ระบบการเฝ้าตรวจพื้นที่ประสบภัยและวิทยุรับส่ง

DISASTER AREA MONITORING SYSTEM AND RADIO TRANSCEIVER

ศุภกร ชูชม

SUPPAKORN CHOOCHOM

ศกนธ์พงษ์ ยวดยิ่ง

SAKONPONG YOUDYING

ศรวิศ อุดสาหะ

SORAWIT UTSAHA

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ระบบการเฝ้ามองพื้นที่ประสบภัยและวิทยุรับส่ง
DISASTER AREA MONITORING SYSTEM AND RADIO TRANSCEIVER

ศุภกร ชูชม
SUPPAKORN CHOOCHOM

สกนธ์พงษ์ ยวดยิ่ง
SAKONPONG YOUDYING

สรวิศ อุตสาหะ
SORAWIT UTSAHA

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISASTER AREA MONITORING SYSTEM AND RADIO TRANSCEIVER

SUPPAKORN CHOOCHOM

SAKONPONG YOUDYING

SORAWIT UTSAHA

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบการเฝ้ามองพื้นที่ประสบภัยและวิทยุรับส่ง		
รายชื่อนักศึกษา	นายศุภกร	ชูชม	รหัสนักศึกษา 53011587
	นายสกนธ์พงษ์	ยวดยิ่ง	รหัสนักศึกษา 53011619
	นายสรวิศ	อุตสาหะ	รหัสนักศึกษา 53011645
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
พ.ศ.	2556		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	อ.สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล		

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

.....

(อ.สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบการเฝ้ามองพื้นที่ประสบภัยและวิทยุรับส่ง			
รายชื่อนักศึกษา	นายศุภกร	ชูชม	รหัสนักศึกษา	53011587
	นายสกนธ์พงษ์	ยวดยิ่ง	รหัสนักศึกษา	53011619
	นายสรวิศ	อุตสาหะ	รหัสนักศึกษา	53011645
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต			
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ			
พ.ศ.	2556			
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	อ.สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล			

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอแนวความคิดในการทำระบบการเฝ้ามองพื้นที่ประสบภัยและวิทยุรับส่ง ด้วยการนำความรู้ทางด้านวิทยุสื่อสาร ระบบสมองกลฝังตัวด้วยบอร์ด Raspberry Pi และการสื่อสารไร้สายมาประยุกต์ร่วมกัน ระบบการเฝ้ามองพื้นที่ประสบภัยและวิทยุรับส่งมีความสามารถและหน้าที่หลัก 2 อย่าง คือ ระบบการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้เข้าไปช่วยเหลือในพื้นที่ประสบภัยกับศูนย์อำนวยการช่วยเหลือผู้ประสบภัยด้วยวิทยุสื่อสารย่าน 245 MHz และระบบการบันทึกภาพและวิดีโอในพื้นที่ประสบภัยที่สามารถส่งข้อมูลผ่านทางเครือข่ายไร้สายมายังศูนย์อำนวยการเพื่อทำการวิเคราะห์สถานการณ์ต่างๆ ของพื้นที่ประสบภัย ช่วยให้สามารถตัดสินใจในการให้ความช่วยเหลือได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Disaster Area Monitoring System and Radio Transceiver	
Student	Mr. Suppakorn Choochom	Student ID. 53011587
	Mr. Sakonpong Youdying	Student ID. 53011619
	Mr. Sorawit Utsaha	Student ID. 53011645
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Information Engineering	
Year	2013	
Thesis Adviser	Mr. Sorapong Wachirarattanapornkul	

ABSTRACT

This thesis is a presentation of the concept of the disaster area monitoring system and radio transceiver. Using the knowledge of radio communication embedded with Raspberry Pi board and wireless communication. the disaster area monitoring system and radio transceiver have two main parts including, communication system of the supervisors at the working station and the disaster area using radio transceivers with the frequency of 245 MHz. The second part is the video recording and photo taking of the disaster area through wireless communication to the working station so that the supervisors can predict different situations that are happening at the disaster area. It can also help the supervisors to make decisions right away.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การที่ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดีนั้น เนื่องจากได้รับความเมตตาจากท่านอาจารย์ สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล และ ผศ.มยุรี เลิศเวชกุล ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำมาโดยตลอด อีกทั้งยังเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ทางคณะผู้จัดทำซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ประจำสาขาวิชาทุกท่านที่ให้คำแนะนำอันมีค่าที่เอื้ออำนวยต่อการทำปริญญานิพนธ์นี้ อีกทั้งยังขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่เคยประสิทธิ์ประสาทวิชาการต่างๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้คณะผู้จัดทำได้มีความรู้ความสามารถจนทำให้สามารถทำปริญญานิพนธ์นี้ได้สำเร็จ

ที่ขาดไม่ได้คือขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้กำเนิด คอยให้ความรัก การอบรมบ่มนิสัย กำลังใจ ทุนทรัพย์และการสนับสนุนมาโดยตลอด อาจถือได้ว่าเป็นแรงบันดาลใจให้ทำปริญญานิพนธ์ฉบับบนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอบคุณผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมแต่ไม่ได้กล่าวถึง รวมทั้งเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จได้

สิ่งมีคุณค่าและประโยชน์อันเกิดจากปริญญานิพนธ์นี้ ทางคณะผู้จัดทำขอมอบแด่ท่านผู้มีพระคุณทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น

นายศุภกร ชูชม
นายสกนธ์พงษ์ ยวดยิ่ง
นายสรวิศ อุตสาหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VII
สารบัญรูป VIII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา 1
1.2 จุดประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้ 2
1.5.1 ฮาร์ดแวร์ 2
1.5.2 ซอฟต์แวร์ 2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 สเปคตรัมและความยาวคลื่น 4
2.2 การแบ่งย่านความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 6
2.3 การมอดูเลต 8
2.3.1 การมอดูเลตทางความถี่ 8
2.3.2 ดัชนีการมอดูเลต 10
2.4 ช่วงความถี่ด้านข้างของ FM (Sideband) 11
2.5 แบนด์วิดท์ของสัญญาณ FM 11
2.6 พรีเอ็มฟาลิสและดีเอ็มฟาสิส (Pre-emphasis and De-emphasis) 12
2.7 ระบบ FM สเตอริโอ 14
2.7.1 เครื่องส่งสเตอริโอ 14
2.7.2 รูปคลื่นของสัญญาณสเตอริโอมัลติเพล็กซ์ 15
2.8 วิธีสังเคราะห์ความถี่ 17
2.9 เฟสล็อกลูป 20
2.10 ลูปฟิลเตอร์ (Loop Filter) 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.10.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (LPF) 23
2.10.2 ข้อพิจารณาในการออกแบบลูปฟิลเตอร์ 24
2.11 วงจรผลิตความถี่ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator - VCO) 28
2.12 วงจรขยาย 28
2.12.1 วงจรขยายคลาส–เอ 28
2.12.2 วงจรขยายคลาส–บี 29
2.12.3 วงจรขยายคลาส–เอบี 30
2.12.4 วงจรยายคลาส–ซี 31
2.13 มาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สาย (WLAN) 31
2.13.1 มาตรฐานของการสื่อสารเครือข่ายไร้สาย (Wireless Standard) 31
2.13.2 มาตรฐานของอุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย (Wireless Equipment) 32
2.14 ทฤษฎีเกี่ยวกับ PHP (Personal Home Page Tool) 33
2.15 บอร์ด Raspberry Pi 34
2.15.1 คุณสมบัติทางเทคนิคและส่วนประกอบ 34
2.15.2 การจัดการขา GPIO 35
บทที่ 3 การออกแบบ 36
3.1 ภาพรวมของระบบ 36
3.2 ส่วนติดต่อสื่อสารกับข้อมูลในพื้นที่ 37
3.2.1 หลักการทำงานของเครื่องส่ง 37
3.2.2 รายละเอียดการทำงานของวงจร 38
3.2.3 ขั้นตอนการประกอบวงจร 42
3.2.4 การปรับแต่ง 42
3.3 ส่วนการส่งสัญญาณภาพ 43
3.3.1 การออกแบบหน้าโฮมเพจ 44
3.3.2 เว็บเพจหน้าดาวน์โหลดไฟล์ 45
3.3.3 เว็บเพจหน้าตั้งค่ากล้อง 46
บทที่ 4 ผลการทดลอง 48
4.1 ผลการทดลองส่วนติดต่อสื่อสารกับข้อมูลในพื้นที่ 48
4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 48
4.1.2 ผลการทดลอง 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.3 สรุปผลการทดลอง 51
4.2 ผลการทดลองส่วนการส่งสัญญาณภาพ 53
4.2.1 การสั่งเปิดหรือปิดกล้อง 54
4.2.2 การบันทึกวีดีโอ 55
4.2.3 การบันทึกภาพ 57
4.2.4 การบันทึกภาพอัตโนมัติ 59
4.2.5 การตรวจจับการเคลื่อนไหว 61
4.2.6 การตั้งค่ากล้อง 63
4.2.7 การรีสตาร์ทเครื่อง 65
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน 66
5.1 สรุปผลการดำเนินงานปริญญานิพนธ์ 66
5.2 ปัญหาที่พบในการดำเนินปริญญานิพนธ์ 66
5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา 66
5.4 การนำปริญญานิพนธ์ไปประยุกต์ใช้ในอนาคต 67
บรรณานุกรม 68
ภาคผนวก 69
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติของระบบ 70
ภาคผนวก ข. วิธีการติดตั้งและตั้งค่าส่วนการส่งสัญญาณภาพ 81
ภาคผนวก ค. Datasheet 98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3
2.1 การแบ่งย่านความถี่และคำศัพท์เฉพาะ 6
4.1 แสดงการวัดค่าต่างๆ ที่ภาคออสซิลเลเตอร์ 49
4.2 แสดงค่าตามจุดต่างๆ ที่ภาคทวีคูณความถี่และภาคขยายสัญญาณ RF และภาคกรองสัญญาณออก 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ภาพรวมของระบบ....1
2.1 ความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็นได้....4
2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า....5
2.3 สเปคตรัมของสัญญาณเสียง....6
2.4 การมอดูเลตทางความถี่....9
2.5 เปรียบเทียบขนาดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตกับนอยส์....12
2.6 แสดงขบวนการพรีเอ็มฟาสิสที่เครื่องส่ง และดีเอ็มฟาสิสที่เครื่องรับ....13
2.7 กรรมวิธีของพีเอ็มฟาสิส....13
2.8 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณในระบบสเตอริโอมัลติเพล็ก....14
2.9 เครื่องส่งสเตอริโอมัลติเพล็กซ์....15
2.10 แสดงรูปของคลื่นสัญญาณสเตอริโอมัลติเพล็กซ์....16
2.11 แสดงรูปคลื่นต่างๆ ของสัญญาณสเตอริโอมัลติเพล็กซ์....17
2.12 ตัวอย่างวิธีสังเคราะห์ความถี่โดยตรง....18
2.13 เฟสนอยส์ ปรากฏเป็นความถี่แปลกปลอมในบริเวณใกล้ๆ กับความถี่เอาต์พุต....19
2.14 แผนผังของเฟสล็อกลูป....20
2.15 แผนผังของหน่วยสังเคราะห์ความถี่....21
2.16 แสดงกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 1 โดยใช้ R-C....23
2.17 วงจร แลก-ลีด อันดับหนึ่ง....23
2.18 วงจรแอคทีฟฟิลเตอร์....24
2.19 วิธีแก้ Transient ด้วย R1-Cc....25
2.20 วิธีแก้ Transient ด้วย R2-Cc เมื่อกำหนดค่า ω_c....25
2.21 แสดงรูปคลื่นเอาต์พุตของเฟสดีเทคเตอร์และอินทิเกรเตอร์....26
2.22 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 2 โดยใช้ออปแอมป์....26
2.23 วงจร LPF อันดับ 2....27
2.24 วงจรฟิลเตอร์และซัมมิ่งเนทเวิร์ค....27
2.25 การทำงานของวงจรขยายคลาส–เอ....29
2.26 แสดงการทำงานของวงจรขยายคลาส–บี....30
2.27 แสดงการทำงานของวงจรขยายคลาส-เอบี....30
2.28 การทำงานของวงจรขยายคลาส–ซี....31
2.29 Server Side Script....33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.30 ส่วนประกอบของบอร์ด Raspberry Pi....34
2.31 ขา GPIO ของบอร์ด Raspberry Pi....35
3.1 ภาพรวมของระบบ....36
3.2 ส่วนต่างๆของระบบและหน้าที่ของส่วนต่างๆ....37
3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องส่ง....37
3.4 วงจรภาคขยายสัญญาณเสียงและวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์....39
3.5 ภาคทวีคูณความถี่....39
3.6 ภาคขยาย RF และภาคกรองสัญญาณออก....40
3.7 แสดงตำแหน่งขาทรานซิสเตอร์....41
3.8 ส่วนการส่งสัญญาณภาพ....43
3.9 ส่วนประกอบบนหน้าโฮมเพจ....45
3.10 เว็บเพจหน้าดาวน์โหลดไฟล์....46
3.11 เว็บเพจหน้าตั้งค่ากล้อง....47
4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง....48
4.2 แสดงสัญญาณที่เอาต์พุต 40 MHz ของภาคออสซิลเลอร์....50
4.3 แสดงสัญญาณที่ C19 ความถี่ 120 MHz....50
4.4 แสดงสัญญาณที่ C25 ความถี่ 245 MHz....51
4.5 การเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สาย....53
4.6 หน้าโฮมเพจของส่วนการส่งสัญญาณภาพ....54
4.7 หน้าโฮมเพจขณะหยุดการใช้งานกล้อง....54
4.8 ตำแหน่งปุ่มบันทึกวิดีโอ....55
4.9 ชื่อไฟล์วีดีโอที่บันทึก....56
4.10 ดูไฟล์วีดีโอที่บันทึกไว้....56
4.11 ตำแหน่งปุ่มบันทึกภาพ....57
4.12 ชื่อไฟล์ภาพที่บันทึก....58
4.13 ดูไฟล์ภาพที่บันทึก....58
4.14 ตำแหน่งปุ่มบันทึกภาพอัตโนมัติ....59
4.15 ตำแหน่งปุ่มหยุดบันทึกภาพอัตโนมัติ....60
4.16 ไฟล์ภาพที่บันทึกอัตโนมัติ....60
4.17 ตำแหน่งปุ่มตรวจจับการเคลื่อนไหว....61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

