

สายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล

มาตรฐาน DVB-T2

RECEIVED ANTENNA DIGITAL TELEVISION BASED DVB-T2 STANDARD



ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล

มาตรฐาน DVB-T2

RECEIVED ANTENNA DIGITAL TELEVISION BASED DVB-T2 STANDARD



โดย
นายธนิชฐ์ เกียรติขจรบวร 60010438
นางสาวสุพิชญา ขาวดา 60011102
นายอิสรา โสภิตานนท์ 60011197

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐาน DVB-T2

RECEIVED ANTENNA DIGITAL TELEVISION BASED DVB-T2 STANDARD

ผู้จัดทำ

- | | | |
|------------------|---------------|----------|
| 1. นายธนิชฐ์ | เกียรติขจรบวร | 60010438 |
| 2. นางสาวสุพิชญา | ขาวดา | 60011102 |
| 3. นายอิสรา | โสภิตานนท์ | 60011197 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้มีอาจสำเร็จลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์หากปราศจากความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ผู้ซึ่งให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวคิดและวิธีการแก้ไขปัญหาในการทำงาน รวมถึงการสนับสนุนสถานที่เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่จำเป็นในการจัดทำปริญญาานิพนธ์ ขอขอบพระคุณในความห่วงใยและความปรารถนาดีที่มีให้แก่คณะผู้จัดทำเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาเอก คุณธนดล เตียงทอง สำหรับความช่วยเหลือต่าง ๆ ทั้งการให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็นและแนวทางการศึกษาค้นคว้า ซึ่งช่วยเพิ่มเติมทักษะประสบการณ์ และเติมเต็มความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำเป็นอย่างมาก

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่มอบให้ทั้งความรัก ความห่วงใย ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาอันมีค่า ตลอดจนยังคงคอยให้กำลังใจในยามที่เกิดปัญหาเสมอมา และขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่อาจมิได้กล่าวถึงข้างต้นที่ได้ให้ความช่วยเหลือ จนกระทั่งปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายณิษฐ์	เกียรติขจรบวร
นางสาวสุพิชญา	ชาวดา
นายอิสรา	โสภิตานนท์
	ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบ
ดิจิทัล มาตรฐาน DVB-T2
RECEIVED ANTENNA DIGITAL TELEVISION BASED
DVB-T2 STANDARD

โดย นายธนิชฐ์ เกียรติขจรบรร 60010438
นางสาวสุพิชญา ขาวดา 60011102
นายอิศรา โสภิตานนท์ 60011197

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสายอากาศดิสคอนสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง และทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ เช่น สัมประสิทธิ์การสะท้อน อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน อัตราขยายและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ จากนั้นประเมินผลประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้มาซึ่งสายอากาศที่มีประสิทธิภาพและสามารถทำงานได้อย่างเหมาะสมในย่านความถี่สูงยิ่ง

ABSTRACT

This thesis is aims to fabricate a discone antenna for receiving digital television signal based on DVB-T2 standard and test properties of the antenna such as reflection coefficient, voltage standing wave ratio, gain and radiation pattern. Then evaluate the antenna's performance to obtain efficiency and apply properly in an ultra-high frequency band.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1	บทนำ
	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
	1
	1.2 วัตถุประสงค์
	2
	1.3 ขอบเขตของโครงการ
	2
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง
	5
	2.1 เทคโนโลยีโทรทัศน์ดิจิทัล
	5
	2.2 มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง
	6
	2.3 ทฤษฎีความถี่สูงยิ่ง
	7
	2.4 ทฤษฎีสายอากาศ
	9
	2.5 คุณลักษณะพื้นฐานของสายอากาศ
	14
บทที่ 3	การออกแบบและการจัดทำปริญญาานิพนธ์
	23
	3.1 การออกแบบ
	23
	3.2 การสร้างสายอากาศ
	34
	3.3 การทดสอบคุณสมบัติ
	40
	3.4 การทดสอบประสิทธิภาพการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบ ดิจิทัล
	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4	
ผลการทดลอง	49
4.1 ผลการทดสอบวัดคุณสมบัติของสายอากาศ	49
4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการรับสัญญาณโทรทัศน์	56
บทที่ 5	
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผล	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	
คุณสมบัติทางเทคนิค	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	3
2.1	6
2.2	9
2.3	10
2.4	11
2.5	12
2.6	13
2.7	16
2.8	16
2.9	17
2.10	17
2.11	18
2.12	18
2.13	19
2.14	20
2.15	21
2.16	22
3.1	24
3.2	26
3.3	29
3.4	30
3.5	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.6	อัตราขยายที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์	32
3.7	แบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 400 เมกะเฮิรตซ์	33
3.8	แบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 550 เมกะเฮิรตซ์	33
3.9	แบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 700 เมกะเฮิรตซ์	34
3.10	แผ่นทองแดงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1875 เมตร	35
3.11	ลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.002 เมตรยาว 0.308 เมตร	35
3.12	ข้อต่อ SMA	36
3.13	หัวแร้งบัดกรีและตะกั่ว	36
3.14	ปืนยิงความร้อนและกาวยร้อน	37
3.15	บล็อกไดอะแกรมการสร้างสายอากาศดิสโคน	37
3.16	ตัดแผ่นทองแดงด้วยเครื่องกลึง	38
3.17	เจาะรูแผ่นทองแดงด้วยสว่าน	38
3.18	ข้อต่อ SMA ที่เชื่อมกับแผ่นทองแดงกลม	39
3.19	สายอากาศดิสโคนสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล	39
3.20	สายอากาศดิสโคนสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล	40
3.21	บล็อกไดอะแกรมการทดสอบวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน	41
3.22	แบบจำลองการทดสอบวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน	42
3.23	บล็อกไดอะแกรมการทดสอบอัตราขยายและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ	44
3.24	แบบจำลองการทดสอบวัดอัตราขยายและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ	45
3.25	การทดสอบอัตราขยายและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศภายในห้องปิดกั้นคลื่นไร้การสะท้อน	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.26	47
แบบจำลองการทดสอบประสิทธิภาพการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล	
3.27	48
การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล	
4.1	49
การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสะท้อนระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	
4.2	50
อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	
4.3	51
อัตราขยายระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	
4.4	52
แบบรูปการแผ่พลังงานระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในระนาบ XY ที่ความถี่ 400 เมกะเฮิร์ตซ์	
4.5	53
แบบรูปการแผ่พลังงานระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในระนาบ XY ที่ความถี่ 550 เมกะเฮิร์ตซ์	
4.6	53
แบบรูปการแผ่พลังงานระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในระนาบ XY ที่ความถี่ 700 เมกะเฮิร์ตซ์	
4.7	54
แบบรูปการแผ่พลังงานระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในระนาบ XZ ที่ความถี่ 400 เมกะเฮิร์ตซ์	
4.8	55
แบบรูปการแผ่พลังงานระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในระนาบ XZ ที่ความถี่ 550 เมกะเฮิร์ตซ์	
4.9	55
แบบรูปการแผ่พลังงานระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในระนาบ XZ ที่ความถี่ 700 เมกะเฮิร์ตซ์	
4.10	56
การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล NATION TV ช่อง 22	
4.11	57
การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล GMM25 ช่อง 25	
4.12	57
การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล MONO29 ช่อง 29	
4.13	58
การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล AMARIN TV ช่อง 34	

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามมิให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล PPTV HD ช่อง 36	58
4.15 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล TV5 HD1 ช่อง 1	59
4.16 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล TNN24 ช่อง 16	59
4.17 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล WORKPOINT TV ช่อง 23	60
4.18 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล TRUE4U ช่อง 24	60
4.19 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล ONE HD ช่อง 31	61
4.20 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล CH7 HD ช่อง 35	61
4.21 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล TPTV ช่อง 10	62
4.22 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล 9MCOT HD ช่อง 30	62
4.23 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล THAIRATH TV ช่อง 32	63
4.24 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล THAIPBS ช่อง 3	63
4.25 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล ALTV ช่อง 4	64
4.26 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล THAIRATH TV ช่อง 32	64
4.27 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล CH8 ช่อง 27	65
4.28 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล 3 HD ช่อง 33	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	พารามิเตอร์ของมาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง	7
2.2	การประยุกต์ใช้งานย่านความถี่สูงยิ่งในประเทศไทย	8
3.1	รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ	40
3.2	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน	42
3.3	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบอัตราขยายและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ	45
3.4	รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล	46
3.5	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลในประเทศไทย (Digital terrestrial television in Thailand) เป็นวิวัฒนาการสำคัญของโทรทัศน์ในประเทศไทย ด้วยโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล ซึ่งผู้ชมส่วนใหญ่ทั่วไปจะเรียกว่า ทีวีดิจิทัล (Digital TV) ทั้งนี้คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) เป็นองค์กรอิสระของภาครัฐที่รับผิดชอบโดยตรงเกี่ยวกับคลื่นความถี่ทั้งหมด โดยคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติกำหนดให้ใช้ระบบการแพร่สัญญาณภาพตามมาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง (Digital video broadcasting-second generation terrestrial: DVB-T2) [1] โดยสถานีโทรทัศน์ส่วนใหญ่ได้ยุติการออกอากาศโทรทัศน์ในระบบแอนะล็อก (Analog) อย่างสมบูรณ์ในระยะเวลาเดียวกันช่วงกลางปี พ.ศ. 2561 [2] และเปลี่ยนมาออกอากาศด้วยโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลแทน นอกจากนี้โทรทัศน์ดิจิทัลจะดีกว่าโทรทัศน์แอนะล็อกในด้านคุณภาพของสัญญาณแล้วยังถือว่าการใช้ความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในระบบโทรทัศน์ดิจิทัลมีการส่งข้อมูลเป็นบิต (Bit) และสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าแบบแอนะล็อก วิธีการผสมสัญญาณแบบซีโอเอฟดีเอ็ม (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing: COFDM) ในหนึ่งช่องสัญญาณจะนำส่งไปยังหลายรายการโทรทัศน์ เรียกได้อีกแบบหนึ่งว่า การแพร่กระจายคลื่นแบบหลายรายการ (Multicasting) การส่งสัญญาณแบบดิจิทัลจึงได้คุณภาพของภาพและเสียงดีกว่า ยกตัวอย่างเช่น ระบบโทรทัศน์ความละเอียดสูง (High-definition television: HDTV) โดยทั่วไปโทรทัศน์ดิจิทัลจะใช้สัญญาณดิจิทัลที่ถูกบีบอัด และการเข้ารหัสซึ่งอาจเป็นรูปแบบ Moving picture expert group-2 (MPEG-2) หรือ Moving picture expert group-4 (MPEG-4) ในการรับชมจะต้องใช้อุปกรณ์ถอดรหัส ซึ่งอาจมีมาพร้อมกับตัวเครื่องรับโทรทัศน์ เช่น โทรทัศน์ระบบดิจิทัล ทีวีดิจิทัล หรือจะเป็นอุปกรณ์ถอดรหัส เช่น อุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณ (Set Top Box: STB) ซึ่งใช้ถอดรหัสสัญญาณให้กับเครื่องรับโทรทัศน์แอนะล็อกที่มีใช้งานทั่วไป ซึ่งสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สองที่บังคับใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นต้องรองรับสัญญาณได้ทุกทิศทาง ทำงานได้ในช่วงความถี่ที่ออกอากาศสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดิน [3]

จากการศึกษาทฤษฎีสายอากาศ คณะผู้จัดทำจึงเลือกที่จะศึกษาและสร้างสายอากาศดิสคอน (Discone antenna) [4] เป็นสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สองเพราะนอกจากมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ น้ำหนักเบาและหาวัสดุในการสร้างได้ง่าย

1.2 วัตถุประสงค์

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาและสร้างสายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล โดยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

- 1) เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการสายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง
- 2) เพื่อทำการทดสอบวัดคุณลักษณะของสายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สองในย่านความถี่สูงยิ่ง
- 3) เพื่อทำการประเมินผลคุณลักษณะของสายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง

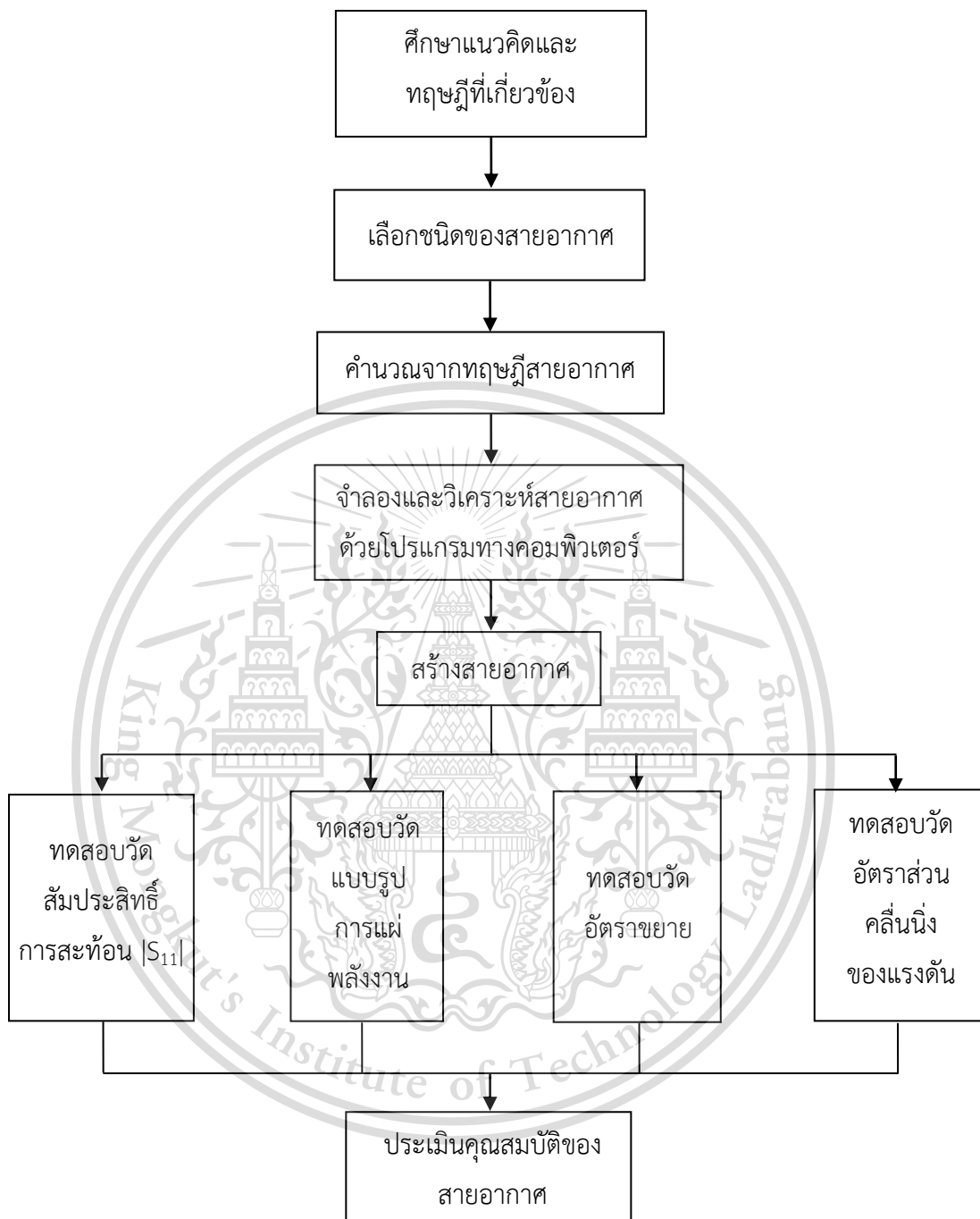
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

ออกแบบและสร้างสายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง ในปริญญาานิพนธ์นี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งศึกษาแนวคิดและทฤษฎีต่าง ๆ ของสายอากาศและเลือกชนิดให้เหมาะสมกับการใช้งาน สายอากาศที่คณะผู้จัดทำเลือกคือ สายอากาศดิสโคน (Discone antenna) เมื่อเลือกชนิดของสายอากาศแล้วจึงทำการศึกษาทฤษฎีและทำการคำนวณคุณสมบัติที่ต้องการจากทฤษฎีของสายอากาศ ส่วนที่สองจำลองการสร้างด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ (Computer program) วิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศที่จำลองขึ้น เมื่อได้คุณสมบัติตามที่ต้องการจึงทำในส่วนที่สามคือ สร้างและทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ เช่น สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection coefficient: $|S_{11}|$) อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (Voltage standing wave ratio: VSWR) อัตราขยาย (Gain) และแบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation pattern) ส่วนสุดท้ายที่ได้ทำการศึกษาคือส่วนที่สี่ ประเมินผลประสิทธิภาพในการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง ซึ่งการศึกษาดังกล่าวได้ทำการแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของการออกแบบและสร้างสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์และขอบเขตของปฏิญานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง ทฤษฎีความถี่สูงยิ่ง ทฤษฎีสายอากาศ คุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศ

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและสร้างสายอากาศดิสโคน ซึ่งได้แก่ บล็อกไดอะแกรมของการออกแบบและสร้างสายอากาศ การเลือกชนิดของสายอากาศ การออกแบบสายอากาศดิสโคนจากคำนวณ การจำลองการสร้างสายอากาศดิสโคนด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ การสร้างสายอากาศและการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองสายอากาศดิสโคน

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลอง ได้แก่ สมบัติการสะท้อน อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน อัตราขยาย แบบรูปการแผ่พลังงานและการทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการศึกษาและสร้างสายอากาศรับสำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเกี่ยวกับเทคโนโลยีโทรทัศน์ดิจิทัล (Digital television: DTV) ส่วนที่สองเกี่ยวกับมาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง ส่วนที่สามเกี่ยวกับทฤษฎีความถี่สูงยิ่ง ส่วนที่สี่เกี่ยวกับทฤษฎีสายอากาศ และส่วนที่ห้าเกี่ยวกับคุณลักษณะพื้นฐานของสายอากาศ

2.1 เทคโนโลยีโทรทัศน์ดิจิทัล [5]

โทรทัศน์ดิจิทัล คือระบบการแพร่สัญญาณภาพเคลื่อนไหวและสัญญาณเสียงไปสู่เครื่องรับโทรทัศน์ด้วยสัญญาณดิจิทัล ซึ่งแตกต่างกับการใช้สัญญาณแอนะล็อก โดยทั่วไปโทรทัศน์ดิจิทัลใช้สัญญาณดิจิทัลที่ถูกบีบอัดและเข้ารหัส MPEG-2 การรับชมจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ถอดรหัส ซึ่งอาจมีมาพร้อมกับตัวเครื่องรับโทรทัศน์เลย โดยโทรทัศน์รุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นมาจากรองรับระบบดิจิทัลหรือจะเป็นอุปกรณ์ถอดรหัสที่แยกอยู่ในอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณ ซึ่งใช้ถอดรหัสสัญญาณและป้อนให้กับเครื่องรับโทรทัศน์แอนะล็อกที่มีใช้งานทั่วไป หากเป็นการรับชมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ก็มีการรับสัญญาณที่สามารถถอดรหัสได้ ในระบบโทรทัศน์ดิจิทัลสัญญาณภาพและเสียงที่รับได้มีคุณภาพสูงกว่าระบบโทรทัศน์แอนะล็อก เนื่องจากเทคโนโลยีดิจิทัลมีขีดความสามารถในการขจัดปัญหาของสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าภาพเสียงชัดเจน ไม่มีภาพเงา การเปลี่ยนแปลงไปสู่โทรทัศน์ดิจิทัลนับว่าเป็นการปฏิวัติวงการโทรทัศน์ยิ่งกว่าตอนเปลี่ยนจากโทรทัศน์ขาว-ดำ ไปเป็นโทรทัศน์สี ก่อให้เกิดธุรกิจและโอกาสใหม่ ๆ ในวงการวิทยุกระจายเสียงและแพร่ภาพโทรทัศน์ รวมถึงผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ โทรทัศน์ดิจิทัลได้รับความนิยมแพร่หลายอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีทั้งการให้บริการผ่านระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม (Satellite communication system) ผ่านเคเบิล (Cable TV) และผ่านสถานีโทรทัศน์ภาคพื้นดิน

จุดแตกต่างที่เห็นได้ชัดระหว่างระบบส่งโทรทัศน์แบบแอนะล็อกกับระบบส่งโทรทัศน์แบบดิจิทัล [5] คือ การส่งสัญญาณภาพและเสียงระบบดิจิทัลมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนสูง ทั้งสัญญาณรบกวนจากภายนอกและสัญญาณรบกวนภายในที่เกิดจากเครื่องส่งเอง จึงทำให้ผู้คนในยุคที่รับชมโทรทัศน์ในระบบส่งแบบดิจิทัลไม่ค่อยได้พบสัญญาณภาพและเสียงที่มีปัญหาใด ๆ จุดที่โดดเด่นไปกว่านั้นคือ การที่ส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลสามารถรองรับช่องรายการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อผู้เฝ้าเห็นใบเซ็ปะโฮชันดำเนินการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

