

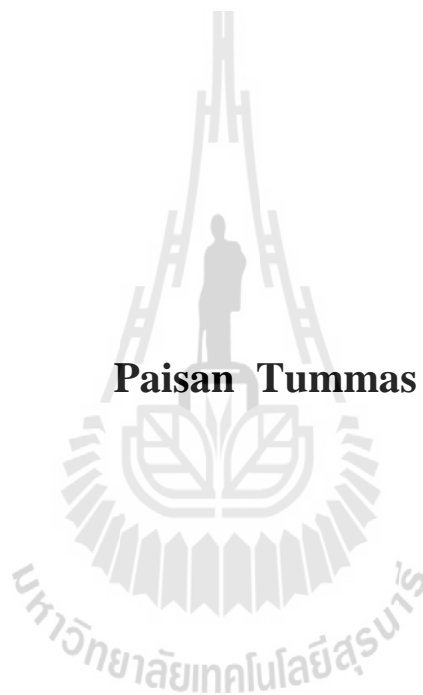
การออกแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้
ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์



นายไพศาล ทูมมาศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2558

**A FREQUENCY RECONFIGURABLE ANTENNA
DESIGN FOR ULTRA WIDEBAND
APPLICATIONS**



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

Suranaree University of Technology

Academic Year 2015

การออกแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สาย
ย่านอัลตราไวด์แบนด์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็น ส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.ชุตินา พรหมมาก)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ไพศาล ทูมมาศ : การออกแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการ
สื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ (A FREQUENCY RECONFIGURABLE ANTENNA
DESIGN FOR ULTRA WIDEBAND APPLICATIONS) อาจารย์ที่ปรึกษา :
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์, 105 หน้า

การพัฒนาอย่างรวดเร็วของการสื่อสารไร้สายและอุตสาหกรรมการสื่อสารทำให้การสื่อสารแบบไร้สายเป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านการศึกษา อุตสาหกรรม สุขภาพ และการเมือง เป็นต้น ส่งผลให้จำนวนผู้ใช้เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วและทำให้การใช้งานคลื่นความถี่ไม่เพียงพอ จึงมีการนำสายอากาศแบบอัลตราไวด์แบนด์มาใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของผู้ใช้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากย่านความถี่อัลตราไวด์แบนด์เป็นย่านความถี่ที่กว้างมาก รองรับการใช้งานที่เพิ่มขึ้น แต่สายอากาศแบบอัลตราไวด์แบนด์มีข้อเสียคือเกิดการแทรกสอดสัญญาณและใช้งานย่านความถี่อย่างไม่มีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ย่านอัลตราไวด์แบนด์จึงมีความสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานได้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับใช้ในเทคโนโลยีวิทยุรู้คิด เพื่อจัดสรรความถี่ใช้งานเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพเต็มที่ โครงสร้างของสายอากาศประกอบด้วย สายอากาศตรวจจับคลื่นความถี่ และสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ โดยสายอากาศตรวจจับคลื่นความถี่จะทำการสแกนช่องสัญญาณเพื่อค้นหาความถี่ใช้งาน ขณะที่สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนจะทำการปรับเลือกความถี่ใช้งานที่เหมาะสม ซึ่งสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ประกอบด้วยสายอากาศโมโนโพลที่แตกต่างกัน 5 ตัว ทำงานครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์ที่ความถี่ 3.1 GHz - 10.6 GHz การใช้งานความถี่จะได้รับเนื่องจากการใช้การหมุนตัวของสายอากาศไปตามความถี่ที่ต้องการใช้งาน การหมุนตัวสายอากาศถูกควบคุมโดยชุดสแต็ปปีงมอเตอร์ที่มีสายอากาศติดอยู่ด้านหลัง ซึ่งจะมีการควบคุมโดยใช้สวิตช์ MEMS (Microelectromechanical systems) สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่มีข้อดีคือ มีโครงสร้างที่ง่าย สะดวกในการติดตั้ง ครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

PAISAN TUMMAS : A FREQUENCY RECONFIGURABLE ANTENNA
DESIGN FOR ULTRA WIDEBAND APPLICATIONS. THESIS
ADVISOR : ASST. PROF. PIYAPORN MEESAWAD, Ph.D., 105 PP.

MEMS SWITCH/UWB/A RECONFIGURABLE ANTENNA/THE SENSING
ANTENNA/A STEPPING MOTOR/COGNITIVE RADIO

Rapidly developing of the wireless communications and the communications industry makes the wireless communications which is preferable and widely used in terms of education, health, industry, politics, and so on. The number of users is increasing rapidly, so the spectrum of frequency is not enough. Therefore, the ultra-wideband antennas are applied to increase the efficiency of users. The ultra-wideband frequency range is widely bandwidth to support the increasing of users. However, the ultra-wideband antenna has the disadvantage as interference signal and usability of inefficient bandwidth. For this reason, the reconfigurable antenna at ultra-wideband frequency range is important to raise the efficiency.

This thesis proposes the frequency reconfigurable antenna for cognitive radio technology applications to allocate frequencies, used to be the maximum effective. The antenna structure consists of sensing antenna and frequency reconfigurable antenna. The sensing antenna is used to scan the resonant frequency channel, while the reconfigurable antenna is used to adjust the proper frequencies. A reconfigurable antenna consists of five different monopole antennas which are covered frequencies from 3.1 GHz to 10.6 GHz. The operating frequencies are achieved by using a rotational motion of the antennas at the resonant frequency. The rotations of antennas

are controlled by using a stepping motor, mounted on the back of the antenna structure. In addition, the motor's rotational motion is controlled by using MEMS switch. A frequency reconfigurable antenna offers many advantages such as easy fabrication, suitability for installation, and coverage spectrum UWB (Ultra Wideband).



School of Telecommunication Engineering Student's Signature _____

Academic Year 2015 Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ที่คอยแนะนำช่วยเหลือให้คำปรึกษาอย่างดีมาโดยตลอด รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ และ อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความรู้ด้านวิชาการ และให้โอกาสในการศึกษา

คุณนุชนาฏ ผาเพ็ชรม ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการ และด้านเทคนิค รวมทั้งการชี้แนะเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สนับสนุนต่อการทำวิทยานิพนธ์อย่างสม่ำเสมอ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา

ขอขอบคุณพี่น้องบัณฑิตศึกษาทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษาด้านวิชาการ และคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีต และปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่าน ที่ให้การอบรมเลี้ยงดู และให้การสนับสนุนทางการศึกษาโดยเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา และญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รัก และเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยทั้งในอดีต และปัจจุบันจนสำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

ไพศาล ทุมมาศ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	4
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	4
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	5
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
1.6.1 แนวทางการดำเนินงานวิจัย.....	5
1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย.....	6
1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย.....	6
1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	6
1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	6
1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	6
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.8 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์.....	7
2 ทฤษฎี หลักการ และปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 กล่าวนำ.....	8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2	ทฤษฎีเทคโนโลยีวิทยุรู้คิด (Cognitive Radio: CR)	10
2.3	เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์	11
2.3.1	หลักการพื้นฐานของอัลตราไวด์แบนด์	11
2.3.2	สายอากาศอัลตราไวด์แบนด์	14
2.3.3	การโพลาริซซ์ของสายอากาศ	17
2.4	สายอากาศโมโนโพล	19
2.4.1	สายอากาศโมโนโพลมาตรฐาน	27
2.4.2	สายอากาศโมโนโพลแบบครูป้าง (Drooping Monopole)	28
2.5	ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
2.5.1	สายอากาศครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์	29
2.5.2	สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่	29
2.6	สรุป	36
3	การออกแบบสายอากาศ	37
3.1	กล่าวนำ	37
3.2	การศึกษาสายอากาศโมโนโพล	37
3.2.1	การคำนวณสายอากาศโมโนโพล	38
3.2.2	การจำลองแบบของสายอากาศโมโนโพล	39
3.3	การออกแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับ ประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์	46
3.3.1	การปรับปรุงรูปร่างตัวป้อนสำหรับสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลม	47
3.3.2	การปรับปรุงรูปร่างตัวป้อนสำหรับสายอากาศโมโนโพลแบบวงแหวน	51
3.3.3	การปรับปรุงรูปร่างของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่	53
3.4	การทำงานของชุดสเต็ปป์มอเตอร์	64
3.4.1	ชุดตรวจจับแสง	66
3.4.2	ชุดประมวลผล	68
3.5	สรุป	70

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4	การทดสอบ และวิเคราะห์ผล	71
4.1	กล่าวนำ	71
4.2	การจำลองสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ด้วย โปรแกรม CST Microwave Studio 2009	71
4.3	การสร้างและวัดทดสอบสายอากาศ	72
4.4	การวัดทดสอบ S_{11} และความกว้างแถบ	75
4.5	การวัดทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน	83
4.6	ผลการวัดทดสอบอัตราขยาย (Gain).....	88
4.7	การทำงานของชุดสแตมป์มอดูเลเตอร์	91
4.8	สรุป	93
5	สรุปการวิจัย และข้อเสนอแนะ	94
5.1	สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์	94
5.2	ปัญหา และข้อเสนอแนะ	96
5.3	แนวทางการพัฒนาในอนาคต	96
	รายการอ้างอิง	97
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	99
	ประวัติผู้เขียน	105

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศโมนิโพล.....	39
3.2 ช่วงความถี่ใช้งานของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับ ประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์.....	47
3.3 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศโมนิโพล.....	48
3.4 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศโมนิโพลแบบวงกลมหลังจาก ปรับตัวป้อนความถี่ 5.65 GHz.....	49
3.5 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศโมนิโพลแบบวงแหวน.....	51
3.6 การวางสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบ A ตามองศาของสเต็ปิ่งมอเตอร์.....	53
3.7 การวางสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบ B.....	56
3.8 การวางสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบ C.....	57
3.9 การขับแบบ Full Step.....	65
3.10 การขับแบบ Half Step.....	65
4.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ต้นแบบ.....	73
4.2 ช่วงความถี่ใช้งานของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับ ประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์.....	74
4.3 ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์.....	88
4.4 ค่าอัตราขยายของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่.....	89
4.5 ค่าสนามระยะไกลของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่.....	91
4.6 ตารางการป้อนสัญญาณควบคุมสเต็ปิ่งมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ป.....	92
4.7 ตารางการกวดเลือกสวิตช์ควบคุมสเต็ปิ่งมอเตอร์ ในการควบคุมเลือกสายอากาศใช้งาน.....	93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.1 คุณลักษณะสมบัติของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์.....	95
5.2 ช่วงความถี่ใช้งานของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์.....	95
5.3 อัตราขยายของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์.....	96



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่4
2.1	การใช้งานความถี่ในระบบสื่อสารไร้สาย10
2.2	หลักการ Cognitive Radio Loop 11
2.3	สัญญาณแบบแถบความถี่แคบ12
2.4	สัญญาณอัลตราไวด์แบนด์ซึ่งมีแถบความถี่กว้างมากในทางเวลาและความถี่12
2.5	การใช้งานแถบความถี่ของการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์ กับการสื่อสารแบบความถี่แคบ 13
2.6	การผสมคลื่นการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์กับการสื่อสารแบบความถี่แคบ14
2.7	การนำสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์แบบพัลส์มาใช้ในการส่งและรับข้อมูลดิจิทัล15
2.8	การนำสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์แบบพัลส์มาใช้ในการส่งและรับข้อมูลดิจิทัล16
2.9	สายอากาศแบบตัวเดียวครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์16
2.10	ลักษณะการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นของสายอากาศ แบ่งเป็นการโพลาไรซ์ ทางแนวนอน และการโพลาไรซ์ทางแนวตั้ง18
2.11	การโพลาไรซ์แบบถูกต้อง สายอากาศที่ใช้ส่งมีการจัดการ โพลาไรซ์ทางแนวตั้ง สัญญาณที่รับได้เป็นการโพลาไรซ์ทางแนวตั้ง ทำให้เป็นรูปแบบ การรับส่งสัญญาณที่ดีที่สุด19
2.12	โครงสร้างพื้นฐานสายอากาศไดโพล20
2.13	โครงสร้างพื้นฐานสายอากาศโมโนโพล20
2.14	การแปรคลื่นของสายอากาศแบบโมโนโพล หรือยูนิโพล21
2.15	ลักษณะของกระแส - แรงดันไฟฟ้าบนไดโพลแบบ $\lambda/2$22
2.16	ลักษณะของกระแสบนสายอากาศแบบเส้นทางไฟฟ้า23
2.17	ไดโพลที่วางอยู่เหนือแผ่นตัวนำที่สมบูรณ์ และ รูปเสมือนที่ใช้ทฤษฎีของ Image24
2.18	โมโนโพลที่วางอยู่เหนือแผ่นตัวนำสมบูรณ์25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.19 การรวมกันของคลื่นที่แพร่จากโมโนโพลและที่มาจาก image.....	26
2.20 จุดที่ป้อนสัญญาณจากโคแอกเซียลไปยังโมโนโพลและ ระบายกราวด์	27
2.21 สายอากาศโมโนโพลแบบครูปั้ง (Drooping monopole)	28
2.22 ไดโพลครึ่งคลื่น (half-wave dipole), สายอากาศโมโนโพลแบบครูปั้ง (Drooping monopole) และ โมโนโพลมาตรฐาน	29
2.23 เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์มาตรฐานไวมีเดีย (WiMedia).....	30
2.24 สายอากาศครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์แบบหนึ่งตัว.....	31
2.25 สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบสวิทช์.....	32
2.26 สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบหมุน	33
2.27 สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบสวิทช์ แบ่งเป็นย่านความถี่ต่ำและย่านความถี่สูง	34
2.28 สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบสวิทช์แสดง โครงสร้าง และค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง	35
3.1 โครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลม	38
3.2 ค่า S_{11} ของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลม.....	40
3.3 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลม	40
3.4 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลม	40
3.5 ค่า S_{11} ของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลมที่ค่า r แตกต่างกัน	41
3.6 ค่า S_{11} ของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลมที่ค่า h แตกต่างกัน	42
3.7 ค่า S_{11} ของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลมที่ค่า L_1 แตกต่างกัน	42
3.8 ค่า S_{11} ของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลมที่ค่า W แตกต่างกัน	43
3.9 การแจกแจงกระแสของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลม โดยให้ $r = 10$ mm, $h = 0.3$ mm, $W = 42$ mm และ $L = 50$ (ก) 3 GHz, (ข) 6.5 GHz, (ค) 9 GHz.....	44
3.10 แบบรูปการแผ่กำลังงานสายอากาศ เมื่อ $r = 10$ mm, $h = 0.3$ mm, $W = 42$ mm และ $L=50$ ที่ความถี่ 3.1GHz.....	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11	แบบรูปการแผ่กำลังงานสายอากาศ เมื่อ $r = 10 \text{ mm}$, $h = 0.3 \text{ mm}$, $W = 42 \text{ mm}$ และ $L = 50$ ที่ความถี่ 6.5 GHz.....45
3.12	แบบรูปการแผ่กำลังงานสายอากาศ เมื่อ $r = 10 \text{ mm}$, $h = 0.3 \text{ mm}$, $W = 42 \text{ mm}$ และ $L = 50$ ที่ความถี่ 9 GHz.....46
3.13	โครงสร้างสายอากาศโมนโพลที่ป้อนด้วยสายส่งไมโครสตริป ที่ความถี่ 5.65 GHz48
3.14	การแจกแจงกระแสของสายอากาศโมนโพลแบบวงกลม ที่ความถี่ 5.65 GHz.....48
3.15	โครงสร้างสายอากาศโมนโพลแบบวงกลมหลังจากปรับตัวป้อนความถี่ 5.65 GHz.....49
3.16	การแจกแจงกระแสของสายอากาศโมนโพลแบบวงกลม หลังจากปรับตัวป้อนที่ความถี่ 5.65 GHz49
3.17	ค่า S_{11} ของสายอากาศโมนโพล แบบใช้สายส่งไมโครสตริป และแบบปรับตัวป้อน50
3.18	แบบรูปการแผ่พลังงานสำหรับสายอากาศโมนโพล แบบวงกลมที่ใช้ตัวป้อนแบบไมโครสตริป.....50
3.19	แบบรูปการแผ่พลังงานสำหรับสายอากาศแบบโมนโพลแบบวงกลม หลังจากปรับตัวป้อนที่ความถี่ 5.65 GHz.....50
3.20	โครงสร้างสายอากาศโมนโพลแบบวงแหวน.....51
3.21	การแจกแจงกระแสของสายอากาศโมนโพลแบบวงแหวน.....52
3.22	แบบรูปการแผ่พลังงานสำหรับสายอากาศแบบโมนโพลแบบวงแหวน.....52
3.23	ค่า S_{11} ของสายอากาศโมนโพลแบบวงแหวน.....52
3.24	โครงสร้างสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบ A.....54
3.25	แสดงค่า S_{11} ของสายอากาศสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบ A.....54
3.26	ผลการจำลองแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ แบบ A ที่ความถี่ 7.7 GHz.....55
3.27	สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบ B.....55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.28	สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ที่ปรับเปลี่ยนรูปร่างแบบ C (สายอากาศที่นำเสนอ).....57
3.29	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ที่นำเสนอ ที่ความถี่ 3.55 GHz ได้อัตราขยาย 8.29 dB.....58
3.30	ค่า S_{11} ของสายอากาศสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ ที่ยังไม่ปรับรูปร่างและ สายอากาศแบบปรับรูปร่างแล้วเสร็จ Shape 1.58
3.31	ค่า S_{11} ของสายอากาศสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ ที่ยังไม่ปรับรูปร่างและสายอากาศแบบปรับรูปร่างแล้วเสร็จ Shape 259
3.32	ค่า S_{11} ของสายอากาศสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ที่ยังไม่ปรับรูปร่าง และ สายอากาศแบบปรับรูปร่างแล้วเสร็จ Shape 3.....59
3.33	ค่า S_{11} ของสายอากาศสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ที่ยังไม่ปรับรูปร่าง และ สายอากาศแบบปรับรูปร่างแล้วเสร็จ Shape 4.....60
3.34	ค่า S_{11} ของสายอากาศสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ที่ยังไม่ปรับรูปร่าง และ สายอากาศแบบปรับรูปร่างแล้วเสร็จ Shape 5.....60
3.35	ค่า S_{11} ของสายอากาศแบบตรวจจับความถี่.....61
3.36	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่รวม61
3.37	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศตัวที่ 162
3.38	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศตัวที่ 2.....62
3.39	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศตัวที่ 3.....63
3.40	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศตัวที่ 4.....63
3.41	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศตัวที่ 5.....64
3.42	สแตมป์มอดูเตอร์ที่มีการหมุนสแตมป์ละ 7.5 องศา64
3.43	วงจรภายในสแตมป์มอดูเตอร์แบบ 5 สาย 4 เฟส.....65
3.44	วงจรการเชื่อมต่อสำหรับการเขียน โปรแกรมควบคุมทิศทางของสแตมป์มอดูเตอร์.....66
3.45	วงจรการทำงานของตัวจับแสง.....67
3.46	วงจรการทำงานของป้อนสัญญาณให้ตัวประมวลผลกลาง67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.47	วงจรถ่ายทอดของตัวประมวลผลกลางควบคุมสตีปีมมอเตอร์67
3.48	โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม68
4.1	สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ 72
4.2	โปรแกรม CoreIDRAW 9 กำหนดการตัดแผ่น PCB 73
4.3	สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สาย ย่านอัลตราไวด์แบนด์ต้นแบบ 74
4.4	ตัวป้อนสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ 75
4.5	ผลการวัดทดสอบค่า S_{11} ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 1 76
4.6	ผลการวัดทดสอบค่า S_{11} ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 2 77
4.7	ผลการวัดทดสอบค่า S_{11} ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 3 77
4.8	ผลการวัดทดสอบค่า S_{11} ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 4 78
4.9	ผลการวัดทดสอบค่า S_{11} ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 5 78
4.10	ผลการวัดทดสอบค่า S_{11} ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ทั้งหมด 5 ตัว 79
4.11	ผลการวัดทดสอบค่า S_{11} ของสายอากาศตรวจจับความถี่ 79
4.12	อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio: SWR) ของสายอากาศ แบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 1 80
4.13	อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 2 80
4.14	อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 3 81
4.15	อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 4 81
4.16	อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 5 82
4.17	ผลการวัดทดสอบอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนรวมทั้ง 5 ตัว 82
4.18	อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศตรวจจับความถี่ 83
4.19	แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 1 โดยเส้นทึบ แสดงผลจากการจำลองแบบและเส้นประแสดงผลจากการวัดทดสอบ 84

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 2 โดยเส้นทึบ แสดงผลจากการจำลองแบบและเส้นประแสดงผลจากการวัดทดสอบ	84
4.21 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 3 โดยเส้นทึบ แสดงผลจากการจำลองแบบและเส้นประแสดงผลจากการวัดทดสอบ	85
4.22 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 4 โดยเส้นทึบ แสดงผลจากการจำลองแบบและเส้นประแสดงผลจากการวัดทดสอบ	85
4.23 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 5 โดยเส้นทึบ แสดงผลจากการจำลองแบบ และเส้นประแสดงผลจากการวัดทดสอบ	86
4.24 ผลจากการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า และ ระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ทั้งหมด 5 ตัว	86
4.25 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็ก ของสายอากาศตรวจจับความถี่โดยเส้นทึบแสดงผลจากการจำลองแบบ และเส้นประแสดงผลจากการวัดทดสอบ.....	87
4.26 การวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์	89
4.27 สเต็ปป์มอเตอร์ที่มีการหมุนสเต็ปละ 7.5 องศา	92

บทที่ 1

บทนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็น การอธิบายถึงความเป็นมาและเหตุจูงใจสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งประกอบด้วย ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ สมมติฐานของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และ ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาอย่างรวดเร็วของการสื่อสารไร้สายและอุตสาหกรรมการสื่อสารทำให้การสื่อสารแบบไร้สายเป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านการศึกษา อุตสาหกรรม สุขภาพ และการเมือง เป็นต้น ส่งผลให้จำนวนผู้ใช้เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วและทำให้การใช้งานคลื่นความถี่ไม่เพียงพอ ในปัจจุบันการสื่อสารคลื่นความถี่มีการใช้งานได้หลากหลายคลื่นความถี่ เช่น การสื่อสารในโทรศัพท์มือถือหนึ่งเครื่องนั้น มีการใช้งานคลื่นความถี่หลายฟังก์ชัน ได้แก่ เทคโนโลยีจีเอสเอ็ม/สามจี (GSM/3G) ไวไฟ (WiFi) ไวแมก (Wimax) ไร้เลส (Wireless) บลูทูธ (Bluetooth), วิทยุ และ โทรทัศน์ เป็นต้น แต่การใช้งานในแต่ละครั้ง เราเลือกใช้งานแค่หนึ่งฟังก์ชันเท่านั้น ด้วยเหตุนี้สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่จึงมีความสำคัญในการเลือกย่านใช้งานคลื่นความถี่

จากองค์กร FCC (Federal Communications Commission) หรือองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่ กล่าวว่า ในปัจจุบันนี้การจัดสรรความถี่ใช้งานเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพเต็มที่ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเทคนิคเพื่อแก้ไขปัญหานี้ โดยใช้เทคนิคไดนามิกสเปกตรัมเอกเซส (Dynamic Spectrum Access network) หรือการเข้าถึงแบบปรับเปลี่ยนได้ สำหรับเน็กซ์เจเนอเรชัน (Next generation : xG) โดยมีนโยบายการพัฒนาเกี่ยวกับเทคโนโลยีวิทยุรู้คิด (Cognitive Radio: CR) ดังแสดงใน (Ian F. Akyildiz, Won-Yeol Lee, Mehmet C. Vuran, and Shantidev Mohanty, 2006) เพื่อจัดสรรคลื่นความถี่ใช้งาน ซึ่งเทคโนโลยีวิทยุรู้คิด ประกอบไปด้วย ส่วนสายอากาศตรวจคลื่นจับสัญญาณ (Sensing Antenna) ตัวตรวจจับคลื่นความถี่ (Spectrum Sensing) ตัววิเคราะห์ (Spectrum Analysis) ตัวตัดสินใจเลือกความถี่ (Spectrum Decision) และ ส่วนในการปรับเปลี่ยนสายอากาศ (Reconfigurable Antenna) โดยอาจใช้เทคนิคการปรับเปลี่ยนคุณลักษณะต่างๆ ของสายอากาศ จากการศึกษาพบว่าสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนคุณลักษณะแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดได้แก่ แบบ

ปรับเปลี่ยนความถี่ (Frequency Reconfiguration) แบบปรับเปลี่ยนการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Pattern Reconfiguration) แบบปรับเปลี่ยนทิศทางและขนาดของสนามไฟฟ้า (Polarization) และแบบผสมผสานใช้หลายวิธีร่วมกัน (Compound Reconfiguration) ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สนใจในส่วนของสายอากาศปรับเปลี่ยนความถี่ (Frequency Reconfiguration Antenna) ซึ่งเทคโนโลยีวิทยุรู้คิดสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานความถี่ได้คือ สามารถพิจารณากำหนดช่วงความถี่ของผู้ใช้งานได้ สามารถเลือกช่วงความถี่ใช้งานที่ดีที่สุดได้ สามารถจัดระเบียบการเข้าถึงช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้อื่นๆ ได้ (การแบ่งความถี่ใช้งาน) และสามารถย้ายไปช่องสัญญาณความถี่อื่นได้ เมื่อมีผู้ใช้อื่นขอ

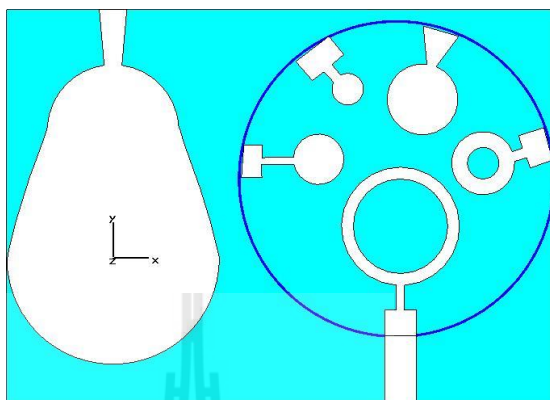
สำหรับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ สายอากาศเป็นสิ่งสำคัญที่ถูกพัฒนาในเครือข่ายไร้สายเพื่อรองรับการสื่อสารความเร็วสูง ซึ่งจะถูกนำไปใช้สำหรับรับส่งคลื่นความถี่ช่วง 3.1-10.6 GHz ดังนั้นเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์จึงให้พลังงานต่ำ โดยพลังงานของสัญญาณย่านอัลตราไวด์แบนด์จะถูกระบายไปทุกความถี่ที่ใช้งาน ดังนั้นระดับกำลังงานสูงสุดเฉลี่ยที่สายอากาศได้รับจึงน้อยมากประมาณ 0.5 mW เท่านั้น ซึ่งระดับกำลังงานนี้จะใกล้เคียงกับระดับของสัญญาณรบกวน ดังนั้นเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์จึงต้องการสายอากาศที่มีแบนด์วิดท์กว้าง มีกำลังงานที่เพียงพออาจมีลำคลื่นทิศทางเดียวหรือรอบทิศทาง ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ และมีอัตราขยายสูง นอกจากนี้สายอากาศจะต้องมีโครงสร้างที่ง่ายและราคาไม่แพง สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์มีคุณสมบัติที่โดดเด่นคือ มีรูปร่างสายอากาศที่เรียบง่าย โครงสร้างสามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายและหลากหลาย อย่างไรก็ตามสายอากาศแบบครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์โดยใช้สายอากาศต้นเดียวเป็นการใช้คลื่นความถี่สิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ และในทางปฏิบัติจะใช้เพียงช่วงความถี่ใดความถี่หนึ่งใช้งานเท่านั้น แต่ช่วงความถี่ที่ไม่ได้ใช้งานกลับถูกส่งออกไปด้วย จึงส่งผลให้คลื่นความถี่สัญญาณไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการแทรกสอดรบกวนกันของคลื่นสัญญาณขึ้น ประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลจึงลดลง และอัตราขยายลดลง จากปัญหาดังกล่าว การนำสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่มาใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ เพื่อช่วยควบคุมจัดสรรคลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพดังเช่นงานวิจัย (K.R.Boyle, 2007)

สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ (Frequency Reconfiguration) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือแบบสวิตช์ และแบบการหมุน จากปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ซึ่งใช้การออกแบบสายอากาศพลาโนอินเวิร์ทเอฟ (a planar inverted F antenna : PIFA) (K. R. Boyle, 2007.) การทำงานจะเลือกย่านใช้งานโดยใช้สวิตช์ (microelectromechanical systems : MEMS) เลือกย่านใช้งาน 2 ย่านคือ ย่านความถี่ต่ำ (Low band) และความถี่สูง (High band) มีข้อดี

คืออัตราขยายดีขึ้น และสายอากาศมีขนาดเล็กน้ำหนักเบา นอกจากนั้นสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ซึ่งใช้การออกแบบด้วยการหมุน (Y. Tawk, M. Al-Husseini, S. Hemmady, A.R. Albrecht, G.Balakrishnan, C.G. Christodoulou, C.G., 2010) การทำงานจะเลือกย่านใช้งานโดยใช้การหมุนเลือกย่านใช้งาน 2 ย่านความถี่ มีข้อดีคือสามารถเลือกย่านการใช้งานได้ง่ายโดยมีสองย่าน และมีอัตราขยายเพิ่มขึ้น ข้อเสียคือไม่ครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์ และแบบรูปการแผ่พลังงานไม่สม่ำเสมอ โดยปกติแล้วหากสายอากาศย่านอัลตราไวด์แบนด์ใช้สายอากาศตัวเดียวในการส่งให้ครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์ จะทำให้อัตราการขยายลดลง เนื่องจากคลื่นความถี่ที่ไม่ได้ใช้งานถูกส่งออกไปด้วยนั่นเอง จาก (Y. Tawk, M. Al-Husseini, S. Hemmady, A.R. Albrecht, G.Balakrishnan, C.G. Christodoulou, C.G., 2010) โดยศึกษาต้นแบบสายอากาศแบบหมุน 2 ช่วงความถี่ (Y. Tawk, M. Al-Husseini, S. Hemmady, A.R. Albrecht, G.Balakrishnan, C.G. Christodoulou, C.G., 2010) ซึ่งมีข้อดีคือสามารถเลือกย่านการใช้งานได้ง่ายโดยมีสองย่าน และมีอัตราขยายเพิ่มขึ้น ข้อเสียคือไม่ครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์ และรูปการแผ่พลังงานไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเขาได้นำมาแทนที่สายอากาศแบบตัวเดียว (S.M. Naveen, R.M. Vani, P.V. Hunagund, 2012) ข้อดีคือมีแบนด์วิดกว้าง ข้อเสียคือมีอัตราขยายน้อย

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงได้ศึกษาการวิจัยของ (Zhi Ning Chen, 2007) โดยเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ มาตรฐานของ WiMedia ได้แบ่งช่วงความถี่ออกเป็น 5 ช่วงแบนด์ความถี่ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงออกแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่โดยนำเอาสายอากาศ 5 ตัวมาทำงานแบ่งช่วงคลื่นความถี่ใช้งานออกเป็น 5 ช่วงในการส่งสัญญาณทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพของการส่งสัญญาณเพิ่มมากขึ้น วิทยานิพนธ์นี้จะแบ่งสายอากาศแบบใหม่เป็น 5 ย่านความถี่มาใช้งานแทนสายอากาศตัวเดียวที่ใช้งานครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์ ดังรูปที่ 1 เพื่อให้ได้รับอัตราขยาย (Gain) ที่ดีขึ้น การออกแบบโครงสร้างของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์จะถูกพัฒนาให้เหมาะสมกับการใช้งานในช่วงของความถี่ที่ต้องการ โดยจะแบ่งความถี่ที่ใช้งานเป็น 5 ช่วง ดังนั้นจึงลดปัญหาการส่งคลื่นความถี่ที่ไม่ได้ใช้งานออกไป ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการแผ่กระจายสัญญาณที่ดีขึ้น อัตราขยายเพิ่มขึ้น จากข้อเท็จจริงนี้เราได้ศึกษาและปรับเปลี่ยนสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ โดยการศึกษาสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ประเภทต่างๆและผลกระทบของรูปแบบของสายอากาศ ซึ่งสามารถนำมาเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศตามที่ต้องการและพารามิเตอร์ทั้งหมดของสายอากาศ สุดท้ายจะได้สายอากาศที่ประสบผลสำเร็จได้รับอัตราขยายที่สูงขึ้น ซึ่งสูงกว่าสายอากาศชนิดเดียวกัน ให้แบนด์วิดท์ที่กว้างที่สามารถครอบคลุมความถี่ใช้งานย่านอัลตราไวด์แบนด์ นอกจากนี้สายอากาศจะ

ถูกควบคุมการหมุน โดยใช้ชุดควบคุมสแต็ปปีงมอเตอร์และจะสามารถเลือกสายอากาศใช้งานได้ 5 ตัว



รูปที่ 1.1 สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาโครงสร้างและออกแบบสายอากาศย่านอัลตราไวด์แบนด์สำหรับประยุกต์ใช้งานย่านอัลตราไวด์แบนด์ความถี่ 3.1 - 10.6 GHz

1.2.2 เพื่อศึกษาโครงสร้างและออกแบบสายอากาศการปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ความถี่ 3.1 - 10.6 GHz

1.2.3 เพื่อออกแบบและจำลองผลสายอากาศการปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009

1.2.4 เพื่อสร้างสายอากาศต้นแบบ วัดทดสอบและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 เมื่อปรับโครงสร้างสายอากาศย่านอัลตราไวด์แบนด์สามารถเลือกย่านความถี่ใช้งานได้ 5 ย่าน

1.3.2 เมื่อปรับเปลี่ยนเลือกย่านความถี่ใช้งานได้ 5 ย่านจะมีผลให้อัตราขยายของสายอากาศการปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับการประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์สูงขึ้น

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ออกแบบสายอากาศการปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับการประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์และจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 สำหรับประยุกต์ใช้งานที่ความถี่ 3.1 - 10.6 GHz

1.4.2 สร้างสายอากาศต้นแบบสำหรับประยุกต์ใช้งานที่ความถี่ 3.1 - 10.6 GHz เพื่อทำการวัดทดสอบและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 จำลองแบบสายอากาศย่านอัลตราไวด์แบนด์ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ที่ความถี่ 3.1 - 10.6 GHz

1.5.2 จำลองแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ที่ความถี่ 3.1 - 10.6 GHz

1.5.3 ออกแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ที่ความถี่ 3.1 - 10.6 GHz

1.5.4 สร้างสายอากาศต้นแบบเพื่อเปรียบเทียบผลวัดทดสอบ และผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการดำเนินงานวิจัย

- 1) สํารวจปริทัศน์วรรณกรรมและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) วิเคราะห์และออกแบบสายอากาศย่านอัลตราไวด์แบนด์ที่ความถี่ 3.1 - 10.6 GHz
- 3) วิเคราะห์และออกแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์เลือกย่านความถี่ใช้งานได้ 5 ย่านที่ความถี่ 3.1 - 10.6 GHz
- 4) จำลองแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009
- 5) สร้างสายอากาศต้นแบบ วัดแบบรูปการแผ่พลังงาน อัตราขยาย (Gain) และการสูญเสียย้อนกลับ เปรียบเทียบกับผลจากการจำลองแบบ

1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นวิทยานิพนธ์ประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

- 1) การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) ออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศย่านอัลตราไวด์แบนด์ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009
- 3) สร้างสายอากาศต้นแบบ วัดแบบรูปการแผ่พลังงาน กำหนดอัตราขยาย (Gain) และวัดทดสอบการสูญเสียย้อนกลับเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองแบบ

1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย อาคารเครื่องมือ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) โปรแกรม CST Microwave Studio 2009
- 2) โปรแกรมแมทแล็บ (Matlab)
- 3) เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย (network analyzer)
- 4) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)

1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) เก็บผลการทดสอบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009

- 2) เก็บผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน
- 3) กำหนดอัตราขยาย

1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผลที่ได้จากการทดสอบสายอากาศที่มีอัตราขยายสำหรับใช้งานในเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่ความถี่ 3.1 - 10.6 GHz

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ไร้สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานในเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย โดยมีโครงสร้างง่าย น้ำหนักเบา และอัตราขยายสูง

1.7.2 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานระบบเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย

1.8 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท

บทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ สมมติฐานของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตวิทยานิพนธ์ วิธีดำเนินวิทยานิพนธ์ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 ทฤษฎี หลักการ และปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีเทคโนโลยีวิทยุรู้คิด (Cognitive Radio: CR) เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ สายอากาศโมโนโพล ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงการศึกษาสายอากาศโมโนโพล การออกแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ การทำงานของชุดสแตมป์มอดูเลเตอร์

บทที่ 4 กล่าวถึงการสร้างสายอากาศต้นแบบ และผลการวัดจากห้องปฏิบัติการซึ่งประกอบด้วยค่า S_{11} ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง แบบรูปการแผ่พลังงาน ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง อัตราขยาย (Gain) และการทำงานของชุดสแตมป์มอดูเลเตอร์

บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผล ข้อเสนอแนะแนวทางแก้ไขและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎี หลักการ และปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎี หลักการ ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย เทคโนโลยีวิทยุรู้คิด เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ สายอากาศโมโนโพล สายอากาศอัลตราไวด์แบนด์ และสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ โดยทำให้ทราบถึงคุณลักษณะของสายอากาศ ข้อดีและข้อเสียที่เกิดขึ้นเพื่อที่จะนำมาใช้ปรับปรุงให้สอดคล้องกับสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศต่อไป

ในระบบของการสื่อสารนั้นองค์ประกอบในระบบได้ทำหน้าที่แตกต่างกันออกไปและมีความสำคัญกันคนละแบบ และถ้ากล่าวถึงระบบการสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งระบบที่กำลังก้าวเข้ามา มีบทบาทในการดำรงชีวิตประจำวันมากขึ้น เพราะทุกวันนี้การเข้าถึงข้อมูลเป็นสิ่งที่จำเป็น ใครที่มีข้อมูลมากกว่าและเร็วกว่าจะเป็นผู้ได้เปรียบในการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ โดยเฉพาะทางด้านธุรกิจ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารแบบไร้สายแบบเดิมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งองค์ประกอบหนึ่งที่ต้องให้ความสำคัญคือสายอากาศ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณที่ถูกเลือกมาใช้เพื่อให้เกิดความเหมาะสมและตอบสนองต่อความต้องการของระบบอย่างลงตัวที่สุด ซึ่งได้มีการพัฒนาและปรับปรุงมาโดยตลอด เพื่อทำให้สายอากาศเกิดประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อมากที่สุด

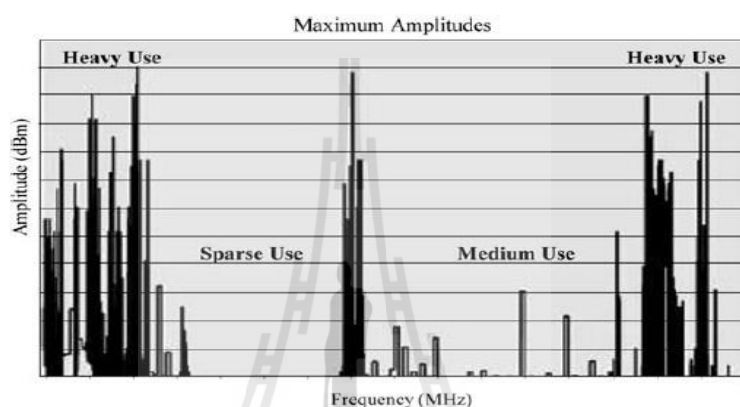
สายอากาศทำหน้าที่แปลงข้อมูลจากสัญญาณทางไฟฟ้าไปเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อส่งออกอากาศและในทางกลับกันยังทำหน้าที่ในการแปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปเป็นข้อมูลที่เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยทั่วไปการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศจะต้องคำนึงถึงการใช้งานเป็นสำคัญเนื่องจากการใช้งานที่ต่างกันย่อมมีความต้องการคุณลักษณะของสายอากาศที่แตกต่างกันตามไปด้วย สำหรับแนวทางการออกแบบสายอากาศที่ใช้มีความแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับรูปแบบของระบบที่ต้องการใช้งานร่วมกับสายอากาศ ซึ่งยากที่จะกำหนดเป็นกฎเกณฑ์ที่แน่นอนลงไป

ปัจจุบันสายอากาศที่ได้รับการนิยมนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบไร้สายคือสายอากาศย่านอัลตราไวด์แบนด์ (Ultra wide band antenna) สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ (Reconfigurable antenna) เช่น สายอากาศแบบไมโครสตริป (Microstrip antenna)

