



รายงานการวิจัย

การสวิตช์ลำคลื่นโดยใช้สายอากาศเพียงต้นเดียว
Beam Switching using Single Antenna Element

ผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อูทวารสกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2550

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2552

ก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการวิจัยนี้

ผู้วิจัย

กันยายน 2552

บทคัดย่อ

ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา ระบบสื่อสารไร้สายได้มีการเติบโตอย่างรวดเร็ว เพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นดังกล่าว ผู้ให้บริการระบบสื่อสารไร้สายจำเป็นต้องเพิ่มแถบความถี่ในการใช้งานให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามแถบความถี่ที่สามารถใช้งานได้นั้นมีอยู่จำกัด ดังนั้นจึงมีผู้ให้ความสนใจกับระบบที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบสื่อสารไร้สายได้โดยไม่ต้องเพิ่มแถบความถี่ใช้งาน ซึ่งระบบดังกล่าวได้แก่ ระบบที่มีความสามารถในการสวิตช์ลำคลื่น ที่ผ่านมาการสวิตช์ลำคลื่นสามารถกระทำผ่านการใช้สายอากาศแถวลำดับร่วมกับหน่วยประมวลผลสัญญาณ ซึ่งยังมีข้อจำกัดต่อการติดตั้งที่ผู้ใช้งาน เนื่องจากมีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมาก ดังนั้นรายงานการวิจัยฉบับนี้จึงได้เสนอการออกแบบระบบที่สามารถสวิตช์ลำคลื่นหลายทิศทางได้โดยใช้สายอากาศเพียงต้นเดียว เนื่องจากโครงสร้างของสายอากาศไม่มีความซับซ้อน จึงทำให้มีต้นทุนต่ำในการสร้าง การทดสอบสายอากาศที่ออกแบบนั้นกระทำผ่านทั้งการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์ และการทดสอบจริง ยิ่งไปกว่านั้นเพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย สายอากาศต้นแบบจึงได้ถูกทดสอบภายใต้สถานการณ์จริงที่มีการใช้งานของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยให้ค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้งานรับได้เป็นตัวบ่งบอกถึงสมรรถนะของระบบ ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า สายอากาศที่ได้ออกแบบในงานวิจัยชิ้นนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบเครือข่ายท้องถิ่นได้

Abstract

As the demand of wireless communication has been dramatically increased over the last two decades, wireless system operator needs an extra frequency spectrum to cope this enormous demand. Unfortunately, the available frequency spectrum is limited. One technique that is capable of increasing the wireless system capacity without additional frequency spectrum is a switched-beam technique. So far, beam switching can be accomplished using an antenna array cooperating with signal processing unit. However, this can be a limiting factor for fabricating in mobile terminals. Therefore, this report proposes a low profile antenna which is able to switch beam pattern for several directions. As its structure is very simple, manufacturing need only a few pennies. The beam switching capability of the proposed antennas is demonstrated through simulation and experimental result. Furthermore, the antenna prototype is tested under real circumstance of existing WLAN infrastructure. The measured signal strength is considered as an enhancing indicator. The results indicate that the proposed switched-beam antenna provides higher capability of received signal strength. Hence, the performance of WLAN systems can be enhanced.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 หลักการพื้นฐานของระบบสายอากาศแก่ง	4
2.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่นและสายอากาศแบบปรับตัว	8
2.4 ทฤษฎีเบื้องต้นของสายอากาศไมโครสตริป	16
2.5 ทรานซิสเตอร์	22
2.6 ไดโอด	24
2.7 กล่าวสรุป	30
บทที่ 3 การสวิตซ์ลำคลื่นโดยใช้สายอากาศเพียงต้นเดียว	31
3.1 กล่าวนำ	31
3.2 การสำรวจปริทัศน์วรรณกรรม	32
3.3 การออกแบบสายอากาศในโครงการวิจัยนี้	36
3.4 กล่าวสรุป	51

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบจริงของสายอากาศต้นแบบ	52
4.1 กล่าวนำ	52
4.2 การสร้างสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมมีร่องต่อ	52
4.3 การสร้างวงจรควบคุมการลัดวงจร	54
4.4 หลักการทำงานของวงจรควบคุมสวิตช์ด้วยทรานซิสเตอร์	56
4.5 ผลการวัดทดสอบของสายอากาศสี่เหลี่ยมมีร่องต่อ	57
4.6 การสร้างสายอากาศรูปแปดเหลี่ยม	71
4.7 ผลการวัดทดสอบของสายอากาศแปดเหลี่ยม	72
4.8 การทดสอบสายอากาศในสถานการณ์จริงที่มีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย	76
4.9 กล่าวสรุป	78
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	79
5.1 สรุป	79
5.2 ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการพัฒนาต่อ	79
บรรณานุกรม	81
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่	83
ประวัติผู้วิจัย	84

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2-1 โครงสร้างของสายอากาศแก่ง	5
รูปที่ 2-2 โครงสร้างของสายอากาศแบบสวิทช์ลำคลื่น	6
รูปที่ 2-3 โครงสร้างของโครงข่ายก่อรูปลำคลื่นแบบ Butler matrix	7
รูปที่ 2-4 โครงสร้างของสายอากาศแบบปรับลำคลื่น	8
รูปที่ 2-5 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบริงฝั่งที่มีการใช้ความถี่ซ้ำเท่ากับ 7	10
รูปที่ 2-6 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าอัตราส่วนคลื่นพาห်ต่อ สัญญาณแทรกสอดในกรณีที่ไม่เกิดเฟดดิ้งของสายอากาศแบบเส้น	12
รูปที่ 2-7 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าอัตราส่วนคลื่นพาห်ต่อ สัญญาณแทรกสอดในกรณีที่เกิดเฟดดิ้งของสายอากาศแบบเส้น	12
รูปที่ 2-8 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าวิสัยสามารถในกรณีที่ไม่เกิดเฟดดิ้งของสายอากาศแบบเส้น	13
รูปที่ 2-9 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าวิสัยสามารถในกรณีที่เกิดเฟดดิ้งของ สายอากาศแบบเส้น	13
รูปที่ 2-10 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าอัตราส่วนคลื่นพาห်ต่อ สัญญาณแทรกสอดในกรณีที่ไม่เกิดเฟดดิ้งของสายอากาศแบบระนาบ	14
รูปที่ 2-11 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าอัตราส่วนคลื่นพาห်ต่อ สัญญาณแทรกสอดในกรณีที่เกิดเฟดดิ้งของสายอากาศแบบระนาบ	15
รูปที่ 2-12 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าวิสัยสามารถในกรณี ที่ไม่เกิดเฟดดิ้งของสายอากาศแบบระนาบ	15
รูปที่ 2-13 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าวิสัยสามารถในกรณี ที่เกิดเฟดดิ้งของสายอากาศแบบระนาบ	16
รูปที่ 2-14 โครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป	17
รูปที่ 2-15 ตัวอย่างสายอากาศแบบไมโครสตริปที่แพร่กระจายคลื่นตามแนวกว้าง [8]	18
รูปที่ 2-16 ตัวอย่างสายอากาศแบบไมโครสตริปที่แพร่กระจายคลื่นตามแนวยาว [8]	19
รูปที่ 2-17 โครงสร้างของสายอากาศที่ไม่มีพาราซิติคแบบช่องเปิด [10]	19

	หน้า
รูปที่ 2-18 โครงสร้างของสายอากาศที่ไม่มีพาราซิติคแบบช่องเปิด [10]	20
รูปที่ 2-19 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป แบบแพทช์สี่เหลี่ยมที่มีซี่และร่อง [11]	21
รูปที่ 2-20 สายอากาศร่องหกเหลี่ยมด้านเท่าที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วม แบบแถบความถี่กว้าง [12]	21
รูปที่ 2-21 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ในรูป ก. และ PNP ในรูป ข. ส่วน ค. และ ง. แสดงการเปรียบเสมือน ไดโอด 2 ตัวชนกัน	22
รูปที่ 2-22 สัญลักษณ์ ของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ชนิด	23
รูปที่ 2-23 แสดงการเกิดกระแสเมื่อมีการป้องกันแรงดันที่ ขาต่าง ๆ	23
รูปที่ 2-24 ขณะเชื่อมต่อสาร P และสาร N จะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเข้าหาโฮล	26
รูปที่ 2-25 เกิดเบตเตอร์สมมุติ หรือดีพลีชันริจิน ขึ้นระหว่างรอยต่อ	26
รูปที่ 2-26 โครงสร้าง สัญลักษณ์ของไดโอด	28
รูปที่ 2-27 วงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์	29
รูปที่ 2-28 วิธีการวัด ไดโอดเข็มมิเตอร์ต้องขึ้นครั้งหนึ่งไม่ขึ้นครั้งหนึ่ง	31
รูปที่ 3-1 โครงสร้างของสายอากาศรูปก้นหอยจากเอกสารอ้างอิงหมายเลข [13-14]	31
รูปที่ 3-2 สัดส่วนของแขนของสายอากาศรูปก้นหอยจากเอกสารอ้างอิงหมายเลข [13-14]	32
รูปที่ 3-3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศก้นหอยที่ได้จากการจำลองแบบเมื่อ $M = 4$	33
รูปที่ 3-4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศก้นหอยที่ได้จากการจำลองแบบเมื่อ $M = 8$	33
รูปที่ 3-5 โครงสร้างของสายอากาศวงรอบสี่เหลี่ยมจากเอกสารอ้างอิงหมายเลข [16]	34
รูปที่ 3-6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศวงรอบสี่เหลี่ยมเมื่อป้อนสัญญาณที่ ตำแหน่งต่างกัน (A, B, C และ D)	35
รูปที่ 3-7 โครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่นสี่เหลี่ยม	35
รูปที่ 3-8 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบแผ่นสี่เหลี่ยม	36
รูปที่ 3-9 สายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมมีร่องต่อทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz	37
รูปที่ 3-10 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศสี่เหลี่ยมมีร่องต่อ	38
รูปที่ 3-11 รูปแบบการลัดวงจรด้านบนกับด้านล่าง	38
รูปที่ 3-12 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศสี่เหลี่ยมที่มีการลัดวงจร ที่ด้านบนและด้านล่าง	39

	หน้า
รูปที่ 3-13 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศสี่เหลี่ยมที่มีการลัดวงจร ที่ด้านซ้ายและด้านขวา	39
รูปที่ 3-14 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศสี่เหลี่ยมที่มีการลัดวงจร ที่ด้านบนและด้านขวา	40
รูปที่ 3-15 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศสี่เหลี่ยมที่มีการลัดวงจร ที่ด้านบนและด้านขวา	40
รูปที่ 3-16 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศสี่เหลี่ยมที่มีการลัดวงจร ที่ด้านล่างและด้านซ้าย	41
รูปที่ 3-17 โครงสร้าง และลักษณะการลัดวงจรของสายอากาศแปดเหลี่ยม	42
รูปที่ 3-18 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม และลักษณะการลัดวงจรสำหรับกรณีที่ 1	43
รูปที่ 3-19 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม และลักษณะการลัดวงจรสำหรับกรณีที่ 2	44
รูปที่ 3-20 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม และลักษณะการลัดวงจรสำหรับกรณีที่ 3	45
รูปที่ 3-21 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม และลักษณะการลัดวงจรสำหรับกรณีที่ 4	46
รูปที่ 3-22 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม และลักษณะการลัดวงจรสำหรับกรณีที่ 5	47
รูปที่ 3-23 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม และลักษณะการลัดวงจรสำหรับกรณีที่ 6	48
รูปที่ 3-24 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม และลักษณะการลัดวงจรสำหรับกรณีที่ 7	49
รูปที่ 3-25 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม และลักษณะการลัดวงจรสำหรับกรณีที่ 8	50
รูปที่ 4-1 แบบลายพิมพ์ของสายอากาศที่ทำการออกแบบ	52
รูปที่ 4-2 แผ่น Epoxy ที่ตัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว	53
รูปที่ 4-3 หัวต่อชนิด SMA	53

	หน้า
รูปที่ 4-4 ภาพถ่ายของสายอากาศสี่เหลี่ยมมีช่องต่อ	54
รูปที่ 4-5 วงจรควบคุมสวิตช์และวงจรถรานซิสเตอร์แบบ Fix bias ตามลำดับ	55
รูปที่ 4-6 วงจรควบคุมการลัดวงจรที่สายอากาศด้วยทรานซิสเตอร์	56
รูปที่ 4-7 ระนาบ xy ในการวัดสายอากาศต้นแบบ	57
รูปที่ 4-8 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดของสายอากาศ เมื่อไม่มีการลัดวงจร	58
รูปที่ 4-9 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านบนและด้านล่าง	58
รูปที่ 4-10 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านซ้ายและด้านขวา	59
รูปที่ 4-11 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านบนและด้านขวา	59
รูปที่ 4-12 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านขวาและด้านล่าง	60
รูปที่ 4-13 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านขวาและด้านล่าง	60
รูปที่ 4-14 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านซ้ายและด้านบน	61
รูปที่ 4-15 ระนาบ yz ในการวัดสายอากาศต้นแบบ	61
รูปที่ 4-16 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ yz จากการวัดของสายอากาศ เมื่อไม่มีการลัดวงจร	62
รูปที่ 4-17 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ yz จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านซ้ายและด้านขวา	63
รูปที่ 4-18 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ yz จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านบนและด้านขวา	64
รูปที่ 4-19 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ yz จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านขวาและด้านล่าง	64
รูปที่ 4-20 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ yz จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านล่างและด้านซ้าย	65
รูปที่ 4-21 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ yz จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านซ้ายและด้านบน	65
รูปที่ 4-22 ระนาบ zx ในการวัดสายอากาศต้นแบบ	
รูปที่ 4-23 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ zx จากการวัดของสายอากาศ เมื่อไม่มีการลัดวงจร	66
รูปที่ 4-24 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ zx จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านบนและด้านล่าง	67

	หน้า
รูปที่ 4-25 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ zx จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านซ้ายและด้านขวา	68
รูปที่ 4-26 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ zx จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านบนและด้านขวา	68
รูปที่ 4-27 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ zx จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านขวาและด้านล่าง	69
รูปที่ 4-28 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ zx จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านล่างและด้านซ้าย	69
รูปที่ 4-29 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ zx จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านซ้ายและด้านบน	70
รูปที่ 4-30 ภาพถ่ายสายอากาศต้นแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม	71
รูปที่ 4-31 รูปแบบการลัดวงจรของสายอากาศแปดเหลี่ยม	71
รูปที่ 4-32 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแปดเหลี่ยมจากการวัด สำหรับการลัดวงจรกรณีที่ 1	72
รูปที่ 4-33 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแปดเหลี่ยมจากการวัด สำหรับการลัดวงจรกรณีที่ 2	72
รูปที่ 4-34 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแปดเหลี่ยมจากการวัด สำหรับการลัดวงจรกรณีที่ 3	73
รูปที่ 4-35 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแปดเหลี่ยมจากการวัด สำหรับการลัดวงจรกรณีที่ 4	73
รูปที่ 4-36 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแปดเหลี่ยมจากการวัด สำหรับการลัดวงจรกรณีที่ 5	74
รูปที่ 4-37 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแปดเหลี่ยมจากการวัด สำหรับการลัดวงจรกรณีที่ 6	74
รูปที่ 4-38 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแปดเหลี่ยมจากการวัด สำหรับการลัดวงจรกรณีที่ 7	75
รูปที่ 4-39 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแปดเหลี่ยมจากการวัด สำหรับการลัดวงจรกรณีที่ 8	75

รูปที่ 4-40 แผนที่ของพื้นที่ในการทดสอบสายอากาศแปดเหลี่ยม
พร้อมการบอกตำแหน่งของการทดสอบ

76

บทที่ ๒
สารบัญญัตินี้

บทที่ ๒

	หน้า
ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบความซับซ้อนและค่าใช้จ่ายของสายอากาศเก่งทั้งสองแบบ	9
ตารางที่ 2-2 Coding scheme สำหรับการส่งข้อมูลของระบบบีพียอร์เอส	11
ตารางที่ 4-1 ผลการวัดที่ตำแหน่งที่ 1 ถึง 10	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

เนื่องจากในปัจจุบันมีจำนวนผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่และระบบสื่อสารไร้สายเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ทรัพยากรความถี่มีอยู่จำกัดและกำลังจะหมดลง จึงทำให้เกิดความไม่เพียงพอในการรองรับจำนวนผู้ใช้บริการที่เพิ่มขึ้นดังกล่าว เทคนิคการใช้ความถี่ซ้ำ (frequency-reuse technique) เป็นเทคนิคหนึ่งที่จะช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาด้วยวิธีนี้อาจนำไปสู่ปัญหาถัดไปซึ่งได้แก่ สัญญาณรบกวนจากช่องสัญญาณเดียวกัน (co-channel interference) ที่มาจากพื้นที่ใกล้เคียงที่ใช้ความถี่ซ้ำ ดังนั้นการใช้สายอากาศที่สามารถสวิตช์ลำคลื่น (switched-beam antenna) ให้มีทิศทางของลำคลื่นหลัก (main beam) ชี้ไปยังผู้ใช้บริการอย่างเฉพาะเจาะจง และชี้จุดศูนย์ (nulls) หรือลำคลื่นรอง (minor lobes) ชี้ไปในทิศทางของสัญญาณรบกวน จะช่วยลดปัญหาการเกิดสัญญาณรบกวนจากช่องสัญญาณเดียวกันลงได้ ซึ่งไม่เพียงแต่จะทำให้คุณภาพของสัญญาณดีขึ้นแล้ว ยังส่งผลให้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่และระบบสื่อสารไร้สายมีความจุและประสิทธิภาพที่สูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากสามารถส่งสัญญาณไปหาผู้ใช้บริการได้ในเวลาเดียวกัน ความถี่เดียวกัน แต่คนละทิศทางได้ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาระบบสายอากาศที่มีความสามารถในการสวิตช์ลำคลื่นได้ในหลายทิศทางให้มีขนาดเล็ก กะทัดรัด และต้นทุนต่ำ

โดยปกติแล้วระบบสายอากาศที่สามารถสวิตช์ลำคลื่นไปในทิศทางต่างๆ จะต้องประกอบด้วยสายอากาศมากกว่าหนึ่งต้น หรือที่เรียกกันว่าสายอากาศแถวลำดับ (array antenna) และเครือข่ายก่อรูปลำคลื่น (beamforming network) ที่ประกอบด้วยตัวเลื่อนเฟส (phase shifter) เพื่อใช้ในการปรับเฟสของสัญญาณที่ได้รับเข้ามาหรือส่งออกจากสายอากาศแถวลำดับเพื่อให้ได้ทิศทางของลำคลื่นตามต้องการ ซึ่งระบบที่ใช้ยูดังกล่าวมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ ได้แก่ ต้นทุนการผลิตที่สูงเพื่อใช้ในการสร้างสายอากาศแถวลำดับที่มีจำนวนสายอากาศหลายต้น และตัวเลื่อนเฟสที่ใช้ใช้นั้นต้องมีความแม่นยำสูงและรวดเร็วทันต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของผู้ใช้บริการ มิเช่นนั้นการสวิตช์ลำคลื่นจะเกิดความผิดพลาดได้ ซึ่งนอกจากจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงแล้ว ยังส่งผลให้ระบบมีความซับซ้อนอีกด้วย

จากเหตุผลที่ได้กล่าวมาข้างในข้างต้น โครงการวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นที่จะพัฒนาระบบสายอากาศที่มีความสามารถในการสวิตช์ลำคลื่น โดยใช้สายอากาศเพียงต้นเดียวเท่านั้นเพื่อลดต้นทุนการผลิต และการ

สวิตช์ล้าคลิ่นในงานวิจัยนี้จะกระทำด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานอย่างง่ายซึ่งมีราคาถูกและไม่มีความซับซ้อนแต่อย่างใด จึงทำให้สามารถกำจัดปัญหาที่จะเกิดจากความซับซ้อนและความไม่แม่นยำของตัวเลื่อนเฟสออกไปได้ จนในที่สุดจะได้ระบบสายอากาศที่มีราคาถูก ไม่ซับซ้อน แต่มีประสิทธิภาพสูงในการก่อรูปล้าคลิ่นไปในทิศทางที่ต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาตัวต้นแบบของระบบสายอากาศที่มีความสามารถในการสวิตช์ล้าคลิ่น โดยใช้สายอากาศเพียงต้นเดียวร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานอย่างง่ายเพื่อช่วยกำหนดทิศทางของการสวิตช์ล้าคลิ่น
2. เพื่อสร้างเทคโนโลยีใหม่ที่มีศักยภาพในการแข่งขันกับต่างประเทศได้

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาและออกแบบโครงสร้างของสายอากาศที่จะนำมาเป็นต้นแบบ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์
2. สร้างต้นแบบของสายอากาศที่ได้ออกแบบไว้ ทดสอบและแก้ไขจนบรรลุวัตถุประสงค์
3. ศึกษาและออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการกำหนดทิศทางของล้าคลิ่น
4. สร้างวงจรต้นแบบที่ได้ออกแบบไว้ และทดสอบจนบรรลุวัตถุประสงค์
5. ประกอบสายอากาศเข้ากับวงจรต้นแบบ และทดสอบสมรรถนะตลอดจนแก้ไข ปรับปรุง จนได้ระบบสายอากาศที่มีความสามารถในการสวิตช์ล้าคลิ่นในทิศทางต่าง ๆ

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1. สำรองปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับระบบสายอากาศ
3. ออกแบบสายอากาศที่ใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย
4. สร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio
5. สร้างสายอากาศตามแบบจำลอง และวัดแบบรูปการแผ่พลังงานเปรียบเทียบกับผลจากโปรแกรม
6. ทดสอบในสภาพแวดล้อมจริงภายใต้เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายทั้งสายอากาศต้นแบบ และสายอากาศแบบรอบทิศทาง
7. วิเคราะห์ผล โดยเปรียบเทียบผลของสายอากาศต้นแบบกับสายอากาศแบบรอบทิศทาง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้สายอากาศต้นแบบอย่างง่ายและมีต้นทุนต่ำที่มีความสามารถในการสวิตช์ลำคลื่นได้หลายทิศทาง และ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับอีกประการหนึ่งได้แก่ การเผยแพร่ผลงานวิจัยนี้ในงานประชุมวิชาการอย่างน้อย 1 บทความ ซึ่งเป็นการนำองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้เผยแพร่แก่นักวิจัยที่ทำงานในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดสำหรับงานวิจัยอื่นๆ ได้

บทที่ 2

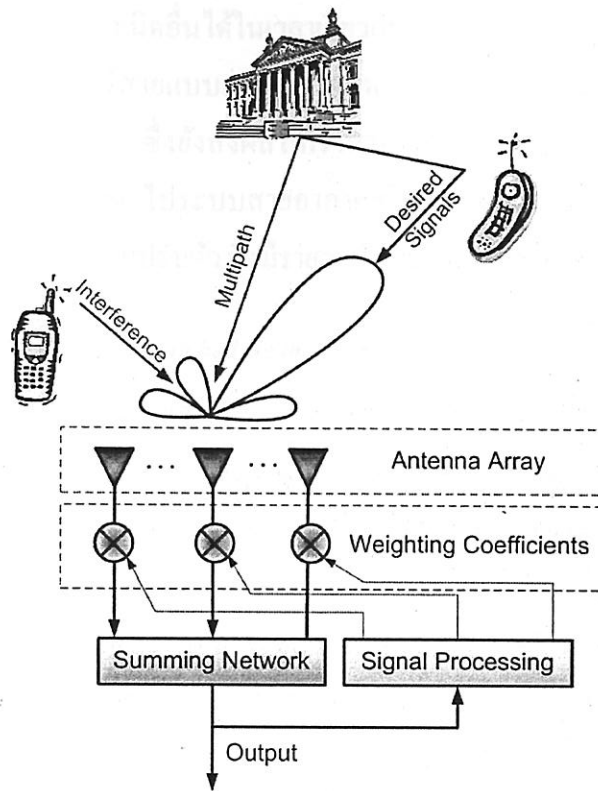
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในไม่กี่สิบปีที่ผ่านมา ระบบการส่งสัญญาณแบบไร้สายได้เติบโตเป็นอย่างมาก ซึ่งจะเห็นได้จากวิฤตติตามตัว โทรศัพท์มือถือ จนถึงคอมพิวเตอร์เคลื่อนที่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วดังกล่าวมีผลกระทบต่อเศรษฐกิจและชีวิตประจำวันของประชากรโลกแทบทุกคนจากการพัฒนาดังกล่าว ปัญหาอย่างหนึ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ได้แก่ ความไม่เพียงพอของทรัพยากรความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งการนำเอาทรัพยากรความถี่กลับมาใช้ใหม่หรือใช้ซ้ำนั้นเป็นสิ่งที่กระทำไม่ได้โดยตรงเนื่องจากจะมีผลของสัญญาณแทรกสอดที่มาจากแหล่งกำเนิดที่ใช้ความถี่เดียวกัน การใช้ระบบสายอากาศเก่งเป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว เนื่องจากเป็นระบบสามารถสวิตช์ลำคลื่นให้มีอัตราขยายสูงสุดในทิศทางที่เฉพาะเจาะจงได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถหันจุดศูนย์หรือพูรอง ไปยังทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้ ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการพื้นฐานและประเภทของระบบสายอากาศเก่งโดยสังเขป ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท และในส่วนท้ายของบทจะกล่าวถึงการเปรียบเทียบรวมถึงข้อดีข้อเสียของทั้งสองระบบ

2.2 หลักการพื้นฐานของระบบสายอากาศเก่ง

ระบบสายอากาศเก่ง (smart antenna systems) เป็นระบบที่ประกอบด้วยสายอากาศแถวลำดับ (array antennas) และส่วนการประมวลผลสัญญาณ (signal processing unit) ระบบสายอากาศเก่งนี้สามารถลดสัญญาณแทรกสอด (interference signal) ที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณเป้าหมาย (desired signal) ที่มาจากแหล่งกำเนิดอื่นได้ด้วยการหันลำคลื่นหลัก (mainbeam) ไปยังทิศทางของสัญญาณเป้าหมาย ในขณะที่ยังสามารถหันจุดศูนย์ (null) หรือพูรอง (sidelobe) ไปยังทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2-1 [1-4] กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ระบบสายอากาศเก่งสามารถกำหนดอัตราขยายสูงสุดให้กับสัญญาณที่มาจากทิศทางเป้าหมาย ในเวลาเดียวกันก็สามารถลดอัตราขยายของสัญญาณที่มาจากแหล่งกำเนิดอื่นได้ กระบวนการที่ได้กล่าวมานั้นเรียกว่า การก่อรูปลำคลื่น (beamforming) นั่นเอง ดังนั้นสัญญาณขาออกจากระบบจึงเป็นสัญญาณเป้าหมายเท่านั้น ซึ่งปราศจากสัญญาณแทรกสอดที่มาจากแหล่งกำเนิดอื่น ซึ่ง



รูปที่ 2-1 โครงสร้างของสายอากาศเก่ง

ความสามารถดังกล่าวทำให้ระบบสามารถใช้ความถี่ซ้ำเดิมได้ในตำแหน่งที่แตกต่างกันโดยปราศจากปัญหาจากการแทรกสอดของสัญญาณที่มีช่องสัญญาณร่วมกัน (co-channel interference) จึงทำให้เราสามารถให้บริการความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

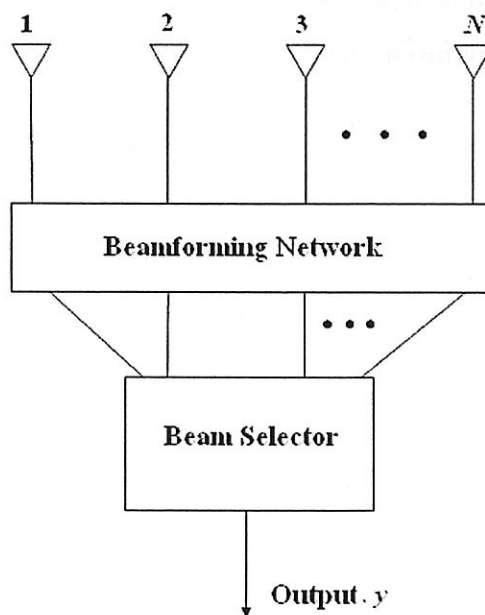
การทำงานของระบบสายอากาศเก่งในรูปที่ 2-1 อธิบายได้ดังนี้ ในกรณีที่พิจารณาให้ระบบเป็นภาครับ เมื่อสัญญาณจากแหล่งกำเนิดเป้าหมายรวมถึงสัญญาณแทรกสอดที่ความถี่เดียวกันมาตกกระทบเข้ากับสายอากาศแถวลำดับ สัญญาณที่รับมาได้นี้จะถูกถ่วงน้ำหนักที่สายอากาศแต่ละต้น การถ่วงน้ำหนักดังกล่าวหมายถึง การปรับค่าขนาดและเฟสของสัญญาณที่สายอากาศรับได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า สัญญาณที่สายอากาศแต่ละต้นจะถูกคูณเข้ากับสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเป็นเชิงซ้อน (complex number) เพื่อที่จะทำให้ขนาดและเฟสของสัญญาณเปลี่ยนไป ค่าสัมประสิทธิ์นี้จะถูกเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก (weighting coefficients) จากนั้นสัญญาณจากสายอากาศทุกๆ ต้นที่ผ่านการถ่วงน้ำหนักแล้วจะรวมกันออกมาเป็นสัญญาณขาออก โดยที่สัญญาณขาออกจะถูกนำกลับเข้ามาประมวลผลในส่วนของ การประมวลผลสัญญาณเพื่อคำนวณค่าน้ำหนักที่เหมาะสม และเพื่อป้อนกลับไปควบคุมน้ำหนักที่สัญญาณในสายอากาศแต่ละต้นอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งการป้อนกลับดังกล่าวจะกระทำในลักษณะอัตโนมัติและตลอดเวลา ดังนั้นจึงทำให้ระบบสามารถติดตามสัญญาณเป้าหมายไม่ว่าจะเคลื่อนที่ไปที่ทิศทางใดก็ตาม รวมถึงสามารถ

กำจัดสัญญาณแทรกสอดจากแหล่งกำเนิดอื่นได้ในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้เมื่อนำเอาระบบสายอากาศเก่งไปใช้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ไร้สายแบบเซลลูลาร์จะทำให้สามารถขยายพื้นที่ครอบคลุมได้กว้างขึ้นเนื่องจากอัตราขยายของระบบสูงขึ้น ซึ่งยังส่งผลให้เราสามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้อีกด้วย โดยทั่วไประบบสายอากาศเก่งแบ่งออกเป็นสองประเภทได้แก่ สายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่น และสายอากาศแบบปรับตัว ซึ่งมีรายละเอียดรวมถึงจุดเด่นจุดด้อยดังต่อไปนี้

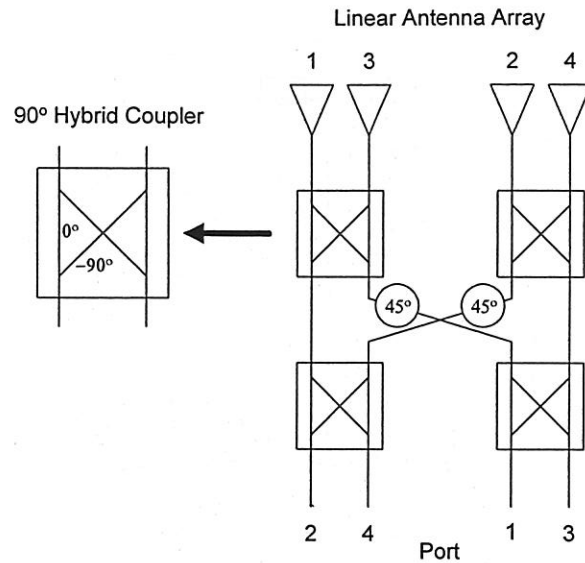
2.2.1 สายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่น (Switched Beam Antennas)

รูปที่ 2-2 แสดงโครงสร้างของสายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นซึ่งประกอบด้วย สายอากาศแถวลำดับจำนวน N ต้น โครงข่ายก่อรูปลำคลื่น (beamforming network) และตัวเลือกลำคลื่น เมื่อพิจารณาให้ระบบเป็นภาครับ สัญญาณที่ตกกระทบกับสายอากาศแถวลำดับจะถูกส่งต่อไปยังโครงข่ายก่อรูปลำคลื่นเพื่อก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางต่างๆ ที่ได้กำหนดเอาไว้ก่อนล่วงหน้า หลังจากนั้นตัวเลือกลำคลื่นจะทำหน้าที่ในการเลือกลำคลื่นที่มีขนาดของสัญญาณแรงที่สุด ตามความเป็นจริงที่ว่าลำคลื่นที่ให้ขนาดของสัญญาณที่แรงที่สุดนั้น คือลำคลื่นที่ชี้ไปในทิศทางของสัญญาณที่ต้องการหรือที่เราเรียกว่าสัญญาณเป้าหมาย และเป็นลำคลื่นที่มีผลกระทบจากสัญญาณแทรกสอดน้อยที่สุด

โครงข่ายก่อรูปลำคลื่นที่แสดงไว้ในรูปที่ 2-3 เป็นหัวใจหลักที่ทำให้ระบบสามารถหันลำคลื่นหลักไปยังทิศทางต่างๆ ได้ ซึ่งโครงข่ายก่อรูปลำคลื่นที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือ Butler matrix [5-7] ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2-3 ซึ่งประกอบด้วย ตัวเชื่อมต่อแบบไฮบริด 90° (90° hybrid coupler) 4 ตัว วงจรตัดข้าม



รูปที่ 2-2 โครงสร้างของสายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่น