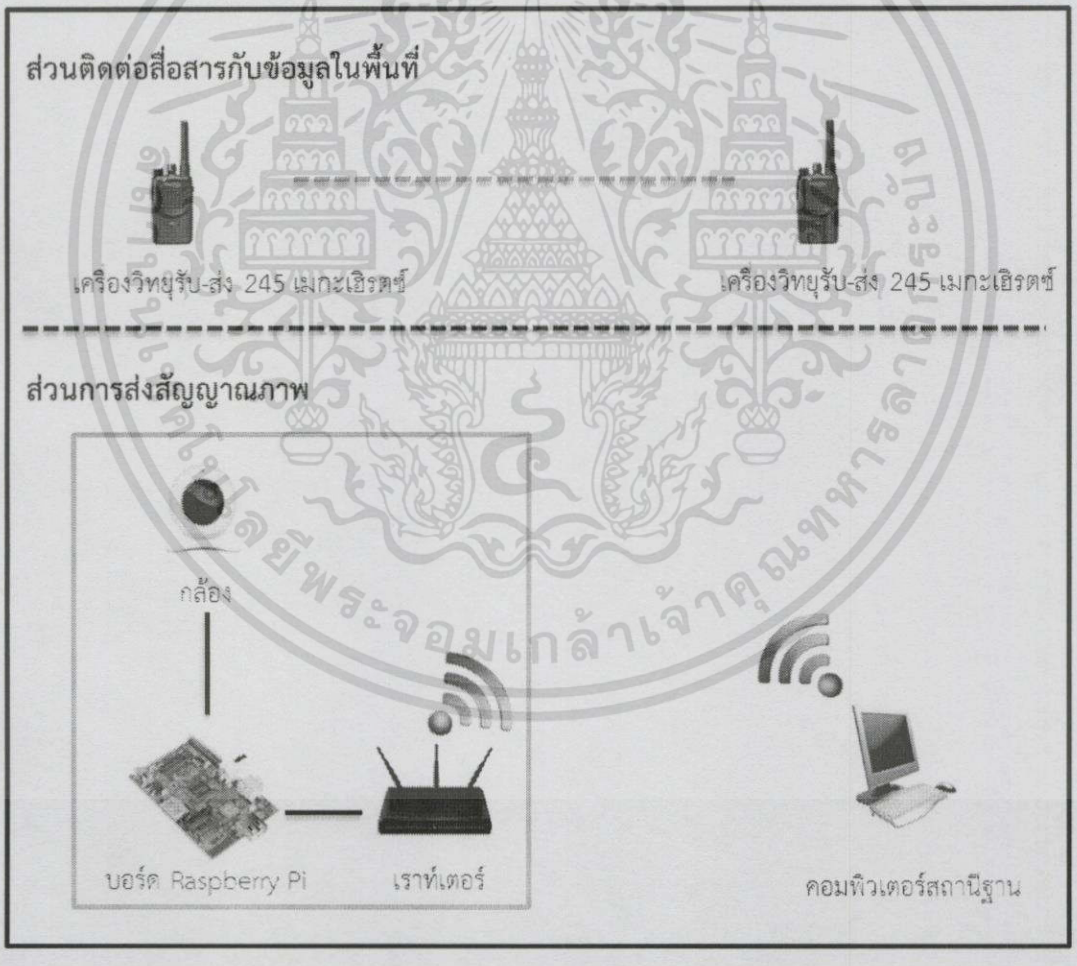
4.18 หน้าโฮมเพจเมื่อใช้งานการตรวจจับการเคลื่อนไหว....62
4.19 หน้าโฮมเพจขณะบันทึกวีดีโอในการตรวจจับการเคลื่อนไหว....62
4.20 ตำแหน่งปุ่มตั้งค่ากล้อง....63
4.21 หน้าเว็บเพจการตั้งค่ากล้อง....64
4.22 จากกล้องหลังการตั้งค่าความสว่างของภาพ....64
4.23 ตำแหน่งปุ่ม Reboot....65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันนี้มีภัยที่เกิดจากธรรมชาติมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อคนที่อยู่ในละแวกนั้น การเข้าช่วยเหลือในพื้นที่มีความลำบากอย่างมาก แต่เทคโนโลยีมีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในเรื่องของการเข้าช่วยเหลือภัยพิบัติที่เกิดขึ้นได้ โครงการนี้จึงถูกออกแบบเป็นระบบการเฝ้ามองพื้นที่ประสบภัยและวิทยุรับส่ง เพื่อให้สามารถเข้าดูพื้นที่โดยไม่ต้องใช้เจ้าหน้าที่เพื่อประเมินสถานการณ์ได้ก่อนลงพื้นที่จริง จึงได้นำเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายมาส่งสัญญาณภาพที่ได้จากกล้องส่งมายังสถานีเพื่อที่จะได้เห็นเหตุการณ์จริง และระบบการติดต่อข่าวสารจากนอกพื้นที่สถานีฐานนำเอาเทคโนโลยีของวิทยุรับส่งในย่านความถี่ 245 MHz มาใช้สำหรับการติดต่อกับพนักงานในพื้นที่ประสบภัย โดยภาพรวมของระบบจะแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 1.1 ภาพรวมของระบบ

จากรูปที่ 1.1 ระบบจะมีกล้องซึ่งใช้สำหรับการมองเหตุการณ์โดยภาพที่ได้จากกล้องจะถูกเก็บไว้ในบอร์ด Raspberry Pi ซึ่งทำหน้าที่เป็นเหมือนเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่เก็บเว็บเพจในการสั่งการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานของกล้องไว้ สามารถดูภาพเหตุการณ์ผ่านทางเว็บบราวเซอร์ สำหรับการติดต่อสื่อสารกับข้อมูลในพื้นที่จะเป็นในลักษณะของเครื่องวิทยุรับส่งในย่านความถี่ที่กำหนดไว้เพื่อใช้สื่อสารกับพนักงานหรือคนที่อยู่ในพื้นที่นั้น

1.2 จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาการส่งข้อมูลแบบไร้สาย โดยใช้บอร์ด Raspberry Pi
2. เพื่อศึกษาการติดต่อสื่อสารผ่านทางเครื่องวิทยุรับ-ส่ง
3. เพื่อจำลองระบบการเข้าดูพื้นที่และดูภาพผ่านระบบไร้สาย

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. สร้างชุดวิทยุรับส่งความถี่ 245 MHz
2. แสดงภาพปัจจุบันที่กล้องจับภาพอยู่ผ่านทางเว็บบราวเซอร์
3. บันทึกภาพ โดยใช้บอร์ด Raspberry Pi

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ระบบที่พัฒนาขึ้น สามารถนำไปใช้งาน ด้านการช่วยเหลือจากภัยต่างๆ เช่น อุทกภัย น้ำป่าหลาก เป็นต้น
2. ได้ศึกษาการถ่ายภาพโดยใช้บอร์ด Raspberry Pi แสดงภาพบนเว็บบราวเซอร์ และติดต่อสื่อสารผ่านทางวิทยุรับส่ง
3. สามารถใช้งานการเข้าถึงพื้นที่ประสบภัยพิบัติได้

1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้

1.5.1 ฮาร์ดแวร์

- โมดูลกล้อง Raspberry Pi Camera
- บอร์ด Raspberry Pi
- เราท์เตอร์ 1 เครื่อง
- คอมพิวเตอร์
- โทรทัศน์
- ชุดวงจรวิทยุรับ-ส่ง 245 MHz
- สเป็กตัมอนาไลเซอร์ (Spectrum Analyzer)
- ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)

1.5.2 ซอฟต์แวร์

- โปรแกรม Putty
- โปรแกรม WinSCP
- โปรแกรม PSpice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

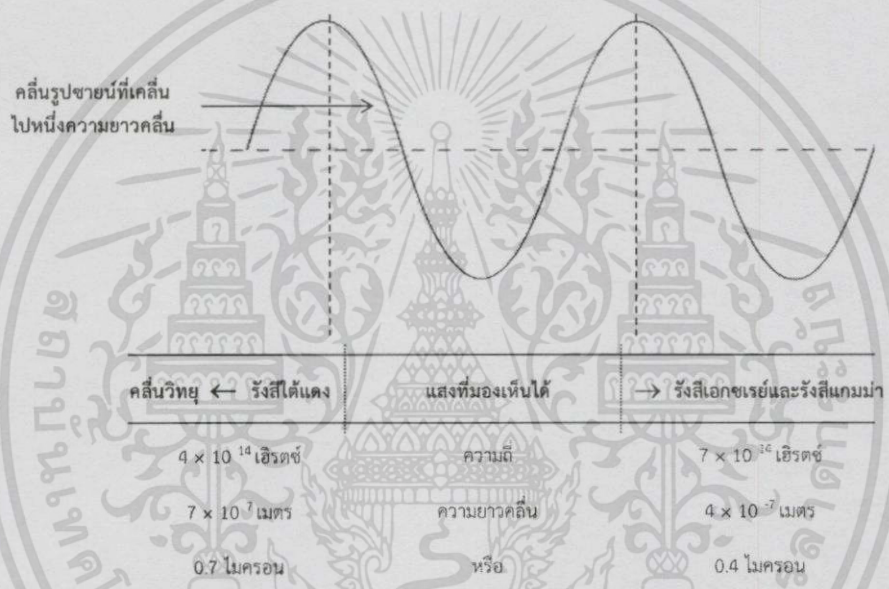
ลำดับ	ชื่องาน	2556							2557		
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	กำหนดความต้องการ จุดประสงค์ และขอบเขตของโครงงาน										
2	ขั้นการวิเคราะห์และออกแบบ										
3	การออกแบบวงจร										
4	การออกแบบระบบ										
5	ขั้นการลงมือทำงาน										
5	วงจรรับส่งวิทยุ										
7	ส่วนการถ่ายและแสดงภาพ										
8	ขั้นการทดสอบและแก้ไข										
9	ขั้นการทำเอกสาร										

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สเปคตรัมและความยาวคลื่น

ในการวิเคราะห์สัญญาณโดยทั่วไปนั้น โดยได้อาศัยเทคนิคของการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) จึงทำให้ทราบว่าสัญญาณต่างๆ นั้นประกอบขึ้นมาจากสัญญาณรูปไซน์จำนวนมาก รูปลักษณะการแจกแจงความถี่ที่ทำให้รู้ว่าสัญญาณต่าง ๆ นั้นประกอบขึ้นมาจากสัญญาณรูปไซน์ (Sine) ที่ความถี่ต่างๆ กันอย่างไร ทั้งหมดนั้นรวมเรียกว่า สเปคตรัม (Spectrum) ของสัญญาณ สัญญาณที่กล่าวถึงในที่นี้ จะขอเน้นถึงสัญญาณไฟฟ้าเป็นหลัก



รูปที่ 2.1 ความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็นได้

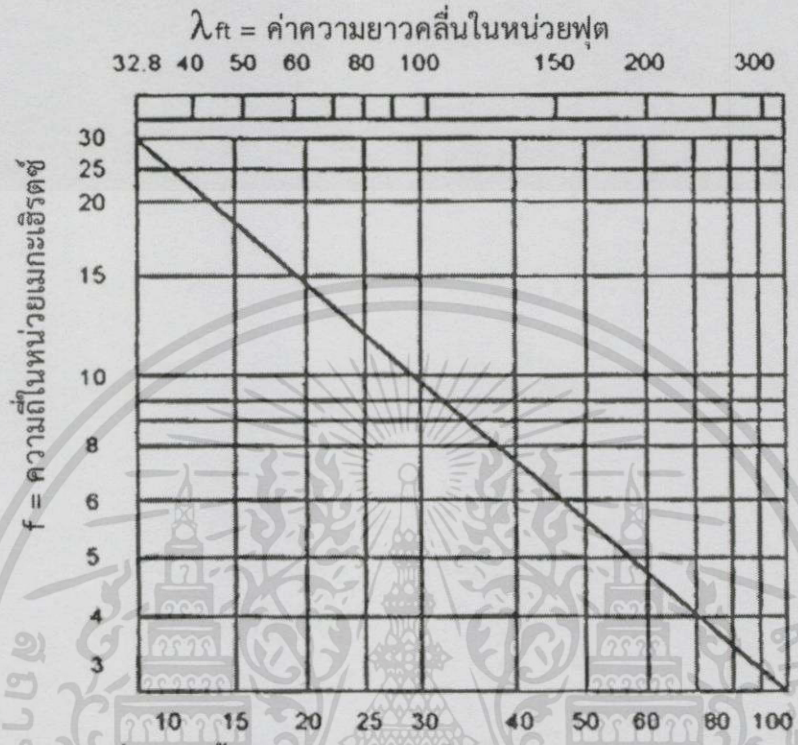
ปริมาณที่สำคัญอย่างหนึ่งช่วยให้แบ่งแยกคุณสมบัติบางประการของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ คือ ความยาวคลื่น (Wavelength) ความยาวคลื่นคือระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ไปครบหนึ่งลูกคลื่น ความยาวคลื่นอาจวัดได้จากระยะทางระหว่างยอดคลื่น (จุดที่ค่าของสัญญาณมีค่าสูงสุด) ที่เกิดตามกันมา ดูรูปที่ 2.1 ถ้าให้ v คือความเร็วของคลื่นสัญญาณที่เดินผ่านตัวกลางซึ่งมีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที และถ้าคลื่นสัญญาณนั้นเกิดขึ้นด้วยความถี่ f (Hz : Hertz) สามารถที่จะคำนวณหาความยาวคลื่น λ ซึ่งมีหน่วยเป็นเมตรได้ดังต่อไปนี้คือ

$$\lambda = v/f \qquad (2.1)$$

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อเดินทางผ่านสูญญากาศจะเดินทางไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง คือ 3×10^8 เมตร/วินาที ธรรมดาเมื่อกล่าวถึงความยาวคลื่นโดยมิต้องกล่าวอ้างอิงถึงตัวกล่าวที่คลื่นผ่านไปแล้ว ก็จะหมายถึงความยาวคลื่น เมื่อคลื่นนั้นเคลื่อนที่อยู่ในสูญญากาศ ดังเช่น ค่าความยาวคลื่นที่ปรากฏอยู่ในรูปที่ 2.1 นั้นเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิที่แสดงอยู่ในรูป 2.2 ใช้ช่วยในการหาค่าของความยาวคลื่นจากความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเท่านั้น ค่าคงที่ซึ่งเหมาะสมตามที่แสดงไว้ในแผนภูมิจะทำให้สามารถประยุกต์ใช้แผนภูมิกับความถี่ทุกส่วนของสเปคตรัมของสัญญาณได้เป็นอย่างดี

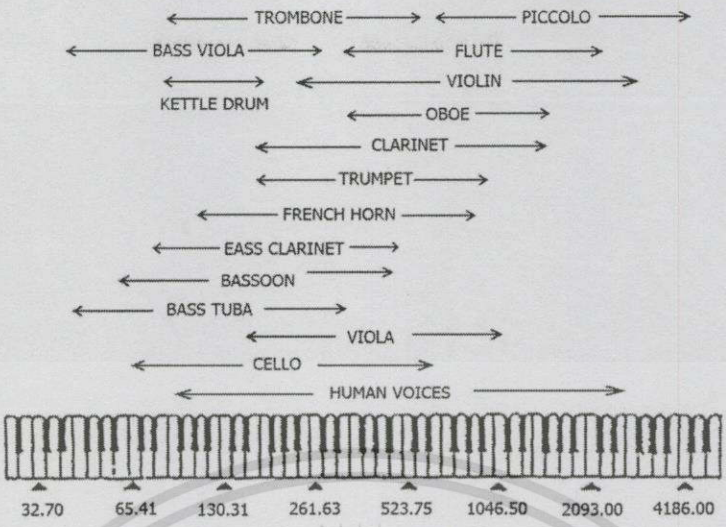


ความถี่ในช่วงตั้งแต่ (เมกะเฮิรตซ์)	คูณค่าความถี่ด้วย	คูณค่าความยาวคลื่นด้วย
0.03-0.3	0.01	100
0.3-3.0	0.1	10
3.0-30	1.0	1
30-300	10	0.1
300-3,000	100	0.01
3,000-30,000	1,000	0.001
30,000-300,000	10,000	0.0001

รูปที่ 2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เพื่อที่จะให้ได้รู้จักกับเรื่องของสเปคตรัมมากขึ้น จะขอยกตัวอย่างสเปคตรัมของสัญญาณเสียงซึ่งเป็นสัญญาณที่มนุษย์คุ้นเคยกันอยู่เป็นประจำอีกอย่างหนึ่ง มาประกอบคำอธิบายในเรื่องนี้ไว้จะได้สามารถเข้าใจภาพพจน์หรือแนวคิดในเรื่องสเปคตรัมนี้ได้ดียิ่งขึ้น สเปคตรัมของสัญญาณเสียงแสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 สเปคตรัมของสัญญาณเสียง

2.2 การแบ่งย่านความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ปกติทั่วไปแล้วช่องสัญญาณต่างๆ ที่ใช้ส่งคลื่นผ่านไปนั้น จะปฏิกิริยาต่อเนื่องที่ความถี่ต่างๆ ไม่เหมือนกัน ทำให้คุณสมบัติการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในย่านความถี่ต่างกันนั้นมีความแตกต่างกันออกไป เพราะฉะนั้นจึงได้มีการแบ่งย่านความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไว้ เพื่อที่จะได้รวบรวมเอาคลื่นความถี่ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันเข้าไว้ด้วยกัน

จากตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ต่างๆ นั้น เป็นไปตามมาตรฐานข้อตกลงระหว่างประเทศซึ่งกำหนดโดย ITU (International Telecommunication Union)

คุณสมบัติและประโยชน์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่ต่างๆ นั้นพอจะสรุปไว้เป็นสังเขปได้ดังต่อไปนี้คือ

ELF เป็นย่านความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ต่ำมาก เป็นย่านความถี่ของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากเครื่องดนตรี และเสียงของสัตว์ หรือเสียงของมนุษย์บางส่วน อย่างไรก็ตามย่านความถี่ของคลื่นที่ตรงกับความถี่ของเสียงมนุษยชาติส่วนใหญ่นั้นจะถูกจัดแบ่งไว้เป็นอีกแบนด์หนึ่งคือ VF แบนด์

ตารางที่ 2.1 การแบ่งย่านความถี่และคำศัพท์เฉพาะ

ลำดับของแบนด์	ย่านความถี่	ชื่อย่านความถี่	อักษรย่อ	ชื่อย่านความถี่ในระบบเมตริก
1	30 – 300 Hz	Extrimely-Low Frequency	ELF	Metameric wave
2	300 – 3000 Hz	Voice Frequency	VF	-------
3	3 - 30 kHz	Very – Low Frequency	VLF	Myriametric wave
4	30 – 300 kHz	Low Frequency	LF	Kilometric wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับของแบนด์	ย่านความถี่	ชื่อย่านความถี่	อักษรย่อ	ชื่อย่านความถี่ในระบบเมตริก
5	300 – 3000 kHz	Medium Frequency	MF	Hectrometric Wave
6	3 – 30 MHz	High Frequency	HF	Decametric wave
7	30 – 300 MHz	Very-High Frequency	VHF	Metric wave
8	300 – 3000 MHz	Ultra – High Frequency	UHF	Decimetric wave
9	3 – 30 GHz	Super-High Frequency	SHF	Centimetric wave
10	30 – 300 GHz	Extramely – High Frequency	EHF	Millimetric wave
11	300 – 3000 GHz	----------	--------	Decimillimetric wave

