



รายงานการวิจัย

การวัดปริมาณเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติโดยเทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่ง

Determination of Total Solid Content in Natural Rubber

Latex using Ultra-High-Frequency Wave Technique

เสน่ห์ รักเกื้อ

Sanae Rukkur

วัชรพงษ์ ชูแก้ว

Watcharapong Chukaew

คณะเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2560

รายละเอียดโครงการ

1. ชื่อโครงการวิจัย : การวัดปริมาณเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่ง
Determination of Total Solid Content in Natural Rubber Latex using Ultra-High-Frequency Wave Technique
2. คณะผู้วิจัย บทบาทของนักวิจัยแต่ละคนในการทำวิจัย และสัดส่วนที่ทำกรวิจัย (%) :

หัวหน้าโครงการ	นายเสน่ห์ รักเกื้อ	สัดส่วนที่ทำกรวิจัย 60%
ผู้ร่วมโครงการ	นายวัชรพงษ์ ชูแก้ว	สัดส่วนที่ทำกรวิจัย 40%
3. ประเภทของการวิจัย : การวิจัยประยุกต์
4. สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำกรวิจัย :

สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

กลุ่มวิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีพื้นฐานทางวิศวกรรมศาสตร์
5. ทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2560 จากแหล่งทุนสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ : 396,400 บาท
6. ระยะเวลาทำกรวิจัย : 1 ตุลาคม 2559 – 30 กันยายน 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำองค์ความรู้จากการเรียนการสอนมาพัฒนาเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาให้แก่เกษตรกร และพัฒนาองค์ความรู้ทางวิชาการมาใช้ให้เกิดประโยชน์แก่สังคม

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยการร่วมมือและเอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็นประโยชน์จากหลายท่าน ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้อนุมัติทุนอุดหนุนการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงครูบาอาจารย์ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ตลอดจนส่งเสริมการศึกษาและให้กำลังใจเป็นอย่างดี อีกทั้งขอขอบคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา และขอขอบพระคุณเจ้าของเอกสารและงานวิจัยทุกท่าน ที่ผู้ศึกษาค้นคว้าได้นำมาอ้างอิงในการทำวิจัยจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์แก่บุคลากรทางการศึกษาและผู้สนใจทั่วไป ตลอดจนเป็นประโยชน์ในการสร้างองค์ความรู้ต่อไป หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป



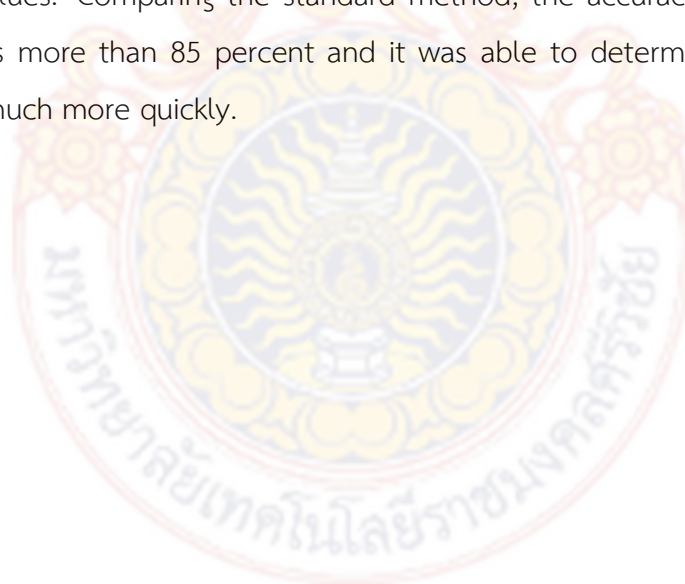
บทคัดย่อ

ปัจจุบันตลาดรับซื้อน้ำยางสดขยายตัวมากขึ้นเนื่องจากน้ำยางสดสามารถแปรรูปเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมยางและอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางหลายประเภท อาทิ น้ำยางข้น ยางแท่ง ยางแผ่น และยางเครป รวมถึงผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากน้ำยางข้น ทำให้ชาวสวนยางมีทางเลือกในการขายวัตถุดิบน้ำยางสดมากขึ้น ในการซื้อขายน้ำยางสดระหว่างเกษตรกรและโรงงานรับซื้อน้ำยางจำเป็นต้องมีเครื่องตรวจคุณภาพน้ำยางสดที่รวดเร็วและถูกต้องเพื่อให้ได้ราคาขายที่เป็นธรรม งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการวัดคุณภาพน้ำยางสดโดยอาศัยหลักการวัดปริมาณเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่ง ทำการวัดค่าสัดส่วนระหว่างน้ำยางพาราธรรมชาติกับน้ำที่เจือปนผ่านวงจรรีโซแนนซ์น้ำยางพาราความถี่สูงยิ่ง โดยความถี่สูงยิ่งที่ใช้ในการทดสอบการวัดค่ามีค่าเท่ากับ 2.47GHz จากผลการทดลองอุปกรณ์จากเครื่องมือรวมถึงโปรแกรมควบคุมการวัดพบว่า น้ำยางพาราตอบสนองความถี่เรโซแนนซ์ในช่วง 2,350 MHz ถึง 2,500 MHz โดยมีค่ากำลังสูงสุดที่ตรงกลางย่านความถี่คือ 2.47GHz และ ค่ากำลังงานที่วัดได้อยู่ในช่วง -11.15dBm ถึง -11.66 dBm ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ จากการทดสอบการวัดหาเปอร์เซ็นต์น้ำยางในพื้นที่จริงเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานที่ใช้ทั่วไป พบว่าเครื่องมือทดสอบคุณภาพน้ำยางที่พัฒนาขึ้นมีความถูกต้องอยู่ที่ระดับที่มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ และช่วยทำให้สามารถตรวจวัดคุณภาพน้ำยางได้ในระยะเวลาที่รวดเร็วขึ้น



ABSTRACT

Currently, the rubber latex marketing is growing, as rubber latex can be processed to raw materials for rubber industries and various rubber products such as concentrated latex, block rubbers, rubber sheets and crepe rubbers, as well as the products made from concentrated latex. Hence, rubber farmers have more options in rubber trading. In rubber trading between farmers and latex factories, a quick and accurate latex quality tester is required in order to obtain a fair rubber price. This research focused on the determination of rubber latex using ultra-high frequency wave technique. The ratio between rubber latex and water content was measured through the ultra-high frequency sensor circuit. The ultra-high frequency used in the measurement was 2.47GHz. From the results, the resonance frequency response was in the range of 2,350 MHz to 2,500 MHz with the maximum power in the middle of the band at 2.47GHz. The power was in the range of -11.15 dBm to -11.66 dBm, The results showed the acceptable values. Comparing the standard method, the accuracy of the invented technique was more than 85 percent and it was able to determine the quality of rubber latex much more quickly.



สารบัญ

	หน้า
รายละเอียดโครงการ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
บทคัดย่อ	iv
สารบัญ	vi
สารบัญตาราง	ix
สารบัญภาพ	xi
บทที่ 1 บทนำ	
- ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
- วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	4
- ขอบเขตของโครงการวิจัย	4
- ผลสำเร็จของโครงการวิจัย	4
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
- วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่	5
- วงจรกรองความถี่ต่ำ	6
- ค่าคงที่ไดโอดเล็กตริก	10
- วงจรสังเคราะห์ความถี่สูง	13
- การสังเคราะห์ความถี่ทางตรง	14
- การสังเคราะห์ความถี่ทางอ้อม	14
- ระบบการเก็บรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลจริง	17
- รัสเบอร์รี่พาย	18
- โปรแกรมการติดต่อผู้ใช้งานโดยใช้ภาพสัญลักษณ์	20
- โปรแกรมภาษา Python	20
- วงจรกำเนิดสัญญาณพินเสื่อย	24
- วงจรควบคุมแรงดัน	27
- วงจรขยายสัญญาณความถี่สูง	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	
- การออกแบบวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่งในช่วงความถี่ (2.35GHz-2.50GHz)	30
- การออกแบบวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราความถี่สูงยิ่งในช่วงความถี่ (2.45GHz)	33
- การออกแบบวงจรตรวจจับค่าพลังงานช่วงความถี่ (2.35GHz-2.50 GHz)	39
- การประกอบอุปกรณ์	40
- การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino	41
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	
- การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่ง	42
- การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่ง ด้วยวงจรตรวจจับกำลังงาน	45
- การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราติบมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 10:0 ส่วน	48
- การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราติบมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 9:1 ส่วน	51
- การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราติบมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 8:2 ส่วน	54
- การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราติบมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 7:3 ส่วน	57
- การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราติบมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 6:4 ส่วน	60
- การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราติบมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 5:5 ส่วน	64
- การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราติบมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 4:6 ส่วน	66
- การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราติบมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 3:7 ส่วน	69

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ (ต่อ)	
- การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราติบมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 2:8 ส่วน	72
- การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราติบมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 1:9 ส่วน	75
- ผลการทดลองวัดปริมาณเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติโดยเฉลี่ย	78
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
- สรุปผลการวิจัย	81
- ข้อเสนอแนะจากการวิจัย	82
เอกสารอ้างอิง	83
ภาคผนวก	
ก การวัดปริมาณเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่ง	86
ข การเผยแพร่ผลงาน	96

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
3.1	ค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติต่าง ๆ ของวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่ง	30
3.2	ค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติต่าง ๆ ของวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพารา	33
4.1	ค่ากำลังและความถี่ที่ได้จากวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่งในช่วงความถี่ 2.35GHz-2.50GHz	43
4.2	ค่ากำลังและความถี่ที่ได้จากวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่งเมื่อทำการเชื่อมต่อโดยตรงกับวงจรตรวจจับสัญญาณ	46
4.3	ค่ากำลังที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดันในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 10:0	49
4.4	ค่ากำลังที่วัดได้จากเซ็นเซอร์น้ำยางด้วย สเปกตรัมอนาลิเซอร์ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 10:0	50
4.5	ค่ากำลังที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดันในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 9:1	52
4.6	ค่ากำลังที่วัดได้จากเซ็นเซอร์น้ำยางด้วย สเปกตรัมอนาลิเซอร์ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 9:1	53
4.7	ค่ากำลังที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดันในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 8:2	55
4.8	ค่ากำลังที่วัดได้จากเซ็นเซอร์น้ำยางด้วย สเปกตรัมอนาลิเซอร์ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 8:2	56
4.9	ค่ากำลังที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดันในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 7:3	58
4.10	ค่ากำลังที่วัดได้จากเซ็นเซอร์น้ำยางด้วย สเปกตรัมอนาลิเซอร์ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 7:3	59
4.11	ค่ากำลังที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดันในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 6:4	61
4.12	ค่ากำลังที่วัดได้จากเซ็นเซอร์น้ำยางด้วย สเปกตรัมอนาลิเซอร์ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 6:4	62

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.13 ค่ากำลังที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดัน ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 5:5	64
4.14 ค่ากำลังที่วัดได้จากเซ็นเซอร์น้ำยางด้วย สเปกตรัมอนาไลเซอร์ ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 5:5	65
4.15 ค่ากำลังที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดัน ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 4:6	67
4.16 ค่ากำลังที่วัดได้จากเซ็นเซอร์น้ำยางด้วย สเปกตรัมอนาไลเซอร์ ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 4:6	68
4.17 ค่ากำลังที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดัน ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 3:7	70
4.18 ค่ากำลังที่วัดได้จากเซ็นเซอร์น้ำยางด้วย สเปกตรัมอนาไลเซอร์ ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 3:7	71
4.19 ค่ากำลังที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดัน ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 2:8	73
4.20 ค่ากำลังที่วัดได้จากเซ็นเซอร์น้ำยางด้วย สเปกตรัมอนาไลเซอร์ ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 2:8	74
4.21 ค่ากำลังที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดัน ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 1:9	76
4.22 ค่ากำลังที่วัดได้จากเซ็นเซอร์น้ำยางด้วย สเปกตรัมอนาไลเซอร์ ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 1:9	77
4.23 ค่าเฉลี่ยพลังงานจากการวัดค่าพลังงานจากวงจรตรวจจับความถี่สูง	80

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า	
2.1	ผลตอบสนองกรณีกรองเฉพาะแถบความถี่	5
2.2	ผลตอบสนองกรณีกรองความถี่ต่ำ	7
2.3	ผลตอบสนองในหน่วย dB	8
2.4	วงจรกรองความถี่ต่ำอันดับที่สอง	9
2.5	การทดสอบค่าไดโอดเล็กทรอนิกส์ของวัสดุ	10
2.6	โครงสร้างของสายนำสัญญาณไมโครสตริป	11
2.7	การแพร่กระจายสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของสายนำสัญญาณไมโครสตริป	11
2.8	ไดอะแกรมของอัตราขยายรูปของวงจรสังเคราะห์ความถี่	15
2.9	วงจรสังเคราะห์ความถี่แบบ Prescaled (Prescaled Synthesizer)	15
2.10	บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino	17
2.11	บอร์ด Embedded System Raspberry PI	18
2.12	หน้าตาของระบบปฏิบัติการของราสเบอร์รี่พาย	19
2.13	ระบบการวัดปริมาณเนื้องานในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่งยง	23
2.14	พัฒนาโปรแกรม GUI (Graphical User Interface) ด้วย Python	24
2.15	วงจรกำเนิดสัญญาณพินเลี้ยง	25
2.16	วงจรที่นำทรานซิสเตอร์ชนิดรอยต่อเดียว	26
2.17	ตัวอย่างวงจรของ VCO ระบบวงจรขยายสัญญาณทั่วไป	27
2.18	วงจรแกว่งควบคุมโดยใช้ไดโอดความถี่เรกเตอร์ในวงจรมัลติไวเบเตอร์	28
2.19	กราฟคุณลักษณะของสัญญาณขาเข้ากับสัญญาณขาออกสำหรับ VCO	28
2.20	ระบบวงจรขยายสัญญาณทั่วไป	29
3.1	การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรโดยใช้โปรแกรม AppCAD for Windows	31
3.2	การออกแบบวงจรสมมูลด้วยโปรแกรม Protel 99SE ของวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่งยง	32
3.3	การออกแบบลายวงจรด้วยโปรแกรม Protel 99SE ของวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่งยง	32
3.4	วงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่งยงที่ได้จากการออกแบบ	33
3.5	การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรโดยใช้โปรแกรม AppCAD for Windows	34
3.6	การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรโดยใช้โปรแกรม uWave Wizard	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.7	โครงสร้างของวงจรเซ็นเซอร์แบบควิตี้	36
3.8	ผลการตอบสนองความถี่จากการกระตุ้นสัญญาณที่วงจรเซ็นเซอร์ด้วยโปรแกรมจำลองการทำงาน	37
3.9	ผลการตอบสนองความถี่เมื่อเปลี่ยนความยาวของตำแหน่งหัวโพรบ	37
3.10	ผลการตอบสนองความถี่เมื่อเปลี่ยนความสูงของเซ็นเซอร์	38
3.11	โครงสร้างของวงจรเซ็นเซอร์แบบควิตี้	38
3.12	วงจรสมมูลของวงจรตรวจจับค่าพลังงาน	39
3.13	วงจรตรวจจับค่าพลังงานช่วงความถี่ (2.35GHz-2.50GHz)	39
3.14	ไดอะแกรมของอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อเยื่อในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่ง	40
3.15	ไดอะแกรมของการเชื่อมต่อระหว่างARDUINO กับ Raspberry PI แบบไขว้กราฟ	41
3.16	จำลองการอ่านข้อมูลนาฬิกาของ ARDUINO	41
4.1	การวัดทดสอบกับเครื่องมือวัดค่ากำลังงานมาตรฐาน ด้วยเครื่องสเปกตรัมอนาล็อก 0-3GHz	42
4.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ทำการปรับค่าความถี่กับความถี่ที่เปลี่ยนไปในช่วงแรงดันตั้งแต่ 0-5VDC	44
4.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ทำการปรับค่าความถี่กับความถี่ที่เปลี่ยนไปในช่วงแรงดันตั้งแต่ 0-5VDC	44
4.4	การวัดทดสอบกับวงจรตรวจจับกำลังงานด้วยเครื่องมือวัดค่าแรงดัน	44
4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ทำการปรับค่าความถี่กับค่าพลังงานที่เปลี่ยนไปที่ได้จากตัวรับสัญญาณ	47
4.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ทำการปรับค่าความถี่กับค่าพลังงานที่เปลี่ยนไปที่ได้จากตัวรับสัญญาณ	47
4.7	การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพารา	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยาพารา 9:1	51
4.9 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยาพารา 8:2	54
4.10 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยาพารา 7:3	57
4.11 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยาพารา 6:4	60
4.12 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยาพารา 5:5	63
4.13 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยาพารา 4:6	66
4.14 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยาพารา 3:7	69
4.15 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยาพารา 2:8	72
4.16 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยาพารา 1:9	75
4.17 แสดงค่าพลังงานที่วงจรตรวจจับสัญญาณได้รับพลังงานจากเซ็นเซอร์ยาพาราในช่วงความถี่ 2.35-2.5GHz	78
4.18 แสดงค่าพลังงานที่วงจรตรวจจับสัญญาณได้รับพลังงานจากเซ็นเซอร์ยาพาราในช่วงความถี่ 2.35-2.5GHz ในหน่วย dBm	78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันการปลูกสร้างสวนยางในอดีตชาวสวนยางต้องแปรรูปน้ำยางเป็นยางแผ่นจึงจะขายได้ แต่ปัจจุบันตลาดน้ำยางสดมีการขยายตัวมากขึ้นเนื่องจากน้ำยางสดสามารถแปรรูปเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมยางและอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางหลายประเภท อาทิ น้ำยางข้น ยางแท่ง ยางแผ่น และยางเครพชั้นดี ผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากน้ำยางข้น ได้แก่ ถุงมือแพทย์ ถุงยางอนามัย ลูกโป่ง หัวนม สำหรับทารก ที่นอน หมอน ตุ๊กตาฟองน้ำ ตุ๊กตายาง หุ่นการศึกษา กาวน้ำยาว กาวผสมซีเมนต์ ท่อ ยาง เป็นต้น ทำให้ชาวสวนยางมีทางเลือกในการขายผลผลิตมากขึ้น การขายน้ำยางสดช่วยชาวสวนยางในด้านการลดต้นทุนและประหยัดเวลาได้มาก โดยขายเป็นน้ำยางสดได้โดยตรง ทำให้ตลาดน้ำยางสดขยายตัวมากขึ้น ขณะที่ปัจจุบันประเทศไทยขยายพื้นที่ปลูกยางไปยังแหล่งใหม่ บางส่วนของภาค ตะวันออก ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ เพื่อรองรับการขยายตัวของ อุตสาหกรรมยางทั้งในประเทศและต่างประเทศที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ก็ยังเป็นแรงกระตุ้นให้ตลาดน้ำยางสดมีการขยายตัวมากขึ้น และชาวสวนยางส่วนใหญ่ก็มีความคุ้นเคยกับการขายน้ำยางสดเป็นอย่างดี เฉพาะอย่างยิ่งชาวสวนยางในพื้นที่ปลูกยางเดิมแต่เกิดความเคลงใจและไม่มั่นใจในการคิดราคาของผู้ซื้อ กล่าวไม่ได้รับความเป็นธรรมในการซื้อ-ขายขณะที่สวนยางในพื้นที่ปลูกยางใหม่เริ่มมีผลผลิตและจะมีผลผลิตเต็มที่ในอีก 4-5 ปีข้างหน้า เพื่อป้อนโรงงานอุตสาหกรรมยางและโรงงานแปรรูปยางใน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งขณะนี้บริษัทเอกชนหลายบริษัทที่รับซื้อน้ำยางสดและยางแผ่นใน จังหวัดอุดรธานีและหนองคายเพื่อรองรับผลผลิตแล้ว โดยมีพ่อค้ารับซื้อตามจุดรวบรวมน้ำยางต่างๆ ดังนั้นชาวสวนยางจึงจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจในการซื้อ-ขายน้ำยางสด การเก็บรักษาสภาพน้ำยาง ซึ่งราคาของน้ำยางพาราจะขึ้นอยู่กับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางพาราสด

ดังนั้นจากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าวระบบตรวจวัดปริมาณเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติจึงมีความ จำเป็นอย่างยิ่งคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบ และสร้างเครื่องวัดปริมาณเนื้อยางในน้ำยาง ธรรมชาติโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่ง เพื่อที่จะให้ความยุติธรรมเกิดขึ้นในการซื้อขายระหว่าง เกษตรกรในฐานะผู้ขาย และพ่อค้าคนกลางโรงงานอุตสาหกรรมในฐานะผู้ซื้อ เพราะในปัจจุบัน เกษตรกรมีความหวาดระแวงในระบบการตรวจวัดปริมาณเนื้อยางแห้งจากห้องปฏิบัติการของโรงงาน อุตสาหกรรม ซึ่งใช้ระยะเวลาานาน และมีความเป็นไปได้ที่จะถูกลดปริมาณเนื้อยางแห้งลงจากความ เป็นจริงเพื่อกด ราคาน้ำยางพาราสด ในขณะที่โรงงานอุตสาหกรรมก็เกรงว่าเกษตรกรจะใส่สาร บางอย่างลงไปใน้ำยางพารา สดเพื่อเพิ่มน้ำหนักให้กับน้ำยางพาราสด ทำให้อาบน้ำยางพาราสดที่สูง เกินจริง

ยางธรรมชาติเป็นผลิตผลทางเกษตรที่มีศักยภาพสูงและสร้างรายได้หลักกับให้ประเทศไทยมาเป็นระยะเวลาช้านาน โดยในปี 2556 ประเทศไทยรายได้จากยางธรรมชาติ 478,237 ล้านบาท (สถาบันวิจัยยาง, 2558) ซึ่งประมาณ 90% มาจากการส่งออกจำหน่ายในรูปแบบของยางดิบ ในขณะที่รายได้อีก 10% มาจากการส่งออกในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ยาง จากมูลค่าการส่งออกของผลิตภัณฑ์ยางทั้งสองรูปแบบพบว่า การส่งออกในรูปแบบผลิตภัณฑ์เพียง 10% (162,799 ล้านบาท ปี 2556) มีมูลค่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของส่งออกยางดิบทั้งหมด (315,438 ล้านบาท ปี 2556) (สถาบันวิจัยยาง, 2558) ซึ่งมูลค่าเพิ่มเมื่อนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นับว่าเป็นแรงจูงใจที่ดีในการผลักดันให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางขึ้นภายในประเทศ และยังเป็นการแก้ไขวิกฤตการณ์ราคายางตกต่ำได้อย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์จากน้ำยางข้นและผลิตภัณฑ์ยางแท่งที่มีคุณภาพสูง (นำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางแท่ง) ต้องอาศัยน้ำยางธรรมชาติสดที่มีคุณภาพ ซึ่งจำเป็นต้องคัดแยกคุณภาพน้ำยางตั้งแต่ขั้นตอนการรับซื้อจากเกษตรกร

น้ำยางธรรมชาติเป็นผลิตผลจากต้นยางพารา *Hevea Brazilliensis* ที่มีแหล่งกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ มีลักษณะเป็นสีขาวข้นและมีเนื้อยางแห้งแขวนลอยอยู่ในน้ำ โดยน้ำยางสดเมื่อนำไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยงกระทั่งมีปริมาณเนื้อยางประมาณ 60% ถูกเรียกว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตถุงมือยาง ท่อยาง ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำ สายยาง ยืดแบบกลม และกาวยาง เป็นต้น สำหรับปริมาณเนื้อยางซึ่งถูกนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตต่างๆ นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิเช่น อายุต้นยาง ระบบกรีต ฤดูกาล สถานที่ปลูก เป็นต้น ในขั้นตอนการซื้อขายน้ำยางสดได้คำนวณราคาน้ำยางสดจากปริมาณยางแห้งในน้ำยาง (Dry Rubber Content, DRC) หรือปริมาณเนื้อยางในน้ำยาง (Total Solid Content, TSC) โดยทั่วไปแล้วน้ำยางสดมีส่วนเป็นยางแห้งประมาณ 35% และน้ำยางสดเริ่มมีการเสื่อมสภาพนับตั้งแต่ที่น้ำยางธรรมชาติถูกรีดออกจากลำต้น และรวมระยะเวลาที่พ่อค้าคนกลางรวบรวมน้ำยางสดให้มีปริมาณเพียงพอต่อการขนส่งในแต่ละครั้ง (อาจมากกว่า 1 วัน) ซึ่งทำให้น้ำยางนั้นจับตัวเป็นกลุ่มก้อนและส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในที่สุด จากความหลากหลายของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำยางจำเป็นต้องมีขั้นตอนการตรวจสอบปริมาณเนื้อยาง ซึ่งขั้นตอนตามมาตรฐานที่กำหนดนั้นสิ้นเปลืองเวลาและมีค่าใช้จ่ายสูง โดยบางกรณีพ่อค้าคนกลางได้กำหนดราคาน้ำยางสดจากปริมาณเนื้อยางที่ต่ำที่สุดหรือค่าเฉลี่ยน้ำยางสดในพื้นที่นั้นๆ ส่งผลให้เกิดความไม่เป็นธรรมในขั้นตอนการรับซื้อน้ำยางสดทั้งเกษตรกรและผู้รับซื้อ

มาตรฐานที่นิยมใช้ในการวัดปริมาณเนื้อยางสดคือมาตรฐานอังกฤษ (British standard, 1972) ซึ่งต้องทราบสัดส่วนน้ำหนักเนื้อยางต่อน้ำยางสด โดยการหาเนื้อยางสามารถทำได้โดยการนำน้ำยางสดไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C เป็นระยะเวลาประมาณ 6-12 ชั่วโมง ก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก ซึ่งเทคนิคนี้ให้ผลการทดสอบที่มีความแม่นยำสูง อย่างไรก็ตามไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ในการทดสอบ

ภาคสนาม เนื่องจากเสียเวลาค่อนข้างมาก ต้องลงทุนด้านเครื่องมือสูง หรือมีค่าใช้จ่ายในการส่งทดสอบสูง ส่งผลให้ในช่วงระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับวัดค่าปริมาณน้ำอย่างมาอย่างต่อเนื่อง ยกตัวอย่างเช่น การพัฒนาเครื่องมือทดสอบโดยใช้หลักการลอยตัวของอิมิติส (Chen, 1982) และการพัฒนาเครื่องทดสอบโดยอาศัยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟในการอบแห้งน้ำ ยาง (Khalis *et al.*, 1988; Tillekeratne, 1989; Khalis, 1991; Hasasan, 1997; Jayanthi and Sankaranarayanan, 2005; Kumar *et al.*, 2007; Hamza *et al.*, 2008) ซึ่งพบว่าเทคนิคที่อาศัยความร้อนจากไมโครเวฟมีความแม่นยำสูงกว่าเครื่องที่พัฒนามาจากหลักการลอยตัวของวัตถุบนน้ำ ยางสด Khalis *et al.*, (1988) และ Khalis (1991) เป็นกลุ่มวิจัยลำดับต้นๆ ในการใช้ประโยชน์จากความร้อนของคลื่นไมโครเวฟเพื่อหาปริมาณน้ำ ซึ่งพบว่า น้ำหนักน้ำยางสดเริ่มต้นและพลังงานที่ใช้มีผลกระทบต่อค่าปริมาณน้ำ และที่สำคัญสามารถลดเวลาการทดสอบได้ประมาณ 70 เท่า เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน Hasasan, 1997 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำยางสดไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการตรวจวัดมากนัก Jayanthi and Sankaranarayanan (2005) Kumar (2007) Hamza *et al.* (2008) ได้ใช้เทคนิคที่คล้ายคลึงกันและยืนยันผลได้ว่าเวลาที่ใช้ในการหาปริมาณน้ำจากน้ำยางสดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเทคนิคการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ ยังคงมีข้อเสียคือ เครื่องมือมีราคาแพงและต้นทุนการบำรุงรักษาที่ค่อนข้างสูง รวมทั้งไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ในงานภาคสนาม ปัจจุบันเริ่มมีการพัฒนาเทคนิคการวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อน (reflectivity coefficient) ของคลื่นไมโครเวฟที่ผ่านเข้าไปยังวัสดุ ซึ่งเทคนิคนี้สามารถวัดความชื้นของวัสดุเกษตรได้ดี Zhao *et al.* (2010) ได้ใช้เทคนิคการวัดคลื่นสะท้อนในการวัดปริมาณน้ำยางในน้ำยางสดซึ่งพบว่า สามารถวัดค่าปริมาณน้ำได้อย่างรวดเร็ว

