

การออกแบบสายอากาศยาก็-อูเตสำหรับการควบคุมการจราจรทางอากาศ

นาย ศิริชัย รักษาพล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-037-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

118756189

A DESIGN OF THE YAGI-UDA ANTENNA FOR AIR TRAFFIC CONTROL PURPOSES

Mr. Sirichai Raksaphon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School


Chulalongkorn University

Academic year 1999

ISBN 974-333-037-2

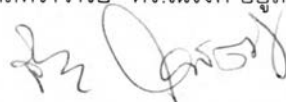
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบสายอากาศยาคี-อูตะสำหรับการควบคุมการจราจรทางอากาศ
โดย นายศิริชัย รักษาพล
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย ไวยาพัฒน์กร

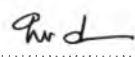
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ อยู่ถนอม)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย ไวยาพัฒน์กร)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทับทิม อ่างแก้ว)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

นายศิริชัย รักษาพล : การออกแบบสายอากาศยาคี-อูเด สำหรับการควบคุมการจราจรทางอากาศ (A DESIGN OF THE YAGI-UDA ANTENNA FOR AIR TRAFFIC CONTROL PURPOSES) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ฉัตรชัย ไวยาพัฒน์กร, 79 หน้า. ISBN 974-333-037-2

สายอากาศสี่เสาเป็นอุปกรณ์สำคัญมากสำหรับการควบคุมการจราจรทางอากาศ ย่านความถี่ที่ใช้งานในด้านการเดินอากาศอยู่ในช่วง 118-137 MHz. เนื่องจากย่านความถี่ที่ใช้งานและความต้องการแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ครอบคลุมพื้นที่ควบคุมเป็นตัวกำหนด จึงให้เลือกสายอากาศยาคี-อูเดสำหรับงานวิจัยนี้ แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศของแต่ละสถานีต้องเหมาะสมกับพื้นที่การควบคุม โดยแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศจะถูกกำหนดจากลักษณะทางภูมิศาสตร์และเส้นทางการบินในเขตควบคุมพื้นที่ ชั้นเริ่มต้นของการออกแบบสายอากาศจะประมาณค่าปัจจัยของสายอากาศเริ่มต้น แล้ววิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีโมเมนต์ ผลของแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์ถูกเปรียบเทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่กำหนดจากพื้นที่ควบคุม ถ้าหากว่าผลที่ได้ไม่เหมาะสมก็จะเปลี่ยนค่าปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความยาว ระยะห่าง และจำนวนขององค์ประกอบแล้ววิเคราะห์ใหม่จนกระทั่งได้แบบรูปการแผ่พลังงานที่ต้องการจะเห็น ได้วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกที่สุดในการออกแบบ สำหรับการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีโมเมนต์แบบจับจุดคู่ ให้กระจายกระแสบนองค์ประกอบทุกตัวเป็นฟังก์ชันฐานแบบ entire domain และใช้ dirac delta เป็นฟังก์ชันทดสอบ

สำหรับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ก็เพื่อพัฒนาและปรับปรุงสายอากาศที่ใช้ในการควบคุมการจราจรทางอากาศ ระหว่างสถานีภาคพื้นดินและอากาศยาน ซึ่งจะช่วยให้ลดการสูญเสียกำลังส่งในส่วนที่ไม่ได้ควบคุม และลดปัญหาการแทรกสอดช่องสัญญาณร่วม (co-channel interference) ภายในพื้นที่การควบคุมเดียวกัน

ผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระยะสนามไกลได้ถูกเปรียบเทียบกับการออกแบบปรากฏว่ามีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยค่าคลื่นหลักที่ได้จากการวัดจะมีขนาดเล็กกว่าการออกแบบ เมื่อนำผลของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานที่กำหนดของพื้นที่จริงปรากฏว่ามีความแตกต่างกันเล็กน้อยแต่สามารถยอมรับได้ เพราะสามารถครอบคลุมเส้นทางการบินตลอดพื้นที่การควบคุม

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2542.....

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4070439521 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: AIR TRAFFIC CONTROL / RADIATION PATTERN / AREA CONTROL

SIRICHAIRAKSAPHON : A DESIGN OF THE YAGI-UDA ANTENNA FOR AIR TRAFFIC CONTROL PURPOSE. THISIS ADVISER: ASSIST. PROF. CHATCHAI WAIYAPATTANAKORN , Ph.D. 79 pp. ISBN 974-333-037-2.