ความถี่ในย่าน VLF และ LF นั้นเริ่มแรกใช้สำหรับวิทยุโทรเลข (Radio Telegraph) แต่เนื่องจากความยาวคลื่นของสัญญาณในช่วงนี้มีความยาวมาก เป็นกิโลเมตร เพราะฉะนั้นการส่งวิทยุในย่านความถี่นี้ ปัจจุบันใช้สำหรับงานพิเศษโดยเฉพาะเท่านั้น

MF เป็นย่านความถี่ของคลื่นที่ใช้ในการส่งกระจายเสียง FM เป็นย่านความถี่ของคลื่นที่เรียกว่า “คลื่นสั้น” เป็นย่านความถี่ของคลื่นที่ใช้สำหรับส่งกระจายเสียงวิทยุ FM ในระบบคลื่นสั้นและวิทยุสมัครเล่น (Amateur Radio) คุณสมบัติที่สำคัญสำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่ทั้งสองนี้ก็คือ เมื่อคลื่นนี้เดินทางไปถึงบรรยากาศชั้นสูงสุดที่ห่อหุ้มโลกนี้อยู่ คือชั้น ไอโอโนสเฟียน์ (Ionosphere) พลังงานของคลื่นบางส่วนจะถูกสะท้อนโดยบรรยากาศชั้นนี้กลับลงมายังพื้นโลกอีก ทำให้เกิดการสะท้อนไปมาระหว่างพื้นโลกกับบรรยากาศชั้นนี้ขึ้น อันเป็นสาเหตุทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่นี้สามารถเดินทางไปได้ไกลมาก โดยเฉพาะคลื่นในย่าน HF

VHF และ UHF เป็นย่านความถี่ของคลื่นที่มีการสะท้อนเกิดขึ้นน้อยมากในชั้นบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ คลื่นในย่านความถี่นี้จะมีความสามารถที่จะเดินทางทะลุผ่านบรรยากาศชั้นต่างๆ ไปได้เนื่องจากในย่านควาวถี่นี้มีความถี่สูงมากดังนั้นคุณสมบัติมันจึงมีความคล้ายคลึงกับคุณสมบัติของคลื่นแสงมาก คลื่นในย่านนี้จะเดินทางเป็นแนวเส้นตรง ทำให้การติดต่อสื่อสารในย่านความถี่นี้เครื่องรับและเครื่องส่งจะต้องอยู่ในแนวเส้นตรงที่มองเห็นซึ่งกันและกันโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง ซึ่งในลักษณะการสื่อสารดังกล่าวนั้นมีชื่อเรียกเฉพาะว่า “การสื่อสารในแนวสายตา” (Line-of-sight Communication) ย่านความถี่ส่วนหนึ่งของ UHF ด้านความถี่ต่ำและย่านความถี่ VHF ถูกกำหนดใช้สำหรับการส่งโทรทัศน์ และวิทยุสื่อสารเคลื่อนที่ (Mobile Communication)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่า 1 GHz ที่มีชื่อเรียกรวมว่า “ไมโครเวฟ” (Microwave) ปกติจะใช้สำหรับงานด้านเรดาร์ (Radar) และการสื่อสารที่ต้องการย่านความถี่กว้าง ข้อดีของการสื่อสารในย่านความถี่นี้ก็คือ สายอากาศที่ใช้จะมีขนาดเล็ก แต่ก็มีข้อเสียอยู่ที่ว่า สภาพภูมิอากาศจะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของคลื่นในย่านความถี่นี้มาก โดยเฉพาะฝน ทั้งนี้เพราะฝนมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดพอที่จะเป็นสายอากาศดูดซับเอาพลังงานของคลื่นสัญญาณไว้ ทำให้คลื่นเดินทางไปไม่ถึงจุดหมายปลายทางคือเครื่องรับได้

2.3 การมอดูเลต

ในขบวนการมอดูเลต ใช้คลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่สูงเป็นพาหะ แล้วเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางอย่างของพาหะด้วยสัญญาณข่าวสาร โดยทั่วไปสัญญาณข่าวสารได้แก่ สัญญาณเสียง (Audio) สัญญาณภาพ (Video) หรือข่าวสารอื่นๆ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคลื่นพาหะนี้เรียกว่าการมอดูเลต

คลื่นรูปไซน์ที่ใช้เป็นพาหะนั้น สามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์แทนได้ดังนี้

$$e = A\sin(\omega t + \theta) \qquad (2.2)$$

ในที่นี้ e คือค่าแรงดัน (หรือกระแส) ของคลื่นพาหะใดๆ

A คือแอมพลิจูด (หรือขนาด) สูงสุดของคลื่นพาหะ

ω คือความเร็วเชิงมุม = $2\pi f$

t คือเวลา

θ คือเฟส หรือมุมทางไฟฟ้า

f คือความถี่

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า คุณสมบัติประจำตัวของคลื่นไซน์ที่สำคัญจะมีอยู่ 3 ประการที่สามารถเปลี่ยนแปลงหรือมอดูเลตได้คือ แอมพลิจูด (A) ความถี่เชิงมุม (ω) หรือความถี่ (f) และเฟส (θ)

การมอดูเลตให้กับคลื่นพาหะแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. มอดูเลตทางแอมพลิจูด (Amplitude Modulation เรียกชื่อย่อว่า AM)
2. มอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation เรียกย่อว่า FM)
3. มอดูเลตทางเฟส (Phase Modulation เรียกย่อว่า PM หรือ θM)

ในทางปฏิบัติสัญญาณ FM กับสัญญาณ PM จะคล้ายคลึงกันมาก บางครั้งเรียกรวมๆ ทั้ง FM และ PM การมอดูเลตเชิงมุม (Angel Modulation) กล่าวโดยสรุป การมอดูเลตแบ่งออกเป็นจริงๆ 2 แบบใหญ่ๆ คือ AM กับ FM (หรือ PM)

2.3.1 การมอดูเลตทางความถี่

รูปคลื่นของสัญญาณ FM เกิดจากสัญญาณมอดูเลต ดังรูปที่ 2.4 (ก) เช่น สัญญาณเสียงซึ่งเป็นข่าวสารเข้าไปมอดูเลตลงบนสัญญาณพาหะดังรูปที่ 2.4 (ข) สัญญาณพาหะหลังจากการมอดูเลตแล้วในรูปที่ 2.4 (ค) เป็นสัญญาณ FM จะเห็นว่าที่เวลา t_0 สัญญาณ FM อยู่ที่ความถี่กลางเมื่อสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตมีค่าทางบวกสูงสุด ความถี่ของพาหะจะเพิ่มขึ้นสูงสุด นั่นคือสัญญาณมอดูเลตถึงจุดสุดยอด (สัญญาณมอดูเลตมีขนาดสูงสุดนั่นเอง) ที่เวลา t_1

ที่เวลา t_2 สัญญาณมอดูเลตลดลงเป็นศูนย์ ความถี่ของพาหะก็จะลดลงมาที่ความถี่กลางดังเดิมหลังจากเวลาสัญญาณมอดูเลตมีค่าตกลงต่ำกว่าศูนย์กลายเป็นลบ พาหะจะมีความถี่ลดลงต่ำกว่าความถี่กลางและเมื่อเวลาสัญญาณมอดูเลตกลับเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่ง ความถี่ของพาหะก็จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับมายังความถี่กลางดังเดิมเช่นกัน ในช่วงเวลา t_4 ถึง t_8 ก็จะซ้ำแบบเดิมเรื่อยๆ ไป สรุปแล้วความถี่ของพาหะจะเปลี่ยนแปลงไปตามแอมพลิจูดของสัญญาณมอดูเลต และพาหะยังคงอยู่ที่กลางเมื่อสัญญาณมอดูเลตเป็นศูนย์

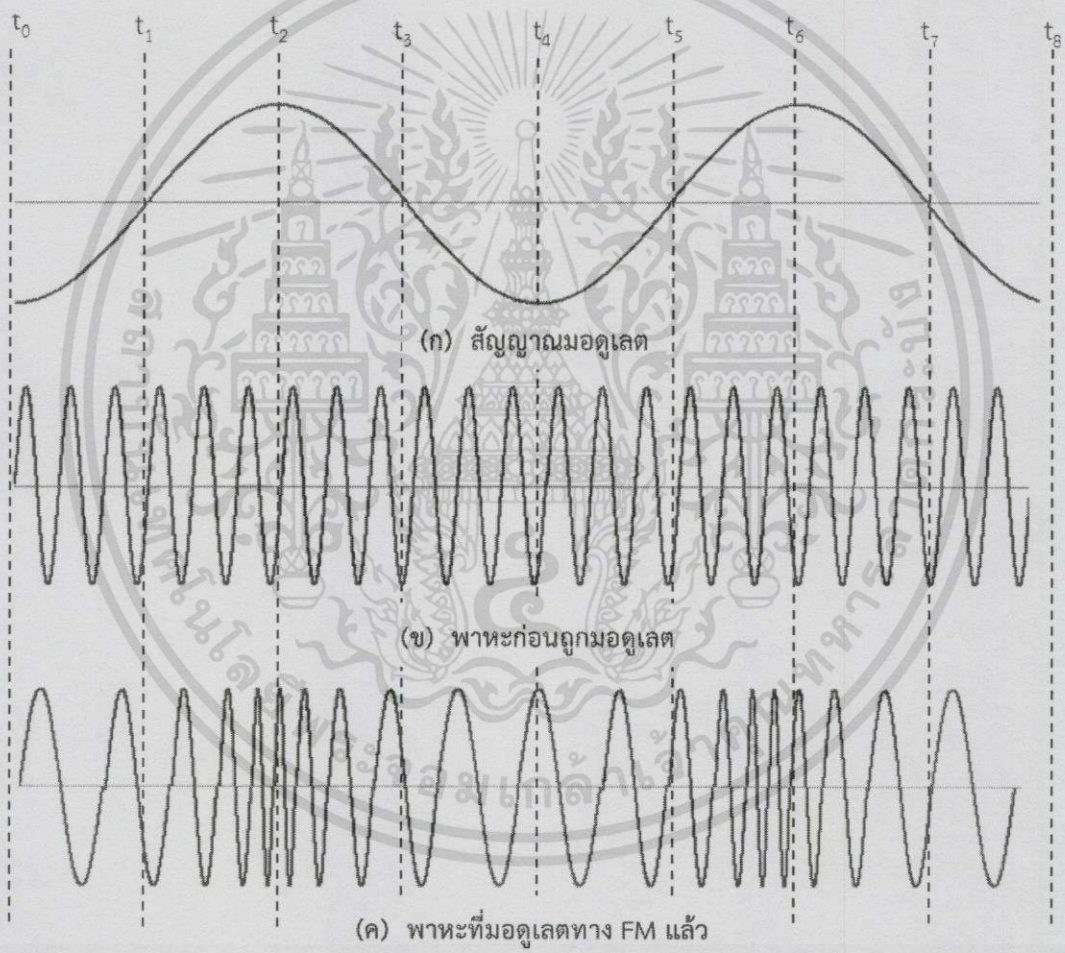
ช่วงความถี่ที่พาหะเบี่ยงเบนไปจากความถี่กลางเรียกว่า ความถี่เบี่ยงเบน หรือดิวิชั่น ตัวอย่างเช่น พาหะมีความถี่ 100 MHz ลดลงต่ำสุดเป็น 99.9 MHz และเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 100.1 MHz สลับไปมาเช่นนี้ หมายความว่าช่วงความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ $\pm$ 0.1 MHz หรือ $\pm$ 100 kHz

รูปแบบทั่วไปของสมการ FM

สมการของคลื่นพาหะคือ $X_c(t) = X_c * \cos(\omega_c t)$ (2.3)

และสัญญาณที่มอดูเลตคือ $X_m(t) = \beta * \sin(\omega_c t)$ (2.4)

จะได้สมการ FM คือ $X(t) = X_c * \cos(\omega_c t + \beta * \sin(\omega_c t))$ (2.5)



รูปที่ 2.4 การมอดูเลตทางความถี่

กล่าวโดยสรุป สัญญาณ FM มีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

1. มีขนาดคงที่ตลอด แต่ความถี่เปลี่ยนตามสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต
2. อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณพาหะมีค่าเท่ากับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต
3. ช่วงความถี่เบี่ยงเบนเป็นสัดส่วนกับแอดพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ดัชนีการมอดูเลต

ในระบบ AM ปริมาณการมอดูเลต นิยมวัดเป็นเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต ซึ่งดูได้จากการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดหรือกรอบคลื่น AM ทั้งด้านต่ำสุดและสูงสุด แต่ในระบบ FM วัดเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตโดยดูจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ ซึ่งนิยมเรียกชื่อใหม่ว่า ดัชนีการมอดูเลต ลองพิจารณาความหมายของดัชนีการมอดูเลตต่อไปนี้

$$m = f_d / f_m \qquad (2.6)$$

ในที่นี้ f_d คือช่วงความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต

f_m คือความถี่ของสัญญาณมอดูเลตจะมีค่าสูง (แตกต่างจากเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราส่วนจะได้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1) ตัวอย่างเช่น ในระบบวิทยุกระจายเสียง FM กำหนดให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบสูงสุดไว้เท่ากับ 75 kHz สมมุติว่าใช้สัญญาณเสียง 1 kHz มอดูเลตให้เกิดความเบี่ยงเบนเต็มที่ ค่าดัชนีการมอดูเลตจะเป็น

$$m = \frac{75\ kHz}{1\ kHz} = 75$$

สังเกตว่า ค่าดัชนีการมอดูเลตในระบบ FM ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณเสียงที่เข้ามอดูเลต ในทางปฏิบัตินิยมวัดเป็นอัตราส่วนการเบี่ยงเบน (Deviation Ratio) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่เบี่ยงเบน (ของระบบ) สูงสุด (f_{dmax}) ต่อความถี่สูงสุดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต (f_{mmax}) ในระบบกระจายเสียง FM ค่าอัตราการเบี่ยงเบน (Δ) จะเท่ากับ

$$\begin{aligned} \Delta &= f_{dmax} / f_{mmax} \\ &= 75\ kHz / 15\ kHz = 5 \end{aligned} \qquad (2.7)$$

ในระบบ AM เมื่อเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตเพื่อให้เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตสูงขึ้นการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด (กรอบคลื่น) ของพาหะจะเปลี่ยนแปลงมากขึ้น แต่ในระบบ FM เมื่อเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตสูงขึ้น การเบี่ยงเบนความถี่ของพาหะจะเบี่ยงเบนได้มากขึ้น ในระบบกระจายเสียงวิทยุ FM กำหนดให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบเต็มที่ไม่เกิน 75 kHz ถ้ามอดูเลตทำให้ความถี่ของพาหะเบี่ยงเบนไปเท่ากับ 75 kHz แสดงว่ามอดูเลตเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเขียนสมการได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต} = f_d / f_{mmax} \times 100 \qquad (2.8)$$

ในที่นี้ f_d คือความถี่เบี่ยงเบน เนื่องจากสัญญาณที่เข้ามอดูเลต

f_{mmax} คือความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ช่วงความถี่ด้านข้างของ FM (Sideband)

ความแตกต่างของระบบ AM กับ FM ที่เห็นได้ชัดคือช่วงความถี่ด้านข้างในระบบ AM ถ้ามอดูเลตด้วยสัญญาณรูปไซน์จะเกิดช่วงความถี่ด้านข้างจำนวน 2 ตัว คือ USB และ LSB แต่ในระบบ FM ถ้ามอดูเลตด้วยสัญญาณรูปไซน์จะเกิดช่วงความถี่ด้านข้างจำนวนมากนับอนันต์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความถี่พาหะทำให้เกิดความถี่เพิ่มขึ้นอีกมากมาย ความจริงแล้วช่วงความถี่ด้านข้างที่อยู่ห่างจากความถี่กลางมากๆ มักมีแอมพลิจูดเล็กมากจนไม่ต้องคำนึงถึง

ในระบบ AM ช่วงความถี่ด้านข้างอาจเสริมหรือหักล้างจากพาหะที่มีแอมพลิจูดคงที่ ซึ่งมีผลให้กรอบคลื่นของพาหะเปลี่ยนแปลง แต่ในระบบ FM สัญญาณ FM จะรักษาแอมพลิจูดไว้คงที่เสมอ ซึ่งหมายความว่ากำลังของคลื่นพาหะย่อมกระจายไปอยู่ในช่วงความถี่ด้านข้าง ความสัมพันธ์ของพาหะกับไซด์แบนในระบบ FM ขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดูเลต เนื่องจากดัชนีการมอดูเลตเป็นตัวกำหนดไซด์แบนที่สำคัญ และแอมพลิจูดของพาหะกับช่วงความถี่ด้านข้างต่างๆ