อย่างไรก็ตามงานวิจัยทางการประยุกต์เทคนิคนี้ในการวัดปริมาณน้ำยางมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาช่วงคลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการตรวจวัดปริมาณน้ำยางของน้ำยางสดจากแหล่งผลิตที่มีความแตกต่างกัน ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนและปริมาณน้ำยาง รวมถึงพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว ตลอดจนงานวิจัยนี้ต้องการแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปในการพัฒนาเป็นนวัตกรรมเครื่องมือวัดปริมาณน้ำยางแบบพกพา ที่มีความสะดวกและรวดเร็วในการตรวจสอบคุณภาพน้ำยางสด (real time) ซึ่งจะก่อให้เกิดความเป็นธรรมในการซื้อขายน้ำยางสดทั้งเกษตรกรและผู้รับซื้อ อีกทั้งยังเป็นการคัดแยกคุณภาพน้ำยางสดนับตั้งแต่กระบวนการรับซื้อจากเกษตรกร

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาช่วงของคลื่นความถี่สูงที่เหมาะสมในการหาปริมาณเนื้อเยื่อ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนและปริมาณเนื้อเยื่อ
- 1.2.3 เพื่อแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมเครื่องวัดปริมาณเนื้อเยื่อแบบพกพา

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 ดำเนินการวิจัยโดยใช้ตัวอย่างน้ำยางธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช
- 1.3.2 ศึกษาช่วงคลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการหาปริมาณเนื้อเยื่อ
- 1.3.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนและปริมาณเนื้อเยื่อโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 1.3.4 ศึกษาแนวทางการพัฒนาต้นแบบเครื่องวัดปริมาณน้ำยางแบบพกพา

1.4 ผลสำเร็จของโครงการวิจัย

- 1.4.1 ประโยชน์ที่ได้รับ
 - ได้รับช่วงคลื่นความถี่ที่เหมาะสมในการวัดปริมาณเนื้อเยื่อ
 - สามารถลดเวลาในกระบวนการทดสอบปริมาณเนื้อเยื่อจากน้ำยางสด
 - ได้ต้นแบบเครื่องมือวัดปริมาณเนื้อเยื่อจากน้ำยางสด
 - เผยแพร่องค์ความรู้และถ่ายทอดผลการวิจัยและเทคโนโลยีแก่กลุ่มเกษตรกร หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้สนใจ
 - เผยแพร่ผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการและ/หรือวารสารระดับชาติและนานาชาติ
- 1.4.2 หน่วยงานที่จะนำไปใช้ประโยชน์
 - คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
 - สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

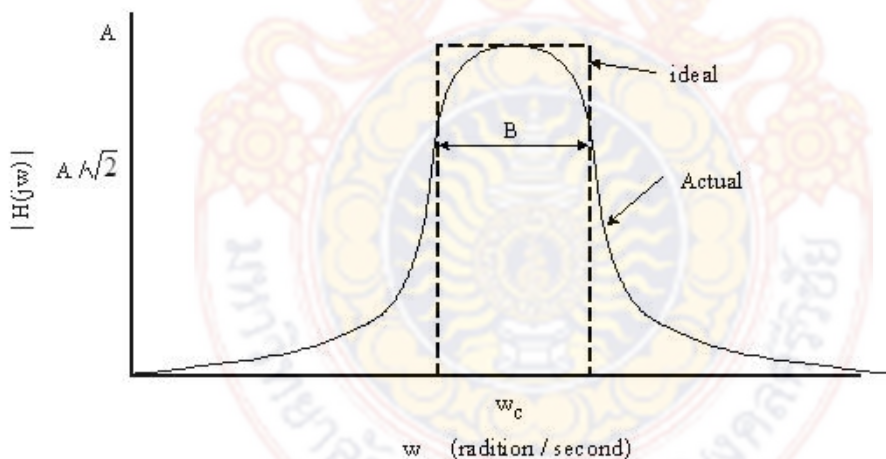
บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ (Band-Pass Filter)

สมการและวงจรใช้งาน (เฉพาะกรณีอันดับที่สองเท่านั้น)

BAND – PASS FILTER เป็นวงจรกรองความถี่แบบหนึ่งซึ่งจะยอมให้แถบความถี่ช่วงหนึ่งที่เลือกไว้ผ่านวงจรชนิดนี้ไปได้เท่านั้น โดยจะลดทอนความถี่อื่นใดนอกเหนือจากช่วงกว้างของแถบความถี่ที่ได้เลือกไว้แล้ว ในที่นี้ตามรูปที่ 1 สมมติให้มีความกว้างเท่ากับ B และมีค่าความถี่ที่จุดกึ่งกลางของแถบความถี่เป็น ω_0 สำหรับค่า B และ ω_0 กำหนดให้อยู่ในหน่วยเรเดียน/วินาที หรือ B อาจกำหนดในหน่วย Hz และมีค่าความถี่กึ่งกลางเป็น $f_0 = \omega_0/2$ (Hz) คุณสมบัติตามที่กล่าวมาของวงจร BAND – PASS FILTER แสดงให้เห็นตามรูปกราฟแสดงการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณดังรูปที่ 1 โดยเส้นประแสดงถึงการตอบสนองเชิงขนาดในทางอุดมคติ ส่วนเส้นทึบแสดงถึงการตอบสนองเชิงขนาดในการใช้งานจริง



รูปที่ 2.1 ผลตอบสนองกรณีกรองเฉพาะแถบความถี่

สมการโพลีโนเมียลอันดับที่สองสามารถเทียบเคียงคุณลักษณะเฉพาะของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่ทางอุดมคติได้ โดยกำหนดค่า B และ ω_0^2 ให้เหมาะสม ซึ่งจะได้ออกมาในรูปสมการทรานเฟอร์ฟังก์ชัน ดังนี้

$$H(s) = \frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{Ks}{s^2 + Bs + \omega_0^2} \quad (2.1)$$

มีค่าพารามิเตอร์สำคัญที่ควรสนใจอยู่ค่าหนึ่งในการออกแบบวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่นี้ คือ ค่า Q หรือ ควอลิตี้ แฟคเตอร์ (Quality factor) ซึ่งหาได้จาก

$$Q = \omega_0 / B \quad (2.2)$$

หรือ $Q = f_0/B$ เมื่อกำหนด B ในหน่วย HZ

โดยค่า Q จะบ่งบอกให้ทราบถึงความกว้างของช่วงความถี่ที่จะยอมให้ผ่าน ถ้า Q ยิ่งมีค่ามาก วงจรที่ออกแบบนั้นจะทำการกรองแถบความถี่ให้ผ่านไปได้ในช่วงแคบมากขึ้น นั่นคือจะผ่านแถบความถี่ไปได้น้อยลง มีความชัน หรือ Sharpness มากขึ้น เมื่อเทียบกับความถี่กึ่งกลาง = ω_0 (หรือ = f_0) โดยที่ค่า Gain ของวงจรกรองเฉพาะแถบความถี่นี้กำหนดได้จากค่าแอมพลิจูดของ H(s) ในสมการที่ (2.1) ที่จุดกึ่งกลางของแถบความถี่ (ω_0 หรือ f_0) ซึ่งจะได้ค่า Gain = K/B

2.2 วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter)

สมการและวงจรใช้งาน

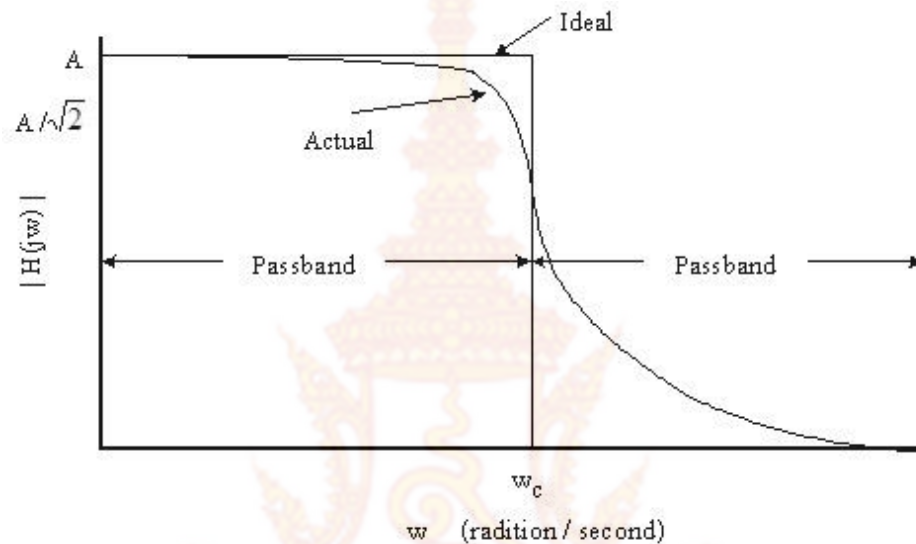
LOW – PASS FILTER เป็นวงจรกรองความถี่แบบหนึ่งซึ่งจะส่งผ่านสัญญาณความถี่ต่ำกว่าค่าที่เลือกไว้ผ่านไปได้ทั้งหมด ในขณะที่จะกำจัดหรือลดทอนความถี่ที่สูงกว่าค่าที่เลือกไว้ คุณสมบัติเช่นนี้ของวงจร LOW – PASS FILTER แสดงให้เห็นดังกราฟการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณ (Amplitude response) ซึ่งเป็นการพล็อต (Plot) ระหว่างขนาด $|H(j\omega)|$ ของสมการทรานเฟอร์ฟังก์ชัน H(s) (Transfer function) กับความถี่ ω (เรเดียน/วินาที) หรือความถี่ f(HZ) โดยที่ $\omega = 2\pi f$ และที่ทุกความถี่จะได้ว่า

$$H(S) = \frac{V_2(S)}{V_1(S)} \quad (2.3)$$

โดยที่ V_2 เป็นแรงดันเอาต์พุท และ V_1 เป็นแรงดันอินพุท

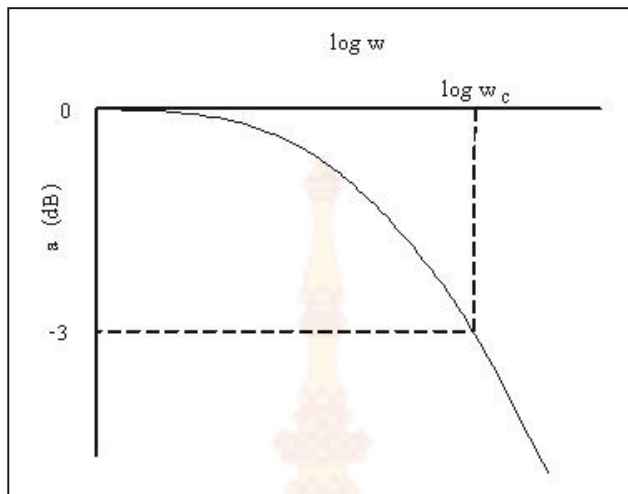
สำหรับเส้นกราฟที่แสดงดังรูปที่ 2.1 นั้น เส้นประแสดงถึงการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณในทางอุดมคติ ส่วนเส้นทึบที่เหลือแสดงถึงการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณในการใช้งาน

จริง ซึ่งสามารถแสดงคุณลักษณะเฉพาะได้ใกล้เคียงผลตอบสนองทางอุดมคติมากที่สุด ค่า ω_c (แปลงเป็น f_c ในหน่วย Hz ได้โดยใช้ $f_c = \omega_c / 2\pi$ เป็นความถี่คัทออฟ (Cutoff frequency) กำหนดที่จุด $|H(j\omega)|$ มีค่า $1/\sqrt{2}$ หรือ 0.707 เท่าของค่าแอมพลิจูดสูงสุด ในที่นี้แสดงด้วยค่า A ความถี่ในช่วงย่านที่สามารถผ่านได้อยู่ในช่วง $0 \leq \omega \leq \omega_c$ และความถี่ที่เกินจาก ω_c ($\omega > \omega_c$) จะไม่สามารถผ่านไป



รูปที่ 2.2 ผลตอบสนองกรณีกรองความถี่ต่ำ

เราอาจจะพล็อตกราฟแสดงการตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณอีกรูปแบบหนึ่ง คือ ระหว่างแอมพลิจูดในหน่วยเดซิเบล (dB) ในที่นี้แทนด้วย α กับค่าความถี่ ω หรือ f ซึ่งอาจจะใช้เป็น \log หรือ $\log f$ และจากรูปกราฟที่พล็อตไว้ในรูปที่ 3 จะเห็นจุดคัทออฟ (Cutoff point) สัมพันธ์กับ α คัดจากจุดที่ค่า α ลดลงจากเดิมไป 3 dB



รูปที่ 2.3 แสดงผลตอบสนองในหน่วย dB

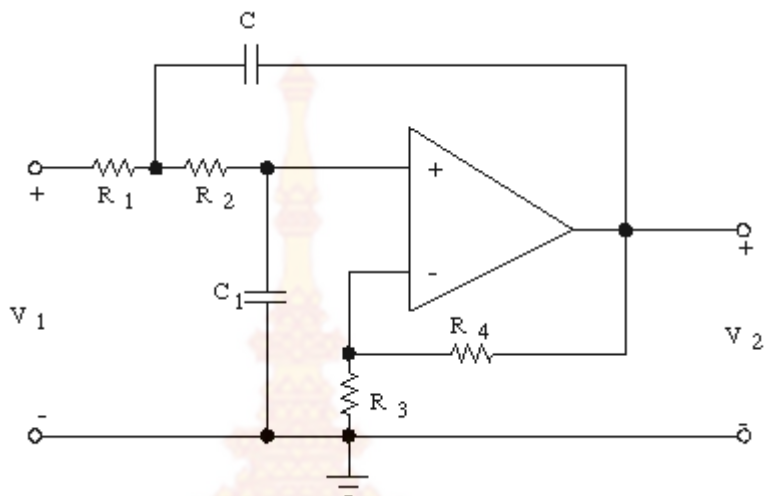
สมการโพลีโนเมียลอันดับที่สอง (Second – order polynomial function) สามารถเทียบเคียงคุณลักษณะเฉพาะของวงจรรองความถี่ต่ำทางอุดมคติ โดยการหาออกมาในรูปสมการทรานเฟอร์ ฟังก์ชัน ดังนี้

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{K}{s^2 + as + b} \quad (2.4)$$

โดยที่ a และ b เป็นค่าคงที่ที่กำหนดขึ้น และ K เป็นค่าคงที่ ส่วนอันดับที่สอง (Second-order) ได้มาจากกำลังสูงสุดของสมการโพลีโนเมียลของตัวส่วนหรือตัวหารนั่นเอง ในกรณีของสมการทรานเฟอร์ ฟังก์ชันที่อันดับสูงกว่านี้ทำได้โดยสมการที่ 2.4 เช่นเดียวกัน เพียงแต่ตัวหารเป็นนิพจน์ที่มีกำลังสูงสุดตามอันดับนั้น ๆ และสามารถหาอัตราขยายของวงจรรองความถี่ต่ำ โดยกำหนดให้ s ในสมการทรานเฟอร์ ฟังก์ชันเป็นศูนย์ ดังนั้นจากสมการที่ (2.4) จะได้อัตราขยายมีค่าเป็น K/b

การใช้อุปกรณ์แอกติฟแทนขดลวดเหนี่ยวนำในวงจรรองความถี่ต่ำนั้นมีด้วยกันหลายวิธีในหนังสือ เล่มนี้จะใช้วิธีของ Sallen และ Key ซึ่งจะใช้อุปกรณ์แอกติฟประเภทออปแอมป์ที่ได้อธิบายคุณสมบัติไว้พอสังเขปแล้วในบทที่ 1 วงจรรองความถี่ต่ำอันดับที่สองแบบ Sallen และ Key แสดงไว้ดังรูปที่ 4 โดยเลือกค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่า a และ b ที่กำหนดขึ้นในสมการที่ (2.4) ส่วน R_3 และ R_4 ที่ต่อไว้ในวงจรร่วมกับออปแอมป์ประกอบกันขึ้นเป็นวงจรควบคุมแหล่งจ่ายแรงดันด้วยค่าแรงดัน (Voltage Controlled Voltage Source :

VCVS) ดังนั้นจะเรียกววงจร Sallen และ Key เป็นวงจร VCVS แบบหนึ่งก็ได้



รูปที่ 2.4 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำอันดับที่สอง

วงจรกรองความถี่อันดับที่สูงกว่านี้สามารถประกอบขึ้นได้โดยการนำวงจรกรองความถี่อันดับที่สองมาต่อกันหลาย ๆ ชุด ตัวอย่างเช่น วงจรกรองความถี่ต่ำอันดับที่สี่ ประกอบขึ้นโดยการนำวงจรกรองความถี่ต่ำอันดับที่สองจำนวน 14 ชุด ดังรูปที่ 2.4 มาประกอบเข้าด้วยกัน ทำการวิเคราะห์วงจรตามรูปที่ 2.5 จะได้ค่าต่าง ๆ ที่ทำให้สมการเป็นจริง ดังนี้

$$\begin{aligned} K &= \frac{\mu}{R_1 R_2 C C_1} \\ a &= \frac{1}{R_2 C_1} (1 - \mu) + \frac{1}{R_1 C} + \frac{1}{R_2 C} \\ b &= \frac{1}{R_1 R_2 C C_1} \end{aligned} \quad (2.5)$$

โดยที่

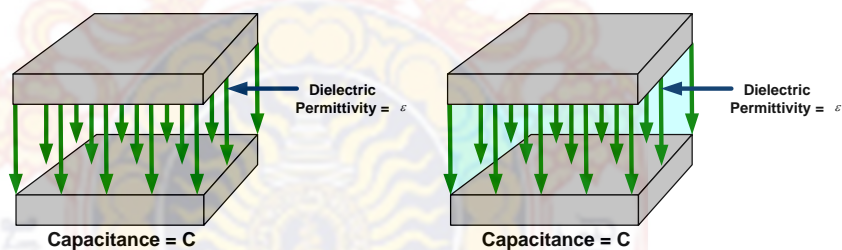
$$\mu = 1 + \frac{R_4}{R_3}$$

ค่า μ เป็นค่าอัตราขยายของวงจร VCVS ซึ่งจะเป็นอัตราขยายของวงจรกรองความถี่ด้วย เพราะ $K/b = \mu$

เป็นที่ทราบกันดีว่า มีวงจรกรองความถี่ต่ำอยู่หลายแบบด้วยกัน แต่ก็มีเพียง 2 แบบ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันคือ แบบบัตเตอร์เวิร์ธ (Butterworth) และแบบเชบีเชฟ (Chebyshev)

2.3 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

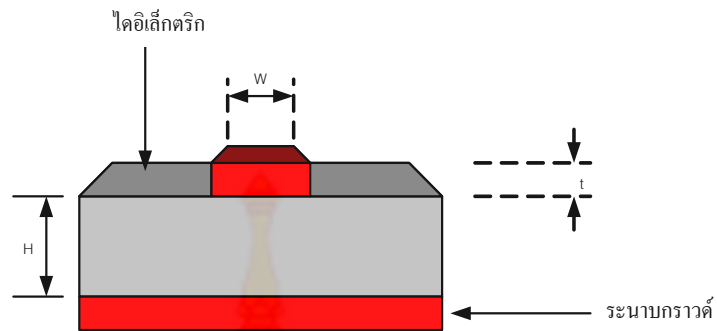
ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant, ϵ) เป็นสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical properties) ของวัสดุ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความมีขั้ว (polarity) ของวัสดุที่อุณหภูมิใดๆ วัสดุไดอิเล็กตริก คือ วัสดุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูง จัดเป็นวัสดุไดอิเล็กตริก (Dielectric material) มีความเป็นขั้ว (polar) สูง สามารถกักเก็บประจุไฟฟ้าไว้ จึงเป็นตัวนำไฟฟ้าไม่ดี หรือมีความเป็นฉนวนไฟฟ้า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำในสถานะของเหลว โมเลกุลของน้ำเป็น โมเลกุลที่มีขั้ว โดยอะตอมของออกซิเจนมีขั้วเป็นลบเล็กน้อย และอะตอมของไฮโดรเจนมีขั้วเป็นบวกเล็กน้อย จึงทำให้น้ำค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูง จัดเป็นวัสดุไดอิเล็กตริก (dielectric material) มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก เท่ากับ 78.5 และน้ำในสถานะของแข็ง เมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลง เนื่องจากโมเลกุลยึดจับกับน้ำที่อยู่รอบด้วยด้วยพันธะไฮโดรเจน ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำแข็งมีค่าเท่ากับ 3.2 ในการทดสอบค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุใด ทำโดยนำวัสดุนั้นไปวางไว้ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ วัสดุใดมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงจะกักเก็บพลังงานไฟฟ้าได้มาก ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างค่าความจุไฟฟ้า (capacitance) ของวัสดุต่อค่าความจุไฟฟ้าของสุญญากาศ (ไม่มีหน่วย) ในการทดสอบค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุสามารถแสดงได้ในรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.5 การทดสอบค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุ

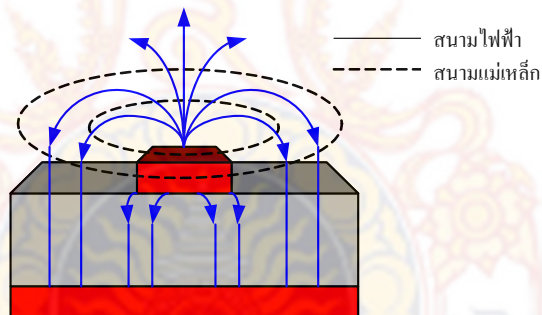
โครงสร้างสายนำสัญญาณบนไมโครสตริป

ลักษณะโครงสร้างของสายนำสัญญาณบนโครงสร้างไมโครสตริปสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6 ประกอบด้วยสตริป (Strip) ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นสายนำสัญญาณมีความกว้างเป็น w และมีความหนาเป็น t ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะที่มีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบ โดยสตริปจะอยู่บนชั้นของซับสเตรตที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Relative Dielectric Constant) ϵ_r และมีความหนาเป็น h สำหรับแผ่นโลหะที่อยู่ด้านล่างจะทำหน้าที่เป็นระนาบกราวด์ (Ground plane) ของวงจร



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของสายนำสัญญาณไมโครสตริป

ซึ่งพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะส่งผ่านชั้นเสตทบริเวณที่อยู่ระหว่างสตริปกับระนาบกราวด์ โดยลักษณะการกระจายของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กบนสายนำสัญญาณไมโครสตริปดังแสดงในรูปที่ 2.7 จะเป็นการแพร่กระจายของคลื่นที่ใกล้เคียงโหมด TEM เพราะมีสนามในแนวแกนอยู่ด้วยจึงเรียกว่าการกระจายสนามแบบนี้ว่าเป็นแบบ Quasi TEM



รูปที่ 2.7 การแพร่กระจายสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของสายนำสัญญาณไมโครสตริป

ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะและไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของไมโครสตริป

การวิเคราะห์เพื่อหาค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Characteristics Impedance, Z_c) และค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ (Effective Dielectric Constant, ϵ_{re}) สามารถหาได้จาก

$$Z_c = \frac{1}{C\sqrt{C_a C_d}} \quad (2.6)$$

$$\epsilon_{re} = \frac{C_d}{C_a} \quad (2.7)$$

โดยที่ค่าของ C_d เป็นค่าคาปาซิแตนซ์ต่อความยาวของสตริปหนึ่งหน่วย ซึ่งมีชั้นของไดอิเล็กทริกอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองส่วนค่า C_d เป็นค่าคาปาซิแตนซ์ต่อความยาวของสตริปหนึ่งหน่วยซึ่งมีอากาศอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำสตริป นั่นคือ ค่าคาปาซิแตนซ์ที่เกิดขึ้นระหว่างสตริปที่ด้านบนของชั้นไดอิเล็กทริกนั่นเอง และค่า C เป็นค่าความเร็วของคลื่นในอากาศ(มีค่าประมาณ 3×10^8 เมตร/วินาที) ในที่นี้จะพิจารณาว่าความหนาของ สตริปมีค่าใกล้เคียงศูนย์ (t เข้าใกล้ 0) ดังนั้นจะได้ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ และค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ที่มีความผิดพลาดน้อยกว่า 1% ดังสมการที่ (2.8) สำหรับอัตราส่วน

$W/h \leq 1$ ว่า

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \ln \left[\frac{8h}{w} + 0.25 \frac{w}{h} \right] \quad (2.8)$$

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left\{ \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-0.5} + 0.04 \left[1 - \frac{w}{h} \right]^2 \right\} \quad (2.9)$$

สำหรับอัตราส่วน $w/h \geq 1$ จะได้ว่า

$$Z_c = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \left\{ \frac{w}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left[\frac{w}{h} + 1.444 \right] \right\}^{-1} \quad (2.10)$$

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-0.5} \quad (2.11)$$

วิธีการที่มีความเที่ยงตรงในการคำนวณที่สูตรดังสมการที่ (2.11)

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{10}{u} \right]^{-ab} \quad (2.12)$$

โดย u คือค่าอัตราส่วนของ w/h และค่า a กับ b มีค่าเป็น

$$a = 1 + \frac{1}{49} \ln \left[\frac{u^4 + (u/52)^2}{u^4 + 0.432} \right] + \frac{1}{18.7} \ln \left[1 + (u/18.1)^3 \right]$$

และ

$$b = 0.564 \left[\frac{\epsilon_r - 0.9}{\epsilon_r + 3} \right]^{0.053}$$

ในส่วนของค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะสามารถหาได้จาก

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \ln \left[\frac{F}{u} + \sqrt{1 + \left(\frac{2}{u} \right)^2} \right] \quad (2.13)$$

โดยค่า F มีค่าเป็น

$$F = 6 + (2\pi - 6) \exp \left[- \left(\frac{30.666}{u} \right)^{0.7528} \right]$$

จากสมการที่ (2.13) นี้ $\epsilon_r \leq 128$ และค่า u มีค่าระหว่าง 0.01 ถึง 100 ($\epsilon_r \leq 128$) และ $0.01 \leq u \leq 100$ จะทำให้ผลของการคำนวณค่าคงที่ไดโอิเล็กทริกสัมพัทธ์ มีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.2% สำหรับค่าของ $Z_c \sqrt{\epsilon_{re}}$ จะมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.01% ถ้าค่า $u \leq 1$ และจะมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.03% หากว่าค่า $u \leq 1000$

2.4 วงจรสังเคราะห์ความถี่สูง (RF Frequency Synthesizers Circuit)

วงจรสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesizer) เป็นวงจรแกว่งที่แปรความถี่ได้ด้วยการมีเสถียรภาพที่ถูกควบคุมด้วยคริสตัล วงจรสังเคราะห์ความถี่ใช้ในเครื่องมือวัด อุปกรณ์ที่ทดสอบ อัตโนมัตและระบบสื่อสาร รวมไปถึงการใช้งานที่พบเห็นทั่วไปเช่นระบบการเลือกช่องของโทรทัศน์ เครื่องรับส่งวิทยุ และเครื่องสแกนวิธีการสังเคราะห์ความถี่จะสามารถทำได้ 2 วิธีคือการสังเคราะห์ความถี่ทางตรง (Direct frequency synthesizer) ก็กับการสังเคราะห์ความถี่ทางอ้อม (Indirect frequency synthesizer) สำหรับการสังเคราะห์ความถี่ทางตรงนั้นเป็นการเพิ่มสัญญาณความถี่ขาออกด้วยการผสมสัญญาณขาออกที่มาจากแหล่งกำเนิดความถี่แบบควบคุมด้วยผลึก (Crystal-controlled frequency synthesizer) 2 แหล่งหรือมากกว่า หรือโดยการหาร หรือการคูณความถี่ขาออกด้วยวงจรแกว่งคริสตัล (Single-crystal oscillator) วงจรเดียวก็ได้ สำหรับการสังเคราะห์ความถี่ทางอ้อมเป็นการนำวงจรคูณความถี่หรือวงจรหารความถี่แบบควบคุมป้อนกลับ (Feedback-controlled divider/multiplier) อย่างเช่นเฟสล็อกกลูบมาใช้ในการเพิ่มความถี่ขาออก แต่วิธีการดังกล่าวนี้จะทำงานช้า และไวต่อสัญญาณรบกวน อย่างไรก็ตามราคาจะถูกกว่าและวงจรรองความถี่ที่มีจำนวนและความซับซ้อนน้อยกว่าวิธีการสังเคราะห์ความถี่ทางตรง

2.5 การสังเคราะห์ความถี่ทางตรง

วงจรสังเคราะห์ความถี่จากคริสตัลหลายๆตัว เป็นวงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ใช้การผสมสัญญาณแบบไม่เชิงเส้นจากคริสตัลหลายๆตัว และการทำการกรอง เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีความถี่แตกต่างกันจากคริสตัล 20 ตัวกับวงจรแกว่ง 2 มอดูล(Module)สำหรับค่าความถี่ของคริสตัลสามารถจะสังเคราะห์ความถี่ได้ในช่วงความถี่ 510 kHz ถึง 1790 kHz โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 kHz วงจรสังเคราะห์ความถี่นี้สามารถนำมาใช้ในการสร้างสัญญาณคลื่นพา หรือปรับเลือกช่องสัญญาณความถี่ได้

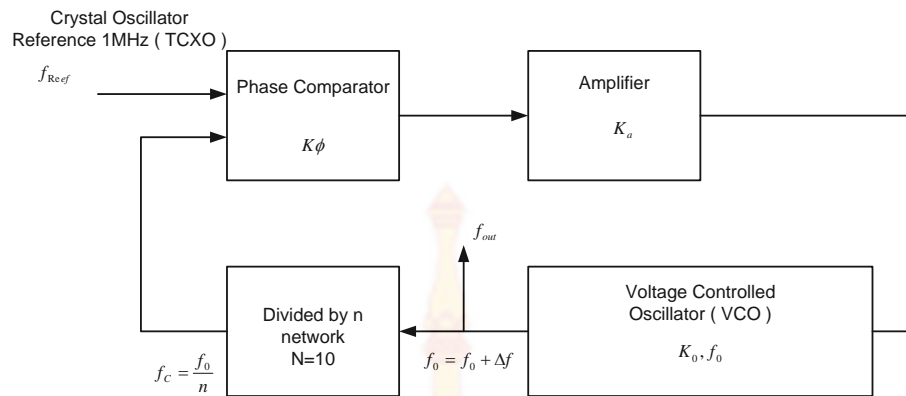
2.6 การสังเคราะห์ความถี่ทางอ้อม

วงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกกลูป (Phase-locked loop frequency synthesizer) เป็นวิธีการสังเคราะห์ความถี่ที่นิยมมากในปัจจุบัน วงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกกลูปที่มีลูบเดียว โดยมีวงจรแกว่งแบบคริสตัลเป็นวงจรที่สร้างความถี่อ้างอิง และช่วงความถี่ที่ถูกสร้างขึ้น และค่าความถี่ละเอียดจะขึ้นกับวงจรหารความถี่รวมทั้งอัตราขยายลูบเปิด (Open-loop gain) วงจรหารความถี่ที่ใช้ในที่นี้จะป็นวงจรหารด้วย n (Divider-by-n circuit) ที่สามารถออกแบบได้จากวงจรนับขึ้นลงแบบเชิงเลขที่โปรแกรมได้ (Programmable digital up-down counter) ซึ่งจะให้ความถี่ออกมาเป็น $f_c = f_0/n$ โดยที่ f_0 เป็นความถี่ขาออกของ VCO คือ $f_0 = nf_{ref}$ ดังนั้นวงจรสังเคราะห์ความถี่ความถี่จึงเป็นวงจรคูณความถี่ด้วยจำนวน n เท่า (Times-n frequency multiplier) โดยปริยาย สำหรับวงจรหารความถี่นี้จะไม่มีส่วนในการลดอัตราขยายลูบเปิดด้วยค่าตัวประกอบ n ฉะนั้นวงจรอื่นๆที่อยู่ในลูบจะต้องมีอัตราขยายที่สูงตามสัดส่วนไปด้วยอัตราขยายลูบของวงจรสังเคราะห์ความถี่แสดงไว้ในรูปที่ 2.8 อัตราขยายลูบของวงจรสังเคราะห์ความถี่

$$K_v = \frac{k_d k_a k_o}{n} \quad (2.14)$$

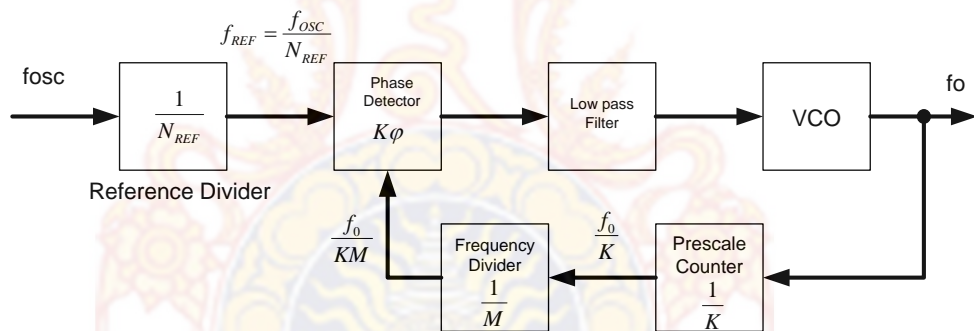
จากสมการข้างบนนี้ จะเห็นได้ว่าขณะที่ n เปลี่ยน อัตราขยายลูบเปิดจะเปลี่ยนไปอย่างผกผันตามสัดส่วน วิธีที่จะแก้ปัญหานี้คือการโปรแกรมอัตราขยายของวงจรขยายให้มีค่าตามอัตราส่วนของตัวหาร ดังนั้นอัตราขยายลูบเปิดคือ

$$K_v = \frac{nk_d k_a k_o}{n} = k_d k_a k_o \quad (2.15)$$



รูปที่ 2.8 ไตอะแกรมของอัตราขยายลูปของวงจรสังเคราะห์ความถี่

สำหรับในการออกแบบทำการเลือกใช้การสังเคราะห์ความถี่ทางอ้อมแบบ Prescaled (Prescaled Synthesizer)



รูปที่ 2.9 วงจรสังเคราะห์ความถี่แบบ Prescaled (Prescaled Synthesizer)

วงจรมีค่าคงที่ (Fixed Prescale Counter) ซึ่งมีความถี่ปฏิบัติงานสูงสุด f_{OMAX} จะทำการทอนความถี่ลงมา มีขนาดเท่ากับ $\frac{f_{OMAX}}{K}$ ซึ่งอยู่ในย่านที่ตัวหารความถี่ (Frequency Divider) สามารถทำงานได้

สำหรับ Channel Space: f_{CH} ของวงจรสังเคราะห์ความถี่ หาได้จากสมการ

$$f_{CH} = Kf_{REF} = \frac{K}{N_{REF}} f_{OSC} \tag{2.16}$$

$$M_{MAX} = \frac{f_{OMAX}}{f_{CH}} = \frac{f_{OMAX}}{Kf_{REF}} \quad (2.17)$$

$$M_{MIN} = \frac{f_{OMIN}}{f_{CH}} = \frac{f_{OMIN}}{Kf_{REF}} \quad (2.18)$$

ส่วนค่าคงที่ของตัวหารสุทธิ (Total Divider Constant) ในทางเดินป้อนกลับ หาได้จาก

$$N = KM \quad (2.19)$$

$$N_{MAX} = KM_{MAX} \quad (2.20)$$

$$N_{MIN} = KM_{MIN} \quad (2.21)$$

การศึกษาความสัมพันธ์ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกับวงจรเรโซแนนท์

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลมีความสัมพันธ์กับค่าความถี่เรโซแนนท์ดังสมการที่ (2.22)

$$\epsilon_{eff}(f) = \left(\frac{nc}{2\pi fr} \right)^2 \quad (2.22)$$

โดยพบว่า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุและค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียไดอิเล็กตริกของวัสดุพารามิเตอร์ทั้งหมดของวงจรเรโซเนเตอร์จะมีความสัมพันธ์กับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลและพบว่าวัสดุที่จะทำการวัดเมื่อนำมาวางบนวงจรเรโซเนเตอร์ซึ่งค่าไดอิเล็กตริกวัสดุมีการแปรเปลี่ยนไปก็จะมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปกับค่าความถี่เรโซแนนท์ในส่วนผลการตอบสนองความถี่เรโซแนนท์พารามิเตอร์ตัวประกอบคุณภาพเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลดังสมการที่ (2.23) และอาศัยสมการที่ (2.24) และ $\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}$ ทำให้พบว่ามีความเกี่ยวพันกัน

$$Q = \left(\frac{\beta}{2\alpha} \right) \quad (2.23)$$

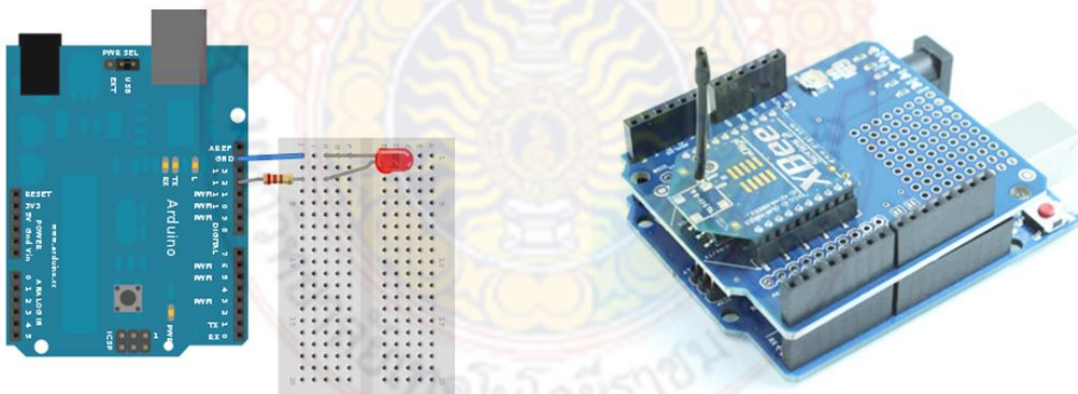
โดยที่ α หมายถึง ค่าคงตัวการลดทอน

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_g} \quad (2.24)$$

$$BW = \frac{1}{Q} \quad (2.25)$$

2.7 ระบบการเก็บรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลจริง (DAQ; Data Acquisition)

ระบบ DAQ (Data acquisition) เป็นการเก็บรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลจริงในงานวิจัย ทดลองวิทยาศาสตร์และทดสอบ งานทางด้านวิศวกรรมเชิงคุณภาพและประสิทธิภาพผ่าน Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูล ทั้งด้าน Hardware และ Software ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจร อิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด (ดูตัวอย่างรูปที่ 2.10) หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ (ดูตัวอย่างรูปที่ 2.10) เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเปรียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรม พัฒนา (Thai Easy Elec, 2559)



รูปที่ 2.10 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจร อิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถ เลือก ต่อกับ บอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ เช่น Arduino XBee Shield, Arduino

Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบน บอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย (Thai Easy Elec, 2559)

จากรูปที่ 2.10 คือส่วนประกอบของบอร์ด Arduino แต่ละส่วนจะมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

1. USBPort : ใช้สำหรับต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Digital Port : ช่องรับ – ส่งข้อมูลด้วยสัญญาณแบบดิจิทัล ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆเพิ่มเติมด้วยเช่น Pin 0 และ Pin 1 เป็นขา Tx,Rx Serial และ Pin 3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
3. Analog Port: ช่องรับ – ส่งข้อมูลด้วยสัญญาณแบบอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0 - A5
4. Power Port : ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขา ไฟเลี้ยง+3.3 V, +5V, GND, Vin
5. Power Jack : รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V

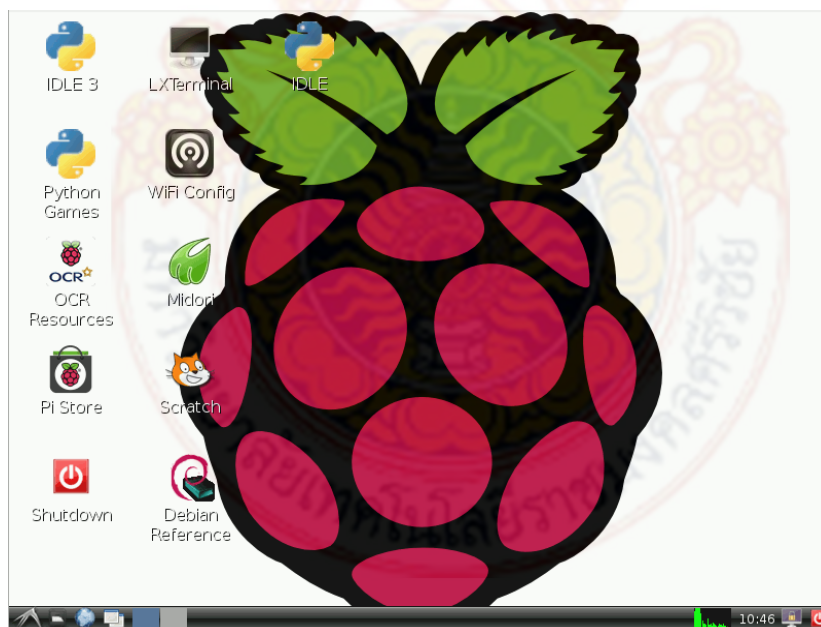
2.8 ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi)



รูปที่ 2.11 บอร์ด Embedded System Raspberry Pi

Raspberry Pi (ออกเสียงว่า ราส-เบอร์-รี่-พาย) เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่มีขนาดเพียงเท่ากับบัตรเครดิตเท่านั้น ที่สำคัญคือราสเบอร์รี่พายนี้มีราคาที่ถูก ทำงานได้เหมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกอย่าง สามารถต่อราสเบอร์รี่พายนี้เข้ากับจอคอมพิวเตอร์หรือจอทีวีที่รองรับ HDMI หรือ สามารถต่อผ่านสายสัญญาณวิดีโอปกติได้เช่นกันแต่ความละเอียดอาจจะต่ำกว่า นอกจากต่อจอแสดงผลแล้ว ราสเบอร์รี่พายนี้รองรับเมาส์และคีย์บอร์ดผ่าน USB port ปกติ เพราะฉะนั้นสามารถนำเมาส์และคีย์บอร์ดที่มีอยู่แล้วมาต่อได้ ระบบจ่ายไฟของราสเบอร์รี่พายใช้ Mini USB ขนาด 5 โวลต์ (Thai Easy Elec, 2559)

ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi) เกิดขึ้นในปี 2549 ที่มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ ประเทศอังกฤษ โดยผู้สร้างทั้งสี่คนคือ อีเบน อัฟตัน, ร็อบ มุลลินส์, แจ็ค แลง และ อลัน มายครอฟท์ มีจุดมุ่งหมายที่จะให้ราสเบอร์รี่พายเป็นคอมพิวเตอร์ราคาข่อมเยาที่ใครๆ ก็สามารถหามาครอบครองได้ และสามารถศึกษาการทำงานของคอมพิวเตอร์พร้อมทั้งเขียนโปรแกรมง่ายๆ ได้ทันที การที่ราสเบอร์รี่พายเป็นบอร์ดวงจรรวมที่เปลือยเปล่า ทำให้เด็กๆ ได้เห็นชิ้นส่วนทั้งหมดที่เป็นส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะทำให้เข้าใจการทำงานของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันที่มาในกล่องสวยงามได้มากขึ้น (Thai Easy Elec, 2559)



รูปที่ 2.12 หน้าตาของระบบปฏิบัติการของราสเบอร์รี่พาย

2.9 โปรแกรมการติดต่อผู้ใช้งานโดยใช้ภาพสัญลักษณ์

GUI ย่อมาจาก Graphical User Interface GUI (อ่านว่า จียูไอ)คือ การติดต่อกับผู้ใช้โดยใช้ภาพสัญลักษณ์ เป็นการออกแบบส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้มีการโต้ตอบกับผู้ใช้ โดยการใช้ [Icon](#),รูปภาพ และสัญลักษณ์อื่นๆ เพื่อแทนลักษณะต่างๆ ของโปรแกรม แทนที่ผู้ใช้จะพิมพ์คำสั่งต่างๆ ในการทำงาน ช่วยทำให้ผู้ใช้งานสามารถทำงานได้ง่าย และรวดเร็วขึ้น ไม่จำเป็นต้องจดจำคำสั่งต่างๆ ของโปรแกรมมากนัก ถือเป็นวิธีการให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้คอมพิวเตอร์ ให้ติดต่อสื่อสารกับระบบโดยผ่านทางภาพ เช่น ใช้เมาส์กดเลือก icon แทนการพิมพ์คำสั่งดังแต่ก่อน โดยเฉพาะในบางโปรแกรมที่มีคำสั่งมากๆ เช่น โปรแกรม Autocad ที่ใช้ในการวาดแบบ ซึ่งจะมี คำสั่งต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างรูปมากมาย ผู้ใช้สามารถใช้เมาส์ (mouse) เลือกคำสั่งที่ต้องการจะวาดจากไอคอน (Icons) ที่ปรากฏในโปรแกรมและใช้งานได้เลย โดยไม่ต้องพิมพ์คำสั่งต่างๆ ทางแป้นพิมพ์ ช่วยทำให้เกิดความรวดเร็วในการทำงาน และไม่ต้องเสียเวลาในการเรียนรู้และจดจำคำสั่งที่ต้องการมากนัก เพียงดูจากไอคอน Icons ที่ปรากฏในโปรแกรมก็สามารถใช้งานได้ทันที ตัวอย่างโปรแกรมที่ช่วยออกแบบโปรแกรมที่ใช้ GUI เช่น Python เป็นต้น

2.10 โปรแกรมภาษา Python

Python คือชื่อภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมภาษาหนึ่ง ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาโดยไม่ยึดติดกับแพลตฟอร์ม กล่าวคือสามารถรันภาษา Python ได้ทั้งบนระบบ Unix, Linux , Windows NT, Windows 2000, Windows XP หรือแม้แต่ระบบ FreeBSD อีกอย่างหนึ่งภาษาตัว นี้เป็น OpenSource เหมือนอย่าง PHP ทำให้ทุกคนสามารถที่จะนำ Python มาพัฒนาโปรแกรมของเราได้ฟรีโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย และความเป็น Open Source ทำให้มีคนเข้ามาช่วยกันพัฒนาให้ Python มีความสามารถสูงขึ้น และใช้งานได้ครบคุมกับทุกลักษณะงาน

โค้ดของ Python ถูกสร้างขึ้นมาจากภาษาซี การประมวลผลจะทำในแบบอินเทอร์พรีเตอร์ คือจะประมวลผลไปที่ละบรรทัดและปฏิบัติตามคำสั่งที่ได้รับ Python เวอร์ชันแรกคือ เวอร์ชัน 0.9.0 ออกมาเมื่อปี 2533 และเวอร์ชันปัจจุบันคือ 3.5

คุณลักษณะเด่นของภาษา Python

1. สนับสนุนแนวแบบคิดออปเจกต์โอเรียนเทต หรือ OOP (Object Oriented Programming)
2. เป็น Open Source

3. โค้ดที่เขียนด้วย Python สามารถนำไปรันบนระบบปฏิบัติการได้หลากหลาย
4. สนับสนุนเทคโนโลยี COM ของ Ms-windows
5. Python รวมมาตรฐานการอินเทอร์เฟซ Tkinter ซึ่งสนับสนุนบนระบบ X windows, Ms-windows และ Macintosh การใช้คำสั่ง Tkinter API ช่วยให้โปรแกรมเมอร์ไม่ต้องแก้ไขโค้ดเมื่อนำไปรันบนระบบปฏิบัติการอื่นๆ
6. เป็น Dynamic typing คือ สามารถเปลี่ยนชนิดข้อมูลได้ง่ายและสะดวก
7. มี Built-in Object Types คือ โครงสร้างของข้อมูลที่สามารถใช้ได้ ใน Python ประกอบด้วย ลิสต์, ดิกชันนารี, สตริง ที่ง่ายต่อการใช้งานและมีประสิทธิภาพสูง
8. มีเครื่องมือต่างๆ มากมาย เช่น การประมวลผลเท็กซ์ไฟล์ การเรียงข้อมูล การเชื่อมต่อสตริง การตรวจสอบเงื่อนไขของข้อความ การแทนค่า เป็นต้น
9. มีมอดูลสำหรับการจัดการ Regular Expression
10. มีมอดูลที่สร้างขึ้นจากนักพัฒนาสนับสนุนมากมาย ได้แก่ COM, Image, CORBA, ORBs, XML เป็นต้น
11. จัดการหน่วยความจำอย่างอัตโนมัติ สามารถจัดการพื้นที่หน่วยความจำที่ไม่ต่อเนื่องให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
12. อนุญาตให้ฝังชุดคำสั่งของ Python เอาไว้ในโค้ดภาษา C/C++ ได้
13. อนุญาตให้โปรแกรมเมอร์สร้าง Dynamic Link Library (DLL) เพื่อใช้ร่วมกับ Python
14. มีมอดูลสนับสนุนเกี่ยวกับเน็ตเวิร์ก โปรเซส เซรต regular, expression, xml, GUI และอื่นๆ
15. ประกอบด้วยมอดูลสำหรับสร้าง Internet Script และติดต่อกับอินเทอร์เน็ตผ่าน Sockets, และทำหน้าที่เป็น CGI Script ตลอดจนใช้งานคำสั่ง FTP , Gopher, XML และอื่นๆอีกมาก
16. สามารถประมวลผลทางด้านวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
17. มีฟังก์ชันสนับสนุนฐานข้อมูล เช่น MySQL, Sybase, Oracle , Informix, ODBC และอื่นๆ
18. มีไลบรารีสนับสนุนด้านการสร้างภาพกราฟิก เช่น ทำภาพเบลอ หรือภาพชัด หรือเขียนข้อความบนภาพ ตลอดจนบันทึกไฟล์ในรูปแบบต่างๆ ได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ
19. มีไลบรารีสนับสนุนด้านปัญญาประดิษฐ์
20. มีไลบรารีสำหรับสร้างเอกสาร PDF โดยไม่ต้องติดตั้ง Acrobat Writer
21. มีไลบรารีสำหรับสร้าง Shockwaves Flash (SWF) โดยไม่ต้องติดตั้ง Macromedia Flash

นับตั้งแต่มีการใช้คอมพิวเตอร์จากอดีตจนถึงปัจจุบันภาษาคอมพิวเตอร์มีหลายภาษา ในยุคแรกภาษาที่นำมาใช้ในวงการการศึกษา ได้แก่ ภาษาปาสคาล ภาษาซี ภาษาเบสิก นอกจากนี้ยังมีภาษาที่ได้พัฒนาขึ้นมาตามยุคสมัยเพิ่มขึ้นอีกมากมาย ได้แก่ ภาษาเดลไฟล์ C++ ภาษาวิซวลเบสิก ภาษาจาวา เป็นต้น ปัจจุบันภาษาไพธอนเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ยุคใหม่ หรือที่เรียกกันว่า ภาษาสคริปต์ที่สามารถทำงานได้ทั้งรูปแบบโครงสร้างแบบเก่าและการเขียนเชิงวัตถุ (dynamic object oriented) และยังสามารถทำงานได้ทั้งแบบ Desktop และบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต หรือ Web application ต่าง ๆ สามารถทำงานได้ทุกระบบปฏิบัติการ เช่น Linux Windows และ FreeBSD รวมทั้งระบบปฏิบัติการ Mac/OS และที่มีจุดเด่นคือ ยังเป็น Open Source ทำให้บริษัทผู้ผลิตซอฟต์แวร์ชั้นนำทั่วโลกนำเอาภาษาไพธอนไปพัฒนาเป็นโปรแกรมต่าง ๆ ให้ได้ใช้กันทั่วโลก เช่น www.google.com ซึ่งเป็นเว็บสำหรับสืบค้นข้อมูลที่ได้รับคามนิยมสูงสุด ของบริษัท google นอกจากนี้องค์การ NASA ได้ประกาศให้ภาษาไพธอนเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ประเภท CAD/CAE/PDM เป็นหลักด้วย

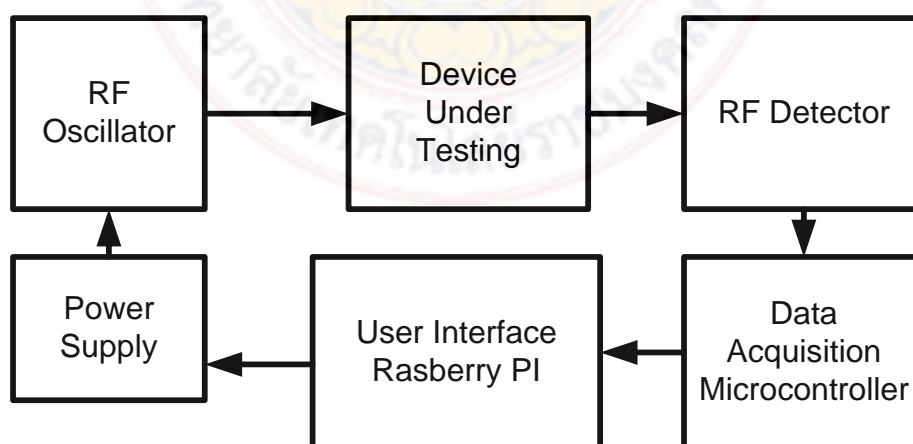
ภาษาไพธอน พัฒนาโดยชาวเยอรมันชื่อนาย Guido van Rossum ซึ่งได้ออกแบบมาเพื่อให้ทำงานได้กับ Web Application ที่ลักษณะคล้ายกับภาษา Perl, PHP, JAVA และ ASP เนื่องจากภาษาไพธอน เป็นภาษาที่ใหม่จึงมีคุณสมบัติที่ดีดังต่อไปนี้

