กองห้องสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อแสดงคุณลักษณะของสายอากาศ
SOFTWARE DEVELOPMENT FOR ANTENNA CHARACTERISTIC DISPLAY

TT015984

อารีย์ ราธี
AREE RATHIE

อาจารย์ที่ปรึกษา
รองศาสตราจารย์ ดร.จเร สุรวัฒน์บัญชา

เลขหมู่
เลขทะเบียน 15984
วัน, เดือน, ปี 30 เม.ย. 2534

วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อแสดงคุณลักษณะของสายอากาศ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เกี่ยวข้องกับการพัฒนาคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ เพื่อแสดงกระสวนการแผ่คลื่นและอิมพิแดนซ์ของสายอากาศพื้นฐานบางชนิด เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชาสายอากาศเบื้องต้น โดยได้ทบทวนหลักมูลฐานและคำจำกัดความของสายอากาศเหล่านี้ และได้รวบรวมไว้ในวิทยานิพนธ์ เพื่อให้ผู้เริ่มเรียนวิชาสายอากาศได้เกิดความเข้าใจในเนื้อหาก่อนที่จะใช้ซอฟต์แวร์ ซึ่งซอฟแวร์นี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเป็นภาษา BASIC โดยใช้นิพจน์ของสนามการแผ่คลื่นและอิมพิแดนซ์จากหนังสือและวารสาร ผู้ใช้สามารถเลือกดูกระสวนการแผ่คลื่นและอินพุทอิมพิแดนซ์ของสายอากาศแต่ละชนิด ได้จากรายการต่างๆ ที่มีอยู่ในซอฟต์แวร์ นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถเรียกรายการ HELP เพื่อขอดูคำอธิบายในส่วนของซอฟต์แวร์ที่กำลังใช้งานอยู่ หลังจากทดสอบการทำงานของโปรแกรมสำหรับสายอากาศบางชนิดที่ทราบคุณสมบัติแน่นอนแล้ว พบว่าผลที่ได้ตรงกันกับที่แสดงไว้ในหนังสือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

This thesis pertains to the development of computer software to demonstrate the radiation pattern and input impedance of some basic antennas for use as a teaching aid for instructors of an introductory antenna course. Fundamentals and definitions of each basic antennas were reviewed and included in this thesis so that beginners of the course could comprehened the subject before getting into using the software program. Based on available mathematical expression of radiated field and impedance in literature, the software was rigorously developed and written in BASIC language. Several menus are prepared so that a user can select types of antenna user wants to observe radiation patterns or input impedance. the Help menu is also provided in case the user needs a description for the part he/she is working on. The program was tested for some antenna of known characteristics and the result were found in an agreement with those in literature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ใคร่ขอขอบคุณเป็นอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.จเร สุรวัฒน์ปัญญา อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ให้แนวความคิด และคำปรึกษาตั้งแต่ผู้ทำวิทยานิพนธ์มีความคิดคร่าวๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณอาจารย์สินชัย อนันตร์ปรีชา ที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยแก้ไขปัญหาทั้งทางทฤษฎีบทเกี่ยวกับสายอากาศแบบต่างๆ รวมทั้งขณะทดลองปฏิบัติการทดสอบ เพื่อให้ได้ผลที่แท้จริง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณพนม เพชรจตุพร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบและแก้ไขโปรแกรม เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
ABSTRACT	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
ลำดับตาราง	v
ลำดับรูปภาพ	v
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 อารัมภบท	1
1.2 ปริทัศน์วรรณกรรม	3
1.3 วัตถุประสงค์	4
บทที่ 2 สายอากาศ	5
2.1 อารัมภบท	5
2.2 มูลฐานของสายอากาศ	5
2.3 สายอากาศไดโพล	9
2.4 สายอากาศแบบบ่วง	20
2.5 สายอากาศชุด	26
2.6 สายอากาศยากิ	30
2.7 สายอากาศแบบเกลียว	33
บทที่ 3 การพัฒนาซอฟต์แวร์	37
3.1 การออกแบบโปรแกรม	37
3.2 ซอฟต์แวร์ที่จำเป็นต้องใช้ร่วม	41
3.3 แนะนำวิธีใช้ซอฟต์แวร์	41
3.4 ผลการทดสอบโปรแกรม	62
บทที่ 4 ผลการทดลอง	78
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	78
4.2 วิธีทดลอง	81
4.3 ผลการทดลอง	82
4.4 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 5 บทสรุป 94

5.1 สรุป 94

5.2 ข้อเสนอแนะ 94

เอกสารอ้างอิง 95

ภาคผนวก 97

ลำดับตาราง

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลของกระสวนการแผ่คลื่นใน E-plane ของสายอากาศยากิ ที่ความถี่ต่าง ๆ 82

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลของกระสวนการแผ่คลื่นใน H-plane ของสายอากาศยากิ ที่ความถี่ต่าง ๆ 83

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลจากการทดลองวัดอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศยากิ ที่ความถี่ต่าง ๆ 90

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากการคำนวณโดย ACD 92

ลำดับรูปภาพ

รูปที่ 2.1 แสดงรูปร่างของกระสวนการแผ่คลื่นโดยทั่วไป 6

รูปที่ 2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของเวกเตอร์สนามไฟฟ้า 8

รูปที่ 2.3 แสดงการกระจายของกระแสและระบบแกนประสานของสายอากาศไดโพลอุดมคติ 9

รูปที่ 2.4 กระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศไดโพลอุดมคติ 11

รูปที่ 2.5 สายอากาศไดโพลสั้น 13

รูปที่ 2.6 การกระจายของกระแสบนสายอากาศไดโพลเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับการกระจายของกระแสในสายส่งปลายเปิด 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		หน้า
รูปที่ 2.7	แสดงการกระจายของกระแสสำหรับไดโพลที่ป้อนสัญญาณตรงกลาง	15
รูปที่ 2.8	กระสวนการแผ่คลื่นสำหรับไดโพลตรง	17
รูปที่ 2.9	แสดงระบบแกนประสานของสายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็กรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส	20
รูปที่ 2.10	แสดงการกระจายของกระแสบนสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความยาวเส้นรอบรูปเท่ากับ 1 ความยาวคลื่น	23
รูปที่ 2.11	แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความยาวเส้นรอบรูปเท่ากับ 1 ความยาวคลื่น	25
รูปที่ 2.12	แอเรย์แฟกเตอร์ของสายอากาศชุดที่มีองค์ประกอบ 2 ตัว และกระแสบนองค์ประกอบทั้งสองมีแอมพลิจูดเท่ากัน	28
รูปที่ 2.13	Ordinary endfire array ที่มีองค์ประกอบ 5 ตัว ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยกระแสที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน ระยะห่าง $d = 0.45\ \lambda$ และ $\alpha = 0.9\pi$	29
รูปที่ 2.14	Handsen-Woodyard endfire array ที่มีองค์ประกอบ 5 ตัว ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยกระแสที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน ระยะห่าง $d = 0.35\ \lambda$ และ $\alpha = 0.9\pi$	30
รูปที่ 2.15	แสดงโครงรูปทั่วไปของสายอากาศยากิ	31
รูปที่ 2.16	สายอากาศยากิที่มีองค์ประกอบ 3 ตัว ตัวขับยาว 0.4781λ ตัวสะท้อนยาว $0.49\ \lambda$ ตัวชี้นำยาว $0.45\ \lambda$ ไดโพลแต่ละตัวห่างกัน $0.04\ \lambda$ และตัวนำที่ใช้ทำสายอากาศมีรัศมี $0.001\ \lambda$	32
รูปที่ 2.17	แสดงลักษณะสายอากาศแบบเกลียวชนิดหมุนซ้าย (Left-hand wound helix)	33
รูปที่ 2.18	แสดงสายอากาศแบบเกลียวเมื่อคลี่ออก	33
รูปที่ 2.19	แสดงโครงสร้างรูปคร่าว ๆ ของสายอากาศแบบเกลียวหนึ่งรอบ	34
รูปที่ 2.20	แสดงสายอากาศแบบเกลียวชนิดโมดตั้งฉาก	35
รูปที่ 2.21	แสดงกระสวนสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบเกลียวขณะทำงาน ในโมดตามแกน ($\bar{E}_\theta = \bar{E}_\phi$)	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		หน้า
รูปที่ 3.1	แสดงแผนภูมิสายงานของระบบ	38
รูปที่ 3.2	แสดงแผนภูมิสายงานของ Demonstrate Program	39
รูปที่ 3.3	แสดงแผนภูมิสายงานของ Run Program	40
รูปที่ 3.4	แสดงหัวเรื่องของโปรแกรม ACD	43
รูปที่ 3.5	แสดงเมนูหลักของ ACD	44
รูปที่ 3.6	แสดงแป้นพิมพ์ส่วนที่เป็นคีย์ลูกศร	45
รูปที่ 3.7	แสดงภาพบนจอขณะแสดง Help	45
รูปที่ 3.8	แสดงส่วนเมนูของคำสั่ง Run program	46
รูปที่ 3.9	แสดงส่วนเมนูของคำสั่ง Dipole	47
รูปที่ 3.10	แสดงกระสวนการแผ่คลื่น (E-plane) ของไดโพลอุดมคติ โดยพลอตจาก ACD	49
รูปที่ 3.11	แสดงภาพบนจอหลังจากเลือกคำสั่ง Arrey จำนวนองค์ประกอบ = 5 แอเรย์เป็นชนิด Ordinary endfire ซึ่งมีระยะระหว่างองค์ประกอบเป็น 0.4λ และมีความแตกต่างเฟสเป็น 144°	55
รูปที่ 3.12	แสดงแอเรย์แฟคเตอร์สำหรับเงื่อนไข Ordinary end-fire array จำนวนองค์ประกอบ = 5 ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ = 0.4λ และความแตกต่างเฟสเป็น 144°	56
รูปที่ 3.13	แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศชุดของไดโพลครึ่งความยาวคลื่นจำนวน 5 ตัว แต่ละตัววางห่างกัน 0.5λ และมีความแตกต่างเฟสที่ป้อนเป็น 144° (รูปที่ได้พลอตจาก ACD)	58
รูปที่ 3.14	แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศเกลียวที่คำนวณได้จาก ACD	62
รูปที่ 3.15	แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของไดโพลอุดมคติที่ได้จาก ACD	64
รูปที่ 3.16	แสดงกระสวนการแผ่คลื่น (E-plane) ของไดโพลสั้นที่พลอตจาก ACD	65
รูปที่ 3.17	แสดงกระสวนการแผ่คลื่น (E-plane) ของไดโพลลวดตัวนำยาวที่พลอตจาก ACD	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		หน้า
รูปที่ 3.18	แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็กที่พลอตโดยใช้ ACD	68
รูปที่ 3.19	แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศบ่วงแบบลี่เหลี่ยมที่ได้จาก ACD	69
รูปที่ 3.20	แสดงแอเรย์แฟคเตอร์ของสายอากาศชุดซึ่งมีจำนวนองค์ประกอบเท่ากับ 2 ที่ได้จาก ACD	71
รูปที่ 3.21	แสดงแอเรย์แฟคเตอร์ของสายอากาศชุดซึ่งมีจำนวนองค์ประกอบเท่ากับ 5 ที่ได้จาก ACD	72
รูปที่ 3.22	แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศยากิที่ได้จาก ACD	74
รูปที่ 3.23	แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศยากิที่ได้จาก[23]	75
รูปที่ 3.24	แสดงกระสวนการแผ่คลื่นใน XY-plane ของสายอากาศแบบเกลียวเมื่อทำงานในโมดตั้งฉากที่พลอตได้จาก ACD	76
รูปที่ 3.25	แสดงขนาดและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศแบบเกลียวที่คำนวณได้	77
รูปที่ 3.26	แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศแบบเกลียวเมื่อ $C = 1\lambda$, $\alpha = 13^\circ$ และ $N = 10$ ที่พลอตได้จาก ACD	77
รูปที่ 4.1	แสดงสายอากาศยากิที่ใช้ในการทดลอง	78
รูปที่ 4.2	แสดงแผนภาพกรอบของอุปกรณ์วัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศ	79
รูปที่ 4.3	แสดงแผนภาพกรอบของอุปกรณ์วัดอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศ	80
รูปที่ 4.4	แสดงกระสวนการแผ่คลื่นใน E-plane ของสายอากาศยากิที่ได้จากการทดลอง สเกลสัมพัทธ์ของขนาดกระสวนมีหน่วยเป็น dB	84
รูปที่ 4.5	แสดงกระสวนการแผ่คลื่นใน H-plane ของสายอากาศยากิที่ได้จากการทดลอง สเกลสัมพัทธ์ของขนาดกระสวนมีหน่วยเป็น dB	87
รูปที่ 4.6	แสดงกระสวนการแผ่คลื่นใน E-plane ของสายอากาศยากิที่ได้จากการทดลอง และการคำนวณโดยใช้ ACD	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		หน้า
รูปที่ ผ.1	แสดงค่าอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศไดโพลเทียบกับความยาว kl เมื่อ Ω = 12 (กราฟที่ได้คำนวณจากโปรแกรม ACD)	94
รูปที่ ผ.2	แสดงค่าอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศไดโพลเทียบกับความยาว kl ที่ Ω ต่าง ๆ กัน (กราฟได้จาก [7])	96
รูปที่ ผ.3	แสดงค่า Mutual impedance ของสายอากาศไดโพลเทียบกับระยะห่าง d	98
ผ.4	ACD Software Program	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 อารัมภบท

สายอากาศ(Antenna) หมายถึงส่วนของระบบส่งคลื่นหรือรับคลื่น ซึ่งออกแบบไว้เพื่อแผ่หรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า[1]

สายอากาศนับว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งในระบบสื่อสารที่ผู้รับหรือผู้ส่งอยู่ห่างไกลและไม่สามารถส่งผ่านพลังงานโดยระบบสายส่งได้ เช่น การสื่อสารในพื้นที่ทุรกันดาร การสื่อสารระหว่างผู้ส่งหรือผู้รับที่เคลื่อนที่ นอกจากนี้ในการสื่อสารที่มีผู้รับจำนวนมาก เช่น การกระจายเสียงวิทยุ การแพร่ภาพทีวี ฯลฯ การใช้ระบบสายอากาศจะประหยัดกว่าระบบสายส่งธรรมดา[2]

คุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศทั่วไปที่เราต้องพิจารณาในการออกแบบเพื่อให้สามารถใช้งานได้ดี ได้แก่ ช่วงความถี่การใช้งาน(Bandwidth) อัตราขยาย(Gain) กระสวนการแผ่คลื่น(Radiation pattern) อินพุตอิมพิแดนซ์(Input impedance) ไดเร็กทิฟวิตี(Dircetivity)

ขั้นตอนในการหาคุณสมบัติพื้นฐานดังกล่าว บางครั้งมีความยุ่งยากและเสียเวลานานในการออกแบบ นอกจากนี้ยังเกิดความผิดพลาดในระหว่างการคำนวณได้ง่าย และถ้าหากออกแบบมาแล้วไม่ได้คุณสมบัติตามต้องการจะต้องเสียเวลาย้อนกลับไปเริ่มต้นใหม่ ถ้าหากเราใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณจะสามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ได้ อีกทั้งยังทำให้เกิดความสะดวกรวดเร็วในการทำงานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ปริทัศน์วรรณกรรม

หลังจากที่มนุษย์สร้างคอมพิวเตอร์ขึ้นมาได้แล้ว ก็นำเอาคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณต่าง ๆ ในเรื่องของสายอากาศก็เช่นกันได้มีผู้นำเอาคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณและออกแบบมานานแล้ว การพัฒนาซอฟต์แวร์ส่วนมากจะเป็นไปในรูปของการเขียนโปรแกรมเฉพาะจุดที่สนใจ ยกตัวอย่างเช่น ตำราการสอนวิชาออกแบบสายอากาศ(Antenna Design)[2] ก็ได้ให้ซับรูทีน(Subroutine) ต่าง ๆ ไว้สำหรับคำนวณอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพล โปรแกรมจะใช้วิธีโมเมนต์(Moment method) ในการคำนวณ ซึ่งถ้าหากไม่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยแล้วการคำนวณจะยุ่งยากและเสียเวลามาก นอกจากนั้น[2] ยังมีซับรูทีนสำหรับพลอตแอเรย์แฟคเตอร์ (Arrey factor) แบบต่าง ๆ ตลอดจนซับรูทีนสำหรับคำนวณและพลอตกระสวนการแผ่คลื่น แต่ซับรูทีนต่าง ๆ ที่กล่าวถึงก็ยังมีความยุ่งยากในการนำไปใช้งานเนื่องจากถูกพัฒนาขึ้นมาเป็นภาษาฟอร์แทรน (FORTRAN) ซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่เก่าและมีความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม ตัวภาษาเองก็มีประสิทธิภาพด้อยกว่าภาษาคอมพิวเตอร์ใหม่ ๆ ที่พัฒนาขึ้นมาในระยะหลังดังจะเห็นได้จากการพลอตกระสวนการแผ่คลื่น ซึ่งการพลอตกระทำแบบตัวอักษร (Text mode) ถ้าหากใช้ภาษาใหม่ ๆ แล้วจะสามารถพลอตในแบบกราฟฟิก (Graphic mode) ที่ให้รายละเอียดและความสวยงามมากกว่า

ได้มีผู้รวบรวมซอฟต์แวร์เกี่ยวกับสายอากาศไว้ในหนังสือโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์[3] ซอฟต์แวร์ที่มีเป็นโปรแกรมง่าย ๆ เกี่ยวกับการคำนวณหาความถี่การใช้งานของสายอากาศไดโพล เมื่อกำหนดความยาวให้ โปรแกรมจะสร้างตารางระหว่างความถี่กับขนาดของสายอากาศ ซึ่งช่วยให้การออกแบบทำได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้[3] ยังมีโปรแกรมหาส่วนประกอบวงจรข่าย(Component of network) สำหรับใช้แมตช์สายอากาศ โปรแกรมช่วยออกแบบสายอากาศที่ใช้กับรถยนต์ สายอากาศที่ใช้กับดาวเทียมซึ่งเป็นสายอากาศชนิดละท้อนคลื่นแบบพาราโบลิค (Parebolic reflector antenna) โปรแกรมเหล่านี้เขียนขึ้นเป็นภาษาเบสิค(BASIC) ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้ง่ายและมีประสิทธิภาพดีพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเทคโนโลยีระดับสูง คอมพิวเตอร์ในปัจจุบันสามารถสร้างให้มีขนาดเล็กและราคาถูกลง ดังนั้นการใช้งานคอมพิวเตอร์จึงแพร่หลายมากขึ้นการใช้คอมพิวเตอร์ประยุกต์ในงานต่าง ๆ ก็มีมากขึ้นเป็นเงาตามตัว ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยเกี่ยวกับแม่เหล็กไฟฟ้าที่ Politecnico di Torino ซึ่งอธิบายไว้ในจดหมายแจ้งข่าวของสถาบัน IEEE ก็ได้ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ เช่น กระสวนการแผ่คลื่น และคำนวณขนาดของสายอากาศ จดหมายแจ้งข่าวเกี่ยวกับสายอากาศของสถาบัน IEEE ยังได้มีการเสนอบทความเกี่ยวข้องกับการใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณเกี่ยวกับ สายอากาศ เช่น การใช้ MININEC กับคอมพิวเตอร์ส่วนตัว[5]ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้ซอฟต์แวร์คำนวณหาคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ของสายอากาศไดโพลโดยแสดงผลในรูปกราฟความสัมพันธ์ต่าง ๆ ที่หาได้เทียบกับความยาวคลื่น และในบทความการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การสะท้อนของผลของระนาบดินที่มีต่อกระสวนการแผ่คลื่น[6] ก็ได้กล่าวถึงการเขียนซอฟต์แวร์สำหรับพลอตกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศ ซึ่งพลอตในแบบกราฟิกและให้รายละเอียดได้ดีพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 <u>วัตถุประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์</u>

ความสิ้นเปลืองเวลา ความยุ่งยากและข้อผิดพลาด ที่อาจเกิดขึ้นในการวิเคราะห์หาคุณสมบัติของสายอากาศ ได้นำไปสู่การหาเทคนิคใหม่ๆ เพื่อให้ได้คำตอบเร็วขึ้น วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ก็เพื่อที่จะพัฒนาคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ สำหรับแสดงคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ ของสายอากาศบนจอภาพของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 16 บิต โดยมีจุดมุ่งหมายสำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชาการออกแบบสายอากาศ ของภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตัวอย่างของคุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศที่จะแสดงบนจอภาพ ได้แก่อินพุทอิมพีแดนซ์ กระสวนการแผ่คลื่น และไดเร็กทิฟวิตี สายอากาศที่นำมาหาคุณสมบัติพื้นฐานเป็นสายอากาศชนิดง่ายๆ และนิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่สายอากาศไดโพล (Dipole antenna) สายอากาศแบบบ่วง (Loop antenna) สายอากาศชุด (Array antenna) สายอากาศยากิ (Yagi-Uda antenna) และสายอากาศแบบเกลียว (Helical antenna)

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์รวมไปถึงการทดลองคุณสมบัติของสายอากาศบางชนิดที่พอหาได้และมีอยู่แล้วในภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

สายอากาศ

2.1 อารัมภบท

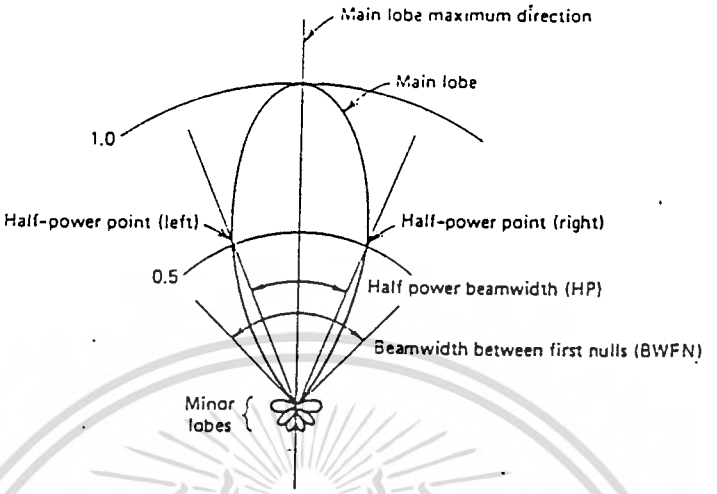
ดังได้กล่าวในบทที่ 1 แล้วว่าสายอากาศเป็นส่วนที่จำเป็นสำหรับระบบสื่อสารวิทยุ การเลือกและการออกแบบสายอากาศให้เหมาะกับระบบสื่อสารจะทำให้การรับส่งคลื่นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การออกแบบสายอากาศโดยทั่วไปจะต้องมีการวิเคราะห์เพื่อหาขนาดที่เหมาะที่สุดซึ่งทั้งนี้จะต้องพิจารณาดูคุณสมบัติการแผ่คลื่นให้เป็นไปตามความต้องการ ก่อนที่จะกล่าวถึงการออกแบบเราควรทราบทฤษฎีและพารามิเตอร์ที่สำคัญของสายอากาศ เพื่อเป็นการทบทวนและประกอบความเข้าใจ

2.2 มูลฐานของสายอากาศ

คุณสมบัติการแผ่คลื่นของสายอากาศ สามารถอธิบายได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า (Electical field) และสนามแม่เหล็ก (Magnetic field)รอบ ๆ สายอากาศ รูปลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเรียกว่า กระสวนการแผ่คลื่น (Radiation pattern)

กระสวนการแผ่คลื่นในบริเวณที่อยู่ใกล้สายอากาศ (Near-field region) กับในบริเวณที่อยู่ไกลจากสายอากาศ (Far-field region) มีลักษณะต่างกัน ทั้งนี้เพราะว่าบริเวณที่อยู่ใกล้สายอากาศมีการสะสมพลังงานมากกว่าบริเวณที่อยู่ไกลจากสายอากาศ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในบริเวณที่อยู่ไกลจากสายอากาศมีลักษณะเป็นคลื่นระนาบ(Plene wave) กล่าวคือสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น สำหรับในงานโครงการนี้เราเกี่ยวข้องกับการหาคุณสมบัติของสายอากาศในบริเวณที่อยู่ไกลไปจากสายอากาศซึ่งในบริเวณเหล่านี้ รูปร่างของกระสวนการแผ่คลื่นจะไม่เปลี่ยนแปลงกับระยะทาง รูปร่างของกระสวนการแผ่คลื่นโดยทั่วไปแสดงไว้ในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงรูปร่างของกระสวนการแผ่คลื่นโดยทั่วไป

กระสวนการแผ่คลื่นในทิศที่ต้องการจะมีลักษณะเป็นลำคลื่น(Beam) หรือที่เรียกว่า โลบ(Lobe) โลบต่าง ๆ ที่แสดงอยู่ในรูปที่ 2.1 ได้แก่

ก. โลบหลัก (Main lobe) คือ โลบการแผ่คลื่นที่มีทิศทางการแผ่คลื่นสูงสุดอยู่ด้วย โดยทั่วไปโลบหลักจะเป็นโลบที่เราประสงค์ให้เกิดขึ้นในทิศที่ต้องการ

ข. โลบรอง(Minor lobe)คือ โลบการแผ่คลื่นใด ๆ ที่ไม่ใช่โลบหลัก นอกจากนี้เรายังเรียกโลบการแผ่คลื่นไปทิศอื่นที่ไม่ใช่ทิศของโลบหลักว่า โลบข้าง(Side lobe)

กำลังของคลื่นจะมีอยู่ในโลบหลักมากน้อยแค่ไหนสามารถบอกได้ด้วยค่าระดับโลบข้าง(Side lobe level เรียกย่อ ๆ ว่า SLL) ซึ่งมีคำจำกัดความเป็น [1],[2]

$$SLL = \frac{\text{|ค่าสูงสุดโลบรองที่ใหญ่ที่สุด|}}{\text{|ค่าสูงสุดของโลบหลัก|}} \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดความเข้มของกำลังการแผ่คลื่นในโลบหลักยังสามารถบอกได้ด้วยพารามิเตอร์ที่เรียกว่า ความกว้างลำครึ่งกำลัง (Half-power beamwidth) ซึ่งก็คือมุมระหว่างทิศที่ซึ่งความเข้มของโลบหลักมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด ความกว้างลำครึ่งกำลังสามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการ

$$HP = |\theta_{hpleft} - \theta_{hpright}| \qquad (2.2)$$

ดังได้กล่าวแล้วว่าที่ระยะไกลๆ จากสายอากาศ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากสายอากาศเป็นคลื่นระนาบ สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าของคลื่นเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาและระยะทาง พฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่จุดหนึ่งๆ ในที่ว่างเรียกว่า โพลาไรเซชันของคลื่น (Wave polarization)

โพลาไรเซชันของคลื่นสามารถแบ่งตามลักษณะทางเดิน (Locus) ของปลายเวกเตอร์สนามไฟฟ้าได้ 3 แบบ คือ

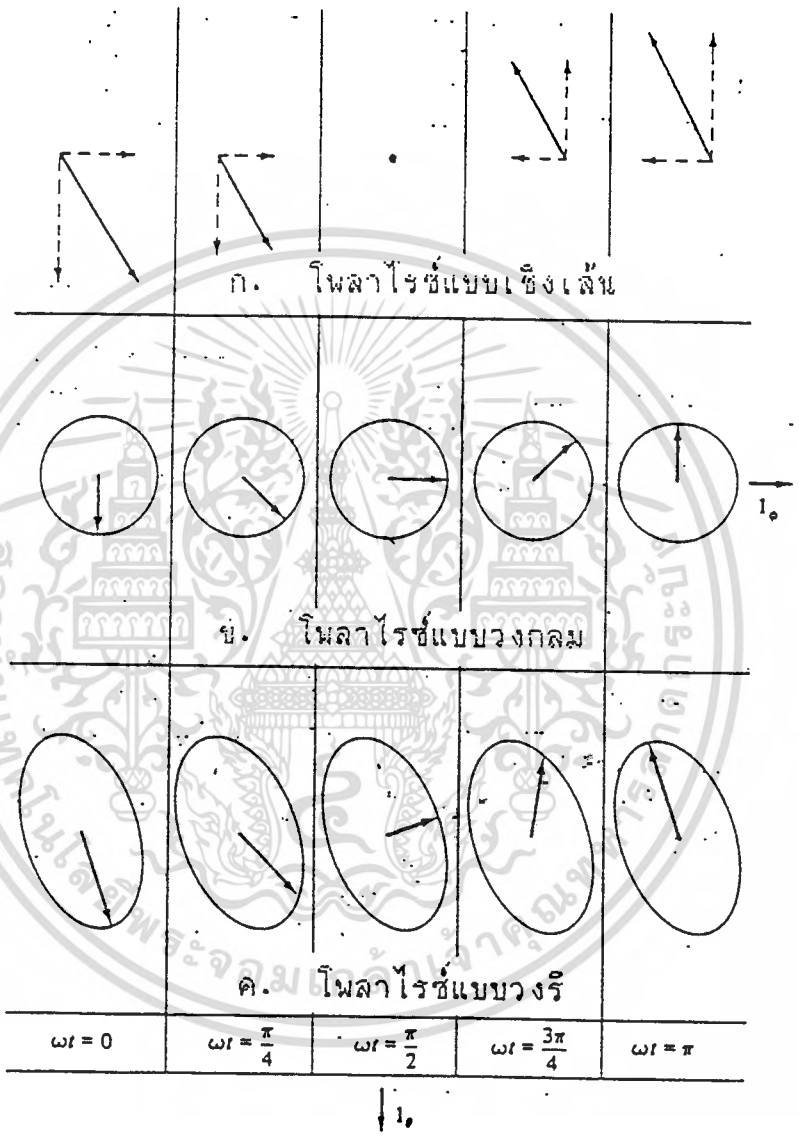
ก. แบบที่เป็นเชิงเส้น (Linear polarization) ได้แก่ แบบที่จุดปลายของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นเส้นตรง

ข. แบบที่เป็นวงกลม (Circular polarization) ได้แก่ แบบที่จุดปลายของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นวงกลม

ค. แบบที่เป็นวงรี (Elliptical polarization) ได้แก่ แบบที่จุดปลายของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นวงรี

โพลาไรเซชันของคลื่นทั้งสามแบบได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



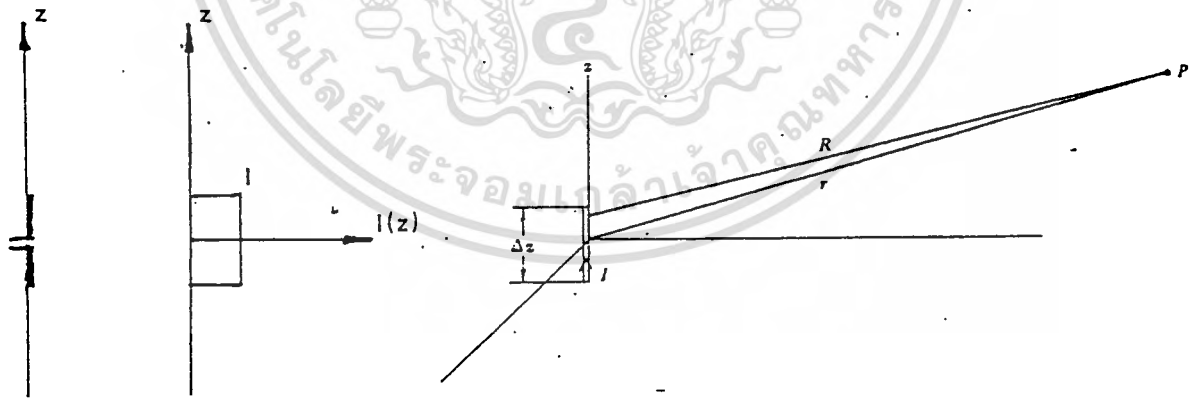
รูปที่ 2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของเวกเตอร์สนามไฟฟ้า[7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สายอากาศไดโพล (Dipole Antenna)

สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของคลื่นที่แผ่ออกมาจากสายอากาศตัวหนึ่งเกิดจากกระแสที่กระจายอยู่บนสายอากาศตัวนั้น รูปแบบการกระจายกระแสเป็นตัวกำหนดรูปร่างของกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศ[2],[7]สายอากาศไดโพลจัดเป็นสายอากาศมูลฐานที่มีการกระจายของกระแสโดยทั่วไปเป็นรูปคลื่นไซน์

สายอากาศชนิดลวดตัวนำที่มีความยาว Δz << ความยาวคลื่น λ และมีการกระจายของกระแสเป็นแบบเอกรูป(Uniform current distribution)เรียกว่า ไดโพลอุดมคติ(Ideal dipole) ดูรูปที่2.3 แม้ว่าจะไม่เกิดขึ้นจริง ๆ แต่เราอาจพิจารณาไดโพลอุดมคติให้เป็นส่วนหนึ่งของการกระจายของกระแสทั้งหมดบนสายอากาศจริง ๆ มโนมติเกี่ยวกับไดโพลอุดมคติยังมีประโยชน์ในแง่ที่สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของมันสามารถใช้ประมาณค่าสนามที่เกิดจาก ไดโพลขนาดเล็ก



รูปที่ 2.3 แสดงการกระจายของกระแสและระบบแกนประสานของสายอากาศไดโพลอุดมคติ

นิพจน์ของสนามไฟฟ้า $\bar{E}$ และสนามแม่เหล็ก $\bar{H}$ ของไดโพลอุดมคติสามารถหาได้จากการแก้สมการแมกซ์เวลล์(Maxwell's equations)ที่ระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห่างออกไปจากไดโพลอุดมคติ ($r >> \lambda$) เราสามารถแสดงได้ว่า[2]

$$\bar{E} = \frac{I\Delta z}{4\pi} j\omega\mu \frac{e^{-j\beta r}}{r} \sin\theta \hat{a}_\theta \qquad (2.3)$$

$$\bar{H} = \frac{I\Delta z}{4\pi} j\beta \frac{e^{-j\beta r}}{r} \sin\theta \hat{a}_\phi \qquad (2.4)$$

เมื่อ $\beta = 2\pi/\lambda_0$ คือค่าคงตัวเฟสของการแพร่คลื่น(Phase constant)

λ_0 คือความยาวคลื่นในอากาศว่าง

$\hat{a}_\theta$ คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทำมุม θ กับแกน Z

$\hat{a}_\phi$ คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทำมุม ϕ กับแกน X

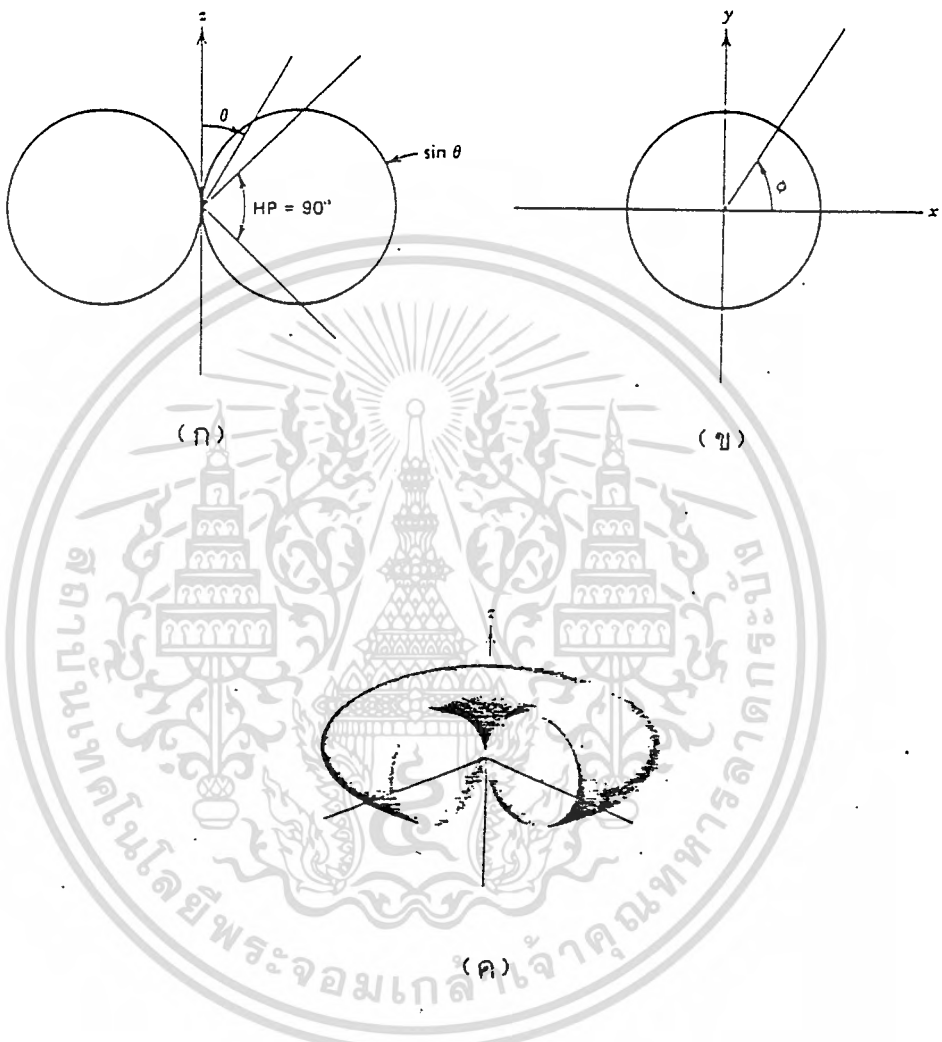
เมื่อให้ r คงที่ $\bar{E}$ และ $\bar{H}$ ที่นอร์มอลไลซ์กับค่าสูงสุดของมันแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงกับทิศทางดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.4

สังเกตว่าสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเป็นฟังก์ชันไซน์กับมุมθ ในขณะที่ขนาดของสนามแม่เหล็กไม่ขึ้นอยู่กับทิศϕ ความกว้างลำศรึ่งกำลังของไดโพลอุดมคติมีค่าเท่ากับ 90°

ความสามารถในการแผ่พลังงานของสายอากาศไปในทิศที่ต้องการเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้อธิบายคุณสมบัติของสายอากาศ พารามิเตอร์นี้มีชื่อเรียกว่า ไดเร็กทิฟวิตี(Directivity แทนด้วยสัญลักษณ์ D)ซึ่งมีคำจำกัดความเป็น [2]

$$\text{ไดเร็กทิฟวิตี } D = \frac{\text{ความเข้มของการแผ่คลื่นในทิศทางสูงสุด}}{\text{ความเข้มของการแผ่คลื่นเฉลี่ย}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 กระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศไดโพลอุดมคติ[2]
(ก) ในระนาบที่มีสายอากาศอยู่ด้วย (E-plane)
(ข) ในระนาบ xy ($\theta = 90°$) หรือ H-plane
(ค) รูปพลอตของกระสวนการแผ่คลื่นใน 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสายอากาศไดโพลอุดมคติเราสามารถแสดงได้ว่า

$$D = 3/2 \qquad (2.5)$$

ในทางปฏิบัติพลังงานบางส่วนที่จ่ายให้กับสายอากาศสูญเสียไปในโครงสร้างของสายอากาศเอง ถ้าให้พลังงานที่สายอากาศแผ่ออกมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแทนด้วย P_r และพลังงานที่จ่ายให้กับสายอากาศแทนด้วย P_{in} แล้วประสิทธิภาพการแผ่คลื่น (Radiation efficiency แทนด้วย e) สามารถเขียนได้เป็น[2]

$$e = P_r / P_{in} \qquad (2.6)$$

โดยปกติ $0 < e < 1$

พลังงานจ่ายให้กับสายอากาศสามารถอธิบายได้เป็น

$$P_{in} = \frac{1}{2} R_{in} |I_{in}|^2 \qquad (2.7)$$

เมื่อ R_{in} คือความต้านทานอินพุต(Input resistance)ของสายอากาศ

I_{in} คือกระแสที่ขั้วต่อสายอากาศ(Current at the input terminals)

ดังได้กล่าวแล้วว่าพลังงานที่จ่ายให้กับสายอากาศแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่สูญเสียเป็นความร้อนในโครงสร้างของสายเอง กับส่วนที่แผ่ออกไปในอากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นสมการที่ (2.7) สามารถเขียนได้เป็น

$$P_{in} = P_r + P_{ohmic}$$

$$= \frac{1}{2} R_r |I_{in}|^2 + \frac{1}{2} R_{ohmic} |I_{in}|^2 \qquad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ R_{r1} คือความต้านทานที่เกี่ยวข้องการแผ่คลื่น(Radiation resistance)

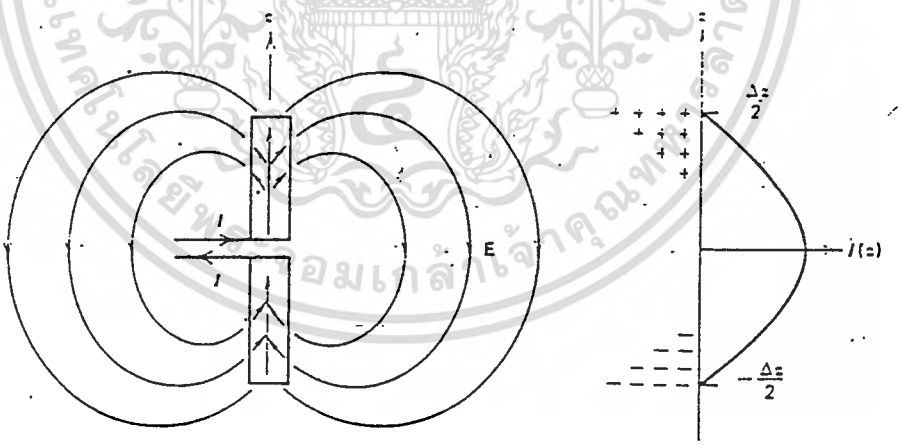
R_{ohmic} คือความต้านทานที่เกี่ยวข้องการสูญเสียพลังงาน(Ohmic resistance)

ซึ่งจากสมการ (2.8) เราได้ให้คำจำกัดความของความต้านทาน R_{r1} เป็น

$$R_{r1} = \frac{2 P_r}{|I_{in}|^2} \qquad (2.9)$$

สำหรับสายอากาศไดโพลอุดมคติที่มีความยาว Δz และแผ่คลื่นอยู่ในอากาศ เราสามารถแสดงได้ว่า [2]

$$R_{r1} = 80\pi^2 \left(\frac{\Delta z}{\lambda_o}\right)^2 \qquad (2.10)$$



(ก) (ข)

รูปที่ 2.5 สายอากาศไดโพลสั้น

(ก) แสดงกระแสบนสายอากาศและสนามไฟฟ้ารอบ ๆ สายอากาศ

(ข) แสดงกระจายของกระแสและประจุไฟฟ้าบนสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

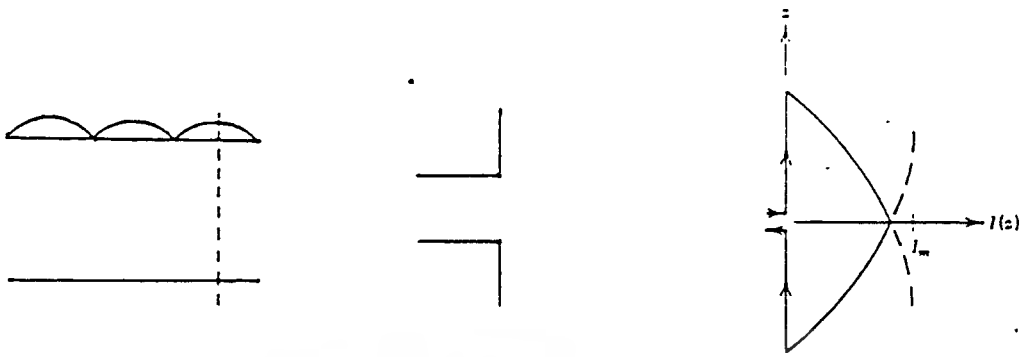
สายอากาศไดโพลสั้น(Short dipole antenna)เป็นสายอากาศไดโพลจริงที่มีความยาวน้อยมาก($\Delta z << \lambda$) การกระจายของกระแสจะเป็นรูปไซน์โดยประมาณ กล่าวคือประจุไฟฟ้าจะออกมาปรากฏที่ผิวลวดในขณะที่กระแสลดลงเมื่อเข้าสู่ปลายของสายอากาศ กระแสกระจัดนี้ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แผ่ออกมาจากสายอากาศและเชื่อมโยงสายอากาศส่งคลื่นเข้ากับสายอากาศรับคลื่น

การกระจายของกระแสบนสายอากาศไดโพลสั้นสามารถประมาณให้เป็นรูปสามเหลี่ยม ซึ่งมีพื้นที่เป็นครึ่งหนึ่งของรูปการกระจายของกระแสบนไดโพลอุดมคติ(ดูรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.5 ประกอบ) ด้วยเหตุนี้กระสวนการแผ่คลื่นของไดโพลทั้งสองจะเหมือนกัน(รวมทั้งไดเร็กทิฟวิตีก็เหมือนกันด้วย) แต่ขนาดสนามจะต่างกันด้วยแฟกเตอร์ 1/2 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งกำลังการแผ่คลื่นจะต่างกันด้วยแฟกเตอร์ 1/4 (ไดโพลสั้นมีกำลังการแผ่คลื่นน้อยกว่า) ดังนั้นความต้านทานที่เกี่ยวข้องการแผ่คลื่นจะลดลงเป็น[2]

$$R_{r_1} = 20\pi^2 \left(\frac{\Delta z}{\lambda_o}\right)^2 \qquad (2.11)$$

สายอากาศไดโพลยาว(Long wire antenna)เป็นไดโพลที่มีขนาดยาวเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นและเป็นสายอากาศชนิดที่ง่ายที่สุด ในการหาสนามของสายอากาศชนิดนี้จะต้องทราบการกระจายของกระแสบนสายอากาศก่อน ลักษณะการกระจายของกระแสบนไดโพลยาวสามารถหาได้โดยอาศัยทฤษฎีสายส่ง กล่าวคือเราอาจพิจารณาสายอากาศให้เป็นโครงสร้างที่แปลงมาจากสายส่งปลายเปิด ซึ่งปลายสายแยกออกจากกันดังรูปที่ 2.6

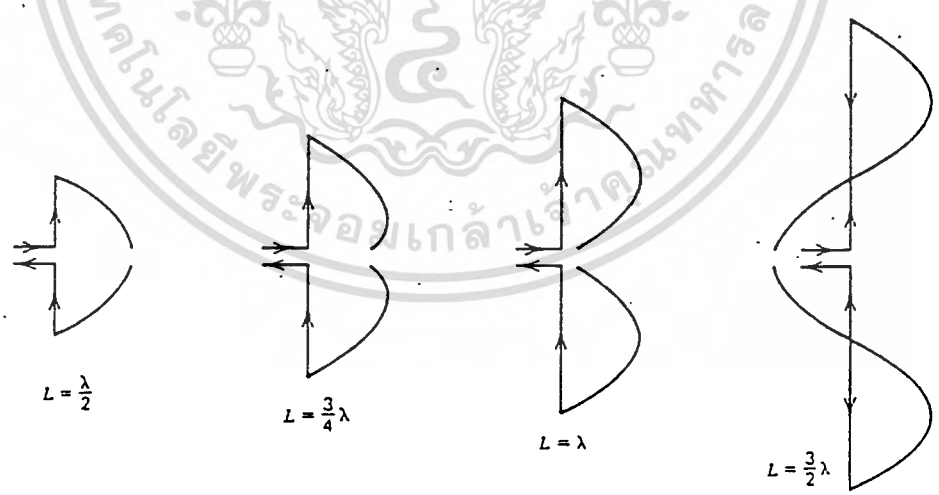
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สายส่งปลายเปิด (ข) สายอากาศไดโพล ที่ได้จากการพับสายส่ง (ค) การกระจายของกระแสบนไดโพล

