

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**การวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศเพื่อการตรวจผลส้ม**  
**Antenna Analysis and Design for Orange Inspection**



รับ  
พ.พ. 37  
2550

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....

83275

11 2 2551

b. 119.66025  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศเพื่อการตรวจผลส้ม  
**Antenna Analysis and Design for Orange Inspection**



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศเพื่อการตรวจผลส้ม

**Antenna Analysis and Design for Orange Inspection**

ผู้จัดทำ

1. นายพีรภัทร ธิติประเสริฐ 47010533
2. นางสาวจิตภา ด้วงน้อย 47010643

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

( ศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์ )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศเพื่อการตรวจผลส้ม  
Antenna Analysis and Design for Orange Inspection

โดย นาย พิรภัทร ธิติประเสริฐ 47010533

นางสาว จิตภา ค้างน้อย 47010643

อาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์

### บทคัดย่อ

โครงการนี้จะวิเคราะห์ ออกแบบและสร้างสายอากาศที่ใช้สำหรับตรวจสอบว่าส้มเขียวหวานที่เรารับประทาน ดีหรือเสียตลอดจนตรวจสอบว่าส้มนั้นมีรสชาติดีหรือไม่ โดยไม่ต้องปอกเปลือก โดยใช้หลักการส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ เข้าไปยังผลส้มเขียวหวาน เพื่อตรวจวัดค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ในส้มที่ดีหรือเสียและรสชาติต่างๆ จะมีค่าแตกต่างกัน ในการตรวจวัดค่าจะได้ผลที่แม่นยำจะต้องใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่สามารถตรวจจับได้ทั้งขนาดและเฟสของคลื่นมีราคาสูง ในโครงการนี้ เราได้ใช้การวัดโพลาไรเซชัน 2 ครั้ง เพื่อตรวจวัดค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ซึ่งทดแทนการตรวจวัดค่าคงตัวไดอิเล็กตริก แบบใช้ทั้งขนาดและเฟสของคลื่น ซึ่งจะช่วยให้ต้นทุนการผลิตต่ำ

ขั้นตอนในการทำโครงการนี้ ภาคเรียนที่หนึ่ง จะตรวจวัดค่าคงตัวไดอิเล็กตริก จากส้มว่าดีหรือเสียและรสชาติต่างๆ โดยใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ จากนั้นจะทำแบบจำลองของส้มเพื่อใช้ในการทดลอง แล้วจะออกแบบสายอากาศที่ใช้ในการตรวจสอบส้ม แล้วนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์จริง และทดสอบโดยใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ เปรียบเทียบกับเครื่องมือที่สร้างขึ้นมาใช้ทดสอบส้ม เพื่อทดสอบความแม่นยำ เมื่อทดสอบจนได้อุปกรณ์ที่มีความแม่นยำแล้ว ในภาคเรียนที่สองจะออกแบบให้สายอากาศที่สร้างขึ้นเพื่อตรวจสอบส้ม นั้น สามารถทำงานได้กับวงจรรวมได้ ซึ่งในการนำไปใช้งานจริง จะเกิดผลของมือของคน ดังนั้นเราจะจำลองแบบของมือคนเข้ามามีกับการทดสอบสายอากาศด้วย เพื่อให้เกิดความแม่นยำมากยิ่งขึ้น และจะนำไปทดสอบเพื่อใช้งานจริงในภาคสนาม

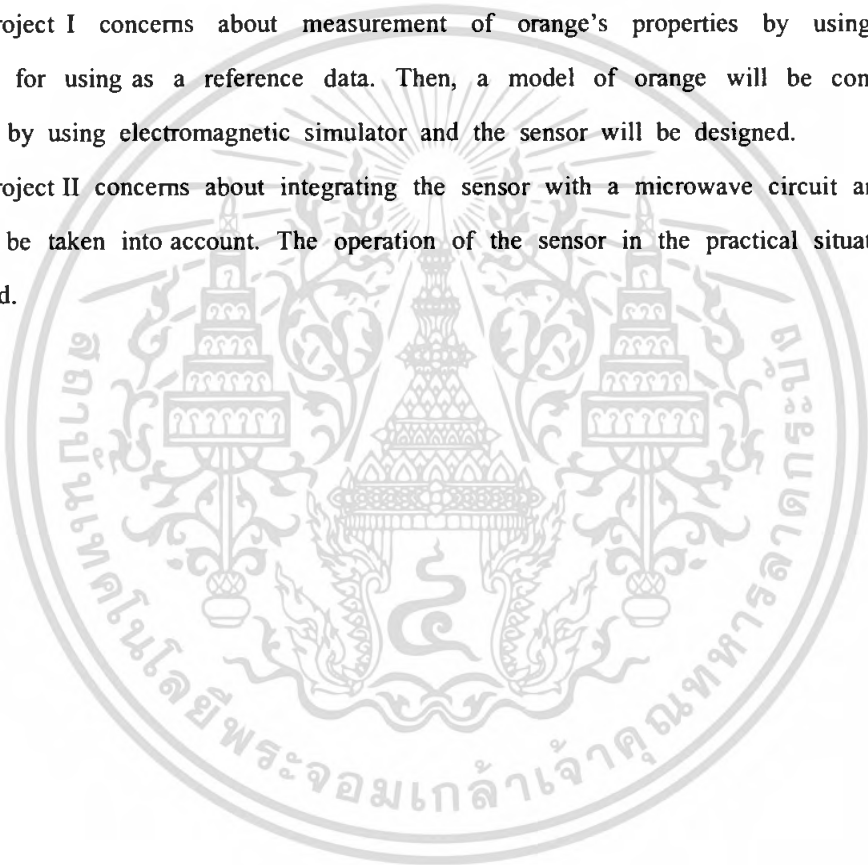
**ABSTRACT**

This project concerns about analysis, design and fabrication of an antenna for King orange inspection. The purpose of the antenna is to sense whether the King orange is good or defect and its taste, nondestructively. The sensor transmits microwave signal into the orange and couples the signal corresponding to its property, i.e., dielectric constant.

For accurate measurement, complex quantities including amplitude and phase of the coupled signal must be measured. It can be carried out by an expensive instrument. We will measure coupled microwave signal from two orthogonal polarized wave to achieve a low cost sensor.

Project I concerns about measurement of orange's properties by using laboratory instrument for using as a reference data. Then, a model of orange will be constructed for simulation by using electromagnetic simulator and the sensor will be designed.

Project II concerns about integrating the sensor with a microwave circuit and effect of hand will be taken into account. The operation of the sensor in the practical situation will be investigated.



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือจากหลายท่าน คณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติ และให้ความอนุเคราะห์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ทดสอบ ตลอดจนแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น ขอขอบพระคุณ คุณ ธัญวัฒน์ ลิ้มปิติ และ คุณ จิรัฏฐ์ เหมือนชู ที่สละเวลาให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด และขอขอบพระคุณ พี่ๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยการสื่อสารไร้สายทุกคน ที่ได้ให้คำปรึกษาและความเมตตาโดยตลอด คณะผู้จัดทำระลึกเสมอว่า หากไม่ได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลที่กล่าวมาข้างต้น ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ก็ไม่ประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ท้ายที่สุดนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ บิดามารดา ที่ได้อบรมสั่งสอนเลี้ยงดู และได้ให้โอกาสทางการศึกษาจนทำให้ผู้จัดทำมีวันนี้ได้ และได้คอยให้กำลังใจในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้มาโดยตลอด

นายพีรภัทร ธิติประเสริฐ 47010533

นางสาวจิตาภา คังน้อย 47010643

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญ	III
สารบัญรูปภาพ	IV
สารบัญตาราง	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาของหัวข้อปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	1
1.4 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์	1
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ</b>	
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ฮวาน	3
2.2 ทฤษฎีโคอีเล็กทริก	5
2.3 เทคนิคการวัดคุณสมบัติโคอีเล็กทริก	12
2.4 วิธีการวัดค่าคงที่โคอีเล็กทริก	16
<b>บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง</b>	
3.1 โครงสร้างสายอากาศ	19
3.2 การจำลองสายอากาศโคอีโพลิมิพด้วยโปรแกรมทางแม่เหล็กไฟฟ้า	23
3.3 การพล็อตค่าเชิงพื้นที่	36
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	
4.1 การทดลองวัดค่าคงที่โคอีเล็กทริกของสัมประสิทธิ์ฮวานโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายทำการวัดค่าของสัมประสิทธิ์ฮวานชนิดต่างๆ	38
4.2 การวัดค่าของสายอากาศที่ทำการออกแบบโดยโปรแกรม	54
4.3 การทดสอบสายอากาศที่สร้างขึ้นจริง	56
<b>บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป</b>	70
ภาคผนวก	71
กิตติกรรมประกาศ	78
หนังสืออ้างอิง	79

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ภาพสัมผัสหวาน	3
รูปที่ 2.2 แผ่นเก็บประจุแบบขนาน, เมื่อต่อพร้อมความต่างศักย์ตรง	6
รูปที่ 2.3 แผนภาพเวกเตอร์แทนเจตการสูญเสีย	7
รูปที่ 2.4 ตัวเหนี่ยวนำ	8
รูปที่ 2.5 สัญญาณสะท้อนกลับและสัญญาณส่ง	10
รูปที่ 2.6 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเทียบกับค่าคงตัวไดอิเล็กตริก	10
รูปที่ 2.7 การตอบสนองทางความถี่ของค่าไดอิเล็กตริกเชิงกล	11
รูปที่ 2.8 การหมุนของขั้วในสนามไฟฟ้า	12
รูปที่ 2.9 เทคนิคสายส่งโดยใช้ท่อนำคลื่นทรงสี่เหลี่ยมและสายโคแอกเชียล	13
รูปที่ 2.10 เทคนิคโพรงเรโซแนนซ์	14
รูปที่ 2.11 เทคนิคอวกาศว่างโดยที่พอร์ตหนึ่งและพอร์ตสองต่ออยู่กับเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย	15
รูปที่ 2.12 รูปแบบการเชื่อมต่อคลื่น	16
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างกราฟแสดงค่าการเชื่อมต่อร่วม ของสายอากาศแบบขนาน	17
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างกราฟแสดงค่าการเชื่อมต่อร่วม ของสายอากาศแบบตั้งฉาก	17
รูปที่ 2.15 ตัวอย่างกราฟแสดงการรวมกราฟสองกรณี	18
รูปที่ 3.1 รูปโครงสร้างของสายอากาศไดโพลพิมพ์ตัวเดียว	19
รูปที่ 3.2 ส่วนของไดโพลครึ่งความยาวคลื่น	21
รูปที่ 3.3 ส่วนของขาลัน	22
รูปที่ 3.4 ส่วนของตัวแปลงหนึ่งส่วนสี่คลื่น	22
รูปที่ 3.5 ภาพสายอากาศพิมพ์เดี่ยวที่จำลองได้ทางโปรแกรม (ก) ด้านหน้า	23
รูปที่ 3.5 ภาพสายอากาศพิมพ์เดี่ยวที่จำลองได้ทางโปรแกรม (ข) ด้านหลัง	24
รูปที่ 3.6 ค่าสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศไดโพลตัวเดียว	25
รูปที่ 3.7 สายอากาศไดโพลแบบขนานที่จำลองร่วมกับผลสัมผัส (ก) ด้านหน้า	26
รูปที่ 3.7 สายอากาศไดโพลแบบขนานที่จำลองร่วมกับผลสัมผัส (ข) ด้านหลัง	27
รูปที่ 3.8 ค่าขนาดของพารามิเตอร์ $S$ เชิงเส้น จากการจำลองกรณีขนาน	28
รูปที่ 3.9 ค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการจำลองกรณีขนาน	28
รูปที่ 3.10 สายอากาศไดโพลแบบตั้งฉากที่จำลองร่วมกับผลสัมผัสทั้งแบบขนานและตั้งฉาก (ก) ด้านหน้า	29
รูปที่ 3.10 สายอากาศไดโพลแบบตั้งฉากที่จำลองร่วมกับผลสัมผัสทั้งแบบขนานและตั้งฉาก	

เอกสารนี้เป็นเอกสาร (ข) ด้านหลัง สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 ค่าขนาดพารามิเตอร์ $S$ เชิงเส้นจากการจำลองกรณีตั้งฉาก	30
รูปที่ 3.12 ค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการจำลองกรณีตั้งฉาก	30
รูปที่ 3.13 สายอากาศไดโพลตั้งฉากที่รวมอิทธิพลของมือ(ก) ด้านหน้า	31
รูปที่ 3.13 สายอากาศไดโพลตั้งฉากที่รวมอิทธิพลของมือ (ข) ด้านหลัง	32
รูปที่ 3.14 ค่าขนาดของพารามิเตอร์ $S$ เชิงเส้นกรณีตั้งฉากจากการจำลองรวมอิทธิพลของมือ	32
รูปที่ 3.15 ค่าความสูญเสียย้อนกลับในกรณีแบบตั้งฉากที่รวมอิทธิพลของมือ	33
รูปที่ 3.16 สายอากาศไดโพลแบบขนานที่รวมอิทธิพลของมือ(ก) ด้านหน้า	33
รูปที่ 3.16 สายอากาศไดโพลแบบขนานที่รวมอิทธิพลของมือ(ข) ด้านหลัง	34
รูปที่ 3.17 ค่าขนาดของพารามิเตอร์ $S$ เชิงเส้นกรณีขนานจากการจำลองรวมอิทธิพลมือ	35
รูปที่ 3.18 ค่าความสูญเสียย้อนกลับของกรณีขนานที่รวมอิทธิพลของมือของคน	35
รูปที่ 3.19 กราฟเชิงพื้นผิวของกรณี ตั้งฉากที่นำค่า $S_{21}$ มาพล็อต	36
รูปที่ 3.20 กราฟเชิงพื้นผิวของกรณี ขนานที่นำค่า $S_{21}$ มาพล็อต	36
รูปที่ 3.21 กราฟเชิงพื้นผิวของกรณีตั้งฉากและกรณีขนาน	37
รูปที่ 4.1 เครื่องมือวัดค่าไดอิเล็กตริกมาตรฐาน(Agilent 85070E Dielectric Probe KIT)	38
รูปที่ 4.2 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสั้มของสั้มลูกที่ 1 (ก)	41
รูปที่ 4.2 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสั้มของสั้มลูกที่ 1 (ข) และ (ค)	42
รูปที่ 4.2 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสั้มของสั้มลูกที่ 1 (ง)	43
รูปที่ 4.2 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสั้มของสั้มลูกที่ 2 (ก)	43
รูปที่ 4.3 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสั้มของสั้มลูกที่ 2 (ข) และ(ค)	44
รูปที่ 4.3 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสั้มของสั้มลูกที่ 2 (ง) และ(จ)	45
รูปที่ 4.4 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสั้มของสั้มลูกที่ 3 (ก) และ(ข)	46
รูปที่ 4.4 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสั้มของสั้มลูกที่ 3 (ค) และ(ง)	47
รูปที่ 4.4 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสั้มของสั้มลูกที่ 3 (จ)	48
รูปที่ 4.5 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสั้มของสั้มลูกที่ 4 (ก)	48
รูปที่ 4.5 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสั้มของสั้มลูกที่ 4 (ข) และ(ค)	49
รูปที่ 4.5 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสั้มของสั้มลูกที่ 4 (ง) และ (จ)	50
รูปที่ 4.6 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสั้มของสั้มลูกที่ 5 (ก) และ(ข)	51
รูปที่ 4.6 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสั้มของสั้มลูกที่ 5 (ค) และ(ง)	52
รูปที่ 4.7 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสั้มของสั้มลูกที่ 6 (ก) และ(ข)	53
รูปที่ 4.8 กราฟเชิงพื้นผิวของขนาดการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไดโพลบนแผ่นพิมพ์ ในกรณีตั้งฉากและมีอิทธิพลของมือมาเกี่ยวข้อง	54
รูปที่ 4.9 กราฟเชิงพื้นผิวของขนาดการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไดโพลบนแผ่นพิมพ์ ในกรณีขนานและมีอิทธิพลของมือมาเกี่ยวข้อง	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 กราฟเชิงพื้นที่ผิวของขนาดการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไดโพลบนแผ่นพิมพ์ ในกรณีขนานและตั้งฉาก	56
รูปที่ 4.11 เป็นระดับสัญญาณทางด้านอินพุต	57
รูปที่ 4.12 ระดับสัญญาณเอาต์พุตของเอาต์พุต ด้านที่ถูกเลือกให้สัญญาณออก	58
รูปที่ 4.13 เป็นระดับของสัญญาณที่ไม่ได้เลือกให้เอาต์พุตออก	59
รูปที่ 4.14 สายอากาศที่สร้างขึ้นจริง (ก) ด้านหน้า	60
รูปที่ 4.14 สายอากาศที่สร้างขึ้นจริง (ข) ด้านหลัง	60
รูปที่ 4.15 แสดงการการทำงานของสายอากาศ	67
รูปที่ 4.16 ภาพแสดงสายอากาศ	68
รูปที่ 4.17 ภาพที่นำค่าจริงที่ได้จากสายอากาศมาพล็อตลงในกราฟเชิงพื้นที่ผิว	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุต่างที่อุณหภูมิห้อง ณ ความถี่ 2.45 GHz	5
ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างสายอากาศไดโพลตัวเดี่ยว	20
ตารางผลการทดลองที่ 4.1 แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสัมลักษณะต่างๆ	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาของหัวข้อปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันคนไทยนิยมบริโภคส้มเขียวหวานกันมาก และเนื่องจาก ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม รายได้จากการส่งออกมาจากผลผลิตทางการเกษตรมีอยู่หลากหลายทั่วประเทศตลอดปี ส้มเขียวหวานก็เป็นผลผลิตทางการเกษตรอีกประเภทหนึ่งซึ่งที่รู้จักไปทั่วโลก และมีมูลค่าการส่งออกสูงเป็นอันดับต้นๆ ทำเงินรายได้เข้าประเทศจำนวนมาก แต่ปัญหาหลักที่สำคัญของการส่งออก ส้มเขียวหวาน คือ การควบคุมการผลิต ที่ผ่านมาการตรวจสอบคุณภาพ อาศัยความชำนาญของเกษตรกรเป็นหลัก ซึ่งทำให้ผลผลิตที่ได้มีมาตรฐานที่ต่างกัน การตรวจสอบมีความล่าช้า การตรวจสอบที่เป็นมาตรฐานเดียวกันด้วยความรวดเร็วจึงมีความสำคัญในการเพิ่มคุณภาพของการผลิตให้ทันต่อความต้องการในการส่งออก และปัจจุบันการประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟเข้ามามีบทบาทในการใช้ชีวิตของคนในยุคปัจจุบันขึ้นมาก ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารที่ต้องใช้คลื่นคลื่นไมโครเวฟ และยังประยุกต์เป็นอุปกรณ์อย่างอื่นได้อีก ซึ่งในโครงการนี้ได้นำคลื่นไมโครเวฟมาประยุกต์โดยสร้างสายอากาศส่งคลื่นไมโครเวฟเข้าไป ในส้มเขียวหวานเพื่อตรวจสอบคุณภาพของส้มเขียวหวาน ให้มีคุณภาพที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งจะช่วยควบคุมการผลิตส้มเขียวหวานให้มีคุณภาพมากขึ้น

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศย่านความถี่ไมโครเวฟเพื่อใช้ในการตรวจสอบส้ม โดยการใส่โปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งคือโปรแกรมจำลองทางแม่เหล็กไฟฟ้า [1] ในการออกแบบ และจำลองการทำงาน และสร้างเป็นสายอากาศ

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. นำเสนอการตรวจสอบคุณภาพส้ม โดยใช้หลักการวัดค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศ
2. ศึกษาและออกแบบสายอากาศ ไดโพลิมพ์
3. ทดสอบสายอากาศ Printed Dipole ที่สร้างขึ้นกับผลส้ม

#### 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาออกแบบและวิเคราะห์การทำงานของสายอากาศไดโพลิมพ์ ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งจำลองแบบการทำงานด้วยโปรแกรมจำลองทางแม่เหล็กไฟฟ้า [1] และสร้างสายอากาศขึ้นมาตรวจสอบส้ม

#### 1.4 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ วัตถุประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 เทคนิคการหาค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงลิขสิทธิ์ที่ผู้อื่น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- บทที่ 3 กล่าวถึงแนวคิดในการออกแบบสายอากาศไดโพลพิมพ์ (Printed dipoles)  
บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง  
บทที่ 5 การวิจารณ์ วิเคราะห์และสรุปผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับส้มเขียวหวาน [2]

#### 2.1.1 ชื่อวิทยาศาสตร์

ชื่ออื่น : Mandarin Orange, Tangerine, King Orange

ชื่อพฤกษศาสตร์ : Citrus Reticulate Blanco

วงศ์ : Rutaceae

#### 2.1.2 สายพันธุ์ส้มเขียวหวาน

ส้มเขียวหวานที่นิยมปลูกกันมาก ได้แก่

1. ส้มบางมด
2. ส้มรังสิต
3. ส้มโชกุน
4. ส้มสายน้ำผึ้ง
5. ส้มศรีทอง
6. ส้มฟริมองต์
7. ส้มผิวทอง
8. ส้มเขียวหวานพันธุ์แหลมทอง
9. ส้มแก้ว

#### 2.1.3 ลักษณะประจำพันธุ์ของผลส้มเขียวหวาน

ผลมีส้มรูปร่างค่อนข้างกลมแป้นเล็กน้อย คือส่วนสูงจะสั้นกว่าส่วนกลาง ผลขนาดกลางจะสูงประมาณ 5.9 เซนติเมตร และกว้าง 6.8 เซนติเมตร ส่วนผลที่มีขนาดโตจะสูง 6.5 เซนติเมตร กว้าง 7.5 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง มีตั้งแต่ 5-8 เซนติเมตร และ 4-7 เซนติเมตร ก้านผลราบถึงเว้าเล็กน้อย ผิวเปลือกจะมีสีเขียวอมเหลือง จนถึงสีแดงอมส้ม ลักษณะของผิวจะเรียบมีต่อมน้ำมันอยู่ภายใน ส่วนเปลือกบาง มีความหนาประมาณ 0.2-0.3 เซนติเมตร มีกลิ่นหอมแรง ภายในหนึ่งผลประกอบด้วยกลีบผลจำนวน 10-15 กลีบ แต่ละกลีบมี ผังกลีบบางมีรคน้อย ชันนึ่งกึ่ง (Juice Sac) มีขนาดสั้น ฉ่ำน้ำ เนื้อผลสีส้ม รสประกอบด้วยเปรี้ยวอมหวานเล็กน้อย เนื้อมีน้ำมาก สีส้ม



รูปที่ 2.1 แสดงภาพส้มเขียวหวาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในของศูนย์การศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.4 ขนาดโดยทั่วไปของส้มเขียวหวาน

การคัดขนาดเพื่อสะดวกในการกำหนดราคาขายต่อไป โดยช่วงคัดขนาดของส้มมีทั้งหมด 6 เบอร์ คือ

- เบอร์ 3** มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร เป็นส้มขนาดเล็กที่สุด มีราคาต่ำ ผู้ซื้อส่วนใหญ่จะนำไปคั้นทำน้ำส้ม
- เบอร์ 2** มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5.5 เซนติเมตร มีขนาดใกล้เคียงกับส้มเบอร์ 3
- เบอร์ 1** มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6.0 เซนติเมตร เป็นส้มที่มีขนาดกลาง ผู้บริโภคส่วนใหญ่จะนิยมซื้อไปรับประทานสด
- เบอร์ 0** มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6.5 เซนติเมตร ขนาดใกล้เคียงกับส้มเบอร์ 1 เป็นขนาดที่ผู้บริโภคนิยมเช่นกัน
- เบอร์ 00** มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 7.0 เซนติเมตร เป็นส้มที่มีขนาดใหญ่มาก ผู้บริโภคไม่ค่อยนิยม เพราะมีเปลือกค่อนข้างหนา เนื้อฟาม รสชาติจืด
- เบอร์ 000** ส้มที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 00 ขึ้นไปถือว่าเป็นเบอร์ 000 ทั้งหมดเป็นส้มที่มีขนาดใหญ่มากเป็นพิเศษ ซึ่งจะมีไม่มากนัก

### 2.1.5 การส่งออกส้มเขียวหวาน

การส่งออกส้มเขียวหวานของไทยจะส่งออกในลักษณะสด และแปรรูปการผลิตส่งออกไปยังประเทศทั่วโลก

- มูลค่าการส่งออกรวมปี 2544 700,623,576.00 บาท ส่งออกไปยัง 60 ประเทศ
- มูลค่าการส่งออกรวมปี 2545 777,874,002.00 บาท ส่งออกไปยัง 63 ประเทศ
- มูลค่าการส่งออกรวมปี 2546 706,306,011.00 บาท ส่งออกไปยัง 58 ประเทศ
- มูลค่าการส่งออกรวมปี 2547 1,067,230,636.00 บาท ส่งออกไปยัง 73 ประเทศ
- มูลค่าการส่งออกรวมปี 2548 1,398,594,565.00 บาท ส่งออกไปยัง 82 ประเทศ

จากข้อมูลการส่งออกของกรมศุลกากร จะเห็นได้ว่าส้มเขียวหวานของไทยมีแนวโน้มส่งออกไปยังนานาประเทศเพิ่มมากขึ้นและยังทำให้มูลค่าการส่งออกเพิ่มมากขึ้นด้วย

แหล่งข้อมูล : [2]

## 2.2 ทฤษฎีไดอิเล็กตริก (Dielectric Theory)

คุณสมบัติทางไดอิเล็กตริกจะถูกกล่าวถึงในรูปของค่าสภาพยอม (Permittivity) และความซึมซาบได้ (Permeability) ค่าสภาพยอม และค่าความซึมซาบได้ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความถี่ การหมุน องค์ประกอบ ความชื้น และโครงสร้างโมเลกุลของวัตถุนั้นๆ

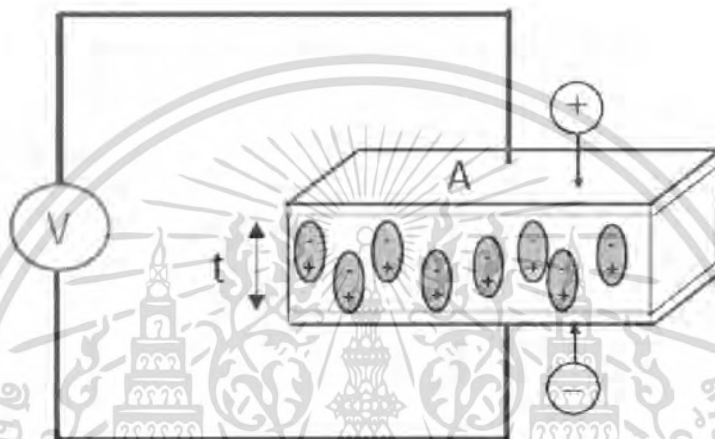
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของวัสดุต่างๆที่อุณหภูมิห้อง ณ ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

วัสดุ	ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก	ค่าแทนเจนต์การสูญเสีย
อลูมิเนียม	9.0	0.0006
แบคอนรัมควิน	2.50	0.05
เนื้อวัวแข็ง	4.4	0.12
เนื้อวัวดิบ	52.4	0.3302
เลือด	58	0.27
เนยเค็ม	4.6	0.1304
เนยจืด	2.9	0.1552
แก้วบอซิลิเคท	4.30	0.047
คอนกรีตแห้ง	4.5	0.0111
ไข่ขาว	35.0	0.5
ไนลอน	2.4	0.0083

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant)

วัสดุต่างๆ ถูกแบ่งชนิดได้จากค่าคงที่ไดอิเล็กตริก วัสดุจะมีการสะสมพลังงานเมื่อได้รับสนามไฟฟ้าจากภายนอก เช่น เมื่อจ่ายความต่างศักย์กระแสตรง ที่วัสดุจะมีแผ่นเก็บประจุจะมีพลังงานถูกเก็บสะสมอยู่ระหว่างแผ่นเก็บประจุ ซึ่งประจุจะมากขึ้นถ้ามีวัสดุไดอิเล็กตริกอยู่ระหว่างแผ่นวัสดุไดอิเล็กตริกทำให้ความจุในตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้น โดยการทำให้ประจุที่อิเล็กโทรดเป็นกลาง โดยปกติแล้วจะถูกส่งออกไปยังสนามภายนอก ค่าความจุวัสดุไดอิเล็กตริกมีความสัมพันธ์กับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก



