สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สายอากาศปล่อยคลื่นแบบโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ เพื่อประยุกต์ใช้กับระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟทางด้านการแพทย์

COAXIAL COLLINEAR APPLICATOR WITH APPLICATION TO MICROWAVE HYPERTHERMIA SYSTEM

โดย

นายคนองนึก ภิรมย์ รหัส 36014054

นายอุทิศ ภูหงษ์สูง รหัส 36014572

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 27877
วัน, เดือน, ปี 26 มิ.ย. 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศปล่อยคลื่นแบบโคแอกเชียลคอลลิเนียร์เพื่อประยุกต์ใช้กับระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟทางด้านการแพทย์

COAXIAL COLLINEAR APPLICATOR WITH APPLICATION TO MICROWAVE HYPERTHERMIA SYSTEM

ผู้จัดทำ

1 นายคนอ่งนึก ภิรมย์ 36014054

2.นายอุทิศ ภูหงษ์สูง 36014572

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศปล่อยคลื่นแบบโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ เพื่อประยุกต์ใช้กับระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟทางด้านการแพทย์

COAXIAL COLLINEAR APPLICATOR WITH APPLICATION TO MICROWAVE HYPERTHERMIA SYSTEM

โดย

1.นายคนองนึก ภิรมย์ 36014054

2.นายอุทิศ ภูหงษ์สูง 36014572

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นเรื่องเกี่ยวกับการศึกษา ออกแบบ สร้าง และทดสอบสายอากาศปล่อยคลื่นแบบโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ (Coaxial Collinear Applicator) ซึ่งเป็นสายอากาศที่ทำมาจากสายโซลิดโคแอกเชียล(Solid Coaxial Line) หรือสายนำสัญญาณแบบแข็งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 ซม.ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบออมนิไดเรกชั่นแนล (Omnidirectional) จากนั้นทำการสลับตัวนำในและตัวนำนอกของแต่ละเอเลเมนต์แล้วหุ้มด้วยปลอกทองเหลืองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 ซม. เรียกว่า สลีฟ (Sleeve) เพื่อเพิ่มความแรงของสนามทำให้มีความร้อนในการใช้งานที่เกิดจากสนามไฟฟ้ามากขึ้น

จากคุณสมบัติดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟทางด้านการแพทย์ เพื่อทำลายเซลมะเร็งเฉพาะตำแหน่งต่อไป

Abstract

This project describes about the study, design, construction and test of a coaxial collinear applicator. This applicator has an omnidirectional in propagation which consists essentially of solid coaxial line 0.2 cm diameter.To interchange the inner and outer conductor of each element and cover the junction with a brass sleeve 0.4 cm diameter, in order to increase the field strength.

The properties of this coaxial collinear applicator can be applicable to the mircrowave hyperthermia for a medical application, cancer therapy.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ	2
2.1 สายอากาศแบบโคแอกเชียลคอลลิเนียร์	2
2.2 ทฤษฎีของสลีฟไดโพล	3
2.3 ทฤษฎีความเป็นหนึ่ง	11
2.4 ทฤษฎีเงา	12
2.5 ทฤษฎีพื้นผิวสมมูล	15
บทที่ 3 การออกแบบและการคำนวณ	19
3.1 การออกแบบและการสร้าง	19
3.2 ขั้นตอนการคำนวณ	21
3.3 วิธีการคำนวณ	21
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	29
4.1 อุปกรณ์การทดลอง	29
4.2 ขั้นตอนการทดลอง	30
4.3 ผลการทุดลอง	31
บทที่ 5 บทสรุป	63
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 สายอากาศโคแอกเชียลโคลิเนียร์ 2

รูปที่ 2.2 สลีฟไดโพลพร้อมภาพเงาและวงจรสมมูลของสายส่ง 2 สาย 3

รูปที่ 2.3 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีการทับซ้อนที่มี 2 แหล่งจ่าย 3

รูปที่ 2.4 สายอากาศสมมาตรพร้อมโวลเตจขับจากสไลด์เจนเนอร์เรเตอร์และวงจรสมมูล 4

รูปที่ 2.5 ค่ากระแสในสลีฟไดโพลตามทฤษฎีและภาพเงา 6

รูปที่ 2.6 ค่าอิมพีแดนซ์ของสลีฟไดโพลตามทฤษฎี 8

รูปที่ 2.7 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศสมมาตรแบบจุดขับตรงกลาง 8

รูปที่ 2.8(a) กระแสบนสายอากาศสลีฟที่ $\ell = 0.188\lambda$,$h_1 = 0.25\lambda$ 10

รูปที่ 2.8(b) กระแสบนสายอากาศสลีฟที่ $\ell = 0.20\lambda$,$h_1 = 0.25\lambda$ 10

รูปที่ 2.8(c) กระแสบนสายอากาศสลีฟที่ $\ell = 0.45\lambda$,$h_1 = 0.25\lambda$ 10

รูปที่ 2.8(d) กระแสบนสายอากาศสลีฟที่ $\ell = 0.20\lambda$,$h_1 = 0.5\lambda$ 11

รูปที่ 2.9 ไดโพลตั้งฉากและแหล่งกำเนิดเสมือนแสดงคลื่นสะท้อนกลับจากตัวนำสมบูรณ์ไร้ขอบเขต 12

รูปที่ 2.9(a) แหล่งกำเนิดจริงและแหล่งกำเนิดเสมือน 12

รูปที่ 2.9(b) องค์ประกอบของสนามที่จุดตกกระทบ 13

รูปที่ 2.9(c) คลื่นตรงและคลื่นสะท้อนกลับ 13

รูปที่ 2.10 แหล่งกำเนิดสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กพร้อมกับแหล่งกำเนิดเสมือน 14

รูปที่ 2.10(a) แหล่งกำเนิดสนามไฟฟ้า 14

รูปที่ 2.10(b) แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก 14

รูปที่ 2.11(a) แหล่งกำเนิดจริง 16

รูปที่ 2.11(b) รูปเสมือนที่ใช้ในการแก้ปัญหา 16

รูปที่ 2.12 โครงสร้างตามหลักการพื้นผิวเสมือน 17

รูปที่ 2.12(a) หลักการเสมือนของเลิฟ 17

รูปที่ 2.12(b) ตัวนำไฟฟ้าเสมือน 17

รูปที่ 2.12(c) ตัวนำแม่เหล็กเสมือน 17

รูปที่ 2.13 โครงสร้างเสมือนสำหรับการแพร่กระจายของแหล่งกำเนิดกระแสแม่เหล็กใกล้ตัวนำไฟฟ้าสมบูรณ์ 18

รูปที่ 3.1(a) สายอากาศโคแอกเชียลโคลิเนียร์ที่มีปลอกหุ้มโดยมี $\ell = 0.817$ ซม., $h_1 = 1.53$ ซม. 20

รูปที่ 3.1(b) สายอากาศโคแอกเชียลโคลิเนียร์ที่มีปลอกหุ้มโดยมี $\ell = 1.582$ ซม., $h_1 = 0.76$ ซม 20

รูปที่ 3.1(c) การสลับตัวนำนอกและตัวนำในของแต่ละเอเลเมนต์ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 สายอากาศโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ที่ได้จากการออกแบบ 20
รูปที่ 3.3 สลีฟทองเหลืองขนาด 1.634 และ 3.164 ซม. 20
รูปที่ 3.4(a) การแพร่กระจายกระแสของสายอากาศที่มี ℓ =0.817 ซม. 25
รูปที่ 3.4(b) การแพร่กระจายกระแสของสายอากาศที่มี ℓ =1.582 ซม 26
รูปที่ 4.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย 29
รูปที่ 4.2 สแกนเนอร์ 29
รูปที่ 4.3 บล็อกไดอะแกรมการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองวัดค่าสนามไฟฟ้าโดยใช้ชุดวัดสนามไฟฟ้า 30
รูปที่ 4.4 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองวัดค่าสนามไฟฟ้าโดยใช้ชุดวัดสนามไฟฟ้า 31
รูปที่ 4.5(a) ตัวอย่างรูปแบบกราฟแสดงผลการทดลองและการวางสายอากาศ 32
รูปที่ 4.5(b) ตำแหน่งที่ใช้วัดสนามไฟฟ้าบนสายอากาศ 32
รูปที่ 4.6 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 1 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 35
รูปที่ 4.7 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 1 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 35
รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 1 ซม.ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 35
รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.ของสายอากาศ 36
รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.ของสายอากาศ 36
รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.ของสายอากาศ 36
รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.ของสายอากาศ 36
รูปที่ 4.13 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 2 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 37
รูปที่ 4.14 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 2 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 37
รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 2 ซม.ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 37
รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.ของสายอากาศ 38
รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.ของสายอากาศ 38
รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.ของสายอากาศ 38
รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.ของสายอากาศ 38
รูปที่ 4.20 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 3 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.21 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 3 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 39
รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ ที่ระยะห่างจาก่สายอากาศ 3 ซม.ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 39
รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.ของสายอากาศ 40
รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.ของสายอากาศ 40
รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.ของสายอากาศ 40
รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.ของสายอากาศ 40
รูปที่ 4.27 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 4 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 41
รูปที่ 4.28 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 4 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 41
รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ ที่ระยะห่างจ่ากสายอากาศ 4 ซม.ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 41
รูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.ของสายอากาศ 42
รูปที่ 4.31 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.ของสายอากาศ 42
รูปที่ 4.32 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.ของสายอากาศ 42
รูปที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.ของสายอากาศ 42
รูปที่ 4.34 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 5 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 43
รูปที่ 4.35 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 5 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 43
รูปที่ 4.36 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ ที่ระยะห่างจากสายอากาศ 5 ซม.ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 43
รูปที่ 4.37 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.ของสายอากาศ 44
รูปที่ 4.38 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.ของสายอากาศ 44
รูปที่ 4.39 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.ของสายอากาศ 44
รูปที่ 4.40 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.ของสายอากาศ 44
รูปที่ 4.41 แสดงการเปรียบเทียบเฟสของกระแสที่ได้จากการทดลองและจากทางทฤษฎี ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 46
รูปที่ 4.42 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 1 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. 49
รูปที่ 4.43 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 1 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.44 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ ที่ระยะห่างจากสายอากาศ 1 ซม.ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. 49
รูปที่ 4.45 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.ของสายอากาศ 50
รูปที่ 4.46 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.ของสายอากาศ 50
รูปที่ 4.47 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.ของสายอากาศ 50
รูปที่ 4.48 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.ของสายอากาศ 50
รูปที่ 4.49 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 2 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. 51
รูปที่ 4.50 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 2 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. 51
รูปที่ 4.51 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ ที่ระยะห่างจากสายอากาศ 2 ซม.ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. 51
รูปที่ 4.52 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.ของสายอากาศ 52
รูปที่ 4.53 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.ของสายอากาศ 52
รูปที่ 4.54 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.ของสายอากาศ 52
รูปที่ 4.55 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.ของสายอากาศ 52
รูปที่ 4.56 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 3 ซม. ของสายอากาศที่มี สลีฟยาว 3.164 ซม. 53
รูปที่ 4.57 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 3 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. 53
รูปที่ 4.58 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ ที่ระยะห่างจากสายอากาศ 3 ซม.ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. 53
รูปที่ 4.59 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.ของสายอากาศ 54
รูปที่ 4.60 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.ของสายอากาศ 54
รูปที่ 4.61 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.ของสายอากาศ 54
รูปที่ 4.62 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.ของสายอากาศ 54
รูปที่ 4.63 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 4 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. 55
รูปที่ 4.64 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 4 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. 55
รูปที่ 4.65 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ ที่ระยะห่างจากสายอากาศ 4 ซม.ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. 55
รูปที่ 4.66 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.ของสายอากาศ 56

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.67 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.ของสายอากาศ 56
รูปที่ 4.68 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.ของสายอากาศ 56
รูปที่ 4.69 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.ของสายอากาศ 56
รูปที่ 4.70 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 5 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. 57
รูปที่ 4.71 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 5 ซม. ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. 57
รูปที่ 4.72 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ ที่ระยะห่างจากสายอากาศ 5 ซม.ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. 57
รูปที่ 4.73 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.ของสายอากาศ 58
รูปที่ 4.74 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.ของสายอากาศ 58
รูปที่ 4.75 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.ของสายอากาศ 58
รูปที่ 4.76 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.ของสายอากาศ 58
รูปที่ 4.77 แสดงการเปรียบเทียบเฟสของกระแสที่ได้จากการทดลองและจากทางทฤษฎี ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. 60
รูปที่ 4.78 แสดงค่า SWR ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. 61
รูปที่ 4.79 แสดงค่า SWR ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1(a) ค่า C ที่ระยะ l = 0.817 ซม., h_1=1.530 ซม. 23

ตารางที่ 3.1(b) ค่า C ที่ระยะ l = 1.582 ซม., h_1=0.76 ซม. 23

ตารางที่ 3.2(a) ค่า I(x) ที่ x=0 ถึง 0.8 ซม. 24

ตารางที่ 3.2(b) ค่า I(x) ที่ x=0 ถึง 1.5 ซม. 24

ตารางที่ 3.3(a) ค่า I(x) ที่ x=0.9 ถึง 2.3 ซม. 25

ตารางที่ 3.3(b) ค่า I(x) ที่ x=1.6 ถึง 2.3 ซม. 25

ตารางที่ 4.1 ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองสายอากาศโคแอกเชียลโคลิเนียร์ที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม 33

ตารางที่ 4.2 ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณสายอากาศโคแอกเชียลโคลิเนียร์ที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม 34

ตารางที่ 4.3 ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองสายอากาศโคแอกเชียลโคลิเนียร์ที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม 47

ตารางที่ 4.4 ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณสายอากาศโคแอกเชียลโคลิเนียร์ที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

การใช้ความร้อนในการรักษาโรคมะเร็ง (Hyperthermia Cancer Therapy) ซึ่งเป็นการรักษามะเร็งรูปแบบใหม่เริ่มได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น โดยวิทยาการแขนงนี้ได้เริ่มมีผู้ค้นคว้ามาก่อนต้นศตวรรษที่ 19 ในปี พ.ศ.2464 ต่อมาเริ่มมีการศึกษาผลของความร้อนร่วมกับรังสีอย่างแพร่หลาย และนำมาใช้รักษากับผู้ป่วยอย่างจริงจังในราวกลางศตวรรษที่ 19 โดยใช้ต้นกำเนิดความร้อนแตกต่างกันไป เมื่อไม่นานมานี้มีผู้สามารถค้นพบเทคนิคที่นำ ไฮเปอร์เธอร์เมีย (Hyperthermia) มารักษามะเร็งชนิดต่างๆ ได้ทั่วร่างกายและได้ผลการรักษาที่น่าสนใจ อย่างไรก็ตามผลการทดลองทางคลินิกที่กำลังดำเนินการอยู่ในขณะนี้เพื่อดูประสิทธิภาพของการรักษา วิธีที่ปลอดภัยในการให้ความร้อนที่ก้อนเนื้องอก และการตรวจวัด วิธีการรักษา เป็นสิ่งที่สำคัญต่อแนวทางของเวชปฏิบัติในอนาคต

ไฮเปอร์เธอร์เมีย เป็นวิธีการรักษามะเร็ง โดยการเพิ่มอุณหภูมิของเซลล์มะเร็งให้ขึ้นไปถึง 41 ถึง 46 องศาเซลเซียส โดยให้ความร้อนจากภายนอกแล้วรักษาอุณหภูมินี้ให้คงที่ไว้ตลอดช่วงเวลาที่เหมาะสม และต้องควบคุมอุณหภูมิของเซลปกติไม่ให้สูงจนเกินไป การทำเช่นนี้จะเป็นการรักษามะเร็งที่นำมาช่วยเสริมให้วิธีการอื่นที่มีอยู่ได้แก่ การรักษาทางเคมี การรักษาทางรังสี ฯลฯ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจากเดิม 25 เปอร์เซ็นต์ เป็น 60-75 เปอร์เซ็นต์

ในปัจจุบันที่ห้องปฏิบัติการการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Laboratory) ภาควิชาโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้มีการพัฒนาระบบการให้ความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้คลื่นไมโครเวฟซึ่งใช้สายอากาศปล่อยคลื่นแบบสล็อตอาร์เรย์บนผิวครึ่งวงกลม (Spherical Slot Array Antenna) ซึ่งสายอากาศชนิดนี้สามารถแพร่กระจายคลื่นได้ลึก 2-3 ซม.จากผิว แต่เนื่องจากเซลล์มะเร็งมีตำแหน่งและขนาดที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการรักษามะเร็งที่อยู่ลึก (Deep-Seated Tumors) มากกว่า 3 ซม. นั้นจะไม่สามารถใช้สายอากาศชนิดนี้ได้ เพราะฉะนั้นโครงงานนี้จึงได้ศึกษา ออกแบบและสร้างสายอากาศอินเวสซีฟซึ่งเป็นแบบโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ (Coaxial Collinear Applicator) ขึ้นมา ซึ่งปกติจะเป็นสายอากาศที่ใช้ในงานแพร่สัญญาณ (Broadcasting) แต่ในโครงงานนี้ได้ประยุกต์สร้างขึ้นมาเพื่อใช้กับเครื่องรักษาโรคมะเร็งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟในการรักษามะเร็งที่อยู่ลึกโดยจะใช้สอดเข้าไปในร่างกายผู้ป่วยที่ตำแหน่งของเซลล์มะเร็งในขณะทำการรักษาตามวิธีทางการแพทย์ [1]

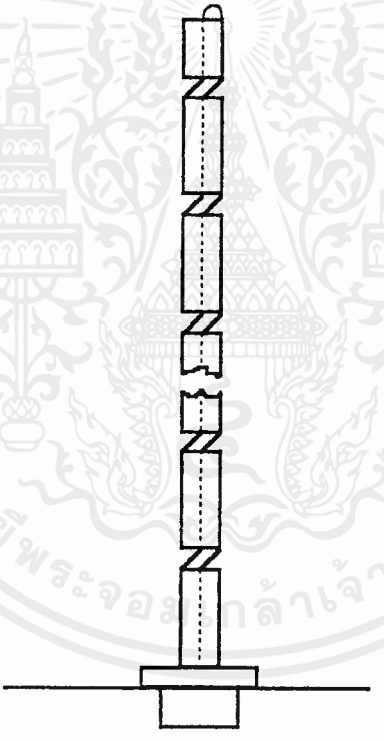
สำหรับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้กล่าวถึงความรู้พื้นฐาน และ หลักการของสายอากาศแบบอินเวสซีฟชนิดโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ ทฤษฎีต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศ การคำนวณและออกแบบ ตลอดจนผลการทดลองซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกับทฤษฎีของสายอากาศชนิดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

2.1 สายอากาศแบบโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ (Coaxial Collinear Antenna)

สายอากาศแบบโคแอกเชียลคอลลิเนียร์เป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างประกอบด้วยสายโคแอกเชียล (Coaxial Cable) หลายๆ เส้นมาต่อเรียงกันดังรูปที่ 2.1 โดยที่แต่ละเส้นมีความยาว $\lambda_c/2$ (ค่า λ_c คือความยาวคลื่นในสาย) ที่มีความถี่กึ่งกลางที่ใช้งาน และในการต่อระหว่างสายแต่ละเส้น ซึ่งทำหน้าที่เป็นเอเลเมนท์ของอาร์เรย์ (Array Element) นั้นจะสลับระหว่างตัวนำเส้นในกับตัวนำเส้นนอก เพื่อให้มีเฟสของการป้อนกระแสของเอเลเมนต์เป็นเฟสเดียวกัน เพื่อทำให้บรอดไซด์อาร์เรย์ (Broadside Array) สายอากาศแบบนี้มีแพทเทอร์นการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบออมนิไดเรคชั่นแนล (Omnidirectional) มีข้อดีคือสร้างได้ง่ายและรูปร่างกระทัดรัด รายละเอียดของการสร้างสายอากาศดังกล่าวนี้มีอยู่ในรายงานของ Eklund และ Balsley [2] และรายละเอียดเพิ่มเติมนั้น ได้มีการแสดงการคำนวณการแจงรูปกระแสบนสายอากาศดังกล่าวโดย Judasz และคณะ [3]



รูปที่ 2.1 สายอากาศโคแอกเชียลคอลลิเนียร์

สายอากาศโคแอกเชียลคอลลิเนียร์โดยทั่วไป มีลักษณะดังรูป 2.1 ซึ่งนอกจากจะเป็นสายอากาศที่ติดอยู่กับกราวด์เพลนแล้ว อาจเป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างสมมาตรรอบกราวด์เพลน โดยอาศัยทฤษฎีเงา (Image Theory) ได้เช่นกัน สายโคแอกเชียลแต่ละเส้น (#1,#2,...,#N) จะมีความยาว $\lambda_c/2$ ต่อกันอยู่ในลักษณะที่สลับตัวนำในและตัวนำนอก การทำเช่นนี้จะทำให้สายโคแอกเชียลแต่ละเส้นทำหน้าที่สองอย่างในเวลาเดียวกัน คือ 1) ทำหน้าที่เป็นสายส่งนำคลื่นไปสู่สายอากาศตัวถัดๆ ไปและ 2) ทำหน้าที่เป็นสายอากาศเอเลเมนท์ของลิเนียร์อาร์เรย์ และเมื่อความยาวของสายเป็น $\lambda_c/2$ จะทำให้แต่ละเอเลเมนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

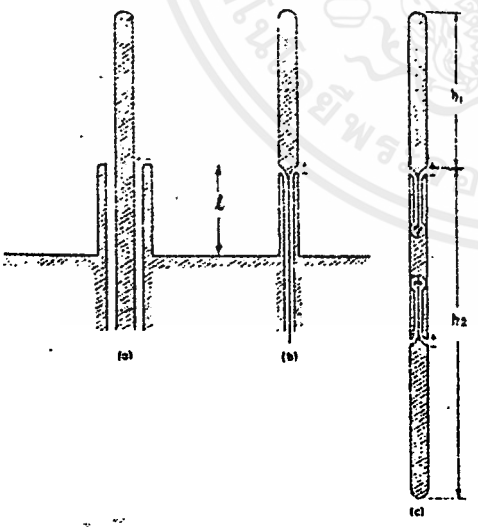
ของลิเนียร์อาร์เรย์ถูกป้อนด้วยกระแสมีเฟสเดียวกัน ซึ่งเป็นผลให้สายอากาศนี้เป็นบรอดไซด์อาร์เรย์ ที่มีแพทเทอร์นเป็นแบบออมนิไดเรคชั่นแนล

2.2 ทฤษฎีของสลีฟไดโพล (Theory of Sleeve Dipole) [5]

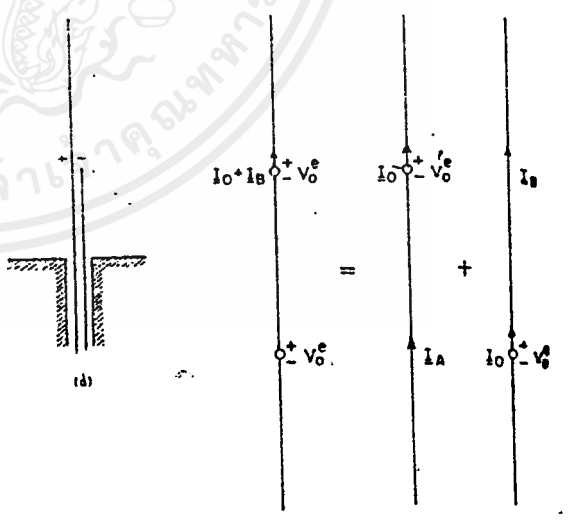
สายอากาศสลีฟไดโพลเป็นสายอากาศที่มีแถบความถี่กว้าง ดังแสดงในรูป 2.2 (a) และ (b) ประกอบด้วยส่วนขยายของตัวนำในแนวตั้งฉากและตัวนำนอกตลอดแนวของสายโคแอกเชียล ครอบคลุมระนาบตัวนำในแนวนอน ซึ่งมีระนาบตัวนำที่แตกต่างไปจากสายอากาศครึ่งคลื่นทั่วไป (Base Driven Half-Dipole) คือ เปลือกหุ้ม (Sheath) ด้านนอกของสายโคแอกเชียลไม่ได้สิ้นสุดที่ระนาบนี้ แต่ขยายออกไปอีกเป็นระยะทาง ℓ และส่วนป้อนสัญญาณ (Feeding Point) ย้ายจากตำแหน่ง z=0 ที่ระนาบตัวนำขึ้นไปยังตำแหน่ง $z=\ell$ จากทฤษฎีเงาจะได้โครงสร้างเสมือนดังรูป 2.2 (c) ที่ทั้ง 2 แหล่งจ่ายมีค่าเท่ากัน ที่จุดปลายของระยะ $z = \pm\ell$ และโครงสร้างสมมูลสายส่ง 2 สายสำหรับ รูป 2.2 (a) คือรูปที่ 2.2 (b)

ตามสมการของแมกซ์เวลล์โดยใช้ทฤษฎีการทับซ้อน (Superposition) จะได้ว่าค่ากระแสที่จุดใดๆ ตลอดความยาวของสายอากาศ รูป 2.2 (c) เป็นค่าผลรวมของกระแสที่มาจากแหล่งกำเนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.3

การคำนวณค่ากระแสของแหล่งกำเนิดตัวบนในสายอากาศสมมาตรทางด้านซ้ายมือในภาพ 2.3 จะได้การวิเคราะห์แบบจุดกึ่งกลางของสายอากาศโดยอาศัยการวิเคราะห์ในสายอากาศแบบไม่สมมาตร ส่วนกระแสในสายอากาศด้านขวาของรูป 2.3 หาได้จากการวิเคราะห์แบบจุดกึ่งกลางสายอากาศโดยสลับปลายสาย และผลสุดท้ายของการคำนวณหาค่ากระแสในสายอากาศด้านซ้ายมือ คือผลรวมของกระแสในสายอากาศอีก 2 สายนั่นเอง

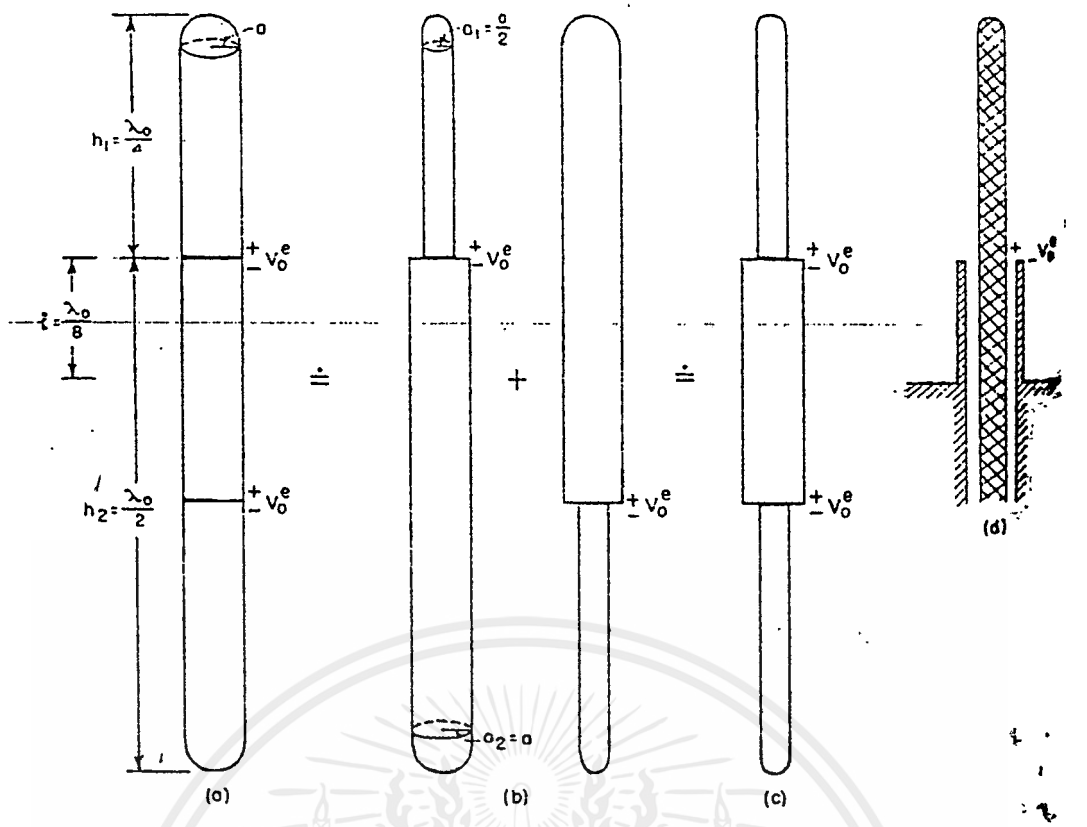


รูปที่ 2.2 สลีฟไดโพลพร้อมภาพเงาและวงจรสมมูลของสายส่ง 2 สาย



รูปที่ 2.3 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีการทับซ้อนที่มี 2 แหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 สายอากาศสมมาตรพร้อมโวลเตจขับจากสไลด์เจนเนอร์เรเตอร์และวงจรสมมูล

ค่าอิมพีแดนซ์ที่ปลายของแหล่งกำเนิดตัวบนในสายอากาศด้านซ้ายมือ 2.2 หาได้จากอัตราส่วนระหว่างค่าโวลเตจขับ (Driving Voltage : v_0^e) กับกระแสรวมที่ปลายสาย ดังนี้

$$Z_{in}=V_0^e/\left(I_0+I_B\right)=V_0^e/\left(I_0+I_A\right) \qquad (2.1a)$$

และค่าแอดมิดแตนซ์เท่ากับ

$$Y_{in}=\left(I_0+I_A\right)/V_0^e \qquad (2.1b)$$

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขหาค่าอิมพีแดนซ์ของการแพร่กระจายกระแสในสลีฟไดโพลมีความซับซ้อนมากเนื่องจากมีแฟคเตอร์หลายค่า ในรูป 2.4 (a) พิจารณากรณีเป็นสายอากาศสมมาตร เมื่อโวลเตจขับ ได้มาจากสไลด์เจนเนอเรเตอร์ (Slice Generator) หรือ ค่าความไม่ต่อเนื่องของศักย์สเกลาร์ (Discontinuities in Scalar Potential) ให้ $\beta_0 h_1=\pi/2$, $\beta_0 h_2=\pi$ และ h_2/a_2 ดังนั้น $\Omega_2=2\ln\left(2h_1/a_2\right)=10$ เมื่อ $h_2=2h_1$ ในทำนองเดียวกันกรณี $a_2=a_1$,$\Omega_1=2\ln\left(2h_1/a_1\right)=9.3$ เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศครึ่งคลื่น $h_1=\lambda_0/4$ แปรผันตาม Ω จะมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นเล็กน้อยเมื่อ Ω=10 ซึ่งค่านี้จะมีผลกับ $a_1=a_2/2$ ในทางกายภาพเงื่อนไขที่ Ω_1=Ω_2=10 มีความสำคัญสำหรับสายอากาศแบบไม่สมมาตร เมื่อ $h_2=2h_1, a_2=2a_1$ แต่ไม่มีความจำเป็นสำหรับสายอากาศแบบสมมาตรที่มี 2 แหล่งจ่ายเท่าใดนัก ดังนั้นจึงเป็นการวิเคราะห์สายอากาศแบบไม่สมมาตรแต่ละคู่ในรูป 2.4 (b) ผลเฉลยจากใช้ทฤษฎีการทับซ้อนนั้นจะไม่มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างทางกายภาพของสายอากาศที่ส่วนขยายภายนอกแต่ละตัวไม่สามารถมีรัศมีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างกันพร้อมๆ กันได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสายอากาศในรูป 2.4 (d) ได้มาจากการใช้ทฤษฎีการทับซ้อนของสาย อากาศ 2 ตัวในรูปที่ 2.4 (b)