รูปที่ 2.6 การกระจายของกระแสบนสายอากาศไดโพลเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับการกระจายของกระแสในสายส่งปลายเปิด

การกระจายของกระแสลำหรับไดโพลที่ความยาวอื่น ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการกระจายของกระแสลำหรับไดโพลที่ป้อนสัญญาณตรงกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าสัญญาณที่ป้อนสายอากาศมาจากแหล่งจ่ายคลื่นไซน์ กระแสที่กระจายอยู่บนสายอากาศสามารถเขียนได้เป็น

$$I(z) = I_m \sin[\beta(\frac{L}{2} - |z|)] \quad \text{เมื่อ } |z| < \frac{L}{2} \qquad (2.12)$$

เมื่อ I_m คือค่ากระแสสูงสุดบนสายอากาศ

การวิเคราะห์เมื่อหานิพจน์ของสนามไฟฟ้า $\bar{E}$ และสนามแม่เหล็ก $\bar{H}$ ในบริเวณที่อยู่ห่างไกลจากสายอากาศโดยใช้ $I(z)$ จาก(2.12) ให้ผลเป็น[2]

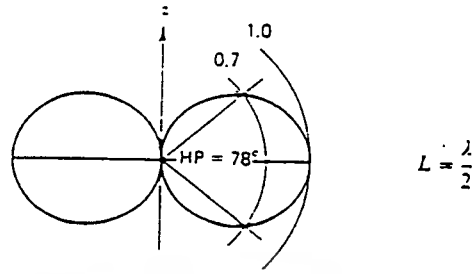
$$\bar{E} = \frac{j\eta e^{-j\beta r} I_m \cos[(\beta L/2)\cos\theta] - \cos(\beta L/2)}{2\pi r \sin\theta} \hat{a}_\theta \qquad (2.13)$$

$$\bar{H} = \frac{j\eta e^{-j\beta r} I_m \cos[(\beta L/2)\cos\theta] - \cos(\beta L/2)}{2\pi r \sin\theta} \hat{a}_\phi \qquad (2.14)$$

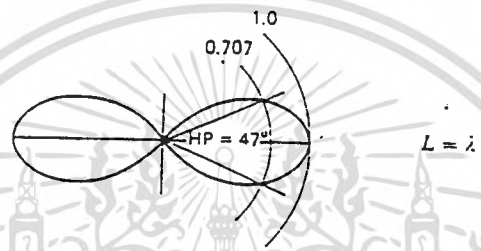
เมื่อ $\eta = \omega\mu/\beta$ คืออินทรินสิกอิมพิแดนซ์(Intrinsic impedance)ของตัวกลางการแผ่คลื่นในกรณีที่ตัวกลางการคลื่นเป็นอากาศ $\eta = \eta_0 = 120\pi$ โอห์ม

ในการแสดงกระสวนการแผ่คลื่นเรามักจะนอร์มอลไรซ์(Normalize)ค่าของสนามไฟฟ้า $\bar{E}$ และสนามแม่เหล็ก $\bar{H}$ เพื่อให้มีสูงสุดเป็น 1 ก่อนนำไปพลอตเทียบกับมุม อาคัย(2.13) กระสวนสนามไฟ้าที่นอร์มอลไรซ์แล้วได้แสดงอยู่ในรูปที่ 2.8 สำหรับไดโพลที่มีความยาวต่าง ๆ กัน

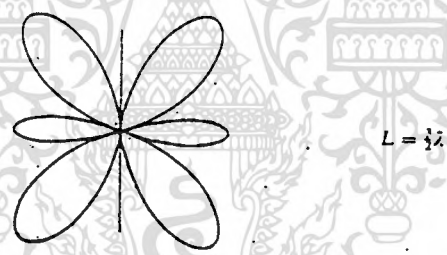
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.8 กระสวนการแผ่คลื่นสำหรับไดโพลตรง

(ก) ความยาว L = λ/2

(ข) ความยาว L = λ

(ค) ความยาว L = 3/2λ

15984

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาสมการ (2.14) เนื่องจาก $\bar{H}$ ไม่เปลี่ยนแปลงกับมุม ϕ เลยดังนั้นกระสวนสนามแม่เหล็กในระนาบที่ตั้งฉากกับลายอากาศ (ระนาบ XY) จึงมีรูปร่างเป็นวงกลม

โดยปกติเมื่อทราบกระสวนการแผ่คลื่นของลายอากาศแล้วเราอาจหาค่าไดเร็กทิฟวิตีโดยประมาณได้จากกระสวนการแผ่คลื่นโดยใช้ความสัมพันธ์[9]

$$D = \frac{41253}{\theta_1 \phi_1} \qquad (2.15)$$

เมื่อ θ_1 เป็นความกว้างลำครึ่งกำลังในระนาบ xz มีหน่วยเป็นองศา
ϕ_1 เป็นความกว้างลำครึ่งกำลังในระนาบ xy มีหน่วยเป็นองศา

ยกตัวอย่างเช่น ลายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น ($L = \lambda/2$) มีความกว้างลำครึ่งกำลังในระนาบ xz และระนาบ xy เท่ากับ 78° และ 360° ตามลำดับ ดังนั้น

$$D = \frac{41253}{78 \times 360} = 1.47$$

ซึ่งค่าที่ถูกต้องควรเป็น 1.64 หรือ 2.154 dB [2]

การกระจายของกระแสบนสายอากาศไดโพลยาวมีรูปแบบไม่แน่นอน เปลี่ยนแปลงตามขนาดความยาวของสายอากาศและตำแหน่งที่ป้อนกระแส (Feed) ให้สายอากาศ เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายของกระแสบนสายอากาศ[2] ดังนั้นการหาอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลยาวจึงยุ่งยากมากและต้องใช้วิธีเชิงเลข (Numerical method) ช่วย ในการคำนวณหาอินพุตอิมพีแดนซ์มีอยู่หลายวิธี[7] แต่วิธีที่นิยมใช้มี Induced EMF method, Stroer's variational solution

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hallen's integral equation สำหรับงานโครงการนี้เราจะใช้วิธีของ Hallen's integral equation ในการคำนวณเพราะเป็นวิธีที่ง่ายวิธีหนึ่ง การหาอินพุตอิมพีแดนซ์จะจำกัดอยู่แต่เฉพาะกรณีที่ตำแหน่งของการป้อนกระแสอยู่ตรงกลางสายอากาศไดโพล(Center-fed dipoles) สมการของอินพุตอิมพีแดนซ์สำหรับการประมาณอันดับศูนย์ (Zero-th-Order approximation) ตามวิธีนี้สามารถเขียนได้เป็น[7]

$$Z = -j60\Omega \frac{\cos\beta l + \Omega^{-1}F_1(l)}{\sin\beta l+\Omega^{-1}[(1-\cos\beta l)G_1(l)+\sin\beta l F_1(l)} \qquad (2.16)$$

เมื่อ l คือ ความยาวของสายอากาศ

a คือ รัศมีของตัวนำที่ใช้ทำสายอากาศ

$\Omega = 2 \ln (2l/a)$

$$F_1(l) = \int_{-l}^{l} \frac{F_o(z')e^{-j\beta r'}}{r'} dz'$$

$$G_1(l) = \int_{-l}^{l} \frac{G_o(z')e^{-j\beta r'}}{r'} dz'$$

$$F_o(z) = \cos\beta z - \cos\beta l$$

$$G_o(z) = \sin\beta|z| - \sin\beta l$$

$$r' = [a^2 + (l - z')^2]^{1/2}$$

อินพุตอิมพีแดนซ์จะมีค่าถูกต้องมากยิ่งขึ้นเมื่อใช้การประมาณค่าอันดับสูงขึ้นไป(Higher order approximation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

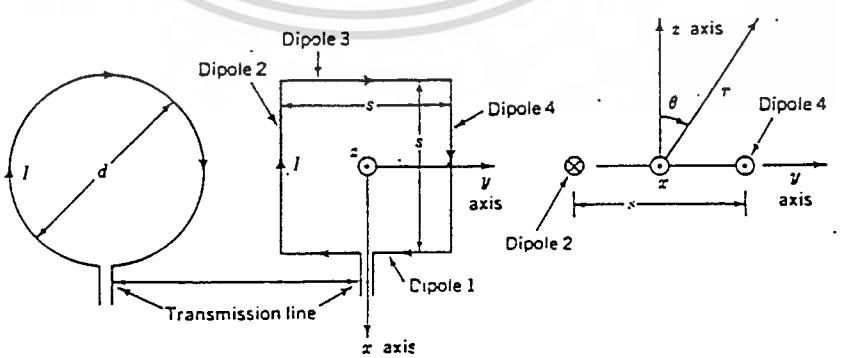
2.4 สายอากาศแบบบ่วง (Loop antenna)

สายอากาศแบบบ่วงมีลักษณะโค้งงอเป็นวงปิดซึ่งอาจจะเป็นวงแหวนหรือวงสี่เหลี่ยมก็ได้ ลักษณะโค้งงอเป็นวงปิดนี้เองโพลาไรเซชันของมันจึงเป็นแบบวงกลม เราสามารถแบ่งสายอากาศแบบบ่วงตามความยาวของเส้นรอบรูปสายอากาศได้ 2 ชนิด คือ

ก. สายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็ก (Small loop antenna) ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีความยาวเส้นรอบรูปน้อยมาก เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น สายอากาศแบบนี้นิยมใช้กับเครื่องรับวิทยุชนิดถือติดตัวได้ และใช้เป็นสายอากาศแบบมีทิศทางสำหรับการเดินเรือโดยใช้คลื่นวิทยุ

ข. สายอากาศแบบบ่วงขนาดใหญ่ (Larger loop antenna) ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีเส้นรอบรูปมีความยาวใกล้เคียงหรือมากกว่าความยาวคลื่น สายอากาศแบบนี้นิยมใช้เป็นองค์ประกอบ (Element) ของสายอากาศชุด ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปในหัวข้อ 2.5

สายอากาศแบบห่วงขนาดเล็กมีความยาวเส้นผ่าศูนย์น้อยมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น ($d << \lambda$) ดังนั้นกระแสที่กระจายอยู่บนสายอากาศจึงถือได้ว่ามีขนาดและเฟสเท่ากัน การวิเคราะห์สายอากาศชนิดนี้มักเริ่มต้นพิจารณาบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงระบบแกนประสานของสายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็ก รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปโครงสร้างของรูปสายอากาศบ่วงสนามในระนาบ YZ เกิดขึ้นโดยการแผ่คลื่นจากไดโพลลั้นตัวที่ 2 และ 4 เท่านั้น เพราะว่าสนามที่เกิดจากไดโพลตัวที่ 1 และ 3 มีขนาดเท่ากันแต่มีเฟสตรงกันข้ามที่ทุก ๆ จุดในระนาบ YZ การหาสนามไฟฟ้าในระนาบ YZ สามารถทำได้โดยพิจารณาให้ไดโพล 2 และ 4 แทนด้วยแหล่งกำเนิดคลื่นจุด(Isotropic point source) โดยที่เราทราบระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดทั้งสอง เราจึงสามารถหากระสวนของสนามที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นจุดได้ กระสวนของสนามดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า แอเรย์แฟคเตอร์(Array factor) อาศัยหลักการคูณกระสวน (Principle of pattern multiplication) เราสามารถแสดงได้ว่าสนามไฟฟ้าในระนาบ YZ ที่เกิดจากไดโพล 2 และ 4 มีนิพจน์เป็น[2],[10]

$$\bar{E} = \frac{\eta\beta^2 S I e^{-j\beta r}}{4\pi r}\sin\theta\,\bar{a}_\phi \qquad (2.17)$$

เมื่อ I เป็นกระแสบนสายอากาศซึ่งเราสมมติให้มีขนาดคงที่และเฟสเท่ากันตลอดบ่วง

$S = l^2$ คือพื้นที่ของบ่วง

สนามแม่เหล็ก $\bar{H}$ สัมพันธ์กับสนามไฟฟ้า $\bar{E}$ ด้วย $\bar{H} = 1/\eta\ \bar{a}_r \times \bar{E}$ เมื่อ $\bar{a}_r$ คือเวกเตอร์หน่วยในแนวรัศมี ดังนั้น

$$\bar{H} = \frac{-\beta^2 S I e^{-j\beta r}}{4\pi r}\sin\theta\,\bar{a}_\phi \qquad (2.18)$$

จากสมการ(2.17) และ (2.18) จะเห็นว่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับกระแสและพื้นที่ของสายอากาศบ่วงแต่จะไม่ขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของสายอากาศ สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กนี้เมื่อนอร์มอลไรซ์แล้วจะมีค่าเท่ากับค่านอร์มอลไรซ์ของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กของสายอากาศไดโพลอุดมคติ ดังนั้นกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็กจึงมีรูปร่างเหมือนกับกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศไดโพลอุดมคติ (รวมทั้งไดเร็กทิฟวิตี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานที่เกี่ยวข้องการแผ่คลื่นของบ่วงหาได้จากกำลังการแผ่คลื่น P_r ซึ่งมีนิพจน์เป็น[2]

$$P_r = 10\, I^2(\beta^2 S)^2 \qquad (2.19)$$

ดังนั้น

$$P_{r1} = \frac{2P_r}{I^2} = 20(\beta^2 S)^2 \qquad (2.20)$$

พารามิเตอร์ที่เหลือของอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับรูปร่างของบ่วงจะแยกพิจารณาเป็นกรณีดังนี้

ก. กรณีที่สายอากาศมีโครงสร้างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในสายอากาศ (R_{ohmic}) และค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance แทนด้วยสัญญลักษณ์ L) แสดงไว้ในสมการ (2.21)และ (2.22) ตามลำดับ

$$R_{ohmic} = \frac{2l_1 l_2 R_s}{\pi d^2}\left\{\frac{1}{[(l_1/d)^2-1]^{1/2}} + \frac{1}{[(l_2/d)^2-1]^{1/2}}\right\} \qquad (2.21)$$

$$L = \frac{\mu}{\pi}\left(l_2 \cosh^{-1}\frac{l_1}{d} + l_1 \cosh^{-1}\frac{l_2}{d}\right) \qquad (2.22)$$

เมื่อ l_1 และ l_2 แทนความยาวด้านกว้างและด้านยาวตามลำดับ

d คือเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำที่ใช้ทำสายอากาศ

$R_s = \sqrt{\frac{\mu_o 2\pi f}{2\sigma}}$ คือความต้านทานที่ผิว (Surface resistance)

μ_o คือค่าความซาบซึมได้ (Permeability) ของอากาศ

μ คือค่าความซาบซึมได้ของตัวนำที่ใช้ทำสายอากาศ

σ คือค่าสภาพนำ(Conductivity)ของตัวนำที่ใช้ทำสายอากาศ

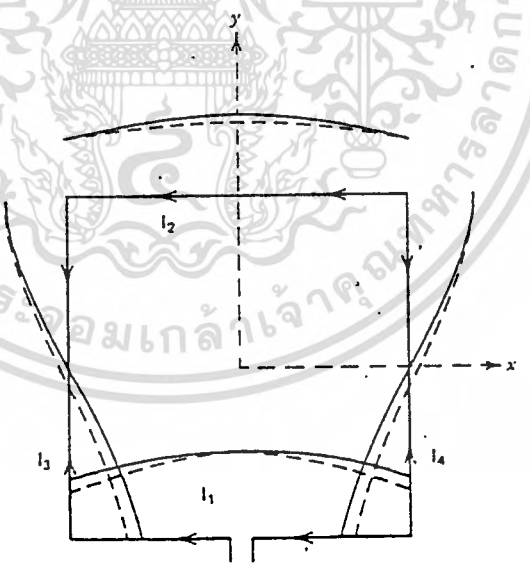
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. กรณีที่สายอากาศมีโครงสร้างเป็นรูปวงกลม นิพจน์ของ R_{ohmic} และ L เป็นดังนี้

$$R_{ohmic} = \frac{2bR_s}{d} \qquad (2.23)$$

$$L = b\mu\,[\ln(16b/d) - 1.75] \qquad (2.24)$$

สายอากาศแบบบ่วงขนาดใหญ่เป็นสายอากาศที่มีความยาวเส้นรอบรูปใกล้เคียงหรือมากกว่าความยาวคลื่น ดังนั้นขนาดและเฟสของกระแสที่กระจายอยู่บนสายอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ จึงไม่เท่ากัน เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ เราจะพิจารณาสายอากาศแบบบ่วงขนาดใหญ่ที่มีโครงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square loop antenna) และมีความยาวเส้นรอบรูปเท่ากับ 1 ความยาวคลื่นการกระจายของกระแสบนเส้นรอบรูปของสายอากาศมีรูปร่างเป็นคลื่นไซน์ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการกระจายของกระแสบนสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความยาวเส้นรอบรูปเท่ากับ 1 ความยาวคลื่น เส้นโค้งทึบแสดงการกระจายของกระแสที่ได้จากทฤษฎี ส่วนเส้นประเป็นขนาดของกระแสที่ได้จากวิธีเชิงเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปแบบการกระจายของกระแส เราสามารถแสดงได้ว่าสนามไฟฟ้าในระนาบต่าง ๆ มีนิพจน์เป็น

$$E_\theta = \frac{jI_0\eta e^{-j\beta r}}{\sqrt{2\pi r}}\cos\theta\left\{\frac{\sin\phi\sin[(\pi/4)\sin\theta\cos\phi]}{1-\sin^2\theta\sin^2\phi}\right.$$

$$\cdot[\sin\theta\sin\phi\cos(\pi/4\sin\theta\sin\phi)-\sin(\pi/4\sin\theta\sin\phi)]$$

$$-\cos\phi\cos[(\pi/4)\sin\theta\sin\phi]/(1-\sin^2\theta\cos^2\phi)$$

$$\left.\cdot[\sin\theta\cos\phi\sin(\pi/4\sin\theta\cos\phi)-\cos(\pi/4\sin\theta\cos\phi)]\right\} \quad (2.25)$$

$$E_\phi = \frac{jI_0\eta e^{-j\beta r}}{\sqrt{2\pi r}}\left\{\frac{\cos\phi\sin[(\pi/4)\sin\theta\cos\phi]}{1-\sin^2\theta\sin^2\phi}\right.$$

$$\cdot[\sin\theta\sin\phi\cos(\pi/4\sin\theta\sin\phi)-\sin(\pi/4\sin\theta\sin\phi)]$$

$$+\sin\phi\cos[(\pi/4)\sin\theta\sin\phi]/(1-\sin^2\theta\cos^2\phi)$$

$$\left.\cdot[\sin\theta\cos\phi\sin(\pi/4\sin\theta\cos\phi)-\cos(\pi/4\sin\theta\cos\phi)]\right\} \quad (2.26)$$

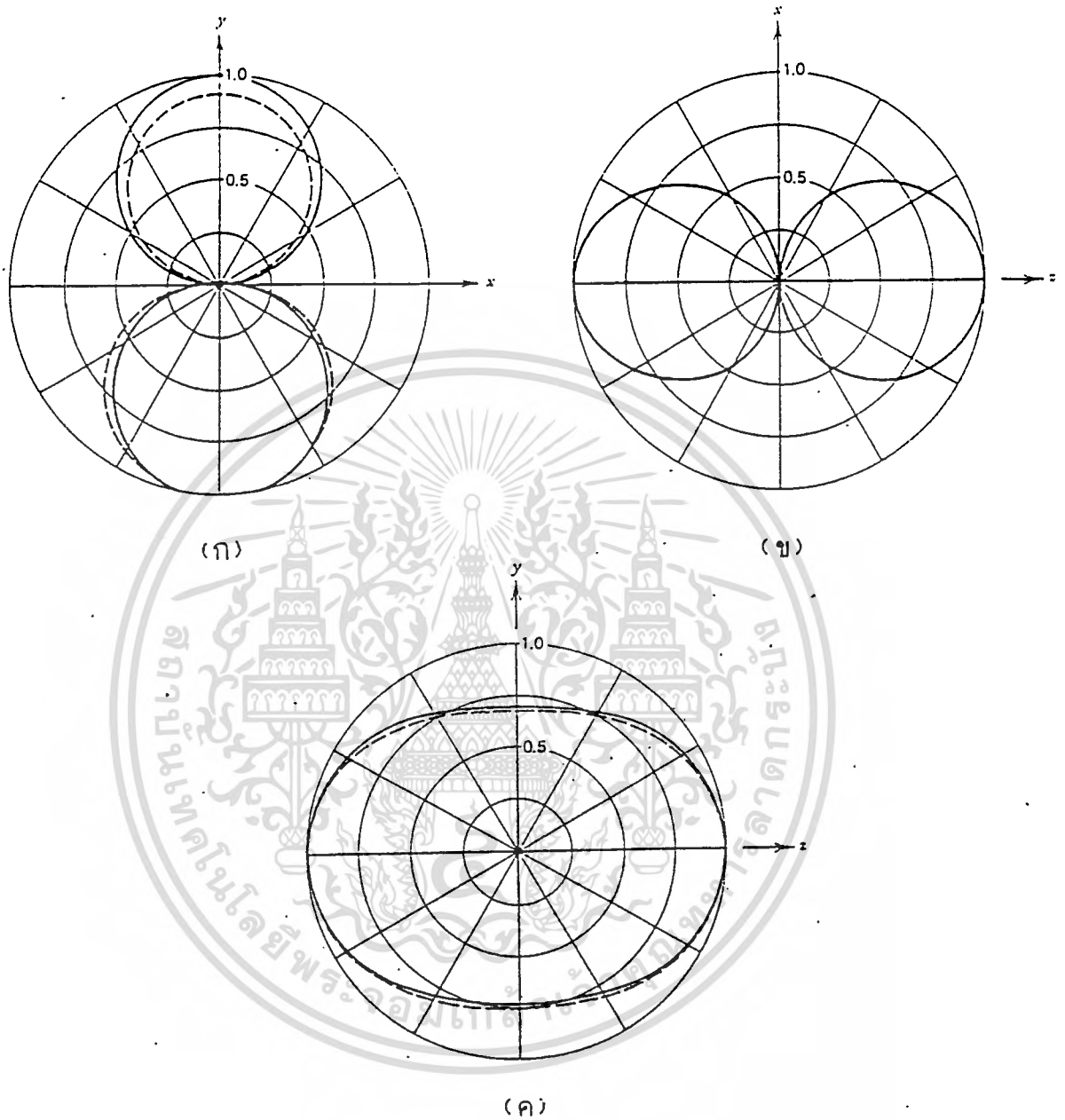
เมื่อ E_θ คือสนามไฟฟ้าในระนาบ xz

E_ϕ คือสนามไฟฟ้าในระนาบ xy และระนาบ xz

I_0 เป็นค่าสูงสุดของการกระจายของกระแสบนสายอากาศ

กระสวนสนามไฟฟ้าในระนาบต่าง ๆ ซึ่งได้จากสมการที่ (2.25) และ (2.26) มีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศแบบบ่วงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งมีความยาวเส้นรอบรูป 1 ความยาวคลื่น เส้นทึบโค้งแสดงกระสวนที่ได้จากทฤษฎี ส่วนเส้นประเป็นกระสวนที่ได้จากวิธีเชิงเลข

(ก) กระสวนการแผ่คลื่นในระนาบ xy

(ข) กระสวนการแผ่คลื่นในระนาบ xz

(ค) กระสวนการแผ่คลื่นในระนาบ yz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สายอากาศชุด(Array antenne)

สายอากาศเล็ก ๆ จำนวนหนึ่งซึ่งมีโครงสร้างเหมือน ๆ กันอาจนำมาเรียงกันในที่ว่างและต่อเข้าด้วยกันเพื่อประกอบขึ้นเป็นสายอากาศชุด ซึ่งหากเราควบคุมแอมพลิจูดและเฟสของกระแสแต่ละองค์ประกอบ(Element)แล้วจะได้กระสวนผลลัพธ์ที่มีไดเร็กทิฟวิตีสูงมากพอ ๆ กับสายอากาศใหญ่ตัวเดียว นอกจากจะสามารถทำให้ไดเร็กทิฟวิตีมีค่าสูงแล้ว การควบคุมแอมพลิจูดของแต่ละองค์ประกอบยังสามารถเปลี่ยนแปลงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศชุดให้มีรูปร่างและอยู่ในทิศทางตามต้องการ ปัจจุบันสายอากาศชุดได้ถูกนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ทั้งนี้เพราะเป็นสายอากาศที่สร้างง่าย และมีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับสายอากาศขนาดใหญ่ที่ให้คุณสมบัติทัดเทียมกัน

สายอากาศชุดมีโครงรูปต่าง ๆ กันหลายอย่าง โครงรูปเบื้องต้นที่สุดได้แก่ สายอากาศชุดเชิงเส้น(Linear array) ซึ่งจุดศูนย์กลางขององค์ประกอบทุกตัววางอยู่ในเส้นตรงเดียวกัน เมื่อจุดศูนย์กลางขององค์ประกอบอยู่ในระนาบเดียวกัน โครงรูปดังกล่าวเรียกว่า สายอากาศชุดเชิงระนาบ (Planar array) โครงร่างของสายอากาศชุดชนิดใหม่ที่เพิ่งนำออกมาใช้งาน ได้แก่คอนฟอร์มมอลแอเรย์ (Conformal array) ซึ่งตำแหน่งขององค์ประกอบจะถูกจัดให้อยู่บนผิวโค้งของยานพาหนะหรือขีปนาวุธ สำหรับในงานโครงการนี้เราจะจำกัดความสนใจแต่เฉพาะสายอากศชุดเชิงเส้นเท่านั้น

กระสวนของสายอากาศชุดเมื่อเราแทนองค์ประกอบแต่ละตัวด้วยแหล่งกำเนิดจุด(Isotropic point source) ที่มีแอมปลิจูดและเฟสสัมพันธ์เหมือนกันเรียกว่า แอเรย์แฟคเตอร์(Array factor) ถ้าเราทราบแอเรย์แฟคเตอร์และกระสวนขององค์ประกอบของสายอากาศชุดเราสามารถหากระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศชุดโดยใช้หลักการคูณกระสวน(Principle of pattern multiplication) ในเชิงคณิตศาสตร์กระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศชุดสามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F(\theta,\phi) = g_{\cdot}(\theta,\phi)f(\theta,\phi) \qquad (2.27)$$

เมื่อ $F(\theta,\phi)$ คือ ค่านอร์มอลไรซ์ของกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศชุด

$g_{\cdot}(\theta,\phi)$ คือ ค่านอร์มอลไรซ์ของกระสวนการแผ่คลื่นขององค์ประกอบ

และ $f(\theta,\phi)$ คือ ค่านอร์มอลไรซ์ของแอเรย์แฟกเตอร์

ถ้าสายอากาศชุดเชิงเส้นมีองค์ประกอบ N ตัวและแต่ละตัวถูกกระตุ้นด้วยกระแสที่มีขนาดเท่ากัน เราสามารถแสดงได้ว่าแอเรย์แฟกเตอร์ที่นอร์มอลไรซ์แล้วมีสมการเป็น[2]

$$f(\psi) = \frac{\sin(N\psi/2)}{N\sin(\psi/2)} \qquad (2.28)$$

เมื่อ $\psi = \beta d\cos\theta + \alpha$ คือ ตัวแปรซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะห่าง d ระหว่างองค์ประกอบ

α คือ ความแตกต่างเฟสระหว่างกระสวนขององค์ประกอบที่อยู่ติดกัน

และ θ คือ มุมที่ทิศทางของระนาบคลื่นทำกับแกนของสายอากาศชุด

จากสมการที่ (2.28) จะเห็นว่าแอเรย์แฟคเตอร์เปลี่ยนแปลงกับจำนวนองค์ประกอบ และความต่างเฟสของกระแสที่ป้อนให้กับแต่ละองค์ประกอบ รูปที่ 2.12 แสดงแอเรย์แฟคเตอร์ของสายอากาศชุดที่มีองค์ประกอบ 2 ตัวและความแตกต่างเฟสของกระแสในแต่ละองค์ประกอบมีค่าต่าง ๆ กัน

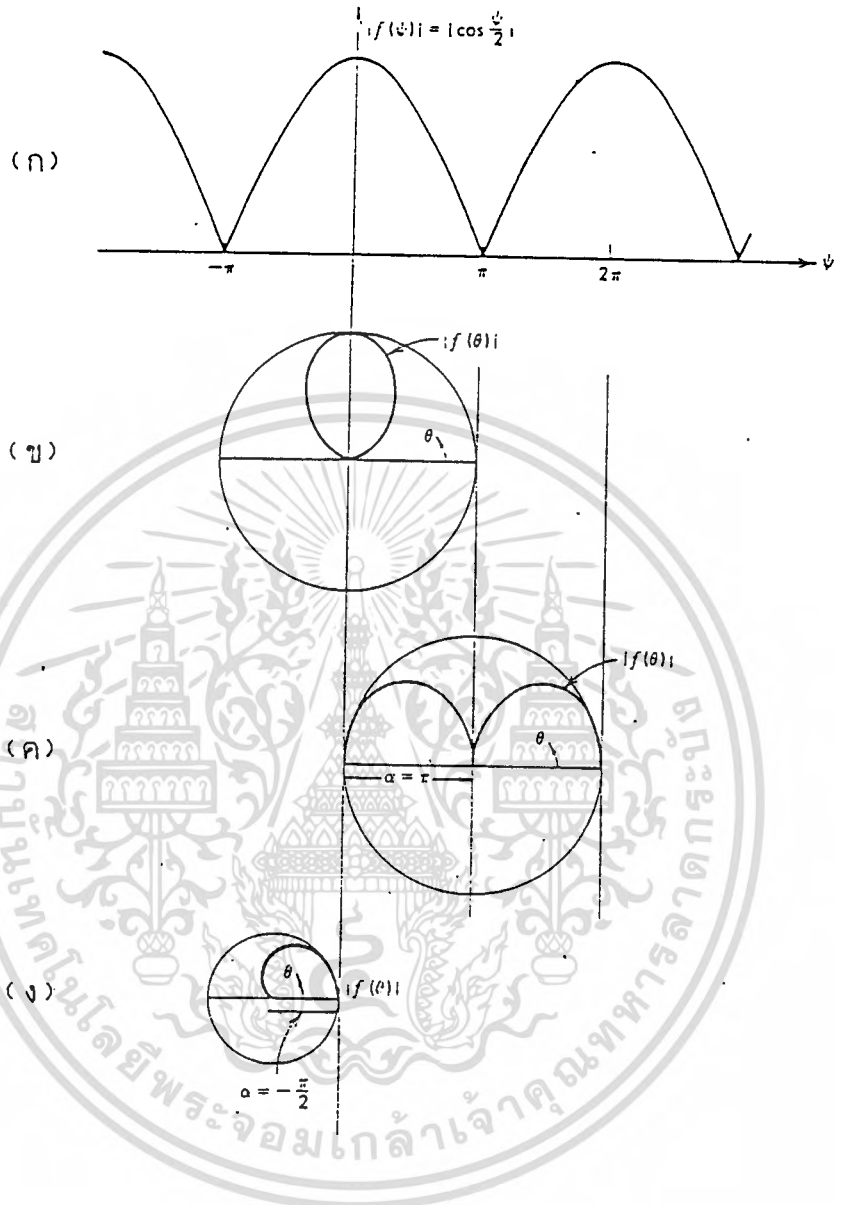
ในการใช้งานบางครั้งเราต้องการสายอากาศชนิดที่ให้ลำคลื่นแผ่ออกในลักษณะที่เป็น Pencil beam และการแผ่คลื่นเกิดขึ้นในแนวเดียวกับแกนของสายอากาศ Pencil beam ก็คือกระสวนการแผ่คลื่นที่มีโลบหลักแคบ ๆ เพียงโลบเดียวและมีโลบข้างที่มีระดับค่อนข้างต่ำ สายอากาศชุดที่ให้การแผ่คลื่นในลักษณะนี้เรียกว่า Ordinary enfire array เงื่อนไขที่ทำให้สายอากาศชุดเป็น Ordinary enfire array คือ

$$\alpha = \pm\beta d$$

โดยที่ d จะต้องสอดคล้องเงื่อนไข

$$d < (\lambda/2)(1-1/(2N)) \qquad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แอเรย์แฟกเตอร์ของสายอากาศชุดที่มีองค์ประกอบ 2 ตัว และกระแสบนองค์ประกอบทั้งสองมีแอมพลิจูดเท่ากัน

(ก) แอเรย์แฟคเตอร์ทั่วไป

(ข) โพลาร์พลอตเมื่อ $d = \lambda/2$, $\beta d = \pi$, $\alpha = 0$

(ค) โพลาร์พลอตเมื่อ $d = \lambda/2$, $\beta d = \pi$, $\alpha = \pi$

(ง) โพลาร์พลอตเมื่อ $d = \lambda/2$, $\beta d = \pi$, $\alpha = -\pi/2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

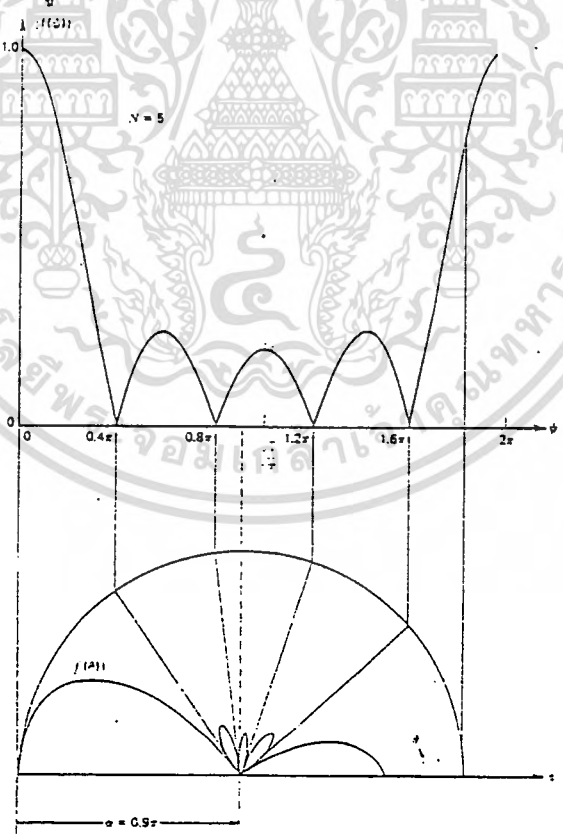
โดยทั่วไปสายอากาศชุดแบบ Ordinary endfire array จะมีไดเร็กทิฟวิตีสูง อย่างไรก็ตามเรายังสามารถบังคับให้สายอากาศชนิดนี้มีไดเร็กทิฟวิตีเพิ่มขึ้นอีกได้ โดยการเพิ่มความต่างเฟสของกระแสระหว่างองค์ประกอบที่อยู่ติดกันให้มากขึ้น นั่นคือ

$$\alpha = \pm \beta d + \pi/N$$

โดยที่ d จะต้องสอดคล้องเงื่อนไข

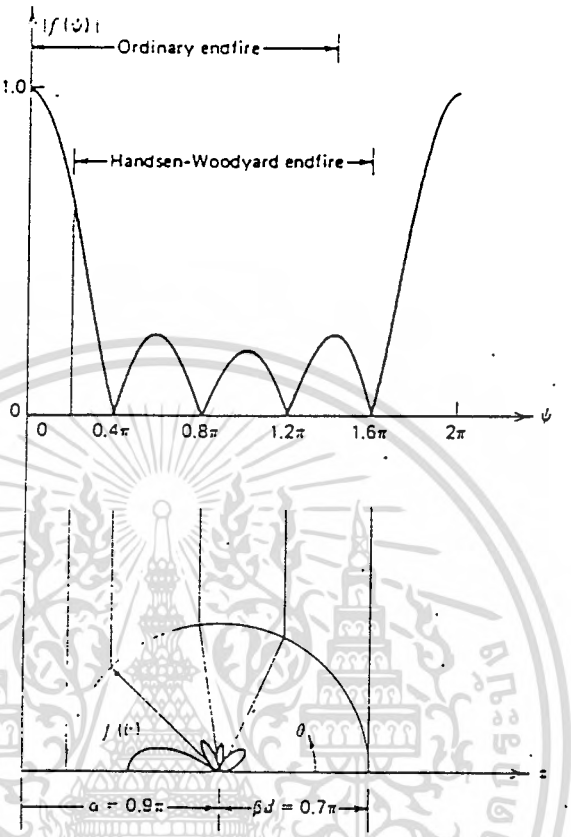
$$d < (\lambda/2)(1-1/N) \qquad (2.30)$$

สายอากาศที่มีความแตกต่างเฟสของระหว่างองค์ประกอบสอดคล้องกับเงื่อนไข (2.30) เรียกว่า Handsen-Woodyard endfire array แอเรย์แฟคเตอร์ของ Ordinary endfire array กับ Handsen-Woodyard endfire array แสดงไว้ในรูปที่ 2.13 และ 2.14 ตามลำดับเพื่อให้เห็นความแตกต่าง



รูปที่ 2.13 Ordinary endfire array ที่มีองค์ประกอบ 5 ตัวซึ่งถูกกระตุ้นด้วยกระแสที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน ระยะห่าง $d = 0.45\lambda$ และ $\alpha = 0.9\pi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



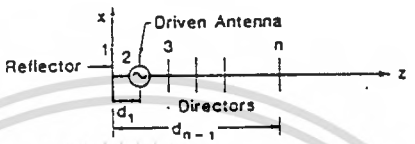
รูปที่ 2.14 Handsen-Woodyard endfire array ที่มีองค์ประกอบ 5 ตัว ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยกระแสที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน ระยะห่าง d = 0.35 λ และ $\alpha = 0.9\pi$

2.6 สายอากาศยากิ(Yagi-Uda antenna)

สายอากาศยากิเป็นสายอากาศชุดเชิงเส้นที่องค์ประกอบทุกตัวเป็นไดโพลซึ่งมีความยาวไม่เท่ากัน แต่การป้อนกระแสจะทำที่ไดโพลเพียงตัวเดียว ไดโพลตัวที่ถูกป้อนกระแสนี้เรียกว่า ตัวขับ(Driver) ไดโพลที่เหลือเป็นองค์ประกอบกาฝาก(Parasitic element) ซึ่งจะได้รับการกระตุ้น(Excitation) ผ่านการเชื่อมโยงของสนามระยะใกล้(Near field) จากตัวขับ[1],[8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวขับจะมีความยาวเท่ากับครึ่งความยาวคลื่นที่ความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant frequency) ส่วนองค์ประกอบกาฝากตัวที่มีความยาวกว่าตัวขับและวางอยู่ด้านหลังตัวขับเรียกว่า ตัวสะท้อน(Reflector) สำหรับองค์ประกอบที่เหลือซึ่งจะมีความยาวน้อยกว่าตัวขับและอยู่หน้าตัวขับเรียกว่า ตัวชี้นำ (Director) โครงรูปของสายอากาศยากิสามารถแสดงไว้ในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงโครงรูปทั่วไปของสายอากาศยากิ

เนื่องจากไดโพลแต่ละตัวมีความยาวต่างกันเล็กน้อย ดังนั้นกระสวนการแผ่คลื่นของแต่ละตัวจึงแตกต่างกันไม่มาก เราจึงสามารถหากระสวนผลลัพธ์โดยใช้หลักการคูณกระสวนได้ กระสวนการแผ่คลื่นของไดโพลตัวที่ i ในระนาบ XY มีนิพจน์เป็น [8]

$$f_i(\theta) = \frac{(\cos(\beta L_i/2\sin\theta) - \cos\beta L_i/2)}{\cos\theta} \qquad (2.31)$$

เมื่อ L_i คือ ความยาวของไดโพลตัวที่ i

กระสวนผลลัพธ์ของสายอากาศสามารถเขียนได้เป็น

$$E(\theta) = \sum_{i=1}^{n} I_i f_i(\theta)\exp(j\beta d_{i-1}\cos\theta) \qquad (2.32)$$

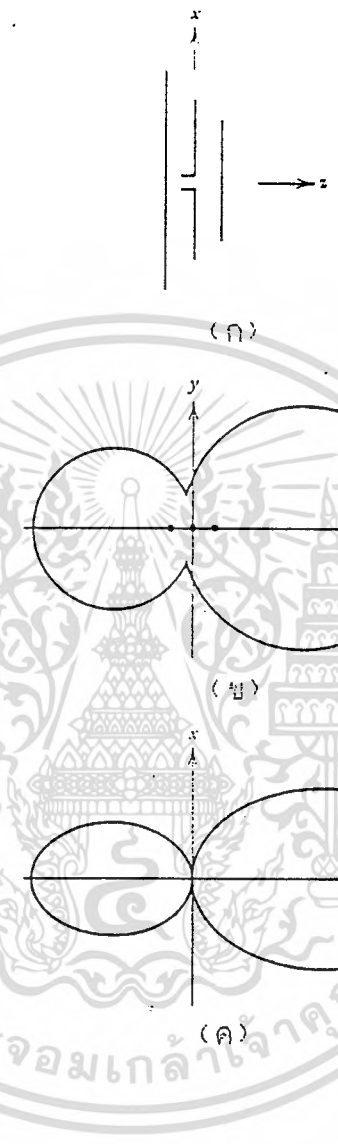
เมื่อ n คือ จำนวนไดโพลทั้งหมด

d_{i-1} คือ ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบที่ 1 กับ i-1 โดย $d_0 = 0$

I_i คือ แอมพลิจูดของกระแสบนไดโพลตัวที่ i

โครงรูปและกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศยากิมูลฐานที่มีองค์ประกอบ 3 ตัว แสดงไว้ในรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 สายอากาศยากิที่มีองค์ประกอบ 3 ตัว ตัวขับยาว 0.4781 λ ตัวสะท้อนยาว 0.49 λ ตัวชี้นำยาว 0.45 λ ไดโพลแต่ละตัวห่างกัน 0.04 λ และตัวนำที่ใช้ทำสายอากาศมีรัศมี 0.001 λ

(ก) แสดงโครงรูปของสายอากาศ

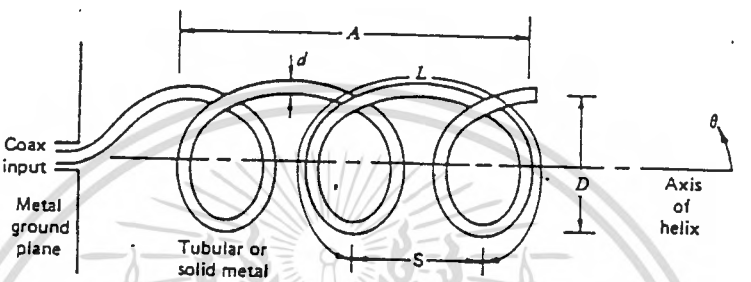
(ข) กระสวนในระนาบ $\vec{H}$ ซึ่งได้จากการคำนวณโดยวิธีเชิงเลข

(ค) กระสวนในระนาบ $\vec{E}$ ซึ่งได้จากการคำนวณโดยวิธีเชิงเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

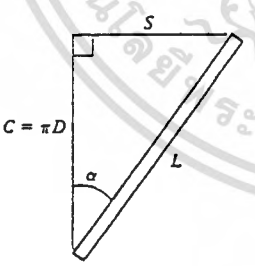
2.7 สายอากาศแบบเกลียว(Helical antenna)

สายอากาศแบบเกลียวเป็นสายอากาศที่มีแถบคลื่นการใช้งานกว้าง และมีโครงสร้างในลักษณะที่ขนาดทางกายภาพไม่เปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใด ในลักษณะเช่นนี้กระสวนการแผ่คลื่นจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ กับความถี่[2]



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะสายอากาศแบบเกลียวชนิดหมุนซ้าย (Left-hand wound helix)

จากรูปที่2.17 เมื่อมองทางด้านหน้าของสายอากาศเราจะเห็นเป็นรูปวงกลม และเมื่อคลี่เกลียวใน 1 รอบจะได้รูปดังนี้



ความยาวรอบ $L = \sqrt{C^2 + S^2}$

มุมพิตช์(Pitch angle) = $\alpha = \tan^{-1} S/C$

เส้นรอบวงของสายอากาศ $C = \pi D$

รูปที่ 2.18 แสดงสายอากาศแบบเกลียวเมื่อคลี่ออก

ถ้า S = 0 จะได้ว่า $\alpha = 0^\circ$ และสายอากาศแบบเกลียวจะกลายเป็นสายอากาศแบบบ่วง

ถ้า D = 0 จะได้ว่า $\alpha = 90^\circ$ และสายอากาศแบบเกลียวจะกลายเป็นสายอากาศลวดตัวนำเชิงเส้น(Linear wire antenna)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของสายอากาศแบบเกลียวมีอยู่สองโมด คือ โมดตั้งฉาก (Normal mode) กับโมดตามแกน(Axial mode)

สายอากาศแบบเกลียวโมดตั้งฉากจะให้การแผ่คลื่นสูงสุดในทิศทางตั้งฉากกับแกนของสายอากาศ และคลื่นที่ถูกแผ่ออกมากจะมีโพลาไรเซชันแบบวงกลม โมดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อเกลียวมีขนาด $D << \lambda$ สายอากาศแบบนี้จะมีประสิทธิภาพในการทำงานต่ำ โดยเหตุที่สายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น เราจึงสมมติได้ว่า กระแสมีขนาดและเฟสคงที่ตลอดสายอากาศ ดังนั้นกระสวนการแผ่คลื่นในระยะไกลจึงไม่ขึ้นกับจำนวนรอบ เมื่อเป็นเช่นนี้กระสวนจึงสามารถหาได้จากเกลียวสายอากาศเกลียวหนึ่งรอบ โดยพิจารณาให้หนึ่งรอบของสายอากาศแบบเกลียวประกอบด้วยสายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็กกับสายอากาศไดโพลอุดมคติดังรูปที่ 2.19

รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างรูปคร่าว ๆ ของสายอากาศแบบเกลียวหนึ่งรอบ

อาศัยสมการ (2.3) โดยให้ความยาวของไดโพลอุดมคติเป็น $\Delta z = S$ จะได้ว่าสนามไฟฟ้า $\bar{E}_D$ ที่เกิดจากส่วนประกอบไดโพลอุดมคติของเกลียวมีนิพจน์เป็น[2]

$$\bar{E}_D = j\omega\mu IS \frac{e^{-j\beta r}}{4\pi r} \sin\theta \, \hat{a}_\theta \qquad (2.33)$$

ในทำนองเดียวกันอาศัยสมการ(2.17) โดยให้พื้นที่ของสายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็กเป็น $A = \pi/4 \, D^2$ จะได้ว่าสนามไฟฟ้า $\bar{E}$ ที่เกิดจากส่วนประกอบที่เป็นบ่วงขนาดเล็กของเกลียวมีนิพจน์เป็น[2]

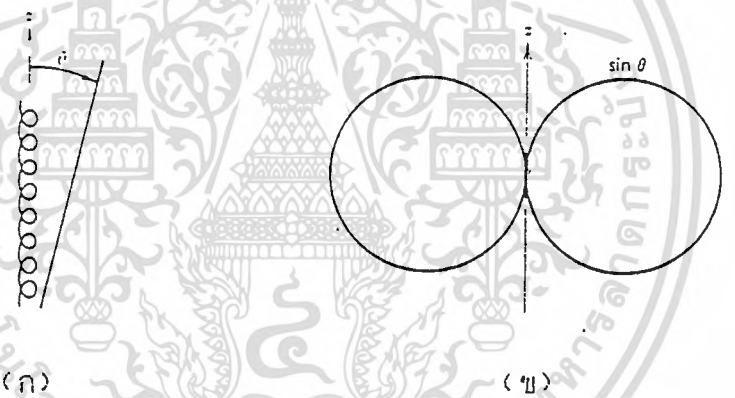
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{E}_L = \eta\beta^2\frac{\pi}{4} D^2 I \frac{e^{-j\beta r}}{4\pi r} \sin\theta \, \hat{a}_\theta \qquad (2.34)$$

กระสวนสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบเกลียวเมื่อทำงานในโมดนี้เป็นผลรวมของ $\bar{E}_D$ กับ $\bar{E}_L$ ดังนั้น

$$\bar{E} = j\omega\mu I S \frac{e^{-j\beta r}}{4\pi r}\sin\theta\hat{a}_\theta + \eta\beta^2\frac{\pi}{4}D^2 I \frac{e^{-j\beta r}}{4\pi r}\sin\theta\hat{a}_\theta \qquad (2.35)$$

พิจารณาสมการ(2.35) จะเห็นว่าสนามไฟฟ้าในระนาบ XZ และ YZ เป็นฟังก์ชันของ sin θ ดังนั้นกระสวนการแผ่คลื่นในระนาบ XZ และในระนาบ YZ จึงมีรูปร่างเหมือนกันดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 สายอากาศแบบเกลียวชนิดโมดตั้งฉาก

(ก) แสดงโครงรูปของสายอากาศแบบเกลียวขณะทำงานในโมดตั้งฉาก

(ข) แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของ $|E_\theta|$ และ $|E_\phi|$

สำหรับสายอากาศแบบเกลียวชนิดโมดตามแกนจะให้การแผ่คลื่นค่าสูงสุดในทิศทางเดียวกับแกนของสายอากาศ และคลื่นที่ถูกแผ่ออกมาจะมีโพลาไรเซชันเป็นแบบวงกลม โมดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อขนาดเส้นรอบรูปของสายอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 3/4 λ กับ 4/3 λ เกลียวที่ทำงานในโมดนี้จะมีลักษณะเป็นสายอากาศชุดซึ่งกระสวนการแผ่คลื่นขึ้นอยู่กับจำนวนรอบ คือ ถ้าจำนวนรอบมากขึ้นความกว้างลำคริ่งกำลังจะลดลง ในการหากระสวนการแผ่คลื่นเราสามารถพิจารณาให้สายอากาศประกอบด้วยบ่วง(loop)ที่มีจำนวนเท่ากับจำนวนรอบของ

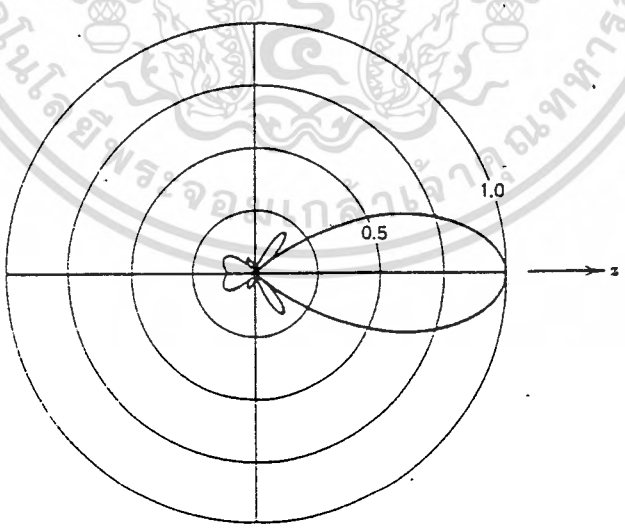
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกลียว โดยกระสวนการแผ่คลื่นของแต่ละรอบจะประมาณเท่ากับกระสวนของสายอากาศแบบบ่วงขนาดหนึ่งความยาวคลื่น จากการวิเคราะห์พบว่าความแตกต่างเฟสระหว่างบ่วงที่อยู่ติดกันมีค่าใกล้เคียงกับเงื่อนไข (2.30) ซึ่งเป็นผลให้สายอากาศมีไดเร็กทิฟวิตีสูงเช่นเดียวกับ Handsen - Woodyard endfire array อาศัยหลักการคูณกระสวนเราสามารถแสดงได้ว่ากระสวนผลลัพธ์ของเกลียวที่นอร์มอลไรซ์แล้วมีนิพจน์เป็น[2]

$$F(\theta) = (-1)^{N+1} \sin\frac{\pi}{2N}\cos\theta \frac{\sin(N\psi/2)}{\sin(\psi/2)} \qquad (2.36)$$

เมื่อ $\psi = \beta S(\cos\theta - 1) - 2\pi - \pi/N$

จากสมการ (2.36) กระสวนของสายอากาศแบบเกลียวในโมดตามแกนจะมีลักษณะเป็น Handsen-Woodyard endfire array antenna ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงกระสวนสนามไฟฟ้าของสายอากาศแบบเกลียว ขณะทำงานใน โมดตามแกน ($\bar{E}_\theta = \bar{E}_\phi$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การพัฒนาซอฟต์แวร์

Antenna Characteristic Display - ACD เป็นซอฟต์แวร์สำเร็จรูปซึ่งมีความสามารถในการคำนวณหาและแสดงคุณสมบัติพื้นฐาน ของสายอากาศชนิดมูลฐานที่นิยมใช้กันทั่วไป โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชา การออกแบบสายอากาศ (Antenna Design)

3.1 การออกแบบโปรแกรม

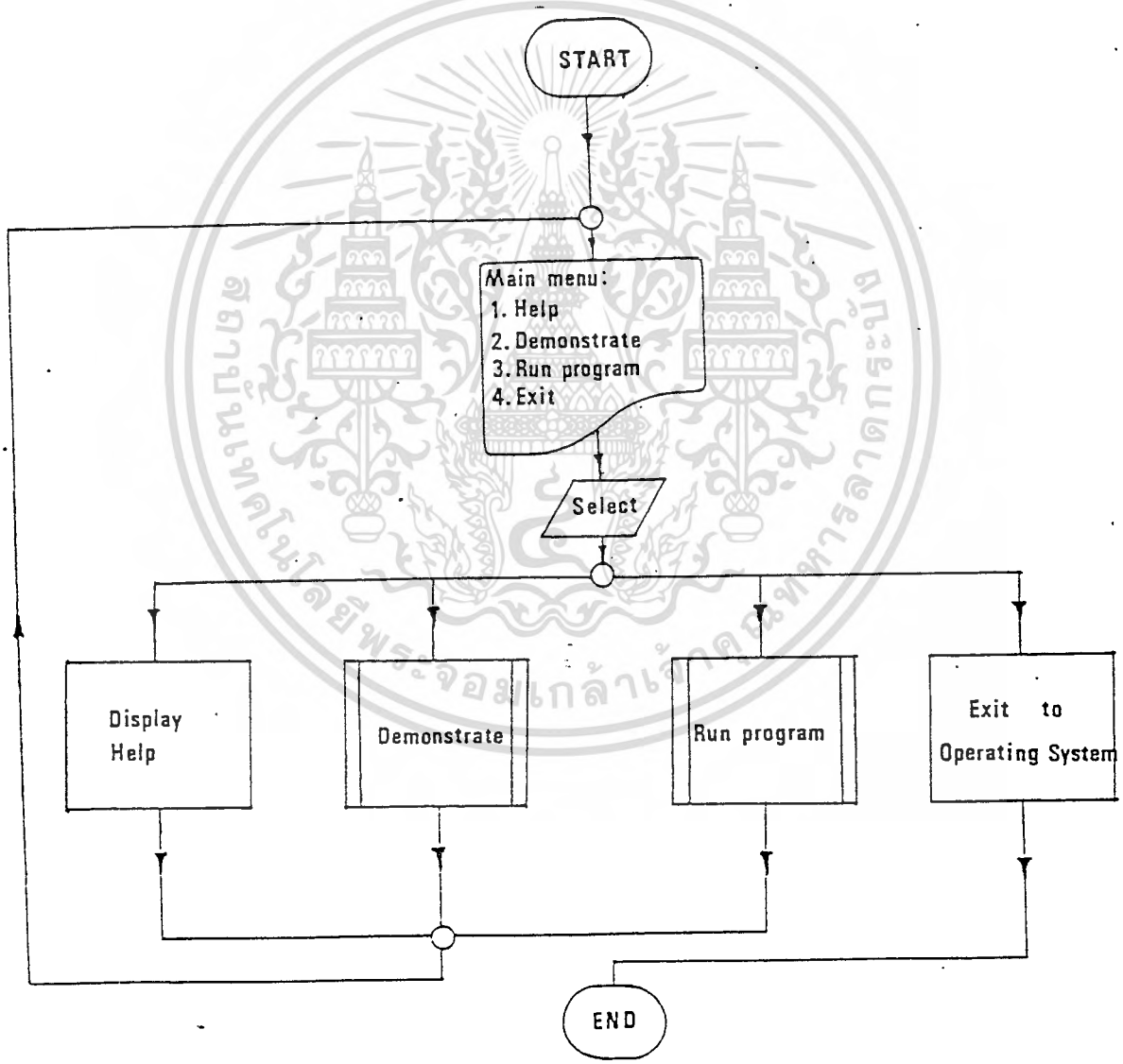
เพื่อให้ ACD ง่ายต่อการใช้งาน การใช้คำสั่งหรือการเลือกขั้นตอนการปฏิบัติงานควรจะเป็นลักษณะของเมนูดริฟเวน (Menu driven) กล่าวคือแทนที่จะพิมพ์คำสั่งลงไปบนแป้นพิมพ์ (Key board) เราสามารถเลือกจากรายการ (Menu) ที่ปรากฏบนหน้าจอ ซึ่งจะช่วยให้การใช้งานสะดวกขึ้นนอกจากนั้นยังเป็นการป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการพิมพ์คำสั่งอีกด้วย การเขียนโปรแกรมลักษณะนี้มีความยุ่งยากในการพัฒนาโปรแกรม และซอฟต์แวร์มีขนาดใหญ่ขึ้นมาก เมื่อเทียบกับการพัฒนาโปรแกรมแบบธรรมดา ซึ่งการป้อนคำสั่งกระทำโดยผ่านแป้นพิมพ์

เพื่อให้เกิดความสะดวกอีกประการหนึ่งแก่ผู้ใช้งานคือ ข้อมูลที่คำนวณแล้วควรจะสามารถเก็บ (Save) ลงบนแผ่นดิสเก็ตต์ (Diskette) หรือเรียก (Load) ออกจากแผ่นสำหรับใช้งานครั้งต่อไปได้ เพื่อความรวดเร็วและลดขั้นตอนการคำนวณในบางส่วนของโปรแกรม ซึ่งอาจใช้เวลานานพอสมควร นอกจากนั้นข้อมูลที่เก็บไว้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการคำนวณเกี่ยวกับสายอากาศชุด (Array antenna) กล่าวคือข้อมูลของ Element pattern ที่เก็บไว้ในแผ่นดิสเก็ตต์จะถูกเรียกออกมาคูณกับ Array factor ที่เพิ่งคำนวณเสร็จ เพื่อให้ได้กระสวนของสายอากาศชุดตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

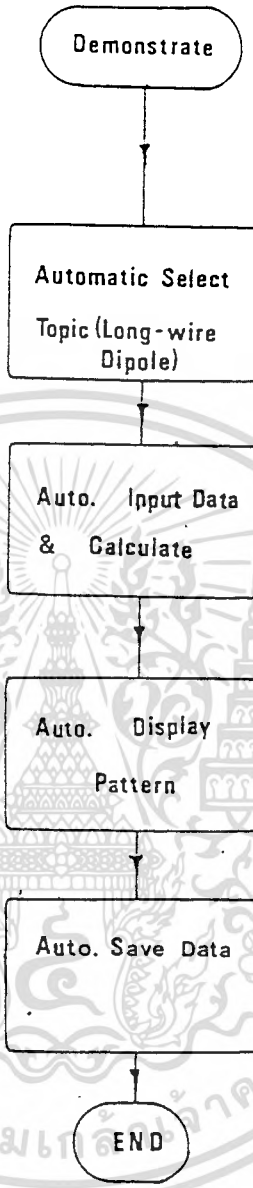
ในการออกแบบวิธีการพลอตกระสวนการแผ่คลื่น (Radiation pattern) ควรจะให้การพลอตกระทำให้โมดกราฟฟิก (Graphic mode) เพื่อให้มีความละเอียดและสวยงามในการแสดงผล และเพื่อให้สามารถมองเห็นรูปร่างของกระสวนการแผ่คลื่นได้อย่างชัดเจน

สำหรับแผนภูมิสายงาน (Flow chart) ของโปรแกรมที่ออกแบบจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.1 - 3.3



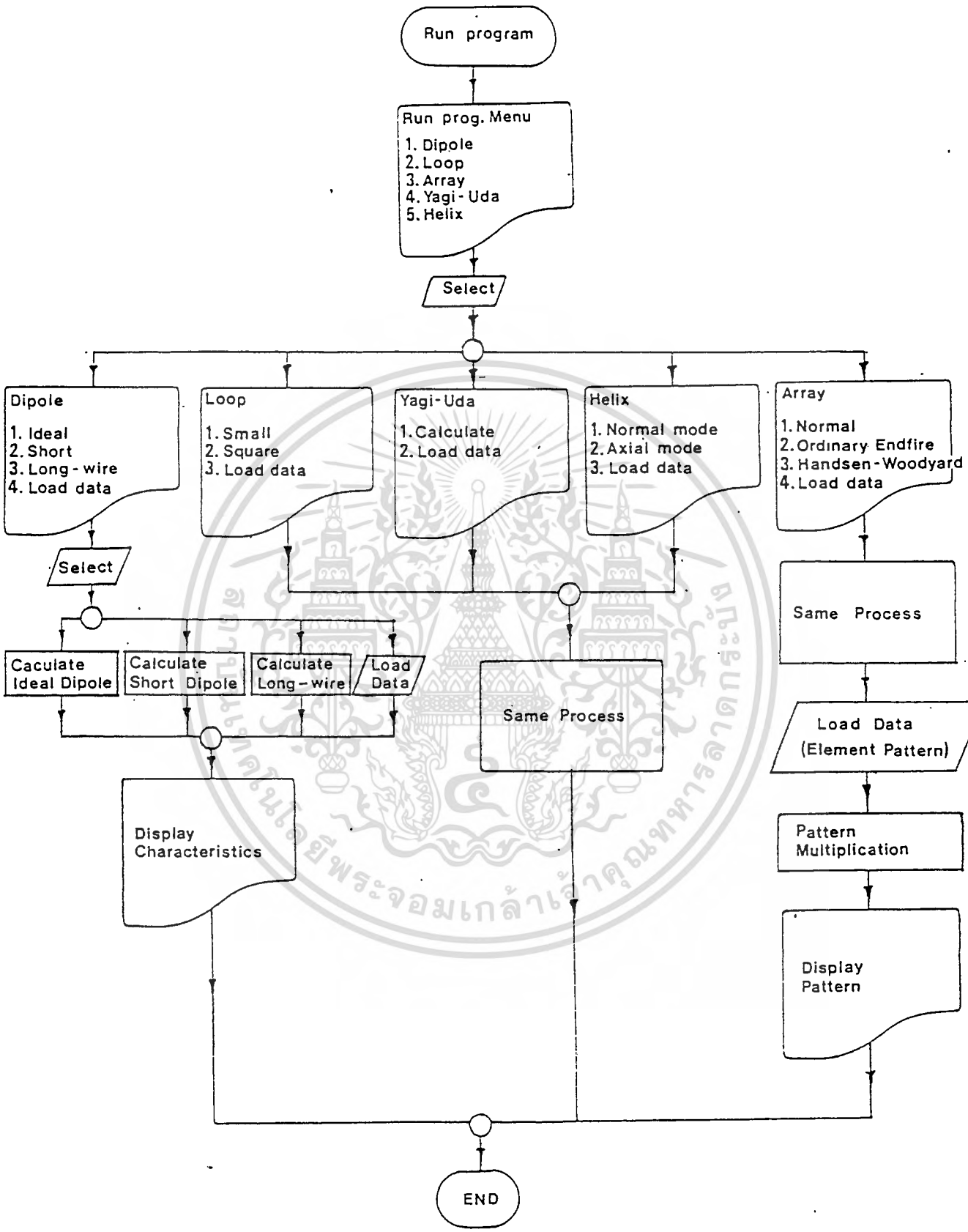
รูปที่ 3.1 แสดงแผนภูมิสายงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงแผนภูมิสายงานของ Demonstrate Program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงแผนภูมิสายงานของ Run Program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ซอฟต์แวร์ที่จำเป็นต้องใช้ร่วม

ACD เป็นซอฟต์แวร์ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นภายใต้ระบบจัดการ(Operating system) MS-DOS ซอฟต์แวร์ทั้งหมดจะรวมกันอยู่ภายในแผ่นดิสเก็ตต์เพียงแผ่นเดียว โปรแกรมชุด ACD จะประกอบด้วยโปรแกรมย่อยต่าง ๆ ดังนี้

COMMAND.COM	เป็นโปรแกรมของระบบจัดการใช้ควบคุมระบบจัดการเกี่ยวกับแผ่นดิสเก็ตต์
ACD.EXE	เป็นโปรแกรมหลักที่ใช้ run โปรแกรมชุด ACD
ACDCHAIN.EXE	เป็นโปรแกรมที่ใช้งานร่วมกับโปรแกรม ACD.EXE
HELP.TXT	เป็นแฟ้มข้อมูล (File) ที่บรรจุข้อความของ Helpไว้ โปรแกรมหลัก (ACD.EXE) จะมาอ่านข้อมูลที่เก็บไว้ในแฟ้มนี้เมื่อคำสั่ง Help ถูกเรียกใช้
BRUN30.EXE	เป็นโปรแกรม Runtime Library ซึ่งโปรแกรม ACD.EXE จะอ่านวิธีปฏิบัติคำสั่งต่าง ๆ ตอนเริ่มต้นโปรแกรม [11],[12]
CGA.COM และ COLOUR.COM	เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับปรับ (Adapt)ให้จอโมโนโครมมีสภาพคล้ายจอสี เพื่อให้สามารถแสดงรูปกราฟฟิกได้

นอกจากนี้อาจมีแฟ้มข้อมูลที่มีชื่อส่วนขยาย (Extension name) เป็น .DAT ซึ่งเกิดจากการเก็บข้อมูลการคำนวณของ ACD

3.3 แนะนำวิธีใช้ซอฟต์แวร์

ก่อนที่จะ run โปรแกรม ACD ผู้ใช้จะต้องเตรียมหรือจัดหาเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ

(ก) เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้จะต้องเป็นไมโครคอมพิวเตอร์ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต IBM PC, PC-XTหรือคอมพิวเตอร์รุ่นอื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่ากัน(Compatible)

(ข) เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ จะต้องมีเนื้อที่หน่วยความจำหลัก (Main memory) ไม่น้อยกว่า 256 กิโลไบต์

(ค) ถ้าหากจอที่ใช้เป็นจอโมโนโครม จะต้องใช้การ์ดแสดงผลกราฟฟิกของเออร์คิวลิส (Herculis graphic display card)

การใช้โปรแกรมเริ่มต้นโดยใส่ดิสเก็ตต์ที่บรรจุโปรแกรม ACD ไว้ในเครื่องขับแผ่นดิสเก็ตต์ (Disk drive) ที่เครื่องจะทำการบูท จากนั้นเปิดสวิทช์เครื่องคอมพิวเตอร์ และคอยจนกระทั่งเครื่องอ่านเอาระบบจัดการเข้าไปจนหมด เมื่อเสร็จแล้วจะปรากฏข้อความที่จอดังนี้

```
Current date is Tue 1-01-1980
Enter new date (mm-dd-yy):_
```

ให้ใส่วันที่ เข้าไปตามรูปแบบ (Format) ที่ให้มาหรือถ้าหากไม่ต้องการเปลี่ยนแปลงก็ให้กดคีย์รีเทิร์น (Return key) เลย จากนั้นเครื่องจะถามเวลา การโต้ตอบกับเครื่องก็จะทำคล้ายกับการถามวันที่เมื่อตอบเสร็จแล้วจะปรากฏข้อความบนจอ ดังนี้

```
Current date is Tue 1-01-1980
Enter new date (mm-dd-yy):
Current time is 00:00:08.35
Enter new time:

The IBM Personal Computer DOS
Version 3.10 (C) Copyright International Business Machines Corp 1981,1985
             (C) Copyright Microsoft Corp 1981,1985

A>_
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องหมาย A> เป็นสัญลักษณ์ของ MS-DOS (หรือ PC-DOS) แสดงถึงการพร้อมที่จะรับคำสั่งของ DOS หรือ run โปรแกรม เมื่อถึงขั้นนี้ ถ้าหากจอมอนิเตอร์ที่ใช้เป็นจอลี เราก็สามารถที่จะ run โปรแกรม ACD ได้เลย แต่ถ้าหากจอที่ใช้เป็นจอโมโนโครมจะต้องเรียกโปรแกรมช่วยดังนี้

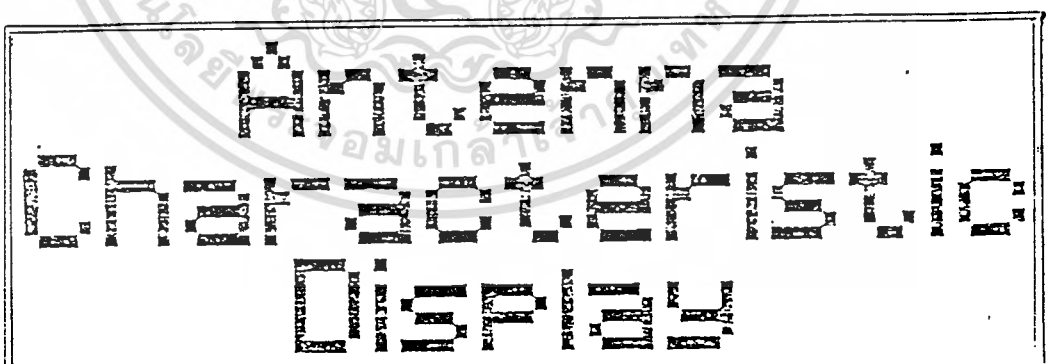
```
A> CGA      [RETURN]
A> COLOUR   [RETURN]
```

หลักจากเรียก 2 โปรแกรมนี้แล้ว ที่จอภาพจะมีการกระพริบและเครื่องหมาย A> จะไปปรากฏที่ส่วนบนของจอ และเครื่องพร้อมที่จะ run โปรแกรมที่เกี่ยวกับกราฟฟิกได้

การเข้าสู่ ACD สามารถทำได้โดยการพิมพ์คำสั่งข้างล่าง พร้อมกับกดคีย์รีเทิร์น

```
A> ACD  [RETURN]
```

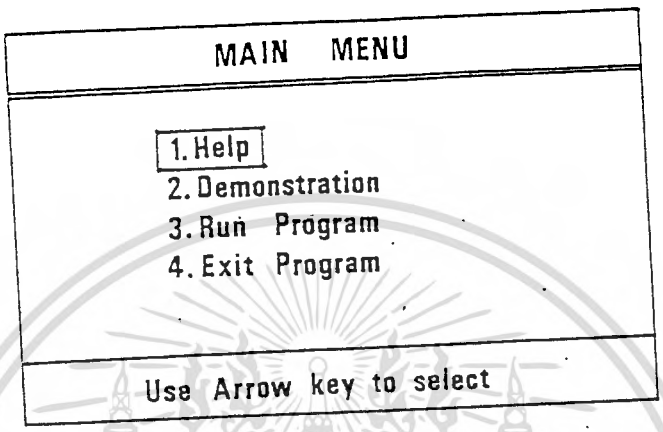
จากนั้นเครื่องจะเรียกโปรแกรมเข้าสู่หน่วยความจำสักครู่ที่จอภาพจะปรากฏหัวเรื่อง (Title) ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงหัวเรื่องของโปรแกรม ACD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อหัวเรื่องปรากฏแล้ว ถ้าหากต้องการเข้าสู่โปรแกรมก็สามารถทำได้โดยการกดคีย์ใดคีย์หนึ่ง หลังจากกดคีย์ดังกล่าวที่จอภาพจะปรากฏเมนูหลัก (Main menu) ดังรูปที่ 3.5

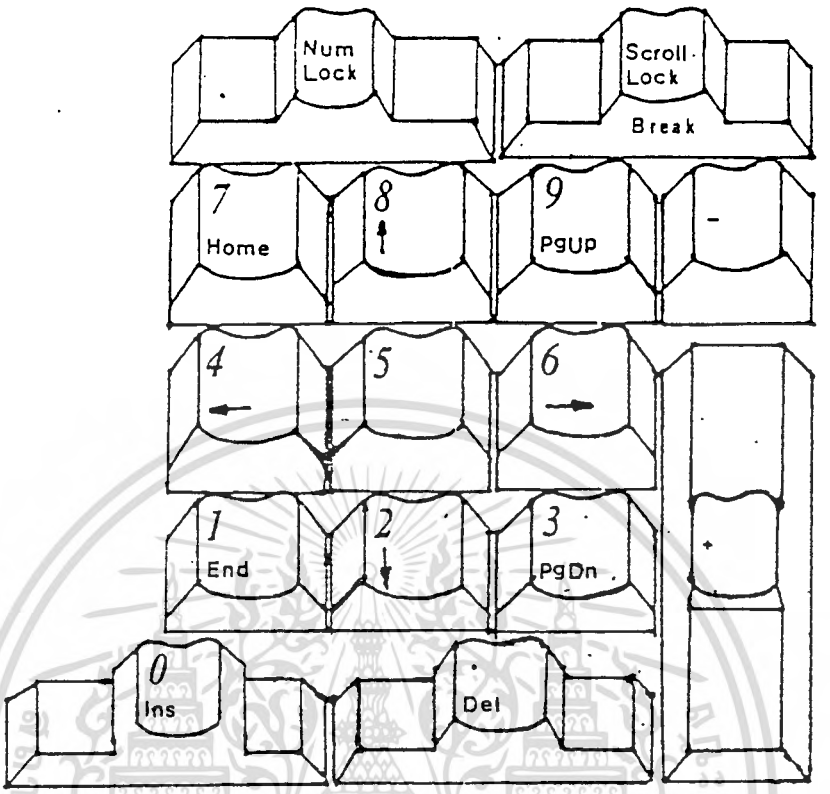


รูปที่ 3.5 แสดงเมนูหลักของ ACD

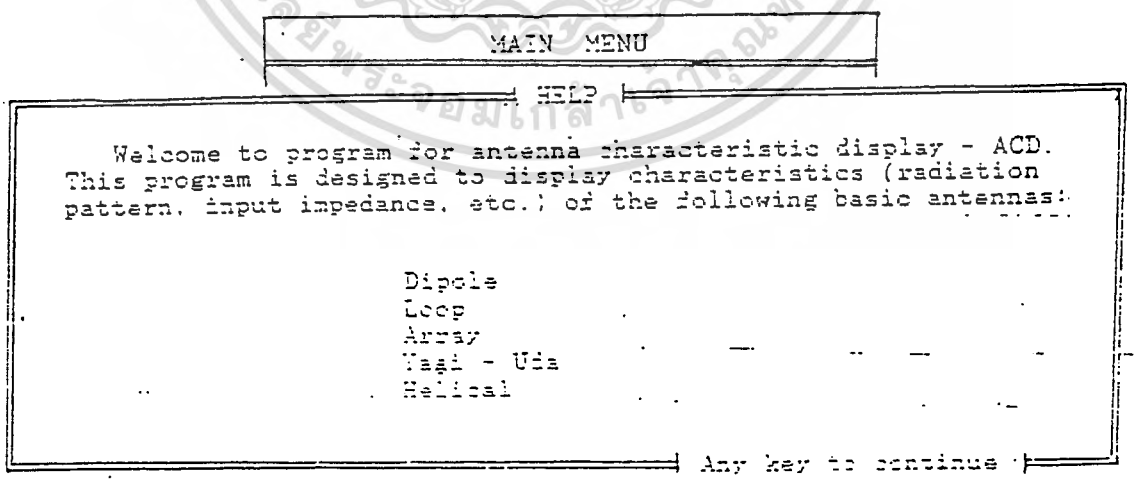
จากเมนูที่ปรากฏบนหน้าจอ เราสามารถเลือกให้โปรแกรมทำคำสั่งได้ 4 คำสั่ง คือ Help, Demonstration, Run Program และ Exit program การเลือกคำสั่งสามารถทำได้โดยใช้คีย์ลูกศรบนแป้นพิมพ์ (รูปที่ 3.6) เลื่อน Menu pointer ไปตรงกับคำสั่งที่ต้องการ จากนั้นกดคีย์รีเทิร์น เครื่องจะรับรู้ว่าเราต้องการใช้คำสั่งใด ลักษณะเช่นนี้คือลักษณะของเมนูดริฟเวน การเลือกคำสั่งอีกวิธีหนึ่งทำได้โดยการพิมพ์ตัวเลขหน้าคำสั่ง หรือพิมพ์ตัวอักษรแรกสุดของตัวคำสั่ง ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการเลือกใช้คำสั่ง Run program นอกจากจะใช้เมนูดริฟเวนดังที่ได้กว่าวมาแล้ว เราสามารถทำได้โดยกดเลข '3' หรือตัว 'R' ก็จะได้คำสั่ง Run program ตามต้องการ คำสั่งในเมนูหลัก แต่ละคำสั่งมีความหมายดังนี้

(ก) คำสั่ง Help เป็นคำสั่งให้แสดงข้อความในโปรแกรม ACD เราสามารถหาคุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศชนิดใดได้บ้าง และแต่ละชนิดจะมีการวางตัวในทิศทางใด แสดงกระสวนการแผ่คลื่นในระนาบ (Plane) ใด การแสดงข้อความจะแสดงให้ดูทีละจอ (Screen) ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.7 ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงแป้นพิมพ์ส่วนที่เป็นคีย์ลูกศร



รูปที่ 3.7 แสดงภาพบนจอขณะแสดง Help

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

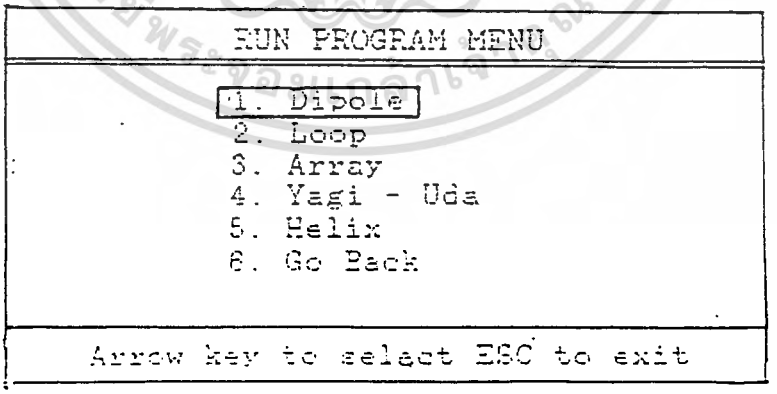
หากต้องการดู Screen ต่อไปก็สามารถทำได้โดยการกดคีย์ใดคีย์หนึ่ง แต่ถ้าต้องการกลับไปที่เมนูหลักก็ให้กดคีย์ Esc (Escape key)

(ข) คำสั่ง Demonstration เป็นคำสั่งสั่งให้ ACD run โปรแกรมโดยอัตโนมัติเพื่อสาธิตให้ผู้ใช้ทราบว่าสามารถที่จะเลือกคำสั่งอย่างไร และตัวโปรแกรมสามารถที่จะทำอะไรได้บ้างอย่างคร่าว ๆ เมื่อเครื่อง run ครบตาม ที่ได้โปรแกรมไว้แล้วก็จะกลับสู่เมนูหลัก และขณะโปรแกรมที่กำลัง run ส่วน Demonstrate ถ้าผู้ใช้ต้องการให้กลับเมนูหลักทันทีก็สามารถทำได้โดยกดคีย์ Esc

(ค) คำสั่ง Run program เป็นคำสั่งเริ่มต้นเข้าสู่การคำนวณ รายละเอียดของส่วนนี้จะได้กล่าวถึงต่อไป

(ง) คำสั่ง Exit program เป็นคำสั่งเลิกงาน เมื่อสั่งคำสั่งนี้แล้ว เครื่องก็จะกลับเข้าสู่ระบบจัดการและปรากฏสัญลักษณ์ A>

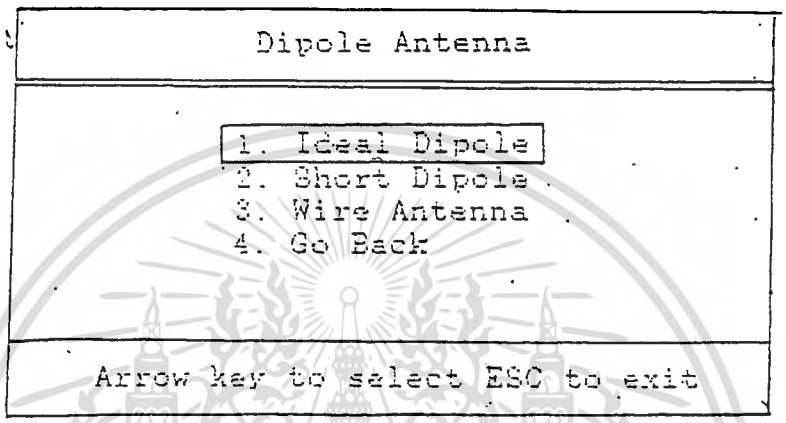
เมื่อเข้าสู่คำสั่ง Run program เมนูบนจอจะเปลี่ยนเป็นดังในรูปที่ 3.8 ซึ่งในเมนู Run program จะมีคำสั่งให้เลือกอยู่ 6 คำสั่ง การเลือกคำสั่งแต่ละคำสั่งจะกระทำเหมือนกับการเลือกในเมนูหลัก กล่าวคือสามารถเลือกคำสั่งทั้งในแบบเมนูดริฟเวนและวิธีพิมพ์ตัวอักษร คำสั่งทั้ง 6 ที่ปรากฏในเมนู Run program มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.8 แสดงส่วนเมนูของคำสั่ง Run program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

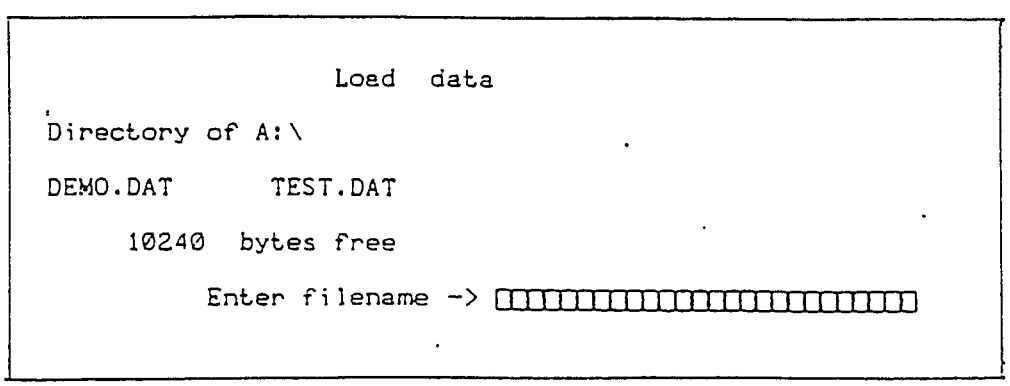
(ก) คำสั่ง Dipole เมื่อเลือกคำสั่งนี้โปรแกรมจะทำการคำนวณเกี่ยวกับสายอากาศไดโพลซึ่งมีอยู่ 3 ชนิดคือ ไดโพลอุดมคติ(Ideal Dipole) ไดโพลสั้น(Short dipole) และไดโพลลวดตัวนำยาว(Long-wire diploe) ชนิดของสายอากาศที่จะคำนวณสามารถเลือกจากเมนู (รูปที่ 3.9)



รูปที่ 3.9 แสดงส่วนเมนูของคำสั่ง Dipole

ในเมนู Dipole มีคำสั่งให้เลือกชนิดของไดโพลที่คำนวณ 3 ชนิด โดยแต่ละคำสั่งมีการทำงานดังนี้

คำสั่ง Ideal dipole เมื่อเข้าสู่คำสั่งนี้เครื่องจะถามว่าต้องการคำนวณ (Calculate) หรือเรียกข้อมูล (Load data) เข้ามาจากแผ่น การเลือกคำสั่งจะกระทำโดยใช้เมนูดรีฟเวน ถ้าหากเลือกคำสั่ง Load data จะปรากฏข้อความข้างล่างนี้บนจอภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมจะทำการพิมพ์รายชื่อแฟ้มข้อมูลที่เคยเก็บข้อมูลจากการคำนวณครั้งก่อนซึ่งแฟ้มข้อมูลเหล่านี้มีชื่อส่วนขยายเป็น .DAT และเครื่องจะให้ผู้ใช้ป้อนชื่อแฟ้มข้อมูลที่ต้องการเรียกออกมา การโต้ตอบกับเครื่องก็ให้ใส่ชื่อแฟ้มข้อมูลโดยไม่ต้องเติมส่วนขยาย เครื่องจะทำการเติมให้เองโดยอัตโนมัติ ยกตัวอย่างเช่น ต้องการเรียกข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลชื่อ DEMO.DAT การป้อนชื่อก็เพียงแต่พิมพ์คำว่า DEMO เครื่องจะรับทราบโดยอัตโนมัติว่าต้องการแฟ้มข้อมูลชื่อ DEMO.DAT หลังจากที่ป้อนชื่อแฟ้มแล้ว เครื่องจะทำการเรียกข้อมูลลักครู่เมื่อเสร็จแล้วโปรแกรมจะข้ามขั้นตอนเข้าสู่การแสดงผล

ถ้าเลือกคำสั่ง Calculate เครื่องจะทำการคำนวณกระสวนการแผ่คลื่นทั้งใน E-plane และ H-plane เมื่อคำนวณเสร็จแล้วที่จอจะปรากฏข้อความ

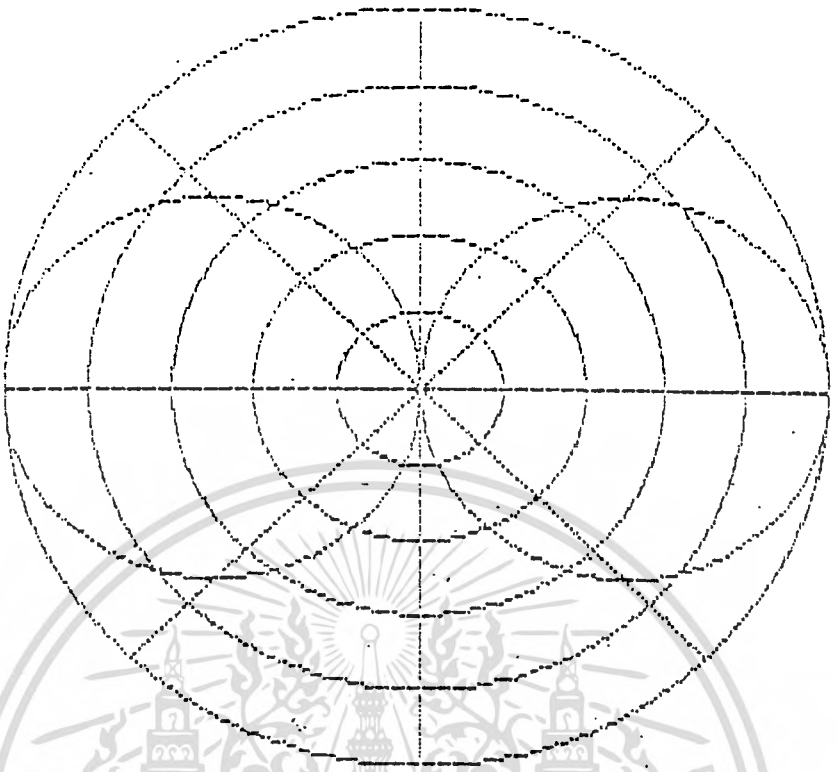
```
Calculate...
    E-plane     Ok.
    H-plane     Ok.
```

และส่วนล่างของจอจะแสดงเมนูให้เลือกคำสั่ง 3 คำสั่ง คือ see pattern, Save data และ Go back การเลือกคำสั่งสามารถกระทำได้โดยลักษณะของเมนูดริฟเวน คำสั่ง See pattern เป็นคำสั่งให้แสดงกระสวนการแผ่คลื่นซึ่งสามารถเลือกได้ว่าจะให้พลอตใน E-plane หรือ H-plane ตัวอย่างของกระสวนการแผ่คลื่นที่พลอตได้จะเป็นดังรูปที่ 3.10

คำสั่ง Save data เป็นคำสั่งให้เครื่องเก็บข้อมูลที่คำนวณได้ลงบนแผ่นดิสเก็ตต์ เมื่อเลือกคำสั่งนี้จะปรากฏข้อความบนจอเป็น

```
          Save  data
Directory of A:\
DEMO.DAT      TEST.DAT
     10240  bytes free
          Enter filename -> ____________________
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงกระสวนการแผ่คลื่น (E-plane) ของไดโพลอุดมคติ โดยพลอตจาก ACD

การป้อนชื่อแฟ้มข้อมูลจะกระทำลักษณะเดียวกันกับที่ได้กล่าวมาแล้ว ในการใช้คำสั่ง Load data และสำหรับคำสั่ง Go back เมื่อเลือกคำสั่งนี้โปรแกรมจะกลับเข้าสู่เมนู Dipole

คำสั่ง Short dipole เมื่อเข้าสู่คำสั่งนี้ จะมีขั้นตอนการทำงานส่วนใหญ่คล้ายกับในคำสั่ง Ideal dipole ส่วนที่แตกต่างกันคือ เมื่อเข้าสู่คำสั่ง Calculate ที่จอจะปรากฏข้อความเป็น

```
Length of antenna  (Δz)  = □□□□□□ Lambda
Working frequency        = □□□□□□ MHz
Size of conductor        = □□□□□□ Lambda
```

ผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูลขนาดของสายอากาศในหน่วยของความยาวคลื่น (Wave length) และความถี่การใช้งานในหน่วยเมกะเฮิรตซ์ (MHz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จแล้วเครื่องจะคำนวณกระสวนการแผ่คลื่นเฉพาะ E-plane และคำนวณค่าความต้านทานเกี่ยวข้องกับการแผ่คลื่น (Radiation resistance) กับ ความต้านทานที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียพลังงาน (Ohmic resistance) เมื่อคำนวณเสร็จแล้วที่จอจะปรากฏข้อความ

```
Calculate...
Pattern        Ok.

Radiation resistance = x.xxx Ω
Ohmic resistance     = xxxx.xxxx Ω
Input resistance     = xxxx.xxxx Ω
```

ขั้นตอนการทำงานอื่น ๆ ก็เหมือนกับที่ได้กล่าวไปแล้วในคำสั่ง Ideal dipole

คำสั่ง Wire antenna การทำงานจะคล้ายกับไดโพล 2 ชนิด ที่ได้กล่าวมาแล้วแต่สามารถหากระสวนการแผ่คลื่นของไดโพลที่มีความยาวมากขึ้นได้ นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณหาอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศได้ เมื่อเข้าสู่การคำนวณที่จอจะปรากฏข้อความ

```
Please enter antenna dimensions:
     Length of antenna = □□□□□□ Lambda
     Conductor size    = □□□□□□ Lambda
```

ผู้ที่ใช้จะต้องป้อนข้อมูลสำหรับขนาดของสายอากาศในหน่วยของความยาวคลื่น ขั้นตอนการคำนวณในคำสั่งนี้ค่อนข้างยุ่งยาก จึงต้องมีการรอผลบ้างเล็กน้อย และเมื่อคำนวณเสร็จแล้วที่จอจะปรากฏข้อความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Calculation..
Pattern              Ok.
Normalize            Ok.

