแข่งกับเวลา นอกจากนี้วิธีการทั่วไปที่ใช้เจ้าหน้าที่ในการฝึกสุนัขสำหรับทำการค้นหาแล้วได้มีการพัฒนาค้นคืนนำเทคโนโลยีด้านต่างๆ เช่น การตรวจวัดคลื่นเสียงเนื่องจากการสั่นสะเทือนของการเคาะหรือการขยับตัว การใช้หุ่นยนต์ขนาดเล็ก การตรวจสอบคลื่นวิทยุที่แผ่ออกมาจากโทรศัพท์มือถือของผู้ประสบภัย ฯลฯ การใช้เทคนิคทางไมโครเวฟและปรากฏการณ์คอปเลอร์ในการตรวจสอบการหายใจหรือการเต้นของหัวใจผู้รอดชีวิตก็สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานดังกล่าวได้ด้วยเช่นกัน แนวทางการพัฒนาจะมุ่งไปที่ระบบที่มีไมโครสตริปเป็นส่วนประกอบหลักซึ่งมีต้นทุนในการผลิตต่ำนอกจากนี้ยังสามารถออกแบบระบบให้มีขนาดเล็กได้เพราะส่วนประกอบต่างๆสามารถรวมอยู่ในแผงวงจรรวมได้ที่เรียกว่า (MIC -Microwave Integrated Circuit)

โรงงานพิเศษนี้ เป็นการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีทางไมโครเวฟในการค้นหาผู้รอดชีวิตที่ติดอยู่ภายใต้ซากปรักหักพังของสิ่งก่อสร้าง โดยจะได้กล่าวถึงทฤษฎีปรากฏการณ์คอปเลอร์

การประกอบศึกษาทดลองระบบเบื้องต้นที่ใช้อุปกรณ์ที่อ่อนแอและออกแบบระบบไมโครสตริป
ในส่วนสายอากาศ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์คอปเลอร์ ในการออกแบบ
ระบบค้นหาผู้รอดชีวิตด้วยคลื่นไมโครเวฟ

2. เพื่อศึกษาและออกแบบสายอากาศไมโครสตริปทั้งแบบเดี่ยวและแบบอาร์เรย์

3. เพื่อออกแบบระบบและทดลองระบบที่อ่อนแอที่ใช้สายอากาศแบบฮอร์นและระบบ
ไมโครสตริปขั้นต้น

1.3 ขอบข่ายของโครงการพิเศษ

โครงการพิเศษนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจจับสัญญาณ ที่ได้จากผู้รอดชีวิต และพัฒนาให้
เป็นระบบอัตโนมัติ ตามความเหมาะสมของระยะเวลาของโครงการพิเศษนี้ ซึ่งประกอบด้วย การทำ
การทดลองระบบที่อ่อนแอโดยใช้สายอากาศแบบฮอร์นที่มีความถี่ 10 กิกะเฮิร์ต โดยใช้เฟลซิป
เตอร์และแอมเพนนูเอเตอร์ในการหักล้างสัญญาณจากสิ่งกีดขวาง ออกแบบสายอากาศแบบไมโครส
ตริปที่มีความถี่ 2 กิกะเฮิร์ตรวมทั้งทดลองระบบขั้นต้นที่ได้ออกแบบไว้โดยที่แบบไม่บาลานซ์
(Unbalance) จะใช้การคลีปปลิงช่วยในการรับสัญญาณแต่จะไม่มีกรลดทอนสัญญาณเนื่องจากสิ่ง
กีดขวาง ส่วนแบบบาลานซ์ (Balance) จะนำสัญญาณจากตัวรับทั้งสองตัวมาลบกันเป็นการหักล้าง
สัญญาณจากสิ่งกีดขวางโดยไม่ต้องมีอุปกรณ์อื่นมาช่วยจะทำให้สามารถขยายสัญญาณที่วัดได้ด้วย
อัตราขยายสูงขึ้น

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

เพื่อเป็นการนำเทคโนโลยีทางด้านไมโครเวฟไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อประเทศอีกทั้งยัง
เป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาใช้ประโยชน์ทางด้านอื่น เช่น ใช้วินิจฉัยในทางการแพทย์
 เป็นต้น

บทที่ 2

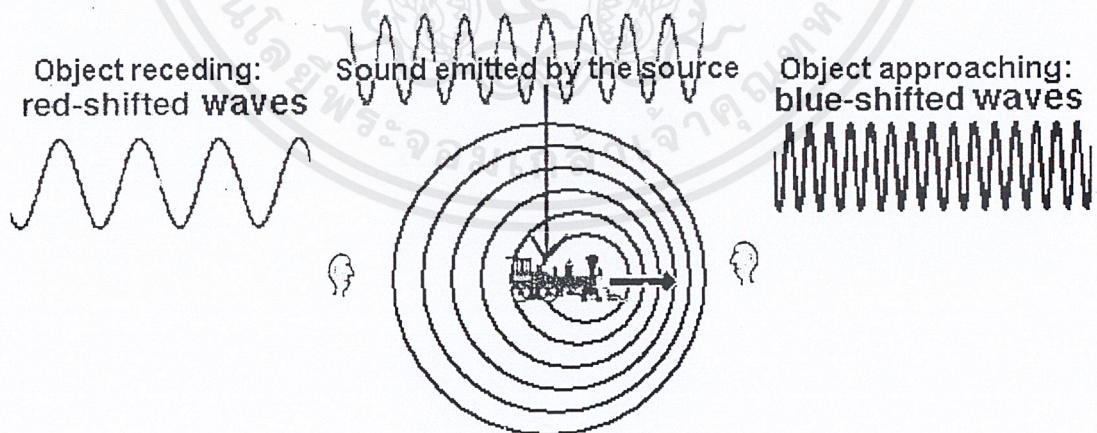
ทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

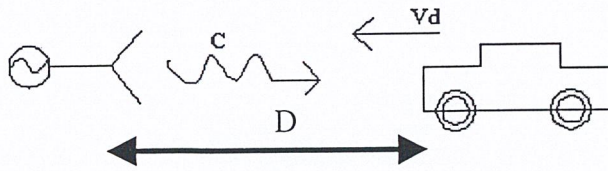
ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ เป็นผลมาจากความถี่ที่เลื่อนไประหว่างคลื่นที่ส่งจากแหล่งกำเนิดที่อยู่กันที่กับแหล่งกำเนิดคลื่นที่เคลื่อนที่หรือคลื่นที่สะท้อนจากเป้าหมายที่มีการเคลื่อนที่ โดยสัญญาณที่เป็นแหล่งกำเนิดอาจเป็น คลื่นเสียงหรือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ตัวอย่างของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ ที่เห็นได้ในชีวิตประจำวันเช่น ขณะรถไฟวิ่งเข้าหาชานชาลาจะพบว่าเสียงที่ได้ยินมีความถี่สูงขึ้นและถ้ารถไฟวิ่งออกจากชานชาลาจะทำให้ได้ยินเสียงที่มีความถี่ต่ำลง โดยถ้าความถี่ที่ได้จากการสังเกตมีความถี่สูงขึ้นจะเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Blue shift Doppler Effect แต่ถ้าความถี่ที่สังเกตได้มีความถี่ต่ำลงจะเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Red shift Doppler Effect

มีการนำเทคนิคที่ได้จากปรากฏการณ์ดอปเปลอร์มาประยุกต์ใช้งานต่างๆเช่น ใช้ในการตรวจจับความเร็วของรถยนต์ที่วิ่งในท้องถนน การวัดอัตราการไหลของของเหลว ใช้ในเรดาร์แบบเอ็มทีไอเรดาร์(MTI radar)ตรวจเฉพาะตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ดอปเปลอร์



รูปที่ 2.2 แสดงแนวคิดพื้นฐานของปรากฏการณ์ดอปเลอร์

แนวคิดพื้นฐานของปรากฏการณ์ดอปเลอร์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพิจารณาได้จากสถานการณ์ดังรูปที่ 2.2 การตรวจจับการเคลื่อนที่ของเป้าหมายที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว V_d เข้าหาแหล่งกำเนิดคลื่นต่อเนื่องที่เวลา t ใดๆ ในเทอมของสัญญาณ

$$X_1 = \cos \omega t \quad (1)$$

เมื่อ ω คือความถี่เชิงมุมของคลื่นตัวส่ง

สำหรับเวลาที่ใช้ในการส่งถึงเป้าหมาย $t = D/c$ โดย c คือความเร็วในการแพร่กระจายของคลื่นในอากาศซึ่งมีค่า $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ และ D คือระยะระหว่างเป้าหมายกับแหล่งกำเนิด เนื่องจากเป้าหมายมีการเคลื่อนที่ จะทำให้ระยะ D เปลี่ยนกับเวลา แต่ความถี่อัตราเร็ว (V_d) มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับอัตราเร็วแสง ดังนั้นจะได้ว่าสัญญาณที่ตรงตำแหน่งเป้าหมายจะมีค่าเดียวกับสัญญาณที่ส่งมาก่อนหน้านั้นเป็นเวลา D/c กล่าวคือ

$$X_2 = \cos [\omega(t - D/c)] = \cos \left(\omega t - \frac{\omega D}{c} \right) \quad (2)$$

และส่วนหนึ่งของสัญญาณซึ่งสะท้อนจากเป้าหมายกลับมายังตำแหน่งภาครับก็จะมีค่าเป็น

$$X_3 = \cos \left(\omega t - 2\omega \frac{D}{c} \right) \quad (3)$$

เนื่องจาก D/c ก็เป็นเวลาที่ใช้ระหว่างเป้าหมายกับภาครีบของระบบด้วย สมมุติในกรณีถ้าอัตราเร็วของเป้าหมายคงที่ ซึ่งระยะทาง D จะเปลี่ยนกับเวลา คือ

$$D = D_0 \mp V_d(t - t_0) \quad (4)$$

เมื่อ D_0 คือระยะทางที่เวลา t_0 และสำหรับเครื่องหมายลบและบวก ใช้ในกรณีวัตถุวิ่งเข้าหาและวิ่งออกจากแหล่งกำเนิดตามลำดับ แทนค่านี้ลงไปก็จะได้ว่าสัญญาณสะท้อนมีรูปเป็น

$$\cos \left[\omega t - \frac{2\omega D_0}{c} \pm \frac{V_d \cdot 2\omega t}{c} \mp \frac{\omega_d \cdot 2\omega t_0}{c} \right]$$

หรือเขียนในอีกรูปหนึ่งคือ

$$\cos \left[(\omega \pm \omega_d)t - \left(\frac{2\omega D_0}{c} \pm \omega_d t_0 \right) \right]$$

ซึ่ง $\omega_d = \frac{2\omega V_d}{c}$ เป็นความถี่เชิงมุมส่วนที่เลื่อนไปมีสาเหตุมาจากเป้าหมายสะท้อนคลื่นมีการเคลื่อนที่ หรือสามารถเขียนในรูปของความถี่ว่า

$$f_d = \frac{\omega_d}{2\pi} = \frac{2f}{c} V_d$$

เรียก f_d ว่า ความถี่ดอปเลอร์

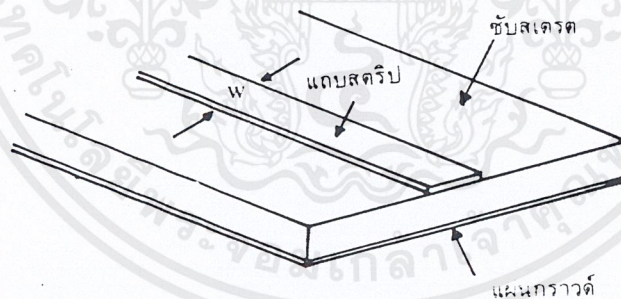
2.2 ทฤษฎีและการออกแบบสายอากาศแบบไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริปเกิดขึ้นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1953 โดย Deschamps เป็นสายอากาศที่สร้างจากแผ่นวงจรพิมพ์(Print Circuit Board:PCB)ประกอบด้วยแผ่นตัวนำที่วางอยู่บนไดอิเล็กตริก ทำหน้าที่เป็นส่วนแผ่กระจายคลื่น (radiating patch) โดยมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันไปตามการออกแบบใช้งาน และด้านล่างจะมีแผ่นตัวนำวางรองอยู่อีกชั้นเสมือนเป็นแผ่นกราวด์ (ground plane)

ด้วยเหตุนี้เอง สายอากาศไมโครสตริปจึงมีขนาดเล็กและบางมาก ทำให้สามารถงอโค้งไปตามผิวของวัสดุอื่นได้ง่ายจึงสามารถนำไปใช้ในยานอวกาศ เครื่องบิน จรวด รถยนต์ ฯลฯ สามารถสร้างได้ง่ายในราคาที่ถูกลง โดยสามารถสร้างให้มีลักษณะโพลาไรเซชัน(Polarization)ของคลื่น เป็นทั้งแบบลิเนียร์ (linear) หรือแบบวงกลม (circular) ได้ง่าย นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบการสร้างระบบการป้อนสัญญาณ (feed) การขยายสัญญาณ การผสมสัญญาณ การแมตช์อิมพีแดนซ์ (match impedance) ไปพร้อมกันกับโครงสร้างของสายอากาศได้ด้วยต้นทุนต่ำ

2.2.1 โครงสร้างพื้นฐานของสายส่งไมโครสตริป

สายส่งไมโครสตริป (microstrip transmission line) ที่ใช้งานอยู่โดยทั่วไปนั้นจะมีโครงสร้างดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 กล่าวคือจะมีรูปร่างเป็นสตริป (strip) หรือแถบโลหะแคบ ๆ อยู่บนชั้นสเตรต (substrate) ซึ่งเป็นสารไดอิเล็กตริก และผิวด้านล่างของชั้นสเตรตเป็นโลหะแผ่นกว้างที่เรียกว่า ระนาบกราวด์ (ground plane) พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะส่งผ่านอยู่ในชั้นสเตรตบริเวณที่อยู่ระหว่างแถบโลหะแคบ ๆ กับผิวโลหะด้านล่าง ความหนาของชั้นสเตรตนั้นจะประมาณ 2 มิลลิเมตร หรือต่ำกว่าลงมา ความกว้างของสตริปนั้นขึ้นอยู่กับค่าคาแรกเตอร์อิมพีแดนซ์ (characteristic impedance) ที่ต้องการ ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

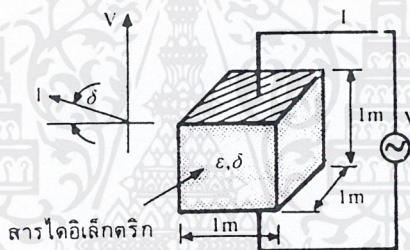


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของสายส่งไมโครสตริป

สำหรับความหนาของตัวสตริปโลหะเองนั้นจะมีค่าประมาณ 5 ไมโครเมตร หรือ 10 ไมโครเมตร ขึ้นอยู่กับการใช้เทคโนโลยีแบบฟิล์มบาง หรือแบบฟิล์มหนาในการสร้างสตริปนั้น สำหรับชั้นสเตรตนั้นที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไปจะมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน สมบัติที่สำคัญของชั้นสเตรตซึ่งได้แก่ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ (relative dielectric constant ϵ_r), ค่า การสูญเสีย $\tan \delta$ หรือ

loss tangent ที่ความถี่ในย่าน GHz ค่าคงที่ของการนำความร้อน (thermal conductivity) ความขรุขระของผิว(roughness) และความสามารถในการทนต่อแรงดันไฟฟ้า (dielectric strength)

ความหมายของสมบัติที่กล่าวมาจะเป็นดังนี้คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์จะบ่งบอกคุณสมบัติของการเป็นสารไดอิเล็กตริก โดยเทียบกับสุญญากาศ (free space) ค่านี้จะส่งผลทำให้ค่าค่าแรกเตอร์สติคิมพิแดนซ์ของไมโครสตริปเปลี่ยนแปลง ค่า $\tan \delta$ นั้นคือค่าที่แสดงอัตราส่วนระหว่างกระแสการนำ(conduction current)กับกระแสดิสเพลสเมนต์(displacement current) เมื่อนำสารไดอิเล็กตริกนั้นไปคั่นระหว่างแผ่นโลหะคู่หนึ่งซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุคั้งที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 เมื่อเขียน $\epsilon = \epsilon' - j\sigma/\omega$ ค่า $\tan \delta$ ก็จะเท่ากับ $\sigma/\omega\epsilon'$ ซึ่งค่านี้ก็จะแสดงให้รู้ ว่าสารไดอิเล็กตริกนั้นมีการสูญเสียเนื่องจากการนำกระแสโดยเฉพาะที่ความถี่สูง มีค่ามากน้อยเพียงใดโดยที่ยิ่งต่ำก็ยิ่งดี



รูปที่ 2.4 การคิดค่า $\tan \delta$

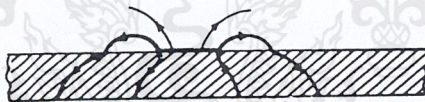
ค่าคงตัวของการนำความร้อนนั้นจะแสดงให้รู้ว่าสารไดอิเล็กตริกนั้นจะมีความสามารถในการระบายความร้อนได้ดีมากน้อยเพียงใด ค่านี้ยิ่งสูงก็ยิ่งดี ความขรุขระของผิวแผ่นไดอิเล็กตริกนั้นจัดว่ามีความสำคัญมากเช่นเดียวกัน เพราะว่าถ้าผิวขรุขระจนเกินไปก็จะทำให้การใช้เทคโนโลยีแบบฟิล์มบางทำสตริปโลหะมีขนาดที่คลาดเคลื่อน นอกจากนั้นก็จะมีผลกระทบต่อ การส่งผ่านของคลื่นไปตามไมโครสตริปด้วย สำหรับความสามารถในการทนต่อแรงดันไฟฟ้านั้นจะบ่งถึงความสามารถในการรับกำลังคลื่น โดยไม่เกิดความเสียหายของไดอิเล็กตริกด้วย ดังนั้นค่าสูงจะดีกว่าค่าต่ำ

เมื่อพิจารณาสมบัติของชั้นสเตรตชนิดต่าง ๆ จะเห็นได้ว่า ชั้นสเตรตแบบอลูมินา (alumina) มีคุณสมบัติในหลาย ๆ ข้อ ถึงแม้จะมีความขรุขระไม่ต่ำมากนัก ดังนั้นอลูมินาจึงเป็นชั้นสเตรตที่นิยมใช้กันมาก สำหรับแวนผลึกเกลเดียมอาร์เซไนด์ (GaAs) นั้น จะใช้ในกรณีที่ทำวงจรรวมของ

ไมโครเวฟเป็นหลัก เนื่องจาก GaAs เป็นวัสดุที่ใช้งานทำชิ้นส่วนแอสติฟสารกึ่งตัวนำต่าง ๆ ในย่านไมโครเวฟได้ดี ในการใช้งานทั่วไปมักนิยมใช้แผ่นพิมพ์ที่มีชื่อทางการค้าว่า ดูรอยด์ (duroid) แบบอีพอกซีเรซิน (epoxy resin) ก็จะใช้กันบ้างในย่าน ความถี่ที่ต่ำลงมาเนื่องจากมักมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกไม่สม่ำเสมอและมีการสูญเสียสูง

