



## รายงานการวิจัย

การออกแบบและวิเคราะห์การรับส่งสัญญาณอิมพัลส์สำหรับวงจรภาคส่วนหน้า  
ของระบบสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์

**DESIGN AND ANALYSIS IMPULSE SIGNAL TRANSCIEVER OF  
RF FRONT END FOR ULTRA WIDEBAND WIRELESS  
COMMUNICATION SYSTEM**

ได้รับทุนอุดหนุนจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



## รายงานการวิจัย

การออกแบบและวิเคราะห์การรับส่งสัญญาณอิมพัลส์สำหรับวงจรภาคส่วนหน้า  
ของระบบสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์

**DESIGN AND ANALYSIS IMPULSE SIGNAL TRANSCEIVER OF  
RF FRONT END FOR ULTRA WIDEBAND WIRELESS  
COMMUNICATION SYSTEM**

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญชัย ทองโสภ

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2551

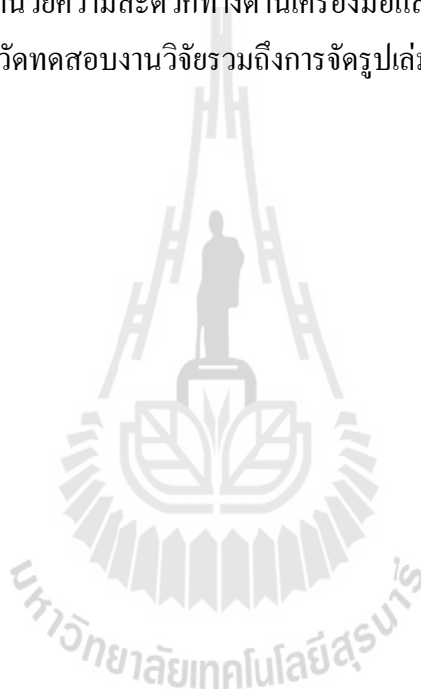
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถดำเนินการได้และได้รับผลสำเร็จบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และขอขอบคุณ ดร.อภิชาติ อินทรพานิชย์ ซึ่งเป็นผู้ให้คำปรึกษา ให้ข้อมูลและให้คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย คุณประพล จาระตะคุ วิศวกรศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ และคุณชนเสฏฐ์ ทศศิกรพัฒน์ ที่ช่วยทำการวัดทดสอบงานวิจัยรวมถึงการจัดรูปเล่มรายงานการวิจัยครั้งนี้

ชาญชัย ทองโสภ

ตุลาคม 2551



## บทคัดย่อ

ความต้องการสำหรับระบบการสื่อสารไร้สายความถี่แถบกว้างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในอนาคตจะมีระบบการสื่อสารไร้สายที่ให้บริการได้หลากหลายรูปแบบ เช่น การสื่อสารที่เป็นมัลติมีเดียและการเข้าถึงจุดให้บริการด้วยความเร็วสูง ซึ่งปัจจุบันนี้เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญสำหรับการสื่อสารไมโครเวฟ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาถูกลงและใช้กำลังงานน้อยมาก ที่ผ่านมามีเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ได้ถูกคิดค้นขึ้นมาใช้ในระบบของเรดาร์ และทางการแพทย์ โดยเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์มีวิธีการรับส่งสัญญาณในรูปแบบของพัลส์ ต่อมาเมื่อมีการพัฒนาที่จะนำการรับส่งสัญญาณแบบพัลส์นี้มาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์มากขึ้น จึงได้มีการพัฒนาให้เป็นระบบการสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์ ภายใต้มาตรฐานของ IEEE เนื่องจากเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์เป็นการส่งข้อมูลในลักษณะของพัลส์แคบ ๆ ผ่านย่านความถี่แถบกว้าง จึงทำให้เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์มีการใช้ความหนาแน่นกำลังงานเชิงสเปกตรัมของสัญญาณในระดับต่ำ และสามารถถ่ายโอนข้อมูลในระยะไกล ๆ ด้วยอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงมากโดยไม่มีการรบกวนกับระบบสื่อสารไร้สายแบบอื่น และด้วยความสามารถที่เหนือกว่าเทคโนโลยีเดิมอย่างเช่น Wi-Fi และ Bluetooth ซึ่งเหมาะกับการประยุกต์ใช้งานด้านการสื่อสารภายในอาคารบ้านเรือน หรือสำนักงานที่ต้องการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน จึงทำให้เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์นี้ได้รับความสนใจสูงมากในปัจจุบัน จากความสำคัญของปัญหาทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการออกแบบและวิเคราะห์การรับส่งสัญญาณพัลส์สำหรับวงจรภาคส่วนหน้าของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนได้แก่ การออกแบบสายอากาศแบนด์กว้างแบบแถวลำดับ และการออกแบบวงจรเครื่องรับส่งภาคส่วนหน้า โดยทำการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณ โมโนไซด์พัลส์ด้วยชิปวงจรรวม พร้อมทั้งวิเคราะห์และทดสอบผลการทำงานจริงของระบบ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าสายอากาศมีแบนด์วิดท์ 7.5 GHz และมีการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ความถี่ต่าง ๆ ภายในห้องปิดกั้นคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไร้คลื่นสะท้อน ซึ่งระบบที่ได้มีขนาดเล็ก ราคาถูก สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## Abstract

The demands for broadband services by wireless communication systems are rapidly growing. Future wireless systems will provide various services such as broadband multimedia and high speed access. Nowadays an ultra wideband radio technology has become an important topic for microwave communication because of its low cost and low power consumption. Ultra wideband (UWB) technology had been using for radar system and military applications in the past and it utilizes a short period pulse to convey information. Nowadays, it is available for use in commercial section, and ultra wideband wireless communication is standardized by IEEE. Since UWB technology transmits narrow pulses, the transmitting signal occupies very large bandwidth. Hence, the UWB signal spectrum density is usually lower than most wireless systems. This feature allows UWB for used in short rang with high data rate, because UWB does not interfere with other wireless communication systems. Moreover, this technology is more capability than Wi-Fi and Bluetooth. So, the application is suitable for inside building such a habitation or office that would like to connect electronic equipments altogether. Because of this, the researcher is interested to design and analysis impulse signal transceiver of RF front end for ultra wideband communication system. This research investigates two sub-systems of UWB system, i.e., wideband array antennas and transmitter front end. A monocycle pulse generator is implemented in MMIC and tested. A bow type antenna is designed, simulated and tested. The bandwidth of antenna is measured to be 7.5 GHz. The antenna's radiation patterns are also measured in an anechoic chamber for various frequencies. And, the result shows the system is small size, not expensive and able to efficiency apply for ultra wideband wireless communication systems.

# สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ข
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญรูป.....	ช
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการวิจัย .....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย .....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.6 ทัศนวิสัยวรรณกรรม.....	5
<b>2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการออกแบบและวิเคราะห์การรับส่งสัญญาณพัลส์.....</b>	<b>9</b>
<b>สำหรับระบบสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์.....</b>	<b>9</b>
2.1 กล่าวนำ.....	9
2.2 ความเป็นมาของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ .....	9
2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์.....	11
2.3.1 นิยามและข้อกำหนดเกี่ยวกับเทคโนโลยีการสื่อสาร อัลตราไวด์แบนด์.....	11
2.3.2 ข้อเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ กับเทคโนโลยีแบนด์แคบ .....	14
2.3.3 ข้อดีของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์.....	15
2.3.4 การประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์.....	16
2.4 โครงสร้างของระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ .....	17

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5	กระบวนการวิเคราะห์สัญญาณสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสาร อัลตราไวด์แบนด์.....	20
2.5.1	การวิเคราะห์ในโดเมนเวลา.....	21
2.5.2	การวิเคราะห์ในโดเมนความถี่.....	23
2.6	ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์โดยพื้นฐานสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสาร อัลตราไวด์แบนด์.....	26
2.6.1	เกาส์เซียนพัลส์.....	26
2.6.2	เกาส์เซียน โมโนไซเคิลพัลส์.....	28
2.6.3	เกาส์เซียนดับเลตพัลส์.....	30
2.7	ทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศ.....	31
2.7.1	การสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ.....	32
2.7.2	แบบรูปการแผ่กระจายพลังงาน.....	34
2.7.3	อัตรายาย.....	40
2.7.4	ความกว้างแถบ.....	40
2.8	สายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์.....	41
2.9	โครงสร้างและทฤษฎีของการกำเนิดพัลส์.....	46
2.10	สรุป.....	50
3	สายอากาศไมโครสตริปแพตช์แบนด์กว้างต้นแบบสำหรับ ระบบสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์.....	52
3.1	กล่าวนำ.....	52
3.2	การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์ต้นแบบ สำหรับเทคโนโลยี อัลตราไวด์แบนด์.....	52
3.2.1	พื้นฐานการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป.....	52
3.2.2	ความเป็นมาของการออกแบบสายอากาศสำหรับเทคโนโลยีอัลตรา ไวด์แบนด์.....	54

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.3	การศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปอัลตร้า ไวต์แบนด์ต้นแบบ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป IE3D.....	55
3.3	ผลการจำลองแบบ.....	57
3.4	การสร้างสายอากาศต้นแบบ .....	68
3.5	ผลการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ .....	69
3.6	ผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ.....	72
3.7	ผลการทดลองวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศ .....	73
3.8	ผลการทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศ .....	75
3.9	สรุป .....	82
4	<b>สายอากาศไมโครสตริปแพตช์แบนด์กว้างแบบแฉวลำดับ และวงจรมอดูลส่วนหน้า สำหรับวิเคราะห์การรับส่งสัญญาณพัลส์ของระบบสื่อสารไร้สาย</b>	
	<b>อัลตร้าไวต์แบนด์ .....</b>	<b>83</b>
4.1	กล่าวนำ.....	83
4.2	การออกแบบและสร้างสายอากาศแบบแฉวลำดับ.....	84
4.3	ผลการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ แฉวลำดับ.....	86
4.4	ผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแฉวลำดับ.....	88
4.5	ผลการทดลองวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศ .....	89
4.6	ผลการทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศแฉวลำดับ ....	91
4.7	การออกแบบวงจรมอดูลสัญญาณพัลส์ .....	95
4.7.1	คุณลักษณะของวงจรมอดูลพัลส์.....	95
4.7.2	การออกแบบสายประวิงเวลาสำหรับวงจรมอดูลสัญญาณ โมนโอไซเคิลพัลส์.....	98
4.8	การสร้างวงจรมอดูลสัญญาณพัลส์.....	103
4.8.1	การสร้างวงจรมอดูลสัญญาณพัลส์ .....	103
4.8.2	ผลการวัดและทดสอบวงจรมอดูลสัญญาณพัลส์.....	104



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.9	สรุป .....	105
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	107
5.1	สรุปเนื้อหาของกรวิจัย .....	107
5.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	109
5.3	แนวทางการพัฒนาในอนาคต .....	109
	รายการอ้างอิง .....	111
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	113
	ภาคผนวก ข รายละเอียดทางเทคนิคของสายอากาศและวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์.....	126
	ประวัติผู้วิจัย .....	128

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	เปรียบเทียบลักษณะสัญญาณการสื่อสารระหว่างเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์และเทคโนโลยีที่ใช้แถบความถี่แคบทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่.....11
2.2	ช่วงสเปกตรัมของความถี่เปรียบเทียบกับระดับพลังงานสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ภายในอาคาร .....12
2.3	ช่วงสเปกตรัมของความถี่เปรียบเทียบกับระดับพลังงานสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ภายนอกอาคาร.....12
2.4	ความหนาแน่นพลังงานเชิงสเปกตรัมของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์เปรียบเทียบกับเทคโนโลยีการสื่อสารรูปแบบอื่น .....13
2.5	เปรียบเทียบรูปแบบสัญญาณการสื่อสารของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์และเทคโนโลยีแบบแถบความถี่แคบทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่.....15
2.6	ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องรับส่งสัญญาณสำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ .....18
2.7	ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องรับสัญญาณสำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์.....18
2.8	รูปแบบสัญญาณพัลส์ลักษณะต่าง ๆ ของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์.....19
2.9	รูปแบบสัญญาณพัลส์ของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ที่แพร่กระจายจากเครื่องรับส่งผ่านช่องทางการสื่อสารไปยังเครื่องรับ .....20
2.10	ตัวอย่างของสัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางเวลาและสัญญาณที่ไม่มีมีความต่อเนื่องทางเวลา ...22
2.11	สัญญาณเกาส์เซียนพัลส์ที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์เมื่อพิจารณาในโดเมนเวลา.....27
2.12	สัญญาณเกาส์เซียนพัลส์ที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์เมื่อพิจารณาในโดเมนความถี่.....27
2.13	สัญญาณเกาส์เซียนโมโนไซเคิลพัลส์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์เมื่อพิจารณาในโดเมนเวลา.....29
2.14	สัญญาณเกาส์เซียนโมโนไซเคิลพัลส์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์เมื่อพิจารณาในโดเมนความถี่.....29

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.15 สัญญาณเกาส์เซียนระดับเลตพัลส์ที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ เมื่อพิจารณาในโดเมนเวลา.....	30
2.16 สัญญาณเกาส์เซียนระดับเลตพัลส์ที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ เมื่อพิจารณาในโดเมนความถี่.....	31
2.17 แสดงระบบพิกัดที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแผ่กระจายพลังงานของคลื่น.....	35
2.18 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศไดโพลแบบครึ่งคลื่นในระนาบ สามมิติ และแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระนาบสองมิติ.....	36
2.19 แบบรูปของสายอากาศแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว.....	37
2.20 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานแบบมีทิศทาง โดยมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นหลัก ในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศปากแตร.....	38
2.21 การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศที่ต้องการพิจารณา.....	39
2.22 ลักษณะการป้อนสัญญาณของสายอากาศไมโครสตริปรูปลี่เหลี่ยมและรูปร่างกลม.....	42
2.23 กระแสไฟฟ้าและลักษณะเส้นแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนแพตช์.....	43
2.24 ตัวอย่างสายอากาศไมโครสตริปพื้นฐานรูปลี่เหลี่ยมมุมฉาก.....	45
2.25 กราฟคุณลักษณะของทัลเนลไดโอด.....	47
2.26 โครงสร้างพื้นฐานการกำเนิดพัลส์ด้วย SRD ไดโอด.....	49
3.1 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปที่จำลองผลด้วยโปรแกรม IE3D.....	56
3.2 โครงสร้างของสายอากาศต้นแบบ.....	57
3.3 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศที่ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น.....	58
3.4 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศจากการปรับขนาด $l_3$ .....	59
3.5 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศจากการปรับขนาด $w_0$ .....	60
3.6 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศจากการปรับขนาด $l$ .....	61
3.7 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศที่ปรับขนาดได้อย่างเหมาะสม.....	62
3.8 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากการจำลองผลของสายอากาศ.....	63
3.9 อัตราการขยายของสายสายอากาศที่ได้จากการจำลองผล.....	63

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10	แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ต่าง ๆ .....65
3.11	แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ต่าง ๆ .....67
3.12	โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศต้นแบบ .....69
3.13	ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ได้จากการทดสอบสายอากาศต้นแบบ .....71
3.14	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากการทดสอบสายอากาศต้นแบบ .....71
3.15	ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการวัดทดสอบสายอากาศในช่วงความถี่ต่าง ๆ .....72
3.16	การเตรียมเครื่องมือสำหรับการวัดอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ .....73
3.17	การวัดอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ .....74
3.18	ผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ .....74
3.19	การเตรียมเครื่องมือสำหรับวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศต้นแบบ .....75
3.20	การวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศต้นแบบ .....76
3.21	สายอากาศตัวส่งแบบไมโครสตริปโคโพล .....77
3.22	แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ต่าง ๆ .....79
3.23	แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ต่าง ๆ .....81
4.1	โครงสร้างของสายอากาศแบบแฉวลำดับ .....85
4.2	สายอากาศแบบแฉวลำดับ .....88
4.3	ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ได้จากการทดสอบสายอากาศแฉวลำดับ .....88
4.4	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากการทดสอบสายอากาศแฉวลำดับ .....89
4.5	ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการวัดทดสอบสายอากาศในช่วงความถี่ต่าง ๆ .....88
4.6	การเตรียมเครื่องมือสำหรับการวัดอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ .....89
4.7	การวัดอัตราขยายของสายอากาศแฉวลำดับ .....88
4.8	ผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศแฉวลำดับ .....89
4.9	การวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศแฉวลำดับ .....88
4.10	แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กที่ความถี่ต่าง ๆ .....89

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11	โครงสร้างพื้นฐานการกำเนิดพัลส์ด้วยไดโอดพื้ในตัวแบบขั้นร่วมกับสายประวิงเวลา.....99
4.12	ลักษณะสัญญาณของแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้นจากวงจรพื้นฐานการกำเนิดพัลส์ ด้วยไดโอดพื้ในตัวแบบขั้นร่วมกับสายประวิงเวลา ..... 100
4.13	แผนภาพบล็อกการกำเนิดสัญญาณโมนโนไซเคิลพัลส์..... 101
4.14	โครงสร้างการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยไดโอดพื้ในตัวแบบขั้น ร่วมกับสายประวิงเวลา ..... 102
4.15	โครงสร้างของชุดวงจรกำเนิดสัญญาณ โมนโนไซเคิลพัลส์สำหรับเทคโนโลยี การสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ..... 103



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย

ที่ผ่านมาเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคมได้มีการพัฒนาและขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะระบบการสื่อสารไร้สาย เช่น ระบบสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบสื่อสารโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย รวมถึงระบบสื่อสารที่เป็นโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคลที่กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากทั้งในสำนักงาน หรืออาคารบ้านเรือน เนื่องจากทำให้การเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ มีความสะดวกสบายและคล่องตัว โดยไม่จำเป็นต้องมีการเดินสายนำสัญญาณไปยังอุปกรณ์ปลายทางทำให้การเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ปลายทางเป็นไปอย่างอิสระ รวมทั้งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการสร้างโครงข่าย ซึ่งปัจจุบันการเชื่อมต่อดังกล่าวจะใช้เทคโนโลยี Wi-Fi และ Bluetooth แต่เทคโนโลยีเหล่านี้ยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง เช่น มีแบนด์วิดท์แคบ อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลไม่มากนัก ไม่สามารถรองรับการเชื่อมต่อข้อมูลที่เป็นมัลติมีเดียได้ ซึ่งไม่ตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่มีมากขึ้นเรื่อย ๆ อย่างไม่หยุดยั้ง และปัจจุบันได้เกิดกระแสความสนใจอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ (Ultra Wideband : UWB) โดยที่ผ่านมาเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ได้ถูกคิดค้นขึ้นมาใช้ในระบบของเรดาร์ และทางการทหาร ซึ่งเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์มีวิธีการรับส่งสัญญาณในรูปแบบของพัลส์ ต่อมามีการพัฒนาที่จะนำเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ มาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์มากขึ้น จึงได้มีการพัฒนาให้เป็นระบบการสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์ ภายใต้มาตรฐานของ IEEE เนื่องจากเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ เป็นการส่งข้อมูลในลักษณะของพัลส์แคบ ๆ ผ่านย่านความถี่แถบกว้าง ทำให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลจำนวนมากในระยะทางไกล ๆ ได้โดยมีอัตราเร็วในการส่งข้อมูลสูงมาก แต่กลับใช้ความหนาแน่นกำลังงานเชิงสเปกตรัมในระดับต่ำเพียง  $-41.3 \text{ dBm/MHz}$  (Roberto and Anuj, 2006; Ghavami, Michael, and Kohno, 2004, 2007; Ian, Matti, and Jari, 2004) และด้วยความสามารถที่เหนือกว่าเทคโนโลยีเดิมอย่าง Wi-Fi และ Bluetooth จึงเหมาะในการประยุกต์ใช้งานด้านการสื่อสารภายในอาคาร สำนักงาน หรือบ้านเรือนที่ต้องการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ทำให้ได้รับความสนใจสูงมากในปัจจุบัน และไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารไร้สายรูปแบบใดก็ตามจะต้องมีการรับส่งสัญญาณข้อมูลให้มีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการพัฒนาและออกแบบระบบการรับส่งสัญญาณที่ภาคส่วนหน้าให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด แต่รูปแบบการรับส่งสัญญาณที่ภาค

ส่วนหน้าของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์จะแตกต่างจากเทคโนโลยีการสื่อสารรูปแบบอื่น ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งโครงสร้างการรับส่งสัญญาณที่ภาคส่วนหน้าสำหรับเครื่องรับส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนที่เป็นสายอากาศส่งสัญญาณแบบแบนด์กว้างเพื่อใช้เป็นตัวแพร่กระจายสัญญาณ และส่วนที่เป็นวงจรอาร์เอฟส่วนหน้าสำหรับเครื่องรับส่งสัญญาณพัลส์ของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ โดยสายอากาศที่เลือกใช้ส่วนใหญ่นั้นจะเป็นสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์ ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีการออกแบบง่าย โครงสร้างไม่ซับซ้อน มีน้ำหนักเบา และมีต้นทุนในการผลิตต่ำ แต่อย่างไรก็ตามสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์นี้ยังมีข้อจำกัดคือ มีแบนด์วิดท์แคบ และส่วนใหญ่มิมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเพียงครึ่งระนาบ ที่ผ่านมามีการศึกษาและออกแบบเพื่อทำการลดข้อจำกัดเหล่านี้ของสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์ ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาสายอากาศเพื่อรองรับการสื่อสารของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ เช่น สายอากาศแบบร่อง แบบหูกกระจาย (Abdelnasser, Atef, and Charles, 2005; Abdelnasser, 2007; Tutku and Erdem, 2006) แบบแถวลำดับ (Abdelnasser, 2007) หรือรูปแบบอื่น ๆ (Nikolay and Yehuda, 2006) ซึ่งแต่ละแบบยังมีข้อเสียอยู่บ้าง เช่น มีแบนด์วิดท์ไม่กว้างพอเพื่อครอบคลุมย่านความถี่ที่ใช้งาน มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานไม่ดี มีอัตราขยายต่ำ และโครงสร้างซับซ้อน โดยข้อจำกัดเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับใช้ออกแบบระบบการรับส่งสัญญาณภาคส่วนหน้าของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์การรับส่งสัญญาณพัลส์สำหรับวงจรภาคส่วนหน้าของระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ โดยมีการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์รูปแบบใหม่ เพื่อใช้เป็นตัวแพร่กระจายคลื่นของระบบรับส่งสัญญาณของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งการออกแบบสายอากาศมีการจำลองผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป IE3D รวมทั้งสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบ โดยสายอากาศที่ได้มีขนาดเล็ก รูปร่างไม่ซับซ้อน มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ดี และค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ โดยมีแบนด์วิดท์ครอบคลุมตลอดย่านความถี่ 3.1-10.6 GHz (Ghavami, Michael, and Kohno, 2007; Xuemin, Mohsen, Robert, and Tho, 2006) และนอกจากนี้ยังมีการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์เพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาชิปวงจรรวมแบบ MMIC (monolithic microwave integrated circuit) อย่างต่อเนื่อง จนทำให้วงจรที่ได้มีขนาดเล็ก ไม่ซับซ้อน ประหยัดพลังงาน และให้อัตราการขยายสัญญาณสูง (Rein and Pavel, 2004) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ดังกล่าวด้วยชิปวงจรรวมแบบ MMIC ซึ่งจากการออกแบบนี้ทำให้ระบบที่ได้มีขนาดเล็ก ราคาถูก และง่ายต่อ

การนำไปประยุกต์ใช้งาน พร้อมทั้งทำการทดสอบวิเคราะห์ผลการทำงานจริง เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์ที่มีประสิทธิภาพต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาโครงสร้างการทำงานของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์
- 1.2.2 เพื่อศึกษารูปแบบของสัญญาณที่ใช้รับส่งข้อมูลสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาคูณลักษณะของสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป สำหรับการออกแบบลายวงจรความถี่สูง และสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์
- 1.2.4 เพื่อศึกษารูปแบบทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณพัลส์ทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาออกแบบสายอากาศแบนด์กว้างสำหรับประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์
- 1.2.5 เพื่อศึกษาออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับประยุกต์ใช้งานในเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาแบบทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณในระบบสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์ และวิเคราะห์คุณลักษณะสัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์
- 1.3.2 ออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์ที่ตลอดย่านความถี่ 3.1-10.6 GHz สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์
- 1.3.3 ออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเครื่องรับส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์
- 1.3.4 ทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปแพตช์ที่ตลอดย่านความถี่ 3.1-10.6 GHz และวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเครื่องรับส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์



## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

### 1.4.1 แนวทางการดำเนินงาน

- 1) สํารวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย
- 2) ออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์ที่ตลอดย่านความถี่ 3.1-10.6 GHz
- 3) ออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์
- 4) สร้างสายอากาศต้นแบบที่ตลอดย่านความถี่ 3.1-10.6 GHz และวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์
- 5) ทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

### 1.4.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นงานวิจัยประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

- 1) สํารวจปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) ออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศที่ตลอดย่านความถี่ 3.1-10.6 GHz เพื่อหาคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์ รวมถึงการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์
- 3) สร้างสายอากาศต้นแบบที่ตลอดย่านความถี่ 3.1-10.6 GHz สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์ และวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์
- 4) วิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศและวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์เพื่อปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพ

### 1.4.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย อาคารเครื่องมือ 4 (F4) มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีสุรนารี 111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

### 1.4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (personnel computer)
- 2) โปรแกรมเฉพาะทางวิศวกรรม MATLAB
- 3) โปรแกรมสำเร็จรูป IE3D™
- 4) เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ (network analyzer)
- 5) เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (spectrum analyzer)
- 6) เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (signal analyzer : MXA N9020A)
- 7) เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ (signal generator)

### 1.4.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) เก็บรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจปรีทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 2) เก็บรวบรวมผลจากการจำลองผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป และนำผลดังกล่าวไปวิเคราะห์ เพื่อใช้ประกอบการออกแบบสายอากาศและวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์
- 3) เก็บรวบรวมผลจากการออกแบบสร้างและวัดทดสอบสายอากาศรวมถึงวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม และเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์

#### 1.4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลความรู้เกี่ยวกับการออกแบบและการสร้างสายอากาศไมโครสตริปแพตช์ รวมถึงวงจรรับส่งสัญญาณอิมพัลส์ สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์ นั้นจะ ถูกนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองและทฤษฎี รวมทั้งเปรียบเทียบกับ ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่ไปแล้ว

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้สายอากาศไมโครสตริปแพตช์ต้นแบบรูปแบบใหม่ที่ครอบคลุมตลอดย่านความถี่ 3.1-10.6 GHz สามารถรับส่งสัญญาณพัลส์ของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.5.2 ได้วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ต้นแบบสำหรับการประยุกต์ใช้งานในเครื่องรับส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์

### 1.6 ปรีทัศน์วรรณกรรม

ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงแนวทางและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผลการดำเนินการวิจัย ตลอดจนปัญหา และข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักที่ได้ตั้งไว้ โดยได้มีการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาและอาศัยฐานข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นงานวิจัยนี้เป็นฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียง และได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น ฐานข้อมูล IEEE และฐานข้อมูล IEICE นอกจากนี้ยัง ได้มีการสืบค้นงานวิจัยจากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จากห้องสมุดของมหาวิทยาลัยต่าง ๆ โดยจากผลการสืบค้นที่ได้นั้นจะใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป สำหรับเนื้อหาในส่วนนี้จะได้กล่าวถึง ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศและวงจรอาร์เอฟส่วนหน้าสำหรับระบบการสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์ ที่ผ่านมาสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้ คือ งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศ

สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ และงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเครื่องรับส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์

1.6.1 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ โดยงานวิจัยในส่วนของสายอากาศนี้ถือเป็นการวิจัยพื้นฐานที่สำคัญมากสำหรับระบบการสื่อสารไร้สาย ซึ่งสายอากาศเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นสำหรับระบบการสื่อสารไร้สาย เนื่องจากเป็นตัวแพร่กระจายคลื่นของระบบสื่อสารไร้สาย และการรับส่งสัญญาณของระบบจะมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับสายอากาศด้วยส่วนหนึ่ง โดยเฉพาะสายอากาศที่ใช้ในการสื่อสารของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ซึ่งต้องมีแถบความถี่กว้าง เพื่อรองรับการรับส่งข้อมูลในยุคปัจจุบันที่มีทั้งข้อมูล ภาพ เสียง วิดีโอ มัลติมีเดีย ซึ่งปกติสายอากาศที่ถูกจัดให้เป็นสายอากาศแถบกว้างนั้นจะต้องมีความกว้างแถบมากกว่า 10% ขึ้นไป โดยจากข้อกำหนดของ FCC ได้กำหนดสเปกตรัมความถี่การใช้งานของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ไว้ในช่วง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz (Ghavami, Michael, and Kohno, 2007) และในงานวิจัยนี้ได้เลือกออกแบบสายอากาศเป็นแบบไมโครสตริปแพตช์เนื่องจากเป็นสายอากาศที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา โครงสร้างไม่ซับซ้อน และมีราคาถูก อย่างไรก็ตามสายอากาศไมโครสตริปแพตช์ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่ เช่น มีแบนด์วิดท์แคบ มีอัตราขยายค่อนข้างต่ำ มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานไม่ดี โดยส่วนใหญ่สายอากาศไมโครสตริปแพตช์จะมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเพียงครึ่งระนาบ แต่ปัญหาที่สำคัญของสายอากาศที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ก็คือความถี่ของสายอากาศ จึงได้มีการวิจัยเพื่อนำเสนอเทคนิคใหม่ ๆ ขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องการเพิ่มความถี่ให้กับสายอากาศ

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาและออกแบบสายอากาศเพื่อทำการลดข้อจำกัดดังกล่าวนี้ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปแพตช์รูปแบบต่าง ๆ เพื่อรองรับการสื่อสารของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ (Abdelnasser, Atef, and Charles, 2005) โดยงานวิจัยของ Abdelnasser เป็นการออกแบบสายอากาศแบนด์กว้างที่มีรูปร่างแบบหูกระต่าย (bow-tie) ซึ่งสายอากาศที่ได้นั้นมุ่งเน้นการใช้งานในย่าน C-band และ X-band โดยมีแบนด์วิดท์ 91% ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งาน 5.5 GHz ถึง 12.5 GHz และจากผลการทดลองพบว่าสายอากาศมีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานที่ความถี่ต่าง ๆ ไม่ค่อยมีเสถียรภาพมากนัก แต่เทคนิควิธีในการออกแบบที่ให้ได้มาซึ่งสายอากาศแบนด์กว้างนับว่าเป็นเทคนิคที่ดี ต่อมาเป็นการออกแบบสายอากาศแบนด์กว้างสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ (Tutku and Erdem, 2006; Nikolay and Yehuda, 2006) โดยงานวิจัยของ Tutku นั้นมีแนวทางในการออกแบบคล้ายกับของ Abdelnasser เนื่องจากสายอากาศที่เลือกมาทำการออกแบบนั้นมีลักษณะรูปร่างแบบหูกระต่ายเช่นเดียวกัน ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาสายอากาศโดยพิจารณาถึงวัสดุฐานรองที่นำมาใช้เป็นหลัก และสายอากาศที่ได้นั้นมีแบนด์วิดท์ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ มีแบบรูปการแผ่พลังงาน

แบบรอบตัวในระนาบเดียว แต่ความมีเสถียรภาพของแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในแต่ละความถี่นั้นยังคงดูเหมือนว่าเป็นปัญหาอยู่ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ไม่ได้สนใจมากนัก ส่วนในงานวิจัยของ Nikolay นั้นเป็นการออกแบบสายอากาศอัลตราไวด์แบนด์อีกรูปแบบหนึ่งโดยอาศัยหลักการเขาระงับบนแพตช์ซึ่งสายอากาศที่ได้นั้นมีแบนด์วิดท์ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์เช่นกัน แต่ข้อเสียของสายอากาศรูปแบบนี้คือ มีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานไม่ดี และมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศค่อนข้างยาก

สำหรับงานวิจัยของ (Abdelnasser, 2007) ซึ่งในงานวิจัยของ Abdelnasser นี้เป็นการนำสายอากาศแบนด์กว้างที่ได้จากการออกแบบด้วยเทคนิคการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศคล้ายกับของ Abdelnasser และ Tutku แต่ Abdelnasser มีการออกแบบสายอากาศให้เป็นสายอากาศแบบแฉลัดดับเพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของแบบรูปการแผ่กระจายพลังงาน ซึ่งในการออกแบบนั้นค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน และในการวิจัยครั้งนี้จะได้ชี้แนะแนวทางในการออกแบบสายอากาศจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังที่ได้กล่าวมาแล้วมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบสายอากาศสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ เพื่อให้ได้สายอากาศรูปแบบใหม่ที่มีแบนด์วิดท์ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ มีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานที่ดีขึ้น และมีโครงสร้างของสายอากาศไม่ซับซ้อน

1.6.2 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเครื่องรับส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นับว่าเป็นอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญสำหรับระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ โดยที่ผ่านมานั้นได้มีผู้ที่ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยเทคนิควิธีต่าง ๆ มีการใช้ทิลเนลไดโอด ทรานซิสเตอร์ รวมถึงการประยุกต์ใช้ SRD ไดโอด ร่วมกับทฤษฎีสายประวิงเวลา (Jeong, Cam, and Tom, 2001) โดยในงานวิจัยของ Jeong เป็นการพัฒนาและออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ด้วยการประยุกต์ใช้ SRD ไดโอด ร่วมกับทฤษฎีสายประวิงเวลา (Jeongwoo and Cam, 2004; Wu and Tian, 2007; Jianping, Qing, Jingzhao, and Zhenghe, 2008) ซึ่งในงานวิจัยของ Jeongwoo นั้นเป็นการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยการประยุกต์ใช้ SRD ไดโอด ร่วมกับทฤษฎีสายประวิงเวลาเช่นกัน และวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นี้สามารถปรับความกว้างของพัลส์ได้ แต่สัญญาณพัลส์ที่ได้นั้นเป็นพัลส์แบบเกาส์ ส่วนในงานวิจัยของ Wu (2007) และ Jianping (2008) นั้นเป็นการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยทรานซิสเตอร์ โดยพัลส์ที่ได้นั้นเป็นพัลส์แบบเกาส์ ซึ่งข้อเสียของการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบเกาส์นี้คือ สัญญาณพัลส์จะมีส่วนประกอบของระดับสัญญาณ DC ค่อนข้างสูงสำหรับสเปกตรัมความถี่ด้านต่ำ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถส่งสัญญาณผ่านสายอากาศได้ และต่อมาได้มีผู้พัฒนาออกแบบวงจรกำเนิดพัลส์แบบโมนโอไซเคิลเพื่อให้เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับสายอากาศอัลตราไวด์แบนด์ สำหรับระบบ

สื่อสารอัลตราไวด์แบนด์มากขึ้น (Jeong and Cam, 2001; Alexandre, Yvan, Tan, Ewerton, and Glauco, 2006; Dederer, Schleicher, Trasser, Fegerand, and Schumacher, 2008) โดยมีการใช้ SRD ไดโอด ร่วมกับทฤษฎีสายประวิงเวลาเช่นกัน แต่ในงานวิจัยของ Jeong (2001) Alexandre (2006) และ Dederer (2008) มีการทำรูปร่างพัลส์ด้วยทรานซิสเตอร์ โดยใช้วิธีการรวมสัญญาณพัลส์แบบ เกาส์เซียนสองลูกที่มีเฟสต่างกัน  $180^\circ$  และมีเวลาประวิงที่แน่นอนระหว่างพัลส์ทั้งสองลูก ซึ่งผลสุดท้ายจะได้สัญญาณแบบ โมโนไซเคิลพัลส์ และวิธีนี้ความกว้างของ โมโนไซเคิลพัลส์ที่ได้จะมีความกว้างเท่ากับความกว้างของเกาส์เซียนพัลส์แต่ละลูกรวมกัน และมีกรรมวิธีในการออกแบบที่ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน ดังนั้นจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องของผู้วิจัยจึงได้นำเทคนิควิธีการกำเนิดสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์ดังกล่าวมาปรับปรุงด้วยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีของวงจรกรองผ่านสูง RC ร่วมด้วย ซึ่งสามารถกำเนิดสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์ได้โดยตรงจากพัลส์แบบเกาส์ ซึ่งสามารถช่วยลดความยุ่งยากซับซ้อนของการออกแบบวงจรลงได้



## บทที่ 2

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการออกแบบและวิเคราะห์การรับส่งสัญญาณพัลส์ สำหรับระบบสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์

### 2.1 กล่าวนำ

เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นั้น เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลรูปแบบใหม่ที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์มากขึ้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษารูปแบบทางคณิตศาสตร์โดยพื้นฐานสำหรับการรับส่งสัญญาณและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงานของระบบการรับส่งสัญญาณรวมถึงการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์เหมือนกับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายรูปแบบอื่น ๆ เนื่องจากเมื่อมีการนำมาใช้งานแล้ว จำเป็นต้องมีการวิจัยและพัฒนาประสิทธิภาพให้ดีขึ้น โดยระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์มีส่วนประกอบหลักสำคัญสองส่วน คือ ส่วนของสายอากาศแบบแบนด์กว้าง และวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเครื่องรับส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งเนื้อหาที่สำคัญในบทนี้จะกล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ โครงสร้างของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ทฤษฎีเบื้องต้นในการวิเคราะห์และพิจารณารูปแบบของสัญญาณที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ทฤษฎีของสายอากาศ ซึ่งประกอบด้วยหลักการต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศ ทฤษฎีสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์ รวมถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ได้แก่ โครงสร้างของสายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกประสิทธิภาพ และวิธีการกำเนิดสัญญาณพัลส์

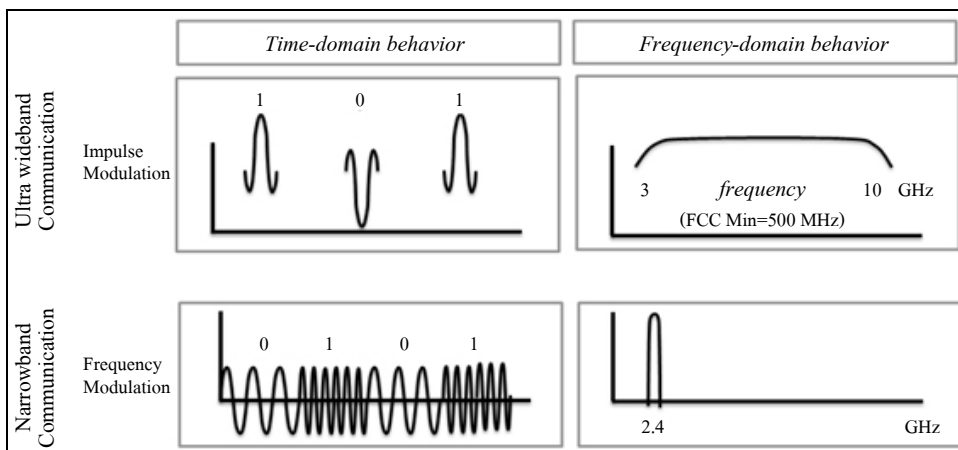
### 2.2 ความเป็นมาของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์

ในอดีตที่ผ่านมาเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือของทางการทหาร ซึ่งในปัจจุบันมีผู้ใช้และผู้ให้บริการด้านอิเล็กทรอนิกส์และการสื่อสารจำนวนมากที่มีความสนใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ เนื่องจากจุดเด่นที่สำคัญของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ คือ เป็นระบบการสื่อสารที่มีต้นทุนต่ำ ใช้กำลังงานในระดับต่ำ และมีอัตราเร็วของการรับส่งข้อมูลสูงมาก (Ghavami, Michael, and Kohno, 2007; Roberto and Anuj, 2006) และนอกจากนี้ยังมีความสามารถในการบอกตำแหน่งที่แม่นยำสำหรับการประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการบอกพิกัดตำแหน่ง โดยเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์นี้มีการรับส่งสัญญาณที่แตกต่างจาก

เทคโนโลยีแถบความถี่แคบ (narrowband) เนื่องจากไม่ได้มีการแพร่กระจายสัญญาณในลักษณะของการแบ่งแยกความถี่ แต่เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์จะมีการแพร่กระจายสัญญาณพัลส์ตลอดช่วงความถี่ที่มีแบนด์วิดท์กว้างมาก โดยการรับส่งสัญญาณข้อมูลรูปแบบเดิมจะถูกแทนด้วยสัญญาณพัลส์ ที่มีการรับส่งสัญญาณข้อมูลในลักษณะของขบวนพัลส์จำนวนมากต่อวินาที โดยพัลส์แต่ละลูกนั้นจะเป็นพัลส์ที่มีความกว้างอยู่ในระดับพิโกวินาที ( $1 \times 10^{-12}$  วินาที) และมีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวนพื้นหลัง (background noise) เนื่องจากพัลส์ที่ส่งออกไปนั้นมีกำลังส่งต่ำมากถึงระดับนาโนวัตต์ (Ghavami, Michael, and Kohno, 2007; Roberto and Anuj, 2006)

โดยเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ถูกมองว่าเป็นเทคโนโลยีใหม่ ซึ่งในความรู้สึกคือ ไม่มีวิธีการใดก่อนหน้านี้ที่สามารถทำงานลักษณะนี้ได้ นั่นคือการทำให้ระบบการสื่อสารไร้สายมีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่สูงในระดับหลายร้อยเมกะบิตต่อวินาที อุปกรณ์การสื่อสารมีขนาดเล็ก ใช้กำลังงานส่งในระดับต่ำมาก และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างกว้างขวาง แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ยังนับว่าเป็นเทคโนโลยีใหม่สำหรับการนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ แต่เทคนิควิธีที่ค้นพบและหลักการที่นำมาใช้นั้นไม่ใช่ของใหม่ อย่างไรก็ตามรูปแบบการสื่อสารไร้สายในปัจจุบันยังคงมีวิธีการรับส่งสัญญาณพื้นฐานที่เป็นคลื่นรูปแบบไซน์ เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นคลื่นรูปแบบไซน์นั้นมีความเป็นสากลไปแล้วสำหรับการติดต่อสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ แต่เทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นี้เป็นพื้นฐานของการรับส่งสัญญาณข้อมูลด้วยสัญญาณพัลส์ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการเปลี่ยนแปลงจากระบบการสื่อสารด้วยสัญญาณรูปแบบคลื่นไซน์ไปเป็นการสื่อสารด้วยสัญญาณพัลส์แทน โดยเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ได้เข้ามามีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาการสื่อสารข้อมูลไร้สายระยะใกล้ ที่ต้องการความเร็วและแบนด์วิดท์สำหรับรับส่งข้อมูลที่สูงมาก เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์มีการรับส่งสัญญาณในลักษณะของพัลส์ที่ถูกบีบอัดในโดเมนเวลามากกว่าจะเป็นรูปแบบของสัญญาณที่เป็นคลื่นไซน์ที่ถูกบีบอัดในโดเมนความถี่ เนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบมากในระดับพิโกวินาที ในโดเมนเวลาจะมีการแผ่สเปกตรัมที่กว้างมากในโดเมนความถี่ ส่วนลักษณะสัญญาณแบบคลื่นไซน์พื้นฐานแล้วจะมีการขยายในโดเมนเวลา แต่เมื่ออยู่ในโดเมนความถี่แล้วจะเป็นพัลส์ที่แคบมาก โดยความแตกต่างของการรับส่งสัญญาณทั้งสองรูปแบบนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่มีการครอบครองแบนด์วิดท์มากกว่า 500 MHz หรือมีแบนด์วิดท์มากกว่า 25% ขึ้นไปของความถี่กลางที่ใช้งาน และระบบที่เป็นการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบส่วนใหญ่จะมีการครอบครองแบนด์วิดท์น้อยกว่า 10% ของความถี่กลาง และมีการรับส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่สูงมาก ยกตัวอย่าง เช่น ระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์มีการใช้สเปกตรัมทั้งหมดจาก 3.1-10.6 GHz ซึ่งมีการใช้แบนด์วิดท์มากกว่า 100% ของความถี่กลาง ซึ่งแตกต่างจาก 802.11b ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารที่มีความถี่กลาง

อยู่ที่ 2.45 GHz และมีแบนด์วิดท์ใช้งาน 80 MHz ซึ่งระบบการสื่อสารนี้จะมีการครอบครองแบนด์วิดท์เพียง 1% ของความถี่กลาง (Ghavami, Michael, and Kohno, 2007; Ian, Matti, and Jari, 2004)



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบลักษณะสัญญาณการสื่อสารระหว่างเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์และเทคโนโลยีที่ใช้แถบความถี่แคบทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

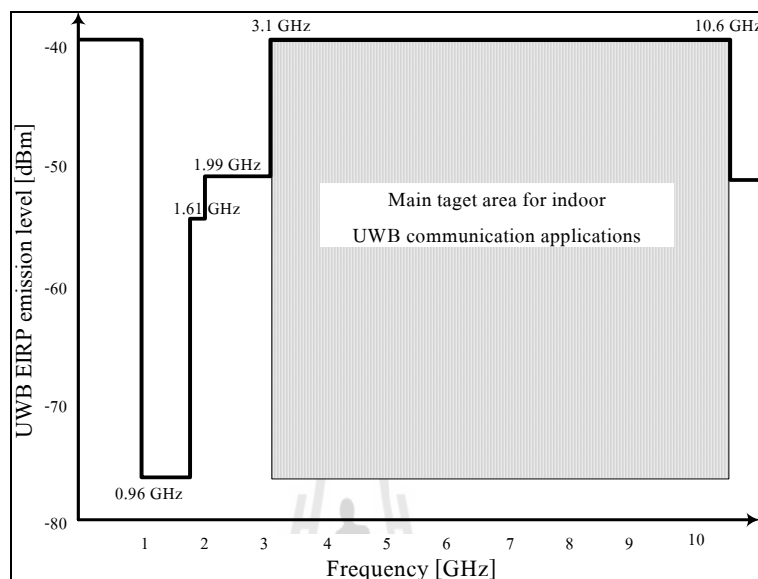
## 2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์

### 2.3.1 นิยามและข้อกำหนดเกี่ยวกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์

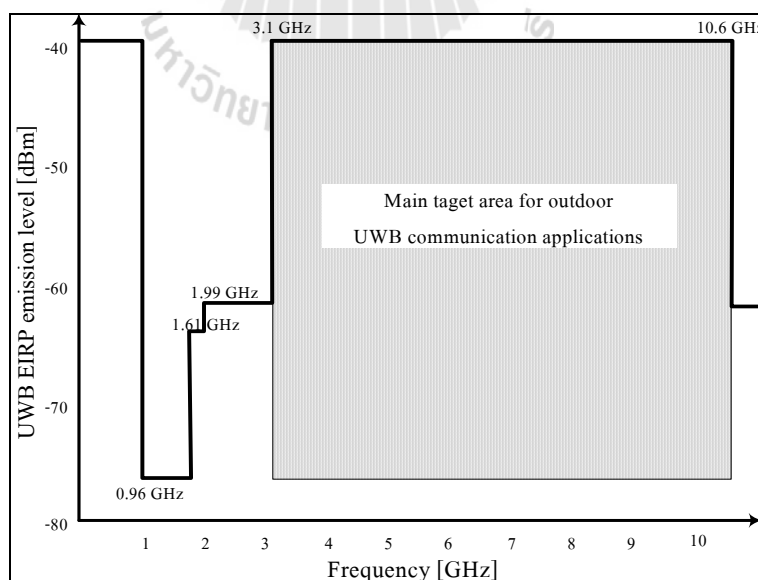
สำหรับรูปแบบสัญญาณของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ถูกกำหนดโดยองค์การกิจการโทรคมนาคม (Federal Communications Commission หรือ FCC) ซึ่งมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณมากกว่า 500 MHz หรือมากกว่า 25% ที่ค่าของความถี่กลาง และมีการรับส่งสัญญาณในรูปแบบของสัญญาณพัลส์ซึ่งมีความกว้างของพัลส์อยู่ในช่วง 100 ns – 300 ns โดยสัญญาณพัลส์ของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดนิยมใช้สัญญาณพัลส์ในรูปแบบของ เกาส์เซียนพัลส์ และ โมโนไซเคิลพัลส์ ที่มีความหนาแน่นกำลังงานเชิงสเปกตรัมต่ำมาก ซึ่งอุปกรณ์ของระบบการสื่อสารรูปแบบอื่นจะตรวจหาสัญญาณได้ยากเนื่องจากระดับสัญญาณของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์มีความใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวนพื้นหลังมาก ดังนั้นสัญญาณของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์จะมีประสิทธิภาพในเรื่องความปลอดภัยเป็นอย่างดี โดยจะมีการแฝงตัวไปกับสัญญาณรบกวนพื้นหลัง โดยหลังจากที่เทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ได้รับแรงผลักดันจากกิจการโทรคมนาคมของสหรัฐอเมริกาแล้ว จึงได้รับการจัดสรรย่านความถี่ใช้งานโดยไม่ต้องขอมีการอนุญาตของอุปกรณ์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์อยู่ในช่วง 3.1-10.6 GHz โดยมีแบนด์วิดท์ 7.5 GHz ซึ่งมีการแบ่งช่วงสเปกตรัม



ความถี่เทียบกับระดับกำลังงานสำหรับการสื่อสารทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และ รูปที่ 2.3 ตามลำดับ



รูปที่ 2.2 ช่วงสเปกตรัมของความถี่เปรียบเทียบกับระดับพลังงานสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ภายในอาคาร



รูปที่ 2.3 ช่วงสเปกตรัมของความถี่เปรียบเทียบกับระดับพลังงานสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ภายนอกอาคาร

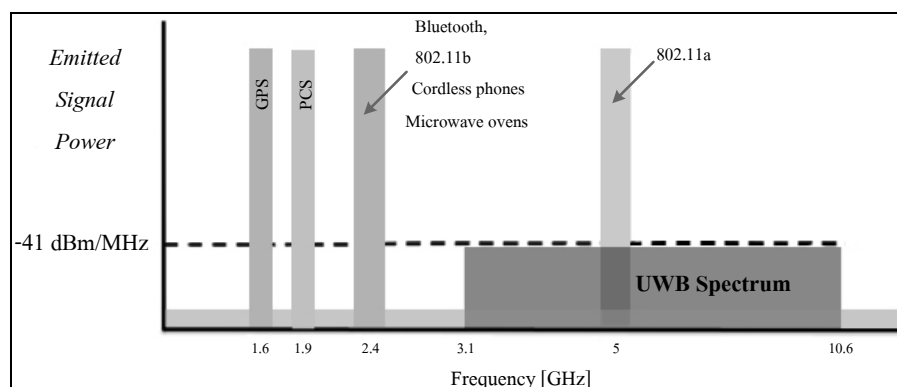
จากข้อกำหนดของ FCC ได้กำหนดช่วงความถี่ใช้งานสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ที่สามารถใช้งานได้ คือช่วงความถี่ที่มีการแผ่กระจายพลังงานออกมาต่ำกว่า -10 dB (Ian, Matti, and Jari, 2004) โดยที่ความถี่ด้านสูงกำหนดเป็น  $f_h$  ความถี่ด้านต่ำกำหนดเป็น  $f_l$  และความถี่ที่มีการแผ่กระจายพลังงานออกมาสูงสุดกำหนดเป็น  $f_m$  โดยที่ความถี่กลางกำหนดเป็น  $f_c$  ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างความถี่สูงสุดและความถี่ต่ำสุดแสดงได้ดังสมการ (2.1) มีแบนด์วิธของสัญญาณแสดงได้ดังสมการที่ (2.2) และมีอัตราส่วนของแบนด์วิธ ( $FB$ ) แสดงได้ดังสมการ (2.3)

$$f_c = \frac{f_l + f_h}{2} \quad (2.1)$$

$$B = \frac{f_h - f_l}{f_c} \quad (2.2)$$

$$FB = 2 \frac{f_h - f_l}{f_h + f_l} \quad (2.3)$$

จากข้อกำหนดของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์สามารถใช้งานด้วยแบนด์วิธที่กว้างนี้ ส่งผลให้ต้องมีการแพร่กระจายพลังงานของอุปกรณ์การสื่อสารสำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ในระดับต่ำไม่เกิน -41.25 dBm/MHz (Ghavami, Michael, and Kohno, 2007) เพื่อให้สามารถอยู่ร่วมกับระบบการสื่อสารอื่น ๆ ได้อย่างไม่มีปัญหา แสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2.4



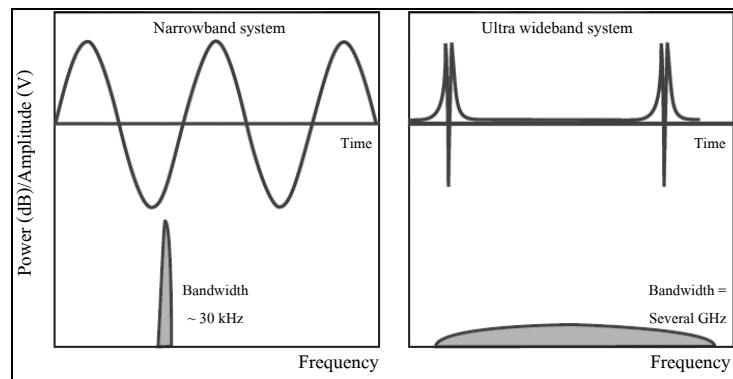
รูปที่ 2.4 ความหนาแน่นพลังงานเชิงสเปกตรัมของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์เปรียบเทียบกับเทคโนโลยีการสื่อสารรูปแบบอื่น