สายอากาศโมโนโพล (Jianxin Liang and Student Member, 2005) และสายอากาศระนาบอินเวอร์ทอเฟล (Planar Inverted F Antenna : PIFA) สำหรับสายอากาศย่านอัลตราไวด์แบนด์เป็นสายอากาศที่ได้รับความนิยมนำไปใช้งาน เพราะมีคุณลักษณะเป็นแถบกว้าง (Broadband characteristics) ครอบคลุมย่านความถี่ 3.1-10.6 GHz และมีโครงสร้างไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่ข้อเสียของสายอากาศแบบครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์คือเป็นสายอากาศที่มีการใช้กำลังงานสิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ในกรณีส่งเพียงตัวเดียวตลอดย่านอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งใช้ช่วงความถี่หนึ่งใช้งานเท่านั้น แต่ช่วงความถี่ที่ไม่ได้ใช้งานกลับถูกส่งออกไปด้วย ทำให้ประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลลดลง อัตราการขยายลดลง จึงมีการนำสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับการสื่อสารไร้สาย ย่านอัลตราไวด์แบนด์ออกแบบเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น เพื่อช่วยควบคุมความถี่ของสายอากาศให้ใช้งานอย่างเต็มที่โดยได้ศึกษาแนวทางจากปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ ซึ่งสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบ่งออกเป็นสองประเภทคือ แบบสวิทช์ (Microelectromechanical systems : MEMS) (K.R. Boyle, 2007) และแบบการหมุน (A rotation motion) (Y.Tawk, and C.G. Christodoulou, 2009) ส่วนประกอบของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบสวิทช์ (Microelectromechanical systems : MEMS) จะใช้สวิทช์ทำหน้าที่ในการเลือกสายอากาศใช้งานในช่วงความถี่ที่ต้องการ และสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบการหมุน (A rotation motion) จะใช้การหมุนสายอากาศในการเลือกสายอากาศใช้งานในช่วงความถี่ที่ต้องการ โดยส่วนมากสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่การใช้งานจะไม่ครอบคลุมย่าน อัลตราไวด์แบนด์ ด้วยเหตุนี้เราจึงจะจัดทำสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สาย ย่านอัลตราไวด์แบนด์ เพื่อให้สายอากาศครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์ โดยสายอากาศแผ่กระจายคลื่นติดตั้งอยู่บนสายอากาศตัวเดียวกัน โดยแบ่งสายอากาศย่อยได้ 5 ตัว ซึ่งแบ่งตาม (Zhi Ning Chen, 2007) เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ มาตรฐานของ WiMedia ได้แบ่งช่วงความถี่ ออกเป็น 5 ช่วงแบนด์ความถี่ โดยครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์ 3.1-10.6 GHz มีโครงสร้างสี่ส่วนคือ หนึ่งส่วนบนที่เป็นส่วนของการกระจายคลื่นหรือตัวสายอากาศโดยทั่วไปจะมีรูปร่างเป็นวงกลมหรืออื่นๆ แล้วแต่การออกแบบเพื่อนำไปใช้งาน โดยมีส่วนที่สองเป็นตัวป้อนสัญญาณ ส่วนที่สามเป็นวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกที่คั่นกลางระหว่างกราวด์กับส่วนของการแผ่กระจายคลื่นที่เป็นแผ่นตัวนำ และส่วนที่สี่คือ ระบายกราวด์ของสายอากาศ ระบายกราวด์มีส่วนช่วยในการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ให้ใกล้เคียง 50 โอห์มให้มากที่สุด ทำให้ได้อัตราขยายที่สูงขึ้น

2.2 ทฤษฎีเทคโนโลยีวิทยุรู้คิด (Cognitive Radio: CR)

จากรูปที่ 2.1 แสดงช่วงคลื่นความถี่ที่ใช้ประโยชน์ได้และความถี่ที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ โดยพบว่าที่ความถี่ต่ำและความถี่สูงจะมีการใช้งานความถี่ที่คับคั่ง ส่วนความถี่กลางเป็นความถี่สำรอง (Spare Use) จะเป็นช่วงความถี่ที่ไม่ได้ใช้งาน จากองค์กร FCC (Federal Communications Commission) หรือองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่กล่าวว่า ในปัจจุบันนี้การจัดสรรความถี่ใช้งานเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพเต็มที่ (Ian F. Akyildiz และคณะ, 2006)



รูปที่ 2.1 การใช้งานความถี่ในระบบสื่อสารไร้สาย (Ian F. Akyildiz และคณะ, 2006)

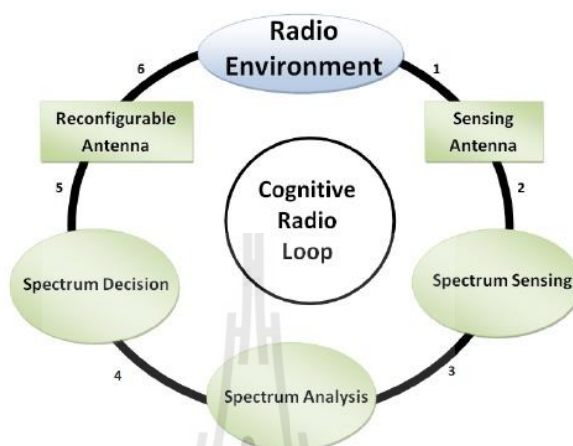
ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเทคนิคเพื่อแก้ไขปัญหานี้โดยใช้เทคนิคการเข้าถึงโครงข่ายแบบปรับเปลี่ยนความถี่หรือสเปกตรัมพลวัต (Dynamic Spectrum Access network) สำหรับการสื่อสารยุคใหม่ (Next generation, xG) โดยมีนโยบายการพัฒนาเกี่ยวกับทฤษฎีเทคโนโลยีวิทยุรู้คิด (Cognitive Radio : CR) (Y.Tawk และคณะ, 2010) ซึ่งเป็นการจัดสรรคลื่นความถี่ใช้งาน

เทคโนโลยีวิทยุรู้คิด สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานความถี่ได้ ซึ่งอธิบายดังนี้

1. สามารถพิจารณากำหนดช่วงความถี่ของผู้ใช้งานได้
2. สามารถเลือกช่วงความถี่ใช้งานที่ดีที่สุดได้
3. สามารถจัดระเบียบการเข้าถึงช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้งานๆ ได้ (การแบ่งความถี่ใช้งาน)
4. สามารถย้ายไปช่องสัญญาณความถี่อื่นได้ เมื่อมีผู้ใช้ร้องขอ ใช้งาน (detecte)

นโยบายการพัฒนาเกี่ยวกับเทคโนโลยีวิทยุรู้คิด แสดงใน (Ian F. Akyildiz และคณะ, 2006) เพื่อจัดสรรคลื่นความถี่ใช้งาน ซึ่งเทคโนโลยีวิทยุรู้คิด ประกอบไปด้วยส่วนสายอากาศตรวจคลื่นจับสัญญาณ (Sensing Antenna) คลื่นความถี่ที่ถูกตรวจจับได้ (Spectrum Sensing) ตัววิเคราะห์ความถี่

(Spectrum Analysis) ตัวตัดสินใจเลือกความถี่ (Spectrum Decision) และ ส่วนสายอากาศปรับเปลี่ยนความถี่ (Reconfigurable Antenna) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยในวิทยานิพนธ์นี้สนใจใน ส่วนของสายอากาศปรับเปลี่ยนความถี่ (Reconfigurable Antenna)

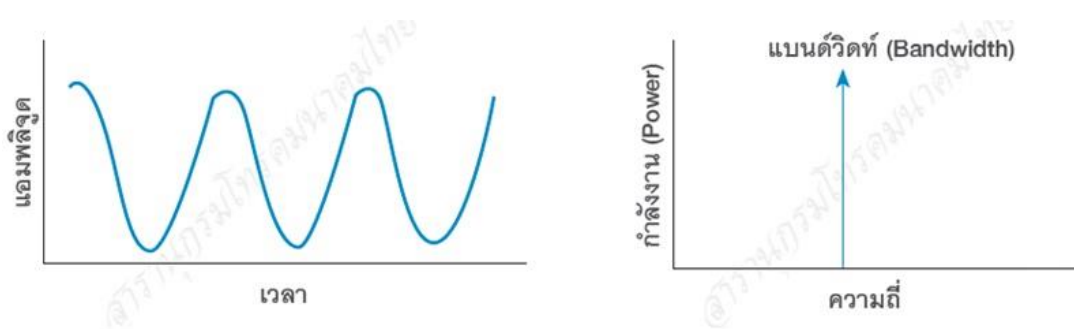


รูปที่ 2.2 หลักการ Cognitive Radio Loop (Y. Tawk และคณะ, 2010)

2.3 เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์

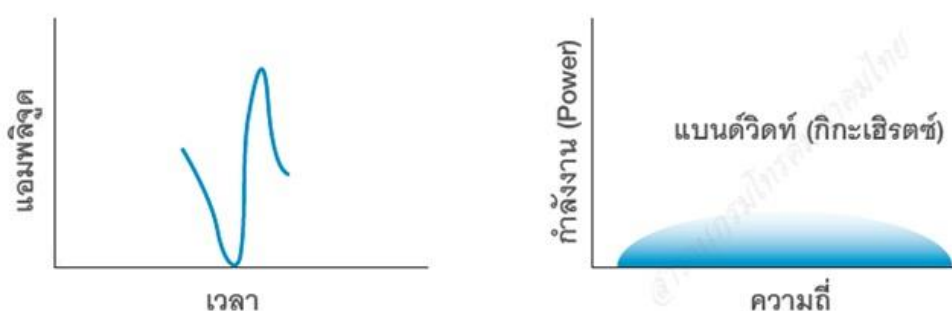
2.3.1 หลักการพื้นฐานของอัลตราไวด์แบนด์

การสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ (Narrow band communication) ซึ่งนิยมใช้ในการสื่อสารไร้สาย เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จีเอสเอ็ม (Global System for Mobile communication: GSM) ระบบเครือข่ายเฉพาะที่ไร้สายหรือแลนไร้สาย (Wireless LAN: WLAN) นั้นใช้เทคนิคการผสมสัญญาณของรูปคลื่นสัญญาณวิทยุที่มีความต่อเนื่องทางเวลากับสัญญาณคลื่นพาห်ที่มีความถี่ที่กำหนด เพื่อใช้ในการส่งและรับสัญญาณทำให้พลังงานของสัญญาณถูกรวมอยู่ในช่วงแถบความถี่หรือแบนด์วิดท์แคบๆ ซึ่งสามารถถูกรบกวนและถูกตรวจจับสัญญาณได้ง่าย ดังรูปที่ 2.3



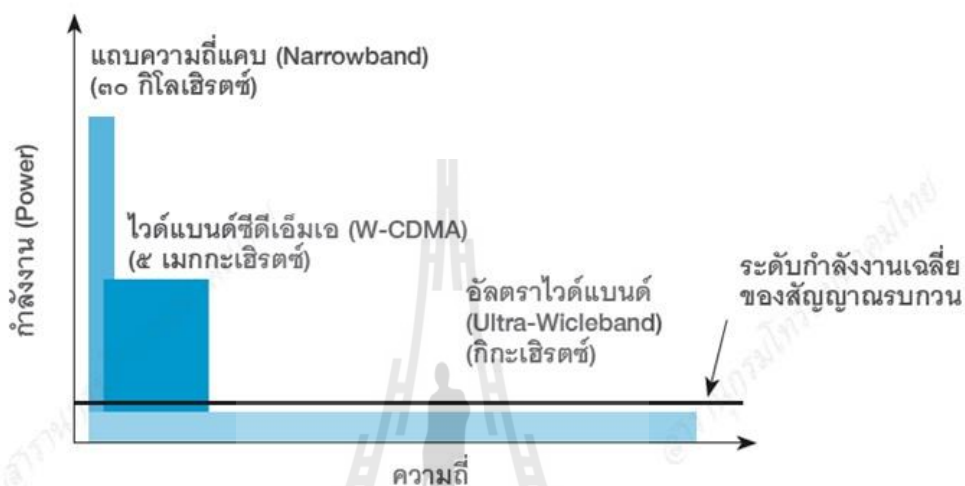
รูปที่ 2.3 สัญญาณแบบแถบความถี่แคบ (กมล เขมะรังษี, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ)

สำหรับอัลตราไวด์แบนด์มาตรฐาน IEEE 802.15.3a ความถี่ใช้งานช่วง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้าง (Wide band communication) นั้นจะใช้สัญญาณที่มีรูปคลื่นสัญญาณปรากฏเพียงชั่วขณะหรือเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณในทางเวลาที่แคบมาก โดยอยู่ในระดับนาโนวินาที (nano second : ns) หรือที่ระดับพิโควินาที (pico second : ps) มีลักษณะที่ใกล้เคียงกันกับสัญญาณในอุดมคติที่เรียกว่าสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse signal) โดยระบบอัลตราไวด์แบนด์ในการส่งและรับสัญญาณนั้นไม่ใช้คลื่นพาห้ (Carrierless) ในการผสมสัญญาณเหมือนในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ แต่จะเป็นการส่งสัญญาณที่มีรูปคลื่นของพัลส์ที่มีรูปคลื่นซึ่งไม่ต่อเนื่องในทางเวลาด้วยอัตราการส่งพัลส์ ในระดับจำนวนหลายร้อยล้านพัลส์ต่อหนึ่งวินาที ในการส่งและรับสัญญาณ ซึ่งทำให้พลังงานของสัญญาณถูกกระจายอยู่ในช่วงแถบความถี่ที่กว้างมาก ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นที่มาของชื่ออัลตราไวด์แบนด์



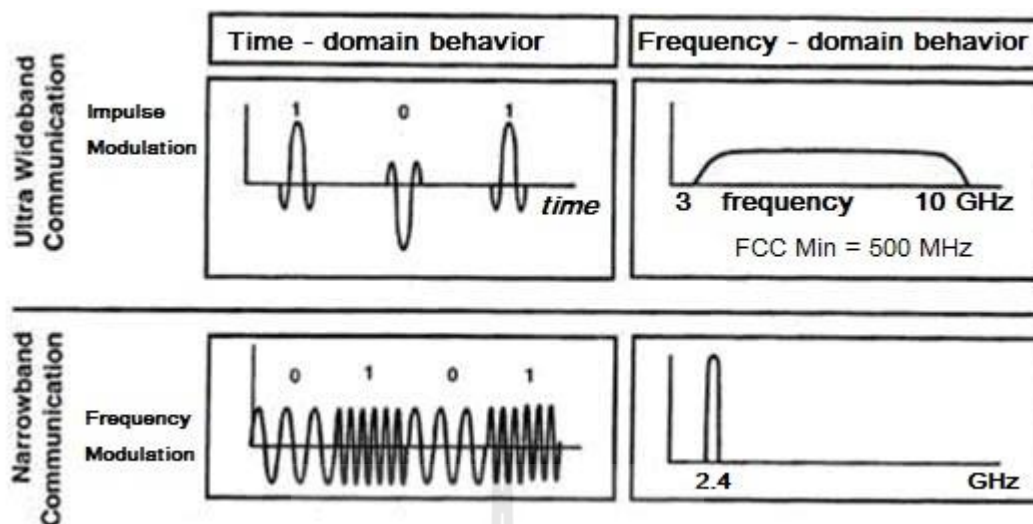
รูปที่ 2.4 สัญญาณอัลตราไวด์แบนด์ซึ่งมีแถบความถี่กว้างมากในทางเวลาและความถี่ (กมล เขมะรังษี, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ)

สามารถแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างที่มีการกระจายกำลังงานของสัญญาณอยู่ในช่วงแถบความถี่กว้างมากในระดับกิกะเฮิรตซ์กับสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบที่มีการกระจายกำลังงานของสัญญาณที่อยู่ในช่วงแถบความถี่แคบได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การใช้งานแถบความถี่ของการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์กับการสื่อสารแบบความถี่แคบ (กมล เขมะรังษี, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ)

การสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์เป็นการสื่อสารที่มีการส่งสัญญาณด้วยคลื่นแบบแถบความถี่ที่กว้าง และใช้สัญญาณที่มีรูปคลื่นสัญญาณปรากฏชั่วขณะแล้วหายไป โดยการส่งสัญญาณแบบพัลส์ดังกล่าวต่อเนื่องกันในทางเวลาระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับวิทยุหรือเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณในทางเวลาที่แคบมาก ไม่เหมือนกับการสื่อสารแบบแบนด์แคบที่ใช้เทคนิคการผสมสัญญาณของรูปคลื่นสัญญาณวิทยุที่มีความต่อเนื่อง ทางเวลากับสัญญาณคลื่นพาห้ที่มีความถี่ที่กำหนดเพื่อใช้ในการส่งและรับสัญญาณทำให้พลังงานของสัญญาณถูกรวมอยู่ในช่วงแถบความถี่แคบๆซึ่งสามารถถูกรบกวนได้ง่ายดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การผสมคลื่นการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์กับการสื่อสารแบบความถี่แคบ (ปริยูท สาขอรุณ, เทคโนโลยีการสื่อสารและอินเทอร์เน็ต)

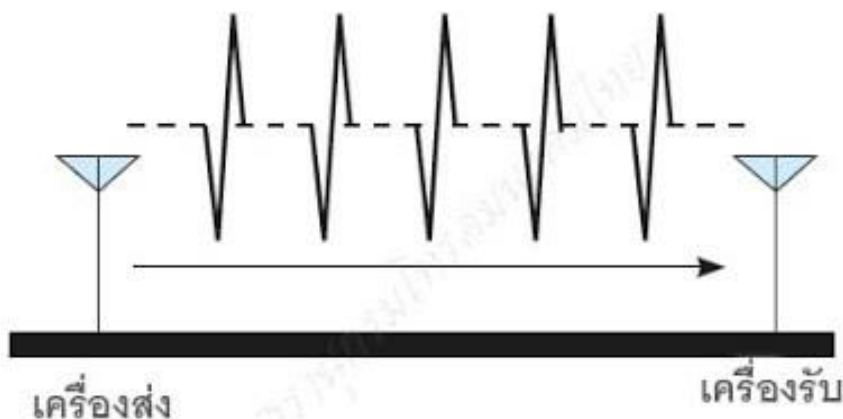
2.3.2 สายอากาศอัลตราไวด์แบนด์

สายอากาศอัลตราไวด์แบนด์ เป็นสายอากาศที่มีข้อดีคือ มีโครงสร้างที่ง่ายไม่ซับซ้อน แข็งแรง มีอัตราการส่งข้อมูลสูง มีราคาถูก มีการใช้พลังงานต่ำและมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย นิยมนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการสื่อสารแบบไร้สายมากที่สุด สามารถนำมาดัดแปลงได้ง่าย มีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง จึงทำให้สายอากาศอัลตราไวด์แบนด์มีอัตราขยาย (Gain) ที่ต่ำ สายอากาศอัลตราไวด์แบนด์มีส่วนประกอบเป็นแผ่นโลหะที่มีความยาว L วางเป็นแนวตั้งฉาก ดังรูปที่ 2.7 โดยจุดกึ่งกลางของตัวสายอากาศจะถูกต่อเข้ากับเครื่องส่งโดยใช้สายส่งเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ เครื่องส่งจะจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปยังสายอากาศอัลตราไวด์แบนด์ กระแสของสัญญาณนี้จะไหลไปยังขั้วของสายอากาศอัลตราไวด์แบนด์

การรับส่งสัญญาณย่านอัลตราไวด์แบนด์แบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

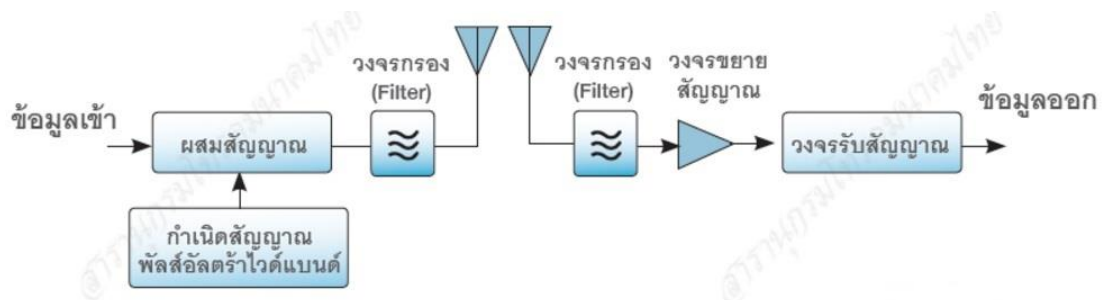
1. แบบส่งเป็นสัญญาณอิมพัลส์ (Impuse) ดังแสดงในรูปที่ 2.7
2. การรับส่งสัญญาณอิมพัลส์แบบความถี่เดียว (Single band approach)
3. การรับส่งสัญญาณอิมพัลส์แบบหลายแถบความถี่ (Multiband approach)

การส่งและรับสัญญาณของอัลตราไวด์แบนด์นั้น จะประกอบไปด้วยลำดับของสัญญาณพัลส์ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงหรือมีค่าคงที่ ซึ่งตำแหน่งของพัลส์ทางเวลาหรือการปรากฏของพัลส์ที่ตำแหน่งใดๆ ทางเวลาจะถูกนำมาใช้แทนการส่งข้อมูลในการสื่อสารข้อมูลดิจิทัล ดังแสดงในรูปที่ 2.7

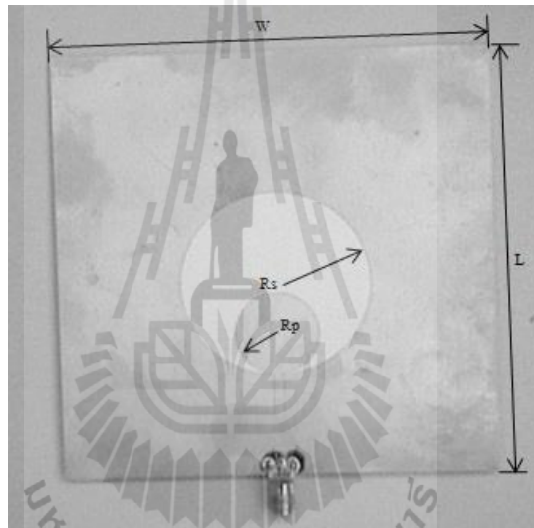


รูปที่ 2.7 การนำสัญญาณอัลตราไวต์แบนด์แบบพัลส์มาใช้ในการส่งและรับข้อมูลดิจิทัล
(กมล เขมะรังษี, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ)

โครงสร้างพื้นฐานเครื่องส่งและเครื่องรับของอัลตราไวต์แบนด์ เป็นการสื่อสารที่ใช้สัญญาณพัลส์ที่มีช่วงความถี่สั้นมากระดับนาโนวินาที จึงมีผลทำให้เวลารับส่งข้อมูลมีเวลานานมากขึ้น จำเป็นต้องมีเครื่องรับแบบ คอร์รีเลเตอร์ เป็นวงจรเทียบความคล้ายคลึงของสัญญาณแม่แบบที่ได้รับเพื่อตรวจจับพลังงานของสัญญาณ ข้อดีคือการส่งและการรับของอัลตราไวต์แบนด์ไม่ต้องใช้คลื่นพาห์ โดยสัญญาณข้อมูลจะถูกผสมกับสัญญาณพัลส์อัลตราไวต์แบนด์ที่ถูกสร้างขึ้นและส่งผ่านสายอากาศ โดยไม่ผ่านวงจรผสมสัญญาณทำให้ไม่จำเป็นต้องมีวงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อกำเนิดสัญญาณคลื่นพาห์ และมิกเซอร์ทำให้มีอุปกรณ์ที่น้อยกว่าระบบสื่อสารแบบความถี่แคบ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การนำสัญญาณอัลตราไวต์แบนด์แบบพัลส์มาใช้ในการส่งและรับข้อมูลดิจิทัล (กมล เขมระรังษี, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ)



รูปที่ 2.9 สายอากาศแบบตัวเตี้ยครอบคลุมย่านอัลตราไวต์แบนด์ (T.A. Denidni and M.A. Habib, 2006) (Jianxin Liang และคณะ, 2005) (Osama Haraz and Abdel-Razik Sebak, 2013)

สายอากาศแบบตัวเตี้ยครอบคลุมย่านอัลตราไวต์แบนด์ เป็นสายอากาศที่นิยมใช้กันมาก ขนาดของสายอากาศที่ใช้งานคือ $L = \lambda/4$ มีอิมพีแดนซ์ด้านเข้า 50 โอห์ม ซึ่งสามารถคำนวณหาความเข้มขององค์ประกอบสนามไฟฟ้า (E-Field) และสนามแม่เหล็ก (H-Field) ที่แผ่ออกมาจากตัวสายอากาศได้ดังนี้

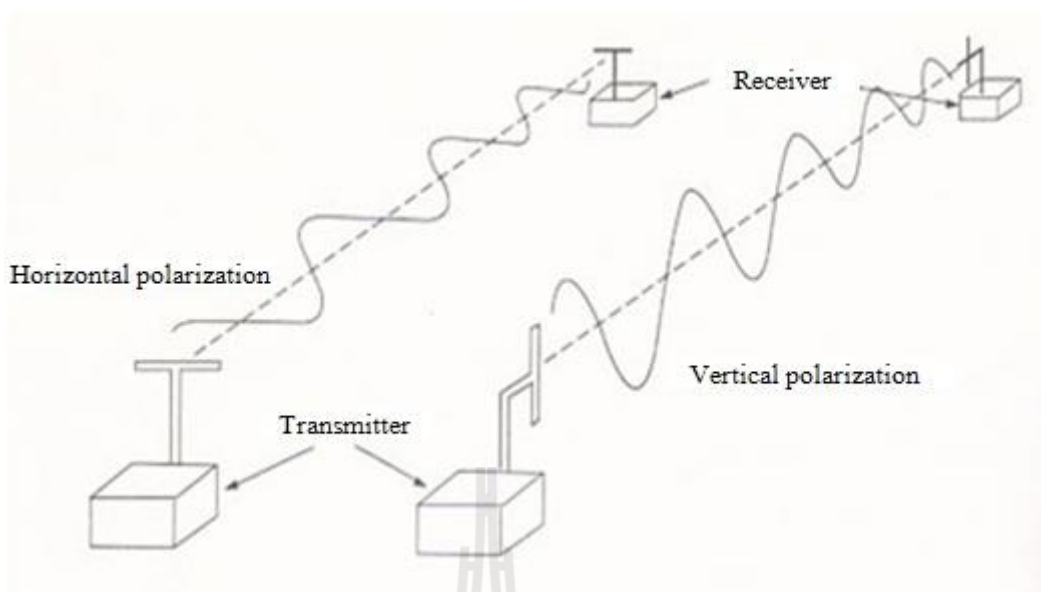
$$E_{\theta} = j\eta \frac{I_{\theta} e^{-j\beta r}}{2\pi r} \left(\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \right) \quad (2.1)$$

$$H_{\phi} = \frac{E_{\theta}}{\eta} \quad (2.2)$$

เมื่อ E_{θ} = สนามไฟฟ้า และ H_{ϕ} = สนามแม่เหล็ก

2.3.3 การโพลาไรซ์ของสายอากาศ

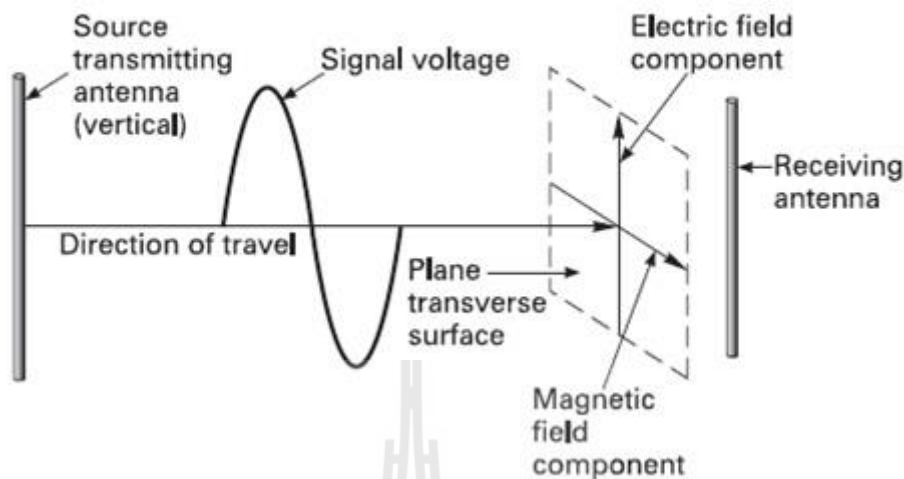
การโพลาไรซ์ของสายอากาศ จะใช้ในการอธิบายทิศทางของสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศซึ่งถูกส่งออกไปโดยตัวสายอากาศในทิศทางซึ่งมีความเข้มของสนามสูงสุดและวัดได้ในสนามระยะไกล สายอากาศจำนวนมากจะมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น (Linear Polarization) นั่นคือ ในหนึ่งรอบ (Cycle) เวกเตอร์สนามไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงและยังถูกแบ่งออกเป็น การโพลาไรซ์แนวตั้ง (Vertical Polarization) และการโพลาไรซ์แนวนอน (Horizontal Polarization) ดังรูปที่ 2.10 นอกจากนี้ยังมีการโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circular) และแบบรูปวงรี (Elliptical) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ออกแบบสายอากาศโดยให้มีการโพลาไรซ์แนวตั้งที่ความถี่ปฏิบัติการ 3.1 - 10.6 GHz บ่อยครั้งที่การโพลาไรซ์ของสายอากาศจะพิจารณาจากรูปทรงของตัวสายอากาศ เช่น ในกรณีของสายอากาศแบบเส้นลวด ซึ่งอาจจะมีส่วนประกอบเพียงตัวเดียวหรือหลายตัววางขนานกัน เช่น สายอากาศไดโพลและสายอากาศยาก็เราสามารถที่จะสมมติให้สนามไฟฟ้าซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นขนานไปกับส่วนประกอบของตัวสายอากาศแต่ก็มีสายอากาศบางชนิดซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นเหมือนกัน แต่ไม่สามารถจะใช้รูปทรงของโครงสร้างมาทำนายการโพลาไรซ์ได้ เช่น สายอากาศปากแตร (Horn) สายอากาศแบบบ่วง (Loop) และสายอากาศแบบร่อง (Slit) เป็นต้น



รูปที่ 2.10 ลักษณะการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นของสายอากาศ แบ่งเป็นการโพลาไรซ์ทางแนวนอน และการโพลาไรซ์ทางแนวตั้ง (<http://www.hs8jyx.com/html/electromagnetic.html>)

เพื่อให้การรับสัญญาณทำได้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้สิ่งสำคัญก็คือสายอากาศที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจะต้องมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเดียวกันกับการโพลาไรซ์ของสัญญาณที่ส่งมาหากเกิดการสูญเสียสัญญาณอันเนื่องมาจากการจัดวางการโพลาไรซ์ไม่ถูกต้อง (เช่น สัญญาณที่รับได้เป็นการโพลาไรซ์ทางแนวตั้ง แต่สายอากาศที่ใช้ส่งมีการจัดการโพลาไรซ์ทางแนวนอนเรียกว่าเกิดการแยกการโพลาไรซ์แบบไขว้ (Cross-Polarization Isolation) ทำให้ให้สัญญาณที่รับได้ลดลง -30 dB หรือแทบจะรับสัญญาณไม่ได้เลย และการจัดการโพลาไรซ์ที่ถูกต้องนั้นแสดงในรูปแบบที่

2.11

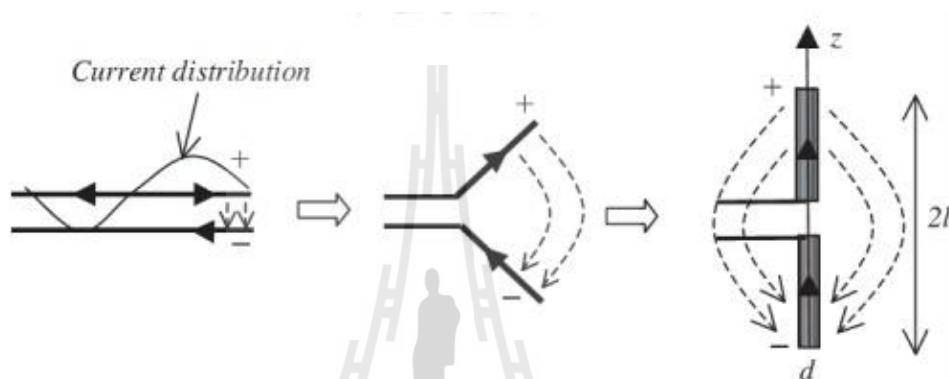


รูปที่ 2.11 การโพลาไรซ์แบบถูกต้อง สายอากาศที่ใช้ส่งมีการจัดการโพลาไรซ์ทางแนวตั้ง สัญญาณที่ได้รับเป็นการโพลาไรซ์ทางแนวตั้ง ทำให้เป็นรูปแบบการรับส่งสัญญาณที่ดีที่สุด
(<http://www.hs8jyx.com/html/electromagnetic.html>)

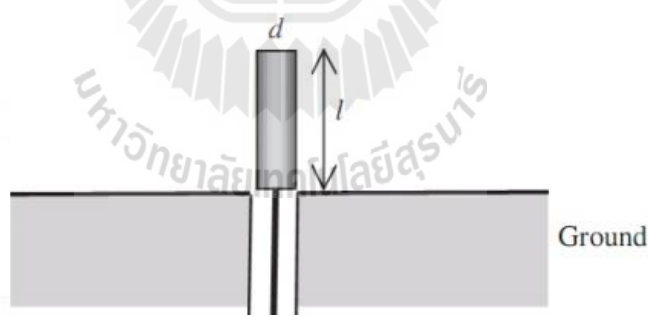
2.4 สายอากาศโมโนโพล

สายอากาศแบบโมโนโพล (Monopole Antenna) เป็นการพัฒนารูปแบบและการทำงานจากสายอากาศไดโพล ที่ทำงานแบบสองขั้ว พื้นฐานการทำงานของสายอากาศไดโพลแสดงดังรูปที่ 2.12 โครงสร้างจะเป็นสายส่งสองตัวนำปลายเปิดสองเส้น จุดที่ความยาวจากปลายสุดเท่ากับ $\lambda/4$ เมื่อโค้ง หรือหักงอให้ปลายสายมีลักษณะบานออกหรือหันไปทางตรงข้ามกันจะทำให้สายตัวนำเกิดการแผ่กระจายคลื่นออกไป ซึ่งเรียกว่าสายอากาศไดโพล ความยาวทั้งหมดของสายอากาศไดโพลเป็น เท่ากับ $\lambda/2$ ของความถี่ที่ใช้งาน ส่วนสายอากาศโมโนโพล จะใช้ตัวนำด้านบนเพียงตัวเดียวที่เป็นตัวแผ่กระจายคลื่น ส่วนตัวนำด้านล่างจะเป็นระนาบกราวด์ จะเห็นได้ว่า ที่ความถี่เดียวกันสายอากาศโมโนโพลจะมีความยาวตัวแผ่กระจายคลื่น เท่ากับ $\lambda/4$ แต่สายอากาศไดโพล จะเป็น เท่ากับ $\lambda/4$ สองข้าง สามารถพิจารณาได้ว่าสายอากาศโมโนโพลอาศัยหลักการการทำงานครึ่งหนึ่งของสายอากาศไดโพล และมีระนาบกราวด์เข้ามาทดแทน อีกครึ่งหนึ่งเพื่อให้กระบวนการทำงานสมบูรณ์ จากรูปที่ 2.13 สายอากาศโมโนโพลจะป้อนสัญญาณเพียงขั้วเดียว และจะใช้ระนาบกราวด์แทนขั้วที่เหลือ แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลจะคล้ายกับสายอากาศไดโพล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของระนาบกราวด์ ซึ่งในทางอุดมคติแล้วระนาบกราวด์ของสายอากาศโมโนโพลจะเป็นระนาบกราวด์สมบูรณ์แบบ และเป็นอนันต์ส่งผลให้แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นมี

เพียงด้านบน หรือเพียงครึ่งด้านบนของสายอากาศไดโพล แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะพบว่า ไม่สามารถ ออกแบบระนาบกราวด์ได้ตามอุดมคติ ดังนั้นระนาบกราวด์สายอากาศโมโนโพลในทางปฏิบัติจึง เล็กกว่าในทางทฤษฎีมาก จึงทำให้แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นเกิดการเปลี่ยนทิศทางออกไปทาง ด้านหลังของระนาบกราวด์ด้วย หากออกแบบให้สายอากาศโมโนโพลมีระนาบขนาดเล็กมาก จะ พบว่า แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นมีลักษณะคล้ายสายอากาศไดโพล ซึ่งมักจะเรียกกันว่า มีแบบ รูปการแผ่กระจายคลื่นคล้ายรอบตัว (like omnidirectional)

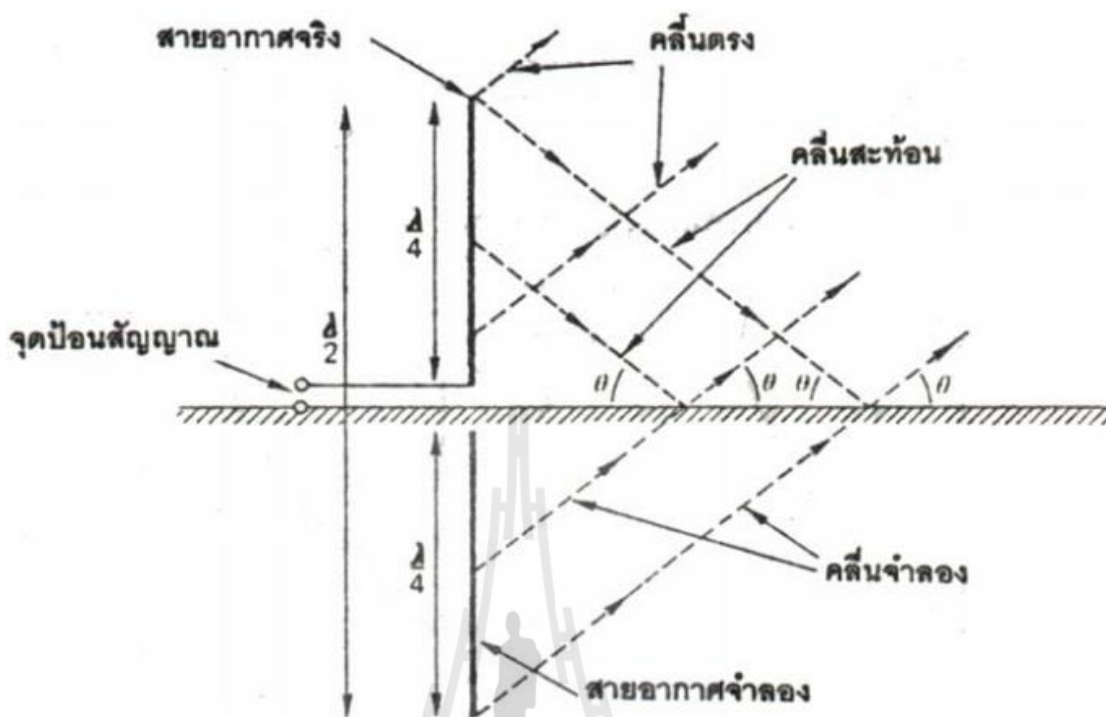


รูปที่ 2.12 โครงสร้างพื้นฐานสายอากาศไดโพล (นายนิพนธ์ ทางทอง, 2011)



รูปที่ 2.13 โครงสร้างพื้นฐานสายอากาศโมโนโพล (นายนิพนธ์ ทางทอง, 2011)

สายอากาศแบบโมโนโพล (Monopole Antenna) เป็นสายอากาศสำหรับการส่งคลื่นในย่าน ความถี่ตั้งแต่ความถี่มาก (VLF) ความถี่ต่ำ (LF) และความถี่ปานกลาง (MF) จะต้องให้ความสนใจ ในแง่ของความสูงของสายอากาศ และการติดตั้งในแนวตั้งกับพื้นโลก เนื่องจากที่ความถี่ระดับนี้ค่า ความยาวคลื่นมีค่ามาก จึงคิดค้นวิธีใช้สายอากาศที่มีความยาวเพียง $\lambda/4$ แทนด้วยเหตุผลที่แสดงใน รูป 2.14

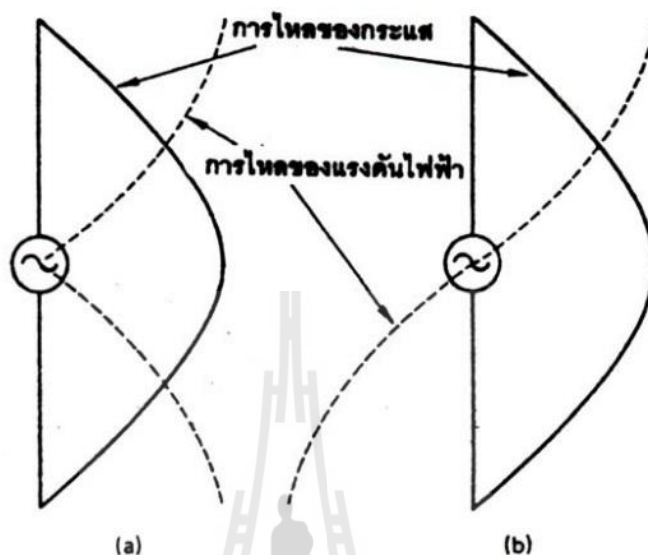


รูปที่ 2.14 การแพร่คลื่นของสายอากาศแบบโมโนโพล หรือยูนิโพล (<http://dtv.mcot.net/data/manual/book1309960190.pdf>)