Impedance:
  Resistance    =  xxx.xxx Ω
  Reactance     = ±xxx.xxx Ω
```

ขั้นตอนต่อไปก็คล้ายกับที่ได้กล่าวไปแล้วในคำสั่ง Ideal dipole

(ข) คำสั่ง Loop เมื่อเลือกคำสั่งนี้โปรแกรมจะเข้าสู่การคำนวณสายอากาศแบบบ่วง ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด คือ สายอากาศบ่วงขนาดเล็ก (Small loop antenna) และสายอากาศบ่วงแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square loop antenna) ที่จอภาพจะปรากฏเมนูคำสั่ง 3 คำสั่งคือ Small loop, Square loop และ Load data สำหรับสายอากาศชนิดนี้โปรแกรมจะแสดงกระสวนการแผ่คลื่นต่างกัน กล่าวคือ สำหรับสายอากาศบ่วงขนาดเล็ก จะมีแต่การแสดงเฉพาะ E-plane ส่วนสายอากาศบ่วงแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส โปรแกรมจะแสดงกระสวนการแผ่คลื่นใน 3 ระนาบ คือ xy-plane, xz-plane และ yz-plane การเก็บข้อมูลของสายอากาศบ่วงแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะแยกเก็บข้อมูล 1 ระนาบต่อ 1 แฟ้มข้อมูล

เมื่อคำสั่ง Load data ถูกเลือกจะปรากฏข้อความตามที่ได้กล่าวไปแล้วในคำสั่ง Ideal Dipole และเมื่อป้อนชื่อแฟ้มข้อมูลเพื่อเรียกข้อมูลเข้ามา ถ้าเป็นแฟ้มข้อมูลของสายอากาศบ่วงขนาดเล็ก โปรแกรมก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการแสดงผลเลย แต่ถ้าเป็นแฟ้มข้อมูลของสายอากาศบ่วงแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสแล้ว หลังจากเรียกข้อมูลเข้ามา ที่จอจะปรากฏข้อความ

```
Enter filename -> □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ (XZ-plane)
```

และ

```
Enter filename -> □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ (YZ-plane)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมจะให้ป้อนชื่อแฟ้มข้อมูลอีก 2 แฟ้ม เพื่อเรียกข้อมูลของ xzplane และ yzplane เมื่อเรียกข้อมูลหมดแล้ว โปรแกรมก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการแสดงผลแต่ถ้าหากป้อนชื่อแฟ้มข้อมูลไม่ใช่ของสายอากาศบ่วงแล้ว ที่จอภาพจะปรากฏข้อความ Error ! และโปรแกรมจะเลิกงานทันที

เมื่อเลือกคำสั่ง Small loop โปรแกรมจะทำการคำนวณหากระลวนการแผ่คลื่นของสายอากาศบ่วงเล็กที่จอภาพจะปรากฏข้อความ

```
      Small Loop
Calculate...
      E-plane     OK.
      H-plane     OK.
```

และที่ส่วนล่างของจอภาพจะปรากฏเมนูให้เลือกคำสั่ง 3 คำสั่ง คือ See pattern, Save date และ Go back ซึ่งขั้นตอนการทำงานเหมือนกับที่ได้กล่าวไปแล้วในคำสั่ง Ideal dipole

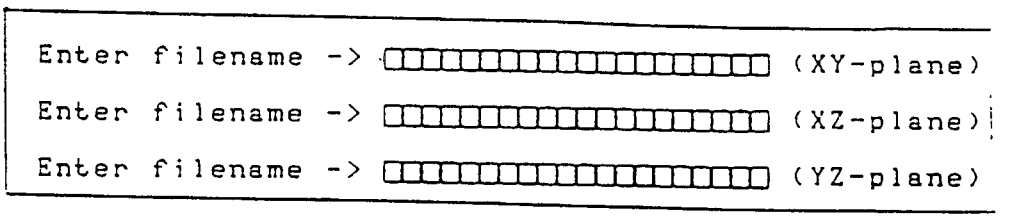
เมื่อเลือกคำสั่ง Square Loop โปรแกรมจะทำการคำนวณหากระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศบ่วงแบบลี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณทั้ง 3 ระนาบเมื่อคำนวณเสร็จแล้วที่จอภาพจะปรากฏข้อความ

```
      Square Loop
Calculate...
      X-Y plane      Ok.
      X-Z plane      Ok.
      Y-Z plane      Ok.
      Normalize      Ok.
```

และที่ส่วนล่างของจอภาพจะปรากฏเมนูคำสั่ง 3 คำสั่ง เหมือนกับที่ปรากฏในกรณีของ Small Loop เมื่อเลือกคำสั่ง See pattern โปรแกรมจะให้เลือกพลอตกระสวนได้ทั้ง 3 ระนาบ กรณีที่เลือกคำสั่ง Save data จะปรากฏข้อความเหมือนกับที่ได้กล่าวมาแล้วในคำสั่ง Ideal dipole แต่การป้อนชื่อแฟ้มข้อ

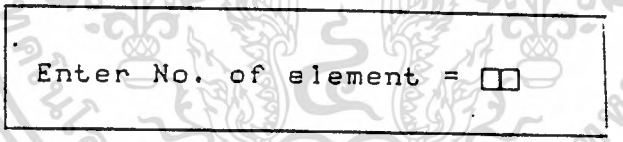
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูลจะปรากฏข้อความ



ผู้ใช้จะต้องป้อนชื่อแฟ้มข้อมูลสำหรับ xy-plane, xz-plane และ yz-plane ตามลำดับ ทั้งนี้ชื่อแฟ้มข้อมูลจะต้องไม่ซ้ำกัน

(ค) คำสั่ง Array เป็นคำสั่งสำหรับการคำนวณเกี่ยวกับสายอากาศชุด(Array antenna) เมื่อเข้าสู่คำสั่งนี้ที่ส่วนล่างของจอภาพจะปรากฏเมนูให้เลือกคำสั่ง 2 คำสั่ง คือ Calculate กับ Load data ถ้าเลือกคำสั่ง Load data ที่จอภาพจะปรากฏข้อความเหมือนกับที่ได้กล่าวไปแล้วในคำสั่ง Ideal dipole ผู้ใช้จะต้องป้อนชื่อแฟ้มข้อมูลที่ต้องการเรียกจากแผ่นเข้ามา และเมื่อเรียกข้อมูลเสร็จแล้ว โปรแกรมจะข้ามเข้าสู่ขั้นตอนการแสดงผลเลย กรณีที่เลือกคำสั่ง Calculate ที่จอจะปรากฏข้อความ



ผู้ใช้จะต้องป้อนจำนวนองค์ประกอบ (element) ของสายอากาศชุดเป็นเลขจำนวนเต็ม และโปรแกรมจะบังคับไม่ให้ป้อนข้อมูลเกิน 2 หลัก เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จแล้วที่จอจะปรากฏที่ข้อความ "Which is your choice ?" ตามด้วยเมนูคำสั่ง 3 คำสั่ง คือ Normal, Ordinary Endfire และ Handsen-Woodyard คำสั่งแต่ละคำสั่งมีความหมายดังนี้

คำสั่ง Normal เมื่อเลือกคำสั่งนี้โปรแกรมจะคำนวณหาคุณสมบัติของสายอากาศชุดโดยไม่มีเงื่อนไข กล่าวคือผู้ใช้สามารถที่จะป้อนข้อมูลสำหรับระยะห่าง (Spacing) และความแตกต่างเฟสได้ตามใจชอบ เมื่อเข้าสู่คำสั่งนี้บนจอปรากฏข้อความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Normal
Spacing = □□□□□□ Lambda
Phase   = □□□□□□
```

ผู้ใช้ต้องป้อนข้อมูลสำหรับระยะห่างในหน่วยความยาวคลื่น ส่วนข้อมูลความแตกต่างเฟสเมื่อป้อนเสร็จแล้วจะมีเมนูที่ส่วนล่างของจอภาพ ให้เลือกหน่วยของเฟสว่าเป็นองศาหรือเรดียน ไม่ว่าผู้ใช้เลือกแบบใดโปรแกรมจะทำการแปลงหน่วยเป็นองศาให้ จากนั้นเครื่องก็จะทำการคำนวณหาแอเรย์แฟกเตอร์ (Array factor)

คำสั่ง Ordinary endfire และคำสั่ง Handsen-Woodyard จะเกี่ยวข้องกับการคำนวณหาคุณสมบัติของสายอากาศชุด ตามเงื่อนไขของ Ordinary endfire array และ Handsen-Woodyard ตามลำดับ เมื่อเลือกคำสั่งใดใน 2 คำสั่งนี้จะปรากฏข้อความบนจอเป็น

```
Ordinary endfire
```

สำหรับ คำสั่ง Ordinary endfire หรือปรากฏข้อความ

```
Handsen-Woodyard
```

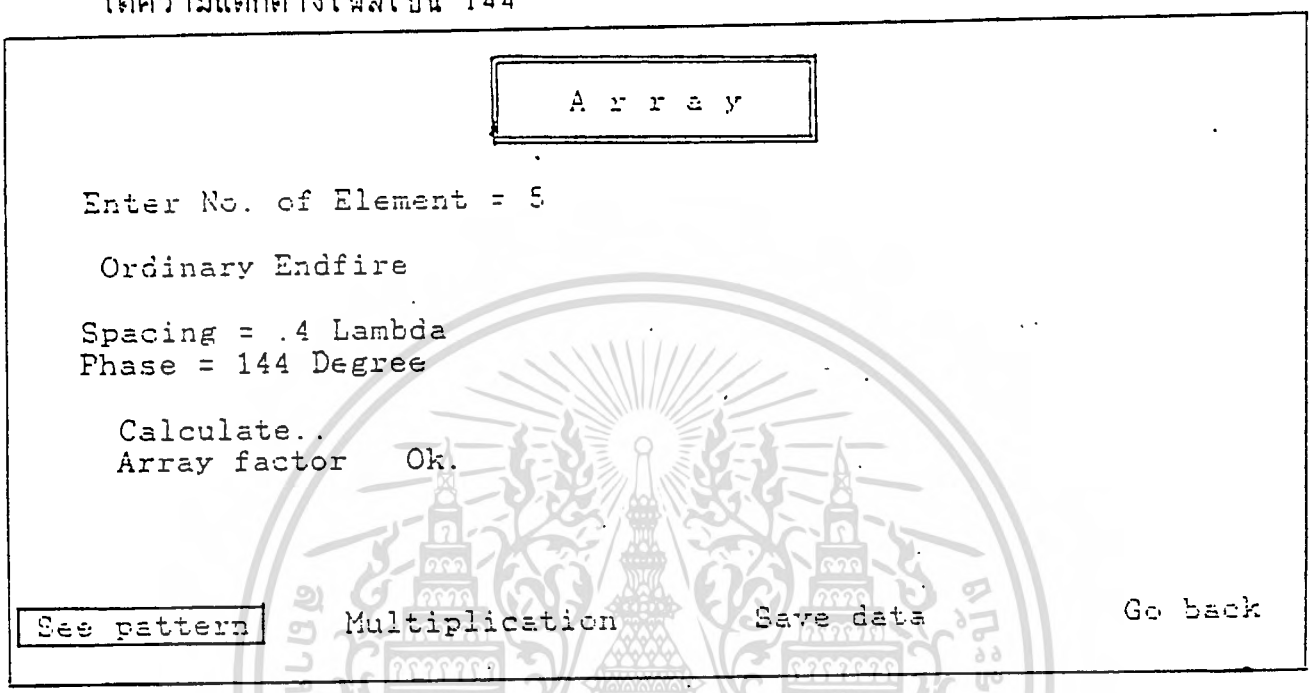
สำหรับ คำสั่ง Handsen-Woodyard ไม่ว่าจะเลือกคำสั่งจะปรากฏข้อความนี้อยู่ด้วย

```
Enter spacing of element (not more than x.xxx Lambda)
Spacing = □□□□□□ Lambda
```

ผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูลสำหรับระยะห่างขององค์ประกอบไม่เกินค่าที่กำหนดให้ (โดย x.xxx คือค่าที่กำหนดมาให้ซึ่งมีหน่วยเป็นความยาวคลื่น) ถ้าผู้ใช้ป้อนข้อมูลเกินช่วงที่กำหนด เครื่องก็จะให้ป้อนข้อมูลใหม่และเมื่อป้อนข้อมูลเสร็จแล้วเครื่องจะทำการคำนวณความแตกต่างเฟสให้เลยตามเงื่อนไข (2.29) หรือ (2.30) ที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 จากนั้นเครื่องจะทำการคำนวณแอเรย์แฟกเตอร์ เมื่อโปรแกรมคำนวณเสร็จแล้วที่จอภาพจะปรากฏข้อความดังรูปที่ 3.11 เป็นตัวอย่างของสายอากาศชุดเมื่อเลือกคำสั่ง Ordinary endfire

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอเรย์มีจำนวนองค์ประกอบเท่ากับ 5 ต้องมีระยะห่างไม่เกิน 0.45 λ ซึ่งในการคำนวณเราเลือกระยะห่างเป็น 0.4 λ และตามเงื่อนไข (2.30) จะได้ความแตกต่างเฟสเป็น 144°

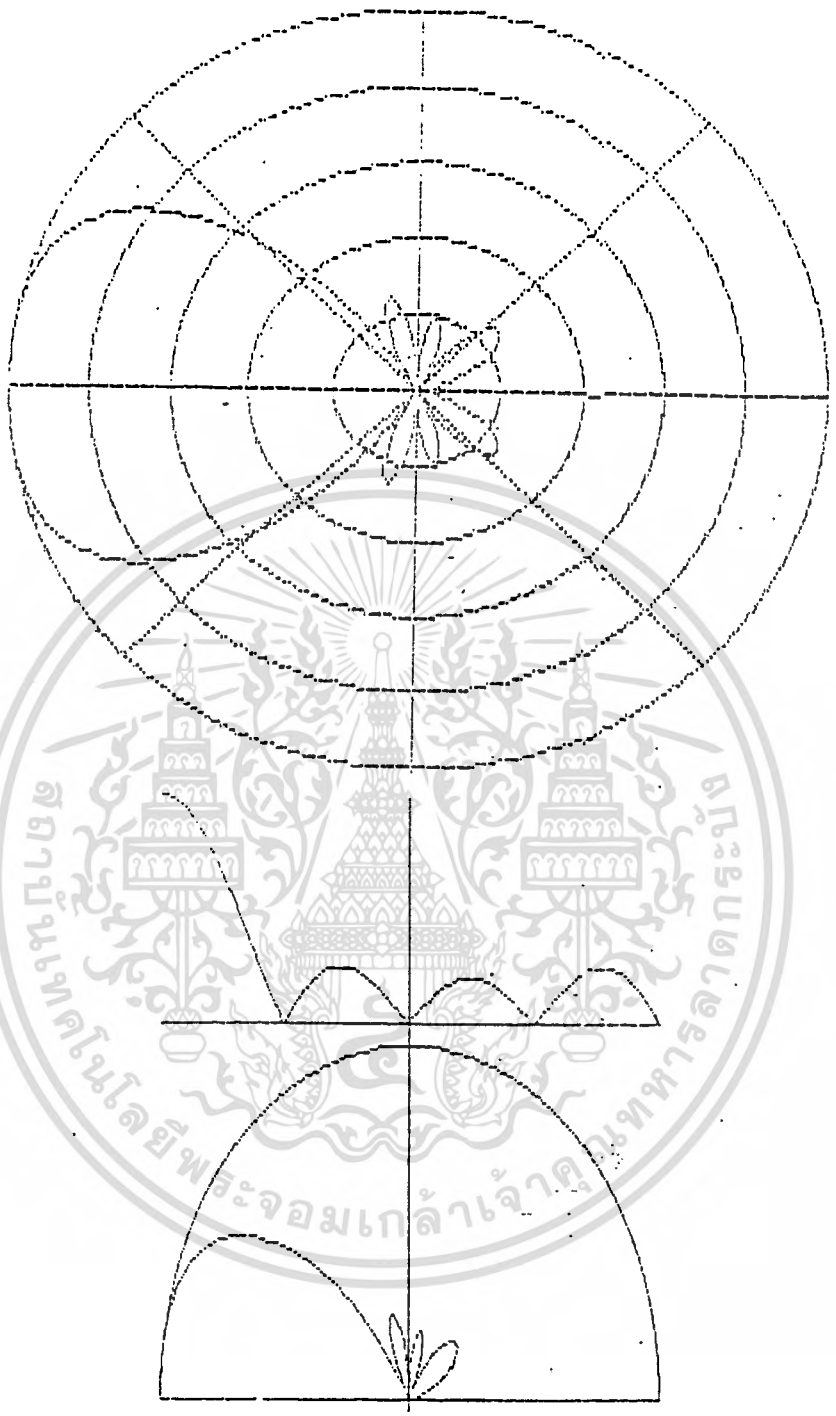


รูปที่ 3.11 แสดงภาพบนจอหลังจากเลือกคำสั่ง Array จำนวนองค์ประกอบ = 5 แอเรย์เป็นชนิด Ordinary endfire ซึ่งมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบเป็น 0.4 λ และความแตกต่างเฟสเป็น 144°

ที่ส่วงล่างของจอภาพจะปรากฏเมนูให้เลือกคำสั่ง 4 คำสั่ง คือ See pattern, Multiplication, Save data และ Go back สำหรับคำสั่ง Save -data และ Go back จะเหมือนกับที่กล่าวไปแล้วในคำสั่ง Ideal dipole ส่วนคำสั่งอื่นจะมีข้อแตกต่างและมีลักษณะดังนี้

คำสั่ง See pattern เมื่อเข้าสู่คำสั่งนี้โปรแกรมจะสามารถเลือกได้ว่าจะให้พลอตแอเรย์แฟกเตอร์แบบใด (โดยใช้เมนูดริฟเวน) จากคำสั่ง Only Array factor และ Psi fn. & Array factor ที่มีอยู่ โดยคำสั่ง Only Array factor จะพลอตเฉพาะแอเรย์แฟกเตอร์ (รูปที่ 3.12 ก.) และคำสั่ง Psi fn. & Array factor จะพลอตฟังก์ชัน f(ψ) และแอเรย์แฟกเตอร์ (รูปที่ 3.12 ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.12 แสดงแอเรย์แฟกเตอร์สำหรับเงื่อนไข Ordinary endfire array จำนวนองค์ประกอบเท่ากับ 5 ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ = 0.4 λ และความแตกต่างเฟส = 144°

(ก) พลอตเฉพาะแอเรย์แฟกเตอร์

(ข) พลอต $f(\psi)$ และแอเรยแฟกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่ง Multiplication เมื่อเข้าสู่คำสั่งนี้โปรแกรมจะนำเอาแอเรย์แฟกเตอร์ที่คำนวณได้ไปคูณกับ element pattern เมื่อคำสั่งนี้ถูกเลือกจะปรากฏข้อความบนจอเป็น

```
                Pattern Multiplication
Directory of A:\
DEMO.DAT   TEST.DAT
      10240  bytes free
           Enter filename -> □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
```

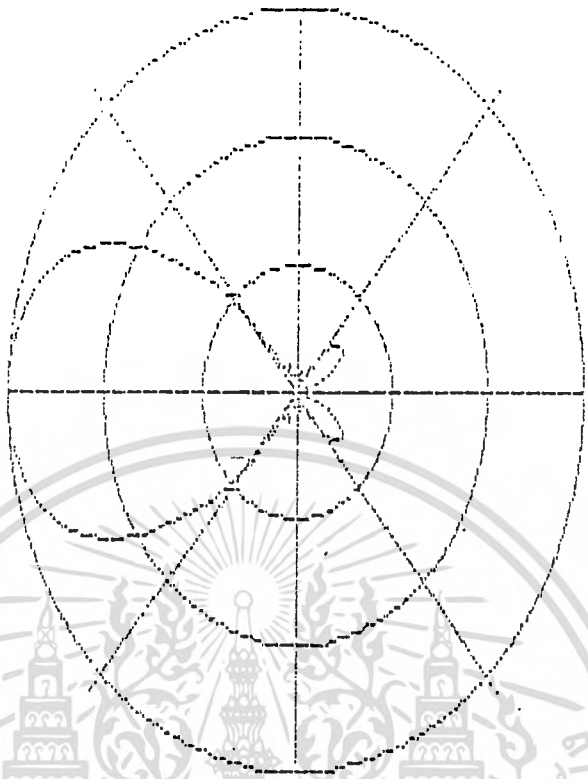
ผู้ใช้จะต้องป้อนชื่อแฟ้มข้อมูลที่เป็น element pattern ซึ่งเป็นข้อมูลจากการคำนวณหาคุณสมบัติของสายอากาศชนิดต่าง ๆ ที่เราเก็บไว้ก่อนหน้านี้นั่นเอง เมื่อเครื่องทำการเรียกข้อมูลเสร็จแล้วก็จะนำข้อมูลที่ได้ทำการคูณกระสวนกับแอเรย์แฟกเตอร์ เมื่อคูณเสร็จแล้วผลที่ได้จะถูกนอร์มอลไลซ์ (Normalized) แล้วที่จอจะปรากฏข้อความ

```
Load data          Ok.
Multiplication     Ok.
Normalize          Ok.

Any key to see Pattern
```

ถ้าต้องการดูกระสวนการแผ่คลื่นก็สามารถทำได้โดยการกดคีย์หนึ่ง ตัวอย่างของกระสวนการแผ่คลื่นที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศชุดของไดโพลครึ่งความยาวคลื่น จำนวน 5 ตัว แต่ละตัววางห่างกัน 0.5 λ และมีความแตกต่างแฟสที่ป้อนเป็น 144° (รูปที่ได้พลอตจาก ACD)

(ง) คำสั่ง Yagi-Uda เป็นคำสั่งสำหรับคำนวณหาคุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศยากิ (Yagi-Uda antenna) เมื่อเข้าสู่คำสั่งนี้ที่ส่วนล่างของจอภาพจะปรากฏเมนูให้เลือกคำสั่ง 2 คำสั่ง คือ Calculate กับ Load data คำสั่ง Load data ก็เหมือนกับที่ได้กล่าวไปแล้วในคำสั่ง Ideal dipole แต่ถ้าเลือก Calculate จะปรากฏข้อความบนจอเป็น

```
Number of element = □□
```

ผู้ใช้จะต้องป้อนจำนวนองค์ประกอบ (ทั้งหมด) ของสายอากาศยากิ เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าไม่น้อยกว่า 2 และไม่เกิน 20 เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จแล้วจะปรากฏข้อความที่จอเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Length of element  no.1  = □□□□□□ (Lambda)
```

และ

```
Diameter of element no.1 = □□□□□□ (Lambda)
```

ผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูลสำหรับความยาวและขนาดขององค์ประกอบที่ 1 ข้อมูลที่ป้อนจะมีหน่วยเป็นความยาวคลื่น เมื่อป้อนเสร็จแล้วก็จะขึ้นข้อความคล้ายเดิม แต่จะเป็นข้อความสำหรับองค์ประกอบที่ 2 การป้อนข้อมูลจะทำเช่นเดิมจนถึงองค์ประกอบสุดท้าย (จำนวนองค์ประกอบที่ป้อนเข้าไปครั้งแรก) เมื่อเสร็จแล้วบนจอจะปรากฏข้อความ

```
Element spacing, 1 & 2 = □□□□□□ (Lambda)
```

ผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูลสำหรับระยะห่างระหว่างองค์ประกอบที่ 1 และ 2 โดยข้อมูลที่ป้อนจะต้องมีหน่วยเป็นความยาวคลื่น การป้อนข้อมูลก็จะทำเหมือนเดิมจนถึงระยะห่างระหว่างองค์ประกอบก่อนลุดท้ายและสุดท้าย เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จแล้วโปรแกรมจะทำการคำนวณหา Self impedance, Mutual impedance และกระแสของแต่ละองค์ประกอบ เพื่อคำนวณหากระลวนการแผ่คลื่น และอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศ เมื่อคำนวณเสร็จแล้วจะปรากฏข้อความบนจอเป็น

```
Calculate..
     Self & Mutual Impedance      Ok.
     Current                      Ok.
     Pattern                      Ok.
Input impedance:
     Resistance = xxx.xxx   Ohm.
     Reactance  =±xxx.xxx   Ohm.
```

ซึ่ง xxx.xxx คือค่าความต้านทานและค่ารีแอกแตนซ์ ของอินพุตอิมพิแดนซ์ที่โปรแกรมคำนวณได้ และที่ส่วนล่างของจอภาพจะปรากฏเมนูให้เลือกคำสั่ง 3 คำสั่ง คือ See pattern, Save data และ Go back คำสั่ง See pattern สามารถที่เลือกพลอตกระสวนทั้งใน E-plane และ H-plane ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่ง Save data และ Go back จะเหมือนกับที่กล่าวไปแล้วในคำสั่ง Ideal dipole

(จ) คำสั่ง Helix จะเป็นการคำนวณเกี่ยวกับสายอากาศเกลียว (Helical antenna) เมื่อเลือกคำสั่งนี้จะปรากฏเมนูให้เลือกคำสั่ง 3 คำสั่ง คือ Normal mode, Axial mode และ Load data สำหรับคำสั่ง Load data จะเหมือนกับที่กล่าวในคำสั่ง Ideal dipole ส่วนอีก 2 คำสั่งที่เหลือมีความหมายดังนี้

คำสั่ง Normal mode จะเป็นคำสั่งคำนวณเกี่ยวกับสายอากาศเกลียวซึ่งทำงานในโมดตั้งฉาก (คลื่นแผ่ออกสูงสุดในทิศทางตั้งฉากกับตัวสายอากาศ) เมื่อเข้าสู่คำสั่งนี้ เครื่องจะทำการคำนวณกระสวนการแผ่คลื่น และเมื่อคำนวณเสร็จแล้ว บนจอจะปรากฏข้อความเป็น

```
Normal mode
      D   <<   Lambda
In the normal mode of operation the radiated field
is maximum in a direction normal to the helix axis.

      Calculate..
      Pattern          Ok.
```

ที่ส่วนล่างของจอภาพจะปรากฏเมนูให้เลือกคำสั่ง 3 คำสั่งคือ See pattern, Save data และ Go back เมื่อคำสั่ง See pattern ถูกเลือกผู้ใช้จะสามารถดูกระสวนการแผ่คลื่นได้ระนาบเดียวคือ xy-plane ส่วนคำสั่ง Save data และ Go back จะเหมือนกับที่กล่าวไปแล้วในคำสั่ง Ideal dipole

คำสั่ง Axial mode จะเป็นการคำนวณเกี่ยวกับสายอากาศเกลียวซึ่งมีการแผ่คลื่นสูงสุดในแนวเดียวกับสายอากาศ เมื่อเข้าสู่คำสั่งนี้จะปรากฏภาพบนจอเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Axial mode

      3                    4
      -  Lambda  <  C  <   -  Lambda
      4                    3

Circumference of helix (C) = □□□□□□ Lambda
```

ผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูลสำหรับความยาวรอบ (Circumference) ของสายอากาศเกลียว ซึ่งข้อมูลจะต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดให้ (3/4) λ ถึง (4/3) λ ถ้าหากข้อมูลไม่อยู่ในช่วงดังกล่าวเครื่องก็จะให้ป้อนข้อมูลใหม่ เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จแล้วจะปรากฏข้อความบนจอดังนี้

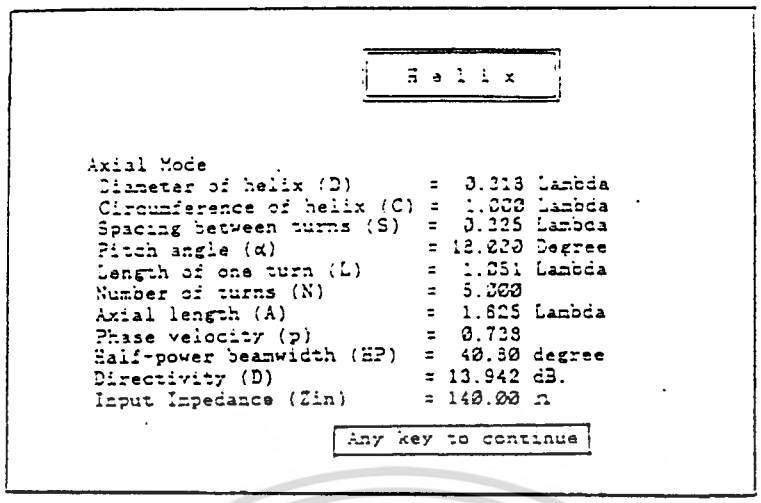
```
Pitch angle (α) = □□□□□□
```

ผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูลสำหรับมุมพิตช์ (Pitch angle) เมื่อป้อนเสร็จแล้วจะปรากฏเมนูให้เลือกหน่วยของมุมว่าเป็นองศา หรือเรเดียน ซึ่งไม่ว่าจะป้อนข้อมูลในหน่วยใด โปรแกรมจะทำการแปลงให้มาอยู่ในหน่วยองศา เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จบนจอจะขึ้นข้อความ

