สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องตรวจวัตถุด้วยหลักการเรดิโอมิเตอร์

OBJECT DETECTOR USING RADIOMETER TECHNIQUE

โดย

นายกฤษณพงศ์ วิมลสุข

นายชนะพล สุพรรณกูล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 62106

วัน,เดือน,ปี 31 ก.ค. 2549

.b.....

.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา
วิศวกรรมโทรคมนาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องตรวจวัตถุด้วยหลักการเรดิโอมิเตอร์

OBJECT DETECTOR USING RADIOMETER TECHNIQUE

โดย

นายกฤษณพงศ์ วิมลสุข

นายชนะพล สุพรรณกูล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **เครื่องตรวจวัตถุด้วยหลักการเรดิโอมิเตอร์**

OBJECT DETECTOR USING RADIOMETER TECHNIQUE

ผู้จัดทำ

1. **นายกฤษณพงศ์ วิมลสุข 44010014**
2. นายชนะพล สุพรรณกูล 44010085

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผ.ศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องตรวจวัตถุด้วยหลักการเรดิโอมิเตอร์

OBJECT DETECTOR USING RADIOMETER TECHNIQUE

โดย นายกฤษณพงศ์ วิมลสุข 44010014
นายชนะพล สุพรรณกูล 44010085

อาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการวิเคราะห์หรือการสังเกตวัตถุที่มีสิ่งกีดขวางบดบังนั้นยังมีอุปสรรคอยู่มาก ซึ่งเราไม่สามารถมองเห็นได้ เช่น การค้นหาวัตถุอันตรายภายในกล่องทึบแสง เป็นต้น ทำให้เกิดปัญหาว่าจะทำอย่างไรจึงจะสามารถทำนายหรือสังเกตสิ่งต่างๆดังที่ยกตัวอย่างมาแล้วได้ เครื่องตรวจวัตถุด้วยหลักการเรดิโอมิเตอร์ (Object Detector using Radiometer Technique) จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญ โดยใช้หลักการในการวัดคลื่นที่วัตถุเปล่งออกมา ซึ่งมีความถี่ แอมปลิจูดและพลังงานแตกต่างกัน แล้วนำมาเก็บรวบรวมเป็นผลการทดลองเพื่อนำมาวิเคราะห์หารูปร่างลักษณะของวัตถุนั้นๆต่อไป โครงงานนี้จะออกแบบสร้างระบบวัดคลื่นวิทยุความถี่ 12 GHz โดยใช้วงจรแปลงสัญญาณที่หาได้ในท้องตลาดเป็นตัววัดกำลังงาน เมื่อปรับเทียบเป็นที่เรียบร้อยแล้วจะทดลองวัดวัตถุต่างๆต่อไป

ABSTRACT

Nowadays, analysis or the observation of hidden object still have many problem that we are not able to see it such as seeking of dangerous things in the dark box. It can cause the problem of we can predict or observe that object. So the Object Detector using Radiometer Technique becomes popular by using it to measure wave that object emits different frequency, amplitude and power. Then we collect it to find shape and characteristic of object. This project concerns the design of a 12 GHz Radio Meter System. The available low noise converter block will be used for measuring microwave power. After the system is calibrated, it will be used for measuring emitted power from various objects.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 หลักการของเรดิโอมิเตอร์ชนิดต่างๆ	5
2.1.1 โทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ (Total Power Radiometer: TPR)	5
2.1.2 ดิกกี้เรดิโอมิเตอร์ (Dicke Radiometer: DR)	6
2.1.3 นอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์ (The Noise-Injection Radiometer: NIR)	8
2.1.4 เรดิโอมิเตอร์ชนิดอื่นๆ	10
2.2 การวัดรังสี (RADIOMETRY)	11
2.3 การประมวลภาพด้วย Matlab เบื้องต้น (Basic Image Processing with Matlab)	15
2.3.1 Index Image	15
2.3.2 ภาพ Intensity Image	16
2.3.3 ภาพ Binary Image	17
2.3.4 ภาพ RGB Image	18
บทที่ 3 การออกแบบเรดิโอมิเตอร์	34
3.1 ทฤษฎีของเครื่องรับคลื่นวิทยุ (Receiver Principles)	34
3.1.1 ไดเร็กหรือซูปเปอร์เฮทโรดายน์ (Direct or Superheterodyne)	34
3.1.2 ผลของอาร์เอฟพรีแอมปริไฟเออร์ต่อดับเบิลไซด์แบนด์หรือ ซิงเกิลไซด์แบนด์ (DSB-SSB with or without RF Preamplifier)	35
3.2 ดิกกี้เรดิโอมิเตอร์	36
3.2.1 ส่วนของความถี่ไมโครเวฟ (Microwave Part)	36
3.2.2 นอยส์ฟิเกอร์และความไวในการรับของเรดิโอมิเตอร์ (The Noise Figure and the Sensitivity of Radiometer)	38
3.2.3 วงจรความถี่ไอเอฟและวงจรตรวจจับสัญญาณ (The IF Circuitry and the Detector)	38
3.2.4 ระดับสัญญาณสูงสุด (The Extreme Signal Levels)	40
3.2.5 วงจรของความถี่ต่ำ (The LF Circuitry)	41
3.2.6 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog-to-Digital Converter)	43
3.2.7 การสุ่มตัวอย่างในเรดิโอมิเตอร์ (On the Sampling in the Radiometer)	46
3.3 นอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์ (The Noise-Injection Radiometer: NIR)	47
3.4 โทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ (Total Power Radiometer: TPR)	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ส่วนประกอบในโครงงาน	51
4.1เครื่องวัดคลื่นจากดาวเทียม (Satellite Meter)	51
4.1.1 คุณสมบัติจากผู้ผลิต	51
4.2 แอลเอ็นบี (LNB; Low Noise Block Converter)	52
4.2.1 คุณสมบัติจากผู้ผลิต	52
4.2.2 คุณสมบัติจากการทดสอบจริง	53
4.3 ท่อนำคลื่น (Wave Guide)	58
4.4 เครื่องแปลงไฟฟ้าและส่วนเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์	58
4.5 อุปกรณ์จำลองสถานการณ์ในการวัดเมื่อมีวัตถุบดบัง	59
4.6 การ์ดเชื่อมต่อข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์	60
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	61
5.1 การทดสอบหาแบนด์วิทของเครื่องเรดิโอมิเตอร์	61
5.2 การทดสอบหา Dynamic Range	63
5.3 การทดสอบหา Pattern ของสายอากาศ	64
5.3.1 การทดสอบที่ระยะห่าง 1 cm	64
5.3.2 การทดสอบที่ระยะห่าง 2 cm	66
5.3.3 การทดสอบที่ระยะห่าง 3 cm	68
5.4 การทดลองนำเรดิโอมิเตอร์ไปวัดสัญญาณจากการต้มน้ำ	69
5.4.1 ค่าที่ได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆจากการต้มน้ำ 2 ครั้ง	69
5.4.2 ค่าที่ได้เมื่อนำการวัดขณะอุณหภูมิเย็นตัวลงประกอบด้วย	71
5.5 การทดลองตรวจจับวัตถุชนิดต่างๆ	73
5.5.1 การตั้งค่าโปรแกรม Matlab ก่อนทำการทดลอง	73
5.5.2 การปฏิบัติการทดลอง	75
บทที่ 6 บทวิจารณ์และบทสรุป	89
6.1 ปัญหาที่พบจากการทดลอง	89
6.2 แนวทางในการพัฒนา	89
6.3 บทสรุป	89
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงบลือกไดอะแกรมของอุปกรณ์วัดคลื่นวิทยุ	1
รูปที่ 2.1 แสดงสถานการณ์ในการวัด	3
รูปที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์วัดคลื่นวิทยุแบบอุดมคติ	3
รูปที่ 2.3 แสดงอุปกรณ์วัดคลื่นวิทยุในความเป็นจริง	4
รูปที่ 2.4 แสดงโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์	5
รูปที่ 2.5 แสดงดิกกี้เรดิโอมิเตอร์	6
รูปที่ 2.6 แสดงนอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์	8
รูปที่ 2.7 แสดงเรดิโอมิเตอร์ฟรอนท์เอนด์	10
รูปที่ 2.8 แสดงนอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์ฟรอนท์เอนด์	10
รูปที่ 2.9 แสดงการรับคลื่นของสายอากาศ	12
รูปที่ 2.10 แสดงการเก็บข้อมูลรูปภาพใน Matlab	15
รูปที่ 2.11 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	16
รูปที่ 2.12 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	16
รูปที่ 2.13 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	17
รูปที่ 2.14 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	18
รูปที่ 2.15 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	18
รูปที่ 2.16 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	19
รูปที่ 2.17 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่างที่ยังไม่ได้ทำการหมุน	22
รูปที่ 2.18 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่างที่ทำการหมุนแล้ว	22
รูปที่ 2.19 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	23
รูปที่ 2.20 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	23
รูปที่ 2.21 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	24
รูปที่ 2.22 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	25
รูปที่ 2.23 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	26
รูปที่ 2.24 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	27
รูปที่ 2.25 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	28
รูปที่ 2.26 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	28
รูปที่ 2.27 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	30
รูปที่ 2.28 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	31
รูปที่ 2.29 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	32
รูปที่ 2.30 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป หน้า

รูปที่ 2.31 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง 33

รูปที่ 2.32 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง 33

รูปที่ 3.1 แสดงดิกกี้เรดิโอมิเตอร์ (T_A= 0 K) 37

รูปที่ 3.2 แสดงรูปคลื่นก่อนและหลังเข้าวงจรตรวจจับสัญญาณ 40

รูปที่ 3.3 แสดงรูปคลื่นก่อนและหลังเข้าวงจรตรวจจับสัญญาณแบบซิงโครนัส 42

รูปที่ 3.4 แสดงดิกกี้เรดิโอมิเตอร์ (T_A= 312 K) 42

รูปที่ 3.5 แสดงวงจรตรวจจับสัญญาณแบบซิงโครนัส 43

รูปที่ 3.6 แสดงการอธิบายวงจรแปลงสัญญาณแบบ $\Delta / \sum$ 44

รูปที่ 3.7 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแบบ $\Delta / \sum$ 45

รูปที่ 3.8 แสดงวงจรนับเอาท์พุท 45

รูปที่ 3.9 แสดงทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นของเรดิโอมิเตอร์ 47

รูปที่ 3.10 แสดงวงจรนอยซ์อินเจ็กชั่นเรดิโอมิเตอร์ (T_A= 0 K) 49

รูปที่ 3.11 แสดงวงจรโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ (T_A= 0 K & 313 K) 50

รูปที่ 4.1 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณไมโครเวฟ 51

รูปที่ 4.2 แสดงอุปกรณ์แอลเอ็นบี 52

รูปที่ 4.3 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท -85 dBm 54

รูปที่ 4.4 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท -40 dBm 55

รูปที่ 4.5 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท 0 dBm 55

รูปที่ 4.6 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท -60 dBm 55

รูปที่ 4.7 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท -30 dBm 56

รูปที่ 4.8 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท 0 dBm 56

รูปที่ 4.9 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท -75 dBm 56

รูปที่ 4.10 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท -75 dBm 57

รูปที่ 4.11 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท 0 dBm 57

รูปที่ 4.12 แสดงกราฟที่ได้จากข้อมูลในตารางที่ 4.3, 4.4, 4.5 57

รูปที่ 4.13 แสดงท่อนำคลื่น (Wave Guide) 58

รูปที่ 4.14 แสดงเครื่องแปลงไฟฟ้าและส่วนเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ 58

รูปที่ 4.15 แสดงวงจรขยายสัญญาณ Inverting Amplifier 59

รูปที่ 4.16 แสดงอุปกรณ์จำลองสถานการณ์ในการวัดเมื่อมีวัตถุบดบัง 59

รูปที่ 4.17 แสดงการ์ดเชื่อมต่อข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์ 60

รูปที่ 5.1 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.1 62

รูปที่ 5.2 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.1 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป หน้า

รูปที่ 5.3 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.2 63

รูปที่ 5.4 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.2 64

รูปที่ 5.5 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.3 65

รูปที่ 5.6 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.3 65

รูปที่ 5.7 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.4 67

รูปที่ 5.8 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.4 67

รูปที่ 5.9 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.5 68

รูปที่ 5.10 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.5 69

รูปที่ 5.11 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.6 70

รูปที่ 5.12 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.7 72

รูปที่ 5.13 แสดงตัวอย่างการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ 74

รูปที่ 5.14 แสดงการอัพเดตข้อมูลทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ 74

รูปที่ 5.15 แสดงการต่ออุปกรณ์รวมทั้งหมด 75

รูปที่ 5.16 แสดงการนำวัตถุวางไว้ที่อุปกรณ์ 76

รูปที่ 5.17 แสดงรูปภาพขนาด 10*10 76

รูปที่ 5.18 แสดงโปรแกรม exam.mdl 78

รูปที่ 5.19 แสดงลักษณะการนำท่อนำคลื่นไปวางไว้เพื่อเตรียมวัดค่า 79

รูปที่ 5.20 แสดงการนำค่าที่วัดได้ไปประมวลผลใน Matlab 80

รูปที่ 5.21 แสดงการนำวัตถุวางไว้ที่อุปกรณ์ 81

รูปที่ 5.22 แสดงการนำค่าที่วัดได้ไปประมวลผลใน Matlab 82

รูปที่ 5.23 แสดงการนำวัตถุวางไว้ที่อุปกรณ์ 83

รูปที่ 5.24 แสดงการนำค่าที่วัดได้ไปประมวลผลใน Matlab 84

รูปที่ 5.25 แสดงการนำวัตถุวางไว้ที่อุปกรณ์ 85

รูปที่ 5.26 แสดงการนำค่าที่วัดได้ไปประมวลผลใน Matlab 86

รูปที่ 5.27 แสดงการนำวัตถุวางไว้ที่อุปกรณ์ 87

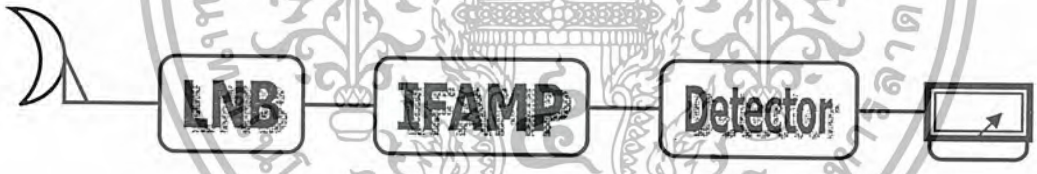
รูปที่ 5.28 แสดงการนำค่าที่วัดได้ไปประมวลผลใน Matlab 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันระบบวัดคลื่นวิทยุ(Radio Meter System) ถูกนำไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องมือวัดการลดทอนของคลื่นเนื่องจากกลุ่มฝน และ เครื่องมือวัดความแรงของสัญญาณ เป็นต้น แต่ยังคงประยุกต์ใช้งานได้ไม่แพร่หลายนัก ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงเกิดแนวความคิดในการวัดคลื่นไมโครเวฟ (Microwave) ที่แผ่จากวัตถุและสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น ดวงอาทิตย์ มนุษย์ น้ำเย็น และ น้ำร้อน เป็นต้น โดยอาศัยหลักการการวัดพลังงานจากอุปกรณ์วัดสัญญาณคลื่นวิทยุ(Radio Meter) ดังกล่าว นำมาแปลงโดยใช้สูตรเพื่อหาอุณหภูมิของวัตถุในขณะที่ทำการวัด แล้วสามารถทำนายรูปร่างลักษณะคร่าวๆของวัตถุนั้นได้ โดยผลที่ได้จะเที่ยงตรงหรือไม่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมขณะที่ทำการทดลองว่ามีคลื่นอื่นๆจากภายนอกมารบกวนหรือไม่

ประโยชน์อีกอย่างหนึ่งคือ ถ้าสามารถพัฒนาความถี่ที่สูงมากยิ่งขึ้นกว่านี้ได้ก็จะทำให้สามารถสร้างรูปภาพของวัตถุให้มีความละเอียดมากๆได้ แม้ในสภาพทัศนวิสัยที่ไม่ดีเช่น การขับรถในที่ๆมีหมอกปกคลุม การบินในสภาพอากาศอันเลวร้าย หรือแม้แต่การตรวจค้นวัตถุต้องสงสัยหรืออาวุธที่ถูกปิดบังซ่อนเร้นไว้ได้อีกด้วย



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์วัดคลื่นวิทยุ

โครงงานนี้เป็นโครงงานการออกแบบระบบให้ใช้งานได้ที่ความถี่ 12 GHz ส่วนอุปกรณ์ที่นำมาใช้จะสามารถหาได้ในท้องตลาด เป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับการรับสัญญาณดาวเทียมทั่วไป จากรูปที่ 1.1 จะแสดงให้เห็นถึงบล็อคไดอะแกรม(Block Diagram) ของระบบจะเริ่มจากสายอากาศที่ใช้รับคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะแก่การเคลื่อนย้ายไปในที่ต่างๆ รับสัญญาณส่งต่อไปให้กับแอลเอ็นบี (LNB : Low Noise Block Converter) ทำงานที่ความถี่ในช่วง 10.5 GHz – 12.5 GHz มีหน้าที่ลดความถี่ของสัญญาณลงให้เหลือประมาณ 1.755 GHz แล้วส่งต่อไปยังอุปกรณ์ขยายสัญญาณไอเอฟ(IF Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณให้เพิ่มสูงขึ้นซึ่งจะง่ายต่อการตรวจพบต่อไป นำสัญญาณที่ขยายแล้วเข้าสู่ตัวตรวจจับสัญญาณ(Detector) เพื่อให้ได้สัญญาณที่เป็นไฟกระแสตรง(DC) ออกมา เนื่องจากสัญญาณที่ได้ออกมานั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความต่างศักย์ต่ำมาก จึงต้องใช้วงจรขยายสัญญาณ(Amplifier)ในการขยายสัญญาณให้เพิ่มสูงขึ้นตามต้องการ แล้วนำไปประมวลผลในคอมพิวเตอร์ต่อไป

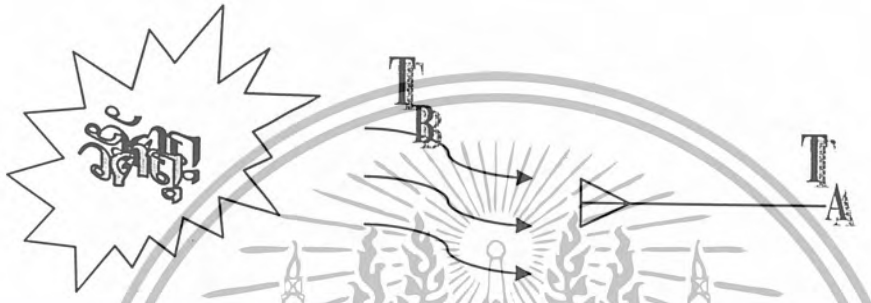
ในภาคการศึกษาแรก ได้ทำการศึกษาการออกแบบอุปกรณ์วัดคลื่นวิทยุและนำไปประกอบเป็นระบบตามบล็อคไดอะแกรม แล้วทำการวัดคลื่นในห้องป้องกันคลื่นจากภายนอก(Absorber Room) สังเกตความแตกต่างในออสซิลโลสโคปเมื่อมีวัตถุวางอยู่และไม่มีวัตถุวางอยู่

ส่วนในภาคการศึกษาที่สอง จะนำสัญญาณที่วัดได้ส่งเข้าคอมพิวเตอร์โดยตรงเพื่อประมวลผลหาลักษณะรูปร่างของวัตถุออกมา โดยใช้การควบคุมสายอากาศให้วัดสัญญาณทีละจุดจนครบตามต้องการ และนำมาทดสอบประสิทธิภาพของระบบทั้งหมดเพื่อหาปัญหาและข้อบกพร่องต่างๆของระบบแล้วนำมาแก้ไขต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

เรดิโอมิเตอร์ (Radio Meter) คือ เครื่องรับที่ใช้วัดความแรงของคลื่นวิทยุที่แผ่ออกมาจากวัตถุ ซึ่งเมื่อเราสามารถวัดได้ค่าความต่างศักย์แล้ว เราสามารถแปลงความต่างศักย์นั้นให้เป็นกำลังงานและอุณหภูมิตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิเป็นสิ่งที่เราต้องการจากการวัด สามารถทำได้ง่าย เช่น การวัดด้วยสายอากาศอุดมคติที่มีความคมไปยังวัตถุนั้นๆ



รูปที่ 2.1 แสดงสถานการณ์ในการวัด

ในสายอากาศที่ไม่มีการสูญเสียหรือในอุดมคติ เราสามารถตั้งสมมุติฐานได้ว่า T_B (อุณหภูมิของวัตถุ) ถูกส่งผ่านสายอากาศสามารถวัดอุณหภูมิได้เป็น T_A โดยจะได้ว่า $T_A = T_B$ แต่ในความเป็นจริงเป็นเรื่องยากที่ $T_A = T_B$ ได้

เมื่อวัดความต่างศักย์แล้ว เราสามารถนำมาคำนวณหากำลังงานได้จากสูตร

$$P = \frac{V^2}{R} \tag{2.1}$$

รูปที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์วัดคลื่นวิทยุแบบอุดมคติ

จากนั้นนำมาคำนวณหาอุณหภูมิจากสูตร

$$P = k \cdot B \cdot G \cdot T_A \ (watts) \tag{2.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ B: แบนด์วิดท์ (Bandwidth) มีหน่วยเป็น เฮิร์ส (Hz)

G: อัตราขยาย (Gain)

K: ค่าคงที่ของโบลท์มาน (Boltzmann's Constant) = $1.38\times10^{-23}\ J/K$

T_A : อุณหภูมิของวัตถุที่เครื่องรับได้ มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)

สมการข้างต้นเป็นสมการทางอุดมคติ แต่ในความเป็นจริงแล้วอุปกรณ์วัดคลื่นวิทยุนี้จะมีสัญญาณรบกวน(Noise) แทรกเข้ามาด้วย เป็นผลให้ต้องรวมสัญญาณรบกวนนั้นเข้าไว้กับสัญญาณอินพุทด้วย จึงได้สมการใหม่เป็น

$$P = k\cdot B\cdot G\cdot(T_A + T_N)\quad (watts) \tag{2.3}$$

โดยที่ T_N : อุณหภูมิของสัญญาณรบกวน (Noise Temperature) มีหน่วยเป็น เคลวิน(K)

รูปที่ 2.3 แสดงอุปกรณ์วัดคลื่นวิทยุในความเป็นจริง

และสมการความไวในการรับคลื่น(Sensitivity) พื้นฐานคือ

$$\Delta T = \frac{T_A + T_N}{\sqrt{B\cdot\tau}} \tag{2.3}$$

โดยที่ τ : ระยะเวลาในการอินทิเกรต (Integration Time) มีหน่วยเป็น วินาที (s)

<u>ตัวอย่าง</u> พิจารณาเรดิโอมิเตอร์ที่มีอุณหภูมิของสัญญาณรบกวน 800 K แบนด์วิดท์เท่ากับ 100 MHz ระยะเวลาในการอินทิเกรต 10 ms และจานสายอากาศสามารถวัดสัญญาณได้ 200 K จงหาความไวในการรับคลื่น

$$\Delta T = \frac{200+800}{\sqrt{10^8\cdot10^{-2}}}\quad K$$

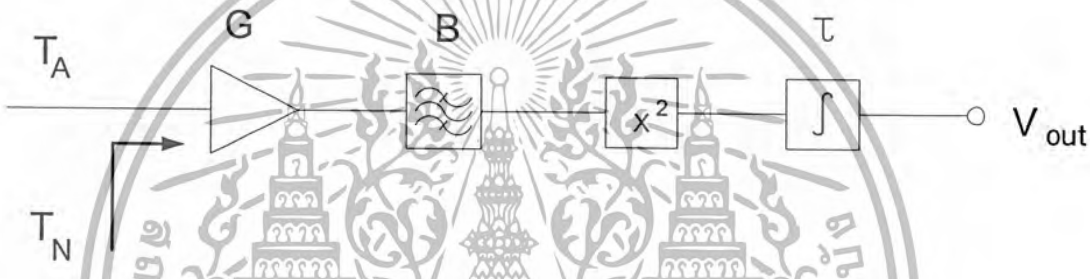
$$\Delta T = 1\ K$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 หลักการของเรดิโอมิเตอร์ชนิดต่างๆ

เรดิโอมิเตอร์คือเครื่องรับคลื่นวิทยุชนิดหนึ่งดังที่ได้กล่าวมาแล้ว บล็อกไดอะแกรมอย่างง่ายที่สุดของเรดิโอมิเตอร์ได้แสดงแล้วดังรูปที่ 2.3 แต่การพัฒนาเรดิโอมิเตอร์ยังมีอย่างต่อเนื่อง เราจึงสามารถแบ่งชนิดของเรดิโอมิเตอร์เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆคือ โทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ (Total Power Radiometer: TPR) ดิกกี้เรดิโอมิเตอร์ (Dicke Radiometer: DR) และ นอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์ (The Noise-Injection Radiometer: NIR) ซึ่งเนื้อหาที่จะกล่าวถึงต่อไป ตัวอย่างเช่น บล็อกไดอะแกรมอย่างละเอียดเพื่อที่จะนำไปอธิบายในส่วนประกอบต่างๆต่อไป ทฤษฎีที่ใช้ป้องกันการสูญเสียความแม่นยำอันเนื่องมาจากอัตราการขยายและอุณหภูมิของสัญญาณรบกวนที่ไม่คงที่ เป็นต้น

2.1.1 โทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ (Total Power Radiometer: TPR)



รูปที่ 2.4 แสดงโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์

ช่วงตอนต้นได้อธิบายทฤษฎีของเรดิโอมิเตอร์ไปบางส่วนแล้ว ซึ่งรูปที่ 2.4 เป็นบล็อกไดอะแกรมโดยละเอียดทำให้สามารถอธิบายฟังชั่นต่างๆของเรดิโอมิเตอร์ได้ดีขึ้น

อัตราการขยายของเรดิโอมิเตอร์นั้น มีค่าเท่ากับอัตราการขยายของวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) และการเลือกความถี่จะใช้แบนด์วิดท์ของวงจรกรองสัญญาณ (Filter) กำลังงานของคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Power) จะถูกตรวจจับ (Detect) ออกมาเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด วงจรตรวจจับ (Detector) สองชนิดที่สามารถทำได้โดยง่ายคือ ลิเนียร์ดีเทคเตอร์ (Linear Detector) ซึ่งใช้ ไมโครเวฟเซมิคอนดักเตอร์ไดโอด (Microwave Semiconductor Diodes) และแสควร์ลอว์ดีเทคเตอร์ (The Square-Law Detector) ซึ่งในกรณีนี้เราจะใช้แสควร์ลอว์ดีเทคเตอร์ ดังนั้น ระดับความต่างศักย์ที่ด้านออก (Output Voltage) จะแปรผันโดยตรงกับ ระดับความต่างศักย์ที่ด้านรับ (Input Voltage) ซึ่งขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิที่รับเข้ามา (Input Temperature) และควรจะใช้วงจรอินทิเกรต (Integrator) เพราะสัญญาณจากวงจรตรวจจับสัญญาณจะถูกทำให้เรียบได้โดยใช้วงจรอินทิเกรตและเอาท์พุทที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอก็จะลดลงด้วยโดยสิ่งที่เพิ่มมาคือ ระยะเวลาในการอินทิเกรต

ความต่างศักย์ทางด้านออก สามารถหาได้จาก

$$V_{out} = c \cdot (T_A + T_N) \cdot G \quad (Volt) \qquad (2.4)$$

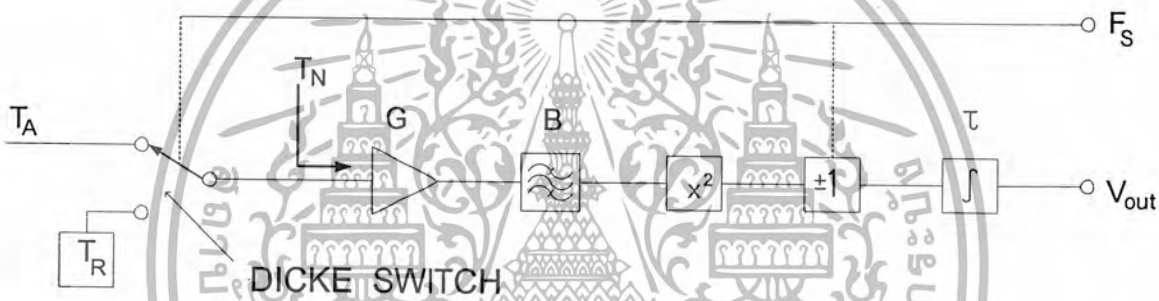
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ c: ค่าคงที่ (Constant)

เมื่อ V_{OUT} จะขึ้นกับ T_N และ G ซึ่งดังที่ได้อธิบายแล้วว่า ความเสถียรภาพนั้นไม่เพียงพอที่จะทำให้มีความถูกต้องแม่นยำอย่างสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามในบางกรณี โทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ ก็สามารถใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ดีเมื่อมีการปรับปรุงและแก้ไขบ่อยครั้ง เช่นทุกๆ 1-2 วินาที ถ้าสามารถเป็นไปได้ และค่าความไวของโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์หาได้เช่นเดียวกับสมการที่ 2.3

2.1.2 ดิกกี้เรดิโอมิเตอร์ (Dicke Radiometer: DR)

ในปี ค.ศ.1946 อา.เอช.ดิกกี้ (R.H. Dicke) ได้พบหนทางที่จะอธิบายปัญหาความไม่เสถียรภาพของระบบเรดิโอมิเตอร์ โดยไม่ใช้ค่าที่ได้จากการวัดอุณหภูมิจากสายอากาศโดยตรง แต่จะใช้ค่าความแตกต่างของค่าที่วัดได้กับค่าอุณหภูมิอ้างอิงที่กำหนดไว้ ซึ่งจะทำให้ค่าความไวในการรับที่อัตราการขยายและอุณหภูมิสัญญาณรบกวนที่ไม่คงที่ นั้นมีค่าคงที่มากขึ้น



รูปที่ 2.5 แสดงดิกกี้เรดิโอมิเตอร์

อินพุทของเรดิโอมิเตอร์จะถูกสวิตซ์ไปมาอย่างรวดเร็วระหว่างค่าอุณหภูมิของสายอากาศและค่าอุณหภูมิอ้างอิงโดยความถี่ในการสวิตซ์ (F_S) ประมาณ 1000 Hz ค่าเอาท์พุทของแสควร์ลอว์ดีเทคเตอร์จะถูกคูณด้วย +1 หรือ -1 ขึ้นอยู่กับตำแหน่งสวิตซ์ก่อนทำการอินทิเกรต ดังนั้นเอาท์พุต คือ

$$V_1 = c \cdot (T_A + T_N) \cdot G \qquad (2.5)$$

ในครึ่งคาบเวลาแรกของ F_S และ

$$V_2 = -c \cdot (T_R + T_N) \cdot G \qquad (2.6)$$

ในครึ่งคาบเวลาหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในเงื่อนไขที่ว่า ความถี่ในการสวิตซ์ (F_S) ที่รวดเร็วนั้น T_A, T_N และ G จะถูกมองเป็นค่าคงที่ในช่วงเวลานั้นซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สั้นมาก เมื่อเทียบกับเวลาในการอินทิเกรต ฉะนั้นค่าเอาท์พุทของเรดิโอมิเตอร์ หาได้จาก

$$V_{OUT} = V_1 + V_2$$
$$V_{OUT} = c \cdot (T_A + T_N) \cdot G - c \cdot (T_R + T_N) \cdot G \quad (2.7)$$
$$V_{OUT} = c \cdot (T_A - T_R) \cdot G \quad (2.8)$$

จะเห็นได้ว่า T_N จะถูกกำจัดออกไป ในขณะที่ G ยังมีอยู่ ซึ่งตอนนี้ G ถูกคูณอยู่กับค่าความแตกต่างของ T_A และ T_R ซึ่ง T_R จะถูกเลือกอย่างเหมาะสมให้มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับ T_A ในขณะที่โทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ นั้น G จะถูกคูณด้วยผลรวมระหว่าง T_A และ T_N ซึ่งมีค่าค่อนข้างมาก ทฤษฎีของดิกกี้นั้นมีประโยชน์อย่างมากและดิกกี้เรดิโอมิเตอร์นั้นยังเป็นที่นิยมใช้มากที่สุดอีกด้วย

ราคาที่มากขึ้นนั้นคุ้มค่าเมื่อทำให้ความไม่เสถียรภาพลดลง ในขณะที่ช่วงเวลาครึ่งหนึ่งในการวัดถูกใช้ไปกับการวัดสัญญาณสายอากาศและอีกครึ่งหนึ่งถูกใช้ไปกับอุณหภูมิอ้างอิง ซึ่งทำให้ค่าความไวในการรับน้อยกว่าโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์

เอาท์พุทของดิกกี้เรดิโอมิเตอร์ จะถูกมองว่าเป็นค่าความแตกต่างของเอาท์พุทที่มีค่าใกล้เคียงกันของโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์สองตัว โดยที่โทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ตัวที่ 1วัดสัญญาณสายอากาศและโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ตัวที่ 2 วัดสัญญาณอ้างอิง ซึ่งแต่ละเรดิโอมิเตอร์ใช้เวลาในการอินทิเกรตเท่ากับ $\frac{\tau}{2}$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเอาท์พุทจากโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ตัวที่ 1 (โดยใช้สมการที่ 2.3) คือ

$$\Delta T_1 = \frac{T_A + T_N}{\sqrt{B \cdot \frac{\tau}{2}}} \quad (2.9)$$

และจากโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ตัวที่ 2 คือ

$$\Delta T_2 = \frac{T_R + T_N}{\sqrt{B \cdot \frac{\tau}{2}}} \quad (2.10)$$

ขณะที่สัญญาณเอาท์พุทโดยอาศัยข้อมูลทางสถิติ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณที่แตกต่างกันคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta T = \left[(\Delta T_1)^2 + (\Delta T_2)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\Delta T = \left[\frac{(T_A + T_N)^2}{B \cdot \frac{\tau}{2}} + \frac{(T_R + T_N)^2}{B \cdot \frac{\tau}{2}}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (2.11)$$

$$\Delta T = \frac{(2(T_A + T_N)^2 + 2(T_R + T_N)^2)^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{B \cdot \tau}}$$

ค่า T_R ถูกเลือกมาให้อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับ T_A ดังนั้น T_R ในสมการที่ 2.11 จะถูกแทนที่ด้วย T_A ซึ่งจะได้

$$\Delta T = 2 \cdot \frac{T_A + T_N}{\sqrt{B \cdot \tau}} \qquad (2.12)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าความไวการรับคลื่นวิทยุของดิกกี้เรดิโอมิเตอร์นั้นน้อยกว่าโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ถึง 2 เท่า

2.1.3 นอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์ (The Noise-Injection Radiometer: NIR)

รูปที่ 2.6 แสดงนอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์

นอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์ เป็นเรดิโอมิเตอร์ที่มีความแม่นยำและเที่ยงตรงมากที่สุด นั่นคือ เอาท์พุทจะไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการขยายและอุณหภูมิของสัญญาณรบกวนที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

จากสมการที่ 2.8 จะเห็นได้ว่า เอาท์พุทของดิกกี้เรดิโอมิเตอร์จะมีค่าเท่ากับศูนย์ ถ้าอุณหภูมิสายอากาศและอุณหภูมิอ้างอิงมีค่าเท่ากัน ซึ่งนอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์นั้นจะสามารถทำงานต่อไปได้ในเงื่อนไขนี้โดยลูป(Loop) ของระบบควบคุมที่ทำงานด้วยสัญญาณพลังงานต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของเครื่องมือตรวจจับระยะไกล(Remote Sensing) ส่วนมากอุณหภูมิของสายอากาศจะต่ำกว่า 300 K อุณหภูมิอ้างอิงในดิกกี้เรดิโอมิเตอร์อาจจะเท่ากับอุณหภูมิทางกายภาพในส่วนไมโครเวฟฟรอนท์เอนด์ (Microwave Front-End) นั่นคือประมาณ 300-320 K ในรูปที่ 2.6 จะเห็นว่า T_I ของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนเปลี่ยนแปลงได้ (Variable Noise Generator) จะถูกนำมาบวกกับสัญญาณจากสายอากาศ (T_A) ทำให้ได้ $T_{A'}$ ไปเป็นอินพุทของดิกกี้เรดิโอมิเตอร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับอุณหภูมิอ้างอิง (T_R) โดยจะทำให้เอาท์พุทที่ออกมามีค่าเป็นศูนย์ ลูปของระบบควบคุมที่ทำงานด้วยสัญญาณพลังงานต่ำจะทำหน้าที่ปรับค่า T_I เพื่อให้สภาวะที่เอาท์พุตมีค่าศูนย์ หรือใกล้ๆศูนย์นั้นยังคงอยู่
จากสมการที่ 2.8 จะได้

$$V_{OUT} = c \cdot (T_{A'} - T_R) \cdot G = 0 \qquad (2.13)$$

แทน $T_{A'} = T_A + T_I$ ลงในสมการที่ 2.13 จะได้

$$T_A = T_R - T_I \qquad (2.14)$$

T_R เป็นค่าคงที่ ดังนั้นการที่รู้ค่าของ T_I ก็จะทำให้รู้ค่าของ T_A ความถูกต้องแม่นยำของดิกกี้เรดิโอมิเตอร์ในนอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์ และอัตราการขยายของลูป (Loop Gain) นั้นไม่มีส่วนสำคัญสำหรับความถูกต้องแม่นยำในการที่จะหา T_A ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความถูกต้องแม่นยำของ T_I มากกว่า การปรับแหล่งกำเนิดสัญญานรบกวนด้วยเอาท์พุทที่สามารถปรับค่าได้โดยใช้การป้อนกลับ (Injecting) สัญญาณ T_I เข้าไปในอินพุทโดยการนำมาบวกกับ T_A

ค่าความไวของการรับสัญญาณของนอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์ หาได้ง่ายโดยใช้สมการที่ 2.12

$$\Delta T = 2 \cdot \frac{T_{A'} + T_N}{\sqrt{B \cdot \tau}} \qquad (2.15)$$

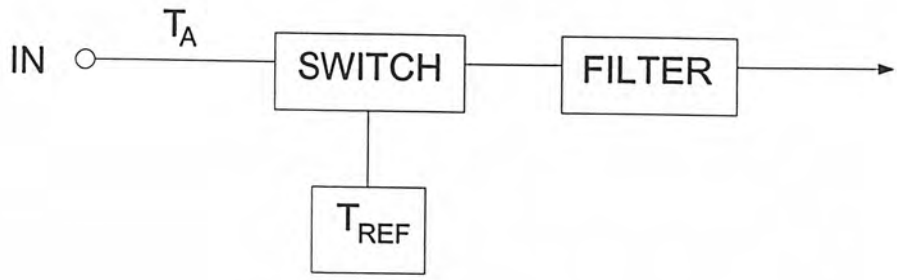
แต่ T_A มีค่าเท่ากับ T_R จะได้

$$\Delta T = 2 \cdot \frac{T_R + T_N}{\sqrt{B \cdot \tau}} \qquad (2.16)$$

ค่าความไวของการรับสัญญาณของนอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์จะมีค่าใกล้เคียงกับของดิกกี้เรดิโอมิเตอร์มากซึ่งดูได้จากการเปรียบเทียบระหว่างสมการที่ 2.16 และ 2.12

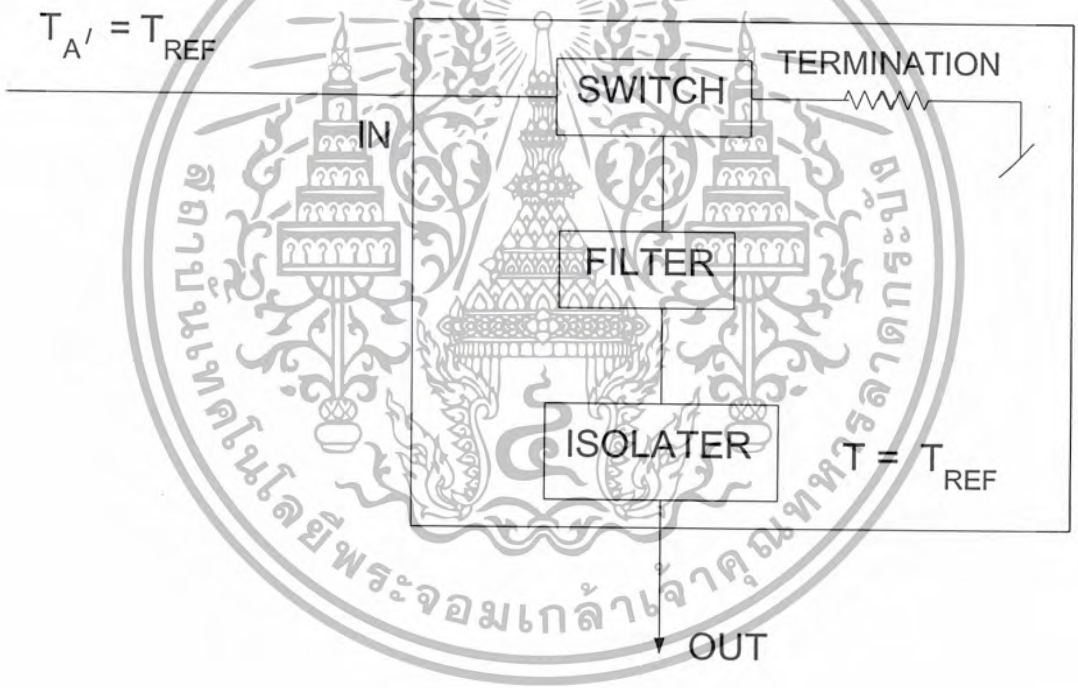
นอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์นั้น เกิดจากการนำเอาข้อดีต่างๆ มารวมกันไว้ในอันเดียว(วงจรฟรอนท์เอนด์ในเรดิโอมิเตอร์แสดงในรูปที่ 2.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงเรดิโอมิเตอร์ฟรอนท์เอนด์

ถ้าวงจรเหล่านี้ถูกเก็บไว้ในกล่องที่มีอุณหภูมิคงที่มีอุณหภูมิทางกายภาพเท่ากับอุณหภูมิอ้างอิง (T_{REF}) ส่วนที่ใช้อ้างอิงสามารถใช้เป็นส่วนท้าย (Termination) ได้ ซึ่งวงจรแบ่งแยก (Isolator) จะเพิ่มขึ้นมาหลังจากวงจรกรองความถี่ (Filter) เพื่อกำหนดขอบเขตของเอาท์พุทได้เป็นอย่างดี ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงนอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์ฟรอนท์เอนด์

สัญญาณอินพุทสามารถถูกแทนที่โดยเทอร์มิเนชั่นบนสวิทช์ภายในวงปิด ซึ่งวงปิดนี้ภายในบรรจุไว้เพียงส่วนประกอบที่เป็นแพสซีฟ(Passive) อุณหภูมิอ้างอิงทั้งหมด จะได้สัญญาณเอาท์พุทคือ

$$P_{OUT} = k \cdot T_{REF} \cdot B \qquad (2.17)$$

โดยปราศจากการเกิดการสูญเสีย(Loss) และการสะท้อนกลับ (Reflection)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 เรดิโอมิเตอร์ชนิดอื่นๆ

เรดิโอมิเตอร์ที่ได้อธิบายมาแล้ว 3 ชนิดนั้นได้มีการใช้อยู่ทั่วไป อย่างไรก็ตามยังมีเรดิโอมิเตอร์ชนิดอื่นๆอีกที่นำมาใช้ในจุดประสงค์อื่นๆที่แตกต่างกันออกไป

เรดิโอมิเตอร์แบบใช้สัญญาณอ้างอิง 2 สัญญาณ(Two-Reference Radiometer; Hach, 1968) ซึ่งช่วยแก้ปัญหาอัตราการขยายที่ไม่คงที่ซึ่งเกิดอยู่ในดิกกี้เรดิโอมิเตอร์ อุณหภูมิที่แตกต่างกันทั้งสองจะถูกเลือกและวงจรตรวจจับแบบซิงโครนัส (Synchronous Detector) จะให้เอาท์พุทที่สามารถเลือกอัตราการขยายจึงทำให้เอาท์พุทมีความถูกต้องมากขึ้น

วงจรพื้นฐานของโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์สามารถดัดแปลง เพื่อขจัดปัญหาความไม่เสถียรภาพของอัตราการขยาย ในสัญญาณรบกวนที่รวมเข้าไปในเรดิโอมิเตอร์ ขบวนพัลซ์ของสัญญาณรบกวนจะถูกบวกเข้าไปที่สัญญาณอินพุท ซึ่งอัตราส่วนของเอาท์พุทในช่วงสัญญาณรบกวน "on" กับเอาท์พุทในช่วงสัญญาณรบกวน "off" จะเป็นอัตราส่วนที่บ่งบอกถึงอัตราการขยายของเรดิโอมิเตอร์ แม้ว่าจะทำการบวกสัญญาณรบกวนเข้าไปเพื่อแก้ปัญหาดังที่กล่าวมาแต่ว่าก็ยังไม่สามารถที่จะดึงศักยภาพของความไวในการรับสัญญาณของโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ออกมาใช้ได้อย่างเต็มที่

ยังมีเรดิโอมิเตอร์อีกหลายชนิดที่ไม่ได้กล่าวถึง เช่น เครื่องรับของแกรแฮม (Graham Receiver; Graham, 1958), โกล์ดสเตน (Goldstein; 1955), ฟูจิโมโต้ (Fujimoto; 1964), แคลปป์และแม็กเวล (Clapp and Maxwell; 1967) และอิทเคน (Aitken; 1968) เป็นต้น ซึ่งแบบเหล่านี้ถูกใช้แค่ในระบบวิทยุอวกาศเท่านั้น

ในโครงงานนี้จะทำการออกแบบระบบโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ในช่วงความถี่ประมาณ 12 GHz ซึ่งจะใช้อุปกรณ์ที่หาได้ตามท้องตลาดในการออกแบบ

2.2 การวัดรังสี (RADIOMETRY)

ระบบเรดาร์นั้น จะรับข้อมูลเกี่ยวกับเป้าหมาย ได้จากการส่งสัญญาณมาของเป้าหมาย หรือจากคลื่นที่สะท้อนออกมาจากเป้าหมายเอง ซึ่งหลักการนี้จะใช้อธิบายการทำงานของระบบเซนเซอร์ระยะไกลได้ แต่การวัดรังสีนั้นจะรับค่าการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุ ซึ่งอาจจะมาจากการแผ่โดยตรง หรือสะท้อนออกมาจากสิ่งแวดล้อมรอบข้างของวัตถุนั้น เรดิโอมิเตอร์ (Radiometer) นั้นเป็นเครื่องรับที่ไวต่อผลตอบสนองมาก โดยเฉพาะเมื่อออกแบบมาเพื่อใช้ในการวัดกำลังงานของน้อยส์ (noise)

ทฤษฎี และ การประยุกต์ใช้งานของการวัดรังสี

วัตถุในดุลยภาพของความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนกับพลังงานกล ที่มีอุณหภูมิเท่ากับ T นั้นจะแผ่พลังงานออกมา โดยจะมีค่าตามกฎของแพลงค์ (Plank's Law) ซึ่งในส่วนของไมโครเวฟนั้น กำลังงานจะมีค่าเท่ากับ

$P = k.T.B$; เมื่อ P คือ ค่ากำลังงานที่แผ่ออกมา

k คือ ค่าคงที่ของโบลมานซ์ (1.38×10^{-23} J/K)

B คือ ค่าแบนด์วิดท์ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการนี้จะใช้ได้กับ วัตถุดำซึ่งเป็นวัตถุในอุดมคติ คือ เป็นวัตถุที่ดูดซับพลังงานทั้งหมด และไม่มีการสะท้อน โดยวัตถุดำนี้จะแผ่พลังงานในอัตราเดียวกันกับการดูดซับพลังงานของมันเองซึ่งเป็นไปตามดุลยภาพของสมดุลความร้อน ส่วนวัตถุที่ไม่ใช่วัตถุในอุดมคตินั้น จะมีส่วนของพลังงานที่สะท้อนออกมา ดังนั้นกำลังงานที่แผ่ออกมาของมันจึงมีค่าน้อยกว่ากำลังงานที่แผ่ออกมาของวัตถุดำ ที่อุณหภูมิเดียวกัน และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่แผ่ออกมาจากวัตถุที่ไม่ใช่วัตถุในอุดมคติกับวัตถุในอุดมคตินั้นเรียกว่า อัตราการแผ่กระจายคลื่น (Emissivity) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$e = P / k.T.B$; เมื่อ e คือ ค่าอัตราแผ่กระจายคลื่น (Emissivity)

P คือ ค่ากำลังงานที่แผ่ออกมาจากวัตถุที่ไม่ใช่วัตถุในอุดมคติ

k.T.B คือ ค่ากำลังงานที่แผ่ออกมาจากวัตถุในอุดมคติ

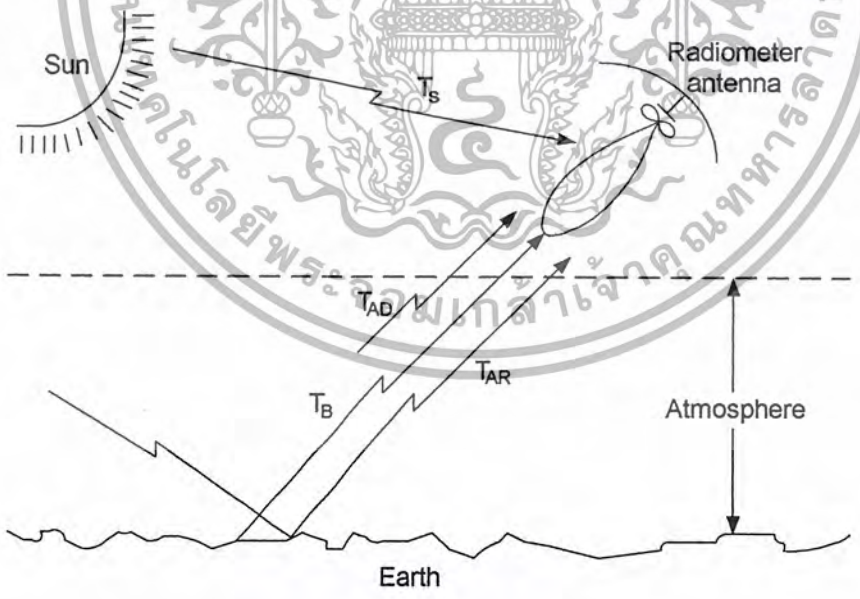
ดังนั้น ค่าอัตราฉายแสง(Emissivity) จะมีค่า $0 < e < 1$ และเมื่อ $e = 1$ แล้ว วัตถุนั้นจะเป็นวัตถุดำที่สมบูรณ์แบบนั้นเอง

กำลังงานของน้อยส์(Noise) สามารถบอกได้ในเทอมของ อุณหภูมิได้เหมือนกัน ดังนั้นการวัดรังสีจึงทำให้สามารถหา ค่าอุณหภูมิความสว่างของวัตถุ (Brightness Temperature) ได้จาก

$T_B = eT$; เมื่อ T_B คือ ค่าอุณหภูมิความสว่างของวัตถุ

T คือ ค่าอุณหภูมิทางกายภาพของวัตถุ

จากค่า T_B ที่ได้จะเห็นได้ว่า วัตถุจะมีสีสว่างเย็นตากว่าเมื่อเทียบกับค่าอุณหภูมิจริงของมัน



รูปที่ 2.9 แสดงการรับคลื่นของสายอากาศ

จากรูปที่ 2.9 แสดงสายอากาศของเรดิโอมิเตอร์ ซึ่งทำการรับค่ากำลังงานของน้อยส์จากที่มาหลายที่ โดยสายอากาศนั้นหันไปทางโลก มีค่าอุณหภูมิความสว่างของวัตถุซึ่งมาจากโลกโดยตรงเท่ากับ T_B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และชั้นบรรยากาศแผ่คลื่นออกมาในทุกทิศทาง ซึ่งจะมีองค์ประกอบที่แผ่โดยตรงไปยังสายอากาศคือ T_{AD} ขณะที่กำลังงานที่สะท้อนจากโลกไปยังสายอากาศมีค่าเท่ากับ T_{AR} นอกจากนี้ยังมีกำลังงานของน้อยซ์ ที่เข้าไปทางไซด์โลบ(Side Lobe) ของสายอากาศซึ่งอาจจะมาจากดวงอาทิตย์หรือแหล่งกำเนิดอื่นๆ ก็ได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิความสว่างของวัตถุรวม (Total T_B) นั้นเป็นฟังก์ชั่นของสิ่งแวดล้อมภายในสิ่งที่ทำการสังเกตอยู่ เช่น มุมที่ทำการสังเกต ความถี่ โพลาไรซ์เซชั่น ค่าลดทอนจากชั้นบรรยากาศ และแพทเทอร์นของสายอากาศ เป็นต้น จุดประสงค์ของการวัดรังสีนั้นนั่นก็คือ บ่งบอกข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมที่ทำการสังเกตอยู่ จาก T_B ที่วัดได้ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง T_B กับ สภาวะทางกายภาพของสิ่งแวดล้อมที่ทำการสังเกตอยู่ ตัวอย่างเช่น กำลังงานที่สะท้อนจากชั้นของหิมะเหนือพื้นดิน ซึ่งเหมือนกับการสะท้อนของระนาบคลื่นจากชั้นของฉนวน ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาขั้นตอนการคำนวณที่จะทำให้ได้ความหนาของชั้นหิมะ ในเทอมของ T_B ที่วัดได้ ที่ความถี่ต่างๆ กัน

การวัดรังสีไมโครเวฟ เป็นเทคโนโลยีใหม่ ซึ่งเป็นการรวมศาสตร์หลายอย่างเข้าด้วยกัน เช่น วิศวกรรมไฟฟ้า สมุทรศาสตร์ กายภาพของพื้นโลก เกี่ยวกับชั้นบรรยากาศ และวิทยาศาสตร์อวกาศ โดยการประยุกต์ใช้งานของการวัดรังสีไมโครเวฟ มีดังนี้

การประยุกต์ใช้งานทางด้านสิ่งแวดล้อม

- การวัดค่าความชื้นของดิน
- การทำแผนที่อุทกภัย
- การทำแผนที่ในพื้นที่ที่มีหิมะและน้ำแข็งปกคลุม
- ความเร็วของลมที่พื้นผิวของมหาสมุทร
- ข้อมูลของอุณหภูมิชั้นบรรยากาศ
- ข้อมูลของความชื้นชั้นบรรยากาศ

การประยุกต์ใช้งานทางด้านทหาร

- การค้นหาเป้าหมาย
- การจดจำเป้าหมาย
- การตรวจตรา
- การทำแผนที่ทางทหาร

การประยุกต์ใช้งานทางด้านดาราศาสตร์

- การทำแผนที่ดาวเคราะห์
- การทำแผนที่การแผ่ของแสงอาทิตย์
- การทำแผนที่ของวัตถุต่างๆ ในกาแลคซี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่ากำลังงาน

เมื่อกำหนด B = 700 MHz

k= $1.38*10^{-23}$ J/K

จากสูตร $P = ekTB$

MATERIAL	TEMP °F (°C)	e-EMISSIVITY
Water	100 (38)	.67
MATERIAL	TEMP °F (°C)	e-EMISSIVITY
Waterglass	68 (20)	.96
Ice		
Smooth	32 (0)	.97
Cloth	199 (93)	.90

Water

$$T = 38°C + 273 = 311 \quad K$$
$$e = 0.67$$
$$P = (0.67)(1.38 \times 10^{-23})(311)(700M)$$
$$= 2.01 \times 10^{-12} \; w$$
$$= -86.968 \quad dBm$$

Waterglass

$$T = 20°C + 273 = 293 \quad K$$
$$e = 0.96$$
$$P = (0.96)(1.38 \times 10^{-23})(293)(700M)$$
$$= 2.717 \times 10^{-12} \; w$$
$$= -85.659 \quad dBm$$

Ice (Smooth)

$$T = 0°C + 273 = 273 \quad K$$
$$e = 0.93$$
$$P = (0.93)(1.38 \times 10^{-23})(273)(700M)$$
$$= 2.45 \times 10^{-12} \; w$$
$$= -86.108 \quad dBm$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cloth

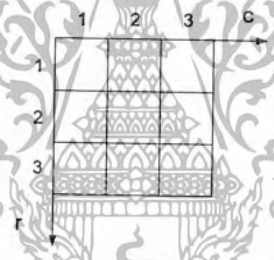
$$T = 93℃ + 273 = 366 \quad K$$
$$e = 0.9$$
$$P = (0.9)(1.38 \times 10^{-23})(366)(700M)$$
$$= 3.18 \times 10^{-12}\ w$$
$$= -84.976 \quad dBm$$

2.3 การประมวลภาพด้วย Matlab เบื้องต้น (Basic Image Processing with Matlab)

จุดประสงค์เพื่อศึกษาการประมวลผลภาพเบื้องต้นด้วยโปรแกรม Matlab ภาพที่สามารถดำเนินการได้ใน Matlab

- Index Image
- Intensity Image
- Binary Image
- RGB Image

ซึ่งโดยปกติ Matlab จะเก็บข้อมูลอยู่ในรูปของเมตริกอยู่แล้ว ทำให้ง่ายในการเข้าถึงแต่ละ pixel



รูปที่ 2.10 แสดงการเก็บข้อมูลรูปภาพใน Matlab

2.3.1 Index Image

จะเก็บอยู่ในรูปดัชนีซึ่งจะชี้ไปยังตารางสี ซึ่งประกอบด้วย 3 Column อัน หมายถึง สีแดง สีเขียว และสีฟ้า ตามลำดับ โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง [0,1]

คำสั่ง COLORMAP (MAP) ทำการเซตตารางสีให้เป็นแบบที่กำหนด

COLORMAP ('default') ทำการเซตตารางสีให้เป็นแบบ default (JET)

โดย MAP ของสีจะมีให้เลือกใช้ คือ GRAY, PINK, COOL, BONE, COPPER, HOT และ JET เป็นต้น เราสามารถสร้าง map ของสีได้จาก color = [R G B] โดย RGB นี้เป็น Column vector มีค่า [0,1]

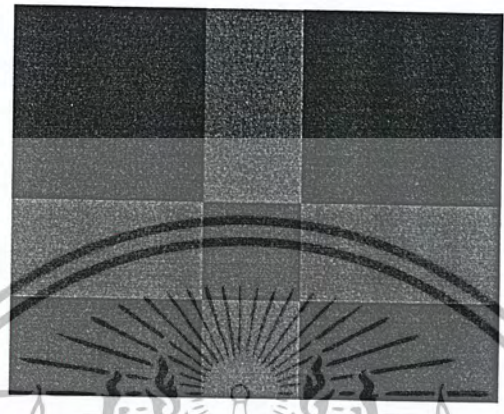
imshow(X,map) ทำการแสดงภาพ ด้วยตารางสี (map) ที่กำหนด

ตัวอย่าง

```
X = [1 1 2 1 3
     1 1 2 3 1
     2 2 3 2 2
     1 3 2 1 1];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
map = [.4 .4 .4
       0  .6  1
       1  0   0]
imshow(X,map)
```



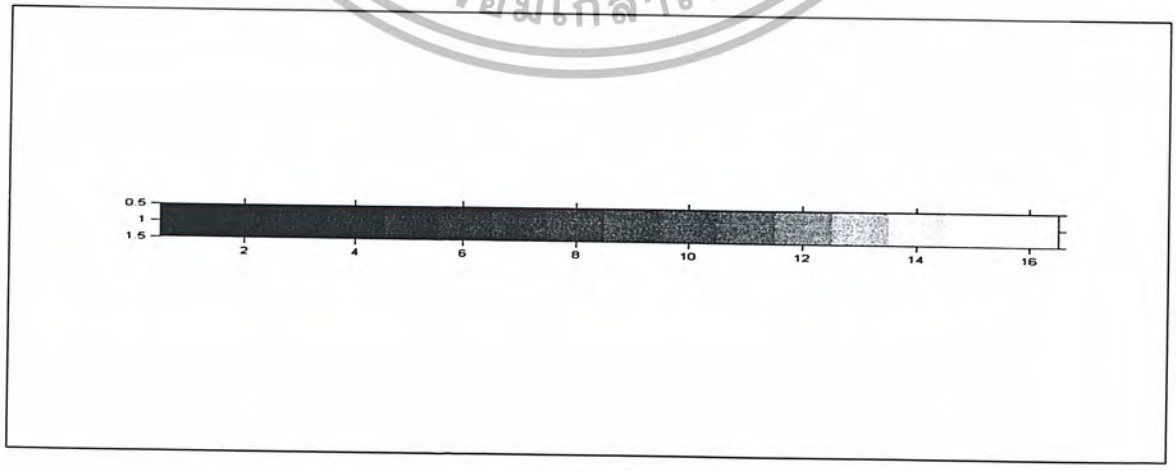
รูปที่ 2.11 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

2.3.2 ภาพ Intensity Image

จะถูกเก็บอยู่ในรูปเมตริกเดี่ยว โดยข้อมูลที่ถูกบรรจุข้างในจะเป็นแบบ double [0.0,1.0] ซึ่งเป็นค่าความเข้มแสง ภาพที่เก็บจึงเป็นแบบภาพ gray

ตัวอย่าง

```
I = (0:15)/15;  %สร้างภาพ I เป็น row vector ขนาด 1x16 มีค่า ตั้งแต่ 0 ถึง 1
imshow(I,64);  %แสดงภาพ I โดยกำหนด index ของโทนสีเป็น 64 ระดับ
axis on;
```



รูปที่ 2.12 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3.3 ภาพ Binary Image

Intensity

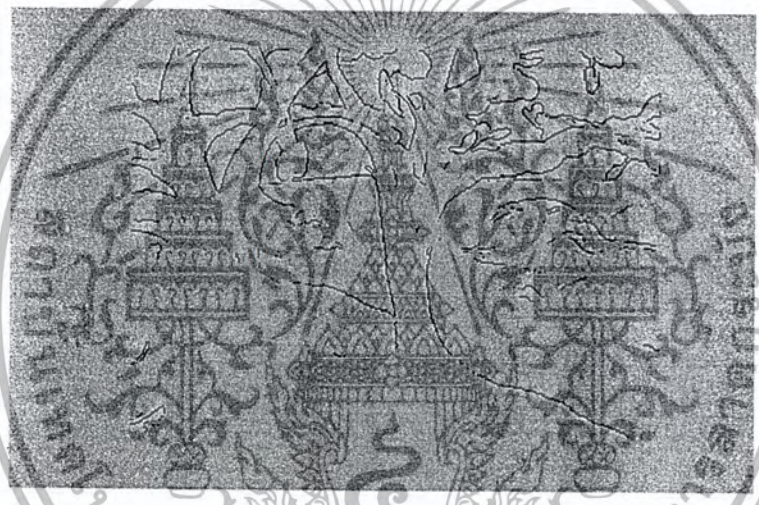
0 1

ตัวอย่าง

```
Load trees
I = ind2gray(X,map);
BW = edge(I);
imshow(BW,2)   %แสดงภาพขาวดำ,ในกรณีที่ต้องดำเนินการใดๆ เช่น บวก ลบ ค่าใน
```

แต่ละ pixel, ต้องทำการแปลง unit8 เป็น double เช่น

```
BW1 = double(BW);
Imshow(~BW1,2)
```



รูปที่ 2.13 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

ตัวอย่าง

```
BW = [0 0 1 0 0
      0 1 1 1 0
      1 1 1 1 1
      0 1 1 1 0
      0 0 1 0 0];
Imshow(BW, 2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62106

รูปที่ 2.14 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

2.3.4 ภาพ RGB Image

ตัวอย่าง

```
load trees
[R,G,B] =ind2rgb(x,map)
Imshow(R,G,B)
```

รูปที่ 2.15 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง

```
R = [ .4  .4  0  .4  1
      .4  .4  0  1  .4
       0   0  1  0  0
      .4   1  0  .4  .4 ];
G = [ .4  .4  .6  .4  0
      .4  .4  .6  0  .4
      .6  .6  0  .6  .6
      .4  0  .6  .4  .4 ];
B = [ .4  .4  1  .4  0
      .4  .4  1  0  .4
       1   1  0  1  1
      .4  0  1  .4  .4 ];
imshow(R,G,B)
```

รูปที่ 2.16 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปลงชนิดภาพ Matlab

Function	purpose
dither	Create a binary image from a grayscale intensity image by dithering create an indexed image from an RGB image by dithering
gray2ind	Create an index image from a grayscale intensity image
grayslice	Create an index image from a grayscale intensity image by thresholding
im2bw	Create a binary image from a intensity image, indexed image, or RGB image base on a luminance threshold
ind2gray	Create a grayscale intensity image from a indexed image
ind2gray	Create an RGB image from an indexed image
mat2rgb	Create a grayscale intensity image from data in a matrix by scaling the data
rgb2gray	Create a grayscale intensity image from an RGB image
rgb2ind	Create an indexed image from a RGB image

การ Import และ Export ภาพใน Matlab

- BMP (Microsoft Window Bitmap)
- HDP (Hierarchical Data Format)
- JPEG (Joint Photographic Expert Group)
- PCX (Paintbrush)
- PNG (Portable Network Graphics)
- TIFF (Tagged Image File Format)
- XWD (X Window Dump)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง การอ่านและเขียนไฟล์ภาพ

```
RGB = imread('canoe.tif'); % JPEG      Workspace      RGB
Imwrite(X,map, 'clown.bmp');  % ทำการเขียนภาพ indexed ด้วย colormap = mapในไฟล์
```

ชื่อ 'clown.bmp';

ในกรณีต้องการทราบข้อมูลเกี่ยวกับไฟล์ภาพ สามารถทำได้โดยคำสั่ง imfinfo

```
info = imfinfo(filename,fmt) % fmt= image file format
info = imfinfo(filename)  % fmt จะหาได้จากextention ของไฟล์ภาพ
```

ตัวอย่าง

```
info = imfinfo('canoe.tif')
ผลลัพธ์ที่ได้
info =
 Filename: 'canoe.tif'
   FileModeDate: '25-Feb-2005 23:54:03'
 Filesize: 75326
 Format: 'tif'
 Format Version: []
 Width: 454
 Height: 198
 BitDepth: 8
 ColorType: 'index'...
```

การปรับขนาดภาพ(Image Resizing)

Y = imresize(X,mag) %ในกรณีที่ mag มีค่ามากกว่าหนึ่ง จะเป็นการขยายภาพ และในกรณีที่ mag มีค่าอยู่ระหว่าง (0,1) จะเป็นการลดขนาดภาพ

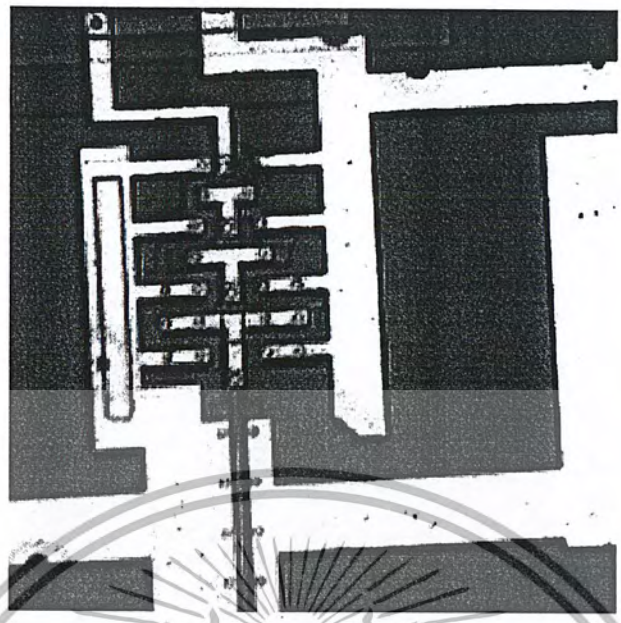
Y = imresize(X,[100 150]) %.=ใช้ในกรณีที่ต้องการกำหนดขนาดของภาพ output ให้มีขนาด [100 150] เป็นต้น

การ Rotate ภาพ

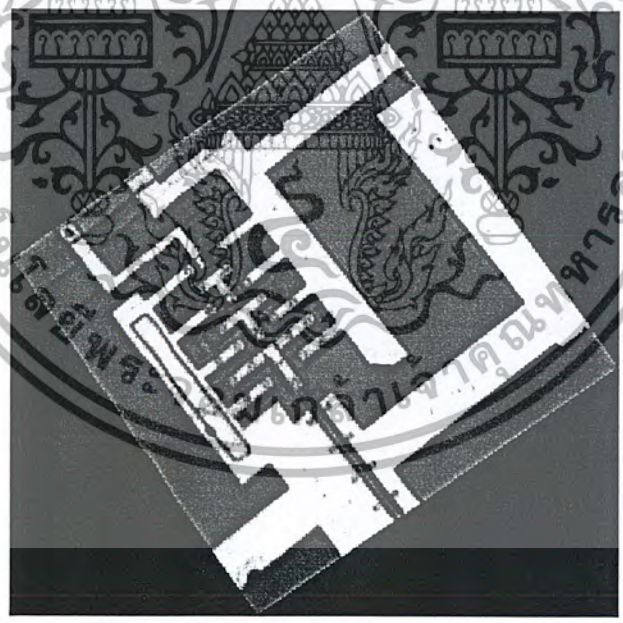
ตัวอย่าง

```
I = imread('ic.tif');
J = imrotate(I,35, 'bilinear');
Imshow(I)
Figure,imshow(J)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่างที่ยังไม่ได้ทำการหมุน



รูปที่ 2.18 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่างที่ทำการหมุนแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

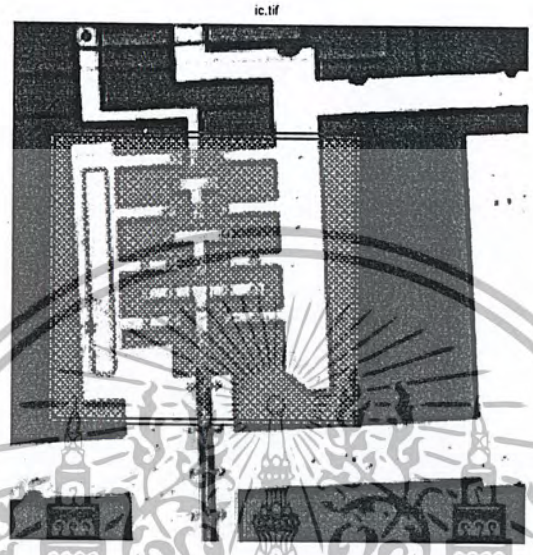
การ Crop ภาพ

ในการ Crop ภาพ ใช้คำสั่ง

ตัวอย่าง

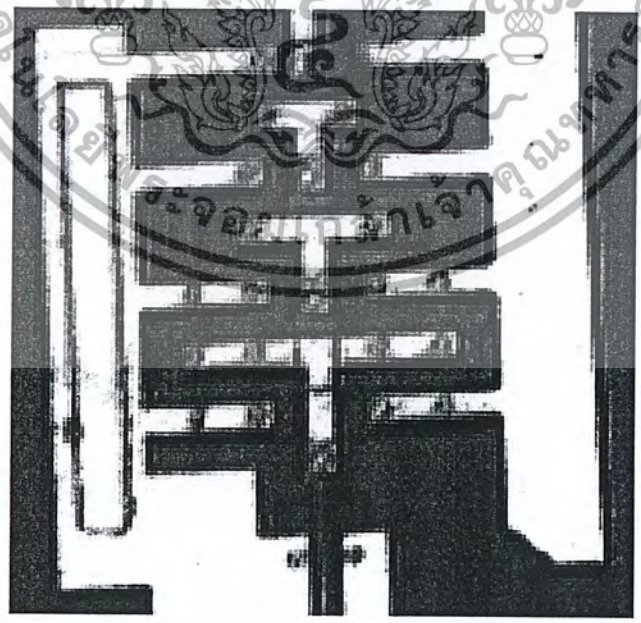
Imshow ic.tif

I = imcrop; %จะปรากฏ window ในการ crop ดังรูป



รูปที่ 2.19 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

ผลที่ได้จะเก็บไว้ใน I ซึ่งสามารถแสดงด้วยคำสั่ง imshow(I)



รูปที่ 2.20 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ Transform ภาพ

1. Fourier Transform

เนื่องจากข้อมูลภาพมีลักษณะเป็นข้อมูล 2 มิติ ดังนั้นการแปลงจึงเป็นแบบ 2 มิติ ดังนี้

$$F(\omega_1.\omega_2) = \sum_{m=-\infty}^{\infty}\sum_{n=-\infty}^{\infty} f(m.n)e^{-j\omega_1 m}e^{-j\omega_2 n}$$

$$f(m.n) = \frac{1}{2\pi}\int_{\omega_1=-\pi}^{\pi}\int_{\omega_2=-\pi}^{\pi} F(\omega_1.\omega_2)e^{j\omega_1 m}e^{j\omega_2 n}d\omega_1 d\omega_2$$

โดยมีการแปลง Discrete Fourier Transform คือ

$$F(q.p) = \sum_{m=0}^{M-1}\sum_{n=0}^{N-1} f(m.n)e^{j(2\pi/M)p.m}e^{j(2\pi/N)q.n} \qquad p = 0, 1,...., M-1$$

$$q = 0, 1,...., N-1$$

$$f(m.n) = \frac{1}{MN}\sum_{p=0}^{M-1}\sum_{q=0}^{N-1} F(p.q)e^{j(2\pi/M)p.m}e^{j(2\pi/N)q.n} \qquad m = 0, 1,...., M-1$$

$$n = 0, 1,...., N-1$$

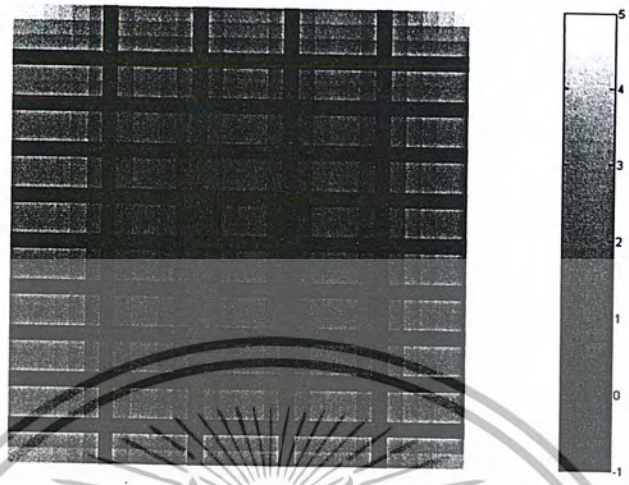
ตัวอย่าง

```
f = zeros(30,30);
f(5: 24,13:17) = 1 ;
imshow(f, 'notruesize')
```