รูปที่ 2.2 แผ่นเก็บประจุแบบขนานเมื่อต่อคร่อมความต่างศักย์ตรง [6]

$$C_0 = \frac{A}{t} \quad (2.1)$$

$$C = C_0 \kappa' \quad (2.2)$$

$$\kappa' = \epsilon_r' = \frac{C}{C_0} \quad (2.3)$$

$C$  และ  $C_0$  เป็นค่าความจุที่มีและไม่มีไดอิเล็กตริกตามลำดับ  $\kappa' = \epsilon_r'$  เป็นค่าจริงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก หรือค่าสภาพยอม  $A$  และ  $t$  เป็นพื้นที่ของแผ่นเก็บประจุและระยะห่างระหว่างแผ่นเก็บประจุ ถ้าจ่ายความต่างศักย์กระแสสลับ  $V$  คร่อมตัวเก็บประจุ ผลรวมของกระแสได้จากกระแสที่เก็บเข้าไป  $I_C$  กับกระแสที่สูญเสีย  $I_L$  ซึ่งสัมพันธ์กับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ค่าการสูญเสียในวัสดุสามารถเทียบได้กับค่าความนำ  $G$  ของตัวเก็บประจุ  $C$  ค่าไดอิเล็กตริกเชิงซ้อน  $\kappa$  ประกอบด้วย ส่วนจริง  $\kappa'$  แสดงถึงความจุ และส่วนจินตภาพ  $\kappa''$  แสดงถึงค่าการสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 $\kappa = \kappa' - j\kappa'' = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \quad (2.4)$   
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าเนื้อหาของกระแสไฟฟ้าที่ถูกแทนที่ สามารถแสดงดังนี้

$$D_f = \epsilon E \quad (2.5)$$

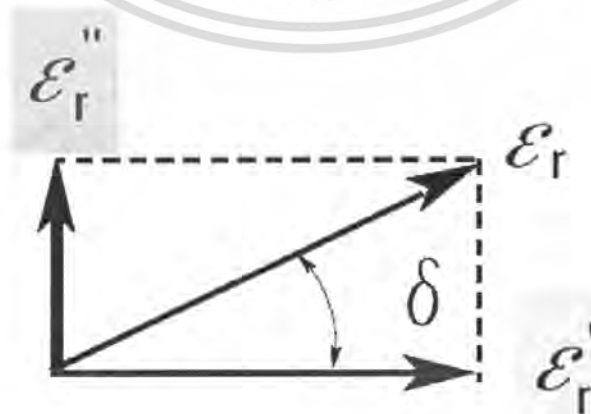
โดยที่  $D_f$  คือค่าความหนาแน่นฟลักซ์ไฟฟ้า

เมื่อ  $\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$ , โดยที่  $\epsilon'$  เป็นค่าสภาพยอมสัมพัทธ์  $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}$  F/M เป็นค่าสภาพยอมในอวกาศว่าง และ  $E$  เป็นสนามไฟฟ้า

$$\kappa = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \quad (2.6)$$

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก  $\kappa$  ทำให้รู้ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์  $\epsilon_r$  หรือค่าสภาพยอมสัมบูรณ์  $\epsilon$  โดยสัมพันธ์กับค่าสภาพยอมในอวกาศว่าง  $\epsilon_0$  ได้โดยที่ส่วนจริง  $\epsilon_r'$  วัดได้จากค่าพลังงานในการเก็บสนามไฟฟ้าจากภายนอก ส่วนจินตภาพ  $\epsilon_r''$  เป็นค่าตัวประกอบการสูญเสีย และวัดได้จากการสูญเสียของวัสดุเมื่อส่งสนามไฟฟ้าออกมาภายนอก ค่าตัวประกอบการสูญเสียมักมากกว่า 0 และโดยมากจะมีค่าน้อยกว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ตัวประกอบการสูญเสียเป็นผลรวมของการสูญเสียไดอิเล็กตริกและค่าความนำ

ค่าไดอิเล็กตริกเชิงซ้อนสามารถแสดงในรูปของแผนภาพเวกเตอร์ของแกนจำนวนจริง และจำนวนเชิงซ้อนที่มีความต่างเฟส  $90^\circ$  ดังแสดงในรูป 2.3 ที่ค่าแทนเจนต์การสูญเสียของวัสดุนั้นเป็นอัตราส่วนระหว่าง พลังงานที่สูญเสียต่อพลังงานที่เก็บสะสมได้ ค่า  $\delta$  เป็นค่าเฟกเตอร์การกระจาย และ  $Q$  เป็นค่าตัวประกอบของคุณภาพ



รูปที่ 2.3 แผนภาพเวกเตอร์แทนเจนต์การสูญเสีย [6]

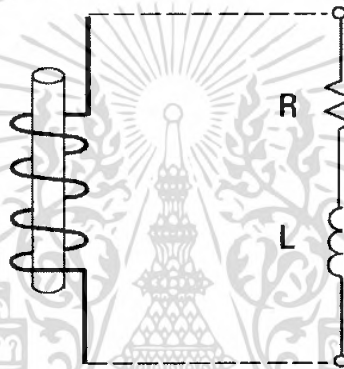
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tan \delta = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} = D = \frac{1}{Q} \quad (2.7)$$

$$= \frac{\text{EnergyLostperCycle}}{\text{EnergyStoredperCycle}} \quad (2.8)$$

### 2.2.2 ค่าความซึมซาบได้ (Permeability)

ค่าความซึมซาบได้  $\mu$  เป็นค่าที่เกี่ยวกับสนามแม่เหล็กของวัตถุ การวิเคราะห์ทำโดยการใช้ลวดตัวนำความต้านทานแทนแกนของแม่เหล็กที่ปราศจากการสูญเสีย ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เมื่อทำการจ่ายกระแสตรง ผ่านลวดตัวนำค่าความเหนี่ยวนำในแกนจะสามารถบอกค่าความซึมซาบได้



รูปที่ 2.4 ตัวเหนี่ยวนำ [6]

$$L = L_0 \mu' \quad (2.9)$$

$$\mu' = \frac{L}{L_0} \quad (2.10)$$

จากรูปที่ 2.4  $L$  คือค่าความเหนี่ยวนำในวัสดุ  $L_0$  คือค่าความเหนี่ยวนำในอวกาศว่าง ของลวด และ  $\mu$  คือค่าจำนวนจริงของความซึมซาบได้ เมื่อจ่ายกระแสสลับเข้าไปยังลวดตัวนำ ผลของความต่างศักย์เป็นผลรวมของค่าความต่างศักย์ของการเหนี่ยวนำและค่าความต่างศักย์ที่สูญเสีย ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความซึมซาบได้ การสูญเสียในแกนเทียบได้กับความต้านทาน  $R$  ที่ต่ออนุกรมกับลวดตัวนำ  $L$  ค่าความซึมซาบเชิงซ้อน ( $\mu'$  หรือ  $\mu$ ) ประกอบด้วยส่วนจริง  $\mu'$  ซึ่งเป็นส่วนของพลังงานที่เก็บไว้และส่วนจินตภาพ  $\mu''$  แสดงในส่วนของพลังงานที่สูญเสีย ความซึมซาบสัมพัทธ์  $\mu_r$  สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = \mu_r - j\mu_r'' \quad (2.11)$$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m เป็นความซึมซาบได้ของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุบางอย่างที่เป็นโลหะ โครบอลท์ นิกเกิล และอัลลอยด์มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก อย่างไรก็ตาม วัสดุส่วนใหญ่ไม่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก ทำให้ค่าความซึมซาบได้ของวัสดุใกล้เคียงกับค่าความซึมซาบได้ในอวกาศว่าง  $\mu_r = 1$  ดังนั้นส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญกับการวัดค่าสภาพยอม

### 2.2.3 การกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave Propagation)

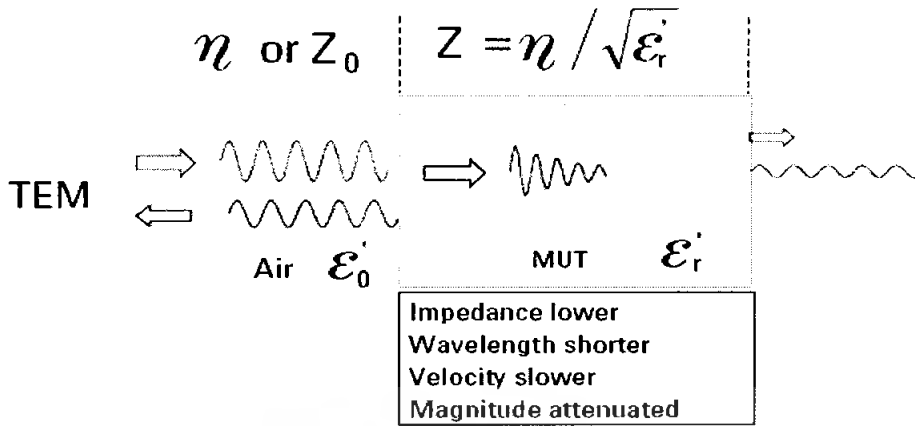
โดยปกติสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าจะกระจายออกมาพร้อมกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเดินทางผ่านอากาศด้วยความเร็ว  $3 \times 10^8$  เมตร/วินาที หรือผ่านวัตถุด้วยความเร็วที่ช้ากว่าในอากาศ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่นที่หลากหลาย โดยที่ความยาวคลื่นของสัญญาณเป็นสัดส่วนของความถี่กับความเร็ว ( $\lambda = c/f$ ) เมื่อความถี่เพิ่มความยาวคลื่นจะลดลง เช่น ในอากาศสัญญาณ 10 เมกะเฮิร์ตซ์ มีความยาวคลื่น 30 เมตร และ สัญญาณ 10 กิกะเฮิร์ตซ์ มีความยาวคลื่น 3 เซนติเมตร อัตราส่วนของการกระจายคลื่นขึ้นอยู่กับค่าสภาพยอมและความซึมซาบได้ เราจะใช้ความรู้เชิงแสงในการสังเกตคุณลักษณะของไดอิเล็กตริก พิจารณาให้วัสดุผิวเรียบวางอยู่ในอากาศโดยมีคลื่นตกกระทบ TEM ลงบนพื้นผิว จะมีคลื่นตกกระทบ คลื่นสะท้อน และคลื่นส่งผ่าน ความต้านทานของคลื่นในวัตถุ  $Z$  ต่างจากความต้านทานของคลื่นในอากาศ  $Z_0$  จะเป็นความต้านทานที่ไม่แมตซ์จึงทำให้เกิดคลื่นสะท้อนกลับ ส่วนหนึ่งของพลังงานจะทะลุผ่านวัตถุ ดังนั้นในวัสดุจะเห็นว่าความเร็วคลื่น  $V$  ช้ากว่าความเร็วแสง  $C$  ความยาวคลื่นจะสั้นกว่าความยาวคลื่นในอากาศ ซึ่งความสัมพันธ์สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$Z = \frac{\eta}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.12)$$

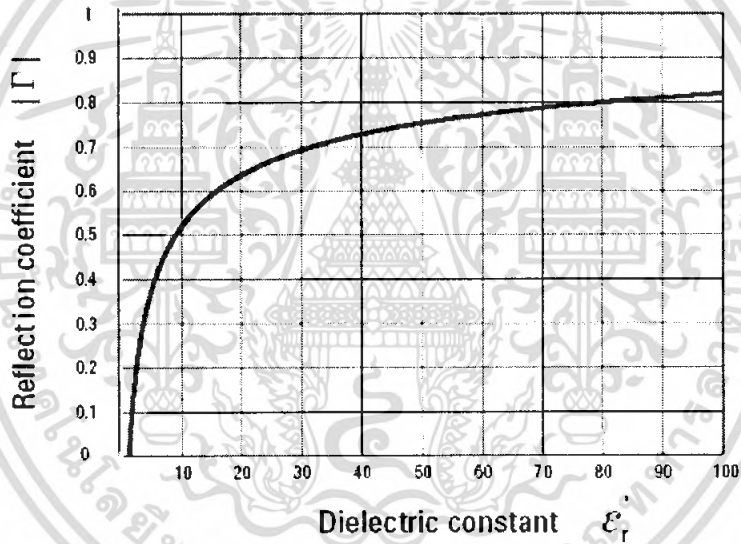
$$\eta = Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \quad (2.13)$$

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.14)$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.15)$$



รูปที่ 2.5 สัญญาณสะท้อนกลับและสัญญาณส่ง [6]



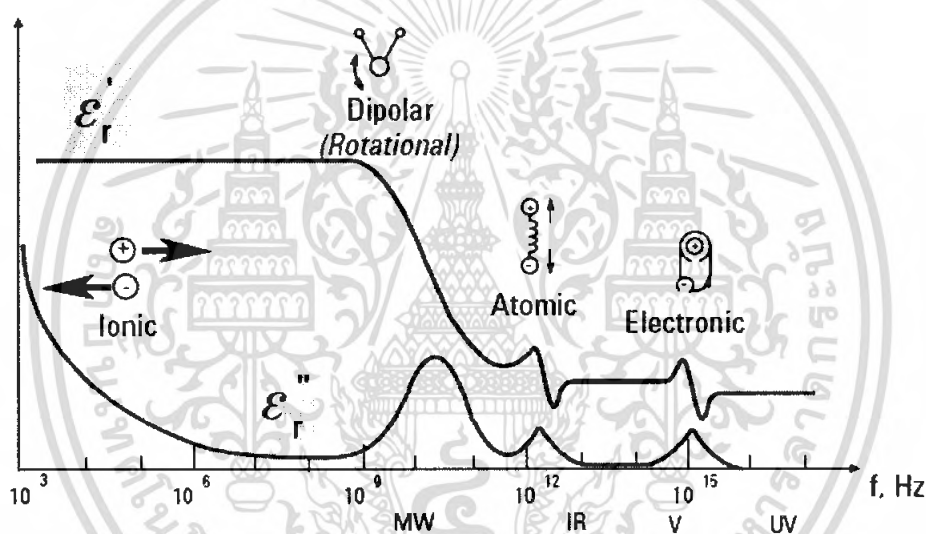
รูปที่ 2.6 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเทียบกับค่าคงตัวไดอิเล็กตริก [6]

รูปที่ 2.6 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของวัสดุและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน จะเห็นได้ว่าค่าคงตัวไดอิเล็กตริกที่น้อยกว่า 20 มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าคงตัวไดอิเล็กตริกเพียงเล็กน้อย ดังนั้นในการวัดค่าคงตัวไดอิเล็กตริกช่วงนี้ควรจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่มีความไวและแม่นยำ ในทางตรงกันข้ามที่ค่าไดอิเล็กตริกสูงๆ เช่น 70-90 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยและการวัดจะได้ค่าที่ไม่แน่นอน

## 2.2.4 กลไกของค่าไดอิเล็กตริก (Dielectric Mechanisms)

วัสดุอาจมีกลไกของไดอิเล็กตริก หรือผลของโพลาไรเซชันที่ก่อให้เกิดผลต่อค่าสภาพยอมหลายอย่าง วัสดุไดอิเล็กตริกมีการจัดการของตัวประจุพาหะ ซึ่งสามารถแทนที่ได้โดยที่สนามไฟฟ้า ประจุจะมีขั้วเพื่อชดเชยในสนามไฟฟ้าทำให้ประจุบวกและลบเคลื่อนที่ไปยังทิศตรงข้ามกัน

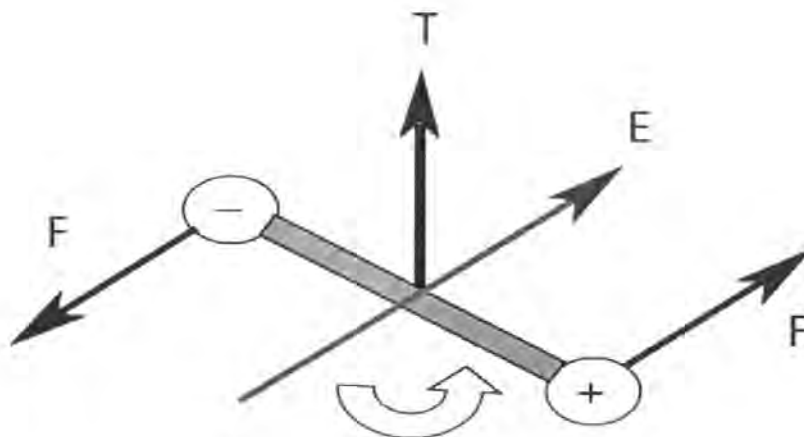
ที่ระดับเล็กมากกลไกของไดอิเล็กตริกสามารถอธิบายถึงพฤติกรรมของไดอิเล็กตริก การหมุนของขั้ว และความนำไอออนิกมีผลกับความถี่ไมโครเวฟอย่างมาก เช่น โมเลกุลของน้ำมีขั้วคงที่ซึ่งมีการหมุนไปตามสนามไฟฟ้า กลไกเหล่านี้เกิดการสูญเสียเล็กน้อยมาก ซึ่งสามารถอธิบายที่ว่าทำไมอาหารจึงร้อนในเตาไมโครเวฟ ในแต่ละกลไกของไดอิเล็กตริกนั้นมีความถี่คutoff โดยที่ เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นจะเกิดการลดลงอย่างรวดเร็วค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ค่าตัวประกอบการสูญเสียจะมีค่าสูงสุดที่ความถี่วิกฤต ค่าขนาดและความถี่คutoff เป็นค่าเฉพาะตัว สำหรับวัสดุที่ต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การตอบสนองทางความถี่ของค่าไดอิเล็กตริกเชิงกล [6]

## 2.2.5 การหมุนของโพลาไรซ์ (Orientation (dipolar) polarization)

โมเลกุลเป็นการรวมตัวของอะตอมเพื่อแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน การเรียงตัวใหม่ของอิเล็กตรอนอาจเป็นเหตุให้ความไม่สมดุลในการกระจายของประจุสร้างโมเมนต์ของขั้วที่ถาวรไม่สมดุล โมเมนต์เหล่านี้เป็นการหมุนในลักษณะแบบสุ่มในสนามไฟฟ้าทำให้ไม่เกิดโพลาไรเซชัน สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดทอร์คบนขั้วไฟฟ้า และขั้วจะหมุนเพื่อวางตัวในแนวสนามไฟฟ้า เป็นสาเหตุให้เกิดการหมุนของโพลาไรเซชัน ถ้าสนามเปลี่ยนทิศ ทอร์คก็จะเปลี่ยนทิศทางตามไปด้วย ความถี่ในการหมุนของขั้วจะทำให้เกิดการสูญเสียของไดอิเล็กตริก การหมุนของขั้วจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าคงตัวไดอิเล็กตริกและค่าตัวประกอบการสูญเสีย



รูปที่ 2.8 การหมุนของขั้วในสนามไฟฟ้า [6]

### 2.2.6 สภาพความนำทางไอออน (Ionic conductivity)

ที่ความถี่ต่ำ ค่าความนำสามารถสร้างได้จากความนำหลายๆตัวที่ต่างกัน แต่ค่าความนำของไอออนิกจะมีความแรงมากในวัตถุที่มีความชื้น  $\epsilon''$  เป็นจากอิทธิพลของการเหนี่ยวนำจากไอออนอิสระที่เกิดจากตัวทำละลาย ค่าความนำของไอออนเป็นตัวที่แสดงถึงการสูญเสียที่เกิดในวัตถุ ที่ความถี่ต่ำ ผลของค่าความนำของไอออนิก เป็นสัดส่วนกับความถี่ในรูป  $1/f$  ความชันของกราฟคือ  $\epsilon''$

## 2.3 เทคนิคการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริก

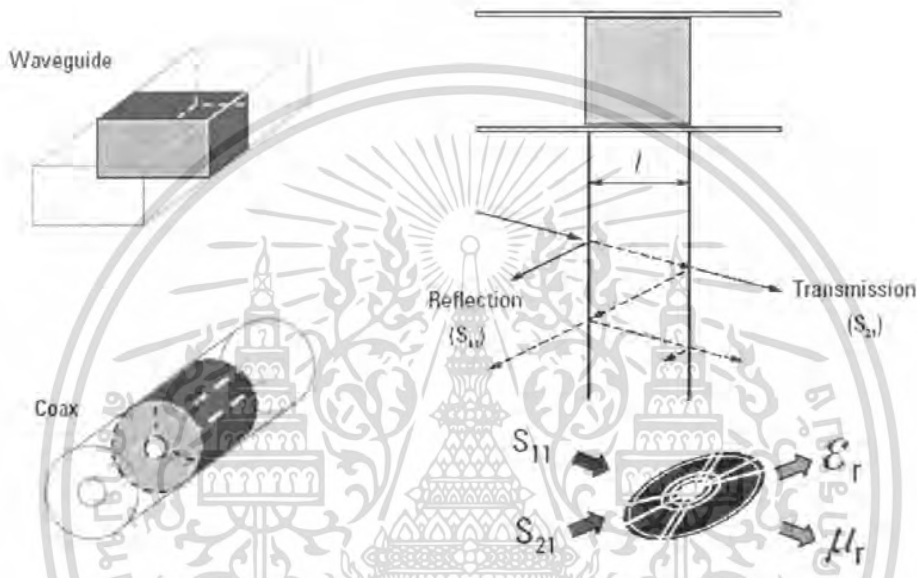
วิธีการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกตามความต้องการในการประยุกต์ใช้งานขึ้นอยู่กับธรรมชาติของคุณสมบัติไดอิเล็กตริกทั้งทางด้านกายภาพและทางด้านไฟฟ้าของวัสดุที่ต้องการวัด ความถี่ที่ใช้วัด และระดับความแม่นยำที่ต้องการ เนื่องจากเครื่องมือสำหรับการหาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่มีอยู่หลากหลาย ดังนั้นควรพิจารณาเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสม ช่วงความถี่ที่สนใจในการวัดค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุเพื่อจะได้ข้อมูลที่แม่นยำและที่น่าเชื่อถือ

ในช่วงความถี่ไมโครเวฟประมาณ 1 ถึงเฮิรตซ์ขึ้นไป เทคนิคสายส่ง เทคนิคโพรงเรโซแนนซ์ และเทคนิคอวกาศว่างเป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในการหาคุณสมบัติไดอิเล็กตริก ซึ่งสามารถจำแนกออกได้จากรูปแบบการสะท้อนหรือส่งผ่านคลื่น ระบบที่เรโซแนนซ์หรือไมเรโซแนนซ์ และโครงสร้างที่เปิดหรือปิด เช่น เทคนิคสายส่งที่ใช้ท่อนำคลื่นและสายโคแอกเซียลเป็นระบบการวัดในโครงสร้างแบบปิด ขณะที่เทคนิคอวกาศว่างเป็นระบบการวัดแบบเปิด เป็นต้น

ดังนั้นในหัวข้อนี้จะนำเสนอเทคนิคบางเทคนิคที่น่าสนใจ พร้อมทั้งเปรียบเทียบข้อดีของแต่ละเทคนิครวมทั้งข้อจำกัดสำหรับการนำไปใช้วัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุ

### 2.3.1 เทคนิคสายส่ง

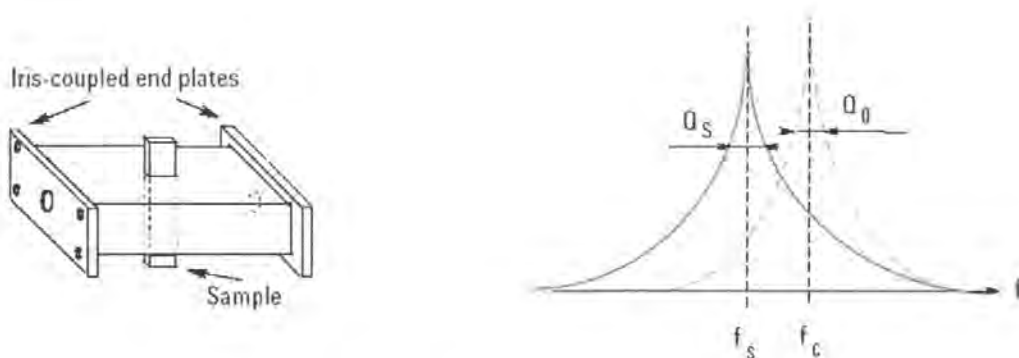
เทคนิคสายส่งเพื่อการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริก ทำได้โดยการนำวัสดุที่ต้องการทดสอบวางไว้ภายในสายส่งที่ปิด ซึ่งสายส่งโดยทั่วไปมักเป็นท่อนำคลื่นทรงสี่เหลี่ยมหรือสายโคแอกเซียล ค่าสภาพยอมและค่าความซึมซาบได้สามารถคำนวณได้จากผลการวัดสัญญาณสะท้อน ( $S_{11}$ ) และสัญญาณส่งผ่าน ( $S_{21}$ ) โดยที่วัสดุที่ทดสอบจะต้องบรรจุให้เต็มพื้นที่หน้าตัดของสายส่ง ไม่มีช่องอากาศระหว่างวัตถุและผนังของสายส่ง วัสดุต้องมีเป็นสารเนื้อเดียวและมีผิวหน้าเรียบ



รูปที่ 2.9 เทคนิคสายส่งโดยใช้ท่อนำคลื่นทรงสี่เหลี่ยมและสายโคแอกเซียล [4]

### 2.3.2 เทคนิคโพรงเรโซแนนซ์

โพรงเรโซแนนซ์เป็นโครงสร้างที่มีค่าตัวประกอบคุณภาพสูง ( $Q$ ) จะเรโซแนนซ์ที่ความถี่ที่แน่นอน ซึ่งวัสดุที่ต้องการทดสอบจะส่งผลกระทบต่อความถี่ และค่าตัวประกอบคุณภาพของโพรง ดังนั้นค่าสภาพยอมและค่าความซึมซาบได้จึงสามารถหาได้ที่ความถี่เดียว เทคนิคโพรงเรโซแนนซ์ใช้ท่อนำคลื่นทรงสี่เหลี่ยมและแผ่นกันเชื่อมต่อ ทำงานในโหมด  $TE_{10n}$  โดยวัสดุจะถูกวางไว้ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสูงสุด เมื่อใส่วัสดุผ่านช่องที่ตำแหน่งกึ่งกลางของท่อนำคลื่น จำนวนคี่ของครึ่งความยาวคลื่น ( $n = 2k + 1$ ) จะให้ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดกับวัสดุที่ทดสอบ ดังนั้นจึงสามารถวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุที่ต้องการทดสอบได้ โดยที่เทคนิคโพรงเรโซแนนซ์เหมาะสำหรับวัสดุที่มีขนาดเล็กๆ การวัดจะวัดได้ที่ความถี่เดียว และเหมาะสำหรับการวัดวัสดุที่มีการสูญเสียน้อย



รูปที่ 2.10 เทคนิค โพรงเวโรซแนนซ์ [4]

$$\epsilon_r' = \frac{V_c (f_c - f_s)}{2V_s f_s} + 1 \tag{2.16}$$

$$\epsilon_r'' = \frac{V_c \left( \frac{1}{Q_s} - \frac{1}{Q_c} \right)}{4V_s} \tag{2.17}$$

V คือ ปริมาตร

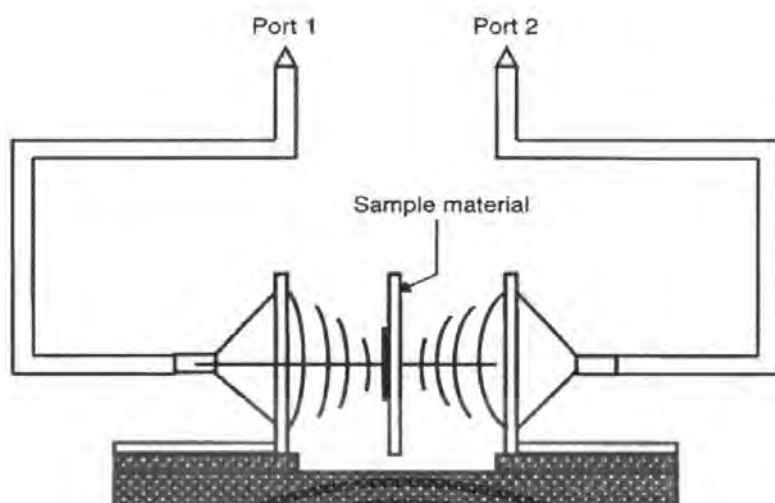
ตัวชี้ s คือสำหรับโพรงอากาศ

ตัวชี้ c คือสำหรับการต่ออยู่กับ โหลดพื้นฐาน

### 2.3.3 เทคนิคอวกาศว่าง

เทคนิคอวกาศว่างเป็นวิธีการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุโดยไม่สัมผัสหรือทำลายวัสดุที่ใช้ทดสอบ และเป็นวิธีการวัดที่ไม่ต้องเตรียมตัวอย่างวัสดุอย่างพิเศษ เนื่องจากเป็นการวัดที่เหมาะสมกับวัสดุที่อุณหภูมิสูงและไม่เป็นสารเนื้อเดียว ดังนั้นเทคนิคอวกาศว่างจึงง่ายสำหรับการประยุกต์ใช้ในระบบอุตสาหกรรมที่ต้องการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของวัสดุ เช่นการตรวจสอบค่าความชื้นและความหนาแน่นของวัสดุ โดยจะนำวัสดุที่ต้องการทดสอบมาวางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ แล้ววัดขนาดและเฟสของสัญญาณที่ส่งผ่านจากสายอากาศตัวส่งไปยังตัวรับที่ผ่านวัสดุที่ต้องการทดสอบ ซึ่งผลการวัดจะถูกนำไปคำนวณเพื่อหาค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุที่ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



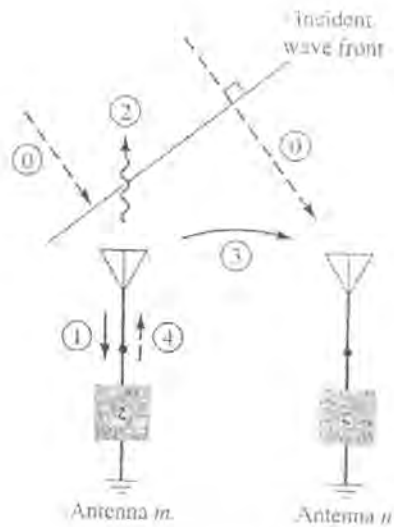
รูปที่ 2.11 เทคนิคอวกาศสว่าง โดยที่พอร์ตหนึ่งและพอร์ตสองต่ออยู่กับเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย [4]

จากเทคนิคที่น่าสนใจสำหรับการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุ โดยแต่ละวิธีมีข้อจำกัดและข้อดีแตกต่างกันไปตามวัสดุที่จะนำมาใช้ทดสอบ ความถี่ที่สนใจ ขนาดของตัวอย่างวัสดุที่นำมาทดสอบ การเตรียมตัวอย่าง หรือแม้กระทั่งความแม่นยำของแต่ละวิธี

