



มัลติเพล็กซ์อร์ย่านความถี่ไมโครเวฟโดยใช้ช่องว่างแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

โดย

1. นางสาววิลาสินี สงวนสิน รหัส B5402281
2. นางสาวเบญจรัตน์ จันจำรัส รหัส B5411504
3. นางสาวอภิญญา กลิ่นนุหงา รหัส B5413812

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 527499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2554

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประจำภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2558

มัลติเพล็กซ์อร์ย่านความถี่ไมโครเวฟโดยใช้ช่องว่างแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงการ



(รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุธารสกุล)

กรรมการ



(รองศาสตราจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อุธารสกุล)

กรรมการ



(รองศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับรายงานโครงการฉบับนี้เป็น ส่วนหนึ่งของการศึกษา
ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม วิชา 527499 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม
ประจำปีการศึกษา 2558

โครงการ มัลติเพล็กซ์เซอร์ย่านความถี่ไมโครเวฟโดยใช้ช่องว่างแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จัดทำโดย นางสาววิลาสินี สงวนสิน B5402281

นางสาวเบญจรัตน์ จันทิรัส B5411504

นางสาวอภิญญา กลิ่นนุหงา B5413812

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาคการศึกษาที่ 2/2558

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบมัลติเพล็กซ์เซอร์ย่านความถี่ไมโครเวฟโดยใช้ช่องว่างแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากปัจจุบันนี้ได้มีการสื่อสารแบบหลายรูปแบบ ทำให้มีการคิดค้นหาการส่งข้อมูลโดยการส่งสัญญาณจากผู้ส่งหรือสถานีส่งจำนวนหลายๆสถานีไปในช่องสัญญาณเดียวกันด้วยการมอดูเลตกับคลื่นพาห่ที่มีความถี่ต่างกัน คือ เป็นการแบ่งความถี่ของช่องสัญญาณ ออกเป็นช่องความถี่ย่อยๆ(Sub Channel) สำหรับนำข้อมูลของแต่ละสถานี ซึ่งแต่ละสถานีรับแล้วจะส่งข้อมูลภายในช่องสัญญาณหรือความถี่ที่รับได้เท่านั้น และระหว่างช่องความถี่จะมีการ์คแบนด์ (Guard Band) เพื่อป้องกันไม่ให้แต่ละช่องความถี่เกิดการแทรกแซงสัญญาณระหว่างกัน จึงมีการใช้รูปแบบส่งข้อมูลผ่านตัวมัลติเพล็กซ์เซอร์

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จากบุคคลต่างๆ ได้แก่

รศ.ดร. รังสรรค์ วงศ์สรรค์ อาจารย์ที่ปรึกษาในโครงการนี้ ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวและให้กำลังใจแก่คณะผู้จัดทำ รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขโครงการเล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

พี่ๆปริญญเอก ปริญญาโททุกท่าน และเพื่อนๆทุกคน สำหรับการช่วยเหลือในทุกๆด้าน ตลอดจนกำลังใจที่มอบให้แก่คณะผู้จัดทำ

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่คอยให้ความรู้ ความช่วยเหลือให้คำแนะนำ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของคณะผู้จัดทำทุกท่าน ที่ให้การอบรมเลี้ยงดูและให้การสนับสนุนทางการศึกษาโดยเป็นอย่างดีมาโดยตลอด สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากโครงการเล่มนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้บิดา มารดาและญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่คณะผู้จัดทำทั้งในอดีตและปัจจุบัน จนสำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

นางสาววิลาสินี สงวนสิน

นางสาวเบญจรัตน์ จันทจำรัส

นางสาวกัญญา กลิ่นนุหงา

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	1
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บทนำ	3
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานการมัลติเพล็กซ์เซอร์	3
2.2.1 Multiplexing เกิดขึ้นเมื่อใด	4
2.2.2 ประเภทของการ Multiplexing	5
บทที่ 3 การใช้งานโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 เบื้องต้น	9
3.1 กล่าวนำ	9
3.2 การเริ่มสร้างแบบจำลอง	9
3.3 Load from Material	11
3.4 การกำหนดหน่วย Unit	11
3.5 กำหนดความถี่ Frequency	12
3.6 การกำหนดขอบเขต Boundary Conditions	13

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.7 การป้อนพลังงาน โดยการกำหนดพอร์ต	13
3.7.1 Waveguide Port	13
3.7.2 Discrete Port	15
3.8 การกำหนด Field Monitor	17
3.9 การประมวลผล	18
3.10 สรุป	19
บทที่ 4 การออกแบบและการจำลองแบบ	20
4.1 กล่าวนำ	20
4.2 การออกแบบสายอากาศแพทช์ไมโครสตริป	20
4.2.1 ทำการคำนวณที่ ความถี่ 3 – 4 GHz	21
4.2.2 ทำการคำนวณที่ ความถี่ 4.5 – 5.5 GHz	22
4.3 การจำลองแบบสายอากาศแบบแพทช์ไมโครสตริป โดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio 2009	23
4.3.1 ความถี่ที่ให้ผ่าน 3-4GHz	24
4.3.2 ความถี่ที่ให้ผ่าน 4.5-5.5GHz	31
4.3.3 การจำลองนำชิ้นงานทั้งสองความถี่มาประกอบเข้าด้วยกัน	39
4.4 สรุป	51
บทที่ 5 การสร้างชิ้นงานและผลการวัดผลการทดลอง	52
5.1 บทนำ	52
5.2 วิธีการสร้างมัลติเพดิกเซอร์ต้นแบบ	52
5.3 อุปกรณ์	53
5.3.1 วิธีการกัดแผ่นปริ้น(PCB) ซึ่งเหมาะกับการกัดแผ่นปริ้นที่มีขนาดเล็ก และมีความละเอียดมาก	56

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
5.4 ผลการวัดทดสอบแบบรูปการมัลติเพิล็กซ์เซอร์ย่านความถี่ไมโครเวฟ	60
5.4.1 ให้ผ่านที่ความถี่3-4GHz	60
5.4.2 ให้ผ่านที่ความถี่4.5-5.5GHz	62
5.5 สรุป	65
บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	66
6.1 สรุปผลโครงการ	66
6.2 ข้อเสนอแนะ	66
ประวัติผู้จัดทำ	68
บรรณานุกรม	69



สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ตัวอย่างอุปกรณ์ร่วมส่งสัญญาณ	4
2.2	ประเภทของการ Multiplexing	5
2.3	ประเภทของการ Frequency - Division Multiplexing: FDM	5
2.4	ประเภทของการ Wave - Division Multiplexing: WDM	6
2.5	ประเภทของการ Time - Division Multiplexing : TDM	7
2.6	TDM แบบซิงโครนัส (Synchronous)	8
2.7	แบบ TDM แบบสถิติ (Stat) หรืออาจจะเรียกแบบ Asynchronous TDM แบบซิงโครนัส	8
3.1	หน้าต่างให้เลือกชนิดการใช้งาน	9
3.2	หน้าต่างของ Create a New Project	10
3.3	หน้าต่างของ Load from Material Library	11
3.4	หน้าต่างของ Units จะทำการกำหนด	12
3.5	หน้าต่างของ Frequency Range Setting	12
3.6	หน้าต่างของ Boundary Conditions	13
3.7	หน้าต่าง Waveguide Port	13
3.8	แสดงส่วนของ General	14
3.9	แสดงส่วนของ Position	14
3.10	แสดงส่วนของ Reference Plane	15
3.11	แสดงส่วนของ Mode Setting	15
3.12	หน้าต่าง Discrete Edge Port	16
3.13	แสดงส่วนของ Port type และ properties	17
3.14	แสดงส่วนของ Location	17

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15	หน้าต่าง Monitor
3.16	หน้าต่างของ Solver Parameter
4.1	แบบจำลองการออกแบบสายอากาศแพทช์ไมโครสตริป
4.2	กราฟความถี่ 3-4 GHz
4.3	กราฟความถี่ 3-4 GHz ซึ่งมีช่วง stop band อยู่ที่ 2.8-3.7 GHz
4.4	กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับความยาวการเซาะร่องครั้งที่ 1 (lp)
4.5	กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับความยาวการเซาะร่องครั้งที่ 2 (lp2)
4.6	กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างแพทช์ (ls)
4.7	กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับของแผ่นไมโครสตริป (lts)
4.8	กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับรัศมีของแพทช์ (r)
4.9	กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับความกว้างของแผ่นไมโครสตริป (wd)
4.10	กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับความกว้างของการเซาะร่องที่ 1 (wl)
4.11	กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับความกว้างของการเซาะร่องที่ 2 (wl)
4.12	กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างร่องเซาะที่ 1 (wp)
4.13	กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างร่องเซาะที่ 2 (wp1)
4.14	กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับขนาดของแพทช์ (wr)
4.15	กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับขนาดของเส้นสตริปไลน์ (wtr)
4.16	การปรับค่ากราฟแบบจำลองที่ความถี่ 3-4 GHz ที่สมบูรณ์
4.17	กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz
4.18	กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับความยาวการเซาะร่องครั้งที่ 1 (lp)
4.19	กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับความยาวการเซาะร่องครั้งที่ 2 (lp2)
4.20	กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างแพทช์ (ls)
4.21	กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับความยาวของแผ่นไมโครสตริป (lts)

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.22 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับรัศมีของแพทช์(r)	35
4.23 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับความกว้างของแผ่นไมโครสตริป(wd)	35
4.24 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับความกว้างของการเจาะรูที่1(w1)	36
4.25 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับความกว้างของการเจาะรูที่2(w11)	36
4.26 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างร่องเจาะที่1(wp)	37
4.27 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างร่องเจาะที่2(wp1)	37
4.28 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับขนาดของแพทช์(wr)	38
4.29 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับขนาดของเส้น strip line (wtr)	38
4.30 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz ที่ใกล้เคียงที่สุด	39
4.31 การจำลองชิ้นงานทั้งสองความถี่มาประกอบเข้าด้วยกัน	39
4.32 การใช้หลักการ Phasing Line ในการคำนวณหาขนาดของเส้น strip line	40
4.33 การแสดงของชิ้นงานของเราถูกกำหนดไว้ที่ 50 โอห์ม ทั้ง port1 และ port2	40
4.34 ผลของการปรับความยาวของไมโครสตริป (WD) = 48 mm	41
4.35 ผลของการปรับความยาวของไมโครสตริป (WD) = 49 mm	41
4.36 ผลของการปรับความยาวของไมโครสตริป (WD) = 50 mm	42
4.37 ผลของการปรับความกว้างของ strip line (ค่าพารามิเตอร์ WS = 1 พิจารณาที่กราฟ S1,1)	42
4.38 ผลของการปรับความกว้างของ strip line (ค่าพารามิเตอร์ WS = 1 พิจารณาที่กราฟ S2,1)	43
4.39 ผลของการปรับความกว้างของ strip line (ค่าพารามิเตอร์ WS = 1 พิจารณาที่กราฟ S3,1)	43
4.40 ผลของการปรับความกว้างของ strip line (ค่าพารามิเตอร์ WS = 2 พิจารณาที่กราฟ S1,1)	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.41	ผลของการปรับความกว้างของ strip line (ค่าพารามิเตอร์ $WS = 2$ พิจารณาที่กราฟ S2,1)	44
4.42	ผลของการปรับความกว้างของ strip line (ค่าพารามิเตอร์ $WS = 2$ พิจารณาที่กราฟ S3,1)	44
4.43	ผลของการปรับความกว้างของ strip line (ค่าพารามิเตอร์ $WS = 3$ พิจารณาที่กราฟ S1,1)	44
4.44	ผลของการปรับความกว้างของ strip line (ค่าพารามิเตอร์ $WS = 3$ พิจารณาที่กราฟ S2,1)	45
4.45	ผลของการปรับความกว้างของ strip line (ค่าพารามิเตอร์ $WS = 3$ พิจารณาที่กราฟ S3,1)	45
4.46	ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่ 1 (LY)	46
4.47	ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่ 2 (LY2 = 5) พิจารณาที่กราฟ S1,1	46
4.48	ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่ 2 (LY2 = 5) พิจารณาที่กราฟ S2,1	47
4.49	ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่ 2 (LY2 = 5) พิจารณาที่กราฟ S1,1	47
4.50	ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่ 2 (LY2 = 10) พิจารณาที่กราฟ S1,1	48
4.51	ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่ 2 (LY2 = 10) พิจารณาที่กราฟ S2,1	48
4.52	ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่ 2 (LY2 = 10) พิจารณาที่กราฟ S3,1	48
4.53	ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่ 2 (LY2 = 15) พิจารณาที่กราฟ S1,1	49
4.54	ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่ 2 (LY2 = 15) พิจารณาที่กราฟ S2,1	49
4.55	ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่ 2 (LY2 = 15) พิจารณาที่กราฟ S3,1	49
4.56	กราฟที่มีค่าใกล้เคียงความต้องการที่ให้อ่าน ที่ความถี่ 3-4 GHz และ 4.5-5.5 GHz (พิจารณาที่กราฟ S1,1)	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.1	แผ่น FR-4 ที่ตัดตามต้องการแล้ว	53
5.2	แผ่น EBG ที่ตัดตามต้องการแล้ว	53
5.3	น้ำยากัดลายแผ่นปริ้น	53
5.4	แผ่นใสที่ใช้ถ่ายเอกสารได้	54
5.5	ตัว Connector	54
5.6	หลอดไฟแบบสติกไลท์	54
5.7	ดอกสว่าน	55
5.8	ผงโซเดียม	55
5.9	แผ่นฟิล์ม	55
5.10	การตัด PCB ตามขนาดที่ต้องการนำมาขัดด้วยใยขัด ให้สะอาด แล้วนำไปล้างด้วยน้ำยาล้างจานแล้วเช็ดให้แห้ง	56
5.11	เช็ดแห้งแล้ว ฉีดน้ำยา เช็ดกระจก ฉีดใส่ที่แผ่นชิ้นงาน	56
5.12	ตัดขนาดของ dry film ให้ใหญ่กว่าชิ้นงานเล็กน้อยนำมาทาบวาง บนแผ่นไมโครสตริป	57
5.13	การนำไปรีด ด้วยเตารีดปรับไฟแคพอรีอนนิคๆนำผ้าดิบมาวางทับ อีกทีหนึ่งแล้วนำเตารีด มารีด ออกแรงกดเล็กน้อย แล้วรีดไปมาให้ทั่ว	57
5.14	การฉายแสงควรเป็นหลอดที่มีแสง UV (เพราะจะใช้เวลาเร็วกว่ากันเยอะ) เช่น หลอดไฟสำหรับดักยุง,หลอดไฟ black light	58
5.15	ขั้นตอนการลอกแผ่น ไคร์ฟิล์มด้วยผงโซเดียมก่อนการนำไปกัดด้วยน้ำยากัด เพื่อให้ได้ลายปริ้นที่ต้องการ	58
5.16	ช่วงการบัดกรีเพื่อต่อกับตัวคอนเนคเตอร์	59
5.17	ทากาวตราช้างก่อนแล้วนำมาประกบกัน	59
5.18	ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.19	ผลจากการวัดพารามิเตอร์ S11 มีช่วง band pass ที่ช่วงความถี่ 3-4 GHz	61
5.20	ผลจากการวัดพารามิเตอร์ S21 มีช่วง band pass ที่ช่วงความถี่ 3-4 GHz	61
5.21	ผลจากการวัดพารามิเตอร์ S22 มีช่วง band pass ที่ช่วงความถี่ 3-4 GHz	62
5.22	ผลจากการวัดพารามิเตอร์ S11 มีช่วง band pass ที่ช่วงความถี่ 4.5-5.5 GHz	63
5.23	ผลจากการวัดพารามิเตอร์ S31 มีช่วง band pass ที่ช่วงความถี่ 4.5-5.5 GHz	64
5.24	ผลจากการวัดพารามิเตอร์ S33 มีช่วง band pass ที่ช่วงความถี่ 4.5-5.5 GHz	65



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สายเพื่อเชื่อมต่อให้มีจำนวนน้อย แต่ให้มีความสามารถลำเลียงข้อมูลออกไปในปริมาณมากได้ การมัลติเพล็กซ์เป็นเทคนิคที่อนุญาตให้สัญญาณที่ใช้แทนข้อมูลจากหลายแหล่งข้อมูลสามารถส่งผ่านช่องสัญญาณเดียวกันเพื่อใช้งานร่วมกันได้ โดยมีความจำเป็นที่จะต้องใช้

ทำให้มีการลงทุนที่ต่ำและประหยัด ซึ่งการ การมัลติเพล็กซ์ คือการป้อนความถี่เข้าไปแบบหนึ่งเข้าสู่การมัลติเพล็กซ์ เมื่อผ่านเข้าไปแล้วจะถูกแยกออกเป็นหลายแบนด์ ซึ่งตามที่เรา กำหนดดังนั้นจึงเกิดแนวคิดการรวมข้อมูลขึ้นหรือเรียกว่า การมัลติเพล็กซ์ (Multiplexing)

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการออกแบบมัลติเพล็กซ์เซอร์ในย่านความถี่ไมโครเวฟได้
- 1.2.2 เพื่อการสร้างและทดสอบช่องว่างแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้
- 1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองแบบในโปรแกรม CST กับการวัดค่าการทดลองจริงได้

1.3 ขอบเขตงาน

- 1.3.1 การออกแบบและวิเคราะห์ช่องว่างแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- 1.3.2 การออกแบบและวิเคราะห์ความถี่คลื่นไมโครเวฟ
- 1.3.3 การออกแบบและวิเคราะห์การใช้มัลติเพล็กซ์เซอร์ในย่านความถี่ไมโครเวฟ
- 1.3.4 สร้างทดสอบและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองแบบกับการทดสอบจริง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษา ค้นคว้าหาข้อมูล
- 1.4.2 เขียนโครงการและเสนอโครงการกับอาจารย์ที่ปรึกษา
- 1.4.3 เขียนโปรแกรมที่ใช้กับ CST
- 1.4.4 หาซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้
- 1.4.5 ทดสอบการทดลองเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์

1.4.6 สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน

1.4.7 นำเสนอโครงการ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถนำความรู้ที่ได้มาใช้ในการประกอบวิชาชีพ

1.5.2 สามารถใช้โปรแกรม CST ได้

1.5.3 สามารถทำงานเป็นทีมได้

1.5.4 สามารถนำความรู้ทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

โครงงานนี้นำเสนอการออกแบบมัลติเพล็กซ์ย่านความถี่ไมโครเวฟโดยใช้ช่องว่างแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(Microwave Multiplexer By Using Electromagnetic Band Gap) เป็นการใช้มัลติเพล็กซ์ในการแยกคลื่นสัญญาณ 1-7 GHz โดยการออกแบบนี้ เราต้องการให้ตัวมัลติเพล็กซ์ทำการแยกคลื่นความถี่ ออกเป็นสองแบนด์ แบนด์ที่ 1 ออกเป็น 3-4 GHz ส่วนแบนด์ที่ 2 ออกเป็น 4.5-5.5 GHz ซึ่งขั้นตอนในการออกแบบการมัลติเพล็กซ์ มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการออกแบบการเปรียบเทียบค่าเฟสที่ได้ในการใช้โปรแกรม CST แล้วนำมาสร้างตัวมัลติเพล็กซ์

ขั้นตอนที่ 2 สร้างชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 3 วัดทดสอบตัวมัลติเพล็กซ์เปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบด้วยโปรแกรม CST

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานการมัลติเพล็กซ์

การมัลติเพล็กซ์ Multiplexing เป็นเทคนิคที่อนุญาตให้สัญญาณที่ใช้แทนข้อมูลจากหลายแหล่งข้อมูล สามารถส่งผ่านช่องสัญญาณเดียวกันเพื่อใช้งานร่วมกันได้ โดยมีความจำเป็นที่จะต้องใส่สายเพื่อเชื่อมต่อให้มีจำนวนน้อย

มัลติเพล็กซ์ จะรับสัญญาณข้อมูลจากผู้ส่งข้อมูลจากแหล่งต้นทางต่างๆซึ่งต้องการจะส่งข้อมูลไปยังปลายทาง ในที่ต่างๆกัน ดังนั้นสัญญาณข้อมูลต่างๆ เมื่อผ่านมัลติเพล็กซ์ มัลติเพล็กซ์ก็จะเรียงรวม(มัลติเพล็กซ์)กันอยู่ในสายส่งข้อมูลเพียงสายเดียว และเมื่อสัญญาณข้อมูลทั้งหมดมาถึงเครื่องมัลติเพล็กซ์ซึ่งเรียกว่า อุปกรณ์ดีมัลติเพล็กซ์อีกเครื่องหนึ่งทางปลายทาง สัญญาณทั้งหมดก็จะถูกแยก(ดีมัลติเพล็กซ์) ออกจากกันไปตามเครื่องรับปลายทางของแต่ละช่องทางสายส่งข้อมูลที่ใช้ในการส่งข้อมูลจะต้องมีความสูงจึงจะสามารถรองรับปริมาณข้อมูลจำนวนมากที่ถูกส่งผ่านมารวมๆกัน ได้สายส่งข้อมูลดังกล่าว ได้แก่ สายโคแอก สายไฟเบอร์ออปติก คลื่นไมโครเวฟ และคลื่นดาวเทียมแสดงดังรูปที่ 2.1



ที่มา <http://wiki.sangoma.com/STM1Mux-Fiber-Multiplexer>

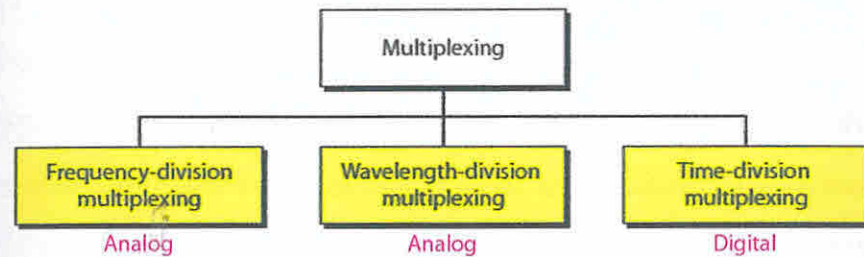
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างอุปกรณ์รวมส่งสัญญาณที่ใช้ในการส่งสัญญาณ การมัลติเพล็กซ์ เครื่องชนิด STM-1

2.2.1 Multiplexing เกิดขึ้นเมื่อใด

เมื่อใดก็ตามที่ความจุของสายสื่อสารมีการส่งมากกว่า 1 อุปกรณ์มีการส่งออกไปยังผู้รับที่มากกว่า 1 เครื่อง เมื่อนั้น link สามารถที่จะ share สายสื่อสารให้สามารถส่งออกไปพร้อมกันได้ โดยแยกไปส่งผู้รับแต่ละคน Multiplexing จะยอมให้ผู้ส่งหลายคนสามารถที่จะ share ความจุของสายสื่อสารร่วมกัน โดยปัญหาเกี่ยวกับการติดขัด เมื่อผู้ใช้งานก็ทำให้ติดขัดมากขึ้น จะแก้ปัญหาโดยใช้ link ที่กว้าง เช่น coaxial cable , optical fiber , terrestrial หรือ satellite microwave

2.2.2 ประเภทของการ Multiplexing

เป็นการแบ่งประเภทของการ Multiplexing ซึ่งแบ่งเป็น 3 ประเภทดังรูปที่ 2.2

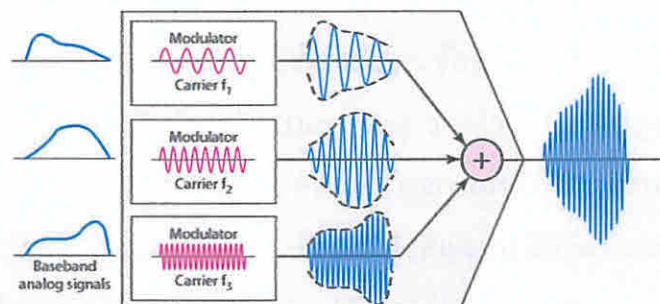


ที่มา <http://www.rmuti.ac.th/user/kamthorn.sa>

รูปที่ 2.2 ประเภทของการ Multiplexing

ประเภทที่ 1 Frequency - Division Multiplexing: FDM

สัญญาณจะถูกสร้างขึ้นจากแต่ละสถานีส่ง ด้วยการมอดูเลตกับสัญญาณพาหะ(carrier) ให้มีความถี่ที่แตกต่างกันบนตัวกลาง โดยแบนด์วิดธ์ของลิงก์จะมีการแบ่งส่วนเป็นย่านความถี่ย่อย (Sub Channel) ให้เพียงพอกับแบนด์วิดธ์ที่มีอยู่ อย่างไรก็ตาม แต่ละแชนเนลก็จะมีแบนด์วิดธ์ที่ไม่ได้ถูกใช้หรือที่เรียกว่า Guard Band เพื่อป้องกันไม่ให้แต่ละแชนเนลเกิดการแทรกแซงสัญญาณระหว่างกัน ตัวอย่างของการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ใช้สำหรับการส่งสัญญาณแบบอนาล็อก เช่น การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุกระจายเสียง โทรทัศน์ โทรศัพท์เซลลูลาร์แบบอนาล็อก และเพจเจอร์ตัวอย่างของการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ใช้สำหรับการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกดังรูปที่ 2.3