รูปที่ 2.21 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
F = fft2(f);
F2 = log(abs(F));  % เมื่อแสดงผลการแปลงด้วย log(F(w1,w2))
Imshow(F2,[-1  5], 'notruesize'); colorbar
```



รูปที่ 2.22 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

2. การแปลง DCT (Discrete Cosine Transform)

- DCT (Discrete Cosine Transform)

$$B_{pq} = \alpha_p \alpha_q \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} A_{mn} \cos\frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos\frac{\pi(2n+1)q}{2N} \qquad 0 < p < M-1$$

$$0 < q < N-1$$

$$\alpha_p = \begin{cases} 1/\sqrt{M} & p = 0 \\ \sqrt{2/M} & 1 \le p \le M-1 \end{cases} \qquad \alpha_q = \begin{cases} 1/\sqrt{N} & q = 0 \\ \sqrt{2/N} & 1 \le q \le N-1 \end{cases}$$

เมื่อ B_{pq} = สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลง DCT

- IDCT (Inverse Discrete Cosine Transform)

$$A_{mn} = \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} \alpha_p \alpha_q B_{pq} \cos\frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos\frac{\pi(2n+1)q}{2N} \qquad 0 \le m \le M-1$$

$$0 \le n \le N-1$$

$$\alpha_p = \begin{cases} 1/\sqrt{M} & p = 0 \\ \sqrt{2/M} & 1 \le p \le M-1 \end{cases} \qquad \alpha_q = \begin{cases} 1/\sqrt{N} & q = 0 \\ \sqrt{2/N} & 1 \le q \le N-1 \end{cases}$$

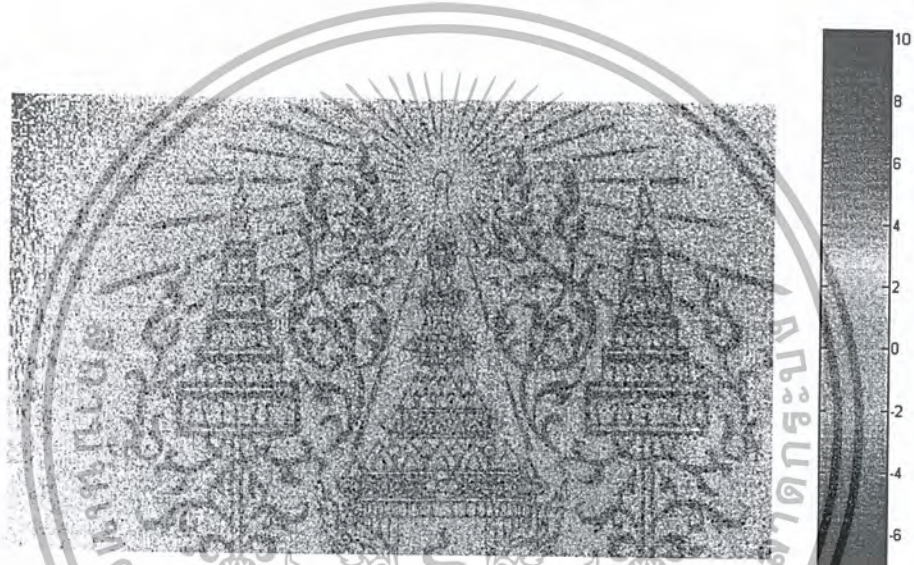
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A_{mn} =ภาพที่ได้จากการแปลงกลับ DCT

ตัวอย่าง

```
RGB = imread('autumn.tif'); %
I = rgb2gray(RGB);  %เปลี่ยนภาพสี RGB ให้เป็นภาพสีเทา (gray)
J = dct2(I);  %ทำการแปลง DCT
Imshow(log(abs(J)),[]),colormap(jet(64)), colorbar % แสดงสัมประสิทธิ์การแปลง DCT และ
```

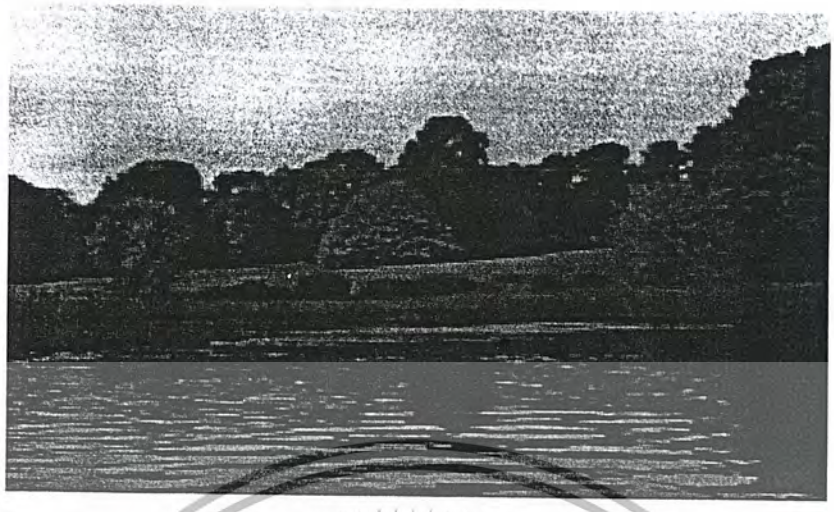
เพื่อให้ง่ายในการแสดงผล จะแสดงในรูปของ log(abs(J)) และใช้ Colormap แบบ jet(64) ในการแสดงขนาดในรูปของสี พร้อมกับ colorbar ซึ่งใช้ในการบอกสีเทียบกับ ขนาด



รูปที่ 2.23 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

```
J(abs(J) < 10) = 0; %
10
K = idct2 (J)/255; %การแปลง IDCT โดยปรับโทนสีให้อยู่ในช่วง 0-255 ระดับความเข้ม สีเทา
Imshow(K)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

ตัวอย่าง

```
I = imread('cameraman.tif');  %ทำการอ่านภาพ
I = im2double(I);  %แปลงข้อมูลแบบ unit8 ให้เป็นข้อมูลแบบ double เพื่อดำเนินการเชิงเลข
T = dctmtx(8); % หา  DCT Matrix ซึ่งมีขนาด 8*8
B = blkproc(I,[8 8], 'P1*x*P2',T,T');  %ทำการแปลง DCT โดย B = T*I*T'
mask = [ 1 1 1 1 0 0 0 0
         1 1 1 0 0 0 0 0
         1 1 0 0 0 0 0 0
         1 0 0 0 0 0 0 0
         0 0 0 0 0 0 0 0
         0 0 0 0 0 0 0 0
         0 0 0 0 0 0 0 0
         0 0 0 0 0 0 0 0 ];
```

% กำหนดสัมประสิทธิ์ที่สำคัญที่ต้องการคงไว้ สังเกตผลตอบสนองความถี่ต่ำจะอยู่บริเวณมุมซ้ายบนของเมตริกสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงDCT (B)

```
B2 = blkproc(B,[8 8], 'P1*x',mask);  %ตัดสัมประสิทธิ์ความถี่สูงออกด้วยการทำ mask โดยแต่ละ Block มีขนาด 8*8
I2 = blkproc(B2,[8 8], 'P1*x*P2',T',T);  %ทำการแปลง inverse discrete cosine transform (IDCT), ภาพที่ได้จากการสร้างกลับ คือ I2 = T'*B2*T;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Imshow(I),figure,imshow(I2) %แสดงภาพเปรียบเทียบภาพต้นแบบ และภาพที่บีบอัดด้วยการตัดองค์ประกอบความถี่สูงจากการแปลง DCT

รูปที่ 2.25 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

รูปที่ 2.26 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดำเนินการบนแต่ละ Pixel และ กระบวนการทางสถิติ

- แสดงค่าในแต่ละ Pixel ที่เลือก (pixel,impixel)

ตัวอย่าง

```
Imshow canoe.tif
Vals = impixel
```

เลือก pixel 3 จุด โดยแต่ละจุดจะแสดงเครื่องหมาย * เมื่อเลือกเสร็จให้กด Return

- แสดงค่าตลอด path ในภาพ (improfile)

ตัวอย่าง

```
Imshow debyel.tif
Improfile
```

เลือก path ที่ต้องการทราบค่า เมื่อเลือกเสร็จให้กด Return (หรือ double click)

- แสดง Contour plot ของภาพ (imcontour)

ตัวอย่าง

```
I = imread('rice.tif');
Imshow(I)
Figure,imcontour(I)  %แสดง Contour plot ของภาพ
```

- แสดง Histogram ของภาพ-ภาพแผนภูมิความถี่ค่าความเข้มแสง (imhist)

ตัวอย่าง

```
I = imread('rice.tif');
Imshow(I)
Figure,imhist(I,64)
```

แสดง histogram ของภาพ โดยแบ่งเป็น 64 bit (default = 256)

- การหาคุณสมบัติทางสถิติของภาพ (mean2, std2, corr2)

Mean2 - ไว้หาค่าเฉลี่ยเลขคณิตของค่าความเข้มแสงของภาพ

Std2 - ไว้หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มแสงของภาพ

Corr2 - ไว้หาค่าสหสัมพันธ์ของภาพสองภาพที่มีขนาดเท่ากัน

การวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis)

เป็นการดำเนินการบนภาพซึ่งให้ผลแสดงถึงโครงสร้าง (Structure) ของภาพเทคนิคในการวิเคราะห์ภาพได้แก่

- Edge detection – การตรวจจับขอบภาพ

ตัวอย่าง

```
I = imread('rice.tif');
BW1 = edge(I, 'sobel');  %การตรวจจับขอบภาพโดยวิธีของ Sobel
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
BW2 = edge(I, 'canny'); %การตรวจจับขอบภาพโดยวิธีของ Canny
Imshow(BW1)
Figure,imshow(BW2)
```

รูปที่ 2.27 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

Note: ลองทดสอบเทคนิคการตรวจจับขอบภาพได้โดย ใช้คำสั่ง edgedemo

- Qaudtree decomposition – เป็นการแยกโครงสร้างของภาพออกเป็นส่วนย่อยๆ โดยอาศัยความเป็น Homogeneous ของส่วนภาพย่อยๆ โดยจะทำการแบ่งภาพ เป็นลำดับชั้นออกเป็นครั้งละ 4 ส่วน จากนั้นจะทำการทดสอบส่วนย่อยทั้ง 4 ส่วน เพื่อทดสอบแต่ละส่วนว่าตรงตามเงื่อนไขความเป็น Homogeneous หรือไม่ เช่น มีค่า dynamic range อยู่ในช่วงที่กำหนดหรือไม่ หากเป็นไปตามเงื่อนไข ส่วนย่อยนั้นก็จะไม่ถูกแบ่งอีกต่อไป ในขณะที่ส่วนย่อยใดไม่เป็นไปตามเงื่อนไขก็จะถูกแบ่งย่อยเป็น 4 ส่วนเล็กๆ อีกต่อไปเรื่อยๆ

การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement)

- การปรับความเข้มแสง (Intensity Adjustment)

เป็นการ Mapping ค่าความเข้มแสงให้ไปอยู่ในช่วงที่กำหนดใหม่ โดยการใช้คำสั่งimadjust (img,[x1 x2],[y1 y2]) คือการ mapping ค่าความเข้มแสงของภาพ

Img ที่อยู่ในช่วง [x1 x2] ไปอยู่ในช่วงใหม่คือ [y1 y2]

ตัวอย่าง

```
I = imread('cameraman.tif');
J =imadjust(I,[0  0.2],[0.5  1]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Imshow(I)
Figure,imshow(J)
```

รูปที่ 2.28 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

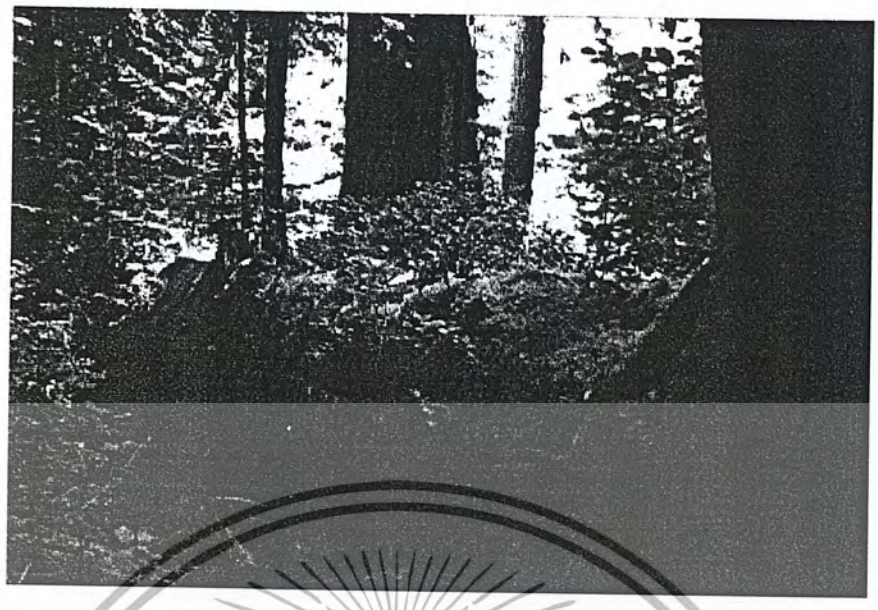
-การปรับความเข้มแสงแบบไม่เป็นเชิงเส้น(Gamma Correction)

เป็นการ Mapping ค่าความเข้มแสงแบบไม่เป็นเชิงเส้นให้ไปอยู่ในช่วงที่กำหนดใหม่ โดยการใช้คำสั่ง imadjust (img,[x1 x2],[y1 y2]) คือการ mapping ค่าความเข้มแสงของภาพImg ที่อยู่ในช่วง [x1 x2] ไปอยู่ในช่วงใหม่คือ [y1 y2] ด้วยความสัมพันธ์ $y = x^{\gamma}$ การปรับแก้ค่าความเข้มแสงวิธีปกติใช้สำหรับการปรับแก้ความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์แสดงผลรวมถึงความไม่เป็นเชิงเส้น ในการรับรู้ของสายตาที่มีต่อความเข้มแสง

ตัวอย่าง

```
[x,map] = imread('forest.tif')
I = ind2gray(x,map);
J = imadjust(I,[],[],0.5);
Imshow(I)
Figure, imshow(J)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

- Histogram Equalization

เป็นเทคนิคในการปรับปรุงภาพโดยการ Transform ภาพเพื่อให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีการกระจาย histogram ให้ใกล้เคียงกับที่กำหนด โดย default จะกำหนดให้มีการกระจายเรียบเสมอกัน

ตัวอย่าง

```
I = imread('pout.tif');
J= histeq(I);
Imshow(I)
Figure,imshow(J)
```

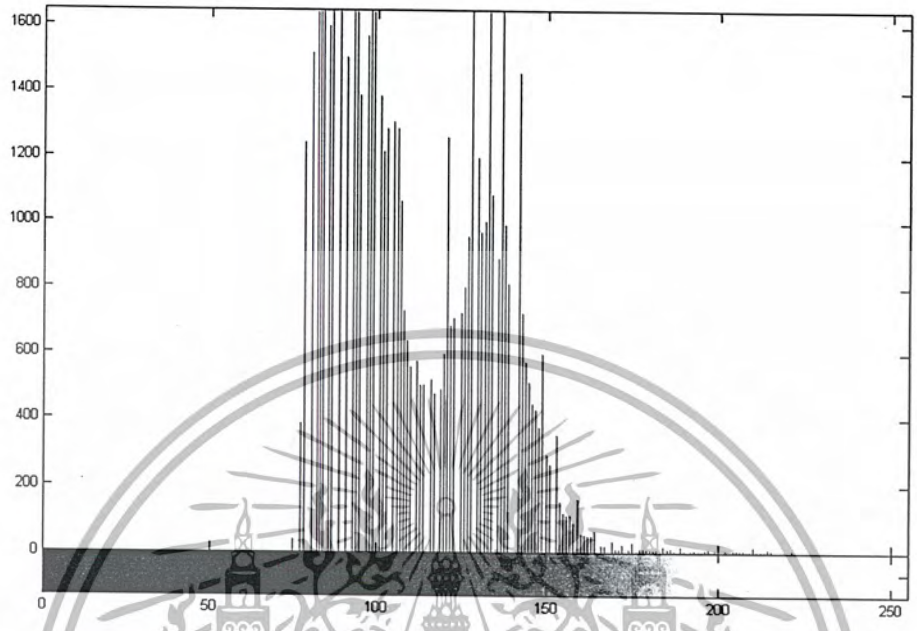
รูปที่ 2.30 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

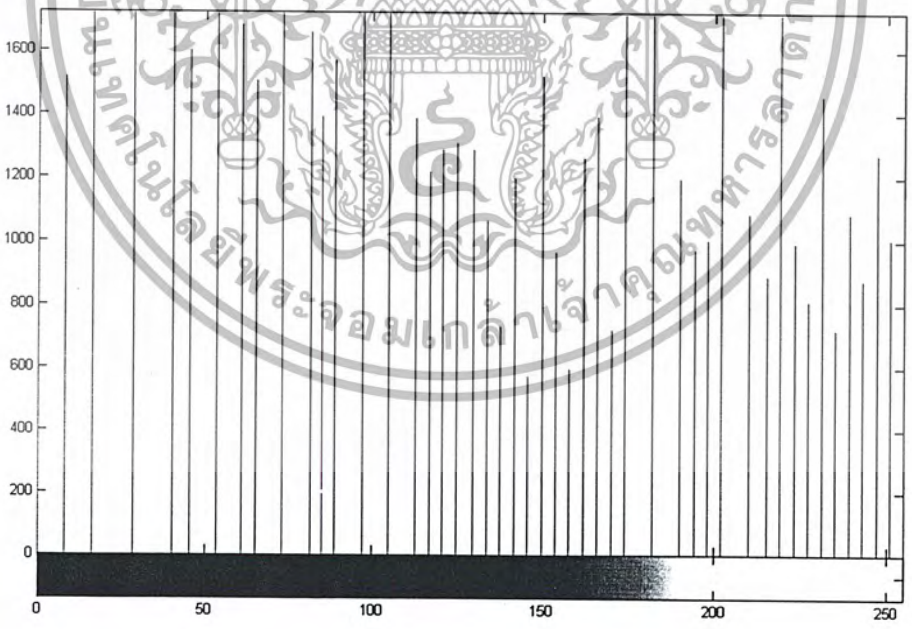
ทดสอบ Histogram ของภาพก่อนและหลังการปรับปรุง

Imhist(I)

Figure,imshow(J)



รูปที่ 2.31 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง



รูปที่ 2.32 แสดงผลของโปรแกรมในตัวอย่าง

Note: ทดสอบการปรับปรุงแบบต่างๆได้โดยการใช้คำสั่ง imadjdemo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบเรดิโอมิเตอร์

ตัวอย่างในการออกแบบนี้จะออกแบบเรดิโอมิเตอร์ 17 GHz สามารถเลือกออกแบบได้หลายชนิดแล้วแต่รายละเอียดและตามความต้องการเพื่อความเหมาะสม ทั้งแบบโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ ดิกกี้เรดิโอมิเตอร์ และ นอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์

กำหนดให้			
	ความถี่กลาง (Center Frequency)	17	GHz
	ช่วงความถี่อินพุท (Input Bandwidth)	1	GHz
	ช่วงความถี่ไอเอฟ (IF Bandwidth)	500	MHz
	Noise Figure	5	dB
	ระยะเวลาในการอินทิเกรต	5	msec
	ขอบเขตของอินพุต (Input Range)	0-313	K

ก่อนที่จะทำการออกแบบตามตัวอย่างจะมีทฤษฎีบางอย่างที่จำเป็นต้องรู้มาอธิบายเพื่อจะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

3.1 ทฤษฎีของเครื่องรับคลื่นวิทยุ (Receiver Principles)

3.1.1 ไดเร็กหรือซูปเปอร์เฮทโรดายน์ (Direct or Superheterodyne)

เรดิโอมิเตอร์เป็นเครื่องรับที่มีความไวต่อคลื่นมากและเหมือนเครื่องรับทั่วไปคือใช้วงจรฟรอนท์เอนด์โดยมีสิ่งสำคัญที่สุด 2 ส่วนคือ การเลือกช่วงความถี่ของอินพุทและการขยายสัญญาณอินพุทที่เข้ามาเพื่อให้ได้ระดับสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับวงจรตรวจจับสัญญาณและส่วนของวงจรที่ใช้ความถี่ต่ำกว่าในลำดับต่อมา ซึ่งการขยายสัญญาณนี้จะต้องมีอัตราขยายประมาณ 60-80 dB เพื่อนำมาใช้กับเรดิโอมิเตอร์ วิธีการขยายสัญญาณนี้สามารถทำได้ 2 วิธีคือไดเร็กรีซีฟเวอร์ (Direct Receiver) เป็นการใช้วงจรขยายสัญญาณไปขยายความถี่อินพุทโดยตรงโดยการขยายทั้งหมดจะทำที่ความถี่อินพุทและการเลือกช่วงความถี่ทั้งหมดจะใช้วงจรกรองสัญญาณในช่วงความถี่วิทยุ (Radio Frequency) เดียวกัน ส่วนวิธีการขยายสัญญาณอีกอย่างหนึ่งคือ ซูปเปอร์เฮทโรดายน์รีซีฟเวอร์ (Superheterodyne Receiver) เป็นการใช้วงจรมิกเซอร์(Mixer),โลคอลออสซิเลเตอร์(Local Oscillator) และวงจรขยายสัญญาณไอเอฟ (IF Amplifier) โดยการขยายเกือบทั้งหมดนั้นจะทำที่สัญญาณไอเอฟความถี่ต่ำและการเลือกช่วงความถี่จะทำโดยวงจรกรองสัญญาณทั้งความถี่วิทยุและความถี่ไอเอฟ

ในการขยายสัญญาณนั้น จุดเด่นของซูปเปอร์เฮทโรดายน์นั่นคืออัตราการขยายเกือบทั้งหมดหรือทั้งหมดจะอยู่ในส่วนของความถี่ไอเอฟ เนื่องมาจากวงจรขยายสัญญาณไมโครเวฟในช่วงที่ผ่านมานั้นหาได้ยาก มีขนาดใหญ่และมีราคาแพง จนกระทั่งในขณะนี้วงจรขยายสัญญาณไมโครเวฟด้วยเฟ็ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Microwave FET Amplifier) ที่มีระดับของสัญญาณรบกวนน้อยมากสามารถหาได้ง่ายมากและใช้งานได้ที่ความถี่ถึง 40 GHz ดังนั้นไดเร็กรีซีฟเวอร์จึงนำมาใช้แค่ในช่วงความถี่วิทยุเท่านั้น

ในการเลือกช่วงความถี่นั้น ไดเร็กรีซีฟเวอร์มีปัญหาคือการเลือกช่วงความถี่ทั้งหมดนั้นจะทำโดยวงจรกรองความถี่ไมโครเวฟ (Microwave Filter) ซึ่งนั่นหมายความว่าทำให้มีส่วนประกอบมากมาย จึงทำให้เกิดการสูญเสียและทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานบางอย่างได้ เช่น งานที่เกี่ยวกับอวกาศ เป็นต้น ส่วนซุปเปอร์เฮทโรดายน์รีซีฟเวอร์นั้นจะประกอบด้วยวงจรกรองความถี่ไมโครเวฟอย่างง่ายๆ เพื่อกรองส่วนของสัญญาณที่มีขนาดใหญ่ที่ไม่ต้องการออกไปและการเลือกช่วงความถี่ช่วงสุดท้ายจะทำโดยวงจรกรองความถี่ไอเอฟ ซึ่งในส่วนของวงจรกรองความถี่ไมโครเวฟอย่างง่ายๆนั้นต้องการส่วนประกอบเพียงเล็กน้อย ทำให้เกิดการสูญเสียเพียงเล็กน้อยและไม่ทำให้วงจรใหญ่เกินไปนัก ส่วนวงจรกรองความถี่ไอเอฟจะมีขนาดเล็กและง่ายต่อการใช้งาน นอกจากนั้นยังมีการสูญเสียเพียงเล็กน้อยอีกด้วย

จากที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจะเห็นได้ว่า ซุปเปอร์เฮทโรดายน์มีข้อดีมากมาย จึงทำให้เรดิโอมิเตอร์ส่วนมากเลือกที่จะใช้วิธีนี้

3.1.2 ผลของอาร์เอฟพรีแอมปริไฟเออร์ต่อดับเบิลไซด์แบนด์หรือซิงเกิลไซด์แบนด์ (DSB-SSB with or without RF Preamplifier)

หลังจากทำการเลือกใช้ทฤษฎีซุปเปอร์เฮทโรดายน์แล้ว ผู้ออกแบบก็ยังคงมีปัญหาในการเลือกใช้กระบวนการแบบดับเบิลไซด์แบนด์ (DSB) หรือ ซิงเกิลไซด์แบนด์ (SSB) โดยขึ้นอยู่กับส่วนของอาร์เอฟพรีแอมปริไฟเออร์ที่ใช้อีกด้วย

ในเครื่องรับที่ไม่มีอาร์เอฟพรีแอมปริไฟเออร์จะทำให้สัญญาณรบกวนจากมิกเซอร์และวงจรขยายสัญญาณไอเอฟของเครื่องรับมีค่ามาก ดังนั้นเครื่องรับควรจะใช้กระบวนการแบบ DSB เพราะมิกเซอร์และวงจรขยายสัญญาณไอเอฟที่ใช้กระบวนการ DSB จะมีอุณหภูมิของสัญญาณรบกวนที่ต่ำกว่าแบบที่ใช้กระบวนการ SSB อยู่ประมาณ 3 dB ซึ่ง DSB ยังมีประโยชน์ที่ไซด์แบนด์ทั้งสองสามารถบรรจุข้อมูลข่าวสารต่างๆ เรดิโอมิเตอร์จะมีช่วงความถี่อินพุทเป็นสองเท่าของช่วงความถี่ไอเอฟและความถี่ของโลคอลออสซิเลเตอร์จะมีค่าเท่ากับความถี่กลางของช่วงความถี่อินพุท

ในขณะที่เครื่องรับที่มีอาร์เอฟพรีแอมปริไฟเออร์นั้นจะมีความแตกต่างอยู่มากคือสัญญาณรบกวนที่มีค่ามากขึ้นมาจากอาร์เอฟพรีแอมปริไฟเออร์และกระบวนการมิกเซอร์จาก SSB ไปเป็น DSB นั้นจะทำให้ได้ช่วงความถี่ของอินพุทที่กว้างขึ้นแต่ไม่มีอัตราการขยายสัญญาณ ซึ่งอาจไม่เกิดขึ้นในทุกสถานการณ์แต่ก็ควรหลีกเลี่ยง เพราะผลของมันทำให้มีความไวต่อการรบกวนของแหล่งกำเนิดอื่นซึ่งไม่เป็นผลดี ดังนั้นเรดิโอมิเตอร์ที่ใช้งานด้านอวกาศจะเลือกใช้กระบวนการแบบ SSB โดยมีอาร์เอฟพรีแอมปริไฟเออร์ด้วย อัตราขยายของสายอากาศที่มีค่ามากซึ่งครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างและในไมโครเวฟสเปรคตรัม (Micriwave Spectrum) ท้ายจะมีค่าต่ำซึ่งรวมบริการเอาไว้มากมายอาจจะเกิดความเสียหายเนื่องจากมีช่วงความถี่อินพุทมากเกินไป ดังนั้นช่วงความถี่อินพุทของเรดิโอมิเตอร์ควรมีค่าต่ำเท่าทีจะทำได้ ในขณะที่ยังต้องการค่าความไวในการรับสัญญาณที่ดีอยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ดิกกี้เรดิโอมิเตอร์

บล็อกไดอะแกรมของดิกกี้เรดิโอมิเตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 โดยใช้ซูปเปอร์เฮทโรดายน์รีซีฟเวอร์ สัญญาณอินพุทนั้นไม่ได้ถูกขยายโดยตรงและตรวจจับออกมา แต่ตรงกันข้ามจะถูกเปลี่ยนไปยังความถี่ที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไปขยายสัญญาณและทำการตรวจจับต่อไป

3.2.1 ส่วนของความถี่ไมโครเวฟ (Microwave Part)

ในความถี่ 17 GHz ซึ่งเป็นความถี่ค่อนข้างสูง วิธีที่ดีที่สุดในการรับความถี่นี้คือการใช้เทคโนโลยีท่อนำคลื่น (Waveguide Technology) ส่วนประกอบแรกที่พบคือ ดิกกี้สวิทซ์ โดยจะใช้เซอร์กูเลเตอร์ (Circulator) ซึ่งใช้เวลาในการสวิทซ์เท่ากับ 1 msec และมีการสูญเสียเท่ากับ 0.3 dB

ความถี่ในการกระตุ้น(F_S) สำหรับดิกกี้สวิทซ์ประมาณ 1 kHz ซึ่งมักจะใช้บ่อยในงานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบเรดิโอมิเตอร์ แต่ในที่นี้จะใช้ F_S ประมาณ 2 kHz

เป็นที่ชัดเจนว่าเวลาในการอินทิเกรตของเรดิโอมิเตอร์ต้องมากกว่า 1/ F_S เพื่อทำให้แน่ใจว่าการลบของ $G \cdot T_{REF} - G \cdot T_A$ นั้นเหมาะสมกับวงจรอินทิเกรต เวลาในการอินทิเกรตจะเท่ากับ 5 msec F_S จะต้องมีค่าอย่างน้อย 2 kHz นอกจากนี้เวลาในการสวิทซ์ที่จำกัดแสดงถึงความไม่แน่นอนของวงจรดิกกี้สวิทซ์ซึ่งคาดว่าจะมีความสามารถประมาณ 50 % ของทั้งหมด ความถี่ในการสวิทซ์ 2.5 kHz จะให้ความไม่แน่นอนของวงรอบการทำงานเท่ากับ

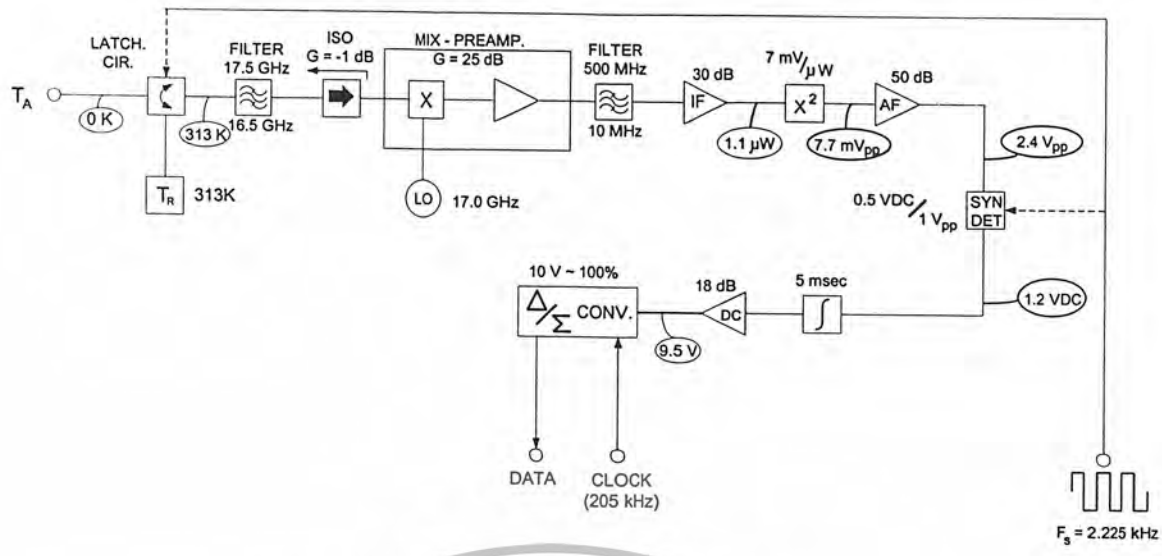
$$\frac{2 \cdot 1\mu\sec}{0.4m\sec} = 0.005 \qquad (3.1)$$

ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สมเหตุสมผล เพราะควรมีค่าที่ดีกว่านี้

ทฤษฎีดิกกี้นั้น มีผลต่อค่าความไวของการรับสัญญาณมากในสัญญาณรบกวนที่ก่อนและหลังเข้าสวิทซ์และการเพิ่มขึ้นของความถี่พาวเวอร์ไลน์ (Power Line Frequency) ประมาณ 50 – 400 Hz จึงควรหลีกเลี่ยงที่ความถี่ที่มากกว่า F_S ดังนั้นความถี่ที่เหมาะสมคือ 2,225 Hz

สัญญาณอ้างอิง (T_R) ถูกสร้างโดยไมโครเวฟเทอร์มิเนชั่น (Microwave Termination) ที่ทำการปรับไว้เป็นอย่างดีเพื่อให้สร้างออกมาได้เท่ากับอุณหภูมิทางกายภาพ T_R (ไมโครเวฟเทอร์มิเนชั่นจะดูดซับพลังงานที่ตกกระทบทั้งหมด ดังนั้นมันจึงมีอัตราการฉายแสงเท่ากับ 1) ส่วนของไมโครเวฟฟรอนท์เอนด์และเทอร์มิเนชั่นอ้างอิงทั้งหมดถูกเก็บในที่อุณหภูมิคงที่เพื่อที่จะเพิ่มความเสถียรภาพให้กับระบบ อุณหภูมิของส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ในระหว่างที่ทำงานโดยประมาณจะเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิอ้างอิงก็คือ 273+40 = 313 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงดิกกี้เรดิโอมิเตอร์ (T_A = 0 K)

วงจรกรองสัญญาณความถี่ไมโครเวฟจะถูกใช้ เพื่อป้องกันสัญญาณที่มีความแรงซึ่งอยู่นอกช่วงความถี่อินพุทของเรดิโอมิเตอร์ที่มาจากมิกเซอร์ (ช่วงความถี่ที่เหมาะสมถูกจำกัดอยู่ในช่วงของความถี่ไอเอฟ) ดังนั้นวงจรกรองความถี่จึงถูกออกแบบไว้สำหรับการสูญเสียที่ต่ำ (0.2 dB) และช่วงความถี่ที่เพียงพอ (0.1 dB ที่ 16.5 GHz และ 17.5 GHz) ซึ่งตัวเลือกที่เหมาะสมตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้คือ วงจรกรองความถี่แบบเชพบีเชฟ 5 ส่วน (Five-Section Chebyschev Filter)

ไอโซเลเตอร์ที่อยู่ระหว่างวงจรกรองความถี่และมิกเซอร์ จะทำให้ได้สภาวะการทำงานที่เหมาะสมซึ่งวงจรกรองความถี่ต้องการการเข้ากันได้กับสภาพของเอาท์พุทแต่มิกเซอร์ไม่สามารถทำได้ จึงต้องใช้ไอโซเลเตอร์ แต่ไอโซเลเตอร์นั้นก่อให้เกิดการสูญเสียประมาณ 0.3 dB

การที่ไม่มีไมโครเวฟพรีแอมปริไฟเออร์อยู่จึงทำให้มิกเซอร์นั้นเป็นส่วนสำคัญในการทำงานของเรดิโอมิเตอร์ การปรับปรุงการสูญเสียให้น้อยลงนั้นทำได้ถ้าใช้กระบวนการแบบดับเบิลไซด์แบนด์(DSB) ในเรดิโอมิเตอร์ช่วงความถี่ไอเอฟที่ 0 – 500 MHz และช่วงความถี่ด้านทั้งสองของอินพุท (16.5 – 17.0 GHz และ 17.0 – 17.5 GHz) จะถูกเพิ่มเข้าไปถ้าเป็นการใช้กระบวนการแบบ DSB ซึ่ง ดีเอสบีมิกเซอร์ (DSB Mixer) ที่มีคุณภาพสูงนั้นจะใช้การอินทิเกรตด้วยส่วนแรกของวงจรขยายสัญญาณความถี่ไอเอฟ (ซึ่งมีชื่อเรียกว่า มิกเซอร์พรีแอมปริไฟเออร์ (Mixer Preamplifier)) เพราะฉะนั้นผู้ออกแบบจึงทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดระหว่างจุดต่อทั้งสองได้เพื่อสัญญาณรบกวนและการสูญเสียที่ดีที่สุด สำหรับมิกเซอร์พรีแอมปริไฟเออร์ที่มีคุณภาพดีนั้นจะมีสัญญาณรบกวนประมาณ 4 dB และอัตราการขยายสัญญาณรวมจากส่วนของความถี่วิทยุไปยังความถี่ไอเอฟคือ 25 dB

ในส่วนของโลคอลออสซิเลเตอร์ 17 GHz นั้นไม่มีความต้องการที่จะใช้อะไรเป็นพิเศษเพื่อที่จะทำให้ได้ความถี่ที่คงที่ ซึ่งไม่มีความจำเป็นในการใช้งานครั้งนี้ ดังนั้นการใช้กันน์ออสซิเลเตอร์ (Gunn Oscillator) ก็เพียงพอแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 นอยส์ฟิเกอร์และความไวในการรับของเรดิโอมิเตอร์ (The Noise Figure and the Sensitivity of Radiometer)

ในขณะนี้สัญญาณรบกวนของเรดิโอมิเตอร์สามารถที่จะคำนวณออกมาได้ โดยการนำสัญญาณรบกวนของมิกเซอร์พรีแอมปริไฟเออร์ไปบวกกับการสูญเสียของส่วนต่างๆดังที่กล่าวมาแล้วคือ

มิกเซอร์พรีแอมปริไฟเออร์	4.0 dB
ไอโซเลเตอร์	0.3 dB
วงจรกรองความถี่	0.2 dB
เซอร์คูเลเตอร์	0.3 dB
ท่อนำคลื่น	0.2 dB
รวม	5.0 dB

สัญญาณรบกวนทั้งหมดเท่ากับ 5.0 dB ซึ่งจะสามารถคำนวนนอยซ์ฟิเกอร์ได้ประมาณ 3.2 ดังนั้นจะได้อุณหภูมิของสัญญาณรบกวน(T_N) คือ

$$\begin{aligned} T_N &= 290(NF-1) \\ T_N &= 290(3.2-1) \\ T_N &= 640 \quad K \end{aligned} \tag{3.2}$$

ความไวในการรับของเรดิโอมิเตอร์โดยคำนวณจากสมการที่ 2.12 โดยใช้ค่า T_A สูงที่สุดที่เป็นไปได้คือ 313 K ช่วงความถี่ก่อนที่จะทำการตรวจจับเท่ากับ 500 MHz และเวลาในการอินทิเกรตเท่ากับ 5 msec จะได้

$$\Delta T = 2 \cdot \frac{T_A + T_N}{\sqrt{B \cdot \tau}}$$

$$\Delta T = 2 \cdot \frac{313 + 640}{\sqrt{0.5 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-3}}}$$

$$\Delta T = 1.2 \quad K$$

3.2.3 วงจรความถี่ไอเอฟและวงจรตรวจจับสัญญาณ (The IF Circuitry and the Detector)

