

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบเซนเซอร์ไร้สายตรวจวัดความชื้นในกองข้าวเปลือก

WIRELESS SENSOR SYSTEM FOR MEASURING MOISTURE

CONTENT IN A PILE OF PADDY



T117515



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 117515
วัน,เดือน,ปี..... 5 ต.ค. 2554

b. 12336889
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเซนเซอร์ไร้สายตรวจวัดความชื้นในกองข้าวเปลือก
WIRELESS SENSOR SYSTEM FOR MEASURING MOISTURE
CONTENT IN A PILE OF PADDY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ส.

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบเซนเซอร์ไร้สายตรวจวัดความชื้นในกองข้าวเปลือก

WIRELESS SENSOR SYSTEM FOR MEASURING MOISTURE CONTENT IN
A PILE OF PADDY

ผู้จัดทำ

1. นางสาวรัตนภรณ์ อาภาศิริกุล 50011300
2. นายวสิน อรรถขยานนท์ 50011414
3. นายสรารุช ตันตียกุล 50011650



(ศ.ดร. ไมเนย์ ไกรฤกษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับคำปรึกษาและคำแนะนำที่ดีที่เป็นประโยชน์จาก ศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาบัตรที่คอยให้การอบรมชี้นำความรู้ต่างๆในการทำปริญญาบัตรครั้งนี้ต้องขอกราบขอบพระคุณอาจารย์อย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับพวกข้าพเจ้า

ขอขอบคุณพี่ๆในห้องปฏิบัติการ T-104 ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ ตลอดจนตอบข้อสงสัย และช่วยสอนวิธีการใช้โปรแกรมที่จำเป็นในการทำปริญญาบัตรครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของพวกข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และมอบความรักความห่วงใยให้กับพวกข้าพเจ้าอย่างเสมอมา

สุดท้ายขอคุณค่าและประโยชน์ความดีอันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน และถ้าหากมีข้อผิดพลาดประการใดพวกข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้ อีกทั้งยังหวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญาบัตรฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องไป

รัตนภรณ์ อภาศิริกุล

วสิน อรรถยานนท์

สรารุช ตันตียกุล

ผู้จัดทำ

ระบบเซนเซอร์ไร้สายตรวจวัดความชื้นในกองข้าวเปลือก
WIRELESS SENSOR SYSTEM FOR MEASURING
MOISTURE CONTENT IN A PILE OF PADDY

โดย นางสาวรัตนภรณ์ อาภาศิริกุล 50011300
นายวสิน อรรถมยานนท์ 50011414
นายสราวุธ ต้นตียกุล 50011650

อาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์

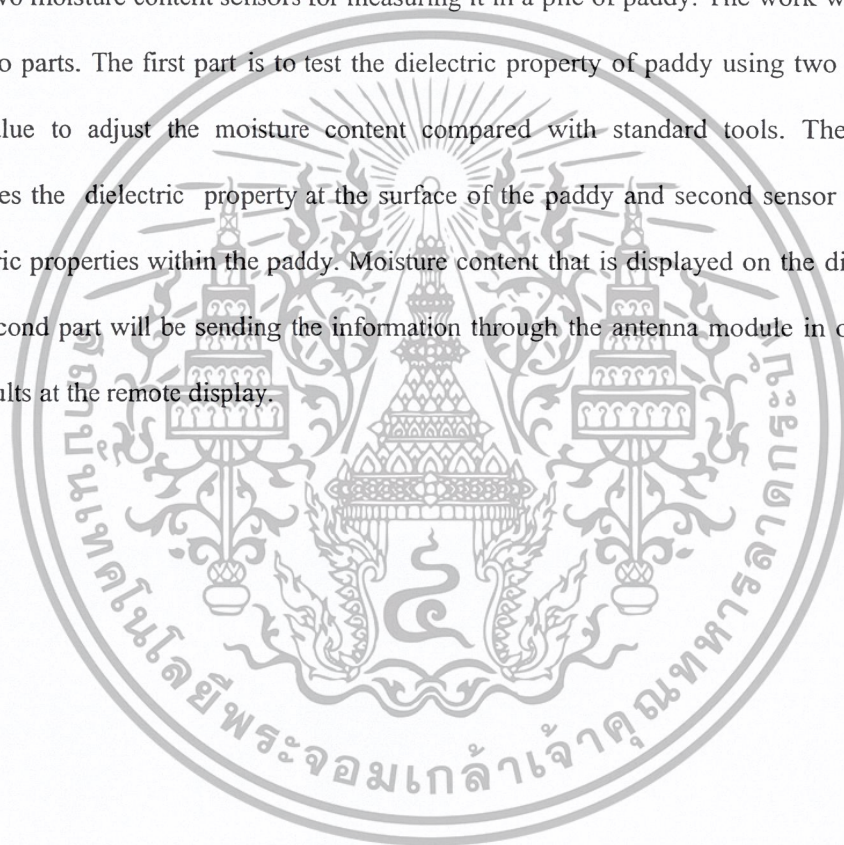
บทคัดย่อ

หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวเปลือกมักพบว่าข้าวเปลือกที่ได้จะมีความชื้นสูงและมีผลกระทบต่อคุณภาพทางกายภาพของข้าวกล่ำคือ เมื่อนำไปสีจะได้ข้าวที่แตกหักนอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อคุณภาพข้าว เช่น มีเชื้อราเป็นต้น จากปัญหาดังกล่าวนี้ถ้าหากมีอุปกรณ์ที่สามารถวัดความชื้นได้จะทำให้มีข้อมูลที่ช่วยตัดสินใจในการจัดการผลิตผล ไม่ว่าจะเป็นเวลาเก็บเกี่ยว กระบวนการลดความชื้นรวมทั้งคุณภาพ และราคาที่เหมาะสมสำหรับผลิตผลที่มีความชื้นนั้นด้วย ดังนั้นโครงการนี้จะออกแบบและสร้างเครื่องตรวจวัดความชื้นในกองข้าวเปลือก โดยจะแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกจะเป็นการวัดเพื่อทดสอบหาค่าคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของข้าวเปลือกแล้วนำค่าดังกล่าวไปปรับเทียบเป็นความชื้นกับเครื่องมือมาตรฐาน โดยจะใช้เซนเซอร์สองตัว ตัวแรกจะใช้วัดคุณสมบัติไดอิเล็กทริกที่ผิวของกองข้าวเปลือก ส่วนตัวที่สองจะใช้วัดภายในกองข้าวเปลือก ค่าความชื้นที่ได้จะแสดงผลผ่านจอแสดงผลที่ตัวอุปกรณ์ ส่วนที่สองจะเป็นการนำค่าข้อมูลต่างๆที่ได้ส่งผ่าน โมดูลออกทางสายอากาศเพื่อนำไปแสดงค่าความชื้นที่จออุปกรณ์แสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

Paddy usually has high moisture content after harvested. It affects the physical property of rice, i.e., broken when it is milled and fungi, etc. If ones have equipment that can measure moisture content, the information for product management such as harvest time, drying process will be provided and reasonable price will be achieved. Therefore, this project will design and build two moisture content sensors for measuring it in a pile of paddy. The work will be divided into two parts. The first part is to test the dielectric property of paddy using two sensors, then that value to adjust the moisture content compared with standard tools. The first sensor measures the dielectric property at the surface of the paddy and second sensor measures the dielectric properties within the paddy. Moisture content that is displayed on the display device. The second part will be sending the information through the antenna module in order to show the results at the remote display.



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บทนำ	3
2.2 การคำนวณอิมพีแดนซ์ร่วมสายอากาศไดโพลในตัวกลางที่ปราศจากการสูญเสีย	3
2.3 การหาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกด้วยการวัดขนาดของการเชื่อมต่อร่วม	7
2.4 ทฤษฎีของการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ	8
2.5 หลักการของอุปกรณ์ตรวจรู้สายอากาศไดโพลคู่	10
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51)	13
2.7 การใช้งาน RS232 TO RF-WIRELESS (RF2.4GHZ) CONVERTER	20
2.8 สรุป	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3	
การออกแบบและการจัดทำโครงการ	30
3.1 บทนำ	30
3.2 โครงสร้างของสายอากาศที่ใช้หาค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริกภายในกอง ข้าวเปลือก	31
3.3 โครงสร้างของสายอากาศที่ใช้หาค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่ผิวของ กองข้าวเปลือก	42
3.4 การออกแบบโมดูลของระบบการวัด	43
3.5 การออกแบบวงจร	46
3.6 การออกแบบการทำงานของระบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	49
3.7 ผังงาน โปรแกรม (FLOW CHART)	50
3.8 สมการที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าเปรียบเทียบเป็นความชื้น	57
3.9 แผนผังการทำงานของโปรแกรมบน PC	59
บทที่ 4	
ผลการทดลอง	62
4.1 บทนำ	62
4.2 การทดลองวงจรตรวจจับค่าตั้งงาน	62
4.3 การทดลองวงจร RF switch	63
4.4 การทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณ	64
4.5 ทดลองแปลงสัญญาณอนาล็อกควมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์	66
4.6 การทดลองหาคุณสมบัติของสายอากาศที่ใช้ในการวัดความชื้นโดย เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย	68
4.7 การทดลองหาคุณสมบัติของสายอากาศที่ใช้ในการวัดความชื้นโดย เครื่องมือที่สร้างขึ้น	69
4.8 การทดสอบ โปรแกรมบน PC	72

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.9 การทดลองผลการวัดความชื้น โดยเครื่องมือที่สร้างขึ้นและเครื่องมือวัดความชื้นทั่วไป	73
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	74
5.1 สรุปผล	74
5.2 ข้อเสนอแนะ	75
บรรณานุกรม	76
ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุมการทำงานส่วนฮาร์ดแวร์	77
ภาคผนวก ข โปรแกรมแสดงผลบน PC	90



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ค่าอิมพีแดนซ์ร่วมจากการวิเคราะห์กรณีที่สายอากาศไดโพลมีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉาก	4
2.2 ค่าอิมพีแดนซ์ร่วมจากการวิเคราะห์กรณีที่สายอากาศไดโพลมีรูปแบบการจัดวางแบบขนาน	4
2.3 ค่าความต้านทานร่วมจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับกรณีจำลองโปรแกรมแม่เหล็กไฟฟ้ากรณีที่สายอากาศไดโพลมีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉาก	5
2.4 ค่ารีแอกแตนซ์ร่วมจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับกรณีจำลองโปรแกรมแม่เหล็กไฟฟ้ากรณีที่สายอากาศไดโพลมีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉาก	5
2.5 ค่าความต้านทานร่วมจากการวิเคราะห์สายอากาศไดโพลที่มีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉากเมื่อเปลี่ยนแปลงความสูงของสายอากาศไดโพลตัวที่สอง	6
2.6 ค่ารีแอกแตนซ์ร่วมจากการวิเคราะห์สายอากาศไดโพลที่มีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉากเมื่อเปลี่ยนแปลงความสูงของสายอากาศไดโพลตัวที่สอง	6
2.7 การเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ	8
2.8 การเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศโหมดการส่งและโหมดการรับ	10
2.9 โครงสร้างปัญหาของสายอากาศไดโพลคู่เหนือตัวกลางไดอิเล็กตริกขนาดกึ่งอนันต์	11
2.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของบริษัท PHILLIPS รุ่น P89V51RD2	13
2.11 โมดูล LCD	19
2.12 ET-RF24G V2.0	21
2.13 แหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่อง ET-RF24G V2.0	22
2.14 การต่อสายสัญญาณ RS232 เพื่อใช้แหล่งจ่ายไฟจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของอีทีที	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.15 การต่อแหล่งจ่ายไฟรุ่น “ACH-4E” จากภายนอกให้กับเครื่อง ET-RF24G V2.0	23
2.16 สายสัญญาณ RS232 เพื่อใช้กับ ET-RF24G ในโหมด RF RECEIVE ONLY และ RF TRANSMIT ONLY	26
3.1 ระบบทั้งหมดของระบบเซนเซอร์ไร้สายตรวจวัดความชื้นในกองข้าวเปลือก	30
3.2 ส่วนประกอบต่างๆของไดโพลพิมพ์ตัวเดียว	32
3.3 ค่า RETURN LOSS ที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม	34
3.4 สายอากาศไดโพลพิมพ์ที่สามารถสวิตซ์การโพลาไรเซชันได้	35
3.5 สายอากาศวัดความชื้นในกองข้าวเปลือกด้านหน้าและด้านหลัง	36
3.6 กราฟการสูญเสียย้อนกลับของพอร์ตอินพุตของสายอากาศไดโพลพิมพ์ที่สามารถสวิตซ์โพลาไรเซชันเมื่อสวิตซ์โพลาไรเซชันแบบขนาน	37
3.7 กราฟการสูญเสียย้อนกลับของพอร์ตเอาต์พุตของสายอากาศไดโพลพิมพ์ที่สามารถสวิตซ์โพลาไรเซชันเมื่อสวิตซ์โพลาไรเซชันแบบขนาน	37
3.8 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตอินพุตของสายอากาศไดโพลพิมพ์ที่สามารถสวิตซ์โพลาไรเซชันเมื่อสวิตซ์โพลาไรเซชันแบบตั้งฉาก	39
3.9 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตเอาต์พุตของสายอากาศไดโพลพิมพ์ที่สามารถสวิตซ์โพลาไรเซชันเมื่อสวิตซ์โพลาไรเซชันแบบตั้งฉาก	39
3.10 กราฟค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไดโพลพิมพ์ที่สามารถสวิตซ์โพลาไรเซชันเมื่อสวิตซ์โพลาไรเซชันแบบขนาน	40
3.11 กราฟค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไดโพลพิมพ์ที่สามารถสวิตซ์โพลาไรเซชันเมื่อสวิตซ์โพลาไรเซชันแบบตั้งฉาก	40
3.12 การต่อขา RF SWITCH เข้ากับอิมิตเตอร์ของสายอากาศโมโนโพล	41
3.13 โครงสร้างด้านหน้าของสายอากาศไดโพลพิมพ์	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.14	โครงสร้างด้านหลังของสายอากาศไดโพลพิมพ์	43
3.15	สายอากาศวัดความชื้นบนผิวของกองข้าวเปลือกด้านหน้าและด้านหลัง	43
3.16	ผังงานของระบบ	45
3.17	เครื่องมือวัดความชื้นมาตรฐาน	45
3.18	ลายวงจร RF DETECTOR และ วงจร RF DETECTOR ที่สร้างจริง	46
3.19	ลายวงจร RF SWITCH และ วงจร RF SWITCH ที่สร้างขึ้นจริง	47
3.20	ลายวงจรกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 2.45 GHZ และ วงจรกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 2.45 GHZ ที่สร้างขึ้นจริง	47
3.21	วงจรที่ต่อกับ ADC 0804	48
3.22	บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น CP-SPI/RD2	50
3.23	พอร์ตไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกใช้งาน	50
3.24	แผนผังการทำงานส่วนที่ 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์	52
3.25	แผนผังการทำงานส่วนที่ 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์	53
3.26	แผนผังการทำงานส่วนที่ 3 ของไมโครคอนโทรลเลอร์	54
3.27	แผนผังการทำงานส่วนที่ 4 ของไมโครคอนโทรลเลอร์	55
3.28	แผนผังการทำงานส่วนที่ 5 ของไมโครคอนโทรลเลอร์	56
3.29	แผนผังการทำงานส่วนที่ 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์	57
3.30	แผนผังการทำงานของโปรแกรม MAIN	59
3.31	แผนผังการทำงานของโปรแกรม TASK0: SERIAL PORT	60
3.32	แผนผังการทำงาน โปรแกรม TASK1: GRAPH PLOTTING	61
4.1	การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานและแรงดันที่ตรวจวัดได้จากสัญญาณที่ป้อนให้โดยเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 2.45 GHZ	62
4.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานและแรงดันที่ตรวจวัดได้โดยตัวตรวจจับกำลังงาน	63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 การทดลองหาคณสมบัติของวงจร RF SWITCH	64
4.4 ผลการทดลองวงจร RF SWITCH กรณีวงจรเปิด และ กรณีวงจรปิด	64
4.5 CRYSTAL OSCILLATOR กำหนดความถี่ 20 MHZ	65
4.6 สัญญาณจาก CRYSTAL OSCILLATOR ความถี่ 20 MHZ	65
4.7 การทดลองวงจรกำหนดความถี่ 2.45GHZ	66
4.8 กำลังงานของสัญญาณจากวงจรกำหนดความถี่	66
4.9 การทดลองป้อนสัญญาณอนาส็อกโดยใช้แหล่งจ่ายไฟตรง	67
4.10 การติดตั้งของหลอด LED ซึ่งแทนเลขฐานสองจำนวนแปดบิต	68
4.11 การทดลองเปรียบเทียบค่าความชื้นของข้าวโดยวัดความชื้นในกองข้าวเปลือกและวัดความชื้นบนผิวกองข้าวเปลือก	71
4.12 โปรแกรมแสดงค่าความชื้น	72

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	15
2.2	16
2.3	17
3.1	34
4.1	67
4.2	69
4.3	69
4.4	70
4.5	70
4.6	71
4.7	71
4.8	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากที่ห้องแล็บที่ทางกลุ่มได้ทำปริญญานิพนธ์อยู่ได้มีการทำวิทยานิพนธ์เกี่ยวกับ เซนเซอร์วัดความชื้นของข้าวเปลือก โดยตัวหนึ่งเป็นเซนเซอร์ที่ใช้วัดความชื้นที่ผิวของกองข้าวเปลือก อีกตัวหนึ่งเป็นเซนเซอร์ที่ใช้วัดความชื้นภายในกองข้าวเปลือก ทางกลุ่มของเราจึงได้นำวิทยานิพนธ์ทั้งสองเรื่องมาทำการต่อยอดโดยสังเกตเห็นปัญหาว่าปกติแล้วหลังการเก็บเกี่ยว ผลผลิตข้าวเปลือกมักพบว่าข้าวเปลือกที่ได้จะมีความชื้นสูงและมีผลกระทบต่อคุณภาพทางกายภาพของข้าวกล่าวคือ เมื่อนำไปสีจะได้ข้าวที่แตกหักนอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อคุณภาพข้าว เช่น มีเชื้อรา เป็นต้น จากปัญหาดังกล่าวนี้ถ้าหากมีอุปกรณ์ที่สามารถวัดความชื้นได้จะทำให้มีข้อมูลที่ช่วยตัดสินใจในการจัดการผลิตผล ไม่ว่าจะเป็นเวลาเก็บเกี่ยว กระบวนการลดความชื้นรวมทั้งคุณภาพ และราคาที่เหมาะสมสำหรับผลิตผลที่มีความชื้นนั้นด้วย ซึ่งทางกลุ่มของเราก็ได้ทำเป็นเซนเซอร์ไร้สายตรวจวัดความชื้นของกองข้าวเปลือกที่สามารถบอกค่าความชื้นได้ทั้งที่ผิวของกองข้าวเปลือกและภายในกองข้าวเปลือกขึ้นมานั่นเอง โดยมีการนำคุณสมบัติที่เรียกว่า คุณสมบัติไดอิเล็กตริก (Dielectric property) มาใช้กล่าวคือ

คุณสมบัติไดอิเล็กตริกเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่สำคัญซึ่งวัสดุต่างๆจะมีคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่แตกต่างกัน ดังนั้นคุณสมบัติไดอิเล็กตริกสามารถนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้เพื่อแยกแยะความแตกต่างของวัสดุ คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุที่ได้จากการวัดอย่างแม่นยำเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์สำหรับการประยุกต์ใช้งานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ค่าการสูญเสียของฉนวนในสายเคเบิล ค่าอิมพีแดนซ์ของฐานรอง (Substrate) หรือความถี่ไดอิเล็กตริกเรโซเนเตอร์ (Dielectric resonator) ซึ่งข้อมูลของคุณสมบัติไดอิเล็กตริกยังมีประโยชน์สำหรับนักออกแบบบรรจุภัณฑ์ในการปรับปรุงสารประกอบแม่เหล็ก (Ferrite) หรือตัวดูดซับคลื่น (Absorber) นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้ในส่วนกระบวนการใช้ไมโครเวฟเพื่ออุตสาหกรรม ได้แก่ อาหาร ผัก ผลไม้ ยาง ไม้

พลาสติก และเซรามิก เป็นต้น คุณสมบัติไดอิเล็กตริกเป็นค่าไม่คงที่ สามารถแปรผันตามความถี่ อุณหภูมิ การจัดเรียงตัวของประจุ ส่วนผสม ความดัน และ โครงสร้างโมเลกุลของวัสดุ โดยค่าความถี่ ที่ได้จะแสดงผลผ่านจอแสดงผลที่ตัวอุปกรณ์ และก็จะมีการนำค่าข้อมูลต่างๆที่ได้ส่งผ่าน โมดูล ออกทางสายอากาศเพื่อนำไปแสดงค่าความถี่ที่จอแสดงผลด้วยอีกครั้งหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อสร้างระบบวัดความถี่ของข้าวเปลือกที่สามารถวัดความถี่ได้ที่บนผิว และภายในกองของกองข้าวเปลือกได้
- 2) เพื่อส่งข้อมูลค่าความถี่ผ่าน โมดูลออกทางสายอากาศเพื่อนำไปแสดงค่าความถี่ที่จออุปกรณ์แสดงผล

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โดยทั่วไปหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวเปลือกมักพบว่าข้าวเปลือกที่ได้จะมีความชื้นสูงและมีผลกระทบต่อคุณภาพทางกายภาพของข้าวกล้าวคือเมื่อนำไปสีจะได้ข้าวที่แตกหักนอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อคุณภาพข้าว เช่น มีเชื้อรา เป็นต้น จากปัญหาดังกล่าวนี้ถ้าหากมีอุปกรณ์ที่สามารถวัดความถี่ได้จะทำให้มีข้อมูลที่จะช่วยตัดสินใจในการจัดการผลิตผล ไม่ว่าจะเป็นเวลาเก็บเกี่ยว กระบวนการลดความชื้นรวมทั้งการเก็บรักษาจะทำให้ได้ราคาที่เหมาะสม ดังนั้นปริยญาณิพนธ์นี้จะออกแบบและสร้างเครื่องตรวจวัดความถี่ในกองข้าวเปลือก โดยจะแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจะเป็นการวัดเพื่อทดสอบหาค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของข้าวเปลือกซึ่งจะใช้เซนเซอร์ 2 ตัว ตัวแรกจะวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่ผิวของกองข้าวเปลือก ส่วนตัวที่ 2 จะวัดภายในกองข้าวเปลือก ค่าความถี่ที่ได้จะแสดงผลผ่านจอแสดงผลที่ตัวอุปกรณ์ ส่วนที่สองจะเป็นการนำค่าข้อมูลต่างๆที่ได้ส่งผ่าน โมดูลออกทางสายอากาศเพื่อนำไปแสดงค่า ความถี่ที่จออุปกรณ์แสดงผล

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

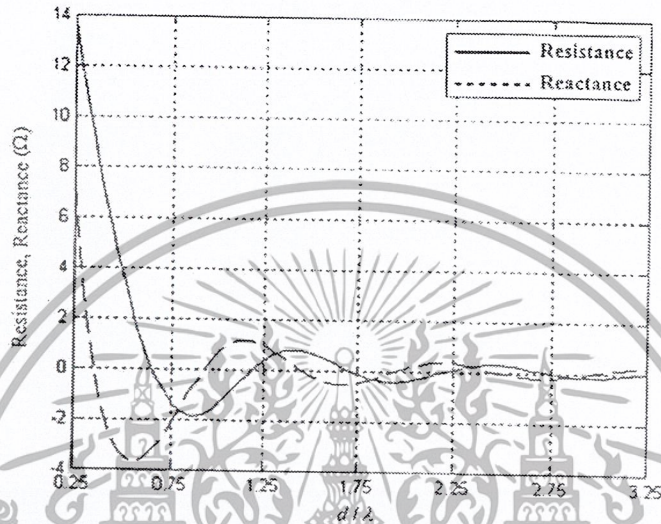
อิมพีแดนซ์ของสายอากาศขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการร่วมกัน ไม่ว่าจะเป็นความถี่ที่ใช้งานของสายอากาศ รูปร่างของสายอากาศ วิธีการป้อน หรือแม้กระทั่งวัตถุที่อยู่รอบข้างสายอากาศ ดังนั้นการวิเคราะห์สายอากาศในทางปฏิบัติจึงมีข้อจำกัดมากมาย อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ณ จุดต่างๆ ถูกนิยามด้วยอัตราส่วนของสนามไฟฟ้าต่อสนามแม่เหล็ก ณ จุดที่สังเกต มีวิธีการหลากหลายในการหาอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ซึ่งในส่วนของปริณูณานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการหาค่าอิมพีแดนซ์ร่วมของสายอากาศ (Z_{21}) ด้วยวิธีการแรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induced EMF method) วิธีการนี้เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ดีสำหรับใช้ในการคำนวณหาอิมพีแดนซ์ตัวเอง (Self impedance) และอิมพีแดนซ์ร่วม (Mutual impedance) ของสายอากาศ ซึ่งวิธีการนี้ใช้ได้กับสายอากาศที่มีลักษณะเส้นตรง ขนานกัน และขนานแบบเหลื่อมล้ำกัน นอกจากนี้วิธีการนี้ยังง่ายในการคำนวณเพราะไม่นำค่ารัศมีของเส้นลวด และระยะห่างของช่อง ณ ตำแหน่งจุดป้อนมาใช้ในการคำนวณ

2.2 การคำนวณอิมพีแดนซ์ร่วมสายอากาศไดโพลในตัวกลางที่ปราศจากการสูญเสีย

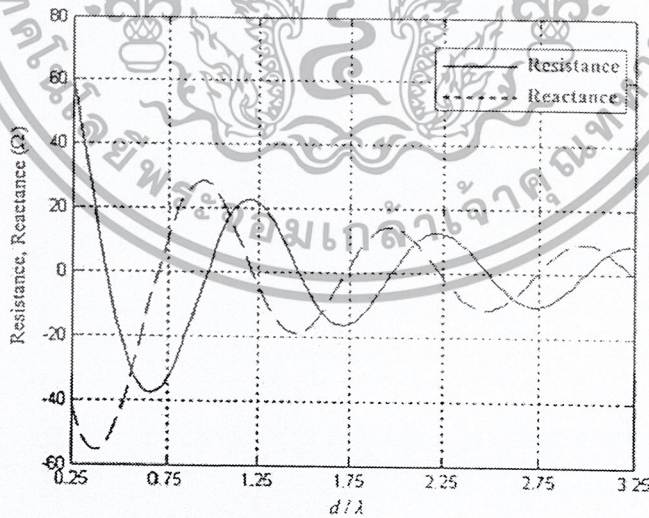
จากรูปที่ 2.1 เห็นได้ว่าความต้านทาน (Resistance) และค่ารีแอกแตนซ์ (Reactance) ลดลงเมื่ออัตราส่วนของระยะห่างต่อความยาวคลื่น (d/λ) เพิ่มขึ้น ยิ่งระยะห่างของสายอากาศไดโพลทั้งสองตัวมากขึ้นค่าจะเริ่มคงที่เข้าใกล้ศูนย์

จากรูปที่ 2.2 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ร่วมกรณีทีสายอากาศไดโพลมีรูปแบบการจัดวางตัวแบบขนาน ผลที่ได้มาจากกรณีทีสายอากาศไดโพลมีรูปแบบการจัดวางแบบพาราเลลอินเอชซิลอน ซึ่งได้มีการศึกษามาก่อนหน้าแล้ว [2] พบว่าทั้งค่าความต้านทานและค่ารีแอกแตนซ์

ลดลงเมื่ออัตราส่วนของระยะห่างต่อความยาวคลื่น (d/λ) เพิ่มมากขึ้น ยิ่งระยะห่างของสายอากาศไดโพลทั้งสองตัวมากขึ้นค่าจะเริ่มคงที่เข้าใกล้ศูนย์



รูปที่ 2.1 ค่าอิมพีแดนซ์ร่วมจากการวิเคราะห์กรณีที่สายอากาศไดโพลมีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉาก [2]



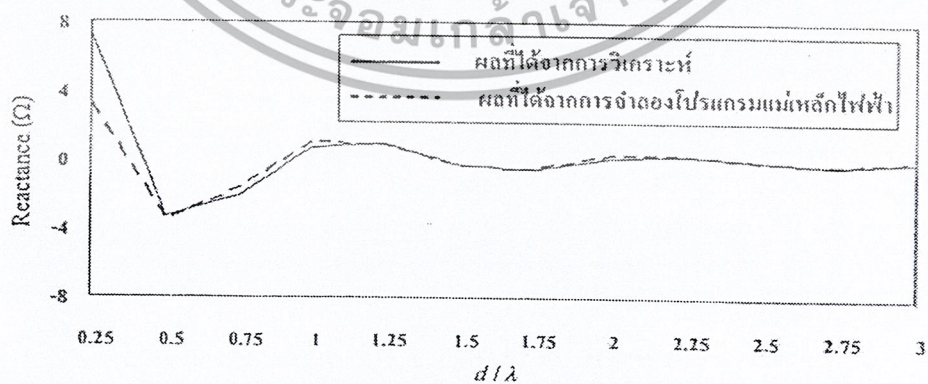
รูปที่ 2.2 ค่าอิมพีแดนซ์ร่วมจากการวิเคราะห์กรณีที่สายอากาศไดโพลมีรูปแบบการจัดวางแบบขนาน [2]

จากรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 เห็นได้ว่าค่าความต้านทานร่วมและค่ารีแอกแตนซ์ร่วมจากการวิเคราะห์หมีเนวโน้มเช่นเดียวกับค่าจากการจำลองโปรแกรมแม่เหล็กไฟฟ้า แต่จะเห็นว่าค่าจากการวิเคราะห์หมีค่าแตกต่างไปจากค่าจากการจำลองโปรแกรมแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงระยะห่างระหว่างสายอากาศโคโพลสองตัวมีค่าน้อยๆ เมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศโคโพลเพิ่มขึ้นค่าจากการวิเคราะห์และค่าจากการจำลองโปรแกรมแม่เหล็กไฟฟ้าแตกต่างกันน้อยลง