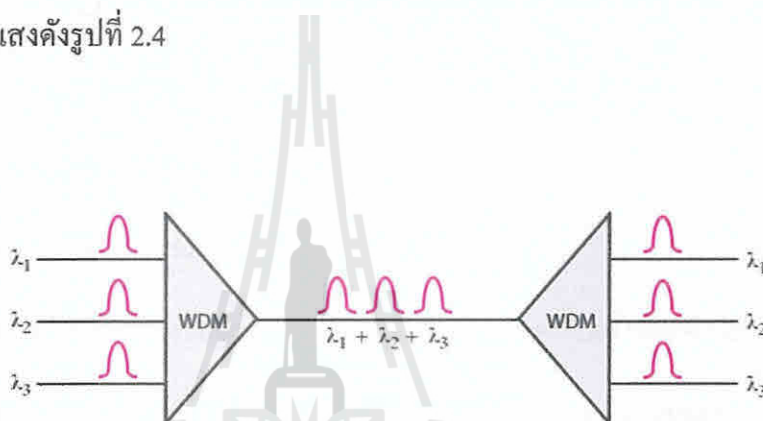


ที่มา <http://www.rmuti.ac.th/user/kamthorn.sa>

รูปที่ 2.3 ประเภทของการ Frequency - Division Multiplexing: FDM

ประเภทที่ 2 Wave - Division Multiplexing: WDM

การนำสัญญาณที่มีความยาวคลื่นต่างกันมารวมกัน แล้วทำการส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง เทคโนโลยี WDM เป็นเทคโนโลยีที่ใช้เพิ่มขนาดแบนด์วิธ โดยการรวมส่งข้อมูลหลายชุดพร้อมกัน โดยใช้วิธีผสมแสงแถบความยาวแคบๆ เข้าด้วยกัน เป็นแถบกว้างคล้าย FDM ข้อมูลแต่ละชุดใช้แสงที่มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ลงบนสายใยแก้วเส้นเดียว ปัจจุบันเทคโนโลยี WDM ได้เข้ามาเป็นส่วนสำคัญบนอุปกรณ์เครือข่ายใยแก้วนำแสงเช่น ATM switch (Asynchronous Transfer Mode) หรือ Router เป็นการนำสัญญาณที่มีความยาวคลื่นต่างกันมารวมกัน แล้วทำการส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงดังรูปที่ 2.4

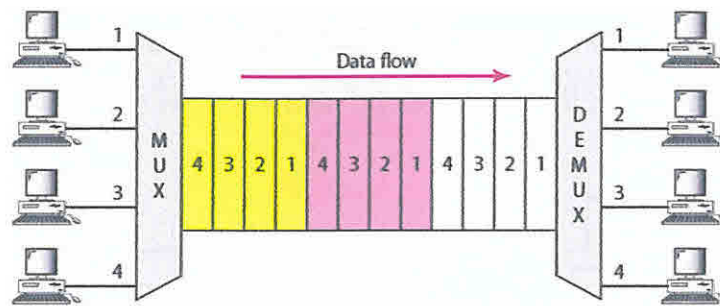


ที่มา <http://www.rmuti.ac.th/user/kamthorn.sa>

รูปที่ 2.4 ประเภทของการ Wave - Division Multiplexing: WDM

ประเภทที่ 3 Time - Division Multiplexing : TDM

การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา เหมาะกับสัญญาณแทนข้อมูลแบบดิจิทัล เพราะมีช่วงเวลาที่แน่นอนของแต่ละบิต เกี่ยวข้องกับอัตราเร็ว (Data Rate) ของตัวกลางส่งข้อมูลเป็นสำคัญ โดยการนำสัญญาณที่มีอัตราความเร็วต่ำ (low-rate) หลายๆ สัญญาณมาทำการมัลติเพล็กซ์รวมกัน จะได้สัญญาณที่มีอัตราความเร็วสูง (high-rate) เป็นการนำสัญญาณที่มีอัตราความเร็วต่ำ (low-rate) หลายๆ สัญญาณมาทำการมัลติเพล็กซ์รวมกันดังรูปที่ 2.5



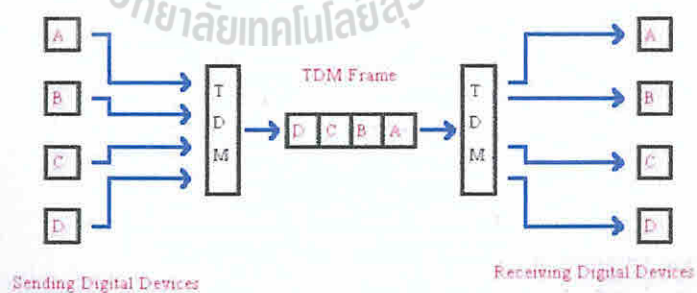
ที่มา <http://www.rmuti.ac.th/user/kamthorn.sa>

รูปที่ 2.5 ประเภทของการ Time - Division Multiplexing : TDM

TDM แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. TDMแบบซิงโครนัส (Synchronous)
2. TDMแบบสถิติ (Statistic) หรืออาจจะเรียกแบบ Asynchronous TDM แบบซิงโครนัส

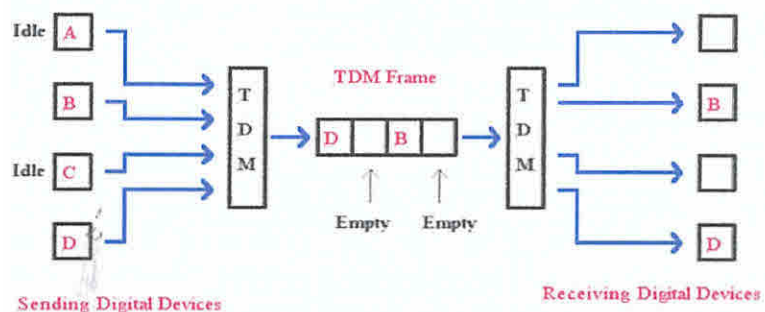
TDMแบบซิงโครนัส (Synchronous) จะอนุญาตให้ข้อมูลจากแต่ละแหล่งมาหมุนเวียนเพื่อส่งข้อมูลไปบนสายส่งข้อมูลความเร็วสูง Sync TDM จะให้ชิ้นส่วนของข้อมูล เช่น ไปได้ข้อมูลจากอุปกรณ์ส่งผ่านไปยังสายส่งข้อมูลความเร็วสูง จากนั้นก็ให้อุปกรณ์ที่จะอินพุตในลำดับถัดไปส่งไปได้ข้อมูลผ่านสายส่งข้อมูลความเร็วสูงหมุนเวียนต่อไปเรื่อยๆดังรูปที่ 2.6



ที่มา <http://www.rmuti.ac.th/user/kamthorn.sa>

รูปที่ 2.6 TDM แบบซิงโครนัส (Synchronous)

TDMแบบสถิติ (Statistic) หรืออาจจะเรียกแบบ Asynchronous TDM แบบชิงโครนัส TDM แบบชิงโครนัสจะเกิดขึ้นเมื่อบาง Host ไม่มีข้อมูลส่งดังรูปที่ 2.7



ที่มา <http://www.rmuti.ac.th/user/kamthorn.sa>

รูปที่ 2.7 แบบ TDM แบบสถิติ(Statistic) หรืออาจจะเรียกแบบ Asynchronous TDM แบบชิงโครนัส



บทที่ 3

การใช้งานโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 เบื้องต้น

3.1 กล่าวนำ

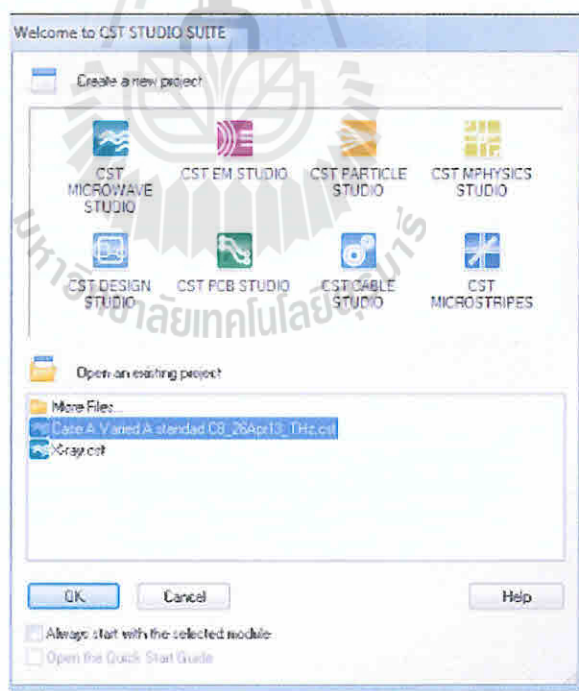
บทที่ 3 เป็นการแนะนำการใช้โปรแกรม CST Microwave Studio 2009 เบื้องต้น เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในการใช้โปรแกรมอย่างถูกต้อง จุดประสงค์เพื่อให้เป็นแนวทางสำหรับผู้ที่ต้องการจะศึกษาและใช้โปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ได้เข้าใจในโปรแกรมมากขึ้น

3.2 การเริ่มสร้างแบบจำลอง

3.2.1 เมื่อเปิดโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 แล้วให้เลือกที่เมนู

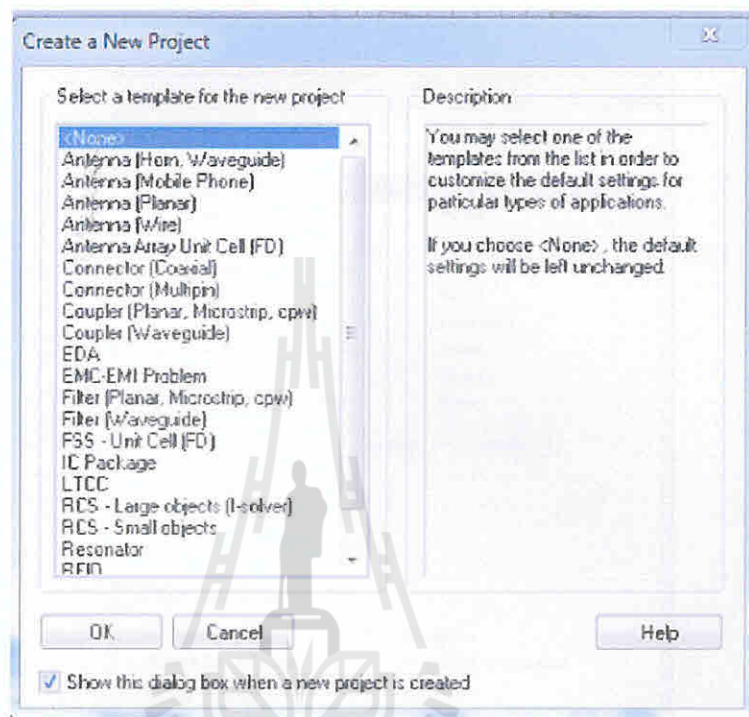
File → New

3.2.2 โปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง ดังรูปที่ 3.1 ให้เลือกชนิดการใช้งาน และเลือกเป็น CST Microwave Studio 2009 แล้วกด OK ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 หน้าต่างให้เลือกชนิดการใช้งาน

3.2.3 จากนั้นจะขึ้นหน้าต่าง ดังรูปที่ 3.2 เป็นการสร้าง templates ให้กับชิ้นงานโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะมีแบบให้เลือกแล้วแต่ความต้องการ หากไม่ต้องการกำหนดให้เลือก None และเลือก OK ดังรูปที่ 3.2

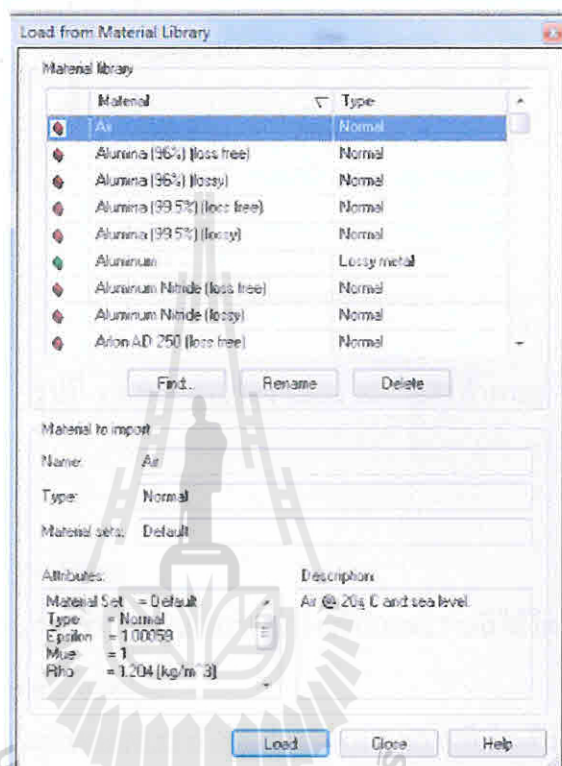


รูปที่ 3.2 หน้าต่างของ Create a New Project

3.3 Load from Material Library

3.3.1 เลือก Solve → Materials → Load from Material Library

3.3.2 เลือกวัสดุที่ต้องการ จะเห็นว่าแต่ละชนิดจะมีค่าคุณสมบัติให้อัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.3



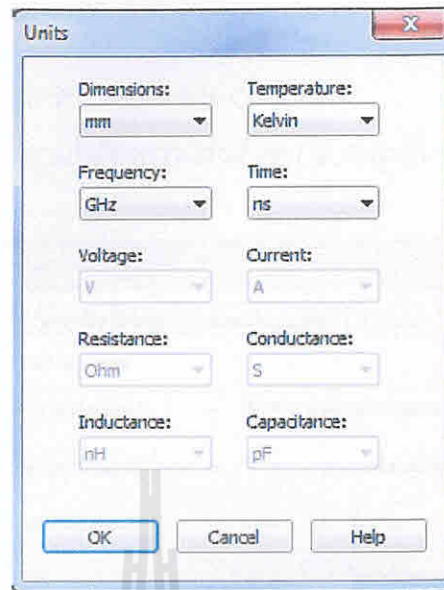
รูปที่ 3.3 หน้าต่างของ Load from Material Library

3.3.3 เลือก Load

3.4 การกำหนดหน่วย Unit

3.4.1 เลือกเมนู Solve → Unit

3.4.2 โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างให้เลือก Dimensions ความถี่ และเวลาที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 หน้าต่างของ Units จะทำการกำหนด

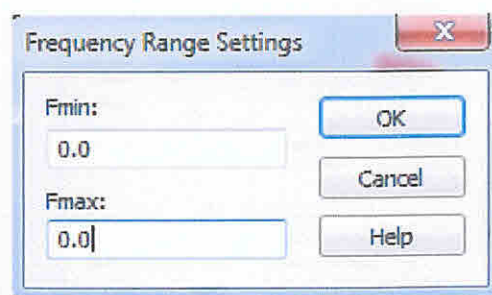
3.4.3 เลือก Ok

3.5 กำหนดความถี่ Frequency

3.5.1 หลังจากสร้างชิ้นงานแล้วจะสามารถกำหนดความถี่ได้โดยเลือกเมนู

Solve → frequency

3.5.2 โปรแกรมที่จะแสดงหน้าต่างให้กำหนด ความถี่เริ่มต้น f_{min} และ ความถี่สูงสุด f_{max} ค่าของความถี่ที่ตั้งไว้จะตั้งค่า signal monitors โดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.5



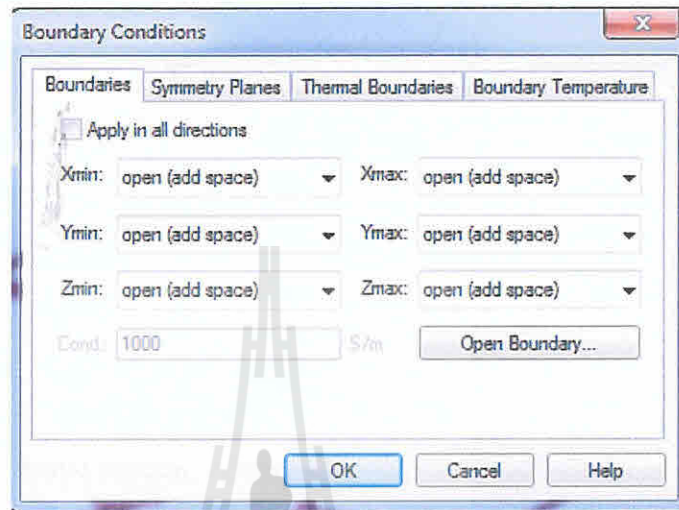
รูปที่ 3.5 หน้าต่างของ Frequency Range Setting

3.5.3 เลือก OK

3.6 การกำหนดขอบเขต Boundary Conditions

3.6.1 เลือกเมนู Solve → Boundary Conditions

3.6.2 เลือกขอบเขตตามที่ต้องการแล้วเลือก OK ดังรูปที่ 3.6



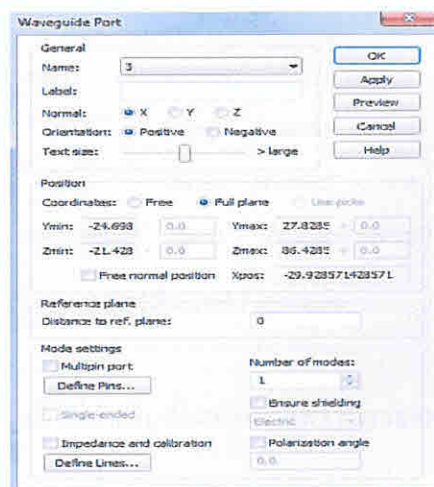
รูปที่ 3.6 หน้าต่างของ Boundary Conditions

3.7 การป้อนพลังงานโดยการกำหนดพอร์ต

การกำหนด ทำได้ 2 วิธี คือ Waveguide Port และ Discrete Port

3.7.1 Waveguide Port

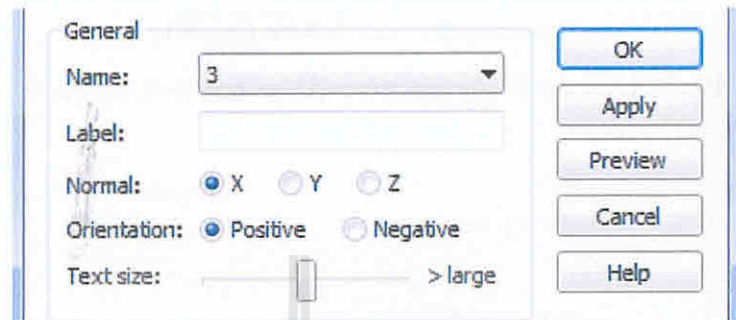
1. เลือกเมนู Solve → Waveguide Port
2. โปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง Waveguide Port ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 หน้าต่าง Waveguide Port

3. ส่วนของ General – Normal สามารถเลือกระนาบ X, Y และ Z ที่ต้องการป้อนพอร์ตได้

Orientation เป็นการกำหนดระนาบให้อยู่ด้านใดของระนาบนั้น ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงส่วนของ General

4. ส่วนของ Position – Coordinates

Free : หากเลือก Normal ระนาบใด เราจะกำหนดความกว้างยาวของพอร์ตอีก 2 ระนาบ ดังนี้

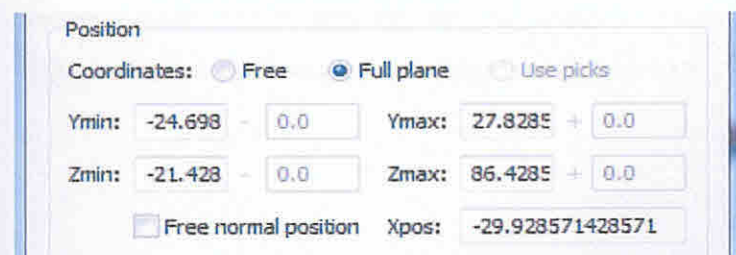
Normal Edit fields

X Ymin, Ymax, Zmin, Zmax

Y Xmin, Xmax, Zmin, Zmax

Z Xmin, Xmax, Ymin, Ymax

ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงส่วนของ Position

Full plane: หากเลือกคำสั่งนี้ไม่จำเป็นต้องกำหนดค่า เพราะจะสั่งให้ทั้งระนาบเป็นการป้อนพอร์ตทั้งหมด

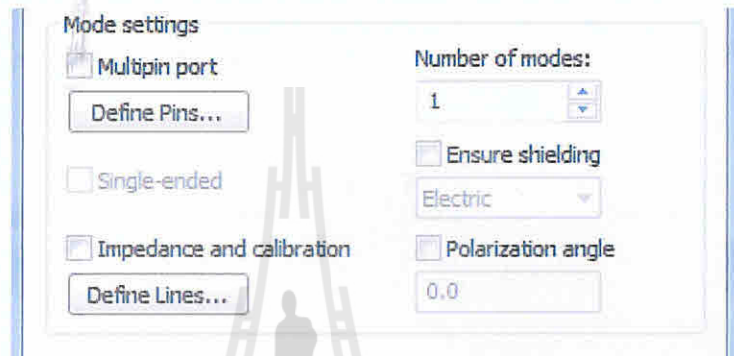
Free normal position: กำหนดระยะการวางพอร์ต

5. ส่วนของ Reference Plane ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงส่วนของ Reference Plane

6. ส่วนของ Mode Setting เป็นการสร้างจุดอ้างอิงของพอร์ตดังรูปที่ 3.11



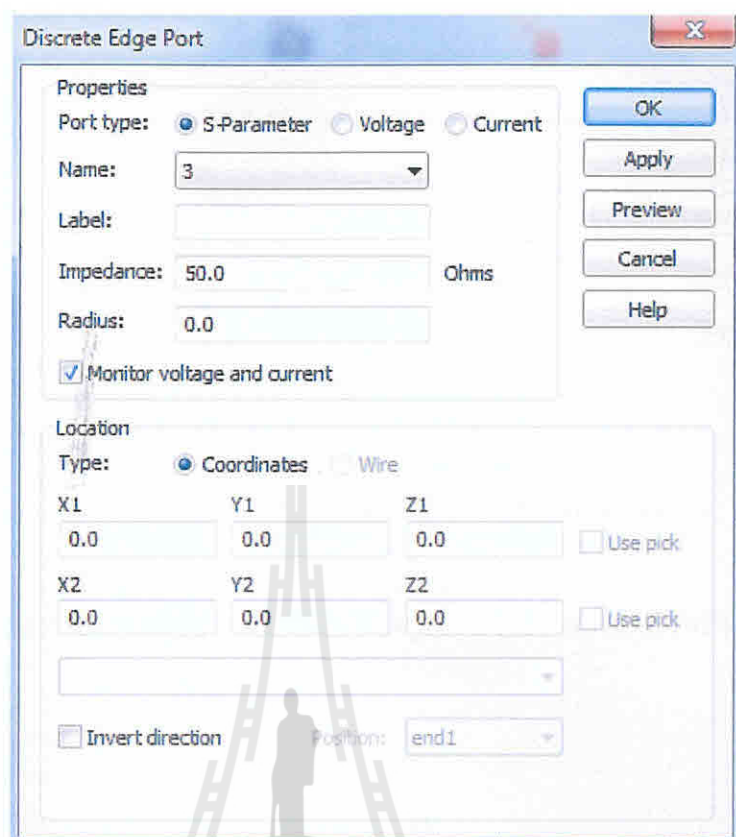
รูปที่ 3.11 แสดงส่วนของ Mode Setting

7. เลือก OK

3.7.2 Discrete Port

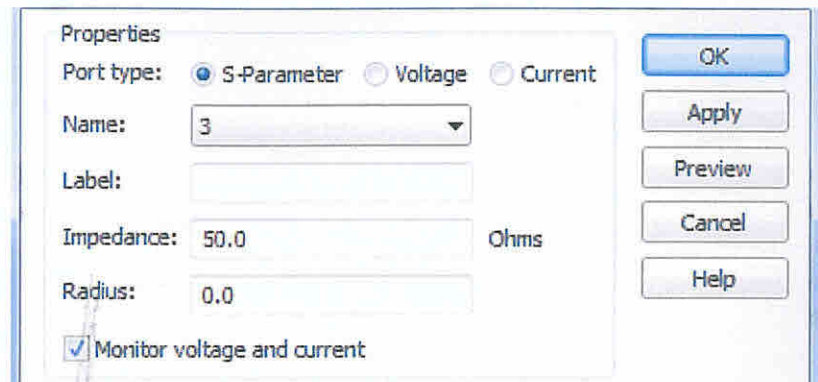
การสร้างพอร์ตแบบนี้ใช้หลักการสร้างจากจุดหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่ง โดยระหว่างพอร์ตนั้นต้องไม่มีเนื้อของชิ้นงานแรกอยู่