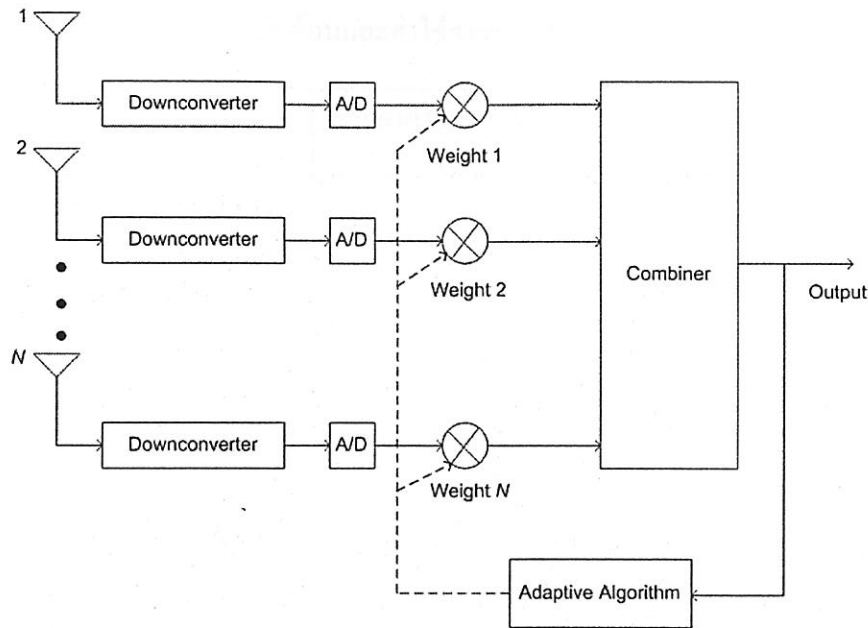
รูปที่ 2-3 โครงสร้างของโครงข่ายก่อรูปลำคลื่นแบบ Butler matrix

(crossover) 2 ตัว และตัวเลื่อนเฟส 45° (45° phase shifter) 2 ตัว โครงข่ายก่อรูปลำคลื่นชนิดนี้จะก่อรูปลำคลื่นไปยังทิศทาง 4 ทิศทางในเวลาเดียวกันได้แก่ทิศ 138.6° 104.5° 75.5° และ 41.4°

ระบบสายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นนี้มีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำและมีความซับซ้อนน้อย แต่จะเห็นได้ว่าทิศทางของลำคลื่นหลักรวมถึงทิศทางของจุดศูนย์ที่ได้นั้นไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นสายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นจึงไม่เหมาะสมที่จะใช้งานในลักษณะที่มีการเคลื่อนที่ของผู้ให้บริการ เนื่องจากจะให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด (Signal-to-Interference Ratio: SIR) ก่อนข้างต่ำ ในกรณีที่สัญญาณเป้าหมายไม่ได้อยู่ในทิศทางของลำคลื่นหลัก หรือสัญญาณแทรกสอดไม่ได้อยู่ในทิศทางของจุดศูนย์นั่นเอง

2.2.2 สายอากาศแบบปรับตัว (Adaptive Antennas)

สายอากาศแบบปรับตัวที่มีโครงสร้างตามรูปที่ 2-4 เป็นอีกประเภทหนึ่งของระบบสายอากาศแบบสายอากาศแบบปรับตัวนี้จะมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนลำคลื่นหลักให้หันไปยังทิศทางของสัญญาณเป้าหมายถึงแม้ว่าแหล่งกำเนิดสัญญาณจะเคลื่อนที่ก็ตาม ในขณะที่เดียวกันระบบก็สามารถหันจุดศูนย์ไปยังทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณแทรกสอดที่ความถี่เดียวกันได้ การกระทำดังกล่าวกระทำผ่านการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักให้กับสายอากาศแต่ละต้นในสายอากาศแถวลำดับ ซึ่งค่าน้ำหนักดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากอัลกอริทึมที่หลากหลายเช่น LMS (Least Mean Square) RLS (Recursive Least Square) หรือ Bussgang Algorithm [5] ซึ่งต้องอาศัยบอร์ดประมวลผลสัญญาณเชิงดิจิทัลที่มีความสามารถในการประมวลผลขั้นสูง และยังมีอัตราการผลิตสัญญาณที่สูงอีกด้วยเพื่อให้



รูปที่ 2-4 โครงสร้างของสายอากาศแบบปรับค่าคลื่น

สามารถติดตามผู้ใช้งานที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ซึ่งต่างจากสายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่นที่ไม่ต้องอาศัยการใช้อัลกอริทึมแต่อย่างใด จึงกล่าวได้ว่าสายอากาศแบบปรับตัวมีความซับซ้อนมากกว่าสายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่น แต่ให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงกว่าในกรณีที่แหล่งกำเนิดสัญญาณมีการเคลื่อนที่

2.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่นและสายอากาศแบบปรับตัว

จากที่ได้กล่าวถึงหลักการทำงานและทฤษฎีเบื้องต้นของระบบสายอากาศแก่งทั้งแบบสวิตซ์ลำคลื่นและแบบปรับตัวในหัวข้อที่แล้ว ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเปรียบเทียบความซับซ้อนของสายอากาศแก่งทั้งสองแบบดังที่แสดงในตารางที่ 2.1 จากตารางจะเห็นว่าสายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่นจะมีค่าใช้จ่ายในการสร้างและการติดตั้งที่ต่ำกว่าสายอากาศแบบปรับตัว เนื่องจากระบบสายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่นต้องการเพียงโครงข่ายก่อรูปลำคลื่นที่ไม่มีความซับซ้อน ซึ่งสร้างได้จากแผงวงจรมิมพ์สองหน้าทั่วไป และโครงข่ายการสวิตซ์ที่ไม่จำเป็นต้องมีความเร็วสูงมากนัก อย่างไรก็ตามการหาทิศทางของสัญญาณด้วยระบบสายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่นนั้นจะมีความถูกต้องค่อนข้างต่ำ เนื่องจากระบบดังกล่าวมีข้อจำกัดสำหรับทิศทางการก่อรูปลำคลื่น จากตารางยังเห็นอีกว่าระบบสายอากาศแก่งแบบปรับตัวมีความซับซ้อนในการสร้างและติดตั้งและยังมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าสายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่น เนื่องมาจากระบบดังกล่าวต้องการการประมวลผล

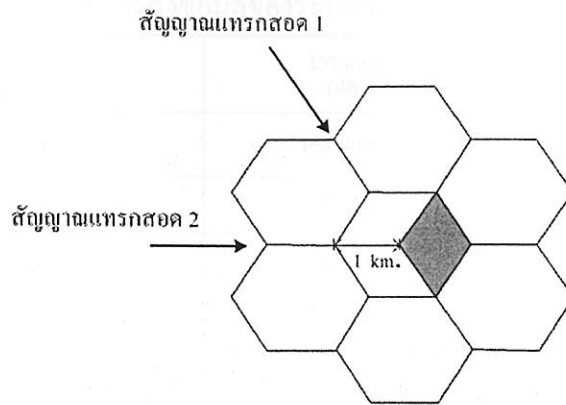
ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบความซับซ้อนและค่าใช้จ่ายของสายอากาศเก่งทั้งสองแบบ

	สายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่น	สายอากาศแบบปรับตัว
ค่าใช้จ่ายในการสร้างและการติดตั้ง	ต่ำ	สูง
ความซับซ้อนในการสร้างลำคลื่น	ต่ำ	สูง
การหาทิศทางของสัญญาณ	ต่ำ	สูง

ชั้นสูง และระบบประมวลผลสัญญาณต้องมีความเร็วมากพอที่จะตามให้ทันการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน อย่างไรก็ตาม ด้วยความที่ไม่มีขีดจำกัดในการก่อรูปลำคลื่นไปยังทุกทิศทางจึงทำให้ระบบสายอากาศแบบปรับตัวมีความสามารถในการหาทิศทางของสัญญาณที่เข้ามาได้แม่นยำกว่าระบบสายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่น

ต่อไปจะเป็นการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของสายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่น และแบบปรับตัว สายอากาศที่ใช้ในระบบสายอากาศเก่งจะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือแบบเส้น (linear array) และแบบระนาบ (planar array) โดยการเปรียบเทียบจะเพิ่มการใช้งานของสายอากาศแบบรอบทิศทางเข้าไปด้วย เพื่อแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพของระบบที่ใช้สายอากาศเก่ง การจำลองแบบในครั้งนี้จะจำลองสถานการณ์ของการใช้งานเครือข่ายแบบรังผึ้งซึ่งมีการกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้

1. รูปแบบเครือข่ายเป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบรังผึ้ง (cellular systems) ที่ใช้งานที่ความถี่ 1800 MHz
2. แต่ละเซลล์ถูกแบ่งเป็นเซกเตอร์ (sector) เซกเตอร์ละ 120° ดังนั้นสัญญาณแทรกสอดจากช่องสัญญาณเดียวกันเข้ามา 2 ทิศทางซึ่งอยู่ห่างจากพื้นที่ที่สนใจในประมาณ 3 กม.
3. รัศมีของเซลล์เท่ากับ 1 กม. ซึ่งอ้างอิงกับขนาดของเซลล์ขนาดใหญ่ (macro cell)
4. การใช้ความถี่ซ้ำ (frequency reuse) เท่ากับ 7
5. แบบจำลองเครือข่ายถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2-5 โดยส่วนที่แรเงาเป็นพื้นที่ที่สนใจ
6. กำหนดให้แต่ละเซกเตอร์มีผู้ใช้งาน 100 ผู้ใช้งาน ซึ่งมีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ (uniform distribution)
7. อัตราขยายของสายอากาศรอบทิศทางต้นเดียวเท่ากับ 0 dB อัตราขยายของสายอากาศสวิตซ์ลำคลื่นเท่ากับ 6.76 dB



รูปที่ 2-5 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบรังผึ้งที่มีการใช้ความถี่ซ้ำเท่ากับ 7

8. ในกรณีที่ใช้สายอากาศแบบเส้นจะใช้สายอากาศจำนวน 4×1 ต้น ซึ่งสายอากาศแต่ละต้นวางห่างกันที่ครึ่งความยาวคลื่น
9. ในกรณีที่ใช้สายอากาศแบบระนาบจะใช้สายอากาศจำนวน 2×2 ต้น ซึ่งสายอากาศแต่ละต้นวางห่างกันที่ความยาวคลื่นส่วนสี่
10. สายอากาศเก่งแบบปรับตัวใช้อัลกอริทึมในการสร้างลำคลื่นแบบค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด (Minimum Mean Square Error: MMSE)
11. อัตราขยายของสายอากาศที่สถานีฐานเท่ากับ 14 dB
12. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของวิธีการสูญเสีย (path loss) 6 dB
13. ระบบมีสัญญาณรบกวน (noise) -100 dBm
14. เพื่อให้ผลการจำลองแบบออกมาใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด จึงได้มีการรวมผลของปรากฏการณ์เชื่อมต่อยุ่ร่วม (mutual coupling effect) และผลการเกิดเฟดดิ้ง (signal fading) ของสัญญาณเข้าไว้ในแบบจำลองอีกด้วย
15. ในการจำลองแบบในครั้งนี้ได้ใช้ fading channel model ดังนี้ $m(dB) = \sqrt{-2\sigma p(m)\sqrt{2\pi\sigma^2} + L(dB)}$ เมื่อ $m(dB)$ คือ การสูญเสียจากเส้นทางเนื่องจาก slow fading, $L(dB)$ คือ ค่ากลางของการสูญเสียจากเส้นทาง, $p(m)$ คือ ค่าการกระจายตัวแบบสมมาตรแบบสุ่ม และ σ คือ ค่าคงที่การเบี่ยงเบน
16. การคำนวณหาค่าวิสัยสามารถ (throughput) เป็นไปตามตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 Coding scheme สำหรับการส่งข้อมูลของระบบจีพีอาร์เอส

Coding Scheme	C/I level (dB)	Throughput (kbps)
CS -1	less than 7	9.05
CS -2	7 - 12	13.4
CS -3	12 - 17	15.6
CS -4	more than 17	21.4

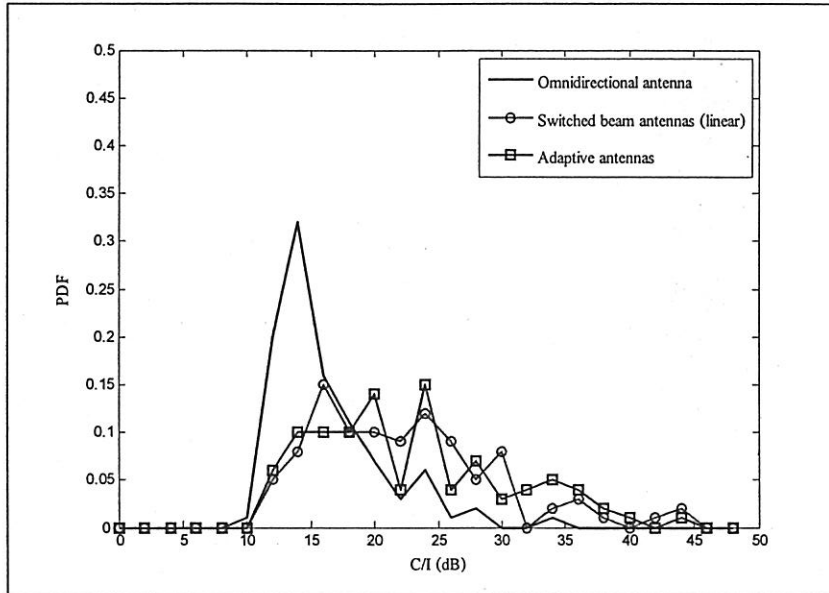
โดยค่าที่พิจารณาในการเปรียบเทียบสมรรถนะได้แก่ ค่าอัตราส่วนคลื่นพาห่ต่อสัญญาณแทรกสอด (Carrier-to-Interference Signal Ratio: C/I) และค่าวิสัยสามารถ (throughput) ซึ่งจะถูกแสดงในรูปของ ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density Function : PDF) ดังนั้นจุดสูงสุดของเส้นกราฟ แต่ละเส้นจะชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบนั้น ๆ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือจุดสูงสุดของเส้นกราฟอยู่ ตรงกับค่าใดแสดงว่าระบบนั้นมีความน่าจะเป็นที่จะได้ค่านั้นมากที่สุด

รูปที่ 2-6 แสดงรูปของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าอัตราส่วนคลื่นพาห่ต่อสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่สัญญาณไม่เกิดเฟดดิ้ง จากรูปจะเห็นว่าระบบที่ใช้งานสายอากาศรอบทิศทางต้นเดี่ยวนั้นมีโอกาสที่จะได้ค่าอัตราส่วนคลื่นพาห่ต่อสัญญาณแทรกสอดที่ต่ำ คือผู้ใช้งานระบบนี้ส่วนใหญ่ในเซลล์มีโอกาสที่จะได้ค่าอัตราส่วนคลื่นพาห่ต่อสัญญาณแทรกสอดประมาณ 15 dB และจากกราฟจะเห็นได้ว่าระบบที่ใช้งานสายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นที่ใช้สายอากาศแถวลำดับแบบเส้นกับสายอากาศเก่งแบบปรับตัวมีโอกาสที่จะได้รับค่าอัตราส่วนคลื่นพาห่ต่อสัญญาณแทรกสอดใกล้เคียงกันคือประมาณ 20 dB

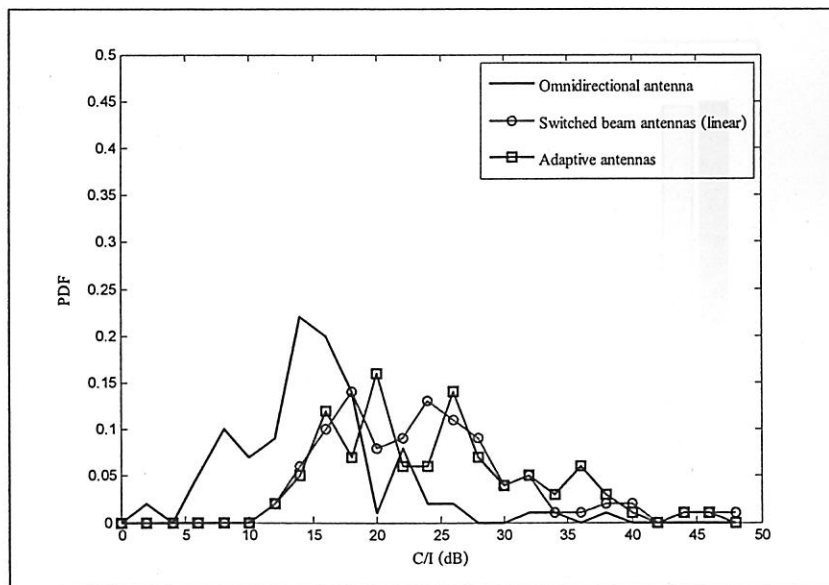
รูปที่ 2-7 แสดงรูปของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของค่าอัตราส่วนคลื่นพาห่ต่อสัญญาณแทรกสอดในกรณีสัญญาณเกิดเฟดดิ้ง ซึ่งผลที่ได้ก็ใกล้เคียงกับกรณีที่แสดงในรูปที่ 2-6 (สัญญาณไม่เกิดการเฟดดิ้ง) นั่นคือระบบที่ใช้งานสายอากาศรอบทิศทางแบบต้นเดี่ยวนั้นมีโอกาสที่จะได้ค่าอัตราส่วนคลื่นพาห่ต่อสัญญาณแทรกสอดประมาณ 15 dB มากที่สุด ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นและปรับตัวที่มีโอกาสมากที่สุดที่จะได้ค่าอัตราส่วนคลื่นพาห่ต่อสัญญาณแทรกสอดประมาณ 20 dB

รูปที่ 2-8 แสดงรูปของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าวิสัยสามารถในกรณีที่สัญญาณไม่เกิดเฟดดิ้ง จากรูปจะเห็นว่าสายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นมีโอกาสที่จะได้รูปแบบการเข้ารหัสที่ให้ค่าวิสัยสามารถที่มากที่สุดคือ 21.4 kbps รองลงมาคือสายอากาศแบบปรับตัวและสายอากาศแบบรอบทิศทางมีโอกาสต่ำที่สุด

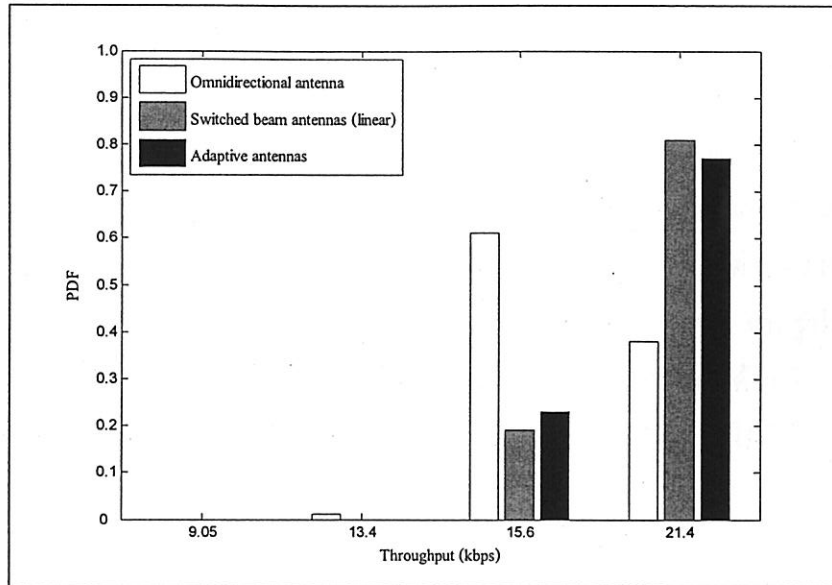
รูปที่ 2-9 แสดงรูปของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าวิสัยสามารถในกรณีที่สัญญาณเกิดเฟดดิ้ง ในกรณีนี้สายอากาศแบบปรับตัวมีโอกาสที่จะได้ค่าวิสัยสามารถมากที่สุดที่ 21.4 kbps แต่สายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่นก็มีโอกาสใกล้เคียงกับสายอากาศแบบปรับตัวมาก



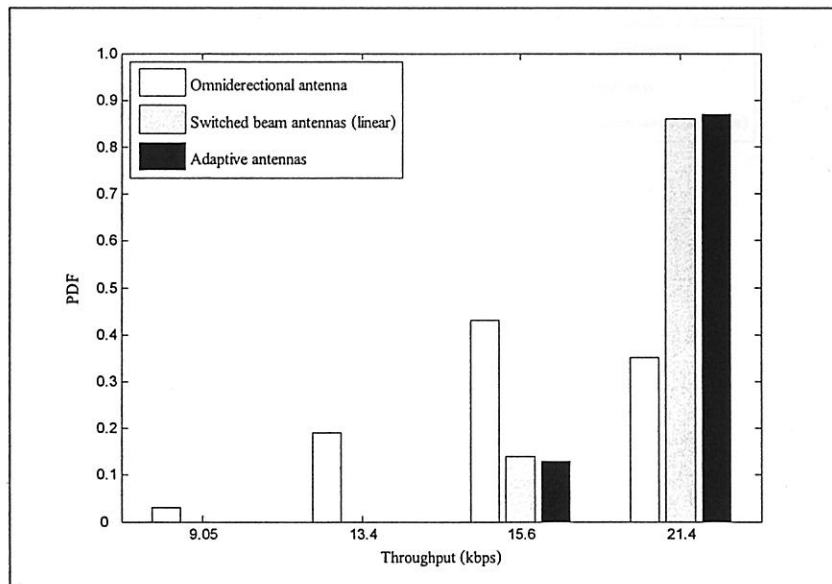
รูปที่ 2-6 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่ไม่มีเกิดเฟดดิ้งของสายอากาศแบบเส้น



รูปที่ 2-7 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่เกิดเฟดดิ้งของสายอากาศแบบเส้น



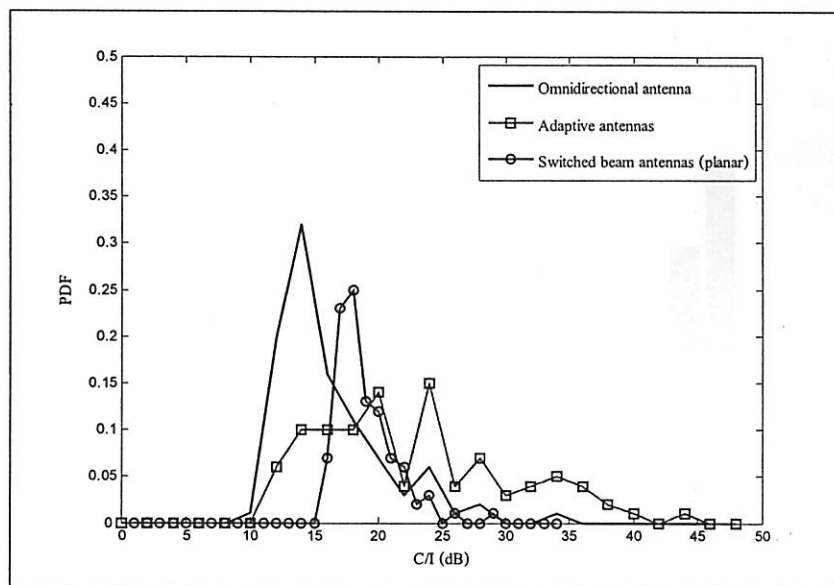
รูปที่ 2-8 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าวิสัยสามารถในกรณีที่ไม่มีเกิดเฟดดิ้งของสายอากาศแบบเส้น



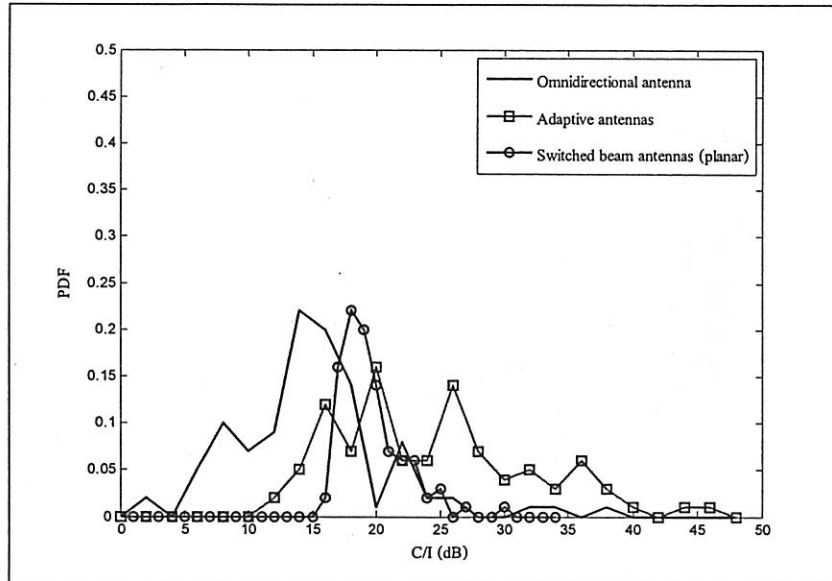
รูปที่ 2-9 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าวิสัยสามารถในกรณีที่เกิดเฟดดิ้งของสายอากาศแบบเส้น

ในส่วนต่อไปจะเป็นการแสดงผลการจำลองแบบของสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นที่ใช้สายอากาศแถว ลำดับแบบระนาบจำนวน 4 ต้นวางตัวแบบ 2×2 โดยสายอากาศแต่ละต้นวางตัวห่างกัน $\lambda/4$ ในแนวตั้งฉาก เช่นเดียวกับสายอากาศแถวลำดับแบบเส้นที่ได้แสดงก่อนหน้า ค่าที่พิจารณาคือค่าอัตราส่วนคลื่นพาร์ตต่อสัญญาณแทรกสอดและค่าวิสัยสามารถ ซึ่งจะถูกแสดงในรูปของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น รูปที่ 2-10 และ 2-11 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าอัตราส่วนคลื่นพาร์ตต่อสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่สัญญาณไม่เกิดเฟดดิ้งและเกิดเฟดดิ้งตามลำดับ จากรูปทั้งสองจะเห็นว่าสายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นที่ใช้สายอากาศแถวลำดับแบบระนาบมีโอกาสที่จะได้ค่าอัตราส่วนคลื่นพาร์ตต่อสัญญาณแทรกสอดที่ดีมากกว่าสายอากาศแบบรอบทิศทางด้านเดียว และมีโอกาสใกล้เคียงกันกับสายอากาศแบบปรับตัว

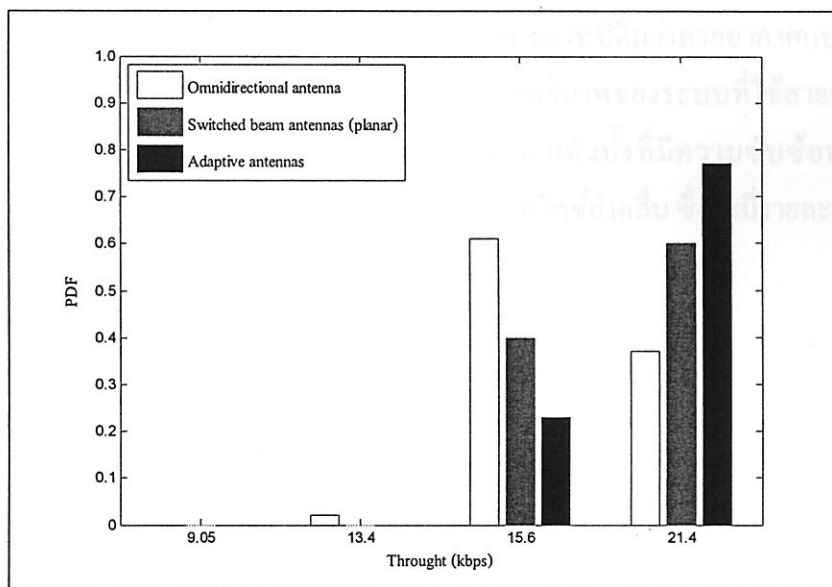
รูปที่ 2-12 และ 2-13 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าวิสัยสามารถในกรณีที่สัญญาณไม่เกิดเฟดดิ้งและเกิดเฟดดิ้งตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่าระบบที่ใช้สายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นยังคงมีโอกาสได้ค่าวิสัยสามารถที่ดีกว่าสายอากาศแบบรอบทิศทางด้านเดียว และยังมีโอกาสได้ค่าวิสัยสามารถที่ดีน้อยกว่าสายอากาศแบบปรับตัวอยู่ประมาณ 0.15



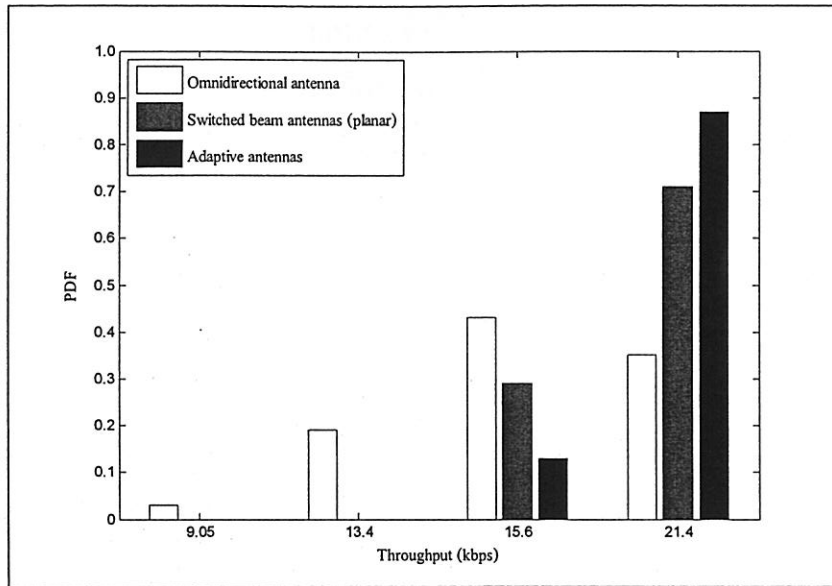
รูปที่ 2-10 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าอัตราส่วนคลื่นพาร์ตต่อสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่สัญญาณไม่เกิดเฟดดิ้งของสายอากาศแบบระนาบ



รูปที่ 2-11 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าอัตราส่วนคลื่นพาร์ต่อสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่เกิดเฟดดิ้งของสายอากาศแบบระนาบ



รูปที่ 2-12 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าวิสัยสามารถในกรณีที่ไม่เกิดเฟดดิ้งของสายอากาศแบบระนาบ



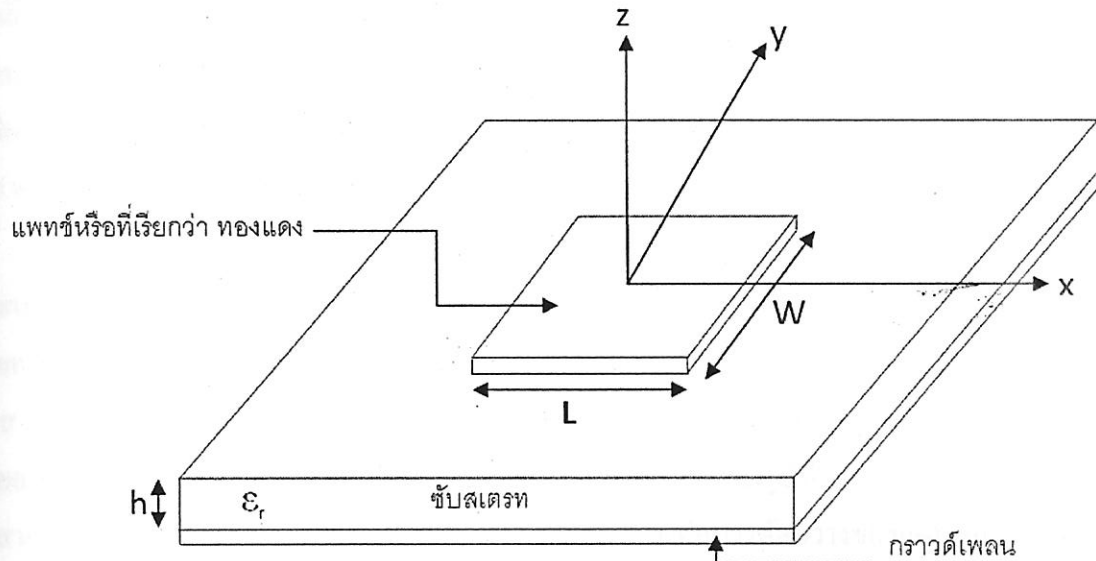
รูปที่ 2-13 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าวิสัยสามารถในกรณีที่เกิดเฟดดิ้งของสายอากาศแบบระนาบ

จากผลที่ได้จากการจำลองแบบในข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ระบบสายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่นที่ใช้สายอากาศแถวลำดับทั้งแบบเส้นและแบบระนาบมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าสายอากาศแบบรอบทิศทางตันเดี่ยวซึ่งเป็นสายอากาศที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน อีกทั้งยังเห็นว่าประสิทธิภาพของระบบที่ใช้สายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่นยังมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับกับสายอากาศแบบปรับตัวทั้งที่มีความซับซ้อนน้อยกว่า ดังนั้นโครงการวิจัยชิ้นนี้จึงเลือกที่จะพัฒนาระบบสายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่น ซึ่งจะมีรายละเอียดในบทต่อไป