เมื่อดัชนีการมอดูเลตเพิ่มขึ้น จำนวนช่วงความถี่ด้านข้างจะเพิ่มขึ้น ขนาดของช่วงความถี่ด้านข้างก็จะใหญ่ขึ้น แต่ขนาดของพาหะกลับเล็กลงจนกระทั่งดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 2.4 คลื่นพาหะจะเป็นศูนย์ ตอนนี้กำลังของคลื่น FM จะไปอยู่ในช่วงความถี่ด้านข้างทั้งสิ้น เมื่อดัชนีการมอดูเลตเพิ่มขึ้นอีก คลื่นพาหะก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีก (เป็นค่าลบแสดงว่าเฟสตรงกันข้ามกับตอนแรก เช่น เมื่อดัชนีการมอดูเลตเป็น 3.1 ขนาดของพาหะจะเท่ากับ -0.3 หน่วย) สังเกตว่าจุดที่คลื่นพาหะเป็นศูนย์นั้นมีอยู่หลายจุด

2.5 แบนด์วิดท์ของสัญญาณ FM

ในระบบ FM จำนวนช่วงความถี่ด้านข้างและขนาดของช่วงความถี่ด้านข้างขึ้นอยู่กับค่าดัชนีการมอดูเลต โดยความถี่ของช่วงความถี่ด้านข้างมีค่าสัมพันธ์กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต กล่าวคือ ช่วงความถี่ด้านข้างคู่แรกมีความถี่เท่ากับ $f_d \pm f_m$ ช่วงความถี่ด้านข้างคู่ที่สองมีความถี่เท่ากับ $f_d \pm 2f_m$ ...ฯลฯ ฉะนั้นแบนด์วิดท์ของคลื่น FM ต้องครอบคลุมจำนวนช่วงความถี่ด้านข้างที่สำคัญทุกตัว นั่นคือ แบนด์วิดท์ขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดูเลตและความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตแต่ดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ f_d/f_m ดังนั้นถ้าทราบความถี่เบี่ยงเบนและความถี่ของสัญญาณมอดูเลตก็สามารถคำนวณหาแบนด์วิดท์ได้

ตัวอย่างเช่น ความถี่ของสัญญาณเสียงที่เข้ามอดูเลตเท่ากับ 3 kHz ความถี่เบียงเบนเท่ากับ 18 kHz คำนวณค่าดัชนีการมอดูเลตได้ดังนี้

$$m = f_d/f_m \qquad (2.9)$$
$$m = 18\,kHz/3\,kHz = 6$$

นำค่า $m = 6$ ไปหาไซด์แบนสำคัญที่พิจารณาได้จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าดัชนีการมอดูเลตเท่ากับ 6 จำนวนช่วงความถี่ด้านข้างจะมีอยู่ 9 คู่ จึงคำนวณหาแบนด์วิดท์ได้ดังนี้

$$BW = f_m \times \text{จำนวนช่วงความถี่ด้านข้าง} \times 2 \qquad (2.10)$$
$$BW = 3\,kHz \times 9 \times 2$$
$$BW = 3\,kHz \times 9 \times 2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจริงแล้วในทางปฏิบัตินิยมใช้สูตรคำนวณแบนด์วิดท์แบบประมาณจากค่า f_{dmax} และ f_{mmax} เลย ไม่ต้องเสียเวลานับจำนวนช่วงความถี่ด้านข้าง ดังนี้

$$BW = 2(m+1)f_{mmax} \quad (2.11)$$

หรือ $$BW = 2(f_{dmax} + f_{mmax}) \quad (2.12)$$

เมื่อ $m = f_{dmax}/f_{mmax}$

จากตัวอย่างดังกล่าวคำนวณได้ว่า $BW = 2 \times (6+1) \times 3$

$= 42\ kHz$

หรือ $BW = 2 \times (18+3)$

$= 42\ kHz$

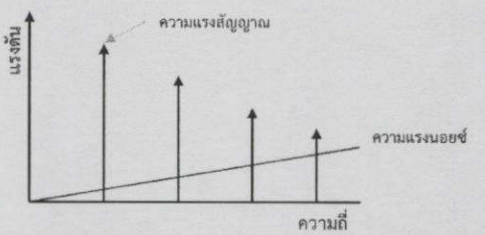
เสมือนกับว่าพิจารณาใช้จำนวนช่วงความถี่ด้านข้างเพียง 7 คู่ เมื่อเทียบกับการคำนวณในตอนต้น

2.6 พรีเอ็มฟาสิสและดีเอ็มฟาสิส (Pre-emphasis and De-emphasis)

รูปคลื่นส่วนใหญ่จะประกอบด้วยองค์ประกอบฮาร์มอนิกมากมาย และทางด้านความถี่สูงมักจะมีแอมพลิจูดต่ำๆ ตัวอย่างเช่น เสียงพูดซึ่งอยู่ในย่านความถี่ประมาณ 20 Hz ถึง 20,000 Hz แต่เสียงพูดทั่วไปมักจะอยู่ช่วง 500 Hz สำหรับผู้ชาย และ 800 Hz สำหรับผู้หญิง เป็นต้น แต่นอยส์ในระบบ FM จะเป็นตรงกันข้าม คือ นอยส์ FM จะมีแอมพลิจูดสูงขึ้นเป็นสัดส่วนกับความถี่ ดังนั้นถ้าเขียนรูปเทียบกัน ดังรูปที่ 2.5 จะเห็นว่าที่ด้านสูงจะมีนอยส์รบกวนมากกว่าด้านต่ำ วิธีแก้ไขให้คุณภาพสัญญาณทางด้านความถี่สูงดีขึ้นก็ใช้วิธียกระดับหรือเน้น (Emphasis) สัญญาณให้มีแอมพลิจูดขึ้นในย่านด้านความถี่สูง กรรมวิธีนี้เรียกว่า พรีเอ็มฟาสิส

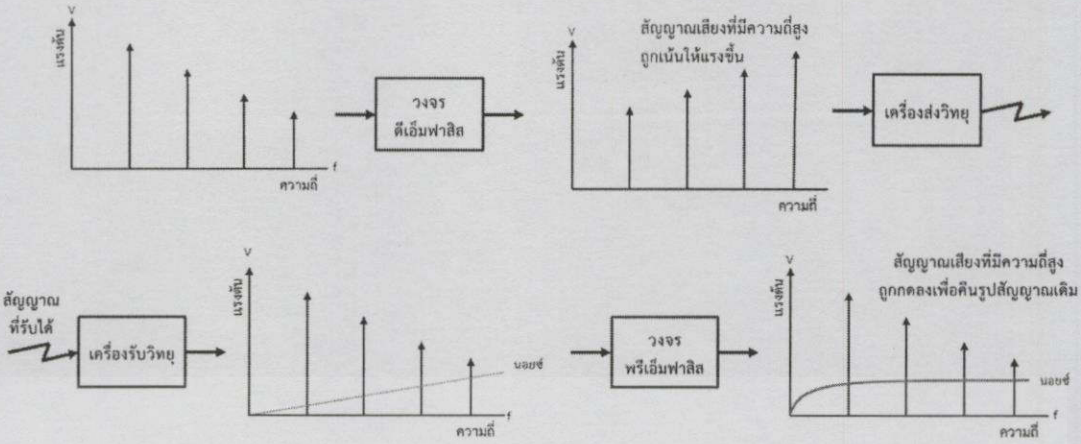
ในรูปที่ 2.6 สัญญาณมอดูเลตจะผ่านขบวนการพรีเอ็มฟาสิสที่เครื่องส่งเพื่อให้สัญญาณความถี่สูงเน้นแรงขึ้น แล้วจึงมอดูเลตที่เครื่องส่งอากาศออกต่อไป ทำให้สัญญาณความถี่สูงมีความแรงขึ้นจนนอยส์รบกวนได้ยาก เมื่อคลื่นมาถึงเครื่องรับและหลังจากทำดีมอดแล้ว จะต้องคืนสัญญาณที่เน้นความถี่สูงให้เหมือนเดิม ดังนั้นจึงต้องมีวงจรกดความถี่สูงซึ่งจะลดทอนความแรงทางด้านความถี่สูงลง กรรมวิธีนี้เรียกว่า ดีเอ็มฟาสิส

วงจรที่ใช้ในกรรมวิธีพิเอ็มฟาสิสและดีเอ็มฟาสิสก็คือวงจรฟิลเตอร์นั่นเอง คุณสมบัติของฟิลเตอร์ในตอนพรีเอ็มฟาสิสกับดีเอ็มฟาสิสจะต้องเป็นต้องข้ามกัน ในระบบกระจายเสียง FM โดยมากกำหนดคุณสมบัติของวงจรฟิลเตอร์ (ทั้งพรีเอ็มฟาสิสและดีเอ็มฟาสิส) เป็นค่าคงตัวเวลา (Time Constant) เท่ากับ 75 ไมโครวินาที ซึ่งแอมพลิจูดจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น (พรีเอ็มฟาสิส) หรือลดลง (ดีเอ็มฟาสิส) ตั้งแต่ความถี่ 2122 Hz เป็นต้นไป ดังรูปที่ 2.7

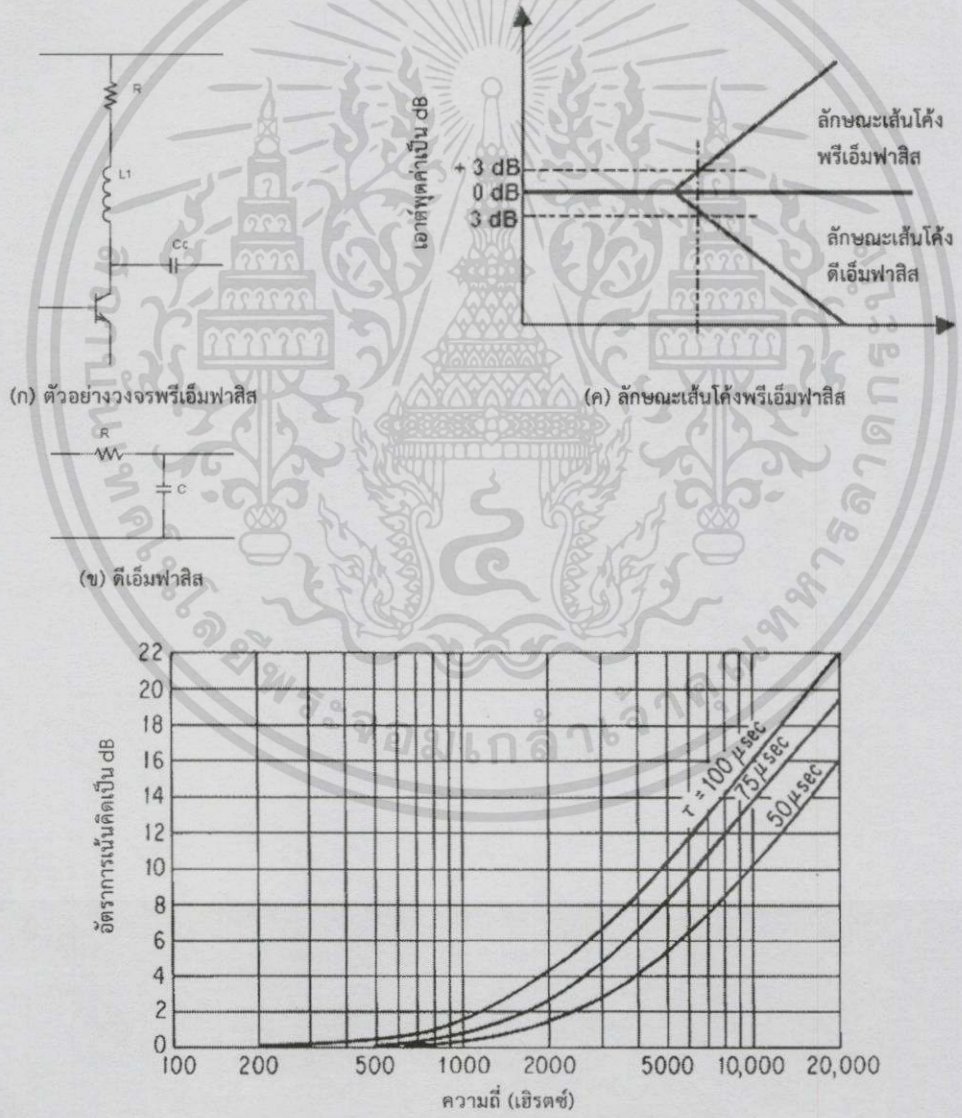


รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบขนาดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตกับนอยส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงขบวนการพรีเอ็มฟาสิสที่เครื่องส่ง และดีเอ็มฟาสิสที่เครื่องรับ

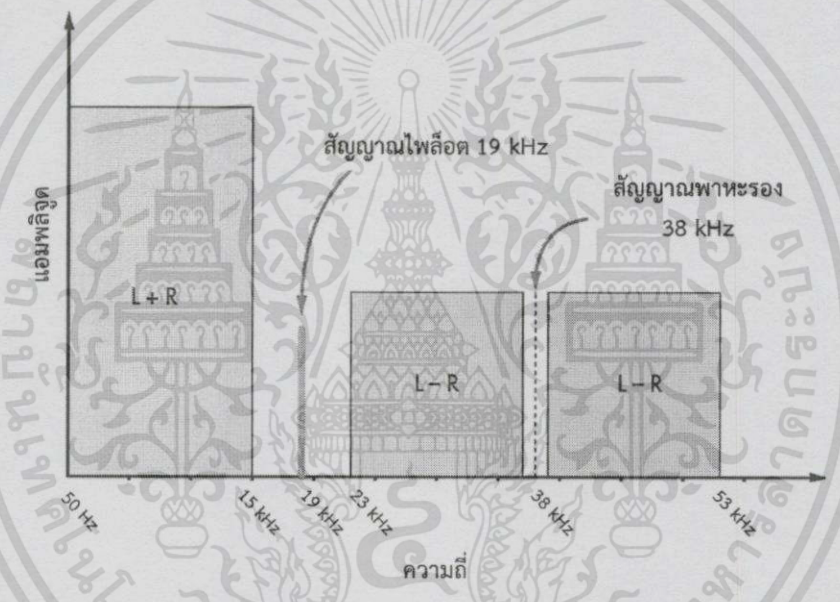


รูปที่ 2.7 กรรมวิธีของพีเอ็มฟาสิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ระบบ FM สเตอริโอ

เนื่องจากระบบ FM สเตอริโอจะต้องออกแบบให้เครื่องรับระบบ FM ธรรมดา (โมโน) สามารถรับสัญญาณได้ตามปกติ เรียกว่าออกแบบให้คอมแพติเบิล (Compatible) ดังนั้นเครื่องส่งจะต้องส่งข่าวสารทั้งช่องซ้ายและช่องขวามาทั้งคู่ โดยคงย่านความถี่ของสัญญาณเสียง (50 Hz ถึง 15 kHz) ตามปกติเอาไว้ สัญญาณนี้เรียกว่าสัญญาณ (L+R) นอกจากนี้ในระบบ FM สเตอริโอจะต้องส่งสัญญาณ (L-R) มาด้วยสัญญาณ (L-R) นี้จะผ่านการมอดูเลตแบบ AM-DSBSC มาก่อน เนื่องจากการดีมอดสัญญาณ DSB ค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นเครื่องส่งจำเป็นต้องส่งพาหะไพล็อต (Pilot Carrier) มาด้วย เพื่อช่วยในการซิงโครไนซ์ (Synchronize) กับพาหะรอง (Subcarrier) ที่เครื่องส่งความถี่ของไพล็อตเท่ากับ 19 kHz ซึ่งเท่ากับครึ่งหนึ่งของพาหะรอง 38 kHz พอดี กรรมวิธีนำเอาสัญญาณ 2 ชนิด คือ (L+R) กับ (L-R) มาส่งไปพร้อมกัน โดยใช้พาหะหลักร่วมกันนี้เรียกว่า การมัลติเพล็กซ์ (Multiplex)



รูปที่ 2.8 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณในระบบสเตอริโอมัลติเพล็ก

