

การพัฒนาระบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์สำหรับวัดความเข้มข้นของสารละลาย
และการประยุกต์ใช้งาน

DEVELOPMENT OF MICROWAVE SENSOR FOR CONCENTRATION OF
SOLUTIONS MEASUREMENT AND ITS APPLICATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

การพัฒนาระบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์สำหรับวัดความเข้มข้นของสารละลาย
และการประยุกต์ใช้งาน

Development of Microwave Sensor for Concentration of Solutions
Measurement and Its Application



T144361

โดย

นาย เขมินท์ โมกขมรรคกุล

55010116

นาย คณัฐ มฤกุล

55010117

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ศรวัฒน์ ชิวปรีชา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์

สงวนลิขสิทธิ์
เลขทะเบียน 144361
รับเดือนปี 24 11 2559

b. 12819487
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558



ผ่านการตรวจแปลแล้ว

(Signature)
อาจารย์ที่ปรึกษา

14/5/59

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering



ผ่านการตรวจขึ้นงานแล้ว

(Signature)
กรรมการผู้ตรวจขึ้นงาน

19/5/2016

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาระบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์สำหรับวัดความเข้มข้นของสารละลายและการประยุกต์ใช้งาน

DEVELOPMENT OF MICROWAVE SENSOR FOR CONCENTRATION OF SOLUTIONS MEASUREMENT AND ITS APPLICATION

ผู้จัดทำ

1. นาย เขมินท์ โมกขมรรคกุล 55010116
2. นาย คณัฐ มฤกุล 55010117


..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผศ.ดร. ศรวัฒน์ ชิวปรีชา)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ.ดร.ศรวรัตน์ ชิวปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการทำปริญญาานิพนธ์นี้มาโดยตลอด ท่านกรุณาสละเวลาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลายอย่างจนกระทั่งลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ ศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์ และ คุณไชยณรงค์ กิตติญาณปัญญา ที่คอยให้ความรู้เรื่องสายอากาศมาอย่างดีโดยตลอด ขอขอบคุณ ดร.พรรณนิภา ยั่วยล ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในเรื่องการเก็บค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งและองค์ประกอบของผลทุเรียนที่ใช้ในการทดลอง ขอขอบคุณ คุณ จรัสพัฒน์ หล้าอินเชื้อ และคุณชนาธิป ฤกษ์สุขรุ่งเรือง ที่ให้ความช่วยเหลืออย่างดีในเรื่องของการใช้งานซอฟต์แวร์ต่างๆ

คณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

นาย เขมินท์ โมกขมรรคกุล

นาย คงณัฐ มฤกุล

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาระบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์สำหรับวัดความเข้มข้น
ของสารละลายและการประยุกต์ใช้งาน
DEVELOPMENT OF MICROWAVE SENSOR FOR
CONCENTRATION OF SOLUTIONS MEASUREMENT
AND ITS APPLICATION

โดย นาย เขมินท์ โมกขมรรคกุล 55010116

นาย คงณัฐ มฤกุล 55010117

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผศ.ดร. ศรวัฒน์ ชิวปรีชา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาระบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์สำหรับวัดความเข้มข้นของสารละลายจากค่าคุณสมบัติพื้นฐานของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่แตกต่างกันไปตามความเข้มข้นของสารละลาย ออกแบบให้โครงสร้างของสายอากาศเป็นแบบไมโครสตริป ทำงานที่ความถี่ 915 MHz เครื่องส่งใช้ Frequency Synthesizer โดยมีโปรแกรมควบคุม เป็นระบบแบบส่งทะลุผ่านวัสดุทดลอง เครื่องรับใช้ RTL-SDR โดยมีโปรแกรม Gnu-radio ควบคุม สามารถใช้ได้ทั้งคอมพิวเตอร์แล็ปท็อปหรือใช้บอร์ดราสเบอร์รี่พายในการประมวลผล ในส่วนของบอร์ดราสเบอร์รี่พายใช้จอภาพระบบสัมผัสขนาดจอภาพ 7 นิ้ว ในการแสดงผล และสร้างเครื่องซึ่งนำหนักจากโพลดเซลล์ แบ่งความเข้มข้นของสารละลายตั้งแต่ 0-30 องศาปริกซ์ ออกเป็น 6 ระดับ สุดท้ายสามารถนำหลักการดังกล่าวไปใช้แยกความอ่อน-แก่ของผลไม้ในอนาคต

ABSTRACT

The objective of our project is developing a microwave sensor for measuring concentration of solutions based on different dielectric constant. We use frequency synthesizer and RTL-SDR as the transmitter and receiver, respectively. The microstrip antenna is designed to operate with frequency of 915 MHz. and RTL-SDR is controlled by Gnu-radio. Also, laptop or raspberry pi board is used for processing a program and the result is displayed on a 7-inches monitor for raspberry pi board. We divide the concentration of solutions in the degree brix range of 0-30 °Bx into 6 levels. Finally we will further apply these concepts to develop an instrument for investigating maturity of fruits.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1	บทนำ
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
1.2	วัตถุประสงค์
1.3	ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง
2.1	ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก
2.2	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2.3	สายอากาศ
2.4	ข้อมูล IQ DATA
2.5	ราสเบอร์รี่พาย (RASPBerry PI)
2.6	เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ (FREQUENCY SYNTHESIZER)
2.7	SOFTWARE DEFINED RADIO : RTL-SDR
2.8	บริกซ์รีแฟล็กโตมิเตอร์ (BRIX REFRACTOMETER)
2.9	เซ็นเซอร์วัดน้ำหนัก
2.10	ฟัซซีลอจิก (FUZZY LOGIC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3	
การออกแบบและการจัดทำปฏิญานิพนธ์	31
3.1 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องวัดระดับความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม)	32
3.1.1 แทนวางของตัวเครื่อง	32
3.1.2 กล่องอุปกรณ์ที่รวมเครื่องรับ-ส่งสัญญาณวิทยุ	33
3.1.3 สายอากาศ	34
3.1.4 ซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมา	37
3.2 การออกแบบการทดลอง	43
3.2.1 การทดลองสายอากาศ	43
3.2.2 การทดลองเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ TPI SYNTHESIZER	43
3.2.3 ออกแบบการทดลองอุณหภูมิกับค่านอร์มอลไลซ์	44
3.2.4 ออกแบบการทดลองใช้งานในบริเวณที่มีความถี่อื่นๆรอบวง	45
3.2.5 การวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริก	45
3.2.6 การออกแบบการทดสอบสารละลาย (น้ำเชื่อม) ที่มีความเข้มข้น 0-30 องศาบริกซ์ เพื่อหาค่านอร์มอลไลซ์ จากแล็ปท็อป	47
3.2.7 การออกแบบการทดสอบสารละลาย (น้ำเชื่อม) ที่มีความเข้มข้น 0-30 องศาบริกซ์ เพื่อหาค่านอร์มอลไลซ์ จากบอร์ดราสเบอร์รี่-พาย	49
3.2.8 การออกแบบวัดความอ่อนแก่ของผลทุเรียน	51
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	53
3.3.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (NETWORK ANALYZER)	53
3.3.2 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (SPECTRUM ANALYZER)	53
3.3.3 เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ (RF SIGNAL GENERATOR)	54
3.3.4 สายอากาศฮอร์น (HORN ANTENNA)	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4	
ผลการทดลอง	55
4.1 ผลการทดลองสายอากาศ	55
4.2 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ TPI SYNTHESIZER	57
4.3 ผลการทดลองอุณหภูมิกับค่านอร์มอลไลซ์	59
4.4 ผลการทดลองใช้งานในบริเวณที่มีความถี่อื่นๆรบกวน	59
4.5 ผลการวัดค่าคงที่ไดโอดีเล็กทริก	62
4.6 ผลการทดสอบสารละลาย (น้ำเชื่อม) ที่มีความเข้มข้น 0-30 องศา บริกซ์ เพื่อหาค่านอร์มอลไลซ์ จากแล็บที่อป	63
4.7 ผลการทดสอบสารละลาย (น้ำเชื่อม) ที่มีความเข้มข้น 0-30 องศา บริกซ์ เพื่อหาค่านอร์มอลไลซ์ จากบอร์ดราสเบอร์รี่พาย	64
4.8 ผลการทดลองวัดความอ่อนแก่ของผลทุเรียน	65
บทที่ 5	
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผล	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	67
ภาคผนวก	
ซอร์สโค้ด	69

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าไดอิเล็กทริกและค่า LOSS TANGENT กับความถี่	4
2.2 ตัวอย่างสายอากาศชนิดไมโครสตริป	8
2.3 รูปคลื่นสัญญาณไซน์ในระบบพิกัดเชิงขั้ว	9
2.4 สมการแสดงค่าของตัวแปร I และ Q	9
2.5 บล็อกไดอะแกรมแสดงการมอดูเลต IQ DATA	10
2.6 โครงสร้างบอร์ดรอสเบอร์รี่พายทั้งสองโมเดล	12
2.7 ส่วนประกอบบอร์ดรอสเบอร์รี่พายโมเดล B	13
2.8 รายละเอียด PIN ของโมเดล A กับ B	13
2.9 สาย RCA	14
2.10 ไฟสัญญาณ LED แสดงสถานะของบอร์ด	14
2.11 โมดูลกล้อง	15
2.12 สายเชื่อมต่อพอร์ตชนิด HDMI และ HDMI TO VGA	15
2.13 จอแสดงผลระบบสัมผัสขนาด 7 นิ้ว	16
2.14 บล็อกไดอะแกรมของไอซี ADF4351	17
2.15 เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ	17
2.16 ไอคอนโปรแกรม SYNTHMACHINE	18
2.17 RTL-SDR	18
2.18 ตัวอย่างโปรแกรม GNURADIO	19
2.19 ไอคอน โค้ดไพทอน	19
2.20 ตัวอย่างการทำงานโค้ด OCTAVE บน COMMAND PROMPT	20
2.21 เครื่องปริ้นท์แฟลชไดรฟ์	21
2.22 บล็อกไดอะแกรมของเซ็นเซอร์วัดน้ำหนักร	21
2.23 วงจรของไอซี INA125	23
2.24 วงจรซีโรสแปน	24
2.25 ทรานส์แมทริ่ง (บูลีนลอจิก) กับทรานส์แมทริ่งพีซีซี (พีซีซีลอจิก)	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 ความไม่แน่นอน	26
2.27 ตัวอย่างตัวแปรภาษา	27
2.28 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	28
2.29 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	29
2.30 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	29
2.31 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	29
2.32 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	30
3.1 หลักการทำงานของระบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์ โดยค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่ไม่เท่ากันของวัสดุ ทำให้เกิดการลดทอนของคลื่นเมื่อทะลุผ่านวัสดุไม่เท่ากัน	31
3.2 บล็อกไดอะแกรมของโครงการ	32
3.3 แทนวางของตัวเครื่อง	33
3.4 กล้องอุปกรณ์ที่รวมเครื่องรับ-ส่งสัญญาณวิทยุ	34
3.5 ความกว้างยาวของสายอากาศไมโครสตริปที่ออกแบบ	34
3.6 สายอากาศไมโครสตริปที่สร้างขึ้นฝั่งด้านหน้า (แพตช์)	35
3.7 สายอากาศไมโครสตริปที่สร้างขึ้นฝั่งด้านหลัง (ระนาบกราวด์)	36
3.8 ฝั่งด้านหน้าของสายอากาศที่ประกบติดด้วยแผ่นพลาสติก	36
3.9 ฝั่งด้านหลังของสายอากาศที่ประกบติดด้วยแผ่นพลาสติก	37
3.10 แผนภาพการทำงานของเซลล์สคริปต์	37
3.11 แสดงผลลัพธ์ส่วนหนึ่งของข้อมูล IQ DATA	38
3.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งกับของคาบริกซ์ภายในเนื้อของผลทุเรียน	39
3.13 หน้าโปรแกรม FUZZY จาก MATLAB	41
3.14 กราฟ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ด้านอินพุตของค่านอร์มอลไลซ์ที่ได้รับได้	41
3.15 กราฟ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ด้านอินพุตของค่าน้ำหนักของผลทุเรียน	42
3.16 กราฟ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ด้านเอาต์พุตของของค่าระดับความอ่อน-แก่	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 ภาพรวมอุปกรณ์และการเชื่อมต่อเพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ	43
3.18 การวัดค่าความถี่จากเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม	44
3.19 เครื่องเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้อ้างอิงอุณหภูมิ	44
3.20 ภาพรวมการทดลองใช้งานเครื่องในบริเวณที่มีความถี่อื่นรบกวน	45
3.21 การใช้เครื่องวิเคราะห์โครมสายเพื่อหาค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารละลาย (น้ำเชื่อม)	46
3.22 การใช้เครื่องบริกซ์รีเฟรคโตมิเตอร์เพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม)	46
3.23 ภาพรวมเครื่องวัดไมโครเวฟเซ็นเซอร์ที่ทำงานร่วมกับแล็บท็อป	47
3.24 ภาพรวมเครื่องวัดไมโครเวฟเซ็นเซอร์ที่ทำงานร่วมกับบราสเบอร์รี่พาย	49
3.25 การตั้งเครื่องเพื่อใช้วัดผลทุเรียน	51
3.26 การวางผลทุเรียน	51
3.27 เครื่องวิเคราะห์โครมสาย	53
3.28 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม	53
3.29 เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ	54
3.30 สายอากาศฮอร์น	54
4.1 กราฟของ S_{11} ที่ความถี่ 915 MHz จาก CST	55
4.2 3D RADIATION PATTERN ที่ความถี่ 915 MHz จาก CST	56
4.3 กราฟ S_{11} ที่ความถี่ 915 MHz ของสายอากาศที่แปะแผ่นพลาสติกจากเครื่องวิเคราะห์โครมสาย	57
4.4 กราฟความถี่ที่ยังไม่ได้ส่งสัญญาณความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ	58
4.5 กราฟความถี่ที่ได้ส่งสัญญาณความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุแล้ว	58
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่านอร์มอลไลซ์	59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกำลังงานของสัญญาณที่รับกับค่านอร์มอลไลซ์ ความถี่สัญญาณรบกวน 890 MHz	60
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกำลังงานของสัญญาณที่รับกับค่านอร์มอลไลซ์ ความถี่สัญญาณรบกวน 910 MHz	60
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกำลังงานของสัญญาณที่รับกับค่านอร์มอลไลซ์ ความถี่สัญญาณรบกวน 915 MHz	61
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกำลังงานของสัญญาณที่รับกับค่านอร์มอลไลซ์ ความถี่สัญญาณรบกวน 920 MHz	61
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกำลังงานของสัญญาณที่รับกับค่านอร์มอลไลซ์ ความถี่สัญญาณรบกวน 940 MHz	62
4.12 ผลการวัดค่าคงที่ได้โอเล็กทริกของน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้น 0 – 30 องศาบริกซ์ ที่ความถี่ 915 MHz	62
4.13 ผลการทดลองวัดความอ่อนแก่ของผลทุเรียน	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แลบลึ้นวิทยุในย่านความถี่ต่างๆ	5
2.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของโมเดล A และโมเดล B	11
3.1 ตารางค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเนื้อและเปลือกของผลทุเรียนในระดับความ อ่อน-แก่ที่ต่างกัน	40
3.2 การทดสอบสารละลาย (น้ำเชื่อม) ความเข้มข้น 0-30 องศาบริกซ์ เพื่อหา ค่าออร์มอลโลซ์ และ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจากแล็บท็อป	48
3.3 เงื่อนไขการทำงานของเครื่องที่เราสร้างขึ้นจากแล็บท็อป	48
3.4 การทดสอบสารละลาย (น้ำเชื่อม) ความเข้มข้น 0-30 องศาบริกซ์ เพื่อหา ค่าออร์มอลโลซ์ และ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจากบอร์ดราสเบอร์รี่พาย	50
3.5 เงื่อนไขการทำงานของเครื่องที่เราสร้างขึ้นจากบอร์ดราสเบอร์รี่พาย	50
3.6 ข้อมูลน้ำหนักและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของผลทุเรียนทั้งหมด 53 ลูก	52
4.1 ผลการวัดค่าจากเครื่องแล็บท็อป	63
4.2 ผลการวัดค่าจากเครื่องที่ใช้ราสเบอร์รี่พาย	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการวัดระดับความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม) จะใช้เครื่องมือที่ชื่อว่า บริกซ์รีแฟรกโตมิเตอร์ (Brix Refractometer) มาวัดระดับความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม) ซึ่งใช้หลักการหักเหของแสงจากปริซึม การหักเหของแสงจะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณน้ำตาลที่อยู่ในของเหลว วิธีการวัดคือส่องกล้อง กับอุปกรณ์ซึ่งมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก ใช้เวลานาน จึงพัฒนาระบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์สำหรับวัดความเข้มข้นของสารละลายขึ้นมา เพื่อเป็นเครื่องมืออำนวยความสะดวกสบายในการวัดความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม) และนำไปประยุกต์ใช้งานในการคัดแยกความอ่อน-แก่ของผลไม้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาหลักการจำแนกสารละลายภายใต้การทดสอบ (ความเข้มข้นของน้ำเชื่อม) ด้วยเทคนิคทางด้านไมโครเวฟ โดยอาศัยขนาดของสัญญาณที่ถูกลดทอน (Magnitude Attenuated) ซึ่งเกิดจากค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารละลาย แล้วจึงนำค่าที่ถูกลดทอนมาเป็นตัวแปรในการจำแนกระดับความหวานของน้ำเชื่อม ซึ่งน้ำเชื่อมจะถูกทดสอบความหวานจากเครื่องบริกซ์รีแฟรกโตมิเตอร์
- 2) ออกแบบสายอากาศฝั่งรับ-ส่งให้มีความเหมาะสมกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ไมโครเวฟ) ที่ใช้งาน 915 MHz ศึกษาซอฟต์แวร์ Gnuradio เพื่อใช้งานร่วมกับเครื่องรับสัญญาณวิทยุที่ใช้เทคโนโลยี RTL-SDR รวมถึงการประมวลผลและกำหนดช่วงความเข้มข้นของน้ำเชื่อมด้วยตัวไมโครโปรเซสเซอร์ แล้วจึงแสดงผลระดับความหวานออกมาเป็นระดับของคาบริกซ์
- 3) สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับการวัดค่าความอ่อน-แก่ของทุเรียนได้ รวมถึงใช้โพลิตเซลล์ซึ่งนำหนักของผลทุเรียน เพื่อบอกขนาดและนำค่าน้ำหนักมาวิเคราะห์และตัดสินใจ

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. จำแนกสารละลายน้ำเชื่อม แบ่งระดับความหวาน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ภาชนะที่เหมือนกันเท่านั้น รวมถึงระยะห่างระหว่างสายอากาศรับ-ส่งและตำแหน่งการวางภาชนะจำเป็นต้องคงที่
2. ออกแบบสายอากาศไมโครสตริปฝั่งรับ-ส่ง ให้มีความเหมาะสมกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ไมโครเวฟ) ที่ใช้งาน 915 MHz ศึกษาซอฟต์แวร์ Gnuradio เพื่อใช้งานกับเครื่องรับสัญญาณที่ใช้เทคโนโลยี RTL-SDR รวมถึงการประมวลผลและตัดสินใจด้วยตัวไมโครโปรเซสเซอร์ แล้วจึงแสดงผลระดับความหวานออกมาเป็นระดับ (อ้างอิงความหวานจากองศาบริกซ์)
3. ใช้โพลีเอทิลีนซึ่งน้ำหนักของผลทุเรียนได้ไม่เกิน 9 กิโลกรัมเท่านั้น
4. นำไปประยุกต์ใช้งานกับการวัดค่าความอ่อน-แก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองเท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ_r) เป็นค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของวัสดุเทียบกับค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของอากาศ ซึ่งเป็นค่าเฉพาะเจาะจงของวัสดุแต่ละชนิด ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของวัสดุมีผลต่อค่าประจุที่วัสดุสามารถเก็บไว้ได้ ตามสมการที่ (2.1)

$$\epsilon = \frac{D}{E} \quad (2.1)$$

ϵ คือค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าของวัสดุในหน่วย ฟารัด/เมตร, D คือค่าความหนาแน่นฟลักซ์ไฟฟ้า และ E คือค่าความแรงของสนามไฟฟ้า ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพันธ์หาได้จากสมการที่ (2.2)

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_0} \quad (2.2)$$

ϵ_r คือค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพันธ์, ϵ_s คือค่าสภาพยอมไฟฟ้าของวัสดุ หน่วยฟารัด/เมตร และ ϵ_0 คือค่าสภาพยอมไฟฟ้าของอากาศ หน่วยฟารัด/เมตร

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับค่าคงที่ไดอิเล็กทริก จากกฎของคูลอมบ์กล่าวว่า ขนาดของแรงกระทำระหว่างประจุ q_1 และ q_2 ที่วางอยู่ภายในตัวกลาง โดยอยู่ห่างกันเป็นระยะ d จะกำหนดได้เป็น $F = q_1q_2/4\pi\epsilon d^2$ เมื่อ ϵ เป็นค่าคงที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าภายในสารนั้น ซึ่งเรียกว่าค่าสภาพยอม หรือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของตัวกลาง

เมื่อพิจารณาการแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในตัวกลางไดอิเล็กทริก โดยสมการแมกซ์เวลล์ ดังสมการที่ (2.3)

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.3)$$

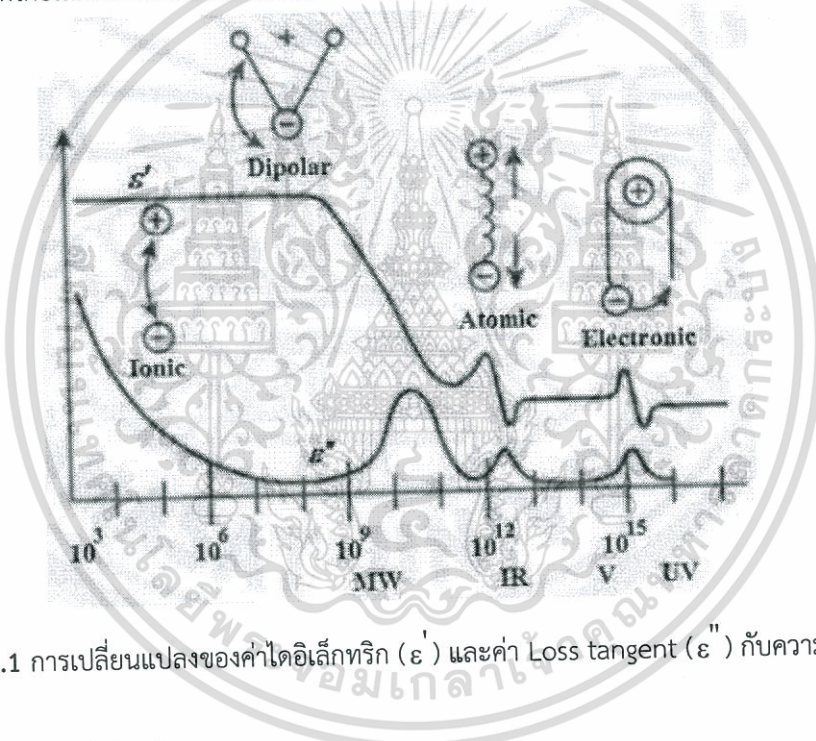
สมการที่ (2.3) กล่าวว่า แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive Force : $\nabla \times \vec{H}$) ตลอดเส้นทางปิด (Closed Path) จะเท่ากับผลรวมของกระแสเหนี่ยวนำ (Conduction Current : $\vec{J} = \sigma \vec{E}$) กับกระแสกระจัด (Displacement Current : $\partial \vec{D} / \partial t$) เมื่อ $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$ เป็นการขจัดทางไฟฟ้าภายในตัวกลาง ในกรณีของสนามที่แปรเปลี่ยนตามเวลา จะได้ว่า

$$\nabla \times \vec{H} = \sigma \vec{E} + j\omega \epsilon \vec{E} \quad (2.4)$$

$$\text{หรือ} \quad \nabla \times \vec{H} = j\omega \left(\epsilon - j \frac{\sigma}{\omega} \right) \vec{E} = (j\omega \epsilon^*) \vec{E} \quad (2.5)$$

$$\text{เมื่อ} \quad \epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (2.6)$$

โดยที่ ϵ^* เรียกว่า ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเชิงซ้อน (Complex Dielectric Constant) ปริมาณ ϵ' ซึ่งเป็นส่วนจริง (Real Part) จะบอกถึงค่าไดอิเล็กทริกซึ่งเป็นปริมาณที่เกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้าที่สะสมอยู่ในวัสดุ เรียกว่า ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant) และปริมาณ ϵ'' เป็นส่วนจินตภาพ (Imaginary Part) ที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสีย โดยสัมพันธ์กับสภาพความนำไฟฟ้า (Conductivity : σ) ของวัสดุ เรียกว่า ค่าสูญเสียไดอิเล็กทริก (Dielectric Loss) อย่างไรก็ตาม ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ของสนามจากภายนอกดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าไดอิเล็กทริก (ϵ') และค่า Loss tangent (ϵ'') กับความถี่ [4]