วงจรกรองความถี่ไอเอฟเป็นส่วนสุดท้ายที่จะกำหนดช่วงความถี่ของเรดิโอมิเตอร์ ขั้นตอนนี้ต้องการการกรองความถี่ที่คมชัดง่ายต่อการกรองความถี่ ซึ่งการสูญเสียที่ตามมานั้นจะไม่เป็นปัญหาเมื่อนำมาผ่านอัตราการขยายของมิกเซอร์พรีแอมปริไฟเออร์ซึ่งมีค่ามาก ช่วงความถี่ไอเอฟจะไม่ขยายออกไปหรือถูกกดลงเป็น DC ในทางปฏิบัติส่วนของความถี่สูงที่สามารถผ่านไปได้ขนาด 10 MHz จะรวมอยู่ในวงจรกรองความถี่และช่วงของความถี่ไอเอฟคือ 10 – 500 MHz การขยายสัญญาณที่เพิ่มขึ้นในวงจรขยายสัญญาณไอเอฟ จะทำให้สัญญาณพร้อมแล้วที่จะทำการตรวจจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สก็อตกี้แบริเออร์ไดโอด (Skottky Barrier Diode) ทำให้การตรวจจับสัญญาณมีคุณภาพดีและอาจจะทำให้ได้ค่าความไวในการรับเท่ากับ 7 mV/uW ซึ่งไดโอดนี้เป็นวงจรยกกำลังสอง สำหรับค่าอินพุทควรจะอยู่ในระดับที่มากถึงประมาณ -20 dBm การจะเลือกใช้สัญญาณระดับใดที่จะถูกใส่เข้าไปในแสควร์ลอว์ดีเทคเตอร์ (Square-Law Detector) โดยในระดับที่ต่ำนั้นจะได้การทำงานที่ดี แต่ผลของเอาท์พุทที่มีค่าต่ำนั้นก็เป็นเหตุให้เกิดปัญหาจากสัญญาณรบกวนขึ้นในวงจรขยายสัญญาณที่อยู่ถัดไป ดังนั้นระดับที่เลือกจึงใช้ประมาณ -25 dBm ฉะนั้นจึงสามารถที่จะคำนวนอัตราการขยายสัญญาณที่ต้องการของวงจรขยายสัญญาณไอเอฟได้

ระดับกำลังงานของอินพุท คำนวณได้จาก

$$P = k \cdot (T_A + T_N) \cdot B_{RF} \qquad (3.3)$$

โดย B_{RF}: = ช่วงของความถี่อินพุททั้งหมด (1GHz)

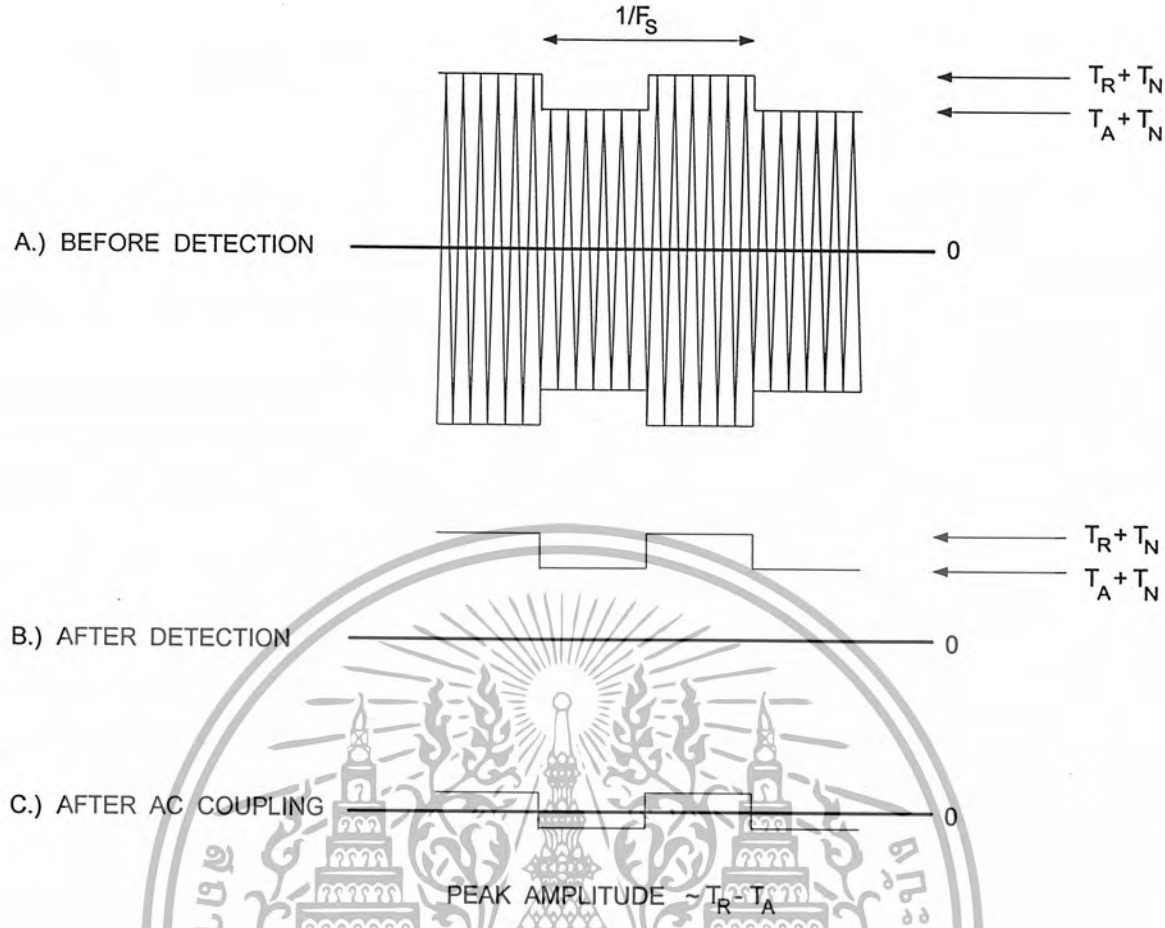
ดังนั้น

$$P = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot (313 + 640) \cdot 10^{9} \quad W$$
$$P = 1.32 \cdot 10^{-8} \quad mW$$
$$P = -79 \quad dBm$$

การขยายสัญญาณทั้งหมดทั้งความถี่วิทยุและความถี่ไอเอฟเท่ากับ -25 dBm – (-79 dBm) = 54 dB ในส่วนประกอบไมโครเวฟมีการสูญเสียอยู่ 1dB และมิกเซอร์พรีแอมปริไฟเออร์มีอัตราการขยายจากความถี่วิทยุถึงความถี่ไอเอฟเท่ากับ 25 dB ดังนั้นวงจรขยายสัญญาณไอเอฟจะต้องมีอัตราการขยายเท่ากับ 54+1-25 = 30 dB

วงจรตรวจจับสัญญาณจะทำการเปลี่ยนลักษณะของสัญญาณโดยสัญญาณก่อนการตรวจจับดังรูปที่ 3.2 A ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีความถี่สูงและมีระดับสัญญาณอยู่สองระดับที่เกิดจากตำแหน่งที่แตกต่างกันของดิกกี้สวิทซ์ จากนั้นสัญญาณนี้จะถูกตรวจจับออกมาจนได้ขอบของสัญญาณออกมาดังรูปที่ 3.2 B ซึ่งก็ยังมีระดับสัญญาณอยู่สองระดับ จากระดับสัญญาณอินพุทคือ $T_R + T_N$ และ $T_A + T_N$ ต่อจากนั้นนำมาทำการเอซีคลัปปลิ้ง (AC-Coupling) ทำให้ได้สัญญาณที่แตกต่างกัน 2 ระดับคือ T_R กับ T_A ซึ่งเป็นสัญญาณที่ต้องการ สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) ที่มีความถี่เท่ากับ F_S นี้จะต้องถูกนำไปขยายต่อไปโดยวงจรขยายสัญญาณความถี่เสียง (Audio Frequency Amplifier) เพื่อที่จะรักษารูปคลื่น(Waveform)ของสัญญาณ เราจึงต้องการช่วงความถี่โดยประมาณ $0.1 \cdot F_S - 10 \cdot F_S$ ซึ่งก็คือช่วงความถี่ 200 Hz – 20 kHz ดังนั้นก่อนที่จะนำไปขยายโดยวงจรขยายสัญญาณความถี่เสียงเราจึงจำเป็นต้องคำนวนค่า ระดับสัญญาณที่สูงที่สุดออกมาก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงรูปคลื่นก่อนและหลังเข้าวงจรตรวจจับสัญญาณ

3.2.4 ระดับสัญญาณสูงสุด **(The Extreme Signal Levels)**

สัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อสัญญาณของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0 K ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 3.1 ความแตกต่างของระดับสัญญาณ(ในรูปที่ 5.2 A) คือ $\Delta T_{MAX} = 313 \quad K$ ซึ่งจะได้

$$\Delta P_{MAX} = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 313 \cdot 10^{9} \quad W$$
$$\Delta P_{MAX} = 0.43 \cdot 10^{-8} \quad mW \tag{3.4}$$

ที่วงจรตรวจจับสัญญาณมีอัตราการขยายรวมทั้งหมด 54 dB ดังนั้น

$$\Delta P_{MAX} = 1.1 \quad \mu W \tag{3.5}$$

หลังจากที่ผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณแล้ว อินพุทที่จะเข้าวงจรขยายสัญญาณความถี่เสียงคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_{MAX} = 1.1\ \mu W \cdot 7\ mV / \mu W$$
$$S_{MAX} = 7.7 \quad mV_{PP} \tag{3.6}$$

สัญญาณที่ต่ำที่สุดนั้นจำเป็นต้องควบคุมไม่ให้เกิดการลดลงโดยวงจรเรดิโอมิเตอร์ โดยสมมติให้มีค่าเท่ากับความไวในการรับซึ่งเท่ากับ 1 K โดยสถานการณ์นี้จะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณอินพุทมีค่าเท่ากับ 312 K (ดังรูปที่ 3.4)

หลังจากที่ผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณ อินพุทของวงจรขยายสัญญาณความถี่เสียงมีค่าต่ำสุดได้เท่ากับ

$$S_{MIN} = 24 \quad \mu V_{PP} \tag{3.7}$$

3.2.5 วงจรของความถี่ต่ำ (The LF Circuitry)

วงจรขยายสัญญาณความถี่เสียงนั้นได้กล่าวถึงความถี่ช่วง 200 Hz – 20 kHz ไปแล้ว แต่อย่างไรก็ตามความถี่ช่วงนี้นั้นไม่ได้ถูกนำมาใช้ในการคำนวนหาสัญญาณรบกวนจากอินพุทของวงจรขยายสัญญาณความถี่เสียง ดังรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าหลังจากวงจรตรวจจับสัญญาณแบบซิงโครนัส (Syncronous Detector) นั้นก็จะมีวงจรอินทิเกรตแบบอนาลอก (Analog Integrator) ซึ่งมีช่วงความถี่ของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 100 Hz (จะแสดงให้เห็นภายหลัง) ดังนั้นช่วงความถี่ของสัญญาณรบกวนก่อนที่จะถึงวงจรตรวจจับสัญญาณแบบซิงโครนัส (ซึ่งสามารถพิจารณาโดยดีเอสบีมิกเซอร์) คือ 200 Hz ซึ่งอยู่ที่ความถี่ศูนย์กลางรอบความถี่ดิกกี้ (F_S)

วงจรขยายสัญญาณที่ปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะมีสัญญาณรบกวนของอินพุทเท่ากับ $10^{-8} \quad V/\sqrt{Hz}$ ซึ่งจะได้

$$S_N = \sqrt{200} \cdot 10^{-8} \quad V_{RMS}$$
$$S_N = 0.14 \quad \mu V_{RMS} \tag{3.8}$$

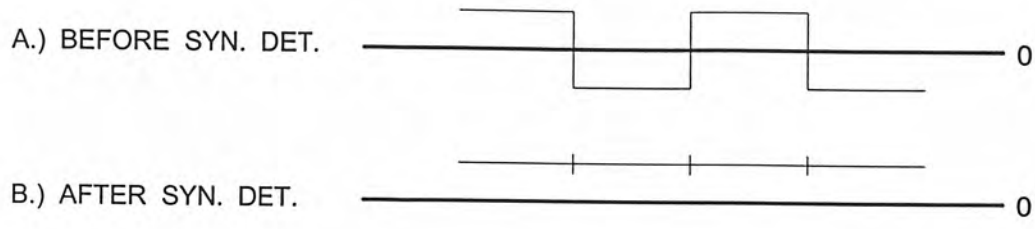
จากค่าสัญญาณต่ำสุดที่ส่วนนี้ของเรดิโอมิเตอร์ ซึ่งก็คือ $S_{MAX} = 24 \quad \mu V_{PP}$ ค่าความแตกต่างอย่างง่ายจะถูกคำนวณออกมา

อัตราการขยาย 50 dB ในวงจรขยายสัญญาณความถี่เสียงจะทำการขยายสัญญาณสูงสุดและต่ำสุดก่อนที่จะนำไปป้อนให้วงจรตรวจจับสัญญาณแบบซิงโครนัสต่อไป

$$S_{MIN} = 24\ \mu V_{PP} \cdot 316 = 7.6 \quad mV_{PP}$$
$$S_{MAX} = 7.7\ mV_{PP} \cdot 316 = 2.4 \quad V_{PP} \tag{3.9}$$

วงจรตรวจจับสัญญาณแบบซิงโครนัสมีหน้าที่แปลงสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมจากวงจรขยายสัญญาณความถี่เสียงเป็นสัญญาณกระแสตรงดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

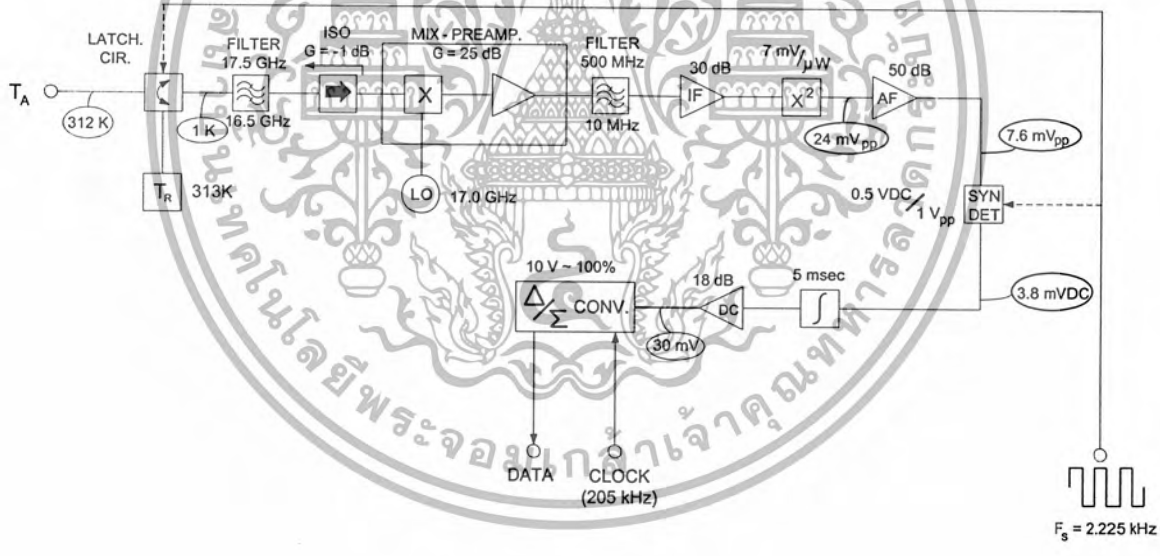


รูปที่ 3.3 แสดงรูปคลื่นก่อนและหลังเข้าวงจรตรวจจับสัญญาณแบบซิงโครนัส

หน้าที่นี้จะถูกกระทำโดยการคูณสัญญาณด้วย +1 หรือ -1 ในจังหวะเดียวกันกับความถี่ของสวิทซ์ (F_S) ในส่วนที่เป็นบวกนั้นสัญญาณจะไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่ส่วนที่เป็นลบนั้นจะถูกเปลี่ยนค่าให้เป็นบวก ซึ่งวงจรตรวจจับสัญญาณแบบซิงโครนัสนั้น จะแสดงดังรูปที่ 3.5

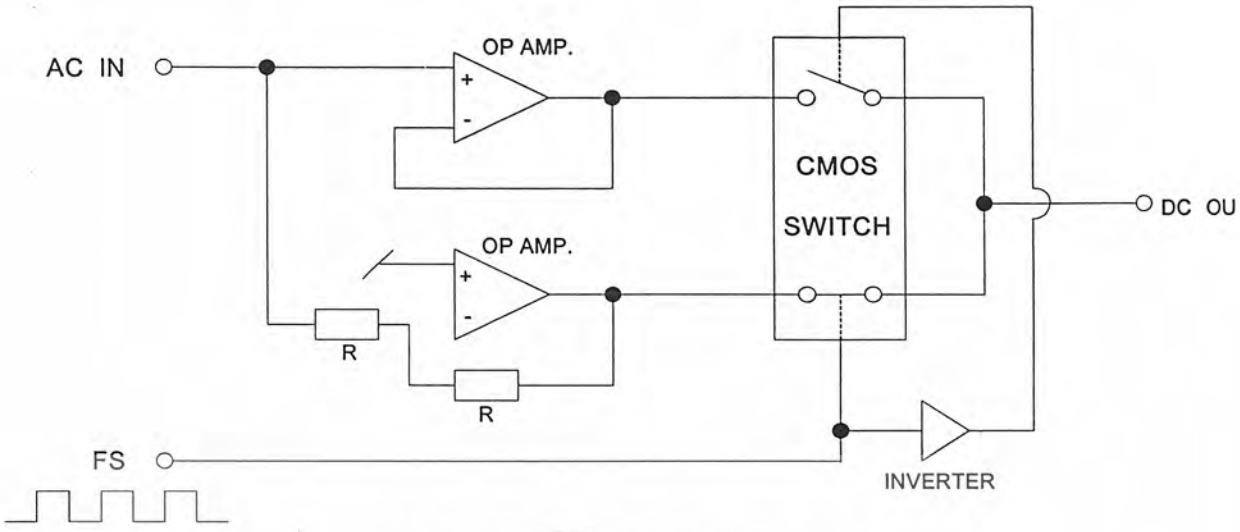
จะเห็นได้ว่าสัญญาณ 1 V_{PP} จะถูกเปลี่ยนให้เป็นไฟกระแสตรง 0.5 V ดังนั้นสัญญาณที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดหลังจากผ่านวงจรตรวจจับสัญญาณแบบซิงโครนัสจะมีค่าเท่ากับ

$$S_{MIN} = 3.8 \quad mV \quad DC$$
$$S_{MAX} = 1.2 \quad V \quad DC \qquad (3.10)$$



รูปที่ 3.4 แสดงดิกกี้เรดิโอมิเตอร์ (T_A= 312 K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรตรวจจับสัญญาณแบบซิงโครนัส

วงจรอินทิเกรตแบบอนาลอกนั้นเป็นแค่วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low –pass Filter) เท่านั้น ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างช่วงความถี่ของสัญญาณรบกวน (b), ระยะเวลาในการอินทิเกรต (τ) , ค่าของส่วนประกอบต่างๆและความถี่คัทออฟ (Cut-off Frequency : f_o) คือ

$$b = \frac{1}{2\tau} = \frac{1}{4RC} = \frac{\pi}{2} \cdot f_0 \qquad (3.11)$$

ในความเป็นจริง การออกแบบนั้นเวลาในการอินทิเกรตเท่ากับ 5 msec จะให้ค่าช่วงความถี่สัญญาณรบกวนเท่ากับ 100 Hz และค่าความถี่คัทออฟเท่ากับ 63.7 Hz

จุดประสงค์ของการใช้วงจรขยายสัญญาณไฟกระแสตรงนั้น ก็คือทำให้สัญญาณนั้นมีความเหมาะสมพร้อมที่จะนำไปเข้าวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog-to-Digital Converter) ที่มีการทำงานอยู่ในช่วง 0-10 V และอัตราการขยายของวงจรขยายสัญญาณกระแสตรงจะถูกเลือกให้เหมาะสม ดังนั้นค่าสัญญาณสูงสุดที่ถูกขยายจะไม่เกิน 10 V ซึ่งอัตราการขยาย 18 dB นั้นจะให้ค่าสัญญาณที่สูงสุดเมื่ออยู่บนวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ดังนั้น

$$\begin{aligned} S_{MIN} &= 30 \quad mV \\ S_{MAX} &= 9.5 \quad V \end{aligned} \qquad (3.12)$$

3.2.6 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (Analog-to-Digital Converter)

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ใช้กระบวนการที่เรียกว่า วงจรแปลงสัญญาณแบบ $\Delta/\sum$ ($\Delta/\sum$ Converter) คือการใช้โวลท์เตจทูพัลซ์เรทคอนเวอร์ทเตอร์ (Voltage-to-pulse Rate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Converter) ทำการผลิตขบวนพัลซ์ในจังหวะเดียวกันกับสัญญาณนาฬิกา (Clock) ซึ่งจำนวนของพัลซ์ต่อหนึ่งหน่วยเวลานั้นจะเหมาะสมกับโวลท์เตจของอินพุท

วงจรแปลงสัญญาณจะพยายามรักษาความเสถียรภาพของโวลท์เตจที่ตัวเก็บประจุ (C) ในขณะที่โวลท์เตจของอินพุทเกิดความผันผวน ซึ่งจะได้จากกระแสอ้างอิงถูกป้อนให้ตัวเก็บประจุเพื่อความแน่นอนของเวลา (K) จึงเหมาะสมกับโวลท์เตจที่อินพุทดังรูปที่ 3.6

ในวงจรนี้ A คือวงจรขยายสัญญาณอุดมคติ, V_{IN} มีค่าเป็นบวก, V_{REF}มีค่าเป็นลบและโวลท์เตจทั้งหมดบนตัวเก็บประจุจะมีค่าเป็น 0 ดังนั้น V_{OUT} และ I_O จึงมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0 และ $I_1 = I_2$ โดยอินพุทของวงจรขยายสัญญาณคือเวอร์ชัวกราวด์ (Virtual Ground) จะได้

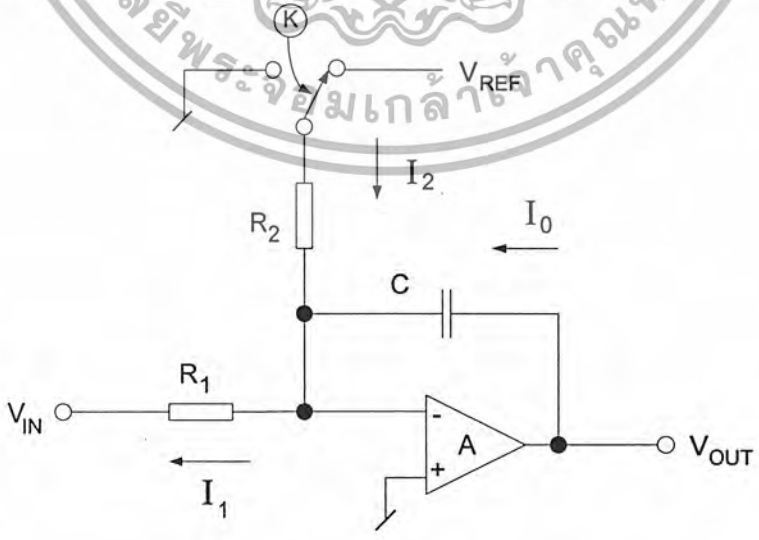
$$I_1 = \frac{-V_{IN}}{R_1} \tag{3.13}$$

$$I_2 = K \cdot \frac{V_{REF}}{R_2} \tag{3.14}$$

ดังนั้น

$$K = -V_{IN} \cdot \frac{R_2}{R_1 \cdot V_{REF}} \tag{3.15}$$

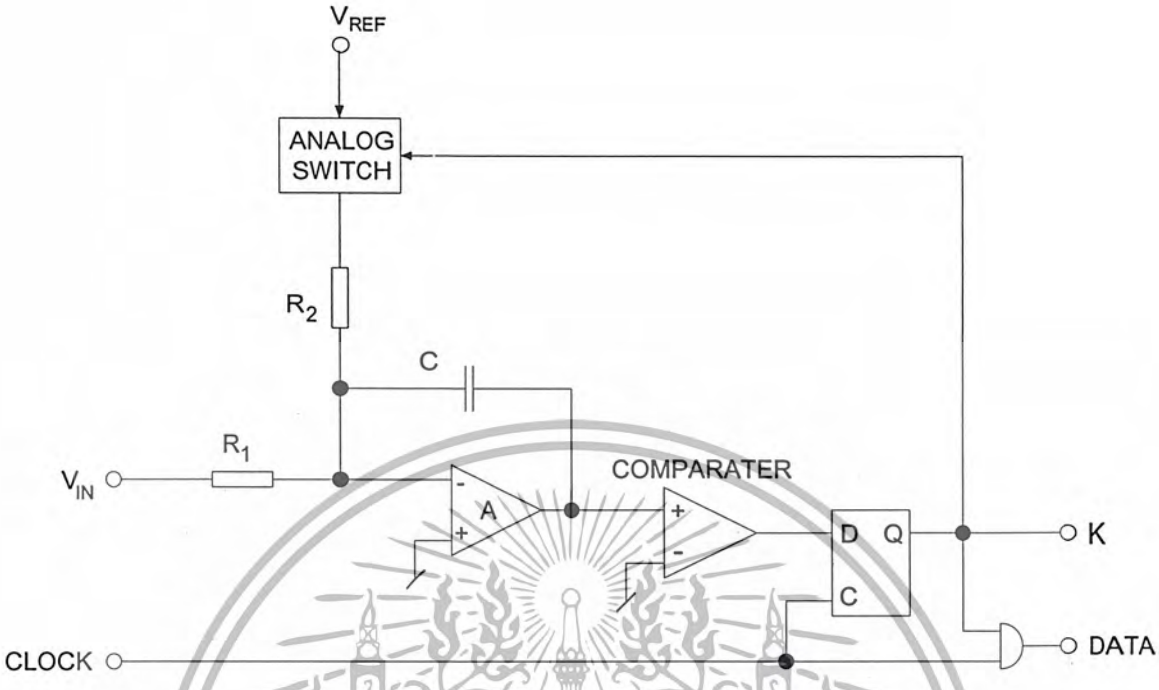
ถ้า K ทำงานเป็นจังหวะเดียวกับแอนด์เกท (And Gated) โดยใช้สัญญาณนาฬิกาตัวเดียวกัน ทำให้เกิดสัญญาณ 2 สัญญาณจากวงจรแปลงสัญญาณคือ พัลซ์ที่มีวงรอบการทำงานเหมาะสมกับทั้ง V_{IN} และการควบคุมการปล่อยสัญญาณรบกวนในนอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์ (ซึ่งจุดเด่นนี้เป็นเหตุผลให้เลือกใช้วงจรแปลงสัญญาณแบบ $\Delta/\sum$ ในการออกแบบนี้) ส่วนอีกสัญญาณหนึ่งคือ ขบวนของพัลซ์ข้อมูลซึ่งเกิดจากจำนวนของพัลซ์ (N_D) เท่ากับ K คูณด้วยจำนวนของพัลซ์สัญญาณนาฬิกา (N_C) ในช่วงที่เว้นระยะเวลา



รูปที่ 3.6 แสดงการอธิบายวงจรแปลงสัญญาณแบบ $\Delta/\sum$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

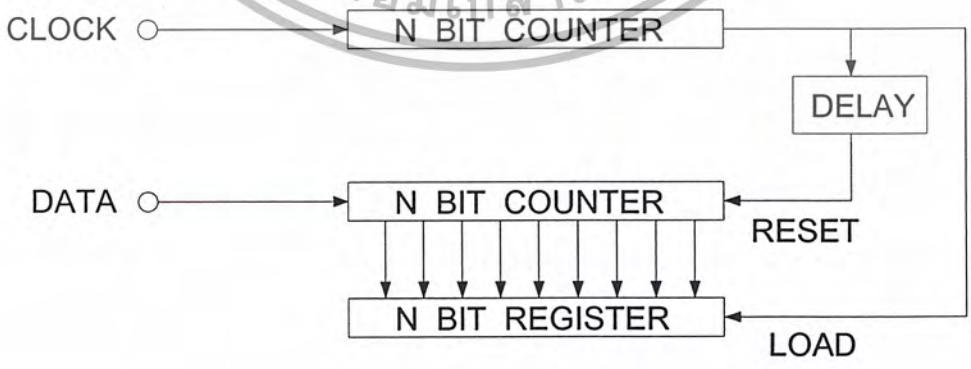
รูปที่สมบูรณ์ของวงจรแปลงสัญญาณแบบ $\Delta / \sum$ นั้น แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรแปลงสัญญาณแบบ $\Delta / \sum$

วงจรเปรียบเทียบ (Comparator) จะทำการเปรียบเทียบเมื่อสวิทซ์ไปอยู่ที่โวลท์เตจอ้างอิง และเวลาในการสวิทซ์นั้นถูกควบคุมให้ทำงานในจังหวะเดียวกับพัลซ์ของสัญญาณนาฬิกา โดยใช้ดีฟลิปฟลอป (D Flip-flop)

การแสดงสัญญาณดิจิตอลของอินพุทที่เป็นอนาล็อคนั้นจะทำได้โดยใช้การนับ N_D ซึ่งจะสัมพันธ์กับ N_C ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรนับเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวงจรนับสัญญาณนาฬิกาเต็มแล้วหลังจากนับพัลซ์ของสัญญาณนาฬิกาไป 2^N วงจรนับข้อมูลก็จะบรรจุเวิร์ด (Word) ขนาด N บิท นั้นไว้แทนที่อินพุทโวลท์เตจ ซึ่งเวิร์ดนี้จะถูกส่งไปยังดาต้ารีจีสเตอร์ (Data Register) แล้ววงจรนับข้อมูลก็จะทำการรีเซ็ทเพื่อทำการเริ่มใหม่ เวิร์ดข้อมูลในดาต้ารีจีสเตอร์สามารถอ่านได้โดยสะดวก ขนาดของ N ถูกพบโดยพิจารณาจากความต้องการของรีโซลูชั่น (Resolution) เรดิโอมิเตอร์ออกแบบมาเพื่ออินพุทช่วง 0 – 313 K และความไวในการรับเท่ากับ 1.2 K ($\tau = 5m\sec$) จึงเป็นไปไม่ได้ที่ค่าดิจิตอลรีโซลูชั่น (Digital Resolution) จะถูกยอมรับ และอาจจะถูกทำให้แย่ลงอีกด้วย

จำนวนบิต 10 บิตจะได้ค่าดิจิตอลรีโซลูชั่นเป็น 1 ใน 1024 ซึ่งเป็นเพียงแค่ 95 % ของช่วงอินพุทที่วงจรแปลงสัญญาณถูกใช้ ดังนั้นเป็นผลให้ช่วงอินพุทที่ 313 K สอดคล้องกับช่วงของสัญญาณดิจิตอล ที่มีการนับ $1024 \cdot 0.95 = 973$ ครั้ง และรีโซลูชั่นของวงจรตรวจจับสัญญาณ (Converter Resolution) จะมีค่า 313 / 973 = 0.3 K ซึ่งก็เพียงพอแล้ว

วงจรที่แสดงในรูปที่ 3.8 แสดงวงจรอินทิเกรตแบบดิจิตอล ชนิดอินทิเกรตและดัมพ์ (Integrate-and-dump) และเวลาในการอินทิเกรตก็เท่ากับเวลาในการคอนเวอร์ชั่น (Conversion Time) อีกด้วย

จากค่า N ที่เลือกนั้น เวลาในการคอนเวอร์ชั่นถูกกำหนดโดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกา ถ้าต้องการเวลาในการคอนเวอร์ชั่นเท่ากับ 5 msec แล้วความถี่ของสัญญาณนาฬิกาหาได้จาก 1024 / 5 msec = 205 kHz

การดัดแปลงวงจรในรูปที่ 3.8 นั้นจะทำให้เกิดผลต่อวงจรอินทิเกรตแบบดิจิตอลกับเวลาในการอินทิเกรตที่เปลี่ยนไป การเพิ่มบิตที่วงจรนับ(และเอาท์พุทรีจีสเตอร์) จะมีผลให้เวลาในการอินทิเกรตเพิ่มขึ้น 2 เท่า ($\tau = 5,10,20,40,...m\sec$) ความยาวของวงจรนับที่สามารถเลือกได้ภายนอกจะทำให้การดำเนินการนี้สามารถทำได้โดยง่าย

ถ้าวงจรอินทิเกรตแบบดิจิตอลมีช่วงอยู่ในช่วงนี้ (5, 10, 20,...msec) จะไม่ถูกนำมาใช้เพื่อทำให้เกิดวงจรอินทิเกรตแบบอนาล็อคที่มีเวลาในการอินทิเกรตเท่ากับ 5 msec เพราะวงจรอินทิเกรตทั้งสองจะมีอิทธิพลต่อกันเมื่อตำแหน่งเวลาในการอินทิเกรตของวงจรอินทิเกรตแบบดิจิตอลคือ 5 msec ทำให้ระยะเวลาการอินทิเกรตเพิ่มขึ้นเล็กน้อย การเปลี่ยนเวลาในการอินทิเกรตแบบอนาล็อคเป็น 2 msec จะช่วยลดปัญหาลงได้บ้างและเวลาในการอินทิเกรตของเรดิโอมิเตอร์นั้นจะพิจารณาโดยใช้วงจรอินทิเกรตแบบดิจิตอลเพียงอย่างเดียว

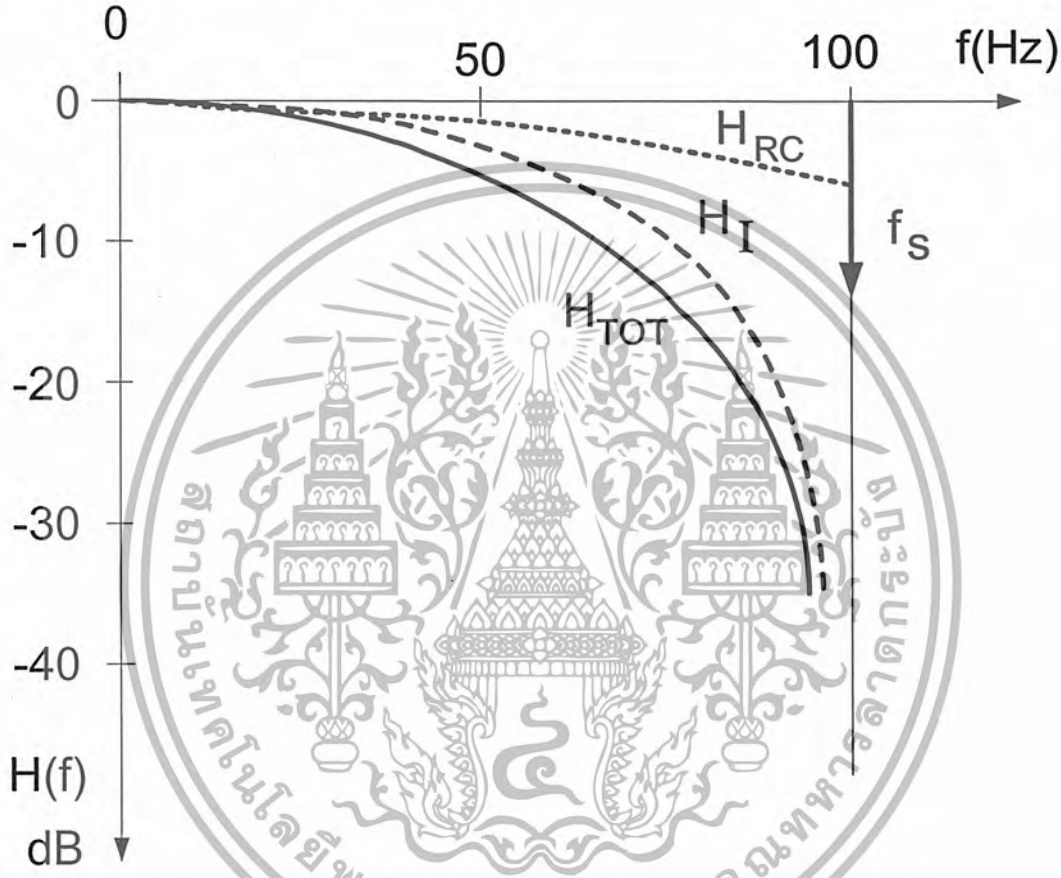
3.2.7 การสุ่มตัวอย่างในเรดิโอมิเตอร์ (On the Sampling in the Radiometer)

ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น วงจรในส่วนดิจิตอลนั้นคือวงจรอินทิเกรตชนิด อินทิเกรตและดัมพ์ ดังนั้นการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณอินพุทจะถูกทำที่นี่ และช่วงเวลาในการสุ่มตัวอย่างจะมีค่าเท่ากับ เวลาในการอินทิเกรต การสุ่มตัวอย่างนี้อธิบายด้วย การตอบสนอง (Respone) ของเรดิโอมิเตอร์ที่สัญญาณอินพุทเปลี่ยนแปลงตามเวลา

ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่น (Transfer Function) ในส่วนอนาล็อคของเรดิโอมิเตอร์ถูกพิจารณาโดยวงจรอินทิเกรตแบบอนาล็อคซึ่งก็คือวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ความถี่คัทออฟ 63.7 Hz ฟังก์ชั่นที่เป็น H_{RC} ในรูปที่ 3.9 สมมติว่าวงจรอินทิเกรตแบบดิจิตอลอยู่ที่ ตำแหน่ง 10 msec และความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง (f_S)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ 100 Hz แล้วทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นของวงจรในการอินทิเกรตแบบดิจิตอล (H_I) เป็นแบบ sin x / x ที่เป็น 0 ที่ $n \cdot \frac{1}{10}$ $m\sec$ ซึ่งก็คือ $n \cdot 100\,Hz$ ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นทั้งหมด (H_{TOT}) ของเรดิโอมิเตอร์แสดงในเส้นกราฟที่ 3 ในรูปที่ 3.9 จะเห็นได้ว่าเรดิโอมิเตอร์นั้นไม่สามารถที่จะกำจัดช่วงความถี่ของสัญญาณอินพุทให้อยู่ในช่วงต่ำกว่า f_s / 2 เพื่อหลีกเลี่ยงการอไลซซิ่ง (Aliasing) การที่เรดิโอมิเตอร์สามารถจำกัดช่วงความถี่ได้อาจจะไม่จำเป็นสำหรับระบบที่คงที่ แต่สำหรับเรดิโอมิเตอร์ที่นำไปใช้สร้างภาพ (Imaging Radiometer) แล้วเป็นสิ่งที่สำคัญมาก