2.2.2 การส่งผ่านของคลื่นในสายส่งไมโครสตริป

สายส่งไมโครสตริปถึงแม้จะมีโครงสร้างง่าย ๆ ดังกล่าวข้างต้น แต่การวิเคราะห์สมบัติโดยละเอียดทางทฤษฎีนั้นเป็นสิ่งที่ยุ่งยากมาก ทั้งนี้เป็นเพราะระบบแกนประสานที่ใช้ และเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) ของระบบค่อนข้างยุ่งยากเมื่อเทียบกับท่อนำคลื่นหรือสายนำสัญญาณชนิดอื่น ๆ อย่างไรก็ตามได้มีผู้ทำการศึกษาทางทฤษฎีและพบว่าคลื่นที่ส่งผ่านไปตามไมโครสตริปนั้นจะใกล้เคียงกับโหมด TEM มากแต่จะไม่ใช่มอด TEM เสียทีเดียว เพราะมีสนามในแนวแกนทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นอยู่ด้วย จึงนิยมเรียกโหมดดังกล่าวนี้ว่า โหมดกึ่ง TEM (quasi TEM mode) รูปที่ 2.4 แสดงเส้นแรงไฟฟ้าในระนาบตามขวางของสายส่งไมโครสตริป การที่มีสนามในแนวแกนอยู่บ้างนั้นเป็นเพราะโครงสร้างที่มีสารไดอิเล็กตริก และอากาศอยู่ในระนาบเดียวกัน และในสภาพที่มีสนามในแนวแกนเกิดอยู่นี้ โหมดของคลื่นที่ส่งผ่านอยู่นั้นก็จะเป็นไฮบริดโหมด (hybrid mode)



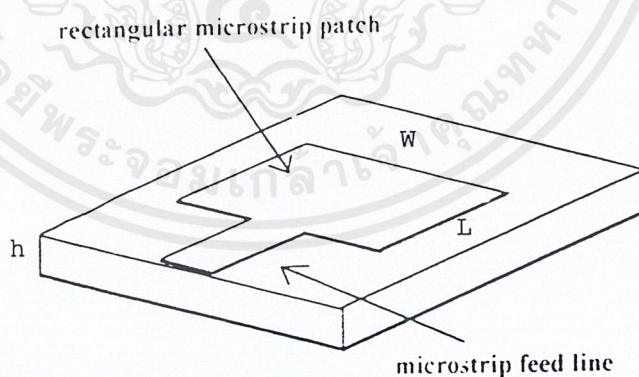
รูปที่ 2.5 เส้นแรงไฟฟ้าในระนาบตามขวางของไมโครสตริป

การที่คลื่นส่งผ่านในโหมดกึ่ง TEM ซึ่งพออนุโลมให้เป็นโหมด TEM นี้ ทำให้สามารถใช้หลักการวงจรกระจาย (distributed circuit) ในการวิเคราะห์หาสมบัติของสายส่งไมโครสตริปได้ กล่าวคือ ถ้าเราสามารถหาค่าอินดักแตนซ์ (inductance) และค่าคาปาซิแตนซ์ (capacitance) ต่อหนึ่งหน่วยความยาวได้ ก็จะนำค่าทั้งสองนี้ไปคำนวณค่าคาเรกเตอร์ิสติกอิมพีแดนซ์ได้ อย่างไรก็ตาม การหาค่าคาปาซิแตนซ์ต่อหนึ่งหน่วยความยาวของไมโครสตริปจะยุ่งยากกว่าของสายคู่ขนานหรือสายโคแอกเซียล (coaxial) เพราะไมโครสตริปมีทั้งสารไดอิเล็กตริกและอากาศอยู่ในบริเวณที่พลัง

งานของคลื่นส่งผ่าน สำหรับการหาค่าอินทิกรัลต่อหนึ่งหน่วยความยาวนั้นจะไม่ถูกรบกวนจากการมีสารไดอิเล็กตริก

2.2.3 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศแบบไมโครสตริป

ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปจะประกอบด้วย แผ่นตัวนำสองแผ่นวางขนานกันอยู่ โดยมีแผ่นตัวนำที่อยู่ด้านบนซึ่งจะมีรูปร่าง ๆ ต่าง ๆ เช่น รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Pectangular) รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square) วงกลม (Circle) วงรี (Elliptical) ฯลฯ เรียกว่า แผ่นแผ่กระจายคลื่น (Radiating Patch) โดยทั่วไปมักจะเป็นแผ่นทองแดงหรือทองคำ แผ่นตัวนำที่อยู่ด้านล่างจะเป็นลักษณะแผ่นตัวนำทั้งแผ่น โดยอุดมคติจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวแผ่กระจายคลื่นอย่างมาก เรียกว่า แผ่นระนาบกราวด์ (Ground Plane) และมีวัสดุที่ไม่เป็นสื่อกลางทางไฟฟ้า (Dielectric Substrate) กั้นกลางระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง ขนาดของแผ่นแผ่กระจายคลื่นจะมีขนาดตามความเหมาะสมกับงานหรือความถี่ที่จะนำไปใช้งาน แผ่นกราวด์ตามทฤษฎีจะต้องมีขนาดที่ไม่จำกัด แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถที่จะให้แผ่นกราวด์มีขนาดจนไม่สิ้นสุดได้ ดังนั้นในการออกแบบจึงไม่มีข้อจำกัดของแผ่นกราวด์ว่าควรมีขนาดเท่าใด เพียงแต่จะต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวแผ่กระจายคลื่น ตัวอย่างโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมมีลักษณะดังรูปที่ 2.6



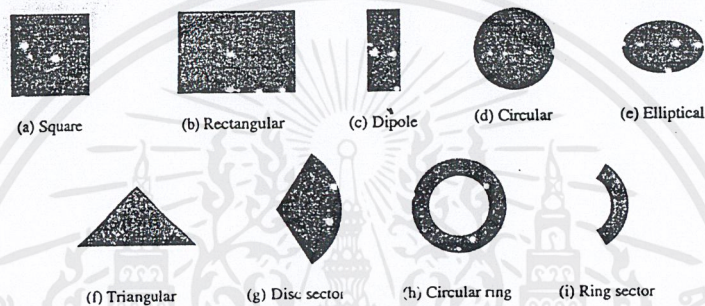
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยม

2.2.4 ชนิดสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริปจะมีพารามิเตอร์ทางฟิสิกส์มากกว่าสายอากาศในย่านไมโครเวฟชนิดอื่น ที่เห็นได้ชัดคือ รูปร่างของสายอากาศแบบต่างๆ แบ่งได้ดังต่อไปนี้

Microstrip Patch antenna (Mpa)

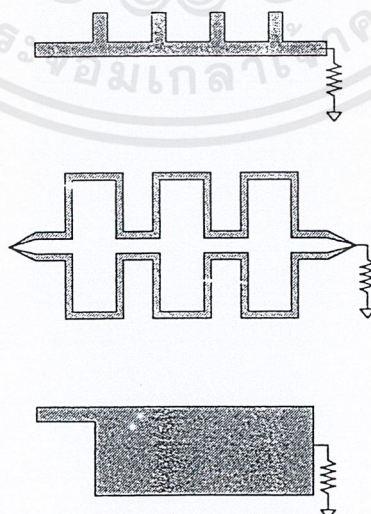
สายอากาศไมโครสตริปชนิดนี้ประกอบด้วยแผ่นตัวนำบางมีรูปทรงเรขาคณิตอยู่บนแผ่นไดอิเล็กตริก อีกด้านหนึ่งจะเป็นแผ่นกราวด์ โดยแผ่นตัวนำซึ่งกำหนดการแพร่กระจายจะมีลักษณะเช่นดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะรูปร่างสายอากาศแบบแพทช์

Microstrip Traveling – Wave antenna (Mta)

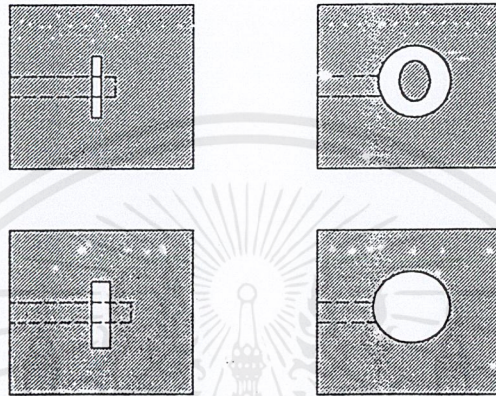
สายอากาศไมโครสตริปชนิดนี้ ประกอบด้วยตัวนำลักษณะที่เป็นคาบหรือลักษณะทอดไปตามแนวยาวดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะสายอากาศแบบ Traveling – Wave

Slot antenna

สายอากาศไมโครสตริปชนิดนี้ ประกอบด้วยช่องเปิดบนแผ่นวงจรพิมพ์ด้านบนสุด ในขณะที่มีสายส่งไมโครสตริปวางตัวอยู่ในชั้นถัดลงไป ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการแผ่ของคลื่นไมโครสตริปแบบสล็อตมีลักษณะดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะสายอากาศแบบ Slot

2.2.5 ชนิดของซัพสเตรทที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป

ในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงอีกอย่างหนึ่งคือแผ่นซัพสเตรท โดยมีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงหลายอย่างพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

- แผ่นซัพสเตรทที่ใช้ในการออกแบบต้องอยู่ในช่วงความถี่ที่ต้องการใช้งานซึ่งทางบริษัทที่ขายแผ่นซัพสเตรทจะบอก มาให้พร้อมคุณสมบัติอื่นๆ
- ไม่ควรจะขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่ต้องการใช้งาน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น
- สมบัติของซัพสเตรท เช่น ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต้องเหมาะสมต่อการใช้งาน
- ราคาของซัพสเตรทต้องมีความเหมาะสมระหว่างราคากับการใช้งาน

ค่าของสมบัติต่างๆเหล่านี้มีแสดงไว้ในดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

Electrical Properties of Commonly Used Substrate Materials for Microstrip Antennas

<i>Material</i>	<i>Dielectric Constant</i>	<i>Loss Tangent</i>	<i>Reference</i>
Unreinforced PTFE, Cuflon	2.10	0.0004	[1]
Reinforced PTFE, RT Duroid 5880	2.20 (1.5%)	0.0009	[1]
Fused Quartz	3.78	0.0001	[2]
96% Alumina	9.40 (5%)	0.0010	[2]
99.5% Alumina	9.80 (5%)	0.0001	[2]
Sapphire	9.4, 1.6	0.0001	[2]
Semi-Insulating GaAs	12.9	0.0020	[2]

ตาราง 2.1 แสดงค่า dielectric constant, Loss tangent ของสารแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nonelectrical Properties of Commonly Used Substrate Materials for Microstrip Antennas

Properties	PTFE	Fused Quartz	Alumina	Sapphire	GaAs
Useful Temperature Range (°C)	-55 to +260	up to +1100	up to +1600	-24 to +370	-55 to +26
Thermal Conductivity (W/cm-K)	0.0026	0.017	0.35 to 0.37	0.42	0.46
Coefficient Thermal Expansion (ppm/K)	16.0 to 108.0	0.55	6.30 to 6.40	6.00	5.70
Temperature Coefficient of Dielectric Constant (ppm/K)	+350.0 to +480.0	+13.0	+136.0	+110 to +140	—
Minimum Thickness (mil)	4	2	5	4	4
Machinability	Good	Very poor	Very poor	Poor	Poor
Solderability	Good	Good	Good	Good	Good
Dimensional Stability	Poor for unreinforced, very good for others	Good	Excellent	Good	Good
Estimated Cost (US \$/in ²)	1.1	560	36	—	3000

ตาราง 2.2 แสดงค่าสมบัติอื่นๆพร้อมทั้งราคาของซับสเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริปมีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดีของสายอากาศไมโครสตริป

- มีขนาดเล็ก ปริมาณน้อย น้ำหนักเบา
- สามารถสร้างได้ง่าย ราคาถูก
- ดัดโค้งงอได้ง่ายมีความสะดวกในการติดตั้งบนวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ เช่น จรวด ดาวเทียม เป็นต้น
- ต่อเข้ากับวงจรส่วนอื่นๆ ได้ง่ายบนแผ่นพิมพ์เดียวกัน
- สามารถกำหนดลักษณะโพลาไรเซชันของคลื่นได้ทั้งแบบเชิงเส้นและแบบวงกลม
- สามารถป้องกันสัญญาณและปรับอิมพีแดนซ์ได้พร้อม ๆ กับการสร้างตัวสายอากาศ
- ทำเป็นสายอากาศแบบอาร์เรย์ (array) ได้ง่าย

ข้อเสียของสายอากาศไมโครสตริป

- มีอัตราการสูญเสียสูง ประสิทธิภาพต่ำ
- แบนด์วิดท์แคบ (narrow bandwidth)
- มักเกิดการสูญเสียที่จุดต่อและจุดป้อนสัญญาณ
- การแผ่กระจายคลื่นมีได้เพียงครึ่งระนาบ
- ต้องเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อรักษาคุณสมบัติของสารที่ใช้ทำสายอากาศ
- คุณภาพของการโพลาไรเซชันของคลื่น (polarization) ไม่ดีพอ

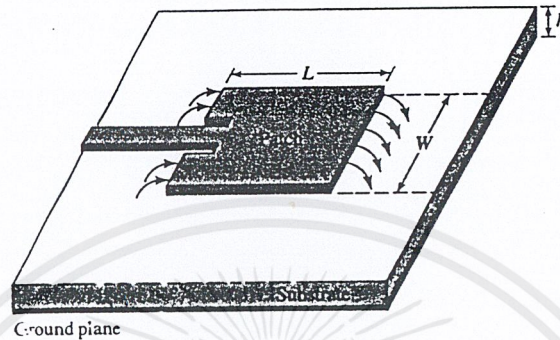
2.2.7 เทคนิคการป้อนสัญญาณสายอากาศไมโครสตริป

การป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปนั้น จะใช้สายส่งสัญญาณชนิดต่าง ๆ เป็นตัวป้อนสัญญาณ โดยตำแหน่งและความยาวของส่วนป้อนสัญญาณจะมีผลต่อการแผ่กระจายคลื่น วิธีการป้อนสัญญาณมีได้หลายรูปแบบ เช่น

2.2.7.1 การป้อนสัญญาณโดยใช้สายส่งไมโครสตริป (Microstrip Line Feed)

เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศ โดยจะทำการสร้างส่วนป้อนสัญญาณไปพร้อม ๆ กับส่วนของสายอากาศที่เป็นตัวแผ่กระจายคลื่น โดยอาศัยแผ่นกราวด์เป็นกราวด์ร่วมกับตัวสายอากาศ วิธีนี้ทำได้ง่ายแต่มีข้อเสียคือ จะมีความยุ่งยากมากถ้ามีจำนวนอิมพีแดนซ์มากขึ้น ซึ่งจะต้องจัดระบบการป้อนสัญญาณแบบอาร์เรย์ มีผลทำให้ค่าความเหนี่ยวนำของระบบการป้อนสัญญาณเพิ่มขึ้น และเกิดการแผ่กระจายคลื่นในส่วนของสายส่งไมโครสตริป ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาระบบการป้อนสัญญาณแบบสองชั้น โดยป้อนสัญญาณผ่านไปยังส่วนแผ่นที่ใช้แผ่

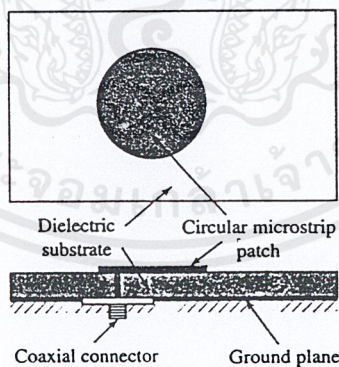
กระจายคลื่น (Radiating patch) ที่อยู่ชั้นบน ในขณะที่สายส่งไมโครสตริปอยู่ชั้นล่าง โดยอาศัยหลักการคัปปลิง (coupling) ในการส่งผ่านพลังงาน



รูปที่ 2.10 แสดงการป้อนสัญญาณโดยใช้สายส่งไมโครสตริป (Microstrip Line Feed)

2.2.7.2 การป้อนสัญญาณโดยใช้สายโคแอกเซียล (Coaxial Feed)

เมื่อใช้สายโคแอกเซียลเป็นตัวป้อนสัญญาณ จะทำการต่อสายจากแผ่นกราวด์ด้านล่าง แล้วต่อลวดชั้นในสุดของสายโคแอกเซียลเข้ากับตัวสายอากาศด้านบน ส่วนตัวนำด้านนอกจะเชื่อมต่อกับแผ่นกราวด์



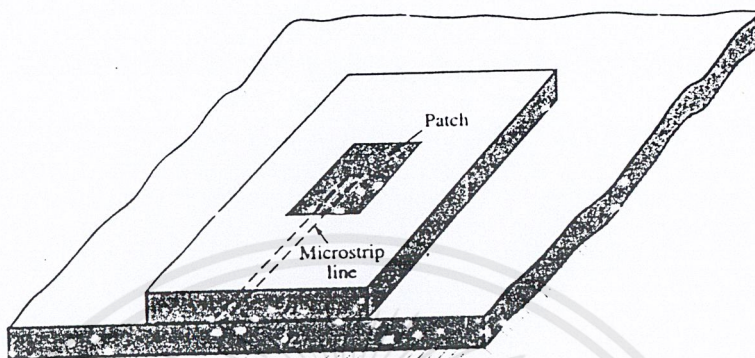
รูปที่ 2.11 แสดงการป้อนสัญญาณโดยใช้สายโคแอกเซียล (Coaxial Feed)

2.2.7.3 การป้อนสัญญาณโดยใช้สายส่งสัญญาณแบบฝัง (Buried Feed)

การป้อนสัญญาณโดยให้สายส่งสัญญาณกับแผ่นตัวนำอยู่บนตัวกลางคนละชนิดกัน ซึ่งตัวกลางแต่ละชนิดจะอยู่ต่างระดับกันด้วยและทำให้มีการลดการแผ่กระจายคลื่นของสายส่งได้ จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

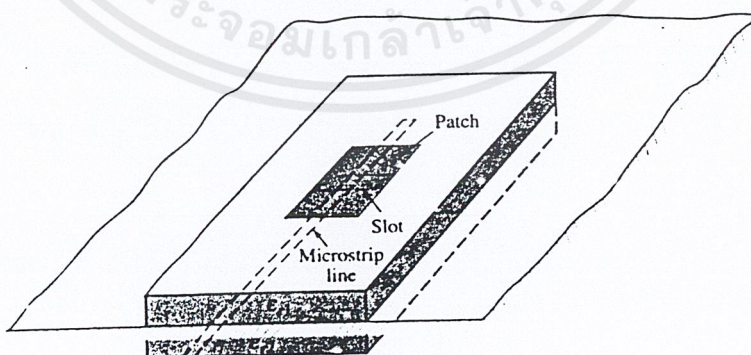
การให้สารตัวกลางมีค่าเพอร์มิตติวิตี(permittivity)ไม่เท่ากัน แต่วิธีการนี้ไม่เหมาะกับการออกแบบสายอากาศแบบง่าย



รูปที่ 2.12 แสดงการป้อนสัญญาณ โดยใช้สายส่งสัญญาณแบบฝัง (Buried Feed)

2.2.7.4 การป้อนสัญญาณโดยใช้การส่งแบบผ่านช่องว่าง (Slot Feed)

เป็นวิธีการป้อนสัญญาณที่สามารถแยกการแผ่กระจายคลื่นของสายส่งกับแผ่นตัวนำไม่ให้อกกันได้โดยสิ้นเชิง โดยการใส่แผ่นกราวด์เป็นตัวป้องกันคลื่นจากสายส่งที่จะมารบกวนคลื่นที่ต้องการส่งจากแผ่นตัวนำและทำการเชื่อมต่อระหว่างแผ่นกราวด์กับตัวกลางโดยใช้ช่องว่างเพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวน นอกจากนี้ขนาดของช่องว่างจะต้องไม่มีความถี่ตรงกับความถี่ที่ใช้งานและวางอยู่ไกลจากแผ่นตัวนำ

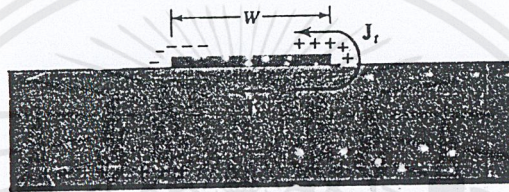


รูปที่ 2.13 การป้อนสัญญาณ โดยใช้การส่งแบบผ่านช่องว่าง (Slot Feed)