จากข้อกำหนดและกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นั้น นับว่าเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับนักวิจัยทุกคนที่ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวข้องกับระบบการสื่อสารของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ในทุก ๆ ด้าน เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นั้น เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารรูปแบบใหม่ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งเมื่อมีการนำมาใช้งานแล้วย่อมต้องมีการวิจัยและพัฒนาในทุกด้านที่เกี่ยวข้องกับระบบเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในส่วนของสายอากาศและวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเครื่องรับส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์

### 2.3.2 ข้อเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์กับเทคโนโลยีแบนด์แคบ

เทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์มีข้อดีหลายประการที่เหนือกว่าเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ โดยที่สัญญาณของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบนั้น ถูกกำหนดด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีแบนด์วิดท์น้อยกว่า 10% ของความถี่กลาง แต่สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์แล้วสัญญาณจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีแบนด์วิดท์มากกว่า 25% ของความถี่กลาง นอกจากนี้สัญญาณการสื่อสารสำหรับเทคโนโลยีแบบแถบความถี่แคบนั้นจะมีการมอดูเลชันด้วยคลื่นพาห์ (carrier) ที่เป็นสัญญาณรูปไซน์รวมเข้ากับข้อมูลข่าวสารที่ส่งออกไป ซึ่งเป็นผลจากลักษณะของสัญญาณที่เป็นรูปไซน์และมีการครอบครองแบนด์วิดท์ที่แคบ แต่สำหรับระบบการสื่อสารของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์แล้วสัญญาณจะถูกกำหนดด้วยรูปแบบของพัลส์ ซึ่งเป็นรูปแบบสัญญาณเฉพาะสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ โดยจะมีการพิจารณาถึงรูปแบบและรูปร่างของสัญญาณพัลส์ที่นำมาใช้เท่านั้น ไม่มีการมอดูเลตด้วยคลื่นพาห์ ซึ่งทำให้ลดความซับซ้อนของระบบลงได้อย่างมาก และถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้น้อยมาก เนื่องจากโดยส่วนมากแล้วสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนั้นจะครอบคลุมเฉพาะช่วงความถี่สเปกตรัมบางส่วนของสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์เท่านั้น เช่นในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบก็จะถูกรบกวนในช่วงความถี่แคบ ๆ เท่านั้นเมื่อเทียบกับสัญญาณตลอดช่วงแบนด์วิดท์ที่ใช้ งาน ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อ การสื่อสารของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ (Ghavami, Michael, and Kohno, 2007)

สำหรับสัญญาณของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ในโดเมนเวลาจะเป็นสัญญาณในลักษณะของพัลส์แคบ ๆ ที่ไม่มีความต่อเนื่อง โดยสัญญาณข้อมูลมีพลังงานและคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวนพื้นหลังมาก และจากสัญญาณข้อมูลมีการใช้แถบความถี่ที่กว้างมากจึงส่งผลให้สัญญาณที่อยู่ในโดเมนความถี่มีความหนาแน่นพลังงานเชิงสเปกตรัมที่ต่ำไปด้วย แต่ถึงอย่างไรก็ตามสัญญาณยังอยู่ในระดับที่มีความเป็นไปได้สำหรับการตรวจจับของอุปกรณ์การสื่อสาร โดยรูปแบบของสัญญาณสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์และเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบนั้นสามารถแสดงการเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบรูปแบบสัญญาณการสื่อสารของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์และเทคโนโลยีแบบแถบความถี่แคบทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

### 2.3.3 ข้อดีของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์

ระบบการสื่อสารของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์มีข้อดีมากกว่าระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบหลายประการ โดยเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์มีการรับส่งสัญญาณด้วยพัลส์ที่แคบอย่างยิ่ง และมีการใช้พลังงานของระบบต่ำ ซึ่งพลังงานของพัลส์นี้จะมีการแพร่กระจายตลอดย่านความถี่ที่กว้างมาก ซึ่งทนต่อสัญญาณรบกวนสูงมากเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนั้นจะครอบคลุมเฉพาะสเปกตรัมบางส่วนของสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์เท่านั้น เช่นในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนก็จะถูกรบกวนในช่วงความถี่แคบ ๆ เท่านั้นเมื่อเทียบกับแบนด์วิดท์ที่ใช้ และนอกจากนี้ยังมีผลกระทบจากสัญญาณรบกวนของอุปกรณ์การสื่อสารรูปแบบอื่นน้อยมาก โดยผลจากการที่อุปกรณ์อัลตราไวด์แบนด์ใช้สัญญาณพัลส์ที่แคบอย่างยิ่งในการสื่อสารจึงทำให้ทนต่อสัญญาณรบกวนที่มาจากหลาย ๆ ทิศทาง และสัญญาณของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์นี้จะมีระดับสัญญาณที่ใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวนพื้นหลังเป็นอย่างมากจึงไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์การสื่อสารอื่น ๆ เนื่องจากจะถูกมองว่าเป็นสัญญาณรบกวนของระบบการสื่อสารในเทคโนโลยีแบบแถบความถี่แคบ นอกจากนี้อุปกรณ์การสื่อสารสำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ยังมีการบริโภคพลังงานที่น้อยกว่าเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ เมื่อมีการพิจารณาจากการส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากอัลตราไวด์แบนด์มีความจุของช่องสัญญาณสูงมาก นอกจากนี้ยังมีข้อดีอื่น ๆ อีกเช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์มีราคาที่ถูกกว่าเนื่องจากอุปกรณ์ไม่จำเป็นต้องมีตัวช่วยขยายสัญญาณและเครื่องกำเนิดสัญญาณจากภายนอกเหมือนกับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ ซึ่งสำหรับในมุมมองของผู้ใช้และมุมมองของผู้ผลิตแล้วอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่สูงนี้เป็นสิ่งที่ดึงดูดความสนใจได้เป็นอย่างมาก เนื่องจากการมีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ใหม่ ๆ ได้

โดยความได้เปรียบของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์สามารถอธิบายได้เป็นอย่างดีด้วยสมการค่าความจุของ Shannon ซึ่งสมการนี้เป็นที่คุ้นเคยกับทุกคนที่ทำการศึกษาด้านการสื่อสารโทรคมนาคม ความจุเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากความต้องการประยุกต์ใช้งานสำหรับการส่งข้อมูลที่เป็นมัลติมีเดีย ต้องการอัตราเร็วและแบนด์วิดท์ในการรับส่งข้อมูลที่สูงมาก โดยความสัมพันธ์ของ Shannon (Ghavami, Michael, and Kohno, 2007) สามารถแสดงได้ดังสมการ (2.4)

$$C = B \log \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2.4)$$

เมื่อ  $C$  คือความจุสูงสุดของช่องสัญญาณมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที  $B$  คือแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (hertz)  $S$  คือพลังงานของสัญญาณมีหน่วยเป็นวัตต์ และ  $N$  คือพลังงานของสัญญาณรบกวนมีหน่วยเป็นวัตต์เช่นกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาสมการของ Shannon นี้แล้วสามารถอธิบายออกได้สามลักษณะสำหรับการเพิ่มความจุของช่องสัญญาณได้นั้นคือ เราสามารถเพิ่มแบนด์วิดท์ เพิ่มกำลังส่งหรือลดสัญญาณรบกวน ซึ่งค่า  $N/S$  โดยทั่วไปรู้อยู่แล้วคืออัตราส่วนของกำลังส่งสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในช่องสัญญาณ (signal to noise ratio : SNR) ซึ่งจากสมการที่ (2.4) จะเห็นว่าค่าความจุของช่องสัญญาณจะเพิ่มเป็นเชิงเส้นเมื่อเพิ่มแบนด์วิดท์ แต่จะเพิ่มเป็นลอการิทึมเมื่อทำการเพิ่มในส่วนของ  $N/S$  ช่องสัญญาณของอัลตราไวด์แบนด์นั้นมีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้งานได้สมบูรณ์และในความเป็นจริงสามารถแลกเปลี่ยนบางส่วนของแบนด์วิดท์ เพื่อทำการลดกำลังส่งของสัญญาณและสัญญาณรบกวนจากแหล่งกำเนิด ดังนั้นจากสมการของ Shannon จะเห็นได้ว่าระบบของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์นั้นมีความจุของช่องสัญญาณสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสื่อสารไร้สายรูปแบบอื่น

### 2.3.4 การประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์

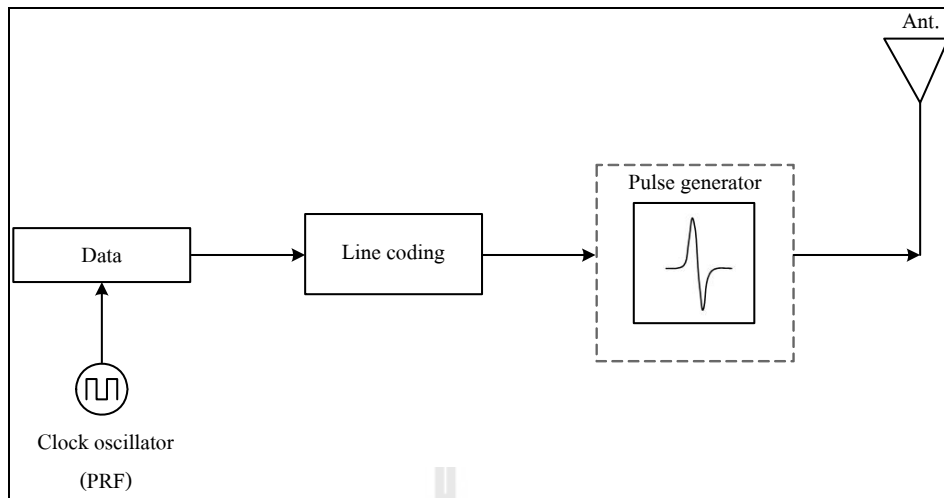
การพัฒนาการสื่อสารของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์เกิดขึ้นมากมายเนื่องจากข้อดีที่เห็นอย่างชัดเจนดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั่นคือ มีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงมาก และใช้พลังงานในระดับต่ำ โดยก่อนที่องค์การกิจการโทรคมนาคมจะมีการประกาศใช้เทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ในเชิงพาณิชย์นั้น เหตุผลหลักที่มีการคิดค้นเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ขึ้นมาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับทางการทหาร ต่อมาเมื่อมีการนำออกมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์แล้วมุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้กับการติดต่อสื่อสารภายในอาคารบ้านเรือนเป็นหลัก เช่น การเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ภายในอาคารบ้านเรือนแบบไร้สายด้วยความเร็วสูง ซึ่งเป็นการมุ่งเน้นการเชื่อมต่อด้วยโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (wireless personal area network หรือ WPAN)

โดยอยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.3a และเหมาะสำหรับผู้ใช้ที่ไม่ต้องการให้มีสายสัญญาณเชื่อมต่อจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์เชื่อมต่อ เช่น เครื่องพิมพ์ จอภาพ เม้าส์ฮาร์ดไดรฟ์ คีย์บอร์ด เป็นต้น รวมถึงเชื่อมต่ออุปกรณ์อื่น ๆ นอกเหนือจากอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เข้ามาในโครงข่ายได้ และสามารถโยกย้ายหรือปรับเปลี่ยนโครงข่ายได้โดยง่าย

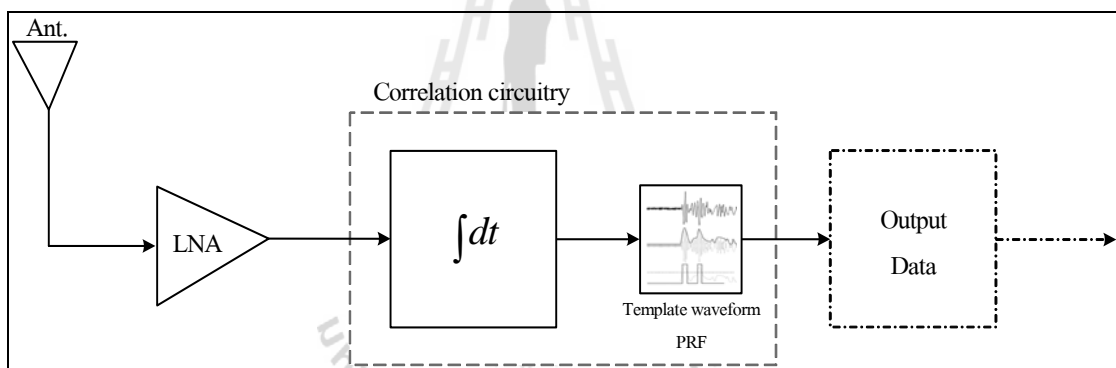
นอกจากการสร้างโครงข่ายเชื่อมต่อสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วยังสามารถประยุกต์ใช้ได้กับเทคโนโลยีอื่นอีก เช่น เทคโนโลยีที่ใช้ในการระบุสิ่งต่าง ๆ ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency identification หรือ RFID) ได้ เพราะว่ามีข้อดีในเรื่องของการใช้พลังงานในระดับต่ำดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งทำให้มีระยะเวลาการใช้งานที่ยาวนานด้วยแบตเตอรี่เพียงก้อนเดียว และเป็นการช่วยลดต้นทุนด้วย

## 2.4 โครงสร้างของระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์

ระบบการสื่อสารของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์เป็นการสื่อสารข้อมูลด้วยสัญญาณพัลส์ที่มีการใช้พลังงานในระดับต่ำมาก ซึ่งส่วนมากจะเป็นการประยุกต์ใช้กับระบบสื่อสารภายในอาคารที่มีรัศมีไม่เกิน 10 เมตร โดยการสื่อสารข้อมูลด้วยเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์มีองค์ประกอบของระบบรับส่งสัญญาณไม่ยุ่งยากซับซ้อนเหมือนกับระบบการสื่อสารของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแคบในปัจจุบันที่มีการรับส่งสัญญาณด้วยคลื่นไซน์แบบต่อเนื่อง ซึ่งมีองค์ประกอบของระบบรับส่งสัญญาณยุ่งยากซับซ้อนมากกว่า เช่น ภาคส่งจำเป็นต้องมีวงจรถยายกำลัง (power amplifier) วงจรสำหรับการสังเคราะห์ความถี่ (frequency synthesizer) วงจรรวมสัญญาณ (mixer) หรือแม้กระทั่งวงจรเฟสล็อกคูลูป (phase locked loop : PLL) ซึ่งประกอบด้วยวงจรตรวจจับเฟสหรือความถี่ (phase/frequency detector) วงจรกรอง (filter) และวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมโดยแรงดัน (voltage controlled oscillator : VCO) ส่วนที่ภาครับนั้นจำเป็นต้องมีวงจรถยายสัญญาณรบกวนต่ำ (low noise amplifier : LNA) เป็นต้น เนื่องจากส่วนประกอบของวงจรที่ได้กล่าวถึงมานี้ล้วนแต่มีความจำเป็นสำหรับเครื่องรับส่งสัญญาณโดยทั่วไป ซึ่งมีความยุ่งยากซับซ้อน อีกทั้งยังยากต่อการพัฒนาออกแบบและสร้างจึงทำให้มีต้นทุนในการผลิตสูง แต่ระบบการรับส่งสัญญาณสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นั้นจะแตกต่างจากเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแคบโดยทั่วไปคือ มีการมอดูเลตสัญญาณที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน การออกแบบและพัฒนาเครื่องรับส่งหรือเครื่องรับสัญญาณทำได้ง่าย รวมทั้งยังมีต้นทุนในการผลิตและพัฒนาที่ต่ำกว่ามาก เนื่องจากระบบเครื่องรับส่งสัญญาณของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นั้นไม่จำเป็นต้องมีส่วนประกอบต่าง ๆ ของวงจรดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างระบบเครื่องรับเครื่องรับส่งสัญญาณของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ได้เป็นแผนภาพอย่างง่ายดังรูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7 (Ian, Matti, and Jari, 2004)



รูปที่ 2.6 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องรับส่งสัญญาณสำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์

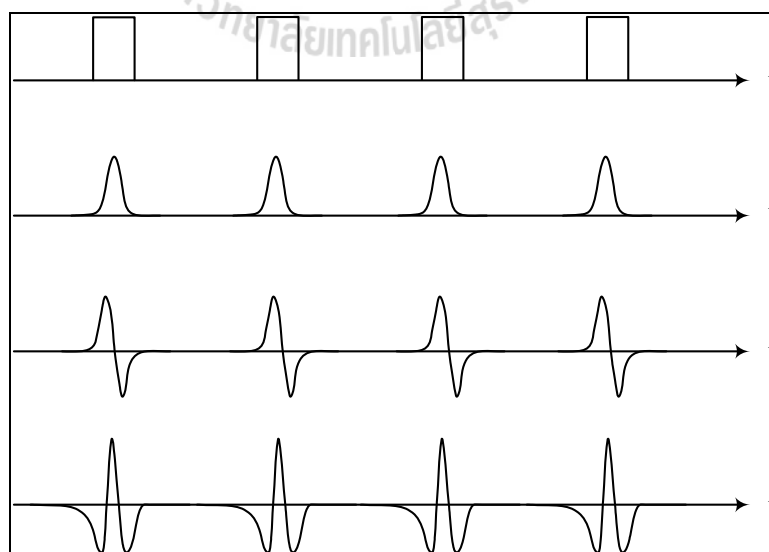


รูปที่ 2.7 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องรับสัญญาณสำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์

โดยจากรูปที่ 2.6 ได้แสดงให้เห็นว่าระบบเครื่องรับส่งสัญญาณของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นั้น มีองค์ประกอบหลักที่สำคัญคือ ส่วนทำหน้าที่สร้างสัญญาณข้อมูล ส่วนกำเนิดสัญญาณพัลส์ และสายอากาศภาคส่ง โดยส่วนที่สร้างสัญญาณข้อมูลจะประกอบด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบสี่เหลี่ยม จะเป็นตัวกำหนดความถี่ของสัญญาณนาฬิกาให้กับระบบ (pulse repetition frequency : PRF) ซึ่งการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกานี้อาจใช้การออกแบบด้วยคริสตัล (crystal) หรืออาจจะใช้การออกแบบด้วยวิธีการอื่น ๆ ส่วนต่อมาก็คือวงจรกำหนดเวลาดิจิทัลลอจิกซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมเวลาของสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่ง โดยมีการกำหนดสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่งเป็นแบบดิจิทัลและทำการเข้ารหัสสัญญาณ (line coding) หรือทำการมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัล จากนั้นสัญญาณข้อมูลที่มาดูละเอียดเสร็จแล้วจะเข้าสู่

กระบวนการกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ เพื่อกระตุ้นสายอากาศของภาคส่งแล้วส่งสัญญาณผ่านช่องทางการสื่อสารไปยังภาครับ โดยที่ภาครับของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นั้นเครื่องรับจะต้องมีความเหมาะสมกับสัญญาณจากภาคส่งที่ส่งผ่านช่องทางการสื่อสารมาและมีสัญญาณรบกวนปะปนมาด้วยระหว่างทาง ซึ่งถ้าสัญญาณที่เดินทางมาตกกระทบสายอากาศภาครับมีความเหมาะสมแล้วสัญญาณข้อมูลจะมีขนาดสูงสุดเมื่อเทียบกับสัญญาณรบกวน หรือค่าของอัตราส่วนระหว่างสัญญาณข้อมูลต่อสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio : SNR) มีค่ามากนั่นเอง และจากรูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นส่วนของภาครับนั้น มีองค์ประกอบหลักที่สำคัญคือ วงจรภาคส่วนหน้าและส่วนประมวลผลข้อมูล ซึ่งวงจรภาคส่วนหน้านั้นจะประกอบด้วยส่วนของสายอากาศ ส่วนของวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (low noise amplifier : LNA) โดยส่วนของวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำนี้อาจมีหรือไม่มีก็ได้ ต่อมาเป็นส่วนวงจรสลับพันทัน และวงจรเทียบสัพพันทันของลักษณะรูปคลื่น จากนั้นสัญญาณที่รับเข้ามาจากวงจรภาคส่วนหน้านั้นจะส่งต่อไปยังส่วนประมวลผลข้อมูลต่อไป

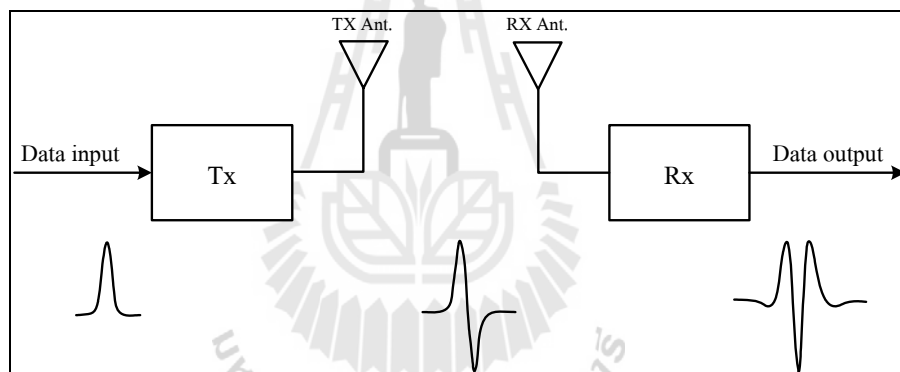
การออกแบบระบบรับส่งสัญญาณสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ที่ดีนั้นสัญญาณพัลส์จะต้องมีการบิดเบี้ยว (distortion) น้อยมากเมื่อแพร่กระจายออกจากสายอากาศของเครื่องรับส่งผ่านช่องสัญญาณการสื่อสารไปยังสายอากาศของเครื่องรับ เนื่องจากสัญญาณสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์พื้นฐานนั้นมีการรับส่งสัญญาณในลักษณะของพัลส์แคบ ๆ หรือที่เรียกว่าอิมพัลส์ โดยรูปแบบของพัลส์ที่นำมาพิจารณานั้นมีหลายรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (Ghavami, Michael, and Kohno, 2007)



รูปที่ 2.8 รูปแบบสัญญาณพัลส์ลักษณะต่าง ๆ ของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์



สำหรับการวิจัยฉบับนี้จะกล่าวถึงสัญญาณพัลส์ 3 รูปแบบ คือ สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ พัลส์แบบโมโนไซเคิล และพัลส์แบบเกาส์เชียนดับเลต ซึ่งเป็นพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบ ๆ เพียงหนึ่งพัลส์ที่มีการส่งแต่ละพัลส์แบบไม่ต่อเนื่อง แต่ละพัลส์จะมีความหนาแน่นพลังงานเชิงสเปกตรัมที่กว้างมากในโดเมนความถี่ สำหรับการรับส่งสัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นในระบบนั้นจะเป็นการพิจารณาในโดเมนเวลาเป็นหลัก โดยสัญญาณพัลส์จากวงจรแหล่งกำเนิดของเครื่องรับส่งที่มากระดัณสายอากาศเมื่อถูกกำหนดให้เป็นพัลส์แบบเกาส์ (Ghavami, Michael, and Kohno, 2007) แล้วจากนั้นเมื่อสัญญาณพัลส์ถูกส่งออกจากสายอากาศและแพร่กระจายไปในช่องสัญญาณจะถูกพิจารณาเป็นพัลส์แบบโมโนไซเคิล ซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์ที่เกิดจากการทำอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของพัลส์แบบเกาส์และหลังจากที่สัญญาณพัลส์เดินทางมาถึงที่เครื่องรับโดยตกกระทบกับสายอากาศภากรับสัญญาณพัลส์จะถูกพิจารณาเป็นพัลส์แบบเกาส์เชียนดับเลต ซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์ที่เกิดจากการทำอนุพันธ์อันดับที่สองของพัลส์แบบเกาส์และสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 รูปแบบสัญญาณพัลส์ของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ที่แพร่กระจายจากเครื่องรับส่งผ่านช่องทางการสื่อสารไปยังเครื่องรับ

## 2.5 กระบวนการวิเคราะห์สัญญาณสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์

กระบวนการและหลักการที่ใช้ในระบบการสื่อสารต่าง ๆ นั้นใช้เพื่อเป็นวิธีการพื้นฐานของการแก้ปัญหา ของนักวิทยาศาสตร์และวิศวกร รวมถึงการคิดค้นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมเพื่อหาคำตอบทางคณิตศาสตร์ที่เป็นไปได้ และสามารถอธิบายได้ทางกายภาพ ซึ่งในระบบการสื่อสารทั่วไปและการรับส่งสัญญาณที่มีการใช้แบนด์วิดท์แคบนั้นปกติแล้วจะมีการพิจารณาปัญหาทางกายภาพเท่านั้น เนื่องจากสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบนั้นมีแบนด์วิดท์ไม่กว้างมากนัก เมื่อระบบถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์กว้างจะทำให้มีปัญหาเกิดขึ้นและทำการแก้ไขได้ยากมาก ซึ่งการแก้ปัญหาของการกระตุ้นระบบด้วยสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์กว้างสามารถทำได้โดยใช้การ

วิเคราะห์ในโดเมนเวลา วิธีการแปลงลาปลาซ หรือวิธีการแปลงฟูรีเยร์ ซึ่งเป็นวิธีการที่นำมาใช้ประโยชน์ได้และมีการใช้งานมาเป็นเวลานานแล้ว ดังนั้นในระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์จึงได้นำกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้มาใช้ให้เป็นประโยชน์

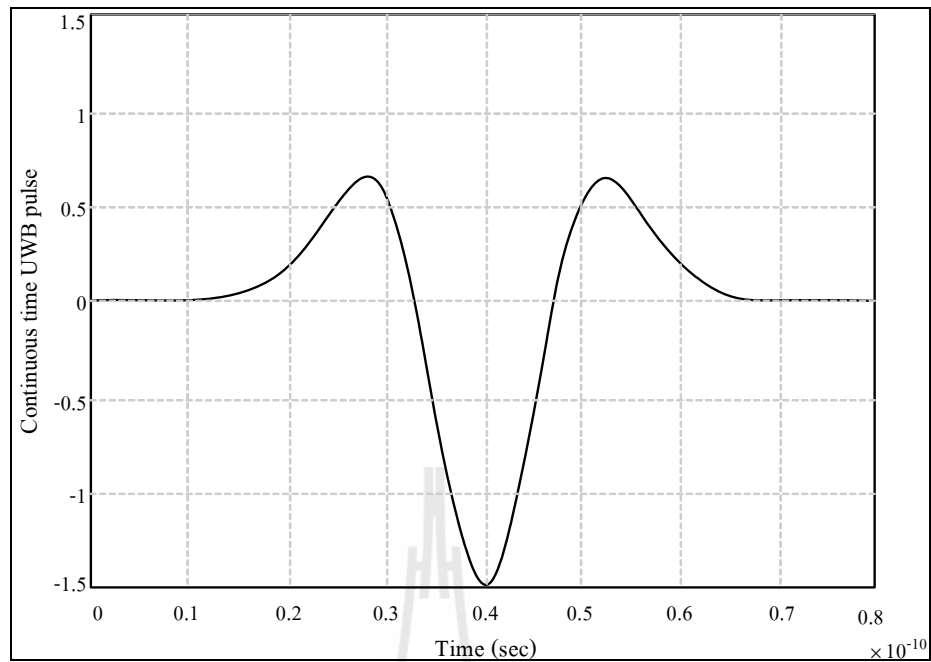
### 2.5.1 การวิเคราะห์ในโดเมนเวลา

การวิเคราะห์คุณลักษณะสัญญาณของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์สามารถที่จะใช้วิธีใดวิธีหนึ่งได้ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นทั้งโดเมนเวลาหรือโดเมนความถี่ ซึ่งแต่ละวิธีนั้นมีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป โดยในโดเมนเวลาสิ่งสำคัญคือการหาผลตอบสนองสัญญาณอิมพัลส์ของระบบ ตัวอย่างเช่น ระบบที่สามารถจะแพร่กระจายคลื่นจากสายอากาศภาคส่งผ่านช่องทางการสื่อสารไปยังสายอากาศของภาครับ ซึ่งสามารถแยกประเภทของสัญญาณออกได้เป็นหลายรูปแบบที่แตกต่างกัน คือสัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางเวลาหรือสัญญาณไม่มีความต่อเนื่องทางเวลา สัญญาณที่เป็นแอนะล็อกหรือสัญญาณที่เป็นดิจิทัล สัญญาณที่ได้มาจากการคำนวณหรือการสุ่ม รวมถึงสัญญาณที่เป็นคาบและสัญญาณที่ไม่เป็นคาบ เป็นต้น โดยสัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางเวลานั้นส่วนมากจะมีการเฉลี่ยฟังก์ชันที่เป็นค่าจริงหรือฟังก์ชันเชิงซ้อนของเวลา  $s(t)$  เมื่อ  $t$  เป็นเวลาที่ต่อเนื่องและมีการเปลี่ยนแปลงได้อย่างอิสระ ถ้า  $t$  มีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่ต่อเนื่อง เช่น  $s(t)$  มีการกำหนดเวลาที่ไม่มีค่าต่อเนื่องแล้วสัญญาณ  $s(t)$  จะเป็นสัญญาณที่ไม่มีค่าต่อเนื่องทางเวลา ซึ่งเป็นการกำหนดลำดับของฟังก์ชันเป็น  $s(n)$  เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนเต็มยกตัวอย่างเช่น

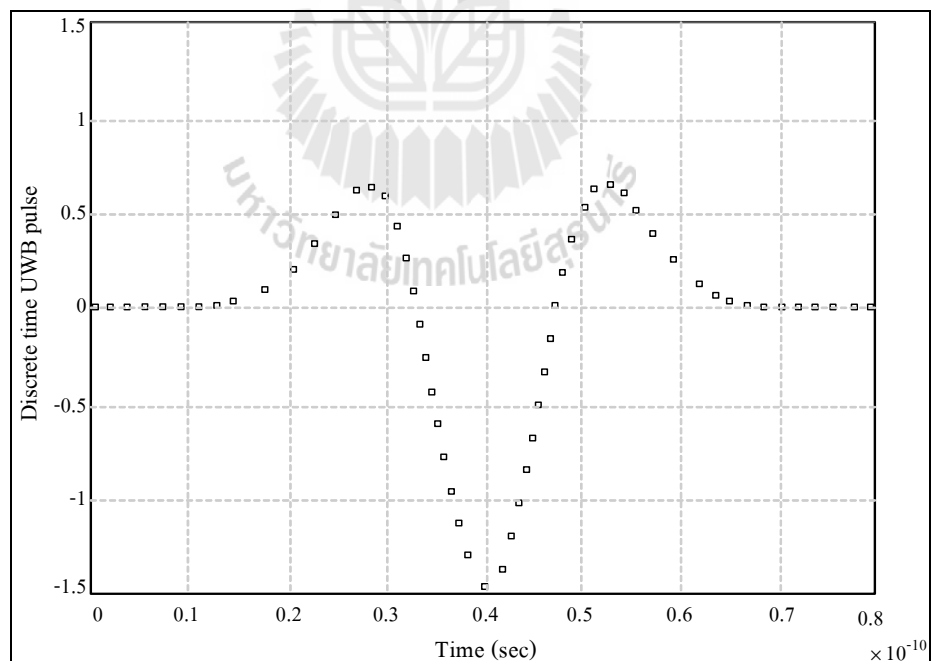
$$s(t) = (t^2 - 1)e^{-t^2/4} \quad (2.5)$$

$$s(n) = (n^2 - 1)e^{-n^2/4} \quad (2.6)$$

โดยถ้าสัญญาณมีความต่อเนื่องทางเวลาแล้ว  $s(t)$  จะสามารถนำค่าในช่วงเวลาที่ต่อเนื่องทุกค่านั้นมาพิจารณาได้ โดย  $s(t)$  จะถูกเรียกว่าสัญญาณแอนะล็อก แต่ถ้าสัญญาณที่ไม่มีค่าต่อเนื่องทางเวลา และสามารถที่จะนำค่าใดค่าหนึ่งในช่วงเวลามาพิจารณาได้นั้นคือสัญญาณดิจิทัล และเมื่อสัญญาณที่เป็นลักษณะพัลส์ของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์เป็นพัลส์ที่สั้นมาก ๆ จึงยากที่จะใช้การแปลงจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบเดิมได้ โดยจะต้องมีการเพิ่มเติมเทคนิคและวิธีการที่แตกต่างออกไป เพื่อให้ได้สัญญาณเป็นพัลส์จิ้งหะสั้น ๆ จากวงจรภาคส่วนหน้าของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งสามารถแสดงลักษณะสัญญาณพัลส์ของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ทั้งรูปแบบที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องในโดเมนเวลาได้ดังรูปที่ 2.10



ก. สัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางเวลา



ข. สัญญาณที่ไม่มีความต่อเนื่องทางเวลา

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างของสัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางเวลาและสัญญาณที่ไม่มีความต่อเนื่องทางเวลา

## 2.5.2 การวิเคราะห์ในโดเมนความถี่

ผลตอบสนองทางความถี่เป็นอัตราการขยายหรือขนาดและผลตอบสนองทางเฟสของวงจรหรือชุดทดสอบทุก ๆ ความถี่ที่สนใจ แม้การกำหนดรูปแบบของผลตอบสนองทางความถี่จะมีการพิจารณาทั้งอัตราการขยายและเฟส แต่การใช้ผลตอบสนองความถี่โดยทั่วไปแล้วส่วนใหญ่จะเป็นการแสดงความถี่หรืออัตราการขยายเท่านั้น โดยผลตอบสนองความถี่ของสัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางเวลาและสัญญาณที่ไม่มีความต่อเนื่องทางเวลาสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1) การแปลงฟูรีเยร์ เป็นการหาผลตอบสนองทางความถี่ของฟังก์ชันที่มีความต่อเนื่องของเวลา  $h(t)$  กำหนดโดย  $H(f)$  ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (2.8) และการหาผลตอบสนองทางความถี่ของฟังก์ชันที่ไม่มีความต่อเนื่องทางเวลาของลำดับ  $h(n)$  แสดงได้ดังสมการที่ (2.9)

$$H(f) = F\{h(t)\} \quad (2.7)$$

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.8)$$

$$H(e^{j\Omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n) e^{-j\Omega n} \quad (2.9)$$

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |h(n)| < \infty \quad (2.10)$$

ถ้าผลรวมคู่เข้าหากันและมีการคู่เข้าแบบสม่ำเสมอจะได้ว่าทุก ๆ ลำดับเป็นผลรวมสัมบูรณ์ ซึ่งในสมการที่ (2.9) สมนัยกับการกำหนดผลการแปลง  $z$  ของทั้งสองด้าน โดยจะแสดงให้เห็นในภายหลัง อย่างไรก็ตามจากการกำหนดการแปลงฟูรีเยร์ของสัญญาณที่ไม่มีความต่อเนื่องของเวลาโดยตรงด้วยคาบเท่ากับ  $2\pi$  ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (2.12)

$$H(e^{j(\Omega+k2\pi)}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n)e^{-j(\Omega+k2\pi)n} \quad (2.11)$$

$$H(e^{j(\Omega+k2\pi)}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n)e^{-j\Omega n} = H(e^{j\Omega}) \quad (2.12)$$

เนื่องจากผลตอบสนองความถี่ของระบบภายใต้การทดสอบในทุก ๆ ความถี่ที่เกี่ยวข้องกัน โดยการวัดนั้นจะทำการกระตุ้นสัญญาณที่มีแถบกว้างอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการกระตุ้นในทุกความถี่แบบชั่วขณะในเวลาเดียวกัน และใช้วิธีการแปลงฟูรีเยร์แบบทันทีทันใดของทุก ๆ ความถี่ในบางเวลา ซึ่งเป็นการลดสัญญาณรบกวนและความไม่เป็นเชิงเส้นที่ดีที่สุดด้วยการใช้วิธีสุ่มสัญญาณรบกวนที่มากระตุ้น แต่อาจจะต้องใช้อิมพัลส์ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

2) ฟังก์ชันถ่ายโอน เป็นการหาผลตอบสนองทางความถี่ของสัญญาณจากสมการที่ (2.13) ด้วยการแปลงฟูรีเยร์ของสัญญาณในโดเมนเวลา โดยที่  $H(f)$  เป็นการแปลงฟูรีเยร์ของ  $h(t)$  ซึ่งฟังก์ชัน  $H(f)$  เรียกว่าฟังก์ชันถ่ายโอน หรือผลตอบสนองความถี่ของระบบที่เป็นเชิงเส้น ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงของเวลาแสดงได้ดังสมการที่ (2.14)

$$y(t) = h(t) * x(t) \quad (2.13)$$

$$Y(f) = H(f)X(f) \quad (2.14)$$

3) การแปลงลาปลาซ เป็นการหาผลตอบสนองทางความถี่ของฟังก์ชัน  $h(t)$  เพียงข้างเดียวแสดงได้ดังสมการที่ (2.15)

$$H(s) = \int_0^{\infty} h(t)e^{-st} dt \quad (2.15)$$

โดยที่  $t$  เป็นจำนวนจริง และ  $s = \sigma + j\omega$  เป็นจำนวนเชิงซ้อน แต่ถ้ามีการแปลงลาปลาซทั้งสองข้างแล้วจะมีการกำหนดขอบเขตล่างของการอินทิเกรตจาก 0 ไปเป็น  $-\infty$  ซึ่งสามารถที่จะทำการวิเคราะห์โดยใช้การแปลงลาปลาซของระบบที่เป็นเชิงเส้นได้เท่านั้น อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้วในทางปฏิบัติเชิงวิศวกรรมจะมีการกำหนดให้ใช้เพียงข้างเดียวเท่านั้น เนื่องจากเมื่อต้องการหาค่าระหว่างแกนที่มี  $s = j\omega$  โดยให้  $\sigma = 0$  แล้วการแปลงลาปลาซสามารถพิจารณาได้ตามลักษณะโดยทั่วไปของการแปลงฟูรีเยร์จากเส้นจำนวนจริง (ตัวอย่างเช่นแกนของความถี่) ไปยังระนาบเชิงซ้อนได้ ซึ่งข้อดีของการแปลงลาปลาซคือสามารถวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่ที่ไม่สามารถใช้การแปลงฟูรีเยร์ได้ ดังนั้นสามารถเขียนการแปลงลาปลาซได้ดังสมการที่ (2.17)

$$H(s) = \int_0^{\infty} h(t)e^{-(\sigma + j\omega)t} dt \quad (2.16)$$

$$H(s) = \int_0^{\infty} [h(t)e^{-\sigma t}] e^{-j\omega t} dt \quad (2.17)$$

4) การแปลง  $z$  เป็นการหาผลตอบสนองทางความถี่ของสัญญาณเหมือนกับการแปลงลาปลาซ เนื่องจากการแปลง  $z$  เป็นการวิเคราะห์ลักษณะสัญญาณทางเวลาที่ไม่ต่อเนื่องคล้ายกับการแปลงลาปลาซ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่จำเป็นอย่างยิ่งในทางคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบและวิเคราะห์สัญญาณของระบบ ซึ่งลักษณะโดยทั่วไปของการแปลงฟูริเยร์ของสัญญาณในการทดลอง เหมือนกับการแปลงลาปลาซในส่วนที่ทำให้เข้าใจพฤติกรรมแบบชั่วขณะของการตอบสนองของสัญญาณอิมพัลส์ ความมีสถานะที่คงตัว และความมีเสถียรภาพของระบบที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา ซึ่งความเข้าใจเกี่ยวกับการแปลง  $z$  นี้เป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณของเทคโนโลยี อัลตราไวด์แบนด์ โดยการแปลง  $z$  นั้นจะกระทำทั้งสองด้านของสัญญาณ  $h(n)$  ที่ไม่มีความต่อเนื่องทางเวลาแสดงได้ดังสมการที่ (2.18)

$$H(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n)z^{-n} \quad (2.18)$$

เมื่อ  $z$  เป็นจำนวนเชิงซ้อนที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากการกำหนดรูปแบบของสัญญาณเริ่มต้นที่เวลา  $n = 0$  และเนื่องจากตัวกรองสัญญาณทุกตัวถูกสมมติขึ้นมา ซึ่งขอบล่างของผลรวมจะให้ เป็น 0 มากกว่าที่จะเป็น  $-\infty$  และผลที่ได้ออกมา นั้นจะกลายเป็นการแปลง  $z$  เพียงด้านเดียวนั่นเอง

5) ความสัมพันธ์ระหว่างการแปลงลาปลาซ การแปลงฟูริเยร์ และการแปลง  $z$  โดยการแปลงลาปลาซ การแปลงฟูริเยร์ และการแปลง  $z$  เป็นความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกัน เนื่องจากสัญญาณที่อยู่ทางด้านขวามือของการแปลงลาปลาซเป็นการแปลงฟูริเยร์โดยทั่วไปของสัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางเวลา และที่อยู่ทางด้านขวามือของการแปลง  $z$  เป็นการแปลงฟูริเยร์โดยทั่วไปของสัญญาณที่ไม่มีความต่อเนื่องทางเวลา ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าการแปลง  $z$  สามารถได้มาจากการแปลงลาปลาซของสัญญาณที่ไม่มีความต่อเนื่องทางเวลา ซึ่งต่อไปนี้เป็น การแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างการแปลง  $z$  และการแปลงฟูริเยร์ ดังสมการที่ (2.19) โดยเมื่อ  $s = \sigma + j\omega$  และ  $\omega = 2\pi f$  แล้วสามารถที่จะเขียนการแปลง  $z$  ได้ดังสมการที่ (2.20) และเมื่อให้  $r = e^{\sigma} = 1$  แล้วจะวิเคราะห์สัญญาณได้ดังสมการที่ (2.21)

$$z = e^s = e^{\sigma} e^{j\omega} = re^{j2\pi f} \quad (2.19)$$

$$H(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n)r^{-n} e^{-j2\pi n f} \quad (2.20)$$

$$H(z = e^{j2\pi f}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n)e^{-j2\pi n f} \quad (2.21)$$

## 2.6 ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์โดยพื้นฐานสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์

จากจุดประสงค์ของการพัฒนาระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์พบว่าสิ่งที่แตกต่างจากการสื่อสารแบนด์แคบคือ รูปแบบของสัญญาณ เนื่องจากสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารสำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์เป็นลักษณะของพัลส์ โดยรูปแบบของพัลส์ที่นิยมนำมาใช้พิจารณาสำหรับการรับส่งข้อมูลข่าวสารนั้นมีสามรูปแบบ คือ เกาส์เซียนพัลส์ เกาส์เซียนโมโนไซเคิลพัลส์ และเกาส์เซียนดับเลตติ้งที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

### 2.6.1 เกาส์เซียนพัลส์

โดยทั่วไปแล้วสัญญาณพัลส์ที่นิยมนำมาพิจารณาเป็นอันดับแรกสำหรับการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ คือเกาส์เซียนพัลส์เนื่องจากมีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ซับซ้อนมากนัก และสามารถกำเนิดสัญญาณเกาส์เซียนพัลส์นี้ได้ง่าย ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.22)

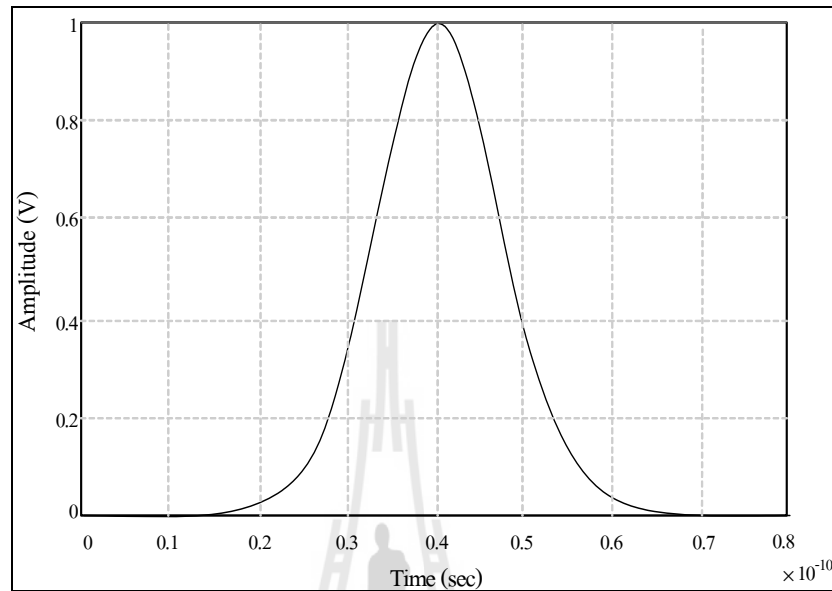
$$y_{g_1}(t) = A_1 e^{-(t/\tau)^2} \quad (2.22)$$

เมื่อ  $t$  คือช่วงเวลา โดยที่  $-\infty < t < \infty$  มี  $A_1$  เป็นแอมพลิจูดของเกาส์เซียนพัลส์ และ  $\tau$  คือความกว้างของพัลส์ ซึ่งสามารถกำหนดได้โดยให้  $\tau = \sigma \cdot 2\pi$  เมื่อ  $\sigma$  คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเกาส์เซียนพัลส์ และจากสมการที่ (2.22) เมื่อพิจารณาลักษณะรูปร่างของพัลส์ในโดเมนเวลาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งเป็นการพิจารณาลักษณะของสัญญาณเทียบกับขนาด และเมื่อพิจารณาในโดเมนความถี่สามารถแปลงฟูริเยร์ของสมการที่ (2.22) ได้ดังสมการที่ (2.25) ซึ่งจะมีการแผ่สเปกตรัมสัญญาณในรูปของพลังงานเทียบกับความถี่แสดงได้ดังรูปที่ 2.12

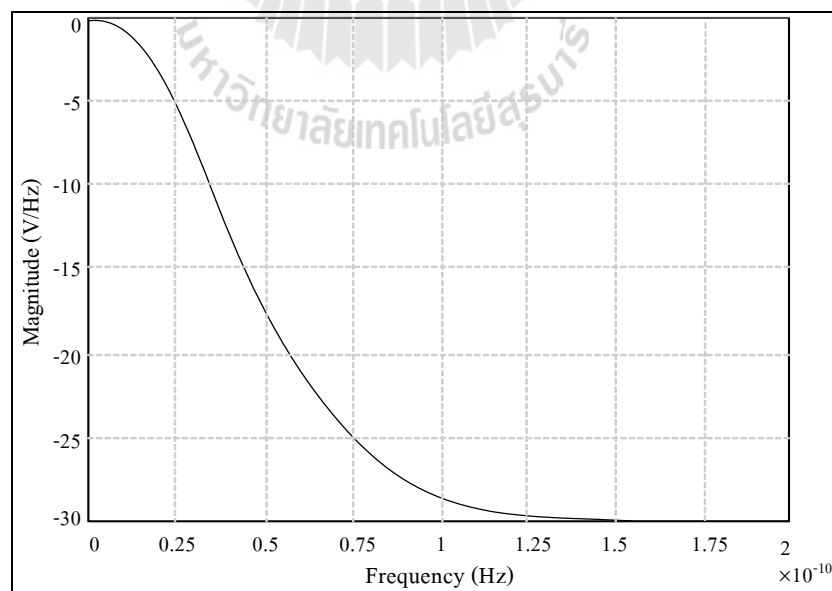
$$Y_{g_1}(f) = F\{y_{g_1}(t)\} \quad (2.23)$$

$$Y_{g_1}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} A_1 e^{-(t/\tau)^2} e^{-j2\pi f t} dt \quad (2.24)$$

$$Y_{g_1}(f) = A_1 \tau \sqrt{\pi} e^{-(\pi \tau f)^2} \quad (2.25)$$



รูปที่ 2.11 สัญญาณเกาส์เซียนพัลส์ที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์เมื่อพิจารณาในโดเมนเวลา



รูปที่ 2.12 สัญญาณเกาส์เซียนพัลส์ที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์เมื่อพิจารณาในโดเมนความถี่



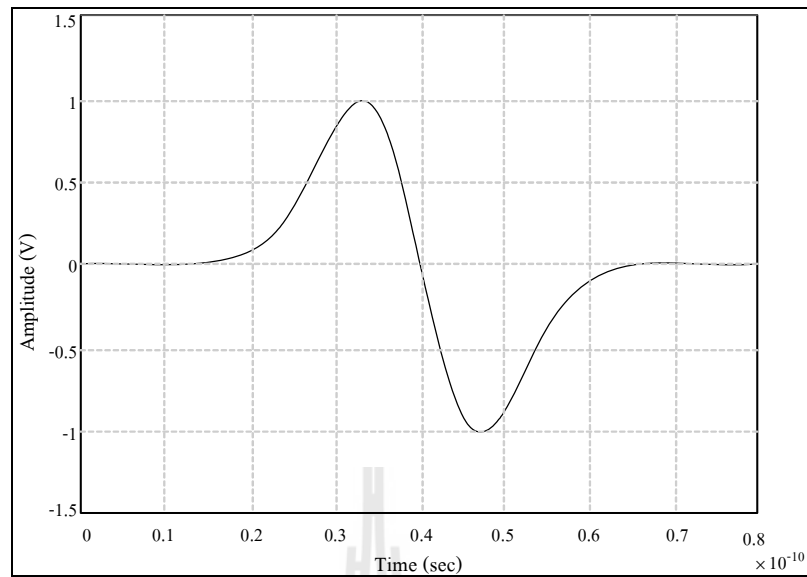
### 2.6.2 เกาส์เซียนโมโนไซเคลพัลส์

รูปแบบสัญญาณที่เป็นเกาส์เซียนพัลส์จากสมการที่ (2.22) เมื่อพิจารณาในโดเมนความถี่แล้วจะเห็นว่าที่ความถี่ต่ำนั้นสัญญาณจะมีส่วนประกอบของกระแสตรง (DC component) ซึ่งไม่สามารถส่งสัญญาณผ่านสายอากาศออกไปได้ จึงไม่เหมาะกับการนำมาใช้สำหรับการรับส่งสัญญาณของระบบที่มีสายอากาศเป็นส่วนประกอบ แต่จะมีประโยชน์ในส่วนของกำเนิดสัญญาณพัลส์เนื่องจากสามารถทำได้ง่าย ซึ่งสัญญาณพัลส์ที่นิยมนำมาใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ เป็นสัญญาณพัลส์อีกรูปแบบหนึ่ง que เรียกว่าเกาส์เซียนโมโนไซเคลพัลส์ เนื่องจากเมื่อพิจารณาในโดเมนความถี่แล้วจะไม่มีส่วนประกอบของกระแสตรง ซึ่งสามารถสร้างพัลส์รูปแบบนี้ได้โดยการนำเกาส์เซียนพัลส์มาผ่านตัวกรองความถี่สูงเพื่อกำเนิดสัญญาณพัลส์ดังกล่าว ซึ่งการกระทำของตัวกรองความถี่สูงนี้เป็นการนำสมการที่ (2.22) มาทำอนุพันธ์นั่นเอง และผลจากการทำอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของเกาส์เซียนพัลส์ทำให้ได้สัญญาณเกาส์เซียนโมโนไซเคลพัลส์ ดังสมการที่ (2.26)

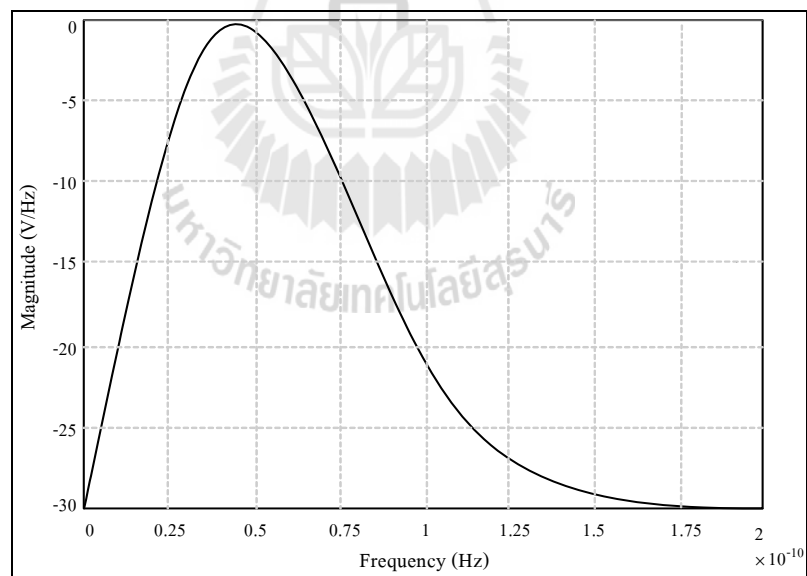
$$y_{g_2}(t) = A_2 \frac{-2t}{\tau^2} e^{-(t/\tau)^2} \quad (2.26)$$

เมื่อ  $t$  คือช่วงเวลาของสัญญาณพัลส์ โดยที่  $-\infty < t < \infty$  และ  $A_2$  เป็นแอมพลิจูดของสัญญาณแบบเกาส์เซียนโมโนไซเคลพัลส์ โดยสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนโมโนไซเคลพัลส์นี้สามารถสังเกตได้ว่าการตัดผ่านจุดศูนย์เพียงหนึ่งจุดเท่านั้น ซึ่งจุดตัดผ่านศูนย์นี้จะเพิ่มเข้ามาเป็นจำนวนเท่ากับอันดับของการทำอนุพันธ์ของสัญญาณ โดยความกว้างของพัลส์นั้นมีค่าเท่ากับ  $\tau$  คงที่ และในขณะเดียวกันการเพิ่มอันดับของอนุพันธ์จะทำให้อัตราส่วนของแบนด์วิดท์ลดลงด้วย แต่ความถี่กลางจะเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถแสดงลักษณะรูปร่างของสัญญาณเกาส์เซียนโมโนไซเคลพัลส์ในโดเมนเวลาได้ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งเป็นการพิจารณาลักษณะของสัญญาณเทียบกับขนาด ณ เวลาหนึ่ง ๆ เช่นเดียวกับสัญญาณแบบเกาส์เซียนพัลส์ แต่เมื่อนำสัญญาณเกาส์เซียนโมโนไซเคลพัลส์ในโดเมนเวลามาพิจารณาในโดเมนความถี่ด้วยแปลงฟูริเยร์ของสมการที่ (2.26) ได้ดังสมการที่ (2.27) โดยสัญญาณเกาส์เซียนโมโนไซเคลพัลส์นี้จะมีการแผ่สเปกตรัมสัญญาณในรูปของพลังงานเทียบกับความถี่แสดงได้ดังรูปที่ 2.14

$$Y_{g_2}(f) = A_2 \tau \sqrt{\pi} (j2\pi f) e^{-(\pi f)^2} \quad (2.27)$$



รูปที่ 2.13 สัญญาณเกาส์เซียนโมโนไซเคิลพัลส์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์เมื่อพิจารณาในโดเมนเวลา