2.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นคลื่นชนิดหนึ่งที่ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่ (สามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้) เช่น คลื่นวิทยุและคลื่นไมโครเวฟ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นคลื่นตามขวาง ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีการสั่นในแนวตั้งฉากกัน และอยู่บนระนาบตั้งฉาก

กับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเดินทางได้ด้วยความเร็ว 299,792,458 เมตร/วินาที หรือเทียบเท่ากับความเร็วแสง

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เกิดจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Disturbance) โดยการทำให้สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก หรือถ้าสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงก็จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า

สเปกตรัม (Spectrum) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะประกอบด้วยความถี่และความยาวคลื่น ซึ่งมีค่าแตกต่างกัน เช่น อัลตราไวโอเลต อินฟราเรด คลื่นวิทยุ โทรทัศน์ ไมโครเวฟ ริงส์เอกซ์และริงส์แกมมา ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีประโยชน์มากในการสื่อสารโทรคมนาคมและทางการแพทย์ ตารางที่ 2.1 จะแสดงถึงช่วงความถี่และชื่อเรียกในการใช้งาน

ตารางที่ 2.1 แถบคลื่นวิทยุในย่านความถี่ต่างๆ

Frequency Range	Bands	Full Name
10 kHz - 30 kHz	VLF	Very Low Frequency
30 kHz - 300 kHz	LF	Low Frequency
300 kHz - 3 MHz	MF	Medium Frequency
3 MHz - 30 MHz	HF	High Frequency
30 MHz - 300 MHz	VHF	Very High Frequency
300 MHz - 3 GHz	UHF	Ultra High Frequency
3 GHz - 30 GHz	SHF	Super High Frequency
30 GHz - 300 GHz	EHF	Extra High Frequency

2.2.1 คลื่นไมโครเวฟ

ไมโครเวฟ (Microwave) เป็นคลื่นวิทยุชนิดหนึ่งที่มีความถี่อยู่ระหว่าง 0.3 GHz - 300 GHz ส่วนในการใช้งานนั้น ส่วนมากนิยมใช้ความถี่ระหว่าง 1 GHz - 60 GHz เพราะเป็นย่านความถี่ที่สามารถผลิตขึ้นได้ด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

การค้นพบ ในปี ค.ศ.1940 ของสองนักประดิษฐ์ชาวอังกฤษ คือ จอห์น แรנדอลล์ และ เอช เอ บู้ตได้ประดิษฐ์อุปกรณ์ที่เรียกกันว่า แม็กนีตรอน ใช้ผลิตพลังงานไมโครเวฟ ซึ่งเป็นการแผ่รังสีคลื่นสั้นรูปแบบหนึ่ง โดยจุดประสงค์ครั้งแรกคือ ใช้ในการปรับปรุงระบบเรดาร์ที่ใช้ในสงครามโลกครั้งที่ 2 เฮอร์ซี เลอ บารอน สเปนเซอร์ เป็นนักฟิสิกส์ที่ทำงานให้กับ บริษัท เรทีออน ผู้ผลิตอุปกรณ์เรดาร์ เขาพบว่า เมื่อเขาใช้เครื่องแม็กนีตรอน รังสีที่ได้ให้ความร้อนออกมาด้วย เขาจึงหาวิธีที่จะนำเอาความร้อนนี้มาใช้ ในไม่ช้าเขาก็ใช้แม็กนีตรอนละลายช็อกโกแลตและทำข้าวโพดคั่ว ไมโครเวฟทำให้โมเลกุลของอาหารเกิดการสั่นสะเทือน ดังนั้นอาหารจึงร้อนขึ้นและขบวนการนี้เกิดขึ้นเร็วมาก คลื่นนี้ไม่ทำให้สิ่งที่ทำจากกระดาษ

2.2.2 สมการคลื่น

สมการคลื่น (Wave Equation) จากกลไกการแพร่คลื่นซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กซึ่งเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's Equations) สำหรับบริเวณที่ไม่มีแหล่งกำเนิด และตัวกลางสม่ำเสมอ สมการแมกซ์เวลล์ แสดงได้ดังสมการที่ (2.7) และ (2.8)

$$\nabla \times \vec{E} = -j\omega\mu\vec{H} \quad (2.7)$$

$$\nabla \times \vec{H} = j\omega\epsilon\vec{E} \quad (2.8)$$

ซึ่งเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ สองสมการ สองตัวแปร คือสนามไฟฟ้า (\vec{E}) และสนามแม่เหล็ก (\vec{H}) ดังนั้นจึงสามารถแก้สมการหาค่าสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กได้ เมื่อหาค่า Curl ของสมการ (2.7) และใช้สมการ (2.8) แทนค่า จะได้ดังสมการ (2.9)

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = -j\omega\mu\nabla \times \vec{H} = \omega^2\mu\epsilon\vec{E} \quad (2.9)$$

เป็นสมการสำหรับสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ซึ่งสามารถหาลดรูปด้วยการใช้เอกลักษณ์ของเวกเตอร์ $\nabla \times \nabla \times \vec{A} = \nabla(\nabla \cdot \vec{A}) - \nabla^2 \vec{A}$ โดยหาค่าเวกเตอร์ \vec{A} ใดๆ ได้สำหรับองค์ประกอบตามแกนมุมฉาก ดังนั้น

$$\nabla^2 \vec{E} + \omega^2\mu\epsilon\vec{E} = 0 \quad (2.10)$$

เนื่องจาก $\nabla \cdot \vec{E} = 0$ ในบริเวณที่ไม่มีแหล่งกำเนิด สมการ (2.10) นี้ เป็นสมการคลื่น หรือเรียกว่า สมการ Helmholtz สำหรับสนามไฟฟ้า เช่นเดียวกับสมการสำหรับสนามแม่เหล็ก ซึ่งก็สามารถหาได้ในทำนองเดียวกัน

$$\nabla^2 \vec{H} + \omega^2 \mu \epsilon \vec{H} = 0 \quad (2.11)$$

โดยนิยามค่าคงที่ $k = \omega \sqrt{\mu \epsilon}$ และเรียกว่า เลขคลื่น (Wave Number) หรือค่าคงที่คลื่นแปรของตัวกลาง มีหน่วยเป็น $1/m$ จากสมการ (2.10) และ (2.11) เมื่อแก้สมการ จะได้คำตอบในรูปสมการของสนามไฟฟ้า (\vec{E}) และสนามแม่เหล็ก (\vec{H}) ในรูป Exponential ตามตัวแปรทางเวลา และระยะทาง โดยสมการคลื่นที่ได้นี้ จะขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น ตัวกลางที่ไม่มีการสูญเสียหรือฉนวน กับตัวกลางที่มีการสูญเสียหรือตัวกลางที่มีค่าความนำ

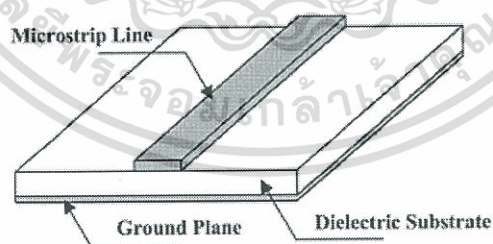
2.3 สายอากาศ

สายอากาศ หรือที่ศัพท์ภาษาอังกฤษเรียกว่า Antenna หรือ Aerial หรือ Electromagnetic Radiator คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแผ่กระจายกำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปหรือในทางกลับกัน ใช้สำหรับรับกำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้ามา สายอากาศเป็นโครงสร้างซึ่งมักจะถูกสร้างจากวัสดุที่เป็นตัวนำที่ดี ที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้มีรูปร่างและขนาดที่จะแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นที่ทราบกันดีกว่า กระแสซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้น สายอากาศจึงเป็นโครงสร้างซึ่งถูกกระตุ้นด้วยกระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งมักจะทำได้โดยใช้สายส่งกำลังหรือท่อนำคลื่น อาจมีรูปร่างแตกต่างกันไปได้มากมาย อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติโครงสร้าง ซึ่งมีรูปร่างที่ทำได้ง่ายและประหยัดจะได้รับความนิยมในการใช้งานในการที่จะแผ่กระจายคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างน้อยที่สุดสายอากาศจะต้องมีขนาดเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นที่แผ่กระจาย สายอากาศที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดได้แก่ สายอากาศไดโพล ยาวครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ซึ่งประกอบด้วยท่อนำคลื่นสองท่อน แต่ละท่อนยาวเศษหนึ่งส่วนสี่ของความยาวคลื่น วางห่างกันน้อยมาก เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น ที่บริเวณรอยต่อนี้จะต่ออยู่กับสายส่งกำลัง

สายอากาศจะทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์การนำทาง (Guiding Device) ให้แก่คลื่น เช่น สายส่งสัญญาณ (Transmission Line) หรือท่อนำคลื่น (Waveguide) กับอวกาศว่าง (Free-Space) หรือที่บ่อยครั้งมักจะเรียกว่า ตัวกลางไม่มีขอบเขต (Unbound Medium) หน้าที่หลักของสายอากาศคือ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนพลังงานของคลื่นที่เดินทางในอุปกรณ์การนำทางให้อยู่ในรูปพลังงานของคลื่นที่เดินทางในอวกาศว่าง ในกรณีที่เป็นสายอากาศส่ง (Transmitting Antenna) หรือในทางกลับกันเมื่อทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับ

(Receiving Antenna) ก็จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานของคลื่นที่เดินทางในอวกาศว่าง ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปพลังงานของคลื่นที่เดินทางในอุปกรณ์การนำทาง โดยการทำงานทั้งสองหน้าที่ จะต้องทำได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าเทียมกันเท่าที่จะเป็นไปได้ และที่สำคัญในขณะที่ใช้งานนั้น กำลังงานของคลื่นที่แผ่กระจายออกไปในอวกาศว่างจะต้องมีแบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern) ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมที่กำหนดหรือที่ได้ออกแบบเอาไว้

การออกแบบระบบของสายอากาศให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น สิ่งที่มีความสำคัญที่สุดก็คือ อิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะต้องมีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่ง และอิมพีแดนซ์ที่เอาท์พุทของเครื่องส่งหรือเครื่องกำเนิดสัญญาณ โดยเฉพาะในระบบสายอากาศที่มีการส่งสัญญาณกำลังสูง จะต้องเข้มงวดในการควบคุมอิมพีแดนซ์ ทั้งสามค่านี้ให้มีค่าใกล้เคียงกันให้ได้มากที่สุด ตามเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น โดยเราเรียกเงื่อนไขนี้ว่า การแมตซ์อิมพีแดนซ์ (Impedance Matching) ในกรณีที่สายอากาศทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับ สายอากาศจะทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่รับมาจากในอวกาศว่างไปเป็นกระแสไฟฟ้า เพื่อส่งไปยังเครื่องรับสัญญาณหรือโหลด (Load) ปลายทางโดยผ่านทางสายส่ง เพื่อให้การทำงานยังคงมีประสิทธิภาพสูงสุดเช่นเดียวกับกรณีที่สายอากาศทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่ง อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งและอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของเครื่องรับสัญญาณ จะต้องถูกควบคุมให้มีค่าใกล้เคียงกันหรือเกิดการแมตซ์ให้มากที่สุดเช่นเดียวกัน นอกจากนี้การลดค่าการสูญเสียของตัวนำและของไดอิเล็กทริกที่เกิดจากโครงสร้างของสายอากาศก็ต้องทำให้มีค่าต่ำที่สุด โดยการเลือกวัสดุที่ใช้สร้างให้เหมาะสม เนื่องจากมีผลต่อประสิทธิภาพของการทำงานของระบบสายอากาศทั้งหมด ไม่ว่าจะทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับหรือส่ง รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างสายอากาศไมโครสตริปที่ใช้งาน



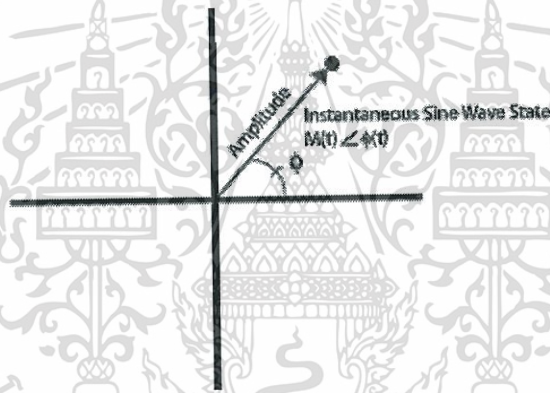
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างสายอากาศชนิดไมโครสตริป [5]

2.4 ข้อมูล IQ Data

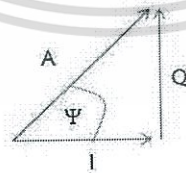
เครื่องรับสัญญาณวิทยุ RTL-SDR จะรับข้อมูลแบบ IQ data เข้ามา ปกติแล้วการมอดูเลตสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงรูปคลื่นไซน์เพื่อเข้ารหัสข้อมูล ดังสมการที่ (2.12)

$$A_c \cos(2\pi f_c t + \phi) \quad (2.12)$$

A_c คือ ค่าแอมพลิจูด, $2\pi f_c$ คือ ส่วนของความถี่ และ ϕ คือ ส่วนของเฟส สมการ (2.12) แสดงถึงขีดจำกัดของการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูด, ความถี่ และเฟสของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ในส่วนของความถี่และเฟส เราเรียกสองส่วนนี้รวมกันว่า มุมเฟส ดังนั้น เราสามารถแทนรูปคลื่นสัญญาณไซน์ได้ด้วยเวกเตอร์ในระนาบเชิงซ้อน โดยใช้ค่าของแอมพลิจูด และมุมเฟส ในระบบพิกัดเชิงขั้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 จะแสดงความหมายสมการที่แท้จริงของตัวแปร I และ Q



รูปที่ 2.3 รูปคลื่นสัญญาณไซน์ในระบบพิกัดเชิงขั้ว [11]



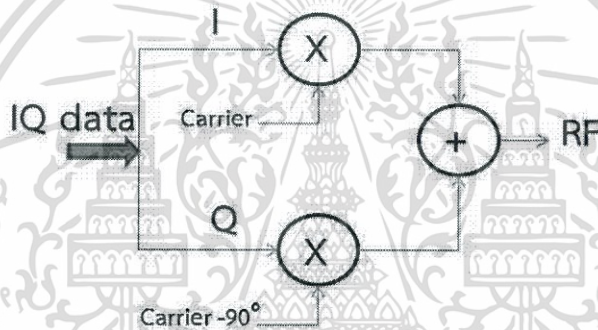
รูปที่ 2.4 สมการแสดงค่าของตัวแปร I และ Q

$$I = A\cos(\Psi) \quad (2.13)$$

$$Q = A\sin(\Psi) \quad (2.14)$$

$$A\cos(2\pi f_c t + \Psi) = I\cos(2\pi f_c t) - Q\sin(2\pi f_c t) \quad (2.15)$$

จากรูปที่ 2.4 และสมการที่ 2.13, 2.14, 2.15 จะเห็นว่า ค่าตัวแปร I จะอยู่บนแกน x (แนวนอน) มีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณคูณอยู่กับสัญญาณโคไซน์ ส่วนค่าตัวแปร Q จะอยู่บนแกน y (แนวตั้ง) มีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณคูณอยู่กับสัญญาณไซน์ โดยค่าของตัวแปร I และ Q จะมีเฟสต่างกันอยู่ 90 องศา รูปที่ 2.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมวิธีการมอดูเลตสัญญาณแบบ IQ data



รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมแสดงการมอดูเลต IQ data

2.5 ราชเบอร์รี่พาย (Raspberry pi)

ราชเบอร์รี่พายคือบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถเชื่อมต่อกับจอมอนิเตอร์ คีย์บอร์ด และเมาส์ได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนโปรแกรม หรือเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะขนาดเล็ก ไม่ว่าจะเป็นการทำงาน ท่องอินเทอร์เน็ต ส่งอีเมล หรือเล่นเกม อีกทั้งยังสามารถเล่นไฟล์วิดีโอความละเอียดสูง (High-Definition) ได้อีกด้วย บอร์ดราชเบอร์รี่พาย รองรับระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operating System) ได้หลายระบบ เช่น Raspbian (Debian) Pidora (Fedora) และ Arch Linux เป็นต้น โดยติดตั้งบน SD Card บอร์ดราชเบอร์รี่พายนี้ถูกออกแบบมาให้มี CPU GPU และ RAM อยู่ภายในชิปเดียวกัน มีจุดเชื่อมต่อ

GPIO ให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ได้อีกด้วย คุณสมบัติทางเทคนิคของบอร์ด บอร์ดราสเบอร์รี่พาย ปัจจุบันมีด้วยกัน 2 โมเดล คือ โมเดล A และ โมเดล B ซึ่งทั้ง 2 โมเดลมีคุณสมบัติทางเทคนิคที่ใกล้เคียงกัน แตกต่างกันเพียงบางส่วน รายละเอียดดังตารางที่ 2.2 รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างบอร์ดราสเบอร์รี่พายทั้ง 2 โมเดล

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของโมเดล A และโมเดล B

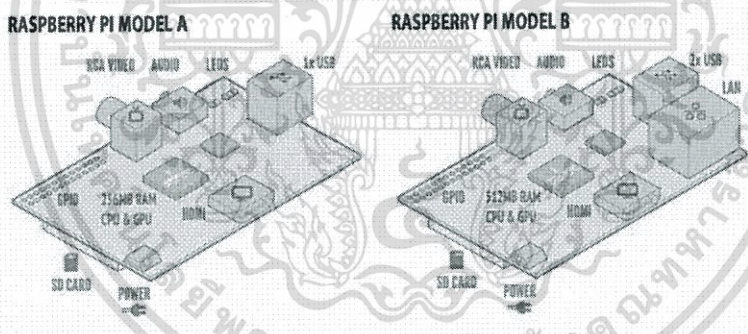
	โมเดล A	โมเดล B (Revision 2)
System on a chip (SoC)	Broadcom BCM2835 (CPU, GPU, DSP, SDRAM and Single USB Port)	
CPU	700MHz ARM1176JZF-S core (ARM11 family, ARMv6 instruction set)	
GPU	Broadcom VideoCore IV @ 250 MHz OpenGL ES 2.0 (24 GFLOPS) MPEG-2 and VC-1, 1080p 30 h.264/MPEG-4 AVC high-profile decoder and encoder	
Memory (SDRAM)	256 MB (Shared with GPU)	512 MB (Shared with GPU)
USB 2.0 Ports	1 (direct form BCM2835)	2 (via the build in integrated 3-port USB hub)

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) คุณสมบัติทางเทคนิคของโมเดล A และโมเดล B

	โมเดล A	โมเดล B (Revision 2)
Video Input	A CSI input connector allows for the connection of RPF designed camera module (ออกแบบมาให้เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi Camera Module โดยเฉพาะ)	
Video Outputs	Composite RCA (PAL and NTSC), HDMI (rev 1.3 & 1.4), raw LCD Panels via DSI 14 HDMI resolutions from 640x350 to 1920x1200 plus various PAL and NTSC standards. (มีทั้งสองแบบ คือ แบบ RCA และแบบ HDMI)	
Audio Outputs	3.5 mm jack, HDMI, and as of revision 2 boards, I ² S audio (also potentially	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

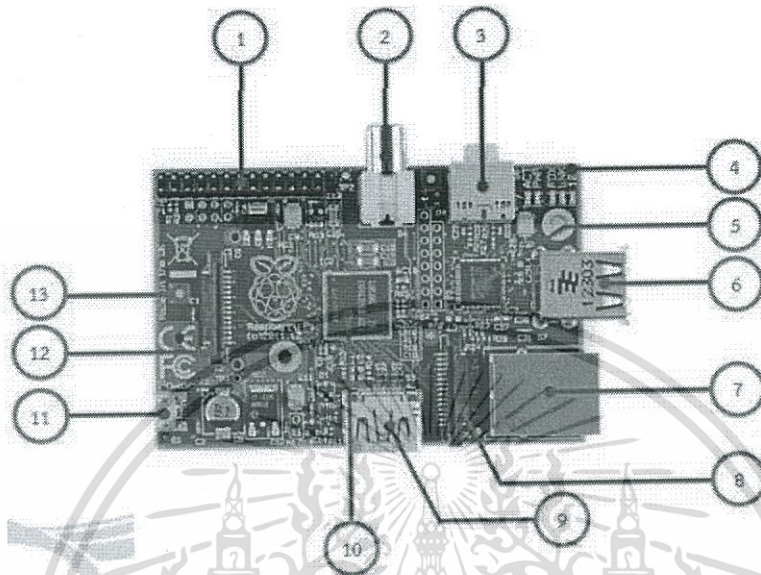
	for audio input)	
Onboard storage	SD/ MMC/ SDIO card slot (3.3V card power support only)	
Onboard network	None	10/100 Ethernet (8P8C) USB adapter on the third port of the USB hub
Low-level peripherals Low-level peripherals	8 x GPIO, UART, I ² C Bus, SPI Bus with two chip selects, I ² S audio +3.3V, +5V, Ground	
Power ratings	300 mA (1.5 W)	700 mA (3.5 W)
Power source	5 Volt via Micro USB or GPIO header	
Size	85.60 mm x 53. Mm (3.370 inch x 2.125 inch)	
Weight	45 g. (1.6 oz.)	