2.4 ทฤษฎีเบื้องต้นของสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศแบบไมโครสตริป (microstrip antenna) เริ่มถูกใช้งานครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2513 แม้ว่าแนวความคิดครั้งแรกจะเกิดขึ้นโดย G.A. Deschamps ตั้งแต่เมื่อปี ค.ศ. 2596 และถูกจดสิทธิบัตรไปตั้งแต่วันที่ พ.ศ. 2498 สาเหตุที่ในช่วงแรกไม่มีการพัฒนาไปใช้งาน เนื่องจากสายอากาศชนิดนี้มีประสิทธิภาพที่ต่ำ แต่มีข้อดีตรงที่ขนาดเล็ก ซึ่งเหมาะกับงานด้านความถี่สูงในย่าน UHF ขึ้นไป กล่าวได้ว่าสายอากาศชนิดนี้เป็นการพัฒนาแบบหนึ่งของสายอากาศเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์ขนาดเล็กเช่น โทรศัพท์มือถือ ลักษณะอุปกรณ์จึงแบนคล้ายกับแผ่นทองแดงทั่วไป และเนื่องจากถูกออกแบบมาให้ใช้งานกับความถี่ใดความถี่หนึ่งโดยเฉพาะ รูปร่างจึงอิงตามความเหมาะสมของความถี่ใช้งานเป็นหลัก และรูปร่างจะแตกต่างกันไป

เนื่องจากสายอากาศชนิดนี้ออกแบบได้ง่ายที่สุด จึงมีนักวิจัยให้ความสนใจออกแบบเป็นอย่างมาก [8] สายอากาศไมโครสตริปประกอบไปด้วย ส่วนที่เป็นแผ่นหรือที่เราเรียกว่า แพทช์ (patch) ซึ่งเป็นตัวนำ ซึ่งถูกแยกออกจากแผ่นระนาบกราวด์ที่มีความบางด้วยชั้นหรือที่เรียกว่า ชั้นสเตรท (substrate) ของสารไดอิเล็กตริกดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2-14



รูปที่ 2-14 โครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป

โดยที่ W คือ ความยาวของแพทช์ L คือ ความกว้างของแพทช์ h คือ ความสูงของชั้นสเตรท ϵ_r คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ของชั้นสเตรท

คุณสมบัติพิเศษที่เหนือกว่าสายอากาศชนิดอื่นๆ มีดังนี้ [9]

- น้ำหนักเบา
- ขนาดเล็ก
- สามารถนำมาดัดแปลงรูปร่างให้สมดุลง่าย
- ราคาถูก
- การผลิตง่าย

- สามารถทำให้บางได้
- มีค่า scattering cross section ต่ำ
- ไม่ต้องมี cavity backing
- ติดตั้งได้ง่าย

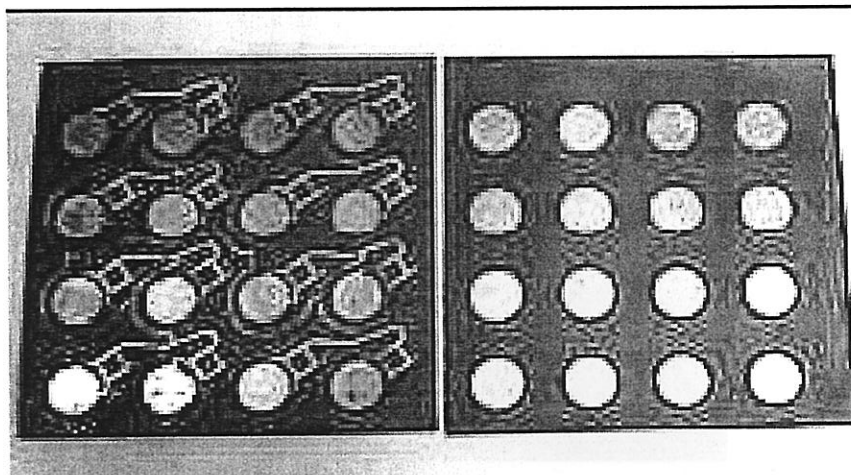
ข้อเสียของสายอากาศไมโครสตริป

- แบนด์วิดท์แคบ
- มีการสูญเสียมากซึ่งส่งผลให้ได้อัตราขยายต่ำ
- สายอากาศไมโครสตริปส่วนใหญ่จะมีการแผ่กระจายคลื่นเพียงครึ่งระนาบ

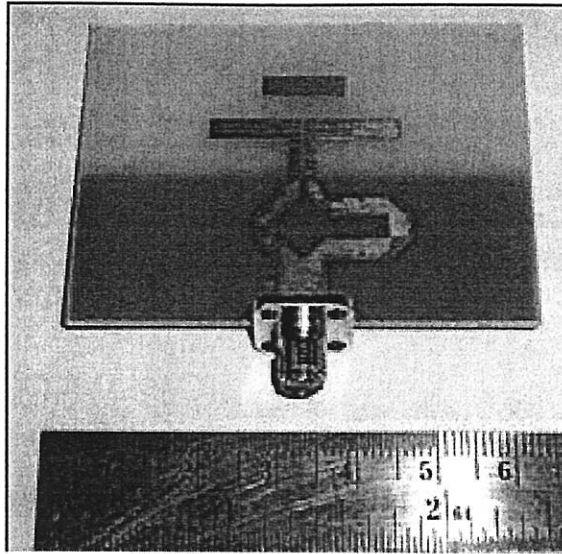
ประเภทของสายอากาศแบบไมโครสตริป

สายอากาศแบบไมโครสตริปมีหลายประเภท ซึ่งแบ่งตามการใช้งานได้สามประเภทดังนี้

1. สายอากาศแบบแผ่กระจายคลื่นตามแนวกว้าง เพื่อการสื่อสาร ตามแนวกว้างของแผ่นทองแดง สายอากาศแบบนี้จะมีทิศทางการส่งสัญญาณตั้งฉากกับแผ่นทองแดง ดังรูปที่ 2-15
2. สายอากาศที่แผ่กระจายคลื่นตามแนวยาวเพื่อการสื่อสารในทิศทางตัดขวางของแผ่นทองแดงสายอากาศแบบนี้จะมีทิศทางการส่งสัญญาณตามแนวเดียวกับแผ่นทองแดง ดังรูปที่ 2-16
3. สายอากาศอื่นๆเป็นสายอากาศที่ออกแบบมาเฉพาะการใช้งานชนิดหนึ่งๆอาจมีมากกว่าสองทิศทางหรืออาจปรับเปลี่ยนทิศทางได้ตามความถี่ที่ใช้งาน



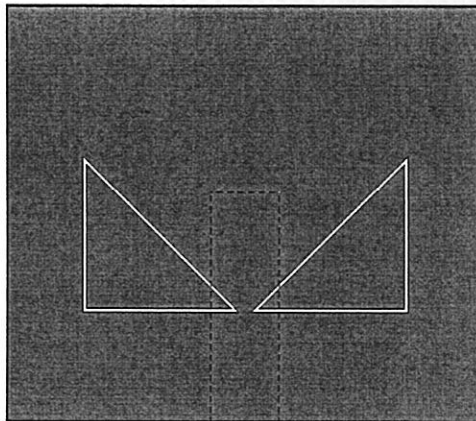
รูปที่ 2-15 ตัวอย่างสายอากาศแบบไมโครสตริปที่แผ่กระจายคลื่นตามแนวกว้าง [8]



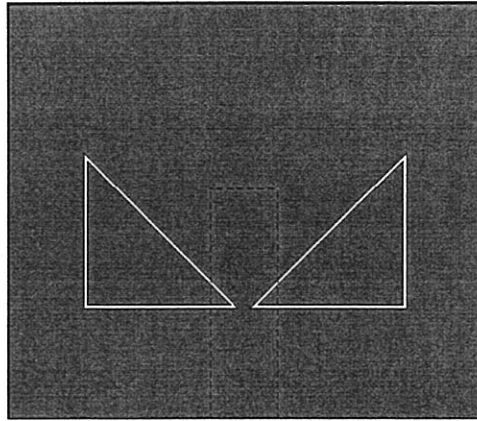
รูปที่ 2-16 ตัวอย่างสายอากาศแบบไมโครสตริปที่แพร่กระจายคลื่นตามแนวยาว [8]

ตัวอย่างของสายอากาศ

1. สายอากาศแบบช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก [10]



รูปที่ 2-17 โครงสร้างของสายอากาศที่ไม่มีพาราซิติคแบบช่องเปิด [10]

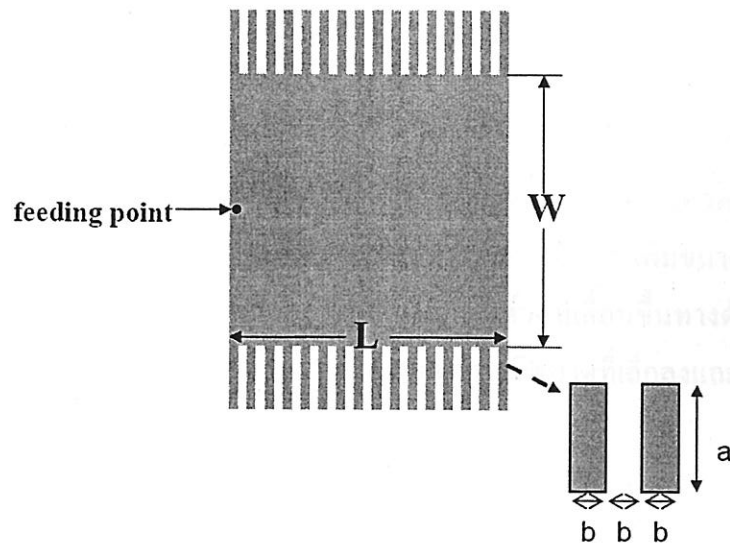


รูปที่ 2-18 โครงสร้างของสายอากาศที่ไม่มีพาราซิติคแบบช่องเปิด [10]

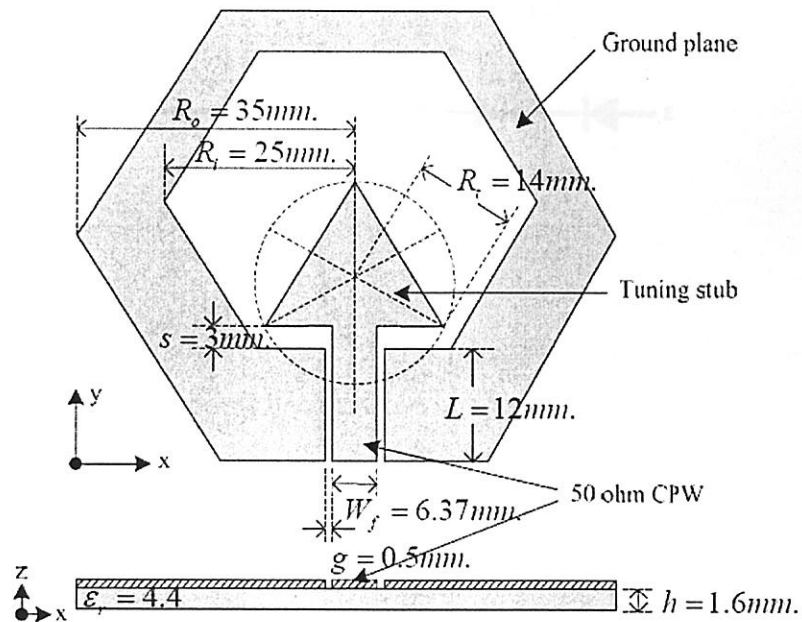
สายอากาศไมโครสตริปจากเดิมเป็นสายอากาศรูปสามเหลี่ยมมุมฉากปกติดังที่แสดงในรูปที่ 2-17 จากนั้นได้มีการปรับปรุงสายอากาศเพื่อให้มีแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ดีขึ้นดังที่แสดงในรูปที่ 2-18 โดยการเพิ่มส่วนของช่องเปิดที่เรียกว่า พาราซิติคแบบช่องเปิด ให้กับสายอากาศแบบช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก จากการวิเคราะห์พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้มากกว่าเท่าตัว โดยที่คุณสมบัติอื่น ๆ ของสายอากาศยังเหมือนเดิมทุกประการ โดยสามารถสรุปได้ว่าสายอากาศแบบช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉากที่มีพาราซิติคแบบช่องเปิดในตำแหน่งที่เหมาะสมจะมีแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ดีกว่าสายอากาศแบบช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉากที่ไม่มีพาราซิติคแบบช่องเปิด จากผลที่ได้การเปรียบเทียบความหนาแน่นของกระแส จะแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของกระแสจะมีมากบริเวณใกล้ ๆ มุมฉากของสามเหลี่ยม เนื่องจากบริเวณสายอากาศแบบช่องเปิดจะถูกกระตุ้นโดยตรงจากสายไมโครสตริป จึงสามารถแพร่กระจายคลื่นออกไปได้ แต่พาราซิติคแบบช่องเปิดจะถูกกระตุ้นจากสายอากาศแบบช่องเปิดเป็นส่วนใหญ่ เพราะฉะนั้นบริเวณที่เป็นพาราซิติคจะไม่มีกระแสแพร่กระจายคลื่นออกไป

2. สายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมที่มีโครงสร้างแบบซี่และร่อง[11]

เป็นการใส่ฟันปลาที่มีขนาดของซี่และร่องระหว่างฟันเท่าๆ กันเข้าไปที่ขอบของแพทช์ในด้านที่ไม่มีการกระจายคลื่นทำให้กระแสไหลไปตามเส้นตรง สำหรับโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแบบแพทช์สี่เหลี่ยมที่มีซี่และร่องมีลักษณะดังรูปที่ 2-19 การเพิ่มความยาวของซี่และร่องสามารถลดความยาวของสายอากาศลงได้แต่ทำให้ค่าแบนด์วิดท์แบบอิมพีแดนซ์ลดลงด้วย เมื่อความกว้างของซี่และร่องเพิ่มขึ้น ค่าแบนด์วิดท์แบบอิมพีแดนซ์ และอิมพีแดนซ์ขาเข้ามีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แต่เมื่อความยาวของซี่และร่องเพิ่มขึ้น ค่าแบนด์วิดท์แบบอิมพีแดนซ์ และอิมพีแดนซ์ขาเข้า มีแนวโน้มลดลงมาก



รูปที่ 2-19 ลักษณะโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป แบบแพทช์สี่เหลี่ยมที่มีซี่และร่อง [11]

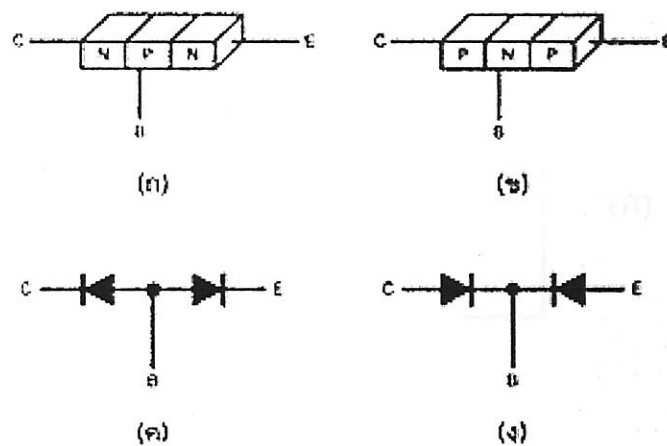


รูปที่ 2-20 สายอากาศร่องหกเหลี่ยมด้านเท่าที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วมแบบแถบความถี่กว้าง [12]

3. สายอากาศร่องหกเหลี่ยมด้านเท่าที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วมแบบแถบความถี่กว้าง[12]

จากรูปที่ 2-20 เมื่อเพิ่มความยาวของ L ในการปรับเบนคัวิตซ์ทั้งในรูปแบบที่มีสลับในรูปแบบต่างๆ ที่ผ่านมามีผลให้เบนคัวิตซ์เลื่อนลงมาด้านความถี่ต่ำ และเมื่อเพิ่มรัศมีวงในหกเหลี่ยมด้านเท่า (R_i) หรือการเพิ่มขนาดของร่องหกเหลี่ยมด้านเท่าให้กว้างขึ้นนั่นเอง ซึ่งจะมีผลให้เบนคัวิตซ์เลื่อนลงมาด้านความถี่ต่ำเหมือนกัน แต่เมื่อเราเพิ่มรัศมีวงนอกหกเหลี่ยมด้านเท่า (R_o) หรือการเพิ่มขนาดของพื้นที่กราวด์ หรือการเพิ่มขนาดของสายอากาศที่ใหญ่ขึ้นนั่นเอง ซึ่งมีผลให้เบนคัวิตซ์เลื่อนขึ้นทางด้านความถี่สูง ซึ่งไม่ใช่คุณสมบัติที่ต้องการ แต่ความต้องการคือต้องการให้สายอากาศมีขนาดเล็กลงและเบนคัวิตซ์ยังคงเดิม

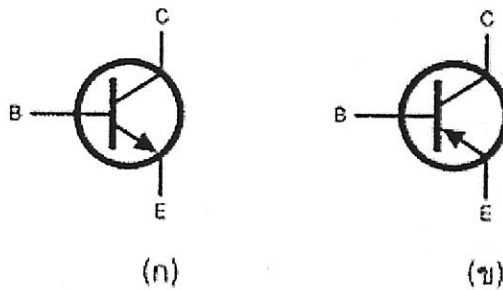
2.5 ทรานซิสเตอร์



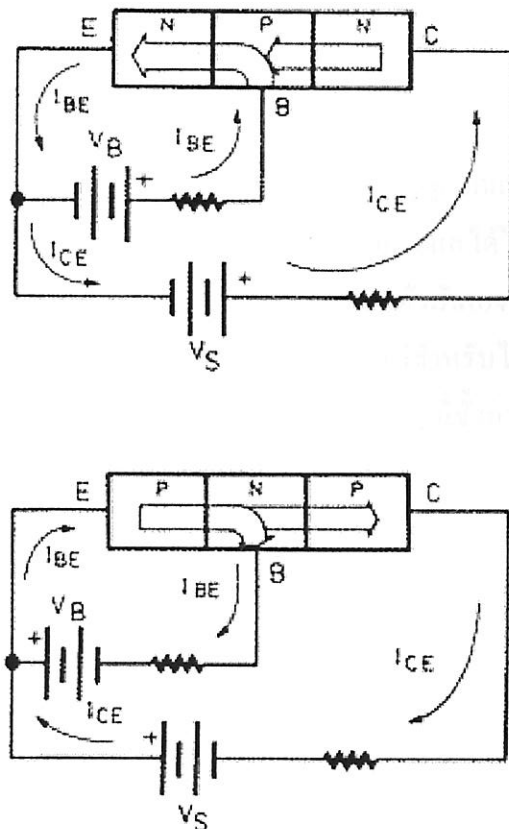
รูปที่ 2-21 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ในรูป ก. และ PNP ในรูป ข. ส่วน ค. และ ง. แสดงการเปรียบเสมือน ไดโอด 2 ตัวชนกัน

ทรานซิสเตอร์ (Transistor ตัวย่อ Tr หรือ Q) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นำสาร P และสาร N 3 ชั้น นำมาต่อเรียงกันดังที่แสดงในรูปที่ 2-21 โดยเรียงต่อกันได้ 2 แบบ ดังรูป ก และ ข ในรูป ก ใช้สาร N 2 ชั้น และสาร P 1 ชั้น โดยมีสาร P อยู่ตรงกลาง จึงเรียกทรานซิสเตอร์ชนิดนี้ว่า NPN และต่อขาออกมา 3 ขา เป็น ขา B (เบส), C (คอลเลกเตอร์), E (อีมิเตอร์) โดยที่ขา B ต่อกับ ออก มาจากสาร P ส่วนในรูปที่ 2-21 ข. ตรงกันข้ามกับรูปที่ 1 ก. และเรียกว่าชนิด PNP ส่วนขาที่ต่อกับออกมาเช่นเดียวกับรูปที่ 2-21 ก. ด้วย โครงสร้างดังกล่าวนี้ จะเหมือนกับไดโอด 2 ตัวชนกันดังรูป ค. และ ง. โดยใช้สาร P หรือ N ตรงกลางเป็นตัวร่วมกัน

จากรูปที่ 2-21 สามารถเป็นสัญลักษณ์เพื่อให้ดูง่าย ๆ ดังรูปที่ 2-22 ในรูป ก เป็นของชนิด PNP สังเกตที่ลูกศรของเขา E จะชี้ ออก ส่วนชนิด PNP แสดงในรูป ข. สัญลักษณ์ต่างกันว่า E คือ ลูกศรที่ขา E จะชี้เข้า



รูปที่ 2-22 สัญลักษณ์ ของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ชนิด



(ก)

(ข)

รูปที่ 2-23 แสดงการเกิดกระแสเมื่อมีการป้อนกันแรงดันที่ ขาต่าง ๆ

หลักการการทำงานของทรานซิสเตอร์พอยจะอธิบายได้โดยการต่อวงจรดังรูปที่ 2-23 ด้วยแบตเตอรี่และตัวต้านทาน ในรูปที่ 2-23 ก. เป็นการต่อเข้ากับทรานซิสเตอร์ชนิด NPN พิจารณาทางด้านขา B และขา E จะเป็นการต่อในลักษณะไบแอสตรง ให้กับสาร P และ N ด้วย VB (เหมือนไดโอด) จึงมีกระแสส่วนหนึ่งไหลเรียกว่า IBE ซึ่งเป็นผลให้ทางด้านขา C เกิดกระแสไหลตามไปด้วย คือ มีกระแสวิ่งจากแบตเตอรี่ VS ไปสาร N ไปสาร P และไปสาร N ที่ E ครบวงจรอีก กระแสส่วนที่วิ่งตาม IBE นี้มีชื่อว่า ICE และกระแสที่วิ่งออกมาจากขา E มี 2 ส่วนคือ ส่วนขาของ IBE และ ICE ส่วนในรูปที่ 2-23 ข. ก็มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับของ ชนิด PNP เพียงแต่กลับขั้วแบตเตอรี่เท่านั้น และเมื่อหากว่า IBE หยุดไหล ICE จะหยุดไหลตามไปด้วยเช่นกัน

การประยุกต์ทรานซิสเตอร์

ในการนำทรานซิสเตอร์ไปใช้งานพอยจะแบ่งเป็นหมวดใหญ่ ๆ ได้ 2 หมวด คือ

1. ในวงจรอนาล็อกหรือวงจรขยายสัญญาณ
2. ในวงจรดิจิทัลหรือวงจรสวิตซ์ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตซ์

2.6 ไดโอด

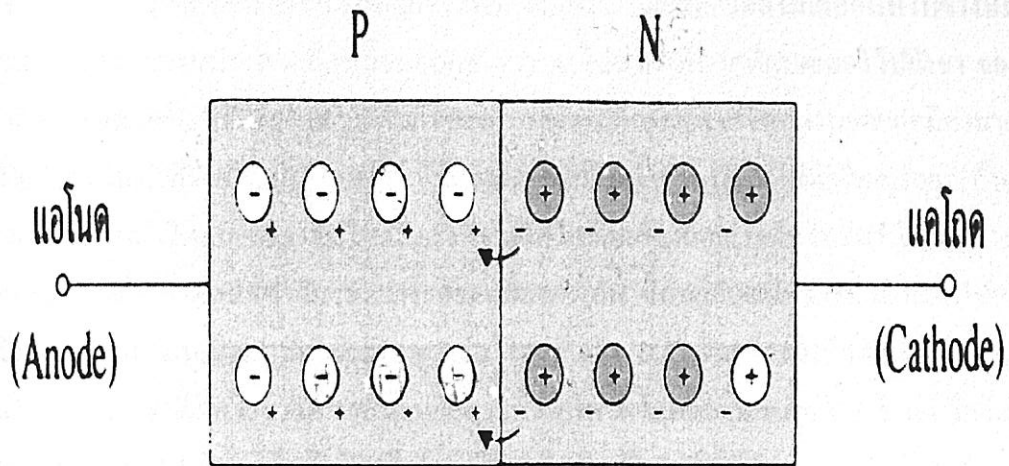
หลักการทำงานของไดโอด

ไดโอดเป็นอุปกรณ์พื้นฐานอย่างหนึ่งที่แพร่หลายในหมู่ผู้ออกแบบหรือเกี่ยวข้องกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ไดโอดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถเป็นตัวนำกระแสได้ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง หรือกล่าวอย่างง่าย ๆ ว่าไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่ยอมให้กระแสไหลผ่านตัวมันเองได้ทิศทางเดียวเท่านั้น แต่ในขณะที่ไดโอดนำกระแสจะมีค่าแรงดันตกคร่อมมันค่าหนึ่ง โดยทั่วไปสำหรับไดโอดซิลิกอนแล้วจะมีค่าอยู่ราว 0.7 โวลต์ ปกติการให้แรงดันกับไดโอดนั้น ถ้าให้แรงดันบวกอยู่ที่ขั้วแอนโนด และขั้วลบอยู่ที่ขั้วคาโทด เราเรียกว่าการไบแอสตรง ลักษณะเช่นนี้จะทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอดได้และถ้าเราให้แรงดันสลับทิศกัน กระแสไหลไม่ได้ ซึ่งเราเรียกว่าการไบแอสตรง และถ้าเราให้แรงดันไบแอสกลับมากขึ้น ๆ มันจะนำกระแสได้ใหม่ จุดที่มันนำกระแสได้ใหม่เราเรียกว่า แรงดันซีเนอร์ ขนาด ของไดโอดแปรไปได้มากโดยมีไดโอดขนาดเล็กเพียงทนกระแสได้เป็นมิลลิแอมป์จนถึง ขนาดไดโอดที่ทนกระแสได้หลายร้อยแอมแปร์ที่ใช้ในงานทางไฟฟ้ากำลัง จากลักษณะการทำงานของไดโอดในการเป็นสวิตซ์ให้นำกระแสได้ด้านเดียว การใช้งานของไดโอดจึงต้องพิจารณาสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

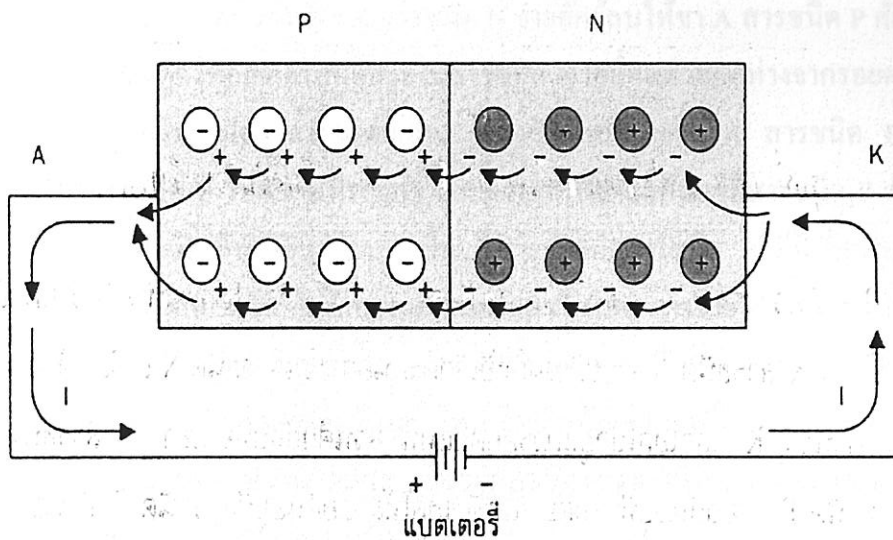
1. แรงดันตกคร่อมไดโอด แรงดันตกคร่อมไดโอดจะพิจารณากันในขณะที่ไดโอดนำกระแส ไดโอดที่ใช้สารซิลิกอนจะมีค่าตกคร่อมโดยประมาณ 0.7 โวลต์ แต่ให้กระแสไหลมากขึ้นแรงดันตกคร่อมอาจมากขึ้นเป็น 1 โวลต์ก็ได้
2. แรงดันซีเนอร์ หรือแรงดันพัง จะเป็นตัวบอกขนาดแรงดันที่นำไปใช้ได้ ซึ่งถ้าเราไบแอสกลับด้วยค่าแรงดันนี้จะมีกระแสไหลกลับทางได้ และถ้าหากไม่มีการจำกัดกระแสไดโอดก็จะเสียหายได้ แต่ถ้ามีการจำกัดกระแส แรงดันตกคร่อมก็จะมีค่าเท่ากับแรงดันซีเนอร์ ทำให้เราเอาคุณสมบัติส่วนนี้ไปใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมแรงดันได้
3. กระแสใช้งานสูงสุดในขณะไบแอสตรงทำให้ไดโอดนำกระแสจะมีกระแสไหลผ่านไดโอดกระแส ส่วนนี้จะทำให้ไดโอดเกิดความร้อนขึ้น ถ้าหากทำให้กระแสส่วนนี้มาก ๆ เกินกว่าที่ไดโอดจะทนได้ ไดโอดก็จะเสียหายได้ ความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวไดโอดจะสะสมขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นในกรณีที่ใช้ไดโอดที่กระแสสูงจะต้องมีการระบายความร้อนด้วยการติดแผ่นระบายความร้อนให้กับไดโอด
4. กระแสรั่วไหลขณะไบแอสกลับ เนื่องจากการทำงานของไดโอดมีลักษณะคล้าย สวิตช์และถ้าจะเหมือน สวิตช์ที่ยังขึ้น จะต้องใช้คุณสมบัติขณะไบแอสกลับให้มีกระแสไหลน้อยที่สุด ในทางปฏิบัติแล้วจะมีกระแสไหลได้นิดหน่อย กระแสส่วนนี้อาจมีค่าอยู่ในช่วงของไมโครแอมแปร์ ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับ กระแสขณะไบแอสตรง หม้อแปลงทำหน้าที่ลดแรงดันลงมาให้พอเหมาะตามต้องการของผู้ใช้ แรงดันทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงจะยังคงเป็นแรงดันไฟสลับอยู่ในกรณีนี้ไดโอดจะนำกระแสได้ ในขณะที่แรงดัน Vs อยู่ทางด้านบวกและจะไม่นำกระแสเมื่อแรงดัน Vs อยู่ด้านลบ กระแสที่ไหลผ่านโหลดจึงเป็นกระแสห้วง ๆ ตามจังหวะของแรงดันไฟสลับ

ไดโอด (Diode) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่เกิดจากนำสารกึ่งตัวนำชนิด N กับสารกึ่งตัวนำชนิด P มาต่อกัน สารกึ่งตัวนำชนิด P จะมีโฮลมากกว่าปกติ สารกึ่งตัวนำชนิด N จะมีอิเล็กตรอนอิสระมากกว่าปกติเมื่อนำสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดมาต่อชนกัน ทำให้เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าขึ้น จากรูปที่ 2-24 และ 2-25 เมื่อเชื่อมต่อสาร P และสาร N เข้าด้วยกัน จะเกิดการเคลื่อนที่อิเล็กตรอนบริเวณรอยต่อของสารชนิด N ไปรวมตัวกับโฮลบริเวณรอยต่อของสารชนิด P ทำให้รอยต่อสารชนิด N ขาดอิเล็กตรอนไปเกิดเป็นโฮลขึ้น ส่วนรอยต่อสารชนิด P มีอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น เป็นผลให้รอยต่อ PN เกิดเป็นค่าแบตเตอรี่เรียกว่าดีพลีชันริจิน ด้านสาร P มีขั้วเป็นลบ ด้านสารชนิด N มีขั้วเป็นบวก ดีพลีชันริจินที่เกิดขึ้นตรงรอยต่อ เพราะอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่มาตรงรอยต่อสาร P มีพลังไม่พอสื่อเคลื่อนที่ต่อไปได้อีกจึงหยุดค้างบริเวณรอยต่อ ส่วนรอยต่อสารชนิด N เมื่ออิเล็กตรอนหลุดไปเกิดเป็นโฮลขึ้นมา และไม่มีอิเล็กตรอนตัวอื่น ๆ เข้ามาแทนที่ เพราะอิเล็กตรอนตัวอื่น ๆ ที่อยู่ถัดเข้าไปด้านในมีพลังงานไม่พอที่จะเคลื่อนที่ ดีพลีชันริจินเสมือนความต้านทานระหว่างรอยต่อของไดโอดการนำไดโอดไปใช้งานต้องมีการจ่ายแรงดันไบอัสให้ตัว

ไดโอด เพื่อควบคุมการนำกระแสและหยุดนำกระแสในตัวไดโอดมีวิธีการจ่ายไบอัส 2 วิธี คือการจ่ายไบอัสตรงหรือฟอร์เวิร์ด และไบอัสกลับหรือ รีเวิร์ด



รูปที่ 2-24 ขณะเชื่อมต่อสาร P และสาร N จะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเข้าหาโฮล



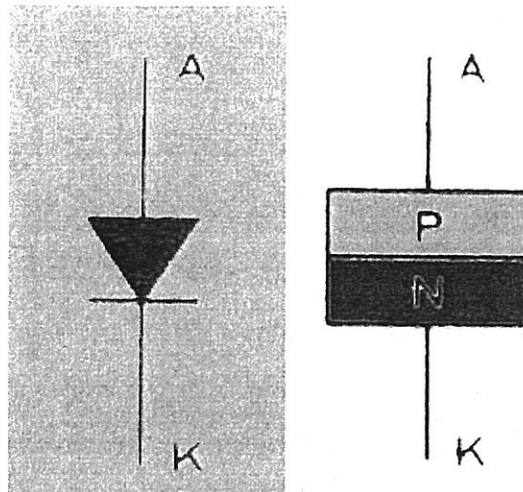
รูปที่ 2-25 เกิดแบตเตอรี่สมมุติ หรือดีฟิชั่นริจิน ขึ้นระหว่างรอยต่อ