รูปที่ 2.14 สัญญาณเกาส์เซียนโมโนไซเคิลพัลส์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์เมื่อพิจารณาในโดเมนความถี่

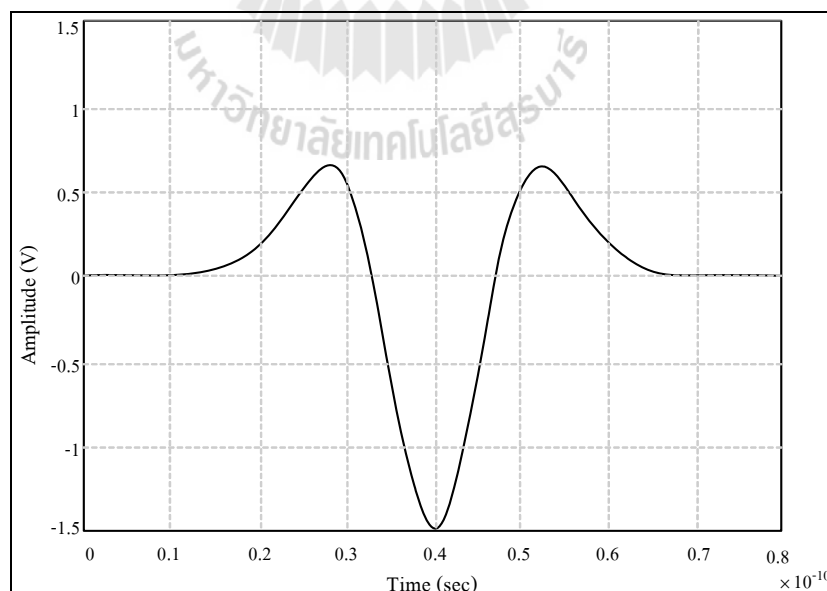
จากรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นการแผ่สเปกตรัมของสัญญาณเกาส์เซียนโมโนไซเคิลพัลส์ในโดเมนความถี่ ซึ่งพบว่าสัญญาณไม่มีส่วนประกอบของ DC เหมือนกับเกาส์เซียนพัลส์

### 2.6.3 เกาส์เซียนดับเลตพัลส์

นอกจากรูปแบบสัญญาณที่เป็นเกาส์เซียนพัลส์และเกาส์เซียนโมโนไซเคิลพัลส์แล้ว ยังมีพัลส์อีกรูปแบบหนึ่งที่มีการกล่าวถึงสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ นั่นคือพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเลต ซึ่งสามารถสร้างพัลส์รูปแบบนี้ได้โดยการนำเกาส์เซียนพัลส์มาผ่านตัวกรองความถี่สูงสองตัวเพื่อกำหนดสัญญาณพัลส์ดังกล่าว โดยนำสมการที่ (2.22) มาทำอนุพันธ์อันดับที่สอง และผลจากการทำอนุพันธ์อันดับที่สองนี้ทำให้ได้สัญญาณเกาส์เซียนดับเลตพัลส์ ดังสมการที่ (2.28)

$$y_{g_3}(t) = A_3 \frac{-2}{\tau^2} \left( 1 - \frac{2t^2}{\tau^2} \right) e^{-t/\tau} \quad (2.28)$$

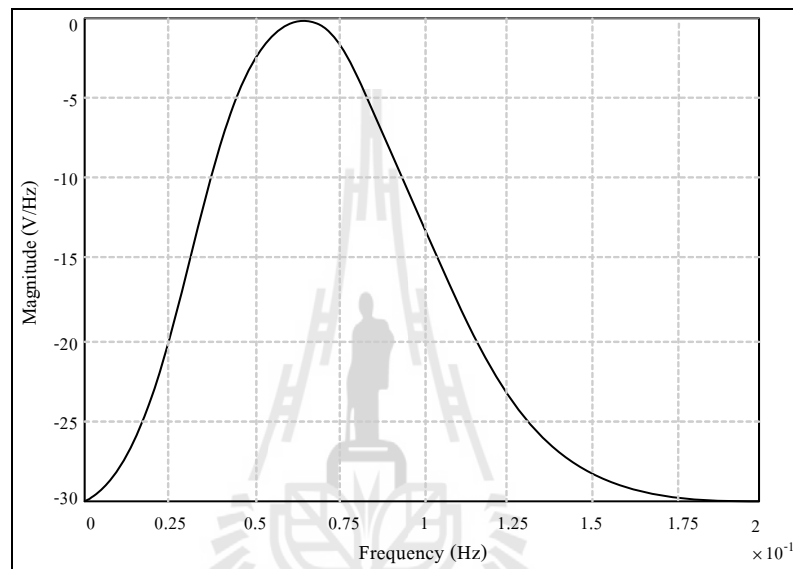
เมื่อ  $t$  คือช่วงเวลาโดยที่  $-\infty < t < \infty$  และ  $A_3$  เป็นแอมพลิจูดของเกาส์เซียนดับเลตพัลส์และเกาส์เซียนดับเลตนี้สามารถสังเกตได้ว่าการตัดผ่านจุดศูนย์สองจุดเท่ากับจำนวนอันดับของการทำอนุพันธ์ โดยความกว้างของพัลส์มีค่าเท่ากับ  $\tau$  คงที่ และการเพิ่มอันดับของอนุพันธ์นี้จะทำให้อัตราส่วนของแบนด์วิดท์ลดลงอีก ขณะที่ความถี่กลางนั้นเพิ่มขึ้น สามารถแสดงลักษณะรูปร่างของสัญญาณเกาส์เซียนดับเลตพัลส์ในโดเมนเวลาได้ดังรูปที่ 2.15 และ รูปที่ 2.13 ซึ่งเป็นการพิจารณาลักษณะของสัญญาณเทียบกับขนาดเช่นเดียวกับสัญญาณแบบเกาส์เซียนพัลส์



รูปที่ 2.15 สัญญาณเกาส์เซียนดับเลตพัลส์ที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์เมื่อพิจารณาในโดเมนเวลา

เมื่อนำสัญญาณเกาส์เซียนดับเลตพัลส์ใน โดเมนเวลาจากรูปที่ 2.15 มาพิจารณาใน โดเมนความถี่ด้วยแปลงฟูริเยร์ของสมการที่ (2.28) ได้ตั้งสมการที่ (2.29) โดยเกาส์เซียนดับเลตพัลส์ นี้จะมีการแผ่สเปกตรัมสัญญาณในรูปของพลังงานเทียบกับความถี่แสดงได้ดังรูปที่ 2.16

$$Y_{g_2}(f) = A_3 \tau \sqrt{\pi} (j2\pi f)^2 e^{-(\pi \tau f)^2} \quad (2.29)$$



รูปที่ 2.16 สัญญาณเกาส์เซียนดับเลตพัลส์ที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์เมื่อพิจารณาในโดเมนความถี่

โดยจากรูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นการแผ่สเปกตรัมในโดเมนความถี่ของสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเลต ซึ่งไม่มีส่วนประกอบของ DC เช่นเดียวกับสัญญาณเกาส์เซียนโมโนไซเคิลพัลส์ แต่ค่าความถี่กลางจะเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมตามอันดับของการทำอนุพันธ์ประกอบกับแบนด์วิดท์ของสัญญาณลดน้อยลง

## 2.7 ทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศ

ในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นสายอากาศมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นตัวแพร่กระจายคลื่น ซึ่งการรับส่งสัญญาณของระบบสื่อสารไร้สายจะมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด นั้นขึ้นอยู่กับสายอากาศด้วยส่วนหนึ่ง โดยเฉพาะสายอากาศที่ใช้สำหรับการสื่อสารของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ซึ่งต้องมีแถบความถี่กว้าง เพื่อรองรับการรับส่งข้อมูลในยุคปัจจุบันที่เป็น

มัลติมิเดีย ซึ่งปกคิสาอากาศที่ถูกจัดให้เป็นสายอากาศแถบกว้างนั้นจะต้องมีความกว้างแถบมากกว่า 10% ขึ้นไป ซึ่งการอธิบายพฤติกรรมของสายอากาศตัวใดตัวหนึ่งนั้นจำเป็นต้องทราบค่านิยามของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศเสียก่อน นั่นคือค่าของการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (return loss) อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ (impedance bandwidth) แบบรูปการแผ่กระจายพลังงาน (radiation pattern) อัตราขยาย (gain) ของสายอากาศ ซึ่งทุก ๆ ปัจจัยที่กล่าวมาแล้วนั้นคือสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการพิจารณาคุณลักษณะของสายอากาศ ซึ่งสำหรับการออกแบบสายอากาศหรือการเลือกใช้สายอากาศให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน โดยทั่วไปแล้วส่วนมากสิ่งที่เป็นปัจจัยพื้นฐานของการพิจารณาสายอากาศ คือ ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ อัตราขยาย และแบบรูปการแผ่กระจายพลังงาน

### 2.7.1 การสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ

การสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับนั้นเป็นตัวบ่งบอกถึงค่าของแบนด์วิดท์สำหรับสายอากาศที่มีการแมตซ์อย่างเพียงพอกับสายส่ง เช่น 10% หรือมากกว่า ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงสัญญาณที่สูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเมื่อป้อนพลังงานให้กับสายอากาศ รวมทั้งเป็นการบ่งบอกถึงค่าคุณลักษณะของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (VSWR) ที่สัมพันธ์กับค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ตลอดจนความถี่ที่สนใจ โดยค่า VSWR และค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ( $\Gamma$ ) ซึ่งเป็นการกำหนดอัตราส่วนระหว่างคลื่นที่สะท้อนกลับ ( $V_0^-$ ) กับคลื่นที่ตกกระทบ ( $V_0^+$ ) ที่โหลดของสายส่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.30

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_{line} - Z_{load}}{Z_{line} + Z_{load}} \quad (2.30)$$

โดยที่  $Z_{line}$  และ  $Z_{load}$  เป็นอิมพีแดนซ์ของสายส่งและอิมพีแดนซ์ของโหลด (สายอากาศ) ซึ่งแรงดันและกระแสที่ผ่านสายส่งแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V(z) = V_0^+ e^{-j\beta z} + V_0^- e^{j\beta z} = V_0^+ (e^{-j\beta z} + \Gamma e^{j\beta z}) \quad (2.31)$$

$$I(z) = \frac{1}{Z_0} (V_0^+ e^{-j\beta z} - V_0^- e^{j\beta z}) = \frac{V_0^+}{Z_0} (e^{-j\beta z} - \Gamma e^{j\beta z}) \quad (2.32)$$

$$\text{เมื่อ } \beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน  $\Gamma$  จะมีค่าเท่ากับพารามิเตอร์  $S_{11}$  ของเมตริกซ์การกระจาย (scattering matrix) และกรณีที่มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่สมบูรณ์แบบจะทำให้  $\Gamma = 0$  และให้การแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่แย่ที่สุดมีค่า  $\Gamma = -1$  หรือ  $1$  ซึ่งเหมือนกับความสัมพันธ์ของค่าอิมพีแดนซ์ที่โหลดเมื่อมีการลัดวงจรหรือเปิดวงจร และพลังงานที่มีการสะท้อนกลับที่จุดเชื่อมต่อของสายอากาศนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่สัมพันธ์กับการแมตซ์อิมพีแดนซ์ โดยพลังงานของช่วงเวลาเฉลี่ยเป็นการวัดไปยังสายส่งตามปกติที่มีอิทธิพลกับค่าพลังงานเฉลี่ยสุทธิที่ส่งไปยังโหลด และพลังงานเฉลี่ยที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการที่ (2.33)

$$P_{ave}^i = \frac{|V_0^+|^2}{2Z_0} \quad (2.33)$$

โดยพลังงานที่สะท้อนกลับเป็นสัดส่วนกับพลังงานที่เกิดขึ้น โดยคูณกับตัวประกอบของ  $|\Gamma|^2$  แสดงได้ดังสมการที่ (2.34) และค่าพลังงานเฉลี่ยสุทธิที่ส่งไปยังโหลด จะเป็นผลรวมของพลังงานที่เกิดขึ้นและพลังงานเฉลี่ยที่สะท้อนกลับดังสมการที่ (2.35)

$$P_{ave}^r = -|\Gamma|^2 \frac{|V_0^+|^2}{2Z_0} \quad (2.34)$$

$$P_{ave} = \frac{|V_0^+|^2}{2Z_0} [1 - |\Gamma|^2] \quad (2.35)$$

เนื่องจากพลังงานที่ส่งไปยังโหลดเป็นสัดส่วนกับ  $(1 - |\Gamma|^2)$  โดยค่าที่สามารถยอมรับได้ของ  $\Gamma$  เพียงแค่ 10 % เท่านั้น จึงจะสามารถคำนวณค่าพลังงานที่สะท้อนกลับได้ และส่งผลให้  $\Gamma$  มีค่าเท่ากับ 0.3162 เมื่อโหลดไม่แมตซ์กับสายส่งแล้วจะเกิดการสะท้อนกลับจากโหลดไปยังแหล่งจ่าย ซึ่งเกิดเป็นคลื่นนิ่งในสายส่ง โดยการวัดค่า VSWR นั้นเป็นอัตราส่วนของแอมพลิจูดสูงสุดของคลื่นนิ่งกับแอมพลิจูดต่ำสุดของคลื่นนิ่ง โดยค่าที่ยอมรับได้ของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง คือ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.0 โดยค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.36)

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.36)$$

ต่อไปเป็นการพิจารณาค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับกลับของสายอากาศ ซึ่งเป็นการวัดคุณลักษณะของการแมตซ์อิมพีแดนซ์อีกแบบหนึ่ง โดยมีความสัมพันธ์เหมือนกับค่าของ  $\Gamma$  หรือค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง โดยค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศคำนวณได้จากสมการที่ 2.37

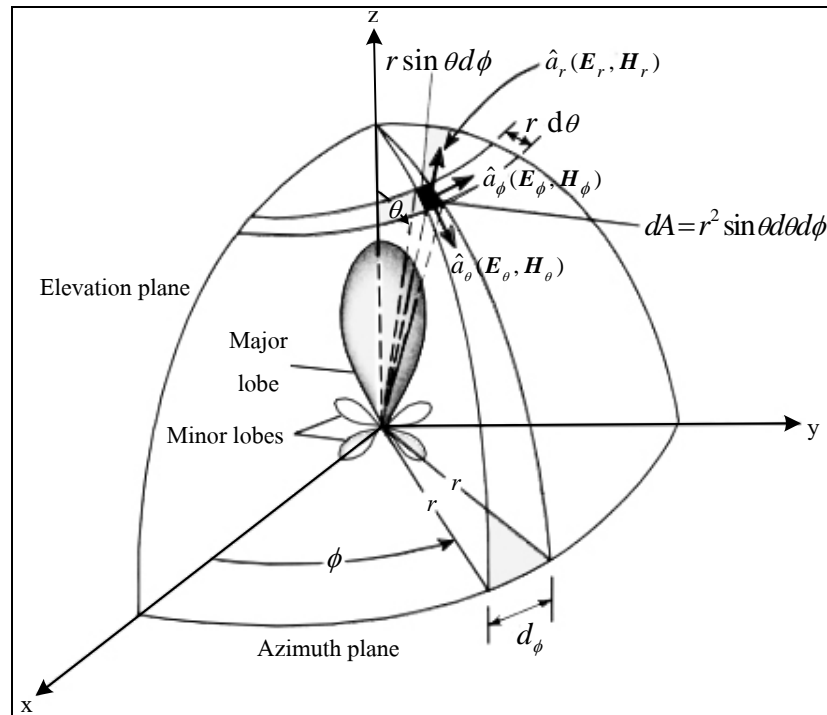
$$\text{Return Loss} = -10 \log |S_{11}|^2 = -20 \log |\Gamma| \quad (2.37)$$

เนื่องจากการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ดีนั้นเป็นการบ่งบอกถึงค่าการสูญเสียย้อนกลับต้องน้อยกว่า -10 dB ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสายอากาศที่ดีนั้นจำเป็นต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนน้อยกว่า 0.3162 มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งน้อยกว่า 2 และมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB

### 2.7.2 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงาน

คุณลักษณะสำคัญอีกประการหนึ่งที่สำคัญสำหรับการอธิบายคุณลักษณะของสายอากาศรูปแบบต่าง ๆ นั่นคือแบบรูปการแผ่กระจายพลังงาน (radiation pattern) เนื่องจากแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศ คือ รูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติการแผ่กระจายพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพิกัดสเปซ (space coordinates function) ของค่าความแรงของสนาม (field strength) เฟส (phase) หรือ โพลาริเซชัน (polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงคุณสมบัติของสายอากาศในรูปของพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งในสามมิติโดยมีรัศมีคงที่ ซึ่งมีการใช้เส้นเพื่อแสดงพลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่ โดยมีชื่อเรียกว่า แบบรูปพลังงาน (power pattern) ของสายอากาศ และรูปภาพที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าในทิศทางต่าง ๆ ที่มีรัศมีคงที่ มีชื่อเรียกว่า แบบรูปสนาม (field pattern) ของสายอากาศ โดยระบบพิกัดที่นิยมนำมาใช้สำหรับการแสดงคุณสมบัติของการแผ่กระจายพลังงานของคลื่นนั้นจะนิยมพิจารณาในพิกัดทรงกลม เนื่องจากแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในสามมิติเป็นการวัดในระบบของพิกัดทรงกลม ซึ่งเป็นการอธิบายความสัมพันธ์ของความเข้มการแผ่กระจายพลังงานในสนามระยะไกลที่ล้อมรอบสายอากาศในลักษณะที่เป็นทรงกลม โดยในระบบพิกัดของทรงกลม ระนาบ x-z (ทำการวัดโดยเปลี่ยนแปลง  $\theta$  เมื่อ  $\phi = 0^\circ$ ) เป็นการชี้บ่งบอกถึงระนาบมุมเงย ส่วนระนาบ x-y (ทำการวัดโดยเปลี่ยนแปลง  $\phi$  เมื่อ  $\theta = 90^\circ$ ) เป็นการชี้บ่งบอกถึงระนาบมุมแอซิมัท โดยในระนาบของมุมเงยนั้นจะมีเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าอยู่ (E-plane) และมีทิศทางของการแผ่กระจายพลังงานสูงสุด ส่วนในระนาบของแอซิมัทนั้นจะมีเวกเตอร์ของสนามแม่เหล็กอยู่ (H-plane) และมีทิศทางของการแผ่

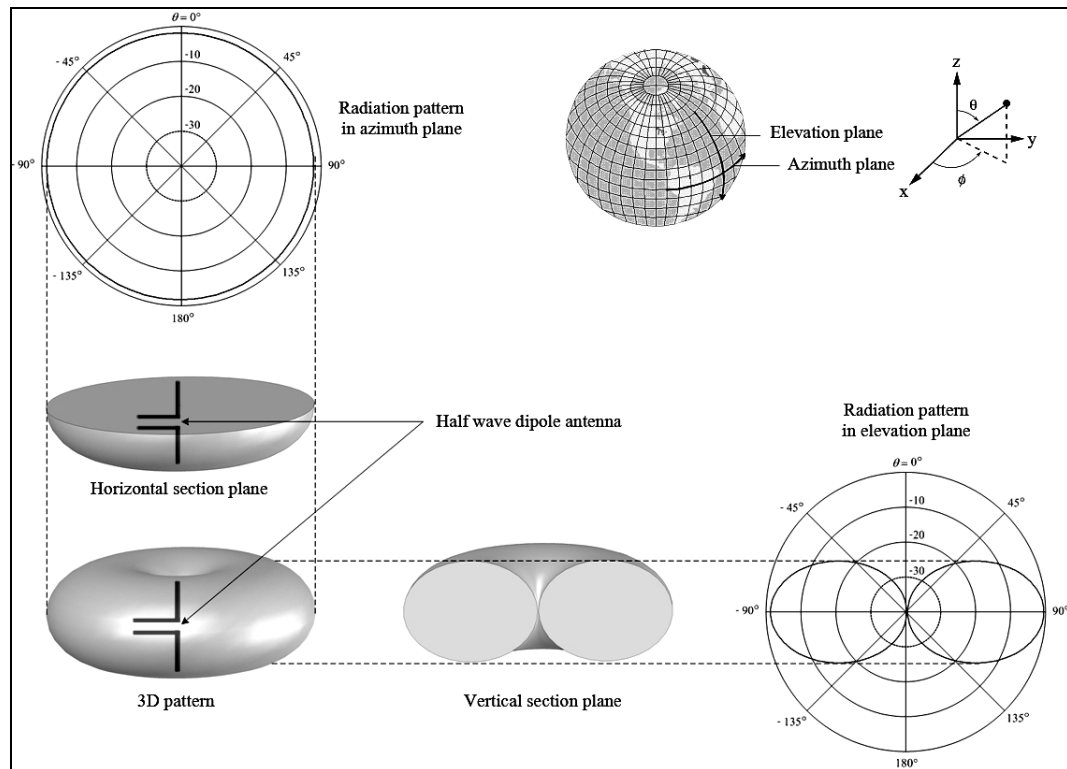
กระจายพลังงานสูงสุด ซึ่งแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานทั้งสองระนาบนั้นเป็นการพล็อตในเชิงขั้ว โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่า  $\theta$  หรือ  $\phi$  และคงที่ค่า  $\phi$  และ  $\theta$  ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงระบบพิกัดที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแผ่กระจายพลังงานของคลื่น

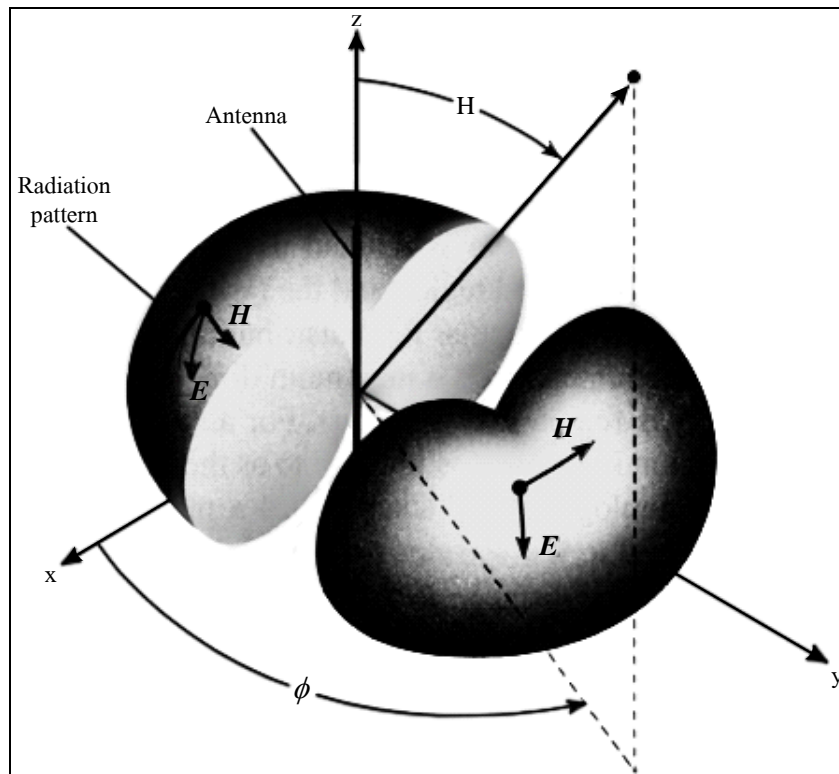
ซึ่งการวิเคราะห์คุณลักษณะในเชิงขั้วของสายอากาศเป็นการแสดงแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศ โดยให้ระนาบแอมซิมัทคงที่และทำการเปลี่ยนแปลงในระนาบของมุมเงย (เปลี่ยนแปลงค่า  $\theta$ ) ซึ่งสัมพันธ์กับระนาบสนามไฟฟ้า ส่วนการแสดงแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศ โดยให้ระนาบของมุมเงยคงที่ที่มีการแผ่กระจายพลังงานสูงสุดนั้นคือ  $\theta = 90^\circ$  และทำการเปลี่ยนแปลงในระนาบของแอมซิมัท (เปลี่ยนแปลงค่า  $\phi$ ) ซึ่งสัมพันธ์กับระนาบสนามแม่เหล็ก โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.18 ซึ่งเป็นการแสดงแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศไดโพลแบบครึ่งคลื่นในระนาบสามมิติ และแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระนาบสองมิติโดยเปลี่ยนแปลงค่า  $\theta$  โดยให้  $\phi = 0^\circ$  และเปลี่ยนแปลงค่า  $\phi$  โดยให้  $\theta = 90^\circ$  ตามลำดับ ซึ่งเมื่อมีการพิจารณาพร้อมกันทั้งในระนาบสามมิติและระนาบสองมิติแล้วจะทำให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น และพบว่าแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานสูงสุดอยู่ที่  $\theta = 90^\circ$  สำหรับทุก ๆ การเปลี่ยนแปลงค่า  $\phi$  ในระนาบของแอมซิมัท และค่าที่เป็นศูนย์ของแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานอยู่ในส่วนปลายของไดโพลตามแนวแกน z (หรือที่  $\theta = 0^\circ$  และ  $180^\circ$ )





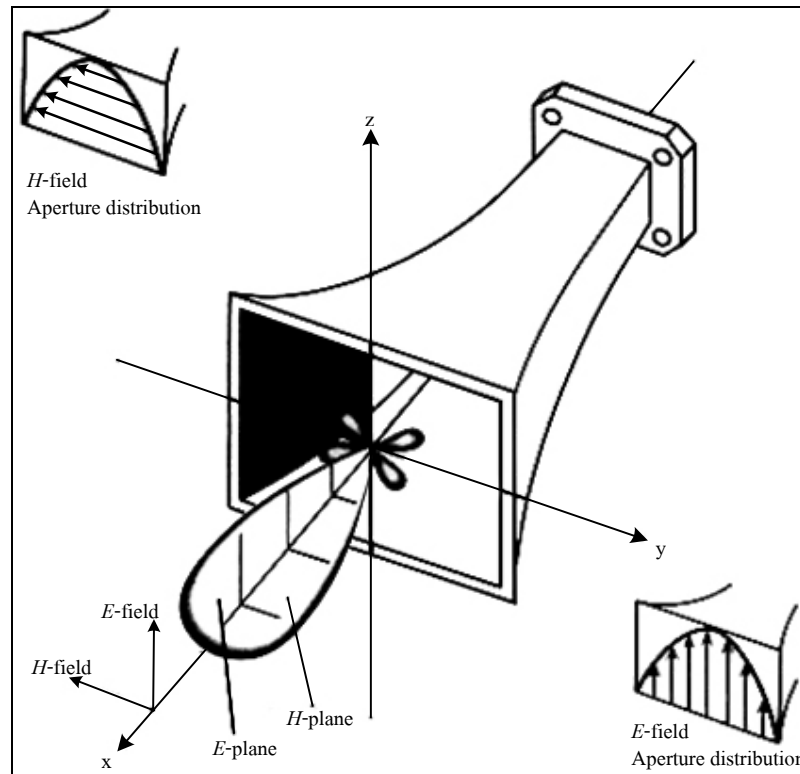
รูปที่ 2.18 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศไดโพลแบบครึ่งคลื่นในระนาบสามมิติ และแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในระนาบสองมิติ

ซึ่งแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศแบ่งออกเป็นสองลักษณะคือ สายอากาศที่มีการแผ่กระจายพลังงานแบบไอโซทรอปิก (isotropic radiator) และสายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานแบบมีทิศทาง (directional antenna) โดยสายอากาศแบบไอโซทรอปิกคือ สายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้น โดยมีคุณสมบัติของการแผ่กระจายพลังงานของคลื่นเท่ากันในทุก ทิศทาง ยกตัวอย่างเช่น แหล่งกำเนิดแบบจุด (point source) เป็นสายอากาศแบบหนึ่ง ที่ไม่สามารถ สร้างจริงได้ แต่มักใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติ แสดง ทิศทางของสายอากาศ ตัวอย่างของสายอากาศที่มีคุณสมบัติดังกล่าวคือ สายอากาศแบบรอบทิศทาง ในระนาบเดียว (omni-directional antenna) คือสายอากาศแบบไดโพลความยาวครึ่งคลื่น เนื่องจาก ในความเป็นจริงแล้วสายอากาศไดโพลความยาวครึ่งคลื่นจะมีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานแบบ รอบตัวในระนาบเดียว (omni-directional pattern) โดยมีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานที่ไม่มี ทิศทางในระนาบที่กำหนดให้ ในที่นี้คือมุมแอสซิมาท (azimuth) นั่นเอง และระนาบที่อยู่ตั้งฉากกันจะ มีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานเป็นแบบมีทิศทาง ซึ่งคือมุมเงย (elevation) โดยคุณสมบัติของการ แผ่กระจายพลังงานของสายอากาศแบบนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แบบรูปของสายอากาศแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว

โดยจากรูปที่ 2.19 จะเห็นได้ว่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบนี้ ไม่มีทิศทางในระนาบแนวราบ (azimuth plane,  $[f(\phi), \theta = \pi/2]$ ) แต่เป็นแบบชี้ทิศทางในระนาบแนวตั้ง (elevation plane,  $[\theta = 0, \phi = \text{ค่าคงที่}]$ ) แบบรูปสายอากาศแบบรอบทิศทางในระนาบเดียวนี้ เป็นกรณีพิเศษของแบบรูปสายอากาศแบบมีทิศทาง ส่วนสายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานแบบมีทิศทาง (directional antenna) นั้นจะมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นหลัก (principal pattern) ในเทอมของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีคุณสมบัติของการส่งหรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีในเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น เช่น สายอากาศโพลาริเซชันแบบเชิงเส้น (linearly polarization) แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้าจะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้า และมีทิศทางของการแผ่พลังงานของคลื่นสนามไฟฟ้าที่แรงที่สุด ส่วนแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นในระนาบแม่เหล็กจะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามแม่เหล็ก และมีทิศทางของการแผ่พลังงานของคลื่นสนามแม่เหล็กที่แรงที่สุด ตัวอย่างการแสดงแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นหลัก โดยมีระนาบ  $x-z$  (ระนาบแนวราบ  $\theta = \pi/2$ ) หรือระนาบสนามไฟฟ้าเป็นหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.20

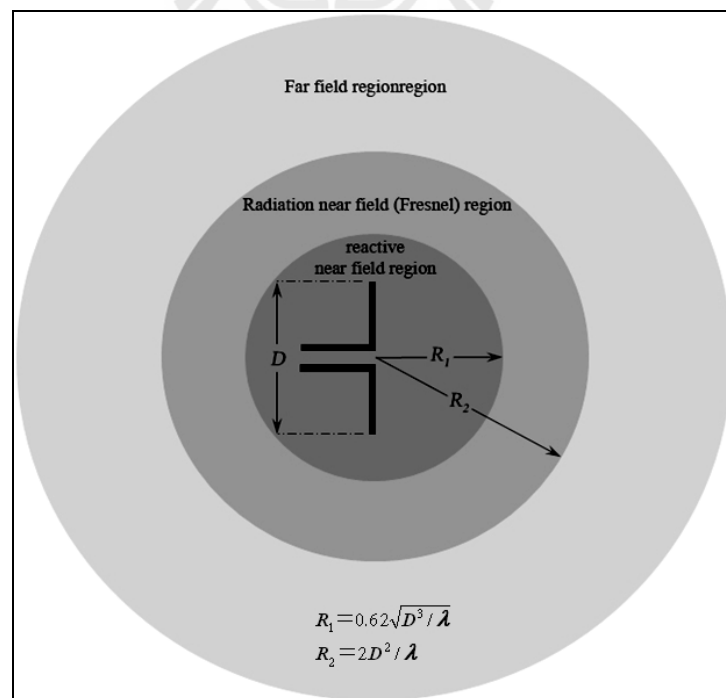


รูปที่ 2.20 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานแบบมีทิศทาง โดยมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นหลักในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศปากแตร

โดยแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานนี้เป็นตัวบ่งบอกสำหรับการเลือกสายอากาศไปประยุกต์ใช้งาน ตัวอย่างเช่น การประยุกต์ใช้กับดาวเทียมหรือการเชื่อมต่อสำหรับการรับส่งข้อมูลระหว่างจุดจะต้องเลือกใช้สายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางสูง มีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานไปในทิศทางที่เจาะจงรู้ตำแหน่งที่แน่นอน ส่วนการสื่อสารของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์จะต้องใช้สายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานแบบรอบตัว เป็นต้น ดังนั้นการแผ่กระจายพลังงานจะต้องแพร่กระจายออกอย่างสม่ำเสมอโดยรอบของผู้ใช้ที่เหมาะสมที่สุด โดยมีมาตรฐานที่ยอมรับกันเป็นสากล ซึ่งสถาบันวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์นานาชาติ (The Institute of Electrical and Electronics Engineers : IEEE) ได้กำหนดในส่วนของแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศไว้เป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์หรือกราฟที่เป็นการแสดงถึงคุณสมบัติการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศ เป็นฟังก์ชันของพิกัดเชิงตำแหน่ง

บริเวณสนามของสายอากาศจะถูกแบ่งออกเป็น 3 บริเวณ คือ บริเวณแรกเป็นสนามระยะใกล้รีแอกทีฟ (reactive near field region) เป็นบริเวณสนามที่ล้อมรอบใกล้สายอากาศมากที่สุด ซึ่งสนามที่เกิดขึ้นบริเวณนี้จะเป็นสนามรีแอกทีฟเป็นส่วนใหญ่ โดยบริเวณนี้จะมีระยะทางคือ

$R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$  จากผิวของสายอากาศ เมื่อ  $\lambda$  เป็นความยาวคลื่น และ  $D$  เป็นมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ บริเวณที่สองเป็นสนามระยะใกล้ที่มีการแผ่ (radiating near field region) เป็นบริเวณสนามของสายอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างบริเวณสนามระยะใกล้รีแอกทีฟกับบริเวณแผ่พลังงานสนามระยะใกล้ โดยมีสนามที่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่ และการกระจายของสนามตามมุมต่าง ๆ นั้นจะแปรผันตามระยะทางจากสายอากาศซึ่งถ้าขนาดที่ใหญ่ที่สุดของสายอากาศมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นสนามบริเวณนี้จะไม่เกิดขึ้น และในบริเวณนี้จะมีระยะทาง  $0.62\sqrt{D^3/\lambda} < R < 2D^2/\lambda$  สุดท้ายคือบริเวณสนามระยะไกล (far field region) เป็นบริเวณสนามของสายอากาศที่มีการกระจายของสนามเชิงมุมไม่ขึ้นกับระยะทางที่ห่างออกมาจากตัวสายอากาศ โดยถ้าสายอากาศมีมิติใหญ่สุดเท่ากับ  $D$  บริเวณแผ่พลังงานสนามไกล จะเกิดขึ้นที่ระยะทาง  $R > 2D^2/\lambda$  จากสายอากาศ ซึ่งบริเวณสนามสำหรับการพิจารณาแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานส่วนใหญ่แล้วนั้นจะต้องกระทำในสนามระยะไกลและเป็นการอธิบายถึงลักษณะฟังก์ชันของพิกัดเชิงทิศทางเสมอ ซึ่งคุณลักษณะการแผ่กระจายพลังงานประกอบด้วย ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (power flux density) ความหนาแน่นของพลังงานที่แผ่กระจาย (radiation power density) ความเข้มของสนาม (field intensity) สภาวะเจาะจงทิศทาง (directivity) เฟสของการชี้หน้า (directivity phase) หรือการแยกขั้วคลื่น (polarization) โดยบริเวณสนามของสายอากาศที่ถูกแบ่งออกเป็น 3 บริเวณนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศที่ต้องการพิจารณา

### 2.7.3 อัตราขยาย

การวัดอัตราขยายของสายอากาศเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นกับการวัดสภาพเจาะจงทิศทาง ตลอดจนประสิทธิภาพการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศ โดยอัตราขยายจริงของสายอากาศเป็นอัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายพลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่อความเข้มของการแผ่กระจายพลังงานที่ได้รับเข้ามา สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.38)

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.38)$$

โดยถ้าพลังงานที่รับเข้ามาโดยสายอากาศนั้นมีการแผ่กระจายพลังงานในลักษณะของไอโซทรอปิกแล้ว ความเข้มของการแผ่กระจายพลังงานในลักษณะนี้จะมีค่าเท่ากับพลังงานที่สายอากาศรับเข้ามาที่ขั้วอินพุตหารด้วย  $4\pi$  ส่วนอัตราขยายสัมพัทธ์เป็นอัตราส่วนของอัตราขยายพลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่ออัตราขยายพลังงานของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น ซึ่งพลังงานที่ป้อนให้กับอินพุตของสายอากาศจะต้องเหมือนกันทั้งสองตัว โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้ในการเปรียบเทียบนั้นจะเป็นสายอากาศที่เป็นแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิก ที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้นจะได้ดังสมการที่ (2.39)

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in} \text{ (isotropic Source)}} \quad (2.39)$$

### 2.7.4 ความกว้างแถบ

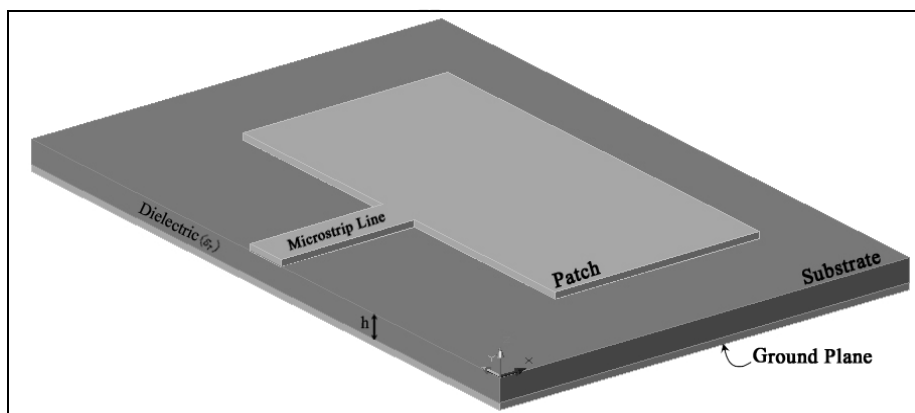
ความกว้างแถบของสายอากาศ (bandwidth) คือ ย่านของความถี่ที่ยังอยู่ในสภาวะที่สายอากาศยังสามารถทำงานได้ โดยความกว้างแถบจะพิจารณาจากช่วงระหว่างความถี่ที่ต่ำกว่าและสูงกว่าความถี่กลาง ซึ่งสภาวะการทำงานของสายอากาศที่ยอมรับได้นั้นจะต้องสามารถทำงานได้ตลอดย่านความถี่นั้นในกรณีที่เป็นสายอากาศแถบกว้าง ความกว้างแถบมักจะแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างความถี่สูงสุดกับความถี่ต่ำสุดที่สายอากาศยังสามารถทำงานได้ และในกรณีที่เป็นสายอากาศแถบแคบ ความกว้างแถบมักจะแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ของผลต่างความถี่ เมื่อเทียบกับความถี่กลางของความถี่แถบ และเนื่องจากคุณลักษณะของสายอากาศ ที่ถูกใช้ในการพิจารณาความถี่แถบไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงหรือมีผลต่อความถี่เหมือนกัน จึงไม่มีการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะเพื่อใช้ในการหาความถี่แถบของสายอากาศ ดังนั้นวิธีการกำหนดความถี่แถบ จึงมักจะแบ่งตามกลุ่มของคุณลักษณะต่าง ๆ ที่ใช้ในการพิจารณา คือ ความถี่แถบ

จากแบบรูปการแผ่พลังงาน ซึ่งเป็นความกว้างแถบที่พิจารณาจากระดับของโหนดด้านข้าง ความกว้างลำคลื่น การแยกขั้วคลื่น และทิศทางของลำคลื่น ส่วนความกว้างแถบจากค่าอิมพีแดนซ์ เป็นความกว้างแถบที่พิจารณาจาก ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ และค่าประสิทธิภาพของการแผ่กระจายพลังงาน

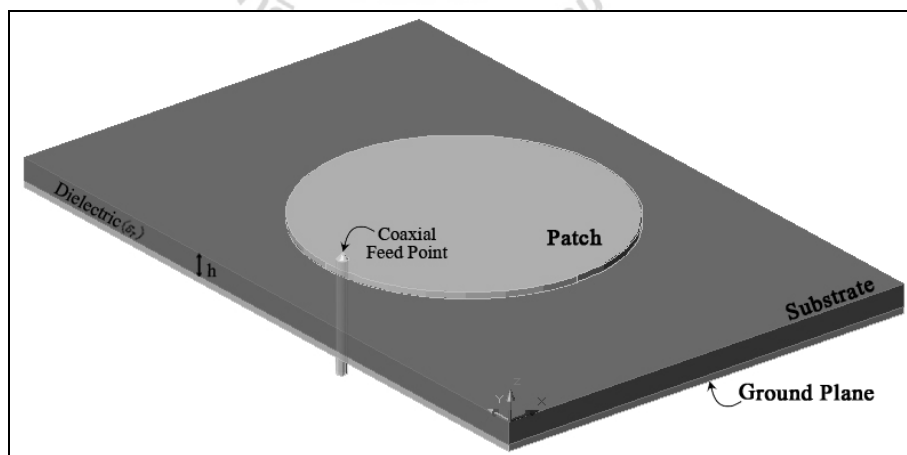
## 2.8 สายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์

สำหรับการพัฒนาระบบสื่อสารแบบไร้สายและโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น แนวทางการออกแบบสายอากาศที่ใช้มีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับรูปแบบของอุปกรณ์ที่ต้องการใช้งานร่วมกับสายอากาศ ซึ่งยากที่จะกำหนดเป็นกฎเกณฑ์ที่ตายตัว ในปัจจุบันสายอากาศที่ถูกนำมาใช้งานในระบบการสื่อสารแบบไร้สายมากที่สุดคือสายอากาศแบบโมโนโพล (monopole antenna) สายอากาศแบบปลอก (sleeve antenna) และสายอากาศแบบสัญญาณต่ำ (low-profile antenna) เช่นสายอากาศไมโครสตริปแพตช์ และสายอากาศระนาบอินเวอร์สเอฟ (planar inverted F antenna : PIFA) ซึ่งทั้งสามแบบนี้นิยมนำมาใช้งานสำหรับการสื่อสารแบบไร้สาย โดยสายอากาศแบบแรกคือสายอากาศแบบโมโนโพลนิยม ซึ่งเป็นสายอากาศที่นิยมนำมาใช้งานมากที่สุดเพราะสายอากาศมีคุณลักษณะเป็นสายอากาศแถบกว้าง (broadband) เป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก หรือบางครั้งสายอากาศชนิดนี้จะถูกเรียกว่าสายอากาศแบบแส้ (whip antenna) โดยส่วนประกอบของสายอากาศที่ทำหน้าที่แผ่กระจายคลื่นนั้นจะถูกติดตั้งอยู่บนระนาบกราวด์แบบอนันต์ ซึ่งสายอากาศชนิดนี้จะมีคุณลักษณะคล้ายกับสายอากาศไดโพล แต่ไม่ได้หมายความว่ามีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของสายอากาศแบบไดโพล เนื่องจากในทางปฏิบัติสายอากาศโมโนโพลมีความยาวไม่ใช่ครึ่งหนึ่งของสายอากาศไดโพล ส่วนสายอากาศแบบที่สองคือสายอากาศแบบปลอกมีโครงสร้างของการแผ่กระจายคลื่นเป็นไดโพลแบบไม่สมมาตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยขนาดที่เล็กที่สุดของตัวนำจะเท่ากับตัวนำภายในสายโคแอกเซียลที่ป้อนให้กับสายอากาศ และขนาดที่ใหญ่จะมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางตัวนำซึ่งจะถูกลัดวงจรกับลวดอีกที่เป็นตาข่ายอยู่รอบ ๆ สายโคแอกเซียลสายอากาศนี้มีคุณลักษณะเหมือนกับสายอากาศโมโนโพล ที่ไม่ต้องมีระนาบกราวด์แต่การที่ไม่มีระนาบกราวด์นั้นมีข้อเสียเมื่อนำไปใช้งาน โดยที่ต้องนำไปติดตั้งเข้ากับส่วนต่าง ๆ ที่เป็นโลหะทำให้อัตราการขยายของสายอากาศลดลง ข้อเสียอีกอย่างของสายอากาศแบบแส้และสายอากาศแบบปลอกคือ โครงสร้างไม่แข็งแรงหักง่าย และไม่สะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน สุดท้ายคือสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์ โดยสายอากาศชนิดนี้มีโครงสร้างสามส่วนคือ ส่วนบนเป็นส่วนที่ใช้สำหรับการแผ่กระจายคลื่น โดยมีส่วนที่สองเป็นวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกที่ขึ้นกลางระหว่างระนาบกราวด์กับส่วนของการแผ่กระจายคลื่นที่เป็นแผ่นตัวนำ แต่สายอากาศทั้งแบบไมโครสตริปและสายอากาศแบบอินเวอร์สเอฟ มีข้อเสียคล้ายกันคือ เป็นสายอากาศที่มีความกว้างแถบแคบมาก

สายอากาศไมโครสตริป (microstrip antenna) จะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นแผ่นหรือที่เรียกว่าแพตช์ซึ่งเป็นตัวนำ โดยทั่วไปจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือวงกลม ซึ่งถูกแยกออกจากแผ่นระนาบกราวด์ (เป็นเศษส่วนของความยาวคลื่น) และมีลักษณะเป็นชั้นหรือที่เรียกว่าเป็นวัสดุฐานรอง (substrate) ของสารไดอิเล็กตริก ซึ่งสายอากาศแบบไมโครสตริปนี้ได้รับความนิยมอย่างมากสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากมีลักษณะแบนราบ ไม่ค้ำค่อม และสามารถติดกับผิวของยานพาหนะได้ นอกจากนี้ยังมีข้อดีในแง่ที่ราคาถูก น้ำหนักเบา และมีความสะดวกในการสร้างและการติดตั้ง โดยโครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศแบบไมโครสตริปสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.22



ก. แพตช์ของไมโครสตริปที่ป้อนผ่านสายนำสัญญาณไมโครสตริป

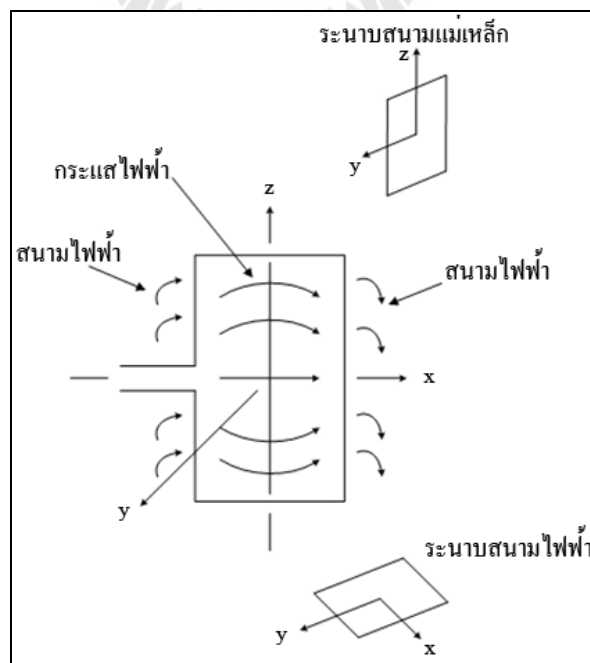


ข. แพตช์ของไมโครสตริปวงกลมที่มีการป้อนผ่านสายนำสัญญาณไมโครสตริป

รูปที่ 2.22 ลักษณะการป้อนสัญญาณของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมและรูปวงกลม

โดยจากรูปที่ 2.22 ก. และรูปที่ 2.22 ข. เป็นการแสดงลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากและรูปวงกลม ซึ่งสายอากาศดังกล่าวนี้มีความสะดวกในการสร้างลงในแผ่นวงจรพิมพ์ โดยแพทช์จะถูกล่างไว้ด้านหนึ่งของแผ่นวงจรพิมพ์ และอีกด้านหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นแผ่นระนาบกราวด์ (ground plane) รูปที่ 2.22 ก. เป็นแพทช์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยสัญญาณความถี่วิทยุจะถูกป้อนเข้าที่สายป้อนสัญญาณที่เป็นสตริปโลหะแคบ ๆ และในรูปที่ 2.22 ข. แสดงแพทช์รูปวงกลมที่ป้อนด้วยตัวนำผ่านช่องในระนาบกราวด์ ซึ่งการป้อนสัญญาณในลักษณะนี้ จะเรียกว่าการเชื่อมต่อแบบช่องเปิดผ่านช่องเปิดเล็ก ๆ ในระนาบกราวด์

สำหรับสายอากาศไมโครสตริปนั้น ความแม่นยำของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรองถือว่ามีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่มีผลต่อการเดินทางของคลื่นความถี่เรโซแนนซ์ และคุณลักษณะการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ โดยการแสดงคุณลักษณะของแพทช์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (characteristics of a rectangular patch) แสดงได้ดังรูปที่ 2.23 ซึ่งเป็นการแสดงกระแสไฟฟ้า และเส้นแรงของสนามไฟฟ้าทั้งภายในและบริเวณรอบ ๆ แพทช์ โดยปกติสนามไฟฟ้าที่บริเวณขอบของแพทช์ที่ถูกต่อด้วยสายนำสัญญาณและด้านตรงข้ามขอบนั้น จะมีผลต่อคุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศคลื่นที่แผ่กระจายจากสายอากาศในรูปที่ 2.23 จะมีการโพลาไรซ์ในแนวนอน ซึ่งระนาบของสนามไฟฟ้า (E-plane) จะมีทิศทางในแนวนอน และระนาบของสนามแม่เหล็ก (H-plane) จะมีทิศทางในแนวตั้ง



รูปที่ 2.23 กระแสไฟฟ้าและลักษณะเส้นแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนแพทช์



โดยอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแพทช์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากที่มียาว  $\lambda/2$  จะแสดงในรูปของค่าความต้านทานที่มีคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่นที่ดี ซึ่งค่าความต้านทานที่อินพุตที่ความถี่เรโซแนนซ์ (Balanis, 1997) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.40)

$$R_m = \frac{1}{2G_1} \quad (2.40)$$

เมื่อ  $G_1$  คือ ค่าความนำ (conductance) โดยมีเงื่อนไขดังนี้

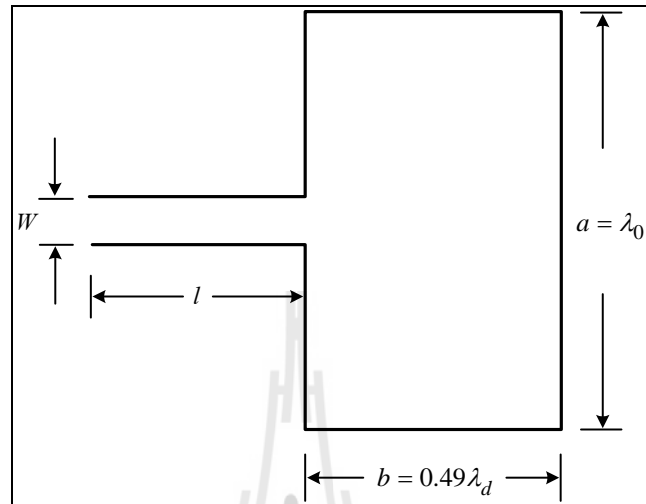
$$G_1 = \frac{1}{90} \left( \frac{W}{\lambda_0} \right)^2 \quad W \ll \lambda_0 \quad (2.41)$$

$$G_1 = \frac{1}{120} \left( \frac{W}{\lambda_0} \right)^2 \quad W \gg \lambda_0 \quad (2.42)$$

โดยที่  $W$  เป็นความกว้างสายอากาศ  
 $\lambda_0$  เป็นความยาวคลื่นในช่องว่างอิสระ

สำหรับการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปนั้น ตัวป้อนสัญญาณที่นำมาต่อกับสายอากาศควรมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายเท่ากับค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วย โดยสายนำสัญญาณที่จะต่อเข้ากับเครื่องมือวัดและทดสอบสายอากาศนั้นส่วนใหญ่มีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม จึงจำเป็นต้องทำการแมตซ์อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์ เพื่อให้มีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม ซึ่งในการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพทช์นั้น มีพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการใช้ในการออกแบบ ได้แก่ ความถี่ปฏิบัติงานของสายอากาศ ( $f_c$ ) หรือความถี่เรโซแนนซ์ ( $f_r$ ) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง (dielectric constant :  $\epsilon_r$ ) และความสูงของไดอิเล็กตริกหรือวัสดุฐานรอง ( $h$ ) ยกตัวอย่าง เช่น การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากได้แบ่งเป็นสองส่วนคือ การออกแบบสายอากาศแพทช์และการออกแบบการป้อนสัญญาณ (รังสรรค์ วงศ์สรรค, 2548) โดยสามารถหาความกว้าง (a) และความยาว (b) ของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์ได้ดังรูปที่ 2.24 ซึ่งแสดงมิติพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยที่ค่าความนำของสายอากาศแบบไมโครสตริปแพทช์นั้นจะเป็นฟังก์ชันของความกว้าง (a) และ