รูปที่ 2.6 โครงสร้างบอร์ดราสเบอร์รี่พายทั้งสองโมเดล [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของบอร์ดราสเบอร์รี่พาย (โมเดล B)



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบบอร์ดราสเบอร์รี่พายโมเดล B [12]

1. พอร์ต GPIO ซึ่งในโมเดล A และ B (Revision 1) ทุก Pin จะเหมือนกัน แต่โมเดล B (Revision 2) จะแตกต่างกัน รายละเอียดดังรูปที่ 2.8

Raspberry Pi Model A & B (Revision 1)

3.3V	1	2	3
I2C0 SDA	3	4	DNC
I2C0 SCL	5	6	GROUND
GPIO4	7	8	UART TXD
DNC	9	10	UART RXD
GPIO 17	11	12	GPIO 18
GPIO 21	13	14	DNC
GPIO 22	15	16	GPIO 23
DNC	17	18	GPIO 24
SP10 MOSI	19	20	DNC
SP10 MISO	21	22	GPIO 25
SP10 SCLK	23	24	SP10 CE0 N
DNC	25	26	SP10 CE1 N

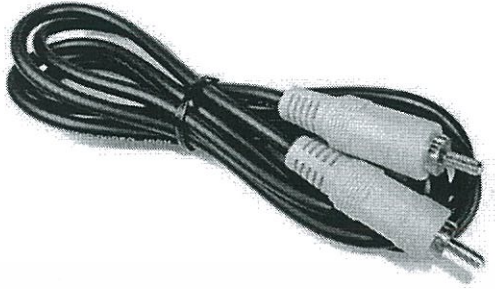
Raspberry Pi Model B (Revision 2)

3.3V	1	2	3
I2C1 SDA	3	4	5V
I2C1 SCL	5	6	GROUND
GPIO4	7	8	UART TXD
GROUND	9	10	UART RXD
GPIO 17	11	12	GPIO 18
GPIO 27	13	14	GROUND
GPIO 22	15	16	GPIO 23
3.3V	17	18	GPIO 24
SP10 MOSI	19	20	GROUND
SP10 MISO	21	22	GPIO 25
SP10 SCLK	23	24	SP10 CE0 N
GROUND	25	26	SP10 CE1 N

รูปที่ 2.8 รายละเอียด Pin ของโมเดล A กับ B [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

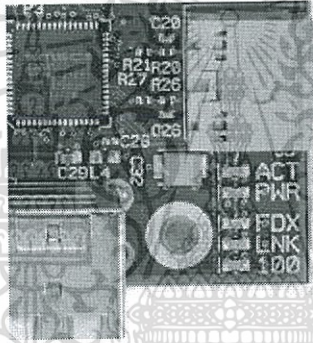
2. พอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณภาพออกแบบ RCA ตัวอย่างของสายที่เชื่อมต่อแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 สาย RCA [12]

3. จุดเชื่อมต่อสัญญาณเสียงขนาด 3.5 มิลลิเมตร

4. LED แสดงสถานะของบอร์ด อยู่ภายในบริเวณกรอบสีแดง ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ไฟสัญญาณ LED แสดงสถานะของบอร์ด [12]

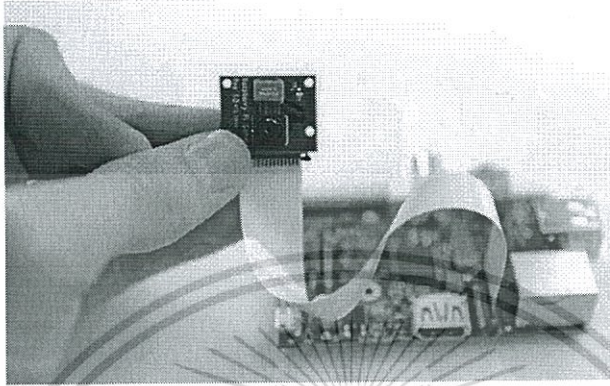
- ACT คือ ไฟสถานะ SD Card Access (สีเขียว)
- PWR คือ ไฟสถานะ 3.3V Power (สีแดง)
- FDX คือ ไฟสถานะ Full Duplex LAN Model B (สีเขียว)
- LNK คือ ไฟสถานะ Link/Activity LAN Model B (สีเขียว)
- 100 คือ ไฟสถานะ 10/100Mbps LAN Model B (สีเหลือง)

5. ชิพควบคุม LAN (LAN Controller)

6. พอร์ต USB 2.0 จำนวน 2 พอร์ต

7. พอร์ต RJ-45 Ethernet LAN 10/100Mbps

8. พอร์ต CSI (Camera Serial Interface) สำหรับเชื่อมต่อโมดูลกล้องดังรูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างโมดูลกล้อง



รูปที่ 2.11 โมดูลกล้อง [12]

9. พอร์ต HDMI สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณภาพและเสียง ตัวอย่างสาย HDMI และตัวแปลง HDMI to VGA แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 สายเชื่อมต่อพอร์ตชนิด HDMI และ HDMI to VGA [12]

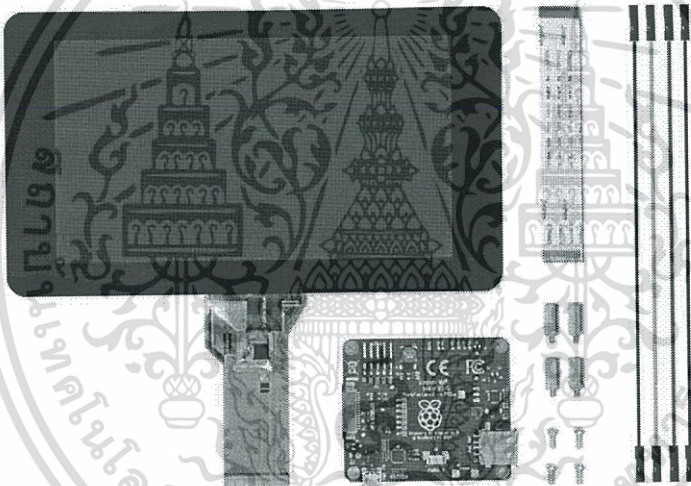
10. ชิพ Broadcom BCM2835 ARM11 700MHz

11. พอร์ต Micro USB Power สำหรับเป็นไฟเลี้ยงวงจบบอร์ดราสเบอร์รี่พาย

12. พอร์ต DSI (Display Serial Interface) ใช้สำหรับต่อจอแสดงผล เช่น จอแสดงผลแบบ TFT Touch Screen เป็นต้น

13. ช่องเสียบ SD Card อยู่บริเวณด้านล่างของบอร์ด

จอแสดงผลระบบสัมผัสขนาด 7 นิ้ว ของบอร์ดราสเบอร์รี่พาย จอสัมผัสสำหรับราสเบอร์รี่พาย นี้คือจอภาพอย่างเป็นทางการของบอร์ดคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่พาย ที่ผลิตโดย Raspberry Pi Foundation เป็นจอแสดงผล LCD แบบสัมผัส นำไปใช้ประกอบกับบอร์ดราสเบอร์รี่พาย 2 เพื่อให้ทำงานแบบโดยลำพังได้เป็นอย่างดี คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของจอสัมผัสราสเบอร์รี่พาย เป็นจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟหลายจุดสัมผัส รองรับ 10 จุดสัมผัส ขนาดจอแสดงผล 7 นิ้ว (วัดในแนวทแยงมุม) ความละเอียด 800 x 480 พิกเซล ที่ความเร็วในการแสดงผล 60 เฟรมต่อวินาที (fps) แสดงผลข้อมูลสี RGB 24 บิต มุมมอง 70 องศา ต้องการจุดเชื่อมต่อกับราสเบอร์รี่พาย 2 เพียง 2 จุด ใช้ไฟเลี้ยงได้ทั้งจากบอร์ดราสเบอร์รี่พาย 2 และจากภายนอก หากใช้จากบอร์ดราสเบอร์รี่พาย 2 ควรเลือกใช้อะแดปเตอร์ที่ให้แรงดัน +5V หากใช้จาก ภายนอกต้องการไฟเลี้ยง +5V กระแสไฟฟ้าอย่างน้อย 1A (ปกติจอแสดงผลนี้ต้องการกระแสไฟฟ้า 500mA) ทำงานกับระบบปฏิบัติการ Raspbian ได้ จอภาพแสดงดังรูปที่ 2.13

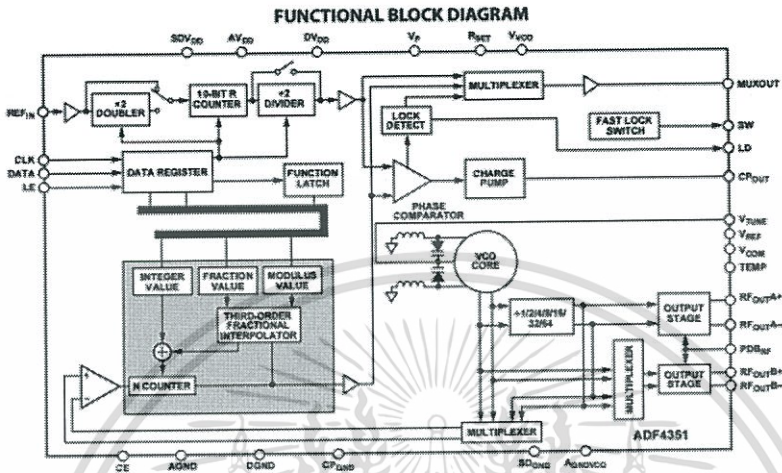


รูปที่ 2.13 จอแสดงผลระบบสัมผัสขนาด 7 นิ้ว [13]

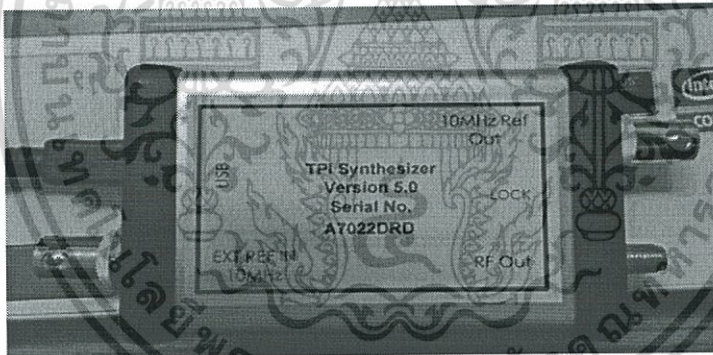
2.6 เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ (Frequency Synthesizer)

เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ ให้กำเนิดคลื่นสัญญาณต่อเนื่อง ความถี่ต่างๆ ออกมา โดยใช้ Voltage Control Oscillator : VCO เป็นองค์ประกอบ สามารถสร้างคลื่นสัญญาณความถี่ตั้งแต่ 35-4400 MHz ไอซีหลักที่ใช้งานคือ ADF4351 รูปที่ 2.14 แสดงถึงการทำงานภายในของ

ไอซี ADF4351 (Wideband Synthesizer with Integrated VCO) และ รูปที่ 2.15 แสดงเครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุที่ใช้งาน



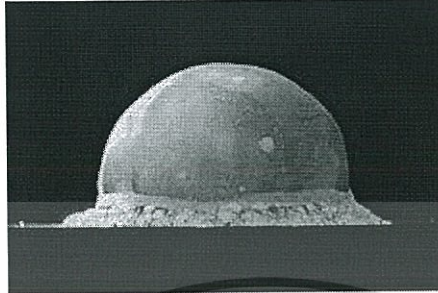
รูปที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรมของไอซี ADF4351 [16]



รูปที่ 2.15 เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ [16]

ในการใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ จะเชื่อมต่ออยู่กับสายอากาศและไมโครโปรเซสเซอร์ ไมโครโปรเซสเซอร์จะควบคุมเครื่องกำเนิดสัญญาณโดยใช้โปรแกรม SynthMachine สั่งงาน ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่มาคู่กับเครื่องกำเนิดสัญญาณ มีกำลังงาน

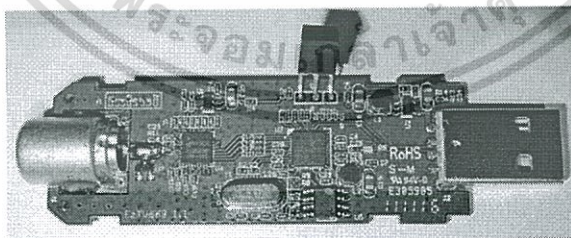
ให้เลือกใช้สี่ระดับ มีค่ากำลังงานอยู่ที่ 8 dBm, 11 dBm, 14 dBm, 17 dBm รูปที่ 2.16 แสดงไอคอนโปรแกรม SynthMachine



รูปที่ 2.16 ไอคอนโปรแกรม SynthMachine [16]

2.7 Software Defined Radio : RTL-SDR

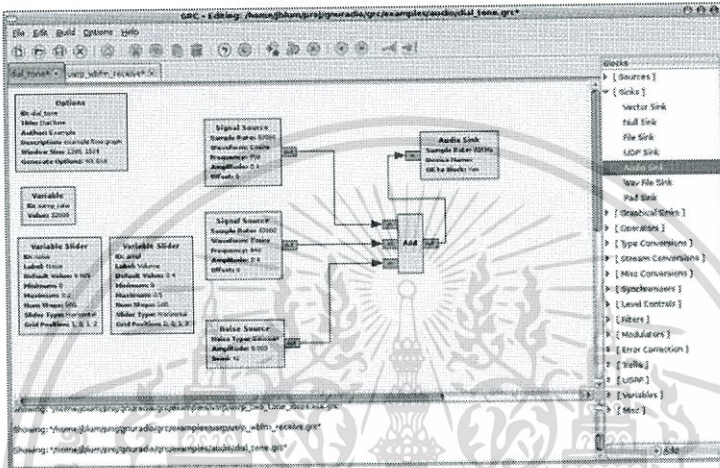
RTL-SDR คืออุปกรณ์ที่ใช้ซอฟต์แวร์ในการควบคุมฮาร์ดแวร์ หมายถึงองค์ประกอบย่อยที่เกี่ยวข้องกับคลื่นวิทยุ เช่น การมอดูเลต การดีมอดูเลต ตัวขยายสัญญาณ ซอฟต์แวร์จะสามารถควบคุมนำมาประกอบเป็นวงจรรีดิเรกต่างๆ ได้เพียงเขียนโค้ดปรับแต่งคำสั่งการใช้งาน เป็นอุปกรณ์ที่สะดวกอย่างยิ่ง เนื่องจากเราไม่จำเป็นต้องปรับแต่งจรรยาบรรณให้ยุ่งยาก ถ้าหากเป็นส่วนประกอบหนึ่งของทางฝั่งการรับสัญญาณคลื่นวิทยุ นั้น เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อของไมโครโปรเซสเซอร์กับสายอากาศ ใช้งาน Realtek RTL2832U เป็นไอซีหลัก จึงเป็นที่มาของชื่อ RTL-SDR มีราคาที่ถูก ใช้สำหรับถ่ายโอนข้อมูลดิบ IQ data สู่อุปกรณ์ Host RTL2832U มีเอาต์พุต 8 บิต ในรูป IQ data ตามทฤษฎีมี Sample-Rate อยู่ที่ 3.2 MS/s รูปที่ 2.17 แสดงองค์ประกอบภายในของ RTL-SDR



รูปที่ 2.17 RTL-SDR [15]

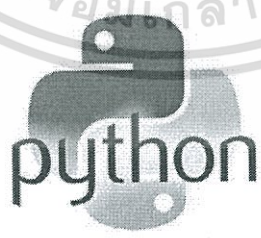
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเชื่อมต่อระหว่าง RTL-SDR กับไมโครโปรเซสเซอร์ จะใช้พอร์ต USB การสั่งงาน ไมโครโปรเซสเซอร์จะใช้ซอฟต์แวร์โปรแกรม Gnuradio เป็นตัวควบคุมการเปิดรับข้อมูลของตัว RTL-SDR ซอฟต์แวร์โปรแกรม Gnuradio เป็นซอฟต์แวร์ที่เปิดให้ใช้บริการโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ เป็นซอฟต์แวร์สำหรับนักพัฒนา ตัวโปรแกรมจะมีลักษณะเป็นรูปแบบกล่องสัญญาณ ให้นำมาเลือกใช้ ประกอบเป็นวงจรรับวิทยุตามต้องการ รูปที่ 2.18 แสดงตัวอย่างโปรแกรม Gnuradio



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างโปรแกรม Gnuradio [14]

ในการใช้งานโปรแกรม Gnuradio จำเป็นต้องเขียนซอฟต์แวร์โค้ด ไพทอน (Python) ในการสั่งงาน ไพทอน เป็นภาษาระดับสูง เพื่อใช้งานทั่วไปแบบอินเตอร์พรีเตอร์ ไพทอนเป็นภาษาสคริปต์ ทำให้ใช้เวลาในการเขียนและคอมไพล์น้อย ทำให้เหมาะกับงานด้านการดูแลระบบ รูปที่ 2.19 แสดงสัญลักษณ์ของไอคอน โค้ดไพทอน



รูปที่ 2.19 ไอคอน โค้ดไพทอน [14]

หลังจากที่ไม่โครโปรเซสเซอร์สั่งงานให้ RTL-SDR (ด้วยโค้ดไพทอน) รับสัญญาณวิทยุที่มีรูปแบบเป็น IQ data มาเก็บไว้แล้ว เราก็จะใช้โค้ดอ็อกเตฟ (Octave) ในการคำนวณ ประมวลผลผลลัพธ์ โค้ดอ็อกเตฟ เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่มาพร้อมด้วยสภาพแวดล้อมการทำงานเชิงโต้ตอบ (คล้ายเครื่องคิดเลข) ซึ่งสามารถคำนวณคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้อย่างรวดเร็วมากกว่าภาษาคอมพิวเตอร์สมัยก่อน เช่น C, C++ หรือ Fortran รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างการทำงานของโค้ดอ็อกเตฟ บนหน้า Command Prompt

```

root@computer: /home/computer/Desktop/TEST/Script# ./measure
GNU Octave, version 3.8.1
Copyright (C) 2014 John W. Eaton and others.
This is free software; see the source code for copying conditions.
There is ABSOLUTELY NO WARRANTY; not even for MERCHANTABILITY or
FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. For details, type 'warranty'.

Octave was configured for "i686-pc-linux-gnu".

Additional information about Octave is available at http://www.octave.org.

Please contribute if you find this software useful.
For more information, visit http://www.octave.org/get-involved.html

Read http://www.octave.org/bugs.html to learn how to submit bug reports.
For information about changes from previous versions, type 'news'.

complex CAL = 0.45674 + 0.46100i
Mag FS = 0.64895
complex DUT = 0.005735 + 0.085971i
Mag DUT = 0.12141
normalize = 0.01291
The Level is "1"
./measure: line 25: 6807 Terminated
ript/test.py > /dev/null 2>&1
  
```

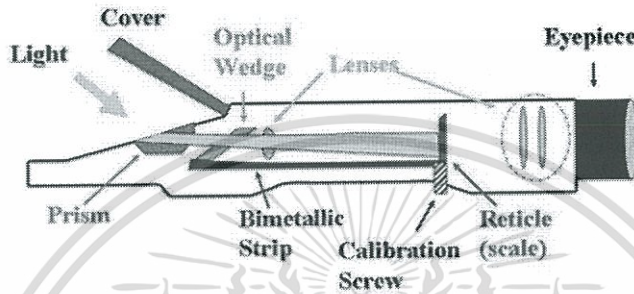
รูปที่ 2.20 ตัวอย่างการทำงานของโค้ด Octave บน Command Prompt

หลังจากคำนวณผลเสร็จเรียบร้อยแล้ว เราก็เขียนโค้ด Shell Script เพื่อเรียกใช้ทั้งโค้ดไพทอน และ โค้ดอ็อกเตฟ ในไฟล์โปรแกรมเดียว Shell คือ โปรแกรมหนึ่งบนระบบ UNIX ที่ทำหน้าที่เป็น Interface ระหว่าง User กับ UNIX (Kernel) User สามารถสั่งงาน UNIX ได้โดยผ่านทาง Shell เท่านั้น โปรแกรม Shell ยังมีคุณสมบัติของ Shell Programming Language ทำให้ User สามารถนำคำสั่งต่างๆของ Shell มาเขียนเป็นโปรแกรมเก็บเป็นไฟล์ไว้ได้ เรียกว่า Shell Script

2.8 บริกซ์รีแฟลกโตมิเตอร์ (Brix Refractometer)

บริกซ์รีแฟลกโตมิเตอร์ เป็นเครื่องมือสำหรับวัดปริมาณน้ำตาลในของเหลว หลักการทำงานจะใช้การหักเหของแสงจากปริซึม ซึ่งค่าหักเหของแสงจะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณน้ำตาลที่อยู่ในของเหลว การหักเห เกิดขึ้นเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเปลี่ยนตัวกลางจากตัวกลางหนึ่ง

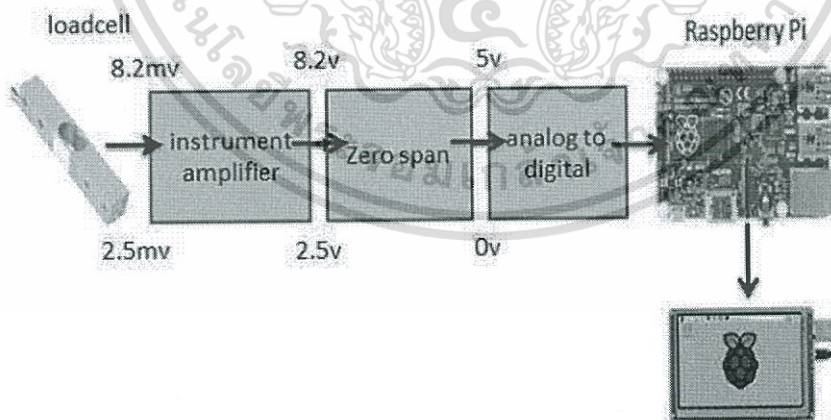
ไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง โดยที่มุมตกกระทบ ณ ตัวกลางที่สองไม่เป็นมุมฉาก จะมีคลื่นบางส่วนสะท้อนกลับเข้าไปยังตัวกลางที่หนึ่ง โดยมีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน แต่ยังมีคลื่นบางส่วนที่เดินทางเข้าไปยังตัวกลางที่สอง การเดินทางเข้าไปยังตัวกลางที่สองนี้ จะไม่เป็นแนวเส้นตรงต่อไปจากแนวเดินในตัวกลางแรก แต่จะหักเหออกไปเล็กน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวกลางทั้งสอง รูปที่ 2.21 แสดงถึงหลักการการทำงานของเครื่องปริกซ์รีแฟลคโตมิเตอร์



รูปที่ 2.21 เครื่องปริกซ์รีแฟลคโตมิเตอร์ [19]

2.9 เซ็นเซอร์วัดน้ำหนัก

เนื่องจากขนาดของวัตถุ สามารถระบุได้ด้วยค่าน้ำหนัก ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่เราสามารถนำมาวิเคราะห์เพิ่มได้ เราจึงสร้างเซ็นเซอร์วัดน้ำหนักขึ้นเพื่อเพิ่มข้อมูลปัจจัยในการนำมาวิเคราะห์ผลให้มีความแม่นยำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.22 บล็อกไดอะแกรมของเซ็นเซอร์วัดน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

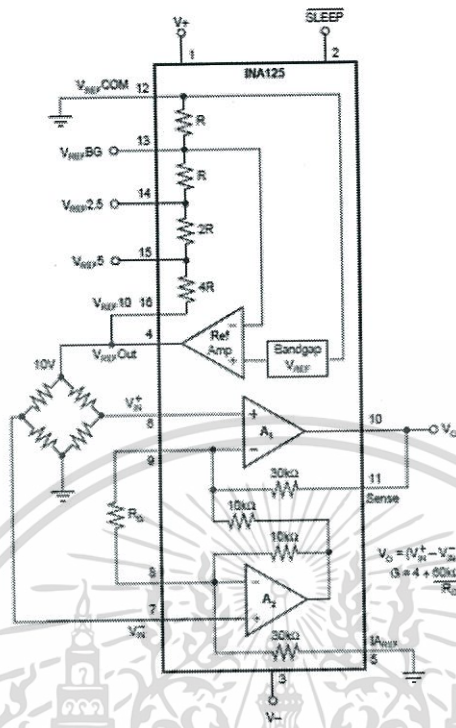
จากบล็อกไดอะแกรม รูปที่ 2.22 โหลดเซลล์ที่รับแรงเค้นจากน้ำหนักของวัตถุ จะแปลงค่าเป็นแรงดันไฟฟ้า ในหน่วย มิลลิโวลต์ โดยผ่านวงจรอินสตูเมนต์แอมพลิไฟเออร์เพื่อแปลงแรงดันให้อยู่ในหน่วยโวลต์ แล้วส่งแรงดันไฟฟ้าไปที่วงจรซีโรสแปนเพื่อปรับแรงดันให้เหมาะสมกับวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล นำข้อมูลที่ได้ประมวลผลผ่านراسเบอร์พาย แล้วแสดงผลผ่านทางหน้าจอ

1) โหลดเซลล์

โหลดเซลล์ คือ เซ็นเซอร์ที่สามารถแปลงค่าแรงเค้น หรือแรงเครียด ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้ เมื่อมีน้ำหนักมากระทำ ความเครียด จะเปลี่ยนเป็นความต้านทานทางไฟฟ้าในสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากระทำส่งสัญญาณออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า โดยเราจะนำโหลดเซลล์มาทำเป็นเครื่องชั่งน้ำหนัก

2) วงจรอินสตูเมนต์แอมพลิไฟเออร์

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากโหลดเซลล์จะมีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ เราจึงจำเป็นต้องหาวงจรมาขยายให้อยู่ในหน่วยโวลต์ ซึ่งเราเลือกใช้ไอซีเบอร์ INA125 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้กับตัวโหลดเซลล์โดยตรง โดยรูปที่ 2.23 แสดงถึงวงจรของไอซีเบอร์ INA125



รูปที่ 2.23 วงจรของไอซี INA125

3) วงจรซีทีโรสแปน

วงจรซีโรสแปน เป็นวงจรที่ปรับแต่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากภาคอินสตูเมนต์แอมพลิไฟเออร์ ก่อนที่จะส่งไปที่ วงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล การออกแบบวงจรมันจำเป็นต้องทราบก่อนว่าค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดที่ได้จากภาคอินสตูเมนต์แอมพลิไฟเออร์นั้นมีค่าเท่าไร โดยการทำงาน V_{in} ถูกป้อนให้อุปแอมป์ซึ่งมีอัตราขยาย $-R_f/R_i$ และแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง $V_{ref} = \pm V$ จะถูกป้อนให้แรงดันไฟฟ้าอินพุตอีกค่าหนึ่งและมีอัตราขยายเท่ากับ $-R_f/R_{os}$ โดยมีสมการการออกแบบวงจร คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต

$$V_o = mV_{in} + b \text{ โดย } m = \frac{R_f}{R_i} \text{ หรือ } m = \frac{V_{out(max)} - V_{out(min)}}{V_{in(max)} - V_{in(min)}} \quad (2.16)$$

และ b คือแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง $b = R_f \left(\frac{V_{ref}}{R_{os}} \right)$

โดยทำการวัดค่าโวลต์ที่ได้จากอินสตุเมนต์แอมพลิไฟเออร์ ได้ค่า 0.25 โวลต์ ถึง 8.18 โวลต์ และค่าโวลต์ที่วงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล ทำงานคือ 0-5 โวลต์

