

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูปภาพ.....	VII
 บทที่ 1 บทนำ.....	 1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาและขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.3 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	3
 บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	 5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 ความเป็นมาของการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล.....	5
2.3 รูปแบบและแบนด์วิดท์.....	6
2.4 โทรทัศน์ระบบดิจิตอลในประเทศไทย.....	7
2.4.1 การเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิตอล.....	7
2.4.2 การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลในประเทศไทย.....	8
2.4.3 กล่องรับสัญญาณ (Set Top Box).....	12
2.5 ศึกษางานวิจัยที่มีมาก่อน.....	15
2.5.1 งานวิจัยสายอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลที่มีมาก่อน.....	15
2.5.2 งานวิจัยสายอากาศโพลาริซ์แนวนอนรอบตัวที่มีมาก่อน.....	22
2.6 สรุป.....	25
 บทที่ 3 การออกแบบและการจำลองสายอากาศ.....	 27
3.1 บทนำ.....	27
3.2 โครงสร้างและการออกแบบสายอากาศ.....	27
3.2.1 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบสี่ก้าน.....	31
3.2.2 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบห้าก้าน.....	41
3.2.3 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบห้าก้าน โดยเพิ่มพื้นที่จุดป้อนสัญญาณขนาด r_3	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.4 การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบห้ำก้าน โดยเพิ่มกิ่งโค้ง.....	58
3.3 ผลการจำลองของสายอากาศ.....	63
3.3.1 ผลการจำลอง $ S_{11} $	63
3.3.2 ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern).....	64
3.3.3 ผลการจำลองการกระจายของกระแส (Current distribution).....	65
3.3.4 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศ (Gain).....	66
3.4 สรุป.....	67
บทที่ 4 การทดสอบ.....	69
4.1 บทนำ.....	69
4.2 สายอากาศต้นแบบ.....	69
4.3 ขั้นตอนและผลการทดสอบ.....	70
4.3.1 ผลการทดสอบ $ S_{11} $	70
4.3.2 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern).....	71
4.3.3 อัตราขยาย (Gain).....	77
4.4 สรุป.....	79
บทที่ 5 การประยุกต์ใช้งานโดยการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล.....	81
5.1 บทนำ.....	81
5.2 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล.....	81
5.3 การจำลองสายอากาศด้วยการติดตั้งบนรถยนต์.....	85
5.4 สรุป.....	89
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	90
6.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	90
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	93
เอกสารอ้างอิง.....	94
ประวัติผู้เขียน.....	96

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติ และข้อกำหนดด้านความถี่วิทยุของภาครับสัญญาณ.....	13
2.2	สรุปคุณสมบัติของสายอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิทัลของผลงานวิจัยที่มีมาก่อน.....	21
2.3	สรุปคุณสมบัติของสายอากาศของที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง และมีการโพลาริซ์แนวนอนของผลงานวิจัยที่มีมาก่อน.....	25
3.1	วิวัฒนาการของสายอากาศรอบตัวโพลาริซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน.....	30
3.2	พารามิเตอร์ของสายอากาศสายอากาศแบบสี่ก้าน.....	38
3.3	ค่าการกระเพื่อมสูงสุดและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง.....	41
3.4	พารามิเตอร์สายอากาศแบบห้าก้าน.....	50
3.5	พารามิเตอร์สายอากาศแบบห้าก้านที่มีการเพิ่มบริเวณจุดบ่อนสัญญาณ.....	57
3.6	พารามิเตอร์สายอากาศแบบห้าก้านที่มีการเพิ่มกิ่งโค้ง.....	60
3.7	เปรียบเทียบการกระเพื่อมสูงสุดและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง.....	63
3.8	สรุปคุณลักษณะของสายอากาศแบบห้าก้านที่มีกิ่งโค้ง.....	67
4.1	สรุปผลการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศรอบตัวโพลาริซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน.....	79
5.1	ผลการทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล.....	83
5.2	สรุปผลการจำลองคุณลักษณะของสายอากาศขณะติดตั้งสายอากาศบนรถ.....	89
6.1	เปรียบเทียบสายอากาศที่นำเสนอ กับงานวิจัยสายอากาศโทรทัศน์ดิจิทัลที่มีมาก่อน.....	92