#### 2.3.4 เทคนิควัดขนาดการเชื่อมต่อร่วม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



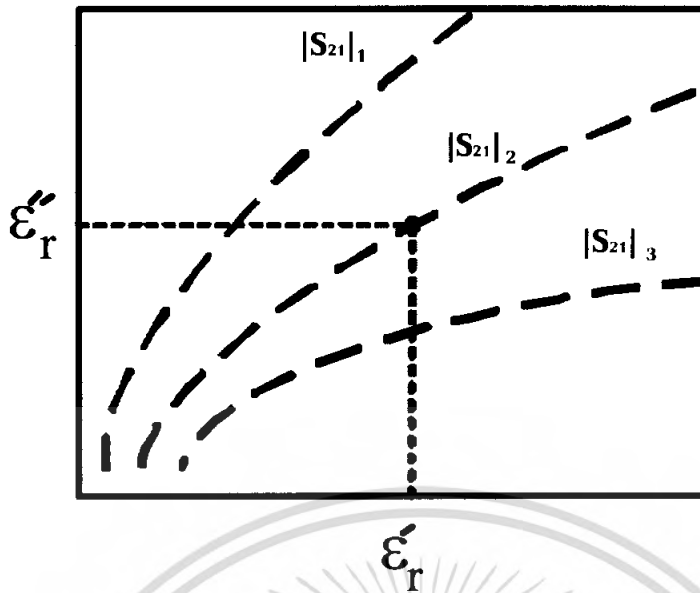
รูปที่ 2.12 รูปแบบการเชื่อมต่อคลื่น

ปริมาณของพลังงานที่ถูกดูดซับและแตกกระเจิงย้อนกลับของแต่ละตัว ขึ้นอยู่กับการแมตช์ของความต้านทานสุดท้าย ดังนั้นปริมาณของพลังงานที่รับได้โดยทุกตัวประกอบแปรผันตามความต้านทานเสมือนของตัวประกอบอื่น พลังงานมากที่สุดที่เหมาะสมถูกดึงพลังงานมาจากคลื่นตกกระทบ เราต้องการพลังงานรวมที่น้อยที่สุดจากการพลังงานแตกกระเจิงย้อนกลับในสูญญากาศ โดยการเลือกตัวต้านทานสุดท้าย ในความสามารถที่จะเกิดการจับคู่ที่คิดได้ของตัวรับ โดยสัมพันธ์กับสายอากาศของคลื่นสะท้อนกลับมาซึ่งสายอากาศคือตัวที่จะยกเลิก โดยการแตกกระเจิงอีกครั้ง

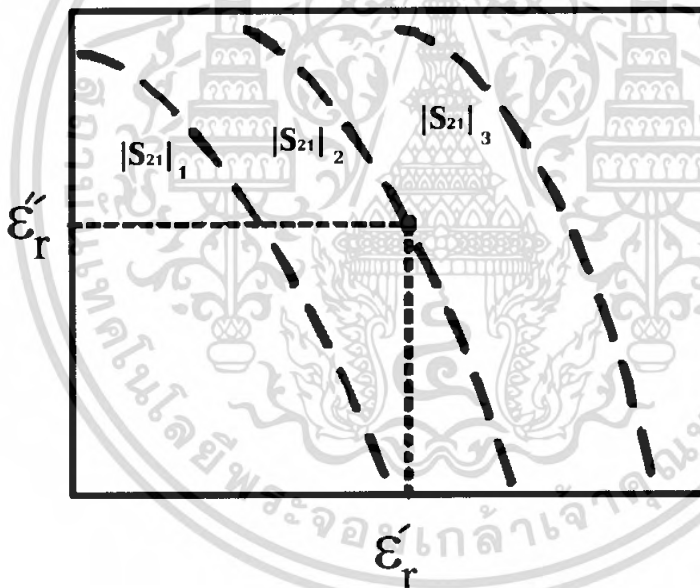
#### 2.4 วิธีการวัดค่าคงตัวไดอิเล็กตริก

ใช้ขนาดของกรรเชื่อมต่อร่วม ( $S_{21}$ ) ของสายอากาศโคโพลาร์ที่มีรูปแบบการจัดวางแบบขนานและแบบตั้งฉาก นำมาวัดเป็นกราฟเชิงพื้นที่ผิวด โดยเปลี่ยนแปลงค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ( $\epsilon'$ ) และค่าตัวประกอบสูญเสีย ( $\epsilon''$ ) และนำกราฟที่ได้จากการวัดตั้งฉากและขนานมารวมกันในกราฟเดียว จุดตัดระหว่างกราฟทั้งสองนำค่าการเชื่อมต่อร่วมที่ได้จากการวัดมาพล็อตลงในกราฟเชิงเส้นเพื่อหาจุดตัด ดังรูปที่ 2.15 จุดตัดที่ได้จากกราฟจะบอกถึงค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ( $\epsilon'$ ) และค่าตัวประกอบสูญเสีย ( $\epsilon''$ ) ของสัมที่ทดสอบซึ่งค่าที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับผลการศึกษาก่อนหน้า เพื่อทราบถึงรสชาติของผลสัม

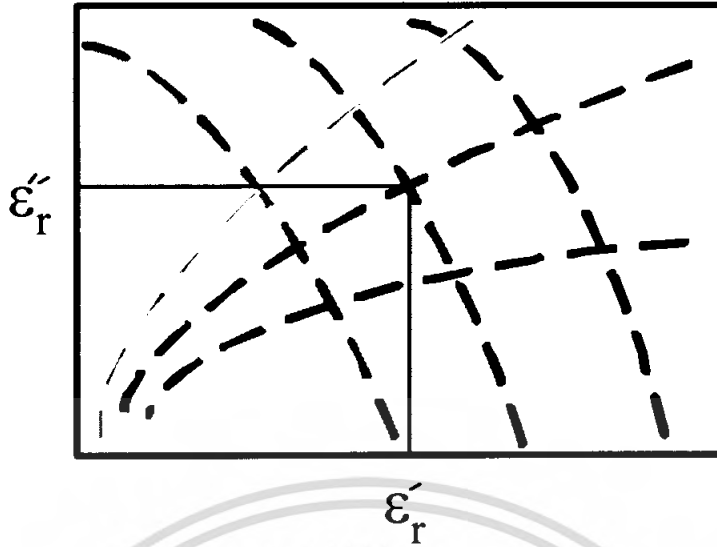
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างกราฟแสดงค่าการเชื่อมต่อร่วม ของสายอากาศแบบขนาน



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างกราฟแสดงค่าการเชื่อมต่อร่วม ของสายอากาศแบบตั้งฉาก



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างกราฟแสดงการรวมกราฟสองกรณี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

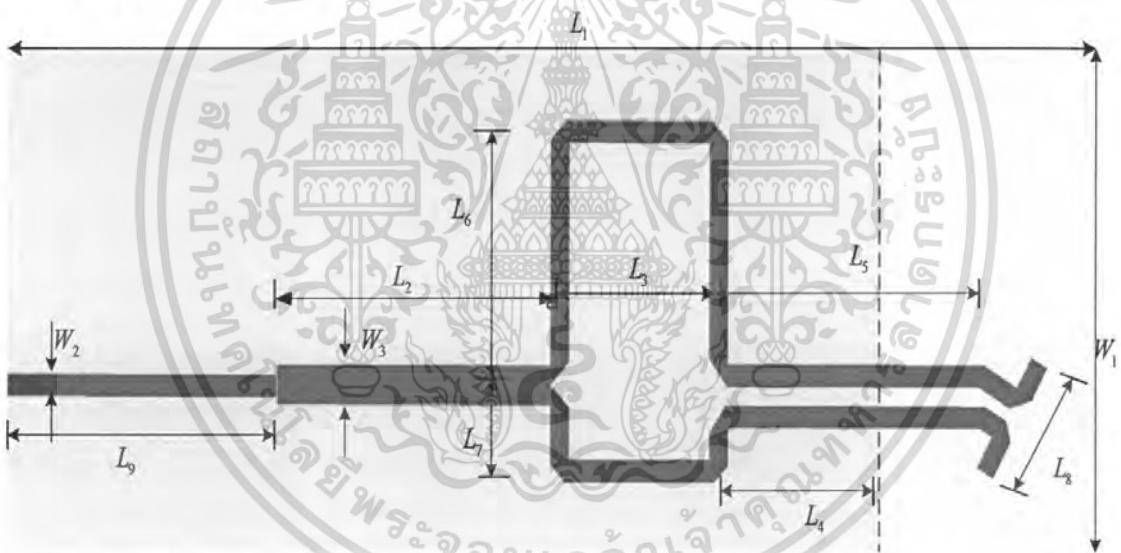
### บทที่ 3

#### การคำนวณและการสร้าง

ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบสายอากาศไดโพลสำหรับนำไปใช้ในการวัดทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุ สายอากาศไดโพลที่ออกแบบเป็นสายอากาศไดโพลพิมพ์ที่มีรูปแบบการจัดวางของสายอากาศแบบตั้งฉากและขนานอยู่บนแผ่นพิมพ์เดียวกัน โดยมีสวิตช์เป็นตัวปรับเลือกรูปแบบการจัดวางของสายอากาศเพื่อให้สะดวกและง่ายสำหรับนำไปใช้

#### 3.1 โครงสร้างสายอากาศ

สายอากาศไดโพลพิมพ์ที่ออกแบบประยุกต์มาจากสายอากาศลวอ ไซค์ยากิแบบระนาบ [5] ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศที่ออกแบบประกอบด้วยสายป้อนไมโครสตริป ตัวแปลงหนึ่งส่วนสี่คลื่น (Quarter-wave transformer) บาลัน และอิเลเมนต์ของสายอากาศไดโพล อยู่ด้านบนของแผ่นพิมพ์ ส่วนด้านล่างของแผ่นพิมพ์เป็นระนาบกราวด์ ดังแสดงดังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รูปโครงสร้างของสายอากาศไดโพลพิมพ์ตัวเดียว

จากรูปที่ 3.1 [5] เป็นโครงสร้างสายอากาศไดโพลเดี่ยวที่ได้ออกแบบที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์โดยที่แผ่นพิมพ์ที่ใช้ในการออกแบบมีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.36 ค่าแทนเจนต์การสูญเสียเท่ากับ 0.01178 และแผ่นพิมพ์หนา 0.8115 มิลลิเมตร ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากออกแบบดังแสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.1** ค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างสายอากาศไดโพลตัวเดี่ยว

พารามิเตอร์	ขนาด(มิลลิเมตร)
$W_1$	30
$W_2$	1.18
$W_3$	2.064
$L_1$	85
$L_2$	17.23
$L_3$	10.04
$L_4$	5.85
$L_5$	15.72
$L_6$	12.54
$L_7$	3.67
$L_8$	7.45
$L_9$	17.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1 ไดโพลครึ่งคลื่น (Half-wave dipole)



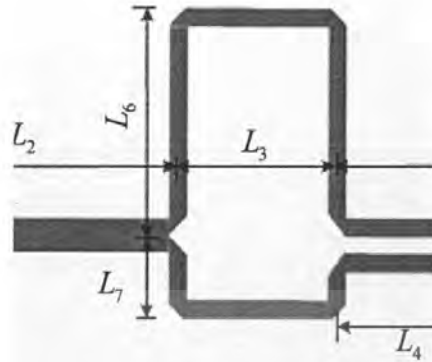
รูปที่ 3.2 ส่วนของไดโพลครึ่งคลื่น

ในส่วนนี้เป็นการออกแบบสายอากาศไดโพลครึ่งคลื่นบนแผ่นพิมพ์ ซึ่งมีความยาว  $\frac{\lambda_d}{2}$  โดยออกแบบให้สายอากาศทำงานที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ และแผ่นพิมพ์มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.36 ซึ่งค่า  $\lambda_d$  หาได้จาก สมการดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{\lambda_d}{2} &= \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} & (3.1) \\ &= \frac{\lambda_0}{2\sqrt{4.36}} \\ &= \frac{3 \times 10^8}{2.45 \times 10^9} \\ &= \frac{2.45 \times 10^9}{2\sqrt{4.36}} \\ &= 29.32 \text{ มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

ดังนั้นสายอากาศไดโพลครึ่งคลื่นบนแผ่นพิมพ์มีความยาวที่ได้จากการออกแบบเท่ากับ 29.32 มิลลิเมตร โดยที่  $\lambda_0$  เป็นค่าความยาวคลื่นในอากาศว่าง

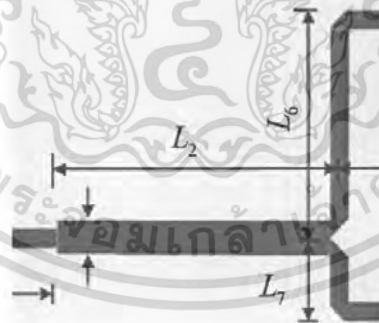
### 3.1.2 บาลัน (Balun)



รูปที่ 3.3 ส่วนของบาลัน

บาลันเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญในการส่งผ่านคลื่น ซึ่งทำหน้าที่ส่งผ่านกระแสที่เดินทางจากจุดป้อนไปยังแต่ละอิลิเมนต์ของสายอากาศไดโพลอย่างสมดุล นอกจากนี้ยังออกแบบให้ระยะ  $L_6 - L_7 = \frac{\lambda_d}{4}$  เพื่อให้เกิดความต่างเฟส 180 องศา

### 3.1.3 ตัวแปลงหนึ่งส่วนสี่คลื่น (Quarter-Wave-Transform)



รูปที่ 3.4 ส่วนของตัวแปลงหนึ่งส่วนสี่คลื่น

ตัวแปลงหนึ่งส่วนสี่คลื่นเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ช่วยในการแมตช์สายอากาศกับจุดป้อนสัญญาณเพื่อให้กำลังงานจากจุดป้อนส่งไปเข้ายังสายอากาศมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำส่วนประกอบต่างๆของสายอากาศไดโพลิมพ์ที่ได้ออกแบบจากการคำนวณมาจำลองด้วยโปรแกรมจำลองทางแม่เหล็กไฟฟ้า[1] ซึ่งผลการจำลองด้วยโปรแกรมทางแม่เหล็กไฟฟ้าจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

### 3.2 การจำลองสายอากาศไดโพลิมพ์ด้วยโปรแกรมทางแม่เหล็กไฟฟ้า

หลังจากที่ทราบค่าขนาดพารามิเตอร์ต่างๆของโครงสร้างสายอากาศ นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆของโครงสร้างสายอากาศไปสร้างเป็นแบบจำลองของสายอากาศโดยใช้โปรแกรม ทางแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อพิจารณาเอส(S) พารามิเตอร์ เพื่อใช้ในการออกแบบสายอากาศซึ่งสายอากาศที่ได้ออกแบบนี้จะมีสวิตซ์ซึ่งใช้สำหรับการปรับเลือกรูปแบบการจัดวางของสายอากาศระหว่างตั้งฉากและขนาน

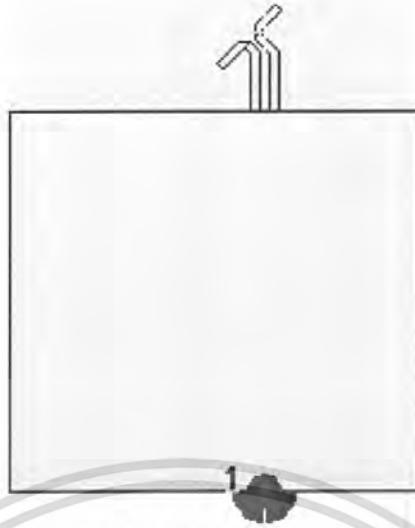
ขั้นตอนการจำลองสายอากาศไดโพลิมพ์ด้วยโปรแกรมทางแม่เหล็กไฟฟ้า

1. นำค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างสายอากาศ มาสร้างเป็นสายอากาศตัวเดี่ยวก่อนเพื่อทดสอบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการออกแบบในหัวข้อที่แล้ว ทำให้สายอากาศสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่ที่ใช้งาน ดังแสดงรูปที่ 3.6 (ก)



(ก) ด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

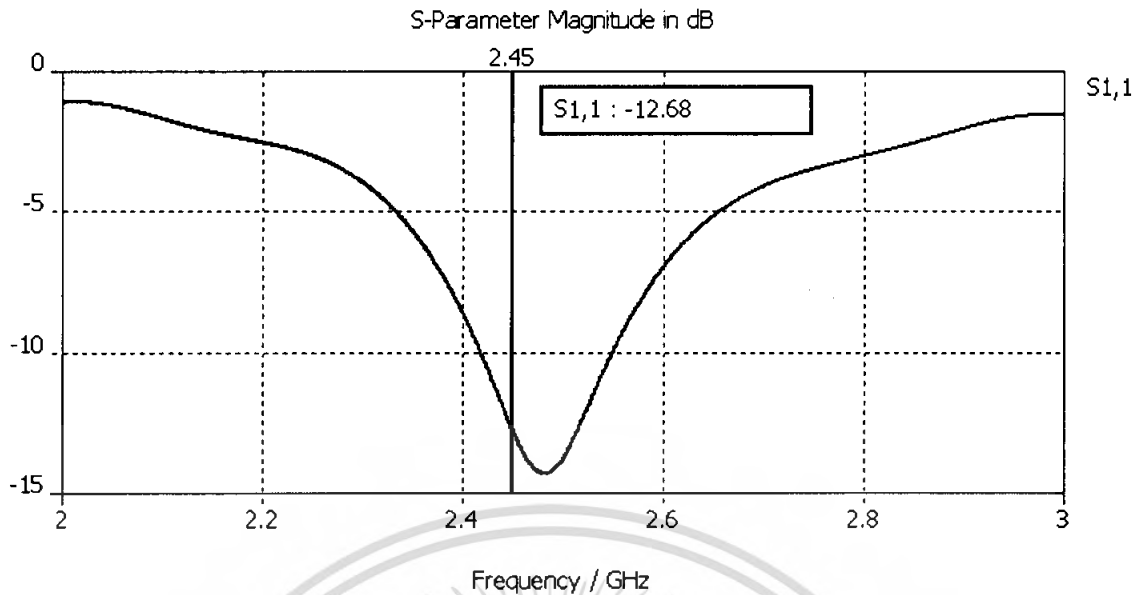


(ข) ด้านหลัง

### รูปที่ 3.5 ภาพสายอากาศพิมพ์เดี่ยวที่จำลองได้ทางโปรแกรม

จากรูปที่ 3.5 (ก) สายอากาศไดโพลพิมพ์เดี่ยวที่จำลองด้วยโปรแกรมแม่เหล็กไฟฟ้า[1] ในส่วนของระนาบกราวนนี้จะออกแบบให้กราวนคมีขนาดไม่เต็มแผ่นพิมพ์ โดยที่ให้สูงขึ้นมาจากตัวบาลันเล็กน้อย เนื่องจาก การออกแบบในลักษณะนี้ ระนาบกราวนจะทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนแบบสายอากาศควอร์โซนซ์ยากิ แต่บระนาบ ถ้าออกแบบให้ระนาบกราวนคมีขนาดเต็มแผ่นพิมพ์ซึ่งจะทำให้ตัวสายอากาศไดโพลแบบครึ่งคลื่นไม่สามารถแพร่กระจายคลื่น

สายอากาศไดโพลพิมพ์เดี่ยวที่ได้จากการจำลองค่าพารามิเตอร์ในหัวข้อที่ 3.1 เพื่อพิจารณาว่าสายอากาศสามารถทำงานได้ดีหรือไม่โดยดูที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ถ้าสายอากาศที่ออกแบบไม่แมตซ์เนื่องมาจากมีค่าการสูญเสียย้อนกลับมาก เราจำเป็นต้องปรับค่าพารามิเตอร์บางส่วนของสายอากาศเพื่อแมตซ์กับอากาศ แล้วจากนั้นก็ดูว่าค่าพารามิเตอร์ที่เราทำการออกแบบนั้นสามารถทำงานได้ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ อยู่ในรูปที่ 3.6



**รูปที่ 3.6** ค่าสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโคโพลบนแผ่นพิมพ์ตัวเดียว

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ในหัวข้อโครงสร้างสายอากาศโคโพลบนแผ่นพิมพ์ตัวเดียวมาจำลองการทำงาน โดยโปรแกรมทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งค่าสูญเสียย้อนกลับนี้จะเป็นตัวบอกว่าการจำลองจากโปรแกรม แม่เหล็กไฟฟ้า[1] แมตช์กับอากาศหรือไม่ ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ยอมรับให้สามารถทำงานได้นั้น ต้องน้อยกว่า -10 dB ซึ่งค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศโคโพลเดี่ยวบนแผ่นพิมพ์ที่ได้จำลองการทำงานใน โครงงานนี้ มีค่าการสูญเสียย้อนกลับ -12.68 dB ดังนั้นสายอากาศโคโพลพิมพ์เดี่ยวที่ออกแบบมานั้น สามารถ นำมาไปใช้งานตามความถี่ที่ต้องการได้

ขั้นตอนต่อไปเราจะนำค่าพารามิเตอร์นี้ไปจำลองด้วยโปรแกรมทางแม่เหล็กไฟฟ้า[1]ร่วมกับผลสัม เพื่อดูว่าการทำงานของสายอากาศกับผลสัมใช้งานได้ที่ความถี่ที่ต้องการหรือไม่ โดยแยกรูปแบบการจัดวางของ สายอากาศเป็น 2 กรณีคือ กรณีตั้งฉากและกรณีขนาน ใน การจำลองโปรแกรมทางแม่เหล็กไฟฟ้า[1]ของ สายอากาศร่วมกับสัมด้วยนั้น จะทำการการเปลี่ยนแปลงค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ( $\epsilon_r'$ ) และค่าตัวประกอบการ สูญเสีย ( $\epsilon_r''$ ) และค่าแทนเจนต์การสูญเสีย ( $\tan \delta$ ) ของผลสัมเนื่องจากว่าสัมมีรสนชาติที่หลากหลายจึงทำให้ ค่า  $\epsilon_r'$  และ  $\epsilon_r''$  และค่าแทนเจนต์การสูญเสียที่เปลี่ยนไปตามรสนชาติของสัม ในการจำลองด้วยโปรแกรมทาง แม่เหล็กไฟฟ้า ช่วงของ  $\epsilon_r'$  และ  $\epsilon_r''$  นั้นจะทำการเปลี่ยนแปลงในช่วงของผลสัมที่มีรสนชาติหวาน โดยอ้างอิง จากค่า  $\epsilon_r'$  และ  $\epsilon_r''$  ของสัมจากผลการวัดด้วยเครื่องมือวัดมาตรฐาน[6]ซึ่งค่าแทนเจนต์การสูญเสีย จะขึ้นอยู่กับ ค่า  $\epsilon_r'$  และ  $\epsilon_r''$  ของสัม ค่าแทนเจนต์การสูญเสีย หาได้จากนี้

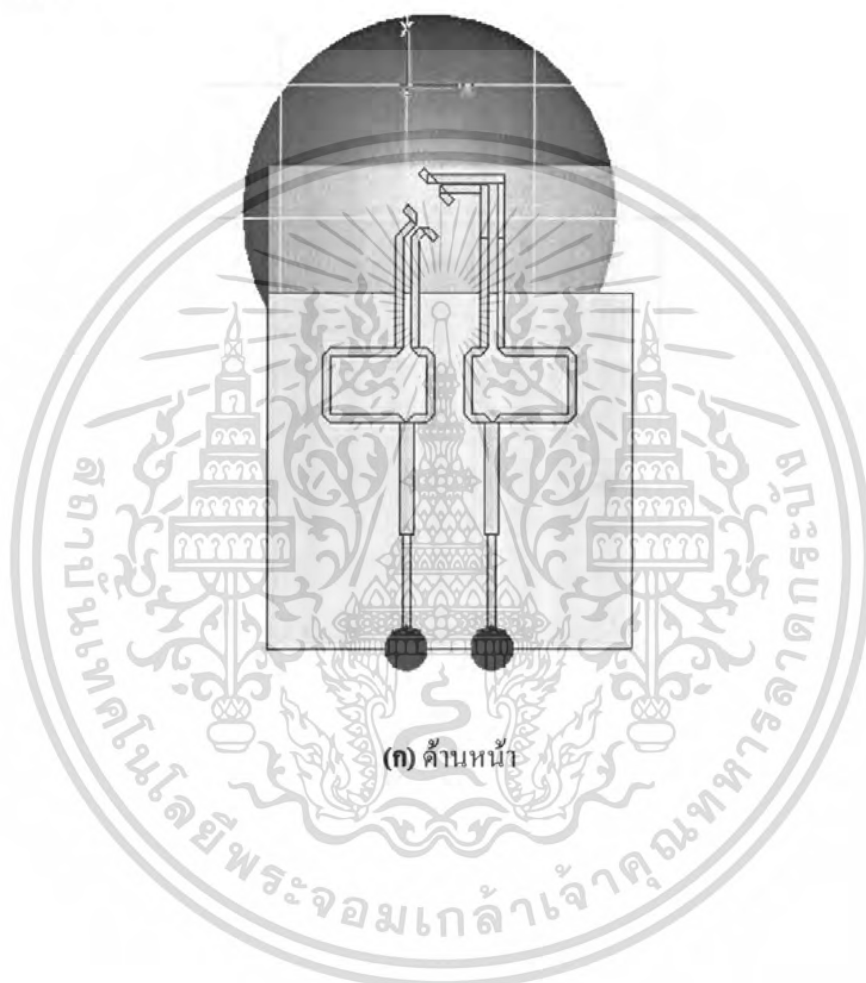
$$\tan \delta = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

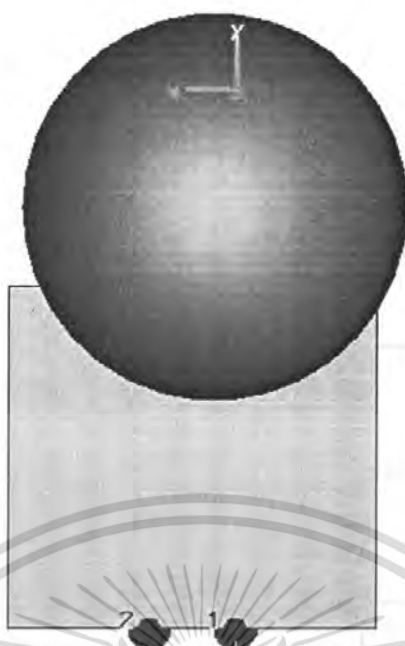
ตัวอย่างการจำลองการทำงานเช่น

ต้องการจำลองสั้ที่  $\varepsilon_r' = 48$  และ  $\varepsilon_r'' = 2$  ดังนั้นค่า  $\tan \delta = \frac{2}{48} \approx 0.04167$  ซึ่งในการทดลองนี้จะเปลี่ยนค่า  $\varepsilon_r'$  และ  $\varepsilon_r''$  หลายค่าดังนั้นจึงขอยกตัวอย่างเป็นบางค่า

- กรณีขนาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

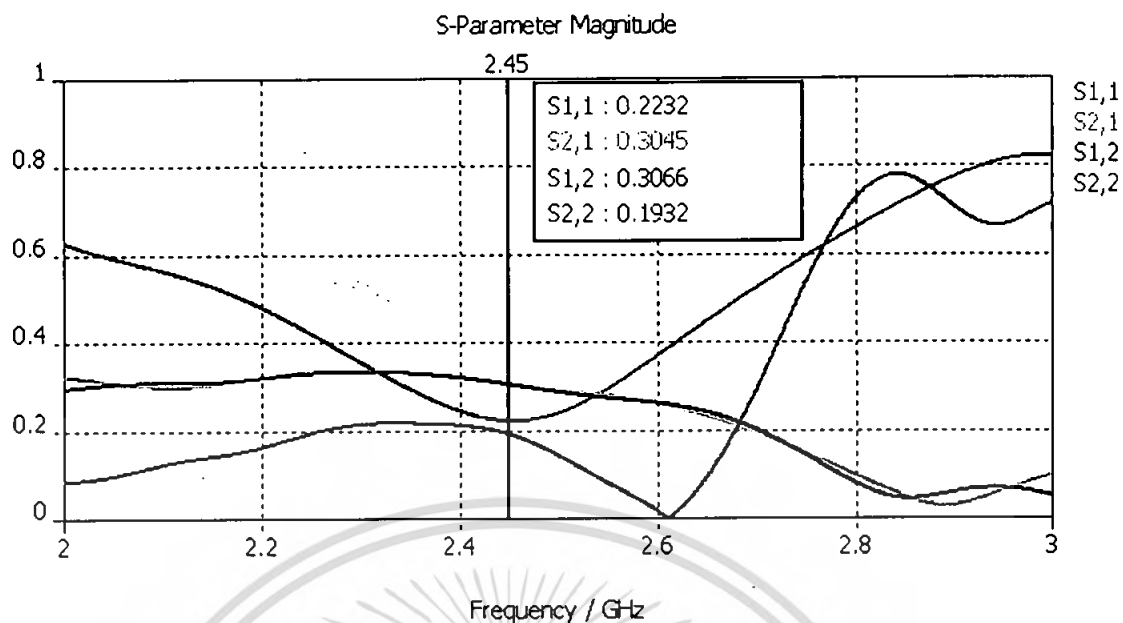


(ข) ด้านหลัง

**รูปที่ 3.7** สายอากาศไดโพลแบบขนานที่จำลองร่วมกับผล

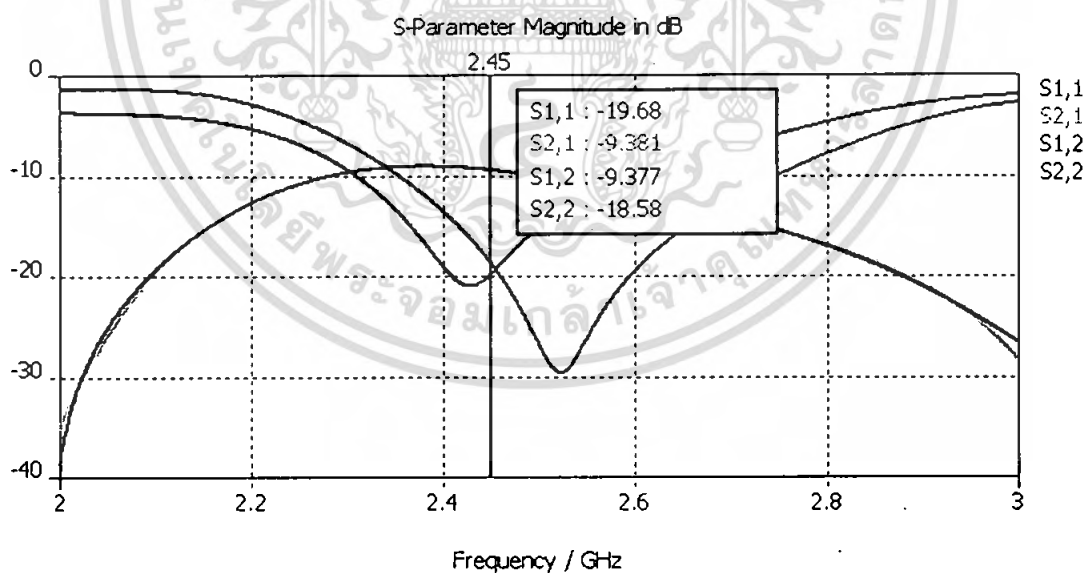
จากรูปที่ 3.7 (ก) เป็นรูปการจำลองสายอากาศไดโพลบนแผ่นพิมพ์แบบขนาน โดยจะให้สายอากาศไดโพลเคี้ยวบนแผ่นพิมพ์ด้านซ้ายคงที่ไว้ และให้สายอากาศไดโพลเคี้ยวตัวด้านขวาเป็นตัวนำมาจัดวางในรูปแบบขนานกับสายอากาศไดโพลเคี้ยวตัวซ้าย จากนั้นวางสัมลบนตัวสายอากาศแล้วทำการจำลองการทำงานว่าสัมพันธ์กับสายอากาศที่ออกแบบ ซึ่งผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.9 และ รูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3.8** ค่าขนาดของเอส (S) พารามิเตอร์ เชิงเส้น จากการจำลองกรณีขนาน