จากรูปที่ 2.14 เป็นภาพของสายอากาศขนาด $\lambda/4$ ติดตั้งในแนวตั้งกับพื้นโลก โดยมีขั้วขานจุดป้อนที่บริเวณด้านล่างระหว่างสายอากาศกับพื้นดิน เราเรียกสายอากาศชนิดนี้ว่ายูนิโพล (unipole) หรือโมโนโพล (monopole) ซึ่งมีคุณสมบัติแพร่คลื่นได้ขนาดเท่ากันทุกทิศทางในระนาบแนวนอน ส่วนระนาบแนวตั้งมีพลังงานบางส่วนพุ่งสู่ฟ้าและอีกบางส่วนพุ่งเข้าหาพื้นดิน เหมือนกับที่แสดงด้วยเส้นประในรูปคลื่นที่มีทิศลงจะกระทบพื้นดินและสะท้อนกลับขึ้นมา โดยมีค่ามุมตกกระทบเท่ากับค่ามุมสะท้อน (คิดจากพื้นโลกที่เรียบ) ณ จุดหนึ่งที่ห่างจากสายอากาศพลังงานคลื่นที่รับได้เกิดจากคลื่นตรงและคลื่นที่สะท้อนกับพื้นโลก ค่าความเข้มของสนามที่จุดนี้เป็นค่ารวมของความเข้มสนามในคลื่นแต่ละแบบ ถ้ามีผู้สังเกตอยู่ที่จุดนี้ อาจคิดว่าคลื่นสะท้อนนั้นสามารถจินตนาการว่าแพร่ออกสายอากาศส่วนที่ได้พื้นดิน (ความจริงไม่มีส่วนนี้)

จากรูปเราเห็นสายอากาศในความคิดนี้ เรียกว่าสายอากาศจำลอง (image antenna) ก็ได้ ซึ่งจะแสดงว่าสายอากาศถูกใช้งานที่ความถี่ 2 เท่า ของความจริงของมัน ความสูงทั้งหมดของสายอากาศ (รวมส่วนจำลอง) มีค่า $\lambda/2$ ทุกประการ

ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศนี้ มีค่าเป็นความต้านทานอย่างเดียวคือ 37 โอห์ม และในรูปที่ 2.13 จะแสดงการกระจายของกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสายอากาศไดโพลแบบ $\lambda/2$



รูปที่ 2.15 ลักษณะของกระแส - แรงดันไฟฟ้าบนไดโพลแบบ $\lambda/2$, (a) คิดจากค่า r.m.s. (b) คิดจากค่า peak (<http://dtv.mcot.net/data/manual/book1309960190.pdf>)

จากรูป 2.15 ที่แสดงลักษณะของกระแสนำมาวิเคราะห์กับสายอากาศแบบ $\lambda/2$ หรือโมโนโพลได้ว่าคลื่นนิ่ง ที่เกิดขึ้นจะมีค่ากระแสมากที่สุด ที่จุดปลายสายอากาศอาจมีผลลัพท์ให้ค่ากระแสปริมาณมากไหลจากสายอากาศลงพื้นดิน และสูญเสียพลังงานส่วนนี้ไป การแก้ไขให้สูญเสียพลังงานส่วนนี้น้อยที่สุด เพื่อรักษาค่าประสิทธิภาพของสายอากาศให้สูงสุดเท่าที่ทำได้ มีแนวทางคือ พื้นดินต้องมีสภาพตัวนำสูง โดยการนำลวดทองแดงต่อออกจากฐานรอบสายอากาศ เป็นระยะทางเท่ากับความสูงของเสา และฝังลงดินด้วยความลึกประมาณ 1/3 เมตร ซึ่งเส้นลวดนี้ทำหน้าที่คล้ายกราวด์ให้กับสายอากาศทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นอย่างสมบูรณ์

บางกรณีการใช้สายอากาศแนวตั้งลักษณะไม่จำเป็นต้องเป็นโมโนโพลเสมอไป (มีความสูงหรือความยาวเท่ากับ $\lambda/4$) อย่างเช่นที่ความถี่ต่ำมาก ค่าความยาวของขนาด $\lambda/4$ จัดว่าสูงมากได้เช่นที่ความถี่ 300 KHz มีค่า $\lambda/2 = 500$ เมตร, ค่า $\lambda/4 = 250$ เมตร หรือความถี่ 30 KHz มีค่า $\lambda/2 = 5000$ เมตร เห็นได้ว่าการสร้างสายอากาศโมโนโพลในย่านความถี่ต่ำขนาดนี้ไม่คุ้มค่าเลย จึงแก้ไขโดยการสร้างสายอากาศให้มีขนาดสั้นลงและไม่จำเป็นต้องมีขนาด $\lambda/4$ เสมอไป อาจจะสร้างที่ขนาด $\lambda/16$ หรือน้อยกว่านี้ เราเรียกสายอากาศแบบนี้ว่า สายอากาศอย่างสั้นทางไฟฟ้า (electrically short)

ซึ่งมีการตั้งเสาในแนวตั้งกับพื้นโลก และมีจุดป้อนสัญญาณที่จุดฐานของสายอากาศและพื้นดิน ส่วนการไหลของกระแสที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง (Linear) ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ลักษณะของกระแสนบนสายอากาศแบบสั้นทางไฟฟ้า (<http://dtv.mcot.net/data/manual/book1309960190.pdf>)

การสร้างสายอากาศที่ขนาดน้อยกว่า $\lambda/4$ จะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

- ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์มีองค์ประกอบทางประจุไฟฟ้าเพิ่มเข้ามา (เกดริแอกแตนซ์)
- ลดค่าความต้านทานการแผ่คลื่นของสายอากาศ
- ลดค่ากระแสในสายอากาศ (ค่ากระแสในวงจรรุนทั่วไปมีค่าสูงสุดที่รีโซแนนซ์)

การที่จะทำให้สายอากาศกลับมามีรีโซแนนซ์ใหม่ ต้องต่อค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าอนุกรมเข้าที่จุดป้อนสัญญาณ แต่พบว่าโซลไม่ดีกว่าค่าสูงสุดของกระแสที่มีขึ้นอยู่เลยความยาวสายอากาศไปด้วยเหตุนี้ทำให้กำลังส่งที่ออกมาของสายอากาศแบบสั้นทางไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าที่ประเมินไว้

ความสูงประสิทธิผล (Effective Height) พิจารณาจากกระแสที่ไหลบนสายอากาศจะมีค่าไม่คงที่ตลอดทุกจุดของสายอากาศ แต่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่าความสูงหรือความยาวประสิทธิผลเป็นการคิดโดยกำหนดให้กระแสนบนสายอากาศมีขนาดคงที่ค่าหนึ่ง และให้ค่าความเข้มของสนามเท่ากันทุกจุด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ผลคูณของค่าความสูงหรือความยาวจริงของสายอากาศ (physical length : l_{phys}) กับค่าเฉลี่ยของกระแส (I_{mean}) มีค่าเท่ากับผลคูณของความสูงหรือความยาวประสิทธิผล (l_{eff}) กับค่าคงที่ของกระแส (I) เขียนเป็นสมการคือ

$$l_{\text{phys}} I_{\text{mean}} = l_{\text{eff}} I \quad (2.3)$$

หรือ

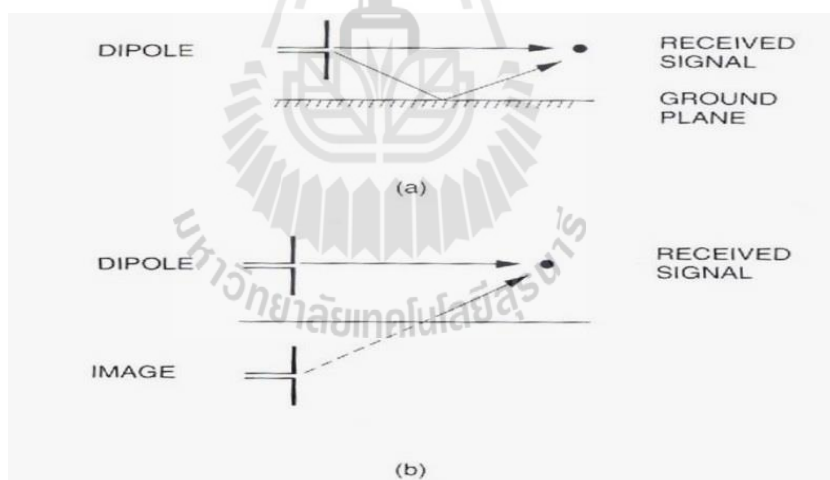
$$L_{eff} = \frac{l_{phys} I_{mean}}{I} \quad (2.4)$$

ในกรณีของสายอากาศแบบสั้นทางไฟฟ้า กระแสมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรงจากค่ามากที่สุด (I) ที่ฐานเสาไปจนมีค่าศูนย์ที่จุดยอดสุด ดังนั้นค่า $I_{mean} = I/2$

$$L_{eff} = \frac{1}{2} l_{phys} \quad (2.5)$$

ส่วนกรณีของสายอากาศโมโนโพล เนื่องจากการสะท้อนของคลื่นกับพื้นดินทำให้เหมือนมีสายอากาศขนาด 2 เท่าของความยาวจริงอยู่ ดังนั้นค่า $L_{eff} = l_{phys}$

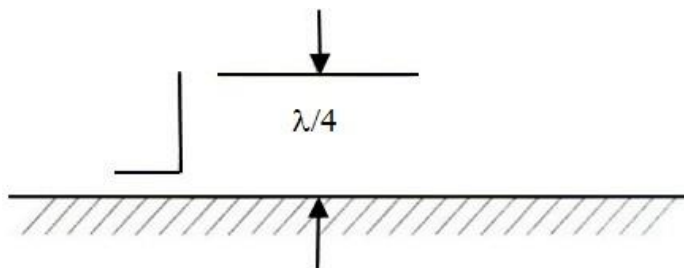
ระนาบกราวด์เป็นตัวนำที่มีการสะท้อนเหมือนกระจกเงา สำหรับตัวอย่าง เมื่อมีสายอากาศส่งซึ่งเป็นไดโพล อยู่เหนือระนาบกราวด์ ซึ่งจะเป็นตัวนำที่ดีในการส่งทางด้านรับสัญญาณจะมีค่าผลรวมของสัญญาณตรงและสัญญาณที่ได้จากการสะท้อนกับระนาบกราวด์ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.17 (a) และรูปที่ 2.17 (b) ถ้าเรลากเส้นลงมาใต้ระนาบกราวด์ ground plane เรื่อยๆจนถึงจุดหนึ่งจะสังเกตเห็นว่าจุดเริ่มต้นอยู่ที่ภาพเงา (image) นี่ก็คือการสมมติจุดที่พลิกกลับลงของ ไดโพล นั้นเอง ซึ่งเรียกทฤษฎีนี้ว่า ทฤษฎีเงา (image theory)



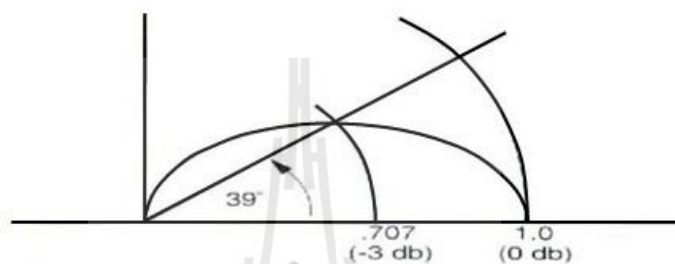
รูปที่ 2.17 a) ไดโพลที่วางอยู่เหนือแผ่นตัวนำที่สมบูรณ์, b) รูปเสมือนที่ใช้ทฤษฎีของ Image

(<http://pgm.npru.ac.th/telecom/data/files/การทดลองที่%206%20สายอากาศแบบโมโนโพล.pdf>)

รูปที่ 2.18 แสดงโมโนโพลที่มีความยาว 1 ใน 4 ของคลื่น หรือ $\lambda/4$ ที่วางอยู่เหนือแผ่นตัวนำที่สมบูรณ์ซึ่งจะทำให้เสมือนมีสายอีกครั้งหนึ่งรวมเป็นครึ่งคลื่นหรือไดโพลขนาด $\lambda/2$



(ก) สายอากาศโมโนโพลที่มีความยาว 1 ใน 4 ของความยาวคลื่น



(ข) แบบรูปการแผ่พลังงาน

รูปที่ 2.18 โมโนโพลที่วางอยู่เหนือแผ่นตัวนำสมบูรณ์ (<http://pgm.npru.ac.th/telecom/data/files/การทดลองที่%206%20สายอากาศแบบโมโนโพล.pdf>)

กระแสไฟฟ้าในสายอากาศ โมโนโพล จะมีค่าเท่ากับ ไดโพลแต่อินพุตโวลต์เตจจะมีค่าเพียงครึ่งเดียวของไดโพล ดังนั้นอินพุตอิมพีแดนซ์ของโมโนโพลจะเป็นครึ่งของไดโพล

$$Z_{in}(\lambda/4 \text{ monopole}) = 37.5 \Omega$$

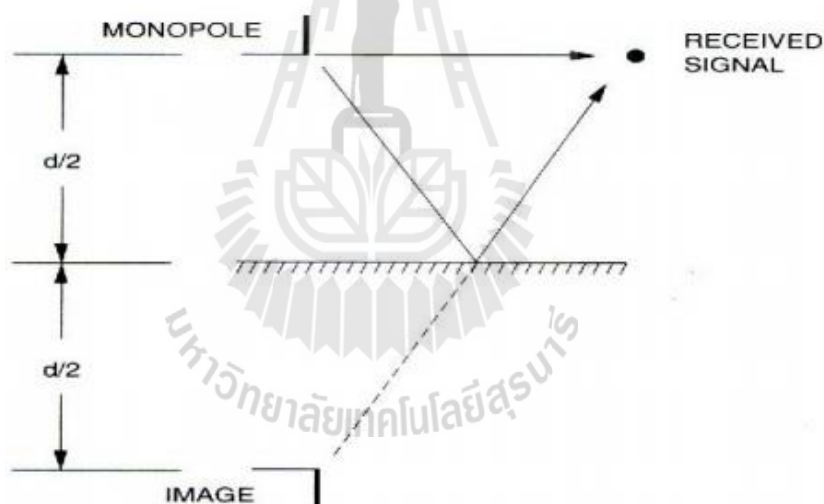
ในเมื่อกระแสของ โมโนโพล มีค่าเท่ากับ ไดโพลขนาด $\lambda/2$ ดังนั้นกำลังในการแผ่สัญญาณจึงเท่ากัน แต่ระนาบกราวด์นั้นจะตัดแบบรูปการแผ่คลื่นลงครึ่งหนึ่ง ส่วนความกว้างลำคลื่นจะเป็นครึ่งหนึ่งของไดโพล เพราะฉะนั้นทิศทาง (directivity) และอัตราขยาย (gain) จะมีค่าเป็นสองเท่าของไดโพล

$$G_{\lambda/4 \text{ monopole}} = 2 \times 1.64 = 3.2 \text{ or } 5 \text{ dB}$$

แบบรูปการแผ่คลื่นของโมโนโพล $\lambda/4$ ที่พื้นผิวดินสามารถอธิบายว่ามีรูปแบบการเคลื่อนที่เหมือนกันกับไดโพล $\lambda/2$ สำหรับมุมที่มากกว่าศูนย์ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีดังแสดงในรูป 2.18 (b) และเขียนได้ดังสมการที่ 2.6

$$F(\theta)_{\lambda/4 \text{ monopole}} = \frac{1}{2} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta}, \theta > 0 \quad (2.6)$$

เมื่อวางสายอากาศ โมโนโพล ในตำแหน่งที่เหนือกราวด์ โดยมีความสูงเท่ากับ $d/2$ ดังแสดงในรูปที่ 2.19 สายอากาศนั้นจะแสดงตัวเป็น 2 องค์ประกอบที่เรียงตัวกันอยู่ คลื่นที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศที่อยู่ทางด้านบนและล่างจะไปรวมกันแต่จะมีเฟสที่ต่างกันทำให้เกิดองค์ประกอบแถวลำดับ (array factor) ดังที่จะได้ศึกษาต่อไป



รูปที่ 2.19 การรวมกันของคลื่นที่แพร่จากโมโนโพลและที่มาจาก image (<http://pgm.npru.ac.th/telecom/data/files/การทดลองที่%206%20สายอากาศแบบโมโนโพล.pdf>)

ซึ่งนี้จะมีผลคล้ายคลึงกันคือไดโพลที่วางอยู่เหนือแผ่นตัวนำที่สมบูรณ์ ซึ่งไม่ได้กล่าวถึงมาก่อนหน้านี้ เพราะเราศึกษาถึงเฉพาะแต่ไดโพลที่อยู่ในอากาศว่าง (free space) ไม่ได้วางอยู่เหนือกราวด์

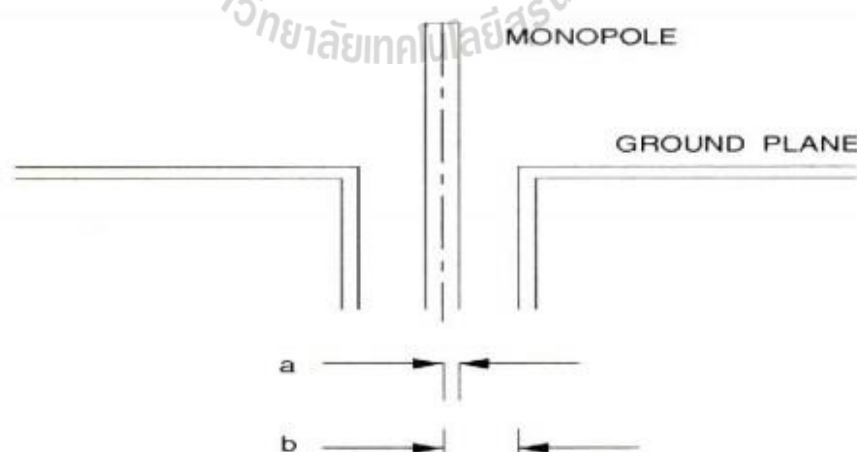
2.4.1 สายอากาศ โมโนโพลมาตรฐาน

รูปที่ 2.20 เป็นการแสดงสายอากาศโมโนโพล ซึ่งจะมีการป้อนสัญญาณจากสายโคแอกเซียล (50 โอห์ม) ที่เชื่อมต่อกับแผ่นระนาบกราวด์ขนาดใหญ่ โดยที่ระนาบกราวด์เป็นส่วนสำคัญอันหนึ่งในการออกแบบสายอากาศโมโนโพล ซึ่งควรจะมีขนาดใหญ่พอประมาณ ในทางปฏิบัติจะใช้ขนาดรัศมีเท่ากับ 5λ ซึ่งจะให้ผลคล้ายกับในทางอุดมคติ และสายอากาศโมโนโพลจะมีค่ารัศมีน้อยที่สุดเป็น 0.5λ

ในการป้อนสัญญาณเข้าจะใช้สายโคแอกเซียลขนาด 50 โอห์ม เพื่อส่งกำลังไปยังสายอากาศโดยจะมีการมีการเปลี่ยนแปลงระดับอิมพีแดนซ์ ลดลงเป็น 37.5 โอห์ม เนื่องจากสายอากาศมีอินพุตอิมพีแดนซ์ 37.5 โอห์ม ซึ่งในกรณีนี้การปรับค่าอิมพีแดนซ์นั้นจะอาศัยระยะห่างระหว่างตัวนำที่อยู่ตรงกลางของโมโนโพลกับขอบที่จะเป็นระนาบกราวด์ ซึ่งความสัมพันธ์ที่ว่าเป็นดังสมการที่ 2.7

$$Z_0 = 60 \log\left(\frac{b}{a}\right) \quad (2.7)$$

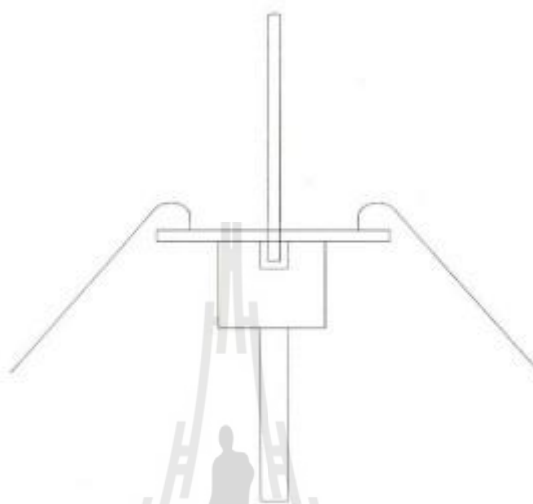
เมื่อ $a = 0.159$ cm. และ $b = 0.317$ cm. อิมพีแดนซ์ที่ได้จะเป็น 41.5 โอห์ม ซึ่งเป็นค่าตรงกลางระหว่างอิมพีแดนซ์ของสายโคแอกเซียล และอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโมโนโพลคือ 37.5 โอห์ม



รูปที่ 2.20 จุดที่ป้อนสัญญาณจากโคแอกเซียลไปยังโมโนโพลและระนาบกราวด์ (<http://pgm.npru.ac.th/telecom/data/files/การทดลองที่%206%20สายอากาศแบบโมโนโพล.pdf>)

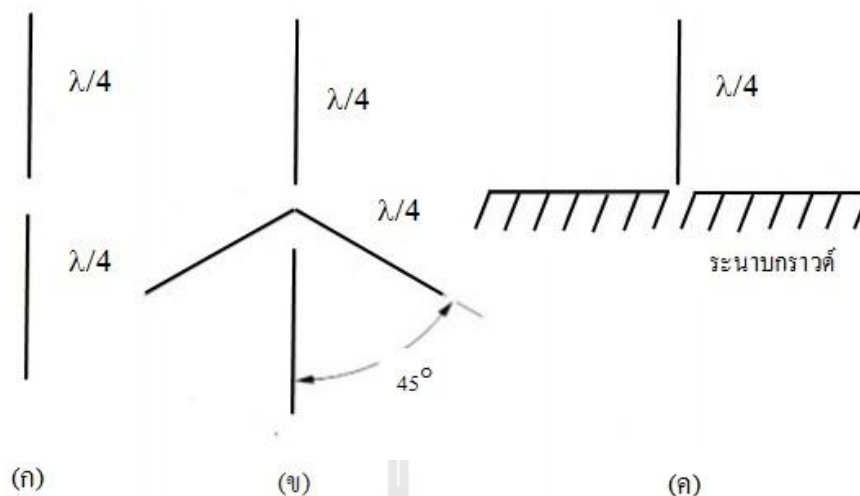
2.4.2 สายอากาศโมโนโพลแบบครูป้าง (Drooping Monopole)

โมโนโพลมาตรฐาน ในระบบสายอากาศจะรวมถึงสายอากาศโมโนโพลแบบครูป้าง (drooping dipole) ซึ่งเป็นโมโนโพลที่สร้างใช้งานได้สะดวกมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 สายอากาศโมโนโพลแบบครูป้าง (Drooping monopole) (<http://pgm.npru.ac.th/telecom/data/files/การทดลองที่%206%20สายอากาศแบบโมโนโพล.pdf>)

ในการอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศโมโนโพลแบบครูป้าง พิจารณาที่ไดโพลครึ่งคลื่น (half wave dipole) ที่มีอิมพีแดนซ์ = 73 โอห์ม ในรูป 2.22 (a) เมื่อวางลวดที่ด้านล่างของครึ่งของไดโพล โดยให้กางออก 180 องศา ดังรูปที่ 2.20 (c) จะทำให้ได้โมโนโพลมาตรฐานที่มีคุณสมบัติทาง อิมพีแดนซ์ = 37.5 โอห์ม ลวดที่กางจะทำมุมต่างกันเพียง 90 องศา (45 องศาจากแนวตั้ง) ดังรูปที่ 2.20 (b) จะทำให้ได้ สายอากาศโมโนโพลแบบครูป้าง ที่มีคุณสมบัติทางอิมพีแดนซ์ใกล้เคียงค่า 50 โอห์ม ซึ่งวิธีการที่ใช้จะเป็นการแมทซิงกันทาง อิมพีแดนซ์กับสายโคแอกเซียล



รูปที่ 2.22 a) ไดโพลครึ่งคลื่น (half-wave dipole), b) สายอากาศโมโนโพลแบบครูป้าง (Drooping monopole), c) โมโนโพลมาตรฐาน (<http://pgm.npru.ac.th/telecom/data/files/การทดลองที่%206%20สายอากาศแบบโมโนโพล.pdf>)

2.5 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 สายอากาศครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์

สายอากาศแบบครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์ (T.A. Denidni and M.A. Habib, 2006), (Osama Haraz and Abdel - Razik Sebak, 2013) และ (Jianxin Liang และคณะ 2005) คือการนำสายอากาศหนึ่งตัวมาทำงานครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งย่านความถี่ถูกกำหนดโดยองค์กรกำหนดย่านความถี่ (Federal Communications Commission : FCC) ความถี่อยู่ที่ 3.1 - 10.6 GHz และได้กำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.3a สายอากาศอัลตราไวด์แบนด์ มีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดถึง 480 Mbps ที่ระยะทาง 10 เมตร ตัวอย่างสายอากาศอัลตราไวด์แบนด์แสดงในรูปที่ 2.9

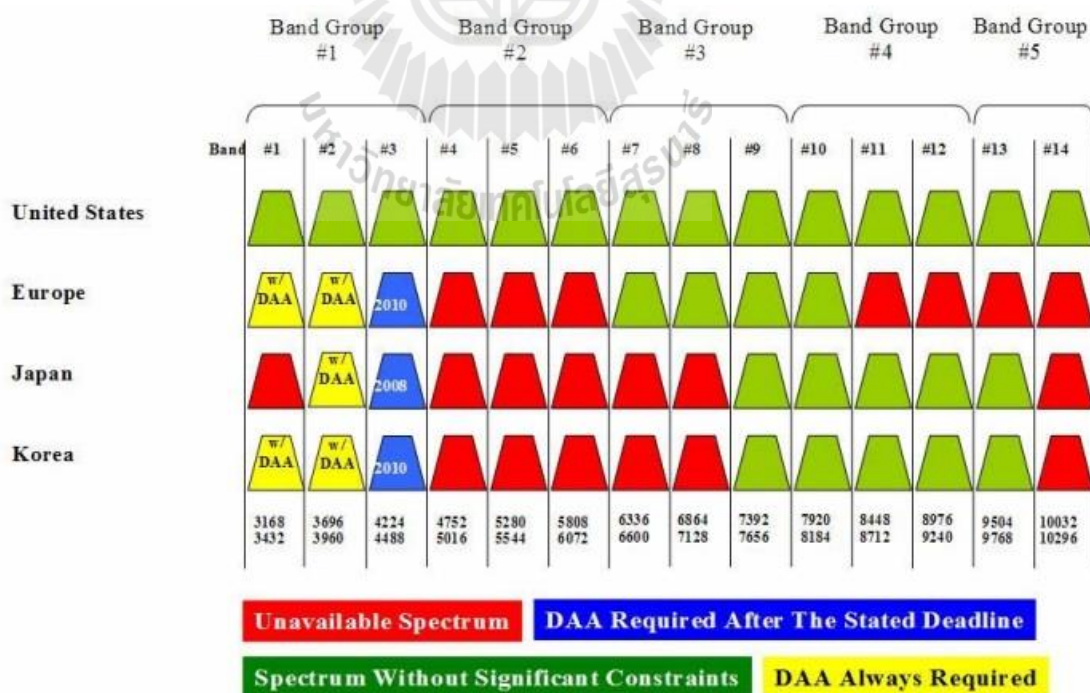
2.5.2 สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่

เนื่องด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย ส่งผลให้ความต้องการในการเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศมีมากขึ้นตามไปด้วย จากสายอากาศธรรมดาหนึ่งต้นก็สามารถพัฒนาให้มีอัตราขยายที่สูงขึ้น แบนด์วิดท์กว้างขึ้น ด้วยการแบ่งสายอากาศออกเป็นหลายตัวแบบใหม่ขึ้น ตัวอย่างปริทัศน์วรรณกรรมได้แสดงในรูปที่ 2.24 - 2.28

สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แบบสวิตช์ (microelectromechanical systems : MEM Switch) และแบบการหมุน เช่น สายอากาศแบบ MEMS switch (K.R.Boyle, 2007) มีข้อดีคือ สมรรถนะของสายอากาศดีขึ้น และสายอากาศมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ข้อเสียมีแถบความถี่แคบเทคนิคอื่นที่สองต่อมาเป็นการแบ่งสายอากาศออกเป็นหลายตัวเลือกย่านสายอากาศด้วยการหมุน (Y.Tawk, C.G. Christodoulou, 2009) มีข้อดีคือ สามารถเลือกย่านใช้งานได้ง่ายโดยมีสองย่าน และอัตราขยายเพิ่มขึ้น ข้อเสียคือไม่ครอบคลุมย่านความถี่ ย่านอัลตราไวด์แบนด์ และการแผ่สัญญาณไม่สม่ำเสมอ

สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบสวิตช์ การออกแบบสายอากาศ ปลายอินเวิฟ (a planar inverted F antenna : PIFA) (K. R. Boyle, 2007) การทำงานจะเลือกย่านใช้งานโดยใช้สวิตช์ (microelectromechanical systems : MEM Switch) เลือกย่านใช้งาน 2 ย่าน คือ ย่านความถี่ต่ำ (Low band) และความถี่สูง (High band) มีข้อดีคืออัตราขยายดีขึ้น และสายอากาศมีขนาดเล็กน้ำหนักเบา ข้อเสีย แถบความถี่แคบ

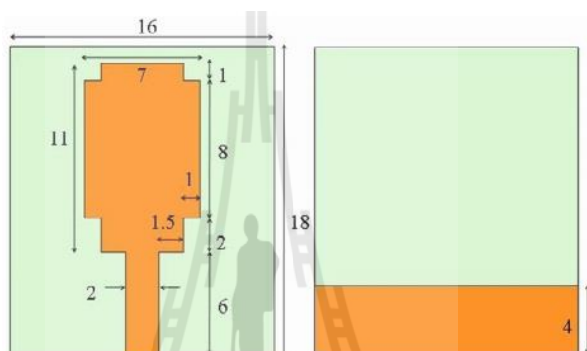
ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอการออกแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ให้ครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์แบบใหม่ จะแบ่งตามเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์มาตรฐานไวมีเดีย (WiMedia) ดังแสดงในรูปที่ 2.23



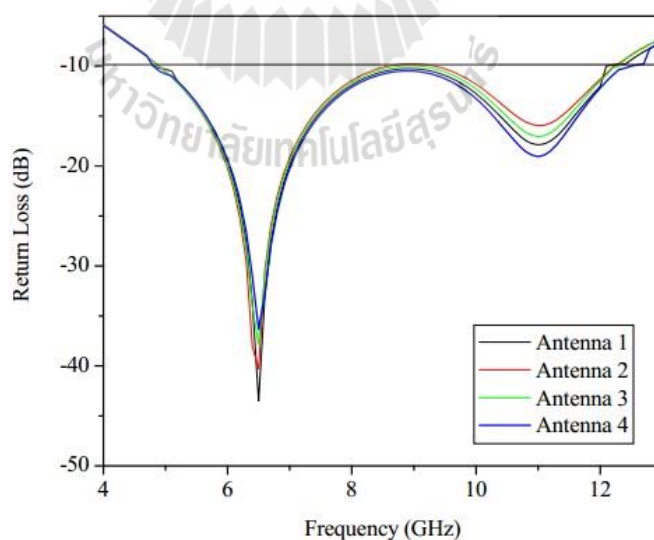
รูปที่ 2.23 เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์มาตรฐานไวมีเดีย (WiMedia) (Zhi Ning Chen, 2007)

โดยแบ่งเป็น 5 ย่านช่วงความถี่ ซึ่งใช้สายอากาศ 5 ตัว เพื่อให้มีอัตราขยายและลดการแทรกสอดสัญญาณ จากข้อเท็จจริงนี้เราได้ศึกษาและปรับเปลี่ยน โครงสร้างสายอากาศ และศึกษาผลกระทบของรูปแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศตามที่ต้องการได้

จากงานปริทัศน์วรรณกรรมที่ได้กล่าวมาข้างต้นสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ ยังคงเป็นที่สนใจและถูกนำมาประยุกต์ใช้กันในปัจจุบัน ดังแสดงงานปริทัศน์วรรณกรรมในรูปที่ 2.24 ถึง รูปที่ 2.28



(ก) โครงสร้างแบบที่นำสายอากาศตัวเดียวมาใช้ครอบคลุมความถี่ย่านอัลตราไวด์แบนด์



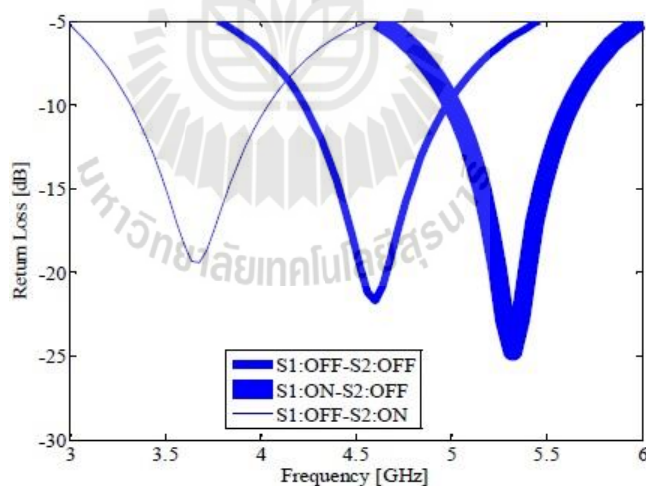
(ข) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (return loss)

รูปที่ 2.24 สายอากาศครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์แบบหนึ่งตัว (S.M. Naveen และคณะ, 2012)

สายอากาศจากรูปที่ 2.24 เป็นสายอากาศหนึ่งตัวทำงานครอบคลุมความถี่ย่านอัลตราไวด์แบนด์ มีข้อดีคือครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์ ข้อสังเกตคือ อัตราขยายต่ำ



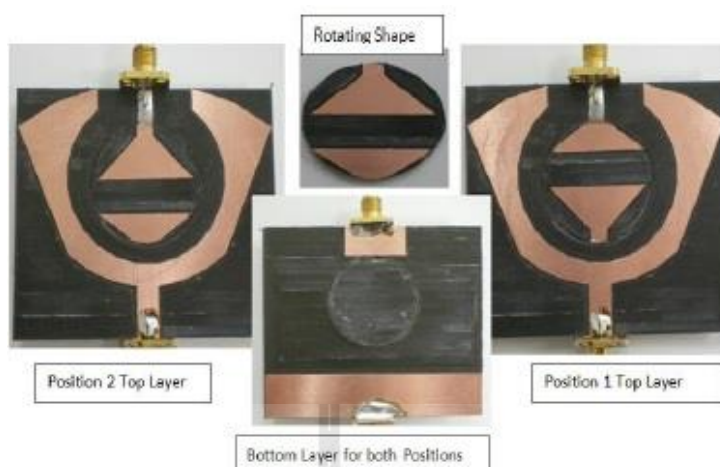
(ก) โครงสร้างแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ (reconfigurable antenna) แบบสวิตช์



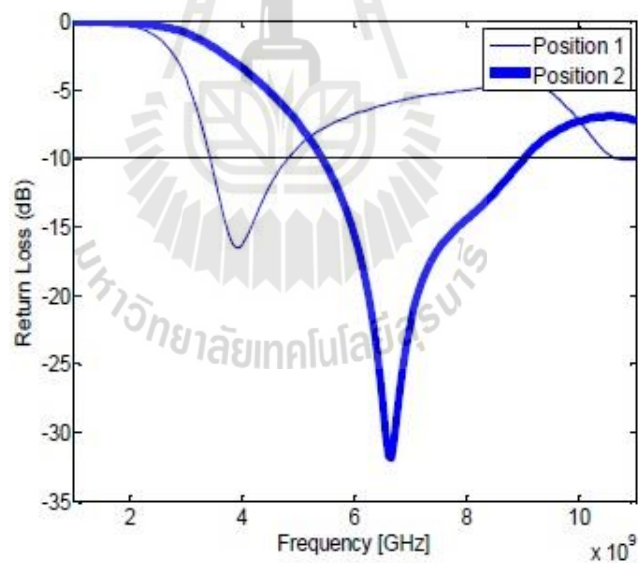
(ข) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (return loss)

รูปที่ 2.25 สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบสวิตช์ (Y. Tawk และคณะ, 2010)

สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่จากรูปที่ 2.25 มีข้อดีคือสามารถเลือกย่านใช้งานได้ง่าย โดยใช้สวิตช์ทั้งหมด 3 ย่าน สายอากาศมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และอัตราขยายเพิ่มขึ้น ข้อสังเกตคือ ไม่ครอบคลุมย่านความถี่อัลตราไวด์แบนด์



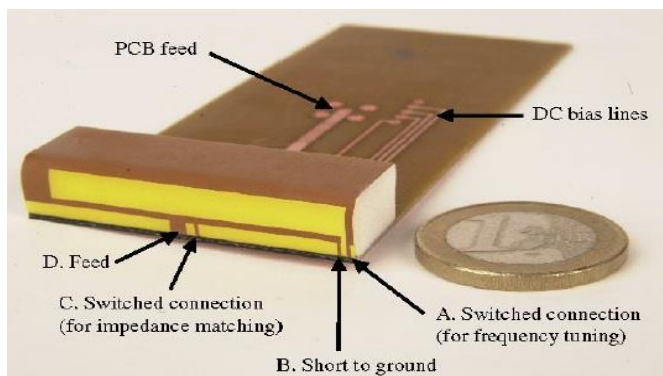
(ก) โครงสร้างของสายอากาศปรับเปลี่ยนความถี่แบบหมุน



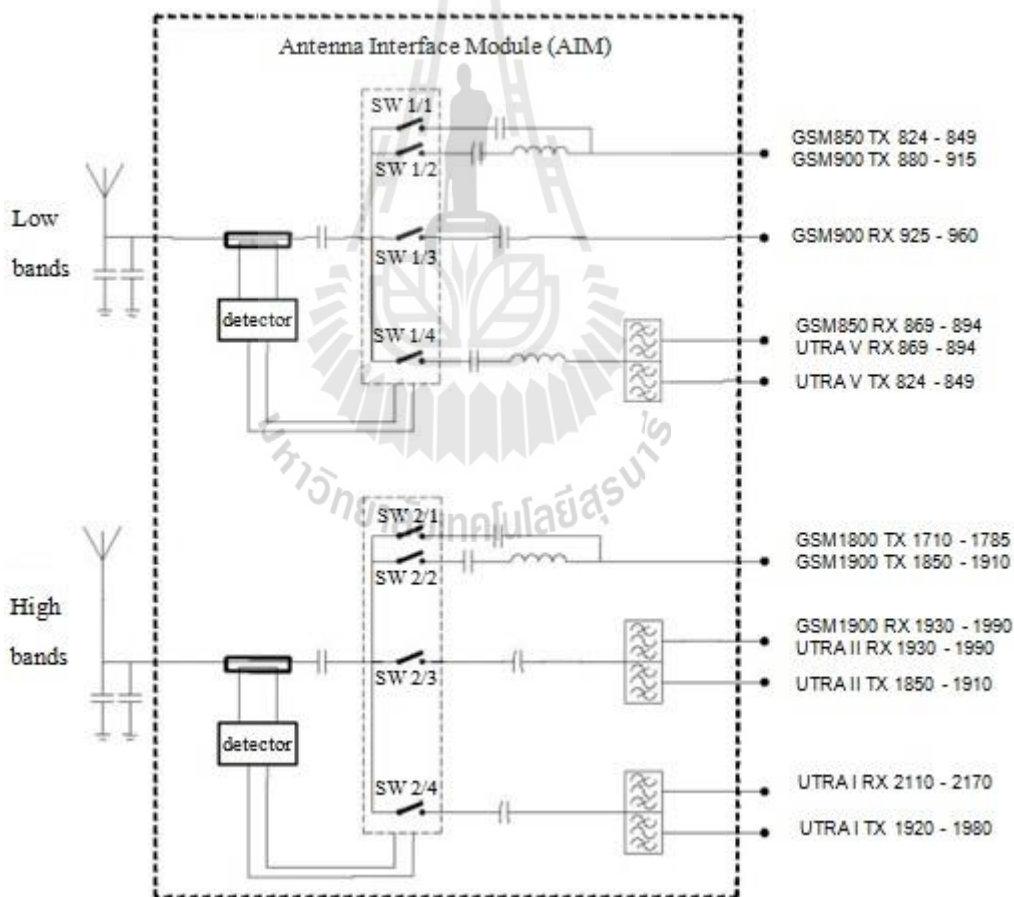
(ข) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (return loss)

รูปที่ 2.26 สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบหมุน (Y. Tawk, and C.G. Christodoulou, 2009)

สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบการหมุน จากรูปที่ 2.26 มีข้อดีคือสามารถเลือกย่านใช้งานได้ง่ายโดยมีสองย่าน สายอากาศมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และอัตราขยายเพิ่มขึ้น ข้อสังเกตคือ การแพร่กระจายคลื่นไม่สม่ำเสมอ และไม่ครอบคลุมย่านความถี่อัลตราไวด์แบนด์



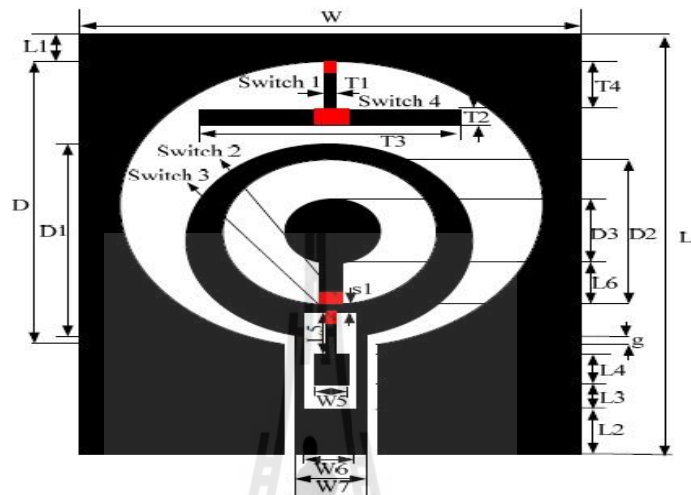
(ก) โครงสร้างของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบสวิตช์ (K. R. Boyle, 2007)