1. เลือกเมนู Solve → Discrete Port
2. โปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง Discrete Edge Port ดังรูปที่ 3.12



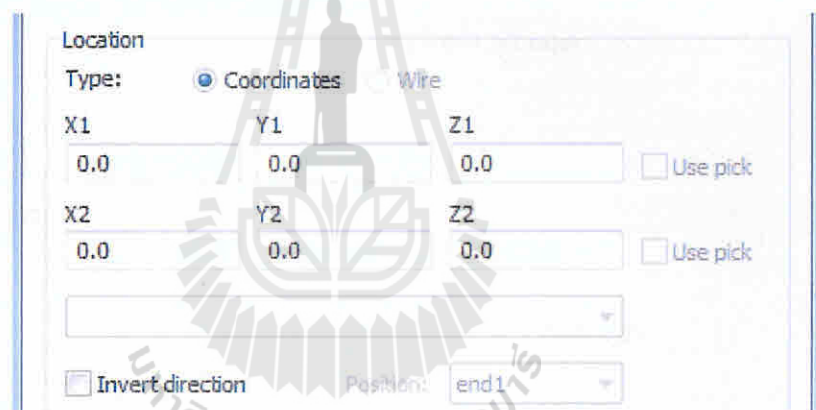
รูปที่ 3.12 หน้าต่าง Discrete Edge Port

3. ส่วนของ Port type และส่วนของ Properties เป็นการกำหนดลักษณะเพื่อการประมวลผล
 - S – Parameter - อ้างอิงโดยให้พอร์ตที่ป้อนเป็น 50 โอห์ม
 - Voltage – อ้างอิงโดยป้อนแรงดันให้กับพอร์ตตามที่กำหนด
 - Current – อ้างอิงโดยป้อนกระแสให้กับพอร์ตตามที่กำหนดดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงส่วนของ Port type และ properties

4. ส่วนของ Location เป็นการกำหนดจุดที่ต้องการในการป้อนพลังงาน ดังรูปที่ 3.14



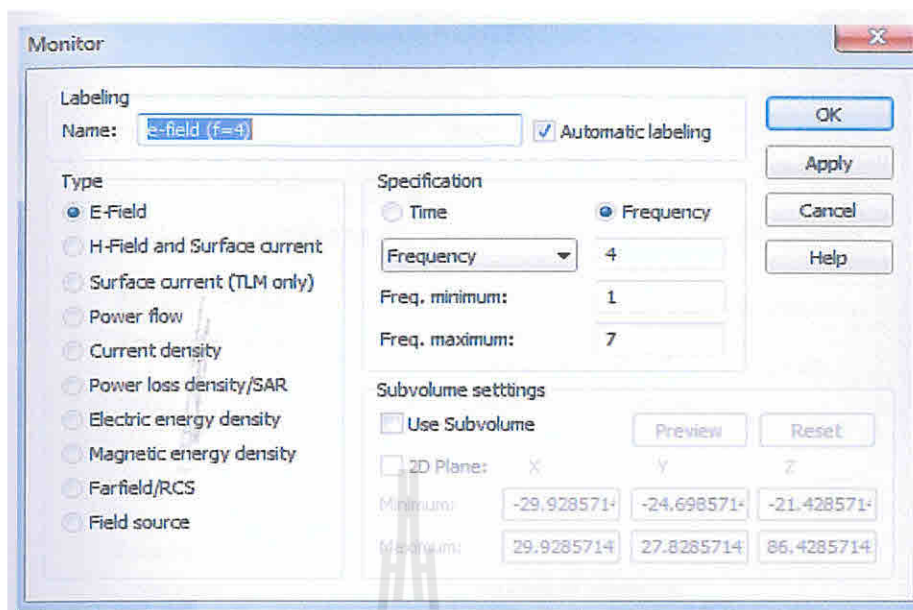
รูปที่ 3.14 แสดงส่วนของ Location

3.8 การกำหนด Field Monitor

ก่อนที่จะทำการประมวลผลจะต้องเลือกที่จะดูผลแบบใดบ้าง

3.8.1 เลือกเมนู Solve → Field Monitors

3.8.2 เลือก Type ที่ต้องการจะดูการประมวลแล้วใส่ความถี่ที่ต้องการ ในการตั้งค่า Field Monitors สามารถกำหนด type ได้หลายตัว ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 หน้าต่าง Monitor

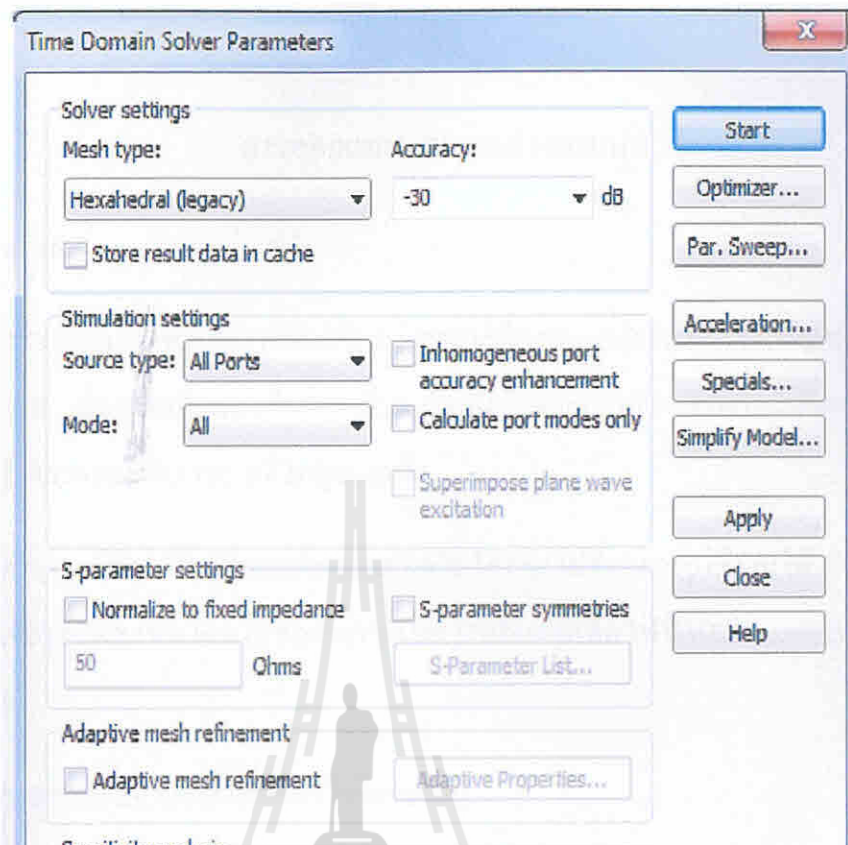
3.8.3 เลือก OK

3.9 การประมวลผล

3.9.1 เลือกเมนู Solve → transient Solver

3.9.2 กำหนด Accuracy ขึ้นอยู่กับสายอากาศที่ออกแบบมา

3.9.3 เลือก Start ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 หน้าต่างของ Solver Parameter

3.10 สรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงการใช้งานโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 ทำให้เราสามารถรู้ถึงการออกแบบรูปทรงต่างๆ และการกำหนดค่า เช่น การกำหนดค่าความถี่สูงสุด – ต่ำสุด เป็นต้น และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการจำลองสายอากาศในบทต่อไปได้

บทที่ 4

การออกแบบและการจำลองแบบ

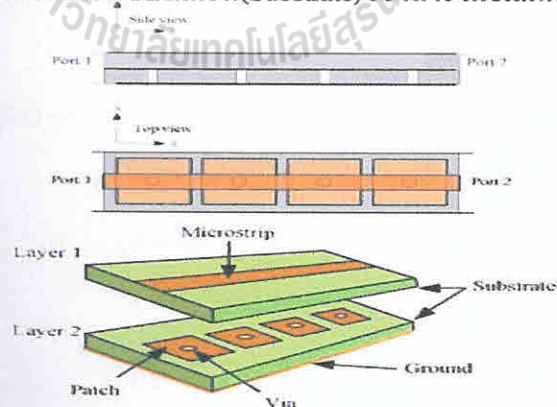
4.1 กล่าวนำ

สายอากาศแพทช์ไมโครสตริปเป็นสายอากาศที่ออกแบบง่ายสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เนื่องจากมีขนาดเล็กน้ำหนักเบาอีกทั้งง่ายต่อการผลิต แต่ส่วนใหญ่สามารถใช้งานได้ทั้งที่ความถี่เดียวและมีอัตราขยายที่ไม่สูงมากนัก

โครงการนี้จึงได้จัดทำสายอากาศแพทช์ไมโครสตริปที่สามารถใช้งานได้ 2 ความถี่และยังเพิ่มอัตราขยายได้สูงขึ้นโดยใช้ช่องว่างแถบความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic Band Gap:EBG)

4.2 การออกแบบสายอากาศแพทช์ไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna) ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นแผ่นหรือที่เราเรียกว่า แพทช์(Patch) ซึ่งเป็นตัวนำ โดยทั่วไปจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือวงกลม ซึ่งถูกแยกออกจากกันด้วยแผ่นระบายกราวด์ที่มีความบาง (เป็นเศษส่วนของความยาวคลื่น) และมีลักษณะเป็นชั้นหรือที่เรียกว่าเป็นซับสเตรท(Substrate)ของสารไดอิเล็กตริก ดังที่แสดงในรูปที่ 4.1



ที่มา <http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?newsearch>

รูปที่ 4.1 การแสดงผลการจำลองการออกแบบสายอากาศแพทช์ไมโครสตริป

4.2.1 ทำการคำนวณที่ความถี่ 3-4 GHz

สูตรการคำนวณขนาดของแพทช์ (wr)

$$wr = 0.12\lambda \quad (4.1)$$

โดยที่

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (4.2)$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{3.5 \times 10^9}$$

$$\lambda = 0.0857m$$

$$\lambda = 85.7mm$$

ดังนั้น

$$wr = 0.12 \times 85.7mm$$

$$wr = 10.284mm$$

สูตรการคำนวณช่องว่างระหว่างแพทช์ (ls)

$$ls = 0.02\lambda \quad (4.3)$$

$$ls = 0.02 \times 85.7mm$$

$$ls = 1.714mm$$

สูตรการคำนวณหาค่ารัศมี (r)

$$r = 0.05\lambda \quad (4.4)$$

$$r = 0.05 \times 85.7mm$$

$$r = 3.428mm$$

สูตรการคำนวณหาความหนา (h)

$$h = 0.04\lambda \quad (4.5)$$

$$h = 0.04 \times 85.7mm$$

$$h = 3.428mm$$

สูตรการคำนวณหาความยาวของแผ่นไมโครสตริป(l_{ts})

$$l_{ts} = 0.5\lambda \quad (4.6)$$

$$l_{ts} = 0.5 \times 85.7 \text{ mm}$$

$$l_{ts} = 42.85 \text{ mm}$$

4.2.2 ทำการคำนวณที่ความถี่ 4.5 – 5.5 GHz

สูตรการคำนวณขนาดแพทช์(w_r)

$$w_r = 0.12\lambda \quad (4.7)$$

โดยที่

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (4.8)$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{5 \times 10^9}$$

$$\lambda = 0.06 \text{ m}$$

$$\lambda = 60.0 \text{ mm}$$

ดังนั้น

$$w_r = 0.12\lambda$$

$$w_r = 0.12 \times 60 \text{ mm}$$

$$w_r = 7.2 \text{ mm}$$

สูตรการคำนวณช่องว่างระหว่างแพทช์(l_s)

$$l_s = 0.02\lambda \quad (4.9)$$

$$l_s = 0.02 \times 60 \text{ mm}$$

$$l_s = 1.2 \text{ mm}$$

สูตรการคำนวณหาค่ารัศมี(r)

$$r = 0.05\lambda \quad (4.10)$$

$$r = 0.05 \times 60 \text{ mm}$$

$$r = 30 \text{ mm}$$

สูตรการคำนวณหาความยาวของแผ่นไมโครสตริป(l_{ts})

$$l_{ts} = 0.5\lambda \quad (4.11)$$

$$l_{ts} = 0.5 \times 60\text{mm}$$

$$l_{ts} = 30\text{mm}$$

สูตรการคำนวณหาความหนา

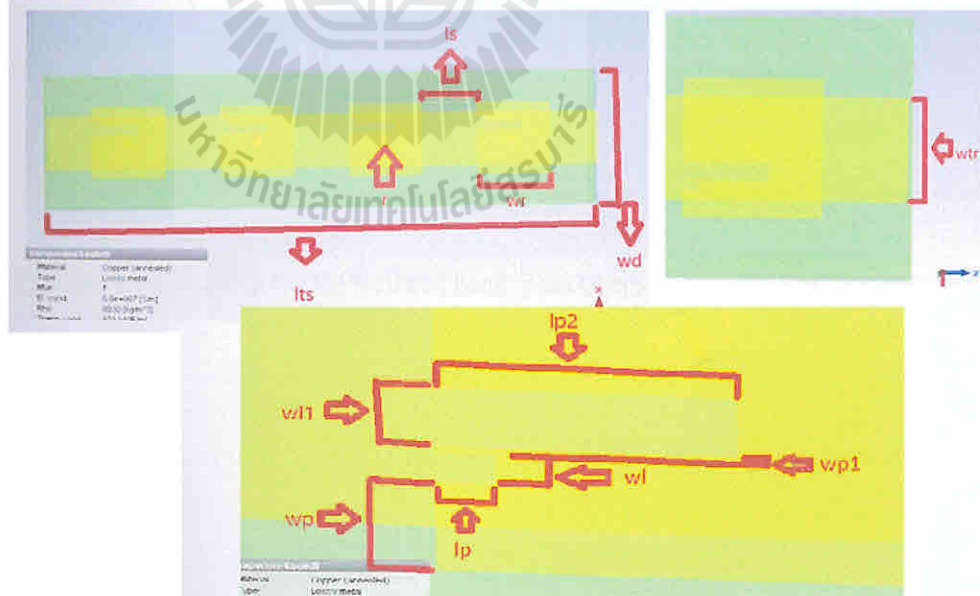
$$h = 0.04\lambda \quad (4.12)$$

$$h = 0.04 \times 60\text{mm}$$

$$h = 2.4\text{mm}$$

4.3 การจำลองแบบสายอากาศแบบแพทช์ไมโครสตริปโดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio 2009

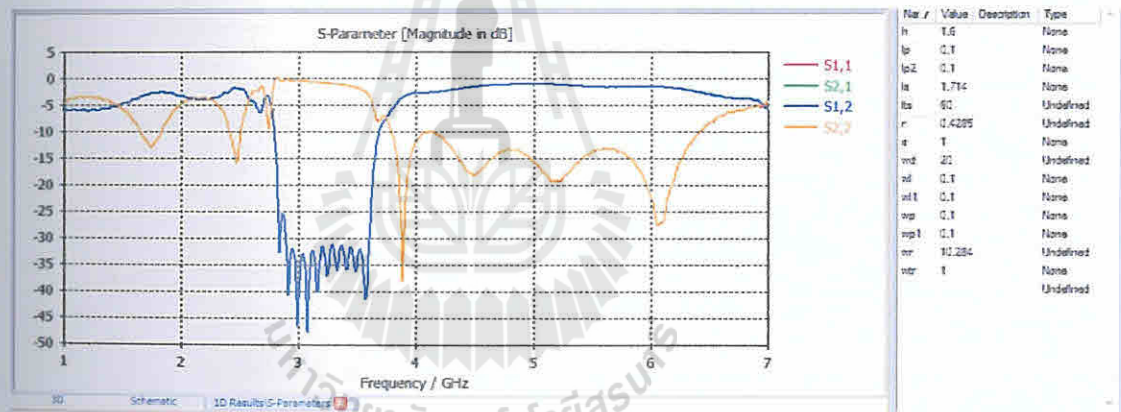
รูปภาพการแสดงตัวแปรของแต่ละพารามิเตอร์ ของแต่ละค่าที่ใช้ในการปรับพารามิเตอร์เพื่อให้ได้ตามที่เราต้องการซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การจำลองแบบตัวแปรที่สร้างขึ้นใน โปรแกรม CST

4.3.1 ความถี่ที่ให้อ่าน 3-4GHz

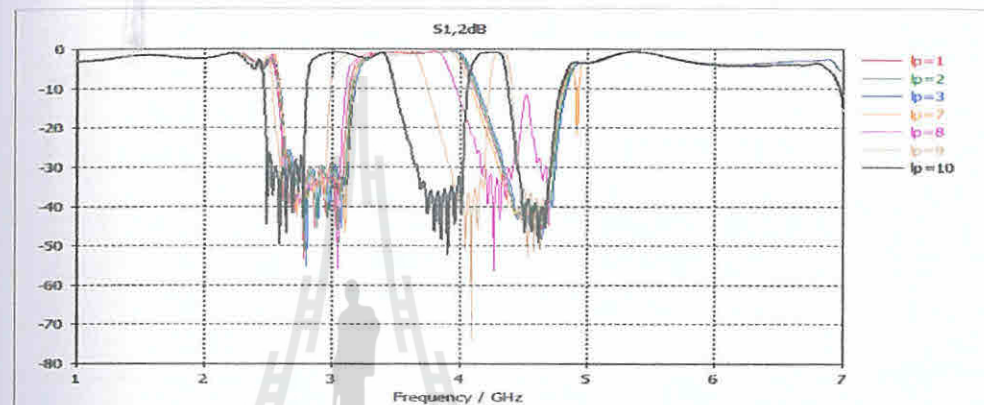
จากการคำนวณได้ทำการจำลองสร้างแบบสายอากาศแบบแพทช์ไมโครสตริป (แสดงในรูปที่ 4.2) โดยกำหนดขนาดของแผ่นทองแดง (wr) ให้มีค่าเท่ากับ 10.284 mm โดยให้ระยะห่างระหว่างแผ่นทองแดง (ls) ให้มีค่าเท่ากับ 1.741 mm ส่วนรัศมี (r) ให้มีค่าเท่ากับ 0.4285 mm มีความหนาของแผ่นไมโครสตริป (h) ให้มีค่าเท่ากับ 3.428 mm (แต่เนื่องจากแผ่นไมโครสตริปที่เราสามารถซื้อได้มีขนาด 1.66 mm ขนาดเดียวเราจึงนำค่านี้มาใช้แทน) ใช้ความยาว (lts) มีค่าเท่ากับ 60 mm โดยส่วนความกว้างของแผ่นไมโครสตริป(wd)มีค่าเท่ากับ 15 mm ความกว้าง(wtr)มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1 mm และกำหนดพารามิเตอร์ต่อไปนี้ให้มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.1 mm ใช้ความยาวของการเจาะร่อง (lp,lp2) ความกว้างของการเจาะร่อง (wl,wl1) และระยะห่างระหว่างการเจาะร่อง (wp,wp1) ซึ่งจะได้กราฟที่ได้จากการนำค่าที่ได้จากการคำนวณแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความถี่ 3-4 GHz ซึ่งมีช่วง band pass อยู่ในช่วงความถี่ 1-2.8GHz และ 3.5-7GHz

4.3.1.1 ทำการปรับความยาวการเซาะร่องครั้งที่1(lp)

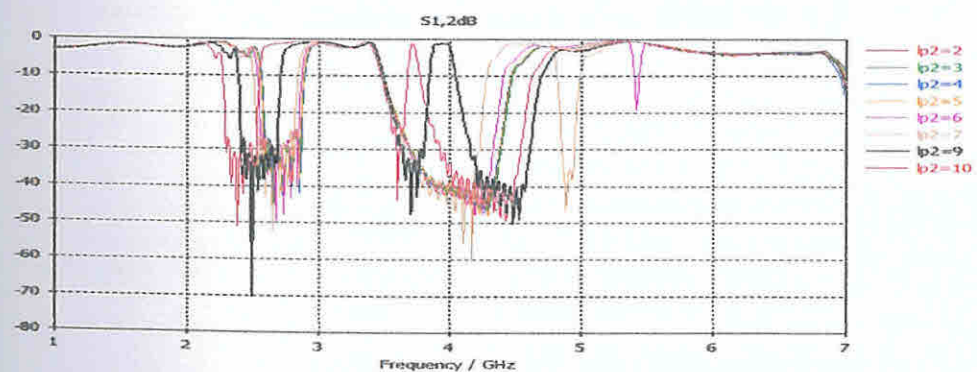
ผลที่ได้ คือเมื่อค่า (lp) ยิ่งมากจะทำให้กราฟ band pass ช่วงแรกจะแคบลง band pass ช่วงที่สองจะเคลื่อนมาทางซ้ายมือและ band pass ช่วงที่สามจะเกิด stop band ขึ้นมาใหม่และเคลื่อนมาทางซ้ายมือเมื่อค่า (lp) เพิ่มขึ้น สำหรับค่าที่เราใช้คือ 4.5 mm แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับความยาวการเซาะร่องครั้งที่1(lp)

4.3.1.2 ทำการปรับความยาวการเซาะร่องครั้งที่2(lp2)

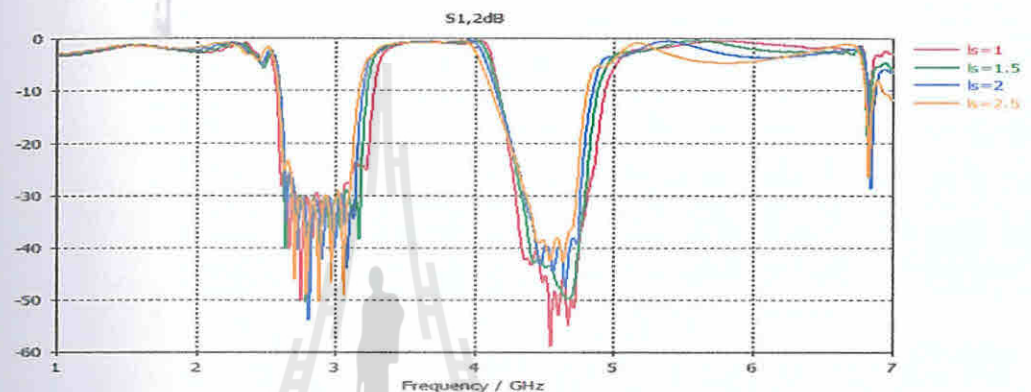
ผลที่ได้คือ เมื่อทำการปรับความยาวการเซาะร่องครั้งที่2 (lp2) ให้เพิ่มขึ้น band pass ช่วงแรกจะแคบลง band pass ช่วงที่สองเคลื่อนมาทางซ้ายมือและ band pass ช่วงที่สามจะเกิด stop band ขึ้นมาเพิ่ม สำหรับค่าที่เราใช้คือ 8 mm ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับความยาวการเซาะร่องครั้งที่2(lp2)

4.3.1.3 ทำการปรับระยะห่างระหว่างแพทช์(Is)

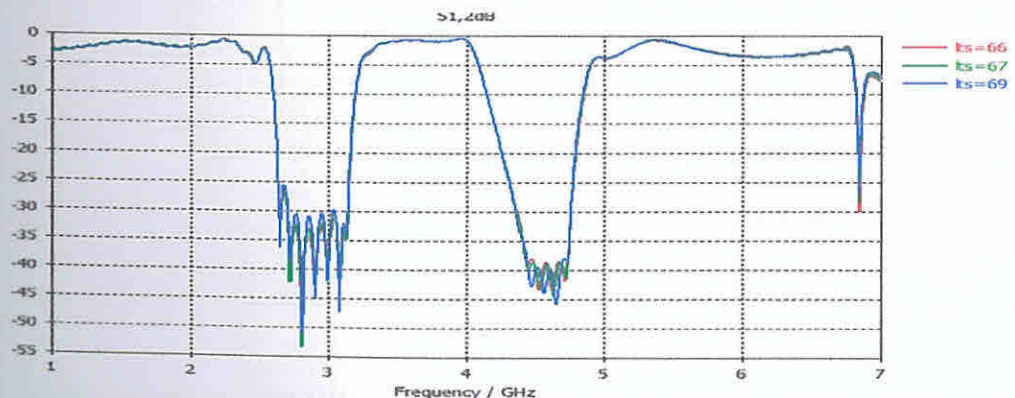
ผลที่ได้ คือเมื่อปรับระยะห่างระหว่างแพทช์(Is)ให้เพิ่มขึ้นค่า pass band ที่อยู่ในช่วงที่สอง จะแคบลงโดยที่แคบมาจากทางขวามือและเกิด stop band เพิ่มขึ้น สำหรับค่าที่เราใช้คือ 2 mm ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างแพทช์(Is)