หลักการคำนวณ

$$\text{จาก } m = \frac{V_{out(max)} - V_{out(min)}}{V_{in(max)} - V_{in(min)}} \text{ จะได้ว่า } m = \frac{5 - 0}{8.18 - 0.25} = 0.63 \quad (2.17)$$

$$\text{เลือก } R_f = 100k\Omega \text{ จะได้ว่า } R_i = \frac{R_f}{m} = \frac{100k\Omega}{0.63} = 158k\Omega \quad (2.18)$$

$$\text{จาก } V_o = mV_{in} + b \quad (2.19)$$

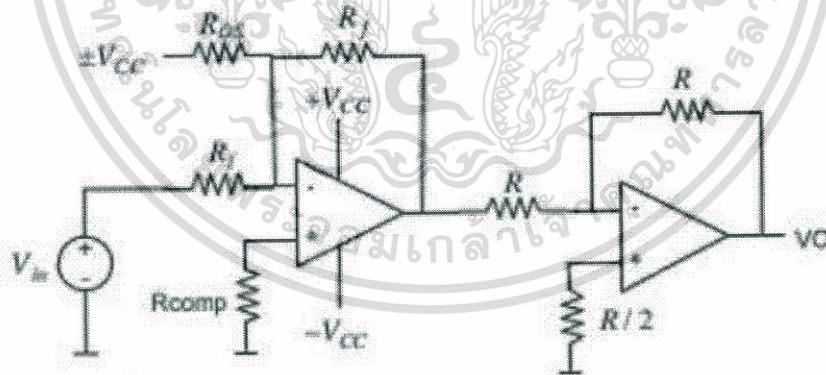
$$0 = 0.63(0.25) + b$$

$$\text{จะได้ } b = -0.1575$$

$$\text{หา } R_{os} \text{ จาก สมการ } b = R_f \left(\frac{V_{ref}}{R_{os}} \right) \text{ เลือก } V_{ref} = -9V \quad (2.20)$$

$$\text{จะได้ว่า } R_{os} = 100k \left(\frac{-9}{-0.1575} \right) \text{ ดังนั้น } R_{os} = 5.714M\Omega \quad (2.21)$$

โดยรูปที่ 2.24 แสดงถึงวงจรซิกแนลคอนดิชันเนอร์หรือวงจรซีโรสแปน



รูปที่ 2.24 วงจรซีโรสแปน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

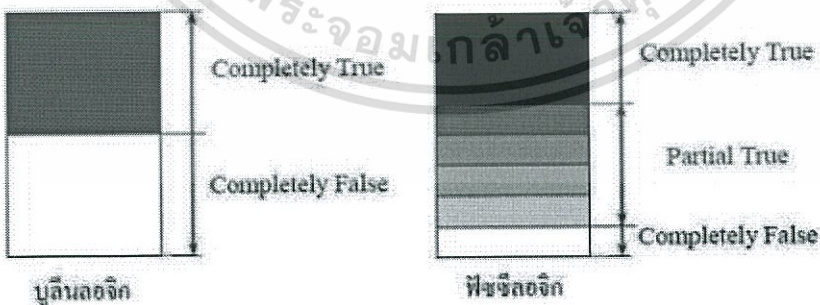
4) วงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล

เนื่องจากอินพุตของรอสเบอร์พาย นั้นไม่มีความสามารถในการรับค่าแบบอนาล็อกโดยตรง (รับได้เฉพาะดิจิตอล In/Out) จึงต้องเพิ่มวงจร วงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล โดยเลือกใช้ไอซีเบอร์ MCP3208 ไอซีตัวนี้เป็นแบบ DIP type มีความสามารถในการรับค่าได้ถึง 8 ช่อง โดยแปลงค่าเป็นข้อมูลแบบ 12 บิต หรือ (0 - 4095) โดยใช้โปรโตคอลในการติดต่อแบบ Serial Peripheral Interface (SPI)

2.10 ฟัชซีลอจิก (Fuzzy logic)

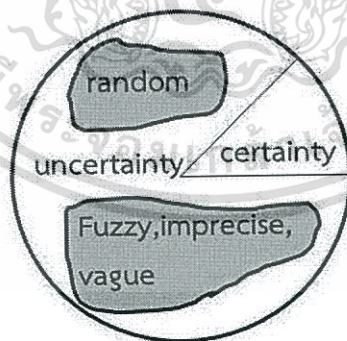
ฟัชซีลอจิก ศาสตร์ด้านการคำนวณที่เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในวงการวิจัยด้านคอมพิวเตอร์และได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ มากมาย เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการทหาร ด้านธุรกิจ ด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่นักศึกษาด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ ควรจะได้ศึกษาเพื่อทำความเข้าใจในศาสตร์ ฟัชซีลอจิก ทั้งนี้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ ซึ่งนับวันจะยังมีความต้องการ ระบบคอมพิวเตอร์ ที่มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนระบบได้โดยอัตโนมัติตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง มีการตัดสินใจแบบชาญฉลาดเยี่ยงมนุษย์ได้มากขึ้น ซึ่งมนุษย์สามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ไม่เคยพบได้โดยอาศัยความรู้เท่าที่ได้เรียนรู้มาประยุกต์ในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

พื้นฐานแนวคิดแบบฟัชซี ตรรกะแบบฟัชซี เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูล โดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิถีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ฟัชซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง กับเท็จ ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับตรรกะแบบฟัชซี (ฟัชซีลอจิก) [18]

ความเป็นฟัซซี (fuzziness) มีชื่อเรียกว่า มัลติวาลานซ์ (multivalance) ซึ่งมีค่าที่ความเป็นสมาชิกมากกว่า 2 ค่า และแตกต่างกับไบวาลานซ์ (bivalance) ที่มีความเป็นสมาชิกเพียง 2 ค่า ฟัซซีเซต (Fuzzy set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สื่อถึง “ความไม่แน่นอน” ที่ไม่ใช่เพียง 2 กรณีซึ่งหากกำหนดว่าคนที่อ้วนคือคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม คอมพิวเตอร์จะให้ผลว่าคนที่ มีน้ำหนัก 74.50 กิโลกรัม ไม่จัดเป็นคนที่อ้วน จะสร้างและกำหนดรูปแบบของลักษณะความไม่แน่นอนที่เป็นความคลุมเครือความไม่ตายตัวรวมถึงความขาดข้อมูลบางส่วน โดยทฤษฎีของฟัซซีเซต จะใช้ลักษณะความหมายตัวแปรมากกว่าปริมาณของตัวแปรเช่น การหาความหมายของ “คนที่อ้วน” เราไม่สามารถนิยามค่าความอ้วนที่ตรงกันและระบุเป็นหนึ่งเดียว สำหรับคนที่อ้วน นายก. จะให้ความหมายของ “คนอ้วน” หมายถึงคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 70 กิโลกรัม นายข. ให้ความหมายว่า เป็นคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม ซึ่งทั้งสองคนต่างแสดงความหมายของคำว่าคนที่อ้วนโดยเปรียบเทียบและในมุมมองของตัวเองตามน้ำหนักของตน ในการทำงานในมุมมองแบบฐานสอง จะได้ผลเป็น ใช่ หรือไม่ใช่ แต่จะเห็นว่าบุคคลนี้เป็นคนอ้วนน้ำหนักเกือบจะ 75 กิโลกรัม และถึงแม้ว่า บุคคลนี้จะมีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม แต่หากพิจารณาจากกลุ่มคนที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 90 กิโลกรัม บุคคลนี้ ก็จะไม่จัดอยู่ในกลุ่มคนที่อ้วน แสดงให้เห็นว่าความอ้วนไม่ได้มีลักษณะความไม่แน่นอนแบบสุ่ม จากการศึกษาปัญหาทั่ว ๆ ไปจะแสดงถึงรูปแบบลักษณะการกระจายของปัญหา รูปที่ 2.26 เป็นการ แสดงให้เห็นว่าแนวทางในการตัดสินใจของปัญหาทั้งหมดมีเพียงส่วนน้อยที่เป็นสิ่งที่แน่นอน ที่เหลือคือสิ่งที่ไม่แน่นอนซึ่งประกอบด้วยความไม่แน่นอนที่มีลักษณะแบบสุ่ม และความไม่แน่นอนที่มีลักษณะเป็นฟัซซีหรือคลุมเครือ ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 40 เพราะปัญหาส่วนมากเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของมนุษย์ซึ่งจะตัดสินใจตามพื้นฐานความคิดของตนเป็นหลัก



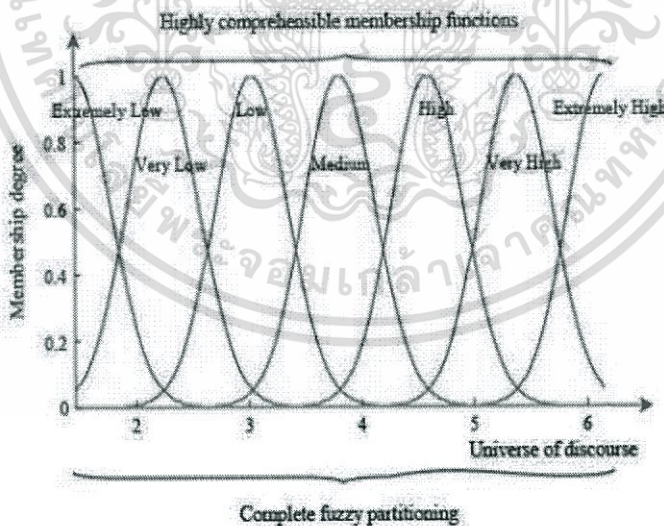
รูปที่ 2.26 ความไม่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟัซซีจะสร้างวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความคลุมเครือ ความไม่แน่นอนของระบบที่เกี่ยวข้องกับความคิดความรู้สึกของมนุษย์เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่าง ๆ ในความไม่แน่นอนเพื่อกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ โดยอาศัยเซตของความไม่เป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือดังนั้นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือ การดำเนินการของฟัซซีเพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหา โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะไม่สมมาตรกันหรือสมมาตรกันทุกประการก็ได้

ตัวแปรภาษา เซตแบบฟัซซีสามารถประยุกต์ใช้ในการอธิบายค่าของตัวแปรเช่นเดียวกับเซตแบบดั้งเดิม เช่นประโยค “อุณหภูมิในห้องเย็น” คำว่า “เย็น” เป็นคำที่ใช้แสดงปริมาณอุณหภูมิในทางรูปนัย สามารถเขียนได้เป็น ปริมาณอุณหภูมิในห้องเย็น ตัวแปร ปริมาณอุณหภูมิในห้อง เป็นตัวแปรภาษา ซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญมากในตรรกะแบบฟัซซี ตัวแปรภาษาช่วยกำหนดค่าของสิ่งที่จะอธิบายทั้งในรูปคุณภาพ โดยใช้พจน์ภาษา และในรูปปริมาณ โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ซึ่งแสดงความเป็นเจ้าของของเซตแบบฟัซซี พจน์ภาษาใช้สำหรับการแสดงแนวคิดและองค์ความรู้ในการสื่อสารของมนุษย์ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีประโยชน์ในการจัดการกับอินพุตที่เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข

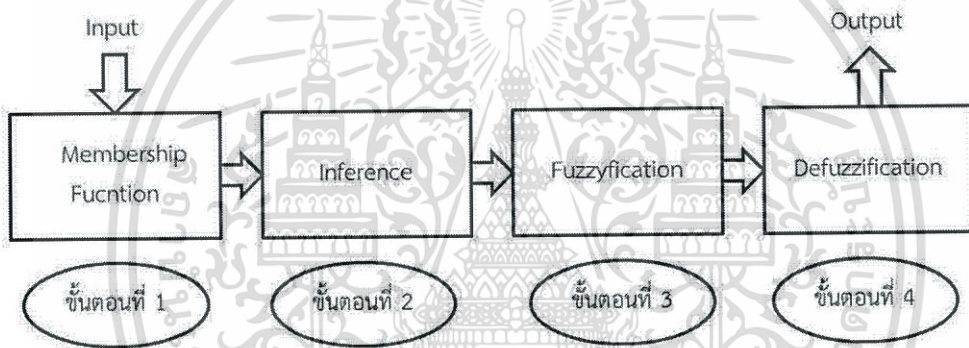


รูปที่ 2.27 ตัวอย่างตัวแปรภาษา [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

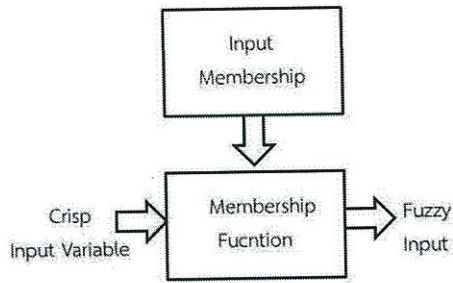
ตัวแปรภาษาเป็นการประกอบกัน ของตัวแปรสัญลักษณ์และตัวแปรเชิงเลข ตัวอย่างตัวแปรสัญลักษณ์ เช่น รูปร่าง เป็นทรงกระบอก คำว่า “รูปร่าง” เป็นตัวแปรที่บอกถึงรูปร่างของวัตถุ ตัวอย่างตัวแปรเชิงเลขเช่น “ความสูงเท่ากับ 4 ฟุต” ตัวแปรเชิงเลขจะมีใช้กันในสาขางานด้าน วิทยาศาสตร์วิศวกรรมศาสตร์คณิตศาสตร์การแพทย์และอื่น ๆ ส่วนตัวแปรสัญลักษณ์มีความสำคัญ ในวิทยาการเกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์และการตัดสินใจการใช้ตัวแปรภาษาเป็นการรวมตัวแปรเชิงเลขกับตัวแปรสัญลักษณ์เข้าด้วยกัน รูปที่ 2.27 แสดงตัวอย่างเซตตัวแปรภาษาของเซตฟัซซี ได้แก่ Extremely Low, Very Low, Low, Medium, High, Very High และ Extremely High

ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก
 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิกมีรูปแบบการทำงานเป็น 4 ส่วนจะแสดงดัง รูปที่ 2.28



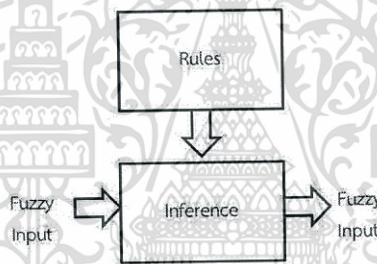
รูปที่ 2.28 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซีโดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกโดยไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละอินพุต และความสำคัญต่อเอาต์พุตที่น่าสนใจโดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญเพื่อให้เป็นฟัซซีอินพุต ดังรูปที่ 2.29



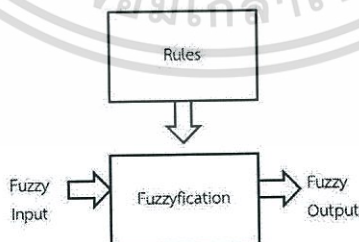
รูปที่ 2.29 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผลอาจจะสร้างการเก็บข้อมูลการคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ นำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกัน เพื่อการหาตัดสินใจที่เหมาะสม ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

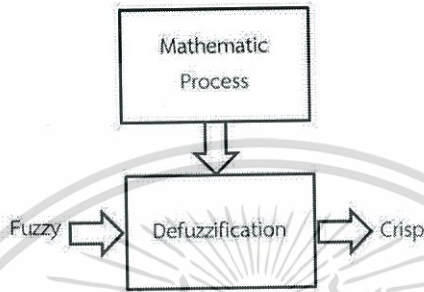
ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาฟัซซีเอาต์พุต โดยการนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซีอินพุต โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อนำค่าที่ได้ประมวลผลดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทำเป็นค่าคลุมเครือ (Fuzzification) วิธีการที่นิยมใช้ในการตีความหาเหตุผลเลือกใช้ Max-Min method และ Max-Dot method ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซีโดยจะเปลี่ยนฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นทวินัยเอาต์พุตตามรูปที่ 2.32 และด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์เช่น วิธีการหาจุดศูนย์กลาง เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบในสถานการณ์นั้นๆ



รูปที่ 2.32 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

วิธีการทำค่าฟัซซีให้เป็นค่าปกติ (Defuzzification) วิธีการที่เป็นเทคนิคการเลือกค่าสูงสุดหรือสรุปหาเหตุผลจากหลาย ๆ เซตมาเพียงค่าเดียว ซึ่งเป็นการใช้ค่าสูงสุดของค่าระดับการเป็นสมาชิกจากการกระทำหลายๆ แบบ และเลือกกระทำเพียงรูปแบบเดียววิธีการหาจุดศูนย์กลาง (Central of Gravity: COG) เป็นวิธีการเฉลี่ยผลที่ได้จากการตีความหาเหตุผลที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ค่าที่ได้จะคำนวณจุดศูนย์กลางโดยรวมจะหาได้จากการประมาณค่าจากสมการที่ (2.22)

$$COG = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i w_i}{\sum_{i=1}^N \alpha_i} \quad (2.22)$$

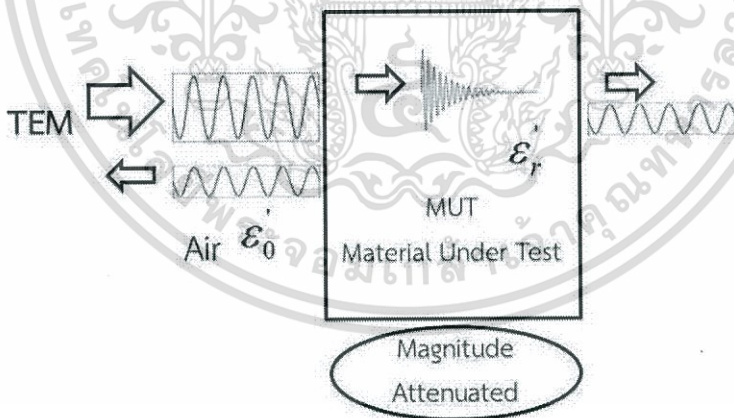
โดยสมการได้กำหนดค่าของสมการดังนี้ COG แทนค่าของจุดศูนย์กลาง, N แทน ค่าตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ i , α_i แทน ค่าฟัซซีของเอาต์พุตในเซตฟัซซีตำแหน่งที่ i , w_i แทน พื้นที่ใต้โค้งของเซตฟัซซีตำแหน่งที่ i

บทที่ 3

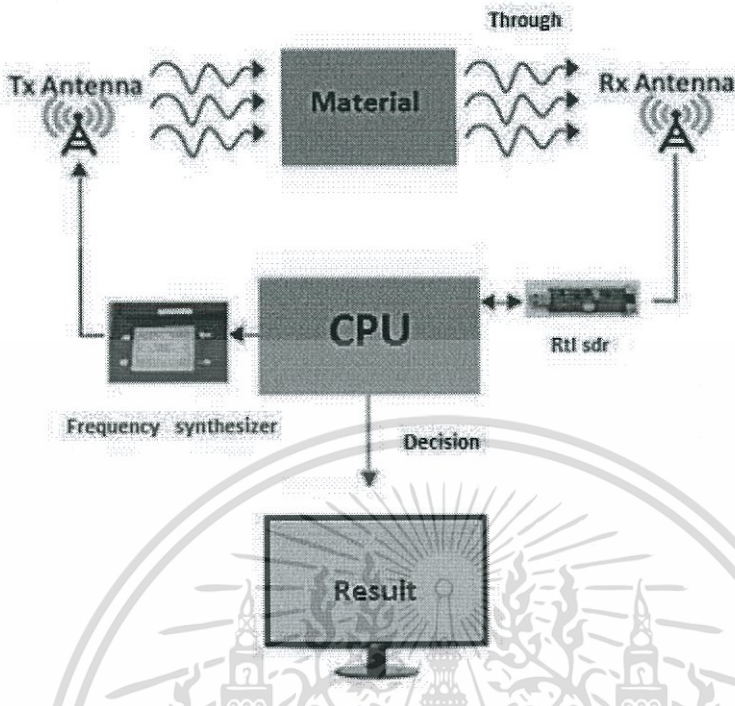
การออกแบบและการจัดทำปริญญาโท

ในบทนี้จะนำเสนอการออกแบบโครงสร้างของเครื่องวัดระดับความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม) จะกล่าวถึงแทนวางของตัวเครื่อง, กล่องอุปกรณ์ที่รวมเอาเครื่องรับ-ส่งสัญญาณวิทยุไว้ด้วยกัน, สายอากาศ, ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ทั้งที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ประมวลผลและแสดงผลลัพธ์ รวมถึงเรื่องพีซีลोजิก หลังจากนั้นจะกล่าวถึงการออกแบบการทดลองวัดระดับความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม) และการวัดความอ่อน-แก่ของผลทุเรียน

หลักการการทำงานของระบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์ คือคุณสมบัติของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของตัววัสดุ (วัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าที่เป็นเอกลักษณ์ไม่ซ้ำกัน) ซึ่งค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจะส่งผลกระทบต่อขนาดสัญญาณ (เกิดการลดทอน) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไมโครเวฟ ที่ผ่านตัวกลางวัสดุนั้น จากหลักการดังกล่าว จะทำให้สามารถแบ่งแยกความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม) จากขนาดสัญญาณที่ทะลุผ่านสารละลาย (น้ำเชื่อม) ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันได้ จากรูปที่ 3.1 แสดงถึงคลื่นไมโครเวฟที่เดินทางผ่านตัวกลางที่ทำการทดสอบ จะเห็นว่าขนาดสัญญาณคลื่นไมโครเวฟจะมีขนาดสัญญาณที่ลดลง



รูปที่ 3.1 หลักการทำงานของระบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์ โดยค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่ไม่เท่ากันของวัตถุทำให้เกิดการลดทอนของคลื่นเมื่อทะลุผ่านวัตถุไม่เท่ากัน



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของโครงการ

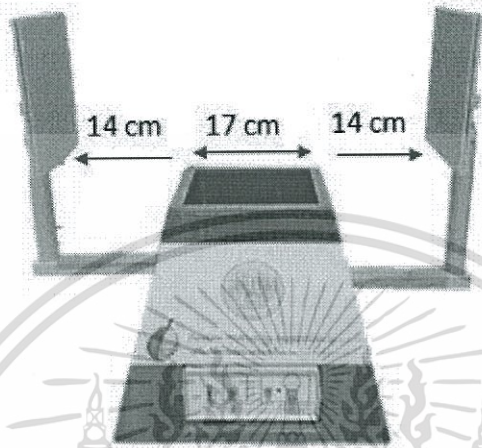
รูปที่ 3.2 แสดงภาพรวมบล็อกไดอะแกรมของโครงการ ซีพียู ที่ใช้ทำงานสามารถเลือกใช้ได้ทั้ง แล็ปท็อปและบอร์ดราสเบอร์รี่พาย แต่ในที่นี้ จะขอกล่าวถึงแล็ปท็อป เริ่มต้น แล็ปท็อปจะส่งงานเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ผ่านโปรแกรมซินแมชชีน (SynthMachine) ให้สร้าง ความถี่ 915 MHz ออกมา สัญญาณความถี่จะถูกส่งผ่านสายนำสัญญาณไปสู่สายอากาศ เพื่อแพร่กระจายคลื่นไมโครเวฟออกไป คลื่นไมโครเวฟจะทะลุผ่านสารละลายน้ำเชื่อม (ค่าการลดทอนของสัญญาณแปรผกผันกับค่าคงที่ไดอิเล็กทริก) หลังจากนั้น แล็ปท็อปจะรับข้อมูลและทำหน้าที่ประมวลผลต่อไป

3.1 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องวัดระดับความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม)

3.1.1 แทนวางของตัวเครื่อง

แทนวางของตัวเครื่องจะใช้ไม้เป็นวัสดุหลัก เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบที่เกิดจากการสะท้อนของคลื่น มีช่องใส่กล่องสำหรับอุปกรณ์เครื่องส่ง-รับสัญญาณวิทยุ ออกแบบให้ตัวแขนของ

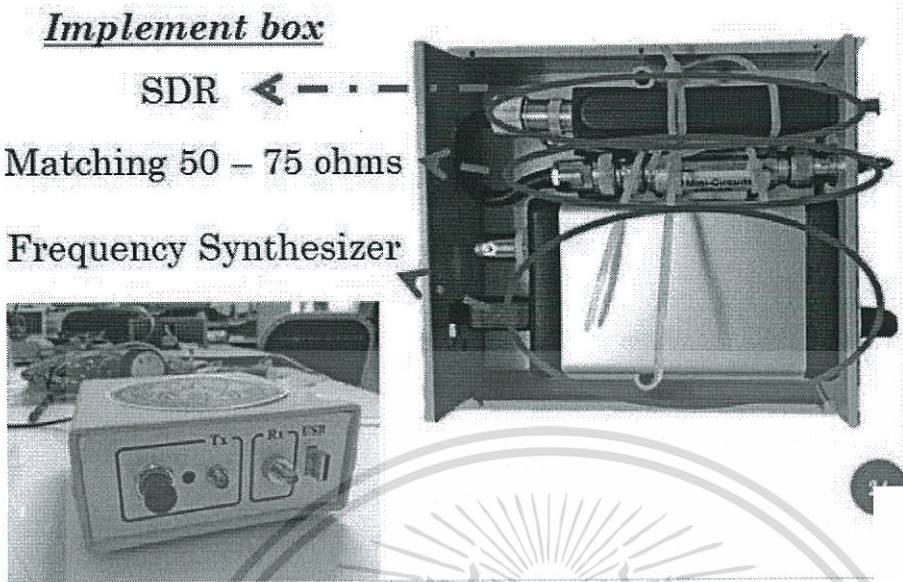
ตำแหน่งที่จะติดตั้งสายอากาศสามารถขยับเคลื่อนเพื่อปรับระยะได้ตามต้องการ โดยแขนของเครื่องมีระยะยึดสุดอยู่ที่ 14 cm โดยระยะนี้มีระยะที่ให้ผลลัพธ์ของสัญญาณดีที่สุด ที่ได้วัดจากห้องแล็บ ส่วนช่องตรงกลาง เป็นพื้นที่ว่าง ที่ออกแบบไว้สำหรับวางสารละลาย (น้ำเชื่อม) ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งของตัวเครื่อง