2.2.8 Cavity Model

เป็นแบบจำลองหนึ่งที่ใช้ในการอธิบายแพทเทิร์น ของสายอากาศแบบไมโครสตริปโดยจะนำไปเปรียบเทียบกับ คาวิตี โดยพิจารณาว่าคลื่นที่เข้าไปในสายอากาศจะเดินทางอยู่ระหว่างแพทช์ และแผ่นกราวด์ ทำให้เราสามารถวิเคราะห์โดยใช้ คาวิตีโมเดล ทำให้สามารถพิจารณาได้ว่า ส่วนปลายของสายอากาศแทนได้ด้วย วงจรเปิด (หรือกำแพงแม่เหล็ก)

โดยในที่นี้ การอธิบายสนามจะขึ้นอยู่กับคาวิตี โดยส่วนของไมโครสตริปแพทช์ จะมีประจุอิสระกระจายอยู่ทั่วทั้งผิวบนและผิวล่างแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.14 แสดงการกระจายของประจุและความหนาแน่นของกระแสบนไมโครสตริปแพทช์

โดยการกระจายตัวของประจุมี 2 กลไกคือ attractive กับ repulsive โดยกลไก attractive จะเกิดบริเวณที่มีประจุตรงข้ามกันในแต่ละด้านของแพทช์ และแผ่นกราวด์ โดยบริเวณที่เป็นหลักคือ บริเวณแต่ละข้างของแพทช์ทำให้เกิดกระแส j_b ส่วนกลไก repulsive เกิดจากประจุที่เหมือนกันอยู่บริเวณใต้แพทช์ จะทำการผลักประจุขึ้นไปบนผิวของแพทช์ และทำให้เกิดกระแส j_t แสดงได้ดังรูปที่ 2.14

เนื่องจากโดยทั่วไปส่วนของไมโครสตริปแพทช์ จะมีอัตราส่วนระหว่าง h กับ w น้อยมาก กลไก attractive จึงมีอำนาจมากกว่าและความหนาแน่นของประจุอิสระและการไหลของกระแสจะเคลื่อนที่อยู่ภายใต้แพทช์ ทำให้กระแสที่ผิวหน้าลดลงจนเกิดเป็นศูนย์ โดยกระแสที่ลดลงเป็นเพราะอัตราส่วนระหว่าง h กับ w ลดลง ในทางอุดมคติจึงไม่สามารถมี Tangential magnetic field ที่ขอบของแพทช์ทำให้แบบจำลองนี้ จึงเหมาะสมในการอธิบายโหมดของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในไมโครสตริปแพทช์ได้เป็นอย่างดี สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งที่เป็นข้อแตกต่างระหว่างคาวิตีกับไมโครสตริปคือใน ไมโครสตริปต้องพิจารณาค่า loss tangent ด้วยโดย $\delta_{eff} = 1/Q$ โดย Q มีค่าเท่ากับควอลิตี้แฟกเตอร์ ของสายอากาศ ซึ่งในที่นี้เราจะพิจารณาค้นที่เคลื่อนที่ในไมโครสตริป บริเวณส่วนสายอากาศเป็นแบบ TM โหมดจะทำให้เราพิจารณา และอธิบายสิ่งต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- Field Configurations (modes)-TM^x

พิจารณาสายอากาศไมโครสตริปในพิกัดฉากในรูปที่ 2.15 เราสามารถหาโหมดของการแผ่กระจายที่มีความเกี่ยวข้องกับแบบจำลองควาวิดี จาก Vector potential A_x ได้ดังสมการ

$$\nabla^2 A_x + K^2 A_x = 0 \quad (1)$$

และคำตอบที่ได้ของสมการโดยใช้การแยกตัวแปรจะเป็น

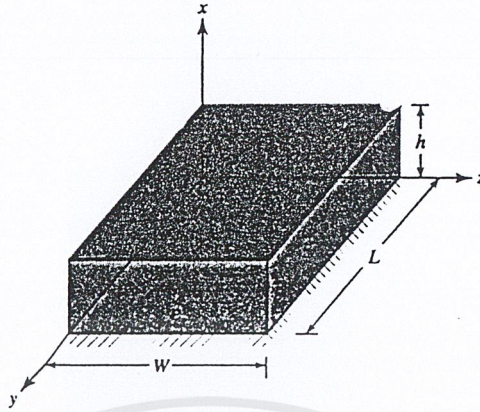
$$A_x = [A_1 \cos(k_x x) + B_1 \sin(k_x x)][A_2 \cos(k_y x) + B_2 \sin(k_y x)][A_3 \cos(k_z x) + B_3 \sin(k_z x)] \quad (2)$$

โดย k_x , k_y และ k_z เท่ากับ wave number ตามแนวแกน x y และ z ซึ่งจะทำให้ได้ว่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กขึ้นกับ Vector potential A_x ดังสมการ

$$\begin{aligned} E_x &= -j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + k^2 \right) A_x & H_x &= 0 \\ E_x &= -j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \frac{\partial^2 A_x}{\partial x \partial y} & H_y &= \frac{1}{\mu} \frac{\partial A_x}{\partial z} \\ E_x &= -j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \frac{\partial^2 A_x}{\partial x \partial z} & H_z &= \frac{1}{\mu} \frac{\partial A_x}{\partial y} \end{aligned} \quad (3)$$

และจากเงื่อนไขเริ่มต้นที่สมมุติ

$$\begin{aligned} E_y(x=0, 0 \leq y \leq L, 0 \leq z \leq W) &= E_y(x'=h, 0 \leq y' \leq L, 0 \leq z' \leq W) = 0 \\ H_y(0 \leq x' \leq h, 0 \leq y' \leq L, z'=0) &= H_y(0 \leq x' \leq h, 0 \leq y' \leq L, z'=W) = 0 \\ H_z(0 \leq x' \leq h, y'=0, 0 \leq z' \leq W) &= H_z(0 \leq x' \leq h, y'=L, 0 \leq z' \leq W) = 0 \end{aligned} \quad (4)$$



รูปที่ 2.15 แสดง Rectangular microstrip patch

ทำให้เราสามารถสรุปได้ว่า ค่าตอบสุดท้ายของเวกเตอร์โพเทนเชียล คือ

$$A_x = Amnp \cos(k_x x') \cos(k_y y') \cos(k_z z') \quad (5)$$

ค่า k_x , k_y และ k_z เท่ากับ

$$\left. \begin{aligned} k_x &= \left(\frac{m\pi}{h} \right), & m &= 0, 1, 2, \dots \\ k_y &= \left(\frac{n\pi}{L} \right), & n &= 0, 1, 2, \dots \\ k_z &= \left(\frac{p\pi}{W} \right), & p &= 0, 1, 2, \dots \end{aligned} \right\} m = n = p \neq 0 \quad (6)$$

ซึ่ง m , n , p จะบอกถึงโหมดที่เกิดขึ้นใน x y z โดย k_x , k_y และ k_z หาได้จากสมการ constraint equation

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = \left(\frac{m\pi}{h} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 + \left(\frac{p\pi}{W} \right)^2 = k_r^2 = \omega_r^2 \mu \epsilon \quad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ เรโซแนนซ์ คาร์ที จะได้จาก

$$(f_r)_{mnp} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{h}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{W}\right)^2} \quad (8)$$

และแทน (6) ใน (3) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} E_x &= -j \frac{(k^2 - k_x^2)}{\omega\mu\epsilon} A_{mnp} \cos(k_x x') \cos(k_y y') \cos(k_z z') \\ E_y &= -j \frac{k_x k_y}{\omega\mu\epsilon} A_{mnp} \sin(k_x x') \sin(k_y y') \cos(k_z z') \\ E_z &= -j \frac{k_x k_z}{\omega\mu\epsilon} A_{mnp} \sin(k_x x') \cos(k_y y') \sin(k_z z') \\ H_x &= 0 \\ H_y &= -\frac{k_z}{\mu} A_{mnp} \cos(k_x x') \cos(k_y y') \sin(k_z z') \\ H_z &= \frac{k_y}{\mu} A_{mnp} \cos(k_x x') \sin(k_y y') \cos(k_z z') \end{aligned} \quad (9)$$

เมื่อพิจารณาโหมดต่างๆเพื่อหาค่าความถี่เรโซแนนซ์ โดยเริ่มที่ dominant mode จะพบว่า เมื่อพิจารณาในไมโครสตริปภายใต้เงื่อนไข $h \ll L$ และ $h \ll W$ ถ้า $L > W > h$ จะได้ว่าความถี่ต่ำสุดใน TM_{010}^x

$$(f_r)_{010} = \frac{1}{2L\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{v_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (10)$$

ในทำนองเดียวกัน $L > W > L/2 > h$ ใน TM_{001}^x

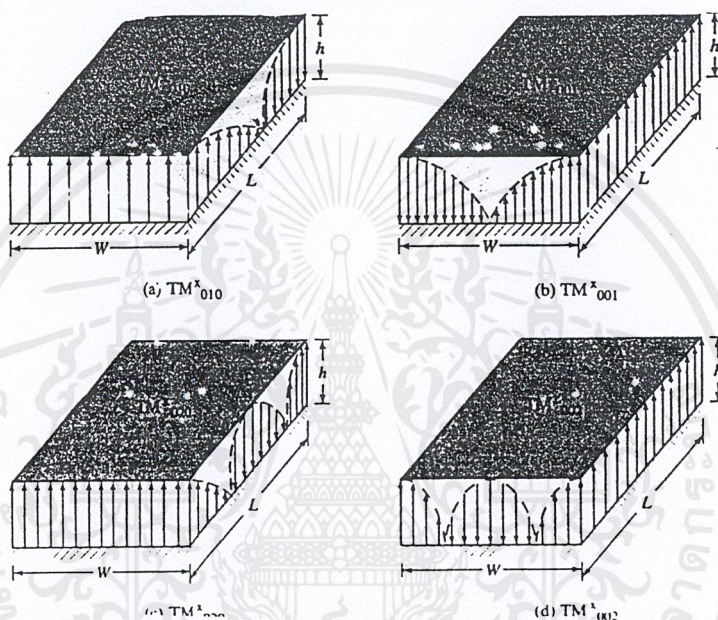
$$(f_r)_{001} = \frac{1}{2W\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{v_0}{2W\sqrt{\epsilon_r}} \quad (11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า $L > L/2 > W > h$ ใน TM^x_{020}

$$(f_r)_{020} = \frac{1}{L\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{v_0}{L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (12)$$

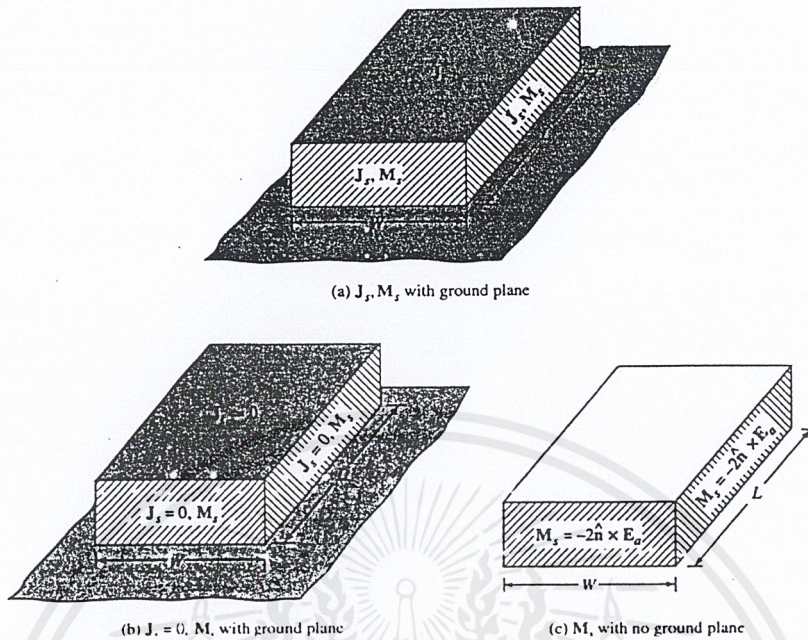
โดยเราสามารถแสดงการกระจายสนามไฟฟ้าในโหมดต่างๆ ได้ดังภาพด้านล่าง



รูปที่ 2.16 แสดง โหมดต่างๆ ใน Rectangulr microstrip patch

- Equivalent Current Densities

โดยเมื่อพิจารณาจากโมเดลของไมโครสตริป จะพบว่ามีส่วนของกำแพงสนามไฟฟ้า (electric wall) ทางด้านบนของแพทช์และด้านล่างนอกจากนี้ยังมีกำแพงสนามแม่เหล็กอยู่ที่ผิวทั้ง 4 ของไมโครสตริป โดยความหนาแน่นของกระแส อันเนื่องมาจากสนามไฟฟ้าและความหนาแน่นของกระแส M_s อันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กแสดง ได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดง กระแสในแต่ละด้านของ Rectangulr microstrip patch

$$J_S = \hat{n} \times H_a \quad (13)$$

$$M_S = -\hat{n} \times E_a \quad (14)$$

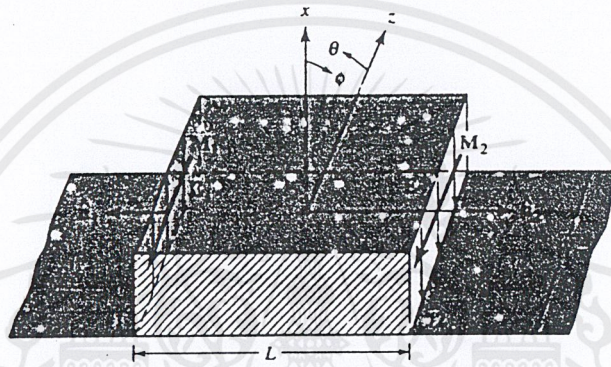
ซึ่ง E_a และ H_a แทนสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในระนาบของช่องด้านข้างเพราะว่าผลจากการที่ไม่โครสตริปมีอัตราส่วนน้อยมาก h ต่อ w น้อยมากจึงเป็นผลให้ กระแส J มีค่าประมาณ 0 ดังนั้นจะได้ค่ากระแสสุทธิของสนามแม่เหล็กคือ

$$M_S = -2\hat{n} \times E_a \quad (15)$$

โดยสมการข้างต้นคิดที่ free space สมมุติให้คลื่นอยู่ในโหมด TM_{010}^x จะทำให้ได้ค่าสนามไฟฟ้าสนามแม่เหล็กดังสมการ

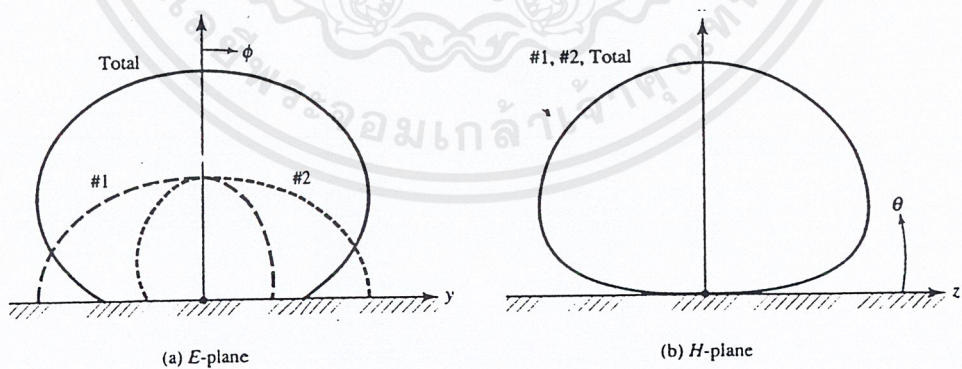
$$\begin{aligned}
 E_x &= E_0 \cos\left(\frac{\pi}{L}y\right) \\
 H_z &= H_0 \cos\left(\frac{\pi}{L}y'\right) \\
 E_x = E_z = H_x = H_y &= 0
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

ซึ่ง $E_0 = -j\omega A_0 I_0$ และ $H_0 = (\pi / \mu L) A_0 I_0$ แสดงรูปการกระจายได้ดังภาพ



รูปที่ 2.18 แสดงกระแสแม่เหล็กใน Rectangulr microstrip patch

และจากค่าการกระจายของกระแส สามารถทำการคำนวณและแสดง แพทเทิร์นของ E กับ H ได้ดังภาพ



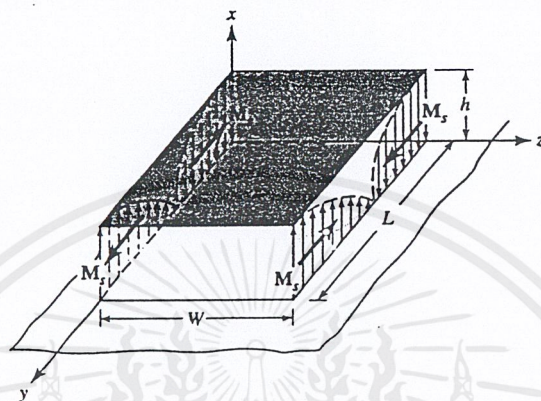
รูปที่ 2.19 แสดง E และ H pattern (a) ในแต่ละด้านของ microstrip patch slot และ (b) ทั้ง 2 ด้านรวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Fields Radiated TM_{010}^x Mode

เราสามารถพิจารณา far field pattern ได้ดังนี้

1. radiating slot



รูปที่ 2.20 แสดง ความหนาแน่นของกระแสบนส่วน Nonradiating Slots
ใน Rectangulr microstrip patch

$$E_r \cong E_\theta \cong 0$$

$$E_\phi = -j \frac{k_0 h W E_0 e^{-jk_0 r}}{\pi r} \left\{ \sin \theta \frac{\sin(X)}{X} \frac{\sin(Z)}{Z} \right\}$$

ซึ่ง

$$X = \frac{k_0 h}{2} \sin \theta \cos \phi$$

$$Z = \frac{k_0 W}{2} \cos \theta$$

พิจารณาที่ความหนาของ substrate $k_0 h \ll 1$

$$E_\phi \cong -j \frac{2V_0 e^{-jk_0 r}}{\pi r} \left\{ \sin \theta \frac{\sin \left(\frac{k_0 W}{2} \cos \theta \right)}{\cos \theta} \right\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ L_e = ความยาวสัมพัทธ์ จะทำให้ได้สนามไฟฟ้าเนื่อง Slot 2 อัน เป็น

$$E_\phi = -j \frac{2k_0 h W E_0 e^{-jk_0 r}}{\pi r} \left\{ \sin \theta \frac{\sin(x)}{x} \frac{\sin(z)}{z} \right\} \times \cos \left(\frac{k_0 L_e}{2} \sin \theta \sin \phi \right)$$

$$X = \frac{k_0 L_e}{2} \sin \theta \sin \phi$$

$$Z = \frac{k_0 L_e}{2} \cos \theta$$

พิจารณาที่ความหนาของ substrate $k_0 h \ll 1$ จะลดรูปได้เป็น

$$E_\phi \cong -j \frac{4V_0 e^{-jk_0 r}}{\pi r} \left\{ \sin \theta \frac{\sin \left(\frac{k_0 W}{2} \cos \theta \right)}{\cos \theta} \right\} \cos \left(\frac{k_0 L_e}{2} \sin \theta \sin \phi \right)$$

เมื่อ $V_0 = hE_0$ เป็นค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อม Slot

E-Plane ($\theta = 90^\circ, 0^\circ \leq \phi \leq 90^\circ, 270^\circ \leq \phi \leq 360^\circ$) จะทำให้เราสามารถลดรูปได้ว่า

$$E_\phi = -j \frac{2k_0 W V_0 e^{-jk_0 r}}{\pi r} \left\{ \frac{\sin \left(\frac{k_0 h}{2} \cos \phi \right)}{\frac{k_0 h}{2} \cos \phi} \right\} \cos \left(\frac{k_0 L_e}{2} \sin \phi \right)$$