Air/ground communication antennas for air traffic control are an important element apart from the human element. The frequency band for aeronautical navigation are assigned in the frequency range 118-137 MHz. The frequency of operation and the coverage area dictate the choice of the antenna type to be the yagi-uda. The radiation pattern of the antenna must suitably cover the control area. The simple desired coverage pattern of the antennas are defined from the geographical coverage and airway routes in the control area. The first step is to obtain, by approximate design, a set of parameters of the desired antenna, and then analyse with the moment method by using the entire-domain basis function for current distribution on all elements and the dirac delta function as the weighting function. Results are compared with the desired pattern. If the obtained pattern is not satisfactory alteration of parameters such as the element length, element spacing and number of elements is effected until the best pattern is achieved.

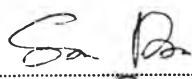
The objective of this research is to develop new antenna that can be used in air traffic control between the aircraft and the ground station, which reduce power loss in non-control area and co-channel interference of radio air/ground station.

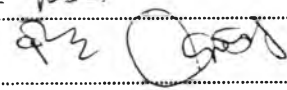
The measured far field radiation patterns are compared with the designed radiation patterns. There are discrepancies in the mainbeam. The measured ones are smaller than the designed. When use the measured pattern are placed on the control area there are some discrepancies but acceptable, because it can cover the airway route in the control area.

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

ปีการศึกษา..... 2542.....

ลายมือชื่อนิสิต..... .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... -.....



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย ไวยาพัฒน์กร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบหัวข้อวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ อยู่ถนอม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทับทิม อ่างแก้ว ที่ได้ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ฝ่ายอาคารสถานที่ และ ฝ่ายซ่อมบำรุง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เอื้อเฟื้อสถานที่และ ไฟฟ้าในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณธีรศักดิ์ อนันตกุล คุณศุภเชษฐ์ เพิ่มพูนวัฒนาสุข และเพื่อน ๆ ห้องปฏิบัติการ ไฟฟ้าสื่อสารทุกคน ที่ได้ช่วยผู้วิจัยทดลอง ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นแก่ผู้วิจัยตลอดมา และสุดท้ายขอขอบคุณ บริษัท วิद्यุการบิณแห่งประเทศไทย จำกัด ที่ได้อนุญาตให้ผู้เขียนลาศึกษาต่อเพื่อทำงานวิจัยจนสำเร็จ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมา	1
ประเภทของการควบคุมการจราจรทางอากาศ	2
วัตถุประสงค์	5
ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	5
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	6
ประโยชน์ที่ได้รับ	6
บทที่ 2 การวิเคราะห์สายอากาศยาگی-อุตะ	7
ความนำ	7
การหาสัมประสิทธิ์การกระจายกระแสบนสายอากาศยาگی-อุตะ	7
การหาแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาگی-อุตะ	11
สภาพเจาะจงทิศทาง	13
ผลการวิเคราะห์สายอากาศยาگی-อุตะด้วยระเบียบวิธีโมเมนต์	14
การหาแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ระดับพื้นที่การควบคุม	19
บทที่ 3 การจัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ	21
ความนำ	21
การจัดเขตพื้นที่การควบคุมจราจรทางอากาศของประเทศไทย	21
การควบคุมจราจรทางอากาศที่ใช้สายอากาศแบบแผ่พลังงานรอบตัว	23
การคำนวณกำลังส่งและสัญญาณที่รับได้ของสายอากาศแบบแผ่พลังงานรอบตัว	24
การควบคุมจราจรทางอากาศที่ใช้สายอากาศแบบยาگی-อุตะ	26
การคำนวณกำลังส่งและสัญญาณที่รับได้ของสายอากาศยาگی-อุตะ	27

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
การจัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในพื้นที่ควบคุม	29
ขั้นตอนในการหาแบบรูปการแผ่พลังงานของแต่ละเขต	30
การคำนวณกำลังส่งของแต่ละสถานีในเขตพื้นที่ควบคุม	39
สรุป	45
บทที่ 4 การสร้างและทดสอบสายอากาศ	46
วัสดุสำหรับการสร้างสายอากาศ	46
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	47
พื้นที่ในการทดสอบสายอากาศ	49
การทดสอบสายอากาศที่ออกแบบ	50
ผลการวัดและคำนวณแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ	52
ผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศและพื้นที่ควบคุมการจราจรทางอากาศ .	65
สรุป	68
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	69
สรุปผลการวิจัย	69
ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะ	70
รายการอ้างอิง	72
ภาคผนวก มุมยกและทิศทางแนวเล็งของสายอากาศ	74
ประวัติผู้เขียน	79