3.1.2 กล่องอุปกรณ์ที่รวมเครื่องรับ-ส่งสัญญาณวิทยุ

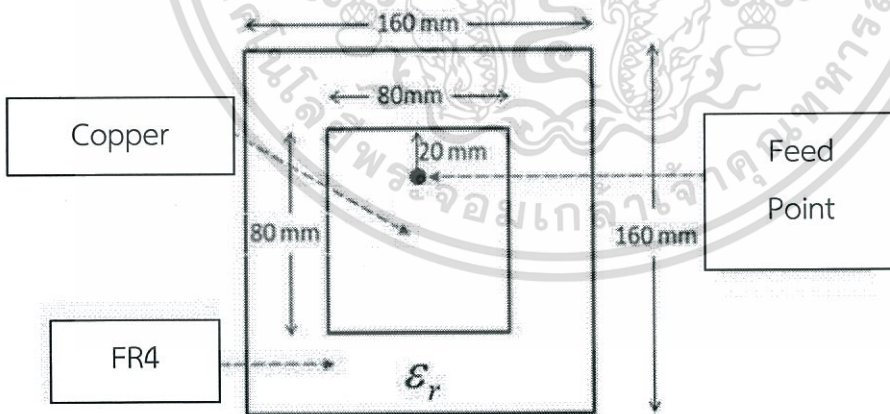
ออกแบบกล่องสำหรับรวมอุปกรณ์เครื่องรับ-ส่งสัญญาณวิทยุเข้าด้วยกัน เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานหรือเคลื่อนย้ายและเพิ่มความสวยงาม ภายในกล่องประกอบด้วย เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ , เครื่องรับสัญญาณวิทยุ, Matching 50-75 โอห์ม ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ จำเป็นต้องใช้งานควบคู่กับซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่า ซินแมชชีน เช่นเดียวกับเครื่องรับสัญญาณวิทยุ จำเป็นต้องใช้งานควบคู่กับซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่า Gnuradio จะขอพูดในหัวข้อซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมา



รูปที่ 3.4 กล่องอุปกรณ์ที่รวมเครื่องรับ-ส่งสัญญาณวิทยุ

3.1.3 สายอากาศ

สายอากาศที่ออกแบบเป็นสายอากาศชนิดไมโครสตริปที่มีการบ่อนแบบโคแอกเซียล โพรบ สาเหตุที่เลือกใช้สายอากาศชนิดนี้ เพราะเป็นสายอากาศชนิดที่ออกแบบได้ง่าย แล้วยังมีราคาที่ถูก ทำให้ไม่สิ้นเปลืองอีกด้วย รูปที่ 3.5 แสดงสายอากาศไมโครสตริปที่ได้ทำการออกแบบไว้



รูปที่ 3.5 ความกว้างยาวของสายอากาศไมโครสตริปที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปที่ออกแบบไว้ ต้องมีค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ที่ความถี่ใช้งาน 915 MHz โหมดการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบ TE_{10} ตัว TE มีความหมายว่า ในแนวการเคลื่อนที่ของคลื่น จะมีสนามไฟฟ้าตั้งฉากเสมอ ส่วนเลข 10 หมายความว่า จะมีลำคลื่น 1 ลูกคลื่น แพร่กระจายในแนวแกน "x" เพียงแกนเดียว ออกแบบค่าความกว้างยาวของแพตช์ ไว้ เท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นของอากาศ (λ_0) ค่าความยาวคลื่นของอากาศหาได้ดังสมการที่ (3.1) จากนั้นเราก็สามารถนำมาคำนวณหาความกว้างยาวของแพตช์ได้ดังสมการที่ (3.2) ส่วนจุดพีคของโพรบ ออกแบบดังสมการที่ (3.3)

$$\lambda_0 = \frac{v}{f \times \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{3 \times 10^8}{915 \times 10^6 \times \sqrt{4.3}} \approx 160 \text{ mm} \quad (3.1)$$

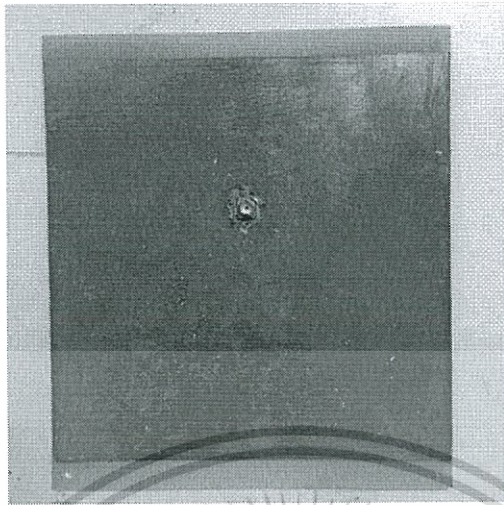
$$L = \frac{\lambda_0}{2} \approx \frac{160}{2} \approx 80 \text{ mm} \quad (3.2)$$

$$L_{\text{probe}} = \frac{L}{4} = 20 \text{ mm} \quad (3.3)$$

หลังจากที่ได้ค่าพารามิเตอร์ความกว้างยาวต่างๆของสายอากาศแล้ว ก็นำค่าไปทดลองจำลองการทำงานบนโปรแกรม Computer Simulation Technology : CST (ผลของการจำลอง จะขอกล่าวในบทต่อไป) เสร็จสิ้นแล้วจึงนำแผ่นทองแดงไปทำสายอากาศของจริง รูปที่ 3.6 แสดงถึง ด้านหน้าของสายอากาศ ตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้ ส่วนรูปที่ 3.7 แสดงถึงด้านหลังของสายอากาศ ซึ่งเป็นระนาบกราวด์ทั้งแผ่น



รูปที่ 3.6 สายอากาศไมโครสตริปที่สร้างขึ้นฝั่งด้านหน้า (แพตช์)



รูปที่ 3.7 สายอากาศไมโครสตริปที่สร้างขึ้นฝั่งด้านหลัง (ระนาบกราวด์)

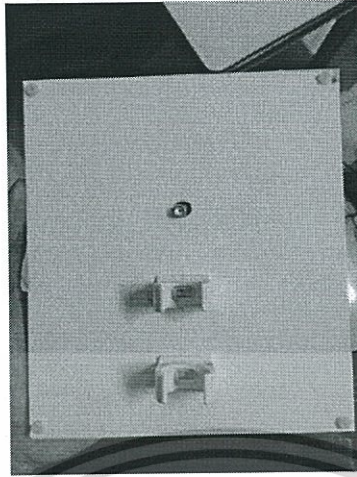
ในขั้นตอนสุดท้าย ก่อนจะนำสายอากาศไปใช้งาน เราต้องนำแผ่นพลาสติกมาประกบสายอากาศไมโครสตริปทั้งฝั่งข้างหน้าและข้างหลัง เพื่อเป็นการป้องกันสายอากาศไว้ในระดับหนึ่ง

รูปที่ 3.8 แสดงฝั่งด้านหน้าของสายอากาศที่ประกบติดด้วยแผ่นพลาสติก รูปที่ 3.9 แสดงฝั่งด้านหลังของสายอากาศที่ประกบติดด้วยแผ่นพลาสติก



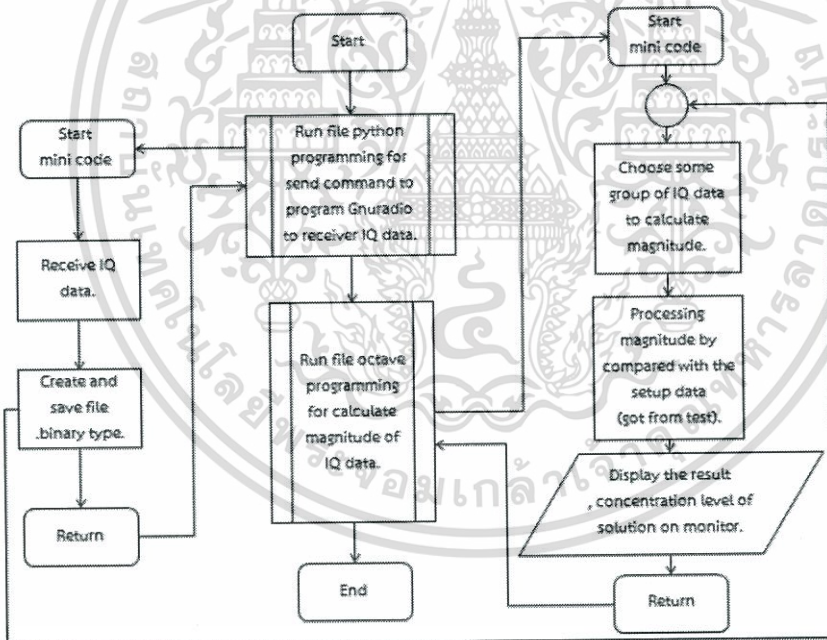
รูปที่ 3.8 ฝั่งด้านหน้าของสายอากาศที่ประกบติดด้วยแผ่นพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ฝั่งด้านหลังของสายอากาศที่ประกอบติดด้วยแผ่นพลาสติก

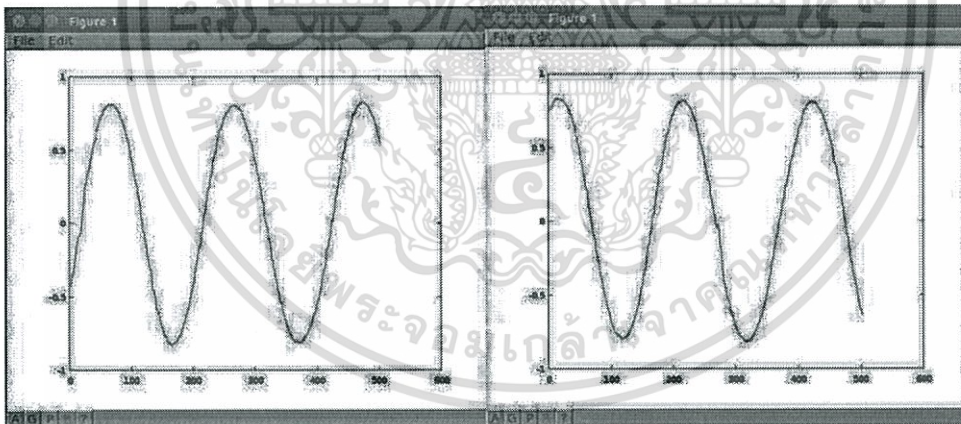
3.1.4 ซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมา



รูปที่ 3.10 แผนภาพการทำงานของเซลล์สคริปต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.10 ไฟล์ เซลล์สคริปต์ เป็นไฟล์ที่รวบรวมโค้ดต่างๆ มาไว้รวมกัน ในแผนภาพ จะเห็นมีการเริ่มต้นของโค้ดย่อยๆ ถึงสองไฟล์ ในขั้นตอนเริ่มต้น โค้ดหลัก เซลล์สคริปต์ (ตรงกลางของแผนภาพ) จะเรียกไฟล์ไพทอนให้ทำงาน (ด้านซ้ายของแผนภาพ) ในช่วงนี้ก็รอให้ไฟล์ไพทอนรับค่า IQ data เข้ามาเก็บและบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์สกุล ไบนารี เมื่อเสร็จสิ้น ก็จะวิ่งกลับไปทำงานในโค้ดหลักเหมือนเดิม จากนั้นจะรันโค้ดอีกชุด เริ่มแรกอีกชุด จะเปิดไฟล์ชนิด ไบนารี จำนวนเลขที่เป็นคี่ของข้อมูลคือค่าของ I และจำนวนเลขที่เป็นคู่ของข้อมูลคือค่าของ Q จากนั้นเลือกช่วงข้อมูล I กับ Q เพียงช่วงเวลาคาบเดียวมาคำนวณ ทำการเฉลี่ยค่า โดยในการคำนวณ เราจะเลือกใช้เพียงค่า I เท่านั้น (ให้ค่า I แทนขนาดของสัญญาณ) เนื่องจากการหาขนาดด้วยสูตร $Magnitude = \sqrt{I^2 + Q^2}$ มีผลหรือแนวโน้มที่ไม่ต่างกัน โดยในการคำนวณ เราจะวัดอากาศเปล่า ก่อน เก็บเป็นข้อมูลที่ชื่อว่า “Mag_Fs” จากนั้นจะวัดผ่านวัสดุที่ต้องการทดลองให้ชื่อว่า “Mag_Obj” ซึ่งเป็นวิธีการครีเบทกับอากาศซึ่งผลลัพธ์ที่เราเอาไปพิจารณาคือ “ค่านอร์มอลไลซ์ (Normalize)” หาได้จาก $Normalize = \frac{Mag_Obj}{Mag_Fs}$ เมื่อได้ค่านอร์มอลไลซ์แล้ว ก็นำมาเปรียบเทียบกับค่านอร์มอลไลซ์เงื่อนไข (ที่ได้จากการทดลอง) เพื่อบอกระดับความหวานของสารละลายน้ำเชื่อมั่น

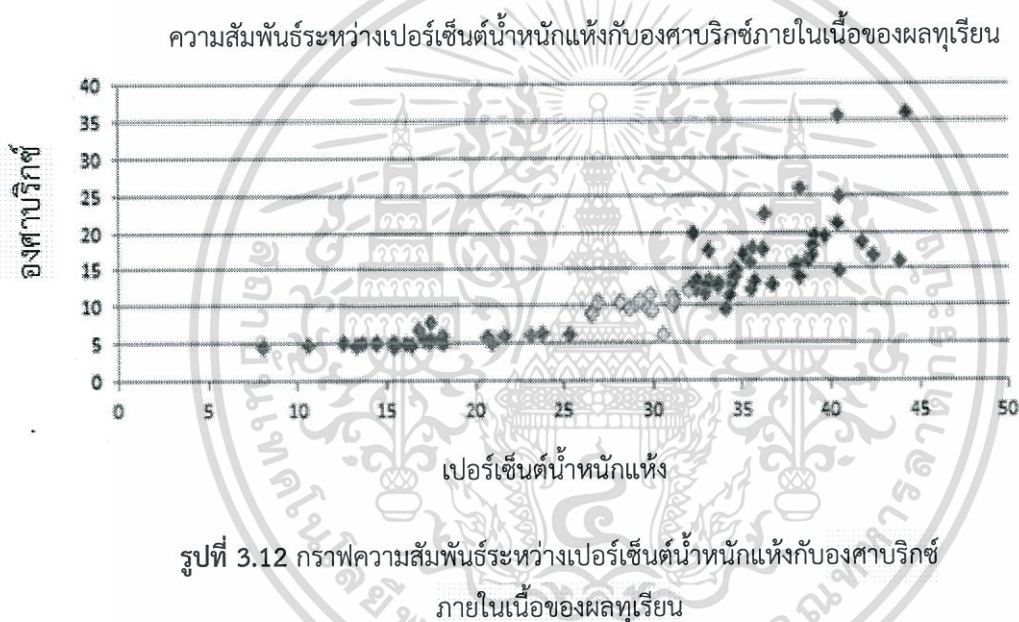


รูปที่ 3.11 แสดงผลลัพธ์ส่วนหนึ่งของข้อมูล IQ Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.11 แสดงผลลัพธ์ส่วนหนึ่งของข้อมูล IQ Data ที่ได้ทำการเลือกช่วงมาบันทึกผลจากเครื่องรับ RTL-SDR จากกราฟฝั่งซ้าย จะเป็นข้อมูลของ I และกราฟฝั่งขวาเป็นข้อมูลของ Q จากกราฟจะเห็นว่า I มีเฟสนำ Q อยู่ 90 องศา

พืชซีลोजิก เป็นตรรกศาสตร์คลุมเครือ ซึ่งเรานำมาช่วยในเรื่องการตัดสินใจให้ได้ความถูกต้องแม่นยำที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่สามารถแบ่งแยกระดับความอ่อน-แก่จากค่าออร์มอลโธซ์และน้ำหนักได้ จากข้อมูลที่เราได้ทำการทดลองและรวบรวม มีทั้งข้อมูลค่าออร์มอลโธซ์ เทียบกับค่าน้ำหนักของทุเรียน, ค่าความหวานเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเนื้อและเปลือกของผลทุเรียนในระดับความอ่อน-แก่ต่างๆ ข้อมูลที่ถูกอ้างอิงอยู่ในผลการทดลองวัดผลทุเรียนบทที่ 4, รูปที่ 3.12 และตารางที่ 3.1 ตามลำดับ



จากรูปที่ 3.12 อ้างอิงจากงานของ ดร.พรณิภา ย้วยล อาจารย์ประจำภาควิชาพืชสวน คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร โดยตามหลักกฎหมาย ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของทุเรียนหมอนทอง ถ้าต่ำกว่า 32% จะถือว่าด้อยคุณภาพ เป็นทุเรียนอ่อน สีเหลืองซีด ไม่สุกและไม่สามารถรับประทานได้ หรือถ้าสุกอาจสูงจากการป่ายน้ำยาเร่งสุกซึ่งเนื้อจะมีรสเปรี้ยว จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งกับองศาบริกซ์ภายในเนื้อของผลทุเรียน ให้จุดสีแดงเป็นผลทุเรียนแก่จุดสีเหลืองเป็นผลทุเรียนกึ่งแก่กึ่ง

อ่อนและจุดสีเขียวเป็นผลทุเรียนผลอ่อน จากกราฟถ่วงศาบริกซ์ภายในเนื้อของผลทุเรียนมากกว่า 10 องศาบริกซ์ จะอยู่ในกลุ่มของผลทุเรียนแก่ จากความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงนำไปสู่การนำไปประยุกต์ใช้งานกับเครื่องวัดความอ่อนแก่ของผลทุเรียน

ตารางที่ 3.1 ตารางค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (ϵ') ของเนื้อและเปลือกของผลทุเรียนในระดับความอ่อน-แก่ที่ต่างกัน

Frequency	Immature		Early Stage		Fully Developed		Overripe	
	Pulp	peel	pulp	peel	pulp	peel	pulp	peel
909.25 MHz	57.7237	40.7907	53.1723	34.6209	52.765	-	50.0734	-

จากตารางที่ 3.1 อ้างอิงจากงานของ ศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์ ค่าความถี่จะไม่ใช้ 915 MHz เหมือนที่ใช้ในโปรเจค แต่จะมีค่าที่ใกล้เคียงคือ 909.25 MHz ข้อมูลแสดงเป็นผลการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกในเนื้อและเปลือกของทุเรียนในระดับความอ่อน-แก่ที่แตกต่างกัน จะเห็นว่า เมื่อทุเรียนมีความแก่เพิ่มขึ้นนั้น จะทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเนื้อและเปลือกทุเรียนมีค่าลดลง

จากข้อมูลทั้งหมด ได้ข้อสรุปว่า

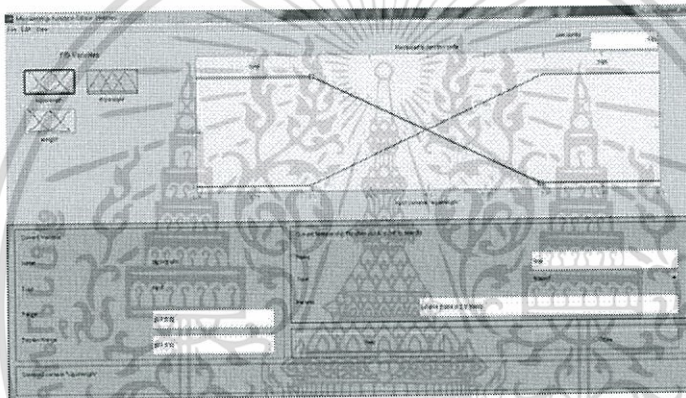
1. เมื่อค่าองศาบริกซ์เพิ่มขึ้น ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่านอร์มอลไลซ์ที่รับได้จะลดลง (สรุปจากรูปที่ 3.12)

2. ทุเรียนลูกเล็กจะมีค่านอร์มอลไลซ์ที่รับได้มากกว่าทุเรียนลูกใหญ่ (สรุปจากผลการวัดทุเรียนในบทที่ 4)

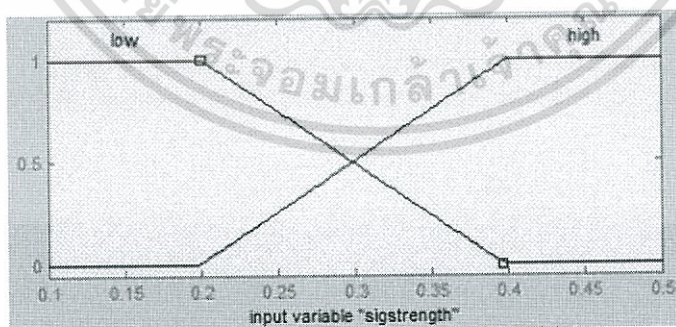
3. ทุเรียนอ่อนจะมีค่านอร์มอลไลซ์ที่รับได้มากกว่าทุเรียนแก่ (สรุปจากตารางที่ 3.1)

โดยเราจะนำข้อสรุปเหล่านี้ มาเป็นกฎฟัซซี่ ในการพิจารณาและตัดสินใจให้ทุเรียนลูกไหนเป็นลูกอ่อนหรือแก่ จากข้อมูลทั้งหมดที่มี นั่นคือ ขนาดลูกทุเรียน (ค่าน้ำหนัก) และ ค่านอร์มอลไลซ์ที่เครื่องรับได้ ในเบื้องต้น เราใช้คำสั่ง fuzzy ในโปรแกรม MATLAB ก็จะขึ้นหน้าต่างโปรแกรม fuzzy มาให้เรา ดังแสดงรูปที่ 3.13 จากนั้นเราก็ทำการสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทางด้านอินพุตและเอาท์พุต ฟัซซี่ที่ถูกสร้างขึ้น มีสองอินพุต คือค่านอร์มอลไลซ์ที่รับได้กับค่าน้ำหนักของผลทุเรียน รูป

ที่ 3.14 จะแสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) ของค่านอร์มอลไลซ์ที่รับได้ รูปที่ 3.15 แสดงถึง ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าน้ำหนักของผลทุเรียน รูปที่ 3.16 แสดงถึง ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทางด้านเอาต์พุตซึ่งแสดงถึงระดับความอ่อน-แก่ของทุเรียน ซึ่งการตัดสินใจ สร้างสมการของ low, high หรือ low, medium, high หรือ immature, mix, mature ของแต่ละฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ตัดสินใจจากข้อมูลการทดลองวัดผลทุเรียนในบทที่ 4 โดยผลทุเรียนนั้นมีรูปลักษณ์ที่ไม่สมส่วน มีหนามรอบตัว ทำให้ลำบากต่อการวัด เนื่องจากอาจจะเกิดการหักเหหรือสะท้อนของตัวคลื่นได้ ในการวัดควรจะหมุนลูกเพื่อเฉลี่ยค่านอร์มอลไลซ์ที่รับได้ ส่วนกฎการใช้งานมีอยู่ทั้งหมด 6 ข้อ ต้องตั้งค่าเข้าไปในโปรแกรม fuzzy จากนั้นก็จะสามารถทดลองป้อนค่าอินพุตสองอินพุตเข้าไป โปรแกรมก็จะตัดสินใจออกมาให้ว่าทุเรียนอยู่ระดับความอ่อน, กำกึ่ง หรือแก่

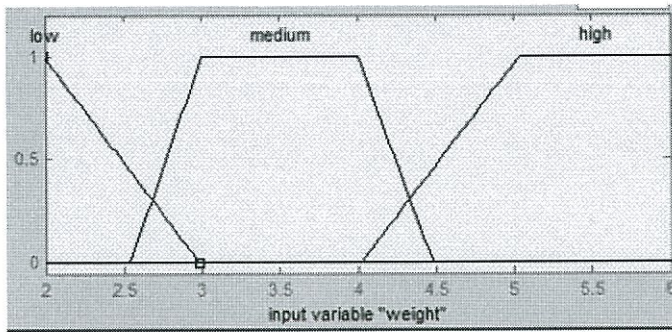


รูปที่ 3.13 หน้าโปรแกรม fuzzy จาก MATLAB

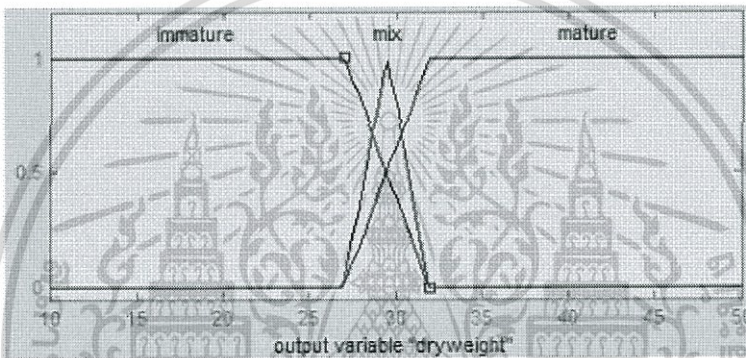


รูปที่ 3.14 กราฟ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ด้านอินพุตของค่านอร์มอลไลซ์ที่รับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 กราฟ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ด้านอินพุตของค่าน้ำหนักของผลทุเรียน