1. สามารถใช้ได้ทุกแพลตฟอร์ม กล่าวคือ สามารถทำงานได้ทุก ๆ CPU หลาย ๆ ระบบปฏิบัติการ เพียงแต่ผู้เขียนโปรแกรมเขียนจากแพลตฟอร์มใด ๆ แล้วนำโปรแกรมที่ได้ไปให้ทำงานต่างแพลตฟอร์มกันได้
2. ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อโปรแกรมต้นฉบับ โดยปกติแล้วโปรแกรมภาษาทั่ว ๆ ไปจะต้องจัดซื้อโปรแกรมต้นฉบับเพื่อนำมาติดตั้งในราคาแพงมาก แต่โปรแกรมภาษาไพธอนสามารถดาวน์โหลดจาก www.python.org ได้โดยตรง แล้วนำมาติดตั้งและศึกษาการใช้ด้วยตนเอง เพราะเป็นโปรแกรมประเภท Open Source
3. ภาษาไพธอนได้นำเอาข้อดีของโปรแกรมในอดีตเข้ามาไว้ด้วยกัน เช่น ภาษา C, C++, Java และ Perl เป็นต้น
4. มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากภาษาไพธอนทำงานอยู่ด้าน Server เป็นหลัก เมื่อมีการร้องขอจากเครื่อง Client จะประมวลผลที่เครื่อง Server ทำให้ผู้ใช้ทั่วไปไม่สามารถเข้าถึงเครื่อง Server ได้โดยตรงจึงมีความปลอดภัยสูงกว่า
5. ใช้ในการพัฒนา Web Service ซึ่งในปัจจุบันการพัฒนาซอฟต์แวร์ได้เน้นที่มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันทั้งในองค์กรเดียวกันหรือแม้แต่ต่างองค์กรกัน ทำให้เกิดความสะดวกสบาย ไม่ต้องใช้ซอฟต์แวร์อื่น ๆ มาแปลงข้อมูลเพื่อให้เข้ากันได้อีกต่อไปเรียนรู้ได้เร็วกว่าโปรแกรมภาษาอื่น ๆ เพราะมีโครงสร้างภาษาที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งโครงสร้างภาษาคคล้ายคลึงกับภาษา C

ถ้าโปรแกรมเมอร์ที่เคยใช้ภาษา C มาก่อนจะทำให้เรียนรู้ได้เร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพธอนจะมีความกระชับและสั้นกว่าภาษาซี

เนื่องจากโปรแกรมภาษาไพธอน เป็นซอฟต์แวร์ประเภท open source จึงมีแหล่งรวบรวมให้ผู้ใช้ทั่วไปดาวน์โหลดมาติดตั้งได้ด้วยตนเอง ตามที่อยู่ของเว็บไซต์ <http://python.org/download> เมื่อดาวน์โหลดโปรแกรมมาเสร็จสิ้นแล้ว จึงลงมือติดตั้งสำหรับวิธีการติดตั้งที่แนะนำต่อไปนี้เป็นวิธีการติดตั้งบนระบบปฏิบัติการ Microsoft windows

ระบบการตรวจวัดปริมาณน้ำในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่งแสดงดังรูปที่ 2.13 โดยที่ เมื่อทำการนำน้ำยางพาราดิบใส่ลงไปในเพื่อทำการวัดปริมาณน้ำในน้ำยางธรรมชาติ ระบบจะทำการตรวจวัดโดยเริ่มจาก โปรแกรม GUI (Graphical User Interface) จะทำการสั่งงานให้ วงจรสังเคราะห์ความถี่สูง (RF Frequency Synthesizers circuit) กำเนิดความถี่สูงออกมา ที่ความถี่ไมโครเวฟที่สูงกว่า 2.45GHz กำลังส่งต่ำกว่า 100mW ป้อนเข้าสู่วงจรเซ็นเซอร์สายนำสัญญาณแบบควิตีในสถานะที่ไม่มีน้ำยางพาราดิบ วงจรจะเรโซแนนซ์ที่ความถี่ที่ป้อนเข้าสู่เรโซเนเตอร์เนื่องจากค่าไดอิเล็กตริกในสถานะที่ไม่มีน้ำยางพาราดิบคือมีค่าเท่ากับอากาศ (เท่ากับ 1) และมีอิมพีแดนซ์ของระบบเท่ากับ 50 โอห์มแต่เมื่อทำการเทน้ำยางพาราดิบลงไปบนส่วนของวงจรเซ็นเซอร์สายนำสัญญาณแบบควิตีด้วยปริมาตรและความสูงที่กำหนดไว้ จะทำให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากค่าของไดอิเล็กตริกจากน้ำยางพาราดิบ และส่งผลให้ค่าของความถี่เรโซแนนซ์เปลี่ยนแปลงไปและค่าพลังงานที่รับได้จะถูกลดทอนไปจากความถี่ที่กำหนดไว้ ในการออกแบบเครื่องวัดปริมาณน้ำในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่ง ถูกออกแบบให้มีช่วงของการวัดที่ อัตราส่วนระหว่างเนื้อเยื่อกับการเจือปนของน้ำตั้งแต่ เนื้อเยื่อ 9 ส่วนต่อ น้ำ 1 ส่วน ไปจนถึง ปริมาณน้ำ 9 ส่วนกับเนื้อเยื่อ 1 ส่วน ในปริมาตรการวัด 200มิลลิลิตรทุกการวัด ซึ่งระบบนี้จะถูกสร้างและทดสอบระบบจริงในห้องวิจัยภายใต้งานวิจัยนี้



รูปที่ 2.13 ระบบการวัดปริมาณน้ำในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่ง

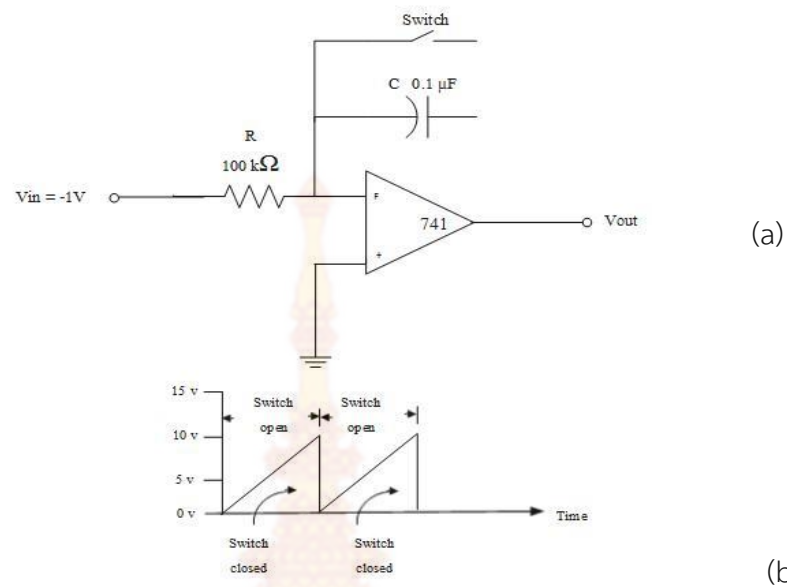
เมื่อคลื่นไมโครเวฟเซ็นเซอร์สายนำสัญญาณแบบควิดีที่ทำการทดลอง จะเข้าสู่ภาคของวงจร RF Detector เพื่อทำการตรวจจับสัญญาณคลื่นไมโครเวฟแล้วทำการแปลงสัญญาณคลื่นไมโครเวฟให้อยู่ในรูปของแรงดันอนาล็อก จากนั้นจะทำการอ่านค่าของแรงดันอนาล็อกด้วย ระบบเก็บรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลจริง DAQ(Data acquisition)แล้วทำการส่งข้อมูลให้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการประมวลผล โปรแกรม GUI (Graphical User Interface) จะทำการประมวลผลข้อมูลและแสดงผลค่าของกราฟของสัญญาณและค่าของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำยางพาราดิบที่ทำการวัดได้



รูปที่ 2.14 การพัฒนาโปรแกรม GUI (Graphical User Interface) ด้วย Python

2.11 วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย (Saw Tooth Generator)

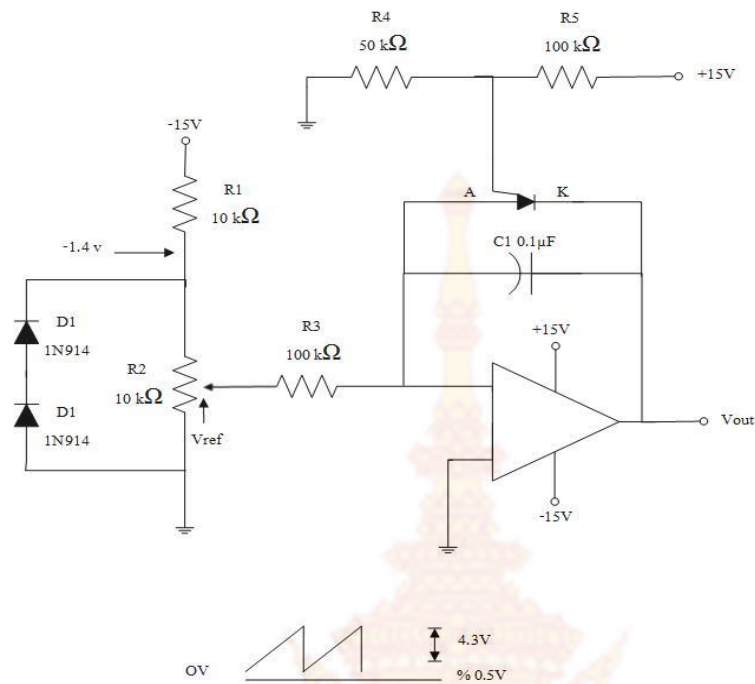
วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยหรือที่เรียกว่าวงจรกำเนิดแรงดัน “แรมพ์” (Ramp-voltage Generator) ในรูปที่ 15 (a) ก็คือวงจรอินทิเกรเตอร์นั่นเอง จะเห็นว่าเมื่อป้อนแรงดันขนาด -1 โวลต์ ให้ที่ขั้วอินพุตลบ ตัวเก็บประจุ $C1$ ก็จะถูกชาร์จแบบเส้นตรง (อัตราการเพิ่มของแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าคงที่) ในทิศทางบวกเพิ่มขึ้นสู่ $+V_{sat}$ แต่ถ้าเราสับสวิตช์ลงก่อนที่แรงดันคร่อม $C1$ จะมีค่าเท่ากับ $+V_{sat}$ แรงดันที่ถูกชาร์จไว้ก็จะคายประจุออกจนหมดอย่างรวดเร็ว และเมื่อยกสวิตช์ขึ้นตัวเก็บประจุก็จะค่อย ๆ ชาร์จขึ้นอีก ดังรูปที่ 2.15 (b)



รูปที่ 2.15 วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{1}{R_{in} C_f} \right) t \quad (2-25)$$

โดย t คือเวลาที่สวิตช์ถูกยกขึ้นในหน่วยวินาทีและมี V_{in} , R_{in} , C_f เป็นตัวกำหนดความชันของสัญญาณแรมพ์ แต่ในการใช้งานจริงนั้น เรามักไม่นิยมใช้การสับสวิตช์ดังกล่าว เพราะนอกจากจะมีความผิดพลาดสูงแล้วความถี่สูงสุดที่ทำได้ก็มีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์มาใช้ รูปที่ 2.15 แสดงวงจรที่นำทรานซิสเตอร์ชนิดรอยต่อเดี่ยว (Programmable Unijunction Transistor : PUT) มาใช้เป็นสวิตช์ หลักการทำงานของอุปกรณ์ชนิดนี้คล้ายกับ SCR มาก ต่างกันตรงที่ PUT จะถูกทริกด้วยสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่ขาเกต จากวงจรนี้จะสามารถวิเคราะห์หลักการทำงานได้ดังนี้ เมื่อกำหนดแรงดันอ้างอิง V_p ให้ขาเกตของ PUT (โดยการปรับตัวต้านทาน R_4 และ R_5) ทันทีที่แรงดันคร่อมขั้ว อาโนด A กับคาโทด K หรือ VAK มีค่าเป็นบวกสูงกว่า V_p PUT จะทำงาน (เสมือนลัดวงจร) และกระแสที่ไหลผ่าน PUT จะยังคงไหลต่อไป ถึงแม้ VAK อาจลดลงต่ำกว่า V_p แล้วก็ตาม จนกระทั่งกระแสดังกล่าวลดลงต่ำกว่าค่า ๆ หนึ่ง (ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของตัว PUT) เมื่อนั้น PUT จะเสมือนวงจรเปิดหรือสวิตช์ที่ถูกยกขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 2.16 แสดงวงจรที่นำทรานซิสเตอร์ชนิดรอยต่อเดียว

ค่าของอุปกรณ์ในรูปที่ 2.15 แสดงในลักษณะที่เราจะสามารถปรับความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตได้ โดยที่ R1 และ R2 ทำหน้าที่แบ่งแรงดัน -15 โวลต์ เพื่อสร้างแรงดัน Vref ไดโอด D1, D2 ช่วยบังคับให้แรงดันคร่อม R2 มีค่าคงที่ในขณะที่ปรับตัวต้านทานตัวนี้เพื่อเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต ส่วนแอมพลิฟายเออร์หรือขนาดของสัญญาณออกจะถูกกำหนดด้วยตัวต้านทาน R4 ซึ่งก็มีผลต่อความถี่เช่นกัน และจากวงจรนี้จะสามารถคำนวณความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตได้จากสมการ

$$f_{out} = \frac{V_{ref}}{R_3 C_f} \left(\frac{1}{V_p - 0.5V} \right) \quad (2-26)$$

ตัวอย่างเช่น สำหรับ $V_{ref} = -1$ โวลต์ และ $V_p = 4$ โวลต์ จะได้

$$f_{out} = \frac{1}{(100k)(0.1\mu)} \left(\frac{1}{4 - 0.5V} \right)$$

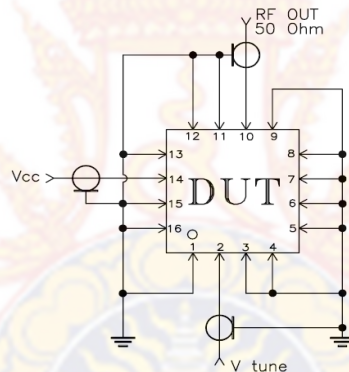
$$f_{out} = \frac{1}{0.01} \left(\frac{1}{3.5} \right)$$

$$= 29 \text{ Hz}$$

โดยมีแอมพลิจูดของเอาต์พุตประมาณ ($V_p + 0.3$) โวลต์ จากการวิเคราะห์ห้วงจรจะพบว่า แร่งดันมีผลทำให้ความถี่เปลี่ยนไป จึงนิยมเรียกวจรดังกล่าวว่าวจรออสซิลเลเตอร์ซึ่งถูกควบคุมด้วย แร่งดัน (Voltage Controller Oscillator)

2.12 วงจรควบคุมแรงดัน (VCO)

VCO มีหน้าที่สำหรับกำเนิดสัญญาณ RF ซึ่งจะมีกำลังมากพอสำหรับสัญญาณดาวนลิงค์ของ โทรศัพท์มือถือ การเลือก VCO มีปัจจัยหลักอยู่ 2 ประการคือ ความถี่ของระบบโทรศัพท์มือถือที่จะ ทำการรบกวน และการใช้ชิป สำหรับปัจจัยแรกซึ่งหมายความว่า VCO ควรจะคุมความถี่จาก 800 MHz ถึง 900 MHz และ 1800 MHz ถึง 1900MHz โดยพบว่า DDC1748F และ KCDDC1748Fเป็น ทางเลือกที่ดีที่สุด

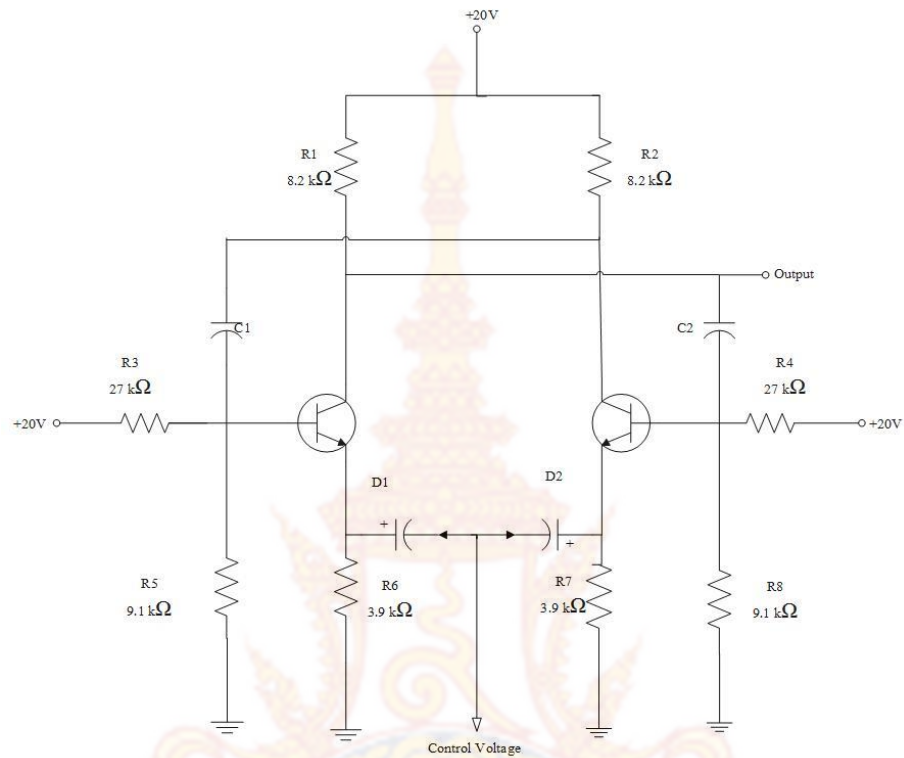


รูปที่ 2.17 ตัวอย่างวงจรของ VCO

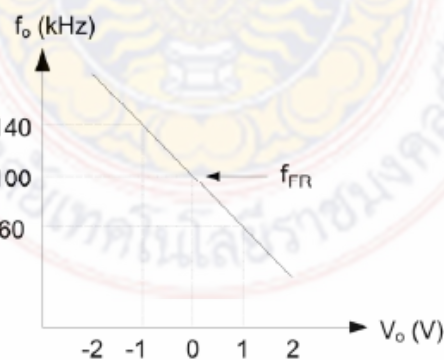
(ที่มา : การออกแบบระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ, 2550)

วงจรถวลคุมแรงดัน (Voltage-Controlled Oscillator) ได้นำมาใช้เป็นวงจรมอดูเลตเชิง ความถี่โดยจะมีวงจรต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมความถี่ของวงจร แต่วิธีที่ง่ายคือการใช้ตัวเก็บประจุที่ แปรค่าตามแรงดัน หรือไดโอดวแรกเตอร์ในวงจรมัลติไวเบเตอร์ เมื่อแรงดันไบอัสของไดโอดวแรก เตอร์เปลี่ยนจะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ ของวงจรแกว่งตามแรงดันไบอัสที่เปลี่ยนนั่นเอง ความถี่ทำงานเสรีของวงจรมัลติไวเบเตอร์ดังในรูปที่ 2.17 จะถูกควบคุมโดยคาร์รีแอกแตนซ์ของ D1 และ D2 และค่าแรงดันควบคุมต้องมีค่าไม่เกิน $E V + 0.5 V + E V$ โดย $E V$ เป็นค่ายอดทางบวกสูงสุดของสัญญาณวงจรแกว่งที่ตกคร่อม $E R$ และ $0.5 V$ เป็นค่าแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดซิลิกอนเมื่อมีการไบอัสไปหน้า คุณสมบัติของสัญญาณขาเข้ากับ สัญญาณขาออกสำหรับ VCO จะแสดงได้ดังในรูปที่ 2.17 VCO ควรจะทำงานแบบเชิงเส้นระหว่าง 60 และ 140 kHz อัตราขยายของ VCO หาได้จาก

$$k_0 = \frac{\Delta f_0}{\Delta V_0} = \frac{(60 - 140) \text{ kHz}}{(1 - (-1)) \text{ V}} = -40 \text{ kHz/V}$$



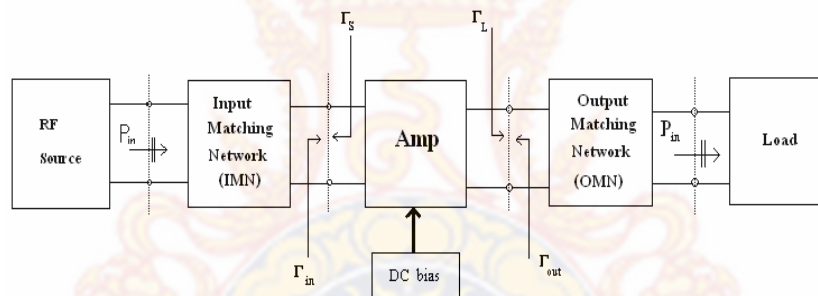
รูปที่ 2.18 วงจรแกว่งควบคุมโดยใช้ไดโอดวาแรกเตอร์ในวงจรมีลติไวเบเตอร์
(ที่มา : การออกแบบระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ,2550)



รูปที่ 2.19 กราฟคุณลักษณะของสัญญาณขาเข้ากับสัญญาณขาออกสำหรับ VCO
(ที่มา : การออกแบบระบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ,2550)

2.13 วงจรขยายสัญญาณความถี่สูง

วงจรขยายสัญญาณความถี่สูง ซึ่งเป็นองค์ประกอบในส่วนของ 3 ของวงจรระบบสัญญาณโทรศัพท์มือถือ โดยวงจรขยายสัญญาณความถี่สูงจะทำหน้าที่นำเอาสัญญาณความถี่ที่เลือกรับเข้ามาทำการขยายสัญญาณให้มีกำลังแรงมากขึ้นเพียงพอกับสัญญาณที่ต้องการในย่านความถี่สูง เมื่อปรับออสซิลเลเตอร์ เราจะได้แรงดันที่ต้องการสำหรับความถี่ 1.85 GHz และ 850 MHz ที่ออกแบบขึ้น สิ่งสำคัญในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณคือ เสถียรภาพ อัตราการขยายกำลัง แบนด์วิดท์ และสัญญาณรบกวน ในการออกแบบนั้นจำเป็นต้องเลือกคุณสมบัติและชนิดของทรานซิสเตอร์ให้เหมาะสม รวมทั้งการออกแบบโครงข่ายแมตซ์ซึ่งทางด้านอินพุตและเอาต์พุต เพื่อให้ได้สัญญาณความถี่สูงที่มีเสถียรภาพในระบบวงจรขยายสัญญาณทั่วไป จะประกอบด้วยวงจรโครงข่ายที่ทำหน้าที่เป็นแมตซ์ซึ่งอินพุตและเอาต์พุต ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ระบบวงจรขยายสัญญาณทั่วไป

(ที่มา : การออกแบบระบบระบบสัญญาณโทรศัพท์มือถือ, 2550)

วงจรโครงข่ายแมตซ์ซึ่งด้านอินพุตและเอาต์พุต ในภาพที่ 2.20 วงจรขยายสัญญาณจะถูกกำหนดคุณสมบัติด้วยเมตริก S โดยเฉพาะที่จุดการป้อนไบอัสด้วยดีซี ในรูปคุณสมบัติด้านประสิทธิภาพนั้นจะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ อัตราการขยายและความเรียบของอัตราการขยาย (dB) ความถี่ที่ใช้งานและแบนด์วิดท์ (Hz) กำลังงานด้านออก ความต้องการกำลังงานแหล่งจ่าย (V และ A) สัมประสิทธิ์การสะท้อน ด้านเข้าด้านออก (VSWR) และตัวเลขของสัญญาณรบกวน (dB)

นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องพิจารณาค่าพารามิเตอร์อื่นๆอีก เช่น ผลความเพี้ยนจากการมอดูเลตระหว่างกัน (Inter-Modulation Distance : IMD) ฮาร์โมนิก (Harmonic) ค่าการป้อนกลับ และผลกระทบจากความร้อน ซึ่งทั้งหมดนี้ต่างมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของวงจรขยายทั้งสิ้น

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการออกแบบอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่งซึ่งต้องทำการออกแบบวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่งก่อนเป็นอันดับแรก ขั้นตอนในการออกแบบมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. ทำการศึกษาทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. การกำหนดพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่างๆ
3. นำค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดมาหาค่าองค์ประกอบกำลังงานเพื่อใช้ในการกำเนิดความถี่
4. นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการออกแบบและทำการสร้างวงจรและทำการปรับผลตอบสนองความถี่ให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้งาน

3.1 การออกแบบวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่งในช่วงความถี่ (2.35 GHz-2.50 GHz)

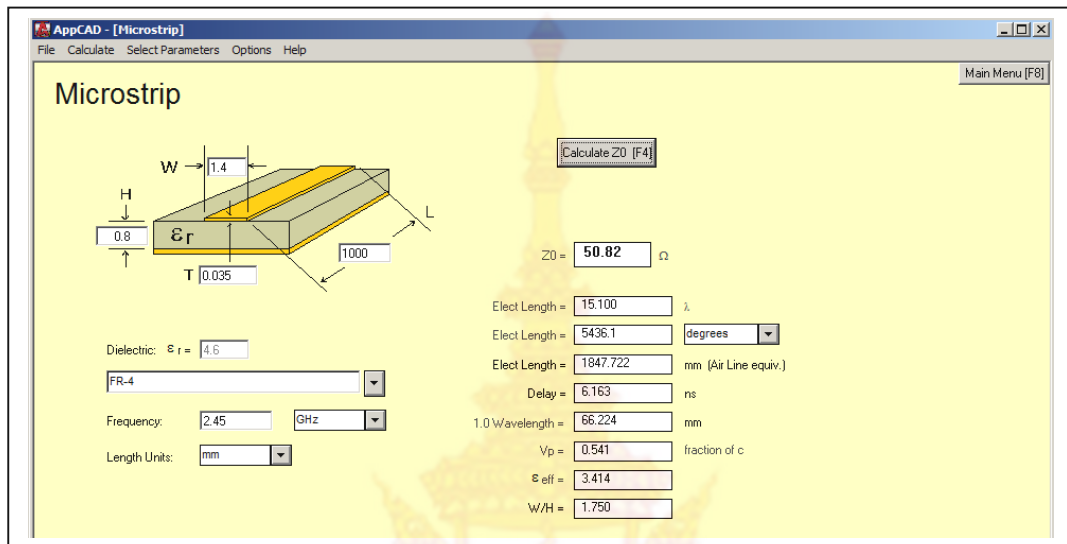
กำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ให้กับวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่งที่ต้องการออกแบบโดยจะมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ย่านความถี่ที่ใช้งาน Bandwidth(Bw)ค่ากำลังงานสูญเสียของช่วงความถี่ผ่าน (S_{21}) ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Z_0) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติต่างๆของวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่ง

ค่าความถี่กลางที่ใช้งาน (f_0)	2450MHz
ย่านความถี่ที่ใช้งาน (Bw)	150MHz
ค่ากำลังงานสูญเสียของช่วงความถี่ผ่าน (S_{21})	ไม่เกิน-15dB
ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Z_0)	50 โอห์ม
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11})	-25dB
วัสดุที่ใช้ทำลายวงจร	Fr4 Dielectric 4.6

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ นำมาออกแบบโดยใช้โปรแกรม AppCAD for Windows ได้ผลดังรูปที่