4.3.1.4 ทำการปรับความยาวของแผ่นไมโครสตริป(Lts)

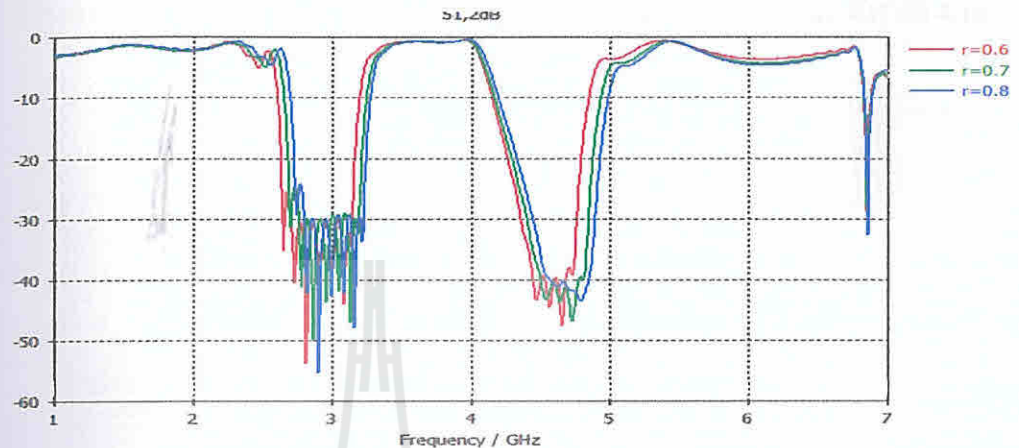
ผลที่ได้คือ จะเพิ่มขนาดหรือลดขนาดกราฟแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงสำหรับค่าที่เราใช้คือ 70 mm ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับความยาวของแผ่นไมโครสตริป(Lts)

4.3.1.5 ทำการปรับรัศมีของแพทช์(r)

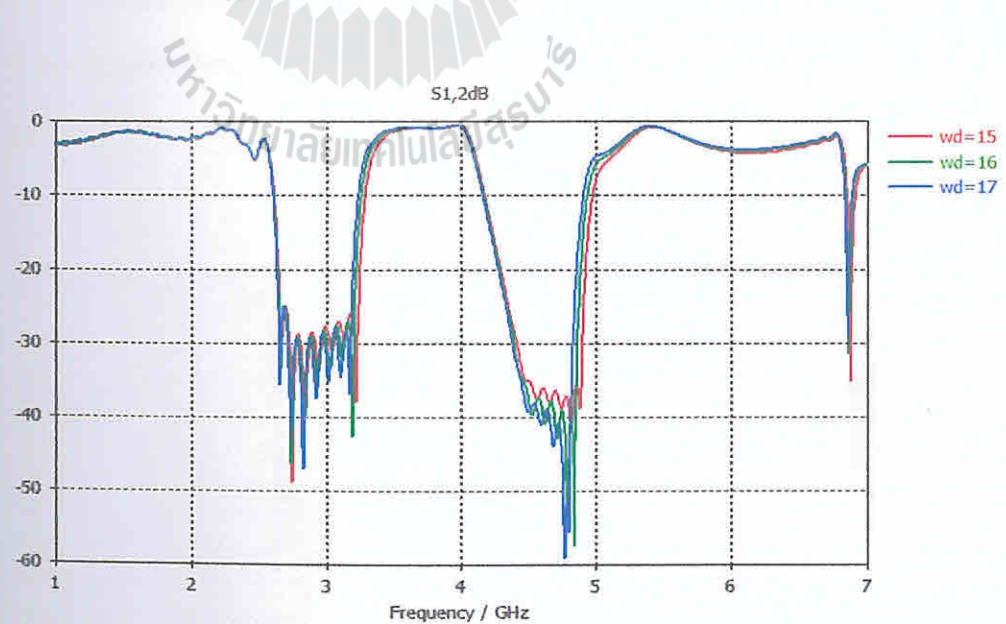
ผลที่ได้คือ เมื่อรัศมีมากขึ้นกราฟทั้งแถบจะเลื่อนไปทางขวามือสำหรับค่าที่เราใช้คือ 0.1 mm ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับรัศมีของแพทช์(r)

4.3.1.6 ทำการปรับความกว้างของแผ่นไมโครสตริป (wd)

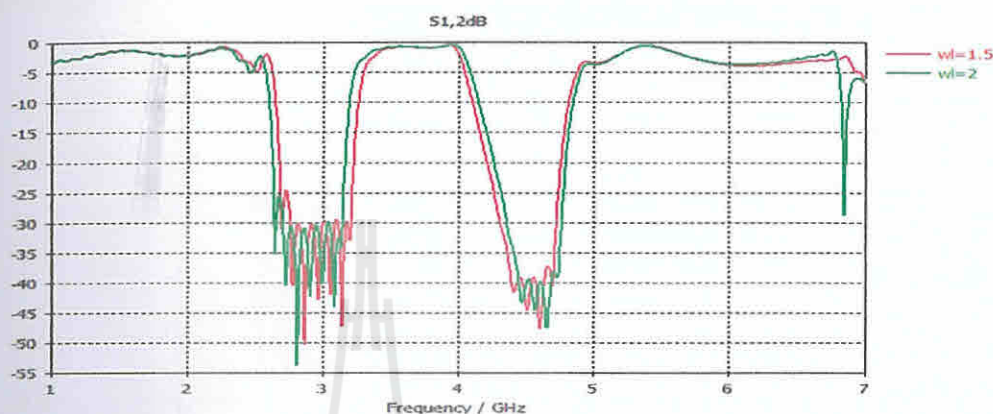
ผลที่ได้คือ เมื่อค่า wd มากขึ้นกราฟทั้งแถบจะเลื่อนไปทางซ้ายมือ สำหรับค่าที่เราใช้คือ 20 mm ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับความกว้างของแผ่นไมโครสตริป(wd)

4.3.1.7 ทำการปรับความกว้างของการเซาะร่องที่1(w1)

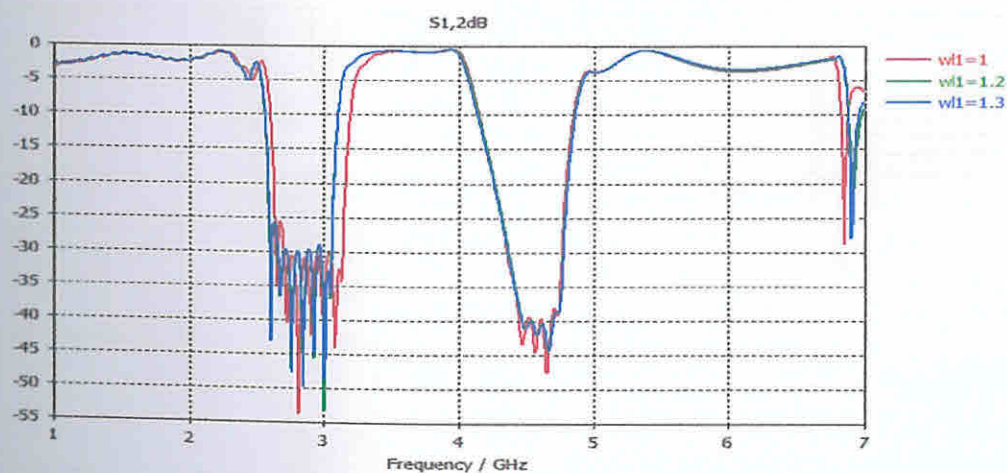
ผลที่ได้คือ เมื่อทำการปรับความกว้างของการเซาะร่องที่1(w1)ให้เพิ่มขึ้น จะทำให้ pass band ช่วงแรกแคบลง pass band ช่วงที่สองกว้างขึ้นและpass band ช่วงที่สามแคบลง อันเนื่องมาจากเกิด stop band ขึ้นมาใหม่อีกคู่สำหรับค่าที่เราใช้คือ 2 mm ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับความกว้างของการเซาะร่องที่1(w1)

4.3.1.8 ทำการปรับความกว้างของการเซาะร่องที่2(w11)

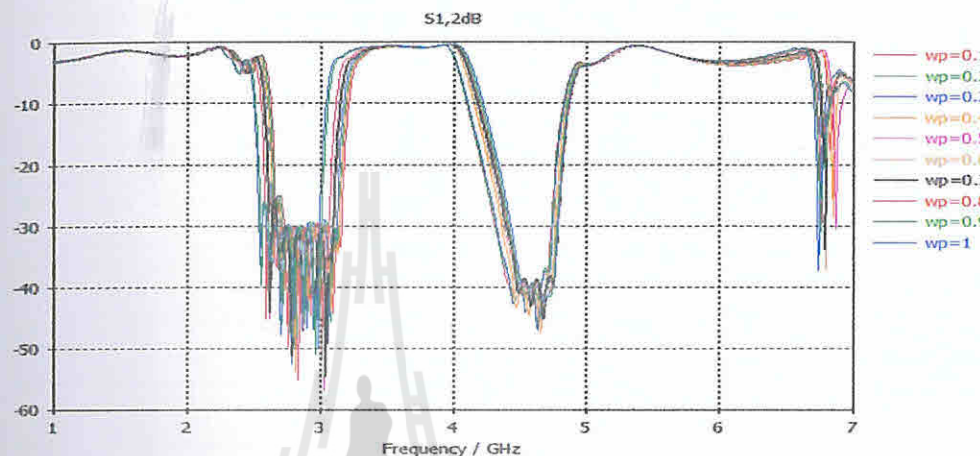
ผลที่ได้คือ เมื่อทำการปรับความกว้างของการเซาะร่องที่2(w11)ให้มีค่าเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ band pass ช่วงแรกแคบลง band pass ช่วงที่สองกว้างขึ้นและ band pass ช่วงที่สามแคบลงอันเนื่องมาจากการเกิด stop band ขึ้นมาอีกคู่ สำหรับค่าที่เราใช้คือ 1 mm ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับความกว้างของการเซาะร่องที่2(w11)

4.3.1.9 ทำการปรับระยะห่างระหว่างร่องเซาะที่1(wp)

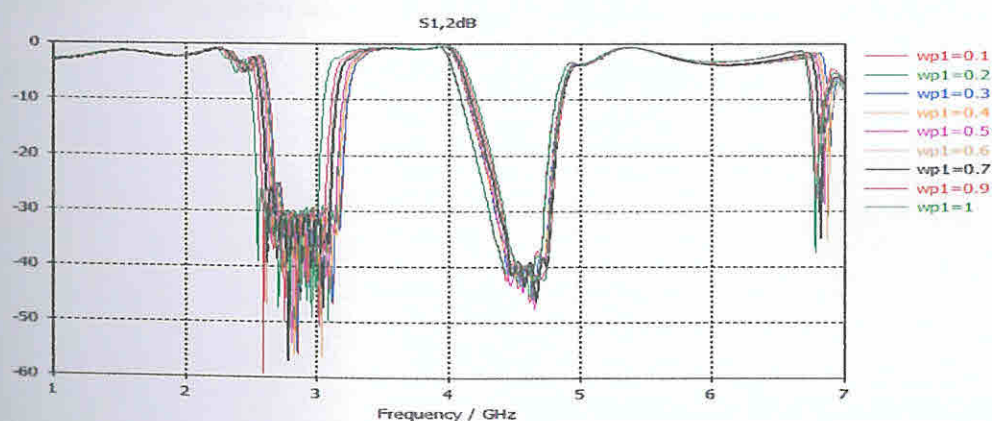
ผลที่ได้คือ เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างร่องเซาะที่1(wp)ให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นกราฟจะค่อยๆเคลื่อนมาทางซ้ายมือทั้งแถว และจะเกิดกราฟ stop band เพิ่มมากขึ้นสำหรับค่าที่เราใช้คือ 0.4 mm ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างร่องเซาะที่1(wp)

4.3.1.10 ทำการปรับระยะห่างระหว่างร่องเซาะที่2(wp1)

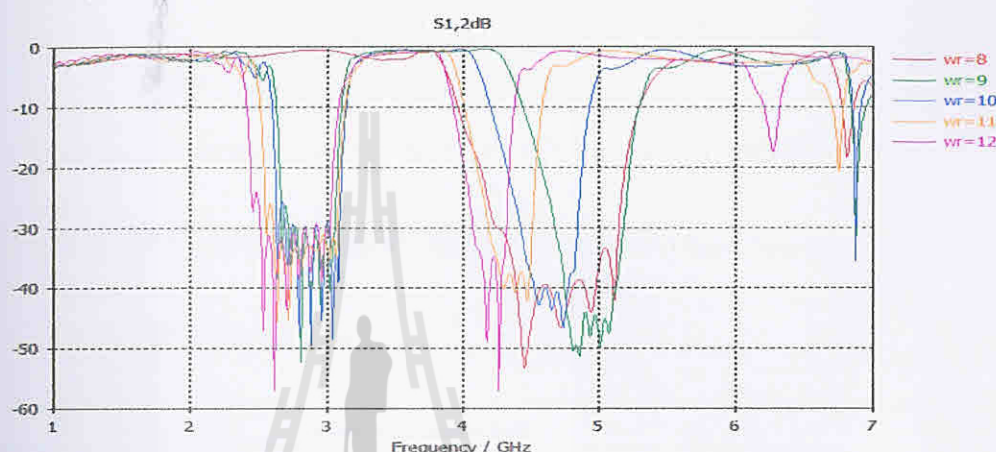
ผลที่ได้คือ เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างร่องเซาะที่2(wp1)ให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นกราฟจะค่อยๆเคลื่อนมาทางซ้ายมือทั้งแถว และจะเกิดกราฟ stop band เพิ่มมากขึ้นสำหรับค่าที่เราใช้คือ 0.5 mm ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างร่องเซาะที่2(wp1)

4.3.1.11 ทำการปรับขนาดของแพทช์(wr)

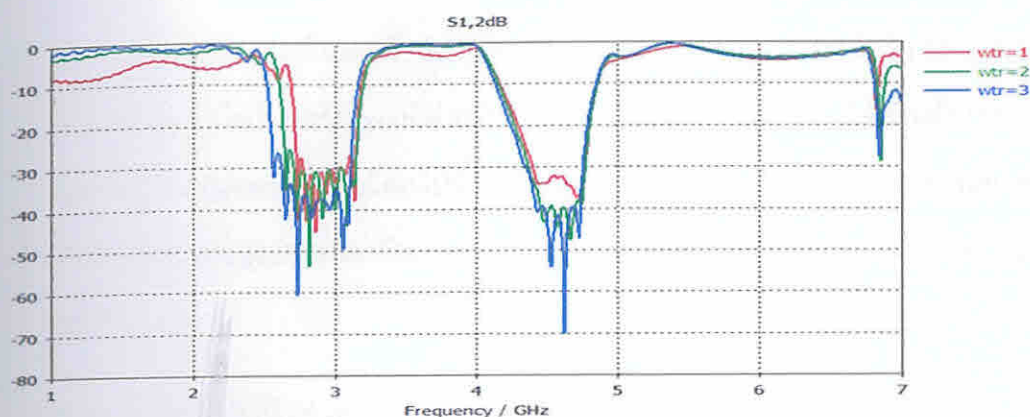
ผลที่ได้ คือ เมื่อทำการปรับขนาดของแพทช์(wr)ให้มีค่าเพิ่มมากขึ้น pass band ช่วงแรกจะแคบลง band pass ช่วงที่สองจะแคบลงและ band pass ช่วงที่สามก็จะแคบลง ด้วยเช่นกันอันเนื่องมาจากเกิด stop band ขึ้นมาอีกกลุ่มหนึ่งสำหรับค่าที่เราใช้คือ 10.284 mm ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับขนาดของแพทช์(wr)

4.3.1.12 ทำการปรับขนาดของเส้น strip line (wtr)

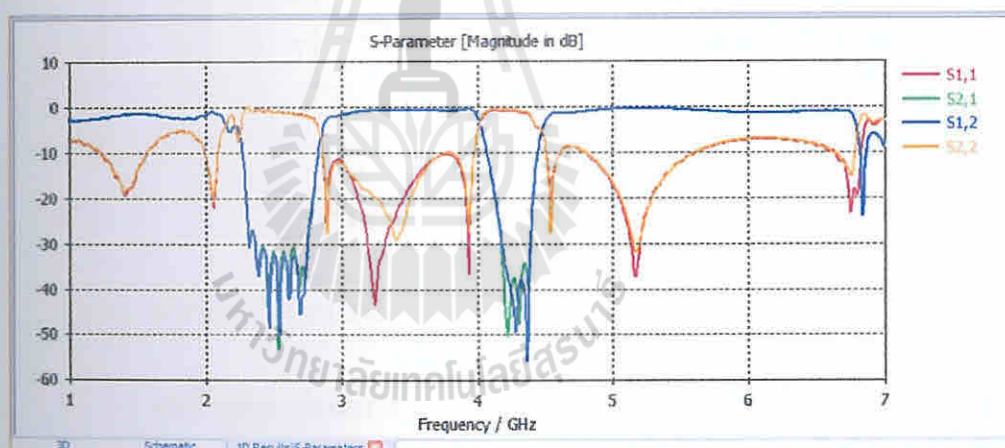
ผลที่ได้ คือ เมื่อทำการปรับขนาดของเส้น strip line(wtr) ให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ band pass ช่วงแรกแคบลง band pass ช่วงที่สองเท่าเดิมและ band pass ช่วงที่สามแคบลงอันเนื่องมาจากการเกิด stop band ขึ้นมาใหม่อีกกลุ่ม สำหรับค่าที่เราใช้คือ 2 mm ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 กราฟความถี่ 3-4 GHz เมื่อทำการปรับขนาดของเส้นสตริปไลน์ (wtr)

4.3.1.13 กราฟที่ปรับค่าของแต่ละพารามิเตอร์ต่างๆแล้ว ได้ค่า band pass filter ใกล้เคียง

3-4 GHz มากที่สุดดังรูปที่ 4.16



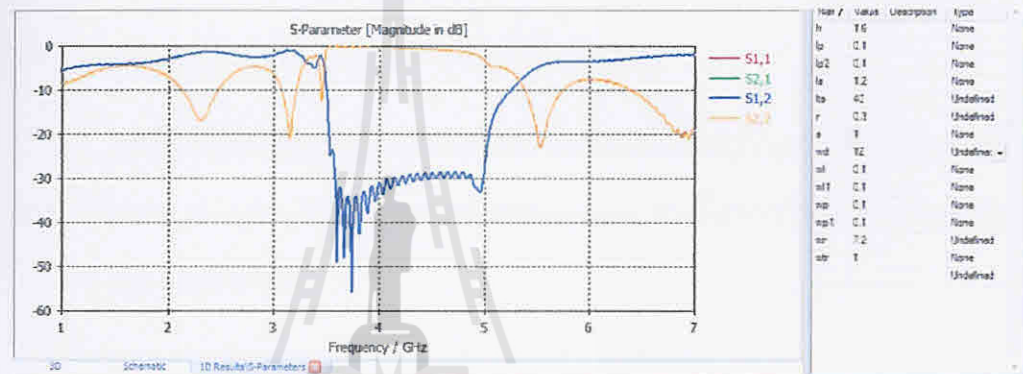
รูปที่ 4.16 การปรับค่ากราฟแบบจำลองที่ความถี่ 3-4 GHz ที่สมบูรณ์

4.3.2 ความถี่ที่ให้อ่าน 4.5-5.5GHz

จากการคำนวณได้ทำการสร้างแบบสายอากาศแบบแพทช์ไมโครสตริป โดยกำหนดขนาดของแผ่นทองแดง (wr) ให้มีค่าเท่ากับ 7.2 mm, ระยะห่างระหว่างแผ่นทองแดง (ls) ให้มีค่าเท่ากับ 1.2 mm, รัศมี (r) ให้มีค่าเท่ากับ 0.3 mm, ความหนาของแผ่นไมโครสตริป (h) ให้มีค่าเท่ากับ 2.4 mm (แต่เนื่องจากแผ่นไมโครสตริปที่เราสามารถซื้อได้มี

ขนาด 1.6 mm ขนาดเดียวเราจึงนำค่านี้มาใช้แทน),ความยาว(l_{ts}) มีค่าเท่ากับ 40 mm,ความกว้างของแผ่นไมโครสริป(w_d)มีค่าเท่ากับ 12 mm,ความกว้าง(w_{tr})มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1 mm และกำหนดพารามิเตอร์ต่อไปนี้มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.1 mm ซึ่งได้แก่ความยาวของการเซาะร่อง(l_p, l_{p2})ความกว้างของการเซาะร่อง(w_l, w_{l1})และระยะห่างระหว่างการเซาะร่อง(w_p, w_{p1})

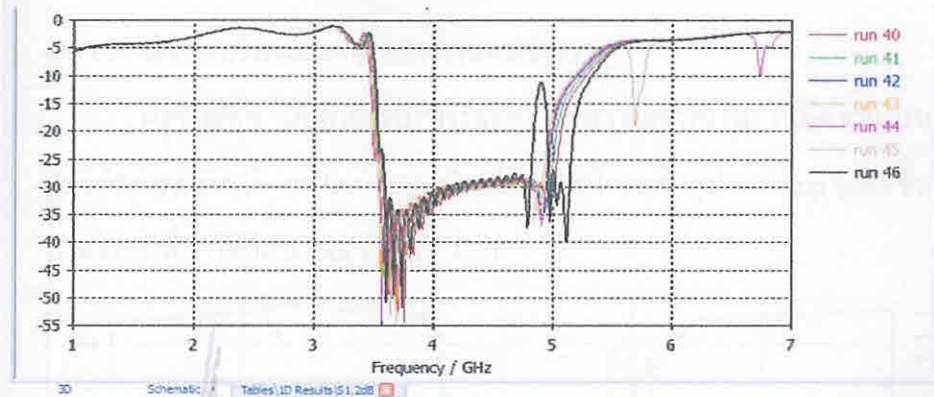
รูปกราฟที่ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากคำนวณแล้วดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz

4.3.2.1 ทำการปรับความยาวการเซาะร่องครั้งที่1(l_p)

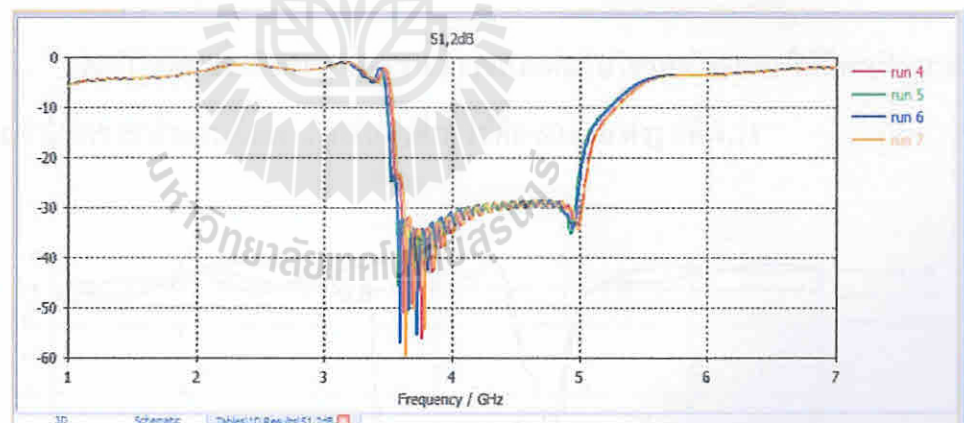
ผลที่ได้คือ เมื่อทำการปรับความยาวการเซาะร่องครั้งที่1(l_p)ให้มีค่าที่ 1-4 mm ค่ากราฟ band pass จะอยู่ที่ช่วงความถี่ 1-3.5 GHzและ5.5-7 GHz แล้วกราฟค่อยๆเคลื่อนไปทางซ้ายมือเพียงเล็กน้อยหรือเทียบได้ว่าแทบจะไม่ได้เปลี่ยนแปลงเลย แต่เมื่อค่า(l_p)มีค่าเท่ากับ 5 mm จะทำให้เกิดกราฟ stop band เพิ่มมาอีกloop หนึ่งพร้อมทั้งเมื่อค่า l_p เพิ่มมากขึ้นกราฟ stop band ที่เกิดขึ้นมาใหม่จะเคลื่อนมาทางซ้ายมือ จนกราฟ stop band ที่เกิดขึ้นมาใหม่มารวมกับกราฟ stop band อันเก่าสำหรับค่าที่เราใช้คือ 1mm ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับความยาวการเซาะร่องครั้งที่1(lp)