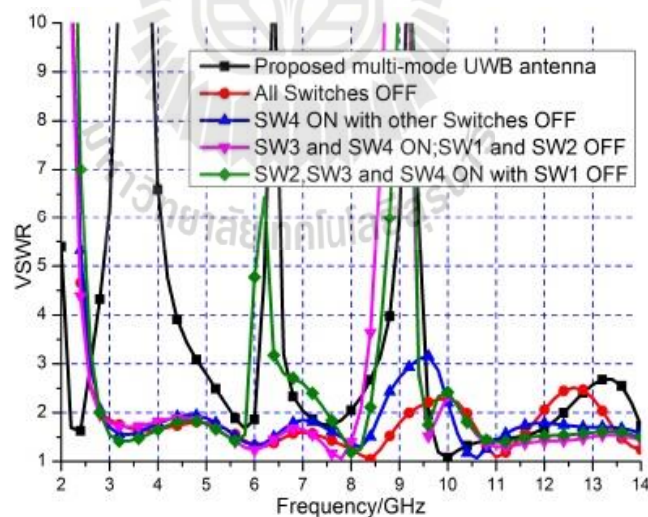
(ข) โครงสร้างของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบสวิตช์ (K. R. Boyle, 2007)

รูปที่ 2.27 สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบสวิตช์แบ่งเป็นย่านความถี่ต่ำและย่านความถี่สูง
 สายอากาศแบบสวิตช์จากรูปที่ 2.27 เป็นสายอากาศที่แยกสัญญาณออกเป็นย่านความถี่ต่ำ

และความถี่สูง แบ่งช่วงความถี่ออกเป็น 9 ช่วงความถี่ ใช้ซอฟต์แวร์ในการควบคุมการทำงานเลือกย่าน มีข้อดีคือ อัตราขยายของสายอากาศดีขึ้น สายอากาศมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และมีช่วงใช้งานถึง 9 ช่วง



(ก) โครงสร้างของสายอากาศ



(ข) ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (Voltage Standing Wave Ratio : VSWR) ของสายอากาศ

รูปที่ 2.28 สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบสวิตช์ (Yingsong LI and และคณะ, 2012)

สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบสวิทช์จากรูปที่ 2.28 มีข้อดีคือ สามารถเลือกย่านใช้งานได้ง่ายโดยการกดสวิทช์ และครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์ ข้อสังเกตคือ สายอากาศมีโครงสร้างที่ซับซ้อน

2.6 สรุป

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการประยุกต์ใช้สายอากาศอัลตราไวด์แบนด์ โดยนำข้อดีของเทคโนโลยีการสื่อสารอัลตราไวด์แบนด์มาปรับใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ได้แก่ มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูง มีราคาถูก มีแบนด์วิดท์ที่กว้าง มีการใช้พลังงานต่ำ ด้วยเหตุนี้จึงมีความสอดคล้องกับเทคโนโลยีสายอากาศแบบโมนโพล ที่มีข้อดีคือ มีโครงสร้างที่ง่ายไม่ซับซ้อน และมีความแข็งแรง มีแบนด์วิดท์ที่กว้าง มีการใช้พลังงานที่ต่ำ เป็นต้น ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกเทคโนโลยีสายอากาศแบบโมนโพลมาประยุกต์ใช้ โดยการนำย่านความถี่อัลตราไวด์แบนด์มาแบ่งช่วงความถี่ใช้งานเป็น 5 ช่วง ครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์ เพื่อให้สายอากาศมีอัตราขยายสูงขึ้นและสามารถนำสายอากาศไปประยุกต์ใช้สำหรับติดตั้งใช้ในการสื่อสารแบบไร้สาย และเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย



บทที่ 3

การออกแบบสายอากาศ

3.1 กล่าวนำ

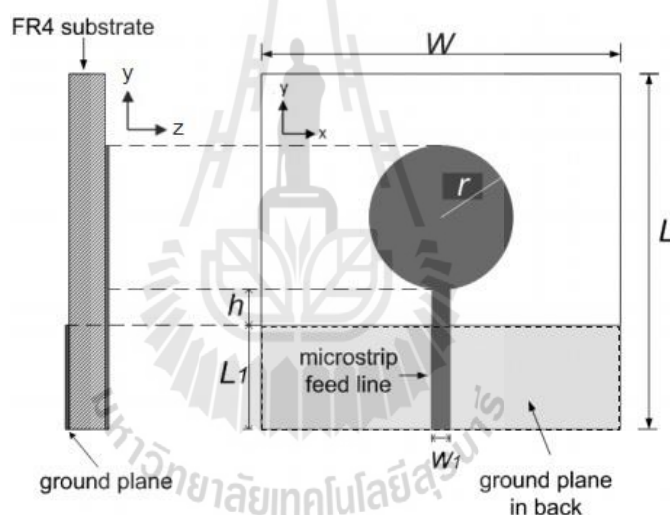
สำหรับย่านอัลตราไวด์แบนด์ สายอากาศเป็นสิ่งสำคัญที่จะถูกพัฒนาในเครือข่ายไร้สาย ซึ่งจะถูกนำไปใช้สำหรับรับส่งคลื่นความถี่ ดังนั้นสายอากาศควรมีกำลังงานที่เพียงพอ อาจมีลำคลื่นทิศทางเดียวหรือรอบทิศทาง ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ และมีอัตราขยายสูง นอกจากนี้สายอากาศจะต้องมีโครงสร้างที่ง่ายและราคาไม่แพง สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์มีคุณสมบัติที่โดดเด่นคือ มีรูปร่างสายอากาศที่เรียบง่าย โครงสร้างสามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายและหลากหลาย อย่างไรก็ตามสายอากาศแบบครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์โดยใช้สายอากาศต้นเดียวเป็นสายอากาศที่มีการใช้คลื่นความถี่เปลี่ยนแปลงโดยเปล่าประโยชน์ในกรณีส่งสายอากาศเพียงตัวเดียวตลอดย่านอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งใช้เพียงช่วงความถี่ใดความถี่หนึ่งใช้งานเท่านั้น แต่ช่วงความถี่ที่ไม่ได้ใช้งานกลับถูกส่งออกไปด้วย จึงส่งผลให้การใช้งานคลื่นสัญญาณไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการแทรกสอดรบกวนกันของคลื่นสัญญาณขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลจึงลดลงและอัตราขยายลดลง จากปัญหาดังกล่าว การนำสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์มาออกแบบเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น

บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ โดยออกแบบที่ความถี่ปฏิบัติการ 3.1-10.6 GHz สายอากาศที่ออกแบบแล้วจะถูกจำลองผลในโปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อพิจารณาค่า S_{11} การแจกแจงกระแส แบบรูปการแผ่พลังงาน และอัตราขยายของสายอากาศ

3.2 การศึกษาสายอากาศโมนโพล

จากทฤษฎีสายอากาศโมนโพล ซึ่งแสดงโครงสร้างสายอากาศโมนโพลแบบวงกลม ได้ดังรูปที่ 3.1 ประกอบไปด้วย 4 ส่วน ส่วนแรกเรียกว่าแพทช์ (Patch) คือส่วนในการแผ่กระจายคลื่น โดยทั่วไปมักมีลักษณะรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือวงกลม ส่วนที่สองคือวัสดุฐานรอง (Substrate) เป็นสารไดอิเล็กตริก ส่วนที่สามเป็นตัวป้อน และส่วนที่สี่เป็นระนาบกราวด์ ถ้ากราวด์มีขนาดเท่ากับแผ่นไดอิเล็กตริกจะเรียกว่าสายอากาศไมโครสตริป ซึ่งมีแบนด์วิดท์แคบ เมื่อลดขนาด

กราวด์ลิ่ง จะเรียกว่า สายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรมิติ จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรม พบว่าสายอากาศชนิดนี้มีแบนด์วิดท์กว้างมาก และมีแบบรูปการแผ่พลังงานรอบตัวในระนาบเดียว (omnidirectional) ดังนั้นเพื่อยืนยันทฤษฎี จึงทำวิเคราะห์ด้วยการจำลองแบบ (Simulation) ของโครงสร้างสายอากาศทำงานในย่านความถี่อัลตราไวด์แบนด์ (3.1-10.6 GHz) ส่วนที่สี่คือตัวป้อนสัญญาณ รูปแบบการป้อนสัญญาณมีได้หลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็น CPW (Coplanar Waveguide) สายโคแอกเซียลโพรบ (Coaxial Probe) และไมโครสตริป (Microstrip line) เป็นต้น จากการศึกษางานวิจัยสายอากาศโมโนโพลที่มีรูปแบบการป้อนสัญญาณไมโครสตริป (Microstrip line) จะครอบคลุมความถี่ใช้งานของย่านอัลตราไวด์แบนด์ (3.1-10.6 GHz) โดยผลการวัดของค่าแบนด์วิดท์และความถี่กลางของสายอากาศที่สร้างขึ้นมีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลการจำลองแบบด้วย



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลม (Jianxin Liang และคณะ, 2005)

3.2.1 การคำนวณสายอากาศโมโนโพล

สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์อ้างอิงของสายอากาศโมโนโพล แสดงได้ดังต่อไปนี้ เมื่อกำหนดให้มีการออกแบบสายอากาศที่มีความถี่คือประมาณ 3 GHz และป้อนกำลังงานด้วยสายส่งไมโครสตริป 50 โอห์ม

ความยาวของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลม หาได้จาก

$$2r = \lambda_g / 2 \quad (3.1)$$

เมื่อ r คือรัศมีของวงกลม

$$\text{จาก } \lambda_g = \frac{c}{f_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.2)$$

เมื่อ f_0 คือความถี่ในอากาศว่าง และ λ_g คือความยาวคลื่น

$$\text{จะได้ } \lambda_g = \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^9 \sqrt{4.4}} = 47.67 \text{ mm.}$$

$$\text{จาก (3.1) จะได้ } 2r = \frac{\lambda_g}{2}$$

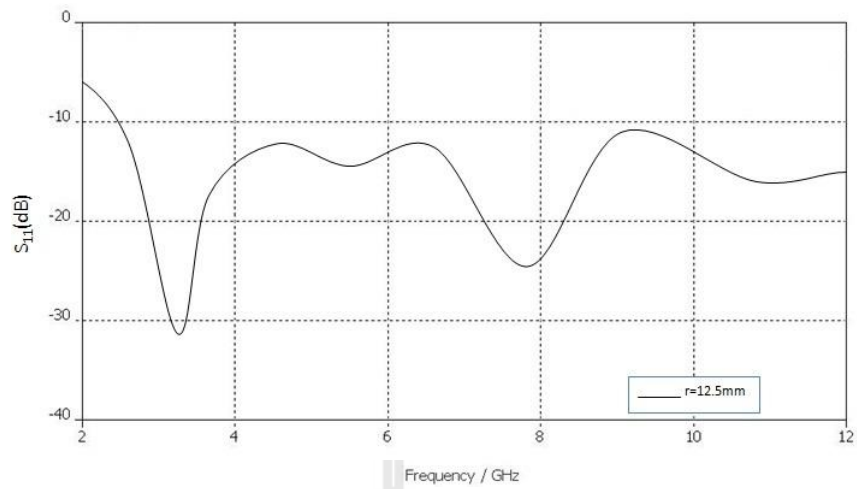
$$r = 11.92 \text{ mm.}$$

3.2.2 การจำลองแบบของสายอากาศโมโนโพล

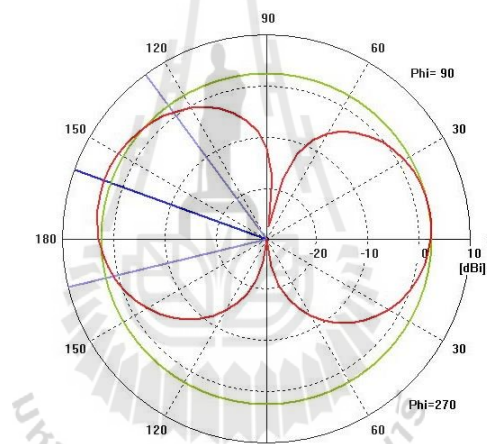
โครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลม (Jianxin Liang และคณะ, 2005) แสดงในรูปที่ 3.1 มีโครงสร้างสามส่วนคือ ส่วนบนที่เป็นส่วนของการแผ่คลื่นโดยทั่วไปจะมีรูปร่างเป็น วงกลม สามเหลี่ยม วงรีหรืออื่น ๆ แล้วแต่การออกแบบเพื่อนำไปใช้งาน โดยมีส่วนที่สองเป็น วัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกที่คั่นกลางระหว่างกราวด์กับส่วนของการแผ่กระจายคลื่นที่เป็นแผ่นตัวนำ และส่วนที่สามคือ กราวด์ของสายอากาศ และสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศโมโนโพลได้ดังตาราง 3.1 เริ่มต้นการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 โดยป้อนสัญญาณที่บริเวณกึ่งกลางของสายอากาศโมโนโพล จะได้ค่า S_{11} แสดงดังรูปที่ 3.2 พบว่าค่า S_{11} มีค่าน้อยกว่า -10 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz โดยค่า S_{11} มีค่าต่ำสุดที่ความถี่ 3.4 GHz ซึ่งถือเป็นความถี่เรโซแนนซ์ ส่วนความถี่ 5.5 GHz และ 7.8 GHz จะเป็นความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ สำหรับแบบรูปการแผ่พลังงานทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4 ตามลำดับ ซึ่งมีความกว้างครึ่งกำลังของระนาบสนามไฟฟ้าเท่ากับ 67.2 องศา โดยผลการจำลองที่ได้มีอัตราขยาย 3.91 dB

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศโมโนโพล

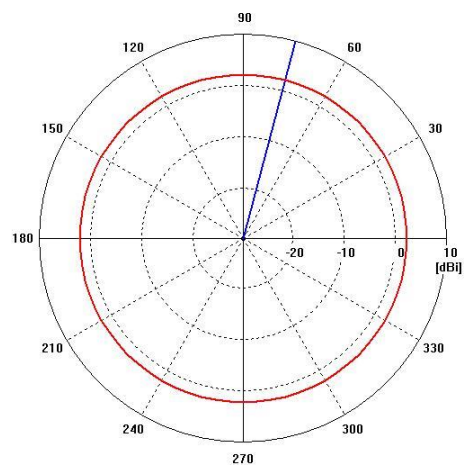
พารามิเตอร์ของสายอากาศไดโพล	ขนาด(mm.)
h : ระยะห่างขอบล่างของแพตช์กับขอบบนของระนาบกราวด์	0.3
L1 : ความสูงของระนาบกราวด์	20
w ₁ : ความกว้างของตัวป้อน	2.6
W : ความกว้างทั้งหมดของระนาบกราวด์	42
r : รัศมีของแพตช์วงกลม	11.92
L : ความสูงทั้งหมดของสายอากาศ	50



รูปที่ 3.2 ค่า S_{11} ของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลม

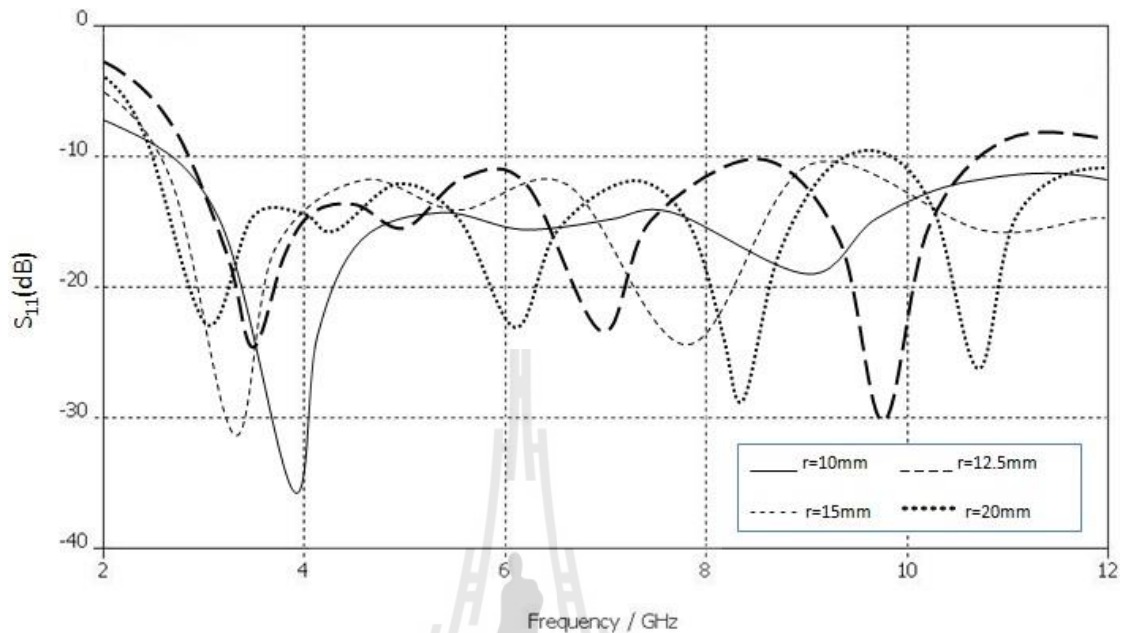


รูปที่ 3.3 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลม



รูปที่ 3.4 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลม

ศึกษาการปรับเปลี่ยนรัศมี r

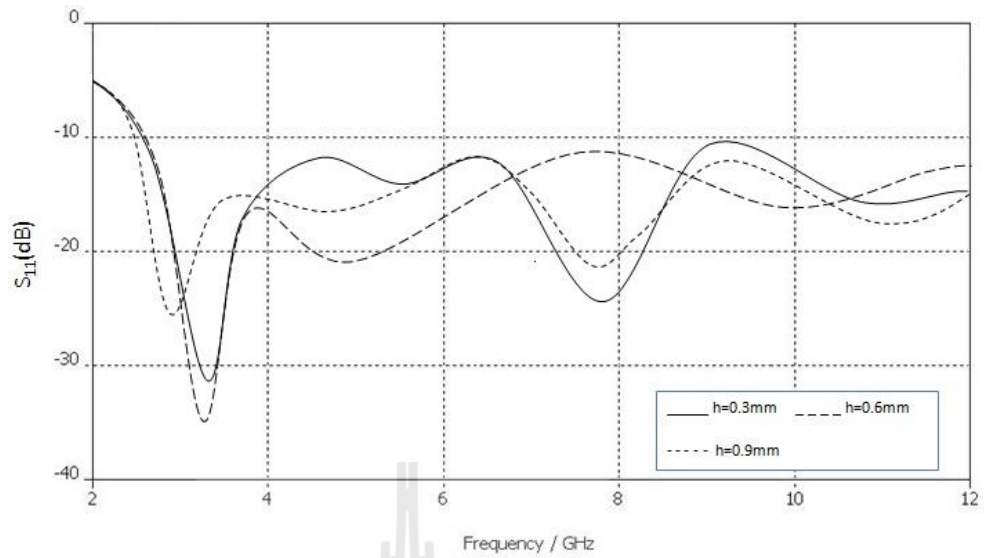


รูปที่ 3.5 ค่า S_{11} ของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลมที่ค่า r ต่างกัน

เมื่อพิจารณารูปที่ 3.3 และ 3.4 พบว่าสายอากาศโมโนโพลที่ความถี่ย่านอัลตราไวด์แบนด์มีการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบตัวในระนาบเดียว (Omni-directional) และยังพบว่าเมื่อทำการปรับเปลี่ยนรัศมี r ส่งผลให้ความถี่ในการเรโซแนนซ์เปลี่ยนแปลง แต่แบนด์วิดท์ยังคงกว้างอยู่ แสดงดังรูปที่ 3.5 และผลของอัตราขยายกำลังงานของสายอากาศเท่ากับ 3.91 dB เทียบกับการนำไปใช้งานยังมีอัตราขยายต่ำ และถ้านำสายอากาศดังกล่าวไปใช้งานจริงที่ความถี่ย่านอัลตราไวด์แบนด์ จะเกิดการรบกวนกันของสัญญาณเนื่องจากการใช้งานตลอดทั้งย่าน และทำให้เกิดการใช้ความถี่แบบไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงต้องการออกแบบให้สายอากาศทำงานในความถี่ย่านอัลตราไวด์แบนด์โดยมีการรบกวนกันน้อย โดยออกแบบให้สายอากาศทำงานแบ่งเป็น 5 ย่านตามมาตรฐานอัลตราไวด์แบนด์ (Zhi Ning Chen, 2007)

ศึกษาการปรับเปลี่ยนค่า h

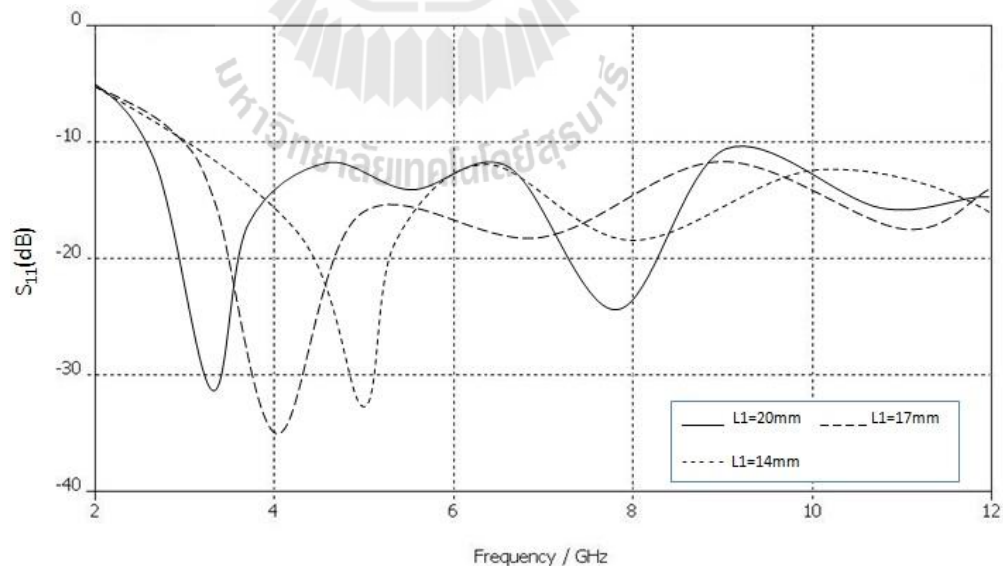
เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า S_{11} ของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลมที่ค่า h ต่างกัน พบว่าความถี่เรโซแนนซ์เปลี่ยน โดยค่า h จะใช้ในการแมตซ์อิมพีแดนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ค่า S_{11} ของสายอากาศโมนิโพลแบบวงกลมที่ค่า h ต่างกัน

ศึกษาการปรับเปลี่ยนค่า L_1

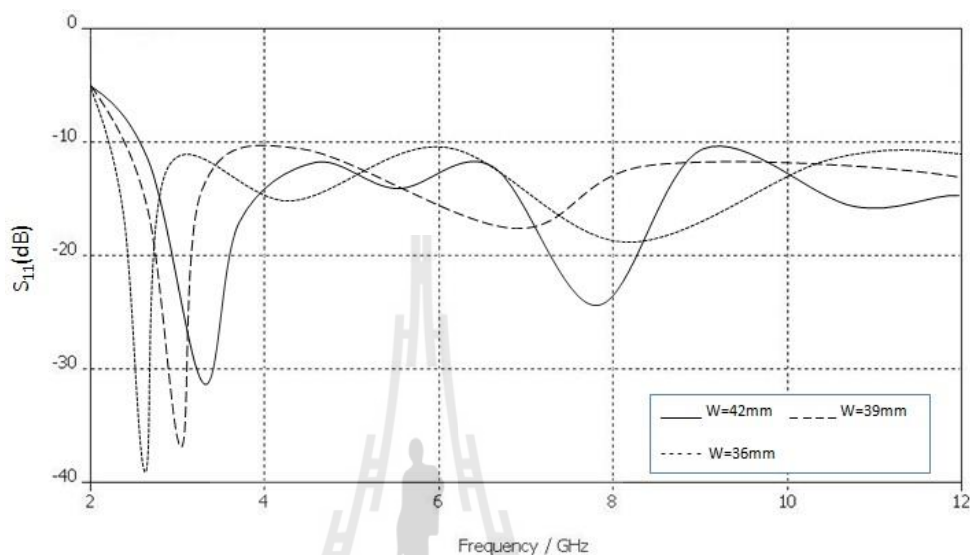
ทำการเปรียบเทียบค่า S_{11} ของสายอากาศโมนิโพลแบบวงกลมที่ค่า L_1 ต่างกัน พบว่าความถี่เรโซแนนซ์เปลี่ยน ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ค่า S_{11} ของสายอากาศโมนิโพลแบบวงกลมที่ค่า L_1 ต่างกัน

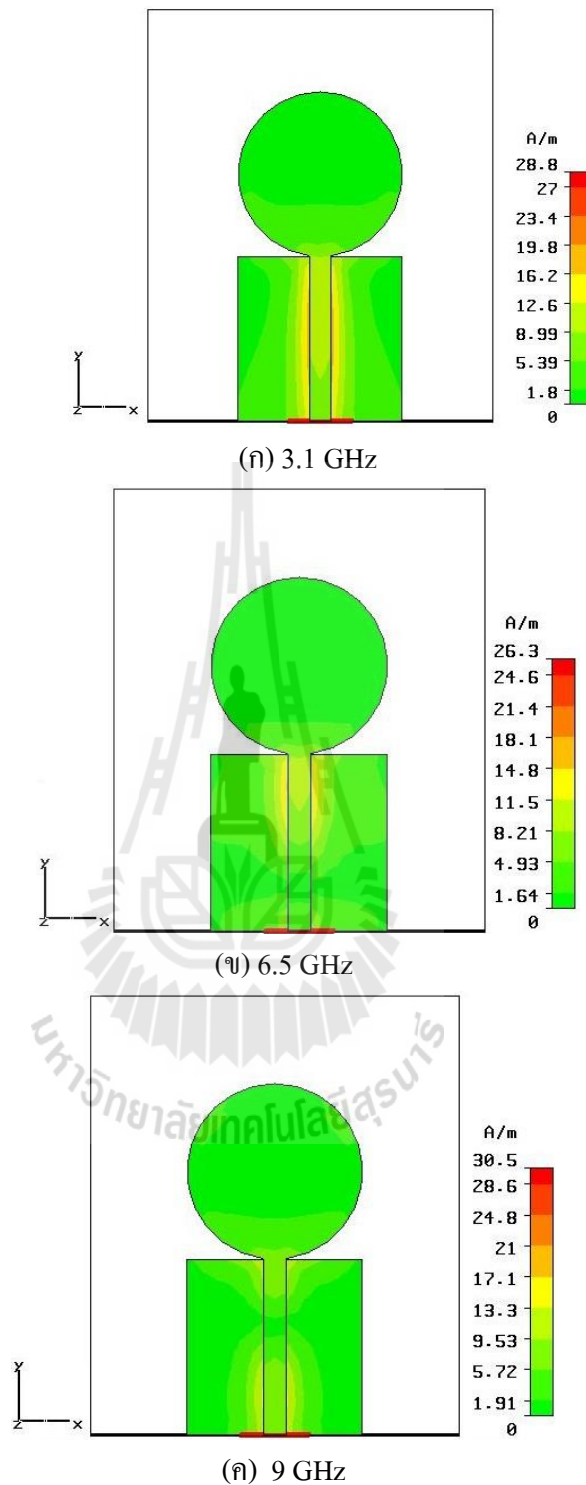
ศึกษาการปรับเปลี่ยนค่า W

ทำการเปรียบเทียบค่า S_{11} ของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลมที่ค่า W แตกต่างกัน พบว่าความถี่เรโซแนนซ์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 3.8



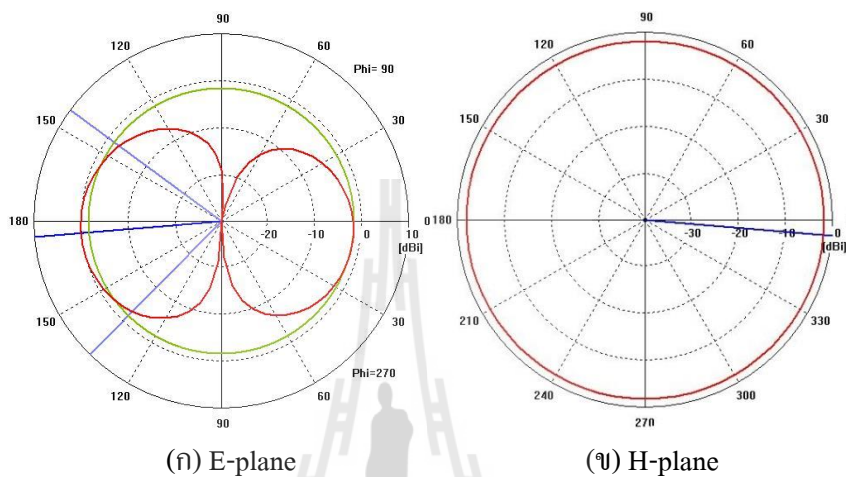
รูปที่ 3.8 ค่า S_{11} ของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลมที่ค่า W แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาแบบรูปการแจกแจงกระแส (current distribution) ของสายอากาศโมโนโพล โดยให้ $r = 10$ mm, $h = 0.3$ mm, $W = 42$ mm, และ $L = 50$ พบว่าการแจกแจงกระแสมีลักษณะแบบรูปที่แตกต่างกันในแต่ละความถี่ โดยที่ความถี่ 3 GHz จะให้แบบรูปกระแสที่มีความเข้มสูงบริเวณกึ่งกลางสายส่ง และปริมาณความเข้มจะลดลงไปยังปลายทั้งสองด้านของสายส่งไมโครสตริป แสดงดังรูปที่ 3.9 (ก) เราถือว่าความถี่นี้เป็นความถี่เรโซแนนซ์ส่วนที่ความถี่ 6.5 GHz แบบรูปกระแสมีความเข้มสูงอยู่บริเวณส่วนบนและล่างของสายส่ง แสดงดังรูปที่ 3.9 (ข) ถือเป็นฮาร์โมนิกที่ 1 ส่วนที่ความถี่ 9 GHz กระแสมีความเข้มสูงอยู่บริเวณด้านบน กลางและด้านล่าง แสดงดังรูป 3.9 (ค) ถือเป็นฮาร์โมนิกที่ 2 ดังนั้นถ้าต้องการออกแบบสายอากาศให้มีความถี่เป็น 5 ย่านตามมาตรฐานอัลตราไวด์แบนด์ เราสามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างของตัวป้อนสัญญาณตามตำแหน่งการแจกแจงกระแสได้

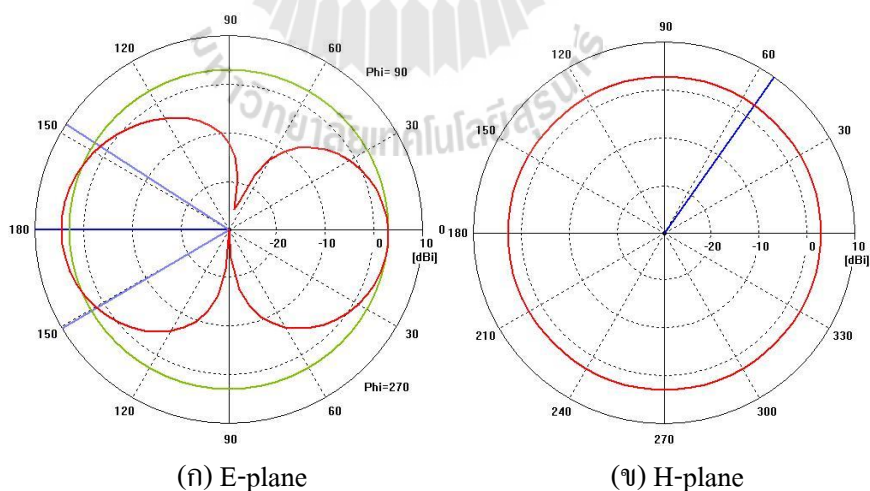


รูปที่ 3.9 การแจกแจงกระแสของสายอากาศโมนโพลแบบวงกลม โดยให้ $r = 10$ mm, $h = 0.3$ mm, $W = 42$ mm และ $L = 50$ (ก) 3 GHz, (ข) 6.5 GHz, (ค) 9 GHz.

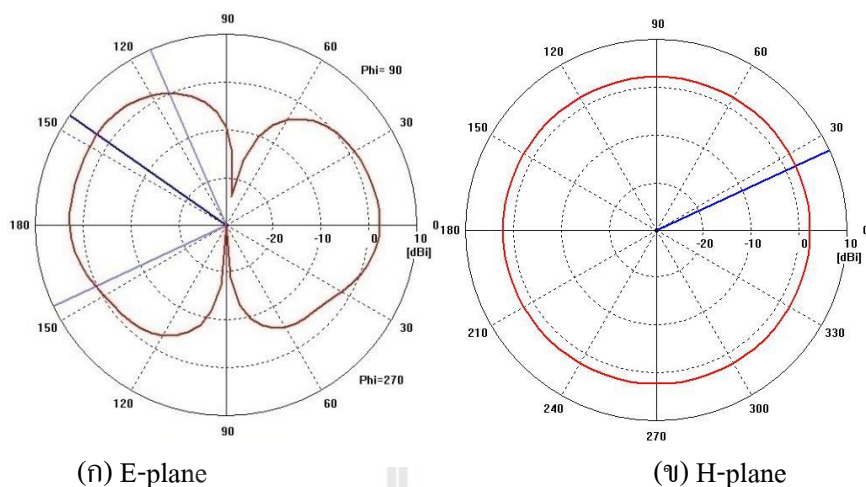
เมื่อพิจารณารูปแบบการแผ่กำลังงานที่ความถี่ 3.1 GHz 6.5 GHz และ 9 GHz พบว่าลักษณะแบบรูปการแผ่กำลังงานแต่ละความถี่ใกล้เคียงกัน หมายความว่าไม่ว่าจะใช้งานที่ความถี่ใดก็ตาม ลักษณะการแผ่กระจายคลื่นจะมีลักษณะการแผ่กระจายคลื่นรอบตัวในระนาบเดียว แสดงดังรูปที่ 3.10 ถึง 3.12 ตามลำดับ



รูปที่ 3.10 แบบรูปการแผ่กำลังงานสายอากาศ เมื่อ $r = 10 \text{ mm}$, $h = 0.3 \text{ mm}$, $W = 42 \text{ mm}$ และ $L = 50 \text{ mm}$ ที่ความถี่ 3.1 GHz



รูปที่ 3.11 แบบรูปการแผ่กำลังงานสายอากาศ เมื่อ $r = 10 \text{ mm}$, $h = 0.3 \text{ mm}$, $W = 42 \text{ mm}$ และ $L = 50 \text{ mm}$ ที่ความถี่ 6.5 GHz



รูปที่ 3.12 แบบรูปการแผ่กำลังงานสายอากาศ เมื่อ $r = 10$ mm, $h = 0.3$ mm, $W = 42$ mm และ $L = 50$ mm ที่ความถี่ 9 GHz

จากผลการจำลองแบบข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดในการออกแบบสายอากาศย่านอัลตราไวด์แบนด์ โดยทำให้สายอากาศโมนโพลสามารถทำงานครอบคลุมย่านความถี่ 3.1 - 10.6 GHz มีอัตราขยายสูงขึ้น และใช้ความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งใช้การออกแบบเป็น 5 ย่านตามมาตรฐาน อัลตราไวด์แบนด์ โดยมีหลักการออกแบบคือปรับเปลี่ยนรูปร่างของตัวป้อนสัญญาณและรูปร่างของตัวแผ่กระจายกำลังงาน โดยจะใช้การออกแบบที่ความถี่กลางของแต่ละย่านความถี่

3.3 การออกแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์

สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบหมุน (Y.Tawk, C.G. Christodoulou, pp. 1378-1381, 2009) สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศได้ด้วยการใช้สายอากาศ 2 ตัวทำงานคนละช่วงความถี่ โดยเลือกย่านความถี่ด้วยแบบหมุน ข้อดีคือสามารถเลือกย่านการใช้งานได้ง่ายโดยมี 2 ย่าน ข้อเสียไม่ครอบคลุมความถี่ย่านอัลตราไวด์แบนด์ และการแผ่กระจายสัญญาณไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอการออกแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ให้ครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์แบบใหม่โดยใช้สายอากาศ 5 ตัว (Zhi Ning Chen, 2007) โดยใช้ระบบควบคุมการหมุน เพื่อให้มีอัตราขยายและแบนด์วิดท์ที่ดีขึ้น จากข้อเท็จจริงนี้เราได้ศึกษาและปรับเปลี่ยนโครงสร้างสายอากาศ และศึกษาผลกระทบของรูปแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศตามที่ต้องการช่วงความถี่ใช้งานของสายอากาศแบบ

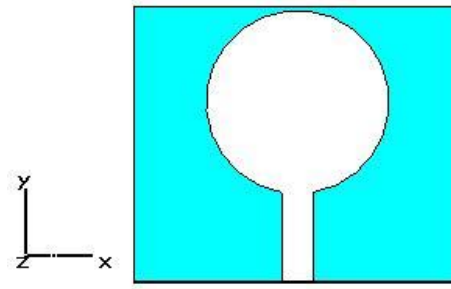
ปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ช่วงความถี่ใช้งานของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์

ลำดับสายอากาศ	ครอบคลุมย่านความถี่ (GHz)
สายอากาศตัวที่ 1	3.1 – 4
สายอากาศตัวที่ 2	4 – 5.0
สายอากาศตัวที่ 3	5 – 6.3
สายอากาศตัวที่ 4	6.3 – 8
สายอากาศตัวที่ 5	8.0 – 10.6

3.3.1 การปรับปรุงร่างตัวป้อนสำหรับสายอากาศโมโพลแบบวงกลม

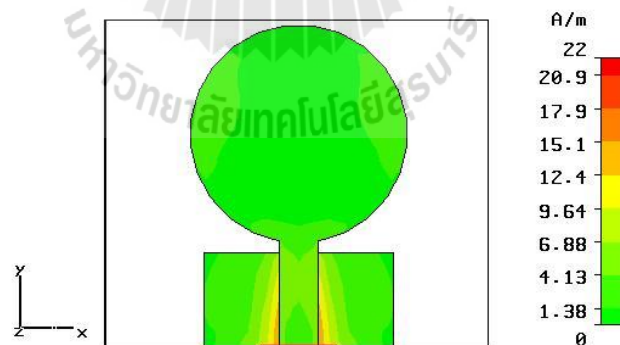
การออกแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่โดยแบ่งสายอากาศย่อยได้ 5 ตัว ซึ่งแบ่งตาม (S.M. Naveen, R.M. Vani and P.V. Hunagund, 2007) เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์มาตรฐานของ WiMedia ได้แบ่งช่วงความถี่ออกเป็น 5 ช่วงแบนด์ความถี่ โดยครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์ 3.1-10.6 GHz พิจารณาการปรับเปลี่ยนตัวป้อนจากการป้อนแบบไมโครสตริป (microstrip line) ในรูปที่ 3.13 ซึ่งมีความเข้มของกระแสอยู่บริเวณด้านล่างของตัวป้อนสัญญาณซึ่งแสดงดังรูป 3.14 เป็นตัวป้อนสัญญาณให้มีลักษณะดังรูปที่ 3.15 พบว่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศจะเปลี่ยนไป และมีแบนด์วิดท์แคบลง ดังรูปที่ 3.17 ถ้าพิจารณาในกรณีของอัตราขยาย พบว่าการปรับเปลี่ยนตัวป้อนทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นจาก 3.91 dB เป็น 7.51 dB แสดงดังรูปที่ 3.16 ดังนั้นในลำดับต่อไปก็จะทำการปรับลดขนาดของตัวป้อนสัญญาณให้เหมาะสมของแต่ละย่านความถี่



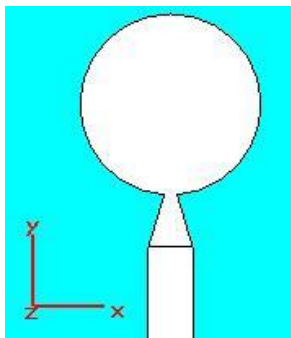
รูปที่ 3.13 โครงสร้างสายอากาศไมโนโพลที่ป้อนด้วยสายส่งไมโครสตริป ที่ความถี่ 5.65 GHz

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศไมโนโพล

พารามิเตอร์ของสายอากาศไมโนโพล	ขนาด(mm.)
h : ระยะห่างขอบล่างของแพตช์กับขอบบนของระนาบกราวด์	0.3
$L1$: ความสูงของระนาบกราวด์	20
w_1 : ความกว้างของตัวป้อน	2.6
W : ความกว้างทั้งหมดของระนาบกราวด์	42
r : รัศมีของแพตช์วงกลม	6
L : ความสูงทั้งหมดของสายอากาศ	50



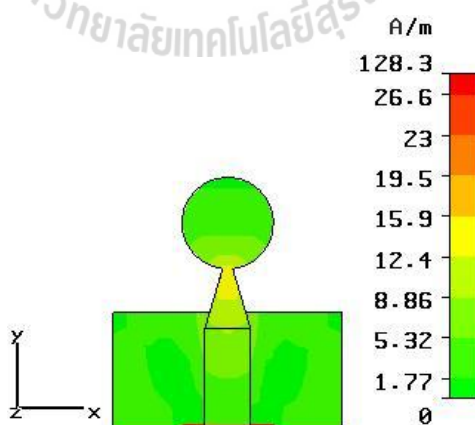
รูปที่ 3.14 การแจกแจงกระแสของสายอากาศไมโนโพลแบบวงกลม ที่ความถี่ 5.65 GHz



