



ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา
Effect of Temperature on Complex Relative Permittivity of Yang-Na Oil

ปริญญานิพนธ์

ของ

จิตตา	นนสุทธิ์	57010310033
นฤมล	แก้วศรี	57010310101

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา
Effect of Temperature on Complex Relative Permittivity of Yang-Na Oil

ปริญญานิพนธ์

ของ

จิตตา	นนสุทธิ์	57010310033
นฤมล	แก้วศรี	57010310101

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม





คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับ
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ของ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....
(อาจารย์อดิสร นวลอ่อน)

ประธานกรรมการ

.....
(อาจารย์ทวีศักดิ์ ทองแสน)

กรรมการ

.....
(อาจารย์ชัยยงค์ เสริมผล)

กรรมการ

.....
(อาจารย์ ดร.นวรรตน์ พิลาแดง)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้อนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพัฒน์ ชมภูคำ)

หัวหน้าสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลงไปด้วยดี เนื่องจากบุคคลหลายท่านได้กรุณาช่วยเหลือให้ข้อเสนอแนะ ความคิดเห็น คำปรึกษา แนะนำ และกำลังใจให้แก่ผู้จัดทำ

ขอกราบขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ ดร.นวรรตน์ พิลาแดง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาให้ความช่วยเหลือทั้งแนวความรู้ทางวิชาการ และแนวทางในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ตรวจสอบปริญญานิพนธ์ทุกขั้นตอน ตลอดจนเป็นกำลังใจให้แก่ผู้จัดทำ ซึ่งเป็นผลให้ผู้จัดทำมีความสามารถทำและพัฒนาปริญญานิพนธ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งเป็นสถานที่ในการจัดสร้างการทดสอบและการจัดทำปริญญานิพนธ์ จนสำเร็จลงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบุคคลากร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พี่น้องและเพื่อนๆ ตลอดจนบุคคลต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลือมากมาย ที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวมาได้หมดในที่นี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และความคร่ำของผู้จัดทำ ที่ช่วยส่งเสริมและสนับสนุน คอยเอาใจใส่ดูแล คอยกระตุ้นเตือน ให้ทำลงในและทุนทรัพย์ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

จิตตา นนสูธิ
นฤมล ก้าวศรี



ชื่อเรื่อง	ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา
ผู้วิจัย	นางสาวจิตตา นนสุทธิ นางสาวนฤมล ก้าวศรี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.นวรรตน์ พิลาดง
ปริญญา	วศ.บ. สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2560

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนา โดยน้ำมันยางนาที่นำมาทดลอง คือ น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น และ น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง คือ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส โดยใช้โพรบแกนร่วมแบบปลายเปิดวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) ของน้ำมันยางนาที่ความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่วัดได้จะนำไปคำนวณหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน

จากผลการทดลองพบว่า ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น และ น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและมีค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น



TITLE Effect of Temperature on Complex Relative Permittivity of Yang-Na Oil
AUTHUR Miss Jitta Nonduttee
Miss Narumol Kuasree
ADVISOR Miss Nawarat Piladaeng, Ph.D.
DEGREE **B.Eng.** (Electrical Engineering)
UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2017

ABSTRACT

This thesis focuses on the study of effect of temperature on complex relative permittivity of Yang-Na oil. Yang-Na oil from burning process, Yang-Na oil from drilling process and distilled Yang-Na oil were used as samples in the experiment. The temperature of samples varied from 10 to 70 degrees Celsius. The reflection coefficient (S_{11}) of the Yang-Na oil samples was measured at the frequency range of 0.5 – 6 GHz by using the open-ended planar coaxial probe. Then, the complex relative permittivity was calculated by using the data of the obtained reflection coefficient.

From the experiment, it was found that the real part of complex relative permittivity, called dielectric constant, tends to decrease when increasing the temperature of samples. Moreover, the imaginary part of complex relative permittivity, called dielectric loss, tends to increase when the temperature of samples increases.



สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 สถานที่ดำเนินการศึกษา.....	2
1.6 งบประมาณ.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ตัณยานา.....	3
2.2 น้ำมันยานา.....	4
2.3 องค์ประกอบของน้ำมันยานา.....	4
2.4 ไดอิเล็กตริก.....	6
2.5 การวัดค่าคงที่ของไดอิเล็กตริก.....	6
2.6 Cole-Cole model.....	7
2.7 เครื่องวิเคราะห์ช่วยงานสื่อสาร.....	9
2.8 การวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนด้วยโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด	10
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
3 วิธีการดำเนินการศึกษา.....	15
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวัดและอุปกรณ์การทดลอง.....	15
3.2 ตัวโพรบเชื่อมแบบเอสเอ็มเอ.....	16
3.3 การชดเชยข้อผิดพลาด.....	17



สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.4 การคำนวณหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน.....	18
3.5 โครงสร้างการทดสอบวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน.....	19
3.6 การทดสอบการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน.....	19
3.7 การวัดวัสดุทดสอบ.....	20
4 ผลการศึกษา.....	22
4.1 ผลการทดสอบความถูกต้องของโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด.....	22
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนากับอุณหภูมิ.....	27
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนากับอุณหภูมิต่างๆที่ใช้ในการทดลอง.....	33
4.4 ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนากับอุณหภูมิ.....	39
5 สรุปผลอภิปรายและข้อเสนอแนะ.....	40
5.1 สรุปผลและอภิปราย.....	40
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	41
บรรณานุกรม.....	42
ภาคผนวก.....	43
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	71



บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 องค์ประกอบของน้ำมันยางนา.....	4
2 ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันยางนา จากต้นยางนา.....	5



บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ตัณยานา.....	3
2 กราฟแสดงค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำกลั่นที่ได้จาก Cole-Cole model.....	8
3 กราฟแสดงค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของเอทานอลที่ได้จาก Cole-Cole model.....	8
4 กราฟแสดงค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของเมทานอลที่ได้จาก Cole-Cole model.....	9
5 เครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสาร (Vector Network Analyzer : VNA).....	10
6 ลักษณะโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด.....	11
7 หัวโพรบที่ยังไม่ได้ตัดขา.....	16
8 หัวโพรบที่พร้อมใช้งาน.....	16
9 ต่อสายนำสัญญาณเข้าตัวเครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสาร.....	17
10 เครื่องที่จะนำมา Calibrate.....	17
11 สายนำสัญญาณเชื่อมต่อกับตัว Calibrate.....	18
12 เสร็จสิ้นการ Calibrate เครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสาร.....	18
13 การเปรียบเทียบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของเอทานอล จากการทดลอง....	23
14 การเปรียบเทียบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของเอทานอล ที่ได้จากทฤษฎี และ จากการทดลอง.....	24
15 การเปรียบเทียบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของเมทานอล จากการทดลอง....	25
16 การเปรียบเทียบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของเมทานอล ที่ได้จากทฤษฎี และ จากการทดลอง.....	26
17 สภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส.....	27



บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
18 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ	
10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส จากการทดลอง.....	27
19 ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่อุณหภูมิ	
10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส จากการทดลอง.....	28
20 สภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิ	
10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส.....	29
21 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น	
ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส จากการทดลอง.....	29
22 ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น	
ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส จากการทดลอง.....	30
23 ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ	
ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส จากการทดลอง.....	31
24 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ ที่อุณหภูมิ	
10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส จากการทดลอง.....	31
25 ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ ที่อุณหภูมิ	
10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส จากการทดลอง.....	32
26 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่ความถี่เดียว	
คือ 2 GHz อุณหภูมิจาก 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส.....	33
27 ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่ความถี่เดียว	
คือ 2 GHz อุณหภูมิจาก 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส.....	34
28 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ ที่ความถี่เดียว	
คือ 2 GHz อุณหภูมิจาก 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส.....	35



บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
29 ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ ที่ความถี่เดียว คือ 2 GHz อุณหภูมิจาก 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส.....	36
30 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่ความถี่เดียว คือ 2 GHz อุณหภูมิจาก 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส.....	37
31 ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่ความถี่เดียว คือ 2 GHz อุณหภูมิจาก 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส.....	38
32 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผาจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	44
33 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	44
34 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผาจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส.....	45
35 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส.....	45
36 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผาจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	46
37 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	46
38 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผาจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	47
39 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	47



บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
40 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผาจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	48
41 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	48
42 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผาจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	49
43 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	49
44 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผาจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	50
45 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	50
46 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผาจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	51
47 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	51
48 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	52
49 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	52
50 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส.....	53



บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
51 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส.....	53
52 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	54
53 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	54
54 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	55
55 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	55
56 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	56
57 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	56
58 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	57
59 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	57
60 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	58
61 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	58



บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
62 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	59
63 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	59
64 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่นจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	60
65 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	60
66 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่นจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส.....	61
67 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส.....	61
68 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่นจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	62
69 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	62
70 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่นจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	63
71 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	63
72 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่นจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	64



บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
73 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	64
74 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่นจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	65
75 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	65
76 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	66
77 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	.66
78 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส.....	67
79 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส.....	67
80 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	68
81 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	68



บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
82 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิตั้งที่ 40 องศาเซลเซียส.....	69
83 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิตั้งที่ 50 องศาเซลเซียส.....	69
84 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิตั้งที่ 60 องศาเซลเซียส.....	70
85 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิตั้งที่ 70 องศาเซลเซียส.....	70



บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

น้ำมันยางนาเป็นน้ำมันที่ได้จากต้นยางนา ในอดีตเป็นเชื้อเพลิงของชาวบ้านในชนบทสามารถนำไปใช้ยาเครื่องจักรสานกันน้ำรั่ว ยาแนวเรือ หรือแม้กระทั่งนำไปผสมซีล้อยจุดไฟ ซึ่งต่อมาในปัจจุบันได้มีการนำน้ำมันยางนามาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมและการขนส่ง และยังสามารถนำมาสกัดเป็นเครื่องสำอางและยารักษาโรค

คุณสมบัติของน้ำมันยางนาสามารถนำมาประยุกต์และปรับใช้ทั้งในทางเครื่องกลบ้าง ทางการคมนาคมบ้าง หรือแม้กระทั่งทางเภสัชเองก็มีการนำน้ำมันยางนาเป็นส่วนประกอบของยาบางชนิด แต่ในทางไฟฟ้านั้นกับยังไม่มีบทบาทเท่าไร เราจึงได้ศึกษาน้ำมันยางนาทั้งแบบเจาะ แบบเผา และแบบกลั่นมาทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อดูผลความเป็นไปได้ของน้ำมันยางนาแต่ละประเภทนั้น นั้นว่ามีความเป็นไปได้มากน้อยแค่ไหน โดยเฉพาะค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน (Complex relative permittivity) และได้มีคนศึกษามาแล้ว จึงได้นำมาศึกษาเพื่อปรับปรุงให้มีดียิ่งขึ้น เนื่องจากงานวิจัยที่นำมาศึกษาต่อนั้นได้ทำการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนที่อุณหภูมิเดียว คือที่ 25 องศาเซลเซียส จึงทำให้ยากทราบว่าถ้าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไปก็อาจทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน

งานปริญญาโทเล่นนี้ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา โดยการหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา มาเปรียบเทียบกับค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนที่ได้จากสมการ Cole-Cole model เมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไปในช่วงตั้งแต่ 10 - 70 องศาเซลเซียส และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้เหมาะสม และดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนา
2. เพื่อศึกษาวิธีการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา
3. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำมันยางนาที่เปลี่ยนแปลงไป ต่อค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนน้ำมันยางนา



1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. น้ำมันยางนาที่ใช้มี 3 ชนิด คือ น้ำมันยางนาแบบกลั่น น้ำมันยางนาแบบเผา และ น้ำมันยางนาแบบเจาะ
2. วัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่อุณหภูมิ 10-70 องศาเซลเซียส
3. หาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา ด้วยสารอ้างอิง 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น อากาศ เอทานอล
4. วัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนโดยใช้โพรบตัวเชื่อมแบบเอสเอ็มเอ
5. เปรียบเทียบค่าอ้างอิงและค่าที่ทดลองของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา
2. ทราบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของน้ำมันยางนา
3. เข้าใจคุณสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนา
4. สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาไปต่อยอด เพื่อใช้พัฒนาวัสดุในงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าต่อไป

1.5 สถานที่ดำเนินการศึกษา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.6 งบประมาณ

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	4,000 บาท
สารเคมีที่ใช้ในการสอบเทียบโพรบ	3,000 บาท
ตัวเชื่อมแบบเอสเอ็มเอ	3,000 บาท
รวม	10,000 บาท



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ต้นยางนา



ภาพประกอบ 1 ต้นยางนา

ที่มา : (frynn.com : เว็บไซต์)

ต้นยางนา หรือ มีชื่อที่อยู่ในวงศ์ Dipterocarpaceae สกุล Dipterocarpus มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ Dipterocarpus Alatus ชื่อสามัญ Yang-Na ยังมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปของแต่ละท้องถิ่น ต้นยางนาเป็นไม้ยืนต้น ไม่มีผลัดใบ ส่วนต้นจะมีความสูง 30-40 เมตร จะมีความสูงจากพื้นดินถึงกิ่งสดกึ่งแรกที่ประมาณ 20 เมตร มีลำต้นสูงยาวยืดตรงเป็นต้นที่ขนาดใหญ่และสูงมาก จะขึ้นตามที่ชุ่มชื้นและสามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ในทุกๆสภาพดินทุกชนิดโดยเฉพาะดินที่มีความชุ่มชื้น ความอุดมสมบูรณ์เต็มไปด้วยอินทรีย์วัตถุ โดยในปัจจุบันต้นยางนามีความสำคัญมีคุณค่าต่อทางด้านเศรษฐกิจของประเทศไทย ซึ่งทุกส่วนของต้นยางนานี้ก็ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ใช้สอยได้และที่นิยมอย่างแพร่หลาย นำไปใช้ในการก่อสร้างบ้านเรือนที่พักอาศัย ทำไม้อัด ไม้บาง ซึ่งพร้อมนำเข้าสู่



ห้องตลาดต่างประเทศอีกด้วย แล้วส่วนประกอบของต้นยางนาอีกหลากหลายอย่าง เช่น เปลือกต้น เมล็ด ใบ น้ำยางนา นำมาปรุงเป็นยารักษาโรคต่างๆได้ และอีกส่วนหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมได้น้ำมันยางนา เช่น ใช้ในเครื่องจักรสาน ใช้ในงานซ่อมเรือเพื่อเอาไปอุดรอยรั่วของเรือ ใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือทำตะเกียงจุดไฟให้สว่าง และ ใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆเพื่อใช้ในงานก่อสร้างหรืองานอื่นๆ ที่มา : (ธนกฤต วรวงศ์, 2555.)

2.2 น้ำมันยางนา

น้ำมันยางนาเป็นน้ำมันที่ได้จากต้นยางนา ในอดีตเป็นเชื้อเพลิงของชาวบ้านในชนบทสามารถนำไปใช้หาเครื่องจักรกลกันน้ำรั่ว ยาแนวเรือ หรือแม้กระทั่งนำไปผสมขี้เลื่อยจุดไฟ ซึ่ง ต่อมาในปัจจุบันได้มีการนำน้ำมันยางนามาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมและการขนส่ง และยังสามารถนำมาสกัดเป็นเครื่องสำอางและยารักษาโรค เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งที่ยั่งยืนและสะดวกมากกว่าน้ำมันสำเร็จรูปต่างๆที่มีขายทั่วไป น้ำมันยางนานั้นได้มาจากต้นยางนาที่กล่าวข้างต้นจะมีการเก็บน้ำมันยางนามาใช้ประโยชน์หรือใช้ในการทดลอง โดยที่ไม่ต้องผ่านกระบวนการใดๆทางเคมีและน้ำมันยางนาก็มีความคล้ายเคียงกันกับน้ำมันเตา โดยที่น้ำมันเตาก็เป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในการอุตสาหกรรม เนื่องจากจะมีราคาถูก ยังใช้ง่ายให้ความร้อนสูง ซึ่งน้ำมันยางนาก็มีค่าความร้อนที่สูงที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนเชื้อเพลิงของน้ำมันเตา และในอนาคตสามารถที่จะนำน้ำมันยางนามาเป็นน้ำมันทางชีวภาพเพื่อนำไปเป็นพลังงานทดแทนได้ ที่มา : (จิรวุฒิ โคตรแสนดี, 2559.)

2.3 องค์ประกอบของน้ำมันยางนา

ตาราง 1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันยางนา จากต้นยางนา ที่มา : (อนันต์ ขาหา, 2556.)

ธาตุองค์ประกอบ	สัดส่วน (%)
Carbon	78.56
Hydrogen	13.40
Nitrogen	None detected
Sulfur	0.25



ธาตุองค์ประกอบที่อยู่ในน้ำมันยางนาที่พบก็มีธาตุ Carbon Hydrogen Nitrogen และ Sulfur มีส่วนประกอบหลักของน้ำมันยางนาพบว่าเมื่อผลต่อการเผาไหม้ มีสองชนิดจะเป็นธาตุ Carbon มีอยู่ร้อยละ 78.56 และ Hydrogen มีอยู่ร้อยละ 13.40 เมื่อมาเปรียบเทียบกับน้ำมันปิโตรเลียมจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะบ่งชี้ว่าน้ำมันยางนาอาจจะมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบเหมือนกันกับปิโตรเลียม ที่มา : (อนันต์ ซาหา, 2556.)

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันยางนา จากต้นยางนา ที่มา : (ธนกฤต วรวงศ์, 2555.)

รายการทดสอบ	น้ำมันยางนาดิบ	หน่วย
1. ค่าความเป็นกรด	9.075	มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมไขมัน
2. จุดขุ่น	-38.8	องศาเซลเซียส
3. ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส	963.2	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
4. จุดไหลเท	-47.0	องศาเซลเซียส
5. ปริมาณน้ำ	7806.4	หนึ่งในล้านในล้านส่วน
6. จุดวาบไฟ	>270	องศาเซลเซียส
7. การกัดกร่อนทองแดง	1A	-

จากที่พิจารณาจุดขุ่น และจุดไหลเท จะมีอุณหภูมิที่ต่ำมากและยังพบว่ามีความต่ำกว่าน้ำมันดีเซลจึงสามารถใช้น้ำมันยางนาที่อุณหภูมิต่ำได้ ส่วนจุดวาบไฟของน้ำมันยางนาอยู่ที่อุณหภูมิสูงมากซึ่งอาจจะสามารถเก็บรักษาและใช้งานได้อย่างปลอดภัย เพราะเนื่องจากมีความเสี่ยงในการลุกไหม้ให้อันตรายน้อยได้ยากมาก และส่วนค่าความหนืดมีค่ามากพอสมควร จากที่พบว่าน้ำมันยางนาจะมีค่าความหนืดมากกว่าน้ำมันอื่นๆที่ไม่ใช่น้ำมันที่ได้จากยางของต้นไม้เหมือนกัน เนื่องจากน้ำมันยางนาที่มีความหนืดมากถ้านำไปใช้งานต่ออาจจะเกิดผลออกมาไม่ดี จึงทำการปรับความหนืดน้ำมันยางนา 3 ชนิด คือ น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ความหนืดที่พบในน้ำมันยางนาทั้ง 3 ชนิด จะมีน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผาจะมีความหนืดมากที่สุดและน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่นมีความหนืดน้อยที่สุด ดังนั้นน้ำมันยางนาที่นำมาใช้งานได้ดีควรจะเป็นน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่มา : (ธนกฤต วรวงศ์, 2555.)



2.4 ไดอิเล็กตริก (Dielectric)

ปัจจุบันอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์จะต้องมีค่าไดอิเล็กตริกหรือความเป็นฉนวนไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบในวัสดุ ซึ่งวัสดุไดอิเล็กตริกจะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าอย่างหนึ่งซึ่งได้จากการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพันธ์เชิงซ้อนของวัสดุที่ความถี่ต่างๆที่กำหนดไว้ เมื่อการเป็นฉนวนไฟฟ้าของวัสดุแล้วอยู่ในสภาวะปกติจะประกอบไปด้วยโมเลกุลที่จัดศูนย์กลางระหว่างโปรตอนและอิเล็กตรอน ที่มา : (ฐิตินา เอ็งเจริญ, 2554.)

$$\epsilon_r = \epsilon'_r - j\epsilon''_r \quad (2.1)$$

เมื่อ ϵ'_r เป็นส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพันธ์เชิงซ้อน ซึ่งบอกค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่เป็นปริมาณเกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้าที่สะสมอยู่ในสาร ซึ่งเรียกว่า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant) ที่มา : (ฐิตินา เอ็งเจริญ, 2554.)

เมื่อ ϵ''_r เป็นส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพันธ์เชิงซ้อน ที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียโดยให้สัมพันธ์กับสภาพความนำไฟฟ้า (conductivity; σ) ของสารเรียกว่า ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric loss) ที่มา : (ฐิตินา เอ็งเจริญ, 2554.)

2.5 การวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

การวัดค่าไดอิเล็กตริกนั้นสามารถวัดค่าของวัสดุได้หลากหลายชนิด แต่ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการศึกษาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในทางด้านอาหาร ด้านงานที่เราต้องการทราบค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุของแข็ง ของเหลว และอากาศ ที่จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์หรือทดแทนของอีกวัสดุอื่นๆได้ เช่น งานคอนกรีต สารทางชีวภาพ และ อาหารเครื่องดื่มต่างๆได้ เพื่อที่จะนำมาพัฒนาปรับปรุง การคัดเลือก จัดเก็บที่เหมาะสม และใช้ประโยชน์อื่นๆอีกหลากหลาย

ในปัจจุบันในการศึกษาของสมบัติไดอิเล็กตริกที่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์และประยุกต์ในด้านต่างๆ ทั้งการเกษตร อุตสาหกรรม การวัดค่าสภาพยอมสัมพันธ์เชิงซ้อนของสารประกอบทางเคมีทางชีวภาพหรือวัสดุทางเคมี ทางชีวภาพ ใช้ในด้านการแพทย์ รวมทั้งการหาค่าไดอิเล็กตริกของทรัพยากรธรรมชาติต่างๆ เช่น ค่าสภาพยอมสัมพันธ์เชิงซ้อนของดิน ค่าสภาพยอมสัมพันธ์เชิงซ้อนของน้ำ โดยการใช้เทคนิคต่างๆหลายวิธี ได้แก่ Cavity Resonators, Free Space, Open-ended coaxial probe และ Transmission line High Q Resonator Method ซึ่งมีความ



ถูกต้องสูงแต่สามารถใช้ได้กับช่วงความถี่ที่แคบ, วิธี Free Space Open-ended coaxial probe เป็นวิธีที่ไม่ทำลายแต่ให้ความถูกต้องต่ำกว่า ที่มา : (จิรภัทร์ แพงทิพย์ และคณะ, 2555.)

2.6 Cole-Cole model

จากการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุนั้นจะต้องนำค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ได้จากการทดลองวัดจริงนำมาคำนวณหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนแล้วมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของวัสดุนั้น และเพื่อที่จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุด้วยโพรบแบนร่วมแบบปลายเปิด ซึ่งการเปรียบเทียบนี้ใช้ได้จากความสัมพันธ์จากการนำค่าพารามิเตอร์ของวัสดุมาคำนวณโดยจาก Cole-Cole model ซึ่งแสดงถึงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุในทุกความถี่ที่กำหนดเท่ากัน ดังสมการนี้ ที่มา : (Adiseshu Nyshadham, 1992.)

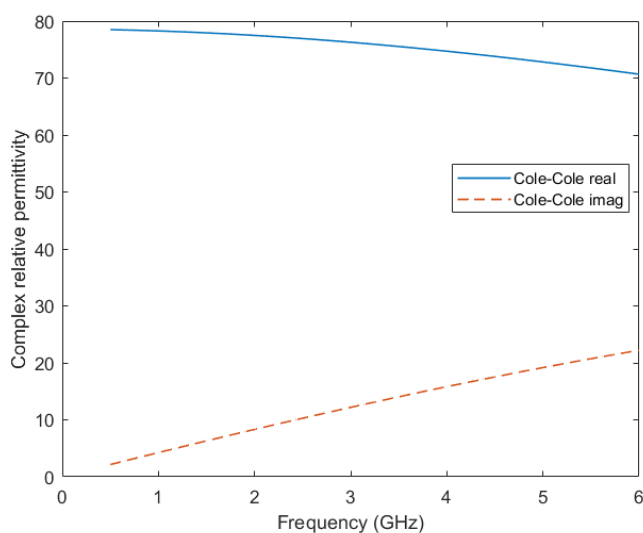
$$\epsilon_r = \epsilon(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + (j\omega\tau)^{1-\alpha}} \quad (2.2)$$

- เมื่อ ϵ_r คือ สภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุ
 ϵ_s คือ ค่าสถิต (Static value) ของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก
 ϵ_∞ คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ความถี่อนันต์
 τ คือ เวลาผ่อนคลาย
 ω คือ ความถี่เชิงมุม ($2\pi f$)
 α คือ การกระจายของความถี่ผ่อนคลาย

จากสมการข้างต้นจะได้ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน ซึ่งค่าที่ได้นั้นสามารถนำมาพล็อตเป็นกราฟแสดงผลออกมาเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจริงที่ด้วยช่วงความถี่ที่กำหนดเท่ากัน โดยใช้วัสดุที่จะนำมาทำการเปรียบเทียบในปริภูมิพหุคูณนี้ คือ น้ำกลั่น เอทานอล และอากาศ จะได้กราฟค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนจากสมการ Cole-Cole model ดังต่อไปนี้

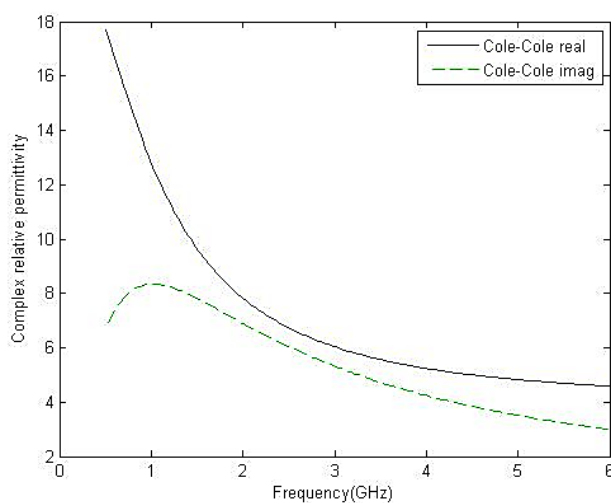


1. น้ำกลั่น (Distilled water) : $\epsilon_S = 78.6$, $\epsilon_\infty = 4.22$, $\tau(\text{ps}) = 8.8$, $\alpha = 0.013$
 ที่มา : (Adishesu Nyshadham, 1992.)



ภาพประกอบ 2 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำกลั่นที่ได้จาก Cole-Cole model

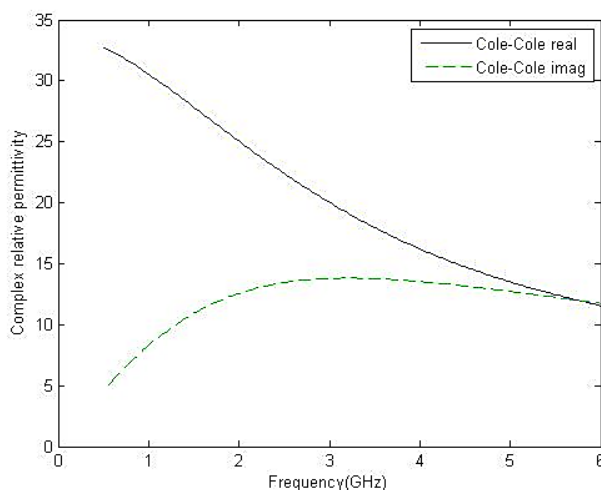
2. เอทานอล (Ethanol) : $\epsilon_S = 21.4$, $\epsilon_\infty = 3.91$, $\tau(\text{ps}) = 8.8$, $\alpha = 0.03$
 ที่มา : (Adishesu Nyshadham, 1992.)



ภาพประกอบ 3 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของเอทานอลที่ได้จาก Cole-Cole model



3. เมทานอล (Methanol) : $\epsilon_S = 33.7$, $\epsilon_\infty = 4.45$, $\tau(\text{ps}) = 8.8$, $\alpha = 0.036$
 ที่มา : (Adishesu Nyshadham, 1992.)



ภาพประกอบ 4 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของเมทานอลที่ได้จาก Cole-Cole model

4. อากาศ (Air) : $\epsilon_r = 1$ ที่มา : (Adishesu Nyshadham, 1992.)