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	สัญญาณระบบมัลติเพล็กซ์.....	1
1.2	เปรียบเทียบการส่งสัญญาณระบบแพร่ภาพดิจิตอลผ่านดาวเทียม (DVB-S) กับระบบแพร่ภาพดิจิตอลภาคพื้นดิน (DVB-T).....	2
1.3	ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศรอบตัวโพลาริซแนวนอนโดยใช่วงแหวนวงกลมซ้อนกันสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล.....	3
2.1	มาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของแต่ละประเทศ.....	6
2.2	การเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิตอล.....	8
2.3	การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของสถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 5.....	9
2.4	ผลการทดสอบสัญญาณของสถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบก ช่อง 5 ที่ส่งจากตึกใบหยก.....	9
2.5	การทดลองออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของช่อง 9 อสมท.....	10
2.6	ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลของ อสมท. ที่ส่งจากตึกใบหยก...	10
2.7	การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่สถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัดขอนแก่น.....	11
2.8	ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่ส่งจากสถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัดขอนแก่น.....	11
2.9	การทดลองส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่สถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัดสุโขทัย.....	12
2.10	ผลการทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ที่ส่งจากสถานีโทรทัศน์ อสมท. จังหวัดสุโขทัย.....	12
2.11	จอภาพ (โทรทัศน์ที่รับสัญญาณระบบดิจิตอลได้) และแบบไม่มีจอภาพ (กล่องรับสัญญาณ Set Top Box)	13
2.12	สายอากาศไดโพลพับโหลดด้วยตัวเก็บประจุและสัดบสำหรับรับโทรทัศน์ดิจิตอลภาคพื้นดิน [1].....	15
2.13	สายอากาศโมโนโพลไมโครสติป พร้อมระนาบกราวด์ สำหรับประยุกต์ใช้งานโทรทัศน์ดิจิตอล [2].....	16
2.14	สายอากาศไดโพลที่มีจุดป้อนสัญญาณเป็นช่องว่าง สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [3].....	17
2.15	สายอากาศโมโนโพลรูปอักษรตัวเจสำหรับโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินที่ย่านความถี่ยูเอชเอฟ [4].....	18
2.16	สายอากาศแบบเกลียว สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล [5].....	18
2.17	สายอากาศ PIFA แบบสองย่านความถี่ สำหรับประยุกต์ในโทรทัศน์ระบบดิจิตอล	19

และ WiMAX [6].....

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.18	สายอากาศ EBG สำหรับรับสัญญาณโทรศัพท์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินภายในอาคาร [7].....	20
2.19	สายอากาศแบบห้วงสำหรับ LTE และเครื่องเล่นแบบพกพาสำหรับรับสัญญาณย่านโทรศัพท์ระบบดิจิตอล [8].....	20
2.20	สายอากาศบรอดแบนด์แบบรอบตัวที่มีการโพลาไรซ์คู่ สำหรับสถานีส่ง [9].....	22
2.21	สายอากาศขนาดเล็กแบบรอบทิศทางที่มีโพลาไรซ์แนวนอน [10].....	23
2.22	สายอากาศขนาดเล็กย่านกว้างสำหรับย่านความถี่ยูเอชเอฟ [11].....	24
2.23	สายอากาศย่านกว้างแบบรอบทิศทางที่มีโพลาไรซ์แนวนอนสำหรับประยุกต์ใช้งาน 4G LTE [12].....	25
3.1	สายอากาศที่ออกแบบเริ่มแรกที่มีสี่ก้าน.....	28
3.2	ลักษณะโครงสร้างของก้านไดโพล และส่วนโค้ง.....	28
3.3	องค์ประกอบไดโพล.....	28
3.4	แผ่นวงแหวน.....	29
3.5	สายอากาศเริ่มต้น.....	29
3.6	สายอากาศที่ออกแบบเริ่มแรกที่มีสี่ก้าน.....	31
3.7	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอ็กแตนซ์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (H).....	32
3.8	ผลการจำลอง $ S_{11} $ เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (H).....	33
3.9	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอ็กแตนซ์ของสายอากาศเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวนสายอากาศ (H) เท่ากับ 4 mm และทำการปรับมุมของส่วนโค้ง (α).....	34
3.10	ผลการจำลอง $ S_{11} $ เมื่อระยะระหว่างแผ่นวงแหวนสายอากาศ (H) เท่ากับ 4 mm และทำการปรับมุมของส่วนโค้ง (α).....	35
3.11	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอ็กแตนซ์ของสายอากาศเมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวนสายอากาศ (H) เท่ากับ 4 mm ส่วนโค้ง (α) เท่ากับ 38° และทำการปรับความกว้างก้านไดโพล (W).....	36
3.12	ผลการจำลอง $ S_{11} $ เมื่อกำหนดระยะระหว่างแผ่นวงแหวนสายอากาศ (H) เท่ากับ 4 mm มุมของส่วนโค้ง (α) เท่ากับ 38° และทำการปรับความกว้างก้านไดโพล.....	37
3.13	ผลการจำลองการกระจายของกระแสบนผิวสายอากาศของสายอากาศเริ่มต้นที่มีสี่ก้าน.....	39
3.14	ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบสี่ก้าน.....	40
3.15	สายอากาศที่ออกแบบห้าก้าน.....	41