4.3.2.2 ทำการปรับความยาวการเซาะร่องครั้งที่2(lp2)

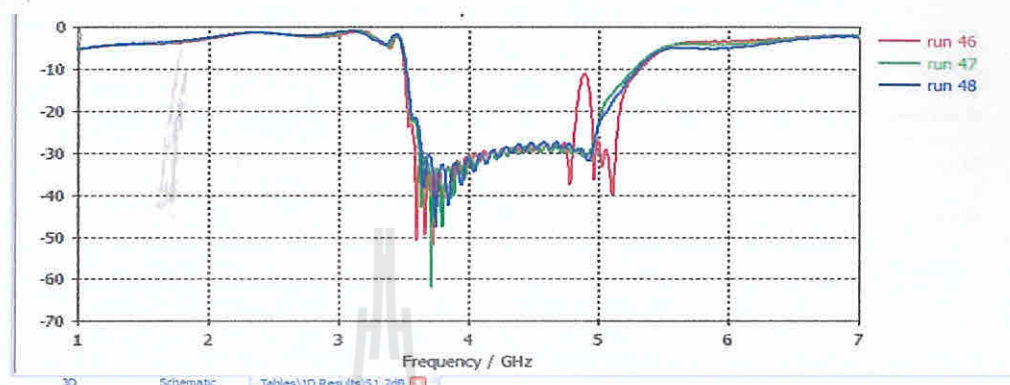
ผลที่ได้คือ เมื่อทำการปรับความยาวการเซาะร่องครั้งที่2 (lp2) ให้มีค่าเพิ่มมากขึ้น จะทำให้กราฟ band pass ช่วงแรกแคบลงและband pass ช่วงที่สองกว้างขึ้นสำหรับค่าที่เราใช้คือ 5 mm ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับความยาวการเซาะร่องครั้งที่2(lp2)

4.3.2.3 ทำการปรับระยะห่างระหว่างแพทช์(Is)

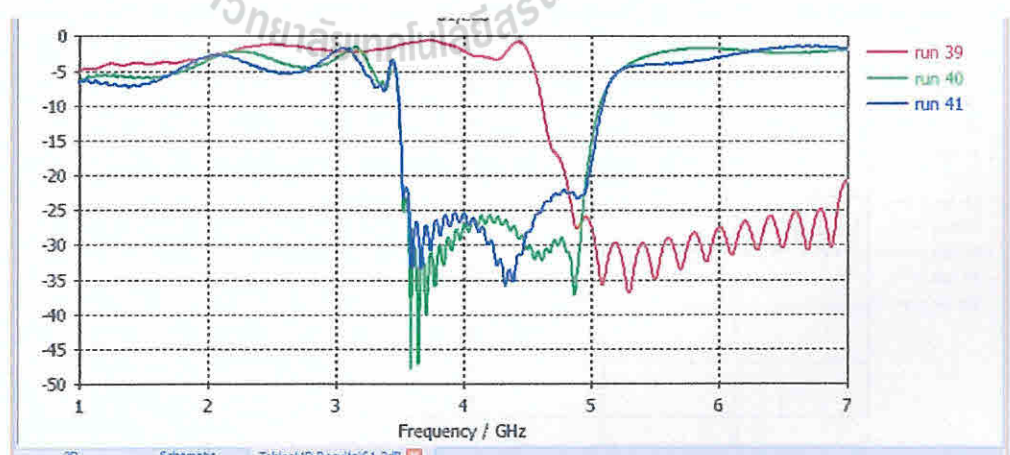
ผลที่ได้คือ เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างแพทช์ (Is) ให้มีค่าเพิ่มมากขึ้น band pass ช่วงแรกจะคงที่ แต่ band pass ช่วงที่สองจะมีการเกิดรูปของ stop band ขึ้นมาใหม่เพิ่ม สำหรับค่าที่เราใช้คือ 3 mm ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างแพทช์(Is)

4.3.2.4 ทำการปรับความยาวของแผ่นไมโครสตริป (Its)

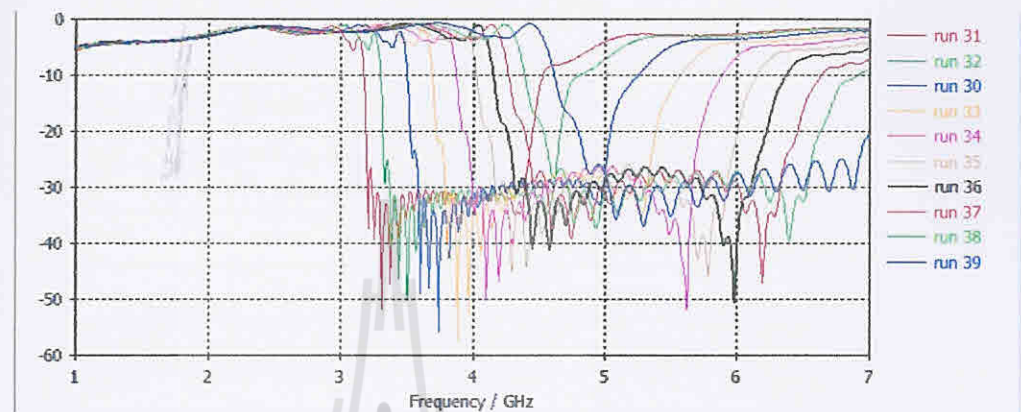
ผลที่ได้คือ เมื่อทำการปรับความยาวของแผ่นไมโครสตริป (Its) ให้มีค่าเพิ่มมากขึ้น จะทำให้กราฟทั้งแถบดิ่งลง สำหรับค่าที่เราใช้คือ 60 mm ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับความยาวของแผ่นไมโครสตริป(Its)

4.3.2.5 ทำการปรับรัศมีของแพทช์ (r)

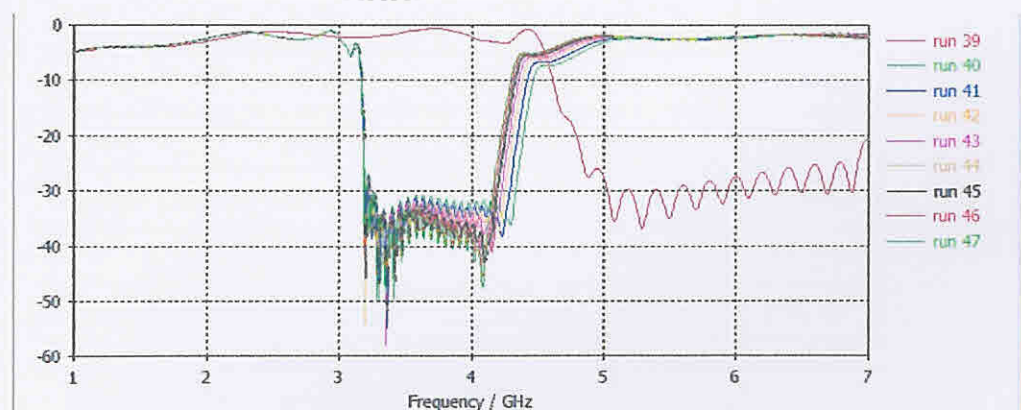
ผลที่ได้คือ เมื่อค่า r ยิ่งมากขึ้นจะทำให้กราฟทั้งแถบค่อยเคลื่อนไปทางขวามือ พร้อมทั้ง band pass ช่วงแรกจะค่อยกว้างขึ้นแต่ band pass ช่วงที่สองจะค่อยๆ แคบลง สำหรับค่าที่เราใช้คือ 0.5 mm ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับรัศมีของแพทช์(r)

4.3.2.6 ทำการปรับความกว้างของแผ่นไมโครสตริป(wd)

ผลที่ได้คือ ค่า wd มากขึ้นจะทำให้ band pass ช่วงแรกคงที่แต่ band pass ช่วงที่สองกว้างขึ้นสำหรับค่าที่เราใช้คือ 15 mm ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับความกว้างของแผ่นไมโครสตริป(wd)

4.3.2.7 ทำการปรับความกว้างของการเซาะร่องที่1 (w1)

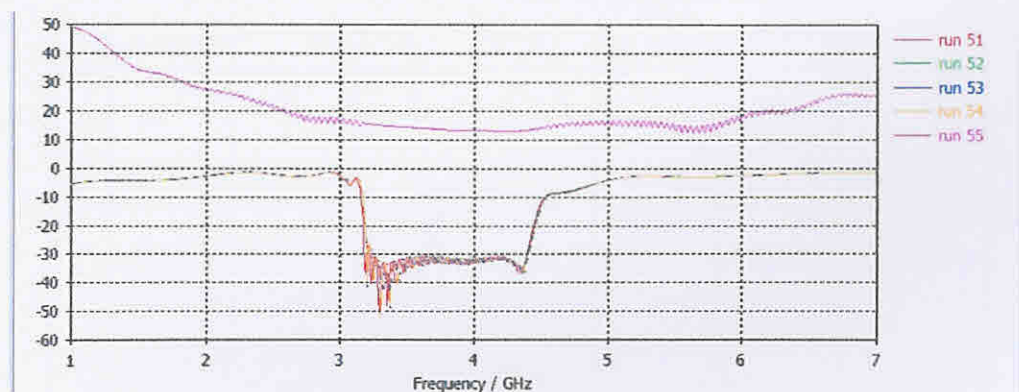
ผลที่ได้คือ ที่ค่า $w1 = 0.1$ band pass จะอยู่ในช่วงความถี่ 1-3.2 GHz และ 4.2-7 GHz แต่เมื่อ $w1$ มีค่าเท่ากับ 0.2-0.5 mm band pass จะอยู่ในช่วงความถี่ 1-3.2 GHz และ 4.6-7 GHz สำหรับค่าที่เราใช้คือ 0.5 mm ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับความกว้างของการเซาะร่องที่1(w1)

4.3.2.8 ทำการปรับความกว้างของการเซาะร่องที่2 (w11)

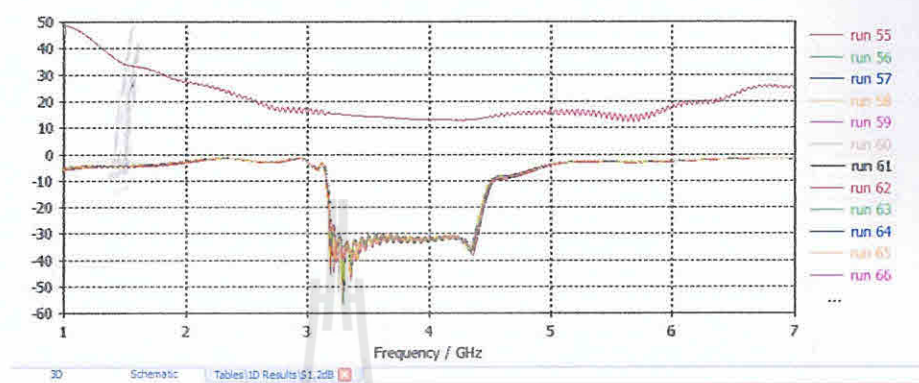
ผลที่ได้ คือ เมื่อ $w11$ มีค่าเท่ากับ 0.1-0.4 mm band pass จะอยู่ในช่วงความถี่ 1-3.2 GHz และ 4.5-7 GHz แต่เมื่อ $w11$ มีค่าเท่ากับ 0.5 mm กราฟจะผิดเพี้ยนไปมากจนใช้การไม่ได้สำหรับค่าที่เราใช้คือ 1 mm ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับความกว้างของการเซาะร่องที่2(w11)

4.3.2.9 ทำการปรับระยะห่างระหว่างร่องเซาะที่1 (wp)

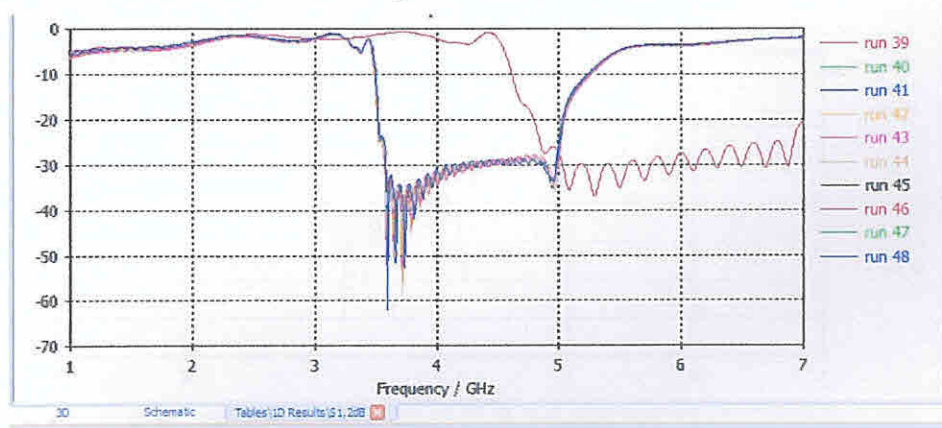
ผลที่ได้ คือ กราฟแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อ wp เพิ่มขึ้น หรือลดลงแต่จะมีกราฟผิดเพี้ยนอยู่ค่าหนึ่งสำหรับค่าที่เราใช้คือ 1.5 mm ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างร่องเซาะที่1(wp)

4.3.2.10 ทำการปรับระยะห่างระหว่างร่องเซาะที่2(wp1)

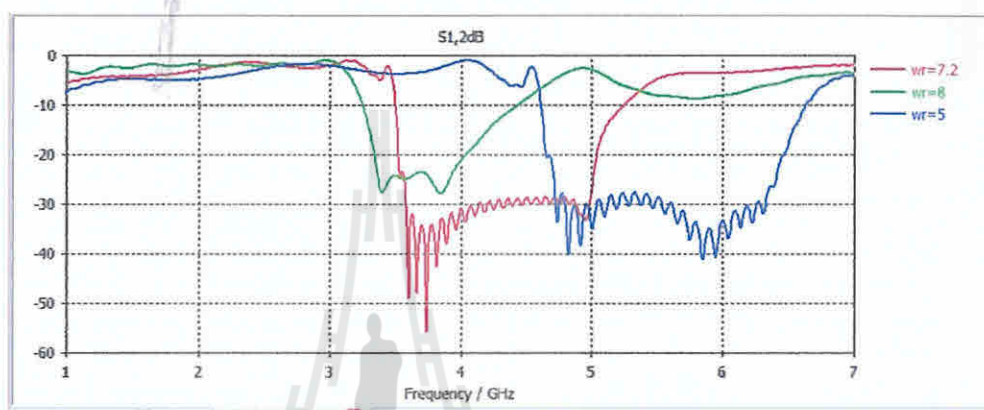
ผลที่ได้ คือ เมื่อ wp1 มีค่าเท่ากับ 0.1 mm band pass จะอยู่ในช่วงความถี่ 1-3.5 GHz แต่เมื่อ wp1 มีค่าเท่า 0.2ขึ้นไป จนถึง 1 band pass จะอยู่ในช่วงความถี่ 1-3.5 GHz และ 5.2-7 GHz สำหรับค่าที่เราใช้คือ 0.1 mm ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างร่องเซาะที่2(wp1)

4.3.2.11 การปรับขนาดของแพทช์ (wr)

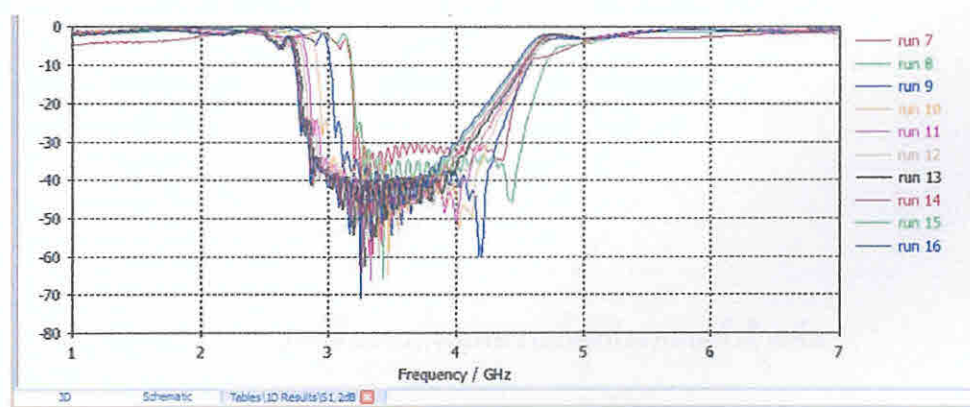
ผลที่ได้ คือ เมื่อ wr มีค่าเท่ากับ 7.2 mm จะทำให้ band pass อยู่ที่ความถี่ 1-3.5 GHz และ 5.2-7 GHz ,wr มีค่าเท่ากับ 8 mm จะทำให้กราฟ band pass อยู่ที่ความถี่ 1-3 GHz และ 5-7 GHz และ wr มีค่าเท่ากับ 5 mm จะทำให้กราฟ band pass อยู่ที่ความถี่ 1-4.6 GHz สำหรับค่าที่เราใช้คือ 8 mm ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับขนาดของแพทช์(wr)

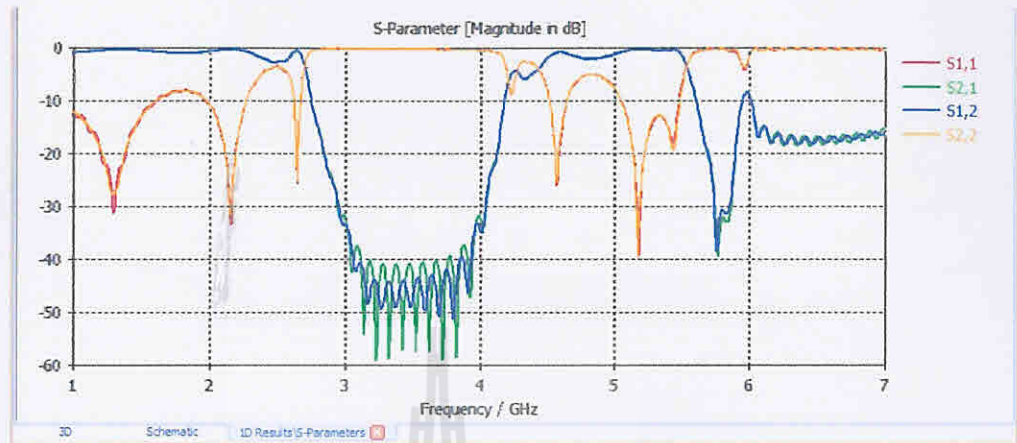
4.3.2.12 การปรับขนาดของเส้น strip line (wtr)

ผลที่ได้ คือ เมื่อ wtr มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ band pass ช่วงแรกกว้างขึ้นและ band pass ช่วงที่สองแคบลงสำหรับค่าที่เราใช้คือ 6 mm ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz เมื่อทำการปรับขนาดของเส้น strip line (wtr)

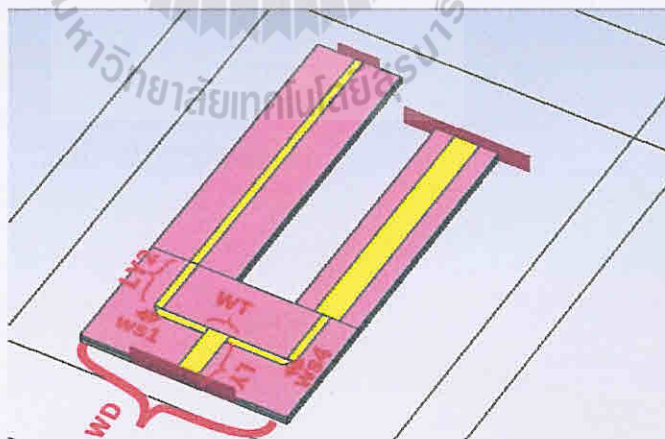
4.3.2.13 กราฟที่ปรับค่าของแต่ละพารามิเตอร์ต่างๆแล้วได้ค่า band pass filter ไกล่เคียง 4.5-5.5 GHz ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 กราฟความถี่ 4.5 – 5.5 GHz ที่ใกล้เคียงที่สุด

4.3.3 การจำลองนำชิ้นงานทั้งสองความถี่มาประกอบเข้าด้วยกัน

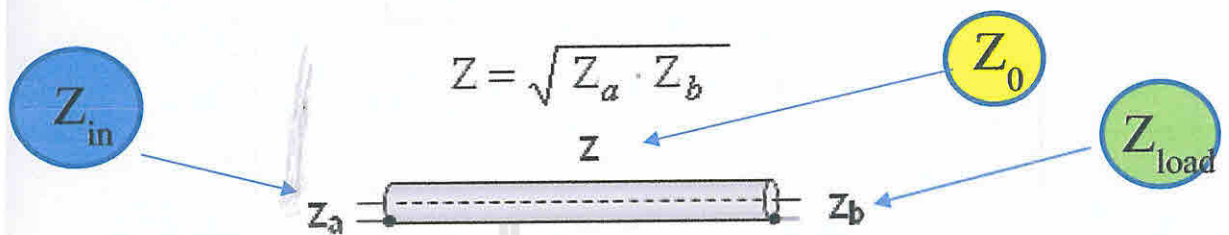
เมื่อเราทำการปรับค่าของแต่ละพารามิเตอร์ให้ได้ค่า band pass filter ที่ 3-4 GHz และ 4.5-5.5 GHz แล้วเรา ขั้นตอนต่อไปคือ เราต้องจำลองนำชิ้นงานทั้งมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยในที่นี้เราจะใช้ strip line ในการเชื่อมต่อกันของทั้งสองชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 การจำลองชิ้นงานทั้งสองความถี่มาประกอบเข้าด้วยกัน

สำหรับปัญหาในขั้นตอนนี้คือเราจะต้องคำนวณหาขนาดของเส้น strip line ว่ามีขนาดเท่าใดที่จะทำในกราฟของเรามีค่า band pass filter มีค่าเท่ากับ 3-4 GHz และ 4.5-5.5 GHz ดังเดิม

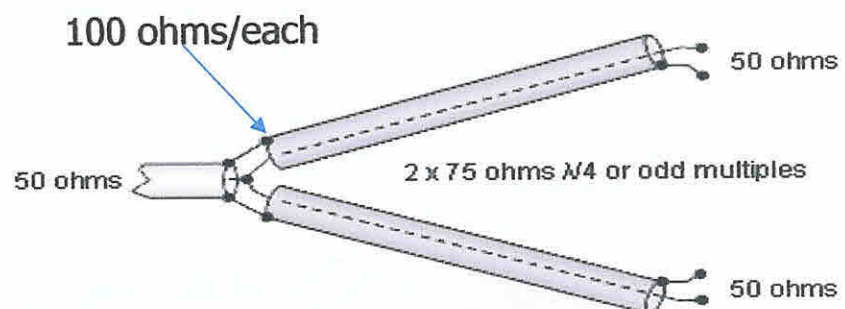
และเมทซ์กันที่ 50 โอห์ม โดยเราจะใช้หลักการ Phasing Line ในการคำนวณหาขนาดของเส้น strip line ดังรูปที่ 4.32



ที่มา : <http://www.fmubon.20m.com/install.htm>

รูปที่ 4.32 การใช้หลักการ Phasing Line ในการคำนวณหาขนาดของเส้น strip line

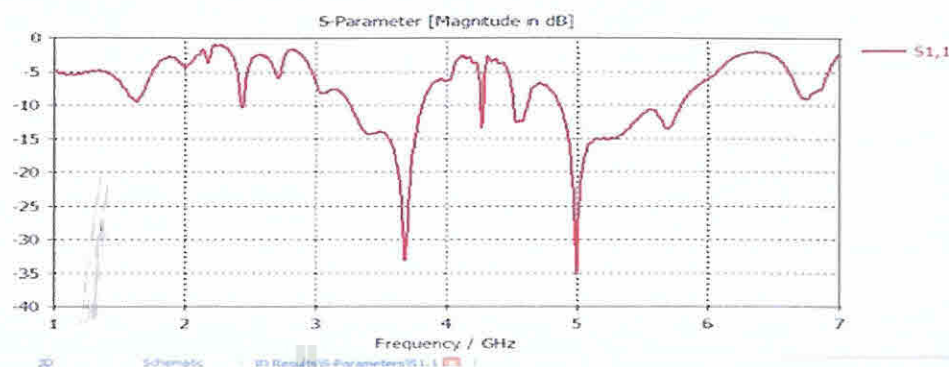
เมื่อรูปขึ้นงานของเราถูกกำหนดไว้ที่ 50 โอห์ม ทั้ง port1 และ port2 ดังนั้นเมื่อนำชิ้นงานทั้งสองมาเชื่อมต่อกัน ตรงจุดที่ชิ้นงานทั้ง 2 เชื่อมต่อจะทำให้มีค่า 100 โอห์ม ซึ่งจะช่วยให้กราฟเกิดการเพี้ยนได้ ดังนั้นหากเราต้องการให้กราฟค่า band pass filter ที่ความถี่ที่เราต้องการดังเดิมเราจะต้องทำให้จะเชื่อมต่อของทั้ง 2 ชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 50 โอห์ม ดังรูปที่ 4.33