2.7 เครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสาร (Vector Network Analyzer : VNA)

ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้มีการพัฒนาอิเล็กทรอนิกส์และระบบสื่อสารให้มีวิวัฒนาการและการเปลี่ยนแปลงให้ดีขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะนำมาออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องมือสื่อสาร เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะเป็นส่วนประกอบอย่างหนึ่งที่สำคัญ โดยจะเป็นวงจรกรองความถี่ที่ทำหน้าที่กรองเอาสัญญาณที่ต้องใช้เพื่อนำไปใช้งานที่ต้องการ ดังนั้น นักวิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิเคราะห์และสนใจในเรื่องนี้มากในการออกแบบวงจรกรองความถี่





ภาพประกอบ 5 เครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสาร (Vector Network Analyzer : VNA)

2.8 การวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนด้วยโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด

เทคนิคที่เลือกใช้ในการหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุด้วยโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด คือ การที่มีการส่งผ่านสัญญาณและสะท้อนกลับของสัญญาณนั้น โดยการใช้ด้านสายนำสัญญาณแกนร่วมไปสัมผัสกับวัสดุที่ต้องการวัดโดยขณะที่สัมผัสไม่ให้มีช่องอากาศเหลืออยู่ระหว่างวัสดุกับโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด และจากนั้นทำการวัดสัญญาณสะท้อนกลับโดยผ่านคลื่นความถี่ไมโครเวฟด้วยเครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสาร แล้วนำค่าที่วัดได้มาทำการคำนวณหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุได้ดังนี้ ที่มา : (Adishesu Nyshadham, 1992.)

$$\frac{(\epsilon_o - \epsilon_a)(\epsilon_b - \epsilon_e)}{(\epsilon_o - \epsilon_b)(\epsilon_e - \epsilon_a)} = \frac{(\Gamma_o - \Gamma_a)(\Gamma_b - \Gamma_e)}{(\Gamma_o - \Gamma_b)(\Gamma_e - \Gamma_a)} \quad (2.4)$$

เมื่อ a, b, e คือ วัสดุที่ทราบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน

o คือ วัสดุที่ทดสอบ

$\Gamma_o, \Gamma_a, \Gamma_b, \Gamma_e$ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของวัสดุ o, a, b และ e ตามลำดับ

$\epsilon_o, \epsilon_a, \epsilon_b, \epsilon_e$ คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุ o, a, b และ e ตามลำดับ





ภาพประกอบ 6 ลักษณะโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีรวุฒิ โคตรแสนลี และสุภาดา วงษ์พรม (2559 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนา (Study on Electrical Property of Yang – Na Oil) ผลการวิจัยกล่าวได้ว่า ปริมาณนิพนธ์เล่มนี้ได้ทำการศึกษาน้ำมันยางนามีสมบัติทางไฟฟ้า โดยการศึกษา คือ หาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน ได้นำน้ำมันยางนาใช้ในการทดลองวัดหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันยางนาที่ได้จากการเจาะ น้ำมันยางนาที่ได้จากการเผา และน้ำมันยางนาที่ได้จากการกลั่นได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยที่วัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) ของน้ำมันยางนา วัดหาค่าโดยใช้โพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด ด้วยความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ และนำเอาที่ได้นำไปคำนวณหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน จากผลการทดลองวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนได้พบว่า น้ำมันยางนาที่ได้จากการเจาะ มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 22.8 – 3 และมีค่าสูญเสียไดอิเล็กตริก 0.15 – 0.22 น้ำมันยางนาที่ได้จากการเผา มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 3.3 – 3.6 และมีค่าสูญเสียไดอิเล็กตริก 0.25 – 0.31 น้ำมันยางนาที่ได้จากการกลั่น มีค่าไดอิเล็กตริก 2.2 – 2.4 และมีค่าสูญเสียไดอิเล็กตริก 0.12 – 0.17 จากการทดลองนั้นยังพบอีกว่า ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา จะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ในการทดลอง คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจะมีแนวโน้มลดลง ในที่ที่ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นความถี่ที่ใช้มีค่าเพิ่มขึ้น



ฉัตรชัย พรหมดี และคณะ (2556 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การออกแบบและสร้าง โพรบแกนร่วมสำหรับการวัดค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อน (Design and Fabrication of Coaxial Probe for Complex Relative Permittivity Measurement) ได้ทำการวิจัย ปรินญาณิพนธ์ เล่นนี้ได้ทำการนำเสนอการออกแบบและสร้างโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด เพื่อสำหรับการใช้วัดค่า สภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนโดยใช้เทคนิคสายส่งแบบปลายเปิด การออกแบบโพรบแกนร่วมแบบ ปลายเปิดจะใช้โครงสร้างร่วมของสายแกนร่วมเป็นโครงสร้างหลัก โดยกำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลาง ของตัวนำด้านนอกของโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิดที่มีขนาดไม่เกิน 50 มิลลิเมตร และยังสามารถ ทำงานได้ในช่วงความถี่ 1-3 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งการสอบเทียบโพรบที่ได้สร้างขึ้นมาจะตรวจสอบได้โดย การนำมาวัดค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุ 4 ชนิด ได้แก่ อากาศ น้ำกลั่น เอทานอล เมทา นอล วัดค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของวัสดุ 4 ชนิดนี้โดยใช้โพรบจุ่มแค่สัมผัสผิวหน้าของวัสดุ 4 ชนิดนี้หรืออาจจะวัดได้อีกแบบโดยวัดทางอ้อมคือการบรรจุวัสดุ 4 ชนิดนี้ใส่ในถุงพลาสติกบางๆแล้ว ทำการวัดผ่านถุงพลาสติกบาง ซึ่งค่าที่วัดได้จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ผ่านด้วยเครื่อง วิเคราะห์ข่ายงานสื่อสาร และนำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนจากนั้นนำค่าที่ ได้ไปสอบเทียบกับค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนที่ได้จากทฤษฎี

อดิสร นวลอ่อน และคณะ (2558 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การตรวจสอบการเจือปนของน้ำผึ้งด้วยเซนเซอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแกนร่วม (Detection of Water Adulteration in Honey Using Coaxial Capacitor Sensor) ผลการวิจัยกล่าวไว้ว่า บทวิจัยนี้ทำการตรวจสอบของ การปนเปื้อนของน้ำในน้ำผึ้งด้วยเซนเซอร์การเก็บประจุไฟฟ้าแกนร่วม การตรวจสอบนี้ก็จะประกอบ ไปด้วย เซนเซอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแกนร่วมและเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ จุดประสงค์ หลักที่ต้องการนี้คือ การคำนวณหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์การ สะท้อนซึ่งได้จากการวัดด้วยการใช้เซนเซอร์สัมผัสตัวอย่างของน้ำผึ้ง แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า สภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนกับตัวอย่างของน้ำผึ้งที่เจือปนด้วยน้ำ 0-20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผล การทดลองแสดงให้เห็นว่า ณ สภาวะเดียวกัน (คือที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความถี่ทางไฟฟ้า 0.5-3.0 กิกะเฮิรตซ์) ค่าจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนนั้นของตัวอย่างของ น้ำผึ้งจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักแตเมื่อน้ำผึ้งถูกเจือปนด้วยน้ำ 0-20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีค่าอยู่ ระหว่าง 6.5 และ 15 แล้วส่วนของค่าจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของตัวอย่าง ของน้ำผึ้งก็จะมีเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญที่ที่สภาวะเดียวกัน ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 10 และ 45 นอกจากนี้ที่ความถี่ 0.5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งจะมีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาตรวจสอบของการเจือปนของน้ำในน้ำผึ้ง เนื่องจาก มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าจริงต่อเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่เจือปนมา ในน้ำผึ้งที่สูงที่สุด คือ 1.25 ต่อ 1 เปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลงไป



ประดิษฐ์ ลาวัลย์ และคณะ (2557 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำมันชีวภาพ (Determination of Electrical Property of Bio-Oil) ผลการวิจัยได้กล่าวไว้ว่า โครงการนี้ได้มีการศึกษาถึงการหาค่าไดอิเล็กตริกของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากวัสดุชีวมวลประเภทขี้เลื่อยด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส โดยใช้ทรายซิลิกาเป็นตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อน อัตราส่วนที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วเท่ากับ 100 กรัมต่อชั่วโมง ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 70 นาที และใช้ชุดควบคุมด้วยไฟฟ้าสถิตขนาดแรงดัน 14 กิโลโวลต์ ผลการทดลองจะพบว่ากระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในการศึกษาครั้งนี้สามารถผลิตน้ำมันได้ 2 ส่วน คือ น้ำมันหนัก และ น้ำมันเบา โดยค่าไดอิเล็กตริกของน้ำมันเบาจะมีค่าอยู่ระหว่าง 2-3 ในช่วงความถี่ 0-4 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งจะพบว่าค่าไดอิเล็กตริกของน้ำมันหนักจะมีค่าสูงกว่าน้ำมันเบาอยู่ประมาณ 5 เท่า และค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันทั้งสองแบบจะมีค่าลงเมื่อมีความถี่สูงขึ้น

จิตติมา เอ็งเจริญ และคณะ (2554 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การวัดสภาพยอมเชิงซ้อนของของเหลวที่ความถี่ไมโครเวฟ (Measurement of Complex Permittivity of Liquids at Microwave Frequency) วิทยานิพนธ์นี้ได้กล่าวไว้ว่า การวัดค่าสภาพยอมเชิงซ้อนและเวลาการผ่อนคลายไดอิเล็กตริกของของเหลวในช่วงความถี่ 10.3 - 10.5 กิกะเฮิรตซ์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิคท่อนำคลื่นสัญญาณแบบเลื่อนที่ออกแบบสร้างขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้ และจะมีวิธีอยู่ 2 จุด สารไดอิเล็กตริกของของเหลวไม่ดูดกลืน พลังงานที่ใช้ในการทดสอบได้แก่เบนซีน และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ สำหรับค่าไดอิเล็กตริกของของเหลวชนิดดูดกลืนพลังงานที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ เอทิลเบนซีน คลอโรเบนซีน และโบรมเบนซีน จากผลการทดลองด้วยเทคนิคท่อนำคลื่นสัญญาณแบบเลื่อนจะได้ค่าไดอิเล็กตริกของเบนซีน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ เอทิลเบนซีน คลอโรเบนซีน และโบรมเบนซีน เท่ากับ 2.242, 2.203, 2.326, 4.855 และ 4.201 ตามลำดับ สำหรับค่าสูญเสียไดอิเล็กตริก ของเอทิลเบนซีน คลอโรเบนซีน และโบรมเบนซีน เท่ากับ 0.049, 1.693 และ 1.781 ตามลำดับ จากค่าสภาพยอมเชิงซ้อนของเอทิลเบนซีน คลอโรเบนซีน และโบรมเบนซีน ได้ค่าเวลาผ่อนคลายไดอิเล็กตริก เท่ากับ 8.45, 10.29 และ 15.32 pS ตามลำดับ แล้วส่วนของวิธี 2 จุด จะได้ค่าไดอิเล็กตริกของเบนซีน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ เอทิลเบนซีน คลอโรเบนซีน และโบรมเบนซีน เท่ากับ 2.249, 2.207, 2.315, 4.611 และ 4.127 ตามลำดับ สำหรับค่าสูญเสียไดอิเล็กตริก ของเอทิลเบนซีน คลอโรเบนซีน และโบรมเบนซีน เท่ากับ 0.054, 1.639 และ 1.782 ตามลำดับ จากค่าสภาพยอมเชิงซ้อนของเอทิลเบนซีน คลอโรเบนซีน และโบรมเบนซีน ได้ค่าเวลาผ่อนคลายไดอิเล็กตริก เท่ากับ 10.82, 10.96 และ 16.08 pS ตามลำดับ

ธนกฤต วรวงศ์ และคณะ (2555 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา (Biodiesel Production From Yang-Na) ผลการวิจัยพบว่า น้ำมันยางนาที่เอามาผลิต



เป็นไบโอดีเซลเพื่อจะใช้เป็นพลังงานทดแทน เริ่มจากเก็บน้ำมันยางนาที่มีเส้นรอบวง 50 เซนติเมตร ขึ้นไป โดยการเจาะด้วยสว่าน แล้วนำไปเปรียบเทียบกับการใช้ความร้อนด้วยการใช้ไฟเผาประมาณ 20 นาที การเก็บน้ำมันยางนาทั้ง 2 วิธีนั้น การเก็บด้วยความร้อนจะได้ปริมาณน้ำมันยางนามากกว่า และสามารถใช้ไฟเผาได้ทุกวัน เมื่อนำน้ำมันยางนาดิบไปทดสอบความร้อนจะได้ค่าความร้อนประมาณ 10,290 cal/g และนำไปผ่านกระบวนการดีกรีหมัก โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 กรัม ละลายน้ำ 100 ml. แล้วนำไปผสมกับน้ำมันยางนาในอัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25-30 นาที และปล่อยให้เย็นแล้วแยกตะกอนออกได้เป็นน้ำมันดีเซลเฉลี่ย 78.35% และเอาไปทดสอบหาค่าความร้อนได้ประมาณ 10,226 cal/g ซึ่งจะใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลส่วนซุ่น จะมีจุดไหลเทต่ำ ความน้ำมันดีเซล และสามารถใช้ในที่อุณหภูมิต่ำ ความหนืด ความเป็นกรดและปริมาณน้ำจะมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล เพราะน้ำมันยางนาที่ได้จากต้นได้จะมีปริมาณยางเหนียวและน้ำสูง



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการ

วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสาร (Vector Network Analyzer : VNA)
2. สายนำสัญญาณ ที่มีอิมพีแดนซ์ขนาด 50 โอห์ม
3. ตัวเชื่อมแบบเอสเอ็มเอ
4. น้ำกลั่น
5. เอทานอล
6. อากาศ
7. น้ำมันยางนา
8. ปีกเกอร์
9. เทอร์โมมิเตอร์
10. ขาตั้งและแคลมป์ (Stand & Clamp)

วิธีการทดลอง

1. เลือกสายนำสัญญาณและโพรบ ที่มีขนาดอิมพีแดนซ์ (Impedance) เท่ากับ 50 โอห์ม เพื่อที่จะนำมาต่อกับเครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสารที่มีขนาด 50 โอห์มเหมือนกัน
2. เตรียมน้ำมันยางนาใส่ปีกเกอร์เพื่อทำการวัดที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์
3. ทำการเซ็ตเครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสารโดยกำหนดค่าความถี่ (Frequency) ตั้งแต่ 0.5-6 กิกะเฮิร์ตซ์
4. นำสายนำสัญญาณต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสาร (Vector Network Analyzer)
5. แล้วจากนั้นทำการชดเชยค่าผิดพลาดแบบ 1 port Calibration (Open-Short-Load)



6. นำโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิดที่ทำจากตัวเชื่อมแบบเอสเอ็มเอมาต่อกับสายนำสัญญาณจากนั้นนำสายอีกด้านหนึ่งของตัวเชื่อมแบบเอสเอ็มเอจุ่มลงในน้ำมันยางนาเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) ที่ปลายสายนำสัญญาณ

7. นำค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) ไปหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา (ϵ_o)

3.2 ตัวโพรบเชื่อมแบบเอสเอ็มเอ

1. โพรบตัวเชื่อมที่นำมาทำการวัดต้องตัดขาทั้ง 5 ขา ออก โดยใช้ครีมหนีบออก ก่อนถึงจะสามารถนำมาวัดวัสดุที่เป็นของเหลวได้



ภาพประกอบ 7 หัวโพรบที่ยังไม่ได้ตัดขา

2. เมื่อตัดขาของหัวโพรบออกแล้ว ก็ทำการตกแต่งให้หน้าหัวโพรบนั้นโดยใช้ตะไบขัด เหล็กขัด

3. เมื่อหน้าหัวโพรบเริ่มเรียบแล้วก็ใช้กระดาษทรายแบบหยาบขัดตาม และใช้กระดาษทรายแบบละเอียดขัดอีกเพื่อเก็บรายละเอียดของหัวโพรบ



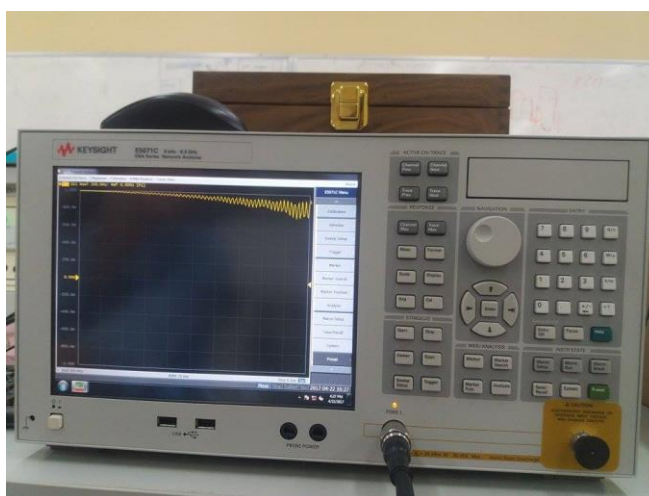
ภาพประกอบ 8 หัวโพรบที่พร้อมใช้งาน



3.3 การชดเชยข้อผิดพลาด

การชดเชย หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Calibrate ก่อนที่เราจะใช้เครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสารนั้น ต้องทำการ Calibrate ก่อนทุกครั้ง เพื่อลดการ Error ของวัสดุที่เราทำการทดลอง ขั้นตอนการ Calibrate มีดังนี้

1. ต่อสายนำสัญญาณเข้ากับตัวเครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสาร



ภาพประกอบ 9 ต่อสายนำสัญญาณเข้าตัวเครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสาร

2. ทำการ Calibrate เครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสาร โดยการกดปุ่ม Cal ที่ตัวเครื่อง แล้วคลิกคำว่า Calibrate ตรงที่หน้าจอ

3. เลื่อนหาคำว่า 1-Port Cal แล้วคลิกเข้าไปจะเจอคำว่า Open, Short, Load จากนั้นเริ่มทำการ Calibrate โดยใช้อุปกรณ์ดังภาพข้างล่าง



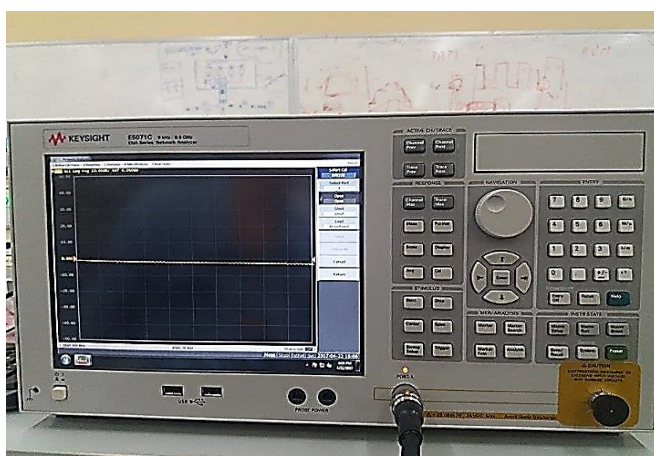
ภาพประกอบ 10 เครื่องที่จะนำมา Calibrate



4. เมื่อทำการจนครบทั้ง 3 หัวแล้วก็คลิกตรงคำว่า Done ก็จะเป็นการเสร็จสิ้นของการ Calibrate กราฟที่ได้ก็จะเป็นเส้นตรง



ภาพประกอบ 11 สายนำสัญญาณเชื่อมต่อกับตัว Calibrate



ภาพประกอบ 12 เสร็จสิ้นการ Calibrate เครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสาร

3.4 การคำนวณหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน

จากสมการที่ 2.4 ทำการย้ายข้างสมการ เพื่อหาค่า ϵ_o

$$\frac{(\epsilon_o - \epsilon_a)(\epsilon_b - \epsilon_e)}{(\epsilon_o - \epsilon_b)(\epsilon_e - \epsilon_a)} = \frac{(\Gamma_o - \Gamma_a)(\Gamma_b - \Gamma_e)}{(\Gamma_o - \Gamma_b)(\Gamma_e - \Gamma_a)} \quad (3.1)$$



จะได้สมการใหม่ ดังนี้

$$\varepsilon_o = \left[\frac{\left(\frac{(\varepsilon_w - \varepsilon_e)}{(\varepsilon_e - \varepsilon_a)} \right) \varepsilon_a - \left(\frac{(\Gamma_o - \Gamma_a)(\Gamma_w - \Gamma_e)}{(\Gamma_o - \Gamma_w)(\Gamma_e - \Gamma_a)} \right) \varepsilon_w}{\left(\frac{(\varepsilon_w - \varepsilon_e)}{(\varepsilon_e - \varepsilon_a)} \right) - \left(\frac{(\Gamma_o - \Gamma_a)(\Gamma_w - \Gamma_e)}{(\Gamma_o - \Gamma_w)(\Gamma_e - \Gamma_a)} \right)} \right] \quad (3.2)$$

เมื่อ ε_o คือ ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา

ε_a คือ ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของอากาศ

ε_b คือ ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำกลั่น

ε_c คือ ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของเมทานอล

Γ_o คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของน้ำมันยางนา

Γ_a คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของอากาศ

Γ_b คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของน้ำกลั่น

Γ_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเมทานอล

3.5 โครงสร้างการทดสอบวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน

โครงสร้างการทดสอบวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน

1. Vector Network Analyzer เป็นเครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสารใช้ในการกำหนดความถี่ประมวลผลและแสดงผลของสัญญาณ
2. Open-ended coaxial probe โพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด เป็นสายนำสัญญาณจากเครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสารไปยังวัสดุที่นำมาทดสอบ
3. Scattering parameters (S_{11}) ค่าของพารามิเตอร์แบบกระจัดกระจายที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสาร เพื่อใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนและนำค่าที่ได้ไปหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน

3.6 การทดสอบการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน

ในงานปริยานิพนธ์เล่มนี้ได้ใช้โพรบแกนร่วมแบบปลายเปิดในการวัดหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาเปรียบเทียบกับค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนที่ได้จาก



สมการของ Cole-Cole model ในกาทดสอบกับวัสดุที่ใช้เป็นตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น อากาศ และเอทานอล

ในการวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนนั้นจะต้องเตรียมเครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสาร สำหรับการวัดจะต้องกำหนดความถี่ที่เหมาะสมที่จะใช้ในเครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสารซึ่งจะกำหนดเป็น 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์

3.7 การวัดวัสดุทดสอบ

เป็นการวัดโดยนำโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิดจุ่มลงบนผิวของวัสดุที่นำมาทดสอบในบีกเกอร์ที่ทำการเตรียมไว้ โดยในการวัดนั้นเราจะกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส ก่อนทุกครั้ง เนื่องจากค่าอ้างอิงของสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของสารอ้างอิงนั้น เป็นค่าที่วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อเราได้ค่าที่อ้างอิงแล้วมีค่าใกล้เคียงกัน ก็ทำการเพิ่ม-ลง อุณหภูมิที่เราต้องการหาค่าที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ 10 – 70 องศาเซลเซียส

ในระหว่างที่ทำการทดลองวัดของเหลว โดยให้โพรบแกนร่วมแบบปลายเปิดได้สัมผัสกับของเหลว เครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสารจะทำการประมวลผลและวัดสัญญาณการสะท้อนกลับที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟและทำการบันทึกข้อมูล เพื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) ไปหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน โดยค่าที่เราจะบันทึกข้อมูลนั้นจะอยู่ในรูปของ Real และ Imaginary ทุกช่วงของความถี่

การคำนวณค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน ต้องจัดรูปสมการ เพื่อหาค่า ϵ_o ได้ดังนี้

$$\epsilon_o = \left[\frac{\left(\frac{(\epsilon_w - \epsilon_e)}{(\epsilon_e - \epsilon_a)} \right) \epsilon_a - \left(\frac{(\Gamma_o - \Gamma_a)(\Gamma_w - \Gamma_e)}{(\Gamma_o - \Gamma_w)(\Gamma_e - \Gamma_a)} \right) \epsilon_w}{\left(\frac{(\epsilon_w - \epsilon_e)}{(\epsilon_e - \epsilon_a)} \right) - \left(\frac{(\Gamma_o - \Gamma_a)(\Gamma_w - \Gamma_e)}{(\Gamma_o - \Gamma_w)(\Gamma_e - \Gamma_a)} \right)} \right] \quad (3.3)$$

ในการคำนวณนั้นสามารถใช้วัสดุตัวอย่างที่ทราบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน 3 ตัวอย่าง คือ อากาศ, น้ำกลั่น, เอทานอล ตามลำดับ จากสมการที่ 3.5 โดยกำหนดให้ $\epsilon_a, \epsilon_e, \epsilon_w$ คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของ อากาศ เอทานอล และน้ำกลั่น ตามลำดับ โดยให้ ϵ_o เป็นวัสดุอ้างอิง และค่า $\Gamma_a, \Gamma_e, \Gamma_w$, และ Γ_o เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของแต่ละวัสดุที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ข่ายงานสื่อสาร

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนนั้นจะอยู่ในลักษณะของ Real และ Imaginary ของทุกช่วงความถี่ที่กำหนดไว้คือ 0.5 – 6 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยจากสมการที่ 3.5 และนำค่าทั้งหมดที่ได้มาแทนค่าลง



ในสมการและคำนวณ เพื่อหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน (ϵ_o) และนำค่าที่ได้ในการหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนไปเปรียบเทียบกับค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนจากสมการของ Cole-Cole model



บทที่ 4

ผลการศึกษา

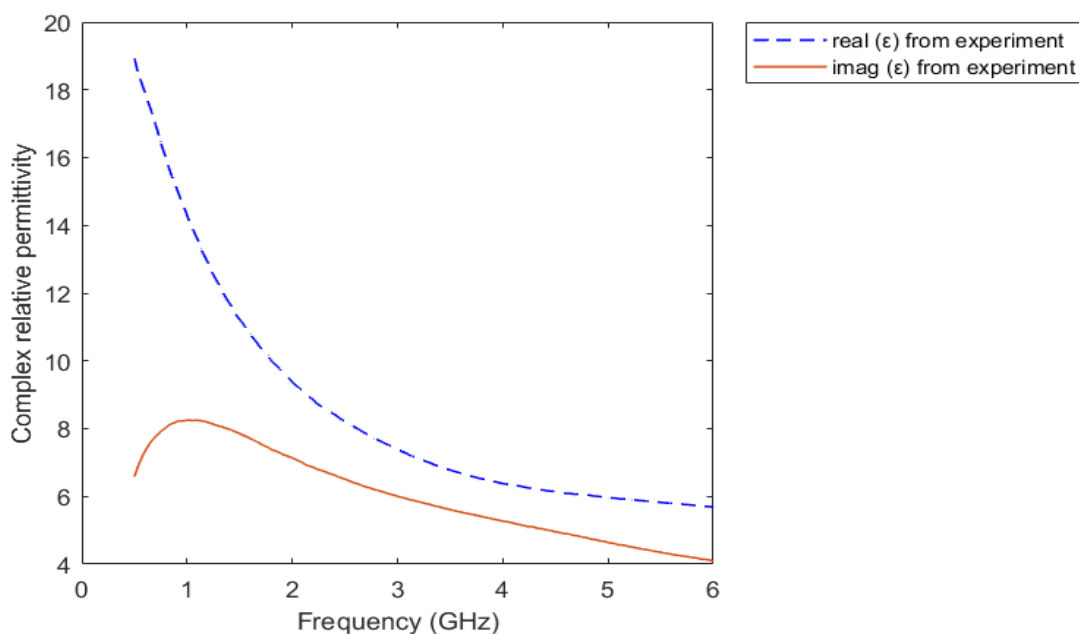
บทนำ

บทนี้นำเสนอค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาทั้ง 3 ชนิด ไปทำการวัดค่าที่อุณหภูมิตั้งแต่ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส เพื่อหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกหรือค่าจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน และค่าสภาพนำไฟฟ้าที่ได้จากการนำค่าจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน นำไปคำนวณ ผลที่ได้จะนำไปการค่าความสัมพันธ์ของน้ำมันยางนาเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป

4.1 ผลการทดสอบความถูกต้องของโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด

จากผลการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำมันยางทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ก่อนจะวัดน้ำมันยางนาทั้ง 3 ชนิด ต้องทำการทดสอบความถูกต้องของโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด โดยใช้วัสดุที่ทราบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน 4 ชนิด คือ น้ำกลั่น เมทานอล เอทานอล และอากาศ ซึ่งน้ำกลั่น เมทานอล และอากาศจะเป็นวัสดุที่ทราบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา และใช้เอทานอลเป็นวัสดุทดสอบ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11}) ของเอทานอลแล้ว นำมาแทนค่าในสมการ (3.3) เพื่อหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน และนำมาพล็อตจะได้กราฟดังนี้

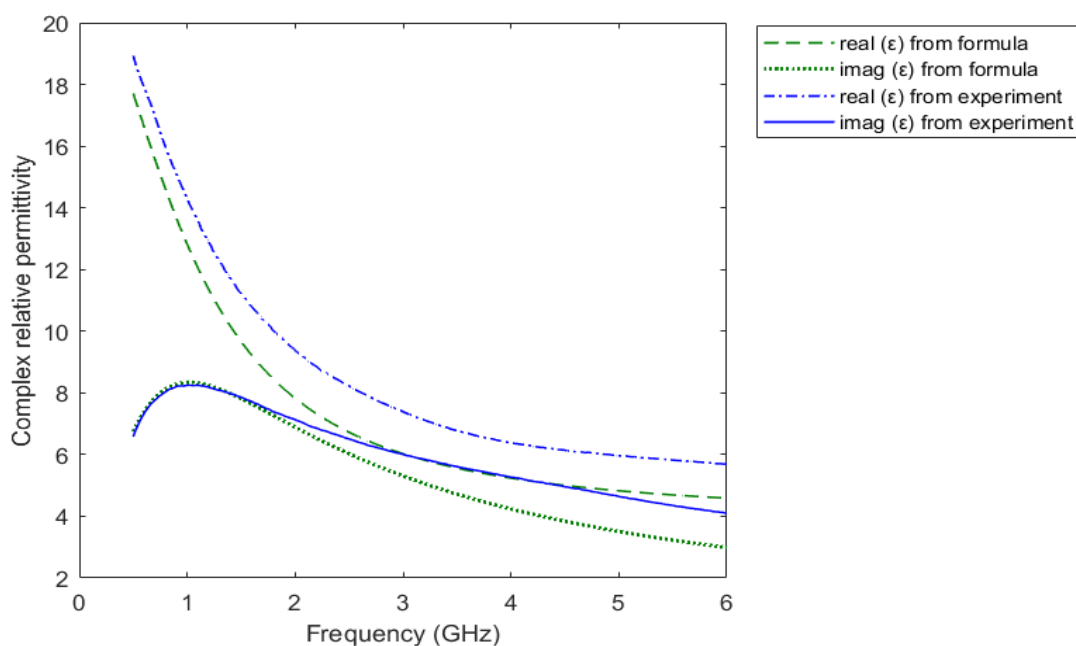




ภาพประกอบ 13 การเปรียบเทียบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของเอทานอล
จากการทดลอง