ความถี่เรโซแนนซ์จะเป็นฟังก์ชันของความยาว ( $b$ ) ซึ่งกำหนดได้ดังสมการที่ (2.43) และสมการที่ (2.44) ตามลำดับ



รูปที่ 2.24 ตัวอย่างสายอากาศไมโครสตริปพื้นฐานรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก

$$a = \lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.43)$$

$$b = 0.49 \lambda_d = 0.49 \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.44)$$

โดยที่  $\lambda_d$  คือความยาวคลื่นในสารไดอิเล็กตริก

$\lambda_0$  คือความยาวคลื่นในอากาศอิสระ

$\epsilon_r$  คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง

โดยการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปนั้นสามารถทำได้หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกัน 4 วิธี คือ สายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป (microstrip line) สายนำสัญญาณแบบโคแอกเซียล (coaxial line) โพรบแบบโคแอกเซียล (coaxial probe) และการเหนี่ยวนำผ่านช่องเปิด (aperture coupling) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การป้อนโดยใช้สายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป

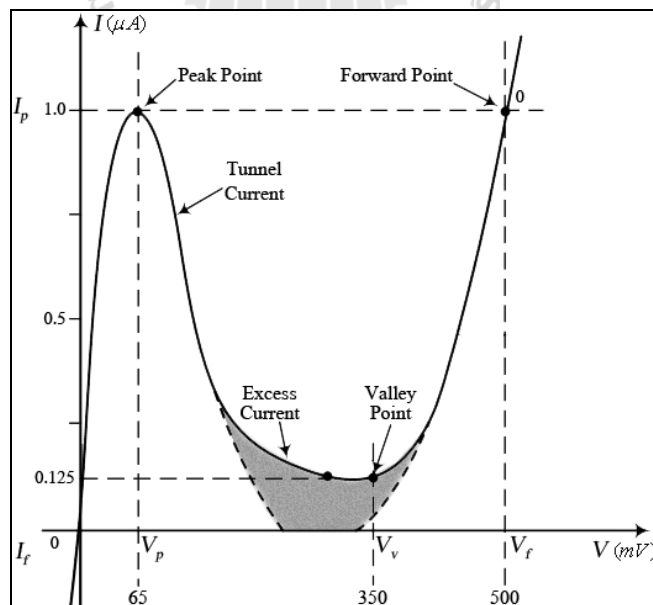
## 2.9 โครงสร้างและทฤษฎีของการกำเนิดพัลส์

เครื่องรับส่งสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์และสายอากาศแบนด์กว้าง โดยส่วนนี้เป็นส่วนของการออกแบบพัฒนา วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งรูปแบบของสัญญาณพัลส์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้นั้นมี หลากหลายลักษณะ แต่สำหรับการวิจัยฉบับนี้จะเลือกพิจารณาเฉพาะรูปแบบของพัลส์ที่นิยมใช้กัน อย่างแพร่หลายคือ สัญญาณพัลส์แบบเกาส์สัญญาณเกาส์เซียนโมโนไซเคิลพัลส์ และสัญญาณแบบ เกาส์เซียนดับเลตพัลส์ โดยเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์นั้นต้องมีประสิทธิภาพและมีคุณสมบัติที่ เหมาะสมกับความต้องการและข้อกำหนดของ FCC เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้งานกับระบบของ เทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ได้ นั่นคือเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์จะต้องมีช่วงกว้าง พัลส์ที่แคบมาก และมีพลังงานเพียงพอต่อการใช้งานของระบบ โดยสัญญาณพัลส์ที่ออกมาจาก เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์นั้นต้องมีรูปร่างของสัญญาณพัลส์ที่ดี มีความผิดเพี้ยนของสัญญาณและมีการ แกว่งของสัญญาณพัลส์น้อยเมื่อเทียบกับสัญญาณพัลส์ที่ต้องการ โดยที่พลังงานและรูปร่างของ พัลส์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เนื่องจากเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์ แบนด์นั้นต้องสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย และถ้าสัญญาณพัลส์ที่มีช่วงกว้างพัลส์ กว้างแล้วจะส่งผลให้สัญญาณพัลส์มีส่วนประกอบของความถี่ต่ำมากเมื่ออยู่ในโดเมนความถี่ ซึ่ง สัญญาณที่มีความถี่ต่ำนี้สามารถทำให้สัญญาณพัลส์แพร่กระจายเข้าไปในตัวกลางที่มีการสูญเสียได้ ลึกมากกว่าสัญญาณพัลส์ที่มีส่วนประกอบของความถี่สูง

วิธีกำเนิดสัญญาณพัลส์เพื่อประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ นั้นมีหลากหลายรูปแบบ โดยคุณลักษณะที่สำคัญของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับ เทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นั้น ได้แก่ กำลังสูงสุดของพัลส์ด้านออก ช่วงกว้างพัลส์ และรูปร่างของพัลส์ โดยวงจรกำเนิดพัลส์นี้สามารถแบ่งออกเป็นสองลักษณะคือ การกำเนิดสัญญาณ พัลส์เพื่อประยุกต์ใช้ด้านกำลังสูง และการกำเนิดสัญญาณพัลส์เพื่อประยุกต์ใช้ด้านกำลังต่ำ เนื่องจากการ นำเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ไปใช้งานมีสองกรณีหลัก ๆ คือ ในกรณีของการใช้งานสำหรับการ ตรวจสอบหรือการตรวจจับนั้นจะใช้พลังงานสูง และในกรณีของการใช้งานสำหรับการสื่อสาร นั้นจะใช้พลังงานต่ำ โดยที่ช่วงกว้างพัลส์ที่นำมาพิจารณาสำหรับการออกแบบและสร้างเครื่อง กำเนิดสัญญาณพัลส์ของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์นั้นสามารถแบ่งออกเป็นสองช่วงคือ ช่วง ความกว้างพัลส์ในระดับนาโนวินาที และช่วงความกว้างพัลส์ในระดับพิโกวินาที โดยช่วงความกว้าง ของพัลส์ในระดับนาโนวินาทีนั้นจะสัมพันธ์กับความถี่ใช้งานที่มีแบนด์วิดท์ต่ำกว่า 1 GHz และช่วง ความกว้างพัลส์ในระดับพิโกวินาทีนั้นจะสัมพันธ์กับความถี่ใช้งานที่มีแบนด์วิดท์สูงกว่า 1 GHz ส่วนสุดท้ายที่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาสำหรับการสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ของเทคโนโลยี อัลตราไวด์แบนด์คือ รูปร่างของพัลส์ซึ่งพัลส์ที่นิยมใช้ในระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ได้แก่

รูปร่างพัลส์ที่เป็นฟังก์ชันแบบขั้นบันได (step function) รูปร่างพัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian pulse) และรูปร่างพัลส์แบบโมโนไซเคิล (monocycle pulse)

ที่ผ่านมากการกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นั้น นิยมใช้อุปกรณ์สองชนิดคือ ทลเนลไดโอดหรือไดโอดแบบอุโมงค์ (tunnel diode) และไดโอดฟื้นตัวแบบขั้น (step recovery diode : SRD) โดยทลเนลไดโอดเป็นอุปกรณ์ในยุคแรก ๆ ที่ใช้ในเครื่องรับส่งหรือวงจรกำเนิดสัญญาณของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งการนำทลเนลไดโอดมาประยุกต์ใช้งานประเภทฟาสต์สวิตช์ประสบความสำเร็จอย่างมาก เนื่องจากทลเนลไดโอดต่างจากไดโอดธรรมดาตรงที่มีแรงดันและกระแสบางช่วงเป็นแบบต้านทานลบ และทลเนลไดโอดสามารถทำให้เกิดกระแสได้โดยใช้แรงดันไบแอสเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งต้องมีวิธีการกระตุ้นแบบพิเศษเพื่อช่วยให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อ p-n ได้ ไม่เช่นนั้นพลังงานเพียงเล็กน้อยนี้จะไม่เพียงพอที่ทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อ p-n ได้ และทันทีที่แรงดันศักย์มากกว่าจุดสูงสุดที่แสดงในรูปที่ 2.25 จะทำให้กระแสลดลงจนกระทั่งถึงจุดต่ำสุด เป็นสาเหตุให้เกิดการซ้อนเหลื่อมกันเล็กน้อยระหว่างแถบเวเลนซ์ (valence band) และแถบการนำ (conduction band) ซึ่งจะทำให้เกิดความต้านทานบริเวณลบขึ้นเนื่องจากการลดลงของกระแส และจากการเกิดความต้านทานบริเวณลบนี้ส่งผลให้ทลเนลไดโอดอยู่ในสถานะที่ไม่เสถียร ทำให้มีการสวิตช์ในช่วงหนึ่ง ซึ่งจะถูกระตุ้นด้วยแรงดันเพียงเล็กน้อยทำให้เกิดพัลส์แบบสี่เหลี่ยมขึ้น จากนั้นทำพัลส์ที่ได้นี้ให้เป็นเกาส์เซียนพัลส์โดยการใช้สายท่อนสั้นลัดวงจร (short circuit stub) ซึ่งจะได้แสดงรายละเอียดต่อไป



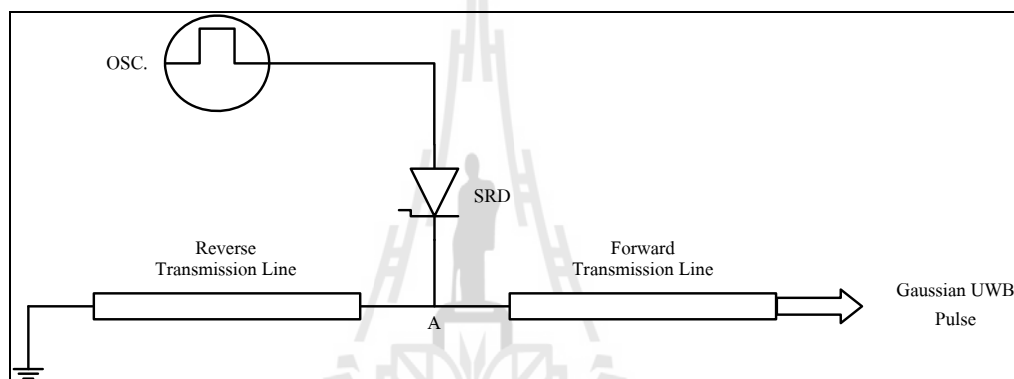
รูปที่ 2.25 กราฟคุณลักษณะของทลเนลไดโอด

อย่างไรก็ตามก่อนหน้านี้ที่เทคโนโลยีไดโอดดูเหมือนจะได้รับความสนใจมากกว่าทรานซิสเตอร์ เนื่องจากที่เทคโนโลยีไดโอดมีคุณลักษณะเฉพาะของการสวิตช์ และหลังจากปี 1960 แล้วไม่ค่อยมีผู้ให้ความสนใจในการผลิตเทคโนโลยีไดโอดมากนัก โดยข้อเสียของเทคโนโลยีไดโอด คือ มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ให้แรงดันด้านออกต่ำ และมีจุดเชื่อมต่อเพียงแค่สองจุด ซึ่งวิศวกรส่วนใหญ่ไม่มีประสบการณ์หรือความชำนาญในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณด้วยอุปกรณ์ในลักษณะนี้ แต่จะให้ความสนใจกับหลอดสุญญากาศและทรานซิสเตอร์มากกว่าเนื่องจากมีจุดเชื่อมต่อสามจุด ซึ่งจะช่วยให้การออกแบบวงจรขยายสัญญาณง่ายขึ้น จึงไม่มีใครสนใจที่จะนำเทคโนโลยีไดโอดมาออกแบบวงจรอื่น ๆ และสุดท้ายจะเห็นเพียงแค่การนำเทคโนโลยีไดโอดมาใช้งานเฉพาะการกำเนิดสัญญาณพัลส์เท่านั้น จึงทำให้ผู้ผลิตลดปริมาณการผลิตของเทคโนโลยีไดโอดลง ส่งผลให้การหาซื้อเทคโนโลยีไดโอดยากขึ้นในปัจจุบัน

หลังจากที่เทคโนโลยีไดโอดไม่ค่อยได้รับความสนใจมากนักจากผู้ใช้และเริ่มหาซื้อได้ยากตามท้องตลาด ได้มีอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากสำหรับใช้เป็นตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นั่นก็คือ ทรานซิสเตอร์ และไดโอดพื้นตัวแบบขึ้น หรือที่เรียกว่า SRD ไดโอด ซึ่งต่อจากนี้ขอใช้คำว่า SRD ไดโอด โดย SRD ไดโอด มีการเก็บประจุด้วยการควบคุมสวิตช์ที่รอยต่อแบบ p-i-n และมีคุณลักษณะของการสวิตช์ที่รวดเร็วกว่าการประจูดัวยรอยต่อแบบ p-n ซึ่งจะมีประจุปริมาณมากถูกสร้างขึ้นที่บริเวณรอยต่อนี้ เป็นผลทำให้พาหะส่วนน้อยแทรกเข้าไปในระหว่างที่ SRD ไดโอด มีสถานะถูกไบแอสตรง โดยอิมพีแดนซ์บริเวณรอยต่อนี้ขึ้นอยู่กับประจุอย่างทันทีทันใดของไดโอด และสามารถทำให้เกิดพัลส์ได้ในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งถ้า SRD ไดโอด ได้รับการไบแอสตรงแล้วจะเกิดการไบแอสกลับอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้ไดโอดมีอิมพีแดนซ์ลดต่ำลงจนกระทั่งประจุที่ถูกเก็บไว้บริเวณรอยต่อหมดสิ้นไป จากนั้นไดโอดจะกลับสู่สถานะที่มีอิมพีแดนซ์สูงทันที ซึ่งจำเป็นสำหรับการหยุดกระแสย้อนกลับของ SRD ไดโอด และการเปลี่ยนสถานะของอิมพีแดนซ์นี้ ก่อนที่กระแสภายในของ SRD ไดโอด หมดไปจะทำให้เกิดสัญญาณแรงดันสูงสุดขึ้น ซึ่งช่วงเวลาของการเปลี่ยนสถานะที่ปรากฏขึ้นนี้จะถูกเรียกว่า “snap time” โดยค่า snap time นี้จะใช้ระบุคุณลักษณะของ SRD ไดโอด โดยทั่วไปแล้วค่า snap time ในช่วง 30 ถึง 250 พิโกวินาที จะทำให้ SRD ไดโอด สามารถกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยความกว้างของพัลส์ระดับพิโกวินาทีได้ และมีช่วงเวลาคงอยู่คลื่นพาหะ (carrier lifetime) ในช่วง 5 ถึง 15 นาโนวินาที ซึ่งทำให้เกิดความถี่การซ้ำของพัลส์สำหรับเครื่องรับส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ถูกจำกัดอยู่ในช่วง 100 ถึง 200 เมกะพัลส์ต่อวินาที ซึ่งอาจจะเพียงพอหรือไม่เพียงพอสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงด้วยสัญญาณอิมพัลส์

เมื่อพิจารณาการเกิดพัลส์ด้วย SRD ไดโอด จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นพบว่าพัลส์ที่ได้จาก SRD ไดโอด นั้นมีรูปร่างลาดเอียงแทนที่จะเป็นพัลส์แบบเกาส์เซียนตามต้องการ แต่สามารถปรับปรุงพัลส์ที่ได้จาก SRD ไดโอด ให้มีรูปร่างของพัลส์เป็นพัลส์แบบเกาส์เซียนได้โดย

ประยุกต์ใช้ SRD ไดโอด ร่วมกับการส่งผ่านสายประวิง (transmission delay line) ซึ่งมีโครงสร้างพื้นฐานของวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.26 โดยพัลส์ที่เกิดจาก SRD ไดโอด จะถูกแยกออก ณ จุด A จากนั้นพัลส์จะเดินทางผ่านสายส่งย้อนกลับ (reverse transmission line) และแพร่กระจายผ่านสายส่งไปหน้า (forward transmission line) ซึ่งพัลส์ที่มาจาก SRD ไดโอด เคลื่อนที่ไปยังสายส่งย้อนกลับสะท้อนจากสายท่อนสั้น (stub) และแปลงผันเป็นพัลส์ที่ถูกประวิงโดยมีสภาพชั่วคราวข้ามกันเนื่องจากสัมประสิทธิ์การสะท้อนแบบลบของวงจรลัด ส่วนที่สายส่งไปหน้าจะมีพัลส์สองพัลส์รวมกันทำให้เกิดพัลส์ที่มีสัญญาณแบบเกาส์เซียน และจากรูปที่ 2.26 เมื่อแทน SRD ไดโอดด้วยทลเนลไดโอดแล้วสามารถได้พัลส์ที่มีรูปร่างสัญญาณออกมาเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.26 โครงสร้างพื้นฐานการกำเนิดพัลส์ด้วย SRD ไดโอด (Alexandre, Yvan, Tan, Ewerton, and Glauco, 2006)

โดยความกว้างของพัลส์กำหนดด้วยความยาวของสายส่งลัดวงจร ซึ่งสามารถวิเคราะห์และคำนวณได้ดังสมการที่ (2.45)

$$\tau = \frac{2L_H}{v_p} \quad (2.45)$$

เมื่อ  $L_H$  คือความยาวของสายส่งย้อนกลับ (มีหน่วยเป็นเมตร) และ  $v_p$  คือความเร็วเฟสระหว่างสายส่งย้อนกลับ (มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที) ซึ่งความเร็วเฟสระหว่างสายส่งไมโครสตริปสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.46)

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_e}} \quad (2.46)$$

โดยที่  $c$  คือความเร็วแสง (มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที) และ  $\epsilon_e$  คือค่าคงที่สภาพยอมประสิทธิผลของไมโครสตริป ซึ่งค่าคงที่สภาพยอมประสิทธิผลนี้เป็นค่าเอกพันธ์สมมูลระหว่างอากาศและชั้นสเตรตของไมโครสตริป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.47)

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12d}{w}}} \right) \quad (2.47)$$

เมื่อ  $\epsilon_r$  คือค่าคงที่สภาพยอมสัมพัทธ์ชั้นสเตรตของไมโครสตริป  $d$  คือความหนาของชั้นสเตรต (มีหน่วยเป็นเมตร) และ  $w$  คือความกว้างของสายส่งไมโครสตริป (มีหน่วยเป็นเมตร) โดยสามารถยกตัวอย่างการคำนวณความกว้างของพัลส์ จากสมการข้างต้นได้ และสมมติว่าเลือกใช้แผ่น PCB แบบ FR-4 มีค่าคงที่สภาพยอมสัมพัทธ์ชั้นสเตรตของไมโครสตริปเท่ากับ 4.6 ชั้นสเตรตของไมโครสตริปมีความหนา 7.2 มิลลิเมตร และสายส่งสัญญาณกว้าง 12 มิลลิเมตร ซึ่งความเร็วเฟสระหว่างสายส่งย้อนกลับ และค่าคงที่สภาพยอมประสิทธิผลของไมโครสตริปสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.46) และสมการที่ (2.47) ตามลำดับ โดยกำหนดให้สายส่งมีความยาว 1 นิ้ว เมื่อใช้การคำนวณจากสมการที่ (2.45) ถึง (2.47) จะได้พัลส์ที่มีความกว้างเท่ากับ 315 พิโกวินาที

สำหรับการออกแบบระบบส่วนมากจะมีการกำหนดความกว้างของพัลส์ไว้ก่อนแล้ว แต่จะมีการคำนวณหาความยาวของสายส่ง และนำไปสู่การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ได้ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.26 โดยหลังจากการออกแบบเสร็จเมื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริงแล้วส่วนมากจะมีการผิดเพี้ยนของสัญญาณเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการแกว่งของสัญญาณพัลส์มากเกินไป เนื่องจากพัลส์มีช่วงเวลานับลงเร็วมากและเกิดจากผลกระทบของอุปกรณ์ข้างเคียงด้วย ซึ่งปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดต่าง ๆ ในบทต่อไป

## 2.10 สรุป

สำหรับการออกแบบระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นั้นสิ่งสำคัญของเทคโนโลยีนี้คือสายอากาศแบนด์กว้างและวงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณพัลส์ เนื่องจากสิ่งที่ถือว่าท้าทายมากที่สุดของการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ คือการออกแบบสายอากาศแบนด์กว้าง

และเทคนิควิธีการกำเนิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเรียนรู้และทำความเข้าใจเกี่ยวกับประวัติความเป็นมาของการนำเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์มาใช้งาน โครงสร้างของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ ตลอดจนกระบวนการในการวิเคราะห์สัญญาณ รูปแบบของสัญญาณที่สามารถนำมาใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ และหลักการทฤษฎีของการกำเนิดสัญญาณที่ต้องการนำมาใช้ นอกจากนี้แล้วยังมีส่วนของสายอากาศอีกส่วนหนึ่งที่จำเป็นสำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ เนื่องจากสายอากาศที่นำมาใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ได้นั้น จะต้องเป็นสายอากาศแบนด์กว้าง ซึ่งการได้มาของสายอากาศแบบแบนด์กว้างนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาหลักการและเทคนิควิธีต่าง ๆ เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณลักษณะตามข้อกำหนดของ FCC โดยใช้หลักการพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศคือ ค่าการสูญเสีย เนื่องจากการย้อนกลับ ความกว้างแถบ อัตราการขยาย และแบบรูปการแผ่กระจายพลังงาน ซึ่งหลักการและทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้ในบทนี้จะได้ใช้สำหรับการออกแบบสายอากาศและวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ต่อไป





## บทที่ 3

# สายอากาศไมโครสตริปแพตช์แบนด์กว้างต้นแบบสำหรับระบบสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์

### 3.1 กล่าวนำ

เนื้อหาที่สำคัญในบทนี้จะได้กล่าวถึงการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์แบนด์กว้างต้นแบบ สำหรับเครื่องส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการทางเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ พบว่าเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ คือ สายอากาศแบบแบนด์กว้าง โดยการออกแบบสายอากาศต้นแบบนั้นมีการจำลองโครงสร้างของสายอากาศด้วยโปรแกรม IE3D ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองแบบและแก้ปัญหาทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ เพื่อให้ได้สายอากาศที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ จากนั้นนำผลเฉลยที่ได้ไปทำการสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบ เพื่อเป็นการยืนยันผลที่ได้โดยมีการพิจารณาจากการทดลองวัดค่าคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ ได้แก่ ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (input reflection coefficient : S11) วัดค่าอัตราขยาย ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (input impedance) วัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (standing wave ratio : SWR) แบบรูปการแพร่กระจายพลังงานของสายอากาศ ทั้งระนาบสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก เพื่อเปรียบเทียบกับผลเฉลยที่ได้จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสายอากาศต้นแบบนี้ รวมถึงการประยุกต์ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ต่อไป

### 3.2 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์ต้นแบบ สำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์

#### 3.2.1 พื้นฐานการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป

ปัจจุบันเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์เป็นระบบการสื่อสารที่มีราคาถูก และใช้พลังงานในระดับต่ำ อีกทั้งยังมีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่สูงมาก และไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารไร้สายรูปแบบใดก็ตามจำเป็นต้องมีสายอากาศเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญ ซึ่งสายอากาศนั้นมีให้เลือกหลากหลายรูปแบบสำหรับการ

ประยุกต์ใช้งานในแต่ละประเภท แต่สายอากาศที่ใช้สำหรับระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นั้น จะต้องเป็นสายอากาศที่มีแบนด์วิดท์กว้าง โดยจากข้อกำหนดของ FCC ได้กำหนดสเปกตรัมความถี่ของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ไว้ในช่วง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz (Ghavami, Michael, and Kohno, 2007) ซึ่งสายอากาศที่นิยมนำมาใช้นั้นส่วนมากเป็นสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์ เนื่องจากสายอากาศไมโครสตริปแพตช์สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวางสำหรับระบบการสื่อสารไร้สาย เนื่องจากเป็นสายอากาศที่มีขนาดเล็กน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย โครงสร้างไม่ซับซ้อน และมีต้นทุนในการผลิตต่ำ แต่อย่างไรก็ตามสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์นี้ยังมีข้อจำกัดอยู่ เช่น มีแบนด์วิดท์แคบ มีอัตราการขยายค่อนข้างต่ำ และมีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานไม่ดีเมื่อมีการปรับปรุงสายอากาศให้เป็นสายอากาศแบบแบนด์กว้าง

โดยจากปัญหาที่สำคัญของสายอากาศที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ คือ แบนด์วิดท์หรือความกว้างแถบของสายอากาศ เนื่องจากสายอากาศจะต้องมีแบนด์วิดท์ที่กว้างมาก แต่จากข้อจำกัดที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นสำหรับสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์ ซึ่งนับว่าเป็นสิ่งที่ท้าทายอย่างยิ่งของนักวิจัยที่จะนำสายอากาศแบบนี้มาประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อนำเสนอเทคนิคใหม่ ๆ มาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยเฉพาะการเพิ่มแบนด์วิดท์ให้กับสายอากาศหลายเทคนิค เช่น เทคนิคการเพิ่มองค์ประกอบปรสิต (parasitic element) ในชั้นเดียวกันในโครงสร้างแบบระนาบร่วม (coplanar geometry) ซึ่งเป็นองค์ประกอบปรสิตไดโพลที่มีความยาวที่แตกต่างกันถูกนำมาวางด้านหน้าและด้านหลังของสายอากาศแพตช์หลักที่ทำหน้าที่แผ่กระจายพลังงาน องค์ประกอบจะถูกกระตุ้นโดยการคับปลิงจากแพตช์หลัก ตำแหน่งองค์ประกอบปรสิตจะถูกนำมาวางในลักษณะสมมาตรทั้งสองด้าน โดยมีแพตช์หลักวางอยู่ตำแหน่งกึ่งกลาง ซึ่งเทคนิคนี้สามารถเพิ่มแบนด์วิดท์ได้เพียง 10-20% เท่านั้น และมีข้อเสียคือสายอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้นดังนั้นราคาของสายอากาศจึงแพงขึ้น การสร้างสายอากาศทำได้ยากขึ้น หรือการเพิ่มความกว้างแถบของสายอากาศไมโครสตริปด้วยการใช้สายอากาศสองตัวหรือมากกว่า ให้มีการเชื่อมต่อระหว่างสายอากาศที่นำมาวางซ้อนกันเป็นชั้น ๆ โดยสามารถเลือกขนาดของสายอากาศในแต่ละชั้นให้มีขนาดที่แตกต่างกันได้ รวมถึงการเพิ่มความหนาของวัสดุฐานรอง แต่เทคนิควิธีที่นิยมนำมาใช้สำหรับการออกแบบสายอากาศแบนด์กว้างมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ การเพิ่มชั้นหรือนำแพตช์หลายแพตช์ที่มีความถี่เรโซแนนซ์ต่างกันมาวางซ้อนกัน ซึ่งเทคนิควิธีนี้มีข้อเสียคือ ทำให้สายอากาศมีความสูงเพิ่มมากขึ้น โครงสร้างซับซ้อน ต้นทุนในการผลิตสูง ส่วนอีกวิธี คือ การเจาะร่องบนแพตช์เพื่อให้แพตช์มีความถี่เรโซแนนซ์หลายความถี่ แต่เทคนิควิธีนี้มีข้อเสียคือ การแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศทำได้ค่อนข้างยาก และวิธีการสุดท้ายคือ การออกแบบการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศเข้าไป ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก และการออกแบบสายอากาศของผู้วิจัยในการวิจัยฉบับนี้ได้เลือกใช้เทคนิควิธีนี้

เช่นกัน เนื่องจากการเพิ่มความกว้างแถบให้กับสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์นั้นส่วนใหญ่ยังคงให้ความสนใจในแนวคิดแบบที่เป็นแพตช์ชั้นเดียวเป็นหลัก แต่ข้อเสียของการออกแบบด้วยวิธีนี้คือ สายอากาศมีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานไม่ดี

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาและออกแบบสายอากาศเพื่อทำการลดข้อจำกัดเหล่านั้น ซึ่งนำไปสู่การออกแบบพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปแพตช์แบนด์กว้างรูปแบบต่าง ๆ เพื่อรองรับระบบการสื่อสารของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ เช่น สายอากาศแบบหุกระต่าย (Abdelnasser, Atef, and Charles, 2005) สายอากาศแบบวงรี แบบร่อง (Nikolay and Yehuda, 2006) และแบบแถวลำดับ (Abdelnasser, 2007) ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบสายอากาศโดยยึดแนวคิดที่เป็นแพตช์ชั้นเดียว แต่จะใช้วิธีการออกแบบสายอากาศรูปแบบต่าง ๆ ที่มีแบนด์วิดท์กว้างอยู่แล้วให้กว้างยิ่งขึ้น เพื่อครอบคลุมย่านความถี่ของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งสายอากาศที่ได้เป็นสายอากาศรูปแบบใหม่โดยมีการประยุกต์ใช้สายอากาศแบบไดโพล ร่วมกับสายอากาศแบบหุกระต่าย สายอากาศดังกล่าวถูกออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR-4 ทำให้สายอากาศที่ได้นั้นมีขนาดเล็ก และมีต้นทุนต่ำ ซึ่งการออกแบบสายอากาศดังกล่าวใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ IE3D โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของสายอากาศสำหรับใช้งานกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ และจะใช้การพิจารณาที่ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศเป็นสำคัญโดยให้มิต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านการใช้งาน 3.1–10.6 GHz

### 3.2.2 ความเป็นมาของการออกแบบสายอากาศสำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์

หลังจากที่มีการนำเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์มาใช้ในเชิงพาณิชย์มากขึ้น จึงได้เกิดกระแสความสนใจของการพัฒนาและออกแบบสายอากาศอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับสายอากาศสำหรับระบบการสื่อสารที่เป็นลักษณะแถบความถี่แคบนั้นได้มีการเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ในก่อนหน้านี้แล้ว ซึ่งในอนาคตเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นี้จะดึงดูดความสนใจและสร้างความท้าทายให้แก่ักวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยจะเป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดงานวิจัยใหม่ ๆ ขึ้น ซึ่งนับว่าเป็นโอกาสที่ดีของนักวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศ โดยความท้าทายที่สำคัญที่สุดของการออกแบบสายอากาศสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ คือการให้ได้มาซึ่งสายอากาศที่มีแบนด์วิดท์กว้างมาก โดยมีแบนด์วิดท์ 7.5 GHz แต่ยังคงประสิทธิภาพของการแผ่กระจายพลังงานที่ดีอยู่ ซึ่งนับเป็นการกำหนดรูปแบบและคุณลักษณะของสายอากาศที่เหนือกว่าสายอากาศแบบแบนด์กว้างแบบเดิม ๆ ที่เคยมีมาก่อนหน้านี้ เนื่องจากสายอากาศสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นั้นมีความต้องการให้ได้มาซึ่งแบนด์วิดท์ที่มากกว่า 100% ของความถี่กลาง และมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์อย่างสมบูรณ์ตลอดย่านความถี่ใช้งานเช่น มีค่าการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับที่จุดเชื่อมต่อของสายอากาศต้องมีค่าน้อยกว่า 10% และนอกจากนี้แล้วจะต้องมี

เฟสที่เป็นเชิงเส้น มีการประวิงกลุ่ม (group delay) เกือบจะคงที่ มีการแผ่กระจายกำลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง และยิ่งไปกว่านั้นจะต้องมีการผิบนของพัลส์น้อยที่สุดสำหรับการรับส่งสัญญาณพัลส์ออกไปสู่ช่องทางการสื่อสาร ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นความต้องการเฉพาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ เนื่องจากเทคโนโลยีนี้มีการส่งพลังงานในระดับที่ต่ำมาก การสูญเสียพลังงานเนื่องจากไดอิเล็กตริกและสื่อนำไฟฟ้าจะต้องมีน้อยที่สุด และโดยทางกายภาพแล้วจะต้องสามารถนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจรรวมอื่น ๆ ได้ เช่น จะต้องเป็นสายอากาศที่มีขนาดเล็ก ติดตั้งง่าย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้สะดวก เป็นต้น

### 3.2.3 การศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปอัลตราไวด์แบนด์ต้นแบบ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป IE3D

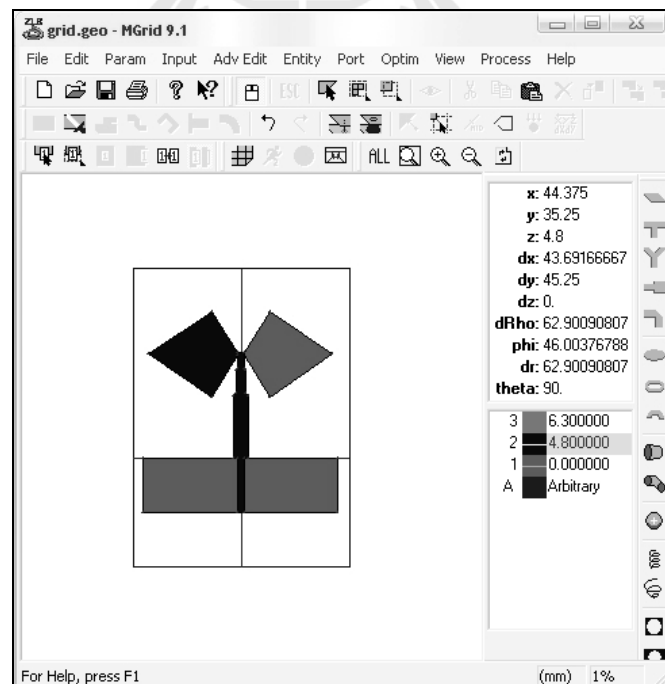
โปรแกรม IE3D เป็น โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการจำลองปัญหาแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของสายอากาศ และหาคำตอบด้วยการใช้สมการอินทิกรัลในอากาศแบบสามมิติ ซึ่งโปรแกรมสำเร็จรูป IE3D เป็น โปรแกรมที่ให้ความถูกต้องเที่ยงตรงของการจำลองแบบขึ้นอยู่กับขนาดของกริดเซลล์ ถ้าขนาดของกริดเซลล์เล็กจะทำให้ความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น แต่จะใช้หน่วยความจำในการจำลองผลมากและใช้เวลานานมากขึ้นด้วย จากการออกแบบสายอากาศเพื่อให้ได้สายอากาศที่มีแบนด์วิดท์กว้าง ซึ่งที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นก็ใช้เทคนิควิธีที่หลากหลายในการออกแบบ ทั้งการเพิ่มความหนาของวัสดุฐานรอง การเจาะร่อง การออกแบบสายอากาศให้มีรูปแบบต่าง ๆ หรือมีการออกแบบการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศเข้าไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้สายอากาศแบบไดโพล กับสายอากาศแบบหุกระต่าย ร่วมกับการออกแบบการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศเพิ่มเข้าไป เพื่อให้สายอากาศมีแบนด์วิดท์ครอบคลุมย่านความถี่ 3.1–10.6 GHz โดยมีการปรับแต่งสายอากาศประกอบกับออกแบบการแมตซ์อิมพีแดนซ์สายส่งสัญญาณรวมอยู่กับตัวสายอากาศบนวัสดุฐานรองขึ้นเดียวกัน ซึ่งมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบสายอากาศได้แก่ ความถี่ปฏิบัติการของสายอากาศ ในที่นี้เราจะเลือกใช้ความถี่กลางที่ 6.85 GHz ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง ( $\epsilon_r$ ) และความสูงของวัสดุฐานรอง ( $h$ ) โดยการออกแบบสายอากาศได้เลือกใช้แผ่น PCB ชนิด FR-4 ซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง ( $\epsilon_r$ ) เท่ากับ 4.5 ค่าสูญเสียแทนเจนต์  $\delta$  เท่ากับ 0.02 และความสูงของวัสดุฐานรอง ( $h$ ) เท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร ความถี่ใช้งานกำหนดไว้ที่ความถี่กลาง ซึ่งการออกแบบสายอากาศมีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วยสายส่งความยาว  $\lambda/4$  ของความถี่กลาง โดยเริ่มต้นออกแบบสายอากาศที่มีรูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนด้วยการใช้หลักการของสายอากาศไดโพลแบบครึ่งคลื่น  $\lambda/2$  โดยสามารถคำนวณหาความยาวของการแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้วยสายส่งความยาว  $\lambda/4$  ที่ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะได้ดังสมการที่ (3.3) Equation Section 3

$$Z_0 = \sqrt{Z_1 Z_2} \quad (3.1)$$

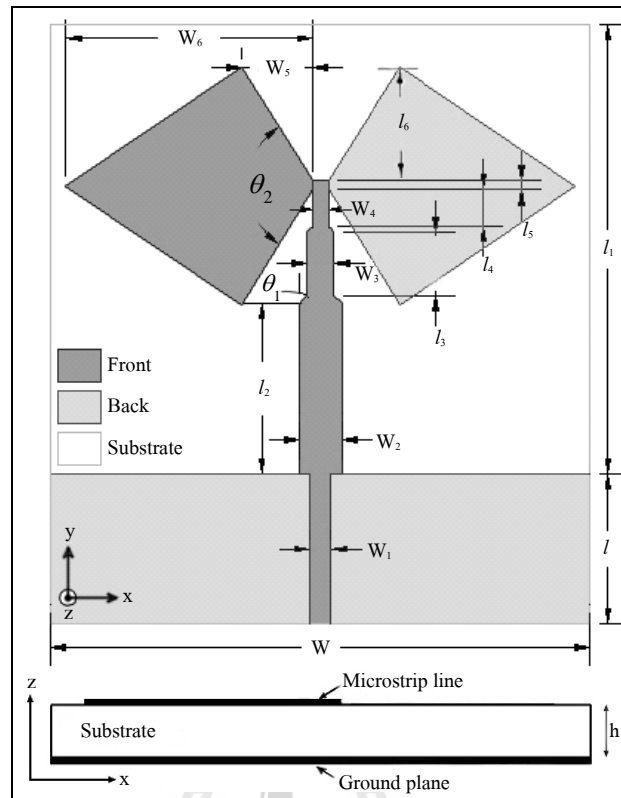
$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + 12 \frac{h}{w} \right)^{-1/2} \quad (3.2)$$

$$l = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4f\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.3)$$

ซึ่งได้ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศเริ่มต้นที่  $w = 36.5$  มิลลิเมตร  $w_1 = 2$  มิลลิเมตร  $w_2 = 3$  มิลลิเมตร  $w_3 = 2.5$  มิลลิเมตร  $w_4 = 1.5$  มิลลิเมตร  $w_5 = 5$  มิลลิเมตร  $w_6 = 11$  มิลลิเมตร  $l = 9$  มิลลิเมตร  $l_1 = 30$  มิลลิเมตร  $l_2 = 10.5$  มิลลิเมตร  $l_3 = 5$  มิลลิเมตร  $l_4 = 2$  มิลลิเมตร  $l_5 = 1.5$  มิลลิเมตร  $l_6 = 7.85$  มิลลิเมตร  $\theta_1 = 45^\circ$  และ  $\theta_2 = 116^\circ$  โดยมีการจำลองผลด้วยโปรแกรม IE3D ซึ่งใช้แผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 เนื่องจากเป็นวัสดุฐานรองที่สามารถใช้ได้ในช่วงความถี่สูง และหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด โดยสายอากาศที่ได้นั้นเป็นสายอากาศรูปแบบใหม่ที่มีรูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนดังแสดงในรูปที่ 3.1 และมีโครงสร้างแสดงได้ดังรูปที่ 3.2



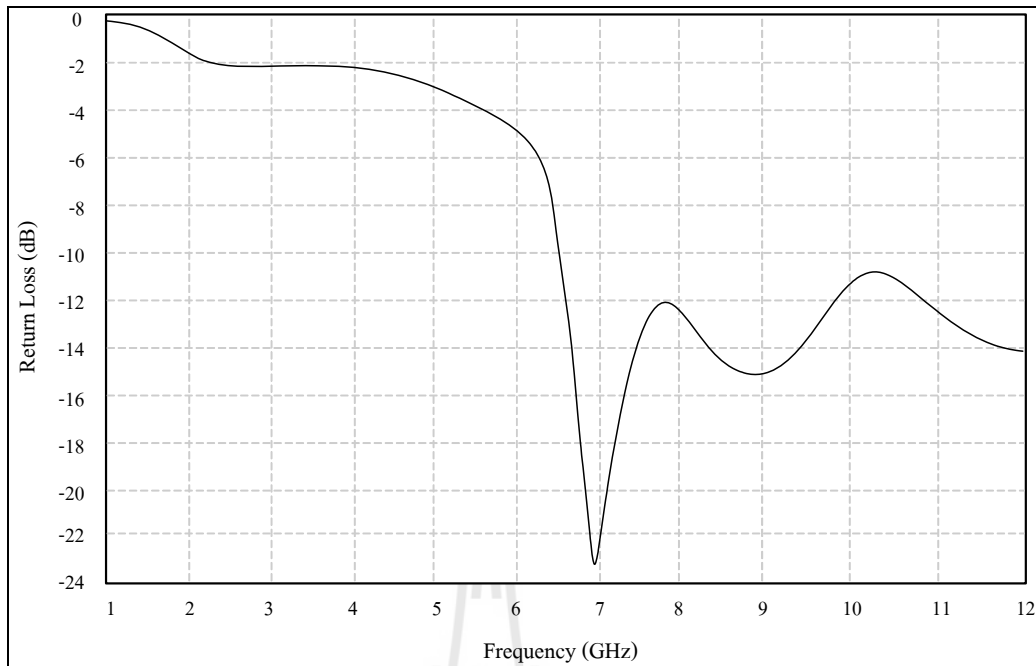
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปที่จำลองผลด้วยโปรแกรม IE3D



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของสายอากาศต้นแบบ

### 3.3 ผลการจำลองแบบ

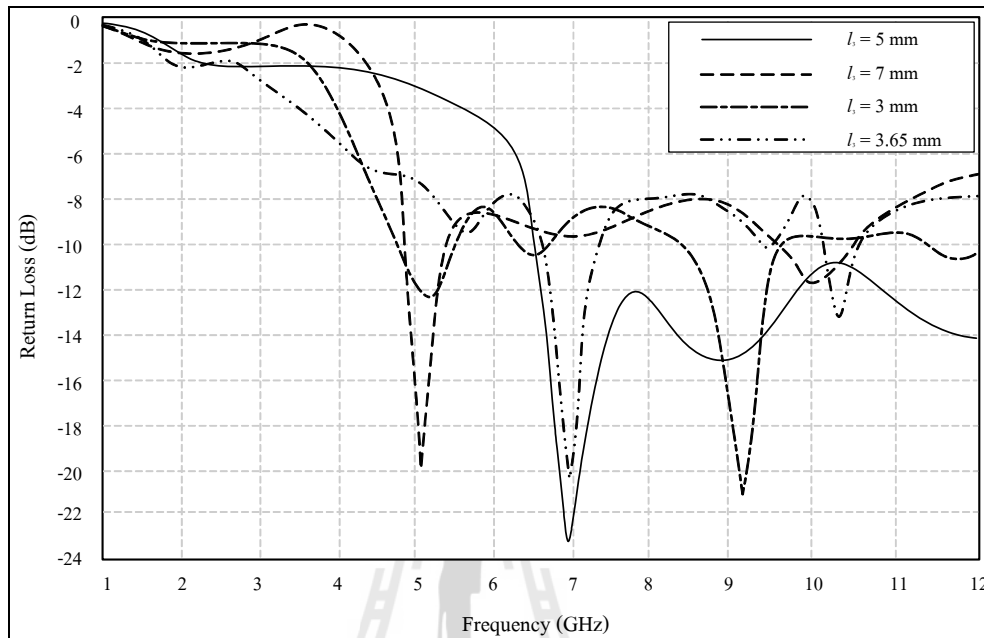
จากผลการจำลองแบบด้วยค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของสายอากาศนั้น ได้ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับดังรูปที่ 3.3 ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับในช่วงที่ต่ำกว่า -10 dB แล้วพบว่าสายอากาศมีแบนด์วิดท์ไม่กว้างพอที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสายอากาศกับสายนำสัญญาณยังมีการแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ความถี่ด้านต่ำไม่ดีมากนัก และมีความถี่กลางที่สูงกว่า 6.85 GHz มาก โดยหลังจากที่ทำการพิจารณาผลของการจำลองแบบด้วยค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นจากรูปที่ 3.3 แล้ว ขั้นตอนแรกจะทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อคุณลักษณะของสายอากาศตามลำดับความสำคัญต่อไป



รูปที่ 3.3 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศที่ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น

ซึ่งพบว่า การปรับค่าพารามิเตอร์ความยาวของ  $L_3$  นั้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศมากที่สุด ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนของการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศด้วยเทคนิคของสายส่งความยาว  $\lambda/4$  ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นจึงเริ่มทำการปรับความยาวของ  $L_3$  ก่อนเป็นอันดับแรก โดยเริ่มทำการปรับความยาวพารามิเตอร์  $L_3$  เป็น 3 มิลลิเมตร ซึ่งจะคงที่ค่าพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ ไว้ แล้วทำการพิจารณาค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ได้จากผลของการปรับค่าพารามิเตอร์  $L_3$  เป็น 3 มิลลิเมตร และจากผลที่ได้พบว่าสายอากาศมีแบนด์วิดท์เพิ่มมากขึ้นประกอบกับความถี่กลางมีการเปลี่ยนแปลงด้วย ซึ่งผลที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดี จากนั้นทำการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ของ  $L_3$  เป็น 5 มิลลิเมตร และ 7 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยจากผลการจำลองแบบพบว่าสายอากาศให้ผลของความกว้างแบนด์วิดท์ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับในทางที่แยกลง ดังนั้นจึงทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของ  $L_3$  ในช่วง 2 มิลลิเมตร ถึง 4 มิลลิเมตร อย่างละเอียด โดยจากการจำลองแบบพบว่าผลที่ได้ทั้งในส่วนของความกว้างแบนด์วิดท์ และค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศมีแนวโน้มดีขึ้น และสุดท้ายได้ความยาวของสายส่ง  $L_3$  เท่ากับ 3.65 มิลลิเมตร ซึ่งได้ค่าแบนด์วิดท์ที่กว้างที่สุดสำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์ของ  $L_3$  นี้ แต่เมื่อพิจารณาความถี่กลางของสายอากาศแล้วยังมีความถี่ที่สูงกว่า 6.85 GHz มากพอสมควร ซึ่งจะต้องทำการทดลองปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ ที่คิดว่าส่งผลกับ

คุณลักษณะของสายอากาศ โดยจากการปรับค่าพารามิเตอร์ความยาวของสายส่ง  $l_3$  เท่ากับ 3.65 มิลลิเมตร สามารถแสดงค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับได้ดังรูปที่ 3.4

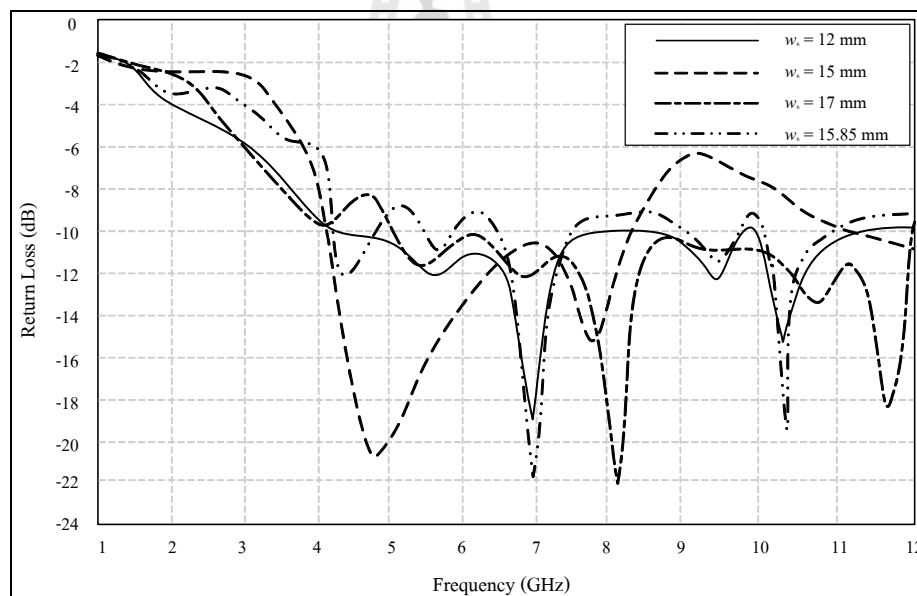


รูปที่ 3.4 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศจากการปรับขนาด  $l_3$

จากการพิจารณาการปรับค่าพารามิเตอร์ของ  $l_3$  แล้ว ผลที่ได้นั้นยังไม่ตรงตามข้อกำหนดคุณลักษณะของสายอากาศสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ดังนั้นลำดับต่อไปจะได้ทำการปรับพารามิเตอร์ในส่วนของความกว้าง  $w_6$  เนื่องจากขนาดของพารามิเตอร์  $w_6$  นี้จะส่งผลต่อความถี่กลางของสายอากาศมากที่สุด โดยเริ่มทำการปรับความกว้างของพารามิเตอร์  $w_6$  จากค่าเริ่มต้นเป็น 12 มิลลิเมตร ซึ่งจะคงที่ค่าพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ ไว้ และพารามิเตอร์ของ  $l_3$  จะคงค่าที่ดีที่สุดไว้ นั่นคือ 3.65 มิลลิเมตร โดยหลังจากการทดลองปรับขนาดของ  $w_6$  เป็น 12 มิลลิเมตร แล้วพบว่าผลที่ได้สายอากาศมีแบนด์วิดท์เพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากที่ความถี่ด้านต่ำมีการแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ดีขึ้น ประกอบกับค่าความถี่กลางของสายอากาศลดลงด้วย ซึ่งจากการสังเกตผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปรับค่าพารามิเตอร์ของ  $w_6$  แล้วพบว่า เมื่อความกว้างของ  $w_6$  เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความถี่กลางของสายอากาศลดลง แต่การแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะดีหรือไม่ นั่นก็ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของขนาดพารามิเตอร์แต่ละตัวด้วย จากนั้นทำการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ของ  $w_6$  เป็น 15 มิลลิเมตร และ 17 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยจากผลการจำลองแบบพบว่าสายอากาศให้ผลของความถี่แบนด์วิดท์ และค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับในทางที่



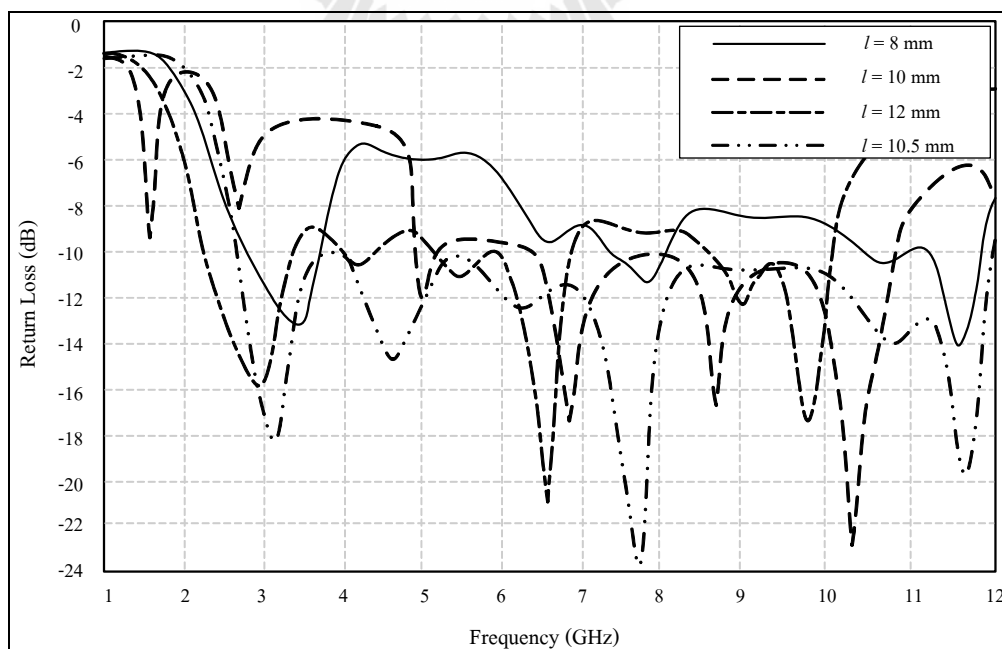
ดีขึ้น ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของ  $w_6$  ในช่วง 15 มิลลิเมตร ถึง 17 มิลลิเมตร อย่างละเอียด โดยจากการจำลองแบบพบว่าผลที่ได้ทั้งความกว้างแบนด์วิดท์ และค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศมีแนวโน้มดีขึ้น และสุดท้ายได้ความกว้างของ  $w_6$  เท่ากับ 15.85 มิลลิเมตร ซึ่งได้ค่าแบนด์วิดท์ที่กว้างที่สุด และสัมพันธ์กับค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ดีที่สุดสำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์ของ  $w_6$  นี้ โดยจากการปรับค่าพารามิเตอร์ความกว้างของ  $w_6$  เท่ากับ 3.65 มิลลิเมตร สามารถแสดงค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับได้ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งจากผลการจำลองแบบจะเห็นว่าสายอากาศมีความถี่กลางอยู่ที่ประมาณ 7 GHz และจากการปรับขนาดพารามิเตอร์ของทั้ง  $L_3$  และ  $w_6$  แล้วถึงแม้ว่าผลที่ได้จะมีความใกล้เคียงกับข้อกำหนดสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ แต่ผลที่ได้นั้นไม่ถือว่าสายอากาศมีประสิทธิภาพมากพอที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ได้