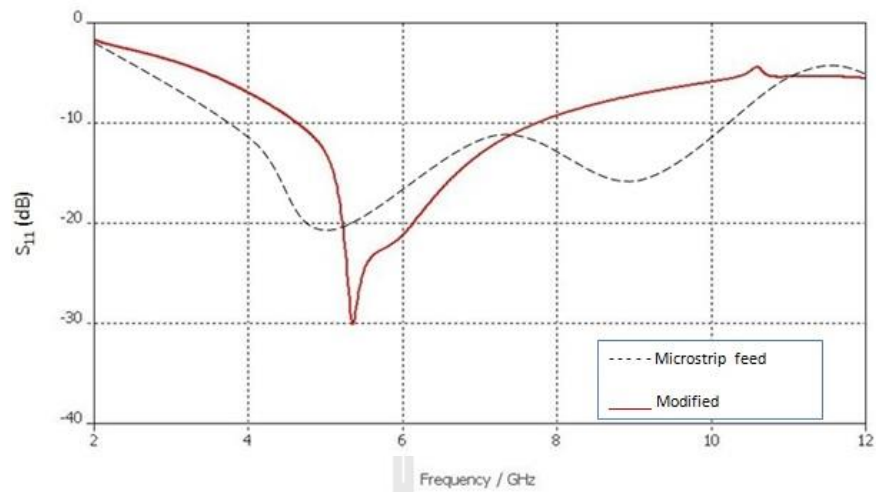
รูปที่ 3.15 โครงสร้างสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลมหลังจากปรับตัวป้อนความถี่ 5.65 GHz

ตารางที่ 3.4 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลมหลังจากปรับตัวป้อนความถี่ 5.65 GHz

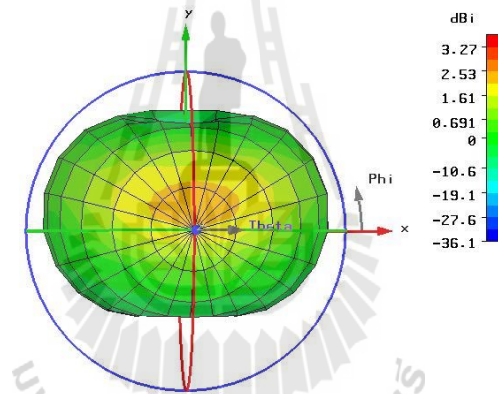
พารามิเตอร์ของสายอากาศไดโพล	ขนาด (mm.)
h : ระยะห่างขอบล่างของแพตช์กับขอบบนของระนาบกราวด์	0.3
$L1$: ความสูงของระนาบกราวด์	20
w_1 : ความกว้างของสายตัวนำ	2.6
W : ความกว้างทั้งหมดของระนาบกราวด์	42
r : รัศมีของแพตช์วงกลม	6
L : ความสูงทั้งหมดของสายอากาศ	50



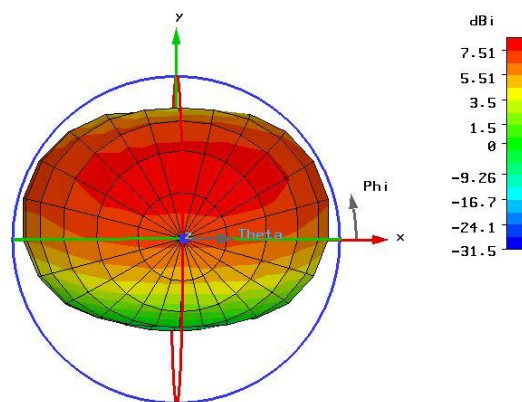
รูปที่ 3.16 การแจกแจงกระแสของสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลม หลังจากปรับตัวป้อนที่ความถี่ 5.65 GHz



รูปที่ 3.17 ค่า S_{11} ของสายอากาศโมโนโพล แบบใช้สายส่งไมโครสตริป และแบบปรับตัวป้อน



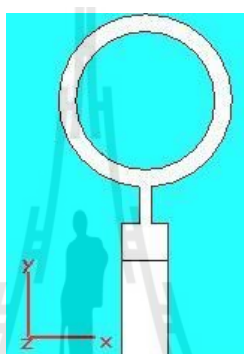
รูปที่ 3.18 แบบรูปการแผ่พลังงานสำหรับสายอากาศโมโนโพลแบบวงกลมที่ใช้ตัวป้อนแบบไมโครสตริป



รูปที่ 3.19 แบบรูปการแผ่พลังงานสำหรับสายอากาศแบบโมโนโพลแบบวงกลม หลังจากปรับตัวป้อนที่ความถี่ 5.65 GHz

3.3.2 การปรับรูปร่างตัวป้อนสำหรับสายอากาศโมโนโพลแบบวงแหวน

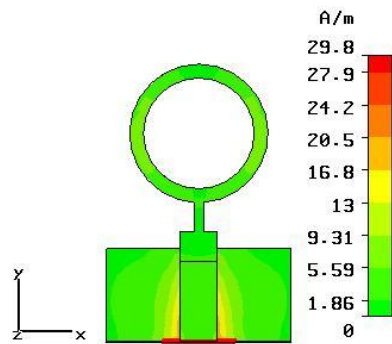
วิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้รูปร่างตัวแผ่กำลังงาน 2 แบบคือ แบบวงกลมและวงแหวน สำหรับการปรับรูปร่างของตัวแผ่กำลังงานจากวงกลมมาเป็นวงแหวนแสดงในรูปที่ 3.20 ซึ่งมีความเข้มของกระแสอยู่บริเวณด้านล่างของตัวป้อน แสดงดังรูปที่ 3.21 พบว่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศเปลี่ยนไปโดยจะมีแบนด์วิดท์แคบลง ดังรูปที่ 3.23 ถ้าพิจารณาในกรณีของอัตราขยาย พบว่าการปรับเปลี่ยนตัวป้อนทำให้อัตราขยายเพิ่มขึ้นจาก 3.91 dB เป็น 8.51 dB แสดงดังรูปที่ 3.18 และ 3.19 ตามลำดับ



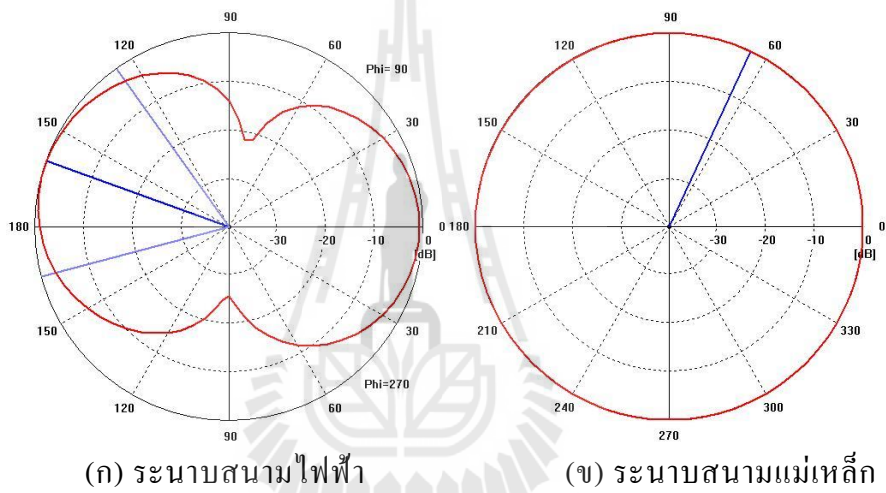
รูปที่ 3.20 โครงสร้างสายอากาศโมโนโพลแบบวงแหวน

ตารางที่ 3.5 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศโมโนโพลแบบวงแหวน

พารามิเตอร์ของสายอากาศไดโพล	ขนาด(mm.)
h : ระยะห่างขอบล่างของแพตช์กับขอบบนของระนาบกราวด์	0.3
$L1$: ความสูงของระนาบกราวด์	20
w_1 : ความกว้างของสายตัวนำ	2.6
W : ความกว้างทั้งหมดของระนาบกราวด์	42
r : รัศมีของแพตช์วงกลม	7.5
L : ความสูงทั้งหมดของสายอากาศ	50



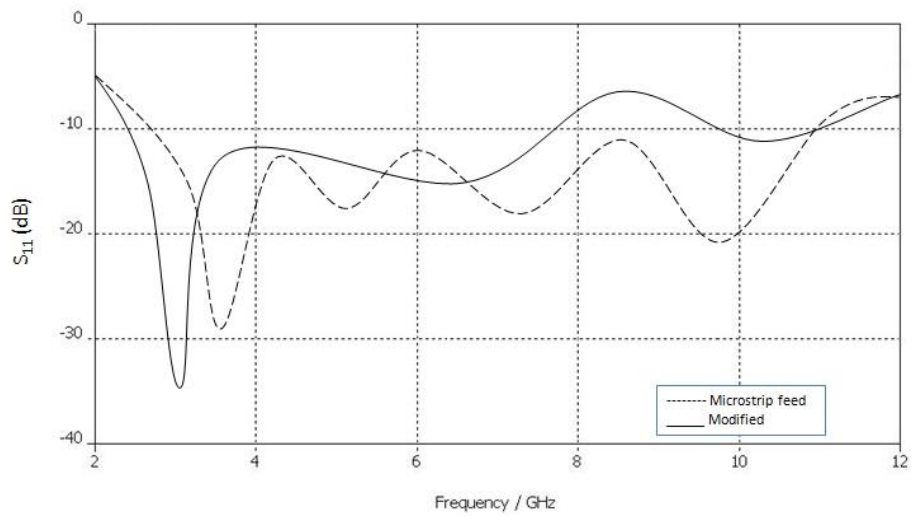
รูปที่ 3.21 การแจกแจงกระแสของสายอากาศโมโนโพลแบบวงแหวน



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.22 แบบรูปการแผ่พลังงานสำหรับสายอากาศแบบ โมโนโพลแบบวงแหวน



รูปที่ 3.23 ค่า S_{11} ของสายอากาศโมโนโพลแบบวงแหวน

3.3.3 การปรับปรุงร่างของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่

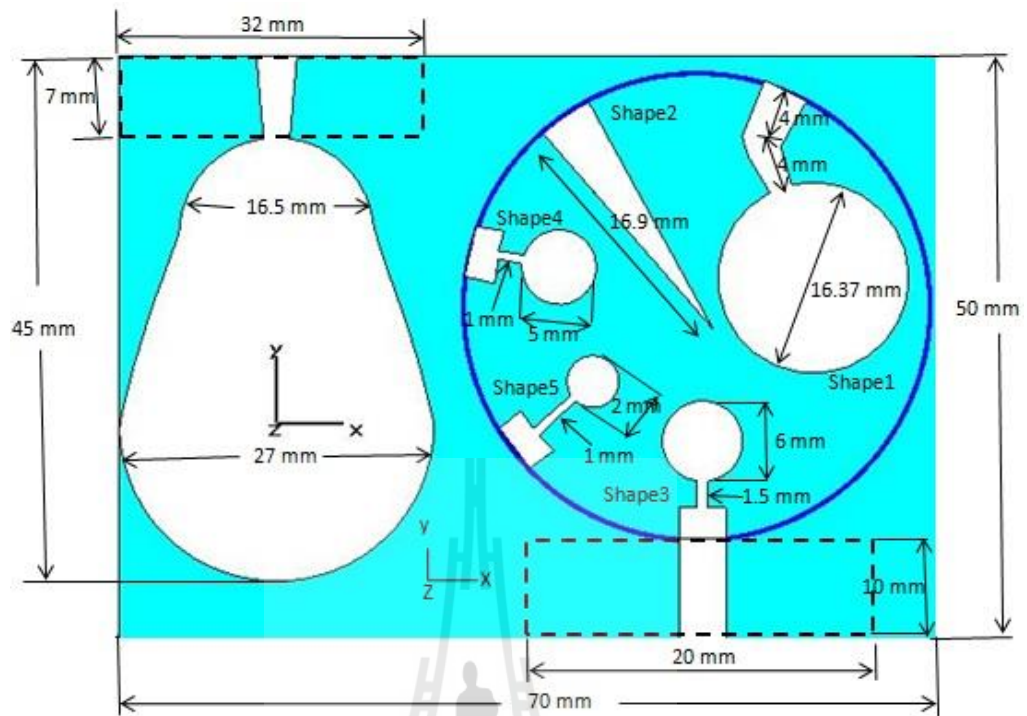
การพัฒนาเกี่ยวกับเทคโนโลยีวิทยุรู้คิดเพื่อจัดสรรคลื่นความถี่ใช้งาน ประกอบไปด้วย ส่วนสายอากาศตรวจคลื่นจับสัญญาณ (Sensing Antenna) ตัวตรวจจับคลื่นความถี่ (Spectrum Sensing) ตัววิเคราะห์ (Spectrum Analysis) ตัวตัดสินใจเลือกความถี่ (Spectrum Decision) และส่วนสายอากาศปรับเปลี่ยนความถี่ (Reconfigurable Antenna) ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงออกแบบระบบสายอากาศแบ่งเป็น 2 ส่วนวางบนแผ่นวงจรพิมพ์เดียวกัน แสดงดังรูปที่ 3.24 โดยด้านซ้ายจะเป็นสายอากาศตรวจคลื่นจับสัญญาณ และด้านขวาเป็นสายอากาศปรับเปลี่ยนความถี่ ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ สามารถแบ่งการทำงานเป็น 5 ย่านความถี่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบสายอากาศ 5 ตัวสำหรับปรับเปลี่ยนการทำงาน

สายอากาศปรับเปลี่ยนความถี่แบบ A

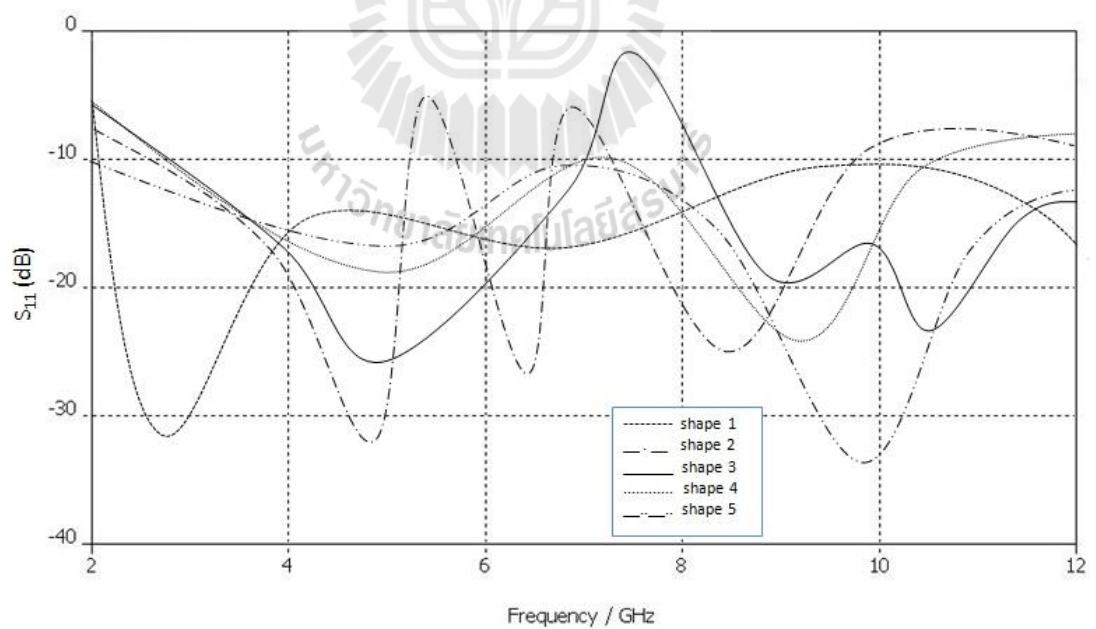
ในการออกแบบเบื้องต้นจะเลือกใช้สายอากาศตรวจคลื่นจับสัญญาณตาม (Y. Tawk, J. Costantine, K. Avery and C.G. Christodoulou, 2011) สำหรับสายอากาศปรับเปลี่ยนความถี่จะใช้สายอากาศโมโนโพลแบบวงกลมร่วมกับการปรับปรุงร่างตัวป้อน พร้อมปรับระยะ h และปรับตำแหน่งสายอากาศ โดยการหาตำแหน่งสายอากาศจะพิจารณาจากสเต็ปปิ้งมอเตอร์ซึ่งสามารถหมุนได้สเต็ปละ 7.5 องศา ดังนั้นจึงกำหนดให้สายอากาศอยู่ในตำแหน่งต่างๆดังตารางที่ 3.6 ขนาดสายอากาศแสดงดังรูปที่ 3.24 จากผลการจำลองแบบ พบว่า เมื่อนำสายอากาศมาออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์เดียวกัน จะเกิดการเหนี่ยวนำกับสายอากาศข้างเคียง จึงทำให้ความถี่ของสายอากาศแต่ละตัวเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูปที่ 3.25

ตารางที่ 3.6 การวางสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบ A ตามองศาของสเต็ปปิ้งมอเตอร์

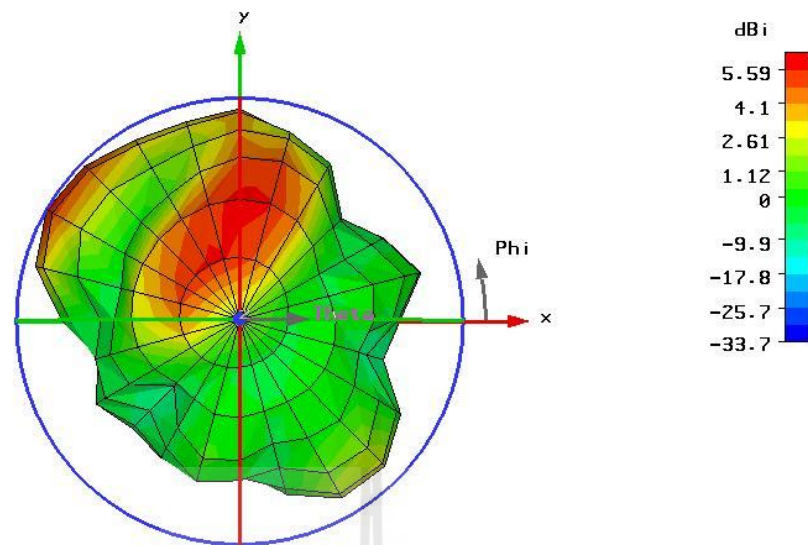
สายอากาศ	จำนวนสเต็ปปิ้งมอเตอร์ (1 STEP = 7.5 องศา)	ตำแหน่งองศาของ สายอากาศ (องศา)
ตัวที่ 1	2	15
ตัวที่ 2	44	330
ตัวที่ 3	24	180
ตัวที่ 4	38	285
ตัวที่ 5	30	225



รูปที่ 3.24 โครงสร้างสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบ A

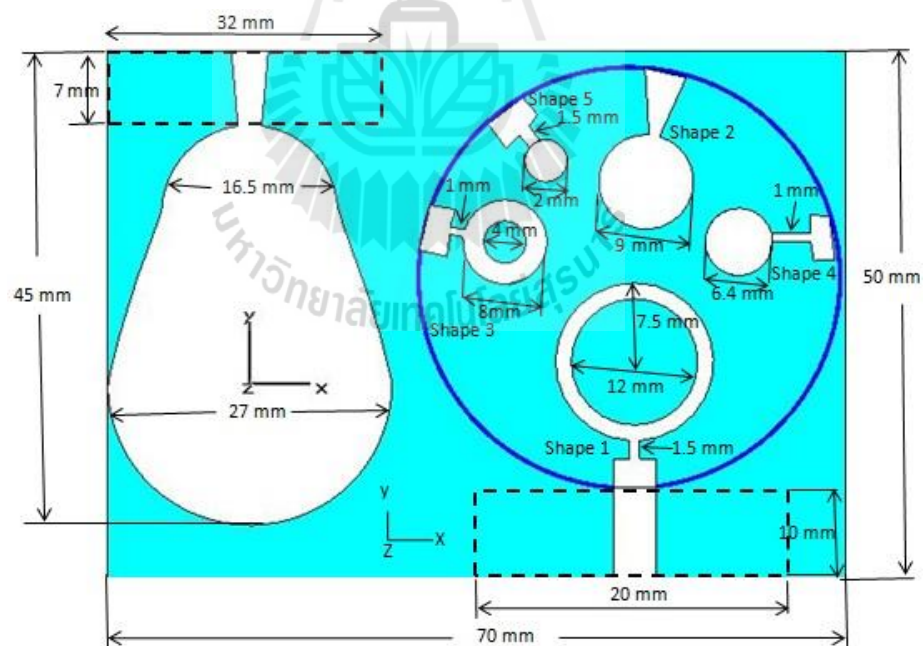


รูปที่ 3.25 ค่า S_{11} ของสายอากาศสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบ A



รูปที่ 3.26 ผลการจำลองแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบ A ที่ความถี่ 7.7 GHz

สายอากาศปรับเปลี่ยนความถี่แบบ B



รูปที่ 3.27 รูปสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบ B

จากการพิจารณาการออกแบบสายอากาศปรับเปลี่ยนความถี่แบบ A ซึ่งเป็นการนำสายอากาศโมนโพลที่ปรับขนาดให้เหมาะสมแต่ละย่านความถี่แล้วมาจัดเรียงลงบนแผ่นวงจรพิมพ์

เดียวกัน ทำให้ค่า S_{11} มีการเปลี่ยนแปลง โดยสายอากาศไม่สามารถทำงานในย่านความถี่ที่ออกแบบไว้ได้ เนื่องจากเกิดการเหนี่ยวนำระหว่างสายอากาศ ต่อมาจึงหาค่าตำแหน่งสายอากาศโดยพิจารณาจาก สเต็ปป์มอเตอร์ใหม่อีกครั้ง พร้อมทั้งปรับเปลี่ยนรูปร่างสายอากาศให้เหมาะสม ดังนั้นจึงกำหนดให้สายอากาศอยู่ในตำแหน่งต่างๆ ดังตารางที่ 3.7 ขนาดสายอากาศแสดงดังรูปที่ 3.27 และผลการจำลองแบบแสดงดังรูปที่ 3.26 พบว่าสายอากาศปรับเปลี่ยนความถี่แบบ B มีความถี่ใช้งานใกล้เคียงความถี่ที่ต้องการออกแบบในบางย่านความถี่เท่านั้น แต่ยังไม่ครอบคลุมทุกย่านความถี่ใช้งาน เนื่องจากสายอากาศตัวที่ใกล้เคียงกันเกิดการเหนี่ยวนำกันขึ้น ทำให้ความถี่ไม่ได้ตามย่านความถี่ใช้งาน เปรียบเทียบค่า S_{11} ดังแสดงในรูปที่ 3.30 ถึง 3.35

ตารางที่ 3.7 การวางสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบ B

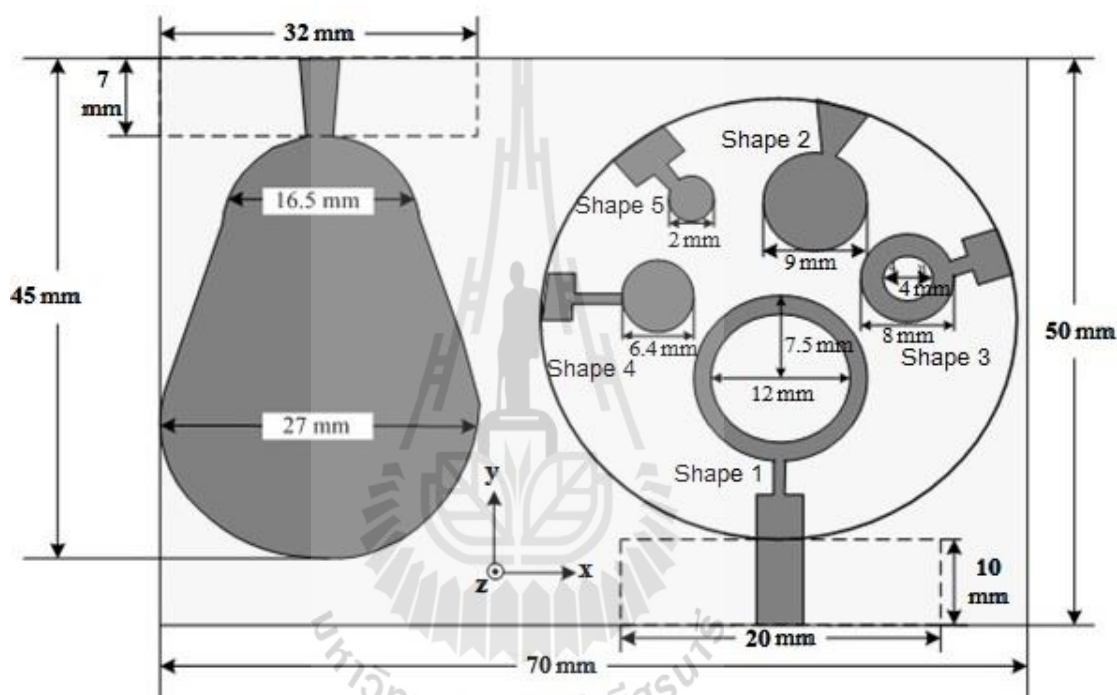
สายอากาศ	จำนวนสเต็ปป์มอเตอร์ (1 STEP=7.5 องศา)	ตำแหน่งองศาของสายอากาศ (องศา)
ตัวที่ 1	24	180
ตัวที่ 2	2	15
ตัวที่ 3	36	270
ตัวที่ 4	10	75
ตัวที่ 5	44	330

สายอากาศปรับเปลี่ยนความถี่แบบ C

จากความรู้ในหัวข้อที่ผ่านมาผู้วิจัยได้ทดลองปรับรูปร่างของตัวป้อนสัญญาณและรูปร่างตัวแผ่พลังงานให้แตกต่างกันดังรูปที่ 3.24 เพื่อลดการเหนี่ยวนำระหว่างสายอากาศ ผู้วิจัยได้ออกแบบสายอากาศแต่ละตัวให้มีรูปร่างแตกต่างกัน โดยปรับตำแหน่งสายอากาศตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 5 ที่มีความถี่ใกล้เคียงกันให้แยกออกจากกัน ให้เอาความถี่อื่นที่ไม่ใกล้เคียงกันมาสับเปลี่ยน พบว่า S_{11} ไม่เป็นไปตามที่ความถี่ที่ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.25 เนื่องจากตำแหน่งของสายอากาศยังคงวางไม่ถูกต้องจึงเป็นเหตุผลให้ปรับตำแหน่งการวางของสายอากาศเป็นครั้งที่สอง และทดลองปรับรูปร่างของตัวแผ่กระจายกำลังงานเป็นแบบวงแหวนดังรูปที่ 3.27 พบว่า S_{11} ยังมีค่าไม่ต่ำมาก ดังรูปที่ 3.30 ถึง 3.34 จึงทำการปรับตำแหน่งการวางของสายอากาศแต่รูปร่างยังคงเหมือนครั้งที่สองดังรูปที่ 3.28 ถ้าพิจารณา แบบรูปการแผ่กำลังงานพบว่า เป็นแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (omnidirectional) แสดงดังรูปที่ 3.29 และพบว่า S_{11} เป็นไปตามความถี่ที่ได้ออกแบบไว้ในความถี่ย่านอัลตราไวด์

แบนด์ ดังรูป 3.30 ถึง 3.34 ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ดีที่สุดที่ความถี่ใช้งาน โดยได้อัตราขยายที่ 8.29 dB

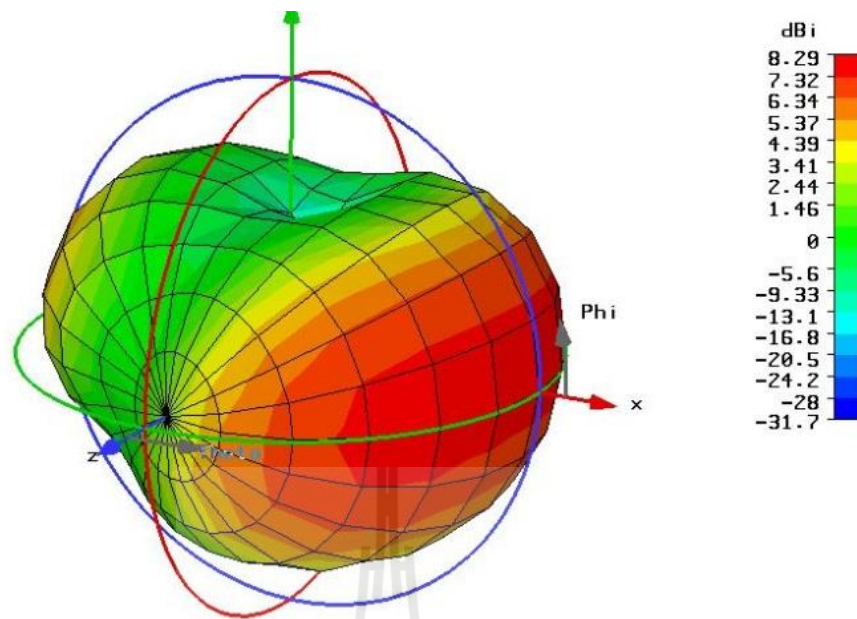
รูปที่ 3.35 แสดงค่า S_{11} ของสายอากาศแบบตรวจจับความถี่ทั้งกรณีสายอากาศต้นเดียวและกรณีวางบนแผ่นวงจรเดียวกันกับสายอากาศปรับเปลี่ยนความถี่ พบว่าค่า S_{11} ของสายอากาศตรวจจับความถี่สามารถทำงานครอบคลุมย่านความถี่ 3.1 - 10.6 GHz โดยกำหนดให้สายอากาศอยู่ในตำแหน่งต่างๆ ดังตารางที่ 3.8



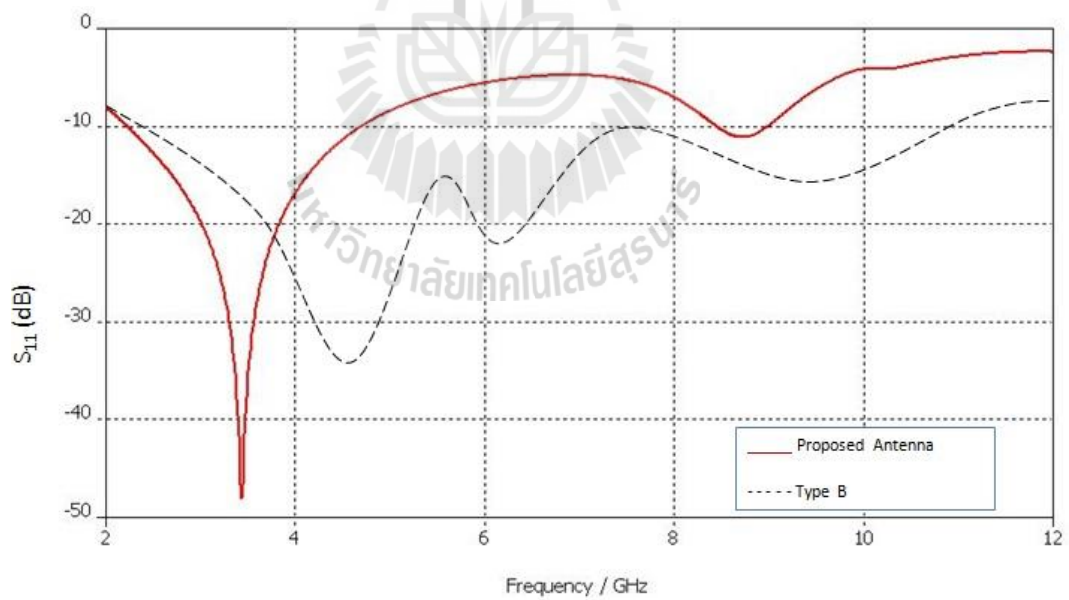
รูปที่ 3.28 สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ที่ปรับเปลี่ยนรูปร่างแบบ C (สายอากาศที่นำเสนอ)

ตารางที่ 3.8 การวางสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่แบบ C

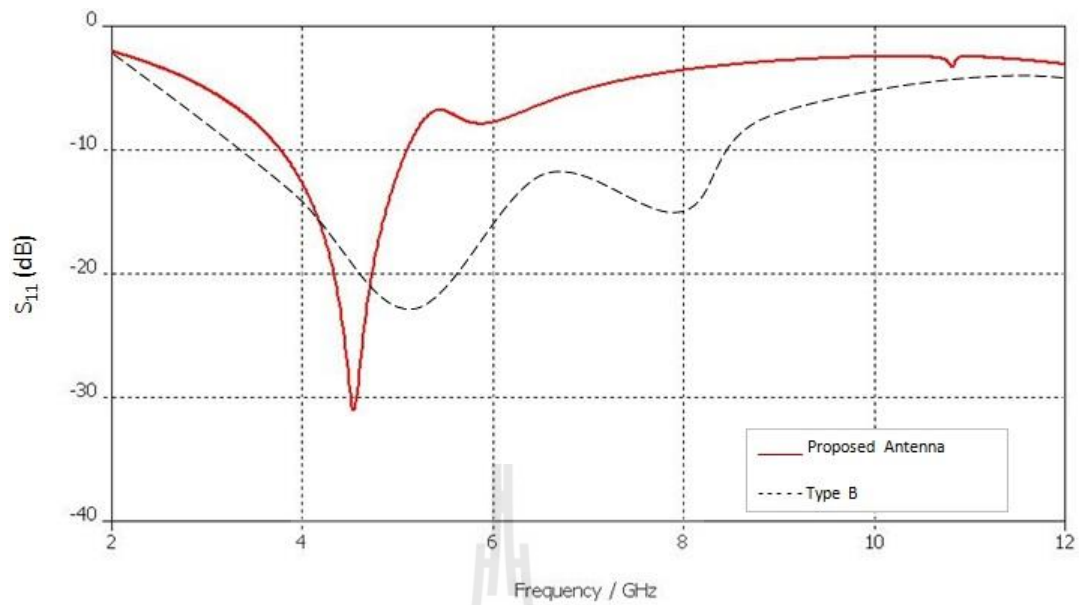
สายอากาศ	จำนวนสเต็ปปิ้งมอเตอร์ (1 STEP=7.5 องศา)	ตำแหน่งองศาของสายอากาศ (องศา)
ตัวที่ 1	24	180
ตัวที่ 2	2	15
ตัวที่ 3	10	75
ตัวที่ 4	36	270
ตัวที่ 5	44	330



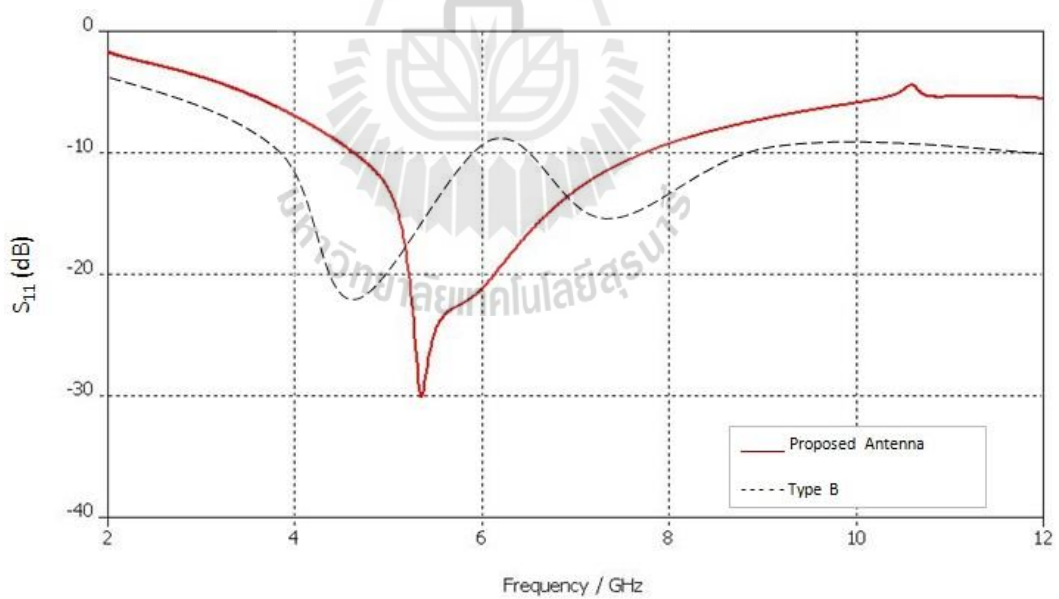
รูปที่ 3.29 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ที่นำเสนอที่ความถี่ 3.55 GHz ได้อัตราขยาย 8.29 dB



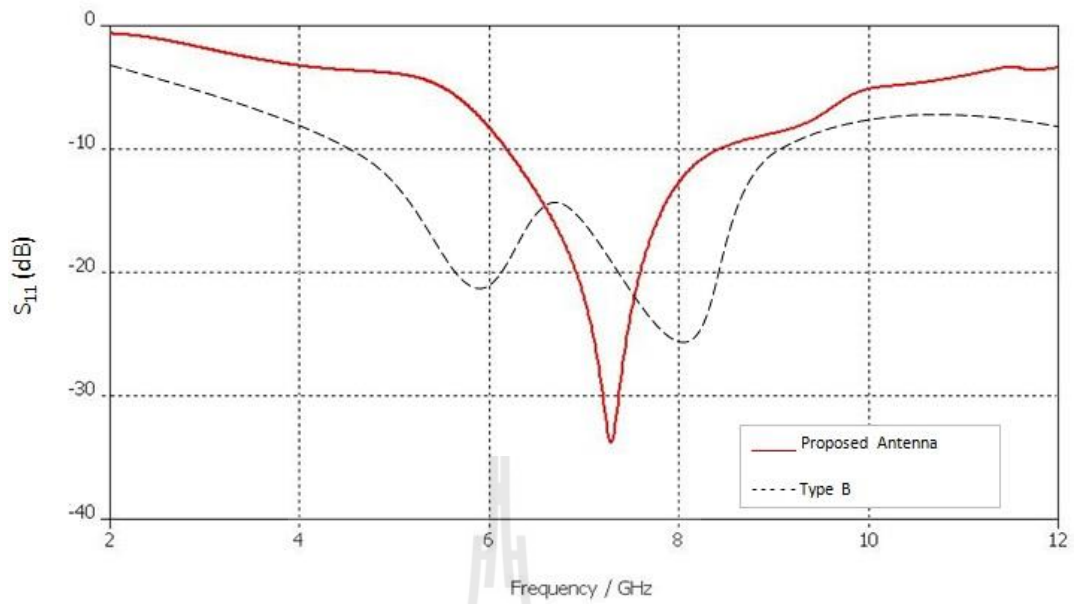
รูปที่ 3.30 ค่า S_{11} ของสายอากาศสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ที่ยังไม่ปรับรูปร่าง และสายอากาศแบบปรับรูปร่างแล้วเสร็จ Shape 1



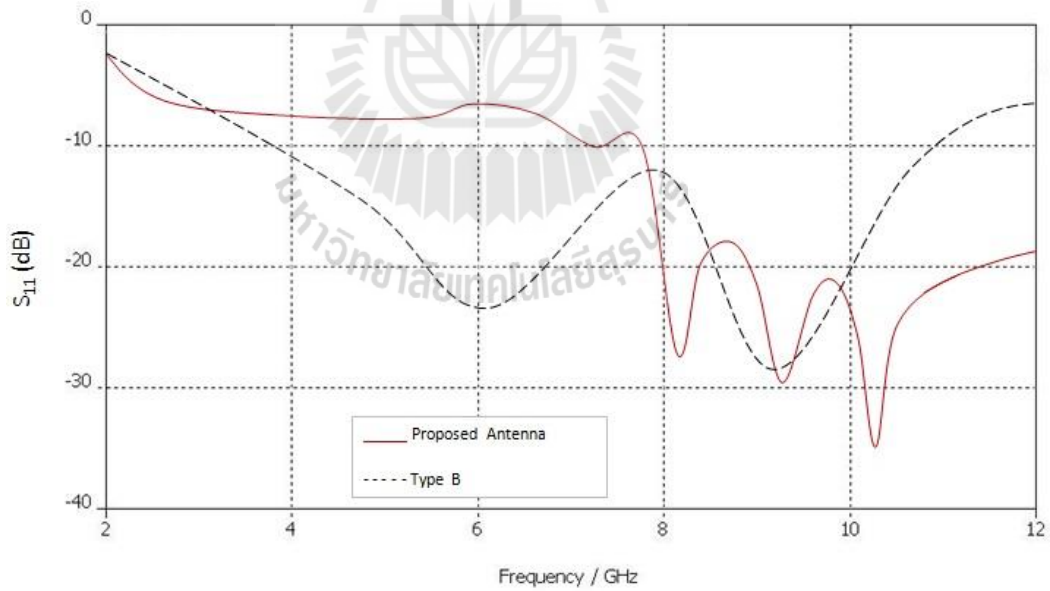
รูปที่ 3.31 ค่า S_{11} ของสายอากาศสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ที่ยังไม่ปรับรูปร่างและสายอากาศแบบปรับรูปร่างแล้วเสร็จ Shape 2