รูปที่ 3.9 แสดงทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นของเรดิโอมิเตอร์

3.3 นอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์ (The Noise-Injection Radiometer: NIR)

บล็อกไดอะแกรมของนอยส์อินเจ็คชั่นเรดิโอมิเตอร์ ซึ่งใช้ดิกกี้เรดิโอมิเตอร์ที่ได้อธิบายแล้วในส่วนที่ผ่านมาเป็นพื้นฐาน แสดงดังรูปที่ 3.10 โดยดิกกี้เรดิโอมิเตอร์ จะถูกดัดแปลงเล็กน้อยคืออัตราการขยายในส่วนของความถี่ต่ำถูกเพิ่มขึ้น 50 dB เพื่อใช้อธิบายอัตราการขยายของลูปซึ่งได้อธิบายมาแล้วในหัวข้อ 2.1.3 ในทฤษฎีนั้นเราต้องการความแตกต่างระหว่าง สัญญาณอ้างอิง และ ผลรวมของสัญญาณจากสายอากาศกับสัญญาณรบกวนที่ป้อนเข้าไปเป็น 0 (สัญญาณผิดพลาด (Error Signal) ในเซอร์โวลูป (Servo Loop) มีค่าเป็น 0) จึงทำให้เราต้องการอัตราการขยายของลูปที่มีค่ามากๆ ดังนั้นจึงกำหนดสัญญาณผิดพลาดให้มีค่ามากที่สุดคือ 1 K ซึ่งเท่ากับความไวในการรับสัญญาณของเรดิโอมิเตอร์ ค่าสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดพลาดจะมีค่ามากที่สุดเมื่อสัญญาณของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 0 K ซึ่งต้องการสัญญาณรบกวนป้อนเข้าที่มากที่สุด ดังนั้นอัตราการขยายของส่วนความถี่ต่ำจึงต้องถูกเพิ่มเพื่อให้เอาท์พุทมีค่ามากที่สุดเท่าที่จะทำได้ สำหรับสัญญาณ 1 K หลังจากเข้าดิกกี้สวิทซ์มา (ไม่ใช่สัญญาณ 313 K ในกรณีที่เป็นดิกกี้เรดิโอมิเตอร์) สัญญาณ 313 K สอดคล้องกับค่า 50 dB คือแบ่งเป็นวงจรขยายสัญญาณความถี่เสียงอัตราการขยายจะเพิ่มขึ้น 30 dB และวงจรขยายสัญญาณกระแสตรงจะเพิ่มขึ้น 20 dB รวมเป็น 50 dB ซึ่งอัตราการขยายของลูป (313 = 50 dB) ต้องการเวลาในการอินทิเกรตของวงจรอินทิเกรตเป็น $5\ m\sec \cdot 313 = 1.57\ \sec$ เพื่อรักษาความถี่คัทออฟที่ 63.7 Hz ของเรดิโอมิเตอร์ไว้

สัญญาณรบกวน จะ ถูก ป้อน กลับ เข้า ไป ใน สาย สัญญาณ ของ สาย อากาศ โดย ผ่านได เร็กชั่น นอลคัปเปอร์ (Directional Coupler) 20 dB ดังนั้นสัญญาณของสายอากาศนี้จะไม่ลดทอนระดับสัญญาณที่วัดได้ สัญญาณที่ป้อนกลับนี้จะถูกสร้างโดยเซมิคอนดักเตอร์นอยส์ไดโอด (Semiconductor Noise Diode) ซึ่งให้สัญญาณรบกวนที่สูงและดี

เมื่อ อุณหภูมิของสัญญาณรบกวน 183,000 K จะได้ค่าอีเอ็นอาร์ (Excess Noise Ratio; ENR) เท่ากับ 28 dB ($ENR = 10\log(\frac{T_N}{290-1}) = 10\log(\frac{183000}{290-1}) = 28\ dB$) เอาท์พุทจากไดโอดไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ และสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงได้จากการป้อนสัญญาณรบกวนจะรับมาจากการสวิทซ์อย่างรวดเร็วของสัญญาณรบกวนด้วยวงรอบการทำงานที่ไม่คงที่คือวงรอบการทำงานเท่ากับ 0 (สวิทซ์อยู่ที่ตำแหน่งปิดตลอด) ไม่มีสัญญาณป้อนกลับและวงรอบการทำงานจะมากที่สุดโดยในการออกแบบนี้คือ 95 % (สวิทซ์นี้อยู่ที่ตำแหน่งเปิดประมาณ 95 % ของเวลาทั้งหมด) มีการสูญเสีย 0.2 dB โดยสวิทซ์นั้นจะใช้ ไมโครเวฟพินไดโอดสวิทซ์ (Microwave Pin Diode Switch) ซึ่งมีเวลาในการสวิทซ์สั้นมากและมีการสูญเสียในตำแหน่งสวิทซ์เปิด 2 dB สวิทซ์นี้ถูกควบคุมโดยตรงจากเอาท์พุท (K) ของวงจรแปลงสัญญาณแบบ $\Delta/\sum$ ตัวลดทอน 2 ตัวถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้ระดับสัญญาณที่ถูกต้อง ซึ่งก็คือการสร้างสัญญาณรบกวนเท่ากับ 183 K และสัญญาณรบกวนที่ป้อนเข้าไป (Injection Noise) คือ 312 K ($T_A = 0$) จะได้การลดทอนทั้งหมดคือ 27.7 dB ดังนั้น

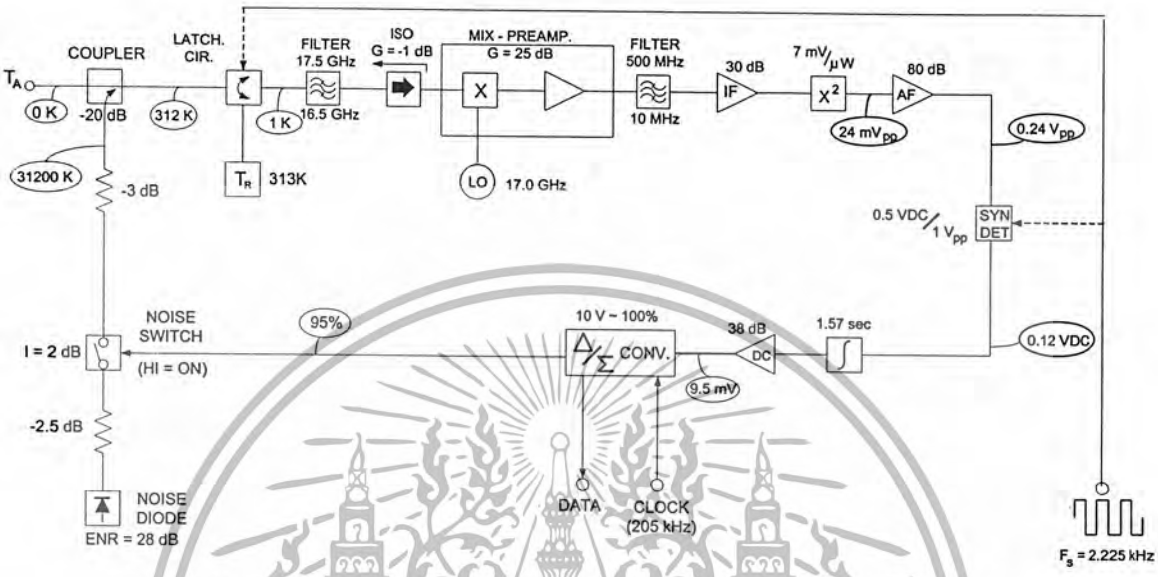
$$20 + ATT + 0.2 + 2 = 27.7$$
$$ATT = 5.5\ \ dB \qquad (3.16)$$

โดยจะใช้ตัวลดทอน 3 dB หนึ่งตัวและ 2.5 dB อีกหนึ่งตัว

นอยส์อินเจ็กชั่นเรดิโอมิเตอร์นั้นเป็นระบบเซอร์โว (Servo System) ซึ่งการวิเคราะห์เสถียรภาพของลูปป้อนกลับนั้นเป็นสิ่งจำเป็น ในสเปคตรัมท้ายๆที่มีค่าต่ำ ความถี่โดมิเนนท์ (Dominant Frequency) ขึ้นอยู่กับปัจจัยของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชั่นในลูปเปิด (Open Loop) มีผลเนื่องมาจากวงจรอินทิเกรตแบบอนาล็อก (เช่นวงจรกรองความถี่ต่ำอย่างง่าย) ปัญหาการไม่เสถียรภาพนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดของลูปป้อนกลับเพราะว่าบล็อกวงจรทั้งหมดของเรดิโอมิเตอร์นั้นจะแยกออกจากวงจรอินทิเกรตซึ่งมีช่วงความถี่ไกลออกไปจาก 63.7 Hz โดยเป็นจุดที่มีอัตราการขยายของลูปเท่ากับ 0 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิกกี้สวิทซ์และวงจรตรวจจับสัญญาณแบบซิงโครนัสต้องทำการพิจารณาบางอย่างคือ ความถี่ในการสวิทซ์ (2225 Hz) ซึ่งเป็นความถี่ที่สูงกว่าความถี่ที่ทำการพิจารณาในการวิเคราะห์นี้อยู่มาก การสวิทซ์มีผลต่อการเปิด – ปิดของสัญญาณอินพุทรวมถึงสัญญาณที่ป้อนเข้ามาด้วยซึ่งจะมีวงรอบการทำงานเท่ากับ 50 %



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรนอยซ์อินเจ็กชั่นเรดิโอมิเตอร์ (T_A = 0 K)

3.4 โทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ (Total Power Radiometer: TPR)

รูปที่ 3.11 แสดงบล็อคไดอะแกรมของโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับดิกกี้เรดิโอมิเตอร์ในรูปที่ 3.1 แล้วจะเห็นได้ว่าส่วนมากมีความเหมือนกัน แต่ต่างกันตรงที่โทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์นั้นจะไม่มีดิกกี้สวิทซ์ในส่วนของวงจรความถี่วิทยุ อย่างไรก็ตามโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์จะต้องการการปรับ (Calibration) ให้ถูกต้องอยู่เสมอและเซอร์กูเลเตอร์ยังคงมีอยู่ แต่ตอนนี้นั้นการปรับจะใช้ประโยชน์จากโหลดอ้างอิงก่อนหน้านี้เพื่อนำมาใช้เป็นคาลิเบรชั่นโหลด (Calibration Load)

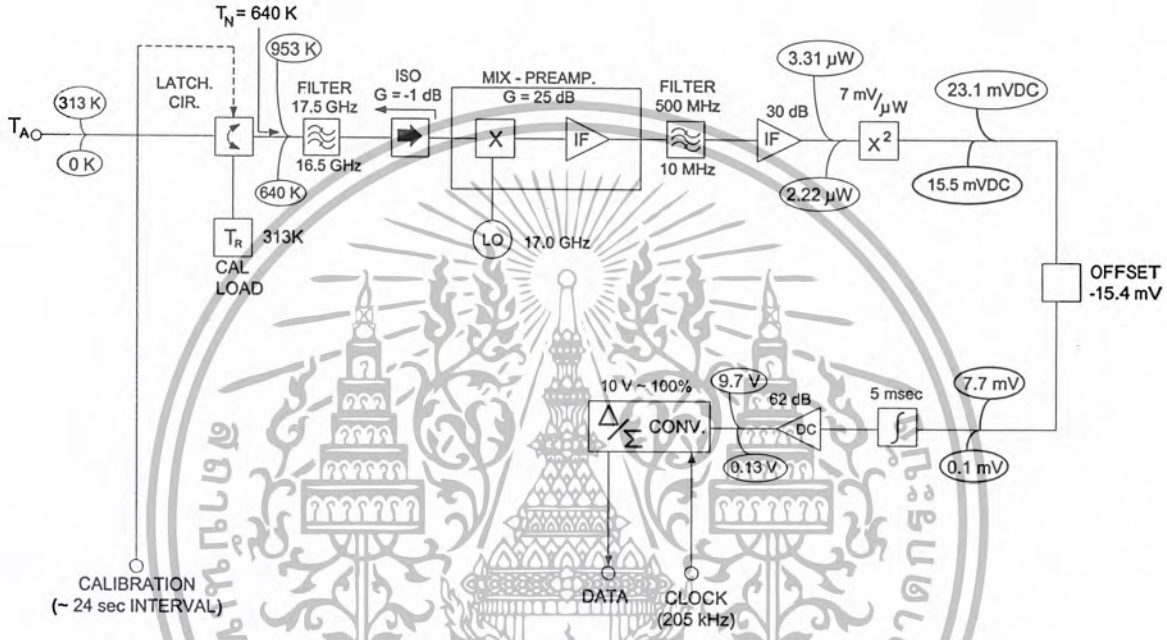
ความแตกต่างที่เห็นได้ชัดจะพบได้ที่ส่วนของวงจรความถี่ต่ำ ขณะที่สัญญาณนั้นจะไม่มีการเสียเวลาในการมอดูเลตด้วยความถี่ของดิกกี้สวิทซ์ และวงจรหลังจากวงจรตรวจจับสัญญาณจะทำ ดีซีคลัปเปิล (DC Coupled) ดังนั้นส่วนของวงจรขยายสัญญาณความถี่เสียงและวงจรตรวจจับสัญญาณแบบซิงโครนัสนั้นจะถูกตัดออกไปจากวงจร ซึ่งทำให้อัตราการขยายทั้งหมดนั้นมาจากส่วนของวงจรขยายสัญญาณกระแสตรง เนื่องจากอุณหภูมิสัญญาณรบกวนที่ 640 K ของเรดิโอมิเตอร์ซึ่งจะคงที่เหมือนสัญญาณในส่วนของความถี่ต่ำ ดังนั้นจึงต้องการการอ็อฟเซ็ต (Off-set) เพื่อการชดเชย (ในทางกลับกันการใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลจะมีประสิทธิภาพน้อยลงไป)

อัตราการขยายในเรดิโอมิเตอร์ (แม้ว่าบางส่วนจะมีการเปลี่ยนแปลงไปในส่วนของความถี่ต่ำ ดังที่กล่าวมาแล้ว) ยังคงเหมือนกับดิกกี้เรดิโอมิเตอร์และการเปลี่ยนอุณหภูมิทางอินพุทไป 1 K เอาท์พุทของวงจรตรวจจับสัญญาณก็จะเปลี่ยนไป 25 uV (ดังหัวข้อที่ 3.2.4) ดังนั้นการพิจารณาการสูญเสียในหัวข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 ก็ยังคงใช้ได้ในหัวข้อนี้ ดีซีคลัปปลิ้ง (DC-Coupling) ที่อยู่ในส่วนของความถี่ต่ำนั้น (รวมทั้งการอีอฟเซ็ท) จะทำให้อินพุทมีค่าต่ำกว่า 1 – 2 uV ซึ่งเป็นส่วนที่จำเป็นมากและการออกแบบอย่างระมัดระวัง รวมถึงการทำอุณหภูมิให้คงที่และการปรับอยู่เสมอก็เป็นสิ่งที่ต้องการเช่นกัน

สำหรับโทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์นั้น สก็อตกี้แบริเออร์ไดโอดใช้ประโยชน์ได้ไม่ดีนัก ตรงข้ามกับทูนเนลไดโอดดีเทคเตอร์ (Tunnel Diode Detector) ซึ่งใช้ประโยชน์ได้เป็นอย่างดีเนื่องจากทำงานที่ความถี่ต่ำ ทำให้ได้ค่าของขนาดดีขึ้นกว่าการใช้งานกับสก็อตกี้แบริเออร์ไดโอด นอกจากนี้โลว์วีดีโอรีซีสแตนซ์ (Low Video Resistance) ของทูนเนลไดโอดทำให้ได้อิมพีแดนซ์ที่ต่ำที่วงจรขยายสัญญาณอันแรก



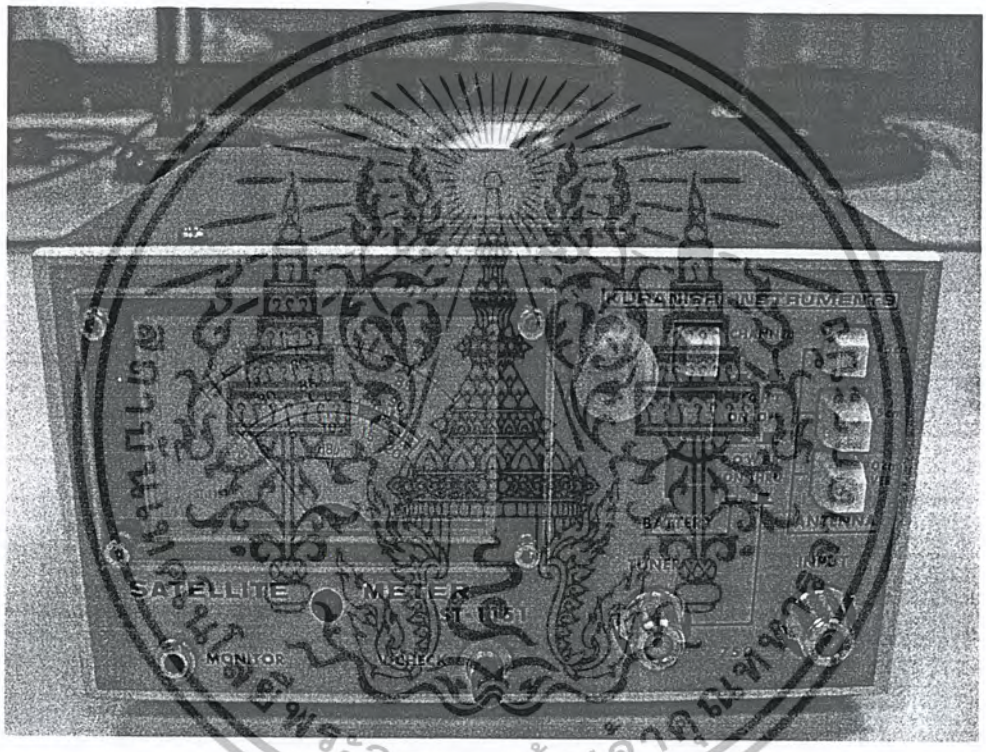
รูปที่ 3.11 แสดงวงจร โทเทิลพาวเวอร์เรดิโอมิเตอร์ (T_A = 0 K & 313 K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ส่วนประกอบในโครงงาน

ในโครงงานนี้เป็นโครงงานการออกแบบระบบของเรดิโอมิเตอร์ให้สามารถใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ และเนื่องจากวงจรที่ใช้มีความถี่สูงมากๆจะเกิดปัญหาเนื่องจากการลดทอนหรือการสูญเสียของสัญญาณ ทำให้เกิดความไม่เสถียรภาพของระบบ ดังนั้นโครงงานนี้จึงใช้อุปกรณ์ที่หาได้ตามท้องตลาด ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

4.1 เครื่องวัดคลื่นจากดาวเทียม (Satellite Meter)



รูปที่ 4.1 แสดงเครื่องวัดคลื่นจากดาวเทียม (Satellite Meter)

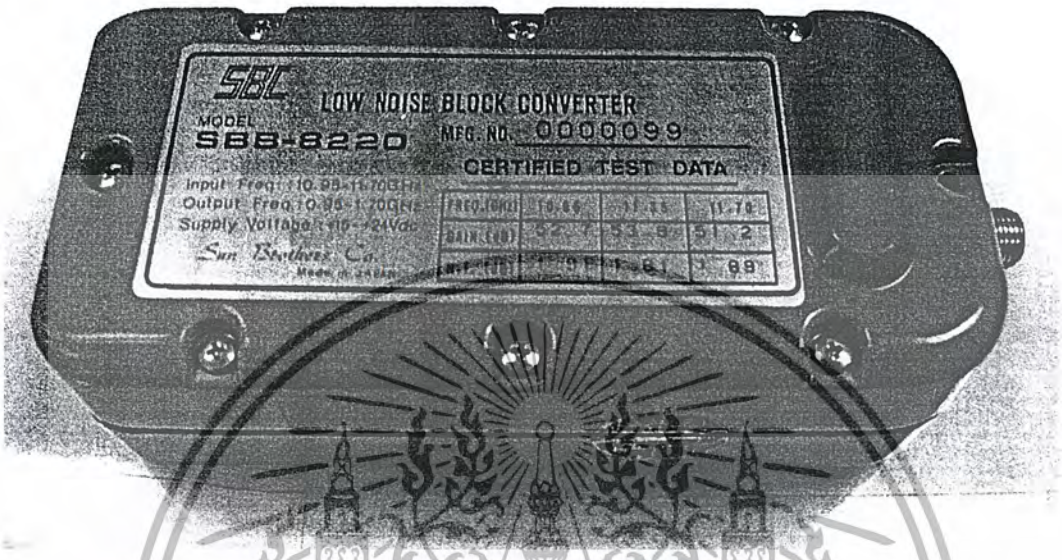
4.1.1 คุณสมบัติจากผู้ผลิต

ชื่อสินค้า KURANISHI INSTRUMENTS

แบบ ST-1151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 แอลเอ็นบี (LNB; Low Noise Block Converter)



รูปที่ 4.2 แสดงอุปกรณ์แอลเอ็นบี

4.2.1 คุณสมบัติจากผู้ผลิต

บริษัทผู้ผลิต SBC

แบบ SBB-8220

หมายเลขสินค้า 0000099

<u>คุณลักษณะ</u>

- ช่วงความถี่อินพุท	แบนด์ต่ำ : 10.7 GHz – 11.7 GHz
	แบนด์สูง : 11.7 GHz – 12.75 GHz
- ช่วงความถี่เอาท์พุท	แบนด์ต่ำ : 950 MHz – 1950 MHz
	แบนด์สูง : 1100 MHz – 2150 MHz
- VSWR	2.5 : 1 (Max)
- ความถี่ของโลคอลออสซิเลเตอร์	แบนด์ต่ำ : 9.75 GHz
	แบนด์สูง : 10.6 GHz
- ความเสถียรภาพ	± 1MHz (Max) ที่อุณหภูมิห้อง
- อัตราการขยายแปลงผัน (Conversion Gain)	70 dB (Max) 65 dB (Min)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 คุณสมบัติจากการทดสอบจริง

เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติจากผู้ผลิตว่ามีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด

- ที่ความถี่อินพุท 10.7 GHz จะได้เอาท์พุทออกมาที่ความถี่ 950 MHz

ระดับสัญญาณที่เข้าอินพุท (dBm)	ระดับสัญญาณเอาท์พุท (dBm)
-85	-63.75
-80	-61
-70	-50
-60	-41
-50	-31.5
-40	-23.94
-30	-11.1
-20	-5
-10	-3.5
0	-3.28

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบที่ความถี่อินพุท 10.7 GHz

- ที่ความถี่อินพุท 11.2 GHz จะได้เอาท์พุทออกมาที่ความถี่ 1.45 MHz

ระดับสัญญาณที่เข้าอินพุท (dBm)	ระดับสัญญาณเอาท์พุท (dBm)
-60	-64.59
-50	-56
-40	-47
-30	-38.38
-20	-28
-10	-23
0	-22.73

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบที่ความถี่อินพุท 11.2 GHz

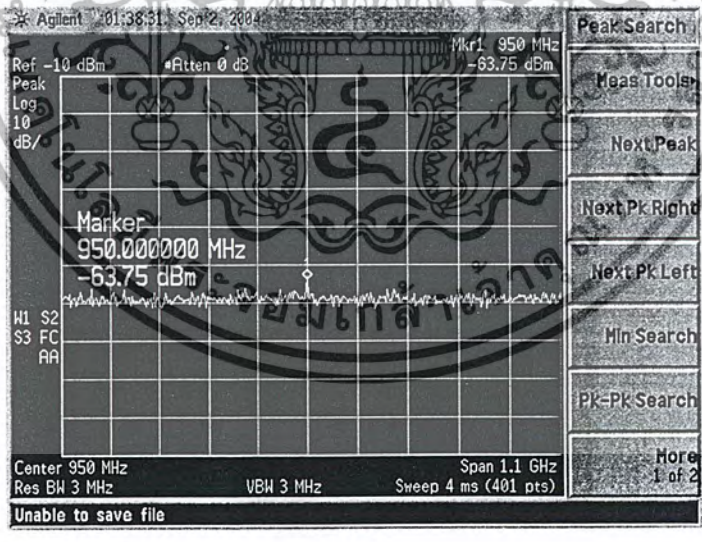
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ความถี่อินพุท 11.7 GHz จะได้เอาท์พุทออกมาที่ความถี่ 1.95 MHz

ระดับสัญญาณที่เข้าอินพุท (dBm)	ระดับสัญญาณเอาท์พุท (dBm)
-75	-63.45
-70	-61
-60	-52
-50	-43
-40	-33.57
-30	-23
-20	-13.5
-10	-6
0	-5.816

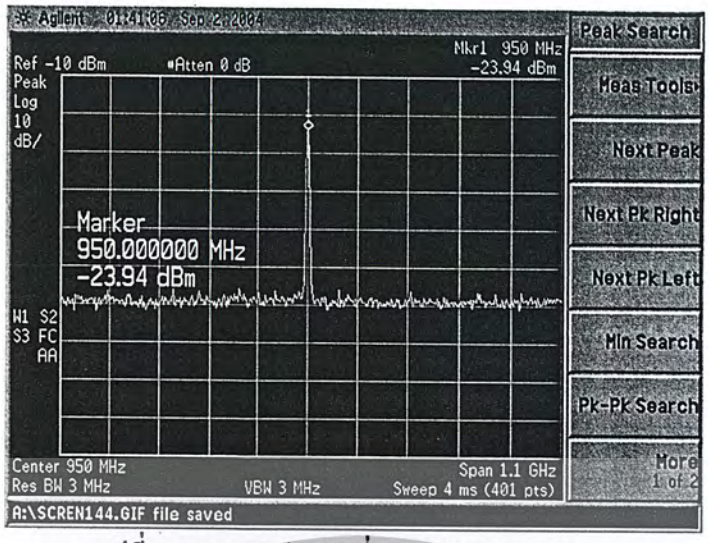
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบที่ความถี่อินพุท 11.7 GHz

- รูปสเปคตรัมของเอาท์พุทที่ความถี่อินพุท 10.7 GHz

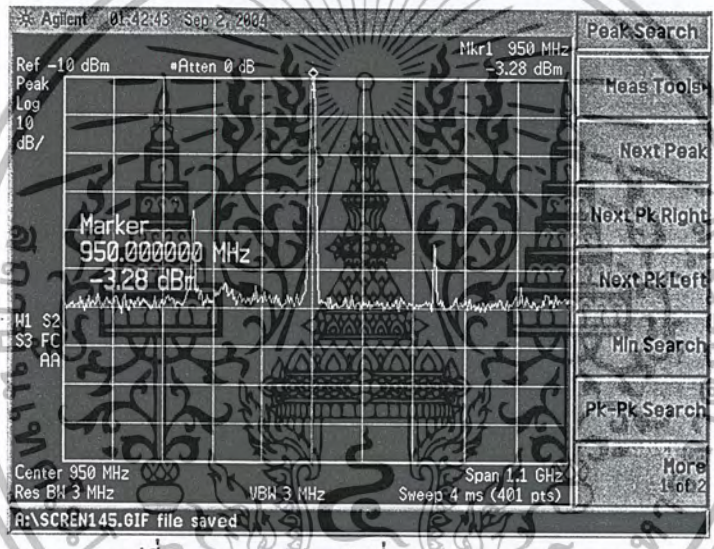


รูปที่ 4.3 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท -85 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

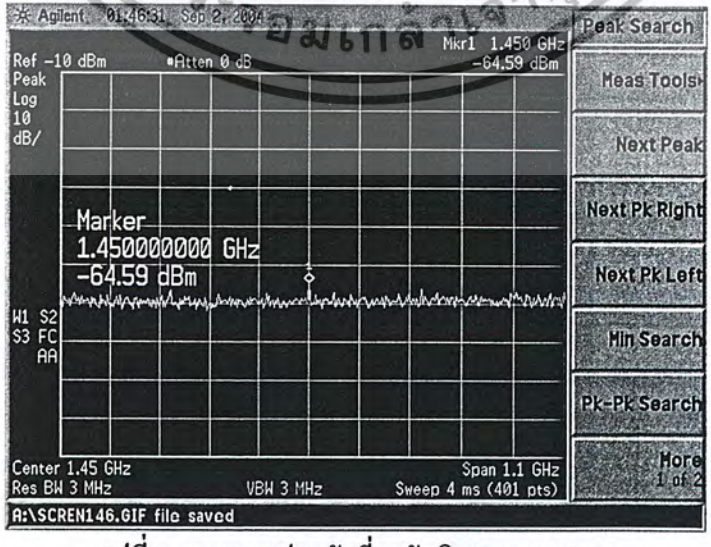


รูปที่ 4.4 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท -40 dBm



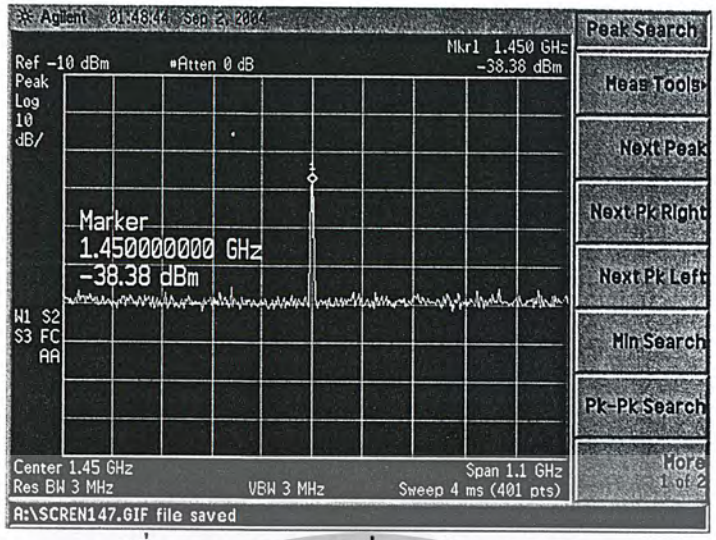
รูปที่ 4.5 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท 0 dBm

- รูปสเปคตรัมของเอาท์พุทที่ความถี่อินพุท 11.2 GHz

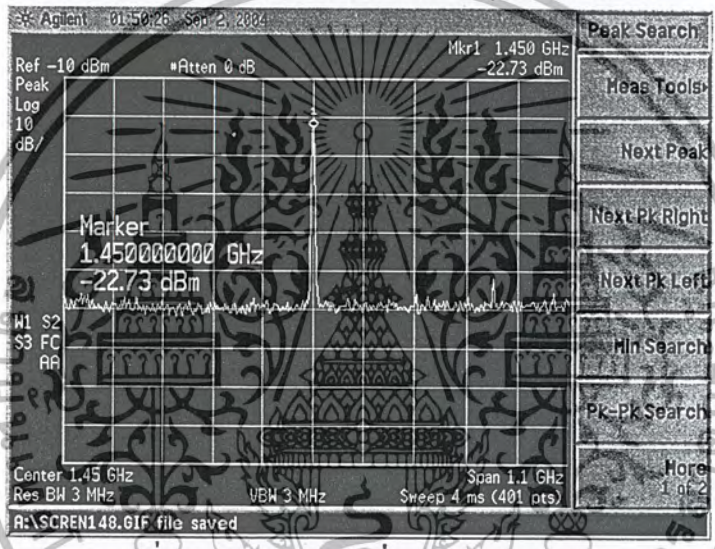


รูปที่ 4.6 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท -60 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

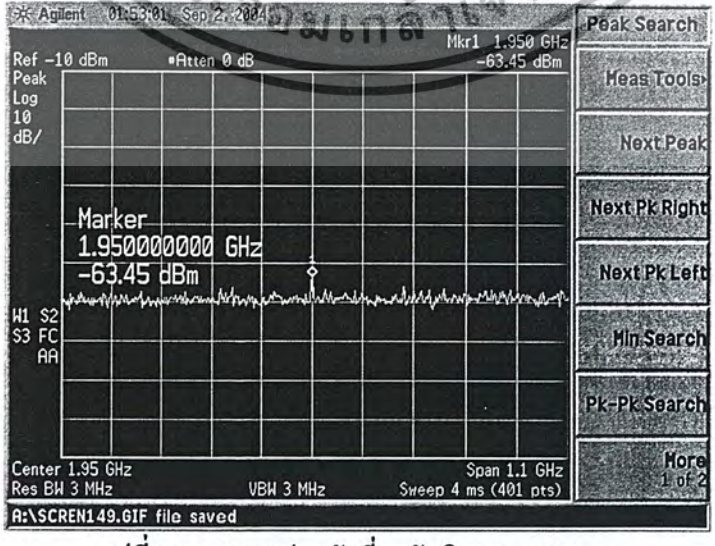


รูปที่ 4.7 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท -30 dBm



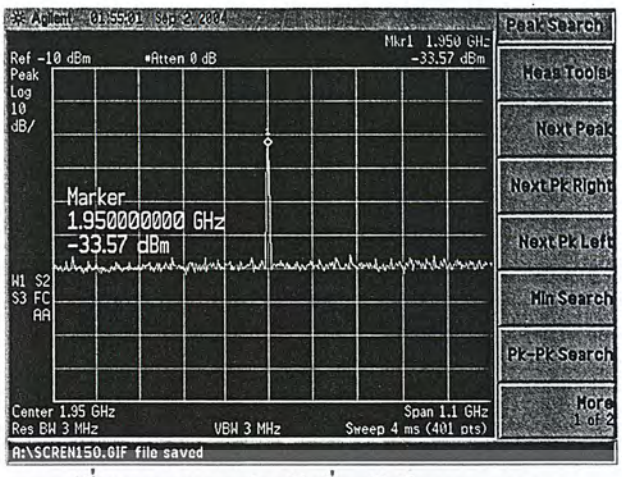
รูปที่ 4.8 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท 0 dBm

- รูปสเปคตรัมของเอาท์พุทที่ความถี่อินพุท 11.7 GHz

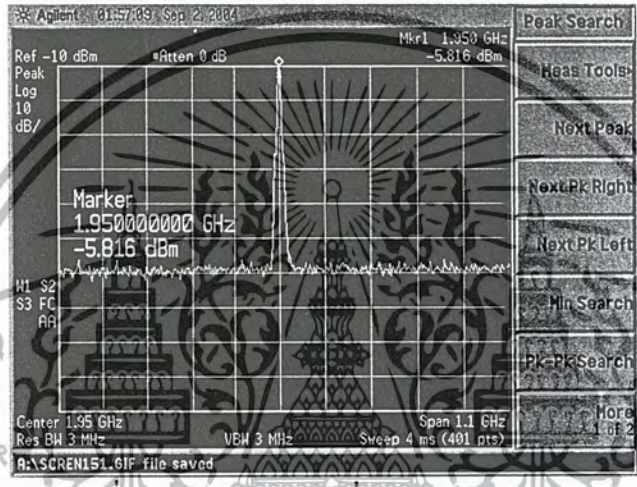


รูปที่ 4.9 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท -75 dBm

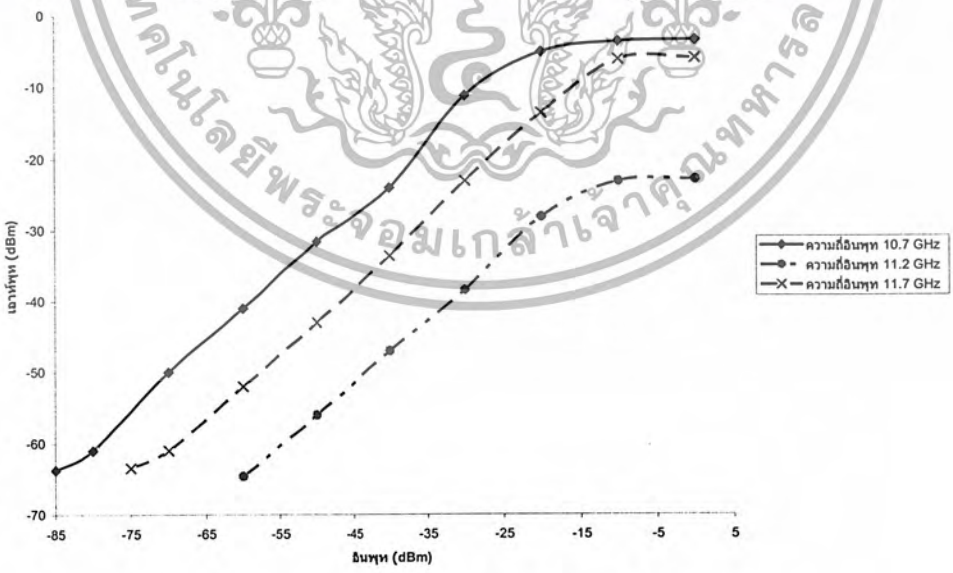
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท -75 dBm



รูปที่ 4.11 แสดงสเปคตรัมที่ระดับอินพุท 0 dBm



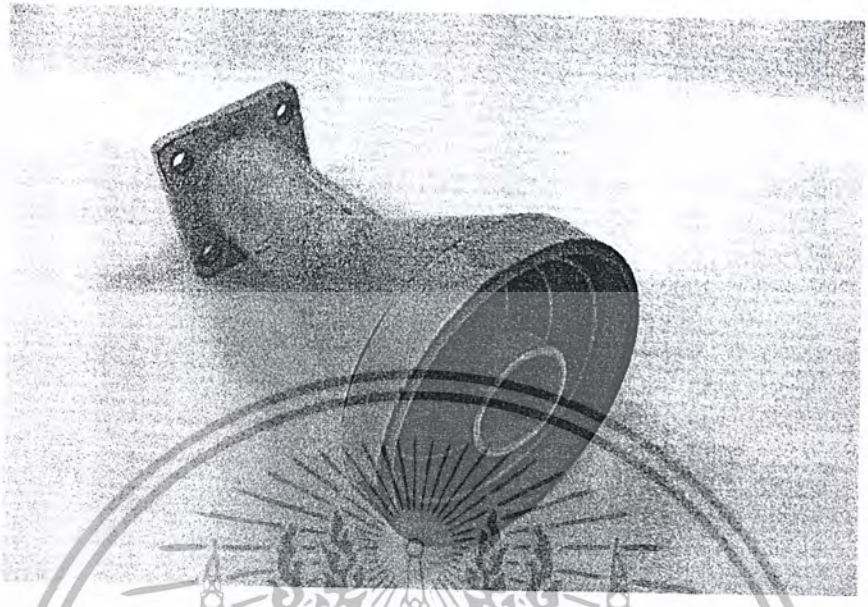
รูปที่ 4.12 แสดงกราฟที่ได้จากข้อมูลในตารางที่ 4.3, 4.4, 4.5

จากกราฟนี้แสดงให้เห็นถึงDynamic range ของแอลเอ็นบี เพื่อแสดงประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละระดับอินพุทของแอลเอ็นบีว่าช่วงใดเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ท่อนำคลื่น (Wave Guide)

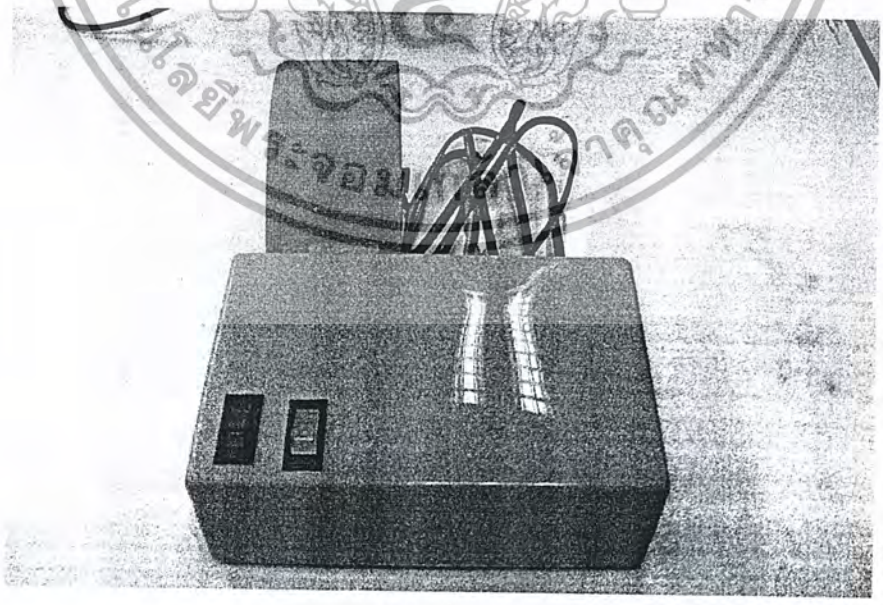
ใช้รับสัญญาณที่แผ่ออกมาจากวัตถุ



รูปที่ 4.13 แสดงท่อนำคลื่น (Wave Guide)

4.4 เครื่องแปลงไฟฟ้าและส่วนเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์

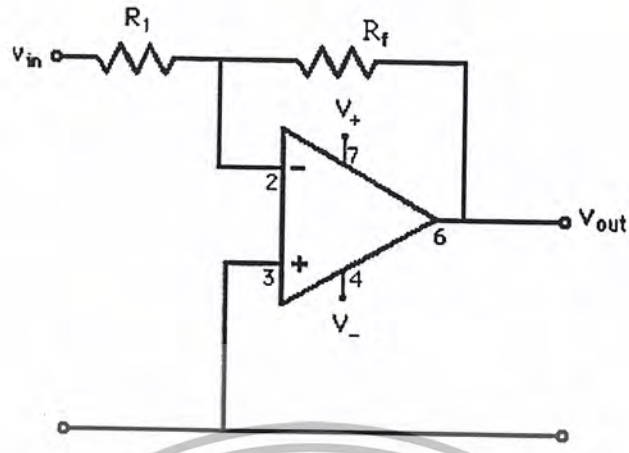
ประกอบไปด้วย วงจรขยายสัญญาณความถี่ไอเอฟ วงจรแปลงไฟจาก 220 v. ไปเป็น 15 v. และ 12 v.