H-Plane ($\phi = 0^\circ, 0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$) จะทำให้เราสามารถลดรูปได้ว่า

$$H_\phi = -j \frac{2k_0 W V_0 e^{-jk_0 r}}{\pi r} \left\{ \sin \theta \frac{\sin \left(\frac{k_0 h}{2} \sin \theta \right) \sin \left(\frac{k_0 W}{2} \cos \theta \right)}{\frac{k_0 h}{2} \sin \theta \frac{k_0 W}{2} \cos \theta} \right\}$$

2. Nonradiating Slots

พิจารณาในส่วนที่ไม่มี Radiation จะพบว่า

$$M_S = -2\hat{n} \times E_a = \hat{a}_y 2E_0 \cos\left(\frac{\pi}{L_e} y\right)$$

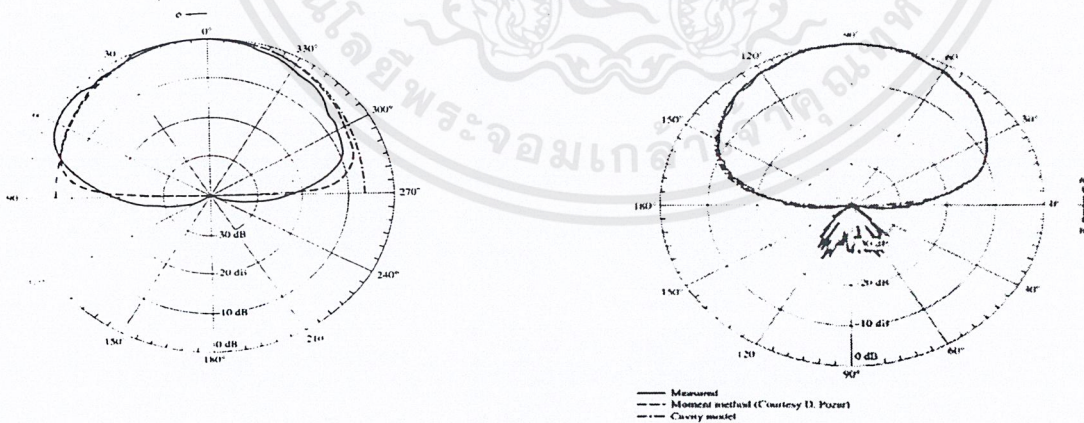
$$E_\theta = j \frac{k_0 h L_e E_0 e^{-jk_0 r}}{4\pi r} \left\{ \cos \phi \frac{\sin X}{X} \frac{\cos Y}{(Y)^2 - (\pi/2)^2} \right\}$$

$$E_\phi = -j \frac{k_0 h L_e E_0 e^{-jk_0 r}}{4\pi r} \left\{ \cos \theta \sin \phi \frac{\sin X}{X} \frac{\cos Y}{(Y)^2 - (\pi/2)^2} \right\}$$

$$X = \frac{k_0 h}{2} \sin \theta \cos \phi$$

$$Y = \frac{k_0 L_e}{2} \sin \theta \sin \phi$$

นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มี Pattern ของสนามแม่เหล็กปรากฏอยู่ โดย $H = 0$



รูปที่ 2.21 แสดง E และ H pattern ของ microstrip patch ตามแบบจำลอง cavity เปรียบเทียบกับที่คำนวณด้วยวิธีอื่นและค่าที่ได้จากการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระบบที่ใช้ในการทดลอง

ในงานการค้นหาผู้รอดชีวิตปกติระบบที่ดีควรจะใช้งานที่ความถี่ไมโครเวฟซึ่งมีค่าไม่สูงมากและมีกำลังส่งต่ำเพื่อจะทำให้คลื่นสามารถเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางได้โดยมีการสูญเสียน้อยและนอกจากนี้ยังไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อตัวผู้รอดชีวิต

โดยระบบที่ทำการทดลองในเบื้องต้นได้ใช้อุปกรณ์ที่ค่อนข้างที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการซึ่งใช้งานที่ความถี่ 10GHz เช่น สายอากาศ ตัวลดทอนสัญญาณ ตัวปรับเฟส ตัวกำเนิดสัญญาณไมโครเวฟ จึงทำการประกอบระบบที่ความถี่นี้ แต่เนื่องจากความถี่ที่เหมาะสมในการใช้งานจะเป็นความถี่ที่ไม่สูงมากจึงได้ทำการออกแบบระบบโดยใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปที่ความถี่ 2 GHz ซึ่งมีสายอากาศตัวส่งและตัวรับอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์เดียวกันทำโดยใช้เทคนิคการคัปปลิงร่วมกับการใช้ความสมมาตรแทนการใช้ตัวลดทอนสัญญาณและ ตัวปรับเฟส โดยหลักการทำงานของระบบจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

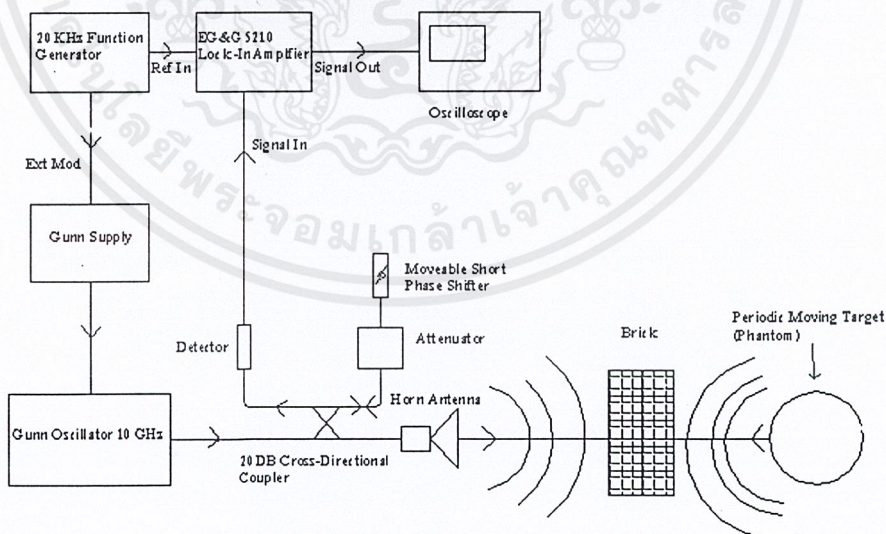
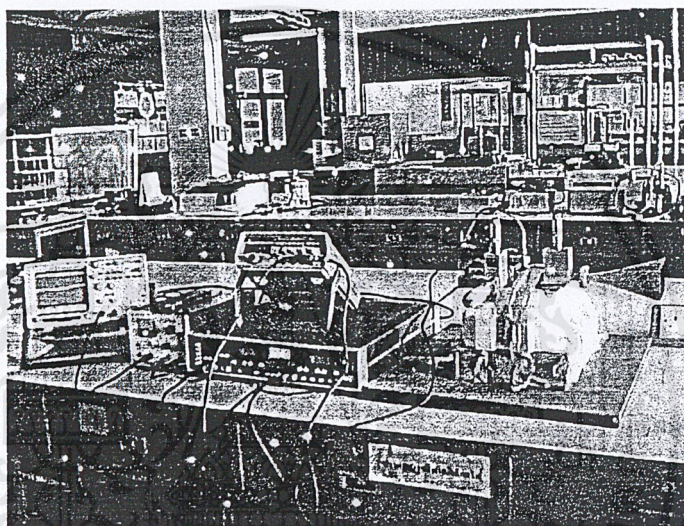
3.1 ระบบทดลองพื้นฐานซึ่งใช้สายอากาศแบบฮอร์นที่ความถี่ 10 GHz

ระบบพื้นฐานที่ใช้ในการทดลองจะประกอบไปด้วย

- Modulate DC Power Supply
- 20 mW Gunn Oscillator
- 20 dB Cross-directional Coupler
- 20dB Pyramidal Horn Antenna
- Attenuator และ Movable Short Phase Shifter
- Lock - in Amplifier(Model 5210)
- Function Generator
- Storage Oscilloscope

โดยหลักการทำงานพื้นฐานของระบบจะทำโดยให้แหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่ไมโครเวฟแบบกัมมันต์ ส่งคลื่นไมโครเวฟ ไปที่ ไดเรกชันแนลคัปเปออร์ โดยส่วนหนึ่งจะถูกแบ่งไปเป็นคลื่นอ้างอิง และอีกส่วนจะถูกส่งออกไปทางสายอากาศแบบฮอร์น ไปตกกระทบที่ร่างกายหรือหุ่นจำลองผู้รอดชีวิตและสะท้อนกลับมาเข้าที่สายอากาศ โดยคลื่นที่ได้กลับมาจากผู้รอดชีวิตจะมีส่วนของความถี่ที่ได้จากการเคลื่อนที่ของร่างกาย เนื่องจากการหายใจทำให้มีการเคลื่อนที่ของกระบังลมเป็น

จึงหว่าโดยเราเรียกความถี่ในส่วนนี้ว่าความถี่คอปเลอร์ ขนาดสัญญาณจะขึ้นกับ กำลังของแหล่งกำเนิด ระยะเวลาการ ลักษณะของสายอากาศ อัตราขยายภาครับ ฯลฯ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าน้อยแต่ถ้าไม่มีสิ่งกีดขวางมาบังจะตรวจวัดสัญญาณได้โดยไม่มีปัญหามากนัก สำหรับในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางมาบังผู้รอดชีวิตอยู่ต้องใช้ ตัวลดทอน และเฟสชิฟเตอร์ในการปรับสัญญาณที่เป็นคลื่นอ้างอิงให้หักล้างกับคลื่นที่สะท้อนในส่วนที่มาจากสิ่งกีดขวาง โดยในที่นี้ ตัวลดทอนและเฟสชิฟเตอร์ที่ใช้แบบปรับเองด้วยมือ (manual) ซึ่งจากเทคนิคที่กล่าวมานี้จะทำให้สามารถตรวจจับสัญญาณในเบื้องต้นได้โดยใช้ Storage Oscilloscope โดยระบบที่ใช้ทดลองมีลักษณะดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบพื้นฐานที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ระบบที่ใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปที่ความถี่ 2 GHz

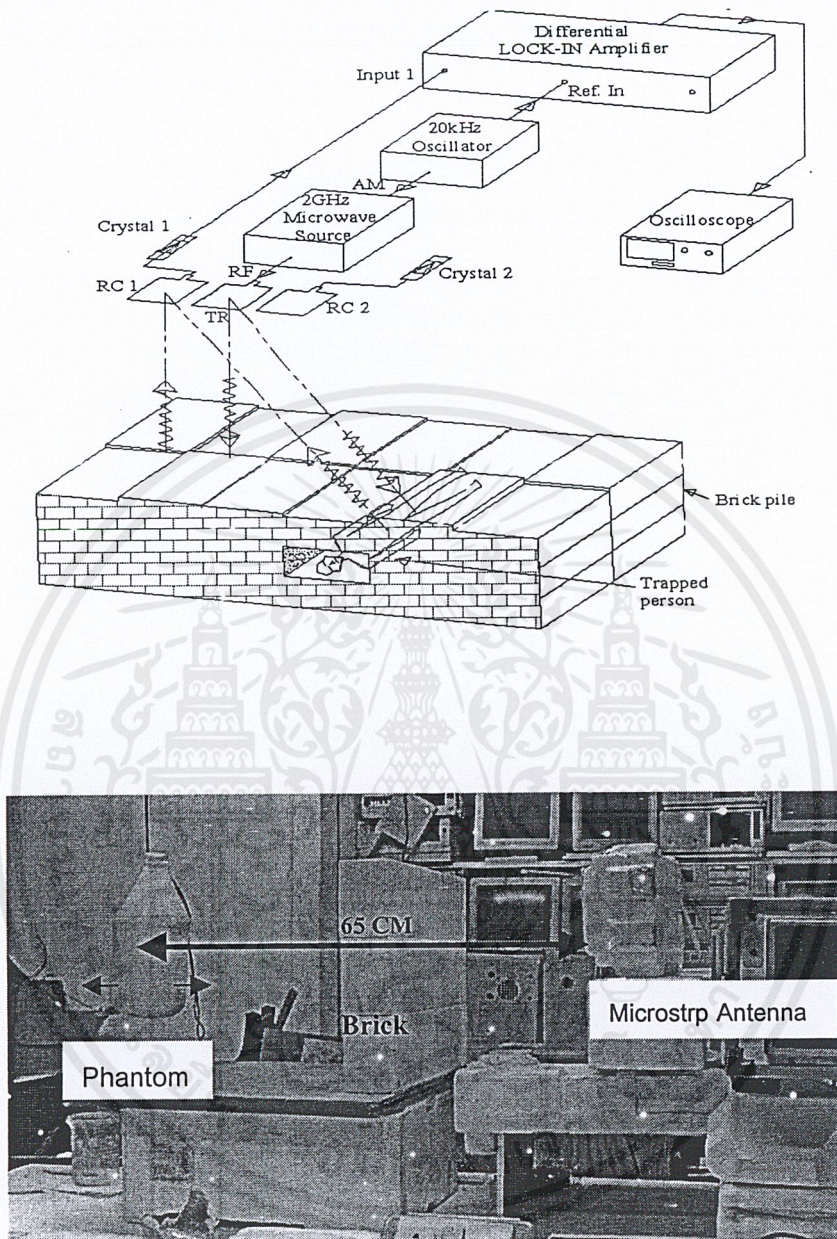
ในที่นี้ได้ทำการออกแบบระบบที่ความถี่ 2GHz โดยใช้การออกแบบให้ระบบมีสายอากาศตัวส่งและตัวรับอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์เดียวกันจึงทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้การปรับลดทอนสัญญาณสะท้อนจากสิ่งกีดขวาง(ไม่ใช่ตัวลดทอนและเฟสชิฟเตอร์) โดยรายละเอียดของการทำงานจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

3.2.1 ระบบที่ไม่ใช้เทคนิคการบาลานซ์

ระบบที่ใช้ในการทดลองจะประกอบไปด้วย

- Microstrip Antenna (1-Transmitting Microstrip Antenna ,1-Receiving Antenna)
- Crystal Detectors
- Sweep Signal Generator (HP83620B)
- Lock-in Amplifier (Model 5210)
- Function Generator
- Oscilloscope

หลักการดำเนินงานพื้นฐานของระบบจะทำโดยแหล่งกำเนิดสัญญาณไมโครเวฟส่งคลื่นไมโครเวฟไปที่สายอากาศตัวส่งสัญญาณส่วนหนึ่งจะถูกแบ่งไปคัปปลิงกับตัวรับสัญญาณและอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปตกกระทบที่ผู้รอดชีวิตและจะสะท้อนกลับมาที่ตัวรับสัญญาณ โดยคลื่นที่ได้กลับมาจากผู้รอดชีวิตจะมีส่วนของความถี่ที่ได้จากการเคลื่อนที่ของร่างกาย เนื่องจากการหายใจโดยเราเรียกความถี่ในส่วนนี้ว่าความถี่ ดอปเลอร์ โดยในที่นี้สัญญาณที่สะท้อนกลับมาเข้าสายอากาศตัวรับจะรวมกับสัญญาณอ้างอิงที่ได้จากตัวส่งแล้วนำไปเข้า Lock-in Amplifier เพื่อขยายสัญญาณ ซึ่งจากเทคนิคที่กล่าวมานี้จะทำให้สามารถตรวจจับสัญญาณที่ได้จากร่างกายของผู้รอดชีวิตได้โดยอาจจะบันทึกผลโดยตัวบันทึกกราฟหรือดูที่ Oscilloscope ก็ได้ จากการทดลองเมื่อเปลี่ยนสายอากาศตัวรับไปทั้งสองด้านคือทางด้านซ้ายและขวาของสายอากาศตัวส่งพบว่าผลที่ได้จะเหมือนกันเมื่อวัดอยู่ตรงกลางดังนั้นจึงนำผลการทดลองมาแสดงให้เห็นเพียงข้างเดียวโดยระบบที่ใช้ทดลองมีลักษณะดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ระบบที่ไม่ใช้เทคนิคการบาลานซ์

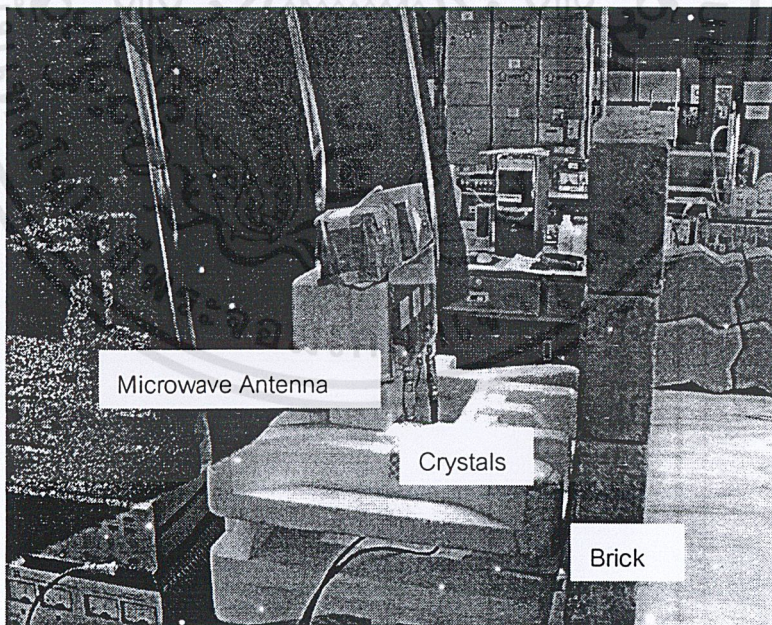
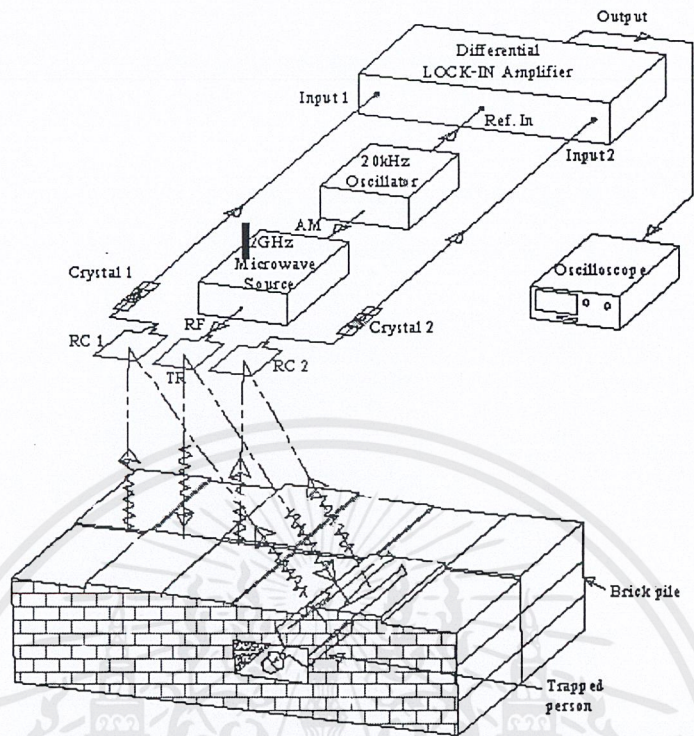
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ระบบที่ใช้เทคนิคการบาลานซ์

ระบบที่ใช้ในการทดลองจะประกอบไปด้วย

- Microstrip Antenna (1-Transmitting Microstrip Antenna ,2-Receiving Antenna)
- Crystal Detectors
- Sweep Signal Generator (HP83620B)
- Lock-in Amplifier(Model 5210)
- Function Generator
- Oscilloscope

หลักการทำงานของระบบจะเหมือนกับระบบแบบไม่มีการบาลานซ์แต่จะแตกต่างกันที่ ใช้หลักการบาลานซ์ของสายอากาศโดยจะใช้ตัวรับที่สร้างขึ้นทั้งสองตัว โดยมีสายอากาศตัวส่งอยู่ตรงกลาง แล้วนำสองสัญญาณมาลบกันเพื่อเป็นการหักล้างสัญญาณที่สะท้อนจากสิ่งกีดขวางออกไป (ในที่นี้จะหักล้างสัญญาณโดยใช้โหมดการขยายผลต่างของเครื่อง Lock-in amplifier) ทำให้สามารถขยายสัญญาณที่ได้จากวัตถุได้ดีและชัดเจนยิ่งขึ้น โดยระบบที่ใช้ทดลองมีลักษณะดังรูปที่3.3