```
Number of turn (N) = □□
```

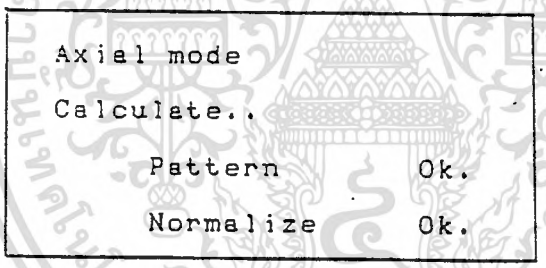
ผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูลสำหรับจำนวนรอบของสายอากาศเกลียว และเมื่อป้อนข้อมูลเสร็จแล้ว ที่จอภาพจะแสดงขนาดของสายอากาศ ความเร็วเฟส (phase velocity) ความกว้างลำคลื่นกำลัง (Half-power beam width) ไดเร็กทิฟวิตี (Directivity) และอินพุตอิมพิแดนซ์ (รูปที่ 3.14).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศเกลียวที่คำนวณได้จาก ACD

เมื่อได้ค่าต่าง ๆ แล้ว ผู้ใช้จะต้องกดคีย์ใดคีย์หนึ่ง เพื่อคำนวณกระสวนการแผ่คลื่นเมื่อคำนวณเสร็จแล้วจะปรากฏข้อความบนจอดังนี้



ที่ส่วนล่างของจอจะปรากฏเมนูให้เลือกคำสั่ง 3 คำสั่ง See pattern, Save data และ Go back ซึ่งทุกคำสั่งจะเหมือนกับที่กล่าวไปแล้วใน กรณีของ Normal mode

3.4 ผลการทดลองโปรแกรม

ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่แล้วว่าโปรแกรม ACD สามารถคำนวณหาคุณลมบัติพื้นฐานของสายอากาศมูลฐาน 5 ชนิด ในหัวข้อนี้เราจะนำผลจากการคำนวณโดยใช้ ACD ไปเปรียบเทียบกับทฤษฎีที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2 ผลจากการคำนวณด้วย ACD ของสายอากาศแต่ละชนิดเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) สายอากาศไดโพล ในสายอากาศชนิดนี้ ACD จะแบ่งการคำนวณออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้ คือ

1. สายอากาศไดโพลอุดมคติ ACD จะทำการคำนวณกระสวนการแผ่คลื่นทั้ง E-plane และ H-plane รูปพลอตของผลการคำนวณจะเป็นดังรูปที่ 3.15

2. สายอากาศไดโพลสั้น ACD จะทำการคำนวณหาค่าความต้านทานของสายอากาศ 3 ค่า คือ ความต้านทานเกี่ยวข้องกับการแผ่คลื่น (Radiation resistance), ความต้านทานเกี่ยวข้องกับการสูญเสีย (Ohmic resistance) และอินพุตอิมพิแดนซ์

ถ้าให้สายอากาศมีความยาว0.0033 λมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.00000135 λ และทำงานที่ความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ จาก [2] จะได้ค่า

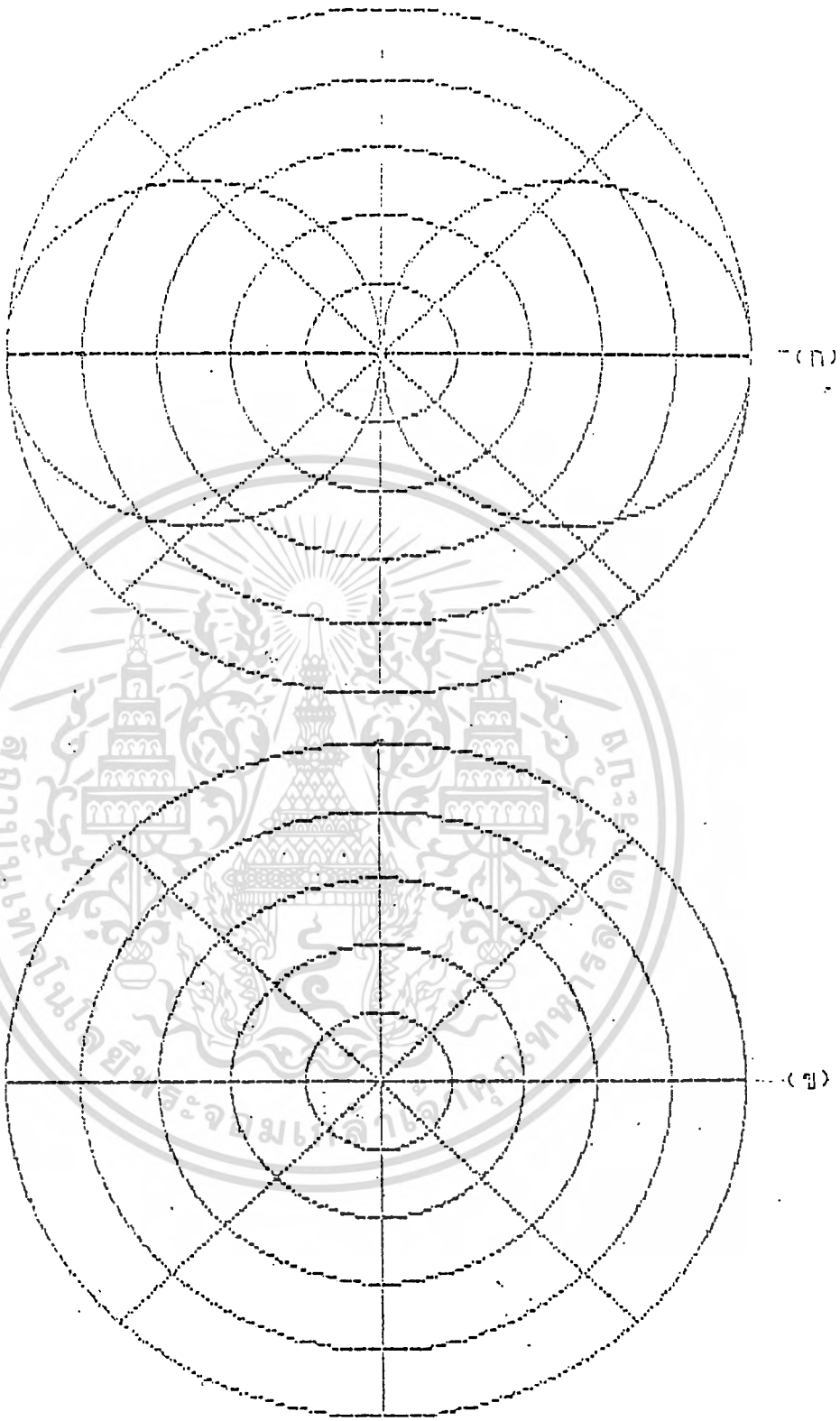
ความต้านทานเกี่ยวข้องกับการแผ่คลื่น = 0.0022 Ω
ความต้านทานเกี่ยวข้องกับการสูญเสีย = 0.0344 Ω
อินพุตรีซิสแตนซ์ = 0.0366 Ω

และจากการคำนวณโดย ACD จะได้

ความต้านทานเกี่ยวข้องกับการแผ่คลื่น = 0.0022 Ω
ความต้านทานเกี่ยวข้องกับการสูญเสีย = 0.0344 Ω
อินพุตรีซิสแตนซ์ = 0.0366 Ω

สำหรับกระสวนการแผ่คลื่น ของสายอากาศชนิดนี้ ACD จะทำการคำนวณเฉพาะ E-plane ซึ่งจะได้ผลดังรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

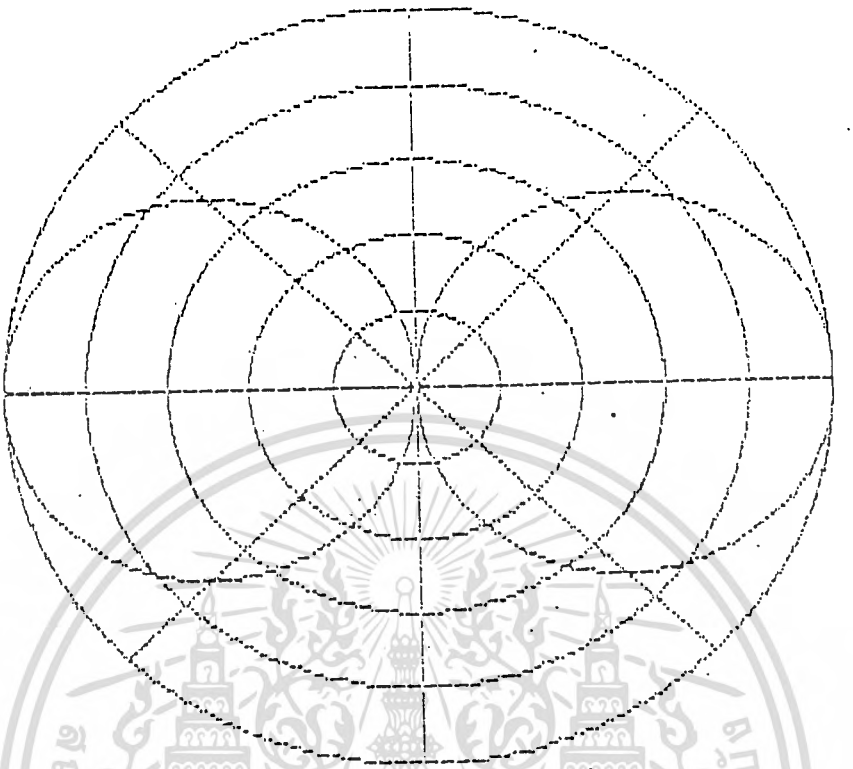


รูปที่ 3.15 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของไดโพลอุดมคติที่ได้จาก ACD

(ก) E-plane

(ข) H-plane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงกระสวนการแผ่คลื่น (E-plane) ของไดโพลลั้น ที่พลอตจาก ACD

3. สายอากาศไดโพลลวดตัวนำยาว ACD จะทำการคำนวณหาค่าอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศ (ทั้งความต้านทานและรีแอกแตนซ์) ถ้าให้สายอากาศมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.001 λ มีความยาว 0.5 λ, 1 λ และ 1.5 λ ตามลำดับ จาก [7] จะได้ว่า

ที่	L = 0.5 λ	ความต้านทาน	= 29.6	Ω
		รีแอกแตนซ์	= +j45.2	Ω
	L = 1 λ	ความต้านทาน	= 39.3	Ω
		รีแอกแตนซ์	= +j19.6	Ω
	L = 1.5 λ	ความต้านทาน	= 42.7	Ω
		รีแอกแตนซ์	= +j13.2	Ω

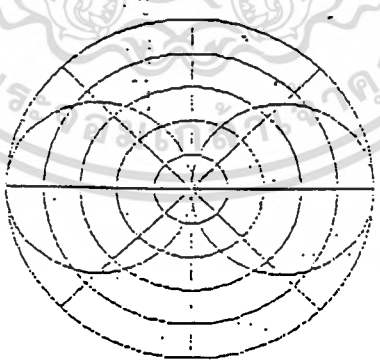
และจากการคำนวณโดย ACD จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ L = 0.5 λ	ความต้านทาน	=	27.5	Ω
	รีแอกแตนซ์	=	+j48.4	Ω
L = 1 λ	ความต้านทาน	=	37.6	Ω
	รีแอกแตนซ์	=	+j27.4	Ω
L = 1.5 λ	ความต้านทาน	=	38.8	Ω
	รีแอกเตนซ์	=	+j12.8	Ω

จะเห็นได้ว่าผลคำนวณ ผิดพลาดไปจากกราฟอินพุตอิมพิแดนซ์ใน [7]บ้าง ที่เป็นเช่นนี้เพราะการคำนวณอินพุตอิมพิแดนซ์ใช้ Zeroth - order approximation ซึ่งให้ค่าประมาณอย่างหยาบ ๆ อีกประการหนึ่งการคำนวณในคอมพิวเตอร์มีการตัดค่า(Round off)และรูทีนการอินทิเกรต(Integrating routine) ใช้วิธีประมาณค่า ดังนั้นค่าที่คำนวณได้จะมีการผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็น ผลจากการคำนวณหาอินพุตอิมพิแดนซ์โดยใช้ ACD และข้อมูลอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลใน [7] ได้นำมาพลอตเปรียบเทียบกันในรูปของกราฟเทียบกับความยาว kl ในภาคผนวก ก.

ในการคำนวณหากระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศชนิดนี้ โปรแกรมจะทำการคำนวณเฉพาะ E-plane ซึ่งผลที่ได้จาก ACD จะเป็นดังรูปที่ 3.17



(ก)

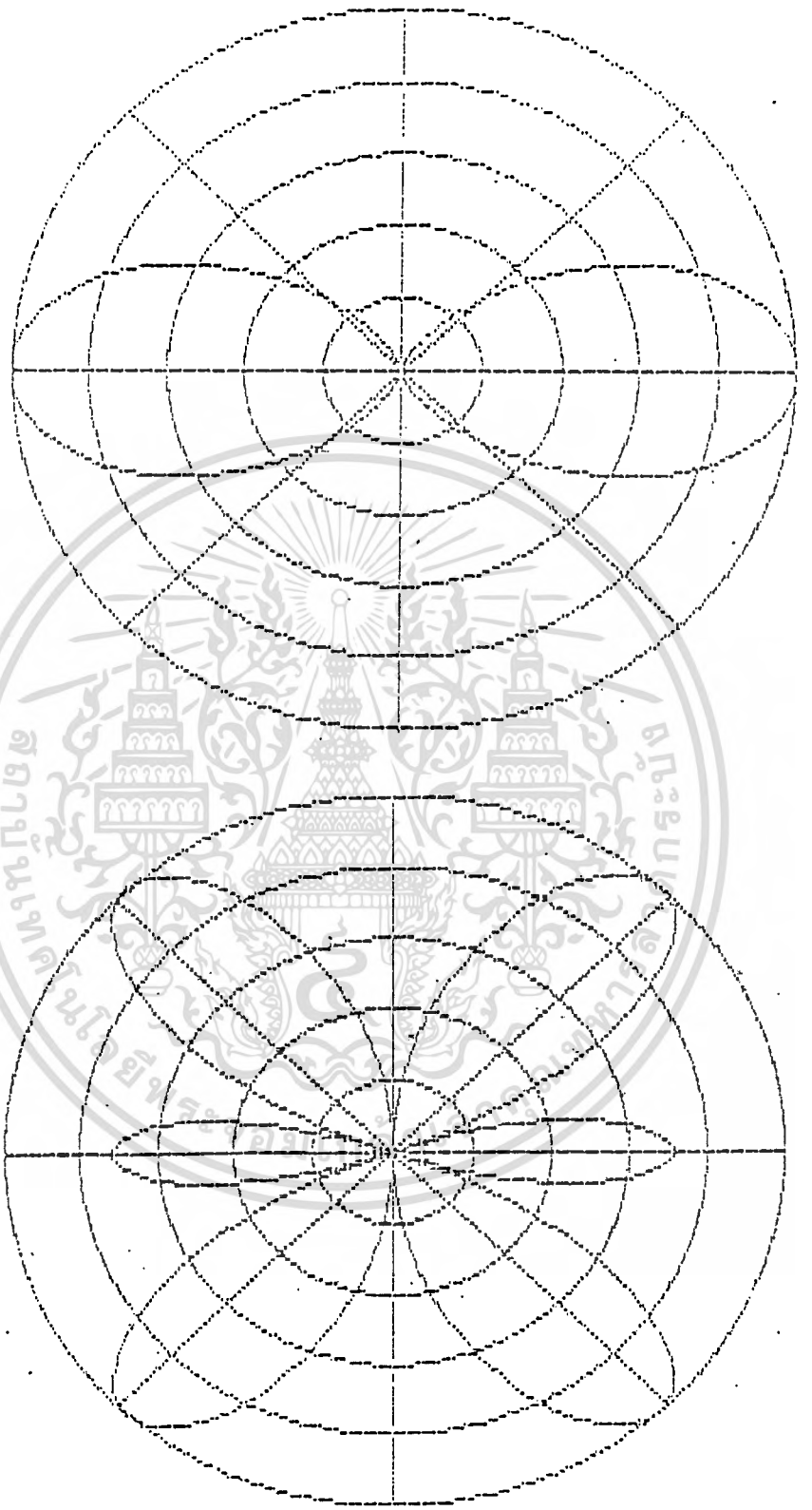
รูปที่ 3.17 แสดงกระสวนการแผ่คลื่น (E-plane) ของสายอากาศไดโพลลวดตัวนำยาวที่พลอตจาก ACD

(ก) ที่ L = 0.5 λ

(ข) ที่ L = 1 λ

(ค) ที่ L = 1.5 λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

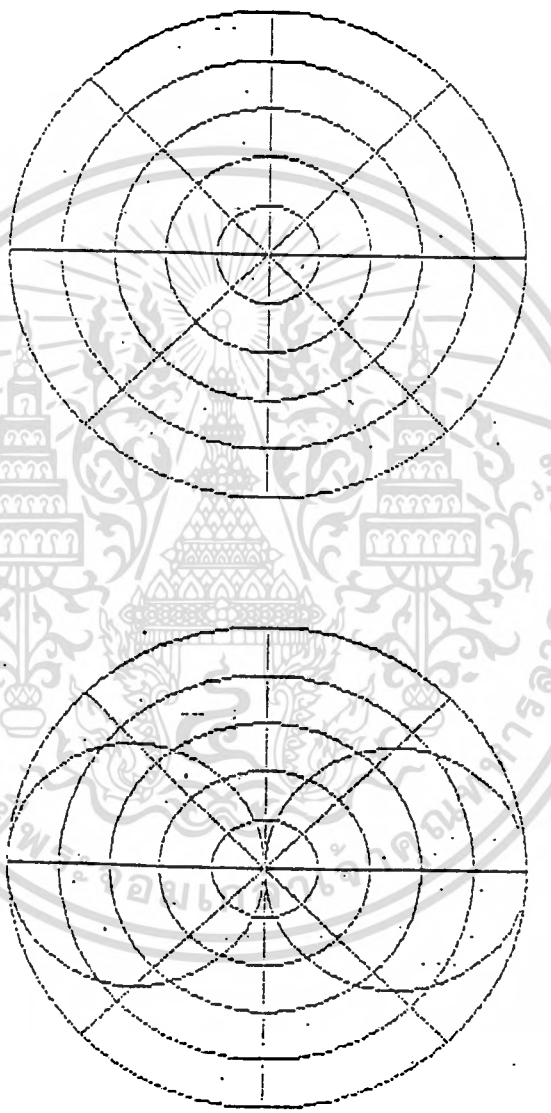


รูปที่ 3.17 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) สายอากาศบ่วง ในสายอากาศชนิดนี้ ACD จะแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ชนิด คือ

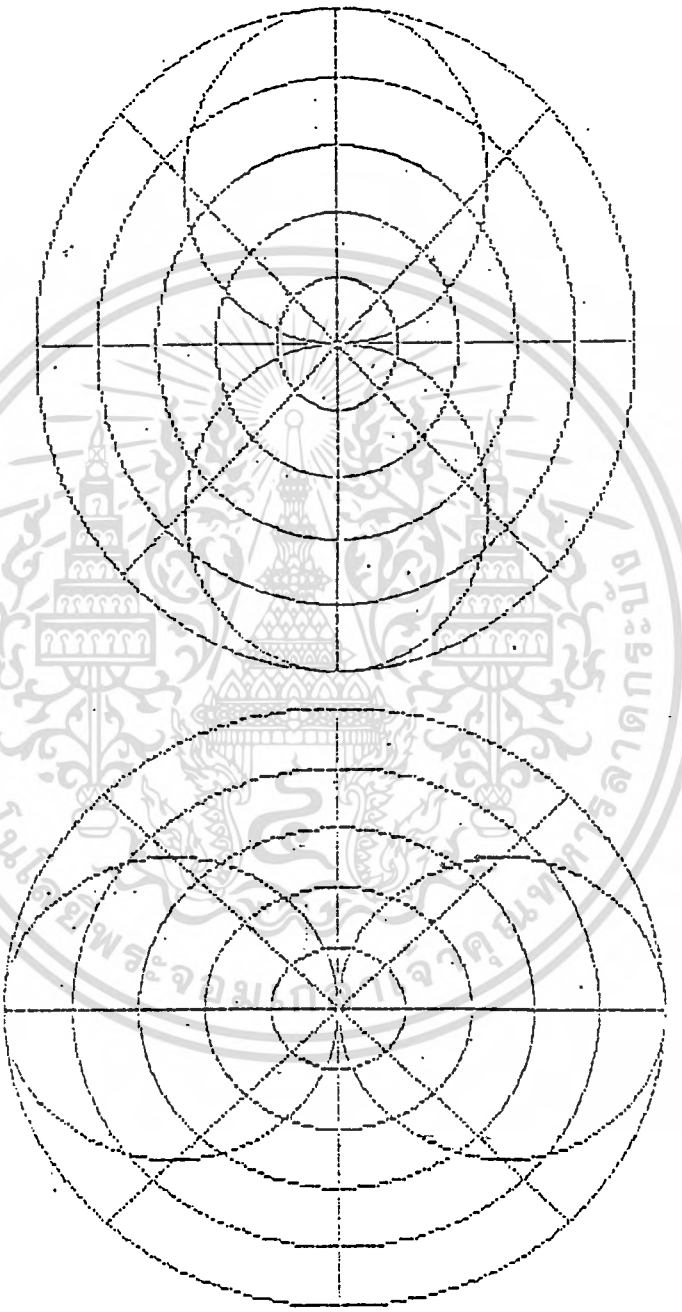
1. สายอากาศบ่วงเล็ก ACD จะคำนวณกระสวนการแผ่คลื่นทั้ง E-plane และ H-plane กระสวนการแผ่คลื่นที่พลอตได้จะเป็นดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงการะสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็กที่พลอตโดยใช้ ACD
(ก) E-plane (ข) H-plane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

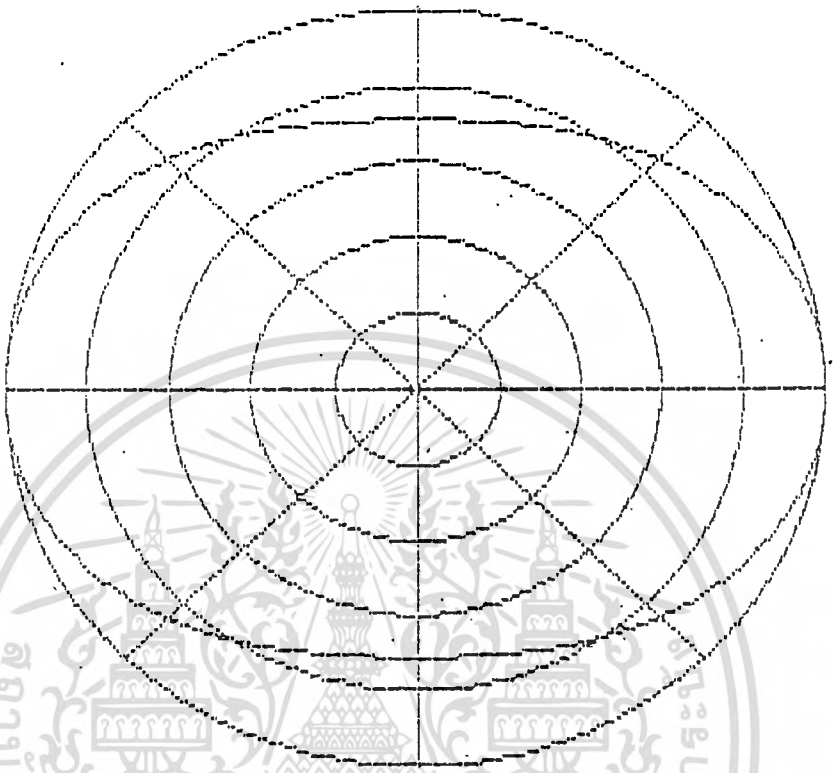
2. สายอากาศบ่วงแบบลี่เหลี่ยม ACD จะทำการคำนวณกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศชนิดนี้ทั้ง 3 ระนาบ คือ xy-plane, xz-plane และ YZ-plane กระสวนการแผ่คลื่นที่พลอตได้จะเป็นดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศบ่วงแบบลี่เหลี่ยมที่ได้จาก ACD

(ก) xy-plane (ข) xz-plane (ค) yz-plane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

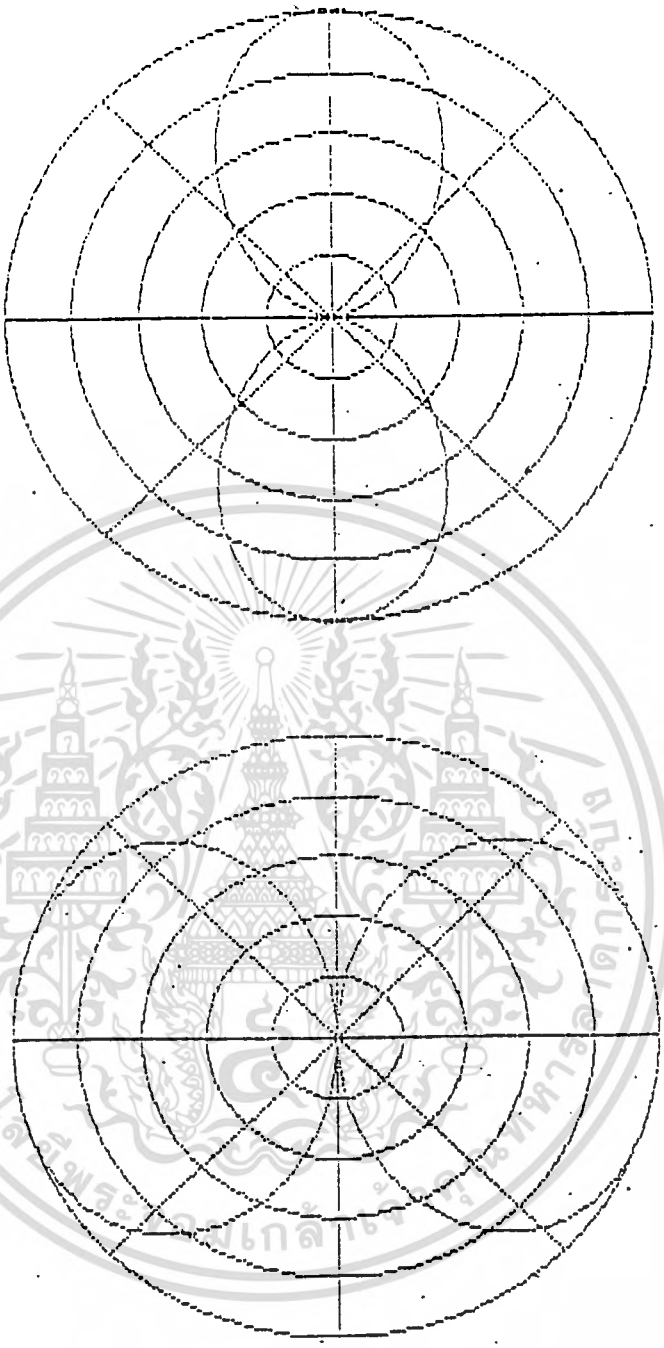


(ค)

รูปที่ 3.19 (ต่อ)

(ค) สายอากาศชุด ในสายอากาศชนิดนี้ ACD จะทำการคำนวณตามเงื่อนไขหนึ่งในสามที่ถูกเลือกเพื่อที่จะหาแอเรย์แฟคเตอร์ ของสายอากาศออกมา ตัวอย่างของแอเรย์แฟคเตอร์ จากการคำนวณในแต่ละเงื่อนไข จะเป็นดังรูปที่ 3.20 และ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

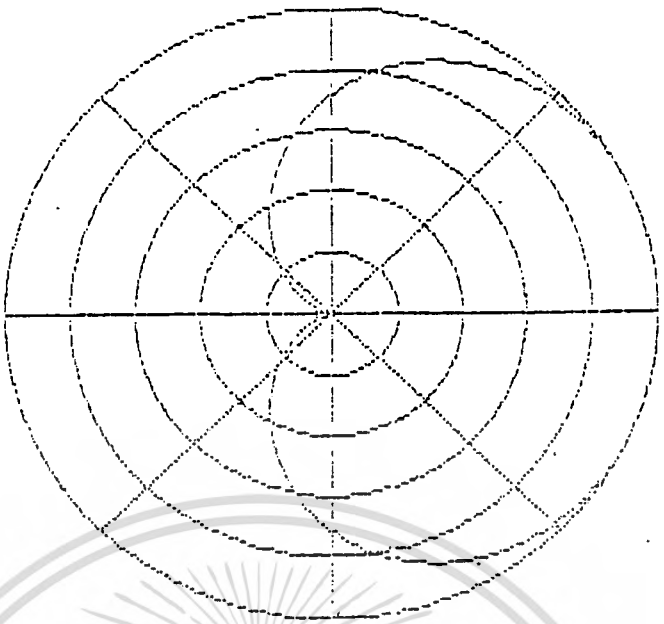
รูปที่ 3.20 แสดงแอเรย์แฟคเตอร์ของสายอากาศชุดซึ่งมีจำนวนองค์ประกอบเท่ากับ 2 ที่ได้จาก ACD

(ก) ระยะห่าง = 0.5 λ, เฟส = 0°

(ข) ระยะห่าง = 0.5 λ, เฟส = 180°

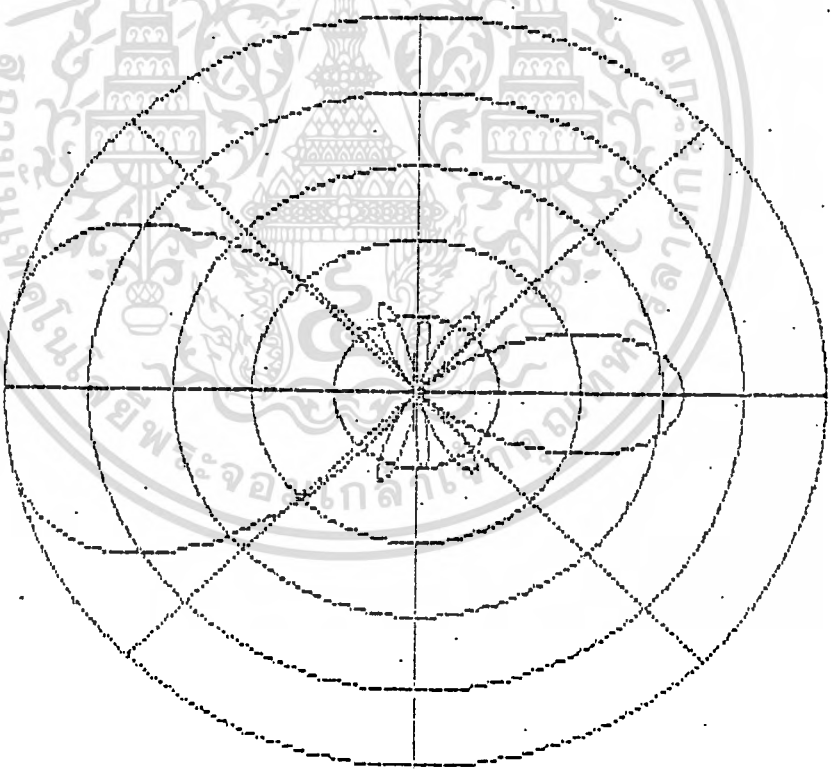
(ค) ระยะห่าง = 0.25 λ, เฟส = -90°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 3.20 (ต่อ)



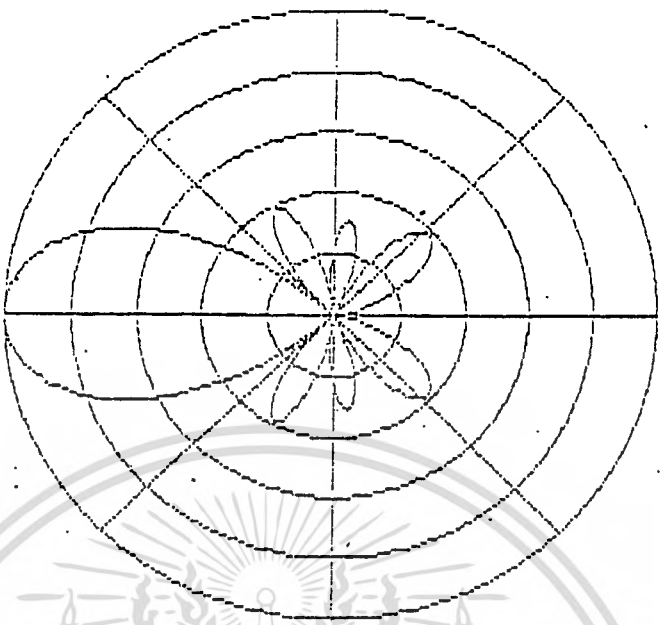
(ง)

รูปที่ 3.21 แสดงแอเรย์แฟกเตอร์ของสายอากาศชุดที่มีจำนวนองค์ประกอบเท่ากับ 5 ที่ได้จาก ACD

(ก) เงื่อนไข ordinary endfire ระยะห่าง 0.45 λ, เฟส = 0.9 π

(ข) เงื่อนไข Handsen-woodyard ระยะห่าง 0.35 λ, เฟส = 0.9 π

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.21 (ต่อ)

(ง) สายอากาศยากิ สำหรับสายอากาศชนิดนี้ ACD จะคำนวณหาอินพุตอิมพิแดนซ์ โดยอาศัยรูทีนเดียวกันกับไดโพลลวดตัวนำยาว แต่จะต้องมี Mutual impedance เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย การคำนวณหาค่า Mutual impedance จะทำแต่เฉพาะไดโพลซึ่งมีความยาว 0.4781 λ และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.001 λ เราจะใช้วิธีนิตเคอร์ฟ(Fit curve) เพื่อหาสมการของฟังก์ชันสำหรับเส้นกราฟ Mutual impedance ที่มีอยู่ใน[2] กับ กราฟในทางทฤษฎี[2] ได้แสดงเปรียบเทียบไว้ในภาคผนวก ข.

ถ้าให้สายอากาศยากิมีโครงสร้างกำหนดด้วยพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

จำนวนองค์ประกอบ = 6

L_R = 0.5 λ

L = 0.47 λ

L_D = 0.43 λ

S_R = 0.25 λ

S_D = 0.30 λ

ขนาดของตัวนำ = 0.0052 λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการคำนวณที่แสดงไว้ใน[2] ได้ค่าอินพุตอิมพิแดนซ์เป็น

รีซิสแตนซ์ = 59.5 Ω

รีแอกแตนซ์ = 47.5 Ω

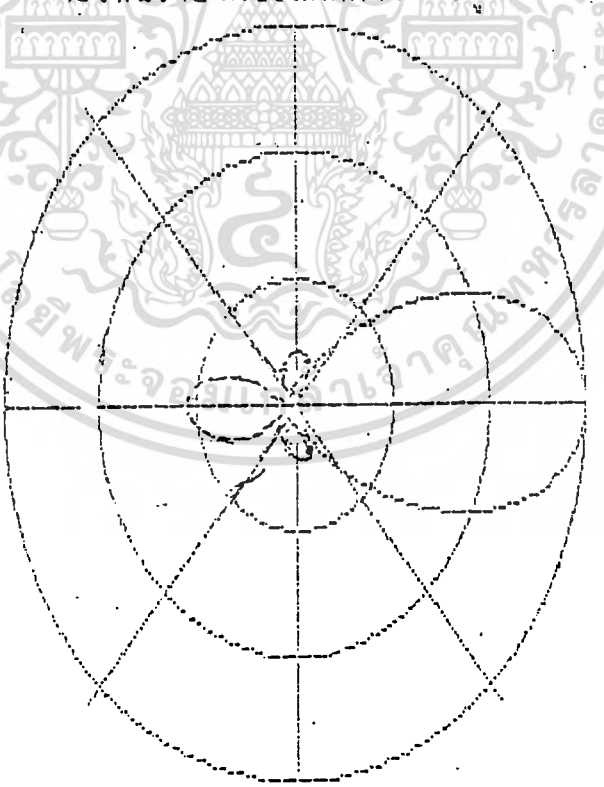
อินพุตอิมพิแดนซ์ที่ได้จากการคำนวณด้วย ACD มีค่าเท่ากับ

รีซิสแตนซ์ = 52.4 Ω

รีแอกแตนซ์ = 44.8 Ω

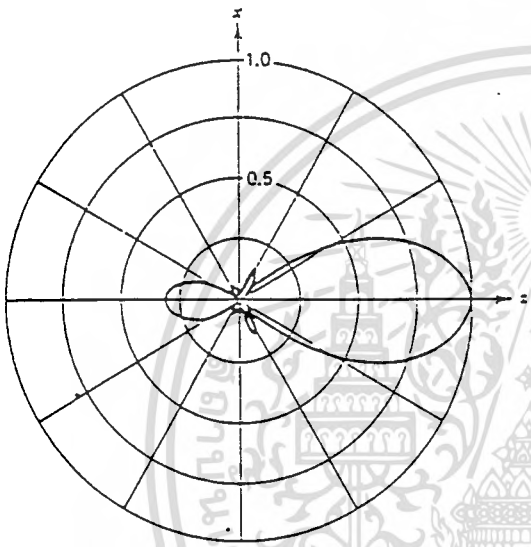
ซึ่งจะเห็นว่าแตกต่างจากผลการคำนวณใน[2]มาก ทั้งนี้เป็นผลมาจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการคำนวณหาค่าอิมพิแดนซ์ของไดโพลในแต่ละองค์ประกอบ และค่า Mutual impedance ระหว่างองค์ประกอบ

สำหรับกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศชนิดนี้ ACD จะทำการคำนวณทั้งใน E-plane และ H-plane ซึ่งผลที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.22 และเมื่อเปรียบเทียบกับกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศเดียวกัน (รูปที่ 3.23) ซึ่งได้จาก[2]แล้ว จะเห็นว่ายังมีข้อแตกต่างกันอยู่ในส่วนของโลบหลัง(Back lobe)



รูปที่ 3.22 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศยากิที่ได้จาก ACD E-plane

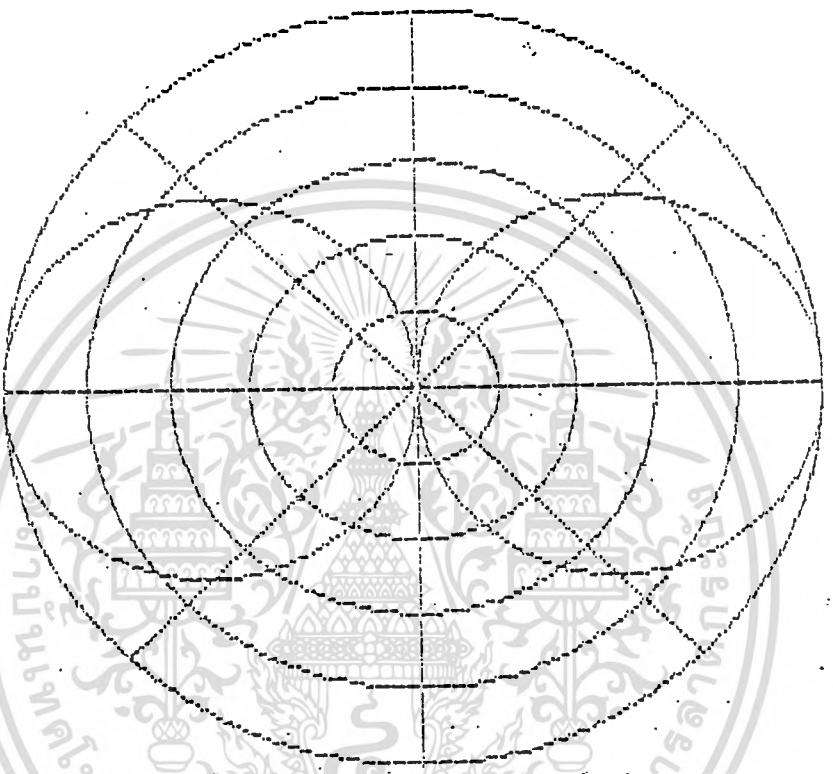
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศยากิที่ได้จาก[2]
E-plane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(จ) สายอากาศแบบเกลียว สำหรับสายอากาศชนิดนี้ ACD จะคำนวณหาคุณลมบัติพื้นฐานสำหรับโมดการทำงานทั้งสองโมด เมื่อสายอากาศทำงานในโมดตั้งฉาก ACD จะทำการคำนวณกระสวนการแผ่คลื่นเฉพาะใน XY-plane เท่านั้น ซึ่งผลที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นใน XY-plane ของสายอากาศแบบเกลียวเมื่อทำงานในโมดตั้งฉาก ที่พลอตได้จาก ACD

เมื่อสายอากาศทำงานอยู่ในโมดตามแกน โปรแกรมจะทำการคำนวณ และแสดงขนาด พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศดังตัวอย่างในรูปที่ 3.25 ถ้าให้สายอากาศมีเส้นรอบรูปเกลียว = 1 λ มุมนิตช์ = 13° และจำนวนรอบ = 10 จะได้กระสวนการแผ่คลื่นดังรูปที่ 3.26 ซึ่งเหมือนกับที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

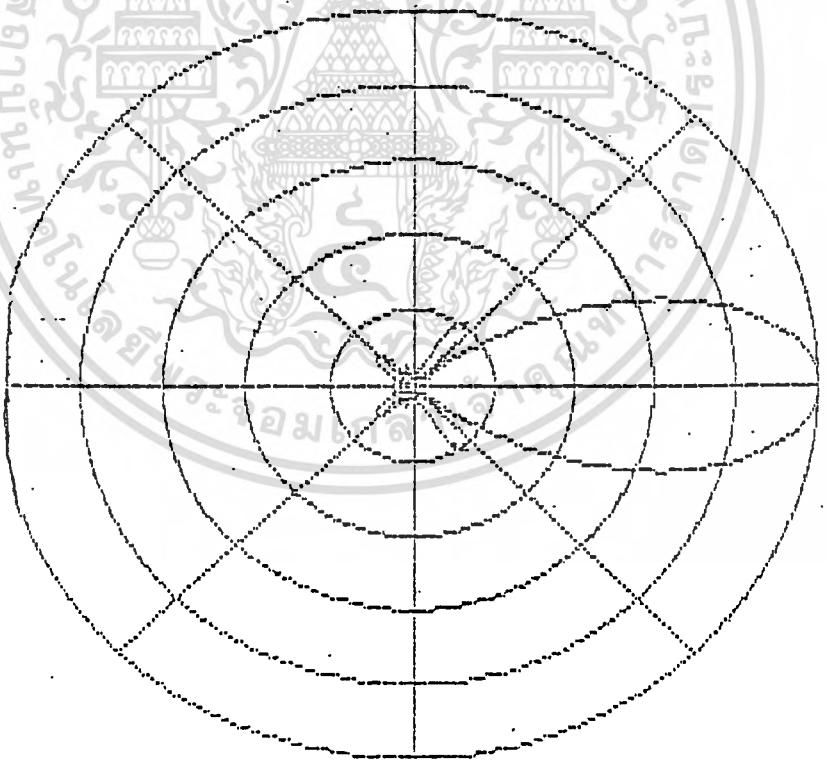
Helix

Axial Mode

Diameter of helix (D)	=	0.318 Lambda
Circumference of helix (C)	=	1.000 Lambda
Spacing between turns (S)	=	0.231 Lambda
Pitch angle (α)	=	13.000 Degree
Length of one turn (L)	=	1.025 Lambda
Number of turns (N)	=	10.000
Axial length (A)	=	2.309 Lambda
Phase velocity (p)	=	0.801
Half-power beamwidth (HP)	=	34.22 degree
Directivity (D)	=	15.466 dB.
Input Impedance (Zin)	=	140.00 Ω

Any key to continue

รูปที่ 3.25 แสดงขนาดและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศแบบเกลียว ที่คำนวณได้



รูปที่ 3.26 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศแบบเกลียว เมื่อ C = 1 λ, α = 13° และ N = 10 ที่พลอตได้จาก ACD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

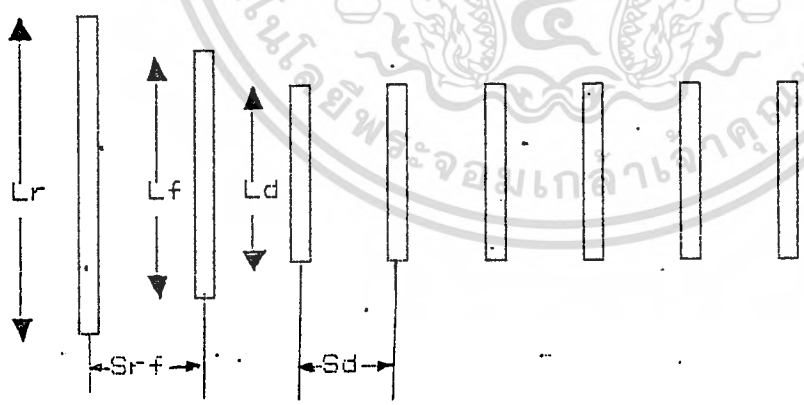
ผลการทดลอง

เนื่องจากเวลาค่อนข้างจะจำกัด การสร้างสายอากาศเพื่อนำมาทดลองเปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์ไม่สามารถทำได้ จึงได้เลือกสายอากาศยากิ ที่ใช้กับเครื่องส่งวิทยุ TZ 403

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เนื่องจากซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมาสามารถคำนวณหากระสวนการแผ่คลื่นและอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศยากิได้ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจะต้องสามารถที่จะวัดคุณสมบัติทั้งสองได้ เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกัน

อุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในการทดลองก็คือตัวสายอากาศ สายอากาศยากิที่ใช้ในการทดลองมีขนาด (Dimension) ดังรูปที่ 4.1



ANTENNA DESCRIPTION :

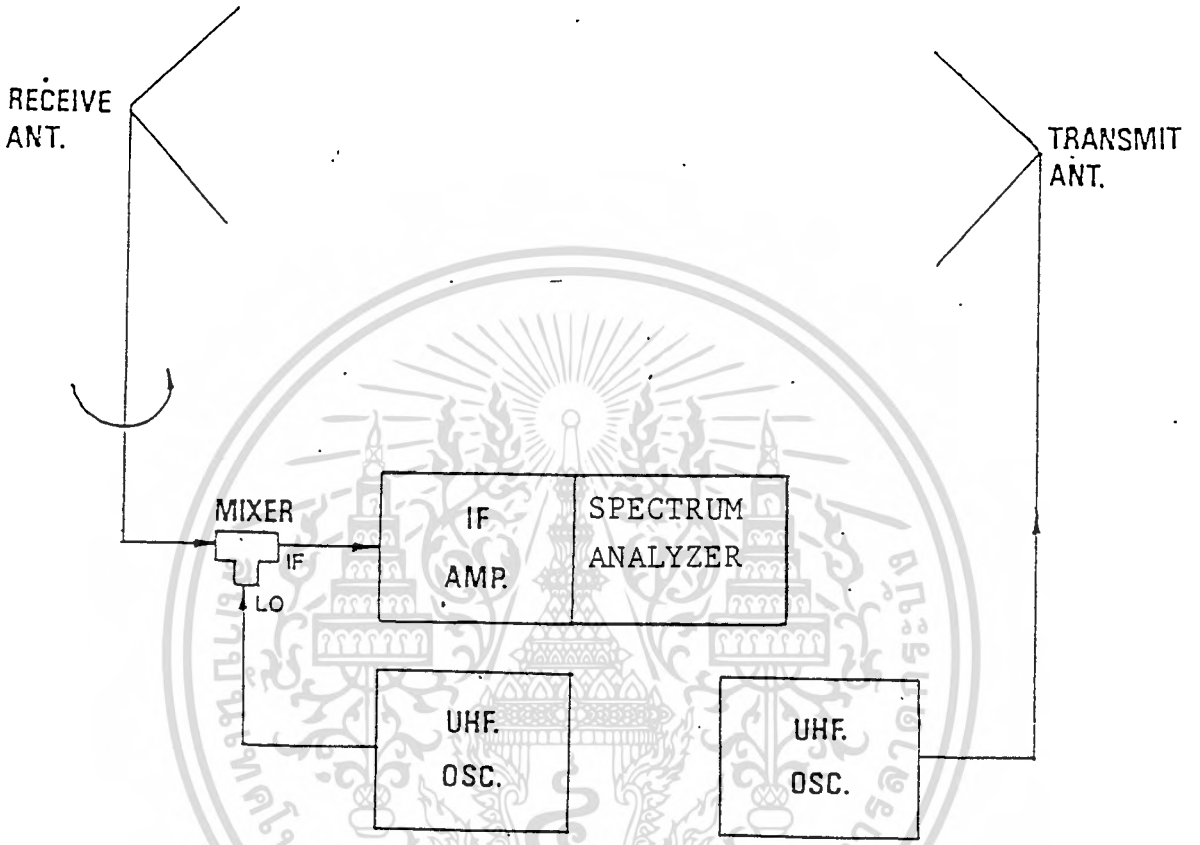
Fc	=	437.50	MHz
Lr	=	0.5212	Lambda
Lf	=	0.4724	Lambda
Ld	=	0.4322	Lambda
Srf	=	0.2455	Lambda
Sd	=	0.3121	Lambda
Dia	=	0.0050	Lambda

รูปที่ 4.1 แสดงสายอากาศยากิที่ใช้ในการทดลอง

สายอากาศยากิที่ใช้ในการทดลองมีช่วงความถี่ใช้งานอยู่ที่ 410 - 455 เมกะเฮิรตซ์ และความถี่กำธร (Resonant Frequency) ของไดโพลตัวขับอยู่ที่ประมาณ 437.5 เมกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดกระสวนการแผ่คลื่น ประกอบด้วยอุปกรณ์ชุดส่ง และชุดรับคลื่น ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงแผนภาพกรอบของอุปกรณ์วัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศ

ในรูปที่ 4.2 ชุดส่งประกอบด้วย

UHF Oscillator	GR 1361 A
Transmitter antenna	สายอากาศไดโพลความถี่ 500 เมกะเฮิรตซ์

ในขณะที่ชุดรับมีอุปกรณ์ดังนี้

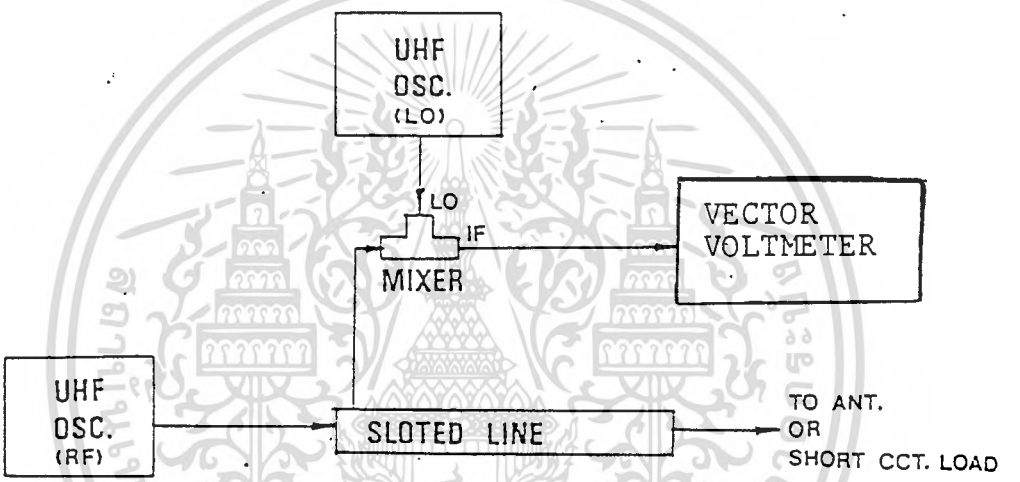
UHF Oscillator	GR 1362 A
Mixer Diode	GR 874-MARL
SPECTRUM ANALYZER	HP 8558B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IF Amplifier	GR 1326
Receiver antenna	สายอากาศยากิของบริภัณฑ์วิทยุ TZ 403

เสาอากาศของสายอากาศตัวรับจะต้องหมุนได้รอบทิศ เพื่อให้สามารถวัดความแรงของคลื่นในทิศต่าง ๆ ได้

ชุดอุปรณ์สำหรับวัดอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศ ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงแผนภาพกรอบของอุปกรณ์สำหรับวัดอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศ

รายละเอียดของอุปกรณ์ในรูปที่ 4.3 มีดังนี้

UHF Oscillator (Local)	GR 1362 A
UHF Oscillator (RF)	GR 1361 A
Mixer Diode	GR 874-MARL
Vector Voltmeter	HP8508A
Slotted Line	GR 874-LBB
Antenna	สายอากาศยากิของบริภัณฑ์วิทยุ TZ 403
Short Circuit Load	CW-15970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสเกลวัดความถี่ของ UHF Oscillator ไม่ค่อยละเอียดนัก จึงใช้ Microwave Counter (TR 5212) สำหรับวัดความถี่ที่ใช้ในการทดลอง

4.3 วิธีทดลอง

เพื่อให้สภาพแวดล้อมมีผลต่อการทดลองน้อยที่สุด ดังนั้นสถานที่ทดลองจะต้องไม่มีวัตถุอยู่ใกล้เคียงกับสายอากาศที่จะทำการวัดเพราะการสะท้อนของคลื่นจากวัตถุทำให้กระสวนการแผ่คลื่นที่วัดได้มีรูปร่างผิดไป ดังนั้นในการทดลองเราจึงเลือกทำการทดลองที่ลานข้างตึกสถานีวิจัยสื่อสารขอนแก่น และได้ทำในเวลากลางคืนเนื่องจากเป็นเวลาที่ปลอดจากยานพาหนะและคนสัญจรไปมา รายละเอียดของการทดลองเป็นดังนี้

(ก) การวัดกระสวนการแผ่คลื่น เริ่มจากตั้งเครื่องมือดังรูปที่ 4.2 จากนั้นปรับ UHF Oscillator ตัวส่งให้ได้ความถี่ที่ต้องการ (การวัดความถี่กระทำโดยใช้ UHF Oscillator ตัวรับให้มีความถี่แตกต่างกัน ± 30 เมกะเฮรตซ์ เพื่อให้ได้กำลังสูงสุด ซึ่งสังเกตได้จากค่าที่อ่านได้บนไอเอฟแอมพลิไฟเออร์ แต่จะต้องจำกัดกระแสมิกเซอร์ (Mixer current) ให้อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1 มิลลิแอมป์ ในการทดลองเราหมุนสายอากาศจาก 0° ถึง 360° และบันทึกค่ากำลังของคลื่นที่อ่านได้จากไอเอฟแอมพลิไฟเออร์ /Spectrum Analyzer

สำหรับความถี่ที่ใช้ในการทดลอง ได้เลือกค่าต่าง ๆ กัน 5 ความถี่คือ 410.25, 425,437.5, 445 และ 465 เมกะเฮิรตซ์

(ข) การวัดอินพุตอิมพีแดนซ์ ตั้งเครื่องมือดังรูปที่ 4.3 ปรับ UHF Oscillator ตัวส่ง (RF) ให้ได้ความถี่ที่ต้องการ และปรับ UHF Oscillator (LO) ให้มีความถี่แตกต่างกัน ± 30 เมกระเฮิรตซ์ จำกัดกระแสมิกเซอร์ให้อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1 มิลลิแอมป์ ในการทดลองเราวัด VSWR ที่เกิดขึ้นในสลอตเด็ดไลน์เมื่อโหลดที่ปลายสายเป็นสายอากาศและ Short circuit ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยอ่านค่าที่หน้าปัดของVECTOR VOLTMETERและวัดตำแหน่งแรกจากปลายสายที่เกิดแรงดันต่ำสุด

4.4 ผลการทดลอง

จากการทดลองวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศยากิ จะได้ผลดังสรุปไว้ในตารางที่ 4.1 และ 4.2 โดยตารางที่ 4.1 เป็นข้อมูลเมื่อสายอากาศวางขนานกับพื้นดิน (E-plane) และตารางที่ 4.2 เป็นข้อมูลเมื่อสายอากาศวางตั้งฉากกับพื้นดิน

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลของกระสวนการแผ่คลื่นใน E-plane ของสายอากาศยากิ ที่ความถี่ต่าง ๆ

Degree	Normalized E (dB)				
	410.25 MHz	425.00 MHz	437.5 MHz	445.00 MHz	465.00 MHz
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	-0.40	0.00	0.00	-0.50	-0.60
10	-1.20	0.00	-0.20	-1.50	-1.80
15	-1.90	-0.40	-0.80	-2.80	-4.20
20	-3.00	-0.90	-2.00	-5.40	-17.80
25	-5.80	-1.80	-4.00	-9.00	-12.70
30	-7.20	-3.20	-5.90	-13.60	-14.40
35	-2.20	-4.70	-0.60	-12.50	-10.20
40	-17.50	-7.50	-3.00	-9.60	-9.00
45	-24.90	-20.10	-11.00	-8.00	-9.90
50	-23.90	-12.70	-10.00	-8.00	-12.20
55	-21.60	-15.90	-9.60	-9.50	-13.30
60	-20.10	-20.90	-11.00	-11.00	-19.40
65	-20.90	-14.00	-13.50	-11.20	-15.20
70	-22.50	-15.30	-16.40	-11.00	-15.70
75	-22.00	-14.80	-15.20	-11.80	-15.20
80	-23.40	-14.50	-13.50	-13.50	-14.20
85	-20.90	-14.90	-13.50	-18.00	-14.80
90	-22.10	-15.60	-25.00	-25.60	-15.70
95	-22.50	-16.60	-17.70	-22.00	-15.70
100	-21.10	-17.50	-22.00	-20.00	-17.70
105	-21.40	-18.50	-24.50	-25.00	-16.30
110	-22.90	-19.50	-21.50	-19.40	-14.50
115	-23.40	-19.70	-19.50	-16.60	-13.80
120	-23.90	-18.70	-17.30	-14.00	-14.60
125	-22.90	-15.90	-22.50	-17.20	-16.20
130	-19.60	-14.40	-19.50	-15.30	-15.20
135	-16.60	-12.70	-20.50	-24.00	-15.50
140	-13.90	-11.10	-19.00	-26.50	-14.40
145	-11.90	-8.90	-16.00	-22.00	-13.80
150	-9.50	-9.00	-13.50	-19.10	-11.90
155	-9.40	-8.70	-12.40	-18.60	-10.00
160	-9.40	-6.10	-11.20	-18.50	-9.70
165	-8.00	-5.50	-10.60	-18.40	-8.50
170	-8.20	-5.50	-10.00	-18.10	-8.00
175	-8.20	-5.50	-10.00	-18.00	-8.70
180	-8.80	-5.70	-9.80	-17.90	-9.20
185	-9.80	-6.10	-9.60	-17.80	-10.10
190	-10.60	-6.30	-9.70	-16.20	-11.00
195	-11.60	-7.30	-5.70	-16.60	-11.20
200	-13.40	-7.50	-8.60	-17.20	-13.60
205	-15.90	-8.00	-8.40	-16.90	-15.40
210	-18.40	-8.40	-8.60	-17.30	-16.70
215	-21.40	-9.00	-9.00	-17.90	-22.40
220	-27.80	-10.00	-10.00	-16.90	-24.20
225	-37.40	-10.70	-11.00	-15.70	-23.70
230	-32.40	-11.50	-12.80	-13.80	-21.70
235	-24.40	-13.20	-24.30	-11.50	-16.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Deg.	Normalized E (dB)				
	410.5MHz	425MHz	437MHz	445MHz	465MHz
240	-25.90	-14.20	-15.40	-10.70	-15.00
245	-24.60	-14.70	-15.00	-10.10	-14.20
250	-25.90	-17.00	-13.90	-10.20	-16.70
255	-24.90	-17.30	-13.40	-10.70	-16.00
260	-22.20	-20.50	-13.80	-10.90	-16.00
265	-23.00	-23.50	-14.00	-10.60	-9.20
270	-19.60	-26.70	-13.80	-10.50	-9.70
275	-17.40	-30.50	-12.50	-10.40	-9.20
280	-19.90	-27.50	-12.20	-10.30	-7.70
285	-19.40	-30.50	-12.30	-10.30	-7.50
290	-17.90	-27.50	-13.50	-10.10	-7.70
295	-21.40	-24.50	-15.70	-10.10	-8.00
300	-24.40	-22.50	-14.80	-10.50	-7.70
305	-31.90	-22.00	-15.30	-11.00	-6.90
310	-31.40	-18.50	-25.40	-11.80	-6.20
315	-20.10	-21.70	-14.80	-12.50	-6.40
320	-13.40	-17.00	-16.80	-11.30	-7.90
325	-9.60	-12.70	-21.80	-9.40	-10.90
330	-6.40	-9.50	-22.20	-6.20	-18.00
335	-4.20	-7.30	-13.40	-4.30	-17.60
340	-2.60	-5.30	-9.00	-2.60	-8.30
345	-1.40	-3.20	-6.50	-1.30	-4.60
350	-0.20	-2.10	-4.20	-1.00	-2.70
355	-0.10	-1.30	-2.50	0.00	-0.90

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลของกระสวนการแผ่คลื่นใน H-plane ของสายอากาศยากิ ที่ความถี่ต่าง ๆ

Degree	Normalized E (dB)				
	410.25 MHz	425.00 MHz	437.5 MHz	445.00 MHz	465.00 MHz
0	-4.50	-10.80	-0.60	-4.60	-0.80
5	-4.10	-4.60	-0.70	-6.00	-1.30
10	-3.10	-5.00	-2.60	-7.70	-2.40
15	-2.30	-5.20	-9.20	-10.00	-2.90
20	-2.70	-4.20	0.00	-11.50	-3.20
25	-2.10	-7.10	0.00	-11.50	-3.10
30	-1.60	-5.50	-0.30	-11.20	-2.60
35	-1.50	-6.10	-0.70	-8.80	-2.30
40	-1.40	-7.60	-1.30	-6.60	-2.30
45	-1.10	-7.00	-1.20	-6.00	-2.50
50	-1.00	-6.30	-1.20	-5.50	-2.50
55	-0.80	-4.50	-1.20	-5.20	-2.70
60	-0.50	-3.60	-1.40	-4.60	-2.70
65	-0.40	-3.10	-1.70	-4.00	-2.60
70	-0.30	-2.80	-2.00	-3.50	-2.50
75	-0.30	-2.10	-2.20	-3.20	-2.30
80	-0.30	-2.70	-2.50	-3.20	-2.60
85	-0.30	-2.80	-2.30	-3.20	-1.90
90	-0.30	-3.10	-2.10	-3.60	-1.90
95	-0.30	-3.50	-1.70	-4.60	-1.80
100	-0.20	-3.30	-1.40	-5.00	-1.80
105	0.00	-3.50	-1.20	-6.80	-1.80
110	0.00	-4.00	-1.00	-7.10	-1.80
115	0.00	-3.90	-0.80	-7.10	-1.80
120	-0.10	-3.70	-0.70	-7.40	-1.80

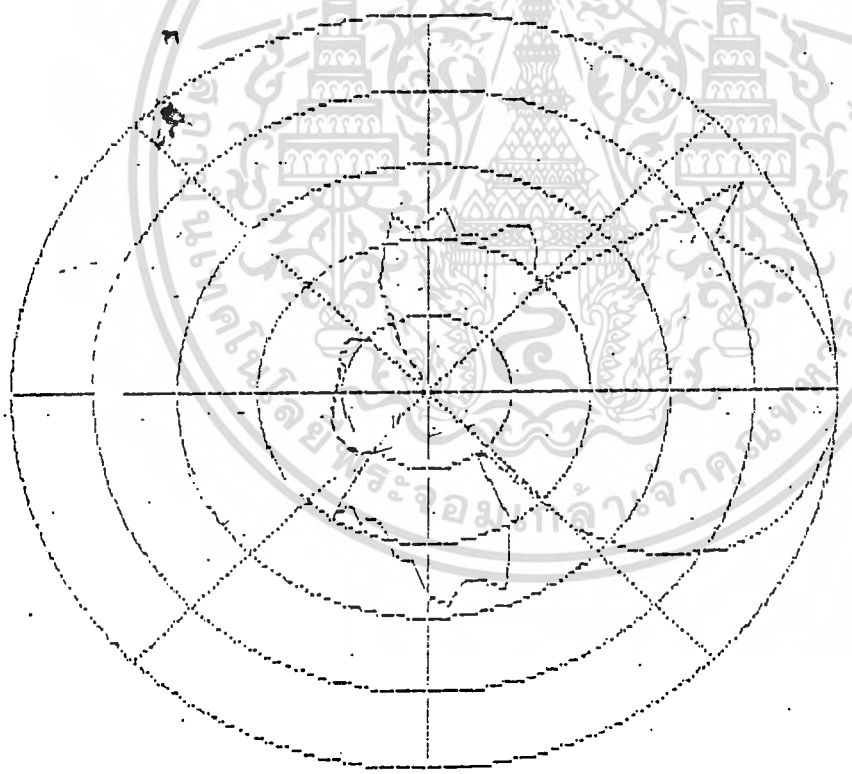
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

Deg.	Normalized E (dB)				
	410.5MHz	425MHz	437MHz	445MHz	465MHz
125	-0.30	-3.50	-0.70	-8.00	-1.80
130	-0.40	-2.20	-0.70	-8.50	-2.60
135	-0.60	-2.90	-1.00	-8.00	-2.00
140	-0.70	-2.40	-1.00	-8.20	-1.50
145	-0.90	-2.50	-1.20	-8.20	-2.00
150	-2.20	-2.40	-1.40	-7.80	-2.10
155	-2.30	-2.40	-1.70	-6.30	-2.00
160	-2.40	-2.40	-2.20	-5.00	-1.90
165	-1.70	-2.40	-2.60	-4.50	-1.80
170	-1.90	-2.80	-2.70	-4.00	-1.60
175	-2.20	-3.10	-2.40	-3.80	-1.50
180	-2.20	-3.40	-2.20	-4.00	-1.30
185	-2.30	-3.80	-2.10	-4.20	-1.20
190	-3.70	-4.00	-2.00	-4.80	-1.10
195	-4.10	-6.00	-1.80	-5.30	-1.10
200	-4.40	-6.10	-1.80	-5.60	-1.10
205	-4.70	-6.00	-2.00	-5.80	-1.00
210	-4.70	-5.40	-2.20	-6.10	-1.00
215	-4.80	-5.40	-2.70	-6.00	-1.00
220	-4.10	-5.10	-2.80	-5.80	-0.80
225	-3.80	-4.50	-2.70	-6.20	-0.70
230	-3.40	-3.90	-2.70	-4.80	-0.60
235	-2.80	-3.20	-2.30	-3.50	-0.50
240	-2.30	-2.70	-2.10	-2.70	-0.60
245	-2.10	-2.30	-2.20	-2.60	-0.60
250	-2.10	-2.10	-2.20	-2.60	-0.80
255	-2.70	-2.10	-2.40	-2.90	-1.00
260	-2.80	-2.40	-2.70	-3.00	-1.10
265	-3.10	-2.60	-3.20	-3.00	-1.10
270	-3.10	-2.60	-3.70	-2.60	-1.10
275	-3.10	-2.40	-4.20	-1.70	-1.00
280	-3.00	-2.10	-3.60	-1.30	-1.00
285	-2.90	-1.70	-3.70	-0.80	-0.80
290	-2.80	-0.60	-4.50	-0.40	-0.50
295	-2.30	-0.60	-5.60	-0.20	-0.60
300	-2.40	-0.50	-5.20	-0.20	-0.70
305	-2.50	-0.40	-5.30	-0.10	-0.70
310	-2.30	-0.40	-5.20	0.00	-0.70
315	-2.20	-0.20	-3.40	0.00	-0.80
320	-2.10	-0.50	-2.40	0.00	-0.80
325	-1.90	-1.10	-1.80	-0.20	-0.80
330	-1.80	-1.40	-1.30	-0.50	-0.70
335	-1.70	-1.40	-1.00	-0.70	-0.70
340	-1.80	-1.60	-0.90	-0.80	-0.70
345	-1.80	-1.60	-0.80	-0.80	-0.70
350	-1.80	-1.60	-0.70	-0.80	-0.70
355	-1.80	-1.60	-0.70	-0.80	-0.70
360	-1.80	-1.60	-0.70	-0.80	-0.70

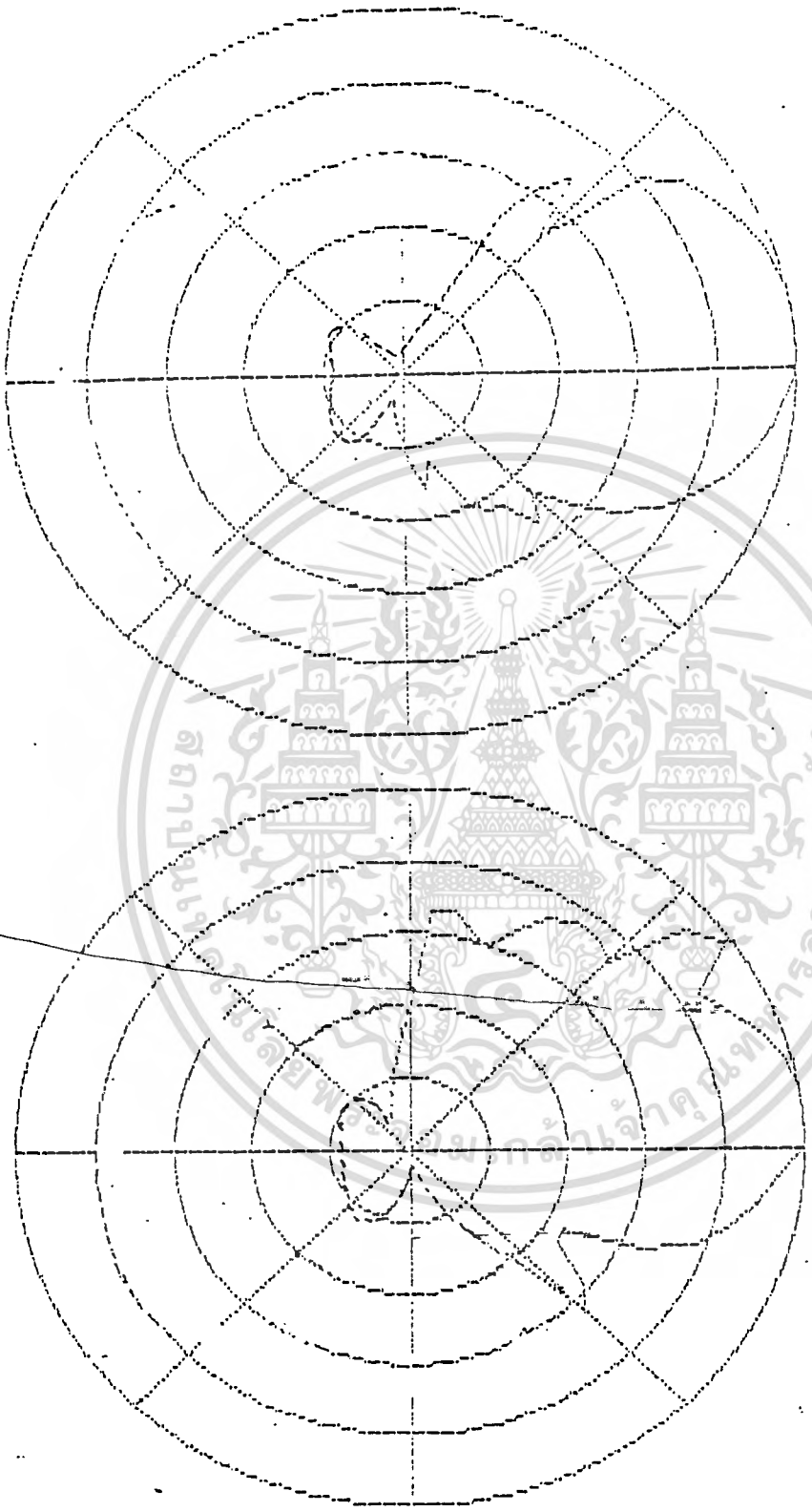
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำข้อมูลที่ได้ไปพลอตเป็นกราฟเชิงมุม จะได้กระสวนการแผ่คลื่นดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 โดยรูปที่ 4.4 เป็นโพลาร์พลอตของใน E-plane และรูปที่ 4.5 เป็นโพลาร์พลอตใน H-plane และข้อมูลที่นำมาพลอตมีหน่วยเป็น dB



รูปที่ 4.4 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นใน E-plane ของสายอากาศยากิที่ได้จากการทดลอง สเกลลัมพัทธ์ของขนาดกระสวนมีหน่วยเป็น dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



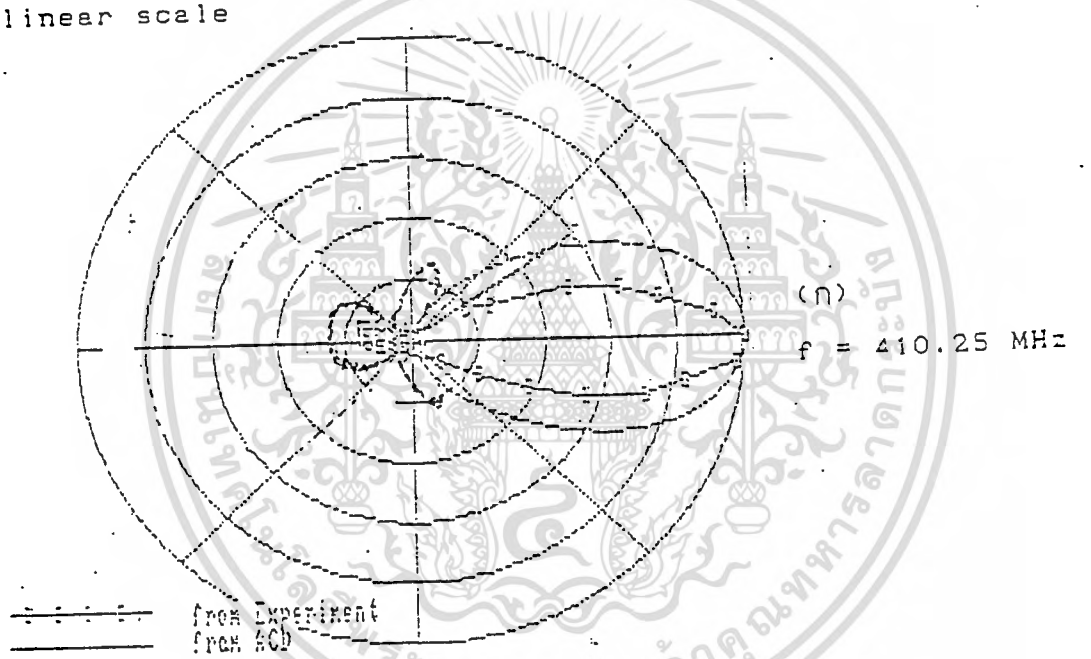
(ข)
f = 425 MHz

(ค)
f = 437.5 MHz

รูปที่ 4.5

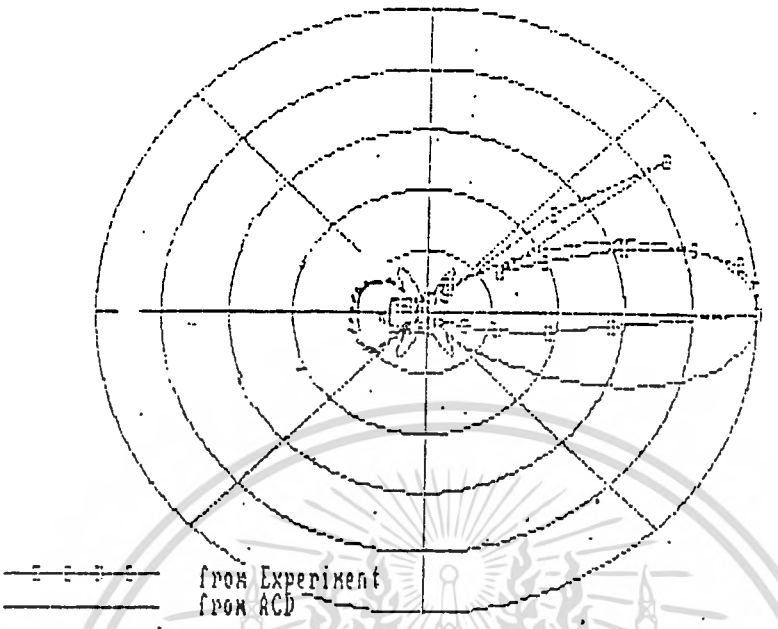
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปพลอตเปรียบเทียบกับกระสวนการแผ่คลื่นที่คำนวนได้ จากโปรแกรม ACD ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.6 การพลอตกระทำในlinear scale



รูปที่ 4.6 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นใน E-plane ของสายอากาศยากิที่ได้จากการทดลองและ การคำนวณโดย ACD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ช)

f = 437.5 MHz

รูปที่ 4.6 (ต่อ)

สำหรับการทดลองวัดหาอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศ ได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลจากการทดลองวัดอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศยากิที่ความถี่ต่าง ๆ

Frequency	Short cct. load		Antenna		d_m
(MHz)	Vmax(dB)	Vmin(dB)	Vmax(dB)	Vmin(dB)	(cm.)
410.25	12.6	0.5	7.9	0.0	-8.0
425.00	23.6	9.0	17.9	9.2	-15.6
437.50	19.4	11.7	14.8	9.7	-11.6
445.00	22.6	12.6	17.2	14.9	-1.2
465.00	18.4	8.0	12.8	3.6	-17.0

เมื่อ d_m คือ ระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่เกิด Vmin เมื่อโหลดเป็นสายอา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กาศกับตำแหน่งที่เกิด Vmin เมื่อโหลดเป็น Short circuit โดยใช้ค่าหลังเป็นตำแหน่งอ้างอิง

นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศโดยใช้สูตร [13]

$$Z_{in} = Z_o \frac{(1-jS\tan\beta d_m)}{(S-j\tan\beta d_m)} \qquad (4.1)$$

เมื่อ Z_o คืออิมพิแดนซ์ลักษณะของสลอตเต็ดไลน์ = 50 โอห์ม

S คือค่า VSWR ที่แท้จริงซึ่งหาได้จาก [13]

$$S = \frac{S_M - 1/S_L}{1-S_M/S_L} \qquad (4.2)$$

เมื่อ S_M คือค่า VSWR เมื่อโหลดเป็นสายอากาศ

S_L คือค่า VSWR เมื่อโหลดเป็น Short circuit

ตัวอย่างการคำนวณ

ที่ความถี่ 437.5 เมกะเฮิรตซ์ เราได้

S_L = 19.4–11.7 = 7.7 dB หรือ 5.89

S_M = 14.8–9.7 = 5.1 dB หรือ 2.236

d_m = -11.8 ซม.

ดังนั้น

$$S = \frac{2.236 - 1/5.89}{1- 2.236/5.89} = 3.33$$

เนื่องจาก d_m ที่ใช้ในการคำนวณ จะต้องอยู่ในหน่วยความยาวคลื่น ที่ความถี่ 437.5 เมกะเฮิรตซ์ความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับ 68.57 ซม.

ดังนั้น $d_m = -11.6\ \lambda$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ (4.1) หาค่า Z_{in} จะได้ผลเป็น

$$Z_{in} = 50\left(\frac{1-j3.33\tan 2\pi/\lambda \times (-0.169\lambda))}{(3.33-j\tan 2\pi/\lambda \times (-0.169\lambda))}\right)$$

$$= 48.96 - j63.125 \quad \text{โอห์ม}$$

ค่าอินพุตอิมพิแดนซ์ของลายอากาศที่คำนวณได้จากผลการทดลองและจาก ACD ได้สรุปไว้ใน ตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ ACD

Frequency (Mhz)	Input Impedance (Ohms)	
	Experiment	ACD
410.25	28.45 + j40.346	30.48 + j54.210
425.00	32.12 - j60.823	34.32 - j68.755
437.50	48.96 - j63.125	50.43 - j55.103
445.00	50.28 - j48.079	54.32 - j54.710
465.00	54.63 + j52.503	58.54 + j50.115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม จะเห็นว่ามีข้อแตกต่างกันอยู่บ้าง เนื่องจากขณะทำการทดลอง ผลการทดลองที่ได้แปรเปลี่ยนไปบ้าง โดยขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการวัด และสภาพของห้องหรือสถานที่ที่ใช้ในการทดลอง เฉพาะอย่างยิ่งการทดลองวัดแพทเทอร์นการแพร่คลื่น มีข้อกำหนดว่ากำลังส่งและความถี่ของเครื่องส่งจะต้องคงที่ตลอดเวลา โดยมีอุปกรณ์ควบคุมระดับสัญญาณ (Power level controller) และเฟสล็อค (Phase lock) ทั้งเครื่องรับและเครื่องส่ง เพื่อควบคุมมิให้กำลังส่งและความถี่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อทำการวัดเป็นระยะเวลานาน สถานที่ใช้ในการวัดทดสอบต้องเป็นห้องไร้การสะท้อนของสัญญาณ (Anichoic chamber) แต่เนื่องจากสภาพการวัดที่แท้จริงนั้น อุปกรณ์ที่ใช้วัดนั้นยังขาดคุณสมบัติดังกล่าว ถึงแม้ทางด้านเครื่องส่งจะมีวงจรล็อคความถี่ มิให้ความถี่เปลี่ยนแปลง แต่ทางด้านเครื่องรับมิได้มีวงจรล็อคความถี่ ดังนั้นระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ความถี่ที่ต้องการอาจคลาดเคลื่อนไปบ้าง สาเหตุอีกประการหนึ่งของการรับระดับสัญญาณไม่คงที่ เนื่องมาจากการหมุนสายอากาศด้านรับไปรอบตัวเองอย่างช้าๆ จนกว่าจะครบมุม 360 องศา เมื่อการหมุนใช้เวลานาน ระดับสัญญาณ ณ. ตำแหน่งเดียวกัน แต่วัด ณ. เวลาต่างกัน อาจจะมีค่าต่างกัน เช่นที่มุม 0 องศา และมุม 360 องศา ถึงแม้จะมีการพยายามแก้ข้อผิดพลาดเกี่ยวกับการหมุนสายอากาศด้านรับให้เร็วขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอาจเกิดขึ้นได้รวดเร็วมาก ในกรณีที่ระดับสัญญาณของสายอากาศที่รับได้ตลอดการหมุนสายอากาศเป็นมุม 360 องศา มีค่าต่างกันน้อยมาก เช่นในกรณีการวัดสัญญาณระนาบไฟฟ้า ถ้าระดับสัญญาณทางด้านเครื่องส่งตั้งไว้ที่ 1 มิลลิวัตต์ เมื่อเวลาผ่านไปสักระยะหนึ่ง ระดับจะตกลงเป็น 0.9 มิลลิวัตต์ ก็ทำให้ทางด้านเครื่องรับเปลี่ยนระดับสัญญาณตามด้วย ณ. เวลาเดียวกัน ทำให้ผลของแพทเทอร์นเปลี่ยนไปจากที่ควรจะเป็น ถ้าหากมีอุปกรณ์ควบคุมระดับสัญญาณและเฟส ทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ รวมทั้งห้องทดลองเป็นแบบไร้สัญญาณสะท้อน ผลการทดลองที่ได้ควรจะใกล้เคียงกันมากกว่านี้

สำหรับการวัดอินพุทอิมพีแดนซ์โดยใช้อุปกรณ์ Vector Voltmeter แทน IF Amp. Meter ผลลัพธ์ที่ได้ก็อยู่ในขั้นที่น่าพอใจ แม้จะมีปัญหาบ้างเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมของการทดลอง ซึ่งไม่ใช่ห้อง Shield ทำให้ไม่สามารถป้องกันคลื่นรบกวนจากภายนอกได้ ดังนั้นการทดลองจึงเลือกเวลากลางคืนเป็นส่วนใหญ่ เพราะช่วงนี้มีการรบกวนของคลื่นน้อยกว่ากลางวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุป

วิทยานิพนธ์นี้กล่าวถึงการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อคำนวณหาและแสดงผลคุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศ โดยเริ่มต้นตั้งแต่การศึกษาทฤษฎีของสายอากาศชนิดต่างๆ โดยเฉพาะสายอากาศที่สามารถสร้างขึ้นมาง่ายและนิยมใช้กันโดยทั่วไป ขั้นตอนต่อไปกล่าวถึงการออกแบบโปรแกรมเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้ได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ ซึ่งขั้นตอนการพัฒนาค่อนข้างจะยุ่งยากเนื่องจากสายอากาศบางชนิดมีข้อมูลจำกัด และสายอากาศบางชนิดมีวิธีการคำนวณคุณสมบัติพื้นฐานยุ่งยากและไม่แน่นอน หลังจากพัฒนาโปรแกรมเสร็จแล้วได้กล่าวถึงการนำเอาสายอากาศที่นิยมใช้กันทั่วไป คือ สายอากาศยากิ มาทำการทดลองหาคุณสมบัติพื้นฐานของมัน เพื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับผู้สนใจที่จะศึกษาทางด้านซอฟต์แวร์เพื่อการนี้ต่อ ควรจะศึกษาถึงวิธีการคำนวณหาคุณสมบัติพื้นฐานที่ละเอียดและถูกต้องยิ่งขึ้น รวมทั้งพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับออกแบบสายอากาศชนิดอื่น ๆ ที่มีการทำงานซับซ้อนยิ่งขึ้นการใช้ภาษาอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพ และความรวดเร็วสูงกว่า BASIC ก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ควรจะได้พัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

[1] "IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas," *IEEE Trans. Antennas and Propagation.*, vol.Ap-31,no.6,1983.

[2] W.L.Stutzman and G.A.Thiele,*Antenna Theory and Design.* New York:J.Wiley,1981.

[3] J.J. Carr.,*Scientific and Engineering Programs for the IBM-PC and PC-XT.* Virginia:Prentice-Hall,1985.

[4] R.Zitch,"Research in Electromagnetics at Politecnico di Torino," *IEEE Antennas & Propagation Society Newsletter.*,vol 29,no.4,Oct 1987.

[5] D.V.Campbell, "Personal Computer Applications of MININEC," *IEEE Antennas & Propagation Society Newsletter.*,vol 26,no.1,Feb. 1984.

[6] J.C Rautio,"Reflection Coefficient Analysis of the Effect of Ground on Antenna Patterns," *IEEE Antennas & Propagation Society Newsletter.*,vol 29,no.1,Feb. 1987.

[7] R.S.Elliot,*Antenna Theory and Design.* Englewood Cliffs,NJ.:Prentice-Hall,1981.

[8] H.Jasik,*Antenna Engineering Handbook.* New York: McGraw-Hill,1984.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[9] J.D.Kraus,*Antennas*. New York:McGraw-Hill,Feb. 1950.

[10] J.D.Kraus,*Electromagnetics*. New York: Mc Graw-Hill, Feb. 1984.

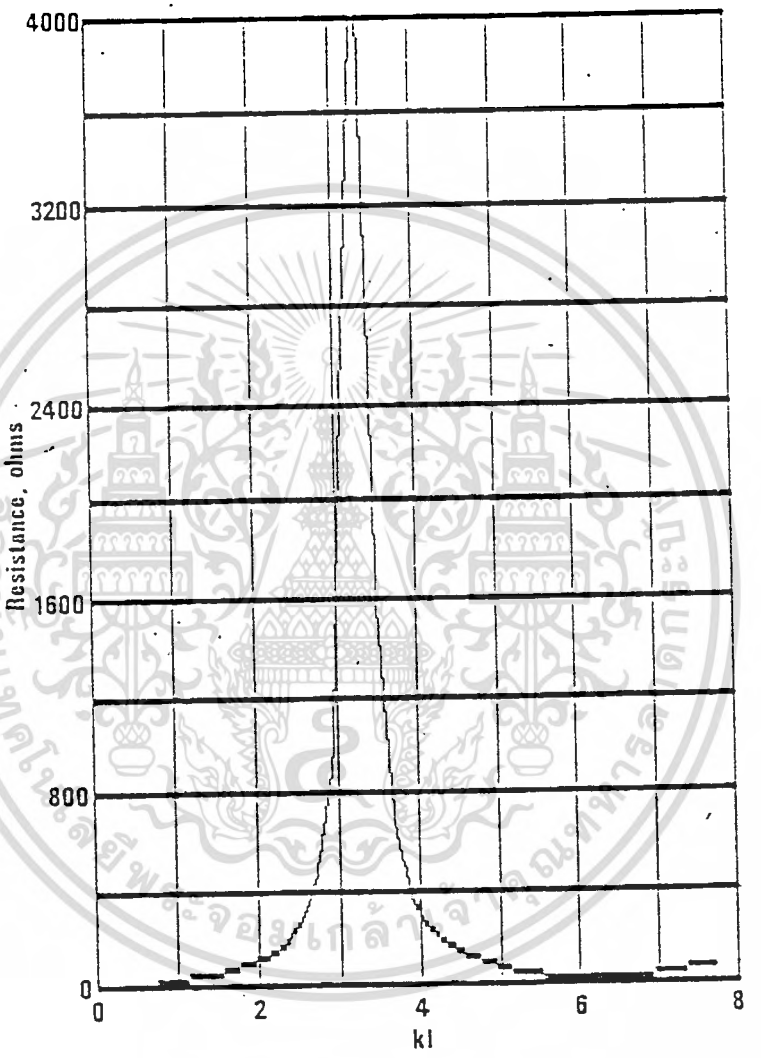
[11] *Microsoft QuickBASIC Compiler Version 3.00*. : Microsoft Corp, 1987.

[12] *Microsoft QuickBASIC Compiler Version 2.00*. : Microsoft Corp, 1985.

[13] *Instruction Manual of the Type 874-LBB Slotted Line*. West Concord, MA : General Radio,1966

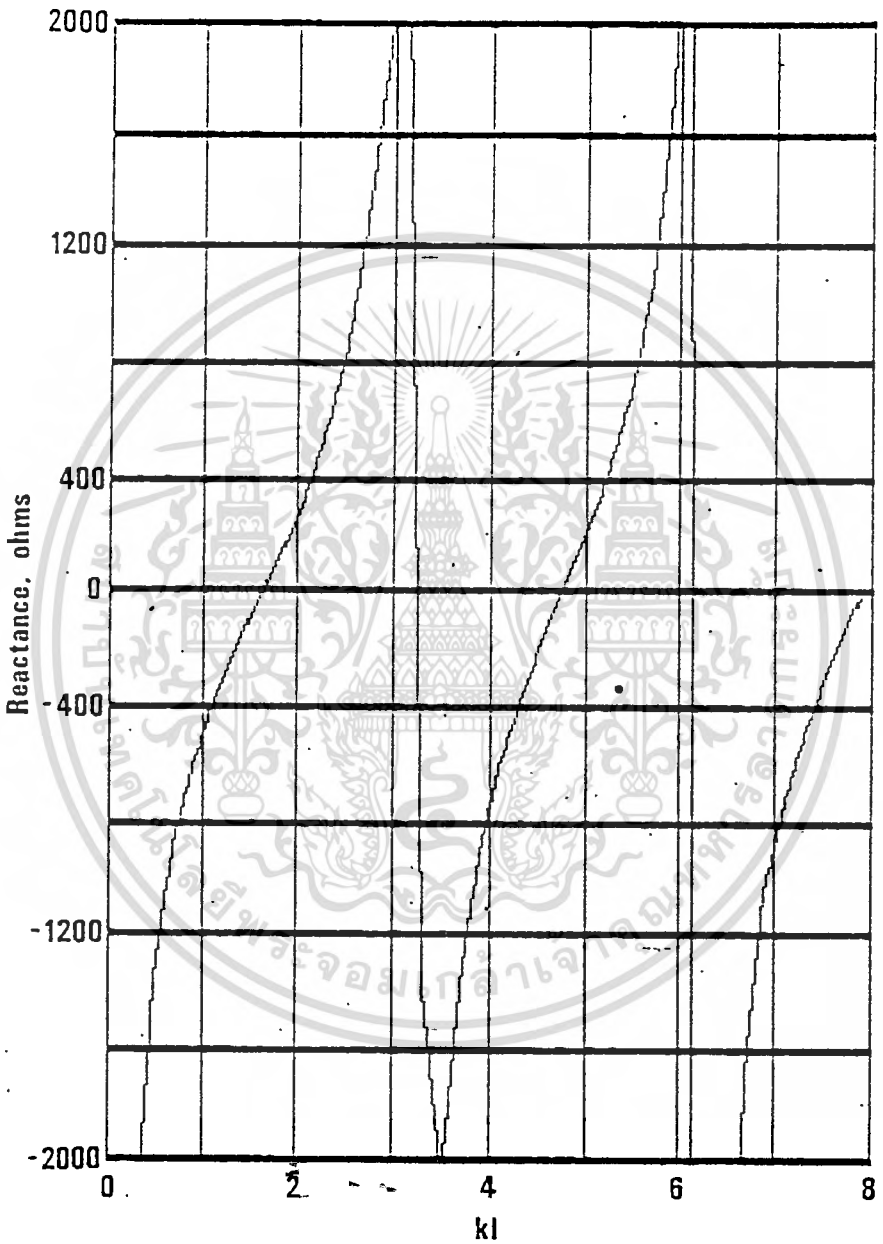
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศไดโพลนำมาพลอตกราฟเชิงเส้นเทียบกับความยาว kl โดยเปรียบเทียบระหว่างกราฟที่ได้จากการคำนวณจากโปรแกรม ACD กับกราฟที่ได้จาก [7] ดังรูปที่ ผ.1 และ ผ.2 ตามลำดับ



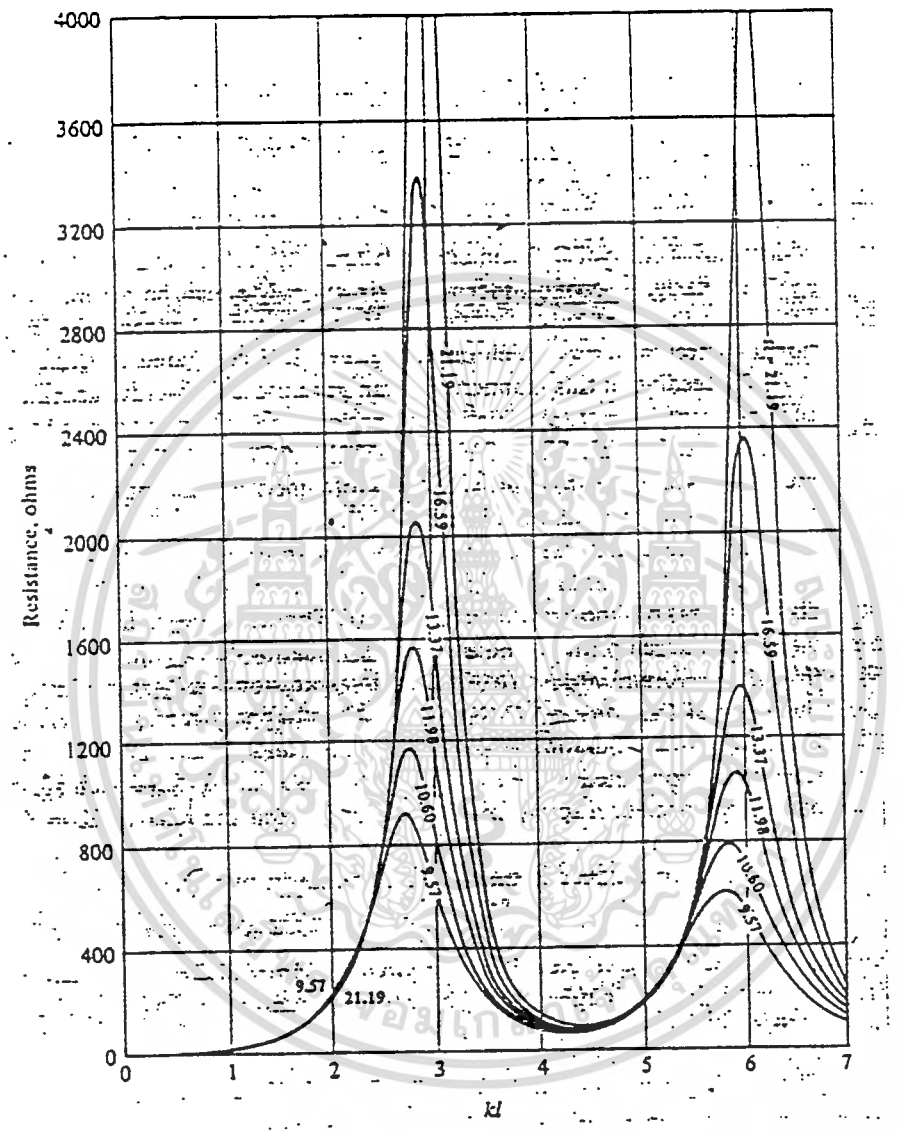
รูปที่ ผ.1 แสดงค่าอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศไดโพลเทียบกับความยาว kl เมื่อ Ω = 12 (กราฟได้จากการคำนวณโดย ACD
(ก) รีซิสแตนซ์
(ข) รีแอกแตนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ. 1 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

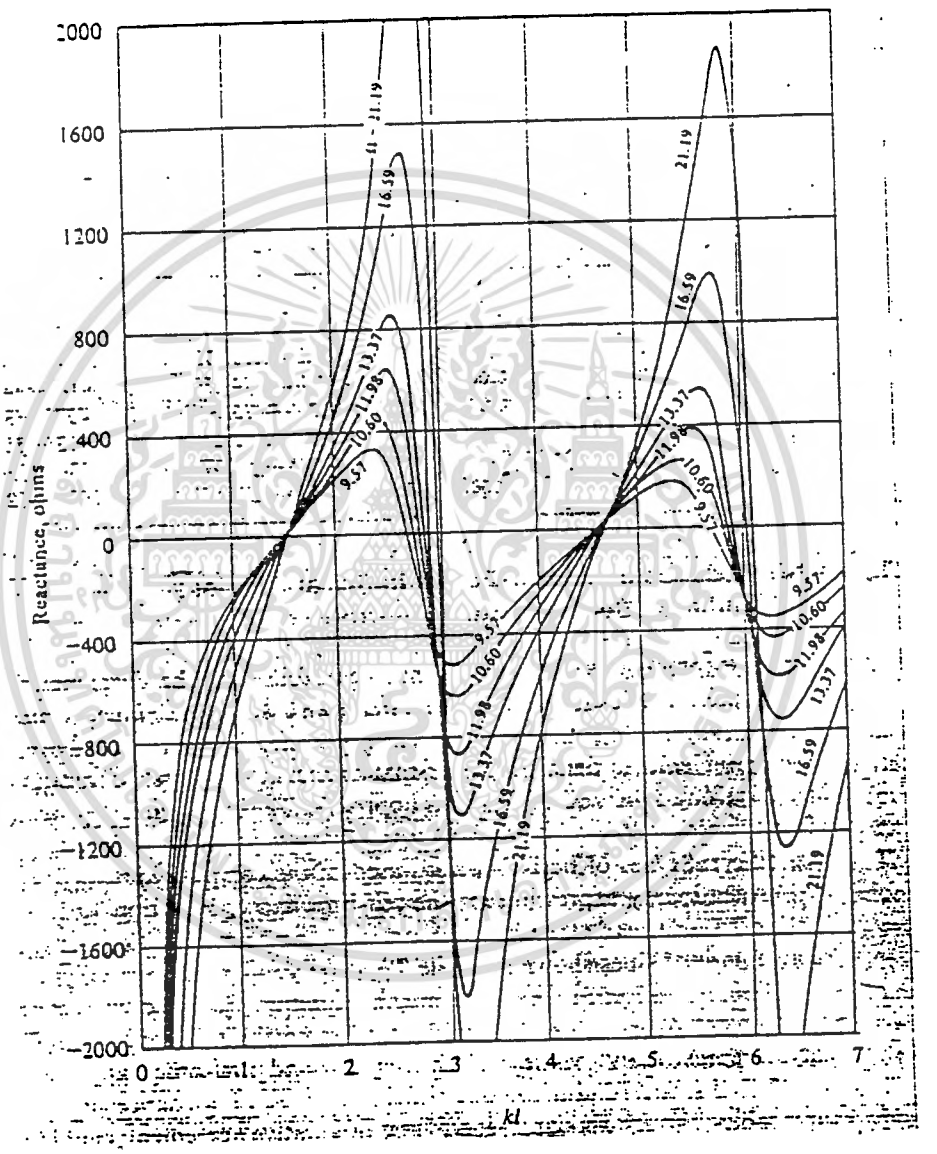


รูปที่ ผ.2 แสดงค่าอินพุตอิมพิแดนซ์ของสายอากาศไดโพลเทียบกับความยาว kl ที่ Ω ต่าง ๆ กัน (กราฟได้จาก [7])

(ก) รีซีสแตนซ์

(ข) รีแอกแตนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

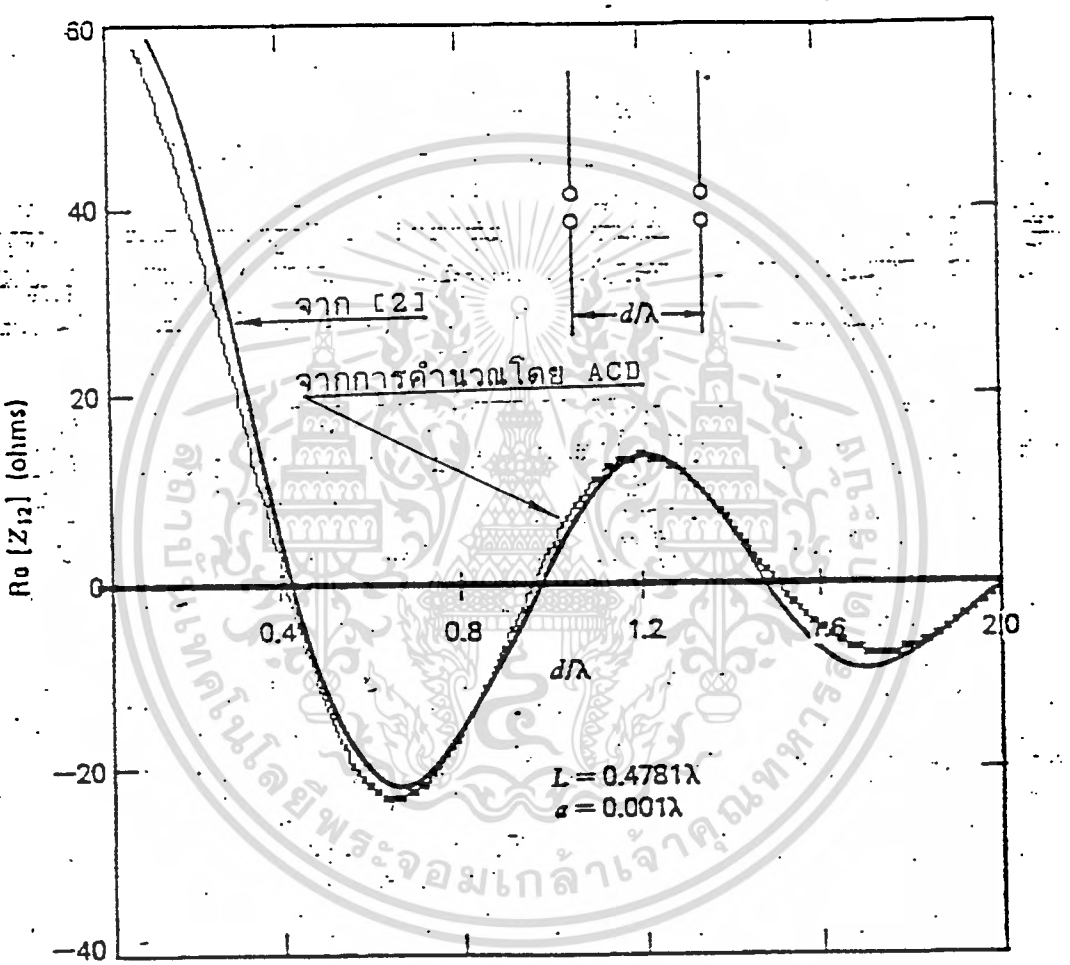


รูปที่ ผ.2 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. Mutual Impedance

กราฟเชิงเส้นของ Mutual impedance ของสายอากาศไดโพล เทียบกับระยะห่าง d เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณโดย ACD และที่ได้จาก [2]

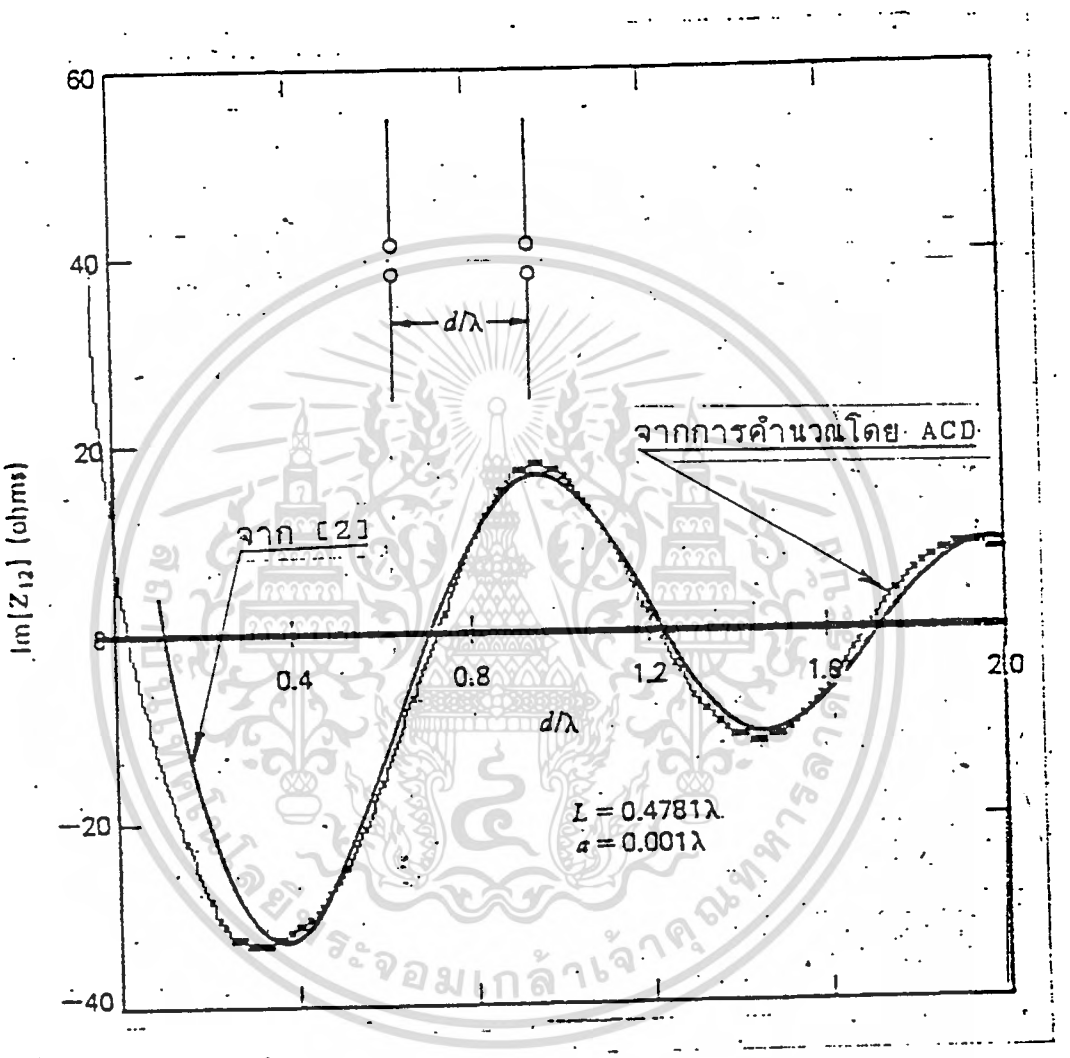


รูปที่ ผ.3 แสดงกราฟ Mutual impedance ของสายอากาศไดโพล เทียบกับระยะห่าง d

(ก) รีซิสแตนซ์

(ข) รีแอกแตนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.3 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANTENNA CHARACTERISTIC DISPLAY SOFTWARE PROGRAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
A>dir

 Volume in drive A has no label
 Directory of  A:\

ACDCHAIN BAS     24317   1-01-80  12:33a
ACD      EXE     71369   3-22-91   5:51p
ACDCHAIN EXE     33913   1-01-80  12:36a
ACD      BAS     59655   3-22-91   5:45p
BRUN20   EXE     68396   6-13-86  10:55a
HELP     TXT      6952   3-24-88  11:43p
DEMO     DAT      2896   4-01-91  12:56p
CGA      COM      8495   1-01-80  12:01a
COLOUR   COM       256  10-20-83  12:00p
        9 File(s)      81920 bytes free

A>brun20
Microsoft QuickBASIC Compiler
Version 2.00
Microsoft BASIC Compiler Runtime
Version 5.60
(C) Copyright Microsoft Corp. 1982 - 1986

A>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   ommon back$,set,chcheck$
  KEY OFF
  SCREEN 0,0,0
  WIDTH 80
  COLOR 7,0
  DIM MU$(8),X(360),Y(360),EP(360),HP(360),fi(180),arr(360),arrf(360)
  PI = 3.14159
  TRUE = -1 : FALSE = NOT TRUE
   UP$ = CHR$(0)+CHR$(72)
   RT$ = CHR$(0)+CHR$(77)
   DN$ = CHR$(0)+CHR$(80)
   LT$ = CHR$(0)+CHR$(75)
   DEF FNEPD(I%,PI) = ABS(SIN((I%-90)*PI/180))
   DEF FNEPDX(I%,PI,R) = R*COS(I%*PI/180)*150 + 320
   DEF FNEPDY(I%,PI,R) = -R*SIN(I%*PI/180)*90 + 100
   DEF FNHPDX(I%,PI,R) = COS(I%*PI/180)*150 + 320
   DEF FNHPDY(I%,PI,R) = -SIN(I%*PI/180)*90 +100
  DEF FNWIRE(I%,PI,L) = ABS((COS(PI*L*COS((I%-90)*PI/180))-COS(PI*L))/SIN((I%
90)*PI/180))
   DEF FNTESTWIRE(I%,PI) = SIN((I%-90)*PI/180)
   def fnarr(i,nelem,pi) = abs(sin(nelem*fi(i)/2)/(nelem*sin(fi(i)/2)))
   def fnarx(i,nelem,pi,ans) = ans*cos(i*pi/180)
   def fnrprime(aa,ll,zz) = (aa^2+(ll-zz)^2)^.5
   def fnf0(zz,ll,pi) = cos(2*pi*zz) - cos(2*pi*ll)
   def fng0(zz,ll,pi) = sin(2*pi*abs(zz)) - sin(2*pi*ll)
   def fnxy1(ze,pi4) = sin(pi4*cos(ze))/(pi4*cos(ze))*(sin(ze)*cos(pi4*sin(ze))
-s..(pi4*sin(ze)))
   def fnxy2(ze,pi4) = cos(pi4*sin(ze))/(pi4*sin(ze))*(cos(ze)*sin(pi4*cos(ze))
-cos(pi4*cos(ze)))
   def fnxz(i%,pi) = (sin(i%*pi/180)*sin((pi/4)*sin(i%*pi/180)) - cos((pi/4)*s
n(i%*pi/180)))/cos(i%*pi/180)
   def fnyz(i%,pi) = cos((pi/4)*sin(i%*pi/180))

    if back$ = "ok" then 1120
500 CLS
   LOCATE ,,0
   PRINT
   PRINT "
   PRINT "
   PRINT "
   PRINT "
   PRINT "
   PRINT "
   PRINT "
   PRINT "
   PRINT "
   print "
   print "
   print "
   print "
   LOCATE 1,1
   PRINT "┌"
   FOR I% = 1 TO 77
   LOCATE 1,I%+1
   PRINT "─"
   NEXT i%
   LOCATE 1,79
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    PRINT "┐"
    FOR I% = 2 TO 14
    LOCATE I%,79
    PRINT "│"
    NEXT
    LOCATE 15,79
    PRINT "┘"
    FOR I% = 78 TO 2 STEP-1
    LOCATE 15,I%
    PRINT "─"
    NEXT i%
    LOCATE 15,1
    PRINT "└"
    FOR I% = 14 TO 2 STEP-1
    LOCATE I%,1
    PRINT "│"
    NEXT i%
    locate 15,25 : print "┤"
    T$ = "TELECOMMUNICATION DEPARTMENT"
    LOCATE 15,26
    FOR I% = 1 TO 28
    FOR J = 1 TO 100
    NEXT J
    COLOR 15,0
    PRINT MID$(T$,I%,1);
    COLOR 7,0
    NEXT I%
    locate 15,54 : print "├"
    T$ = "By"
    FOR I% =1 TO 39
    IF I% < 2 THEN 710
    LOCATE 17,I%-1
    PRINT "  "
710 LOCATE 17,I%
    PRINT T$
    FOR J = 1 TO 30
    NEXT J,I%
    T1$ = "    Aree Rathie      "
    t2$ = "   Jaray Surawatpunya"
    PS = INT(LEN(T1$)/2)+40
    FOR I% = 1 TO LEN(T1$)
    LOCATE 19,(PS-I%)
    PRINT LEFT$(T1$,I%)
    LOCATE 21,(PS-LEN(T2$))
    PRINT RIGHT$(T2$,I%)
    FOR J = 1 TO 100
    NEXT J,I%
    T$ = "Press any key to continue "
    FOR I% = 54 TO 28 STEP-1
    LOCATE 23,I%
    PRINT T$
    NEXT I%
    LOCATE 23,28
    COLOR 0,7
    PRINT LEFT$(T$,25)
    COLOR 7,0
    FOR I% = 1 TO 10000
    A$ = INKEY$
    IF A$ <> "" THEN 810
    NEXT I%
    GOTO 500
back: demo = false : demo1 = false
810 GOSUB 6000 : 'draw border
    LOCATE 4,35 : COLOR 0,7 : PRINT " MAIN  MENU " : COLOR 7,0
    MU$(1) = " 1. Help "
    MU$(2) = " 2. Demonstration "
```