จากสูตรที่ได้จากการวิเคราะห์สายอากาศโคโพลสองตัวที่มีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉาก เมื่อทำการศึกษาค่าของอิมพีแดนซ์ร่วมจากผลกระทบ โดยเปลี่ยนแปลงความสูงของสายอากาศโคโพลตัวที่สอง ซึ่งวางอยู่ในแนวแกน y กำหนดให้สายอากาศโคโพลสองตัวมีความยาวครึ่งความยาวคลื่น (0.5λ)

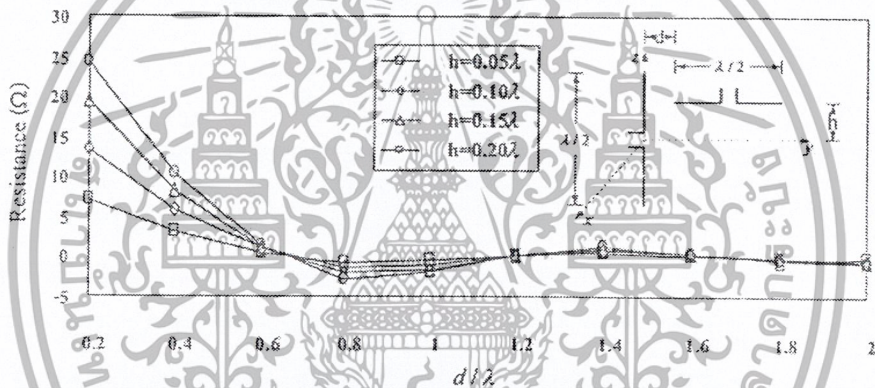


รูปที่ 2.3 ค่าความต้านทานร่วมจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการจำลองโปรแกรมแม่เหล็กไฟฟ้ากรณีที่สายอากาศโคโพลมีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉาก [2]

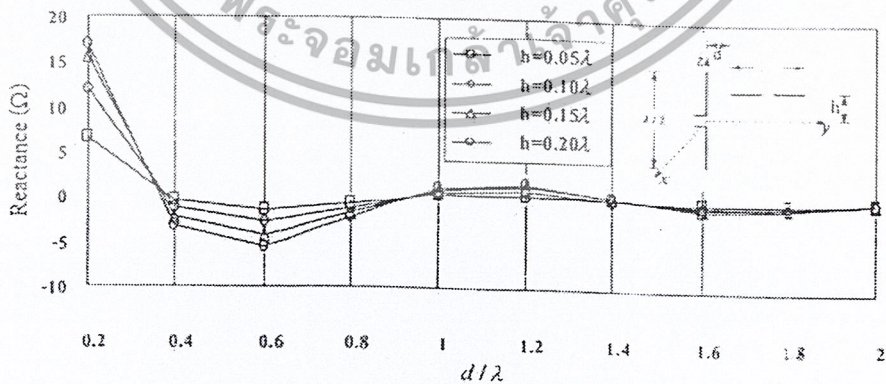


รูปที่ 2.4 ค่ารีแอกแตนซ์ร่วมจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการจำลองโปรแกรมแม่เหล็กไฟฟ้ากรณีที่สายอากาศโคโพลมีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉาก [2]

จากรูปที่ 2.5 ช่วงระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพลสองตัวเท่ากับ $(0.2\lambda - 0.6\lambda)$ ค่าความต้านทานรวมมากขึ้นเมื่อความสูงของสายอากาศไดโพลตัวที่สองเลื่อนสูงขึ้น และลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ เมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพลสองตัวเพิ่มมากขึ้น รูปที่ 2.6 ช่วงระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพลสองตัวเท่ากับ $(0.2\lambda - 0.4\lambda)$ ค่ารีแอกแตนซ์รวมมากขึ้นเมื่อความสูงของสายอากาศไดโพลตัวที่สองเลื่อนสูงขึ้น และลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์เมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพลทั้งสองเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับค่าความต้านทานรวม จากการศึกษาค่าผลกระทบของการเลื่อนความสูงของสายอากาศไดโพลตัวที่สองพบว่าที่ระยะความสูง $(h = 0)$ หรือเมื่อสายอากาศไดโพลตัวที่สองอยู่ในแนวจุดป้อนของสายอากาศตัวแรก ค่าความต้านทานรวมและค่ารีแอกแตนซ์รวมมีค่าน้อยมากจนเกือบเป็นศูนย์เช่นเดียวกันกับเมื่อระยะความสูง $(h = 0.125\lambda)$



รูปที่ 2.5 ค่าความต้านทานรวมจากการวิเคราะห์สายอากาศไดโพลที่มีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉากเมื่อเปลี่ยนแปลงความสูงของสายอากาศไดโพลตัวที่สอง [2]



รูปที่ 2.6 ค่ารีแอกแตนซ์รวมจากการวิเคราะห์สายอากาศไดโพลที่มีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉากเมื่อเปลี่ยนแปลงความสูงของสายอากาศไดโพลตัวที่สอง [2]

2.3 การหาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกด้วยการวัดขนาดของการเชื่อมต่อร่วม

เราสามารถจำแนกวัสดุได้โดยใช้คุณสมบัติไดอิเล็กตริก ซึ่งพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้สำหรับบอกความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า คือ ค่าสภาพยอมไฟฟ้า (ϵ) และค่าความซึบซาบแม่เหล็ก (μ) ค่าสภาพยอมไฟฟ้าเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถของวัสดุในสนามไฟฟ้าค่าสภาพยอมไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนจริง (ϵ') ที่เรียกว่าค่าคงตัวไดอิเล็กตริก และส่วนจินตภาพ (ϵ'') ที่เรียกว่า ตัวประกอบสูญเสีย ดังนั้นค่าสภาพยอมไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังนี้

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

โดยที่ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกบ่งบอกถึงความสามารถของวัสดุในการเก็บพลังงานไฟฟ้า ตัวประกอบสูญเสียบ่งบอกถึงพลังงานของสนามไฟฟ้าที่สูญเสียในตัววัสดุ นอกจากนี้พารามิเตอร์ที่มักใช้บ่อยครั้งเรียกว่าแทนเจนต์การสูญเสีย (Loss tangent) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างตัวประกอบสูญเสียกับค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ค่าสภาพยอมไฟฟ้าของวัสดุมักถูกนอร์มอลไลซ์ (Normalized) ด้วยค่าสภาพยอมไฟฟ้าของสุญญากาศ และเรียกใหม่ว่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ (Relative permittivity) สามารถแสดงได้ดังนี้

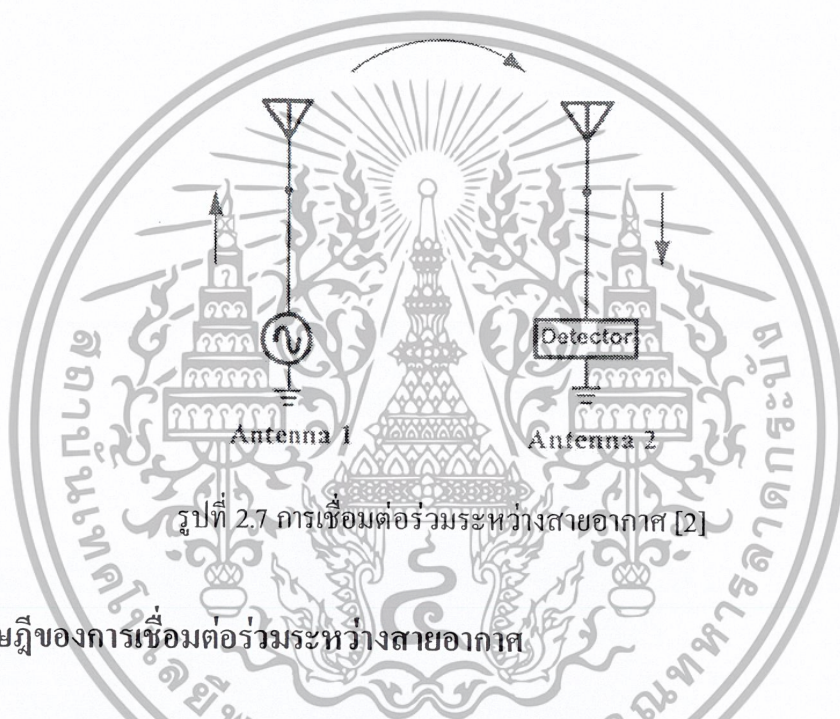
$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (2.2)$$

โดยที่ $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ นอกจากนี้ค่าตัวประกอบสูญเสียสัมพัทธ์สามารถเขียนให้อยู่ในฟังก์ชันของสภาพนำ (σ) ได้ดังนี้

$$\epsilon'' = \frac{\sigma}{\omega\epsilon_0} \quad (2.3)$$

ค่าสภาพยอมไฟฟ้าเป็นพารามิเตอร์หนึ่งในสมการคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเมื่อสามารถหาค่าอิมพีแดนซ์ของตัวกลางที่คลื่นเดินทางผ่านจะทำให้รู้ค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริกในตัวกลางนั้นได้

จากรูปที่ 2.7 แสดงถึงการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ โดยที่สายอากาศตัวหนึ่ง ต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดสัญญาณ สายอากาศอีกตัวต่ออยู่กับตัวตรวจจับสัญญาณ เมื่อสายอากาศตัวที่ หนึ่งส่งสัญญาณผ่านตัวกลางมายังสายอากาศตัวที่สอง ขนาดของสัญญาณที่สายอากาศตัวที่สอง ตรวจจับได้เรียกว่า ขนาดของการเชื่อมต่อร่วม (Mutual coupling) ซึ่งค่าขนาดของการเชื่อมต่อ ร่วมมีผลกระทบโดยตรงมาจากอิมพีแดนซ์ร่วมของสายอากาศ ดังนั้นเมื่อรู้ค่าขนาดของการ เชื่อมต่อร่วมจะสามารถหาค่าไดโอดเล็กทรอนิกส์ของตัวกลางของคลื่นที่เดินทางผ่านได้



รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ [2]

2.4 ทฤษฎีของการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ

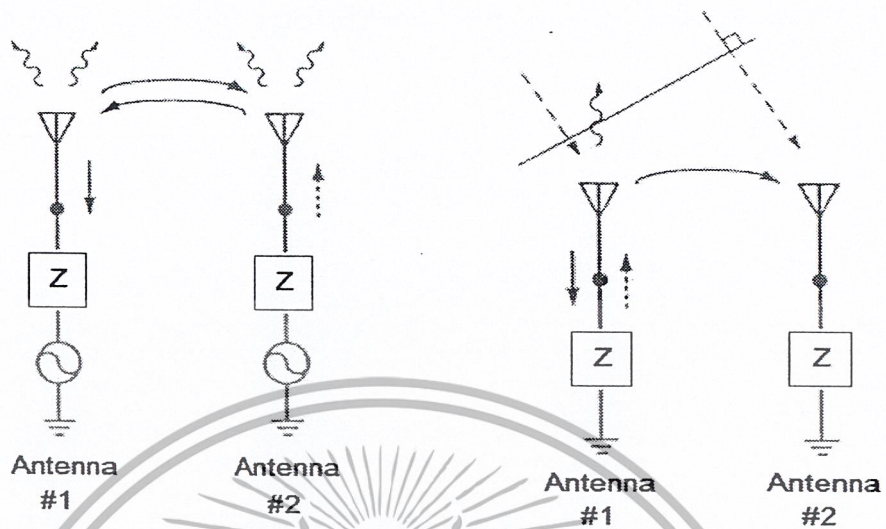
เมื่อสายอากาศ 2 ตัววางอยู่ใกล้ๆกัน ไม่ว่าจะตัวหนึ่งตัวใดหรือทั้งคู่จะทำหน้าที่รับหรือ ส่งสัญญาณ พลังงานบางส่วนที่มาจากสายอากาศตัวหนึ่งย่อมมีอิทธิพลต่อสายอากาศอีกตัว โดย ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

- 1) คุณลักษณะการแผ่คลื่น (Radiation characteristics) ของสายอากาศแต่ละตัว
- 2) ระยะห่างสัมพัทธ์ (Relative separation) ระหว่างสายอากาศแต่ละตัว
- 3) กำหนดทิศทางหรือตำแหน่งสัมพัทธ์ (Relative orientation) ของสายอากาศ

การแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างสายอากาศเกิดจากกลไกที่แตกต่างกันมากมาย อาทิ เช่น ถ้าสายอากาศทำหน้าที่ส่งสัญญาณทั้งคู่ พลังงานที่ส่งจากสายอากาศตัวหนึ่งจะถูกรับโดยสายอากาศอีกตัวหนึ่ง อันเนื่องจากสายอากาศในทางปฏิบัติมีคุณสมบัติในเชิงทิศทางที่ไม่เป็นไปตามอุดมคติ (Non-ideal directional characteristics) บางส่วนของพลังงานที่ตกกระทบสายอากาศอาจเกิดการกระเจิงใหม่ (Rescattered) ในทิศทางอื่นๆซึ่งทำให้เกิดเป็นตัวส่งสัญญาณทุติยภูมิ (Secondary transmitters) การแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างสายอากาศคือ การเชื่อมต่อนร่วม (Mutual coupling) ในหลายๆกรณีก็ทำให้การออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศมีความซับซ้อนมากขึ้น การเชื่อมต่อนร่วมระหว่างสายอากาศสามารถแบ่งได้เป็น 2 โหมดดังรูปที่ 2.8 ดังนี้

โหมดการส่ง (Transmitting mode) ดังรูปที่ 2.8 เมื่อแหล่งกำเนิดสัญญาณกระตุ้นสายอากาศ #2 ส่งพลังงานจากสายอากาศ #2 แพร่กระจายออกสู่อากาศไปสู่สายอากาศ #1 พลังงานที่ตกกระทบจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปยังแหล่งกำเนิดสัญญาณของสายอากาศ #1 บางส่วนของพลังงานแพร่กระจายออกสู่อากาศและตกกระทบกับสายอากาศ #2 อีกครั้ง กระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันเมื่อสายอากาศ #1 เป็นตัวส่งสัญญาณ

โหมดการรับ (Receiving mode) ดังรูปที่ 2.8 อันถัดมาเมื่อมีคลื่นระนาบตกกระทบสายอากาศ #1 ก่อนจะเกิดการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้า คลื่นตกกระทบบางส่วนจะกระเจิงสู่อากาศและบางส่วนจะกระเจิงสู่สายอากาศ #2 ทำให้สายอากาศ #2 ได้รับพลังงานจาก 2 แหล่ง ซึ่งผลรวมที่ได้จะต้องรวมกันแบบเวกเตอร์

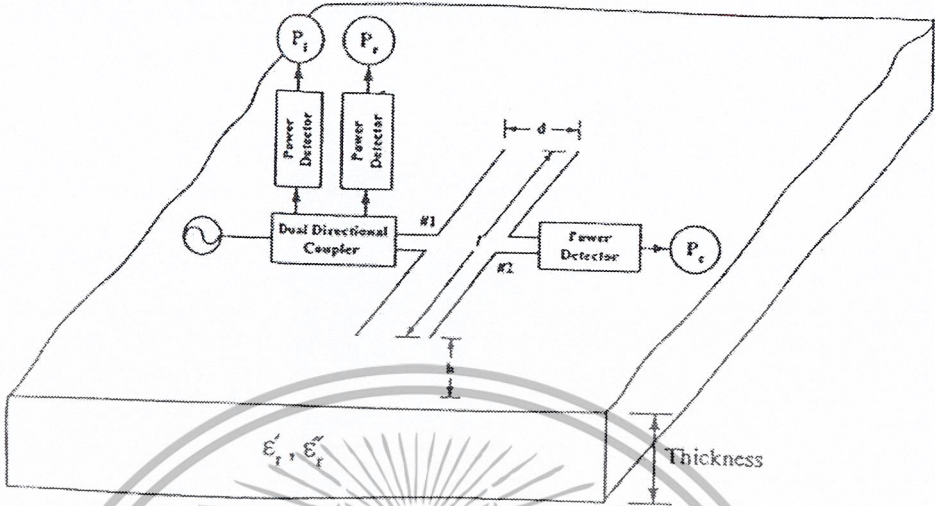


รูปที่ 2.8 การเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ
โหมคการส่งและโหมคการรับ [3]

2.5 หลักการของอุปกรณ์ตรวจรู้สายอากาศไดโพลคู่

สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น 2 ตัววางขนานกัน โดยมีระยะห่าง d วางเหนือตัวกลางไดอิเล็กตริก (ϵ', ϵ'') ขนาดกึ่งอนันต์เป็นระยะ h ดังรูปที่ 2.9 สายอากาศ #1 ถูกกระตุ้นด้วยเครื่องส่งโดยคัปเปิลอร์แบบมีทิศทางคู่ (Dual directional coupler) สำหรับวัดกำลังงานที่ตกกระทบ (P_i) และกำลังงานที่สะท้อนกลับ (P_r) สายอากาศ #2 จะรับคลื่นที่เชื่อมต่อ (Coupled power) จากสายอากาศ #1 โดยเป็นคลื่นที่กระเจิงมาจากตัวกลางไดอิเล็กตริกขนาดกึ่งอนันต์ตัวตรวจจับกำลังงาน (Power detector) ซึ่งถูกติดตั้งที่อินพุทของสายอากาศ #2 เพื่อวัดกำลังงานของคลื่นที่เชื่อมต่อ (P_c)

จากรูปที่ 2.9 สามารถพิจารณาระบบนั้นในลักษณะของโครงข่าย 2 พอร์ต ดังรูปที่ 2.10 โดย E_{t1}, E_{r1}, E_{i1} และ E_{r2} คือคลื่นตกกระทบและสะท้อนกลับของพอร์ตที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งจะได้ว่า



รูปที่ 2.9 โครงสร้างปัญหาของสายอากาศไดโพลคู่เหนือตัวกลางไดอิเล็กตริกขนาดกึ่งอนันต์ [3]

$$V_1 = E_{i1} + E_{r1} \tag{2.4}$$

$$I_1 = \frac{E_{i1} - E_{r1}}{Z_0} \tag{2.5}$$

$$V_2 = E_{i2} + E_{r2} \tag{2.6}$$

$$I_2 = \frac{E_{i2} - E_{r2}}{Z_0} \tag{2.7}$$

โดย Z_0 คืออิมพีแดนซ์ลักษณะของสายส่ง

$$a_1 = \frac{E_{i1}}{\sqrt{Z_0}} \tag{2.8}$$

$$b_1 = \frac{E_{r1}}{\sqrt{Z_0}} \tag{2.9}$$

$$a_2 = \frac{E_{i2}}{\sqrt{Z_0}} \tag{2.10}$$

$$b_2 = \frac{E_{r2}}{\sqrt{Z_0}} \tag{2.11}$$

สมการของพารามิเตอร์ S กำหนดได้โดย

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (2.12)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \quad (2.13)$$

จากระบบโครงข่าย 2 พอร์ต เมื่อโหลดปลายสายของเอาต์พุตให้มีอิมพีแดนซ์เท่ากับอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่ง จะทำให้คลื่นตกกระทบถูกดูดกลืนหมด ($a_2 = 0$) จะได้ว่า

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (2.14)$$

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (2.15)$$

เมื่อกำลังงานของคลื่นแปรผันตามสนามไฟฟ้า ดังนี้

$$P = \frac{E^2}{\eta} \quad (2.16)$$

โดย η คือ อิมพีแดนซ์อินทรินซิก (Intrinsic impedance) ของตัวกลางจากสมการที่ (2.7) ถึง (2.11) และ (2.14) ถึง (2.16) จะสามารถหาค่าขนาดของสัมประสิทธิ์การสะท้อน ($|S_{11}|$) และการเชื่อมต่อ ($|S_{21}|$) ได้โดย

$$|S_{11}| = \sqrt{\frac{P_r}{P_i}} \quad (2.17)$$

$$|S_{21}| = \sqrt{\frac{P_c}{P_i}} \quad (2.18)$$

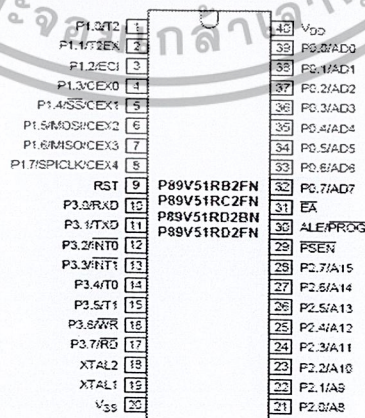
การแก้ปัญหาสามารถใช้ได้ทั้งทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ โปรแกรมการจำลองแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic simulator) ในการคำนวณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51)

ในปฏิญญาฉบับนี้จะขอยกตัวอย่างไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของบริษัท Phillips รุ่น P89V51RD2 ซึ่งเป็นรุ่นที่สามารถรองรับการดาวน์โหลดโปรแกรมแบบ ISP ผ่านพอร์ตอนุกรมได้โดยตรงไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์หรือวงจรเพิ่มเติมในการดาวน์โหลดโปรแกรม โดยมีโครงสร้างพื้นฐานดังรูปที่ 2.10 และมีคุณสมบัติทางเทคนิคดังต่อไปนี้

- 1) หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลชสามารถใช้งานในรูปแบบของชิพเดียวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก และมีขนาดความจำสูงสุด 64 KB
- 2) ขาพอร์ต 8 บิต 4 พอร์ต แบบกึ่งสองทิศทาง (quasi-bidirectional) เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- 3) ทำงานในโหมดสัญญาณนาฬิกา 12 ลูกต่อแมกซีนไซเคิล สามารถเลือกเปลี่ยนเป็น 6 ลูกต่อแมกซีนไซเคิลได้
- 4) มีไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตสามตัวคือ ไทมเมอร์ 0, 1 และ 2
- 5) สามารถกำหนดนับสำคัญของการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ได้ 4 ระดับ และสามารถรับแหล่งการเกิดอินเตอร์รัปต์ได้ 7 ประเภท
- 6) มีวอตช์ด็อกไทมเมอร์
- 7) มี PCA (Programmable Counter Array) ซึ่งบรรจุวงจรตรวจจับสัญญาณเปรียบเทียบกับสัญญาณวงจรมอดูเลชันทางความกว้างพัลส์ และวอตช์ด็อกไทมเมอร์



P1.3/T2	1	40	V _{DD}
P1.1/2EX	2	39	P0.2/AD0
P1.2/EC1	3	38	PC.1/AD1
P1.3/CEX0	4	37	PC.2/AD2
P1.4/SS/CEX1	5	36	PC.3/AD3
P1.5/MOS/CEX2	6	35	PC.4/AD4
P1.6/MISO/CEX3	7	34	PC.5/AD5
P1.7/SPICLK/CEX4	8	33	PC.6/AD6
RST	9	32	PC.7/AD7
P3.0/RXD	10	31	EA
P3.1/TXD	11	30	ALE/PROG
P3.2/INT0	12	29	PSEN
P3.3/INT1	13	28	P2.7/A15
P3.4/INT	14	27	P2.6/A14
P3.5/T1	15	26	P2.5/A13
P3.6/T2	16	25	P2.4/A12
P3.7/RST	17	24	P2.3/A11
XTAL2	18	23	P2.2/A10
XTAL1	19	22	P2.1/A9
V _{SS}	20	21	P2.0/A8

รูปที่ 2.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของบริษัท Phillips รุ่น P89V51RD2

2.6.1 ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ของ MCS -51

ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องมีการเก็บค่าของเวลาและจำนวนของสัญญาณนาฬิกา เพื่อประโยชน์ในการสร้างฐานเวลา สร้างสัญญาณพัลส์ รวมไปถึงการกำหนดอัตราการถ่ายทอดข้อมูลในการสื่อสารข้อมูลพอร์ตอนุกรมด้วย ในไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ P89V51RD2 ของ Philip มีวงจรไทเมอร์/เคาน์เตอร์ ขนาด 16 บิต 3 ตัว คือ ไทเมอร์ 0 ไทเมอร์ 1 ไทเมอร์ 2 หรือเรียกสั้นๆว่า T0,T1 และ T2

2.6.2 การทำงานเป็นเคาน์เตอร์

เมื่อทำงานเป็นเคาน์เตอร์หรือตัวนับ ค่าของรีจิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับลอจิกจาก “1” เป็น “0” เกิดขึ้นที่ขาอินพุตทางฮาร์ดแวร์ของวงจรไทเมอร์ เคาน์เตอร์ ซึ่งก็คือ T0 (3.4) ขา T1 (3.5) และขา T2 (1.0) โดยจะมีการซุ่มรับสัญญาณอินพุตในทุกๆคาบเวลา ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตที่ขาไทเมอร์ จะต้องใช้ 2 แมกซิมัมไซเคิล โดยอัตราการนับของเคาน์เตอร์จึงเท่ากับ $1/12$ ของความถี่สัญญาณนาฬิกาใน P89V51RD2

2.6.3 การทำงานเป็นไทเมอร์

เมื่อกำหนดให้เป็นตัวตั้งเวลาหรือไทเมอร์ ค่ารีจิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นทุกแมกซิมัมไซเคิล ดังนั้นเมื่อทำงานเป็นไทเมอร์ รีจิสเตอร์จะนับค่าของแมกซิมัมไซเคิลนั่นเอง สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ P89V51RD2 สามารถเลือกได้ทั้ง 12 และ 6 สัญญาณนาฬิกา/ไซเคิล

2.6.4 รีจิสเตอร์ไทเมอร์

มีอยู่ด้วยกัน 4 ตัวคือ TL0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x8A, TH0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x8C, TL1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x8B และ TH1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x8D รีจิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวจะอยู่ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษหรือ SFR รีจิสเตอร์แต่ละตัวมีขนาด 8 บิต แต่ในการใช้งานทั่วไปมักใช้

ร่วมกันโดยจัดเป็นคู่คือ TLO กับ TH0 รวมกันเป็นรีจิสเตอร์ ไทเมอร์ 0 ขนาด 16 บิต และ TL1 กับ TH1 รวมกันเป็นรีจิสเตอร์ ไทเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต โดยใน TLO และ TL1 เก็บข้อมูล 8 บิตล่าง ส่วน TH0 และ TH1 เก็บข้อมูล 8 บิตบน รีจิสเตอร์ ไทเมอร์ ทั้ง 2 คู่ เมื่อนำมารวมกันจะสามารถเก็บค่าของการนับได้สูงสุด 65,536 หรือ 0xFFFF และเมื่อนับถึงค่านี้อันแล้วจะวนไปเริ่มนับใหม่ 0x0000 และเมื่อเกิดการนับรอบใหม่บิต TF0 หรือ TF1 ในรีจิสเตอร์ TCON จะเกิดการเซตเพื่อแจ้งให้ทราบว่าเกินค่าสูงสุดแล้ว การเซตบิต TF0 หรือ TF1 ขึ้นอยู่กับว่าใช้งานรีจิสเตอร์ตัวใด

2.6.5 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์

บิตควบคุมต่างๆของรีจิสเตอร์ TCON สามารถแสดงดังตารางที่ 2.1 ซึ่ง 4 บิตแรกของรีจิสเตอร์ TCON จะเกี่ยวข้องกับควบคุมสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอก

ตารางที่ 2.1 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์

bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0

- TF1 : จะเซตเมื่อค่าของรีจิสเตอร์ ไทเมอร์ 1 เกิดการนับเกินหรือโอเวอร์โฟลว์
- TR1 : ใช้ในการปิดเปิดการทำงานของไทเมอร์ 1
- TF0 : จะเซตเมื่อค่าของรีจิสเตอร์ ไทเมอร์ 0 เกิดการนับเกินหรือโอเวอร์โฟลว์
- TR0 : ใช้ในการปิดเปิดการทำงานของไทเมอร์ 0
- IE1 : จะเซตเมื่อตรวจจบขอบขาของสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากขา INT1 และจะเคลียร์เมื่อมีการอินเทอร์รัปต์
- IT1 : ใช้เลือกลักษณะของสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกที่ต้องการให้ทำการตอบสนองสำหรับขาอินพุตอินเทอร์รัปต์ INT1
- “0” เลือกขอบขาลงของสัญญาณ
- “1” เลือกระดับลอจิกต่ำ

- IE0 : จะเซตเมื่อตรวจจับขอบขาของสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากขา INTO และจะเคลียร์เมื่อมีการอินเทอร์รัปต์
- IT : ใช้เลือกลักษณะของสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกที่ต้องการให้ทำการตอบสนองสำหรับขาอินพุตอินเทอร์รัปต์ INTO
 “0” เลือกขอบขาลงของสัญญาณ
 “1” เลือกระดับลอจิกต่ำ

2.6.6 รีจิสเตอร์เลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์

การทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ จะมีด้วยกัน 4 แบบซึ่งสามารถเลือกโหมดในการทำงานโดยรีจิสเตอร์ TMOD โดย 4 บิตแรกของ TMOD จะเป็น Timer 0 และ 4 บิตหลังจะเป็น Timer 1 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 รีจิสเตอร์เลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์

bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
Gate	C/T	M1	M0	Gate	C/T	M1	M0
Timer 1				Timer 0			

- Gate : ใช้เลือกลักษณะการควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์
 “0” ไทเมอร์/เคาน์เตอร์จะทำงานเมื่อบิต TRx ในรีจิสเตอร์ TCON เป็น “1”
 “1” ไทเมอร์/เคาน์เตอร์จะทำงานเมื่อบิต TRx ในรีจิสเตอร์ TCON เป็น “1”
 และสถานะลอจิกที่ขาอินพุตอินเทอร์รัปต์ INTO และ INT1 เป็น “1”
- C/T : ใช้เลือกลักษณะการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์
 “0” เลือกการทำงานเป็นไทเมอร์ โดยใช้สัญญาณอินพุตจากสัญญาณนาฬิกาภายใน
 “1” เลือกการทำงานเป็นเคาน์เตอร์ โดยรับสัญญาณอินพุตทางขา T0 หรือ TI

- M1,M0 : ใช้เลือกโหมดการทำงานของไทมเมอร์/เคาน์เตอร์
- “00” เลือกให้ทำงาน โหมดไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 13 บิต
 - “01” เลือกให้ทำงาน โหมดไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต
 - “10” เลือกให้ทำงาน โหมดไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 8 บิตแบบตั้งค่าอัตโนมัติ
 - “11” สำหรับไทมเมอร์ 0 เลือกให้ทำงานในโหมดไทมเมอร์/เคาน์เตอร์แยกส่วน