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	ความถี่ในพื้นที่ควบคุมของแต่ละเขต	21
4.1	ระดับสัญญาณของสายอากาศรับที่ระนาบ 5λ	51
4.2	ระดับสัญญาณของสายอากาศรับที่ระนาบ 7.5λ	51
4.3	ระดับสัญญาณของสายอากาศรับที่ระนาบ 10λ	51
4.4	ค่าปัจจัยของสายอากาศ 3 องค์ประกอบ (แบบที่ 1)	52
4.5	ค่าปัจจัยของสายอากาศ 3 องค์ประกอบ (แบบที่ 2)	54
4.6	ค่าปัจจัยของสายอากาศ 3 องค์ประกอบ (แบบที่ 3)	56
4.7	ค่าปัจจัยของสายอากาศ 5 องค์ประกอบ (แบบที่ 1)	58
4.8	ค่าปัจจัยของสายอากาศ 5 องค์ประกอบ (แบบที่ 2)	60
4.9	ค่าปัจจัยของสายอากาศ 6 องค์ประกอบ	63

สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1 สายอากาศไดโพลที่มีองค์ประกอบปรสิตร่วม	
(ก) องค์ประกอบปรสิตแสดงตัวเป็นตัวนำคลื่น	
(ข) องค์ประกอบปรสิตแสดงตัวเป็นตัวสะท้อนคลื่น	4
1.2 โครงสร้างของสายอากาศยาก็ - อุดะไดโพล	5
2.1 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศยาก็-อุดะที่วิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีโมเมนต์แบบจับคู่จุด	8
2.2 ลักษณะของสายอากาศยาก็-อุดะ สำหรับกรรมวิธีโมเมนต์แบบจับคู่จุด	
(ก) องค์ประกอบปรสิต	
(ข) องค์ประกอบไวงาน	10
2.3 โครงสร้างของสายอากาศยาก็-อุดะ	
(ก) สายอากาศยาก็-อุดะ 3 องค์ประกอบ	
(ข) สายอากาศยาก็-อุดะ 5 องค์ประกอบ	14
2.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อุดะ 3E ระนาบ H	15
2.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อุดะ 3E ระนาบ E	15
2.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อุดะ 5E ระนาบ H	15
2.7 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อุดะ 5E ระนาบ E	16
2.8 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อุดะ 3 องค์ประกอบระนาบ H ที่วิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีโมเมนต์แบบจับคู่จุด	17
2.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อุดะ 3 องค์ประกอบระนาบ E ที่วิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีโมเมนต์แบบจับคู่จุด	17
2.10 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อุดะ 3 องค์ประกอบระนาบ H ที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม quickyagi	17
2.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อุดะ 3 องค์ประกอบระนาบ E ที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม quickyagi	17
2.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อุดะ 5 องค์ประกอบระนาบ H ที่วิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีโมเมนต์แบบจับคู่จุด	18

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
2.13	
แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคี-อุตะ 5 องค์ประกอบระนาบ E ที่วิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีโมเมนต์แบบจับคู่จุด	18
2.14	
แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคี-อุตะ 5 องค์ประกอบระนาบ H ที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม quickyagi	18
2.15	
แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาคี-อุตะ 5 องค์ประกอบระนาบ E ที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม quickyagi	18
2.16	
แบบรูปการแผ่พลังงานในพื้นที่ควบคุมกระทำกับสายอากาศที่มีมุมยก	19
2.17	
พิกัดของสายอากาศที่ใช้สำหรับหาแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่มีมุมยก	20
3.1	
พื้นที่การควบคุมการจราจรทางอากาศของประเทศไทย	
(ก) การแบ่งพื้นที่เขตควบคุมพื้นที่	
(ข) จุดรายงานและเส้นทางการบิน	22
3.2	
สถานี RCAG ภายในพื้นที่ควบคุม	23
3.3	
แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในเขตที่ 1 ที่ใช้สายอากาศแบบแผ่พลังงานรอบตัว..	23
3.4	
กำลังสัญญาณที่รับได้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของสายอากาศแบบแผ่พลังงานรอบตัวเขตที่ 1	26
3.5	
แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในเขตที่ 1 ที่ใช้สายอากาศยาคี-อุตะ	27
3.6	
กำลังสัญญาณที่รับได้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของสายอากาศยาคี-อุตะเขตที่ 1	29
3.7	
การติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีภาคพื้นดินและอากาศยาน	30
3.8	
ขั้นตอนในการออกแบบสายอากาศ	31
3.9	
แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่กำหนดของสถานี MK ในเขตที่ 1	
(ก) พื้นที่การควบคุมแนวราบที่กำหนด	
(ข) พื้นที่ควบคุมในแนวตั้งที่กำหนด	
(ค) พื้นที่ควบคุมในแนวตั้งและแนวราบที่กำหนด	32
3.10	
แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในเขตที่ 1 ที่กำหนดจากพื้นที่ควบคุม และเส้นทางการบิน	33
3.11	
แบบรูปการแผ่พลังงานที่กำหนดและออกแบบของเขตที่ 1	33
3.12	
แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในเขตที่ 2 ที่กำหนดจากพื้นที่ควบคุม และเส้นทางการบิน	34