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของเอทานอลที่ได้จากการทดลองจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก และค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกมีค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของค่าไดอิเล็กตริกที่มีความถี่ 0.5 กิกะเฮิร์ตซ์ จะอยู่ที่ประมาณ 19.5 – 18.5 แล้วลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกที่มีความถี่ 0.5 กิกะเฮิร์ตซ์ จะอยู่ที่ประมาณ 6 – 8 จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ

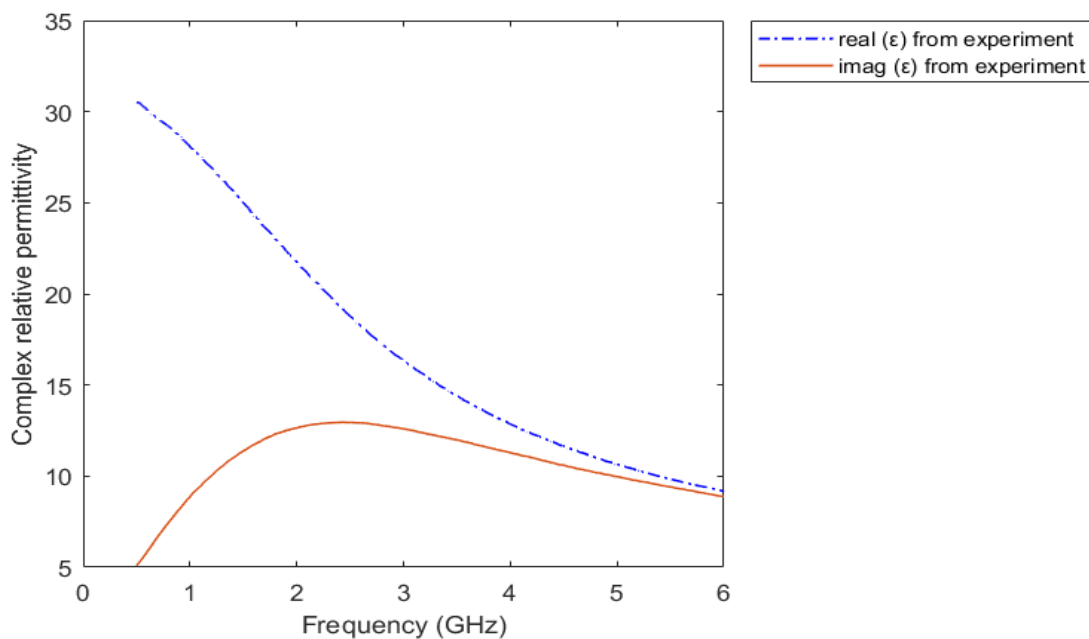




ภาพประกอบ 14 การเปรียบเทียบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของเอทานอล
ที่ได้จากทฤษฎี และ จากการทดลอง

เมื่อนำกราฟที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากทฤษฎี พบว่าค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่ 0.5 – 1.0 กิกะเฮิร์ตซ์ และค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกมีความใกล้เคียงกันมากที่ความถี่ 0.5 – 2 กิกะเฮิร์ตซ์ และเริ่มห่างกันมากขึ้นเมื่อความถี่มากขึ้น แสดงว่าผลการทดสอบโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด มีความถูกต้องค่อนข้างดี ดังนั้นสามารถนำโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิดวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของน้ำมันยางนาได้

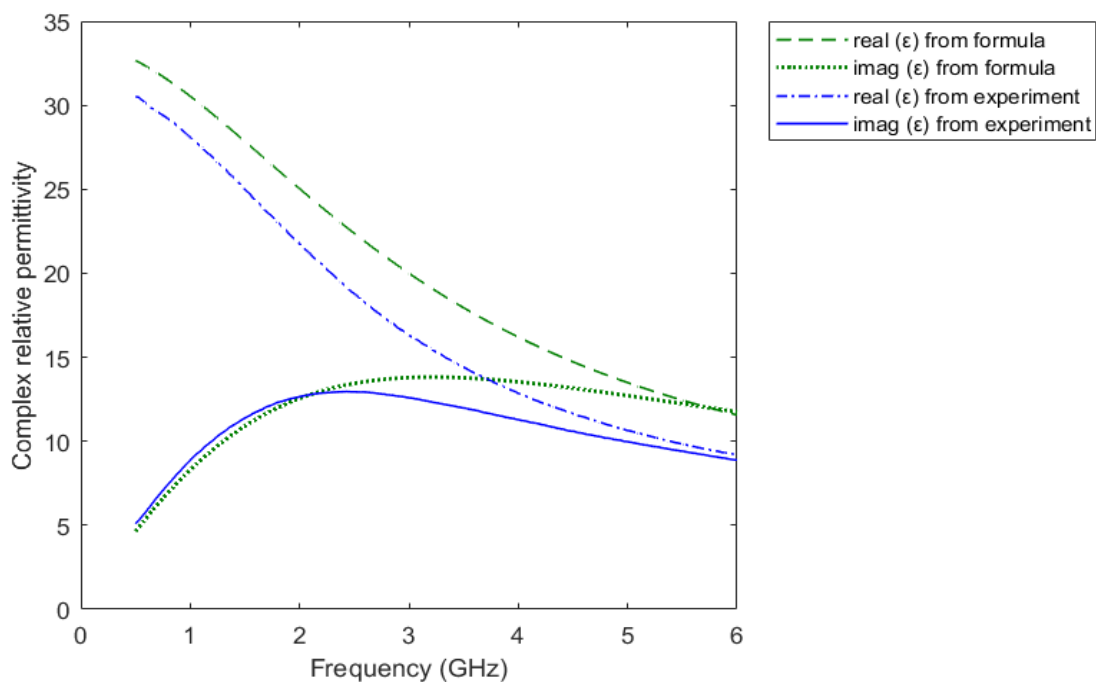




ภาพประกอบ 15 การเปรียบเทียบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของเมทานอล
ที่ได้จากการทดลอง

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของเมทานอลที่ได้จากการทดลองจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก และค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกมีค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของค่าไดอิเล็กตริกที่มีความถี่ 0.5 กิกะเฮิร์ตซ์ จะอยู่ที่ประมาณ 30 – 31 แล้วลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกที่ความถี่ 0.5 กิกะเฮิร์ตซ์ จะอยู่ที่ประมาณ 5 – 7 จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ





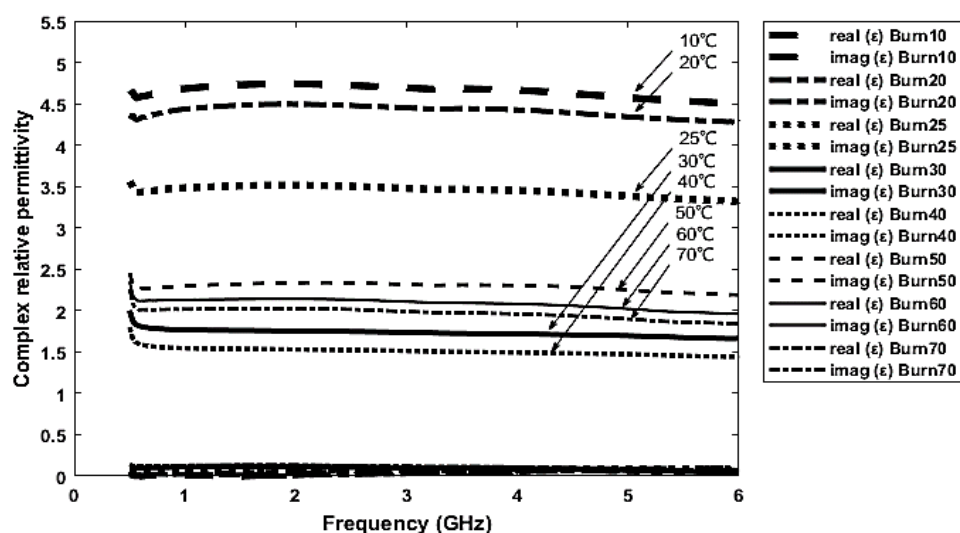
ภาพประกอบ 16 การเปรียบเทียบค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของเมทานอล
ที่ได้จากทฤษฎี และ จากการทดลอง

เมื่อนำกราฟที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากทฤษฎี พบว่าค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่ 0.5 – 0.8 กิกะเฮิร์ตซ์ และค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกมีความใกล้เคียงกันมากที่สุดที่ความถี่ 0.5 – 2.3 กิกะเฮิร์ตซ์ และเริ่มห่างกันมากขึ้นเมื่อความถี่มากขึ้น แสดงว่าผลการทดสอบโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิด มีความถูกต้องค่อนข้างดี ดังนั้นสามารถนำโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิดวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของน้ำมัน ยานนาได้

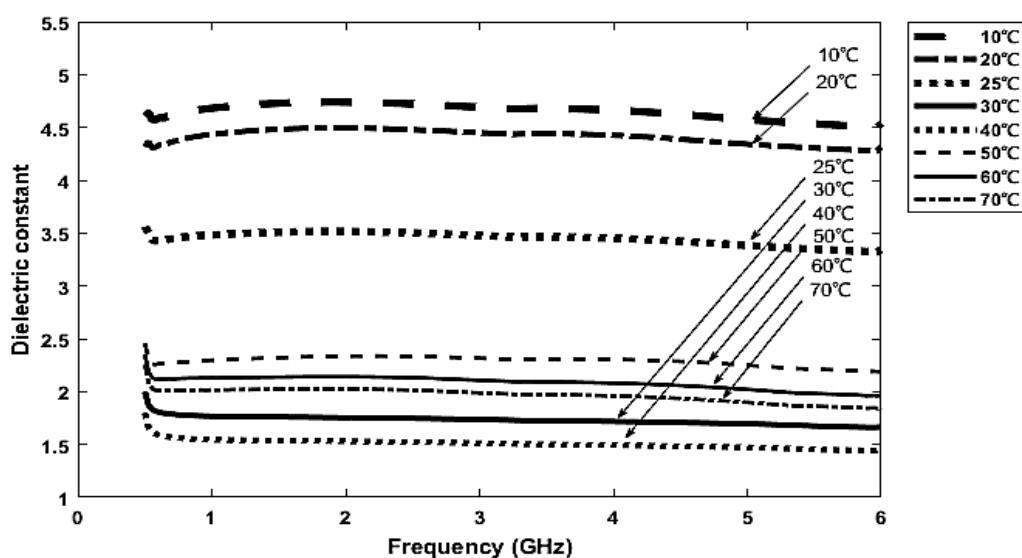


4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้อุณหภูมิ

1. ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส

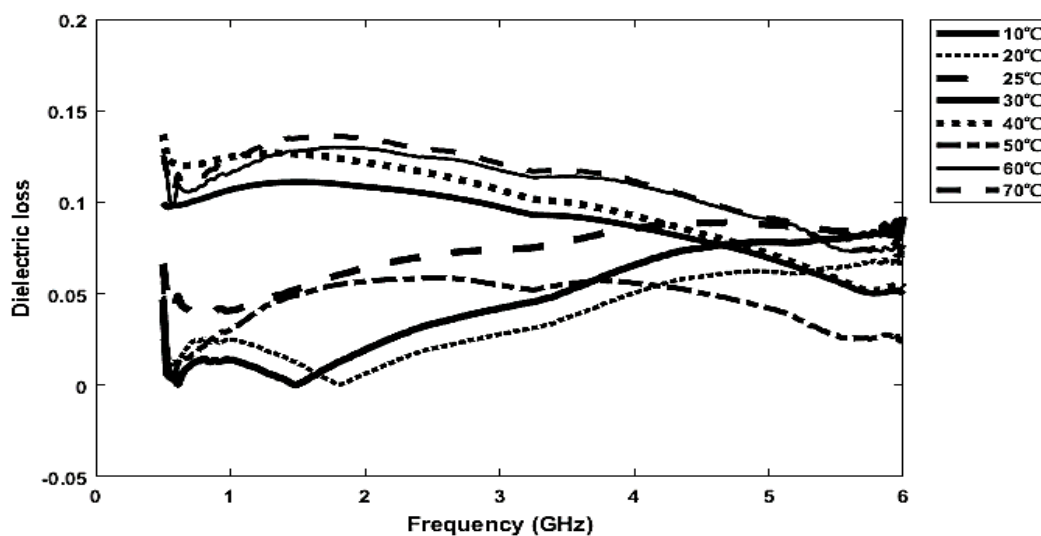


ภาพประกอบ 17 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 18 ค่าคงที่ได้อิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส



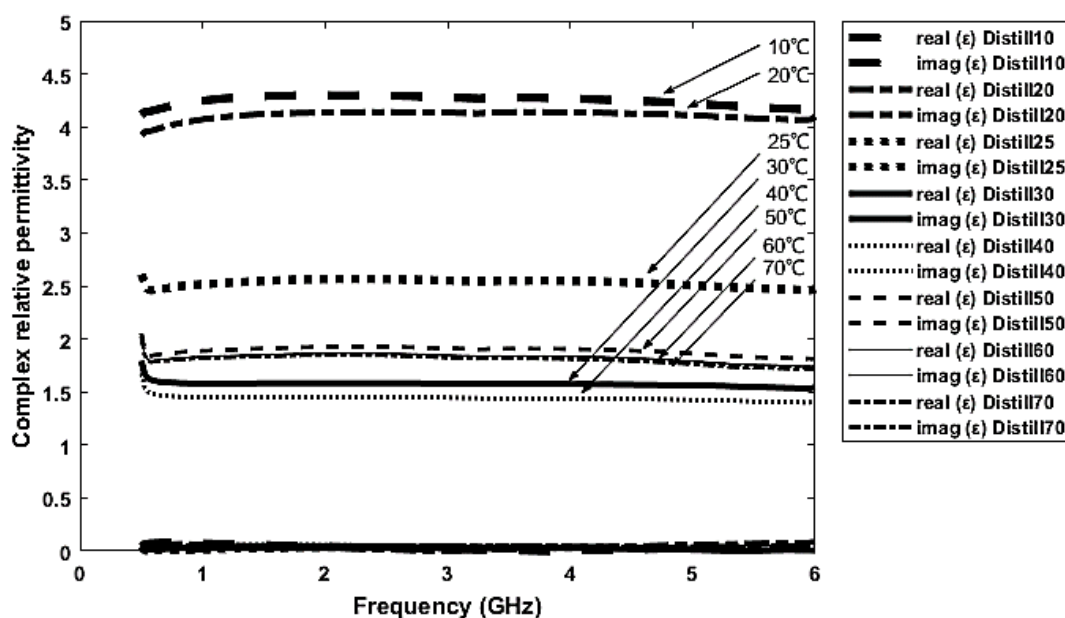


ภาพประกอบ 19 ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส

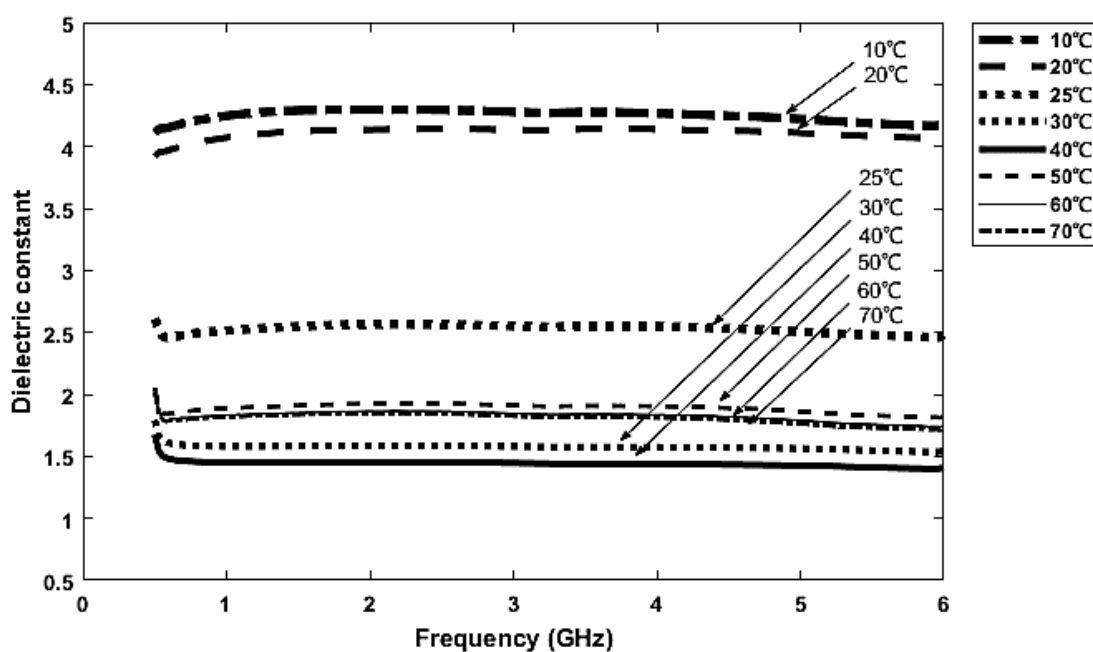
จากภาพประกอบ 17,18 และ 19 เมื่อนำน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผามาหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกหรือส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา นั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างเพิ่มขึ้นในทุกค่าความถี่ที่ใช้ในการทดลอง และอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส จะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่สูงที่สุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส จะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลงต่ำสุดตามลำดับ ส่วนค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกหรือส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา พบว่าค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นยกเว้นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเหมือนอุณหภูมิอื่นๆ ที่ความถี่ 2 - 4 กิกะเฮิรตซ์



2. ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส

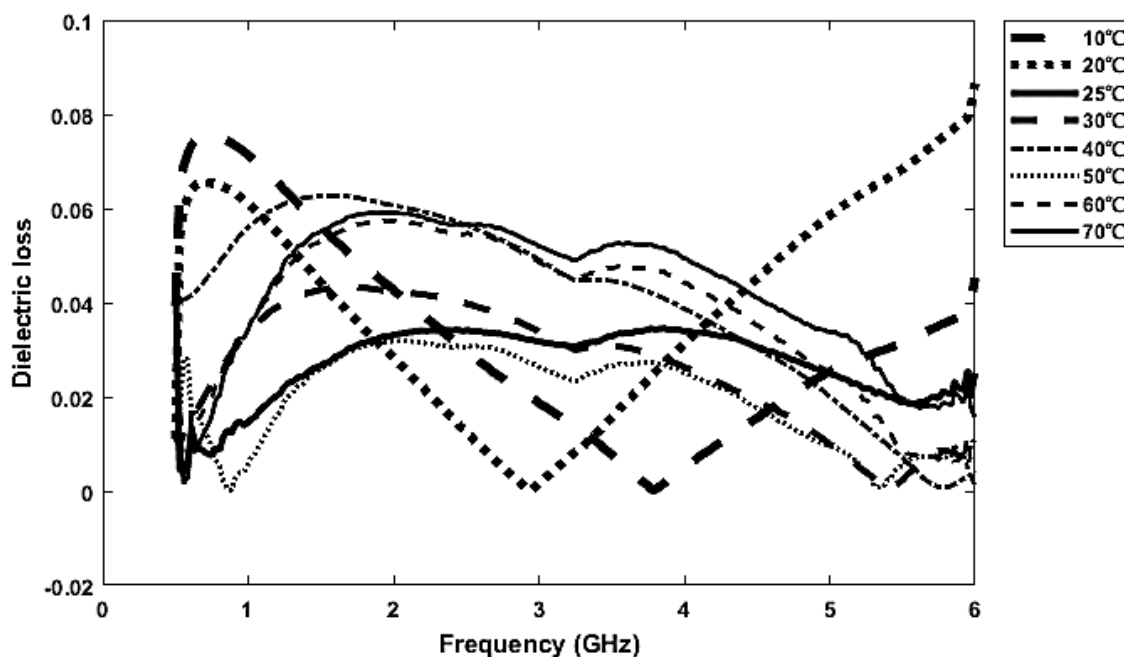


ภาพประกอบ 20 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 21 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส



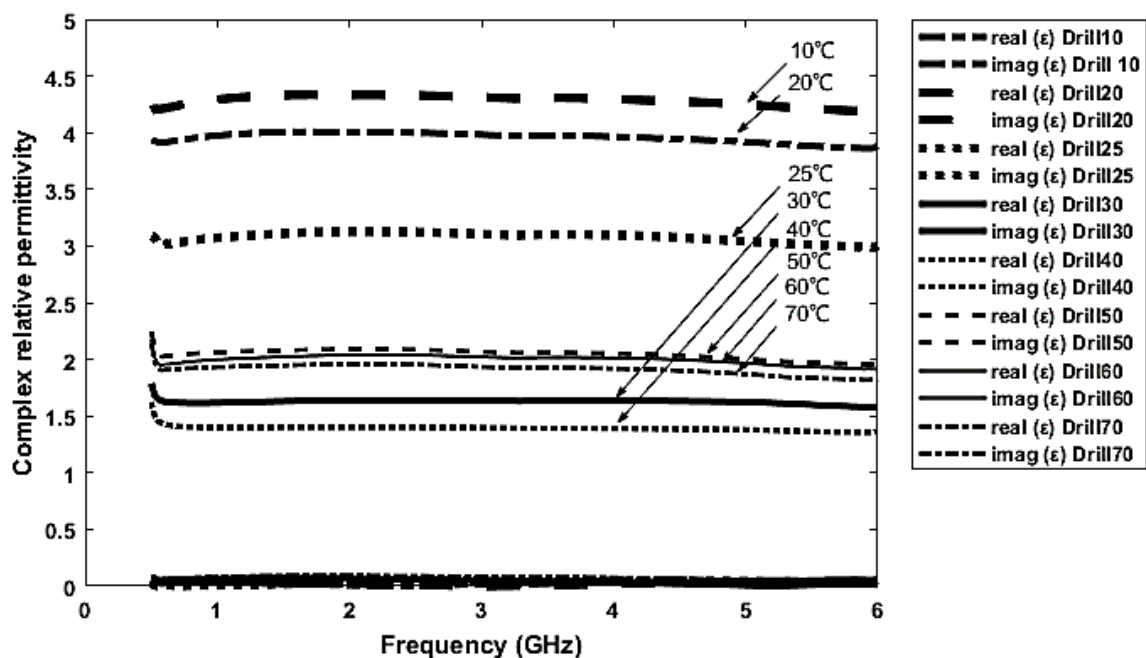


ภาพประกอบ 22 ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส

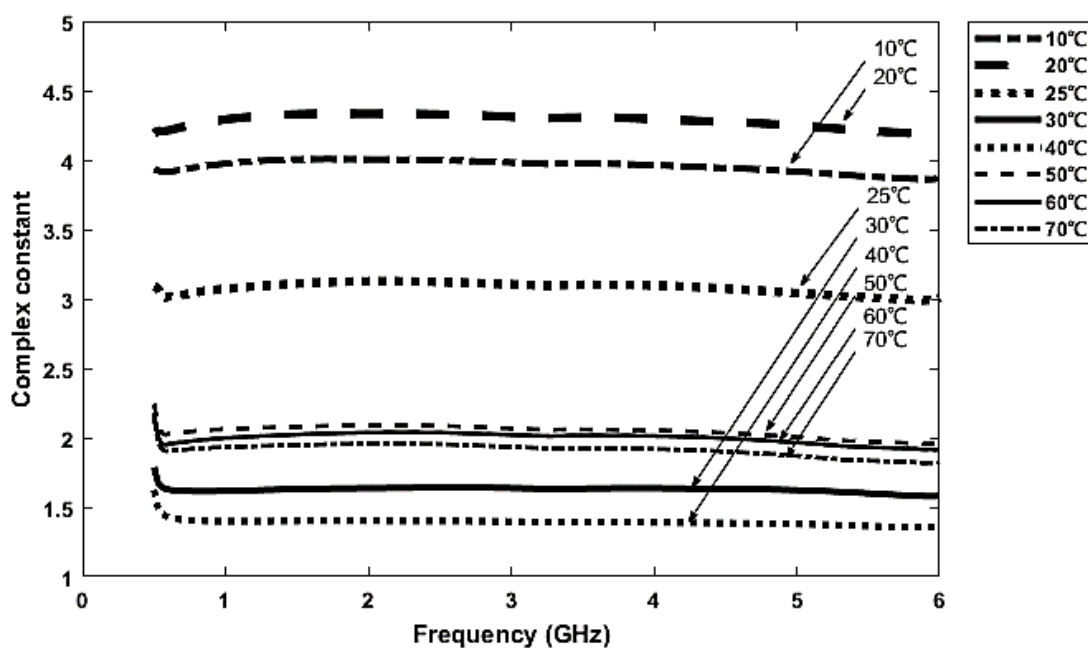
จากภาพประกอบ 20,21 และ 22 เมื่อนำน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่นมาหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกหรือส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น นั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างเพิ่มขึ้นในทุกค่าความถี่ที่ใช้ในการทดลอง และอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส จะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่สูงที่สุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส จะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลงต่ำสุดตามลำดับ ส่วนค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกหรือส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น พบว่าค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเหมือนอุณหภูมิอื่นๆ ที่ความถี่ 2 - 4 กิกะเฮิร์ตซ์



3. ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส

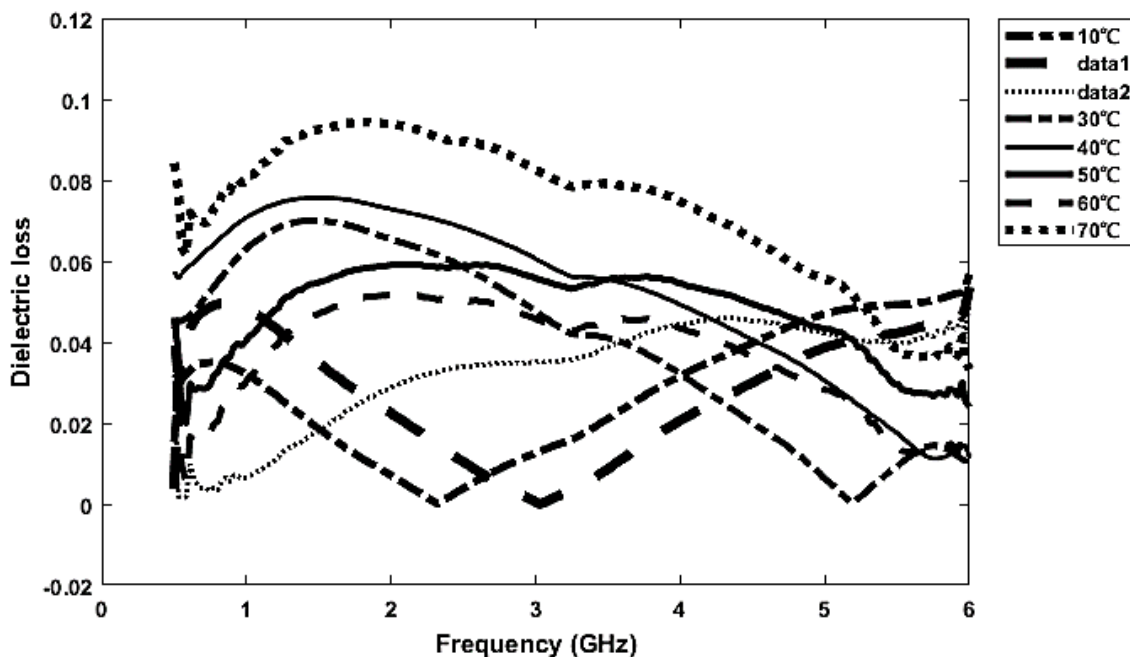


ภาพประกอบ 23 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 24 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส





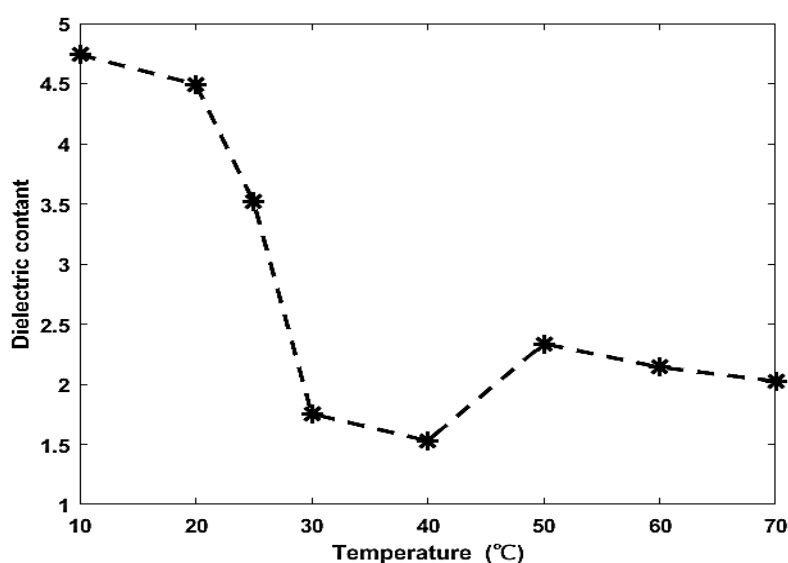
ภาพประกอบ 25 ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส