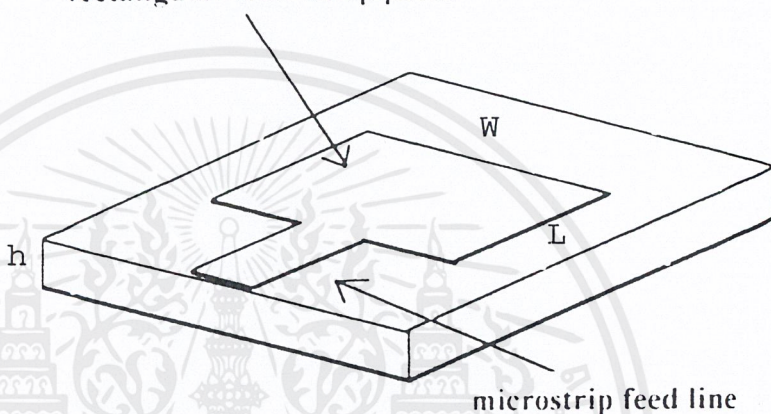
รูปที่ 3.3 ระบบที่ใช้เทคนิคการบาลานซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม

สายอากาศไมโครสตริปที่เป็นพื้นฐานและง่ายต่อการออกแบบและศึกษา คือ สายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular microstrip antenna) ซึ่งจะทำให้การออกแบบส่วนแผ่กระจายคลื่นลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ (Print Circuit Board) โดยจะมีลักษณะของสายอากาศและตัวแปรต่าง ๆ ดังแสดงในรูป

rectangular microstrip patch



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยม

เมื่อ L และ W คือ ขนาดของส่วนแผ่กระจายคลื่น

h คือ ความหนาของซับสเตรต (substrate)

การออกแบบ

จากทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการอธิบายการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปโดยใช้ Cavity Model และพิจารณาโหมดที่มีความถี่ในการเรโซแนนซ์ต่ำที่สุด (Dominant mode) ทำให้สามารถหาขนาดของความยาว (L) และความกว้าง (W) ของส่วนแผ่กระจายคลื่นดังสมการต่อไปนี้

$$W = \frac{(c)}{\sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}} * (2 * f)}$$

$$L = \frac{c * \sqrt{\epsilon_{eff}}}{2 * f} - (2 * \lambda_g)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

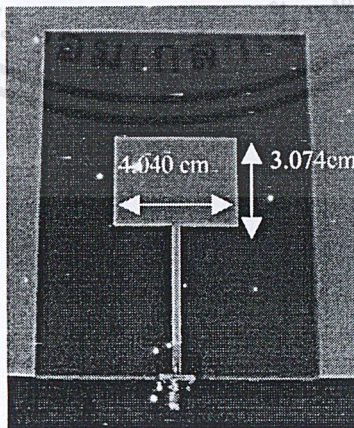
$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right) + \left((0.5 * (\epsilon_r - 1)) * \left(1 + \left(12 * \frac{h}{w} \right) \right) \right)^{-0.5}$$

$$\lambda_{eff} = \frac{c}{(f * \sqrt{\epsilon_{eff}})}$$

$$\lambda_l = 0.412 * h * \frac{\left((\epsilon_{eff} + 0.3) * \left(\frac{w}{h} + 0.264 \right) \right)}{\left((\epsilon_{eff} - 0.28) * \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right) \right)}$$

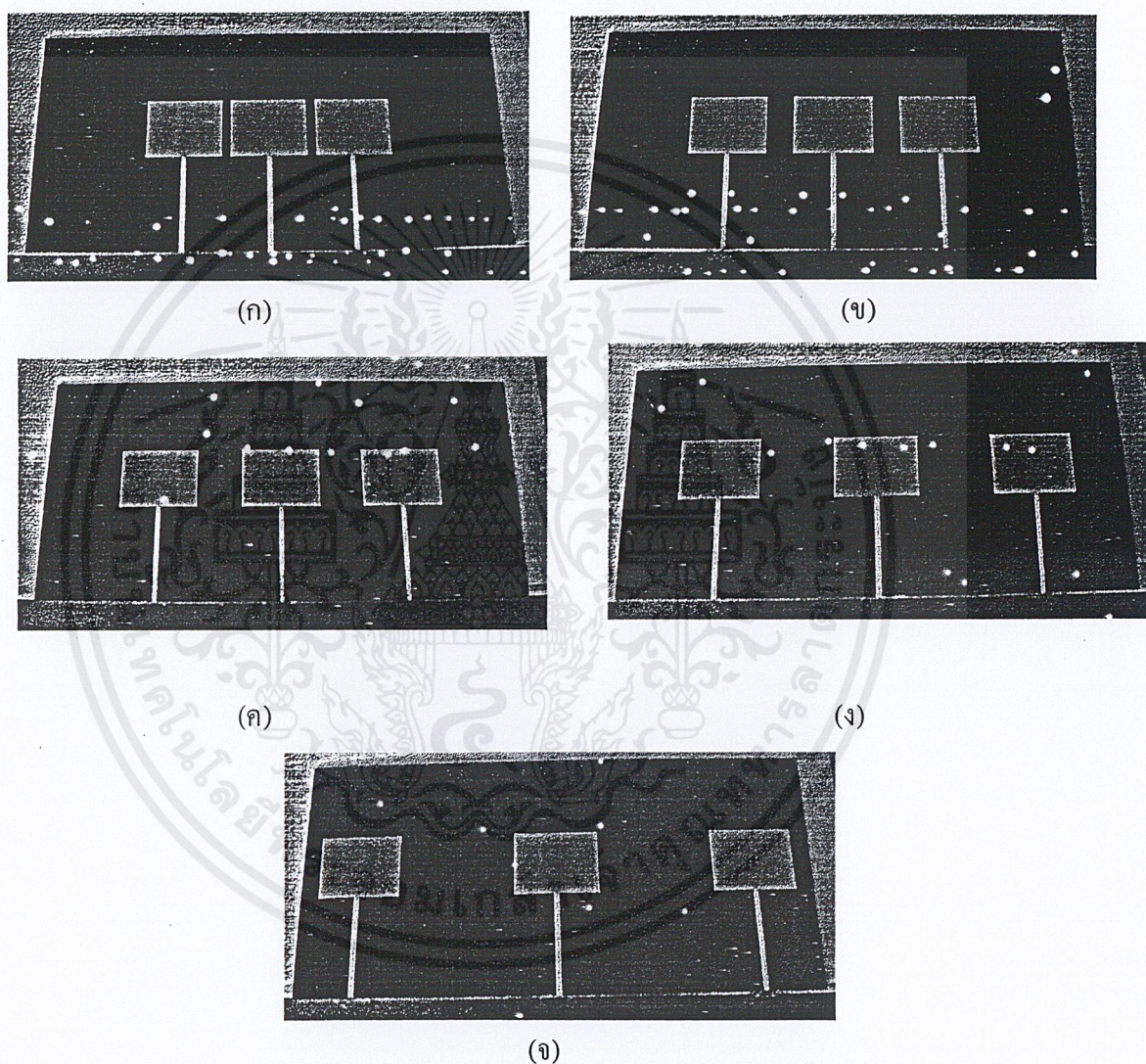
เมื่อ	λ_{eff}, λ_l	คือ	ความยาวคลื่นในไดอิเล็กตริกและความยาวคลื่นสัมพัทธ์
	λ_0	คือ	ความยาวคลื่นในสุญญากาศหรืออากาศ (free space)
	ϵ_{eff}	คือ	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (relative dielectric constant)
	c	คือ	ความเร็วแสง เท่ากับ 3×10^8 m/s
	f	คือ	ความถี่ใช้งาน

โดยที่ สมบัติโดยทั่วไปของสายอากาศที่มีความถี่ 2 GHz มีดังนี้คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) ของแผ่นพิมพ์วงจรราคาถูกแบบอีพอกซีเรซินมีค่า= 5.2 ค่าความหนาของทองแดง (Copper foil) = 0.0326 mm ค่าความหนาของแผ่นพิมพ์วงจร (Thickness) = 1.465 mm จะได้ว่าแผ่นสายอากาศจะมีความกว้างและความยาวเท่ากับ 4.04 และ 3.074 cm จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะและขนาดของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมที่ความถี่ 2GHz

จากการออกแบบสายอากาศแบบเดี่ยวและได้ขนาดของตัวกระจายคลื่นที่เหมาะสมแล้วจึงได้ทำการออกแบบระบบสายอากาศที่รับส่งความถี่ 2 GHz โดยได้ทำการออกแบบที่ระยะห่างระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะต่างกัน 5 ระยะเพื่อทำการทดสอบการคลັปลิงสัญญาณและใช้สายอากาศที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองระบบ โดยลักษณะของสายอากาศที่วางระยะห่างต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะสายอากาศไมโครสตริปที่ออกแบบเพื่อใช้งานในระบบ

- (ก) ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแต่ละแผ่น $0.70\lambda \cong (44.86 \text{ mm})$
- (ข) ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแต่ละแผ่น $0.85\lambda \cong (54.48 \text{ mm})$
- (ค) ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแต่ละแผ่น $1.00\lambda \cong (64.09 \text{ mm})$
- (ง) ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแต่ละแผ่น $1.20\lambda \cong (76.91 \text{ mm})$
- (จ) ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแต่ละแผ่น $1.50\lambda \cong (96.14 \text{ mm})$

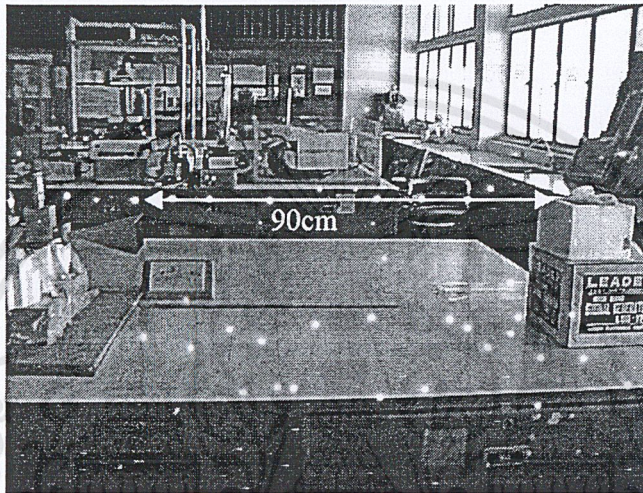
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

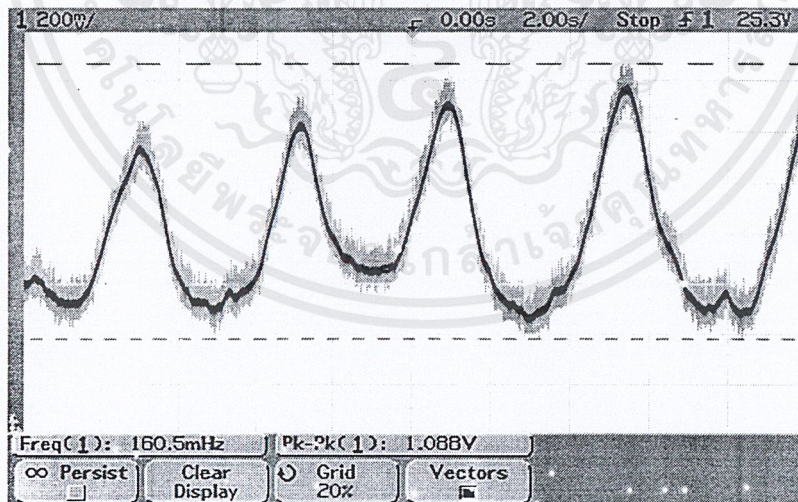
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองระบบท่อนำคลื่นที่ใช้สายอากาศแบบฮอร์นที่มีความถี่ 10 กิกะเฮิร์ต

1) ทำการวัดสัญญาณเมื่อวัตถุเคลื่อนไหวและห่างจากสายอากาศเป็นระยะ 90 เซนติเมตร
ผลเห็นดังรูปที่ 4.1



(ก)



(ข)

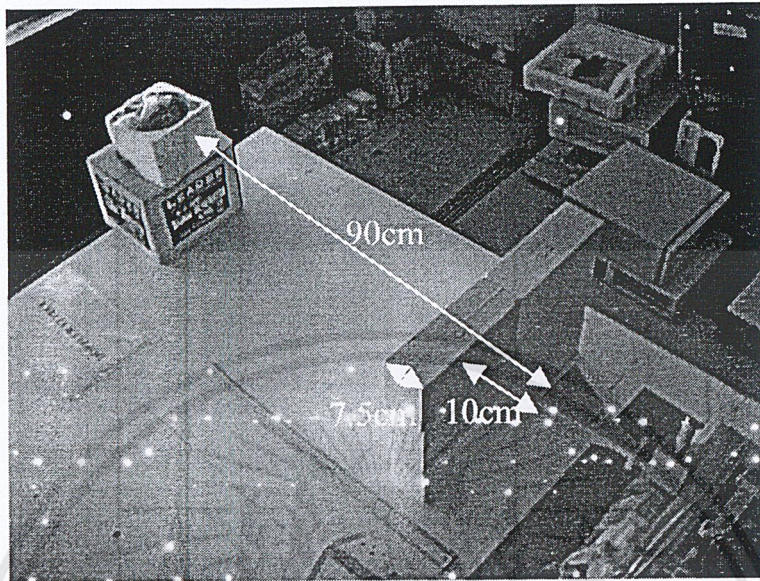
รูปที่ 4.1 การทดลองเมื่อใช้สายอากาศแบบฮอร์นและไม่มีกำแพงบัง

(ก) ภาพการทดลอง

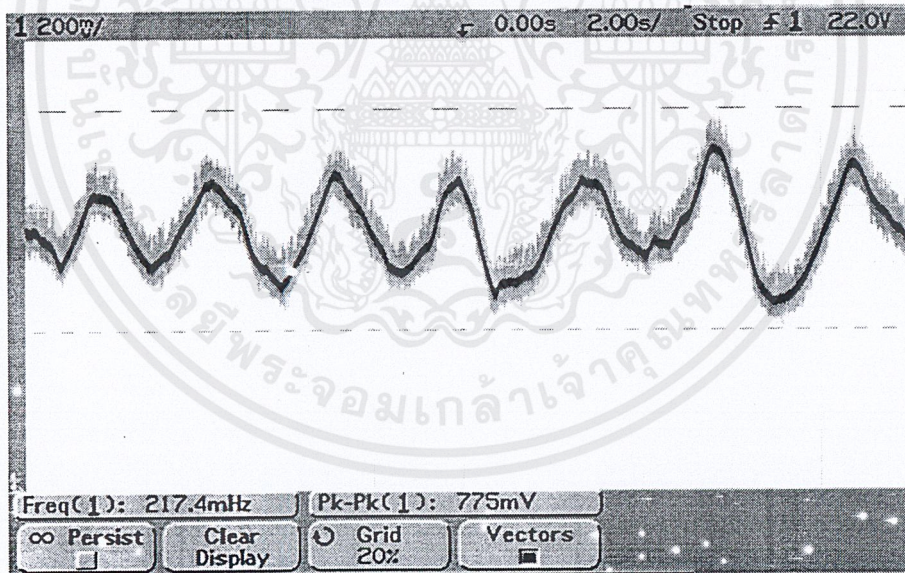
(ข) สัญญาณคอปเลอร์เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ทำการวัดสัญญาณเมื่อวัตถุเคลื่อนไหวและห่างจากสายอากาศเป็นระยะ 90 เซนติเมตร โดยมีกำแพงหนา 7.5 เซนติเมตร



(ก)



(ข)

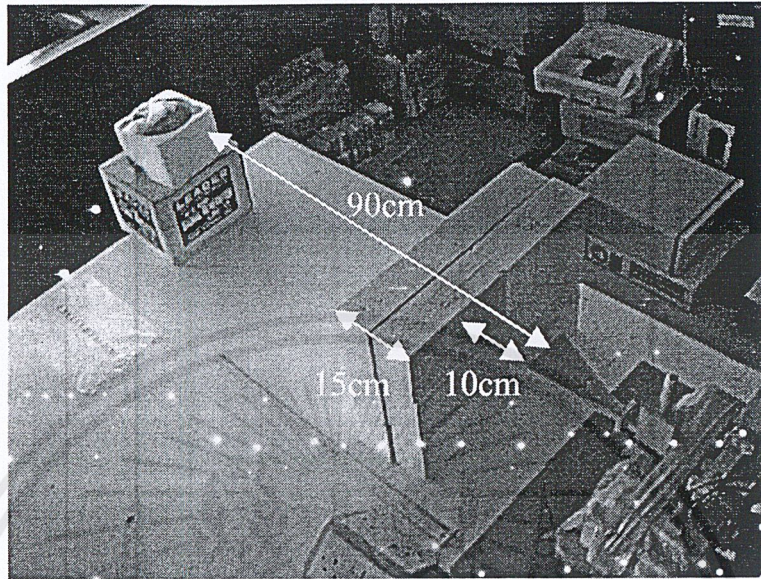
รูปที่ 4.2 การทดลองเมื่อใช้สายอากาศแบบฮอร์นและมีกำแพงหนา 7.5 เซนติเมตร

(ก) ภาพการทดลอง

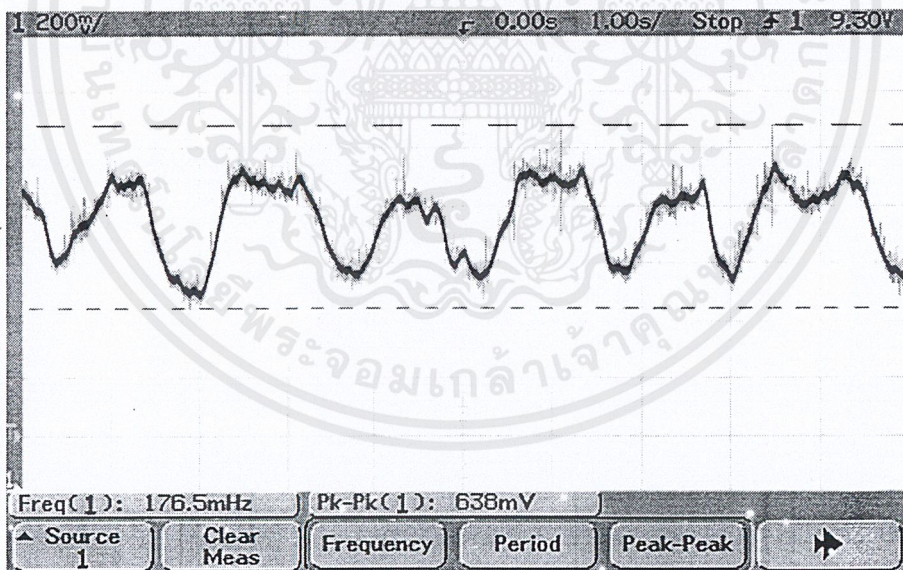
(ข) สัญญาณคอปเลอร์เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ทำการวัดสัญญาณเมื่อวัตถุเคลื่อนไหวและห่างจากสายอากาศเป็นระยะ 90 เซนติเมตร โดยมีกำแพงหนา 15 เซนติเมตร



(ก)



(ข)