ค่า I_0 และ I_A ที่ตรงกลางของสายอากาศแบบไม่สมมาตรในรูป 2.3 ที่ค่า $\Omega_1 = \Omega_2 = 10$ หาได้จากหน้า 405 มีค่าดังนี้

$$\frac{I_0}{V_0^e} = 3.98\angle 51^\circ \quad = \quad 2.51+j3.1 \quad \text{มิลลิแอมป์/โวลท์} \qquad (2.2a)$$

$$\frac{I_A}{V_0^e} = 4.4\angle -81^\circ \quad = \quad 0.68-j4.34 \quad \text{มิลลิแอมป์/โวลท์} \qquad (2.2b)$$

แทนค่าสมการ (2) ใน (1b) จะได้ค่าแอดมิดแตนท์ของจุดขับที่ตรงปลายสายอากาศของแต่ละสไลด์เจนเนอเรเตอร์ในสายอากาศที่มีแหล่งจ่าย 2 แหล่ง หรือ ตรงปลายของสไลด์เจนเนอเรเตอร์ 1 ตัวของโครงสร้างแบบสมมาตรตามแนวตั้งบนพื้นผิวตัวนำยาวอนันต์

$$Y_{in} = \left(I_0 + I_A\right)/V_0^e = \left(3.18 - j1.24\right)\times 10^{-3} \qquad \text{โมห์} \qquad (2.3a)$$

ซึ่งจะได้ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์เป็น

$$Z_{in} = 273 + j106 \qquad \text{โอห์ม} \qquad (2.3b)$$

ดังนั้น การแพร่กระจายของกระแสบนสายอากาศที่มีแหล่งกำเนิด 2 ตัว ซึ่งมาจากทฤษฎีการทับซ้อน มีค่าเท่ากับ

$$\left[I(z)\right]_{sym.ant.} = \left[I(z) + I(-z)\right]_{asym.ant.,} \qquad (2.4)$$

เมื่อกระแสในแหล่งจ่ายตัวล่างของรูปกลางในรูป 2.3 มีค่าเท่ากับกระแสในแหล่งจ่ายตัวบนของรูปขวามือ ขนาดและเฟสของกระแสในสายอากาศสมมาตร 2 แหล่งกำเนิด มีค่าดังนี้

$$I = \sqrt{\left(I_t\cos\theta_t + I_b\cos\theta_b\right)^2 + \left(I_t\sin\theta_t + I_b\sin\theta_b\right)^2} \qquad (2.5a)$$

เมื่อ

$$\theta_I = \tan^{-1}\left[\frac{\left(I_t\sin\theta_t + I_b\sin\theta_b\right)}{\left(I_t\cos\theta_t + I_b\cos\theta_b\right)}\right] \qquad (2.5b)$$

กำหนดให้

$$I_t = I_t e^{j\theta_t} \equiv I(z),$$
$$I_b = I_b e^{j\theta_b} \equiv I(-z) \qquad (2.6)$$

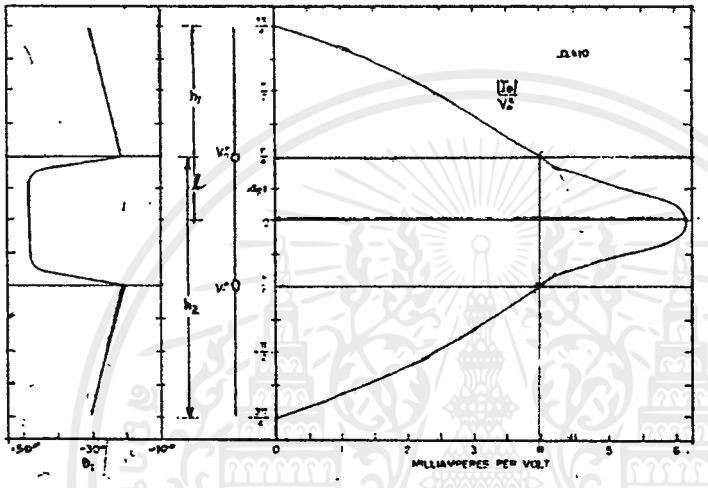
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

I = ขนาดของกระแส

θ_I = เฟสของกระแส ทั้ง I และ θ_I นี้จะหมายถึง V_0^e

ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 โดย $\beta_0 h_1 = \pi/2, \beta_0 h_2 = \pi$ และ Ω_1=Ω2=10 กระแสที่ไหลในส่วนกลางของสายอากาศระหว่างแหล่งกำเนิดทั้ง 2 นั้น จะมีความสัมพันธ์และมีความแตกต่างทางเฟสจากกระแสส่วนนอกประมาณ 25 องศาจากค่าเฉลี่ย



รูปที่ 2.5 ค่ากระแสในสลีฟไดโพลตามทฤษฎีและภาพเงา

ค่าแอดมิตแตนซ์และอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (Base Driven Antenna) โดยมีความยาวอิเลคตริก (Electric Length) $\beta h = 3\pi/4, \Omega$=10 บนตัวนำสมบูรณ์ คือ

$$Y_0 = (2.8 - j1.1)\times 10^{-3} \quad \text{โมห์,}$$

$$Z_0 = 310 + j122 \quad \text{โอห์ม} \qquad (2.7)$$

ซึ่งค่าเหล่านี้จะไม่ต่างจากค่าใน (2.3a,b) นัก โดยได้จากสายอากาศตัวเดียวกัน เมื่อจุดขับอยู่ที่ตำแหน่ง $\lambda_0/8$ จากระนาบตัวนำ

ค่าของอิมพีแดนซ์ (2.3b) และกระแสในส่วนบนดังรูป 2.5 เป็นค่าโดยประมาณที่ปลายสาย และกระแสบนสลีฟไดโพล ดังรูป 2.4 (d) จะขึ้นอยู่กับความยาวของสลีฟ และ รอยต่อระหว่างปลายสายโคแอกเชียลที่ซึ่งมีการป้อนค่าโวลเตจขับและเป็นจุดปลายสาย บริเวณพื้นผิวที่มีมากหรือน้อยของสายอากาศรวมทั้งพื้นที่บริเวณปลายสายนั้น จะมีผลทำให้เกิดการสะสมประจุได้ บางครั้งอาจมีการสะสมที่บริเวณสารไดอิเลคตริกบริเวณใกล้ๆ หรืออาจเกิดจากระยะห่างระหว่างตัวนำในและตัวนำนอกที ซึ่งหมายถึงการเกิดผลกระทบของสายส่ง (Transmission Line End Effects) และ ผลกระทบการคลัปปลิ้งสัญญาณ (Coupling Effects) ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างสายโคแอกเชียลและ สายอากาศ ซึ่งในการวิเคราะห์สายอากาศแบบทรงกระบอกจะไม่ได้รวมเอาผลกระทบดังกล่าวเข้าไปด้วย จึงได้ค่าอิมพีแดนซ์ของสลีฟไดโพลที่แตกต่างจากทฤษฎี ถ้าระยะห่างระหว่างตัวนำนอกกับตัวนำในของสายโคแอกเชียล (b-a) มีค่าน้อย พร้อมทั้งสารไดอิเลคตริกและพื้นผิวที่ทำให้เกิดการสะสมประจุ ทำหน้าที่เสมือนวงจรสมมูลของตัวคาปาซิแตนซ์ที่ต่อขนานอยู่กับสายอากาศ ความต้านทานที่วัดได้จะน้อยกว่าทฤษฎี และค่ารีแอกแตนซ์จะมีค่าลบมากกว่าตามอุดมคติ ถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางของสลีฟใหญ่กว่าสายอากาศจะทำให้การประมาณค่าไม่ใกล้เคียงเท่ากับกรณีที่สลีฟมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใกล้เคียงกับสายอากาศ

ใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับคำนวณอินพุทอิมพีแดนซ์เมื่อมีการเปลี่ยนความยาวของสลีฟเพื่อนำไปใช้ในการหาการแพร่กระจายกระแส อย่างไรก็ตามพฤติกรรมของสายอากาศที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ของอินพุทอิมพีแดนซ์ตามรูปกระแสใน 30.4 ซึ่งคำนวณได้โดยใช้ข้อมูลของกระแสและค่าอิมพีแดนซ์ตามที่หาค่าได้

สมมุติให้ความถี่มีค่า f_0 สำหรับ $\beta_0 h_1=\pi/2$,$\beta_0 h_2=\pi$,$\beta_0 \ell=\pi/4$ และความเร็วเชิงมุมมีค่าเท่ากับ ω_0สำหรับช่วงความถี่เปลี่ยนแปลงจาก $\omega_0-\Delta\omega$ ถึง $\omega_0+\Delta\omega$ เมื่อ $\Delta\omega=\omega_0/4$ ซึ่งความยาวอิเลคตริคแบ่งได้ดังนี้

$$\frac{3}{4}\omega_0 \le \omega \le \frac{s}{4}\omega_0 : \begin{cases} \frac{3\pi}{8} \le \beta_0 h_1 \le \frac{5\pi}{8} \\ \frac{3\pi}{4} \le \beta_0 h_2 \le \frac{5\pi}{4} \\ \frac{3\pi}{16} \le \beta_0 \ell \le \frac{5\pi}{10} \end{cases} \qquad (2.8)$$

ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์และแอดมิดแตนซ์ที่แหล่งกำเนิด $z=\ell$ มีค่าตามสมการ (2.1a,b) ในการคำนวณหาแอดมิดแตนซ์ หรืออิมพีแดนซ์ บนช่วงนี้จะเป็นจะต้องรู้ I_0 ที่จุดขับที่ระยะ $z=-\ell$ ซึ่งจะได้ค่าอิมพีแดนซ์และ I_A ในสายอากาศที่ไม่สมมาตร สำหรับ $\beta_0 h_1=\pi/2,3\pi/4,\ \pi,5\pi/4$ การคำนวณหาค่ากระแสที่ต้องการสามารถหาได้จากช่วง (2.8) คือ $\beta_0 h_2=3\pi/4,\ \pi,5\pi/4$ และค่ากลาง $\beta_0 h_2=\pi$ การหาค่ากระแสส่วนล่างที่ 2 ของสายอากาศแบบไม่สมมาตรหาได้จากกระแสในครึ่งล่างของสายอากาศแบบสมมาตรคูณกับ z_2/z_1+z_2 เมื่อ z_1 และ z_2 คืออิมพีแดนซ์ของสายอากาศสมมาตรของความยาว h_1 และ h_2 ตามลำดับ ค่าอิมพีแดนซ์เหล่านี้ $\left(\frac{I_0}{V_0^e}=Y_2\right)$ สามารถหาได้จากช่วงที่กำหนดให้เช่น. $3\pi/8 \le \beta_0 h_1 \le 5\pi/8,\ 3\pi/4 \le \beta_0 h_2 \le 5\pi/4$ โดยใช้ค่าอิมพีแดนซ์และแอดมิดแตนซ์จากบทที่ 2 ของ [1] (หน้า 30)

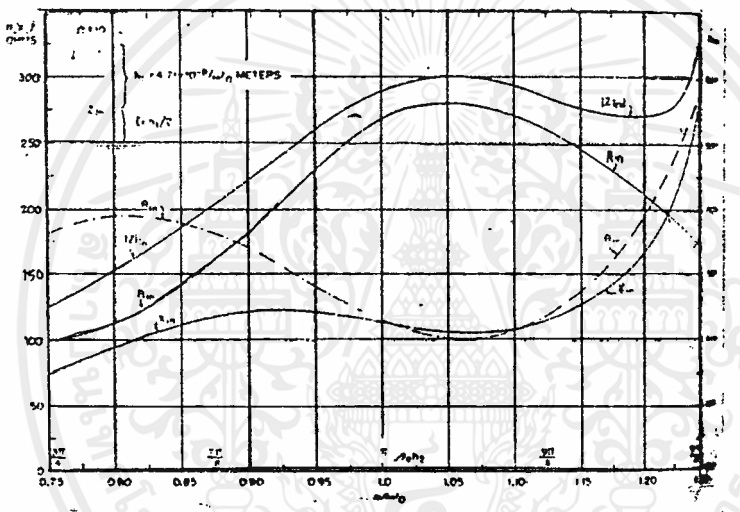
กระแส I_A หาได้จากเส้นกราฟการแพร่กระจายกระแสอันดับที่ 2 (Second Order) แต่สามารถหาค่าได้เฉพาะในช่วง $\beta_0 h = 3\pi/4$ ในการประมาณค่าของการเปลี่ยนแปลง I_A/V_0^e สามารถหาได้จากการพลอทกราฟของขนาดและเฟสทั้งจริงและจินตภาพของ I_A ในฟังก์ชันของ $\beta_0 h$ จากนั้นใช้การเปลี่ยนค่า (Interpolate) ค่าจากกราฟเหล่านี้จะได้ค่าประมาณของอิมพีแดนซ์ของสลีฟไดโพล ซึ่งสามารถคำนวณได้มากกว่าช่วงความถี่ที่กำหนดได้ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

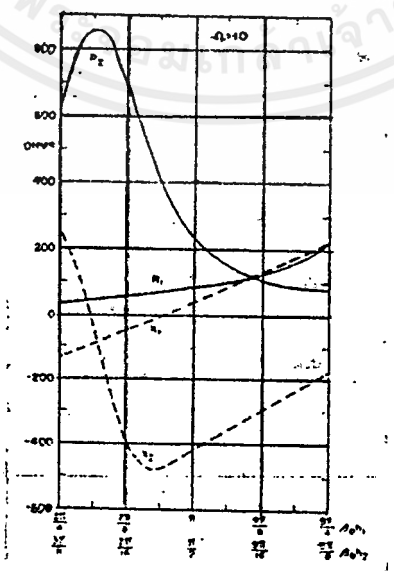
$$\frac{1}{Z_{in}} = Y_{in} = 2\left(\frac{I_0 + I_A}{V_0^e}\right)\left(\frac{z_2}{z_1 + z_2}\right) \qquad (2.9)$$

โดยที่ I_0 และ I_A คือ ค่าที่หาได้จากเส้นกราฟอันดับที่ 2 ของบทที่ 2 (หน้า 22) ในเทอมของแหล่งกำเนิดตัวเดียวกับ V_0^e ข้อจำกัดกรณีนี้คือ $z = \ell = 0$ ดังนั้นที่จุดกลางของสายอากาศจะมีโวลเตจ เท่ากับ $2V_0^e$

กราฟที่แสดงอินพุทอิมพีแดนซ์ $Z_{in}=R_{in}+jX_{in}=Z_{in}e^{j\theta_{in}}$ ของสลีฟไดโพลในรูปที่ 2.6 ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ $\beta_0 h_2$ และ ω/ω_0 สำหรับการเปรียบเทียบตัวแปรใน $Z_1=R_1+jX_1$ และ $Z_2=R_2+jX_2$ ของสายอากาศแบบสมมาตรของความยาวไฟฟ้าครึ่งคลื่นในช่วง $3\pi/8 \le \beta_0 h_1 \le 5\pi/8$ และ $3\pi/4 \le \beta_0 h_2 \le 5\pi/4$ ตามที่แสดงในรูป 2.7 จะเห็นได้ว่าค่ารีแอกแตนซ์มีค่าคงที่เข้าใกล้ 110 โอห์ม โดย x_1 และ x_2 มีการเปลี่ยนแปลงกว้างมากทั้งด้านบวกและด้านลบ ส่วนค่า R_{in}ของสลีฟไดโพลเปลี่ยนแปลงภายใน 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยซึ่งเข้าใกล้ 200 โอห์ม ส่วน R_2 จะอยู่ในช่วง 80-850 โอห์ม และ R_1 จะเปลี่ยนแปลงเกินช่วงใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์ จากค่าเฉลี่ยคือ 110 โอห์ม



รูปที่ 2.6 ค่าอิมพีแดนซ์ของสลีฟไดโพลตามทฤษฎี



รูปที่ 2.7 ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศสมมาตรแบบจุดขับตรงกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาทางด้านความถี่ของสลีฟไดโพลจะพบว่ามันสามารถทำงานได้ในช่วงที่กว้างขึ้นมากกว่าทั้งไดโพลครึ่งคลื่นและเต็มคลื่น และถ้าต้องการช่วงแบนด์วิธที่กว้างแบบนี้ควรที่จะออกแบบระบบแมทชิง (Reactive Matching Network) ให้ค่า SWR บนสลีฟไดโพลดีขึ้นนั่นเอง

ตามวิธีการคำนวณในวิเคราะห์สายอากาศสลีฟไดโพลของเทเลอร์ (Taylor) เมื่อสลีฟไดโพลประกอบด้วย 2 ส่วนนั้น ไทรอัลฟังก์ชัน (Trial Function) สำหรับการแพร่กระจายกระแสจะยิ่งซับซ้อนมากขึ้น สำหรับสายอากาศนั้นจะมีข้อจำกัดคือ

$$\beta_0(h_1+\ell)<2\pi \quad ,\beta_0\ell<\pi \tag{2.10}$$

โดย

ℓ =ระยะจากกราวด์เพลน z=0 ถึงจุดขับ $z=\ell$

h_1 =ระยะจากจุดขับ $z=\ell$ ถึงจุดปลายของสายอากาศ

โดยมีสมการต่อไปนี้เป็นไทรอัลฟังก์ชัน

$$I_{zT}=I_{tT}\left[1+C(\alpha+\cos\beta_0 z)\right], \quad (0\le z\le \ell) \tag{2.11a}$$

$$I_{zT}=I_{tT}\left\{\delta\left[1-\cos\beta_0(h_1+\ell-z)\right]+D\left[\sin\beta_0(h_1+\ell-z)+\varepsilon\left\{1-\cos\beta_0(h_1+\ell-z)\right\}\right]\right\} \tag{2.11b}$$

โดย $\alpha=-\cos\beta_0\ell, \delta=1/(1-\cos\beta_0 h), \varepsilon=-\sin\beta_0 h/(1-\cos\beta_0 h_1)$ (2.11c)

และ I_{tT} = กระแสที่จุดขับ

C,D= ค่าคงที่เชิงซ้อน

แทนสมการ (2.11a),(2.11b) ลงในสมการอินติกรัลในบทที่ 2 หน้า39 (สมการที่ 13) เพื่อหาค่ากระแส ค่าประมาณของอิมพีแดนซ์ของสลีฟไดโพลหาได้ดังนี้

$$Z_{in}=\frac{j\zeta_0}{4\pi}\left(\gamma_0+\gamma_c C+\gamma_D D+\gamma_{cc}C^2+\gamma_{DD}D^2+\gamma_{CD}CD\right) \tag{2.12}$$

โดย $\gamma's$ คือค่าฟังก์ชันอย่างยาวของ $\beta_0 h_1, \beta_0\ell, \beta_0 a$ และการรวมของพจน์เหล่านี้ ซึ่งมีความสอดคล้องกับตรีโกณมิติและรูปร่างทั่วไปของอินติกรัลของไซน์และโคไซน์ในรูปแบบตาราง

เมื่อ Z_{in} จาก (2.12) อยู่ในรูป C,D เราสามารถหาค่าที่ดีที่สุดของ C,D ได้โดยให้ $\frac{\partial z_{in}}{\partial C}=0$ และ $\frac{\partial z_{in}}{\partial D}=0$

$$C=\frac{\gamma_D\gamma_{CD}-2\gamma_c\gamma_{DD}}{4\gamma_{CC}\gamma_{DD}-\gamma_{CD}^2} \tag{2.13a}$$

$$D=\frac{\gamma_c\gamma_{CD}-2\gamma_D\gamma_{CC}}{4\gamma_{CC}\gamma_{DD}-\gamma_{CD}^2} \tag{2.13b}$$

แทนสมการ (2.13a),(2.13b) ใน (2.11a,b) และ (2.12) จะได้สูตรของเทเลอร์ (Taylor's Formular) สูตรสุดท้าย เพื่อหาค่า I_z และอินพุทอิมพีแดนซ์ (Z_{in})

ในการคำนวณเชิงตัวเลขของ γ ใน (2.12),(2.13a,b) จะมีความยุ่งยากมาก ดังนั้นเทเลอร์จึงแนะนำไทรอัลฟังก์ชันที่ง่ายๆ เพื่อหากระแสในทั้ง 2 ส่วนซึ่งฟังก์ชันนี้จะมีความแม่นยำน้อย และใช้ได้เมื่อ $\beta_0 h_1 \le \pi/2$ เท่านั้น นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

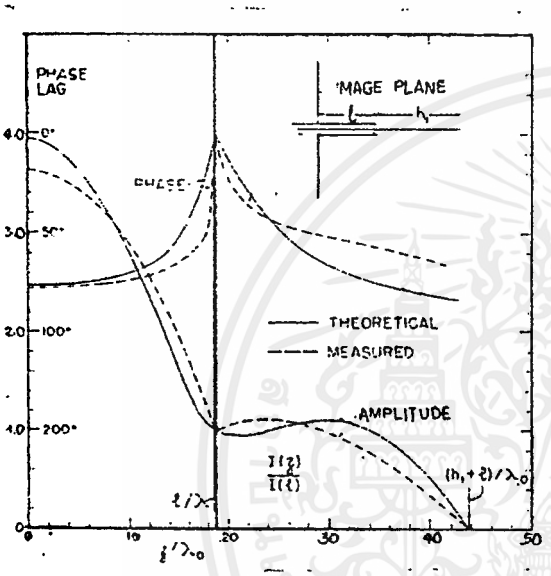
$$I_{zT} = I_{z\ell}\left[1 + C(\cos\beta_0 z - \cos\beta_0 h)\right], \quad (0 \le z \le \ell) \tag{2.14a}$$

$$I_{zT} = I_{z\ell}\frac{\sin\beta_0(h_1 + \ell - z)}{\sin\beta_0 h_1}, \qquad (\ell \le z \le h_1 + \ell) \tag{2.14b}$$

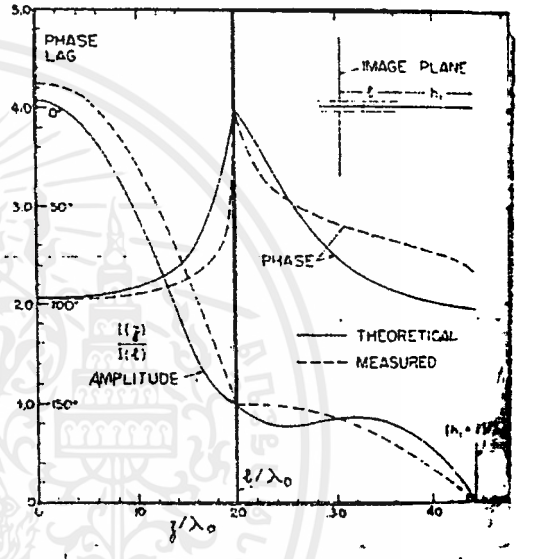
เมื่อ $C = -\gamma_{cc}/2\gamma_{cc}$ แล้ว

$$Z_a = \frac{j\zeta_0}{4\pi}\left(\gamma_0 - \frac{\gamma_0^2}{4\gamma_{cc}}\right) \tag{2.15}$$

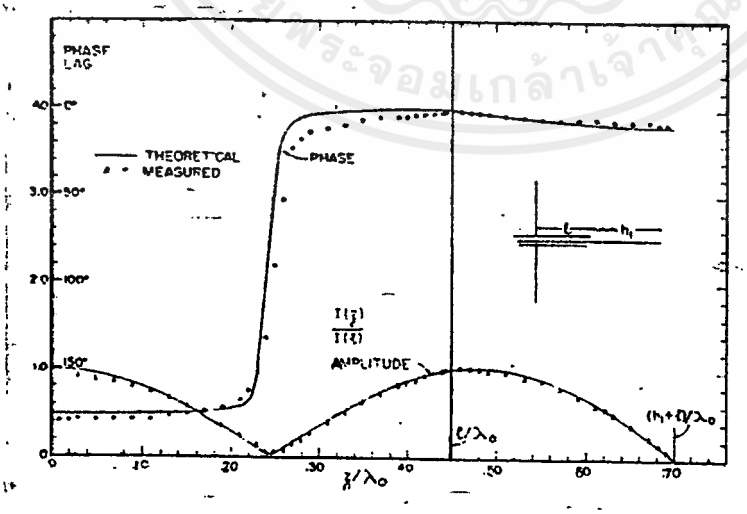
โดย γ เป็นฟังก์ชันชุดใหม่ของ $\beta_0 h_1, \beta_0 \ell, \beta_0 a$ ซึ่งยังสอดคล้องกับตรีโกณมิติและอินติกรัลของไซน์และโคไซน์อยู่



รูปที่ 2.8 (a) กระแสบนสายอากาศสลีฟที่ ℓ =0.188 λ , h_1 =0.25 λ

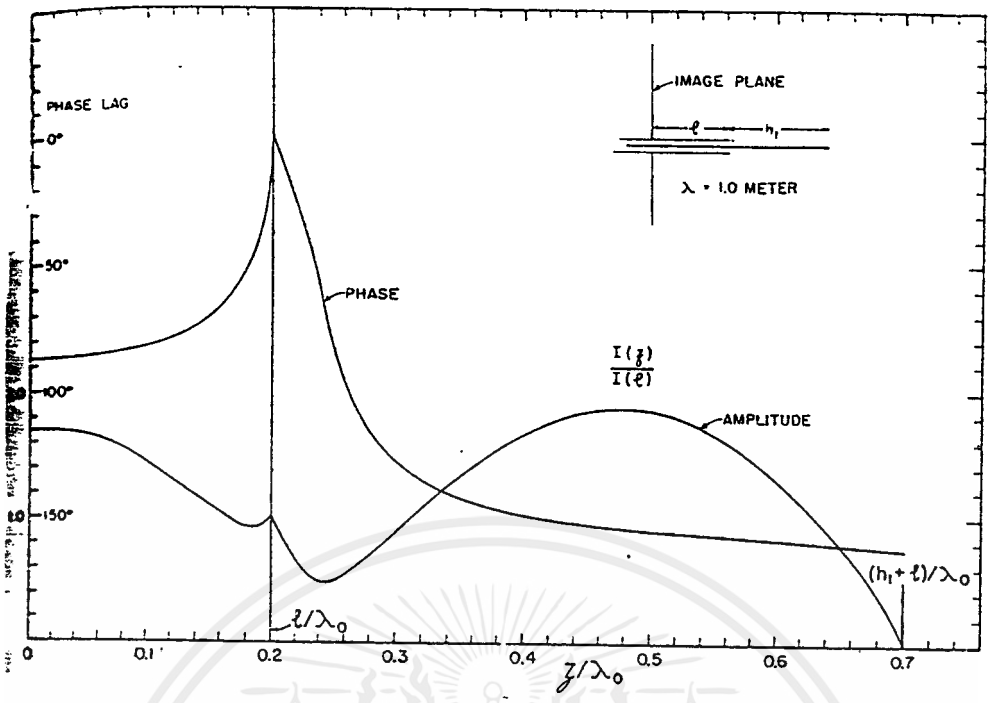


รูปที่ 2.8 (b) กระแสบนสายอากาศสลีฟที่ ℓ =0.20 λ , h_1 =0.25 λ



รูปที่ 2.8 (c) กระแสบนสายอากาศสลีฟที่ ℓ =0.45 λ , h_1 =0.25 λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 (d) กระแสบนสายอากาศสลีฟที่ ℓ =0.20 λ , h_1 =0.5 λ

ในการทดลองวัดค่าของกระแสและอิมพีแดนซ์โดยเทเลอร์ โดยใช้สายอากาศที่มีความยาวทั้งหมดเป็น $h_1 + \ell$ และสลีฟยาว ℓ ในการวัดค่าแอมปลิจูดและเฟสของกระแสบนโครงสร้างของสายอากาศดังกล่าวและกระแสบน สายโคแอกเชียลที่ป้อนสัญญาณให้กับส่วนสลีฟด้วย โดยจะใช้สายโพรบขนาดเล็ก

จากรูปที่ 2.8 (a,b,c,d) จะพบว่าค่าที่ได้จากการวัดมีความใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎีพอประมาณและอยู่ในขั้นที่ยอมรับได้ โดยทางทฤษฎีนั้นจะใช้การคำนวณสูตรแบบสั้น (2.14 a,b) ที่ค่า ℓ, h ต่างๆ กัน และที่ $z = \ell$ จะได้ค่าจากการคำนวณเท่ากับค่าจากการทดลอง

2.3 ทฤษฎีความเป็นหนึ่ง (Uniqueness Theorem) [4]

เมื่อไรก็ตามที่มีการแก้ปัญหาสมการทางแม่เหล็กไฟฟ้า มักจะได้คำตอบเพียงคำตอบเดียวเสมอ ซึ่งเราจะต้องรู้ถึงสภาวะ, ข้อมูลต่างๆ ที่จะได้มาซึ่งคำตอบนั้น สนามจากแหล่งกำเนิดที่แพร่กระจายในตัวกลางที่มีการสูญเสียจะมีค่าความเป็นหนึ่งภายในตัวกลางนั้นเมื่อมีคุณสมบัติ 3 ข้อ ตามทฤษฎีความเป็นหนึ่งกล่าวที่กล่าวไว้ ดังต่อไปนี้

1. องค์ประกอบในแนวสัมผัสของ สนามไฟฟ้า (E) อยู่เหนือขอบเขต
2. องค์ประกอบในแนวสัมผัสของ สนามแม่เหล็ก (H) อยู่เหนือขอบเขต
3. มีองค์ประกอบในแนวสัมผัสของสนามไฟฟ้าอยู่เหนือขอบเขตและมีองค์ประกอบในแนวสัมผัสของสนามแม่เหล็กอยู่เหนือส่วนที่เหลือ

โดยทั่วไปแล้ว ทฤษฎีความเป็นหนึ่งจะใช้ไม่ได้กับตัวกลางที่ไม่มีการสูญเสีย ในการพิจารณาทฤษฎีในกรณีนี้ จะกำหนดให้สนามที่แพร่กระจายเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งสามารถกำหนดให้เป็นขอบเขตของสนามในตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

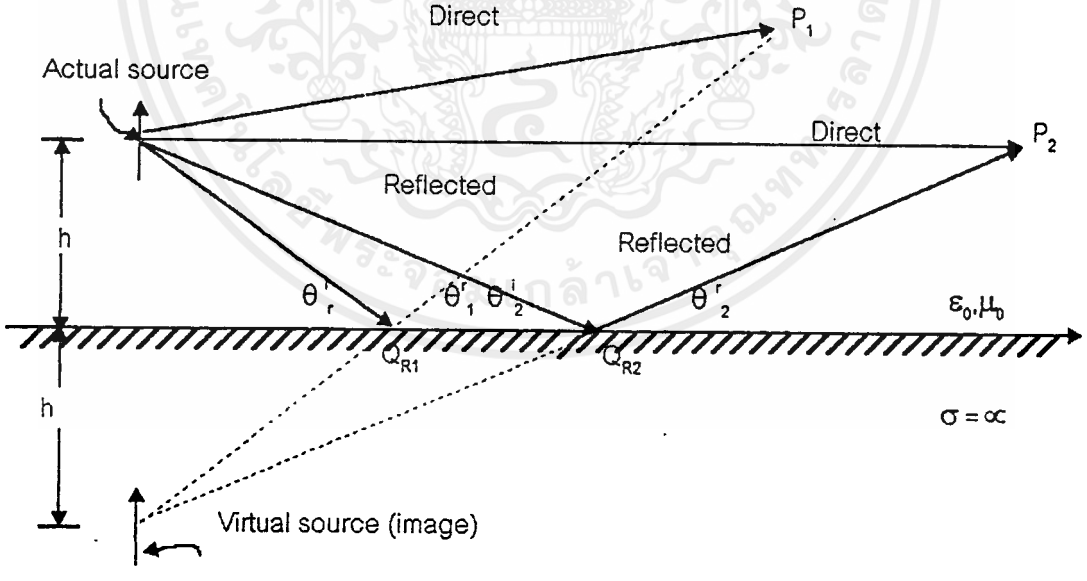
กลางที่มีการสูญเสียได้ (ในตัวกลางที่มีการสูญเสียจะเกิดสนามขึ้นมากมาย) อย่างไรก็ตาม คำตอบของทฤษฎีความเป็นหนึ่งของตัวกลางที่ไม่มีการสูญเสียนี้ มีวิธีเฉพาะของมันเองในการหาซึ่งอาจจะไม่เหมือนกับเงื่อนไขข้างต้นก็ได้