จากรูปที่ 3.8 เป็นกราฟแสดงค่าเอส (S) พารามิเตอร์แบบเชิงเส้น ซึ่งเรานำข้อมูลจากกราฟไปพล็อตเป็นกราฟเชิงพื้นที่

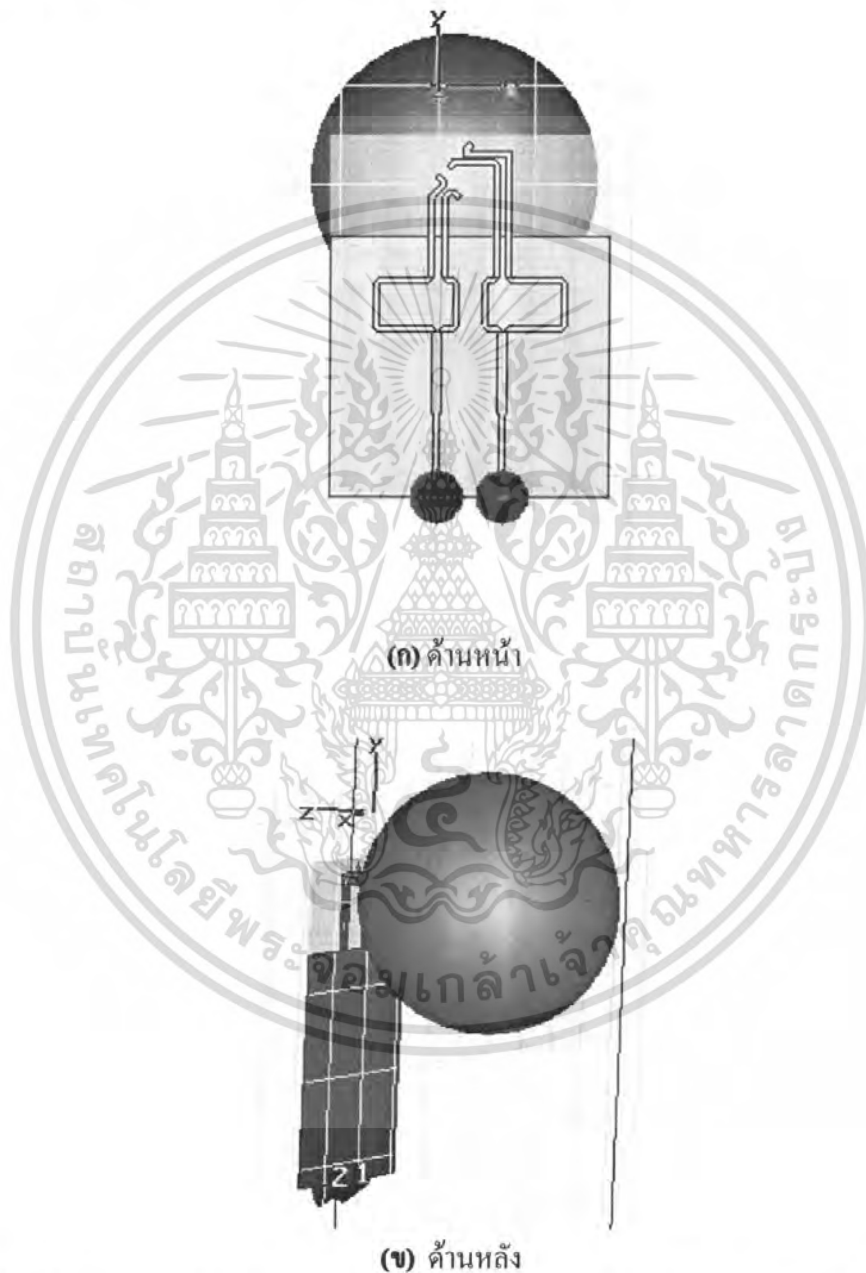


**รูปที่ 3.9** ค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการจำลองกรณีขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.9 นั้นจะพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับทั้งสองพอร์ต( $S_{11}, S_{22}$ ) เพื่อดูว่าสายอากาศแมตช์กับผลส้มหรือไม่ จากกราฟจะเห็นว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตหนึ่งเท่ากับ  $S_{11} = -19.68$  dB และค่าการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตสองเท่ากับ  $S_{22} = -18.58$  แสดงว่าสายอากาศนี้แมตช์กับผลส้ม

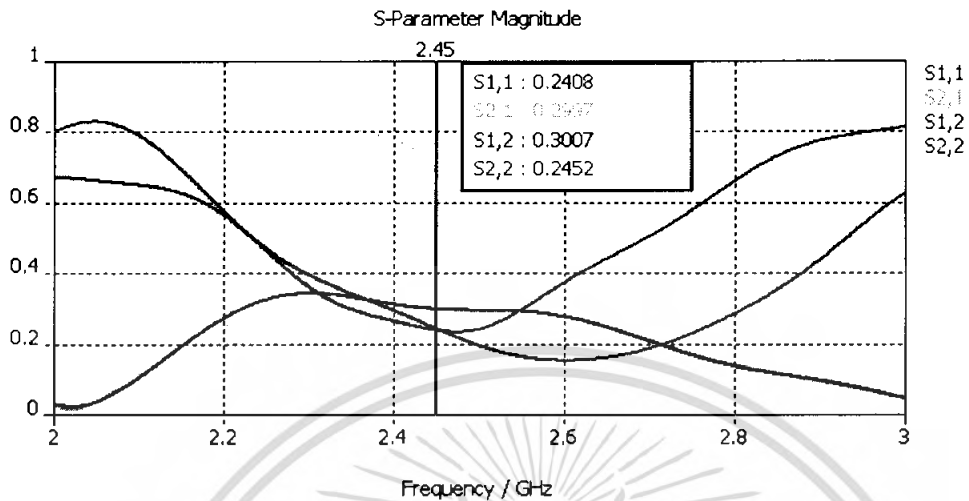
- กรณีตั้งฉาก



รูปที่ 3.10 สายอากาศไดโพลแบบตั้งฉากที่จำลองร่วมกับผลส้ม ทั้งแบบขนานและตั้งฉาก

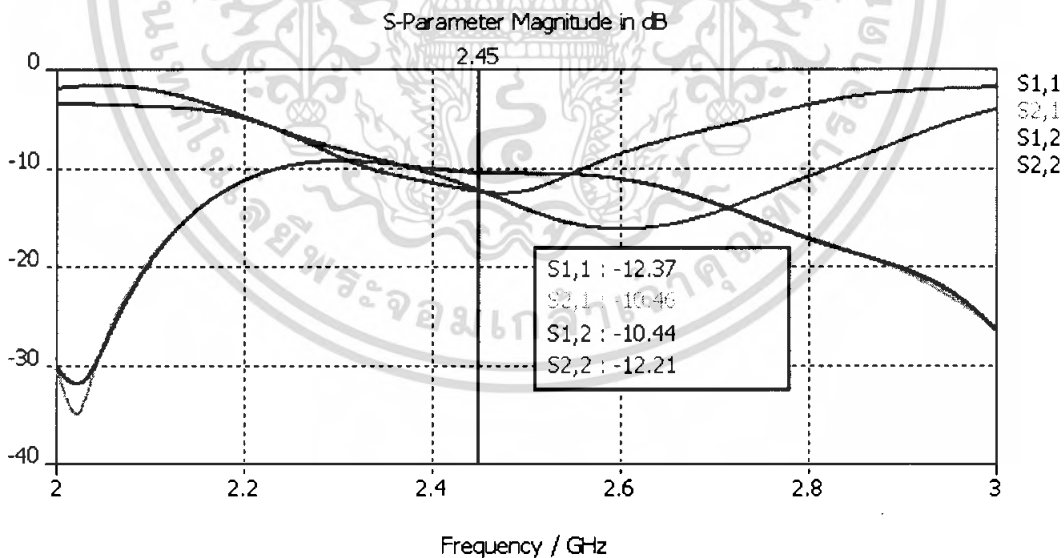
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.10 สายอากาศไดโพลแบบตั้งฉากและแบบขนาน เป็นรูปแบบการจัดวางสายอากาศไดโพลบนแผ่นพิมพ์ตั้งฉาก



**รูปที่ 3.11** ค่าขนาดพารามิเตอร์ S เชิงเส้นจากการจำลองกรณีตั้งฉาก

จากรูปที่ 3.11 ค่าพารามิเตอร์การเชื่อมต่อร่วม  $|S_{21}|$  จะถูกนำไปใช้พล็อตเป็นกราฟเชิงพื้นที่ผิว เพื่อใช้ร่วมกับค่าขนาดจากรูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อร่วมที่ได้จากกรณีขนาน



**รูปที่ 3.12** ค่าการสูญเสียย้อนกลับจากการจำลองกรณีตั้งฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.12 จะพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตสอง ( $S_{11}, S_{22}$ ) ซึ่งค่าที่ได้จากการจำลองพบว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตหนึ่งและพอร์ตสอง และ  $S_{22} = -12.21$  dB

ในการทดลองจำลองที่ผ่านมาเป็นการจำลองโปรแกรมทางแม่เหล็กเพื่อพิจารณาค่า  $S$  พารามิเตอร์ในการใช้งาน ตัวแปรที่จะเข้ามาอิทธิพลต่อการวัดค่าของสายอากาศคือตัวแปรคือ มือที่จับสายอากาศเพื่อทดสอบ สัม ดังนั้นเพื่อให้สายอากาศได้ โพลบนพิมพ์มีความแม่นยำสามารถนำไปใช้จริงได้มากที่สุดเราจึงได้จำลองอิทธิพลของมือเพิ่มเข้าไปซึ่งการจำลองสายอากาศที่มีอิทธิพลของมือร่วมอยู่ด้วย จะแบ่งการจำลองออกเป็น 2 กรณีเช่นเดิมคือกรณีตั้งฉากและขนานก็จะแบ่งเป็น 2 กรณีเช่นเดิมคือ จำลองทั้งกรณีขนานและตั้งฉาก

- การจำลองการทำงานของสายอากาศโดยมีอิทธิพลของมือคนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

กรณีตั้งฉาก



(ก) ด้านหน้า

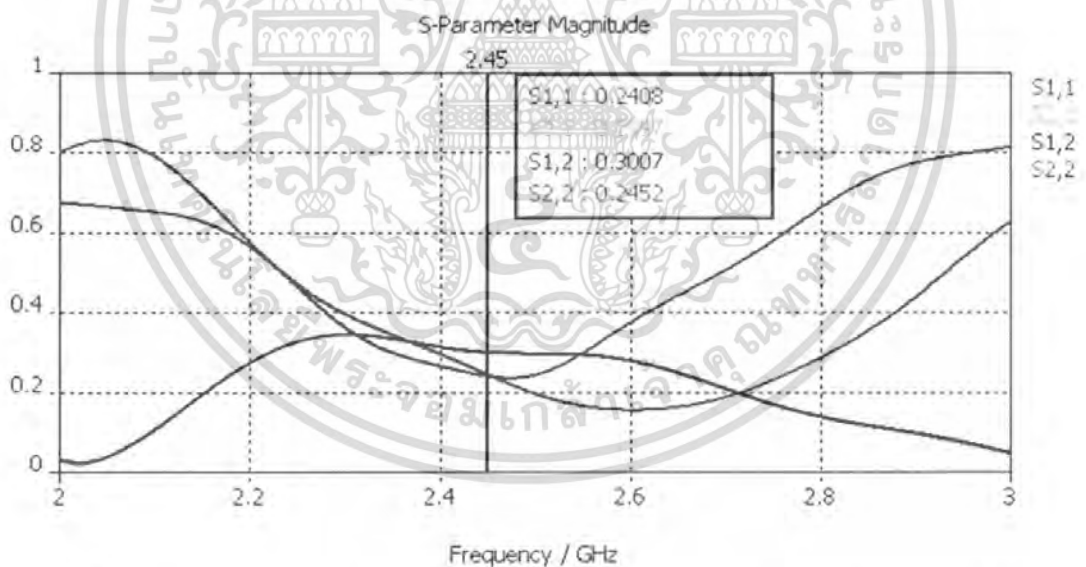
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ด้านหลัง

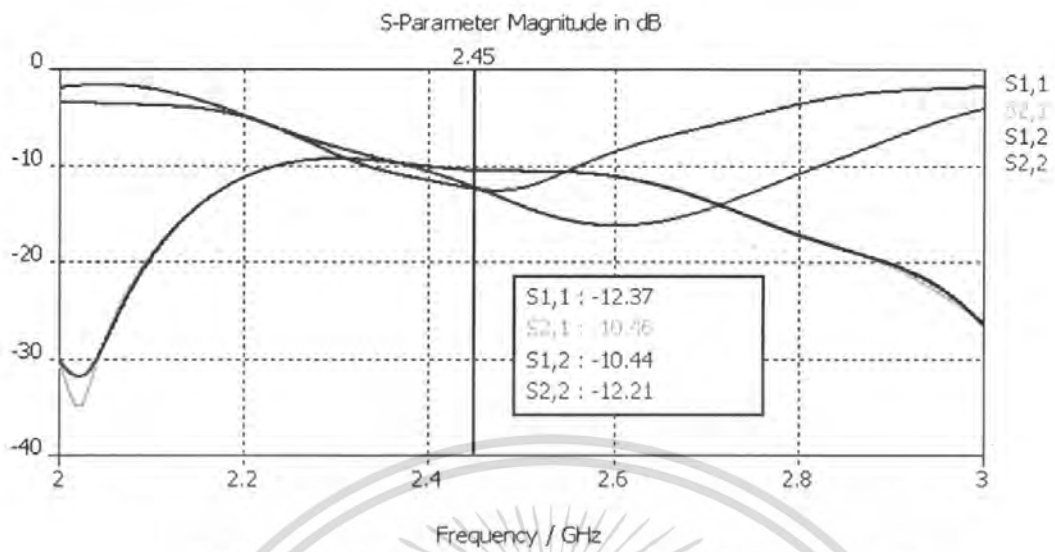
**รูปที่ 3.13** สายอากาศไดโพลตั้งฉากที่รวมอิทธิพลของมือ

จากรูปที่ 3.13 เป็นการจำลองสายอากาศไดโพลบนแผ่นพิมพ์โดยอิทธิพลมือเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยที่เราจะออกแบบกล่องสี่เหลี่ยมขึ้นมาหุ้มทั้งสองข้างของสายอากาศแล้วป้อนค่าไดอิเล็กตริกของมือที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือมาตรฐาน เข้าไปในกล่องสี่เหลี่ยมที่สร้างขึ้นซึ่งสมมติให้เป็นมือคนที่เข้ามาประกอบ

**รูปที่ 3.14** ค่าขนาดของ  $S$  พารามิเตอร์เชิงเส้นกรณีตั้งฉากจากการจำลองรวมอิทธิพลของมือ

จากรูปที่ 3.14 แสดงค่าพารามิเตอร์  $S$  จากการจำลองการทำงานของสายอากาศในกรณีตั้งฉากโดยรวมอิทธิพลมือซึ่งเราจะนำขนาดการเชื่อมต่อกันไปพล็อตเป็นกราฟเชิงพื้นที่จะนำค่า  $S_{21}$  พล็อตค่ารวมของทุกๆจุดค่า

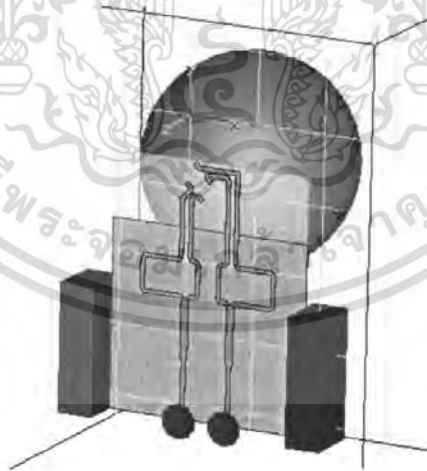
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3.15** ค่าความสูญเสียย้อนกลับในกรณีติดตั้งฉากที่รวมอิทธิพลของมือ

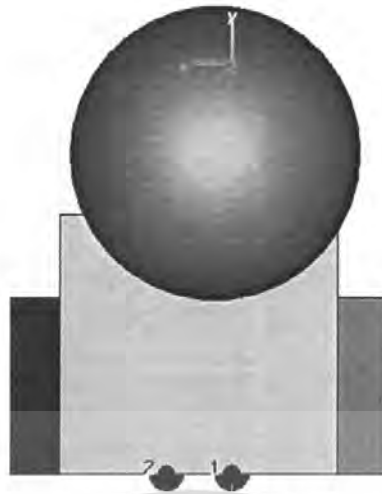
จากรูปที่ 3.15 วิเคราะห์ว่าเมื่อมีผลของมือเข้าไปเกี่ยวข้องแล้ว ค่าการสูญเสียย้อนกลับจะมากขึ้น เนื่องจากมีมือของคนเข้าไปเป็นตัวต้านทานโหลดเพิ่ม

กรณีขนาน



(ก) ด้านหน้า

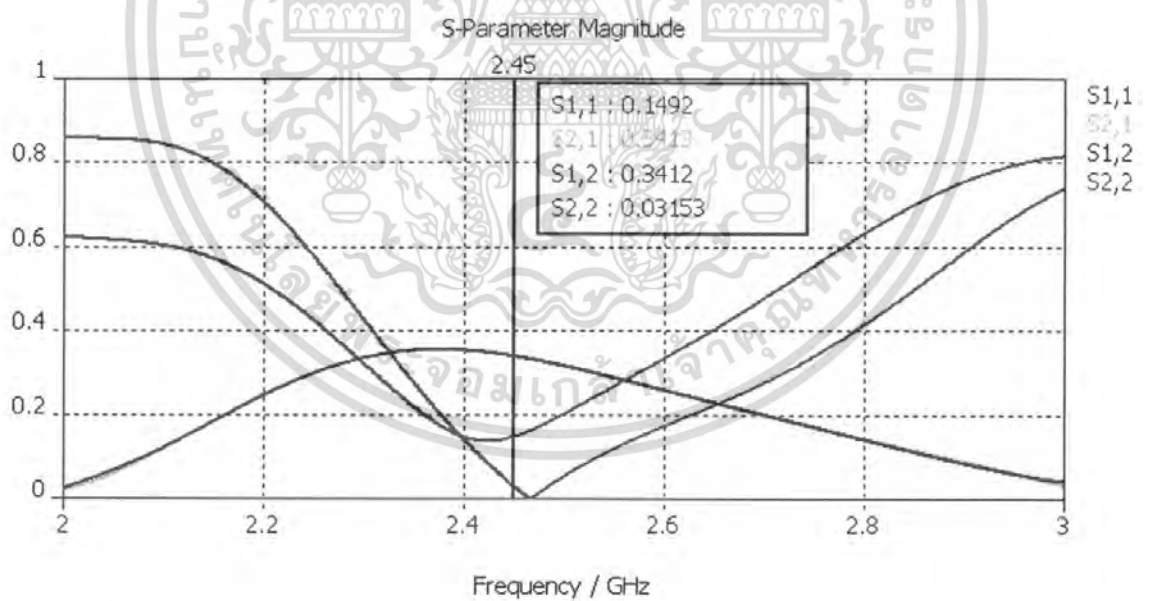
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ด้านหลัง

รูปที่ 3.16 สายอากาศไดโพลแบบขนานที่รวมอิทธิพลของมือ

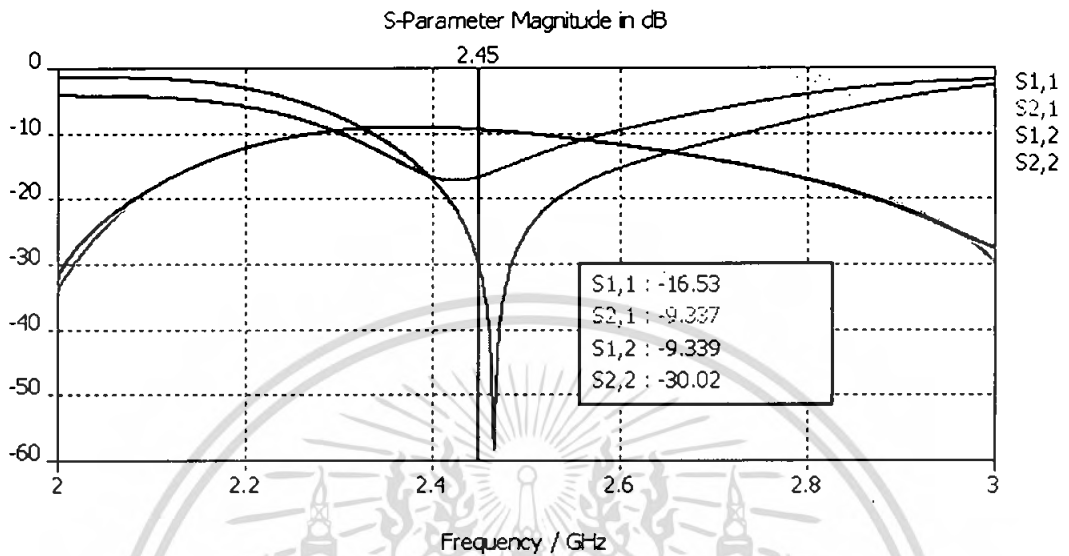
จากรูปที่ 3.16 (ก) และ (ข) แบบจำลองโดยโปรแกรมทางแม่เหล็กไฟฟ้าในกรณีขนานที่มีอิทธิพลของมือเข้าไปเกี่ยวข้อง



รูปที่ 3.17 ค่าขนาดของ S พารามิเตอร์เชิงเส้นกรณีขนานจากการจำลองรวมอิทธิพลมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.17 แสดง  $S$  ค่าพารามิเตอร์เชิงเส้นจากการจำลองการทำงานของสายอากาศในกรณีขนาน โดยรวมอิทธิพลของมือ ซึ่งจะเก็บค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วม  $S_{21}$  ไปพล็อตเป็นกราฟเชิงพื้นที่ผิวเพื่อใช้ร่วมกับค่าที่ได้จากกรณีตั้งฉาก



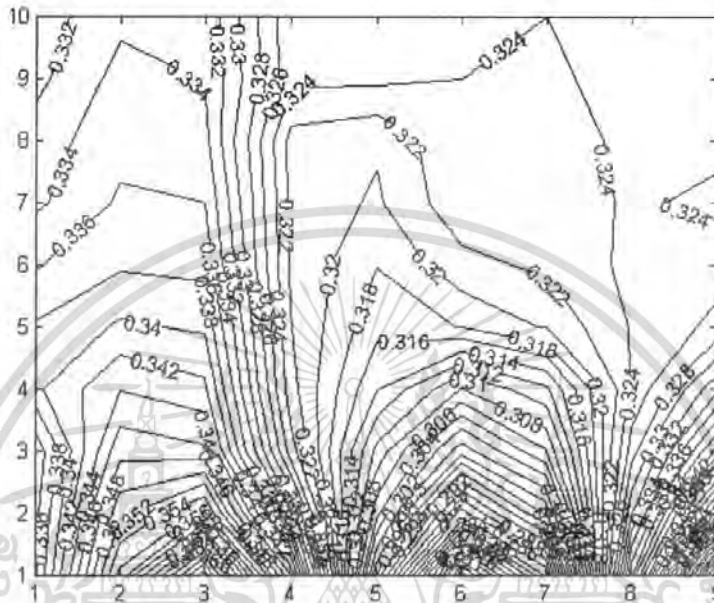
**รูปที่ 3.18** ค่าความสูญเสียย้อนกลับของกรณีขนานที่รวมอิทธิพลของมือของคน

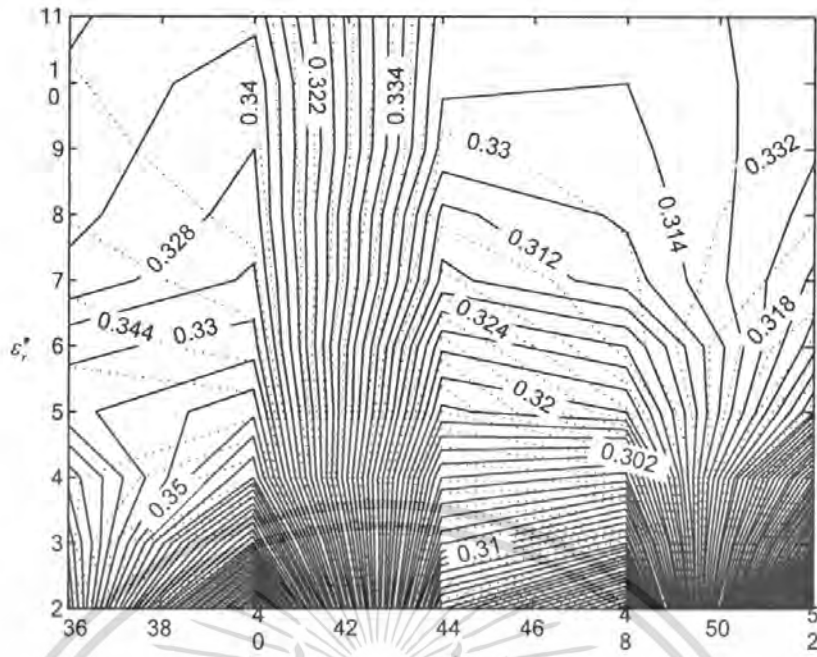
จากรูปที่ 3.18 จะเห็นได้ว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตหนึ่งและพอร์ตสองเท่ากับ  $S = -16.53$  dB และ  $S_{22} = -30.02$  dB จากกราฟเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.9 จะเห็นได้ว่าอิทธิพลของมือจะทำให้การสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตหนึ่งและลดลงที่พอร์ตสอง

จากการจำลองสายอากาศไดโพลกรณีตั้งฉากกระทบที่รวมอิทธิพลของมือ เพื่อเก็บค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมมาพล็อตเป็นกราฟเชิงพื้นที่ผิวสำหรับนำไปใช้หาค่าไดอิเล็กตริกและค่าตัวประกอบสูญเสียของผลสัมซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

### 3.3. การพล็อตค่าเชิงพื้นผิว

หลังจากที่เราทราบค่า  $S_{21}$ ,  $S_{12}$  แล้ว จากนั้นเราจะทำค่าที่เราทราบจากทุกๆจุด ทั้งสองกรณีไปพล็อตกราฟเชิงพื้นผิว เพื่อที่เราจะได้ทราบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง





รูปที่ 3.21 กราฟเชิงพื้นผิวของกรณีตั้งฉากและกรณีขนาน

จากรูปที่ 3.21 จะเห็นได้ว่าจะมีบางช่วงที่ไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากการตัดกันมากกว่า 1 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

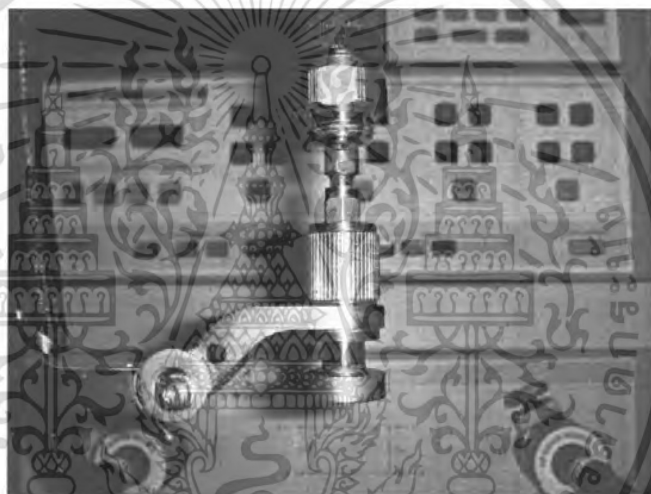
## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองจะแบ่งเป็น 3 การทดลองใหญ่ คือ