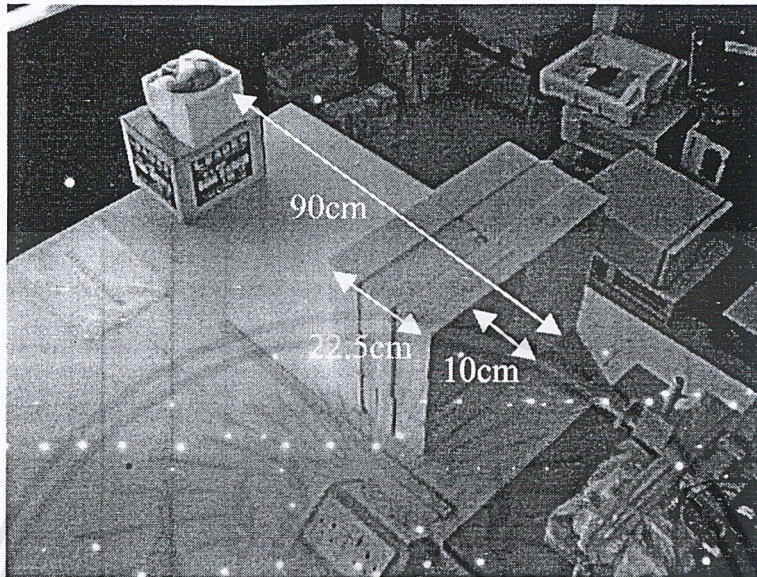
รูปที่ 4.3 การทดลองเมื่อใช้สายอากาศแบบฮอร์นและมีกำแพงหนา 15 เซนติเมตร

(ก) ภาพการทดลอง

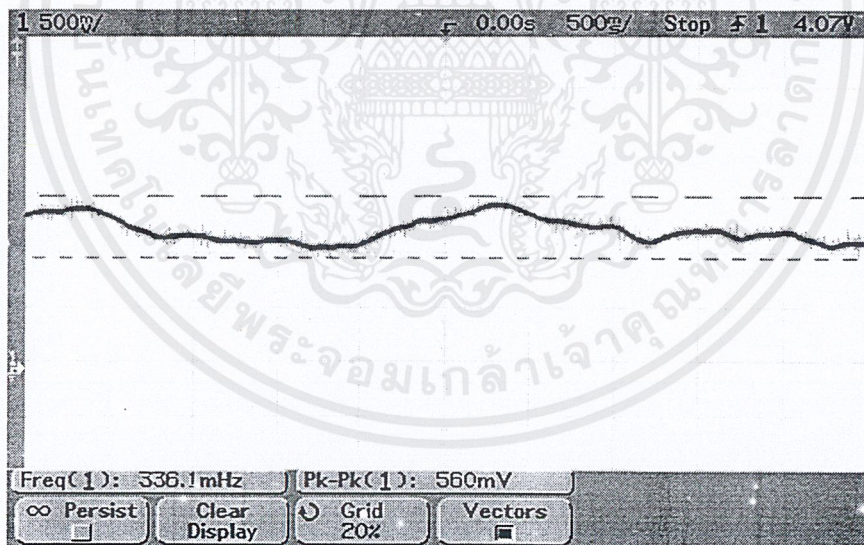
(ข) สัญญาณคอปเลอร์เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ทำการวัดสัญญาณเมื่อวัตถุเคลื่อนไหวและห่างจากสายอากาศเป็นระยะ 90 เซนติเมตร โดยมีกัมแพงหนา 22.5 เซนติเมตร



(ก)



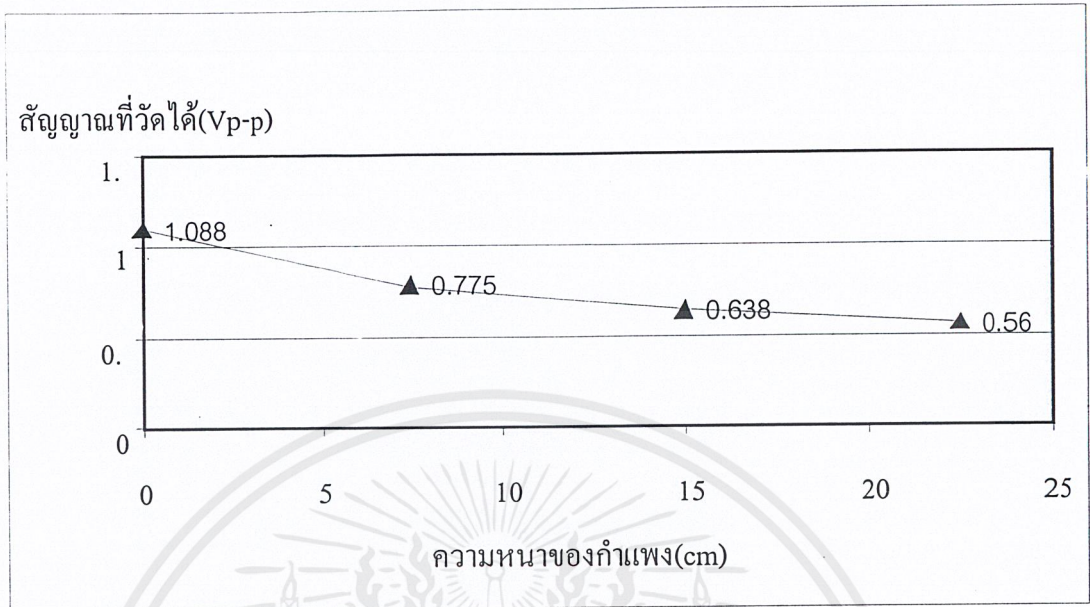
(ข)

รูปที่ 4.4 การทดลองเมื่อใช้สายอากาศแบบฮอร์นและมีกัมแพงหนา 22.5 เซนติเมตร

(ก) ภาพการทดลอง

(ข) สัญญาณคอปเลอร์เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



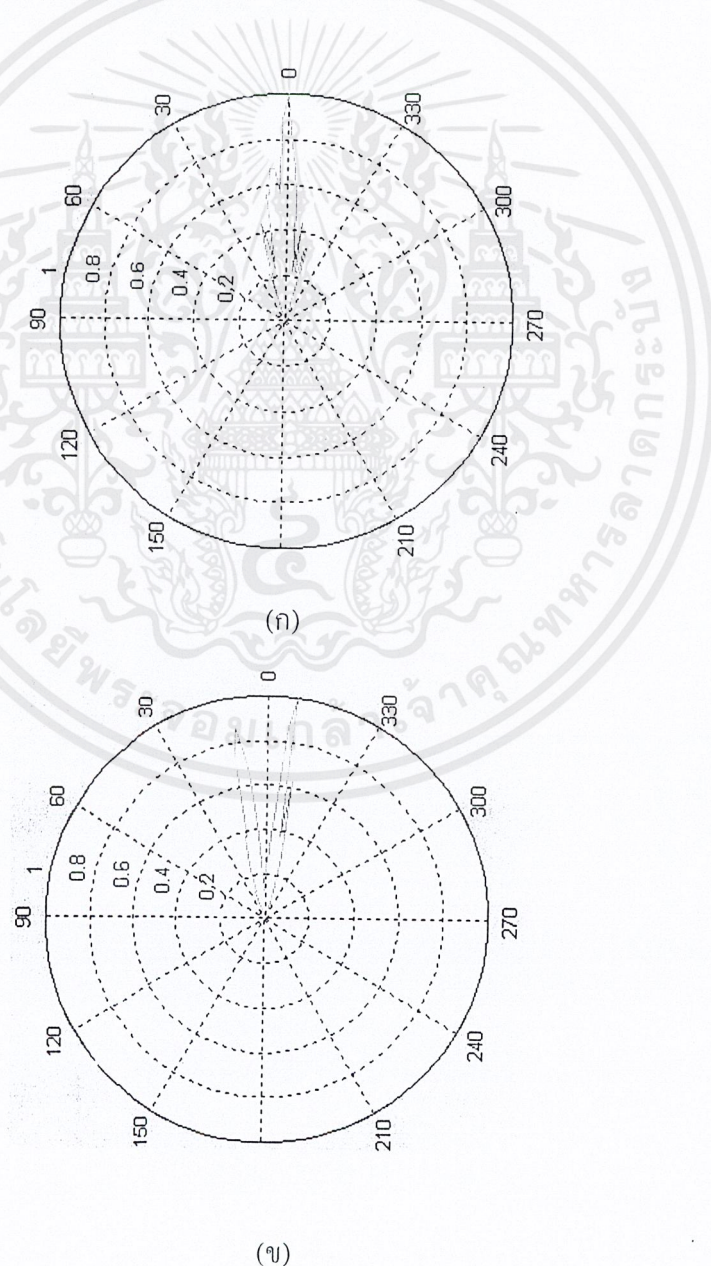
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่วัดได้กับความหนาของกำแพง

จากผลการทดลองพบว่าค่าสัญญาณที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยเมื่อไม่มีกำแพง ขวางได้ค่า $V_{p-p} = 1.088$ V, ที่กำแพงหนา 7.5 เซนติเมตร ได้ค่า $V_{p-p} = 0.775$ V ที่กำแพงหนา 15 เซนติเมตร ได้ค่า $V_{p-p} = 0.638$ V และที่กำแพงหนา 22.5 เซนติเมตร ได้ค่า $V_{p-p} = 0.560$ V แสดงเป็น กราฟผลการลดทอนสัญญาณเนื่องจากกำแพงได้ดังรูปที่ 4.5

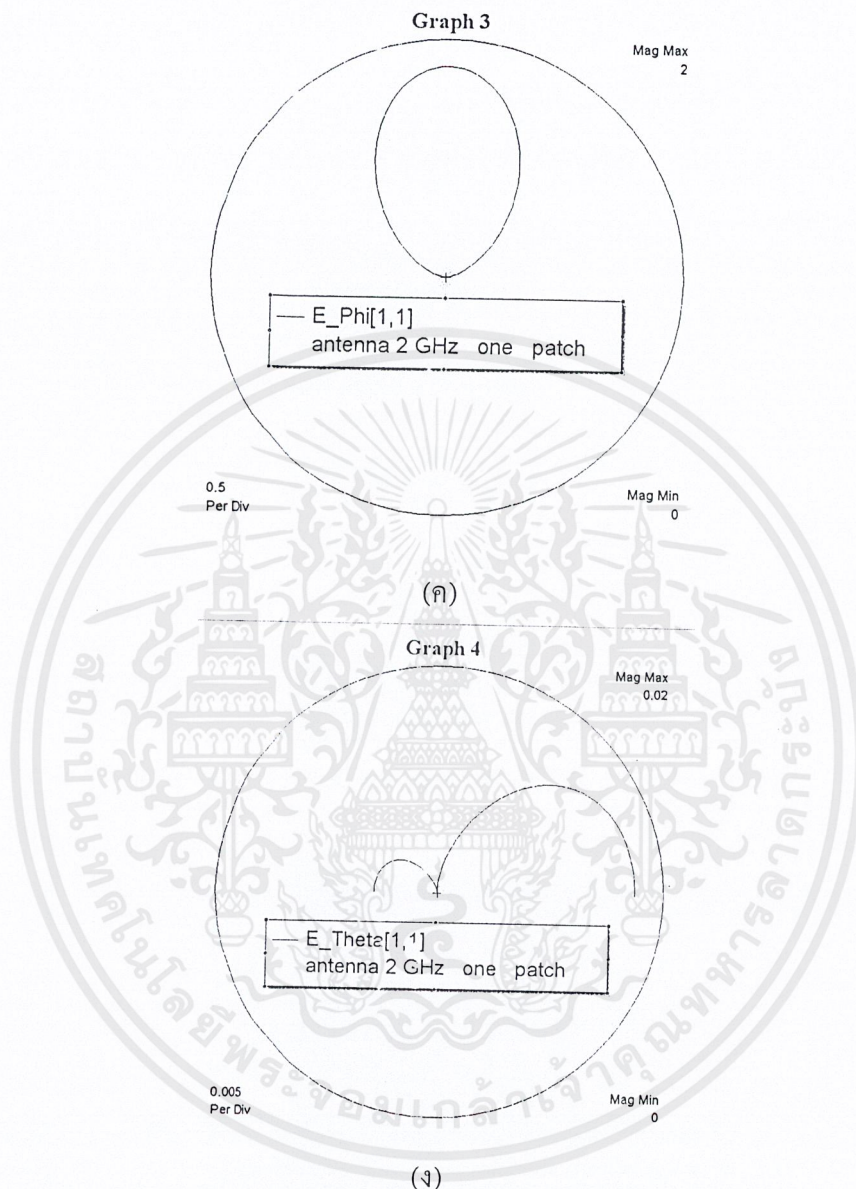
4.2 ผลการทดลองระบบที่ใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปที่ความถี่ 2GHz

4.2.1 ผลการวัดแพทเทิร์นของสายอากาศเดี่ยวที่ความถี่ 2 GHz

ได้ทำการทดลองการกระจายกำลัง คลื่นของสายอากาศเดี่ยวที่มีการสร้างขึ้นเทียบกับผล simulate โดยใช้โปรแกรม Microwave Office ผลเป็นดังรูปที่ 4.7 ความแตกต่างเป็นเนื่องด้วยการวัดกระทำที่ระยะใกล้เพราะกำลังส่งสัญญาณต่ำในขณะที่การ simulate เป็นสำหรับระยะไกล(far field)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

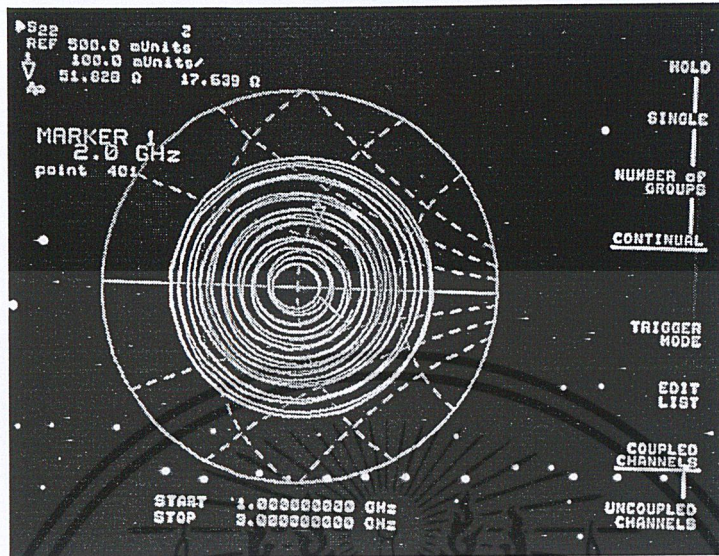


รูปที่ 4.7 แพทเทิร์นของสายอากาศ

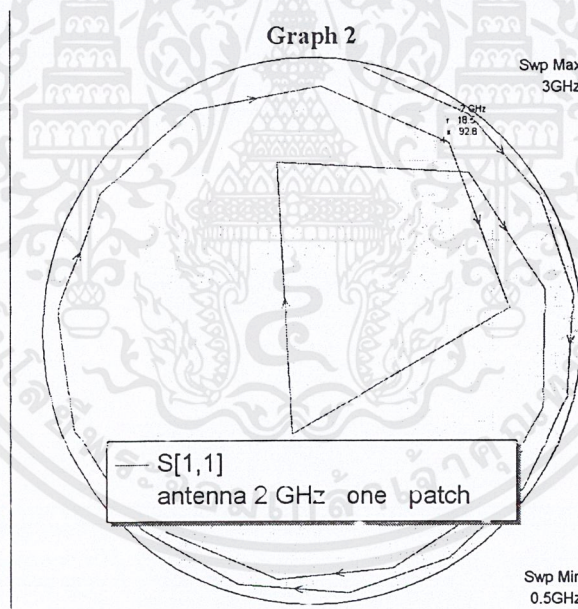
- (ก) ผลการวัด E-field ในแนว θ
- (ข) ผลการวัด E-field ในแนว ϕ
- (ค) ผลจากการ Simulate E-field ในแนว θ
- (ง) ผลจากการ Simulate E-field ในแนว ϕ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการวัดและ simulate ค่าอิมพีแดนซ์ ของสายอากาศเดี่ยวที่ความถี่ 2 GHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.8 ผลการวัด อิมพีแดนซ์ ของสายอากาศ

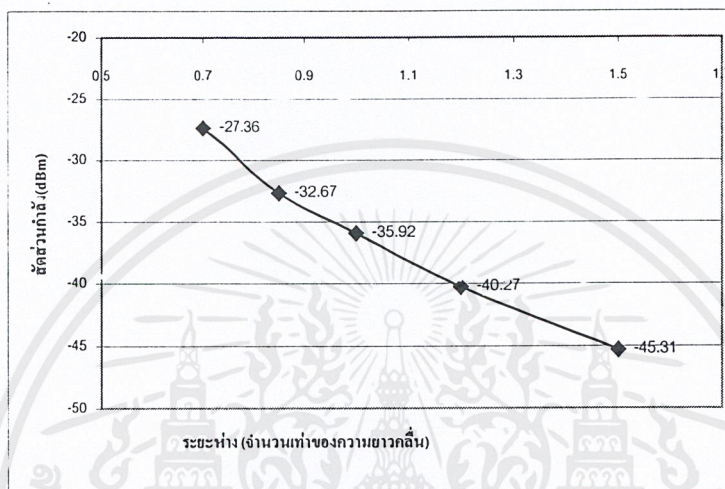
(ก) ผลการวัดด้วยเครื่อง Network Analyzer Hp8510C

(ข) ผลจากการ Simulate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการวัดการคับปลิงที่ความถี่ 2GHz

จากรูปที่ 3.6 แสดงถึงลักษณะสายอากาศไมโครสตริปที่มีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแต่ละแผ่นต่างกัน 5 ระยะ ได้แก่ 0.70, 0.85, 1.00, 1.20 และ 1.50 นั้นหมายถึงความแรงของการคับปลิงระหว่างตัวส่งกับตัวรับต่างกัน โดยที่แผ่นตรงกลางเป็นตัวส่งคลื่นไมโครเวฟ ส่วนแผ่นที่อยู่ด้านข้างทั้งสองจะเป็นตัวรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมา



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของสองสายอากาศแต่ละแผ่นกับสัดส่วนกำลังของการคับปลิง

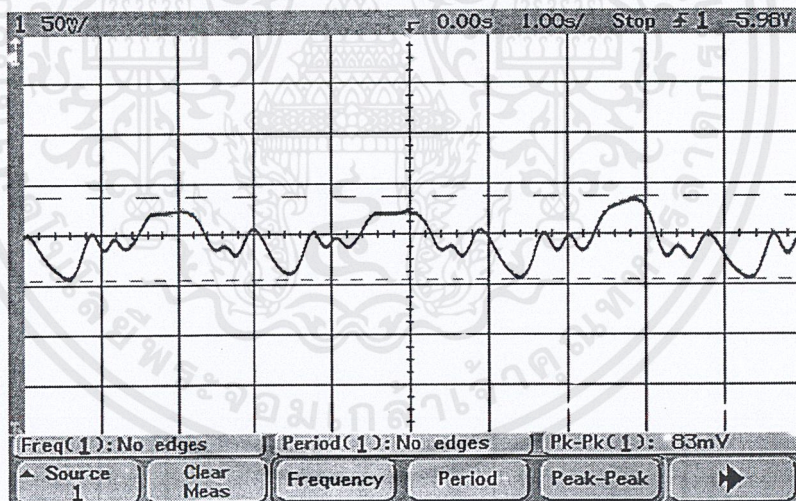
เมื่อนำแผ่นสายอากาศไมโครสตริปไปทดสอบ S-parameter ด้วยเครื่อง Network Analyzer โดยวัดค่า S_{12} ซึ่งเป็นค่าของการคับปลิง จะได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความแรงของการคับปลิงระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณลดลงไปด้วย

4.2.4 ผลการวัดสัญญาณของระบบแบบ ไม่มีการบาลานซ์

(1) ทำการวัดสัญญาณเมื่อวัตถุวัดอยู่มีการเคลื่อนไหวและห่างจากสายอากาศเป็น ระยะ 85 เซนติเมตร



(ก)