2.4 **ทฤษฎีเงา** (Image Theory) [4]

การแก้ปัญหากรณีมีสิ่งกีดขวางวางอยู่ใกล้กับแหล่งแพร่กระจายคลื่นสามารถทำได้โดยการพิจารณาคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นทั้งหมด ในทางปฏิบัติสิ่งกีดขวางที่มักจะเจอเสมอคือพื้นดิน คลื่นที่แพร่กระจายจะตกกระทบที่พื้นและสะท้อนกลับ โดยปริมาณคลื่นสะท้อนกลับและทิศทางจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างและองค์ประกอบของพื้นดินนั้นๆ

โดยทั่วไป พื้นดินจัดเป็นตัวกลางที่มีการสูญเสีย ซึ่งค่าความนำ (σ) จะเพิ่มขึ้นตามความถี่จึงเสมือนว่าพื้นดินเป็นตัวนำที่ดีซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความชื้นที่เป็นองค์ประกอบ ในการวิเคราะห์อย่างง่าย เราจะสมมติให้พื้นดินเป็นตัวนำสมบูรณ์ (Perfect Conductor) รูปร่างแบน และไร้ขอบเขต (Infinite) ซึ่งสามารถนำข้อสมมตินี้ไปใช้กับแหล่งกำเนิดคลื่นอื่นๆ ที่อยู่ใกล้วัตถุที่เป็นตัวนำสมบูรณ์ รูปร่างแบน และไร้ขอบเขตได้ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถสร้างเงื่อนไขดังกล่าวได้ แต่เราสามารถสมมติ (ในทางไฟฟ้า) ให้มันมีขนาดใหญ่มากๆ ได้

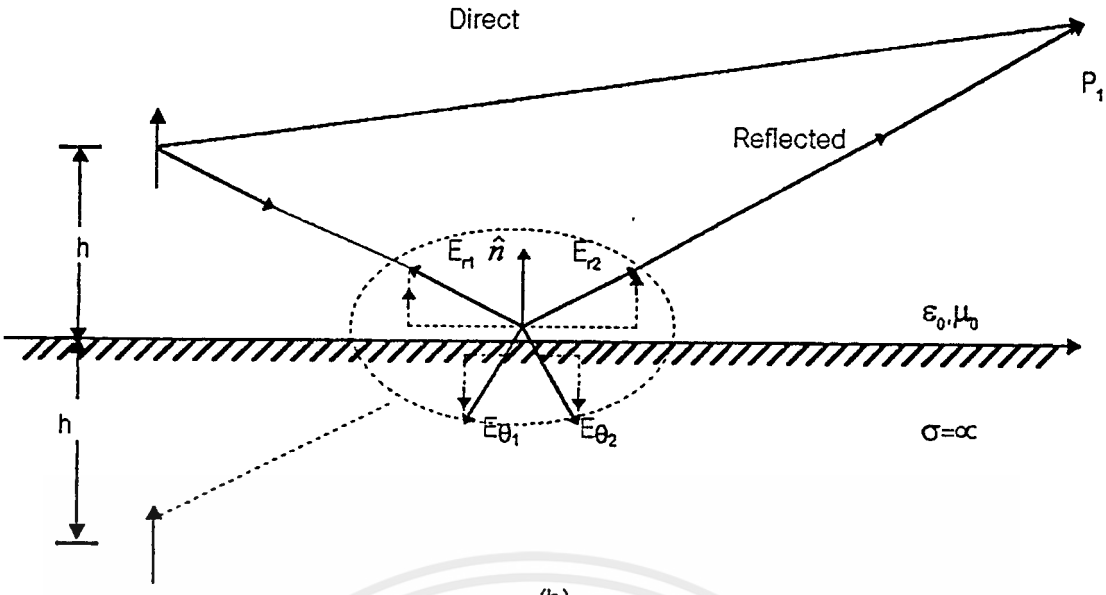
ในการวิเคราะห์แหล่งแพร่กระจายคลื่นที่ใกล้ตัวนำสมบูรณ์ จะใช้รูปเงา (Image) เพื่อหาคลื่นสะท้อนกลับ ดังนั้นแหล่งกำเนิดใหม่จึงเป็นเพียงแหล่งกำเนิดเสมือน ที่อ้างอิงจากแหล่งกำเนิดจริง โดยจะพิจารณาให้แหล่งกำเนิดเสมือนมีการแพร่กระจายคลื่นเหนือตัวนำเหมือนกับแหล่งกำเนิดจริง ดังรูป



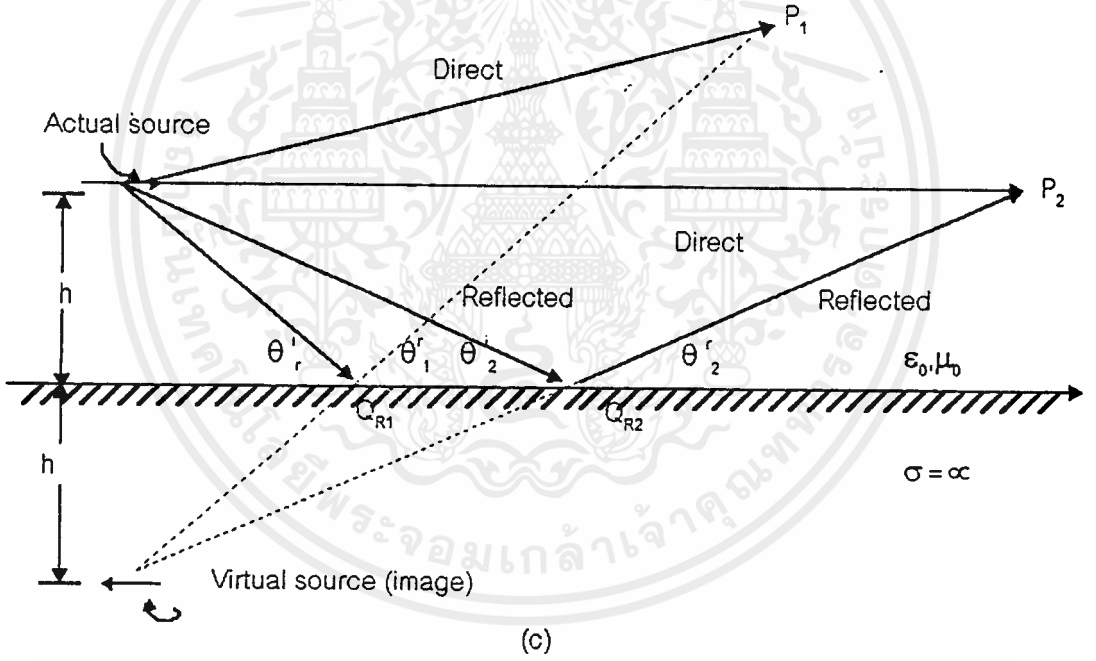
(a)

รูปที่ 2.9 ไดโพลตั้งฉากและแหล่งกำเนิดเสมือน แสดงคลื่นสะท้อนกลับจากตัวนำสมบูรณ์ไร้ขอบเขต (a) แหล่งกำเนิดจริงและแหล่งกำเนิดเสมือน (b) องค์ประกอบของสนามที่จุดตกกระทบ (c) คลื่นตรงและคลื่นสะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)



(c)

รูปที่ 2.9 (ต่อ)

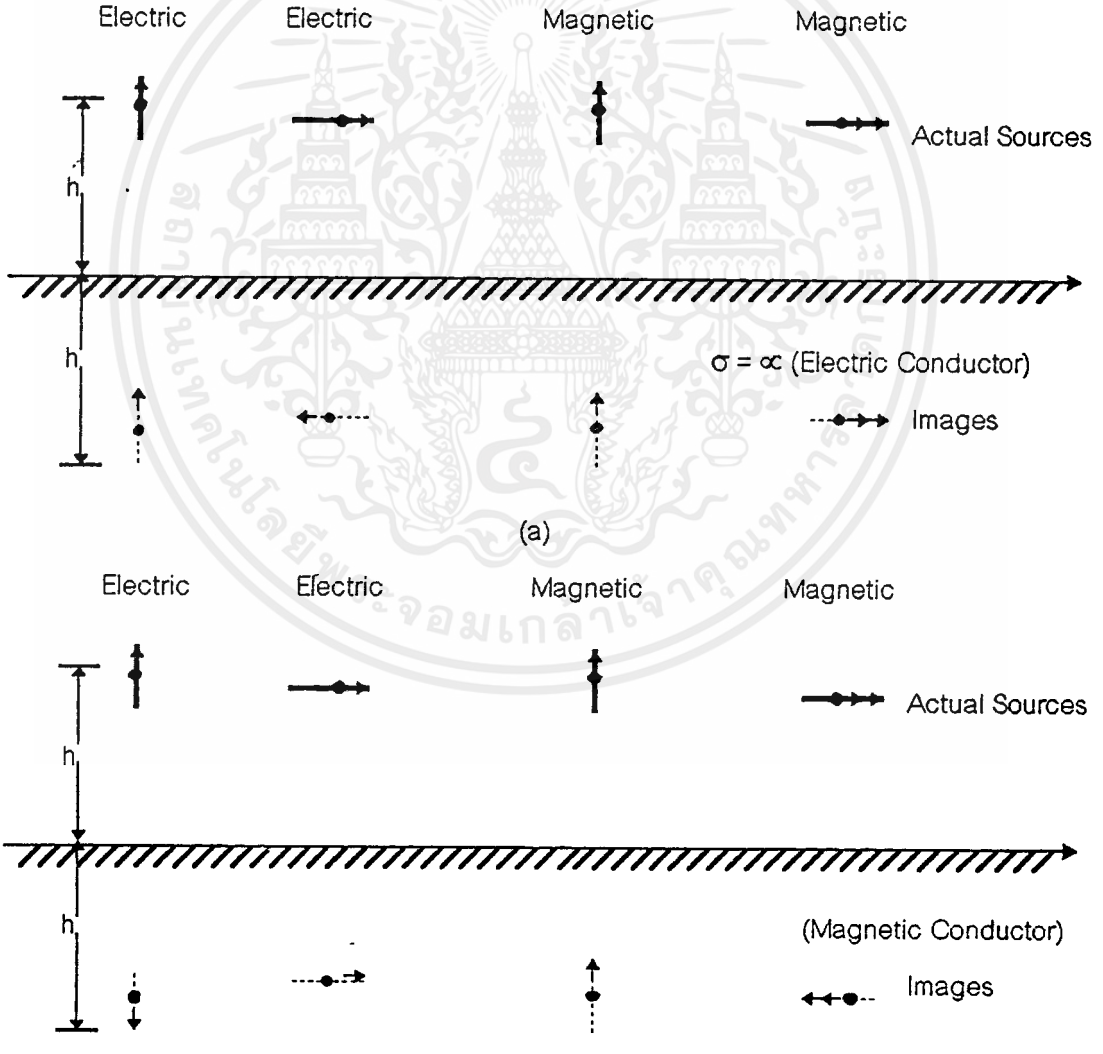
สนามจากแหล่งกำเนิดเสมือนจะไม่ใช่ค่าสนามที่แท้จริง จึงมีค่าเป็น 0 ซึ่งค่าสนามจากแหล่งกำเนิดเสมือนเป็นค่าที่ไม่จำเป็นสำหรับการคำนวณ

กำหนดให้ h เป็นระยะห่างจากไดโพลในแนวตั้งฉาก (Vertical Electric Dipole) มายังตัวนำสมบูรณ์ ดังรูปที่ 2.9 (a) สมมติให้ไม่มีการเกิดการมิวชวลคัปปลิ้งสัญญาณ (Mutual Coupling) พลังงานจากแหล่งกำเนิดจริงจะแพร่กระจายไปทุกทิศทุกทาง จะมีคลื่นตรง (Direct Wave) เดินทางมายังจุดสังเกตุ P_1 และมีคลื่นเดินทางไปยัง R_1 ที่รอยต่อ และสะท้อนกลับขึ้นไปคำนวณได้จากการใช้กฎของการสะท้อนกลับ คือ $\theta_H = \theta_{H1}$ ซึ่งเป็นไปตามหลักที่พลังงานคลื่นในตัวกลางเนื้อเดียวนั้นเดินทางเป็นเส้นตรงไปตามระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางสั้นๆ และเมื่อ ขยายระยะทางจริงลงมาใต้รอยต่อ ทำให้เสมือนว่าคลื่นมีการแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดเสมือนที่อยู่ห่างจากรอยต่อเป็นระยะทาง h เท่ากับระยะห่างจากรอยต่อถึงแหล่งกำเนิดจริง สำหรับจุด P_2 จะมีคลื่นสะท้อนจากจุด R_2 และถ้าลากเส้นตรงจากระยะทางจริงลงมายังใต้รอยต่อก็จะได้ข้อสรุปเหมือนจุด P_2 เงื่อนไขดังกล่าวสามารถใช้ได้กับจุดทุกจุดที่อยู่เหนือรอยต่อนั่นเอง

โดยทั่วไปปริมาณคลื่นสะท้อนกลับจะคำนวณ โดยอาศัยองค์ประกอบของตัวกลางที่อยู่ใต้รอยต่อตามความสัมพันธ์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับตัวนำสมบูรณ์ใต้รอยต่อ คลื่นตกกระทบจะมีการสะท้อนกลับหมดคือมีค่าสนามเป็น 0 ที่รอยต่อ ตามเงื่อนไขรอยต่อจะไม่มีค่าองค์ประกอบทางผิวสัมผัสของสนามไฟฟ้าในทุกจุดตลอดแนวรอยต่อ เงื่อนไขนี้ใช้ในการหาโพลาไรซ์ของคลื่นสะท้อนกลับ แหล่งกำเนิดเสมือนควรมีทิศตั้งฉากและมีทิศทางเดียวกับแหล่งกำเนิดจริง ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับจะใช้ค่า +1 เนื่องจากเงื่อนไขรอยต่อต่อค่าองค์ประกอบผิวสัมผัสของสนามไฟฟ้ามีผลต่อพื้นผิวปิดนั้น ในกรณีนี้ที่รอยต่อมีค่าจาก $-\infty$ ถึง $+\infty$ ดังนั้นผลเฉลยจึงมีเพียงค่าเดียวซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีความเป็นหนึ่ง



รูปที่ 2.10 แหล่งกำเนิดสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กพร้อมกับแหล่งกำเนิดเสมือน (a) แหล่งกำเนิดสนามไฟฟ้า (b) แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดที่มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นแบบแนวนอน (Horizontal) ดังแสดงในรูป 2.9 (b) ถ้าใช้การวิเคราะห์ในแบบไดโพลตั้งฉาก (Vertical Dipole) จะได้แหล่งกำเนิดเสมือนที่มีระยะห่างจากรอยต่อเท่ากับ h เหมือนกัน แต่ทำมุม 180 องศา กับแหล่งกำเนิดจริง จึงใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับเท่ากับ -1 จะได้ผลเฉลยเป็นค่าเดียว เช่นกัน เพราะเงื่อนไขรอยต่อใช้ได้กับพื้นที่ผิวปิด กรณีนี้พิจารณาความยาวจาก $-\infty$ ถึง $+\infty$

จากแหล่งกำเนิดสนามไฟฟ้า (Electric Source) จะได้แหล่งกำเนิดสมมูลขึ้นมาคือ แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก (Magnetic Source) และสารตัวนำแม่เหล็ก แต่ค่าองค์ประกอบผิวสัมผัสของสนามแม่เหล็กจะหายไปบริเวณพื้นผิวโดยรอบของสนามแม่เหล็ก ในรูปที่ 2.10(a) แสดงแหล่งกำเนิดจริงและแหล่งกำเนิดเสมือน รูปลูกศรเดี่ยวแสดงแหล่งกำเนิดสนามไฟฟ้า สำหรับระนาบตัวนำไฟฟ้า และรูปลูกศรคู่แสดงแหล่งกำเนิดและทิศทางของสนามแม่เหล็ก

2.5 ทฤษฎีพื้นผิวสมมูล (Surface Equivalence Theorem) [4]

ทฤษฎีพื้นผิวสมมูล เป็นทฤษฎีที่ว่าด้วยการแทนที่แหล่งกำเนิดจริง เช่น สายอากาศ , อุปกรณ์ส่งสัญญาณ ด้วยแหล่งกำเนิดสมมูล (Equivalence Source) ซึ่งจะอยู่ภายในบริเวณพื้นผิวที่พิจารณา เนื่องจากแหล่งกำเนิดสมมูลจะมีการแพร่กระจายคลื่นเหมือนกับแหล่งจ่ายจริงทุกประการ

ทฤษฎีพื้นผิวสมมูล เริ่มมีการนำมาใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2479 โดย เชลกูนอฟฟ์ (Schelkunoff) และมีความคล้ายคลึงกับหลักการของไฮเกนส์ ที่กล่าวไว้ว่า "แต่ละจุดของหน้าคลื่นปฐมภูมิ (Primary Wavefront) สามารถพิจารณาให้เป็นแหล่งกำเนิดใหม่ของ คลื่นวงกลมทุติยภูมิ (Secondary Spherical Wave) และหน้าคลื่นทุติยภูมินี้สามารถกลายเป็นสันคลื่น (Envelope) ของคลื่นวงกลมทุติยภูมินี้ได้ " ทฤษฎีพื้นผิวสมมูลใช้พื้นฐานของทฤษฎีความเป็นหนึ่ง ซึ่งกำหนดให้สนามในตัวกลางที่มีการสูญเสียมีขอบเขตจำกัดและที่ค่าความสูญเสียมีค่าเท่ากับ 0 ดังนั้นถ้าทราบค่าองค์ประกอบแทนเจ้นท์ของสนามไฟฟ้าเหนือพื้นผิวปิด จะทำให้สามารถคำนวณหาสนามในแหล่งกำเนิดที่อยู่ในบริเวณต่างๆ ได้

ตามทฤษฎีพื้นผิวสมมูล สนามที่อยู่ด้านนอกของพื้นผิวปิดจินตภาพ (Imaginary Closed Surface) หาได้จากการแทนที่เหนือบริเวณพื้นผิวนั้นด้วยความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าและกระแสแม่เหล็กค่าหนึ่งที่เหมาะสมและตรงตามเงื่อนไขรอยต่อ กรณีความหนาแน่นกระแสดังกล่าวเป็นความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจะได้สนามภายในพื้นผิวปิดเป็นศูนย์ และสนามด้านนอกมีค่าเท่ากับคลื่นที่แพร่กระจายออกมาจากแหล่งกำเนิดจริง ดังนั้นวิธีการนี้สามารถใช้ในการหาค่าสนามที่แพร่กระจายภายนอกพื้นผิวปิดที่เกิดจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ภายในนั้นได้ โดยใช้การอินติเกรทรอบพื้นผิวปิด ความถูกต้องของค่าสนามที่ได้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางแทนเจ้นท์ของสนามรอบพื้นผิวปิดนั้น

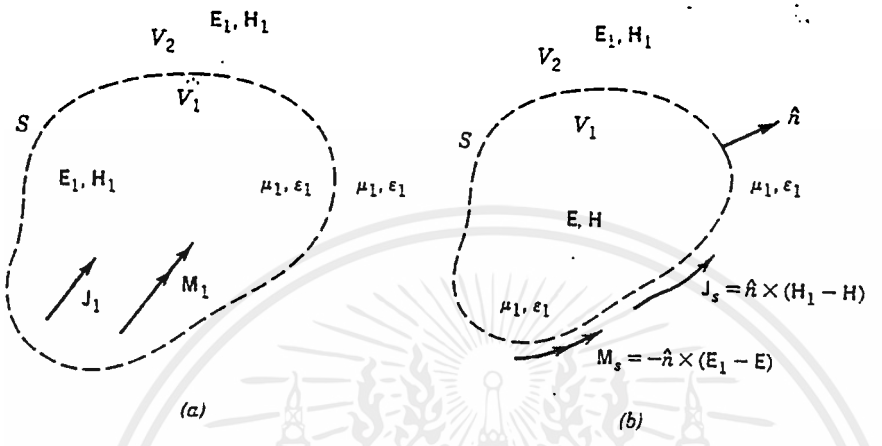
ในการนำประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ การเลือกพื้นผิวปิดส่วนมากจะเลือกส่วนที่มีตัวนำอยู่ด้วย เนื่องจากจะทำให้องค์ประกอบทางแทนเจ้นท์ของสนามไฟฟ้าหายไป ทำให้ลดพจน์ที่จะอินติเกรทลง

ตามทฤษฎีพื้นผิวสมมูล จะพิจารณาให้ J_1, M_1 เป็นความหนาแน่นกระแสที่แพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดจริง ดังแสดงในรูปที่ 2.11(a) แหล่งกำเนิดจะแพร่กระจายสนาม E_1 และ H_1 ในทุกทิศทาง เพื่อหาวิธีการคำนวณสนามภายนอกพื้นผิวปิด จึงเลือกพื้นผิวปิดเป็น S ค่าพารามิเตอร์ภายใน S คือ V_1 และภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปแสวงหาผลประโยชน์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S คือ V_2 ขั้นแรกทำการแทนที่แหล่งกำเนิดจริงด้วยแหล่งกำเนิดเสมือนที่มีการแพร่กระจายของสนาม E_1 และ H_1 ภายนอกพื้นผิว S

ที่ใช้รูปที่ 2.12(b) แก้ปัญหาในรูป 2.11(a) คือแหล่งจ่ายจริง (J_1, M_1) จะถูกย้ายออก และสมมติให้มีสนาม E,H อยู่ภายในและสนาม E_1,H_1 อยู่ภายนอกพื้นผิวปิด S โดยสนามเหล่านี้จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขรอยต่อทั้งองค์ประกอบผิวสัมผัสทางไฟฟ้าและองค์ประกอบผิวสัมผัสทางแม่เหล็ก



รูปที่ 2.11 (a) แหล่งกำเนิดจริง (b) รูปเสมือนที่ใช้ในการแก้ปัญหา

ดังนั้นสำหรับพื้นผิวปิดจินตภาพ S จะได้แหล่งกำเนิดเสมือนดังนี้

$$J_s = \hat{n} \times (H_1 - H) \qquad (2.15a)$$

$$M_s = -\hat{n} \times (E_1 - E) \qquad (2.15b)$$

เป็นแหล่งกำเนิดที่มีการแพร่กระจายไปในพื้นที่ๆ ไม่มีรอยต่อ (ตัวกลางเดียวกันในทุกๆ ตำแหน่ง) จะได้ว่าความหนาแน่นกระแสใน (2.15a) และ (2.15b) จะสมมูลกันเฉพาะค่า V_2 เท่านั้น เป็นเพราะว่ามีสนาม E_1 ,H_1 เฉพาะภายนอกพื้นผิวปิด S เท่านั้น ส่วนสนาม E,H จะสมมูลกันเฉพาะค่า V_1 เท่านั้น เมื่อมีการแพร่กระจายของกระแสในพื้นที่ๆ ไม่มีรอยต่อ สามารถคำนวณหากระแสของสนามโดยใช้สมการจากหน้า 259-261 สมการ (630-6-35a)ในที่นี้จะให้เป็นสมการ (*) ในกรณีที่จะได้กล่าวถึงต่อไป)

เราใช้องค์ประกอบผิวสัมผัสของสนามไฟฟ้าของ E,H ในการกำหนดสมการขึ้นมา จากทฤษฎีความเป็นหนึ่งเราจะพบว่าต้องการเพียงค่าองค์ประกอบผิวสัมผัสของสนามไฟฟ้าหรือ องค์ประกอบผิวสัมผัสของสนามแม่เหล็ก ค่าใดหนึ่งเท่านั้นในการคำนวณหาค่าของสนาม ได้มีการแสดงให้เห็นว่าการแก้ปัญหาดังกล่าวเราต้องการเฉพาะกระแสแม่เหล็ก (องค์ประกอบผิวสัมผัสของสนามไฟฟ้า) หรือ กระแสไฟฟ้า (องค์ประกอบผิวสัมผัสของสนามแม่เหล็ก) ซึ่งจะนำไปใช้ในรูป 2.12(b)

ค่า E,H ใน S ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่พิจารณาจะกำหนดให้เป็นศูนย์ จากรูป 2.12(b) จึงทำให้ได้รูป 2.13(a) ซึ่งมีสมการดังนี้

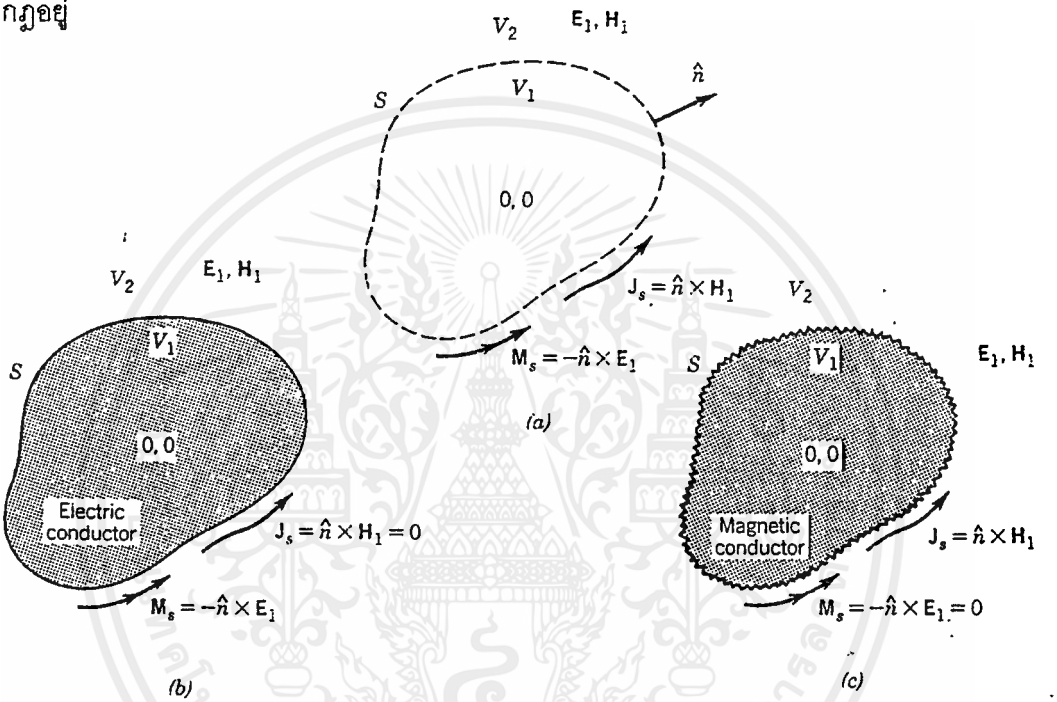
$$J_s = \hat{n} \times (H_1 - H)\big|_{H=0} = \hat{n} \times H_1 \qquad (2.16a)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M_s = -\hat{n} \times (E_1 E)\big|_{E=0} = -\hat{n} \times E_1 \qquad (2.16b)$$

สมการ (2.16a ,b) เรียกว่า หลักการเสมือนของเลิฟ (Love's Equivalent Principle) สนามที่แพร่กระจายในตัวกลางที่ไม่มีรอยต่อ จะมีค่า μ, ε เท่ากัน ซึ่งใช้สมการ (*) ในการหาค่าสนามบริเวณต่างๆ ได้

จากหลักการเสมือนของเลิฟ จะทำให้เกิดสนาม E,H=0 ภายใน S และถ้า E,H=0 แล้วจะทำให้สนามภายนอกไม่มีผลต่อสนามภายใน ดังนั้นจึงสามารถแทน S นี้ด้วย "ตัวนำสมบูรณ์" (Perfect Conductor ,$\sigma=\infty$) ตัวนำสมบูรณ์จะมีผลต่อ J_s และไม่สามารถใช้สมการใน (*) มาใช้เพราะมีความหนาแน่นกระแสไม่ไหลในตัวกลาง สมมติโครงสร้างทางเรขาคณิตของตัวนำไฟฟ้าจะเหมือนกับพื้นผิวรอบข้างของ S โดยมี J_s และ M_s ปรากฏอยู่

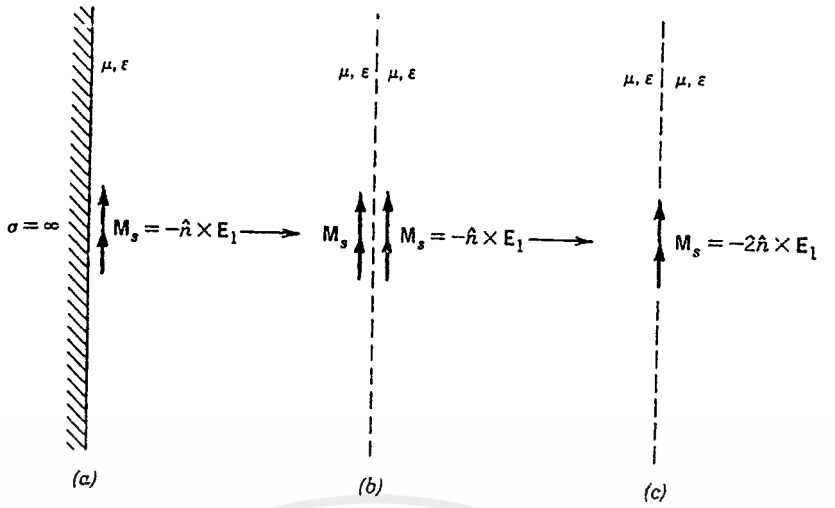


รูปที่ 2.12 โครงสร้างตามหลักการพื้นผิวเสมือน (a) หลักการเสมือนของเลิฟ (b) ตัวนำไฟฟ้าเสมือน (c) ตัวนำแม่เหล็กเสมือน

เมื่อแทนที่ภายใน S เช่น ตัวนำไฟฟ้า จะพบว่า J_s มีค่าเท่ากับ 0 (Short Circuited) จึงเหลือเพียง M_s เท่านั้น จึงทำให้เกิดสนาม E_1, H_1 ออกมานอกผิว S แต่เมื่อกำหนดเช่นนี้แล้วจะไม่สามารถใช้สมการ (*) ในการแก้ปัญหาได้เพราะไม่เกิดการแพร่กระจายของกระแสในตัวกลาง จะเหลือเพียงค่า M_s ในกรณีของตัวนำไฟฟ้าดังที่แสดงในรูปที่ 2.12(b) ค่าความหนาแน่นกระแส J_s ซึ่งเป็นองค์ประกอบผิวสัมผัสของพื้นผิว S จะถูกลัดวงจรโดยตัวนำไฟฟ้า ดังนั้นสมการเสมือนจากรูปที่ 2.12(a) จะลดรูปเป็น 2.12(b) จะมีเพียงความหนาแน่นกระแส M_s เหนือพื้นผิว S เท่านั้นที่แพร่กระจายอยู่ ในขณะที่ตัวนำไฟฟ้ากำเนิดสนาม E_1, H_1 ภายนอกพื้นผิว S สนามที่ได้มีค่าเท่ากับศูนย์ แต่ก็เป็นพื้นที่ที่ไม่นำมาคำนวณ ปัญหายุ่งยากสำหรับการนำทฤษฎีพื้นผิวเสมือนมาใช้ก็คือไม่สามารถใช้สมการ (*) เพราะไม่มีการกระจายกระแสไปยังตัวกลางที่ไม่มีรอยต่อ จึงต้องมีการแก้ปัญหาของการแพร่กระจายของแหล่งกำเนิดกระแสแม่เหล็กใกล้แผ่นตัวนำสมบูรณ์ซึ่งค่อนข้างยุ่งยากดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

27877



รูปที่ 2.13 โครงสร้างเสมือนสำหรับการแพร่กระจายของแหล่งกำเนิดกระแสแม่เหล็กใกล้แผ่นตัวนำไฟฟ้าสมบูรณ์

ก่อนที่จะมีการใช้โครงสร้างเรขาคณิตอย่างง่ายประกอบและการประมาณค่าต่างๆ ขอกล่าวถึงรูป 2.13(a) แทนที่จะแทนตัวนำไฟฟ้าสมบูรณ์ภายในพื้นผิว S จะแทนที่ด้วยตัวนำแม่เหล็กสมบูรณ์แทน ซึ่งจะทำให้กระแสแม่เหล็ก = 0 ทำให้ได้สมการดังรูป 2.13(c) ดังนั้นสมการ (*) จึงใช้ไม่ได้ทำให้การวิเคราะห์ยากขึ้นเหมือนกับรูป 2.11(a,b)

ในการแก้ปัญหา โดยเฉพาะในรูป 2.13(b) ขั้นแรกเราจะกำหนดให้พื้นผิวของตัวนำไฟฟ้ามีรูปร่างแบนและมีขนาดกว้าง ดังรูป 2.13(a) สำหรับปัญหาโครงสร้างนี้คือต้องการทราบว่าแหล่งกำเนิดกระแสแม่เหล็กมีการแพร่กระจายคลื่นอย่างไรเมื่อเทียบกับตัวนำไฟฟ้าแผ่นนี้ตามทฤษฎีเงา จะได้โครงสร้างตามรูป 2.13(b) ทำให้ได้แหล่งกำเนิดเสมือนที่ด้านข้างของตัวนำ (แทนที่แผ่นตัวนำแบนและเป็นอนันต์) และมีทิศทางเดียวกับแหล่งกำเนิดจริงเมื่อรวมกันจะได้ดังรูป 2.13(c) และมีการแพร่กระจายในตัวกลางจึงสามารถใช้สมการ (*) ได้ ทำให้ได้ค่า E,H ที่ถูกต้องถ้าพื้นผิวไม่เป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าว แต่มีความโค้งมากกว่าความยาวคลื่นมากก็สามารถใช้ข้อกำหนดนี้ได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและการคำนวณ

โครงงานนี้จะทำการออกแบบสายอากาศปล่อยคลื่นแบบอินเวสซีฟชนิดโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ที่ความถี่ 2450 MHz ซึ่งสร้างมาจากสายโซลิดโคแอกเชียลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 ซม. จำนวน 2 เอเลเมนต์ โดยสลับสายตัวนำในและตัวนำนอกของแต่ละเอเลเมนต์ เพื่อให้กระแสที่ป้อนมีค่าเดียวกัน ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบออมนิไดเรกชั่นแนล แล้วหุ้มรอยต่อของเอเลเมนต์ด้วยปลอกทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.4 ซม. เพื่อเพิ่มความแรงของสนามไฟฟ้า ทำให้มีบริเวณความร้อนของการใช้งานที่เกิดจากสนามเพิ่มมากขึ้น สำหรับสลีฟจะแบ่งออกเป็น 2 ขนาดคือขนาดความยาว 1.634 ซม.และ 3.164 ซม.เพื่อเปรียบเทียบผลของสลีฟที่มีต่อการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ดังที่จะได้กล่าวถึงในรายละเอียดในการออกแบบและการสร้างต่อไป

3.1 การออกแบบและการสร้าง

การออกแบบ จะสามารถคำนวณขนาดความยาวของสายอากาศได้จากคุณสมบัติของสายอากาศโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ที่ความยาวทั้งหมดจะต้องยาวเท่ากับ $\lambda_g/2$ [3] ซึ่งสายโซลิดโคแอกเชียลที่ใช้ในการสร้างมี λ_g เท่ากับ 9.39 ซม.ดังนั้น

ความยาวของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 4.695 ซม.