รูปที่ 4.14 แสดงเครื่องแปลงไฟฟ้าและส่วนเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งใช้วงจรขยายสัญญาณ Inverting Amplifier ดังนี้



รูปที่ 4.15 แสดงวงจรขยายสัญญาณ Inverting Amplifier

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_1}$$

4.5 อุปกรณ์จำลองสถานการณ์ในการวัดเมื่อมีวัตถุบดบัง

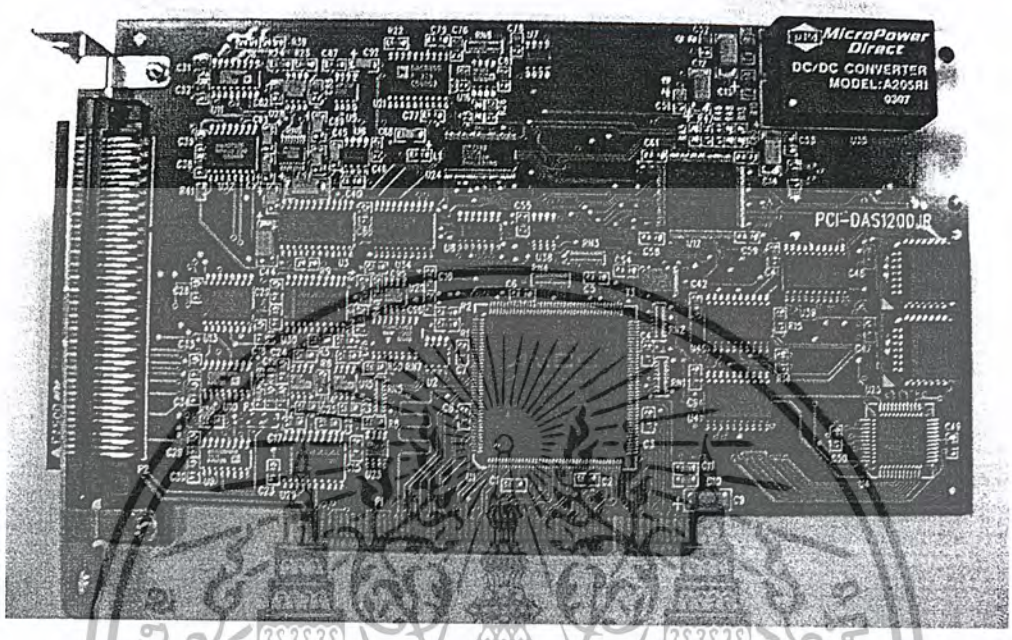
เพื่อใช้เป็นฐานรองวัตถุโดยมีแผ่นพลาสติกใส และใช้สมมุติแทนสถานการณ์ที่มีวัตถุบดบัง

รูปที่ 4.16 แสดงอุปกรณ์จำลองสถานการณ์ในการวัดเมื่อมีวัตถุบดบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การ์ดเชื่อมต่อข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์

เพื่อใช้แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อนำไปประมวลผลต่อในโปรแกรม Matlab



รูปที่ 4.17 แสดงการ์ดเชื่อมต่อข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การทดลองและผลการทดลอง

ในโครงงานนี้มีการทดลองเพื่อทดสอบอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อหาคุณสมบัตินำไปใช้ให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุดดังต่อไปนี้

5.1 การทดสอบหาแบนด์วิทของเครื่องเรดิโอมิเตอร์

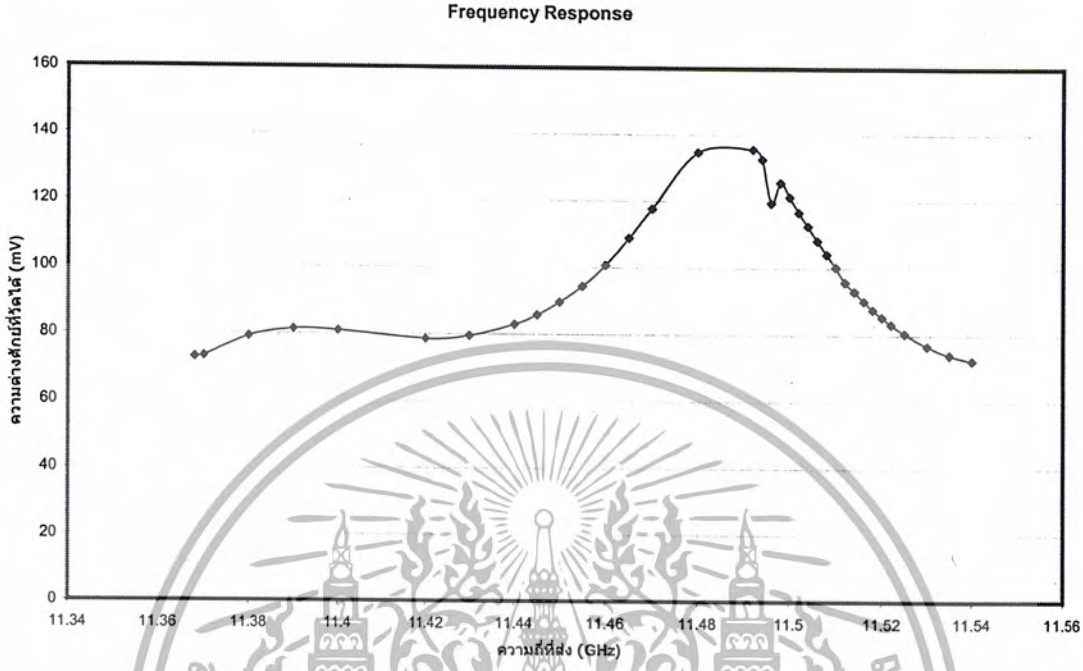
ตารางผลการทดสอบ โดยใช้กำลังงานส่งเท่ากับ -54.8 dBm

ความถี่	ความต่างศักย์ที่รับได้ (mV)	กำลังงานที่รับได้ (dBu)
11.368	72.9	73
11.37	73.2	73.1
11.38	79.1	73.4
11.39	81.3	73.6
11.4	80.9	73.6
11.42	78.5	73.4
11.43	79.5	73.5
11.44	82.9	73.8
11.445	85.8	74.1
11.45	89.6	74.3
11.455	94.4	74.5
11.46	100.7	75
11.465	108.8	75.4
11.47	117.6	75.9
11.48	134.7	76.6
11.492	135.6	76.7
11.494	132.6	76.6
11.496	119.4	76.3
11.498	125.6	76.2
11.5	121.3	76
11.502	116.7	75.8
11.504	112.6	75.7
11.506	108.2	75.4
11.508	104.2	75.2
11.51	100.3	75
11.512	95.9	74.7
11.514	93.1	74.5
11.516	90.2	74.3
11.518	87.6	74.1
11.52	85.4	74
11.522	83.2	73.8
11.525	80.5	73.6
11.53	76.8	73.3
11.535	74.1	73.2
11.54	72.4	73

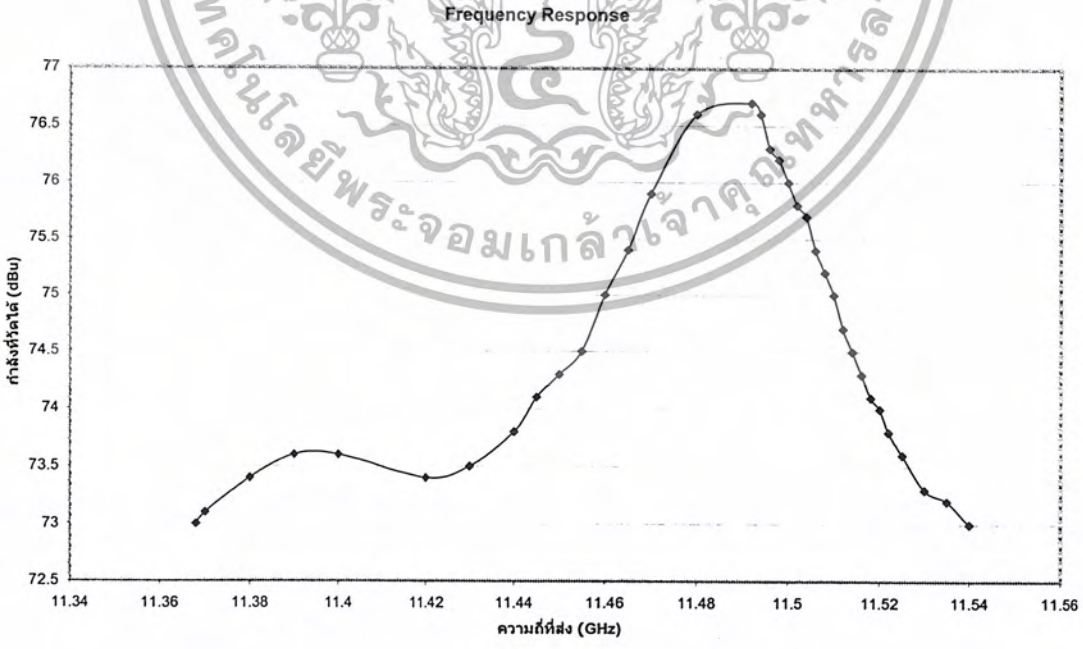
ตารางที่ 5.1 แสดงค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบหาแบนด์วิทของเครื่องเรดิโอมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบจะได้แบนด์วิทอยู่ระหว่าง 11.368 GHz – 11.540 GHz ซึ่งเท่ากับ 172 MHz โดยสามารถแสดงดังกราฟได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.2 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดสอบหา Dynamic Range

เพื่อแสดงประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละระดับอินพุทของเรดิโอมิเตอร์

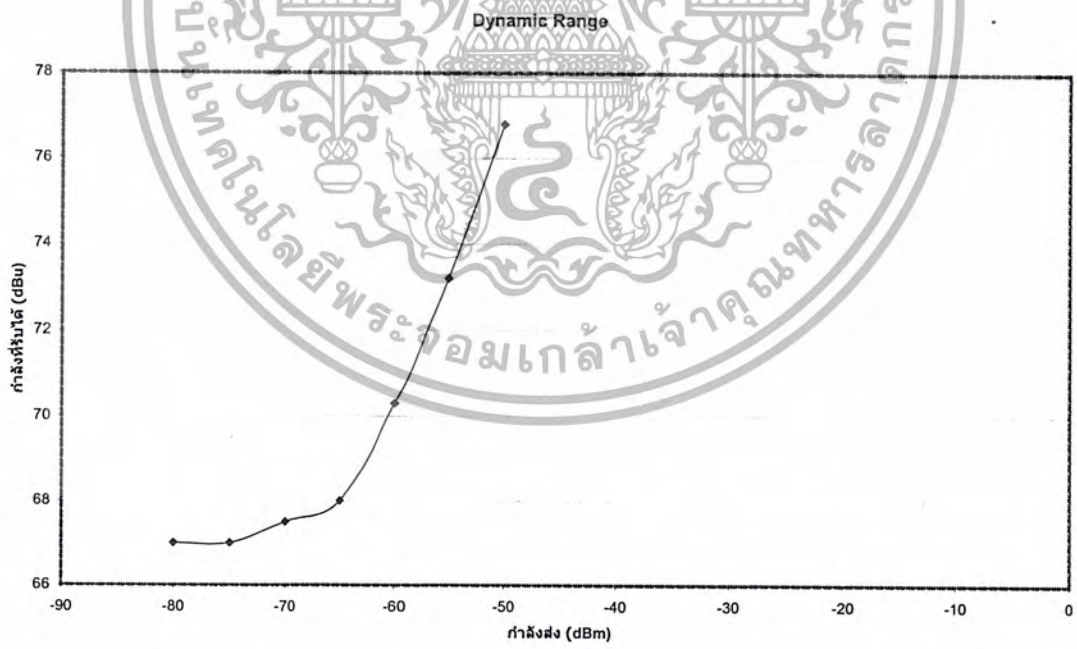
ตารางผลการทดสอบ โดยใช้ความถี่ 11.492 GHz

กำลังส่ง (dBm)	กำลังที่รับได้ (dBu)	ความต่างศักย์ที่รับได้ (mV)
-80	67	26.4
-75	67	27.1
-70	67.5	28.3
-65	68	31.9
-60	70.3	42.9
-55	73.2	72.8
-50	76.8	131.3
...	...	...
...	...	...
...	...	...

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าต่างๆจากการทดสอบหา Dynamic Range

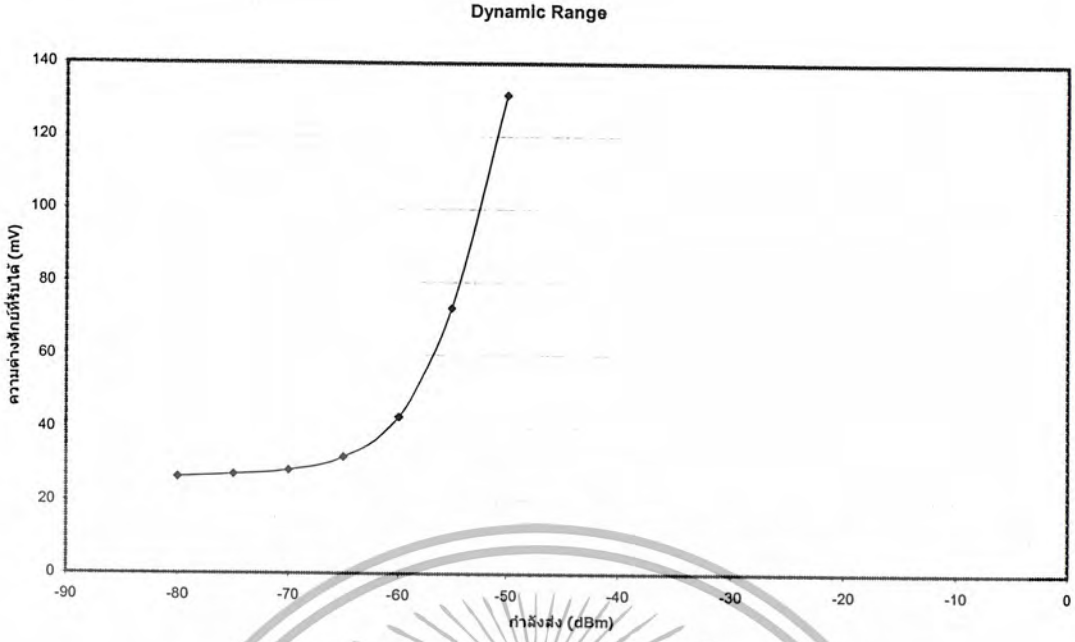
ปัญหา เนื่องจากเครื่อง Satellite Meter มีสเกลการวัดที่จำกัดไม่เพียงพอต่อระดับความแรงของกำลังงานที่รับได้จึงไม่สามารถที่จะทำการวัดต่อไปได้

กราฟที่ได้จากค่าในตารางที่ 5.2 แสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.3 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.2

5.3 การทดสอบหา Pattern ของสายอากาศ

เพื่อหาความกว้างของลำคลื่นที่ระยะ 1,2 และ 3 cm. ซึ่งจะนำไปกำหนดขนาดของพิกเซลที่จะใช้วัด โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ระยะ คือ 1,2 และ 3 cm. ใช้ความถี่ 11.492 GHz

5.3.1 การทดสอบที่ระยะห่าง 1 cm โดยมีกำลังส่งเท่ากับ -55 dBm

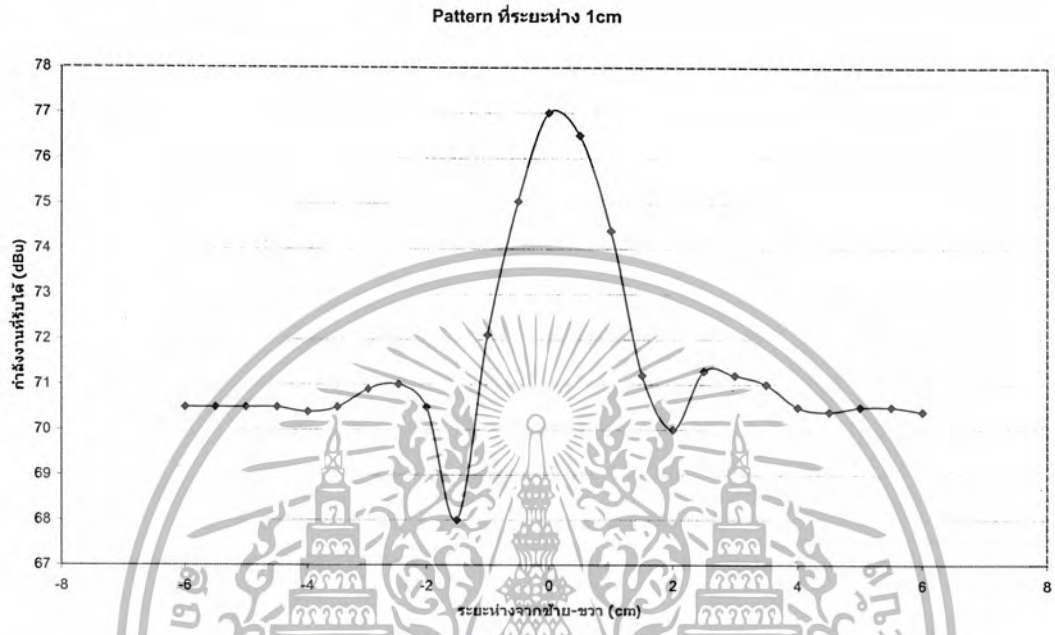
ระยะห่างจากศูนย์กลาง (cm)	กำลังงานที่รับได้ (dBu)	ความต่างศักย์ที่รับได้ (mV)
-6	70.5	47.6
-5.5	70.5	47.4
-5	70.5	47.8
-4.5	70.5	47.2
-4	70.4	45.9
-3.5	70.5	46.5
-3	70.9	50.2
-2.5	71	51.5
-2	70.5	46.6
-1.5	68	31.7
-1	72.1	63.8
ซ้าย -0.5	75.05	104.2
0	77	146
ขวา 0.5	76.5	135.4
1	74.4	92.3
1.5	71.2	54
2	70	39.4
2.5	71.3	54.8
3	71.2	53.7
3.5	71	50.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

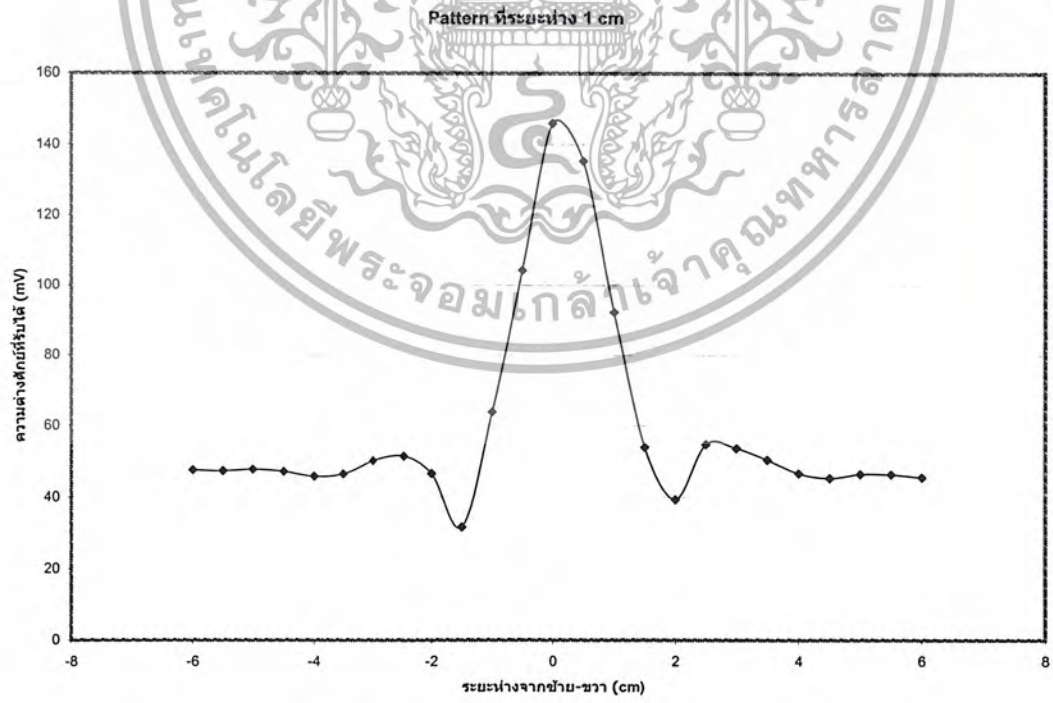
4	70.5	46.7
4.5	70.4	45.4
5	70.5	46.5
5.5	70.5	46.4
6	70.4	45.6

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าการทดสอบที่ระยะห่าง 1 cm

จากค่าในตารางที่ 5.3 แสดงได้ดังกราฟต่อไปนี้



รูปที่ 5.5 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.3



รูปที่ 5.6 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.3

เมื่อดูตามกราฟ ที่จุดกำลังงานลดลงครึ่งหนึ่งจะเห็นได้ว่า ความกว้างของHPBW มีค่าประมาณ 2.8 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

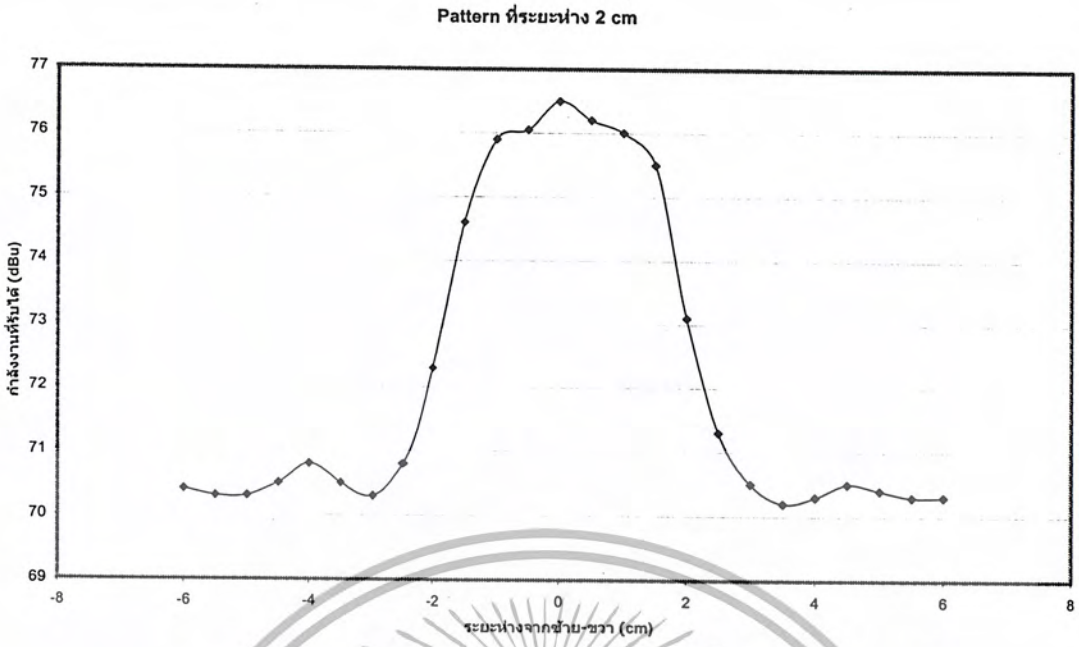
5.3.2 การทดสอบที่ระยะห่าง 2 cm โดยมีกำลังส่งเท่ากับ -55 dBm

ระยะห่างจากศูนย์กลาง (cm)	กำลังงานที่รับได้ (dBu)	ความต่างศักย์ที่รับได้ (mV)
-6	70.4	45.7
-5.5	70.3	45.5
-5	70.3	44.9
-4.5	70.5	46
-4	70.8	47.5
-3.5	70.5	46
-3	70.3	43.7
-2.5	70.8	47.7
-2	72.3	66.1
-1.5	74.6	96.5
-1	75.9	117.9
ซ้าย -0.5	76.05	123.5
0	76.5	131.4
ขวา 0.5	76.2	128.1
1	76	120.8
1.5	75.5	114.3
2	73.1	76.5
2.5	71.3	56.1
3	70.5	45.7
3.5	70.2	42.2
4	70.3	43.7
4.5	70.5	46.2
5	70.4	45.1
5.5	70.3	44
6	70.3	44.4

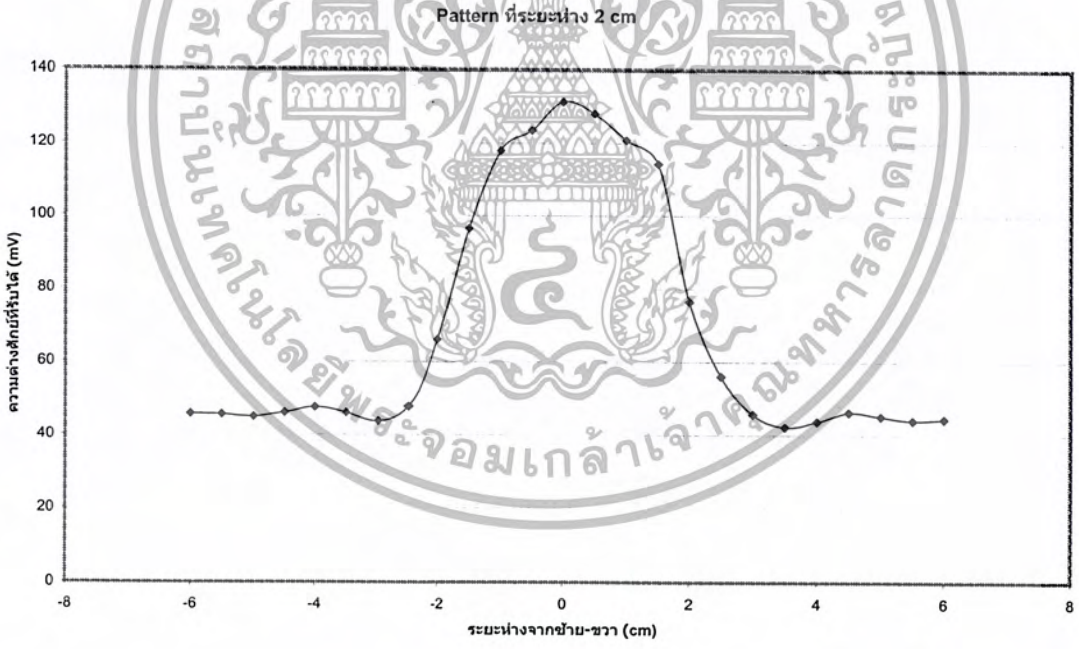
ตารางที่ 5.4 แสดงการทดสอบที่ระยะห่าง 2 cm

จากค่าในตารางที่ 5.4 แสดงได้ดังกราฟต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.4



รูปที่ 5.8 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.4

เมื่อดูตามกราฟหาจุดที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง ซึ่งจะได้ HPBW ประมาณ 4.3 cm

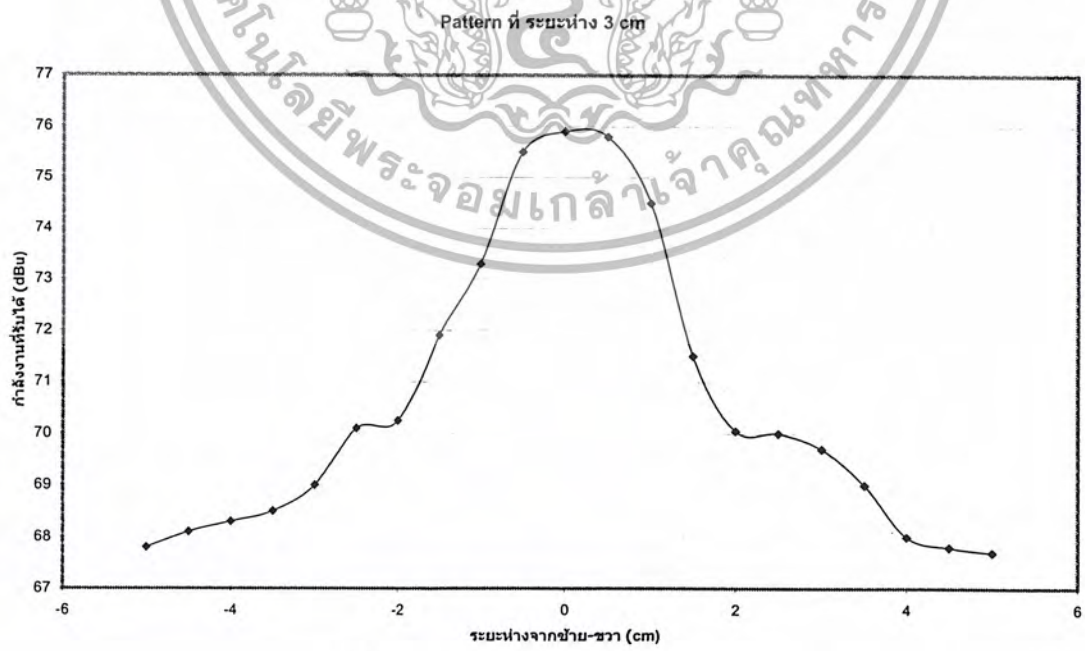
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 การทดสอบที่ระยะห่าง 3 cm โดยมีกำลังส่งเท่ากับ -57 dBm

ระยะห่างจากศูนย์กลาง (cm)	กำลังงานที่รับได้ (dBu)	ความต่างศักย์ที่รับได้ (mV)
-5	67.8	33.4
-4.5	68.1	33.7
-4	68.3	33.8
-3.5	68.5	34.4
-3	69	36
-2.5	70.1	41.9
-2	70.25	44.2
-1.5	71.9	58.6
-1	73.3	76.7
ซ้าย -0.5	75.5	110.3
0	75.9	115.4
ขวา 0.5	75.8	114.6
1	74.5	93
1.5	71.5	56.1
2	70.05	41.5
2.5	70	39.4
3	69.7	37.9
3.5	69	35.8
4	68	32.8
4.5	67.8	31.8
5	67.7	31.6

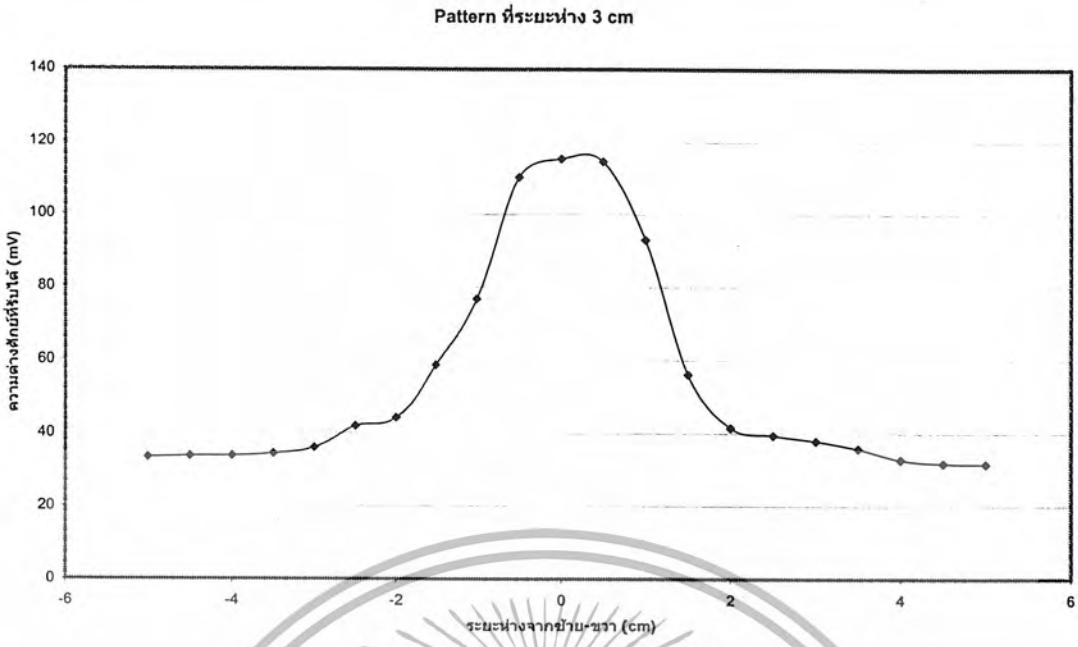
ตารางที่ 5.5 แสดงการทดสอบที่ระยะห่าง 3 cm

แสดงได้ดังกราฟต่อไปนี้



รูปที่ 5.9 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.5

เมื่อดูตามกราฟหาจุดที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง ซึ่งจะได้ HPBW ประมาณ 4.5 cm

5.4 การทดลองนำเรดิโอมิเตอร์ไปวัดสัญญาณจากการต้มน้ำ

จากสมการ P = kBGT จะเห็นได้ว่า กำลังที่แผ่ออกมาจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิของวัตถุ ดังนั้น จึงทดสอบเครื่องเรดิโอมิเตอร์ โดยการนำน้ำมาต้มตั้งแต่อุณหภูมิ 0 – 95 องศาเซลเซียส แล้วทำการวัดค่าเอาท์พุทที่ได้จากเครื่อง เพื่อพิสูจน์ว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่

5.4.1 ค่าที่ได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆจากการต้มน้ำ 2 ครั้ง