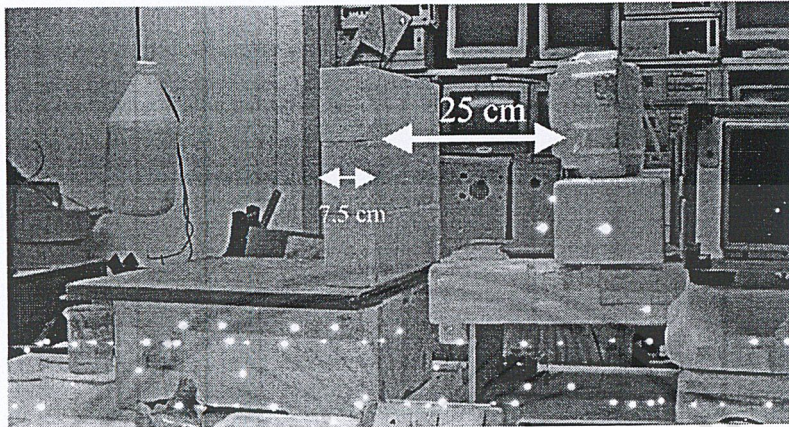
(ข)

รูปที่ 4.10 การทดลองเมื่อใช้สายอากาศแบบ ไมโครสตริป และไม่มีกำแพงบัง

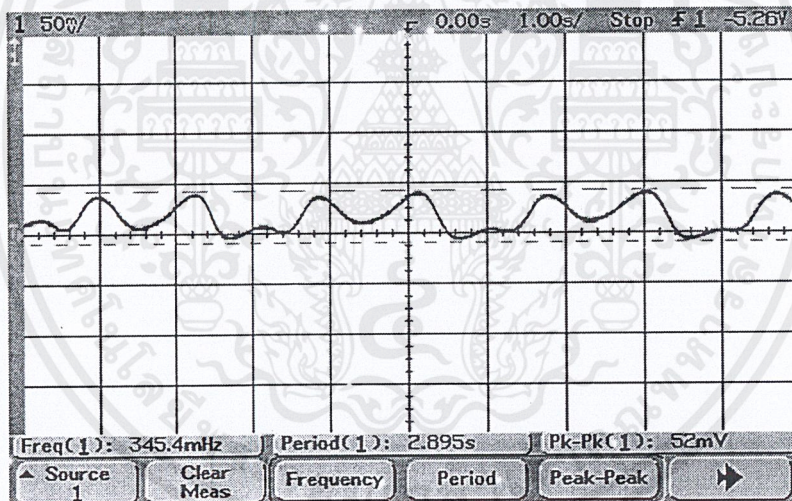
(ก) ภาพการทดลอง

(ข) สัญญาณคอปเลอร์เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนไหว

(2) ทำการวัดสัญญาณเมื่อวัตถุเคลื่อนไหวและห่างจากสายอากาศเป็นระยะ 85 เซนติเมตร โดยมีกำแพงหนา 7.5 เซนติเมตร



(ก)



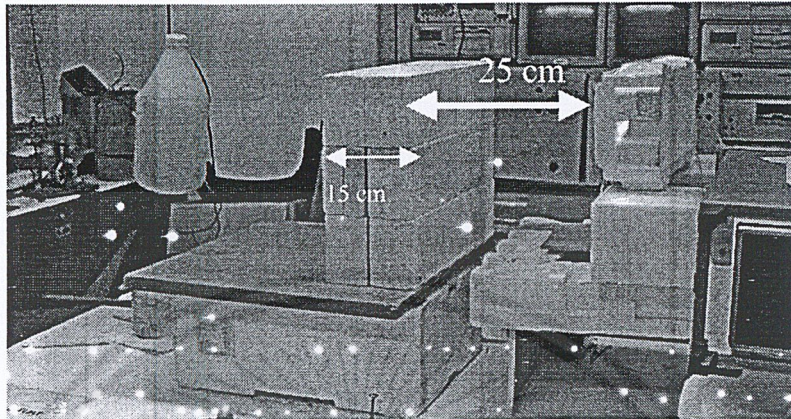
(ข)

รูปที่ 4.11 การทดลองเมื่อใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปและมีกำแพงหนา 7.5 เซนติเมตร

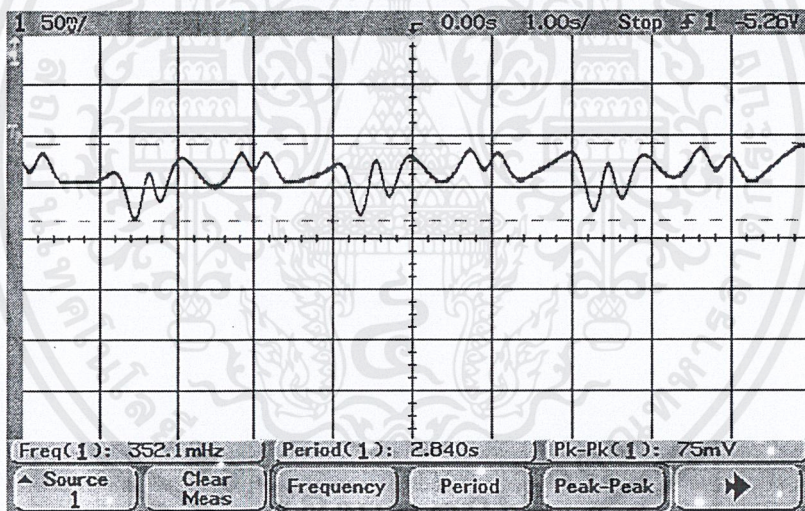
(ก) ภาพการทดลอง

(ข) สัญญาณคอปเลอร์เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนไหว

(3) ทำการวัดสัญญาณเมื่อวัตถุเคลื่อนที่และห่างจากสายอากาศเป็นระยะ 85 เซนติเมตรโดยมีกำแพงหนา 15 เซนติเมตร



(ก)



(ข)

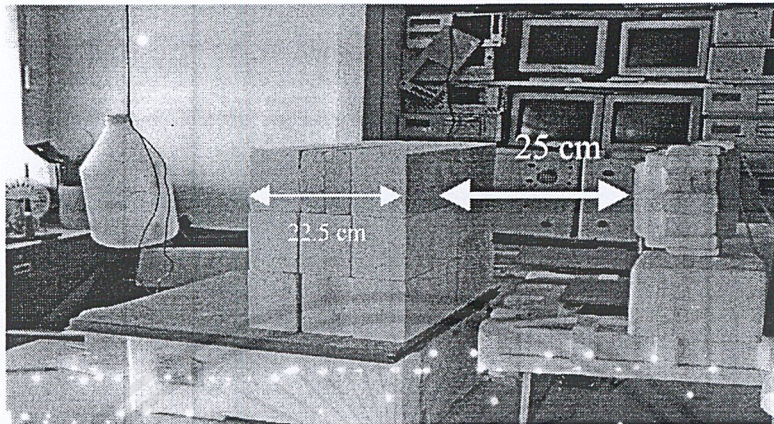
รูปที่ 4.12 การทดลองเมื่อใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปและมีกำแพงหนา 15 เซนติเมตร

(ก) ภาพการทดลอง

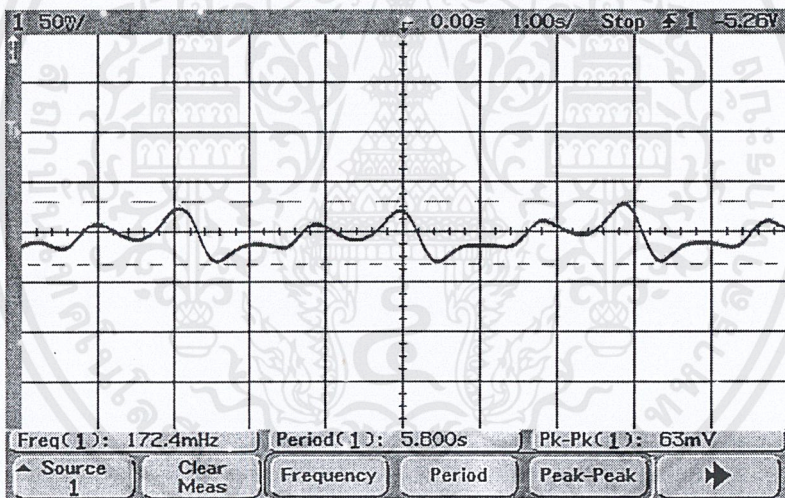
(ข) สัญญาณคอปเลอร์เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) ทำการวัดสัญญาณเมื่อวัตถุเคลื่อนที่และห่างจากสายอากาศเป็นระยะ 85 เซนติเมตร โดยมีกำลังส่ง 22.5 เซนติเมตร



(ก)

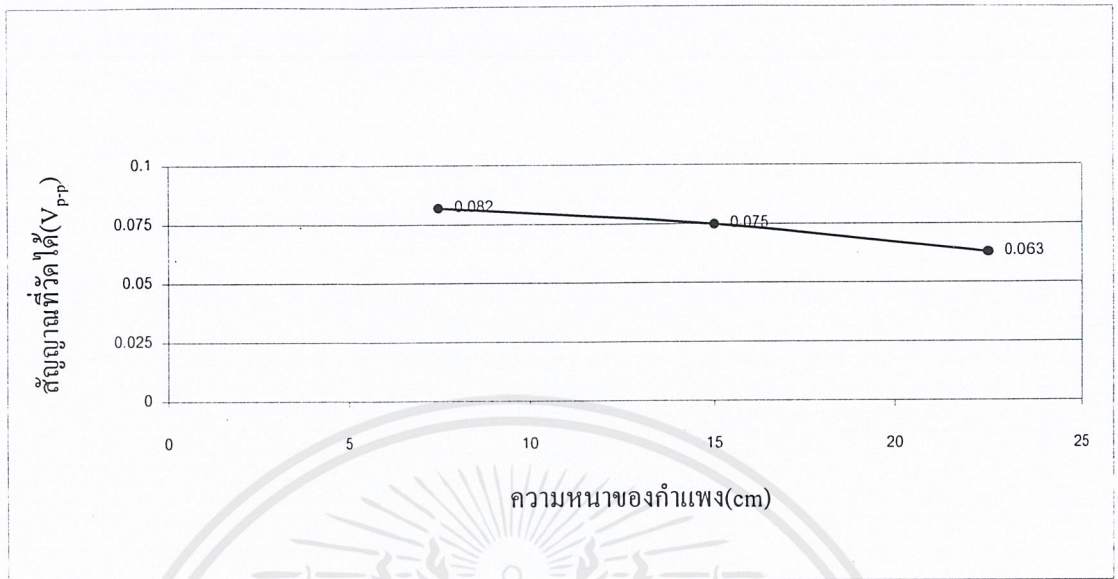


(ข)

รูปที่ 4.13 การทดลองเมื่อใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปและมีกำลังส่ง 22.5 เซนติเมตร

(ก) ภาพการทดลอง

(ข) สัญญาณคออปเลอร์เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนไหว



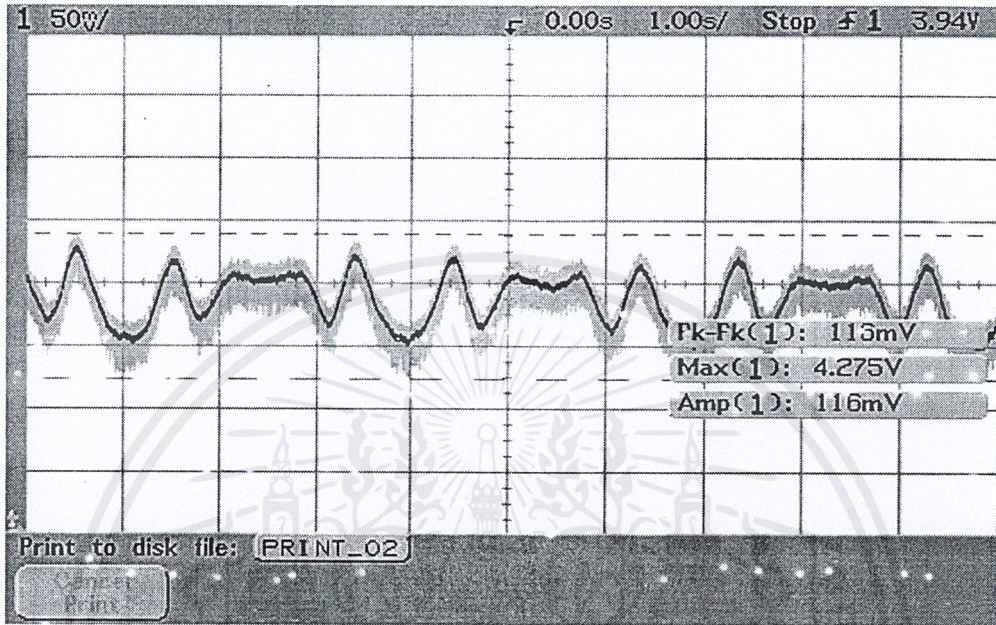
รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่วัดได้กับความหนาของกำแพง

จากผลการทดลองพบว่าค่าสัญญาณที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุเมื่อมีกำแพงหนา 7.5 เซนติเมตร ได้ค่า $V_{pp} = 0.082$ V , เมื่อมีกำแพงหนา 15 เซนติเมตร V_{pp} ได้ค่า 0.075 V และเมื่อมีกำแพงหนา 22.5 เซนติเมตร ค่า V_{pp} เท่ากับ 0.063 V ผลเหล่านี้แสดงไว้ด้วยกราฟผลการทดลองเนื่องจากกำแพงรูปที่ 4.14

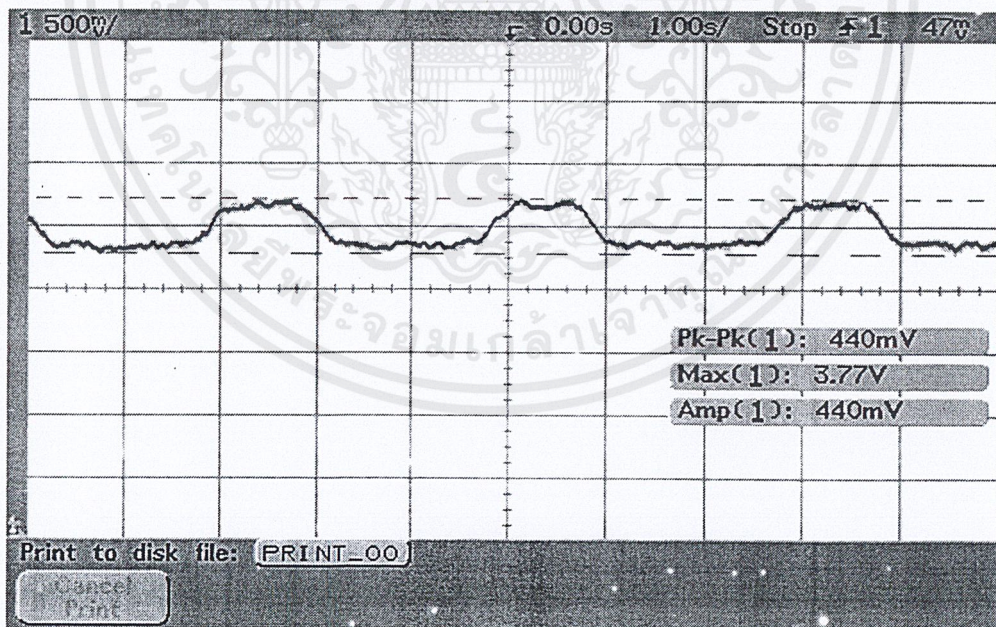
ในขั้นต้นสามารถสรุปได้ว่าค่าสัญญาณที่วัดได้จะแปรผกผันกับความหนาของสิ่งกีดขวางที่นำมาขวาง โดยถ้าสิ่งกีดขวางมีความหนาเพิ่มขึ้นค่าสัญญาณที่วัดได้จะลดลง

4.2.5 ผลการวัดสัญญาณที่มีการบาลานซ์ระบบแบบมีการบาลานซ์
 จะเป็นการเปรียบเทียบผลของระบบที่ใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปที่ความถี่ 2 กิกะเฮิรต์
 แบบไม่มีการบาลานซ์กับแบบมีการบาลานซ์ แสดงดังต่อไปนี้

(1) ระบบที่ไม่มีกัมแพงบัง



(ก) แบบไม่มีการบาลานซ์



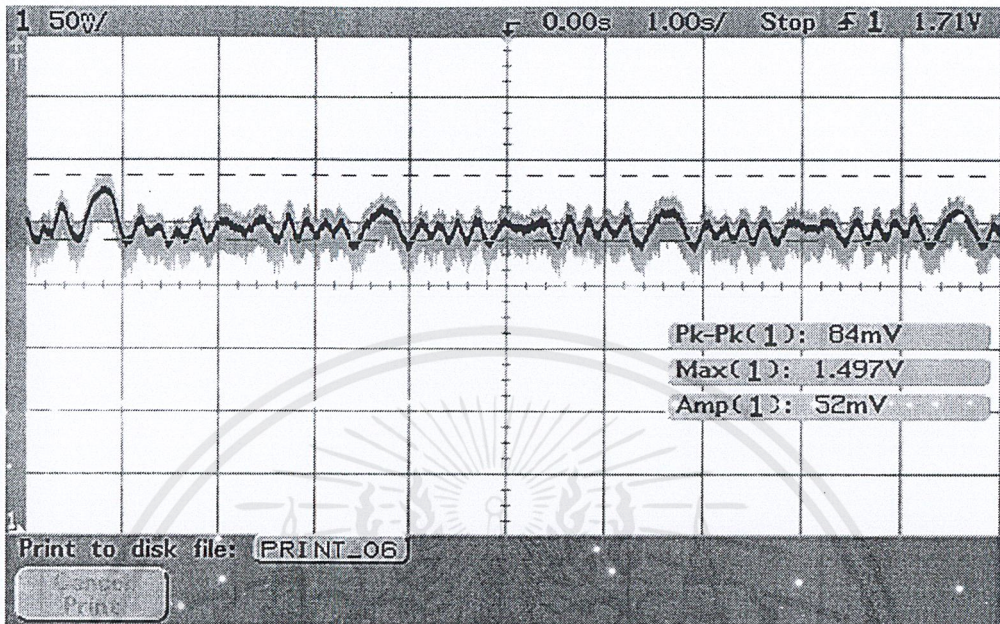
(ข) แบบมีการบาลานซ์

รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบระบบที่ไม่มีกัมแพงบัง

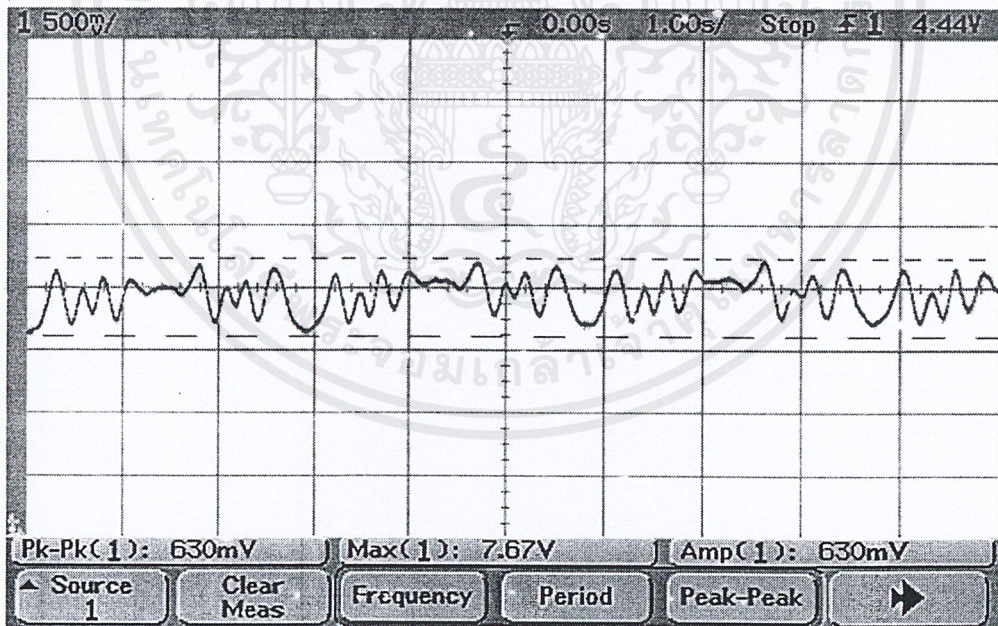
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ระบบที่มีกำแพงบัง