- 4.1) การทดลองวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของส้มโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย[6]ข่ายทำการวัดค่าของส้มรสชาติต่างๆ
- 4.2) ผลการจำลองทางโปรแกรมทางแม่เหล็กไฟฟ้า[1]
- 4.3) การทดสอบสายอากาศที่สร้างขึ้นจริง

#### 4.1 การทดลองวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของส้มโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายข่ายทำการวัดค่าของส้มรสชาติต่างๆ



รูปที่ 4.1 เครื่องมือวัดค่าไดอิเล็กตริกมาตรฐาน (Agilent 85070E Dielectric Probe KIT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดสัมประสิทธิ์ต่างๆเรานำสัมมาวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสัมประสิทธิ์ต่างๆหลายลูก แต่เราจะสรุปค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสัมที่มีรสนชาติต่างๆออกมา 6 ผล เนื่องจากรสนชาติของสัมที่เหมือนกันค่าก็ใกล้เคียงกันมาก

**ตารางผลการทดลองที่ 4.1** แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสัมลักษณะต่างๆ

สัมลูกที่	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ที่ความถี่ 2.45 GHz		รสนชาติของสัม
	$\epsilon_r'$	$\epsilon_r''$	
<b>สัมลูกที่ 1</b>			
- เนื้อสัม+เปลือก	28.76885	6.886417	รสนชาติหวาน อโรย
- เนื้อสัม	36.78513	10.17163	
- เปลือกนอก	9.891700	2.663450	
- เปลือกใน	24.018800	5.574950	
<b>สัมลูกที่ 2</b>			
- เนื้อสัม+เปลือก	29.985730	6.093350	รสนชาติหวาน แต่ไม่อโรย
- เนื้อสัม	26.217430	15.017580	
- เปลือกนอก	5.224950	0.458600	
- เปลือกใน	5.088000	0.649800	
- หัวข้าวสาร	15.256080	3.647525	
<b>สัมลูกที่ 3</b>			
- เนื้อสัม+เปลือก	27.824000	0.585900	รสนชาติหวาน แต่ไม่อโรย
- เนื้อสัม	32.900000	8.330000	
- เปลือกนอก	5.225000	0.458600	
- เปลือกใน	5.244000	0.739000	
- หัวข้าวสาร	15.256080	3.647525	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สั้มลูกที่	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ที่ความถี่ 2.45 GHz		รสชาติของสั้ม
	$\epsilon'_r$	$\epsilon''_r$	
<b>สั้มลูกที่ 4</b>			
- เนื้อสั้ม+เปลือก	27.870000	0.560000	หวานอร่อย
- เนื้อสั้ม	34.907000	8.896000	
- เปลือกนอก	28.910000	6.725600	
- เปลือกใน	5.599000	1.009900	
- หัวข้าวสาร	40.750000	10.205000	
<b>สั้มลูกที่ 5</b>			
- เนื้อสั้ม+เปลือก	17.053000	2.890000	หวานอร่อย
- เนื้อสั้ม	44.561000	10.885000	
- เปลือกนอก	26.290000	5.5198000	
- เปลือกใน	17.234000	4.649000	
<b>ลูกที่ 6</b>			
- เนื้อสั้ม+เปลือก	30.159630	6.116900	เปรี้ยว
- เนื้อสั้ม	34.201150	8.917500	
- เปลือกนอก	26.357000	5.896000	
- เปลือกใน	5.789000	1.122100	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พล็อตกราฟเพื่อดูค่าช่วงของของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสั้ม ที่ความถี่ตั้งแต่ 2.00-3.00 กิกะเฮิร์ต

หมายเหตุ

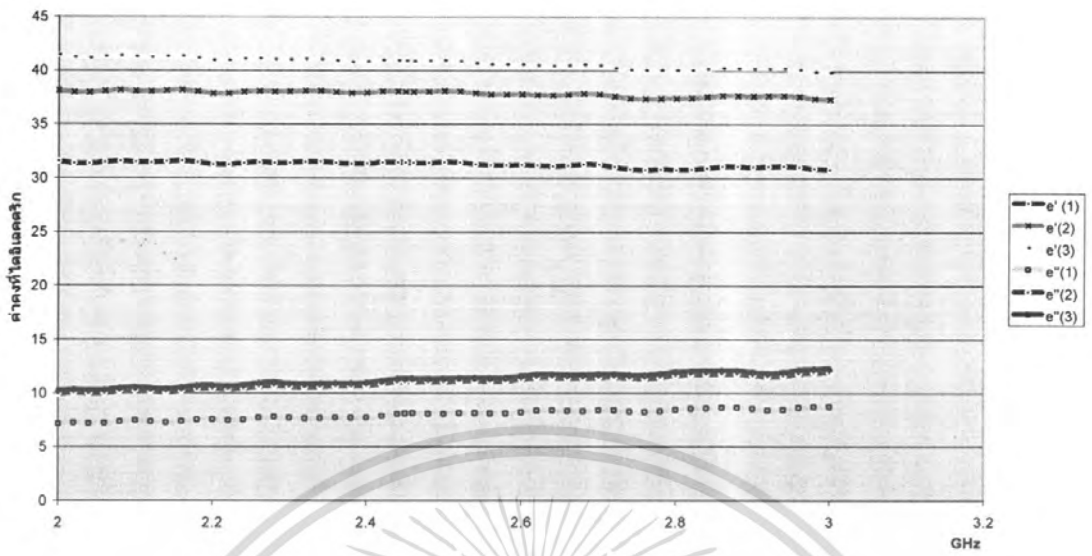
$$e' = \epsilon'_r$$

$$e'' = \epsilon''_r$$



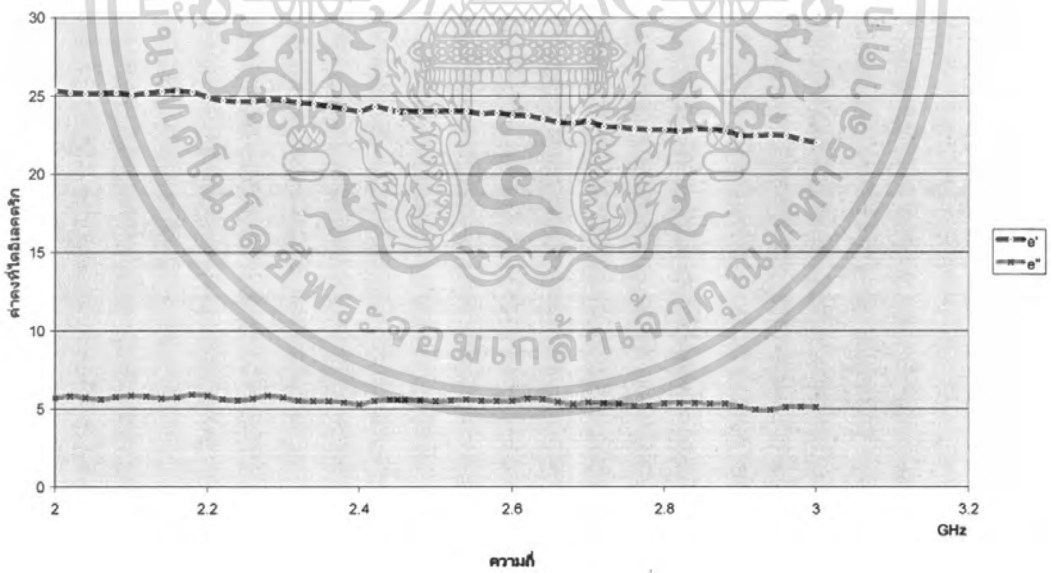
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของส้ม(เนื้อส้ม) ลูกที่1



(ข) เนื้อ ของส้ม

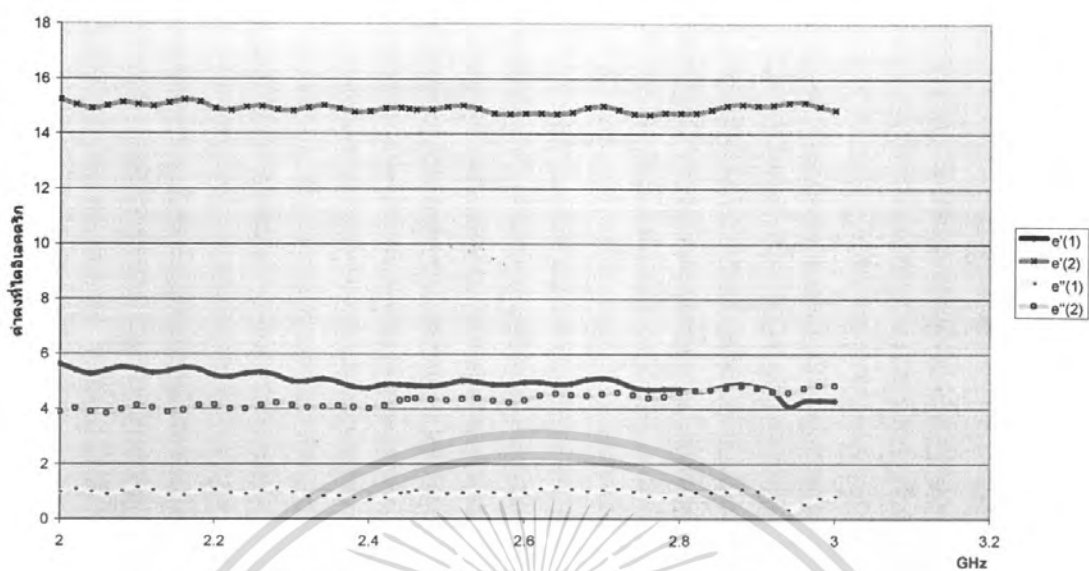
กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เปลือกนอก)ของส้มลูกที่1



(ค) เปลือกนอกของส้ม

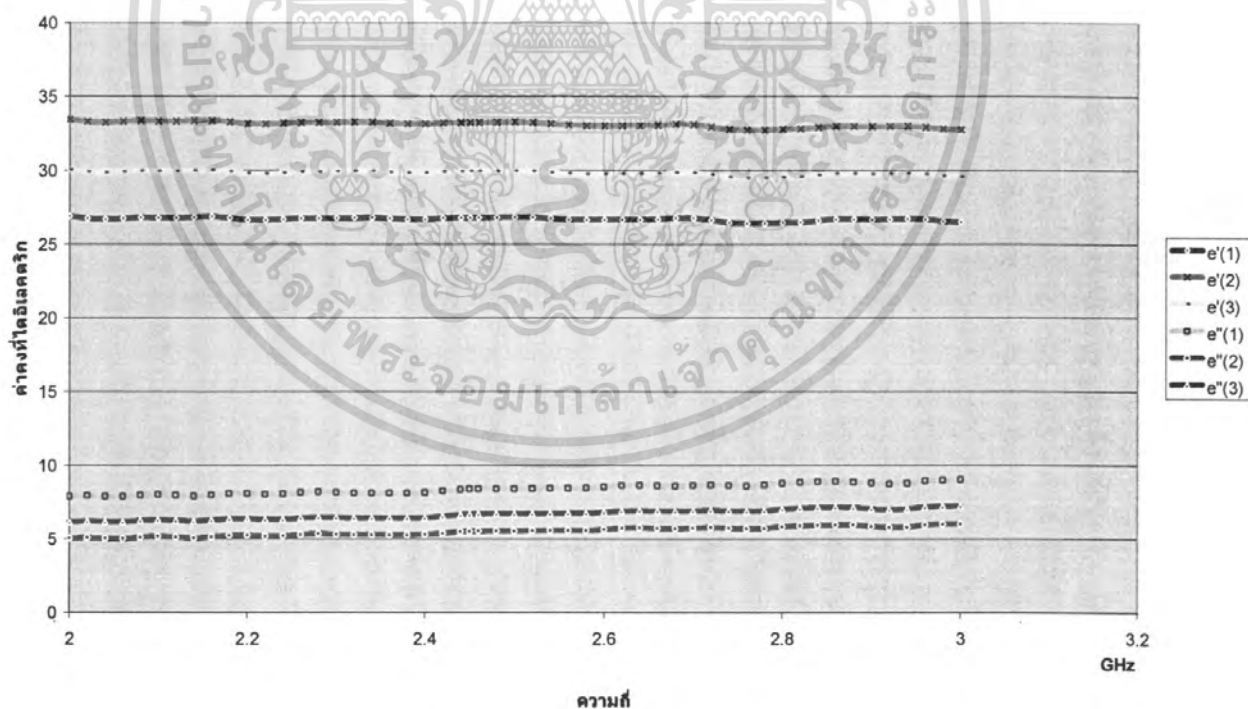
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เลือกใน)ของสัณลูกที่1



รูปที่ 4.2 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของสัณของสัณลูกที่ 1

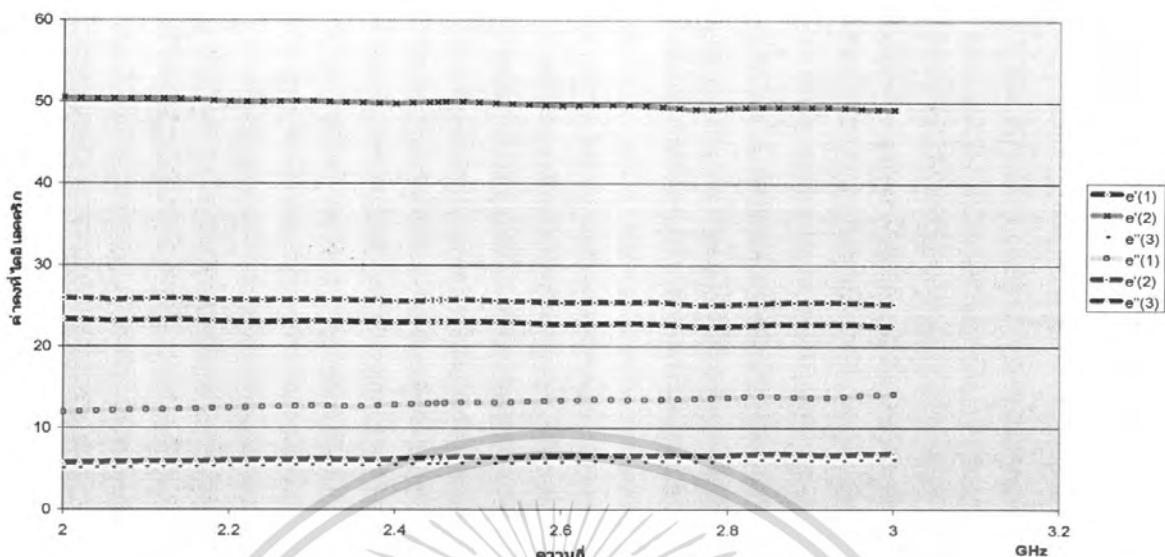
กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เนื้อ+เปลือก)ของสัณลูกที่2



(ก) เนื้อ+เปลือก

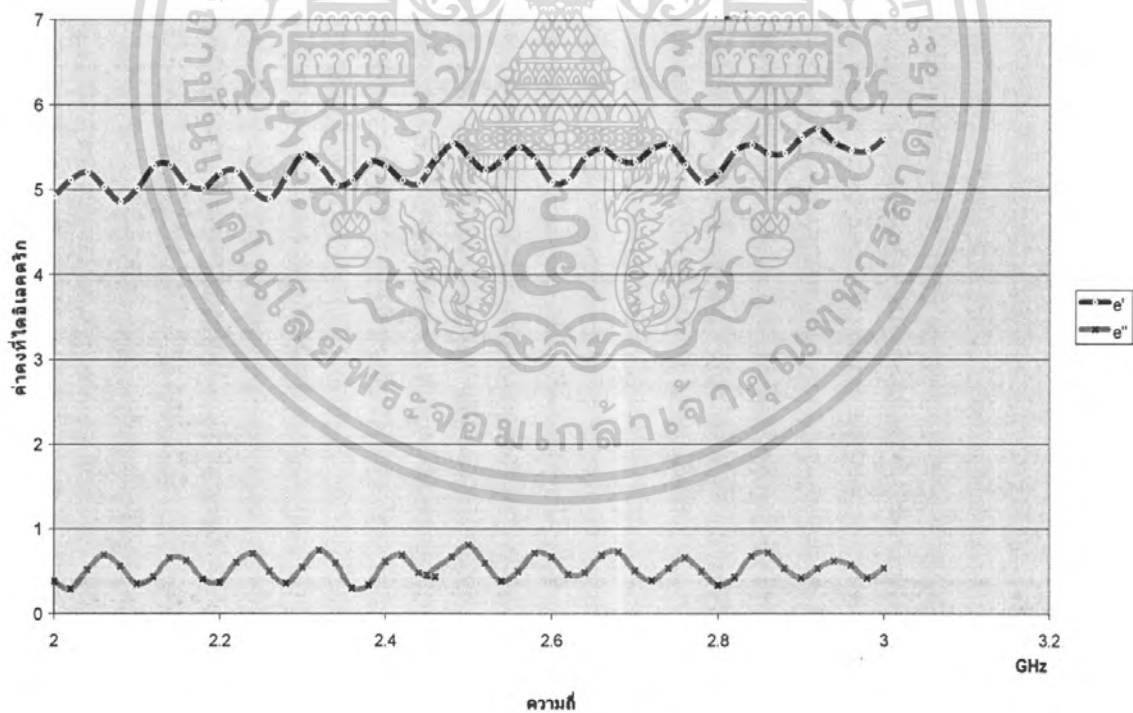
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เนื้อส้ม)ของส้มฉุกที่2



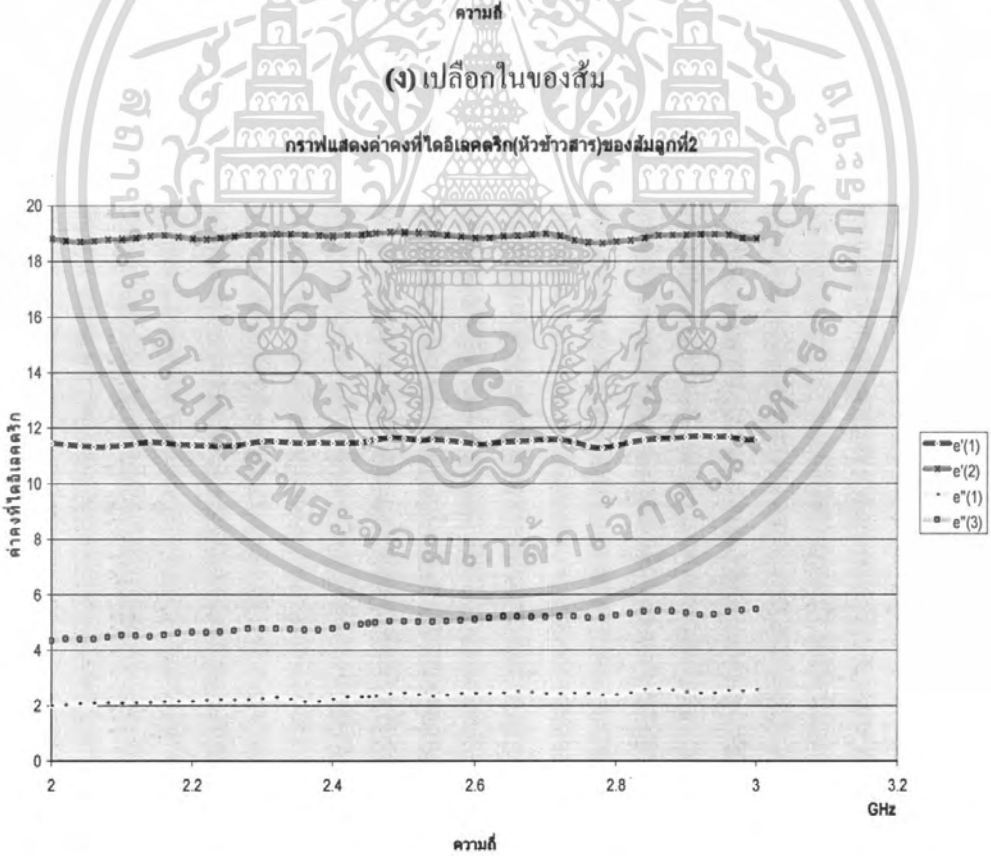
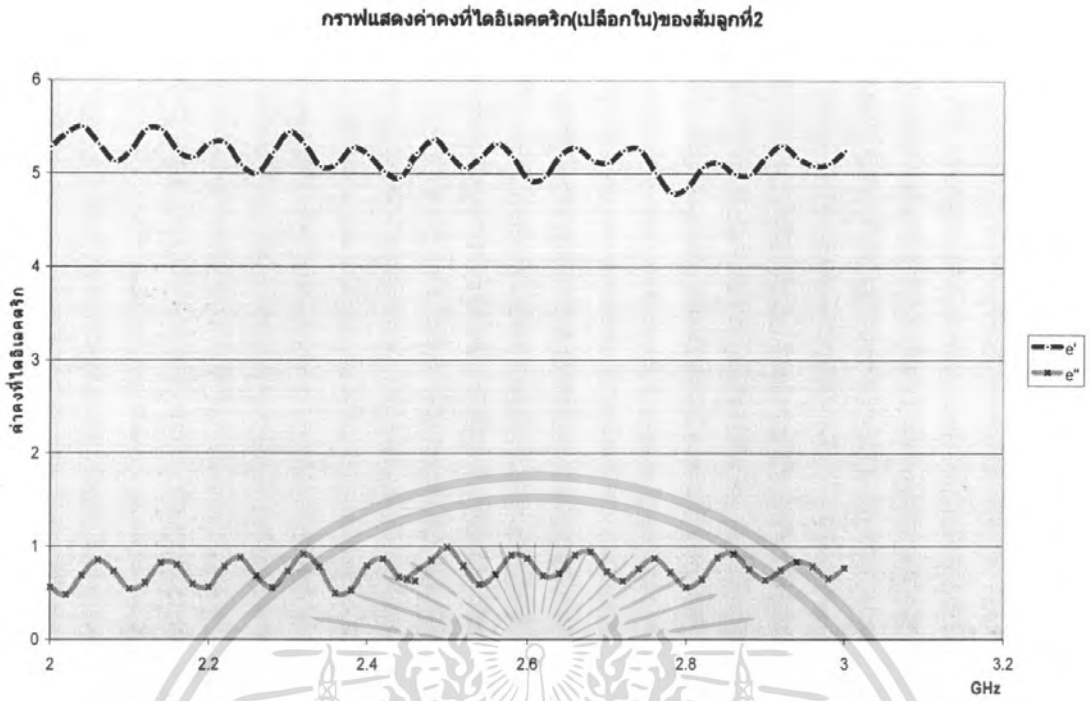
(ข) เนื้อส้ม

กราฟค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เปลือกนอก)ของส้มฉุกที่2



(ค) เปลือกนอกของส้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

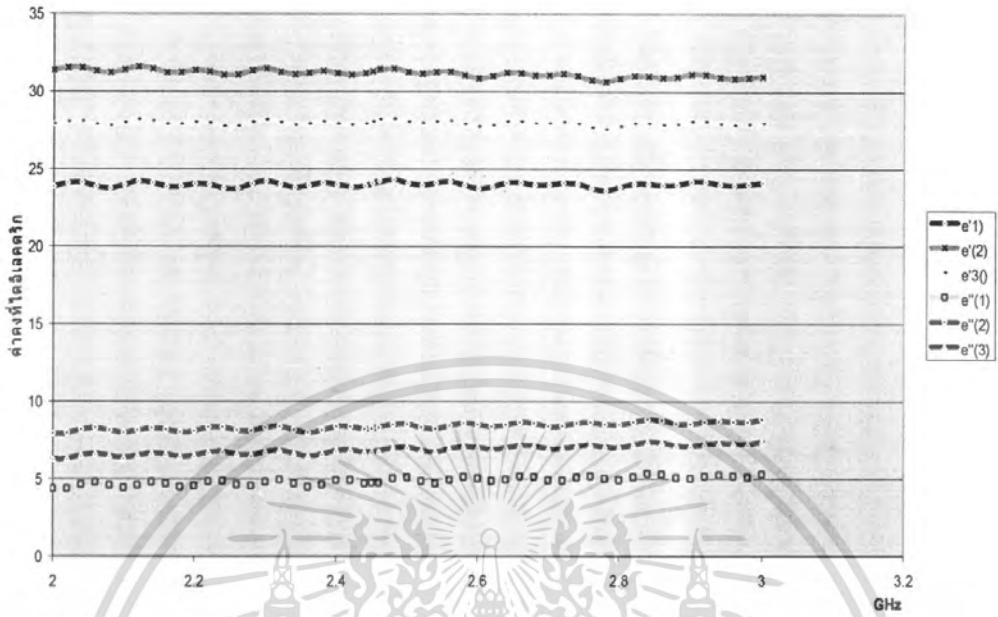


**(จ) หัวข้าวสารของส้ม**

**รูปที่ 4.3** แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของส้มของส้มลูกที่ 2

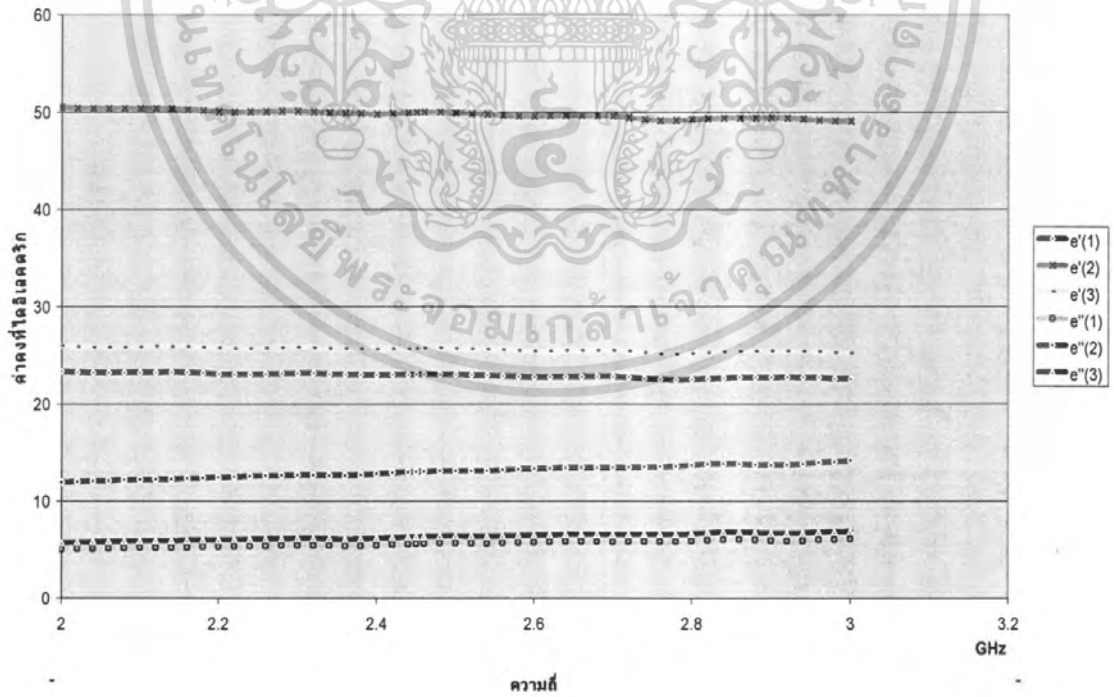
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เนื้อ+เปลือก)ของส้มลูกที่3



(ก) เนื้อเปลือก

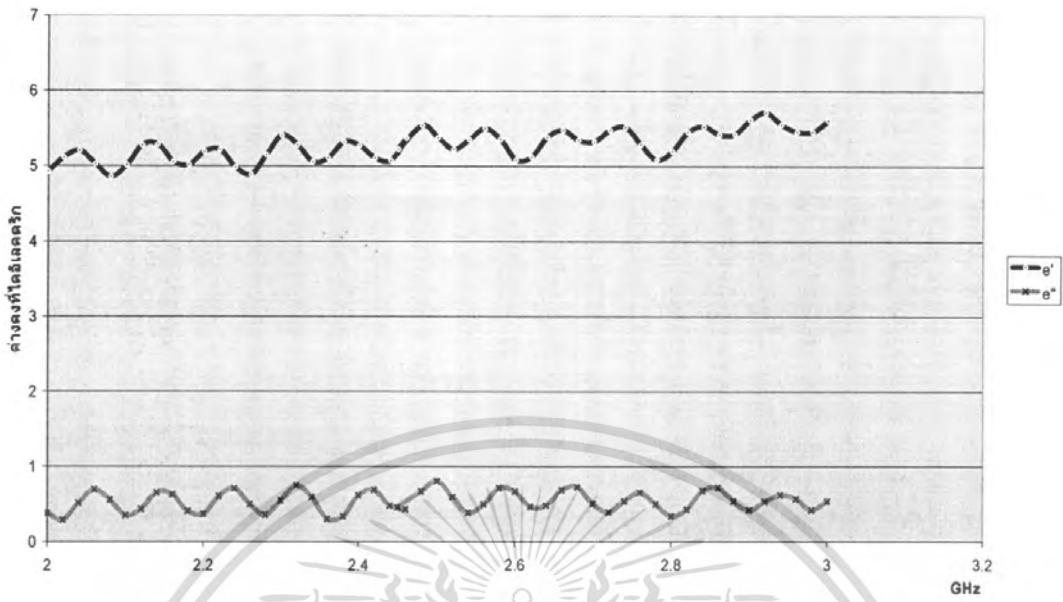
กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เนื้อส้ม)ของส้มลูกที่3