จากภาพประกอบ 23,24 และ 25 เมื่อนำน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะมาหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกหรือส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ นั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างเพิ่มขึ้นในทุกค่าความถี่ที่ใช้ในการทดลอง และอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส จะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่สูงที่สุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส จะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลงต่ำสุดตามลำดับ ส่วนค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกหรือส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ พบว่าค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในทุกค่าความถี่ที่ใช้ในการทดลอง และค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ถึง 60 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเหมือนอุณหภูมิอื่นๆ ที่ความถี่ 2 - 4 กิกะเฮิรตซ์



4.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้อาจกระบวนการเผาใช้ในการทดลอง

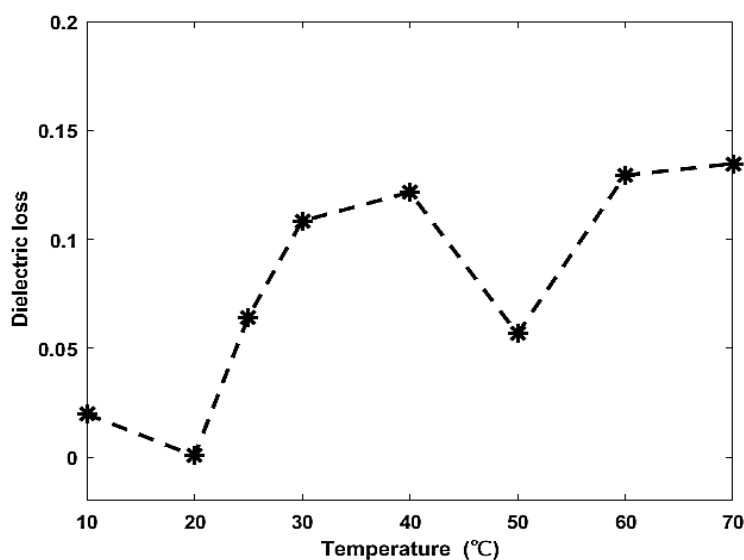
1. แสดงค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 26 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผาที่ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ อุณหภูมิจาก 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส

จากภาพประกอบ 26 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผาที่ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ จากอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จากที่ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ พบว่าอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส ถึง 20 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลงอย่างรวดเร็ว และค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลงต่ำสุดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ถึง 40 องศาเซลเซียส และค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจะเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และจะค่อยๆ ลดลงจนถึงอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



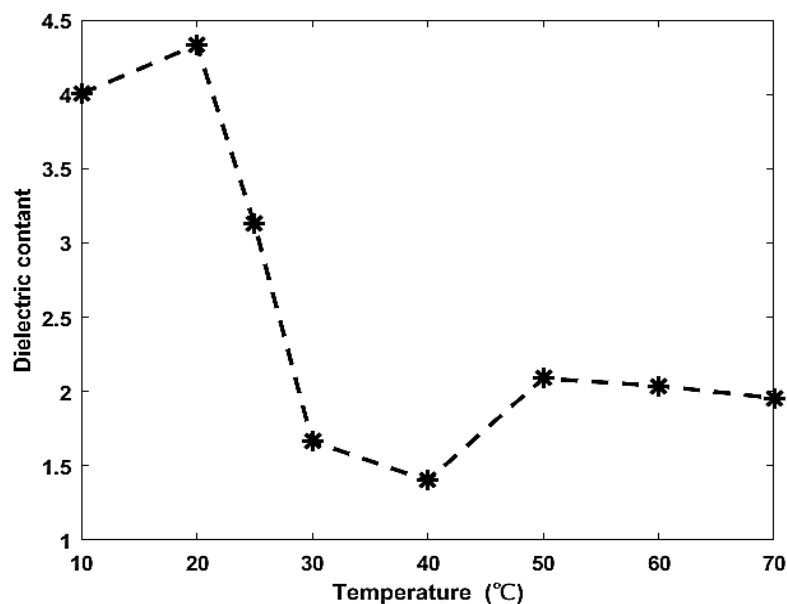


ภาพประกอบ 27 ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ อุณหภูมิจาก 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส

จากภาพประกอบ 27 ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา ที่ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ จากอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ อุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะสังเกตได้ว่าค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้ จากกระบวนการเผาจะมีลักษณะแนวโน้มตรงข้ามกัน จากที่ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ พบว่าอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส มีค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกลดอย่างรวดเร็ว แล้วค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกจะเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิมากกว่า เนื่องจากอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่นเริ่มเข้าสู่การเปลี่ยนแปลงของความหนืด จุดที่น้ำมันยางนาเริ่มมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีความหนืดลดลง ตามลำดับ ดังนั้นอุณหภูมิจึงมี ผลต่อคุณสมบัติสถานะของน้ำมันยางนาที่ได้จากการเผาจึงทำให้ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกไม่เพิ่มขึ้นอย่าง สม่ำเสมอ



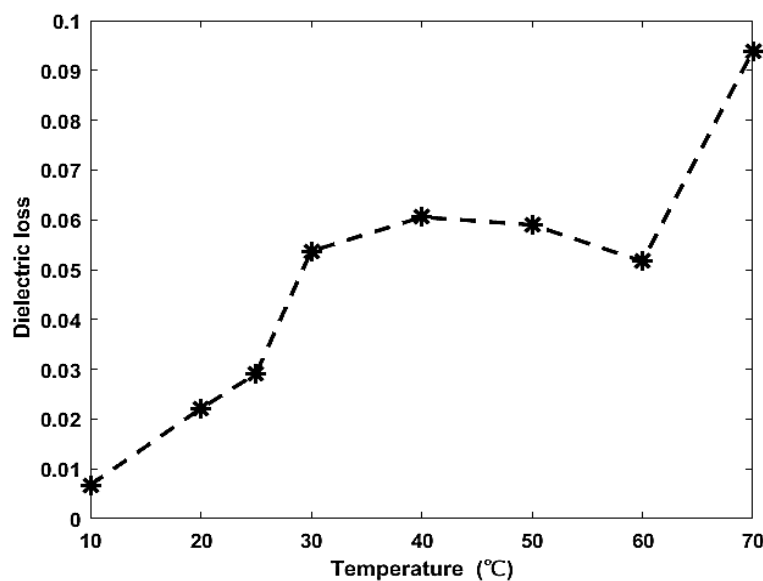
2. ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 28 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะที่ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ อุณหภูมิจาก 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส

จากภาพประกอบ 28 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผาที่ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ จากอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จากที่ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ พบว่าอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ถึง 40 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดอย่างรวดเร็ว แล้วเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะไม่มีปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิจะอยู่ที่และน้ำมันยางนามีความหนืดมากขึ้นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จึงทำให้ค่าไดอิเล็กตริกเปลี่ยนแปลงลดลง



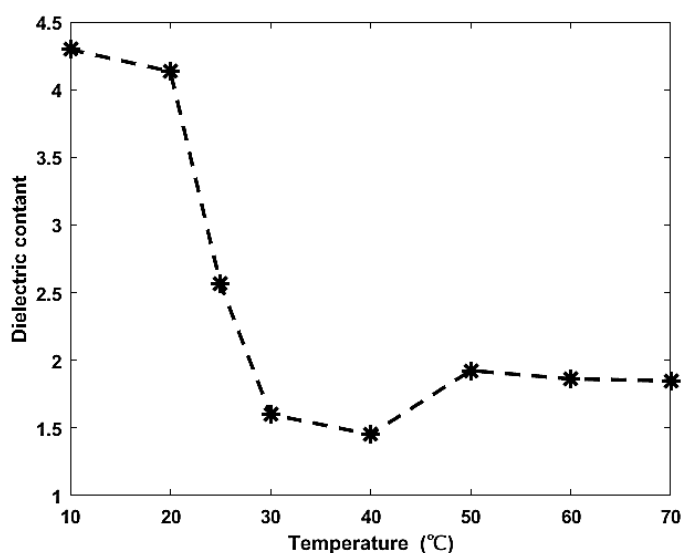


ภาพประกอบ 29 ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ ที่ความถี่ 2 กิโลเฮิรตซ์ อุณหภูมิจาก 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส

จากภาพประกอบ 29 ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ ที่ความถี่ 2 กิโลเฮิรตซ์ จากอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะสังเกตได้ว่าค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะจะมีลักษณะแนวโน้มตรงข้ามกัน จากที่ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพบว่าอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส มีค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกลดลงอย่างรวดเร็ว แล้วค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกจะเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิมากกว่า เนื่องจากอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่นเริ่มเข้าสู่การเปลี่ยนแปลงของความหนืดน้อยลง ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีผลต่อคุณสมบัติสถานะของน้ำมันยางนาที่ได้จากการเผาจึงทำให้ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกไม่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ



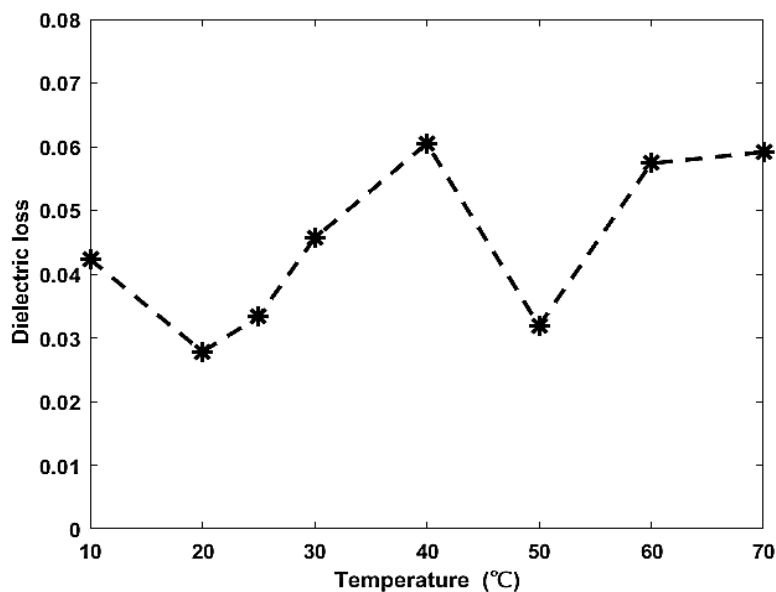
3. ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 30 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่นที่ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ อุณหภูมิจาก 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส

จากภาพประกอบ 30 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่นที่ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ จากอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จากที่ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ พบว่าอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ถึง 40 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลงอย่างรวดเร็ว แล้วเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผาไม่มีปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิจะอยู่ที่ จึงทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลงไม่เป็นระดับ





ภาพประกอบ 31 ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ อุณหภูมิจาก 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส

จากภาพประกอบ 31 ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น ที่ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ จากอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะสังเกตได้ว่าค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่นจะมีลักษณะแนวโน้มตรงข้ามกัน จากที่ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพบว่าอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส มีค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกลดต่ำลงมาก แล้วค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกจะเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิมากกว่า เนื่องจากอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่นเริ่มเข้าสู่การเปลี่ยนแปลงของความหนืด จุดที่น้ำมันยางนาเริ่มมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีความหนืดลดลง ตามลำดับ ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีผลต่อคุณสมบัติสถานะของน้ำมันยางนาที่ได้จากการกลั่นจึงทำให้ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกไม่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ



4.4 ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา กับอุณหภูมิ

จากผลการทดลองข้างต้นจะพบว่า ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น และ น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกหรือส่วนจริงของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนามีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างเพิ่มขึ้นในทุกค่าความถี่ที่ใช้ในการทดลอง และค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกหรือส่วนจินตภาพของค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา พบว่าค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ที่ความถี่เดียว ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนามีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของน้ำมันยางนามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น



บทที่ 5

สรุปผลอภิปรายและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลและอภิปราย

ปริญญานิพนธ์นี้ทำการทดลองศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนา 3 ชนิด จากการหาค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำมันยางนา ที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนกับอุณหภูมิต่างๆ จากอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส ถ้าน้ำมันยางนามีอุณหภูมิค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนจะมีค่าแนวโน้มต่างจาก ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่เคยมีผู้วิจัยทำการศึกษาก่อนแล้ว และถ้าน้ำมันยางนามีอุณหภูมิสูงค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนจะมีค่าแนวโน้มต่างจากค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่กล่าวมา

การศึกษาคูณสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาและวิธีวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา โดยการสอบเทียบโพรบร่วมแบบปลายเปิด ใช้โพรบร่วมแบบปลายเปิดนำมาวัดหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของน้ำมันยางนา

จากการทดสอบวัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ ได้วัดค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ความถี่ 0.5 – 6 กิกะเฮิรตซ์ ที่เป็นความถี่ที่ใช้ในการทดลองหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริก เมื่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่ 10 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา 3 ชนิด มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และมีค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
2. ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาทั้ง 3 ชนิด มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกไปในเทรนด์เดียวกัน
3. ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ พบว่าที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลง เนื่องจากน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะเริ่มเข้าสู่สภาวะไหลเท



4. ค่าคงที่ไดโอิเล็กทริกและค่าสูญเสียไดโอิเล็กทริกพบว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ถึง 40 องศาเซลเซียส ของน้ำมันยางนา 3 ชนิด จะมีค่าคงที่ไดโอิเล็กทริกต่ำสุดเพราะช่วงอุณหภูมิดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงช้าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิอื่น

5. ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา จะมีค่าที่มากที่สุดในทุกๆอุณหภูมิ ซึ่งค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา 3 ชนิด ทั้งค่าคงที่ไดโอิเล็กทริกและค่าสูญเสียไดโอิเล็กทริกจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่นั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ นั่นคือ ค่าคงที่ไดโอิเล็กทริกมีแนวโน้มลดลงเมื่อความถี่ที่ใช้ในการทดลองเพิ่มขึ้น และค่าสูญเสียไดโอิเล็กทริกมีแนวโน้มลดลงเมื่อความถี่ที่ใช้ในการทดลองเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส

6. ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา มีค่าสูญเสียไดโอิเล็กทริกลดลงในช่วงความถี่ 0.5-2 กิกะเฮิรตซ์ และเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส

7. ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น มีค่าสูญเสียไดโอิเล็กทริกลดลงในช่วงความถี่ 3-4 กิกะเฮิรตซ์ และเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส

8. ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ มีค่าสูญเสียไดโอิเล็กทริกลดลงในช่วงความถี่ 2-3 กิกะเฮิรตซ์ และเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส

5.2 ข้อเสนอแนะ

ปัญหาสำคัญของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คือ ปัญหาการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตามที่กำหนดไว้ เนื่องจากอุณหภูมิมิผลต่อค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อนของน้ำมันยางนา จึงจำเป็นต้องมีการแก้ไขปรับปรุงดังนี้

1. พัฒนาให้มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เพื่อไม่ให้อุณหภูมิลดเคลื่อน
2. ก่อนทำการทดลองและหลังทดลองทุกครั้ง ควรทำความสะอาดเซลล์โพรบแกนร่วมแบบปลายเปิดด้วยเอทานอล
3. ไม่ควรจุ่มหัวโพรบแกนร่วมแบบปลายเปิดลึกเกินไป เพราะจะทำให้ของเหลวไหลเข้าสายโคแอกเซียล และทำให้ค่าคลาดเคลื่อนได้



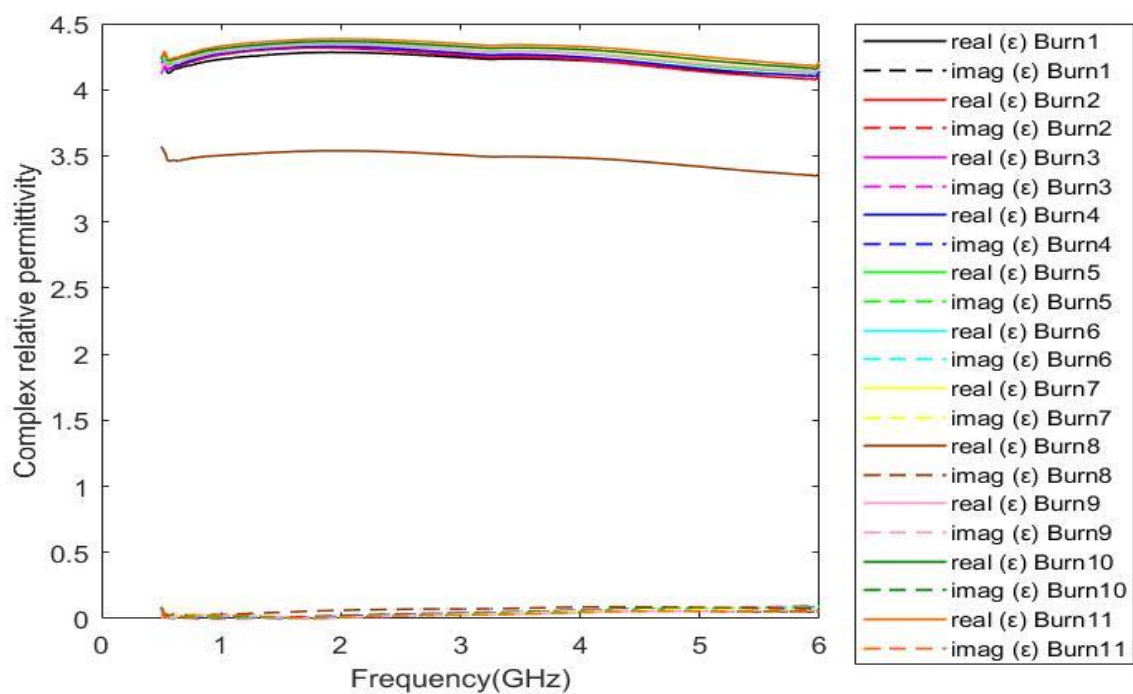
บรรณานุกรม

- ฉัตรชัย พรหมดี และคณะ. การออกแบบและการสร้างโพรบแบนร่วมสำหรับการวัดค่าสภาพยอม
 สัมพัทธ์เชิงซ้อน. ปรินูญานิพนธ์ วศ.บ. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2556.
- ฐิติมา เอ็งเจริญ. การวัดค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เชิงซ้อนของของเหลวที่มีความถี่ไมโครเวฟ. วิทยานิพนธ์
 วท.ม. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2554.
- ธนกฤต วรวงษ์. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. ขอนแก่น :
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2557.
- ธีรวุฒิ โคตรแสนลี และคณะ. การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนา. ปรินูญานิพนธ์
 วศ.ม. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2559.
- ประดิษฐ์ ลาวัลย์ และคณะ. การหาคูณสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำมันชีวภาพ. ปรินูญานิพนธ์
 วศ.บ. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2557.
- อดิสร นวลอ่อน และคณะ. การตรวจสอบการเจือปนของน้ำในน้ำผึ้งด้วยเซนเซอร์ตัวเก็บประจุไฟฟ้า
 แกร่วม. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2558.
- Adishesu Nyshadham, Christopher L.Sibbald and Stanislaw S.Stuchly, Fellow, IEEE.
*Permittivity Measurements Using Open-Ended Sensors and Reference Liquid
 Calibration-An Uncertainty Analysis.* IEEE Transaction on Microwave Theory and
 Techniques 1992 ; 40 : 305-315.
- Agilent Technologies. *Basics of Measuring the Dielectric Properties of materials.*
 Agilent 2005 ; 12-17.
- National instruments. *Effects of Impedance Matching and Switch Quality on RF Test
 System Performance,* 2007 ; 1-6.

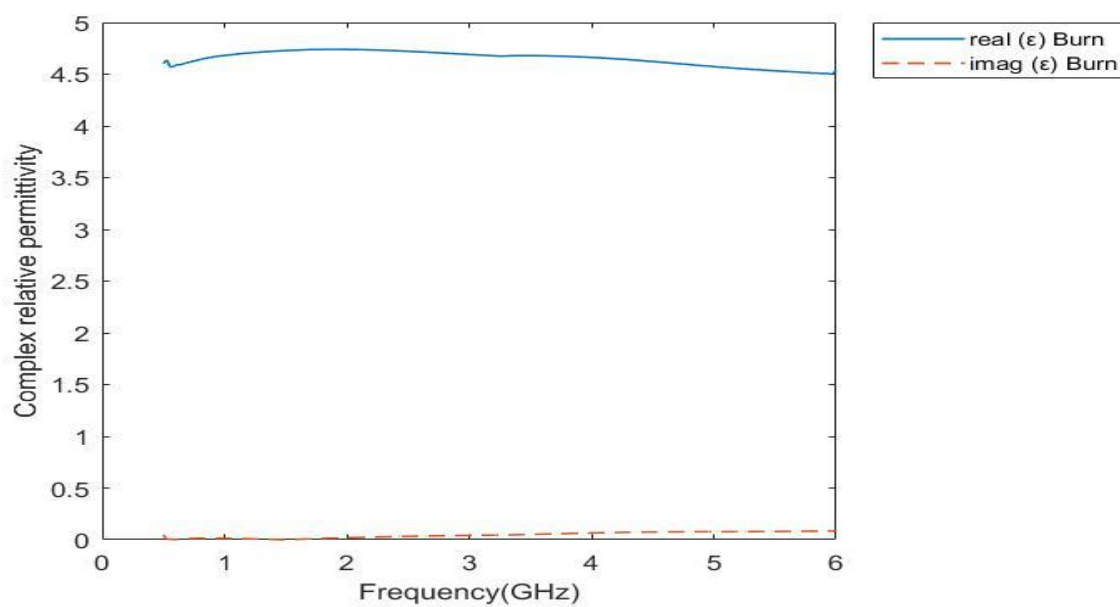


ภาคผนวก



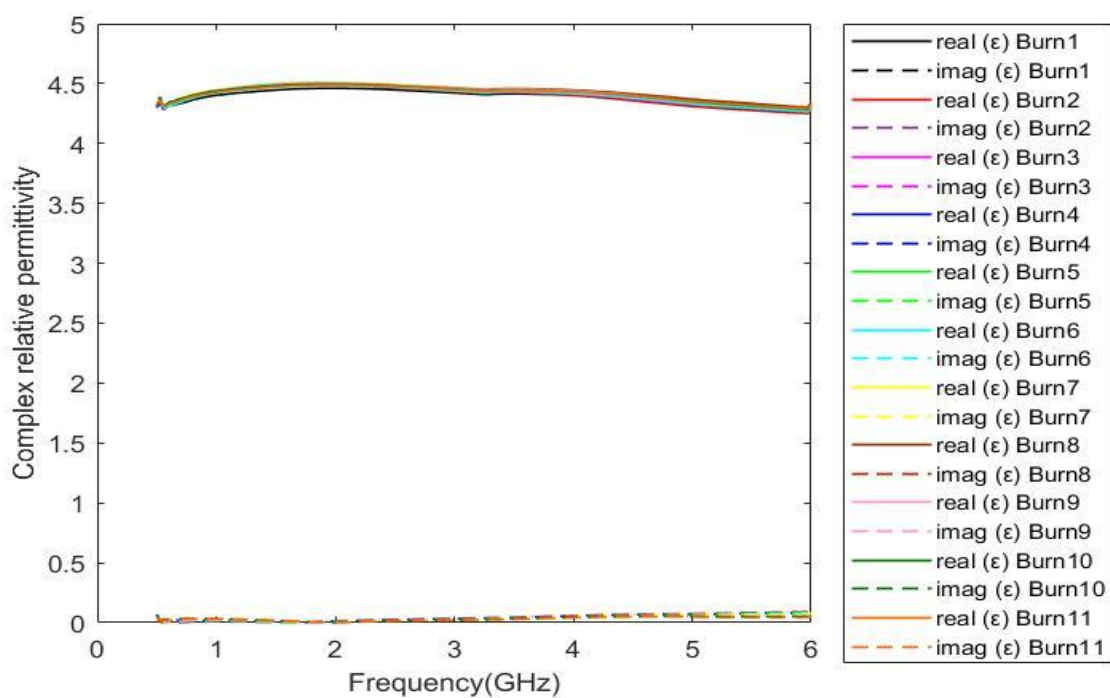


ภาพประกอบ 32 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

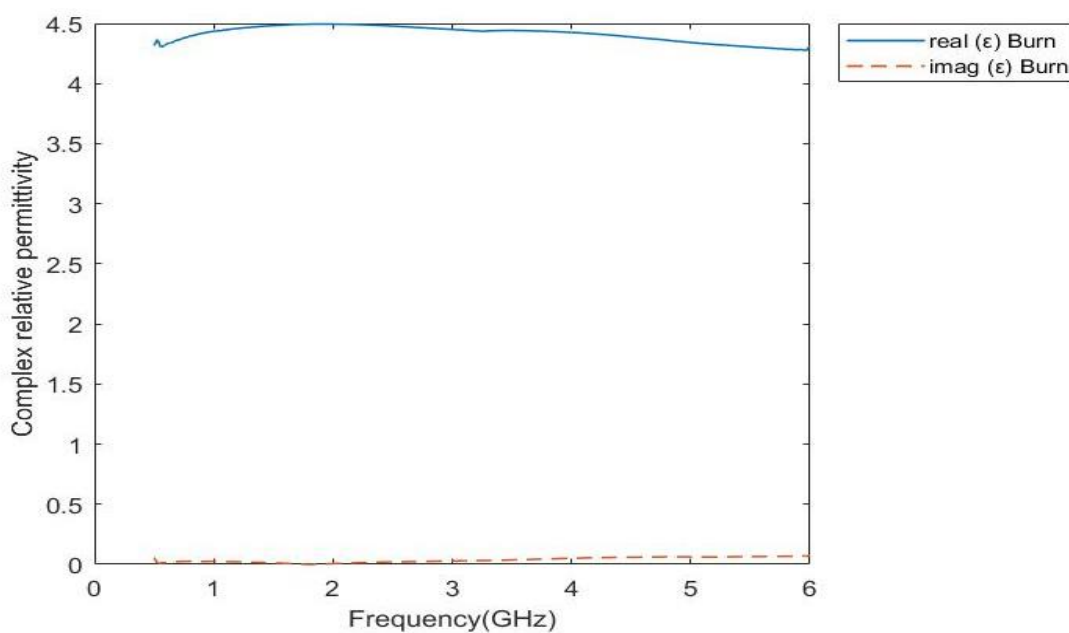


ภาพประกอบ 33 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส



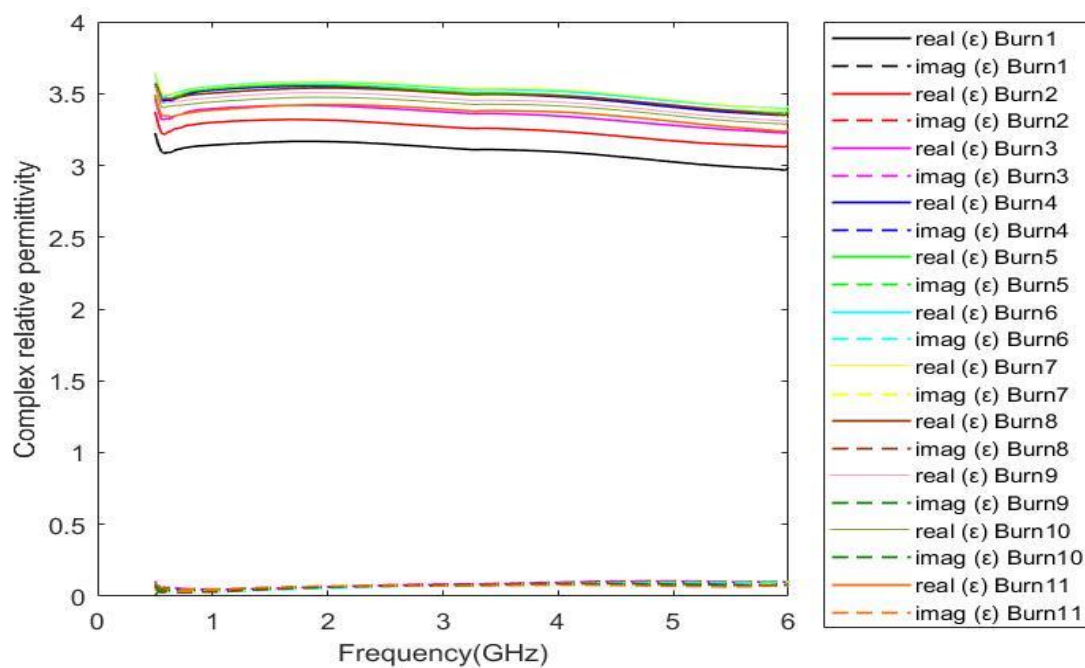


ภาพประกอบ 34 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

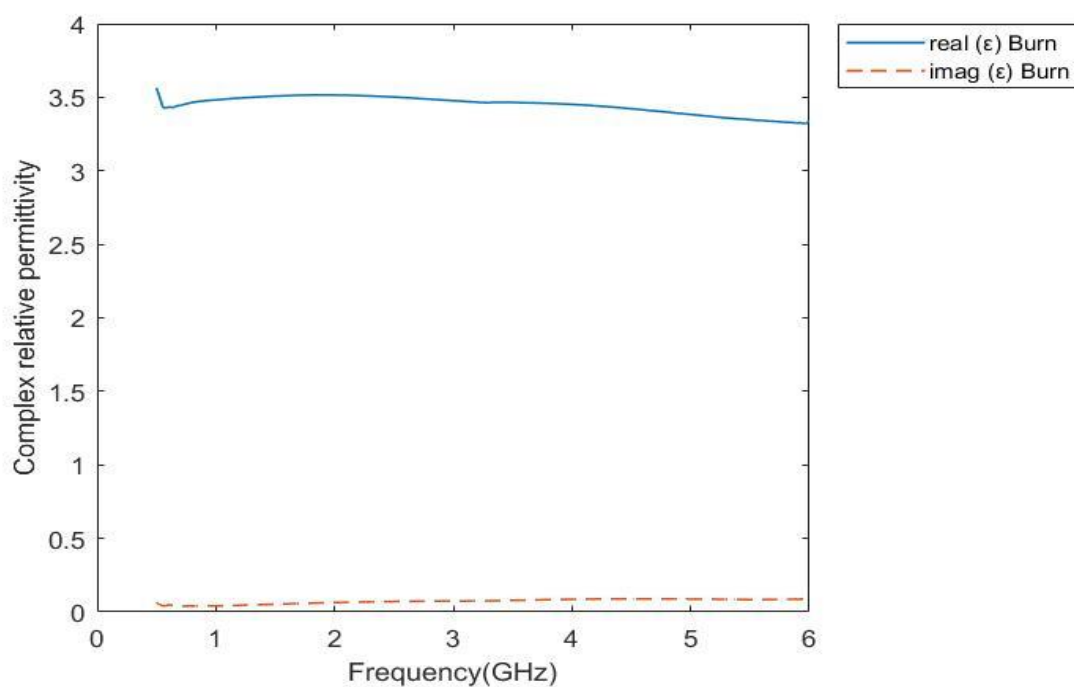


ภาพประกอบ 35 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



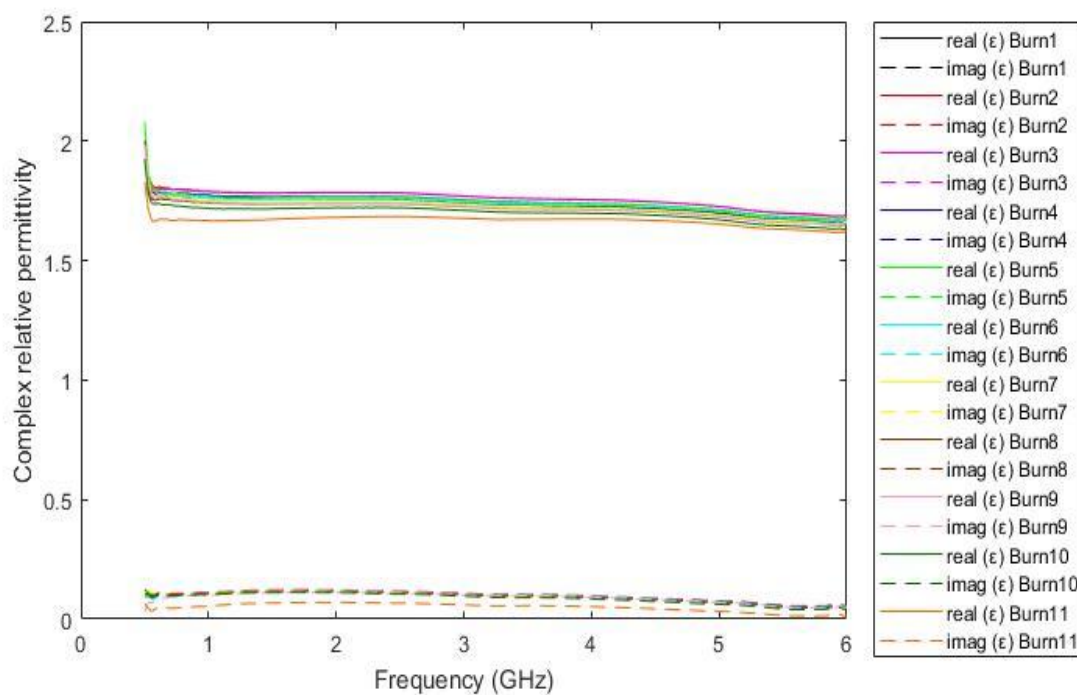


ภาพประกอบ 36 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากระบวนการเผา
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