เอกสารนี้ใช้สำหรับการศึกษาวิจัยเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    MU$(3) = " 3. Run Program "
    MU$(4) = " 4. Exit Program "
    LOCATE 7,32 : COLOR 0,7 : PRINT MU$(1) : COLOR 7,0
    LOCATE 8,32 : PRINT MU$(2)
    LOCATE 9,32 : PRINT MU$(3)
    'LOCATE 10,32 : PRINT MU$(4)
    LOCATE 14,28 : COLOR 0,7 : PRINT " Use Arrow key to select " : COLOR 7,0
    SET = 1 : mu = 4
970 A$ =INKEY$ : IF A$ = "" THEN 970
    IF A$ = UP$ OR A$ = LT$ THEN GOSUB up :GOTO 970 : ' s. up (4)
    IF A$ = DN$ OR A$ = RT$ THEN GOSUB down :GOTO 970 : ' s. down(4)
     'gosub 6530 = select by fixed (4)
     IF A$ = "1" OR A$ = "H" OR A$ = "h" THEN RS = 1 : GOSUB fixed : GOTO 1080
     IF A$ = "2" OR A$ = "D" OR A$ = "d" THEN RS = 2 : GOSUB fixed : 'GOTO 10
     IF A$ = "3" OR A$ = "R" OR A$ = "r" THEN RS = 3 : GOSUB fixed : GOTO 1080
     IF A$ = "4" OR A$ = "E" OR A$ = "e" OR A$ = CHR$(27) THEN RS = 4 : GOSUB f
xed : LOCATE 18,1 : END
     IF A$ = CHR$(13) THEN 1080
     SOUND 1000,2:SOUND 500,1
     GOTO 970
1080 IF SET = 1 THEN goto help
     IF SET = 2 THEN DEMO = TRUE ELSE DEMO = FALSE
     IF SET = 3 THEN 1120
     IF SET = 4 THEN LOCATE 18,1 : END
   goto 1120
help: locate 6,1,0
print "┌──────────────────────────────────────┐";
color 0,7
print" HELP ";
color 7,0
print "└──────────────────────────────────────┘"
pr  t "|
      |"
print "|
      |"
print "|
      |"
print "|
      |"
print "|
      |"
print "|
      |"
print "|
      |"
print "|
      |"
print "|
      |"
print "|
      |"
print "|
      |"
p.  .t "└──────────────────────────────────────┘
"
  open "help.txt" as #1 len = 79
  field #1,79 as help$
  view print 8 to 18
     for i% = 1 to 10
     get #1 : print help$
  next i%
     get #1 : print help$;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  gosub help1 : if a$ = chr$(27) then goto help3
    for i% = 1 to 10
    get #1 : print help$
  next i%
    get #1 : print help$;
  gosub help1 : if a$ = chr$(27) then goto help3
    for i% = 1 to 10
    get #1 : print help$
  next i%
    get #1 : print help$;
  gosub help1 : if a$ = chr$(27) then goto help3
    for i% = 1 to 10
    get #1 : print help$
  next i%
    get #1 : print help$;
  gosub help1 : if a$ = chr$(27) then goto help3
    for i% = 1 to 10
    get #1 : print help$
  next i%
    get #1 : print help$;
  gosub help1 : if a$ = chr$(27) then goto help3
    for i% = 1 to 10
    get #1 : print help$
  next i%
    get #1 : print help$;
  gosub help1 : if a$ = chr$(27) then goto help3
    for i% = 1 to 10
    get #1 : print help$
  next i%
    get #1 : print help$;
  gosub help1 : if a$ = chr$(27) then goto help3
he  3: close #1 : view print : goto 810
1120 REM RUN program
     CLS
     SET = 1 : mu = 6
     GOSUB 6000 : 'draw border
     LOCATE 4,32 : COLOR 0,7 : PRINT " RUN PROGRAM MENU " : COLOR 7,0
     MU$(1) = " 1. Dipole "
     mu$(2) = " 2. Loop "
     MU$(3) = " 3. Array "
     MU$(4) = " 4. Yagi - Uda "
     MU$(5) = " 5. Helix "
     mu$(6) = " 6. Go Back "
     LOCATE 6,32 : COLOR 0,7 : PRINT MU$(1) : COLOR 7,0
     LOCATE 7,32 : PRINT MU$(2)
     LOCATE 8,32 : PRINT MU$(3)
     LOCATE 9,32 :PRINT MU$(4)
     LOCATE 10,32 : PRINT MU$(5)
     locate 11,32 : print mu$(6)
     LOCATE 14,26 : COLOR 16,15: PRINT "Arrow key";:COLOR 7,0:PRINT " to sele_t
";:COLOR 16,15 : PRINT "ESC";:COLOR 7,0 : PRINT " to exit "
1280 IF DEMO THEN GOSUB 1470
1290 A$ =INKEY$ : IF A$ = "" THEN 1290
     IF A$ = UP$ OR A$ = LT$ THEN GOSUB up1 :GOTO 1280 : ' s. up(5)
     IF A$ = DN$ OR A$ = RT$ THEN GOSUB down1 :GOTO 1280 : ' s. down(5)
     IF A$ = "1" OR A$ = "D" OR A$ = "d" THEN RS = 1 : GOSUB fixed1 : GOTO 14_0
     IF A$ = "2" OR A$ = "L" OR A$ = "l" THEN RS = 2 : GOSUB fixed1 : GOTO 142(
     IF A$ = "3" OR A$ = "A" OR A$ = "a" THEN RS = 3 : GOSUB fixed1 : GOTO 142(
     IF A$ = "4" OR A$ = "Y" OR A$ = "y" THEN RS = 4 : GOSUB fixed1 : GOTO 14_0
     if a$ = "5" or a$ = "H" or a$ = "h" then rs = 6 : gosub fixed1 : goto 142(
     IF A$ = "6" OR A$ = "G" OR A$ = "g" THEN 810
     IF A$ = CHR$(27) THEN LOCATE 18,1:END
     IF A$ = CHR$(13) THEN 1420
     SOUND 1000,2:SOUND 500,1
     GOTO 1280
1420 IF SET = 1 THEN 1610
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      IF SET = 2 THEN goto loops
      IF SET = 3 THEN goto array
      IF SET = 4 or set = 5 THEN chcheck$ = "ok" : chain "acdchain"
      if set = 6 then 810
1470 'demostrate
      LOCATE 24,33 : COLOR 0,7 : PRINT " Demonstration "; : COLOR 7,0
      LOCATE 16 : PRINT "     In this menu you can select your choice by use arrc
 key "
      gosub 7320 : if a$ = chr$(27) then goto back
      LOCATE 18,9 : PRINT "When you press ";CHR$(24);" or ";CHR$(27);" the menu
ill be "
      FOR I% = 1 TO 18 : GOSUB up1 : SOUND 1000,1 : FOR J% = 1 TO 5000 : NEXT J%
I%
      gosub 7320 : if a$ = chr$(27) then goto back
      LOCATE 19,9 : PRINT "and when you press ";CHR$(25);" or ";CHR$(26);" then
      FOR I% = 1 TO 18 : GOSUB down1 : SOUND 1000,1 : FOR J% = 1 TO 5000 : NEXT
%,I%
      LOCATE 20,12 : PRINT " You use it to move cursor to topic that you want"
      LOCATE ,13 : PRINT "and press RETURN (↵) key"
      LOCATE ,10 : PRINT "You can select by Press number or first letter of tl
hoice"
      LOCATE ,15 : PRINT "Now I select (1) Dipole  (by press ↵)"
      gosub 7320 : if a$ = chr$(27) then goto back
      goto 1610
array: cls
      locate 3,31 : print "┌──────────────┐"
      locate 4,31 : print "│              │"
      locate 5,31 : print "└──────────────┘"
      locate 4,35 : color 15
      print "A r r a y" : color 7
      mu$(1) = " Calculate " : mu$(2) = " Load data "
      locate 23,30 : color 0,7 :
      print mu$(1); : color 7,0 : print "  or ";mu$(2)
      set = 1
array1:
      a$ = inkey$ : if a$ = "" then goto array1
      if a$ = chr$(13) then goto array2
      if a$ = up$ or a$ = dn$ or a$ = lt$ or a$ = rt$ then
        rs = set + 1
        if rs > 2 then rs = 1
        locate 23,16*set+14 : print mu$(set)
        locate 23,16*rs+14 : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
        set = rs
      else sound 1000,1 : sound 500,2
      end if
        goto array1
array2: locate 23,30 : print "                                    ";
        if set = 2 then goto load2
nelem: locate 7,10 : print "Enter No. of Element = ▒▒"
   quan = 2 : locate 7,33,1 : gosub enter
   nelem = int(val(b$))
   if nelem = 0 then goto nelem
   locate 7,32,0 : print nelem
      mu$(1) = " Normal "
      mu$(2) = " Ordinary Endfire "
      mu$(3) = " Handsen - Woodyard "
    locate 15,10 : color 15 : print "Which is your choice ?" : color 7
    locate 16,15 : color 0,7 : print mu$(1) : color 7,0
    locate 17,15 : print mu$(2)
    locate 18,15 : print mu$(3)
    set = 1
1500 a$ = inkey$ : if a$ = "" then 1500
    if a$ = up$ or a$ = lt$ then
      rs = set - 1
      if rs < 1 then rs = 3
      locate rs+15,15 : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        locate set+15,15 : print mu$(set)
        set = rs : goto 1500
     end if
     if a$ = dn$ or a$ = rt$ then
        rs = set + 1
        if rs > 3 then rs = 1
        locate rs+15,15 : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
        locate set+15,15 : print mu$(set)
        set = rs : goto 1500
     end if
    if a$ = chr$(13) then 1510
     sound 1000,1 : sound 500,2
     goto 1500
1510 view print 15 to 18 : cls : view print
     locate 9,10 : color 15 : print mu$(set) : color 7,
     til$ = mu$(set)
     if set = 1 then goto normal
     if set = 2 then goto ordi
     if set = 3 then goto handsen
normal:
1520 locate 11,10 : print "Spacing = ▒▒▒▒▒▒ Lambda"
      quan = 6 : locate 11,20 : gosub enter
      spac = val(b$)
      if spac = 0 then goto 1520
    locate 12,10 : print "Phase = ▒▒▒▒▒▒"
    quan = 6 : locate 12,18 : gosub enter
    mu$(1) = " Degree " : mu$(2) = " Radian "
    locate 23,30 : color 0,7
    print mu$(1); : color 7,0 : print "   or   ";mu$(2)
    set = 1
1480 a$ = inkey$ : if a$ = "" then 1480
      if a$ = chr$(13) then 1490
      if a$ = up$ or a$ = lt$ or a$ = dn$ or a$ = rt$ then
         rs = set + 1
         if rs > 2 then rs = 1
         locate 23,16*set+14 : print mu$(set)
         locate 23,16*rs+14 : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
         set = rs
       else sound 1000,1 : sound 500,2 : goto 1480
       end if
      goto 1480
1490 locate 12,25 : print "Degree" : til1$ = mu$(set)
      if set = 2 then phsd = val(b$)*180/pi else phsd = val(b$)
      locate 23,30 : print "                                    "
      if set = 1 then phs = val(b$)*pi/180 else phs = val(b$)
      locate 12,18 : print "▒▒▒▒▒▒" : locate 12,18 : print using"###.##";phsd
      goto cal2
ordi: ld = (1 - 1/(2*nelem))/2
       locate 11,10 : print using"Enter Spacing of element (not more than #.###
ambda)";ld
1530 locate 12,10 : print "Spacing = ▒▒▒▒▒▒ Lambda"
      quan = 6 : locate 12,20 : gosub enter
      spac = val(b$)
      if spac <= 0 or spac > ld then goto 1530
      locate 11,10 : print "Spacing =";spac;"Lambda
        "
      phs = 2*pi*spac    : phsd = phs*180/pi
      locate 12,10 : print "Phase =";phsd;"Degree                    "
      til1$ = " Degree"
      goto cal2
handsen: ld = (1-1/nelem)/2
       locate 11,10 : print using"Enter Spacing of element (not more than #.#
ambda)";ld
1540 locate 12,10 : print "Spacing = ▒▒▒▒▒▒ Lambda"
      quan = 6 : locate 12,20 : gosub enter
      spac = val(b$)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      if spac <= 0 or spac > ld then goto 1540
      locate 11,10 : print "Spacing =";spac;"Lambda
        "
      phs = 2*pi*spac + pi/nelem  : phsd = phs*180/pi
      locate 12,10 : print "Phase =";phsd;"Degree
      til1$ = " Degree"
cal_:
       locate 14,12 : print "Calculate.."
       locate 15,12 : print "Array factor at θ =     Degree"
       for i% = 0 to 180
       fi(i%) = phs+2*pi*spac*cos(i%*pi/180)
       next i%
          test = 0
       for i% = 0 to 180
       if Nelem*sin(fi(i%)/2) = 0 then
       arr(i%) = 1
       else arr(i%) = fnarr(i%,nelem,pi)
       end if
          if arr(i%) > test then test = arr(i%)
        locate 15,31,1 : print i%;
       next i%
       for i% = 181 to 360
         arr(i%) = arr(360-i%)
        locate 15,31,1 : print i%;
       next i%
       for i% = 0 to 360
         arrf(i%) = arr(i%)/test
       next i%
       locate 15,24 : print "   Ok.
check2:
   mu$(1) = "    See pattern    " : mu$(2) = " Multiplication "
    u$(3) = "    Save data      " : mu$(4) = "      Go back    "
    locate 20,5,0 : color 0,7 : print mu$(1) : color 7,0
    locate 20,23 : print mu$(2) : locate 20,41 : print mu$(3)
    locate 20,59 : print mu$(4)
      set = 1
1550  a$ = inkey$ : if a$ = "" then 1550
    if a$ = lt$ or a$ = up$ then gosub 6920 : goto 1550
    if a$ = rt$ or a$ = dn$ then gosub 6980 : goto 1550
    if a$ = chr$(13) then goto make2
    sound 1000,1 : sound 500,2 : goto check2
make2: if set = 1 then goto drawpatt2
       if set = 2 then goto multi
       if set = 3 then goto savedata2
       if set = 4 then 1120
drawpatt2:
      mu$(1) = " Only Array factor "
      mu$(2) = " Psi fn. & Array factor "
    locate 16,10,0 : color 15 : print "Select" : color 7
    locate 17,12 : color 0,7 : print mu$(1) : color 7,0
    locate 18,12 : print mu$(2)
    set = 1
1560 a$ = inkey$ : if a$ = "" then 1560
     if a$ = chr$(13) then 1570
     if a$ = up$ or a$ = lt$ or a$ = dn$ or a$ = rt$ then
        rs = set + 1
        if rs > 2 then rs = 1
        locate set+16,12 : print mu$(set)
        locate rs+16,12 : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
        set = rs
      else sound 1000,1 : sound 500,2 : goto 1560
      end if
     goto 1560
1570 if set = 2 then
     gosub arrgrp
     else locate 19,34
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          color 31 : print "Please wait" : color 7
          for i% = 0 to 360
          r = arrf(i%)
          x(i%) = fnepdx(i%,pi,r) : y(i%) = fnepdy(i%,pi,r)
          next i%
          gosub 6800  ' draw graph
      end if
      gosub arrdisp
      goto check2
savedata2:
    view print 7 to 20 : cls
    locate 7,35 : color 15 : print "Save Data" : color 7
    view print 9 to 18 : print "Directory of"; : files "*.dat"
    locate ,15 : print "Enter filename -> ";
    cl = csrlin : locate ,33,1
    quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
    gosub 7240  'change filename
    LOCATE CL,33 : COLOR 15 : PRINT FILENAME$; : color 7
     LOCATE 18,32 :COLOR 31,0 :PRINT "Please wait " : COLOR 7,0
     OPEN FILENAME$ AS #1 LEN = 8
     FIELD #1,8 AS ZETA$
     FOR I% = 0 TO 360
     LSET ZETA$ = MKS$(arrf(I%))
     PUT #1
     NEXT i%
     for i% = 0 to 180
       lset zeta$ = mks$(fi(i%)) : put #1
     next i%
     for i% = 0 to 180
       lset zeta$ = mks$(arr(i%)*10000) : put #1
     next i%
     lset zeta$ = mks$(nelem)
     put #1
     lset zeta$ = left$(til$,8) : put #1
     lset zeta$ = mid$(til$,9,8) : put #1
     lset zeta$ = mks$(spac) : put #1
     lset zeta$ = mks$(phsd) : put #1
     lset zeta$ = til1$ : put #1
     close #1
     VIEW PRINT
     gosub arrdisp : goto check2
load2: view print 7 to 22 : cls
    locate 7,35 : color 15 : print "Load Data" : color 7
    view print 9 to 18 : print "Directory of"; : files "*.dat"
    locate ,15 : print "Enter filename -> ";
    cl = csrlin : locate ,33,1
    quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
    gosub 7240  'change filename
    LOCATE CL,33 : COLOR 15 : PRINT FILENAME$; : color 7
    LOCATE 18,32 :COLOR 31,0 :PRINT "Please wait " : COLOR 7,0
     OPEN FILENAME$ AS #1 LEN = 8
     FIELD #1,8 AS ZETA$
     FOR I% = 0 TO 360
     GET #1
     arrf(I%) = CVS(ZETA$)
     NEXT I%
       for i% = 0 to 180
         get #1 : fi(i%) = cvs(zeta$)
       next i%
        for i% = 0 to 180
          get #1 : arr(i%) = cvs(zeta$)/10000
        next i%
     get #1 : nelem = cvs(zeta$)
     get #1 : a$ = zeta$
     get #1 : b$ = zeta$ : til$ = a$+b$
     get #1 : spac = cvs(zeta$)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      get #1 : phsd = cvs(zeta$)
      get #1 : til1$ = zeta$
      close #1
      VIEW PRINT
      gosub arrdisp : goto check2
mul:  view print 7 to 20 : cls
        locate 7,30 : color 15 : print "Pattern Multiplication" : color 7
        view print 9 to 18  : print "Directory of";
        files "*.dat"
      LOCATE ,15 : PRINT "Enter filename -> ";
      CL = CSRLIN : LOCATE ,33,1
      quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
      GOSUB 7240 '  change filename
      LOCATE CL,33 : COLOR 15 : PRINT FILENAME$; : color 7
      PRINT : locate ,32 : COLOR 31 : PRINT "Please wait.." : COLOR 7
      OPEN FILENAME$ AS #1 LEN = 8
      FIELD #1,8 AS ZETA$
      FOR I% = 0 TO 360
      GET #1
      EP(I%) = CVS(ZETA$)
      NEXT I%  : close #1
      cls : view print
      locate 9,10 : print "Load data    Ok"
      locate 11,10 : print "Multiplication at θ =     Degree"
      test = 0
      for i% = 0 to 360
        hp(i%) = ep(i%)*arr(i%)
        if test < hp(i%) then test = hp(i%)
        locate 11,31 : print i%;
      next i%
        locate 11,24 : print "     Ok.          "
      locate 13,10 : print "Normalize..."
      for i% = 0 to 360
         hp(i%) = hp(i%)/test
      next i%
        locate 13,19 : print "          Ok."
        locate 20,32,0 : color 0,7 : print " Any key to see Pattern " : color 7,
        gosub keypress
multipatt: locate 18,36 : color 31 : print "Please wait" : color 7
           for i% = 0 to 360
           r = hp(i%)
           x(i%) = fnepdx(i%,pi,r) : y(i%) = fnepdy(i%,pi,r)
           next i%
           gosub 6800  ' draw graph
           gosub multidisp
    mu$(1) = " Again " : mu$(2) = " Go back "
    locate 23,30 : color 0,7
    print mu$(1); : color 7,0 : print "   or   ";mu$(2)
    set = 1
1580 a$ = inkey$ : if a$ = "" then 1580
      if a$ = chr$(13) then 1590
      if a$ = up$ or a$ = lt$ or a$ = dn$ or a$ = rt$ then
         rs = set + 1
         if rs > 2 then rs = 1
         locate 23,16*set+14 : print mu$(set)
         locate 23,16*rs+14 : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
         set = rs
       else sound 1000,1 : sound 500,2 : goto 1580
       end if
      goto 1580
1590 if set = 1 then goto multipatt
      if set = 2 then gosub arrdisp : goto check2
a: a$ = inkey$ : if a$ = "" then goto a
    goto 1120
1610 GOSUB 6000 :  ' draw border
      MU$(1) = " 1. Ideal Dipole "
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      MU$(2) = " 2. Short Dipole "
      MU$(3) = " 3. Wire Antenna "
      MU$(4) = " 4. Go Back "
      LOCATE 4,33 :COLOR 0,7 : PRINT " Dipole Antenna " : COLOR 7,0
      LOCATE 7,32 :COLOR 0,7 : PRINT MU$(1) : COLOR 7,0
      LOCATE 8,32 : PRINT MU$(2)
      LOCATE 9,32 : PRINT MU$(3)
      LOCATE 10,32 : PRINT MU$(4)
      LOCATE 14,26 : COLOR 16,15: PRINT "Arrow key";:COLOR 7,0:PRINT " to select
";:COLOR 16,15 : PRINT "ESC";:COLOR 7,0 : PRINT " to exit "
      SET = 1 : mu = 4
      IF DEMO THEN 2640
1740  A$ =INKEY$ : IF A$ = "" THEN 1740
      IF A$ = UP$ OR A$ = LT$ THEN GOSUB up :GOTO 1740 : ' s. up(4)
      IF A$ = DN$ OR A$ = RT$ THEN GOSUB down :GOTO 1740 : ' s. down (4)
      ' gosub 6530 'select by fixed (4)
      IF A$ = "1" OR A$ = "I" OR A$ = "i" THEN RS = 1 : GOSUB fixed : GOTO 186
      IF A$ = "2" OR A$ = "S" OR A$ = "s" THEN RS = 2 : GOSUB fixed : GOTO 1860
      IF A$ = "3" OR A$ = "W" OR A$ = "w" THEN RS = 3 : GOSUB fixed : GOTO 1860
      IF A$ = "4" OR A$ = "G" OR A$ = "g" THEN 1120
      IF A$ = CHR$(27) THEN LOCATE 18,1:END
      IF A$ = CHR$(13) THEN 1860
      SOUND 1000,2:SOUND 500,1
      GOTO 1740
1860  IF SET = 1 THEN 1900
      IF SET = 2 THEN goto short
      IF SET = 3 THEN 2680
      IF SET = 4 THEN  1120
1900  CLS
      locate 3,32 : print "                "
      locate 4,32 : print "                "
      locate 5,32 : print "                "
      LOCATE 4,34 : COLOR 15,0 : PRINT "Ideal Dipole" : COLOR 7,0
      mu$(1) = " Calculate " : mu$(2) = " Load data "
      locate 23,30 : color 0,7 :
      print mu$(1); : color 7,0 : print "  or ";mu$(2)
      set = 1
id1:
      a$ = inkey$ : if a$ = "" then goto id1
      if a$ = chr$(13) then goto id2
      if a$ = up$ or a$ = dn$ or a$ = lt$ or a$ = rt$ then
        rs = set + 1
        if rs > 2 then rs = 1
        locate 23,16*set+14 : print mu$(set)
        locate 23,16*rs+14 : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
        set = rs
      else sound 1000,1 : sound 500,2
      end if
        goto id1
id2:  locate 23,30 : print "                                    ";
      if set = 2 then goto loadid
      LOCATE 7,10  : PRINT "Calculate  ..."
      locate 9,15 : print "E - Plane  for θ =     degree"
      FOR I% = 0 TO 360
      EP(I%) = FNEPD(I%,PI)
      LOCATE 9,33 : PRINT I%
      NEXT i%
      locate 9,26 : print "    Ok.              "
      LOCATE 10,15  : PRINT "H - Plane  for θ =     degree"
      FOR I% = 0 TO 360
      HP(I%) = 1
      LOCATE 10,33 : PRINT I%
      NEXT i%
      locate 10,26 : print "    Ok.              "
2020  MU$(1) = " See Pattern "
      MU$(2) = " Save Data "
```

ไม่วากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      MU$(3) = " Go Back "
      locate 20,15,0 : color 0,7 : print mu$(1) : color 7,0
      locate 20,35 : print mu$(2) : locate 20,55 : print mu$(3)
      SET = 1
2140  A$ =INKEY$
      IF A$ = "" THEN 2140
      IF A$ = UP$ OR A$ = LT$ THEN GOSUB 6990 :GOTO 2140
      IF A$ = DN$ OR A$ = RT$ THEN GOSUB 7000 :GOTO 2140
      IF A$ = CHR$(13) THEN 2270
      SOUND 1000,2:SOUND 500,1
      GOTO 2140
2270  IF SET = 1 THEN 2280
      IF SET = 2 THEN 2470
      if set = 3 then 1610
2280  mu$(1) = " E - Plane " : mu$(2) = " H - Plane "
      locate 12,20 : color 15,0 : print "Select Plane" : color 7
      locate 15,20 : color 0,7 : print mu$(1) : color 7,0
      locate 15,40 : print mu$(2)
      set = 1
2290  a$ = inkey$ : if a$ = "" then 2290
      if a$ = chr$(13) then 2310
      if a$ = up$ or a$ = lt$ or a$ = dn$ or a$ = rt$ then
         rs = set + 1
         if rs > 2 then rs = 1
         locate 15,20*set : print mu$(set)
         locate 15,20*rs : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
         set = rs
       else sound 1000,1 : sound 500,2 : goto 2290
       end if
      goto 2290
2310  COLOR 31,0
      LOCATE 17,34 : PRINT "Please wait"
      COLOR 7,0
         if set = 2 then 2400
      FOR I%= 0 TO 360
      R = EP(I%)
      X(I%) = FNEPDX(I%,PI,R) : Y(I%) = FNEPDY(I%,PI,R)
      NEXT i%
      GOSUB 6800 : 'DRAW GRAPH
      GOTO alr
2400  FOR I%= 0 TO 360
      R = HP(I%)
      X(I%) = FNHPDX(I%,PI,R) : Y(I%) = FNHPDY(I%,PI,R)
      NEXT
      GOSUB 6800 : 'DRAW GRAPH
alr:  gosub ideal
      goto 2020
2470  view print 7 to 20 : cls
      locate 7,35 : color 15 : print "Save data" : color 7
      view print 9 to 18 : print "Directory of"; : files "*.dat"
      LOCATE ,15,1 : PRINT "Enter Filename -> ";
      cl = csrlin : LOCATE ,33 : quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
      GOSUB 7240 'change file name
      COLOR 15,0 : LOCATE cl,33 : PRINT FILENAME$ : color 7,0
      print : locate ,32,0 :COLOR 31,0 :PRINT "Please wait"; : COLOR 7,0
      view print
      OPEN FILENAME$ AS #1 LEN = 8
      FIELD #1,8 AS ZETA$
      FOR I% = 0 TO 360
      LSET ZETA$ = MKS$(EP(I%))
      PUT #1
      NEXT i%
      FOR I% = 0 TO 360
      LSET ZETA$ = MKS$(HP(I%))
      PUT #1
      NEXT i%
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      CLOSE #1
      GOTO alr
loadid: view print 7 to 20 : cls
      locate 7,35 : color 15 : print "Load data" : color 7
      view print 9 to 18 : print "Directory of"; : files "*.dat"
      LOCATE ,15,1 : PRINT "Enter Filename -> ";
      c1 = csrlin : LOCATE ,33 : quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
      GOSUB 7240 'change file name
      COLOR 15,0 : LOCATE c1,33 : PRINT FILENAME$ : color 7,0
      print : locate ,32,0 :COLOR 31,0 :PRINT "Please wait " : COLOR 7,0
      view print
      OPEN FILENAME$ AS #1 LEN = 8
      FIELD #1,8 AS ZETA$
        for i% = 0 to 360
          get #1
          ep(i%) = cvs(zeta$)
        next i%
        for i% = 0 to 360
          get #1
          hp(i%) = cvs(zeta$)
        next i%
      close #1 : goto alr
short: cls
      locate 3,32 : print "
      locate 4,32 : print "
      locate 5,32 : print "
      LOCATE 4,34 : COLOR 15,0 : PRINT "Short Dipole" : COLOR 7,0
      mu$(1) = " Calculate " : mu$(2) = " Load data "
      locate 23,30 : color 0,7 :
      print mu$(1); : color 7,0 : print "  or ";mu$(2)
      set = 1
sh   t1:
      a$ = inkey$ : if a$ = "" then goto short1
      if a$ = chr$(13) then goto short2
      if a$ = up$ or a$ = dn$ or a$ = lt$ or a$ = rt$ then
        rs = set + 1
        if rs > 2 then rs = 1
        locate 23,16*set+14 : print mu$(set)
        locate 23,16*rs+14 : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
        set = rs
      else sound 1000,1 : sound 500,2
      end if
        goto short1
short2: locate 23,30 : print "                                    " : locate 7,10,
      if set = 2 then goto loadsht
short3: print "Length of antenna (";chr$(127);"z) = ▒▒▒▒▒▒▒ Lambda";
      quan = 7 : locate 7,35 : gosub enter : legt = val(b$)
        locate 8,10 : print "Working frequency = ▒▒▒▒▒▒▒ MHz"
        quan = 8 : locate 8,30 : gosub enter : freq = val(b$)
        locate 9,10 : print "Size of conductor = ▒▒▒▒▒▒▒ Lambda";
        quan = 7 : locate 9,30 : gosub enter : a = val(b$)
      locate 11,15 : print "Calculate ..."
      locate 13,15 : print "Pattern at θ =     Degree"
        for i% = 0 to 360
        ep(i%) = fnepd(i%,pi)
        locate 13,29 : print i%; : next i%
        locate 13,26 : print "  Ok.                          ";
        rr = 20*pi*pi*legt*legt
        rsu = sqr(4*pi*pi*1000000*freq/5.7)
        ro = rsu*legt/(6*pi*a)
      locate 15,15 : print "Radiation resistance =";rr;"Ω"
      locate 16,15 : print "Ohmic resistance     =";ro;"Ω"
      locate 17,15 : print "Input resistance     =";rr+ro;"Ω"
short6: mu$(1) = " See pattern "
        mu$(2) = "  Save data  "
        mu$(3) = "   Go back   "
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      locate 20,15,0 : color 0,7 : print mu$(1) : color 7,0
      locate 20,35 : print mu$(2) : locate 20,55 : print mu$(3)
      SET = 1
short4:  A$ =INKEY$
      IF A$ = "" THEN goto short4
      IF A$ = UP$ OR A$ = LT$ THEN GOSUB 6990 :GOTO short4
      IF A$ = DN$ OR A$ = RT$ THEN GOSUB 7000 :GOTO short4
      IF A$ = CHR$(13) THEN goto short7
      SOUND 1000,2:SOUND 500,1
      GOTO short4

short7: if set = 1 then goto short5
         if set = 2 then goto saves
         if set = 3 then 1610
short5:  locate 18,34 : color 31,0 : print "Please wait" : color 7
        for i% = 0 to 360
        r = ep(i%)
        x(i%) = fnepdx(i%,pi,r) : y(i%) = fnepdy(i%,pi,r)
        next i%
        gosub 6800 'draw graph
        gosub shtdisp
        goto short6
saves:  view print 7 to 20 : cls
      locate 7,35 :\color 15 : print "Save data" : color 7
      view print 9 to 18 : print "Directory of ";
      files "*.dat"
      LOCATE ,15 : PRINT "Enter Filename -> ";
      cl = csrlin : LOCATE ,33,1 : quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
      GOSUB 7240 'change file name
      COLOR 15,0 : LOCATE cl,33 : PRINT FILENAME$ : color 7,0
      print : locate ,32,0 :COLOR 31,0 :PRINT "Please wait " : COLOR 7,0
      view print
      OPEN FILENAME$ AS #1 LEN = 8
      FIELD #1,8 AS ZETA$
      FOR I% = 0 TO 360
      LSET ZETA$ = MKS$(EP(I%))
      PUT #1
      NEXT i%
      lset zeta$ = mks$(legt) : put #1
      lset zeta$ = mks$(freq) : put #1
      lset zeta$ = mks$(a) : put #1
      lset zeta$ = mks$(rr) : put #1
      lset zeta$ = mks$(ro) : put #1
       close #1 : gosub shtdisp : goto short6
      goto a
loadsht:
      view print 7 to 20 : cls
      locate 7,35 : color 15 : print "Load data" : color 7
      view print 9 to 18 : print "Directory of"; : files "*.dat"
      LOCATE ,15 : PRINT "Enter Filename -> ";
      cl = csrlin : LOCATE ,33,1 : quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
      GOSUB 7240 'change file name
      COLOR 15,0 : LOCATE cl,33 : PRINT FILENAME$ : color 7,0
      print : locate ,32,0 :COLOR 31,0 :PRINT "Please wait " : COLOR 7,0
      view print
      OPEN FILENAME$ AS #1 LEN = 8
      FIELD #1,8 AS ZETA$
      FOR I% = 0 TO 360
         get #1 : ep(i%) = cvs(zeta$)
      next i%
         get #1 : legt = cvs(zeta$)
         get #1 : freq = cvs(zeta$)
         get #1 : a = cvs(zeta$)
         get #1 : rr = cvs(zeta$)
         get #1 : ro = cvs(zeta$)
       close #1 : gosub shtdisp : goto short6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2640 ' demonstrate
     LOCATE 24,33 : COLOR 0,7 : PRINT " Demonstration "; : COLOR 7,0
     LOCATE 16,5 : PRINT "Now I select 3. Wire antenna"
     RS = 3 : GOSUB fixed : SOUND 800,1 : gosub 7320 : if a$ = chr$(27) then g
o back
     goto 2680
26.  ' wire antenna
     CLS : LOCATE 2,33 : PRINT "┌──────────────────┐"
           LOCATE 3,33 : PRINT "│                  │"
           LOCATE 4,33 : PRINT "└──────────────────┘"
     LOCATE 3,35 : COLOR 15 : PRINT "Wire Antenna" : COLOR 7
     mu$(1) = " Calculate " : mu$(2) = " Load data."
     locate 23,30 : color 0,7 :
     print mu$(1); : color 7,0 : print "  or ";mu$(2)
     set = 1
     if demo then goto dem1
wire1:
     a$ = inkey$ : if a$ = "" then goto wire1
     if a$ = chr$(13) then goto wire2
     if a$ = up$ or a$ = dn$ or a$ = lt$ or a$ = rt$ then
       rs = set + 1
       if rs > 2 then rs = 1
       locate 23,16*set+14 : print mu$(set)
       locate 23,16*rs+14 : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
       set = rs
     else sound 1000,1 : sound 500,2
     end if
       goto wire1
wire2: locate 23,30 : print "                                    ";
     if set = 2 then 3380
     LOCATE 7,10 : PRINT "Please enter the parameter"
wi   3:
     LOCATE 9,15,1 : PRINT "Length of antenna ▒▒▒▒▒ (Lambda)"
     if demo then gosub demo1 : goto mak
     LOCATE 9,33 : quan = 5 : gosub enter
     L = VAL(b$)
     if l <= 0 then goto wire3
mak: locate 10,15 : print "Conductor size  = ▒▒▒▒▒ (Lambda)"
     if demo then gosub demo3 : goto cal1
     locate 10,33 : quan = 5 : gosub enter : a = val(b$)

cal1: 'start calculating
     LOCATE 12,15 : PRINT "Calculation..          "
     LOCATE 13,15 : PRINT "Pattern at θ =    Degree"
     TEST = 0
     FOR I% = 0 TO 360
     IF FNTESTWIRE(I%,PI) = 0 THEN EP(I%) = 0 : GOTO 2840
     EP(I%) = FNWIRE(I%,PI,L)
2840 LOCATE 13,29 : PRINT I%;
     IF EP(I%) > TEST THEN TEST = EP(I%)
     NEXT I%
     LOCATE 13,23 : PRINT "        Ok.                "
     LOCATE 14,15 : PRINT "Normalize.. ";
     FOR I% = 0 TO 360 : EP(I%) = EP(I%)/TEST : NEXT I%
     PRINT "    Ok."
     LOCATE 15,15 : PRINT "Impedance"
     ll = l/2 : aa = a : gosub impeda
     LOCATE 16,18 : PRINT using "Resistance     = ####.#### Ω";zr
     LOCATE 17,18 : PRINT using "Reactance      = ####.#### Ω";zi
2940 MU$(1) = "  See pattern  " : MU$(2) = "   Save data   "
     MU$(3) = "    Go back    "
2960 locate 20,15,0 : color 0,7 : print mu$(1) : color 7,0
     locate 20,35 : print mu$(2) : locate 20,55 : print mu$(3)
     SET = 1 : LOCATE ,,0
     if demo1 then goto dem2
     if demo then gosub demo2 : goto 3090
```