2.6.7 สื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถสื่อสารข้อมูลได้ทั้งรับทั้งส่งในเวลาเดียวกันหรือที่เรียกว่าฟลูอิดเพล็กซ์ โดยใช้ขา P3.0 ทำหน้าที่รับข้อมูล และขา 3.1 ทำหน้าที่ส่งข้อมูล รูปแบบการสื่อสารจะต้องมีรูปแบบเดียวกันทั้งคู่ อันประกอบด้วยการถ่ายถอดข้อมูลหรือ (Baud rate) บิตเริ่มต้น (start bit) บิตข้อมูล (data bit) บิตตรวจสอบพาริตี (parity bit) และบิตหยุด(stop bit)

2.6.8 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม

พอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรมจะถูกควบคุมโดยรีจิสเตอร์ SCON ซึ่งบิตการควบคุมต่างๆของรีจิสเตอร์ SCON สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม

bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

SM0 : ปกติจะใช้ร่วมกับ SM1 เพื่อกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมการเข้าถึงบิตต้องเคลียร์บิต SMOD ซึ่งเป็นบิตที่ 6 ใน PCON ในกรณีที่ใช้ความสามารถตรวจจับความผิดพลาดของเฟรมข้อมูล บิตนี้จะเซตเป็น “1” ทันที เมื่อพบว่าสามารถตรวจจับบิตหยุดหรือบิตปิดท้ายของพอร์ตอนุกรมได้ การเอ็นเอเบิล

ความสามารถนี้ทำได้โดยการเซตบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON

SM1 : ใช้ร่วมกับบิต SM0 ในการกำหนดการทำงานของโหมดอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ P89V51RD2 มีรายละเอียดดังนี้

SM0	SM1	โหมด	รายละเอียด	อัตราบอด
0	0	0	ชิพรีจิสเตอร์	ความถี่สัญญาณนาฬิกา / 6
0	1	1	UART 8 บิต	ปรับค่าได้
1	0	2	UART 9 บิต	ความถี่สัญญาณนาฬิกา / 32, / 6
1	1	3	UART 9 บิต	ปรับค่าได้

SM2 : ใช้เอ็นเอเบิลความสามารถการรับรู้แอดเดรสในการติดต่ออัตโนมัติเมื่อมีการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์หลายตัวเข้าด้วยกัน โดยสามารถใช้ได้เมื่ออยู่ในโหมด 2 และ 3

REN : ใช้เอ็นเอเบิลความสามารถในการรับข้อมูลของวงจรถอดอนุกรม “1” เอ็นเอเบิลการรับข้อมูล “0” ดิสเอเบิลการรับข้อมูล

TB8 : ใช้เก็บข้อมูลบิต 8 หรือ บิต 9 ที่ต้องการส่งออกทางพอร์ตอนุกรมเมื่อทำงานในโหมด 2 และ 3

RB8 : ใช้เก็บข้อมูลบิต 8 หรือ บิต 9 ที่รับเข้ามาทางพอร์ตอนุกรม เมื่อทำงานในโหมด 2 หรือ 3

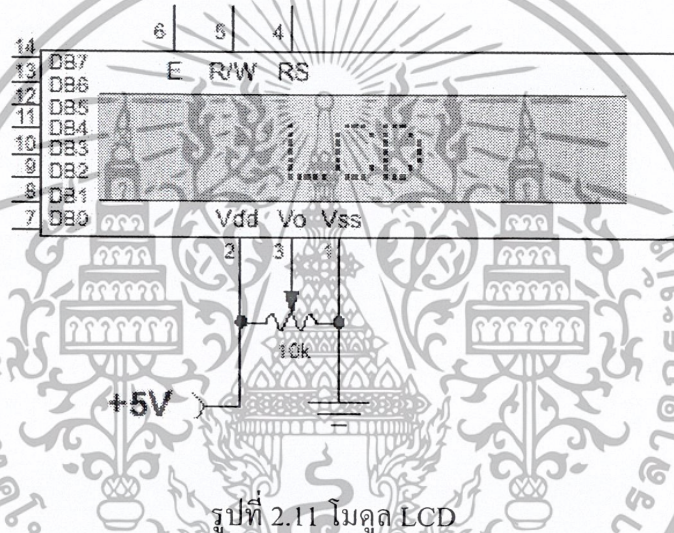
TI : บิตที่ใช้ตรวจสอบการส่งข้อมูลออกทางพอร์ตอนุกรม ถ้า TI = 1 หมายความว่าส่งข้อมูล 1 ไบต์ ออกทางพอร์ตอนุกรมเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นทำการเคลียร์บิตแฟล็ก TI เพื่อ เตรียมความพร้อมในการส่งข้อมูลไบต์ต่อไป โดยในการนำข้อมูลออกนั้นต้องเขียนข้อมูลให้กับรีจิสเตอร์ SBUF

RI : เป็นบิตที่ใช้ตรวจสอบการรับข้อมูลเข้ามาทางพอร์ตอนุกรม ถ้า RI = 1 หมายความว่าข้อมูลเข้ามาทางพอร์ตอนุกรมแล้ว และข้อมูลที่เก็บในรีจิสเตอร์ SBUF ถ้าต้องการนำข้อมูลไปใช้งานต้องเคลียร์บิตแฟล็ก RI แล้วอ่านข้อมูลจาก SBUF มาเก็บไว้ที่ตัวแปรที่ต้องการ

2.6.9 การติดต่อกับโมดูล LCD ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2.6.9.1 ข้อมูลเบื้องต้นของ โมดูล LCD

ผลลัพธ์ในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้จะถูกแสดงผลที่จอ LCD ซึ่งเป็นอุปกรณ์แสดงผลในระบบดิจิทัล ซึ่งขาค้างๆที่ใช้ในการควบคุมการแสดงผลของจอ LCD สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.11



- Vss(ขา1) : ต่อกราวด์
- Vdd(ขา2) : ต่อไฟเลี้ยง +5V
- V0(ขา3) : เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มการแสดงผล
- RS(ขา 4) : เป็นขาอินพุตใช้แยกชนิดของข้อมูลที่ประมวลผลว่าเป็นคำสั่งหรือเป็นข้อมูล โดยถ้าขานี้เป็น “0” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าเป็น “1” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลแสดงผล
- R/W(ขา 5) : เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับโมดูล LCD ถ้าเป็น “0” เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูล

- E(ขา6) : เป็นขารับสัญญาณพัลส์เอ็นเอเบิลให้ LCD ทำงาน
 D0 – D7 : เป็นขาข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอกขนาด 8 บิต
 (ขา 7-14) การจัดแอดเดรสของหน่วยความจำแสดงผลของ โมดูล LCD 16
 ตัวอักษร 2 บรรทัดมีดังนี้

บรรทัดที่ 1

แอดเดรสเริ่มตั้งแต่ 0x00 0x01 0x02 0x0F

คำสั่งในการอ้างถึง จะเริ่มตั้งแต่ 0x80 0x81 0x820x8F

บรรทัดที่ 2

แอดเดรสเริ่มตั้งแต่ 0x40 0x41 0x42 0x4F

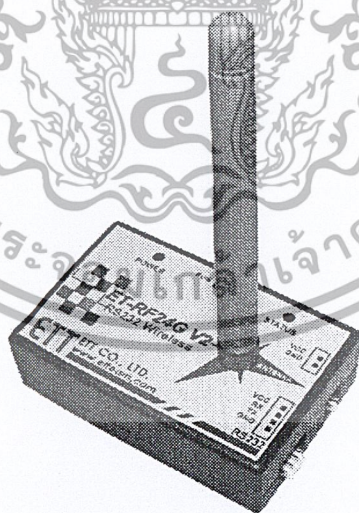
คำสั่งในการอ้างถึง จะเริ่มตั้งแต่ 0xC0 0xC1 0xC2 0xCF

2.7 การใช้งาน RS232 to RF-Wireless (RF2.4GHz) CONVERTER

2.7.1 ลักษณะโดยทั่วไป

ET-RF24G V2.0 เป็นชุด Signal Converter รูปที่ 2.12 สำหรับใช้แปลงสัญญาณระหว่าง RS232 และ RF-Wireless โดยในโหมดการทำงานของการส่งข้อมูล (Transmitter) จะทำหน้าที่รรับข้อมูลจากพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 จากขา RX แล้วแปลงเป็นสัญญาณความถี่ (GFSK) ส่งออกไปในอากาศ และในทางกลับกันในโหมดการทำงานแบบรับ (Receiver) ชุด ET-RF24G V2.0 ก็จะทำหน้าที่คอยตรวจจับข้อมูลที่อยู่ในรูปของสัญญาณความถี่ (GFSK) จากด้าน RF เพื่อแปลงกลับเป็นข้อมูลแบบ RS232 ส่งออกไปทางขา TX ได้ด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าชุดแปลงสัญญาณ ET-RF24G V2.0 นั้น สามารถนำไปต่อใช้งานร่วมกับพอร์ตสื่อสารอนุกรมแบบ RS232 เพื่อใช้งานในลักษณะของการสื่อสารอนุกรมแบบไร้สาย (Wireless Transceiver) ได้โดยตรง โดยจะมีข้อดีกว่าคือ สามารถรับส่งข้อมูลกันได้ในระยะทางที่ไกลกว่า RS232 หลายเท่าตัว และประการสำคัญคือ ไม่จำเป็นต้องใช้สายสัญญาณที่เป็นตัวนำสัญญาณทางไฟฟ้าในการสื่อสารข้อมูลกันทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงหรือเคลื่อนย้ายจุดรับส่งข้อมูลได้ตลอดเวลา ซึ่งถ้าเป็นการรับส่งข้อมูลด้วยระบบ RS232 แบบที่ใช้สายสัญญาณนั้นจะเกิดความยุ่งยากในการติดตั้งสายสัญญาณเป็นอย่างมาก

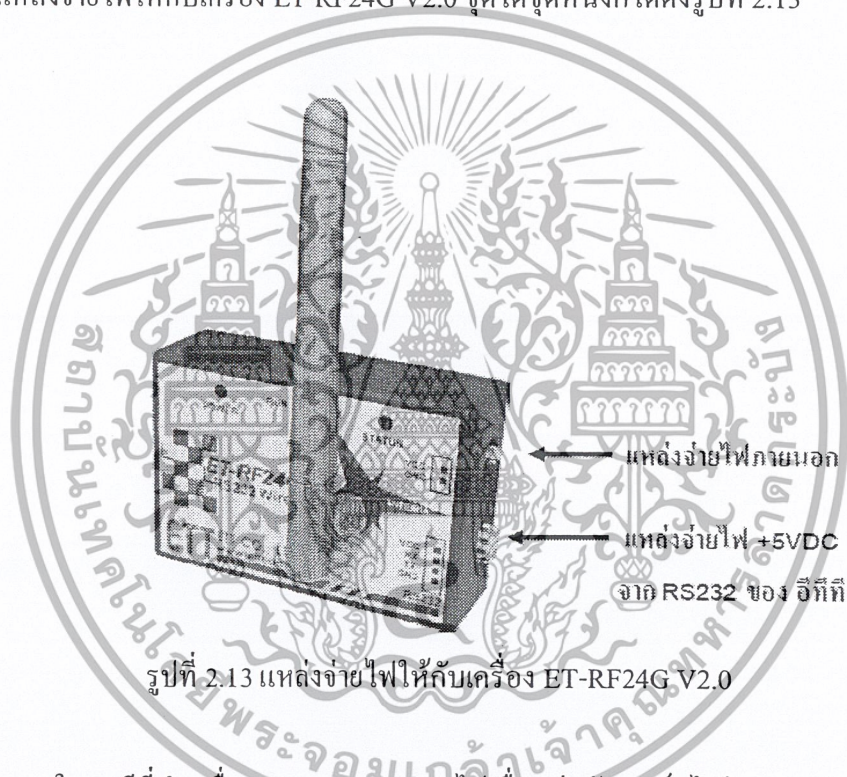
แต่อย่างไรก็ตามการรับส่งข้อมูลโดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในการสื่อสารนั้นก็มีความเสี่ยงต่อการเกิดข้อผิดพลาดหรือสูญหายได้เหมือนกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่รับส่งกัน ซึ่งมีโอกาสผิดพลาดหรือสูญหายได้เหมือนกัน เนื่องจากการลำเลียงข้อมูลนั้นไม่ได้ใช้สายสัญญาณเป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูล แต่ใช้อากาศเป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลแทนซึ่งมีโอกาสที่ข้อมูลจะเกิดการรบกวนจากสัญญาณอื่นๆที่มีย่านความถี่ใกล้เคียงกันแล้วทำให้ข้อมูลผิดเพี้ยนไปได้บ้างเหมือนกัน ซึ่งระบบการจัดการข้อมูลของเครื่อง ET-RF24G V2.0 นั้น มีระบบการเข้ารหัสและถอดรหัสข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ที่จัดว่าดี โดยข้อมูลแต่ละ Byte ที่มีการรับส่งกันนั้น จะมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลให้ด้วยแล้ว โดยข้อมูลที่รับได้จากด้าน RF นั้นรับประกันได้ว่าเป็นข้อมูลที่มีความถูกต้องแน่นอน แต่อย่างไรก็ตามการรับส่งข้อมูลนั้นมีโอกาสผิดพลาดในเรื่องของการสูญหายของข้อมูลบ้างเหมือนกัน เนื่องจากกลไกในการรับส่งข้อมูลของเครื่อง ET-RF24G V2.0 นั้น จะมีการตรวจสอบข้อมูลทุก Byte ที่รับได้จาก RF เสมอ ซึ่งถ้าพบว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นจะทิ้งข้อมูล Byte นั้นไป ซึ่งผู้ใช้ควรมีกลไกในการตรวจสอบข้อมูลที่รับส่งกันว่าครบถ้วนหรือไม่ด้วย ซึ่งหากพบว่ามีการสูญหายของข้อมูลเกิดขึ้นก็ให้ร้องขอให้มีการส่งข้อมูลนั้นซ้ำๆใหม่อีกครั้งหนึ่งก็จะสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้



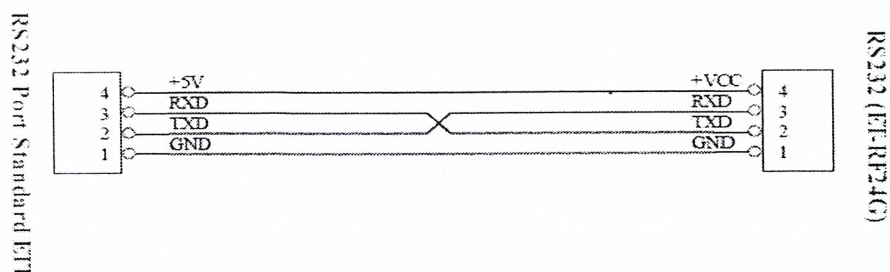
รูปที่ 2.12 ET-RF24G V2.0

2.7.2 Power Supply

สำหรับการต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่อง ET-RF24G V2.0 นั้น จะสามารถเลือกต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับตัวเครื่องได้ 2 ทางด้วยกัน โดยเครื่อง ET-RF24G V2.0 นั้น ต้องการไฟเลี้ยงวงจรซึ่งเป็นแหล่งจ่ายกระแสตรงขนาดประมาณ +5VDC ถึง +9VDC โดยจุดเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟของเครื่อง ET-RF24G V2.0 นี้ สามารถเชื่อมต่อได้ 2 จุดด้วยกัน โดยผู้ใช้สามารถเลือกต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่อง ET-RF24G V2.0 จุดใดจุดหนึ่งก็ได้ดังรูปที่ 2.13

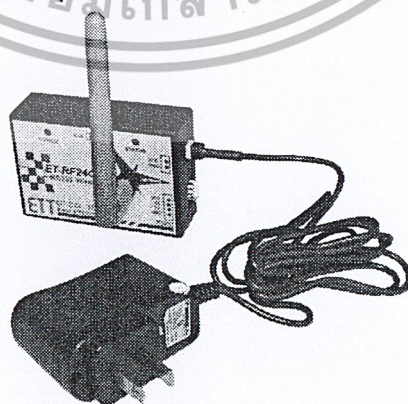


ในกรณีที่นำเครื่อง ET-RF24G V2.0 ไปเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นต่างๆของอีทีที นั้นสามารถใช้แหล่งจ่ายไฟจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อจ่ายให้กับตัวเครื่อง ET-RF24G V2.0 ได้ทันทีโดยไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟจากภายนอก เนื่องจากขั้วต่อสัญญาณ RS232 ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นต่างๆของบริษัทอีทีทีนั้น ได้จัดเตรียมแหล่งจ่ายไฟตรงขนาด +5V เตรียมไว้ให้ด้วยแล้ว โดยผู้ใช้เพียงแต่นำสายสัญญาณ RS232 ซึ่งทำการต่อสายสัญญาณครบทั้ง 4 เส้น ดังรูปที่ 2.14 มาเชื่อมต่อก็สามารถใช้งานได้แล้ว



รูปที่ 2.14 การต่อสายสัญญาณ RS232 เพื่อใช้แหล่งจ่ายไฟจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของอีทีที

แต่สำหรับกรณีที่น่าเครื่อง ET-RF24G V2.0 รูปที่ 2.15 ไปต่อใช้งานกับอุปกรณ์อื่นๆ ที่ไม่ได้มีการจัดเตรียมจุดต่อไฟเลี้ยงไว้ให้ด้วย ผู้ใช้จำเป็นต้องจัดหา Adapter จ่ายไฟจากภายนอกมาต่อให้กับเครื่อง ET-RF24G V2.0 ดังหากด้วย โดยให้เลือกแหล่งจ่ายไฟที่มีขนาดแรงดันไฟตรงประมาณ +5VDC และสามารถจ่ายกระแสได้ประมาณ 300mA เป็นอย่างน้อย ซึ่งในกรณีนี้ขอแนะนำให้เลือกใช้ Power Supply รุ่น “ACH-4E” ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายไฟแบบ Switching Power ใช้กับไฟบ้าน 220VAC และให้เอาต์พุตเป็นไฟกระแสตรงขนาดประมาณ 5VDC / 750mA เพราะ Power Supply รุ่นนี้สามารถใช้งานร่วมกับเครื่อง ET-RF24G V2.0 ได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ โดยไม่เกิดความร้อนสะสมที่วงจร Regulate ของบอร์ด ET-RF24G V2.0 มากนัก ซึ่งถ้าผู้ใช้เลือกใช้แหล่งจ่ายไฟรุ่นอื่นๆ ที่มีขนาดแรงดันสูงกว่า +5V มากๆ ซึ่งถึงแม้ว่าจะสามารถใช้งานร่วมกันกับเครื่อง ET-RF24G V2.0 ได้ แต่ถ้ามีการใช้งานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ แล้วอาจทำให้เกิดความร้อนสะสมที่ตัวไอซี Regulate มากเกินไปจนอาจทำให้ภาค Power ของเครื่อง ET-RF24G V2.0 หยุดจ่ายไฟทำให้เครื่องหยุดทำงานได้



รูปที่ 2.15 การต่อแหล่งจ่ายไฟรุ่น “ACH-4E” จากภายนอกให้กับเครื่อง ET-RF24G V2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 โหมดการทำงาน

สำหรับโหมดการทำงานของ ET-RF24G V2.0 นั้นจะแบ่งออกเป็น 2 โหมดด้วยกัน โดยการกำหนดโหมดการทำงานของ ET-RF24G V2.0 นั้นจะกระทำผ่าน Switch เล็กโหมดซึ่งอยู่ด้านใต้กล่อง โดยการเลือกโหมดการทำงานนั้นจะต้องกระทำให้เสร็จเรียบร้อยก่อนการจ่ายไฟให้กับ ET-RF24G V2.0 ด้วยเสมอ เนื่องจากการทำงานของเครื่อง ET-RF24G V2.0 นั้นจะทำการตรวจสอบโหมดการทำงานของเครื่องจาก Switch เล็กโหมดเฉพาะในช่วงของการจ่ายไฟเลี้ยงให้เครื่องเริ่มต้นทำงานครั้งแรก (Power-ON) เท่านั้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการทำงานของ Switch เล็กโหมด หลังจากทำการจ่ายไฟให้กับ ET-RF24G V2.0 ไปแล้วจะไม่มีผลต่อการทำงานของเครื่องแต่อย่างใด โดยการทำงานของเครื่อง ET-RF24G V2.0 นั้นจะมี LED แสดงสถานะการทำงานของเครื่องจำนวน 2 หลอด คือ LED POWER ซึ่งเป็น LED สีแดง โดยที่ LED POWER นี้จะติดสว่างให้เห็นตลอดเวลาที่มีการจ่ายไฟเลี้ยงให้เครื่องทำงานอยู่ ส่วน LED อีกดวงหนึ่งนั้นจะเป็น LED สีเขียว ใช้แสดงสถานะการทำงานของเครื่องซึ่งเรียกว่า LED STATUS โดย LED STATUS นี้จะเกิดการกระพริบตามจังหวะของการรับส่งข้อมูลกันในแต่ละครั้ง โดยในสภาวะปรกตินั้น ถ้าเครื่องทำงานอยู่ใน RUN MODE หลอด LED STATUS จะดับอยู่ตลอดเวลาถ้าไม่มีการรับส่งข้อมูล แต่ถ้าตัวเครื่องทำงานอยู่ใน SETUP MODE หลอด LED STATUS จะติดอยู่ตลอดเวลาถ้าไม่มีการรับส่งข้อมูลโดยโหมดการทำงานของ ET-RF24G V2.0 จะมีอยู่ด้วยกัน 2 โหมด คือ

2.7.3.1. การใช้งานเครื่อง ET-RF24G V2.0 ใน Run Mode

การใช้งานใน Run Mode ซึ่งเป็นโหมดของการใช้งานตามปรกติของเครื่อง โดยเมื่อเครื่อง ET-RF24G V2.0 เข้าทำงานในโหมดนี้แล้ว จะสังเกตเห็นหลอดไฟแสดงสถานะของการทำงานหรือ LED STATUS ดับอยู่ แต่เมื่อมีการรับหรือส่งข้อมูลเกิดขึ้นสถานะการทำงานของ LED STATUS จึงจะกระพริบตามจังหวะของการรับส่งข้อมูลนั้นๆ แต่ถ้ายังไม่มีการรับส่งข้อมูลกัน LED STATUS จะดับอยู่ตลอดเวลาสำหรับการทำงานใน Run Mode นั้นจะแบ่งลักษณะการทำงานออกเป็น 3 แบบด้วยกัน โดยลักษณะการทำงานนี้จะถูกกำหนดไว้แล้วใน Configuration ของเครื่องใน Setup Mode ดังนั้นก่อนการใช้งานเครื่องในครั้งแรกจะต้องทำการกำหนดค่า

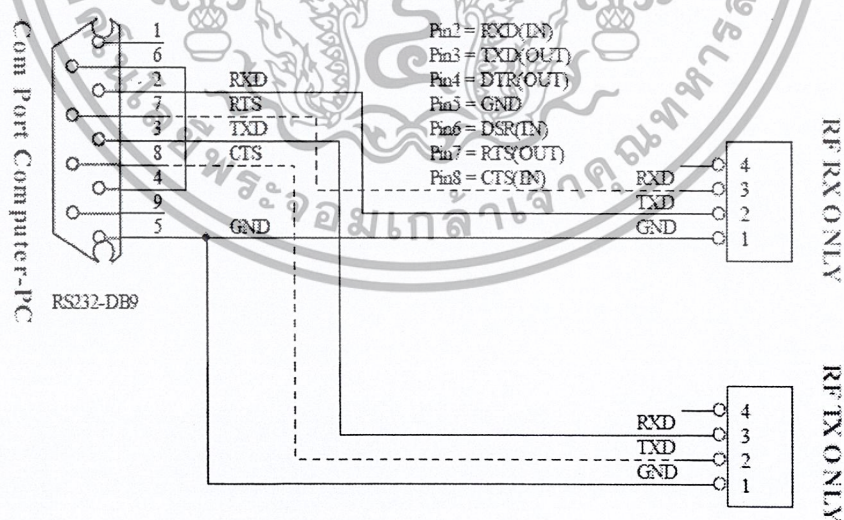
Configuration ต่างๆให้เรียบร้อยเสียก่อน โดยเมื่อเครื่อง ET-RF24G V2.0 เริ่มต้นเข้าทำงานใน Run Mode แล้วมันจะทำการอ่านค่า Configuration ที่เก็บไว้ออกมาเพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการทำงานตามค่าที่ได้กำหนดไว้ โดยลักษณะการทำงานใน Run Mode แบ่งออกเป็นดังนี้

การทำงานแบบ RF Receive Only เป็นการทำงานแบบทิศทางเดียวโดยการทำงานในโหมดนี้จะเป็นการรอรับข้อมูลความถี่แบบ GFSK จากด้าน RF แล้วเปลี่ยนเป็นข้อมูลอนุกรมส่งออกไปทางขา TX (Transmit) ของ RS232 โดยการทำงานจะวนรอบอยู่เช่นนี้ไปตลอด ซึ่งในการใช้งานเครื่อง ET-RF24G V2.0 ในโหมดนี้จะต้องนำสัญญาณ TX (Transmit) ไปต่อกับขาสัญญาณ RX (Receive) ของอุปกรณ์ด้านตรงข้าม (RS232 ของคอมพิวเตอร์ PC) โดยในโหมดนี้การทำงานของขาสัญญาณ RX ด้าน RS232 ของเครื่อง ET-RF24G V2.0 จะถูกเปลี่ยนหน้าที่เป็นสัญญาณ CTS (Clear To Send) สำหรับใช้ตรวจสอบความพร้อมในการส่งข้อมูลไปให้อุปกรณ์ด้านตรงข้ามแทน ซึ่งในการใช้งานจะต้องนำสัญญาณนี้ไปต่อเข้ากับสัญญาณ RTS (Ready To Send) ของอุปกรณ์ด้านตรงข้าม โดยเครื่อง ET-RF24G V2.0 จะทำการตรวจสอบสถานะของสัญญาณ RX ซึ่งในโหมดนี้เปรียบเสมือน CTS ว่ามีค่าเป็น “0” หรือไม่ โดยถ้าพบว่าเป็น “0” จึงจะส่งข้อมูลออกไปให้ทางขา TX แต่ถ้าพบว่าสถานะของขาสัญญาณนี้มีค่าเป็น “1” แสดงว่าอุปกรณ์ด้านตรงข้ามยังไม่พร้อมรับข้อมูลก็จะรอจนกว่าจะพบว่าสถานะของสัญญาณดังกล่าวมีค่าเป็น “0” จึงจะส่งข้อมูลออกไปให้ โดยเครื่อง ET-RF24G V2.0 จะสามารถจัดเก็บข้อมูลไว้ใน Buffer เพื่อรอการส่งได้สูงสุด 64 Byte เท่านั้น ซึ่งถ้าในระหว่างที่รอความพร้อมอยู่นั้นมีข้อมูลด้าน RF ส่งเข้ามาเกินกว่า 64 Byte จะทำให้ข้อมูลที่เกินมานั้นสูญหายไป

การทำงานแบบ RF Transmit Only เป็นการทำงานแบบทิศทางเดียวโดยการทำงานในโหมดนี้จะมีลักษณะตรงกันข้ามกับ RF Receive Only กล่าวคือเครื่อง ET-RF24G V2.0 จะทำหน้าที่รอรับข้อมูลจากขา RX (Receive) ด้าน RS232 แล้วเปลี่ยนเป็นข้อมูลแบบ GFSK ส่งออกไปทางด้าน RF โดยการใช้งานเครื่องในโหมดนี้จะต้องนำสัญญาณ TX (Transmit) ซึ่งเป็นขาส่งข้อมูลจาก RS232 ของอุปกรณ์ด้านตรงข้ามมาต่อเข้ากับขา RX (Receive) ของเครื่อง ET-RF24G V2.0 ส่วนขาสัญญาณ TX จะถูกเปลี่ยนหน้าที่เป็น RTS (Ready To Send) เพื่อใช้แสดงสถานะความพร้อมในการรับข้อมูลจากด้าน RS232 ซึ่งในการใช้งานจะต้องนำสัญญาณ TX ซึ่งในขณะนี้เปรียบเสมือนกับ RTS นำไปต่อเข้ากับสัญญาณ CTS (Clear To Send) ของอุปกรณ์ด้านตรงข้าม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อใช้ในการตรวจสอบความพร้อมในการรับข้อมูลโดยอุปกรณ์ด้านตรงข้ามจะต้องทำการตรวจสอบสถานะของสัญญาณ RTS นี้ เพื่อตรวจสอบความพร้อมในการรับข้อมูลของเครื่อง ET-RF24G V2.0 ด้วย โดยถ้าเครื่อง ET-RF24G V2.0 พร้อมรับข้อมูลจาก RS232 มันจะส่งสัญญาณ RTS ให้มีค่าเป็น “0” รอไว้ และเมื่อใดก็ตามที่การรับข้อมูลทางด้านของ RS232 มีจำนวนข้อมูลที่ยังไม่สามารถเปลี่ยนเป็น GFSK เพื่อส่งออกไปทางด้าน RF ได้ทันจนเกือบจะเต็ม Buffer แล้ว เครื่อง ET-RF24G V2.0 จะทำการส่งสัญญาณ RTS ให้มีค่าเป็น “1” ออกไปบอกให้อุปกรณ์ด้านตรงข้ามทราบเพื่อจะได้หยุดการส่งข้อมูลออกมา โดยอุปกรณ์ด้านตรงข้ามจะต้องหยุดการส่งข้อมูลและรอนกว่าสถานะของสัญญาณ RTS จะกลับเป็น “0” จึงจะเริ่มต้นส่งข้อมูลออกมาใหม่ ซึ่งหลังจากที่เครื่อง ET-RF24G V2.0 ส่งสัญญาณ RTS ด้วยค่า “1” ออกไปแล้วจะยังคงสามารถรับข้อมูลได้เพิ่มเติมอีกไม่เกิน 16 Byte เท่านั้น ซึ่งถ้าอุปกรณ์ด้านตรงข้ามยังส่งข้อมูลต่อเนื่องมาอีกจนเกินขนาดของ Buffer ที่เครื่อง ET-RF24G V2.0 จะรับไว้ได้จะทำให้ข้อมูลที่เกินมานั้นเกิดการสูญหายได้ โดยเราสามารถนำเครื่อง ET-RF24G V2.0 จำนวน 4 ชุดมาต่อใช้งานร่วมกันเพื่อใช้งานในการรับส่งข้อมูลกันแบบ Full Duplex โดยแบ่งการใช้งานออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านทาง และ ปลายทาง ด้านละ 2 ชุด โดยแต่ละด้านให้กำหนดหน้าที่การทำงานเป็น RF Receive Only 1 ชุด และ RF Transmit Only อีก 1 ชุดดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 สายสัญญาณ RS232 เพื่อใช้กับ ET-RF24G ในโหมด RF Receive Only และ RF Transmit Only