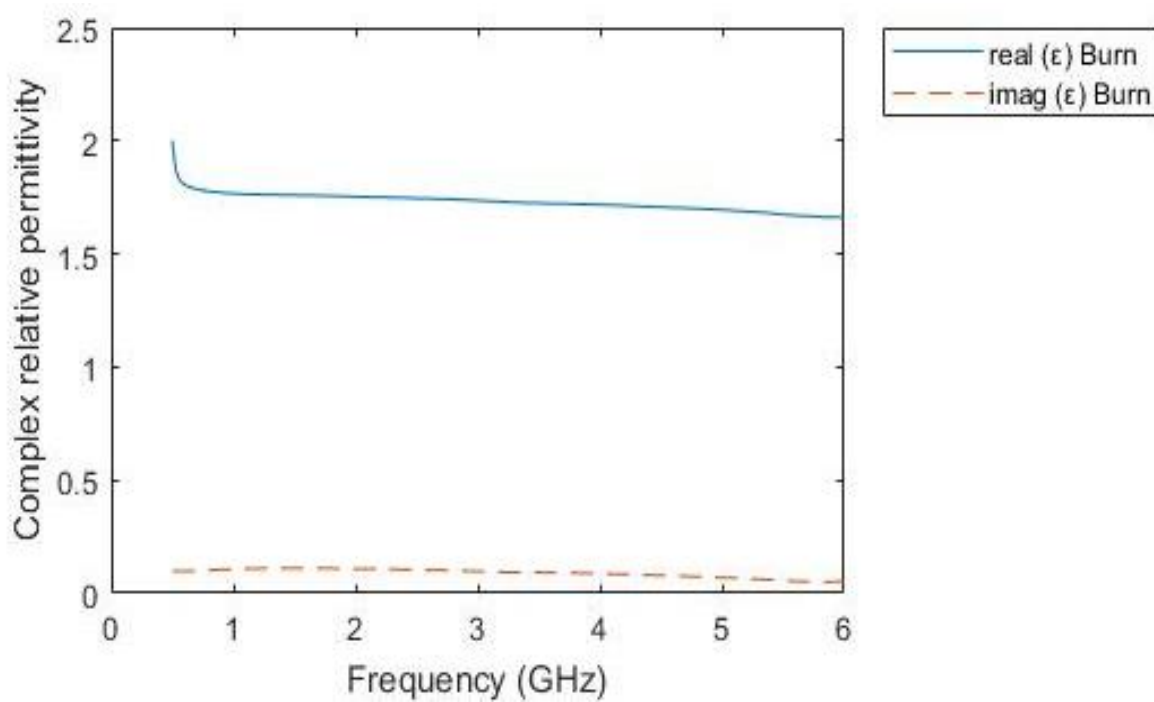


ภาพประกอบ 37 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากระบวนการเผา
ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



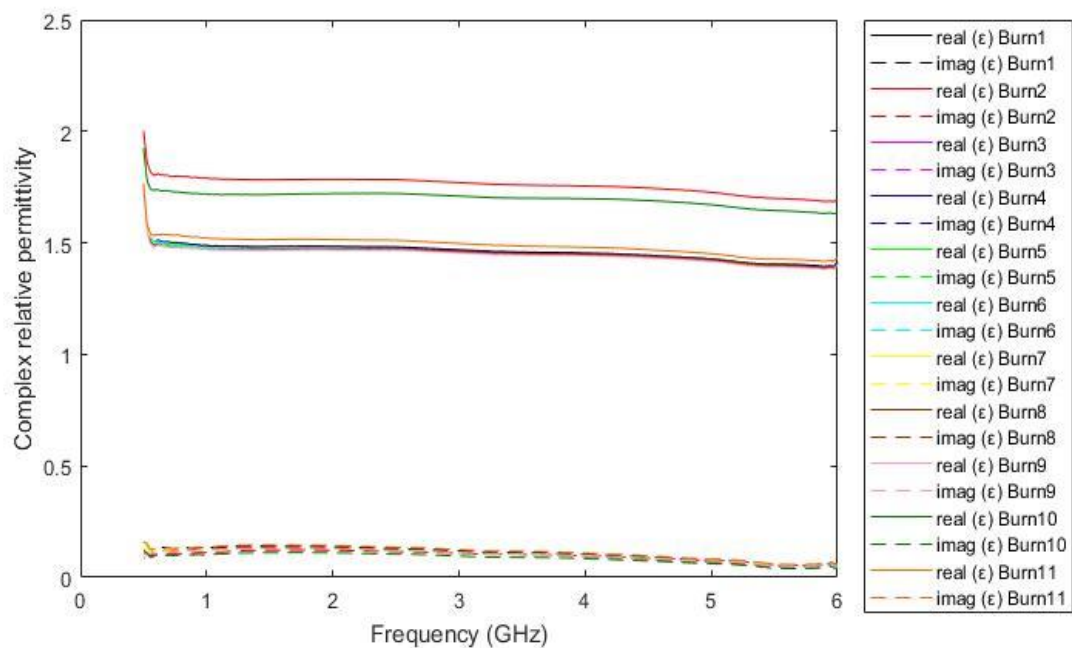


ภาพประกอบ 38 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

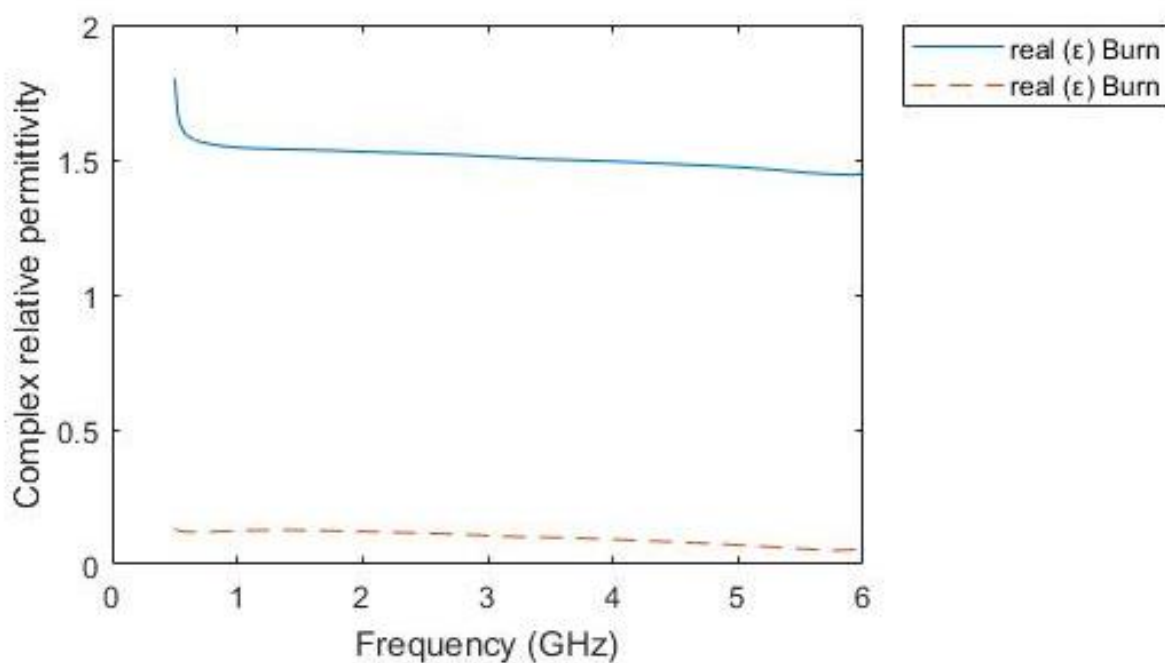


ภาพประกอบ 39 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



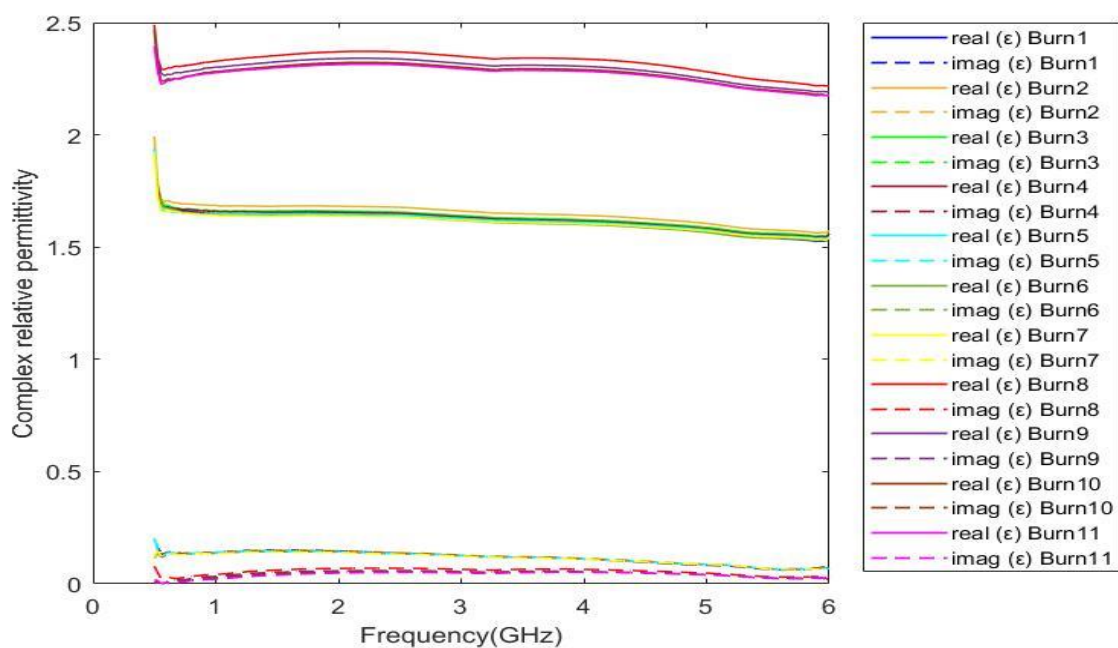


ภาพประกอบ 40 ค่าสภาวะยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

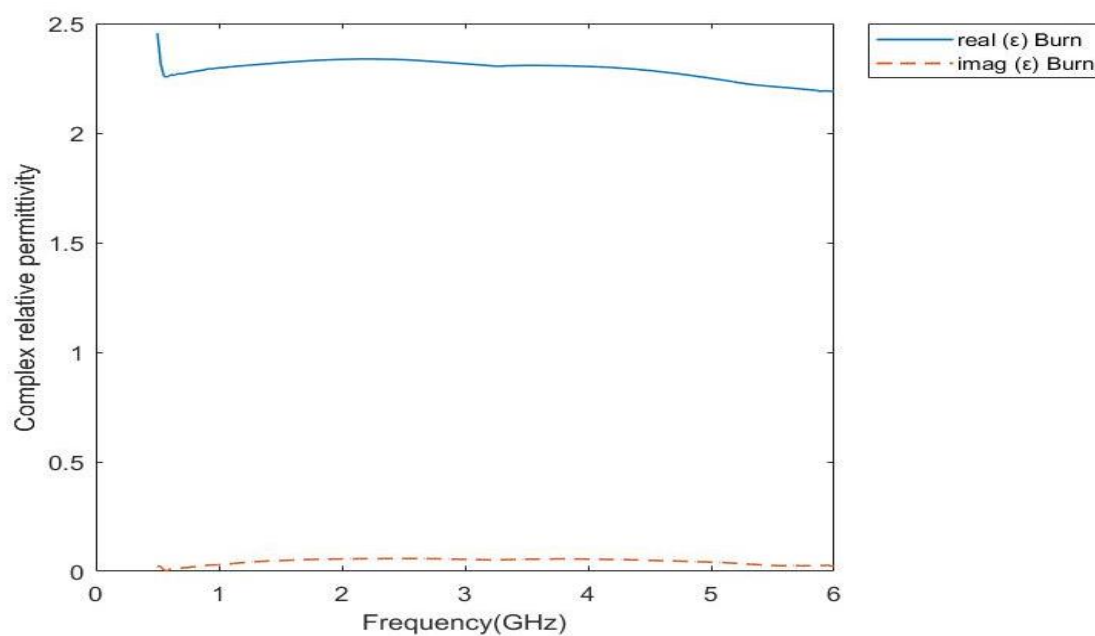


ภาพประกอบ 41 ค่าเฉลี่ยค่าสภาวะยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