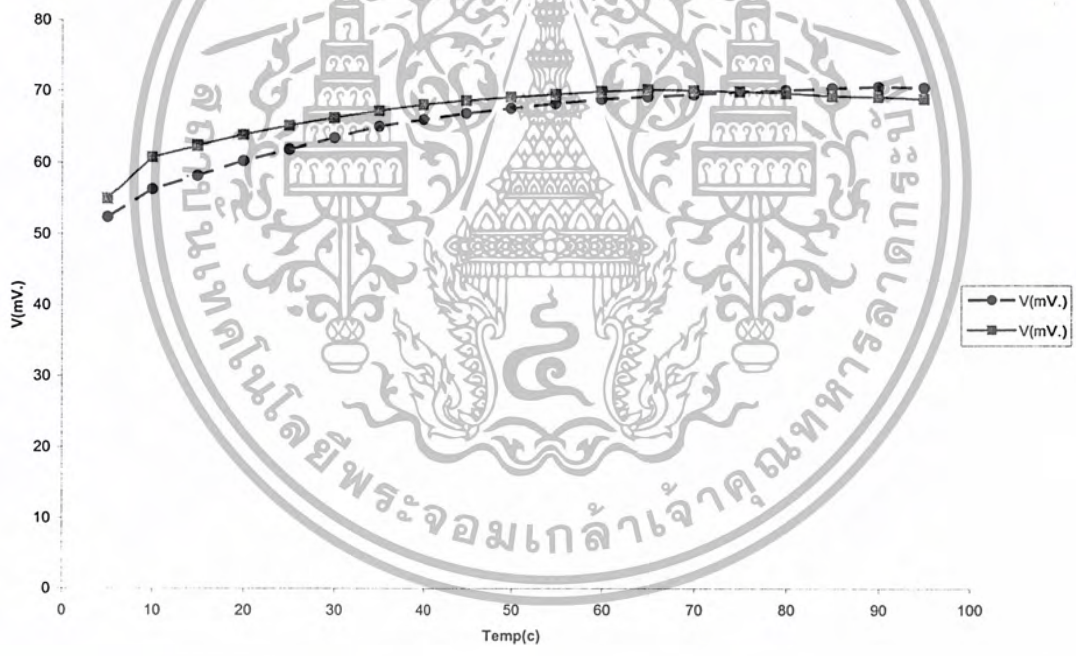
อุณหภูมิ (องศา C)	ครั้งที่ 1 (mV)	ครั้งที่ 2 (mV)
5	52.4	55
10	56.3	60.8
15	58.2	62.4
20	60.3	63.9
25	61.9	65.2
30	63.5	66.3
35	65.1	67.3
40	66.1	68.2
45	67	68.8
50	67.7	69.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55	68.4	69.7
60	69	70.1
65	69.4	70.4
70	69.7	70.3
75	70.1	70.1
80	70.3	69.9
85	70.6	69.5
90	70.8	69.4
95	70.7	69.1

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าที่ได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆจากการต้มน้ำ 2 ครั้ง

จะได้กราฟดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.11 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.6

จากกราฟ จะเห็นได้ว่า กำลังที่วัดได้จากเครื่องเรดิโอมิเตอร์ จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงขึ้น จึงสรุปได้ว่า เครื่องเรดิโอมิเตอร์มีคุณสมบัติเป็นไปตามทฤษฎีดังที่กล่าวมาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 ค่าที่ได้เมื่อทำการวัดขณะอุณหภูมิเย็นตัวลงประกอบด้วย

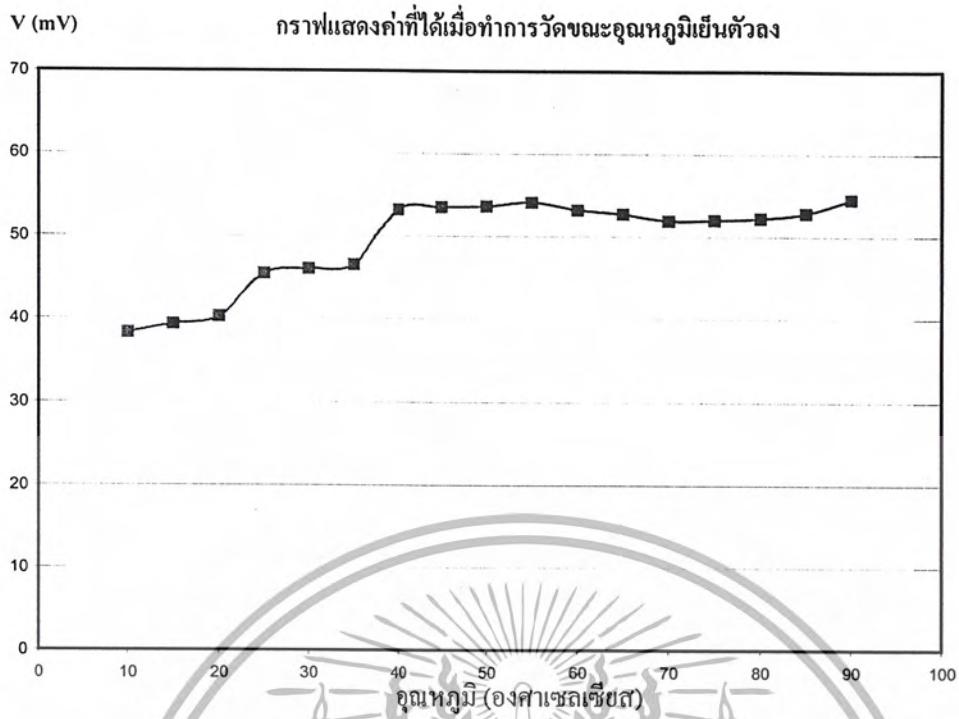
<u>ตอนที่วัดขณะเย็นตัวลง</u>

โดยการนำเครื่องเรดิโอมิเตอร์ไปวัดขณะปล่อยให้อุณหภูมิของน้ำเย็นตัวลงเรื่อยๆ ได้ค่าดังตาราง ดังนี้

อุณหภูมิ (องศา C)	mV
10	38.3
15	39.3
20	40.2
25	45.4
30	46
35	46.5
40	53.2
45	53.5
50	53.6
55	54.1
60	53.2
65	52.7
70	51.9
75	52
80	52.2
85	52.8
90	54.5

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าที่ได้ขณะเย็นตัวลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 แสดงกราฟที่ได้จากตารางที่ 5.7

จากกราฟ จะเห็นได้ว่า กำลังที่วัดได้จากเครื่องเรดิโอมิเตอร์ จะลดลงเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิของน้ำมีค่าต่ำลง จึงสรุปได้ว่า เครื่องเรดิโอมิเตอร์มีคุณสมบัติเป็นไปตามทฤษฎีดังที่กล่าวมาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การทดลองตรวจจับวัตถุชนิดต่างๆ

5.5.1 การตั้งค่าโปรแกรม Matlab ก่อนทำการทดลอง

การเชื่อมต่อสัญญาณที่รับได้ เข้าสู่การประมวลผลทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์

หลังจากได้สัญญาณอินพุทจากเรดิโอมิเตอร์ (Radiometer) แล้วจะนำสัญญาณที่ได้ไปทำการประมวลผลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และเนื่องจากการประมวลผลภายในโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นจะเป็นการประมวลผลในลักษณะของสัญญาณดิจิตอล (Digital Signal) ดังนั้น สัญญาณที่ได้ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) จึงควรถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล (Digital Signal) โดยนำสัญญาณที่ได้ผ่านการ์ด D/A ซึ่งการ์ด A/D จะมีหน้าที่ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

การเชื่อมต่อสัญญาณที่ผ่านการ์ด A/D มาเข้าสู่การประมวลผลภายในโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยโครงการนี้จะใช้โปรแกรม MATLABในโหมดของ Real-Times Windows Target ในการประมวลผล

ซึ่งความต้องการในโหมด Real-Time Windows Target ประกอบไปด้วย 4 ส่วนคือ

1. MATLAB เป็นโปรแกรมที่ใช้เชื่อมต่อสัญญาณมาเข้าสู่การประมวลผลในโหมดของ Real- Time Windows Target

2. Simulink จะแสดงในรูปแบบของ Block Diagram หรือเป็น Toolbox ของระบบที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการประมวลผล

3. Real Time Workshop ทำหน้าที่ในการเปลี่ยน Toolbox ของระบบใน simulink ให้เป็นภาษาC (C Code) ซึ่งสอดคล้องกับหน้าที่ของ Toolbox แต่ละ Toolbox ของระบบ

4. C Complier ทำหน้าที่ในการประมวลผลของภาษา C ใน Real-Times Window Target ซึ่งจะ ทำให้ระบบสามารถทำงานได้ตาม Toolbox ที่สร้างขึ้น โดยโปรแกรมที่ใช้ในการ compile คือ Microsoft Visual C/C++ หรือ Watcom C/C++

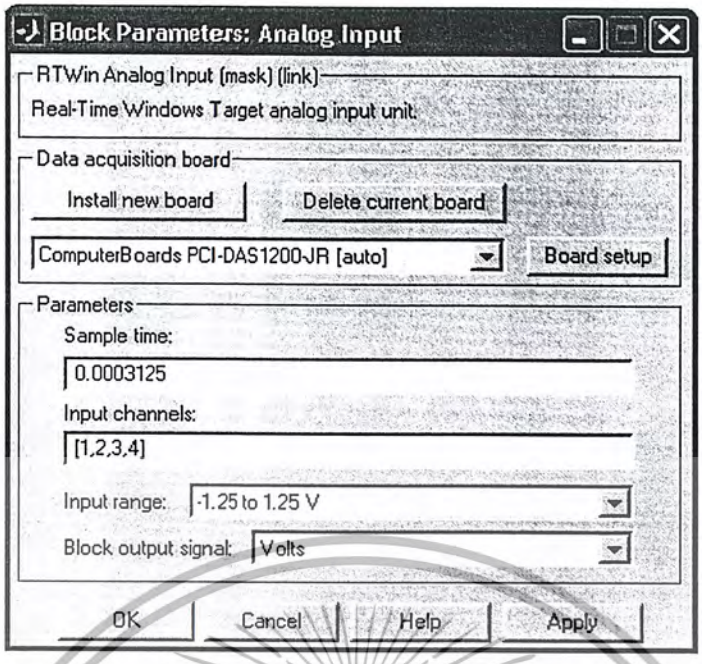
การตั้งค่าภายในโปรแกรมเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ในโหมด Real-Times Window Target มี 2 ส่วน คือ

1. Third Party C Compiler เป็นการตั้งค่าสำหรับการ compile ภาษา C ที่ใช้ใน toolbox ของระบบโดยเลือกโปรแกรมที่จะนำมาใช้ในการ compile ซึ่งคำสั่งที่ใช้ในการตั้งค่าคือ mex-setup และทำการเลือกโปรแกรมที่ใช้ในการ compile โดยโครงงานนี้จะใช้ Microsoft Visual C/C++

2. Installing the Kernel เป็นการตั้งค่าเพื่อให้ระบบที่สร้างขึ้นมาสามารถทำงานได้ในโหมดของ Real-Times Windows Target โดยใช้คำสั่ง rtwintgt -install

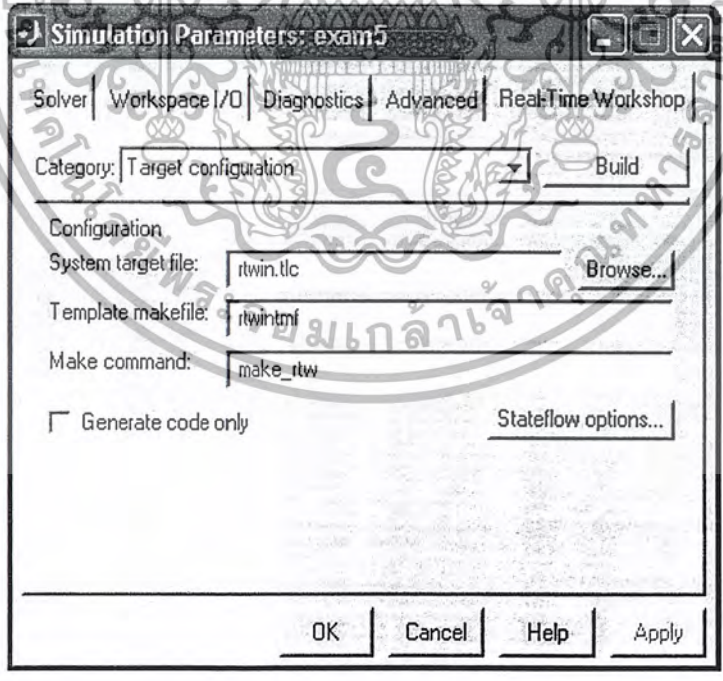
ในการตั้งค่าตามที่อธิบายไว้ในข้างต้นนั้น เป็นการตั้งค่าทั่วๆ ไป ก่อนการนำสัญญาณที่ผ่านการ์ด A/D มาเข้าสู่การประมวลผล ส่วนการตั้งค่ากรณีอื่นนอกเหนือจากการตั้งค่าแบบทั่วๆ ไปจะขึ้นอยู่กับชนิด คุณสมบัติและการใช้งานของการ์ดแต่ละรุ่น ซึ่งโครงงานนี้ใช้การ์ด A/D รุ่น PCI-DAS 1200/JR โดยในรูปที่ 5.13 จะแสดงตัวอย่างในการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (โดยสามารถดูรายละเอียดได้จากภาคผนวกและ helpใน simulink ของโปรแกรม MATLAB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 แสดงตัวอย่างการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

หากมีการเปลี่ยนแปลงการตั้งค่าไม่ว่าจะเป็นพารามิเตอร์ตัวใดๆ ก็ตาม จะต้องมีการอัพเดต (update) ข้อมูลทุกครั้งโดยการคลิกที่ปุ่ม build ดังรูปที่ 5.14 เพื่อให้โปรแกรมรู้ค่าก่อนที่จะใช้ในการประมวลผล



รูปที่ 5.14 แสดงการอัพเดตข้อมูลทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 การปฏิบัติการทดลอง แบ่งเป็น 5 แบบดังนี้

การทดลองที่ 1 การทดลองตรวจจับโลหะแผ่นใหญ่

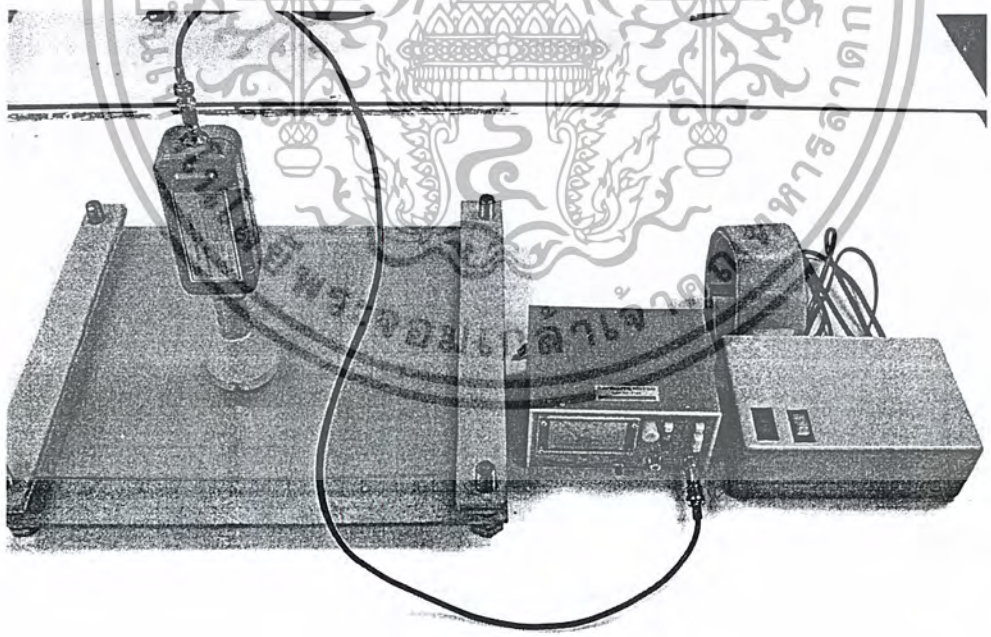
จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการตรวจจับวัตถุที่มีขนาดใหญ่

อุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องแปลงไฟฟ้าและส่วนเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์
2. อุปกรณ์จำลองสถานการณ์ในการวัดเมื่อมีวัตถุบดบัง
3. ท่อนำคลื่น (Wave Guide)
4. แอลเอ็นบี (LNB; Low Noise Block Converter)
5. เครื่องวัดคลื่นจากดาวเทียม (Satellite Meter)
6. สายนำสัญญาณ
7. คอมพิวเตอร์
8. การ์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์
9. แผ่นโลหะขนาดใหญ่

วิธีทำการทดลอง

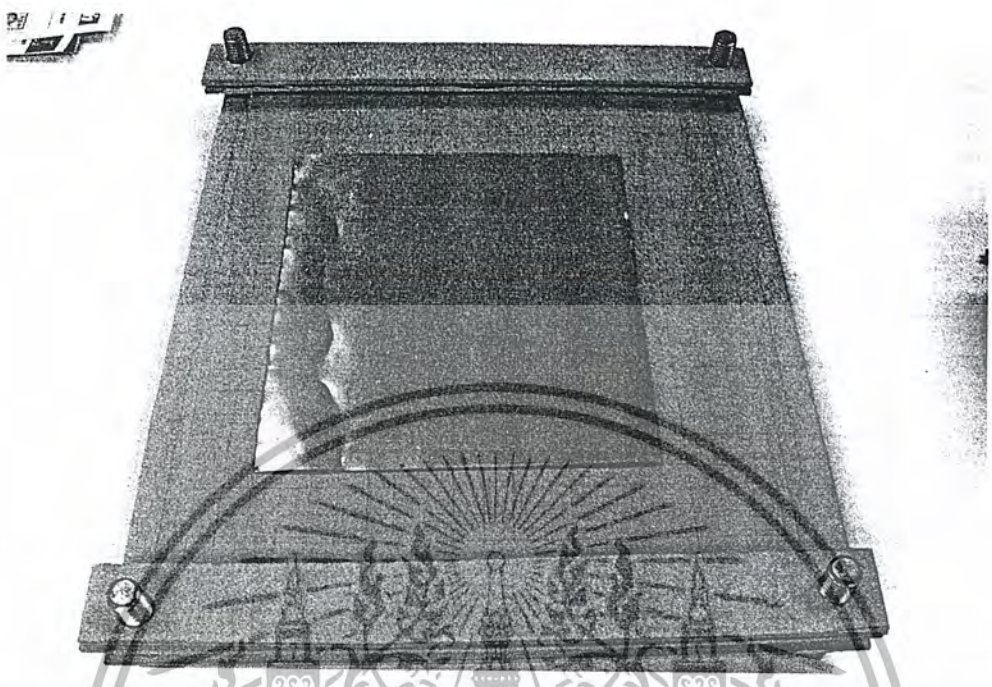
1. ตั้งค่าในโปรแกรม Matlab ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้
2. ต่ออุปกรณ์ต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังรูป



รูปที่ 5.15 แสดงการต่ออุปกรณ์รวมทั้งหมด

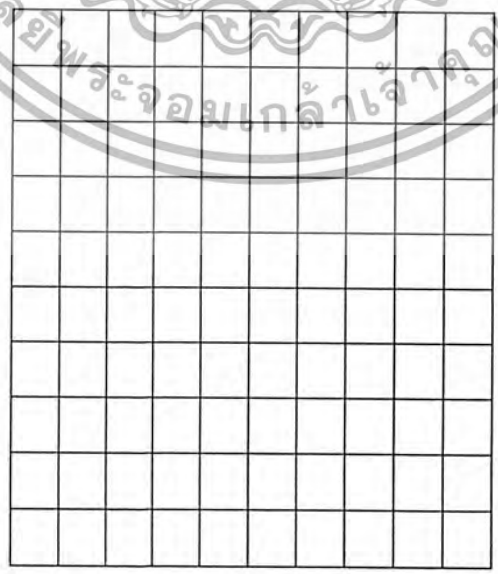
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำแผ่นโลหะขนาดใหญ่ที่ต้องการตรวจจับมาวางไว้ที่อุปกรณ์จำลองสถานการณ์ในการวัดเมื่อมีวัตถุบดบังดังรูป



รูปที่ 5.16 แสดงการนำวัตถุวางไว้ที่อุปกรณ์

4. เปิดโปรแกรม files 'radiometer.m', 'radiometer2.m' และ 'exam.mdl' ขึ้นมาเพื่อทำการวิเคราะห์สัญญาณที่รับเข้ามาได้แสดงเป็นรูปภาพขนาด 10*10 ดังรูป ซึ่งตารางนี้จะเปรียบเทียบได้กับตารางในอุปกรณ์จำลองสถานการณ์ในการวัดเมื่อมีวัตถุบดบัง



รูปที่ 5.17 แสดงรูปภาพขนาด 10*10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม Radiometer.m

```
x=sim;
y=x(:,1);
e=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];

a=0;
b=y(1,1);
    if b>=a
      c=b;
    else c=a;
    end
        for k=1:1599
          d=y(k+1,1);
           if d>=c
             c=d;
           end
        end
    e(1,1)=c*39.5
    imshow(e,hot(250))
    colorbar('vert')
```

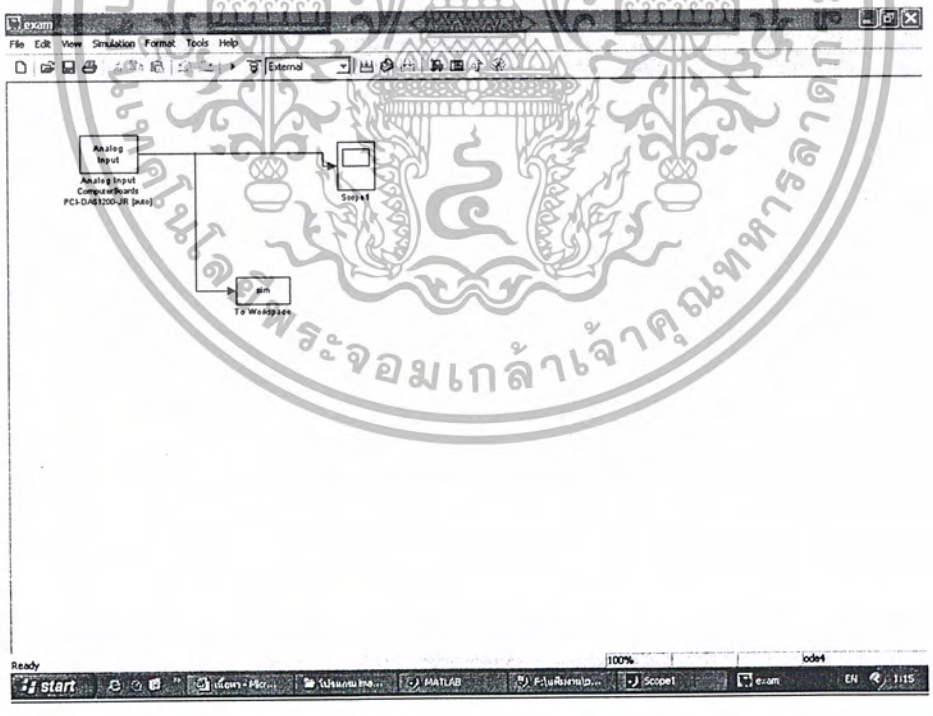
โปรแกรม Radiometer2.m

```
x=sim;
y=x(:,1);
a=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
b=y(1,1);
    if b>=a
       c=b;
    else c=a;
    end
        for k=1:1599
           d=y(k+1,1);
            if d>=c
               c=d;
            end
        end
    e(1,2)=c*39.5
    imshow(e,hot(250))
    colorbar('vert')
```

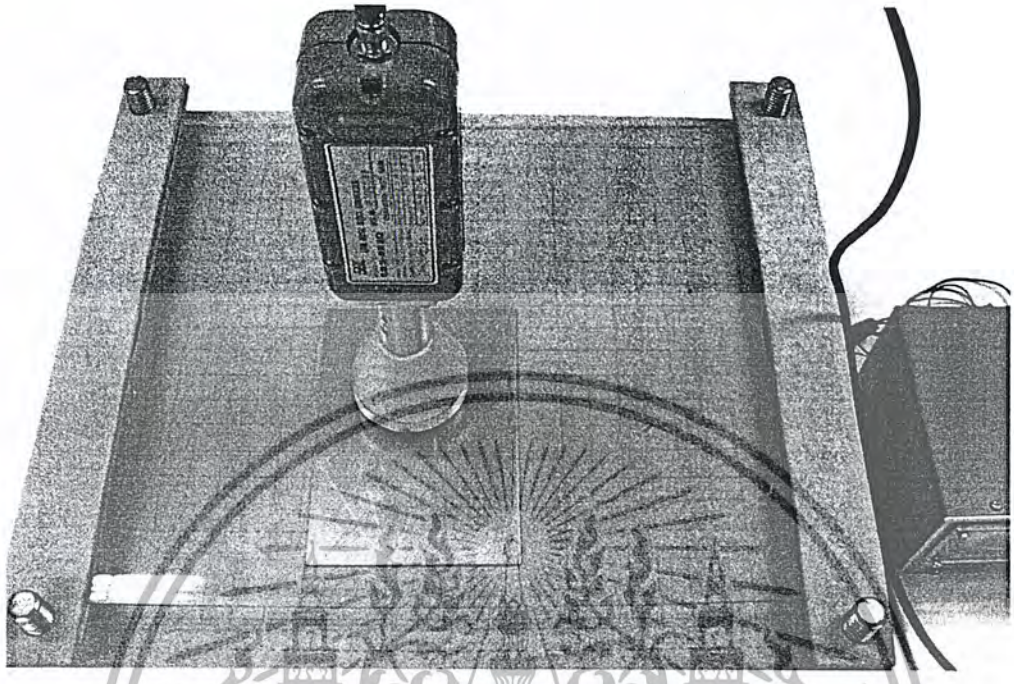
โปรแกรม exam.mdl



รูปที่ 5.18 แสดงโปรแกรม exam.mdl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำท่อนำคลื่นไปวางไว้ที่จุดที่จะตรวจจับบนอุปกรณ์จำลองสถานการณ์ในการวัดเมื่อมีวัตถุบดบัง จุดแรกคือจุดที่ (1,1)



รูปที่ 5.19 แสดงลักษณะการนำท่อนำคลื่นไปวางไว้เพื่อเตรียมวัดค่า

6. ทำการรันโปรแกรม 'radiometer.m' ซึ่งโปรแกรมนี้ใช้ได้เพียงแค่จุด (1,1) เท่านั้น ซึ่งถ้าวัดจุดต่อๆไปต้องใช้โปรแกรม 'radiometer2.m' ในการวัด โดยทุกๆครั้งต้องทำการเปลี่ยนตำแหน่งในการวัดเสมอที่ e(1,2)=c ไปเรื่อยๆจนถึง e(10,10)=c

7. ต้องทำการอัพเดทค่าทุกครั้งที่เปลี่ยนไปวัดที่ตำแหน่งอื่นๆ โดยอัพเดทที่หน้าต่างของไฟล์ 'exam.mdl'

8. ทุกๆจุดในการรันโปรแกรมจะมีหน้าต่าง Figure ปรากฏขึ้นมาเพื่อแสดงสีของแต่ละจุดไปเรื่อยๆจนครบจะได้ภาพการตรวจจับที่ต้องการออกมา

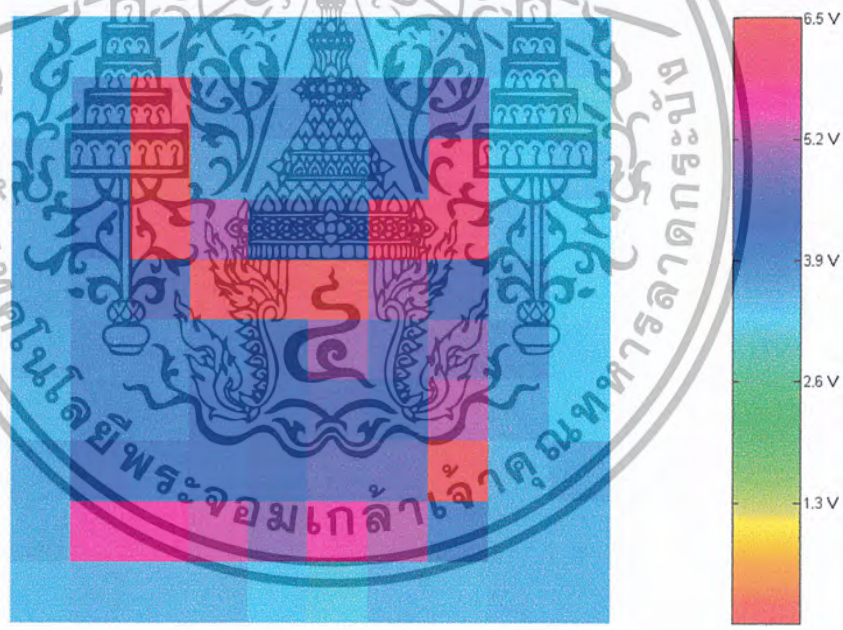
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

- ค่าโวลท์เตจที่เรดิโอมิเตอร์วัดได้

3.3881	3.3223	3.3783	3.3418	3.3223	3.3979	3.2076	3.3783	3.3832	3.3590
3.3887	3.7402	6.0840	3.7158	3.7305	3.7521	3.7201	4.6729	3.2031	3.1055
3.5400	3.7549	6.4160	3.5742	3.6082	3.6838	4.1016	5.7715	3.2373	3.3643
3.5947	3.9014	6.0840	5.0684	4.3359	4.2871	5.8252	5.8252	3.4082	3.2086
3.5803	3.7059	4.4141	6.2256	6.2256	6.3623	5.0000	4.3604	3.5498	3.2236
3.5074	3.7498	3.7863	3.9111	4.2627	4.9707	4.5752	4.8682	3.6719	3.2676
3.4141	3.7865	3.7695	4.0674	4.1748	4.5020	4.3213	5.0977	3.5400	3.2549
3.5357	4.1504	3.9941	4.0820	4.2871	4.6289	4.6436	6.3086	3.4277	3.5254
3.5156	5.4102	5.4590	5.2246	4.8975	5.3467	5.1025	3.8477	3.4570	3.4668
3.4033	3.4521	3.4424	3.4229	3.2764	3.1348	3.4424	3.4131	3.4570	3.4668

- รูปที่ได้จากการประมวลผลใน Matlab โดยการนำค่าโวลท์เตจที่ได้ซึ่งมีความแตกต่างกันน้อยมากมาขยายความแตกต่างของระดับสัญญาณ แล้วจึงนำมาประมวลผลได้ดังรูป



รูปที่ 5.20 แสดงการนำค่าที่วัดได้ไปประมวลผลใน Matlab

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองตรวจจับวัตถุโลหะลักษณะเป็นแผ่นบางขนาดใหญ่ จะสามารถแสดงผลออกมาได้แต่ไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากว่าวัตถุโลหะมีผิวไม่ราบเรียบเสมอกัน จึงทำให้พบว่าความสูงต่ำของพื้นผิวมีผลต่อค่าที่วัดได้ ซึ่งถ้าต้องการให้การวัดมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จะต้องทำให้ระยะห่างระหว่างวัตถุกับท่อนำคลื่นมีค่าเท่าๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 การทดลองตรวจจับโลหะ 2 แผ่นที่มีขนาดต่างกัน

จุดประสงค์ 1. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของวัตถุและค่าที่ได้ในการตรวจจับ

2. เพื่อหาความสามารถในการตรวจจับวัตถุเมื่อมีโลหะ 2 ชิ้นอยู่ใกล้เคียงกัน

อุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องแปลงไฟฟ้าและส่วนเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์
2. อุปกรณ์จำลองสถานการณ์ในการวัดเมื่อมีวัตถุบดบัง
3. ท่อนำคลื่น (Wave Guide)
3. แอลเอ็นบี (LNB; Low Noise Block Converter)
4. เครื่องวัดคลื่นจากดาวเทียม (Satellite Meter)
5. สายนำสัญญาณ
6. คอมพิวเตอร์
7. การ์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์
8. แผ่นโลหะทีมีขนาดต่างกัน 2 แผ่น

วิธีการทดลอง

- เหมือนกับการทดลองที่ 1 เพียงแต่เปลี่ยนวัตถุที่ใช้ตรวจจับเท่านั้น ดังรูป

รูปที่ 5.21 แสดงการนำวัตถุวางไว้ที่อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

- ค่าโวลท์เตจที่เรดิโอมิเตอร์วัดได้

3.6475	3.5986	3.5742	3.5840	3.5742	3.5986	3.5791	3.6035	3.5693	3.6084
3.7256	3.6816	3.6035	3.5400	3.5107	3.4766	3.4863	3.6328	3.5791	3.6914
3.5746	3.5844	4.0791	4.5332	4.8994	4.8213	4.5332	3.6865	3.7598	3.9063
3.6328	3.5547	4.2383	4.1895	4.4092	4.5996	5.1367	3.6377	3.5938	3.6963
3.5986	3.5791	4.0381	4.0283	4.2529	4.5215	5.0342	3.5449	3.6133	3.6768
3.6084	3.5498	3.9990	3.9648	4.1650	4.2334	4.0332	3.5449	3.5693	3.6670
3.5889	3.5352	3.6035	3.6035	3.5889	3.5938	3.5449	3.5547	3.5547	3.6426
3.5840	3.5352	3.6035	3.5986	3.5498	4.1064	4.6289	4.1943	3.5107	3.6523
3.6719	3.5693	3.5693	3.6230	3.6230	3.9063	4.0186	4.0479	3.5449	3.6328
3.6182	3.5547	3.5449	3.6230	3.5840	3.6621	3.5498	3.5352	3.5645	3.6670

- รูปที่ได้จากการประมวลผลใน **Matlab** โดยการนำค่าโวลท์เตจที่ได้ซึ่งมีความแตกต่างกันน้อยมากมาขยายความแตกต่างของระดับสัญญาณ แล้วจึงนำมาประมวลผลได้ดังรูป

รูปที่ 5.22 แสดงการนำค่าที่วัดได้ไปประมวลผลใน Matlab

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองตรวจจับวัตถุโลหะ 2 ชิ้นซึ่งมีขนาดต่างกัน เรดิโอมิเตอร์สามารถแยกแยะวัตถุ 2 ชิ้น ซึ่งวางห่างกันได้ โดยภาพที่ออกมาจะแสดงถึงขนาดที่ต่างกันของวัตถุ ซึ่งทำให้ผู้ทำการทดลองสามารถคาดคะเนขนาดของวัตถุทั้ง 2 ชิ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3 การทดลองตรวจจับวัตถุ 2 ชนิดที่ต่างกัน

จุดประสงค์ 1. เพื่อหาความสามารถในการตรวจจับวัตถุชนิดต่างกันได้

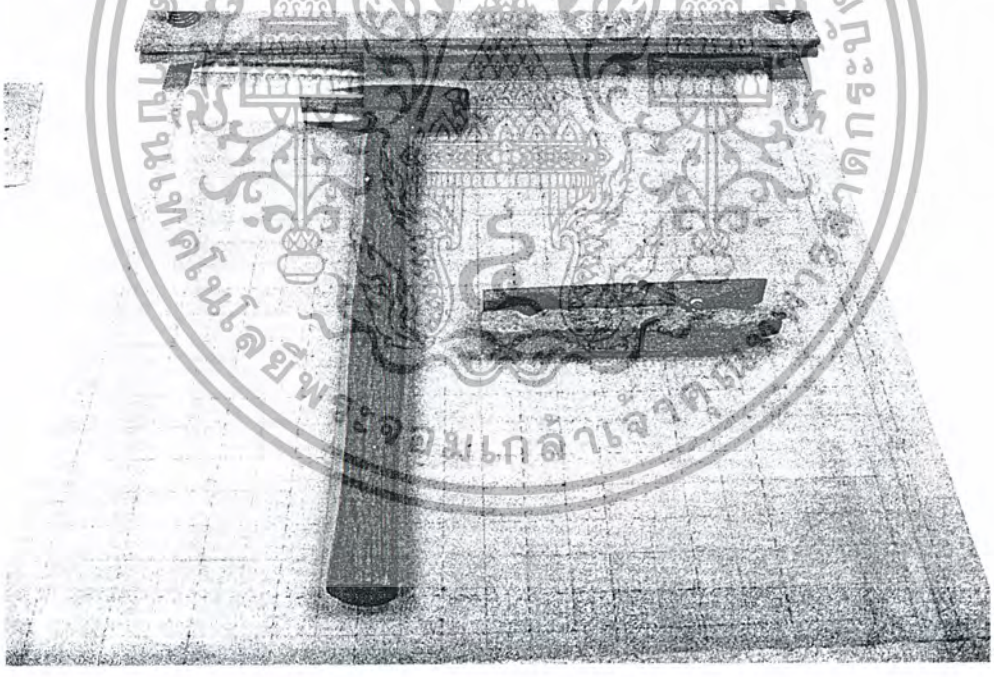
2. เพื่อหาความสามารถในการแยกแยะวัตถุ 2 ชนิดออกจากกันได้

อุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องแปลงไฟฟ้าและส่วนเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์
2. อุปกรณ์จำลองสถานการณ์ในการวัดเมื่อมีวัตถุบดบัง
3. ท่อนำคลื่น (Wave Guide)
2. แอลเอ็นบี (LNB; Low Noise Block Converter)
3. เครื่องวัดคลื่นจากดาวเทียม (Satellite Meter)
4. สายนำสัญญาณ
5. คอมพิวเตอร์
6. การ์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์
7. วัตถุ 2 ชนิดที่ต่างกัน

วิธีทำการทดลอง

- เหมือนกับการทดลองที่ 1 เพียงแต่เปลี่ยนวัตถุที่ใช้ตรวจจับเท่านั้น ดังรูป



รูปที่ 5.23 แสดงการนำวัตถุวางไว้ที่อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

- ค่าโวลท์เตจที่เรดิโอมิเตอร์วัดได้

4.8486	4.7021	7.5049	8.2715	8.4668	5.6836	4.7949	4.7559	4.8389	4.8291
4.7705	4.6777	4.7559	4.9072	4.9268	4.7168	4.7559	4.7656	4.7949	4.8389
4.8145	4.5654	4.7168	4.8633	4.7119	4.6777	4.7559	4.6729	4.6484	4.5801
4.6680	4.5068	4.5361	4.6777	4.5459	4.5752	4.5264	4.5752	4.6436	4.6484
4.6191	4.4971	4.5410	4.8291	4.4873	4.4238	4.5605	4.5557	4.5752	4.5752
4.5410	4.4043	4.5215	5.0244	4.4287	4.7559	4.9561	5.1758	5.7520	4.5459
4.5850	4.3945	4.3701	4.8193	4.3555	4.5703	4.4873	4.4238	4.3066	4.3164
4.3750	4.2725	4.2725	4.2725	4.2627	4.1553	4.3018	4.2090	4.2676	4.3262
4.3848	4.2334	4.2383	4.8682	4.2334	4.1650	4.2334	4.2480	4.2627	4.1992
4.2773	4.0771	4.2236	4.9121	4.1943	4.1602	4.2139	4.1895	4.2480	4.2236