การทำงานแบบ RF Auto Direction เป็นการทำงานชนิด 2 ทิศทาง แบบ Half Duplex หรือผลัดกันรับผลัดกันส่งซึ่งสามารถใช้รับส่งข้อมูลระหว่างต้นทางและปลายทางได้ โดยใช้เครื่อง ET-RF24G V2.0 ด้านละ 1 ชุด เท่านั้น เพียงแต่การรับส่งข้อมูลแบบนี้จะไม่สามารถส่งข้อมูลสวนทางกันได้เหมือนกับแบบ Full Duplex แต่จะต้องใช้วิธีการผลัดกันรับข้อมูลและส่งข้อมูลแทน โดยเมื่อฝ่ายรับทำการรับข้อมูลได้จนครบแล้วจึงจะสลับหน้าที่เป็นฝ่ายส่งเพื่อส่งข้อมูลย้อนกลับไปโดยในโหมดนี้เครื่อง ET-RF24G V2.0 จะทำหน้าที่เป็นทั้ง ฝ่ายรับและฝ่ายส่งข้อมูลแบบอัตโนมัติ โดยในสถานะปรกติจะอยู่ในสถานะของการรอรับข้อมูลทั้งด้าน RF และ RS232 ซึ่งถ้าพบว่ามีข้อมูลส่งเข้ามาทางด้านของ RF ก็จะนำข้อมูลนั้นส่งออกไปทางด้านขา TX ของ RS232 ทันที และในทำนองเดียวกันถ้าพบว่ายังมีข้อมูลส่งเข้ามาทางด้าน RX ของ RS232 มันก็จะทำการรับข้อมูลนั้นจาก RS232 พร้อมกับเปลี่ยนทิศทางของอุปกรณ์ RF จากการรอรับข้อมูลให้ทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูลแทนเพื่อทำการส่งข้อมูลที่รับได้จาก RS232 ออกไปทาง RF ในทันที ซึ่งหลังจากที่เครื่อง ET-RF24G V2.0 ทำการสลับโหมดการทำงานของอุปกรณ์ด้าน RF จากการรอรับเป็นการส่งและทำการเริ่มต้นส่งข้อมูลออกไปทางด้าน RF เรียบร้อยแล้ว มันจะวนกลับไปตรวจสอบการรับข้อมูลจากด้าน RS232 อีกว่ายังมีข้อมูลส่งเข้ามาอีกหรือไม่ ถ้าพบว่ามีข้อมูลส่งเข้ามามีอีกก็จะทำการแปลงข้อมูลนั้นเพื่อส่งออกไปยังด้าน RF ต่อไปอีกจนกว่าการส่งข้อมูลด้าน RS232 จะสิ้นสุดลงซึ่งข้อมูลด้าน RS232 ที่ส่งเข้ามานั้นควรส่งอย่างต่อเนื่องโดยเมื่อเครื่อง ET-RF24G V2.0 ทำการส่งข้อมูลแต่ละ Byte ออกไปทางด้าน RF เรียบร้อยแล้วมันจะวนรอบรอรับข้อมูล Byte ถัดไปจาก RS232 ภายในเวลา 2.5 ms ถ้าไม่พบข้อมูลส่งเข้ามาอีกภายในระยะเวลาดังกล่าวมันจึงจะทำการเปลี่ยนหน้าที่ของอุปกรณ์ด้าน RF ให้กลับมาทำหน้าที่เป็นการรอรับข้อมูลตามเดิมโดยในขณะที่อุปกรณ์ด้าน RF ถูกกำหนดให้เป็นฝ่ายส่งข้อมูลอยู่นั้นจะไม่สามารถทำการรับข้อมูลจาก RF ได้ ซึ่งถ้ามีการส่งข้อมูลเข้ามาในขณะที่นั้นก็ไม่สามารถรับได้ โดยค่าเวลาที่จะใช้ในการสลับโหมดการทำงานของ RF จากฝ่ายส่งข้อมูลให้เป็นฝ่ายรับข้อมูลนั้นจะมีค่าเป็น 2.5 ms ดังนั้นเมื่อฝ่ายรับสามารถรับข้อมูลได้ครบหมดแล้วก่อนที่จะทำการส่งข้อมูลเพื่อตอบกลับไปยังฝ่ายตรงข้ามนั้นควรทำการหน่วงเวลาไว้ไม่น้อยกว่า 3ms นับจากรับข้อมูล Byte สุดท้ายได้ เรียบร้อยแล้วจึงเริ่มต้นส่งข้อมูล Byte แรกย้อนกลับไป ซึ่งถ้าฝ่ายรับทำการส่งข้อมูลตอบกลับไปยังฝ่ายตรงข้ามเร็วกว่านี้อาจทำให้ฝ่ายตรงข้ามไม่สามารถรับข้อมูล Byte แรกได้ทันสำหรับการใช้งานเครื่อง ET-RF24G V2.0 ในโหมด RF Auto Direction นี้ การรับและส่งข้อมูลด้าน RS232 จะไม่มีการตรวจสอบความพร้อมของฝ่ายรับและส่งด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า (CTS/RTS) เหมือนกับ

การใช้งานใน 2 โหมดที่ผ่านมาแล้ว โดยเมื่อมันสามารถรับข้อมูลจาก RF ได้ก็จะทำการส่งข้อมูลนั้นออกไปทางขา TX (Transmit) ของ RS232 ในทันทีโดยไม่สนใจว่าอุปกรณ์ที่ต่อไว้ด้าน RS232 จะพร้อมรับข้อมูลหรือไม่ซึ่งถ้าด้าน RS232 ไม่พร้อมรับข้อมูลก็จะทำให้ข้อมูล Byte นั้นสูญหายไปทันที ซึ่งในการใช้งานนั้นผู้ใช้ควรกำหนดค่าความเร็วในการรับและส่งข้อมูลด้าน RS232 ที่จะใช้กับเครื่อง ET-RF24G V2.0 ทุกๆตัวด้วยค่าความเร็วที่เท่ากันด้วยเพื่อให้การรับและส่งข้อมูลเกิดความสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสมสำหรับความสามารถในการรอรับข้อมูลจาก RS232 ของเครื่อง ET-RF24G V2.0 ในโหมดนี้จะสามารถรับข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องสูงสุด ไม่เกิน 64 Byte ดังนั้นในกรณีที่มีการส่งข้อมูลจากด้าน RS232 ด้วยข้อมูลจำนวนมากกว่า 64 Byte ต่อเนื่องกันนั้นควรทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดๆ โดยให้มีขนาดชุดละไม่เกิน 64 Byte ซึ่งหลังจากทำการส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่องไปได้ 1 ชุด (64 Byte) แล้วควรทำการหน่วงเวลาไว้ชั่วขณะหนึ่งอย่างน้อย 1mS แล้วจึงเริ่มส่งข้อมูลชุดถัดไปสลับกับการหน่วงเวลาอย่างนี้เรื่อยๆเพื่อให้เครื่อง ET-RF24G V2.0 สามารถนำข้อมูลที่รับได้จากด้าน RS232 ส่งออกไปทางด้าน RF ได้ทันซึ่งถ้าทำการส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการหน่วงเวลาเลยอาจทำให้ข้อมูลบาง Byte เกิดการสูญหายไปได้

2.7.3.2 การใช้งานเครื่อง ET-RF24G V2.0 ใน Setup Mode

การใช้งานเครื่อง ET-RF24G V2.0 ใน Setup Mode ซึ่งเป็นโหมดสำหรับใช้กำหนดค่า Configuration ต่างๆสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่อง ET-RF24G V2.0 ที่จะใช้ในขณะที่เครื่องทำงานอยู่ใน Run Mode โดยในการ Setup ค่า Configuration ต่างๆนั้นจะกระทำร่วมกับ โปรแกรม “ET_RF24G_V1.EXE” ของอีทีทีซึ่งเมื่อเครื่อง ET-RF24G V2.0 เข้าทำงานในโหมด Setup แล้วจะสังเกตเห็นหลอดไฟแสดงสถานะการทำงานหรือ LEDSTATUS ติดสว่างค้างอยู่ตลอดเวลา แต่เมื่อมีการสั่งอ่านหรือเขียนข้อมูลกับบอร์ด สถานะการทำงานของ LED STATUS จึงจะกระพริบตามจังหวะของการรับส่งข้อมูลแต่ถ้ายังไม่มีการรับส่งข้อมูลกัน LED STATUS จะติดค้างอยู่ตลอดเวลา ซึ่งการกำหนดค่า Configuration ให้กับ ET-RF24G V2.0 นั้นจะต้องกระทำในขณะที่ตัวเครื่องทำงานอยู่ใน Setup Mode เท่านั้น (เลือก Switch กำหนดโหมดไว้ทางด้าน Setup แล้วจ่ายไฟให้เครื่องเริ่มต้นทำงาน) โดยค่าของ Configuration ต่างๆนั้นจะถูกใช้สำหรับเป็นเงื่อนไขในการทำงานของ ET-RF24G V2.0 ในขณะที่อยู่ใน Run Mode ดังนั้นก่อนการเริ่มต้นใช้งานเครื่องในครั้งแรกนั้นจึงจำเป็นต้องทำการกำหนดค่าของ Configuration

ต่างๆให้ถูกต้องและตรงกับความต้องการที่จะใช้งานเสียก่อน โดยเมื่อทำการกำหนดค่าตัวเลือกต่างๆของ Configuration เรียบร้อยแล้วก็สามารถเปลี่ยนโหมดการทำงานของตัวเครื่องกลับเป็น Run Mode พร้อมกับการปิดไฟที่จ่ายให้กับตัวเครื่อง (Power-OFF) ชั่วขณะหนึ่ง จากนั้นจึงเริ่มต้นจ่ายไฟให้กับตัวเครื่องใหม่ (Power-ON) ก็สามารถใช้งาน ET-RF24G V2.0 ตามค่าของ Configuration ที่กำหนดไว้แล้วได้ทันทีโดยค่าตัวเลือกต่างๆของ Configuration ที่ได้กำหนดไว้แล้วจะถูกเก็บไว้ภายในตัวเครื่องอย่างถาวร ถึงแม้ว่าจะไม่ได้ทำการจ่ายไฟให้กับตัวเครื่องแล้วก็ตาม ดังนั้นเมื่อทำการกำหนดค่า Configuration ต่างๆเรียบร้อยแล้ว ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการทำงานของตัวเครื่องต่างไปจากเงื่อนไขเดิมที่ได้กำหนดไว้แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องทำการกำหนดค่า Configuration ใหม่อีกแต่อย่างใด โดยทุกๆครั้งที่เริ่มต้นจ่ายไฟเข้าเครื่องในครั้งแรกนั้นการทำงานของ ET-RF24G V2.0 จะเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ใน Configuration เสมอทุกครั้ง

2.8 สรุป

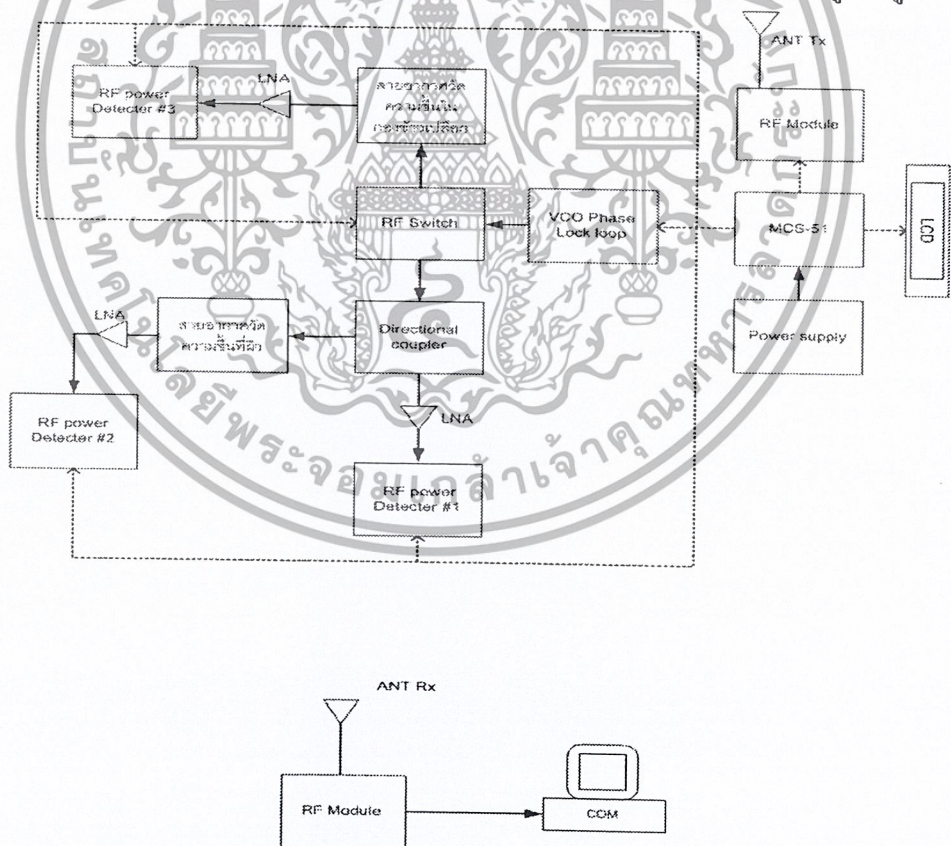
ในบทนี้ได้อธิบายถึงหลักการและทฤษฎีสำหรับการนำมาใช้เพื่อการวิเคราะห์หาค่าอิมพีแดนซ์ร่วมของสายอากาศไดโพล วิธีการวิเคราะห์หาค่าอิมพีแดนซ์ร่วมของสายอากาศไดโพลที่มีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉากทั้งในตัวกลางที่ปราศจากการสูญเสีย และทดสอบความแม่นยำของสูตรที่วิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบผลกับค่าที่ได้จากการจำลองโปรแกรมแม่เหล็กไฟฟ้า ศึกษาผลกระทบจากระยะห่างระหว่างสายอากาศไดโพลทั้งสองตัว และความสูงของสายอากาศตัวที่สอง ที่ส่งผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ร่วม จากนั้นแสดงถึงผลการวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ร่วมในตัวกลางที่มีการสูญเสียของสายอากาศไดโพลที่มีรูปแบบการจัดวางแบบตั้งฉาก รวมไปถึงการหาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกด้วยการวัดขนาดของการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ รวมถึงท้ายสุดกล่าวถึงทฤษฎีในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS -15) ที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำโครงงาน

3.1 บทนำ

ระบบที่ทำการออกแบบทั้งหมดจะประกอบไปด้วยสายอากาศที่ใช้วัดความถี่สองตัว ตัวแรกจะใช้ในการวัดความถี่ที่ผิวของกึ่งวงรี ส่วนตัวที่สองจะใช้ในการวัดความถี่ภายในกึ่งวงรี ค่าความถี่ที่วัดได้จะแสดงผลผ่านจอแสดงผลของระบบ และยังสามารถวัดค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงต่อเวลาที่กำหนด เช่น สั่งให้เก็บค่าความถี่ทุกๆ 5 นาที แล้วนำข้อมูลดังกล่าวไปแสดงผลเป็นกราฟที่จอคอมพิวเตอร์ซึ่งต่ออยู่กับระบบผ่าน RF โมดูลดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบทั้งหมดของระบบเซนเซอร์ไร้สายตรวจวัดความถี่ในกึ่งวงรี

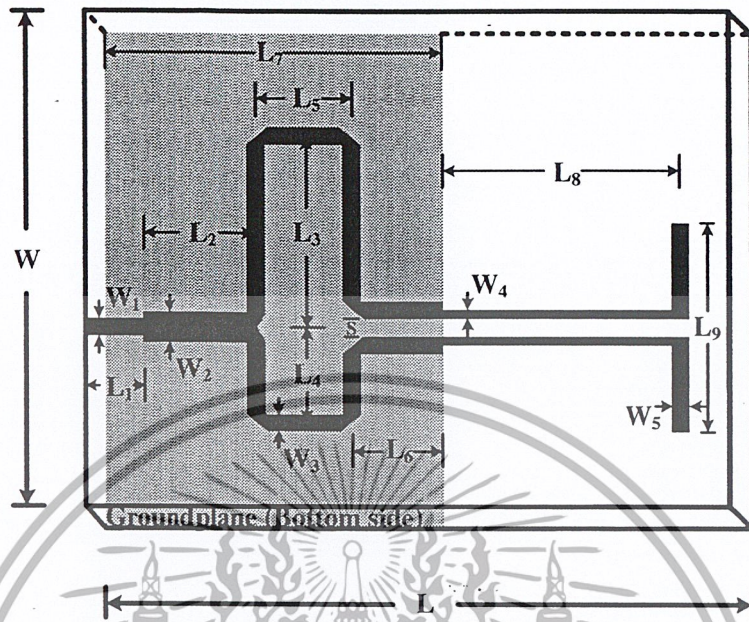
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 โครงสร้างของสายอากาศที่ใช้หาค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริกภายในกองข้าวเปลือก

สายอากาศที่ใช้หาค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริกภายในกองข้าวเปลือกจะเป็นสายอากาศไดโพลที่อยู่บนระนาบแผ่นพิมพ์ โดยแผ่นพิมพ์ที่ใช้ในการสร้างเป็นแผ่นพิมพ์ FR-4 ที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.36 มีค่าแทนเจนต์การสูญเสียเท่ากับ 0.01178 และความหนาของชั้นสเตรจเท่ากับ 1.441 มิลลิเมตร โครงสร้างสายอากาศที่ออกแบบนั้นจะประกอบไปด้วยสายป้อนไมโครสตริป (Microstrip feed) ตัวแปลงหนึ่งส่วนสี่คลื่น (Quarter-wave transformer) บาลัน (Balun) สายไมโครสตริประนาบร่วม และอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพล

3.2.1 การออกแบบสายอากาศไดโพลพิมพ์ตัวเดียว

ขั้นต้นนั้นเราต้องการออกแบบสายอากาศให้ใช้งานที่ความถี่ 2.45 GHz โดยโครงสร้างของสายอากาศไดโพลตัวเดียวนั้นจะประกอบไปด้วยสายป้อนไมโครสตริปที่มีค่าอิมพีแดนซ์ 50Ω เชื่อมต่ออยู่กับตัวแปลงหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่นที่มีค่าอิมพีแดนซ์ 35.4Ω ซึ่งทำให้เกิดการแมทช์ระหว่างสายป้อนไมโครสตริป 50Ω กับส่วนของตัวรวมกำลังงาน T-junction ส่วนถัดมาคือส่วนของบาลันซึ่งประกอบไปด้วยส่วนของสายไมโครสตริปทั้งสองเส้นทางที่มีความยาวไม่เท่ากัน เพื่อที่จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าด้านนอกของปลายทั้งสองมีเฟสต่างกัน 180 องศา ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการทำให้สายไมโครสตริประนาบร่วมงานในโหมดคี่ (Odd mode) ถัดมาเป็นส่วนของสายไมโครสตริประนาบร่วมที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 70Ω และส่วนสุดท้ายคือ อิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลที่มีความยาว $0.5\lambda_d$ นอกจากนี้ด้านหลังของระนาบกราวด์แผ่นจะเป็นระนาบไมโครสตริปที่มีการตัดสามารถแสดงส่วนต่างๆของสายอากาศไดโพลพิมพ์ตัวเดียวได้ดังรูปที่ 3.2 และผลการจำลองค่า Return loss ของสายอากาศไดโพลพิมพ์ตัวเดียวดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบต่างๆของไดโพลิมพีตัวเดี่ยว

3.2.2 ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดต่างๆของสายอากาศไดโพลิมพีตัวเดี่ยว

สายป้อนไมโครสตริปที่มีค่าอิมพีแดนซ์ $50\ \Omega$ ตัวแปลงหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่นที่มีค่าอิมพีแดนซ์ $35.4\ \Omega$ อิลิเมนต์ของสายอากาศไดโพลิมพีแดนซ์ $50\ \Omega$ และส่วนของบาลันที่มีค่าอิมพีแดนซ์ $50\ \Omega$ จะใช้สมการในการหาค่าความกว้างของสายไมโครสตริปได้ดังสมการที่ (3.1) และ (3.2)

$$B = \frac{377\pi}{2(Z_0)\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.1)$$

$$w = \frac{2h}{\pi} \left[B - 1 - \ln((2B) - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right] \quad (3.2)$$

$W_1 = W_3 = W_5$ จะมีค่าเท่ากับ 2.69 mm และ W_2 จะมีค่าเท่ากับ 4.64 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนสายไมโครสตริประนาบร่วมที่มีค่าอิมพีแดนซ์ $70\ \Omega$ จะใช้สมการในการคำนวณตามสมการที่ (3.3) และ (3.4)

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (3.3)$$

$$W = \frac{h \times 8e^A}{e^{(2A)} - 2} \quad (3.4)$$

W_4 จะมีค่าเท่ากับ 1.45 mm

ต้องการให้สายทั้งสองข้างยาวต่างกันเพื่อทำให้เกิดเฟสต่างกัน 180 องศา จะสามารถคำนวณระยะต่างของสายไมโครสตริปทั้งสองข้างได้จากสมการที่ (3.5), (3.6) และ (3.7)

$$\beta l = \phi \quad ; \quad \text{โดยที่} \quad \beta = \frac{2\pi}{\lambda_d} \quad (3.5)$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3.6)$$

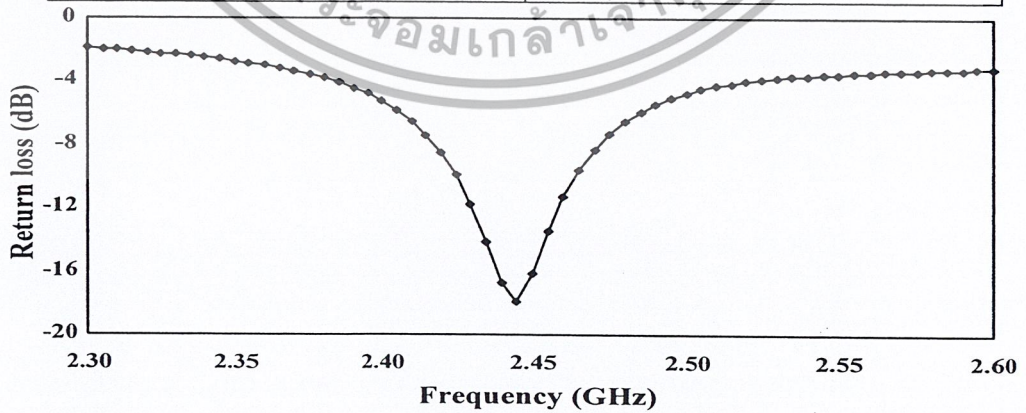
$$\lambda_d = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (3.7)$$

จะได้ความยาวของสายไมโครสตริปทั้งสองข้างของบาลันยาวต่างกันเท่ากับ 33.60 mm จึงจะทำให้เฟสของสนามไฟฟ้าต่างกัน 180 องศา ค่าที่ได้ต่างๆแสดงดังตารางที่ 3.1

หมายเหตุ ค่าที่ได้จากการคำนวณเมื่อนำมาจำลองและสร้างจริงอาจปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม

ตารางที่ 3.1 ขนาดของสายอากาศไดโพลพิมพ์ตัวเดียว

Parameters	Dimension (millimeters)
W	75.85
W ₁	2.69
W ₂	4.64
W ₃	2.69
W ₄	1.45
W ₅	2.69
L	100.00
L ₁	10.00
L ₂	16.42
L ₃	29.30
L ₄	14.65
L ₅	14.65
L ₆	14.65
L ₇	57.18
L ₈	36.27
L ₉	33.60
S	2.69

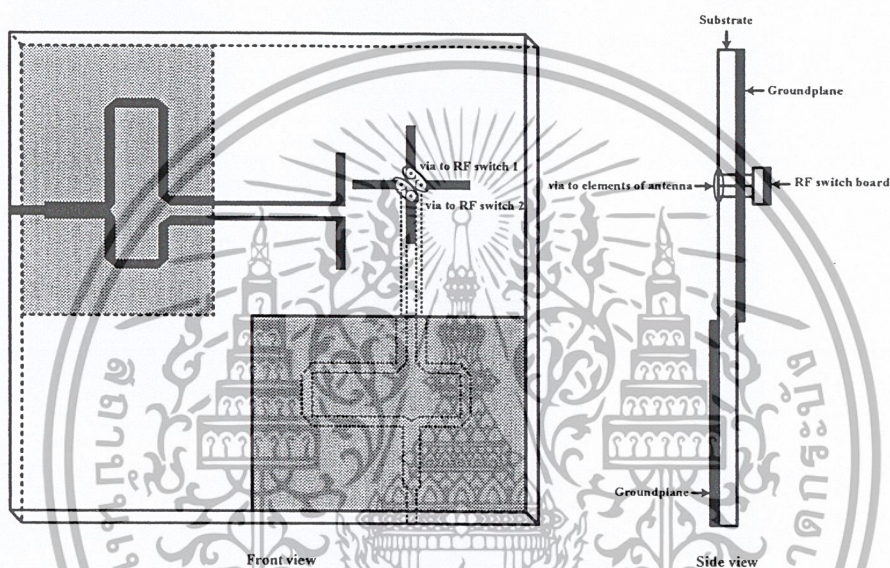


รูปที่ 3.3 ค่า Return loss ที่ได้จากการจำลองในโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

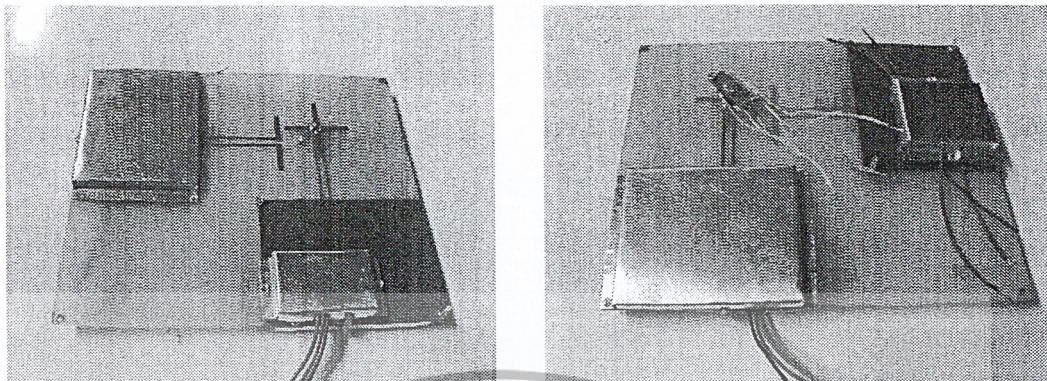
3.2.3 การออกแบบสายอากาศโมโนโพลพิมพ์ 4 อลิเมนต์ที่มีการวางตัวขนานและตั้งฉาก

หลังจากที่ได้ออกแบบสายอากาศไดโพลพิมพ์ตัวเดียวซึ่งเราจะใช้ทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่งต่อมาเราจะเพิ่มสายอากาศไดโพลพิมพ์ที่มีลักษณะเป็นโมโนโพล 4 อลิเมนต์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 สายอากาศไดโพลพิมพ์ที่สามารถสวิตซ์การโพลาไรเซชันได้

จากรูปที่ 3.4 พบว่าสายอากาศสวิตซ์โพลาไรเซชันประกอบไปด้วยสายอากาศโมโนโพล 4 อลิเมนต์อยู่ด้านบนของแผ่นพิมพ์ที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับสัญญาณ ทางด้านหลังของระนาบ กราวนด์เพลนจะเป็นส่วนของสายไมโครสตริปที่มีลักษณะคล้ายกับสายอากาศไดโพลพิมพ์ตัวเดียวเพียงแต่ไม่มีส่วนอลิเมนต์ของสายอากาศไดโพล โดยทั้งหมดจะเชื่อมต่ออยู่กับ RF switch 2 ตัว ซึ่ง RF switch แต่ละตัวจะต่อกับอลิเมนต์ของโมโนโพลในลักษณะเป็นรูปตัว L ดังนั้นเพียงแค่สั่งการให้ RF switch ทำงานพร้อมกัน ก็จะสามารถเลือกการโพลาไรเซชันของสายอากาศว่าจะเป็นโพลาไรเซชันแบบขนานหรือโพลาไรเซชันแบบตั้งฉาก โดยการออกแบบการทำงานของ RF switch จะกล่าวในหัวข้อถัดไปซึ่งเราจะนำสายอากาศชนิดนี้ไปหาค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริกภายในกองข้าวเปลือกได้ สามารถแสดงสายอากาศที่สร้างขึ้นจริงได้ดังรูป 3.5