ส่วนสลีฟที่นำมาหุ้มสายโซลิดโคแอกเชียลนั้นเลือกใช้ 2 ขนาดตามการทดลองของ King [5] คือ

2ℓ = 1.634 ซม.

และ

2ℓ = 3.164 ซม.

โดยเลือกใช้ที่อัตราส่วน

h_1/λ_0 = 0.125 (ซึ่งจะได้ค่า h_1 = 1.530 ซม.)

และ

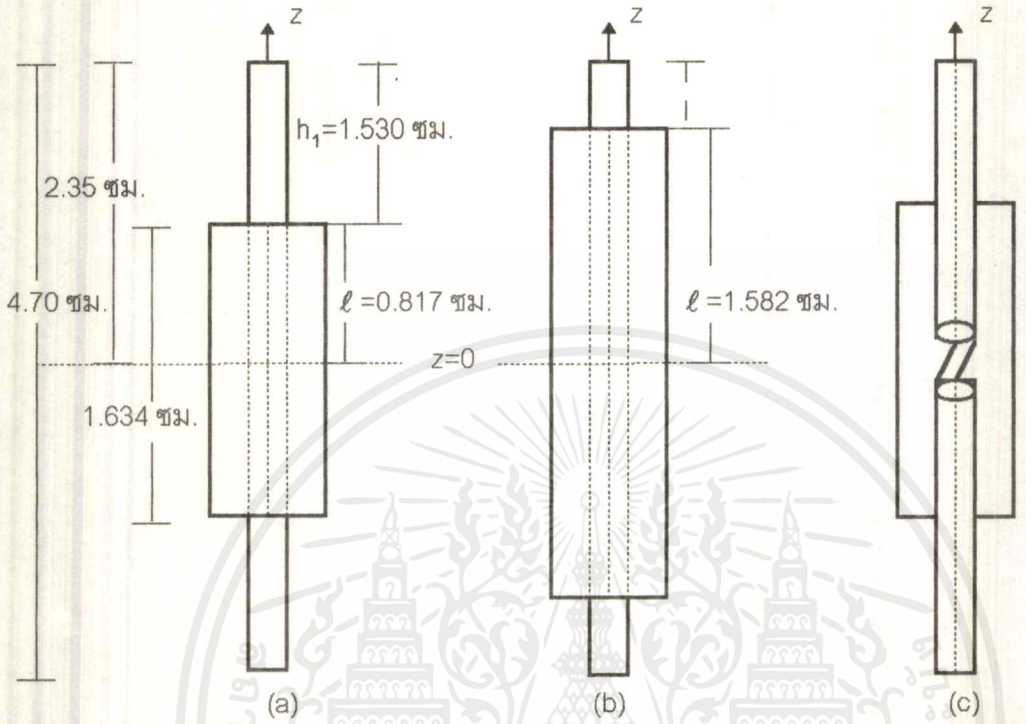
h_1/λ_0 = 0.0625 (ซึ่งจะได้ค่า h_1 = 0.7653 ซม.)

ตามลำดับ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าสนามไฟฟ้าของทั้ง 2 กรณี โดยรูปที่ 3.1 (a,b) เป็นรูปที่ได้จากการออกแบบ

การสร้าง ทำได้โดยตัดสายโซลิดโคแอกเชียลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 ซม.ยาว 4.695 ซม. แล้วตัดออกเป็น 2 ส่วนที่มีความยาวเท่ากันเรียกว่าเอเลเมนต์ ซึ่งแต่ละเอเลเมนต์จะยาว 2.35 ซม.แล้วทำการสลับสายตัวนำใน (Inner Conductor) และตัวนำนอก (Outer Conductor) ของแต่ละเอเลเมนต์โดยทำการเชื่อมตัวนำในและตัวนำนอกของเอเลเมนต์หนึ่งเข้ากับตัวนำนอกและตัวนำในของอีกเอเลเมนต์หนึ่งตามลำดับ จากนั้นหุ้มด้วยปลอกทองเหลือง ซึ่งเรียกว่า "สลีฟ" เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 ซม. โดยมี 2 ขนาดคือ ความยาว 1.634 และ 3.164 ซม.โดยหุ้มบริเวณรอยต่อของการสลับสายของทั้งสองเอเลเมนต์ซึ่งแสดงได้ดัง

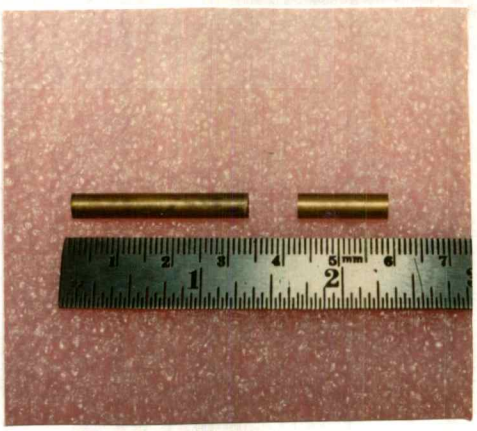
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.1(c) และสายอากาศโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ที่ได้จากการสร้างแสดงในรูปที่ 3.2 ส่วนสลีฟจะแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 (a) สายอากาศแบบโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ที่มีปลอกหุ้มโดยมี h_1= 1.530 ซม., ℓ =0.817 ซม.
(b) สายอากาศแบบโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ที่มีปลอกหุ้มโดยมี h_1= 0.76 ซม., ℓ =1.582 ซม.
(c) การสลับตัวนำนอกและตัวนำในของแต่ละเอเลเมนต์

รูปที่ 3.2 สายอากาศโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ที่ได้จากการออกแบบ



รูปที่ 3.3 สลีฟทองเหลืองขนาด 1.634 และ 3.164 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการคำนวณ

จากขั้นตอนการออกแบบดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.1 ซึ่งได้ค่าออกมา 2 กรณีคือ

กรณีที่ 1

h_1 = 1.530 ซม. และ ℓ = 0.817 ซม.

กรณีที่ 2

h_1 = 0.76 ซม. และ ℓ = 1.583 ซม.

ซึ่งค่าที่ได้จะนำมาใช้หาค่ากระแสที่แพร่กระจายรอบๆ สายอากาศได้โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

(1) ใช้สมการหาการแพร่กระจายของกระแส (Current Distribution Equation) [5]

$$I_{ZT}^{(Z)} = I_{zl}\left[1+C\left(\cos\beta_0 - \cos\beta_0 h_1\right)\right] \quad 0 \le z \le l$$

$$I_{ZT}^{(Z)} = I_{zl}\frac{\sin\beta_0\left(h_1+l-z\right)}{\sin\beta_0 h_1} \quad l \le z \le h_1 + l$$

(2) แทนค่าตัวแปรต่างๆ ลงในสมการตามข้อ (1) แล้วนำไปหาค่าสนามไฟฟ้า (Electric Field : E) โดยใช้สูตร

$$E_{Ax} = \frac{-j\eta}{4\pi\beta}\iiint_v \left\{G_1 J_x + (x-x')G_2\left[(x-x')J_x + (y-y')J_y(z-z')I_z\right]\right\} \cdot e^{-j\beta R}dx'\,dy'\,dz'$$

$$E_{Ay} = \frac{-j\eta}{4\pi\beta}\iiint_v \left\{G_1 J_y + (y-y')G_2\left[(x-x')J_x + (y-y')J_y + (z-z')J_z\right]\right\} \cdot e^{-j\beta R}dx'\,dy'\,dz'$$

$$E_{Az} = \frac{-j\eta}{4\pi\beta}\iiint_v \left\{G_1 J_z + (z-z')G_2\left[(x-x')J_x + (y-y')J_y + (z-z')J_z\right]\right\} \cdot e^{-j\beta R}dx'\,dy'\,dz'$$

(3) นำค่าที่ได้จากการคำนวณมาพลอทกราฟเพื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

3.3 วิธีการคำนวณ

จากสมการการหาการแพร่กระจายของกระแสของ King ซึ่งได้จากการทดลองโดยพิจารณาให้สายอากาศวางในแกน z มี 2 สมการคือ

$$I_{ZT}^{(Z)} = I_{zl}\left[1+C\left(\cos\beta_0 - \cos\beta_0 h_1\right)\right] \quad 0 \le z \le l \qquad (3.1)$$

$$I_{ZT}^{(Z)} = I_{zl}\frac{\sin\beta_0\left(h_1+l-z\right)}{\sin\beta_0 h_1} \quad l \le z \le h_1 + l \qquad (3.2)$$

ก่อนที่จะทำการแทนค่าหาค่า $I(z)$ ที่ระยะต่างๆ นั้นจะต้องหาค่า C เพื่อแทนค่าใน (3.1) ก่อนซึ่งหาได้จากวิธีการตามบทที่ 2 หน้า 39 [5] ดังนี้

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$z_0 = \frac{1}{I_0^2}\left[z^i \int_{-h}^{h} I_z^2 dz + j\frac{\zeta_0}{4\pi}\int\int_{-h}^{h} k(z-z')I_z I_z dzdz' \right] \qquad (3.3)$$

แทนค่า $I_{zT} = I_{zl}\left[1 + C(\cos\beta_0 z - \cos\beta_0 h_1)\right]$ ลงใน (3.3) และกำหนดให้ $I_0 = I_{zl}$

$$z_0 = \frac{1}{I_{zl}^2}\left[z^i \int_{-h}^{h} I_{zl}^2[1 + C(\cos\beta_0 z - \cos\beta_0 h_1)]^2 dz + j\frac{\zeta_0}{4\pi}\int\int_{-h}^{h} k(z-z') \right.$$
$$\left. I_{zl}^2[1 + C(\cos\beta_0 z - \cos\beta_0 h_1)][1 + C(\cos\beta_0 z - \cos\beta_0 h_1)]dzdz' \right] \qquad (3.4)$$

$$= \frac{4\pi}{j\zeta_0}\cdot z^i \int_{-h}^{h}\left[1 + 2C(\cos\beta_0 z - \cos\beta_0 h_1) + C^2(\cos\beta_0 z - \cos\beta_0 h_1)^2\right]dz +$$
$$\int\int_{-h}^{h} k(z-z')\left[1 + C(\cos\beta_0 z - \cos\beta_0 h_1) + C(\cos\beta_0 z' - \cos\beta_0 h_1 + \right. \qquad (3.5)$$
$$\left. C^2(\cos\beta_0 z - \cos\beta_0 h_1)(\cos\beta_0 z' - \cos\beta_0 h_1)\right]dzdz'$$

$$= j\frac{\zeta_0}{4\pi}\left(\gamma_0 + C\gamma_c + C^2\gamma_{cc}\right) \qquad (3.6)$$

เพราะฉะนั้น

$$\gamma_0 = \frac{4\pi}{j\zeta_0}\cdot z^i \int_{-h}^{h} dz + \int\int_{-h}^{h} k(z-z')\,dzdz' \qquad (3.7)$$

$$\gamma_c = \frac{4\pi}{j\zeta_0}\cdot zz^i \int_{-h}^{h}\left(\cos\beta_0 z - \cos\beta_0 h_1\right)dz + \int\int_{-h}^{h} k(z-z')(\cos\beta_0 z' -$$
$$\cos\beta_0 h_1\Big)dzdz' + \int\int_{-h}^{h} k(z-z')\left(\cos\beta_0 z - \cos\beta_0 h_1\right)dzdz' \qquad (3.8)$$

$$\gamma_{cc} = \frac{4\pi}{j\zeta_0}\cdot z^i \int_{-h}^{h}\left(\cos\beta_0 z - \cos\beta_0 h_1\right)^2 dz + \int\int_{-h}^{h} k(z-z')\left(\cos\beta_0 z - \cos\beta_0 h_1\right)\cdot\left(\cos\beta_0 z' -\right.$$
$$\left.\cos\beta_0 h_1\right)dzdz' \qquad (3.9)$$

เมื่อ $k(z-z') = \frac{1}{\beta_0}\left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} + \beta_0^2\right)\frac{e^{-j\beta_0 R}}{R}$

โดย

ζ_0 = อินทรินซิคอิมพีแดนซ์ = 120π โอห์ม

z^i = อิมพีแดนซ์ภายใน = $\frac{1+j}{2\pi a}\cdot\sqrt{\frac{\omega}{2\nu G}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

β_0 = ค่าคงที่เฟส = $\frac{2\pi}{\lambda_0}$

ω = ความเร็วเชิงมุม = $2\pi f$ (เรเดียน/วินาที)

λ = ความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับ c/f โดย c =ความเร็วแสง = 3×10^8 (เมตร/วินาที)

f = ความถี่ที่ใช้งาน = 2450 MHz

a = รัศมีของตัวนำในของสายโคแอกเชียล = 0.1 มม.

ν = สภาพต้านทานแม่เหล็กสมบูรณ์ = $\frac{1}{\varepsilon}$

σ = ค่าความนำของสายโคแอกเชียล =5.76 x 10^7 (ทองแดง)

h = ความยาวของสายอากาศ (ซม)

ดังนั้น

$$C = \frac{-\gamma_c}{2\gamma_{cc}} \qquad (3.10)$$

เนื่องจากขณะทำการทดลองโดยวางสายอากาศในแกน x ดังนั้นในการคำนวณจึงคิดระยะในแกน x เสมอ เมื่อคำนวณค่า C ตามสมการ (3.10) โดยแทนค่าตัวแปรต่างๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ข้างต้นจะได้ค่า C ที่ ℓ = 0.817 ซม. ตามตาราง 3.1(a) และค่า C ที่ ℓ = 1.582 ซม. ตามตาราง 3.1(b)

h_x	C
0	0
0.1	-13.318-0.004I
0.2	-12.992-0.126I
0.3	-12.098-1.277I
0.4	-12.723-3.961I
0.5	-14.785-5.47I
0.6	-16.376-6.295I
0.7	-17.532-7.085i
0.8	-17.505-7.588I

(a)

h_x	C
0	0
0.1	-3.416-0.004i
0.2	-3.445 - 0.018i
0.3	-3.475 - 0.015i
0.4	-3.512 - 0.014i
0.5	-3.558 - 0.014i
0.6	-3.614 - 0.013i
0.7	-3.681 - 0.013i
0.8	-3.756 - 0.013i

(b)

h_x	C
0.9	-16.384-7.008i
1.0	-13.55-4.602i
1.1	-8.909-1.136i
1.2	-3.622+1.275i
1.3	0.426+1.905i
1.4	2.679+1.637i
1.5	3.66+1.204i

ตารางที่ 3.1 (a) ค่า C ที่ระยะ ℓ =0.817 ,h_1=1.530 ซม.(b) ค่า C ที่ระยะ ℓ =1.582 , h_1=0.76 ซม.

- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นแทนค่า C ตามตาราง 3.1(a) และแทนค่า x ตั้งแต่ 0 ถึง 0.8 ลงไปในสมการที่ (3.1) จะได้ค่า $I(x)$ ที่ ℓ = 0.817 ซม. ตามตารางที่ 3.2(a) ในทำนองเดียวกันแทนค่า C ต่างๆ ตามตารางที่ 3.1(b) และแทนค่า x ตั้งแต่ 0 ถึง 1.5 ลงไปในสมการที่ 3.1 จะได้ค่า $I(x)$ ที่ ℓ = 1.582 ซม. ตามตารางที่ 3.2(b)

h_x	$\lvert I(x)\rvert$
0	2.8900
0.1	2.7750
0.2	2.5090
0.3	2.4460
0.4	2.0760
0.5	1.5050
0.6	1.1220
0.7	1.1040
0.8	1.06400

(a)

h_x	$\lvert I(x)\rvert$
0	9.968
0.1	9.876
0.2	9.756
0.3	9.652
0.4	9.231
0.5	8.654
0.6	7.980
0.7	7.452
0.8	6.845

(b)

h_x	$\lvert I(x)\rvert$
0.9	6.210
1.0	5.561
1.1	4.942
1.2	4.035
1.3	2.816
1.4	1.752
1.5	1

ตารางที่ 3.2 (a) ค่า $I(x)$ ที่ x = 0 ถึง 0.8 ซม. (b) ค่า $I(x)$ ที่ x = 0 ถึง 1.5 ซม.

สำหรับค่ากระแสในช่วง 0.9 ถึง 2.3 ซม. ของสายอากาศที่ ℓ = 0.817 ซม. หาได้โดยการแทนค่า x ลงในสมการที่ 3.2 จะได้ค่า $I(x)$ ตามตารางที่ 3.3(a) ในทำนองเดียวกันแทนค่า x ตั้งแต่ 1.6 ถึง 2.3 ซม.ลงในสมการที่ 3.2 จะได้ $I(x)$ ของสายอากาศที่มี ℓ = 1.582 ซม.ตามตารางที่ 3.3(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h_v	$\lvert I(x)\rvert$
0.9	6.210
1.0	5.561
1.1	4.942
1.2	4.035
1.3	2.816
1.4	1.752
1.5	1
1.6	0.977
1.7	0.857
1.8	0.722
1.9	0.591
2.0	0.459
2.1	0.326
2.2	0.191
2.3	0.057

(a)

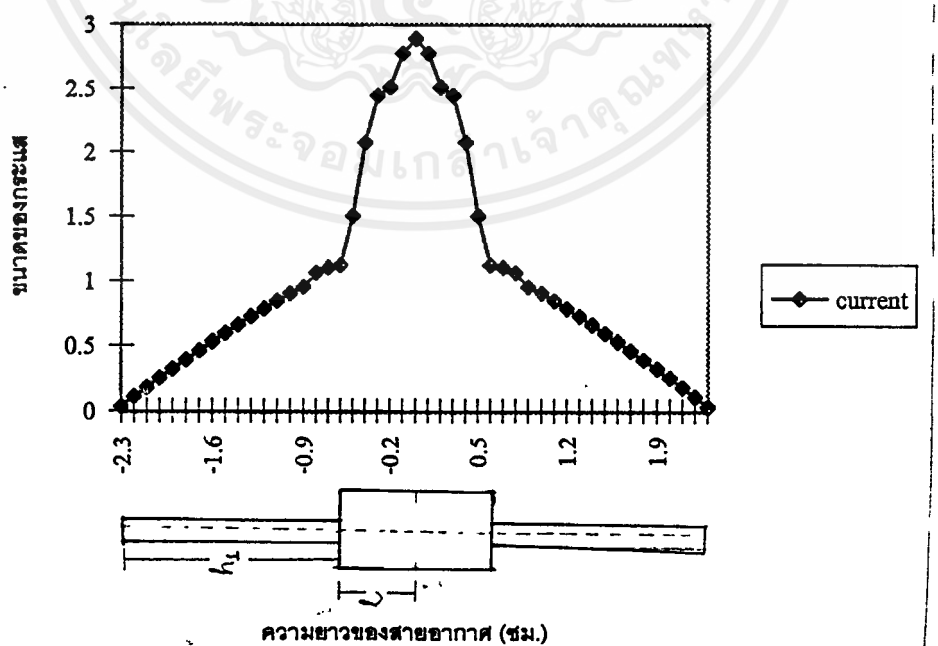
h_v	$\lvert I(x)\rvert$
1.6	0.529
1.7	0.461
1.8	0.392
1.9	0.322
2.0	0.251
2.1	0.179
2.2	0.107
2.3	0.034

(b)

ตารางที่ 3.3(a) ค่า $I(x)$ ที่ x =0.9 ถึง 2.3 ซม. (b) ค่า $I(x)$ ที่ x= 1.6 ถึง 2.3 ซม.

จากนั้นนำค่าตามตารางที่ 3.2(a) ,3.3(a) และ 3.2(b),3.3(b) มาพลอทกราฟการกระจายกระแสของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 และ 3.164 ซม.ซึ่งจะได้ดังรูปที่ 3.4(a) และ 3.4(b) ตามลำดับ

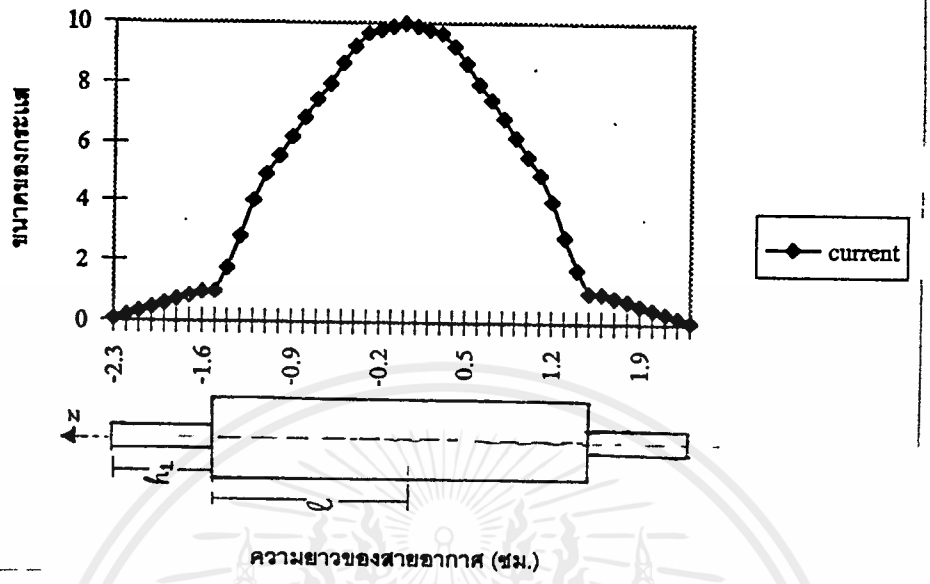
กราฟแสดงการกระจายกระแสของสายอากาศโคแอคเชียลคอลลิเนียร์ที่มีสลีฟยาว 0.817 ซม.



(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการกระจายกระแสของสายอากาศโคแอคเชียลคอลลิเนียร์ที่มี
สลีฟยาว 1.582 ซม.



(b)

รูปที่3.4 (a) การแพร่กระจายกระแสของสายอากาศที่มี ℓ = 0.817 ซม.และ
(b) การแพร่กระจายกระแสที่ของสายอากาศที่มี ℓ = 1.582 ซม.

จากการคำนวณจะพบว่าการแพร่กระจายกระแสบนสลีฟจะมีความแรงของสนามไฟฟ้าแรงกว่าบริเวณของสายอากาศที่ไม่มีสลีฟ แสดงว่าความยาวของสลีฟมีผลต่อความแรงของสนามไฟฟ้า กล่าวคือถ้าสลีฟมีขนาดยาว จะทำให้มีความแรงของสนามไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้มีพื้นที่ความร้อนในการใช้งานที่เกิดจากสนามไฟฟ้าดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าสลีฟมีขนาดความยาวลดลงจะทำให้ความแรงของสนามไฟฟ้าลดลงตามไปด้วย เป็นผลให้มีพื้นที่ความร้อนในการใช้งานที่เกิดจากสนามไฟฟ้าดังกล่าวลดลงเมื่อเทียบกับสลีฟที่มีขนาดยาวกว่า

จากนั้นนำค่าของ $I(x)$ ที่ได้ในตารางที่ 3.2(a) และ 3.2(b) มาทำการอินเตอร์โพเลท (Interpolating)[6] เพื่อเปลี่ยนข้อมูลที่เป็นจุดคู่อันดับตลอดสายอากาศให้เป็นสมการพหุนาม (Polynomial) ตัวแปรเดียว ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

สมการช่วง $0 \le x \le \ell$ เมื่อ ℓ = 0.817 ซม.

$I(x)_1$:= 2.89+(-1.15+(-7.55+(-59.0+(360+(-1233.33+(-2518.66+(3257.79-3338.29(-0.7+x))·(-0.6+x))·(-0.5+x))·(-0.4+x))·(-0.3+x))·(-0.2+x))·(-0.2+x))·(-0.1+x)) ·

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการช่วง สมการช่วง $\ell \le x \le h_1 + \ell$ เมื่อ h_1 = 1.530 ซม.

$I(x)_2$:= 0.956+(-0.54+(-0.15+(3.42319·10^-15+(0.83333+(-4.16667+(12.5+(-27.7778+(52.0833+(-90.9392+(154.321+(-250.521+(375.782+(-507.466+604.508(-2.2+x))·(-2.1+x))·(-2.0+x))·(-1.9+x))·(-1.8+x))·(-1.7+x)).(-1.6+x)).(-1.5+x)).(-1.4+x)).(-1.3+x)).(-1.2+x))·(-1.1+x))·(-1.0+x)) ·(-0.9+x)

สมการช่วง $0 \le x \le \ell$ เมื่อ ℓ = 1.582 ซม.

I_{x1} := 9.968+(-0.92+(-1.4+(7.33333+(-1.57.083+(725.823+(-2037.5+(4660.71+(-10339.8+(22936+(-47575+(87386.8+(-140590+(201437.0+(-263745+321881(-1.4+x))·(-1.3+x))·(-1.1+x)·(-1.0+x))·(-0.9+x))·(-0.8+x))·(-0.7+x)) ·(-0.6+x))·(-0.5+x))·(-0.4+x)) ·(-0.3+x)) ·(-0.2+x)) ·(-0.1+x)) ·x

สมการช่วง $\ell \le x \le h_1 + \ell$ เมื่อ h_1 = 0.76 ซม.