เอกสารนี้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
2990 A$ = INKEY$ : IF A$ = "" THEN 2990
     IF A$ = UP$ OR A$ = LT$ THEN GOSUB 6990 : GOTO 2990
     IF A$ = DN$ OR A$ = RT$ THEN GOSUB 7000 : GOTO 2990
     IF A$ = CHR$(13) THEN 3050
     SOUND 1000,2:SOUND 500,1
     GOTO 2990
3050 IF SET = 1 THEN 3090 ' draw pattern
     IF SET = 2 THEN 3190 ' save data
     IF SET = 3 THEN 1610 ' go back
3090 ' draw pattern
     COLOR 31,0
     LOCATE 18,34 : PRINT "Please wait"
     COLOR 7,0
     ' FOR I%= 0 TO 360
     R = EP(I%)
     X(I%) = FNEPDX(I%,PI,R) : Y(I%) = FNEPDY(I%,PI,R)
     NEXT I%
     GOSUB 6800 : 'DRAW GRAPH
3180 GOSUB 7040
       if demo then demo1 = true : goto 2940
     GOTO 2960
3190 VIEW PRINT 7 TO 20    'save data
     CLS : LOCATE 7,35 : COLOR 15 : PRINT "Save data" : COLOR 7
     VIEW PRINT 9 TO 18 : print "Directory of ";
     FILES "*.dat"
     LOCATE ,15 : PRINT "Enter filename -> ";
     CL = CSRLIN : LOCATE ,33,1
       if demo then
       gosub demo4
       gosub x7320 : if a$ = chr$(27) then goto back
       goto dem3
        else
     quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
        end if
dem3:
     GOSUB 7240 '  change filename
     LOCATE CL,33 : COLOR 15 : PRINT FILENAME$;
     PRINT : locate ,32 : COLOR 31 : PRINT "Please wait.." : COLOR 7
     OPEN FILENAME$ AS #1 LEN = 8
     FIELD #1,8 AS ZETA$
     FOR I% = 0 TO 360
     LSET ZETA$ = MKS$(EP(I%))
     PUT #1
     NEXT I%
     LSET ZETA$ = mks$(1)
     PUT #1 : CLOSE #1
     VIEW PRINT : GOSUB 7040
       if demo then goto back
     GOTO 2960
3380 VIEW PRINT 7 TO 20
     CLS : LOCATE 7,35 : COLOR 15 : PRINT "Load data" : COLOR 7
     VIEW PRINT 9 TO 18 : print "Directory of"; : FILES "*.dat"
     LOCATE ,15 : PRINT "Enter filename -> ";
     CL = CSRLIN : LOCATE ,33,1
     quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
     GOSUB 7240 '  change filename
     LOCATE CL,33 : COLOR 15 : PRINT FILENAME$;
     PRINT : locate ,32 : COLOR 31 : PRINT "Please wait.." : COLOR 7
     OPEN FILENAME$ AS #1 LEN = 8
     FIELD #1,8 AS ZETA$
     FOR I% = 0 TO 360
     GET #1
     EP(I%) = CVS(ZETA$)
     NEXT I%
     GET #1
     L = cvs(ZETA$) : CLOSE #1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น การละเมิดลิขสิทธิ์ยินยอมให้มีความผิดตามกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
     VIEW PRINT : GOSUB 7040 : GOTO 2940
dem1:
     LOCATE 24,33 : COLOR 0,7 : PRINT " Demonstration "; : COLOR 7,0
       locate 22,32 : color 15 : print "Select calculate" : color 7
       sound 1000,2 : sound 500,1 : gosub 7320 : if a$ = chr$(27) then goto L.c
       locate 22,32 : print "                    "
       goto wire2
dem2: locate 24,33 : color 0,7 : print " Demonstration "; : color 7,0
       locate 22,32 : color 15 : print "Select save data" : color 7
       gosub 7000
       sound 1000,2 : sound 500,1 : gosub 7320 : if a$ = chr$(27) then goto L.c
       locate 22,32 : print "                    "
       goto 3190
loops:
   cls
     LOCATE 2,33 : PRINT "┌──────────────────┐"
     LOCATE 3,33 : PRINT "│                  │"
     LOCATE 4,33 : PRINT "└──────────────────┘"
     locate 3,36 : color 15 : print "Loop Antenna" : color 7
  mu$(1) = " Small Loop " : mu$(2) = " Square Loop " : mu$(3) = " Load data "
     locate 10,10 : color 15 : print "Select case" : color 7
     locate 12,12 : color 0,7 : print mu$(1) : color 7,0
     locate 13,12 : print mu$(2) : locate 14,12 : print mu$(3)
     set = 1
3420 a$ = inkey$ : if a$ = "" then 3420
    if a$ = up$ or a$ = lt$ then
       rs = set - 1
       if rs < 1 then rs = 3
       locate rs+11,12 : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
       locate set+11,12 : print mu$(set)
       set = rs : goto 3420
    end if
    if a$ = dn$ or a$ = rt$ then
       rs = set + 1
       if rs > 3 then rs = 1
       locate rs+11,12 : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
       locate set+11,12 : print mu$(set)
       set = rs : goto 3420
    end if
    if a$ = chr$(13) then 3430
    sound 1000,1 : sound 500,2
    goto 3420
3430 view print 9 to 14 : cls : view print
     if set = 1 then goto small
     if set = 2 then goto square
     if set = 3 then goto loaddata4
small:
     locate 7,10 : color 15 : print mu$(set) : color 7
     locate 9,10 : print "Calculate.."
     locate 10,13 : print "E - plane at θ =     Degree"
        for i% = 0 to 360
          ep(i%) = 1
          locate 10,29,1 : print i%;
        next i%
        locate 10,22 : print "       Ok.         "
     locate 11,13 : print "H - plane at θ =     Degree"
        for i% = 0 to 360
          hp(i%) = fnepd(i%,pi)
          locate 11,29 : print i%;
        next i%
        locate 11,22 : print "       Ok.         "
chsmall:
     mu$(1) = " See Pattern "
     MU$(2) = "  Save Data  "
     MU$(3) = "  Go Back    "
     locate 20,15,0 : color 0,7 : print mu$(1) : color 7,0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      locate 20,35 : print mu$(2) : locate 20,55 : print mu$(3)
      SET = 1
3440  A$ =INKEY$
      IF A$ = "" THEN 3440
      IF A$ = UP$ OR A$ = LT$ THEN GOSUB 6990 :GOTO 3440
      IF A$ = DN$ OR A$ = RT$ THEN GOSUB 7000 :GOTO 3440
      IF A$ = CHR$(13) THEN 3450
      SOUND 1000,2:SOUND 500,1
      GOTO 3440
3450  IF SET = 1 THEN 3460
      IF SET = 2 THEN goto savedata4
      if set = 3 then goto 1120
3460  mu$(1) = " E - Plane " : mu$(2) = " H - Plane "
      locate 12,20 : color 15,0 : print "Select Plane" : color 7
      locate 15,20 : color 0,7 : print mu$(1) : color 7,0
      locate 15,40 : print mu$(2)
      set = 1
3470  a$ = inkey$ : if a$ = "" then 3470
      if a$ = chr$(13) then 3480
      if a$ = up$ or a$ = lt$ or a$ = dn$ or a$ = rt$ then
         rs = set + 1
         if rs > 2 then rs = 1
         locate 15,20*set : print mu$(set)
         locate 15,20*rs : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
         set = rs
       else sound 1000,1 : sound 500,2 : goto 3470
       end if
      goto 3470
3480  COLOR 31,0
      LOCATE 17,34 : PRINT "Please wait"
      COLOR 7,0
         if set = 2 then 3490
      FOR I%= 0 TO 360
      R = EP(I%)
      X(I%) = FNEPDX(I%,PI,R) : Y(I%) = FNEPDY(I%,PI,R)
      NEXT i%
      GOSUB 6800 : 'DRAW GRAPH
      gosub smalldisp
      GOTO chsmall
3490  FOR I%= 0 TO 360
      R = HP(I%)
      X(I%) = FNePDX(I%,PI,R) : Y(I%) = FNePDY(I%,PI,R)
      NEXT
      GOSUB 6800 : 'DRAW GRAPH
      gosub smalldisp
      GOTO chsmall
savedata4:
      view print 7 to 20 : cls
      locate 7,35 : color 15 : print "Save data" : color 7
      view print 9 to 18 : print "Directory of ";
      files "*.dat"
      LOCATE ,15 : PRINT "Enter Filename -> ";
      c1 = csrlin : LOCATE ,33,1 : quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
      GOSUB 7240 'change file name
      COLOR 15,0 : LOCATE c1,33 : PRINT FILENAME$ : color 7,0
      print : LOCATE ,32,0 :COLOR 31,0 :PRINT "Please wait " : COLOR 7,0
      view print
      OPEN FILENAME$ AS #1 LEN = 8
      FIELD #1,8 AS ZETA$
      FOR I% = 0 TO 360
      LSET ZETA$ = MKS$(EP(I%))
      PUT #1
      NEXT i%
      lset zeta$ = mks$(1)
      put #1
      FOR I% = 0 TO 360
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      LSET ZETA$ = MKS$(hP(I%))
      PUT #1
      NEXT i%
       close #1 : gosub smalldisp : goto chsmall
loaddata4:
      view print 7 to 20 : cls
      locate 7,35 : color 15 : print "Load data" : color 7
      view print 9 to 18 : print "Directory of ";
      files "*.dat"
      LOCATE ,15 : PRINT " Enter Filename -> ";
      cl = csrlin :LOCATE ,34,1 : quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
      GOSUB 7240 'change file name
      COLOR 15,0 : LOCATE cl,34 : PRINT FILENAME$ : color 7,0
      print : LOCATE ,32,0 :COLOR 31,0 :PRINT "Please wait " : COLOR 7,0
      OPEN FILENAME$ AS #1 LEN = 8
      FIELD #1,8 AS ZETA$
      FOR I% = 0 TO 360
       get #1 : ep(i%) = cvs(zeta$)
      NEXT i%
       get #1 : a = cvs(zeta$)
       if a = 1 then goto s1
       if a = 2 then goto s2
       PRINT "Error !" : close#1 : end
s1:
      FOR I% = 0 TO 360
       get #1 : hp(i%) = cvs(zeta$)
      NEXT i%
       close #1
       view print : gosub smalldisp : goto chsmall
s2:   close #1
      LOCATE ,15 : PRINT " Enter Filename -> ";
      print " (XZ plane)";
      cl = csrlin : LOCATE ,34,1 : quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
      GOSUB 7240 'change file name
      COLOR 15,0 : LOCATE cl,34 : PRINT FILENAME$ : color 7,0
      xz$ = filename$ : print
      LOCATE ,15 : PRINT " Enter Filename -> ";
      print " (YZ plane)";
      cl = csrlin : LOCATE ,34,1 : quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
      GOSUB 7240 'change file name
      COLOR 15,0 : LOCATE cl,34 : PRINT FILENAME$ : color 7,0
      yz$ = filename$
      open xz$ as #1 len = 8
      FIELD #1,8 AS ZETA$
      FOR I% = 0 TO 360
       get #1 : hp(i%) = cvs(zeta$)
      NEXT i%
       close #1
      open yz$ as #1 len = 8
      FIELD #1,8 AS ZETA$
      FOR I% = 0 TO 360
       get #1 : arr(i%) = cvs(zeta$)
      NEXT i%
      close #1  : view print
      gosub squaredisp : goto square1
square:  mu$ = mu$(set)
      locate 7,10 : color 15 : print mu$ : color 7
      locate 9,10 : print "Calculate.."
      locate 10,12 : print "X-Y plane at ";chr$(237);" =      Degree"
    '   ep(i%) --> X-Y
        pi4 = pi/4 : test1 = 0 : test2 = 0 : test3 = 0
   for i% = 0 to 360
      ze = i%*pi/180
      if cos(ze) = 0 or sin(ze) = 0 then ep(i%) = 0  : goto aaa:
      ep(i%) = abs(fnxy1(ze,pi4) + fnxy2(ze,pi4))
      if ep(i%) >= test1 then test1 = ep(i%)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
aaa:
     locate 10,28,1 : print i%; : next i%
     locate 10,21 : print "      Ok.              ";
     locate 11,12 : print "X-Z plane at θ =     Degree"
   '  hp(i%) --> X-Z
    for i% = 0 to 360
      if cos(i%*pi/180) = 0 then hp(i%) = 1 : goto bbb
     hp(i%) = abs(fnxz(i%,pi))
bbb:
      if hp(i%) >= test2 then test2 = hp(i%)
      locate 11,28 : print i%; : next i%
     locate 11,21 : print "      Ok.              ";
      locate 12,12 : print "Y-Z plane at θ =     Degree"
     ' arr(i%) --> Y-Z
      for i% = 0 to 360
       arr(i%) = fnyz(i%,pi)
       if abs(arr(i%)) >= test3 then test3 = abs(arr(i%))
       locate 12,28 : print i%; : next i%
      locate 12,21 : print "      Ok.              ";
     locate 14,12,0 : print "Normalize ... ";
      for i% = 0 to 360
        ep(i%) = ep(i%)/test1
        hp(i%) = hp(i%)/test2
        arr(i%) = arr(i%)/test3
       next i%
      locate 14,21 : print "                Ok.              ";
square1: mu$(1) = " See pattern " : mu$(3) = " Go back " : mu$(2) = " Save data
"
    locate 20,15,0 : color 0,7 : print mu$(1) : color 7,0
    locate 20,35 : print mu$(2) : locate 20,55 : print mu$(3)
      set = 1
sc re2:  a$ = inkey$ : if a$ = "" then goto square2
    if a$ = lt$ or a$ = up$ then gosub 6990 : goto square2
    if a$ = rt$ or a$ = dn$ then gosub 7000 : goto square2
    if a$ = chr$(13) then goto square3
    sound 1000,1 : sound 500,2 : goto square2
square3: locate 20,15 : print "
;
         if set = 1 then goto square4
         if set = 2 then goto squaresave
         if set = 3 then 1120
square4:  locate 19,15 : color 15 : print "Select plane" : color 7
     mu$(1) = "     X - Y      " : mu$(2) = "     X - Z      "
     mu$(3) = "     Y - Z      " : mu$(4) = "    Go back     "
     LOCATE 20,5,0 : COLOR 0,7 : PRINT MU$(1) : COLOR 7,0
     LOCATE 20,23 : PRINT MU$(2) : LOCATE 20,41 : PRINT MU$(3) : LOCATE 20,59 :
PRINT MU$(4)
     SET = 1 : LOCATE ,,0
square5: A$ = INKEY$ : IF A$ = "" THEN goto square5
     IF A$ = UP$ OR A$ = LT$ THEN GOSUB 6920 : GOTO square5
     IF A$ = DN$ OR A$ = RT$ THEN GOSUB 6980 : GOTO square5
     IF A$ = CHR$(13) THEN goto square6
     SOUND 1000,2:SOUND 500,1
     GOTO square5
square6:   locate 21,35 : color 31 : print "Please wait" : color 7
          if set = 1 then goto square7
          if set = 2 then goto square8
          if set = 3 then goto square9
          if set = 4 then goto squ
square7: for i% = 0 to 360
     r = ep(i%) : x(i%) = fnepdx(i%,pi,r) : y(i%) = fnepdy(i%,pi,r)
         next i% : goto squaredraw
square8: for i% = 0 to 360
     r = hp(i%) : x(i%) = fnepdx(i%,pi,r) : y(i%) = fnepdy(i%,pi,r)
         next i% : goto squaredraw
square9: for i% = 0 to 360
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      close #1 : gosub yagidisp : goto yagi3