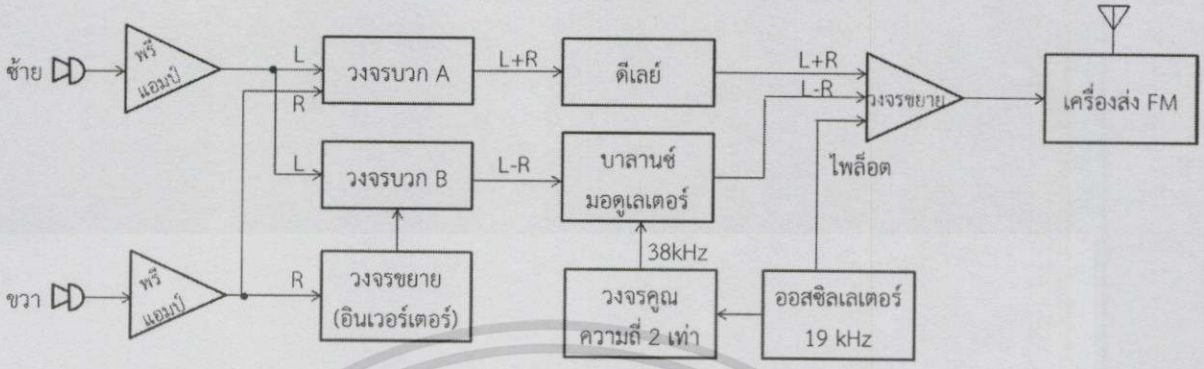
กล่าวโดยสรุปจากรูปที่ 2.8 สัญญาณที่เกิดจากการมัลติเพล็กซ์จะประกอบด้วยสัญญาณ (L+R) สัญญาณไพล็อต 19 kHz และสัญญาณพาหะรอง (L-R) ในช่วงความถี่ประมาณ 50 Hz ถึง 15 kHz เท่านั้น สัญญาณเสียงที่ออกจากลำโพงจะเป็นสัญญาณรวมทั้งแชนเนลซ้ายและขวาไม่มีการแยกเสียงเป็นสเตอริโอ (Stereo Separation) สำหรับเครื่องรับ FM สเตอริโอจะรับเอาสัญญาณทั้งหมดมาผ่านขบวนการดีมัลติเพล็กซ์ (Demultiplex) ซึ่งเป็นขบวนการตรงข้ามกับการมัลติเพล็กซ์ เพื่อแยกสัญญาณเสียงออกเป็นแชนเนลซ้ายและขวา

2.7.1 เครื่องส่งสเตอริโอ

ในรูปที่ 2.9 แสดงแผนผังของเครื่องส่งระแบบสเตอริโอมัลติเพล็กซ์ สัญญาณจากไมโครโฟนแชนเนลซ้าย (L) และขวา (R) จะผ่านวงจรขยายแล้วนำมาป้อนแก่วงจรบวก A เกิดเป็นสัญญาณ (L+R) สำหรับสัญญาณ (R) อีกทางหนึ่งจะผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์ (วงจรขยายธรรมดา) เพื่อกลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เป็น (-R) แล้วป้อนเข้าวงจรบวก B เพื่อบวกกับสัญญาณ L เกิดเป็นสัญญาณ (L-R) ส่วนสัญญาณ R อีกทางหนึ่งจะเข้าสู่วงจรบวก A เพื่อบวกกับ L เกิดเป็นสัญญาณ (L+R)



รูปที่ 2.9 เครื่องส่งสเตอริโอมัลติเพล็กซ์

สัญญาณ (L-R) จะป้อนไปให้วงจรบาลานซ์มอดูเลเตอร์ โดยใช้พาหะรอง 38 kHz พาหะรองนี้กำเนิดจากออสซิลเลเตอร์ 19 kHz แล้วคูณความถี่ขึ้นมา 2 เท่า โดยวงจรคูณความถี่ เอาต์พุตที่ได้จากบาลานซ์มอดูเลเตอร์ จะเป็นสัญญาณ DSB ของ (L-R) สัญญาณนี้จะผ่านการขยายแล้วป้อนไปให้แก่ภาคส่ง เช่นเดียวกับสัญญาณ (L+R) ซึ่งจะต้องหน่วงเวลาไว้เล็กน้อยเพื่อชดเชยเวลาที่สัญญาณ (L-R) ต้องเสียไปในการมอดูเลต ทำให้สัญญาณทั้ง (L+R) และ (L-R) มาถึงภาคส่งพร้อมกัน นอกจากนี้สัญญาณไพล็อตความถี่ 19 kHz จากออสซิลเลเตอร์ก็ป้อนให้ภาคส่งด้วยเช่นกัน สัญญาณทั้งหมดนี้จะมอดูเลตแบบ FM (โดยใช้พาหะหลักร่วมกัน)

มาตรฐานวิทยุกระจายเสียง FM กำหนดไว้ว่า ความถี่เบี่ยงเบนจะต้องเท่ากับ $\pm$75 kHz ไม่ว่าจะเป็นโมโนหรือสเตอริโอ ดังนั้นในระบบสเตอริโอสัญญาณเสียงจะต้องลดเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตลงไปเล็กน้อยเนื่องจากต้องมอดูเลตสัญญาณไพล็อต 19 kHz ลงไปด้วย สัญญาณไพล็อตนี้จะมอดูเลตไว้ 10 เปอร์เซ็นต์ ของความถี่เบี่ยงเบนสูงสุด $\pm$75 kHz หรือ $\pm$75 kHz x 10 เปอร์เซ็นต์ = $\pm$7.5 kHz ฉะนั้นสัญญาณเสียงที่เข้ามอดูเลตจึงมอดูเลตลดลงไปอีก 90 เปอร์เซ็นต์ หรือ $\pm$75 kHz x 90 เปอร์เซ็นต์ = ±67.5 kHz ปริมาณการมอดูเลต 90 เปอร์เซ็นต์กับ 100 เปอร์เซ็นต์ ผิดกันเพียง 10 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ผู้ฟังจะสังเกตไม่ออกว่าความดังลดลง

สังเกตว่า ในส่วนที่จะเข้ามอดูเลต 90 เปอร์เซ็นต์ของสัญญาณเสียงนี้ ยังจะต้องแบ่งอีกเป็น 2 ส่วน สำหรับ (L+R) กับ (L-R) เท่าๆ กันอีก แต่ความจริงไม่เป็นเช่นนั้น เพราะสัญญาณ (L+R) มีค่ามากสัญญาณ (L-R) จะมีค่าน้อยและในทางกลับกันเมื่อสัญญาณ (L+R) มีค่าน้อยสัญญาณ (L-R) จะกลับมีค่ามาก ดังนั้นการเบี่ยงเบนความถี่จะไม่มีโอกาสเกินได้

2.7.2 รูปคลื่นของสัญญาณสเตอริโอมัลติเพล็กซ์

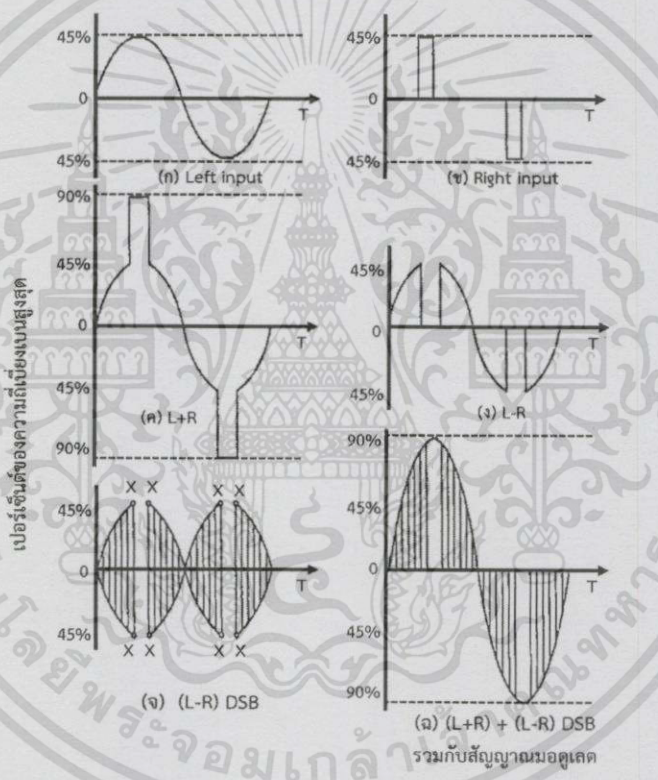
เพื่อให้เข้าใจวิธีการกำเนิดสัญญาณสเตอริโอมัลติเพล็กซ์ได้ง่าย สมมติให้สัญญาณเสียงจากไมโครโฟนซ้าย (L) เป็นคลื่นรูปไซน์ และสัญญาณด้านขวา (R) เป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยมหรือรูปพัลส์ ที่มีความถี่ใดความถี่หนึ่งในย่านความถี่ของเสียง ดังแสดงในรูปที่ 2.10

ในรูปที่ 2.10 (ก) และ (ข) เป็นสัญญาซ้าย (L) และขวา (R) ที่มีแอมพลิจูดค่ายอดของสัญญาณไปทำให้ความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงไปเท่ากับ 45 เปอร์เซ็นต์ของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบี่ยงเบนสูงสุด (75 kHz) เมื่อนำสัญญาณซ้าย (L) และขวา (R) มารวมกันก็จะได้เป็นสัญญาณ L+R ดังรูปที่ 2.10 (ค) ซึ่งเป็นแชนเนลหลัก เมื่อนำไปมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วจะทำให้คลื่นพาหะมีความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดไปเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์

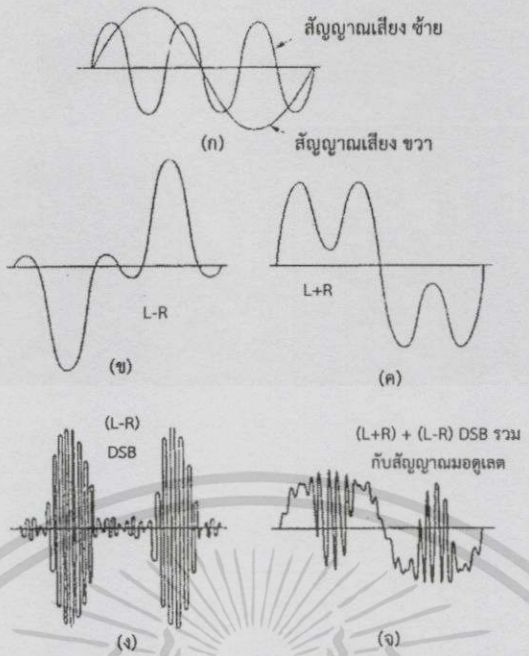
ส่วนในรูปที่ 2.10 (ง) เป็นการรวมสัญญาณซ้าย (L) และขวา (R) ที่ถูกกลับเฟสไป 180 องศา ก็จะกลายเป็นสัญญาณ L–R แล้วนำไปมอดูเลตกับคลื่นพาหะย่อยความถี่ 38 kHz แบบ AM กำจัดคลื่นพาหะ โดยใช้วงจรบาลานซ์มอดูเลเตอร์ ก็จะได้สัญญาณ (L-R) DSB ดังรูปที่ 2.10 (จ) และเมื่อนำไปมอดูเลตกับคลื่นพาหะจะทำให้คลื่นพาหะมีความถี่เบี่ยงเบนไปเท่ากับ 45 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำเอาสัญญาณรูปที่ 2.10 (ค) กับรูปที่ 2.10 (จ) มารวมกันก็จะเกิดเป็นสัญญาณรวมหรือสัญญาณสเตอริโอมัลติเพล็กซ์ ดังรูปที่ 2.10 (ฉ) แต่จริงๆ แล้วต้องรวมเอาความถี่ไพล็อต 19 kHz หรือสัญญาณ SCA เข้าไปด้วย และเมื่อนำไปมอดูเลตกับคลื่นพาหะหลักแล้วจะทำให้คลื่นพาหะมีความถี่เบี่ยงเบนไปเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.10 แสดงรูปของคลื่นสัญญาณสเตอริโอมัลติเพล็กซ์

ส่วนรูปคลื่นสัญญาณซ้าย (L) และขวา (R) ที่เป็นคลื่นรูปไซน์ทั้งคู่ โดยความถี่ของสัญญาณซ้าย (L) มีค่าเป็น 3 เท่า ของสัญญาณขวา (R) ดังแสดงในรูป 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงรูปคลื่นต่างๆ ของสัญญาณสเตอริโอมัลติเพล็กซ์

2.8 วิธีสังเคราะห์ความถี่

เครื่องรับส่งวิทยุในปัจจุบันส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีสังเคราะห์ความถี่แทบทั้งสิ้น วงจรที่ทำหน้าที่สังเคราะห์ความถี่เรียกว่า ซินธิไซเซอร์ ซึ่งแปลว่าสังเคราะห์ (ความถี่) วิธีสังเคราะห์ความถี่นี้ทำให้วงการเครื่องรับวิทยุเปลี่ยนโฉมหน้าไปอย่างมาก โดยเฉพาะรูปร่างของตัวเครื่องจะมีปุ่มควบคุมต่างๆ มากขึ้น เนื่องจากมีขีดความสามารถเพิ่มขึ้น สามารถโปรแกรมเลือกความถี่ใช้งานได้มาก จึงทำให้เกิดความคล่องตัวในการวางข่ายการสื่อสาร

ความจริงหลักการสังเคราะห์ความถี่ได้คิดค้นกันมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2475 แล้ว และได้พัฒนามาโดยลำดับ แต่เริ่มแพร่หลายกันจริงๆ ก็เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2513 เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตไอซีช่วยให้การออกแบบใช้งานมีความสะดวกสบายมากกว่าแต่ก่อน

วงการแรกที่นำระบบสังเคราะห์ความถี่มาใช้ก็คือ วงการทหาร (Military) และกิจการเดินอากาศ (Aviation) แล้วจึงค่อยๆ นำมาใช้ในวงการเครื่องวิทยุสื่อสารทั่วๆ ไปตามลำดับ

วิธีการสังเคราะห์ความถี่แต่ละแบบมีความซับซ้อนต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ (Frequency Range) ช่วงห่างระหว่างขั้น (Step size หรือ Resolution) ในที่นี้จะขออธิบายเฉพาะการสังเคราะห์ความถี่ที่ใช้ในเครื่องรับส่งวิทยุทั่วไป

ความจริงวงจรสังเคราะห์ความถี่คือ วงจรที่ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณความถี่ขนาดพอเหมาะและให้มีความถี่ตามที่กำหนด (คือสั่งหรือโปรแกรมได้) การโปรแกรมสามารถทำได้โดยการตั้งสวิทช์หรือกดปุ่ม แต่ในปัจจุบันนิยมสั่งงานด้วยคอมพิวเตอร์

ช่วงความถี่ใช้งานของวงจรสังเคราะห์ความถี่จะจำกัดอยู่ในช่วงความถี่ที่แน่นอน แล้วแต่การใช้งานและความละเอียดของความถี่ที่เปลี่ยนได้ทีละขั้น เรียกว่า เรโซลูชั่น (Resolution)

วิธีสังเคราะห์ความถี่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี

1. วิธีสังเคราะห์โดยตรง (Direct Synthesis) ซึ่งต้องใช้ความถี่หลายค่ามาผสมกัน เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการ โดยปกติต้องใช้แร่บังคับความถี่หลายชุด

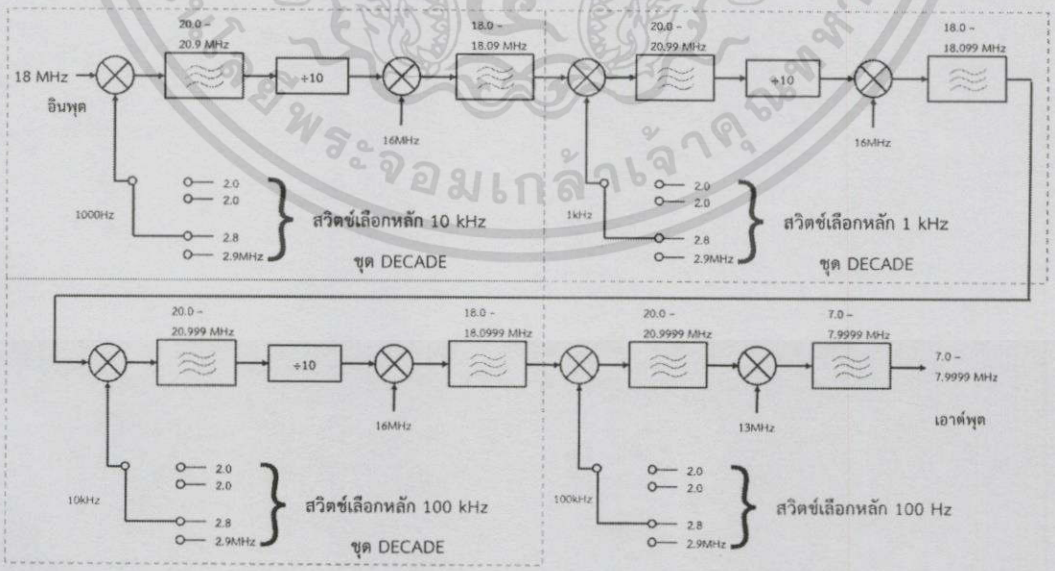
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีสังเคราะห์โดยอ้อม (Indirect Synthesis) วิธีนี้อาศัยเฟสล็อกลูป (Phase Locked Loop เรียกย่อว่า PLL)