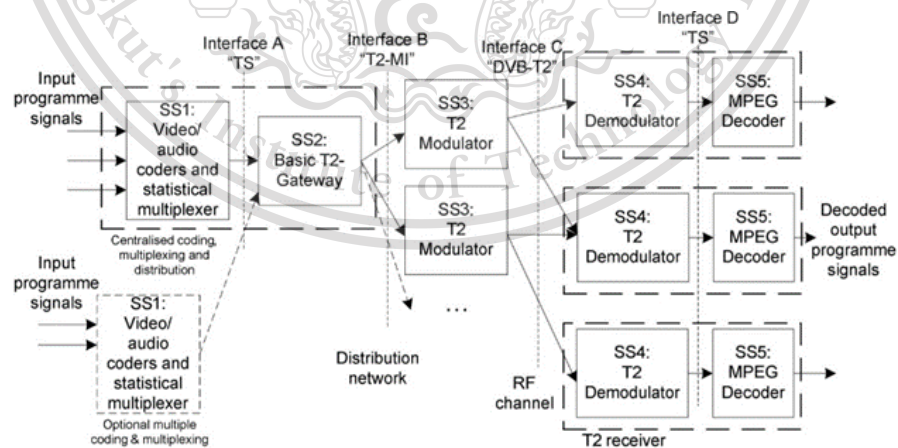
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ที่เกิดขึ้นได้จำนวนมาก จึงเป็นโอกาสที่ดีสำหรับธุรกิจผลิตรายการ จำนวนช่องรายการที่สามารถส่งได้สูงสุดในระบบการส่งแบบแอนะล็อกจะส่งได้ไม่เกิน 106 ช่องรายการ ซึ่งไม่เพียงพอกับจำนวนช่องรายการที่ต้องการส่ง จึงเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้เกิดการพัฒนาระบบส่งโทรทัศน์กลายเป็นระบบส่งโทรทัศน์แบบดิจิทัลที่มีความสามารถส่งช่องรายการได้มากถึง 600 ถึง 800 ช่องรายการ

2.2 มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง [6]

มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง เริ่มพัฒนาปรับปรุงมาจากมาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดิน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 โดยนำเทคโนโลยีการผสมสัญญาณและการเข้ารหัสแบบใหม่มาใช้ส่งสัญญาณเสียง วิดีโอ และข้อมูลอื่น ๆ ที่ถูกบีบอัดในระบบเลเยอร์ทางกายภาพ (Physical-layer pipe: PLP) ใช้วิธีการผสมสัญญาณแบบโอเอฟดีเอ็ม (Orthogonal frequency division multiplex: OFDM) ซึ่งสามารถลดการเกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath) มีการแบ่งความถี่ให้เป็นความถี่ย่อยจำนวนมาก ทำให้การส่งสัญญาณมีความคงทน ยืดหยุ่น และมีระบบการป้องกันความผิดพลาดคล้ายระบบแพร่ภาพดิจิทัลผ่านดาวเทียม ทั้งนี้ยังมีการเข้ารหัสด้วยเทคนิคแอลดีพีซี (Low density parity check: LDPC) ผสมกับบีซีเอส (Bose-chaudhuri-hocquengham: BCH) เพื่อเพิ่มความทนทานให้กับสัญญาณ โดยกระบวนการส่งสัญญาณและพารามิเตอร์ของมาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง แสดงดังรูปที่ 2.1 ตารางที่ 2.1 ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของมาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สองตั้งแต่ต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานทางถึงปลายทาง [7] ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ของมาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง [8]

พารามิเตอร์	รายละเอียด
ตัวประสานเพื่อนำเข้าข้อมูล	ตัวส่งหลายกระแสและควบคุมกระแสทั่วไป
โหมด	การเข้ารหัสและการปรับตัวแปร
การแก้ไขข้อผิดพลาดไปข้างหน้า	แอลดีพีซี + บีซีเอส 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 6/7, 8/9
การปรับสัญญาณ	โอเอฟดีเอ็ม
แผนการปรับสัญญาณ	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
ช่วงเวลาการป้องกัน	1/4, 19/128, 1/8, 19/256, 1/16, 1/32, 1/128
ขนาดการแปลงฟูรีเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k

การแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินในประเทศไทยตามข้อกำหนดของสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ ใช้แผนการปรับสัญญาณแบบ 64QAM และช่วงเวลาการป้องกัน 19/128 [8]

2.3 ทฤษฎีความถี่สูงยิ่ง [9]

ความถี่สูงยิ่ง คือย่านความถี่ที่ถูกจัดสรรโดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International telecommunication union: ITU) ใช้สำหรับความถี่วิทยุในช่วงระหว่าง 300 เมกะเฮิร์ตซ์ ไปจนถึง 3 กิกะเฮิร์ตซ์ (GHz) หรือเรียกว่า เดซิเมตรแบนด์ (Decimeter band) มีความยาวคลื่นตั้งแต่หนึ่งเมตร (meter) ถึงหนึ่งส่วนสิบเมตรหรือหนึ่งเดซิเมตร และลักษณะการแพร่กระจายเกือบทั้งหมดเดินทางโดยการแพร่กระจายแบบเส้นสายตา (Line of sight: LoS)

การประยุกต์ใช้งานย่านความถี่สูงยิ่งในประเทศไทยตามประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ แสดงดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.2 การประยุกต์ใช้งานย่านความถี่สูงยิ่งในประเทศไทย [10]

คลื่นความถี่	กำลังส่งสูงสุด	ประเภทการประยุกต์ใช้งาน
300 - 500 เมกะเฮิร์ตซ์	10 มิลลิวัตต์ (mW)	เครื่องวิทยุคมนาคมทั่วไป ไม่จำกัดประเภทการประยุกต์ใช้งาน
433.05 - 434.79 เมกะเฮิร์ตซ์	10 มิลลิวัตต์	เครื่องวิทยุคมนาคมประเภทอาร์เอฟไอดี (RFID)
	10 มิลลิวัตต์กำลังส่งออก อากาศสมมูลแบบ ไอโซทรอปิก (Isotropic)	อากาศยานซึ่งไม่มีนักบิน
470 - 694 เมกะเฮิร์ตซ์	10 มิลลิวัตต์	เครื่องส่งสัญญาณภาพหรือ เครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียง
694 - 703 เมกะเฮิร์ตซ์	50 มิลลิวัตต์	เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท ไมโครโฟนไร้สาย
748 - 758 เมกะเฮิร์ตซ์	50 มิลลิวัตต์	เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท ไมโครโฟนไร้สาย (Wireless microphone)
803 - 806 เมกะเฮิร์ตซ์	50 มิลลิวัตต์	เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท ไมโครโฟนไร้สาย
920 - 925 เมกะเฮิร์ตซ์	4000 มิลลิวัตต์กำลังส่งออก อากาศสมมูลแบบ ไอโซทรอปิก	เครื่องวิทยุคมนาคมที่ไม่ใช่ ประเภทอาร์เอฟไอดี
1900-1906 เมกะเฮิร์ตซ์	10 มิลลิวัตต์	เครื่องโทรศัพท์ไร้สายที่ใช้ใน กิจการส่วนบุคคล
2400 - 2500 เมกะเฮิร์ตซ์	100 มิลลิวัตต์กำลังส่งออก อากาศสมมูลแบบ ไอโซทรอปิก	เครื่องวิทยุคมนาคมทั่วไป ไม่จำกัดประเภทการประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.2 การประยุกต์ใช้งานย่านความถี่สูงยิ่งในประเทศไทย (ต่อ) [10]

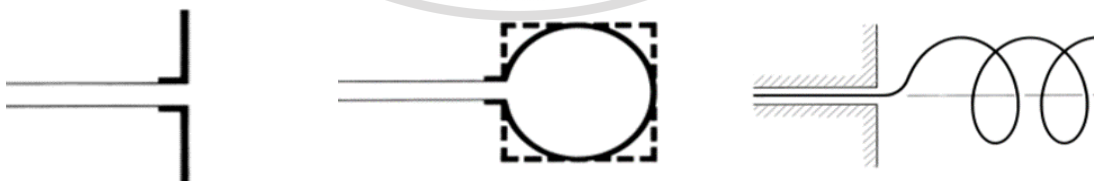
2400 - 2500 เมกะเฮิรตซ์	100 มิลลิวัตต์กำลังส่งออก อากาศผสมมูลแบบ ไอโซทรอปิก	เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท อาร์เอฟไอดี
		เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท เครือข่ายท้องถิ่น
		อากาศยานซึ่งไม่มีนักบิน
1.6 - 2.0 กิกะเฮิรตซ์	-41.3 ดีบีเอ็มต่อเมกะเฮิรตซ์ (dBm/MHz)	เครื่องวิทยุคมนาคมประเภท แถบความถี่กว้างยิ่งยวด (Ultra-wideband)
2.0 - 2.2 กิกะเฮิรตซ์	-62.0 ดีบีเอ็มต่อเมกะเฮิรตซ์	
2.2 - 3.4 กิกะเฮิรตซ์	-41.3 ดีบีเอ็มต่อเมกะเฮิรตซ์	

2.4 ทฤษฎีสายอากาศ [11]

สายอากาศ คืออุปกรณ์ที่เป็นตัวนำหรือส่วนประกอบของตัวนำสำหรับรับส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางในอากาศนั้นประกอบไปด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางตั้งฉากกันเสมอ และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นที่เดินทาง [12] สายอากาศถูกแบ่งออกเป็นหลายชนิด เช่น

2.4.1 สายอากาศแบบลวดตัวนำ (Wire antenna) [13]

พบได้อย่างแพร่หลาย นิยมใช้ในรถยนต์ อาคาร เรือ อากาศยานและอื่น ๆ ทำมาจากเส้นลวดโลหะ (Conducting wire) มีหลายรูปแบบ เช่น ไดโพล (Dipole) บ่วง และเกลียว ตัวอย่างของสายอากาศแบบลวดตัวนำแสดงดังรูปที่ 2.2



(ก) ไดโพล

(ข) รูปแบบวงกลม

(ค) วงรูปสปริง

รูปที่ 2.2 สายอากาศแบบลวดตัวนำ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.2 สายอากาศแบบช่องเปิด (Aperture antenna) [13]

สามารถใช้งานได้iny่านความถี่สูง นิยมใช้ในงานอากาศยานและยานอวกาศ เนื่องจากสายอากาศประเภทนี้มักใช้วัสดุจำพวกฉนวนปกคลุมเพื่อป้องกันอันตรายต่าง ๆ จากสภาวะแวดล้อม รูปทรงของสายอากาศแบบช่องเปิด เช่น กระจับกรูปปิรามิด (Pyramidal horn antenna) กระจับกรูปกรวยและท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมแสดงดังรูปที่ 2.3 (ก) (ข) และ (ค) ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 สายอากาศแบบช่องเปิด [13]

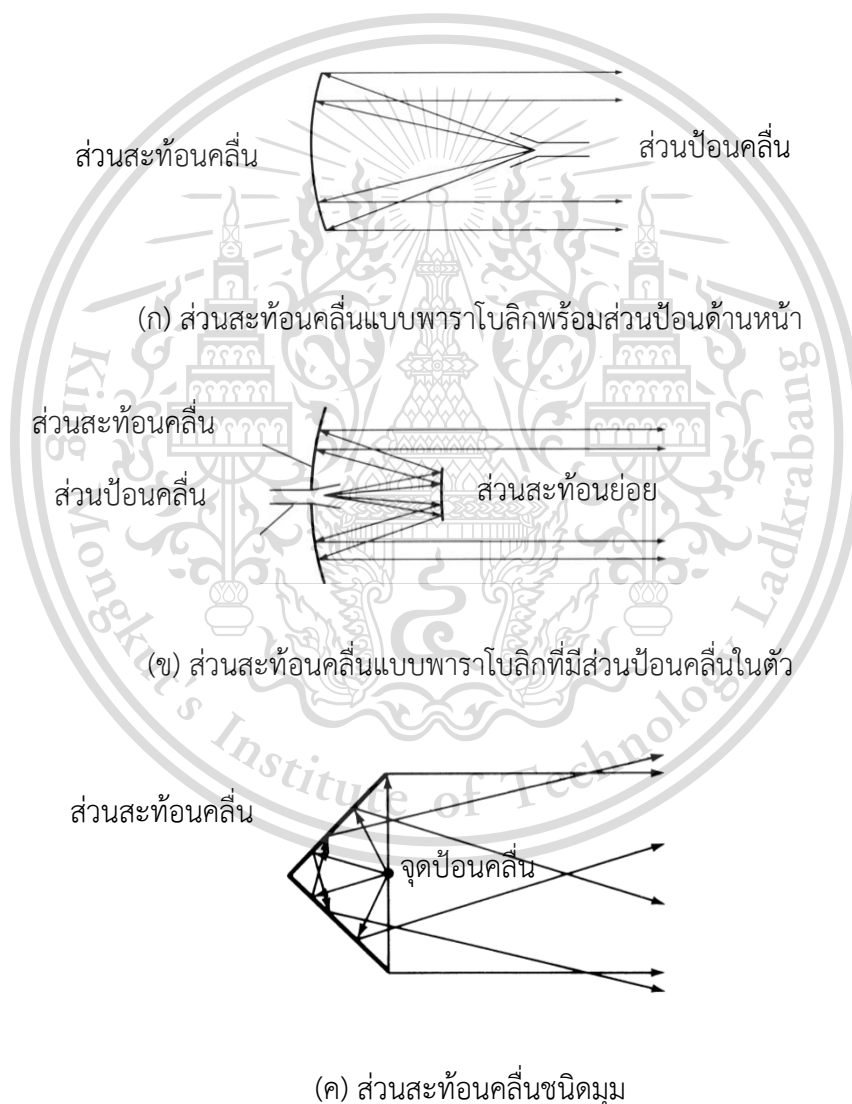
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.3 สายอากาศสะท้อนคลื่น (Reflector antenna) [13]

เป็นสายอากาศที่ออกแบบขึ้นเป็นแบบตัวสะท้อนพาราโบลา (Parabolic reflector) แสดงดังรูปที่ 2.4 มีทั้งพาราโบลาแบบหงายและแบบคว่ำขึ้นอยู่กับการใช้งาน โดยจะมีการส่งคลื่นออกจากภาคส่งผ่านสายป้อนสัญญาณ (Feeder lines) และสายอากาศแบบช่องเปิดเพื่อส่งคลื่นไปสะท้อนที่จานสะท้อนก่อนที่จะส่งต่อไปยังภาครับสัญญาณที่อยู่ห่างออกไประยะไกล เนื่องจากต้องการสร้างคลื่นระนาบซึ่งส่วนใหญ่จะใช้สายอากาศสะท้อนคลื่นในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมและระบบเคเบิลทีวี



รูปที่ 2.4 สายอากาศสะท้อนคลื่น [13]

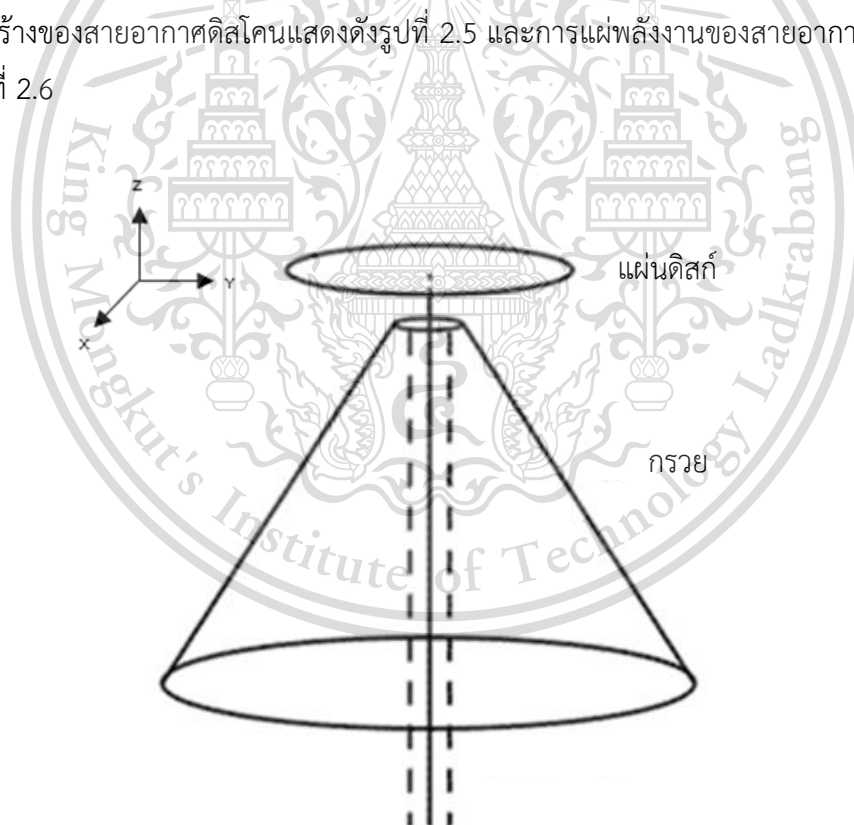
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.4 สายอากาศดิสโคน [4]

สายอากาศดิสโคน คือหนึ่งในสายอากาศแบบกรวยคู่ โดยหนึ่งในกรวยจะถูกแทนที่ด้วยแผ่นดิสก์ ปกติจะติดตั้งในแนวตั้ง โดยให้แผ่นดิสก์อยู่ด้านบนและกรวยอยู่ด้านล่าง มักใช้ในกรณีที่ต้องการออกแบบสายอากาศแบบกว้าง รอบทิศทาง (Omnidirectional) หรือออกแบบสายอากาศสำหรับความถี่ของคลื่นวิทยุ เมื่อพิจารณาจากขนาด น้ำหนัก และแรงต้านทานลม โดยปกติสายอากาศเหล่านี้จะใช้สำหรับความถี่ที่สูงกว่า 30 เมกะเฮิร์ตซ์ ทั้งยังสามารถออกแบบให้ใช้กับความถี่ต่ำกว่าได้แม้ว่าพื้นที่ที่ต้องการจะมีขนาดใหญ่ก็ตาม บางครั้งจะเรียกสายอากาศดิสโคนว่า สายอากาศสแกนเนอร์ (Scanner antenna) แต่สายอากาศดิสโคนได้รับชื่อจากรูปร่าง ซึ่งประกอบด้วยแผ่นดิสก์ด้านบนและกรวยคู่ด้านล่าง ให้มุมของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ค่อนข้างแคบ ทำให้เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานในย่านความถี่สูงมาก (Very-high frequency: VHF) [14] และความถี่สูงยิ่ง ทิศทางของการตอบสนองสูงสุดขนานหรือเกือบขนานกับพื้นโลก โดยโครงสร้างของสายอากาศดิสโคนแสดงดังรูปที่ 2.5 และการแผ่พลังงานของสายอากาศดิสโคนแสดงดังรูปที่ 2.6

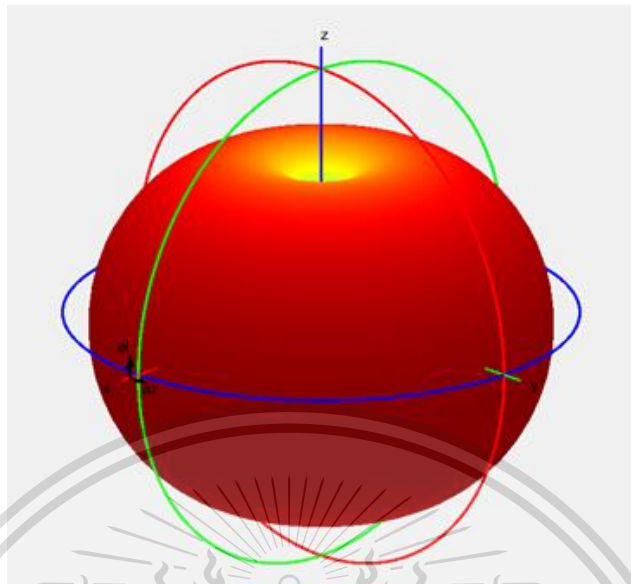


รูปที่ 2.5 สายอากาศดิสโคน [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.6 การแผ่พลังงานรอบทิศทางของสายอากาศดิสโคิน [15]

2.4.4.1 ส่วนประกอบของสายอากาศดิสโคิน [11]

สายอากาศดิสโคิน ประกอบด้วยสามส่วนหลัก คือแผ่นดิสก์ กรวย และฉนวน

- 1) แผ่นดิสก์ ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 0.7 เท่าของหนึ่งในสี่ความถี่ต่ำสุดของสายอากาศจุดบ่อนของเสาอากาศอยู่ที่กึ่งกลางของแผ่นดิสก์ โดยปกติจะป้อนสัญญาณด้วยสายโคแอกเซียล (Coaxial cable) 50 โอห์ม โดยมีข้อต่อเชื่อมกับแผ่นดิสก์และกรวย
- 2) กรวย ความยาวของกรวยควรมีขนาดเท่ากับหนึ่งในสี่ความยาวคลื่นของความถี่การทำงานต่ำสุดของสายอากาศ มุมกรวยโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 25 ถึง 40 องศา
- 3) ฉนวน แผ่นดิสก์และกรวยจะต้องถูกคั่นด้วยฉนวนซึ่งขนาดที่กำหนดคุณสมบัติบางอย่างของเสาอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ใกล้กับขีดจำกัดความถี่สูง

2.4.4.2 ลักษณะการทำงานของสายอากาศดิสโคิน [16]