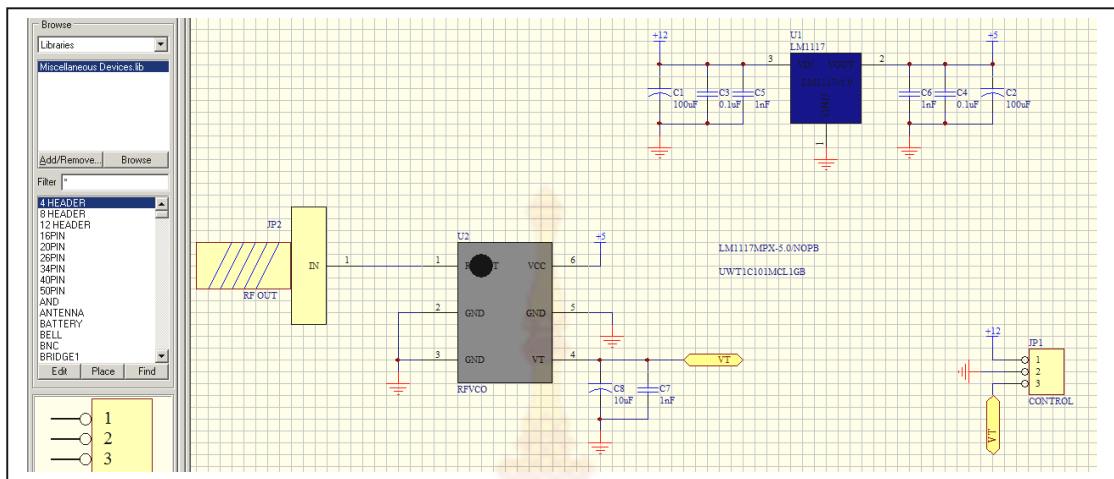
3.1



รูปที่ 3.1 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรถ่ายโดยใช้โปรแกรม AppCAD for Windows

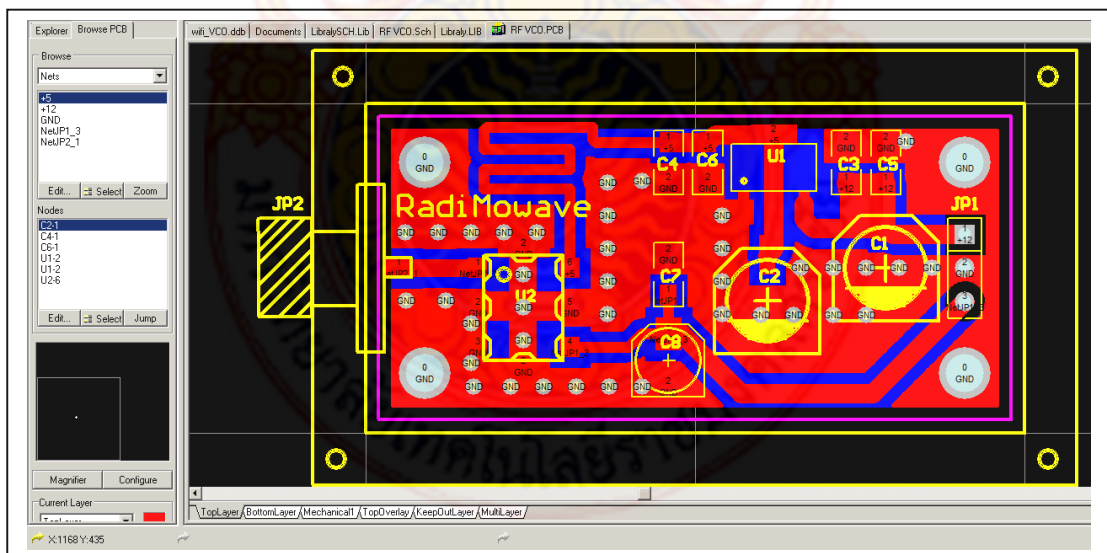
จากรูปที่ 3.1 เป็นการคำนวณหาค่าสายนำสัญญาณที่ใช้ในวงจรถ่ายกำเนิดความถี่สูงยิ่งเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบลายวงจรถ่ายโดยกำหนดให้วงจรมีความยาวทางไฟฟ้า (Electrical Length) เท่ากับ $\lambda/8$ ที่ความถี่กลาง 2.45GHz และได้กำหนดค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ดังต่อไปนี้

ค่า Dielectric ของฉนวนตัวนำให้เป็น	=	4.6
ความถี่กลางที่ใช้งาน	=	2.45GHz
กำหนดหน่วยมาตรฐาน	=	มิลลิเมตร mm
ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Z_0)	=	50โอห์ม
ความยาวทางไฟฟ้า	=	15.1 λ
ความยาวเชิงมุม	=	37.8 Degree
ความยาวคลื่น	=	66.224 mm
ϵ_{eff}	=	3.414
W/H	=	1.75



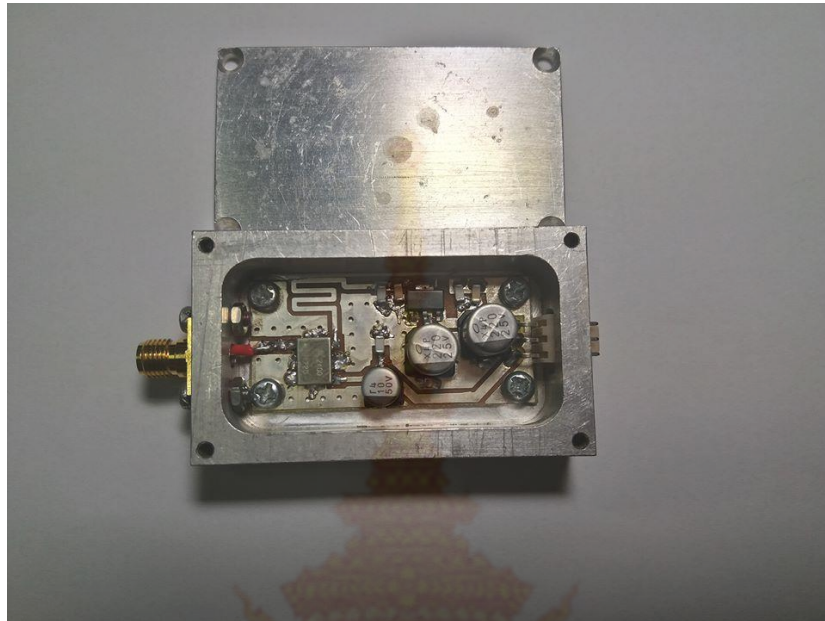
รูปที่ 3.2 การออกแบบวงจรสมมูลด้วยโปรแกรม Protel 99SE ของวงจรถ้าเนิดความถี่สูงยิ่ง

เมื่อทำการสั่งให้โปรแกรม AppCAD for Windows คำนวณเสร็จก็เข้าสู่กระบวนการออกแบบลายวงจรด้วยการออกแบบโดยใช้วงจรถ้าเนิดความถี่สูงยิ่งด้วยโปรแกรม Protel 99 SE ดังแสดงในรูปที่ 3.2 หลังจากนั้นทำการออกแบบลายวงจรถ้าเนิดความถี่สูงยิ่งด้วยโปรแกรม Protel 99 SE อีกครั้งดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การออกแบบลายวงจรด้วยโปรแกรม Protel 99SE ของวงจรถ้าเนิดความถี่สูงยิ่ง

ในการออกแบบนี้ได้เลือกเนื้อวัสดุที่ใช้งานที่ความสอดคล้องกับลักษณะงานโดยใช้คอนเน็คเตอร์สายนำสัญญาณเป็นแบบ SMA ที่มีค่าความนำสัญญาณสูงเหมาะกับงานความถี่สูงยิ่ง



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่งที่ได้จากการออกแบบ

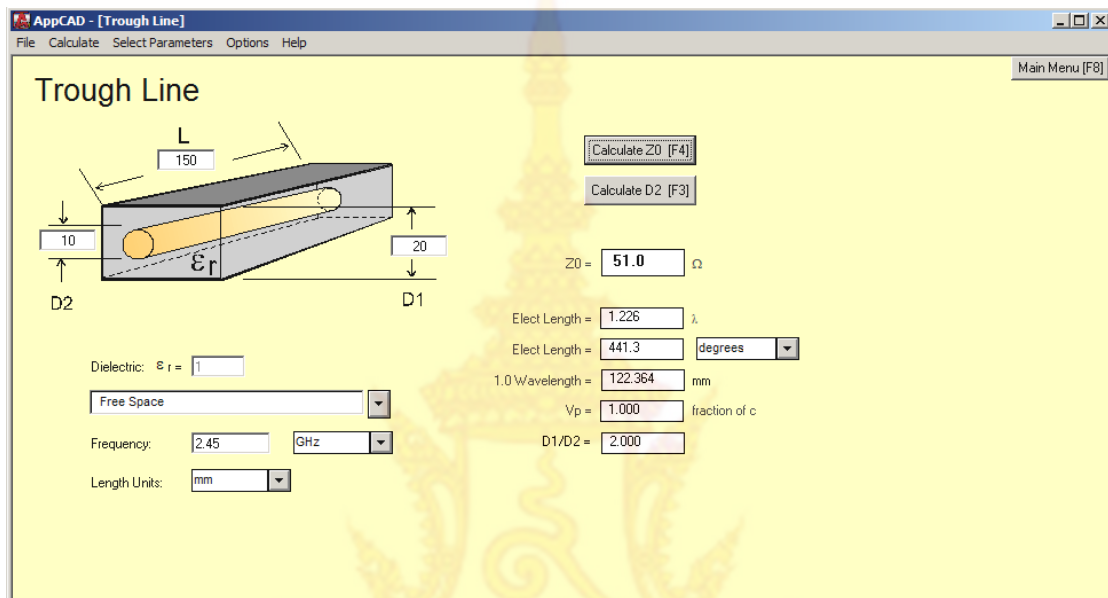
3.2 การออกแบบวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราความถี่สูงยิ่งในช่วงความถี่ (2.45 GHz)

กำหนดคุณสมบัติต่างๆให้กับวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพารา โดยจะมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ย่านความถี่ที่ใช้งาน Bandwidth (Bw) ค่ากำลังงานสูญเสียของช่วงความถี่ผ่าน (S_{21}) ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Z_0) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบต่างๆ ดังในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติต่างๆของวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพารา

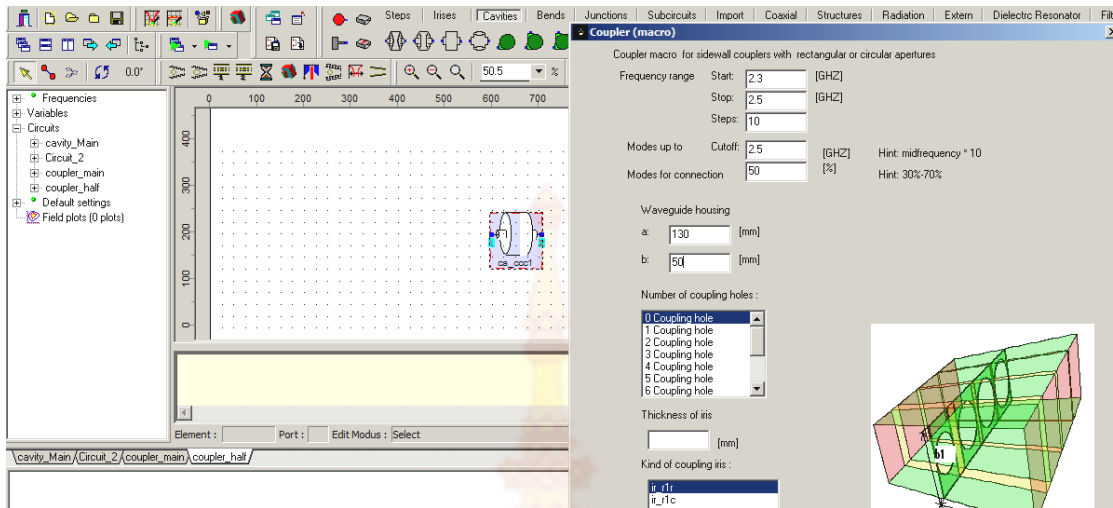
ค่าความถี่กลางที่ใช้งาน (f_0)	2450MHz
ย่านความถี่ที่ใช้งาน (Bw)	150MHz
ค่ากำลังงานสูญเสียของช่วงความถี่ผ่าน (S_{21})	ไม่เกิน 3dB
ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Z_0)	50 โอห์ม
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11})	-25dB
วัสดุฉนวนทางความถี่	อากาศ
จำนวนของเรโซเนเตอร์	1

นำค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไปคำนวณด้วยโปรแกรม AppCAD for Windows สำหรับการคำนวณแบบควิตีเพื่อทำการออกแบบหาค่าขนาดที่ต้องทำการออกแบบของเส้นเซอร์วิคนี้ย่างพารา โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ที่เกิดจากค่าความเป็นฉนวนทางความถี่ของน้ำ ย่างพาราที่เดิมลงไปเ็นเส้นเซอร์



รูปที่ 3.5 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรโดยใช้โปรแกรม AppCAD for Windows

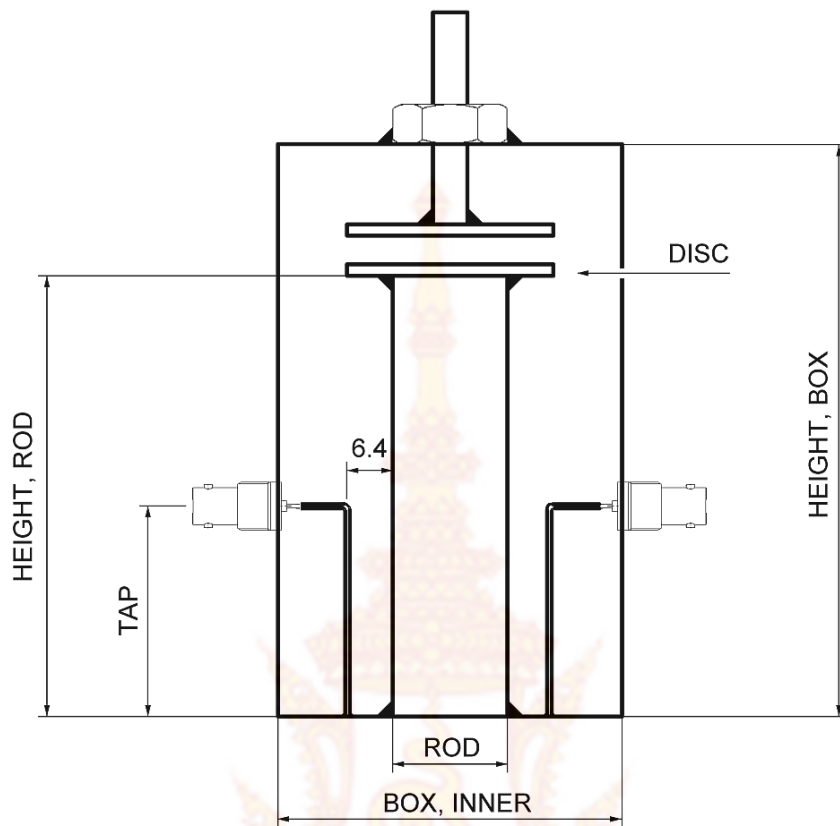
เมื่อทำการสั่งให้โปรแกรม AppCAD for Windows คำนวณเสร็จก็เข้าสู่กระบวนการจำลองการทำงานเพื่อหาผลตอบแทนทางความถี่และขนาดของเส้นเซอร์วิคนี้ด้วยโปรแกรม uWave Wizard ดังรูปที่ 3.6 ใช้ในการจำลองผลตอบแทนทางความถี่ที่เกิดขึ้นและหาค่าขนาดของเส้นเซอร์วิคนี้ทำการสร้างให้เหมาะสมโดยได้พารามิเตอร์ดังนี้



รูปที่ 3.6 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรโดยใช้โปรแกรม uWave Wizard

จากรูปที่ 3.6 เป็นการคำนวณหาค่าสายนำสัญญาณที่ใช้ในวงจรเซ็นเซอร์เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบวงจรเซ็นเซอร์โดยกำหนดให้วงจรมีความยาวทางไฟฟ้า(Electrical Length)เท่ากับ $\lambda/2$ ที่ความถี่กลาง 2.45GHz และได้กำหนดค่าพารามิเตอร์อื่นๆดังต่อไปนี้

ค่า Dielectric ของฉนวนตัวนำให้เป็น	=	1
ความถี่กลางที่ใช้งาน	=	2.45GHz
กำหนดหน่วยมาตรวัด	=	มิลลิเมตร mm
ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ (Z_0)	=	50 โอห์ม
ความยาวทางไฟฟ้า	=	1.226 λ
ความยาวเชิงมุม	=	1.2258 Degree
ความยาวคลื่น	=	122.364 mm
W/H	=	2



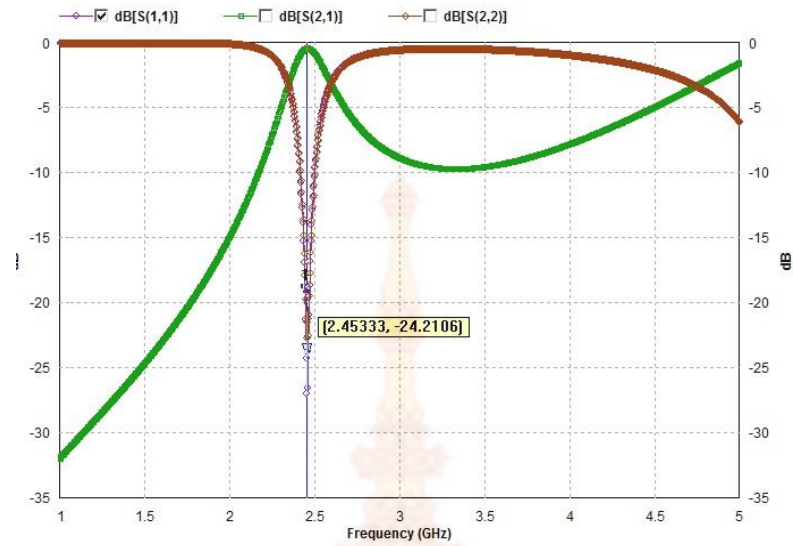
รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างของวงจรรีโซเนเตอร์แบบควอตซ์

ในส่วนของค่าตัวประกอบคุณภาพภายนอกจากการจำลองคุณภาพของตัวรีโซเนเตอร์ต้นแบบ จะสามารถหาได้ว่า ตัวประกอบคุณภาพภายนอกจะเท่ากับค่าความถี่กลางของตัวรีโซเนเตอร์ต้นแบบหารด้วยแบนด์วิธ -3dB ดังแสดงในสมการที่ 3-1

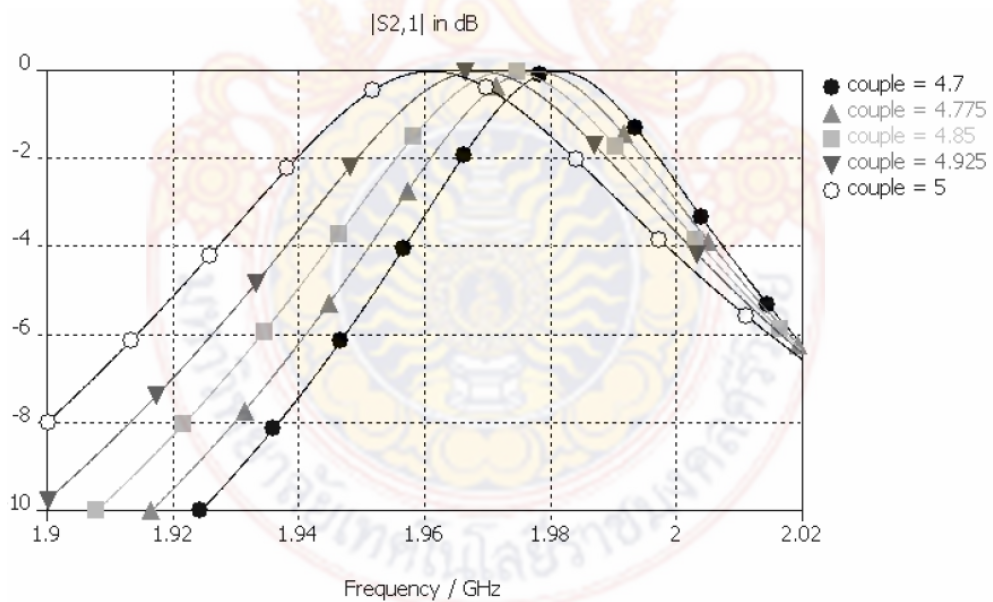
$$Q_e = \frac{f_0}{\Delta f_{3dB}} \quad (3-1)$$

เมื่อ f_0 คือความถี่กลางของวงจรรีโซเนเตอร์

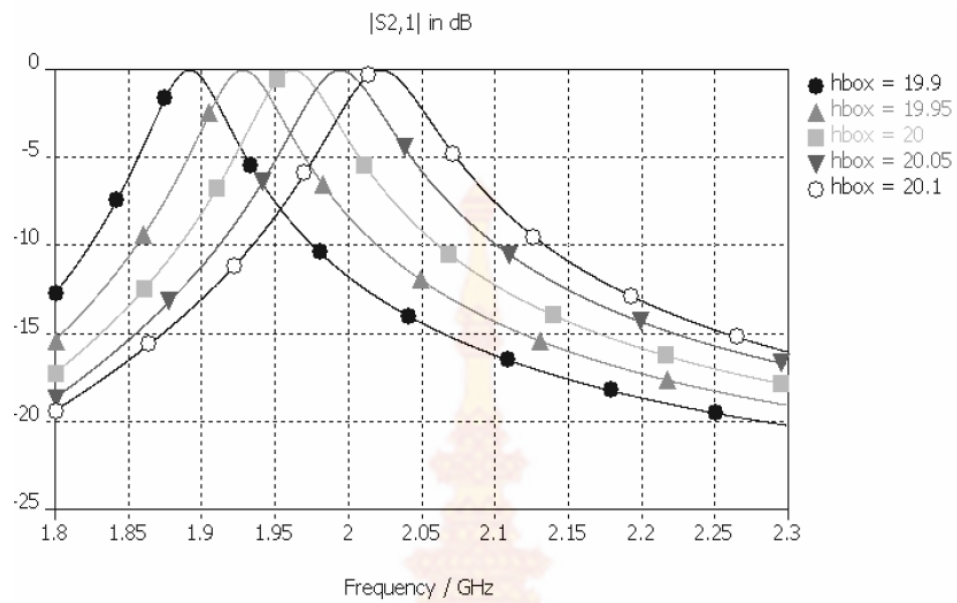
Δf_{3dB} คือแบนด์วิธที่ -3dB



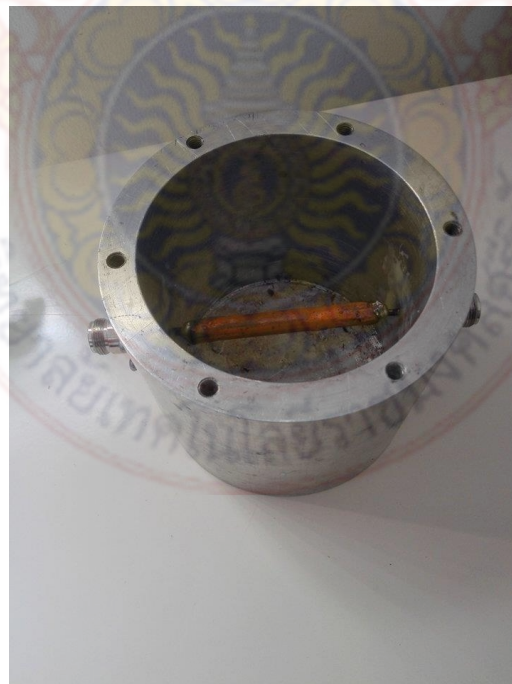
รูปที่ 3.8 ผลการตอบสนองความถี่จากการกระตุ้นสัญญาณที่วงจรเซ็นเซอร์ด้วยโปรแกรมจำลองการทำงาน



รูปที่ 3.9 ผลการตอบสนองความถี่เมื่อเปลี่ยนความยาวของตำแหน่งหัวโพรบ

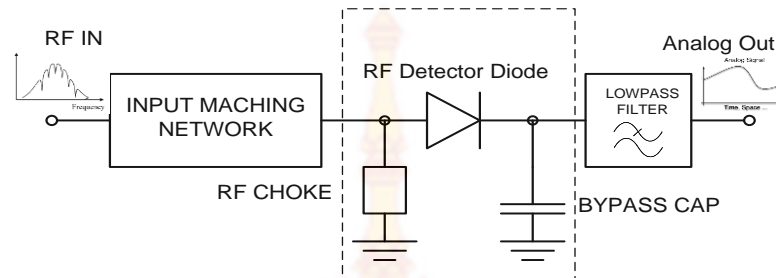


รูปที่ 3.10 ผลการตอบสนองความถี่เมื่อเปลี่ยนความสูงของเซ็นเซอร์



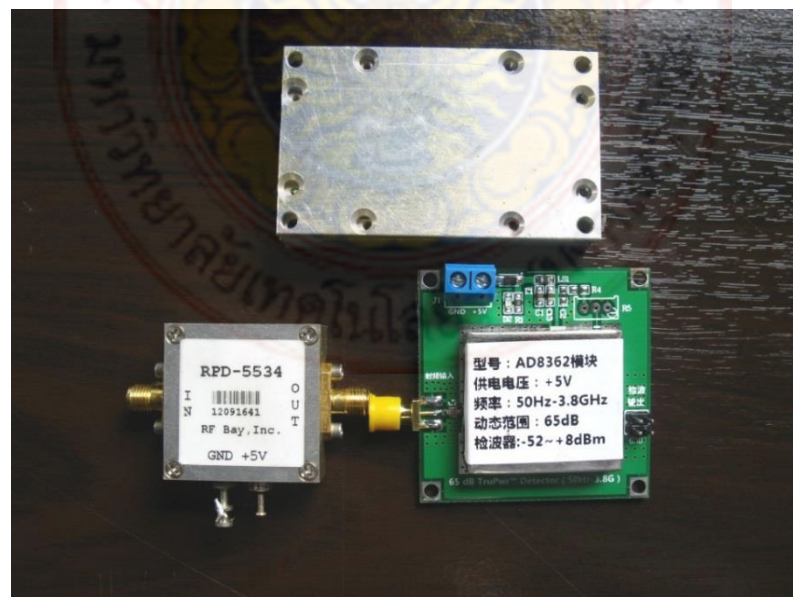
รูปที่ 3.11 แสดงโครงสร้างของวงจรเซ็นเซอร์แบบควาวิตี้

3.3 การออกแบบวงจรตรวจจับค่าพลังงานช่วงความถี่ (2.34 GHz – 2.50 GHz)



รูปที่ 3.12 วงจรสมมูลของวงจรตรวจจับค่าพลังงาน

วงจรถนั้เตคเตอรืความถี่สูง (RF Detector) ในการออกแบบเมื่อกำการรับค่าสัญญาณอินพุตที่มาจากวงจรมไโครสตรืประโซเนเตอรืจะเข้าสู่วงจรืโครงข่ายเหมาะสม(Matching network) เพื่อกำการปรับค่าของอิมพีแดนซ์ของวงจรืให้เหมาะสมเนื่อกำภาคเอาต์พุตของวงจรืเช่นเซอร์นั้ยงพารากำภาคอินพุตของ วงจรถนั้เตคเตอรืความถี่สูง (RF Detector) มีค่าที่ไม่เท่ากันซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณสูญเลยในระบบเกิดขึ้น เมื่อกำสัญญาณเข้ามาสู่ภาคตีเทคเตอรืความถี่สูง (RF Detector) จะถูกแปลงสัญญาณจาก ความถี่ ให้เป็นสัญญาณอนาล็อก แล้วผ่าน วงจรรองความถี่ต่ำเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนออกไป แล้วส่งต่อไปยังอุปกรณ์การเก็บรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลจริง DAQ(Data acquisition)