(ข) เนื้อส้ม

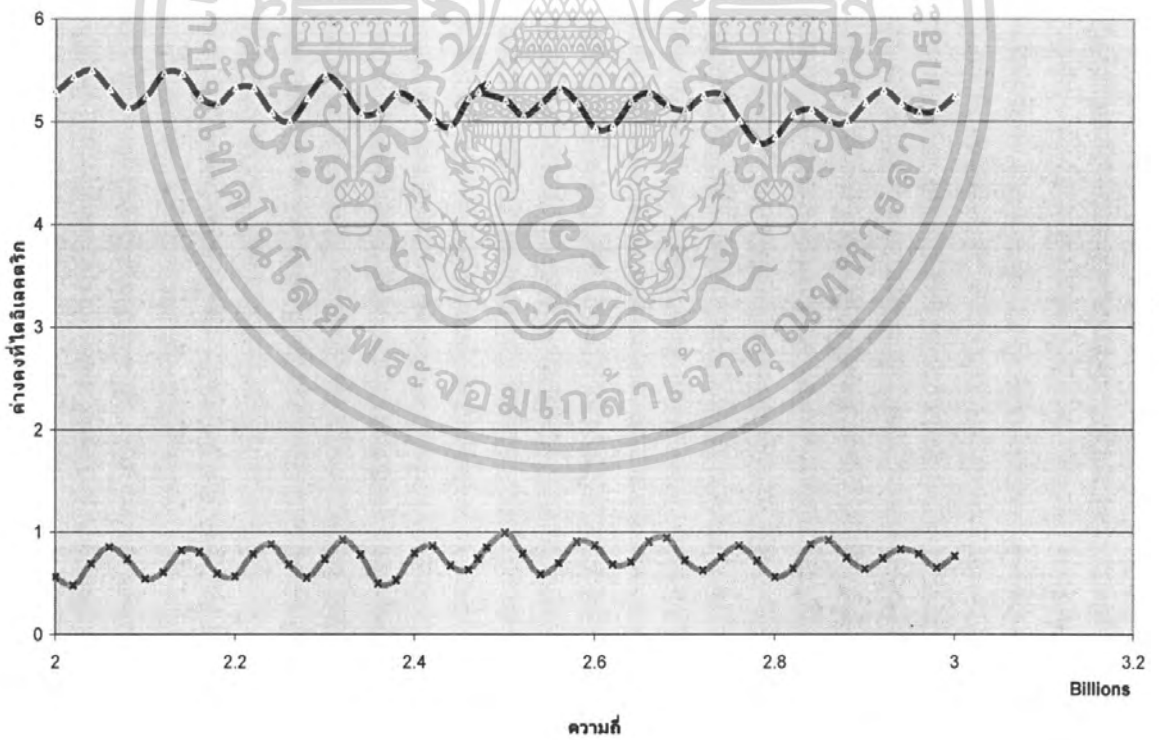
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เปลือกนอก)ของสัณฐานที่3



(ค) เปลือกนอก

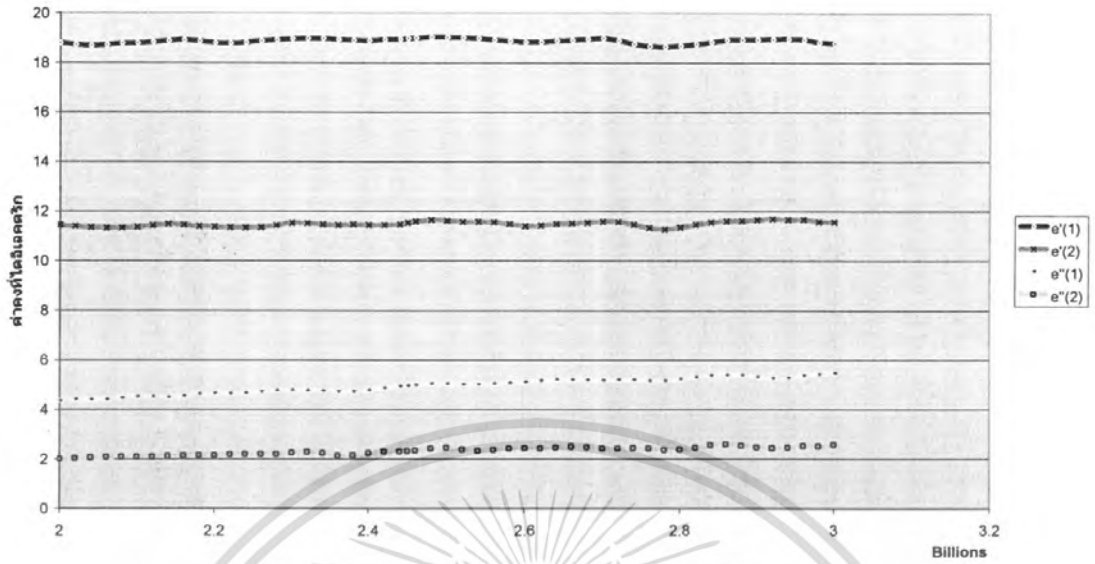
กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เปลือกใน)



(ง) เปลือกใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

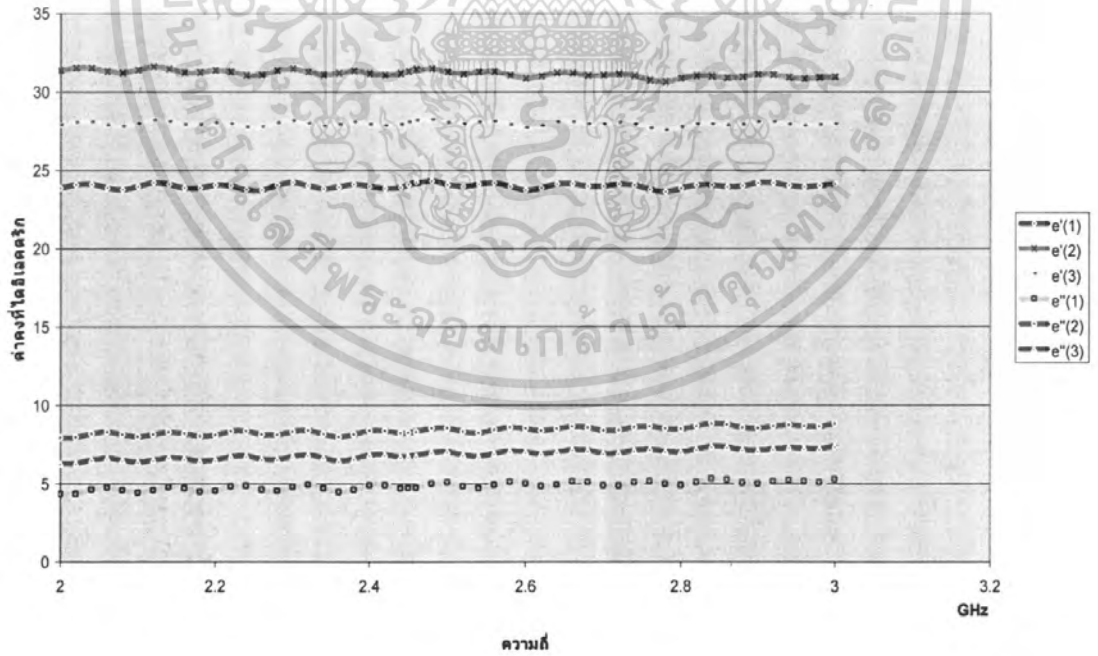
กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(หัวข้าวสาร)ของสัมลุกที่3



(จ) หัวข้าวสาร

รูปที่ 4.4 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของส้มของสัมลุกที่ 3

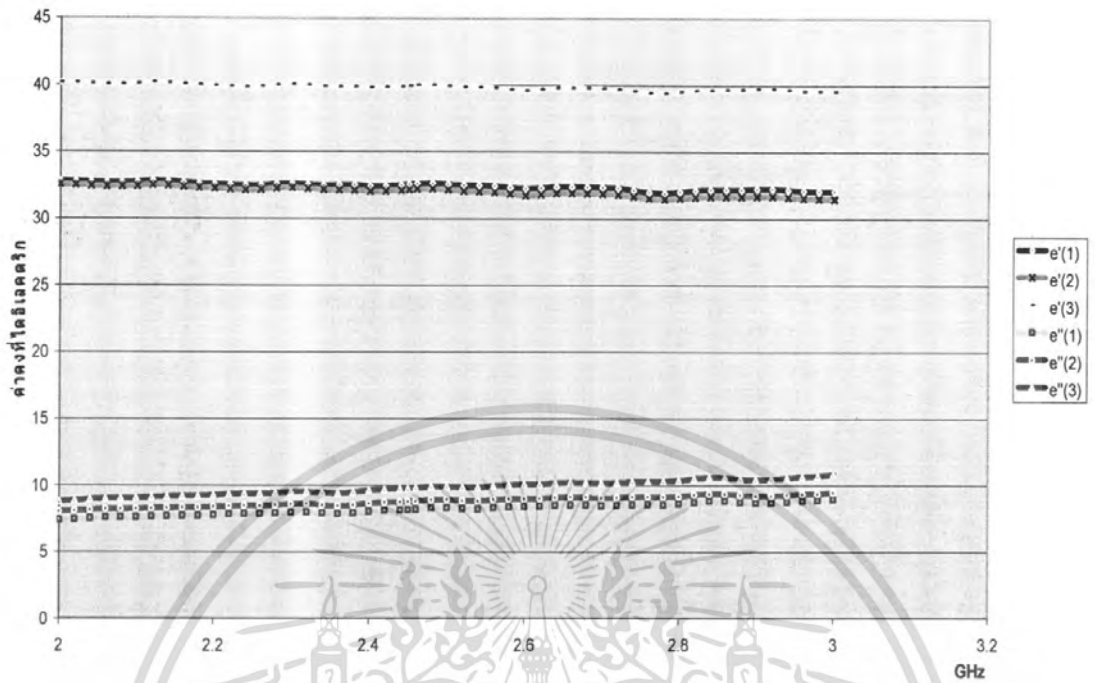
กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เนื้อ+เปลือก)ของสัมลุกที่4



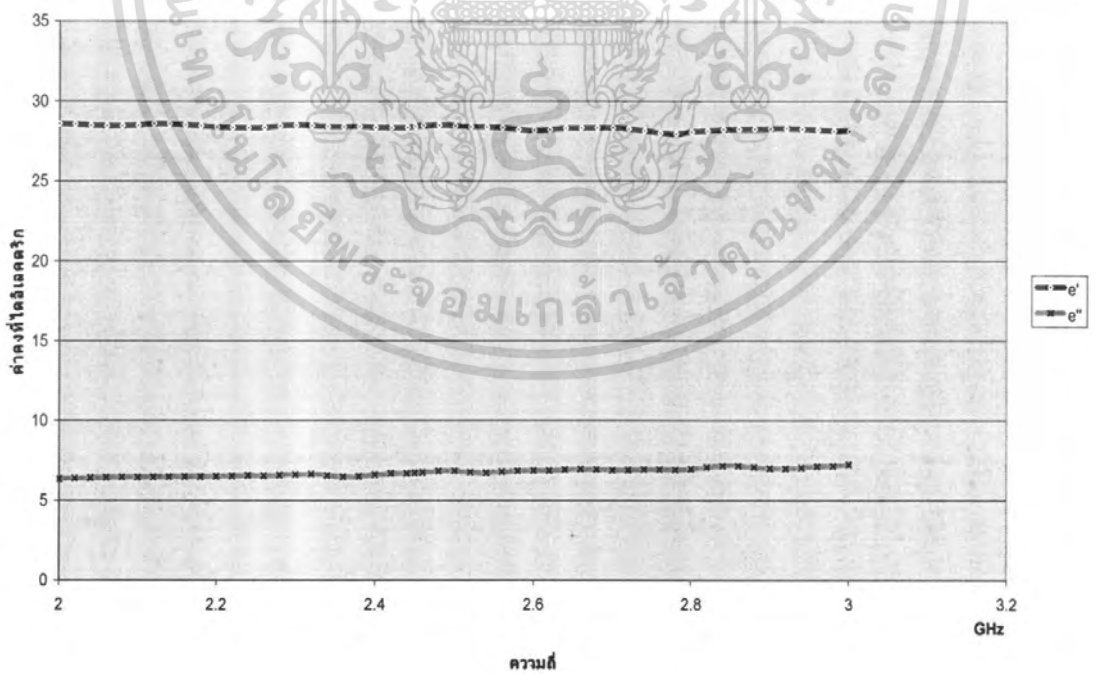
(ก) เนื้อ+เปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เนื้อส้ม)ของส้มลูกที่4



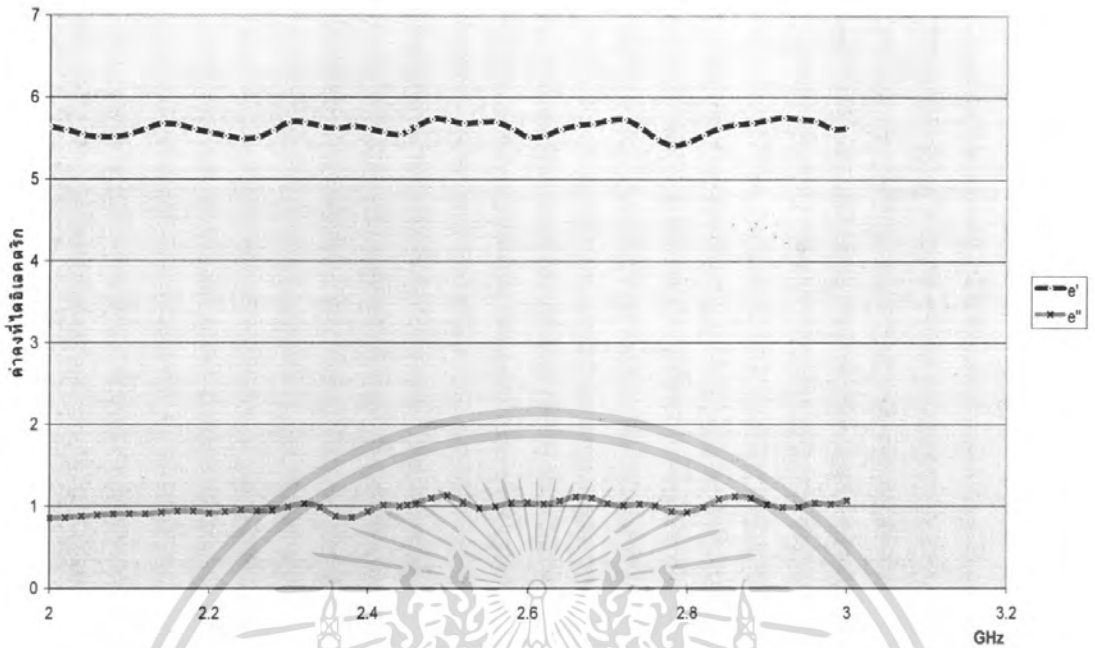
ความถี่ (ข) เนื้อส้ม  
กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เปลือกนอก)ของส้มลูกที่4



(ค) เปลือกนอก

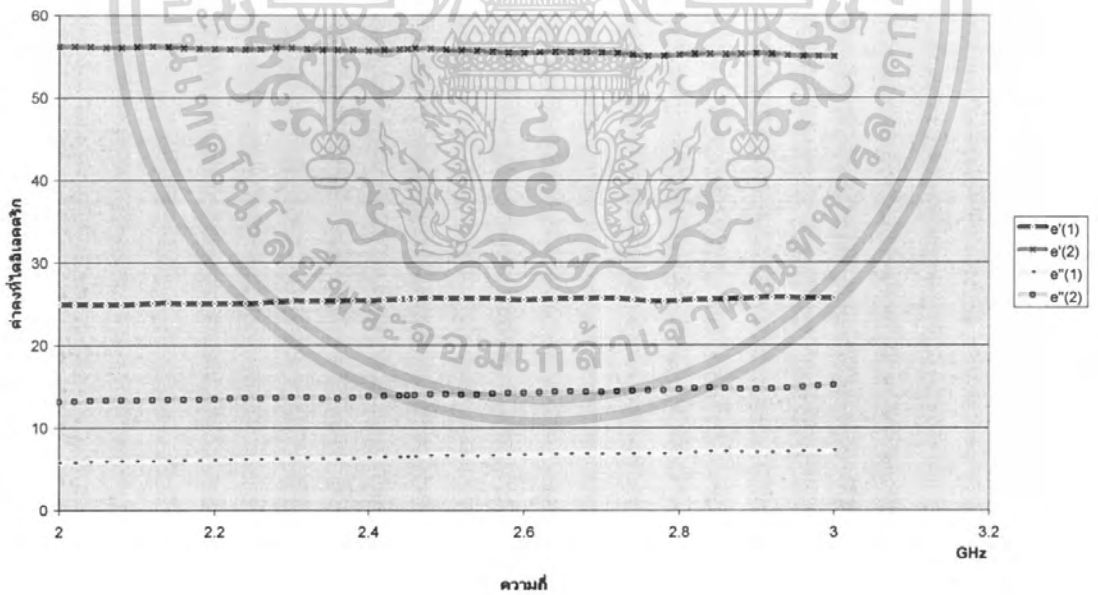
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เปลือกใน)



(ง) เปลือกนอกของส้อม

กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(หัวข้าวสาร)

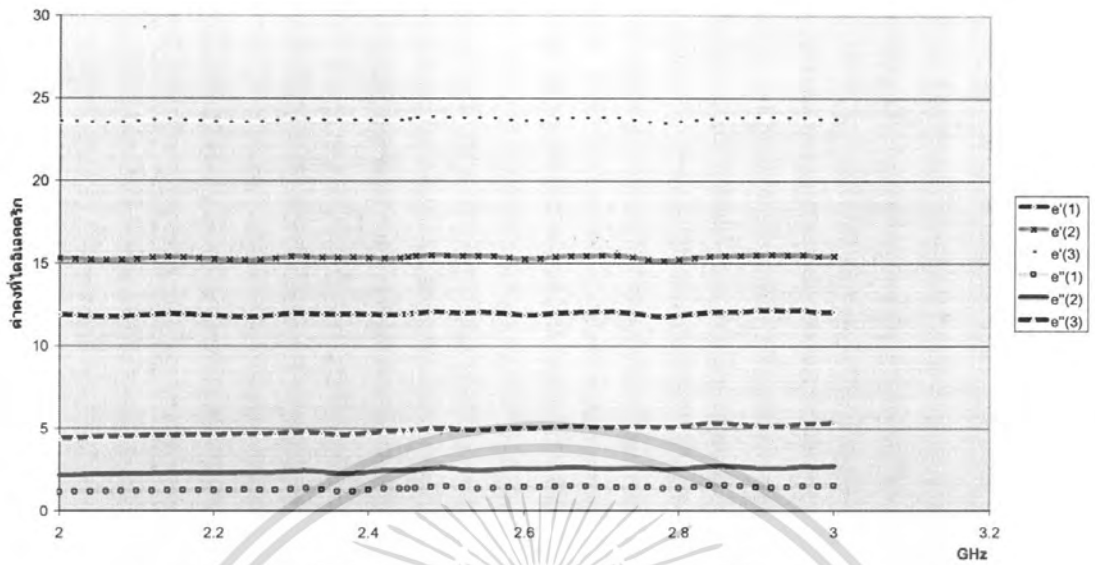


(จ) หัวข้าวสาร

รูปที่ 4.5 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของส้อมของส้อมลูกที่ 4

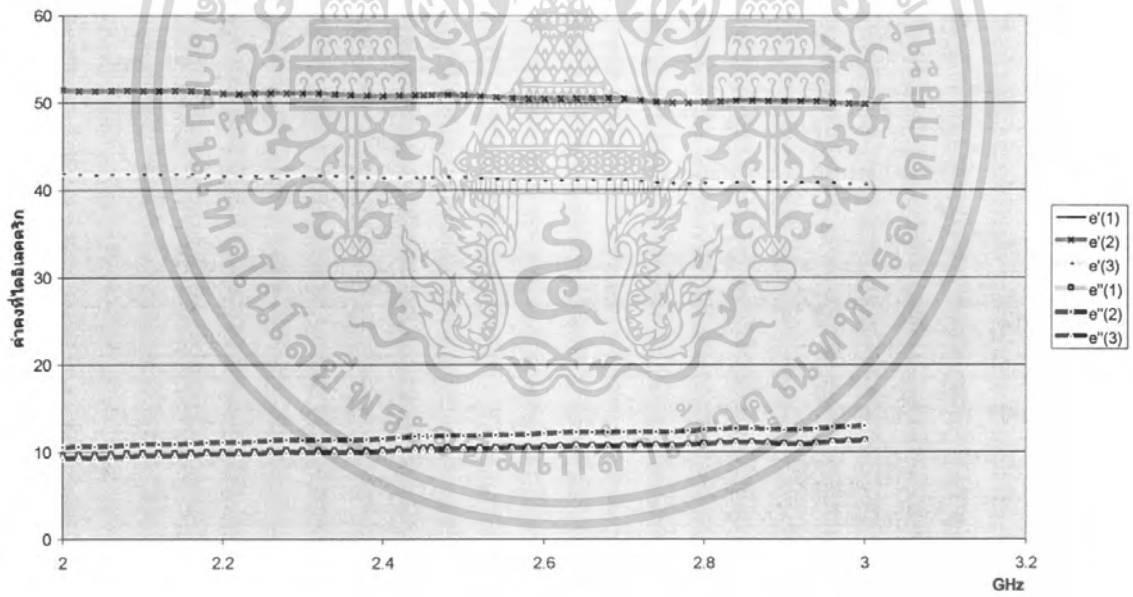
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เนื้อ+เปลือก)ของสัมลุกที่5



ความถี่  
(ก) เนื้อส้ม+เปลือก

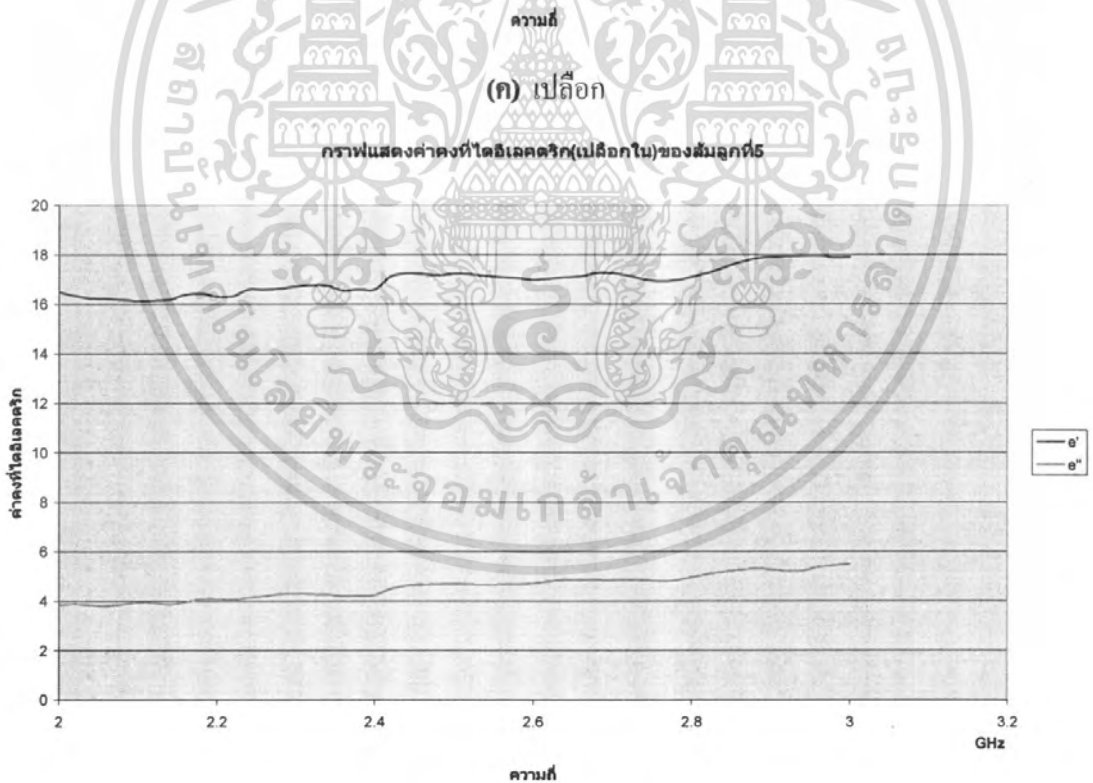
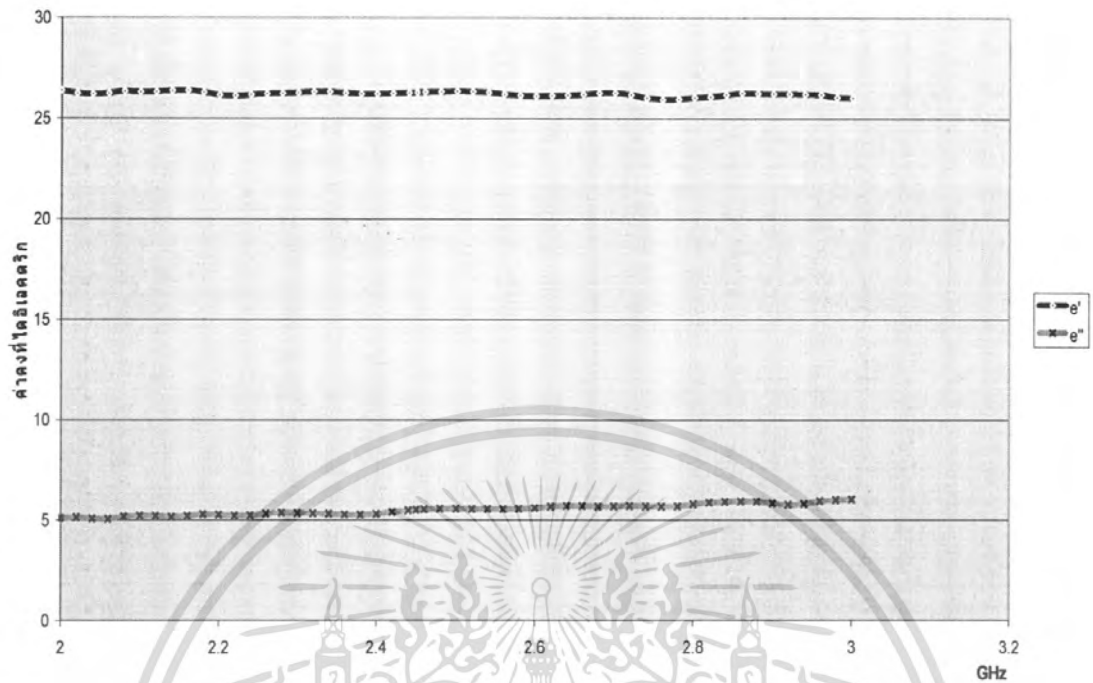
กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เนื้อส้ม)ของสัมลุกที่5



(ข) เนื้อส้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เปลือกนอก)ของส้มลูกที่5

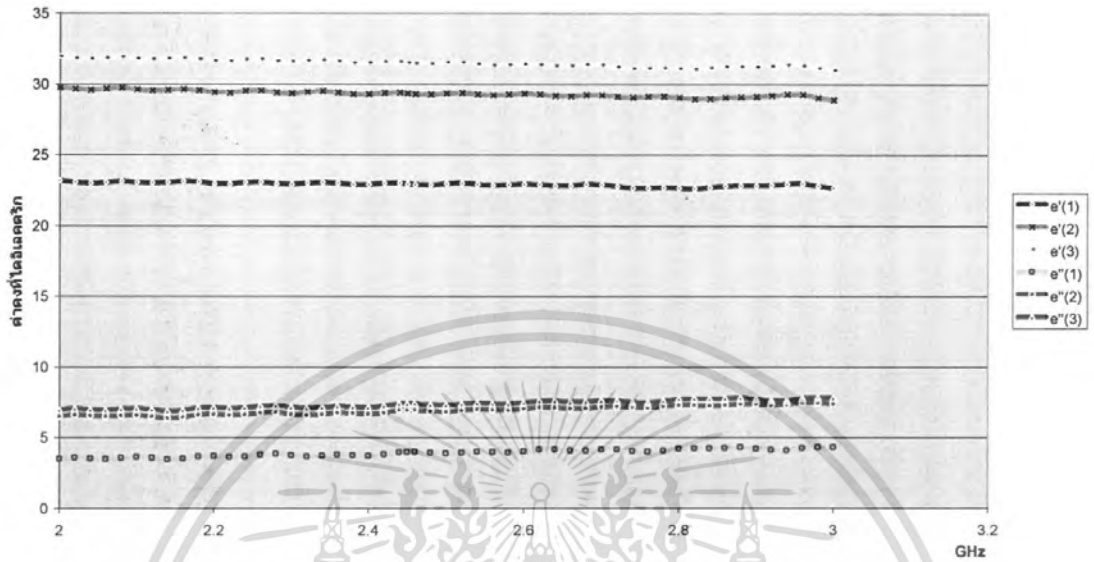


(ง) เปลือกในของส้ม

รูปที่ 4.6 ค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของส้มของส้มลูกที่ 5