องค์ประกอบของแผ่นดิสก์และกรวยจำลองจำเป็นต้องมีองค์ประกอบเพียงพอเพื่อให้พลังงานถูกแผ่ออกมา ด้วยเหตุนี้จึงจำนวนองค์ประกอบที่ใช้แทนกรวยมากขึ้นการทำงานจะยิ่งดีขึ้น แม้ว่าในความเป็นจริงจะมีความสมดุระหว่างประสิทธิภาพ ต้นทุนและความต้านทานลมพลังงานในการทำงานจากเครื่องป้อนตรงเข้าสู่สายอากาศและกระจายไปทั่วพื้นผิวของกรวยจากปลายไปยังฐาน จนกระทั่งระยะห่างแนวตั้งระหว่างจุดบนกรวยและแผ่นดิสก์เป็นหนึ่งในสี่ของความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูแลเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นใบแจ้งประสงค์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ยาวคลื่น ด้วยวิธีนี้จึงเป็นไปได้ที่พลังงานจะถูกแผ่ออกหรือได้รับอย่างมีประสิทธิภาพ สายอากาศสำหรับความถี่คลื่นวิทยุจะแผ่และรับพลังงานในแนวตั้ง มีรูปแบบการแผ่พลังงานเป็นแบบรอบทิศทาง ระนาบแนวนอน (Horizontal Plane) ในส่วนของข้อกำหนดการใช้งานสายอากาศดิสโคน แตกต่างจากสายอากาศแนวตั้ง (Vertical Plane) เนื่องจากไม่ต้องการเชื่อมต่อกับสายดินใด ๆ และสามารถป้องกันสัญญาณโดยตรงจากสายป้องกันสัญญาณโคแอกเซียล

สายอากาศดิสโคนนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายที่ย่านความถี่สูงมากขึ้นไป ซึ่งจำเป็นต้องใช้สายอากาศแบบวงกว้าง แม้ว่าจะไม่ใช้ในลักษณะเดียวกับสายอากาศยาคิ-อูดะ แต่สามารถให้การแผ่พลังงานในมุมที่ต่ำ ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานภาคพื้นดินทั้งในเชิงพาณิชย์ และมีสมัครเล่น

2.5 คุณลักษณะพื้นฐานของสายอากาศ [11]

2.5.1 สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection coefficient: $|S_{11}|$) [11]

การสะท้อนกลับของสายอากาศแสดงค่ากำลังที่สูญเสียที่โหลด (Load loss) เมื่ออิมพีแดนซ์ของสายส่งและสายอากาศไม่แมตช์กัน สัมประสิทธิ์การสะท้อนมีความสัมพันธ์กับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน ถ้าสายอากาศมีค่าการสูญเสียย้อนกลับเป็น 0 สายอากาศจะเกิดการสะท้อนกลับ ถ้าสายอากาศมีค่าการสูญเสียย้อนกลับเป็นอนันต์ สายอากาศไม่เกิดการสะท้อน ถือเป็นสายอากาศที่ดี ซึ่งสัมประสิทธิ์การสะท้อนสามารถหาได้ดังสมการที่ 2.1 [11]

$$RL(dB) = -20 \log |\Gamma| ; 0 \leq RL \leq \infty \quad (2.1)$$

โดย RL คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อน

Γ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนเชิงซ้อน

2.5.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (Voltage standing wave ratio: VSWR) [17]

อัตราส่วนของค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีค่ามากที่สุดต่อค่าน้อยที่สุด ในระบบสายอากาศ ถ้าสายอากาศมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันเท่ากับ 1 สายอากาศไม่เกิดการสะท้อนถือว่าเป็นสายอากาศที่ดี แต่ถ้าสายอากาศมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันเป็นอนันต์สายอากาศจะเกิดการสะท้อนกลับ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2.2 [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.2)$$

โดย V_{\max} คือ แรงแดันไฟฟ้าที่มีค่ามากที่สุด (โวลต์)
 V_{\min} คือ แรงแดันไฟฟ้าที่มีค่าน้อยที่สุด (โวลต์)

2.5.3 อัตราขยาย (Gain) [17]

อัตราขยายเป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากค่าสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity หรือ D) คูณกับประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Efficiency หรือ e_r) ดังสมการที่ 2.3 หรืออาจจะหาค่าได้จากการทดสอบสายอากาศที่สร้างขึ้นจริงในทางปฏิบัติ ถ้าหากมีสายอากาศมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ [11]

$$G = e_r D \quad (2.3)$$

โดย G คือ อัตราขยาย
 e_r คือ ประสิทธิภาพของสายอากาศ
 D คือ ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง

โดยทั่วไปมักจะแสดงค่าอัตราขยายเป็นหน่วย dB สามารถหาได้จากสมการที่ 2.4

$$G(dB) = 10 \log(e_r D) \quad (2.4)$$

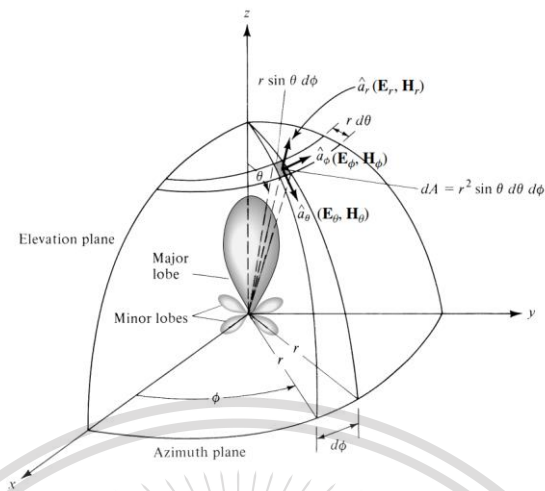
2.5.4 แบบรูปการแผ่พลังงาน

ทิศทางการแผ่พลังงานออกจากสายอากาศที่การกระจายไปได้ดีส่วนใหญ่มักคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far field) แสดงดังในรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

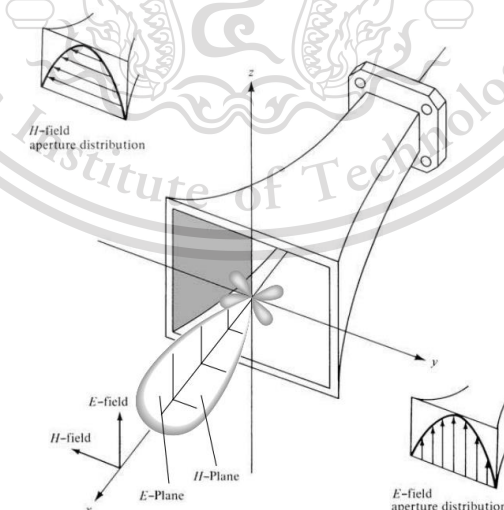
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.7 ระบบพิกัดแสดงคุณสมบัติการแผ่พลังงานของสายอากาศ [11]

2.5.4.1 แบบรูปหลัก (Principal pattern)

แบบรูปหลักของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก สำหรับสายอากาศที่มีโพลาไรเซชันแบบเชิงเส้น (Linear polarization) แบบรูปในระนาบสนามไฟฟ้าจะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้าและทิศทางของการแผ่พลังงานที่แรงที่สุด ส่วนแบบรูปในระนาบสนามแม่เหล็กจะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์ (Vector) สนามแม่เหล็กและทิศทางของการแผ่พลังงานที่ดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แบบรูปหลักระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของสายอากาศปากแตร [11]

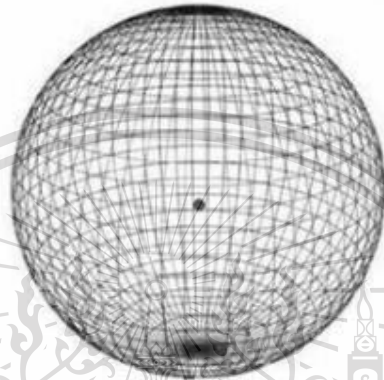
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

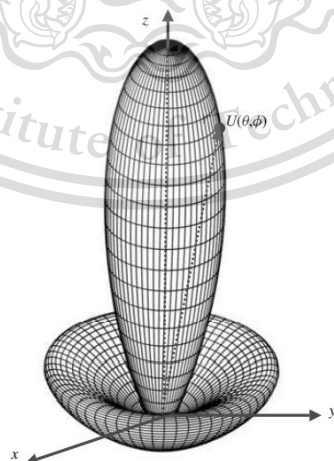
2.5.4.2 แบบรูปการแผ่พลังงาน

1) แบบรูปไอโซทรอปิก (Isotropic pattern) เป็นสายอากาศที่ถูกลมดีขึ้นให้มีคุณสมบัติแผ่พลังงานเท่ากันทุกทิศทาง (รูปทรงกลม) ใช้ในการเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติและทิศทางของสายอากาศ โดยทิศทางการแผ่พลังงานแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แบบรูปไอโซทรอปิก [11]

2) แบบรูปชี้ทิศทาง (Directional pattern) สายอากาศที่มีคุณสมบัติการแผ่พลังงานหรือรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น แบบรูปชี้ทิศทางแสดงดังรูปที่ 2.10



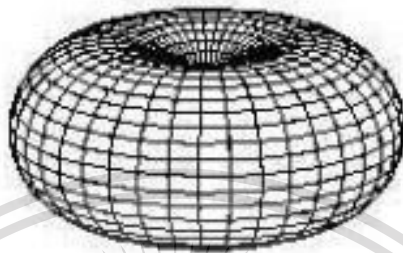
รูปที่ 2.10 แบบรูปชี้ทิศทาง [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

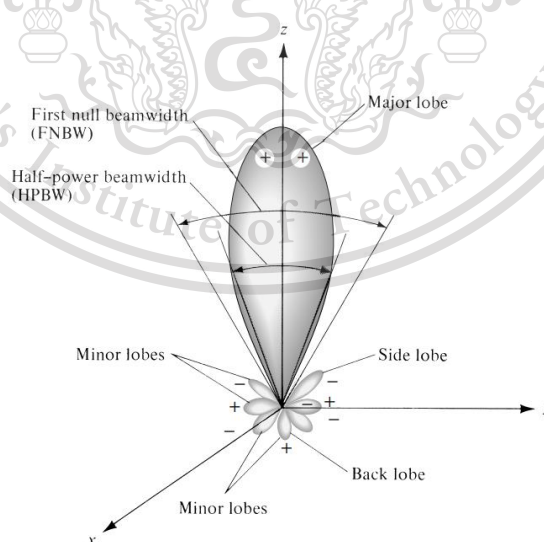
3) แบบรูปรอบทิศทาง เป็นสายอากาศที่มีคุณสมบัติการแผ่พลังงานรอบทิศทางหรือไม่มีทิศทางในระนาบอาซิมุท (Azimuth plane) แต่มีทิศทางในระนาบเอเลเวชัน (Elevation pattern) แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แบบรูปรอบทิศทาง [11]

2.5.4.3 ลำคลื่นของแบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation pattern lobes)

ลำคลื่นของแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ เป็นส่วนหนึ่งของแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยระดับลำคลื่นย่อย (Side Lobe Level: SLL) เป็นค่าผลต่างระหว่างระดับความสูงของลำคลื่นย่อยกับระดับความสูงของลำคลื่นหลัก โดยลำคลื่นในรูปแบบเชิงขั้วแบบ 3 มิติแสดงดังรูปที่ 2.12 และลำคลื่นในรูปแบบเชิงเส้นแบบ 2 มิติ แสดงดังรูปที่ 2.13

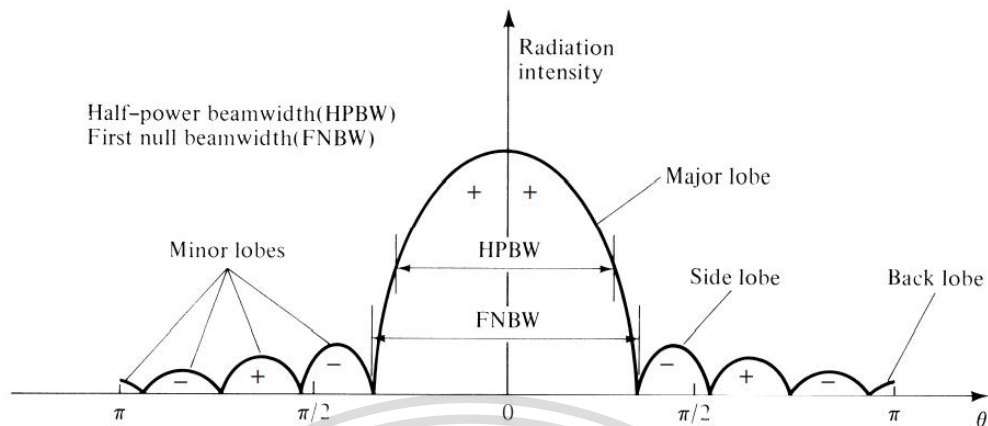


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.12 ลำคลื่นในรูปแบบเชิงขั้วแบบ 3 มิติ [11]

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.13 ลำคลื่นในรูปแบบเชิงเส้นแบบ 2 มิติ [11]

จากรูปที่ 2.12 และ รูปที่ 2.13 ประกอบไปด้วยลำคลื่นแบบต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ลำคลื่นหลัก (Major lobe หรือ main lobe) เป็นลำคลื่นที่มีทิศทางการแผ่พลังงานแรงมากที่สุด
- 2) ลำคลื่นย่อย (Minor lobe) เป็นลำคลื่นที่มีทิศทางการแผ่พลังงานแรงน้อยกว่าลำคลื่นหลัก
- 3) ลำคลื่นย่อยด้านข้าง (Side lobe) เป็นลำคลื่นย่อยที่อยู่ติดกับลำคลื่นหลักและอยู่ในระนาบเดียวกับลำคลื่นหลัก
- 4) ลำคลื่นย่อยด้านหลัง (Back lobe) เป็นลำคลื่นย่อยที่อยู่ตรงข้ามกับระนาบลำคลื่นหลัก

2.5.5 การแมตช์สายอากาศ (Antenna matching) [17]

การออกแบบโครงสร้างของสายอากาศหรือโครงสร้างส่วนหนึ่งส่วนใดให้มีความต้านทานสอดคล้องหรือเท่ากับอุปกรณ์ที่ต้องการเชื่อมต่อ เช่น สายนำสัญญาณหรือเครื่องมือทดสอบคุณลักษณะ เป็นต้น โดยความต้านทานด้านขาเข้าของสายอากาศจะต้องมีค่าเท่ากับความต้านทานคุณลักษณะ (Characteristic Impedance) ของสายนำสัญญาณ ซึ่งค่ามาตรฐานของความต้านทานคุณลักษณะของสายนำสัญญาณ ได้แก่ 50 โอห์ม 75 โอห์ม และ 300 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

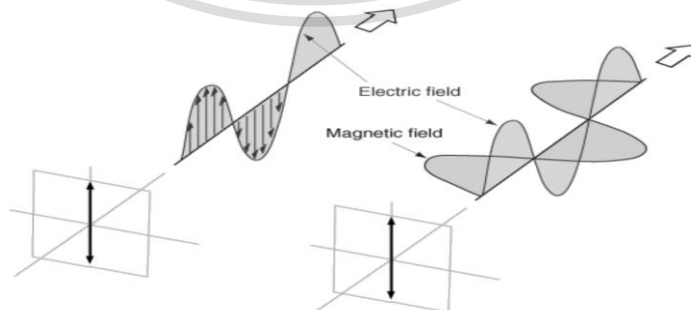
2.5.6 การโพลาไรเซชัน (Polarization) [11]

ความสำคัญของการโพลาไรเซชัน คือการรับคลื่นที่มีการโพลาไรเซชันแบบใดต้องรับด้วยสายอากาศที่มีการโพลาไรเซชันแบบเดียวกันจึงจะรับคลื่นได้ดีที่สุด เช่น ส่งคลื่นที่มีการโพลาไรเซชันแนวอนออกมาด้านรับจะต้องใช้สายอากาศที่มีการโพลาไรเซชันแนวอนรับเช่นเดียวกับตอนส่ง (Co-Polarization) จึงจะดีที่สุด หากใช้สายอากาศที่มีการโพลาไรเซชันไม่ตรงกัน (Cross polarization) จะทำให้ประสิทธิภาพการรับสัญญาณแยลง ตัวประกอบที่เรียกว่า ตัวประกอบการสูญเสียของโพลาไรเซชัน (Polarization Loss Factor: PLF) ซึ่งเป็นองค์ประกอบการสูญเสียเนื่องจากการโพลาไรเซชัน นิยามด้วยการพิจารณาลักษณะการโพลาไรเซชันของคลื่นที่เดินทางที่มากระทบกับสายอากาศรับ ถ้าการโพลาไรเซชันตรงกันกับการโพลาไรเซชันของสายอากาศจะทำให้ตัวประกอบการสูญเสียของโพลาไรเซชันมีค่าเป็น 1 หรืออธิบายได้ว่าการส่งผ่านกำลังงานจะไม่เกิดการสูญเสียจากความแตกต่างของการโพลาไรเซชัน

โพลาไรเซชันของคลื่นที่แผ่กระจายแสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกไป โดยอธิบายขนาดและทิศทางของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าแปรผันตามเวลา การโพลาไรเซชันแสดงการกวาดของยอดเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่เวลาต่าง ๆ ณ ตำแหน่งที่คงที่และการมองตามหลังคลื่นที่เดินทาง ซึ่งโพลาไรเซชันแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

2.5.6.1 โพลาไรเซชันแบบเชิงเส้น

โพลาไรเซชันแบบเชิงเส้นเป็นโพลาไรเซชันที่สนามไฟฟ้าไม่เปลี่ยนทิศทางกับการเดินทางของคลื่น โดยสนามไฟฟ้าจะตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งการโพลาไรเซชันแบบเชิงเส้นแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ การโพลาไรเซชันแบบเชิงเส้นแนวตั้ง (Vertical polarization) การโพลาไรเซชันแบบเชิงเส้นแนวอน (Horizontal polarization) และการโพลาไรเซชันแบบเชิงเส้นแนวเอียง (Slant polarization)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 2.14 โพลาไรเซชันแบบเชิงเส้น [11] ภาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

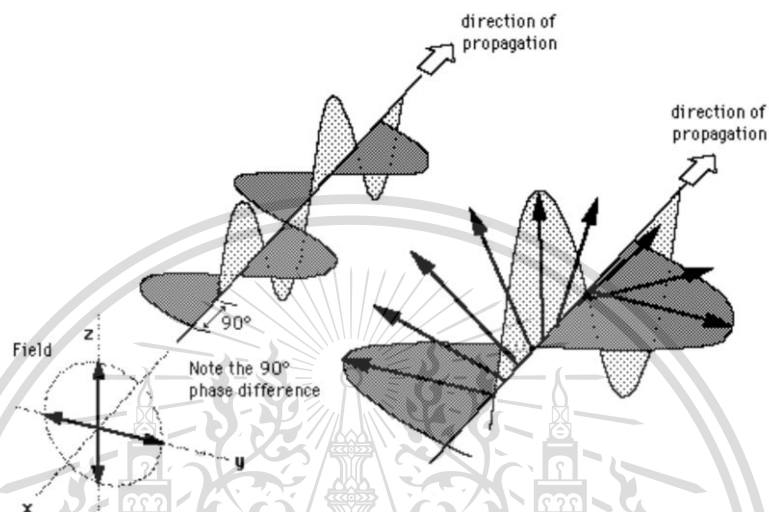
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.6.2 โพลารไรเซชันแบบวงกลม (Circular polarization)

โพลารไรเซชันแบบวงกลมเป็นโพลารไรเซชันที่สนามไฟฟ้าเปลี่ยนทิศทางตลอดเวลาด้วยขนาดคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โพลารไรเซชันแบบวงกลม [11]

ซึ่งการโพลารไรเซชันแบบวงกลมแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ การโพลารไรเซชันแบบวงกลมหมุนขวา (Right-hand circular polarization) และการโพลารไรเซชันแบบวงกลมหมุนซ้าย (Left-hand circular polarization)

2.5.6.3 โพลารไรเซชันแบบวงรี (Elliptically polarization)

โพลารไรเซชันแบบวงรีเป็นโพลารไรเซชันที่สนามไฟฟ้าเปลี่ยนทิศทางและขนาดตลอดเวลาดังแสดงในรูปที่ 2.16 ซึ่งการโพลารไรเซชันแบบวงรีแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ การโพลารไรเซชันแบบวงรีหมุนขวา (Right-hand elliptically polarization) และการโพลารไรเซชันแบบวงกลมหมุนซ้าย (Left-hand circular polarization)

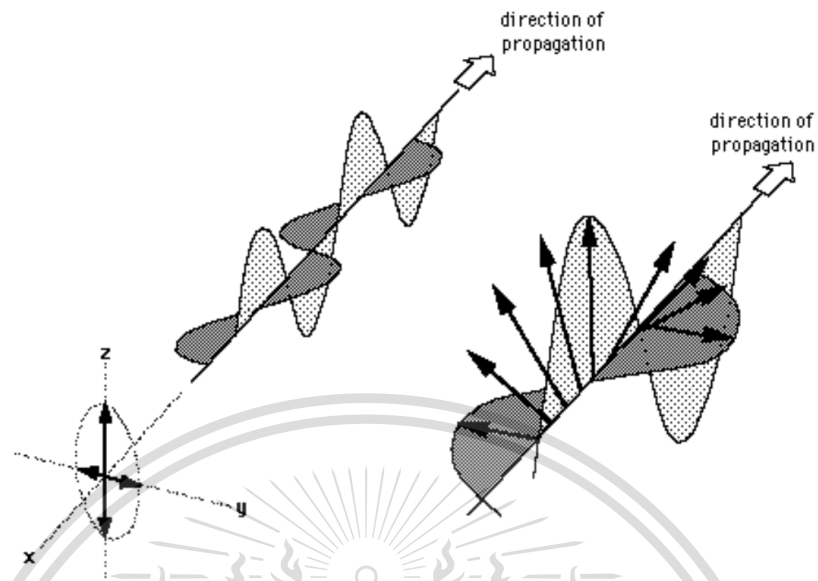
2.5.6.4 ตัวประกอบการสูญเสียของโพลารไรเซชัน