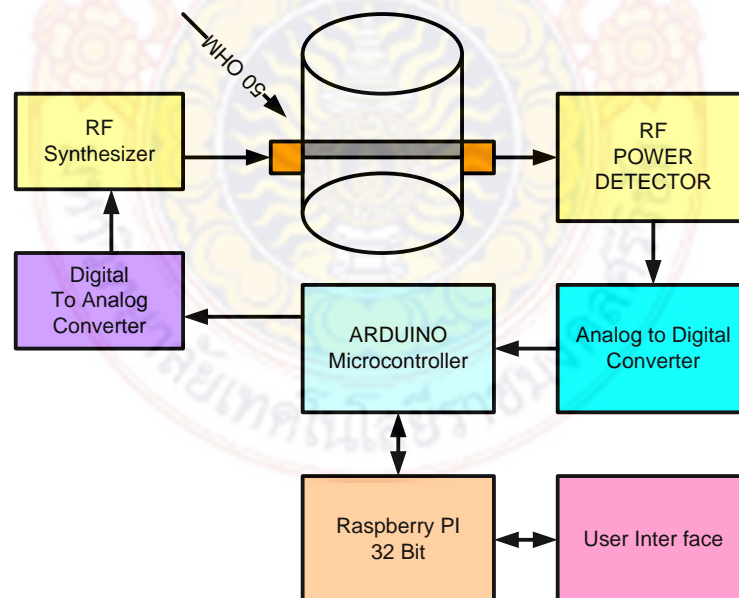
รูปที่ 3.13 วงจรถนั้เตคเตอรืจับค่าพลังงานช่วงความถี่ (2.35GHz-2.50GHz)

3.4 การประกอบอุปกรณ์

ออกแบบการทดลองโดยการนำอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานประกอบไปด้วย

- วงจรกำเนิดความถี่สูงย่านความถี่ 2.3-2.5GHz
- เซ็นเซอร์น้ำยาฆราวาสความถี่สูงในช่วงความถี่ (2.45GHz)
- วงจรตรวจจับค่าพลังงานช่วงความถี่ (2.35GHz-2.50GHz)

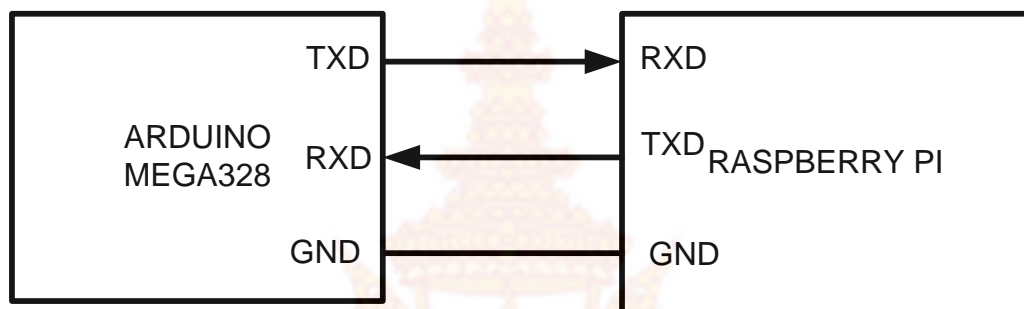
โดยการทดลองนำอุปกรณ์มาประกอบตามบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.14 แสดงการต่อวงจรของอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางในน้ำยาฆราวาสโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่งโดยระบบจะประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ขนาด 8 บิต Arduino Mega328 ทำหน้าที่ส่งคำสั่งควบคุมโมดูล MCP8302 ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (Digital to Analog Converter : A/D) เพื่อทำการควบคุมวงจรถ่ายความถี่สูงย่านความถี่ 2.3-2.5GHz ให้กำเนิดความถี่และป้อนความถี่เข้าไปยังวงจรเซ็นเซอร์น้ำยาฆราวาสความถี่สูงยิ่งในช่วงความถี่ (2.45GHz) เมื่อทำการป้อนเข้าสู่วงจร แล้วจะทำการเติมน้ำยาฆราวาสที่ทำการทดสอบเข้าไปยังวงจรเซ็นเซอร์น้ำยาฆราวาสโดยจะมีปริมาตรเท่ากับ 200 มิลลิตร เพื่อให้ น้ำยาฆราวาสที่ทำการทดสอบแทนเสมือนตัวฉนวนความถี่ของคลื่นที่เดินทางบนตัวนำเมื่อค่าฉนวนความถี่เปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลให้ค่ากำลังงานความถี่สูงที่ส่งผ่านเข้ามายังวงจรเซ็นเซอร์น้ำยาฆราวาสมีกำลังงานที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3.14 ไดอะแกรมของอุปกรณ์วัดปริมาณเนื้อยางในน้ำยาฆราวาสโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่ง

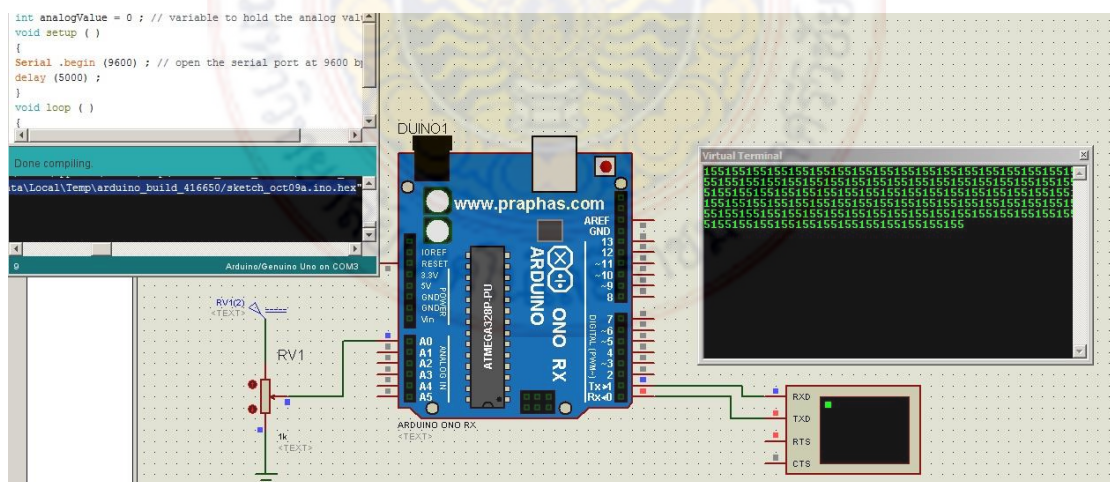
3.5 การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

เขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ด้วยโปรแกรมภาษา C เพื่อทำการควบคุมตัวกำเนิดความถี่สูงยิ่งและทำการรับค่าพลังงานที่ได้จากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยาพาราและทำการเขียนโปรแกรมเพื่อทำการติดต่อกับระบบซอฟต์แวร์ส่วนกลาง (Middle ware) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไมโครคอมพิวเตอร์ขนาด 32บิต Raspberry PI ผ่านทางการเชื่อมต่อด้วยมาตรฐานอนุกรม RS232 โดยแสดงการเชื่อมต่อระหว่างArduino กับ Raspberry PI ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ไดอะแกรมของการเชื่อมต่อระหว่างARDUINO กับ Raspberry PI แบบไขว้

ทำการจำลองการอ่านข้อมูลนาฬิกาที่เข้าสู่ขา Analog 0 ของ ARDUINOและจำลองการส่งข้อมูลผ่านทางมาตรฐานอนุกรม RS232 ด้วยโปรแกรม Proteus 7.0 ดังแสดงในรูปที่ 3.16



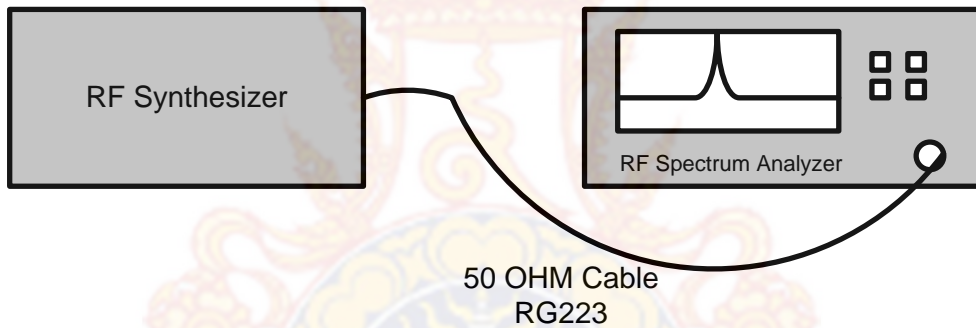
รูปที่ 3.16 จำลองการอ่านข้อมูลนาฬิกาของ ARDUINO

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

4.1 การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่ง

ขั้นตอนการทดสอบการวัดค่าพลังงานโดยตรงจากวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่สูงยิ่งแสดงในรูปค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านกำลังงาน S21 โดยนำวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่สูงทำการเชื่อมต่อโดยตรงกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน สเปกตรัมมอณาไลเซอร์และทำการบันทึกผลการทดลองเป็นค่ากำลังงานที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ทำการออกแบบโดยการทดสอบแสดงดังบล็อกไดอะแกรมของการวัดค่าพลังงานจากรูปที่ 4.1 ดังแสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการวัดทดสอบกับเครื่องมือวัดค่ากำลังงานมาตรฐาน ด้วยเครื่องสเปกตรัมมอณาไลเซอร์ 0-3GHz

ตารางที่ 4.1 ค่ากำลังและความถี่ที่ได้จากวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่งในช่วงความถี่
2.35GHz-2.5GHz ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

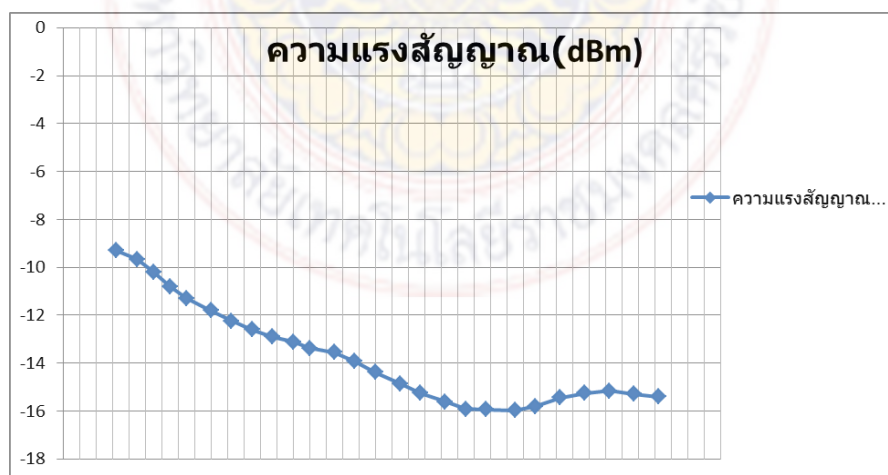
แรงดัน (Volt)	ความถี่ (GHz)	ความแรงสัญญาณ (dBm)
0	2.373	-9.30
0.2	2.378	-9.67
0.4	2.382	-10.20
0.6	2.386	-10.80
0.8	2.390	-11.30
1.0	2.396	-11.80
1.2	2.401	-12.25
1.4	2.406	-12.60
1.6	2.411	-12.90
1.8	2.416	-13.12
2.0	2.420	-13.37
2.2	2.426	-13.55
2.4	2.431	-13.93
2.6	2.436	-14.38
2.8	2.442	-14.85
3.0	2.447	-15.25
3.2	2.453	-15.62
3.4	2.458	-15.92
3.6	2.463	-15.93
3.8	2.470	-15.97
4.0	2.475	-15.8
4.2	2.481	-15.45
4.4	2.487	-15.26
4.6	2.493	-15.16
4.8	2.499	-15.30
5.0	2.505	-15.40

จากค่ากำลังงานและความถี่ที่ทำการวัดและทดสอบได้ด้วยเครื่องสเปกตรัมอนาล็อกเซอร์ 0-3GHz เราสามารถนำมาทำการแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ทำการปรับค่าความถี่กับความถี่ที่เปลี่ยนไป ในช่วงแรงดันตั้งแต่ 0-5VDC ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ทำการปรับค่าความถี่กับความถี่ที่เปลี่ยนไป ในช่วงแรงดันตั้งแต่ 0-5VDC

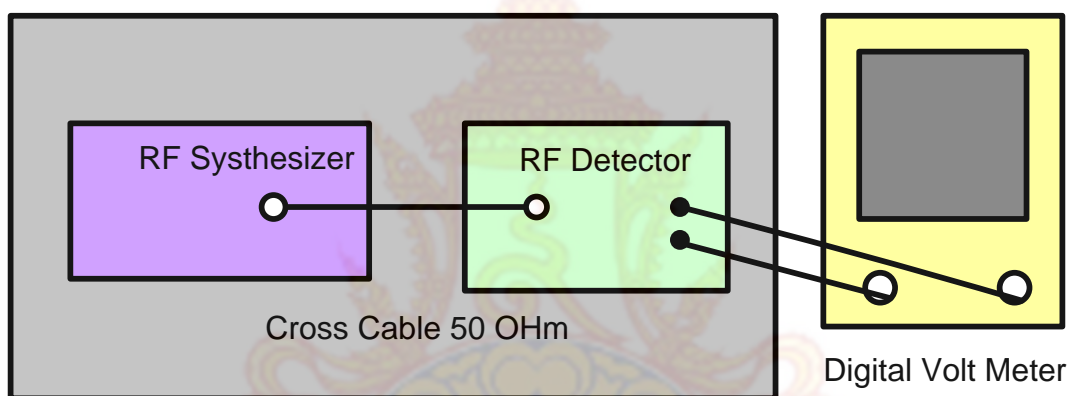
จากค่ากำลังงานและความถี่ที่ทำการวัดและทดสอบได้ด้วยเครื่องสเปกตรัมอนาล็อกเซอร์ 0-3GHz เราสามารถนำมาทำการแสดงค่าของกำลังงานที่วงจรกำเนิดความถี่สูงยังทำการส่งกำลังงานออกมาตั้งแต่ความถี่ 2.35GHz ถึง 2.5GHz ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ทำการปรับค่าความถี่กับความถี่ที่เปลี่ยนไป ในช่วงแรงดันตั้งแต่ 0-5VDC

4.2 การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่งด้วยวงจรตรวจจับกำลังงาน

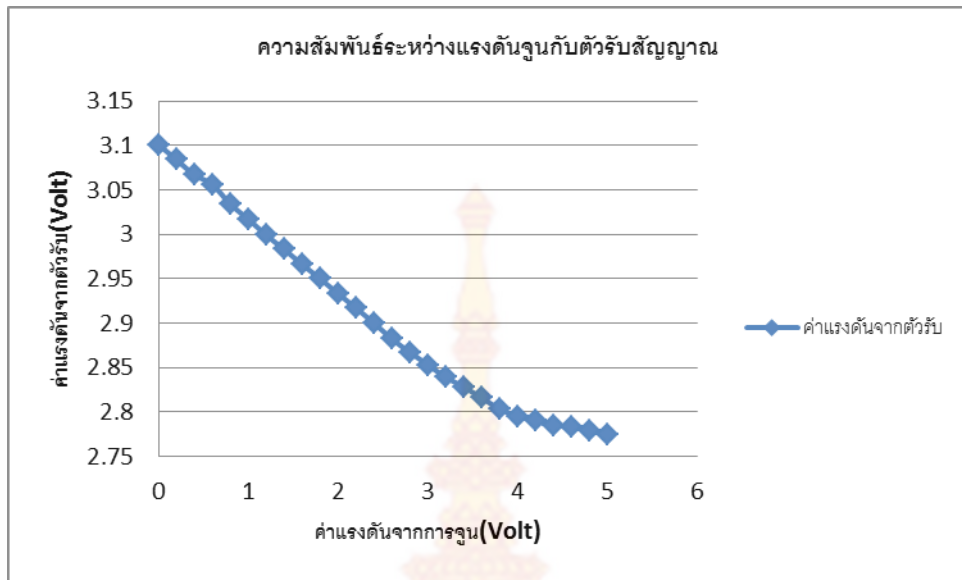
ขั้นตอนการทดสอบการวัดค่าพลังงานโดยตรงจากวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่สูงยิ่งด้วยวงจรตรวจจับกำลังงาน โดยนำวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่สูงทำการเชื่อมต่อโดยตรงกับวงจรตรวจจับกำลังงานและทำการบันทึกผลการทดลองเป็นค่ากำลังงานที่ได้เป็นแรงดันจากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ทำการออกแบบโดยการทดสอบแสดงดังบล็อกไดอะแกรมของการวัดค่าพลังงานจากรูปที่ 4.4 ดังแสดงในตารางที่ 4.2



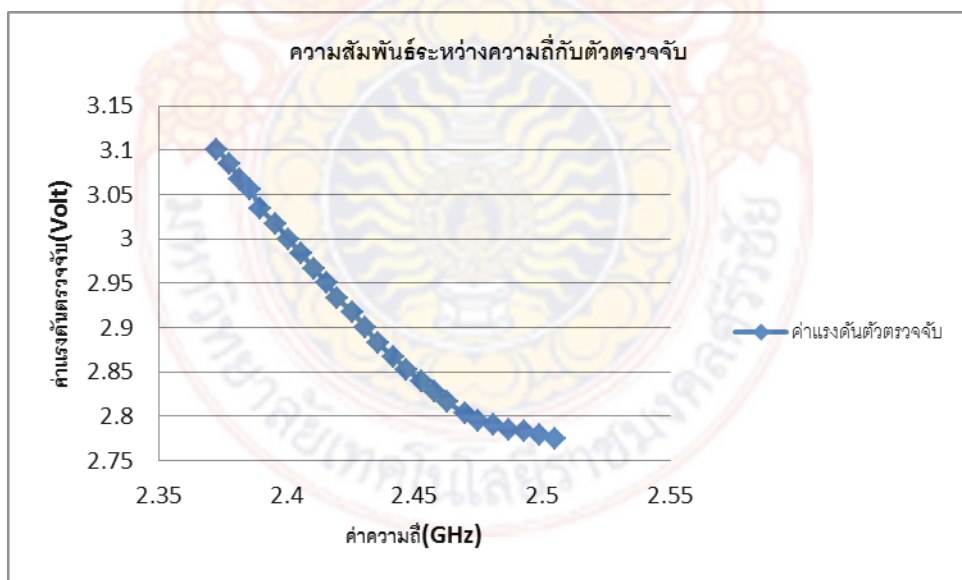
รูปที่ 4.4 การวัดทดสอบกับวงจรตรวจจับกำลังงานด้วยเครื่องมือวัดค่าแรงดัน(Volt meter)

ตารางที่ 4.2 ค่ากำลังและความถี่ที่ได้จากวงจรกำเนิดความถี่สูงยิ่งเมื่อทำการเชื่อมต่อโดยตรงกับ
วงจรถววจับสัญญาณที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

แรงดัน INPUT (V _{tune})	แรงดันจากตัวตรวจจับ (V Detect)
0	3.101
0.2	3.084
0.4	3.067
0.6	3.056
0.8	3.034
1	3.017
1.2	2.999
1.4	2.983
1.6	2.966
1.8	2.950
2.0	2.933
2.2	2.917
2.4	2.900
2.6	2.882
2.8	2.867
3.0	2.853
3.2	2.839
3.4	2.828
3.6	2.816
3.8	2.803
4	2.795
4.2	2.790
4.4	2.785
4.6	2.783
4.8	2.779
5	2.774



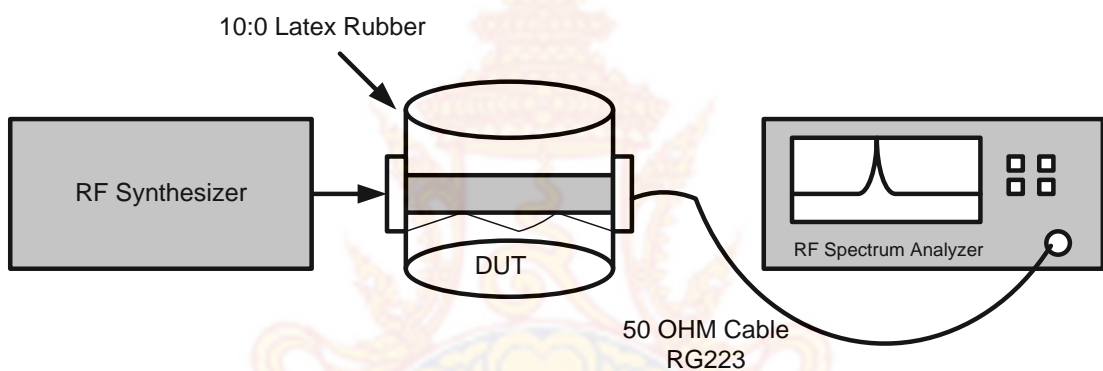
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ทำการปรับค่าความถี่กับค่าพลังงานที่เปลี่ยนไปได้จากตัวรับสัญญาณ



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ทำการปรับค่าความถี่กับค่าพลังงานที่เปลี่ยนไปได้จากตัวรับสัญญาณ

4.3 การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราดีมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 10:0 ส่วน

ขั้นตอนการทดสอบการวัดค่าพลังงานวัดค่าพลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราและทำการวัดค่าพลังงานที่ได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน สเปกตรัมร่อนาไลเซอร์และการวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานและทำการบันทึกผลการทดลองเป็นค่ากำลังงานที่ได้เป็นแรงดันจากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ทำการออกแบบโดยการทดสอบแสดงดังไดอะแกรมของการวัดค่าพลังงานจากรูปที่ 4.7 ดังแสดงในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.7 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพารา 10:0

ตารางที่ 4.3 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดัน
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 10:0 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

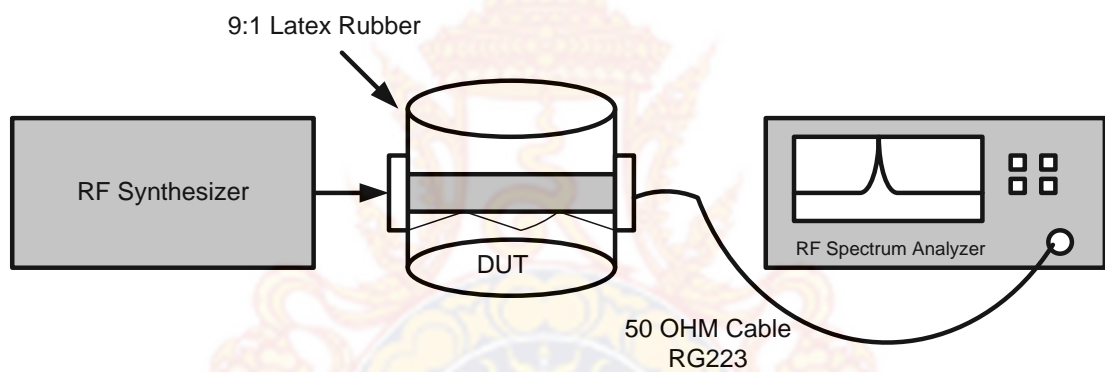
แรงดัน INPUT (V tune)	แรงดันจากตัวตรวจจับ (V Detect)
0	1.107
0.2	1.109
0.4	1.113
0.6	1.123
0.8	1.134
1	1.149
1.2	1.168
1.4	1.196
1.6	1.227
1.8	1.257
2.0	1.290
2.2	1.331
2.4	1.374
2.6	1.418
2.8	1.451
3.0	1.475
3.2	1.490
3.4	1.496
3.6	1.492
3.8	1.480
4	1.460
4.2	1.430
4.4	1.398
4.6	1.373
4.8	1.356
5	1.334

ตารางที่ 4.4 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางด้วย สเปกตรัมอานาไลเซอร์
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 10:0 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

แรงดัน (Volt)	ความถี่ (GHz)	ความแรงสัญญาณ (dBm)
0	2.373	-15.40
0.2	2.378	-15.61
0.4	2.382	-15.57
0.6	2.386	-15.72
0.8	2.390	-15.80
1.0	2.396	-15.90
1.2	2.401	-16.01
1.4	2.406	-15.97
1.6	2.411	-15.87
1.8	2.416	-15.74
2.0	2.420	-15.50
2.2	2.426	-15.31
2.4	2.431	-15.17
2.6	2.436	-14.71
2.8	2.442	-14.21
3.0	2.447	-13.40
3.2	2.453	-12.82
3.4	2.458	-12.37
3.6	2.463	-11.96
3.8	2.470	-11.75
4.0	2.475	-11.62
4.2	2.481	-11.69
4.4	2.487	-11.68
4.6	2.493	-11.62
4.8	2.499	-11.71
5.0	2.505	-11.94

4.4 การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราติบมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 9:1 ส่วน

ขั้นตอนการทดสอบการวัดค่าพลังงานวัดค่าพลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราและทำการวัดค่าพลังงานที่ได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน สเปกตรัมอนาไลเซอร์และการวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานและทำการบันทึกผลการทดลองเป็นค่ากำลังงานที่ได้เป็นแรงดันจากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ทำการออกแบบโดยการทดสอบแสดงดังบล็อกไดอะแกรมของการวัดค่าพลังงานจากรูปที่ 4.8 ดังแสดงในตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.8 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพารา 9:1

ตารางที่ 4.5 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดัน
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 9:1 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

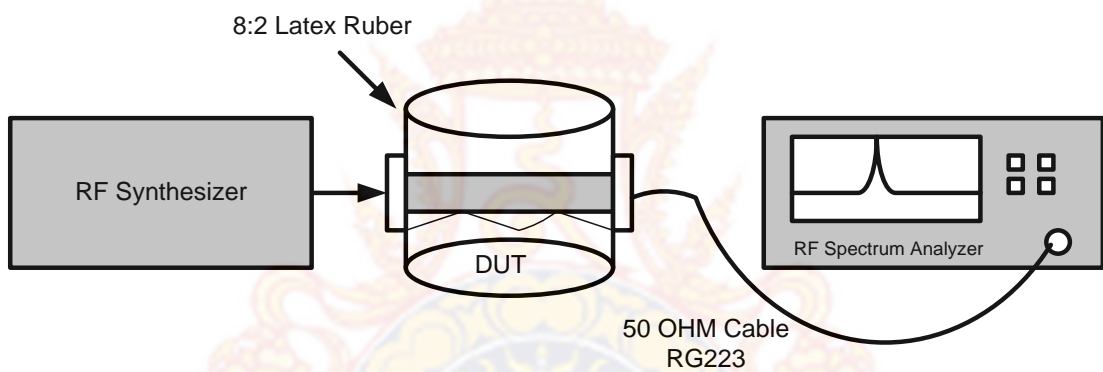
แรงดัน INPUT (V tune)	แรงดันจากตัวตรวจจับ (V Detect)
0	1.042
0.2	1.051
0.4	1.058
0.6	1.068
0.8	1.085
1	1.105
1.2	1.130
1.4	1.165
1.6	1.199
1.8	1.236
2.0	1.275
2.2	1.321
2.4	1.374
2.6	1.429
2.8	1.470
3.0	1.501
3.2	1.519
3.4	1.522
3.6	1.514
3.8	1.496
4	1.470
4.2	1.435
4.4	1.394
4.6	1.370
4.8	1.357
5	1.369

ตารางที่ 4.6 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราด้วย สเปกตรัมอนาไลเซอร์
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 9:1 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

แรงดัน (Volt)	ความถี่ (GHz)	ความแรงสัญญาณ (dBm)
0	2.373	-15.11
0.2	2.378	-15.23
0.4	2.382	-15.21
0.6	2.386	-15.10
0.8	2.390	-15.05
1.0	2.396	-15.20
1.2	2.401	-15.26
1.4	2.406	-15.13
1.6	2.411	-15.04
1.8	2.416	-14.80
2.0	2.420	-14.50
2.2	2.426	-14.42
2.4	2.431	-13.91
2.6	2.436	-13.46
2.8	2.442	-13.04
3.0	2.447	-12.54
3.2	2.453	-11.80
3.4	2.458	-11.49
3.6	2.463	-11.27
3.8	2.470	-11.15
4.0	2.475	-11.17
4.2	2.481	-11.72
4.4	2.487	-11.78
4.6	2.493	-11.96
4.8	2.499	-11.84
5.0	2.505	-11.75