I_{x2} :=0.977+(-1.26+(-0.15+(0.166667+(5.08621·10^-13 +(-0.833333+(1.38889+7.93651(-2.2+x))·(-2.1+x))·(-2.0+x0))·(-1.9+x))·(-1.7+x)) ·(-1.6+x)

จากนั้นนำสมการของ $I(x)$ ที่ได้ทำการอินเตอร์โพเลทข้างต้นทั้งสองช่วงคือ $0 \le x \le \ell$ และ $\ell \le x \le h_1 + \ell$ ของแต่ละกรณี ไปแทนในสมการของสนามไฟฟ้า (Electric Field Equation) ซึ่งสมการของสนามไฟฟ้าแสดงได้ดังนี้

$$E_A = E_{Ax}\bar{a}_x + E_{Ay}\bar{a}_y + E_{Az}\bar{a}_z \qquad (3.11)$$

โดย

$$E_{Ax} = \frac{-j\eta}{4\pi\beta}\iiint_v \left\{G_1 J_x + (x-x')G_2\left[(x-x')J_x + (y-y')J_y(z-z')I_z\right]\right\} - e^{-j\beta R}dx'dy'dz'$$

$$E_{Ay} = \frac{-j\eta}{4\pi\beta}\iiint_v \left\{G_1 J_y + (y-y')G_2\left[(x-x')J_x + (y-y')J_y + (z-z')J_z\right]\right\} - e^{-j\beta R}dx'dy'dz'$$

$$E_{Az} = \frac{-j\eta}{4\pi\beta}\iiint_v \left\{G_1 J_z + (z-z')G_2\left[(x-x')J_x + (y-y')J_y + (z-z')J_z\right]\right\} - e^{-j\beta R}dx'dy'dz'$$

$$G_1 = \frac{1 - j\beta R + \beta^2 R^2}{R^3}$$

$$G_2 = \frac{3 + j3\beta R - \beta^2 R^2}{R^5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

β = ค่าคงที่เฟส = $\frac{2\pi}{\lambda}$

$R = \sqrt{(x-x')^2+(y-y')^2+(z-z')^2}$

η = อินทรินซิคอิมพีแดนซ์ = 120π

โดย

$J_x = I_x \neq 0$

$J_y = I_y = 0$

$J_z = I_z = 0$

P(x,y,z) = จุดสังเกตุ (Observation Point)

P(x',y';z') = แหล่งกำเนิด (Source Point)

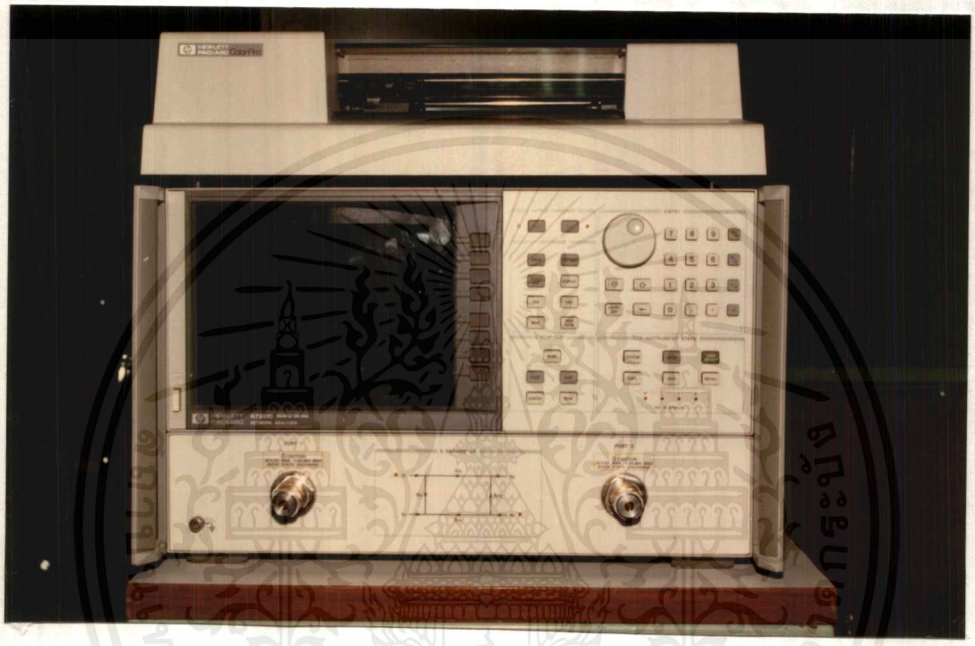
คำนวณค่าสนามไฟฟ้าที่ระยะต่างๆ ซึ่งในการอินติเกรทจะเลือกใช้การอินติเกรทตามแกน x ซึ่งเป็นแกนเดียวกับการวางสายอากาศ เพียงแกนเดียวเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ ส่วนการกำหนดตัวแปรทำได้โดยการกำหนดจุด x, y,z ขึ้นมา จากนั้นเลือกใช้สมการกระแส (I_x) ที่ตรงกับค่า x นั้นแล้วแทนค่าลงไป ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปจำนวนเชิงซ้อนที่จุดๆ นั้น เมื่อจะนำค่าไปใช้งานจะต้องทำการหาขนาดแล้วบันทึกค่าเป็นจุดๆ ไปเรื่อยๆ จนครบระนาบตามแบบของการทดลองเพื่อที่จะได้นำไปเปรียบเทียบกับการทดลองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 อุปกรณ์การทดลอง

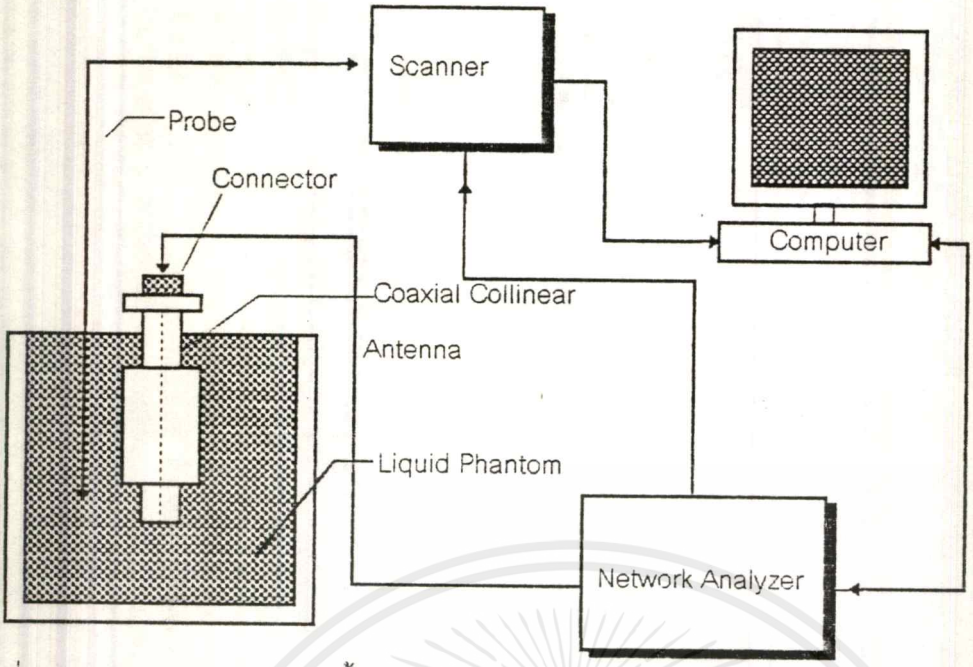
สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาการแพร่กระจายกระแสของสายอากาศโคแอกเชียลคอลลิเนียร์จะใช้ชุดวัดสนามไฟฟ้าระยะใกล้ (Electric Field Mapping) ซึ่งประกอบด้วย เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) สแกนเนอร์ (Scanner) และคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีรายละเอียดและวิธีการใช้งานใน [8] ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนการติดตั้งอุปกรณ์แสดงได้ดังรูป 4.1 ,4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย

รูปที่ 4.2 สแกนเนอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 บล็อกไดอะแกรมการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองวัดค่าสนามไฟฟ้าโดยใช้ชุดวัดสนามไฟฟ้า

การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองของชุดวัดสนามไฟฟ้าระยะใกล้จะเริ่มจากต่อพอร์ท 1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเข้ากับสายอากาศโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ซึ่งจุ่มอยู่ในสารจำลองเนื้อคนชนิดเหลว (Liquid Phantom)[7] ส่วนพอร์ท 2 จะต่อเข้ากับสแกนเนอร์ ซึ่งในที่นี้สแกนเนอร์จะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ที่สแกนไปตามจุดต่างๆ ภายในภาชนะตามที่ตั้งค่าไว้ในโปรแกรม โดยจะมีสายโพรบ (Probe) เป็นตัววัดค่าสนามไฟฟ้าตามตำแหน่งการเลื่อนของสแกนเนอร์แล้วส่งค่าให้กับพอร์ท 2 เพื่อแสดงผลที่หน้าจอของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายและคอมพิวเตอร์ในเวลาเดียวกัน ซึ่งรูปแบบของการสแกนจะสแกนทีละระนาบ (Plane) เมื่อต้องการสแกนระนาบต่อไปสามารถทำได้โดยการเลื่อนสายอากาศและภาชนะบรรจุสารจำลองเนื้อคนเหลวให้ห่างจากโพรบตามที่ตั้งค่าไว้ในที่นี้ทำการสแกน 5 ระนาบโดยแต่ละระนาบมีระยะห่างกัน 1 ซม.

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

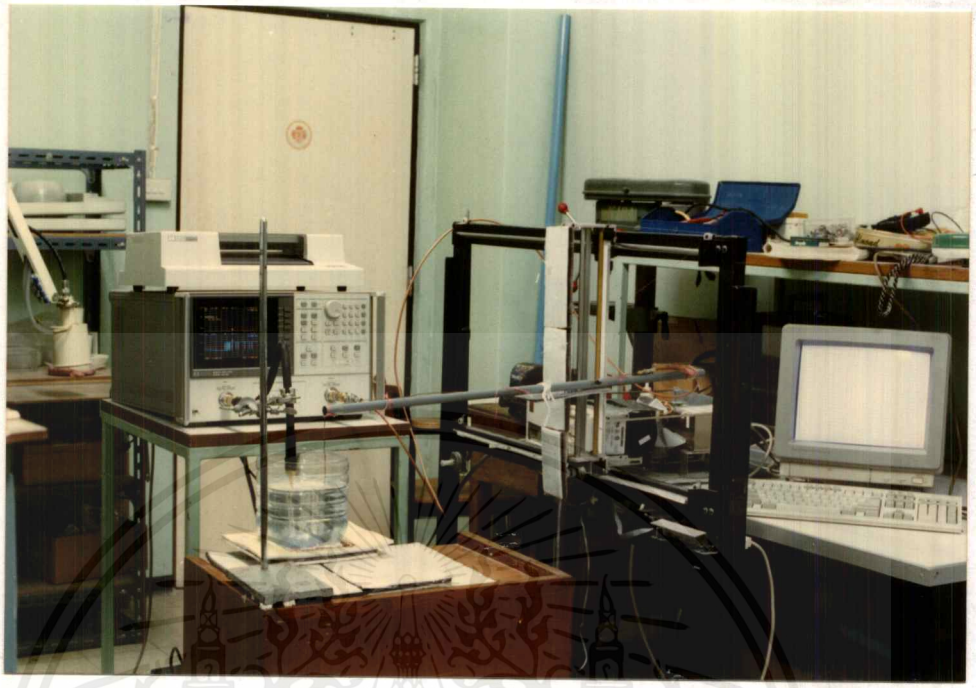
1.ติดตั้งชุดอุปกรณ์วัดสนามไฟฟ้าระยะใกล้และสายอากาศที่สร้างขึ้นตาม รูปที่ 4.3 โดยการติดตั้งอุปกรณ์จะแสดงในรูปที่ 4.4

2.ทำการวัดสนามไฟฟ้าที่ระนาบที่1 โดยจุ่มโพรบลงไปในภาชนะโดยห่างจากสายอากาศ 1 ซม.แล้วเริ่มให้ระบบทำงาน

3.จากนั้นเลื่อนตำแหน่งของสายอากาศกับภาชนะออกห่างจากโพรบ 1 ,2 ,3 และ 4 ซม.ตามลำดับเพื่อวัดค่าตามข้อ 2

4.ผลการทดลองที่ได้จะเก็บไว้ในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลของคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะนำไปแสดงผลในรูปกราฟต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองวัดค่าสนามไฟฟ้าโดยใช้ชุดวัดสนามไฟฟ้า

4.3 ผลการทดลอง

จากการวัดสนามไฟฟ้าจากสายอากาศโคแอกเชียลคอลลิเนียร์โดยใช้ชุดวัดสนามไฟฟ้าระยะใกล้ แล้วนำค่าที่ได้มาพลอทกราฟแสดงผลของแอมปลิจูดและเฟส ตลอดจนทำการเปรียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะต่างๆ ของสายอากาศ ซึ่งกราฟแสดงการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าบนสายอากาศนั้นเป็นข้อมูลที่ได้จากสายอากาศที่มีความยาว 2 ขนาดดังนี้

1. สายอากาศที่มี ℓ = 0.817 ซม., h_1 = 1.530 ซม.

2.สายอากาศทีมี ℓ = 1.582 ซม. , h_1 = 0.76 ซม.

โดยกราฟและตารางที่ได้จะแสดงข้อมูลต่างๆ ดังนี้

1.ตารางแสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 1,2,3,4 และ 5 ซม.

2.กราฟแสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 1,2,3,4 และ 5 ซม.

3.กราฟแสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 1,2,3,4 และ 5 ซม.

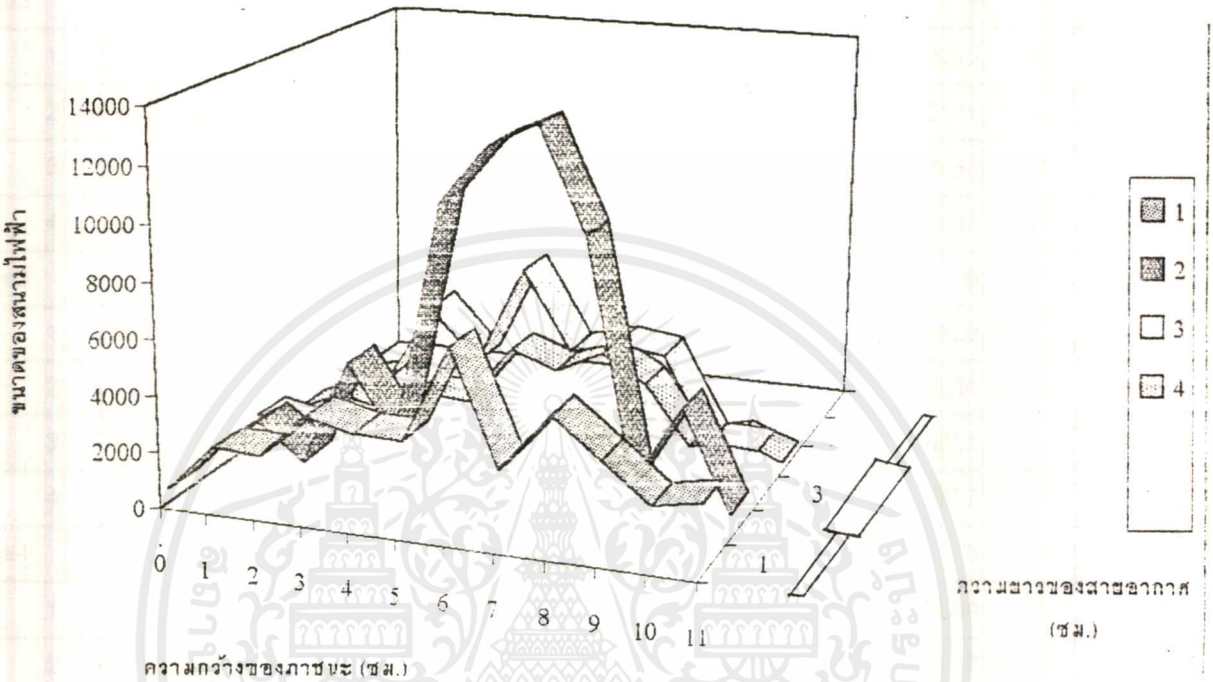
4.กราฟแสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณที่ระยะ 1 ,2,3,4 และ 5 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

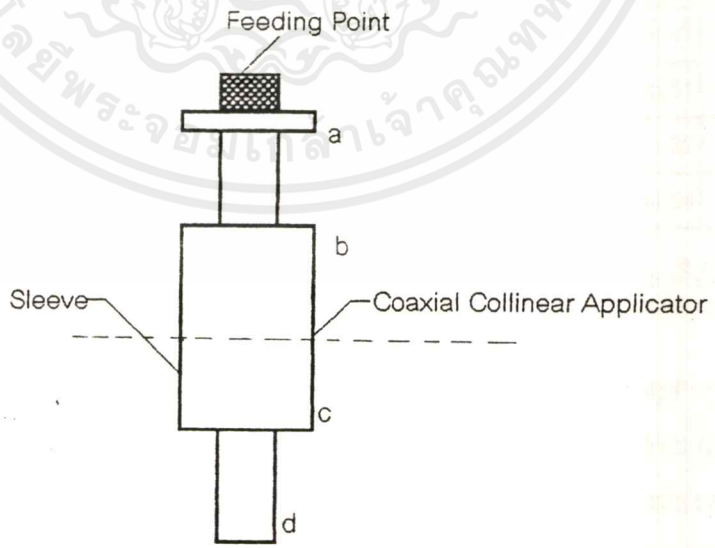
5.กราฟแสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณที่ระยะ 1,2,3 และ 4 ซม. ของความยาวสายอากาศ

6.กราฟแสดงการเปรียบเทียบเฟสของกระแสบนสายอากาศที่ได้จากการทดลองกับทางทฤษฎี

สำหรับผลการทดลองในรูปของกราฟทั้งหมดจะมีรายละเอียดเกี่ยวกับ ตำแหน่งการวางสายอากาศ จุดที่ใช้วัดสนามไฟฟ้าบนสายอากาศ รวมทั้งรายละเอียดที่จะได้กล่าวต่อไปดังรูปที่ 4.5



(a)



(b)

รูปที่ 4.5 (a) ตัวอย่างรูปแบบกราฟแสดงผลการทดลองและการวางสายอากาศ
(b) ตำแหน่งที่ใช้วัดสนามไฟฟ้าบนสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Plane1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	722.9	1210	720.7	590.12	1498.2	1600	1766.5	1645.2	2335.4	1174.3	402.84	570.5
2	1637	1631	1387	1230.2	2007.5	4054.3	4148.7	4678	4487	2249.6	1470.1	527.2
3	273.9	568.7	768.8	671.98	1505.9	1590.5	1765	1575.2	488.18	923.1	515.58	226
4	118.9	254.1	456	188.14	1018.8	1311.1	1394.3	984.85	449.17	490.7	203.49	55.15
Plane2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	767.6	1367	998.4	2051.7	2459.2	647.87	469.86	2222.9	2167.8	1062.5	1288.4	945.4
2	978.4	569.1	1998	1906	3101.3	5433.3	5751.8	3533.1	1328.4	2171	154.12	1014
3	151.3	920.1	60.22	1478.9	386.88	1415.4	1254.9	1221.8	1894.4	488.67	997.6	265.5
4	110.2	402.5	232.3	1063.3	1261.2	1065.5	1393	1889.8	1118.6	465.97	354.62	114.6
Plane3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2756	985.9	1674	833.36	2013.8	2802.8	2783.7	1920.4	942.41	1566.9	936.24	1005
2	327.9	1118	366.1	2457.6	3101.3	5433.3	5751.8	3533.2	2349.1	582.81	855.09	446.5
3	273.9	568.7	768.8	671.98	1505.9	1590.5	1765	1575.2	488.18	923.1	515.58	226
4	118.9	254.1	456	188.14	1018.8	1311.1	1394.3	984.85	449.17	490.7	203.49	55.15
Plane4	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	775.6	717.4	1073	1006.8	1628	1711.7	1364.8	1160.7	1350.8	1579.4	1288.9	1002
2	99.55	419.5	265.7	1210.7	540.49	1056.4	2143.1	2340.3	1969.7	853.27	585.76	960.3
3	99.36	205.3	290.4	362.74	851.63	536.08	86.989	274.38	311.66	881.02	857.98	206.7
4	96.18	134.8	126.5	184.39	458.6	452.65	267.98	350.27	412.87	487.86	345.13	103.6
Plane5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	79.22	1191	1048	1043.4	1041.4	958.95	926.11	938.92	878.93	664.47	723.45	738.5
2	589.6	156.9	711.8	1069.1	1130.8	1126.1	995.76	669.33	139.59	265.61	442.15	420.1
3	240	379.1	147.4	185.62	415.38	368.18	180.64	218.52	307.71	411.32	114.07	136
4	80.11	184.9	152.8	93.471	125.36	95.822	74.446	205.5	220.14	184.54	193.6	193.7

ตารางที่ 4.1 ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองของสายอากาศโคแอกเซียลคอลลิเนียร์ที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม.

จากตารางที่ 4.1 Plane1 ถึง Plane5 คือระนาบที่ต้องการวัด (แกน z) โดยอยู่ห่างจากสายอากาศ 1,2,3,4 และ 5 ซม.ตามลำดับโดยแต่ละระนาบจะมีการสแกนในแนวความกว้างของภาชนะ (แกน y) ทั้งหมด 12 จุดคือ ที่ระยะ 0 ถึง 11 ซม. จากขอบด้านข้างด้านหนึ่งถึงอีกด้านของภาชนะ และระยะสแกนในแนวลึกตามความยาวของสายอากาศ (แกน X) ทั้งหมด 4 จุดคือที่ระยะ 1,2,3 และ 4 ซม.ตามลำดับโดยกำหนดให้

แกน x คือความยาวของสายอากาศ (ซม.)

แกน y คือความกว้างของภาชนะที่บรรจุสารจำลองเนื้อคนชนิดเหลว (ซม.)

แกน z คือระยะห่างระหว่างสายอากาศกับโพรบ (ซม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Plane1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	940.7	1075.9	1250.3	1483.6	1806.3	2186.6	2347.7	2186.6	1806.3	1483.6	1250.3	1075.9
2	3046.6	3497	4088.5	4907.6	6116.9	7522.1	9032.1	7522.1	6116.9	4907.6	4088.5	3497
3	869.9	972.2	1091.6	1226.1	1366.2	1483.6	1531.7	1483.6	1366.2	1226.1	1091.6	972.2
4	819.8	903.1	995.1	1091.5	1182.2	1250.3	1276.3	1250.3	1182.2	1091.5	995.1	903.1
Plane2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	912.1	1033	1182.2	1366.2	1586.1	1806.3	1909.1	1806.3	1586.1	1366.2	1182.2	1033
2	2966.5	3359.3	3828.5	4364.4	4914.6	5364.8	5553.5	5364.8	4914.6	4364.4	3828.5	3359.3
3	724.5	820.4	940.8	1095.2	1293.6	1513.3	1625.4	1513.3	1293.6	1095.2	940.8	820.4
4	242.5	274	315.1	372.3	456.4	568.8	637.3	568.8	456.4	372.3	315.1	274
Plane3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	869.9	972.2	1091.5	1226.1	1366.2	1483.6	1531.7	1483.6	1366.2	1226.1	1091.5	972.2
2	2828.1	3162.6	3545.8	3961.7	4364.4	4671.5	4788.5	4671.5	4364.4	3961.7	3545.8	3162.6
3	691.2	772	867.2	976.9	1095.2	1198.9	1242.8	1198.9	1095.2	976.9	867.2	772
4	231.6	258	289.7	328	372.3	414.5	433.5	414.5	372.3	328	289.7	258
Plane4	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	819.8	903.1	995.1	1091.5	1182.2	1250.3	1276.1	1250.3	1182.2	1091.5	995.1	903.1
2	2663.2	2937.2	3237.1	3545.8	3828.5	4033.5	4109.4	4033.5	3828.5	3545.8	3237.1	2937.2
3	651.8	717.4	790.3	867.2	940.8	997	1018.6	997	940.8	867.2	790.3	717.4
4	218.9	240.2	264	289.7	315.1	335.3	343.2	335.3	315.1	289.7	264	240.2
Plane5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	766.6	833.2	903.1	972.2	1033	1075.9	1091.5	1075.9	1033	972.2	903.1	833.2
2	2488	2707.3	2937.2	3162.6	3359.3	3496.3	3545.8	3496.3	3359.3	3162.6	2937.2	2707.3
3	609.9	662.3	717.4	772	820.4	854.2	867.2	854.2	820.4	772	717.4	662.3
4	205.3	222.3	240.2	258	274	285.5	289.7	285.5	274	258	240.2	222.3

ตารางที่ 4.2 ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณของสายอากาศโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม.

จากตารางที่ 4.2 Plane1 ถึง Plane5 คือระนาบที่ต้องการวัด (แกน z) โดยอยู่ห่างจากสายอากาศ 1,2,3,4 และ 5 ซม.ตามลำดับโดยแต่ละระนาบจะมีการสแกนในแนวความกว้างของภาชนะ (แกน y) ทั้งหมด 12 จุดคือ ที่ระยะ 0 ถึง 11 ซม. จากขอบด้านข้างด้านหนึ่งถึงอีกด้านของภาชนะ และระยะสแกนในแนวลึกตามความยาวของสายอากาศ (แกน X) ทั้งหมด 4 จุดคือที่ระยะ 1,2,3 และ 4 ซม.ตามลำดับโดยกำหนดให้

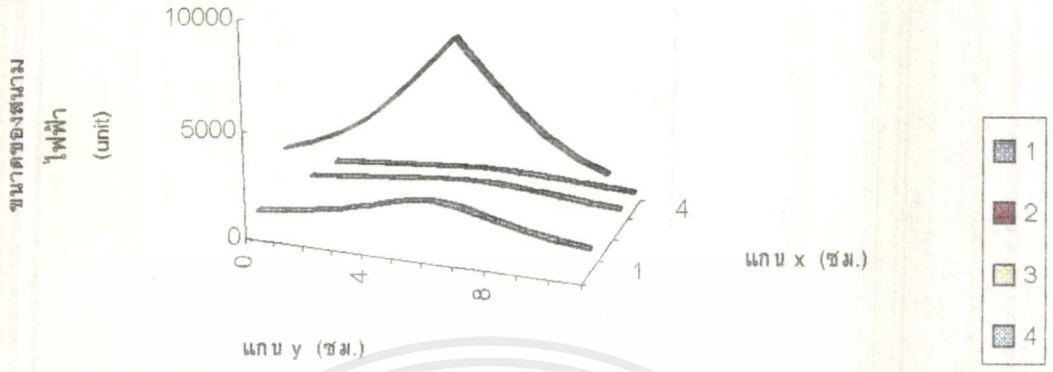
แกน x คือความยาวของสายอากาศ (ซม.)

แกน y คือความกว้างของภาชนะที่บรรจุสารจำลองเนื้อคนชนิดเหลว (ซม.)

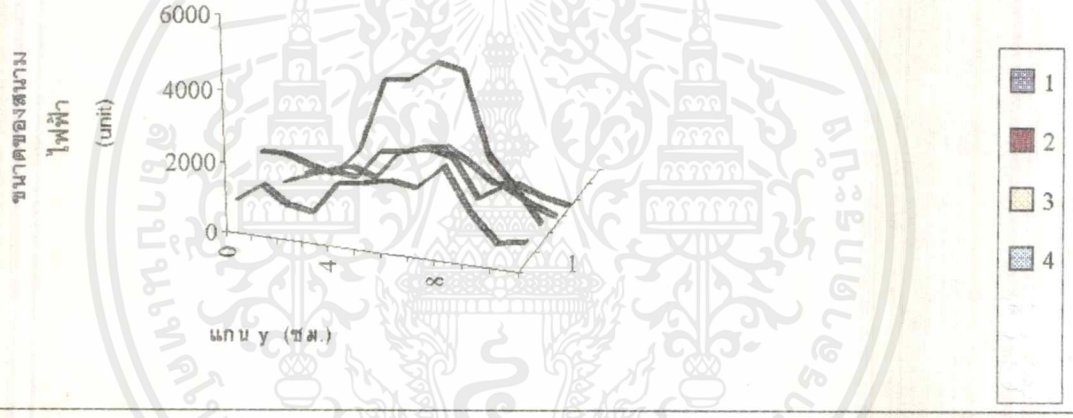
แกน z คือระยะห่างระหว่างสายอากาศกับโพรบ (ซม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

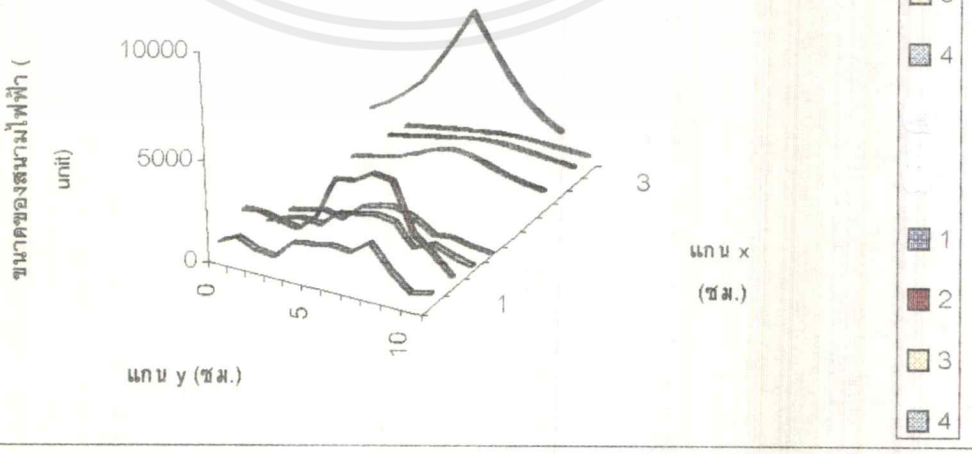
รูปที่ 4.6 แสดงสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 1 ซม.



รูปที่ 4.7 แสดงสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 1 ซม.

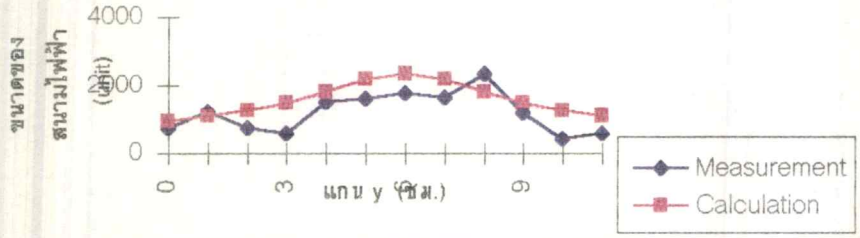


รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 1 ซม.

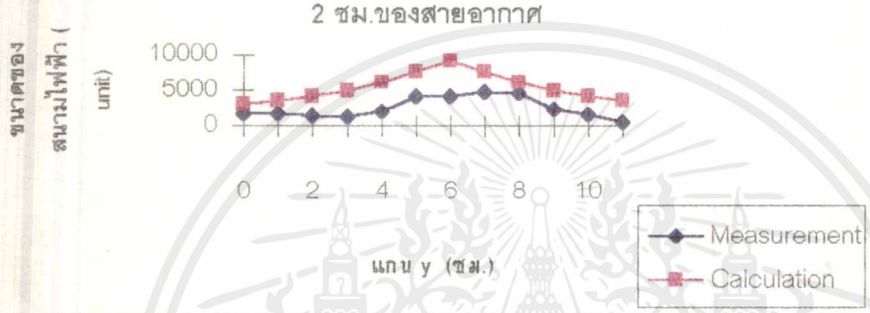


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

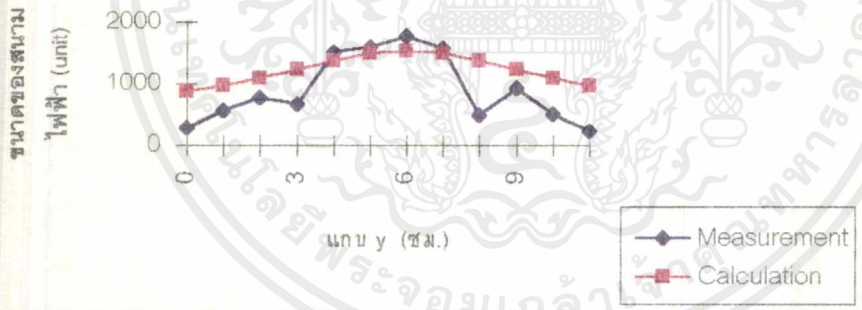
รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.ของสายอากาศ



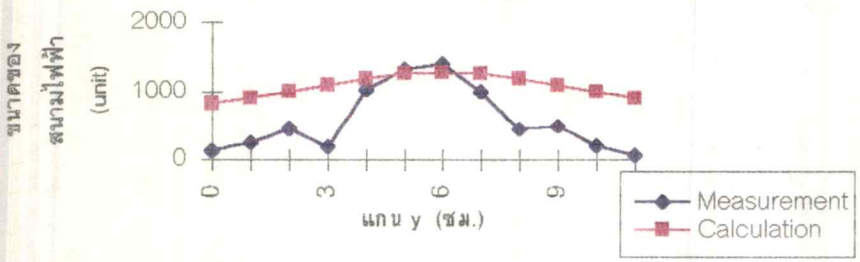
รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.ของสายอากาศ



รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.ของสายอากาศ

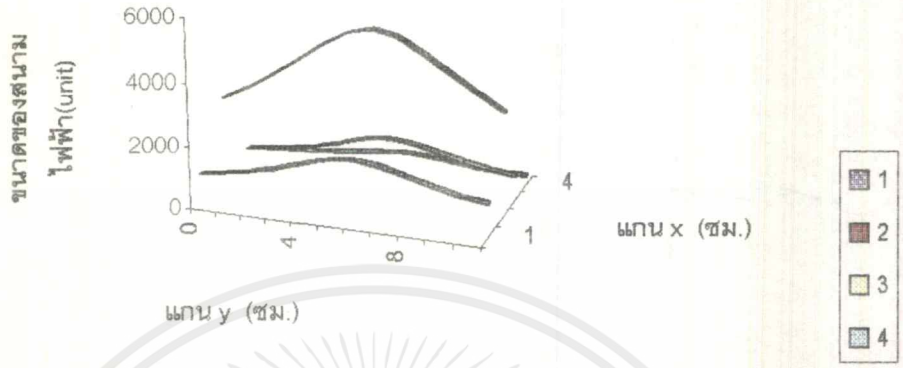


รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.ของสายอากาศ



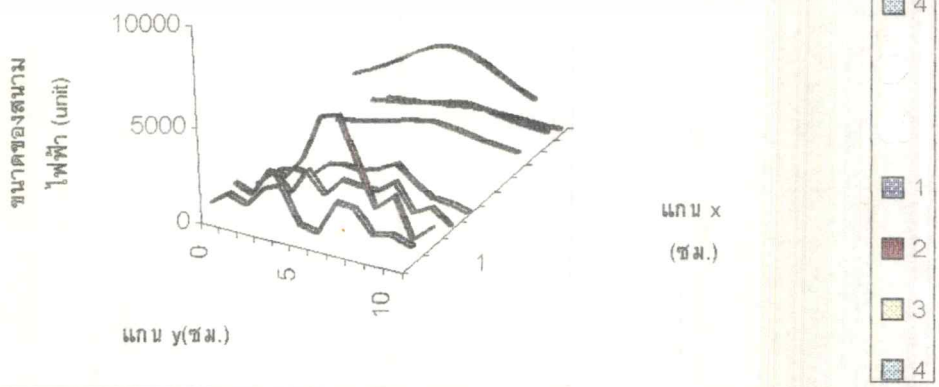
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณระยะห่างจากสายอากาศ 2 ซม.