รูปที่ 3.5 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศจากการปรับขนาด  $w_6$

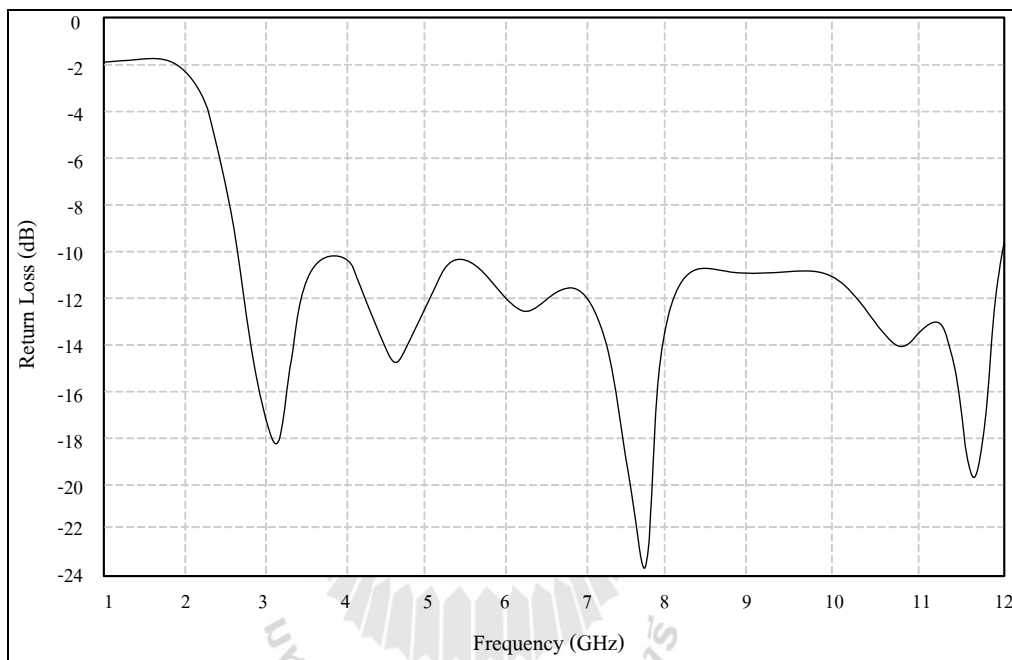
โดยจะต้องทำการทดลองปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ ที่คิดว่าจะส่งผลกับคุณลักษณะของสายอากาศที่ทำการออกแบบในลำดับต่อมานั้นคือ ค่าพารามิเตอร์ขนาดความยาวสายส่ง  $l$  ของสายอากาศ ซึ่งในส่วนของการพารามิเตอร์  $l$  นี้เมื่อปรับแล้วจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ และส่งผลต่อค่าความถี่กลางบ้างเล็กน้อย เนื่องจากจะทำให้ความยาวของพารามิเตอร์  $l_2$  และขนาดของระนาบกราวด์เปลี่ยนแปลงด้วย โดยเมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าขนาด

ของพารามิเตอร์  $l$  แล้วขนาดของวัสดุฐานรองของสายอากาศจะต้องมีขนาดความยาวเท่าเดิม นั่นคือค่าของผลรวมระหว่าง  $l$  และ  $l_1$  จะต้องมีค่าเท่าเดิม เพื่อไม่ให้เกิดความยุ่งยากและสับสนสำหรับการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ทุกตัว ซึ่งการปรับขนาดของ  $l$  นี้จะทำเช่นเดียวกับการปรับพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ คือ จะต้องคงค่าของพารามิเตอร์ตัวที่ได้ทำการปรับเปลี่ยนผ่านมาแล้ว เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิง โดยเริ่มทำการปรับความยาวของพารามิเตอร์  $l$  จากค่าเริ่มต้นเป็น 8 มิลลิเมตร และพบว่าผลที่ได้ในสายอากาศมีค่าความถี่กลางลดลง แต่การแมตซ์อิมพีแดนซ์แย่ลงกว่าเดิม ซึ่งจากการสังเกตผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปรับค่าพารามิเตอร์ของ  $l$  แล้วพบว่า เมื่อความยาวของพารามิเตอร์  $l$  มีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการแมตซ์อิมพีแดนซ์มากกว่าค่าความถี่กลางของสายอากาศ เนื่องจากส่วนของความยาว  $l_2$  มีการเปลี่ยนแปลง หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงตัวปรับแบบสายท่อนสั้น (stub) นั้นเอง และเหตุผลที่ต้องทำการปรับที่ขนาดของพารามิเตอร์  $l$  แทนการปรับที่  $l_2$  เพื่อเป็นการพิจารณาค่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไปในคราวเดียวกัน จากนั้นทำการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ของ  $l$  เป็น 10 มิลลิเมตร และ 12 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยจากผลการจำลองแบบพบว่าสายอากาศให้ผลของความกว้างแบนด์วิดท์ และค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับดีขึ้น ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของ  $l$  ในช่วง 10 มิลลิเมตร ถึง 12 มิลลิเมตร โดยจากการจำลองแบบพบว่าผลที่ได้ทั้งความกว้างแบนด์วิดท์ และค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศมีแนวโน้มดีขึ้น ดังรูปที่ 3.6 และสุดท้ายได้ความยาวของ  $w_0$  เท่ากับ 10.5 มิลลิเมตร



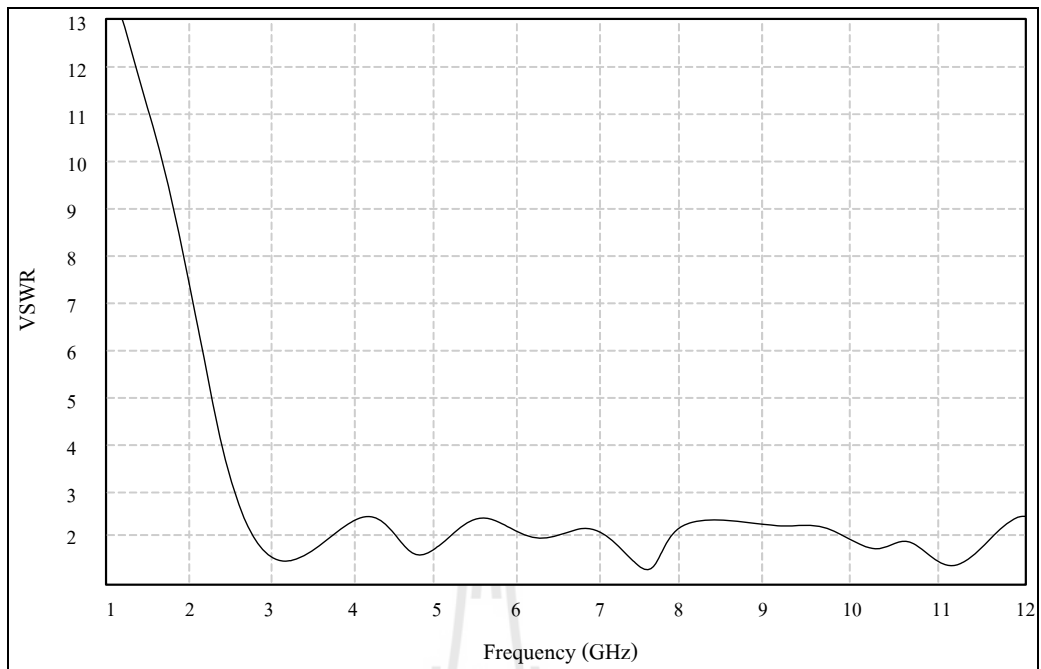
รูปที่ 3.6 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศจากการปรับขนาด  $l$

จากขั้นตอนสุดท้ายของการปรับค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศที่ทำการออกแบบ ซึ่งได้ขนาดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ ดังนี้  $w = 36.5$  มิลลิเมตร  $w_1 = 2$  มิลลิเมตร  $w_2 = 3$  มิลลิเมตร  $w_3 = 2.5$  มิลลิเมตร  $w_4 = 1.5$  มิลลิเมตร  $w_5 = 5$  มิลลิเมตร  $w_6 = 15.85$  มิลลิเมตร  $l = 10.5$  มิลลิเมตร  $l_1 = 30$  มิลลิเมตร  $l_2 = 10.5$  มิลลิเมตร  $l_3 = 3.65$  มิลลิเมตร  $l_4 = 2$  มิลลิเมตร  $l_5 = 1.5$  มิลลิเมตร  $l_6 = 7.85$  มิลลิเมตร  $\theta_1 = 45^\circ$  และ  $\theta_2 = 116^\circ$  โดยค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ได้ดังแสดงดังรูปที่ 3.7

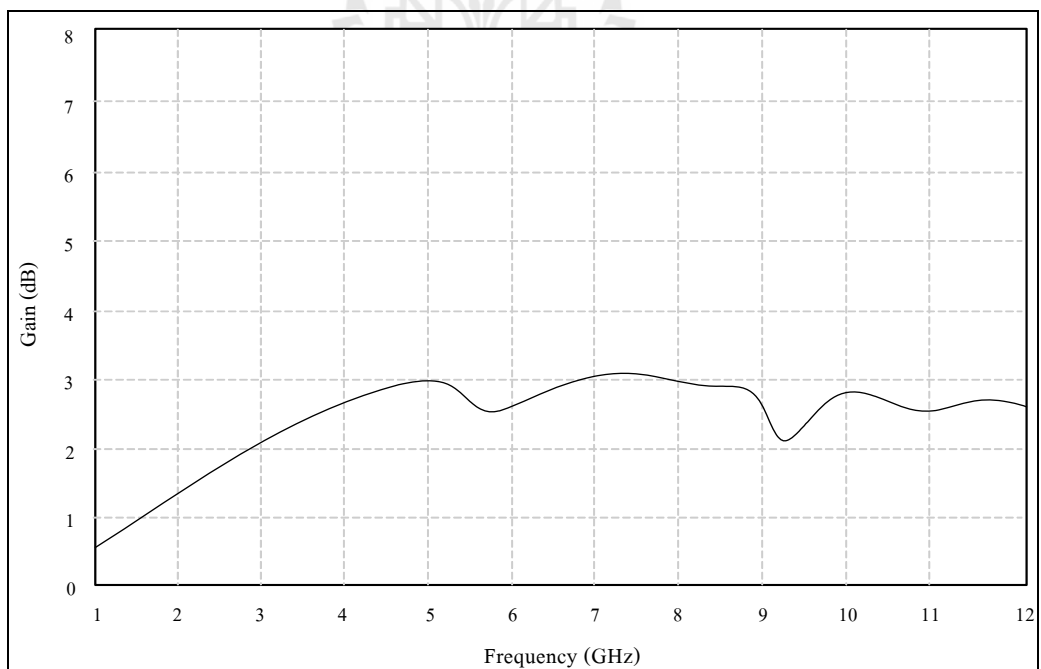


รูปที่ 3.7 ความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศที่ปรับขนาดได้อย่างเหมาะสม

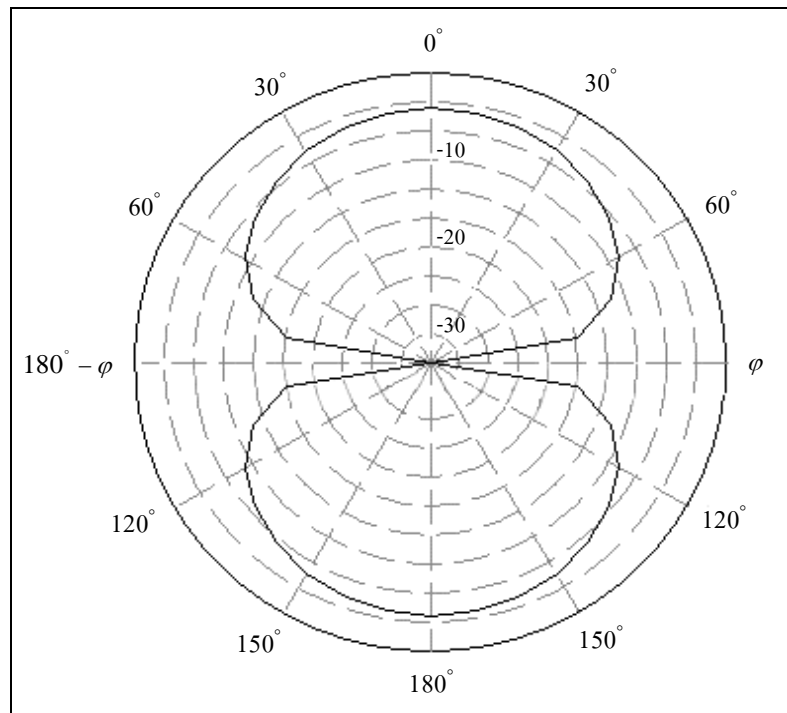
ซึ่งจากผลการจำลองแบบของโปรแกรม IE3D พบว่าสายอากาศที่ทำการออกแบบนั้นมีแบนด์วิดท์ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ที่มีความถี่ด้านต่ำอยู่ที่ 2.7 GHz และความถี่ด้านสูงอยู่ที่ 12 GHz นั่นคือสายอากาศมีแบนด์วิดท์มากกว่า 120% หรือคิดเป็นอัตราส่วนประมาณ 5 : 1 ที่ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ใช้งาน และผลจากการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากค่าเริ่มต้นจนถึงค่าสุดท้ายที่ทำให้สายอากาศมีการแมตซ์ที่ดี ซึ่งสายอากาศมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งต่ำกว่า 2 ตลอดย่านความถี่ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และอัตรการขยายแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 โดยมีอัตรการขยายเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3 dB และสายอากาศมีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานจากการจำลองผลในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) แสดงได้ดังรูปที่ 3.10 และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) แสดงได้ดังรูปที่ 3.11



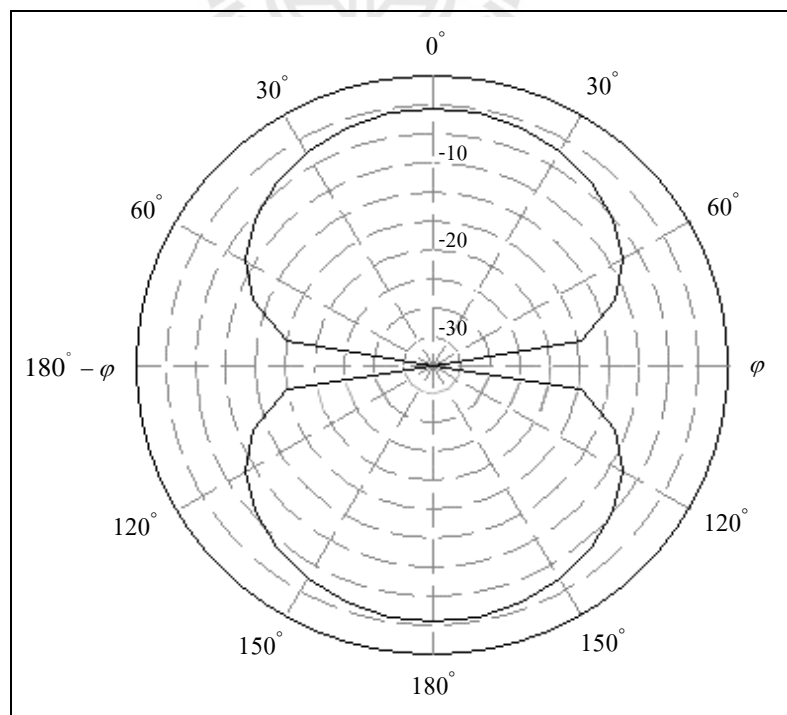
รูปที่ 3.8 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากการจำลองผลของสายอากาศ



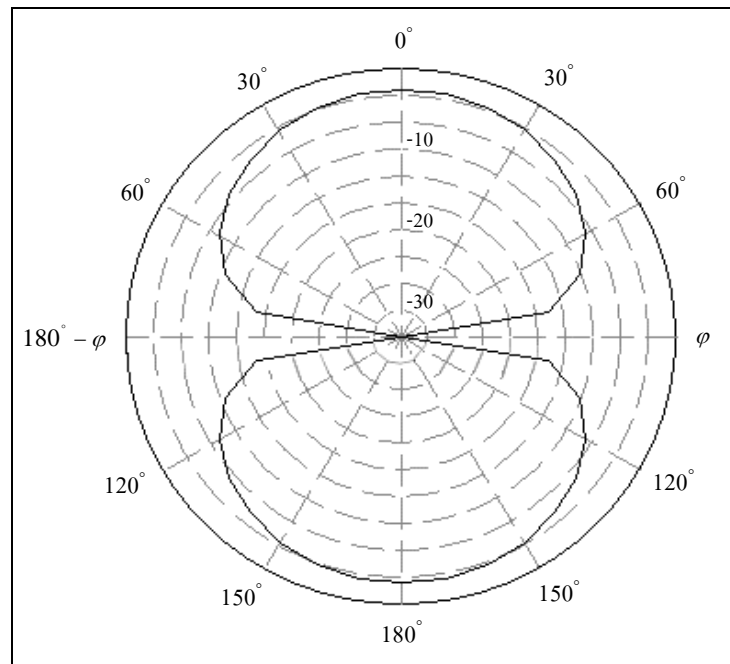
รูปที่ 3.9 อัตราการขยายของสายสายอากาศที่ได้จากการจำลองผล



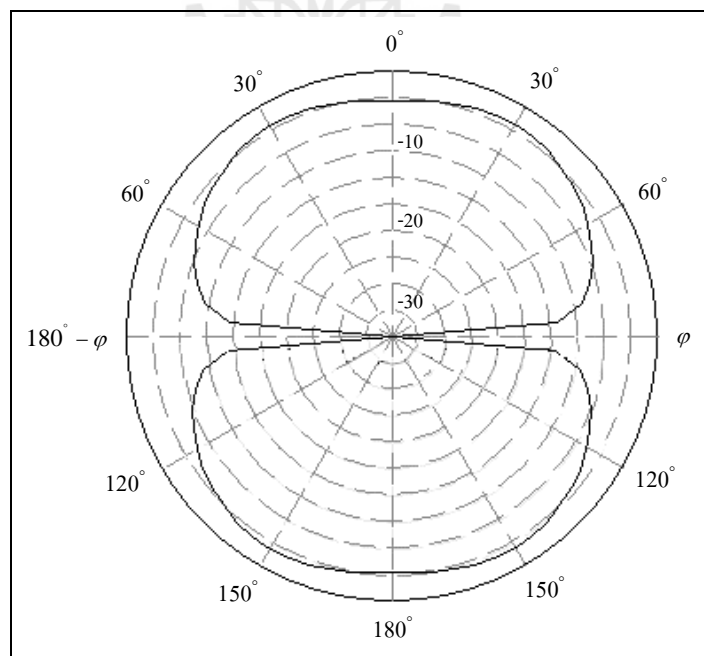
ก. ที่ความถี่ 3.1 GHz



ข. ที่ความถี่ 5.1 GHz

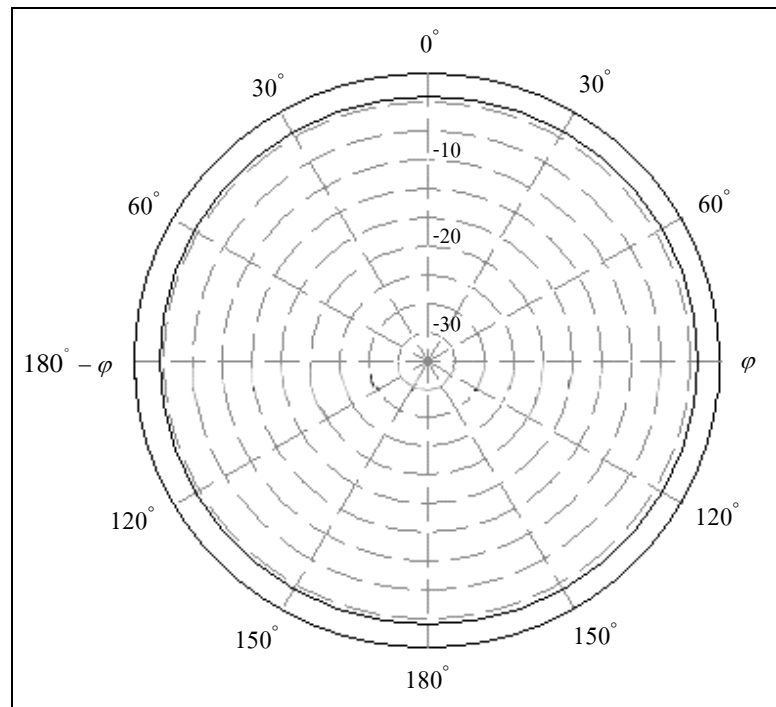


ค. ที่ความถี่ 7.1 GHz

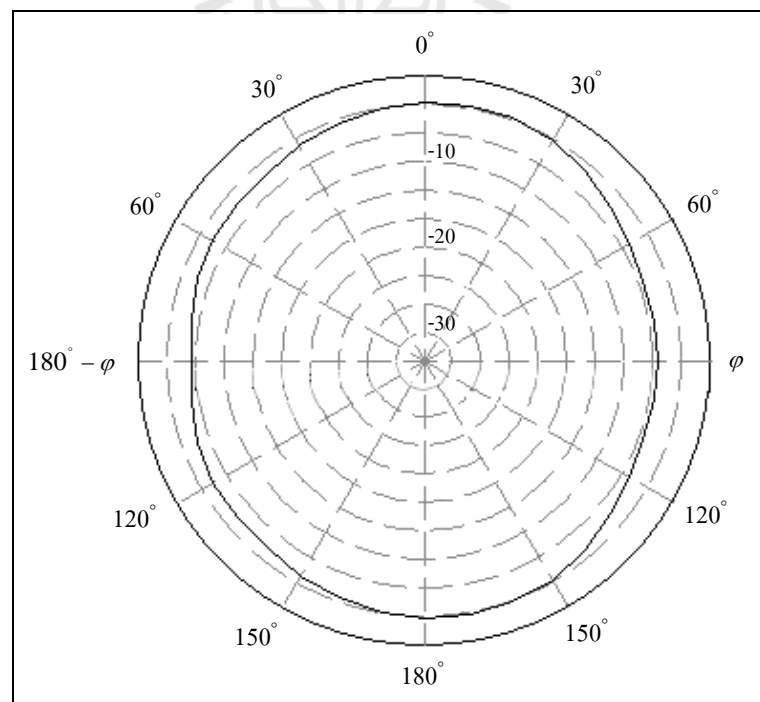


ง. ที่ความถี่ 9.1 GHz

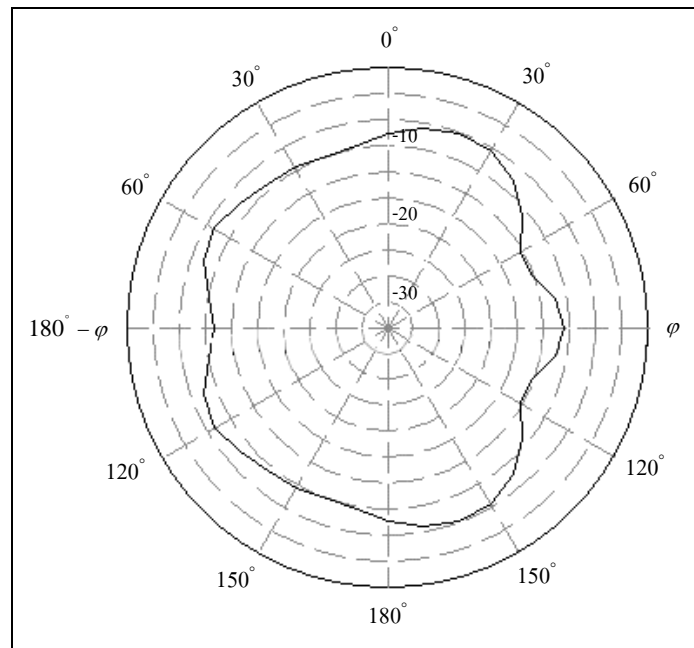
รูปที่ 3.10 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ต่าง ๆ



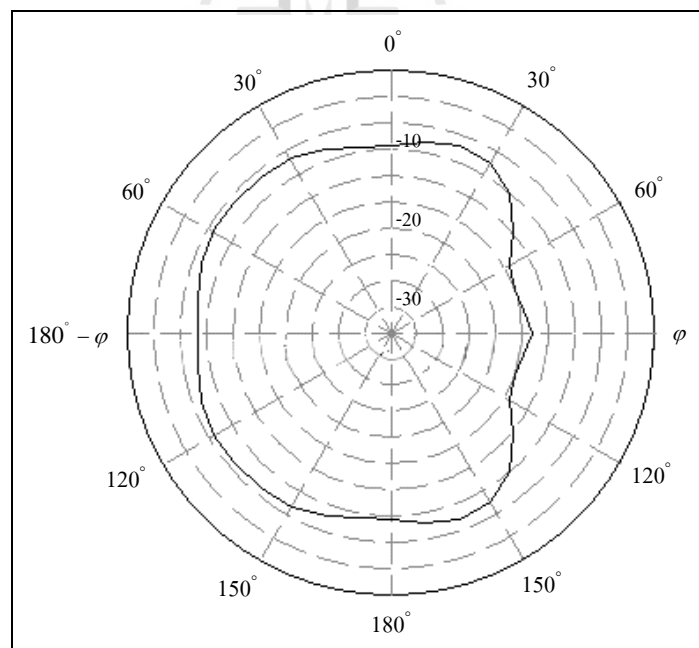
ก. ที่ความถี่ 3.1 GHz



ข. ที่ความถี่ 5.1 GHz



ค. ที่ความถี่ 7.1 GHz



ง. ที่ความถี่ 9.1 GHz

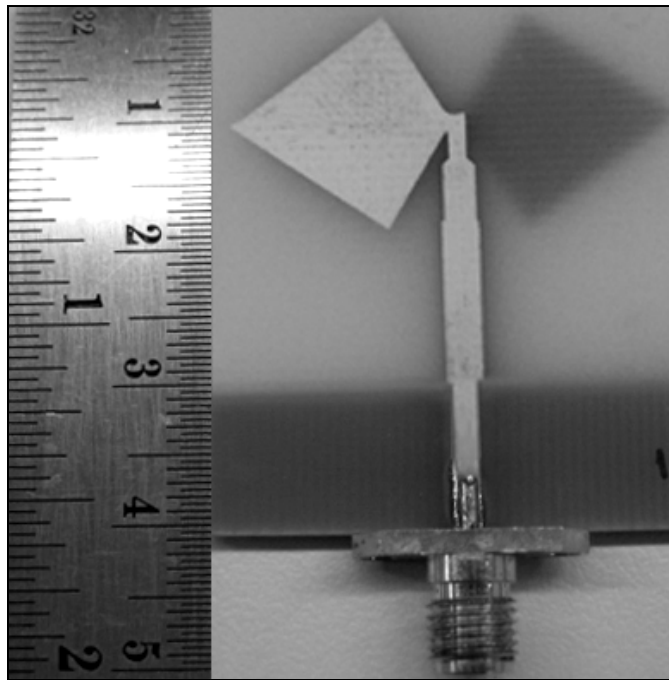
รูปที่ 3.11 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ต่าง ๆ



สำหรับผลการจำลองแบบสายอากาศในส่วนของการแผ่พลังงาน พบว่าสายอากาศที่ได้จากการออกแบบในครั้งนี้มีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดี่ยว และจากผลการจำลองแบบนั้นพบว่าสายอากาศที่ทำการออกแบบมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ดี แต่แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานที่ได้นั้นมีลักษณะที่แตกต่างกันไปบ้างในแต่ละความถี่ เนื่องจากสายอากาศที่ทำการออกแบบนั้นเป็นสายอากาศที่มีแบนด์วิดท์กว้างมาก และยากต่อการควบคุมเสถียรภาพของแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศให้เหมือนกันในทุกความถี่ได้

### 3.4 การสร้างสายอากาศต้นแบบ

จากการออกแบบสายอากาศและจำลองผลด้วยโปรแกรม IE3D เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ โดยได้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศต้นแบบออกมา และจำเป็นต้องนำขนาดที่ได้จริงจากการจำลองผลด้วยโปรแกรม IE3D มาเพื่อทำการสร้างสายอากาศต้นแบบ แต่เนื่องจากรูปแบบของไฟล์ภาพที่ได้จากโปรแกรม IE3D นั้นมีนามสกุลของแฟ้มข้อมูลคือ GEO และไม่สามารถพิมพ์ออกมาเป็นขนาดจริงหรือใช้ร่วมกับเครื่องมือช่วยที่มีการโปรแกรม เพื่อทำการกำหนดเส้นทางวิ่งของการกัดหรือเซาะร่องของแผ่นวงจรพิมพ์ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแปลงไฟล์หรือนำไฟล์ออกจากโปรแกรม IE3D ก่อน โดยวิธีการนำไฟล์ออกมานั้นจะต้องทำผ่านทางโปรแกรม auto CAD ที่มีนามสกุลของแฟ้มข้อมูลเป็น DXF เนื่องจากโปรแกรม auto CAD นี้สามารถที่จะพิมพ์ขนาดจริงออกมาได้ เพื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือช่วยสำหรับการกัดแผ่นวงจรพิมพ์ หรือการทำไครฟิล์ม (dry film) ซึ่งผลจากการออกแบบสายอากาศสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ด้วยโปรแกรม IE3D ทำให้ได้สายอากาศที่มีแบนด์วิดท์กว้างครอบคลุมย่านความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ใช้งานของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ โดยการสร้างสายอากาศต้นแบบจริงนั้นได้เลือกใช้แผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 แบบสองหน้าเป็นวัสดุฐานรองที่สามารถใช้ได้ ในย่านความถี่สูง ซึ่งสายอากาศที่ได้นั้นมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีโครงสร้างที่ออกแบบง่ายไม่ซับซ้อน วัสดุที่ใช้สำหรับสร้างสายอากาศนี้สามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาถูก โดยโครงสร้างของสายอากาศต้นแบบสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ แสดงดัง รูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศต้นแบบ

เมื่อทำการสร้างสายอากาศต้นแบบเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะต้องทดลองวัดค่าความสูญเสีย เนื่องจากการย้อนกลับ ค่าอัตราขยาย ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง รวมถึงแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศ ทั้งระนาบสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กต่อไป

### 3.5 ผลการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ

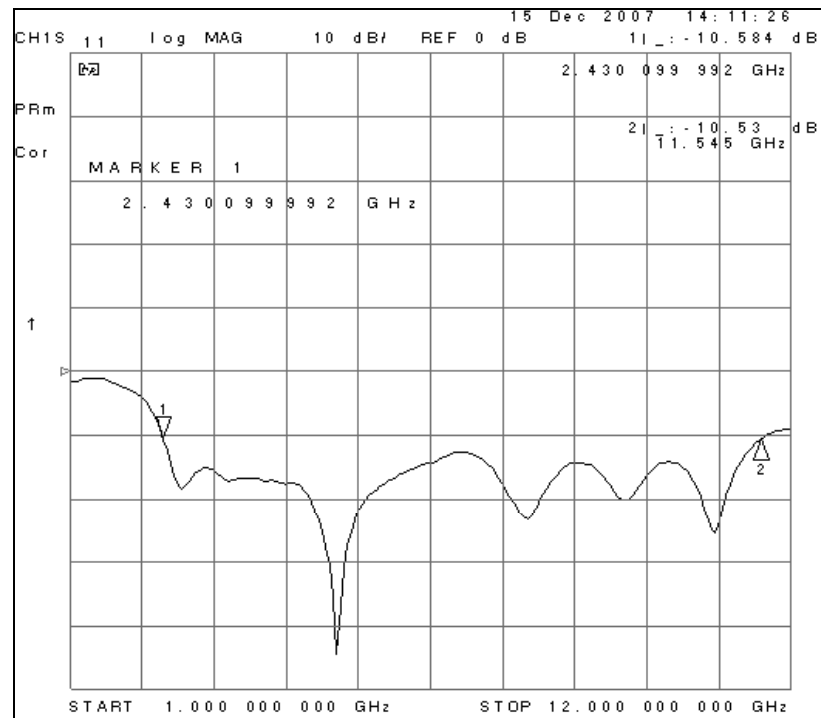
สำหรับการทดสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศนั้น พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาคือ ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ และค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศ เนื่องจากสามารถใช้เพื่อพิจารณาถึงการแมตซ์อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศได้ โดยค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับนั้นสามารถมีค่าได้ตั้งแต่ 0 dB ถึง ลบอนันต์ (Negative infinity : dB) ซึ่งถ้ามีค่าเท่ากับ 0 dB แสดงว่าสายอากาศไม่แมตซ์อย่างสมบูรณ์ และถ้ามีค่าเป็นลบอนันต์ แสดงว่าสายอากาศมีการแมตซ์ที่สมบูรณ์ดีที่สุด (รังสรรค์ และ ชวงค์, ม.ป.ป) หรือพิจารณาการแมตซ์อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศได้จากค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง โดยค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่งนั้นสามารถมีค่าต่ำสุดตั้งแต่ 1 ถึงอนันต์ ซึ่งถ้าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศ มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าสายอากาศนั้นมีการแมตซ์ที่สมบูรณ์ นั่นคือพลังงานอินพุตที่ป้อนให้กับสายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นออกไปทั้งหมดไม่มีการสะท้อนกลับมา แต่ถ้าสายอากาศมีอัตราส่วนคลื่นนิ่งเท่ากับอนันต์หมายความว่า สายอากาศนั้นเกิดการไม่แมตซ์อย่างยิ่ง ทำให้

พลังงานที่ส่งออกไปจากสายอากาศเกิดการสะท้อนกลับมาทั้งหมด ซึ่งอาจทำให้เครื่องรับส่งเสียหายได้ ดังนั้นในการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศจะยอมรับได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ซึ่งจะสอดคล้องกับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งเท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า แสดงว่ามีการแมตซ์ที่ดี โดยจากการวัดทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศในการวิจัยฉบับนี้ ได้กำหนดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศให้มีค่าน้อยกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ใช้งาน และอัตราส่วนคลื่นนิ่งให้มีค่าเท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าสายอากาศมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่มีค่าน้อยกว่า -10 dB ที่ตลอดย่านความถี่ 2.43 GHz ถึง 11.54 GHz ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่งซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่า 2 สำหรับช่วงความถี่ 2.43 GHz ถึง 11.54 GHz แสดงได้ในรูปที่ 3.14 โดยสามารถหาความกว้างแถบความถี่ของสายอากาศได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

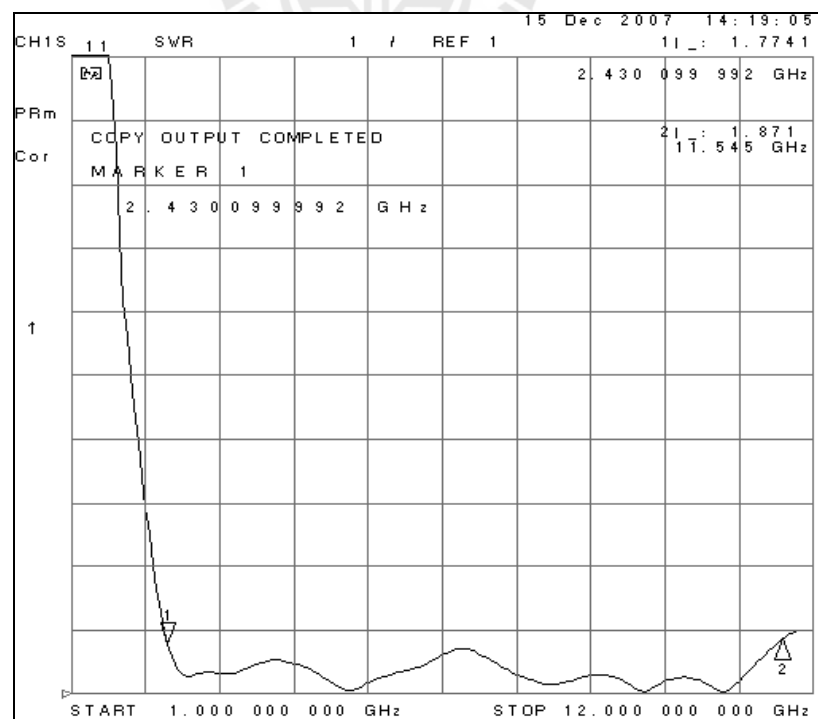
$$\% \text{ ความกว้างแถบของสัญญาณ} = \frac{f_{high} - f_{low}}{f_c} \times 100 \quad (3.4)$$

$$\% \text{ ความกว้างแถบ} = \left( 2 \frac{f_{high} - f_{low}}{f_{high} + f_{low}} \right) \times 100 \quad (3.5)$$

เมื่อ  $f_{high}$  คือค่าความถี่สูงสุด  $f_{low}$  คือค่าความถี่ต่ำสุด และ  $f_c$  คือค่าความถี่กลางของสายอากาศ



รูปที่ 3.13 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ได้จากการทดสอบสายอากาศต้นแบบ

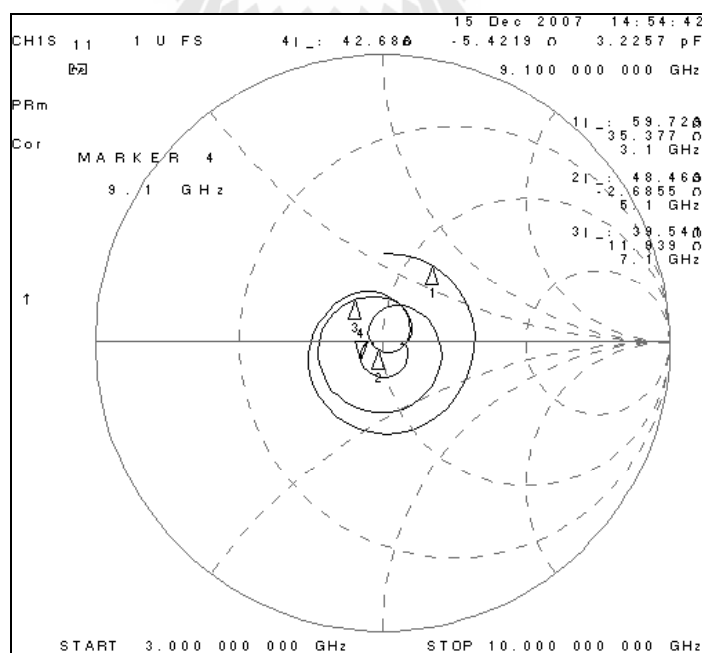


รูปที่ 3.14 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากการทดสอบสายอากาศต้นแบบ

โดยจากรูปที่ 3.13 พบว่าสายอากาศต้นแบบมีความกว้างแถบประมาณ 130.42% หรือคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่สูงสุดต่อความถี่ต่ำสุดได้ประมาณ 5 : 1 ที่ค่าความถี่กลาง 7 GHz

### 3.6 ผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

ผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศต้นแบบ สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ โดยทำการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ ซึ่งทำการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ทำการออกแบบนั้นจะเลือกแสดงผลให้เห็นใน 4 ความถี่เท่านั้น เนื่องจากเป็นความถี่ที่จะนำไปวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงาน และจากผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศต้นแบบพบว่าสายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 3.1 GHz เท่ากับ  $59.72 + j35.37 \Omega$  ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 5.1 GHz มีค่าเท่ากับ  $48.46 + j2.68 \Omega$  ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 7.1 GHz มีค่าเท่ากับ  $39.54 + j11.01 \Omega$  และค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 9.1 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $42.68 - j5.42 \Omega$  แสดงได้ดังรูปที่ 3.15 โดยจากผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศพบว่าสายอากาศมีอิมพีแดนซ์อยู่ในช่วง 40  $\Omega$  ถึง 60  $\Omega$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 50  $\Omega$  เนื่องจากการแสดงว่าสายอากาศต้นแบบที่ทำการออกแบบนั้น มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ดีตลอดช่วงความถี่ใช้งาน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.15 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการวัดทดสอบสายอากาศในช่วงความถี่ต่าง ๆ

### 3.7 ผลการทดลองวัดค่าอัตราการขยายของสายอากาศ

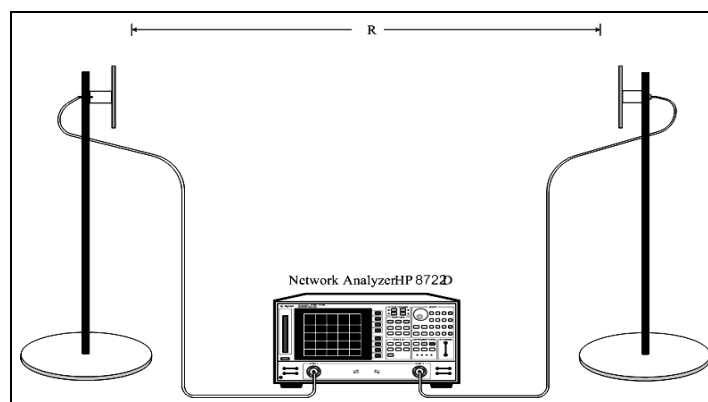
สำหรับการวัดอัตราการขยายของสายอากาศในการวิจัยฉบับนี้นั้น ได้ใช้เทคนิควิธีการวัดด้วยสายอากาศสองตัว (two-antenna method) โดยสายอากาศทั้งสองตัวมีลักษณะและคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ ซึ่งมีสายอากาศตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่ง และอีกตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับ สามารถนำสมการพื้นฐานของ Friis (Friis transmission equation) มาทำการคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{P_r}{P_t} = \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_t G_r \quad (3.6)$$

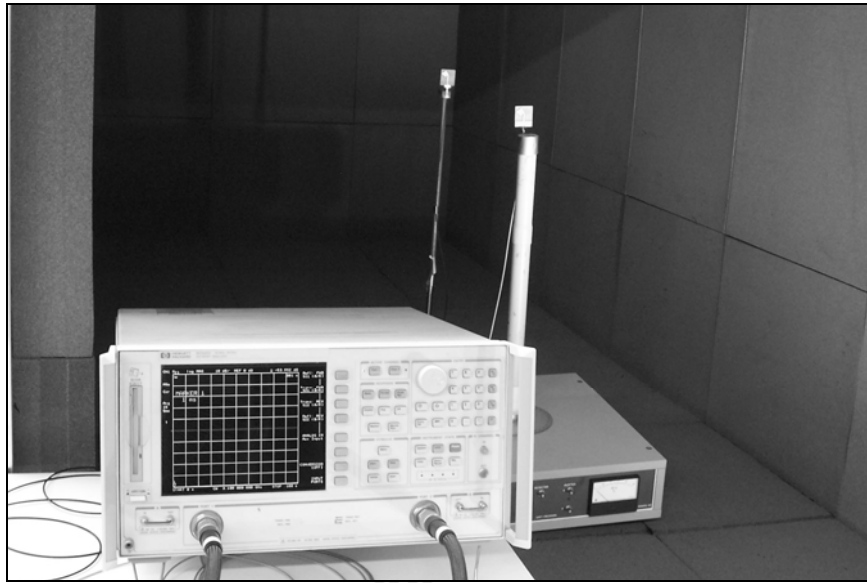
เมื่อ  $P_t$  คือพลังงานอินพุตที่ป้อนให้สายอากาศส่ง  $G_t$  คืออัตราการขยายของสายอากาศส่ง  $P_r$  คือพลังงานเอาต์พุตของสายอากาศรับ  $G_r$  คืออัตราการขยายของสายอากาศรับ และ  $r$  คือระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เมื่อสายอากาศส่งและสายอากาศรับเป็นสายอากาศรูปแบบเดียวกัน ดังนั้น  $G_t = G_r = G$  เมื่อนำไปคำนวณหาอัตราการขยายในหน่วย dB ได้ดังสมการที่ (3.7)

$$G_{dB} = \frac{1}{2} \left[ 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{P_r}{P_t} \right) \right] \quad (3.7)$$

สำหรับการวัดอัตราการขยายของสายอากาศในการวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์วัดพลังงานที่รับได้ แสดงได้ดังรูปที่ 3.16 และ รูปที่ 3.17

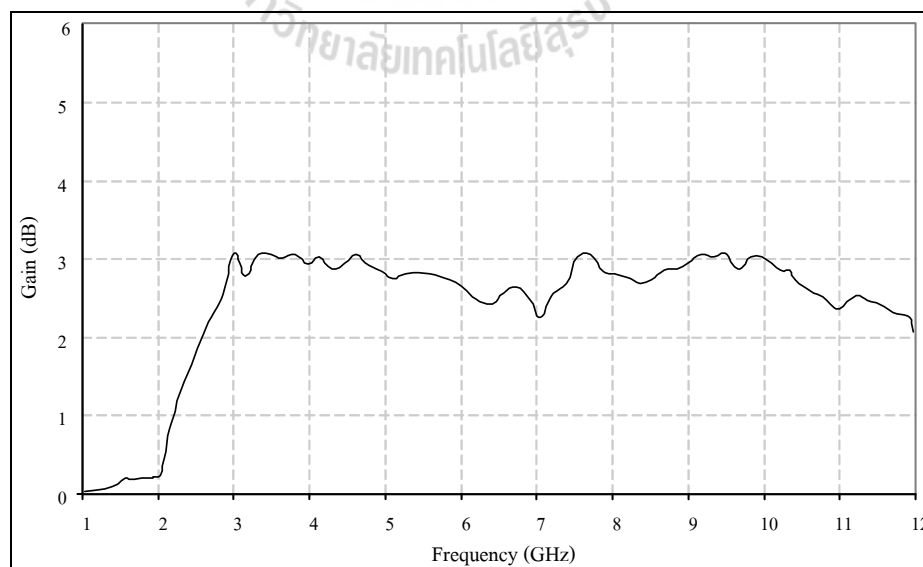


รูปที่ 3.16 การเตรียมเครื่องมือสำหรับการวัดอัตราการขยายของสายอากาศต้นแบบ



รูปที่ 3.17 การวัดอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ

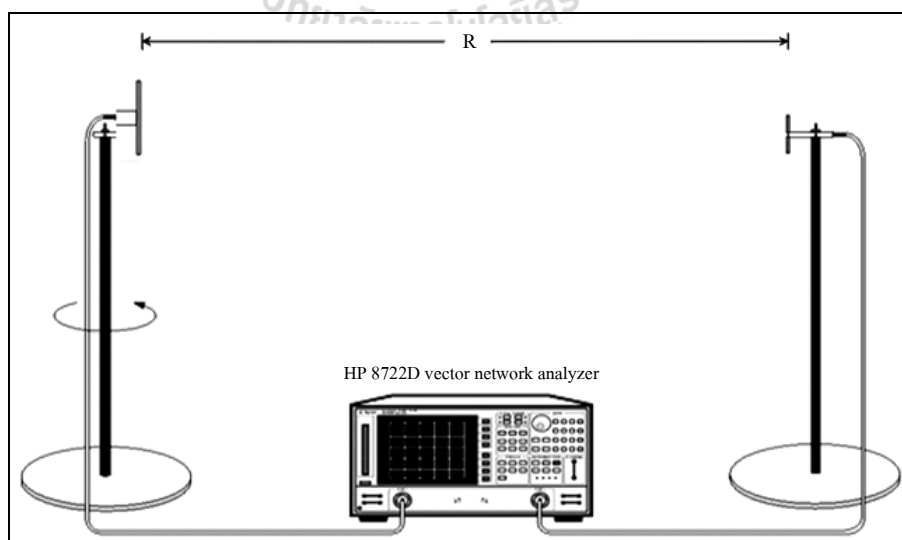
โดยในการทดลองนั้นพลังงานอินพุตที่ป้อนให้กับสายอากาศตัวส่งเท่ากับ  $-10$  dB ตลอดย่านความถี่  $1$  GHz ถึง  $12$  GHz และนำค่าที่รับได้ของสายอากาศที่คิดเป็นพลังงาน  $P_r$  แทนค่าลงในสมการที่ (3.7) แล้วจะได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบจากการวัดทดสอบในแต่ละความถี่ตลอดย่านดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ

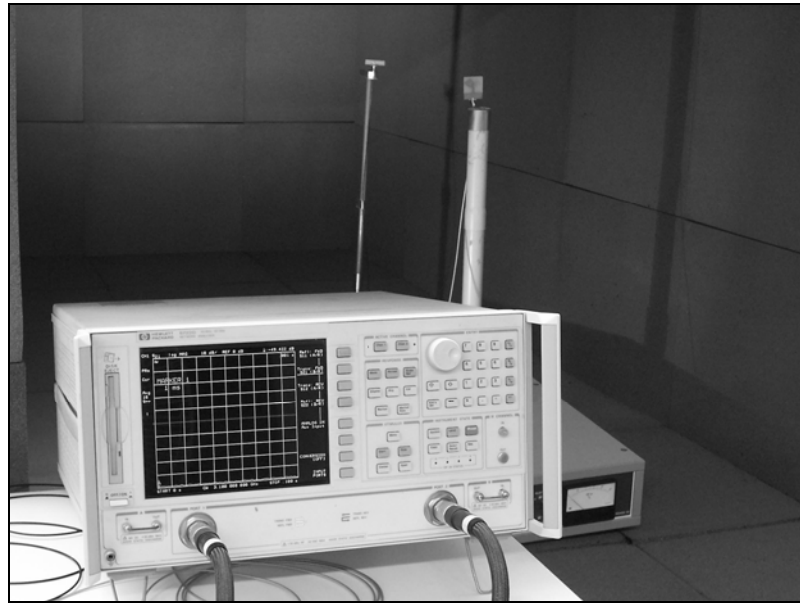
### 3.8 ผลการทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศ

สำหรับแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศนั้น คือ รูปที่ใช้เพื่อเป็นตัวบ่งบอก ลักษณะการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่เป็นฟังก์ชันของทิศทาง โดยการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศนั้นจะทำการวัดที่บริเวณสนามระยะไกล (far field region) ทั้งในระนาบของสนามไฟฟ้า (E-plane) และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) โดยสามารถคำนวณจากความสัมพันธ์  $R \geq 2D^2/\lambda$  โดยที่  $R$  คือระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับที่ทำการทดสอบที่ความถี่ต่ำสุด และ  $D$  คือ ขนาดของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 40 มิลลิเมตร และ  $\lambda$  คือความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้คำนวณ โดยใช้ทดสอบอ้างอิงที่ความถี่ต่ำสุด 3.1 GHz ดังนั้นที่สนามระยะไกลจะกำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับเท่ากับ 45 เซนติเมตร ซึ่งในการทดสอบจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก โดยจะทำการหมุนสายอากาศต้นแบบเพื่อรับคลื่นจาก 0 องศา จนถึง 360 องศา และสายอากาศที่ต้องการทดสอบนั้นจะเป็นสายอากาศตัวรับ ส่วนสายอากาศตัวส่งเป็นสายอากาศแบบไมโครสตริป ไดโพลที่ออกแบบให้มีความถี่เดียวกับความถี่สายอากาศด้านรับที่ต้องการวัดนั้นคือ ที่ความถี่ 3.1 GHz 5.1 GHz 7.1 GHz และ 9.1 GHz โดยสายอากาศรับและสายอากาศส่งนั้นจะต้องมีโพลาไรซ์ที่เหมือนกัน และระดับความสูงของสายอากาศรับและสายอากาศส่งต้องเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 3.19 ซึ่งเป็นการเตรียมเครื่องมือสำหรับการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศต้นแบบ โดยที่จะทำการทดสอบในห้องปิดกั้นคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไร้คลื่นสะท้อน (anechoic chamber) ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 การเตรียมเครื่องมือสำหรับวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศต้นแบบ





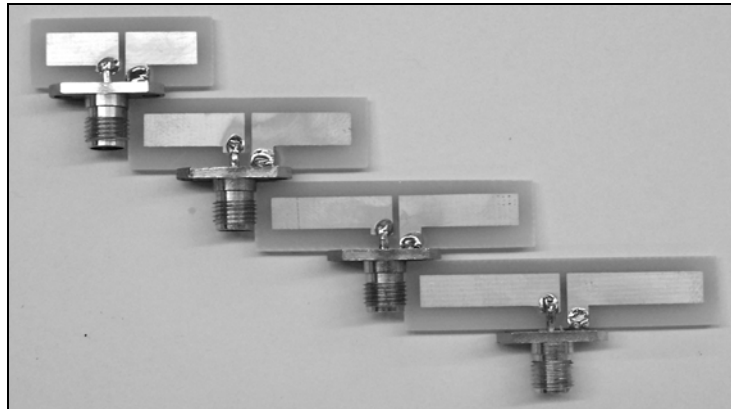
รูปที่ 3.20 การวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศต้นแบบ

โดยสายอากาศไมโครสตริปไดโพลที่ใช้ส่งสัญญาณให้กับสายอากาศต้นแบบที่ต้องการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานในแต่ละความถี่นั้น สามารถคำนวณค่าความยาวและความกว้างของสายอากาศ (Guillermo, 1996; Reinhold and Pavel, 2000) ได้ดังสมการที่ (3.8) และสมการที่ (3.9)

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + 12 \frac{h}{w} \right)^{-1/2} \quad (3.8)$$