4.5 การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราดีมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 8:2 ส่วน

ขั้นตอนการทดสอบการวัดค่าพลังงานวัดค่าพลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราและทำการวัดค่าพลังงานที่ได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน สเปกตรัมอนาไลเซอร์และการวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานและทำการบันทึกผลการทดลองเป็นค่ากำลังงานที่ได้เป็นแรงดันจากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ทำการออกแบบโดยการทดสอบแสดงดังบล็อกไดอะแกรมของการวัดค่าพลังงานจากรูปที่ 4.9 ดังแสดงในตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.9 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพารา 8:2

ตารางที่ 4.7 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดัน
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 8:2 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

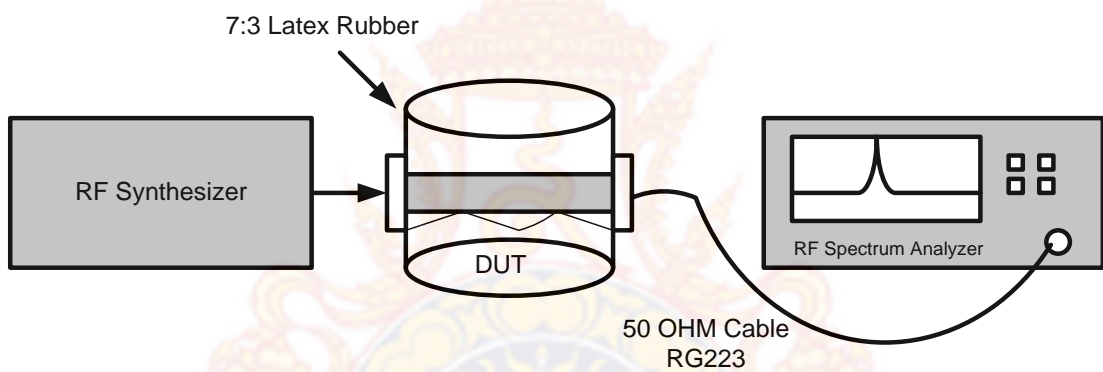
แรงดัน INPUT (V tune)	แรงดันจากตัวตรวจจับ (V Detect)
0	1.000
0.2	0.986
0.4	0.981
0.6	0.984
0.8	0.991
1	1.003
1.2	1.025
1.4	1.060
1.6	1.099
1.8	1.138
2.0	1.177
2.2	1.217
2.4	1.252
2.6	1.287
2.8	1.318
3.0	1.343
3.2	1.363
3.4	1.374
3.6	1.372
3.8	1.360
4	1.340
4.2	1.314
4.4	1.286
4.6	1.266
4.8	1.251
5	1.233

ตารางที่ 4.8 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราด้วย สเปกตรัมอนาไลเซอร์
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 8:2 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

แรงดัน (Volt)	ความถี่ (GHz)	ความแรงสัญญาณ (dBm)
0	2.373	-15.80
0.2	2.378	-15.65
0.4	2.382	-15.71
0.6	2.386	-15.79
0.8	2.390	-15.88
1.0	2.396	-15.01
1.2	2.401	-16.21
1.4	2.406	-15.92
1.6	2.411	-15.86
1.8	2.416	-15.73
2.0	2.420	-15.54
2.2	2.426	-15.27
2.4	2.431	-14.95
2.6	2.436	-14.50
2.8	2.442	-14.00
3.0	2.447	-13.40
3.2	2.453	-12.70
3.4	2.458	-12.30
3.6	2.463	-11.87
3.8	2.470	-11.66
4.0	2.475	-11.62
4.2	2.481	-11.65
4.4	2.487	-11.78
4.6	2.493	-11.75
4.8	2.499	-11.70
5.0	2.505	-13.00

4.6 การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราติบมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 7:3 ส่วน

ขั้นตอนการทดสอบการวัดค่าพลังงานวัดค่าพลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราและทำการวัดค่าพลังงานที่ได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน สเปกตรัมมอณาไลเซอร์และการวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานและทำการบันทึกผลการทดลองเป็นค่ากำลังงานที่ได้เป็นแรงดันจากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ทำการออกแบบโดยการทดสอบแสดงดังไดอะแกรมของการวัดค่าพลังงานจากรูปที่ 4.10 ดังแสดงในตารางที่ 4.9



รูปที่ 4.10 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพารา 7:3

ตารางที่ 4.9 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดัน ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 7:3 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

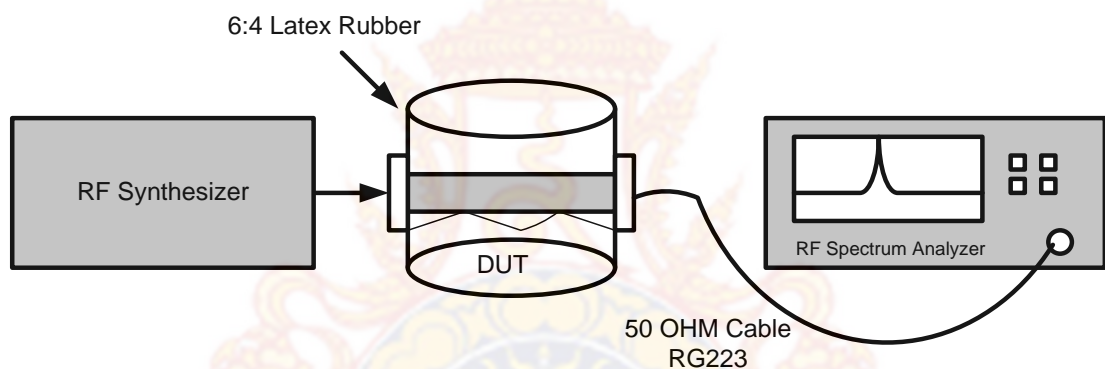
แรงดัน INPUT (Vtune)	แรงดันจากตัวตรวจจับ (V Detect)
0	0.908
0.2	0.888
0.4	0.870
0.6	0.851
0.8	0.845
1	0.833
1.2	0.827
1.4	0.824
1.6	0.835
1.8	0.845
2.0	0.857
2.2	0.873
2.4	0.891
2.6	0.913
2.8	0.936
3.0	0.965
3.2	1.002
3.4	1.051
3.6	1.089
3.8	1.112
4	1.117
4.2	1.093
4.4	1.063
4.6	1.042
4.8	1.010
5	0.964

ตารางที่ 4.10 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราด้วย สเปกตรัมอนาไลเซอร์
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 7:3 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

แรงดัน (Volt)	ความถี่ (GHz)	ความแรงสัญญาณ (dBm)
0	2.373	-20.04
0.2	2.378	-21.17
0.4	2.382	-21.25
0.6	2.386	-21.31
0.8	2.390	-21.38
1.0	2.396	-21.60
1.2	2.401	-21.78
1.4	2.406	-21.89
1.6	2.411	-22.12
1.8	2.416	-22.01
2.0	2.420	-21.95
2.2	2.426	-21.65
2.4	2.431	-21.09
2.6	2.436	-20.54
2.8	2.442	-19.78
3.0	2.447	-18.76
3.2	2.453	-17.90
3.4	2.458	-16.95
3.6	2.463	-16.20
3.8	2.470	-15.70
4.0	2.475	-15.41
4.2	2.481	-15.37
4.4	2.487	-15.42
4.6	2.493	-15.53
4.8	2.499	-15.86
5.0	2.505	-16.20

4.7 การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราดีมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 6:4 ส่วน

ขั้นตอนการทดสอบการวัดค่าพลังงานวัดค่าพลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราและทำการวัดค่าพลังงานที่ได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน สเปกตรัมอนาไลเซอร์และการวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานและทำการบันทึกผลการทดลองเป็นค่ากำลังงานที่ได้เป็นแรงดันจากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ทำการออกแบบโดยการทดสอบแสดงดังบล็อกไดอะแกรมของการวัดค่าพลังงานจากรูปที่ 4.11 ดังแสดงในตารางที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพารา 6:4

ตารางที่ 4.11 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดัน
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 6:4 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

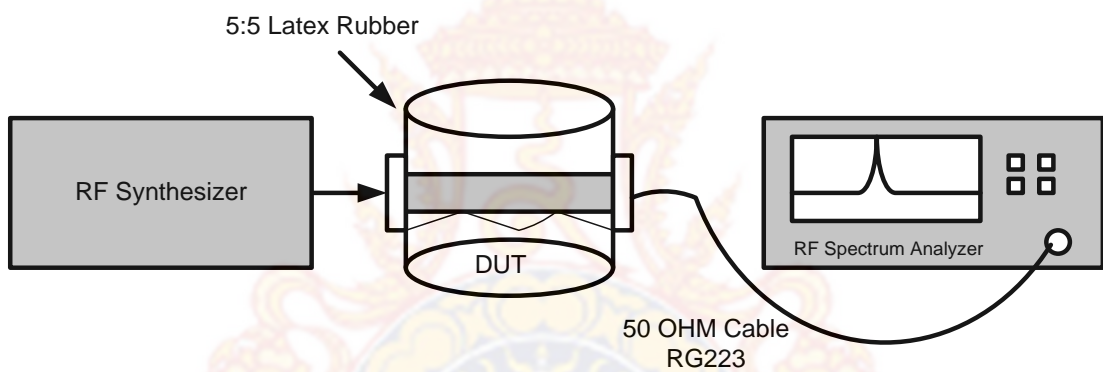
แรงดัน INPUT (V tune)	แรงดันจากตัวตรวจจับ (V Detect)
0	0.880
0.2	0.881
0.4	0.865
0.6	0.848
0.8	0.841
1	0.821
1.2	0.820
1.4	0.818
1.6	0.822
1.8	0.832
2.0	0.845
2.2	0.868
2.4	0.884
2.6	0.900
2.8	0.922
3.0	0.953
3.2	1.000
3.4	1.034
3.6	1.078
3.8	1.101
4	1.106
4.2	1.086
4.4	1.050
4.6	1.040
4.8	1.002
5	0.951

ตารางที่ 4.12 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราด้วย สเปกตรัมอนาไลเซอร์
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 6:4 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

แรงดัน (Volt)	ความถี่ (GHz)	ความแรงสัญญาณ (dBm)
0	2.373	-15.23
0.2	2.378	-15.42
0.4	2.382	-15.48
0.6	2.386	-15.79
0.8	2.390	-16.12
1.0	2.396	-16.24
1.2	2.401	-16.78
1.4	2.406	-17.17
1.6	2.411	-17.28
1.8	2.416	-17.39
2.0	2.420	-17.53
2.2	2.426	-17.67
2.4	2.431	-17.35
2.6	2.436	-16.98
2.8	2.442	-16.55
3.0	2.447	-15.98
3.2	2.453	-15.41
3.4	2.458	-14.99
3.6	2.463	-14.66
3.8	2.470	-14.35
4.0	2.475	-14.12
4.2	2.481	-13.94
4.4	2.487	-13.85
4.6	2.493	-13.72
4.8	2.499	-13.63
5.0	2.505	-13.77

4.8 การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราติบมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 5:5 ส่วน

ขั้นตอนการทดสอบการวัดค่าพลังงานวัดค่าพลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราและทำการวัดค่าพลังงานที่ได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน สเปกตรัมอนาไลเซอร์และการวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานและทำการบันทึกผลการทดลองเป็นค่ากำลังงานที่ได้เป็นแรงดันจากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ทำการออกแบบโดยการทดสอบแสดงดังบล็อกไดอะแกรมของการวัดค่าพลังงานจากรูปที่ 4.12 ดังแสดงในตารางที่ 4.13



รูปที่ 4.12 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพารา 5:5

ตารางที่ 4.13 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดัน
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 5:5 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

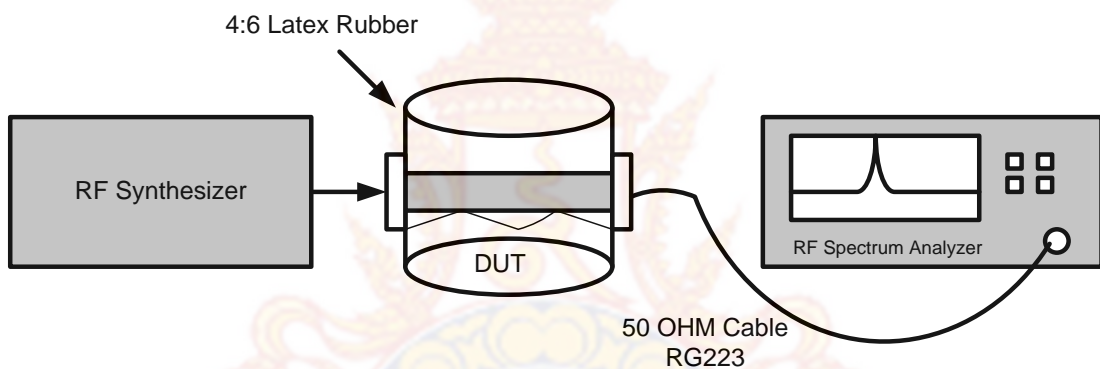
แรงดัน INPUT (V tune)	แรงดันจากตัวตรวจจับ (V Detect)
0	0.865
0.2	0.864
0.4	0.850
0.6	0.840
0.8	0.834
1	0.827
1.2	0.818
1.4	0.813
1.6	0.816
1.8	0.819
2.0	0.825
2.2	0.832
2.4	0.841
2.6	0.852
2.8	0.865
3.0	0.881
3.2	0.901
3.4	0.925
3.6	0.951
3.8	0.971
4	0.980
4.2	0.972
4.4	0.955
4.6	0.937
4.8	0.915
5	0.887

ตารางที่ 4.14 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราด้วย สเปกตรัมอนาไลเซอร์
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 5:5 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

แรงดัน (Volt)	ความถี่ (GHz)	ความแรงสัญญาณ (dBm)
0	2.373	-20.84
0.2	2.378	-21.08
0.4	2.382	-21.14
0.6	2.386	-21.27
0.8	2.390	-21.41
1.0	2.396	-21.70
1.2	2.401	-22.01
1.4	2.406	-22.41
1.6	2.411	-22.64
1.8	2.416	-22.70
2.0	2.420	-22.57
2.2	2.426	-22.31
2.4	2.431	-21.88
2.6	2.436	-21.34
2.8	2.442	-20.52
3.0	2.447	-19.75
3.2	2.453	-18.92
3.4	2.458	-18.20
3.6	2.463	-17.69
3.8	2.470	-17.14
4.0	2.475	-16.68
4.2	2.481	-16.79
4.4	2.487	-16.61
4.6	2.493	-16.73
4.8	2.499	-16.95
5.0	2.505	-17.16

4.9 การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราติบมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 4:6 ส่วน

ขั้นตอนการทดสอบการวัดค่าพลังงานวัดค่าพลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราและทำการวัดค่าพลังงานที่ได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน สเปกตรัมอนาไลเซอร์และการวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานและทำการบันทึกผลการทดลองเป็นค่ากำลังงานที่ได้เป็นแรงดันจากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ทำการออกแบบโดยการทดสอบแสดงดังบล็อกไดอะแกรมของการวัดค่าพลังงานจากรูปที่ 4.13 ดังแสดงในตารางที่ 4.15



รูปที่ 4.13 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพารา 4:6

ตารางที่ 4.15 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดัน
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 4:6 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

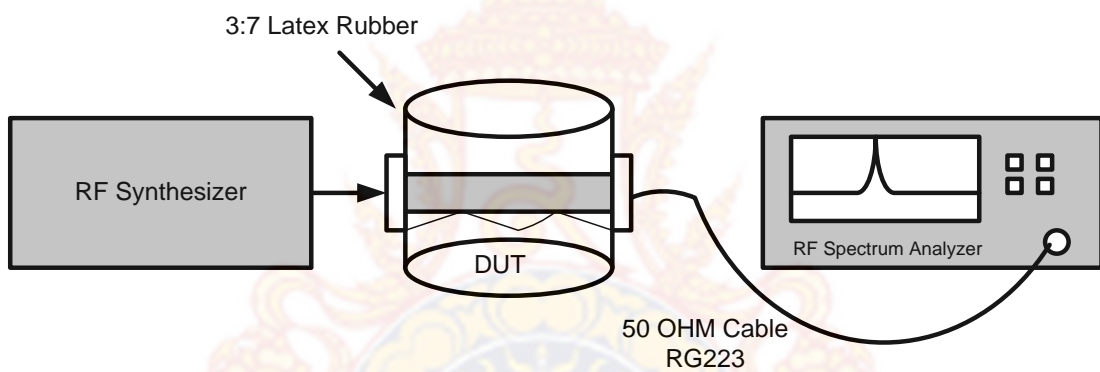
แรงดัน INPUT (Vtune)	แรงดันจากตัวตรวจจับ (V Detect)
0	0.921
0.2	0.900
0.4	0.882
0.6	0.863
0.8	0.850
1	0.836
1.2	0.829
1.4	0.831
1.6	0.839
1.8	0.850
2.0	0.864
2.2	0.882
2.4	0.902
2.6	0.926
2.8	0.954
3.0	0.989
3.2	1.030
3.4	1.078
3.6	1.111
3.8	1.129
4	1.131
4.2	1.119
4.4	1.100
4.6	1.078
4.8	1.046
5	1.093

ตารางที่ 4.16 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราด้วย สเปกตรัมอนาไลเซอร์
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 4:6 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

แรงดัน (Volt)	ความถี่ (GHz)	ความแรงสัญญาณ (dBm)
0	2.373	-20.57
0.2	2.378	-20.66
0.4	2.382	-20.75
0.6	2.386	-20.98
0.8	2.390	-21.08
1.0	2.396	-21.34
1.2	2.401	-21.55
1.4	2.406	-21.77
1.6	2.411	-21.89
1.8	2.416	-21.74
2.0	2.420	-22.04
2.2	2.426	-21.46
2.4	2.431	-20.90
2.6	2.436	-20.12
2.8	2.442	-19.36
3.0	2.447	-18.41
3.2	2.453	-17.47
3.4	2.458	-16.69
3.6	2.463	-15.94
3.8	2.470	-15.57
4.0	2.475	-15.40
4.2	2.481	-15.59
4.4	2.487	-15.66
4.6	2.493	-15.84
4.8	2.499	-16.19
5.0	2.505	-16.92

4.10 การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราดีมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 3:7 ส่วน

ขั้นตอนการทดสอบการวัดค่าพลังงานวัดค่าพลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราและทำการวัดค่าพลังงานที่ได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน สเปกตรัมอนาไลเซอร์และการวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานและทำการบันทึกผลการทดลองเป็นค่ากำลังงานที่ได้เป็นแรงดันจากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ทำการออกแบบโดยการทดสอบแสดงดังบล็อกไดอะแกรมของการวัดค่าพลังงานจากรูปที่ 4.14 ดังแสดงในตารางที่ 4.17



รูปที่ 4.14 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพารา 3:7

ตารางที่ 4.17 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดัน
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 3:7 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

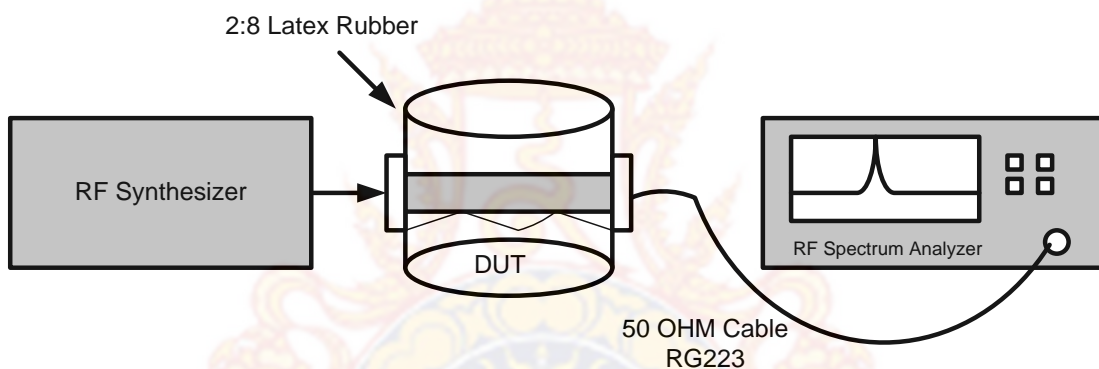
แรงดัน INPUT (V tune)	แรงดันจากตัวตรวจจับ (V Detect)
0	0.825
0.2	0.883
0.4	0.880
0.6	0.874
0.8	0.871
1	0.875
1.2	0.869
1.4	0.865
1.6	0.861
1.8	0.864
2.0	0.867
2.2	0.860
2.4	0.880
2.6	0.875
2.8	0.870
3.0	0.880
3.2	0.885
3.4	0.887
3.6	0.890
3.8	0.902
4	0.905
4.2	0.900
4.4	0.898
4.6	0.884
4.8	0.887
5	0.880

ตารางที่ 4.18 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราด้วย สเปกตรัมอนาไลเซอร์
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 3:7 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

แรงดัน (Volt)	ความถี่ (GHz)	ความแรงสัญญาณ (dBm)
0	2.373	-20.80
0.2	2.378	-20.78
0.4	2.382	-20.82
0.6	2.386	-21.10
0.8	2.390	-21.20
1.0	2.396	-21.46
1.2	2.401	-21.67
1.4	2.406	-21.89
1.6	2.411	-22.01
1.8	2.416	-21.86
2.0	2.420	-22.16
2.2	2.426	-21.38
2.4	2.431	-21.01
2.6	2.436	-20.24
2.8	2.442	-19.48
3.0	2.447	-18.53
3.2	2.453	-17.59
3.4	2.458	-16.81
3.6	2.463	-16.06
3.8	2.470	-15.69
4.0	2.475	-15.52
4.2	2.481	-15.71
4.4	2.487	-15.78
4.6	2.493	-15.96
4.8	2.499	-16.31
5.0	2.505	-17.04

4.11 การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราดีบมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 2:8 ส่วน

ขั้นตอนการทดสอบการวัดค่าพลังงานวัดค่าพลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราและทำการวัดค่าพลังงานที่ได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน สเปกตรัมอนาไลเซอร์และการวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานและทำการบันทึกผลการทดลองเป็นค่ากำลังงานที่ได้เป็นแรงดันจากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ทำการออกแบบโดยการทดสอบแสดงดังบล็อกไดอะแกรมของการวัดค่าพลังงานจากรูปที่ 4.15 ดังแสดงในตารางที่ 4.19



รูปที่ 4.15 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพารา 2:8

ตารางที่ 4.19 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดัน
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 2:8 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

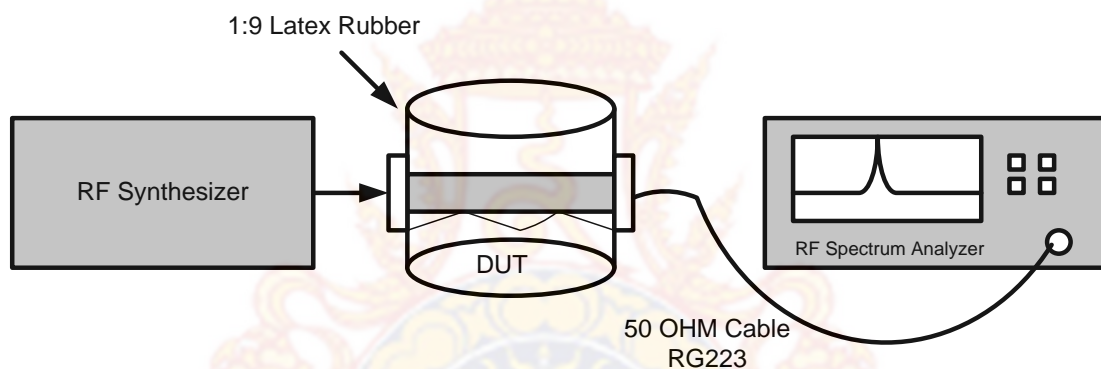
แรงดัน INPUT (Vtune)	แรงดันจากตัวตรวจจับ (V Detect)
0	0.823
0.2	0.881
0.4	0.878
0.6	0.872
0.8	0.869
1	0.873
1.2	0.867
1.4	0.863
1.6	0.859
1.8	0.862
2.0	0.865
2.2	0.857
2.4	0.879
2.6	0.872
2.8	0.866
3.0	0.875
3.2	0.880
3.4	0.883
3.6	0.884
3.8	0.900
4	0.899
4.2	0.892
4.4	0.890
4.6	0.880
4.8	0.885
5	0.874

ตารางที่ 4.20 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราด้วย สเปกตรัมอนาไลเซอร์
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 2:8 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

แรงดัน (Volt)	ความถี่ (GHz)	ความแรงสัญญาณ (dBm)
0	2.373	-20.74
0.2	2.378	-20.70
0.4	2.382	-20.77
0.6	2.386	-21.00
0.8	2.390	-21.12
1.0	2.396	-21.41
1.2	2.401	-21.62
1.4	2.406	-21.83
1.6	2.411	-21.91
1.8	2.416	-21.79
2.0	2.420	-22.11
2.2	2.426	-21.32
2.4	2.431	-20.91
2.6	2.436	-20.20
2.8	2.442	-19.42
3.0	2.447	-18.53
3.2	2.453	-17.50
3.4	2.458	-16.74
3.6	2.463	-16.00
3.8	2.470	-15.64
4.0	2.475	-15.43
4.2	2.481	-15.66
4.4	2.487	-15.76
4.6	2.493	-15.90
4.8	2.499	-16.22
5.0	2.505	-17.01

4.12 การทดลองการวัดค่าพลังงานที่ได้จากการทดสอบน้ำยางพาราติบมาตรฐาน 60% HAL ในปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่ออัตราส่วนของน้ำ 1:9 ส่วน

ขั้นตอนการทดสอบการวัดค่าพลังงานวัดค่าพลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราและทำการวัดค่าพลังงานที่ได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน สเปกตรัมอนาไลเซอร์และการวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานและทำการบันทึกผลการทดลองเป็นค่ากำลังงานที่ได้เป็นแรงดันจากวงจรกำเนิดสัญญาณที่ทำการออกแบบโดยการทดสอบแสดงดังบล็อกไดอะแกรมของการวัดค่าพลังงานจากรูปที่ 4.16 ดังแสดงในตารางที่ 4.21