รูปที่ 3.16 กราฟ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ด้านเอาต์พุตของของค่าระดับความอ่อน-แก่

กฎการใช้งาน

1. ถ้าค่านอร์มอลไลซ์ที่รับได้มีค่า Low และ น้ำหนักมีค่า Low ให้ระดับความอ่อน-แก่ เป็น Mix
2. ถ้าค่านอร์มอลไลซ์ที่รับได้มีค่า Low และ น้ำหนักมีค่า Medium ให้ระดับความอ่อน-แก่ เป็น Mature
3. ถ้าค่านอร์มอลไลซ์ที่รับได้มีค่า Low และ น้ำหนักมีค่า High ให้ระดับความอ่อน-แก่ เป็น Mature
4. ถ้าค่านอร์มอลไลซ์ที่รับได้มีค่า High และ น้ำหนักมีค่า Low ให้ระดับความอ่อน-แก่ เป็น Immature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ถ้าค่านอร์มอลไลซ์ที่รับได้มีค่า High และ น้ำหนักมีค่า Medium ให้ระดับความอ่อน-แก่เป็น Immature
6. ถ้าค่านอร์มอลไลซ์ที่รับได้มีค่า High และ น้ำหนักมีค่า High ให้ระดับความอ่อน-แก่เป็น Immature

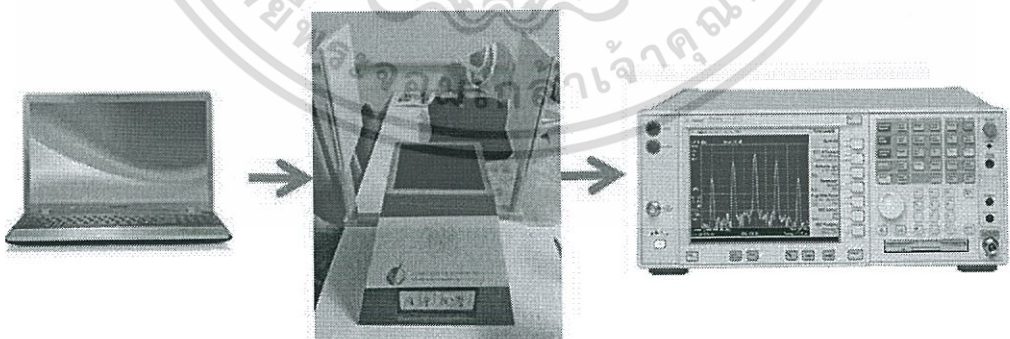
3.2 การออกแบบการทดลอง

3.2.1 การทดลองสายอากาศ

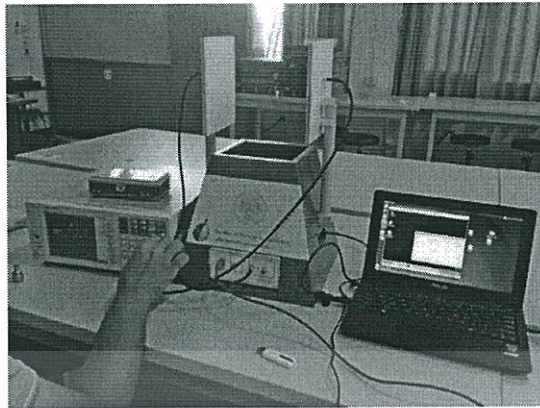
การทดลองสายอากาศ จะมีสองส่วน ส่วนแรกจะทดสอบด้วยโปรแกรม CST (Computer Simulation Technology) วัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) และลักษณะบีมวิดท์ที่แพร่กระจายคลื่น โดยเราต้องใส่ค่าพารามิเตอร์ความกว้างยาวของสายอากาศตามที่ได้ออกแบบในบทที่ 2 ส่วนที่สองจะทดลองด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย รูปภาพเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายจะขอแสดงในเรื่องเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งนำมาเชื่อมต่อกับสายอากาศของเรา และวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) ออกมา

3.2.2 การทดลองเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ TPI Synthesizer

ในการทดสอบนี้ เราจะทำการทดสอบเครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ ว่าสามารถกำเนิดสัญญาณความถี่ 915 MHz จริงหรือไม่ ทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม ดังแสดงในรูปที่ 3.17 และ 3.18 เริ่มจากการใช้แล็ปท็อปสั่งงานให้เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ (อยู่ในกล่องรูปกลาง) ป้อนความถี่ไปที่สายอากาศฝั่งส่ง ส่งสัญญาณความถี่ไปที่สายอากาศฝั่งรับ จากนั้นจึงวัดค่าความถี่จากสายอากาศฝั่งรับด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม



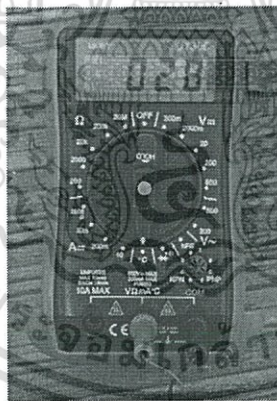
รูปที่ 3.17 ภาพรวมอุปกรณ์และการเชื่อมต่อเพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ



รูปที่ 3.18 การวัดค่าความถี่จากเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

3.2.3 ออกแบบการทดลองอุณหภูมิกับค่านอร์มอลไลซ์

เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่เราไม่สามารถควบคุมได้ เราจึงทดสอบผลการทำงานของเครื่องไมโครเวฟเซ็นเซอร์ โดยทดลอง ใช้ไดร์เป่าผมให้ความร้อนแก่เครื่องระบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์ ซึ่งทำให้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 30-45 องศาเซลเซียส ตรวจสอบอุณหภูมิจากเครื่องเทอร์โมมิเตอร์ โดยใช้ขดใส่แปงและน้ำเชื่อมในการทดลอง ดังแสดงในตัวอย่างรูปที่ 3.20

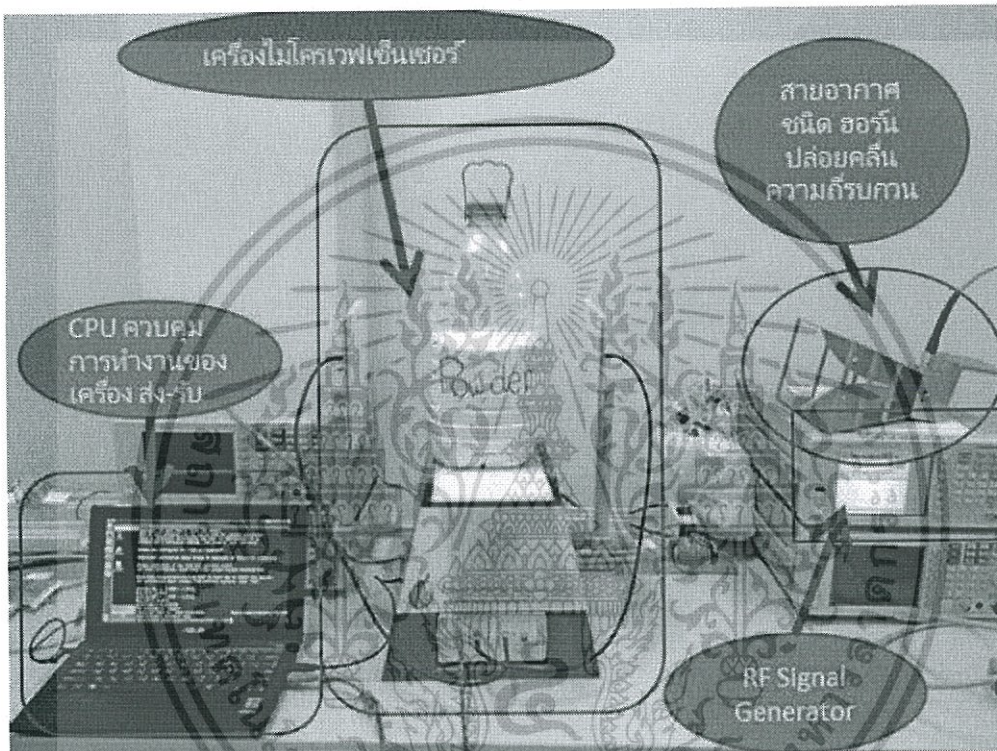


รูปที่ 3.19 เครื่องเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้อ้างอิงอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ออกแบบการทดลองใช้งานในบริเวณที่มีความถี่อื่นๆรอบวง

เนื่องจากในสถานที่ใช้งานปรกติ จะมีคลื่นสัญญาณต่างๆรอบวงอยู่ เราจึงทำการทดลองใช้งานเครื่องวัดไมโครเวฟเซ็นเซอร์ พร้อมทั้งปล่อยคลื่นรบกวนจากสายอากาศอีกตัวหนึ่งเป็นแบบชนิดฮอร์น ซึ่งมีช่วงความถี่ที่กว้าง โดยใช้งานควบคู่กับเครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ โดยในการทดลองจะปล่อยสัญญาณที่ละความถี่ โดยใช้ความถี่ 890, 910, 915, 920, 940 MHz

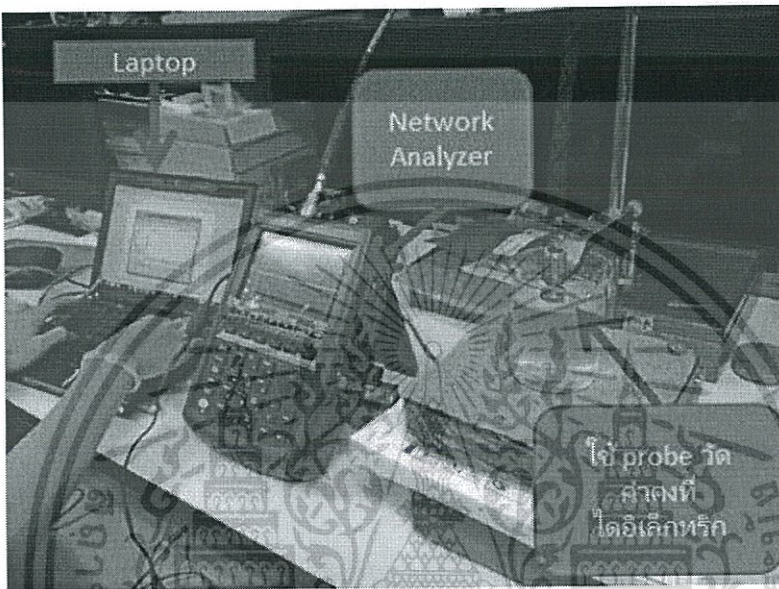


รูปที่ 3.20 ภาพรวมการทดลองใช้งานเครื่องในบริเวณที่มีความถี่อื่นรบกวน

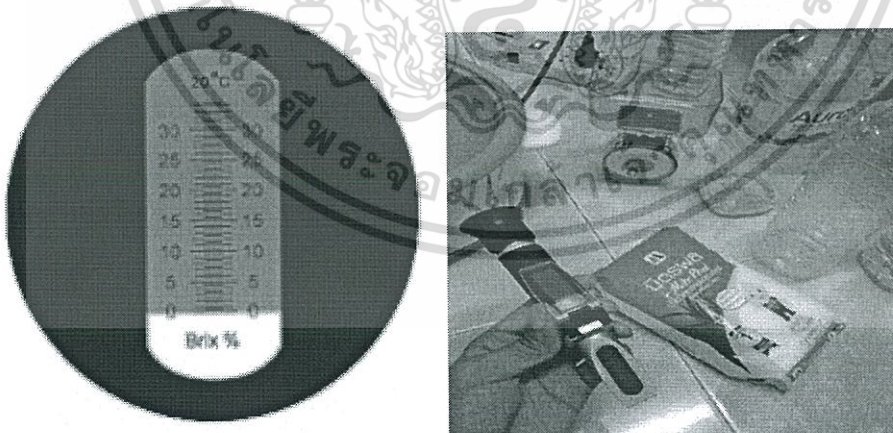
3.2.5 การวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

การวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารละลาย (น้ำเชื่อม) โดยสารละลาย (น้ำเชื่อม) วัดความเข้มข้นจากบรีกซ์รีแฟรคโตมิเตอร์ จะทำการวัดความเข้มข้นโดยแบ่งความเข้มข้นตั้งแต่ 0 - 30 องศาบรีกซ์ เพิ่มขึ้นครั้งละ 5 องศา คือ 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 องศาบรีกซ์ จากนั้นนำสารละลาย (น้ำเชื่อม) ที่มีความเข้มข้นทั้ง 7 ระดับมาวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริก โดยค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

จะทดสอบโดยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ในการทดสอบ เลือกใช้งานความถี่ 915 MHz รูปที่ 3.21 แสดงรูปการทดลองวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสารละลาย (น้ำเชื่อม) ส่วนรูปที่ 3.22 แสดงเครื่องบริกซ์รีเฟรคโตมิเตอร์ และภาพจำลองการส่องกล้องของบริกซ์รีเฟรคโตมิเตอร์ ที่วัดออกมาเป็นค่าองศาบริกซ์



รูปที่ 3.21 การใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเพื่อหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสารละลาย (น้ำเชื่อม)



รูปที่ 3.22 การใช้เครื่องบริกซ์รีเฟรคโตมิเตอร์เพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 การออกแบบการทดสอบสารละลาย (น้ำเชื่อม) ที่มีความเข้มข้น 0-30 องศาบริกซ์ เพื่อหาค่านอร์มอลไลซ์ จากแล็บท็อป

ส่วนนี้จะเป็นการวัดความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม) โดยเตรียมสารละลาย (น้ำเชื่อม) ที่มีความเข้มข้น 0 - 30 องศาบริกซ์ ทดสอบจากเครื่องบริกซ์รีเฟรคโตมิเตอร์ ใส่ในบีกเกอร์ปริมาตร 1000mL จากนั้นทำการวัดเพื่อหาค่านอร์มอลไลซ์ของสารละลาย (น้ำเชื่อม) แต่ความเข้มข้น ดังแสดงในตารางที่ 3.23 เป็นรูปแสดงเครื่องวัดไมโครเวฟเซ็นเซอร์ที่ทำงานร่วมกับแล็บท็อป



รูปที่ 3.23 ภาพรวมเครื่องวัดไมโครเวฟเซ็นเซอร์ที่ทำงานร่วมกับแล็บท็อป

ตารางที่ 3.2 การทดสอบสารละลาย (น้ำเชื่อม) ความเข้มข้น 0-30 องศาบริกซ์ เพื่อหาค่านอร์มอลไลซ์ และ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจากแล็บท็อป

ระดับที่	ความเข้มข้นของสารละลาย น้ำเชื่อม (องศาบริกซ์)	ค่าคงที่ ไดอิเล็กทริก	ค่านอร์มอลไลซ์
1	0	78.20	0.72
2	5	76.40	0.68
3	10	75.95	0.62
4	15	73.25	0.58
5	20	72.90	0.55
6	25	69.20	0.52
7	30	68.90	0.45

จากตารางที่ 3.2 ทำการสร้างเงื่อนไขในการทำงานของเครื่องที่เราสร้างขึ้น โดยการแบ่งระดับความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม) และเพิ่มช่วงของค่านอร์มอลไลซ์ให้เต็มทุกระดับความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม) ดังตารางที่ 3.3

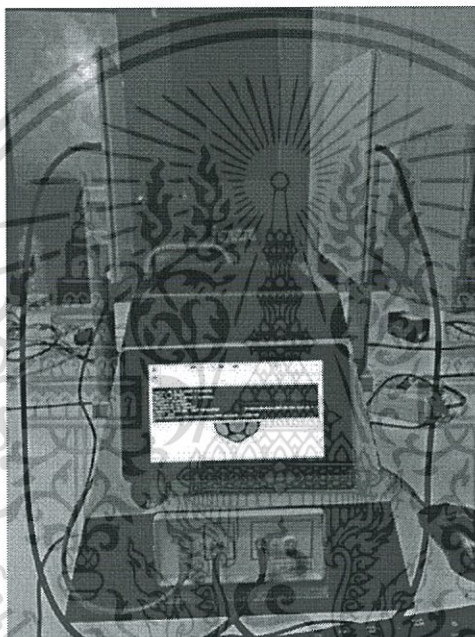
ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขการทำงานของเครื่องที่เราสร้างขึ้นจากแล็บท็อป

ระดับที่	ช่วงความเข้มข้นของสารละลาย น้ำเชื่อม (องศาบริกซ์)	ช่วงของค่านอร์มอลไลซ์
1	(0 - 5]	[0.68 - 0.72)
2	(5 - 10]	[0.63 - 0.68)
3	(10 - 15]	[0.59 - 0.63)
4	(15 - 20]	[0.56 - 0.59)
5	(20 - 25]	[0.53 - 0.56)
6	(25 - 30]	[0.45 - 0.53)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7 การออกแบบการทดสอบสารละลาย (น้ำเชื่อม) ที่มีความเข้มข้น 0-30 องศาบริกซ์ เพื่อหาค่านอร์มอลไลซ์ จากบอร์ตราสเบอร์รี่พาย

ส่วนนี้จะเป็นการวัดความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม) โดยเตรียมสารละลาย (น้ำเชื่อม) ที่มีความเข้มข้น 0 - 30 องศาบริกซ์ ทดสอบจากเครื่องบริกซ์รีเฟรคโตมิเตอร์ ใส่ในบีกเกอร์ปริมาตร 1000mL จากนั้นทำการวัดเพื่อหาค่านอร์มอลไลซ์ของสารละลาย (น้ำเชื่อม) แต่ละความเข้มข้น รูปที่ 3.24 เป็นรูปแสดงเครื่องประกอบสำหรับบราสเบอร์รี่พาย โดยมีจอร์บบ สัมผัสเป็นตัวแสดงผล



รูปที่ 3.24 ภาพรวมเครื่องวัดไมโครเวฟเซ็นเซอร์ที่ทำงานร่วมกับบราสเบอร์รี่พาย

ตารางที่ 3.4 การทดสอบสารละลาย (น้ำเชื่อม) ความเข้มข้น 0-30 องศาบริกซ์ เพื่อหาค่านอร์มอลไลซ์ และ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจากบอร์ตราสเบอร์รี่พาย

ระดับที่	ความเข้มข้นของสารละลาย น้ำเชื่อม (องศาบริกซ์)	ค่าคงที่ ไดอิเล็กทริก	ค่านอร์มอลไลซ์
1	0	78.20	0.72
2	5	76.40	0.67
3	10	75.95	0.61
4	15	73.25	0.58
5	20	72.90	0.55
6	25	69.20	0.52
7	30	68.90	0.46

จากตารางที่ 3.4 ทำการสร้างเงื่อนไขในการทำงานของเครื่องที่เราสร้างขึ้น โดยการแบ่งระดับความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม) และเพิ่มช่วงของค่านอร์มอลไลซ์ให้เต็มทุกระดับความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม) ดังตารางที่ 3.5

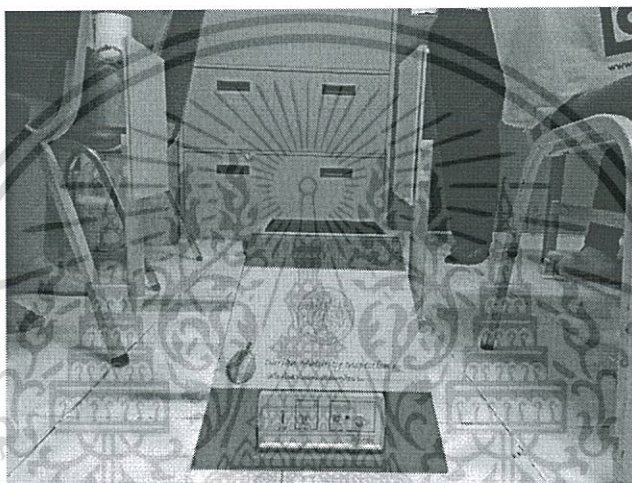
ตารางที่ 3.5 เงื่อนไขการทำงานของเครื่องที่เราสร้างขึ้นจากบอร์ตราสเบอร์รี่พาย

ระดับที่	ช่วงความเข้มข้นของสารละลาย น้ำเชื่อม (องศาบริกซ์)	ช่วงของค่านอร์มอลไลซ์
1	(0 - 5]	[0.68 - 0.73)
2	(5 - 10]	[0.62 - 0.68)
3	(10 - 15]	[0.59 - 0.62)
4	(15 - 20]	[0.56 - 0.59)
5	(20 - 25]	[0.53 - 0.56)
6	(25 - 30]	[0.46 - 0.53)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 การออกแบบวัดความอ่อนแก่ของผลทุเรียน

ในการทดลอง เราเดินทางไปที่จังหวัดชุมพร ซึ่งทำการเก็บข้อมูลและทดลองวัดทุเรียนหมอนทองจำนวน 53 ลูก คละลูกอ่อนกับลูกแก่ สำหรับตัวเครื่อง กำหนดให้แขนฝั่งส่งยึดสุด และแขนฝั่งรับหดติดเครื่อง ดังแสดงดังรูปที่ 3.25 วางลูกทุเรียนตรงกลางแท่น ลูกทุเรียนจะเป็นลูกขนาดส่งออก จะอยู่ในช่วง 3-6 กิโลกรัม และต้องเป็นทุเรียนพันธุ์หมอนทองเท่านั้น โดยเราจะบันทึกค่าน้ำหนักและค่าออร์มอลไลซ์ของทุเรียนแต่ละลูก ตารางที่ 3.6 แสดงข้อมูลน้ำหนักและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของผลทุเรียนทั้งหมด 53 ลูก



รูปที่ 3.25 การตั้งเครื่องเพื่อใช้วัดผลทุเรียน



รูปที่ 3.26 การวางผลทุเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลน้ำหนักและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของผลทุเรียนทั้งหมด 53 ลูก

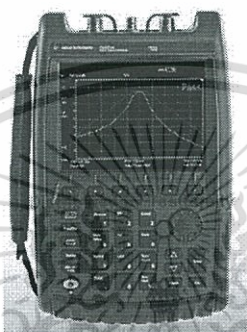
ผลทุเรียนอ่อน		ผลทุเรียนกำลัง		ผลทุเรียนแก่	
ค่าน้ำหนักแห้ง	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ค่าน้ำหนักแห้ง	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ค่าน้ำหนักแห้ง	น้ำหนัก (กิโลกรัม)
22.3669	2.82	29.639	3.04	44.3624	2.44
16.6342	2.91	28.4239	3.41	43.5758	2.46
22.2262	3.39	29.9416	3.58	41.5605	2.62
25.9875	3.55	29.7375	3.65	45.6483	2.77
21.5899	3.64	30.1593	3.71	45.11	2.83
26.3837	3.9	30.1765	4.27	39.4853	2.91
24.4057	4.04	32.5672	4.92	48.3716	3.03
22.4586	4.22			48.9347	3.06
21.5685	4.74			44.4593	3.23
27.8748	4.9			45.2377	3.35
24.3665	5.24			50.0937	3.36
26.1817	5.31			43.5767	3.42
25.4755	5.57			49.5356	3.43
				42.5564	3.51
				44.0054	3.56
				44.2453	3.56
				45.5848	3.6
				35.5927	3.61
				46.4312	3.66
				48.1013	3.71
				43.2537	3.8
				48.535	3.81
				47.1576	3.92
				40.8828	3.96
				48.3645	4.08
				52.395	4.16
				46.4393	4.23
				46.23	4.49
				45.4724	4.63
				49.9502	4.84
				36.7685	4.85
				50.3792	5.37
				33.577	5.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer)

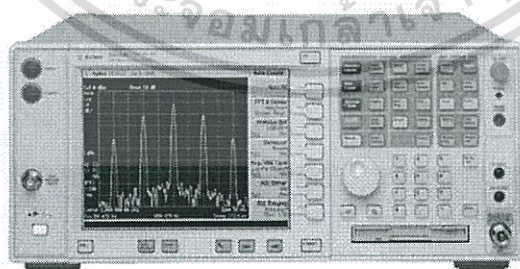
เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าพารามิเตอร์ของเน็ตเวิร์ค หรือ เครือข่ายทางไฟฟ้า เป็นเครื่องมือที่มีราคาแพง ในการทดลอง เราใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย มาวัดค่า S_{11} ของสายอากาศที่ได้ออกแบบ และวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำเชื่อมที่ระดับความหวาน ต่างๆกัน รูปที่ 3.27 แสดงเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย



รูปที่ 3.27 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย

3.3.2 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer)