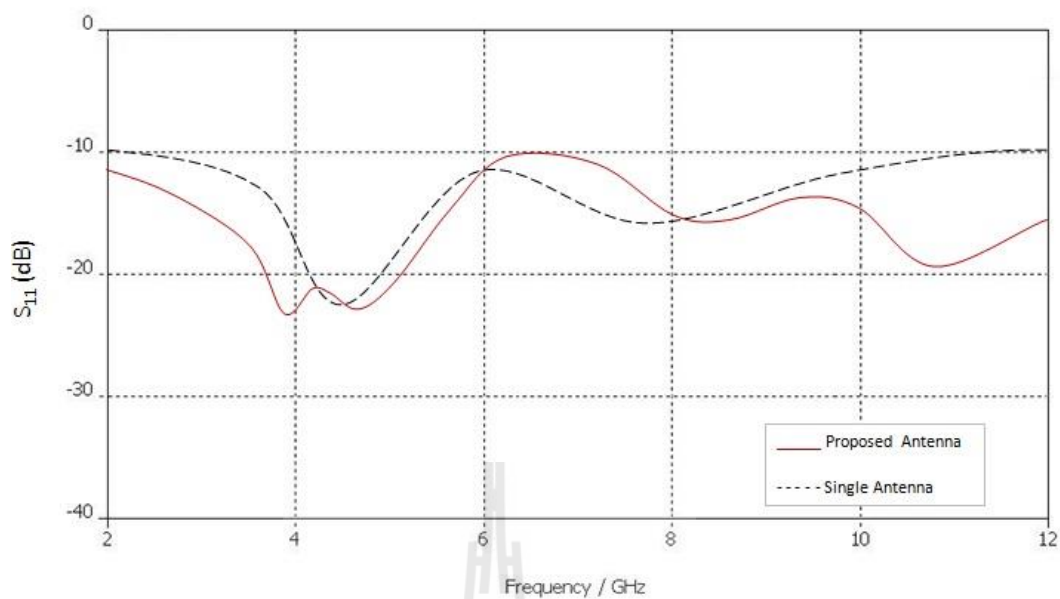
รูปที่ 3.32 ค่า S_{11} ของสายอากาศสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ที่ยังไม่ปรับรูปร่างและสายอากาศแบบปรับรูปร่างแล้วเสร็จ Shape 3



รูปที่ 3.33 ค่า S_{11} ของสายอากาศสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ที่ยังไม่ปรับรูปร่างและสายอากาศแบบปรับรูปร่างแล้วเสร็จ Shape 4

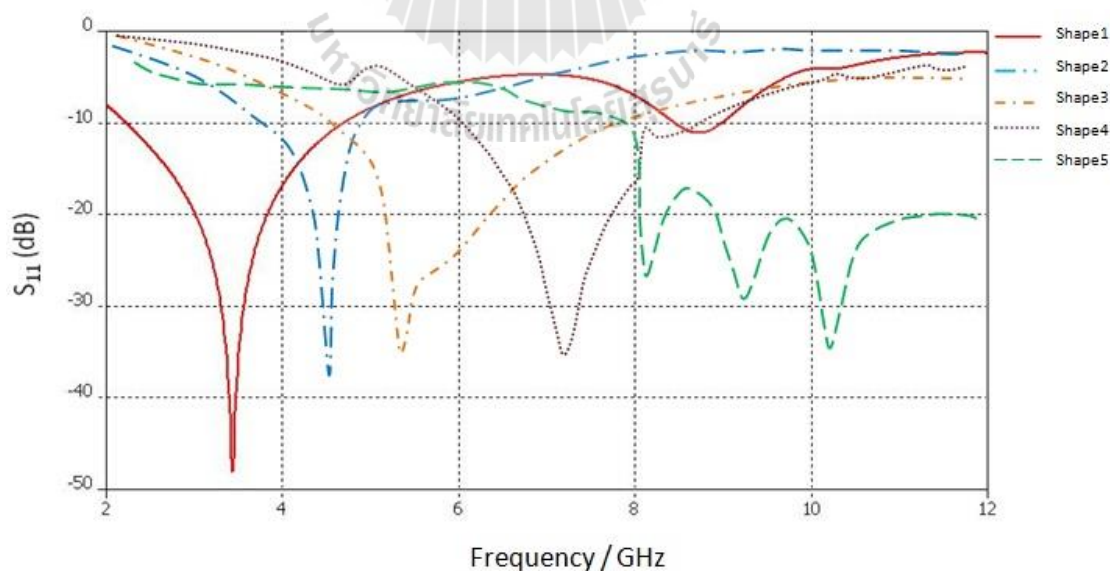


รูปที่ 3.34 ค่า S_{11} ของสายอากาศสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ที่ยังไม่ปรับรูปร่างและสายอากาศแบบปรับรูปร่างแล้วเสร็จ Shape 5

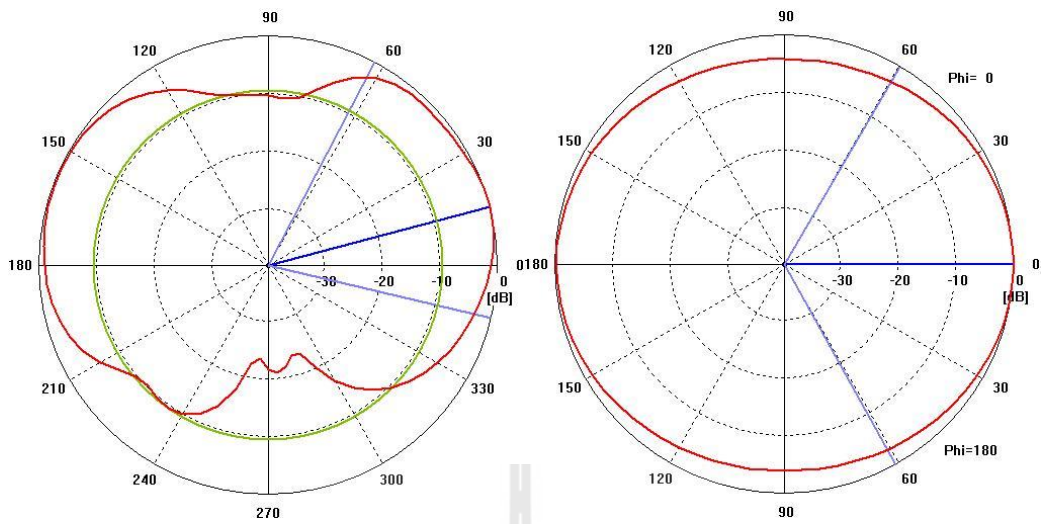


รูปที่ 3.35 ค่า S_{11} ของสายอากาศแบบตรวจจับความถี่

ผลการปรับสายอากาศ ทำให้ได้สายอากาศต้นแบบ เพื่อนำไปใช้ในการสื่อสารย่านอัลตราไวด์แบนด์ความถี่ 3.1 GHz - 10.6 GHz ดังแสดงในรูปที่ 3.36 และแบบรูปการแผ่กำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 3.37 ถึง 3.41



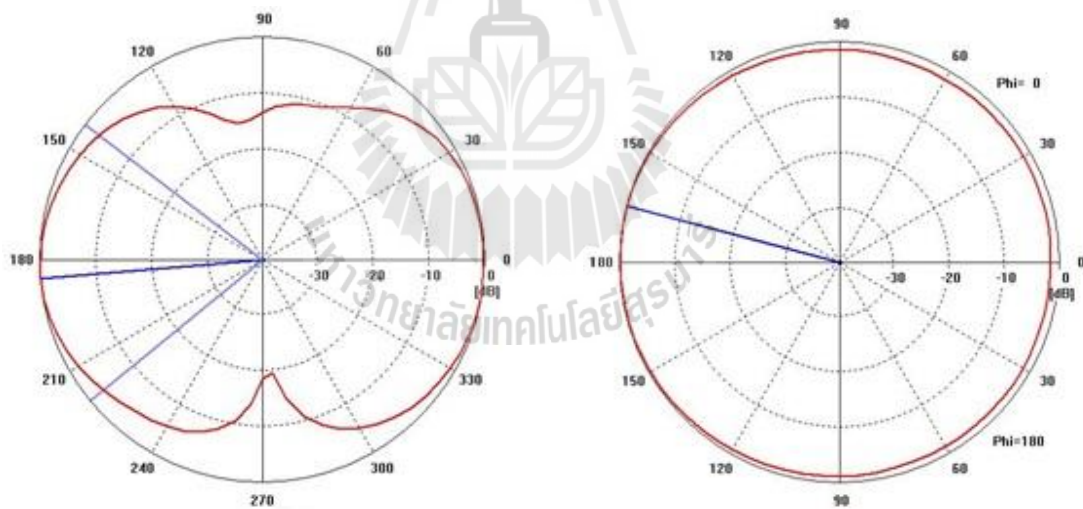
รูปที่ 3.36 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่รวม



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

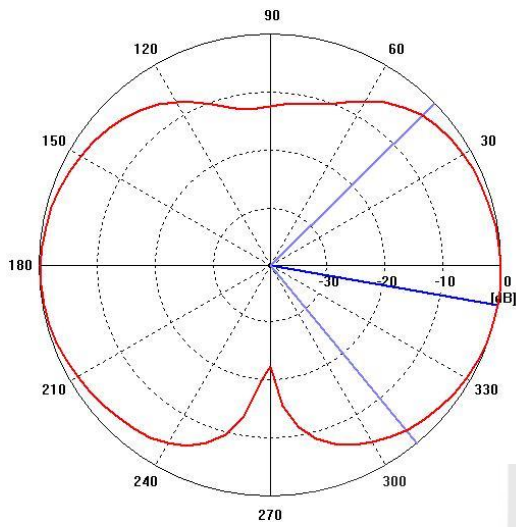
รูปที่ 3.37 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศตัวที่ 1



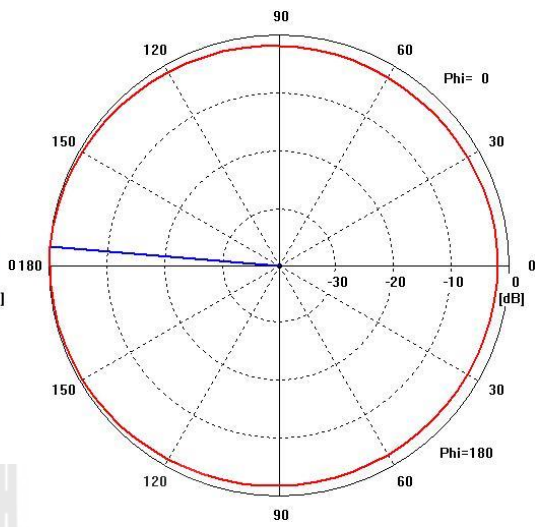
(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.38 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศตัวที่ 2

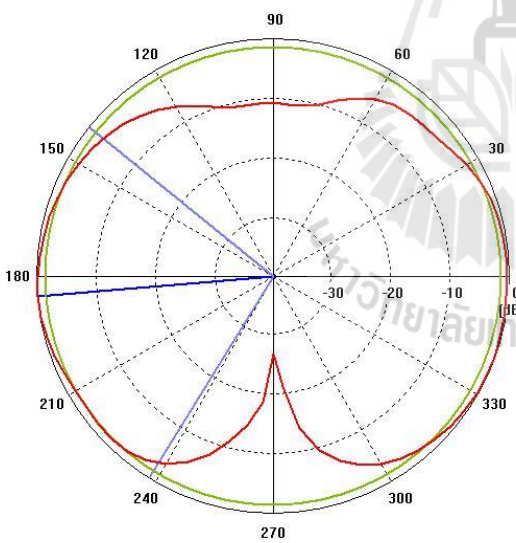


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

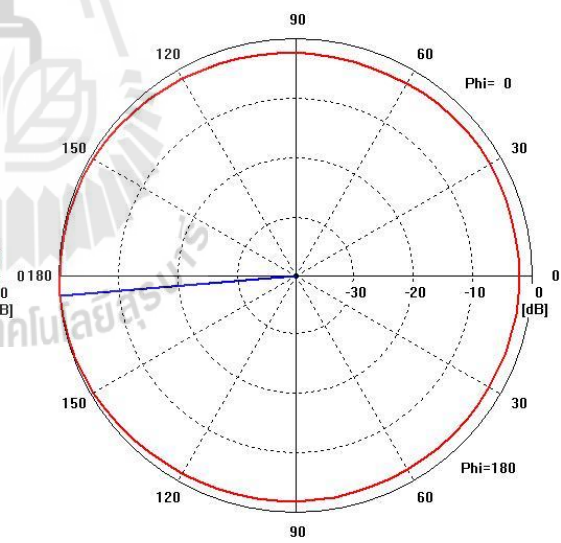


(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.39 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศตัวที่ 3

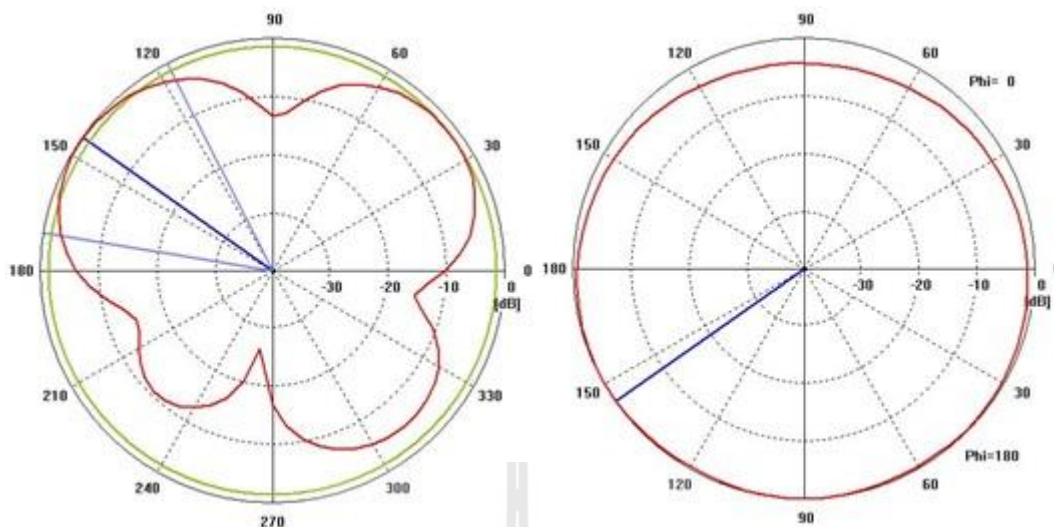


(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า



(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 3.40 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศตัวที่ 4



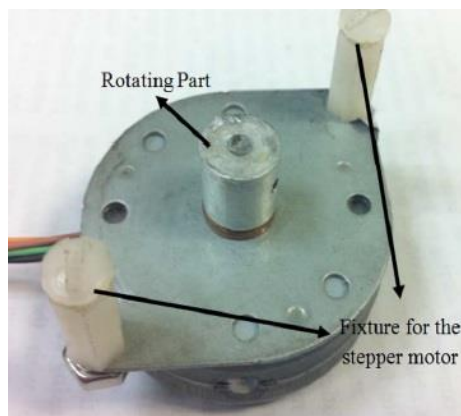
(ก) ระบายสนามไฟฟ้า

(ข) ระบายสนามแม่เหล็ก

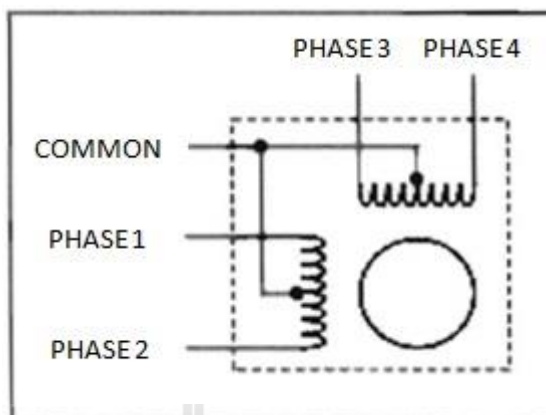
รูปที่ 3.41 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศตัวที่ 5

3.4 การทำงานของชุดสแต็ปปีงมอเตอร์

ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงรายละเอียดในการควบคุมทิศทางของสแต็ปปีงมอเตอร์ โดยสแต็ปปีงมอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบ 5 สาย 4 เฟส ซึ่งจะมีสายร่วม (Common) 1 สาย และอีก 4 สายเป็นสายเฟสใช้ในการควบคุมการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์ กล่าวคือ เมื่อทำการป้อนกระแสให้ไหลผ่านขดลวดที่ละขดเรียงกันไปจะทำให้มอเตอร์เกิดการหมุนขึ้น เมื่อต้องการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของสแต็ปปีงมอเตอร์ สามารถทำได้โดยเปลี่ยนลำดับการป้อนกระแส



รูปที่ 3.42 สแต็ปปีงมอเตอร์ที่มีการหมุนสแต็ปละ 7.5 องศา



รูปที่ 3.43 วงจรภายในสเต็ปป์มอเตอร์แบบ 5 สาย 4 เฟส

ในการขับสเต็ปป์มอเตอร์ สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ แบบ Full Step และแบบ Half Step โดยการขับสเต็ปป์มอเตอร์แบบ Half Step จะมีความละเอียดมากกว่าแบบ Full Step โดยการขับสเต็ปป์มอเตอร์ ทั้ง 2 แบบ ทำโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้ขดลวดที่ละขดเรียงกันไป แสดงได้ดังตารางที่ 3.9 และ 3.10

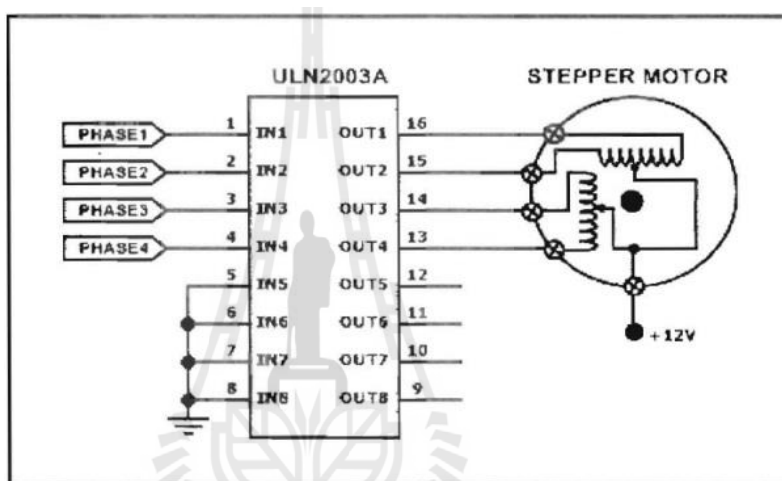
ตารางที่ 3.9 การขับแบบ Full Step

Full Step	Phase1	Phase2	Phase3	Phase4
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

ตารางที่ 3.10 การขับแบบ Half Step

Half Step	Phase1	Phase2	Phase3	Phase4
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

ในการควบคุมสเต็ปปีงมอเตอร์ เนื่องจากสเต็ปปีงมอเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูงในการทำงาน ดังนั้นจึงไม่สามารถต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง จำเป็นต้องใช้ไอซีเบอร์ ULN2003APG ซึ่งเป็นตัวไครฟ์เวอร์ที่ใช้ในการขับเพื่อจ่ายกระแสให้กับสเต็ปปีงมอเตอร์และจะมีเอาต์พุตและอินพุตกลับสถานะกัน (อินพุตเป็น 1 เอาต์พุตเท่ากับ 0 และแรงดันอินพุตเป็น 0 แรงดันเอาต์พุตเท่ากับแหล่งจ่าย) โดยวงจรการเชื่อมต่อสำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมทิศทางของสเต็ปปีงมอเตอร์แสดงในรูป 3.44

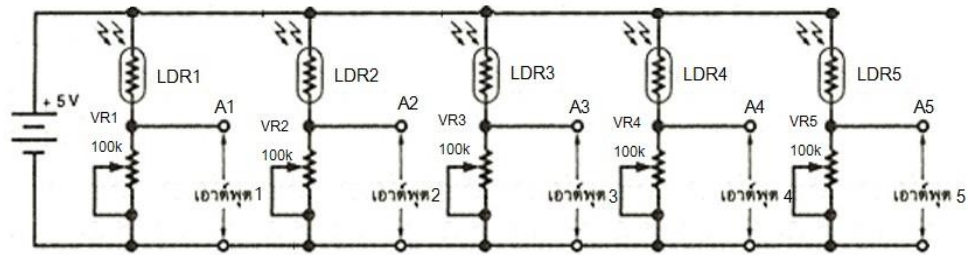


รูปที่ 3.44 วงจรการเชื่อมต่อสำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมทิศทางของสเต็ปปีงมอเตอร์

การเขียนโปรแกรมควบคุมทิศทางของสเต็ปปีงมอเตอร์นั้นจะต้องทำการควบคุมให้กระแสไหลผ่านขดลวดภายในแต่ละขดไล่เรียงกันและจะวนเช่นนั้นไปเรื่อยๆเพื่อให้ง่ายต่อการเขียนโปรแกรมควบคุมในที่นี้จะเลือกใช้ตัวแปรแบบอาร์เรย์เพื่อเก็บค่าข้อมูลเพื่อส่งออกไปควบคุมในการส่งข้อมูลออกไปแต่ละครั้งจะต้องมีการหน่วงเวลา ดังนั้นจึงต้องมีฟังก์ชันหน่วงเวลารวมอยู่ในโปรแกรมนี้ด้วย

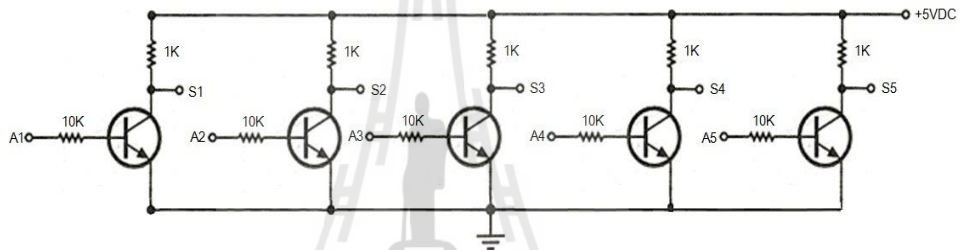
3.4.1 ชุดตรวจจับแสง

การตรวจจับแสงนั้นจะใช้ตัว LDR จำนวน 5 ตัวเป็นตัวตรวจจับแสง ซึ่งทำหน้าที่เป็นภาคพร้อมเอ็นในการทำงานตัวแรก ดังแสดงในรูปที่ 3.45



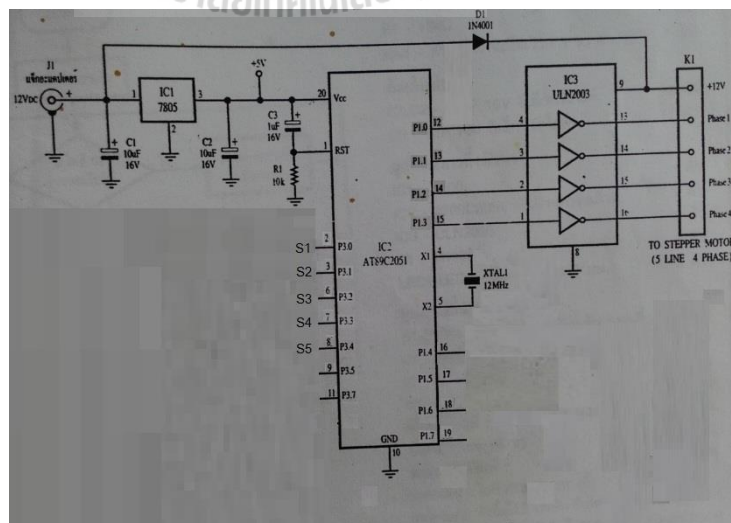
รูปที่ 3.45 วงจรการทำงานของตัวจับแสง

การตรวจจับแสงตัว LDR จำนวน 5 ตัวเมื่อทำการตรวจจับแสง ตัวแอลดีอาร์จะส่งสัญญาณมาที่ทรานซิสเตอร์ โดยข้อมูลสัญญาณ A1 ถึง A5 ดังแสดงในรูปที่ 3.46



รูปที่ 3.46 วงจรการทำงานของป้อนสัญญาณให้ตัวประมวลผลกลาง

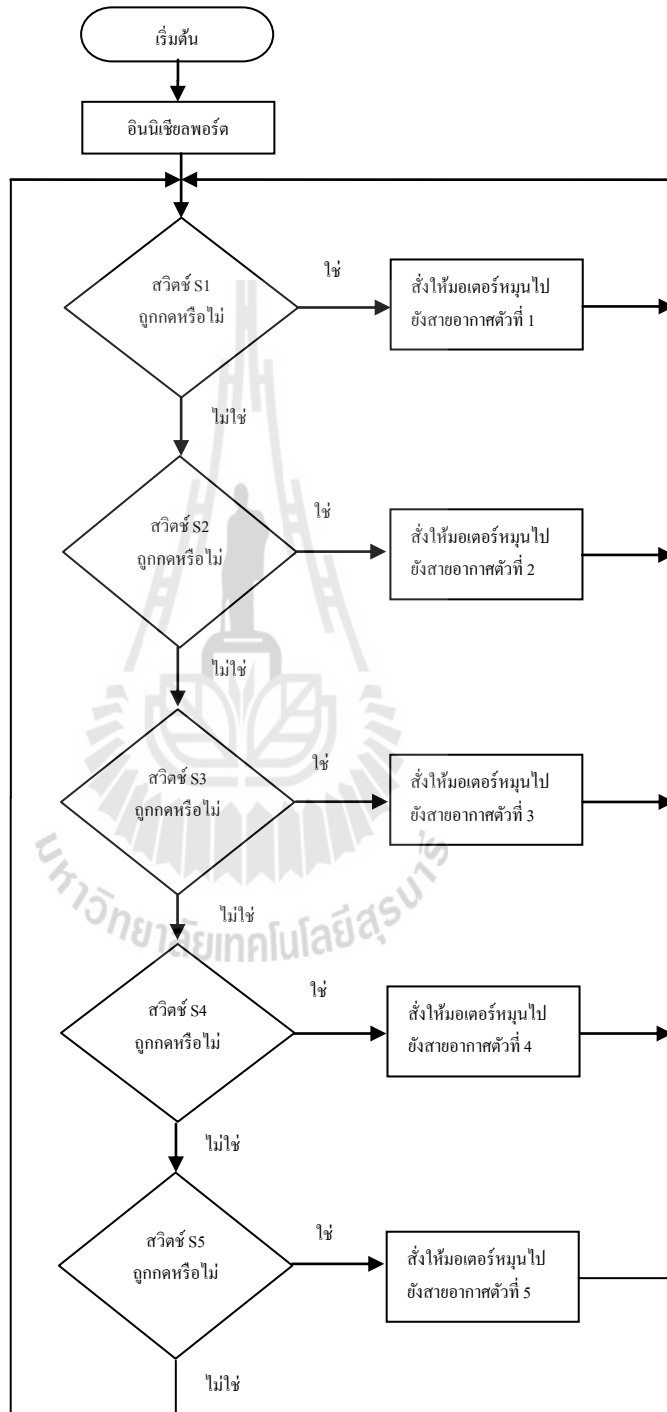
ตัวทรานซิสเตอร์จะส่งข้อมูลสัญญาณ S1 ถึง S5 เข้าไปยังตัวประมวลผลกลาง เพื่อควบคุมสเต็ปป์มอเตอร์ต่อไปดังแสดงในรูปที่ 3.47



รูปที่ 3.47 วงจรการทำงานของตัวประมวลผลกลางควบคุมสเต็ปป์มอเตอร์

3.4.2 ชุดประมวลผล

ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก CPU ตัวประมวลผล ในที่นี่เราใช้ IC AT89C4051 เป็นตัวควบคุมวงจรทั้งหมด การทำงานของชุดควบคุมสแต็ปปีงมอเตอร์แสดงในรูปที่ 3.48



รูปที่ 3.48 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม

การเขียนโปรแกรมเอสเซมบลี ดังแสดงด้านล่าง

; Program stepping motor

```
R_SW      BIT    P3.0  ; Interrupt 0 PIN S0
```

```
STEP      EQU    030H
```

```
;start program
```

```
ORG 0000H
```

```
MOV P1,#00000000B
```

```
MAIN:    MOV  STEP,#00000000B
```

```
MOV P1,STEP
```

```
LOOP:
```

```
JB  R_SW,LOOP
```

```
    AJMP ST1
```

```
ST1:    MOV  R0,#0
```

```
MOV DPTR,#TB1
```

```
LOOP3:  MOV  A,R0
```

```
MOVC A,@A+DPTR
```

```
MOV P1,A
```

```
LCALL DELAY_0
```

```
INC R0
```

```
CJNE R0,#8,LOOP3
```

```
SJMP MAIN
```

```
TB1:    DB  00001001B
```

```
DB  00001100B
```

```

DB 00000110B
DB 00000011B
DB 00001001B
DB 00001100B
DB 00000110B
DB 00000011B

```

```

DELAY_0: MOV R7,#09990000H
DELAY_1: MOV R6,#09990000H
DELAY_2: NOP
        NOP
        NOP
        NOP
NOP
DJNZ R6,DELAY_2
DJNZ R7,DELAY_1
RET

```

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึง โครงสร้างของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ ด้วยการจำลองผลในโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 พบว่าสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์มีข้อดี คือ สามารถเพิ่มอัตรายาย และลดสัญญาณแทรกสอด วิทยานิพนธ์นี้ได้นำสายอากาศโมโนโพลนี้มาแบ่งช่วงความถี่ใช้งานออกเป็น 5 ช่วง จึงได้สายอากาศโมโนโพลทั้งหมด 5 ตัวทำงานครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์ เพื่อพิจารณาข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ มีข้อดี คือ อัตรายายเพียงพอสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งมีค่ามากกว่า 7 dB มีความกว้างลำคลื่นครั้งกำลังที่กว้างเพียงพอ และครอบคลุมความถี่ปฏิบัติการตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz อีกทั้งสามารถทำงานเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.15.3a

บทที่ 4

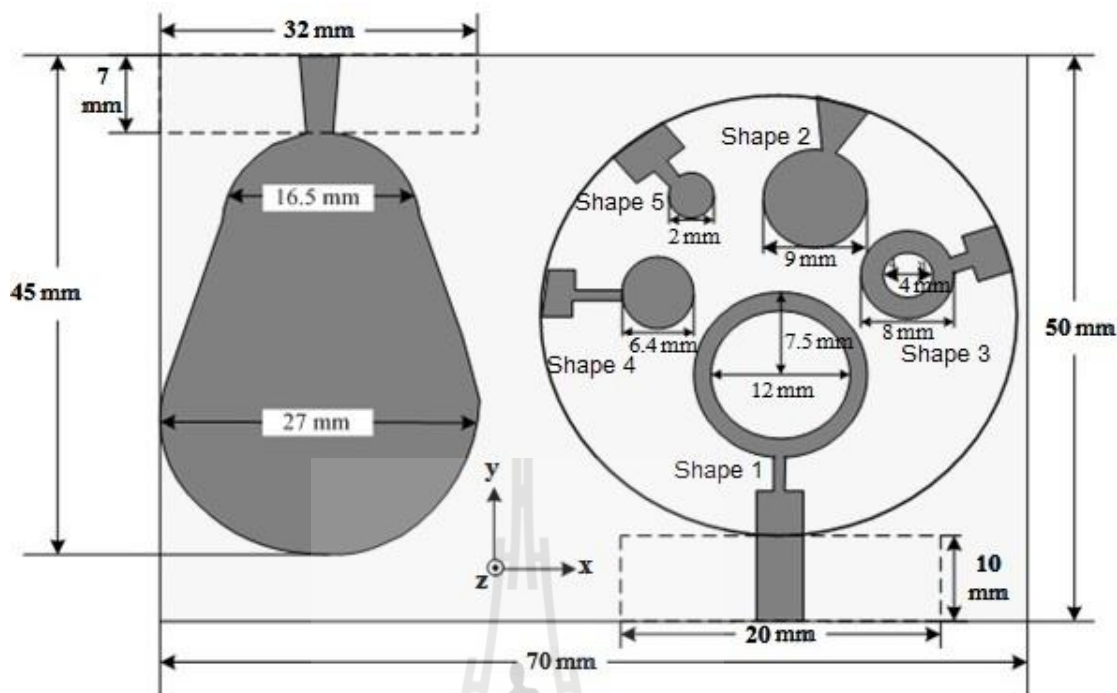
การทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 กล่าวนำ

จากทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ ดังได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 และ 4 ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงการสร้างสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ขึ้นแบบขึ้น จากนั้นทำการวัดทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ S_{11} แบบรูปการแผ่พลังงาน ความกว้างลำคลื่น ครึ่งกำลัง และอัตราขยาย (Gain) โดยในการวัดทดสอบคุณลักษณะข้างต้น จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (network analyzer) รุ่น HP8720C สุดท้ายได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบและจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009

4.2 การจำลองสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009

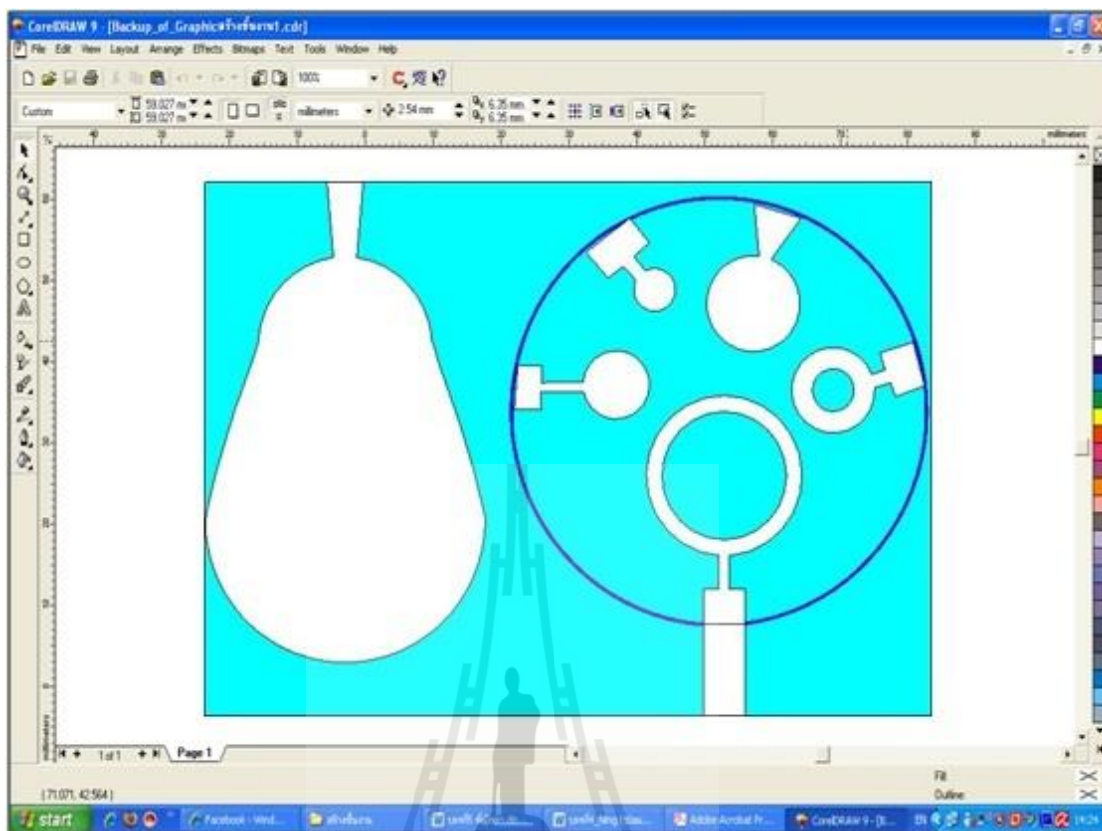
จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 จนได้ขนาดของสายอากาศตามที่ต้องการ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 แสดงรูปสายอากาศสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ โดยสายอากาศต้นแบบสร้างจากการนำแผ่นวงจรมิพม์ และทำระบบป้อนสัญญาณ เพื่อทำการป้อนสัญญาณเข้าด้วยหัวต่อชนิด SMA 50 โอห์ม



รูปที่ 4.1 สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์

4.3 การสร้างและวัดทดสอบสายอากาศ

สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ต้นแบบ สร้างจากการนำโครงสร้างของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ต้นแบบ วัดและตัดสติกเกอร์โดยใช้โปรแกรม CorelDRAW 9 แสดงดังรูปที่ 4.2 ด้วยขนาดที่แสดงในตารางที่ 4.1 เพื่อนำไปใช้ในการสร้างสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ ซึ่งได้ใช้แผ่นไมโครสตริปชนิด FR4 โดยรูปที่ 4.3 แสดงแผ่นสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ที่สร้างเสร็จแล้ว



รูปที่ 4.2 โปรแกรม CorelDRAW 9 กำหนดการตัดแผ่น PCB

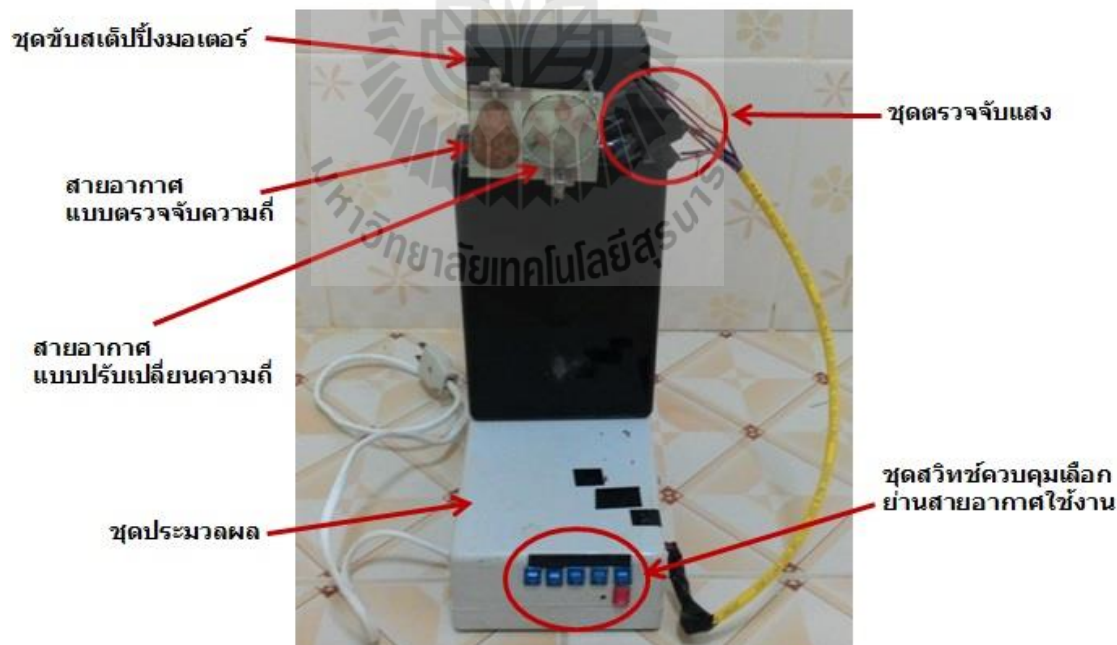
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับ
ประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ต้นแบบ

พารามิเตอร์ของสายอากาศ	ขนาดทางไฟฟ้า (λ)
ตัวที่ 1	0.008
ตัวที่ 2	0.009
ตัวที่ 3	0.002
ตัวที่ 4	0.0064
ตัวที่ 5	0.008
สายอากาศตรวจจับ	0.038

สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์จะทำงานครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์ความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ดังแสดงในตารางที่ 4.2

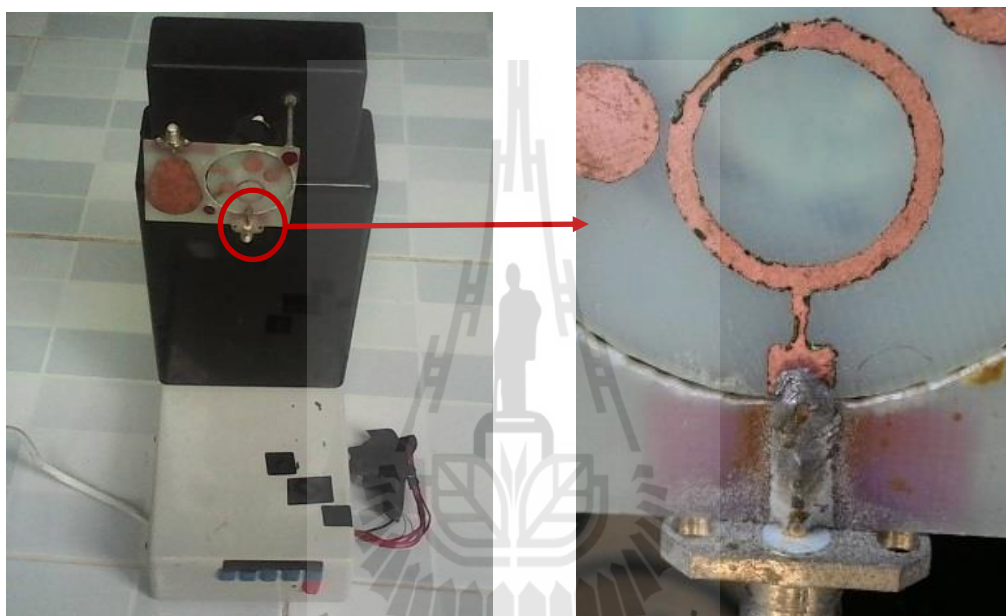
ตารางที่ 4.2 ช่วงความถี่ใช้งานของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์