รูปที่ 2.12 แสดงวิธีการสังเคราะห์ความถี่โดยตรง ในที่นี้ต้องการให้เอาต์พุตมีความถี่อยู่ระหว่าง 7 MHz ถึง 8 MHz และเรโซลูชั่น 1000 Hz นั่นคือต้องสามารถตั้งความถี่ได้ดังนี้ คือ 7.0000, 7.0001, 7.0002,.... MHz ขึ้นไปจนถึง 7.9999 MHz สังเกตว่าใช้ความถี่หลัก 10 ความถี่ คือ 2.0, 2.1 , ... MHz ถึง 2.9 MHz เป็นตัวกำเนิดความถี่ ความถี่หลักดังกล่าวนี้สามารถผลิตมาจากการผสมสัญญาณ 100 Hz และพาหะ 2 MHz จะเห็นว่าสวิตช์เลือกความถี่ทั้ง 10 ความถี่นี้ ก็คือสวิตช์ตั้งโปรแกรมเลือกความถี่ที่ต้องการ จากรูปจะเห็นว่ามี 4 ตัว ตัวหนึ่งเลือกความถี่ขั้นละ 1,000 Hz ตัวถัดไปเลือกขั้นละ 1 kHz ต่อไป 10 kHz และ 100 kHz ตามลำดับ

นอกจากความถี่หลัก 10 ความถี่ดังกล่าวแล้ว ต้องอาศัยการผสมกับความถี่อื่นอีกด้วยจากรูปใช้ความถี่ 18 MHz ผสมกับความถี่ใดความถี่หนึ่งในความถี่หลักทั้งสิบความถี่ ผลรวมของการผสมจะผ่านกรองความถี่เอาเฉพาะความถี่ย่าน 20 MHz ถึง 20.9 MHz แล้วผ่านการหารด้วยสิบที่วงจรเคาน์เตอร์ เพื่อผสมกับความถี่ 16 MHz แล้วกรองเอาเฉพาะที่เป็นความถี่ในย่าน 18 MHz ตามเดิม สังเกตว่าเอาต์พุตจากชุดนี้สามารถสังเคราะห์ความถี่ได้ระหว่าง 18.00 ,18.01,... MHz ถึง 18.09 MHz

เอาต์พุตจากชุดแรกนี้ เมื่อป้อนเข้าชุดต่อไปก็จะเอาสัญญาณความถี่ระหว่าง 18.00 MHz ถึง 18.09 MHz ไปผสมกับความถี่หลัก 2.0 MHz ถึง 2.9 MHz อีก ซึ่งเลือกหรือโปรแกรมได้โดยการปิดสวิตช์ จากนั้นก็ผ่านการกรองและหารสิบแล้วผสมกับสัญญาณ 16 MHz เอาต์พุตของชุดที่สอง (จัด A ก็จะตั้งความถี่ได้ระหว่าง 18.00, 18.001,.... MHz ถึง 18.0999 MHz) เมื่อทำการผสมคลื่นเช่นนี้อีกครั้งก็สังเคราะห์ความถี่ได้ระหว่าง 18.000, 18.001,... MHz ถึง 18.0999 MHz ในชุดสุดท้ายทำแตกต่างจากเดิมโดยเมื่อผสมกับสัญญาณ 2.0 MHz ถึง 2.9 MHz ก็นำไปผ่านการกรองเอาแต่เฉพาะสัญญาณระหว่าง 20 MHz ถึง 20.9999 MHz และผสมกับสัญญาณ 13 MHz ก็จะได้เอาต์พุตเป็น 7.0000 MHz ถึง 7.9999 MHz ตามต้องการ



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างวิธีสังเคราะห์ความถี่โดยตรง
(ตำแหน่งของสวิตช์ที่แสดงจะให้ความถี่เอาต์พุตเท่ากับ 7.8888 MHz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตว่าชุดผสมและหารความถี่ส่วนใหญ่ (ที่เขียนว่า DECADE) จะซ้ำๆ กัน อย่างไรก็ดีวิธีสังเคราะห์ความถี่โดยตรงไม่ค่อยเป็นที่นิยมนัก เพราะความสิ้นเปลืองแร่ และต้องใช้การผสมคลื่นหลายๆ ครั้ง

วิธีสังเคราะห์ความถี่โดยอ้อมหรือวิธีเฟสล็อกลูปนั้น อาศัยการกำเนิดสัญญาณวงจรออสซิลเลเตอร์ ซึ่งควบคุมความถี่ได้โดยปรับแรงดันที่เรียกว่า VCO สัญญาณ VCO จะถูกป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับความถี่อ้างอิงแล้วนำผลลัพธ์ความถี่คลาดเคลื่อนมาแปลงเป็นแรงดัน ไปควบคุมการออสซิลเลตของ VCO อีกครั้ง

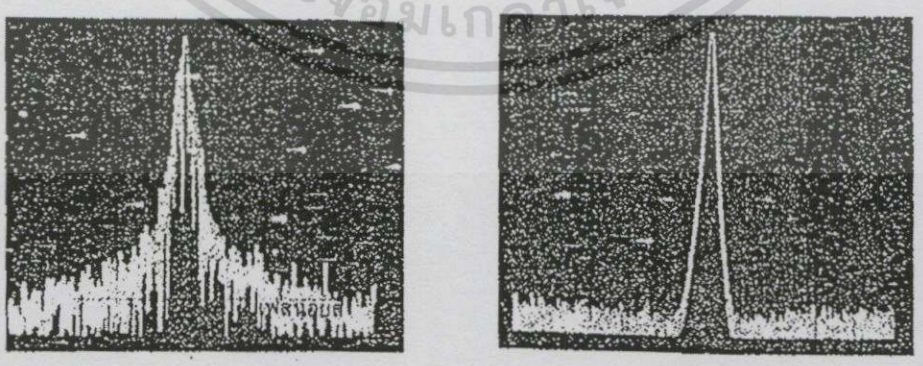
คุณสมบัติของวงจรสังเคราะห์ความถี่

นอกจากวงจรสังเคราะห์ความถี่จะต้องมีคุณสมบัติเกี่ยวกับช่วงความถี่ (Frequency range) ที่ต้องผลิตและเรโซลูชั่นระหว่างขั้นแล้ว คุณสมบัติอื่นๆ ของวงจรสังเคราะห์ความถี่ก็มีความสำคัญสำหรับเครื่องรับส่งวิทยุอีกด้วย ดังจะอธิบายต่อไปนี้

โดยปกติวงจรสังเคราะห์ความถี่จะสามารถกำเนิดสัญญาณเพียงสัญญาณเดียว แต่เลือกความถี่ได้หลายค่า (ในช่วงความถี่ใช้งาน) และมีความละเอียดของความถี่ขึ้นอยู่กับเรโซลูชั่น ในกรณีที่เปลี่ยนความถี่จากค่าหนึ่งไปยังอีกค่าหนึ่ง วงจรสังเคราะห์ความถี่จะเปลี่ยนตามได้เร็วทันที กล่าวอีกอย่างหนึ่งคือล็อกความถี่ได้ในเวลาอันรวดเร็ว นั่นคือ ช่วงล็อกเวลา (Lock-up time) สั้น คุณสมบัติการล็อกความถี่ใหม่ได้รวดเร็วนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับเครื่องรับส่งวิทยุ โดยเฉพาะในระหว่างการเปลี่ยนจากสภาวะส่ง(รับ) มาเป็นสภาวะรับ(ส่ง) หรือในกรณีสแกนความถี่

วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ดีจะต้องผลิตสัญญาณความถี่เดียว โดยปราศจากความถี่แปลกปลอมต่าง ๆ คุณสมบัตินี้เรียกว่า ความบริสุทธิ์ของสเปกตรัม (Spectrum purity) นั่นคือความถี่ฮาร์มอนิกและสปิวเรียสต่างๆ จะต้องถูกกำจัดให้เหลือน้อยที่สุด นอกจากนี้นอยส์จากวงจรออสซิลเลเตอร์ จะทำให้วงจรสังเคราะห์ความถี่มีความถี่ไม่บริสุทธิ์ ไม่ใช่เพียงความถี่เดียว (ดูรูปที่ 2.13) ในช่วงเวลาใกล้เคียงกับความถี่ต้องการ นอยส์ดังกล่าวเรียกว่า เฟสนอยส์ (Phase noise)

ความเที่ยงตรง (Accuracy) และเสถียรภาพ (Stability) ทางความถี่ของวงจรสังเคราะห์ความถี่ขึ้นอยู่กับสัญญาณอ้างอิง โดยทั่วไปสัญญาณอ้างอิงมักจะเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ชนิดใช้แร่บังคับความถี่ ฉะนั้นวงจรสังเคราะห์ความถี่จะมีเสถียรภาพและความเที่ยงตรงตามความถี่เทียบกับคริสตอลออสซิลเลเตอร์



(ก) เอาต์พุตที่มีเฟสนอยส์ (ข) เอาต์พุตที่บริสุทธิ์

รูปที่ 2.13 เฟสนอยส์ ปรากฏเป็นความถี่แปลกปลอมในบริเวณใกล้ๆ กับความถี่เอาต์พุต

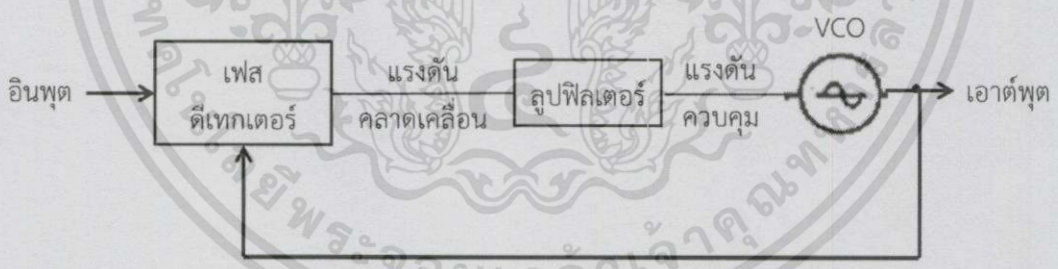
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ใช้กับเครื่องรับส่งวิทยุในย่านความถี่ HF (3 ถึง 30 MHz) ค่อนข้างมีความซับซ้อน เพราะการใช้งานย่านความถี่นี้ ต้องการเรโซลูชั่นละเอียดถึง 1000 Hz เป็นอย่างน้อย บางเครื่องทำได้ละเอียดถึง 10 Hz นอกจากนี้ช่วงความถี่ 3 ถึง 30 MHz ค่อนข้างกว้างมาก วงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ครอบคลุมช่วงความถี่กว้างๆ และมีเรโซลูชั่นละเอียดอย่างนี้ จะต้องออกแบบเป็นพิเศษให้มีคุณสมบัตินอยส์ที่ดี และช่วงเวลาล็อกสั้นรวดเร็ว โดยทั่วไปอัตราส่วนความถี่สูงสุดและต่ำสุดระหว่างช่วงความถี่ใช้งานจะมีค่าไม่เกิน 2 เท่า ในกรณีที่อัตราส่วนเกิน 2 เท่ารับต้องใช้วงจร VCO หลายชุดแล้วมีสวิตช์เลือกเพื่อป้องกันการล็อกความถี่ฮาร์มอนิก และเพื่อให้ได้คุณสมบัตินอยส์ที่ดีสำหรับช่วงเวลาล็อกอันรวดเร็วนั้น ทำได้โดยใช้ลูปซ้อนกันหลายลูป (Multiple Loop)

2.9 เฟสล็อกลูป

เฟสล็อกลูปเป็นระบบป้อนกลับที่บังคับให้วงจรออสซิลเลเตอร์มีความถี่หรือเฟสเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่หรือเฟสของสัญญาณอ้างอิงภายนอก เฟสล็อกลูปประกอบด้วยภาคสำคัญ 3 ภาค หรือ ภาคเทียบเฟสหรือเฟสดีเทกเตอร์ (Phase Detector) ภาคลูปฟิลเตอร์ (Loop Filter) และภาค VCO ดูรูปที่ 2.14 ในที่นี้สมมติว่าต่อเอาต์พุตจากวงจร VCO

สมมติว่ามีสัญญาณความถี่อ้างอิงภายนอกเป็นสัญญาณรายคาบ (Periodic) เข้ามาที่อินพุต ภาคเทียบเฟสทำหน้าที่เปรียบเทียบเฟสระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณจาก VCO เอาต์พุตที่ได้จากภาคเฟสดีเทกเตอร์จะเป็นแรงดันที่มีแอมพลิจูดเป็นสัดส่วนกับผลต่างในเฟสของสัญญาณทั้งสองที่ทำการเปรียบเทียบ แรงดันผลต่างนี้ป้อนไปให้วงจรลูปฟิลเตอร์ซึ่งเป็นฟิลเตอร์ชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านกรองเอาแต่เฉพาะความถี่ต่างๆ ที่ต้องการ เพื่อส่งไปควบคุมการออสซิลเลตของ VCO ต่อไป



รูปที่ 2.14 แผนผังของเฟสล็อกลูป

เมื่อลูปอยู่ในภาวะล็อก (Lock) ความถี่ของ VCO จะเท่ากับความถี่ของสัญญาณอินพุตพอดี อาจจะมีเฟสแตกต่างไป แต่ค่าเฟสที่แตกต่างนั้นจะมีค่าคงที่ (Constant Phase Differnce) ในกรณีที่มีเฟสไม่ตรงกันภาคดีเทกเตอร์จะจ่ายแรงดันคลาดเคลื่อน (Error voltage) ไปควบคุมการทำงานของ VCO เพื่อมิให้เฟสคลาดเคลื่อนจนกว่าจะเข้าสู่สภาะล็อก เอาต์พุตของ VCO จึงมีแอมพลิจูดคงที่เสมอ แต่ความถี่จะเปลี่ยนแปงตามความถี่ของสัญญาณอินพุต

สามารถนำเฟสล็อกลูปไปใช้สังเคราะห์ (หรือผลิต) ความถี่ที่มีความเที่ยงตรงและเสถียรภาพเทียบเท่ากับสัญญาณอ้างอิงได้ วงจรนี้เรียกว่า วงจรสังเคราะห์ความถี่ ระบบสังเคราะห์ความถี่จะช่วยให้สามารถสังเคราะห์สัญญาณเอาต์พุต (จาก VCO) ให้มีความถี่ตามต้องการได้หลายความถี่ โดยมีความเที่ยงตรงและเสถียรภาพสูงเทียบเท่าคริสตอลออสซิลเลเตอร์

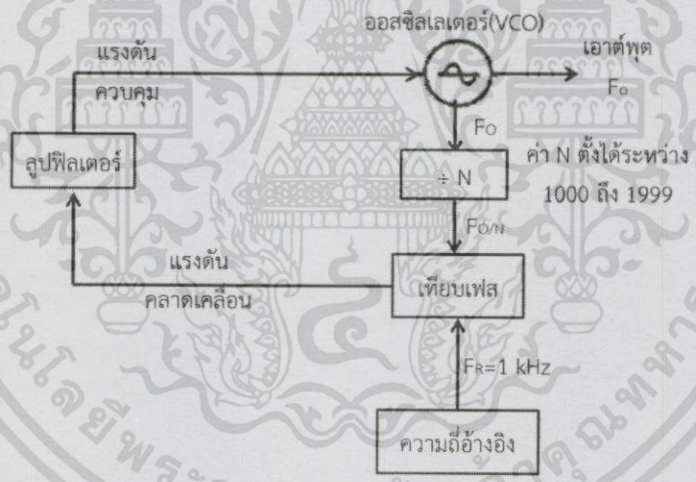
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจริงเฟสล็อกลูปยังมีประโยชน์อื่นๆ อีก เช่น ในการดีมอดสัญญาณ FM (หรือ PM) เนื่องจากเอาต์พุตของเฟสดีเทกเตอร์มีค่าสัมพันธ์กับการเปลี่ยนเฟสของคลื่นพาหะ

การใช้เฟสล็อกลูปในการสังเคราะห์ความถี่

ไม่ว่าระบบสังเคราะห์ความถี่จะมีความซับซ้อนเพียงใด เมื่อพิจารณาลึกลงไปแล้วจะพบว่ามีเฟสล็อกลูปเป็นหัวใจในการสังเคราะห์เสมอ รูปที่ 2.15 เป็นตัวอย่างของระบบสังเคราะห์ความถี่อย่างง่ายประกอบด้วย 5 ภาค คือภาค VCO เป็นออสซิลเลเตอร์กำเนิดสัญญาณเอาต์พุตของระบบสังเคราะห์ความถี่ภาคหาร N ทำหน้าที่หารความถี่แบบตั้งโปรแกรมให้หารด้วยค่าตัวเลขตามต้องการได้ (Programmable Divider) ภาคกำเนิดความถี่อ้างอิง คริสตอลออสซิลเลเตอร์หรือสัญญาณอื่นๆ (Reference Generator) ภาคเทียบเฟสและลูปฟิลเตอร์ซึ่งทำหน้าที่กรองเอาเฉพาะความถี่ต่ำไปใช้