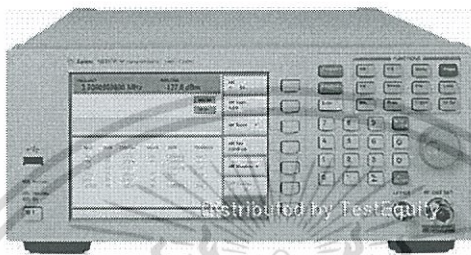
เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์สัญญาณ ดูค่ากราฟสเปกตรัม ความถี่ต่างๆ เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง เราใช้เพื่อทดสอบวัดสเปกตรัมการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ ว่ามีความถี่อยู่ที่ 915 MHz จริงตามที่สเปคเครื่องบอกไว้หรือไม่ รูปที่ 3.28 แสดงเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม



รูปที่ 3.28 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

3.3.3 เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ (RF Signal Generator)

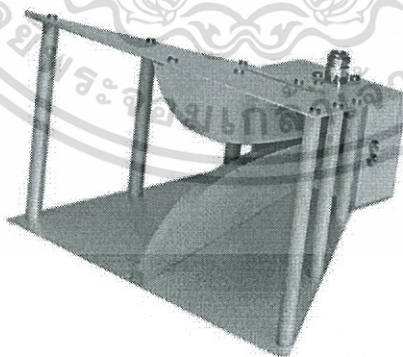
เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ n9310a เป็นเครื่องมือที่ใช้กำเนิดสัญญาณช่วงความถี่ต่างๆ ออกมา สามารถเลือกระดับความแรงของกำลังงานได้ เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง ต้องใช้ควบคู่กับสายอากาศในการแพร่กระจายคลื่น เรานำมาใช้สร้างสัญญาณรบกวนที่ความถี่ใกล้เคียงกับ 915 MHz เพื่อทดสอบว่าค่าความถี่ต่างๆ มีผลกระทบต่อสัญญาณที่เครื่องไมโครเวฟเซ็นเซอร์ใช้งานหรือไม่ รูปที่ 3.29 แสดงเครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ



รูปที่ 3.29 เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ

3.3.4 สายอากาศฮอร์น (Horn antenna)

สายอากาศฮอร์น เป็นสายอากาศชนิดความถี่ช่วงกว้าง นำมาใช้คู่กับเครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ เพื่อแพร่กระจายคลื่นในช่วงความถี่ต่างๆ ที่มีค่าใกล้กับความถี่ 915 MHz เพื่อทดสอบสัญญาณรบกวนในการทำงานของเครื่องไมโครเวฟเซ็นเซอร์ รูปที่ 3.30 แสดง สายอากาศชนิดฮอร์น



รูปที่ 3.30 สายอากาศฮอร์น

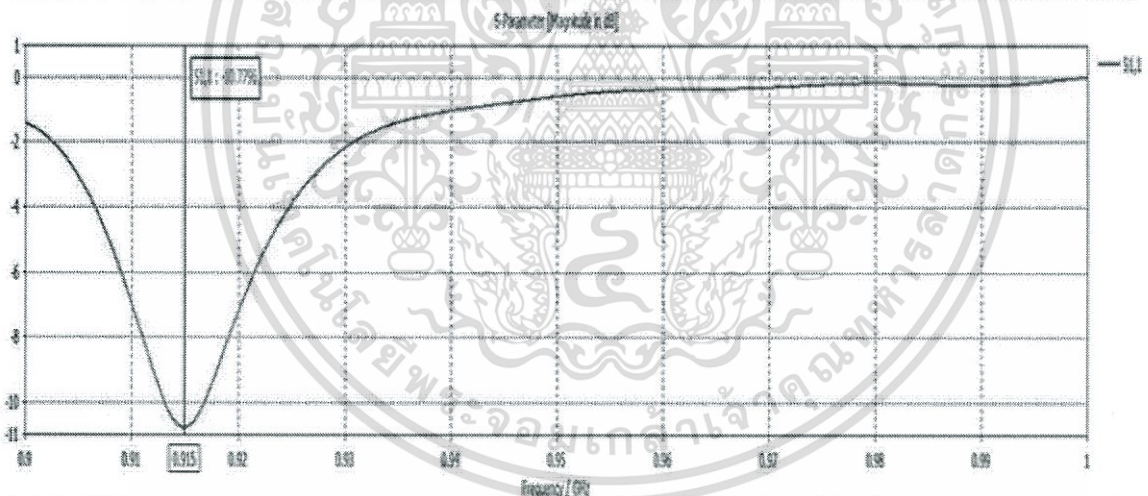
บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากโครงสร้างของเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม) ที่ได้นำเสนอ หลังจากการออกแบบทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ บทนี้จะอธิบายผลการทดลอง การเก็บผลการทดลอง การหาความสัมพันธ์ของผลการทดลองต่างๆ

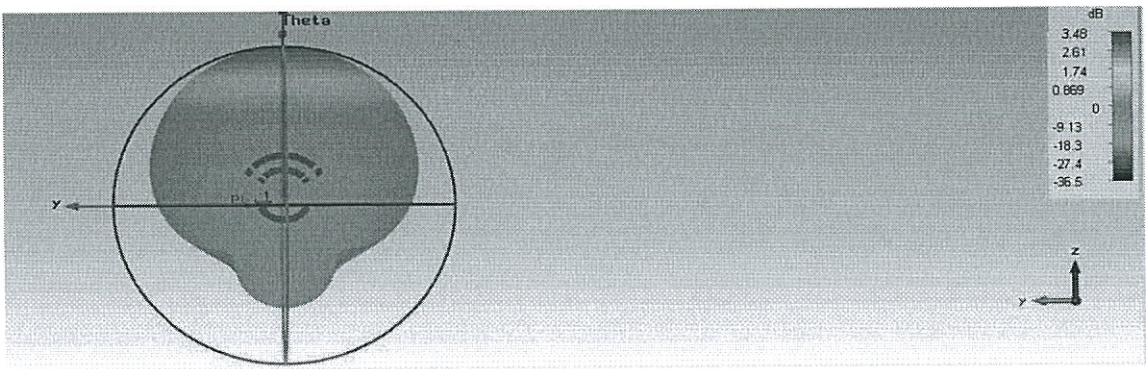
4.1 ผลการทดลองสายอากาศ

ผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) และลักษณะปมวิวัฒนาการที่แพร่กระจายคลื่น ของสายอากาศไมโครสตริบโดยใช้โปรแกรม CST (Computer Simulation Technology)



รูปที่ 4.1 กราฟของ S_{11} ที่ความถี่ 915 MHz จาก CST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

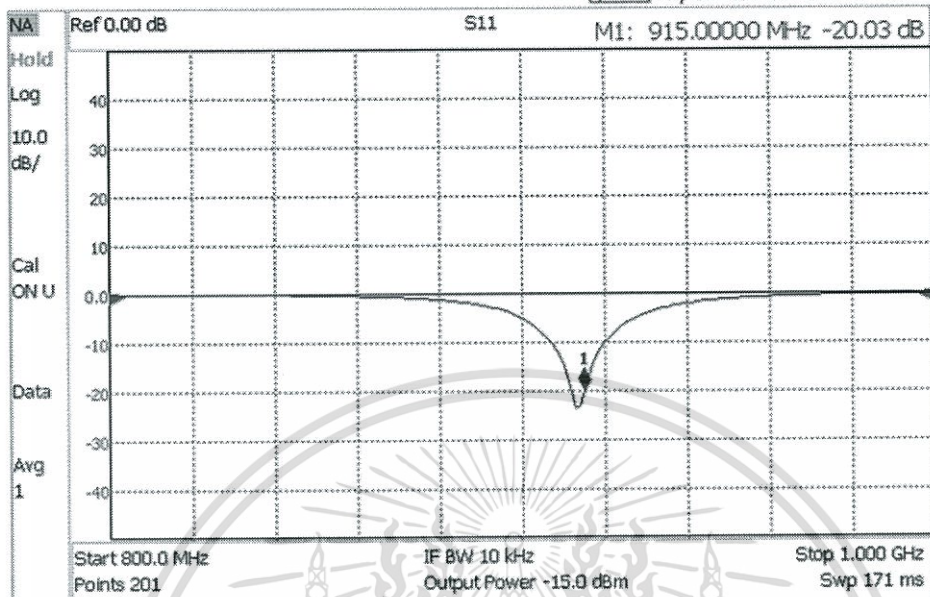


รูปที่ 4.2 3D Radiation Pattern ที่ความถี่ 915 MHz จาก CST

จากรูปที่ 4.1 ความถี่ที่เราใช้งานอยู่ที่ความถี่ 915 MHz วัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนได้เท่ากับ $(S_{11}) = -10.7796$ dB ซึ่งเป็นค่าการสะท้อนสัญญาณที่ต่ำ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าต่ำ สายอากาศจะมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีในช่วงความถี่นั้นๆ ส่วนรูปที่ 4.2 แสดงถึงทิศทางของบีมวิดท์ที่สายอากาศแพร่กระจายคลื่นออกมา บีมวิดท์จะมีลักษณะพุ่งออกไปทางแกน “x” (ระนาบสีแดง) เพียงทิศทางเดียว นั่นก็คือทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบแพทช์ของสายอากาศไมโครสตริปที่ได้ออกแบบไว้

หลังจากได้สายอากาศที่สมบูรณ์พร้อมใช้งานแล้ว เราก็ทำการทดลองนำสายอากาศที่ประกอบพลาสติกมาทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) กับเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.3 จากรูปจะเห็นว่าที่ความถี่ 915 MHz มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) อยู่ที่ค่า -20 dB ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าค่าที่วัดได้จากการจำลองในโปรแกรม CST อยู่ถึงสองเท่า เป็นผลดีเพราะหมายความว่าสัญญาณที่สะท้อนกลับมามีค่าน้อยมาก การใช้งานสายอากาศจะมีประสิทธิภาพดีกว่าที่เราได้จำลองขึ้นมา ในเหตุผลในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) ที่ไม่ตรงกับการจำลองจากโปรแกรม CST อาจเนื่องจากค่าคงที่ ที่แทนไม่ตรงกันกับค่าจริง เกิดจากการประมาณค่าทั้งค่าความเร็วของแสง และค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของแผ่น FR4

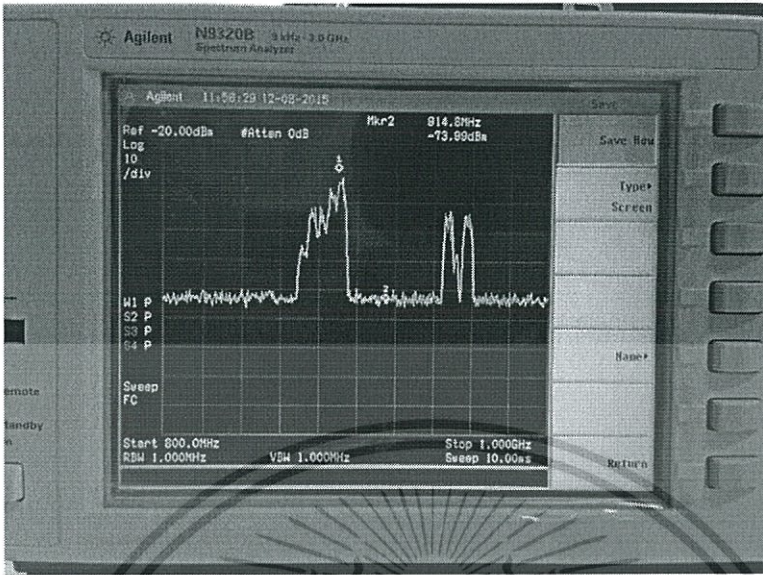
Agilent Technologies: N9916A, SN: MY53101842

90%  Fri, 06 Nov 2015 7:54:34 PM

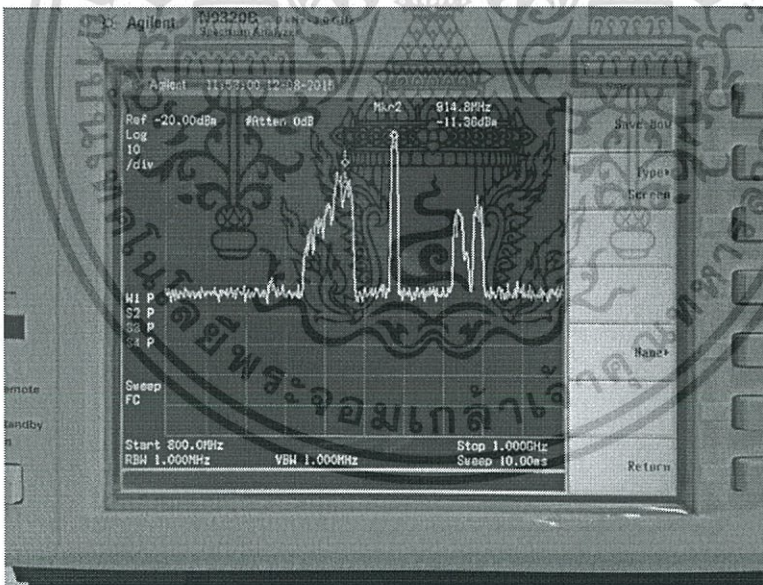
รูปที่ 4.3 กราฟ S_{11} ที่ความถี่ 915 MHz ของสายอากาศที่แปะแผ่นพลาสติก
จากเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่าย

4.2 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ TPI Synthesizer

จากรูปที่ 4.5 อ่านค่าความถี่จากกราฟได้ 914.8 MHz ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เราต้องการ คือ 915 MHz เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ จึงสามารถนำไปใช้ในการทดลองของเราได้ แต่จากกราฟสายอากาศของเราไปรับความถี่อื่นมาได้ อาจเกิดจาก ในขณะที่เราทำการวัดมีคนทำการทดลองเกี่ยวกับการส่งสัญญาณความถี่ในระยะใกล้เคียง ดังแสดงในรูปที่ 4.4 เป็นรูปที่ยังไม่ได้ส่งสัญญาณความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุของเรา



รูปที่ 4.4 กราฟความถี่ที่ยังไม่ได้ส่งสัญญาณความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ

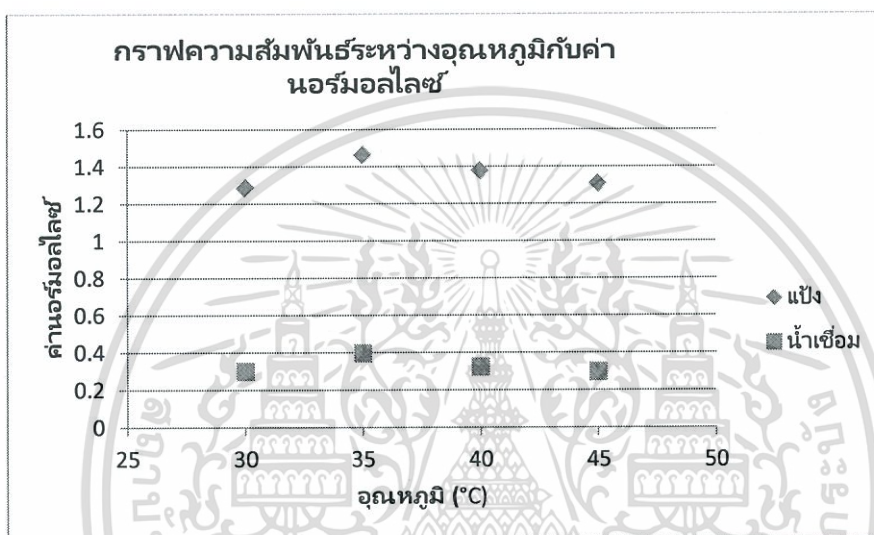


รูปที่ 4.5 กราฟความถี่ที่ได้ส่งสัญญาณความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองอุณหภูมิกับค่านอร์มอลไลซ์

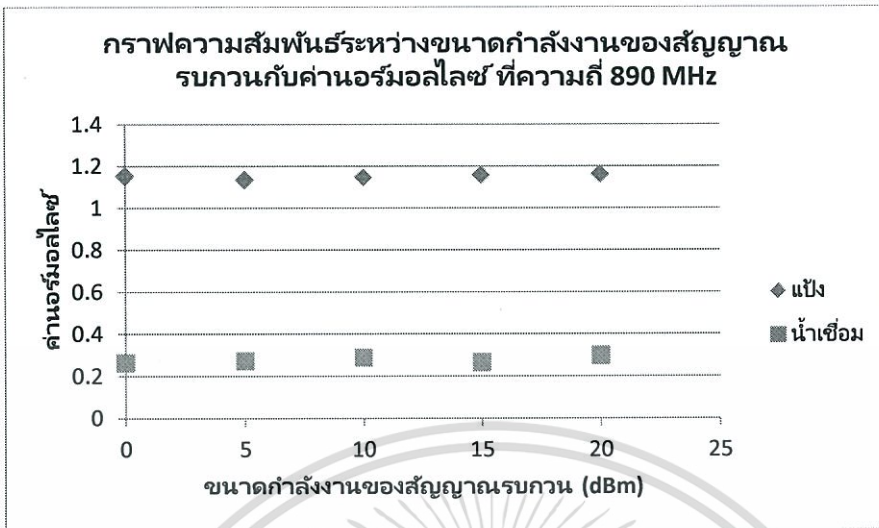
ดังรูปที่ 4.6 ค่านอร์มอลไลซ์ที่เครื่องวัดได้จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ไม่เปลี่ยนแปลง (ค่านอร์มอลไลซ์จะไม่มีหน่วยเนื่องจากในสูตรที่เราใช้งาน หน่วยจะถูกตัดกันทิ้ง) จึงสรุปได้ว่า อุณหภูมิไม่มีผลต่อการทำงานของเครื่องระบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์ ซึ่งเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ เนื่องจาก อุปกรณ์เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ สามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ -40°C ถึง $+85^{\circ}\text{C}$



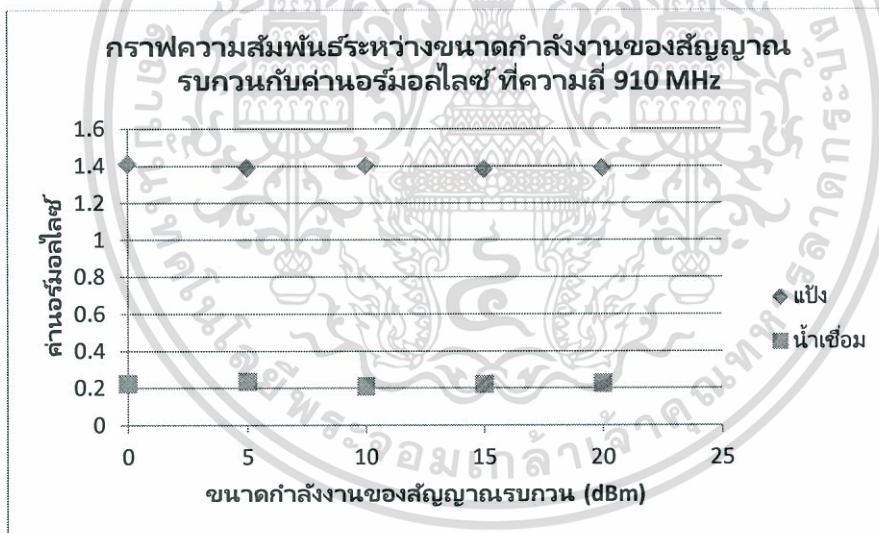
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่านอร์มอลไลซ์

4.4 ผลการทดลองใช้งานในบริเวณที่มีความถี่อื่น ๆ ระบาด

ดังรูปที่ 4.7-4.11 สรุปได้ว่า มีการรบกวนเฉพาะที่ความถี่ 915 MHz ที่เครื่องใช้งานอยู่ ความถี่อื่น ๆ ไม่มีผลต่อการทำงานของเครื่อง

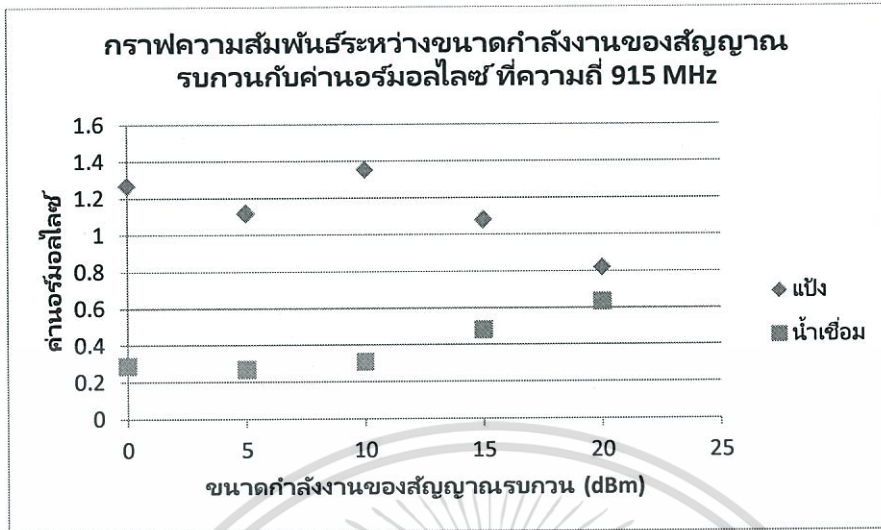


รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกำลังงานของสัญญาณที่รบกวนกับค่าแอมพลิจูด
ความถี่สัญญาณรบกวน 890 MHz

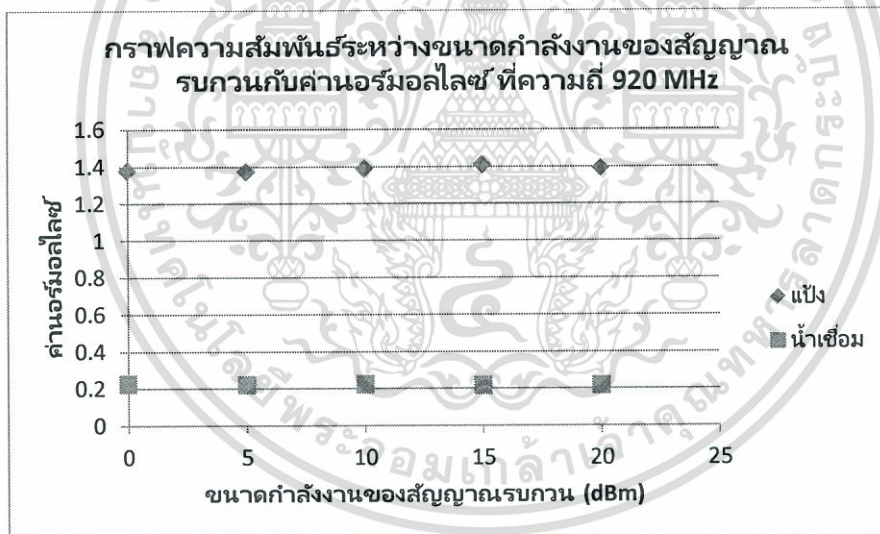


รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกำลังงานของสัญญาณที่รบกวนกับค่าแอมพลิจูด
ความถี่สัญญาณรบกวน 910 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

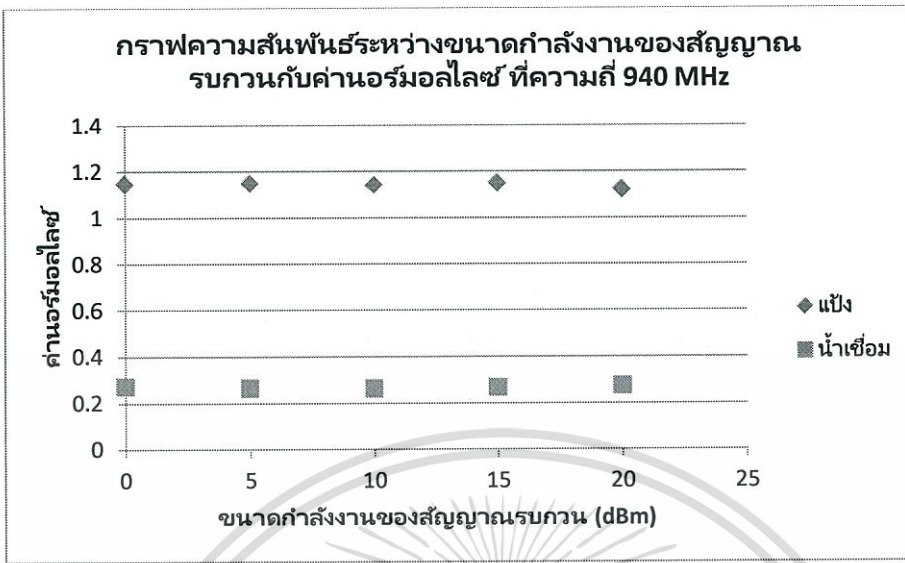


รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกำลังงานของสัญญาณที่รบกวนกับค่าแอมพลิจูด
ความถี่สัญญาณรบกวน 915 MHz



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกำลังงานของสัญญาณที่รบกวนกับค่าแอมพลิจูด
ความถี่สัญญาณรบกวน 920 MHz