- รูปที่ได้จากการประมวลผลใน **Matlab** โดยการนำค่าโวลท์เตจที่ได้ซึ่งมีความแตกต่างกันน้อยมากมาขยายความแตกต่างของระดับสัญญาณ แล้วจึงนำมาประมวลผลได้ดังรูป

รูปที่ 5.24 แสดงการนำค่าที่วัดได้ไปประมวลผลใน Matlab

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองนี้เป็นการตรวจจับวัตถุ 2 ชนิดที่ไม่เหมือนกัน เรดิโอมิเตอร์สามารถนำสัญญาณที่ได้มาประมวลผล ทำให้เกิดความแตกต่างของค่าที่ได้จากวัตถุ 2 ชนิด ซึ่งมีผลให้ลักษณะของสีที่ได้แตกต่างกัน ทำให้ผู้ทำการทดลองรู้ได้ว่าวัตถุทั้ง 2 ชนิด ที่ตรวจพบทำจากวัสดุต่างชนิดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4 การทดลองตรวจจับโลหะที่มีขนาดต่างๆกัน

จุดประสงค์ 1. เพื่อหาขนาดที่เล็กที่สุดของวัตถุที่สามารถตรวจจับได้

2. เพื่อหาความสามารถในการตรวจจับของวัตถุที่มีขนาดแตกต่างกัน

อุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องแปลงไฟฟ้าและส่วนเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์
2. อุปกรณ์จำลองสถานการณ์ในการวัดเมื่อมีวัตถุบดบัง
3. ท่อนำคลื่น (Wave Guide)
2. แอลเอ็นบี (LNB; Low Noise Block Converter)
3. เครื่องวัดคลื่นจากดาวเทียม (Satellite Meter)
4. สายนำสัญญาณ
5. คอมพิวเตอร์
6. การ์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์
7. โลหะ 4 ชิ้นที่มีขนาดต่างกัน

วิธีทำการทดลอง

- เหมือนกับการทดลองที่ 1 เพียงแต่เปลี่ยนวัตถุที่ใช้ตรวจจับเท่านั้น ดังรูป

รูปที่ 5.25 แสดงการนำวัตถุวางไว้ที่อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

- ค่าที่เรดิโอมิเตอร์วัดได้

3.8184	3.8379	3.8232	3.7793	3.7451	3.7305	3.8721	3.8770	3.8037	3.8037
3.7744	3.7549	3.7598	3.7939	3.7793	3.7451	4.0041	3.7842	3.7842	3.7793
3.8281	3.7598	3.8232	3.7207	3.7988	3.7842	4.004	3.8330	3.6719	3.8623
3.7646	3.7939	3.6719	3.8232	3.7158	3.8232	4.0025	3.7793	3.7305	3.7549
3.8086	3.7402	3.7354	3.7500	3.7744	3.7598	3.7549	3.6963	3.7744	3.8428
3.8525	3.7305	3.7549	3.7598	3.8477	3.6621	3.7744	3.7695	3.8232	3.8379
3.7500	3.6768	4.2144	3.7109	3.7451	3.7109	4.6846	3.7402	3.7549	3.8721
3.7646	3.6182	4.2165	3.6621	3.7549	3.7256	4.5334	3.7354	3.7598	3.8232
3.7842	3.6719	4.1064	3.7256	3.7354	3.7354	4.7559	3.7451	3.7012	3.8623
3.7891	3.7842	3.7988	3.7598	3.7598	3.7842	3.7207	3.7158	3.7012	3.7109

- รูปที่ได้จากการประมวลผลใน MatLab โดยการนำค่าโวลท์เตจที่ได้ซึ่งมีความแตกต่างกันน้อยมากมาขยายความแตกต่างของระดับสัญญาณ แล้วจึงนำมาประมวลผลได้ดังรูป

รูปที่ 5.26 แสดงการนำค่าที่วัดได้ไปประมวลผลใน Matlab

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองนำวัตถุที่มีขนาดต่างกัน จากเล็กไปใหญ่มาทดลอง เพื่อหาขนาดของวัตถุที่เล็กที่สุดที่เรดิโอมิเตอร์สามารถตรวจจับได้ จึงพบว่าเรดิโอมิเตอร์สามารถตรวจจับวัตถุที่มีขนาดตั้งแต่ 0.8 เซนติเมตร ขึ้นไปได้ และพบว่าเมื่อพื้นที่ของวัตถุมีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้ค่าที่วัดได้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 5 การทดลองตรวจจับโลหะที่วางใกล้กัน

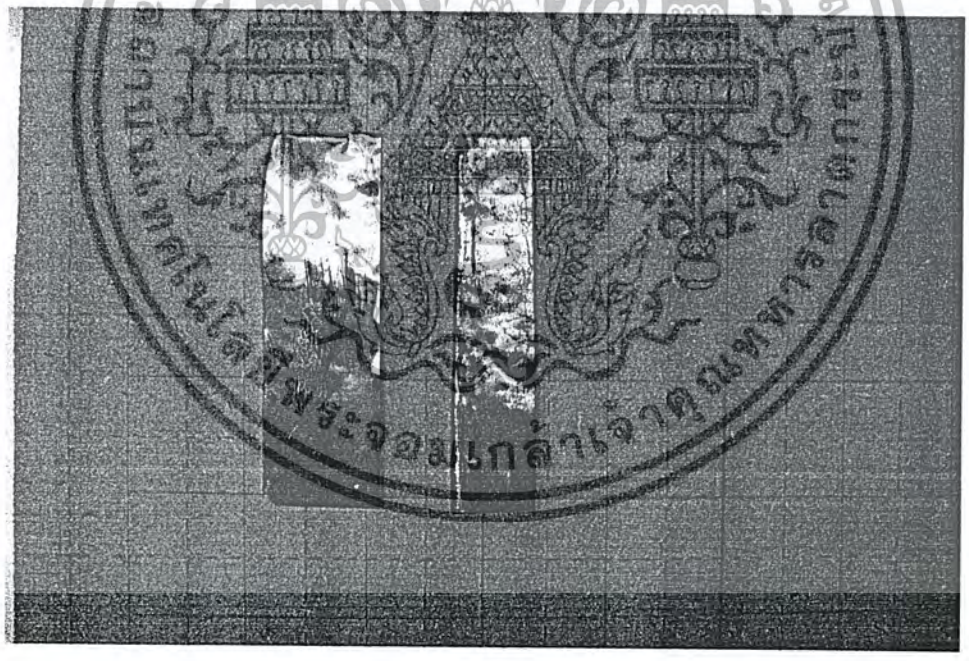
จุดประสงค์ เพื่อหาความสามารถในการตรวจจับวัตถุ 2 ชิ้นที่วางใกล้กันที่สุดแล้วสามารถแยกแยะวัตถุ 2 ชนิดออกจากกันได้

อุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องแปลงไฟฟ้าและส่วนเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์
2. อุปกรณ์จำลองสถานการณ์ในการวัดเมื่อมีวัตถุบดบัง
3. ท่อนำคลื่น (Wave Guide)
2. แอลเอ็นบี (LNB; Low Noise Block Converter)
3. เครื่องวัดคลื่นจากดาวเทียม (Satellite Meter)
4. สายนำสัญญาณ
5. คอมพิวเตอร์
6. การ์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์
7. โลหะ 2 ชิ้น

วิธีทำการทดลอง

- เหมือนกับการทดลองที่ 1 เพียงแต่เปลี่ยนวัตถุที่ใช้ตรวจจับเท่านั้น ดังรูป



รูปที่ 5.27 แสดงการนำวัตถุวางไว้ที่อุปกรณ์

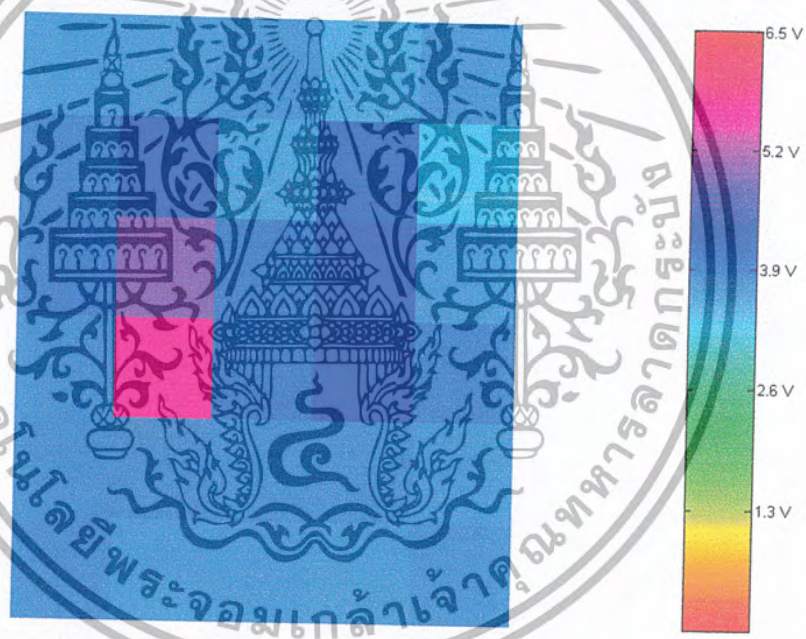
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

- ค่าที่เรดิโอมิเตอร์วัดได้

3.6350	3.6273	3.6813	3.5057	3.6861
3.7842	4.1260	3.5352	4.0186	3.2861
3.8428	4.8730	3.8477	4.1504	3.6109
3.6963	5.5518	3.8623	4.1895	3.7891
3.7402	3.7305	3.7109	3.7158	3.6230
3.7646	3.6523	3.6475	3.6377	3.6963

- รูปที่ได้จากการประมวลผลใน **Matlab** โดยการนำค่าโวลท์เตจที่ได้ซึ่งมีความแตกต่างกันน้อยมากมาขยายความแตกต่างของระดับสัญญาณ แล้วจึงนำมาประมวลผลได้ดังรูป



รูปที่ 5.28 แสดงการนำค่าที่วัดได้ไปประมวลผลใน Matlab

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาระยะห่างที่น้อยที่สุดของวัตถุ 2 ชิ้น ที่เรดิโอมิเตอร์สามารถแยกแยะได้ จะพบว่าระยะห่างที่น้อยที่สุดคือ 1.9 เซนติเมตร ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับความกว้างของ HPBW ของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทวิจารณ์และบทสรุป

6.1 ปัญหาที่พบจากการทดลอง

จากการทดลองเรื่องนี้ได้พบปัญหาและจุดบกพร่องบางอย่างที่จะนำมาสรุปเพื่อให้ผู้อ่านหรือผู้ที่จะนำไปทดลองต่อไปสามารถรู้ปัญหาก่อนที่จะทดลอง เป็นข้อๆดังนี้

6.1.1 เนื่องจากวงจรใช้งานที่ความถี่สูงจึงทำให้เกิดการลดทอนและการสูญเสียของสัญญาณมาก ซึ่งอุปกรณ์ที่มีคุณภาพดีช่วยในการลดการสูญเสียนั้นจะมีราคาสูง

6.1.2 เนื่องจาก อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบมีราคาสูง จึงควรทดลองด้วยความระมัดระวัง และ มีสติอยู่เสมอ

6.1.3 เนื่องจากส่วนประกอบของเรดิโอมิเตอร์มีความเสถียรภาพไม่มากพอจึงทำให้ความถูกต้องแม่นยำน้อยลง

6.1.4 เนื่องจากเรดิโอมิเตอร์มีความไวในการรับสัญญาณมากจึงทำให้รับสัญญาณจากภายนอกที่ไม่ต้องการเข้ามาด้วย โดยควรที่จะทำการทดลองในห้องดูดซับคลื่น

6.1.5 เนื่องจากสัญญาณที่ต้องการมีขนาดเล็กมาก จึงควรจะใช้วงจรขยายสัญญาณที่มีอัตราการขยายสูงๆ

6.2 แนวทางในการพัฒนา

จากโครงงานนี้สามารถนำไปดัดแปลงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพที่สูงมากยิ่งขึ้น ดังตัวอย่างต่อไปนี้

6.2.1 ถ้าสามารถออกแบบเรดิโอมิเตอร์ให้ใช้งานที่ความถี่สูงๆมากขึ้น ก็จะทำให้ใช้งานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

6.2.2 ถ้าสามารถทำให้เรดิโอมิเตอร์มีความเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น จะทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

6.2.3 ถ้าสามารถควบคุมท่อนำคลื่น ให้วัดสัญญาณทีละจุดอย่างต่อเนื่องแบบอัตโนมัติ ก็จะเพิ่มความเร็วในการเก็บข้อมูลมากยิ่งขึ้น

6.3 บทสรุป

ในโครงงานนี้เป็นการออกแบบระบบเรดิโอมิเตอร์ความถี่ 12 GHz โดยใช้อุปกรณ์ที่หาได้จากท้องตลาด ซึ่งที่ความถี่นี้ใช้งานได้เพียงบางอย่างเท่านั้น โดยโครงงานนี้นำเรดิโอมิเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการทำนายรูปร่างลักษณะของวัตถุต่างๆที่ทำการวัด เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆเช่น การรักษาความปลอดภัย ระบบนำร่องในการบินและ การขับรถยนต์ในสถานที่มีหมอกปกคลุม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าอัตราการแผ่กระจายคลื่น (Emissitivity) ของวัตถุชนิดต่าง ๆ

METALS		
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Alloys		
20-Ni, 24-CR, 55-FE, Oxidized	392 (200)	.90
20-Ni, 24-CR, 55-FE, Oxidized	932 (500)	.97
60-Ni, 12-CR, 28-FE, Oxidized	518 (270)	.89
60-Ni, 12-CR, 28-FE, Oxidized	1040 (560)	.82
80-Ni, 20-CR, Oxidized	212 (100)	.87
80-Ni, 20-CR, Oxidized	1112 (600)	.87
80-Ni, 20-CR, Oxidized	2372 (1300)	.89
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Aluminium		
Unoxidized	77 (25)	.02
Unoxidized	212 (100)	.03
Unoxidized	932 (500)	.06
Oxidized	390 (199)	.11
Oxidized	1110 (599)	.19
Oxidized at 1110nF (599nC)	390 (199)	.11
Oxidized at 1110nF (599nC)	1110 (599)	.19
Heavily Oxidized	200 (93)	.20
Heavily Oxidized	940 (504)	.31
Highly Polished	212 (100)	.09
Roughly Polished	212 (100)	.18
Commercial Sheet	212 (100)	.09
Highly Polished Plate	440 (227)	.04
Highly Polished Plate	1070 (577)	.06
Bright Rolled Plate	338 (170)	.04
Bright Rolled Plate	932 (500)	.05
Alloy A3003, Oxidized	600 (316)	.40
Alloy A3003, Oxidized	900 (482)	.40
Alloy 1100-0	200-800 (93-427)	.05
Alloy 24ST	75 (24)	.09
Alloy 24ST, Polished	75 (24)	.09
Alloy 75ST	75 (24)	.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Alloy 75ST, Polished	75 (24)	.08
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Bismuth		
Bright	176 (80)	.34
Unoxidized	77 (25)	.05
Unoxidized	212 (100)	.06
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Brass		
73% Cu, 27% Zn, Polished	476 (247)	.03
73% Cu, 27% Zn, Polished	674 (357)	.03
62% Cu, 37% Zn, Polished	494 (257)	.03
62% Cu, 37% Zn, Polished	710 (377)	.04
83% Cu, 17% Zn, Polished	530 (277)	.03
Matte	68 (20)	.07
Burnished to Brown Color	68 (20)	.40
Cu-Zn, Brass Oxidized	392 (200)	.61
Cu-Zn, Brass Oxidized	752 (400)	.60
Cu-Zn, Brass Oxidized	1112 (600)	.61
Unoxidized	77 (25)	.04
Unoxidized	212 (100)	.04
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Cadmium	77 (25)	.02
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Carbon		
Lampblack	77 (25)	.95
Unoxidized	77 (25)	.81
Unoxidized	212 (100)	.81
Unoxidized	932 (500)	.79
Candle Soot	250 (121)	.95
Filament	500 (260)	.95
Graphitized	212 (100)	.76
Graphitized	572 (300)	.75
Graphitized	932 (500)	.71
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Chromium	100 (38)	.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chromium	1000 (538)	.26
Chromium, Polished	302 (150)	.06
Cobalt, Unoxidized	932 (500)	.13
Cobalt, Unoxidized	1832 (1000)	.23
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Columbium		
Unoxidized	1500 (816)	.19
Unoxidized	2000 (1093)	.24
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Copper		
Cuprous Oxide	100 (38)	.87
Cuprous Oxide	500 (260)	.83
Cuprous Oxide	1000 (538)	.77
Black, Oxidized	100 (38)	.78
Etched	100 (38)	.09
Matte	100 (38)	.22
Roughly Polished	100 (38)	.07
Polished	100 (38)	.03
Highly Polished	100 (38)	.02
Rolled	100 (38)	.64
Rough	100 (38)	.74
Molten	1000 (538)	.15
Molten	1970 (1077)	.16
Molten	2230 (1221)	.13
Nickel Plated	100-500 (38-260)	.37
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Dow Metal	0.4-600 (-18-316)	.15
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Gold		
Enamel	212 (100)	.37
Plate(.0001)		
Plate on .0005 Silver	200-750 (93-399)	.11-.14
Plate on .0005 Nickel	200-750 (93-399)	.07-.09
Polished	100-500 (38-260)	.02
Polished	1000-2000 (538-1093)	.03
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e-**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		EMISSIVITY
Haynes Alloy C		
Oxidized	600-2000 (316-1093)	.90-.96
Haynes Alloy 25		
Oxidized	600-2000 (316-1093)	.86-.89
Haynes Alloy X		
Oxidized	600-2000 (316-1093)	.85-.88
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Inconel		
Sheet	1000 (538)	.28
Sheet	1200 (649)	.42
Sheet	1400 (760)	.58
X, Polished	75 (24)	.19
B, Polished	75 (24)	.21
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Iron		
Oxidized	212 (100)	.74
Oxidized	930 (499)	.84
Oxidized	2190 (1199)	.89
Unoxidized	212 (100)	.05
Red Rust	77 (25)	.70
Rusted	77 (25)	.65
Liquid	2700-3220 (1516-1771)	.42-.45
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Iron, Cast		
Oxidized	390 (199)	.64
Oxidized	1110 (599)	.78
Unoxidized	212 (100)	.21
Strong Oxidation	40 (104)	.95
Strong Oxidation	482 (250)	.95
Liquid	2795 (1535)	.29
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Iron, Wrought		
Dull	77 (25)	.94
Dull	660 (349)	.94
Smooth	100 (38)	.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polished	100 (38)	.28
Lead		
Polished	100-500 (38-260)	.06-.08
Rough	100 (38)	.43
Oxidized	100 (38)	.43
Oxidized at 1100nF	100 (38)	.63
Gray Oxidized	100 (38)	.28
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Magnesium	100-500 (38-260)	.07-.13
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Magnesium Oxide	1880-3140 (1027-1727)	.16-.20
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Mercury	32 (0)	.09
Mercury	77 (25)	.10
Mercury	100 (38)	.10
Mercury	212 (100)	.12
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Molybdenum	100 (38)	.06
Molybdenum	500 (260)	.08
Molybdenum	1000 (538)	.11
Molybdenum	2000 (1093	.18
Oxidized at 1000nF	600 (316)	.80
Oxidized at 1000nF	700 (371)	.84
Oxidized at 1000nF	800 (427)	.84
Oxidized at 1000nF	900 (482)	.83
Oxidized at 1000nF	1000 (538)	.82
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Monel		
Monel, Ni-Cu	392 (200	.41
Monel, Ni-Cu	752 (400)	.44
Monel, Ni-Cu	1112 (600)	.46
Oxidized	68 (20)	.43
Oxidized at 1110nF	1110 (599)	.46
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Nickel		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polished	100 (38)	.05
Oxidized	100-500 (38-260)	.31-.46
Unoxidized	77 (25)	.05
Unoxidized	212 (100)	.06
Unoxidized	932 (500)	.12
Unoxidized	1832 (1000)	.19
Electrolytic	100 (38)	.04
Electrolytic	500 (260)	.06
Electrolytic	1000 (538)	.10
Electrolytic	2000 (1093)	.16
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Nickel Oxide	1000-2000 (538-1093)	.59-.86
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Palladium Plate		
Nickel (.00005 on .0005 silver)	200-750 (93-399)	.16-.17
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Platinum		
Platinum	500 (260)	.05
Platinum	1000 (538)	.10
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Platinum, Black	100 (38)	.93
Platinum, Black	500 (260)	.96
Platinum, Black	2000 (1093)	.97
Oxidized at 1100nF (593nC)	500 (260)	.07
Oxidized at 1100nF (593nC)	1000 (538)	.11
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Rhodium Flash (0.0002 on		
0.0005Ni)	200-700 (93-371)	.10-.18
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Silver		
Plate (0.0005 on Ni)	200-700 (93-371)	.06-.07
Polished	100 (38)	.01
Polished	500 (260)	.02
Polished	1000 (538)	.03
Polished	2000 (1093)	.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MATERIAL	TEMP °F (°C)	e- EMISSIVITY
Steel		
Cold Rolled	200 (93)	.75-.85
Ground Sheet	1720-2010 (938-1099)	.55-.61
Polished Sheet	100 (38)	.07
Polished Sheet	500 (260)	.10
Polished Sheet	1000 (538)	.14
Mild Steel, Polished	75 (24)	.10
Mild Steel, Smooth	75 (24)	.12
Mild Steel, Liquid	2910-3270 (1599-1793)	.28
Steel, Unoxidized	212 (100)	.08
Steel Oxidized	77 (25)	.80
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Steel Alloys		
Type 301, Polished	75 (24)	.27
Type 301, Polished	450 (232)	.57
Type 301, Polished	1740 (949)	.55
Type 303, Oxidized	600-2000 (316-1093)	.74-.87
Type 310, Rolled	1500-2100 ((816-1149)	.56-.81
Type 316, Polished	75 (24)	.28
Type 316, Polished	450 (232)	.57
Type 316, Polished	1740 (949)	.66
Type 321	200-800 (93-427)	.27-.32
Type 321, Polished	300-1500 (149-815)	.18-.49
Type 321 w/BK Oxide	200-800 (93-427)	.66-.76
Type 347, Oxidized	600-2000 (316-1093)	.87-.91
Type 350	200-800 (93-427)	.18-.27
Type 350 Polished	300-1800 (149-982)	.11-.35
Type 446, Polished	300-1500 (149-815)	.15-.37
Type 17-7 PH	200-600 (93-316)	.44-.51
Type 17-7 PH Polished	300-1500 (149-815)	.09-.16
Type C1020, Oxidized	600-2000 (316-1093)	.87-.91
Type PH-15-7 MO	300-1200 (149-649)	.07-.19
Stellite, Polished	68 (20)	.18
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Tantalum		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Unoxidized	1340 (727)	.14
Unoxidized	2000 (1093)	.19
Unoxidized	3600 (1982)	.26
Unoxidized	5306 (2930)	.30
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Tin		
Unoxidized	77 (25)	.04
Unoxidized	212 (100)	.05
Tinned Iron, Bright	76 (24)	.05
Tinned Iron, Bright	212 (100)	.08
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Titanium		
Alloy C110M, Polished	300-1200 (149-649)	.08-.19
Alloy C110M, Oxidized at 1000nF (538nC)	200-800 (93-427)	.51-.61
Alloy Ti-95A, Oxidized at 1000nF (538nC)	200-800 (93-427)	.35-.48
Anodized onto SS	200-600 (93-316)	.96-.82
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Monel		
Unoxidized	77 (25)	.02
Unoxidized	212 (100)	.03
Unoxidized	932 (500)	.07
Unoxidized	1832 (1000)	.15
Unoxidized	2732 (1500)	.23
Unoxidized	3632 (2000)	.28
Filament (Aged)	100 (38)	.03
Filament (Aged)	1000 (538)	.11
Filament (Aged)	5000 (2760)	.35
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Uranium Oxide	1880 (1027)	.79
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Zinc		
Bright, Galvanized	100 (38)	.23
Commercial 99.1%	500 (260)	.05
Galvanized	100 (38)	.28
Oxidized	500-1000 (260-538)	.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polished	100 (38)	.02
Polished	500 (260)	.03
Polished	1000 (538)	.04
Polished	2000 (1093)	.06

(ที่มา : http://www.omega.com/literature/transactions/volume1/emissivitya.html#_top)

NON-METALS		
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Adobe	68 (20)	.90
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Asbestos		
Board	100 (38)	.96
Cement	32-392 (0-200)	.96
Cement, Red	2500 (1371)	.67
Cement, White	2500 (1371)	.65
Cloth	199 (93)	.90
Paper	100-700 (38-371)	.93
Slate	68 (20)	.97
Asphalt, pavement	100 (38)	.93
Asphalt, tar paper	68 (20)	.93
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Basalt	68 (20)	.72
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Brick		
Red, rough	70 (21)	.93
Gault Cream	2500-5000 (1371-2760)	.26-.30
Fire Clay	2500 (1371)	.75
Light Buff	1000 (538)	.80
Lime Clay	2500 (1371	.43
Fire Brick	1832 (1000)	.75-.80
Magnesite, Refractory	1832 (1000)	.38
Grey Brick	2012 (1100)	.75
Silica, Glazed	2000 (1093)	.88
Silica, Unglazed	2000 (1093)	.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sandlime	2500-5000 (1371-2760)	.59-.63
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Carborundum	1850 (1010)	.92
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Ceramic		
Alumina on Inconel	800-2000 (427-1093)	.69-.45
Earthenware, Glazed	70 (21)	.90
Earthenware, Matte	70 (21)	.93
Greens No. 5210-2C	200-750 (93-399)	.89-.82
Coating No. C20A	200-750 (93-399)	.73-.67
Porcelain	72 (22)	.92
White Al2O3	200 (93)	.90
Zirconia on Inconel	800-2000 (427-1093)	.62-.45
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Clay	68 (20)	.39
Fired	158 (70)	.91
Shale	68 (20)	.69
Tiles, Light Red	2500-5000 (1371-2760)	.32-.34
Tiles, Red	2500-5000 (1371-2760)	.40-.51
Tiles, Dark Purple	2500-5000 (1371-2760)	.78
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Concrete		
Rough	32-2000 (0-1093)	.94
Tiles, Natural	2500-5000 (1371-2760)	.63-.62
Brown	2500-5000 (1371-2760)	.87-.83
Black	2500-5000 (1371-2760)	.94-.91
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Cotton Cloth	68 (20)	.77
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Dolomite Lime	69 (20)	.41
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Emory Corundum	176 (80)	.86
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Glass		
Convex D	212 (100)	.80
Convex D	600 (316)	.80
Convex D	932 (500)	.76
Nonex	212 (100)	.82
Nonex	600 (316)	.82
Nonex	932 (500)	.78
Smooth	32-200 (0-93)	.92-.94
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Granite	70 (21)	.45
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Gravel	100 (38)	.28
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Gypsum	68 (20)	.80-.90
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Ice		
Smooth	32 (0)	.97
Rough	32 (0)	.98
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Lacquer		
Black	200 (93)	.96
Blue, on Al Foil	100 (38)	.78
Clear, on Al Foil (2 coats)	200 (93)	.08 (.09)
Clear, on Bright Cu	200 (93)	.66
Clear, on Tarnished Cu	200 (93)	.64
Red, on Al Foil (2 coats)	100 (38)	.61 (.74)
White	200 (93)	.95
White, on Al Foil (2 coats)	100 (38)	.69 (.88)
Yellow, on Al Foil (2 coats)	100 (38)	.57 (.79)
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Lime Mortar	100-500 (38-260)	.90-.92
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Limestone	100 (38)	.95
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e-**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		EMISSIVITY
Marble		
White	100 (38)	.95
Smooth, White	100 (38)	.56
Polished Gray	100 (38)	.75
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Mica	100 (38)	.75
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Oil on Nickel		
0.001 Film	72 (22)	.27
0.002 Film	72 (22)	.46
0.005 Film	72 (22)	.72
Thick Film	72 (22)	.82
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Oil, Linseed		
On Al Foil, uncoated	250 (121)	.09
On Al Foil, 1 coat	250 (121)	.56
On Al Foil, 2 coats	250 (121)	.51
On Polished Iron, .001 Film	100 (38)	.22
On Polished Iron, .002 Film	100 (38)	.45
On Polished Iron, .004 Film	100 (38)	.65
On Polished Iron, Thick Film	100 (38)	.83
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Paints		
Blue, Cu_2O_3	75 (24)	.94
Black, CuO	75 (24)	.96
Green, Cu_2O_3	75 (24)	.92
Red, Fe_2O_3	75 (24)	.91
White, Al_2O_3	75 (24)	.94
White, Y_2O_3	75 (24)	.90
White, ZnO	75 (24)	.95
White, $MgCO_3$	75 (24)	.91
White ZrO_2	75 (24)	.95
White, ThO_2	75 (24)	.90
White, MgO	75 (24)	.91
White $PbCO_3$	75 (24)	.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yellow, PbO	75 (24)	.90
Yellow, PbCrO4	75 (24)	.93
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Paints, Aluminium	100 (38)	.27-.67
10% Al	100 (38)	.52
26% Al	100 (38)	.30
Dow XP-310	200 (93)	.22
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Paints, Bronze		
Gum Varnish (2 coats)	70 (21)	.53
Gum Varnish (3 coats)	70 (21)	.50
Cellulose Binder (2 coats)	70 (21)	.34
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Paints, Oil		
All colors	200 (93)	.92-.96
Black	200 (93)	.92
Black Gloss	70 (21)	.90
Camouflage Green	125 (52)	.85
Flat Black	80 (27)	.88
Flat White	80 (27)	.91
Grey-Green	70 (21)	.95
Green	200 (93)	.95
Lamp Black	209 (98)	.96
Red	200 (93)	.95
White	200 (93)	.94
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Quartz, Rough, Fused	70 (21)	.93
Glass, 1.98 mm	540 (282)	.90
Glass, 1.98 mm	1540 (838)	.41
Glass, 6.88 mm	540 (282)	.93
Glass, 6.88 mm	1540 (838)	.47
Opaque	570 (299)	.92
Opaque	1540 (838)	.68
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Red Lead	212 (100)	.933

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MATERIAL	TEMP °F (°C)	e- EMISSIVITY
Rubber		
Hard	74 (23)	.94
Soft, Gray	76 (24)	.86
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Sand	68 (20)	.76
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Sandstone	100 (38)	.67
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Sandstone, Red	100 (38)	.60-.83
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Sawdust	68 (20)	.75
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Shale	68 (20)	.69
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Silica		
Glazed	1832 (1000)	.85
Unglazed	2012 (1100)	.75
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Silicon Carbide	300-1200 (149-169)	.83-.96
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Silk Cloth	68 (20)	.78
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Slate	100 (38)	.67-.80
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Snow		
Fine Particles	20 (-7)	.82
Granular	18 (-8)	.89
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Soil		
Surface	100 (38)	.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Black Loam	68 (20)	.66
Plowed Field	68 (20)	.38
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Soot		
Acetylene	75 (24)	.97
Camphor	75 (24)	.94
Candle	250 (121)	.95
Coal	68 (20)	.95
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Stonework	100 (38)	.93
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Water	100 (38)	.67
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Waterglass	68 (20)	.96
MATERIAL	**TEMP °F (°C)**	**e- EMISSIVITY**
Wood	Low	.80-.90
Beech, Planed	158 (70)	.94
Oak, Planed	100 (38)	.91
Spruce, Sanded	100 (38)	.89

(ที่มา : http://www.omega.com/literature/transactions/volume1/emissivityb.html#_top)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES (DB101G THRU DB107G)

FIG.1- MAXIMUM DERATING CURVE FOR OUTPUT RECTIFIED CURRENT

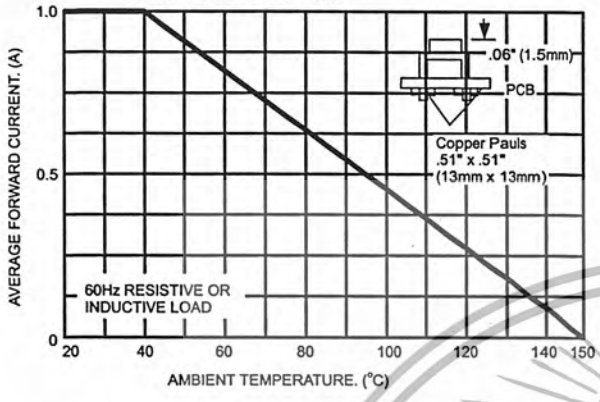


FIG.2- MAXIMUM NON-REPETITIVE PEAK FORWARD SURGE CURRENT

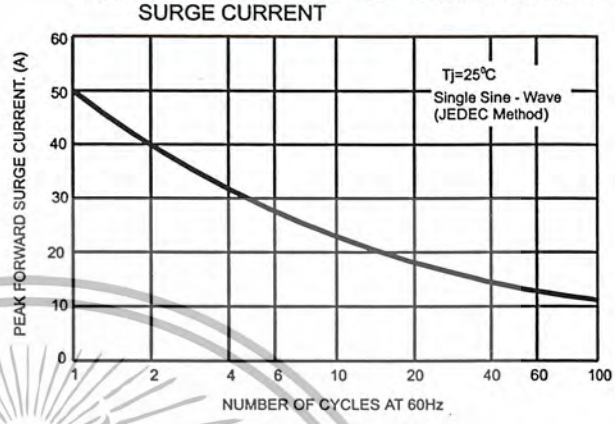


FIG.3- TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS PER BRIDGE ELEMENT

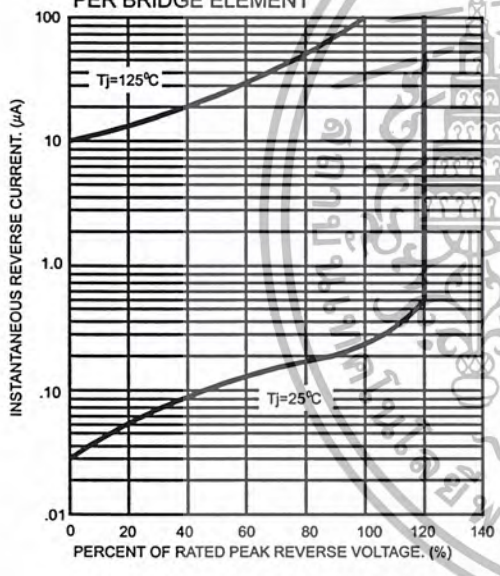


FIG.4- TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS PER BRIDGE ELEMENT

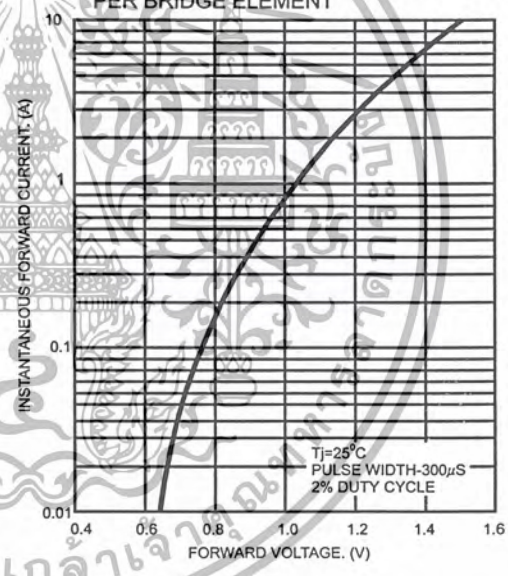
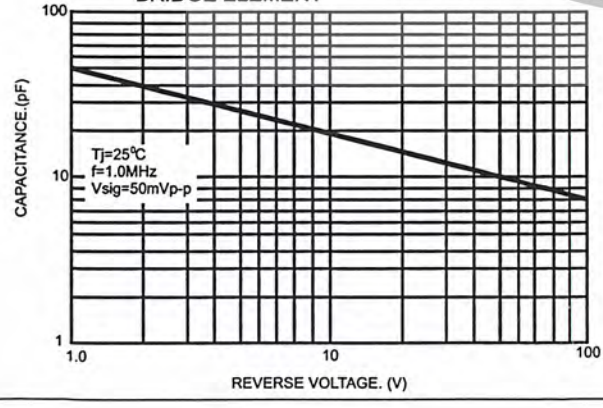


FIG.5- TYPICAL JUNCTION CAPACITANCE PER BRIDGE ELEMENT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำจักขอขอบคุณ ศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์ คุณสุวรรณ จันทร์อินทร์ คุณดวงอาทิตย์ ศรีมูล คุณไพศาล งามจรรยาภรณ์ คุณอาณัติ เหมือนชู คุณปานิศา แก้วสวัสดิ์ คุณเอกรัฐ บุญภูงา และพี่ๆห้อง Wireless Communication Laboratory ทุกคน สำหรับคำแนะนำ ความคิดเห็น ข้อเสนอแนะ และอำนวยความสะดวกแก่คณะผู้จัดทำในด้านอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ

ขอขอบคุณ บิดาและมารดา ที่คอยให้กำลังใจ ให้การอบรมสั่งสอน และให้การสนับสนุนทางด้านเงินทุนแก่พวกเราด้วยดีตลอดมา ขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆทุกคนที่คอยให้กำลังใจและให้การช่วยเหลือในทุกๆด้าน ขอบคุณทุกคนมากๆครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

[1] Neils Skou. **Microwave Radio Meter Systems: Design and Analysis.** Technical University of Denmark: Artech House, Inc. 1989.

[2] Larry Yujiri, Merit Shoucri, and Philip Moffa. **Passive Millimeter-Wave Imaging.** IEEE Microwave Magazine. September 2003.

[3] Jiri Polivka. **Noise Can Be Good, Too.** Microwave Journal: Horizon House Publication, Inc. March 2004.

[4] Minkyoo Joung, Yusuke Suzuki, and Terukazu Tanaka. **Passive Millimeter-Wave Imaging Using a 2-Dimensional Antenna Array.** Asia-Pacific Microwave Conference. 2003.

[5] Walter D. Rawle, and W.P. Lonc. **A Small Microwave Total-Power Radiometer.** IEEE Antennas and Propagation Magazine. April 1992.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้