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
3.13	แบบรูปการแผ่พลังงานที่กำหนดและออกแบบของเขตที่ 2 34
3.14	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในเขตที่ 3 ที่กำหนดจากพื้นที่ควบคุม และเส้นทางการบิน 35
3.15	แบบรูปการแผ่พลังงานที่กำหนดและออกแบบของเขตที่ 3 35
3.16	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในเขตที่ 4 ที่กำหนดจากพื้นที่ควบคุม และเส้นทางการบิน 36
3.17	แบบรูปการแผ่พลังงานที่กำหนดและออกแบบของเขตที่ 4 ... 36
3.18	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในเขตที่ 5 ที่กำหนดจากพื้นที่ควบคุม และเส้นทางการบิน ... 37
3.19	แบบรูปการแผ่พลังงานที่กำหนดและออกแบบของเขตที่ 5 37
3.20	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในเขตที่ 6 ที่กำหนดจากพื้นที่ควบคุม และเส้นทางการบิน 38
3.21	แบบรูปการแผ่พลังงานที่กำหนดและออกแบบของเขตที่ 6 38
3.22	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในเขตที่ 7 ที่กำหนดจากพื้นที่ควบคุม และเส้นทางการบิน 38
3.23	แบบรูปการแผ่พลังงานที่กำหนดและออกแบบของเขตที่ 7 39
4.1	ตัวปรับเมตซ์อิมพีแดนซ์แบบแกมมาเมตซ์ 47
4.2	โครงสร้างของสายอากาศยาก็-อูตะที่ใช้ทดสอบ 48
4.3	สายยึดสายอากาศที่สามารถปรับระดับความสูงได้ 48
4.4	พื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบสายอากาศบริเวณสนามฟุตบอลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 49
4.5	ผลการวัดความถี่ 123.95 MHz. ที่บริเวณทดสอบสายอากาศด้วย เครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ 49
4.6	การหาระยะสนามไกลเพื่อทดสอบสายอากาศโดยการใช้สายอากาศส่งแบบยาก็-อูตะ และสายอากาศรับแบบไดโพลซึ่งทำหน้าที่ในการโปรบวัดค่าสัญญาณ 50
4.7	การทดสอบสายอากาศที่ระยะสนามไกล 52
4.8	ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศยาก็-อูตะ 3 องค์ประกอบ (แบบที่ 1) 53
4.9	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ 3 องค์ประกอบในระนาบ H (แบบที่1) 53

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
4.10 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อุตะ 3 องค์ประกอบ ในระนาบตัดที่มีมุมยก (แบบที่ 1)	54
4.11 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศยาก็-อุตะ 3 องค์ประกอบ (แบบที่2)	55
4.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ 3 องค์ประกอบในระนาบ H (แบบที่2)	55
4.13 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อุตะ 3 องค์ประกอบ ในระนาบตัดที่มีมุมยก (แบบที่ 2)	56
4.14 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศยาก็-อุตะ 3 องค์ประกอบ (แบบที่3)	57
4.15 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ 3 องค์ประกอบในระนาบ H (แบบที่3)	57
4.16 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อุตะ 3 องค์ประกอบ ในระนาบตัดที่มีมุมยก (แบบที่ 3)	58
4.17 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศยาก็-อุตะ 5 องค์ประกอบ (แบบที่1)	59
4.18 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ 5 องค์ประกอบในระนาบ H (แบบที่1)	59
4.19 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อุตะ 5 องค์ประกอบ ในระนาบตัดที่มีมุมยก (แบบที่ 1)	60
4.20 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศยาก็-อุตะ 5 องค์ประกอบ (แบบที่2)	61
4.21 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ 5 องค์ประกอบในระนาบ H (แบบที่2).....	61
4.22 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อุตะ 5 องค์ประกอบ ในระนาบตัดที่มีมุมยก (แบบที่ 2)	62
4.23 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศยาก็-อุตะ 6 องค์ประกอบ	63
4.24 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ 6 องค์ประกอบในระนาบ H	64
4.25 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศยาก็-อุตะ 6 องค์ประกอบ ในระนาบตัดที่มีมุมยก	64
4.26 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการวัด และการกำหนดจากพื้นที่ควบคุมของเขตที่ 1	65
4.27 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการวัด และการกำหนดจากพื้นที่ควบคุมของเขตที่ 2	66

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
4.28 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการวัด และการกำหนดจากพื้นที่ควบคุมของเขตที่ 4	67
4.29 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการวัด และการกำหนดจากพื้นที่ควบคุมของเขตที่ 7	67