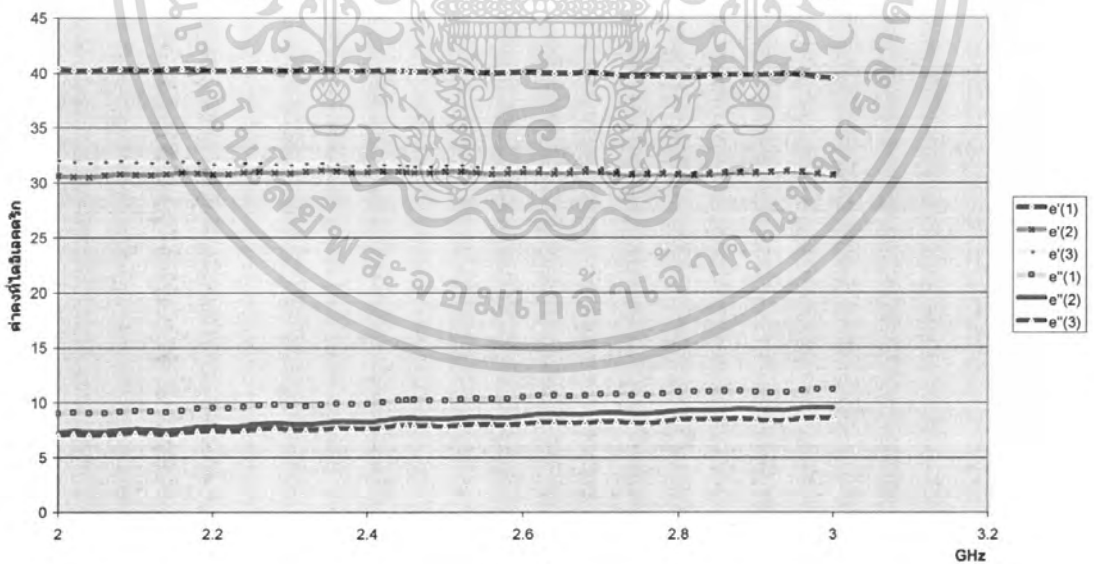
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เนื้อ+เปลือก)ของส้มลูกที่6



ความถี่  
(ก) เนื้อ+เปลือก

กราฟแสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(เนื้อ)ของส้มลูกที่6



ความถี่  
(ข) เนื้อส้ม

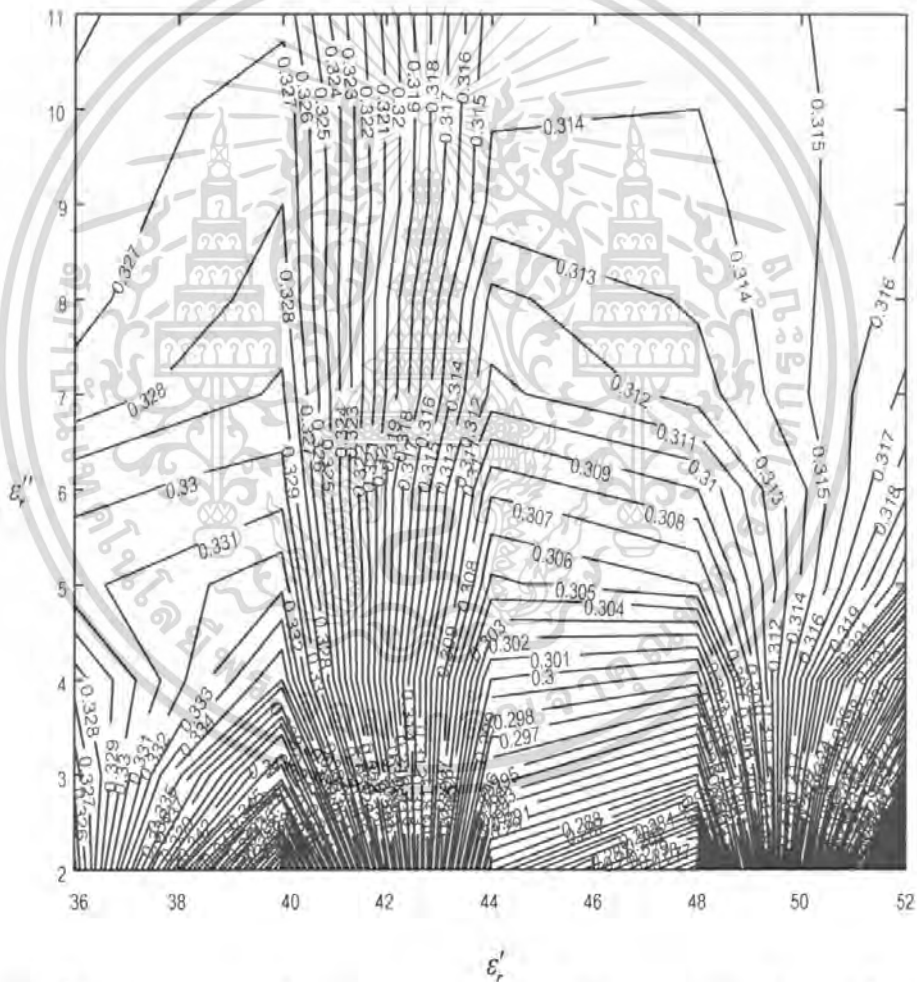
รูปที่ 4.7 แสดงค่าไดอิเล็กตริกที่ส่วนต่างๆของส้มของส้มลูกที่6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 (ก)-4.7 (ข) เป็นกราฟที่แสดงค่าช่วงค่าไดอิเล็กตริกที่ความถี่ต่างๆ ซึ่งในการทดลองเรา จะทำการสุ่มจุดตำแหน่ง 3 ตำแหน่งในการวัดค่าของสัมประสิทธิ์แล้วนำมาพล็อตกราฟเชิงสถิติเพื่อดูค่าช่วง ความถี่ไดอิเล็กตริกของส่วนต่างๆของส้อมและรสชาติต่างๆได้ง่าย

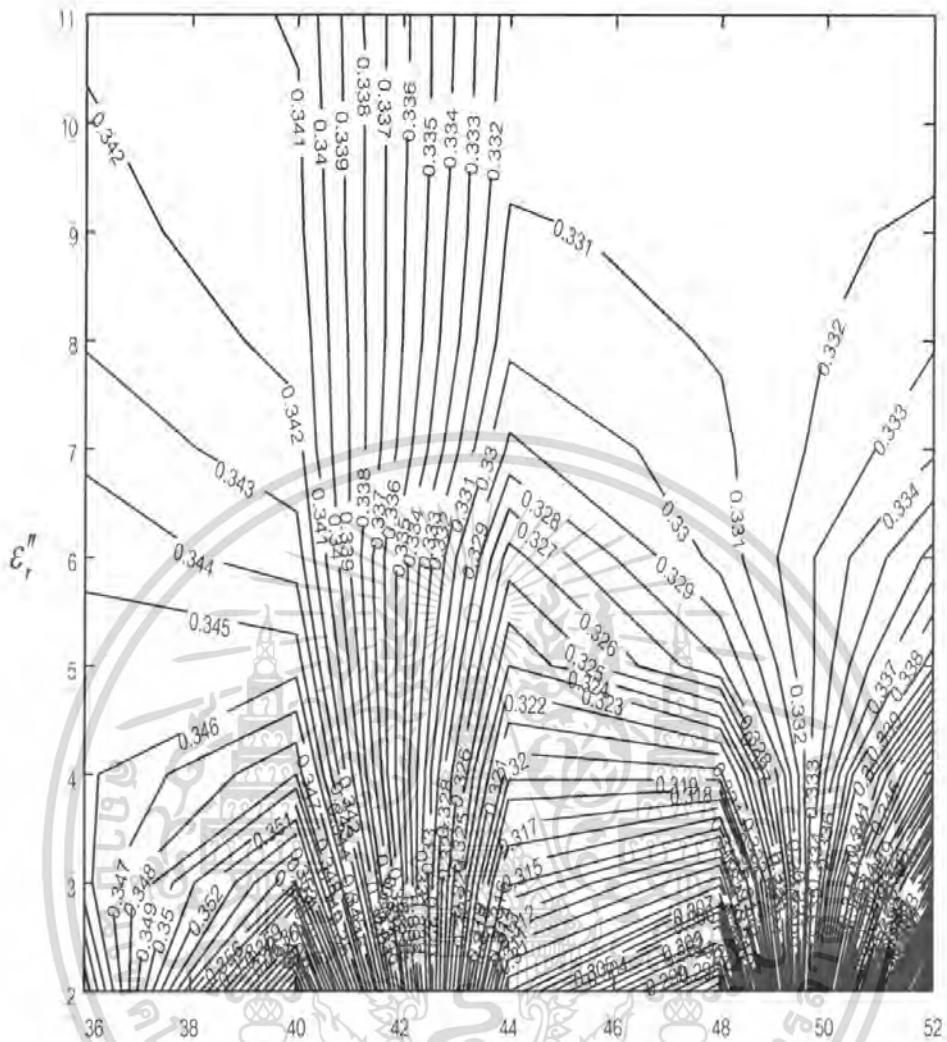
#### 4.2 การวัดค่าของสายอากาศที่ทำการออกแบบโดยโปรแกรม

จากสายอากาศที่ออกแบบและนำไปจำลองทางโปรแกรมแม่เหล็กไฟฟ้าโดยเปลี่ยนค่าในช่วง  $36 < \epsilon_r < 52$  และ  $2 < \epsilon_r < 11$  โดยที่สายอากาศมีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉากและขนานซึ่งผลการเชื่อมต่อกันที่ได้จากแต่ละกรณีจะถูกนำมาพล็อตเป็นกราฟเชิงพื้นผิว



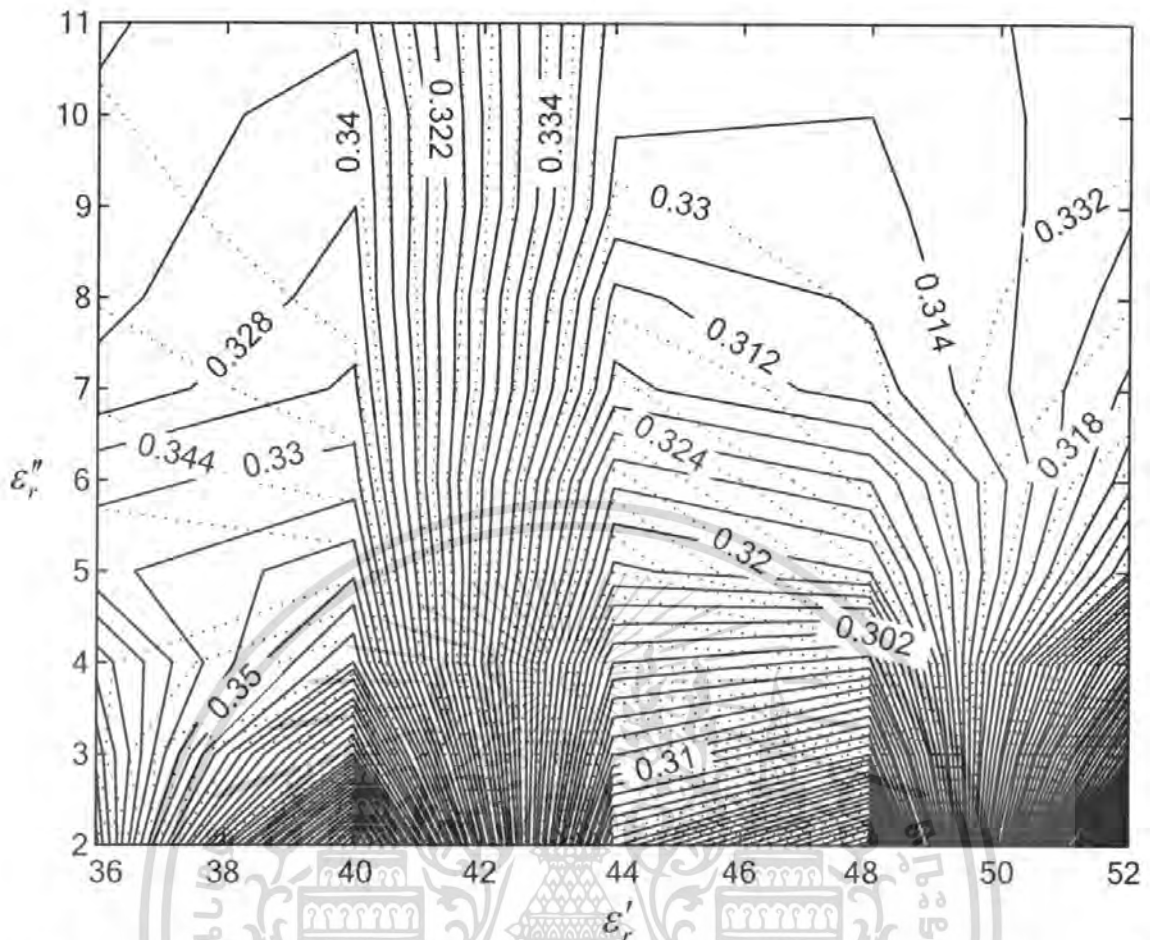
**รูปที่ 4.8** กราฟเชิงพื้นผิวของขนาดการเชื่อมต่อกันของสายอากาศไดโพลบนแผ่นพิมพ์ในกรณีตั้งฉากและมีอิทธิพลของมือมาเกีวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.9** กราฟเชิงพื้นผิวของขนาดการเชื่อมต่อกันของสายอากาศไดโพลบนแผ่นพิมพ์ในกรณีขั้วขนานและมีอิทธิพลของมีอนาเกี้ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟเชิงพื้นผิวของขนาดการเชื่อมต่อกันของสายอากาศโคโพลบนแผ่นพิมพ์ในกรณีขนานและตั้งฉาก (จุดปะคือกรณีขนาน (...) เส้นทึบคือกรณีตั้งฉาก (-))

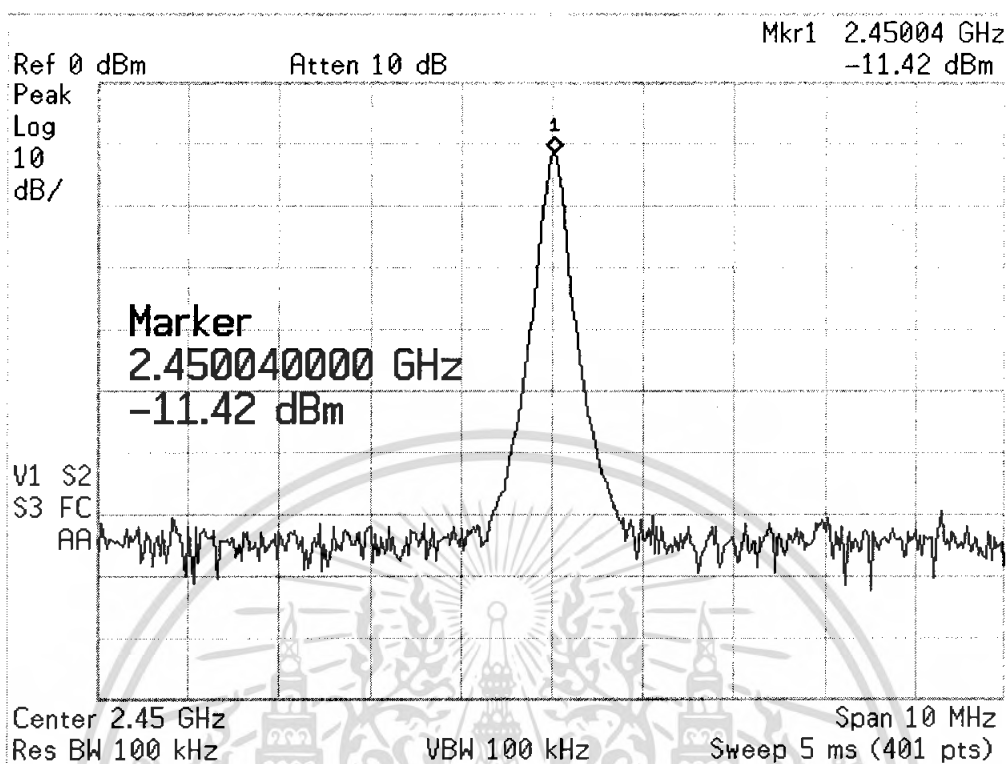
### 4.3 การทดสอบสายอากาศที่สร้างขึ้นจริง

การทดสอบการทำงานของสวิตช์

1. ต่อแหล่งจ่ายไฟเข้ากับสายอากาศและชุดลอจิกสวิตช์
2. นำขา Q ของชิป HMC284MS8G มาต่อเชื่อมกับกับขา Q ของชิป HMC284MS8G อีกตัวหนึ่ง และนำขา C ของชิป HMC284MS8G มาต่อเชื่อมกับกับขา C ของชิป HMC284MS8G อีกตัวเช่นกัน
3. นำขา Q ไปต่อเข้ากับไฟสีเขียวของลอจิกสวิตช์และนำขา C ไปต่อเข้าไฟสีแดง
4. ทำการป้อน อินพุตเข้าไปในสายอากาศ แล้วทำการวัดระดับของสัญญาณขาที่สัญญาณเข้า โดยโปรบวัดสัญญาณ จากนั้นทำการสับสวิตช์ไปที่ขาข้างใดข้างหนึ่งของเอาต์พุตขาที่ต้องการจะให้ออกจากนั้น โปรบวัดสัญญาณมาวัดขาข้างที่มีสัญญาณออก และนำโปรบมาวัดระดับของสัญญาณข้างที่สัญญาณไม่ออกด้วยเหมือน

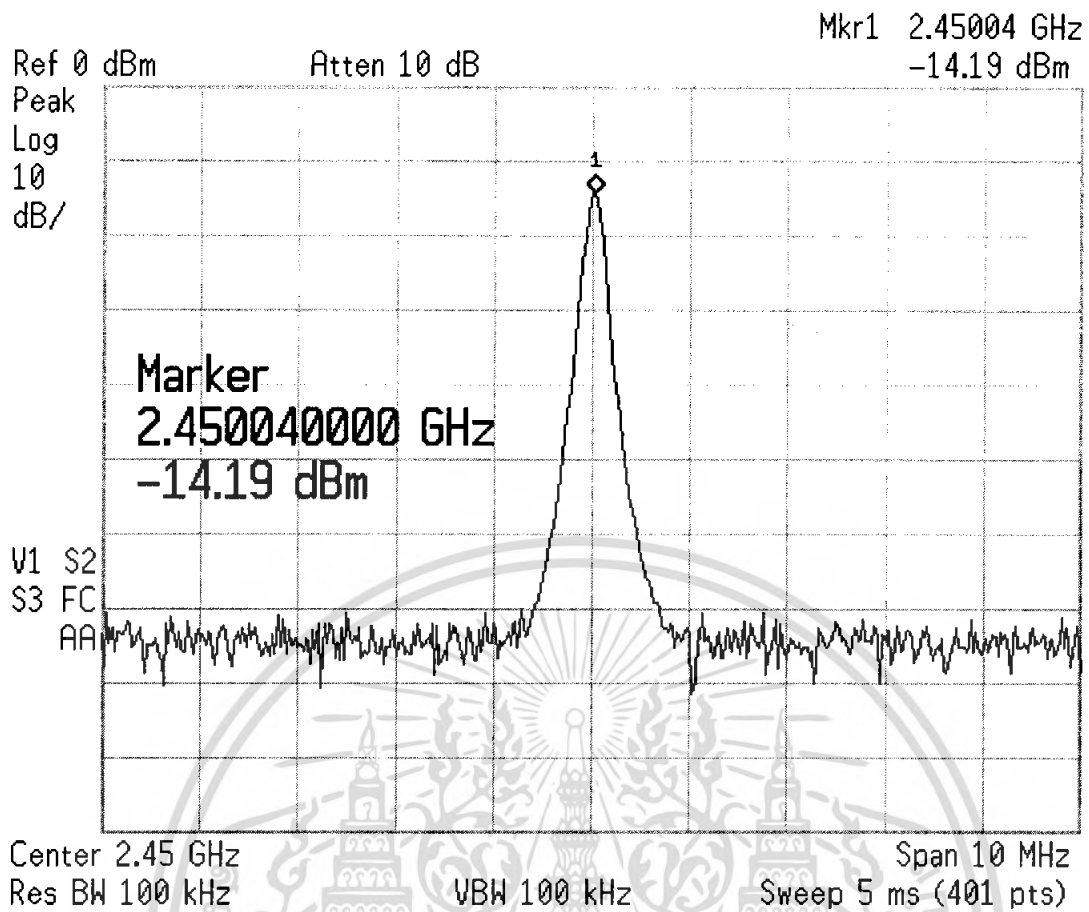
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รูปแปดเหลี่ยมของระดับสัญญาณในการทดสอบสวิตช์



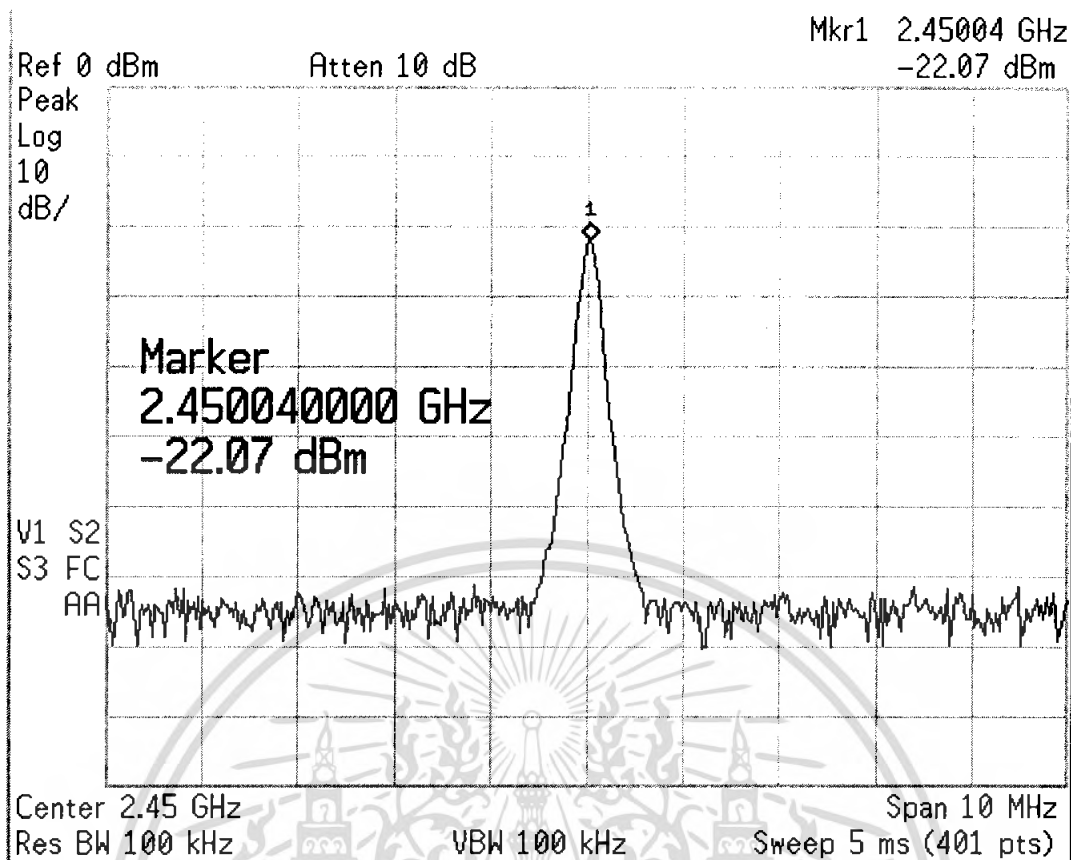
รูปที่ 4.11 เป็นระดับสัญญาณทางด้านอินพุต

จากรูปที่ 4.11 เมื่อเราป้อนสัญญาณเข้าไปยังด้านอินพุตของสวิตช์จะพบว่าจะมีสัญญาณเพิ่มขึ้นมากกว่าบริเวณใกล้เคียงนั้นแสดงว่ามีอินพุตเข้าไปยังสายอากาศ ซึ่งมีระดับของสัญญาณอยู่ -11.42 dBm ดังนั้นจะพบว่าเกิดการสูญเสียของสัญญาณ ไป 2.77 dBm



**รูปที่ 4.12** ระดับสัญญาณเอาต์พุตของเอาต์พุต ด้านที่ถูกเลือกให้สัญญาณออก

จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าเมื่อสัญญาณถูกปล่อยเข้าไปในสายอากาศจากนั้นสับสวิทช์เพื่อเลือกให้เอาต์พุตที่ขาใดขาหนึ่ง จะพบว่าระดับของสัญญาณที่ขาเอาต์พุตมีระดับของสัญญาณลดลงมา ซึ่งระดับของสัญญาณด้านเอาต์พุต ที่เลือกให้สัญญาณออกมีระดับของสัญญาณอยู่ที่ -14.19 dBm



**รูปที่ 4.13** เป็นระดับของสัญญาณที่ไม่ได้เลือกให้อาห์พุตออก

จากรูปที่ 4.13 เป็นระดับของสัญญาณข้างที่ยังไม่ได้เลือกให้สัญญาณออก ซึ่งระดับของสัญญาณของขาเอาต์พุตที่ไม่ได้ทำงานนั้นต้องมีความแตกต่างที่ชัดเจนกับขาสัญญาณข้างที่เลือกให้ทำงาน ซึ่งในการทดสอบนี้ ระดับสัญญาณข้างที่ไม่ได้ถูกเลือกนั้นมีระดับของสัญญาณอยู่ที่ -22.07 dBm ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกับสัญญาณขาเอาต์พุตที่ทำงานมาก ซึ่งแตกต่างกันถึง 7.88 dBm

### ขั้นตอนในการทดสอบสายอากาศที่สร้างขึ้นจริง

นำสายอากาศที่ทดสอบสวิตซ์ว่าสามารถทำงานได้เรียบร้อยแล้วมาต่อเข้ากับเครื่องมือวัดมาตรฐาน (Network Analyzer) เพื่อใช้ในการอ่านค่า



(ก) ด้านหน้า

(ข) ด้านหลัง

รูปที่ 4.14 สายอากาศที่สร้างขึ้นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดสอบสายตาอากาศที่สร้างขึ้นจริงกับผลสัม

### “สัมฤทธิ์ผลเปรียบเทียบ”

ชั้นจุดที่	จุดที่	ตัวชี้ไปที่	
		ตั้งฉาก	ขนาน
1	1	69.611	35.982
	2	51.561	88.905
	3	58.847	67.413
	เฉลี่ย	60.00633	64.1
2	1	98.747	57.077
	2	109.83	41.845
	3	58.914	27.514
	เฉลี่ย	89.16367	42.14533
3	1	67.913	47.149
	2	128.46	101.37
	3	106.03	65.27
	เฉลี่ย	100.801	71.263
4	1	74.516	81.11
	2	79.361	44.97
	3	40.823	90.519
	เฉลี่ย	64.9	72.19967
5	1	107.36	52.1965
	2	110.94	72.296
	3	54.289	53.634
	เฉลี่ย	54.289	53.634
6	1	40.545	90.946
	2	53.129	42.049
	3	87.752	91.869
	เฉลี่ย	60.47533	74.95467

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นถูกที่	จุดที่	ตึกที่ไปที่	
		ตั้งฉาก	ขนาน
7	1	109.28	69.766
	2	42.625	58.414
	3	105.42	49.646
	เฉลี่ย	85.775	59.27533
8	1	69.611	35.982
	2	51.561	88.905
	3	58.847	67.413
	เฉลี่ย	60.00633	64.1
9	1	98.747	57.077
	2	109.83	41.845
	3	58.914	27.514
	เฉลี่ย	89.16367	42.14533
10	1	67.913	47.149
	2	128.46	101.37
	3	106.03	65.27
	เฉลี่ย	100.801	71.263
11	1	74.516	81.11
	2	79.361	44.97
	3	40.823	90.519
	เฉลี่ย	64.9	72.19967
12	1	107.36	52.1965
	2	110.94	72.296
	3	54.289	53.634
	เฉลี่ย	90.863	59.3755
13	1	40.545	90.946
	2	53.129	42.049
	3	87.752	91.869
	เฉลี่ย	60.47533	74.95467

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดั้มถูกที่	จุดที่	ตวาทิปที่	
		ตั้งฉาก	ขนาน
14	1	109.28	69.766
	2	42.625	58.414
	3	105.42	49.646
เฉลี่ย		85.775	59.27533
15	1	69.611	35.982
	2	51.561	88.905
	3	58.847	67.413
	เฉลี่ย	60.00633	64.1
<b>“ธรรมชาตัทวาม”</b>			
ดั้มถูกที่	จุดที่	ตวาทิปที่	
		ตั้งฉาก	ขนาน
1	1	83.35	48.895
	2	91.984	66.887
	3	66.425	52.61
	เฉลี่ย	80.58633	56.13067
2	1	107.36	34.658
	2	83.603	43.768
	3	86.517	40.03
	เฉลี่ย	92.49333	39.48533
3	1	91.965	92.598
	2	105.53	92.285
	3	83.0467	56.854
เฉลี่ย	93.5139	80.579	
4	1	103.95	97.24
	2	101.44	100.8
	3	24.428	28.802
	เฉลี่ย	76.606	75.614

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นปีที่	จุดที่	ตัวชี้ไปที่	
		ตั้งฉาก	ขนาน
5	1	28.208	102.36
	2	64.594	32.715
	3	76.347	24.787
	เฉลี่ย	56.383	53.28733
6	1	71.514	59.109
	2	100.81	25.562
	3	74.168	49.566
	เฉลี่ย	82.164	44.74567
7	1	89.249	60.984
	2	100.48	80.162
	3	79.086	69.572
	เฉลี่ย	89.605	70.23933
8	1	55.607	66.158
	2	100.44	54.194
	3	50.257	46.61
	เฉลี่ย	68.768	55.654
9	1	94.296	69.302
	2	93.733	64.114
	3	86.327	77.068
	เฉลี่ย	91.452	70.16133
10	1	56.843	48.887
	2	85.709	80.536
	3	70.59	91.835
	เฉลี่ย	71.04733	73.75267
11	1	150.66	64.526
	2	112.75	45.761
	3	145.26	58.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