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศแบบห้ำก้าน โดยใช้พารามิเตอร์เหมือนกับสายอากาศเริ่มต้นที่มีสี่ก้าน.....	42
3.17 ผลการจำลองเปรียบเทียบ $ S_{11} $ ของสายอากาศแบบสี่ก้านและแบบห้ำก้าน โดยใช้พารามิเตอร์เหมือนกับสายอากาศแบบสี่ก้าน.....	43
3.18 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศแบบห้ำก้าน เมื่อปรับระยะห่างระหว่างวงแหวน (H).....	44
3.19 ผลการจำลองค่า $ S_{11} $ ของสายอากาศแบบห้ำก้าน เมื่อปรับระยะห่างระหว่างวงแหวน (H).....	45
3.20 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศแบบห้ำก้าน เมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างวงแหวน (H) และทำการปรับมุมของส่วนโค้ง (α).....	46
3.21 ผลการจำลองค่า $ S_{11} $ เมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างวงแหวน (H) และทำการปรับมุมของส่วนโค้ง (α).....	47
3.22 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ เมื่อทำการปรับความกว้างก้านของสายอากาศ (w).....	48
3.23 ผลการจำลองค่า $ S_{11} $ เมื่อทำการปรับความกว้างก้านของสายอากาศ (w).....	48
3.24 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศเมื่อทำการปรับรัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) และรัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2).....	49
3.25 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ทำการปรับรัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) และรัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2).....	50
3.26 สายอากาศแบบห้ำก้านที่มีการเพิ่มพื้นที่ป้อนสัญญาณ.....	51
3.27 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศแบบห้ำก้านที่มีการเพิ่มพื้นที่ป้อนสัญญาณ เมื่อทำการปรับรัศมีวงกลมบริเวณจุดป้อนสัญญาณ (r_3).....	52
3.28 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศแบบห้ำก้านที่มีเพิ่มพื้นที่บริเวณจุดป้อนสัญญาณ และทำการปรับรัศมีวงกลมบริเวณจุดป้อนสัญญาณ (r_3).....	53
3.29 โครงสร้างของสายอากาศก่อน และหลังเพิ่มพื้นที่บริเวณจุดป้อนสัญญาณ.....	53
3.30 ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศแบบห้ำก้านที่เพิ่มพื้นที่จุดป้อนสัญญาณ ทำการปรับลดระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (H).....	54
3.31 ผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศแบบห้ำก้านที่เพิ่มพื้นที่จุดป้อนสัญญาณ เมื่อ	