การจ่ายไบอัสตรงให้ไดโอด

การจ่ายไบอัสตรงให้ไดโอดคือ การจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ตัวไดโอดแบบถูกขั้ว โดยจ่ายศักย์บวกให้สารชนิด P และจ่ายลบให้สารชนิด N มีผลทำให้ไดโอดนำกระแสมีกระแสไหลผ่านตัวไดโอด ลักษณะการนำกระแสจจรไบอัสตรงให้ไดโอด คือจ่ายบวกให้สารชนิด P จ่ายลบให้สารชนิด N ศักย์ลบที่จ่ายให้ขา K สารชนิด N จะไปผลักอิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N ให้วิ่งเคลื่อนที่ ในเวลาเดียวกันศักย์บวกที่จ่ายให้ขา A สารชนิด P มีอำนาจดึงดูดอิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่ให้เข้ามาหา และผลักโฮลให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าเรื่อย ๆ เข้ามารวมตัวกับโฮลสารชนิด P เคลื่อนที่จนออกจากขา A ไปหาศักย์บวกที่เบตเตอร์ไปยังขา ของสารชนิด N เกิดกระแสไฟฟ้าให้ไหลในตัวไดโอดตลอดเวลาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรอยต่อมีค่ามากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไบอัสให้ไดโอด ถ้าจ่ายแรงดันไบอัสค่ากระแสไฟฟ้าไหลน้อย ถ้าจ่ายแรงดันไบอัสสูงกระแสไฟฟ้าไหลมากแรงดันไบอัสตรงที่จ่ายให้ไดโอดต้องจ่ายแรงดันไบอัสให้มากกว่าค่าดีพลีชันริจิน ระหว่างรอยต่อ ค่าดีพลีชันริจินระหว่างรอยต่อมีค่าต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดสารกึ่งตัวนำที่ใช้ผลิตไดโอด สารกึ่งตัวนำชนิดเจอร์มันเนียม มีค่าประมาณ 0.2 โวลต์ ถึง 0.4 โวลต์ สารกึ่งตัวนำชนิด ซิลิกอน มีค่าประมาณ 0.5 โวลต์ ถึง 0.8 โวลต์ แรงดันไบอัสตรงที่จ่ายให้ไดโอดต้องจ่ายเกิน 0.4 โวลต์ ไดโอดชนิดเจอร์มันเนียม ต้องจ่ายเกิน 0.8 โวลต์ ในไดโอด ชนิดซิลิกอน ไดโอดจึงนำกระแส

การจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอด

การจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอด คือการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ตัวไดโอดแบบกลับขั้ว โดยจ่ายศักย์บวกให้สารชนิด N และการจ่ายศักย์ลบให้สารชนิด P มีผลทำให้ไดโอด ลักษณะการทำงานจากรูปเป็นการจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอด คือจ่ายศักย์บวกให้ขา K สารชนิด N จ่ายศักย์ลบให้ขา A สารชนิด P ศักย์บวกที่จ่ายให้ขา K สารชนิด N จะไปดึงดูดให้อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด N เคลื่อนตัวออกห่างจากรอยต่อมาออกันอยู่ที่สาร N ด้านขา K ผลักโฮลไปอยู่แถวรอยต่อแทน ส่วนศักย์ลบที่จ่ายขา A สารชนิด P จะไปผลักให้อิเล็กตรอนอิสระในสารชนิด P ไปออกันที่รอยต่อ และดึงโฮลให้มาออกันอยู่ที่สารชนิด P ด้านขา A ทำให้บริเวณรอยต่อสาร PN เกิดดีพลีชันริจินกว้างมากขึ้น เพราะรอยต่อสารชนิด P มีอิเล็กตรอนอิสระมากขึ้น และรอยต่อสารชนิด N มีโฮลมากขึ้น ไม่มีกระแสไหลผ่านตัวไดโอด การจ่ายไบอัสกลับให้ไดโอด มีผลทำให้ค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อเพิ่มมากขึ้น ด้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ไม่มีกระแสไหลในตัวไดโอดแต่จะมีกระแสรั่วซึม หรือลิกเกจเคอร์เรนต์ ไหลบ้างเล็กน้อยกระแสรั่วซึมนี้ไม่ถือว่าเป็นกระแสไหลในตัวไดโอด ค่ากระแสรั่วซึมจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่นำมาผลิตไดโอด สารซิลิกอนมีกระแสรั่วซึมน้อย สารเจอร์มันเนียมมีกระแสรั่วซึมมาก



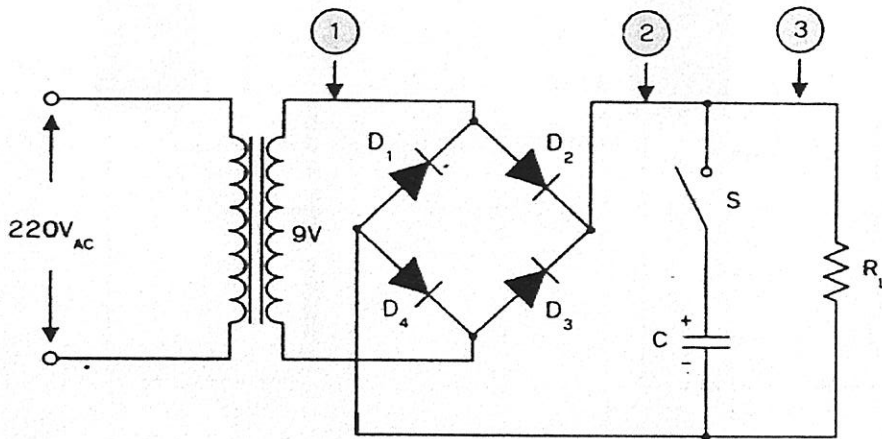
รูปที่ 2-26 โครงสร้าง สัญลักษณ์ของไดโอด

ไดโอดและการใช้งาน

ไดโอดประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 2 ตอน สารชนิด P มีขาค้อออกมาเป็นขา แอนโนด หรือขา A และสารชนิด N มีขาค้อออกมาเป็นขาแคโทด หรือขา K เมื่อถูก สร้างขึ้นเป็นไดโอด จะมีรูปร่างตัวถังแตกต่างกัน แต่มีโครงสร้างที่เหมือนกัน รูปที่ 2-26 แสดงลักษณะของไดโอด ด้าน A สารชนิด P แทนสัญลักษณ์ด้วยรูปสามเหลี่ยม ด้านขา K สารชนิด N แทนสัญลักษณ์ด้วยขีด รูปร่างของไดโอดแต่ละแบบจะมีเครื่องหมายหรือคำนิยามแสดงเอาไว้ ส่วนมากเครื่องหมายหรือคำนิยามมักถูกแสดงไว้ที่ขา K การใช้งานของไดโอดนั้นกว้างขวางมากมาย สามารถใช้งานได้กับความถี่ต่ำ พวกแรงดันไฟสลับที่ใช้ตามบ้าน ความถี่ของสัญญาณเสียงจนถึงความถี่สูง ๆ พวกความถี่วิทยุ ความถี่ไมโครเวฟ ไม่ว่าไดโอดจะถูกใช้งานในความถี่ย่านใดก็ตาม มีหลักการการทำงานเหมือนกัน คือจ่ายไบอัสตรงนำกระแสจ่ายไบอัสกลับไม่นำสภาวะ หน้าที่ของไดโอดเมื่อนำไปใช้งานกับความถี่จะแปลงแรงดันไฟสลับเป็นแรงดันไฟตรง

วงจรการใช้งาน

วงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์ คือวงจรเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นนั่นเอง แรงดันไฟตรงกระแสเพิ่มที่ส่งออกมาเอาต์พุตเป็นชนิดเต็มคลื่น รูปที่ 2-27 เป็นวงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์ การทำงานเมื่อแรงดันไฟสลับช่วงบวก ถูกป้อนออกมาจากขั้วบนของขดทุติยภูมิขั้วล่างของขดทุติยภูมิเป็นลบไดโอด D2 และ D4 ได้รับไบอัสตรงนำกระแส มีกระแสไหลผ่าน D2 ผ่าน RL ผ่าน D4 ครบวงจรมีศักย์ตกคร่อม RL ขณะไม่ต่อ C ได้สัญญาณตามจุดที่ 2 ถ้าต่อ C เข้าวงจรตามจุด ที่ 3 C เริ่มประจุแรงดันทันทีจนแรงดันเพิ่มถึงสูงสุด C หยุดประจุแรงดัน เมื่อแรงดันตำแหน่ง วงจร เริ่มลดลง C จะคายประจุผ่าน RL



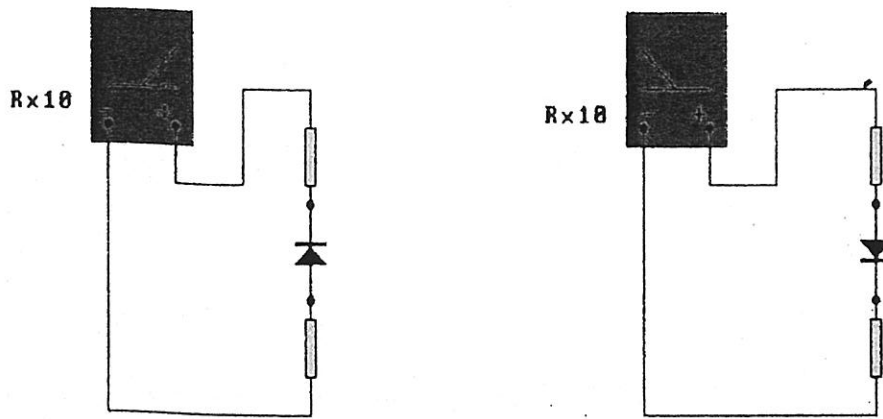
รูปที่ 2-27 วงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์

การวัดและทดสอบไดโอด

การวัดคุณสมบัติไดโอด สามารถสรุปได้ดังนี้ ตั้งมิเตอร์เรนจ์โอห์ม $\times 10$ นำเอาไปวัดไดโอดโดยวงจรนั้นไม่มีไฟหรือวัดนอกวงจร วัดแล้วลองสลับสายดู เข็มมิเตอร์ต้องขึ้นครั้งหนึ่งไม่ขึ้นครั้งหนึ่งจึงจะถือว่าดี หากขึ้นทั้งสองครั้งถือว่าเสียในลักษณะรั่วหรือชอร์ต เข็มมิเตอร์ไม่ขึ้นเลยถือว่าเสียในลักษณะการขาด ในกรณีที่ไดโอดไม่สามารถนำกระแสกลับได้หรือไม่สามารถเป็นสวิตช์กับความถี่ ไม่สามารถใช้มิเตอร์ตรวจสอบได้ อาการดังกล่าวนี้ถือว่าไดโอดขาดหรือ โอเพ่นเซอร์กิต (Open Circuit) เหมือนกัน แต่โอเพ่นเซอร์กิตกับความถี่ถือได้ว่าไดโอดเสียเช่นกันเพราะทำงานไม่ได้

การวัดหาขาไดโอด

การวัดหาขาของไดโอด ปกติไดโอดจะมีขา 2 ขาคือ ขาคาโทด กับขานโนด ในตัวจริงของขาคาโทดจะทำเครื่องหมายขีดหรือจุด (สมัยก่อน) เอาไว้ให้สังเกต ในขณะที่สัญลักษณ์เขียนเป็นหัวลูกศร เอาไว้ในกรณีที่เครื่องหมายดังกล่าว เลื่อนไปเราสามารถวัดหาขาของไดโอดได้ด้วยวิธีนี้ ตั้งมิเตอร์เรนจ์โอห์มหรือที่เรียกกันง่าย ๆ ว่า $R \times 10$ วัดแบบเดียวกันกับการวัดคุณสมบัติของไดโอดด้วยการสลับสายวัดแล้วเข็มมิเตอร์ขึ้นครั้งไม่ขึ้นครั้ง ให้วัดกลับมาในจังหวะที่เข็มมิเตอร์ขึ้นแล้วสังเกตสายมิเตอร์ หากสายมิเตอร์บวก จับอยู่กับขานั้นเป็นขาคาโทด หรือเป็นเนื้อสาร N เพราะว่าการจ่ายไฟแบตเตอรี่ภายในกับขั้วของมิเตอร์กลับกันอยู่ตามรูปที่ 2-28



รูปที่ 2-28 วิธีการวัดไดโอดเข็มมิเตอร์ต้องขึ้นครึ่งหนึ่งไม่ขึ้นครึ่งหนึ่ง

2.7 กล่าวสรุป

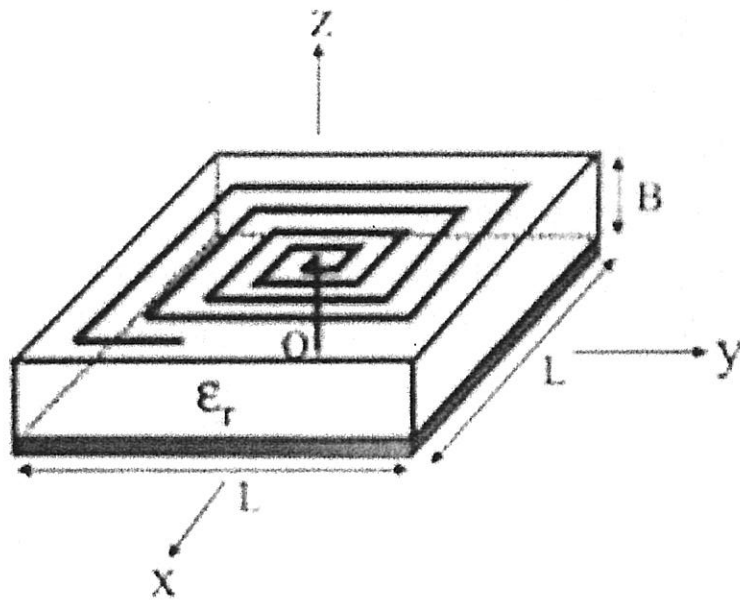
บทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยฉบับนี้ ในส่วนแรกกล่าวถึงระบบสายอากาศแก่งซึ่งแบ่งออกเป็น สายอากาศแบบสวิทช์ลาคลิ้น และสายอากาศแบบปรับตัว ต่อมาได้ทำการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์เพื่อชี้ถึงการเปรียบเทียบกันของสายอากาศทั้งสองแบบ จากนั้นได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศไมโครสตริป และวงจรถอดคลื่นที่ใช้อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์และไดโอด เพื่อที่จะนำไปใช้ในการควบคุมลาคลิ้นในบทต่อไป

บทที่ 3

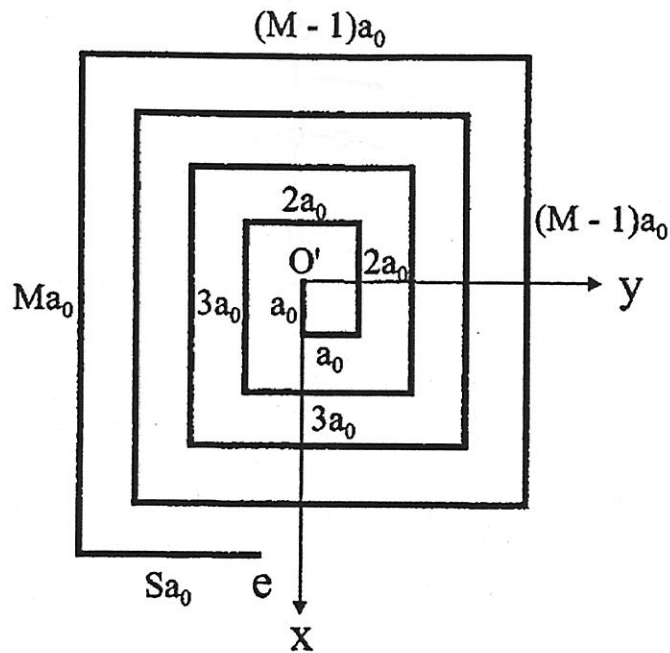
การสวิตช์ลาคลิ้นโดยใช้สายอากาศเพียงต้นเดียว

3.1 กล่าวนำ

เนื่องจากสายอากาศเก่งที่กล่าวไว้ในบทที่แล้วจำเป็นต้องใช้สายอากาศแถวลำดับซึ่งมีจำนวนสายอากาศมากกว่าหนึ่งต้นขึ้นไป และประสิทธิภาพของการก่อรูปลาคลิ้นจะยิ่งสูงถ้าหากใช้สายอากาศเป็นจำนวนมาก ซึ่งทำให้เกิดการสิ้นเปลืองและยากต่อการติดตั้งที่ผู้ใช้งานระบบสื่อสารไร้สาย ดังนั้นในโครงการวิจัยชิ้นนี้จึงได้พัฒนาการสวิตช์ลาคลิ้นด้วยการใช้สายอากาศเพียงแค่ต้นเดียว ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ ในช่วงแรกจะกล่าวถึงการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมสำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย จากนั้นจะกล่าวถึงสายอากาศที่ถูกพัฒนาขึ้นในโครงการวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งแบบออกเป็น 2 แบบคือ แบบแผ่นสี่เหลี่ยมที่มีช่องต่อ (gap) และแบบแผ่นทรงแปดเหลี่ยม ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบพร้อมทั้งแสดงผลที่ได้จากการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์ ส่วนผลที่ได้จากการวัดจริงจะแสดงไว้ในบทถัดไป



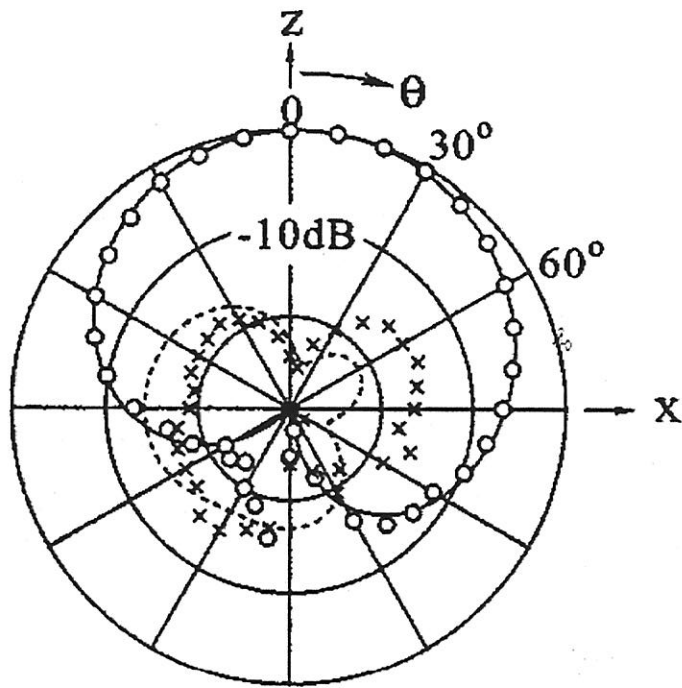
รูปที่ 3-1 โครงสร้างของสายอากาศรูปก้นหอยจากเอกสารอ้างอิงหมายเลข [13-14]



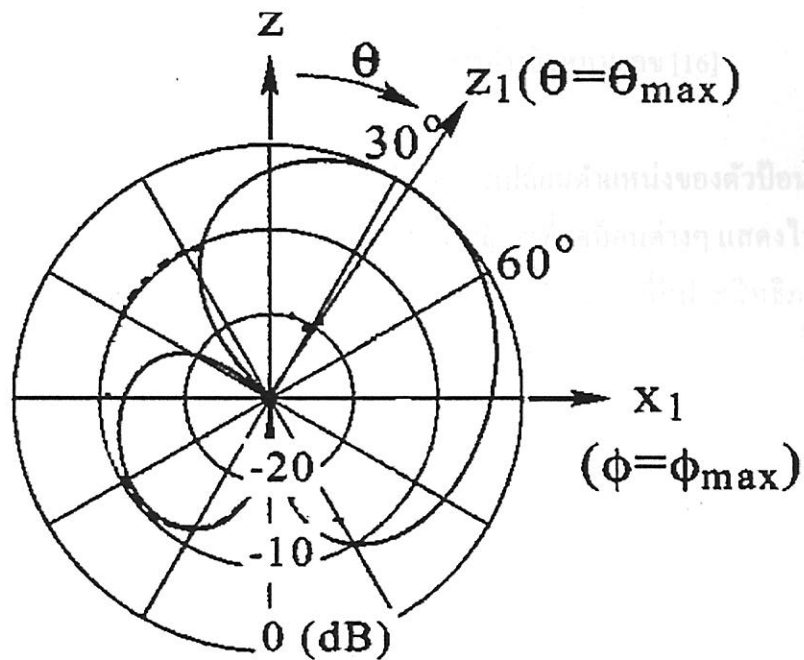
รูปที่ 3-2 สัดส่วนของแขนของสายอากาศสปริงก้นหอยจากเอกสารอ้างอิงหมายเลข [13-14]

3.2 การสำรวจประสิทธิภาพการ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการพบว่ามีผู้พัฒนาการสวิตช์ลำคลื่นด้วยสายอากาศเพียงต้นเดียว ตัวอย่างเช่นงานที่ถูกตีพิมพ์ในเอกสารอ้างอิงหมายเลข [13-14] ซึ่งเป็นสายอากาศมีลักษณะเป็นก้นหอย (spiral antenna) ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3-1 ซึ่งทำจากแผงวงจรพิมพ์ที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกเท่ากับ 3.7 มีความหนาเท่ากับ 12 มิลลิเมตร และใช้งานที่ความถี่ 3.35 GHz จากรูป การสวิตช์ลำคลื่นจะกระทำการปรับความยาวของแขนแต่ละข้างของก้นหอย ซึ่งอัตราส่วนของแขนแต่ละข้างของก้นหอยแสดงไว้ในรูปที่ 3-2 ความสามารถในการสวิตช์ลำคลื่นจะแสดงผ่านแบบรูปการแผ่พลังงาน (radiation pattern) ซึ่งในกรณีนี้แสดงไว้ในรูปที่ 3-3 และ 3-4 ในรูปที่ 3-3 ความยาวและจำนวนแขนของสายอากาศถูกกำหนดด้วยค่า $M = 4$ ซึ่งแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้แสดงให้เห็นว่า เราจะได้การสวิตช์ลำคลื่นไปยังทิศทางที่ 9 องศา ซึ่งมีความกว้างลำครึ่งกำลัง (half-power beamwidth) เท่ากับ 102 องศา และอัตราขยายเท่ากับ 6.7 dB ในขณะที่รูปที่ 3-3 เปลี่ยนการปรับแขนของสายอากาศโดยกำหนดให้ $M = 8$ ซึ่งจะได้แบบรูปการแผ่พลังงานที่แสดงให้เห็นว่า เราสามารถสวิตช์ลำคลื่นไปยังทิศทาง 34 องศา ซึ่งมีความกว้างลำครึ่งกำลังเท่ากับ 82 องศา และมีอัตราขยายเท่ากับ 7.1 dB อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าหลักการดังกล่าวไม่เหมาะสมกับการใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่ผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา เช่น การใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

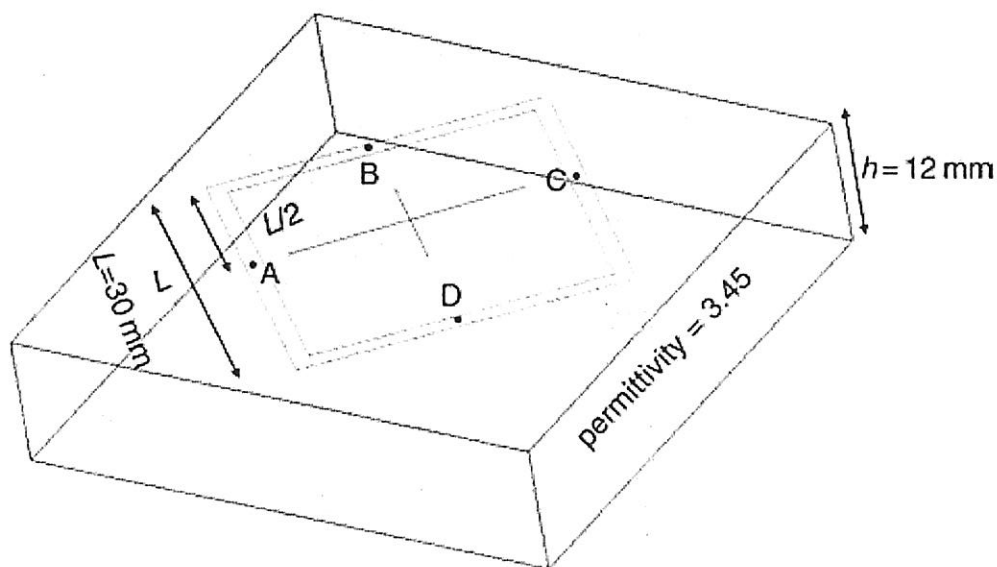


รูปที่ 3-3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศกั้นหอยที่ได้จากการจำลองแบบเมื่อ $M = 4$



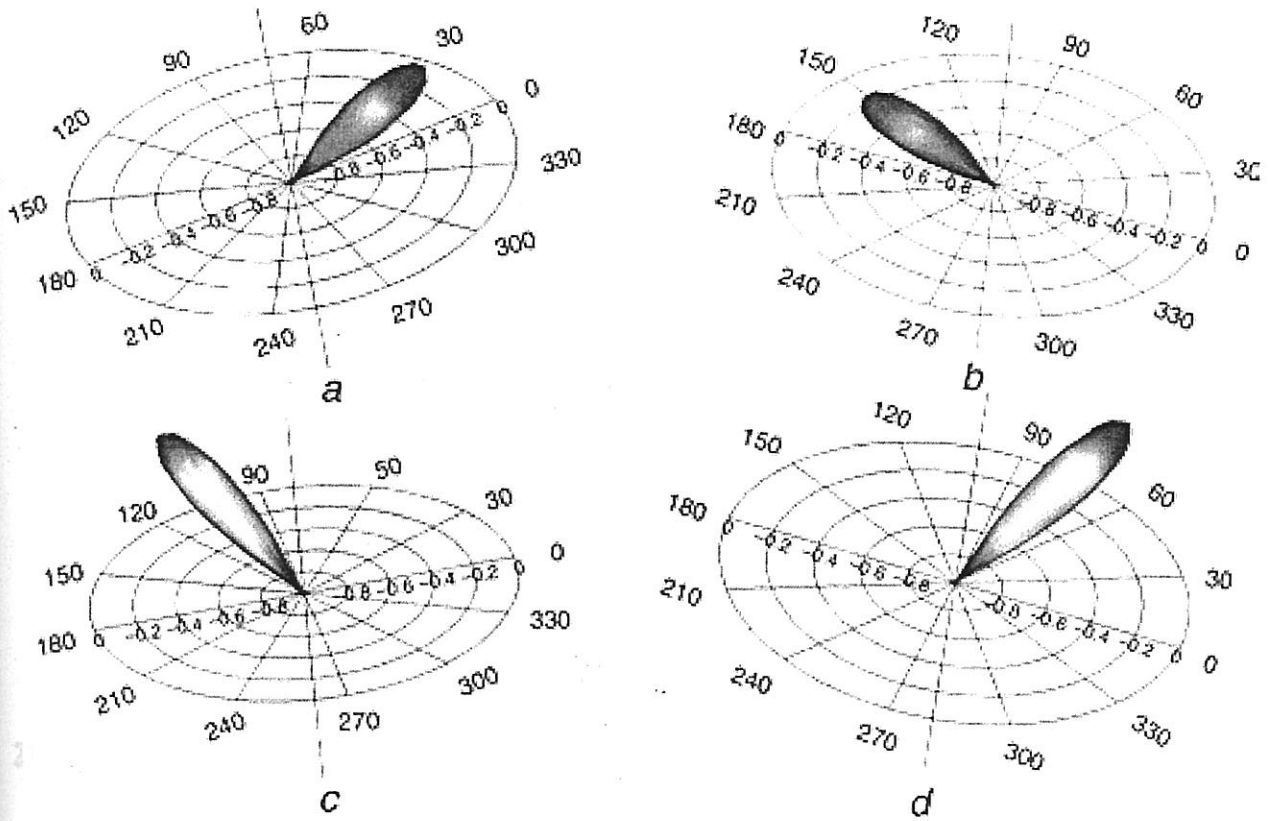
รูปที่ 3-4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศกั้นหอยที่ได้จากการจำลองแบบเมื่อ $M = 8$

ในงานอีกชิ้นหนึ่งที่แสดงไว้ในเอกสารอ้างอิงที่ [15] ซึ่งใช้สายอากาศมีลักษณะเป็นรูปก้นหอยเช่นกัน แต่สามารถสวิตช์ลำคลื่น โดยการเปิดลายวงจรของก้นหอย ซึ่งเมื่อต้องการสวิตช์ลำคลื่นในทิศทางอื่น ก็ต้องทำการเปิดลายวงจรก้นหอยที่ตำแหน่งอื่น ทำให้ไม่สามารถสวิตช์ลำคลื่นได้ในทันที อีกตัวอย่างหนึ่งได้แก่ งานที่ตีพิมพ์ในเอกสารอ้างอิงที่ [16] ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีลักษณะเป็นวงรอบสี่เหลี่ยม (square loop antenna) ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3-5

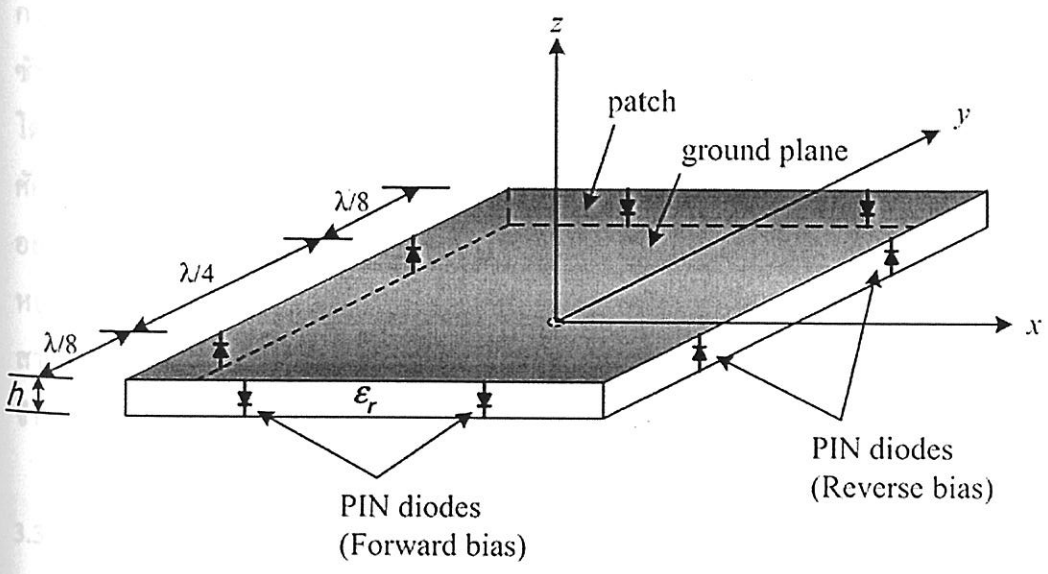


รูปที่ 3-5 โครงสร้างของสายอากาศวงรอบสี่เหลี่ยมจากเอกสารอ้างอิงหมายเลข [16]

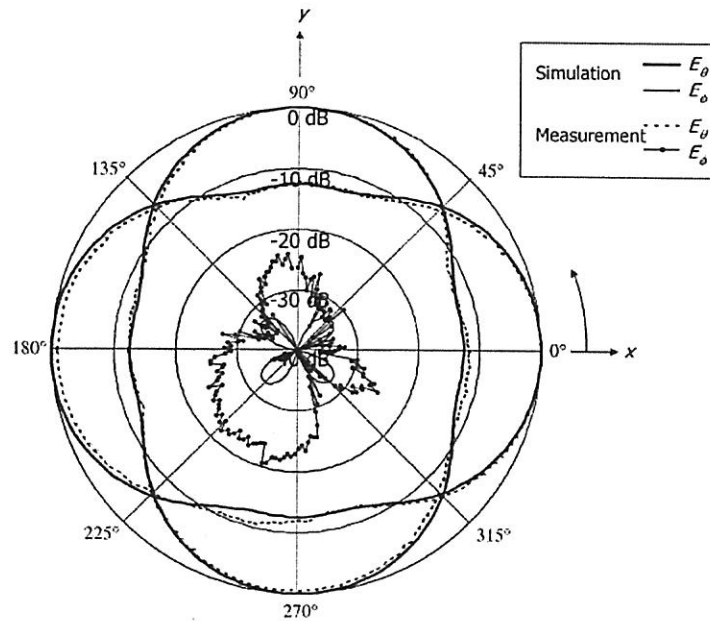
จากรูปที่ 3-5 การสวิตช์ลำคลื่นสามารถกระทำได้ผ่านการเปลี่ยนตำแหน่งของตัวป้อนสัญญาณ (A, B, C หรือ D) และแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการป้อนสัญญาณที่จุดป้อนต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 3-6 ซึ่งการสวิตช์ลำคลื่นในลักษณะนี้ทำให้ต้องอาศัยวงจรจ่ายการป้อนสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงที่สามารถแยกแยะสัญญาณในกรณีที่เกิดการป้อนและไม่เกิดการป้อนสัญญาณที่มีความถูกต้อง และที่สำคัญต้องมีการทำการแมตช์ที่มีประสิทธิภาพสูงในทุกๆ ตำแหน่งที่มีการป้อนสัญญาณและไม่มีการป้อนสัญญาณ นอกจากนี้ยังมีตัวอย่างงานที่ถูกตีพิมพ์ในเอกสารอ้างอิงที่ [17-18] ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส และมีการสวิตช์ลำคลื่น โดยใช้ PIN ไดโอดควบคุมการลัดวงจรดังที่แสดงในรูป 3-7 ซึ่งงานที่ถูกตีพิมพ์ในเอกสารอ้างอิงที่ [17-18] นี้ เป็นงานที่มีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากโครงสร้างของสายอากาศไม่ซับซ้อน มีขนาดเล็ก และใช้ต้นทุนในการผลิตที่ไม่สูงมากนัก แต่สายอากาศนี้สามารถสวิตช์ลำคลื่นได้เพียงสองทิศทางที่ตั้งฉากกันเท่านั้นดังที่แสดงในรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศวงรอบสี่เหลี่ยมเมื่อป้อนสัญญาณที่ตำแหน่งต่างกัน (A, B, C และ D)