ลำดับสายอากาศ	ครอบคลุมย่านความถี่ (GHz)
สายอากาศตัวที่ 1	3.1 – 4
สายอากาศตัวที่ 2	4 – 5.0
สายอากาศตัวที่ 3	5 – 6.3
สายอากาศตัวที่ 4	6.3 – 8
สายอากาศตัวที่ 5	8 – 10.6



รูปที่ 4.3 สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ต้นแบบ

จากรูปที่ 4.3 สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สาย ย่านอัลตราไวด์แบนด์ แบ่งส่วนเป็นส่วนชุดประมวลผลทำหน้าที่ในการควบคุมสายอากาศทั้งหมด ส่วนชุดตรวจจับแสงทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลให้ชุดประมวลผล ส่วนชุดสวิทช์ควบคุมเลือกย่านใช้งานทำหน้าที่ในการเลือกย่านใช้งาน ส่วนสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่มีอยู่ 5 ตัว ส่วนสายอากาศตรวจจับความถี่มี 1 ตัว ส่วนชุดขับสเต็ปปีงมอเตอร์ซึ่งอยู่ด้านหลังสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ทำหน้าที่หมุนสายอากาศที่เลือกใช้งาน



รูปที่ 4.4 ตัวป้อนสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่

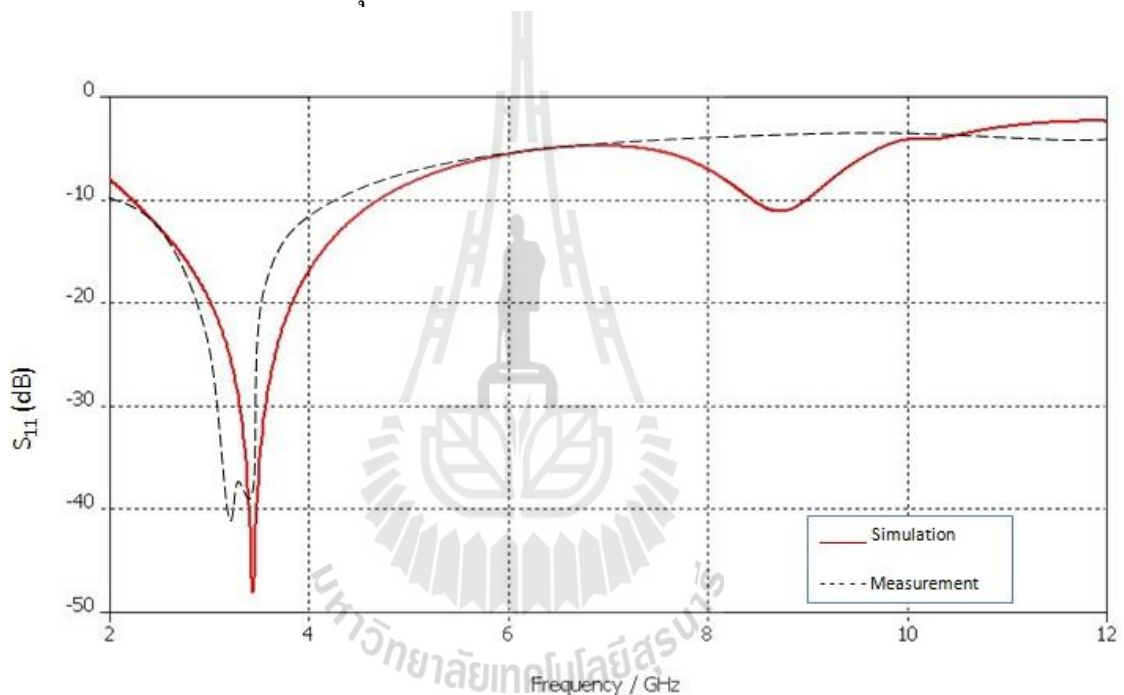
ตัวป้อนของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่นั้นจะมีการเพิ่มแผ่นทองแดงหน้าสัมผัส เพื่อให้หน้าสัมผัสตัวป้อนสัมผัสกับตัวสายอากาศแบบสนิทมากขึ้น ทำให้สัญญาณที่ส่งออกไปมีประสิทธิภาพเต็มที่แสดงดังรูปที่ 4.4

4.4 การวัดทดสอบ S_{11} และความกว้างแถบ

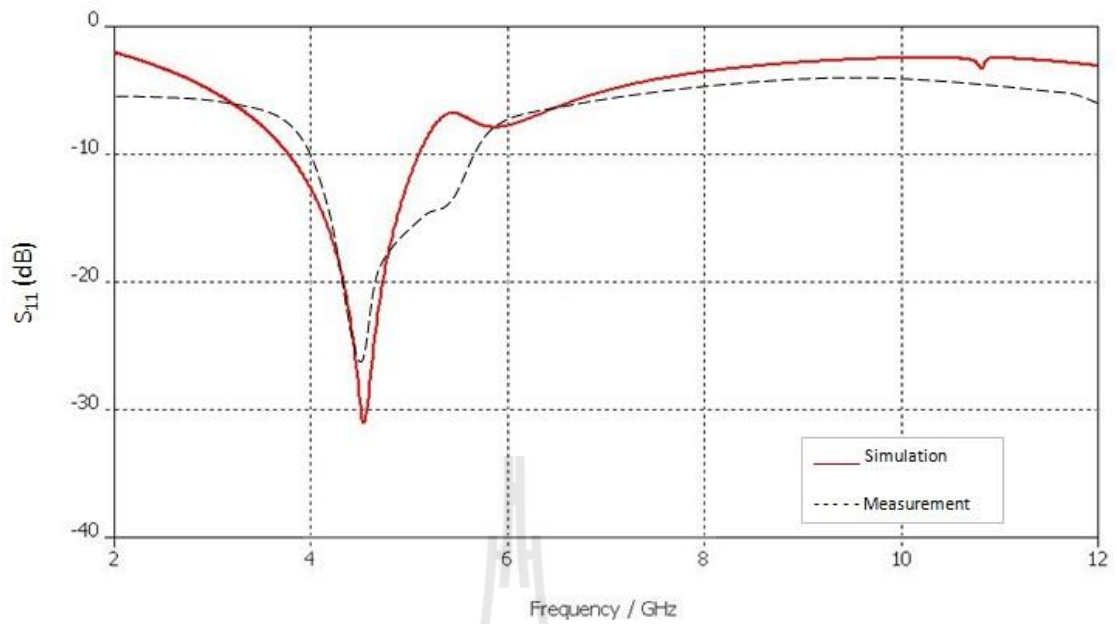
สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาการแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้านเข้า คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (reflection coefficient) หรือในรูปพารามิเตอร์ S_{11} และอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio : SWR) ในการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ S_{11} หมายถึงการสะท้อนกลับของกำลังไฟฟ้าด้านเข้า (port1) ของสายอากาศ ซึ่งขนาดของ S_{11} อาจจะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 dB ถึง ลบอนันต์

(negative infinity dB) ถ้ามีค่าเท่ากับ 0 dB แสดงว่าไม่แมตช์อย่างสมบูรณ์ดีที่สุด (รังสรรค์ วงศ์สรณ์ และ ชูวงศ์, ม. ป. ป) ในงานประยุกต์ต่าง ๆ ค่าของ S_{11} จะยอมรับได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ -10 dB แสดงว่ามีการแมตช์ที่ดี

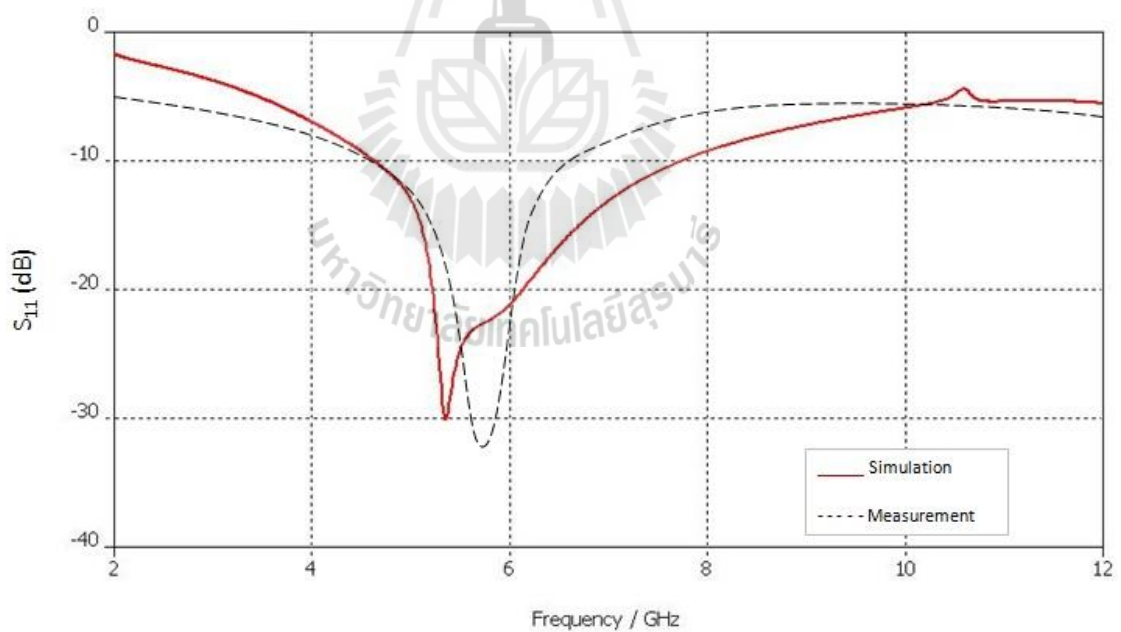
จากรูปที่ 4.5 ถึง รูปที่ 4.11 แสดงกราฟผลวัดของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ ในรูปของพารามิเตอร์ S_{11} จากรูปสังเกตได้ว่าสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นมีค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 dB โดยสายอากาศแต่ละต้นจะทำงานในย่านความถี่ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งสายอากาศทั้งหมดสามารถทำงานครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz



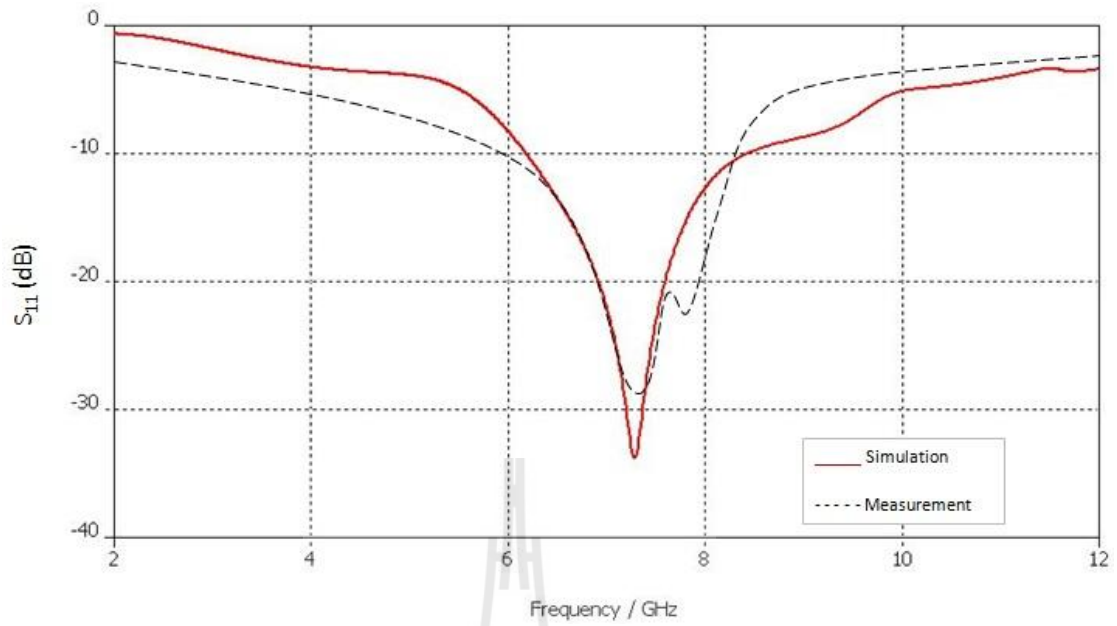
รูปที่ 4.5 ผลการวัดทดสอบค่า S_{11} ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 1



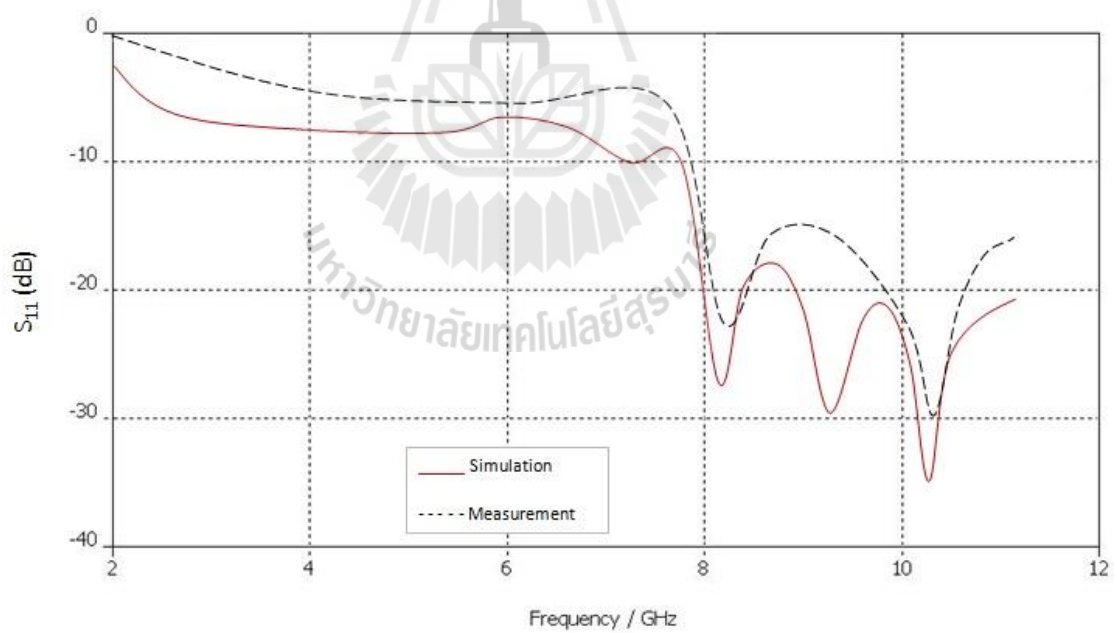
รูปที่ 4.6 ผลการวัดทดสอบค่า S_{11} ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 2



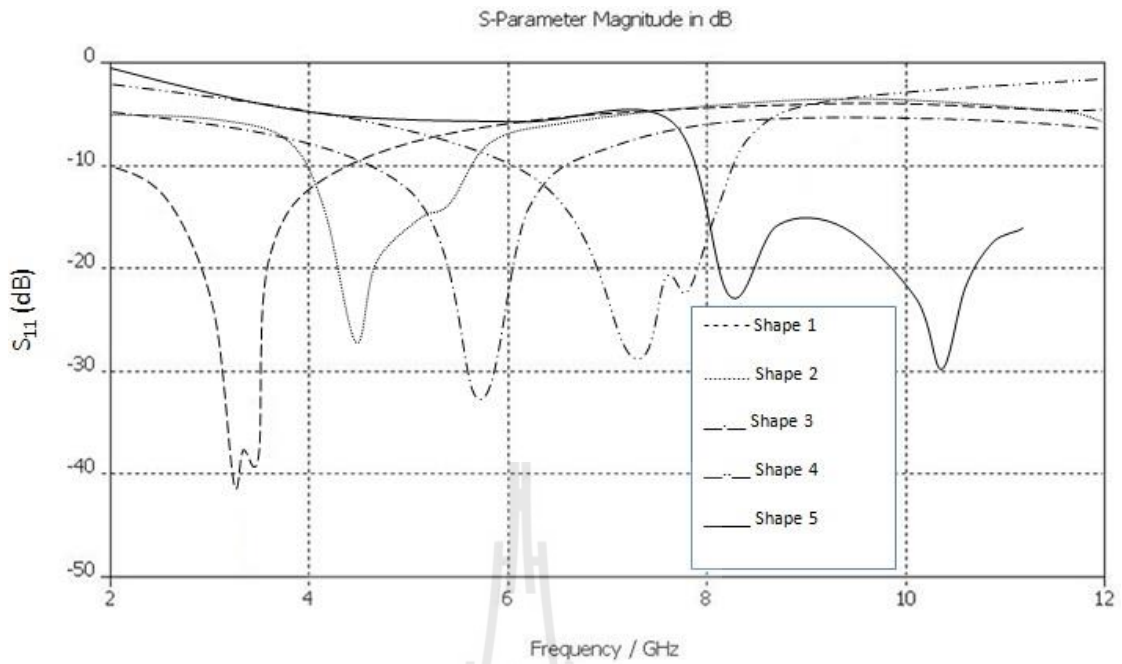
รูปที่ 4.7 ผลการวัดทดสอบค่า S_{11} ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 3



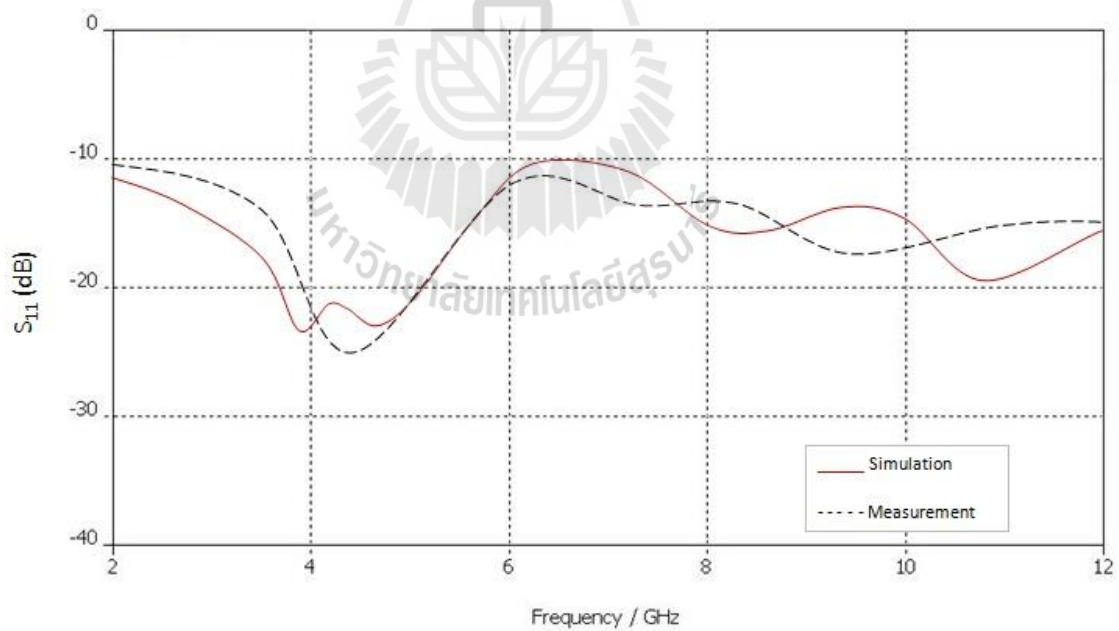
รูปที่ 4.8 ผลการวัดทดสอบค่า S_{11} ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 4



รูปที่ 4.9 ผลการวัดทดสอบค่า S_{11} ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 5

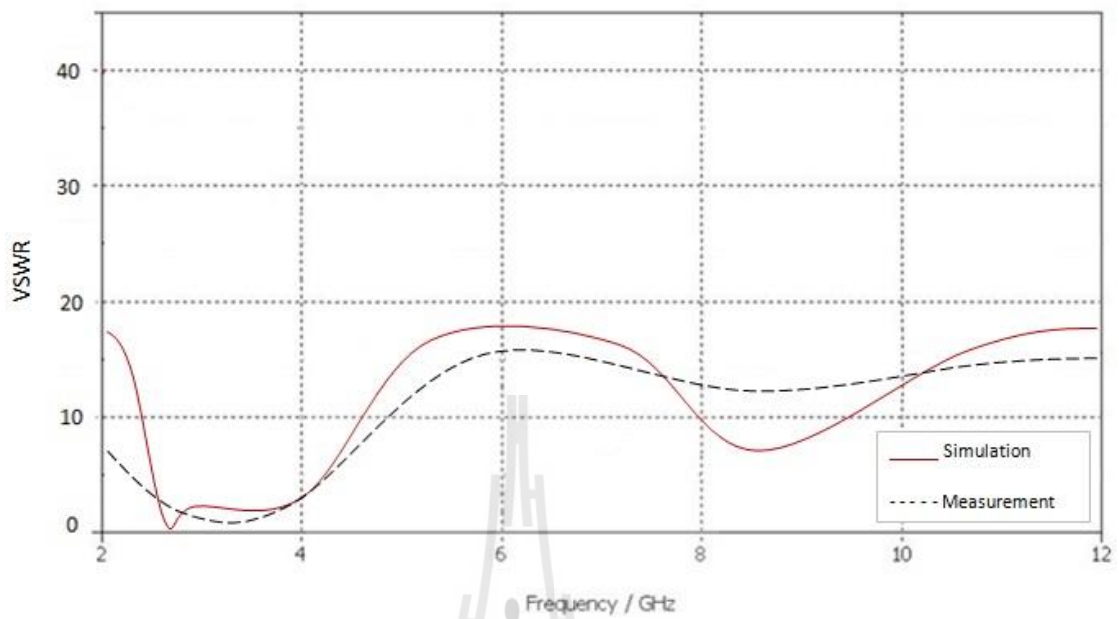


รูปที่ 4.10 ผลการวัดทดสอบค่า S_{11} ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ทั้งหมด 5 ตัว

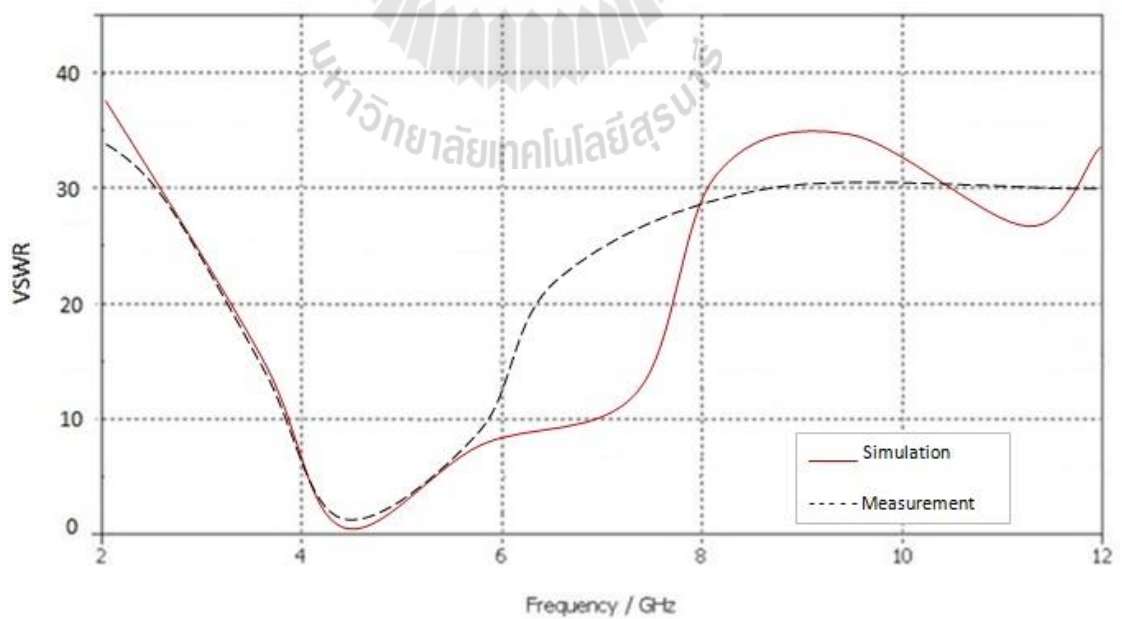


รูปที่ 4.11 ผลการวัดทดสอบค่า S_{11} ของสายอากาศตรวจจับความถี่

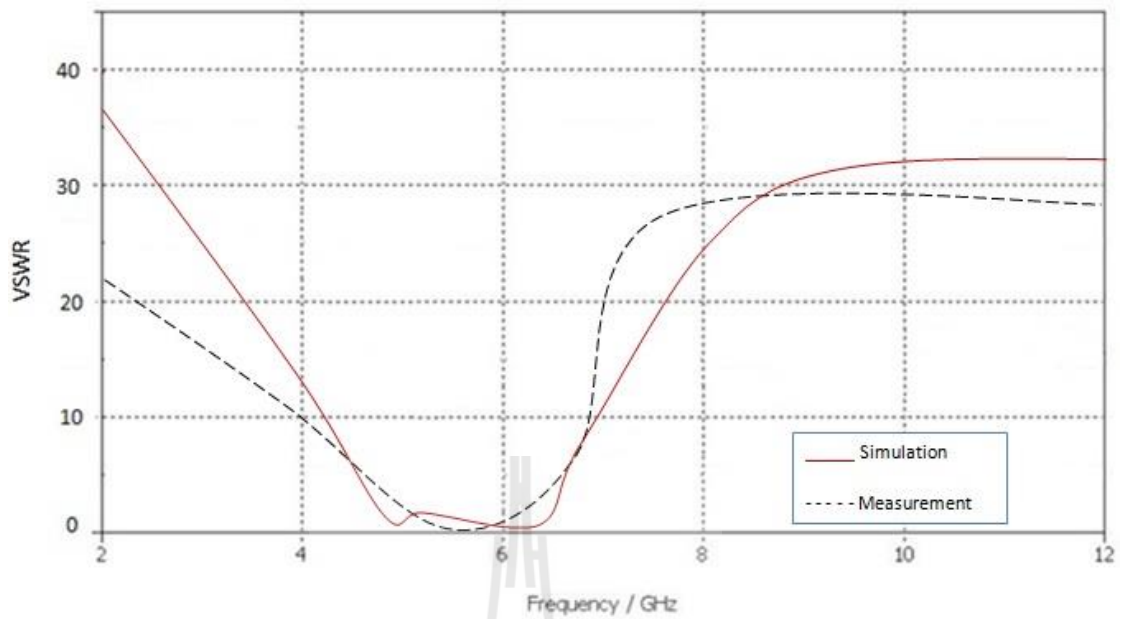
อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio : SWR) ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ แสดงดังรูปที่ 4.12 ถึง รูปที่ 4.18



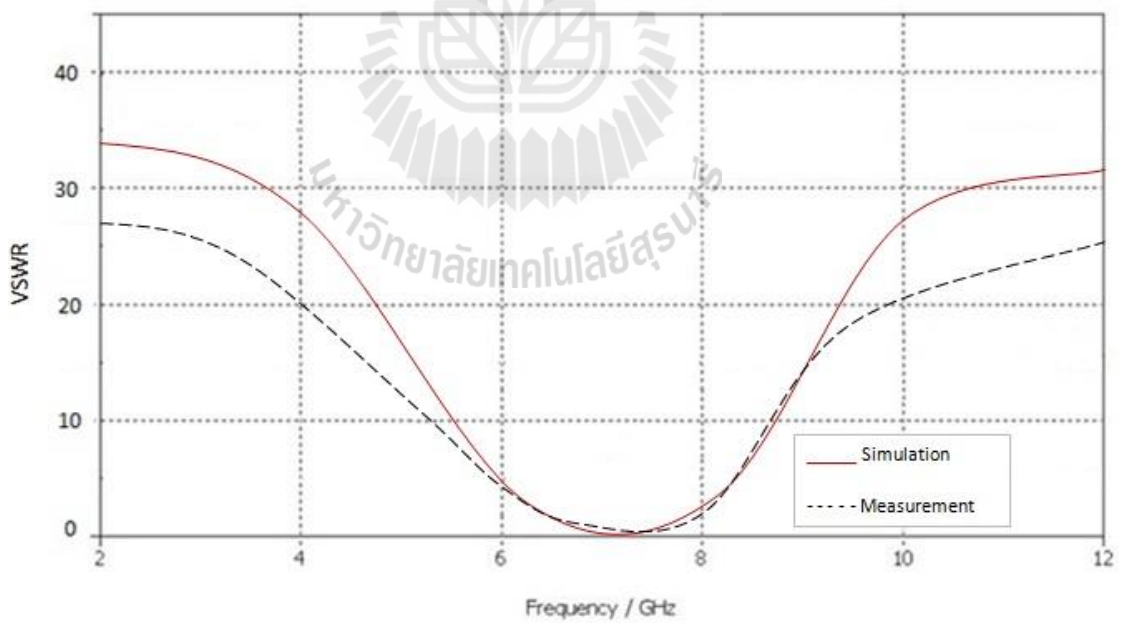
รูปที่ 4.12 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio : SWR) ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่
ตัวที่ 1



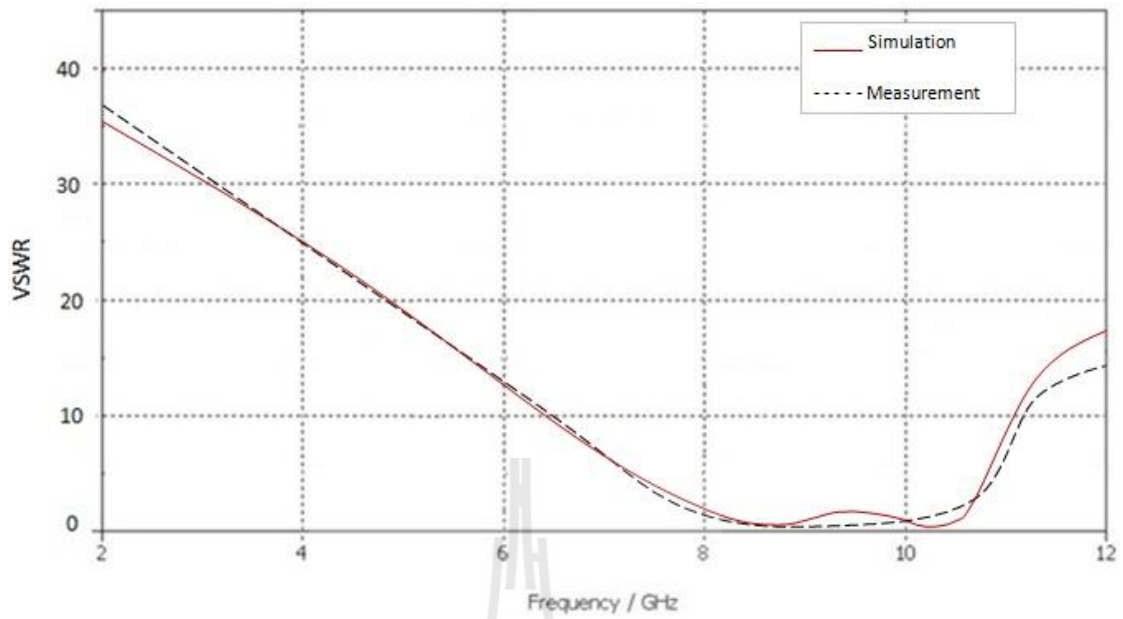
รูปที่ 4.13 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 2



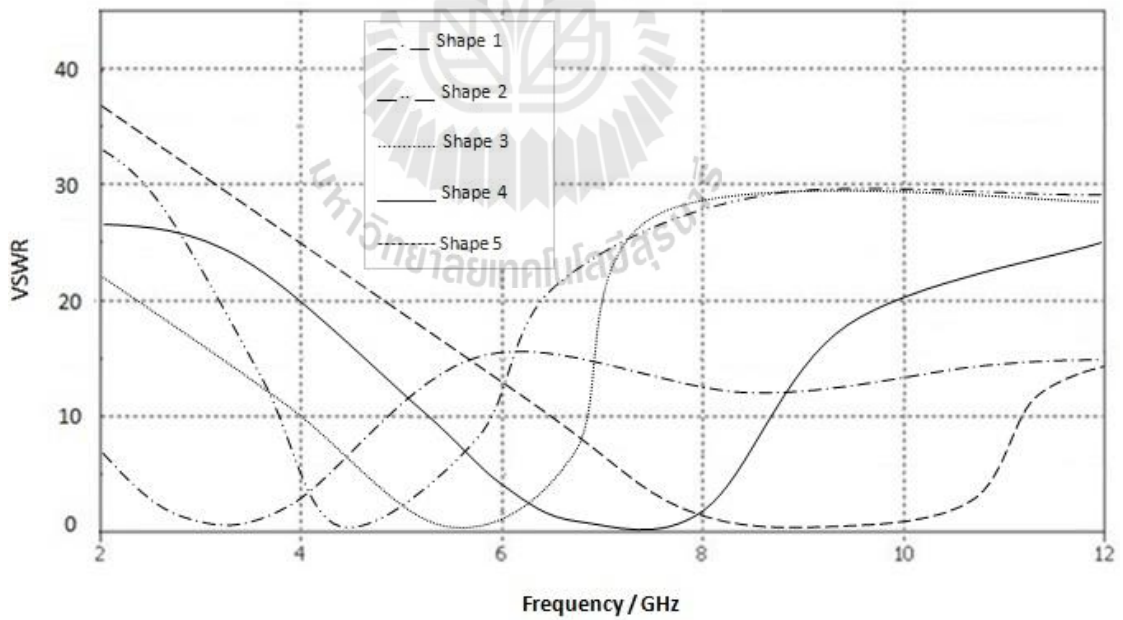
รูปที่ 4.14 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 3



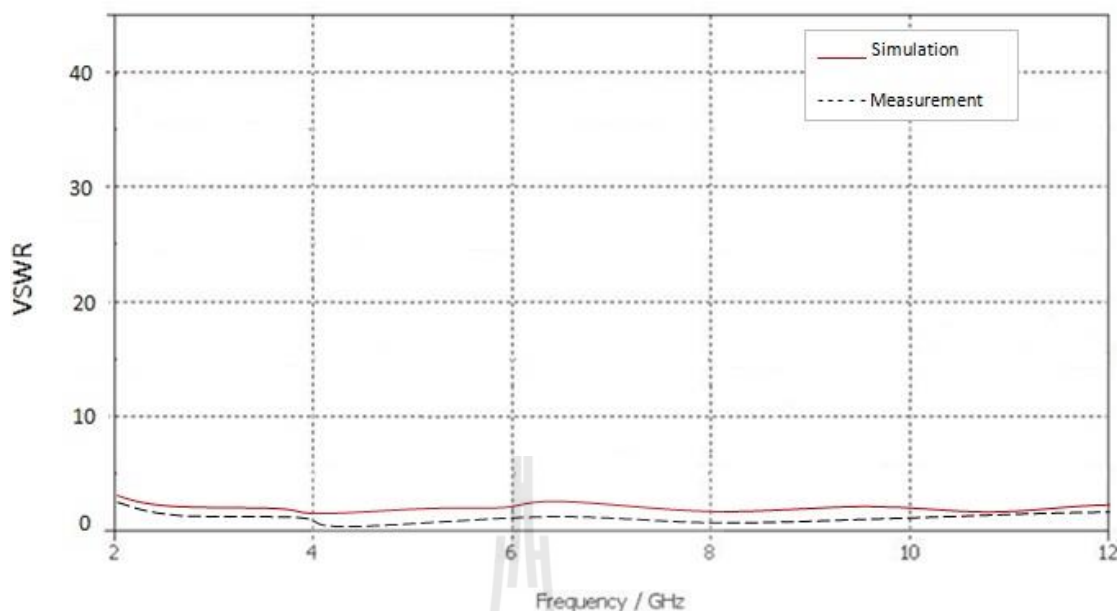
รูปที่ 4.15 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 4



รูปที่ 4.16 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 5



รูปที่ 4.17 ผลการวัดทดสอบอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนรวมทั้งหมด 5 ตัว

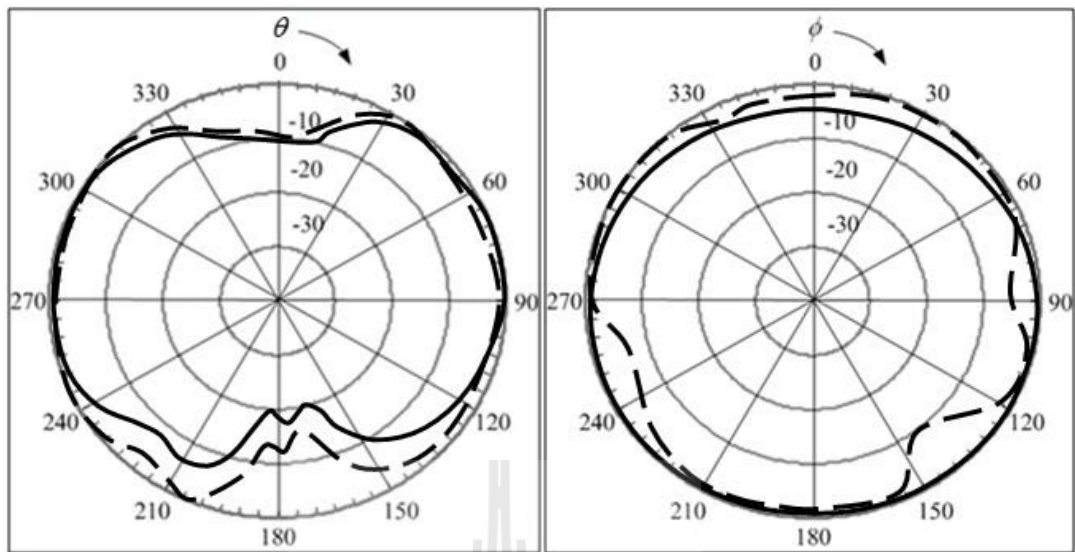


รูปที่ 4.18 อัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศตรวจจับความถี่

4.5 การวัดทดสอบแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน

การวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยทำการทดสอบในระยะสนามระยะไกล คือ $R \geq 2D^2 / \lambda$ ซึ่ง R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศทดสอบและสายอากาศอ้างอิงโดยการทดสอบนี้ กำหนดให้ระยะทางมีค่าคงที่ที่ความถี่ 3.44 GHz 4.5 GHz 5.36 GHz 7.29 GHz และ 10.2 GHz ในที่นี้กำหนดให้มีค่าคงที่ที่ 4.4 และ D คือขนาดความยาวของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งในที่นี้ได้ใช้สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ โดยมีความถี่ปฏิบัติการอยู่ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz มาเป็นสายอากาศอ้างอิงทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่ง โดยที่สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ นำมาทดสอบทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่ง

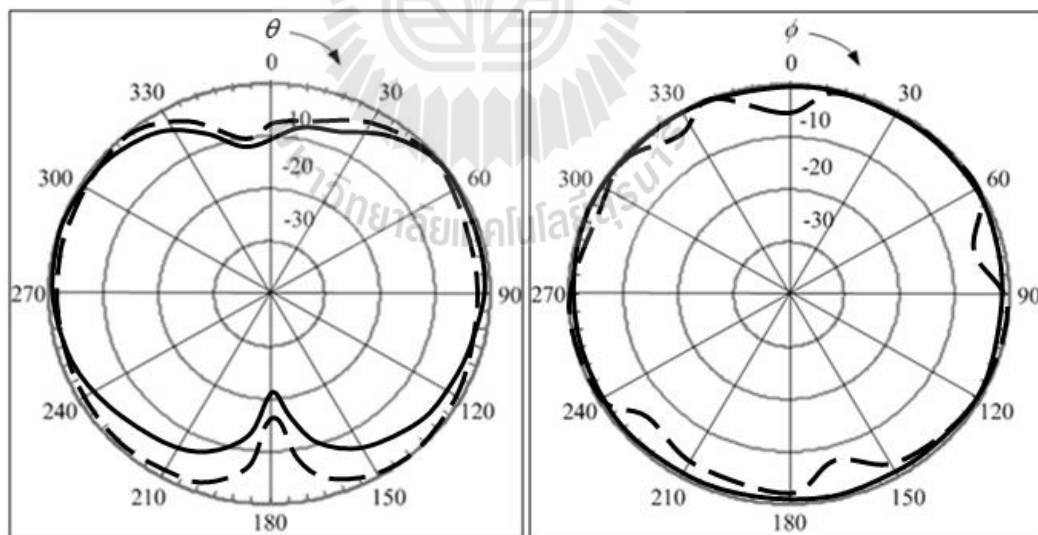
จากการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กแสดงดังรูปที่ 4.19 ถึง 4.25 ตามลำดับ ซึ่งได้แสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และผลจากการวัดทดสอบสายอากาศ



(ก) ระบายสนามไฟฟ้า

(ข) ระบายสนามแม่เหล็ก

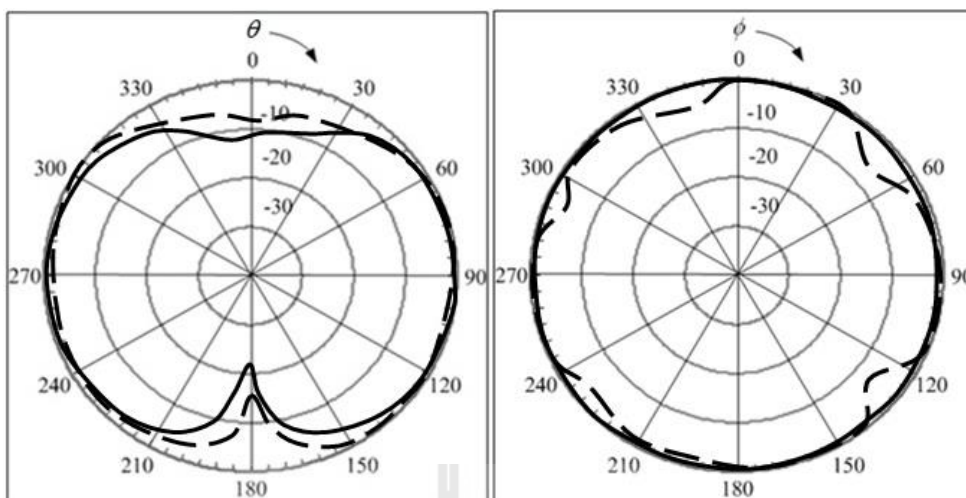
รูปที่ 4.19 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 1 โดยเส้นทึบแสดงผลจากการจำลองแบบ และเส้นประแสดงผลจากการวัดทดสอบ