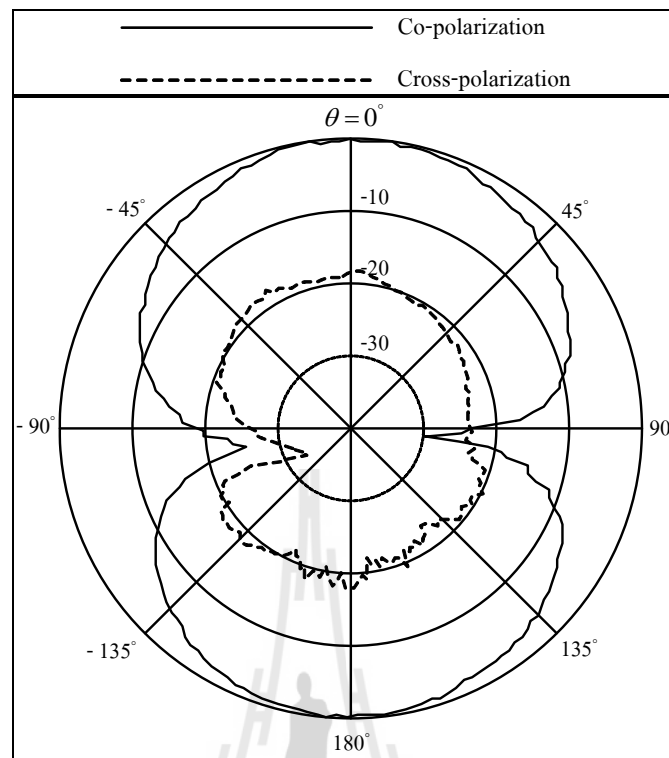
$$l = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.9)$$

เมื่อ  $\epsilon_r$  คือค่าคงที่ไดอิเล็กทริก  $\lambda$  คือความยาวคลื่น  $w$  คือความกว้างของไมโครสตริป  $h$  คือความหนาของวัสดุฐานรอง  $c$  คือความเร็วแสงในสุญญากาศ ( $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที) และ  $f$  คือความถี่ที่ต้องการใช้งาน โดยเลือกใช้แผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 เป็นวัสดุฐานรองเช่นเดียวกับสายอากาศต้นแบบ ดังนั้นจะได้สายอากาศไมโครสตริปไดโพลดังแสดงในรูปที่ 3.21 ซึ่งสายอากาศตัวส่งแบบไมโครสตริปไดโพลนี้ต้องเป็นสายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดี่ยวเช่นเดียวกับสายอากาศแบบไดโพลทั่วไป

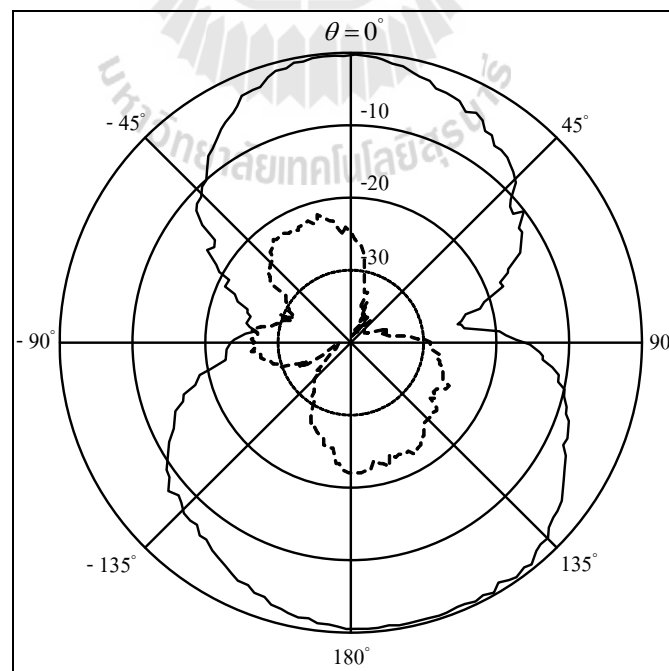


รูปที่ 3.21 สายอากาศตัวส่งแบบไมโครสตริปไดโพล

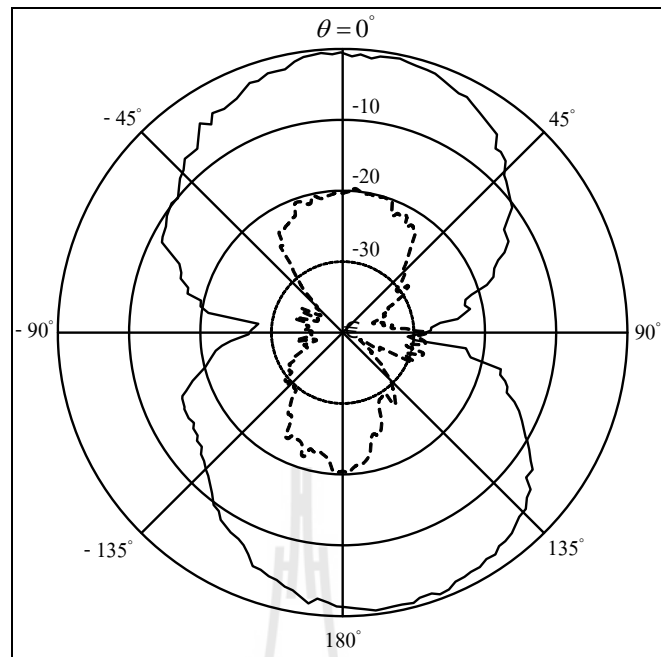
โดยผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าทั้งใน  
รูปแบบของโพลาริเซชันร่วม และในรูปแบบของโพลาริเซชันไขว้ จากความถี่ที่เลือกมาทำการ  
ทดสอบทั้งสี่ความถี่ตามค่าที่เลือกมาแสดงในส่วนของการจำลองแบบด้วยโปรแกรม IE3D เพื่อใช้  
สำหรับการเปรียบเทียบซึ่งกันและกันในแต่ละความถี่ โดยจากผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่  
กระจายพลังงานของสายอากาศต้นแบบในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก ที่  
ความถี่ 3.1 GHz 5.1 GHz 7.1 GHz และ 9.1 GHz สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.22 และรูปที่ 3.23



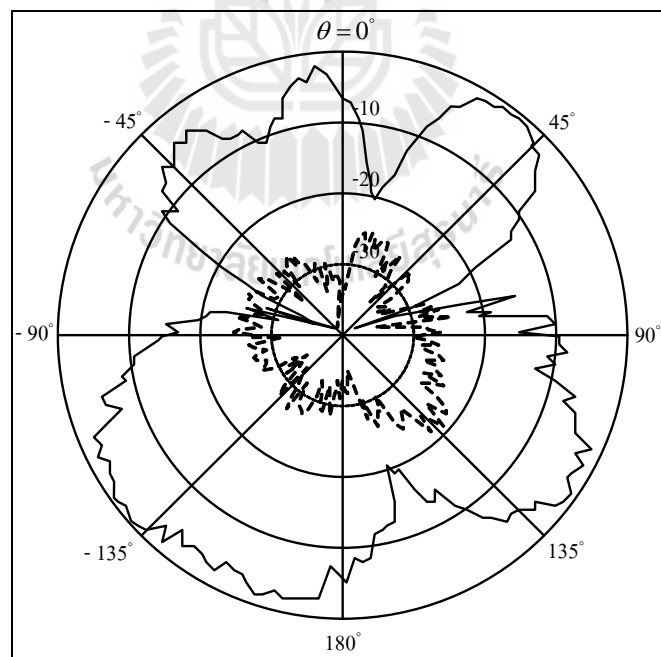
ก. ที่ความถี่ 3.1 GHz



ข. ที่ความถี่ 5.1 GHz

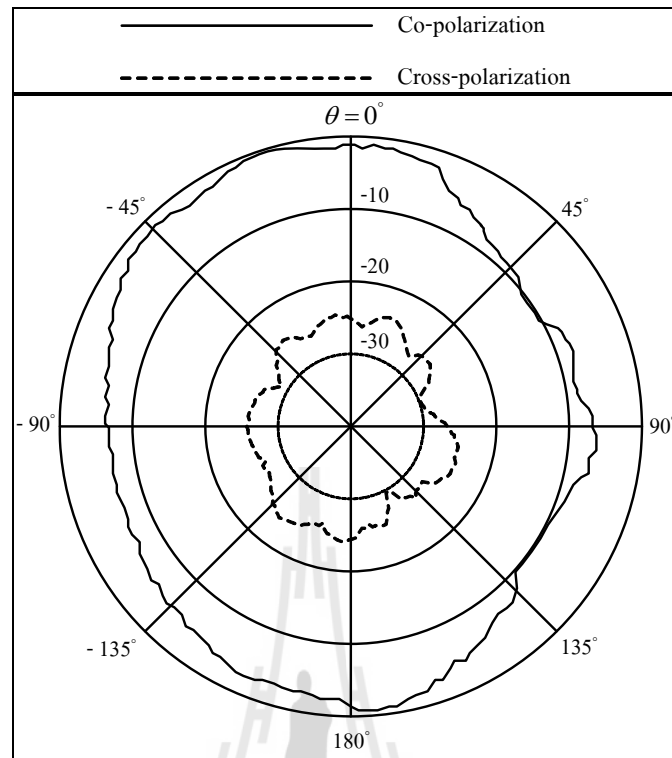


ค. ที่ความถี่ 7.1 GHz

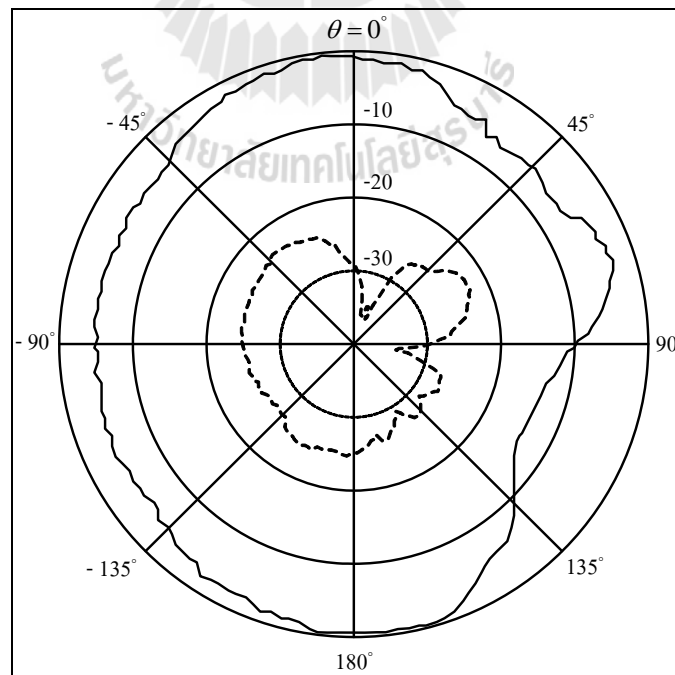


ง. ที่ความถี่ 9.1 GHz

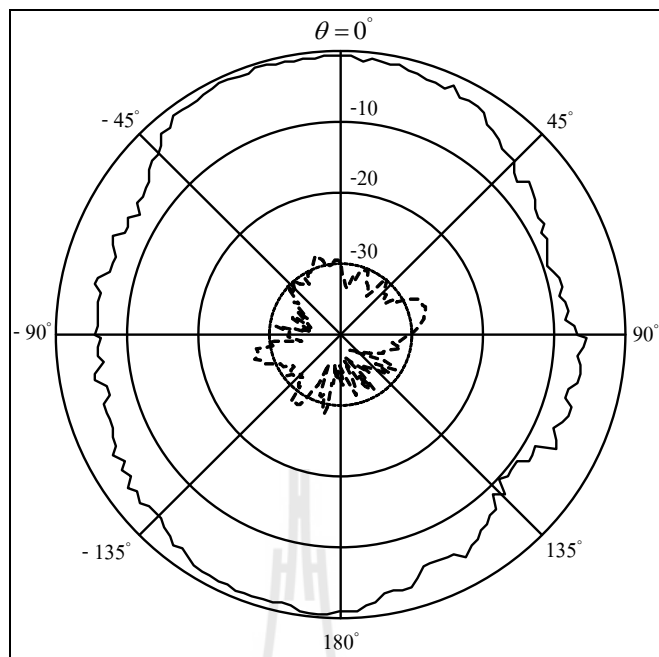
รูปที่ 3.22 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ต่าง ๆ



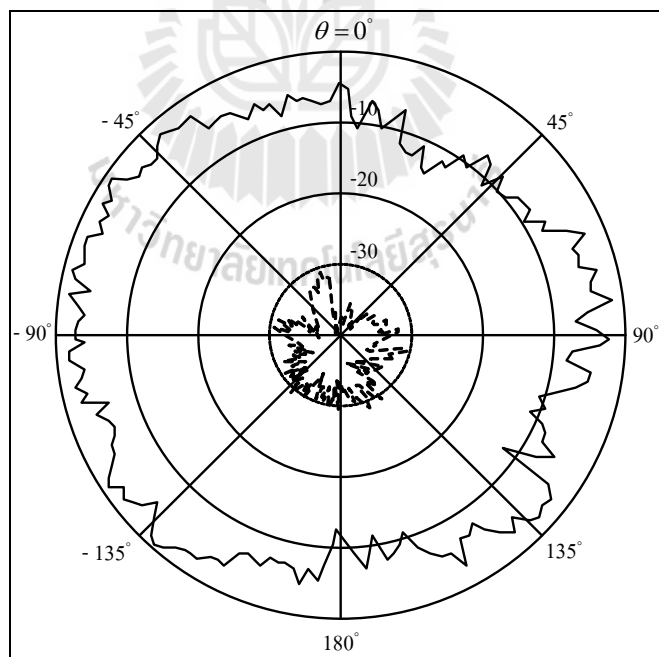
ก. ที่ความถี่ 3.1 GHz



ข. ที่ความถี่ 5.1 GHz



ค. ที่ความถี่ 7.1 GHz



ง. ที่ความถี่ 9.1 GHz

รูปที่ 3.23 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ต่าง ๆ

โดยจากผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า และในระนาบสนามแม่เหล็ก ทั้งในรูปแบบของโพลาริเซชันร่วม และโพลาริเซชันไขว้ พบว่าแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในรูปแบบของโพลาริเซชันร่วมนั้น มีพลังงานที่สูงกว่าในรูปแบบโพลาริเซชันไขว้มาก คือมีระดับของสัญญาณแตกต่างกันประมาณ 10 dB ถึง 30 dB และจากผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก พบว่าสายอากาศต้นแบบมีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดียว

จากคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบที่ได้จากการวัดและทดสอบในทุก ๆ ค่า นั้น แสดงให้เห็นว่าสายอากาศต้นแบบที่ทำการออกแบบนั้น มีคุณภาพมากพอที่จะนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

### 3.9 สรุป

เนื้อหาที่สำคัญของบทนี้เป็นการกล่าวถึงขั้นตอนการวิเคราะห์ และออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์แบนด์กว้างรูปแบบใหม่ สำหรับการประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ โดยการออกแบบสายอากาศดังกล่าวนี้ใช้โปรแกรม IE3D ในการจำลองแบบ เพื่อหาค่าขนาดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศสำหรับใช้งานกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ประกอบกับมีการออกแบบตัวป้อนสัญญาณของสายอากาศด้วยการแปลงอิมพีแดนซ์สายส่งความยาว  $\lambda/4$  และในการออกแบบสายอากาศนี้ได้เลือกใช้แผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 เป็นวัสดุฐานรอง ซึ่งสามารถใช้ได้ในย่านความถี่สูง โดยจากผลการจำลองแบบของสายอากาศพบว่าสายอากาศมีแบนด์วิดท์กว้างครอบคลุมตลอดย่านความถี่ใช้งานตั้งแต่ 2.5 GHz–12 GHz มีอัตราขยายเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3 dB และมีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศเป็นแบบรอบตัวในระนาบเดียว และจากผลการจำลองแบบนั้นพบว่าสายอากาศที่ทำการออกแบบมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ดี แต่แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานที่ได้นั้นมีลักษณะที่แตกต่างกันไปบ้างในแต่ละความถี่ เนื่องจากสายอากาศที่ทำการออกแบบนั้นเป็นสายอากาศที่มีแบนด์วิดท์กว้างมาก และยากต่อการควบคุมเสถียรภาพของแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศให้เหมือนกันในทุกความถี่ได้

## บทที่ 4

# สายอากาศไมโครสตริปแพตช์แบนด์กว้างแบบแถวลำดับ และวงจรกิจก์ส่วนหน้า สำหรับวิเคราะห์การรับส่งสัญญาณพัลส์ของระบบสื่อสารไร้สาย อัลตราไวด์แบนด์

### 4.1 กล่าวนำ

จากการกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์แบนด์กว้างแบบ ซึ่งมี การพิจารณาคุณลักษณะของสายอากาศจากการจำลองผลด้วยโปรแกรม IE3D และผลการทดลองแล้ว พบว่าทั้งสองกรณีนี้มีความสอดคล้องกับทฤษฎี ซึ่งจากผลการทดลองสายอากาศต้นแบบตัวเดียว นั้นจะให้อัตราขยายในระดับหนึ่งคือ 2-4 dB และมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบรอบตัว ดังนั้นต่อไป จะได้กล่าวถึงแนวทางในการพัฒนาสายอากาศต้นแบบนี้ เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศให้มีอัตราขยายที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศนั้นสามารถทำได้โดยการทำสายอากาศแถวลำดับของสายอากาศตัวเดียวและใส่แผ่นสะท้อนคลื่นด้านหลัง เพื่อจุดประสงค์หลักคือการเพิ่มอัตราขยาย ในขณะที่คุณสมบัติทางอิมพีแดนซ์ยังคงเหมือนเดิม ประกอบกับความกว้างแถบและระดับการแมตช์ ซึ่งสายป้อนหรือสายนำสัญญาณจะต้องถูกออกแบบเป็นอย่างดีเพื่อป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศ นอกจากนี้ยังต้องสามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ได้เป็นอย่างดี

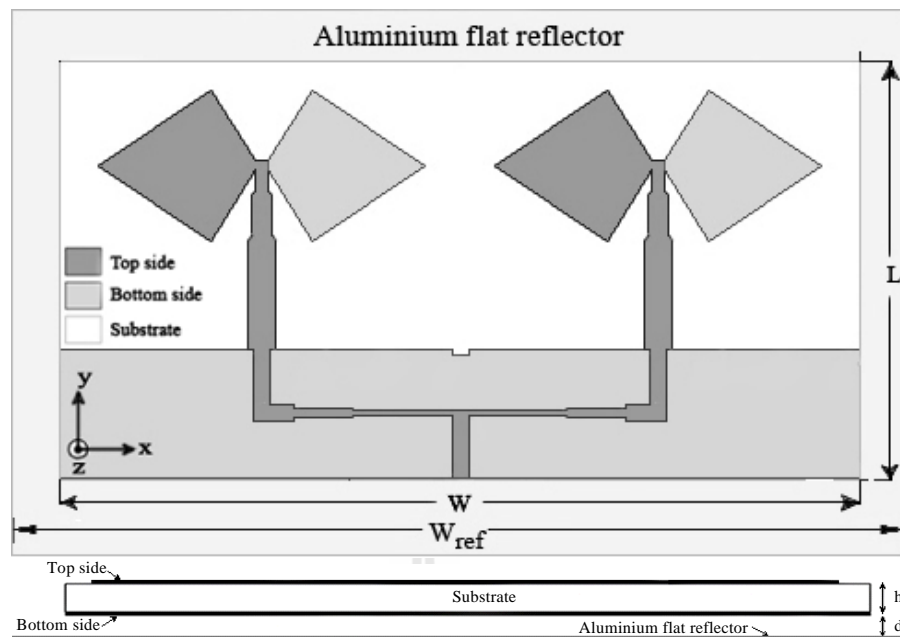
ซึ่งเนื้อหาที่สำคัญในบทนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาสายอากาศต้นแบบ เพื่อสร้างเป็นสายอากาศแถวลำดับจากสายอากาศต้นแบบตัวเดียวจากที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่แล้ว โดยโครงสร้างของสายอากาศจะเป็นแถวลำดับในแนวระนาบ 2 อิลลิเมนต์ มีแผ่นสะท้อนอยู่ด้านหลัง ซึ่งสายอากาศที่ได้นั้นจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบทิศทางเดียว และมีอัตราขยายที่สูงขึ้น เพื่อช่วยลดกำลังงานของเครื่องส่งลงได้ และนอกจากนี้ยังมีการออกแบบวงจรกิจก์สัญญาณพัลส์สำหรับเครื่องส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ เพื่อใช้สำหรับการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบของสัญญาณที่ใช้รับส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการ ทำงานของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมาพบว่าเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ คือ สายอากาศแบบแบนด์กว้างและวงจรกิจก์สัญญาณพัลส์ โดยในส่วนของสายอากาศนั้นได้กล่าวแล้วข้างต้น และอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญ คือ วงจรกิจก์สัญญาณพัลส์ ซึ่งในส่วนของวงจรกิจก์สัญญาณพัลส์นั้นมีการออกแบบด้วยไดโอดพื้นตัว



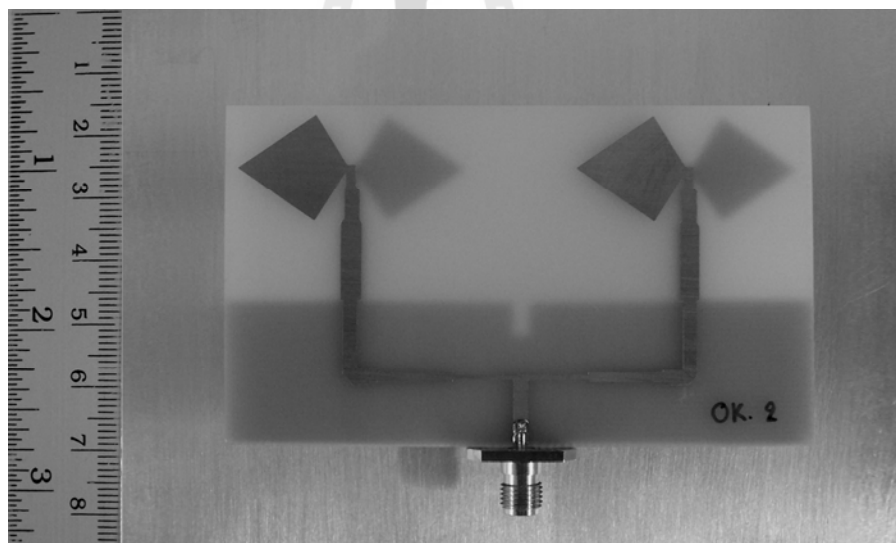
แบบขึ้นร่วมกับการใช้สายประวิงเวลาไมโครสตริป และมีการประยุกต์ใช้วงจรกรองผ่านสูง RC ร่วมด้วย ซึ่งสามารถกำเนิดสัญญาณโมนโอไซเคิลพัลส์ได้โดยตรงจากวงจรถูกกำเนิดพัลส์แบบเกาส์ รวมทั้งมีการวิเคราะห์สัญญาณโมนโอไซเคิลพัลส์ในโดเมนเวลา และในโดเมนความถี่ จากการทดสอบวงจรถูกกำเนิดพัลส์ที่ทำการออกแบบ โดยวงจรถูกกำเนิดพัลส์ที่ได้นั้นถูกสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์แบบ FR-4 และทำการวัดผลของวงจรถูกกำเนิดพัลส์ที่ได้จากการออกแบบทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

## 4.2 การออกแบบและสร้างสายอากาศแบบแถวลำดับ

จากการออกแบบและจำลองสายอากาศต้นแบบตัวเดียวผลด้วยโปรแกรม IE3D เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์แล้ว โดยได้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศต้นแบบออกมา และจำเป็นต้องนำขนาดที่ได้จริงจากการจำลองผลด้วยโปรแกรม IE3D มาเพื่อทำการสร้างสายอากาศต้นแบบ ซึ่งทำให้ได้สายอากาศที่มีมีแบนด์วิดท์กว้างครอบคลุมย่านความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ใช้งานของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ และมีการสร้างสายอากาศต้นแบบจริงโดยเลือกใช้แผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 แบบสองหน้าเป็นวัสดุฐานรองที่สามารถใช้ได้ภายในย่านความถี่สูง ซึ่งสายอากาศที่ได้นั้นมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีโครงสร้างที่ออกแบบง่ายไม่ซับซ้อน จากที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่แล้วต่อไปจะได้ทำการพัฒนาสายอากาศต้นแบบ เพื่อสร้างเป็นสายอากาศแถวลำดับจากสายอากาศต้นแบบตัวเดียว ซึ่งสายอากาศแถวลำดับนี้มีการพัฒนาจากสายอากาศต้นแบบตัวเดียวที่ไม่มีแผ่นสะท้อนด้านหลัง โดยโครงสร้างของสายอากาศจะเป็นแถวลำดับในแนวระนาบ 2 อิลลิเมนต์ แต่ละอิลลิเมนต์มีขนาดเท่ากับสายอากาศต้นแบบตัวเดียวทุกประการ มีแผ่นสะท้อนเป็นอลูมิเนียมวางอยู่ด้านหลัง ซึ่งระยะห่างของแผ่นสะท้อนกับสายอากาศวางห่างกันเป็นระยะ  $d$  โดยที่ระยะดังกล่าวจะต้องมีการปรับเพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อไป นอกจากนี้ยังมีการป้อนสัญญาณด้วยสายป้อนแบบไมโครสตริปที่ต่ออยู่กับสายป้อนสัญญาณของสายอากาศต้นแบบตัวเดียว ขนาด  $50 \Omega$  ซึ่งสายป้อนสัญญาณแบบไมโครสตริปดังกล่าวจะถูกแบ่งออกเป็นสองทางที่ความต้านทานของไมโครสตริป  $70.7 \Omega$  โดยสายป้อนสัญญาณ ที่  $70.7 \Omega$  นี้จะมีความยาวเป็น  $1/4$  ของความยาวคลื่น ( $\lambda/4$ ) ที่ความถี่กลางของช่วงความถี่ที่ทำการออกแบบ และจะถูกเพิ่มความกว้างเพื่อลดอิมพีแดนซ์ที่ระดับความสูงเดียวกันนี้เป็น  $50 \Omega$  อีกครั้งซึ่งต่ออยู่กับตัวต่อชนิด SMA ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของสายอากาศแบบแถวลำดับ



รูปที่ 4.2 สายอากาศแบบแถวลำดับ

เมื่อทำการสร้างสายอากาศแบบแถวลำดับมีแผ่นสะท้อนเป็นอลูมิเนียมวางอยู่ด้านหลังเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะต้องทำการปรับเปลี่ยนระยะ  $d$  ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อน โดยระยะห่างดังกล่าวจะส่งผลต่อคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศค่าความสูญเสีย เนื่องจากการย้อนกลับ ค่าอัตราขยาย ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง รวมถึงแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

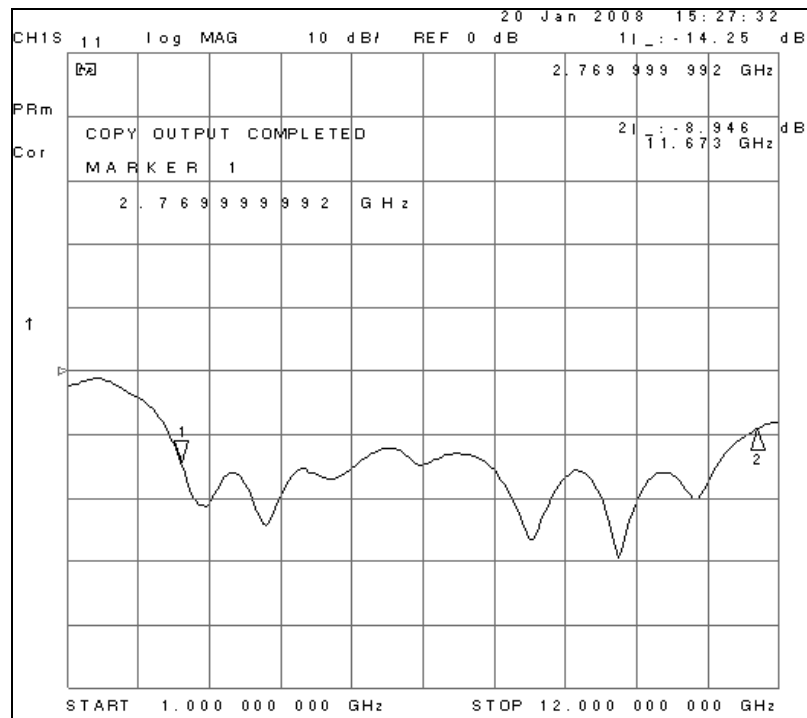
### 4.3 ผลการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแฉวลำดับ

และจากผลการทดลองปรับเปลี่ยนระยะ  $d$  ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อน โดยระยะห่างดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะต่าง ๆ ของสายอากาศสิ่งแรกที่ต้องพิจารณาคือค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ สำหรับการทดสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศนั้น พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาคือ ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ และค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศ เนื่องจากสามารถใช้เพื่อพิจารณาถึงการแมตซ์อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ หรือพิจารณาการแมตซ์อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศได้จากค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง โดยค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่งนั้นสามารถมีค่าต่ำสุดตั้งแต่ 1 ถึงอนันต์ ซึ่งถ้าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศ มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าสายอากาศนั้นมีการแมตซ์ที่สมบูรณ์ นั่นคือพลังงานอินพุตที่ป้อนให้กับสายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นออกไปทั้งหมดไม่มีการสะท้อนกลับมา แต่ถ้าสายอากาศมีอัตราส่วนคลื่นนิ่งเท่ากับอนันต์หมายความว่า สายอากาศนั้นเกิดการไม่แมตซ์อย่างยิ่ง ทำให้พลังงานที่ส่งออกไปจากสายอากาศเกิดการสะท้อนกลับมาทั้งหมด ซึ่งอาจทำให้เครื่องรับส่งเสียหายได้ ดังนั้นในการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศจะยอมรับได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ  $-10$  dB ซึ่งจะสอดคล้องกับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งเท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า แสดงว่ามีการแมตซ์ที่ดี โดยจากการวัดทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศในการวิจัยฉบับนี้ ได้กำหนดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศให้มีย่านน้อยกว่า  $-10$  dB ตลอดย่านความถี่ใช้งาน และอัตราส่วนคลื่นนิ่งให้มีย่านเท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าระยะห่างระหว่างสายอากาศกับแผ่นสะท้อน 5.59 มิลลิเมตร โดยสายอากาศจะมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่มีมีย่านน้อยกว่า  $-10$  dB ที่ตลอดย่านความถี่ 2.76 GHz ถึง 11.63 GHz ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และค่าของอัตราส่วนคลื่นนิ่งซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่า 2 สำหรับช่วงความถี่ 2.76 GHz ถึง 11.63 GHz แสดงได้ในรูปที่ 4.4 โดยสามารถหาความกว้างแถบความถี่ของสายอากาศได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้ Equation Section 4

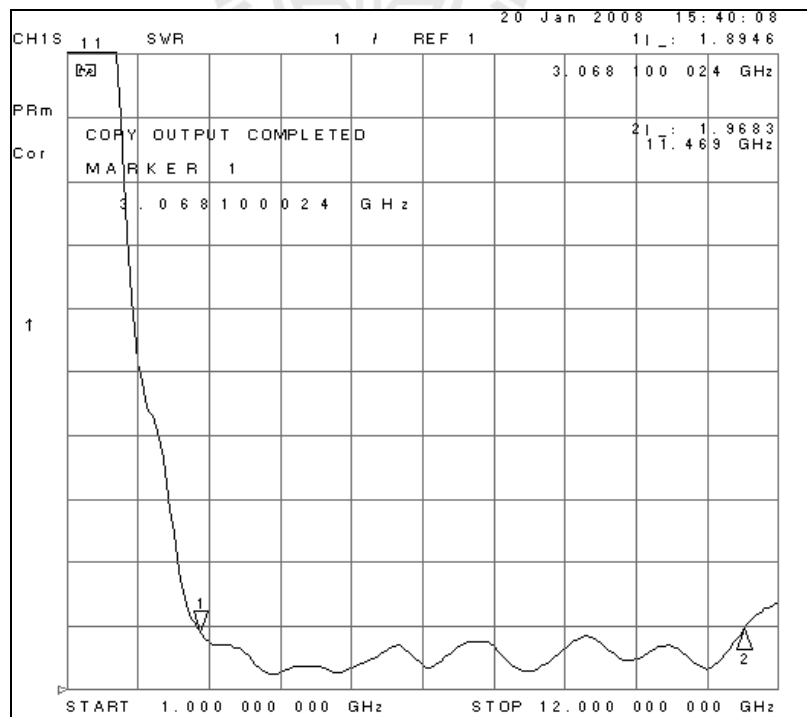
$$\% \text{ ความกว้างแถบของสัญญาณ} = \frac{f_{high} - f_{low}}{f_c} \times 100 \quad (4.1)$$

$$\% \text{ ความกว้างแถบ} = \left( 2 \frac{f_{high} - f_{low}}{f_{high} + f_{low}} \right) \times 100 \quad (4.2)$$

เมื่อ  $f_{high}$  คือค่าความถี่สูงสุด  $f_{low}$  คือค่าความถี่ต่ำสุด และ  $f_c$  คือค่าความถี่กลางของสายอากาศ



รูปที่ 4.3 ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ได้จากการทดสอบสายอากาศแฉวลำดับ

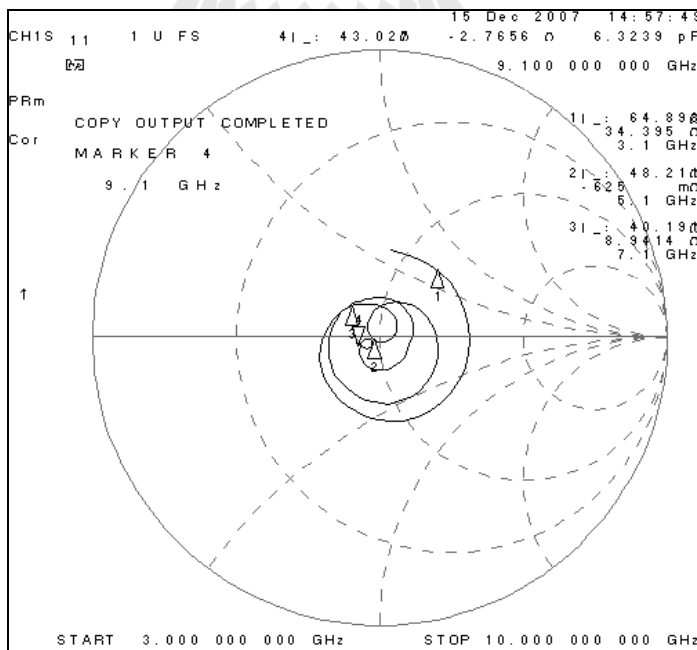


รูปที่ 4.4 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่ได้จากการทดสอบสายอากาศแฉวลำดับ

โดยจากรูปที่ 4.3 พบว่าสายอากาศมีความกว้างแถบประมาณ 122.22% หรือคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่สูงสุดต่อความถี่ต่ำสุดได้ประมาณ 5 : 1 ที่ค่าความถี่กลาง 7.19 GHz

#### 4.4 ผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแฉวลำดับ

ผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศต้นแบบ สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ โดยทำการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ ซึ่งทำการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ทำการออกแบบนั้นจะเลือกแสดงผลให้เห็นใน 4 ความถี่เท่านั้น เนื่องจากเป็นความถี่ที่จะนำไปวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงาน และจากผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศต้นแบบพบว่าสายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 3.1 GHz เท่ากับ  $64.89+j34.39 \Omega$  ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 5.1 GHz มีค่าเท่ากับ  $40.21+j0.62 \Omega$  ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 7.1 GHz มีค่าเท่ากับ  $40.19+j8.94 \Omega$  และค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 9.1 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $43.02-j2.76 \Omega$  แสดงได้ดังรูปที่ 4.5 โดยจากผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศพบว่าสายอากาศมีอิมพีแดนซ์อยู่ในช่วง 40  $\Omega$  ถึง 60  $\Omega$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 50  $\Omega$  เนื่องจากการแสดงว่าสายอากาศต้นแบบที่ทำการออกแบบนั้น มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ดีตลอดช่วงความถี่ใช้งาน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.5 ค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการวัดทดสอบสายอากาศในช่วงความถี่ต่าง ๆ

#### 4.5 ผลการทดลองวัดค่าอัตราการขยายของสายอากาศ

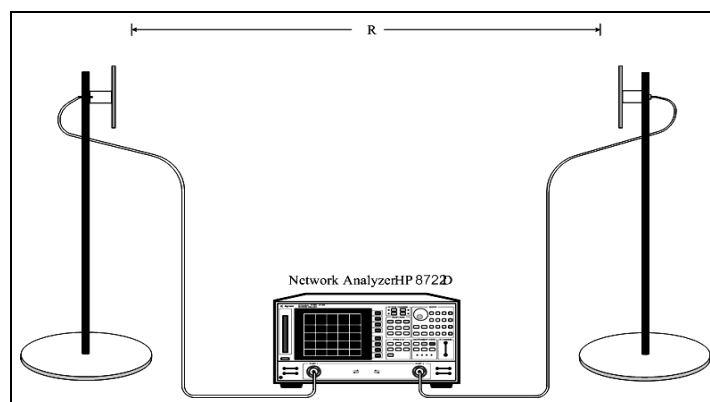
สำหรับการวัดอัตราการขยายของสายอากาศแบบแถวลำดับในการวิจัยฉบับนี้นั้น ได้ใช้เทคนิควิธีการวัดด้วยสายอากาศสองตัวเช่นเดียวกับสายอากาศต้นแบบตัวเดียว (two-antenna method) โดยสายอากาศทั้งสองตัวมีลักษณะและคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ ซึ่งมีสายอากาศตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่ง และอีกตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับ สามารถนำสมการพื้นฐานของ Friis (Friis transmission equation) มาทำการคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{P_r}{P_t} = \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_t G_r \quad (4.3)$$

เมื่อ  $P_t$  คือพลังงานอินพุตที่ป้อนให้สายอากาศส่ง  $G_t$  คืออัตราการขยายของสายอากาศส่ง  $P_r$  คือพลังงานเอาต์พุตของสายอากาศรับ  $G_r$  คืออัตราการขยายของสายอากาศรับ และ  $r$  คือระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เมื่อสายอากาศส่งและสายอากาศรับเป็นสายอากาศรูปแบบเดียวกัน ดังนั้น  $G_t = G_r = G$  เมื่อนำไปคำนวณหาอัตราการขยายในหน่วย dB ได้ดังสมการที่ (4.4)

$$G_{dB} = \frac{1}{2} \left[ 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{P_r}{P_t} \right) \right] \quad (4.4)$$

สำหรับการวัดอัตราการขยายของสายอากาศในการวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์วัดพลังงานที่รับได้ แสดงได้ดังรูปที่ 4.6 และ รูปที่ 4.7

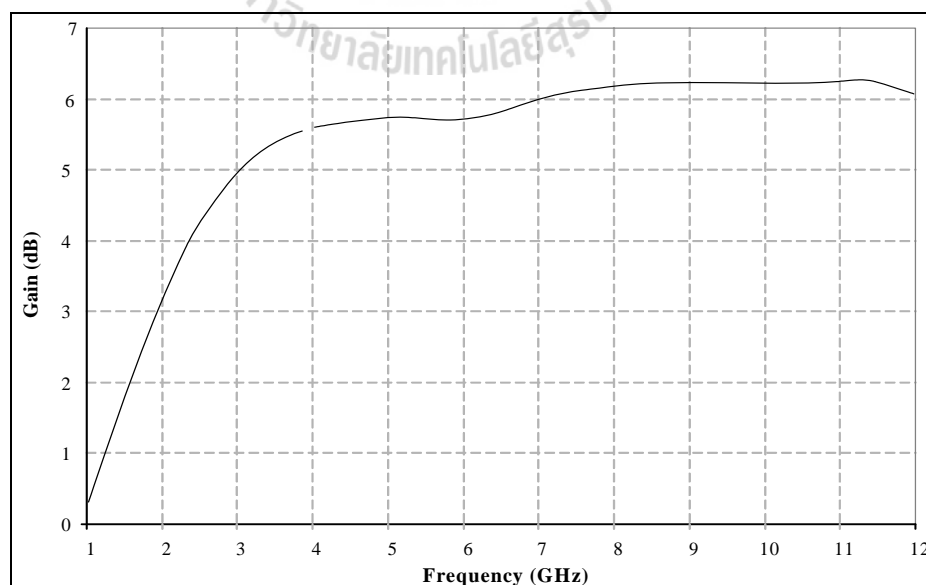


รูปที่ 4.6 การเตรียมเครื่องมือสำหรับการวัดอัตราการขยายของสายอากาศต้นแบบ



รูปที่ 4.7 การวัดอัตราขยายของสายอากาศแฉวลำดับ

โดยในการทดลองนั้นพลังงานอินพุตที่ป้อนให้กับสายอากาศตัวส่งเท่ากับ  $-10$  dB เช่นเดียวกันกับสายอากาศต้นแบบตัวเดียวตลอดย่านความถี่  $1$  GHz ถึง  $12$  GHz และนำค่าที่รับได้ของสายอากาศที่คิดเป็นพลังงาน  $P_r$  แทนค่าลงในสมการที่ (4.4) แล้วจะได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบจากการวัดทดสอบในแต่ละความถี่ตลอดย่านดังแสดงในรูปที่ 4.8

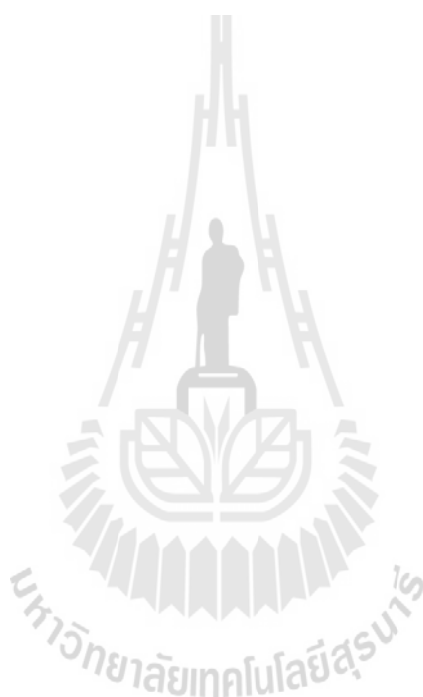


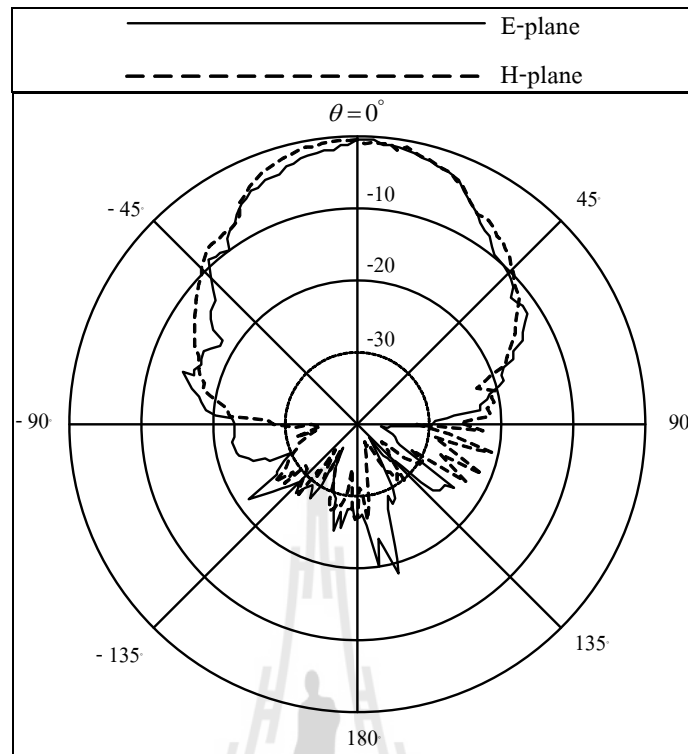
รูปที่ 4.8 ผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศแฉวลำดับ



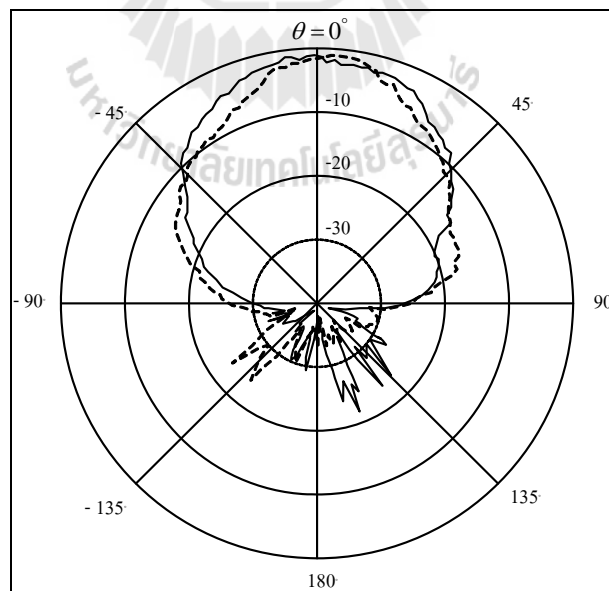


โดยผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าทั้งใน  
รูปแบบของโพลาริเซชันร่วม และในรูปแบบของโพลาริเซชันไขว้ จากความถี่ที่เลือกมาทำการ  
ทดสอบทั้งสี่ความถี่ตามค่าที่เลือกมาแสดงในส่วนของกราฟจำลองแบบด้วยโปรแกรม IE3D และ  
การวัดทดสอบในส่วนของสายอากาศต้นแบบตัวเดียว เพื่อใช้สำหรับการเปรียบเทียบซึ่งกันและ  
กันในแต่ละความถี่ โดยจากผลการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศ  
ต้นแบบในระนาบสนามไฟฟ้าและในระนาบสนามแม่เหล็ก ที่ความถี่ 3.1 GHz 5.1 GHz  
7.1 GHz และ 9.1 GHz สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10

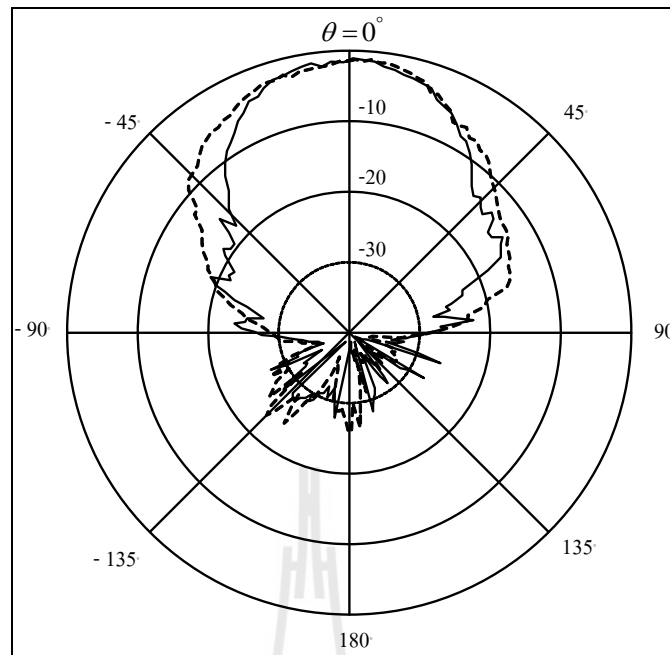




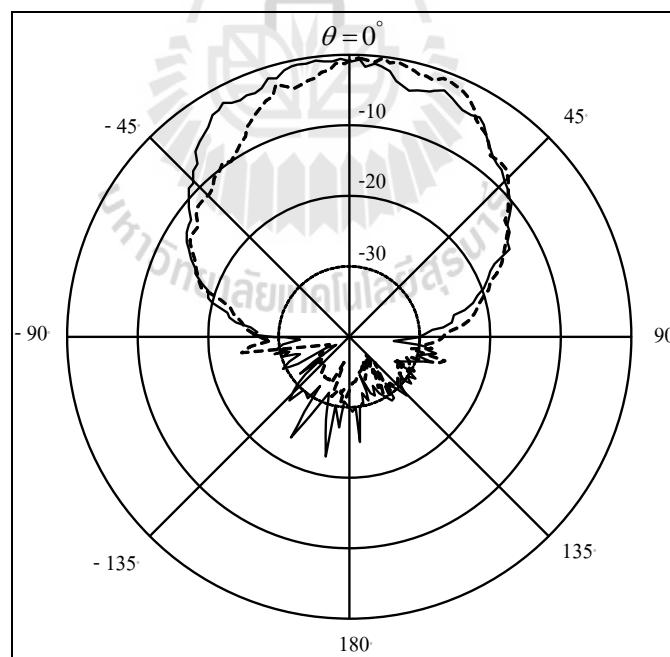
ก. ที่ความถี่ 3.1 GHz



ข. ที่ความถี่ 5.1 GHz



ค. ที่ความถี่ 7.1 GHz



ง. ที่ความถี่ 9.1 GHz

รูปที่ 4.10 แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก  
ที่ความถี่ต่าง ๆ

โดยจากผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้า และในระนาบสนามแม่เหล็กนั้น ได้ทำการวัดเฉพาะในรูปแบบของโพลาริเซชันร่วม ส่วนโพลาริเซชันไขว้ไม่ได้แสดงเปรียบเทียบ เนื่องจากแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในรูปแบบของโพลาริเซชันร่วมนั้น มีพลังงานที่สูงกว่าในรูปแบบโพลาริเซชันไขว้มาก คือมีระดับของสัญญาณแตกต่างกันประมาณ 10 dB ถึง 30 dB และจากผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก พบว่าสายอากาศต้นแบบมีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานแบบมีทิศทาง

จากคุณลักษณะของสายอากาศต้นแบบที่ได้จากการวัดและทดสอบในทุก ๆ ค่า นั้น แสดงให้เห็นว่าสายอากาศต้นแบบที่ทำการออกแบบนั้น มีคุณภาพมากพอที่จะนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

#### 4.7 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

##### 4.7.1 คุณลักษณะของวงจรกำเนิดพัลส์

เมื่อพิจารณาการเกิดพัลส์ด้วยไดโอดพินตัวแบบขั้นจากข้อมูลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ปรากฏว่าพัลส์ที่ได้จากไดโอดพินตัวแบบขั้นนั้นเป็นพัลส์ที่มีรูปร่างลาดเอียง แทนที่จะเป็นพัลส์แบบเกาส์เซียนตามต้องการ แต่สามารถปรับปรุงพัลส์ที่ได้ให้เป็นพัลส์แบบเกาส์เซียนได้โดยการประยุกต์ใช้ไดโอดพินตัวแบบขั้น ร่วมกับการส่งผ่านสายประวิง (transmission delay line)

ซึ่งการประยุกต์ใช้งานของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์กำลังสูงสำหรับเทคโนโลยีการตรวจจับหรือเทคโนโลยีเรดาร์ในระนาบไกล ๆ นั้น โดยทั่วไปแล้วการออกแบบวงจรกำเนิดพัลส์จะต้องใช้ทรานซิสเตอร์หรือใช้ SRD ไดโอด จำนวนมาก (Wu and Tian, 2007) หรืออาจจะออกแบบโดยใช้ไดโอดพินตัวแบบขั้นที่มีการขยับเลื่อน (drift SRD : DSRD) แต่การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยวิธีนี้นั้นจำเป็นต้องใช้แรงดันไบแอสที่สูงมากประมาณ 100 โวลต์ ประกอบกับ DSRD หาซื้อได้ยากมากตามท้องตลาด ซึ่งปัจจุบันผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดที่มีความเหมาะสมสำหรับการใช้กำเนิดสัญญาณพัลส์กำลังสูงนั้นมีขีดจำกัดในเรื่องของประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถกำเนิดพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์ได้ประมาณ 1 ns และมีความถี่พัลส์ (pulse repetition frequency : PRF) ด้านออกประมาณ 1 MHz

สำหรับการออกแบบเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เพื่อประยุกต์ใช้ในงานที่มีกำลังต่ำ เช่น เทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ และเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์เรดาร์ในระยะทางไกล ๆ นั้นไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงปัญหาต่าง ๆ ในเรื่องของกำลังส่งมากนัก ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเหมือนกับการออกแบบวงจรกำเนิดพัลส์เพื่อใช้งานด้านกำลังสูง เนื่องจากการออกแบบวงจรกำเนิดพัลส์เพื่อใช้งานด้านกำลังต่ำนั้นต้องการพลังงานพัลส์ด้านออกประมาณ 73 นาโนวัตต์เท่านั้น