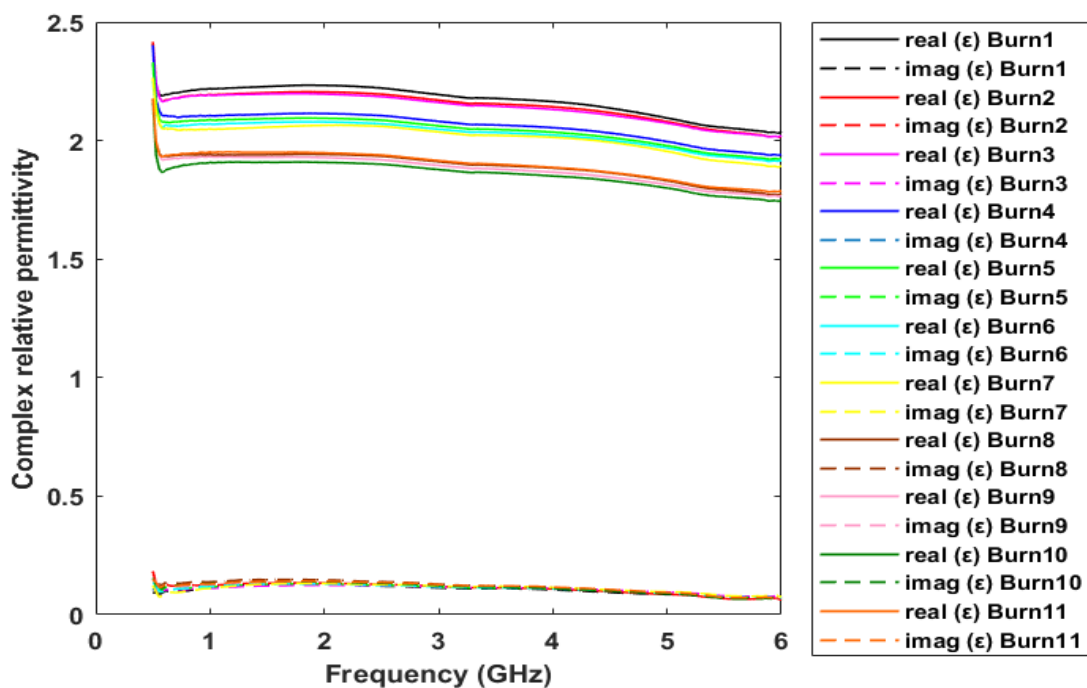


ภาพประกอบ 42 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

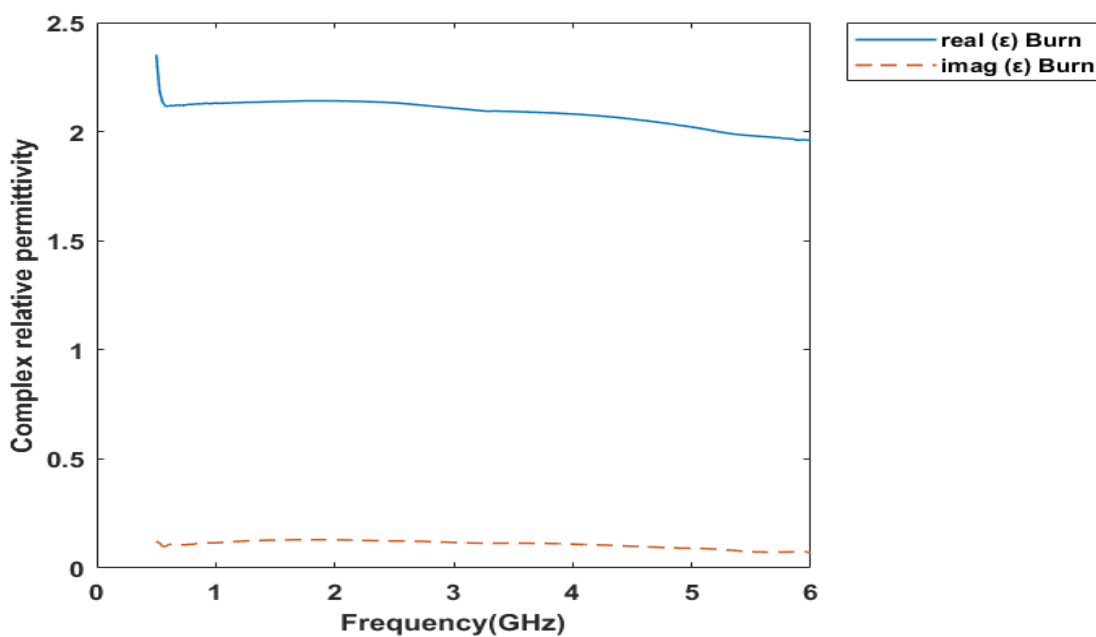


ภาพประกอบ 43 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



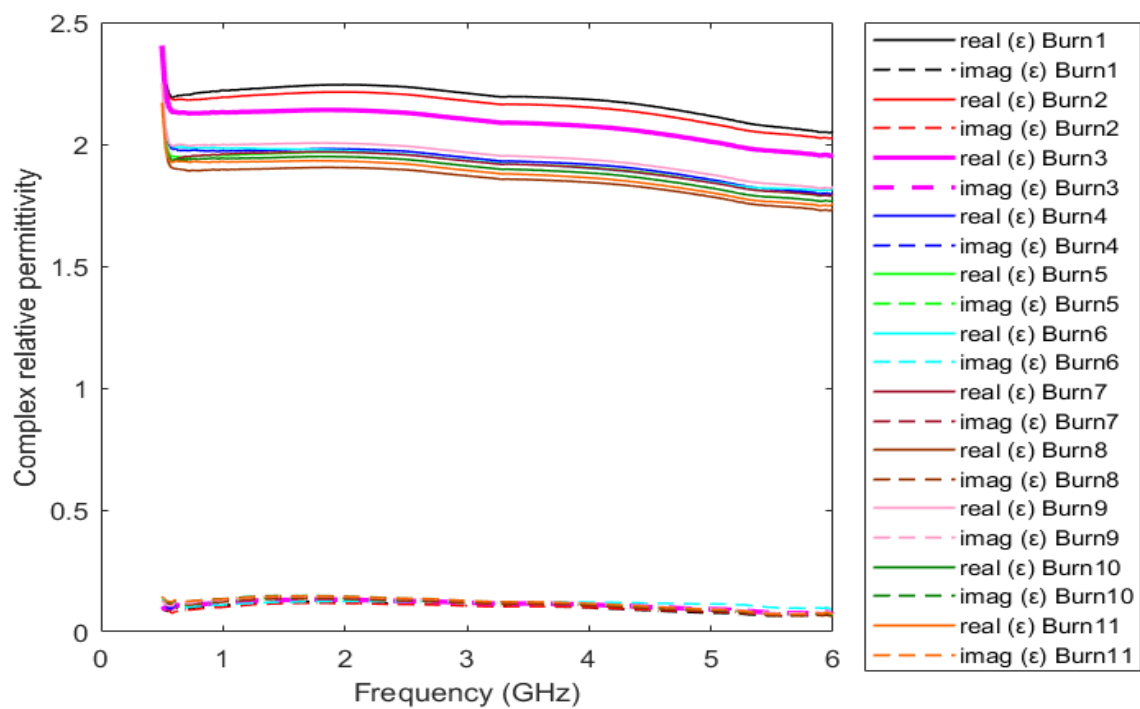


ภาพประกอบ 44 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

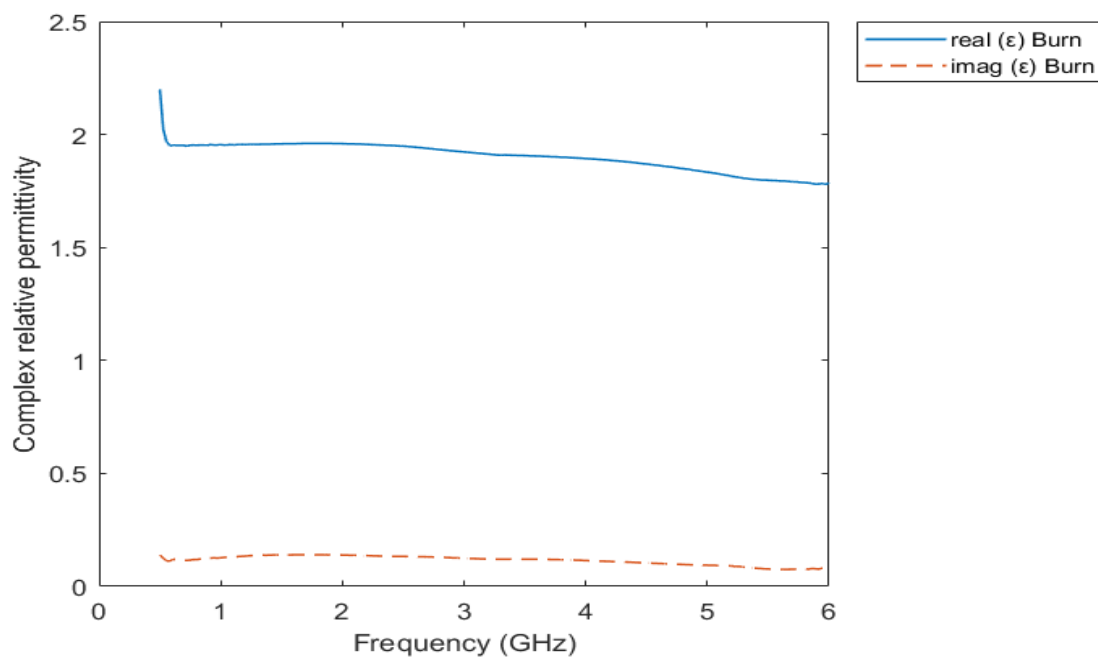


ภาพประกอบ 45 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



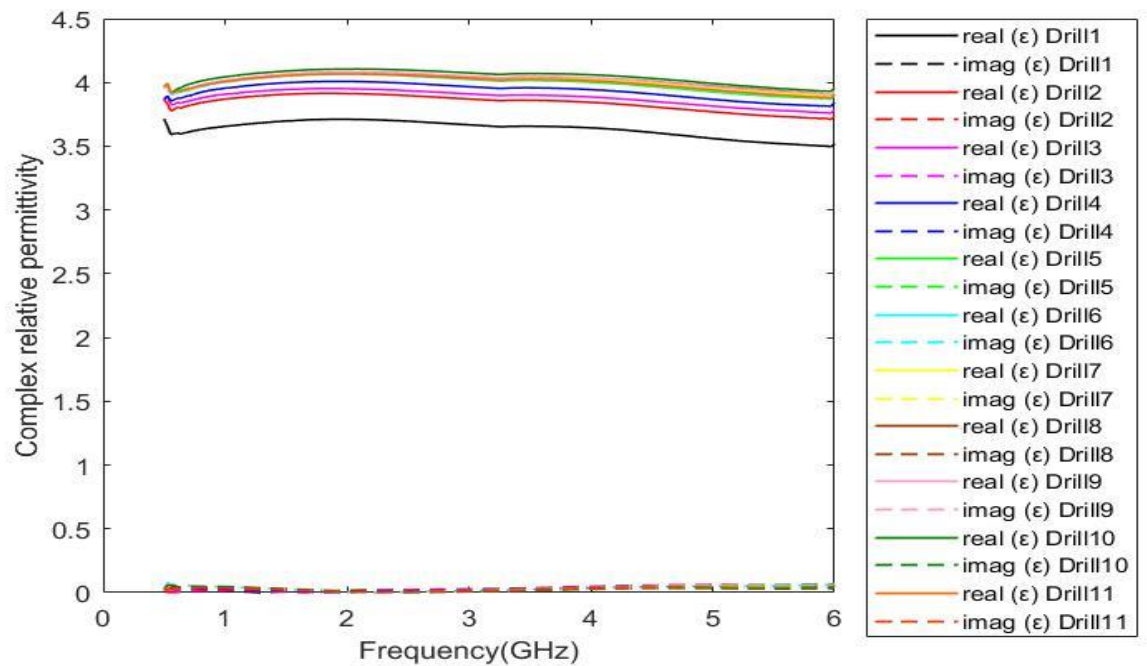


ภาพประกอบ 46 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

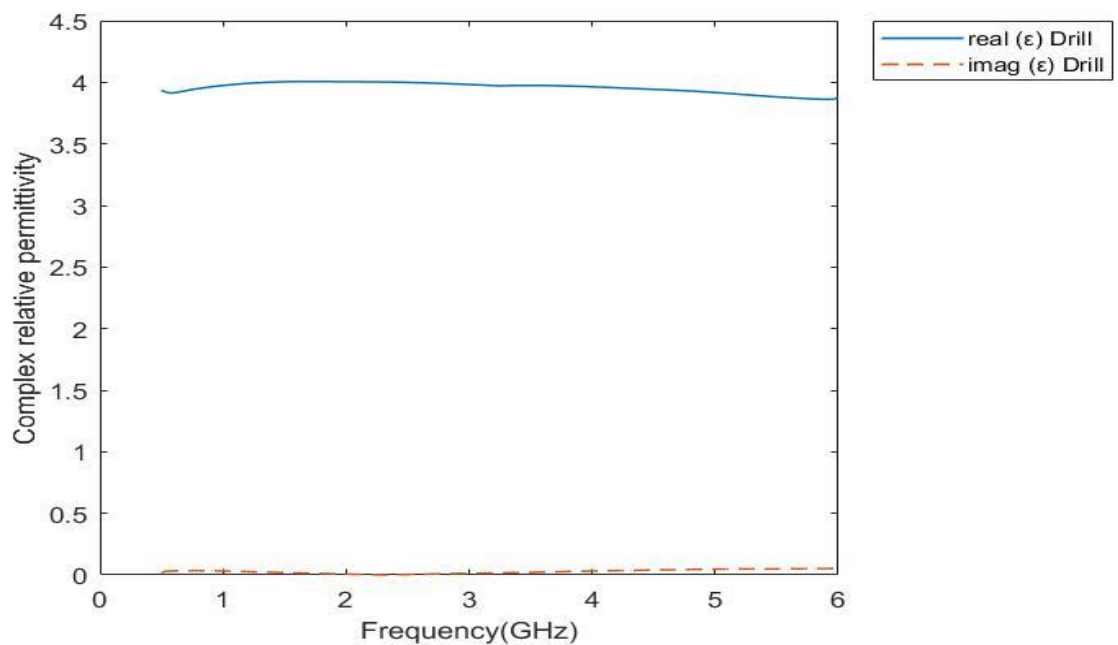


ภาพประกอบ 47 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



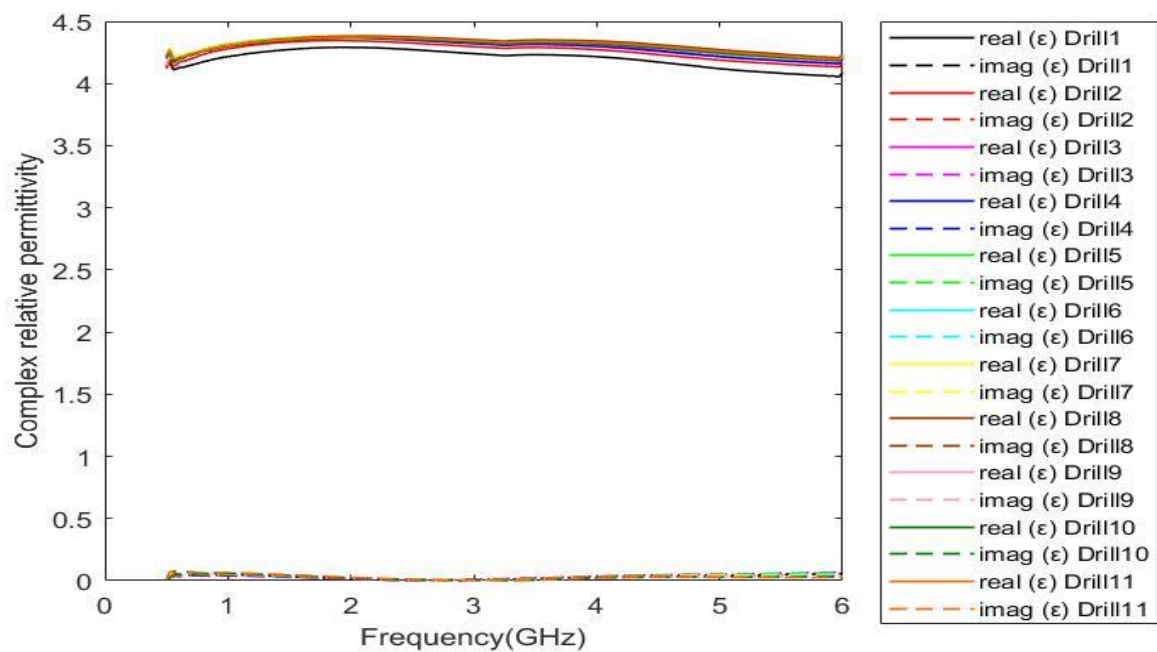


ภาพประกอบ 48 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

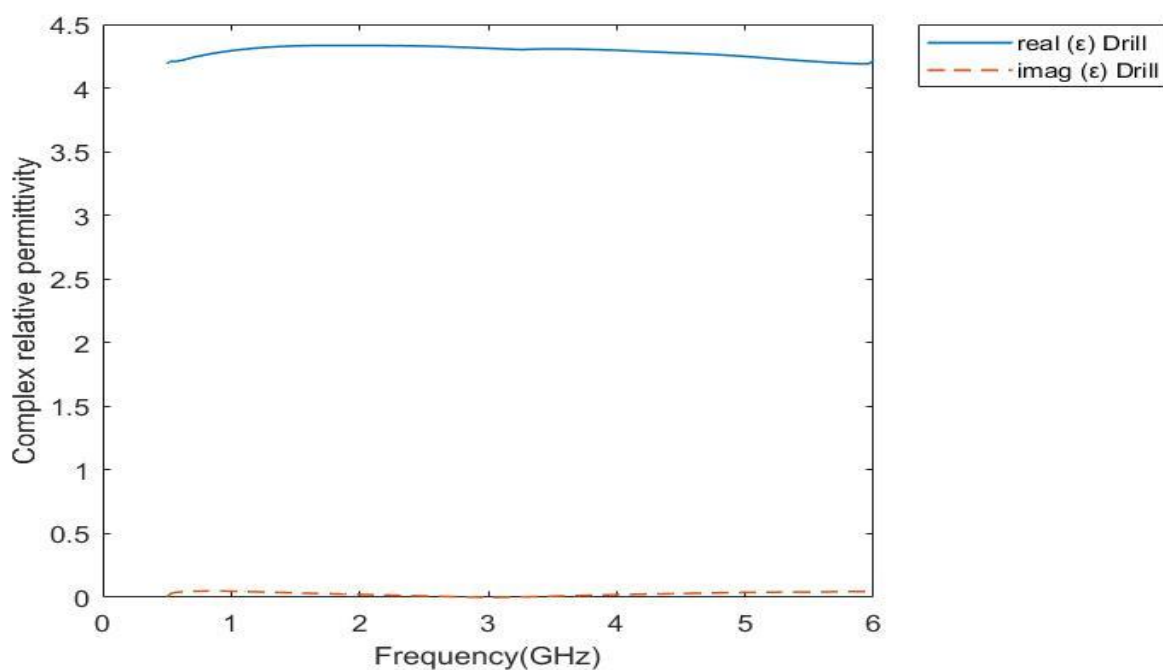


ภาพประกอบ 49 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ
ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส



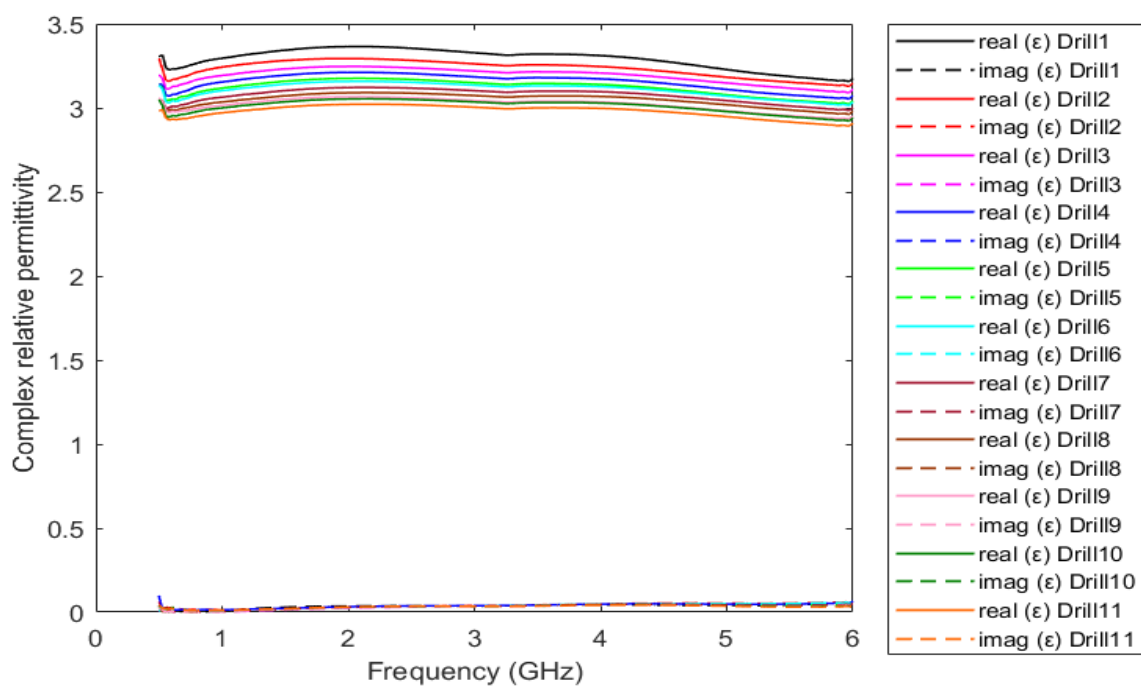


ภาพประกอบ 50 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

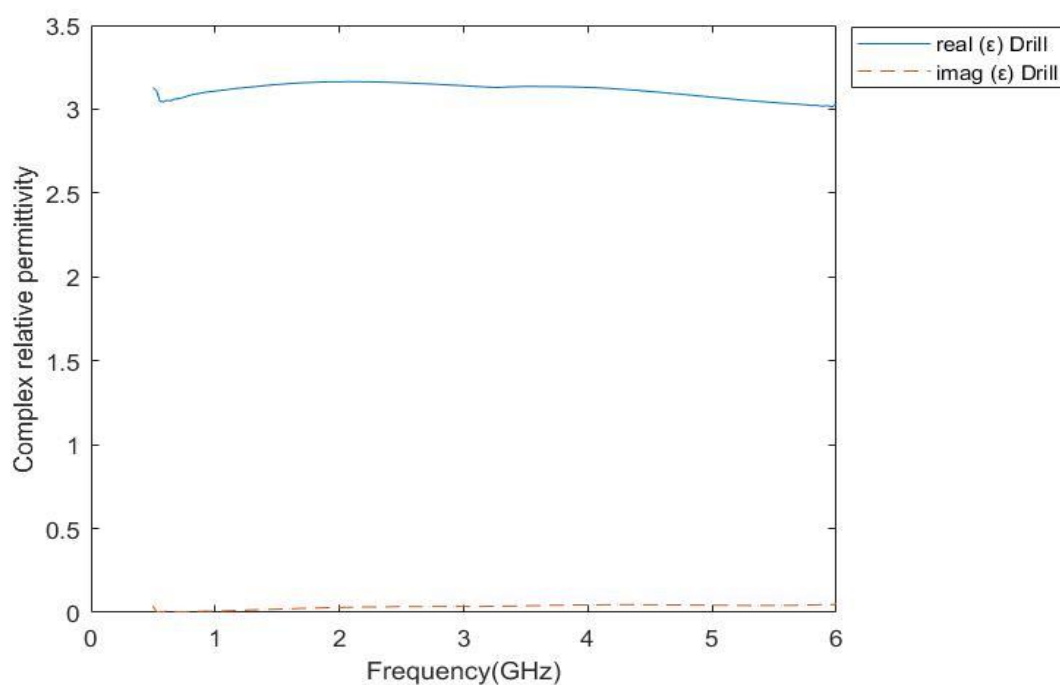


ภาพประกอบ 51 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ
ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



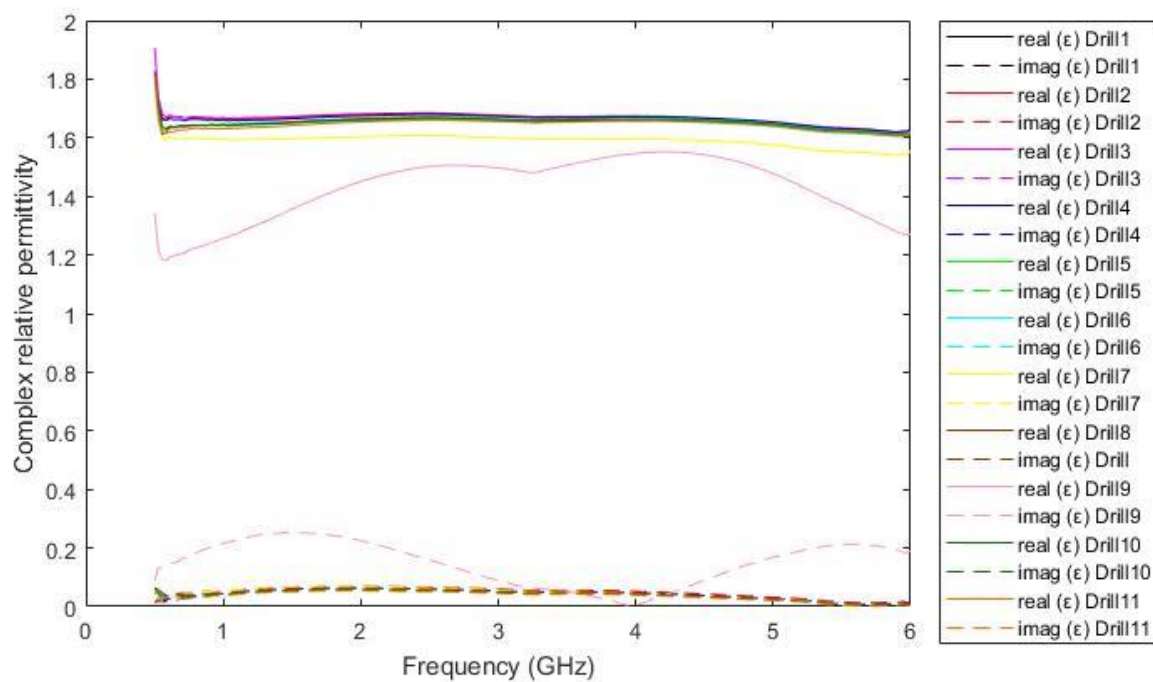


ภาพประกอบ 52 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากระบวนการเจาะ
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

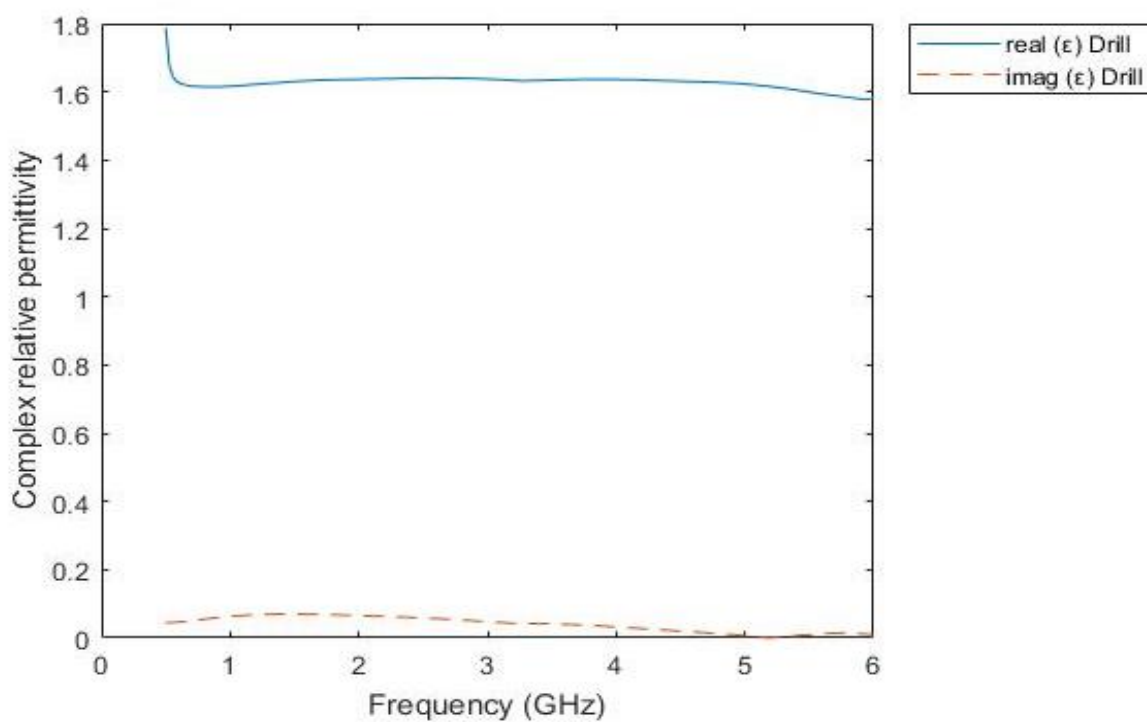


ภาพประกอบ 53 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากระบวนการเจาะ
ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



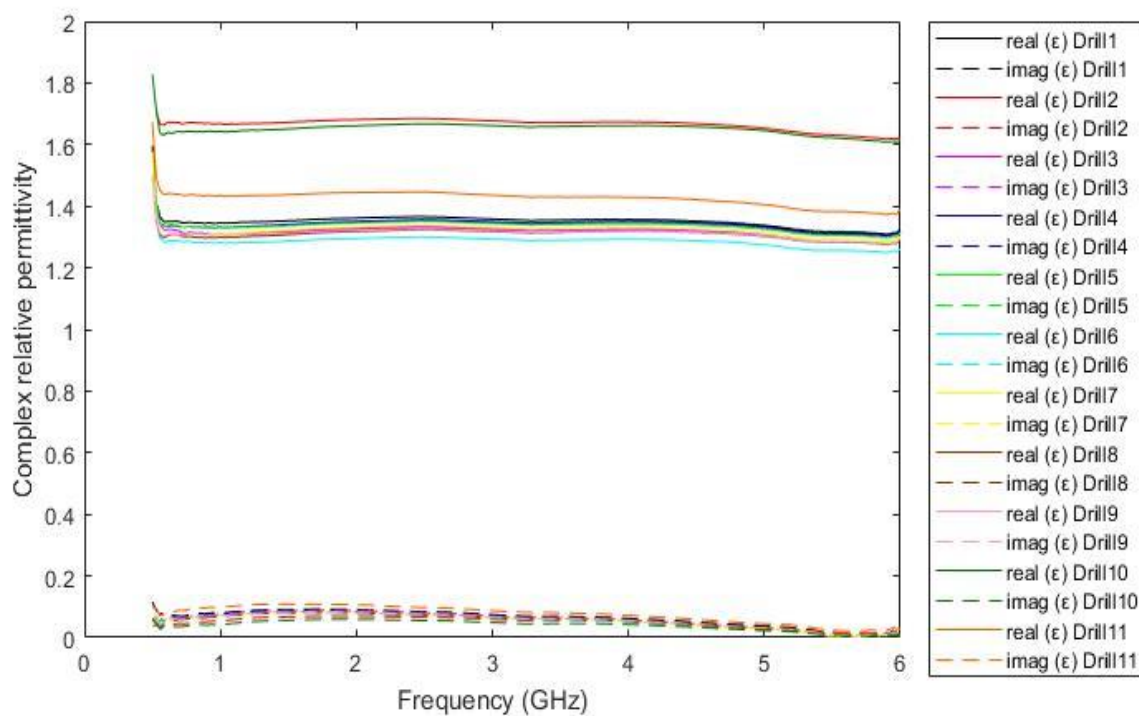


ภาพประกอบ 54 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

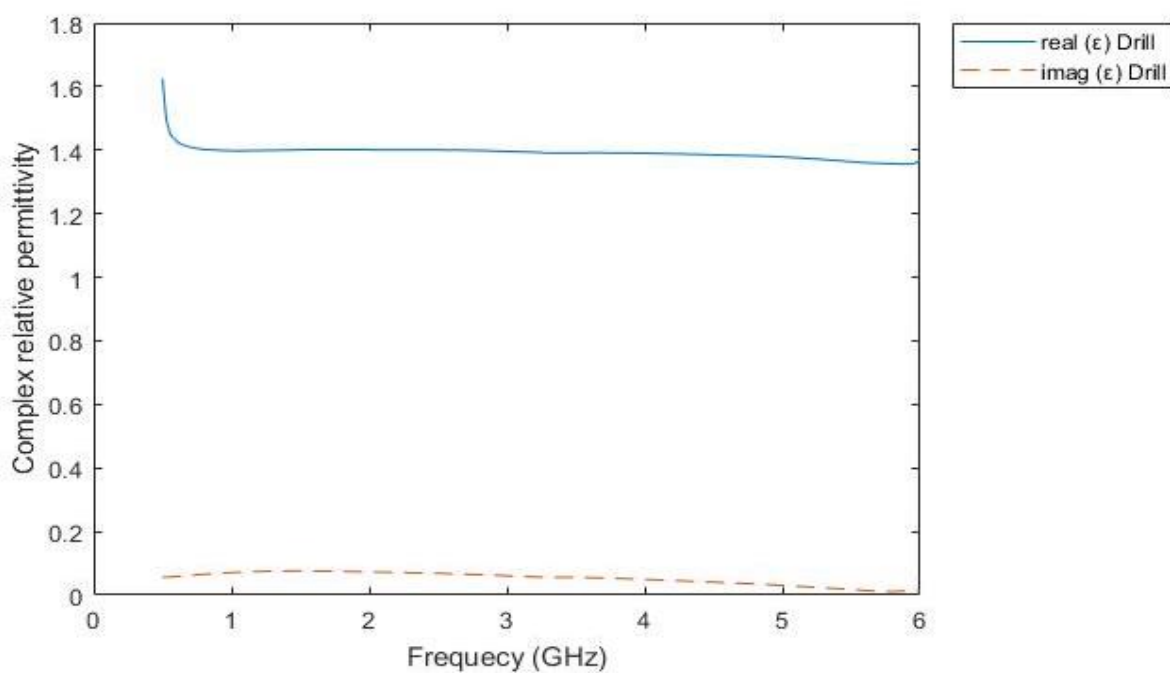


ภาพประกอบ 55 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



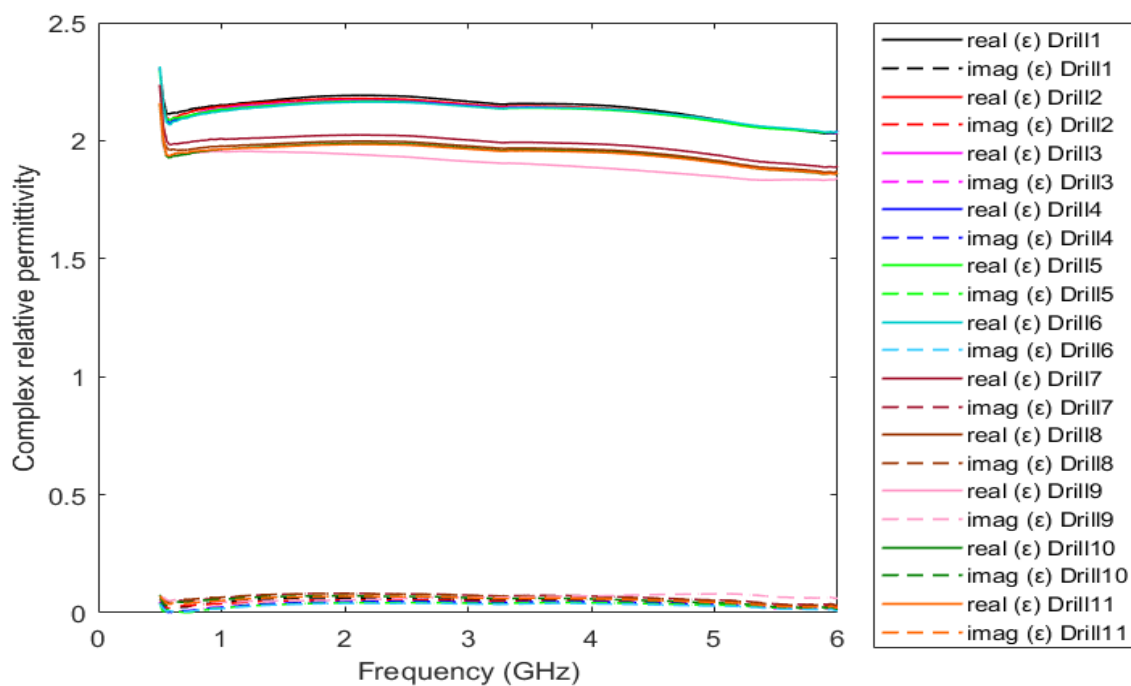


ภาพประกอบ 56 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะจากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