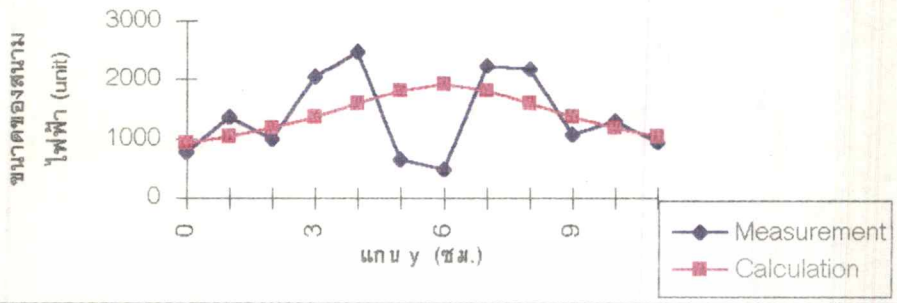
รูปที่ 4.14 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 2 ซม.

รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 2 ซม.

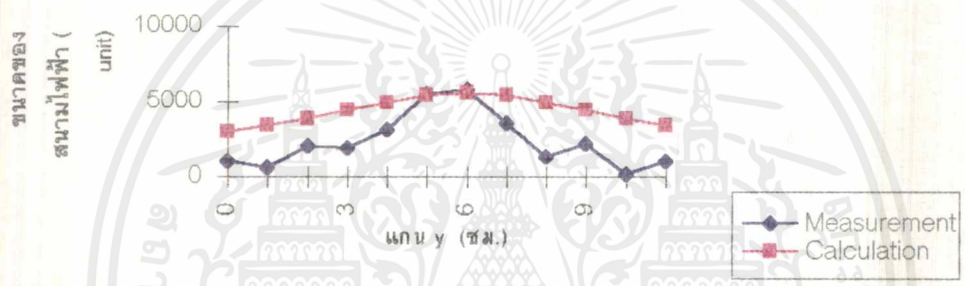


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

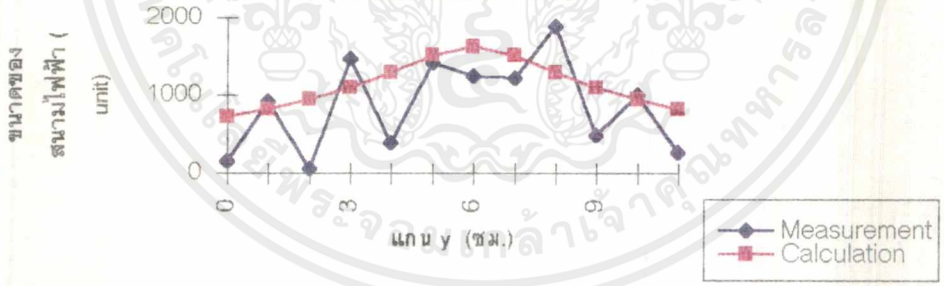
รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.ของสายอากาศ



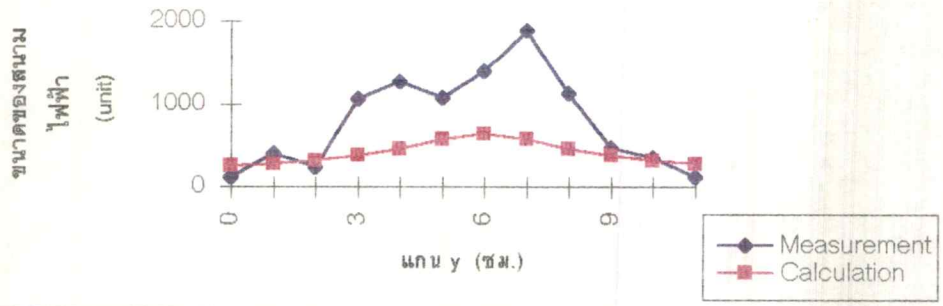
รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.ของสายอากาศ



รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.ของสายอากาศ

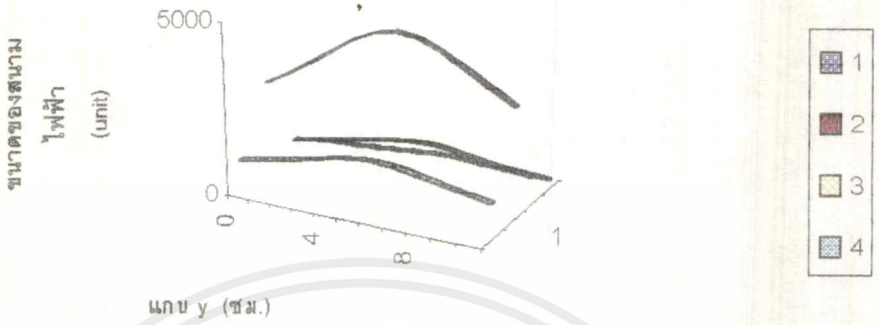


รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.ของสายอากาศ



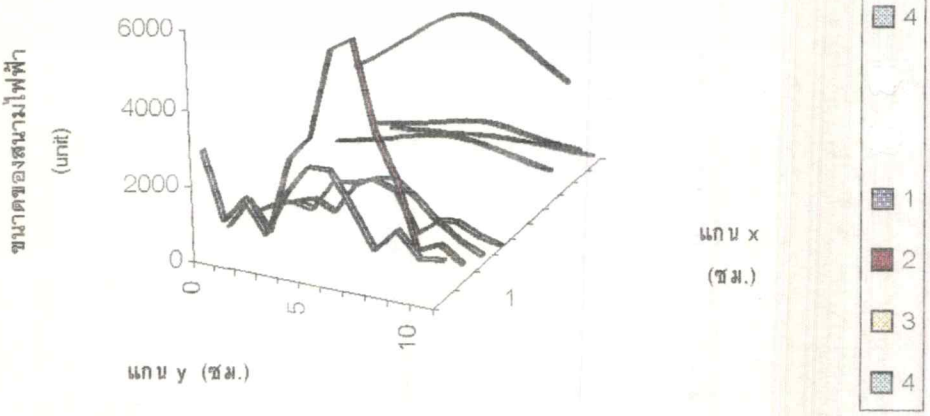
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.20 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสาย อากาศ 3 ซม.



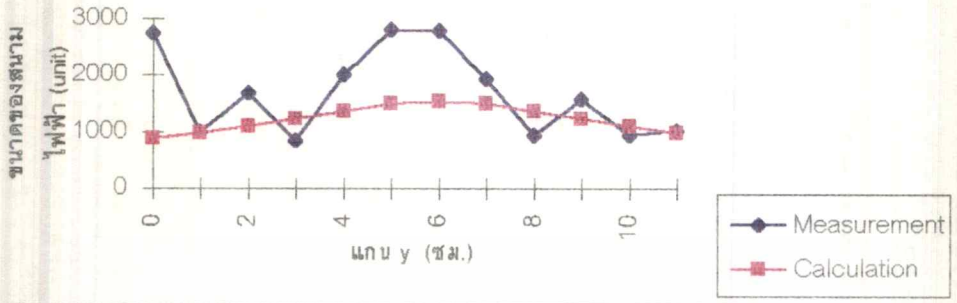
รูปที่ 4.21 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสาย อากาศ 3 ซม.

รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 3 ซม.

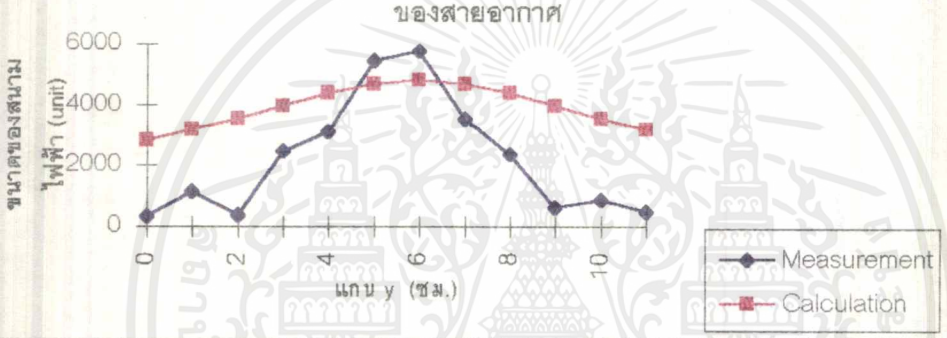


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

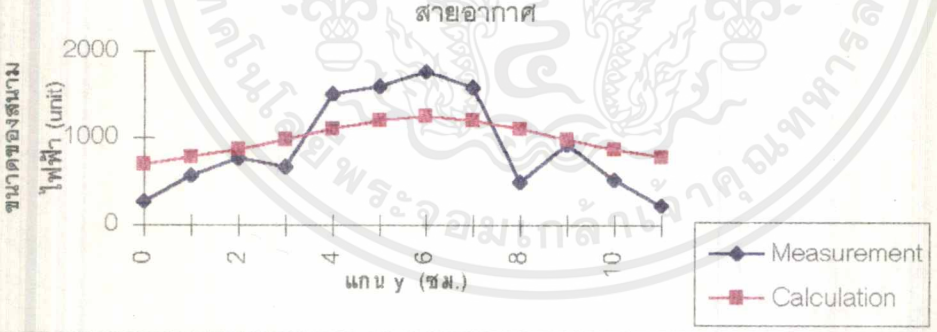
รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.ของสายอากาศ



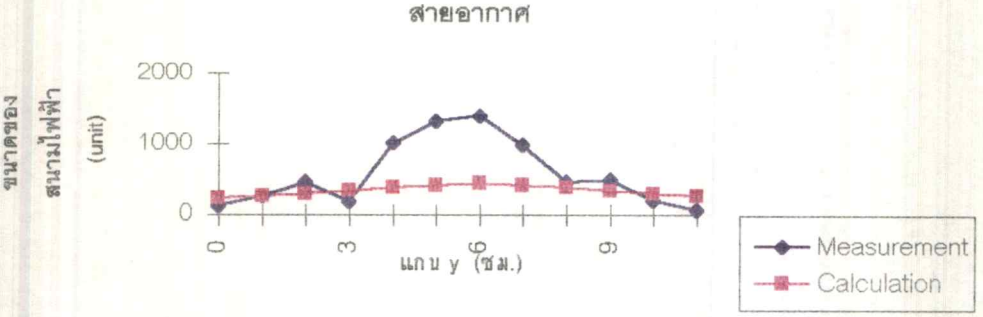
รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม. ของสายอากาศ



รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.ของสายอากาศ

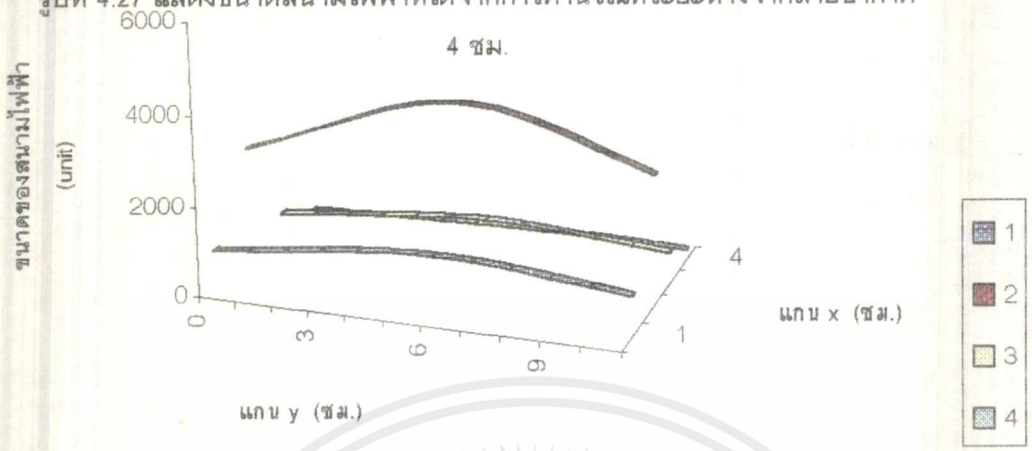


รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.ของสายอากาศ



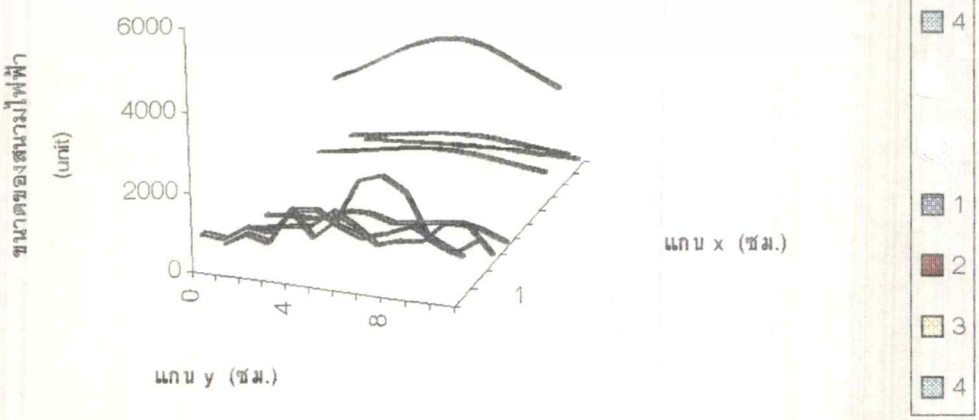
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.27 แสดงขนาดสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 4 ซม.



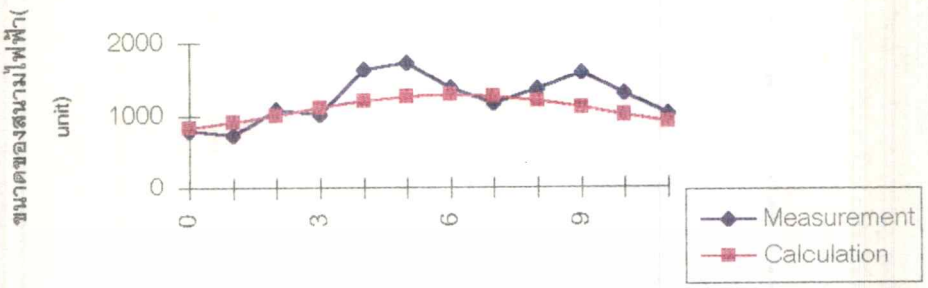
รูปที่ 4.28 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 4 ซม.

รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 4 ซม.

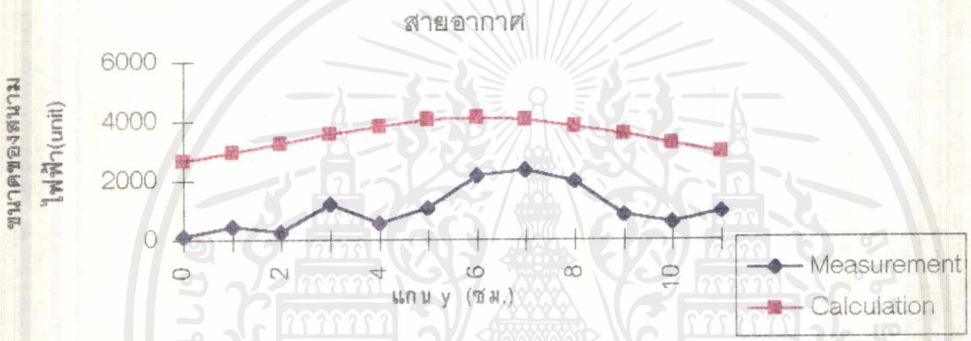


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

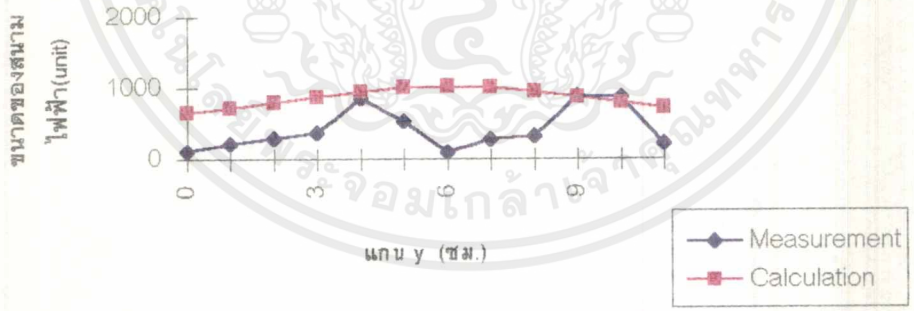
รูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.ของสายอากาศ



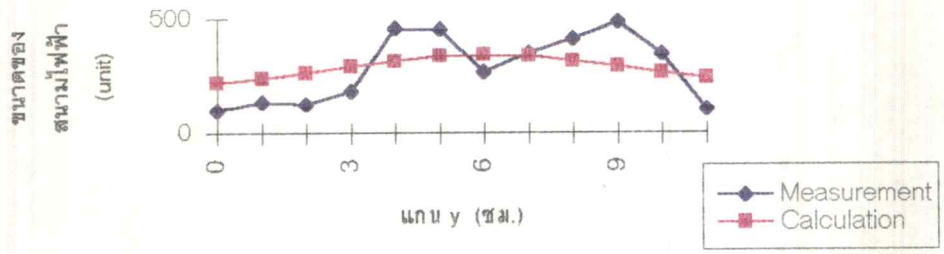
รูปที่ 4.31 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.ของสายอากาศ



รูปที่ 4.32 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.ของสายอากาศ

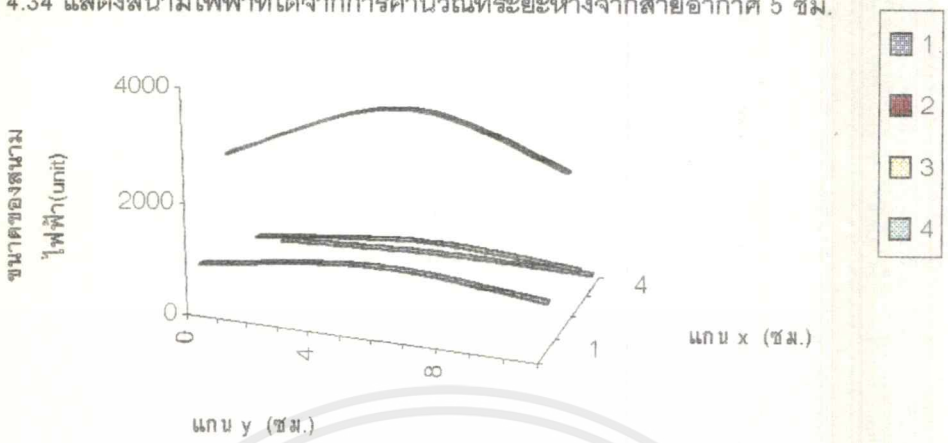


รูปที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.ของสายอากาศ

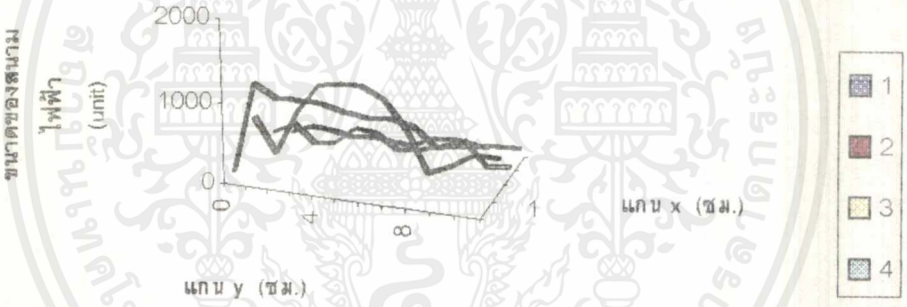


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

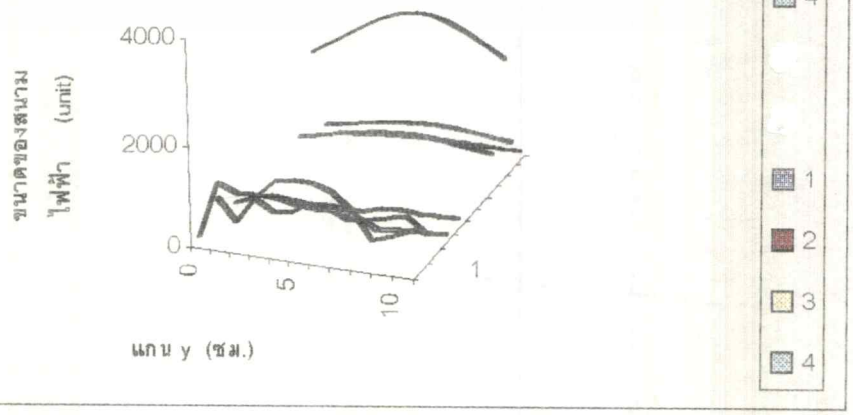
รูปที่ 4.34 แสดงสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 5 ซม.



รูปที่ 4.35 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 5 ซม.

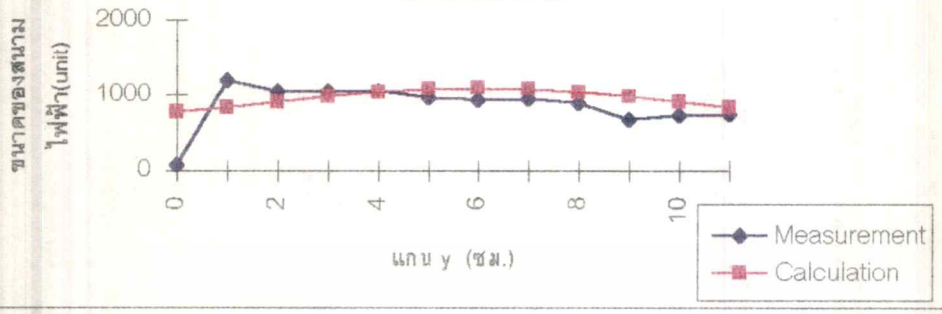


รูปที่ 4.36 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 5 ซม.

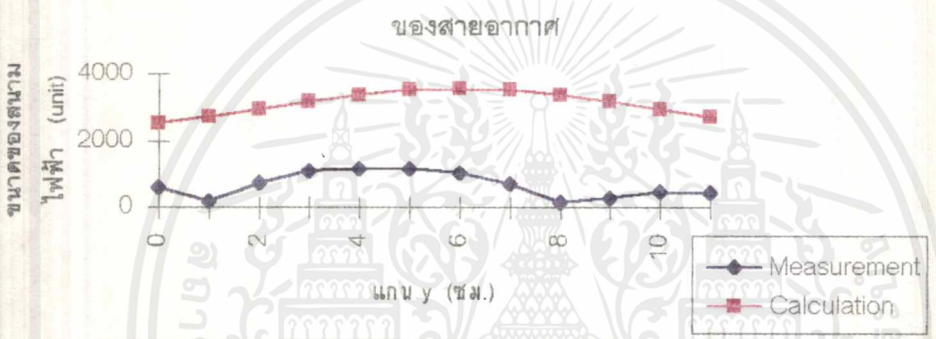


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

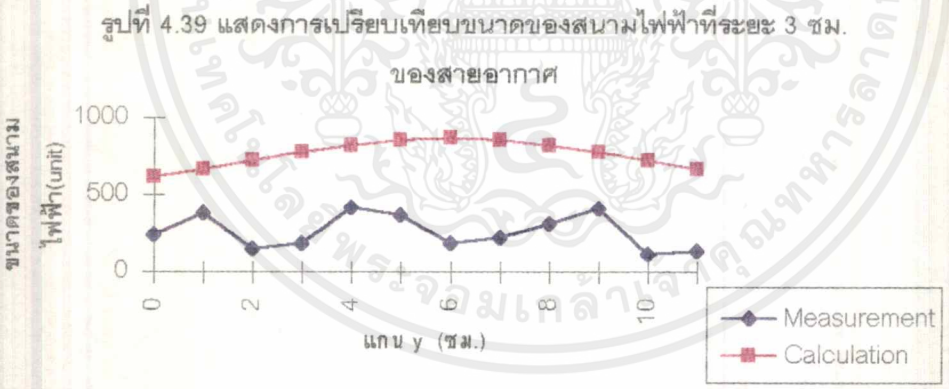
รูปที่ 4.37 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.
ของสายอากาศ



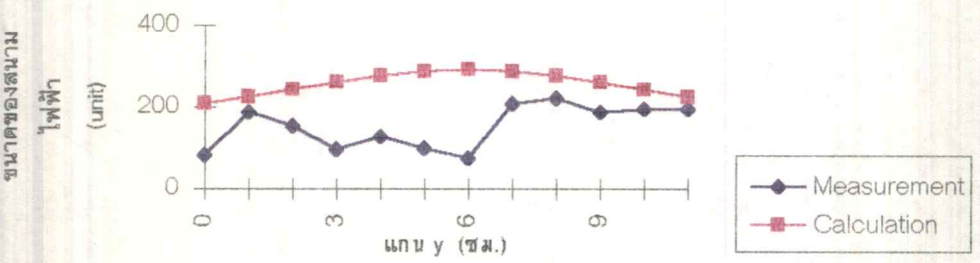
รูปที่ 4.38 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.
ของสายอากาศ



รูปที่ 4.39 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.
ของสายอากาศ



รูปที่ 4.40 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.
ของสายอากาศ



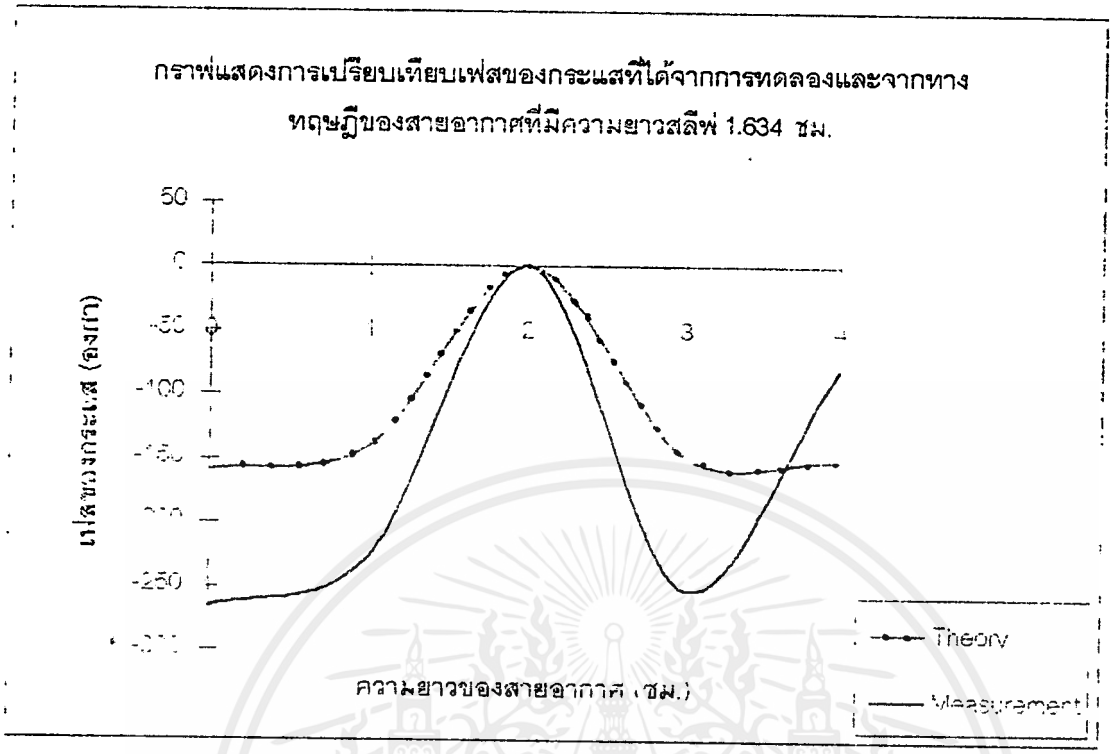
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ระนาบที่ 1 ถึงระนาบที่ 5 (ระยะห่างจากสายอากาศ 1 ถึง 5 ซม.)