ที่มา : <http://www.fmubon.20m.com/install.htm>

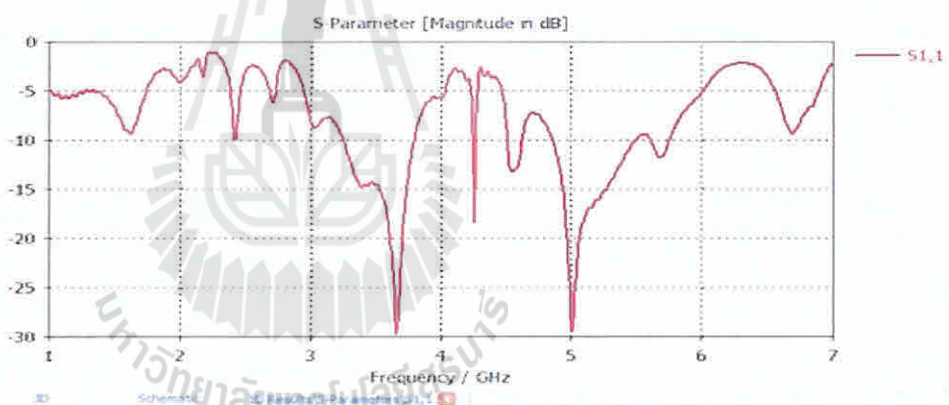
รูปที่ 4.33 การแสดงของชิ้นงานของเราถูกกำหนดไว้ที่ 50 โอห์ม ทั้ง port1 และ port2

4.3.3.1 ผลของการปรับความยาวของไมโครสตริป (WD) = 48 mm



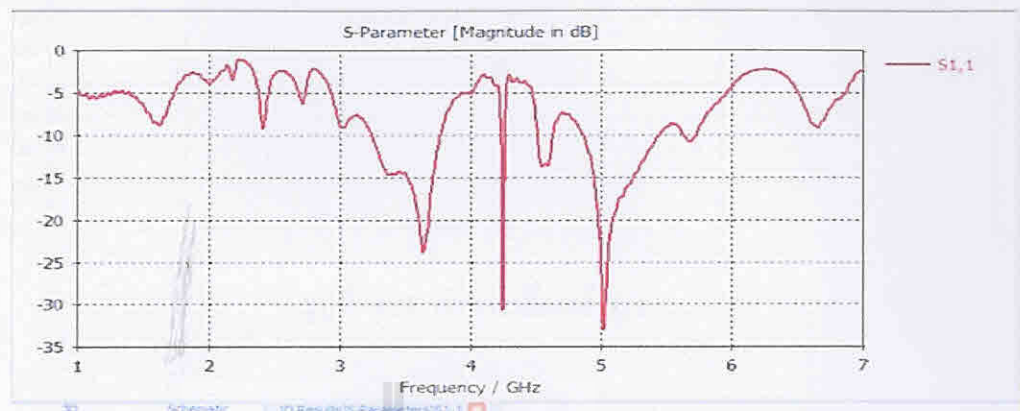
รูปที่ 4.34 ผลของการปรับความยาวของไมโครสตริป (WD) = 48 mm

4.3.3.2 ผลของการปรับความยาวของไมโครสตริป (WD) = 49 mm



รูปที่ 4.35 ผลของการปรับความยาวของไมโครสตริป (WD) = 49 mm

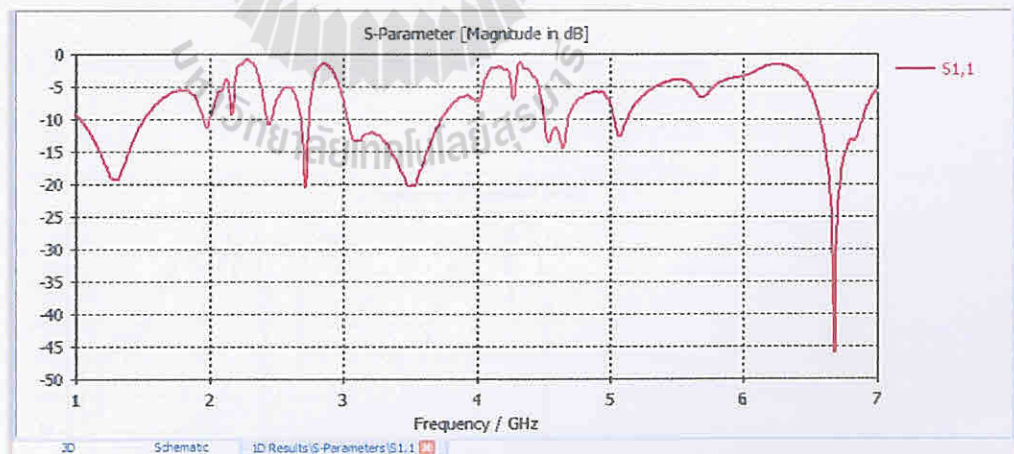
4.3.3.3 ผลของการปรับความยาวของไมโครสตริป (WD) = 50 mm



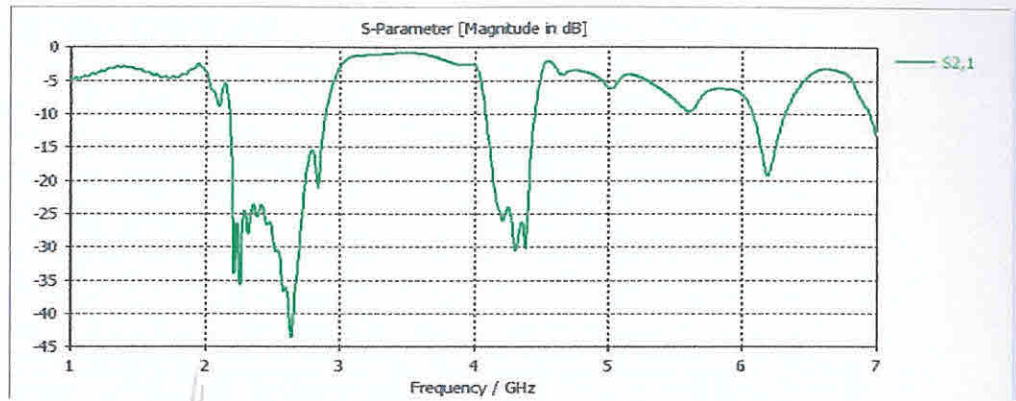
รูปที่ 4.36 ผลของการปรับความยาวของไมโครสตริป (WD) = 50 mm

สำหรับผลการปรับค่าพารามิเตอร์ WD คือ ค่า WD ที่มีค่าดีที่สุดคือ 49 mm เนื่องจากที่ WD ที่ค่า 49 mm ทำให้อิมพีแดนซ์ที่ 50 โอห์มแมทช์กันมากที่สุด ดังรูปที่ 4.35

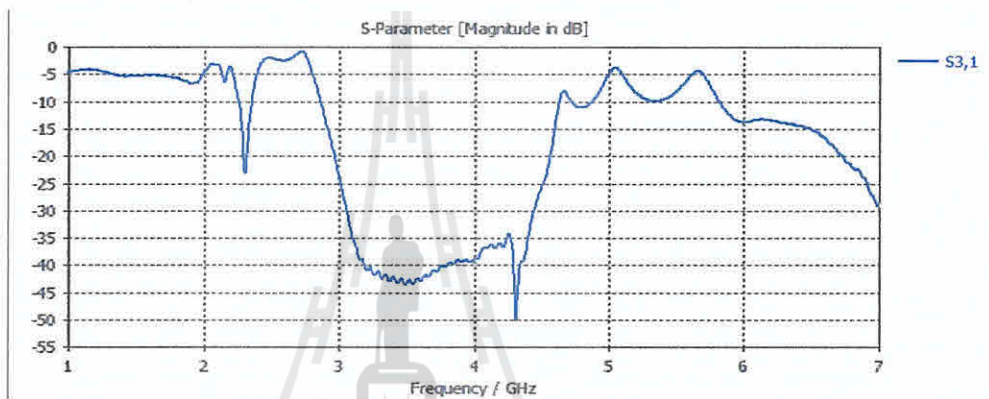
4.3.3.4 ผลของการปรับความกว้างของ strip line (WS) = 1 mm



รูปที่ 4.37 ค่าพารามิเตอร์ S11

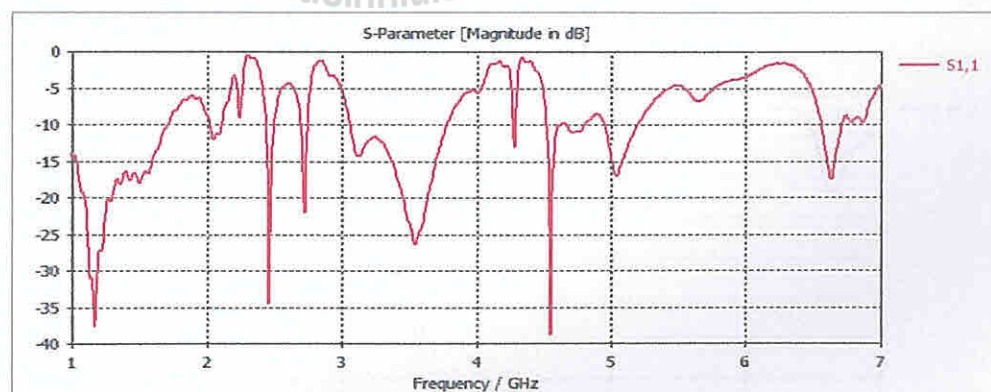


รูปที่ 4.38 ค่าพารามิเตอร์ S21

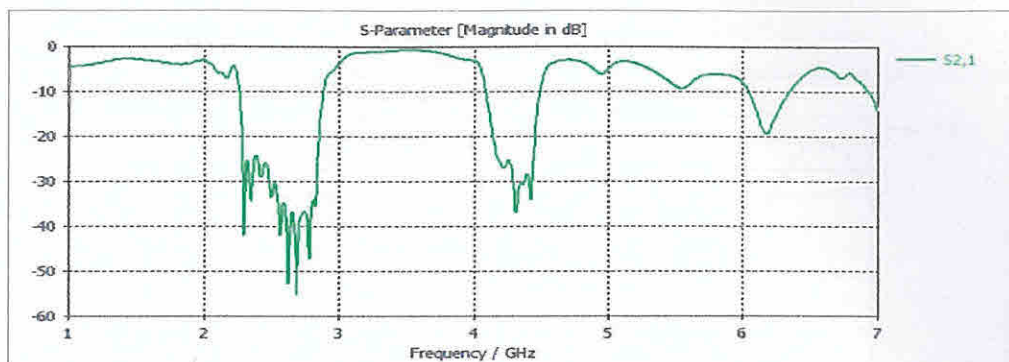


รูปที่ 4.39 ค่าพารามิเตอร์ S31

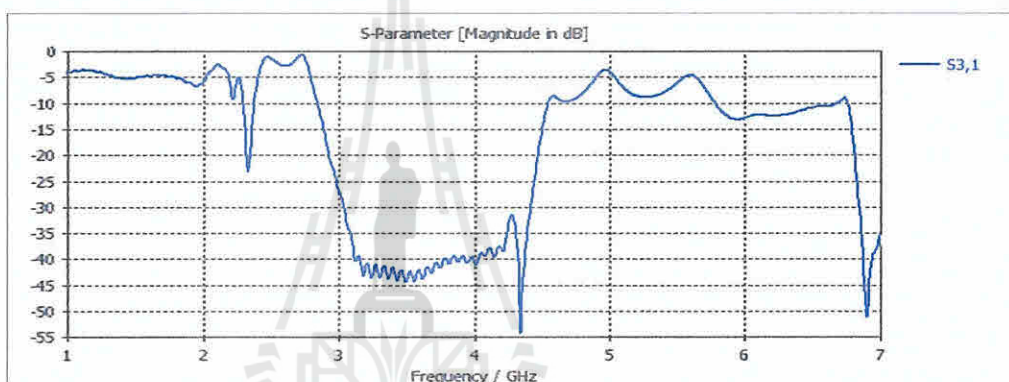
4.3.3.5 ผลของการปรับความกว้างของ strip line (WS) = 2 mm



รูปที่ 4.40 ค่าพารามิเตอร์ S11

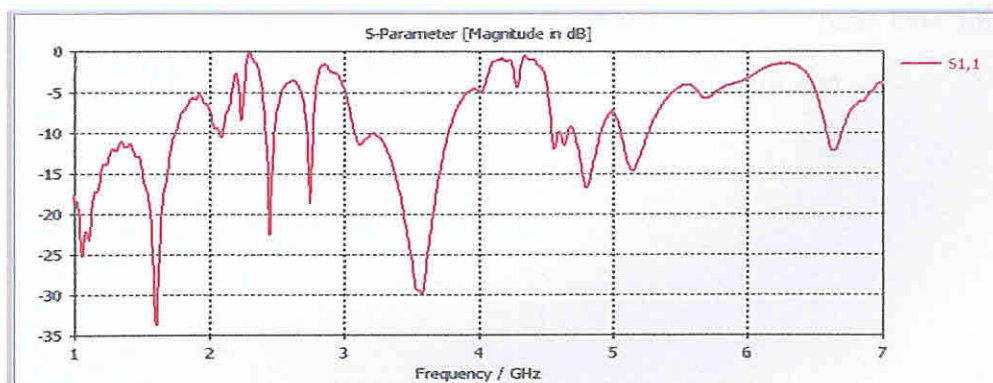


รูปที่ 4.41 ค่าพารามิเตอร์ S21

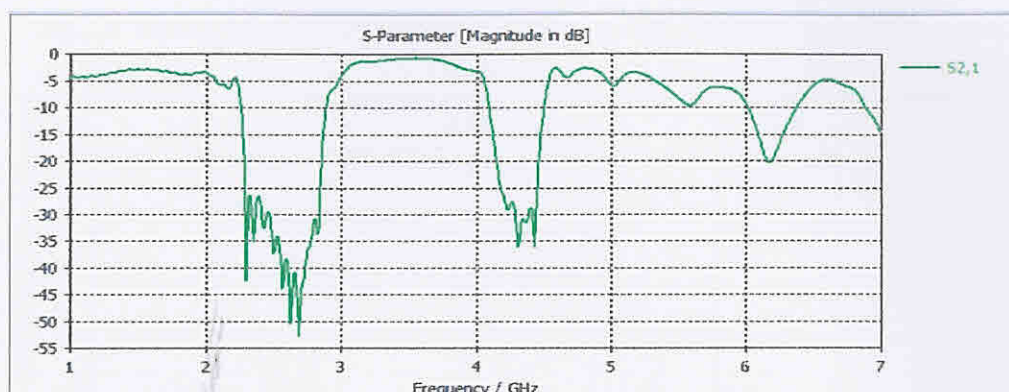


รูปที่ 4.42 ค่าพารามิเตอร์ S31

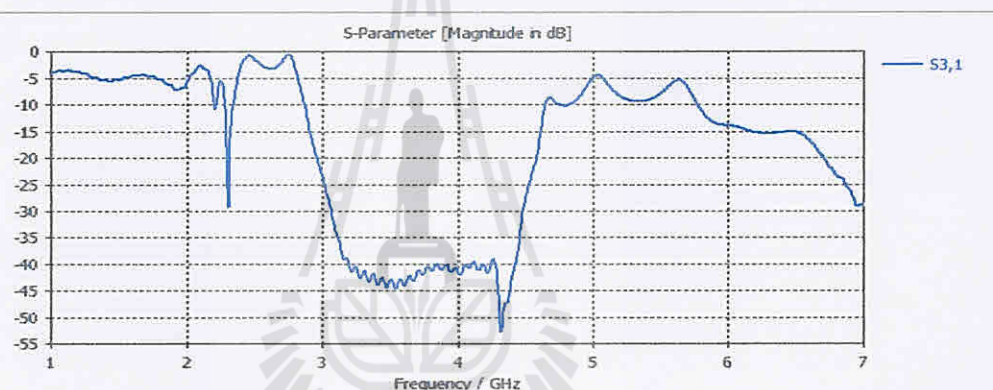
4.3.3.6 ผลของการปรับความกว้างของ strip line (WS) = 3 mm



รูปที่ 4.43 ค่าพารามิเตอร์ S11



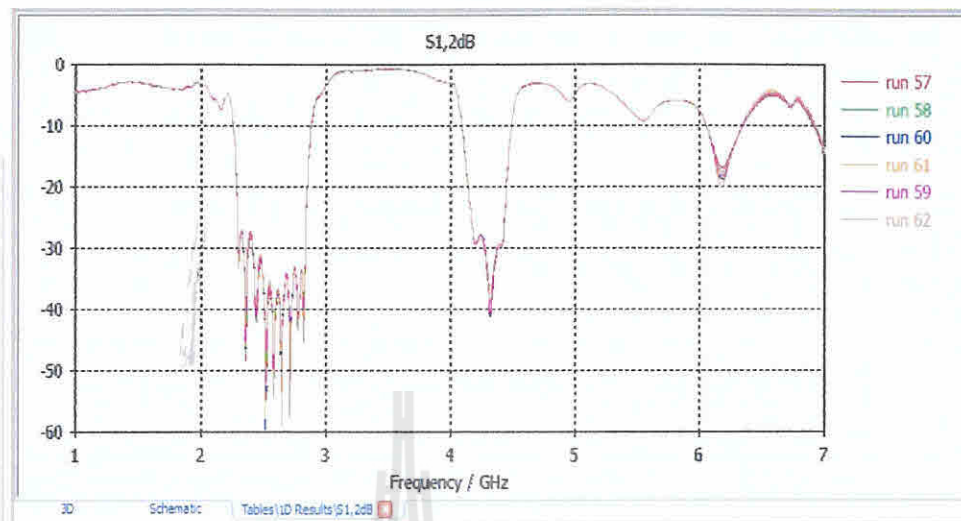
รูปที่ 4.44 ค่าพารามิเตอร์ S21



รูปที่ 4.45 ค่าพารามิเตอร์ S31

สำหรับผลการปรับค่าพารามิเตอร์ WS คือ ค่า WS ที่ดีที่สุดคือเท่ากับ 2 ที่ได้กราฟที่อิมพีแดนซ์แมทซ์ที่ 50 โอห์มมากที่สุด และพิจารณาที่ S21 และ S1 ค่า pass band filter มีค่าที่ใกล้เคียง 3-4 GHz และ 4.5-5.5 GHz มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.41 และรูปที่ 4.42

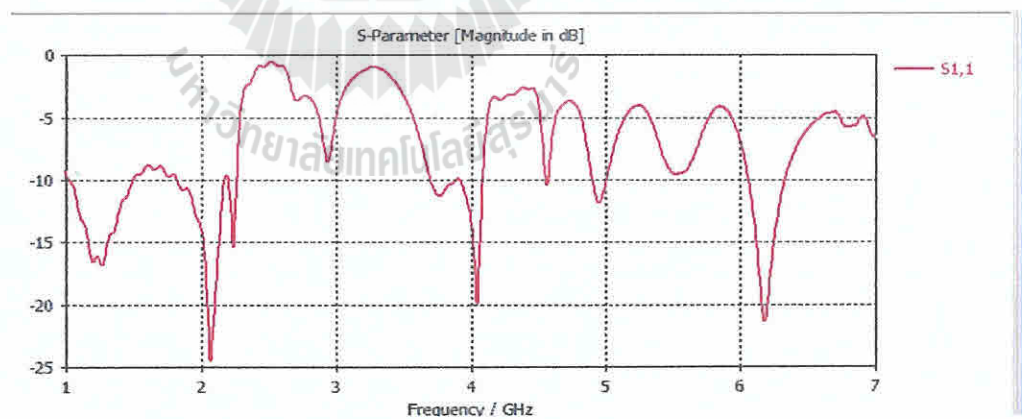
4.3.3.7 ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่1(LY)



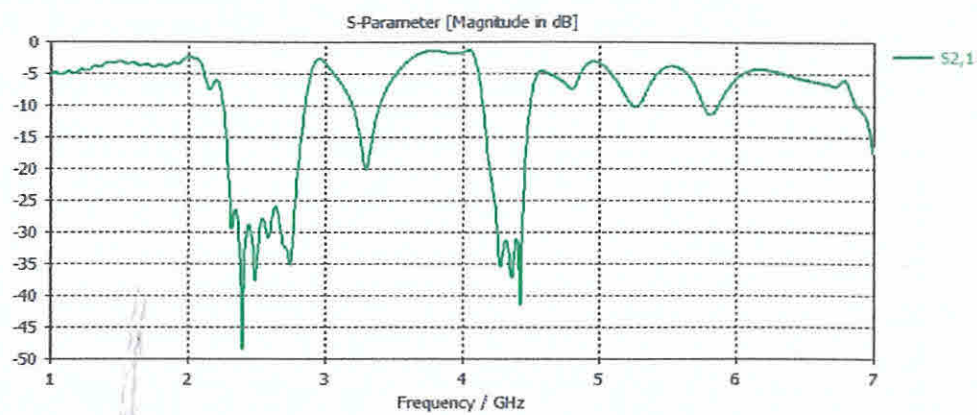
รูปที่ 4.46 ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่1(LY)

สำหรับผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่1(LY)กราฟที่ออกมาคือ ต่อให้เพิ่มค่าหรือลดค่า LY จะไม่มีผลกับกราฟเลย ดังรูปที่ 4.46

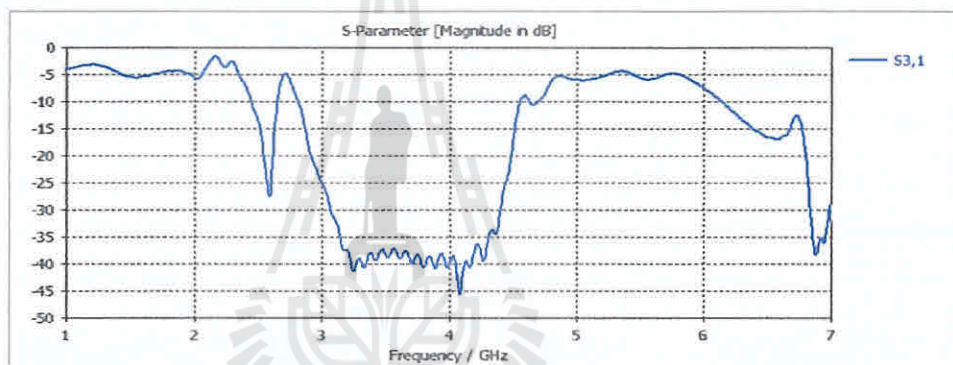
4.3.3.8 ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่2(LY2) = 5 mm