แผงผังในรูปที่ 2.15 จะเห็นว่า สัญญาณอินพุตของภาคเทียบเฟสมาจาก 2 แหล่ง คือ จาก VCO มีความถี่เท่ากับ $F_{0/N}$ จากสัญญาณอ้างอิงมีความถี่เท่ากับ F_R เอาต์พุตจากการเปรียบเทียบก็คือผลต่างระหว่างสัญญาณ $F_{0/N}$ กับ F_R ซึ่งจะกรองแต่ความถี่ต่ำเท่านั้น เพื่อบังคับการออสซิลเลเตอร์ของวงจร VCO ให้ทำการปรับแก้ความถี่ (หรือเฟส) ให้ตรง จนกว่าความถี่ของสัญญาณทั้งสองจะเท่ากัน



รูปที่ 2.15 แผนผังของหน่วยสังเคราะห์ความถี่

ในสภาวะล็อก (Lock) ความถี่ของ VCO เมื่อผ่านวงจรหาร N จะเท่ากับความถี่อ้างอิง นั่นคือ

$$F_0 = NF_R \qquad (2.13)$$

(คำนวณ จาก $F_{0/N} = F_0$ ที่วงจรเทียบเฟส)

กล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เอาต์พุตจะมีความถี่เป็น N เท่าของความถี่อ้างอิง สมมติ F_0 = 1 kHz N = 1000 จะได้ว่า F_0 = 1 MHz ถ้า N เพิ่มที่ละ 1 เป็น 1001, 1002, 1003, ... ค่า F_0 จะเพิ่มทีละ 1 kHz ไปเรื่อยๆ เป็น 1.001, 1.002, 1.003, ... MHz ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอให้สังเกตว่า เฟสล็อกลูปดังกล่าว สามารถผลิตความถี่ได้แต่เฉพาะในช่วงความถี่ที่วงจร VCO และวงจรหาร N สามารถทำงานได้เท่านั้น และตัวเลขในการหาร (คือ N) ย่อมเป็นเลขจำนวนเต็มเสมอ

2.10 ลูปฟิลเตอร์ (Loop Filter)

ลูปฟิลเตอร์เป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งในระบบเฟสล็อกลูป หน้าที่ของวงจรนี้ได้แก่ การควบคุมการล็อก แคปเจอร์ แบนด์วิดท์ และการตอบสนองค่าทรานเซี้ยนของลูป สำหรับลูปฟิลเตอร์ในที่นี้คือวงจรชนิดโลพาสธรรมดา ทำหน้าที่กรองเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ต่ำมาควบคุมความถี่ของ VCO ลูปฟิลเตอร์เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงก่อนเข้าสู่สภาวะล็อกที่เรียกว่าคุณสมบัติชั่วครู่ (Transient) ถ้าเลือกอัตราการขยายลูป (Loop Gain) และค่าคงตัวของลูป (Loop Time Constant) ไม่เหมาะสม ความถี่ของเฟสล็อกลูปจะไม่ล็อกและจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

ดังนั้น ค่าคงตัวเวลาของลูปฟิลเตอร์จะต้องไม่มากเกินไป เพื่อว่าทุกครั้งที่เปลี่ยนความถี่เฟสล็อกลูปจะล็อกได้เร็ว โดยไม่มีการสะบัด (Over Shoot) หรือใช้เวลาเปลี่ยนความถี่อย่างรวดเร็ว แต่ค่าคงตัวเวลาก็ไม่ควรน้อยเกินไปจนกระทั่งความถี่สั่นหรือไม่สั่ง

หน้าที่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในเฟสล็อกลูป มีหน้าที่ใหญ่ๆ อยู่ 2 ประการ คือ

1. ลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นความถี่สูงที่ออกจากวงจรเปรียบเทียบเฟส (Phase Comparator) โดยการใช้คุณสมบัติการจำกัดสัญญาณรบกวนและเป็นตัวทำให้เกิดค่าแรงดันเฉลี่ย (Average DC Voltage เพื่อนำไปควบคุมวงจร VCO)
2. ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเฟสล็อกลูป ซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้
   - 2.1 แคปเจอร์และล็อกเรนจ์
   - 2.2 แบนด์วิดท์
   - 2.3 การตอบสนองต่อทรานเซี้ยน

เนื่องจากวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลดค่าแรงดันคลาดเคลื่อนของความถี่ระหว่างลูปแล้วยังเป็นตัวควบการแคปเจอร์โดยตรงและคุณสมบัติต่อผลตอบสนองชั่วขณะของเฟสล็อกลูป

การลดช่วงกว้างของฟิลเตอร์ จะส่งผลไปยังการทำงานของระบบคือ

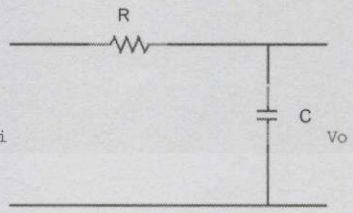
1. ขบวนการแคปเจอร์จะช้าลงและฟูลอินไทม์ (Full in Time) เพิ่มขึ้น
2. ช่วงแคปเจอร์จะลดลง
3. คุณสมบัติทางอินเตอร์เฟอเรนซ์ (Interference Rejection) ของเฟสล็อกลูปจะดีขึ้น เพราะค่าแรงดันคลาดเคลื่อนเนื่องจากความถี่ของสัญญาณรบกวนจะถูกลดลงไป
4. ผลตอบสนองชั่วขณะของเฟสล็อกลูปต่อการเปลี่ยนทันทีของสัญญาณเข้าสู่ช่วงความถี่ แคปเจอร์จะอยู่ในลักษณะภายใต้การแดมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (LPF)

ในระบบเฟสล็อกลูปจะมีวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นส่วนประกอบอยู่เสมอ จะกล่าวถึงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่นิยมใช้กันมีอยู่ 3 แบบดังนี้

2.10.1.1 วงจรกรองความถี่ต่ำอันดับ 1 แบบ R-C



รูปที่ 2.16 แสดงกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 1 โดยใช้ R-C

รูปที่ 2.16 โดยทั่วไปจะต่ออยู่ระหว่างเฟสดีเทคเตอร์กับ VCO ค่าจองความถี่คัทออฟ (Cutoff Frequency W_{LPF} สามารถหาได้จากสมการ)

$$W_{LPF} = 1/RC \qquad \text{Rad /Sec} \qquad (2.14)$$

ค่าความถี่ธรรมชาติของลูป (Loop Natural Frequency, W_n) สามารถหาได้จากความถี่คัทออฟของวงจรกรองความถี่โดยสมการ

$$W_n = (Kd * Kv * W_{LPF})^{1/2} \qquad (2.15)$$

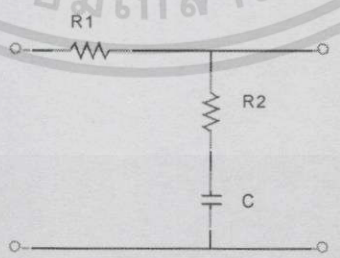
เมื่อ Kd คอนเวอร์ชันเกน (Convertion Gain) ของเฟสดีเทคเตอร์ หน่วย (V/s)

Kv คอนเวอร์ชันเกนของ VCO หน่วย (Rad/V/Sec)

สามารถหาค่าแดมปิ้งแฟคเตอร์จากสมการ

$$\zeta = N * Wn / (2Kd * Kv) \qquad (2.16)$$

2.10.1.2 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ แลก-ลีด (Lag-Lead Circuit) ดังแสดงในรูป 2.17



รูปที่ 2.17 วงจร แลก-ลีด อันดับหนึ่ง

ค่าความถี่คัทออฟสำหรับวงจรกรองความถี่ชนิดนี้หาได้จากสมการ

$$W_{LPF} = 1/(R1 + R2)C \qquad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

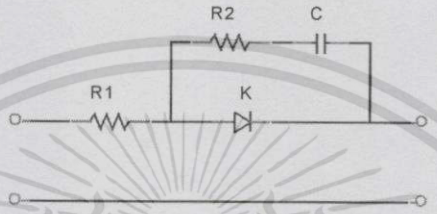
และความถี่ธรรมชาติหาได้จากสมการ

$$W_n = (Kd * Kv/[N * C * (R1 + R2)])^{1/2} \quad (2.18)$$

และแดมปิ้งแฟคเตอร์หาได้จากสมการ

$$\zeta = 0.5W_n\,(R2 * C + N) \,/\, (Kd * Kv) \quad (2.19)$$

2.10.1.3 วงจรพาสซีฟแบบ แลก–ลีด สามารถนำมาสร้างเป็นวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์



รูปที่ 2.18 วงจรแอคทีฟฟิลเตอร์

ความถี่คัทออฟหาได้จากสมการ

$$W_{LPF} = 1/R1 * C \quad \text{(Rad/Sec)} \quad (2.20)$$

ค่าของลูปความถี่ธรรมชาติ

$$W_n = [(Kd * Kv)/(N * C * R1)]^{1/2} \quad (2.21)$$

แดมปิ้งแฟคเตอร์ หาจากสมการ

$$\zeta = (W_n * R2 * C) \,/\, 2 \quad (2.22)$$

2.10.2 ข้อพิจารณาในการออกแบบลูปฟิลเตอร์

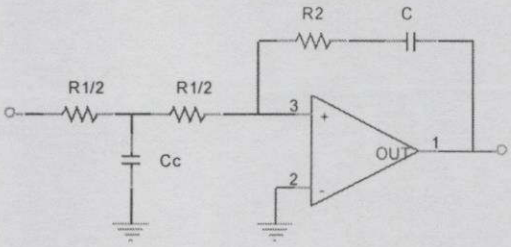
1. เนื่องจากตัวฟิลเตอร์และอินทิเกรเตอร์ที่ใช้ออปแอมป์ มีฟังก์ชั่นเป็นอินเวอร์ติ้ง ดังนั้น จำเป็นต้องดัดแปลงแก้ไขการกลับเฟสนี้ก่อน เพื่อให้ค่าแรงดันคลาดเคลื่อน (Error Voltage) จากออสซิลเลเตอร์ สามารถควบคุม VCO ได้ถูกทิศทางกับความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้ง่ายที่สุด โดยการสลับอินพุต Fr และ Fv ที่เฟสดีเทคเตอร์

2. กรณีเฟสดีเทคเตอร์มีเอาต์พุตเป็นดับเบิ้ลแอนด์ $Kd = Vdd/2$

3. วงจรแอคทีฟฟิลเตอร์อาจจะเกิดการอิ่มตัว ถ้าลูปเกิดการผิดพลาดเชิงเฟสที่เฟสดีแทคเตอร์มีขนาดใหญ่พร้อมๆ กับเกิดทรานเซี้ยนโอเวอร์ชูตขึ้นในลูป กรณีนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะกับลูปที่ใช้เฟสดีเทคเตอร์เป็นชนิดดิจิตอล เนื่องจากเอาต์พุตของเฟสดีเทคเตอร์เปลี่ยนแปลงเป็น 0 หรือ 1 ในทันทีทันใดนอกจากนี้ความถี่อินพุตของฟิลเตอร์มักจะมีค่ามาก ดังนั้นถ้าอัตราส่วนของ R1/R2 มากกว่า 10 ความถี่นี้จะถูกขยายด้วยอัตราส่วนของ R1/R2 ถ้าสามารถทำได้ควรให้อัตราส่วนนี้มีค่าน้อยที่สุด

วิธีแก้ไขการอิ่มตัวของออปแอมป์ทำได้โดยการเพิ่มกรองความถี่ต่ำผ่านก่อนวงจรอินทิเกรเตอร์ ดังรูปที่ 2.19

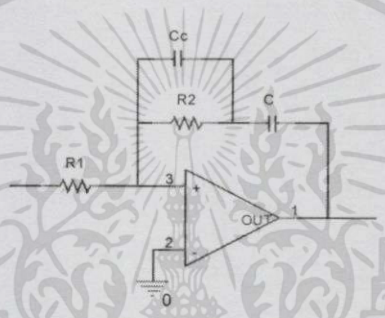
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 วิธีแก้ Transient ด้วย R1-Cc

เมื่อ RS<R1/R2:Rs คือ เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของเฟสดีเทคเตอร์

$$Wc = 4/R1 * Cc \qquad (2.23)$$

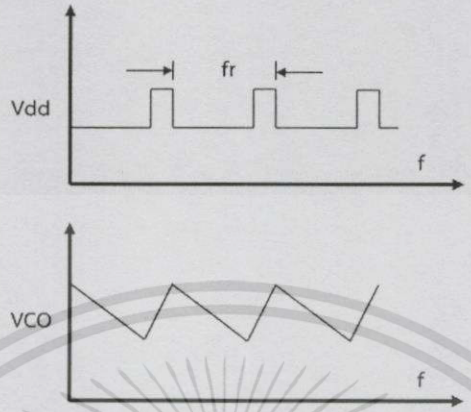


รูปที่ 2.20 วิธีแก้ Transient ด้วย R2-Cc เมื่อ $Wc = 1/R2 * Cc$

จากรูป 2.19 สามารถคำนวณความถี่คัทออฟได้จาก $4/R1 * Cc$ ถ้าเฟสดีเทคเตอร์เป็นดิจิตอลเนื่องจากมีความต้านทานเอาต์พุตต่ำ ความถี่คัทออฟของวงจรที่เพิ่มขึ้น ถ้าเป็นไปได้ความจะมีมากกว่าความถี่ธรรมชาติ 5 ถึง 10 เท่า เนื่องจากโพลที่เกิดจากวงจรที่เพิ่มขึ้น ถ้าอยู่ใกล้ความถี่ธรรมชาติ จะทำให้ลูปเกิดโอเวอร์ชู๊ตมากขึ้น และผลพลอยได้ของฟิลเตอร์ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความถี่อ้างอิง (Wc) ถูกลดทอนลงด้วยแรงดันที่ไปควบคุม VCO ควรเป็นแรงดันดีซีอย่างเดียว ส่วนประกอบของแรงดันที่ไม่ใช่ ดีซีจะทำให้เอาต์พุตของ VCO มีการมอดูเลตด้วยแรงดันที่ไม่ใช่ดีซี สำหรับแรงดันที่มาควบคุม VCO ส่วนประกอบที่ไม่ใช่ส่วนใหญ่จะมาจากความถี่อ้างอิงและนอยส์ต่างๆ ในวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์จะเพิ่มสัญญาณรบกวนลงไปในแรงดันดีซีด้วย ดังนั้นวงจรขยายที่ใช้ฟิลเตอร์ควรมีสมบัติในเรื่อง สัญญาณรบกวนที่สร้างขึ้นภายในตัวเอง ทางที่ดีควรใช้ชนิดที่มีสัญญาณรบกวนต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ และกระแสไบอัสอินพุตก็ควรน้อยที่สุด เนื่องจากถ้าวงจรดึงกระแสจำนวนหนึ่งจากเฟสดีเทคเตอร์ จะทำให้ความผิดพลาดเชิงเฟส เมื่ออยู่ในสภาวะสงบมีค่ามากกว่าศูนย์มาก กรณีที่ใช้ฟิลเตอร์แบบพาสซีฟฟิลเตอร์ ก็จะมีค่าผิดพลาดในสภาวะสงบ (Steady State Error) มากกว่าแอคทีฟฟิลเตอร์เพราะพาสซีฟฟิลเตอร์จะดึงกระแสโหลดมากกว่าแอคทีฟฟิลเตอร์ อย่างไรก็ตามพาสซีฟฟิลเตอร์ไม่เพิ่มนอยส์เข้าไปในลูปเหมือนแอคทีฟและ R1 ของวงจรพาสซีฟสามารถแบ่งออกเป็น R1/2 แล้วใช้ Cc เพิ่มได้เช่นเดียวกับวงจรในรูปที่ 2.20 และใช้วิธีการคำนวณความถี่คัทออฟแบบเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แรงดันที่ใช้ควบคุม VCO ควรมีส่วนประกอบที่ไม่ใช่เอซีน้อยที่สุด ส่วนประกอบที่ไม่ใช่ดีซีจะทำให้ความถี่เอาต์พุตของ VCO เกิดเอาต์พุตที่ไม่ต้องการ (Spurious Output) เป็นช่วงความถี่ด้านข้างของความถี่อ้างอิงควรถูกกำจัดไปให้มากที่สุด