โดยทั่วไปการโพลารไรเซชันของสายอากาศอาจจะไม่เหมือนกับโพลารไรเซชันของคลื่นที่เดินทางมาที่สายอากาศ เรียกว่า การเกิดโพลารไรเซชันที่ไม่แมตช์ (Polarization mismatch) ทำให้สายอากาศเกิดการสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.16 โพลาริเซชันแบบวงรี [11]

2.5.7 แบนด์วิดท์ (Bandwidth) [11]

แบนด์วิดท์ของสายอากาศเป็นช่วงของความถี่ที่สามารถนำไปใช้งานได้ดี ซึ่งช่วงความถี่ถูกกำหนดโดยค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันประมาณ 2 หรือพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ คุณสมบัตินี้ของสายอากาศที่ระดับ -10 เดซิเบล สามารถหาได้จากสมการที่ 2.5 [11]

$$BW(\%) = \frac{f_h}{f_l} \times 100\% \quad (2.5)$$

โดย BW คือ แบนด์วิดท์ของสายอากาศ
 f_h คือ ขอบความถี่สูงของย่านความถี่ (เฮิร์ตซ์)
 f_l คือ ขอบความถี่ต่ำของย่านความถี่ (เฮิร์ตซ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปฏิญญานิพนธ์

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการจัดทำปฏิญญานิพนธ์ โดยจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ส่วนแรกคือการออกแบบ ส่วนที่สองคือการสร้างสายอากาศ ส่วนที่สามคือการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศและส่วนที่สี่คือการทดสอบประสิทธิภาพการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล

3.1 การออกแบบ

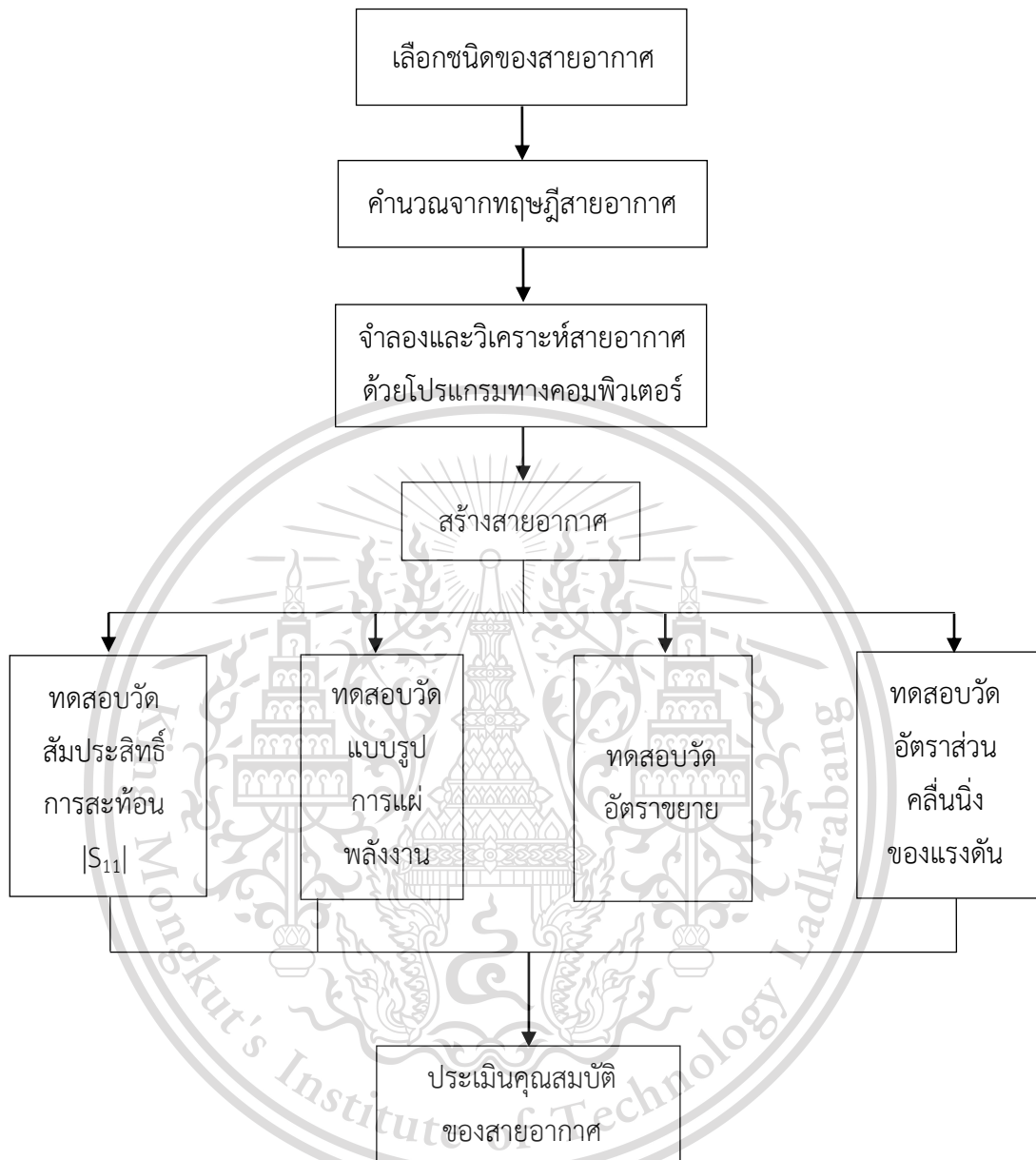
3.1.1 บล็อกไดอะแกรมของการออกแบบและสร้างสายอากาศ

ในการสร้างสายอากาศจำเป็นต้องเลือกชนิดของสายอากาศที่สอดคล้องกับการทำงานที่ต้องการเพื่อที่จะสามารถนำมาสร้างและประยุกต์ใช้งานได้มีประสิทธิภาพ ปฏิญญานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดประสงค์ที่จะสร้างสายอากาศดิสโคน ที่ใช้งานในช่วงความถี่ 400 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 700 เมกะเฮิร์ตซ์ เพื่อใช้เป็นสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง เมื่อเลือกชนิดของสายอากาศเสร็จสิ้น ทำการคำนวณคุณสมบัติที่ต้องการจากทฤษฎีของสายอากาศ จากนั้นนำไปจำลองการสร้างด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ วิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศที่จำลองขึ้น เมื่อได้คุณสมบัติตามที่ต้องการทำการสร้างสายอากาศและทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ เช่น สัมประสิทธิ์การสะท้อน อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน อัตราขยายและแบบรูปการแผ่พลังงาน ซึ่งกระบวนการออกแบบและสร้างสายอากาศแสดงดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของการออกแบบและสร้างสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2 การเลือกชนิดของสายอากาศ

ทางคณะผู้จัดทำได้เลือกชนิดของสายอากาศโดยพิจารณาจุดประสงค์การใช้งานเป็นหลักในการสร้างสายอากาศรับสำหรับการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลมาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง [18] มีวิธีการเลือกชนิดของสายอากาศ ดังนี้

3.1.2.1 เลือกสายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบรอบทิศทาง

ในการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง ต้องรองรับสัญญาณได้ทุกทิศทาง จึงจำเป็นต้องเลือกสายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบรอบทิศทางเพื่อแก้ไขปัญหาในกรณีที่มีสถานีส่งหลายสถานี

3.1.2.2 เลือกสายอากาศที่สามารถทำงานได้ในย่านความถี่กว้าง

ย่านความถี่ที่ใช้งานตั้งแต่ 400 เมกะเฮิรตซ์ถึง 700 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งแบนด์วิดท์ของความถี่มีค่าประมาณ 400 เมกะเฮิรตซ์ จึงจัดอยู่ในย่านความถี่กว้าง ดังนั้นสายอากาศที่จะสร้างขึ้นนั้นจำเป็นต้องรองรับการทำงานในย่านของแถบความถี่กว้าง

3.1.2.3 เลือกสายอากาศที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน น้ำหนักเบา

สายอากาศที่ออกแบบควรมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน น้ำหนักเบา และสามารถหาวัสดุในการสร้างได้ง่าย

จากเหตุผลทั้ง 3 ข้อที่กล่าวมานั้น สายอากาศที่มีความเหมาะสมสำหรับปริญญานิพนธ์นี้คือ “สายอากาศดิสโคน” ซึ่งมีคุณสมบัติครบทั้ง 3 ข้อ

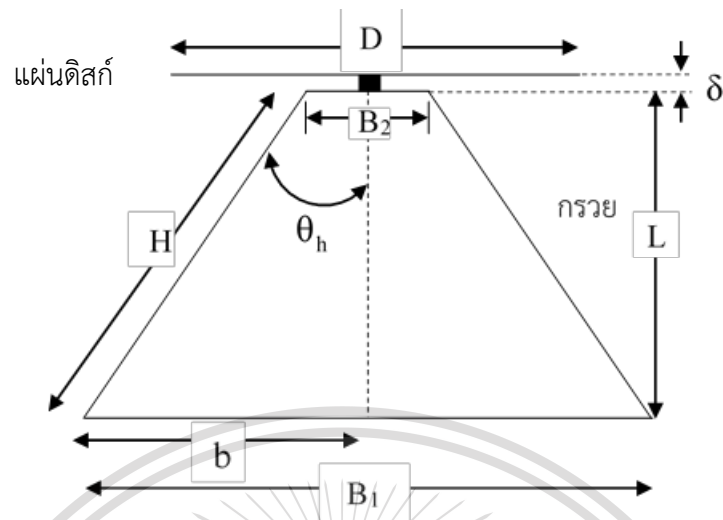
3.1.3 การออกแบบสายอากาศดิสโคนจากคำนวณ

โครงสร้างของสายอากาศดิสโคนประกอบด้วย แผ่นดิสก์และกรวยที่เชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อ SMA ใช้งานที่ย่านความถี่ 400 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 700 เมกะเฮิรตซ์ ความถี่กลาง 550 เมกะเฮิรตซ์ โดยโครงสร้างของสายอากาศดิสโคนแสดงดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของสายอากาศดิสโคน [4]

จากรูปที่ 3.2 องค์ประกอบของสายอากาศดิสโคนมีดังนี้ [4]

- B_1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างของกรวย
- B_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนของกรวย
- b คือ รัศมีด้านล่างของกรวย
- H คือ ความยาวด้านเอียงของกรวย
- L คือ ความสูงของกรวย
- θ_h คือ มุมของกรวย
- D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นดิสก์
- δ คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นดิสก์และกรวย

3.1.3.1 ความสูงของกรวย

ในการคำนวณความสูงของกรวยใช้พื้นฐานของการสร้างสายอากาศไดโพลเต็มความยาวคลื่น (Full wave dipole) ดังสมการที่ (3.1) [14]

$$L = \frac{\lambda_c}{2} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\begin{aligned}
 &= \frac{c/f_c}{2} \\
 &= \frac{3 \times 10^8 / 550 \times 10^6}{2} \\
 &= 0.273 \quad \text{เมตร}
 \end{aligned}$$

โดย λ_c คือ ความยาวคลื่นความถี่กลาง
 c คือ ความเร็วของการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
 f_c คือ ความถี่กลาง

3.1.3.2 ความยาวด้านเอียงของกรวย

ในการคำนวณความยาวด้านเอียงของกรวยใช้พื้นฐานของตรีโกณมิติ ดังสมการ

ที่ (3.2)

$$\cos(\theta_h) = \frac{L}{H} \quad (3.2)$$

ประสิทธิภาพของอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันจะดีที่สุดใน [11]

เมื่อ $45^\circ < 2\theta_h < 75^\circ$

ดังนั้น $22.5^\circ < \theta_h < 37.5^\circ$

กำหนด $\theta_h = 27.5^\circ$ เนื่องจากมีอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันดีที่สุดใน

แทนค่า

$$\begin{aligned}
 H &= \frac{0.273}{\cos(27.5^\circ)} \\
 &= 0.308 \quad \text{เมตร}
 \end{aligned}$$

3.1.3.3 เส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างของกรวย

ในการคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างของกรวยใช้พื้นฐานของตรีโกณมิติ

ดังสมการที่ (3.3)

$$\sin(\theta_h) = \frac{b}{H} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แทนค่า

$$\begin{aligned} b &= 0.308 \sin(27.5^\circ) \\ &= 0.154 \end{aligned} \quad \text{เมตร}$$

หาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างของกรวยได้ดังสมการที่ (3.4)

$$B_1 = 2b \quad (3.4)$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} B_1 &= 2(0.154) \\ &= 0.308 \end{aligned} \quad \text{เมตร}$$

3.1.3.4 เส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนของกรวย

กำหนดให้ B_2 มีค่าเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของสายโคแอกเซียลที่ใช้สำหรับ
ป้อนสัญญาณเข้าสู่สายอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.427×10^{-2} เมตร [19]

3.1.3.5 ระยะห่างระหว่างแผ่นดิสก์และกรวย

ระยะห่างระหว่างแผ่นดิสก์และกรวยควรมีค่า 20% ของขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลางด้านบนของกรวย ดังสมการที่ (3.5) [19]

$$S = 0.2B_2 \quad (3.5)$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} S &= 0.2(0.01427) \\ &= 2.854 \times 10^{-3} \end{aligned} \quad \text{เมตร}$$

โดย S คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นดิสก์และกรวย

3.1.3.6 เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นดิสก์

เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นดิสก์ควรมีค่าเท่ากับ 1 ส่วน 4 ของความยาวคลื่น
ความถี่ต่ำสุดสายอากาศรับได้ ดังสมการที่ (3.6) [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

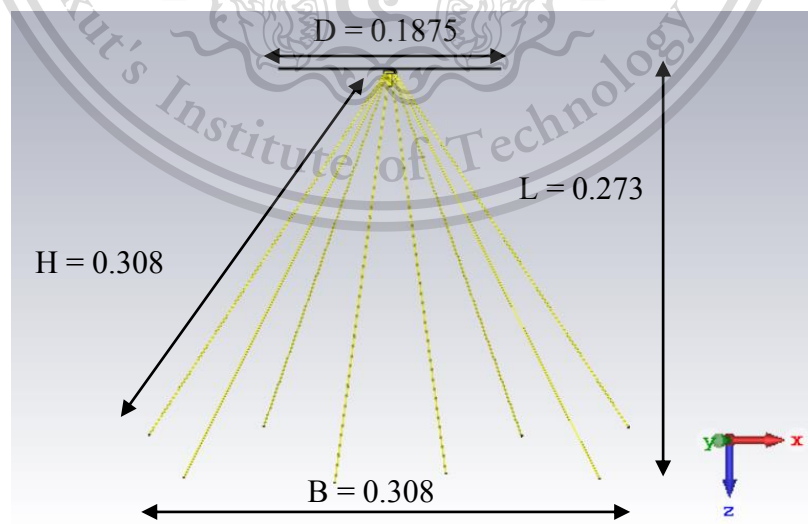
$$\begin{aligned}
 D &= \left(\frac{1}{4}\right)\lambda_L & (3.6) \\
 &= \left(\frac{1}{4}\right)\frac{c}{f_L} \\
 &= \left(\frac{1}{4}\right)\left(\frac{3 \times 10^8}{400 \times 10^6}\right) \\
 &= 0.1875 & \text{เมตร}
 \end{aligned}$$

โดย λ_L คือ ความยาวคลื่นความถี่ต่ำสุด
 f_L คือ ความถี่ต่ำสุด

จากการคำนวณองค์ประกอบของสายอากาศ พบว่าความสูงของกรวยมีค่า 0.2730 เมตร ความยาวด้านเอียงของกรวยมีค่า 0.380 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างของกรวยมีค่า 0.308 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนของกรวยมีค่า 2.854×10^{-3} เมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นดิสก์มีค่า 0.1875 เมตร

3.1.4 การจำลองการสร้างสายอากาศดิสโคนด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

นำค่าที่ได้จากการคำนวณมาจำลองโครงสร้างของสายอากาศดิสโคนด้วยโปรแกรม CST STUDIO SUITE ดังรูปที่ 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น [20] ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

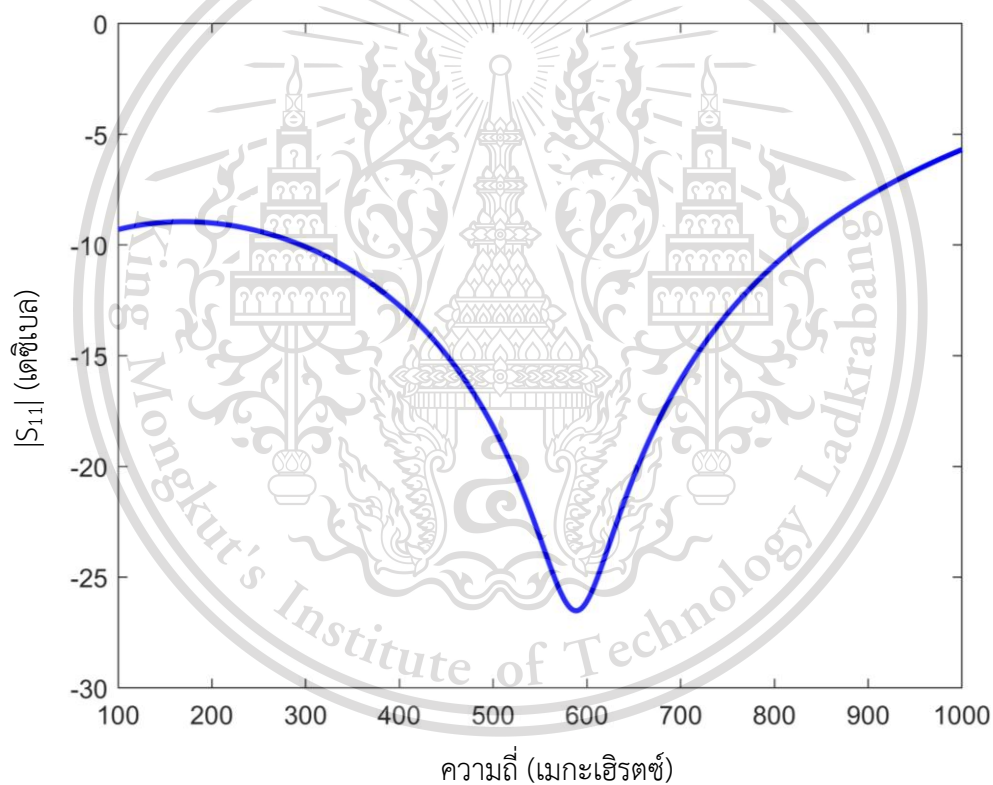
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการจำลองสร้างสายอากาศดิสโคน ทำการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศ ประกอบด้วย สัมประสิทธิ์การสะท้อน อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน อัตราขยายและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ

3.1.4.1 สัมประสิทธิ์การสะท้อน

สัมประสิทธิ์การสะท้อน คือพารามิเตอร์ของสายอากาศที่บอกถึงค่าการสะท้อนกลับออกจากสายอากาศ ซึ่งค่าที่ยอมรับได้ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ -10 เดซิเบล หากมีค่ามากกว่า -10 เดซิเบล พลังงานทั้งหมดจะสะท้อนกลับและไม่มีการแผ่พลังงาน สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

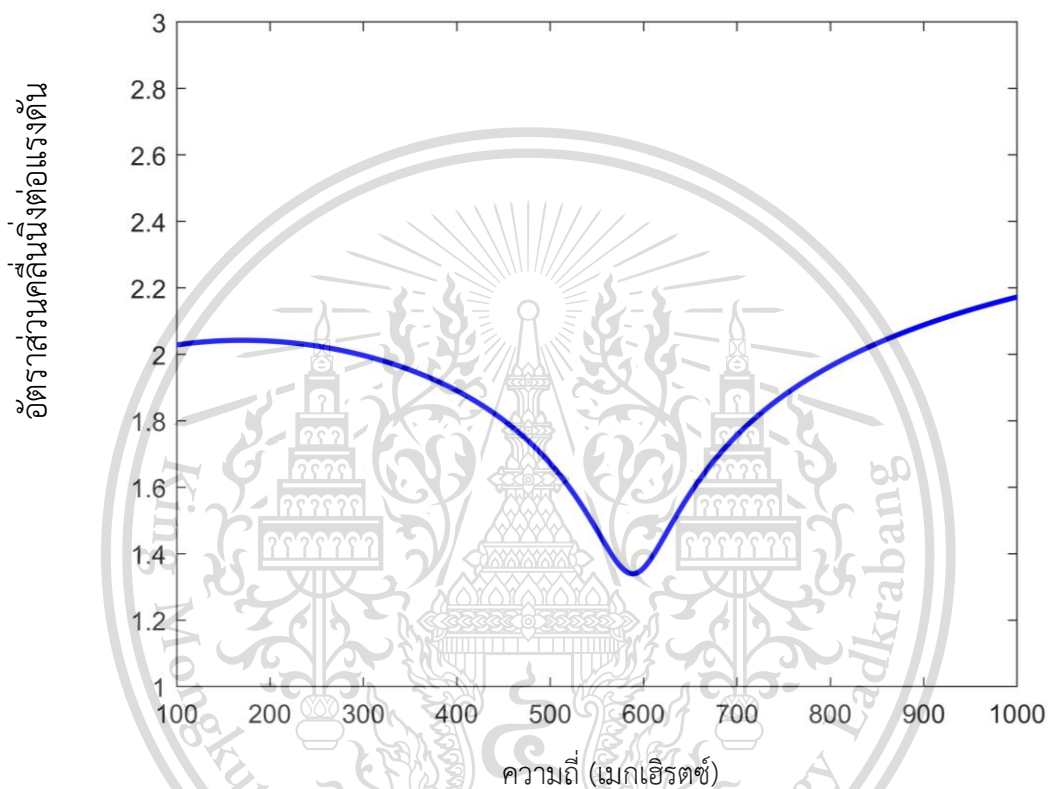
จากรูปที่ 3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ได้มีค่าต่ำกว่า -10 เดซิเบล ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้อยู่ในช่วงความถี่ 400 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 700 เมกะเฮิร์ตซ์ แสดงว่าสายอากาศที่จำลองขึ้นสามารถแมตช์ได้ตลอดย่านความถี่ที่ใช้สำหรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.4.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าสูงสุดต่อแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ไม่มีการสูญเสีย โดยอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันที่ยอมรับได้ต้องมีค่าน้อยกว่า 2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 3.5 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันที่ได้จากการจำลองมีค่าต่ำกว่า 2 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้อยู่ในช่วงความถี่ 400 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 700 เมกะเฮิร์ตซ์ แสดงว่าสายอากาศที่จำลองขึ้นสามารถแมตช์ได้ตลอดย่านความถี่ที่ใช้สำหรับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบดิจิทัล

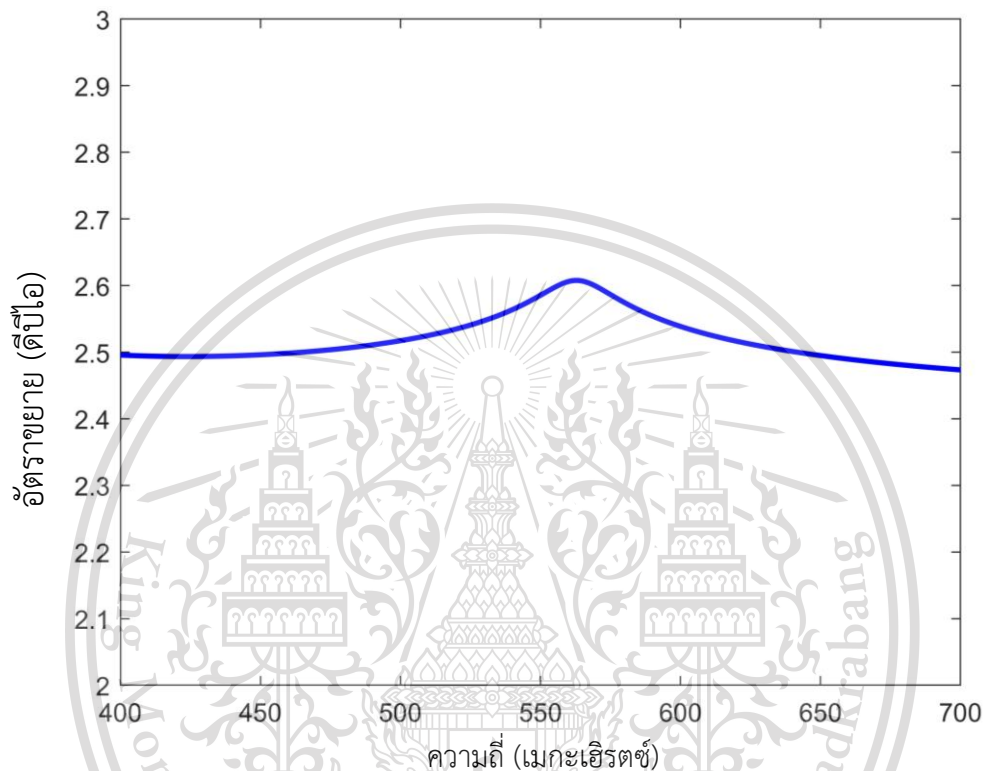
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.4.3 อัตราขยาย

อัตราขยาย คือกำลังส่งของสายอากาศเมื่อเทียบกับสายอากาศแบบไอโซทรอปิก โดยอัตราขยายที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 อัตราขยายที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 3.6 แสดงอัตราขยายที่ความถี่ 400 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 700 เมกะเฮิร์ตซ์ มีอัตราขยายต่ำสุดเท่ากับ 1.93 ดีบีเอ ที่ความถี่ 400 เมกะเฮิร์ตซ์ และอัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 3.53 ดีบีเอ ที่ความถี่ 700 เมกะเฮิร์ตซ์

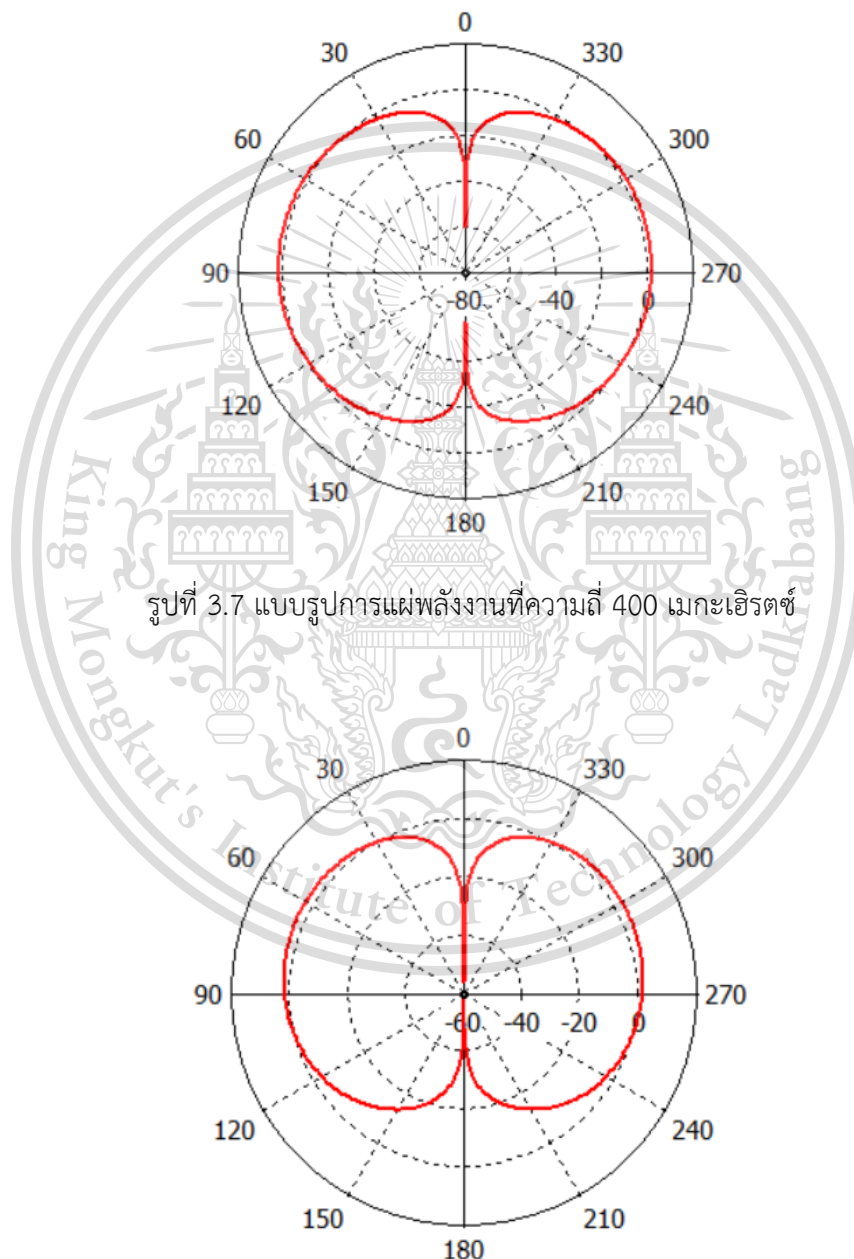
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.4.4 แบบรูปการแผ่พลังงาน

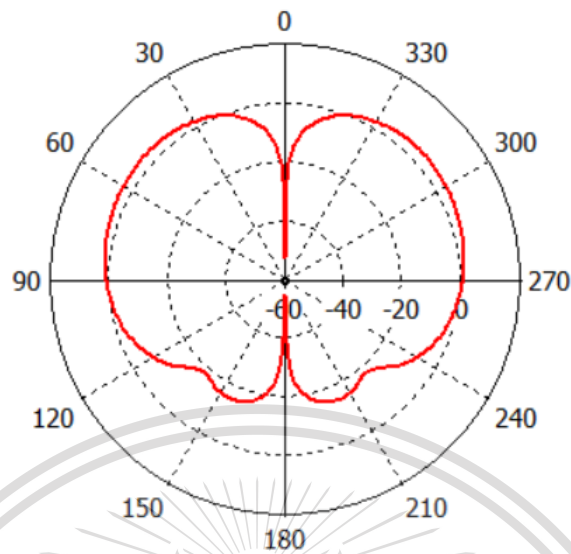
แบบรูปการแผ่พลังงาน คือทิศทางและคุณสมบัติการแผ่พลังงานของสายอากาศ โดยแบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 400 เมกะเฮิร์ตซ์ แสดงดังรูปที่ 3.7 ความถี่ 550 เมกะเฮิร์ตซ์ แสดงดังรูปที่ 3.8 และความถี่ 700 เมกะเฮิร์ตซ์ แสดงดังรูปที่ 3.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.8 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 550 เมกะเฮิร์ตซ์ ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.9 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 700 เมกะเฮิร์ตซ์

จากรูปที่ 3.7 3.8 และ 3.9 แสดงให้เห็นว่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ความถี่ 400 เมกะเฮิร์ตซ์ 550 เมกะเฮิร์ตซ์ และ 700 เมกะเฮิร์ตซ์ ตามลำดับ มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง

3.2 การสร้างสายอากาศ

จากผลการจำลองสร้างสายอากาศด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์พบว่า คุณสมบัติของสายอากาศสามารถใช้งานได้ที่ย่านความถี่ที่ต้องการ จึงทำการสร้างสายอากาศตามองค์ประกอบที่ได้จากการจำลอง

3.2.1 อุปกรณ์

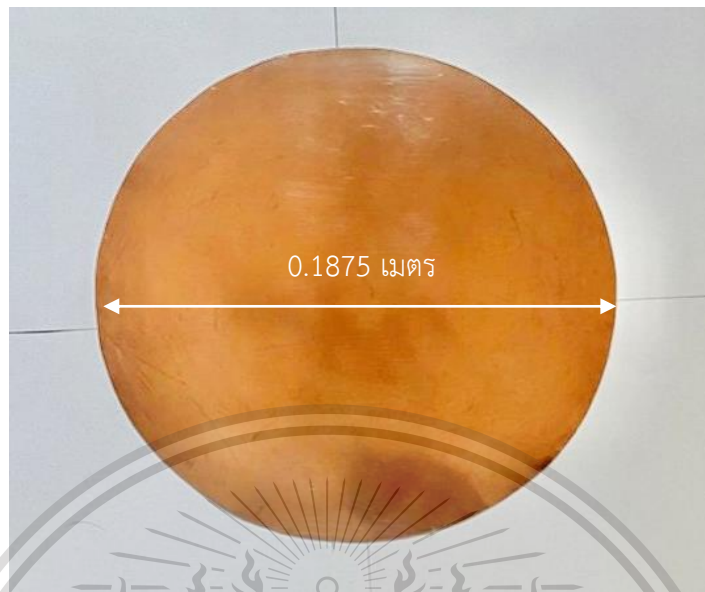
3.2.1.1 แผ่นทองแดง [21]

นำแผ่นทองแดงหนา 0.005 เมตรมาตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1875 เมตร ดังรูปที่ 3.10 มาสร้างเป็นแผ่นดิสก์ของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

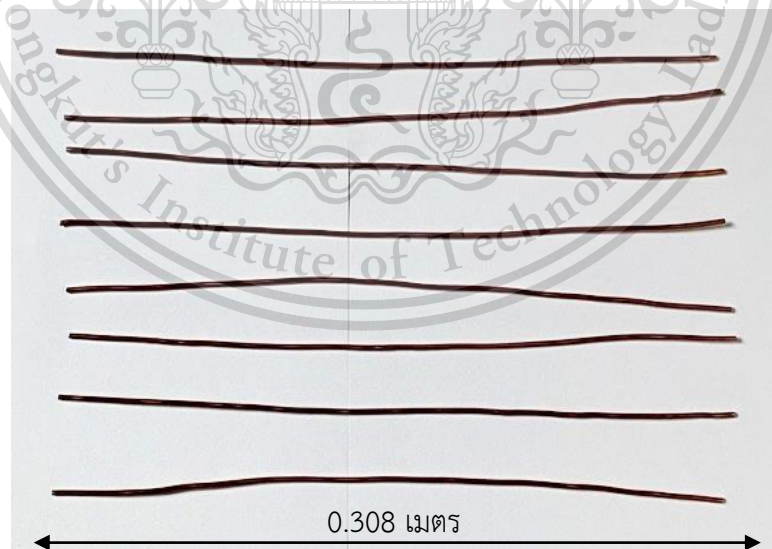
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.10 แผ่นทองแดงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1875 เมตร

3.2.1.2 ลวดทองแดง [22]

ลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.005 เมตรมาตัดตามความยาวที่จำลองไว้ คือ 0.308 เมตรดังรูปที่ 3.11 โดยลวดทองแดงเป็นส่วนของการแผ่พลังงาน



รูปที่ 3.11 ลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.002 เมตรยาว 0.308 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.1.3 ข้อต่อ SMA [23]

ข้อต่อ SMA ความต้านทาน 50 โอห์ม สำหรับเชื่อมต่อสายอากาศเข้ากับสายส่ง โดยข้อต่อ SMA แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ข้อต่อ SMA [23]

3.2.1.4 หัวแร้งบัดกรีและตะกั่ว

สำหรับเชื่อมแผ่นทองแดงกลมและลวดทองแดงเข้ากับข้อต่อ SMA โดยหัวแร้งบัดกรีและตะกั่วแสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 หัวแร้งบัดกรีและตะกั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.1.5 ปืนยิงกาวร้อนและกาวร้อน

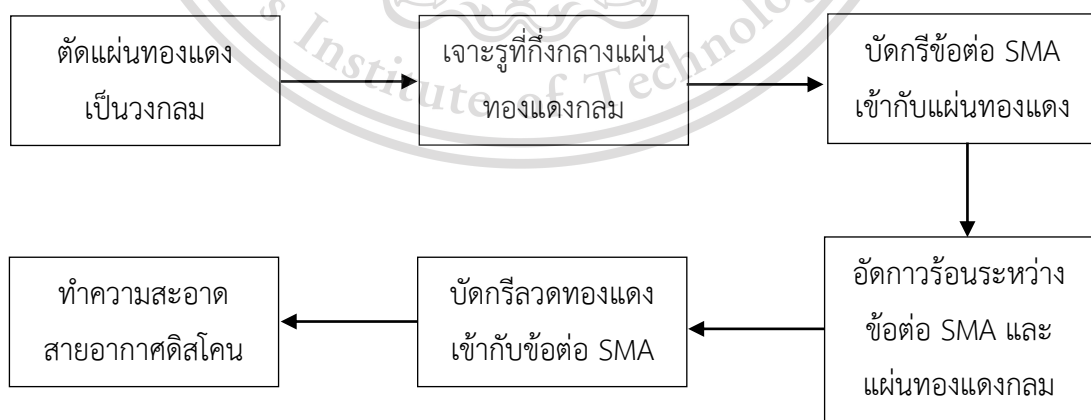
สำหรับยึดข้อต่อ SMA โดยปืนยิงกาวร้อนและกาวร้อนแสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ปืนยิงกาวร้อนและกาวร้อน

3.2.2 ขั้นตอนการสร้างสายอากาศดิสโคน

บล็อกไดอะแกรมการสร้างสายอากาศดิสโคนแสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 บล็อกไดอะแกรมการสร้างสายอากาศดิสโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

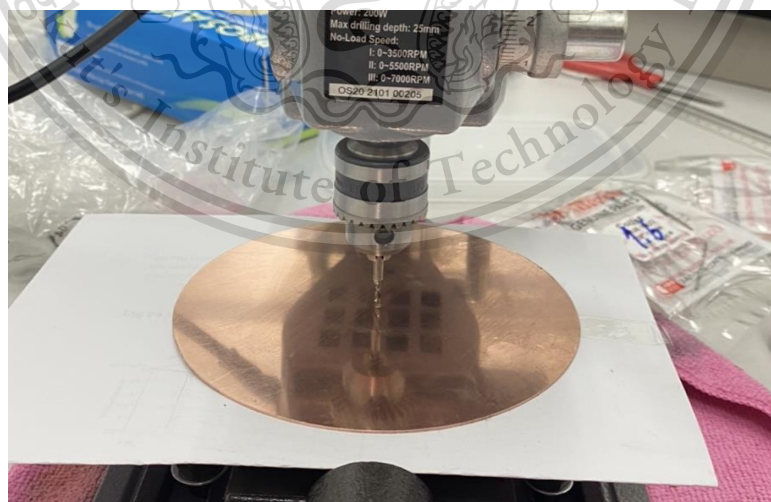
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2.1 นำแผ่นทองแดงหนา 0.005 เมตรมาตัดด้วยเครื่องกลึง (Computer Numerical Control: CNC) ดังรูปที่ 3.16 โดยตัดให้เป็นวงกลมที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 0.1875 เมตร



รูปที่ 3.16 ตัดแผ่นทองแดงด้วยเครื่องกลึง

3.2.2.2 เจาะรูแผ่นทองแดงด้วยสว่านขนาด 0.002 เมตร โดยเจาะที่กึ่งกลางของวงกลม ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 เจาะรูแผ่นทองแดงด้วยสว่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

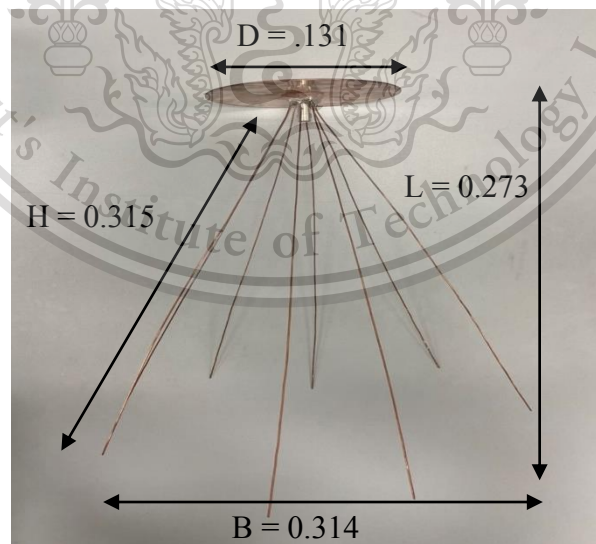
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2.3 บัดกรีเชื่อมต่อ SMA เข้ากับแผ่นทองแดงกลมที่เจาะรูแล้ว ดังรูปที่ 3.18 จากนั้นอัดความร้อนเพื่อเพิ่มความแข็งแรง



รูปที่ 3.18 ข้อต่อ SMA ที่เชื่อมกับแผ่นทองแดงกลม

3.2.2.4. บัดกรีเชื่อมลวดทองแดงเข้ากับข้อต่อ SMA ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 สายอากาศดิสโคคอนสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2.5. บัดกรีเชื่อมลวดทองแดงเข้ากับฐานด้านล่าง ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 สายอากาศดิสโคนสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล

3.3 การทดสอบคุณสมบัติ

เมื่อสร้างสายอากาศเสร็จแล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติ ซึ่งประกอบด้วย สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน อัตราขยาย และแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ โดยอุปกรณ์และขั้นตอนการทดสอบมีดังต่อไปนี้

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ

รายการอุปกรณ์	จำนวน
เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ยี่ห้อ Agilent รุ่น E5061B	1 เครื่อง
สายอากาศส่ง	1 ชุด
อุปกรณ์ยึดสายอากาศ	1 ชุด
สายส่ง	1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.2 ขั้นตอนการทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อน อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน และอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศ

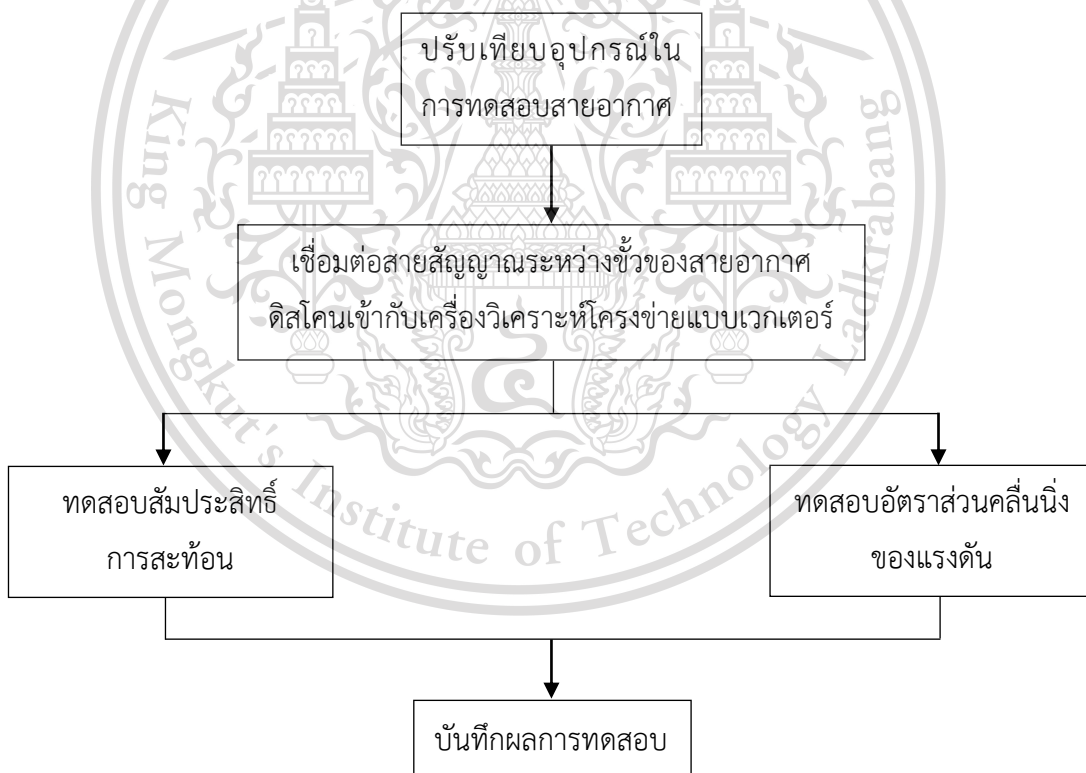
บล็อกไดอะแกรมและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันแสดงดังรูปที่ 3.21 และตารางที่ 3.2 ตามลำดับ