รูปที่ 4.47 ค่าพารามิเตอร์ S11

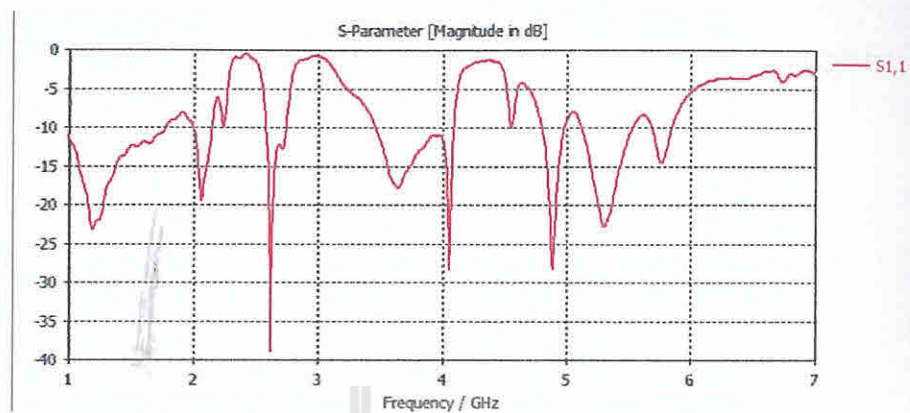


รูปที่ 4.48 ค่าพารามิเตอร์ S21

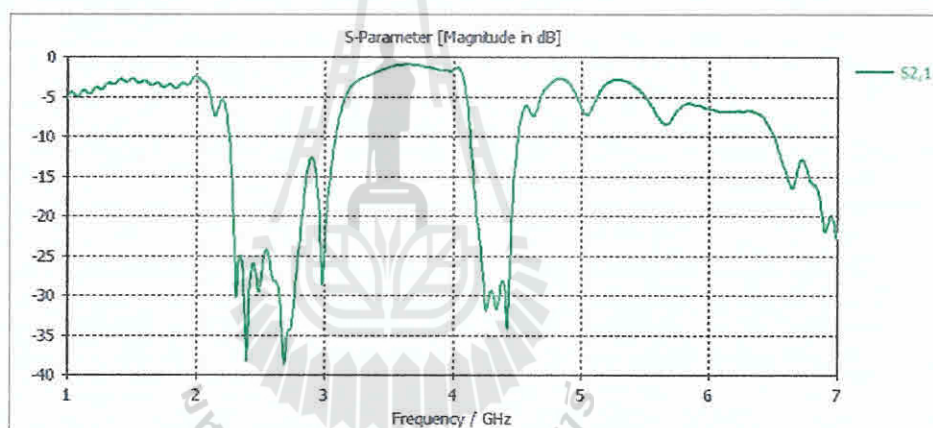


รูปที่ 4.49 ค่าพารามิเตอร์ S31

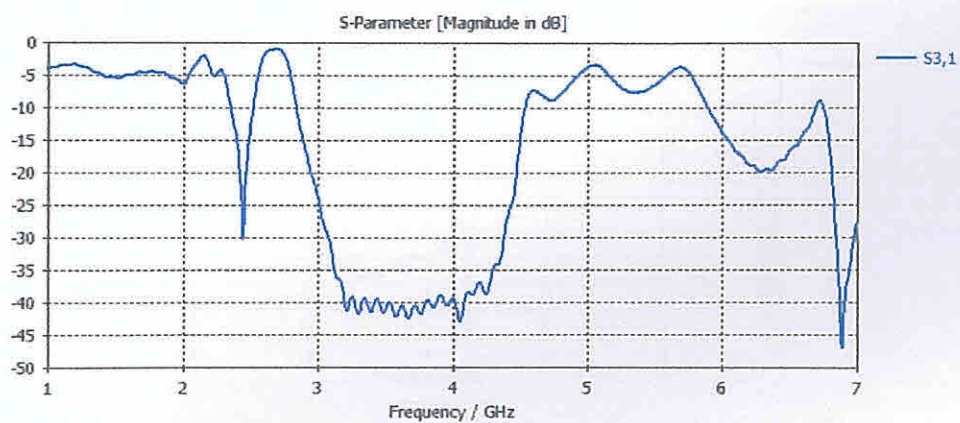
4.3.3.9 ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่2 (LY2) = 10 mm



รูปที่ 4.50 ค่าพารามิเตอร์ S11

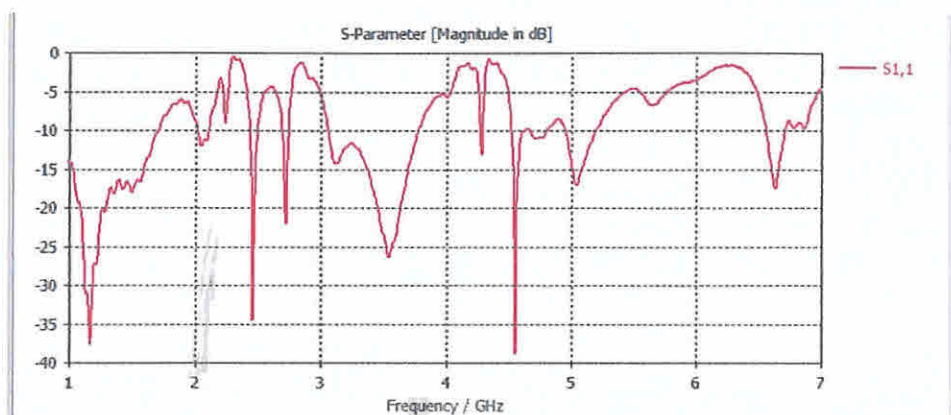


รูปที่ 4.51 ค่าพารามิเตอร์ S21

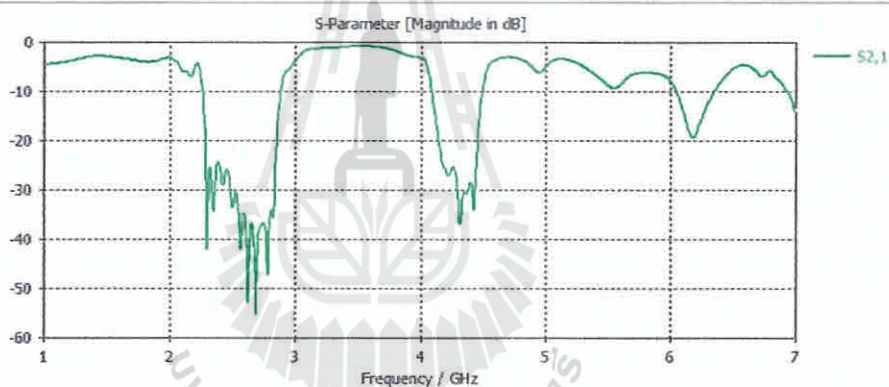


รูปที่ 4.52 ค่าพารามิเตอร์ S31

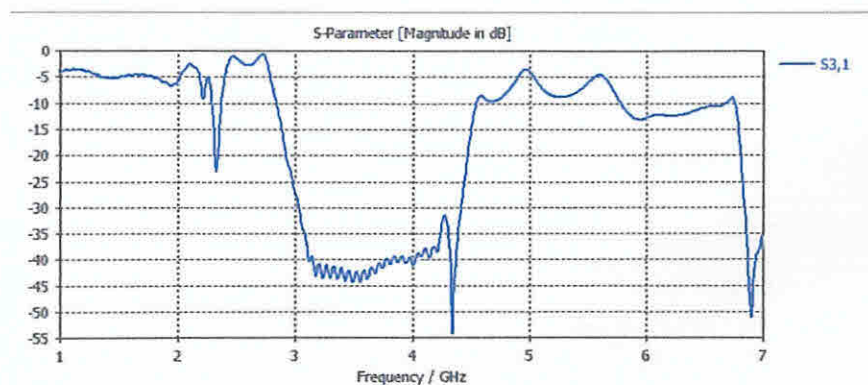
4.3.3.10 ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่2(LY2) = 15 mm



รูปที่ 4.53 ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่2(LY2) = 15 mm



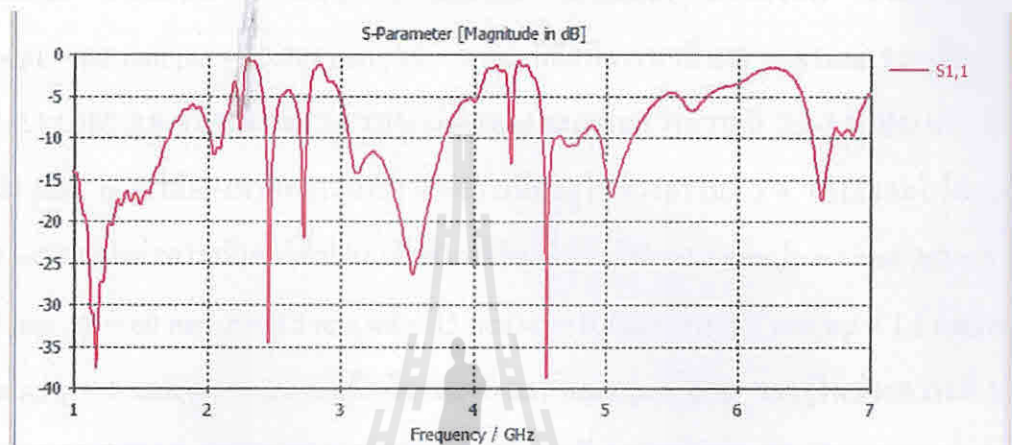
รูปที่ 4.54 ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่2(LY2) = 15 mm



รูปที่ 4.55 ผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่2(LY2) = 15

สำหรับผลของการปรับความยาวของ strip line ช่วงที่2(LY2) ค่าที่ทำให้กราฟออกมาใกล้เคียงความต้องการที่สุดคือ $LY = 15 \text{ mm}$ ดังรูปที่ 4.53 รูปที่ 4.54 และรูปที่ 4.55

กราฟแสดงผลค่าที่มีความใกล้เคียงมากที่สุดที่เราต้องการ คือ ที่ความถี่ 3-4 GHz และ 4.5-5.5 GHz ดังรูปที่ 4.56



รูปที่ 4.56 กราฟที่มีค่าที่ใกล้เคียงความต้องการที่สุด (พิจารณาที่ S11)

4.4 สรุป

จากการทำการจำลองผล จึงได้ค่าค่าที่ดีที่สุดในแต่ละพารามิเตอร์ที่จะทำให้กราฟออกมาใกล้เคียงความต้องการของเรามากที่สุด ที่ความถี่ 3-4 GHz และ 4.5-5.5 GHz นั้นก็คือให้ผ่านที่ความถี่ 3-4 GHz ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับแล้วได้ค่าใกล้เคียงที่สุด คือ $h = 1.6$ mm, $lp = 4.5$ mm, $lp2 = 8$ mm, $ls = 2$ mm, $lts = 70$ mm, $r = 0.1$ mm, $wd = 20$ mm, $wl = 2$ mm, $wl1 = 1$ mm, $wp = 0.4$ mm, $wp1 = 0.5$ mm, $wr = 10.284$ mm, $wtr = 2$ mm ก็คือพิจารณาที่ S21 pass band จะอยู่ในช่วงความถี่ 1-2.1 GHz, 2.8-4 GHz และ 4.5-7 GHz stop band จะอยู่ในช่วงความถี่ 2.2-2.8 GHz และ 4-4.5 GHz ซึ่ง pass band ได้ตรงตามความถี่ที่เราต้องการคืออยู่ในช่วงความถี่ 3-4 GHz และให้ผ่านที่ความถี่ 4.5-5.5 GHz ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับแล้วที่ใกล้เคียงที่สุด คือ $h = 1.6$ mm, $lp = 1$ mm, $lp2 = 5$ mm, $ls = 3$ mm, $lts = 60$ mm, $r = 0.5$ mm, $wd = 15$ mm, $wl = 0.5$ mm, $wl1 = 1$ mm, $wp = 1.5$ mm, $wp1 = 0.1$ mm, $wr = 8$ mm, $wtr = 6$ mm ก็คือพิจารณาที่ S21 band pass filter จะอยู่ในช่วงความถี่ 1-2.8 GHz และ 4.2-5.5 GHz band stop band จะอยู่ในช่วงความถี่ 2.8-4.2 GHz และ 5.5-7 GHz ซึ่ง band pass filter ได้ตรงตามความถี่ที่เราต้องการคืออยู่ในช่วงความถี่ใกล้เคียง 4.5-5.5 GHz

สำหรับการจำลองนำชิ้นงานทั้งสองความถี่มาประกอบเข้าด้วยกันค่าที่ใกล้เคียงที่สุด คือ $LY = 15$ mm, $LY2 = 15$ mm, $WD = 49$ mm, $WS1 = 2$ mm, $WS2 = 2$ mm, $WS3 = 2$ mm, $WS4 = 2$ mm, $WT = 5$ mm จากการพิจารณากราฟจากการเปลี่ยนแปลงของ พารามิเตอร์พบว่า กราฟจะไม่แปรผกผัน หรือแปรตามการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ใดพารามิเตอร์หนึ่ง ซึ่งหมายความว่า ถ้าเราเพิ่มค่าที่พารามิเตอร์ใดพารามิเตอร์หนึ่งแล้ว ค่าดีขึ้นไม่ได้แปลว่าถ้าเราเพิ่มค่าไปอีกจะทำให้กราฟออกมาดีขึ้น เพราะกราฟสามารถเปลี่ยนได้ตลอดเวลาแม้ในจำนวนพารามิเตอร์ในหน่วยที่น้อยนิด

บทที่ 5

การสร้างชิ้นงานและผลการวัดผลการทดลอง

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการนำทฤษฎีและหลักการทั้งหมดที่กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมาช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญของการมัลติเพล็กซ์เซอร์ของสายอากาศ ในโครงสร้างตัวมัลติเพล็กซ์เซอร์ โดยใช้ความถี่ในย่านความถี่ไมโครเวฟ โดยจะอธิบายถึงการสร้างตัวมัลติเพล็กซ์เซอร์ เพื่อให้ผ่านความถี่ที่แบ่งออกเป็น สองแบนด์พาสที่เรากำหนดขึ้นจากนั้นนำตัวมัลติเพล็กซ์เซอร์ มาป้อนคลื่นความถี่ เพื่อจะได้ ค่าความถี่ที่เราต้องการให้ผ่าน เป็นต้น

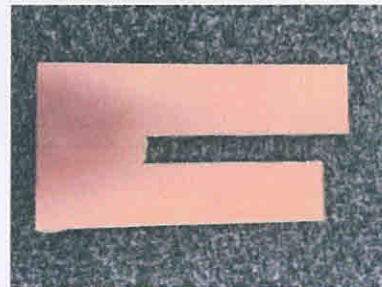
5.2 วิธีการสร้างมัลติเพล็กซ์เซอร์ต้นแบบ

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกการมัลติเพล็กซ์เซอร์ ที่แยกคลื่นความถี่ ออกเป็น 2 band pass เพื่อใช้ความถี่ที่ป้อนค่าความถี่ 1-7 GHz และต้องมีความถี่ออก 2 band band1 กำหนดความถี่ 3-4 GHz band2 กำหนดความถี่ที่ออก 4.5-5.5 GHz โดยใช้แผ่นไมโครสตริปชนิด FR4 และ EBG ซึ่งมีความหนา 1.6 มิลลิเมตร และมีค่าสภาพยอม 3.2

จากผลการจำลอง ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST ที่ได้กล่าวแล้วในบทที่สี่ จนได้ขนาดและรูปแบบ ของตัวมัลติเพล็กซ์เซอร์ตามที่ต้องการ โดยผลการจำลองจะมีนามสกุลแฟ้มข้อมูลคือ CST ซึ่งจะต้องนำไฟล์ออก (Export file) จากโปรแกรมสำเร็จรูป CST และบันทึกนามสกุลแฟ้มข้อมูลที่ได้ คือแฟ้มข้อมูลนามสกุล DXF เมื่อได้แฟ้มข้อมูลแล้วก็นำไปตัดสติ๊กเกอร์ โดยใช้โปรแกรม CoreIDRAW 9 เพื่อนำไปสร้างตัวมัลติเพล็กซ์เซอร์ต้นแบบ

5.3 อุปกรณ์

1. แผ่น FR-4 1.6 mm



รูปที่ 5.1 แผ่น FR-4 ที่ตัดตามต้องการแล้ว

2. แผ่น BEG 1.6 mm



รูปที่ 5.2 แผ่น BEG ที่ตัดตามต้องการแล้ว

3. น้ำยาคัดปริน



รูปที่ 5.3 น้ำยาคัดลายแผ่นปริน

4. แผ่นใสที่ถ่ายเอกสารได้



รูปที่ 5.4 แผ่นใสที่ใช้ถ่ายเอกสารได้

5. Connector



รูปที่ 5.5 ตัว Connector

6. หลอดไฟแบล็กไลท์



รูปที่ 5.6 หลอดไฟแบล็กไลท์

7. ดอกสว่าน



รูปที่ 5.7 ดอกสว่าน

8. น้ำยา Developer (โซเดียมคาร์บอเนต)



รูปที่ 5.8 ผงโซเดียม

10. แผ่นฟิล์ม



รูปที่ 5.9 แผ่นฟิล์ม

5.3.1 วิธีการกัดแผ่น (PCB) ซึ่งเหมาะกับการกัดแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีขนาดเล็ก และมีความละเอียดมาก มีวิธีการดังนี้

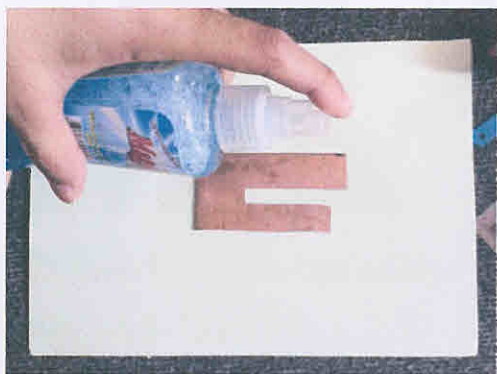
วิธีการทำ PCB โดยใช้ dry film เป็นวิธีการที่รวดเร็ว และสามารถทำ PCB ที่มีเส้นขนาดเล็กๆ ได้ Dry film เป็นฟิล์มที่ไวต่อแสง UV สามารถทำงานที่มีแสงไฟ ในห้องปกติได้ แต่ต้องเป็นไฟเพดานนะ ไม่ใช่คอมไฟบนโต๊ะ แต่ก็ไม่ควรทิ้งไว้นานๆจะทำให้ฟิล์มเสียได้

ขั้นตอนที่ 1 ตัด PCB ตามขนาดที่ต้องการนำมาขัดด้วยใยขัด ให้สะอาดแล้วนำไปล้างด้วยน้ำยาล้างจานแล้วเช็ดให้แห้ง ดังแสดงในรูปที่ 5.10



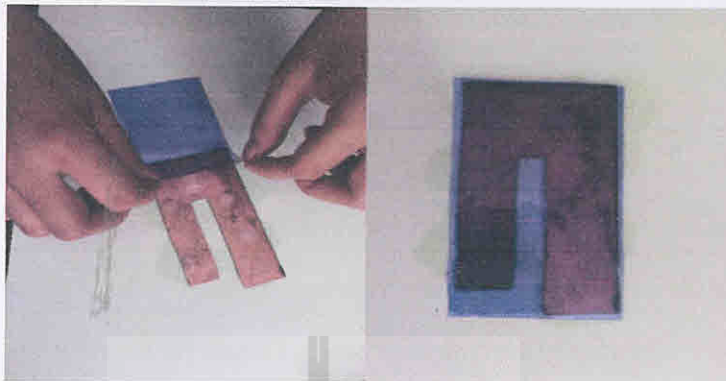
รูปที่ 5.10 การตัด PCB ตามขนาดที่ต้องการนำมาขัดด้วยใยขัด ให้สะอาดแล้วนำไปล้างด้วยน้ำยาล้างจานแล้วเช็ดให้แห้ง

ขั้นตอนที่ 2 นำแผ่น PCB มาเช็ดให้แห้งและฉีคน้ำยาเช็ดกระจก ลงฉีดใส่ที่แผ่นชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 เช็ดแห้งแล้ว ฉีคน้ำยา เช็ดกระจก ฉีดใส่ที่แผ่นชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 3 ตัดขนาดของ dry film ให้ใหญ่กว่าชิ้นงานเล็กน้อยนำมาทาบวางบนแผ่นไมโครสตริป (PCB) ดังแสดงในรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 ตัดขนาดของ dry film ให้ใหญ่กว่าชิ้นงานเล็กน้อยนำมาทาบวางบนแผ่นไมโครสตริป

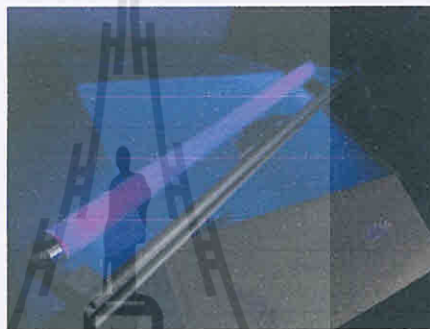
ขั้นตอนที่ 4 นำไปรีด ด้วยเตารีดปรับไฟแก่พอร้อนนิดๆ นำผ้าดิบมาวางทับอีกทีหนึ่งแล้วนำเตารีด มารีคออกแรงกดเล็กน้อย แล้วรีดไปมาให้ทั่ว ดังแสดงในรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 การนำปรีด ด้วยเตารีดปรับไฟแก่พอร้อนนิดๆ นำผ้าดิบมาวางทับอีกทีหนึ่งแล้วนำเตารีด มารีคออกแรงกดเล็กน้อย แล้วรีดไปมาให้ทั่ว

ขั้นตอนที่ 5 เวลาปิด dry film ระวังเรื่องความสะอาดด้วยกรบอย่าให้มีเศษฝุ่น หรือ ฟองอากาศ หากมีฟองอากาศ มากเกินไป ก็ให้ลอกแล้วปิดใหม่ ถ้ามีน้อยใช้เข็มเจาะเอา แล้วรีดให้เรียบอีกครั้งตัดด้านข้างด้านยาว ออกทั้ง 2 ด้าน นำฟิล์มวางทับบนแผ่น PCB แล้วนำกระจกใส มาวางทับอีกทีหนึ่งเพื่อให้เรียบ วางหลอดไฟให้ห่างประมาณ 20 cm ระยะเวลาในการฉายแสง 20 นาที

ขั้นตอนที่ 6 นำหลอดไฟที่ใช้ฉายแสงเป็นหลอดไฟประเภทใดก็ได้ แต่ควรเป็นหลอดที่มีแสง UV (เพราะจะใช้เวลาเร็วกว่ากันเยอะ) เช่นหลอดไฟสำหรับดักยุง, หลอดไฟ black light เป็นต้น หรือหลอดไฟแบบไส้ที่มีความเข้มสูงเช่นหลอด spot light แต่ต้องใช้ขนาด 100 W ถึงจะพอเวลาฉายให้ห่างประมาณ 1 ฟุต ใช้เวลาฉายแสง ประมาณ 20 นาที ดังแสดงในรูปที่ 5.14



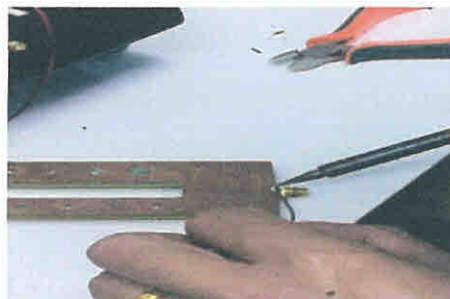
รูปที่ 5.14 การฉายแสงควรเป็นหลอดที่มีแสง UV (เพราะจะใช้เวลาเร็วกว่ากันเยอะ) เช่น หลอดไฟสำหรับดักยุง, หลอดไฟ black light

ขั้นตอนที่ 7 หลังจากนั้นนำแผ่น PCB มาลอกเอาพลาสติกอีกด้านออก แล้วนำไปล้างน้ำยา Developer (โซเดียมคาร์บอเนต) ผสมในอัตราส่วน 5 gm ต่อน้ำ 500 cc (หรือ 10 gm ต่อน้ำ 1 ลิตร) ตรวจสอบดูว่าตรงไหนกรดไม่กัดสังเกตจากสีจะอ่อนกว่าสีอื่น ขนอ่อน ถูบริเวณที่กรดไม่กัดให้ทั่ว ดังแสดงในรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 ขั้นตอนการลอกแผ่นไคร์ฟิล์มด้วยผงโซเดียมก่อนการนำไปกัดด้วยน้ำยากัด เพื่อให้ได้ลายปรินต์ที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 8 เคลือบด้วย Clear Lacquer เพื่อป้องกันทองแดงมองเห็นเมื่อเสร็จขั้นตอนนี้แล้ว จะได้ชิ้นงาน ใส่คอนเนคเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 5.16



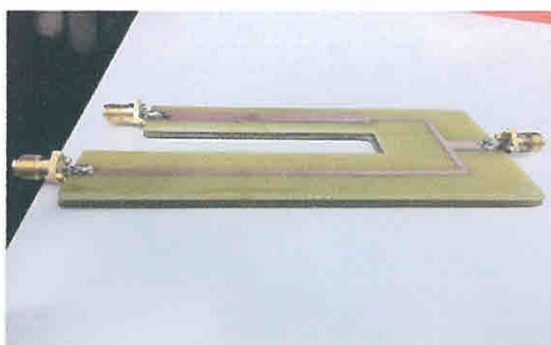
รูปที่ 5.16 ช่วงการบัดกรีเพื่อต่อกับตัวคอนเนคเตอร์

ขั้นตอนที่ 9 จากนั้นทำการนำชิ้นงานมาทาบกันโดยใช้กาวตราช้างในการทำให้ชิ้นงานติดกันตามรูปแบบ ที่เราสร้างขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 ทากาวตราช้างก่อนแล้วนำมาประกบกัน

ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์ตามที่ได้ออกแบบจำลองใน โปรแกรม CST ดังแสดงในรูปที่ 5.18