ทำการปรับลดระยะห่างระหว่างแผ่นวงแหวน (H).....	55
---	----

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.32	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศ เมื่อทำการปรับรัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) และรัศมีวงแหวนด้าน ในของสายอากาศ (r_2).....	56
3.33	ผลการจำลอง $ S_{11} $ เมื่อทำการปรับรัศมีวงแหวนด้านนอกของสายอากาศ (r_1) และรัศมีวงแหวนด้านในของสายอากาศ (r_2).....	57
3.34	สายอากาศแบบห้ำก้านที่มีกิ่งโค้ง.....	58
3.35	ผลการจำลองเปรียบเทียบค่าความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ของสายอากาศ เมื่อทำการปรับรัศมีส่วนโค้งของกิ่งโค้ง (r_4) มุมของส่วนโค้งกิ่งโค้ง (β).....	59
3.36	ผลการจำลอง $ S_{11} $ เมื่อทำการปรับรัศมีส่วนโค้งของกิ่งโค้ง (r_4) และมุมของ ส่วนโค้งกิ่งโค้ง (β).....	60
3.37	เปรียบเทียบผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศทั้ง 4 แบบที่ได้ทำการออกแบบ...	61
3.38	ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น โดยการเปรียบเทียบสายอากาศแบบ สี่ก้านที่เป็นโครงสร้างเริ่มต้น และสายอากาศห้ำก้านที่มีกิ่งโค้ง.....	62
3.39	ผลการจำลอง $ S_{11} $ สายอากาศรอบตัวโพลาริซ์แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลม ซ้อนกัน.....	63
3.40	ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศรอบตัวโพลาริซ์ แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน.....	65
3.41	ผลการจำลองการกระจายของกระแสบนผิวของสายอากาศรอบตัวโพลาริซ์ แนวนอนโดยใช้วงแหวนวงกลมซ้อนกัน.....	66
3.42	ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศแบบห้ำก้านที่มีกิ่งโค้ง.....	67
4.1	โครงสร้างสายอากาศต้นแบบ.....	69
4.2	การทดสอบคุณลักษณะ $ S_{11} $ ของสายอากาศ.....	70
4.3	เปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลอง $ S_{11} $ ของสายอากาศต้นแบบ.....	71
4.4	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาริซ์ร่วม (Co-polar) ใน ระนาบ xy.....	72
4.5	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาริซ์ไขว้ (Cross-polar) ใน ระนาบ xy.....	73
4.6	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาริซ์ร่วม (Co-polar) ใน ระนาบ xz.....	73
4.7	การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบโพลาริซ์ไขว้ (Cross-polar) ใน	

	ระนาบ xz.....	74
4.8	เปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ ที่ความถี่ 470 MHz.....	75

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.9	เปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบที่ความถี่ 666 MHz.....	76
4.10	เปรียบเทียบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบที่ความถี่ 862 MHz.....	77
4.11	เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างผลการจำลองและผลการทดสอบ.....	78
5.1	พื้นที่บริเวณรัศมีทดลองออกอากาศโทรทัศน์ดิจิทัลโดยสถานีเครื่องส่งโทรทัศน์ และซ่อมบำรุง อสมท. จังหวัดขอนแก่น.....	81
5.2	การต่ออุปกรณ์ทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล.....	82
5.3	อุปกรณ์สำหรับทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล.....	82
5.4	การติดตั้งสายอากาศและอุปกรณ์สำหรับการทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล (ก) เมื่อไม่ต่อสายอากาศ (ข) เมื่อต่อสายอากาศต้นแบบเข้ากับกล่องรับสัญญาณ DVB-T2.....	82
5.5	การจำลองสายอากาศขณะติดตั้งบนรถยนต์.....	85
5.6	ระยะห่างระหว่างสายอากาศกับรถ.....	86
5.7	เปรียบเทียบผล $ S_{11} $ ระหว่างผลการจำลองขณะไม่ได้ติดตั้งบนรถ ขณะติดตั้งบนรถ และผลการทดสอบขณะไม่มีรถ.....	86
5.8	เปรียบเทียบอัตราขยายระหว่างผลการจำลองขณะไม่ได้ติดตั้งบนรถ ขณะติดตั้งบนรถ และผลการทดสอบขณะไม่มีรถ.....	87
5.9	ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น โดยการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองขณะไม่ได้ติดตั้งบนรถ ขณะติดตั้งบนรถ และผลการทดสอบขณะไม่มีรถ....	88