รูปที่ 3-7 โครงสร้างของสายอากาศแบบแผ่นสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3-8 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบแผ่นสี่เหลี่ยม

3.3 การออกแบบสายอากาศในโครงการวิจัยนี้

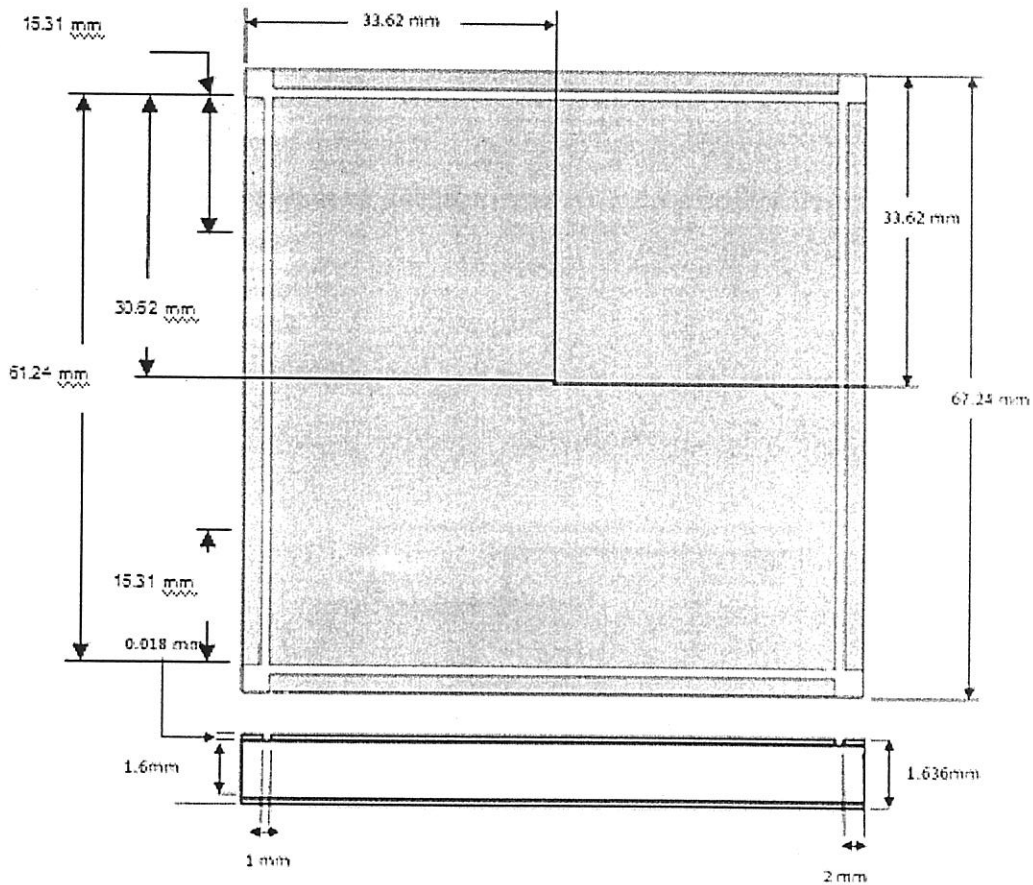
จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมในข้างต้น ทำให้สามารถสรุปได้ว่า สายอากาศที่มีความสามารถในการสวิตช์ลำคลื่นด้วยตัวเองนั้นยังมีจุดด้อยอยู่ที่การเปลี่ยนแปลงทิศทางของลำคลื่นกระทำด้วยขบวนการที่ซับซ้อน และต้องการเวลาในการสวิตช์ลำคลื่นพอสมควร ซึ่งอาจจะไม่ทันต่อการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน โดยเฉพาะในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย แต่จากงานวิจัยที่แสดงในเอกสารอ้างอิงที่ [18] แสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่จะพัฒนาต่อยอดเนื่องจากสามารถสวิตช์ลำคลื่น ได้แบบทันทีผ่านการควบคุมวงจรรีเลย์ทรอนิกส์อย่างง่าย ซึ่งการพัฒนาต่อยอดนั้นจะพิจารณาใน 2 สองประเด็นหลักได้แก่ ความกระชับรัด และความหลากหลายในการสวิตช์ลำคลื่น ในโครงการวิจัยชิ้นนี้แบ่งสายอากาศต้นแบบออกเป็น 2 แบบด้วยกันได้แก่ สายอากาศแบบสี่เหลี่ยมมีร่องต่อ และสายอากาศแบบแปดเหลี่ยม ดังมีรายละเอียดพร้อมทั้งผลที่ได้จากการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์ดังต่อไปนี้

3.3.1 สายอากาศแบบสี่เหลี่ยมมีร่องต่อ

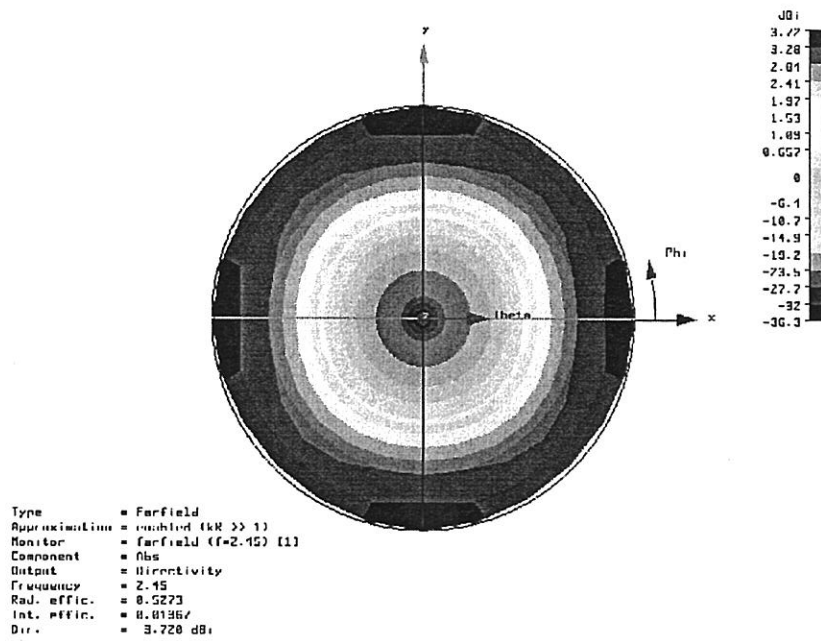
ในขั้นแรกได้ออกแบบสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz โดยกำหนดค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของแผ่นไมโครสตริปเท่ากับ 4.5 และมีความหนาเท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร ซึ่งสายอากาศอากาศมีความกว้างเท่ากับครึ่งความ

ยาวคลื่น ในการป้อนสัญญาณกำหนดให้ป้อนที่จุดกลางของสายอากาศเพื่อให้เกิดการกระจายสัญญาณรอบทิศทางอย่างสม่ำเสมอ สายอากาศที่ได้ออกแบบมีโครงสร้างและขนาดดังที่แสดงในรูปที่ 3-9

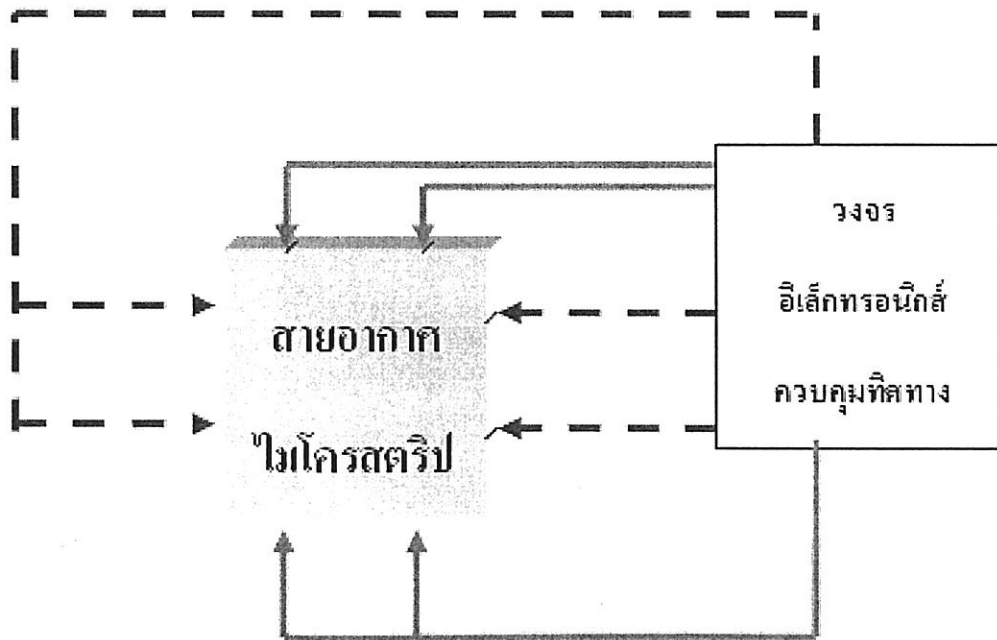
หลังจากได้โครงสร้างสายอากาศจากการออกแบบแล้ว ต่อไปจะทำการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Microwave Studio เพื่อตรวจสอบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ รูปที่ 3-10 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมที่ไม่มีการควบคุมลำคลื่นแต่อย่างใด จากนั้นได้ลองทำการลัดวงจรที่ด้านต่างๆ ของสายอากาศตามไดอะแกรมที่แสดงในรูปที่ 3-11 ซึ่งผลจากการจำลองในกรณีที่มีการลัดวงจรที่ด้านข้างของสายอากาศแสดงไว้ในรูปที่ 3-12



รูปที่ 3-9 สายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมมีร่องต่อทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz

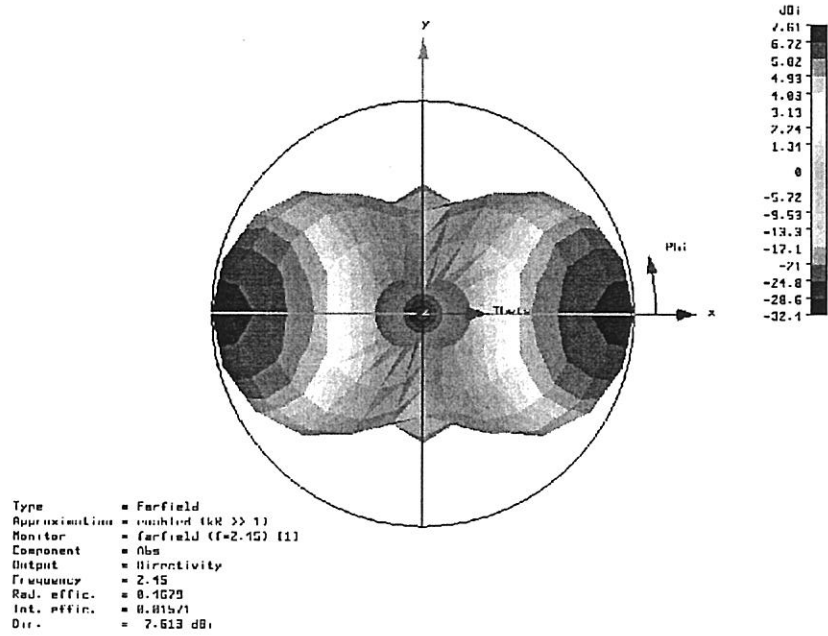


รูปที่ 3-10 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศสี่เหลี่ยมมีร่องต่อ

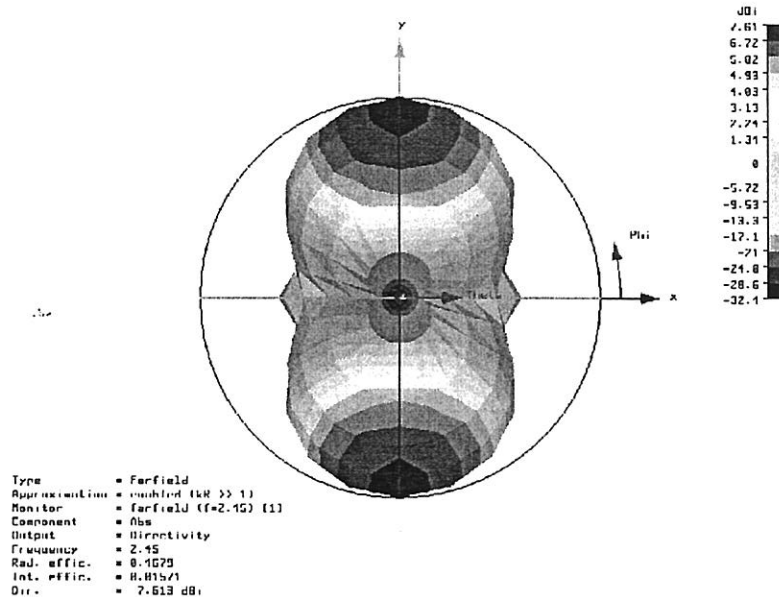


รูปที่ 3-11 รูปแบบการลัดวงจรด้านบนกับด้านล่าง

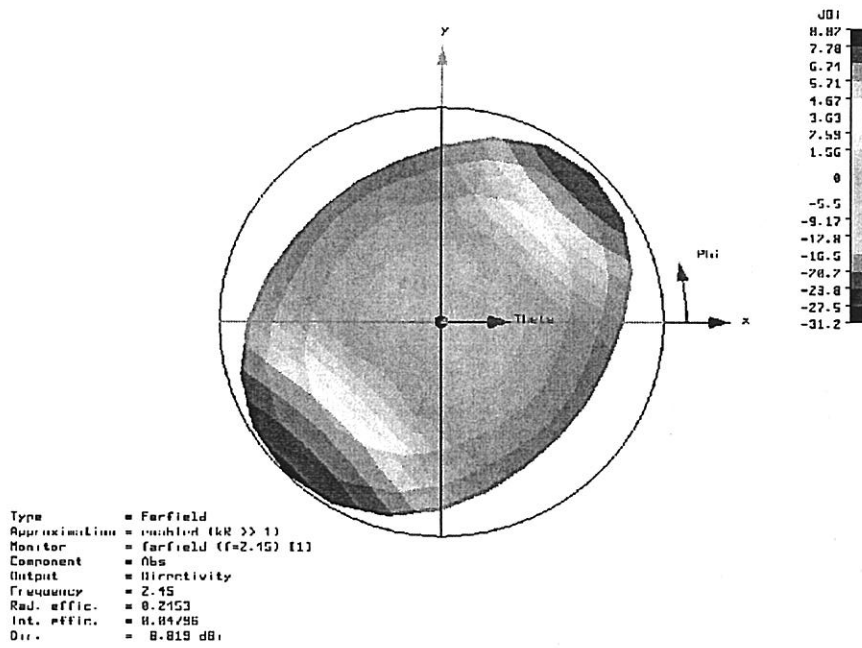
และจากรูปที่ 3-11 เมื่อทำการลัดวงจรที่ด้านซ้ายและขวา ผลที่ได้จากการจำลองแบบแสดงไว้ในรูปที่ 3-13 และเมื่อทำการลัดวงจรที่ด้านบนและด้านขวาจะได้ผลดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3-14 ส่วนผลการจำลองแบบที่ได้เมื่อทำการลัดวงจรที่ด้านล่างและด้านขวาแสดงไว้ในรูปที่ 3-15



รูปที่ 3-12 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศสี่เหลี่ยมที่มีการลัดวงจรที่ด้านบนและด้านล่าง

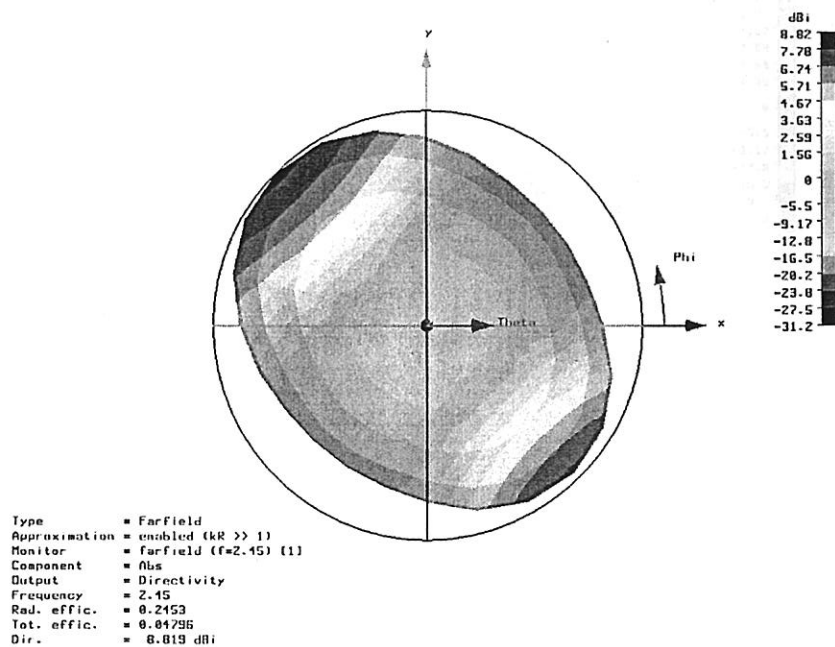


รูปที่ 3-13 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศสี่เหลี่ยมที่มีการลัดวงจรที่ด้านซ้ายและด้านขวา

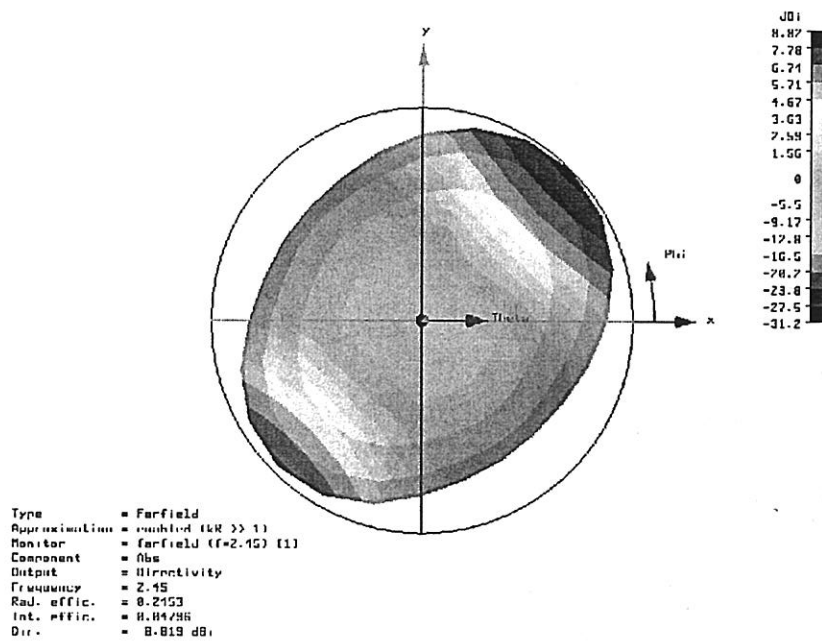


รูปที่ 3-14 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศสี่เหลี่ยมที่มีการลัดวงจรที่ด้านบนและด้านขวา

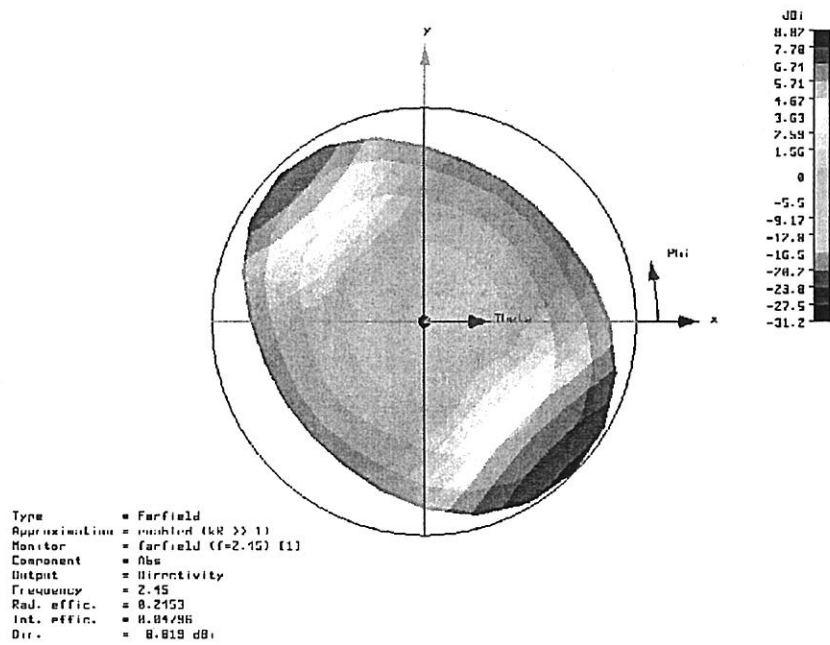
ผลจากการจำลองแบบเมื่อลัดวงจรให้กับสายอากาศที่ด้านล่างและด้านซ้าย ด้านซ้ายและด้านบน แสดงไว้ในรูปที่ 3-16 และ 3-17 ตามลำดับ



รูปที่ 3-15 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศสี่เหลี่ยมที่มีการลัดวงจรที่ด้านบนและด้านขวา



รูปที่ 3-16 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศสี่เหลี่ยมที่มีการลัดวงจรที่ด้านล่างและด้านซ้าย

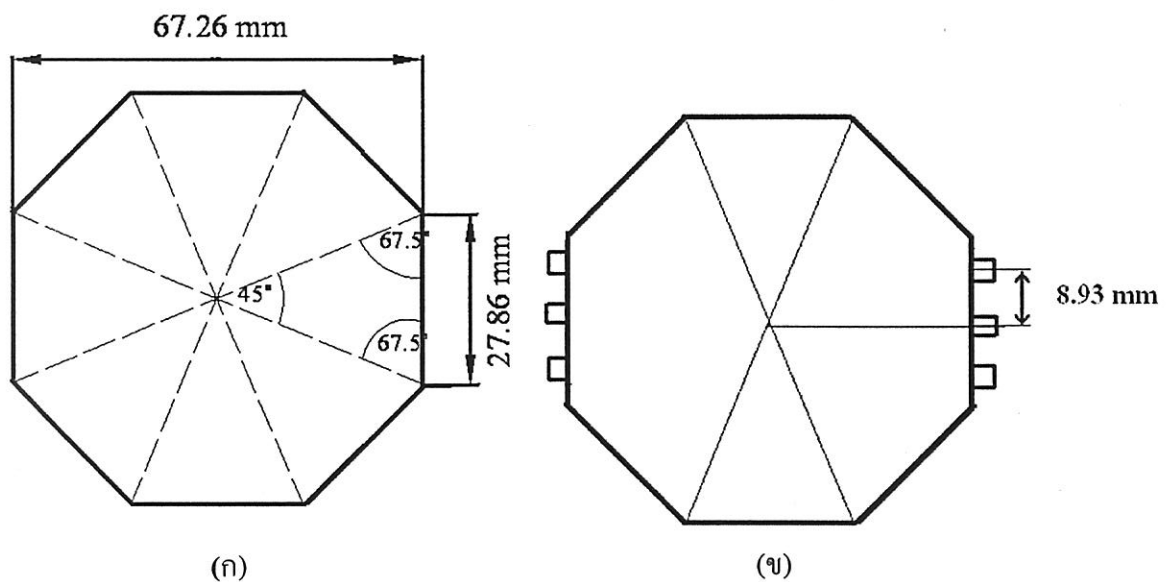


รูปที่ 3-16 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศสี่เหลี่ยมที่มีการลัดวงจรที่ด้านซ้ายและด้านบน

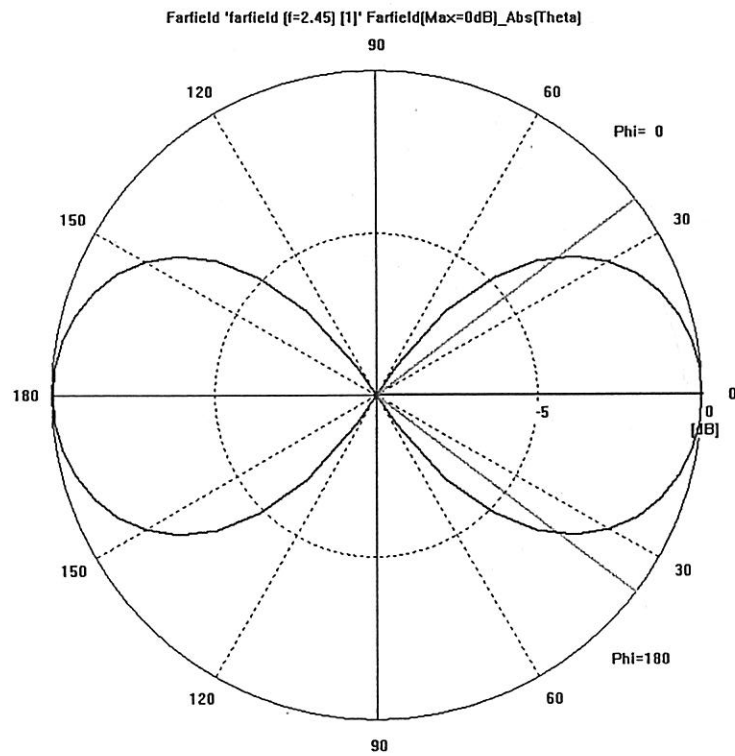
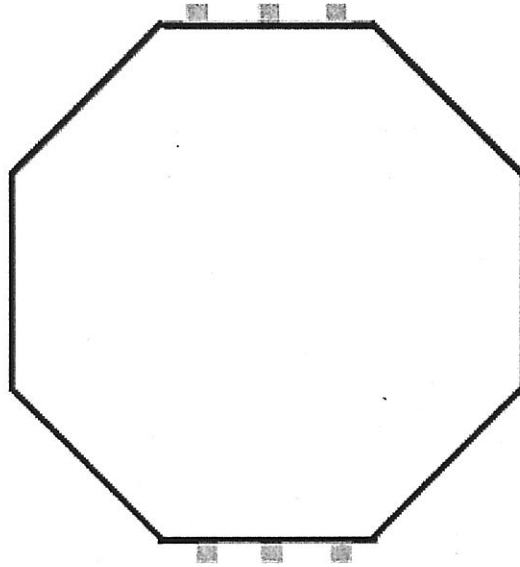
จากผลที่ได้จากการจำลองแบบในข้างต้นนี้สามารถสรุปได้ว่า เราสามารถกำหนดทิศทางของลำคลื่นได้ทั้งหมด 6 กรณีเมื่อมีการลัดวงจรในด้านต่างๆ ของสายอากาศ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้ทำการศึกษาต่อไปเพื่อที่จะออกแบบสายอากาศที่มีลักษณะที่แตกต่างออกไปเพื่อให้ได้กรณีในการสวิตซ์ลำคลื่นที่มากขึ้น ซึ่งจะมีรายละเอียดและผลการจำลองแบบในหัวข้อถัดไป

3.3.2 สายอากาศแบบแปดเหลี่ยม

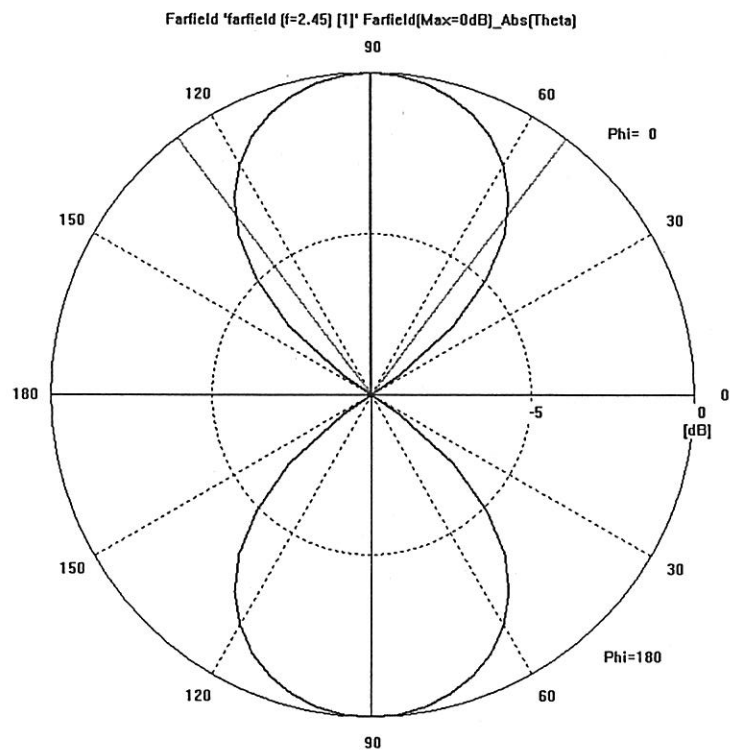
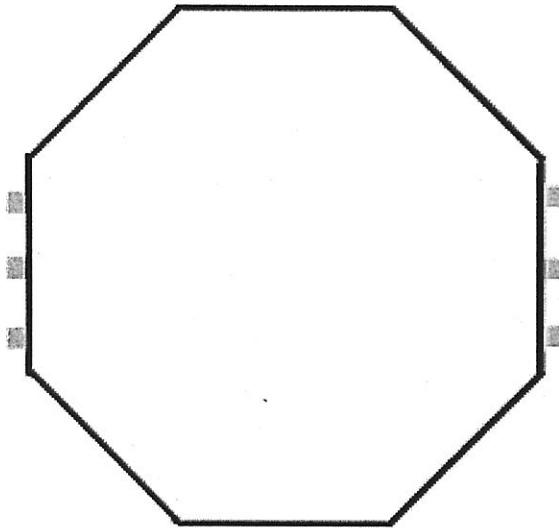
สายอากาศที่ได้ออกแบบที่ความถี่ 2.45 GHz อีกรูปแบบหนึ่งจะมีลักษณะแปดเหลี่ยมที่มีโครงสร้างและขนาดดังที่แสดงในรูปที่ 3-17 ก การลัดวงจรสำหรับสายอากาศรูปแปดเหลี่ยมนี้จะลัดวงจรด้านละ 3 อัน ซึ่งมีระยะห่างกันดังที่แสดงในรูปที่ 3-17 ข ซึ่งสามารถลัดวงจรที่ด้านข้างของสายอากาศได้ใน 8 กรณี (กรณี ที่ 1 ถึงกรณี ที่ 8) ที่แตกต่างกัน และผลจากการจำลองแบบในแต่ละกรณีถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3-18 ถึง 3-25 ดังนี้



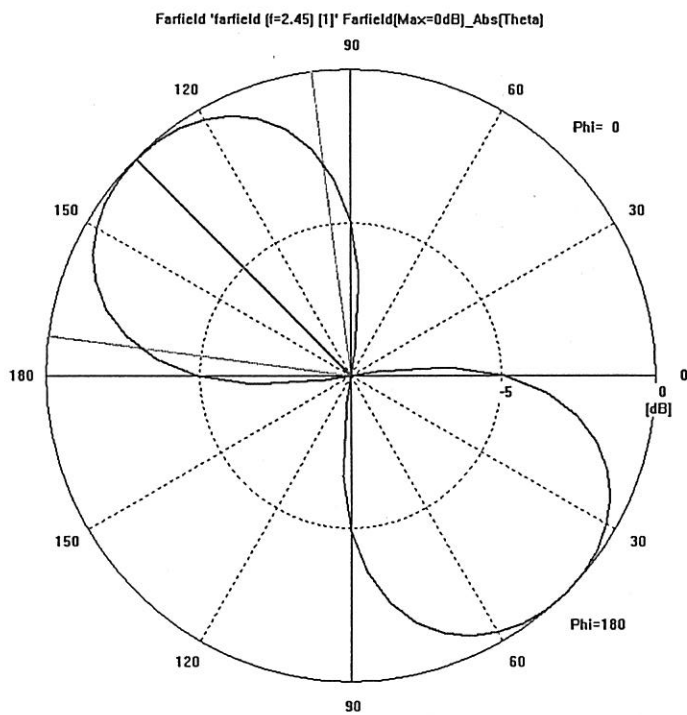
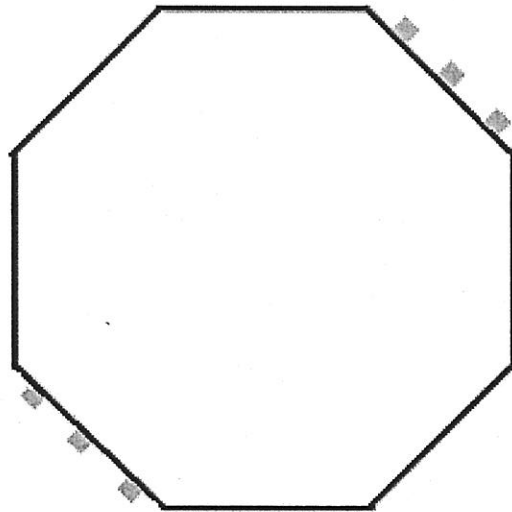
รูปที่ 3-17 โครงสร้าง และลักษณะการลัดวงจรของสายอากาศแปดเหลี่ยม