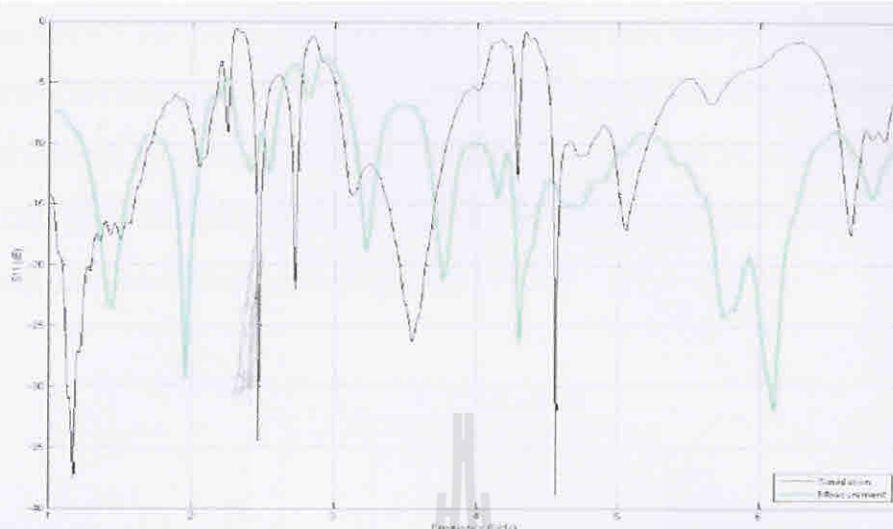
รูปที่ 5.18 ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์

5.4 ผลการวัดทดสอบการทำงานของมัลติเพล็กซ์เซอร์ย่านความถี่ไมโครเวฟ

การวัดทดสอบในรูปกราฟพารามิเตอร์ S11 ,S21 และ S22 เป็นพารามิเตอร์ช่วงความถี่ 3-4 GHz และรูปกราฟพารามิเตอร์ S11 ,S31 และ S33 เป็นพารามิเตอร์ช่วงความถี่ 4.5-5.5 GHz ที่อ้างอิงในการทดสอบว่ามีการแมตช์เกิดขึ้นที่ช่วงเรากำหนดขึ้นในแบบจำลอง โดยที่แบบจำลองของพารามิเตอร์ S11 เป็นช่วง band pass ที่ความถี่ 3-4 GHz และ 4.5-5.5 GHz แบบจำลองของพารามิเตอร์ S21 ผ่าน band Pass ช่วงความถี่ 3-4 GHz และ แบบจำลองของพารามิเตอร์ S31 ต้องผ่าน band pass ที่ความถี่ 4.5-5.5 GHz ซึ่งผลการวัดการทดสอบจะมีความสอดคล้องกันกับผลการจำลอง (เส้นสีดำคือผลการจำลองที่โปรแกรม CST และเส้นสีเขียวคือผลจากการวัดทดสอบ)

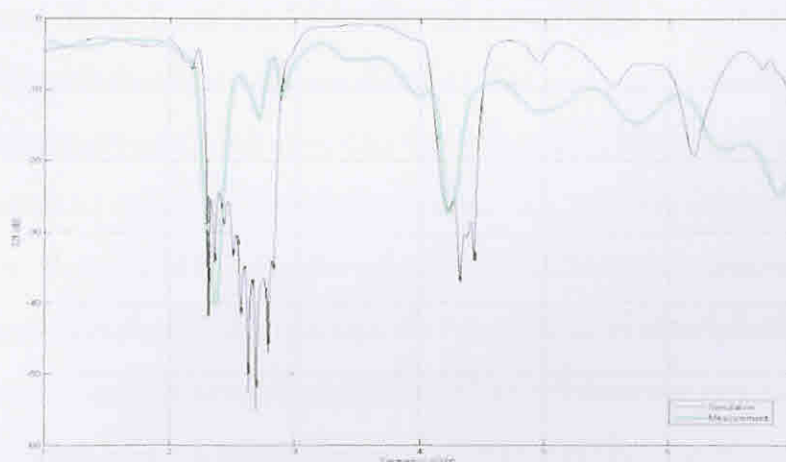
5.4.1 ให้ผ่านที่ความถี่ 3-4 GHz

พิจารณาที่พารามิเตอร์ S11 ให้ผ่านที่ความถี่ 3-4 GHz โดยผลการวัดทดสอบมีช่วงให้ band pass เป็นการวัดค่าจากการทำงานของพารามิเตอร์ S11 โดย band pass ที่เราต้องการจากชิ้นงานจริงกับกราฟที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม CST ซึ่งจากชิ้นงานจริงได้ค่าการทำงานของพารามิเตอร์ S11 ที่ช่วงความถี่ 3-5 GHz ส่วนจากการจำลองในโปรแกรม CST ที่ S11 มีช่วง band pass ที่ความถี่ 3-4 GHz ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่ากราฟมีการผิดเพี้ยนไปอันเนื่องมาจากการคำนวณหาขนาดของเส้นสตริปที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างความถี่ 3-4 GHz และ 4.5-5.5 GHz นั้นยังไม่ได้ค่าที่สมบูรณ์ที่สุดและในการจำลองค่าในโปรแกรม CST นั้นเราไม่ได้กำหนดให้ในตัวชิ้นงานมี connector แต่ในชิ้นงานจริงนั้นเราต้องใช้ตัว connector ในการเชื่อมต่อกับสายป้อนความถี่และสายวัดสัญญาณเข้าเครื่องวัดดังแสดงในรูปที่ 5.19



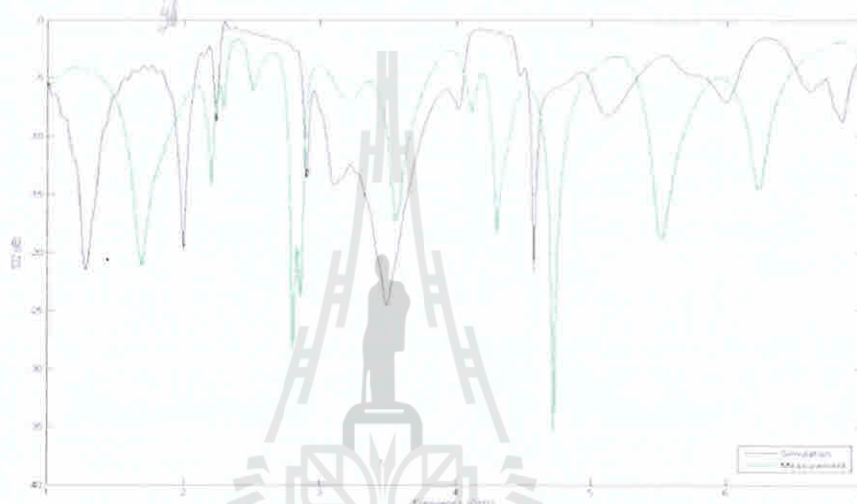
รูปที่ 5.19 ผลจากการวัดพารามิเตอร์ S11 มีช่วง band pass ที่ความถี่ 3-4 GHz

พิจารณาที่พารามิเตอร์ S21 ให้ผ่านที่ความถี่ 3-4 GHz โดยผลการวัดทดสอบมีช่วง band pass เป็นการวัดค่าการทำงานของพารามิเตอร์ S21 โดย band pass ที่เราต้องการจากชิ้นงานจริงกับกราฟที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม CST ซึ่งได้ค่าการทำงานของพารามิเตอร์ S21 ที่ใดจากชิ้นงานจริงมี band pass อยู่ที่ช่วงความถี่ 2.9-3.9 GHz ส่วนจากการจำลองในโปรแกรม CST ที่ S21 มีช่วง band pass ที่ความถี่ 3-4 GHz ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบทั้งสองกราฟจะเห็นได้ว่ากราฟเป็นไปในแนวทางเดียวกันอาจจะแตกต่างกันบ้างแต่เพียงเล็กน้อยดังแสดงในรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 ผลจากการวัดพารามิเตอร์ S21 มีช่วง band Pass ที่ช่วงความถี่ 3-4 GHz

พิจารณาที่พารามิเตอร์ S22 ให้ผ่านที่ความถี่ 3-4 GHz โดยผลการวัดทดสอบมีช่วง band pass เป็นการวัดค่าการทำงานของพารามิเตอร์ S22 โดย band pass ที่เราต้องการจากชิ้นงานจริงกับกราฟที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม CST ซึ่งจากชิ้นงานจริงได้ค่าการทำงานของพารามิเตอร์ S22 ที่ช่วงความถี่ 3.2-4 GHz ส่วนจากการจำลองในโปรแกรม CST ที่ S22 มีช่วง band pass ที่ความถี่ 3-4 GHz ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบทั้งสองกราฟจะเห็นได้ว่ากราฟเป็นไปในแนวทางเดียวกันอาจจะแตกต่างกันบ้างแต่เพียงเล็กน้อยดังแสดงในรูปที่ 5.21

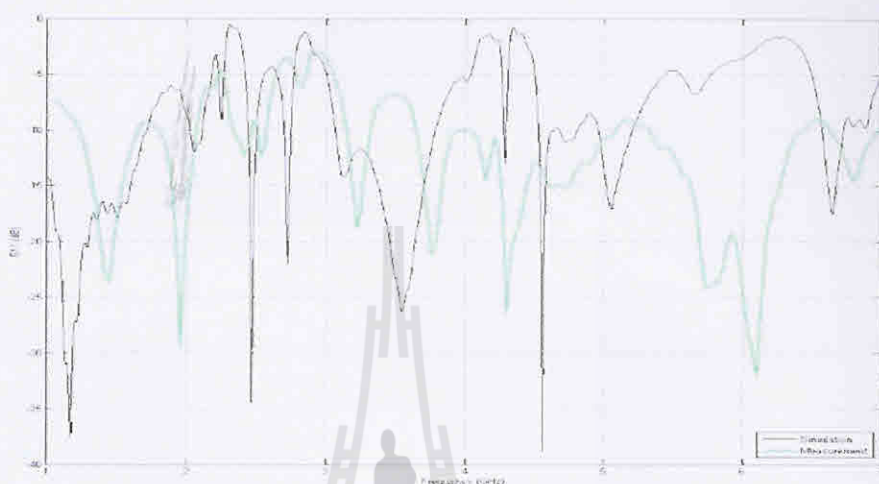


รูปที่ 5.21 ผลจากการวัดพารามิเตอร์ S22 มีช่วง band pass ที่ช่วงความถี่ 3-4 GHz

5.4.2 ให้ผ่านที่ความถี่ 4.5-5.5 GHz

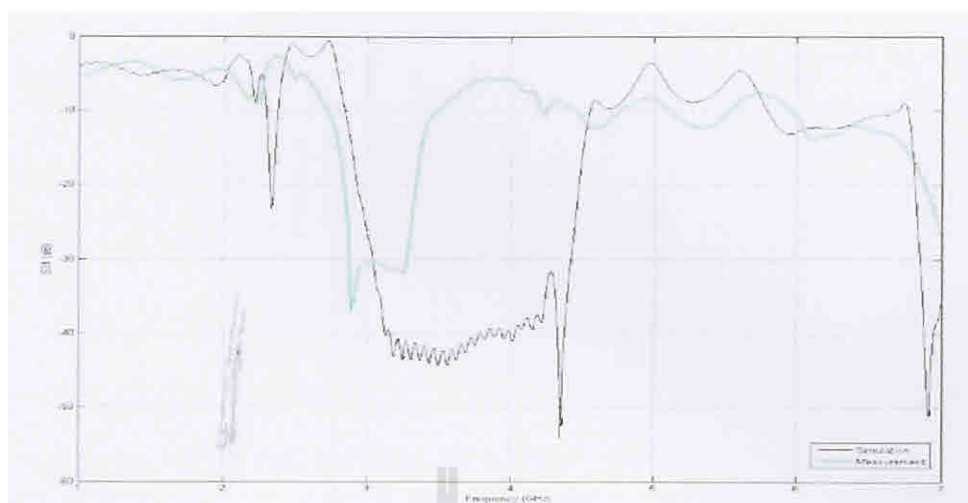
พิจารณาที่พารามิเตอร์ S11 ให้ผ่านที่ความถี่ 4.5-5.5 GHz โดยผลการวัดทดสอบมีช่วง band pass เป็นการวัดค่าการทำงานของพารามิเตอร์ S11 โดย band pass ที่เราต้องการจากชิ้นงานจริงกับกราฟที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม CST ซึ่งจากชิ้นงานจริงได้ค่าการทำงานของพารามิเตอร์ S11 ที่ช่วงความถี่ 4-5 GHz ส่วนจากการจำลองในโปรแกรม CST ที่ S11 มีช่วง band pass ที่ความถี่ 4.5-5.5 GHz ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่ากราฟมีการผิดเพี้ยนไปอันเนื่องมาจากผลของการจำลองชิ้นงานตั้งแต่แรกมีค่าผิดเพี้ยนตั้งแต่เริ่มต้นทำให้เมื่อนำชิ้นงานมาประกอบเข้าด้วยกันจึงเกิดการผิดเพี้ยนมากขึ้นรวมกับการคำนวณหาขนาดของเส้นสกริปที่เราใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างความถี่ 3-4 GHz และ 4.5-5.5 GHz นั้นยังไม่ได้ค่าที่สมบูรณ์ที่สุดและในการจำลองค่าในโปรแกรม CST นั้นเราไม่ได้

กำหนดให้ในตัวชิ้นงานมี connector แต่ในชิ้นงานจริงนั้นเราต้องใช้ตัว connector ในการเชื่อมต่อกับสายป้อนความถี่และสายวัดสัญญาณเข้าเครื่องวัดดังแสดงในรูปที่ 5.22



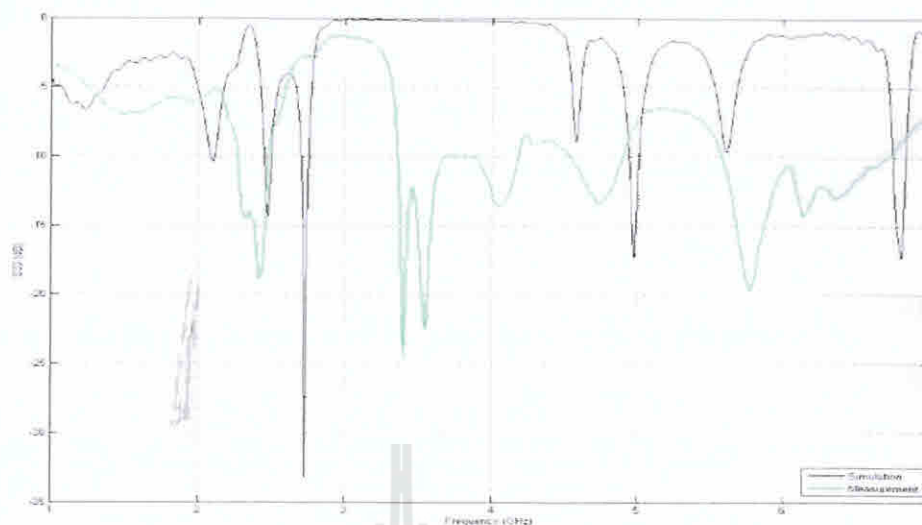
รูปที่ 5.22 ผลจากการวัดพารามิเตอร์ S11 มีช่วง band pass ที่ความถี่ 4.5-5.5 GHz

พิจารณาที่พารามิเตอร์ S31 ให้ผ่านที่ความถี่ 4.5-5.5 GHz ผลการวัดทดสอบมีช่วง band pass เป็นการวัดค่าการทำงานของพารามิเตอร์ S31 โดย band pass ที่เราต้องการจากชิ้นงานจริงกับกราฟที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม CST ซึ่งจากชิ้นงานจริงได้ค่าการทำงานของพารามิเตอร์ S31 ที่ช่วงความถี่ 4.6-5.7 GHz ส่วนค่าจากการจำลองในโปรแกรม CST ที่ S31 มีช่วง band pass ที่ความถี่ 4.5-5.5 GHz ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบทั้งสองกราฟจะเห็นได้ว่ากราฟเป็นไปในแนวทางเดียวกัน อาจจะแตกต่างกันบ้างแต่เพียงเล็กน้อยดังแสดงในรูปที่ 5.23



รูปที่ 5.23 ผลจากการวัดพารามิเตอร์ S31 มีช่วง band pass ที่ช่วงความถี่ 4.5-5.5 GHz

พิจารณาที่พารามิเตอร์ S33 ให้ผ่านที่ความถี่ 4.5-5.5 GHz ผลการวัดทดสอบมีช่วง band pass เป็นการวัดค่าการทำงานของพารามิเตอร์ S33 ที่ band pass ที่เราต้องการจากชิ้นงานจริงกับกราฟที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม CST ซึ่งจากชิ้นงานจริงได้ค่าการทำงานของพารามิเตอร์ S33 ที่ช่วงความถี่ 4.2-5.1 GHz ส่วนจากการจำลองในโปรแกรม CST ที่ S33 มีช่วง band pass ที่ความถี่ 4.5-5.5 GHz ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่ากราฟมีการผิดเพี้ยนไปอันเนื่องมาจากผลของการจำลองชิ้นงานตั้งแต่แรกมีค่าผิดเพี้ยนตั้งแต่เริ่มต้นทำให้เมื่อนำชิ้นงานมาประกอบเข้าด้วยกันจึงเกิดการผิดเพี้ยนมากขึ้นรวมกับการคำนวณหาขนาดของเส้นสตริป ที่เราใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างความถี่ 3-4 GHz และ 4.5-5.5 GHz นั้นยังไม่ได้ค่าที่สมบูรณ์ที่สุดและในการจำลองค่าในโปรแกรม CST นั้นเราไม่ได้กำหนดให้ในตัวชิ้นงานมี connector แต่ในชิ้นงานจริงนั้นเราต้องใช้ตัว connector ในการเชื่อมต่อกับสายป้อนความถี่และสายวัดสัญญาณเข้าเครื่องวัดดังแสดงในรูปที่ 5.24



รูปที่ 5.24 ผลจากการวัดพารามิเตอร์ S33 มีช่วง band pass ที่ช่วงความถี่ 4.5-5.5 GHz

5.5 สรุป

เมื่อพิจารณารูปกราฟที่ได้จากการวัดชิ้นงานจริง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับรูปกราฟที่ได้จากการจำลองผลจากโปรแกรม CST พบว่าผลกราฟเป็นไปในแนวทางทางเดียวกันมีความคล้ายเคียงกันอยู่พอสมควร แต่กราฟที่ได้จากการวัดชิ้นงานจริงจะไม่เหมือนกันทุกประการกับกราฟที่ได้จากการจำลองผลจาก CST เนื่องจากในโปรแกรม CST เราจำลองให้ชิ้นงานแนบกันสนิท แต่ในชิ้นงานจริง ชิ้นงานจะไม่สามารถแนบสนิทกันได้ จึงทำให้เกิดช่องอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างชิ้นงาน EBG และแผ่น FR-4 ซึ่งตรงนี้จะมีผลทำให้กราฟเกิดเพี้ยนไปได้ อีกอย่างในโปรแกรม CST เราจำลองให้ชิ้นงานที่มีขนาดในหน่วยมิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กพอสมควร ดังนั้นในระหว่างการทำตัวชิ้นงาน หรือการกัดลายจึงมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้สูง และข้อสุดท้ายเกิดจากสภาพแวดล้อมระหว่างที่ทำการวัด การป้อนความถี่โดยใช้สายป้อนมี (Loss) จึงทำให้เกิดการเลื่อนตำแหน่งช่วงความถี่จากที่เราจำลองไว้

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลโครงการ

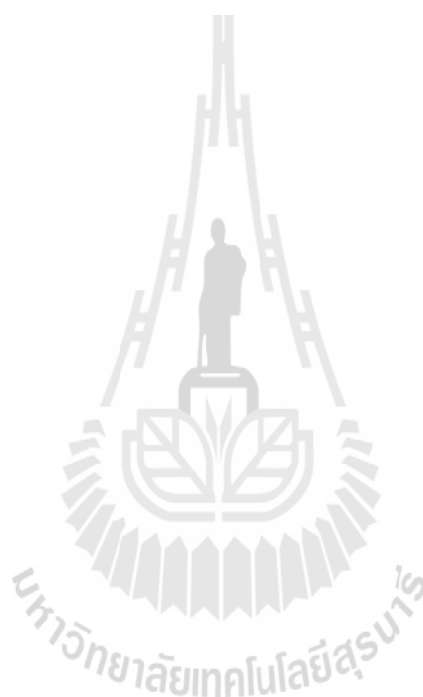
โครงการชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาการออกแบบการมัลติเพล็กซ์เซอร์ในย่านความถี่ไมโครเวฟ โดยใช้ช่องว่างแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทำการออกแบบและสร้างอุปกรณ์แยกส่งสัญญาณแบบ 2 ความถี่ คือที่ความถี่ 3-4GHz และ 4.5-5.5GHz โดยที่ได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในอุปกรณ์ที่จำลองบน โปรแกรม CST Microwave Studio 2009 เพื่อหาค่าที่ใกล้เคียงความถี่ที่เราต้องการมากที่สุด ซึ่งเราจะใช้วิธีการแยกทำแต่ละความถี่ก่อนที่จะนำทั้งสองความถี่มาประกอบเป็นชิ้นงานเดียวกันโดยใช้ strip line ในการเชื่อมต่อกัน ซึ่งเมื่อเรานำชิ้นงานทั้งสองมาประกอบเข้าด้วยกันจะทำให้เกิดการเพี้ยนของกราฟเกิดขึ้นเนื่อง strip line ที่เราเพิ่มขึ้นมา ดังนั้นเราจะต้องทำการปรับขนาดของ strip line เพื่อให้กราฟได้มาดังเดิมเมื่อตอนที่ชิ้นงานแยกกัน

จากการจำลองผลเมื่อได้กราฟค่าใกล้เคียงตามที่เราร้องการแล้วจึงทำการนำชิ้นงานที่ได้จากการจำลองมา ประกอบเป็นชิ้นงานจริง ซึ่งระหว่างการทำชิ้นงานจะมีปัญหาที่ชิ้นงานมีขนาดเล็กด้วยในหน่วยมิลลิเมตร ทำให้เกิดการผิดพลาดได้สูงในการจำลองเราให้ชิ้นงานแนบกันสนิทแต่ในชิ้นงานจริงเราไม่สามารถทำให้ชิ้นงานแนบสนิทกันได้ ในการจำลองเราไม่ได้ใช้ตัว connector แต่ชิ้นงานเราใช้ และปัญหาค้างอื่นๆ จึงทำให้ผลที่ได้การชิ้นงานจริงผิดเพี้ยนไปจากการจำลองผลใน CST บ้าง

6.2 ข้อเสนอแนะ

การสร้างชิ้นงานมัลติเพล็กซ์เซอร์ในย่านความถี่ไมโครเวฟ โดยใช้ช่องว่างแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ต้องใช้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่มีความแม่นยำสูง แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติเราไม่สามารถให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีความคงที่ได้ จึงทำให้ผลการวัดมีความคลาดเคลื่อนไปจากผลที่จำลองในโปรแกรมสำเร็จรูป และเนื่องจากเวลาเราทำการจำลองในโปรแกรมเรากำหนดให้ชิ้นงาน

แบบสนิทกันซึ่งในความเป็นจริงค่อนข้างยากดังนั้นเวลาเราทำการบัดกรีบริเวณ mushroom-like EBGเราจะต้องมีความละเอียดในการทำและต้องใช้ตะกั่วให้น้อยที่สุดเพื่อที่เวลานำทั้งสองชิ้นงานมาประกอบเข้าด้วยกันจะได้แบบสนิทที่สุด



ประวัติผู้จัดทำ



นางสาววิลาสินี สวงวนสิน B5402281 เกิดเมื่อวันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2536 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมจากโรงเรียนมารีย์วิทยา อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2553 ปัจจุบันเป็น นักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



นางสาวเบญจรัตน์ จันจรัส B5411504 เกิดเมื่อวันที่ 26 กันยายน พ.ศ.2535 ภูมิลำเนา อยู่ที่ ตำบลเจดีย์ อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียน ศรีไพทสมันต์ จังหวัดสุรินทร์ เมื่อปี พ.ศ.2553 ปัจจุบันเป็น นักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



นางสาวอภิญญา กลิ่นบุหงา B5413812 เกิดวันที่ 2 เมษายน 2535 ภูมิลำเนา ตำบลหนองโบสถ์ อำเภอนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์ เมื่อปี พ.ศ.2553 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

http://www.ee.eng.cmu.ac.th/OnlineCourses/252341/4_3_3.html

<https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%A5%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B9%80%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B9%87%E0%B8%81%E0%B8%8B%E0%B9%8C%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B9%88%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%A7%E0%B8%A5%E0%B8%B2>

http://www.tatc.ac.th/external_newsblog.php?links=961

http://kampol.htc.ac.th/web1/vc/data_com/multiplex/multiplex%20files/fdm.htm