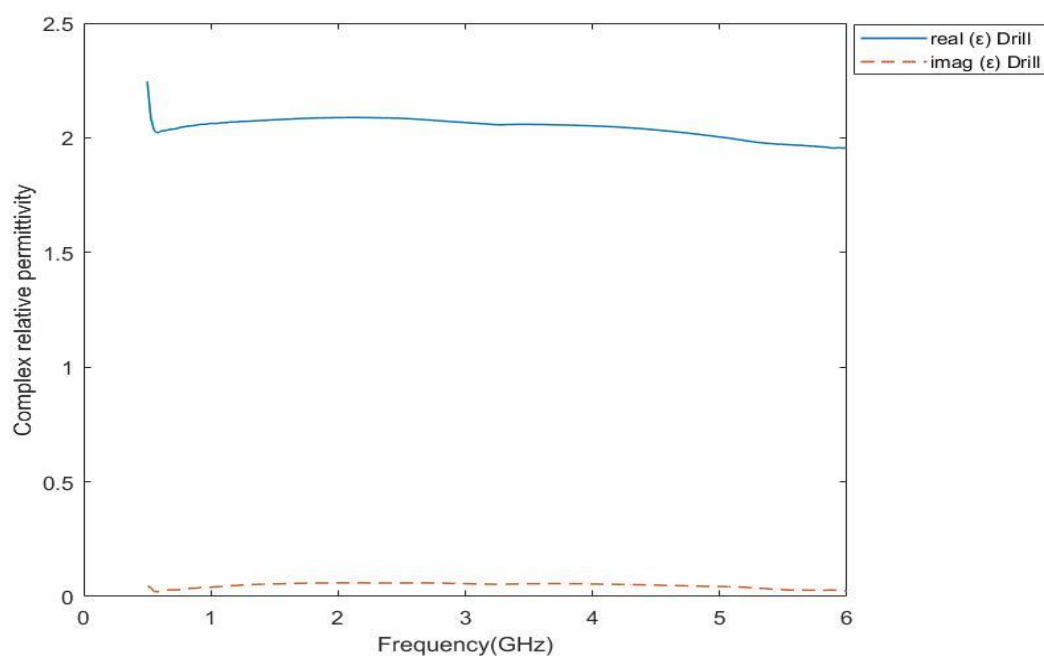


ภาพประกอบ 57 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



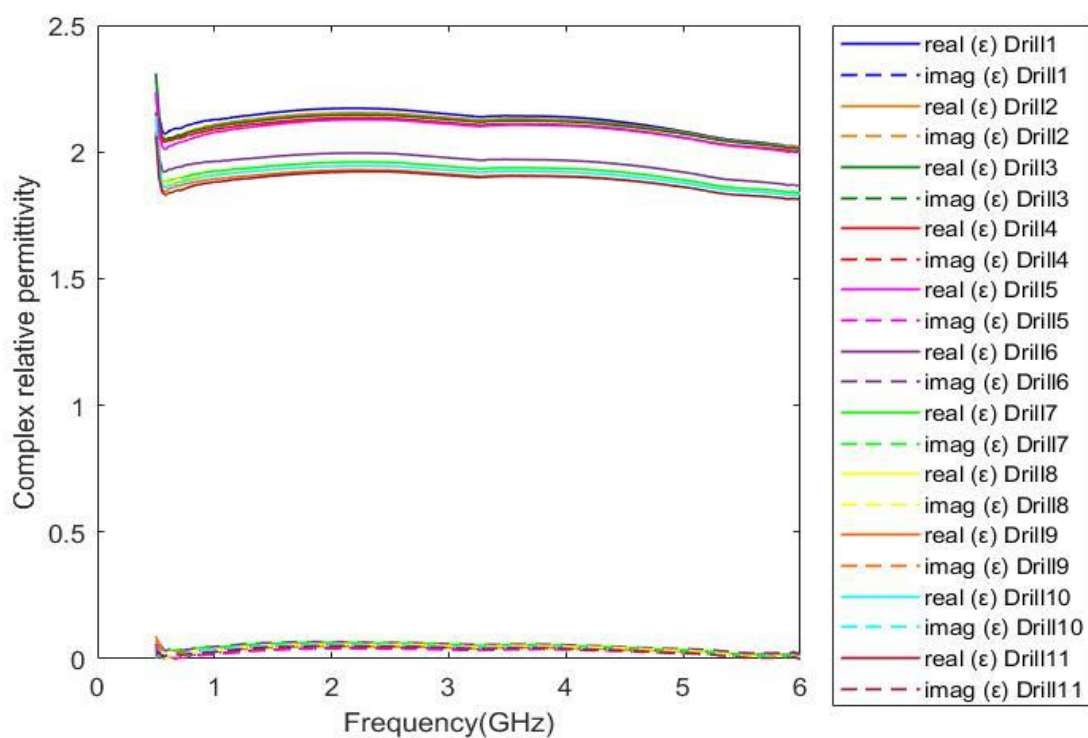


ภาพประกอบ 58 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

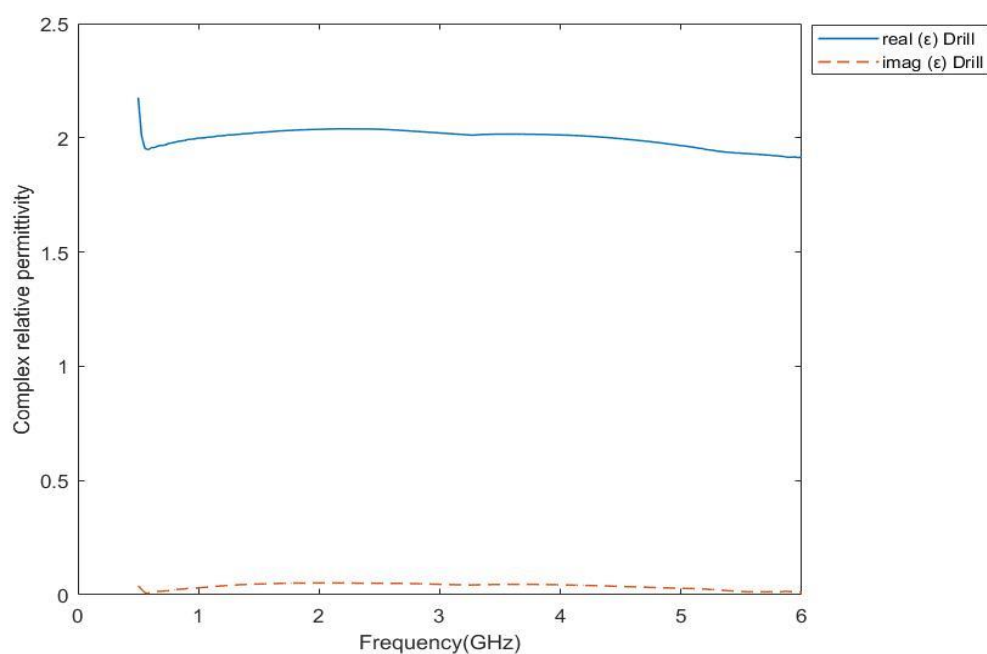


ภาพประกอบ 59 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



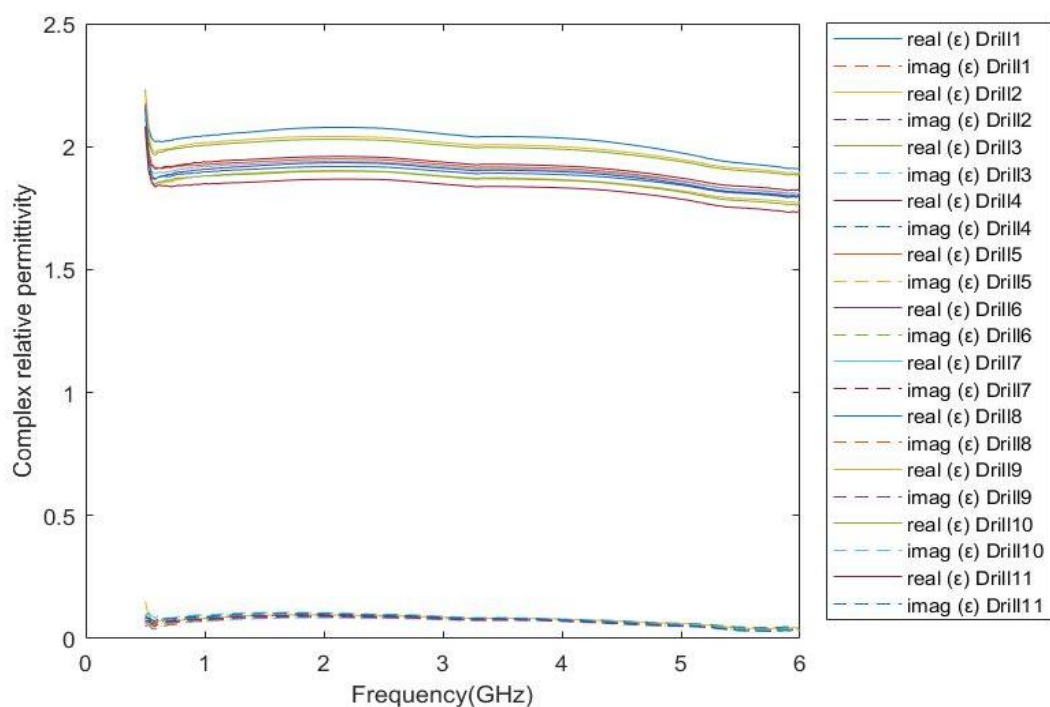


ภาพประกอบ 60 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

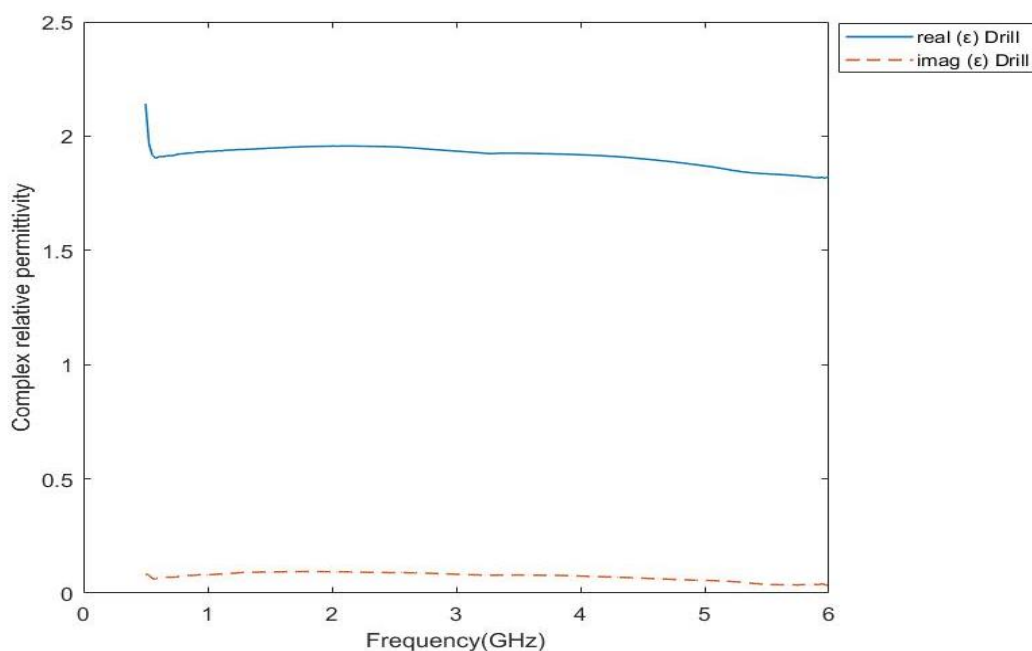


ภาพประกอบ 61 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ
ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



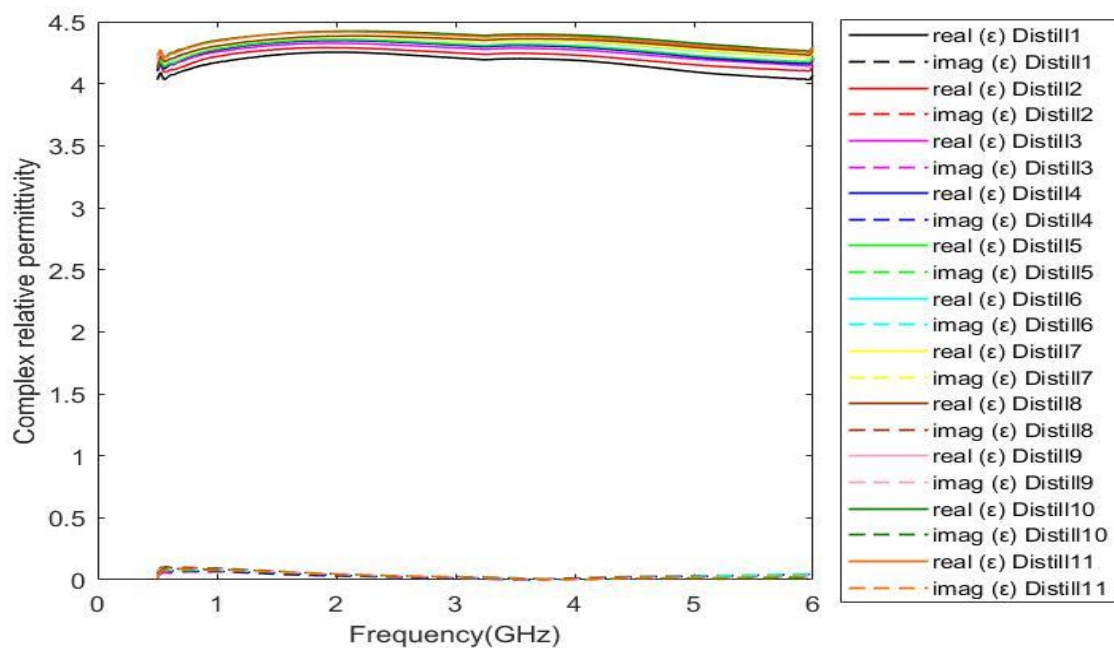


ภาพประกอบ 62 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

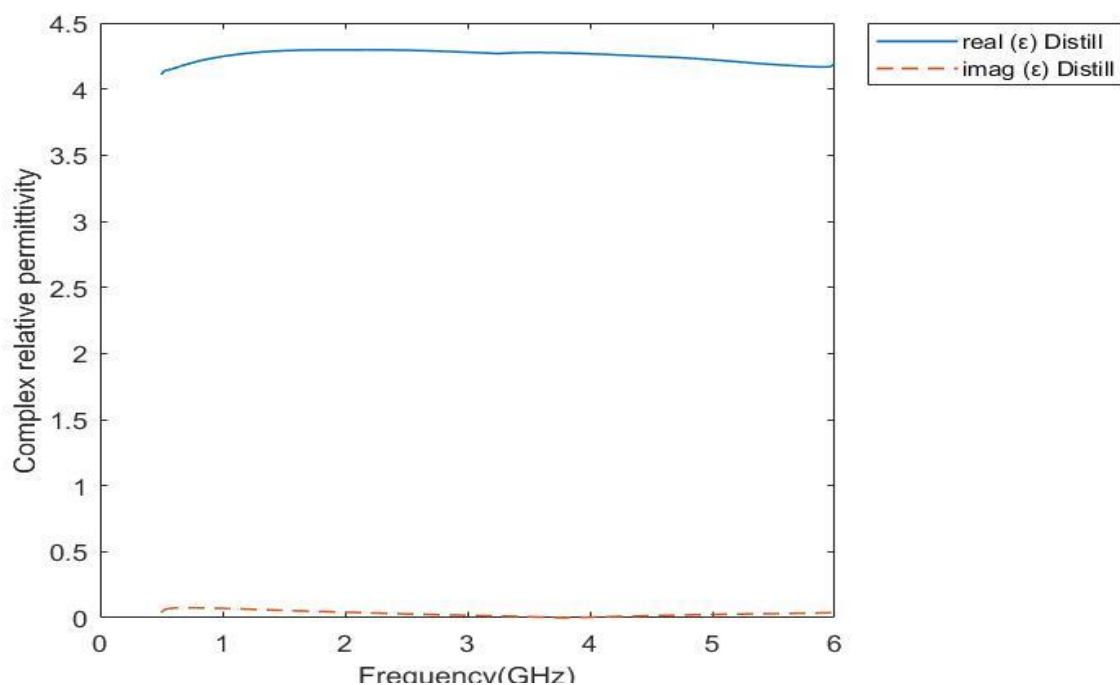


ภาพประกอบ 63 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ
ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



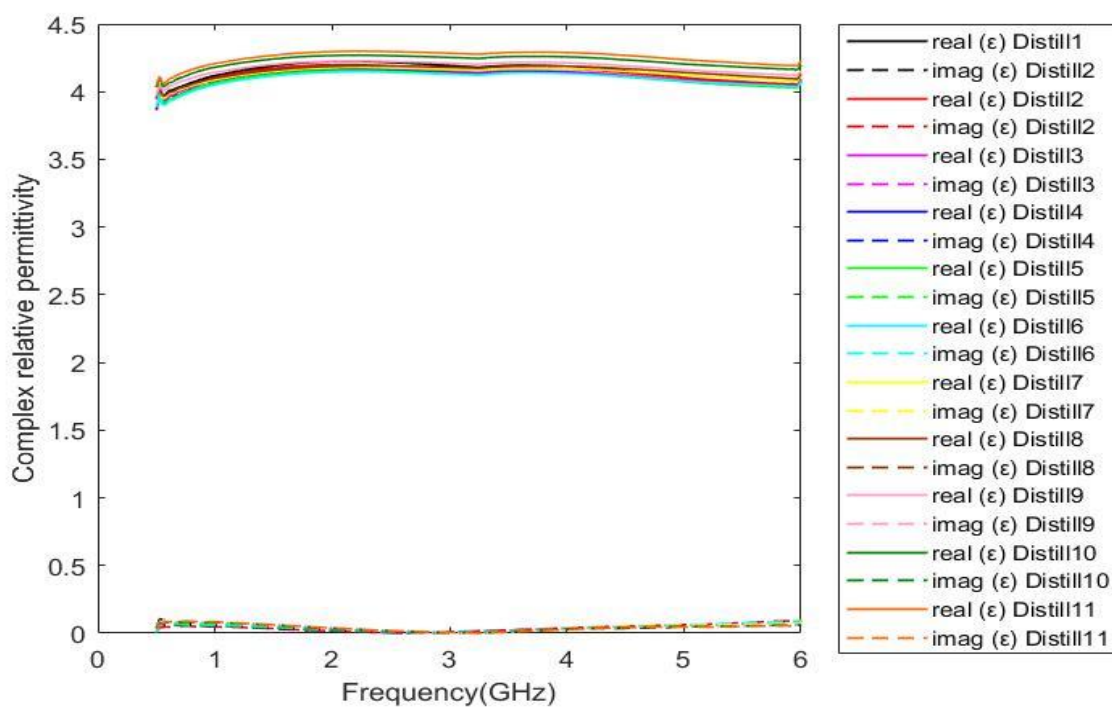


ภาพประกอบ 64 ค่าสภาวะยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

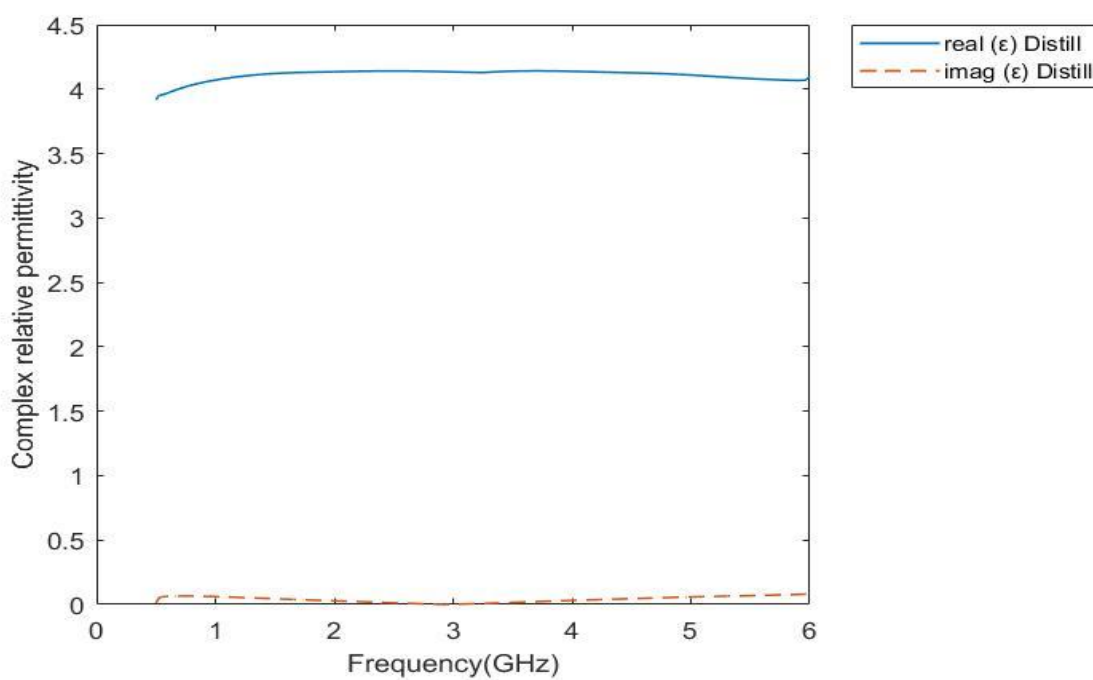


ภาพประกอบ 65 ค่าเฉลี่ยค่าสภาวะยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส



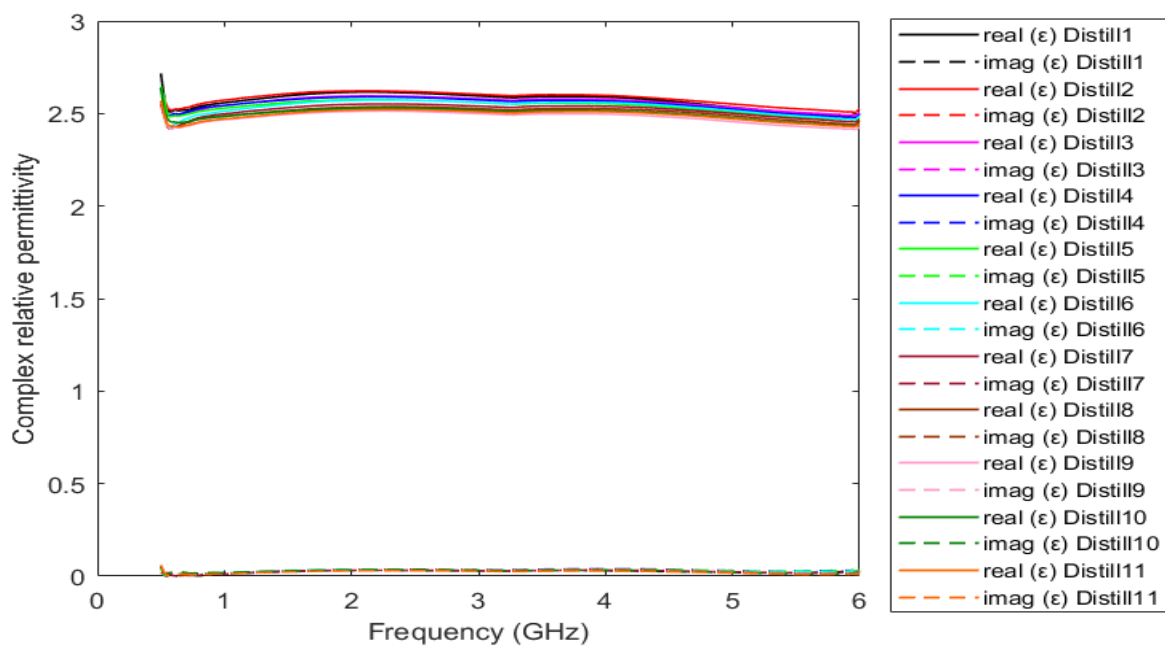


ภาพประกอบ 66 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากระบวนการกลั่น
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