จากกราฟหน้า 35,37,39,41 และ 43 เป็นการแสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณและการทดลองของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม. โดยที่เส้นกราฟแต่ละเส้นจะแสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1,2,3 และ 4 ของสายอากาศซึ่งแทนด้วยสีม่วง น้ำตาล เหลือง ฟ้า ตามลำดับ จะพบว่าขนาดของสนามไฟฟ้าตั้งแต่จุดป้อนสัญญาณถึงจุดปลายของสลีฟ (a-b) จะมีขนาดต่ำ และตั้งแต่จุดปลายสลีฟด้านหนึ่งถึงปลายสลีฟด้านหนึ่ง (b-c) จะมีขนาดของสนามเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีขนาดสูงสุดที่จุดกึ่งกลางสลีฟ (จุดที่เป็นรอยต่อของการสลับสายตัวนำในและตัวนำนอกของแต่ละเอเลเมนต์) และมีค่าลดลงจากจุดกึ่งกลางไปจนถึงปลายของสลีฟอีกด้านหนึ่ง ส่วนระยะสุดท้ายตั้งแต่ปลายสลีฟถึงปลายสายอากาศ (c-d) จะมีขนาดของสนามไฟฟ้าต่ำกว่าช่วงที่มีสลีฟและจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนถึงปลายสลีฟ ซึ่งจะเห็นได้ว่ารูปแบบการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองจะมีลักษณะใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ กล่าวคือสัญญาณจะมีขนาดต่ำบริเวณปลายทั้งสองด้านของสายอากาศแล้วมีขนาดสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงปลายสลีฟทั้งสองด้านและเมื่ออยู่ในส่วนของสลีฟจะมีขนาดสนามไฟฟ้าสูงขึ้นเรื่อยๆ และมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางของสลีฟ ซึ่งค่าสนามไฟฟ้าจะมีค่ามากกว่าค่าสนามไฟฟ้าในช่วงที่ไม่มีสลีฟ

จากกราฟหน้า 36,38,40,42 และ 44 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1,2,3 และ 4 ซม. ของสายอากาศซึ่งจะพบว่าขนาดของสนามไฟฟ้าจะมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเหมือนกัน กล่าวคือระยะห่าง 1 ซม. จากจุดป้อนสัญญาณจะมีความแรงของสัญญาณใกล้เคียงกับระยะห่าง 3 ซม. จากจุดป้อนสัญญาณ ส่วนที่ระยะห่าง 2 ซม.จะมีความแรงของสัญญาณสูงสุด และที่ระยะห่าง 4 ซม. จากจุดป้อนสัญญาณจะมีความแรงของสัญญาณต่ำที่สุด ซึ่งเป็นไปตามที่ค่าที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สำหรับกราฟข้างบนจะแสดงการเปรียบเทียบเฟสของกระแสที่ไหลในสายอากาศที่ได้จากการทดลองและทฤษฎี ซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่าตั้งแต่ระยะจุดป้อนสัญญาณจนถึงจุดกึ่งกลางของสายอากาศเฟสจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าเท่ากับศูนย์ และจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จากระยะกึ่งกลางของสายอากาศจนถึงปลายสลีฟอีกด้านหนึ่งซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎี

จากกราฟแสดงขนาดสนามไฟฟ้าของสายอากาศที่มีความยาว 1.634 ซม. ตั้งแต่ระนาบที่ 1 ถึง 5 จะเห็นว่าที่ระนาบที่ 1 จะมีความแรงของสัญญาณมากกว่าระนาบอื่นๆ เนื่องจากอยู่ใกล้สายอากาศมากที่สุด ส่วนระนาบอื่นๆ จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ตามระยะห่างของแต่ละระนาบนั้นๆ

- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Plane1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	488.55	2159.7	2078.1	3674.3	3293.6	3256.4	6698.4	2711.8	4777.2	3454.8	2134.6	2471.3
2	773.13	1996	731.65	4550.5	2070	10592	12604	13489	9894.4	1466.2	4313	835.72
3	943.09	571.58	2617.6	2924.8	5761.1	3968.2	7517.8	4724	5178.5	4921	2005.2	1906.9
4	112.66	883.34	509.38	1338.5	1203.4	3410.9	2797.1	3616.8	2698.8	494.12	963.33	343.99
Plane2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1856.3	2330.9	2061.2	3554.6	4507.3	4427	4596.5	3348.4	2349.7	2439.6	1944.7	1835
2	1749.3	2024.3	3461.8	4124.2	4201	4343.3	4786.3	4085.8	3651.5	729.74	1707.4	604.57
3	306.81	2395.3	1230.5	3722.8	5303.4	5429.5	5271.9	2730	1844.5	2002.1	263.87	758.59
4	755.94	105	1175.3	607.19	907	1564	765.65	786.1	899.4	352.9	591.13	367.72
Plane3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	233.78	2188.7	2965.8	2066.1	2394.9	2898.3	2703.7	2088.7	2645.5	2311.7	1815.9	1638.8
2	447.05	2025.5	782.97	2824.9	4488.2	4343.3	4668.7	4010.4	1288.9	1759.9	1333.2	380.84
3	942.26	398.52	2477.3	1687.6	1565.5	2778.4	2342.7	1335.3	2420.9	1412.4	450.57	820.4
4	269.93	877.98	108.29	1105.2	1184.8	847.19	924.97	1008	496.8	452.04	638.69	281.41
Plane4	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	535.73	1896.8	1938.7	1932.5	2514.4	2604.6	2463.8	2330.4	1937.4	1770.5	1496.8	1174.5
2	965.51	398.32	1395	1944.7	1246.2	579.15	709.06	1486.6	1851.6	1228.6	546.78	799.66
3	396.07	969.89	326.75	1144.5	1993.9	2226.2	2178.8	1713	833.69	553.73	689.6	522.7
4	366.84	196.7	607.58	704.41	318.97	113.21	145.79	346.6	543.71	596.46	273.17	506.04
Plane5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1148.68	1266.8	1598.6	1749.9	1732.9	1725	1764.7	1716.8	1540.7	1262	977.04	1086.1
2	386.86	802.31	416.49	786.54	1337.1	1600.6	1440	913.71	369.71	414.07	863.94	549.58
3	90.599	468.69	806.9	709.83	406.55	352.49	384.69	543.03	653.09	625.64	301.26	465.54
4	405.85	236.43	92.454	420.7	591.61	671.65	582.34	483.74	353.8	143.87	657.8	194.24

ตารางที่ 4.3 ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองของสายอากาศโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม.

จากตารางที่ 4.3 Plane1 ถึง Plane5 คือระนาบที่ต้องการวัด (แกน z) โดยอยู่ห่างจากสายอากาศ 1,2,3,4 และ 5 ซม.ตามลำดับโดยแต่ละระนาบจะมีการสแกนในแนวความกว้างของภาชนะ (แกน y) ทั้งหมด 12 จุดคือ ที่ระยะ 0 ถึง 11 ซม. จากขอบด้านข้างด้านหนึ่งถึงอีกด้านของภาชนะ และระยะสแกนในแนวลึกตามความยาวของสายอากาศ (แกน X) ทั้งหมด 4 จุดคือที่ระยะ 1,2,3 และ 4 ซม.ตามลำดับโดยกำหนดให้

แกน x คือความยาวของสายอากาศ (ซม.)

แกน y คือความกว้างของภาชนะที่บรรจุสารจำลองเนื้อคนชนิดเหลว (ซม.)

แกน z คือระยะห่างระหว่างสายอากาศกับโพรบ (ซม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Plane1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	994.6	1137.8	1331.9	1623.1	2129	3080.3	3965.3	3080.3	2129	1623.1	1331.9	1137.8
2	8403.4	9606.1	11114	12994	15249	17623	19347	17623	15249	12994	11114	9606.1
3	9128.3	10434	12061	14062	16394	18864	20914	18864	16394	14062	12061	10434
4	1809.6	2070.3	2418	2920.9	3734.4	5032.9	5912.7	5032.9	3734.4	2920.9	2418	2070.3
Plane2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	964.8	1092	1254.4	1470.9	1767.9	2129	2303.3	2129	1767.9	1470.9	1254.4	1092
2	8147.2	9227.2	10533	12072	13755	15249	15900	15249	13755	12072	10533	9227.2
3	8849.9	10023	11436	13086	14858	16394	17048	16394	14858	13086	11436	10023
4	1755.1	1987.1	2280.2	2661.1	3161.8	3734.4	4035.7	3734.4	3161.8	2661.1	2280.2	1987.1
Plane3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	921	1027.7	1154.6	1304.1	1470.9	1623.1	1689.5	1623.1	1470.9	1304.1	1154.6	1027.7
2	7786.2	8685.5	9743.4	10910	12072	12994	13357	12994	12072	10910	9743.4	8685.5
3	8437.9	9434.8	10582	11841	13086	14062	14442	14062	13086	11841	10582	9434.8
4	1674.7	1870	2100.8	2368.8	2661.1	2920.9	3032.2	2920.9	2661.1	2368.8	2100.8	1870
Plane4	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	869	955.5	1051.8	1154.6	1254.4	1331.9	1362	1331.9	1254.4	1154.6	1051.8	955.5
2	7317.1	8067	8890.4	9743.4	10533	11114	11331	11114	10533	9743.4	8890.4	8067
3	7947.2	8762.7	9657.2	10582	11436	12061	12295	12061	11436	10582	9657.2	8762.7
4	1579.4	1738	1914.1	2100.8	2280.2	2418	2471.2	2418	2280.2	2100.8	1914.1	1738
Plane5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	814	882.9	955.5	1027.7	1092	1137.8	1154.6	1137.8	1092	1027.7	955.5	882.9
2	6838.5	7437.9	8067	8685.5	9227.2	9606.1	9743.4	9606.1	9227.2	8685.5	8067	7437.9
3	7426.6	8078.6	8762.7	9434.8	10023	10434	10582	10434	10023	9434.8	8762.7	8078.6
4	1478.5	1604.9	1738	1870	1987.1	2070.3	2100.8	2070.3	1987.1	1870	1738	1604.9

ตารางที่ 4 4 ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณของสายอากาศโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ที่มีสลิฟยาว 3.164 ซม.

จากตารางที่ 4 4 Plane1 ถึง Plane5 คือระนาบที่ต้องการวัด (แกน z) โดยอยู่ห่างจากสายอากาศ 1,2,3,4 และ 5 ซม.ตามลำดับโดยแต่ละระนาบจะมีการสแกนในแนวความกว้างของภาชนะ (แกน y) ทั้งหมด 12 จุดคือ ที่ระยะ 0 ถึง 11 ซม. จากขอบด้านข้างด้านหนึ่งถึงอีกด้านของภาชนะ และระยะสแกนในแนวลึกตามความยาวของสายอากาศ (แกน X) ทั้งหมด 4 จุดคือที่ระยะ 1,2,3 และ 4 ซม.ตามลำดับโดยกำหนดให้

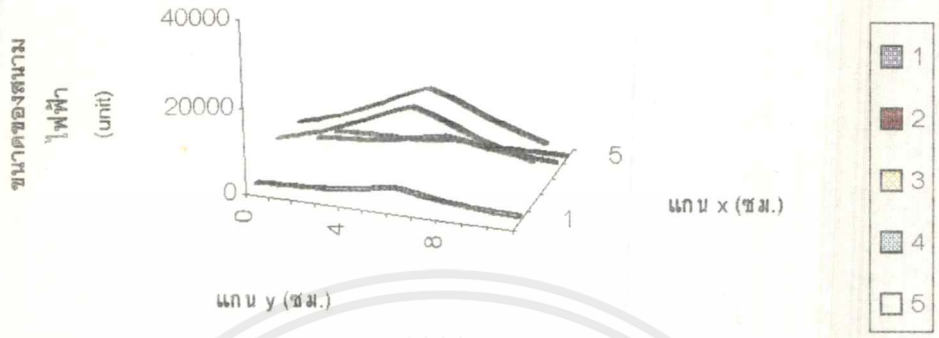
แกน x คือความยาวของสายอากาศ (ซม.)

แกน y คือความกว้างของภาชนะที่บรรจุสารจำลองเนื้อคนชนิดเหลว (ซม.)

แกน z คือระยะห่างระหว่างสายอากาศกับโพรบ (ซม.)

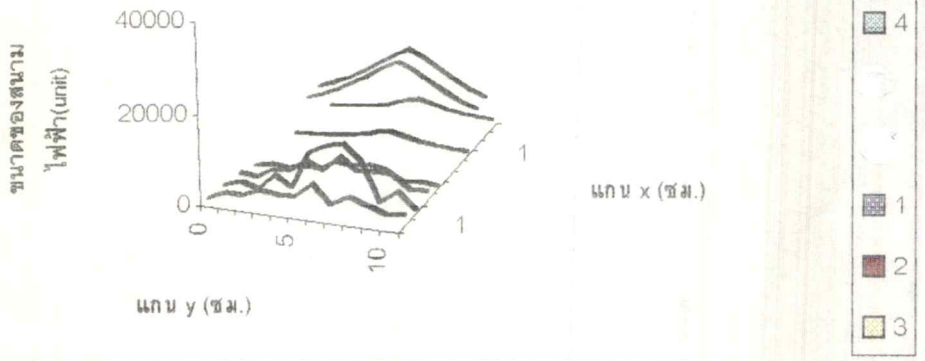
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.42 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 1 ซม.



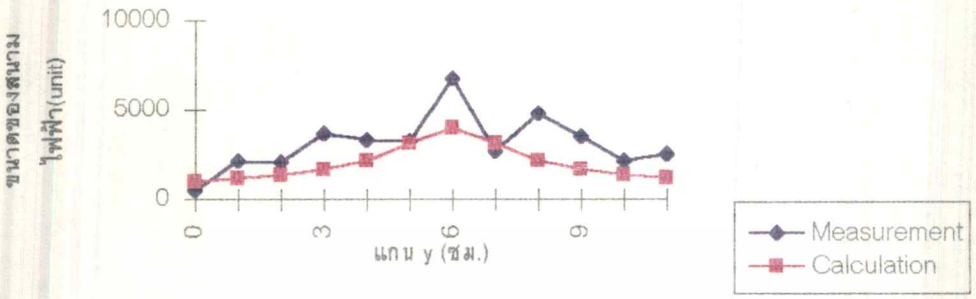
รูปที่ 4.43 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 1 ซม.

รูปที่ 4.44 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 1 ซม.

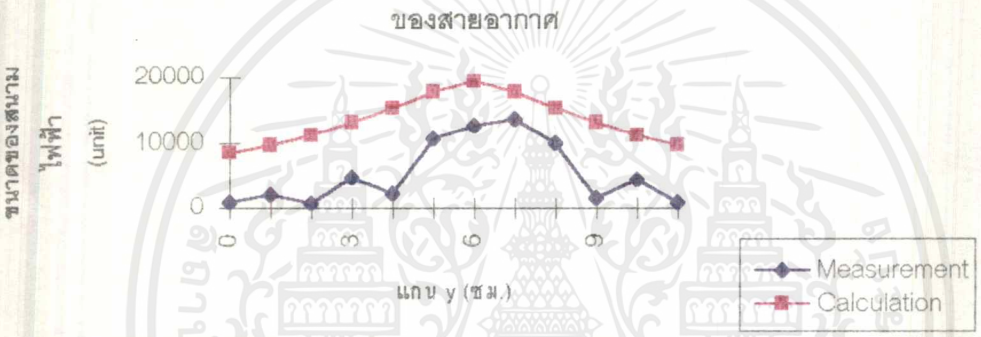


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

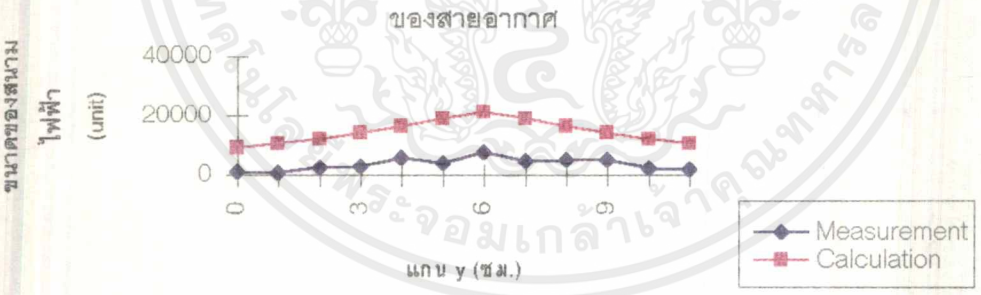
รูปที่ 4.45 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.
ของสายอากาศ



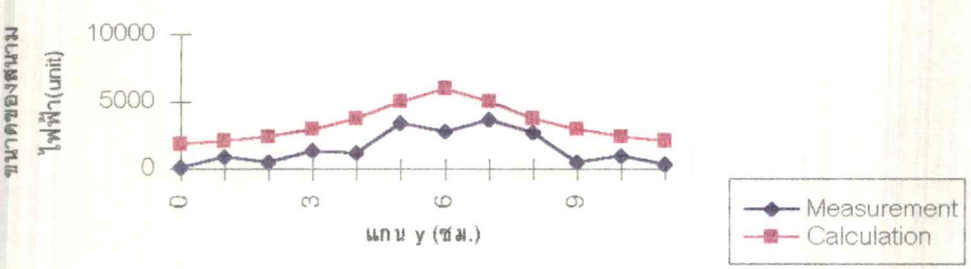
รูปที่ 4.46 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.
ของสายอากาศ



รูปที่ 4.47 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.
ของสายอากาศ

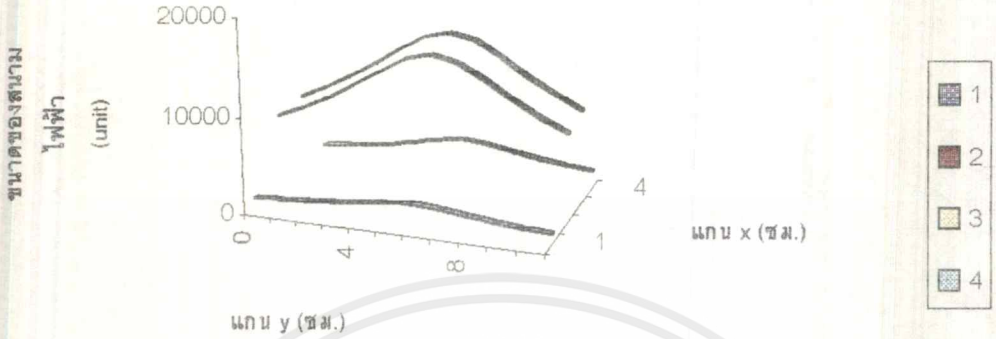


รูปที่ 4.48 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.
ของสายอากาศ

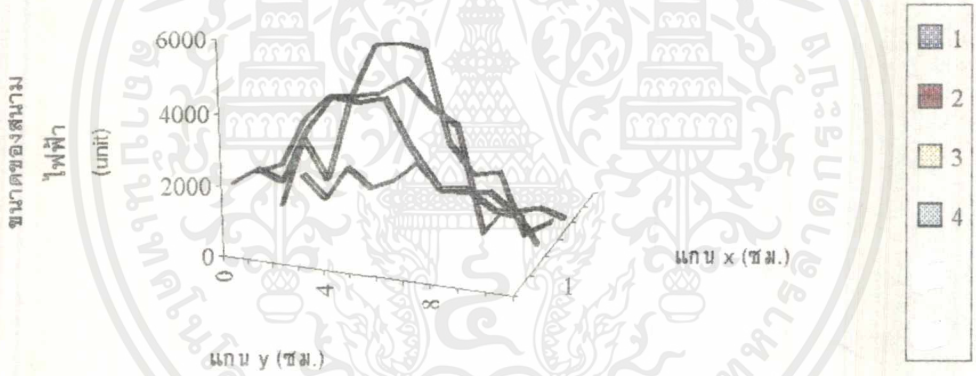


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

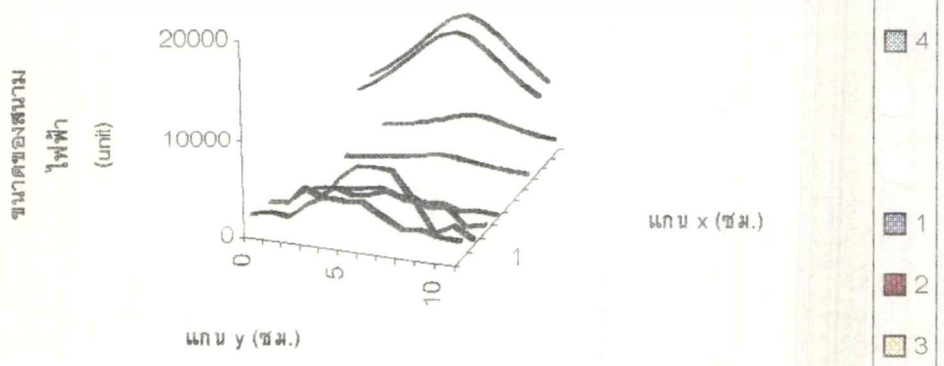
รูปที่ 4.49 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสาย อากาศ 2 ซม.



รูปที่ 4.50 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสาย อากาศ 2 ซม.

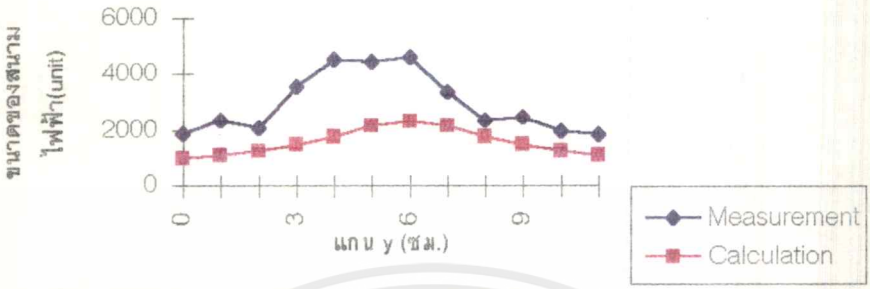


รูปที่ 4.51 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 2 ซม.

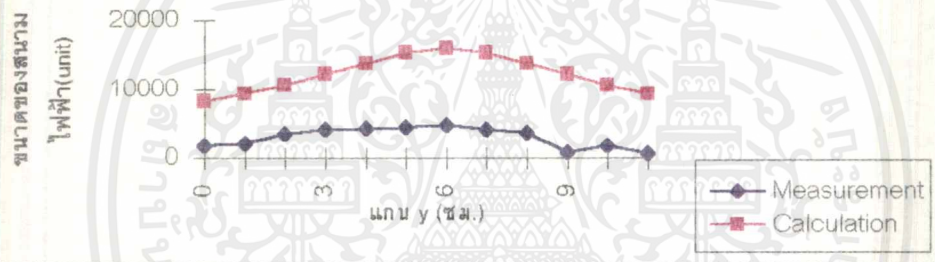


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

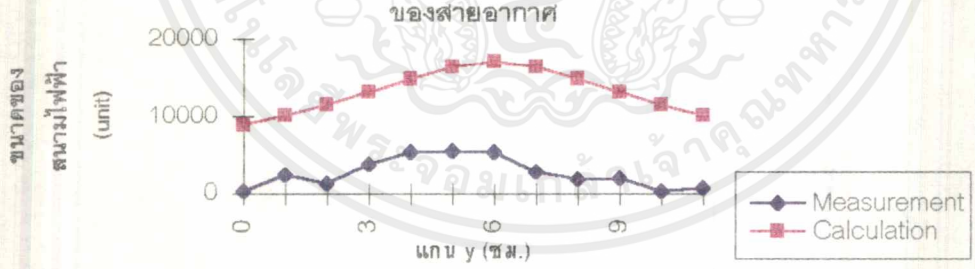
รูปที่ 4.52 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ1 ซม.
ของสายอากาศ



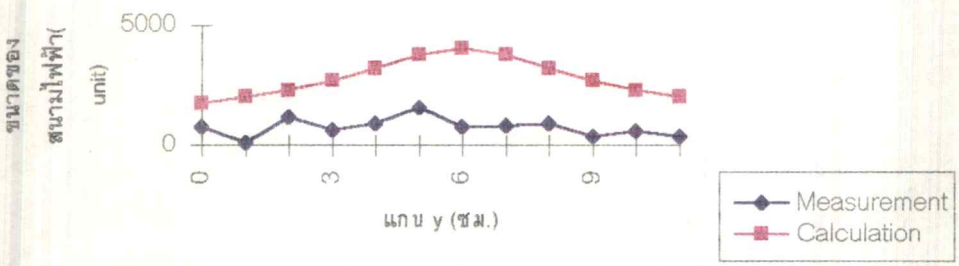
รูปที่ 4.53 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.
ของสายอากาศ



รูปที่ 4.54 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.
ของสายอากาศ

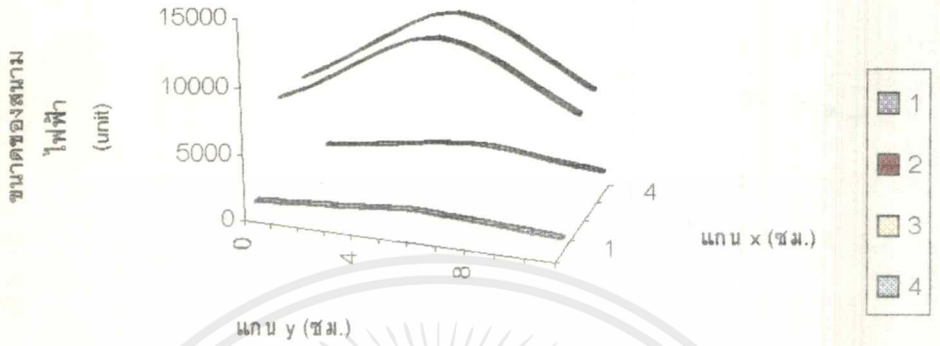


รูปที่ 4.55 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.
ของสายอากาศ

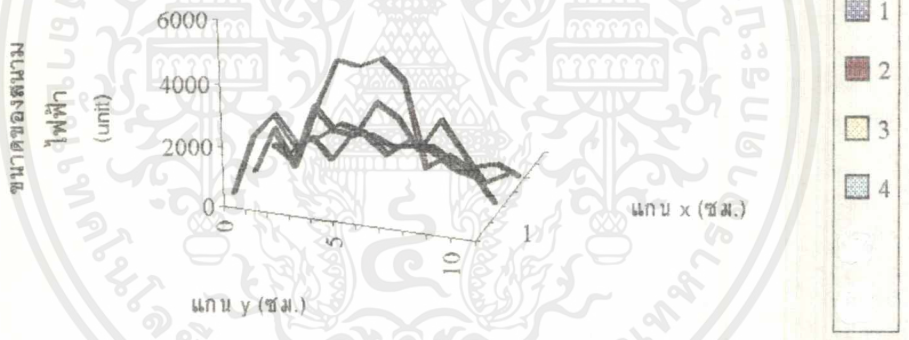


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

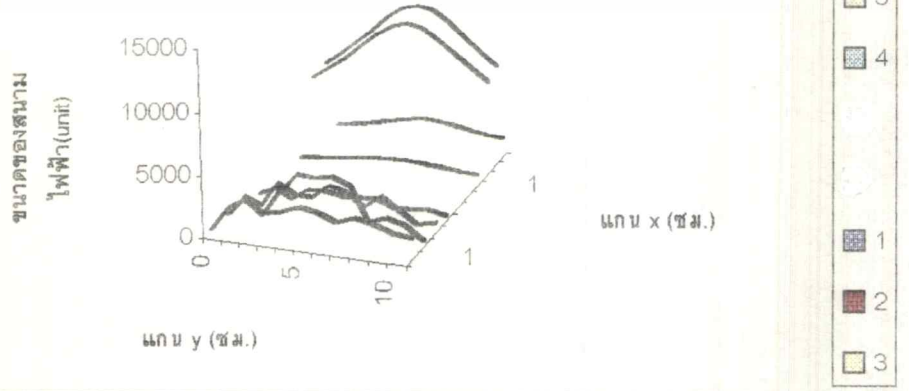
รูปที่ 4.56 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 3 ซม.



รูปที่ 4.57 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 3 ซม.

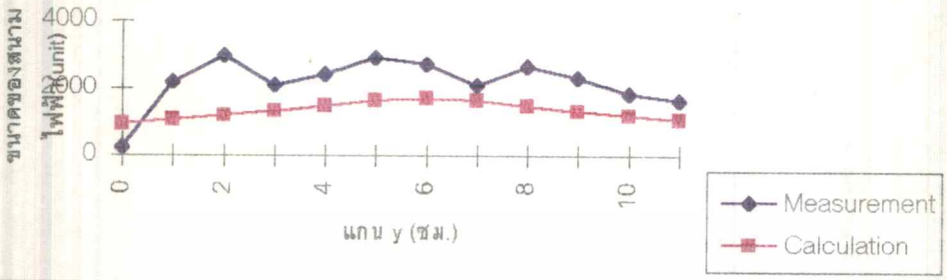


รูปที่ 4.58 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 3 ซม.

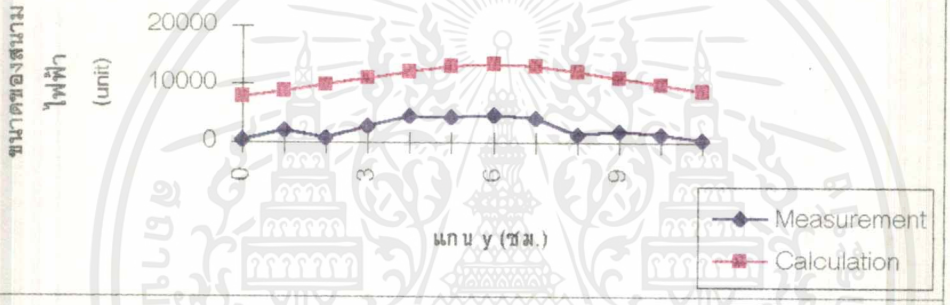


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.59 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.
ของสายอากาศ

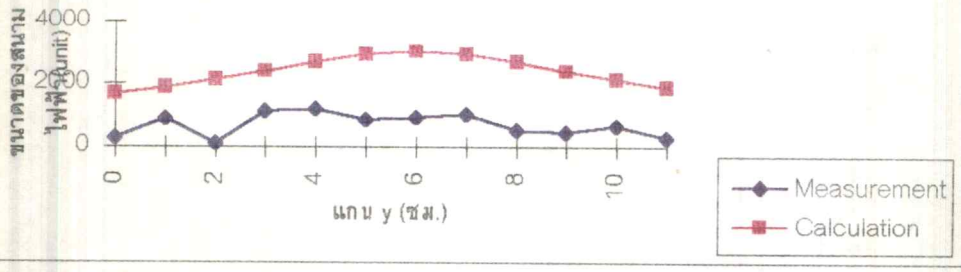


รูปที่ 4.60 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.
ของสายอากาศ



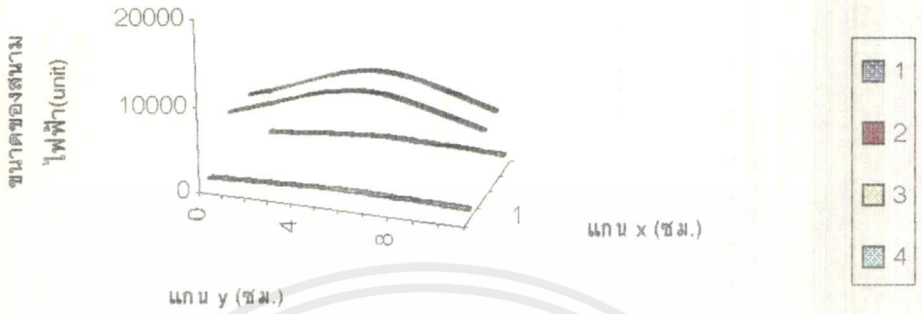
รูปที่ 4.61 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.
ของสายอากาศ

รูปที่ 4.62 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.
ของสายอากาศ



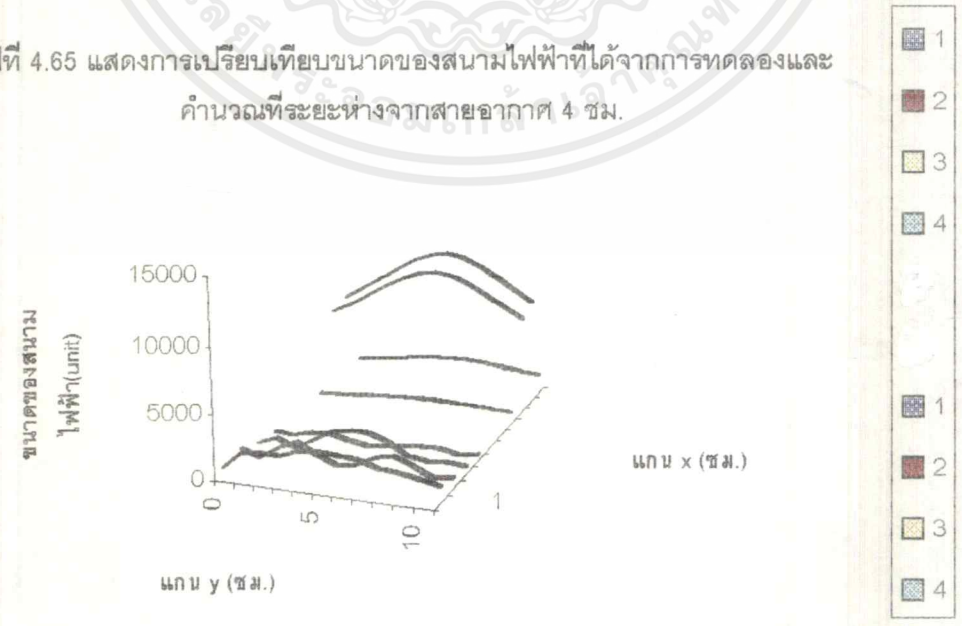
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.63 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 4 ซม.



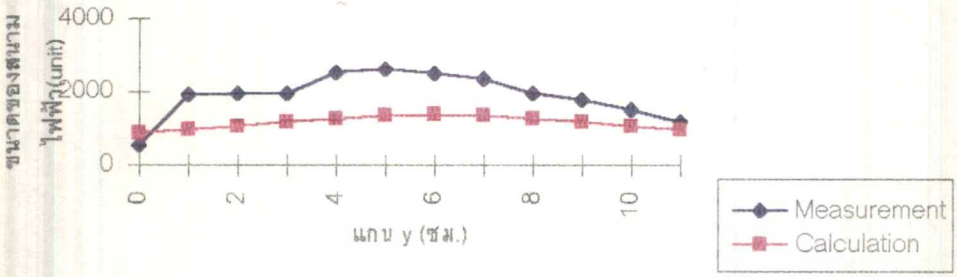
รูปที่ 4.64 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 4 ซม.

รูปที่ 4.65 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 4 ซม.