(Ghavami, Michael, and Kohno, 2007) แต่การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์กำลังต่ำหรือทางด้านการสื่อสารนั้นจำเป็นต้องออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ให้มีช่วงกว้างของพัลส์ในระดับนาโนวินาที หรือพิโกวินาที เนื่องจากต้องการให้ได้การแผ่สเปกตรัมที่กว้างในโดเมนความถี่ เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ภายในอาคารนั้น ตามข้อกำหนดของ FCC แล้วต้องการแบนด์วิดท์อยู่ในระดับกิกะเฮิรตซ์ (GHz) ครอบคลุมตลอดย่านความถี่ใช้งาน 3.1 GHz–10.6 GHz (Ghavami, Michael, and Kohno, 2007; Roberto and Anuj, 2006) โดยจำเป็นต้องมีการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์ที่น้อยกว่านาโนวินาที ส่วนการประยุกต์ใช้งานด้านการตรวจจับหรือการสื่อสารที่ต้องการการทะลุทะลวงสูงนั้นจำเป็นต้องมีการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์อยู่ในช่วงนาโนวินาที (Roberto and Anuj, 2006; Wu and Tian, 2007) และนอกจากทางด้านเทคนิคการออกแบบเพื่อให้ได้คุณลักษณะของวงจรกำเนิดพัลส์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วยังต้องคำนึงถึงต้นทุนในการพัฒนาออกแบบด้วย ซึ่งนับว่าเป็นสิ่งที่น่าสนใจและมีความท้าทายเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะความพยายามของนักวิจัยที่ต้องการให้วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สามารถปรับค่าความกว้างพัลส์ได้ หรือสามารถออกแบบและสร้างวงจรกำเนิดพัลส์ด้วยเทคนิควิธีที่ไม่ซับซ้อน และสามารถใช้งานร่วมกับสายอากาศอัลตราไวด์แบนด์ได้ เพื่อความสะดวกในการนำไปประยุกต์ประยุกต์ใช้งาน โดยที่ผ่านมานั้น ได้มีผู้ที่ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่มีกำลังสูงเป็นส่วนใหญ่ รวมทั้งพัลส์ที่ได้ยังเป็นรูปแบบของพัลส์ที่เป็นฟังก์ชันแบบขั้นบันได โดยการออกแบบมีการใช้ฟิลเนลไดโอดและทรานซิสเตอร์จำนวนมาก ซึ่งต้องใช้ต้นทุนสูง (Wu and Tian, 2007) รวมทั้งการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่มีกำลังต่ำหรือสำหรับการใช้งานทางด้านการสื่อสาร รวมถึงการใช้งานงานด้านการตรวจจับหรือการสื่อสารที่ต้องการความสามารถในการทะลุทะลวงสูง ซึ่งที่ผ่านมานั้น ได้มีผู้ทำการวิจัยพัฒนาและออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์อย่างแพร่หลาย โดยมีการประยุกต์ใช้ SRD ไดโอด (Jeong, Cam, and Tom, 2001) ร่วมกับทฤษฎีสายประวิงเวลา เช่น การออกแบบวงจรกำเนิดพัลส์ให้สามารถปรับความกว้างของพัลส์ได้ แต่สัญญาณพัลส์ที่สนใจนั้นเป็นสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ (Jeongwoo and Cam, 2004; Wu and Tian, 2007; Jianping, Qing, Jingzhao, and Zhenghe, 2008) ซึ่งผลที่ได้นั้นพบว่าพัลส์ยังมีการแกว่งแบบหน่วงอยู่

โดยสัญญาณพัลส์ส่วนมากที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ทั้งในด้านการสื่อสารภายในอาคาร รวมถึงการประยุกต์ใช้งานด้านการตรวจจับหรือการสื่อสารที่ต้องการการทะลุทะลวงสูงนั้น นิยมใช้พัลส์แบบโมโนไซเคิลเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากระบบต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนมีสายอากาศเป็นส่วนประกอบทั้งสิ้นจึงไม่เหมาะสมกับสัญญาณที่เป็นพัลส์แบบเกาส์ เนื่องจากสัญญาณพัลส์แบบเกาส์จะมีส่วนประกอบของระดับสัญญาณ DC ค่อนข้างสูงสำหรับสเปกตรัมความถี่ด้านต่ำ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถส่งสัญญาณผ่าน

สายอากาศได้ และต่อมาได้มีผู้พัฒนาออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิล เพื่อให้เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับสายอากาศอัลตราไวด์แบนด์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสาร อัลตราไวด์แบนด์ภายในอาคาร และการประยุกต์ใช้งานด้านการตรวจจับหรือการสื่อสารที่ต้องการการทะลุทะลวงสูงได้ ซึ่งมีการใช้ SRD ไคโอค ร่วมกับทฤษฎีสายประวิงเวลาเช่นกัน แต่ งานวิจัยนี้มีการทำรูปร่างพัลส์ด้วยวิธีการใช้ทรานซิสเตอร์ โดยใช้เทคนิควิธีการรวมสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนพัลส์สองลูกที่มีเฟสต่างกัน  $180^\circ$  และมีเวลาประวิงที่แน่นอนระหว่างพัลส์ทั้งสอง ลูก ซึ่งหลังจากที่พัลส์ทั้งสองถูกรวมกันแล้วจะได้พัลส์แบบโมโนไซเคิลพัลส์ และการวิธีนี้ความ กว้างของโมโนไซเคิลพัลส์ที่ได้ จะมีความกว้างเท่ากับความกว้างของเกาส์เซียนพัลส์แต่ละลูก ร ว ม กั น (Jeong and Cam, 2001; Alexandre, Yvan, Tan, Ewerton, and Glauco, 2006; Dederer, Schleicher, Trasser, Fegerand, and Schumacher, 2008)

นอกจากเทคนิควิธีการต่าง ๆ ของการกำเนิดสัญญาณพัลส์และโมโนไซเคิลพัลส์ดังที่ ได้กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีวิธีการอื่นอีก เช่น การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ด้วย การใช้ชิปวงจรรวม และทรานซิสเตอร์ (Junwoo, Young, Myunghoi, Changwook, Joungho, and Kwan, 2006; Wun, Ying, and Fu, 2008; Qing, Xiaojian, Yang, Bo, and Bo, 2008; Dederer, Schleicher, Trasser, Fegerand, and Schumacher, 2008)

โดยจากการวิจัยและพัฒนางานกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิลพัลส์ สำหรับ ประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ภายในอาคาร หรือการประยุกต์ใช้งานด้าน การตรวจจับหรือการสื่อสารที่ต้องการการทะลุทะลวงสูงนั้นต้องใช้ต้นทุนที่สูง มีการใช้เทคนิควิธีที่ ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนและมีการใช้เทคโนโลยีที่สูง กว่าจะได้มาซึ่งสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเทคนิควิธีของการกำเนิดสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์ด้วยการประยุกต์ใช้ทฤษฎี ของวงจรกรองผ่านสูง RC ร่วมด้วย ซึ่งสามารถกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ได้โดยตรงจาก พัลส์แบบเกาส์ โดยรูปแบบของสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์ที่ได้มานั้นเป็นการนำสัญญาณใน รูปแบบพัลส์แบบเกาส์มาทำอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง และทำให้ได้พัลส์แบบ โมโนไซเคิลพัลส์ที่มี ความกว้างของพัลส์เท่ากับความกว้างของพัลส์ก่อนการทำอนุพันธ์ จึงสามารถทำให้ลดต้นทุน ลด ความยุ่งยากซับซ้อนในการออกแบบพัฒนาลงได้ และพัลส์ที่ได้มีการแกว่งแบบหน่วงของสัญญาณ พัลส์ค่อนข้างต่ำ ซึ่งผลสุดท้ายของการทำการวิจัยครั้งนี้คือ การออกแบบและพัฒนางานกำเนิด สัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิล ด้วยการประยุกต์ใช้ SRD ไคโอค ร่วมกับทฤษฎีสายประวิงเวลา และทฤษฎีของวงจรเชิงอนุพันธ์สำหรับการทำรูปร่างพัลส์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้งานกับ เทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์กำลังต่ำ ซึ่งมีความถี่พัลส์ด้านออกประมาณ 2 MHz

จากการออกแบบและพัฒนางานกำเนิดสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์ของการวิจัยฉบับ นี้ เป็นการออกแบบโดยใช้ SRD ไคโอคเพียงตัวเดียวเท่านั้น ซึ่งคุณสมบัติของ SRD ไคโอคที่

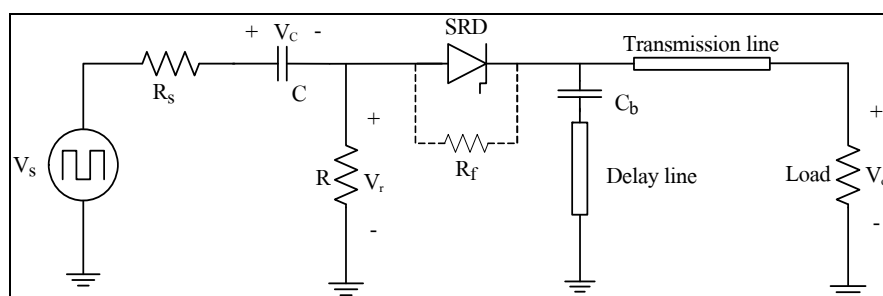
นำมาใช้นั้นต้องมีช่วงเวลาที่รวดเร็วย่างยิ่ง โดยที่ผ่านมานั้นมีการใช้วงจรขับกำลังเพื่อส่งสัญญาณไปกระตุ้น SRD ไดโอดด้วยวงจรขยายสัญญาณความเร็วสูงร่วมกับวงจรบัฟเฟอร์ เนื่องจากวิธีการนี้มีการใช้อุปกรณ์แอคทีฟหลายตัว และมีการใช้ชิปวงจรรวม MMIC แบบแบนด์กว้างสำหรับการขยายกำลังของสัญญาณพัลส์ ซึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณพัลส์ด้านออกด้วยวิธีการนี้จำเป็นต้องมีการไบแอสไฟ DC ให้กับวงจรอย่างเหมาะสม (Guillermo, 1996; Reinhold and Pavel, 2000; Devendra, 2004) ส่งผลให้วงจรมีความซับซ้อนและมีต้นทุนสูง แต่วิธีการที่ใช้ในการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์เพื่อให้ได้สัญญาณพัลส์ด้านออกให้มีประสิทธิภาพสำหรับการวิจัยฉบับนี้นั้น มีการออกแบบวงจรตัวเชื่อมร่วม (coupling) สำหรับสัญญาณนาฬิกาที่จะมากระตุ้นวงจรของ SRD ไดโอด ด้วยวงจรกรองผ่านสูง RC อันดับที่หนึ่ง ซึ่งเป็นวงจรประเภทพาสซีฟและไม่จำเป็นต้องใช้การไบแอสไฟ DC จากภายนอกให้กับวงจรจึงทำให้ลดความซับซ้อนของวงจรลงได้ รวมทั้งมีการออกแบบวงจรกรองผ่านสูง RC อันดับที่สองของสัญญาณทางด้านออกจากวงจรของ SRD ไดโอด เพื่อเป็นการทำรูปร่างพัลส์และลดการสั่นแบบหน่วงของสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิลพัลส์ด้านออกด้วย เพราะสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิลพัลส์ที่ได้นั้น โดยปกติแล้วจะมีการแกว่งแบบหน่วงสูงมาก อันเนื่องมาจากสัญญาณพัลส์มีช่วงเวลาที่รวดเร็วมากนั่นเอง โดยแนวความคิดเบื้องต้นของการกำเนิดสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์ด้วยวิธีการนี้นั้น อันดับแรกจะต้องทำการกำเนิดสัญญาณเกาส์เซียนพัลส์จากสัญญาณนาฬิกาของแหล่งกำเนิดเสียก่อน และหลังจากนั้นจะนำสัญญาณเกาส์เซียนพัลส์ที่ได้ไปทำให้เป็นสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิลพัลส์ต่อไปด้วยการใช้ประโยชน์จากวงจรกรองผ่านสูง RC ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยอาศัยหลักการของวงจรกรองผ่านสูงที่มีคุณสมบัติเป็นวงจรเชิงอนุพันธ์ร่วมกับวงจรขยายสัญญาณเชิงอนุพันธ์ (differentiator amplifier) ประกอบกับการออกแบบสายประวิงเวลาร่วมด้วย

#### 4.7.2 การออกแบบสายประวิงเวลาสำหรับวงจรกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์

องค์ประกอบสำคัญพื้นฐานอีกส่วนหนึ่งของการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิลพัลส์ สำหรับเครื่องรับส่งสัญญาณของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ภายในอาคาร หรือการประยุกต์ใช้งานด้านการตรวจจับหรือการสื่อสารที่ต้องการการทะลุทะลวงสูงนั้น คือ การออกแบบสายประวิงเวลา โดยหลักการและแนวความคิดของการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ร่วมกับสายประวิงเวลานั้นเป็นเทคนิควิธีแบบดั้งเดิมที่มีใช้สำหรับการออกแบบวงจรในส่วนของดิจิทัลหรือวงจรที่เกี่ยวกับสัญญาณพัลส์ (Jeongwoo and Cam, 2004; Wu and Tian, 2007; Jianping, Qing, Jingzhao, and Zhenghe, 2008) ซึ่งการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิลพัลส์ด้วย SRD ไดโอด ในการวิจัยฉบับนี้ได้นำหลักการของสายประวิงเวลา มาทำการออกแบบวงจรเช่นเดียวกัน โดยใช้การออกแบบสายประวิงเวลาเป็นแบบไมโครสตริป (Jeongwoo and Cam, 2004) นอกจากนี้เทคนิควิธีของสายประวิงเวลาจะถูกนำมาใช้สำหรับการ

ออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณโมนโอไซเคิลพัลส์แล้ว ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์รูปแบบอื่นที่ต้องการความกว้างพัลส์น้อยกว่าระดับนาโนวินาทีด้วย SRD ไดโอด ได้เช่นเดียวกัน

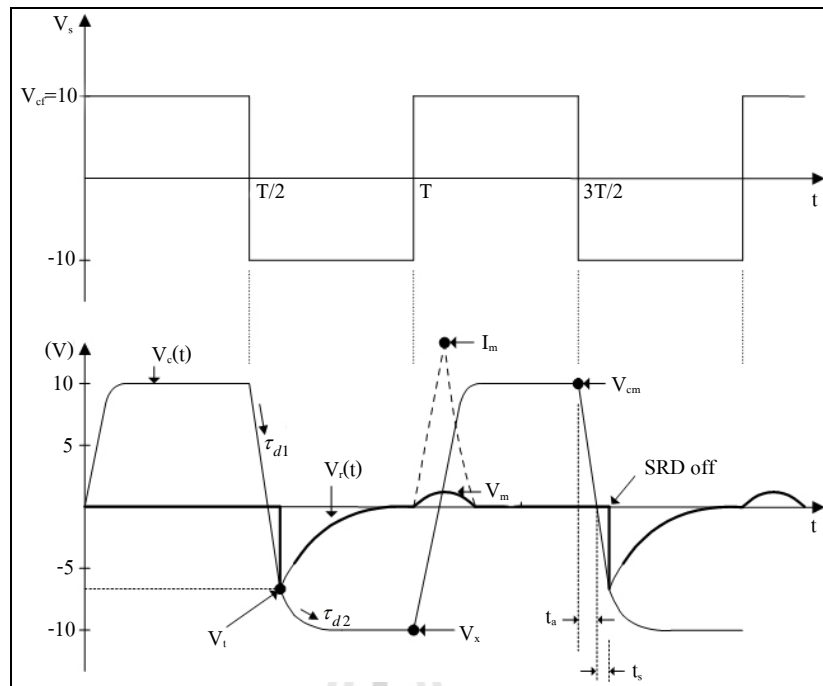
โดยก่อนที่จะทำการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยการใช้ SRD ไดโอด จำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับข้อกำหนดและคุณลักษณะที่สำคัญของ SRD ไดโอดก่อน เนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ โดยคุณลักษณะสำคัญสิ่งแรกที่ต้องพิจารณาในการเลือกใช้ SRD ไดโอด คือ ช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงพัลส์ (pulse's transition time) ของ SRD ไดโอดเนื่องจากเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุดของสัญญาณพัลส์ที่สามารถจะเป็นไปได้ และคุณลักษณะต่อมาที่ต้องพิจารณาคือ ช่วงการคงอยู่ของพาหะส่วนน้อย (minority carrier lifetime : MCLT) สำหรับ SRD ไดโอด ที่จะเลือกมาใช้ เนื่องจากจะมีผลต่อช่วงเวลาของการคงอยู่ (storage time) ของพาหะส่วนน้อยภายใต้สภาวะของการไบแอสย้อนกลับ และสิ่งสุดท้ายที่ต้องพิจารณาคือ เมื่อมีการใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกมากระตุ้นให้กับวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่มีการออกแบบด้วย SRD ไดโอดแล้ว สัญญาณนาฬิกานั้นจะต้องมีช่วงเวลาขึ้นที่น้อยกว่า MCLT ของ SRD ไดโอด วงจรสมมูลพื้นฐานของการกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วย SRD ไดโอดและสายประวิงเวลา ดังแสดงใน**มิตผลาด!** **ไม่พบแหล่งการอ้างอิง** นั้นเป็นการแทนวงจรขับสัญญาณนาฬิกาด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน มี  $R_s$  เป็นความต้านทานของแหล่งจ่ายแรงดัน และความต้านทาน  $R_p$  เป็นความต้านทานในสภาวะการไบแอสตรงของ SRD ไดโอด โดยแหล่งจ่ายสัญญาณ  $V_s$  เป็นการสมมุติว่าเป็นสัญญาณนาฬิกาในอุดมคติเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด ซึ่งรูปสัญญาณของ  $V_c$  และ  $V_r$  ที่กำหนดไว้ในรูปที่ 4.11**มิตผลาด!** **ไม่พบแหล่งการอ้างอิง** นั้นเป็นการอธิบายให้เห็นถึงการวิเคราะห์สภาวะชั่วคราวในเบื้องต้น เนื่องจากสัญญาณที่  $V_r$  คือ สัญญาณที่ได้จากการทำอนุพันธ์ของสัญญาณนาฬิกาที่เข้ามา โดยมีรูปแบบของสัญญาณเป็น  $V_r(t)$  และสัญญาณที่ได้นี้จะกลายเป็นสัญญาณใหม่ที่ป้อนให้กับวงจรการจักรูปรางพัลส์ โดยสัญญาณนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจาก SRD ไดโอดหยุดนำกระแส ดังแสดงในรูปที่ 4.12**มิตผลาด!** **ไม่พบแหล่งการอ้างอิง**





รูปที่ 4.11 โครงสร้างพื้นฐานการกำเนิดพัลส์ด้วยไดโอดฟิวด์แบบขั้นร่วมกับสายประวิงเวลา





รูปที่ 4.12 ลักษณะสัญญาณของแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้นจากวงจรพื้นฐานการกำเนิดพัลส์ด้วยไดโอดพื้นตัวแบบขึ้นร่วมกับสายประวิงเวลา

โดยความกว้างของพัลส์กำหนดด้วยความยาวสายท่อนสั้นวงจรลัด (short circuit stub) ซึ่งความกว้างและความยาวของสายส่งสามารถวิเคราะห์และคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้ (Jeong, Cam, and Tom, 2001; Wu and Tian, 2007; Jianping, Qing, Jingzhao, and Zhenghe, 2008)

$$\tau = \frac{2L_{tl}}{V_p} \quad (4.5)$$

เมื่อ  $L_{tl}$  คือความยาวสายส่งย้อนกลับ (reverse transmission line [มีหน่วยเป็นเมตร]) และ  $V_p$  คือความเร็วเฟสระหว่างสายส่งย้อนกลับ (มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที) ซึ่งความเร็วเฟสระหว่างสายส่งแบบไมโครสตริปสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.6)

$$V_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_e}} \quad (4.6)$$

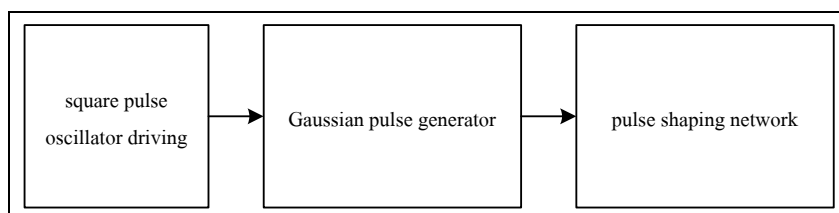
โดยที่  $c$  คือความเร็วแสง (มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที) และ  $\epsilon_e$  คือค่าคงที่สภาพยอมประสิทธิผลของไมโครสตริป ซึ่งค่าคงที่สภาพยอมประสิทธิผลนี้เป็นค่าเอกพันธ์สมมูลระหว่างอากาศว่างและชั้นสเตรตของไมโครสตริป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.7)

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + 12d/w}} \right) \quad (4.7)$$

เมื่อ  $\epsilon_r$  คือค่าคงที่สภาพยอมสัมพัทธ์ของชั้นสเตรต  $d$  คือความหนาชั้นสเตรตของไมโครสตริป และ  $w$  คือ ความกว้างสายส่งไมโครสตริป (มีหน่วยเป็นเมตร)

โดยการออกแบบระบบส่วนมากมักจะมีการกำหนดความกว้างของพัลส์ไว้ก่อน หลังจากนั้นจึงทำการคำนวณหาความยาวของสายส่ง และนำไปสู่การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ต่อไป ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.14 **ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งอ้างอิง** โดยหลังจากการออกแบบเสร็จเมื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริงส่วนมากแล้วจะมีการผิดเพี้ยนของสัญญาณพัลส์เกิดขึ้น และมีการแกว่งของสัญญาณพัลส์มากเกินไป เนื่องจากพัลส์มีช่วงเวลาขึ้นลงอย่างรวดเร็ว หรืออาจเกิดจากผลกระทบของอุปกรณ์อื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียงด้วย ซึ่งปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการออกแบบวงจรจ่ายการทำให้รูปร่างของพัลส์ (pulse shape) เพิ่มเติมเข้าไป โดยวงจรจ่ายการทำให้รูปร่างพัลส์นั้นมีหลายเทคนิค วิธี เช่น การนำไดโอดแบบชอททกี (Schottky diode) หรือเมสเฟท (MESFET) มาใช้ร่วมกับการออกแบบวงจร

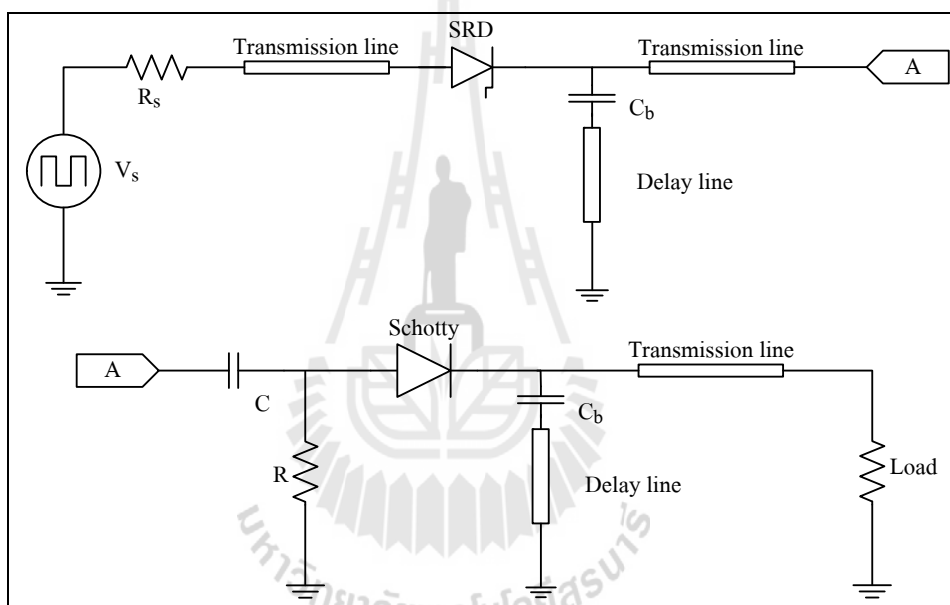
การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์นี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม ส่วนที่สองเป็นการกำเนิดสัญญาณพัลส์ และส่วนสุดท้ายเป็นวงจรจ่ายการทำให้รูปร่างพัลส์ ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภาพบล็อกได้ดังรูปที่ 4.13 **ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งอ้างอิง** แผนภาพบล็อกการกำเนิดสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์



รูปที่ 4.13 แผนภาพบล็อกการกำเนิดสัญญาณโมนโอไซเคลพัลส์



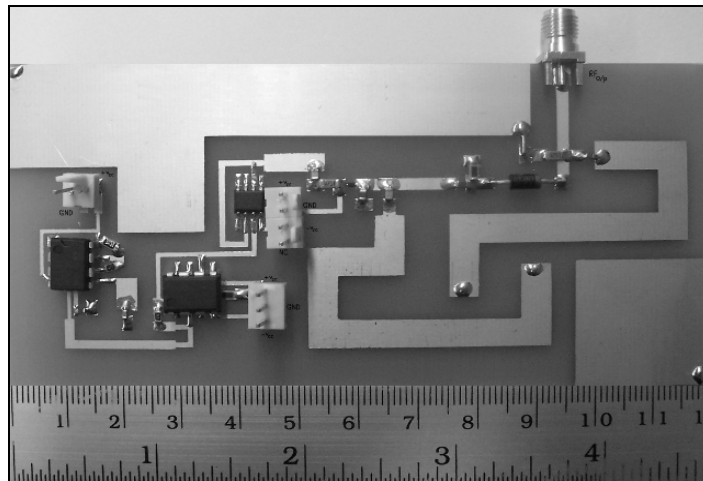
โดยการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นั้นเลือกใช้แผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 แบบสองหน้า ซึ่งพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการออกแบบสายประวิงได้แก่ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง ( $\epsilon_r$ ) ประมาณ 4.5 ความสูงของวัสดุฐานรอง ( $h$ ) เท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร และจากทฤษฎีการคำนวณหาความยาวของสายประวิงเวลา ซึ่งสามารถคำนวณค่าความยาวของสายประวิงเวลาได้จากสมการที่ (4.5) โดยกำหนดความกว้างของพัลส์ไว้ที่ 100 ns และความกว้างสายประวิงเวลาไมโครสตริปไว้ที่ 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งจะได้ขนาดความยาวของสายประวิงเวลาเท่ากับ 15 มิลลิเมตร และทำการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยไดโอดพื้นตัวแบบชั้นร่วมกับสายประวิงเวลาได้ในเบื้องต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งอ้างอิง



รูปที่ 4.14 โครงสร้างการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยไดโอดพื้นตัวแบบชั้นร่วมกับสายประวิงเวลา

โดยจากรูปที่ 4.14 โครงสร้างการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยไดโอดพื้นตัวแบบชั้นร่วมกับสายประวิงเวลา ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งอ้างอิง เป็นการแสดงโครงสร้างการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยไดโอดพื้นตัวแบบชั้นร่วมกับสายประวิงเวลา ด้วยการป้อนสัญญาณนาฬิกาจากแหล่งกำเนิด ซึ่งเป็นฟังก์ชันแบบขั้นบันไดความถี่ 2 MHz ผ่านไดโอดพื้นตัวแบบชั้นเพื่อสร้างพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีช่วงเวลาการส่งผ่าน (transition time) สั้นมาก และมีความกว้างของพัลส์สัมพันธ์กับความยาวของสายประวิงเวลา เมื่อสัญญาณพัลส์นี้ผ่านวงจรเชิงอนุพันธ์แล้วสัญญาณพัลส์ที่ได้มีรูปร่างใกล้เคียงกับสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ แต่สัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นนี้มี

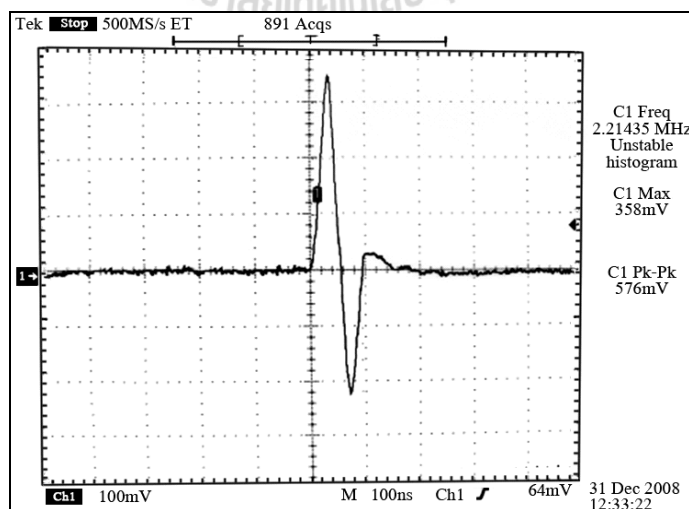




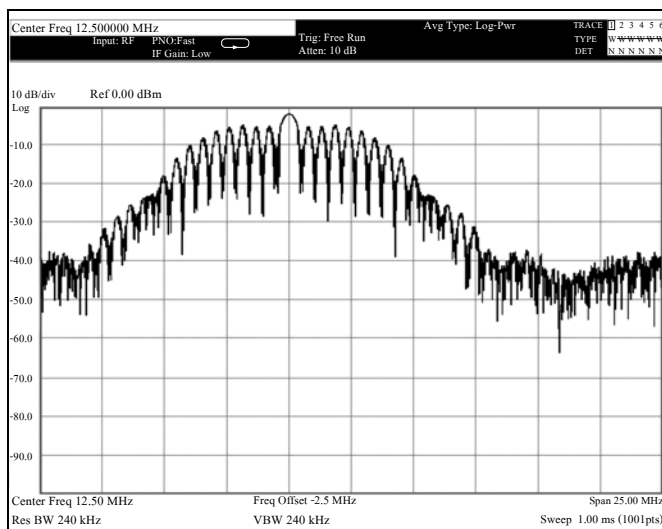
รูปที่ 4.16 ชุดวงจรกำเนิดสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์

#### 4.8.2 ผลการวัดและทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

จากการออกแบบและสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบ โมโนไซเคิลพัลส์ โดยมีการปรับค่าความยาวของสายประวิงเวลา ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานในส่วนของวงจรเชิงอนุพันธ์ เพื่อให้ได้สัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์น้อยที่สุด และจากผลการวัดทดสอบพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจร ด้วยเครื่องออสซิลโลสโคปในโดเมนเวลาและเครื่องวิเคราะห์เฟกเตอร์ในโดเมนความถี่ได้รูปร่างของพัลส์ โดยมีความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมดังรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18 ตามลำดับ



รูปที่ 4.17 ผลการวัดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ในโดเมนเวลาด้วยออสซิลโลสโคป



รูปที่ 4.18 ผลการวัดสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์ในโดเมนความถี่ด้วยเครื่องวิเคราะห์เวกเตอร์

โดยจากการพิจารณารูปที่ 4.17 ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์สัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์ในโดเมนเวลา พบว่าสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์มีแอมพลิจูดสูงสุด 576 mV มีความกว้างของพัลส์ 80 ns ที่ขนาดแอมพลิจูดสูงสุดลดลงครึ่งหนึ่ง และมีความกว้างของพัลส์ 100 ns ที่ 10% ของแอมพลิจูดสูงสุด สัมพันธ์กับความถี่ทำงานประมาณ 10 MHz และมีการแกว่งของสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์ น้อยมาก และจากการพิจารณารูปที่ 4.18 ซึ่งเป็นการวัดทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์ในโดเมนความถี่ โดยทำการวิเคราะห์ผลจากความหนาแน่นพลังงานเชิงสเปกตรัมคั้งของสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์ และพบว่าสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์ที่ได้มีแบนด์วิดท์ 10 MHz ของความถี่กลางและครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานในช่วง 5 MHz–15 MHz โดยทำการวัดที่ระดับสัญญาณ -20 dB

## 4.9 สรุป

เนื้อหาที่สำคัญในบทนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาสายอากาศต้นแบบ เพื่อสร้างเป็นสายอากาศแถวลำดับจากสายอากาศต้นแบบตัวเดียวจากที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่แล้ว โดยโครงสร้างของสายอากาศจะเป็นแถวลำดับในแนวระนาบ 2 มิติ มีแผ่นสะท้อนอยู่ด้านหลัง ซึ่งสายอากาศที่ได้นั้นจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบทิศทางเดียว และมีอัตราขยายที่สูงขึ้น เพื่อช่วยลดกำลังงานของเครื่องส่งลงได้ และนอกจากนี้ยังมีการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเครื่องส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ เพื่อใช้สำหรับการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบของสัญญาณที่ผู้รับส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการ



ทำงานของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมาพบว่าเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ คือ สายอากาศแบบแบนด์กว้างและวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ โดยในส่วนของสายอากาศนั้นได้กล่าวแล้วข้างต้น และอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญ คือ วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งในส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นั้นมีการออกแบบด้วยไดโอดพื้นตัวแบบขั้นร่วมกับการใช้สายประวิงเวลาไมโครสตริป และมีการประยุกต์ใช้วงจรกรองผ่านสูง RC ร่วมด้วย ซึ่งสามารถกำเนิดสัญญาณโมนโอไซเคิลพัลส์ได้โดยตรงจากวงจรกำเนิดพัลส์แบบเกาส์ รวมทั้งมีการวิเคราะห์สัญญาณ โมนโอไซเคิลพัลส์ในโดเมนเวลา และในโดเมนความถี่ จากการทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ทำการออกแบบ โดยวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ได้นั้นถูกสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์แบบ FR-4 และทำการวัดผลของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ได้จากการออกแบบทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

โดยจากการทดสอบพบว่าสายอากาศแบบแถวลำดับมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ย่านความถี่ 3.1 GHz เท่ากับ  $64.89+j34.39 \Omega$  ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 5.1 GHz มีค่าเท่ากับ  $40.21+j0.62 \Omega$  ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 7.1 GHz มีค่าเท่ากับ  $40.19+j8.94 \Omega$  และค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 9.1 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $43.02-j2.76 \Omega$  มีความกว้างแถบประมาณ 122.22% หรือคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่สูงสุดต่อความถี่ต่ำสุดได้ประมาณ 5 : 1 ครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ มีอัตราส่วนคลื่นนิ่งน้อยกว่า 2 ตลอดย่าน มีอัตราขยายเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 6 dB รวมทั้งมีการวิเคราะห์สัญญาณ โมนโอไซเคิลพัลส์ในโดเมนเวลา และในโดเมนความถี่ จากการทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ทำการออกแบบ โดยจากผลการทดลองพบว่าวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สามารถกำเนิดสัญญาณโมนโอไซเคิลพัลส์ได้แอมพลิจูดสูงสุด 576 mV มีความกว้างของพัลส์ 80 ns ที่ขนาดแอมพลิจูดสูงสุดลดลงครึ่งหนึ่ง และมีความกว้างของพัลส์ 100 ns ที่ 10% ของขนาดแอมพลิจูดสูงสุด สัมพันธ์กับความถี่ทำงานประมาณ 10 MHz และสัญญาณโมนโอไซเคิลพัลส์ที่ได้มีแบนด์วิดท์ 10 MHz ของค่าความถี่กลางและครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานช่วง 5 MHz–15 MHz โดยทำการวัดที่ระดับสัญญาณ -20 dB นอกจากนี้สัญญาณพัลส์แบบโมนโอไซเคิลพัลส์ที่ได้นั้นมีการแกว่งแบบหน่วงของสัญญาณน้อยมาก สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ภายในอาคาร หรือการประยุกต์ใช้งานด้านการตรวจจับหรือการสื่อสารข้อมูลที่มีความถี่ต่ำและต้องการการทะลุทะลวงสูงได้ต่อไปในอนาคต

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปเนื้อหาของการวิจัย

การวิจัยฉบับนี้นำเสนอการออกแบบสร้างวงจรรับส่งสัญญาณภาคส่วนหน้าของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์ ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญหลัก ๆ คือ ส่วนที่เป็นสายอากาศรับส่งสัญญาณแบบแบนด์กว้างเพื่อใช้เป็นตัวแพร่กระจายสัญญาณ และส่วนที่เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเครื่องรับส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ โดยสายอากาศที่เลือกใช้นั้นจะเป็นสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์ เนื่องจากเป็นสายอากาศที่มีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งการวิจัยฉบับนี้ได้มีการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์รูปแบบใหม่สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ และออกแบบวงจรกำเนิดพัลส์เพื่อการประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ภายในอาคาร หรือการประยุกต์ใช้งานด้านการตรวจจับหรือการสื่อสารข้อมูลด้านความถี่ต่ำ ที่ต้องการการทะลุทะลวงสูง พร้อมทั้งทำการวัดและทดสอบการทำงานจริง โดยการทำการวิจัยฉบับนี้เริ่มจากการศึกษาเนื้อหาและความสำคัญของปัญหา ตั้งวัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

จากนั้นได้ทำการศึกษาลักษณะพื้นฐานของระบบการสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์ รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบการสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์ และทำการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีแบนด์วิดท์กว้างครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งสายอากาศที่ได้เป็นสายอากาศรูปแบบใหม่ โดยมีการประยุกต์ใช้สายอากาศแบบไดโพล กับสายอากาศแบบหุกระต่าย โดยสายอากาศดังกล่าวถูกออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR-4 ทำให้สายอากาศที่ได้มีขนาดเล็ก โครงสร้างไม่ซับซ้อน และมีต้นทุนต่ำ ซึ่งการออกแบบสายอากาศดังกล่าวใช้โปรแกรม IE3D ในการจำลองแบบของสายอากาศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาขนาดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ สำหรับขั้นตอนในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสายอากาศแบบไมโครสตริปแพตช์ในงานวิจัยนี้ ได้มีการแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ซึ่งจะพิจารณาที่ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศเป็นสำคัญ โดยกำหนดให้มีค่าต่ำกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ใช้งาน 3.1 GHz–10.6 GHz และนอกจากนี้ยังมีการพิจารณาถึงคุณลักษณะที่สำคัญ

อื่น ๆ อีก ได้แก่ ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง และแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศ สุดท้ายของการทำวิจัยในครั้งนี้ได้มีการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ สำหรับประยุกต์ใช้กับเครื่องรับส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ รวมทั้งการประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ในด้านอื่น ๆ

การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแพตช์ของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ในเบื้องต้น ได้มีการจำลองแบบด้วยโปรแกรม IE3D ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ปัญหาและจำลองแบบทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อนำมาแก้ปัญหาทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งช่วยสำหรับการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ เพื่อให้ได้สายอากาศที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ และนำผลเฉลยที่ได้ไปทำการสร้างสายอากาศต้นแบบ ส่วนการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นั้นมีการใช้ไดโอดพื้นตัวแบบชั้นหรือ SRD ไดโอด ร่วมกับสายประวิงเวลา และวงจรเชิงอนุพันธ์ในการออกแบบและศึกษาคุณลักษณะต่าง ๆ ของวงจร โดยรายละเอียดในการออกแบบและวิเคราะห์ทั้งหมดได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3

ในส่วนของการทดสอบและวัดผล โดยจากการทดสอบพบว่าสายอากาศแบนด์กว้างต้นแบบมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 3.1 GHz เท่ากับ  $59.72+j35.37 \Omega$  ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 5.1 GHz มีค่าเท่ากับ  $48.46+j2.68 \Omega$  ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 7.1 GHz มีค่าเท่ากับ  $39.54+j11.01 \Omega$  และค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 9.1 GHz มีค่าเท่ากับ  $42.68-j5.42 \Omega$  มีความกว้างแถบประมาณ 130.42% หรือคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่สูงสุดต่อความถี่ต่ำสุดได้ประมาณ 5 : 1 และสายอากาศแบนด์กว้างแบบแถวลำดับมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ย่านความถี่ 3.1 GHz เท่ากับ  $64.89+j34.39 \Omega$  ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 5.1 GHz มีค่าเท่ากับ  $40.21+j0.62 \Omega$  ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 7.1 GHz มีค่าเท่ากับ  $40.19+j8.94 \Omega$  และค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่ 9.1 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $43.02-j2.76 \Omega$  ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ โดยมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งต่ำกว่า 2 ตลอดย่านมีอัตราขยายเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3 dB และจากผลการวัดทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์ พบว่าสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์ที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุด 580 mV มีความกว้างของพัลส์ 80 นาโนวินาที ที่แอมพลิจูดสูงสุดลดลงครึ่งหนึ่ง และมีความกว้างของพัลส์ 100 นาโนวินาที ที่ 10% ของค่าแอมพลิจูดสูงสุด ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับการออกแบบระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ภายในอาคาร รวมถึงการประยุกต์ใช้งานด้านการสื่อสารข้อมูลที่ต้องการการทะลุทะลวงสูง หรือด้านการตรวจจับได้

สรุปผลที่ได้จากการทดสอบมีความสอดคล้องกับทฤษฎี แต่ผลที่ได้สำหรับสายอากาศต้นแบบตัวเดียว จากโปรแกรม IE3D และจากทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจะให้ค่าที่แตกต่างจากผลการทดลองไปบ้าง และสายอากาศแบบแถวลำดับก็เช่นเดียวกันเมื่อเทียบผลการทดลองกับทฤษฎีต่าง ๆ

ที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ จากการสร้างสายอากาศต้นแบบและวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ มีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ เช่น ขนาดของสายอากาศไมโครสตริปที่ได้จากการกัดแผ่นวงจรพิมพ์ของน้ำยากัดแผ่นวงจรพิมพ์ ค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 และตัวอุปกรณ์ที่ใช้ ซึ่งอาจจะมีค่าที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าที่กำหนดในโปรแกรมไปบ้าง รวมถึงหัวต่อ SMA การบัดกรีและอื่น ๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งสายอากาศและวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นี้สามารถนำไปพัฒนาเป็นวงจรรวมสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ และพัฒนาต่อยอดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

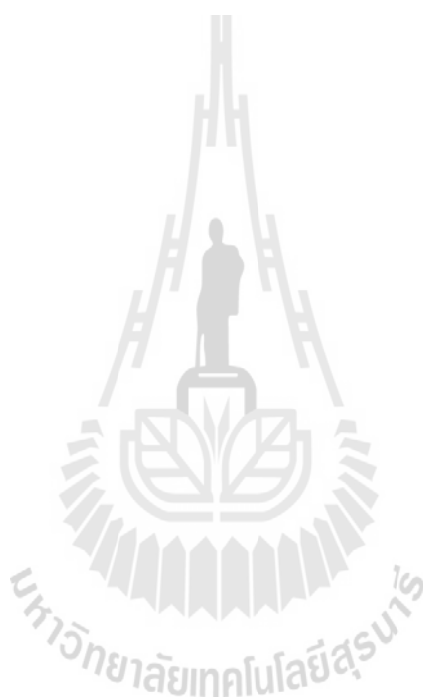
## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบสายอากาศและวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์นั้น ส่วนที่สำคัญคือวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้าง ได้แก่ แผ่นวงจรพิมพ์ และตัวอุปกรณ์ ซึ่งต้องเลือกใช้ที่มีความหนาและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่แน่นอน และมีคุณสมบัติเหมาะสมกับงานที่ทำการออกแบบ เพราะถ้าหากเลือกใช้ค่าที่ไม่มีความเหมาะสมแล้วอาจจะทำให้เป็นปัญหาในการสร้าง รวมถึงเครื่องมือในการช่วยสร้างและวัดผลมีข้อจำกัด เช่น การเซาะร่องบนแผ่นวงจรพิมพ์โดยใช้เครื่องเซาะร่องใช้ดอกเซาะที่ไม่เหมาะสมจะทำให้แผ่นทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์เป็นรอยฉีกขาด ทำให้สิ้นเปลือง ซึ่งผู้วิจัยคิดว่าการสร้างลายวงจรด้วยวิธีการใช้วิธีดั้งเดิม คือการใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) หรือน้ำยากัดแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีขายทั่วไปตามร้านจำหน่ายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งทำให้ลายวงจรไม่เป็นรอยฉีกขาดเนื่องจากการใช้เครื่องมือเซาะร่อง อีกทั้งแผ่นวัสดุฐานรองไม่เป็นรอยลึกอีกด้วย ซึ่งวิธีนี้ก็ไม่ได้ถือว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดเนื่องจากอาจจะทำให้ขนาดที่ได้คลาดเคลื่อนจากขนาดที่ได้ทำการออกแบบไปบ้าง แต่ก็ถือว่าเป็นประหยัดต้นทุนในการผลิต

## 5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

แนวทางการพัฒนาต่อไปของสายอากาศไมโครสตริปที่ทำการออกแบบนี้ อาจจะมีการทดสอบสายอากาศด้วยการสร้างบนแผ่นวัสดุฐานรองชนิดอื่น เพื่อเป็นการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศที่มีต่อวัสดุฐานรอง รวมถึงมีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานที่แตกต่างกันไปในแต่ละความถี่ ซึ่งเราสามารถที่จะทำให้สายอากาศมีอัตราการขยายที่สูงขึ้น หรือมีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานที่มีเสถียรภาพมากขึ้นด้วยการนำสายอากาศมาออกแบบเป็นสายอากาศแบบแถวลำดับที่มีจำนวนอิลิเมนต์มากขึ้น หรือสามารถนำไปใช้ร่วมกับวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ เพื่อประยุกต์ใช้กับงานด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ เช่น ทางการแพทย์ หรือการเกษตร เป็นต้น

ในลำดับสุดท้ายนี้ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าแนวความคิด วิธีการศึกษาวิเคราะห์ออกแบบ ผลการวิเคราะห์และผลการทดลองจากงานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ และเป็นแนวทางที่ดีให้แก่ ผู้ที่สนใจศึกษาค้นคว้าในเรื่องของสายอากาศไมโครสตริปที่มีแบนด์วิดท์กว้าง ทั้งในโครงสร้างที่ นำเสนอในงานวิจัยนี้หรือโครงสร้างแบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการออกแบบวงจรกำเนิด สัญญาณพัลส์สำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ต่อไป



## รายการอ้างอิง

- รังสรรค์ วงศ์สวรรค์ และ ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ (ม.ป.ป.). คู่มือการทดลองพื้นฐานของสายอากาศ. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
รังสรรค์ วงศ์สวรรค์. (2548). วิศวกรรมสายอากาศ. [ออนไลน์]. ได้จาก : [www.sut.ac.th/E-texte/Eng/Antennas/index.html](http://www.sut.ac.th/E-texte/Eng/Antennas/index.html)
- Abdelnasser, A. E., Atef, Z. E., and Charles, E. S. (2005). **Wide-Band Modified Printed Bow-Tie Antenna with Single and Dual Polarization for C- and X-Band Applications.** *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 9, pp. 3067-3072.
- Abdelnasser, A. E. (2007). **Ultra wideband Double Rhombus Antenna with Stable Radiation Patterns for Phased Array Applications.** *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 55, no. 1, pp. 84-91.
- Alexandre, S., Yvan, D., Tan, P. V., Ewerton, F. J., and Glauco, F. (2006). **A New Simple UWB Monocycle Pulse Generator.** *In Proc. 13<sup>th</sup> IEEE ICECS*, pp. 1212-1215.
- Balanis, C. A. (1997). **Antenna Theory : Analysis and Design.** John Wiley & Sons, Inc.
- Devendra, K. M. (2004). **Radio-Frequency and Microwave Communication Circuits Analysis and Design.** John Wiley & Sons, Inc.
- Dederer, J., Schleicher, B., Trasser, A., Fegerand, T., and Schumacher, H. (2008). **A Fully Monolithic 3.1-10.6 GHz UWB Si/SiGe HBT Impulse-UWB Correlation Receiver.** *In Proc. IEEE ICUWB*, pp. 33-36.
- Ghavami, M., Michael, L. B., and Kohno, R. (2007). **Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering.** 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley & Sons, New Jersey.
- Guillermo, G. (1996). **Microwave transistor amplifiers analysis and design.** 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall.
- Ian, O., Matti, H., and Jari, I. (2004). **UWB Theory and Application,** John Wiley & Sons Ltd, New Jersey.
- Jeongwoo, H. and Cam, N. (2004). **Ultra-Wideband Electronically Tunable Pulse Generators.** *IEEE Lett. Microwave and Wireless Components*, Vol. 14, No. 3, pp. 112-114.

- Jeong, S. L. and Cam, N. (2001). **Novel Low-Cost Ultra-Wideband Ultra-Short-Pulse Transmitter with MESFET Impulse-Shaping Circuitry for Reduced Distortion and Improved Pulse Repetition Rate.** *IEEE Lett. Microwave and Wireless Components*, Vol. 11, No. 5, pp. 208-210.
- Jeong, S. L., Cam, N., and Tom, S. (2001). **New Uniplanar Subnanosecond Monocycle Pulse Generator and Transformer for Time-Domain Microwave Applications.** *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 49, No. 6, pp. 1126-1129.
- Jianping, L., Qing, H., Jingzhao, S., and Zhenghe, F. (2008). **A Low Cost Trigger Frequency Alterable Ultra-Wide Band Ambipolar Pulses Generator.** *In IEEE Proc. ICMMT*, pp. 216-219.
- Junwoo, L., Young, J. P., Myunghoi, K., Changwook, Y., Joungho, K., and Kwan, H. K. (2006). **System-On-Package Ultra-Wideband Transmitter Using CMOS Impulse Generator.** *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, no. 4, pp. 1667-1674.
- Nikolay, T. and Yehuda, L. (2006). **Planar Differential Elliptical UWB Antenna Optimization** *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 11, pp. 3400-3406
- Qing, W., Xiaojian, T., Yang, L., Bo, L., and Bo, G. (2008). **Design of an Ultra-wideband Pulse Generator Based on Avalanche Transistor.** *In Proc. IEEE WiCOM*, pp. 1-4.
- Reinhold, L. and Pavel, B. (2000). **RF circuit design : theory and applications.** Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall : pp. 463-527
- Roberto, A. and Anuj, B. (2006). **Ultra Wideband System Technologies and Applications.** Elsevier.
- Tutku, K. and Erdem, T. (2006). **A Double-Sided Rounded Bow-Tie Antenna (DSRBA) for UWB Communication.** *IEEE Antennas and Wireless Propagation Lett.* Vol. 5, pp. 446 -449.
- Wu, J. B. and Tian, M. (2007). **A New Short Pulse Generator for Ground Penetrating Radar.** *In Proc. IEEE WiCOM*, pp. 1127-1130.
- Wun, B. L., Ying, T. L., and Fu, C. C. (2008). **A New Ultra-Wideband Monocycle Pulse Generator Using Second-Order Transient Circuit.** *In Proc. European Radar Conference 5<sup>th</sup>*, pp. 428-431.
- Xuemin, S., Mohsen, G., Robert, C. Q., and Tho L. N. (2006). **Ultra-Wideband Wireless Communication and Networks.** John Wiley & Sons, Ltd, New Jersey.



ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



## บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. **Thongsopa, C.**, and Thosdee, P., “Array of Quasi Rhomboid Shaped Element Bowtie Antenna with Reflector for Ultra Wideband Applications,” *in proc.* The 2009 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2009), Thailand, October 20-23, 2009.
2. **Thongsopa, C.**, and Thosdee, P., “Development of Monocycle pulse Generator Circuit for Ultra Wideband Applications,” *in proc.* 32<sup>nd</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-32), Tawaravadee Resort Hotel, Prachinburi, Thailand, October 20-23, 2009.





## 2009 International Symposium on Antennas and Propagation **ISAP 2009** October 20-23, 2009

The Imperial Queen's Park Hotel, Bangkok, Thailand



### Advisory Chairs

Monai Krairiksh, *KMITL*  
Vech Vivek, *KMUTNB*

### General Chair

Prayoot Akkarakethalin, *KMUTNB*

### Vice Chair

Tu Tim Angkaew, *CU*

### Technical Program Chair

Chuwong Phongcharoenpanich, *KMITL*

### Information System Chairs

Sarawuth Chaimool, *KMUTNB*  
Somsak Datthanasantomb, *TOT*

### Publication Chairs

Rangsan Wongsan, *SUT*  
Denchai Worasawate, *KU*

### Publicity Chairs

Mitchai Chongcheawchamnan, *PSU*  
Akkarat Boonpoonga, *MUT*

### Local Arrangement Chairs

Phaophak Sirisuk, *MUT*  
Rardchawadee Silapunt, *KMUTT*

### Tutorial Chairs

Danai Torrungrueng, *AsianU*  
Chokchai Sangdao, *MUT*

### Special Session Chairs

Nuttawit Surittikul, *CAT*  
Krittaya Chawanonphithak, *RUNR*

### Sponsor & Exhibition Chairs

Chatrpol Lertsirimit, *AsianU*  
Yutthaphoom Srisuk, *Navy Academy*

### Finance Chairs

Bunlue Srisuchinwong, *SIIT*  
Jaruek Jantree, *RMUTSB*

### Registration Chairs

Pornanong Pongpaibool, *NECTEC*  
Rujipan Sampanna, *BU*

### General Secretaries

Titipong Lertwiriayaprapa, *KMUTNB*  
Phumin Kirawanich, *MU*

### Contact Us:

Dr. Titipong Lertwiriayaprapa,  
ISAP 2009 General Secretary

E-mail: [secretary@isap09.org](mailto:secretary@isap09.org)

## FINAL CALL FOR PAPERS

The 2009 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2009) will be held in Bangkok, Thailand, on October 20-23, 2009. This symposium will be organized and sponsored by the Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) Association of Thailand in cooperation with King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB). The technical sponsors are IEICE, IEEE Antennas and Propagation Society, IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, IEICE Bangkok Section, IEEE Thailand Section and IEEE MTT/AP/ED Thailand Chapter.

**PAPER SUBMISSION:** Contributed papers are solicited describing original work in the fields of antennas, propagation and related topics. Suggested topics are listed in this call. In addition to regularly scheduled sessions for oral and poster presentations, there will be special sessions and tutorials. Authors are invited to submit original and unpublished research papers. Submitted manuscripts should not exceed 4 pages. The instructions on paper preparation and online paper submission are available at [www.isap09.org](http://www.isap09.org)

### SUGGESTED TOPICS

**A. Antennas and Related Topics:** \* Microstrip and Printed Antennas \* Active and Integrated Antennas \* Array Antennas, Phased Arrays and Feeding Circuits \* Small Antennas \* Adaptive and Smart Antennas \* Multiband/Wideband Antennas \* Slot Antennas \* Millimeter Wave and Sub-Millimeter Wave Antennas \* Reflector/Lens Antennas and Feeds \* Optical Technology in Antennas \* Mobile and Base Station Antennas \* Antenna Measurements \* Others

**B. Propagation and Related Topics:** \* Mobile and Indoor Propagations \* Mobile Channel Characterization and Modeling \* Millimeter and Optical Wave Propagations \* Earth-Space and Terrestrial Propagations \* Radio Astronomy \* Remote Sensing \* SAR Polarimetry and Interferometry \* Ionospheric Propagation \* Others

**C. Electromagnetic Wave Theory and Other Related Topics:** \* Complex/Artificial Media and Metamaterials \* Computational Electromagnetics \* Theoretical Electromagnetics and Analytical Methods \* High-Frequency Techniques \* Inverse Problems \* Random Media and Rough Surfaces \* Scattering and Diffraction \* Waveguiding Structures \* Periodic and Band-Gap Structures \* Time Domain Techniques \* Others

**D. Systems and Other Related Topics:** \* Biological Effects and Medical Applications \* High Power Microwave Applications \* Advanced Materials for EM Applications \* UWB and Impulse Radio \* Ubiquitous Network Systems \* Satellite Communication Systems \* Radio Technologies for Intelligent Transport Systems \* Subsurface Sensing \* EMC/EMI Simulations & Measurements \* MIMO Radio Channels & Mobile Radio Communication Systems \* Others

#### Best Paper Awards

Papers presented at ISAP 2009 will be judged by the ISAP 2009 Award Committees, and the authors of selected papers will be awarded for the outstanding contributions in the banquet.