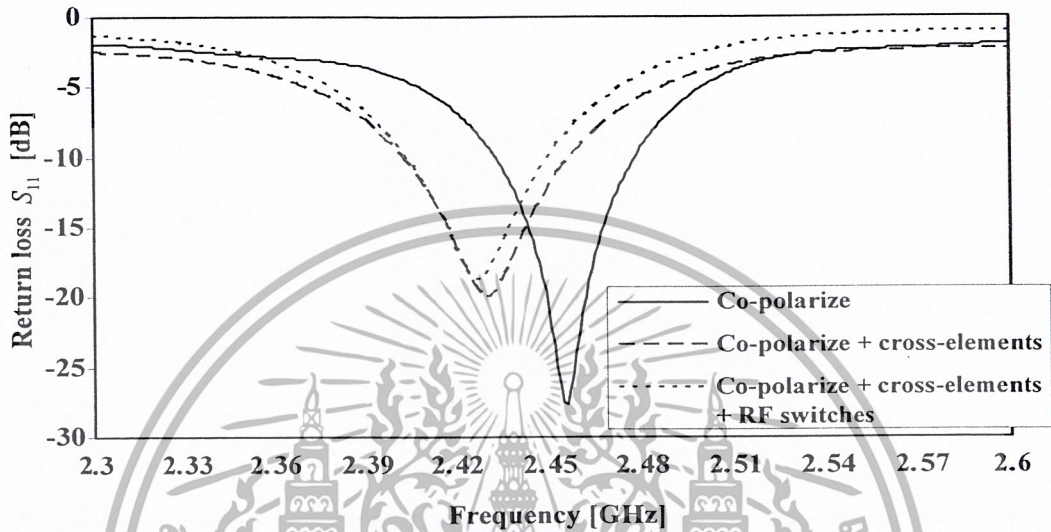


รูปที่ 3.5 สายอากาศวัดความชื้นในกองข้าวเปลือกด้านหน้าและด้านหลัง

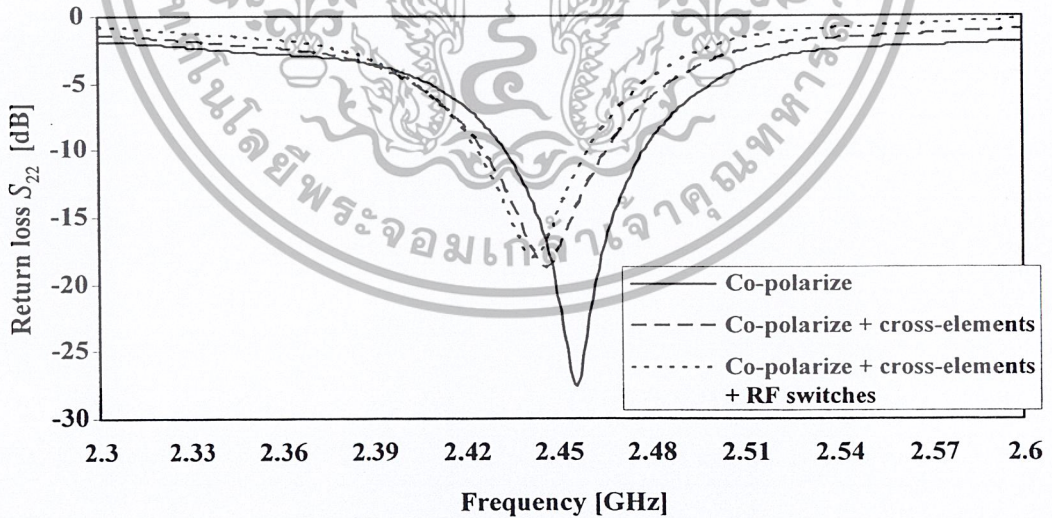
เมื่อได้โครงสร้างทั้งหมดของสายอากาศไดโพลพิมพ์ที่สามารถสวิตซ์การโพลาไรเซชันแล้วจะนำโครงสร้างเหล่านั้นมาจำลองในโปรแกรม CST ผลจากการจำลองที่ต้องการคือค่าการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตอินพุต (S_{11}) ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่เอาต์พุต (S_{22}) ค่าการเชื่อมต่อร่วม (S_{21}) โดยเราจะแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ค่าที่ได้จากการเลือกลักษณะการโพลาไรเซชันแบบตั้งฉาก และค่าที่ได้จากการเลือกลักษณะการโพลาไรเซชันแบบขนาน ซึ่งกราฟแต่ละประเภทนั้นก็ยังคงแบ่งเป็นค่าที่ได้จากการโพลาไรเซชันอย่างเดียว ค่าที่ได้จากการโพลาไรเซชันรวมกับอิทธิพลของอิทธิพลของสายอากาศโมโนโพล และค่าที่ได้จากการเลือกโพลาไรเซชันรวมกับค่าอิทธิพลของอิทธิพลของสายอากาศโมโนโพลรวมกับอิทธิพลจากวงจร RF switch ซึ่งผลกราฟต่างๆที่นำมาแสดงนั้นเป็นผลจากการจำลองซึ่งอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์ [1] แสดงกราฟได้ดังรูปที่ 3.6 ถึง 3.11 ดังนี้

จากรูปที่ 3.6 ถึง 3.7 พบว่าที่ความถี่ 2.45 GHz ค่าของการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตอินพุต (S_{11}) และเอาต์พุต (S_{22}) มีค่าเกือบเท่ากันประมาณ -19 dB ขณะที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตอินพุตและเอาต์พุตรวมกับอิทธิพลของอิทธิพลของสายอากาศโมโนโพลมีค่าเท่ากับ -12.54 dB และ -18.17 dB ตามลำดับ พบว่าค่าที่ได้นั้นมีค่าสูงกว่าค่าของการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตอินพุต (S_{11}) และเอาต์พุต (S_{22}) ที่ไม่รวมอิทธิพลต่างๆเช่นเดียวกับในกรณีที่ค่าของการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตอินพุต (S_{11}) และเอาต์พุต (S_{22}) ที่ได้จากการเลือกโพลาไรเซชันรวมกับค่าอิทธิพลของอิทธิพลของสายอากาศโมโนโพลรวมกับอิทธิพลจากวงจร RF switch มีค่าสูงกว่าค่าของ

การสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตอินพุต (S_{11}) และเอาต์พุต (S_{22}) ที่ไม่รวมอิทธิพลต่างๆคือมีค่า -10.32 dB และ -15.44 dB ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 กราฟการสูญเสียย้อนกลับของพอร์ตอินพุตของสายอากาศไดโพลพิมพ์ที่สามารถสวิตช์โพลาไรเซชันเมื่อสวิตช์โพลาไรเซชันแบบขนาน



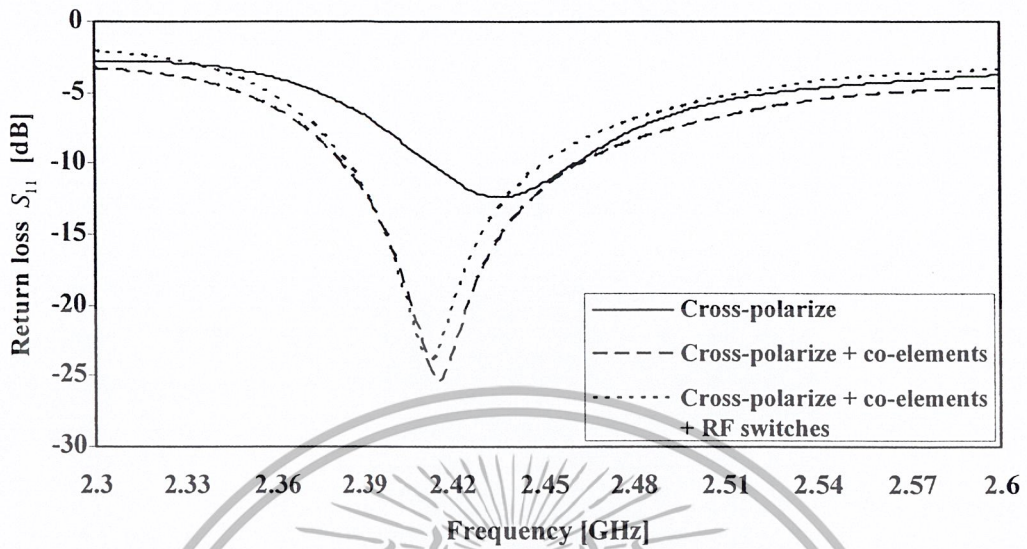
รูปที่ 3.7 กราฟการสูญเสียย้อนกลับของพอร์ตเอาต์พุตของสายอากาศไดโพลพิมพ์ที่สามารถสวิตช์โพลาไรเซชันเมื่อสวิตช์โพลาไรเซชันแบบขนาน

จากรูปที่ 3.8 ถึง 3.9 ในกรณีของการสวิตช์โพลาริเซชันเป็นแบบตั้งฉาก พบว่าที่ความถี่ 2.45 GHz ค่าของการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตอินพุต (S_{11}) และเอาต์พุต (S_{22}) มีค่า -11.46 dB และ -23.86 dB ตามลำดับ ขณะที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตอินพุต (S_{11}) และเอาต์พุต (S_{22}) รวมกับอิทธิพลของอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโมโนโพลมีค่าเท่ากับ -11.96 dB และ -22.33 dB ตามลำดับและค่าการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตอินพุต (S_{11}) และเอาต์พุต (S_{22}) รวมกับอิทธิพลของอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโมโนโพลรวมกับอิทธิพลจากวงจร RF switch ค่าเท่ากับ -10.17 dB และ -19.15 dB ตามลำดับ จากผลที่ได้กล่าวมานั้น จะสังเกตเห็นว่าถึงแม้อิทธิพลของอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโมโนโพลและ RF switch จะมีค่าต่อการลดทอนค่าการสูญเสียย้อนกลับ แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้นั้นก็ยังถือว่าสายอากาศมีการแมทซ์ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ แตกต่างจากค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมซึ่งอิทธิพลของอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโมโนโพลและ RF switch มีอิทธิพลอย่างมากดังรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11

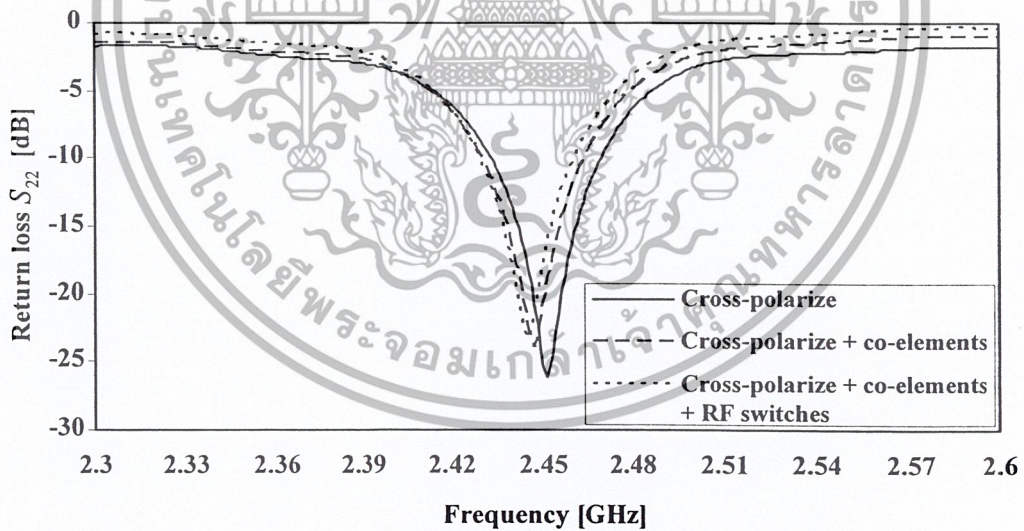
จากรูปที่ 3.10 ค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วม (S_{21}) ของกรณีสวิตช์โพลาริเซชันเป็นแบบขนาน มีค่าเท่ากับ 0.0669 แต่เมื่อรวมอิทธิพลของอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโมโนโพลพบว่ามีค่าสูงขึ้นมากคือ 0.2659 และเมื่อรวมอิทธิพลของ RF switch ด้วยจะมีค่า 0.2400 จะเห็นได้ว่าอิทธิพลของอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโมโนโพลและ RF switch ส่งผลต่อค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วม (S_{21}) เป็นอย่างมาก

จากรูปที่ 3.11 ค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วม (S_{21}) ของกรณีสวิตช์โพลาริเซชันเป็นแบบตั้งฉาก มีค่าเท่ากับ 0.2002 แต่เมื่อรวมอิทธิพลของอิมพีแดนซ์สายอากาศโมโนโพลพบว่ามีค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วม (S_{21}) มีค่าลดลงเป็น 0.1201 และเมื่อรวมกับอิทธิพลของ RF switch ด้วยจะมีค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมเท่ากับ 0.1069

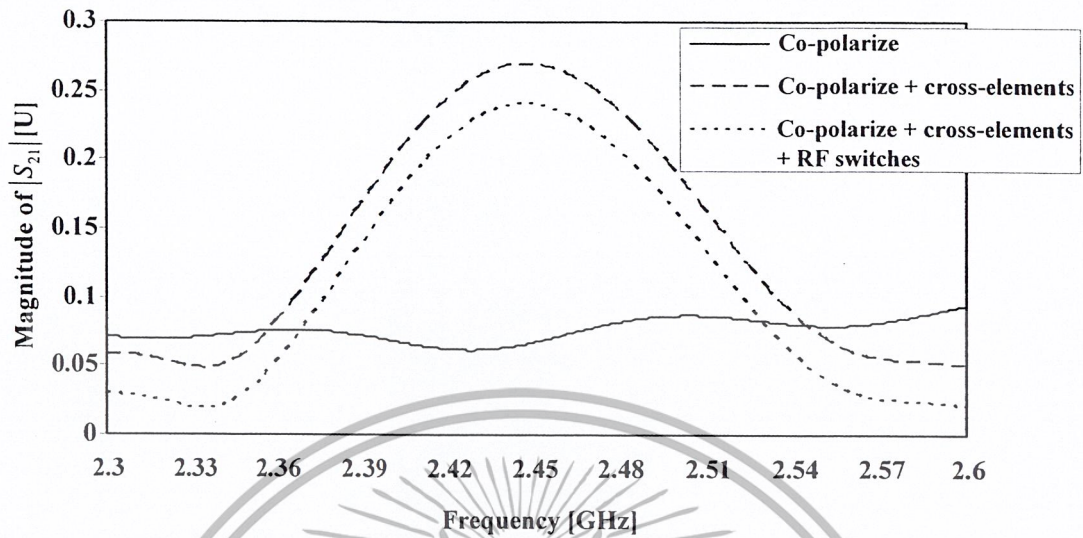
ผลของค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมดังที่กล่าวมานั้นมีประโยชน์อย่างมากในการชดเชยค่าการสูญเสียในการออกแบบสายอากาศไดโพลพิมพ์ที่สามารถสวิตช์การโพลาริเซชันได้ นอกจากนั้นผลเหล่านี้ยังเป็นส่วนสำคัญในการปรับเทียบในบรอดไป



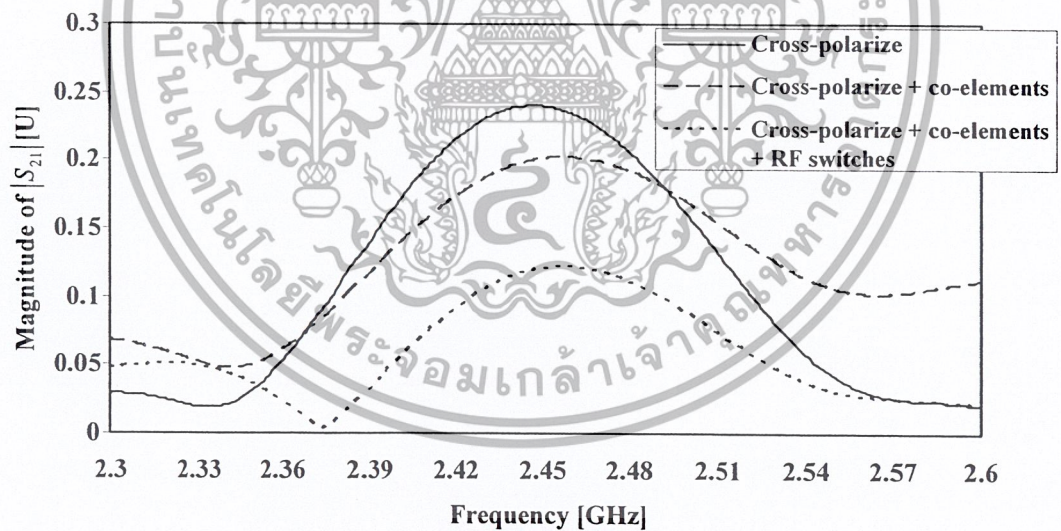
รูปที่ 3.8 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตอินพุตของสายอากาศไดโพลพิมพ์ที่สามารถสวิตช์โพลาริเซชันเมื่อสวิตช์โพลาริเซชันแบบตั้งฉาก



รูปที่ 3.9 ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่พอร์ตเอาต์พุตของสายอากาศไดโพลพิมพ์ที่สามารถสวิตช์โพลาริเซชันเมื่อสวิตช์โพลาริเซชันแบบตั้งฉาก



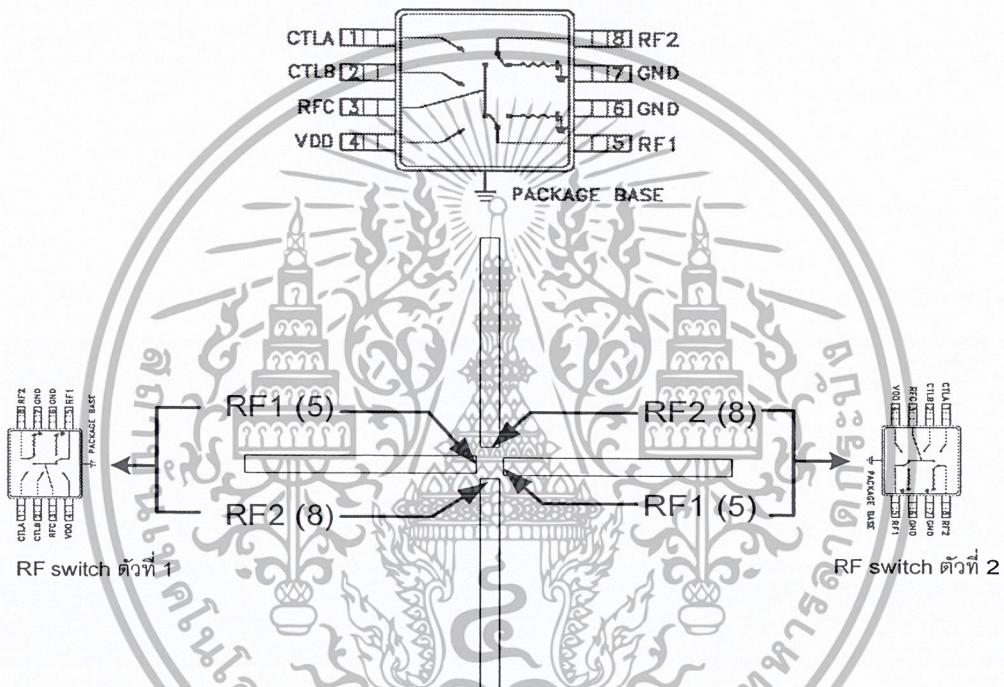
รูปที่ 3.10 กราฟค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไดโพลพิมพ์ที่สามารถ
สวิตช์โพลาไรเซชันเมื่อสวิตช์โพลาไรซ์แบบขนาน



รูปที่ 3.11 กราฟค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมของสายอากาศไดโพลพิมพ์ที่สามารถ
สวิตช์โพลาไรเซชันเมื่อสวิตช์โพลาไรซ์แบบตั้งฉาก

3.2.4 การออกแบบการทำงานของ RF switch เพื่อใช้ในการเลือกการโพลาริเซชัน

ในการเลือกสวิตซ์การโพลาริเซชันของสายอากาศ เราจะใช้ RF switch จำนวน 2 ตัว โดยต่อกับขา 5 (RF1) และขา 8 (RF2) ที่อติเมนต์ของสายอากาศโมนโพลในลักษณะรูปตัว L ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การต่อขา RF switch เข้ากับอติเมนต์ของสายอากาศโมนโพล

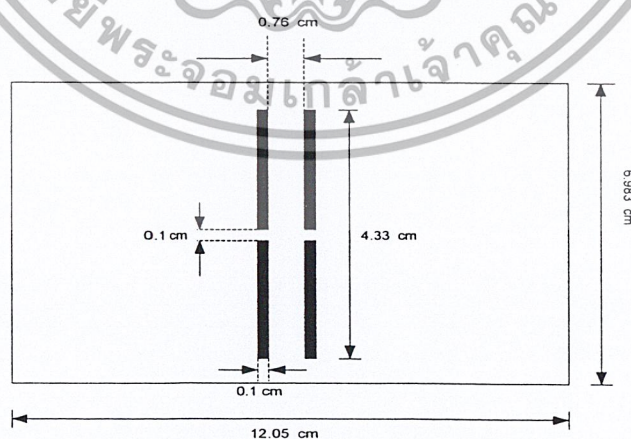
จากรูป 3.12 เมื่อต้องสวิตซ์เลือกการโพลาริเซชันเป็นแบบตั้งฉากต้องทำการป้อนลอจิกให้ขา 1 (CTL A) และขา 2 (CTLB) ของ RF switch ทั้งสองตัวเพื่อให้ขา 5 (RF1) ทำงาน และเมื่อต้องการเลือกการโพลาริเซชันแบบขนานต้องทำการป้อนลอจิกให้ขา 1 (CTL A) และขา 2 (CTLB) ของ RF switch ทั้งสองตัวเพื่อให้ขา 8 (RF2) ทำงาน โดยลักษณะของการป้อนลอจิกนั้นสามารถดูได้จากตารางค่าความจริงของในภาคผนวก ก นอกจากนี้แล้ววงจร RF switch จะเชื่อมต่อกับวงจร Control switch ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมการจ่ายลอจิกเข้าขา CTLA และ CTLB ของ RF switch

3.3 โครงสร้างของสายอากาศที่ใช้หาค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่ผิวของกอนข้าวเปลือก

โครงสร้างของสายอากาศที่ใช้หาค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่ผิวของกอนข้าวเปลือกจะเป็นสายอากาศไดโพลที่อยู่บนระนาบแผ่นพิมพ์ โดยแผ่นพิมพ์ที่ใช้ในการสร้างเป็นแผ่นพิมพ์ FR-4 ที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกเท่ากับ 4.36 มีค่าแทนเจนต์การสูญเสียเท่ากับ 0.01178 และความหนาของชั้นสเตรจเท่ากับ 1.441 มิลลิเมตร โดยโครงสร้างสายอากาศที่ออกแบบนั้นจะประกอบไปด้วย อิลิเมนต์ของสายอากาศไดโพล ส่วนด้านหลังประกอบด้วยระนาบกราวด์เพลนซึ่งตัดแบ่งเป็นสองส่วน ซึ่งโครงสร้างทั้งหมดอ้างอิงมาจากวิทยานิพนธ์[3] สามารถแสดงส่วนต่างๆของสายอากาศ ไดโพลพิมพ์ได้ดังรูป 3.13 และรูป 3.14

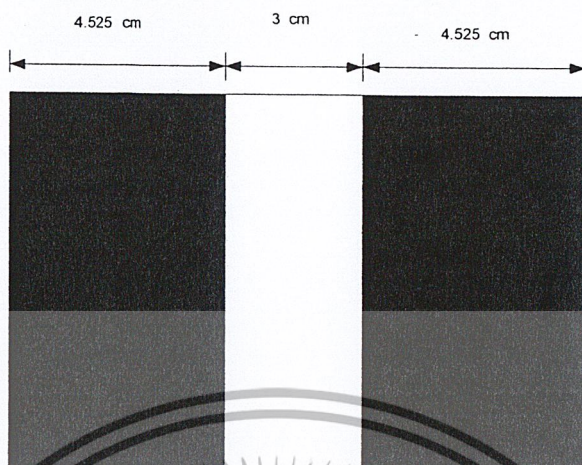
จากโครงสร้างของสายอากาศประกอบไปด้วยอิลิเมนต์ของไดโพลที่มีความยาว $\lambda_d / 2$ และระยะห่างของไดโพลทั้งสองนั้นมีค่าเท่ากับ 0.8λ หรือ 0.76 เซนติเมตร ซึ่งระยะนี้เป็นระยะที่เหมาะสมที่สุดในการชดเชยข้อดีข้อเสียระหว่างค่าของ $|S_{11}|$ และ $|S_{21}|$ ซึ่งพบว่าค่าของ $|S_{21}|$ ไม่ควรต่ำเกินไป เพราะจะทำให้ความไวของการรับสัญญาณลดลง

ในการนำไปใช้งานจะต้องมีการต่อสายโคแอกเซียลที่ออกมาจากอิลิเมนต์ของสายอากาศ ไดโพลแต่ละด้านซึ่งสายโคแอกเซียลที่ต่อออกมาต้องนำไปต่อกับหัว Connector SMA เพื่อนำไปใช้งานต่อไปโดยสามารถแสดงลักษณะการต่อดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.13 โครงสร้างด้านหน้าของสายอากาศไดโพลพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 โครงสร้างด้านหลังของสายอากาศไดโพลพิมพ์



รูปที่ 3.15 สายอากาศวัดความชื้นบนผิวของกองข้าวเปลือกด้านหน้าและด้านหลัง

3.4 การออกแบบโมดูลของระบบการวัด

3.4.1 หลักการทำงานของระบบที่ออกแบบ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบการวัดพร้อมทั้งผลการทดสอบวงจรภายในระบบที่สร้างขึ้น รูปที่ 3.16 แสดงให้เห็นผังงานของระบบการวัดที่น่าเสนอ ซึ่ง

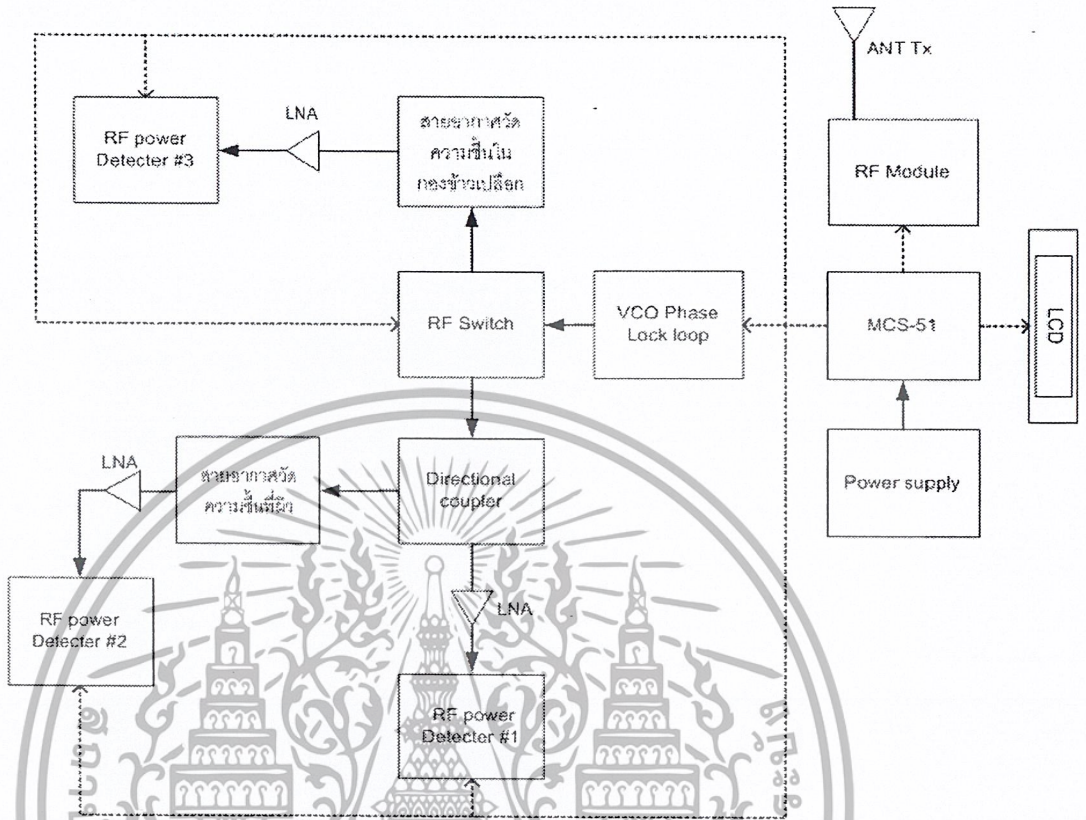
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณที่ควบคุมด้วยแรงดัน และเฟสล็อกสำหรับกำเนิดสัญญาณความถี่ 2.45 GHz ที่มีกำลังงานเอาต์พุต 0 dBm ซึ่งจะต่ออยู่กับ RF Switch ที่สามารถสวิตช์ทิศทางได้ 2 ทิศทาง ซึ่งจะใช้สำหรับสวิตช์เลือกการทำงานระหว่างสายอากาศที่ใช้ในการวัดความชื้นที่ผิวและสายอากาศที่ใช้ในการวัดความชื้นภายในกองข้าวเปลือก

สายอากาศที่ใช้ในการวัดความชื้นที่ผิวจะใช้ค่าสัญญาณสะท้อนและส่งผ่านในการหาค่าความชื้น สัญญาณที่ถูกส่งออกมาจาก RF Switch จะต่ออยู่กับ Directional Coupler และตัวตรวจจับกำลังงานตัวที่ 1 (MAX4003) ก่อนต่อเข้ากับสายอากาศที่ใช้ในการวัดที่ผิวเพื่อใช้วัดขนาดของสัญญาณสะท้อนสัญญาณที่ออกมาจากสายอากาศจะผ่านวงจรขยายที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ (MAX2641 LNA) ที่มีอัตราขยาย 13.5 dB ซึ่งกำลังของสัญญาณนี้จะถูกวัดโดยตัวตรวจจับกำลังงานตัวที่ 2 เพื่อวัดขนาดของสัญญาณส่งผ่าน

ส่วนสายอากาศที่ใช้วัดความชื้นภายในกองข้าวเปลือกจะใช้ค่าสัญญาณส่งผ่านที่มีโพราไรเซชันแบบขนานและแบบตั้งฉากในการหาค่าความชื้น สัญญาณที่ถูกส่งออกมาจาก RF Switch จะต่อเข้ากับสายอากาศ ซึ่งบนตัวสายอากาศจะมีสวิตช์ที่ใช้ในการเลือกรับคลื่นที่มีโพราไรเซชันแบบขนานหรือแบบตั้งฉากก่อนต่อเข้ากับตัวตรวจจับกำลังงานตัวที่ 3 เพื่อวัดขนาดของสัญญาณ