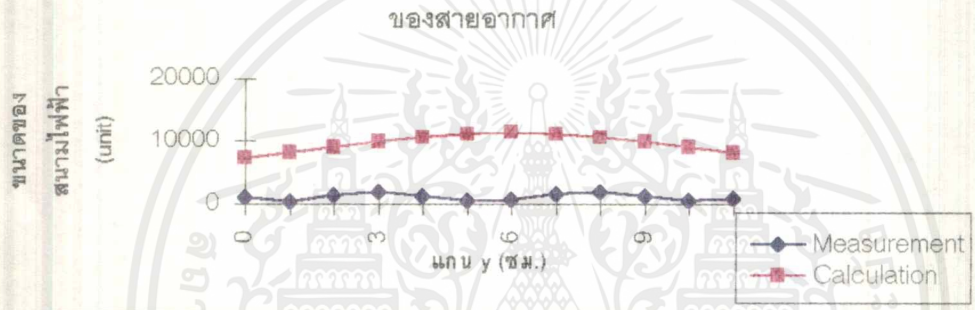


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

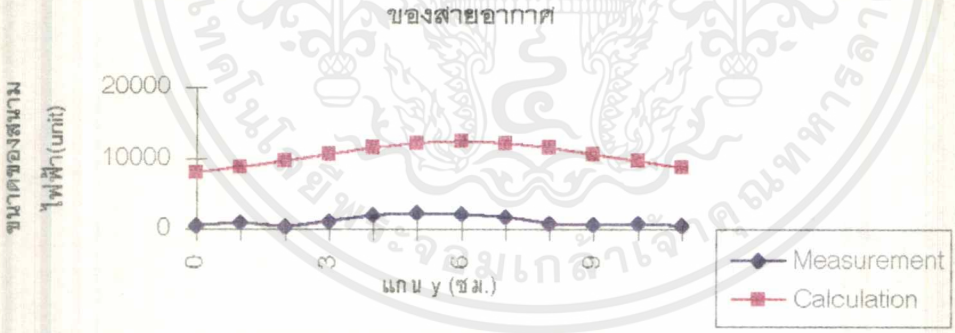
รูปที่ 4.66 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.
ของสายอากาศ



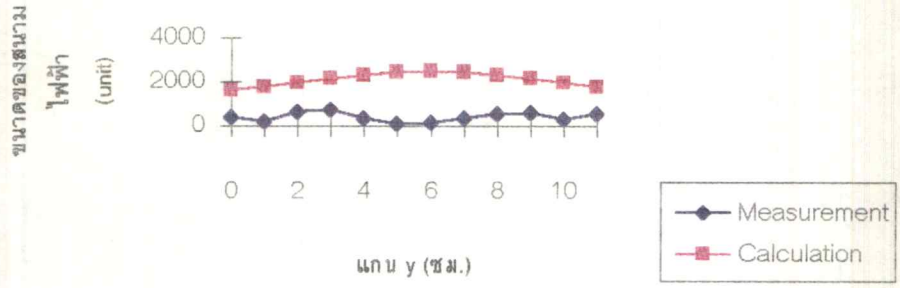
รูปที่ 4.67 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.
ของสายอากาศ



รูปที่ 4.68 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.
ของสายอากาศ

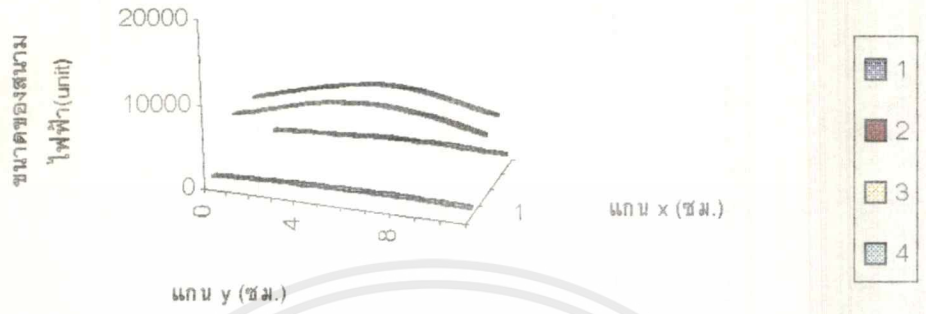


รูปที่ 4.69 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.
ของสายอากาศ

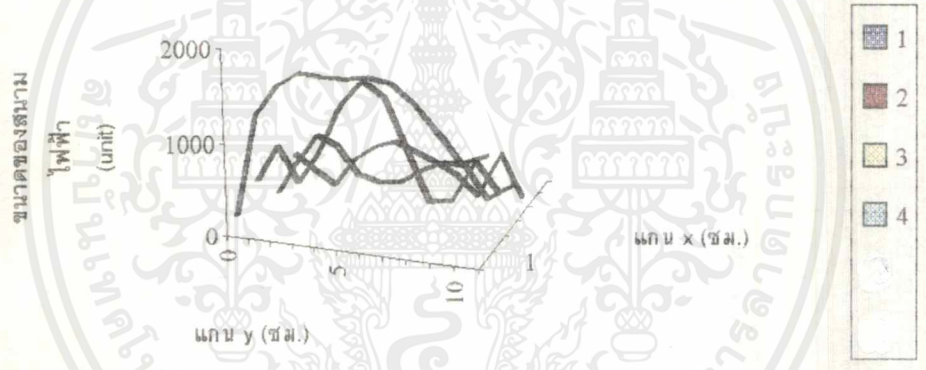


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

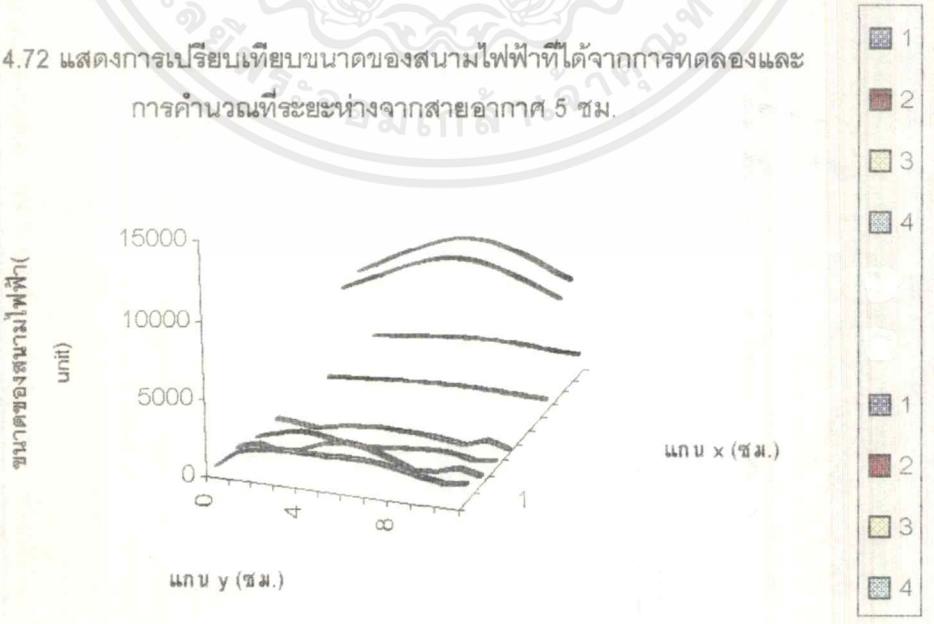
รูปที่ 4.70 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 5 ซม.



รูปที่ 4.71 แสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองที่ระยะห่างจากสายอากาศ 5 ซม.

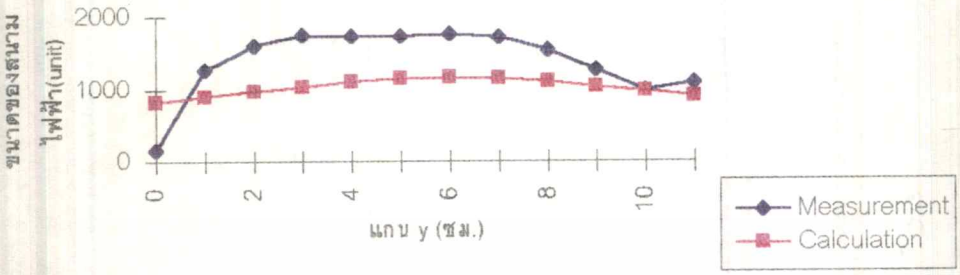


รูปที่ 4.72 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและการคำนวณที่ระยะห่างจากสายอากาศ 5 ซม.

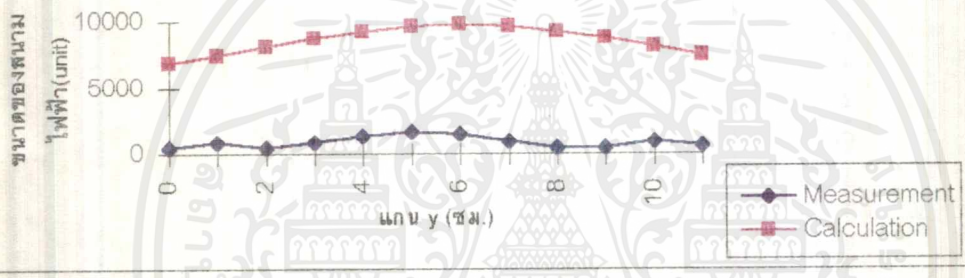


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

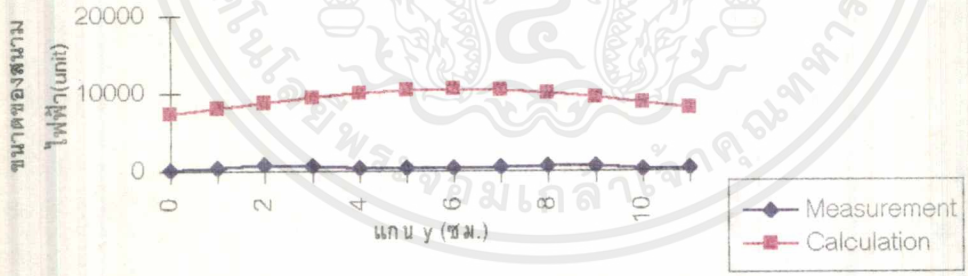
รูปที่ 4.73 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1 ซม.
ของสายอากาศ



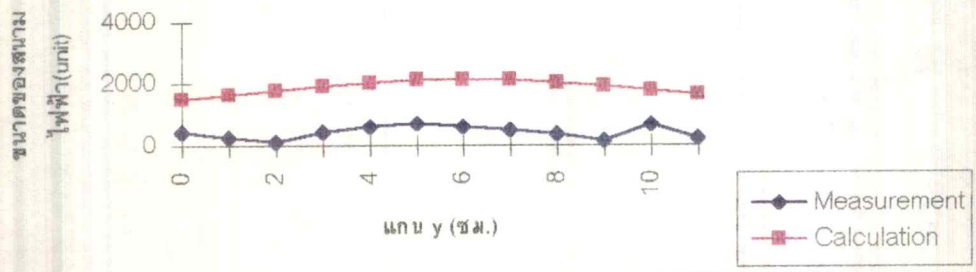
รูปที่ 4.74 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 2 ซม.
ของสายอากาศ



รูปที่ 4.75 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 3 ซม.
ของสายอากาศ



รูปที่ 4.76 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 4 ซม.
ของสายอากาศ



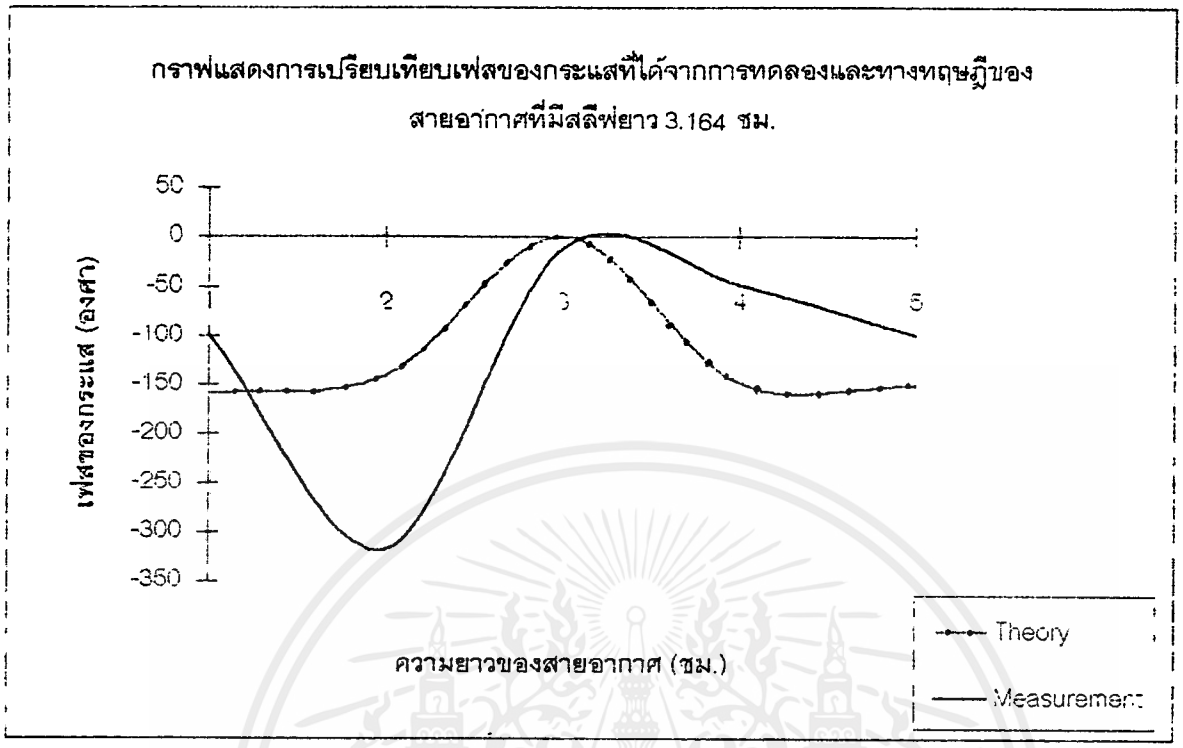
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ระนาบที่ 1 ถึงระนาบที่ 5 (ระยะห่างจากสายอากาศ 1 ถึง 5 ซม.)

จากกราฟหน้า 49,51,53,55 และ ,57 เป็นการแสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณและการทดลองของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม. โดยที่เส้นกราฟแต่ละเส้นจะแสดงขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1,2,3 และ 4 ของสายอากาศซึ่งแทนด้วยสีม่วง น้ำตาล เหลือง ฟ้า ตามลำดับ จะพบว่าขนาดของสนามไฟฟ้าตั้งแต่จุดป้อนสัญญาณถึงจุดปลายของสลีฟ (a-b) จะมีขนาดต่ำ และตั้งแต่จุดปลายสลีฟด้านหนึ่งถึงปลายสลีฟด้านหนึ่ง (b-c) จะมีขนาดของสนามเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีขนาดสูงสุดที่จุดกึ่งกลางสลีฟ (จุดที่เป็นรอยต่อของการสลับสายตัวนำในและตัวนำนอกของแต่ละเอเลเมนต์) และมีค่าลดลงจากจุดกึ่งกลางไปจนถึงปลายของสลีฟอีกด้านหนึ่ง ส่วนระยะสุดท้ายตั้งแต่ปลายสลีฟถึงปลายสายอากาศ (c-d) จะมีขนาดของสนามไฟฟ้าต่ำกว่าช่วงที่มีสลีฟและจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนถึงปลายสลีฟ ซึ่งจะเห็นได้ว่ารูปแบบการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองจะมีลักษณะใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ กล่าวคือสัญญาณจะมีขนาดต่ำบริเวณปลายทั้งสองด้านของสายอากาศแล้วมีขนาดสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงปลายสลีฟทั้งสองด้านและเมื่ออยู่ในส่วนของสลีฟจะมีขนาดสนามไฟฟ้าสูงขึ้นเรื่อยๆ และมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางของสลีฟ ซึ่งค่าสนามไฟฟ้าจะมีค่ามากกว่าค่าสนามไฟฟ้าในช่วงที่ไม่มีสลีฟ

จากกราฟหน้า 50,52,54,56 และ 58 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบขนาดของสนามไฟฟ้าที่ระยะ 1,2,3 และ 4 ซม. ของสายอากาศซึ่งจะพบว่าขนาดของสนามไฟฟ้าจะมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเหมือนกัน กล่าวคือระยะห่าง 1 ซม. จากจุดป้อนสัญญาณจะมีความแรงของสัญญาณใกล้เคียงกับระยะห่าง 3 ซม. จากจุดป้อนสัญญาณ ส่วนที่ระยะห่าง 2 ซม.จะมีความแรงของสัญญาณสูงสุด และที่ระยะห่าง 4 ซม จากจุดป้อนสัญญาณจะมีความแรงของสัญญาณต่ำที่สุด ซึ่งเป็นไปตามที่ค่าที่ได้จากการคำนวณ

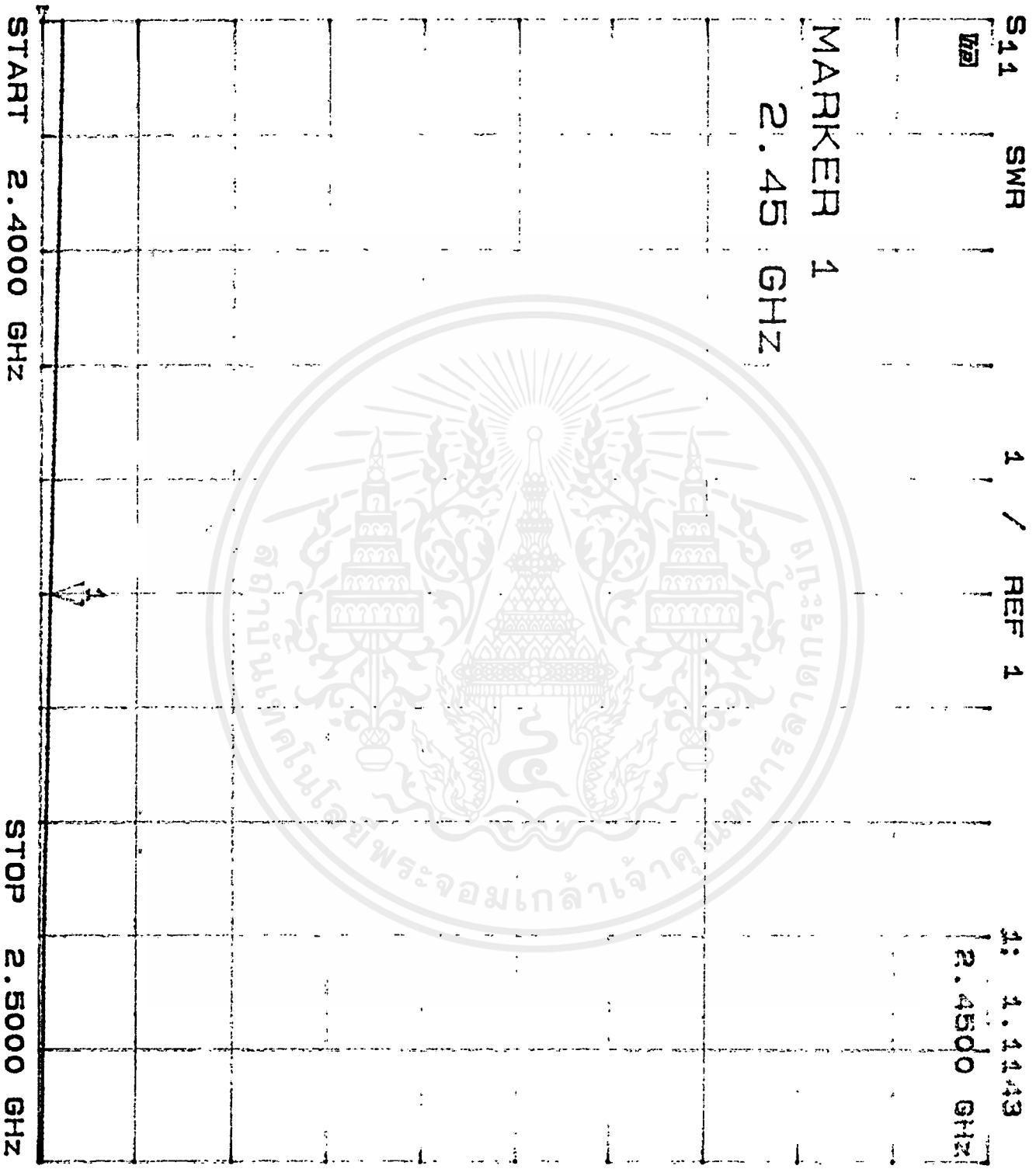
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สำหรับกราฟข้างบนจะแสดงการเปรียบเทียบเฟสของกระแสที่ไหลในสายอากาศที่ได้จากการทดลองและทฤษฎี ซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่าตั้งแต่ระยะจุดป้อนสัญญาณจนถึงจุดกึ่งกลางของสายอากาศเฟสจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าเท่ากับศูนย์ และจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จากระยะกึ่งกลางของสายอากาศจนถึงปลายสลีฟอีกด้านหนึ่งซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎี

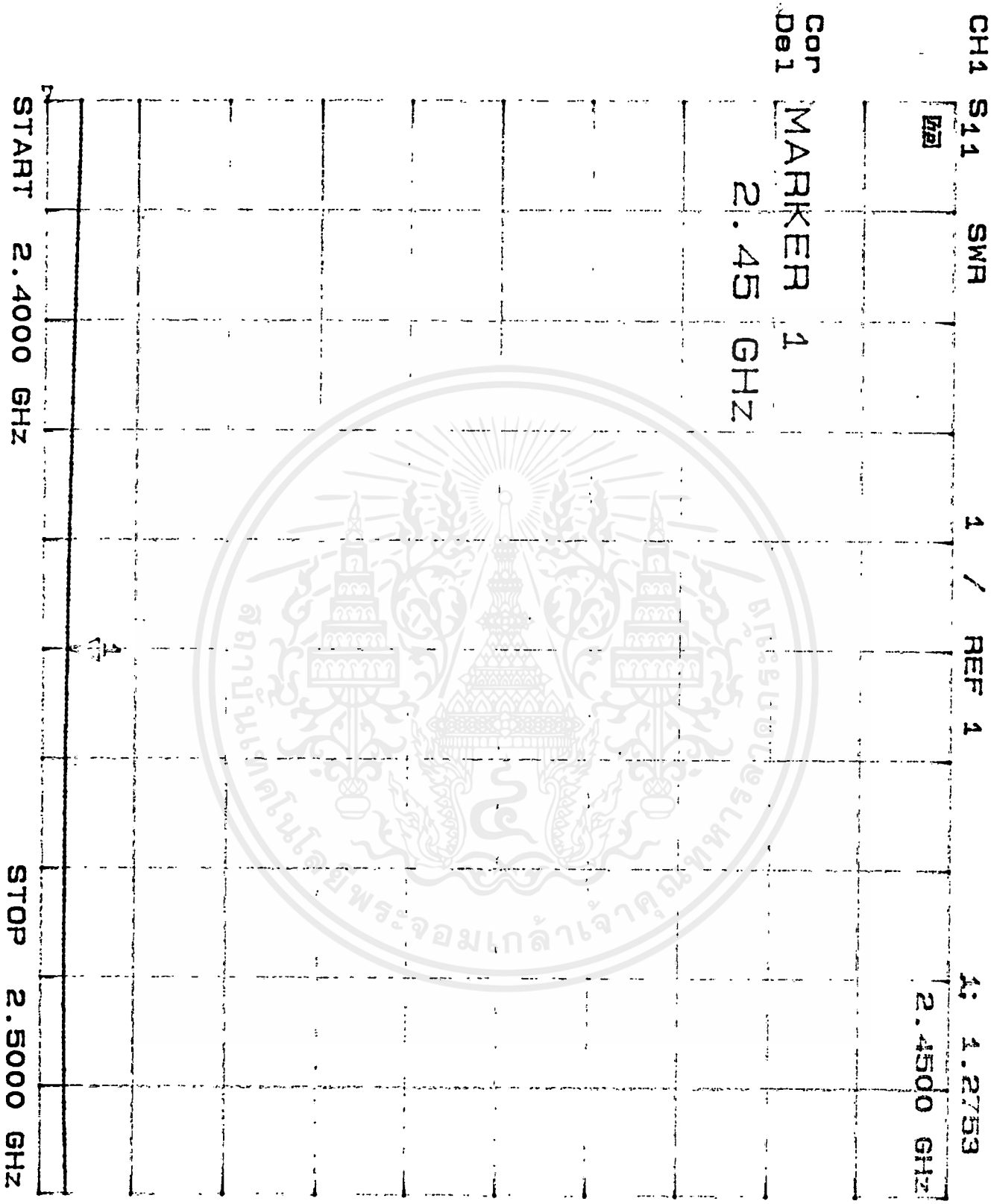
จากกราฟแสดงขนาดสนามไฟฟ้าของสายอากาศที่มีความยาว 3.164 ซม. ตั้งแต่ระนาบที่ 1 ถึง 5 จะเห็นว่าที่ระนาบที่ 1 จะมีความแรงของสัญญาณมากกว่าระนาบอื่นๆ เนื่องจากอยู่ใกล้สายอากาศมากที่สุด ส่วนระนาบอื่นๆ จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ตามระยะห่างของแต่ละระนาบนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.77 แสดงค่า SWR ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 1.634 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.78 แสดงค่า SWR ของสายอากาศที่มีสลีฟยาว 3.164 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป

จากความต้องการของเครื่องรักษาโรคมะเร็งโดยคลื่นไมโครเวฟในการรักษาโรคมะเร็งที่อยู่ลึกนั้นต้องใช้สายอากาศที่ออกแบบมาเฉพาะให้สามารถประยุกต์ใช้กับความต้องการดังกล่าวได้ โครงงานนี้จึงได้ทำการออกแบบและสร้างสายอากาศแบบอินเวสซีฟชนิดโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ที่ความถี่ใช้งาน 2450 MHz ขึ้นมา ซึ่งเป็นสายอากาศที่ทำมาจากสายโซลิดโคแอกเชียลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 ซม.โดยสลับตัวนำนอกและตัวนำในของแต่ละเอเลเมนต์แล้วหุ้มด้วยปลอกทองเหลืองเรียกว่า "สลีฟ" ที่บริเวณรอยต่อเพื่อเพิ่มความแรงของสนามไฟฟ้า ทำให้มีบริเวณความร้อนของการใช้งานที่เกิดจากสนามเพิ่มมากขึ้น

จากการทดลอง จะเห็นได้ว่ารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ได้จากการทดลองมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับผลจากการคำนวณ กล่าวคือความแรงของสนามไฟฟ้าบริเวณที่เป็นสลีฟจะมีความแรงของสนามมากกว่าบริเวณอื่นของสายอากาศและจะมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางของสลีฟ โดยที่สายอากาศที่หุ้มด้วยสลีฟที่มีความยาวเท่ากับ 1.634 ซม. จะมีความแรงของสนามไฟฟ้าบริเวณที่เป็นสลีฟมากกว่าบริเวณอื่นของสายอากาศและจะมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางของสลีฟแต่จะมีค่าความแรงตลอดแนวสลีฟน้อยกว่าสายอากาศที่หุ้มด้วยสลีฟขนาด 3.164 ซม. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความยาวของสลีฟมีผลต่อบริเวณการแพร่กระจายของสนามไฟฟ้า ดังนั้นถ้าต้องการให้สายอากาศมีความแรงของของสนามไฟฟ้าที่สูงขึ้นสามารถทำได้โดยเพิ่มความยาวของสลีฟที่นำมาหุ้มสายอากาศ และในทางตรงข้ามถ้าต้องการให้ความแรงของสนามไฟฟ้าลดลง (เมื่อเทียบกับสายอากาศที่มีสลีฟหุ้มเหมือนกัน) สามารถทำได้โดยลดความยาวของสลีฟให้สั้นลง

ดังนั้นเมื่อนำสายอากาศดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับเครื่องรักษาโรคมะเร็งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อรักษามะเร็งที่อยู่ลึกนั้นสามารถทำได้โดยตรวจสอบขนาดของเนื้องอกแล้วเลือกใช้สลีฟที่ทำให้มีการแพร่กระจายคลื่นที่พอเหมาะกับขนาดก้อนเนื้องอกเพื่อให้สายอากาศแพร่กระจายคลื่นไปได้อย่างทั่วถึง ซึ่งจะทำให้การรักษามีประสิทธิภาพตรงตามความต้องการ สำหรับรายละเอียดของการใช้เทคนิคโฮเปอร์เธอร์เมียรักษาโรคมะเร็งสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก [1]

การพัฒนาสายอากาศโคแอกเชียลคอลลิเนียร์ทำได้โดยการลดขนาดของสายโซลิดโคแอกเชียลที่นำมาสร้างสายอากาศให้มีขนาดเล็กลง และนำหลายๆ เอเลเมนต์มาต่อเรียงกันทำเป็นอาร์เรย์เพื่อเพิ่มความแรงของสนามไฟฟ้าให้มีค่าสูงมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้จะสำเร็จลงไม่ได้หากไม่ได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จากบุคคลหลายๆ ท่านตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นการทำโครงงาน ตลอดจนการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ

รศ.ดร. โมไนย	ไกรฤกษ์	อาจารย์ที่ปรึกษา

ขอขอบคุณ

นาย มนตรี	ธนภควัต	นักศึกษาปริญญาโท
นาย วงศกร	วัชรานานนท์	"
นาย คมศักดิ์	เมฆสมุทร	"
นาย ชูวงค์	พงศ์เจริญพาณิชย์	"
น.ส. อรดี	จอกแก้ว	นักศึกษาปีที่ 4
น.ส. อนุรี	หล่อสวัสดิ์ศิริ	"
น.ส. วิมลศรี	รอดศิริ	นักศึกษาปีที่ 3
น.ส. วัลย์ลิกา	บัวสมบูรณ์	"
นาย ณยศ	คุรุกิจโกศล	"
นาย อนุชา	พงษ์ศรุต	"
นาย จุฬิชาติ	จงอยู่สุข	"
นาย ชาตรี	บุตรชา	"
นาย ชัยวัฒน์	ตั้งกิจลดาวัลย์	"
นาย ณรงคชนม์	ชมสา	"
น.ส. อติพร	อุ่นชู	"
น.ส. ฐาปนี	ศรีช่วง	"

และ ผู้ที่ให้ความช่วยเหลือทุกท่าน

ผู้จัดทำ

20 มีนาคม 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

[1] สมาคมรังสีแห่งประเทศไทย,"มะเร็งวิวัฒน์",วารสาร,ปีที่ 1,ฉบับที่ 1,2537.

[2] B.B. Balsley and W.L.Ecklund, "A Portable Coaxial Colinear Antenna " ,IEEE Transactions on Antennas and Propagation,pp.513-516,July 1972.

[3] T.J.Judasz,W.L.Ecklund and Balsley,"The Coaxial Collinear Antenna:Current Distribution From The Cylindrical Antenna Equation",IEEE Trans.Antenna Propagat.Vol.AP-35,pp.327-331,Mar.1987.

[4] Constantine A. Balanis,""Advanced Engineering Electromagnetics", John Wiley & Sons,Newyork,Company,1989.

[5] Ranold W.P.King,"The Theory of Linear Antenna",Harvard University Press Cambridge,Massachusetts,1956.

[6] Stephen Wolfram ," Mathematica A System for Doing Mathematics by Computer", Second Edition,Addison-Wesley ,California,1991.

[7] Deloor.G.P.,"Dielectric Properties of Heterogeneous Mixtures Containing Water",J.Microwave Power.1968,3,pp.67-76.

[8] วิมลศรี รอดศิริ, วัลย์ลิกา บัวสมบูรณ์,"การวัดสนามไฟฟ้าระยะใกล้ (Electric Field Mapping)", โครงงาน,คณะวิศวกรรมศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้