3.3.2.1. ภายในห้องปิดกั้นคลื่นไร้การสะท้อน (Anechoic chamber) ทำการเปรียบเทียบอุปกรณ์ในการทดสอบสายอากาศ

3.3.2.2. ทำการเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่างขั้วของสายอากาศดิสโคนเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ดังรูปที่ 3.22 โดยผ่านอุปกรณ์แมตซ์อิมพีแดนซ์

3.3.2.3. เลือกฟังก์ชันการวัดเป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อน อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

3.3.2.4. บันทึกผลการทดสอบ



รูปที่ 3.21 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดสอบ
ช่วงความถี่	400-700 เมกะเฮิรตซ์
ความสูงของสายอากาศรับ	1.5 เมตร
สายอากาศรับ	ดิสโคน



รูปที่ 3.22 แบบจำลองการทดสอบวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อนและอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

3.3.3 ขั้นตอนการทดสอบวัดอัตราขยายและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ

บล็อกไดอะแกรมและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบวัดอัตราขยายและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 3.23 และตารางที่ 3.3

3.3.3.1 ภายในห้องปิดกั้นคลื่นไร้การสะท้อน ทำการปรับเทียบอุปกรณ์ในการทดสอบสายอากาศ

3.3.3.2 ติดตั้งสายอากาศปากแตรซึ่งเป็นสายอากาศส่งและสายอากาศดิสโคนซึ่งเป็นสายอากาศรับ ภายในห้องปิดกั้นคลื่นไร้การสะท้อน โดยระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งมีค่า 2 เมตร มีความสูงจากพื้นห้อง 1.5 เมตร จากนั้นเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่างหัวของสายอากาศส่งและสายอากาศรับเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์และปรับทิศทางของสายอากาศในแนวแกนที่ต้องการทดสอบ ดังรูปที่ 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.3.3 ตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ โดยตั้งค่าความถี่ที่ต้องการทดสอบและทำการส่งสัญญาณที่ระดับความแรงเท่ากับ 0 ดีบีเอ็ม

3.3.3.4 วิเคราะห์ความแรงของระดับสัญญาณที่ความถี่ต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมแมตแลป (MATLAB)

3.3.3.5 บันทึกผลการทดสอบ

3.3.3.6 คำนวณค่าอัตราขยายของสายอากาศดังสมการที่ 3.7 [9]

$$G_r = \frac{P_r (4\pi d)^2}{P_t G_t \lambda^2} \quad (3.7)$$

โดย G_t คือ อัตราขยายของสายอากาศอ้างอิง
 G_r คือ อัตราขยายของสายอากาศรับอ้างอิง
 P_t คือ กำลังส่งของสัญญาณที่วัดได้จากสายอากาศอ้างอิง (วัตต์)
 P_r คือ กำลังส่งของสัญญาณที่วัดได้จากสายอากาศรับ (วัตต์)
 d คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ (เมตร)
 λ คือ ความยาวคลื่น (เมตร)

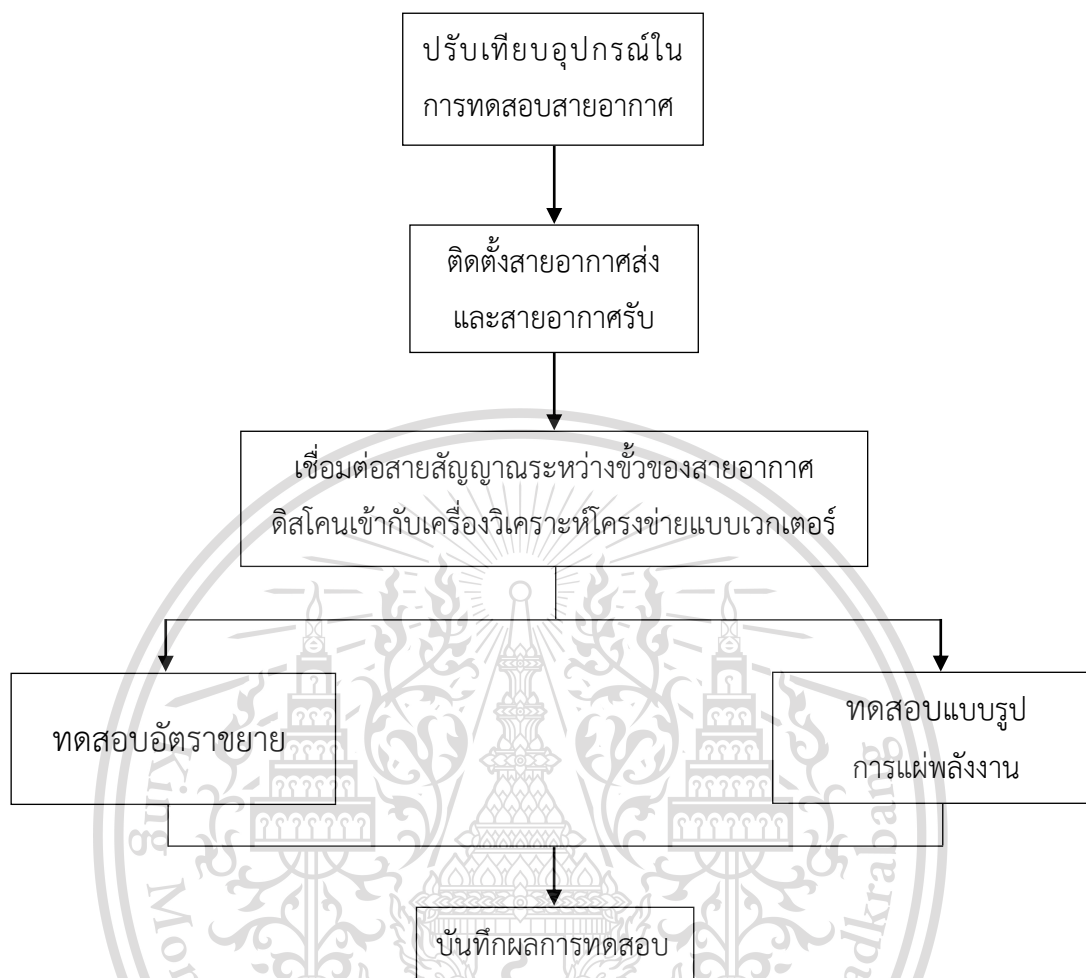
3.3.3.7 วิเคราะห์ความแรงของระดับสัญญาณและทิศทางการแผ่กระจายคลื่นที่ความถี่ต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม MATLAB

3.3.3.8 บันทึกผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.23 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบอัตราขยายและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ

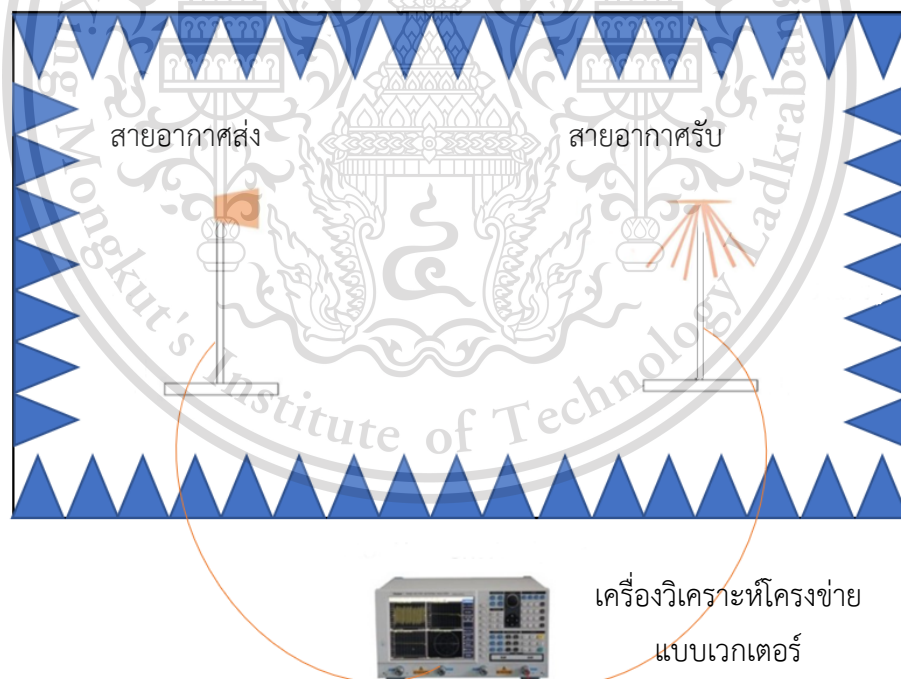
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบอัตราขยายและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดสอบ
ช่วงความถี่	400-700 เมกะเฮิร์ตซ์
ความสูงของสายอากาศรับ	1.5 เมตร
ความสูงของสายอากาศส่ง	1.5 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ	2 เมตร
สายอากาศส่ง	สายอากาศปากแตร
สายอากาศรับ	ดิสก์คอน
การหมุนสายอากาศ	0° - 360°
การหมุนของสายอากาศ/ครึ่ง	10°

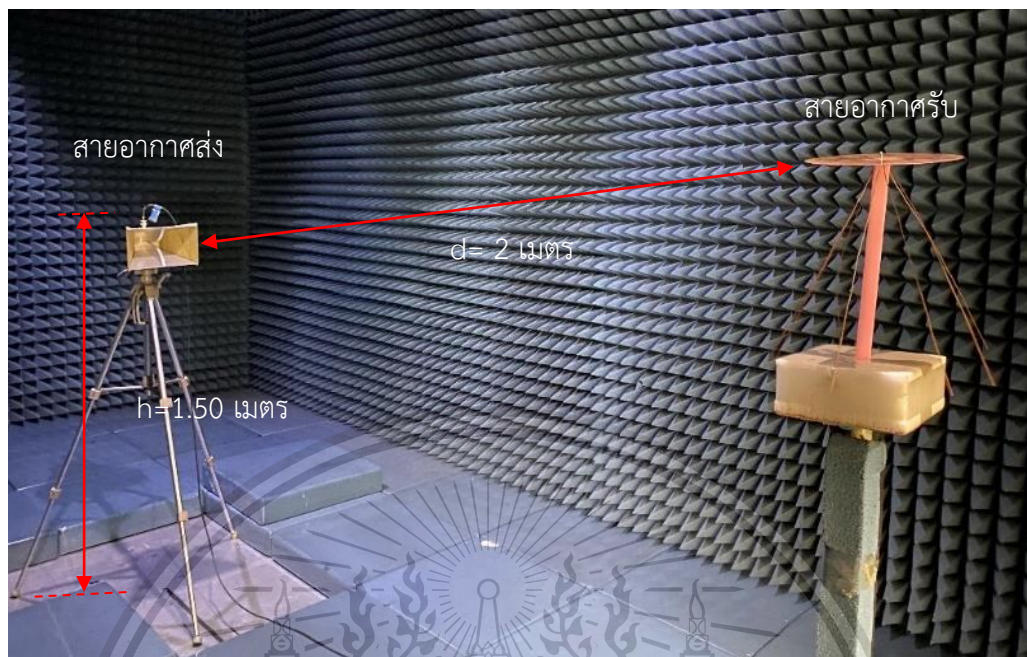


รูปที่ 3.24 แบบจำลองการทดสอบวัดอัตราขยายและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.25 การทดสอบอัตราขยายและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศภายในห้องปิดกั้นคลื่น
ไร้การสะท้อน

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพการรับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบดิจิทัล

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการรับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบดิจิทัล แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบรับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบดิจิทัล

รายการอุปกรณ์	จำนวน
โทรศัพท์ดิจิทัล รุ่น 32TB7000 ยี่ห้อ SKYWORTH	1 เครื่อง
สายอากาศรับ	1 ชุด
สายแปลงสัญญาณ	1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

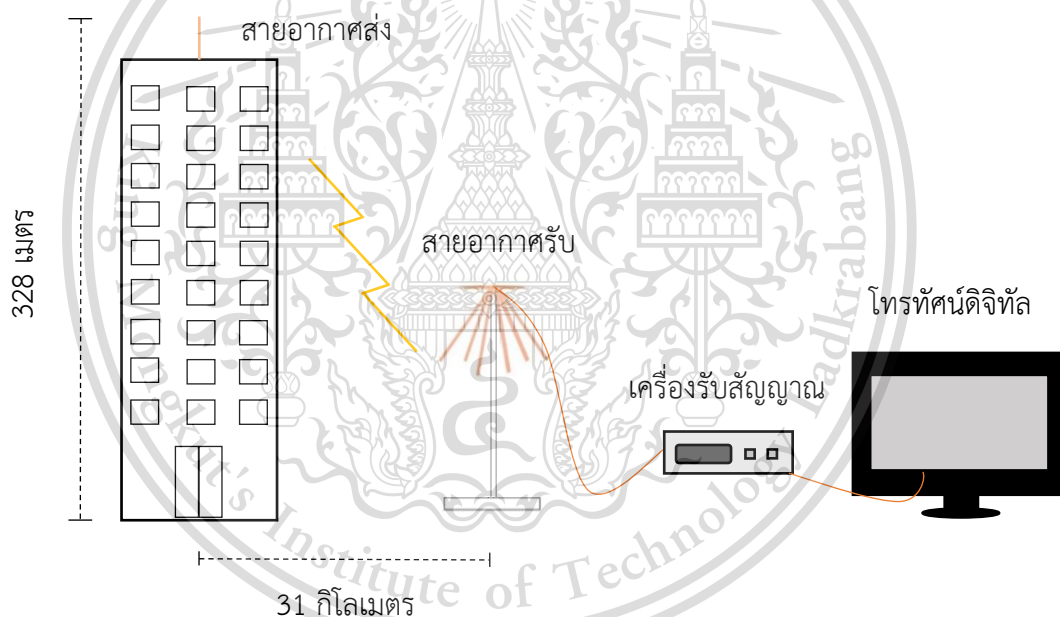
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐาน DVB-T2

แบบจำลองและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล แสดงดังรูปที่ 3.26 และตารางที่ 3.5 ตามลำดับ

- 3.1.2.1 จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ
- 3.1.2.2 ติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบโดยเชื่อมต่อสายอากาศดิสโคนเข้ากับโทรทัศน์ดิจิทัลด้วยสายแปลงสัญญาณ แสดงดังรูปที่ 3.27
- 3.1.2.3 ตรวจสอบช่องสัญญาณที่สามารถรับได้ ดังรูปที่ 3.28
- 3.1.2.4 ตรวจสอบคุณภาพของช่องสัญญาณโทรทัศน์ที่รับได้
- 3.1.2.5 บันทึกผลการทดสอบ



รูปที่ 3.26 แบบจำลองการทดสอบประสิทธิภาพการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	400 – 700 เมกะเฮิรตซ์
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	328 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.5 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งกับด้านรับ	31 กิโลเมตร
ชนิดของสายอากาศด้านรับ	ดิสโคน
การวางตัวของสายอากาศ.	แนวตั้ง



รูปที่ 3.27 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

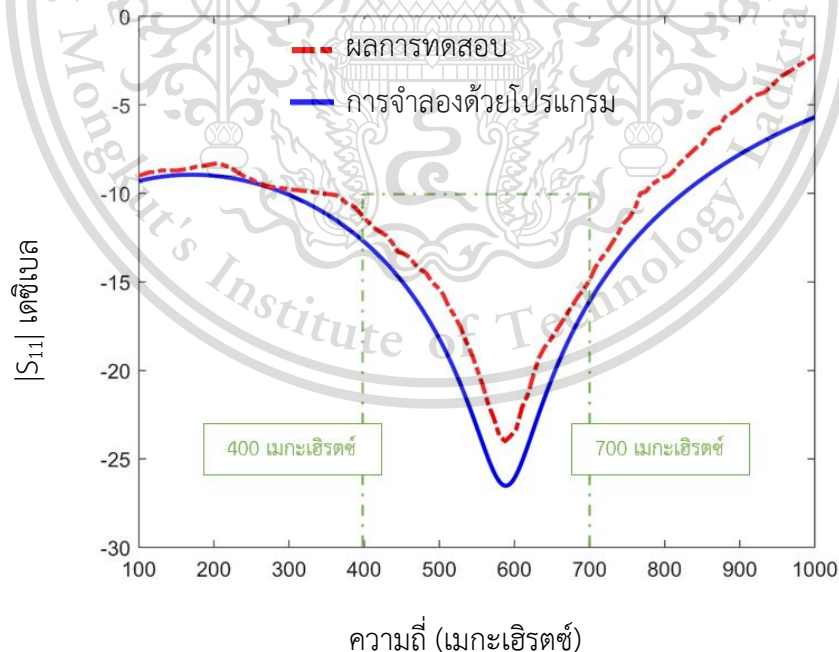
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ การทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อน อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน อัตราขยาย แบบรูปการแผ่พลังงานและการทดสอบประสิทธิภาพการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง

4.1 ผลการทดสอบวัดคุณสมบัติของสายอากาศ

4.1.1 สัมประสิทธิ์การสะท้อน

การพิจารณาสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ สามารถบ่งบอกว่าช่วงความถี่ที่สามารถนำไปใช้งานได้ สัมประสิทธิ์การสะท้อนควรมีค่าต่ำกว่า -10 เดซิเบล หากมีค่ามากกว่า -10 เดซิเบล พลังงานทั้งหมดจะสะท้อนกลับและไม่มีการแผ่พลังงาน โดยสัมประสิทธิ์การสะท้อนระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสะท้อนระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

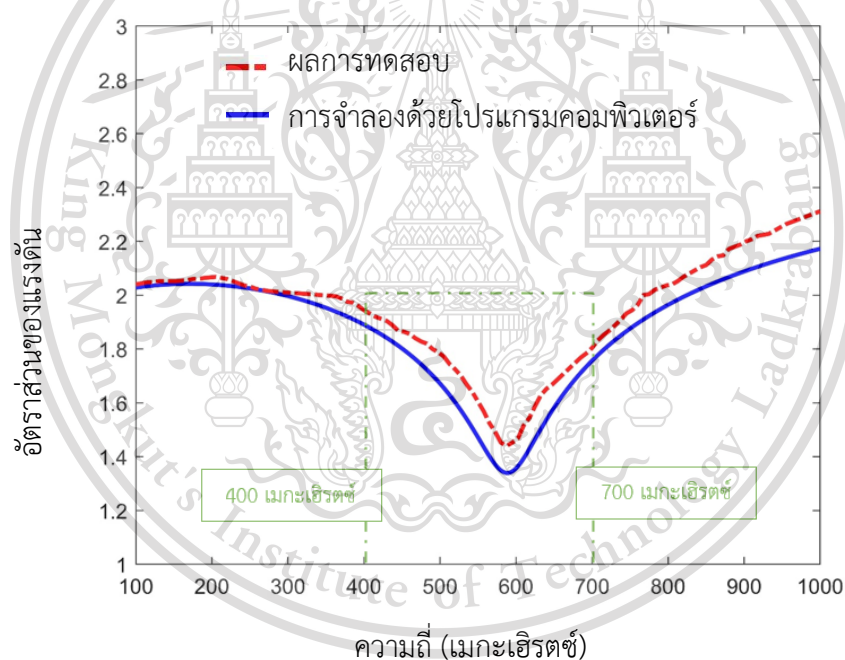
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากกรุปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของผลการทดสอบและผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่าต่ำกว่า -10 เดซิเบล ตั้งแต่ช่วงความถี่ 400 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 700 เมกะเฮิร์ตซ์ แสดงว่าสายอากาศที่สร้างขึ้นสามารถแมตซ์ได้ตลอดย่านความถี่ที่ใช้สำหรับ สัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบดิจิทัล มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง

4.1.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน

การพิจารณาอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันสามารถบอกได้ว่าความถี่ที่จะนำอุปกรณ์ไปประยุกต์ใช้จะสามารถใช้งานได้หรือไม่ ซึ่งค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันจะต้องมีค่าน้อยกว่า 2 โดยอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