รูปที่ 4.16 การวัดค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพารา 1:9

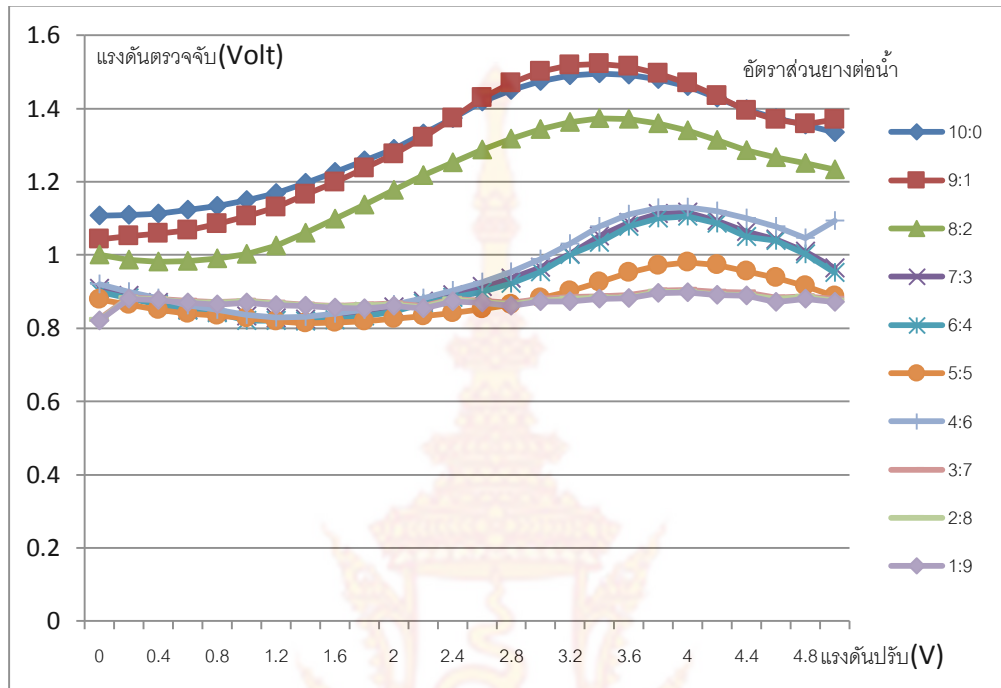
ตารางที่ 4.21 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากตัวตรวจจับกำลังงานจากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราเป็นแรงดัน
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 1:9 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

แรงดัน INPUT (Vtune)	แรงดันจากตัวตรวจจับ (V Detect)
0	0.821
0.2	0.880
0.4	0.877
0.6	0.870
0.8	0.865
1	0.869
1.2	0.862
1.4	0.860
1.6	0.855
1.8	0.854
2.0	0.861
2.2	0.854
2.4	0.873
2.6	0.870
2.8	0.861
3.0	0.873
3.2	0.873
3.4	0.880
3.6	0.881
3.8	0.896
4	0.897
4.2	0.890
4.4	0.888
4.6	0.872
4.8	0.880
5	0.871

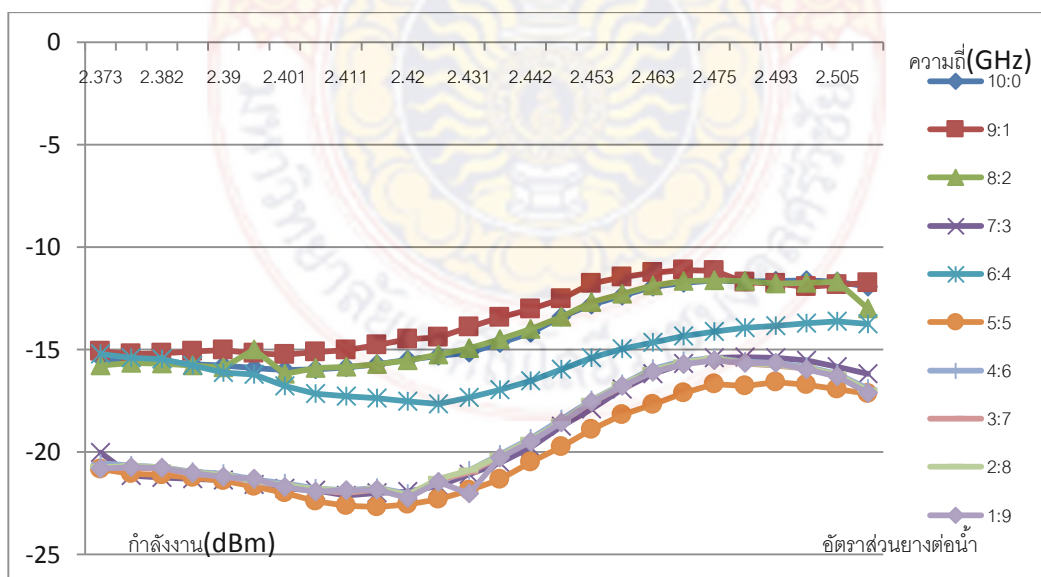
ตารางที่ 4.22 ค่ากำลังงานที่วัดได้จากวงจรเซ็นเซอร์น้ำยางพาราด้วย สเปกตรัมอนาไลเซอร์
ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อน้ำ 1:9 ที่อุณหภูมิทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

แรงดัน (Volt)	ความถี่ (GHz)	ความแรงสัญญาณ (dBm)
0	2.373	-20.81
0.2	2.378	-20.75
0.4	2.382	-20.79
0.6	2.386	-21.05
0.8	2.390	-21.22
1.0	2.396	-21.31
1.2	2.401	-21.73
1.4	2.406	-21.94
1.6	2.411	-21.89
1.8	2.416	-21.86
2.0	2.420	-22.24
2.2	2.426	-21.46
2.4	2.431	-22.03
2.6	2.436	-20.28
2.8	2.442	-19.51
3.0	2.447	-18.56
3.2	2.453	-17.57
3.4	2.458	-16.79
3.6	2.463	-16.11
3.8	2.470	-15.72
4.0	2.475	-15.54
4.2	2.481	-15.66
4.4	2.487	-15.65
4.6	2.493	-15.98
4.8	2.499	-16.32
5.0	2.505	-17.13

4.13 ผลการทดลองวัดปริมาณน้ำในน้ำยางธรรมชาติโดยเฉลี่ย



รูปที่ 4.17 ค่าพลังงานที่วงจรตรวจจับสัญญาณได้รับพลังงานจากเซ็นเซอร์ยางพาราในช่วงความถี่ 2.35-2.5GHz



รูปที่ 4.18 ค่าพลังงานที่วงจรตรวจจับสัญญาณได้รับพลังงานจากเซ็นเซอร์ยางพาราในช่วงความถี่ 2.35-2.5GHz ในหน่วย dBm

จากกราฟรูปที่ 4.17 และ 4.18 แสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานที่ได้รับจากวงจรเซ็นเซอร์และ วงจรตรวจจับพลังงานคลื่นความถี่สูงนั้น จะมีค่าพลังงานที่เปลี่ยนไปตามค่าความเป็นฉนวนทาง ความถี่ของน้ำยางพาราโดยค่าความเป็นฉนวนทางความถี่จะส่งผลให้ค่ากำลังงานที่ส่งผ่านไปยังวงจร ตรวจจับพลังงานความถี่สูงจะมีค่ามากขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนของน้ำยางพาราต่อน้ำยางพาราสูงเช่น 10:0 และ 9:1 เป็นต้น และจะมีค่าพลังงานที่ส่งผ่านยังวงจรตรวจจับพลังงานความถี่สูงจะมีค่าน้อยลงเมื่อมี อัตราส่วนของน้ำยางพาราต่อน้ำยางพาราต่ำ เช่น 1:9 และ 2:8 เป็นต้น และค่ากำลังงานที่ตัวกำเนิด ความถี่ส่งผ่านออกมายังวงจรตรวจจับพลังงานจะมีค่าพลังงานที่ไม่คงที่เนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น ของวงจรกำเนิดความถี่สูง แต่จากการทดลองเราสามารถเลือกค่าความถี่ที่ต้องการให้วงจรกำเนิด ความถี่สูงทำงานโดยดูจากกราฟค่าพลังงานที่สูงสุด จะอยู่ที่ความถี่ 2.47GHz โดยมีค่าพลังงานที่สูงสุดที่ ประมาณ -11.15 dBm ในช่วงของอัตราส่วนระหว่างน้ำยางพาราติดกับน้ำที่ 9:1 และ 10:0 ซึ่งจะ เลือกความถี่ที่ให้ค่ากำลังงานสูงสุดนำไปใช้ในการทดสอบวัดค่าพลังงานโดยจะทำให้วงจรสามารถแยก ความแตกต่างของค่าพลังงานได้ดีที่สุด และจากวงจรตรวจจับพลังงานวงจรตรวจจับพลังงานคลื่น ความถี่สูงจะได้ค่าพลังงานที่เป็นแรงดันกระแสตรงที่ 1.519VDC ที่แรงดัน V tune เท่ากับ 3.4VDC โดยจะเป็นช่วงของความถี่ที่อยู่ตรงกลางของแบนด์วิธของย่านความถี่ที่วงจรกำเนิดความถี่สร้างขึ้น ซึ่ง ตรงตามสมมติฐานของการออกแบบที่วงจรกำเนิดความถี่จะทำงานได้กำลังงานสูงสุดที่จุดกึ่งกลางของ ย่านความถี่ และจากการวัดค่าพลังงานที่เกิดขึ้นเราสามารถหาค่าความผิดพลาดจากการวัดโดยทำการ ทดลองวัดค่าจำนวน 10 ครั้งและทำการหาค่าเฉลี่ยจากสมการที่ 4.1 จากค่าในตารางที่ 4.25 ที่ อัตราส่วน 9:1

$$\text{ค่าความผิดพลาดเบี่ยงเบนจากการวัด} = \frac{E - S}{S} \times 100 \quad (4.1)$$

S = ค่ากำลังที่ต้องการทำการทดสอบผู้ใช้ต้องการ

E = ค่าพลังงานจากการวัดได้จริง

ตารางที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยพลังงานจากการวัดค่าพลังงานจากวงจรตรวจจับความถี่สูง

ครั้งที่	ค่าพลังงานที่เฉลี่ย(dBm)
1	1.30596
2	1.30962
3	1.31751
4	1.32024
5	1.31966
6	1.30679
7	1.31103
8	1.30247
9	1.31774
10	1.30792
เฉลี่ยรวม	1.311894
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.639%

จากการวัดค่าพลังงานที่ได้จากวงจรตรวจจับความถี่สูงแล้วทำการหาค่าเบี่ยงเบนจากการวัดที่ซึ่งค่าเบี่ยงเบนที่มีค่า ที่ 0.639% และค่าพลังงานเฉลี่ยรวมที่ได้มีค่าเท่ากับ 1.311894 dBm

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการทดลองเครื่องวัดปริมาณเนื้องานในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่ง มีช่วงความถี่การใช้งานที่ 2.47GHz โดยมีค่าพลังงานที่สูงสุดที่ประมาณ -11.15 dBm ในช่วงของอัตราส่วนระหว่างน้ำยางพาราตบกับน้ำที่ 9:1 และ 10:0 ซึ่งจะเลือกความถี่ที่ให้ค่ากำลังสูงสุดนำไปใช้ในการทดสอบวัดค่าพลังงานโดยจะทำให้วงจรสามารถแยกความแตกต่างของค่าพลังงานได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามพบว่าในผลการทดลองเห็นว่าค่า พลังงานที่ตรวจจับได้ อยู่ในช่วงที่แคบอาจเกิดจากหลายปัจจัย ซึ่งผู้วิจัยสามารถอธิบายได้ดังนี้

ประเด็นที่ 1: ระยะเวลาการกรีดน้ำยางดิบมาทดสอบอยู่ในช่วงเวลาไม่เท่ากัน ซึ่งทำให้ปริมาณยางดิบ

ในน้ำยางแตกต่างกันและปริมาณการเติมแอมโมเนียที่ปริมาณไม่เท่ากัน

ประเด็นที่ 2: ค่ากำลังงานที่ส่งผ่านวงจรเซ็นเซอร์นั้นมีค่ากำลังงานที่ไม่สูงพอประกอบกับค่าการสูญเสียในสายนำสัญญาณของวงจรเซ็นเซอร์นั้นมีค่าที่สูงจึงส่งผลให้ค่ากำลังงานถูกลดทอนลง

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองคณะผู้วิจัยได้นำตัวอย่างน้ำยางพาราดิบมาตรฐาน 60% HAL เพื่อมาทดลองอุปกรณ์ปริมาณเนื้องานในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่ง จากการทดลองจากเครื่องมือรวมถึงโปรแกรมควบคุมการวัด พบว่า น้ำยางพาราตอบสนองความถี่เรโซแนนซ์ในช่วง 2,350 MHz ถึง 2,500 MHz ตามทฤษฎี โดยมีค่ากำลังสูงสุดที่ตรงกลางย่านความถี่คือ 2.47GHz และค่ากำลังงานที่วัดได้อยู่ในช่วง -11.15dBm ถึง -11.66 dBm ซึ่งจะเป็นค่ากำลังงานที่ยอมรับได้โดยค่าอัตราส่วนเนื้องานในน้ำยางธรรมชาติจะอยู่ที่ ต่ำสุด 8:2 โดยเครื่องมือวัดที่คณะผู้วิจัยนำเสนอมีความถูกต้องอยู่ที่ระดับที่มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ (ผลการทดลองในตารางที่ 4-7, 4-9 และ 4-11) สามารถนำไปใช้ตรวจสอบคุณภาพได้จริง และจากการการศึกษาวิธีการตรวจวัดปริมาณเนื้องานในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่ง ตรวจสอบผลความสัมพันธ์ของความถี่เรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ไดโพลทริกพร้อมกันกับการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียไดโพล

ตริก ($\tan \delta = 0.0001-0.1$) ด้วยการจำลองจากโปรแกรม Microwave Wizard ซึ่งพบว่าค่าเซเนสเซอร์ที่ออกแบบความถี่สูงกว่าจะมีช่วงความถี่ในการระบุค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกว้างกว่าจากการจำลอง มีค่าช่วงกว้างความถี่ประมาณ 335MHz ส่วนเซเนสเซอร์ความถี่ต่ำกว่ามีค่า 250 MHz ผลการศึกษาพบอีกว่าค่ากำลังงานสูญเสียจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำเจือปนในน้ำยางพาราธรรมชาติมากขึ้น จากการทดลองจากเครื่องมือรวมถึงโปรแกรมควบคุมการวัด พบว่า น้ำยางพารา ซึ่งเครื่องมือวัดที่คณะผู้วิจัยนำเสนอมีความถูกต้องอยู่ที่ระดับที่มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์นอกจากความแม่นยำของเครื่องมือที่นำเสนอแล้ว เครื่องวัดคุณภาพนี้ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายสำหรับวัดน้ำยางพาราในห้องปฏิบัติการจากเดิมที่มีราคาสูง

5.2 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ปัญหาที่สำคัญของงานวิจัยนี้คือปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรกำเนิดความถี่สูงที่นำมาใช้งานทำให้เกิดค่าความผิดพลาดจากการวัดที่สูงขึ้นโดยวิธีแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือการปรับแต่งวงจรควบคุมการกำเนิดความถี่สูงโดยใช้วิธีการป้อนกลับเพื่อที่จะควบคุมกำลังงานความถี่สูงที่ส่งออกมาให้มีขนาดที่เท่ากันทั้งย่านความถี่ที่ใช้งานและปัญหาการเกิดการลดทอนของสัญญาณในวงจรเซอร์ส่งผลให้ค่ากำลังงานที่ถูกส่งออกมาเกิดการลดทอนลงไปทำให้เกิดการแยกสัญญาณที่ต่ำอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้วิธีแก้ปัญหาคือควรจะนำวัสดุตัวนำแบบยิ่งยวดมาใช้ในการออกแบบวงจรเซเนสเซอร์เช่น วัสดุเงินนำมาทำสายนำสัญญาณและควบคุมขนาดของสายนำสัญญาณให้มีค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะเท่ากับ 50 โอห์ม

จากงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยเล็งความสำคัญของ ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของค่าพลังงานที่สูงที่สุดที่ได้จากการทดลองและความสะดวกในการใช้เครื่องมือวัดนี้ จึงเสนอการใช้เทคนิควิธีการใช้คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟแบบอื่น เช่น การสะท้อน เป็นต้น ซึ่งอาจจะทำให้ได้ความแม่นยำที่สูงขึ้นและ ด้วยวิธีดังกล่าวทำให้สามารถใช้เครื่องมือวัดคุณภาพน้ำยางได้ง่ายขึ้นจากเดิม

เอกสารอ้างอิง

- A. V. Donchenko, G. F. Zargano, V. V. Zemlakov ,“ Ridged waveguide as a device for measuring the dielectric permittivity of materials” , 2014 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE), Pages: 326 – 333, 2014.
- Ahmad H. Abdelgwad, Tarek M. Said ,“ Measured Dielectric permittivity of chlorinated drinking water in the microwave frequency range” , 2015 IEEE 15th Mediterranean Microwave Symposium (MMS), Pages: 1 – 4, 2014
- Anton V. Vykhodtsev, Behzad Kordi, Derek R. Oliver “ Modified planar sensor for measuring dielectric constant of liquid materials” , IET Journals & Magazines, Pages: 200 – 204, 2017.
- Cai Qing, “ Research of transmission and reflection method and phase compensation for measuring microwave dielectric properties of solid materials” , 2015 12th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI), Pages: 1054 – 1057,2015.
- F. B. Waddington ,“Instruments to measure the salient properties of fluid dielectrics” , 1979 EIC 14th Electrical/Electronics Insulation Conference, Pages: 22 – 25, 1979.
- Ger de Graaf, Giuseppe Lacerenza, Reinoud Wolffenbuttel, Jaco Visser ,“ Dielectric spectroscopy for measuring the composition of gasoline/ water/ ethanol mixtures” , 2015 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings, Pages: 154 – 158, 2015.
- He Wei, Shi Lihua, Xu Qiwei, Liu Feng ,“Shielding effectiveness estimation for concrete slabs based on measured frequency dependent dielectric constant” , 2015 7th Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics (CEEM), Pages: 309 – 312, 2015.

- I. L. Afonin, P. A. Bugayov, G. V. Bokov ,“Methods for measuring the wavelength of the flat metal-dielectric waveguides” , 2014 24th International Crimean Conference Microwave & Telecommunication Technology, Pages: 938 – 939, 2014.
- J. Chen, K. Pitchai, S. Birla; D. D. Jones, J. Subbiah, R. Gonzalez ,“Development of a multi- temperature calibration method for measuring dielectric properties of food” , IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Pages: 626 – 634, 2015.
- John W. Winslow ,“ A controlled-transient technique for measuring radiation-induced conductivity in dielectrics” , Conference on Electrical Insulation & Dielectric Phenomena - Annual Report 1968, Pages: 185 – 188, 1968.
- Kerim A. Akel “ Novel technique for measuring the complex dielectric constant and permeability” , 2016 17th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM), Pages: 1 – 3, 2016.
- Kostiantyn Torokhtii, Nicola Pompeo, Enrico Silva “ Dielectric- resonator- based measuring devices: Relevance of the dielectric quality” , IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2017.
- Lawrence L. P. Wong, Shuai Na, Albert I. H. Chen, John T. W. Yeow ,“A novel method for measuring dielectric charging of CMUT arrays” , 2014 IEEE
- Ming Yang, Zhimin Chen, Yutao Wang, Haoyu Zhang ,“Research on a measuring method with the function of compensating dielectric constant” , International Conference on Mechanical, System and Control Engineering (ICMSC), Pages: 284 – 287, 2017.
- Patrick Seiler, Bernhard Klein, Niels Neumann, Dirk Plettemeier ,“ A novel method for measuring the dielectric properties of solid materials in the microwave range” , 2015 IEEE 15th Mediterranean Microwave Symposium (MMS), Pages: 1 – 4, 2015.

- Qing-Ying Ren, Li-Feng Wang, Qing-An Huang ,“A New Method for Real-Time Measuring the Temperature-Dependent Dielectric Constant of the Silicone Oil” , IEEE Sensors Journal, Pages: 8792 – 8797, 2016.
- T. Takada, Y. Toriyama, T. Sakai ,“Detection of electric field at the interface of dielectrics and electrode by measuring electric stress” , Conference on Electrical Insulation & Dielectric Phenomena - Annual Report 1980, Pages: 94 – 102, 1980.
- Tibor Rovensky, Alena Pietrikova, Igor Vehec, Martin Kmec ,“ Measuring of dielectric properties by microstrip resonators in the GHz frequency” , 2015 38th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), Pages: 192 – 196, 2015.
- Xiangzhen Wang; Wen Geyi ,“ Design of a Wideband System for Measuring Dielectric Properties” , IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Pages: 69 – 76, 2017.



ภาคผนวก ก

การวัดปริมาณเนื้องานในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่ง





รูปที่ 1 รูปหน่วยประมวลผลกลางและmiddle ware สำหรับติดต่อผู้ใช้งาน



รูปที่ 2 วงจรภายในของอุปกรณ์วงจรส่งเคราะห์ความถี่สูง



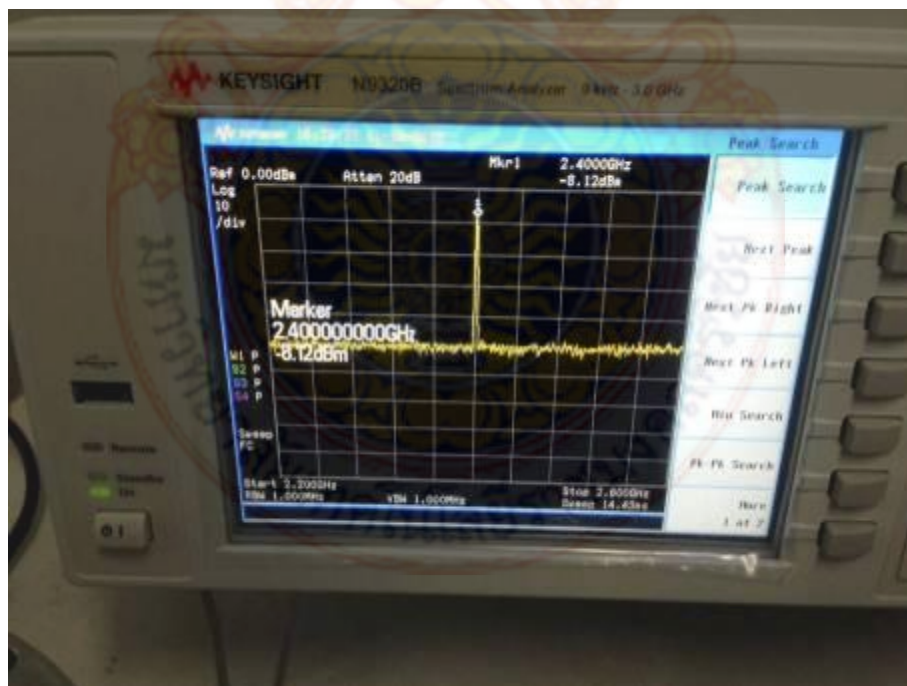
รูปที่ 3 สาย RF Coaxial Cable ความถี่สูง สำหรับเชื่อมต่อ



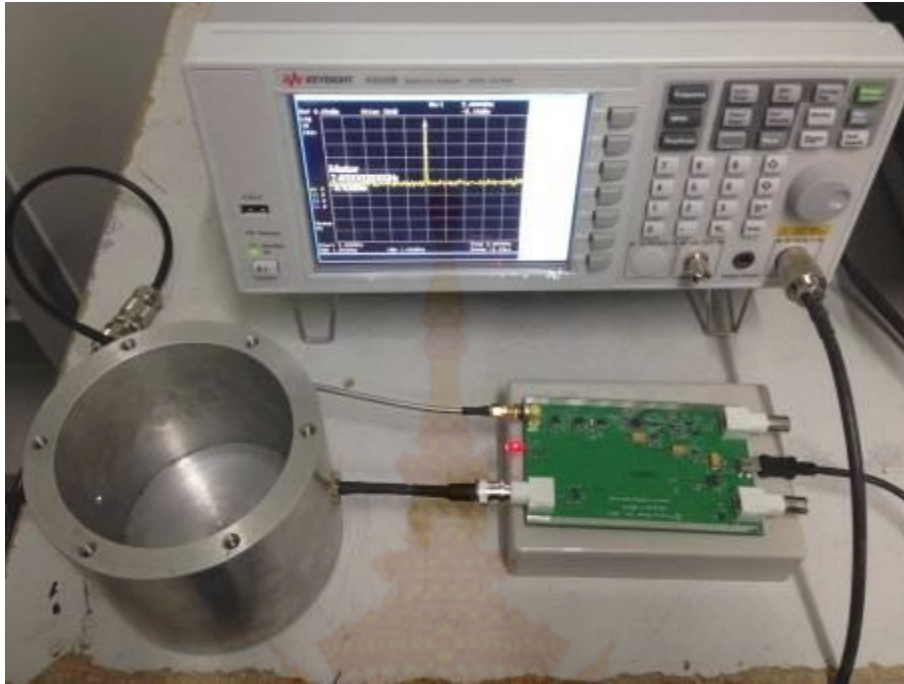
รูปที่ 4 อุปกรณ์ควบคุมพื้นฐานไมโครคอนโทรเลอร์และสำหรับเก็บข้อมูลการวัด



รูปที่ 5 รูป RF power Detector และ Low noise amplifier



รูปที่ 6 การทดสอบวัดความถี่และค่าพลังงานของอุปกรณ์วงจรส่งเคราะห์ความถี่สูงด้วยเครื่องวิเคราะห์ความถี่แบบสเปกตรัม



รูปที่ 7 การทดสอบวัดความถี่และค่าพลังงานของอุปกรณ์วงจรส่งเคราะห์ความถี่สูงกับเรโซเนเตอร์
เมื่อยังไม่ทำการใส่น้ำยางพาราติบด้วยเครื่องวิเคราะห์ความถี่แบบเสปรคตรัม



รูปที่ 8 การทดสอบวัดความถี่และค่าพลังงานของอุปกรณ์วงจรส่งเคราะห์ความถี่สูงกับเรโซเนเตอร์
เมื่อทำการใส่น้ำยางพาราติบด้วยเครื่องวิเคราะห์ความถี่แบบเสปรคตรัม



รูปที่ 9 การทดสอบวัดความถี่และค่าพลังงานของอุปกรณ์วงจรส่งเคราะห์ความถี่สูง



รูปที่ 10 ผู้ใช้งานทดสอบโปรแกรมการติดต่อผู้ใช้งานโดยใช้ภาพสัญลักษณ์



รูปที่ 11 น้้ายางพาราธรรมชาติ



รูปที่ 12 การนำตัวอย่างน้ำยางพาราธรรมชาติมาทดสอบ



รูปที่ 13 การนำตัวอย่างน้ำยางพาราทดสอบในเซ็นเซอร์



รูปที่ 14 บรรจุน้ำยางพาราธรรมชาติปริมาณ 200 มิลลิลิตร



รูปที่ 15 ทดสอบเทียบค่าพลังงานกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน



รูปที่ 16 ทดสอบเทียบค่าพลังงานวงจรกำเนิดความถี่สูง



รูปที่ 17 เซ็นเซอร์ควาวิตีวัดน้ำยางพาราธรรมชาติ



รูปที่ 18 เครื่องวัดปริมาณเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่ง

```
Rajabangala University Of technology uongsoy  
Measurement of rubber latex using high frequency technique  
*****  
Please Enter Key to Measure Parameter Ratio!  
-----  
Resulting of measure parameter is Frequency Used = 2.47GHz  
Analog power Value:0.960Voltlog Power Value:-14.65dBRatio of Latex is: 8:2  
Measure is Done and please Enter Key For Return to program |
```

รูปที่ 19 โปรแกรมการวัดค่าปริมาณเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคคลื่นความถี่สูงยิ่ง
บน Terminal Command line



ภาคผนวก ข

การนำเสนอผลงาน





สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ขอมอบเกียรติบัตรนี้ไว้เพื่อแสดงความขอบคุณ

พญ.เส่ห์หะ วัชรกุล

ทีมนำเสนอผลงานประดิษฐ์คิดค้น
เรื่อง

การวัดปริมาณเพื่อหาปริมาณรวมธาตุอินทรีย์ในเทคโนโลยีการเคลือบความถี่สูง

ในงาน "วันนักประดิษฐ์" ประจำปี ๒๕๖๑ (Thailand Inventors' day 2018)

ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา กรุงเทพฯ

ให้ไว้ ณ วันที่ ๒ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๖๑

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สิริฤกษ์ ทรงศิวิไล)

เลขาธิการคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