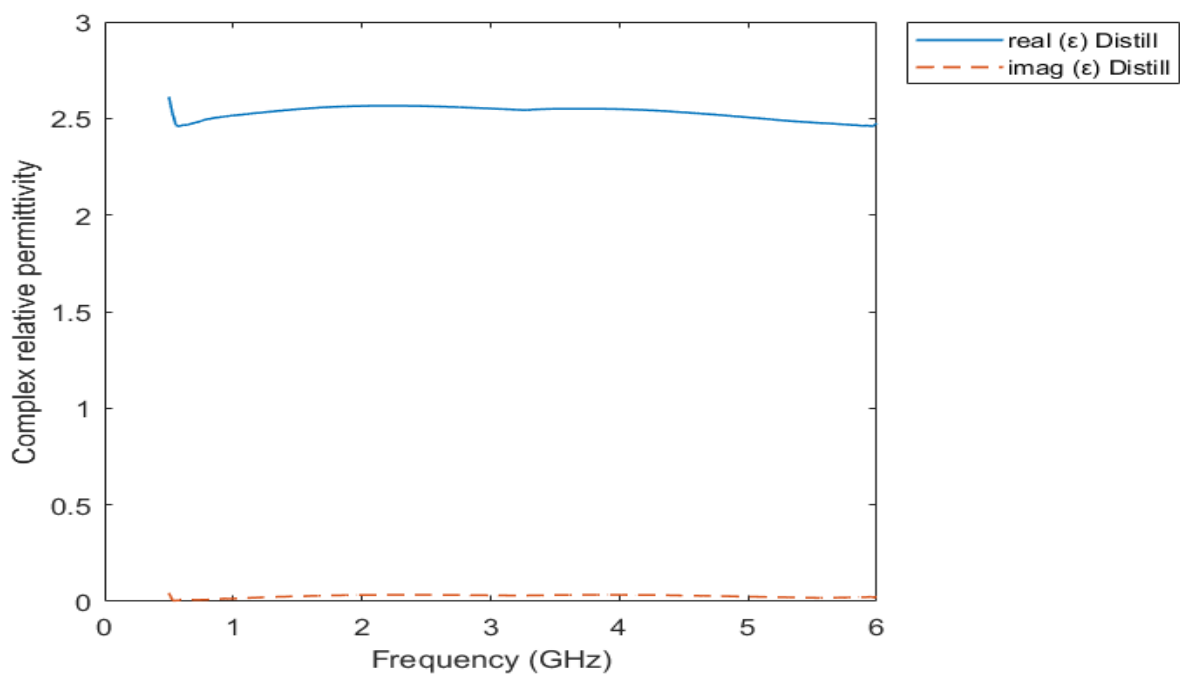


ภาพประกอบ 67 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



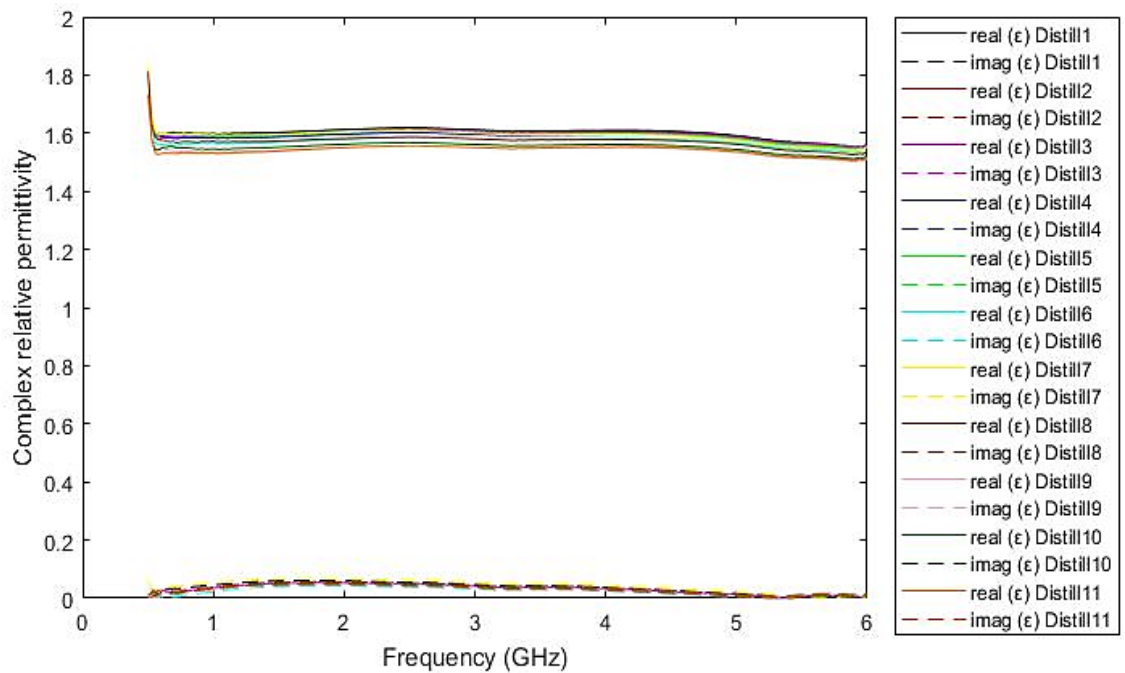


ภาพประกอบ 68 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

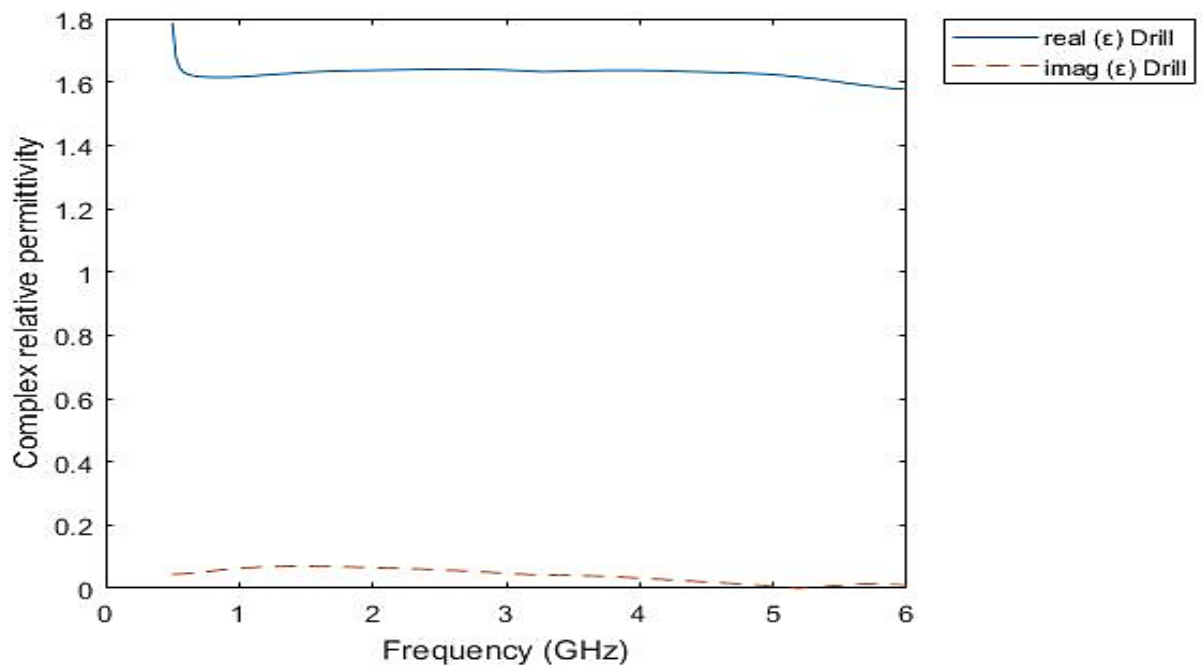


ภาพประกอบ 69 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



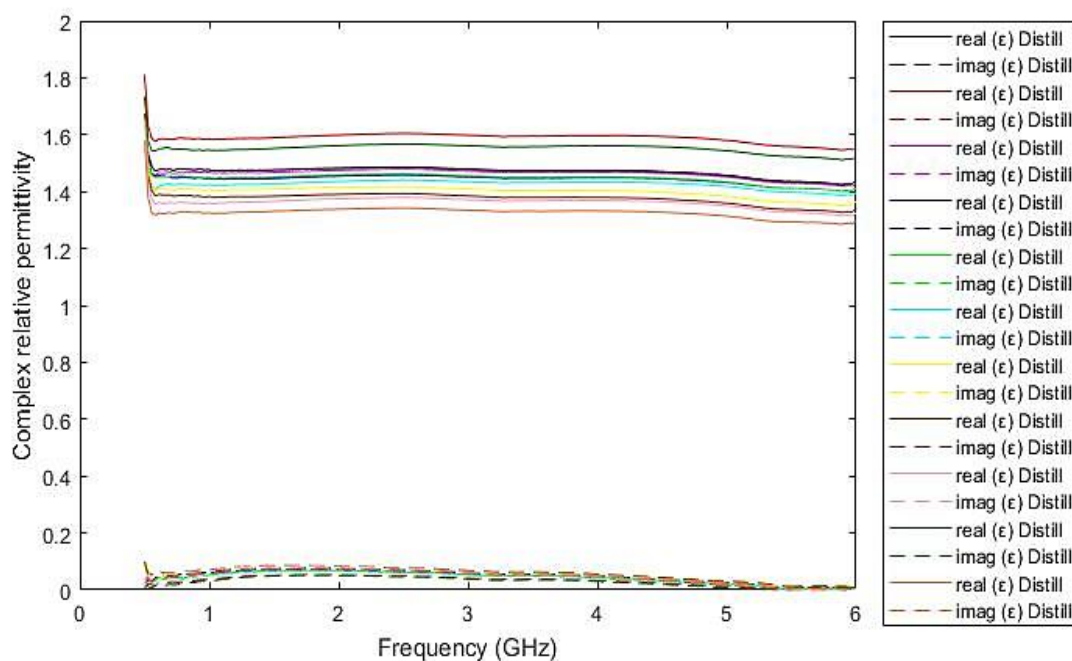


ภาพประกอบ 70 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

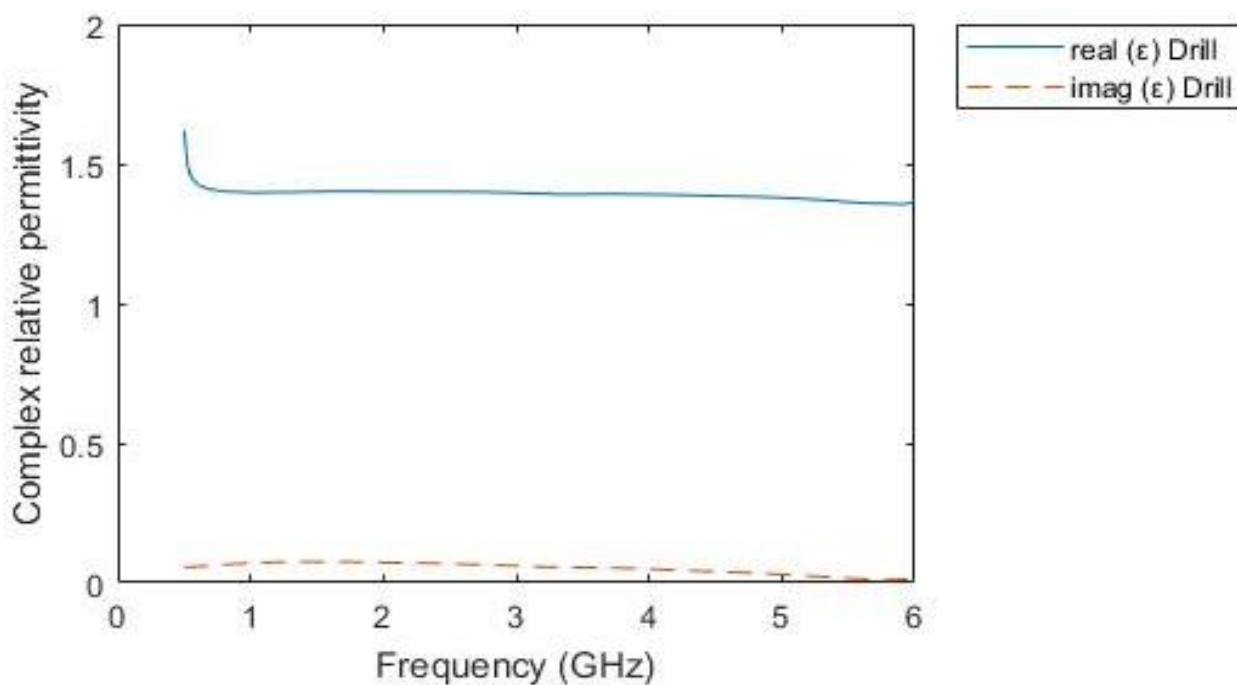


ภาพประกอบ 71 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



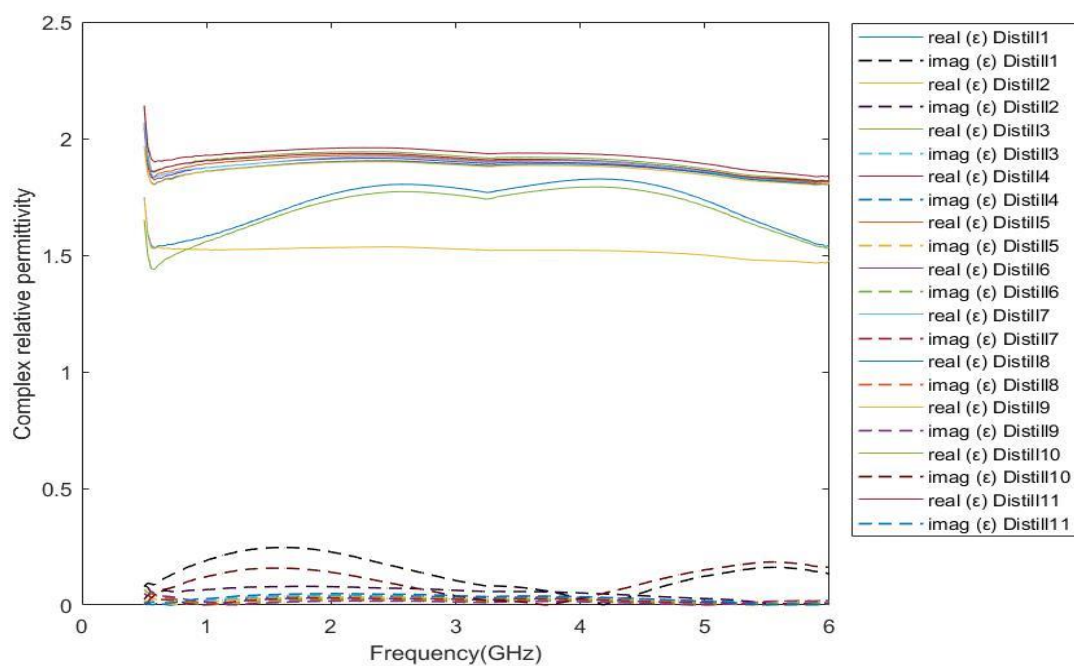


ภาพประกอบ 72 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

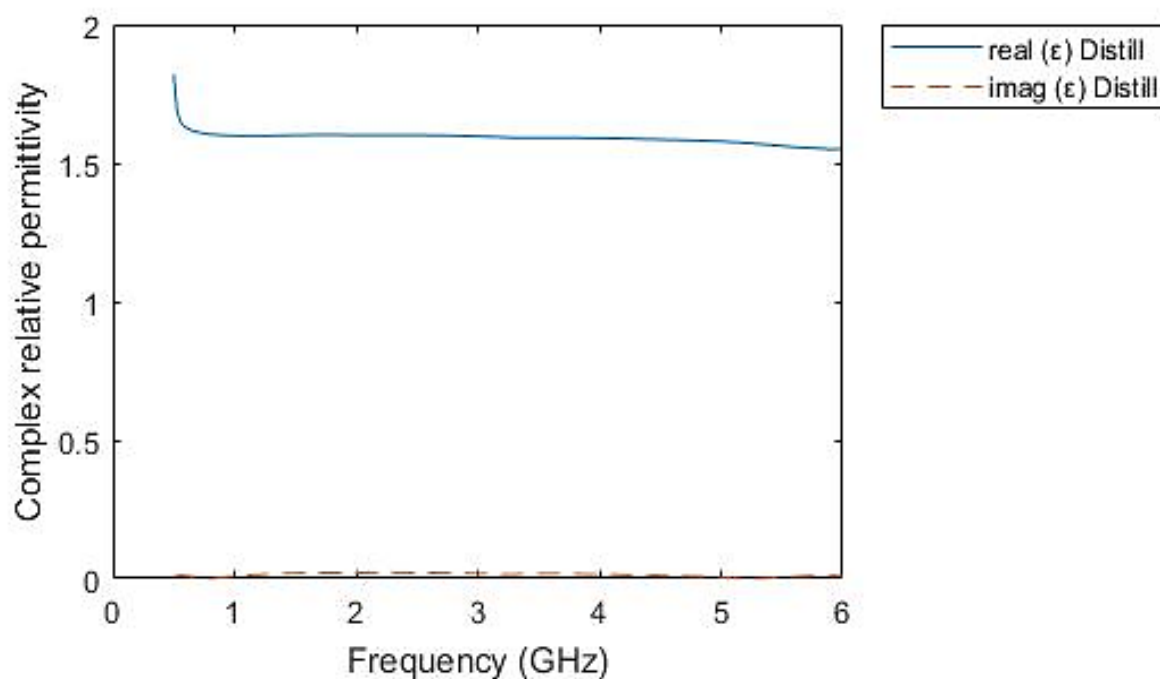


ภาพประกอบ 73 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



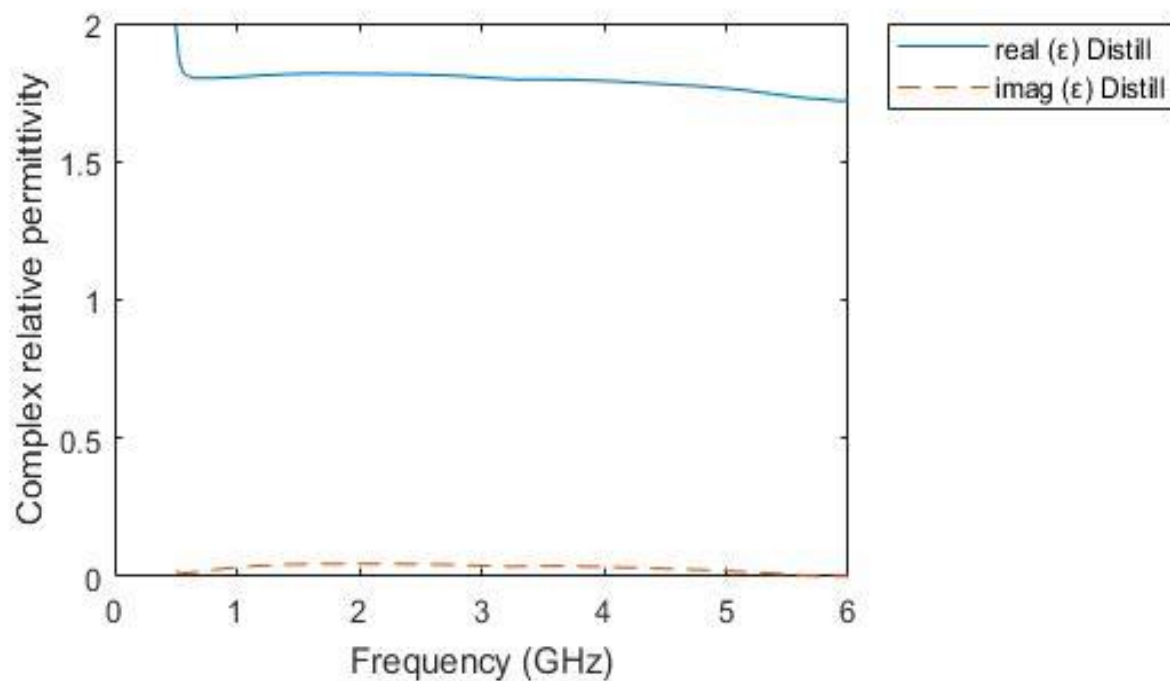


ภาพประกอบ 74 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
จากการทดลอง 11 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

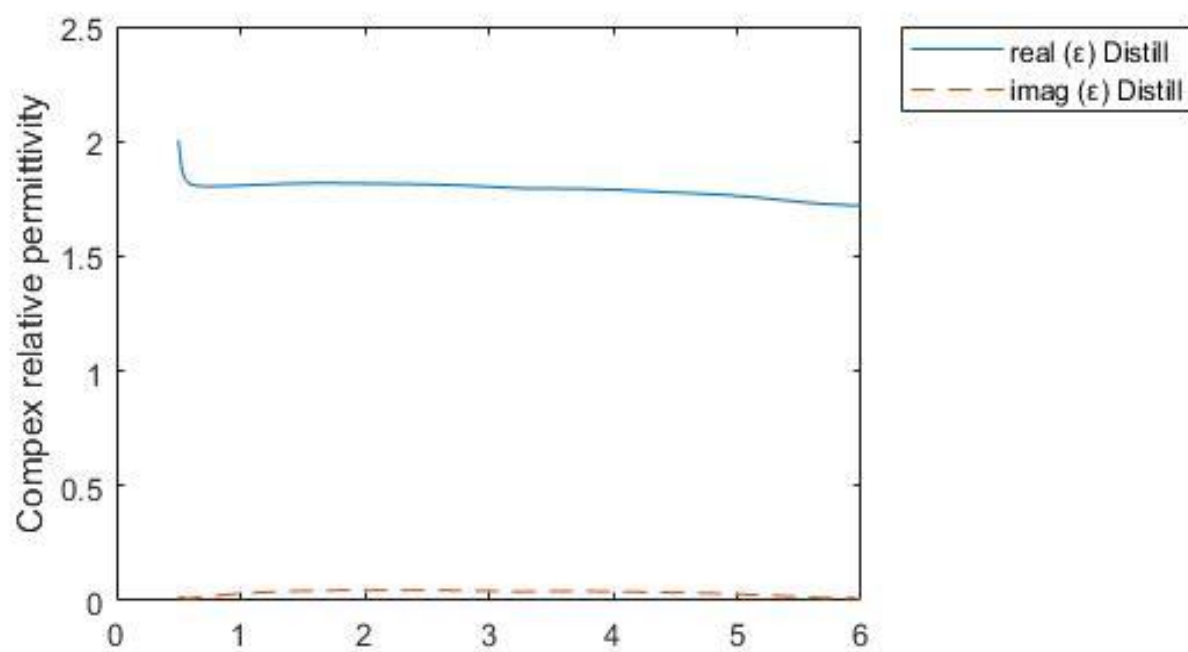


ภาพประกอบ 75 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



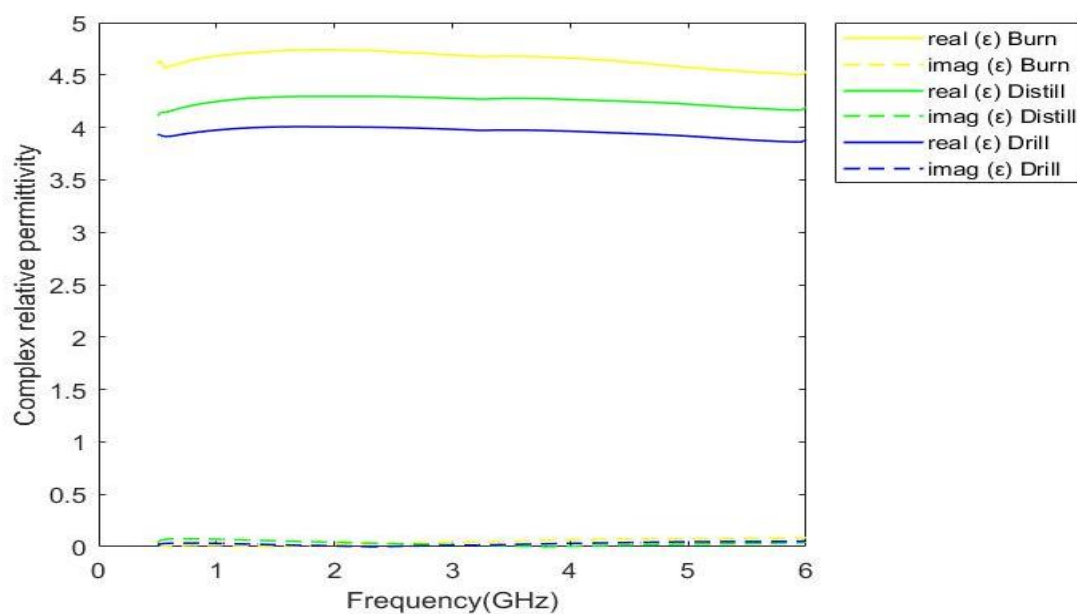


ภาพประกอบ 76 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

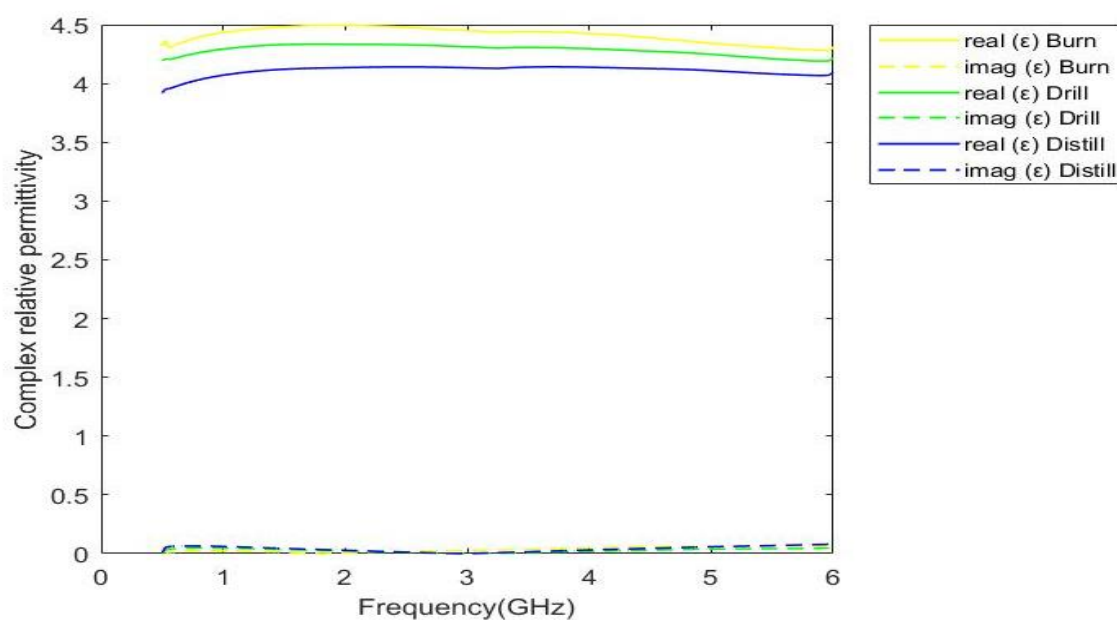


ภาพประกอบ 77 ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



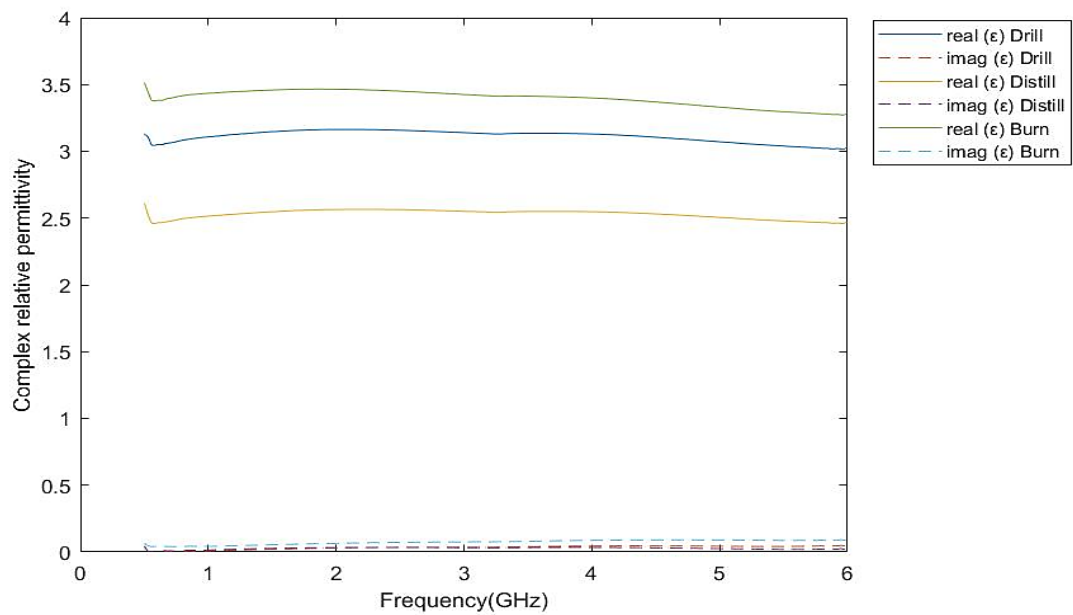


ภาพประกอบ 78 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

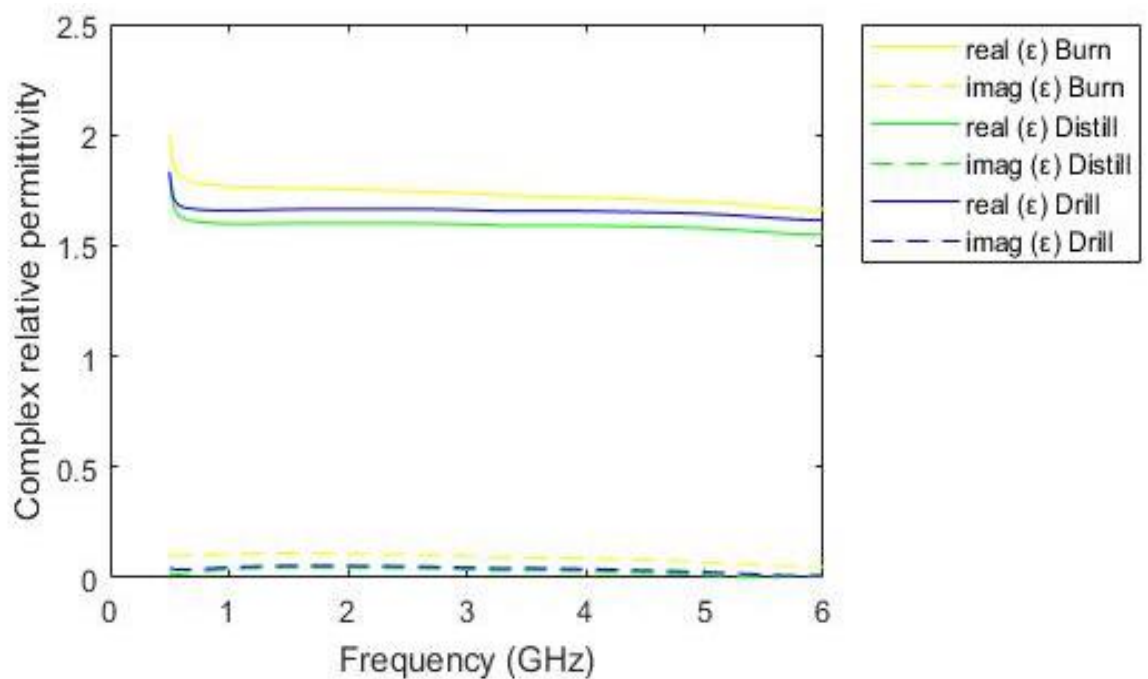


ภาพประกอบ 79 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



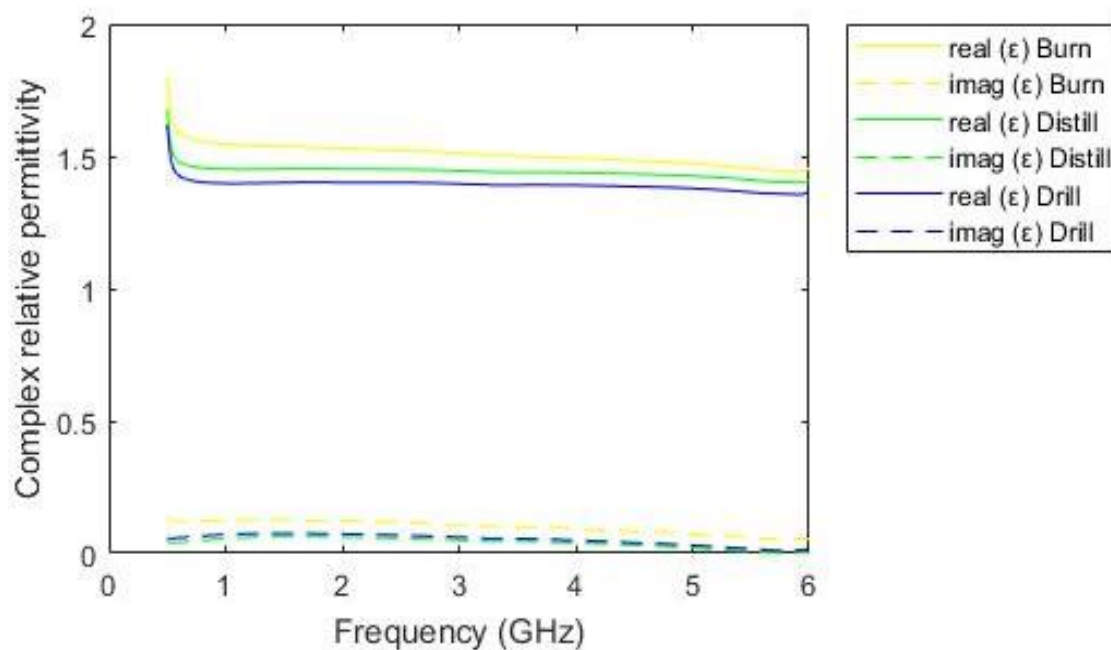


ภาพประกอบ 80 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

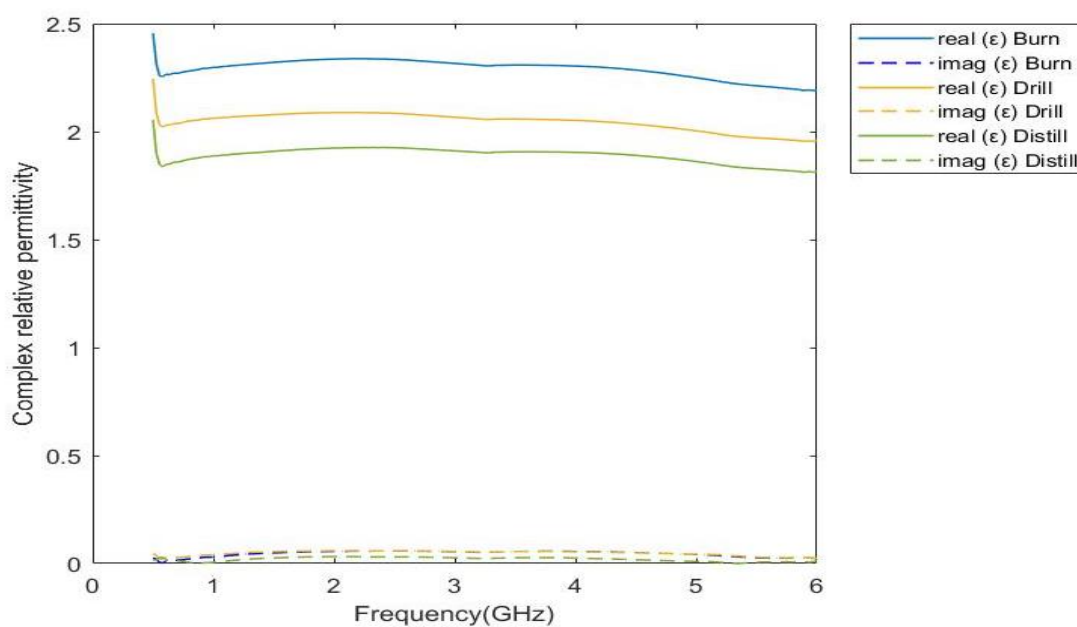


ภาพประกอบ 81 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



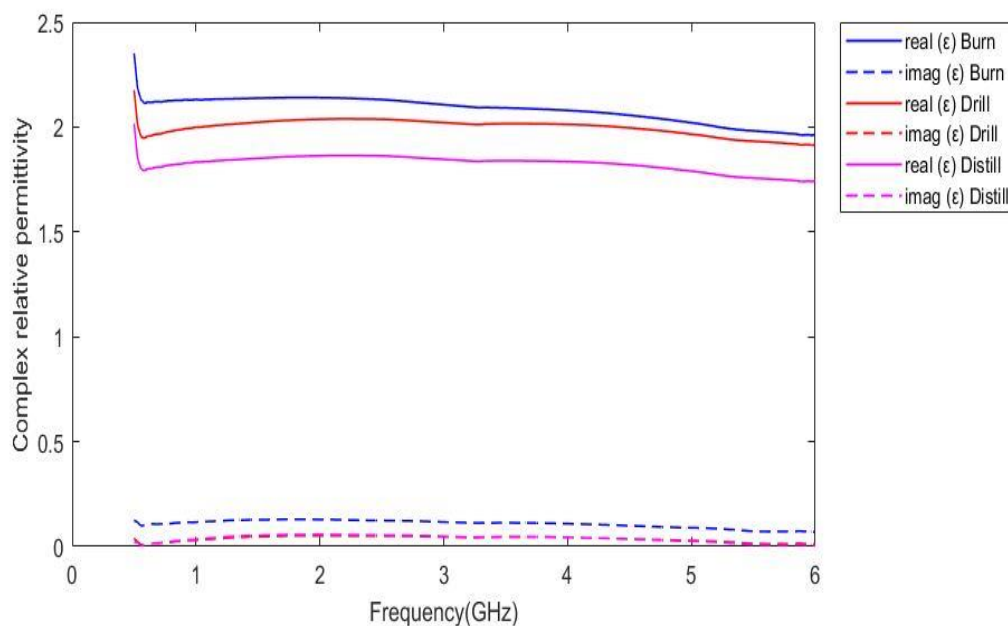


ภาพประกอบ 82 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

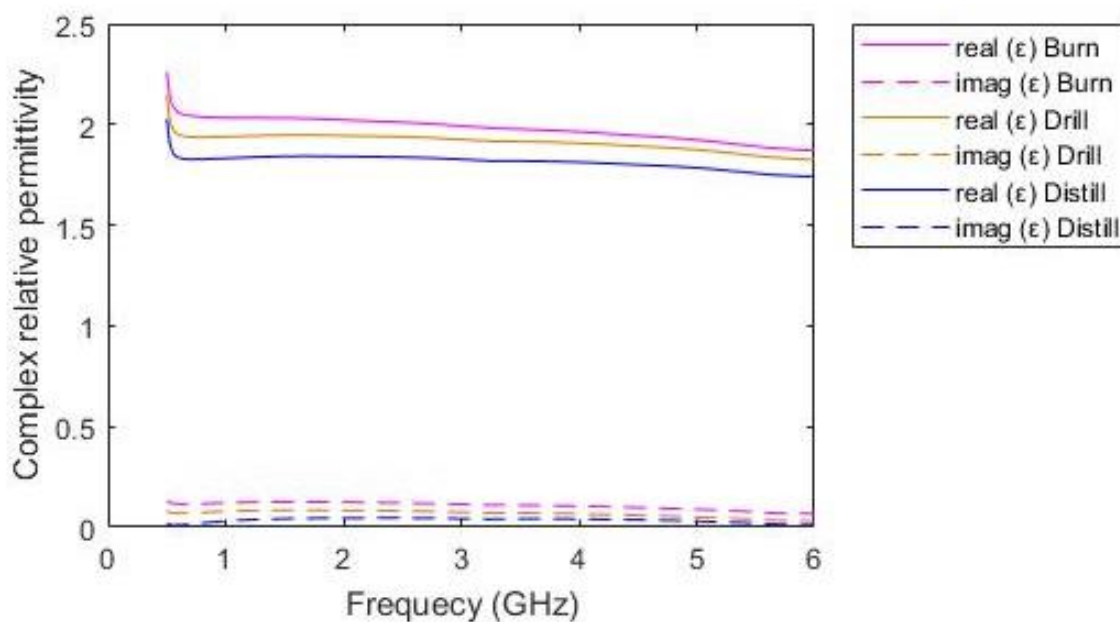


ภาพประกอบ 83 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส





ภาพประกอบ 84 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 85 ค่าเฉลี่ยค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเผา
น้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการเจาะ และน้ำมันยางนาที่ได้จากกระบวนการกลั่น
ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล นางสาวจิตตา นนสุทธิ
 วันเกิด วันที่ 20 มกราคม 2538
 สถานที่เกิด อำเภอเขตพระโขนง จังหวัดกรุงเทพมหานคร
 สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 69 หมู่ที่ 1 ตำบลนาเมือง อำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด
 รหัสไปรษณีย์ 45120

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2553 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนเสลภูมิพิทยาคม เทศบาลนครเสลภูมิ
 จังหวัดร้อยเอ็ด
 พ.ศ. 2556 มัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนเสลภูมิพิทยาคม เทศบาลนครเสลภูมิ
 จังหวัดร้อยเอ็ด
 พ.ศ. 2560 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นางสาวนฤมล ก้าวศรี
วันเกิด	วันที่ 4 กันยายน 2538
สถานที่เกิด	อำเภอสมเด็จ จังหวัดกาฬสินธุ์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 21 หมู่ที่ 6 บ้านคำไผ่ ตำบลหนองแวง อำเภอสมเด็จ จังหวัดกาฬสินธุ์ รหัสไปรษณีย์ 46150

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2553	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสมเด็จพิทยาคม อำเภอสมเด็จ จังหวัดกาฬสินธุ์
พ.ศ. 2556	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสมเด็จพิทยาคม อำเภอสมเด็จ จังหวัดกาฬสินธุ์
พ.ศ. 2560	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