#### Student Paper Awards

Students are encouraged to submit their paper to the award by specifically applying during the paper submission. Only students can apply the Student Paper Awards as a first author of the paper, although co-authors may include non-student researchers. Students of selected papers will be awarded for the Student Paper Awards in the banquet.

IEICE Transactions on Communications announces that it will publish a special section entitled "Special Section on Advanced Technologies in Antennas and Propagation Conjunction with Main Topics of ISAP2009" in October 2010. The submission deadline is January 4, 2010. The instructions on paper preparation and submission are available at [www.isap09.org](http://www.isap09.org)

#### Important Dates:

Extended Paper Submission Deadline:	June 20, 2009
Extended Acceptance Notification:	July 25, 2009
Advanced Registration Deadline:	August 15, 2009



Thailand Section MTT/AP/ED Thailand Chapter

*The 2009 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2009)  
October 20-23, 2009, Bangkok, THAILAND*

## **Array of Quasi Rhomboid Shaped Element Bowtie Antenna with Reflector for Ultra Wideband Applications**

#Chanchai Thongsopa, Phairat Thosdee  
School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology  
Nakhon Ratchasima 30000, Thailand  
chan@sut.ac.th

### **1. Introduction**

The demands for broadband services by wireless communication systems are rapidly growing. An ultra wideband radio technology has become an important topic for microwave communication because of its low cost and low power consumption. The ultra wideband technology is specified the frequencies ranging from 3.1 GHz to 10.6 GHz by Federal Communication Commission (FCC), which has a bandwidth ratio (defined as higher frequency versus lower frequency) of approximately 3.3:1 [1]. The essential equipment for their wireless communication systems are the antenna that it is used for transmitting and receiving a signal. There are many types of antenna to choose for applying in the appropriate function and system. But one the major requirement of an ultra wideband application is a compact and extremely wideband antenna covering the ultra wideband spectrum. Microstrip patch antennas are well candidates for ultra wideband applications due to their exhibit small size, light weight, low manufacturing cost and easy method of fabrication. However, microstrip antennas have very narrow bandwidth. Therefore, the ultra wideband antenna design is going to the main challenges for ultra wideband system. The goal of the ultra wide band antenna designer is to make an antenna with small size, simple structure that produces low distortions but can provide large bandwidth.

Recent ultra wideband antenna development tends to focus on small planar antennas such as bow-tie antennas [2] elliptical antennas [3], slot antennas and array antennas [4]. Most of the reported all these antennas have omni-directional radiation patterns and the gain of these antennas are relatively low, about 2-4 dB. When these omni-directional antennas are attached to wall or metals, it is suspected that the antenna performances can be degraded due to the omni-directionality. In order to avoid degradation of the antenna performance, we considered placing a flat reflector behind the quasi rhomboid shaped bowtie antenna. In addition, if the directivity of the ultra wideband antenna increases as a result of the reflector, higher speed and lower power consumption communication system can be realized.

In this paper, we propose array of quasi rhomboid shaped element bowtie antenna design by using a flat reflector for ultra wideband communication systems. The proposed antenna consists of two elements quasi rhomboid shaped and aluminium flat reflector. This antenna is designed on FR-4 substrate and antenna analysis was conducted by using the IE3D program. The proposed antenna is realized and experimentally examined, since it is small size, light weight, easy method fabrication and low manufacturing cost. In measurement, it is found that the propose antenna have impedance bandwidth of 122.22% (2:1 VSWR) which covered frequency range 2.8-11.6 GHz. This antenna has uni-directional radiation patterns over the frequency range of 3.1-10.6 GHz for ultra wideband technology. For comparison purposes antenna, the average gain of the quasi rhomboid shaped bowtie antenna with and without the reflector, which average gain achieved in the quasi rhomboid shaped bowtie antenna using a flat reflector is much greater than without the reflector about 2 dB. The advantage of the proposed antenna is that it can be used to design impulse receive transmit system for ultra wideband applications.

## 2. Antenna Design and Fabrication

### 2.1 Single Element Bowtie Antenna without the Reflector

The simulation result by IE3D program, include impedance matching antenna length  $\lambda/4$  of center frequency at 6.85 GHz. The antenna dimensional parameters after adjustments are  $w = 36.5$ ,  $w_1 = 1.95$ ,  $w_2 = 2.9$ ,  $w_3 = 2.5$ ,  $w_4 = 1.5$ ,  $w_5 = 4.85$ ,  $w_6 = 11.67$ ,  $l = 10.5$ ,  $l_1 = 30$ ,  $l_2 = 11.75$ ,  $l_3 = 3.65$ ,  $l_4 = 2$ ,  $l_5 = 1.1$ ,  $l_6 = 7.85$ , unit in millimeter,  $\theta_1 = 45^\circ$  and  $\theta_2 = 116^\circ$ . This antenna consists of two identical printed patches, one on the top and one on the bottom of the substrate material. The detailed geometry and parameters of the proposed antenna are illustrated in Fig. 1.

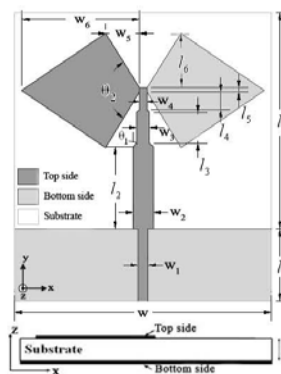


Figure 1: Structure and parameter of a single element antenna

### 2.2 Array Bowtie Antenna Geometry with the Reflector

The two elements array antenna using a flat reflector is modified from a single element. The substrate size is identical with the quasi rhomboid shaped bowtie antenna without reflector. The reflector shape is rectangle and the parameter  $d$  is the distance between the reflector and the dielectric substrate. The proposed antenna dimensional parameters after adjustments are  $120.25 \times 85$  mm for aluminium ground plane and 5.78 mm above  $\lambda/4$  in-thick aluminium ground plane. The feeding lines start from SMA connector with the width of 2.8 mm that corresponding to  $50\Omega$ . Next, it is split into 2 branches with impedance of  $100\Omega$ , transform with an impedance matching of  $70.75\Omega$  and length of 10 mm, or  $\lambda/4$  of the center frequency. Photograph of the array antenna prototype and size comparison with a metric ruler are illustrated in Fig. 2.

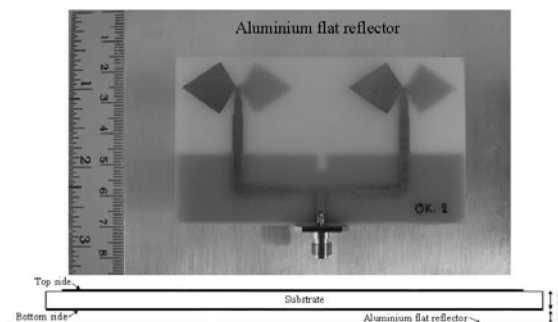


Figure 2: Fabricated prototype of two element array antenna using a flat reflector

### 3. Measurement and Results

#### 3.1 Return Loss

Fig. 3 Plots both single element and two elements array antenna for input return loss. The return loss of the proposed antennas is measured by using a HP 8722D vector network analyzer. The measured return loss has a bandwidth ( VSWR < 2:1) of 120.55%, 122.22% covered frequency range of 2.85-11.5 GHz, 2.8-11.6 GHz for single element and two elements array antennas, respectively. This shown that the bandwidth achieved in two element array antennas using a flat reflector is much greater than the single element about 2%.

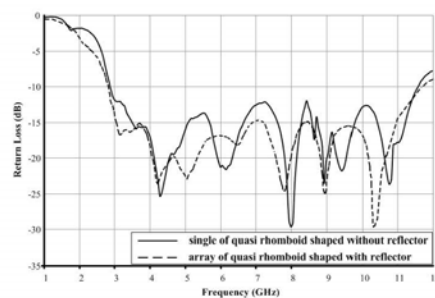


Figure 3: The measured return loss for a single and two elements array antenna using a flat reflector

#### 3.2 Gain

Fig. 4 shows the gain of the both antennas is measured by using vector network analyzer. From this figure, reasonable average gain level is about 4 dB and 6 dB for a single element and two elements array antenna by using a flat reflector, respectively. The antenna gain in single element is not same two elements due to affected from number of antenna and flat reflector. In measurement, it found that a single element antenna has average gain less than the two elements antenna about 2 dB.

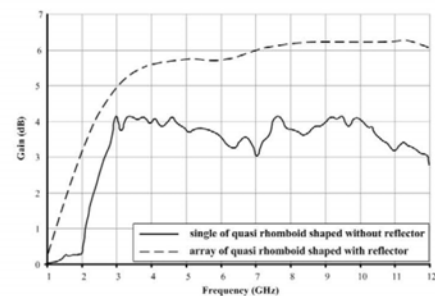


Figure 4: The measured gain for a single and two elements array antenna using a flat reflector

#### 3.3 Radiation Patterns

The far-field radiation patterns were measured in an anechoic chamber. The antenna patterns are measured at selective frequencies that cover the entire operating band, and the results are presented in Fig. 5 a) and b) in the E-plane and H-plane at frequency 3.1, 5.1, 7.1 and 9.1 GHz. When is received at 45 cm, 65 cm from the transmitting antenna for a single element and an array structure, respectively. The proposed antennas are their stable radiation patterns. It can be seen that the quasi rhomboid shaped without reflector is satisfactorily omni-directional patterns in azimuth plane and the quasi rhomboid shaped two elements with reflector have uni-directional patterns. Referring to the Fig. 5 the measured E and H planes cross-polarization is not show because it is very low.

The 2009 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2009)  
October 20-23, 2009, Bangkok, THAILAND

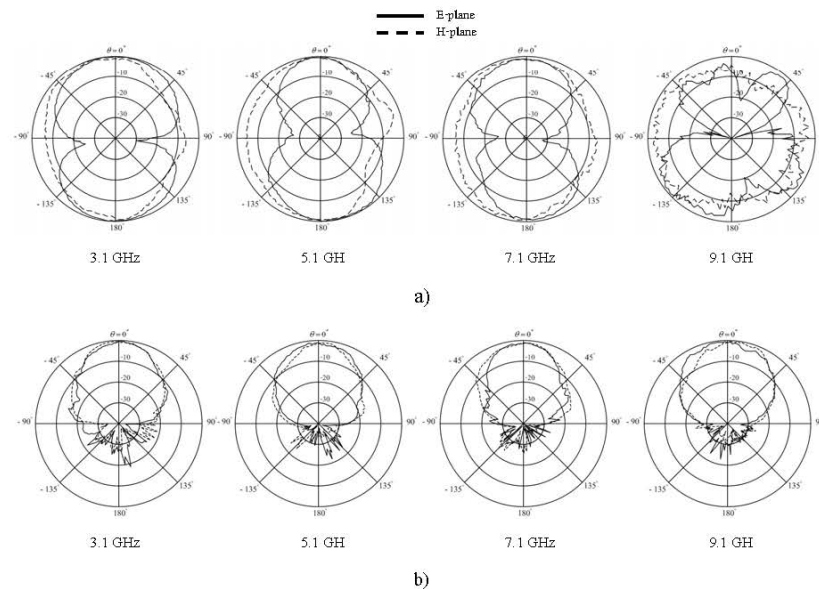


Figure 5: The measured E and H plane radiation patterns for a quasi rhomboid shaped at 3.1, 5.1, 7.1 and 9.1 GHz, a) single element without reflector b) two elements by using a flat reflector

#### 4. Conclusion

In this paper, an array of quasi rhomboid shaped element bowtie antenna design by using a flat reflector is presented. The proposed antenna provides a wide impedance bandwidth covered frequency range 2.8-11.6 GHz. The proposed antenna has a measured return loss less than -10 dB over the operating frequency for ultra wideband applications. This antenna pattern has uni-directional radiation patterns at the considered frequency band. The quasi rhomboid shaped array antenna with reflector has average gain more than the quasi rhomboid shaped without reflector about 2 dB. The proposed antenna is fabricated on FR-4 substrate, since it is small size, easy construction and very low cost. For lead to use benefit in designed receive-transmit system of ultra-wideband technology.

#### Acknowledgments

This work was supported by the Research Department Institute of Engineering Suranaree University of Technology Thailand.

#### References

- [1] M. Ghavami, L. B. Michael, and R. Kohno, *Ultra wideband Signals and Systems in Communication engineering*, second edition, John Wiley and Sons, Ltd., 2007
- [2] K. Tutku and T. Erdem, "A Double-Sided Rounded Bow-Tie Antenna (DSRBA) for UWB Communication," *IEEE Lett.*, Vol. 5, pp. 446-449, 2006.
- [3] T. Nikolay and L. Yehuda, "Planar Differential Elliptical UWB Antenna Optimization," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation* Vol. 54, No.11, pp. 3400-3406, Nov. 2006.
- [4] A. A. Eldek, "Ultrawideband Double Rhombus Antenna with Stable Radiation Patterns for Phased Array Applications," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol. 55, no. 1, pp. 84-91, 2007.









# การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32 32ND ELECTRICAL ENGINEERING CONFERENCE (EECON-32) ณ โรงแรมทวารวดี รีสอร์ท ปราณบุรี

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (Electrical Engineering Conference หรือ EECON) เป็นการประชุมทางวิชาการระดับชาติในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์เพื่อตอบสนองต่อยุทธศาสตร์การพัฒนาความเข้มแข็งทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาความสามารถด้านภาคออกแบบทางวิศวกรรมไฟฟ้า เพิ่มขีดความสามารถของสถาบันวิจัยต่างๆ ในการให้บริการและสนับสนุนทางด้านเทคโนโลยี อีกทั้งส่งเสริมให้เกิดความร่วมมือระหว่างสถาบันการศึกษาระดับสูงและเอกชนกับภาคอุตสาหกรรม โดยภาควิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยมหิดลได้ริเริ่มให้เกียรติให้เป็นเจ้าภาพในการจัดประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32 (EECON-32) ประจำปี 2552

- สาขาวิชาการ**
- ไฟฟ้ากำลัง (PW) อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
  - ไฟฟ้าสื่อสาร (CM) ระบบควบคุมและการวัด (CT)
  - อิเล็กทรอนิกส์ (EL) การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
  - โฟโตนิกส์ (PH) วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)
  - คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
  - งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

## CALL FOR PAPERS

### การส่งบทความ

บทความจัดทำเป็นภาษาไทย หรือ ภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 4 หน้ากระดาษ A4 ผู้ส่งบทความเข้าร่วมประชุมสามารถดาวน์โหลดแบบฟอร์มพร้อมทั้งเอกสารต่างๆได้ที่ เว็บไซต์ของสภาวิศวกรทางวิศวกรรมไฟฟ้า แห่งประเทศไทย (EECON Council) <http://www.eecon-thailand.org> หรือ <http://eecon32.mahidol.ac.th>

ดูรายละเอียดเกี่ยวกับการจัดประชุมได้ที่เว็บไซต์ของทางจัดประชุม <http://eecon32.mahidol.ac.th>

### การพิจารณา และการนำเสนอ

การคัดเลือกผู้เขียนวิทยานิพนธ์จากบทความ ใช้ระบบฐานข้อมูลของผู้พิจารณาบทความ เพื่อให้ได้ผู้เชี่ยวชาญที่ตรงสายมากที่สุดและจะแจ้งผลการพิจารณาให้ทราบทาง email โดย บทความที่ผ่านการพิจารณา จะได้รับการตีพิมพ์ใน Proceedings ซึ่งจะต้องมีการนำเสนอบทความ การนำเสนอบทความจะเป็นการนำเสนอแบบเวทีด้วยจาก (Oral Presentation) ทั้งนี้คณะกรรมการได้จัดให้มีรางวัลสำหรับบทความดีเด่นของทุกสาขาอีกด้วย



กำหนดการสำคัญ	
หมดเขตรับบทความ	10 ก.ค. 2552
แจ้งผลการพิจารณาบทความ	14 ส.ค. 2552
หมดเขตรับบทความฉบับสมบูรณ์	11 ก.ย. 2552
กำหนดประชุมการนำเสนอบทความ	29-30 ต.ค. 2552



## การพัฒนาวงจรกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์สำหรับการประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ Development of Monocycle pulse Generator Circuit for Ultra Wideband Applications

ชาญชัย ทองโสภณ และ ไพรัตน์ ทศดี

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

โทร 08-1837-8185, E-mail : Chan@sut.ac.th, Phairat\_tosdee@hotmail.com

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาวงจรกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์เพื่อประยุกต์ใช้งานสำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ โดยใช้ไดโอดฟื้นตัวแบบขั้น (Step Recovery Diode: SRD) ร่วมกับทฤษฎีของวงจรงอดผ่านสูง (High pass filter) ซึ่งสามารถกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ได้โดยตรงจากสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ ทำให้ลดความซับซ้อนในการออกแบบวงจร และทำให้วงจรมีขนาดเล็ก มีขนาดกะทัดรัด ออกแบบง่าย และต้นทุนต่ำ โดยทำการออกแบบวงจรที่มีความถี่ต่ำ เพื่อความสะดวกในการวัดทดสอบ และให้เหมาะสมกับเครื่องมืออุปกรณ์ที่มีใช้ ซึ่งจากผลการวัดทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ดังกล่าว พบว่าสามารถกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ได้ โดยมีแอมพลิจูดสูงสุด 580 มิลลิโวลต์ มีความกว้างของพัลส์ 80 นาโนวินาที สัมพันธ์กับความถี่ทำงานประมาณ 10 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งสามารถนำแนวคิดนี้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์สำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ได้ต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ : โมโนไซเคิลพัลส์, อัลตราไวด์แบนด์, ไดโอดฟื้นตัวแบบขั้น

### Abstract

A design and development of monocycle pulse generator circuit is presented for ultra wideband applications. The step recovery diode is applied to a monocycle pulse generator. This pulse generator uses high pass filter as a differentiator to generate the monocycle pulse directly from Gaussian pulse. That it decreases complication of circuit design. The monocycle pulse generator circuit is small size, easily fabricated and low manufacturing cost. By circuit has designed at low frequency for convenience to measure and appropriation of measurement equipment. In measurement, it is found that the monocycle pulse generator circuit has 580 mV peak amplitude, pulse duration of 80 ns corresponding to the operating frequency approximately 10 MHz. The advantage of the idea is that it can be used to apply with monocycle pulse generator circuit for ultra wideband technology in the future.

Keywords : monocycle pulse, ultra wideband, step recovery diode

### 1. คำนำ

ปัจจุบันระบบการสื่อสารโทรคมนาคมมีการพัฒนาและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะความต้องการใช้บริการเกี่ยวกับภาพและเสียง ซึ่งในอนาคตการสื่อสารข้อมูลจะมุ่งเน้นให้บริการทางด้านมัลติมีเดียเป็นหลัก แต่เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในปัจจุบันนั้นเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยความถี่วิทยุแคบแคบ (narrow band) ซึ่งเทคโนโลยีเหล่านี้จะมีข้อจำกัดในเรื่องของอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล และใช้กำลังงานในระดับสูง แต่ปัจจุบันได้มีการสื่อสารไร้สายรูปแบบหนึ่งที่มีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูง และใช้กำลังงานในระดับที่ต่ำมาก (ประมาณ 73 นาโนวัตต์) [1] โดยมีชื่อเรียกว่าเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งเทคโนโลยีการสื่อสารนี้มีการใช้สเปกตรัมความถี่แบบกว้างในการส่งข้อมูล ทำให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลได้จำนวนมาก หรือมีอัตราเร็วในการส่งข้อมูลสูงมาก เคมีที่นั่นเทคนิควิธีการสื่อสารข้อมูลด้วยพัลส์ที่มีถูกคิดค้นขึ้นมาใช้ในระบบของเรดาร์ และทางการแพทย์ ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนาที่จะนำเทคนิควิธีการสื่อสารข้อมูลด้วยพัลส์นี้มาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์มากขึ้น จึงได้มีการวิจัยให้มีความสนใจในการรับส่งสัญญาณด้วยพัลส์ของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์นี้ได้อย่างกว้างขวาง แต่เนื่องจากเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์นี้เป็นเทคโนโลยีที่มีอำนาจการแผ่รังสีการอยู่ในช่วง 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ [1] นั้นหมายความว่า จะต้องมีการกำเนิดสัญญาณพัลส์ในระดับ 320 พิโกวินาที ถึง 90 พิโกวินาที ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง มีราคาแพง จึงทำให้เป็นไปได้ยากสำหรับการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างระบบการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ในขณะนี้

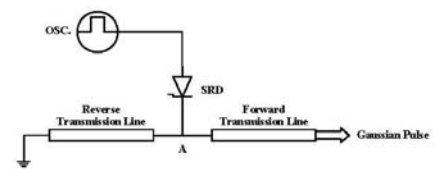
ดังนั้นบทความนี้จะได้นำเสนอการพัฒนาและออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ สำหรับการประยุกต์ใช้งานเช่นเดียวกับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ โดยใช้ไดโอดฟื้นตัวแบบขั้นร่วมกับทฤษฎีของวงจรงอดผ่านสูงในการออกแบบ ทำให้วงจรมีขนาดเล็ก มีขนาดกะทัดรัด ออกแบบง่าย และใช้ต้นทุนต่ำ ซึ่งสำหรับการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์นี้จะทำการออกแบบที่ความถี่ต่ำ เพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องมืออุปกรณ์ที่มีใช้อยู่ทั่วไปและสะดวกในการวัดทดสอบ ซึ่งจากผลการวัดทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ดังกล่าว พบว่าสามารถกำเนิดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ได้ โดยมีแอมพลิจูดสูงสุด 580 มิลลิโวลต์ มีความกว้างของพัลส์ 80 นาโนวินาที สัมพันธ์กับความถี่ทำงานประมาณ 10 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งจากแนวคิดดังกล่าว สามารถ

นำไปพัฒนาเป็นเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ ที่มีความถี่สูงขึ้นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

**2. ทฤษฎีและอธิบายคุณลักษณะของวงจรถูกำหนดพัลส์**

โดยการกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่สามารถเลือกใช้ได้หลากหลายรูปแบบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของระบบที่เกี่ยวข้องกับการส่งสัญญาณ เช่น สายอากาศ หรือวงจรรขยายสัญญาณ เป็นต้น ซึ่งรูปแบบของพัลส์ที่นิยมใช้งานนั้นเป็นสัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิล (Monocycle pulse) เนื่องจากไม่มีส่วนประกอบของไฟฟ้้ากระแสตรง (DC) จึงเหมาะสมกับการนำมารับส่งสัญญาณที่ไร้ประโยชน์ร่วมกับการออกแบบระบบเครื่องส่งที่สายอากาศ และวงจรรขยายสัญญาณเป็นส่วนประกอบ

ซึ่งการกำเนิดสัญญาณพัลส์นั้น นิยมใช้อุปกรณ์สองชนิด คือ ทดเนลไดโอด และไดโอดที่กลับตัวแบบขึ้น โดยที่ทดเนลไดโอดเป็นอุปกรณ์ในชุดแรก ที่ถูกนำมาใช้ในเครื่องส่งหรือตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเทคโนโลยีเรดาร์ แต่เนื่องจากทดเนลไดโอดมีคุณสมบัติเฉพาะมากเกิน ไปจึงไม่ค่อยมีผู้ใช้ความสนใจมากนัก หลังจากนั้นได้มีไดโอดที่กลับตัวแบบขึ้นเข้ามามีบทบาทอย่างมากสำหรับใช้เป็นตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่นำมาได้มีการออกแบบวงจรถูกำหนดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ด้วยการใช้ไดโอดที่กลับตัวแบบขึ้น โดยใช้วิธีการรวมสัญญาณแบบเกาส์เซียนพัลส์สองลูกที่มีเฟสต่างกัน 180° และมีเวลาประวิงที่แน่นอนระหว่างพัลส์ทั้งสองลูก [2] ซึ่งผลสุดท้ายจะได้สัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์สำหรับรับการประยุกต์ใช้งานกับระบบการสื่อสารคลื่นสั้น ต่อมาได้มีการนำไดโอดที่กลับตัวแบบขึ้นมาประยุกต์ใช้ร่วมกับทฤษฎีสายส่งสัญญาณ และสายประวิงเวลา เพื่อเป็นการช่วยปรับปรุงความกว้างของพัลส์ให้แคบลง ซึ่งทำให้วงจรมีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งการออกแบบวงจรถูกำหนดพัลส์นั้นได้ประยุกต์ใช้ไดโอดที่กลับตัวแบบขึ้น เช่นเดียวกัน ซึ่งมีโครงสร้างพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 1 [3]



รูปที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานการกำเนิดพัลส์ด้วยไดโอดที่กลับตัวแบบขึ้นร่วมกับสายประวิงเวลา

โดยความกว้างของพัลส์กำหนดด้วยความยาวของสายส่งวงจรถัด ซึ่งความกว้างและความยาวของสายส่งสามารถวิเคราะห์และคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้ [4]

$$\tau = \frac{2L_d}{v_p} \tag{1}$$

เมื่อ  $L_d$  คือความยาวของสายส่งกลับ (เมตร) และ  $v_p$  คือความเร็วเฟสระหว่างสายส่งกลับ (เมตรต่อวินาที) ซึ่งความเร็วเฟสระหว่างสายส่งแบบโมโครสตริปสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_e}} \tag{2}$$

โดยที่  $c$  คือความเร็วแสง (เมตรต่อวินาที) และ  $\epsilon_e$  คือค่าคงที่สภาพยอมประสิทธิภาพของโมโครสตริป ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + 12d/w}} \right) \tag{3}$$

เมื่อ  $\epsilon_r$  คือค่าคงที่สภาพยอมสัมพัทธ์ของชั้นสเตรด  $d$  คือความหนาชั้นสเตรดของโมโครสตริป (เมตร) และ  $w$  คือความกว้างของสายส่งโมโครสตริป (เมตร)

สำหรับการออกแบบวงจรถูกำหนดสัญญาณโมโนไซเคิลพัลส์ที่นำเสนอได้นี้ นำหลักการของวงจรถูกำหนดสัญญาณแบบรวมด้วยไดโอดหลังจากการออกแบบเสร็จเมื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริงส่วนมากแล้วจะมีการบิดเพี้ยนของสัญญาณพัลส์เกิดขึ้น และมีการแกว่งของสัญญาณพัลส์มากขึ้นไป เนื่องจากพัลส์มีช่วงเวลาลงเร็วมาก ซึ่งปัญหเหล่านี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการออกแบบวงจรรขยายการทำให้รูปร่างของพัลส์ (pulse shape) เพิ่มขึ้นเข้าไป โดยวงจรรขยายการทำให้รูปร่างพัลส์นั้นมีหลายเทคนิควิธี เช่น การนำไดโอดแบบชอททิ (Schottky diode) หรือเมสเฟต (MESFET) มาใช้ร่วมกับการออกแบบวงจรถูกำหนดสัญญาณพัลส์ [5]

**3. การออกแบบและการสร้าง**

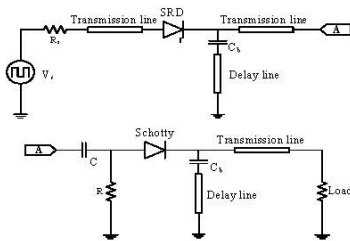
การออกแบบวงจรถูกำหนดสัญญาณพัลส์สำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นแหล่งจ่ายสัญญาณที่เคลื่อน ส่วนกำเนิดสัญญาณพัลส์ และส่วนวงจรรขยายการทำให้รูปร่างพัลส์ ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภาพบล็อกได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพบล็อกการกำเนิดสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์

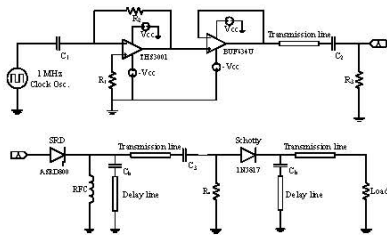
โดยการออกแบบวงจรถูกำหนดสัญญาณ โมโนไซเคิลพัลส์เลือกใช้แผ่นวงจรมิติ FR-4 แบบสองหน้า ซึ่งพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการออกแบบได้แก่ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ของชั้นสเตรด

(๕) ประมาณ 4.5 ความสูงของขั้วสเตรท (h) เท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร และค่าความค่าความยาวของสายประวิงเวลาได้จากสมการที่ (1) โดยกำหนดความกว้างของพัลส์ไว้ที่ 100 นาโนวินาที และความกว้างของสายประวิงเวลาไว้ที่ 5 มิลลิเมตร ซึ่งจะได้ขนาดความยาวของสายประวิงเวลาเท่ากับ 79 มิลลิเมตร โดยมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 3



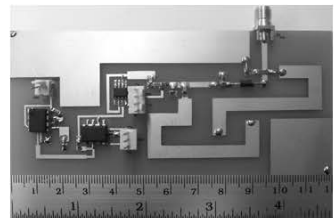
รูปที่ 3 โครงสร้างการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยไดโอดพินตัวแบบขึ้นร่วมกับสายประวิงเวลา

จากรูปที่ 3 เป็นการแสดง โครงสร้างการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ด้วยไดโอดพินตัวแบบขึ้นร่วมกับสายประวิงเวลา โดยมีการป้อนสัญญาณนาฬิกาจากแหล่งกำเนิด ซึ่งเป็นฟังก์ชันแบบขึ้นบันไดความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ ผ่านไดโอดพินตัวแบบขึ้นเพื่อสร้างพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีช่วงเวลาการส่งผ่านสั้นมาก และมีควมกว้างของพัลส์สัมพันธ์กับความยาวของสายประวิงเวลา เมื่อสัญญาณพัลส์นี้ผ่านวงจรดีเฟอเรนเชียลแล้วจะได้สัญญาณพัลส์ที่มีรูปร่างใกล้เคียงกับพัลส์แบบเกาส์ แต่สัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นมีช่วงเวลาขึ้นลงเร็วมากจึงทำให้เกิดการแกว่งแบบหน่วงของสัญญาณพัลส์ที่ไม่ต้องการมากเกินไป ซึ่งปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นนี้สามารถทำให้ลดน้อยลงได้ โดยการนำไดโอดแบบซอทที่นำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับสายประวิงเวลาในภาคสุดท้าย เพื่อช่วยลดการแกว่งของสัญญาณพัลส์ลงได้ และสามารถนำไปสู่การพัฒนาออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณ โมโน ไชเคิลพัลส์สำหรับเทคโนโลยีอ็อลตราไวด์แบนด์ได้ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้างของชุดวงจรกำเนิดสัญญาณ โมโน ไชเคิลพัลส์สำหรับเทคโนโลยีอ็อลตราไวด์แบนด์

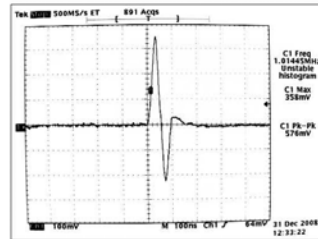
โดยรูปที่ 4 เป็นการแสดงโครงสร้างทั้งหมด รวมถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวงจรกำเนิดสัญญาณ โมโน ไชเคิลพัลส์ที่มีแอมพลิจูดเป็น 3 ส่วน คือส่วนของวงจรถับสัญญาณนาฬิกา ประกอบด้วยวงจรถักกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่เป็นฟังก์ชันแบบขึ้นบันไดความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ วงจรขยายสัญญาณดีเฟอเรนเชียลเฟอเรนทือเอเตอร์ และวงจรมัลติเพล็กซ์สำหรับเชื่อมต่อระหว่างวงจรถักกำเนิดสัญญาณเข้าด้วยกันเพื่อให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่มีกรรบกวนกัน ส่วนที่สองคือส่วนที่สร้างสัญญาณพัลส์ซึ่งประกอบด้วยวงจรถักดีเฟอเรนเชียลร่วมกับไดโอดพินตัวแบบขึ้นและสายประวิง โดยสัญญาณที่ออกจากรับฟอ์ผ่านวงจรดีเฟอเรนเชียลแล้วสัญญาณที่ได้จะมีช่วงเวลาของการส่งผ่านสั้นมาก เมื่อผ่านวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นเพื่อทำจัดสัญญาณคืนลบทิ้งทำให้ได้สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ โดยความกว้างของพัลส์ขึ้นอยู่กับ  $C_2$  และ  $R_2$  สุดท้ายคือส่วนของวงจรถักการนำรูปร่างพัลส์ โดยจะทำหน้าที่ในการกำเนิดสัญญาณ โมโน ไชเคิลพัลส์ ซึ่งมีการนำวงจรถักดีเฟอเรนเชียลมาประยุกต์ใช้อีกครั้ง เพื่อสร้างสัญญาณ โมโน ไชเคิลพัลส์ได้โดยตรงจากสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ที่ได้จากส่วนที่สอง เนื่องจากการทำอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ และ โมโน ไชเคิลพัลส์ที่ได้จะมีความกว้างพัลส์เท่ากับพัลส์ก่อนการทำอนุพันธ์ ซึ่งจากโครงสร้างของวงจรในรูปที่ 4 สามารถสร้างเป็นชุดต้นแบบวงจรกำเนิดสัญญาณ โมโน ไชเคิลพัลส์ดังรูปที่ 5



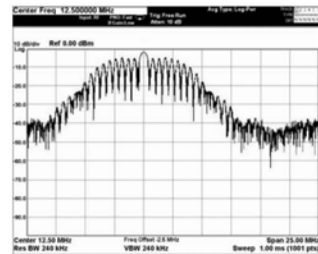
รูปที่ 5 ชุดต้นแบบวงจรกำเนิดสัญญาณ โมโน ไชเคิลพัลส์สำหรับกรประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีอ็อลตราไวด์แบนด์

4. ผลการวัดและทดสอบ

จากการออกแบบและสร้างวงจรถักกำเนิดสัญญาณ โมโน ไชเคิลพัลส์ โดยทำการปรับค่าความยาวของสายประวิงเวลา ตัวเก็บประจุ และตัวต้านทานในส่วนของวงจรถักดีเฟอเรนทือเอเตอร์ เพื่อให้ได้สัญญาณพัลส์แบบ โมโน ไชเคิลที่มีความกว้างพัลส์ตามต้องการ ซึ่งจากการวัดทดสอบสัญญาณ โมโน ไชเคิลพัลส์ที่เอาต์พุตของวงจรถักด้วยเครื่องออสซิลโลสโคปในโดเมนเวลา เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (Signal Analyzer: MXA N9020A) และเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer: AN930A) ในโดเมนความถี่ ซึ่งได้รูปร่างของสัญญาณพัลส์ และความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมดังแสดงในรูปที่ 6 และรูปที่ 7 ตามลำดับ



รูปที่ 6 ผลการวัดสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาของวงจรถามัดสัญญาณ โชนโซเคลพัลส์



รูปที่ 7 ผลการวัดความหนาแน่นกำลังงานเชิงสเปกตรัมในโดเมนความถี่ของวงจรถามัดสัญญาณ โชนโซเคลพัลส์

จากการวัดทดสอบของวงจรถามัดสัญญาณ โชนโซเคลพัลส์ จากรูปที่ 6 ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์สัญญาณ โชนโซเคลพัลส์ในโดเมนเวลา พบว่า โชนโซเคลพัลส์มีแอมพลิจูดสูงสุด 580 มิลลิโวลต์ มีความกว้างของพัลส์ 80 นาโนวินาที ที่แอมพลิจูดสูงสุดลดลงครึ่งหนึ่ง และมีความกว้างของพัลส์ 100 นาโนวินาที ที่ 10% ของแอมพลิจูดสูงสุด สัมพันธ์กับความถี่ทำงานประมาณ 10 เมกะเฮิร์ตซ์ และมีการแกว่งของสัญญาณ โชนโซเคลพัลส์น้อยสุดท้ายเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลองความหนาแน่นกำลังงานเชิงสเปกตรัมของสัญญาณ โชนโซเคลพัลส์ที่ได้นั้นมีแบนด์วิดท์ 10 เมกะเฮิร์ตซ์ ของค่าความถี่กลาง และครอบคลุมย่านความถี่ใช้งานช่วง 5 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 15 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยทำการวัดที่ระดับสัญญาณ -20 ดซิเบล

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอออกแบบวงจรถามัดสัญญาณ โชนโซเคลพัลส์ สำหรับการประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ โดยใช้ไดโอดที่พื้นผิวแบบขนานร่วมกับทฤษฎีวงจรกรองค่านสูงในการออกแบบ ซึ่งจากการทดสอบของวงจรถามัดสัญญาณพัลส์ดังกล่าว พบว่าสามารถถามัดสัญญาณ โชนโซเคลพัลส์ได้ โดยมีแอมพลิจูดสูงสุด 580 มิลลิโวลต์ มี

ความกว้างของพัลส์ 80 นาโนวินาที ที่ 50 % ของแอมพลิจูดสูงสุด และมี ความกว้างของพัลส์ 100 นาโนวินาที ที่ 10 % ของแอมพลิจูดสูงสุด ซึ่งจากแนวความคิดดังกล่าว สามารถนำไปพัฒนาเป็นเครื่องถามัดสัญญาณพัลส์ สำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ที่มีความถี่สูงขึ้นได้ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถานวิจัย สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

[1] M. Ghavami, L. B. Michael, and R. Kohno, Ultra wideband Signals and Systems in Communication Engineering, second edition, John Wiley and Sons, Ltd., 2007.  
 [2] J. S. Lee and C. Nguyen, "Novel Low-Cost Ultra-Wideband, Ultra-Short-Pulse Transmitter with MESFET Impulse-Shaping Circuitry for Reduced Distortion and Improved Pulse Repetition Rate," IEEE Lett. Microwave and Wireless Components, Vol. 11, No. 5, pp. 208-210, 2001.  
 [3] S. Alexandre, D. Yvan, V. Tan-Phu, F. J. Ewerton and F. Glauco, "A New Simple UWB Monocycle Pulse Generator," in Proc. 13th IEEE ICECS, pp. 1212-1215, December, 2006.  
 [4] W. Jian-bin and T. Mao, "A New Short Pulse Generator for Ground Penetrating Radar," in Proc. IEEE WICOM, pp. 1127-1130, September, 2007.  
 [5] Q. Wang, X. Tian, Y. Liu, B. Li and B. Gao, "Design of an Ultra-wideband Pulse Generator Based on Avalanche Transistor," in Proc. 4th IEEE WICOM, pp. 1-4, October, 2008.



**ชาญชัย ทองโสภณ** สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี อิเล็กทรอนิกส์ (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี 2535 ปริญญาโท ไฟฟ้า-สื่อสาร จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ปี 2539 และปริญญาเอก ไฟฟ้า

จากจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี 2542 ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้าน วงจรทางด้านความถี่สูง สาขาอากาศยาน และการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ



**ไพรัตน์ กษัตริ์** สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปี 2549 ปัจจุบันศึกษาในระดับปริญญาโท สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี งานวิจัยที่สนใจ เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์ และการออกแบบวงจรรทางด้านความถี่สูง



ภาคผนวก ข

รายละเอียดทางเทคนิคของสายอากาศและวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

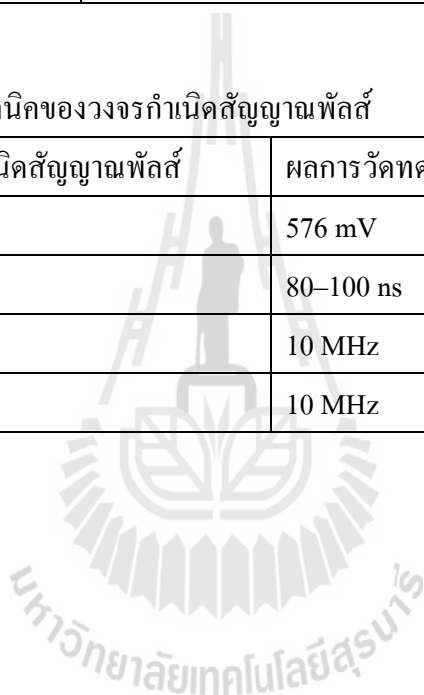
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลทางเทคนิคของสายอากาศต้นแบบตัวเดียวและแบบแถวลำดับ

ชนิดสายอากาศ	ต้นแบบตัวเดียว	แถวลำดับ
ความถี่	3.1 – 10.6 GHz	3.1 – 10.6 GHz
อัตราขยายเฉลี่ย	~ 3 dBi	~ 6 dBi
อิมพีแดนซ์	~ 50 โอห์ม	~ 50 โอห์ม
หัวเชื่อมต่อ	SMA	SMA
% ความกว้างแถบ	130.42 %	122.22%
ขนาด	36.5 × 40 มิลลิเมตร	120.25 × 85 มิลลิเมตร

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลทางเทคนิคของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

คุณลักษณะของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์	ผลการวัดทดสอบ
แอมพลิจูดสูงสุด	576 mV
ความกว้างของพัลส์	80–100 ns
ความถี่ทำงาน	10 MHz
แบนด์วิดท์	10 MHz



## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชานชัย ทองโสภณ

วันเดือนปีเกิด : 6 มีนาคม 2509 (สุพรรณบุรี)

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 7208 00098 92 5

รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ : 00040671

ตำแหน่งปัจจุบัน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์ โทรสาร และE-mail :

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์: 0-4422-4397

โทรสาร: 0-4422-4392

E-mail: [chan@sut.ac.th](mailto:chan@sut.ac.th)

ที่อยู่ : 454/168 ม.ชนขอบ-รัษฎา อ.รามอินทรา-วัชรพล แขวงคลองถนน  
เขตสายไหม กรุงเทพมหานคร 10220  
โทร. 08-1837-8185, 0-2994-2095

ประวัติการศึกษา 2545 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

2539 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า-สื่อสาร  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2535 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (เกียรตินิยม  
อันดับ 1) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าแขนงไฟฟ้าสื่อสาร, ภฟส. 5514

ความชำนาญเฉพาะด้าน

- 1) การออกแบบวงจรความถี่สูง
- 2) ระบบสายอากาศ และสายอากาศแบบแอคทีฟ (Active antenna)
- 3) การให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูง (Microwave Hypothermia)

### รางวัลเกียรติคุณ

- 2533: โล่เกียรติคุณ จากกรมสื่อสารทหารอากาศ ในฐานะบุคคลดีเด่น
- 2534: โล่เกียรติคุณ จากกองทัพอากาศ ในฐานะบุคคลดีเด่น
- 2540: รางวัลวิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- 2546: รางวัลศิษย์เก่าดีเด่น โรงเรียนช่างฝีมือทหาร
- 2551: โล่เกียรติคุณ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในฐานะบุคคลดีเด่น

### สิทธิบัตร

1. การหลอมขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยใช้วัตถุดิบรีไซเคิลจากขยะชุมชนโดยขบวนการคลื่นแม่เหล็กและการบีบอัด เลขที่คำขอ 0501000290
2. สายอากาศแพตช์แนวตั้งคู่ที่มีสตริปเชื่อมอยู่ตรงกลาง เลขที่คำขอ 0701001929
3. เครื่องเหนียวทำให้เกิดความร้อนสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือน เลขที่คำขอ 0901003816
4. เครื่องไล่ล้างควาด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง เลขที่คำขอ 0901003815
5. เครื่องกำจัดลูกน้ำยุงโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เลขที่คำขอ 1001000444

### ประสบการณ์ทำงานและผลงานวิจัย

- พ.ศ. 2535-2540 ตำแหน่งนักวิจัยบริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด โดยมีผลงานดังต่อไปนี้
- การออกแบบระบบสื่อสาร หอบังคับการบินกับนักบิน
  - การออกแบบวิทยุรับ-ส่ง VHF, UHF (AM) 25 วัตต์ (ระบบเปิดตลอด 24 ชั่วโมง)
  - การออกแบบระบบวิทยุคลื่นสั้น HF (AM) 1kW (ระบบเปิดตลอด 24 ชั่วโมง)
- พ.ศ. 2540-2543 ตำแหน่งนักวิจัย สังกัดหน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีโทรคมนาคม ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTE)
- เป็นที่ปรึกษาองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยในโครงการ SDH
  - ผลงานการออกแบบวงจรทางด้านความถี่สูง
- ปัจจุบัน อาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม



### บทความวิชาการทั้งในประเทศและต่างประเทศ

- 1) M.Krairiksh, **C.Thongsopa** and A.Mearnchu, "A Steerable Active Applicator," Proceedings of the 1998 Asia-Pacific Microwave Conference, Yokohama, vol. 2, pp.861-864, Dec. 1998.
- 2) M.Krairiksh, **C.Thongsopa** and C.Phongcharoenpanich, "A Steerable Active Spherical Slot Array Antenna," Proceedings of the 1999 Progress in Electromagnetics Research Symposium, Taipei, vol. 1, p.483, Mar. 1999.
- 3) M.Krairiksh, **C.Thongsopa**, D.Srimoon and A.Mearnchu, "Analysis of Steerable Active Slot Array Applicator," Proceedings of the 1999 Asia-Pacific Microwave Conference, Singapore, vol. 2, pp.489-492, Dec. 1999.
- 4) M.Krairiksh, **C.Thongsopa**, C.Phongcharoenpanich, E.Khoomwong and C.Leekpai, "A Steerable Spherical Slot Array Antenna," Journal Science Asia, vol. 25, no.4, pp.231-236,
- 5) **C.Thongsopa**, M.Krairiksh, N.Srirattana and A.Intarapanich, "A Single Patch Beam Steering Antenna," Proceedings of the 2000 Asia-Pacific Microwave Conference, Sydney, pp. 1510-1513, Dec. 2000.
- 6) **C.Thongsopa**, M.Krairiksh and A.Mearnchu, " Analysis and Design of a Steerable Active Array Applicator," The First National Meeting on Biomedical Engineering, Bangkok Thailand, Sep. 2001
- 7) **C.Thongsopa**, M.Krairiksh, A.Mearnchu and D.Srimoon, "Analysis and Design of Injection Locking Steerable Active Array Applicator," IEICE Trans. Communications, vol.E 85-B, no 10, pp. 2327-2337, Oct. 2002.
- 8) **C.Thongsopa**, C. Jumniensri, and J.Wongmethanukro, "Beam Steering Using Single Patch Active Antenna," Proceedings of the 26th Electrical Engineering Conference, Thailand, pp.1796-1800, Nov. 2003.
- 9) **C. Thongsopa**, P. Jarataku, and P. Sukpong, "Wide Band U-Shaped cross section Antenna with a strip on a U-Shaped ground plane," IEEE Transactions on Magnetics, Beijing, China, pp.458-461, Apr. 2005.
- 10) P. Sukpong, **C. Thongsopa**, and P. Jarataku, "Injection-Locked Active Antenna Using a Dual Gate MESFET," The 4th PSU-Engineering Conference (PEC4), Songkhla, Thailand, pp. 50-54, December 8-9, 2005.

- 11) C. Thongsopa, A. Intarapanich, and C. Saetiaiw, "Amplitude Modulation Using Injection Locking Oscillator Under Strong Envelop Variation Injection," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Tokyo, Japan, August 2006.
- 12) **C. Thongsopa**, "Array of A U-Shaped Element on A U-Shaped Ground Plane Wideband Antenna", 2006 Asia-Pacific Conference on Communication, Bussan, Republic of Korea, 31 August-1 September 2006, 5D-145.
- 13) P. Jarataku, and **C. Thongsopa**, "2.45 GHz Bi- Directional Amplifier for Wireless LAN," The 5th PSU-Engineering Conference (PEC5), Phuket, Thailand, pp.197-201, May 10-11. 2007.
- 14) **C. Thongsopa**, D.Srimoon, and P. Jarataku, "A U-Shaped Cross Sectional Antenna on a U-Shaped Ground Plane with an offset Parabolic Reflector for WLAN," *IEEE AP-S International Symposium 2007*, Honolulu, Hawaii. USA, pp 5159-5162, Jun 10-15, 2007.
- 15) C. Saetiaiw, A. Intarapanich, and **C. Thongsopa**, "Effect of Spatial Correlation with Directional Antenna on MIMO capacity," 2007 International Symposium on Antenna and Propagation, Niigata, Japan, pp 1334-1337, August 20-24, 2007.
- 16) A. Intarapanich, **C. Thongsopa**, and C. Saetiaiw, "Effect of Antenna Patterns on Narrowband MIMO capacity," *IEEE 2007 International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies For Wireless Communications*, Hangzhou, China, pp 160-163, August 14-16, 2007.
- 17) **C. Thongsopa**, and A. Intarapanich, "Double injection Locking Active Antenna," *European Conference on Antennas and Propagation, (Eucap 2007)* Edinburgh, UK, pp aa-bb, November 11-16, 2007.
- 18) P. Thosdee, and **C. Thongsopa**, "Quasi-Rhomboid Antenna for Ultra Wideband Wireless Communication System," *Proceedings of the 30th Electrical Engineering Conference*, Kanchanaburi, Thailand, pp. aa-bb, October 25-26. 2007.
- 19) C. Saetiaiw, A. Intarapanich, and **C. Thongsopa**, "Relations between 3-Dimensions Antenna Pattern and Narrowband MIMO Capacity," *Proceedings of the 2007 Asia-Pacific Microwave Conference*, Bangkok, Thailand, pp. aa-bb, December 11-14, 2007.
- 20) Maungrat, M., **Thongsopa**, C., and Jarataku, P., "Measurement of UHF Radio Wave Propagation in Parking," *The 7<sup>th</sup> PSU-Engineering Conference (PEC7)*, Songkhla, Thailand, pp. 97-100, May. 21-22, 2009.

- 21) Tangwachirapan, S., **Thongsopa, C.**, “Numerical Simulation of Magnetic Fields Shield for Breast Cancer Hyperthermia,” *The 7<sup>th</sup> PSU-Engineering Conference (PEC7)*, Songkhla, Thailand, pp. 102-105, May. 21-22, 2009.
- 22) Patummakasorn, C., and **Thongsopa, C.**, “Analysis and Design of Applicator System for Regional Induction Heating 2.45 GHz,” *WSEAS Transactions on Communications*, Issue 9, Volume 8, September 2009.
- 23) **Thongsopa, C.**, and Thosdee, P., “Array of Quasi Rhomboid Shaped Element Bowtie Antenna with Reflector for Ultra Wideband Applications,” *in proc.* The 2009 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2009), Thailand, October 20-23, 2009.
- 24) **Thongsopa, C.**, and Saetiaw, C., “The Effect of 3D Antenna Radiation Pattern on Narrowband MIMO Capacity: Simulation and Measurement,” *in proc.* The 2009 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2009), Bangkok, Thailand, October 20-23, 2009.
- 25) Patummakasorn, C., and **Thongsopa, C.**, “Simulations and Experiment of Applicator System for Regional Induction Heating 2.45 GHz,” *WSEAS Conferences AIC '09, ISCGAV '09, ISTASC '09, HTE '09, FMA '09, BEBI'09* Moscow, Russia, August 20-22, 2009.
- 26) **Thongsopa, C.**, Intarapanich, A. and Maungrat, M., “Temporal Measurement of UHF Radio Wave in Presence of Vehicles” *in proc.* 2009 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC'09) Kyoto, Japan, July 20-24, 2009.
- 27) **Thongsopa, C.**, Intarapanich, A. and Tangwachirapan, S., “Shielding system for breast hyperthermia inductive heating” *in proc.* The XIV<sup>th</sup> International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics Electrical and Electronic Engineering, (ISEF'09) Arras, France, Sep 10-12, 2009.
- 28) **Thongsopa, C.**, and Thosdee, P., “Development of Monocycle pulse Generator Circuit for Ultra Wideband Applications,” *in proc.* 32<sup>nd</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-32), Tawaravadee Resort Hotel, Prachinburi, Thailand, October 20-23, 2009.

- 29) Maungrat, M., and **Thongsopa, C.**, “Measurement of ASK and FSK Wave Propagation in Parking,” *in proc. 32<sup>nd</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-32)*, Tawaravadee Resort Hotel, Prachinburi, Thailand, October 20-23, 2009.
- 30) Tangwachirapan, S., **Thongsopa, C.**, “Study Magnetic Fields Shield for Lossy Mediums Inductive Hyperthermia Heating,” *in proc. 32<sup>nd</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-32)*, Tawaravadee Resort Hotel, Prachinburi, Thailand, October 20-23, 2009.  
***(The Best Paper Award in Biomedical Engineering).***
- 31) Santalunai, S., and **Thongsopa, C.**, “High Power Amplifier Design for RF Induction Heating” *in proc. 32<sup>nd</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-32)*, Tawaravadee Resort Hotel, Prachinburi, Thailand, October 20-23, 2009.
- 32) Yaemsuan, P., and **Thongsopa, C.**, “Design and Construction of Induction Heating Boiler Machine with Full-Bridge Inverter” *in proc. 32<sup>nd</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-32)*, Tawaravadee Resort Hotel, Prachinburi, Thailand, October 20-23, 2009.
- 33) Saetiaw, C., **Thongsopa, C.**, Intarapanich, A. and Chinanupakorn, M., "Effect of Directional Antennas to Narrowband MIMO Capacity", 2010 International Workshop on Information Communication Technology ( ICT 2010) , August 24 - 25, 2010 KMITL, Bangkok, Thailand.