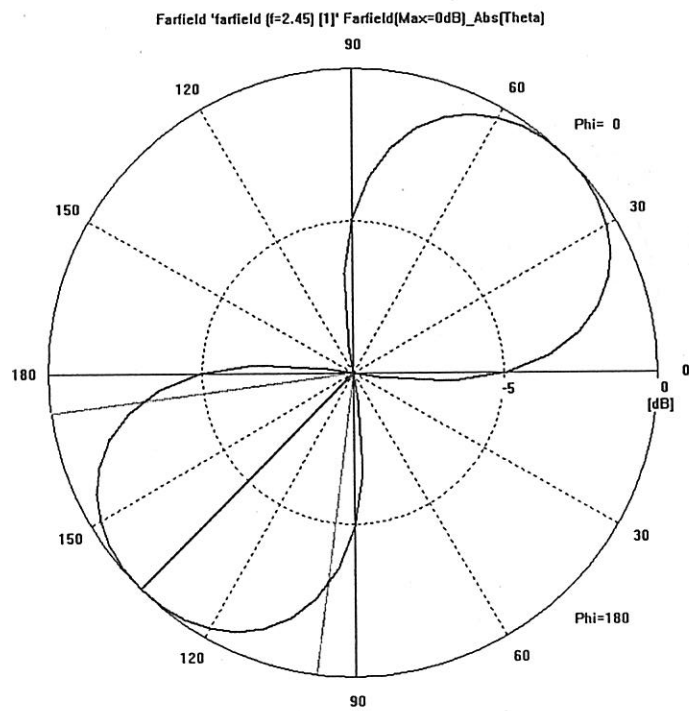
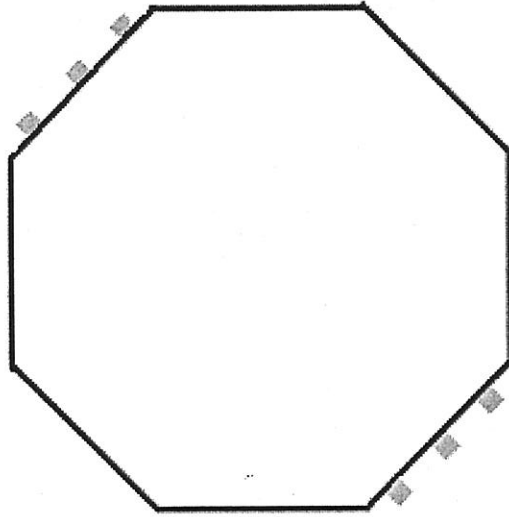
รูปที่ 3-18 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม และลักษณะการลัดวงจร สำหรับกรณีที่ 1



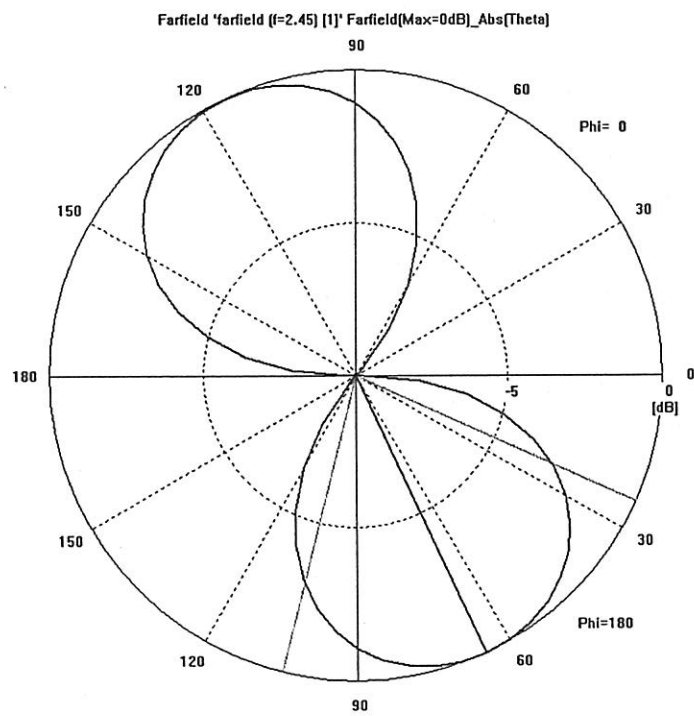
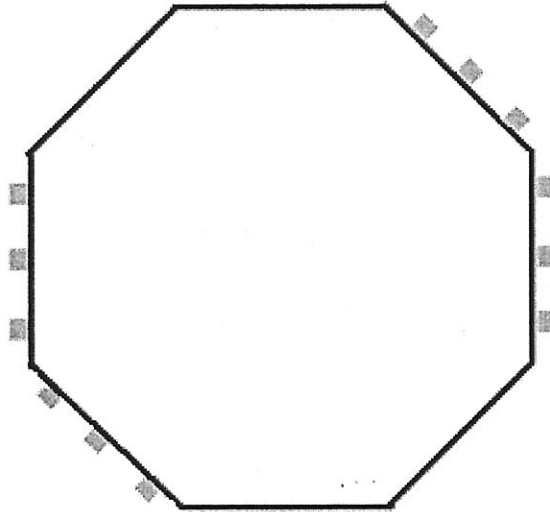
รูปที่ 3-19 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม และลักษณะการลัดวงจร
สำหรับกรณีที่ 2



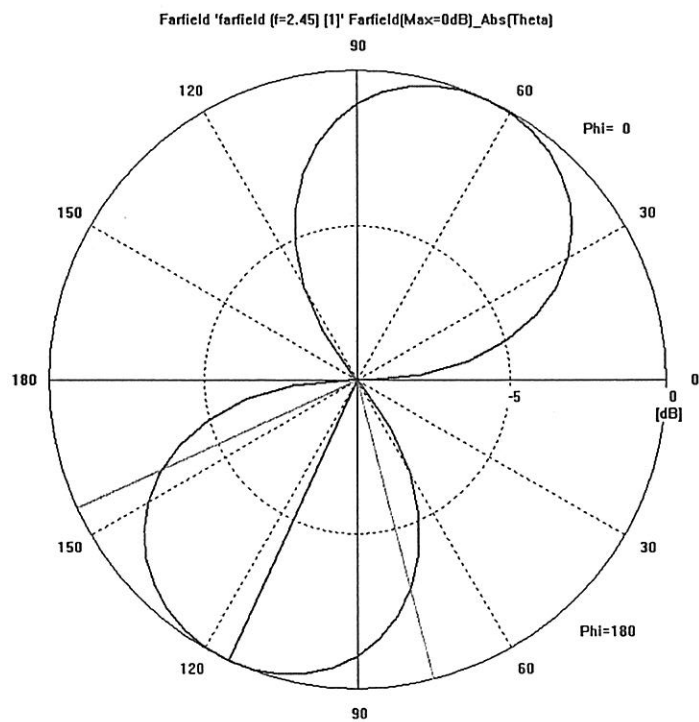
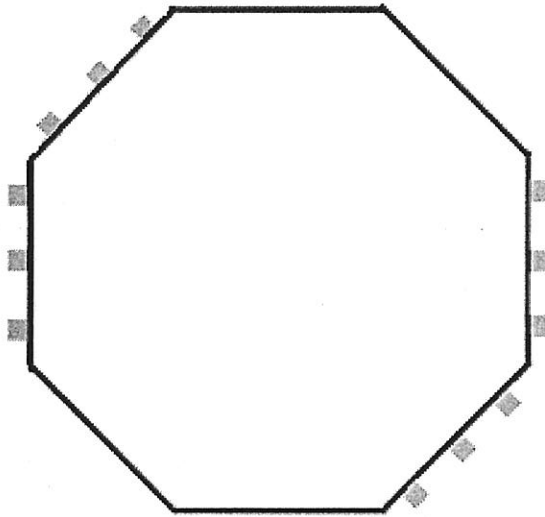
รูปที่ 3-20 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม และลักษณะการลัดวงจร สำหรับกรณีที่ 3



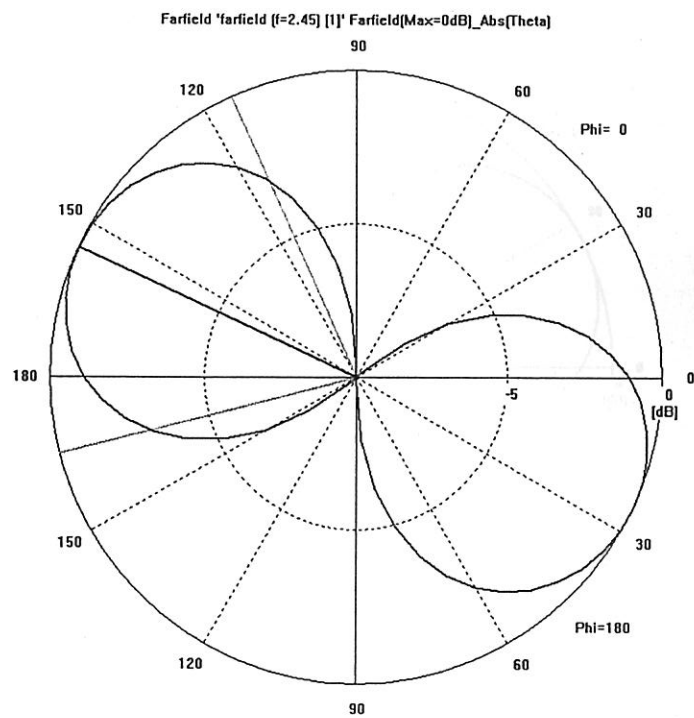
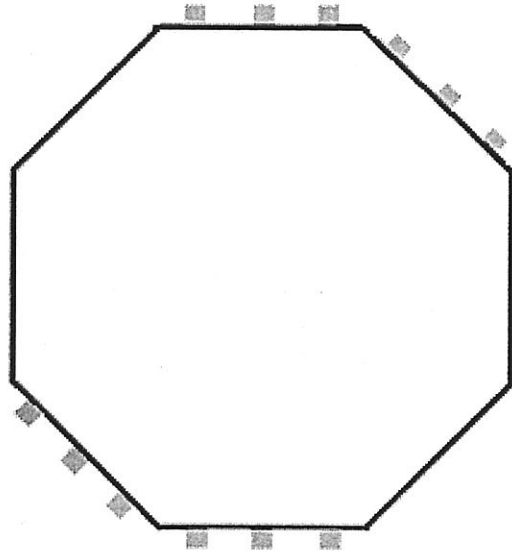
รูปที่ 3-21 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม และลักษณะการลัดวงจร
สำหรับกรณีที่ 4



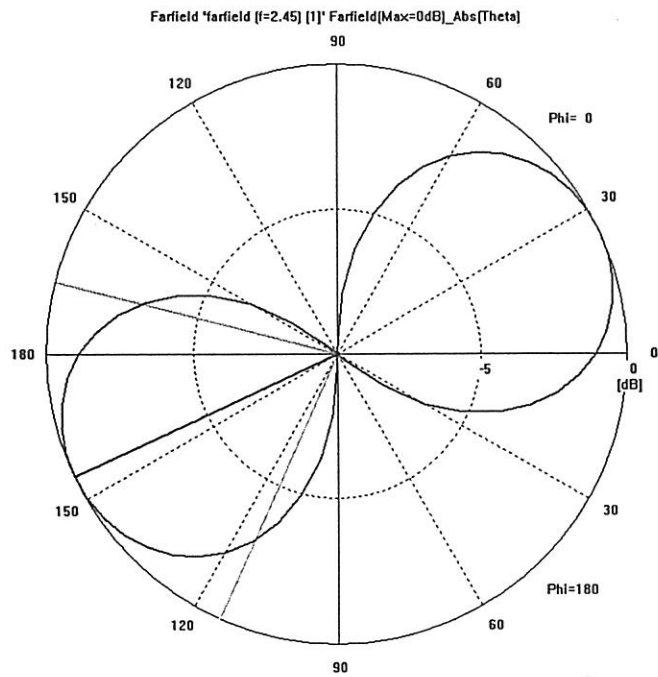
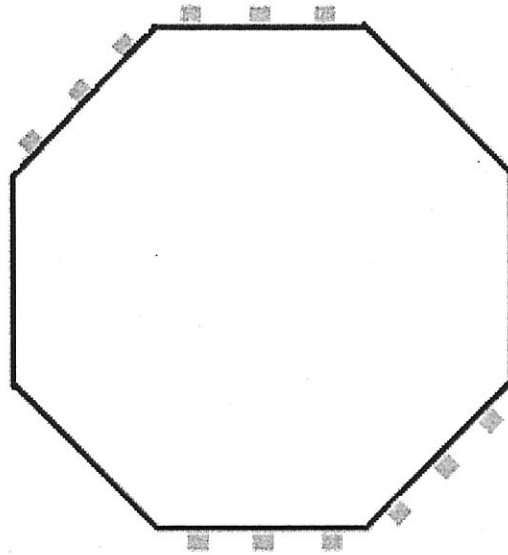
รูปที่ 3-22 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม และลักษณะการลัดวงจร สำหรับกรณีที่ 5



รูปที่ 3-23 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม และลักษณะการลัดวงจร
สำหรับกรณีที่ 6



รูปที่ 3-24 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม และลักษณะการลัดวงจร
สำหรับกรณีที่ 7



รูปที่ 3-25 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการจำลองแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม และลักษณะการลัดวงจร สำหรับกรณีที่ 8

จากการจำลองแบบที่ผ่านมาทำให้เราเห็นว่า สายอากาศแปดเหลี่ยมที่ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถ สวิตช์ลำคลื่น ได้ทั้งหมด 8 กรณี อย่างไรก็ตามเพื่อยืนยันคุณสมบัติในการสวิตช์ลำคลื่นผลจากการวัด ทดสอบจริงจะแสดงไว้ในบทถัดไป

3.4 กล่าวสรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงการสวิตช์ลำคลื่นโดยใช้สายอากาศเพียงต้นเดียว ในส่วนแรกจะเป็นการสำรวจ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะชี้ข้อดีและข้อเสียของงานที่ได้เคยถูกเสนอมา จากนั้นได้ออกแบบสายอากาศ สำหรับโครงการวิจัยฉบับนี้ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 แบบได้แก่ สายอากาศแบบสี่เหลี่ยมมีร่องต่อ และสายอากาศ รูปทรงแปดเหลี่ยม เพื่อทดสอบสมรรถนะในการสวิตช์ลำคลื่นของสายอากาศ ในส่วนท้ายจึงได้มีการ แสดงผลที่ได้จากการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดจริงในบท ถัดไป

บทที่ 4

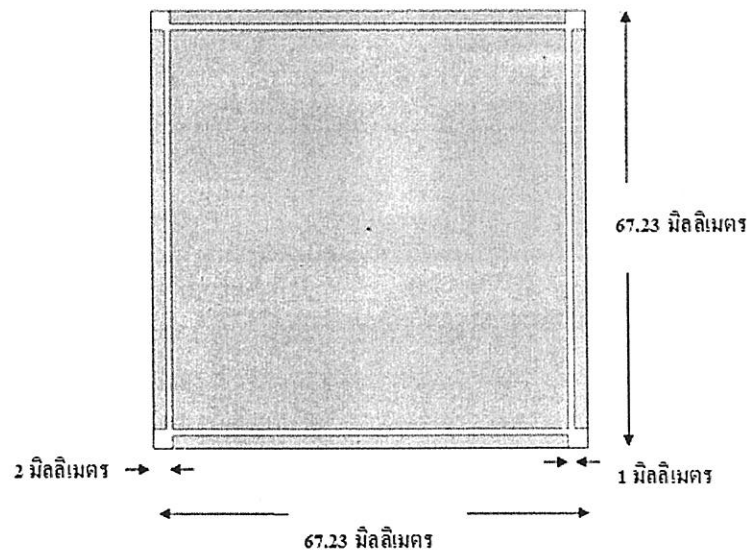
ผลการทดสอบจริงของสายอากาศต้นแบบ

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสร้างสายอากาศต้นแบบที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 ซึ่งได้แก่ สายอากาศแบบสี่เหลี่ยมมีร่องต่อ และสายอากาศรูปแปดเหลี่ยม ต่อจากนั้นจะกล่าวถึงผลการทดสอบจริงในห้อง anechoic chamber ที่อาคารศูนย์เครื่องมือ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2 การสร้างสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมมีร่องต่อ

การสร้างสายอากาศที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 จะแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้
ขั้นตอนที่ 1: เตรียมแผ่นไมโครสตริปออฟอกซี และออกแบบลายพิมพ์ตามการออกแบบในบทที่ 3 แล้วนำลายพิมพ์ไปพิมพ์ลงในแผ่นใส ตัวอย่างสายอากาศทรงสี่เหลี่ยมที่มีร่องต่อแสดงไว้ในรูปที่ 4-1 ดังนี้



รูปที่ 4-1 แบบลายพิมพ์ของสายอากาศที่ทำการออกแบบ

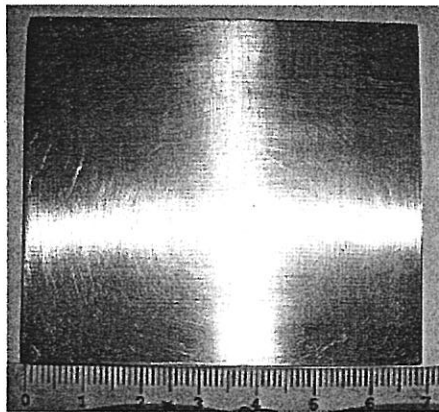
ขั้นตอนที่ 2: ตัดแผ่นแผงวงจรพิมพ์ที่เตรียมไว้โดยให้มีขนาดเท่ากับ 67.23×67.23 มิลลิเมตร เมื่อทำการตัดเสร็จเรียบร้อยแล้วจะเห็นว่าขอบของแผ่นไมโครสตริปไม่เรียบ ดังนั้นจึงใช้กระดาษทรายขัดเพื่อให้ขอบเรียบดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4-2

ขั้นตอนที่ 3: ใช้เตารีดรีดลายพิมพ์ที่ได้ออกแบบไว้จากขั้นตอนที่ 1 ติดกับแผ่นอีพอกซีประมาณ 10 นาที จากนั้นปล่อยให้เย็นแล้วจึงลอกออก *หมายเหตุ:* ขณะรีดต้องใช้กระดาษรองประมาณ 2 แผ่นเพื่อไม่ให้แผ่นใส่ติดกับเตารีด

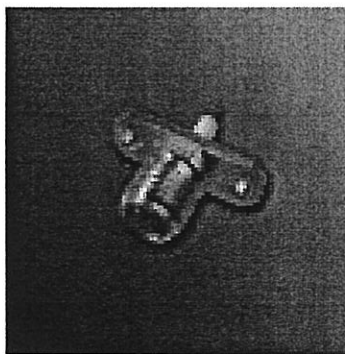
ขั้นตอนที่ 4: กัดลายพิมพ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 โดยใช้กรดน้ำยกัดแผงวงจรพิมพ์โดยนำไปแช่ลงในน้ำยาและเขย่าประมาณ 8-9 นาที ทองแดงที่ติดอยู่จะออกมาตามลายพิมพ์ เมื่อทองแดงหลุดออกตามที่ต้องการแล้ว จึงนำออกไปล้างด้วยน้ำ ทิ้งไว้ให้แห้ง นำมาทำความสะอาดด้วยน้ำมันสน

ขั้นตอนที่ 5: เจาะรูตรงกึ่งกลางของแผ่นที่ได้จากขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 6: นำหัวต่อ SMA ที่แสดงในรูปที่ 4-3 มาเชื่อมต่อกับแผ่นที่ได้จากขั้นตอนที่ 5

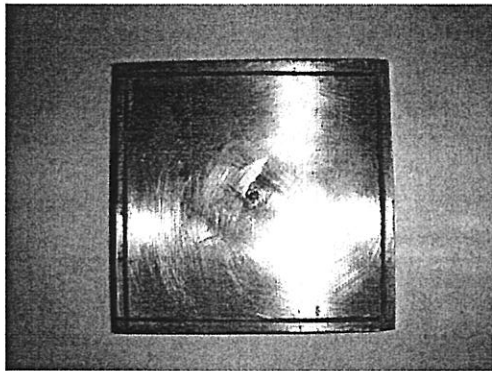


รูปที่ 4-2 แผ่น Epoxy ที่ตัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว

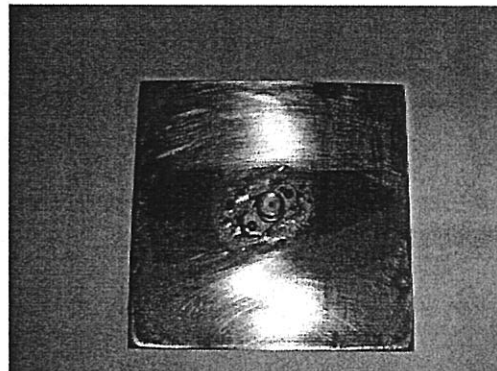


รูปที่ 4-3 หัวต่อชนิด SMA

ในการออกแบบนี้จะทำการเพิ่มช่องต่อ (gap) ให้กับสายอากาศ เหตุที่เราทำการเพิ่มช่องว่างนี้ เนื่องจากเมื่อเราทำการต่อเข้ากับวงจรอิเล็กทรอนิกส์และทำการปิดวงจรในแต่ละด้าน ซึ่งจะช่วยลดผลกระทบที่รุนแรงจากการลัดวงจรที่ขอบของสายอากาศ ทำให้กระแสที่ไหลเข้ามาภายในสายอากาศเกิดการรบกวนกันน้อยลง ส่งผลให้ด้านแต่ละด้านมีอิสระต่อกัน ซึ่งส่งผลการควบคุมทิศทางของลำคลื่นดียิ่งขึ้น ภาพถ่ายของสายอากาศสี่เหลี่ยมที่มีช่องต่อทั้งด้านหน้าและด้านหลังแสดงไว้ในรูปที่ 4-4



ก ภาพถ่ายด้านหน้า



ข ภาพถ่ายด้านหลัง

รูปที่ 4-4 ภาพถ่ายของสายอากาศสี่เหลี่ยมมีช่องต่อ

4.3 การสร้างวงจรควบคุมการลัดวงจร

อุปกรณ์วงจรทรานซิสเตอร์แบบ Fix bias

1. ทรานซิสเตอร์ เบอร์ C458 1 ตัว
2. ตัวต้านทานขนาด 1 กิโลโอห์ม ขนาด 0.5 วัตต์ 2 ตัว

อุปกรณ์วงจรควบคุมสวิทช์

1. ดับสวิทช์ ขนาด 4 ช่องอินพุตและเอาต์พุต 1 ตัว
2. LED สีแดงขนาดเล็ก 0.3 โวลต์ 4 หลอด
3. ถ่านไฟฉายขนาด 1.5 โวลต์ 4 ก้อน
4. แผงใส่ถ่านขนาด 1.5 โวลต์ 1 แผง

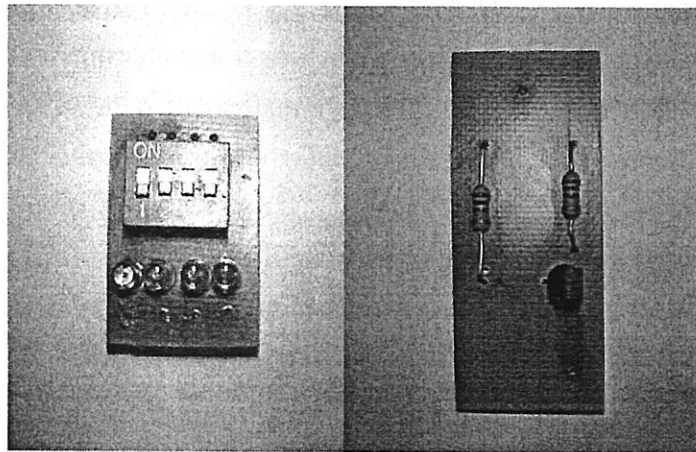
ขั้นตอนการสร้างวงจรทรานซิสเตอร์แบบ Fix bias

1. ออกแบบวงจรและวิเคราะห์กระแสที่ไหลในวงจร
2. นำแผ่นวงจรพิมพ์วงจรมาตัดแผ่นวงจรพิมพ์ให้ได้ตามที่ออกแบบ
3. นำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาบัดกรีตามวงจรที่ออกแบบ
4. ทำการตรวจสอบวงจรว่าเป็นไปตามที่ออกแบบหรือไม่

ขั้นตอนการสร้างวงจรควบคุมสวิตช์

1. ออกแบบการใช้งานสวิตช์ให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น
2. นำแผ่นแผ่นวงจรพิมพ์วงจรมาตัดแผ่นวงจรพิมพ์ให้ได้ตามที่ออกแบบ
3. นำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาบัดกรีตามวงจรที่ออกแบบ
4. ทำการตรวจสอบวงจรว่าเป็นไปตามที่ออกแบบหรือไม่

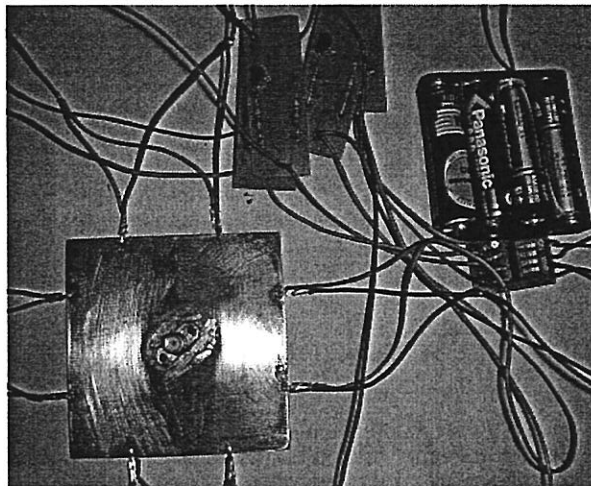
จากนั้นเราจะได้วงจรควบคุมสวิตช์และวงจรทรานซิสเตอร์แบบ Fix bias ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4-5 และเมื่อนำวงจรทั้งสองที่ออกแบบไว้มาต่อวงจรเป็นวงจรควบคุมสวิตช์ด้วยทรานซิสเตอร์จะได้ดังรูปที่ 4-6



(ก)

(ข)

รูปที่ 4-5 วงจรควบคุมสวิตช์และวงจรทรานซิสเตอร์แบบ Fix bias ตามลำดับ



รูป 4-6 วงจรควบคุมการลัดวงจรที่สายอากาศด้วยทรานซิสเตอร์

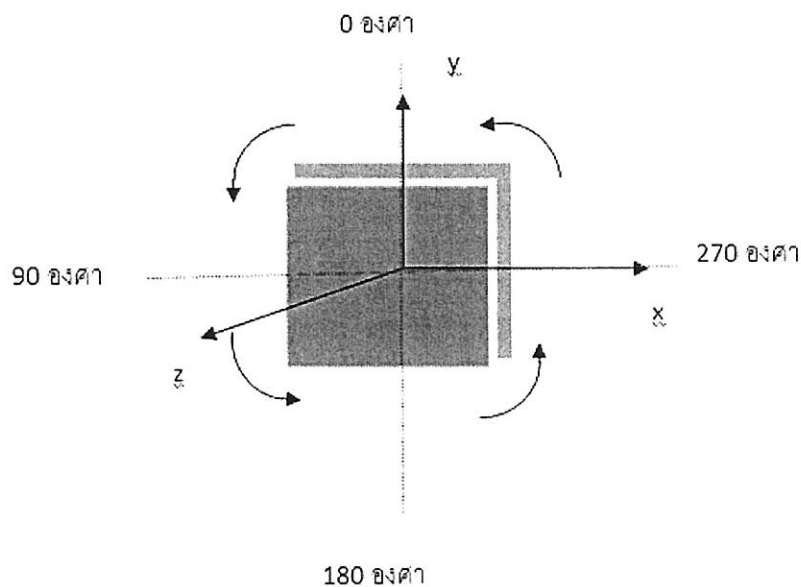
4.4 หลักการทำงานของวงจรควบคุมสวิตช์ด้วยทรานซิสเตอร์

เมื่อเราทำการจ่ายไฟกระแสตรง 6 โวลต์ให้แก่วงจรควบคุมสวิตช์ด้วยทรานซิสเตอร์ โดยกระแสจะผ่านจุดควบคุมสวิตช์ซึ่งทำหน้าที่เปิดและปิดกระแสจำนวน 4 ช่อง กระแสจะไหลเข้าสู่สวิตช์ทุกช่อง และเราสามารถควบคุมได้ทุกช่อง ถ้าเราทำการเปิดสวิตช์ช่องที่ 1 กระแสจะไหลเฉพาะช่องที่ 1 และจะไม่มีกระแสไหลในช่องที่เหลือ ในที่นี้เรามีการตรวจสอบกระแสด้วยหลอดไฟ LED ถ้าไฟติดแสดงว่ากระแสไหลในช่องนั้นๆ และจากกระแสที่ไหลมาจะไหลเข้าสู่วงจรทรานซิสเตอร์ วงจรนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อกระแสมีค่ากระแสมากพอที่วงจรทำงานได้ครบวงจร ถ้ากระแสน้อยกว่าที่วงจรจะทำงานได้กระแสก็จะไม่ไหลผ่านไปสู่อากาศไมโครสตริป ซึ่งจะไม่มีผลทำให้บังคับทิศทางซึ่งก็คือ เปิดวงจร ในทางกลับกันถ้ากระแสไหลผ่านไปสู่อากาศไมโครสตริปซึ่งจะมีผลให้บังคับทิศทางได้ที่ตำแหน่งที่เราทำการลัดวงจร ในที่นี้แต่ละช่องจะมีวงจรทรานซิสเตอร์ช่องละวงจรควบคุมอยู่

4.5 ผลการวัดจริงของสายอากาศสี่เหลี่ยมมีช่องต่อ

หลังจากที่ได้ต่ออุปกรณ์ทุกส่วนของสายอากาศต้นแบบจากการออกแบบสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมที่มีช่องต่อ การทดสอบจริงกระทำขึ้นในห้อง anechoic chamber ที่อาคารศูนย์เครื่องมือ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (network analyzer) และการทดสอบในครั้งนี้กระทำที่ความถี่ 2.45 GHz ผลการทดสอบและระนาบในการทดสอบซึ่งมีด้วยกันทั้งหมด 3 ระนาบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ระนาบที่ 1: ระนาบ xy คือ การวางตัวสายอากาศให้ได้ระนาบดังรูปที่ 4-7

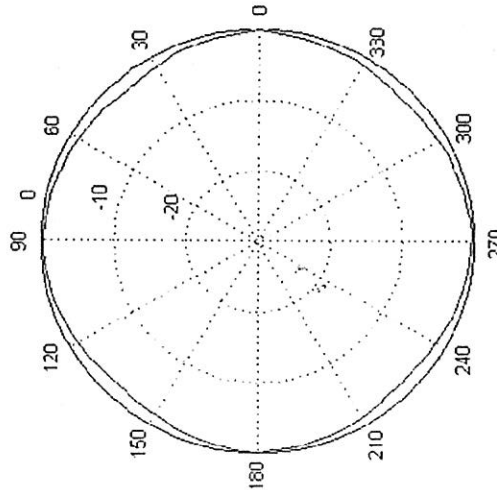


รูปที่ 4-7 ระนาบ xy ในการวัดสายอากาศต้นแบบ

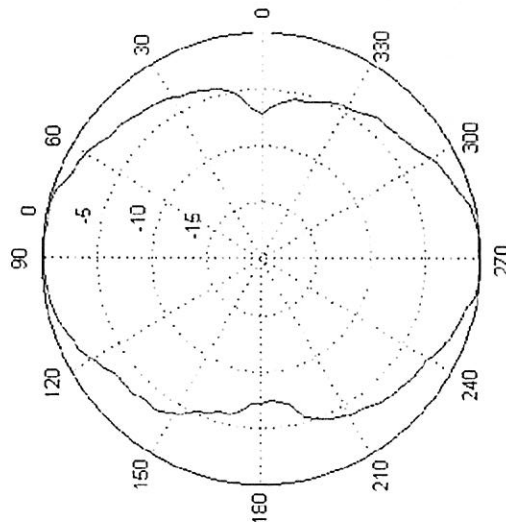
ผลการทดสอบสายอากาศจะทดสอบในหลายลักษณะได้แก่

- ไม่มีการลัดวงจร แสดงในรูปที่ 4-8
- ลัดวงจรด้านบนและด้านล่าง แสดงในรูปที่ 4-9
- ลัดวงจรด้านซ้ายและด้านขวา แสดงในรูปที่ 4-10

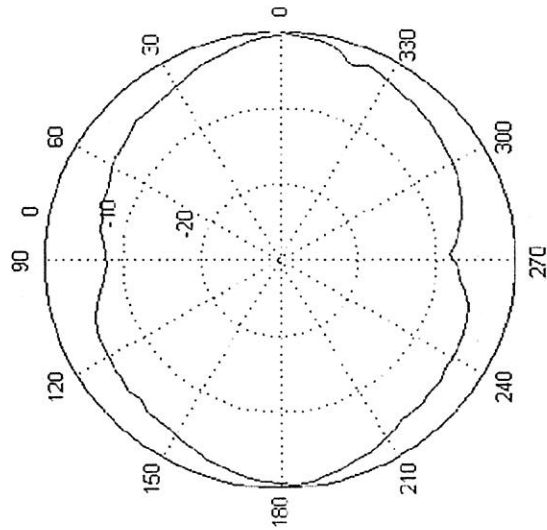
- ลัควงจรด้านบนและด้านขวา แสดงไว้ในรูปที่ 4-11
- ลัควงจรด้านขวาและด้านล่าง แสดงไว้ในรูปที่ 4-12
- ลัควงจรด้านล่างและด้านซ้าย แสดงไว้ในรูปที่ 4-13
- ลัควงจรด้านซ้ายและด้านบน แสดงไว้ในรูปที่ 4-14



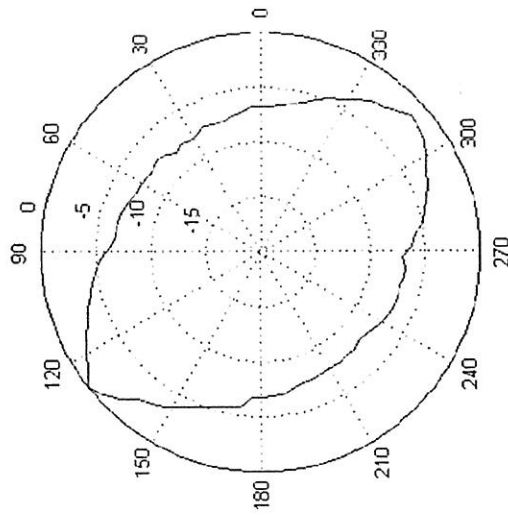
รูปที่ 4-8 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดของสายอากาศ เมื่อไม่มีการลัควงจร