กำลังงานของสัญญาณต่างๆ ที่ถูกวัดโดยตัวตรวจจับกำลังงานจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยวงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิต (ADC8404) เมื่อกำหนดให้แรงดันอ้างอิงเท่ากับ 5 โวลต์ จะสามารถแยกแยะระดับสัญญาณได้ที่ความละเอียดเท่ากับ $\frac{5}{2^8} = 19.53$ มิลลิโวลต์ ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต (MCS51) ซึ่งค่าดังกล่าวจะถูกปรับเทียบเป็นความชื้นกับเครื่องมือวัดความชื้นมาตรฐานดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 ฟังงานของระบบ



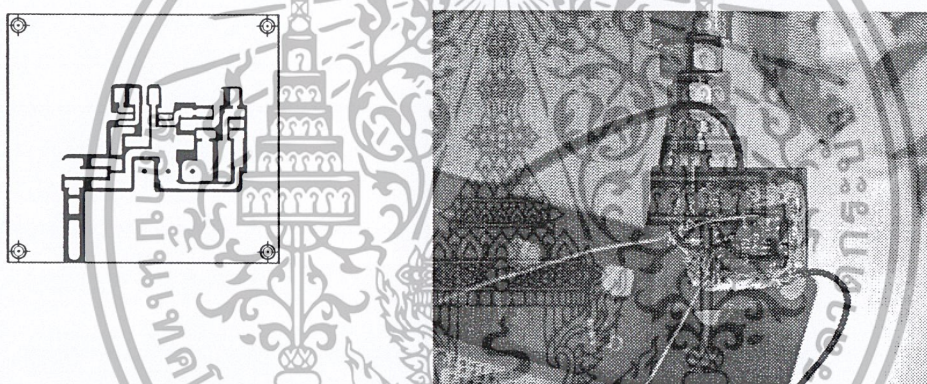
รูปที่ 3.17 เครื่องมือวัดความถี่มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบวงจร

3.5.1 การออกแบบวงจร RF detector

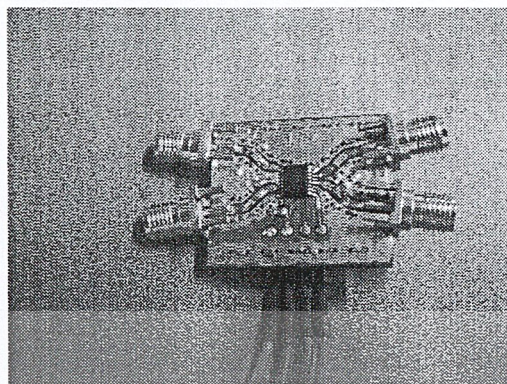
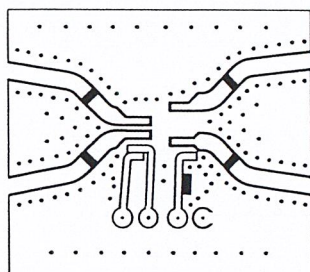
วงจร RF detector คือวงจรตรวจจับสัญญาณความถี่สูง ซึ่งจะให้อาต์พุตออกมาในรูปของแรงดันไฟฟ้า ไอซีที่ใช้ในการออกแบบคือ MAX4003 โดยจะใช้ตรวจจับสัญญาณที่ความถี่ 2.45 GHz ซึ่งสามารถตรวจจับสัญญาณที่มีกำลังอยู่ในช่วง -45 dBm ถึง 0 dBm และให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตอยู่ในช่วงการใช้งานที่เป็นเชิงเส้นตั้งแต่ 0.36 โวลต์ ถึง 1.45 โวลต์ วงจรดังกล่าวจะใช้ในการตรวจจับสัญญาณจากสายอากาศ ซึ่งลายวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ลายวงจร RF detector และ วงจร RF detector ที่สร้างจริง

3.5.2 การออกแบบวงจร RF switch

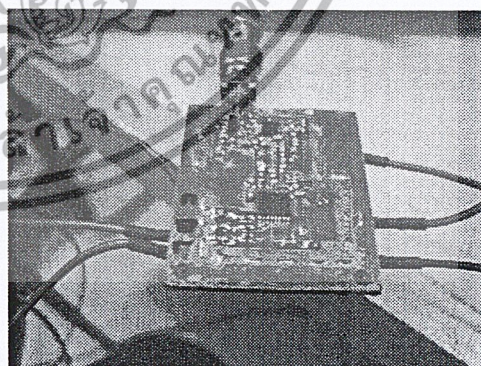
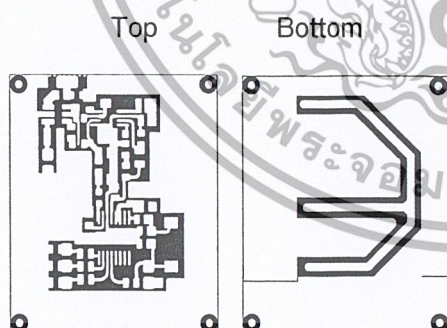
วงจร RF switch คือวงจรที่สามารถสวิตช์เลือกเส้นทางของสัญญาณความถี่สูงได้ ซึ่งจะใช้ไอซี HMC245QS16 โดยวงจรที่ออกแบบจะใช้ในการสวิตช์เลือกเส้นทางของสัญญาณที่ความถี่ 2.45 GHz สำหรับเลือกจ่ายสัญญาณจากวงจรกำเนิดความถี่ให้แก่สายอากาศที่ใช้ในการวัดความชื้นที่ผิวและสายอากาศที่ใช้วัดความชื้นภายในกองข้าวเปลือก โดยลายวงจรสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ลายวงจร RF switch และ วงจร RF switch ที่สร้างขึ้นจริง

3.5.3 การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณ

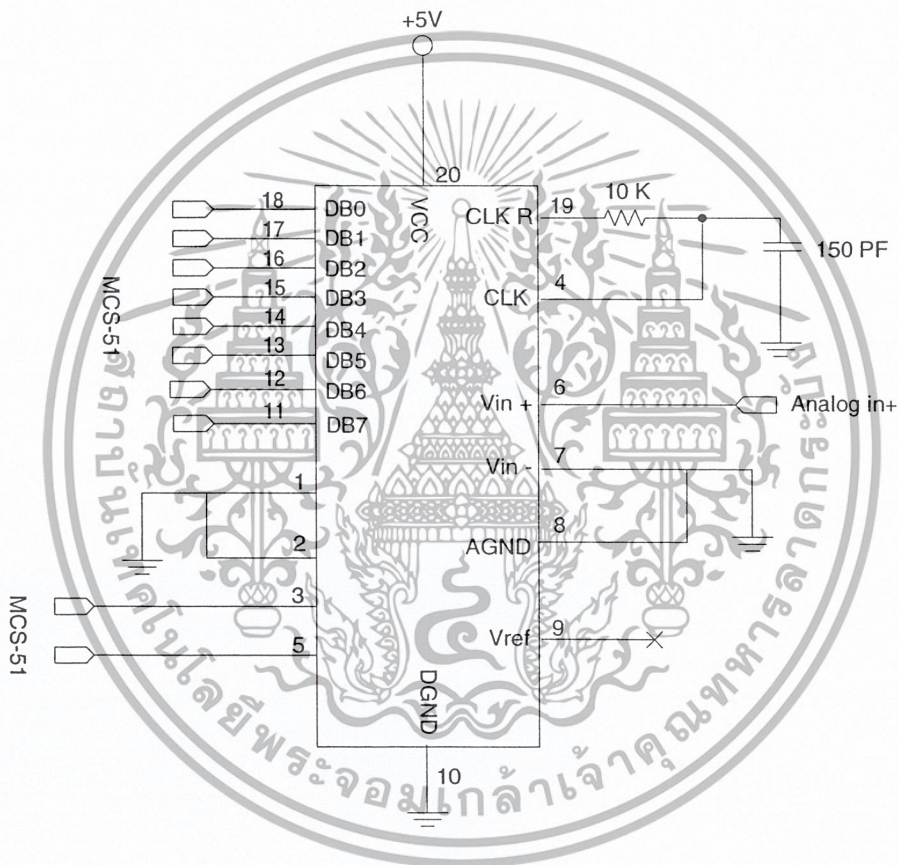
วงจรกำเนิดสัญญาณที่ใช้สามารถกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 2.45GHz ที่มีกำลังงานเอาต์พุต 0dBm ซึ่งจะใช้เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณให้กับสายอากาศที่ใช้ในการวัดความชื้น ซึ่งจะใช้ไอซี MAX2750 Voltage-Controlled Oscillators และ LMX2347 Frequency Synthesizer ซึ่งลายวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ลายวงจรกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 2.45 GHz และ
วงจรกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 2.45 GHz ที่สร้างขึ้นจริง

3.5.4 วงจร Analog to Digital Converter

ในปริยญาณิพนธ์นี้เลือกใช้ชิพสำเร็จรูป ADC 0804 ซึ่งสามารถแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลได้ 8-bit สามารถรับ โวลต์อินพุตได้ตั้งแต่ 0 ถึง 5 V และมีสัญญาณนาฬิกาภายในตัวซึ่งเราสามารถออกแบบวงจรได้ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 วงจรที่ต่อกับ ADC 0804

จากการต่อวงจรดังรูปได้เลือกค่าความต้านทาน (R) = 10 กิโลโอห์ม และตัวเก็บประจุ (C) = 150 PF ซึ่งจะทำให้ได้ความถี่สัญญาณนาฬิกาเท่ากับ 606 KHz โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$f_{CLK} = \frac{1}{1.1 \times RC} \quad (3.8)$$

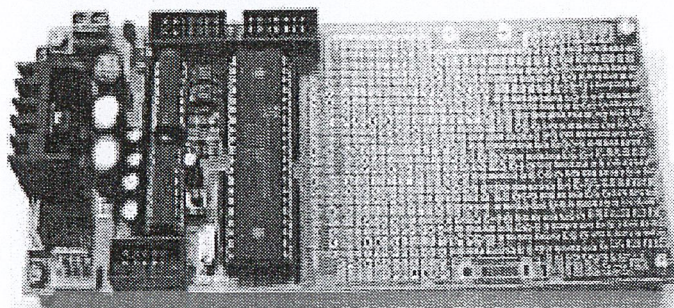
จากรูปกำหนดให้ขา V_{ref/2} ลอยไว้คือเป็นการกำหนดให้วงจรสามารถรับโวลต์อินพุตได้ตั้งแต่ 0 – 5V หรือมีช่วงกว้างโวลต์อินพุต (Span Adjust) ซึ่งโวลต์ต่ำสุดที่ 0 V จะได้ดิจิตอลเอาต์พุต 0000 0000 B หรือ 0x00H และโวลต์สูงสุด 5 V จะได้ดิจิตอลเอาต์พุต 1111 1111B หรือ 0xFFH ดังนั้นเราจะสามารถแบ่งระดับได้เป็น 2 กำลัง 8 = 256 ระดับ ซึ่งแต่ละระดับมีค่าโวลต์ที่ห่างกันเท่ากับ $5/256 = 0.01953$ V

วิธีการเขียนโปรแกรมเพื่อให้ ADC ทำงานนั้นขั้นแรกสุดคือ การ Start ADC ทำได้โดยการส่งสัญญาณเข้าที่ขา WR และ CS ด้วย Logic Low หลังจากนั้น A/D ก็ส่งสัญญาณออกมาที่ขา INTR เพื่อบ่งบอกว่าได้ทำการแปลงสัญญาณเสร็จแล้ว ซึ่งในการอ่านข้อมูลนั้นต้องส่งสัญญาณเข้าที่ขา RD ด้วย Logic Low แต่ในวงจรได้ต่อขา CS และ RD ลงกราว์ซึ่งต้องการให้ A/D มีการ Start และ มีการอ่านข้อมูลอยู่ตลอดเวลา

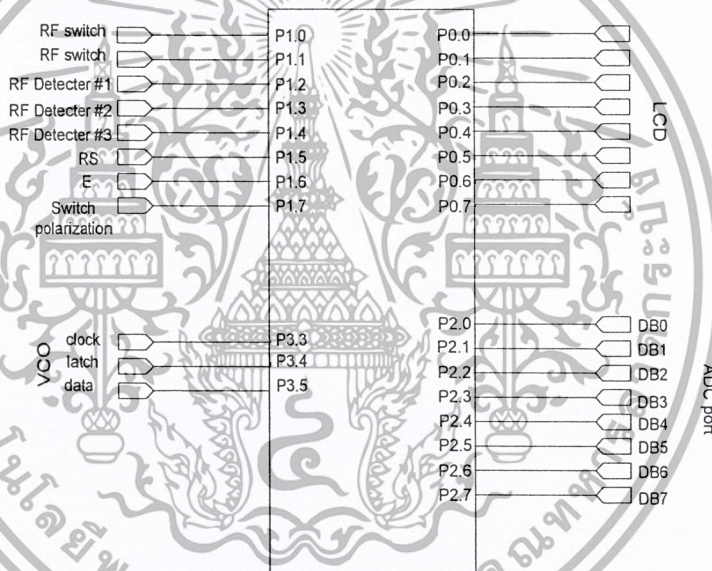
3.6 การออกแบบการทำงานของระบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในระบบตรวจวัดความชื้นกองข้าวเปลือก ได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้เพื่อเป็นตัวควบคุมวงจรต่างๆภายในระบบ เราจึงนำบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งานเนื่องจากมีความสะดวกในการนำไปใช้งานและสามารถที่จะเขียนโปรแกรมลงบนตัวบอร์ดและสามารถแก้ไขโปรแกรมต่างๆได้ง่าย ซึ่งบอร์ดทดลองที่นำมาใช้เป็นรุ่น CP-SPI/RD2 ซึ่งมี CPU ประจำบอร์ดคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นนี้ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ของปริญญาบัตรนี้ แสดงดังรูป 3.22

การใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นเราได้ใช้เป็นตัวควบคุมวงจรต่างๆ เช่น วงจร RF Detector วงจร RF Switch วงจร Digital VCO และ phase lock loop และต่อกับอุปกรณ์แสดงผล LCD รวมถึงติดต่อกับโมดูล RF ผ่านทางพอร์ตอนุกรม (RS232) สามารถแสดงพอร์ตที่ถูกใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ดังรูป 3.23



รูปที่ 3.22 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น CP-SPI/RD2



รูปที่ 3.23 พอร์ตไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกรับใช้งาน

3.7 ฟังงานโปรแกรม (Flow Chart)

ในส่วนแรกของโปรแกรมจะเริ่มจากส่วนของการป้อนบิต เพื่อสวิตช์แหล่งจ่าย ความถี่ (oscillator) โดยการป้อนบิต 0 หรือ 1 ไปยังวงจร RF Switch เพื่อเลือกให้จ่ายแหล่ง ความถี่ไปยังสายอากาศด้านที่ต้องการในตอนแรกจะสวิตช์ไปยังสายอากาศที่ใช้วัดความชื้นที่ผิว กองข้าวเปลือกก่อน จากนั้นจึงเปิดการทำงานของวงจร RF detector ตัวที่ 1 ตามด้วยโปรแกรม

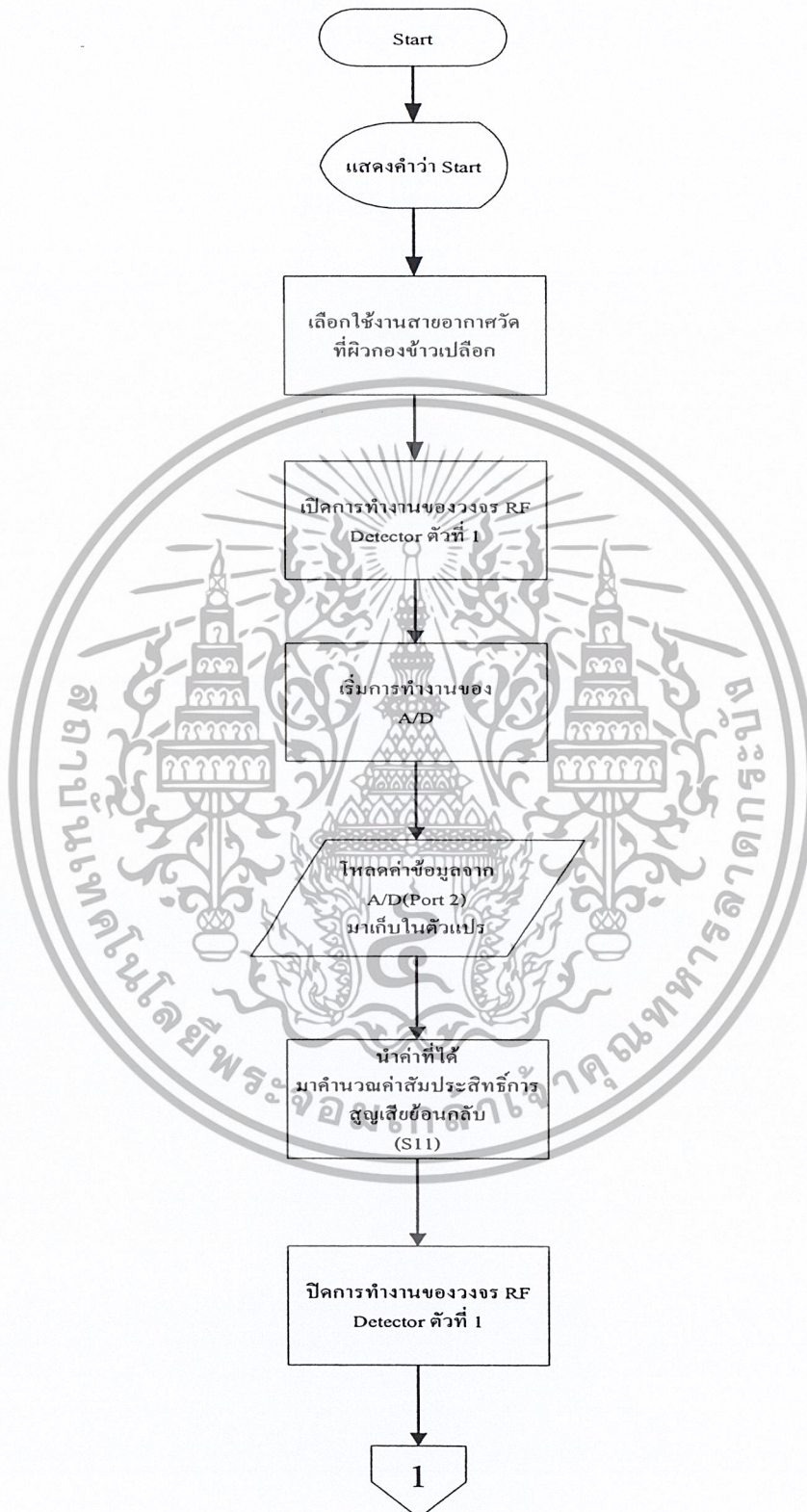
A/D เพื่อนำค่าโวลต์เตจมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียย้อนกลับ $|S_{11}|$ และปิดการทำงานของวงจร RF Detector ตัวที่ 1

หลังจากนั้น โปรแกรมจะทำการสั่งเปิดการทำงานของ RF Detector ตัวที่ 2 และก็จะทำการรวบรวมการเดียวกันกับข้างต้น เพื่อนำค่าโวลต์เตจที่ได้มาคำนวณหาขนาดการเชื่อมต่อร่วม $|S_{21}|$ เมื่อได้ค่าขนาดของสัมประสิทธิ์การสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) และค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมแล้ว ก็จะนำค่าดังกล่าวมาเปรียบเทียบเป็นค่าความขึ้นบนผิวของกอนข้าวเปลือกออกมา แล้วนำไปแสดงเป็นค่าความขึ้นบนหน้าจอ LCD และส่งข้อมูลความขึ้นบนนั้นผ่านพอร์ตอนุกรม (RS232) ไปยังโมดูล RF เพื่อส่งข้อมูลให้คอมพิวเตอร์นำไปแสดงผล

ในส่วนที่สองของโปรแกรมก็จะกลับไปยังการสวิตซ์วงจร RF Switch เพื่อเลือกแหล่งจ่ายความถี่เพื่อไปยังสายอากาศที่ใช้วัดความขึ้นภายในกอนข้าวเปลือก จากนั้นก็จะเป็นการสวิตซ์โพลาริเซชันของสายอากาศที่ใช้วัดความขึ้นภายในกอนข้าวเปลือก โดยตอนแรกจะสวิตซ์เป็นแบบขนานก่อน แล้วจึงเปิดการทำงานของวงจร RF Detector ตัวที่ 3 ตามด้วยโปรแกรม A/D เพื่อนำค่าโวลต์เตจที่ได้จากการสวิตซ์โพลาริเซชันของสายอากาศแบบขนานแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลไปเก็บไว้ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อคำนวณหาค่ากำลังงาน และปิดการทำงานของวงจร RF Detector ตัวที่ 3

จากนั้น โปรแกรมก็จะสวิตซ์โพลาริเซชันไปเป็นแบบตั้งฉาก เพื่อที่จะทำการรวบรวมการในแบบเดิมเพื่อหาค่ากำลังงานที่ได้จากการสวิตซ์โพลาริเซชันแบบตั้งฉาก หลังจากนั้น โปรแกรมจะทำการเปรียบเทียบค่ากำลังงานที่ได้จากทั้งสองกรณี เพื่อแสดงค่าความขึ้นออกมาบนหน้าจอ LCD และส่งข้อมูลความขึ้นบนนั้นผ่านพอร์ตอนุกรม (RS232) ไปยัง โมดูลเพื่อส่งข้อมูลให้คอมพิวเตอร์นำไปแสดงผลต่อไป

เมื่อโปรแกรมทำงานตามข้างต้นแล้วจะถือว่าเป็นการทำงานครบ 1 รอบ ซึ่งหลังจากนี้โปรแกรมจะรอคำสั่งที่ส่งเข้ามาจากคอมพิวเตอร์ ซึ่งเมื่อมีคำสั่งเข้ามาโปรแกรมก็จะเริ่มทำงานใหม่อีกครั้งหนึ่ง และจะทำงานแบบนี้ไปเรื่อยๆ ตราบเท่าที่มีคำสั่งเข้ามา โดยโปรแกรมการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 3.24-3.29



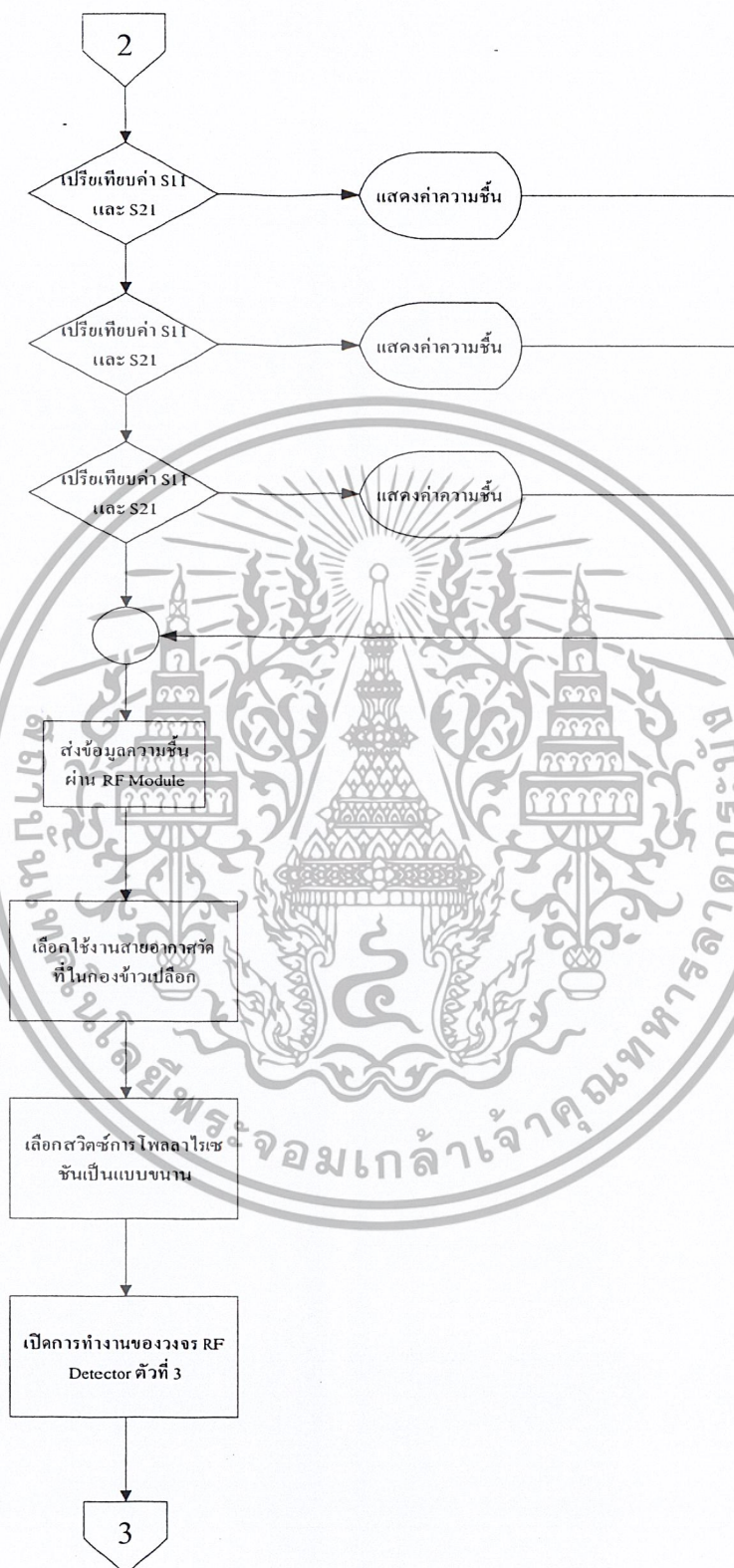
รูปที่ 3.24 แผนผังการทำงานส่วนที่ 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



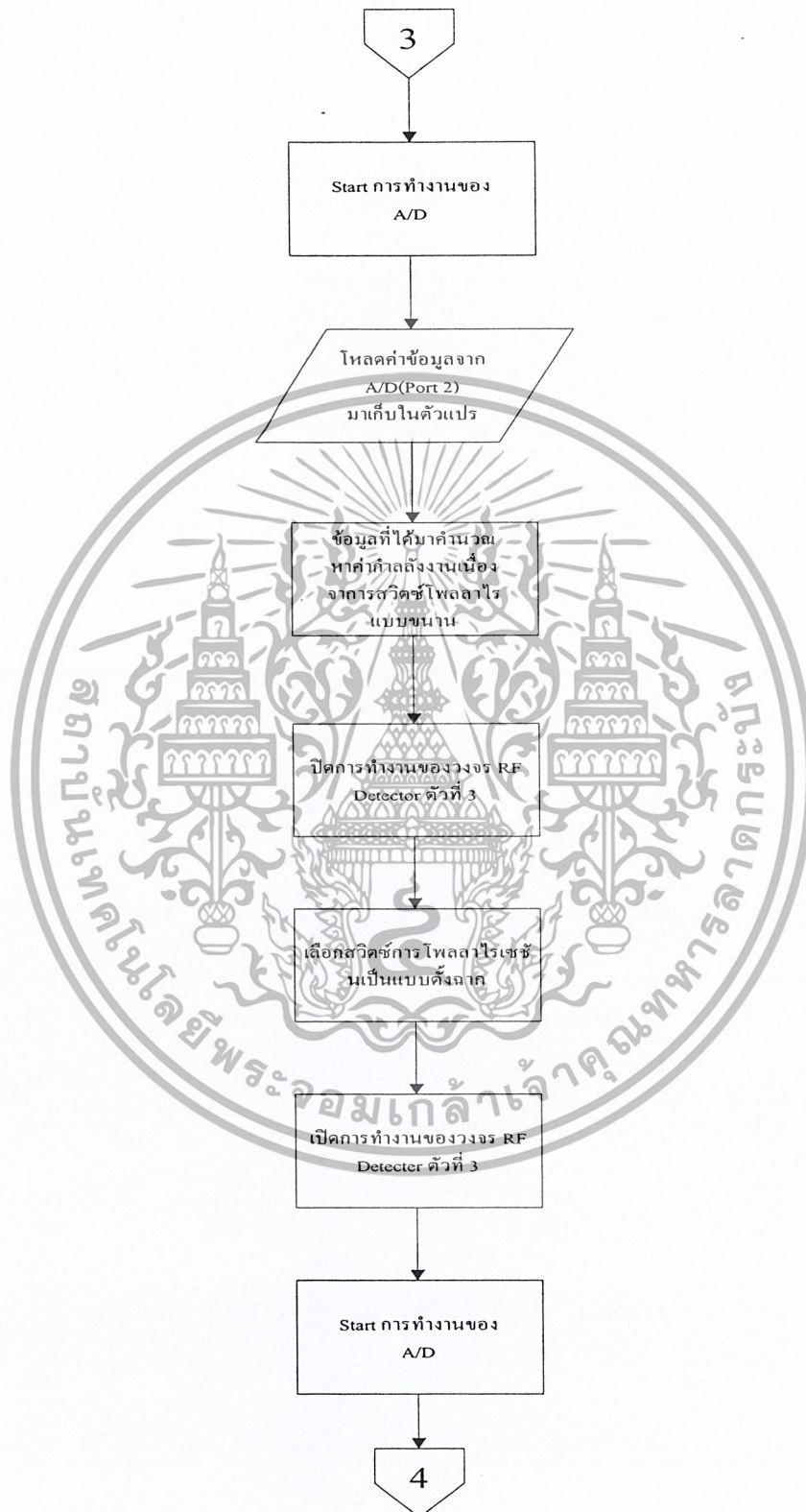
รูปที่ 3.25 แผนผังการทำงานส่วนที่ 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 แผนผังการทำงานส่วนที่ 3 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