(ก) ระบายสนามไฟฟ้า

(ข) ระบายสนามแม่เหล็ก

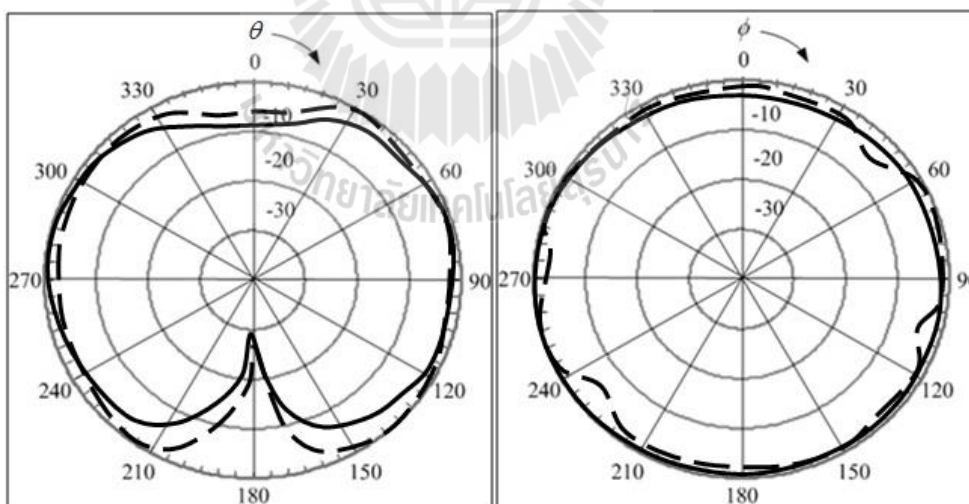
รูปที่ 4.20 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 2 โดยเส้นทึบแสดงผลจากการจำลองแบบ และเส้นประแสดงผลจากการวัดทดสอบ



(ก) ระบายสนามไฟฟ้า

(ข) ระบายสนามแม่เหล็ก

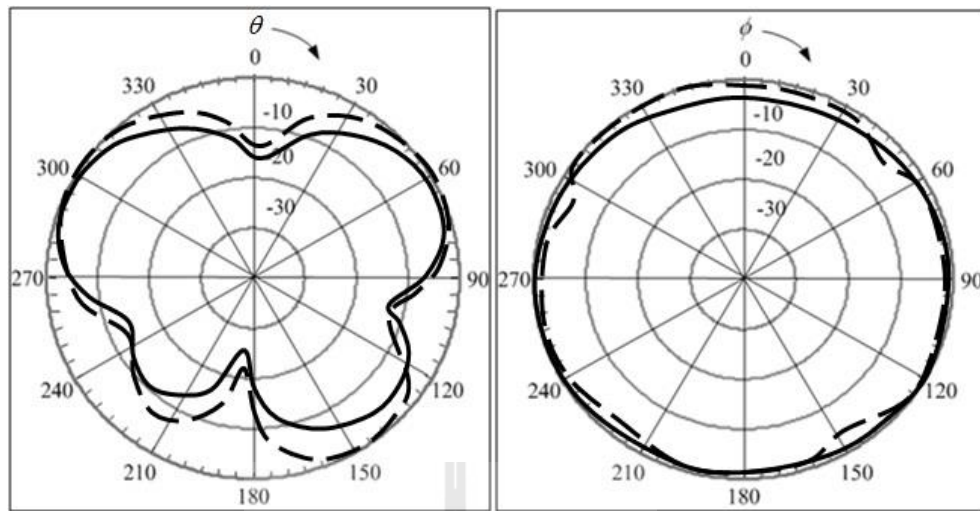
รูปที่ 4.21 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 3 โดยเส้นทึบแสดงผลจากการจำลองแบบ และเส้นประแสดงผลจากการวัดทดสอบ



(ก) ระบายสนามไฟฟ้า

(ข) ระบายสนามแม่เหล็ก

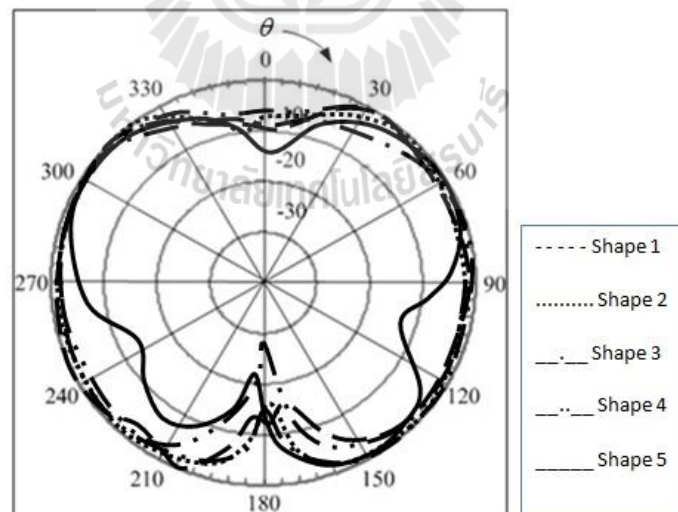
รูปที่ 4.22 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 4 โดยเส้นทึบแสดงผลจากการจำลองแบบ และเส้นประแสดงผลจากการวัดทดสอบ



(ก) ระบายสนามไฟฟ้า

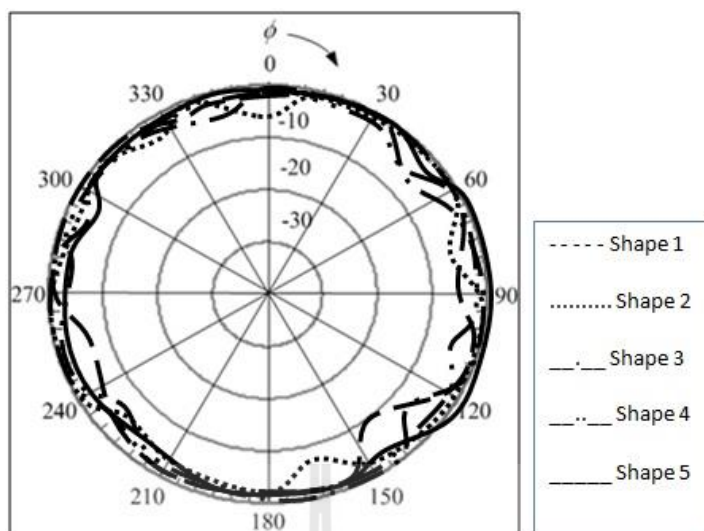
(ข) ระบายสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.23 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ตัวที่ 5 โดยเส้นทึบแสดงผลจากการจำลองแบบ และเส้นประแสดงผลจากการวัดทดสอบ



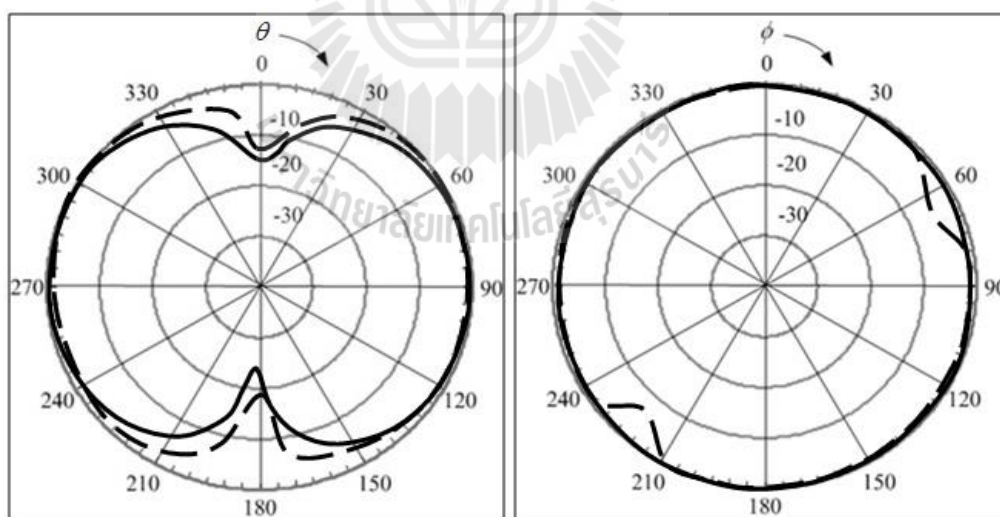
(ก) ระบายสนามไฟฟ้า

รูปที่ 4.24 ผลจากการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่รวมทั้งหมด 5 ตัว



(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.24 ผลจากการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่รวมทั้งหมด 5 ตัว (ต่อ)



(ก) ระนาบสนามไฟฟ้า

(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 4.25 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศตรวจจับความถี่ โดยเส้นทึบแสดงผลจากการจำลองแบบ และเส้นประแสดงผลจากการวัดทดสอบ

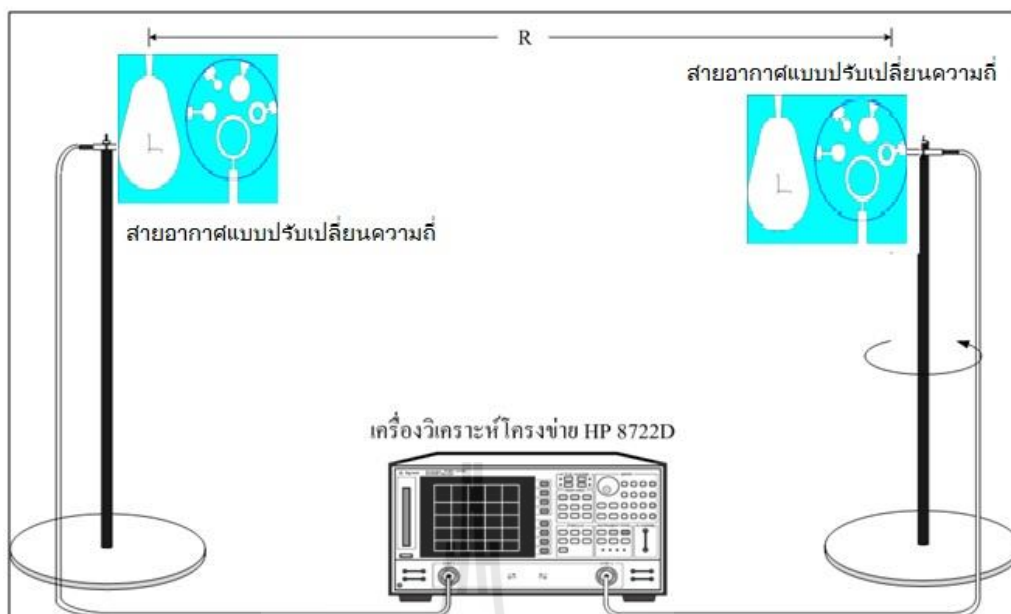
จากผลการวัดทดสอบจะให้ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ ซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์

สายอากาศ แบบปรับเปลี่ยนความถี่ใช้ใน ย่านอัลตราไวด์แบนด์	ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (องศา)			
	การจำลองผล		วัดทดสอบ	
	สนามไฟฟ้า	สนามแม่เหล็ก	สนามไฟฟ้า	สนามแม่เหล็ก
ตัวที่1	88.4	88.6	80	83
ตัวที่2	74.9	78.9	71	74.5
ตัวที่3	48.9	49	45	47
ตัวที่4	64.3	65.8	62	65
ตัวที่5	70.1	72.9	69	70
สายอากาศตรวจจับความถี่	84	75.5	80	72

4.6 ผลการวัดทดสอบอัตราขยาย (Gain)

สำหรับการวัดอัตราขยายของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ได้ทำการวัดอัตราขยายของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ แสดงดังรูปที่ 4.26 โดยกำหนดให้สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์เป็นทั้งสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ ซึ่งได้กำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 0.15 เมตร มีกำลังด้านเข้าที่ป้อนให้กับสายอากาศภาคส่งเท่ากับ -10 dB



รูปที่ 4.26 การวัดทดสอบอัตราขยายของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์

ใช้สมการหาระยะสนามระยะไกลดังนี้

$$\text{ระยะ FarField} = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4.1)$$

จะได้ค่าสนามระยะไกลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าสนามระยะไกลของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่

สายอากาศ	สนามระยะไกล (FarField)(cm.)
สายอากาศตัวที่ 1 (3.44 GHz)	5.75
สายอากาศตัวที่ 2 (4.50 GHz)	7.46
สายอากาศตัวที่ 3 (5.56 GHz)	9.26
สายอากาศตัวที่ 4 (7.29 GHz)	12.195
สายอากาศตัวที่ 5 (10.2 GHz)	17.24
สายอากาศตรวจจับ (3 GHz)	5

จากนั้นใช้สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis transmission equation) เป็นพื้นฐานในการคำนวณหาค่าอัตราขยายของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่โดยสมการการส่งผ่านของฟรีสที่นำมาใช้เท่ากับ

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_t G_r \quad (4.2)$$

$$G_{r,db} = P_{r,db} - P_{t,db} - G_{t,db} + 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) \quad (4.3)$$

โดยที่	P_t	คือ กำลังที่ป้อนให้กับสายอากาศภาคส่ง
	P_r	คือ กำลังที่รับได้ของสายอากาศภาครับ
	G_t	คือ อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง
	G_r	คือ อัตราขยายของสายอากาศภาครับ
	R	คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ (0.5 เมตร)

ผลการวัดทดสอบอัตราขยายสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่

จากสมการ (4.2) เราสามารถคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ได้ โดยอัตราขยายของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่นี้มีค่ามากกว่า 7 dB

จากผลการคำนวณจะได้อัตราขยายของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ จากการวัดทดสอบเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าอัตราขยายของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่

สายอากาศ	อัตราขยาย (dB)	
	การจำลองผล	การวัดทดสอบ
สายอากาศตัวที่ 1 (3.44 GHz)	8.29	8.13
สายอากาศตัวที่ 2 (4.50 GHz)	10.8	10.1
สายอากาศตัวที่ 3 (5.56 GHz)	11.17	11
สายอากาศตัวที่ 4 (7.29 GHz)	8.0	7.37
สายอากาศตัวที่ 5 (10.2 GHz)	9.58	8.9
สายอากาศตรวจจับ (3 GHz)	2.17	2.3

4.7 การทำงานของชุดสเต็ปป์มอเตอร์

การทำงานของชุดสเต็ปป์มอเตอร์ แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ชุดตรวจจับแสง ชุดประมวลผล และชุดขับเคลื่อนสเต็ปป์มอเตอร์

ชุดตรวจจับแสง

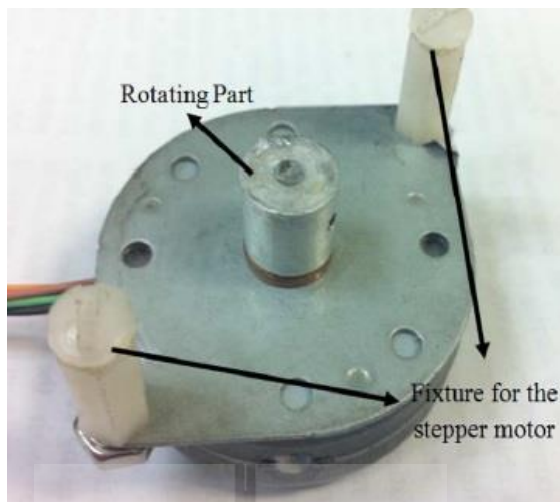
ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักเช่น เซอร์ตรวจจับแสง 5 ตัว ทำหน้าที่ในการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ผ่านมาดังในรูปที่ 4.3

ชุดประมวลผล

ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก CPU ตัวประมวลผล ในที่นี้เราใช้ IC AT89C4051 เป็นตัวควบคุมวงจรทั้งหมดดังในรูปที่ 4.3

ชุดขับเคลื่อนสเต็ปป์มอเตอร์

สเต็ปป์มอเตอร์ที่มีการทำงานหมุนสเต็ปละ 7.5 องศา แสดงดังรูปที่ 4.18 ในวิทยานิพนธ์นี้ เรากำหนดให้การทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์หมุนครึ่งสเต็ปคือ 3.75 องศา เพื่อให้การหมุนราบเรียบแม่นยำมากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 4.27 สเต็ปป์มอเตอร์ที่มีการหมุนสเต็ปละ 7.5 องศา

โดยสเต็ปป์มอเตอร์จะใช้ไฟเลี้ยงทำงานกระแสตรง 12 โวลต์ การป้อนสัญญาณควบคุม สเต็ปป์มอเตอร์แบบครึ่งสเต็ป แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.6 ตารางการป้อนสัญญาณควบคุมสเต็ปป์มอเตอร์แบบครึ่งสเต็ป

Half Step	Phase1	Phase2	Phase3	Phase4
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

การทดสอบชุดปรับเปลี่ยนสายอากาศนั้น จะใช้สวิทช์ในการควบคุมชุดสเต็ปป์มอเตอร์ ในการควบคุมเลือกสายอากาศใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.7 ตารางการกดเลือกสวิตช์ควบคุมสเต็มปี้งมอเตอร์ในการควบคุมเลือกสายอากาศใช้งาน

สายอากาศ	สวิตช์				
	ตัวที่ 1	ตัวที่ 2	ตัวที่ 3	ตัวที่ 4	ตัวที่ 5
สายอากาศตัวที่ 1	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
สายอากาศตัวที่ 2	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
สายอากาศตัวที่ 3	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
สายอากาศตัวที่ 4	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
สายอากาศตัวที่ 5	OFF	OFF	OFF	OFF	ON

4.8 สรุป

ในบทนี้แสดงการสร้าง และการวัดทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดทดสอบ และการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ว่ามีความสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศที่ได้ทำการวัดทดสอบได้แก่ค่า S_{11} แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในสนามระยะไกลทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า และระนาบสนามแม่เหล็กและอัตราขยายพบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ต้นแบบในสนามระยะไกล รวมถึงอัตราขยายผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และผลการวัดทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับผลบางส่วนที่แตกต่างกันซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์ที่ใช้จำลองผล ตลอดจนผลที่เกิดจากการวัดทดสอบในสภาพจริง

บทที่ 5

สรุปการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่ทำงานครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์ สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์เพื่อเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศ ซึ่งสายอากาศจะมีอัตราขยายที่เพิ่มสูงขึ้น และสามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้กว้างขึ้นในระนาบอซิมูท (azimuth) สำหรับขั้นตอนในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาขนาด และ โครงสร้างสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ จากการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับประยุกต์ใช้เป็นสายอากาศสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN)

สำหรับการออกแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ ในวิทยานิพนธ์นี้ ในเบื้องต้นได้ออกแบบหาช่วงความถี่ใช้งานที่เราต้องการที่ช่วงความถี่ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เราเลือก 5 ช่วงความถี่ใช้งานดังนั้นเราจะออกแบบสายอากาศได้ 5 ตัว โดยการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สายอากาศที่เหมาะสมใช้กับช่วงความถี่นั้นๆ สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ โดยได้เลือกใช้โปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ในการออกแบบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ สำหรับรายละเอียดในการออกแบบ และวิเคราะห์ทั้งหมดได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 5 เป็นการสรุปคุณลักษณะสมบัติของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ เมื่อนำผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และจากการวัดทดสอบมาเปรียบเทียบกันพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

คุณลักษณะสมบัติของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์นั้น ได้แสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 คุณลักษณะสมบัติของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์

สายอากาศ แบบปรับเปลี่ยนความถี่ใช้ใน ย่านอัลตราไวด์แบนด์	ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (องศา)			
	การจำลองผล		วัดทดสอบ	
	สนามไฟฟ้า	สนามแม่เหล็ก	สนามไฟฟ้า	สนามแม่เหล็ก
ตัวที่ 1	88.4	88.6	80	83
ตัวที่ 2	74.9	78.9	71	74.5
ตัวที่ 3	48.9	49	45	47
ตัวที่ 4	64.3	65.8	62	65
ตัวที่ 5	70.1	72.9	69	70
สายอากาศตรวจจับความถี่	84	75.5	80	72

ช่วงความถี่ใช้งานของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ช่วงความถี่ใช้งานของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์

ลำดับสายอากาศ	ครอบคลุมย่านความถี่ (GHz)
สายอากาศตัวที่ 1	3.1 – 4
สายอากาศตัวที่ 2	4 – 5.0
สายอากาศตัวที่ 3	5 – 6.3
สายอากาศตัวที่ 4	6.3 – 8
สายอากาศตัวที่ 5	8.0 – 10.6

อัตราขยายของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 อัตราขยายของสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์

ลำดับสายอากาศ	อัตราขยาย (dB)
สายอากาศตัวที่ 1 (3.44 GHz)	8.29
สายอากาศตัวที่ 2 (4.50 GHz)	10.8
สายอากาศตัวที่ 3 (5.36 GHz)	11.17
สายอากาศตัวที่ 4 (7.29 GHz)	8.0
สายอากาศตัวที่ 5 (10.2 GHz)	9.58

สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์มีข้อดีดังนี้

1. สายอากาศทำงานครอบคลุมย่านอัลตราไวด์แบนด์
2. สายอากาศสร้างง่าย มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน
3. สายอากาศมีอัตราขยายเพิ่มขึ้น

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากบทที่ 5 สายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ เนื่องจากเมื่อเลือกสายอากาศแล้วตำแหน่งของสายอากาศไม่ตรงกับจุดบ่อนสัญญาณ จึงมีการแก้ไขโดยการลดความเร็วของสเต็ปปีงมอเตอร์ลงทำให้ตำแหน่งถูกต้อง

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศแบบปรับเปลี่ยนความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายย่านอัลตราไวด์แบนด์ สามารถเพิ่มอัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศได้โดยการแบ่งการใช้งานคลื่นความถี่ออกเป็นช่วงๆตามการใช้งานของผู้ใช้ ซึ่งทำให้ลดการสูญเสียพลังงานลงได้ และลดการแทรกสอดของสัญญาณรบกวน ทำให้จัดสรรใช้คลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ

รายการอ้างอิง

- รังสรรค์ วงศ์สรรค์ และ ชวงค์ พงเจริญพาณิชย์. (ม.ป.ป.). **คู่มือการทดลองพื้นฐานของสายอากาศ.**
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- รังสรรค์ วงศ์สรรค์. (2552). **วิศวกรรมสายอากาศ.** สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชา
วิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- Christodoulou, C.G. (2009). Reconfigurable Antennas in cognitive Radio that can Think for
Themselves. **IEEE International Sysposium on Digital Object Identifier.** 2009: pp. k-
1-k-3.
- Ian F. Akyildiz, Won-Yeol Lee, Mehmet C. Vuran, and Shantidev Mohanty. (2006). NeXt
generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless network: A survey.
Broadband and Wireless Networking Laboratory, School of Electrical and Computer
Engineering, **Georgia Institute of Technology**, Atlanta, GA 30332, United States,
Received 2 January 2006: pp. 2127-2159.
- Jianxin Liang, *Student Member, IEEE*, Choo C. Chiau, *Student Member, IEEE*, Xiaodong
Chen, *Member, IEEE*, and Clive G. Parini, *Member, IEEE*. (2005). Study of a Printed
Circular Disc Monopole Antenna for UWB Systems, **IEEE Transaction on Antennas
and Propagation.** 2005: Vol. 53, pp. 3500-3504.
- K. R. Boyle. (2007). Reconfigurable antennas for SDR and cognitive radio. **The Second
European Conference on Antennas and Propagation.** Nov 2007: pp. 1-6.
- Osama Haraz and Abdel - Razik Sebak. (2013). UWB Antennas for Wireless Applications,
Additional information is available at the end of the chapter, 2013: pp. 125-152.
- S.M. Naveen, R.M. Vani and P.V. Hunagund. (2012). Compact Wideband Rectangular Monopole
Antenna for Wireless Applications, **Wireless Engineering and Technology.**, 2012: pp.
240-243.

- T.A. Denidni and M.A. Habib. (2006). Broadband printed CPW - fed circular slot antenna. **Electron. Lett.** vol.42, no.3 2006: pp.135 - 136.
- Y.S. Li, X.D. Yang, C.Y. Liu, and T. Jiang. (2010). Compact CPW - fed ultrawideband antenna with band - notched characteristic. **Electron. Lett.** vol.46, no. 23 2010: pp.1533 - 1534.
- Y.S. Li, X.D. Yang, Q. Yang and C.Y. Liu. (2011). Compact coplanar waveguide fed ultra wideband antenna with a notch band characteristic. **AEU-Int. J.Electron. Commun.** vol.65, no.11 2011: pp.961-966.
- Y. Tawk, M. Al-Husseini, S. Hemmady, A.R. Albrecht, G. Balakrishnan, and C.G. Christodoulou, C.G. (2010). Implementation of a Cognitive radio Front-End Using Optically Reconfigurable Antennas. **Electromagnetics in Advanced Applications(ICEAA)**. 2010: pp.294-297.
- Yingsong LI, Wen xing LI, Si Li and Tao Jiang. (2012). Miniaturization reconfigurable wide slot antenna for multi-mode wireless communication applications. Antennas and Propagation(APCAP), **IEEE Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation**. 2012: pp. 225-226.
- Y. Tawk and C.G. Christodoulou. (2009). A New Reconfigurable Antenna Design for Cognitive Radio. Antennas and Wireless Propagation Letters, **IEEE Transaction on Antennas and Propagation**. 2009: Vol.8, pp. 1378-1381.
- Y. Tawk, J. Costantine, K. Avery and C.G. Christodoulou. (2011). Implementation of a Cognitive Radio Front-End Using Rotatable Controlled Reconfigurable Antenna. Antennas and Propagation (APCAP). **IEEE Transaction on Antennas and Propagation**. 2011: Vol.59,pp. 1773-1778.
- Zhi Ning Chen. (2007). UWB Antennas : Design and Application, **RF & Optical Department Institute for Infocomm Research Singapore of organization**, 2007: pp. 1-5.



ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

- P. Tummas, P. Krachodnok and R. Wongsan, **A Frequency Reconfigurable Antenna Design for UWB Applications**, International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology., Nakhon Ratchasima, Thailand, October 14-17, 2014.
- P. Tummas, P. Krachodnok and R. Wongsan, (2013). **A Frequency Reconfigurable Antenna Design for UWB Applications**, Thailand - Japan microwave (TJMW2013) King Mongkut's University of Technology North Bangkok., Thailand, December 2-4, 2013.



A Frequency Reconfigurable Antenna Design for UWB Applications

P. Tummas, P. Krachodnok and R. Wongsan

School : Telecommunication Engineering,
Suranaree University of Technology
Nakhonratchasima, Thailand 30000
E-mail : paisal2524@gmail.com

Abstract—This paper proposes a frequency reconfigurable antenna system designed for cognitive radio applications. The antenna structure consists of a sensing antenna and a frequency reconfigurable antenna system. The sensing antenna scans the channel to discover frequency bands while the reconfigurable section is tuning to communicate within these bands. A reconfigurable antenna consists of five different patches and these frequencies cover from 2.1 GHz to 10.6 GHz. The frequency agility is achieved via a rotational motion of the patch antennas. The rotation is controlled by a stepping motor mounted on the back of the antenna structure and the motor's rotational motion is controlled by MEMS switch connected to a microcontroller. A frequency reconfigurable antenna offers many advantages such as easy fabrication, suitability for installation and coverage spectrum UWB (Ultra Wideband).

Keywords—cognitive radio; reconfigurable antenna; stepping motor; MEMS switch

I. INTRODUCTION

Nowadays, wireless networks are characterized by a fixed spectrum assignment policy, the variations in the utilization of the assigned spectrum range are varied from 15% to 85% [1]. Sometimes spectrum usage is congested but sometimes spectrum using is sparse, for this reasons the spectrum usage doesn't have efficiency. In that way, improvement technique to amend this problem is proposed by using the cognitive radio, a radio can change its transmitter parameters based on interaction with the environment in which it operates. Therefore, we should differentiate in such system between a primary user that owns the spectrum and a secondary user that want to access the spectrum whenever it is idle.

The UWB (Ultra WideBand) antenna is designed to cover a band from 3.1 GHz – 10.6 GHz by using a circular slot [2], a square slot [3], a monopole antenna [4,5], and so on. However, the UWB antennas tend to be very inefficient including large bandwidth. To improving the frequency band and antenna characteristics, research about technique control with switch as antenna design by using MEMS (microelectromechanical systems) switch selection frequency bands was presented in many papers. The filter design to delete spectrum and MEMS switch are used [6,7]. In [8], it is shown about PIFA (planar inverted F antenna) design combined with MEMS switch by election frequency usage two bands, as low and high frequencies. In addition, the control spectrum technique of

antenna with stepping motor is created [9,10]. It is easy to select the band, however, the antenna system has low gain and cannot cover the UWB spectrum.

In this paper, the technique of reconfigurable antenna design is proposed by using stepping motor to control the increasing ability sent and receive spectrum of UWB. A reconfigurable antenna consists of five different patches and the motor's rotational motion is controlled by MEMS switch. The proposed antenna system is easy fabrication, suitability for conformal installation, and coverage spectrum UWB.

II. GEOMETRY OF ANTENNA DESIGN

The antenna structure designed with the dielectric constant of 4.5, is based on a $70 \times 50 \times 1.6$ mm³. The antenna system consists of a sensing and a reconfigurable antenna as shown in Fig. 1, both structures are incorporated into the same substrate. The sensing and reconfigurable structures are fed via a microstrip line. Both of them have a small rectangular ground plane in order to allow radiation above and below substrate, so that they will not affect the radiation from the rounded patch. It is essential to look at the mutual coupling between two antenna sections, therefore rounded patch are separated by a given distance and two antennas are fed from the opposite edges of the substrate. All the physical dimensions of the structure design are illustrated in Fig. 1.

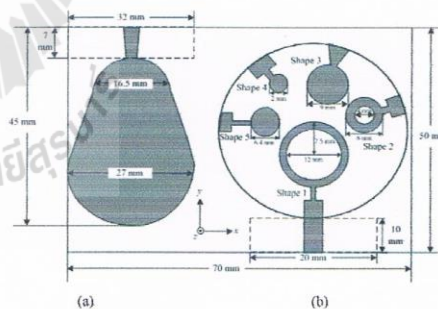


Fig. 1: The antenna structure, (a) the sensing and (b) the reconfigurable antennas.

A. Sensing Antenna

The sensing antenna is modified egg-shaped printed monopole antenna. It has a partial ground of dimensions $32 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$. The antenna is fed by using a tapered microstrip line for better impedance match over the entire bandwidth of interest as indicated in Fig. 1(a).

B. Reconfigurable Antenna

The reconfigurable antenna consists of five different shapes and sizes as denoted in Fig. 1(b). They are designed at different center frequencies of 3.44 GHz, 4.5 GHz, 5.36 GHz, 7.29 GHz, and 10.2 GHz. In this work, the patch antennas are proposed based on the rotational motion technique. The required frequency tuning is produced by using a rotating part of the antenna. The advantage of this technique is that no bias lines are needed for the activation/deactivation of the switches. In fact bias lines usage add further the complex antenna structure and affect the electromagnetic performance of the antenna. Moreover, a circular substrate section holding five different patches are rotated via a stepping motor. Different frequencies are achieved by different patches at each rotation stage.

III. STEPPING MOTOR CONTROLLER

The stepping motor in the back of the reconfigurable antenna section is connected to the controlling by electronic circuit. The motor used in this work as shown in Fig. 2 rotates in 7.5 degree per steps, and drive stepping motor uses half phase or half steps rotates in 3.75 degree per half step as shown in Table. I. The ULN2003 seven open collector Darlington pairs is used, a 12 V power supply is needed for the stepping motor and the ULN2003. This rotation will produce different resonant frequencies. It is making the antenna suitable to communicate at the frequency specified by the sensing antenna.

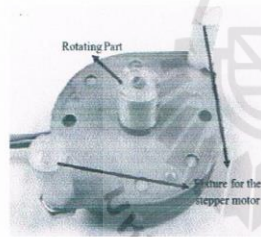


Fig. 2: The stepping motor used in this work.

TABLE I. DRIVE STEPPING MOTOR FOR HALF PHASE

Half Step	Phase1	Phase2	Phase3	Phase4
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

IV. SIMULATION RESULTS

All simulations were done by using CST Microwave Studio. The sensing antenna return loss is illustrated in Fig. 3. It is seen that the antenna is able to scan the spectrum from 1.7 GHz - 10.6 GHz, making it suitable for channel sensing in cognitive radio system.

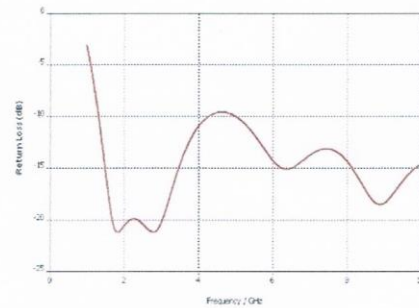
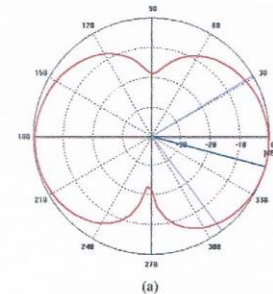
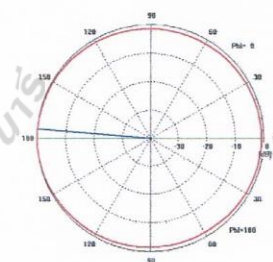


Fig. 3: The return loss for sensing antenna.



(a)



(b)

Fig. 4: Radiation pattern for the sensing antenna at $f = 3.44 \text{ GHz}$, (a) E-plane and (b) H-plane.

The radiation pattern of the sensing antenna at 3.44 GHz is given and plotted in Fig. 4. It has a nearly omnidirectional radiation pattern in $x-z$ plane, making the antenna to be suitable for channel sensing.

Fig. 5 describes the return loss of a reconfigurable antenna. The required frequency tuning are obtained by using a rotating part of the antenna, it still exhibits a return loss better than -10 dB. Each patch operates at different frequencies band. It is essential to note that the required wide bandwidth for the antenna is achieved by using the addition of the rounded shape just after the microstrip line. This rounded shape has the effect of the antenna input impedance close to 50 ohm. Table II summarizes the frequency tuning of reconfigurable antennas that covered band from 2.1 GHz - 10.6 GHz.

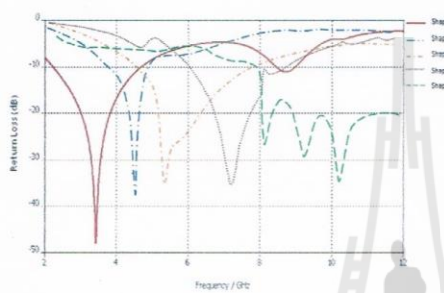


Fig. 5: The return loss for reconfigurable antenna.

TABLE II. FREQUENCY RECONFIGURABLE ANTENNA ABILITY

Shape Name	Covered Band (GHz)
Shape 1	2.3 – 4.5
Shape 2	3.8 – 5.0
Shape 3	4.8 – 7.4
Shape 4	6.3 – 8.2
Shape 5	8.0 – 10.6

TABLE III. ANTENNA PEAK GAIN

Shape Name	Gain (dB)
Shape 1 (3.44 GHz)	8.29
Shape 2 (4.50 GHz)	10.8
Shape 3 (5.36 GHz)	11.17
Shape 4 (7.29 GHz)	8.0
Shape 5 (10.2 GHz)	9.58

The simulated radiation pattern in $x-z$ and $y-z$ planes for switchable antenna are plotted in Fig. 6. The radiation pattern is taken at frequency of 3.44 GHz, 4.5 GHz, 5.36 GHz, 7.29 GHz, and 10.2 GHz, the antenna processes an omnidirectional radiation pattern. The peak antenna gains for five different patches of the rotating section are summarized in Table III.

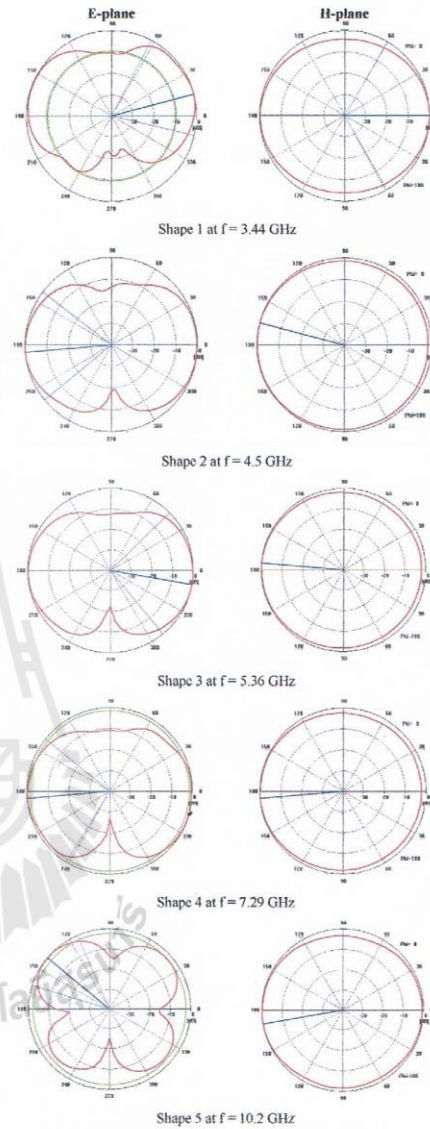


Fig. 6: Radiation pattern for the reconfigurable antenna.

V. CONCLUSION

This paper presents the reconfigurable antenna covering a UWB band frequency, represented by a rotating circular substrate section carrying five different patches. Each patch operates at different frequencies band. A reconfigurable antenna offers many advantages such as easy fabrication and suitability for installation.

REFERENCES

- [1] Ian F. Akyildiz, Won-Yeol Lee, Mehmet C. Vuran, Shantidev Mohanty, "NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey", Broadband and Wireless Networking Laboratory, School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, United States, Received 2 January 2006; pp. 2127-2159, accepted 2 May 2006.
- [2] T.A. Denidni and M.A. Habib, "Broadband printed CPW - fed circular slot antenna," *Electron. Lett.*, vol.42, no.3, pp.135 - 136, 2006.
- [3] Y.S. Li, X.D. Yang, C.Y. Liu, and T. Jiang, "Compact CPW - fed ultrawideband antenna with band - notched characteristic," *Electron. Lett.*, vol.46, no. 23, pp.1533 - 1534, 2010.
- [4] Y.S. Li, X.D. Yang, Q. Yang, C.Y. Liu, "Compact coplanar waveguide fed ultra wideband antenna with a notch band characteristic," *AEU-Int. J. Electron. Commun.*, vol.63, no.11, pp.961-966, 2011.
- [5] Y. Tawk, M. Al-Husseini, S. Hemmady, A.R. Albrecht, G. Balakrishnan, C.G. Christodoulou, C.G., "Implementation of a Cognitive radio Front-End Using Optically Reconfigurable Antennas", *Electromagnetics in Advanced Applications(ICEAA)*, Page(s): 294-297, 2010.
- [6] Christodoulou, C.G., "Reconfigurable Antennas in cognitive Radio that can Think for Themselves", *Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, 2009 3rd IEEE International Symposium on Digital Object Identifier*, pp. k-1-k-3, Year : 2009.
- [7] Yingsong LI, Wen xing LI, Si Li, Tao Jiang, "Miniaturization reconfigurable wide slot antenna for multi-mode wireless communication applications", *Antennas and Propagation(APCAP), IEEE Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation*, pp. 225-226, 2012.
- [8] K. R. Boyle, et al., "Reconfigurable antennas for SDR and cognitive radio", *The Second European Conference on Antennas and Propagation*, pp. 1-6, Nov. 2007.
- [9] Y. Tawk, C.G. Christodoulou, "A New Reconfigurable Antenna Design for Cognitive Radio", *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol.8, pp. 1378-1381, 2009.
- [10] Y. Tawk, J. Costantine, K.Avery, and C.G. Christodoulou, "Implementation of a Cognitive Radio Front-End Using Rotatable Controlled Reconfigurable Antenna", *Antennas and Propagation (APCAP), IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol.59, pp. 1773-1778, 2011.



ประวัติผู้เขียน

นายไพศาล ทুমมาศ เกิดเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2524 ที่จังหวัดบุรีรัมย์สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพจากวิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานจังหวัดนครราชสีมาและสำเร็จการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานจังหวัดนครราชสีมาเมื่อพ.ศ. 2548 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อ ในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โดยขณะที่ศึกษาในระดับปริญญาโทได้มีผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ระดับนานาชาติจำนวน 2 ฉบับดังนี้

- (1) International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology. (SELECTED TOPICS IN ANTENNA 2) ในหัวข้อ "**A Frequency Reconfigurable Antenna Design for UWB Applications**", Nakhon Ratchasima, Thailand, May 14-17, 2014.
- (2) 2013 Thailand - Japan microwave (TJMW2013) King Mongkut's University of Technology North Bangkok. "**A Frequency Reconfigurable Antenna Design for UWB Applications**", Thailand, December 2-4, 2013.