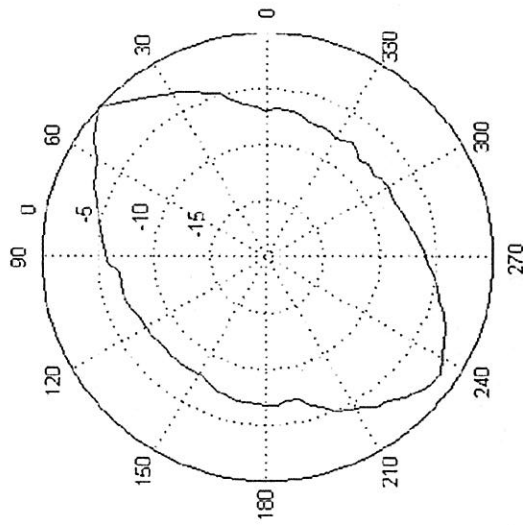
รูปที่ 4-9 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัควงจรด้านบนและด้านล่าง



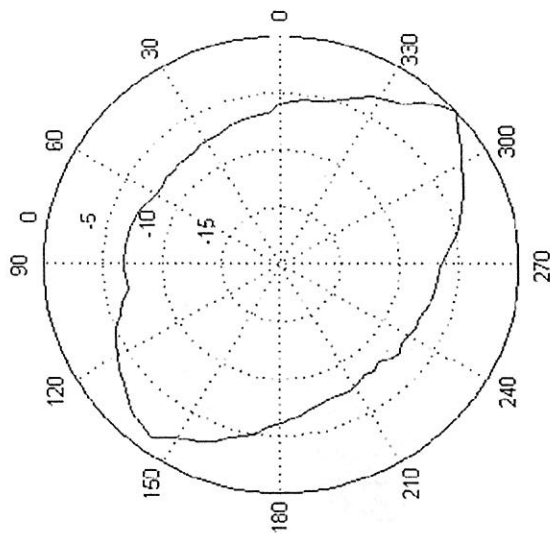
รูปที่ 4-10 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดของสายอากาศ เมื่อตั้งวงจรด้านซ้ายและด้านขวา



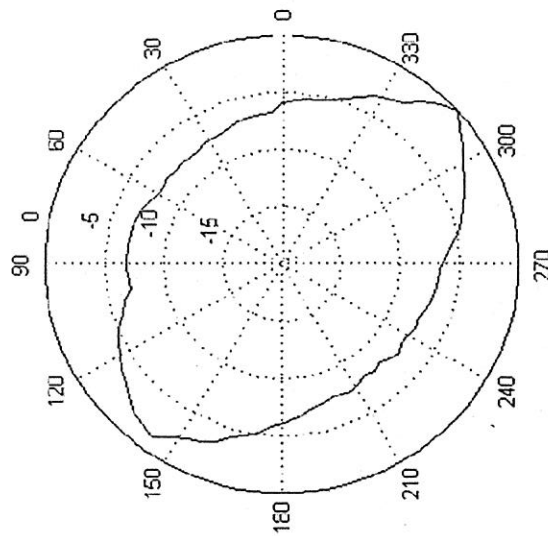
รูปที่ 4-11 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดของสายอากาศ เมื่อตั้งวงจรด้านบนและด้านขวา



รูปที่ 4-12 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านขวาและด้านล่าง

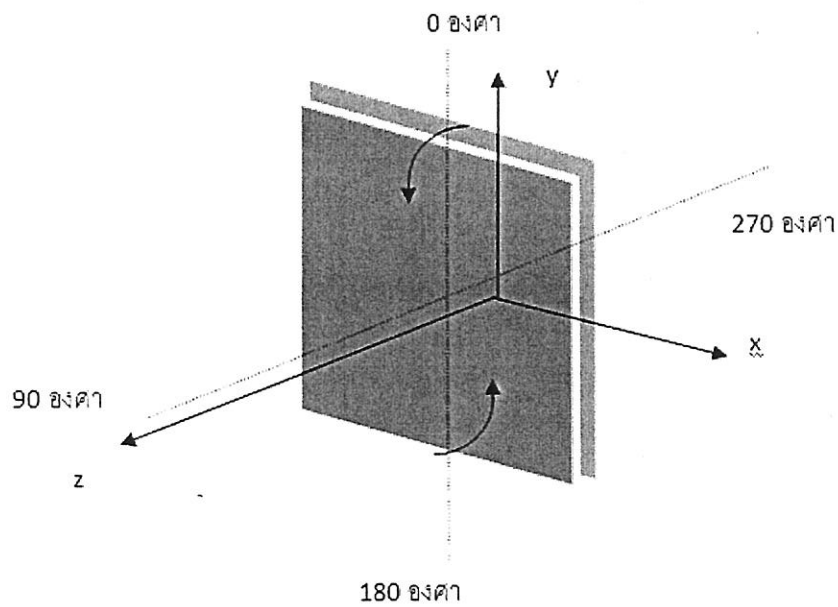


รูปที่ 4-13 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านขวาและด้านล่าง



รูปที่ 4-14 แบบรูปการแผ่พลังงานจากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านซ้ายและด้านบน

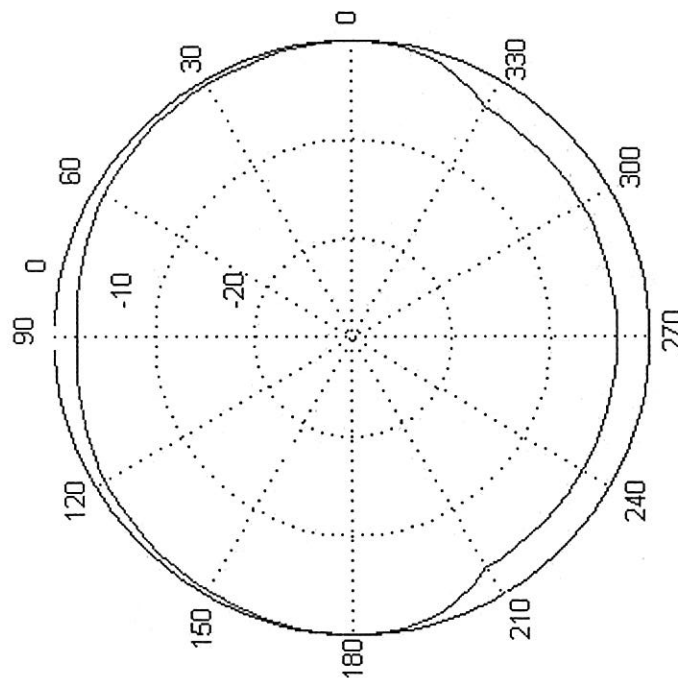
ระนาบที่ 2: ระนาบ yz คือ การวางตัวสายอากาศให้ได้ระนาบดังรูปที่ 4-15



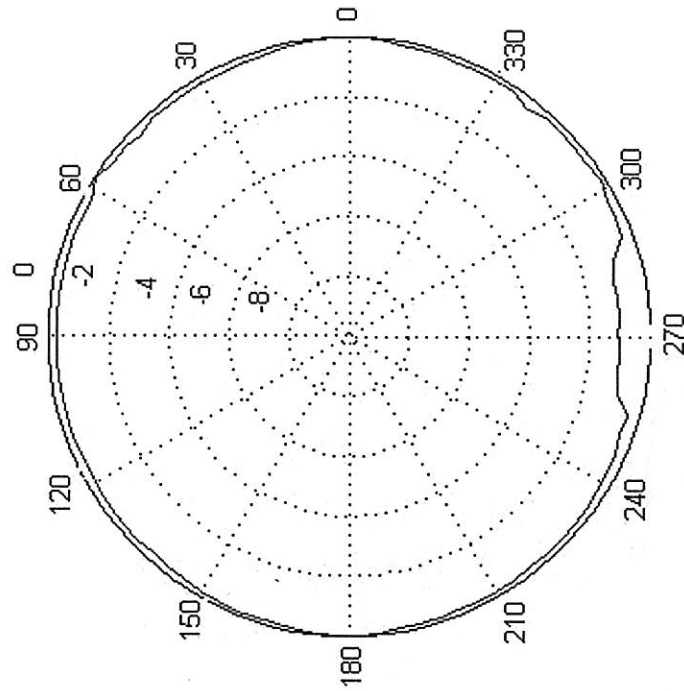
รูปที่ 4-15 ระนาบ yz ในการวัดสายอากาศต้นแบบ

ผลการทดสอบสายอากาศในระนาบ yz จะทดสอบในหลายลักษณะได้แก่

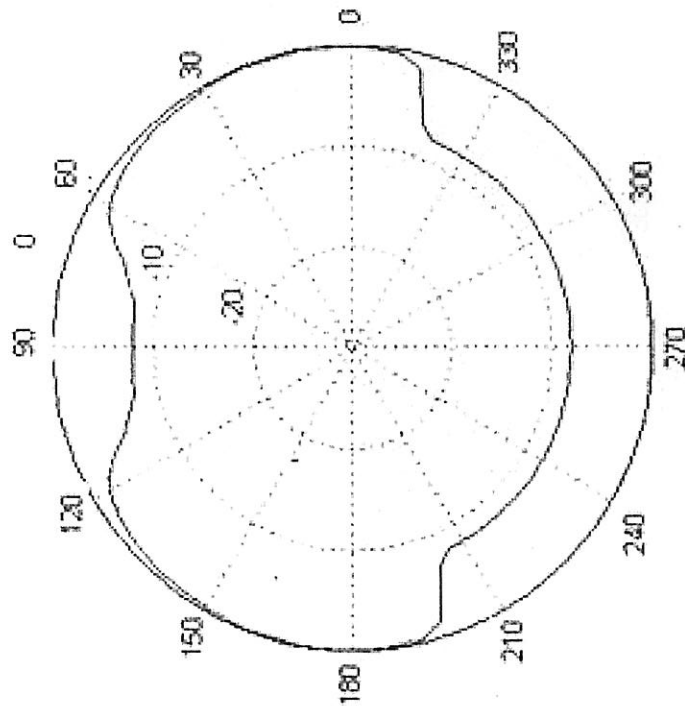
- ไม่มีการลัดวงจร แสดงในรูปที่ 4-16
- ลัดวงจรด้านบนและด้านล่าง แสดงในรูปที่ 4-17
- ลัดวงจรด้านซ้ายและด้านขวา แสดงในรูปที่ 4-18
- ลัดวงจรด้านบนและด้านขวา แสดงไว้ในรูปที่ 4-19
- ลัดวงจรด้านขวาและด้านล่าง แสดงไว้ในรูปที่ 4-20
- ลัดวงจรด้านล่างและด้านซ้าย แสดงไว้ในรูปที่ 4-21
- ลัดวงจรด้านซ้ายและด้านบน แสดงไว้ในรูปที่ 4-22



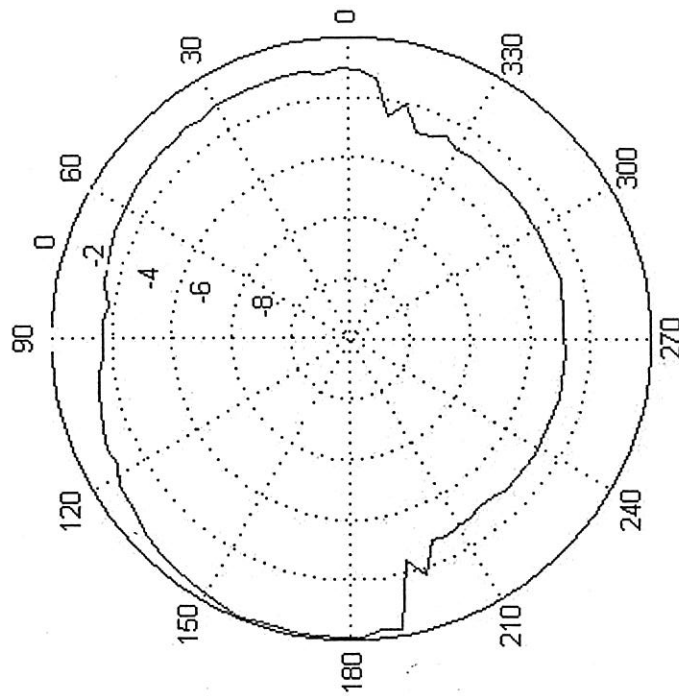
รูปที่ 4-16 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ yz จากการวัดของสายอากาศ เมื่อไม่มีการลัดวงจร



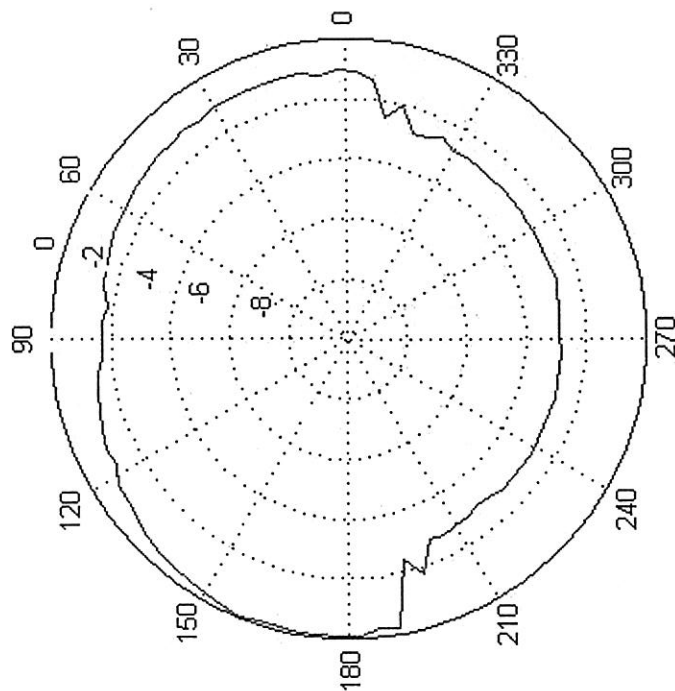
รูปที่ 4-16 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ yz จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านบนและด้านล่าง



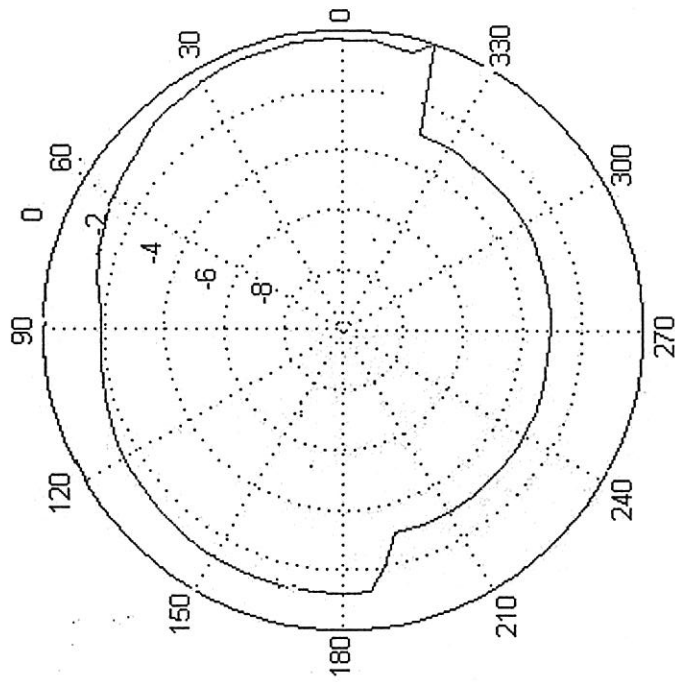
รูปที่ 4-17 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ yz จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านซ้ายและด้านขวา



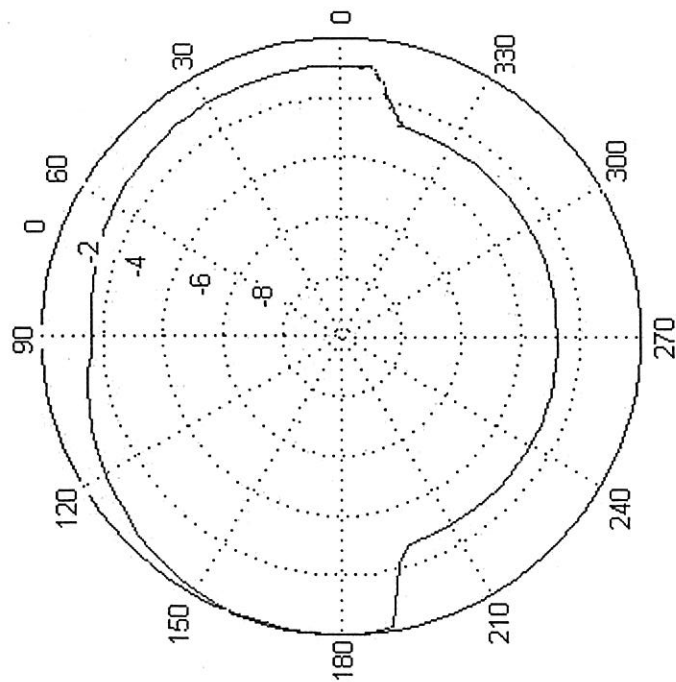
รูปที่ 4-18 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ yz จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านบนและด้านขวา



รูปที่ 4-19 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ yz จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านขวาและด้านล่าง

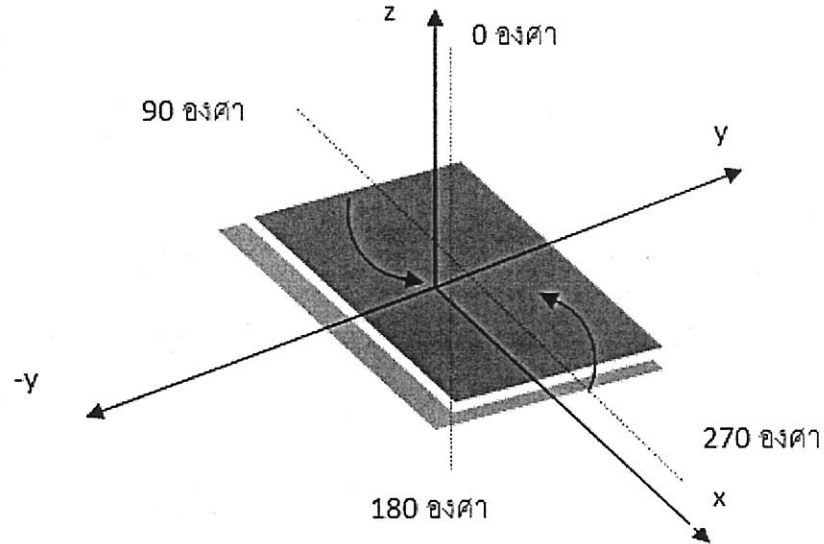


รูปที่ 4-20 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ yz จากกรวดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านล่างและด้านซ้าย



รูปที่ 4-21 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ yz จากกรวดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านซ้ายและด้านบน

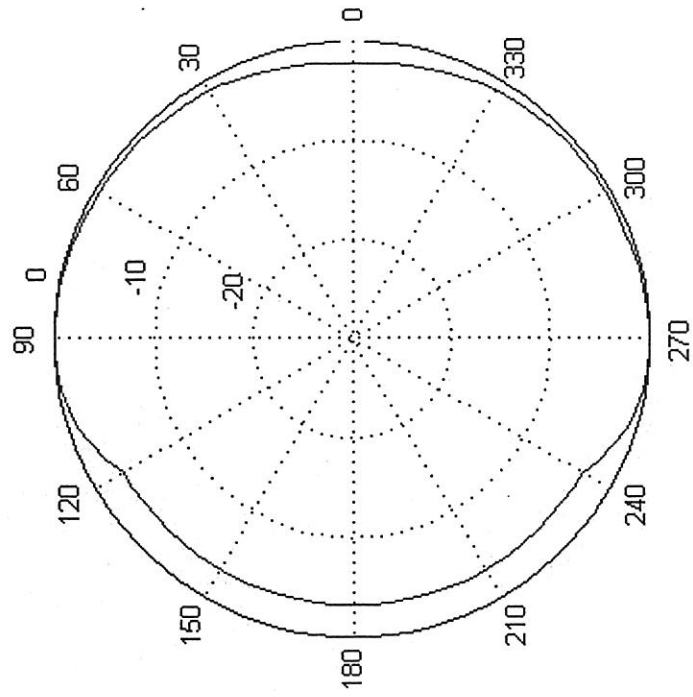
ระนาบที่ 3: ระนาบ zx คือ การวางตัวสายอากาศให้ได้ระนาบดังรูปที่ 4-22



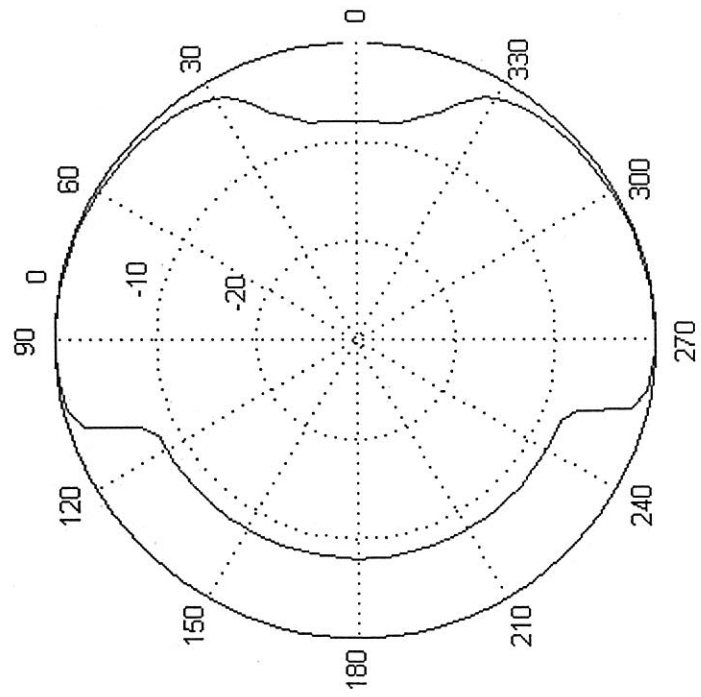
รูปที่ 4-22 ระนาบ zx ในการวัดสายอากาศต้นแบบ

ผลการทดสอบสายอากาศในระนาบ zx ในหลายลักษณะได้แก่

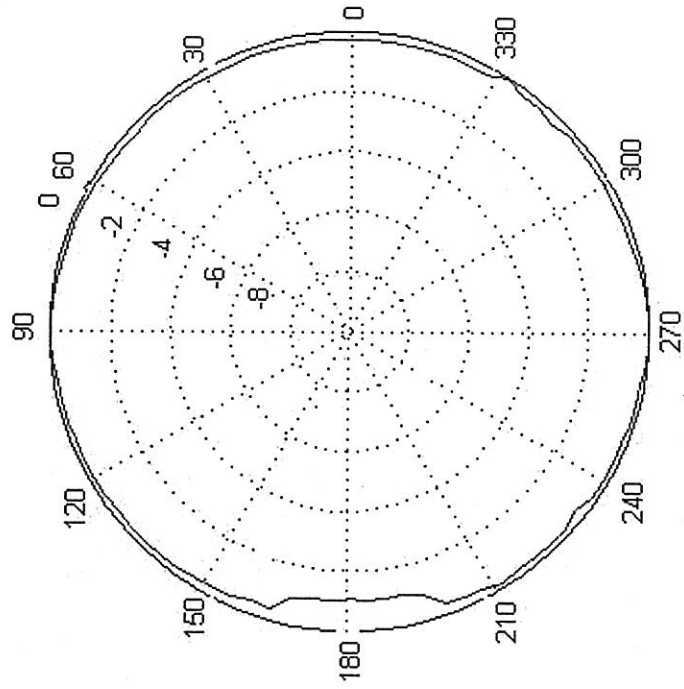
- ไม่มีการลัดวงจร แสดงในรูปที่ 4-23
- ลัดวงจรด้านบนและด้านล่าง แสดงในรูปที่ 4-24
- ลัดวงจรด้านซ้ายและด้านขวา แสดงในรูปที่ 4-25
- ลัดวงจรด้านบนและด้านขวา แสดงไว้ในรูปที่ 4-26
- ลัดวงจรด้านขวาและด้านล่าง แสดงไว้ในรูปที่ 4-27
- ลัดวงจรด้านล่างและด้านซ้าย แสดงไว้ในรูปที่ 4-28
- ลัดวงจรด้านซ้ายและด้านบน แสดงไว้ในรูปที่ 4-29



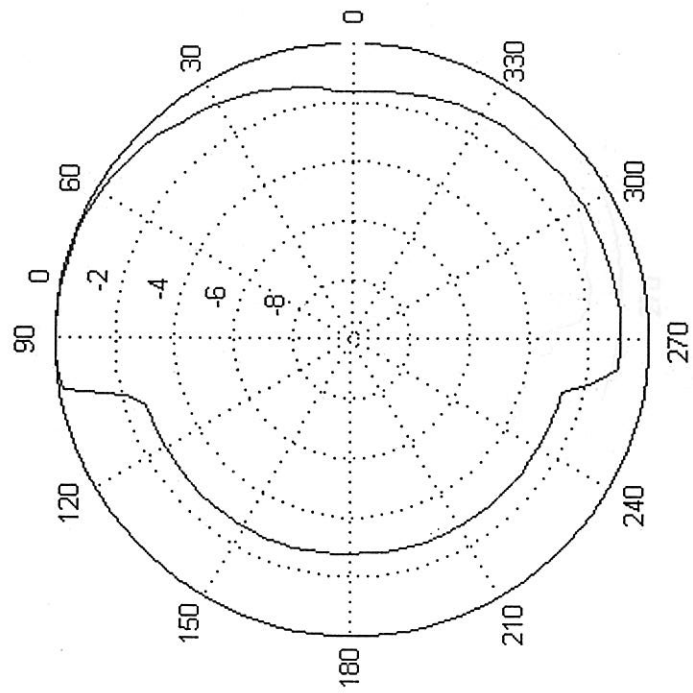
รูปที่ 4-23 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ zx จากการวัดของสายอากาศ เมื่อไม่มีการลัดวงจร



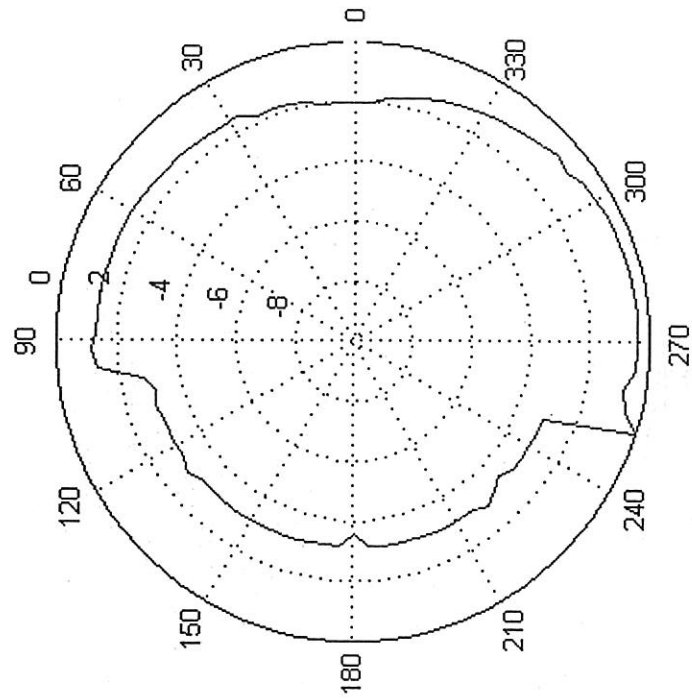
รูปที่ 4-24 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ zx จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านบนและด้านล่าง



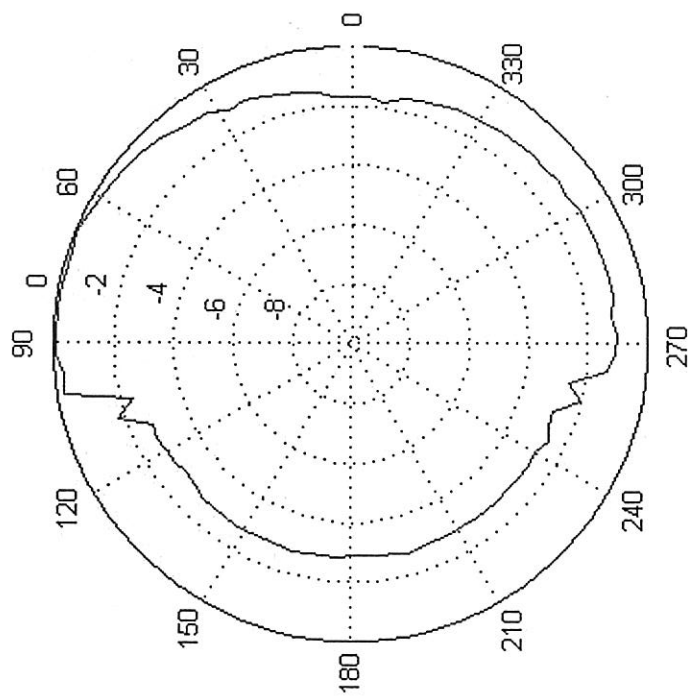
รูปที่ 4-25 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ zx จากการวัดของสายอากาศ เมื่อติดตั้งจรด้านซ้ายและด้านขวา



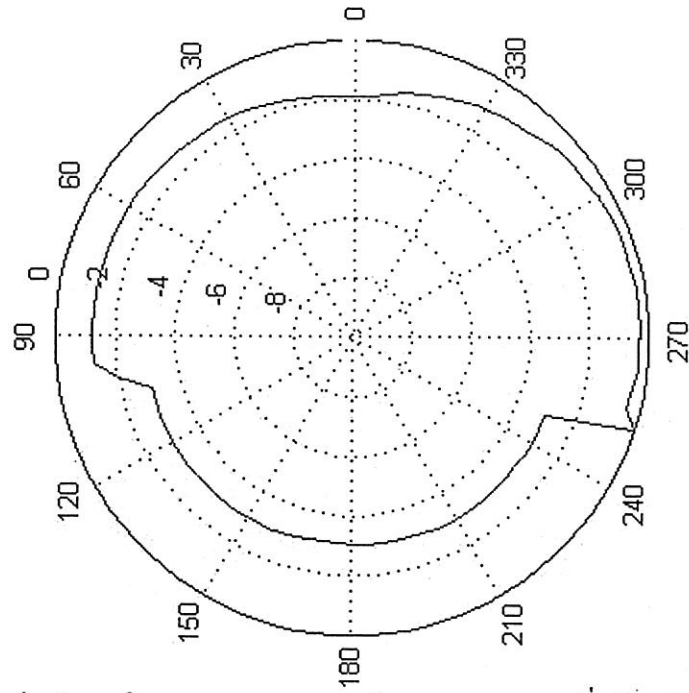
รูปที่ 4-26 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ zx จากการวัดของสายอากาศ เมื่อติดตั้งจรด้านบนและด้านขวา



รูปที่ 4-27 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ xz จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านขวาและด้านล่าง



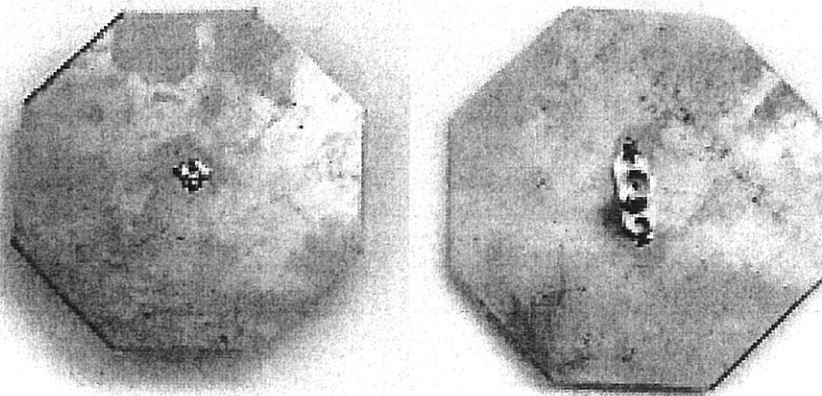
รูปที่ 4-28 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ xz จากการวัดของสายอากาศ เมื่อลัดวงจรด้านล่างและด้านซ้าย



รูปที่ 4-29 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ zx จากการวัดของสายอากาศ เมื่อตั้งวงจรด้านซ้ายและด้านบน

4.6 การสร้างสายอากาศรูปแปดเหลี่ยม

การสร้างสายอากาศรูปทรงแปดเหลี่ยมมีขั้นตอนการสร้างที่เหมือนกับสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมมีช่องต่อที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น สายอากาศต้นแบบถูกสร้างด้วยแผ่นไมโครสตริปที่เป็นอ็อกซีที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.5 และมีความหนาเท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร จุดป้อนสัญญาณอยู่ที่ตำแหน่งกลางแผ่น ซึ่งสัญญาณถูกป้อนด้วยหัวต่อชนิด SMA ซึ่งมีภาพถ่ายด้านหน้าและด้านหลังดังแสดงในรูปที่ 4-30