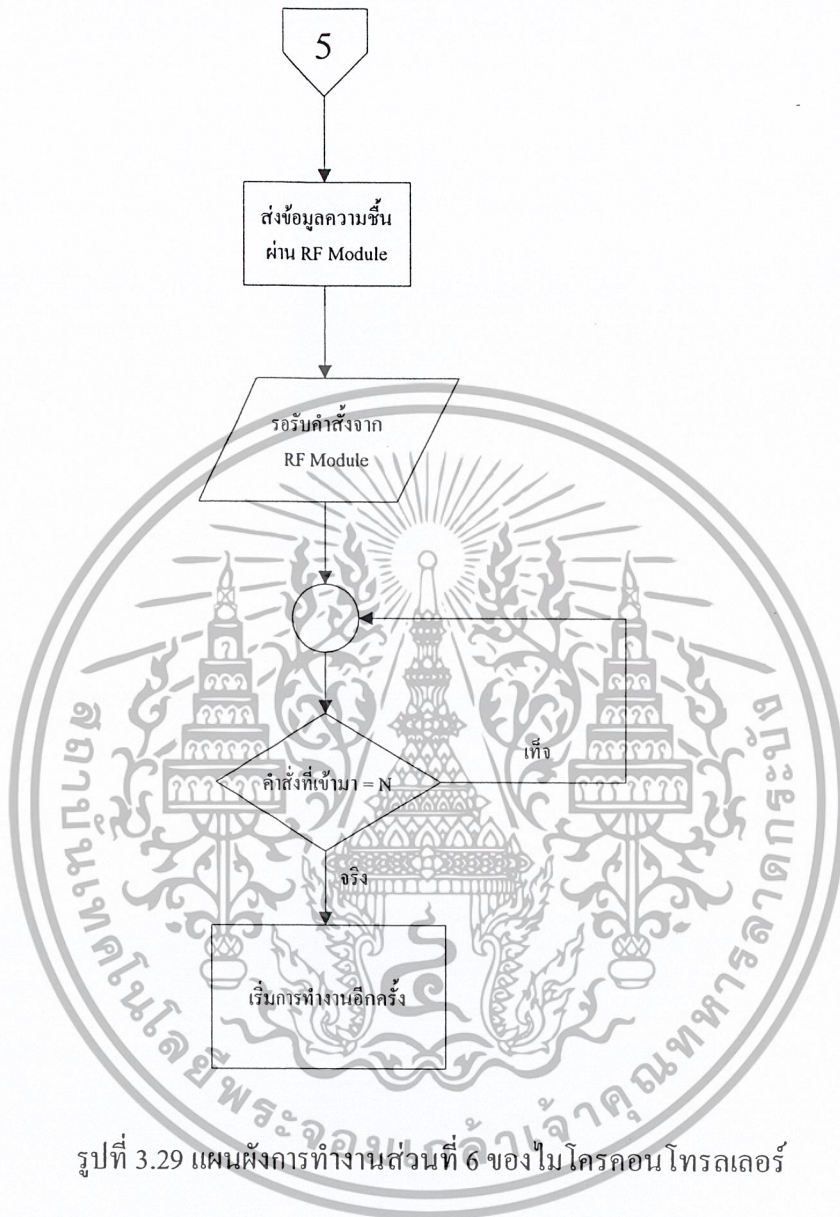
รูปที่ 3.27 แผนผังการทำงานส่วนที่ 4 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 แผนผังการทำงานส่วนที่ 5 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 แผนผังการทำงานส่วนที่ 6 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.8 สมการที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าเปรียบเทียบเป็นความถี่

สมการเพื่อหาค่าขนาดของสัมประสิทธิ์การสูญเสียย้อนกลับ (S_{11})

$$P_{1in} = 52.63 \times V_{out} - 88.316 \quad (\text{dBm})$$

$$P_r = 0.001 \times 10^{\frac{P_{1in}}{10}} \quad (\text{W})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_{11} = \sqrt{\frac{P_r}{1 \times 10^{-3}}}$$

สมการเพื่อหาค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วม (S_{21})

$$P_{2_{in}} = 33.67 \times V_{out} - 46.532 \quad (\text{dBm})$$

$$P_c = 0.001 \times 10^{\frac{P_{2_{in}}}{10}} \quad (\text{W})$$

$$S_{21} = \sqrt{\frac{P_c}{1 \times 10^{-3}}}$$

เมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) และ ค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วม (S_{21}) แล้วจึงนำค่าทั้งสองมาพล็อตลงในกราฟความถี่เพื่อกำหนดช่วงของความถี่ระหว่างความถี่ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) และค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วม (S_{21}) เพื่อไปเปรียบเทียบกับค่าโวลต์เตจที่ RF Detector ตรวจจับมาได้

สมการที่ใช้ในการหาค่าขนาดการเชื่อมต่อร่วมเนื่องจากการสวิตช์สายอากาศรับเป็นแบบขนานและสวิตช์แบบตั้งฉากตามลำดับ

$$P_{3_{in}} = 30.769 \times V_{out} - 46.185 \quad (\text{dBm})$$

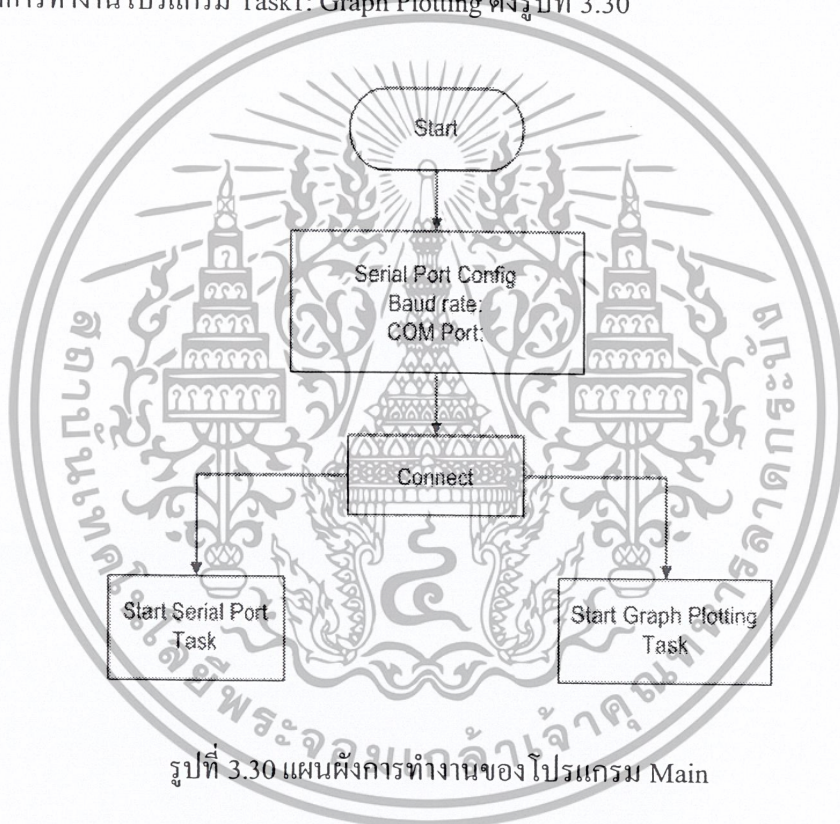
$$P_{\text{parallel}} = 10^{\frac{P_{3_{in}}}{20}} \quad (\text{U})$$

$$P_{\text{perpendicular}} = 10^{\frac{P_{3_{in}}}{20}} \quad (\text{U})$$

3.9 แผนผังการทำงานของโปรแกรมบน PC

3.9.1 โปรแกรม Main

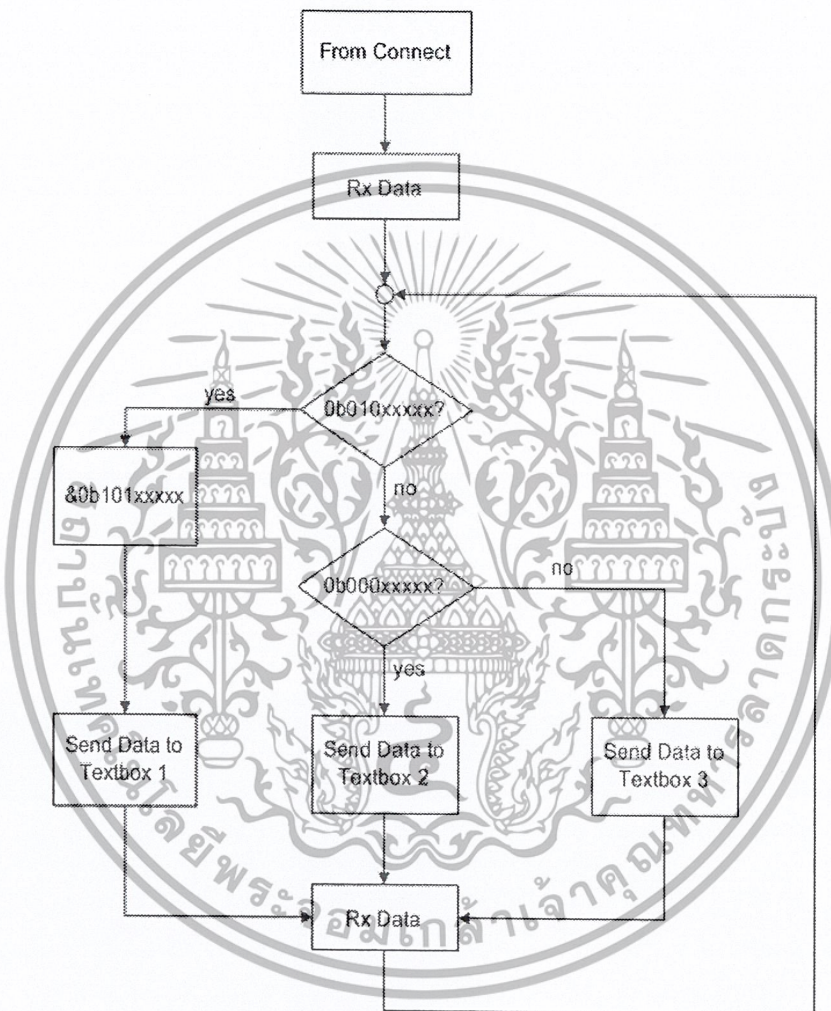
การทำงานของโปรแกรมบน PC ก็จะมีส่วนของการทำงานส่วนย่อยอยู่ด้วยกันสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นส่วนของการทำงานของโปรแกรม Task0: Serial Port และส่วนที่สองคือ ส่วนของการทำงานโปรแกรม Task1: Graph Plotting ดังรูปที่ 3.30



3.9.2 โปรแกรม Task0: Serial Port

ในส่วนของการทำงานของ Serial Port เมื่อ connect ข้อมูลก็จะถูกส่งเข้ามาแล้วก็จะถูกทำการเช็คว่าข้อมูลที่เข้ามาเป็นค่าความชื้นที่ผิวหรือภายในของกองข้าวเปลือก โดยกำหนดว่า ถ้าสามบิตแรกเป็น 010 จะเป็นค่าความชื้นที่ผิวของกองข้าวเปลือก แต่ถ้าเป็น 000 จะเป็นค่าความชื้นภายในกองข้าวเปลือก โดยถ้าเป็นค่าความชื้นที่มาจากที่ผิวของกองข้าวเปลือกข้อมูลจะ

ถูกนำไป & กับ 101 เพื่อให้ได้ค่าข้อมูลเดิม แล้วข้อมูลจะถูกส่งไปแสดงผลที่ Textbox 1 ส่วนถ้าเป็นค่าความชื้นที่ภายในกองข้าวเปลือกข้อมูลจะถูกส่งไปยัง Textbox 2 เลย แต่ถ้าไม่ใช่ทั้งสองอันก็จะถูกส่งไปแสดงยัง Textbox 3 นั่นเองดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 แผนผังการทำงานของโปรแกรม Task0: Serial Port

3.9.3 โปรแกรม Task1: Graph Plotting

ในส่วนของการทำงานในส่วนนี้เมื่อทำการ connect ข้อมูลก็จะถูกส่งเข้ามาเรื่อยๆ โดยมี Timer เป็นตัวนับเวลา โดยจะมีการไปดึงค่าความชื้นที่ผิวของกองข้าวเปลือกจาก Textbox

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 มาแสดงเป็นกราฟเส้นที่ 1 และมีกรไปดึงค่าความขึ้นที่ภายในของกองข้าวเปลือกจาก Textbox
 2 มาแสดงเป็นกราฟเส้นที่ 2 และส่งไปแสดงเป็นกราฟค่าความขึ้นออกมาโดยมีการทำงานดังรูปที่
 3.32 นั้นเอง



รูปที่ 3.32 แผนผังการทำงาน โปรแกรม Task1: Graph Plotting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

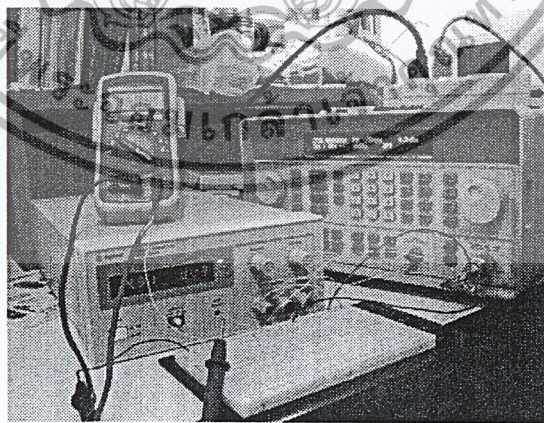
ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการทดสอบทางด้านปฏิบัติเพื่อทดสอบวงจรและโปรแกรมต่างๆที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นพร้อมทั้งผลการเปรียบเทียบความถี่ระหว่างอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือที่มีราคาและความแม่นยำสูง

4.2 การทดลองวงจรตรวจจับกำลังงาน

วงจรตรวจจับกำลังงานที่สร้างขึ้นจะมีเอาต์พุตเป็นระดับแรงดันไฟฟ้า ในการทดลองนี้จะทำการทดสอบวงจรที่สร้างขึ้นเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือและแรงดันเอาต์พุต โดยจะทำการป้อนสัญญาณให้วงจรโดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณที่มีความถี่ 2.45 GHz ให้แก่วงจรแล้วทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตด้วย โวลต์มิเตอร์ดังรูปที่ 4.1



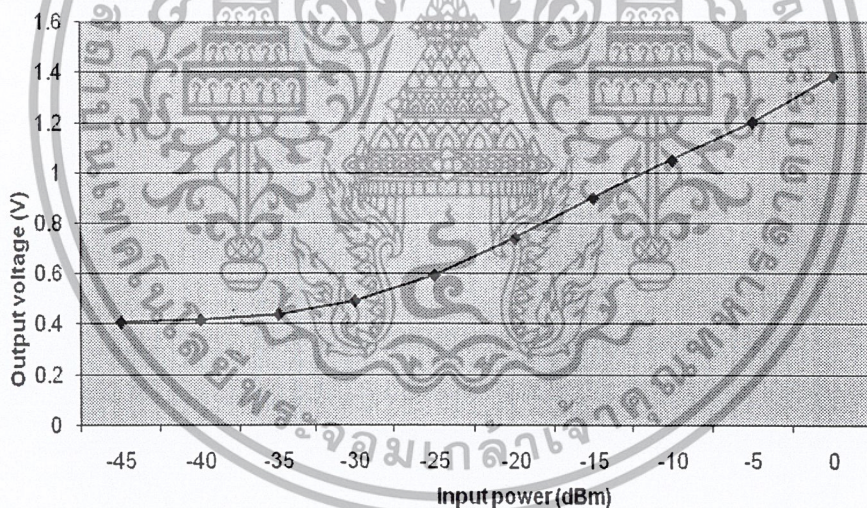
รูปที่ 4.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานและแรงดันที่ตรวจวัดได้จากสัญญาณที่ป้อนให้โดยเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 2.45 GHz

ในการทดลองจะทำการป้อนกำลังงานของสัญญาณตั้งแต่ค่า 0 dBm ถึง -45 dBm ซึ่งเป็นช่วงการทำงานของวงจรแล้วนำค่าดังกล่าวไปพล็อตเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานและแรงดันที่ตรวจวัดได้โดยตัวตรวจจับกำลังงาน ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังงานอินพุตที่มีหน่วยเป็น dBm และแรงดันเอาต์พุตที่มีหน่วยเป็น โวลต์ ซึ่งมีลักษณะเป็นเชิงเส้น และสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$V_{out} (v) = 0.03P_{in} (dBm) + 1.382P_{in} (dBm) + 1.382 \quad (4.1)$$

เมื่อทำการจัดรูปสมการที่ (4.1) ใหม่จะได้เป็น

$$P_{in} (dBm) = \frac{V_{out} (v) - 1.382}{0.03} \quad (4.2)$$

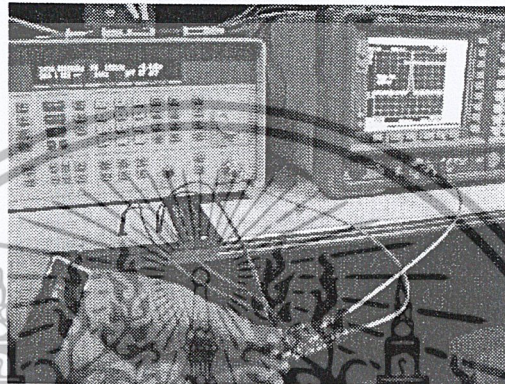


รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานและแรงดันที่ตรวจวัดได้โดยตัวตรวจจับกำลังงาน

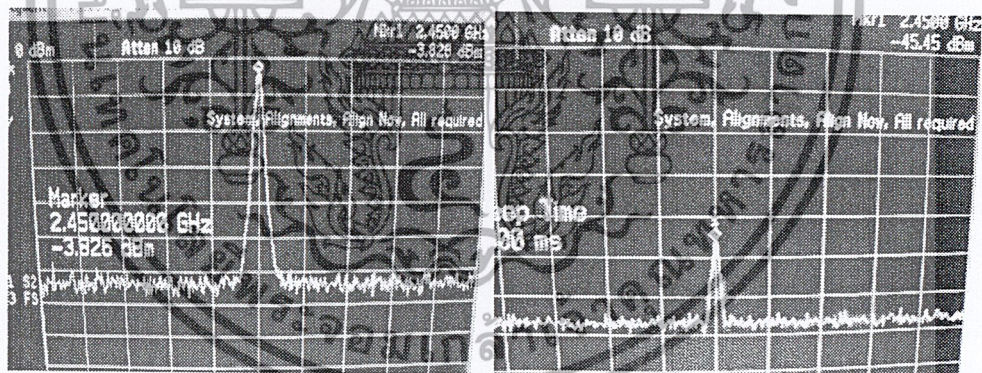
4.3 การทดลองวงจร RF switch

วงจร RF switch ที่สร้างขึ้นจะใช้ในการสวิตซ์สัญญาณที่ความถี่ 2.45 GHz จากแหล่งกำเนิดสัญญาณให้แก่สายอากาศที่ใช้วัดความชื้นสองตัว ในการทดลองจะเป็นการป้อน

สัญญาณที่ความถี่ 2.45 GHz ที่มีขนาดของสัญญาณ 0 dBm แล้ววัดขนาดของสัญญาณที่ด้านเอาต์พุตของวงจรในกรณีที่สวิตช์เปิดและปิด ดังรูปที่ 4.3 เมื่อสวิตช์เปิดจะได้ขนาดกำลังของสัญญาณที่ -2.928 dBm และเมื่อสวิตช์ปิดจะได้ขนาดกำลังของสัญญาณที่ -45.45 dBm ดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 การทดลองหาคณสมบัติของวงจร RF switch



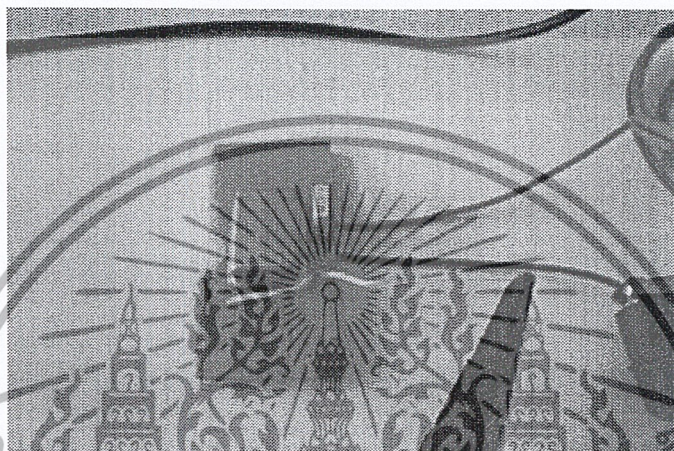
รูปที่ 4.4 ผลการทดลองวงจร RF switch กรณีวงจรเปิด และ กรณีวงจรปิด

4.4 การทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณ

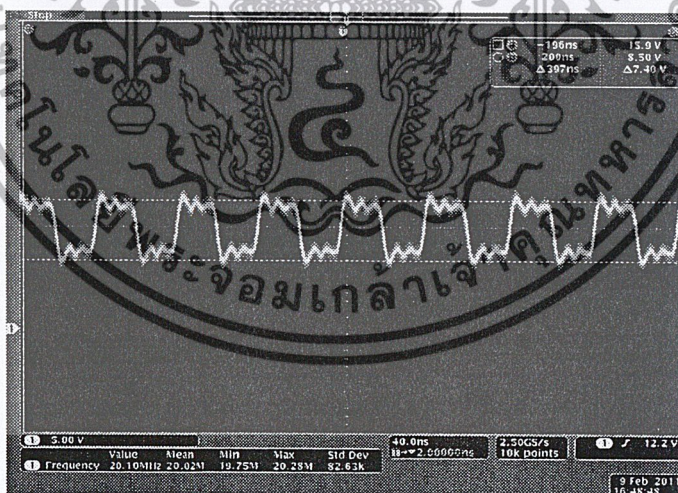
วงจรกำเนิดสัญญาณที่ทำการออกแบบจะกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 2.45 GHz ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 สำหรับจ่ายให้แก่สายอากาศที่ใช้ในการวัดความชื้นที่ผิวและภายในกอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข่าวเปลือก ซึ่งวงจรดังกล่าวจะประกอบด้วย วงจร VCO และ Phase-locked loop กำเนิดความถี่ 2.45 GHz และ crystal oscillator กำเนิดความถี่ 20 MHz ซึ่งจะใช้เป็นความถี่ reference แก่วงจร Phase-locked loop โดยจะใช้ไอซีเบอร์ MAX2750 สำหรับวงจร VCO และ LMX2347 สำหรับ วงจร Phase-locked loop ดังรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8

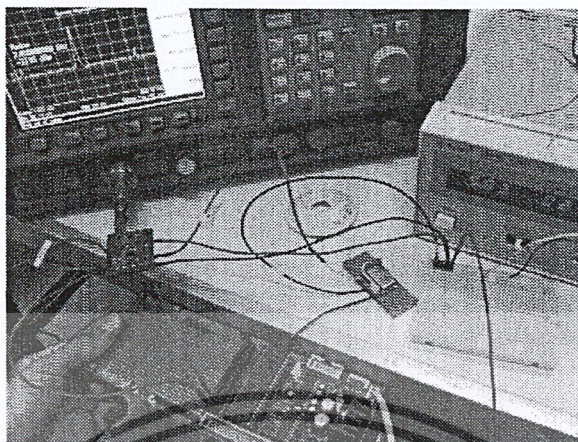


รูปที่ 4.5 crystal oscillator กำเนิดความถี่ 20 MHz

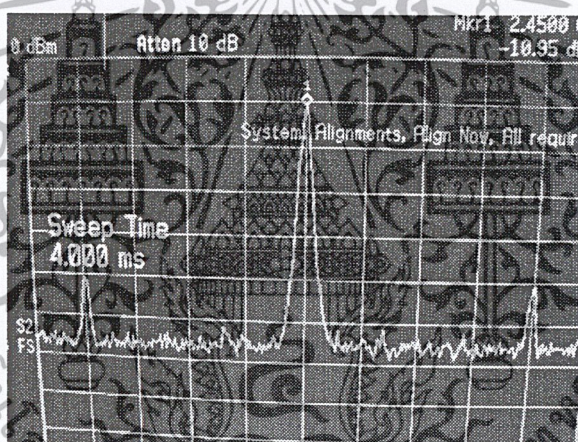


รูปที่ 4.6 สัญญาณจาก crystal oscillator ความถี่ 20 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การทดลองวงจรกำเนิดความถี่ 2.45GHz



รูปที่ 4.8 กำลังงานของสัญญาณจากวงจรถ่ายความถี่

4.5 ผลการทดลองแปลงสัญญาณอนาล็อกควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์

ใช้ power supply แทน +Vin และขา Data ทั้ง 8 ของ ADC ต่อเข้ากับพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ดังรูปที่ 4.9 ที่พอร์ต P2 ส่วนขา wr และขา intr ซึ่งใช้ควบคุมการ start ของ ADC ต่อเข้ากับขา P1.5 และ P1.6 ส่วนเอาต์พุตนั้นจะต่อกับพอร์ต P1 และต่ออยู่กับหลอด LED เมื่อเราป้อนไฟเข้าที่ขาอินพุตจะแสดงการติดดับของหลอด LED ดังรูปที่ 4.10 แทนเลขฐาน 2 ที่มีแปดบิต ดังนั้นเราจะสามารถแบ่งระดับได้เป็น 256 ระดับ ซึ่งแต่ละระดับมีค่าโวลต์ที่ห่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันเท่ากับ $5/255 = 0.0196 \text{ V}$ สามารถเขียนเป็นตารางความสัมพันธ์บิต และค่าโวลต์เตจได้ดังตารางที่ 4.1

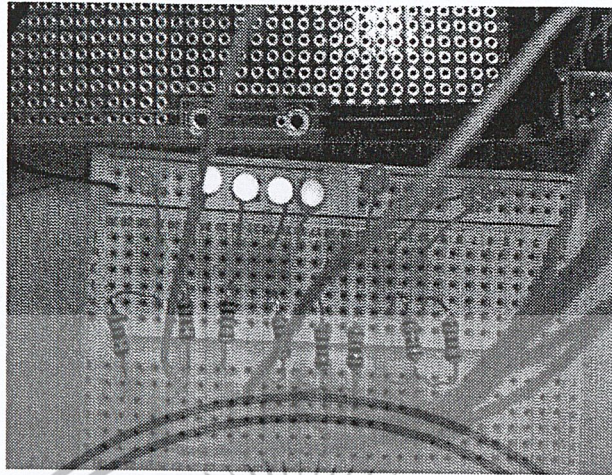
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์บิตและค่าโวลต์เตจ

MSB บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0	INPUT
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	$(1/255)*5 \text{ V} = 0.0196 \text{ V}$
0	0	0	0	0	0	1	0	$(2/255)*5 \text{ V} = 0.03921 \text{ V}$
0	0	0	0	0	0	1	1	$(3/255)*5 \text{ V} = 0.03921 \text{ V}$
								...
1	1	1	1	1	1	1	1	$(255/255)*5 \text{ V} = 1 \text{ V}$



รูปที่ 4.9 การทดลองป้อนสัญญาณอนาล็อกโดยใช้แหล่งจ่ายไฟตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 การติดตั้งของหลอด LED ซึ่งแทนเลขฐานสองจำนวนแปดบิต

ตัวอย่างจากรูปที่ค่า โวลต์เตจที่ป้อนเข้าขา +Vin ของ ADC คือ 2.34 v จะแสดงการติดตั้งของหลอด LED แทนเลขฐานสองได้เป็น 01111000 เราสามารถคำนวณย้อนกลับได้ดังนี้

$$01111000 = 2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^3 \text{ ระดับโวลต์เตจประมาณเก็บ } 120 \times \frac{5}{255} = 2.35 \text{ V เป็นต้น}$$

4.6 ผลการวัดความชื้นโดยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย

4.6.1 การทดลองวัดความชื้นที่ผิวของกองข้าวเปลือก

ค่าที่ได้จากการจำลองแบบในแต่ละค่าจะทำการวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย ซึ่งจะทำการวัด 3 ครั้งแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ค่าที่วัดได้แสดงตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าที่ได้จากการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายในกรณีของอวกาศว่างเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองแบบของสายอากาศที่ใช้วัดที่ผิวของกึ่งขั้วเปลือก

	ค่าจากการจำลองแบบ	ค่าจากการวัด	ความแตกต่าง (%)
S_{11}	0.601	0.542	9.81
S_{21}	0.359	0.388	8.07

4.6.2 การทดลองวัดความชื้นที่ภายในกึ่งขั้วเปลือก

ค่าที่ได้จากการจำลองแบบในแต่ละค่าจะทำการวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่าย ซึ่งจะทำการวัด 3 ครั้งแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าที่ได้จากการวัดโดยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายในกรณีของอวกาศว่างเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองแบบของสายอากาศที่ใช้วัดภายในกึ่งขั้วเปลือก

S_{21}	ค่าจากการจำลองแบบ	ค่าจากการวัด	ความแตกต่าง (%)
แบบขนาน	0.0669	0.0523	21.82
แบบตั้งฉาก	0.2002	0.1776	11.28

4.7 ผลการวัดความชื้นโดยเครื่องมือที่สร้างขึ้น

ในการทดลองนี้จะใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นแทนการใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายดังรูปที่ 4.11 หลังจากนั้นนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองแบบเพื่อหาตัวประกอบของการปรับเทียบ ซึ่งตัวประกอบของการปรับเทียบ (Clb_{Ft}) จะเท่ากับอัตราส่วนของค่าที่ได้จากการจำลอง ($CalcV$) แบบต่อค่าที่ได้จากการวัด ($MeasV$) ดังนี้

$$ClbFt = \frac{CalcV}{MeasV} \quad (4.3)$$

ค่าต่างๆที่ได้จากการทดลองและค่าตัวประกอบของการปรับเทียบของการวัด
สัญญาณโดยเครื่องมือที่สร้างขึ้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.4 ค่าที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือที่สร้างขึ้นในกรณีของอวกาศว่างเปรียบเทียบ
กับค่าที่ได้จากการจำลองแบบของสายอากาศที่ใช้วัดที่ผิวของกองข้าวเปลือก

	ค่าจากการจำลองแบบ	ค่าจากการวัด	ตัวประกอบของการปรับเทียบ
S_{11}	0.601	0.170	3.54
S_{21}	0.359	0.127	2.83

ตารางที่ 4.5 ค่าที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือที่สร้างขึ้นในกรณีของอวกาศว่างเปรียบเทียบ
กับค่าที่ได้จากการจำลองแบบของสายอากาศที่ใช้วัดภายในกองข้าวเปลือก

S_{21}	ค่าจากการจำลองแบบ	ค่าจากการวัด	ตัวประกอบของการปรับเทียบ
แบบขนาน	0.0669	0.0434	1.54
แบบตั้งฉาก	0.2002	0.0506	3.95