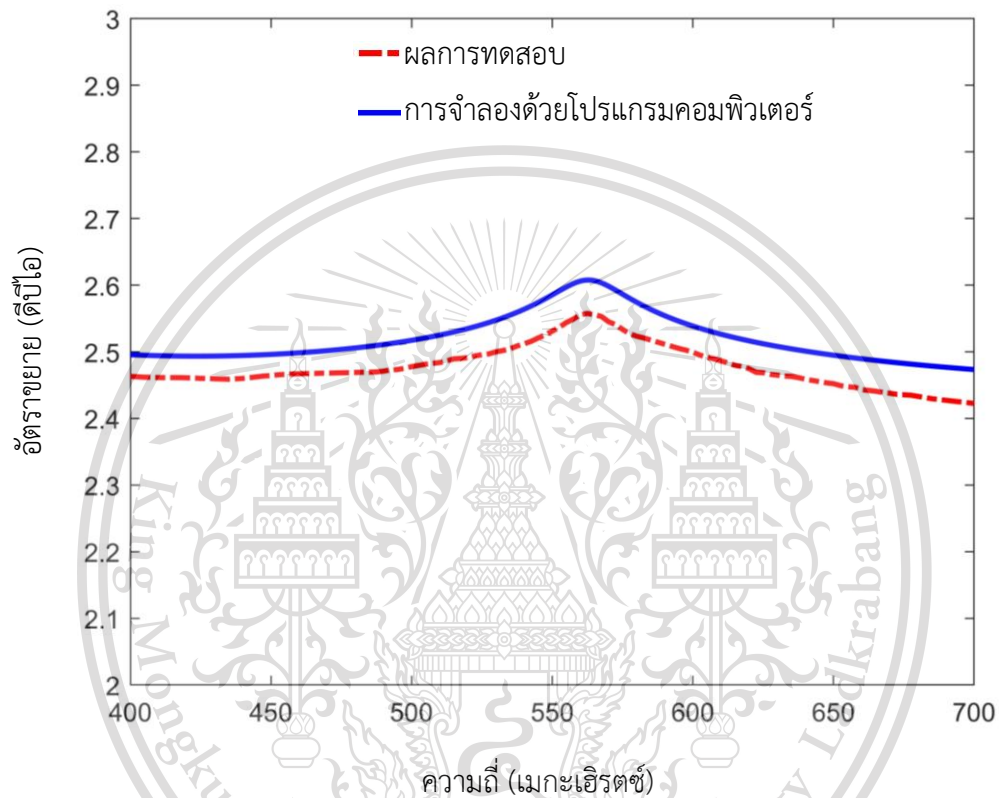
จากกรุปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดันระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ช่วงความถี่ 400 เมกะเฮิร์ตซ์ถึง 700 เมกะเฮิร์ตซ์มีค่าอยู่ในช่วง 1 ถึง 1.5 แสดงว่าสายอากาศนี้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงความถี่ที่ต้องการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.3 อัตราขยาย

อัตราขยาย คือกำลังส่งของสายอากาศเมื่อเทียบกับสายอากาศแบบไอโซทรอปิก (Isotropic antenna) โดยอัตราขยายที่ได้จากได้จากการทดสอบเทียบกับแบบจำลอง แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 อัตราขยายระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าที่ความถี่ 400 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 700 เมกะเฮิรตซ์ ผลการทดสอบอัตราขยายเฉลี่ยของสายอากาศมีค่า 2.43 ดบีไอ

4.1.4 แบบรูปการแผ่พลังงาน

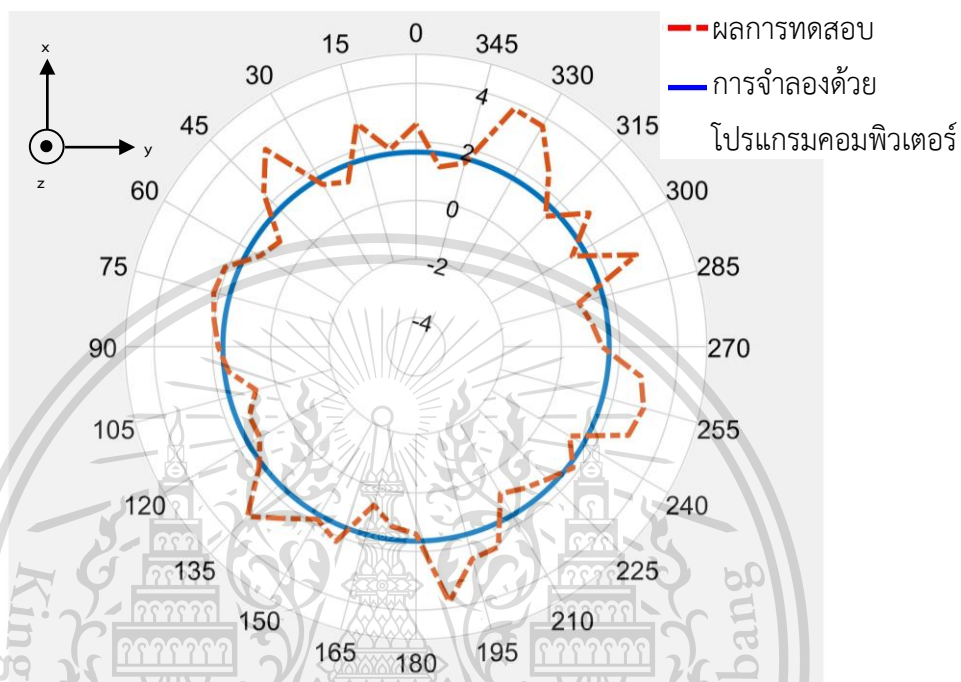
4.1.4.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) หรือระนาบ XY

การทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กทำได้โดยการวางสายอากาศตั้งฉากกับพื้นโลก ผลการทดสอบสายอากาศดีสโคนด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เวกเตอร์กับผลการทดสอบจากแบบจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 4.5 และ 4.6

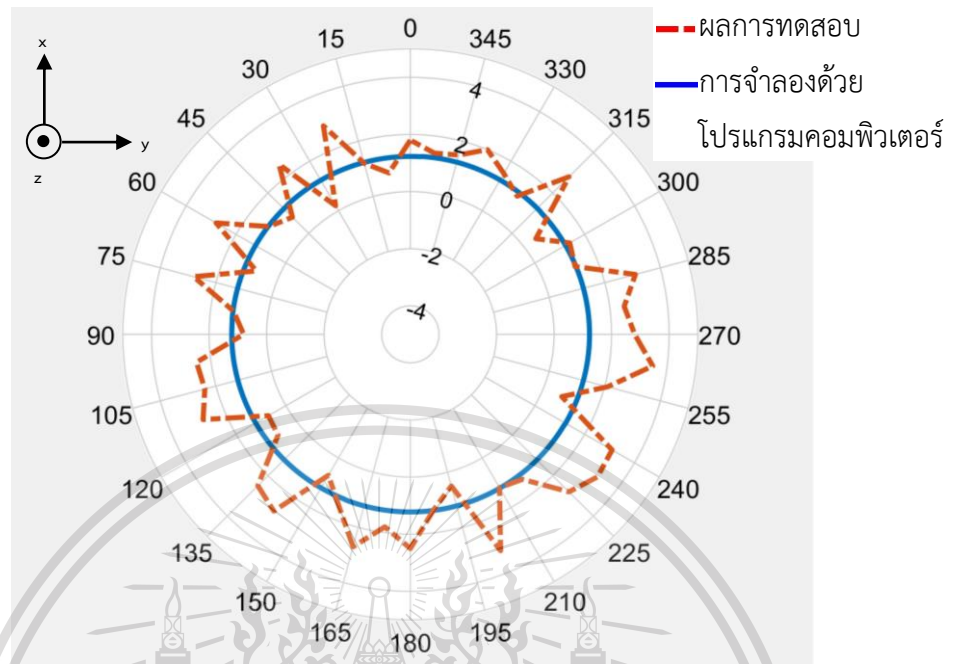


รูปที่ 4.4 แบบรูปการแผ่พลังงานระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
ในระนาบ XY ที่ความถี่ 400 เมกะเฮิร์ตซ์

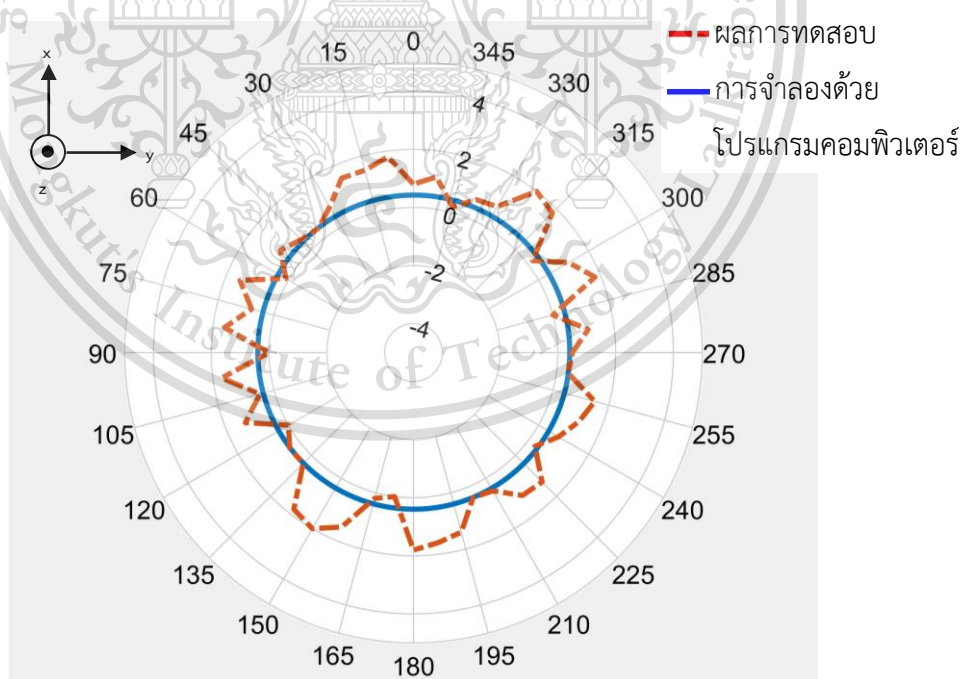
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 แบบรูปการแผ่พลังงานระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในระนาบ XY ที่ความถี่ 550 เมกะเฮิรตซ์



รูปที่ 4.6 แบบรูปการแผ่พลังงานระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในระนาบ XY ที่ความถี่ 700 เมกะเฮิรตซ์ วัตถุประสงค์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

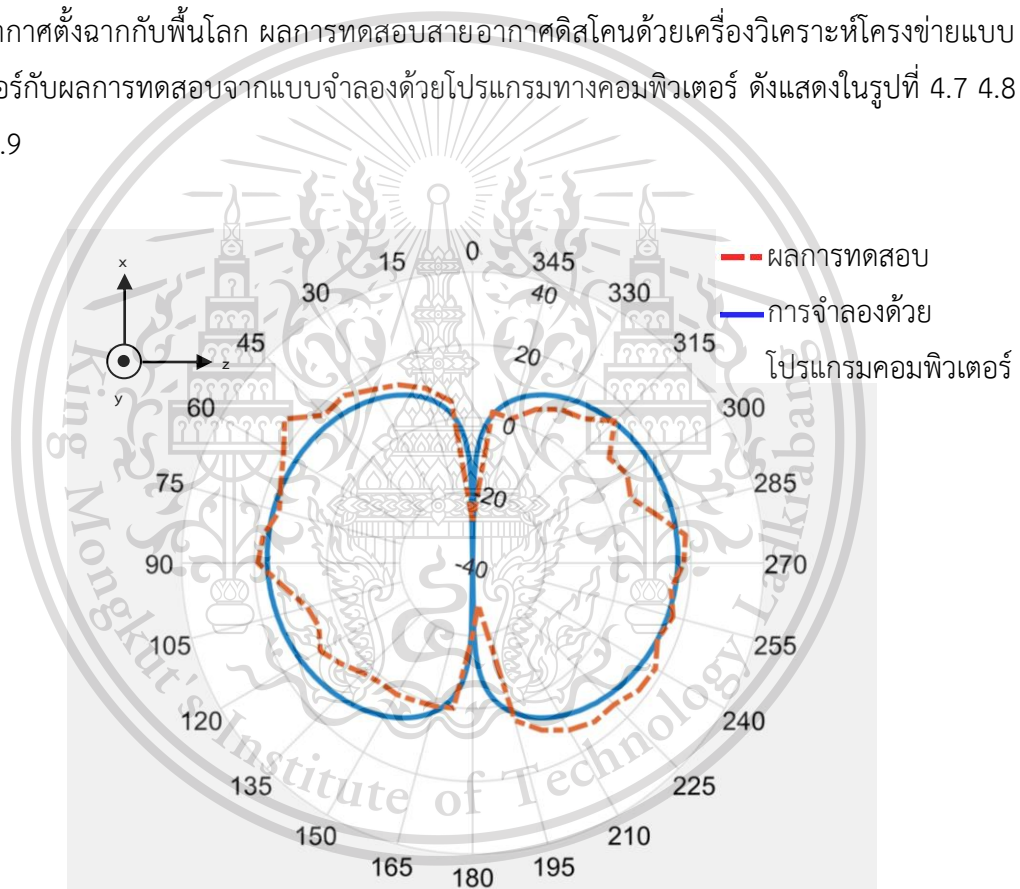
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 4.4 4.5 และ 4.6 จะเห็นได้ว่าผลการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีระนาบสนามแม่เหล็กเป็นวงกลม ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีลักษณะเป็นการกระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง แต่ในการทดสอบจริงมีสัญญาณรบกวนอาจเนื่องมาจากอุปกรณ์ เครื่องมือวัดและสภาพแวดล้อม

4.1.4.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) หรือระนาบ XZ

การทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าทำได้โดยการวางสายอากาศตั้งฉากกับพื้นโลก ผลการทดสอบสายอากาศดิสคอนด้วยเครื่องวิเคราะห์โคจรข่ายแบบเวกเตอร์กับผลการทดสอบจากแบบจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 4.8 และ 4.9

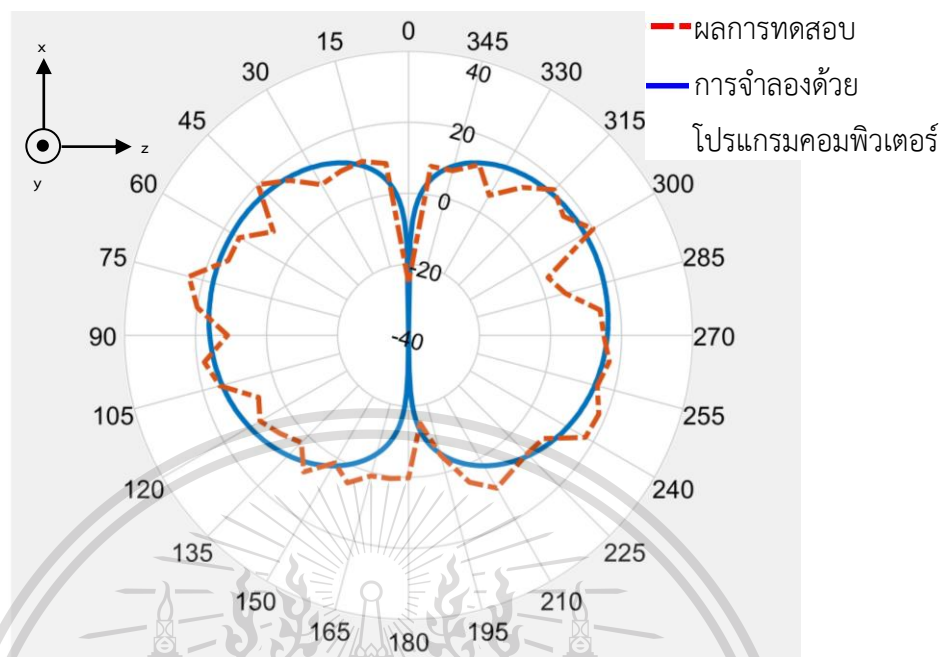


รูปที่ 4.7 แบบรูปการแผ่พลังงานระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
ในระนาบ XZ ที่ความถี่ 400 เมกะเฮิร์ตซ์

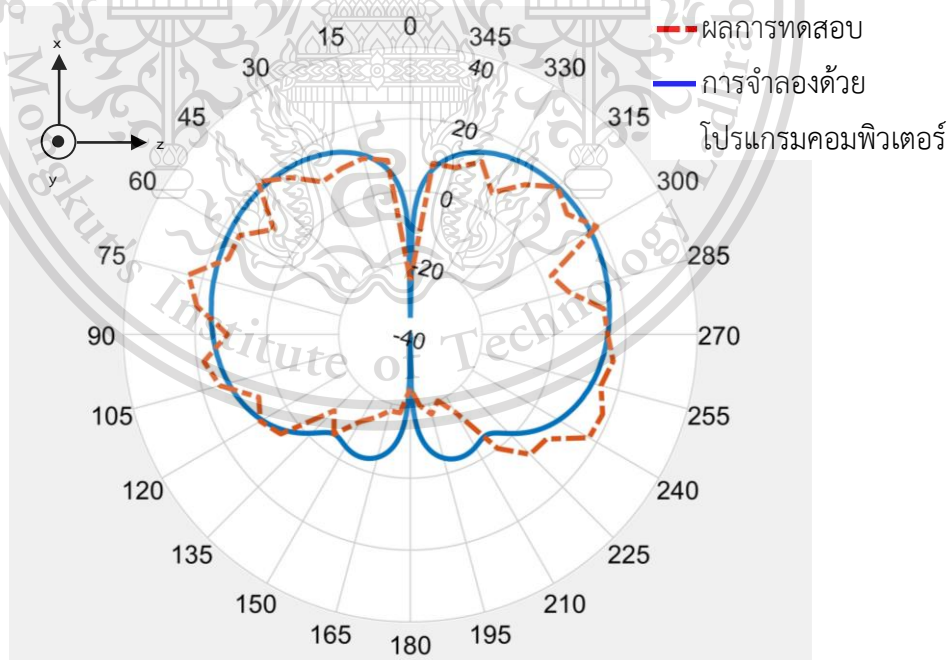
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.8 แบบรูปการแผ่พลังงานระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
ในระนาบ XZ ที่ความถี่ 550 เมกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 4.9 แบบรูปการแผ่พลังงานระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในเท่านั้น ในระนาบ XZ ที่ความถี่ 700 เมกะเฮิร์ตซ์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 4.7 4.8 และ 4.9 จะเห็นได้ว่าผลการทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานระหว่างการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีระนาบสนามไฟฟ้าแบบสองทิศทาง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีลักษณะเป็นการกระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง แต่ในการทดสอบจริงมีสัญญาณรบกวนอาจเนื่องมาจากอุปกรณ์ เครื่องมือวัดและสภาพแวดล้อม

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพการรับสัญญาณโทรทัศน์

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลมาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง โดยใช้สายอากาศดิสโคนเป็นสายอากาศรับ พบว่าสามารถรับค่าความถี่ที่ชัดเจนได้ 4 ความถี่ คือ 562 เมกะเฮิร์ตซ์ 594 เมกะเฮิร์ตซ์ 626 เมกะเฮิร์ตซ์ และ 658 เมกะเฮิร์ตซ์ รวม 19 ช่องรายการ โดยในแต่ละความถี่มีช่องรายการต่าง ๆ ที่สามารถรับสัญญาณได้ดังนี้

4.2.1 ความถี่ 562 เมกะเฮิร์ตซ์

4.2.1.1 Nation TV ช่อง 22

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล Nation TV ช่อง 22 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.10 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ Nation TV ช่อง 22 ที่สามารถรับได้



รูปที่ 4.10 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล Nation TV ช่อง 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.1.2 GMM25 ช่อง 25

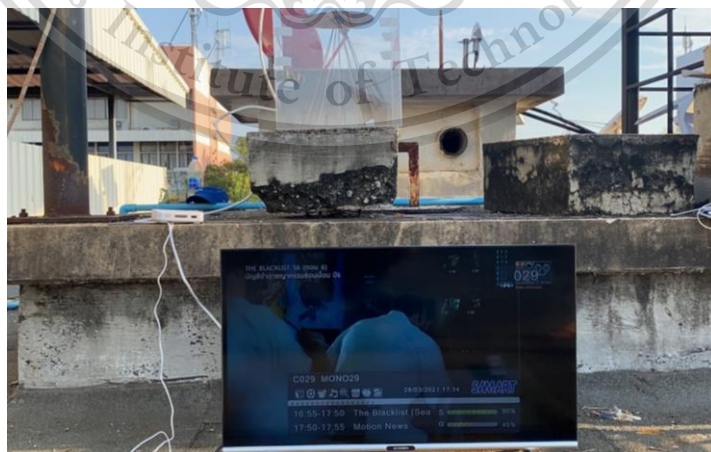
การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล GMM25 ช่อง 25 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.11 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล GMM25 ช่อง 25 ที่สามารถรับได้



รูปที่ 4.11 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล GMM25 ช่อง 25

4.2.1.3 MONO29 ช่อง 29

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล MONO29 ช่อง 29 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.12 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล MONO29 ช่อง 29 ที่สามารถรับได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยรูปที่ 4.12 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล MONO29 ช่อง 29 ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.1.4 Amarin TV ช่อง 34

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล Amarin TV ช่อง 34 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.13 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล Amarin TV ช่อง 34 ที่สามารถรับได้



รูปที่ 4.13 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล Amarin TV ช่อง 34

4.2.1.5 PPTV HD ช่อง 36

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล PPTV HD ช่อง 36 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้ที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.14 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล PPTV HD ช่อง 36 ที่สามารถรับได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยรูปที่ 4.14 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล PPTV HD ช่อง 36 ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