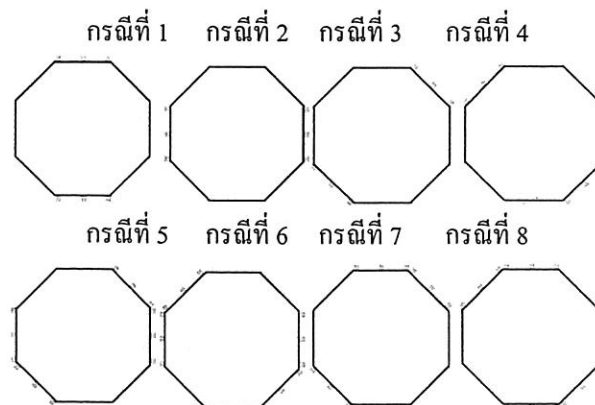


(ก)

(ข)

รูปที่ 4-30 ภาพถ่ายสายอากาศต้นแบบของสายอากาศแปดเหลี่ยม

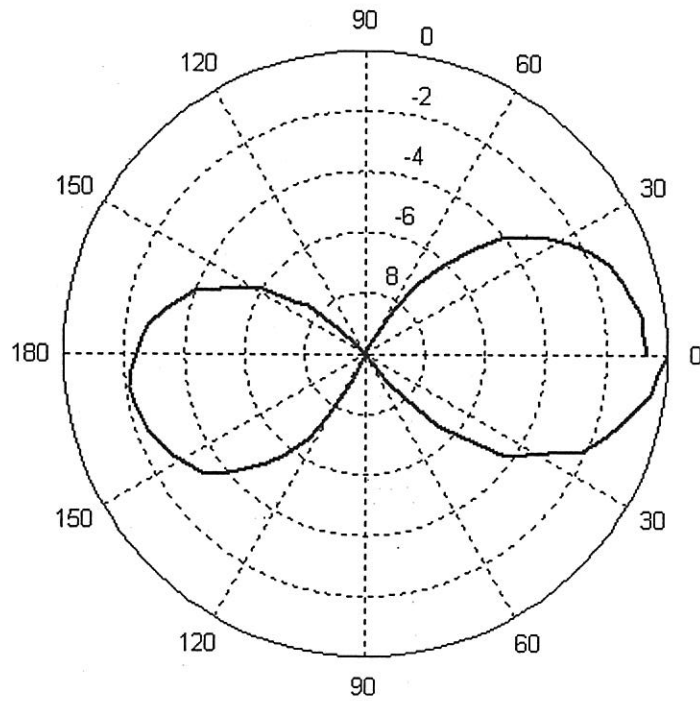
การทดสอบสายอากาศกระทำในห้อง anechoic chamber ที่อาคารศูนย์เครื่องมือ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายที่ความถี่ 2.45 GHz กรณีในการลัดวงจรแบ่งออกเป็น 8 กรณีดังแสดงในรูปที่ 4-31



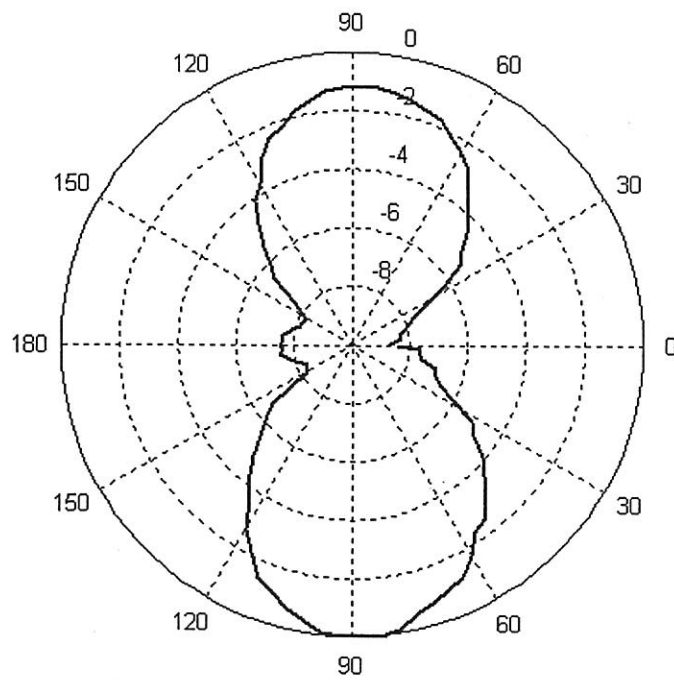
รูปที่ 4-31 รูปแบบการลัดวงจรของสายอากาศแปดเหลี่ยม

4.7 ผลการวัดทดสอบสายอากาศแปดเหลี่ยม

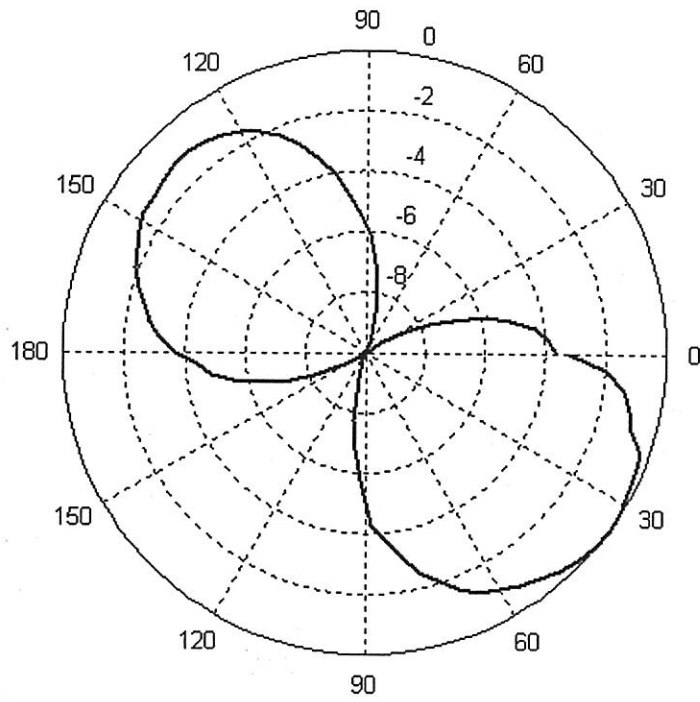
ต่อไปจะเป็นการแสดงผลการทดสอบจริงของสายอากาศแปดเหลี่ยมทั้งหมด 8 กรณีตามลำดับดังนี้



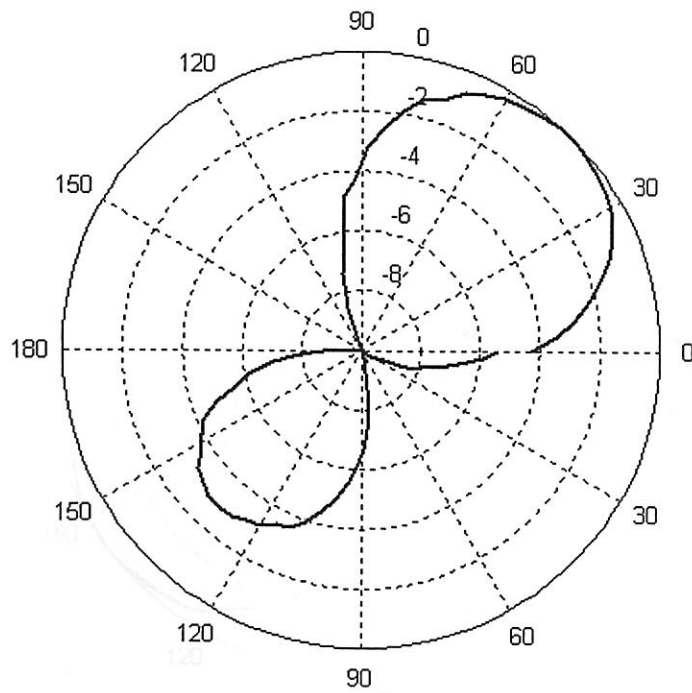
รูปที่ 4-32 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแปดเหลี่ยมจากการวัด สำหรับการลัดวงจรกรณีที่ 1



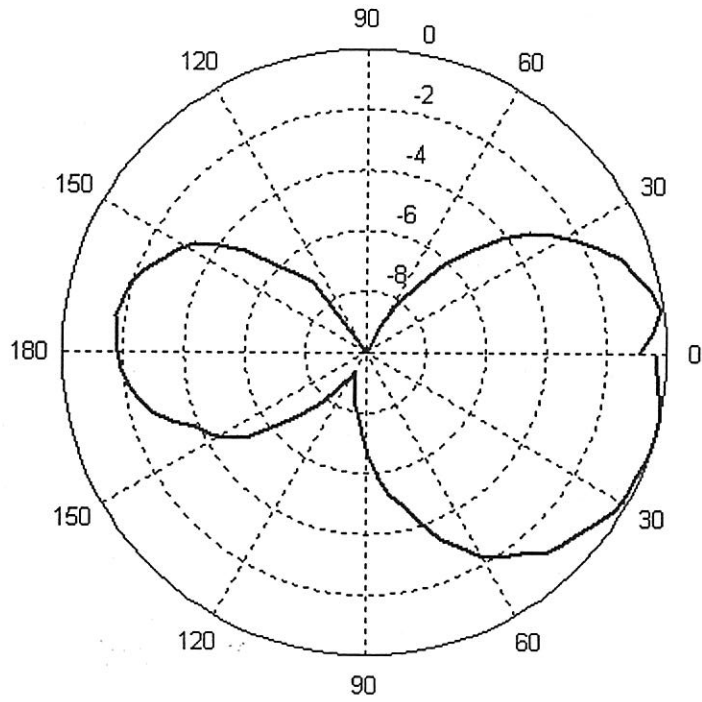
รูปที่ 4-33 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแปดเหลี่ยมจากการวัด สำหรับการลัดวงจรกรณีที่ 2



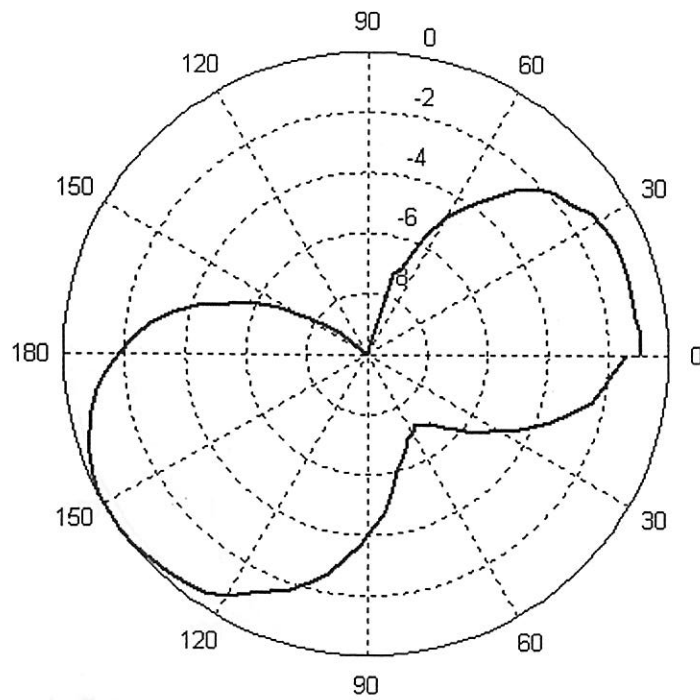
รูปที่ 4-34 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแปดเหลี่ยมจากการวัด สำหรับการลัดวงจรกรณีที่ 3



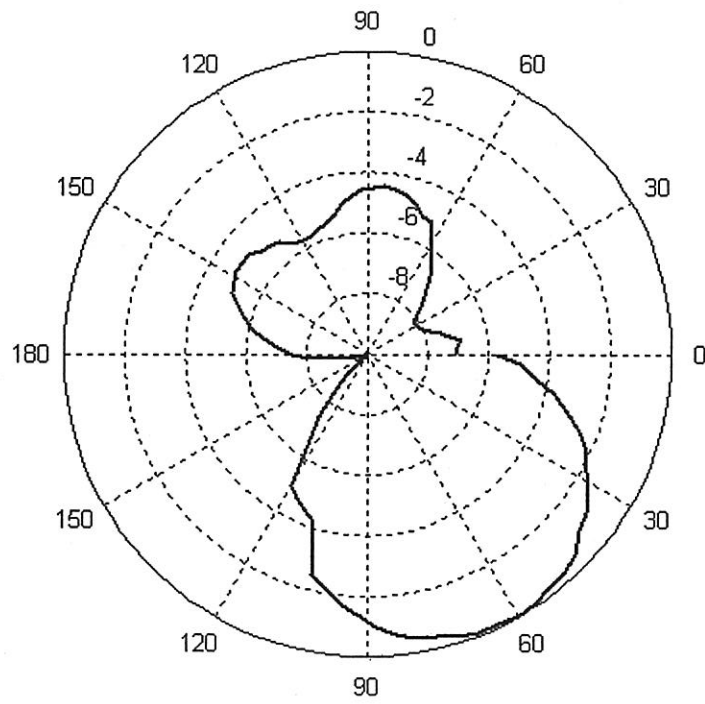
รูปที่ 4-35 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแปดเหลี่ยมจากการวัด สำหรับการลัดวงจรกรณีที่ 4



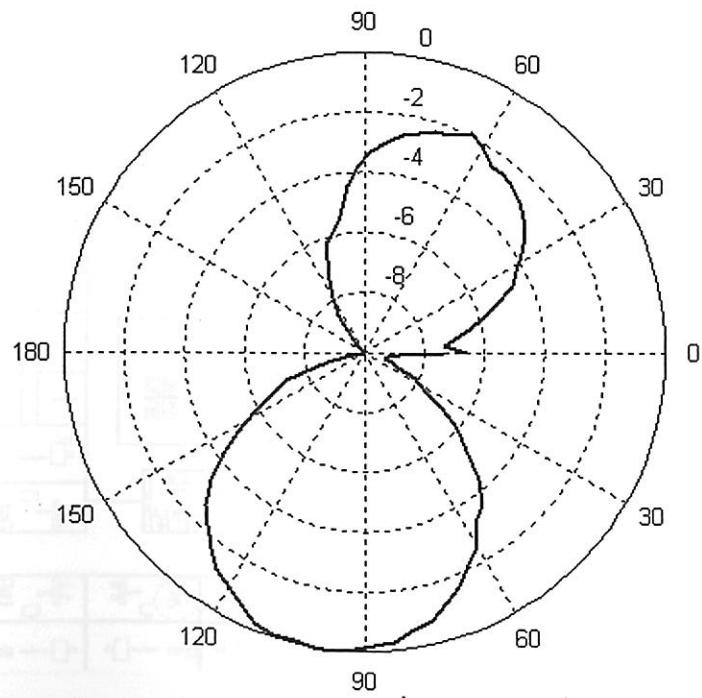
รูปที่ 4-36 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแปดเหลี่ยมจากการวัด สำหรับการติดตั้งกรณีที่ 5



รูปที่ 4-37 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแปดเหลี่ยมจากการวัด สำหรับการติดตั้งกรณีที่ 6



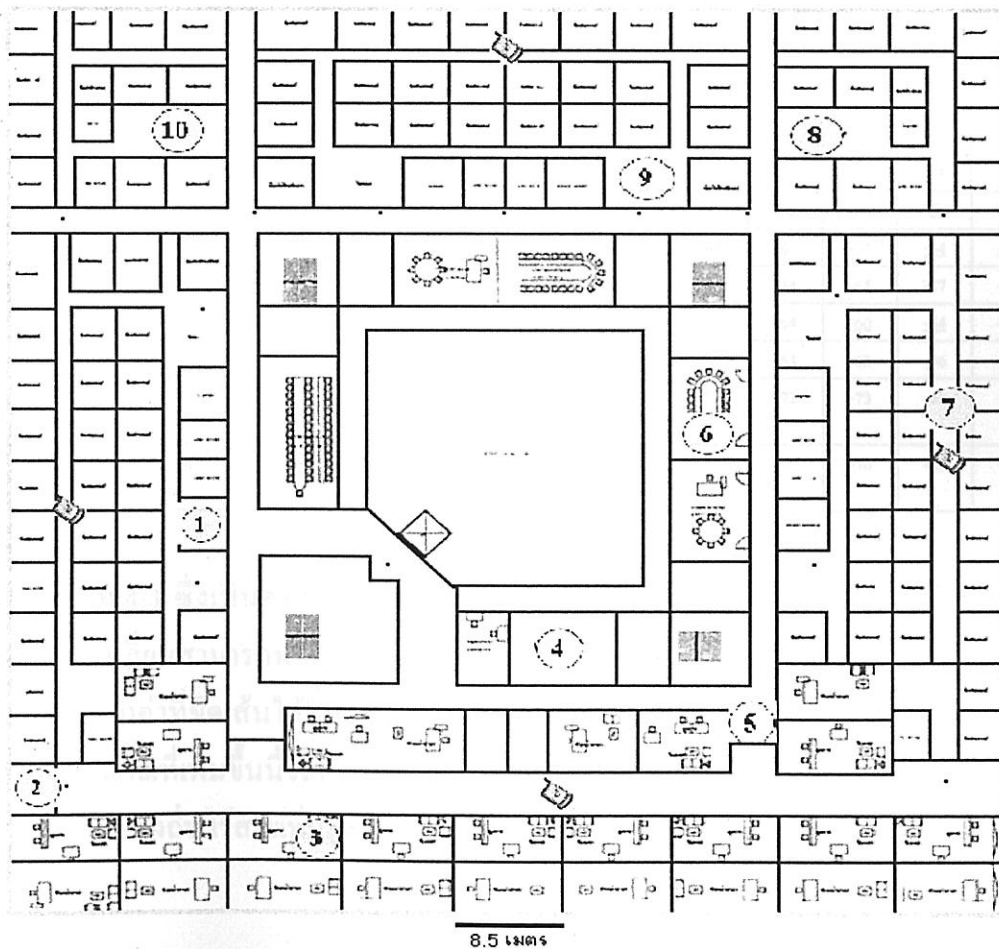
รูปที่ 4-38 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเปิดเหลี่ยมจากการวัด สำหรับการลัดวงจรกรณีที่ 7



รูปที่ 4-39 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเปิดเหลี่ยมจากการวัด สำหรับการลัดวงจรกรณีที่ 8

4.8 การทดสอบสายอากาศในสถานการณ์จริงที่มีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

การทดสอบที่ผ่านมาในข้างต้นเป็นการทดสอบความสามารถในการสวิตช์ลำคลื่นของตัวสายอากาศต้นแบบเท่านั้น ยังไม่เพียงพอที่จะยืนยันสมรรถนะในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบสายอากาศในสถานการณ์จริงที่มีการใช้งานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยที่จะเลือกทดสอบเพียงสายอากาศทรงแปดเหลี่ยมเท่านั้น เนื่องจากผลการทดสอบที่ผ่านมายืนยันแล้วว่า สายอากาศทรงแปดเหลี่ยมให้ความหลากหลายในการสวิตช์ลำคลื่นที่มากกว่าสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมมีช่องต่อ พารามิเตอร์ที่ทดสอบในครั้งนี้คือ ความแรงของสัญญาณ ของสายอากาศต้นแบบเทียบกับสายอากาศแบบรอบทิศทางที่มีลักษณะเดียวกับที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน การทดสอบกระทำที่อาคารวิชาการ ชั้น 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา ซึ่งมีแผนที่และตำแหน่งในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4-40



รูปที่ 4-40 แผนที่ของพื้นที่ในการทดสอบสายอากาศแปดเหลี่ยม พร้อมการบอกตำแหน่งของการทดสอบ

ตารางที่ 4-1 ก ผลการวัดที่ตำแหน่ง 1 ถึง 5

กรณีสำหรับการัดวงจร	ตำแหน่งที่ 1			ตำแหน่งที่ 2			ตำแหน่งที่ 3			ตำแหน่งที่ 4			ตำแหน่งที่ 5		
	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3
1	-70	-72	-68	-41	-41	-41	-72	-74	-72	-70	-67	-70	-66	-69	-68
2	-67	-69	-70	-40	-42	-38	-74	-73	-72	-72	-69	-70	-69	-72	-69
3	-69	-69	-70	-42	-43	-39	-72	-74	-72	-70	-68	-72	-70	-68	-67
4	-68	-70	-69	-43	-43	-43	-72	-72	-74	-72	-70	-71	-71	-70	-70
5	-67	-63	-61	-37	-35	-35	-68	-64	-65	-65	-64	-65	-60	-63	-59
6	-60	-60	-61	-34	-32	-29	-64	-63	-66	-64	-62	-66	-62	-59	-67
7	-57	-60	-61	-32	-30	-32	-64	-64	-65	-60	-59	-62	-62	-60	-68
8	-64	-65	-66	-36	-35	-38	-63	-66	-62	-60	-58	-62	-64	-62	-67
ไม่มีการัดวงจร	-74	-72	-75	-44	-44	-43	-71	-72	-72	-74	-72	-72	-69	-75	-68
สายอากาศแบบรอบทิศ	-76	-75	-79	-52	-52	-52	-76	-74	-75	-77	-74	-75	-72	-76	-77

ตารางที่ 4-1 ข ผลการวัดที่ตำแหน่ง 6 ถึง 10

กรณีสำหรับการัดวงจร	ตำแหน่งที่ 6			ตำแหน่งที่ 7			ตำแหน่งที่ 8			ตำแหน่งที่ 9			ตำแหน่งที่ 10		
	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3
1	-87	-85	-87	-43	-40	-44	-67	-68	-71	-73	-72	-72	-58	-60	-63
2	-83	-84	-81	-44	-43	-46	-67	-67	-66	-72	-73	-70	-56	-59	-62
3	-82	-83	-85	-42	-42	-46	-65	-68	-67	-69	-67	-71	-65	-62	-60
4	-81	-81	-84	-44	-45	-46	-74	-71	-71	-72	-72	-70	-65	-66	-62
5	-72	-78	-76	-38	-36	-38	-63	-60	-63	-62	-65	-63	-54	-53	-58
6	-76	-77	-77	-40	-37	-39	-65	-64	-65	-64	-64	-65	-57	-56	-60
7	-74	-79	-79	-38	-34	-36	-65	-63	-64	-62	-64	-60	-54	-60	-58
8	-76	-77	-79	-37	-35	-37	-66	-66	-66	-60	-63	-62	-56	-58	-55
ไม่มีการัดวงจร	-84	-82	-85	-44	-44	-45	-71	-74	-74	-73	-72	-73	-62	-64	-64
สายอากาศแบบรอบทิศ	-85	-84	-86	-46	-48	-47	-77	-81	-83	-75	-75	-76	-68	-63	-67

จากตารางที่ 4-1 ซึ่งเป็นค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากเครื่องรับ จะเห็นได้ว่า สายอากาศต้นแบบทรงแปดเหลี่ยมสามารถทำให้ผู้ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายได้รับความแรงของสัญญาณมากขึ้น โดยจะสังเกตได้จากค่าที่ขีดเส้นใต้ที่สูงกว่าในกรณีที่ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางในปัจจุบัน การได้รับความแรงของสัญญาณที่เพิ่มขึ้นนี้จะทำให้อัตราความผิดพลาดบิตน้อยลงไปด้วย จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพิ่มสูงขึ้น

4.9 กล่าวสรุป

บทนี้แสดงการสร้างและวัดทดสอบสายอากาศที่ได้ออกแบบจากบทที่ 3 ซึ่งแบ่งเป็น 2 สายอากาศ ได้แก่ สายอากาศแบบสี่เหลี่ยมมีช่องต่อ และสายอากาศแปดเหลี่ยม ในช่วงแรกการวัดทดสอบจะเป็นในรูปของความสามารถในการสวิตช์ลำคลื่น ซึ่งผลจากการทดสอบมีแนวโน้มเดียวกับผลที่ได้จากการจำลองแบบในบทที่ 3 และยังเห็นได้ว่า สายอากาศแปดเหลี่ยมมีจำนวนในการสวิตช์ลำคลื่นที่มากกว่าสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมมีช่องต่อ แต่อย่างไรก็ยังไม่เพียงพอต่อการบ่งบอกถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ดังนั้นในส่วนถัดมาจึงได้นำเอาสายอากาศแปดเหลี่ยมไปทดสอบกับสถานการณ์จริงที่มีการใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า สายอากาศสามารถทำให้ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้งานได้รับแรงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ได้คุณภาพของสัญญาณที่ดีขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ได้อัตราการส่งและรับข้อมูลที่เร็วขึ้น ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่า สายอากาศที่ได้ออกแบบไว้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบท้องถิ่นไร้สาย

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศที่มีความสามารถในการสวิตช์ลำคลื่น โดยใช้สายอากาศเพียงแค่ต้นเดียวไม่ใช่สายอากาศแถวลำดับ ซึ่งมีแนวคิดเริ่มต้นมาจากการต้องการสร้างสายอากาศที่มีขนาดเล็ก และต้นทุนต่ำที่สามารถสวิตช์ลำคลื่นได้ เพื่อนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการใช้งานของผู้ใช้งานในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย การออกแบบแบ่งออกเป็น 2 สายอากาศ ได้แก่ สายอากาศแบบสี่เหลี่ยมมีร่องต่อ และสายอากาศรูปแปดเหลี่ยม ซึ่งผลจากการจำลองแบบชี้ให้เห็นว่าสายอากาศที่ออกแบบมีความสามารถในการสวิตช์ลำคลื่นได้หลายทิศทาง จากนั้นสายอากาศต้นแบบทั้งสองได้ถูกสร้างขึ้น เพื่อวัตถุประสงค์จริง การทดสอบในช่วงแรกจะเป็นการยืนยันความสามารถในการสวิตช์ลำคลื่น ซึ่งผลที่ได้มีแนวโน้มเดียวกับผลที่ได้จากการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์ แต่จะพบว่าสายอากาศแปดเหลี่ยมมีจำนวนในการสวิตช์ลำคลื่นที่มากกว่าสายอากาศแบบสี่เหลี่ยมมีร่องต่อ ดังนั้นสายอากาศรูปแปดเหลี่ยมจึงถูกเลือกให้นำไปทดสอบกับสถานการณ์จริงที่มีการใช้งานของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งในการทดสอบนี้จะเปรียบเทียบกับการใช้งานสายอากาศแบบรอบทิศทางที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน และตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของระบบคือความแรงของสัญญาณที่รับได้ เนื่องจากถ้าเรารับสัญญาณได้แรงขึ้นนั้นหมายถึงความเร็วของการรับส่งข้อมูลที่สูงขึ้น ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นด้วย ผลการทดสอบในสถานการณ์จริงชี้ให้เห็นว่าสายอากาศรูปทรงแปดเหลี่ยมทำให้สัญญาณที่ผู้ใช้งานรับได้มีความแรงมากขึ้น จึงเป็นการยืนยันประสิทธิภาพของสายอากาศที่ได้ออกแบบในงานวิจัยฉบับนี้ที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

5.2 ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการพัฒนาต่อ

เนื่องจากสายอากาศรูปทรงแปดเหลี่ยมที่ได้ทำงานวิจัยในงานวิจัยฉบับนี้มีการสวิตช์ลำคลื่นด้วยการใช้มือสวิตช์ ซึ่งทำให้ระบบไม่สามารถสวิตช์ลำคลื่นได้อย่างอัตโนมัติ หรือทันทีทันใด ในขณะที่ผู้ใช้งานเคลื่อนที่ ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาต่อควรจะเป็นการพัฒนาให้ระบบสามารถวัดและประเมินระดับความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้งานได้รับอย่างตลอดเวลา เมื่อใดที่พบว่าระดับสัญญาณต่ำเกินกว่าค่าที่กำหนดให้

สวิตช์ไปใช้ลำคลื่นอื่น ซึ่งการทำงานทั้งหมดควรเป็นอย่างอัตโนมัติเพื่อให้ผู้ใช้งานไม่พลาดการติดต่อกับ
เครือข่ายแม้ในขณะที่มีการเคลื่อนที่

... MIT-5
 ... กองเรือบรรทุก
 ... Antenna Array
 ... วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์
 ... สาขาวิชา
 ... 2549 วิศวกรรมไฟฟ้า
 ... Eto, J.; Okabe, Y., Y.
 ... Spiral Antenna with
 ... on Antennas and Propagation

บรรณานุกรม

- [1] A. Alexiou and M. Haardt, "Smart antenna technologies for future wireless systems: trends and challenges", *IEEE Communication Magazine*, vol. 42, no. 9, Sept. 2004, pp. 90-97.
- [2] R. S. Kawitkar and R. K. Shevgaonkar, "Design of smart antenna testbed prototype", *International Symposium on Antennas, Propagations and EM Theory*, 28 Oct. - 1 Nov. 2003, pp. 299-302.
- [3] J. A. Stine, "Exploiting smart antennas in wireless mesh networks using contention access", *IEEE Wireless Communications*, vol. 13, no. 2, Apr. 2006, pp. 38-49.
- [4] J. Rugamba, L. W. Snyman and A. Kurien, "Viability of using intelligent (smart) antenna systems in GSM cellular networks in Africa", *International Symposium on Electron Devices for Microwave and Optoelectronic Applications*, 8-9 Nov. 2004, pp. 124-130.
- [5] J. C. Leberti and T. S. Rappaport, *Smart antenna for wireless communications: IS-95 and third generation CDMA applications*, Prentie Hall PTR, 1999.
- [6] C. C. Chang, T. Y. Chin, J. C. Wu and S. F. Chang, "Novel Design of a 2.5-GHz Fully Integrated CMOS Butler Matrix for Smart-Antenna Systems", *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, vol. 56, no. 8, Aug. 2008, pp. 1757-1763.
- [7] C. Collado, A. Grau and F. D. Flaviis, "Dual-band Butler matrix for WLAN systems", *IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, 12-17 Jun. 2005, pp. 4.
- [8] นายชิตวัน เชยสกุล และ นายสุวรรณ จันทร์อินทร์ ดันหนเรือหลวงจักรีนฤเบศร์ กองเรือบรรทุกเฮลิคอปเตอร์ กองเรือยุทธการ "เอกสารประกอบ"
- [9] ลักษณะการกระจายคลื่นของ Hansen-Woodyard End-Fire Patched Microstrip Antenna Array
- [10] นายโกวิทย์ ตังคะพิภพ การศึกษาวิธีการทำแมตซ์อิมพีแดนซ์ให้กับสายอากาศช่องเปิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
- [11] เด่นชัย วรเสวต และ รุ่งเรือง เมืองแก้ว การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับค่าแบนด์วิธแบบอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโคร-สตริปแบบสี่เหลี่ยมที่มีโครงสร้างแบบซี่และร่อง
- [12] นายไกรสร สาริษา สายอากาศร่องหกเหลี่ยมด้านเท่าที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วมแบบแถบความถี่กว้าง 2549 วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [13] Nakano, H.; Eto, J.; Okabe, Y.; Yamauchi, J., "Tilted- and Axial-Beam Formation by a Single-Arm Rectangular Spiral Antenna with Compact Dielectric Substrate and Conducting Plane", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 50, No. 1, pp. 17-24, Jan. 2002.

- [14] Chang won Jung; De Flavviis, F., "Dual Circular Polarization of Tilted Beam by a Single Arm Rectangular Spiral Antenna", Antenna and Propagation Society International Symposium, 2004, IEEE Vol.1, pp. 795-798, 20-25 June 2004.
- [15] G.H. Huff, J. Feng, S. Zhang, "A Novel Radiation Pattern and Frequency Reconfigurable Single Turn Square Spiral Microstrip Antenna", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 13, No. 2, pp. 57-59, February 2003.
- [16] A.Mehta and D.Mirshekar-Syahkal, "Pattern Steerable Square Loop Antenna", IEEE Electronic Letters (IET), Vol. 43, No. 9, pp. 491-493, 26 April 2007.
- [17] Ngamjanyaporn, P.; Phongcharoenpanich, C.; Akkaraekthalin, P.; Krairiksh, M., "Signal-to-Interference Ratio Improvement by Using a Phased Array Antenna of Switched-Beam Elements", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 53, No.5, pp. 1819-1828, May 2005.
- [18] Ngamjanyaporn, P.; Krairiksh, M., "Switched-Beam Single Patch Antenna", Electronics Letters, Vol. 38, Issue 1, pp. 7-8, 3 Jan. 2002.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

1. P. Chaipunya, P. Uthansakul, R. Wongsan and **M. Uthansakul**. (2009). Low Cost 2.4 GHz Switched-Beam Antenna.. Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI), Pattaya, Thailand, pp. 770-773.
2. P. Chaipunya, P. Uthansakul, R. Wongsan and **M. Uthansakul**. (2009). Enhancement of WLAN signal strength using switched-beam single antenna. Accepted to be published in proc. of Asia-Pacific Microwave Conference, Singapore.

ประวัติผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเมื่อปี พ.ศ. 2540 และวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปี พ.ศ. 2542 จากนั้นเข้าทำงานในตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และได้ลาศึกษาต่อในระดับปริญญาเอกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 ณ University of Queensland, Australia จนสำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2549 จากนั้นได้กลับเข้ามาปฏิบัติหน้าที่อาจารย์ตามเดิม ผู้วิจัยมีเชี่ยวชาญในด้านระบบ Narrowband/Wideband Smart Antenna, Phased Array Processing, DOA Estimation Method, Null Steering Scheme จนถึงปัจจุบันตีพิมพ์วารสารวิชาการระดับนานาชาติจำนวน 9 บทความ และบทความในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 36 บทความ และในปี 2551 ได้เป็นผู้เขียน Book Chapter ในหนังสือ Handbook on Advancements in Smart Antenna Technologies for Wireless Networks, IGI GLOBAL, USA ในบท Wideband Smart Antenna avoiding Tapped-Delay Lines and Filters

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล ได้รับรางวัลที่สองของ Young Scientist Contest Award จากงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 16th International Conference Microwaves, Radar and Wireless Communications ปี พ.ศ. 2549 ณ ประเทศโปแลนด์ และได้รับรางวัล Highly Recommended prize in the Student Presentation Competition จากงานประชุมวิชาการนานาชาติ 9th Australian Symposium on Antenna ปี พ.ศ. 2548 ณ ประเทศออสเตรเลีย