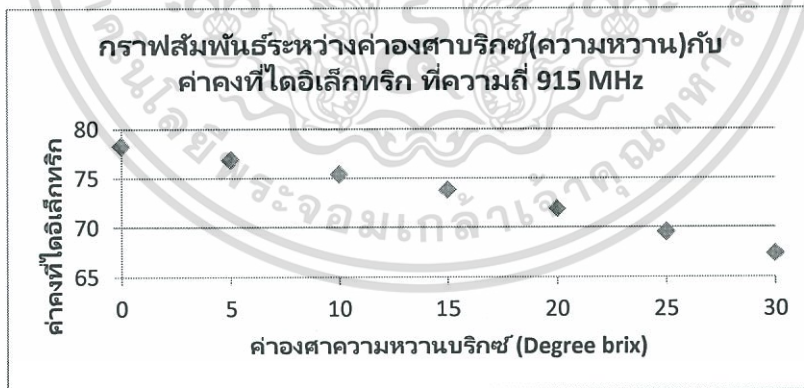
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกำลังงานของสัญญาณที่รบกวนกับค่านอร์มอลไลซ์
ความถี่สัญญาณรบกวน 940 MHz

4.5 ผลการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

ผลการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้น 0 - 30 องศาบริกซ์ ที่ความถี่
915 MHz



รูปที่ 4.12 ผลการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้น 0 - 30 องศาบริกซ์ ที่ความถี่
915 MHz

จากรูปที่ 4.12 จากการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสารละลายน้ำเชื่อมเข้มข้น 0 - 30 องศาบริกซ์ สรุปได้ว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม) มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้คุณสมบัติของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกในสารละลายมีค่าลดลง

4.6 ผลการทดสอบสารละลาย (น้ำเชื่อม) ที่มีความเข้มข้น 0-30 องศาบริกซ์ เพื่อหาค่านอร์มอลไลซ์ จากแล็บท็อป

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าจากเครื่องแล็บท็อป

ความเข้มข้นของน้ำเชื่อม (องศาบริกซ์)	นอร์มอลไลซ์				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
0	0.71948	0.71325	0.71213	0.71482	0.71384
2	0.70393	0.70495	0.69842	0.69743	0.70432
5	0.68323	0.68442	0.68025	0.68235	0.68321
7	0.64934	0.63924	0.65395	0.64596	0.63298
10	0.63982	0.63013	0.63957	0.63945	0.63185
13	0.62034	0.62038	0.64995	0.64123	0.63845
15	0.59938	0.59342	0.59581	0.59358	0.59381
18	0.58204	0.5831	0.58334	0.5814	0.58238
20	0.56301	0.56935	0.56324	0.56023	0.56922
23	0.53866	0.52928	0.52869	0.5482	0.54285
25	0.53876	0.53859	0.53687	0.53962	0.53922
28	0.49483	0.49252	0.49124	0.49524	0.49412
30	0.45963	0.45935	0.45924	0.45962	0.45692

จากตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าจากเครื่องแล็บท็อปมีความถูกต้องอยู่ที่ 93.84%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ผลการทดสอบสารละลาย (น้ำเชื่อม) ที่มีความเข้มข้น 0-30 องศาบริกซ์ เพื่อหา ค่านอร์มอลไลซ์ จากบอร์ตราสเบอร์รี่พาย

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่าจากเครื่องที่ใช้ราสเบอร์รี่พาย

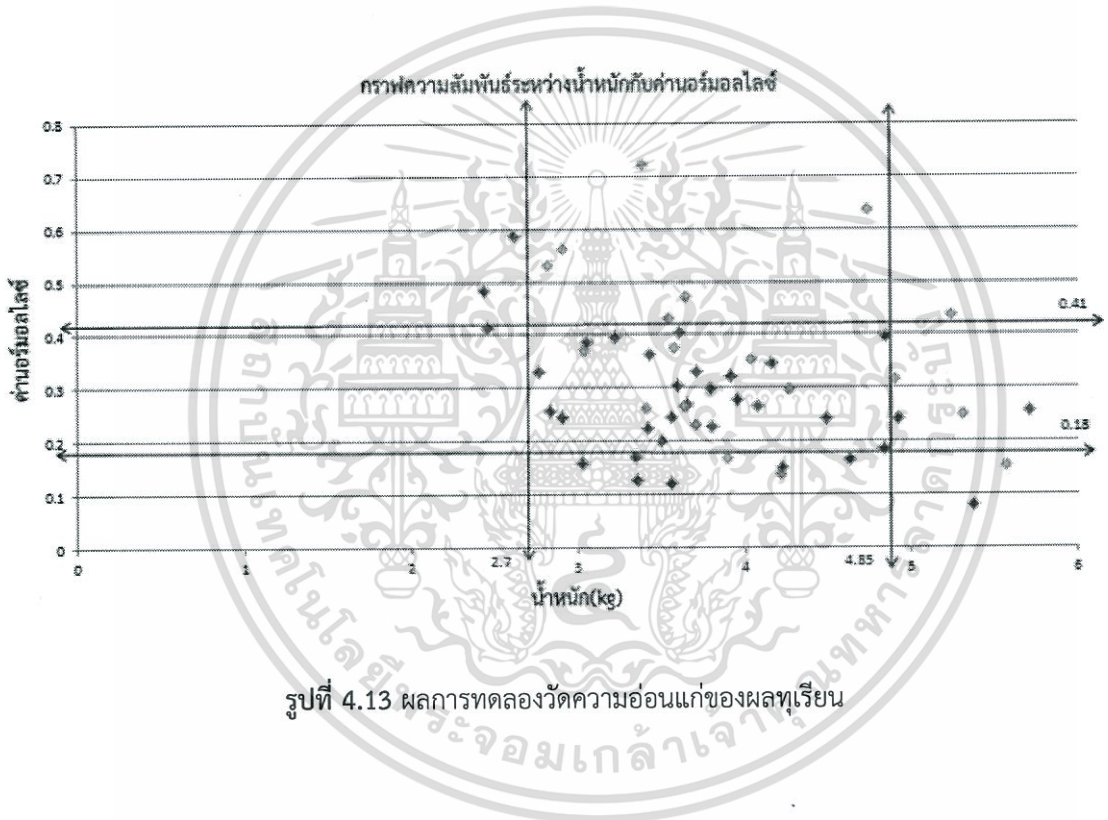
ความเข้มข้นของน้ำเชื่อม (องศาบริกซ์)	นอร์มอลไลซ์				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
0	0.71343	0.71346	0.71365	0.71825	0.71834
2	0.70148	0.70852	0.70735	0.69359	0.69725
5	0.68836	0.68471	0.69059	0.68182	0.68849
7	0.65467	0.68437	0.65368	0.68856	0.64677
10	0.63478	0.63683	0.63368	0.63179	0.63147
13	0.61184	0.61834	0.61952	0.61731	0.61734
15	0.59752	0.59741	0.59953	0.59742	0.59744
18	0.58362	0.58362	0.58952	0.58174	0.58735
20	0.56772	0.56681	0.56846	0.56063	0.56741
23	0.54826	0.52746	0.52638	0.54417	0.52831
25	0.53682	0.53804	0.53031	0.53963	0.53521
28	0.49793	0.49117	0.49163	0.49682	0.49375
30	0.46154	0.46636	0.46682	0.46611	0.46899

จากตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่าจากเครื่องราสเบอร์รี่พาย มีความถูกต้องอยู่ที่ 92.31%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ผลการทดลองวัดความอ่อนแก่ของผลทุเรียน

รูปที่ 4.13 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับค่านอร์มอลไลซ์ สีแดงแทนผลทุเรียนที่แก่ สีเขียวแทนผลทุเรียนที่อ่อน จะเห็นว่า เราไม่สามารถแบ่งแยกทุเรียนแก่กับอ่อนได้ เราจึงทดลองแบ่งกราฟออกเป็น 9 ช่อง เพื่อดูแนวโน้มของผลลัพธ์ โดยให้ช่องซ้ายข้างบนเป็นช่องที่ 1, ช่องกลางข้างบนเป็นช่องที่ 2, ช่องขวาข้างบนเป็นช่องที่ 3 ไหลลงมาจนครบ 9 ช่อง กำหนดให้ช่องที่ 1,4,5,8,9 เป็นผลแก่นอกนั้นเป็นผลอ่อน ซึ่งได้รับความถูกต้องอยู่ที่ 79.24% จากข้อมูลทั้งหมดนี้ ทำให้เราสรุปแนวโน้มอย่างหนึ่งได้ว่า เมื่อน้ำหนักเพิ่มขึ้น ค่านอร์มอลไลซ์ จะลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ การทดลองวัดค่าความเข้มข้นของสารละลาย (น้ำเชื่อม) กับเครื่องระบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์ ภายในขั้นตอนการทดลอง สภาพสิ่งแวดล้อม (คนเดินผ่าน), ระยะห่างระหว่างสายอากาศ, ตำแหน่งการวางวัสดุที่ทดลอง, กำลังงานสัญญาณฝั่งส่ง มีผลกับค่าที่วัดได้จากเครื่องระบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์ ดังนั้น ภายในขั้นตอนการใช้งาน ข้อควรบังคับเบื้องต้น ควรจำกัดสิ่งแวดล้อมไม่ให้เปลี่ยนแปลงมากจนเกินไป

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก แปรผันตรงกับ ค่าอนุกรมोलไลซ์, แปรผกผันกับ ความเข้มข้นของน้ำเชื่อม (ความหวาน), แปรผกผันกับอายุของผลทุเรียน

เครื่องไมโครเวฟเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดความอ่อนแก่ของผลทุเรียน ได้นำไปทดลองใช้งานที่จังหวัดชุมพร, ระยอง สามารถนำไปใช้ได้จริง เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องอยู่ที่ 75% ซึ่งกำลังพัฒนาให้มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเพิ่มมากยิ่งขึ้น และผลักดันให้นำไปใช้งานในเชิงพาณิชย์

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการใช้งาน สิ่งแวดล้อมภายนอกมีผลกระทบต่อผลการวัดของเครื่องระบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์ ควรจะใช้งานในที่ที่สิ่งแวดล้อมคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงมากจนเกินไป หากต้องการนำเครื่องระบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์ไปประยุกต์ใช้งานกับงานชนิดอื่นๆ ก็สามารทำได้ เพราะราคาไม่แพง และสามารถนำไปคัดแยกสิ่งของอื่นๆ ได้ ตามสมมุติฐานที่ว่า สิ่งของเหล่านั้นต้องมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่แตกต่างกัน

บรรณานุกรม

- [1] โมโนย ไกรฤกษ์, และวิวัฒน์ กิรานนท์. ทฤษฎีสายอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.
- [2] รังสรรค์ วงศ์สรรค. วิศวกรรมสายอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 4. นครราชสีมา. : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2556.
- [3] บรรเจิด ตันติกลัยาภรณ์. นักเลงสายอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี. : สถาบันอิเล็กทรอนิกส์กรุงเทพรังสิต, 2541.
- [4] ฐิตินา เอ็งเจริญ. “การวัดสภาพยอมเชิงซ้อนของของเหลวที่มีความถี่ไมโครเวฟ.” มหาบัณฑิต, สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2554.
- [5] Constantine A. Balanis. “Antenna Theory Analysis and Design.” Page 812-819, Third edition. A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2005.
- [6] ศ.ดร. โมโนย ไกรฤกษ์, และ ผศ.ดร. ศรีวัฒน์ ชิวปรีชา. “การพัฒนาระบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์เพื่อตรวจสอบความสุกของผลไม้ (Development of Microwave Sensor System for Maturity of Fruit Inspection).” ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [7] Thitipan R., Pinit K., Kosin C.. “Nondestructive Maturity Determination of Durian by Using Microwave Moisture Sensing.” Department of Electronic and Telecommunication, Faculty of Engineering, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, 2002.
- [8] D. K. GHODGAONKAR, V. V. VARADAN. “Free-Space Measurement of Complex Permittivity and Complex Permeability of Magnetic Materials at Microwave Frequencies.” IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 39, NO. 2, APRIL 1990.
- [9] WILLIAM B. WEIR. “Automatic Measurement of Complex Dielectric Constant and Permeability at Microwave Frequencies.” PRECEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 62, NO. 1, JANUARY 1974.

- [10] A. M. NICOLSON, AND G. F. ROSS. "Measurement of the Intrinsic Properties of Materials by Time-Domain Techniques." IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. IM-19, NO. 4. NOVEMBER 1970.
- [11] National Instruments. "IQ data." <http://www.ni.com/tutorial/4805/en/>.
- [12] Thaieasyelec. "Raspberry pi." <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/embedded-electronics-application/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9E%E0%B8%B1%E0%B8%92%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B9%82%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%9A%E0%B8%99-raspberry-pi-%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%A7%E0%B8%A2-qt.html>.
- [13] Inex. "Raspberry pi display." <http://inex.co.th/shop/raspberry-pi-touch-display.html>.
- [14] Redmine. "Gnuradio." <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki>.
- [15] Steve Markgraf. "RTL-SDR." <http://sdr.osmocom.org/trac/wiki/rtl-sdr>.
- [16] RF-Cosultant. "Frequency Synthesizer." http://www.rf-consultant.com/wp-content/uploads/2013/02/Product-Description-Version-5_11.pdf.
- [17] FTP.PSU. "Shell Script." <ftp://ftp.psu.ac.th/pub/bash-howto/Shell%20Script.pdf>.
- [18] Alaska "Fuzzy logic." <http://alaska.reru.ac.th/text/fuzzylogic.pdf>.
- [19] Reef Central "Refractometer." <http://reefkeeping.com/issues/2006-12/rhf/>.



ภาคผนวก

ซอร์สโค้ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calibrate (Shell Script)

```
#!/bin/bash
/home/name/Desktop/TEST/rmmod > /dev/null 2>&1 &
i=1
while [ $i -le 5 ]
do
cat /home/name/Desktop/TEST/Script/prefix_config > test.py

echo "      self.blocks_file_sink_0 =
blocks.file_sink(gr.sizeof_gr_complex*1,\"/home/name/Desktop/TEST/
result/IQ_data/Freespace_${i}.bin\", False)" >>
/home/name/Desktop/TEST/Script/test.py

cat /home/name/Desktop/TEST/Script/suffix_config >> test.py
chmod 777 /home/name/Desktop/TEST/Script/test.py
/home/name/Desktop/TEST/Script/test.py > /dev/null 2>&1 &
sleep 6;
kill %% > /dev/null 2>&1
clear
i=$(( $i + 1 ))
done
```

Measure (Shell Script)

```
#!/bin/bash
/home/name/Desktop/TEST/rmmod > /dev/null 2>&1 &
i=1
while [ $i -le 5 ]
do
cat /home/name/Desktop/TEST/Script/prefix_config > test.py

echo "      self.blocks_file_sink_0 =
blocks.file_sink(gr.sizeof_gr_complex*1,\"/home/name/Desktop/TEST/
result/IQ_data/DUT_${i}.bin\", False)" >>
/home/name/Desktop/TEST/Script/test.py

cat /home/name/Desktop/TEST/Script/suffix_config >> test.py
chmod 777 /home/name/Desktop/TEST/Script/test.py
/home/name/Desktop/TEST/Script/test.py > /dev/null 2>&1 &
sleep 6;
kill %% > /dev/null 2>&1
i=$(( $i + 1 ))
done
/home/name/Desktop/TEST/Script/result.m
```

File Python (ควบคุม RTL-SDR ด้วยโปรแกรม Gnuradio)

```

#!/usr/bin/env python
#####
# Gnuradio Python Flow Graph
# Title: Gnuradio
# Generated: Sat Jun 28 05:30:54 2014
#####

from gnuradio import blocks
from gnuradio import eng_notation
from gnuradio import gr
from gnuradio.eng_option import eng_option
from gnuradio.filter import firdes
from gnuradio.wxgui import forms
from grc_gnuradio import wxgui as grc_wxgui
from optparse import OptionParser
import osmosdr
import wx

class Gnuradio(grc_wxgui.top_block_gui):

    def __init__(self):
        grc_wxgui.top_block_gui.__init__(self, title="Gnuradio")
        _icon_path =
"/usr/share/icons/hicolor/32x32/apps/gnuradio-grc.png"
        self.SetIcon(wx.Icon(_icon_path, wx.BITMAP_TYPE_ANY))

        #####
        # Variables
        #####
        self.sampling_rate = sampling_rate = 1e6
        self.center_freq = center_freq = 915e6

        #####
        # Blocks
        #####
        _sampling_rate_sizer = wx.BoxSizer(wx.VERTICAL)
        self._sampling_rate_text_box = forms.text_box(
            parent=self.GetWin(),
            sizer=_sampling_rate_sizer,
            value=self.sampling_rate,
            callback=self.set_sampling_rate,
            label='sampling_rate',
            converter=forms.float_converter(),
            proportion=0,
        )
        self._sampling_rate_slider = forms.slider(
            parent=self.GetWin(),
            sizer=_sampling_rate_sizer,
            value=self.sampling_rate,
            callback=self.set_sampling_rate,

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        minimum=1,
        maximum=5e6,
        num_steps=100,
        style=wx.SL_HORIZONTAL,
        cast=float,
        proportion=1,
    )
    self.Add(_sampling_rate_sizer)
    _center_freq_sizer = wx.BoxSizer(wx.VERTICAL)
    self._center_freq_text_box = forms.text_box(
        parent=self.GetWin(),
        sizer=_center_freq_sizer,
        value=self.center_freq,
        callback=self.set_center_freq,
        label='center_freq',
        converter=forms.float_converter(),
        proportion=0,
    )
    self._center_freq_slider = forms.slider(
        parent=self.GetWin(),
        sizer=_center_freq_sizer,
        value=self.center_freq,
        callback=self.set_center_freq,
        minimum=10e6,
        maximum=2e9,
        num_steps=100,
        style=wx.SL_HORIZONTAL,
        cast=float,
        proportion=1,
    )
    self.Add(_center_freq_sizer)
    self.rtlsdr_source_0 = osmosdr.source( args="numchan=" +
str(1) + " " + " " )
    self.rtlsdr_source_0.set_sample_rate(sampling_rate)
    self.rtlsdr_source_0.set_center_freq(center_freq, 0)
    self.rtlsdr_source_0.set_freq_corr(0, 0)
    self.rtlsdr_source_0.set_dc_offset_mode(0, 0)
    self.rtlsdr_source_0.set_iq_balance_mode(2, 0)
    self.rtlsdr_source_0.set_gain_mode(False, 0)
    self.rtlsdr_source_0.set_gain(-10, 0)
    self.rtlsdr_source_0.set_if_gain(-20, 0)
    self.rtlsdr_source_0.set_bb_gain(-20, 0)
    self.rtlsdr_source_0.set_antenna("", 0)
    self.rtlsdr_source_0.set_bandwidth(0, 0)

    self.blocks_file_sink_0 =
blocks.file_sink(gr.sizeof_gr_complex*1, "/home/name/Desktop/TEST/r
esult/IQ_data/DUT_1.bin", False)
    self.blocks_file_sink_0.set_unbuffered(False)

    #####
    # Connections
    #####
    self.connect((self.rtlsdr_source_0, 0),
(self.blocks_file_sink_0, 0))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

# QT sink close method reimplementaion

def get_sampling_rate(self):
    return self.sampling_rate

def set_sampling_rate(self, sampling_rate):
    self.sampling_rate = sampling_rate
    self._sampling_rate_slider.set_value(self.sampling_rate)
    self._sampling_rate_text_box.set_value(self.sampling_rate)
    self.rtlsdr_source_0.set_sample_rate(self.sampling_rate)

def get_center_freq(self):
    return self.center_freq

def set_center_freq(self, center_freq):
    self.center_freq = center_freq
    self._center_freq_slider.set_value(self.center_freq)
    self._center_freq_text_box.set_value(self.center_freq)
    self.rtlsdr_source_0.set_center_freq(self.center_freq, 0)

if __name__ == '__main__':
    import ctypes
    import sys
    if sys.platform.startswith('linux'):
        try:
            x11 = ctypes.cdll.LoadLibrary('libX11.so')
            x11.XInitThreads()
        except:
            print "Warning: failed to XInitThreads()"
    parser = OptionParser(option_class=eng_option, usage="%prog:
[options]")
    (options, args) = parser.parse_args()
    tb = Gnuradio()
    tb.Start(True)
    tb.Wait()

```

File Octave (คำนวณผล)

```

#!/usr/bin/octave
clear;
n_Re=0;
n_Im=0;
percentage=5;

n_loop=5;

ntype="Freespace";
for n=1:n_loop

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

file =
strcat("/home/name/Desktop/TEST/result/IQ_data/",ntype,"_",sprintf
("%ld",n),".bin");
fin = fopen(file,'rb');
y = fread(fin, [1,inf],'float');
creal = y(1:2:length(y));
cimage = y(2:2:length(y));

Re=creal(400000:400500);
Im=cimage(400000:400500);

sort_Re=sort(Re);
sort_Im=sort(Im);

sort_Re_Pos=sort_Re(474:501);
sort_Re_Neg=sort_Re(1:28);
sort_Im_Pos=sort_Im(474:501);
sort_Im_Neg=sort_Im(1:28);

Re_Pos=median(sort_Re_Pos);
Re_Neg=median(sort_Re_Neg);
Im_Pos=median(sort_Im_Pos);
Im_Neg=median(sort_Im_Neg);

best_Re = Re_Pos - Re_Neg;
best_Im = Im_Pos - Im_Neg;

cmp(n)=best_Re+best_Im*i;
Magcmp(n)=abs(cmp(n));
fclose(fin);
endfor

for n=1:n_loop
n_Re = real(cmp(n))+n_Re;
n_Im = imag(cmp(n))+n_Im;
endfor
n_Re=n_Re/n_loop;
n_Im=n_Im/n_loop;
complex_CAL = n_Re + n_Im*i

Mag_FS = abs(complex_CAL)

threshold_max=0.45;
threshold_min=0;

n_Re_DUT=0;
n_Im_DUT=0;
n_loop=5;
ntype="DUT";
for n=1:n_loop
file =
strcat("/home/name/Desktop/TEST/result/IQ_data/",ntype,"_",sprintf
("%ld",n),".bin");
fin = fopen(file,'rb');
y = fread(fin, [1,inf],'float');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

creal = y(1:2:length(y));
cimage = y(2:2:length(y));

Re=creal(400000:400500);
Im=cimage(400000:400500);

sort_Re=sort(Re);
sort_Im=sort(Im);

sort_Re_Pos=sort_Re(474:501);
sort_Re_Neg=sort_Re(1:28);
sort_Im_Pos=sort_Im(474:501);
sort_Im_Neg=sort_Im(1:28);

Re_Pos=median(sort_Re_Pos);
Re_Neg=median(sort_Re_Neg);
Im_Pos=median(sort_Im_Pos);
Im_Neg=median(sort_Im_Neg);

best_Re = Re_Pos - Re_Neg;
best_Im = Im_Pos - Im_Neg;
cmp(n)=best_Re+best_Im*i;
Magcmp(n)=abs(cmp(n));
fclose(fin);
endfor

for n=1:n_loop
    n_Re_DUT = real(cmp(n))+n_Re_DUT;
    n_Im_DUT = imag(cmp(n))+n_Im_DUT;
endfor

n_Re_DUT=n_Re_DUT/n_loop;
n_Im_DUT=n_Im_DUT/n_loop;

complex_DUT = n_Re_DUT + n_Im_DUT*i

Mag_DUT = abs(complex_DUT)

normalize = (Mag_FS-Mag_DUT)/Mag_FS

filename = "/home/name/Desktop/TEST/Script/result.txt";
fid = fopen (filename, "w");

## Need to revise actual value for classify
if normalize > 0.68 && normalize < 0.72

    disp("Concentration of solutions (Syrup) is \"Lv.1\"");
    fputs (fid, "Concentration of solutions (Syrup) is
\"Lv.1\"");

elseif (normalize > 0.63 && normalize <= 0.68)
    disp("Concentration of solutions (Syrup) is \"Lv.2\"");
    fputs (fid, "Concentration of solutions (Syrup) is
\"Lv.2\"");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

elseif (normalize > 0.59 && normalize <= 0.63)
    disp("Concentration of solutions (Syrup) is \"Lv.3\"");
    fputs (fid, "Concentration of solutions (Syrup) is
\"Lv.3\"");
elseif (normalize > 0.56 && normalize <= 0.59)
    disp("Concentration of solutions (Syrup) is \"Lv.4\"");
    fputs (fid, "Concentration of solutions (Syrup) is
\"Lv.4\"");
elseif (normalize > 0.53 && normalize <= 0.56)
    disp("Concentration of solutions (Syrup) is \"Lv.5\"");
    fputs (fid, "Concentration of solutions (Syrup) is
\"Lv.5\"");
elseif (normalize > 0.45 && normalize <= 0.53)
    disp("Concentration of solutions (Syrup) is \"Lv.6\"");
    fputs (fid, "Concentration of solutions (Syrup) is
\"Lv.6\"");

else
    disp("Error to normalize material !!!");
    fputs (fid, "ERROR!!!");
endif
fclose (fid);

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้