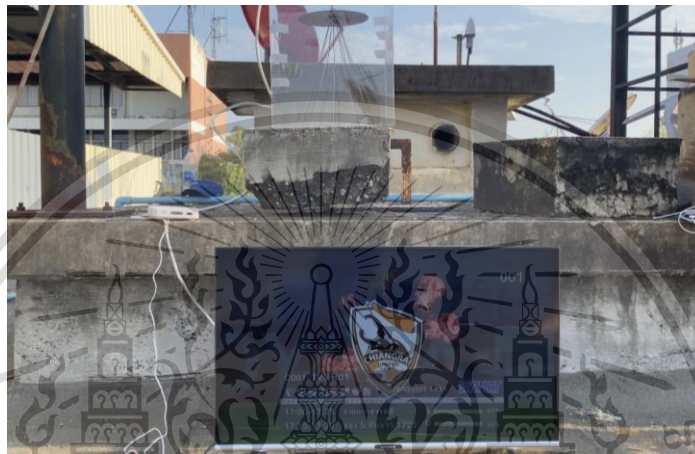
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2 ความถี่ 594 เมกะเฮิรตซ์

4.2.2.1 TV5 HD1 ช่อง 1

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล TV5 HD1 ช่อง 1 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.15 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ TV5 HD1 ช่อง 1 ที่สามารถรับได้



รูปที่ 4.15 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล TV5 HD1 ช่อง 1

4.2.2.2 TNN24 ช่อง 16

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล TNN24 ช่อง 16 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.16 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล TNN24 ช่อง 16 ที่สามารถรับได้



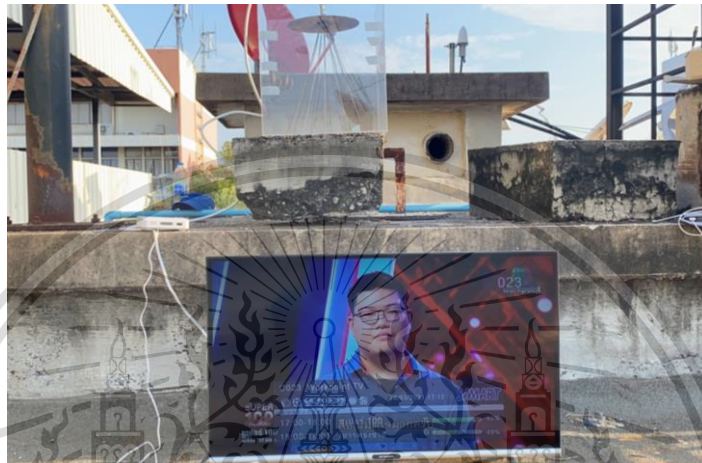
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 4.16 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล TNN24 ช่อง 16 ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2.3 Workpoint TV ช่อง 23

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล Workpoint TV ช่อง 23 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.17 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล Workpoint TV ช่อง 23 ที่สามารถรับได้



รูปที่ 4.17 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล Workpoint TV ช่อง 23

4.2.2.4 True4U ช่อง 24

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล True4U ช่อง 24 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.18 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล True4U ช่อง 24 ที่สามารถรับได้



รูปที่ 4.18 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล True4U ช่อง 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานโดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย ผู้ที่เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2.5 ONE HD ช่อง 31

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล ONE HD ช่อง 31 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.19 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล ONE HD ช่อง 31 ที่สามารถรับได้



รูปที่ 4.19 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล ONE HD ช่อง 31

4.2.2.6 CH7 HD ช่อง 35

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล CH7 HD ช่อง 35 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.20 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล CH7 HD ช่อง 35 ที่สามารถรับได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 4.20 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล CH7 HD ช่อง 35 ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.3 ความถี่ 626 เมกะเฮิรตซ์

4.2.3.1 TPTV ช่อง 10

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล TPTV ช่อง 10 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.21 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ TPTV ช่อง 10 ที่สามารถรับได้



รูปที่ 4.21 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล TPTV ช่อง 10

4.2.3.2 9MCOT HD ช่อง 30

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล 9MCOT HD ช่อง 30 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.22 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล 9MCOT HD ช่อง 30 ที่สามารถรับได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยรูปที่ 4.22 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล 9MCOT HD ช่อง 30 ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.3.3 Thairath TV ช่อง 32

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล Thairath TV ช่อง 32 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.23 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล Thairath TV ช่อง 32 ที่สามารถรับได้



รูปที่ 4.23 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล Thairath TV ช่อง 32

4.2.4 ความถี่ 658 เมกะเฮิร์ตซ์

4.2.4.1 THAIPBS ช่อง 3

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล THAIPBS ช่อง 3 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.24 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ THAIPBS ช่อง 3 ที่สามารถรับได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 4.24 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล THAIPBS ช่อง 3. ไซ้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.4.2 ALTV ช่อง 4

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล ALTV ช่อง 4 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.25 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล ALTV ช่อง 4 ที่สามารถรับได้



รูปที่ 4.25 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล ALTV ช่อง 4

4.2.4.3 NEW 18 ช่อง 18

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล NEW 18 ช่อง 18 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.26 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล NEW 18 ช่อง 18 ที่สามารถรับได้



รูปที่ 4.26 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล Thairath TV ช่อง 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ผู้เห็นใบเซอร์ไพรส์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.4.4 CH8 ช่อง 27

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล CH8 ช่อง 27 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.27 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ CH8 ช่อง 27 ที่สามารถรับได้



รูปที่ 4.27 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล CH8 ช่อง 27

4.2.4.5 3 HD ช่อง 33

การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล 3 HD ช่อง 33 พบว่าสัญญาณที่สามารถรับได้มีคุณภาพสัญญาณดี คมชัดทั้งภาพและเสียง โดยรูปที่ 4.28 แสดงภาพของสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล 3 HD ช่อง 33 ที่สามารถรับได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 4.28 การทดสอบรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล 3 HD ช่อง 33 ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้มีเป้าหมายเพื่อสร้างสายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลความละเอียดสูง มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง เพื่อศึกษาทฤษฎีหลักการการทำงานของสายอากาศและสร้างสายอากาศที่สามารถทำขึ้นได้ง่ายและมีราคาถูก โดยทำการจำลอง สร้างและทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ เช่น สัมประสิทธิ์การสะท้อน อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน อัตราขยาย แบบรูปการแผ่พลังงานและจากนั้นประเมินผลประสิทธิภาพในการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลเพื่อให้ได้มาซึ่งสายอากาศที่มีประสิทธิภาพและสามารถทำงานได้อย่างเหมาะสมในย่านความถี่ที่ออกแบบไว้ ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการสายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล มาตรฐานการแพร่สัญญาณภาพดิจิทัลภาคพื้นดินรุ่นที่สอง จากนั้นได้ทำการจำลองการออกแบบและสร้างสายอากาศด้วยโปรแกรม CST STUDIO SUITE ตามหลักการของสายอากาศดิסקโคน เมื่อสร้างสายอากาศเสร็จสิ้นจึงนำไปทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศ โดยผลการทดสอบมีดังนี้

สัมประสิทธิ์การสะท้อน มีค่าที่ได้ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ในช่วงความถี่ 400 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 700 เมกะเฮิร์ตซ์ สายอากาศที่สร้างขึ้นสามารถแมตซ์ได้ตลอดย่านความถี่ที่ใช้สำหรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล

อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน มีค่าต่ำกว่า 2 ในช่วงความถี่ 400 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 700 เมกะเฮิร์ตซ์ จากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับแบบจำลอง

อัตราขยาย ที่ความถี่ 400 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 700 เมกะเฮิร์ตซ์ มีอัตราขยายเฉลี่ย 2.43 ดีบีโอ

แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ ที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่ 3 ความถี่ คือความถี่ต่ำสุด 400 เมกะเฮิร์ตซ์ ความถี่กลาง 550 เมกะเฮิร์ตซ์ และความถี่มากที่สุด 700 เมกะเฮิร์ตซ์ มีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศและทดลองรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลพบว่าสามารถใช้งานได้จริง โดยสามารถรับสัญญาณได้ทั้ง 4 ความถี่คือ 562 เมกะเฮิรตซ์ 594 เมกะเฮิรตซ์ 626 เมกะเฮิรตซ์ และ 658 เมกะเฮิรตซ์ รวม 19 ช่องรายการคือ

1. TV5 HD1 ช่อง 1
2. THAI PBS ช่อง 3
3. AITV ช่อง 4
4. TPTV ช่อง 10
5. TNN24 ช่อง 16
6. NEW18 ช่อง 18
7. Nation TV ช่อง 22
8. Workpoint ช่อง 23
9. True4U ช่อง 24
10. Gmm ช่อง 25
11. CH8 ช่อง 27
12. MONO 29 ช่อง 29
13. 9MCOT HD ช่อง 30
14. ONE HD ช่อง 31
15. THAIRATH ช่อง 32
16. 3 HD ช่อง 33
17. AmarinTV ช่อง 34
18. CH 7 ช่อง 35
19. PPTV HD ช่อง 36

แต่ช่องสามารถรับสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภาพและเสียงมีความคมชัด ไม่เกิดการล่าช้าของสัญญาณ แม้จะมีบางช่วงที่เกิดการกระตุกแต่หลังจากนั้นก็ยังสามารถรับสัญญาณได้ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2 ข้อเสนอแนะ

สายอากาศสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลที่ได้ออกแบบและจัดทำขึ้นในปฏิญานิพนธ์นี้ สามารถนำไปใช้งานได้จริงตามที่ออกแบบไว้ นอกจากนั้นยังสามารถนำต้นแบบของการออกแบบสายอากาศนี้ไปพัฒนาให้เหมาะสมกับการใช้งานในย่านความถี่อื่น ๆ ได้ด้วย โดยการปรับปรุงส่วนต่าง ๆ ของสายอากาศ เช่น ความยาว ขนาดแผ่นดิस्कหรือขนาดของลวดทองแดง เป็นต้น เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีประสิทธิภาพตามลักษณะการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] “กสทช.ทดลองออกอากาศทีวีดิจิตอล 1-24 เม.ย. พร้อมทยอยแจกคู่มือ พ.ค. นี้.” *กรุงเทพธุรกิจ*, 1 เมษายน 2557.
- [2] สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. *การเปลี่ยนผ่านสู่โทรทัศน์ระบบดิจิทัล (Digital TV)*. 2557.
- [3] สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. *แผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล*. 2556.
- [4] P. Bill. “*White Paper Discone Antenna Design*.” Highpoint Security Technologies.
- [5] คณะอนุกรรมการเฉพาะกิจศึกษาและจัดทำมาตรฐานทางเทคนิคสำหรับโทรทัศน์ระบบดิจิทัล, *รายงานผลการศึกษาและจัดทำมาตรฐานทางเทคนิคสำหรับโทรทัศน์ระบบดิจิทัล*. ตุลาคม 2552.
- [6] I. Eizmendi, G. Prieto, G. Berjon-Eriz, I. Landa, and M. Velez. “*Empirical DVB-T2 Thresholds for Fixed Reception*.” 2013.
- [7] ETSI. “*Digital Video Broadcasting (DVB) Implementation Guidelines for DVB-T2*.” 2011.
- [8] สุภัทรสิทธิ์ สวนสุข. “*โทรทัศน์ดิจิทัลระบบ DVB-T2: เทคโนโลยีและมาตรฐานทางเทคนิค*.” 2555.
- [9] Bertoni, L. Henry. *Radio propagation for modern wireless systems*. New Jersey : Pearson Education, 1999.
- [10] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. *หลักเกณฑ์การใช้คลื่นความถี่และเครื่องวิทยุคมนาคมที่อนุญาตให้มีการใช้งานเป็นการทั่วไป*. 2562.
- [11] A. Balanis. *Antenna Theory Analysis and Design*. 3rd ed. John Wiley & sons, 2005.
- [12] S. R. Saunders. *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems*. NJ. : John Wiley & Sons Inc., 2007.
- [13] Stutzman, L. Warren, and A. Gary Thiele. *Antenna theory and design*. New York : John Wiley & Sons, 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [14] J. U. Kim and S. O. Park. “*Novel ultra-wideband disccone antenna.*” 2004.
- [15] T. Taniguchi and T. Kobayashi. “*An omnidirectional and low-VSWR antenna for the FCC-approved UWB frequency band.*” 2003.
- [16] J. R. Bergmann. “*On the design of broadband omnidirectional compact Antennas.*” 2003.
- [17] J. D. Kraus. *Antennas.* 2nd ed. New York : McGraw-Hill, 1998.
- [18] สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีกระจายเสียงและโทรทัศน์ (ทส.), สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. *แนวปฏิบัติทางเทคนิคสำหรับผู้ให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล (ฉบับปรับปรุง).* กรุงเทพฯ, 2560.
- [19] R. Ashish. “*Disccone antenna design for RFI monitoring.*” Colorado State University.
- [20] CST. “Computer Simulation Technology (CST) Microwave Studio ver. 4.2.” <https://www.cst.com>.
- [21] American elements. “Coppert sheet.” California.
- [22] Pro-power. “Enamelled Copper Wire.”
- [23] Johnson Components. “SMA-50 Ohm connectors.”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

SMA - 50 Ohm Connectors

Specifications

RICHER (MILLIMETERS)
CUSTOMER DRAWINGS AVAILABLE UPON REQUEST

ELECTRICAL RATINGS

Impedance: 50 ohms

Frequency Range:

Dummy loads	0-2 GHz
Flexible cable connectors	0-12.4 GHz
Uncabled receptacles, RA semi-rigid and adapters	0-18.0 GHz
Straight semi-rigid cable connectors and field replaceable connectors	0-26.5 GHz

VSWR: (Γ = GHz)

	Straight		Right Angle	
	Cabled Connectors		Cabled Connectors	
RG-178 cable	1.20 + .025f	1.20 + .03f	1.20 + .03f	1.20 + .03f
RG-316, LMR-100 cable	1.15 + .02f	1.15 + .03f	1.15 + .03f	1.15 + .03f
RG-58, LMR-195 cable	1.15 + .01f	1.15 + .02f	1.15 + .02f	1.15 + .02f
RG-142 cable	1.15 + .01f	1.15 + .02f	1.15 + .02f	1.15 + .02f
LMR-200, LMR-240 cable	1.10 + .03f	1.10 + .06f	1.10 + .06f	1.10 + .06f
.086 semi-rigid	1.07 + .008f	1.18 + .015f	1.18 + .015f	1.18 + .015f
.141 semi-rigid (w/contact)	1.05 + .006f	1.15 + .015f	1.15 + .015f	1.15 + .015f
.141 semi-rigid (w/o contact)	1.035 + .005f			
Jack-bulkhead jack adapter and plug-plug adapter	1.05 + .01f			
Jack-jack adapter and plug-jack adapter	1.05 + .005f			
Uncabled receptacles, dummy loads		N/A		
Field replaceable (see page 59)		N/A		

Working Voltage: (VRMS maximum)

Connectors for Cable Type

	Sea Level	70K Feet
RG-178	170	45
RG-316, LMR-100, 195, 200	250	65
RG-58, RG-142, LMR-240, .086 semi-rigid, uncabled receptacles, .141 semi-rigid w/o contact	335	85
.141 semi-rigid with contact and adapters	500	125
Dummy loads		N/A

Dielectric Withstanding Voltage: (VRMS minimum at sea level)

Connectors for RG-178	500
Connectors for RG-316, LMR-100, 195, 200	750
Connectors for RG-58, RG-142, LMR-240, .086 semi-rigid, field replaceable, uncabled receptacles	1000
Connectors for .141 semi-rigid with contact and adapters	1500
Connectors for .141 semi-rigid w/o contact, dummy loads	N/A

Corona Level: (Volts minimum at 70,000 feet)

Connectors for RG-178	125
Connectors for RG-316, LMR-100, 195, 200	190
Connectors for RG-58, RG-142, LMR-240, .086 semi-rigid, uncabled receptacles, .141 semi-rigid w/o contact	250
Connectors for .141 semi-rigid with contact and adapters	375
Dummy loads	N/A

Insertion Loss: (dB maximum)

Straight flexible cable connectors and adapters	0.06	√f (GHz), tested at 6 GHz
Right angle flexible cable connectors	0.15	√f (GHz), tested at 6 GHz
Straight semi-rigid cable connectors with contact	0.03	√f (GHz), tested at 10 GHz
Right angle semi-rigid cable connectors	0.05	√f (GHz), tested at 10 GHz
Straight semi-rigid cable connectors w/o contact	0.03	√f (GHz), tested at 16 GHz
Straight low loss flexible cable connectors	0.06	√f (GHz), tested at 1 GHz
Right Angle low loss flexible cable connectors	0.15	√f (GHz), tested at 1 GHz
Uncabled receptacles, field replaceable, dummy loads		N/A

Insulation Resistance: 5000 megohms minimum

Contact Resistance: (milliohms maximum) Initial After Environmental

	Initial	After Environmental
Center contact (straight cabled connectors and uncabled receptacles)	3.0*	4.0*
Center contact (right angle cabled connectors and adapters)	4.0	6.0
Field replaceable connectors	6.0	8.0
Outer contact (all connectors)	2.0	N/A
Braid to body (gold plated connectors)	0.5	N/A
Braid to body (nickel plated connectors)	5.0	N/A

*N/A where the cable center conductor is used as a contact

RF Leakage: (dB minimum, tested at 2.5 GHz)

Flexible cable connectors, adapters and .141 semi-rigid connectors w/o contact	-60 dB
Field replaceable w/o EMI gasket	-70 dB
.086 semi-rigid connectors and .141 semi-rigid connectors with contact, and field replaceable with EMI Gasket	-90 dB
Two-way adapters	-90 dB
Uncabled receptacles, dummy loads	N/A

RF High Potential Withstanding Voltage: (VRMS minimum, tested at 4 and 7 MHz)

Connectors for RG-178	335
Connectors for RG-316, LMR-100, 195, 200	500
Connectors for RG-58, RG-142, LMR-240, .086 semi-rigid, .141 semi-rigid cable w/o contact, uncabled receptacles	670
Connectors for .141 semi-rigid with contact and adapters	1000

Power Rating (Dummy Load): 0.5 watt @ +25°C, derated to 0.25 watt @ +125°C

MECHANICAL RATINGS

Engagement Design: MIL-C-39012, Series SMA
 Engagement/Disengagement Force: 2 inch-pounds maximum
 Mating Torque: 7 to 10 inch-pounds
 Bulkhead Mounting Nut Torque: 15 inch-pounds minimum
 Coupling Proof Torque: 15 inch-pounds minimum
 Coupling Nut Retention: 60 pounds minimum

Contact Retention:

6 lbs. minimum axial force (captive contacts)
 4 inch-ounce minimum torque (uncabled receptacles)

Cable Retention: Axial Force (lbs) Torque (in-oz)

Connectors for RG-178	10	N/A
Connectors for RG-316, LMR-100	20	N/A
Connectors for LMR-195, 200	30	N/A
Connectors for RG-58, LMR-240	40	N/A
Connectors for RG-142	45	N/A
Connectors for .086 semi-rigid	30	16
Connectors for .141 semi-rigid	60	55

*Or cable breaking strength whichever is less.

Durability: 500 cycles minimum

100 cycles minimum for .141 semi-rigid connectors w/o contact

ENVIRONMENTAL RATINGS (Meets or exceeds the applicable paragraph of MIL-C-39012)

Temperature Range: -65°C to +165°C

Thermal Shock: MIL-STD-202, Method 107, Condition B

Corrosion: MIL-STD-202, Method 101, Condition B

Shock: MIL-STD-202, Method 213, Condition I

Vibration: MIL-STD-202, Method 204, Condition D

Moisture Resistance: MIL-STD-202, Method 106

†Avoid user injury due to misapplication. See safety advisory definitions on page 2.

2

Johnson Components® • P.O. Box 1732 • Waseca, MN 56093-0832 • 1-800-247-8256 • Fax: 507-835-6287 • www.johnsoncomp.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



Product Datasheet

Copper Sheet

Product code: CU-M-02-SHE

Formula: Cu
Molecular Weight: 63.55
Purity: (2N) 99%
CAS No.: 7440-50-8
EC No.: 231-159-6
MDL: MFCD00010965
Appearance: Reddish Metal
Melting Point: 1085 °C
Boiling Point: 2562 °C
Density: 8.96 g/cm³

Total Metal Impurities (max): 1.0%

Documentation

A Certificate of Analysis and Materials Safety Data Sheet (SDS) in accordance with EN 10204 are supplied with every shipment.

Note

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. American Elements shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product.

AMERICAN ELEMENTS | 10884 WEYBURN AVE. | LOS ANGELES, CALIFORNIA 90024
 TEL. 310-208-0551 | FAX 310-208-0351 | customerservice@americanelements.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Enamelled Copper Wire

pro-POWER



Applications

Suitable for automated soldering equipment used for production/manufacturing of small motors, transformers, relays and magnet coils.

Standard

IEC 60317-0-1:2014
IEC 60317-51
NEMA MW 82-C

Insulation Coatings : Polyurethane 180
Dimensions : 0.07mm to 1.6mm
Gr 2 (2L)

Mechanical Properties (For 0.3mm)

Elongation : >30%
Springiness : <50
Adherence + Flexibility : Excellent
Resistance to Abrasion : >67.75N

Electrical Properties

Breakdown Voltage : 7kV

Thermal Properties

Temperature Index : 180
Cut through : 2mm \geq 230°C
Heat Shock : 1d, 1/2 h \geq 200°C

Chemical Properties

Solvent Test : 4H
Solderability : 390°
Resistance to Refrigerants : 3

Bare Conductor – Copper Characteristics (Annealed Condition)

Electrical Resistivity @ 20°C : 0.0172410mm²/m
Temperature Coefficient @ 20°C : 0.00694°C
Specific Weight : 8.89 Gr/cm³
Ultimate Tensile Strength : 22 – 30 kg/mm²
Primary Insulation Colour : Transparent / Natural

www.element14.com
www.farnell.com
www.newark.com
www.cpc.co.uk

pro-POWER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.