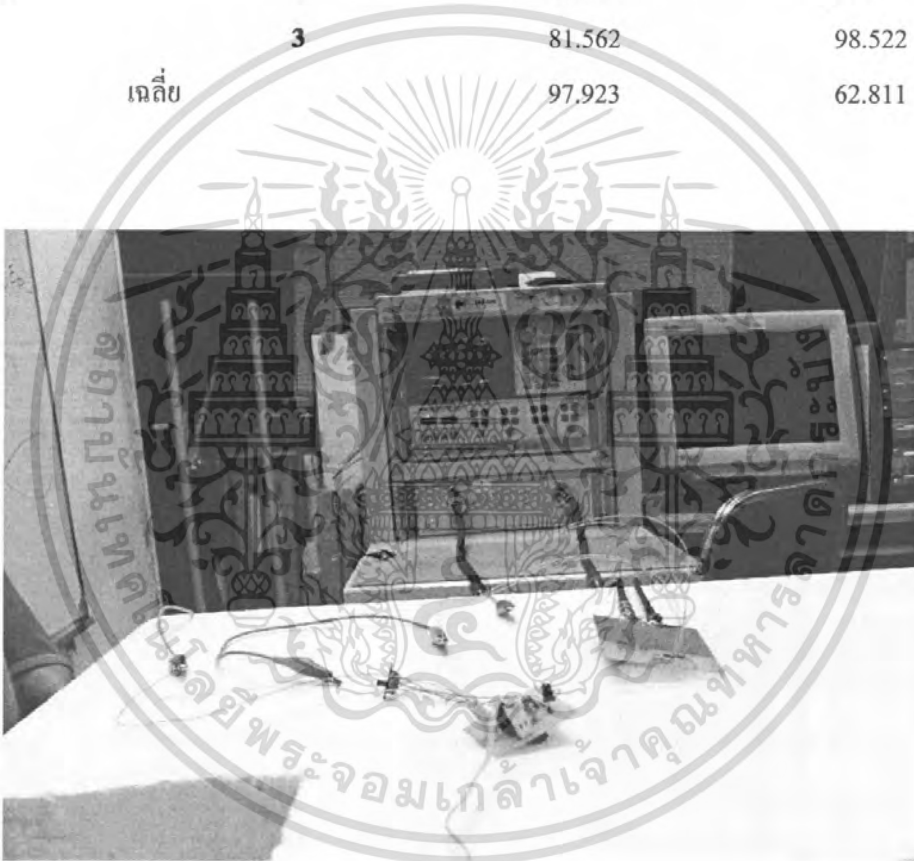
ชั้นงูกที่	เจดีย์	จุดที่	ตวทงไปท	
			ตั้งฉาก	ขนาน
			136.2233	56.27567
12	เจดีย์	1	99.426	67.848
		2	88.211	58.836
		3	101.38	57.213
13	เจดีย์	1	96.339	61.299
		2	67.757	24.569
		3	109.14	63.614
14	เจดีย์	1	79.945	86.494
		2	85.614	58.22567
		3	75.222	80.566
15	เจดีย์	1	66.44	62.855
		2	70.11	99.205
		3	70.59067	80.87533
“ธรรมชาตทหวานอมเปรยว”	เจดีย์	1	97.271	68.13
		2	59.931	48.414
		3	38.235	86.002
1	เจดีย์	1	65.14567	67.51533
		2		
		3		
2	เจดีย์	1	101.06	77.9548
		2	79.545	44.733
		3	60.78	82.436
2	เจดีย์	1	80.46167	68.3746
		2	134.249	114.69
		3	146.21	131.74
2	เจดีย์	1	136.34	94.112
		2	138.933	113.514

เอกสารน้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพือการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อักทงห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นจุดที่	จุดที่	ตึกที่	
		ตั้งตึก	ขนาน
3	1	49.196	36.432
	2	75.825	65.533
	3	67.875	24.129
	เฉลี่ย	64.29867	42.03133
4	1	96.603	83.534
	2	59.568	43.198
	3	91.156	16.375
	เฉลี่ย	82.44233	47.70233
<b>“ชั้นที่หัวข้าวสาร”</b>			
ชั้นจุดที่	จุดที่	ตึกที่	
		ตั้งตึก	ขนาน
1	1	55.399	23.077
	2	112.61	86.66
	3	44.324	24.452
	เฉลี่ย	70.77767	44.72967
2	1	66.853	40.192
	2	75.049	56.992
	3	73.376	42.194
	เฉลี่ย	71.75933	46.45933
3	1	44.88	14.056
	2	41.681	84.633
	3	53.276	37.638
เฉลี่ย	46.61233	45.44233	
4	1	76.454	86.75
	2	87.856	63.835
	3	112.93	64.175

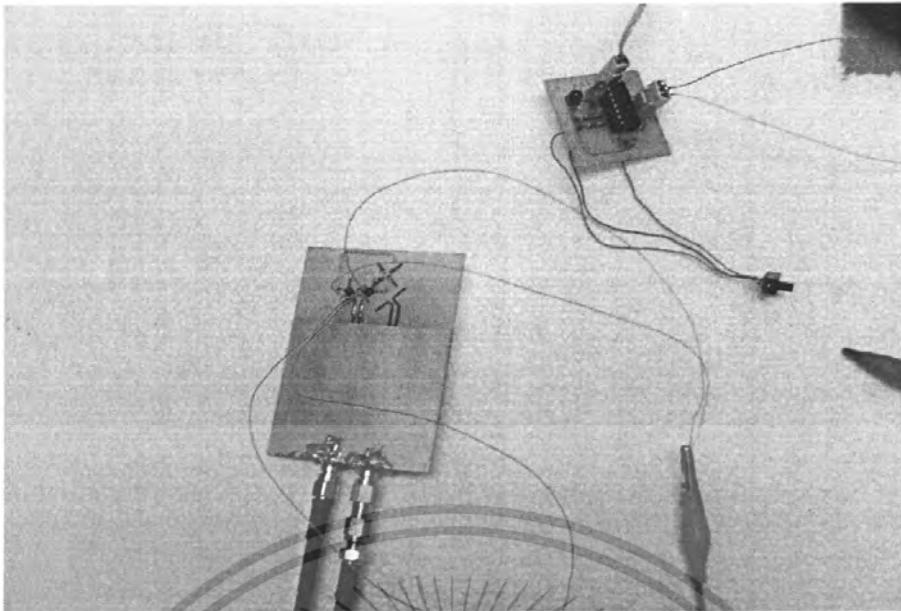
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นลูกที่	เฉลี่ย	จุดที่	สวิทซ์ไปที่	
			ตั้งฉาก	ขนาน
5	เฉลี่ย	1	124.67	127.78
		2	49.051	78.194
		3	107.2	31.804
6	เฉลี่ย	1	91.747	13.69
		2	120.46	76.221
		3	81.562	98.522
	เฉลี่ย		97.923	62.811



**รูปที่ 4.15** แสดงการการทำงานของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

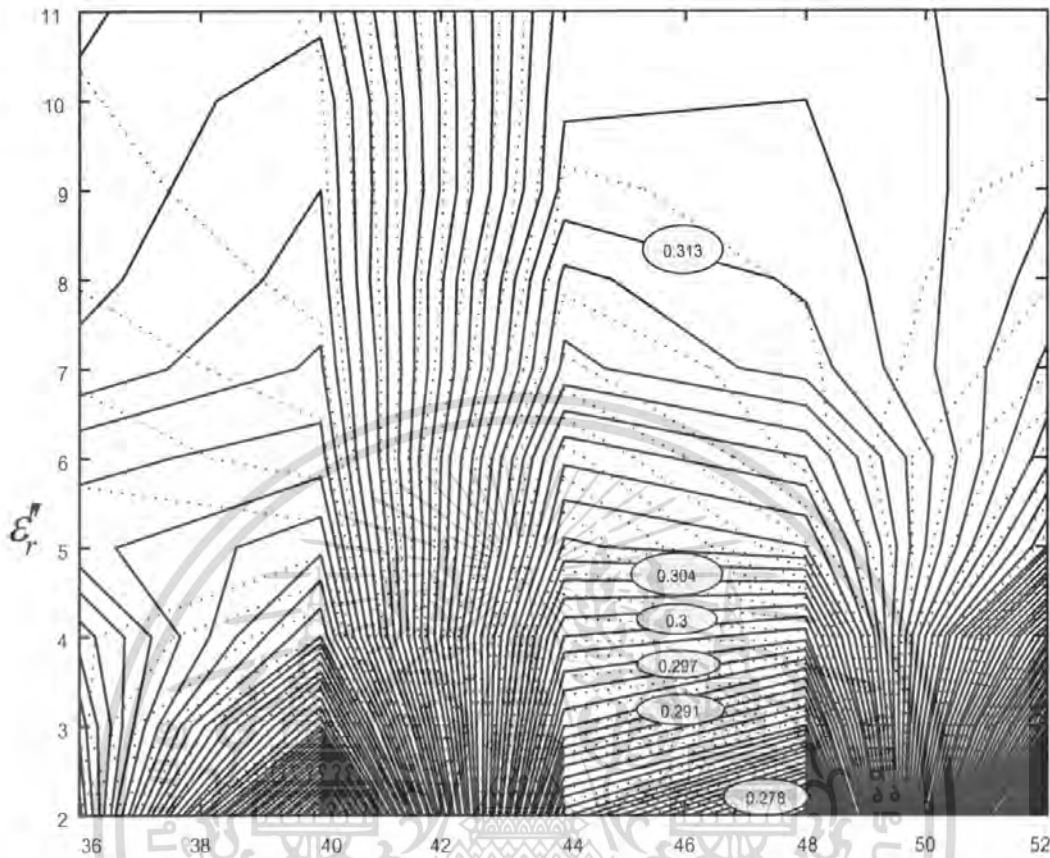


รูปที่ 4.16 ภาพแสดงสายอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟเชิงพื้นผิวที่นำค่าที่วัดจริงไปพล็อตลงในกราฟที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรม[1]



รูปที่ 4.17 ภาพที่นำค่าจริงที่ได้จากสายอากาศมาพล็อตลงในกราฟเชิงพื้นผิว

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าสายอากาศ สามารถวัดความหวานของส้มได้ แต่สามารถพล็อตได้แค่ลูก เนื่องจากสายอากาศนี้ยังสามารถนำไปพัฒนาต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผล

ในโครงการนี้ได้นำเสนอ การออกแบบสายอากาศโคโลพิมพ์บนแผ่นพิมพ์ ที่มีสวิตช์เพื่อสลับรูปแบบการจัดวางของสายอากาศโคโลพิมพ์บนแผ่นพิมพ์ให้มีรูปแบบการจัดวางทั้งแบบตั้งฉากและแบบขนาน และตั้งฉากกัน การออกแบบสายอากาศนี้นำไปใช้ในการวัดและตรวจสอบสั้ม เพื่อใช้ในการตรวจวัดสั้ม ในห้องตลาดให้ได้มาตรฐานเดียวกัน เป็นการแก้ปัญหา คุณภาพสั้มในห้องตลาดที่มีคุณภาพไม่ตรงความต้องการของผู้บริโภค

ในตอนแรกนั้นเราจะนำสั้มมาวัดค่าไดอิเล็กตริกของสั้มรสนชาติต่างๆก่อนเพื่อที่เราจะได้ทราบค่าคงไดอิเล็กตริกของสั้มรสนชาติต่างๆ โดยใช้ เครื่องมือวัดค่าไดอิเล็กตริกมาตรฐาน ซึ่งจากการวัดสั้มนั้น จะพบว่า สั้มเปรี้ยว สั้มหวาน และสั้มที่มีลักษณะฟาม มีค่าไดอิเล็กตริกที่แตกต่างกัน

หลังจากที่เราทราบค่าไดอิเล็กตริกของสั้มที่รสนชาติต่างๆแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การออกแบบสายอากาศ

ในการออกแบบนั้นเราจะทำการจำลองสายอากาศโคโลพิมพ์ตัวเดียวขึ้นมาก่อน โดยคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างของสายอากาศพิมพ์โคโลพิมพ์ตัวเดียวที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ต เมื่อได้ขนาดของสายอากาศพิมพ์โคโลพิมพ์ตัวเดียวแล้วจึงนำไปจำลอง (Simulation) ทางโปรแกรมทางแม่เหล็กไฟฟ้า [1] เพื่อดูค่าการสูญเสียย้อนกลับ ซึ่งเราได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่สามารถยอมรับให้ทำงานได้ ซึ่งหมายความว่าสายอากาศพิมพ์โคโลพิมพ์ตัวเดียวที่เราสร้างขึ้นนั้นสามารถทำงานได้ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ต

จากนั้นในการออกแบบเมื่อเราได้ค่าพารามิเตอร์ของพิมพ์โคโลพิมพ์ตัวเดียวที่สามารถทำงานได้ที่ความถี่ที่ต้องการแล้ว เราจะนำค่าพารามิเตอร์ของพิมพ์โคโลพิมพ์ตัวเดียวไปสร้างพิมพ์โคโลพิมพ์ตัวเดียวขึ้นมาอีกตัวโดยให้จัดวางที่แผ่นพิมพ์เดียวกัน ซึ่งเราจะจัดวาง 2 แบบทั้งแบบขนานและแบบตั้งฉาก และนำสายอากาศทั้งสองรูปแบบการจัดวางมาทำการแมตซ์การทำงานกับสั้มเพื่อดูว่าสายอากาศที่เราออกแบบนั้นสามารถทำงานได้กับสั้มที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตไม่ ซึ่งผลการทดสอบวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับแล้วได้ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ยอมรับให้ทำงานได้ทั้ง 2 กรณี ซึ่งเราจะทำการเปลี่ยนค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าตัวประกอบการสูญเสียและค่าแทนเจนต์การสูญเสีย ของสั้มเพื่อที่เราจะเก็บค่าการเชื่อมต่อยุ่ที่ได้จากการจำลองโปรแกรมทุกการเปลี่ยนค่าคงที่ไดอิเล็กตริกค่าตัวประกอบการสูญเสีย ค่าแทนเจนต์การสูญเสีย เราจะนำค่าการเชื่อมต่อยุ่ไปพล็อตเป็นกราฟเชิงพื้นผิวเพื่อดูแนวโน้มของสั้มหวาน-

เมื่อได้สายอากาศที่เราต้องการแล้วเราจึงนำไปสร้างสายอากาศจริงขึ้นมาเพื่อใช้ทดสอบวัดค่ารสนชาติของสั้มว่าสายอากาศที่เราสร้างขึ้นจะสามารถวัดสั้มได้มีรสนชาติตรงตามรสนชาติจริงๆของสั้มนั้นหรือไม่โดยเราจะใช้การวัดความแรงของสัญญาณ

## หนังสืออ้างอิง

- [1] CST MICROWAVE STUDIO SUITE 2006
- [2] <http://www.customs.go.th>
- [3] C.A. Balanis, Antenna theory: Analysis and design. New York : Wiley,1982
- [4] D. K. Ghodgaonkar, V. V. varadan and V. K. varadan, "Free-space Measurement of complex permittivity and Complex Permeability of Magnetics of Microwave Frequencies," IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol.3, No. 02, April 1990.
- [5] N. Kareda, W. R. Dea, Y. Quasi, R. Waterhouse and T. Itoh, "A Broad-Band Planar Quasi-Yagi Antenna," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 50, No.8, August 2002.
- [6] Basic of Measuring the dielectric Properties of Materials, Application Note, Agilent Technology



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SPDT NON-REFLECTIVE SWITCH, DC - 3.5 GHz

### Typical Applications

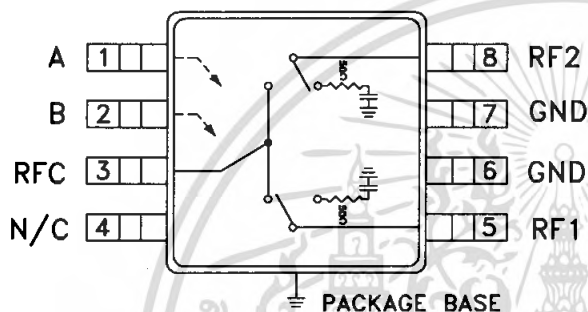
The HMC284MS8G is ideal for:

- Cellular/PCS Base Stations
- 2.4 GHz ISM
- 3.5 GHz Wireless Local Loop

### Features

- High Isolation: >45 dB
- Positive control: 0/+5V
- Non-Reflective Design
- Ultra Small Package: MSOP8G

### Functional Diagram



### General Description

The HMC284MS8G is a low-cost SPDT switch in an 8-lead grounded base MSOP package. The design has been optimized to provide high isolation with minimal insertion loss for medium and low power applications. On-chip circuitry allows positive voltage control operation at very low DC currents with control inputs compatible with CMOS and most TTL logic families. In the "OFF" state, RF1 and RF2 are non-reflective. See reflective high isolation SPDT version, HMC194MS8.

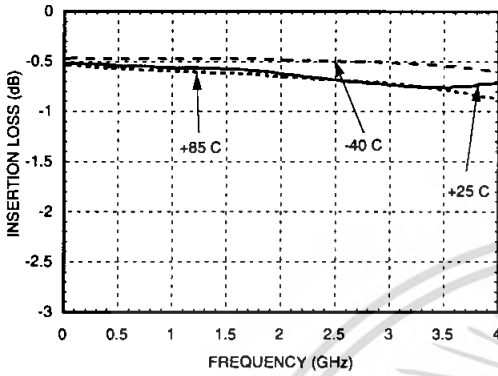
### Electrical Specifications, $T_A = +25^\circ C$ , $V_{ctl} = 0/+5 V_{dc}$ , 50 Ohm System

Parameter	Frequency	Min.	Typ.	Max.	Units
Insertion Loss	DC - 2.0 GHz		0.5	0.8	dB
	DC - 3.0 GHz		0.6	0.9	dB
	DC - 3.5 GHz		0.7	1.1	dB
Isolation	RF1 & RF2	DC - 2.0 GHz	41	45	dB
	RF1 / RF2	DC - 2.5 GHz	38/41	41/45	dB
	RF1 / RF2	DC - 3.0 GHz	34/36	37/39	dB
	RF1 & RF2	DC - 3.5 GHz	30	33	dB
Return Loss (On State)	DC - 2.0 GHz	21	25		dB
	DC - 2.5 GHz	13	17		dB
	DC - 3.5 GHz	10	12		dB
Return Loss (Off State)	0.5 - 3.5 GHz	10	13		dB
Input Power for 1 dB Compression	0.5 - 1.0 GHz	20	25		dBm
	0.5 - 3.5 GHz	18	24		dBm
Input Third Order Intercept (Two-Tone Input Power = 0 dBm Each Tone)	0.5 - 3.5 GHz	43	48		dBm
Switching Speed	DC - 3.5 GHz				
		tRISE, tFALL (10/90% RF) tON, tOFF (50% CTL to 10/90% RF)		40 60	

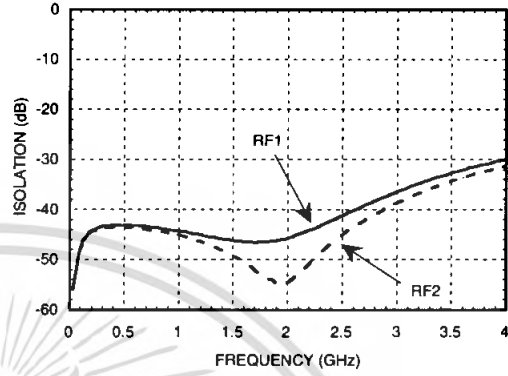
For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:  
 12 Elizabeth Drive, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373  
 Order Online at [www.hittite.com](http://www.hittite.com)

## SPDT NON-REFLECTIVE SWITCH, DC - 3.5 GHz

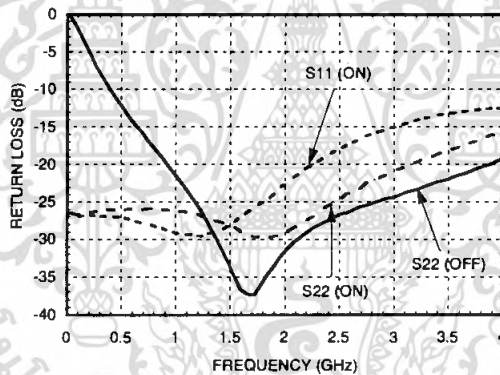
**Insertion Loss**



**Isolation**



**Return Loss**



For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:  
 12 Elizabeth Drive, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373  
 Order Online at [www.hittite.com](http://www.hittite.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SPDT NON-REFLECTIVE SWITCH, DC - 3.5 GHz

### Compression vs Frequency

CTL Input (Vdc)	Carrier at 900 MHz		Carrier at 1900 MHz	
	Input Power for 0.1 dB Compression (dBm)	Input Power for 1.0 dB Compression (dBm)	Input Power for 0.1 dB Compression (dBm)	Input Power for 1.0 dB Compression (dBm)
+5	23	25	22	24

**Caution:**

Do not operate continuously at RF power input greater than 1 dB compression and do not "hot switch" power levels greater than +18 dBm (Control = 0/+5 Vdc).

### Distortion vs Frequency

Control Input (Vdc)	Third Order Intercept (dBm) 0 dBm Each Tone	
	900 MHz	1900 MHz
+5	48	50

### Truth Table

\*Control Input Tolerances are +/-0.2 Vdc

Control Input*		Control Current		Signal Path State	
A (Vdc)	B (Vdc)	Ia (uA)	Ib (uA)	RFC to RF1	RFC to RF2
0	+5	-25	25	ON	OFF
+5	0	25	-25	OFF	ON

DC blocks are required at ports RFC, RF1, RF2.

For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:  
 12 Elizabeth Drive, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373  
 Order Online at [www.hittite.com](http://www.hittite.com)

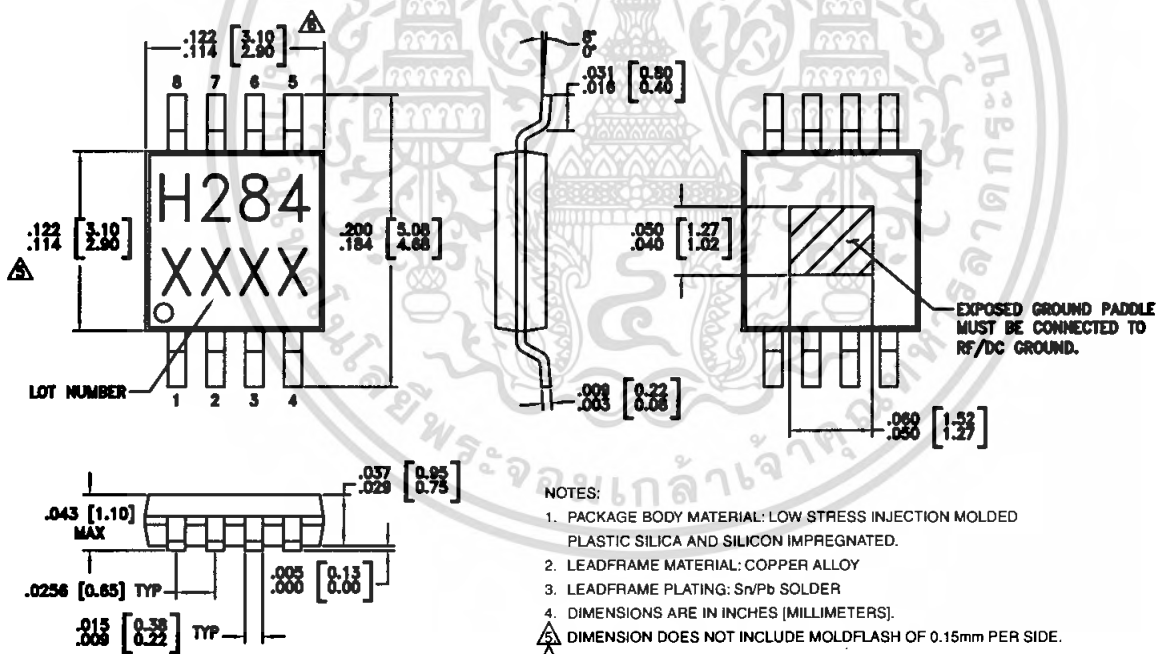
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในหอพักที่ขอให้นัดหมายให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SPDT NON-REFLECTIVE SWITCH, DC - 3.5 GHz

### Absolute Maximum Ratings

Control Voltage Range	-0.2 to +7.5 Vdc
Channel Temperature	150 °C
Thermal Resistance (Insertion Loss Path)	140 °C/W
Thermal Resistance (Terminated Path)	190 °C/W
Storage Temperature	-65 to +150 °C
Operating Temperature	-40 to +85 °C
RF Input Power $V_{ctl} = 0/+5V$	+26 dBm

### Outline Drawing



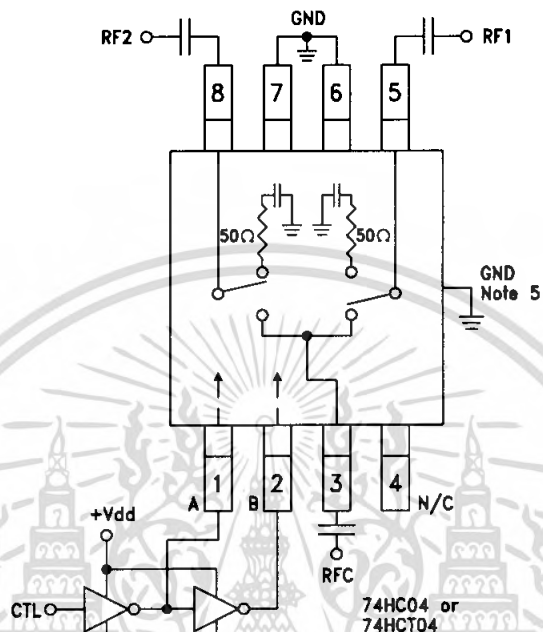
For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:  
12 Elizabeth Drive, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373

Order Online at [www.hittite.com](http://www.hittite.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

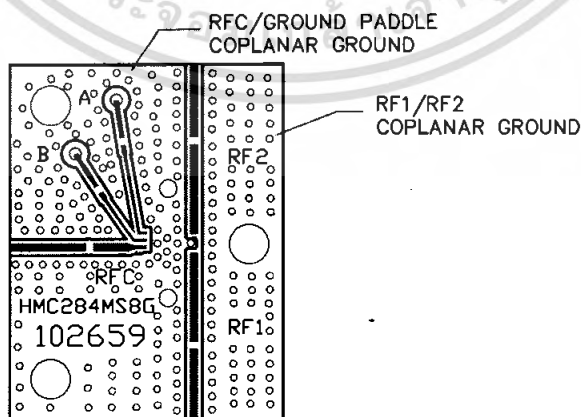
**SPDT NON-REFLECTIVE SWITCH, DC - 3.5 GHz**

**Typical Application Circuit**



**Notes:**

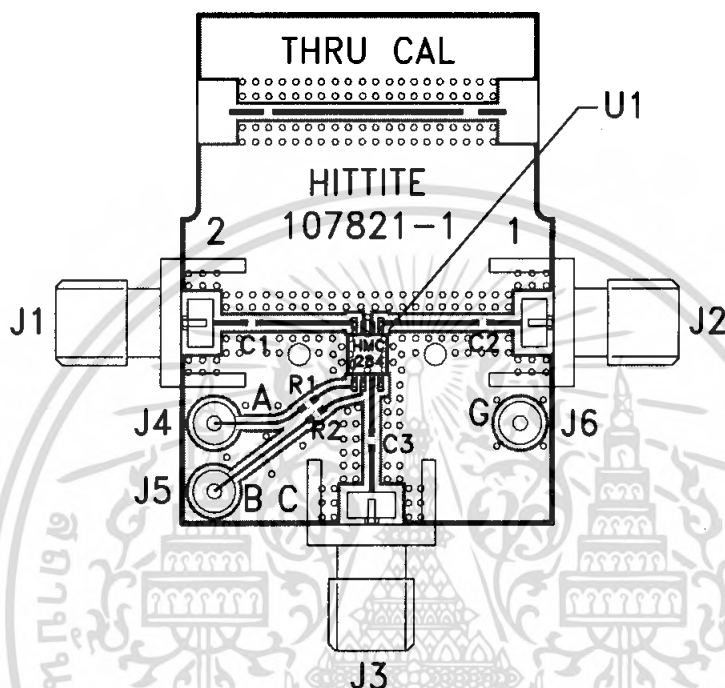
1. Set A/B control to 0/+5V, Vdd = +5V and use HCT series logic to provide a TTL driver interface.
2. Control inputs A/B can be driven directly with CMOS logic (HC) with Vdd = +5 Volts applied to the CMOS logic gates.
3. DC blocking capacitors are required for each RF port as shown. Capacitor value determines lowest frequency of operation.
4. Highest RF signal power capability is achieved with Vdd = +7V and A/B set to 0/+7V.
5. Back side paddle must be connected to RF ground.
6. A grounded coplanar waveguide PCB layout technique is recommended to achieve high isolation. The component side ground plane between RFC/grounded paddle and RF1/RF2 should be continuous, see below. There should be a continuous ground plane under component side layout.



For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:  
12 Elizabeth Drive, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373

Order Online at [www.hittite.com](http://www.hittite.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Evaluation PCB**

**List of Material**

Item	Description
J1 - J3	PC Mount SMA RF Connector
J4 - J6	DC Pin
C1 - C3	100 pF capacitor, 0402 Pkg.
R1, R2	100 $\Omega$ resistor, 0402 Pkg.
U1	HMC284MS8 SPDT Switch
PCB*	107821 Evaluation PCB

\* Circuit Board Material: Rogers 4350

The circuit board used in the final application should be generated with proper RF circuit design techniques. Signal lines at the RF port should have 50 ohm impedance and the package ground leads and package bottom should be connected directly to the ground plane similar to that shown above. The evaluation circuit board shown above is available from Hittite Microwave Corporation upon request.

For price, delivery, and to place orders, please contact Hittite Microwave Corporation:  
 12 Elizabeth Drive, Chelmsford, MA 01824 Phone: 978-250-3343 Fax: 978-250-3373

Order Online at [www.hittite.com](http://www.hittite.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกา  
 ไม่ว่างกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้