หลังจากได้ค่าตัวประกอบการปรับเทียบแล้วเราจะทำการปรับเทียบค่าต่างๆที่ได้จาก
การวัดเป็นความชื้นกับค่าความชื้นที่วัดได้จากเครื่องมือมาตรฐาน โดยค่าที่วัดได้แต่ละค่าจะผ่าน
การคูณค่าตัวประกอบของการปรับเทียบแล้ว ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.7
ต่อไปนี้

ตารางที่ 4.6 ค่าที่ได้จากการวัด โดยเครื่องมือที่สร้างขึ้นเทียบกับค่าความชื้น
ของสายอากาศที่ใช้วัดที่ผิวของกองข้าวเปลือก

ความชื้น (%)	S_{11}	S_{21}
11.7	0.989	0.308
13	0.735	0.296
16	0.602	0.274
20	0.421	0.228

ตารางที่ 4.7 ค่าที่ได้จากการวัด โดยเครื่องมือที่สร้างขึ้นเทียบกับค่าความชื้น
ของสายอากาศที่ใช้วัดภายในกองข้าวเปลือก

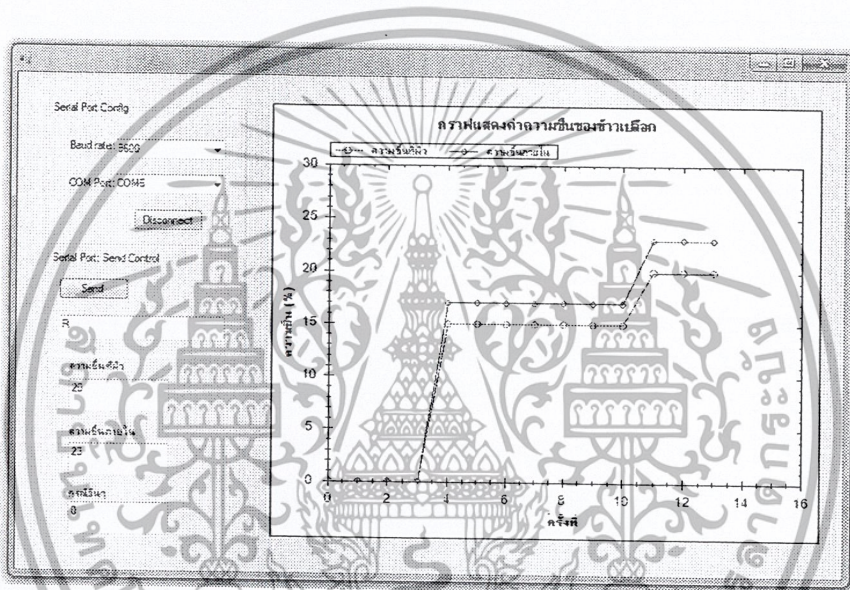
ความชื้น (%)	S_{21} แบบตั้งฉาก	S_{21} แบบขนาน
11.7	0.2247	0.0816
13	0.2120	0.0852
16	0.1910	0.0988
20	0.1734	0.1030



รูปที่ 4.11 การทดลองเปรียบเทียบค่าความชื้นของข้าวโดยวัดความชื้นในกองข้าวเปลือก
และวัดความชื้นบนผิวกองข้าวเปลือก

4.8 การทดสอบโปรแกรมบน PC

โปรแกรมบน PC จะมีการทำงานอยู่ด้วยกัน 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของ Serial Port ซึ่งรับค่าความชื้นมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านมาทางโมดูล ส่วนที่สองเป็นส่วนของ Graph Plotting ที่รับเอาค่าความชื้นที่ส่งผ่านมาทาง Serial Port มาพล็อตเป็นกราฟดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 โปรแกรมแสดงค่าความชื้น

จากรูปแสดงค่าความชื้นที่รับเข้ามา โดยค่าความชื้นที่รับเข้ามาในตอนแรกความชื้นที่ผิวมีค่าเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นภายในมีค่าเท่ากับ 17 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อส่งคำสั่งให้รับค่าความชื้นเข้ามาใหม่ซึ่งมีค่าความชื้นที่ผิวเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นภายในมีค่าเท่ากับ 23 เปอร์เซ็นต์ ค่าความชื้นก็จะถูกพล็อตเป็นดังรูป

4.9 ผลการวัดความชื้นโดยเครื่องมือที่สร้างขึ้นและเครื่องมือวัดความชื้นทั่วไป

ในการทดลองนี้จะใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นวัดความชื้นของกองข้าวเปลือกเพื่อเปรียบเทียบกับค่าความชื้นที่วัดได้จากเครื่องมือวัดความชื้นทั่วไป ในการทดลองจะมีข้าวเปลือก 3 กอง ที่มีความชื้นต่างกันแล้วใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นวัดความชื้นเทียบกับเครื่องมือวัดความชื้นมาตรฐานดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าความชื้นที่วัดได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นกับ
เครื่องมือวัดความชื้นทั่วไป

ถังที่	ความชื้นของข้าวเปลือก (%)		
	เครื่องมือทั่วไป	เครื่องมือที่สร้างขึ้น	ความผิดพลาด (%)
1	11.1	10	9.90
2	17.7	19	7.34
3	27.5	30	9.09

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการหาความชื้นของกองข้าวเปลือก โดยใช้สายอากาศสองตัว ตัวแรกจะใช้วัดความชื้นที่ผิวของกองข้าวเปลือก ส่วนสายอากาศตัวที่สองจะใช้วัดความชื้นภายในกองข้าวเปลือก ซึ่งค่าที่วัดได้จะแสดงผลที่จอแสดงผลของระบบ และสามารถเก็บข้อมูลไปแสดงผลเป็นกราฟความชื้นที่จอคอมพิวเตอร์ผ่าน RF module

วิธีการหาค่าความชื้นของข้าวเปลือกในปริญญานิพนธ์นี้ อาศัยการวัดค่าขนาดของกำลังงานของสัญญาณสะท้อนและเชื่อมต่อกับสายอากาศไดโพลคู่ที่วางอยู่บนกองข้าวเปลือกของสายอากาศที่ใช้วัดที่ผิวของกองข้าวเปลือก และขนาดของกำลังงานเชื่อมต่อกับคลื่นที่มีโพลาริเซชันแบบขนานและแบบตั้งฉากของสายอากาศที่ใช้วัดภายในกองข้าวเปลือก จากนั้นจะเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าความชื้นที่วัดได้จากเครื่องมือวัดความชื้นทั่วไป ดังนั้นความแม่นยำในการวัดค่าความชื้นจึงขึ้นอยู่กับการวัดค่าขนาดของสัญญาณสะท้อนและเชื่อมต่อของสายอากาศ ซึ่งสายอากาศที่ใช้ในการวัดความชื้นเป็นสายอากาศไดโพลพิมพ์ ซึ่งมีข้อดีคือสามารถสร้างได้ง่ายมีโครงสร้างที่กระทัดรัด ทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz

ในการทดลองวัดค่าความชื้นด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้นเนื่องจากเราใช้ความถี่ 2.45 GHz ซึ่งเป็นความถี่เดียวกันกับสัญญาณไวเลส ทำให้เครื่องมือที่ใช้วัดโดนรบกวน ความชื้นจากเครื่องมือที่วัดได้จึงไม่นิ่ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

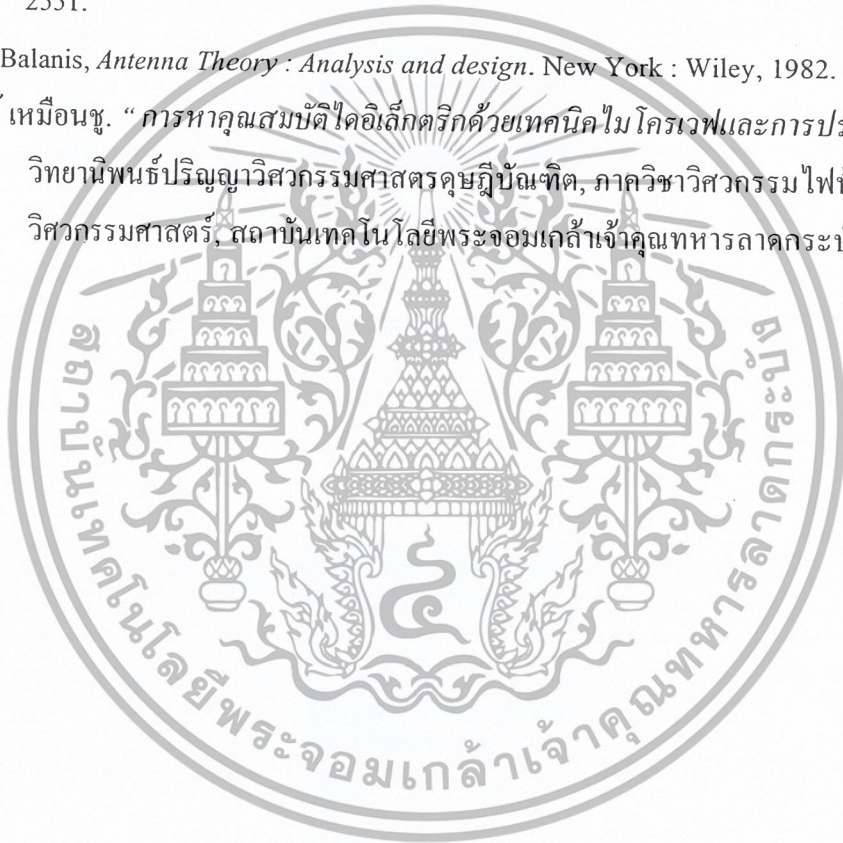
เราสามารถเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการวัดจาก 2.45 GHz ไปเป็นความถี่อื่นเพื่อลดสัญญาณรบกวนจากสัญญาณ wireless ได้ นอกจากนี้เครื่องมือดังกล่าวยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดความชื้นกับผลผลิตทางการเกษตรชนิดอื่นได้ เช่น วัดความชื้นของกองถั่วเขียว เป็นต้น ซึ่งสามารถทำได้โดยการวัดค่าขนาดการสะท้อนและเชื่อมต่อร่วมของถั่วเขียวที่ความชื้นต่างๆ แล้วปรับเทียบเป็นความชื้นกลับเครื่องมือมาตรฐาน

ในการเก็บข้อมูลความชื้นของกองข้าวเปลือกถ้าเราเก็บจำนวนค่าความชื้นของข้าวเปลือกได้มากขึ้น จะทำให้ค่าความชื้นที่วัดได้จากเครื่องมือมีความแม่นยำมากขึ้น



บรรณานุกรม

- [1] ชัญวัฒน์ ลิ้มปิติ. “การหาคูณสมบัติไดอิเล็กตริกด้วยการวัดขนาดของการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศไดโพลที่มีโพลาริเซชันแบบตั้งฉากและแบบขนาน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551.
- [2] C.A. Balanis, *Antenna Theory : Analysis and design*. New York : Wiley, 1982.
- [3] จิรัฏฐ์ เหมือนชู. “การหาคูณสมบัติไดอิเล็กตริกด้วยเทคนิคไมโครเวฟและการประยุกต์.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2552.





ภาคผนวก ก

โปรแกรมควบคุมการทำงานส่วนฮาร์ดแวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include<reg51.h>
#include<stdio.h>
#include<math.h>
#define adc_port P2;
unsigned int info_1,info_2,info_3,info_4 ;
unsigned char recive;
unsigned int val;
sbit switch_a = P1^0; // switch osc
sbit switch_b = P1^1;
sbit rf_1 = P1^2;
sbit rf_2 = P1^3;
sbit rf_3 = P1^4;
sbit rs = P1^5;
sbit e = P1^6;
sbit con = P1^7; // switch parallel or perpendicular
sbit wr = P3^2;
sbit intr = P3^3;
sbit clk = P3^4;
sbit latch = P3^5;
sbit dat = P3^6;
float v_out,p1_in,p2_in,p3_in,pr,pc,s_11,s_21,p_para,p_per ;

void delay(int time)
{
    int i;
    for(i=0;i<time;i++);
}

```

```

void lcd_command(unsigned char com)
{
    rs = 0;
    e = 1;
    P0 = com;
    delay(200);
    e = 0;
    delay(200);
}

void lcd_text(unsigned char text)
{
    rs = 1;
    e = 1;
    P0 = text;
    delay(200);
    e = 0;
    delay(200);
}

void lcd_putstr(char addr, char *ptr)
{
    lcd_command(0x02);
    lcd_command(addr);
    while(*ptr)
    {
        lcd_text(*ptr);
        ptr++;
    }
}

```

```

void lcd_init()
{
    delay(500);
    lcd_command(0x38); // 2 line , 8 bit display , 5*7 dot
    lcd_command(0x0C); // display on , none cursor
    lcd_command(0x01); // clear screen
}

void serial_port()
{
    TMOD = 0x20; // timer 1 mode 2
    SCON = 0x50; // serial port TX and Rx
    PCON = 0x00;
    TH1 = 0xFB;
    TL1 = 0xFB; // 9600 bps
    RI = 0;
    TI = 0;
    TR1 = 1; // start timer 1
}

void conv()
{
    wr = 0 ;
    wr = 1 ;
    while(intr);
}

void clock()
{
    clk = 1 ;
    delay(100);
}

```

```

    clk = 0;
}
void osc()
{
    latch = 0;
    delay(300);
    dat = 0;
    clock();
    clock();
    dat = 1;
    clock();
    dat = 0;
    clock();
    dat = 1;
    clock();
    clock();
    clock();
    clock();
    clock();
    clock();
    clock();
    clock();
    dat = 0;
    clock();
    dat = 1;
    clock();
    clock();
    dat = 0;
    clock();
    dat = 1;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

clock();
clock();
dat = 1;
clock();
dat = 0;
clock();
dat = 1;
clock();

```

```

latch = 1;
delay(30000);
delay(30000);
delay(30000);
delay(30000);
delay(30000);
}

```

```

void main(void)
{
osc();
delay(30000);
delay(30000);
lcd_init();
lcd_putstr(0x85,"start");
delay(30000);
delay(30000);
lcd_command(0x01); // clear
lcd_command(0x02); // set lcd origin

```



```

switch_a = 0; // switch osc to measuring on pile of paddy
switch_b = 0;

rf_1 = 1;
rf_2 = 0;
rf_3 = 0;          //open rf detector 1 or detector at Tx
delay(30000);
delay(30000);
conv();
info_1 = adc_port;
delay(30000);
v_out = info_1/51;
delay(30000);
p1_in = 52.63*v_out - 88.316; // power in dbm unit
pr = 0.001*pow(10,p1_in/10); // power in W unit
s_11 = sqrt(pr*1000);

rf_1 = 0;
rf_2 = 1;          //open rf detector 2 or detector at Rx
rf_3 = 0;
delay(30000);
delay(30000);
conv();
info_2 = adc_port;
delay(30000);
v_out = info_2/51;
delay(30000);
p2_in = 33.67*v_out - 46.532; // power in dbm unit

```

```
pc = 0.001*pow(10,p2_in/10); // power in W unti
```

```
s_21 =sqrt(pc*1000);
```

```
if(s_11 > 0.989 && s_11 < 0.900)
```

```
{
```

```
  if(s_21 > 0.350 && s_21 < 0.300)
```

```
  {
```

```
    lcd_putstr(0x80,"10%");
```

```
    val = 10 ;
```

```
    val = val|0x40;
```

```
    SBUF = val;
```

```
    while(~TI);
```

```
    TI = 0;
```

```
  }
```

```
}
```

```
else if (s_11 > 0.540 && s_11 < 0.470)
```

```
{
```

```
  if(s_21 > 0.250 && s_21 < 0.220)
```

```
  {
```

```
    lcd_putstr(0x80,"19%");
```

```
    val = 19;
```

```
    val = val|0x40;
```

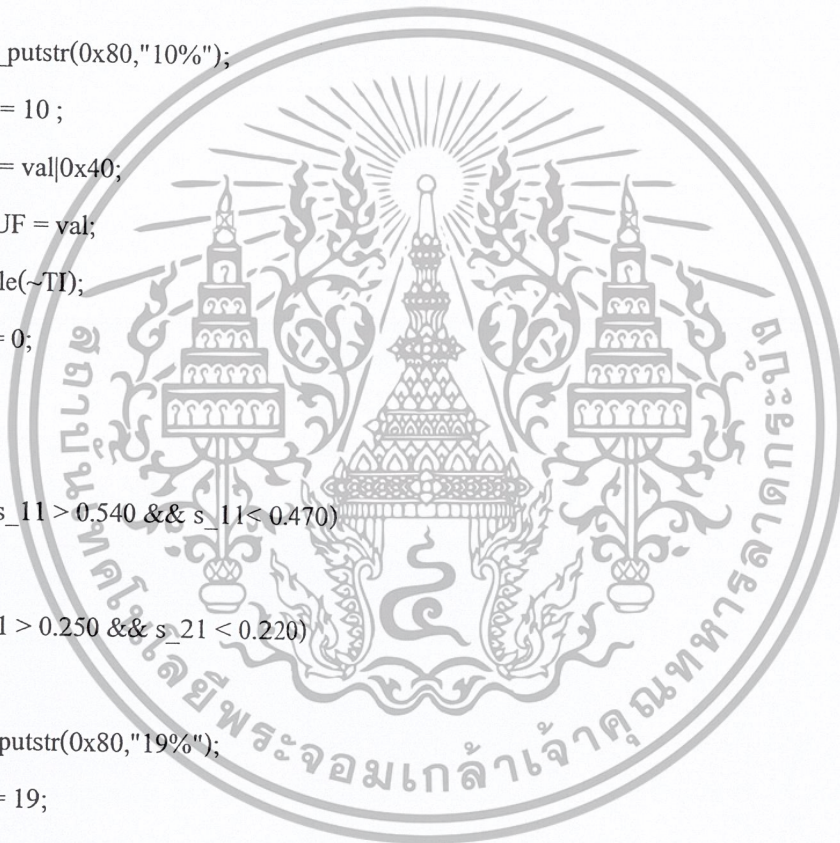
```
    SBUF = val;
```

```
    while(~TI);
```

```
    TI = 0;
```

```
  }
```

```
}
```



```

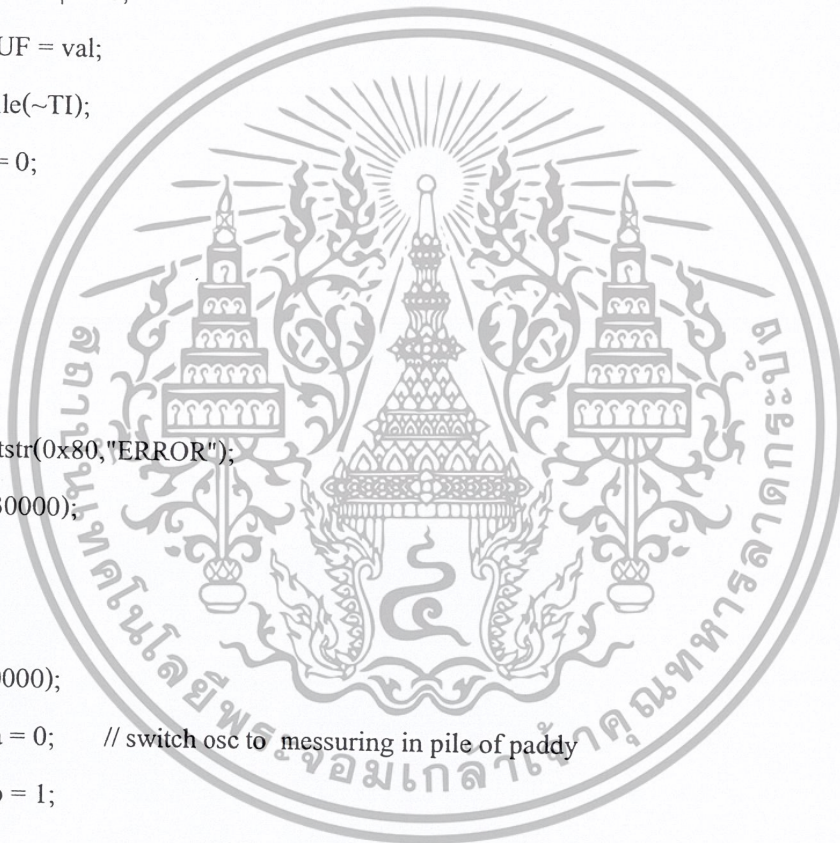
else if(s_11 > 0.300 && s_11 < 0.250)
{
if(s_21 > 0.180 && s_21 < 0.1750)
{
lcd_putstr(0x80,"30%");
val = 30;
val = val|0x40;
SBUF = val;
while(~TI);
TI = 0;
}
}
else
{
lcd_putstr(0x80,"ERROR");
delay(30000);
}

delay(30000);
switch_a = 0; // switch osc to measuring in pile of paddy
switch_b = 1;

con = 1; // switch to parallel polalization

rf_1 = 0;
rf_2 = 0;
rf_3 = 1; //open rf detector 3
delay(30000);

```



```

delay(30000);
conv();
info_3 = adc_port ;
delay(30000);
v_out = info_3/51; // converts to voltage value
delay(30000);
p3_in = 30.769*v_out - 46.185;
p_para = 0.001*pow(10,p3_in/20); // power (mU)
con = 0; // switch to perpendicular polalization
rf_3 = 1; //open rf detector 3
delay(30000);
delay(30000);
conv();
info_4 = adc_port;
delay(30000);
v_out = info_4/51; // converts to voltage value
delay(30000);
p3_in = 30.769*v_out -46.185;
p_per = 0.001*pow(10,p3_in/20); // power (mU)

if(p_para > 0.0800 && p_para < 0.0830)
{
  if(p_per > 0.2210 && p_per < 0.2250)
  {
    lcd_putstr(0xC0, "10%");
    val = 10;
    val = val|0x00;
    SBUF = val;
  }
}

```

```

while(~TI);
TI = 0 ;
}
}
else if(p_para > 0.1000 && p_para < 0.1050)
{
if(p_per > 0.1700 && p_per < 0.1820)
{
lcd_putstr(0xC0, "19%");
val = 19 ;
val = val|0x00;
SBUF = val;
while(~TI);
TI = 0 ;
}
}
else if(p_para > 0.2000 && p_para < 0.2030)
{
if(p_per > 0.1410 && p_per < 0.1530)
{
lcd_putstr(0xC0, "30%");
val = 30 ;
val = val|0x00;
SBUF = val ;
while(~TI);
TI = 0 ;
}
}
}

```



```

else
{
  lcd_putstr(0xC0,"ERROR");
  delay(30000);
}
while(1)
{
  while(~RI); // wait until receive data from serial port
  RI = 0; // clear bit
  receive = SBUF ; // load data keep to receive variable
  if(receive == 'R')
  {
    lcd_command(0x01); // clear LCD
    lcd_command(0x02); // set LCD to origin
    main(); // back to origin of program
  }
  else
  {
    delay(100);
  }
}
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.IO.Ports;
using System.IO;
using ZedGraph;

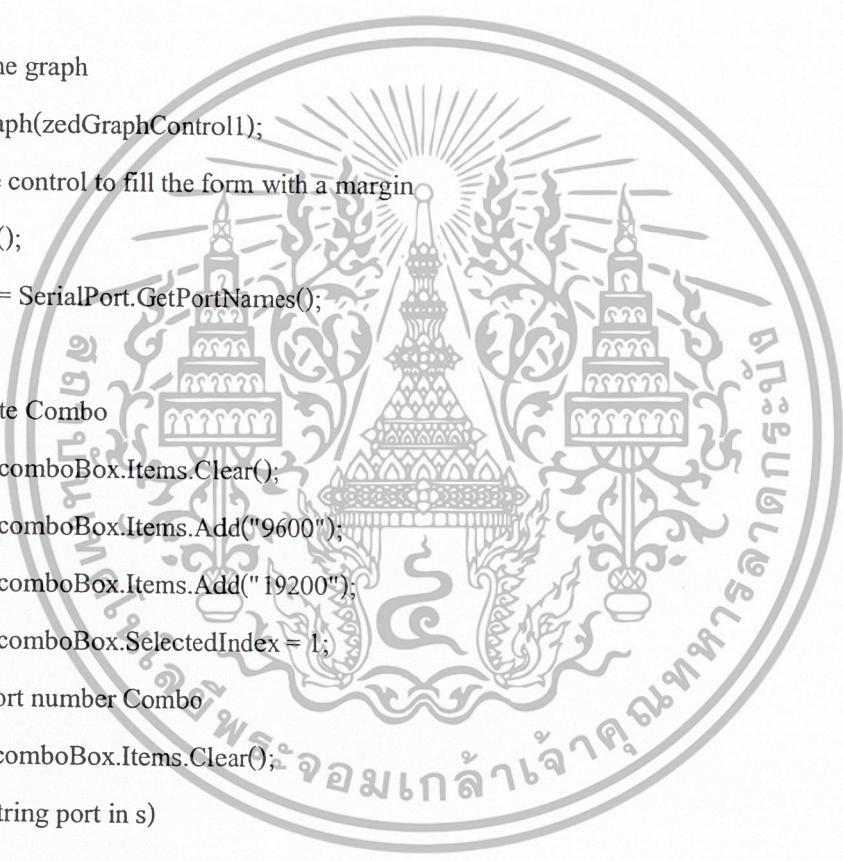
namespace testproject
{
    public partial class Test : Form
    {
        static SerialPort rs232 = new SerialPort();
        public Test()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void Test_Resize(object sender, EventArgs e)
        {
            SetSize();
        }
        private void SetSize()
        {
            zedGraphControl1.Location = new Point(10, 10);

```

```

// Leave a small margin around the outside of the control
zedGraphControl1.Size = new Size(ClientRectangle.Width - 20,
ClientRectangle.Height - 20);
}
delegate void SetTextCallback(string text);
private void Test_Load(object sender, EventArgs e)
{
// Setup the graph
CreateGraph(zedGraphControl1);
// Size the control to fill the form with a margin
// SetSize();
string[] s = SerialPort.GetPortNames();
int i = 0;
// Baud rate Combo
baudrate_comboBox.Items.Clear();
baudrate_comboBox.Items.Add("9600");
baudrate_comboBox.Items.Add("19200");
baudrate_comboBox.SelectedIndex = 1;
// COM port number Combo
comport_comboBox.Items.Clear();
foreach (string port in s)
{
comport_comboBox.Items.Add(s[i]);
i++;
}
comport_comboBox.SelectedIndex = 0;
}

```



```

//Build the Chart
GraphPane myPane;

double x, y1, y2;
PointPairList list1 = new PointPairList();
PointPairList list2 = new PointPairList();
LineItem myCurve;

private void CreateGraph(ZedGraphControl zgc)
{
// get a reference to the GraphPane
myPane = zgc.GraphPane;
// Set the Titles
myPane.Title.Text = "กราฟแสดงค่าความชื้นของข้าวเปลือก";
myPane.XAxis.Title.Text = "ครั้งที่";
myPane.YAxis.Title.Text = "ความชื้น (%)";
// symbols, and "ความชื้นที่ผิว" in the legend
myCurve = myPane.AddCurve("ความชื้นที่ผิว", list1, Color.Red, SymbolType.Circle);
// symbols, and "ความชื้นภายใน" in the legend
myCurve = myPane.AddCurve("ความชื้นภายใน", list2, Color.Blue,
SymbolType.Diamond);
zgc.AxisChange();
}

private void connect_button_Click(object sender, EventArgs e)
{
if (connect_button.Text.Equals("Connect"))
{
if (comport_comboBox.Items.Count > 0) // If there are ports available
{

```

```

if (rs232.IsOpen)
{
rs232.Close(); // Close port
}

rs232.BaudRate = int.Parse(baudrate_comboBox.Text);
rs232.DataBits = 8;

rs232.Parity = (Parity)Enum.Parse(typeof(Parity), "None");
rs232.StopBits = (StopBits)Enum.Parse(typeof(StopBits), "One");
rs232.PortName = comPort_comboBox.Text;
rs232.DataReceived += new
SerialDataReceivedEventHandler(rs232_DataReceived);
bool error = false;
try
{
// Try Open serial port
rs232.Open();
}
catch (UnauthorizedAccessException) { error = true; }
catch (IOException) { error = true; }
catch (ArgumentException) { error = true; }
if (error) MessageBox.Show(this, "Could not open the COM port. Most likely it is
already in use, has been removed, or is unavailable.", "COM Port Unavailable",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Stop);
else
{
// Now serial port is enabled, then enable TimerTick
timer1.Enabled = true;
// Change Text Button to Disconnect

```

```

connect_button.Text = "Disconnect";
}
}
}
else if (connect_button.Text.Equals("Disconnect"))
{
// Disable TimerTick
timer1.Enabled = false;
// Close serial port
rs232.Close();
// Change Text Button to Connect
connect_button.Text = "Connect";
}
}
private void rs232_DataReceived(object s0ender, SerialDataReceivedEventArgs e)
{
string rx_string;
rx_string = rs232.ReadExisting();
SetText(rx_string);
}
private void SetText(string text)
{
int rx_string_length;
int byte_rx;
rx_string_length = text.Length;
if ( (this.textBox1.InvokeRequired) || (this.textBox2.InvokeRequired) ||
(this.textBox3.InvokeRequired) )
{

```

```

SetTextCallback mybox = new SetTextCallback(SetText);
this.Invoke(mybox, new object[] { text });
}
else
{
//send rx byte0 to box0
byte_rx = text[0];

if ( ((byte_rx & 0xE0) == 0x40) // 0b 010x xxxx
{
this.textBox1.Text = null;
this.textBox1.Text = Convert.ToString((byte_rx & 0xBF));
}
else if ((byte_rx & 0xE0) == 0x00) // 0b 000x xxxx
{
this.textBox2.Text = null;
this.textBox2.Text = Convert.ToString(byte_rx);
}
else // error case
{
this.textBox3.Text = null;
this.textBox3.Text = Convert.ToString(byte_rx);
}
}
}

private void plotterGraphPaneEx1_Load(object sender, EventArgs e)
{
plotterGraphPaneEx1.starting_idx = 0;

```

```
}  
  
private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)  
{  
    y1 = Convert.ToInt32(textBox1.Text);  
    y2 = Convert.ToInt32(textBox2.Text);  
    list1.Add(x, y1);  
    list2.Add(x, y2);  
    zedGraphControl1.AxisChange();  
    x++;  
}  
}  
}
```