ตัวอย่างของสัญญาณจากการทดลองเมื่อมีกำแพงหนา 22.5 เซนติเมตร



(ก) แบบไม่มีการบาลานซ์



(ข) แบบมีการบาลานซ์

รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบระบบที่มีกำแพงบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการเปรียบเทียบจะเห็นว่าสัญญาณที่ได้จากระบบแบบมีการบาลานซ์ดีกว่าระบบแบบไม่มีการบาลานซ์ เพราะว่าระบบแบบมีการบาลานซ์มีการนำสองสัญญาณมาลบกันเพื่อเป็นการหักล้างสัญญาณที่สะท้อนจากสิ่งกีดขวางออกไป(ในที่นี้จะหักล้างสัญญาณโดยใช้โหมดการขยายผลต่างของเครื่อง Lock in amplifier)ทำให้สามารถขยายสัญญาณที่ได้จากวัตถุได้ดีและชัดเจนยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการที่ได้ดำเนินการทดลองระบบที่ได้ทำการออกแบบทั้งสองคือระบบพื้นฐานที่นำคลื่นที่มีความถี่ 10 กิกะเฮิร์ตและระบบไมโครสตริปที่ได้ทำการพัฒนาในขั้นต้นที่มีความถี่ 2 กิกะเฮิร์ต ได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้คือ สำหรับระบบที่ใช้งานที่ความถี่ 10 กิกะเฮิร์ต พบว่าสัญญาณที่ได้หลังจากทำการปรับลดทอนสัญญาณที่เกิดเนื่องจากการสะท้อนที่สิ่งกีดขวางโดยเฟสชิฟเตอร์และแอทเทนนูเอเตอร์เมื่อเทียบกับก่อนทำการปรับลดทอนจะได้สัญญาณที่มีขนาดใหญ่กว่าเพราะสามารถทำการขยายเครื่อง Lock in Amplifier ได้สูงกว่า

ส่วนระบบที่ใช้งานที่ความถี่ 2 กิกะเฮิร์ต เป็นระบบที่ได้ทำการปรับเปลี่ยนจากระบบที่ใช้งานที่ความถี่ 10 กิกะเฮิร์ต โดยใช้การออกแบบระบบซึ่งใช้เทคนิคในการคลอปปิงสัญญาณเพื่อใช้ในการลดทอนสัญญาณและแบ่งสัญญาณอ้างอิง การใช้สายอากาศตัวรับคู่อย่างสมมาตรแล้วขยายผลต่างเพื่อหักลบผลการสะท้อนที่สิ่งกีดขวางระบบมีขนาดเล็กลงและความที่ระบบนี้ใช้งานที่ความถี่ต่ำกว่าระบบที่กล่าวมาข้างต้นก็จะทำให้สามารถทำการออกแบบบนแผ่นปอลิเมอร์ Epoxy 2 หน้าที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด(ทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตระบบได้)

โดยได้ทำการทดลองระบบแบบใช้เทคนิคการบาลานซ์และแบบไม่มีการบาลานซ์พบว่าเมื่อใช้การบาลานซ์จะทำให้ได้สัญญาณที่ได้มีขนาดใหญ่กว่าเพราะสามารถทำการขยายเครื่อง Lock in Amplifier ได้สูงกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

แนวทางในการพัฒนาระบบแบ่งได้สองแนวทางดังต่อไปนี้ ระบบที่ใช้งานที่ความถี่ 10 กิกะเฮิร์ต พบว่าการทำการปรับลดทอนโดยใช้การปรับโดยใช้การปรับด้วยมืออาจไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริงเพราะการปรับด้วยมือนอกจากจะไม่สามารถปรับค่าแน่นอนได้แล้วยังต้องใช้เวลาในการทำงานของระบบนาน แนวทางแก้ไขสามารถทำได้โดยเปลี่ยนเป็นใช้ตัวปรับลดทอนที่สามารถควบคุมได้แบบอัตโนมัติก็จะสามารถลดเวลาในการทำงานของระบบลงได้

ส่วนระบบที่ใช้งานที่ความถี่ 2 กิกะเฮิร์ต พบว่าสัญญาณที่ได้กลับมายังอ่อนมากเมื่อเทียบกับสัญญาณที่ส่งออกไปโดยอาจเกิดปัญหาเนื่องมาจากลักษณะการกระจายคลื่นของสายอากาศซึ่งมี

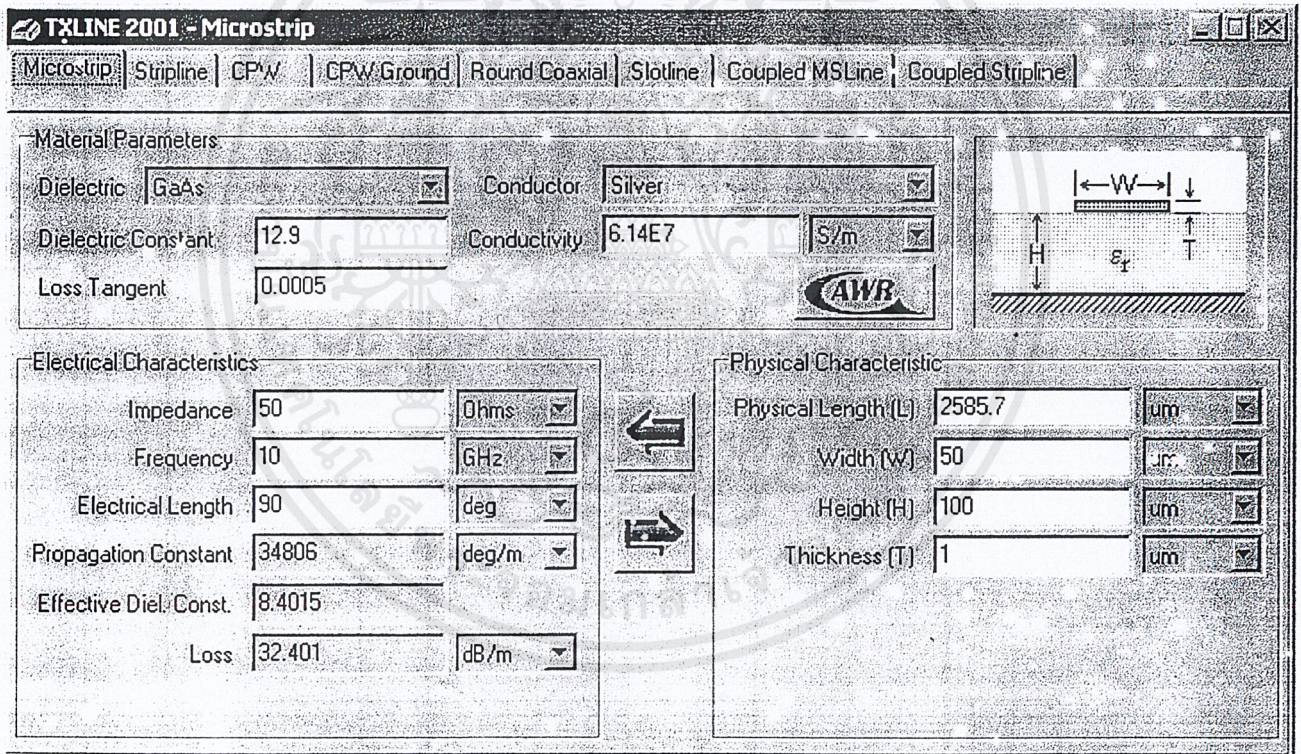
ค่าไดเรกทิวิตี(directivity)ไม่ได้อีกทั้งข้อต่อในการป้อนสัญญาณ แนวทางแก้ไขสามารถทำได้โดยทำการออกแบบสายอากาศให้มีค่าไดเรกทิวิตีดีขึ้นและปรับปรุงระบบข้อต่อซึ่งอาจเปลี่ยนระบบป้อนกำลังเช่นการป้อนแบบโคแอกเซียลเป็นต้น นอกจากนี้อาจใช้แผ่นวงจรพิมพ์ ที่มีคุณภาพดีขึ้นก็จะทำให้สามารถลดการสูญเสียของสัญญาณภายในระบบได้ สำหรับระบบไมโครสตริปที่จะพัฒนาต่อไป ควรมีลายวงจรของส่วนโคเรชันนัลคัปปลิง (directional coupling) พร้อมส่วนลดทอนและปรับเฟสแบบอัตโนมัติในลักษณะเดียวกับระบบพื้นฐาน เมื่อรวมกับเทคนิคการขยายผลต่างก็จะทำให้ได้ระบบที่มีขีดความสามารถสูงขึ้นในการตรวจระบุตำแหน่งผู้รอดชีวิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
โปรแกรม TXLINE

สำหรับวิธีของการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปและการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปในโครงงานพิเศษนี้ จะใช้การป้อนสัญญาณโดยใช้สายส่งสัญญาณไมโครสตริป (microstrip transmission line) โดยกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งไว้ที่ 50 โอห์ม และทำการหาความกว้างของสายส่ง (w) โดยใช้โปรแกรม Microwave Office V 3.2 DEMO และ Txline2001 ช่วยในการออกแบบ



โปรแกรม TXLINE ที่ใช้ในการออกแบบ ตัวป้อนสัญญาณ

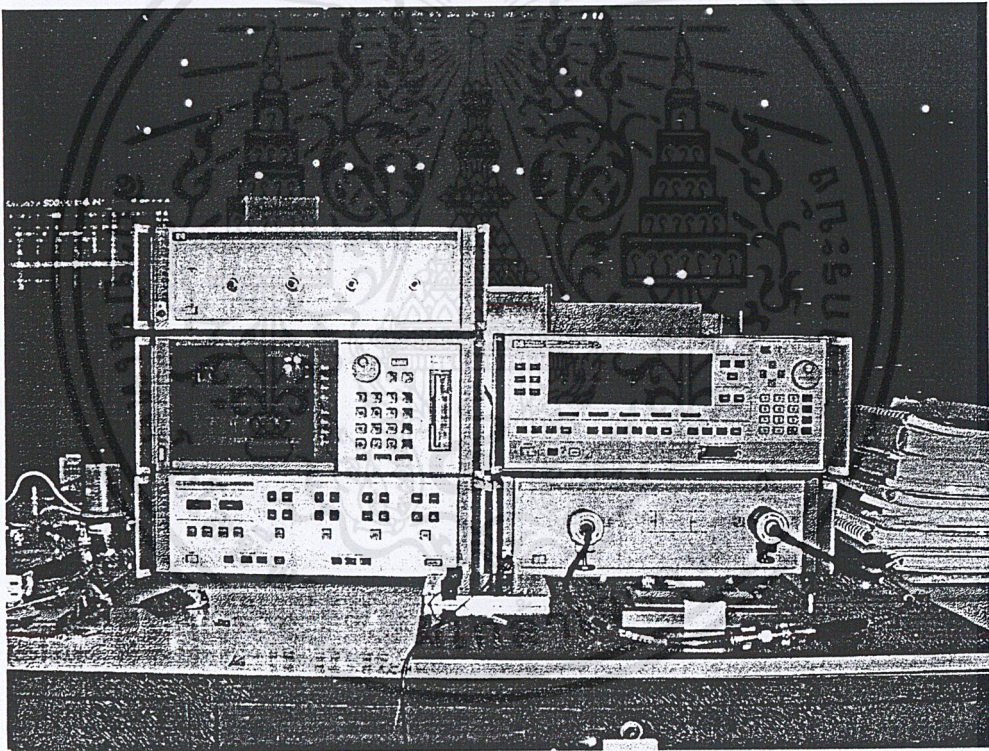
ภาคผนวก ข

ระบบที่ใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ในสายอากาศ

ระบบที่ใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ในสายอากาศโดยทั่วไปก็จะใช้ในการวัดค่า S parameter ไม่ว่าจะเป็นค่า S_{11} , S_{12} , S_{21} และ S_{22} เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติก่อนนำไปใช้งานจริง ส่วนประกอบหลักของระบบที่ใช้มีดังต่อไปนี้

- Network Analyzer Hp8510C
- Microwave Signal Generator Hp83650A
- สาย โคนแอกเซียล และ ขั้วต่อแบบมาตรฐานต่างๆ

ระบบที่ใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ในสายอากาศแสดงได้ดังรูปด้านล่างนี้



ระบบที่ใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ในสายอากาศ

ภาคผนวก ค

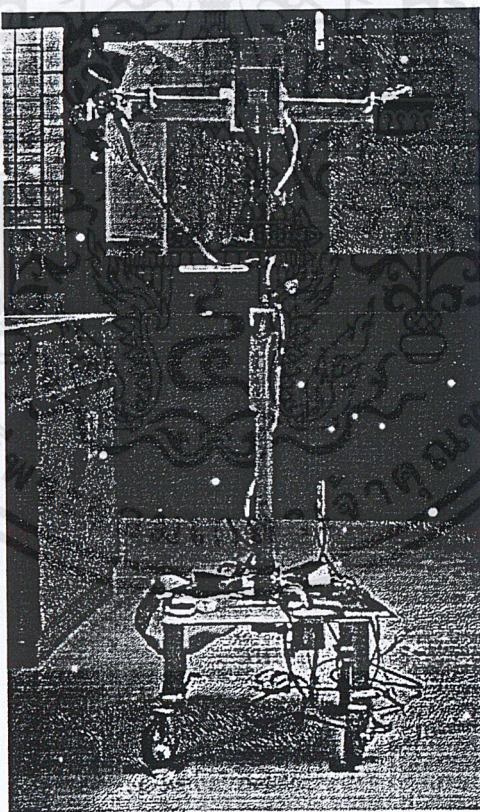
ระบบที่ใช้ในการวัดแพทเทิร์นของสายอากาศ

ระบบที่ใช้ในการวัดค่าการแพร่กระจายในสายอากาศโดยทั่วไปก็จะใช้ในการวัดค่า สนามไฟฟ้าในแนวต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นค่า วัด E-field ในแนว θ และการวัด E-field ในแนว ϕ เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติก่อนนำไปใช้งานจริง

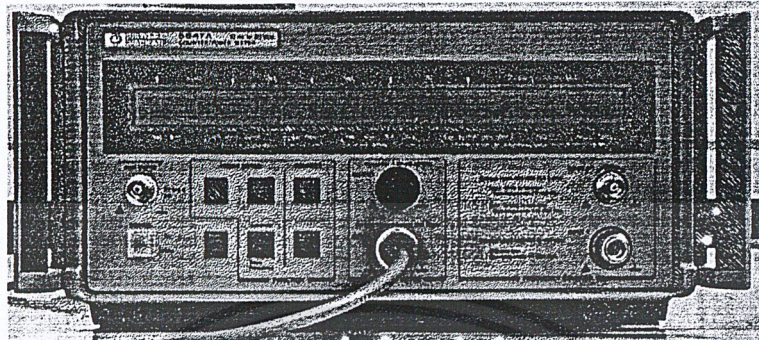
ส่วนประกอบหลักของระบบที่ใช้มีดังต่อไปนี้

- ระบบที่ใช้ในการปรับมุมของสายอากาศ
- Microwave Signal Generator Hp83650A
- Power meter 5374A

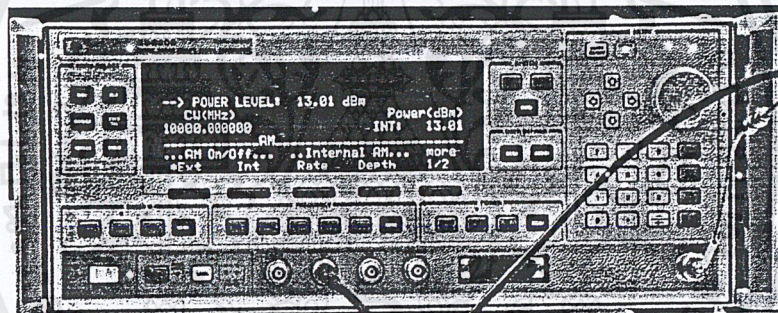
ระบบที่ใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ในสายอากาศแสดงได้ดังรูปด้านล่างนี้



ระบบที่ใช้ในการปรับมุมของสายอากาศ



เครื่องมือที่ใช้ในการวัดกำลัง 5347A (Power meter)



เครื่องมือที่ใช้ในการจ่ายกำลัง Hp83650A (Microwave Signal Generator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

A. Das and S. K. Das in Microwave Engineering, Electronics Series, McGRAW-HILL, Singapore, 2000.

P. Bhartia, K. V. S. Rao, and R. S. Tomar in Millimeter-wave Microstrip and Printed Circuit Antennas, Artech House, Boston, 1991.

S.Robert A. in CAD of microstrip antennas for wireless applications, Artech House, Bostan, 1996.

K.M. Chen, Y. Huang, J. Zhang and A. Norman, "Microwave Life-Detection Systems for Searching Human Subjects Under Earthquake Rubble or Behind Barrier" IEEE Transaction on Biomedical Engineering. Vol. 27, No. 1(2000) : 105-114.

Y.-F. Chen, and K.M. Chen, "Automatic Clutter-Canceler for Microwave Life-Detection Systems, IEEE TRANCTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL.40. NO. 4, pages Aug. 1991

E .Aggelopoulos ,E.Karabetsos, N.Uzunoglu and Constantinou, P. "Microwave System for the Detection of Trapped Human Beings" Industrial Electronics, 1995. ISIE'95., Proceedings of the IEEE Internation Symposium on. PP. 187-192, July 1995.

H.Chuang, Y.Chen and K.Chen , "Microprocessor-Controlled Automatic Clutter-Cancellation Circuits for Microwave System to Sense Physiological Movements Remotely Through the Rubble" Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1990. IMTC-90 Conference Record., 7th IEEE. PP. 177-181, Feb 1990.

H. R. Chen, "Real-Time Static-Clutter Cancellation for Microwave Vibrating-Target Detection Systems" IEEE in Asia-Pacific Microwave Conference, Adelaide. PP. 243-246, 1992.

K.M. Chen and H. R. Chang, "Measurement of Heat and Breathing Signals of Human Subjects Through Barriers with Microwave Life-Detection systems" IEEE Engineering in Medicine & Biology society 10th Annual International Conference. PP. 1279-1280, 1988.

D. V. Hablov, O. I. Fisun, L. N. Lupichev, V. V. Osipov, V. A. Schestiperov and R. Schimko "Electronic Life Detection System" U.S. Pat 5,448,501 Sep. 5, 1995.

F. Sterzer “Apparatus and Method for Monitoring the Waveform of Cyclic Movement within the Thorax of an Individual” U.S. Pat 4,967,751 Nov. 6, 1990.

O.V.Rostislavovich and I. G. Saidkhakimovich “Method for Discovering the Location of a Living Object and Microwave Location Device for Realizing the same” U.S. Pat 6,208,286 Mar. 27, 2001.

S.M. Sharpe, J. Seals, A. H. MacDonald and S.R. Crowgey “Non-Contact Vital Signs Monitor” U.S. Pat 4,958,638 Sep. 25, 1990.

R. E. Munson “Electrically Scanned Microstrip Antenna” U.S. Pat 3,811,128 May 14, 1974.

R. E. Munson “Microstrip Antenna Structures and Arrays” U.S. Pat 3,921,177 Nov. 18, 1975.

บัณฑิต โรจทัตยานนท์ วิศวกรรไมโครเวฟ, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
พ.ศ. 2531.

พิชัย ภักดีพานิชเจริญ ทฤษฎีการใช้งานความถี่ย่านไมโครเวฟ, หจก. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์,
พ.ศ. 2536.