yagisave:
      VIEW PRINT 7 TO 20    'save data
      CLS : LOCATE 7,35 : COLOR 15 : PRINT "Save data" : COLOR 7
      VIEW PRINT 9 TO 18 : print "Directory of "; : FILES "*.dat"
      LOCATE ,15 : PRINT "Enter filename -> ";
      CL = CSRLIN : LOCATE ,33,1
      quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
      GOSUB 7240 '  change filename
      LOCATE CL,33 : COLOR 15 : PRINT FILENAME$;
      PRINT : LOCATE ,34 : COLOR 31 : PRINT "Please wait.." : COLOR 7
      view print
      OPEN FILENAME$ AS #1 LEN = 8
      FIELD #1,8 AS ZETA$
      FOR I% = 0 TO 360
      LSET ZETA$ = MKS$(EP(I%))
      put #1
      next i%
        for i% = 0 to 360
      lset zeta$ = mks$(hp(i%))
        next i%
      lset zeta$ = mks$(nelem) : put #1
      lset zeta$ = mks$(zrr)   : put #1
      lset zeta$ = mks$(zii)   : put #1
      close #1 : gosub yagidisp : goto yagi3

helix: cls
      LOCATE 2,33 : PRINT "                    "
      LOCATE 3,33 : PRINT "                    "
      LOCATE 4,33 : PRINT "                    "
      locate 3,34 : color 15,0 : print "   H e l i x" : color 7

       mu$(1) = " Normal Mode "
       mu$(2) = " Axial Mode "
       mu$(3) = " Load Data "
     locate 15,10 : color 15 : print "Select case " : color 7
     locate 16,15 : color 0,7 : print mu$(1) : color 7,0
     locate 17,15 : print mu$(2)
     locate 18,15 : print mu$(3)
     set = 1
3385 a$ = inkey$ : if a$ = "" then 3385
     if a$ = up$ or a$ = lt$ then
        rs = set - 1
        if rs < 1 then rs = 3
        locate rs+15,15 : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
        locate set+15,15 : print mu$(set)
        set = rs : goto 3385
     end if
     if a$ = dn$ or a$ = rt$ then
        rs = set + 1
        if rs > 3 then rs = 1
        locate rs+15,15 : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
        locate set+15,15 : print mu$(set)
        set = rs : goto 3385
     end if
     if a$ = chr$(13) then 3386
     sound 1000,1 : sound 500,2
     goto 3385
3386 view print 15 to 18 : cls : view print
     if set = 1 then goto nmode
     if set = 2 then goto amode
     if set = 3 then goto load1

nmode:
     locate 7,10 : color 15 : print mu$(set) : color 7
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
       locate 9,12 : print "    D << Lambda"
       locate 11,12 : print "In the normal mode of operation the radiated fi..c
"
       locate 12,12 : print "is maximum in a direction to the helix axis."
       LOCATE 15,12,1 : print "Calculate"
       locate 16,12.: print "Pattern at θ =     Degree"
          for i% = 1 to 360
          ep(i%) = fnepd(i%,pi)
          locate 16,26 : print i%;
          next i%
       locate 16,19 : print "   Ok.              "
check1:
    mu$(1) = " See pattern " : mu$(2) = " Save data " : mu$(3) = " Go back "
    locate 20,15,0 : color 0,7 : print mu$(1) : color 7,0
    locate 20,35 : print mu$(2) : locate 20,55 : print mu$(3)
      set = 1
3387  a$ = inkey$ : if a$ = "" then 3387
    if a$ = lt$ or a$ = up$ then gosub 6990 : goto 3387
    if a$ = rt$ or a$ = dn$ then gosub 7000 : goto 3387
    if a$ = chr$(13) then goto make1
    sound 1000,1 : sound 500,2 : goto check1
make1: if set = 1 then goto drawpatt1
       if set = 2 then goto savedata1
       if set = 3 then back$ = "bk" : chain "acd"
drawpatt1:
     COLOR 31,0
     LOCATE 18,34 : PRINT "Please wait"
     COLOR 7,0
     FOR I%= 0 TO 360
     R = EP(I%)
     X(I%) = FNEPDX(I%,PI,R) : Y(I%) = FNEPDY(I%,PI,R)
     NEXT I%
     GOSUB 6800 : 'DRAW GRAPH
     gosub helnmode
     goto check1
amode:
       locate 7,10 : color 15 : print mu$(set) : color 7
       locate 9,20 : print "3                    4"
       locate 10,20 :print "- Lambda   <   C   <   - Lambda"
       locate 11,20 :print "4                    3"
circum:
       locate 13,12,1 : print "Circumference of helix (C) = ▒▒▒▒ Lambda"
       quan = 4 : locate 13,41 : gosub enter
     circum = val(b$)
     if circum < 3/4 or circum > 4/3 then goto circum
pitch:
       locate 15,12 : print "Pitch angle (α) = ▒▒▒▒▒"
       quan = 5 : locate 15,30 : gosub enter
       mu$(1) = " Degree " : mu$(2) = " Radian "
       alfa = val(b$)
       if alfa <= 0 then goto pitch
       locate 23,30,0 : color 0,7
       print mu$(1); : color 7,0 : print "   or   ";mu$(2)
       set = 1
3390 a$ = inkey$ : if a$ = "" then 3390
       if a$ = chr$(13) then 3400
       if a$ = up$ or a$ = lt$ or a$ = dn$ or a$ = rt$ then
         rs = set + 1
         if rs > 2 then rs = 1
         locate 23,16*set+14 : print mu$(set)
         locate 23,16*rs+14 : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
         set = rs
       else sound 1000,1 : sound 500,2 : goto 3390
      end if
      goto 3390
3400 locate 15,36 : print mu$(set)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      locate 23,30 : print "                                        "
       if set = 1 then alfa = alfa*pi/180
num:
      locate 17,12,1 : print "Number of turns (N) = ▒▒▒"
      quan = 3 : locate 17,34 : gosub enter
      nt = val(b$)
      if nt <= 0 then goto num
      dia = circum/pi
      spac = circum * tan(alfa)
      lgt = (circum^2+spac^2)^.5
      axl = nt*spac
      phvel = lgt/(spac+(2*nt+1)/(2*nt))
      hp = 52/(circum*(nt*spac)^.5)
      direct = 10*log(41253/hp^2)/log(10)
      rin = 140*circum
         view print 9 to 17
         cls : view print
amodedisp:
      locate 8,12,0: print using "Diameter of helix (D)       = ##.### Lambda";di
      locate 9,12  : print using "Circumference of helix (C) = ##.### Lambda",.i
cum
      locate 10,12 : print using "Spacing between turns (S)   = ##.### Lambda";sp
c
      locate 11,12 : print using "Pitch angle (α)             = ##.### Degree";al
a*180/pi
      locate 12,12 : print using "Length of one turn (L)      = ##.### Lambda",.c
      locate 13,12 : print using "Number of turns (N)         = ##.###";nt
      locate 14,12 : print using "Axial length (A)            = ##.### Lambda";ax
      locate 15,12 : print using "Phase velocity (p)          = ##.###";phvel
      locate 16,12 : print using "Half-power beamwidth (HP)   = ###.## degree";hp
      locate 17,12 : print using "Directivity (D)             = ##.### dB.";direc
      locate 18,12 : print using "Input Impedance (Zin)       = ###.## Ω";rin
      locate 20,32 : color 0,7 : print " Any key to continue " : color 7,0
      gosub keypress
      view print 8 to 20 : cls : view print
      locate 9,10 : print "Calculate.."
      locate 11,12 : print "Pattern at θ =     Degree"
        test = 0
       nt1 = int(nt+.5)
      for i% = 0 to 360
      phi = fncalphi(i%,nt,pi,spac)
      if phi = 0 then ep(i%) = (-1)^(nt1+1)*sin(pi/(2*nt))*cos(i%*pi/180) : goto
cross
      ep(i%) = abs(fnhelix(i%,nt1,nt,phi,pi))
cross: locate 11,26 : print i%;
       if abs(ep(i%)) > test then test = abs(ep(i%))
      next i%
      locate 11,19 : print "      Ok.                "
      locate 13,12 : print "Normalize"
      for i% = 0 to 360
      ep(i%) = ep(i%)/test
      next i%
      locate 13,22 : print "   Ok."
check3: mu$(1) = " See Pattern "
        mu$(2) = "  Save data  "
        mu$(3) = "   Go back   "
    locate 20,15,0 : color 0,7 : print mu$(1) : color 7,0
    locate 20,35 : print mu$(2) : locate 20,55 : print mu$(3)
      set = 1
3410  a$ = inkey$ : if a$ = "" then 3410
    if a$ = lt$ or a$ = up$ then gosub 6990 : goto 3410
    if a$ = rt$ or a$ = dn$ then gosub 7000 : goto 3410
    if a$ = chr$(13) then goto make3
    sound 1000,1 : sound 500,2 : goto 3410
make3:
    if set = 1 then goto patt1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    if set = 2 then goto savedata3
    if set = 3 then back$ = "ok" : chain "acd"
patt1:
     locate 19,36 : color 31,0 : print "Please wait" : color 7
     FOR I%= 0 TO 360
     R = EP(I%)
     X(I%) = FNEPDX(I%,PI,R) : Y(I%) = FNEPDY(I%,PI,R)
     NEXT i%
     GOSUB 6800 : 'DRAW GRAPH
     gosub heldisp2 : goto check3
     gosub keypress
load1:  view print 7 to 20 : cls : view print
     locate 7,10 : color 15 : print "Load data" : color 7
     view print 9 to 18 : print "Directory of "; : files "*.dat"
     LOCATE ,15 : PRINT "Enter filename -> ";
     CL = CSRLIN : LOCATE ,33,1 : INPUT "",FILENAME$
     GOSUB 7240 '  change filename
     LOCATE CL,33 : COLOR 15 : PRINT FILENAME$ : color 7,0
     print : locate ,32,0 : color 31 : print "Please wait" : color 7,0
     view print
     open filenamea$ as #1 len = 8
     field #1,8 as zeta$
      for i% = 0 to 360
      get #1 : ep(i%) = cvs(zeta$)
      next i%
      get # 1 : a = cvs(zeta$)
      if a = 1 then gosub helnmode : goto check1
      if a = 2 then gosub heldisp2 : goto check3
      print "Error !" : end
savedata1:
     view print 7 to 20 : cls
     locate 7,35 : color 15 : print "Save data" : color 7
     view print 9 to 18 : print "Directory of ";
     files "*.dat"
     LOCATE ,15 : PRINT "Enter Filename -> ";
     cl = csrlin : LOCATE ,33,1 : quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
     GOSUB 7240 'change file name
     COLOR 15,0 : LOCATE cl,33 : PRINT FILENAME$ : color 7,0
     print : locate ,32,0 :COLOR 31,0 :PRINT "Please wait " : COLOR 7,0
     view print
     OPEN FILENAME$ AS #1 LEN = 8
     FIELD #1,8 AS ZETA$
     FOR I% = 0 TO 360
     LSET ZETA$ = MKS$(EP(I%))
     PUT #1
     NEXT i%
     lset zeta$r = mks$(1)
     put #1 : close #1
     gosub helnmode : goto check1
savedata3:
     view print 7 to 20 : cls
     locate 7,35 : color 15 : print "Save data" : color 7
     view print 9 to 18 : print "Directory of ";
     files "*.dat"
     LOCATE ,15 : PRINT "Enter Filename -> ";
     cl = csrlin : LOCATE ,33,1 : quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
     GOSUB 7240 'change file name
     COLOR 15,0 : LOCATE cl,33 : PRINT FILENAME$ : color 7,0
     print : locate ,32,0 :COLOR 31,0 :PRINT "Please wait " : COLOR 7,0
     view print
     OPEN FILENAME$ AS #1 LEN = 8
     FIELD #1,8 AS ZETA$
     FOR I% = 0 TO 360
     LSET ZETA$ = MKS$(EP(I%))
     PUT #1
     NEXT i%
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      lset zeta$ = mks$(2)  : put #1
      close #1
      gosub heldisp2 : goto check3
3550  gosub keypress


im.  da: omega = 2*log(2*ll/aa)
         f1r = 0 : f1i = 0 : g1r = 0 : g1i = 0
    for zz = -ll to ll step .01
     fr = fnf0(zz,ll,pi)/fnrprime(aa,ll,zz)*cos(2*pi*fnrprime(aa,ll,zz))
     fi = -fnf0(zz,ll,pi)/fnrprime(aa,ll,zz)*sin(2*pi*fnrprime(aa,ll,zz))
     gr = fng0(zz,ll,pi)/fnrprime(aa,ll,zz)*cos(2*pi*fnrprime(aa,ll,zz))
     gi = -fng0(zz,ll,pi)/fnrprime(aa,ll,zz)*sin(2*pi*fnrprime(aa,ll,zz))
        f1r = f1r + fr*.01 : f1i = f1i + fi*.01
        g1r = g1r + gr*.01 : g1i = g1i + gi*.01
    next zz
     z11 = 60 * f1i
     z12 = -60*(omega*cos(2*pi*ll) + f1r)
     z21 = sin(2*pi*ll) + ((1-cos(2*pi*ll))*g1r + sin(2*pi*ll)*f1r)/omega
     z22 = (sin(2*pi*ll)*f1i + (1 - cos(2*pi*ll))*g1i)/omega
       zr = -(z11*z21 + z12*z22)/(z21^2+z22^2)
       zi = (z12*z21 - z11*z22)/(z21^2+z22^2)
    return
6800  REM DRAW GRAPH
      SCREEN 2
      CLS
     LINE(170,100)-(470,100) : LINE(320,10)-(320,190)
      LINE (214,171)-(426,29) : LINE (214,29)-(426,171)
      CIRCLE (320,100),150,,,,.6:CIRCLE (320,100),100,,,,.6:CIRCLE(320,100),50,
,.6
      FOR I% = 0 TO 359
      LINE(X(I%),Y(I%))-(X(I%+1),Y(I%+1))
      NEXT I%
6890  A$ = INKEY$ : IF A$ = "" THEN 6890
      SCREEN 0,0,0
      RETURN
6990  ' select menu left (3)
      RS = SET - 1
      IF RS < 1 THEN RS = 3
      LOCATE 20,(20*(SET-1)+15) : PRINT MU$(SET)
      LOCATE 20,(20*(RS-1)+15) : COLOR 0,7 : PRINT MU$(RS) : COLOR 7,0
      SET = RS : RETURN
7000  ' select menu right (3)
      RS = SET + 1
      IF RS > 3 THEN RS = 1
      LOCATE 20,(20*(SET-1)+15) : PRINT MU$(SET)
      LOCATE 20,(20*(RS-1)+15) : COLOR 0,7 : PRINT MU$(RS) : COLOR 7,0
      SET = RS : RETURN
7240  ' change filename
      F$ = ""
      FOR I% = 1 TO LEN(FILENAME$) : F = ASC(MID$(FILENAME$,I%,1))
      IF F > 96 AND F < 123 THEN F = F-32
      F$ = F$ + CHR$(F)
      NEXT I%
      FILENAME$ = F$+".DAT" : RETURN
      ' wait key
enter:
b$    "" : long = 0
wat:  a$ = inkey$
       if a$ = "" then goto wat
       if a$ = chr$(13) then goto goback
       if asc(a$) < 32 or asc(a$) > 255 then sound 1000,2 : sound 500,1 : goto
t
       if long >= quan then sound 1000,2 : sound 500,1 : goto wat
       long = long + 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
       b$ = b$ + a$
       print a$;
       goto wat
del:   if long = 0 then sound 500,1 : goto wat
       long = long - 1
       b$ = left$(b$,long)
       po = pos(0)-1
       locate ,po : print "▒";
       locate ,po
       goto wat
goback: return
Keypress: a$ = inkey$
          if a$ = "" then goto keypress
   return

helnmode: cls
print
print "                                                  "
print "                                 H e l i x        "
print "                                                  "
print
print
print "          Nprmal Mode"
print
print "               D << Lambda"
print
print "               In the normal mode of operation the radiated field"
print "               is maximum in a direction to the helix axis."
print
print
print "               Calculate"
print "               Pattern   Ok."
     locate 3,34 : color 15,0 : print "   H e l i x" : color 7
     locate 7,11 : color 15,0 : print "Normal Mode"
return
heldisp2: cls
print
print "                                                  "
print "                                 H e l i x        "
print "                                                  "
print
print
print "          Axial Mode"
print
print "               3                4"
print "               - Lambda < C < - Lambda"
print "               4                3"
print
print
print
print "               Calculate"
print "               Pattern   Ok."
     locate 3,34 : color 15,0 : print "   H e l i x" : color 7
     locate 7,11 : color 15,0 : print "Axial Mode"
return


in   se:
       r = nelem
       for i = 1 to r
          for j = 1 to r
            ai(i,j) = zi(i,j)
            ar(i,j) = zr(i,j)
            bi(i,j) = 0
            br(i,j) = 0
       next j,i
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        for j = 1 to r
           br(j,j) = 1
        next j
1   for j = 1 to r
    i = j - 1
10  i = i + 1
    if i > r then 20
    if ar(i,j) <> 0 or ai(i,j) <> 0 then 30
    goto 10
20    goto 50
30  for k = 1 to r
    swap ar(j,k),ar(i,k)
    swap ai(j,k),ai(i,k)
    swap br(j,k),br(i,k)
    swap bi(j,k),bi(i,k)
    next k
      x1 = 1 : y1 = 0
      x2 = ar(j,j) : y2 = ai(j,j)
     gosub div
      tr = z1 : ti = z2
    for k = 1 to r
        x1 = tr : y1 = ti
        x2 = ar(j,k) : y2 = ai(j,k)
       gosub multiple
        ar(j,k) = z1 : ai(j,k) = z2
        x2 = br(j,k) : y2 = bi(j,k)
       gosub multiple
        br(j,k) = z1 : bi(j,k) = z2
    next k
    for l = 1 to r
      if l = j then 40
      tr = -ar(l,j)  : ti = -ai(l,j)
        for k = 1 to r
             x1 = tr : y1 = ti
             x2 = ar(j,k) : y2 = ai(j,k)
              gosub multiple
          ar(l,k) = ar(l,k) + z1 : ai(l,k) = ai(l,k) + z2
             x2 = br(j,k) : y2 = bi(j,k)
              gosub multiple
          br(l,k) = br(l,k) + z1 : bi(l,k) = bi(l,k) + z2
    next k
40  next l,j
      return
50  print "Can't find"
    end

div: z1 = (x1*x2 + y1*y2) / (x2^2 + y2^2)
     z2 = (x2*y1 - x1*y2) / (x2^2 + y2^2)
       return
multiple:
     z1 = (x1*x2 - y1*y2)
     z2 = (x1*y2 + x2*y1)
       return

mul:
       r = nelem
       for i% = 1 to r
           ar(i%,1) = 0 : ai(i%,1) = 0
           for j% = 1 to r
             x1 = br(i%,j%) : y1 = bi(i%,j%)
             x2 = vr(j%) : y2 = vi(j%)
              gosub multiple
             ar(i%,1) = ar(i%,1) + z1
             ai(i%,1) = ai(i%,1) + z2
         next j%,i%
       return
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
lpdadisp: cls
     LOCATE 2,33 : PRINT "┌──────────────────┐"
     LOCATE 3,33 : PRINT "│                  │"
     LOCATE 4,33 : PRINT "└──────────────────┘"
     locate 3,35 : color 15,0 : print "L   P   D   A" : color 7
       locate 7,10 : print "Number of element = ▒▒"
       locate 7,30 : print nelem
         locate 9,10 : print "Calculate.."
         locate 10,12 : print "Self & Mutual Impedance"
    locate 10,40 : print "Ok."
         locate 11,12 : print "Current"
         locate 11,40 : print "Ok."
         locate 12,12 : print "Pattern"
         locate 12,40 : print "Ok."
         locate 14,12 : print "Input Impedance"
         locate 15,15 : print "resistance = ";zrr
         locate 16,15 : print "reactance  = ";zii
return

yagidisp: cls
     LOCATE 2,33 : PRINT "┌──────────────────┐"
     LOCATE 3,33 : PRINT "│                  │"
     LOCATE 4,33 : PRINT "└──────────────────┘"
     locate 3,36 : color 15,0 : print "Yagi - Uda" : color 7
       locate 7,10 : print "Number of element = ▒▒"
       locate 7,30 : print nelem
         locate 9,10 : print "Calculate.."
         locate 10,12 : print "Self & Mutual Impedance"
    locate 10,40 : print "Ok."
         locate 11,12 : print "Current"
         locate 11,40 : print "Ok."
         locate 12,12 : print "Pattern"
         locate 12,40 : print "Ok."
         locate 14,12 : print "Input Impedance"
         locate 15,15 : print "resistance = ";zrr
         locate 16,15 : print "reactance  = ";zii
return
hello: cls
for i% = 1 to 10 : sound 700,1 : next
locate 7,10 : color 15 : print "You must use main program (ACD.EXE) before   "
color 31 : print "OK." : color 7
  return
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      r = arr(i%) : x(i%) = fnepdx(i%,pi,r) : y(i%) = fnepdy(i%,pi,r)
          next i%
squaredraw: gosub 6800 'draw graph
squ:        gosub squaredisp : goto square1
squaresave:
      view print 7 to 20 : cls
      locate 7,35 : color 15 : print "Save data" : color 7
      view print 9 to 18 : print "Directory of ";
      files "*.dat"
      LOCATE ,15 : PRINT "Enter Filename -> ";
       print " (XY plane)";
      cl = csrlin : LOCATE ,33,1 : quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
      GOSUB 7240 'change file name
      COLOR 15,0 : LOCATE cl,33 : PRINT FILENAME$ : color 7,0
      xy$ = filename$  : print
      LOCATE ,15 : PRINT "Enter Filename -> ";
       print " (XZ plane)";
      cl = csrlin : LOCATE ,33,1 : quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
      GOSUB 7240 'change file name
      COLOR 15,0 : LOCATE cl,33 : PRINT FILENAME$ : color 7,0
      xz$ = filename$  : print
      LOCATE ,15 : PRINT "Enter Filename -> ";
       print " (YZ plane)";
      cl = csrlin : LOCATE ,33,1 : quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
      GOSUB 7240 'change file name
      COLOR 15,0 : LOCATE cl,33 : PRINT FILENAME$ : color 7,0
      yz$ = filename$  : print
      LOCATE ,32,0 :COLOR 31,0 :PRINT "Please wait " : COLOR 7,0
      view print
      OPEN xy$ AS #1 LEN = 8
      FIELD #1,8 AS ZETA$
      FOR I% = 0 TO 360
      LSET ZETA$ = MKS$(EP(I%))
      PUT #1
      NEXT i%
      lset zeta$ = mks$(2)
      put #1 : close #1
      OPEN xz$ AS #1 LEN = 8
      FIELD #1,8 AS ZETA$
      FOR I% = 0 TO 360
      LSET ZETA$ = MKS$(hP(I%))
      PUT #1
      NEXT i%
      close #1
      OPEN yz$ AS #1 LEN = 8
      FIELD #1,8 AS ZETA$
      FOR I% = 0 TO 360
      LSET ZETA$ = MKS$(arr(I%))
      PUT #1
      NEXT i%
      close #1
      gosub squaredisp : goto square1
3550  gosub keypress

goto 1120

6000  REM sub. DRAW BORDER
      CLS
      LOCATE 1,1,0
      PRINT : PRINT
      PRINT "                                                                "
      PRINT "                                                                "
      PRINT "                                                                "
      PRINT "                                                                "
      PRINT "                                                                "
      PRINT "                                                                "
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      PRINT "                                                              "
      PRINT "                                                              "
      PRINT "                                                              "
      PRINT "                                                              "
      PRINT "                                                              "
      PRINT "                                                              "
      PRINT "                                                              "
      RETURN
impeda: omega = 2*log(2*11/aa)
        f1r = 0 : f1i = 0 : g1r = 0 : g1i = 0
   for zz = - 11 to 11 step .01
    fr = fnf0(zz,11,pi)/fnrprime(aa,11,zz)*cos(2*pi*fnrprime(aa,11,zz))
    fi = - fnf0(zz,11,pi)/fnrprime(aa,11,zz)*sin(2*pi*fnrprime(aa,11,zz))
    gr = fng0(zz,11,pi)/fnrprime(aa,11,zz)*cos(2*pi*fnrprime(aa,11,zz))
    gi = -fng0(zz,11,pi)/fnrprime(aa,11,zz)*sin(2*pi*fnrprime(aa,11,zz))
       f1r = f1r + fr*.01 : f1i = f1i + fi*.01
     g1r = g1r + gr*.01 : g1i = g1i + gi*.01
   next zz
    z11 = 60 * f1i
    z12 = -60*(omega*cos(2*pi*11) + f1r)
    z21 = sin(2*pi*11) + ((1-cos(2*pi*11))*g1r + sin(2*pi*11)*f1r)/omega
    z22 = (sin(2*pi*11)*f1i + (1 - cos(2*pi*11))*g1i)/omega
      zr = -(z11*z21 + z12*z22)/(z21^2+z22^2)
      zi = (z12*z21 - z11*z22)/(z21^2+z22^2)
   return
up:  'select menu up
     RS = SET - 1
     IF RS < 1 THEN  RS = mu
     LOCATE SET+6,32 : PRINT MU$(SET)
     LOCATE RS+6,32 : COLOR 0,7 : PRINT MU$(RS) : COLOR 7,0
     SET = RS :RETURN
down: 'select menu down
     RS = SET + 1
     IF RS > mu THEN  RS = 1
     LOCATE SET+6,32 : PRINT MU$(SET)
     LOCATE RS+6,32 : COLOR 0,7 : PRINT MU$(RS) : COLOR 7,0
     SET = RS :RETURN
fixed: REM sub. select MENU by FIXED Value (5)
     LOCATE SET+6,32 : PRINT MU$(SET)
     LOCATE RS+6,32 : COLOR 0,7 : PRINT MU$(RS) : COLOR 7,0
     SET = RS :RETURN
up1:  'select menu up
     RS = SET - 1
     IF RS < 1 THEN  RS = 6
     LOCATE SET+5,32 : PRINT MU$(SET)
     LOCATE RS+5,32 : COLOR 0,7 : PRINT MU$(RS) : COLOR 7,0
     SET = RS :RETURN
down1: 'select menu down
     RS = SET + 1
     IF RS > 6 THEN  RS = 1
     LOCATE SET+5,32 : PRINT MU$(SET)
     LOCATE RS+5,32 : COLOR 0,7 : PRINT MU$(RS) : COLOR 7,0
     SET = RS :RETURN
fixed1: REM sub. select MENU by FIXED Value (7)
     LOCATE SET+5,32 : PRINT MU$(SET)
     LOCATE RS+5,32 : COLOR 0,7 : PRINT MU$(RS) : COLOR 7,0
     SET = RS :RETURN
66   REM DRAW GRAPH
     SCREEN 2
     CLS
    LINE(170,100)-(470,100) : LINE(320,10)-(320,190)
     LINE (214,171)-(426,29) : LINE (214,29)-(426,171)
     CIRCLE (320,100),150,,,,.6:CIRCLE (320,100),100,,,,.6:CIRCLE(320,100),50,
,.6
     FOR I% = 0 TO 359
     LINE(X(I%),Y(I%))-(X(I%+1),Y(I%+1))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      NEXT I%
      if demo then goto demo5
6890  A$ = INKEY$ : IF A$ = "" THEN 6890
      SCREEN 0,0,0
      RETURN
6970  ' select menu left (4)
      RS = SET - 1
      IF RS < 1 THEN RS = 4
      LOCATE 20,(18*(SET-1)+5) : PRINT MU$(SET)
      LOCATE 20,(18*(RS-1)+5) : COLOR 0,7 : PRINT MU$(RS) : COLOR 7,0
      SET = RS : RETURN
6980  ' select menu right (4)
      RS = SET + 1
      IF RS > 4 THEN RS = 1
      LOCATE 20,(18*(SET-1)+5) : PRINT MU$(SET)
      LOCATE 20,(18*(RS-1)+5) : COLOR 0,7 : PRINT MU$(RS) : COLOR 7,0
      SET = RS : RETURN
6990  ' select menu left (3)
      RS = SET - 1
      IF RS < 1 THEN RS = 3
      LOCATE 20,(20*(SET-1)+15) : PRINT MU$(SET)
      LOCATE 20,(20*(RS-1)+15) : COLOR 0,7 : PRINT MU$(RS) : COLOR 7,0
      SET = RS : RETURN
7000  ' select menu right (3)
      RS = SET + 1
      IF RS > 3 THEN RS = 1
      LOCATE 20,(20*(SET-1)+15) : PRINT MU$(SET)
      LOCATE 20,(20*(RS-1)+15) : COLOR 0,7 : PRINT MU$(RS) : COLOR 7,0
      SET = RS : RETURN
demo1: LOCATE 24,33 : COLOR 0,7 : PRINT " Demonstration "; : COLOR 7,0
       locate 21,20
       color 15
       print "Enter length of antenna = 1.5 Lambda"
       color 7,0
       locate 9,33
       for i% = 1 to 3000 : next i%
       print "1"; : sound 1000,1
       for i% = 1 to 3000 : next i%
       print "."; : sound 1000,1
       for i% = 1 to 3000 : next i%
       print "5" : sound 1000,1
       l = 1.5 : gosub 7320 : if a$ = chr$(27) then goto back
       return
demo2: locate 21,30
       color 15 : print "Calculating complete                    ";
       locate 22,25
       print "Select    ▒▒See Pattern▒▒▒";
       color 7,0
       gosub 7320 : if a$ = chr$(27) then goto back
       return
demo3:
       locate 21,20
       color 15
       print "Enter conductor size     = .001 Lambda"
       color 7,0
       locate 10,33
       for i% = 1 to 3000 : next i%
       print "."; : sound 1000,1
       for i% = 1 to 3000 : next i%
       print "0"; : sound 1000,1
       for i% = 1 to 3000 : next i%
       print "0"; : sound 1000,1
       for i% = 1 to 3000 : next i%
       print "1" : sound 1000,1
       a = .001 : gosub 7320 : if a$ = chr$(27) then goto back
       locate 21,20 :color 15 : print "          Start to calculate
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
color 7
       return
demo4: for i% = 1 to 3000 : next i%
       print "d"; : sound 1000,1
       for i% = 1 to 3000 : next i%
       print "e"; : sound 1000,1
       for i% = 1 to 3000 : next i%
       print "m"; : sound 1000,1
       for i% = 1 to 3000 : next i%
       print "o"; : sound 1000,1
           filename$ = "demo"
         return
demo5: LOCATE 24,33 : PRINT " Demonstration ";
     FOR I% = 1 TO 10000
     A$ = INKEY$ : IF A$ <> "" THEN goto demo6
     NEXT I%
demo6: screen 0,0,0 : return
7040 CLS
     PRINT
     PRINT "                                                  "
     PRINT "                                  Wire Antenna    "
     PRINT "                                                  "
     PRINT
     PRINT
     PRINT "          Please enter the parameter"
     PRINT
     PRINT "               Length of antenna ▒▒▒▒ (Lambda)"
     PRINT
     PRINT "               Calculation.."
     PRINT
     PRINT "               Pattern          Ok."
     PRINT "               Normalize..      Ok."
     PRINT "               Impedance"
    locate 16,18 : print using "Resistance = ####.#### Ω";zr
    locate 17,18 : print using "Reactance  = ####.#### Ω";zi
     LOCATE 3,35 : COLOR 15 : PRINT "Wire Antenna" : COLOR 7
     LOCATE 9,33 : PRINT L : RETURN
7240 ' change filename
     F$ = ""
     FOR I% = 1 TO LEN(FILENAME$) : F = ASC(MID$(FILENAME$,I%,1))
     IF F > 96 AND F < 123 THEN F = F-32
     F$ = F$ + CHR$(F)
     NEXT I%
     FILENAME$ = F$+".DAT" : RETURN
     ' wait key
7320 LOCATE 24,60 : COLOR 15 : PRINT "Any key..";  : COLOR 7
     FOR I% = 1 TO 10000
     A$ = INKEY$ : IF A$ <> "" THEN 7360
     NEXT I%
7360 LOCATE 24,60 : PRINT "                    "; : RETURN
x7320: view print
     locate 24,60 : color 15 : print "Any key..";  : color 7
     FOR I% = 1 TO 10000
     A$ = INKEY$ : IF A$ <> "" THEN goto x7360
     NEXT I%
x7360: LOCATE 24,60 : PRINT "                    ";
       view print 9 to 18
       RETURN
help1:
     view print : locate 20,50 : print "Any key to continue";
     gosub keypress : sound 1000,2
     locate 20,50 : print "▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒▒";
       view print 8 to 18 : return
enter:
b$ = "" : long = 0
wat: a$ = inkey$
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      if a$ = "" then goto wat
      if a$ = chr$(13) then goto goback
      if a$ = chr$(8) then goto del
      if asc(a$) < 32 or asc(a$) > 255 then sound 1000,2 : sound 500,1 : goto w
t
      if long >= quan then sound 1000,2 : sound 500,1 : goto wat
      long = long + 1
      b$ = b$ + a$
      print a$;
      goto wat
del:  if long = 0 then sound 500,1 : goto wat
      long = long - 1
      b$ = left$(b$,long)
      po = pos(0)-1
      locate ,po : print "▒";
      locate ,po
      goto wat
goback: return
ideal: cls
       print : print
       print "                                                    "
       print "                                  Ideal Dipole      "
       print "                                                    "
       print
       print "          Calculate ..."
       print
       print "             E - Plane      Ok."
       print "             H - Plane      Ok."
    locate 4,34 : color 15 : print "Ideal Dipole"
    return
arrgrp: screen 2
        cls
        LINE(140,70)-(500,70) : LINE(320,1)-(320,190)
        line (140,185) - (500,185)
        CIRCLE (320,185),180,,,pi,.6
   for i% = 180 to 1 step -1
      line ((fi(i%-1)-phs)*360/(4*pi*spac)+320,70-arr(i%-1)*70) - ((fi(i%)-phs)
360/(4*pi*spac)+320,70-arr(i%)*70)
      line (arr(i%-1)*cos((i%-1)*pi/180)*180+320,185-arr(i%-1)*sin((i%-1)*pi/18
)*108) - (arr(i%)*cos(i%*pi/180)*180+320,185-arr(i%)*sin(i%*pi/180)*108)
   next i%
   gosub keypress
      screen 0,0,0
       return
Keypress: a$ = inkey$
          if a$ = "" then goto keypress
   return

arrdisp:
    cls
print
print
print "                                                    "
print "                                  A r r a y         "
print "                                                    "
print
print "          Enter No. of Element = "
pr  t
print
print
print "          Spacing = ▒▒▒▒▒ Lambda"
print "          Phase = ▒▒▒▒▒ Degree
print
print "            Calculate.."
print "            Array factor   Ok."
locate 4,35 : color 15 : print "A r r a y" : color 7
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
locate 7,33 : print nelem
locate 9,10 : color 15 : print til$ : color 7
locate 11,20 : print spac
locate 12,18 : print using "###.##";phsd
return
mu''idisp:  cls
pr  .t
print
print "                                                  "
print "                                  A r r a y       "
print "                                                  "
print
print "         Pattern Multiplication"
print
print "         Load data     Ok."
print
print "         Multiplication      Ok."
print
print "         Normalize           Ok."
locate 4,35 : color 15 : print "A r r a y" : color 7
return
shtdisp: cls
     locate 3,32 : print "                    "
     locate 4,32 : print "                    "
     locate 5,32 : print "                    "
     LOCATE 4,34 : COLOR 15,0 : PRINT "Short Dipole" : COLOR 7,0
 locate 7,10 : print "Length of antenna (";chr$(127);"z) = ▒▒▒▒▒▒▒ Lambda";
 locate 7,35 : print legt
 locate 8,10 : print "Working frequency = ▒▒▒▒▒▒▒ MHz"
 locate 8,30 : print freq
 locate 9,10 : print "Size of conductor = ▒▒▒▒▒▒ Lambda"
 l  ate 9,30 : print a
     locate 15,15 : print using"Radiation resistance = #.#### Ohm";rr
     locate 16,15 : print using"Ohmic resistance     = #.#### Ohm";ro
     locate 17,15 : print using"Input resistance     = #.#### Ohm";rr+ro
return
squaredisp: cls
     LOCATE 2,33 : PRINT "                    "
     LOCATE 3,33 : PRINT "                    "
     LOCATE 4,33 : PRINT "                    "
     locate 3,36 : color 15 : print "Loop Antenna" : color 7
     locate 7,10 : color 15 : print "Square Loop" : color 7
     locate 9,10 : print "Calculate.."
     locate 10,12 : print "X-Y plane      Ok."
     locate 11,12 : print "X-Z plane      Ok."
     locate 12,12 : print "Y-Z plane      Ok."
     locate 14,12,0 : print "Normalize           Ok."
      return
smalldisp:  cls
     LOCATE 2,33 : PRINT "                    "
     LOCATE 3,33 : PRINT "                    "
     LOCATE 4,33 : PRINT "                    "
     locate 3,36 : color 15 : print "Loop Antenna" : color 7
     locate 7,10 : color 15 : print "Small Loop" : color 7
     locate 10,13 : print "E - plane       Ok."
     locate 11,13 : print "H - plane       Ok."
return
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    common back$,set,chcheck$
    screen 0,0,0 : cls
    if chcheck$ <> "ok" then gosub hello : end
    COLOR 7,0
    DIM ep(360),hp(360),x(360),y(360),aa(12),ll(12),dd(12),mu$(10)
    dim zi(12,12),zr(12,12),bi(12,12),br(12,12),ai(12,12),ar(12,12),ii(12),vr(12
,vi(12)
    PI = 3.14159
     DEF FNEPD(I%,PI) = ABS(SIN((I%-90)*PI/180))
     DEF FNEPDX(I%,PI,R) = R*COS(I%*PI/180)*150 + 320
     DEF FNEPDY(I%,PI,R) = -R*SIN(I%*PI/180)*90 + 100
     def fnrprime(aa,ll,zz) = (aa^2+(ll-zz)^2)^.5
     def fnf0(zz,ll,pi) = cos(2*pi*zz) - cos(2*pi*ll)
     def fng0(zz,ll,pi) = sin(2*pi*abs(zz)) - sin(2*pi*ll)
     def fnzmr(dd) = 30*cos(5.3*dd^1.1-.51)*exp(.51-1.05*dd) +10*exp(-5*dd) + 15
exp(-6*dd)
     def fnzmi(dd) = .5 - 14*sin(5.8*dd^1.1-1.1)*exp(1.1-.83*dd) + 60*exp(-15*dd
 - 47*exp(-4*d)
     def fnyagi(pi,h,i%) = (cos(2*pi*h*cos(i%*pi/180)) - cos(2*pi*h))/sin(2*pi*h
     def fnphase(pi,d,i) = (2*pi*d*cos(i*pi/180))
     def fnhelix(i,n1,n,phi,pi) = (-1)^(n1+1)*sin(pi/(2*n))*cos(i*pi/180)*sin(n*
hi/2)/sin(phi/2)
     def fncalphi(i,n,pi,s) = 2*pi*s*(cos(i*pi/180)-1) - 2*pi - pi/n

  UP$ = CHR$(0)+CHR$(72)
  DT$ = CHR$(0)+CHR$(77)
   ?$ = CHR$(0)+CHR$(80)
  LT$ = CHR$(0)+CHR$(75)
  if set = 4 then goto yagi
  if set = 5 then goto helix
yagi:  cls
     LOCATE 2,33 : PRINT "┌──────────┐"
     LOCATE 3,33 : PRINT "│          │"
     LOCATE 4,33 : PRINT "└──────────┘"
     locate 3,36 : color 15,0 : print "Yagi - Uda" : color 7
     mu$(1) = " Calculate " : mu$(2) = " Load data "
     locate 23,30 : color 0,7
     print mu$(1); : color 7,0 : print "  or ";mu$(2)
     set = 1
yagi1:
     a$ = inkey$ : if a$ = "" then goto yagi1
     if a$ = chr$(13) then goto yagi2
     if a$ = up$ or a$ = dn$ or a$ = lt$ or a$ = rt$ then
       rs = set + 1
       if rs > 2 then rs = 1
       locate 23,16*set+14 : print mu$(set)
       locate 23,16*rs+14 : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
       set = rs
     else sound 1000,1 : sound 500,2
     end if
       goto yagi1
ya  2: locate 23,30 : print "                                    ";
       if set = 2 then goto loadyagi
       locate 7,10,1 : print "Number of element = ▒▒"
yag:   locate 7,30 : quan = 2 : gosub enter : nelem = val(b$)
       if nelem < 2 then goto yag
       view print 9 to 15 : locate 9,1
     for i% = 1 to nelem
       locate ,12 : print using "Length of element  no. ## = ▒▒▒▒▒▒ (Lambda  ;
%;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    locate ,40 : quan = 6 : gosub enter : ll(i%) = val(b$) : print
    locate ,12 : print using "Diameter of elemt. no. ## = ▒▒▒▒▒ (Lambda.
%;
    locate ,40 : quan = 6 : gosub enter : aa(i%) = val(b$) : print
 next i%
    for i% = 1 to nelem - 1
      locate ,12 : print using "Element spacing ##";i%;
      print " & ";: print using "##    = ▒▒▒▒▒ (Lambda)";i%+1;
      locate ,40 : quan = 6 : gosub enter : dd(i%) = val(b$) : print
    next i%
 cls : view print
    locate 9,10,0 : print "Calculate.."
    locate 10,12 : print "Self & Mutual Impedance" : locate 12,15
for i% = 1 to nelem
      color 31 : print chr$(175); : color 7
     aa = aa(i%) : ll = ll(i%)/2 : gosub impeda
      zr(i%,i%) = zr : zi(i%,i%) = zi
next i% : print chR$(175)
   for i% = 1 to nelem-1 : dd = 0 : for j% = i%+1 to nelem
      dd = dd + dd(j%-1)
        zr(i%,j%) = fnzmr(dd)
        zi(i%,j%) = fnzmi(dd)
          if dd < 2.8 then zi = zi - 9
          if dd >= .28 and dd < .45 then zi = zi - 9*cos((dd-.28)*pi/.34)
          if dd > .45 and dd < .8 then m = m + sin((d-.45)*pi/.35)
   next j%,i%
   for i% = nelem to 2 step -1 : for j% = i%-1 to 1 step -1
      zr(i%,j%) = zr(j%,i%) : zi(i%,j%) = zi(j%,i%)
   next j%,i%
locate 10,40 : print "Ok."
locate 12,15 : print "                                    ";
      locate 11,12 : print "Current"
      gosub inverse
          for i = 1 to nelem
          ii(i) = sqr(br(i,2)^2 + bi(i,2)^2)
          next i
      locate 11,40 : print "Ok."
     locate 12,12 : print "Patcern at θ =     Degree"
      test = 0 : test1 = 0
        for i% = 0 to 360
          x = 0 : y = 0 : dd = 0  : dd(0) = 0
          for j% = 1 to nelem
             dd = dd + dd(j%-1)
              xxi = 2*pi*dd*cos(i%*pi/180)
           x = x + br(j%,2)*cos(xxi) - bi(j%,2)*sin(xxi)
           y = y + br(j%,2)*sin(xxi) + bi(j%,2)*sin(xxi)
           next j%
         locate 12,26 : print i%;
         hp(i%) = sqr(x^2 + y^2)
         ep(i%) = hp(i%)*abs(sin((i%-90)*pi/180))
         if test < ep(i%) then test = ep(i%)
         if test1 < hp(i%) then test1 = hp(i%)
       next i%
     for i% = 0 to 360
       ep(i%) = ep(i%)/test
       hp(i%) = hp(i%)/test1
     next i%

     locate 12,21 : print "                    Ok."
    locate 14,12 : print "Input Impedance"
     zii = 0 : zrr = 0
          for i% = 1 to nelem
             zrr = zrr + zr(2,i%) : zii = zii + zi(2,i%)
          next i%
    locate 15,15 : print "resistance = ";zrr
    locate 16,15 : print "reactance  = ";zii
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
yagi3: mu$(1) = " See pattern " : mu$(2) = " Save data " : mu$(3) = " Goback "
     locate 20,15,0 : color 0,7 : print mu$(1) : color 7,0
     locate 20,35 : print mu$(2) : locate 20,55 : print mu$(3)
     SET = 1
yagi4:  A$ =INKEY$
     IF A$ = "" THEN goto yagi4
     IF A$ = UP$ OR A$ = LT$ THEN GOSUB 6990 :GOTO yagi4
     IF A$ = DN$ OR A$ = RT$ THEN GOSUB 7000 :GOTO yagi4
     IF A$ = CHR$(13) THEN goto yagi5
     SOUND 1000,2:SOUND 500,1
     GOTO yagi4
yagi5: if set = 1 then goto yagi6
       if set = 2 then goto yagisave
       if set = 3 then back$ = "ok" ,: chain "acd"
yagi6:  mu$(1) = " E - plane " : mu$(2) = " H - plane "
        locate 17,15 : print "Select plane"
        locate 18,25 : color 0,7 : print mu$(1) : color 7,0
        locate 18,50 : print mu$(2)
yag1:    a$ = inkey$ : if a$ = "" then goto yag1
     if a$ = chr$(13) then goto yag2
     if a$ = up$ or a$ = dn$ or a$ = lt$ or a$ = rt$ then
       rs = set + 1
       if rs > 2 then rs = 1
       locate 18,26*set : print mu$(set)
       locate 18,25*rs : color 0,7 : print mu$(rs) : color 7,0
       set = rs
     else sound 1000,1 : sound 500,2
     end if
       goto yag1
yag2: locate 18,34 : color 31,0 : print "Please wait" : color 7
       if set = 2 then goto yag3
       for i% = 0 to 360
        r = ep(i%)
        x(i%) = fnepdx(i%,pi,r) : y(i%) = fnepdy(i%,pi,r)
       next i%
       goto yag4
yag3:
       for i% = 0 to 360
        r = hp(i%)
        x(i%) = fnepdx(i%,pi,r) : y(i%) = fnepdy(i%,pi,r)
        next i%
yag4:
         gosub 6800 'draw graph
         gosub yagidisp  : goto yagi3
loadyagi:
     VIEW PRINT 7 TO 20
     CLS : LOCATE 7,35 : COLOR 15 : PRINT "Load data" : COLOR 7
     VIEW PRINT 9 TO 18 : print "Directory of "; : FILES "*.dat"
     LOCATE ,15 : PRINT "Enter filename -> ";
     CL = CSRLIN : LOCATE ,33,1
     quan = 26 : gosub enter : filename$ = b$
     GOSUB 7240 '  change filename
     LOCATE CL,33 : COLOR 15 : PRINT FILENAME$;
     PRINT : LOCATE ,34 : COLOR 31 : PRINT "Please wait.." : COLOR 7
     view print
     OPEN FILENAME$ AS #1 LEN = 8
     FIELD #1,8 AS ZETA$
     FOR I% = 0 TO 360
     get #1 : ep(i%) = cvs(zeta$)
     next i%
     for i% = 0 to 360
       get #1 : hp(i%) = cvs(zeta$)
     next i%
     get #1 : nelem = cvs(zeta$)
     get #1 : zrr = cvs(zeta$)
     get #1 : zii = cvs(zeta$)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้