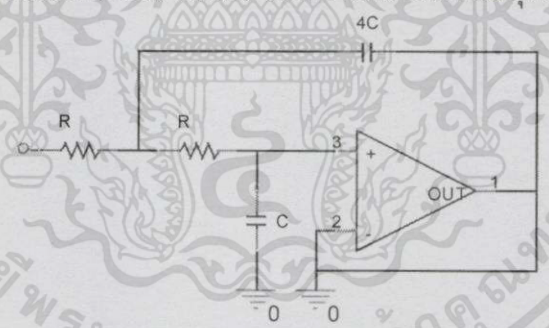


รูปที่ 2.21 แสดงรูปคลื่นเอาต์พุตของเฟสดีเทคเตอร์และอินทิเกรเตอร์

รูปคลื่นจากรูปที่ 2.21 ทำให้เกิดช่วงความถี่ด้านข้างที่สัมพันธ์กับแคเรียร์ (Carrier) ของ VCO ที่สามารถคาดคะเนโดยประมาณได้จาก

$$(Sideband/Carrier) = (V * Kr)/(2 * Wr) \quad (2.24)$$

เมื่อ V คือค่าแรงดันยอด (Peak Value) ของความถี่อ้างอิงที่อินพุตของ VCO



รูปที่ 2.22 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 2 โดยใช้ออปแอมป์

$$Wc = 0.636/RC \quad (2.25)$$

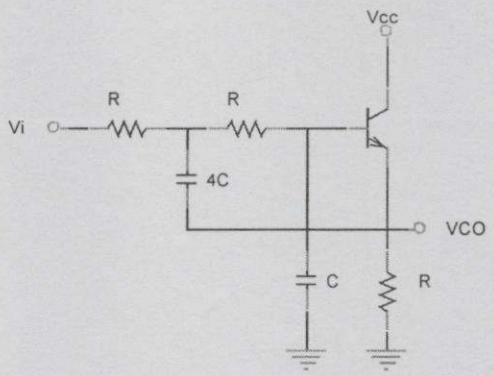
ให้เลือกค่า R

$$1K \leq R < 1M$$

ให้เลือกค่า C

$$C = 0.5 / (Wc * R) \quad (2.26)$$

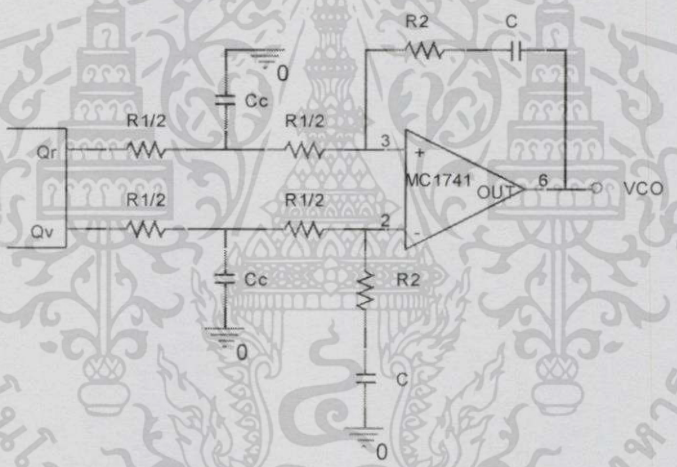
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 วงจร LPF อันดับ 2

โดยใช้ทรานซิสเตอร์ต่อแบบ (Emitter Follower) ถ้าเอาต์พุตมีค่าน้อยกว่า VCC อยู่ 0.1 โวลต์ วงจรจะมีความไวต่อสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่าย VCC

สำหรับในการใช้เฟสดีเทคเตอร์ที่เอาต์พุตของเฟสดีเทคเตอร์ สามารถต่อกับฟิลเตอร์แบบซัมมิ่งเนทเวอร์ค (Summing Network)



รูปที่ 2.24 วงจรฟิลเตอร์และซัมมิ่งเนทเวิร์ค

ความสามารถในการลดช่วงความถี่ด้านข้างโดยประมาณของวงจรในรูป คือ

$$dB = 40\,log(Wc/Wr) \qquad (2.27)$$

สำหรับพาสซีฟฟิลเตอร์คือ

$$dB = 20\,log(Wc/Wr) \qquad (2.28)$$

5. สำหรับเฟสดีเทคเตอร์ที่เป็นวงจรชนิด CMOS ขานอนอินเวอร์ติ้งของออปแอมป์ต้องไบอัสได้ที่ ½ (VDD) ส่วนเฟสดีเทคเตอร์ต้องดูจากคุณสมบัติของเฟสดีเทคเตอร์แต่ละเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 วงจรผลิตความถี่ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator - VCO)

คุณสมบัติหลักของ VCO ที่ใช้ในเฟสล็อกลูป พิจารณาได้ดังนี้

- การเบี่ยงเบนความถี่ (Frequency Deviation) จุดสูงสุดของเคปเจอร์เรนจ์จะเท่ากับแกนการขยายของลูปเปิด (Open Loop Gain)

- เสถียรภาพทางความถี่ (Frequency Stability) การมีเสถียรภาพทางความถี่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับวงจรสังเคราะห์ความถี่ ความไวของการมอดูเลต (Modulation Sensitivity) ควรจะมีค่าสูง

- การตอบสนอง (Response) VCO ควรมีการตอบสนองสัญญาณได้ดีและไม่ควรให้มีผลต่อคุณสมบัติทางด้านเสถียรภาพของลูป

- คุณสมบัติของความถี่และแรงดัน (Frequency Voltage Characteristic) VCO จะต้องมีอัตราส่วนของความถี่ต่อแรงดัน (F/V) ที่มีความเป็นเชิงเส้น (Linear)

- Spectral Purity ในการประยุกต์ใช้งาน เช่น การสังเคราะห์ความถี่แบบอนาล็อก วงจรผลิตความถี่ควบคุมโดยแรงดันจะมีสัญญาณเอาต์พุตที่บริสุทธิ์คือ ถ้าเป็นคลื่นรูปไซน์ควรจะเป็นคลื่นคงที่สม่ำเสมอ

ในการออกแบบเฟสล็อกลูปออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมด้วยแรงดันมักจะเป็นส่วนที่จะต้องพิจารณามากที่สุด เพราะว่ามีลักษณะพิเศษของระบบอย่างเช่นเสถียรภาพของระบบและเสถียรภาพของความถี่รวมทั้งการดีมอดูเลตคลื่นเอฟเอ็มตามปกติแล้วจะขึ้นอยู่กับ VCC เพื่อให้เกิดความคล่องตัวมากที่สุด VCO จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแรงดันเป็นความถี่เชิงเส้น
- เสถียรภาพของความถี่ที่ดี
- สามารถใช้กับความถี่สูงได้
- อัตราการขยายสูง
- พิสัยการติดตามกว้าง
- การตั้งความถี่กระทำได้ง่าย

2.12 วงจรขยาย

การจัดแบ่งชนิดของเครื่องขยายขึ้นอยู่กับการเลือกจุดทำงานของวงจรขยายนั้นๆ โดยแบ่งออกเป็นชนิดหรือคลาสได้เป็น คลาส–เอ (Class A) คลาส-บี (Class-B) คลาส-เอบี (class-AB) และคลาส–ซี (Class C) ซึ่งพออธิบายชนิดของวงจรได้ดังนี้

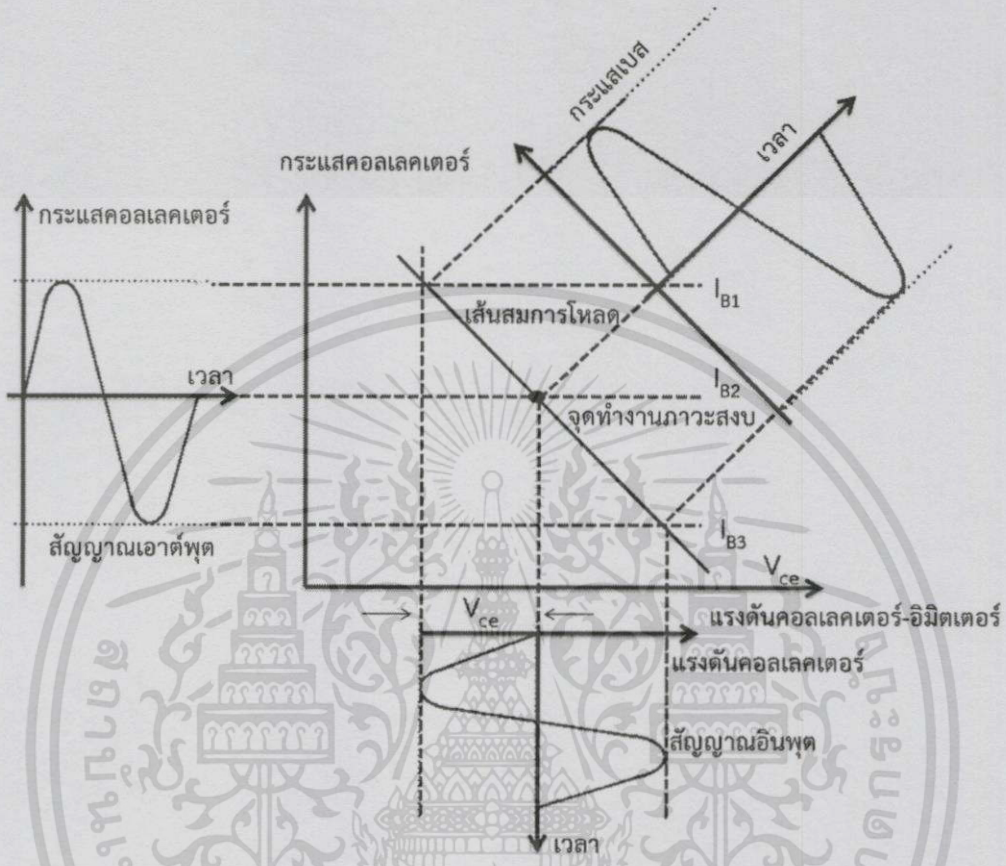
2.12.1 วงจรขยายคลาส–เอ

วงจรขยายชนิดนี้จะมีจุดทำงานอยู่ ในช่วงที่เรียกว่าแอกตีฟ (Active) หรือช่วงการทำงานของทรานซิสเตอร์ จะเป็นเชิงเส้นคืออยู่สูงกว่าจุดคัทออฟดังรูปที่ 2.25 โดยอยู่ในช่วงที่ทำให้เกิดมีกระแสคอลเลคเตอร์ไหลในวงจรตลอดเวลา ถึงแม้ว่าจะไม่มีสัญญาณเข้ามาทางอินพุตก็ตาม

จากรูปที่ 2.25 แสดงจุดทำงานของทรานซิสเตอร์ ซึ่งอยู่ในบริเวณช่วงที่เป็นเชิงเส้น และอยู่เลยจุดคัทออฟ C จะเห็นว่าไม่มีการเพี้ยนจากสัญญาณเดิม i_B ทางอินพุต วงจรคลาส–เอ จึงเป็นที่นิยมใช้กับวงจรขยายโดยทั่วไปโดยเฉพาะวงจรขยายภาคปรีแอมปลิไฟเออร์ ซึ่งต้องการเสียงเพี้ยนให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่วงจรขยายคลาส–เอ มีข้อเสียที่มีประสิทธิภาพทางด้านกำลังงานขยายไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีเท่าที่ควรคือให้ประสิทธิภาพต่ำประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเป็นชนิดเชื่อมต่อโดยตรงกับโหลด เพราะจะมีกำลังงานสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟตรง I_s ไหลอยู่ตลอดเวลาแม้ว่าจะยังไม่มีสัญญาณอินพุตเข้ามาก็ตาม

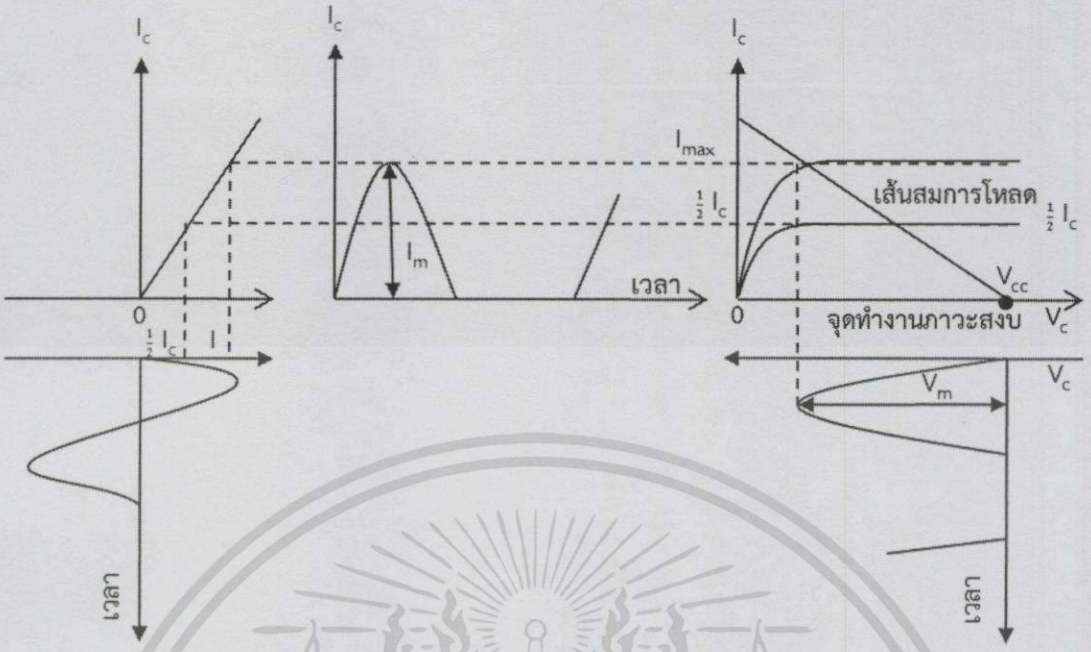


รูปที่ 2.25 การทำงานของวงจรขยายคลาส–เอ

2.12.2 วงจรขยายคลาส–บี

วงจรขยายคลาส–บี เหมาะที่จะใช้สำหรับขยายสัญญาณที่กำลังสูงๆ เพราะประสิทธิภาพของการขยายแบบคลาส–บี ดีกว่าแบบคลาส–เอ มาก เนื่องจากในวงจรขยายคลาส–เอ จะมีกระแสคอลเลคเตอร์ไหลอยู่ตลอดเวลาถึงแม้จะไม่มีสัญญาณอินพุตก็ตาม แต่สำหรับวงจรขยายคลาส–บี จะเป็นการไบอัสวงจรที่จุดคัทออฟ หรือไบอัสที่จุดที่ทำให้กระแสคอลเลคเตอร์เกือบมีค่าเป็นศูนย์ คือ ตำแหน่งจุด C ดังแสดงในรูปที่ 2.26 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อไม่มีสัญญาณอินพุตเข้ามาหรือกรณีที่สัญญาณอินพุตมีค่าเป็นลบ จะไม่มีกระแสคอลเลคเตอร์ในวงจร แต่อาจจะแปลกใจว่าวงจรขยายคลาส–บี จะไม่ทำให้สัญญาณเพี้ยนไปมากหรือ เพราะเนื่องจากสามารถขยายสัญญาณได้เพียงครึ่งบวกหรือครึ่งลบเท่านั้น สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยใช้วงจรทรานซิสเตอร์สองตัวขยายสัญญาณตัวละครึ่งรูปทางบวกตัวหนึ่งและทางลบตัวหนึ่ง สัญญาณรวมของวงจรจะเป็นสัญญาณเหมือนอินพุต ตัวอย่างวงจรที่ต่อแบบนี้ เช่น วงจรขยายพุช–พูล (Push Pull Amplifier) วงจรพลีเมนทารี่ เป็นต้น

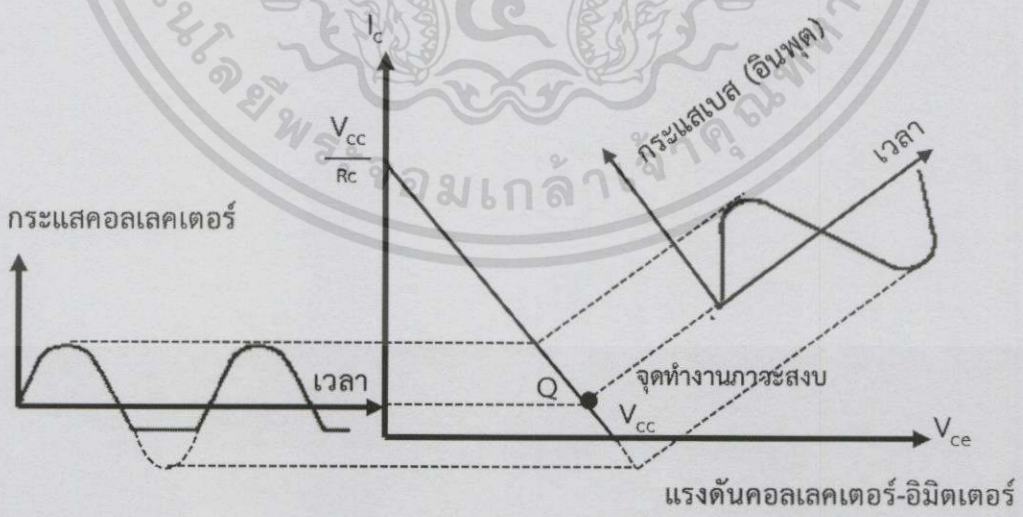
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 แสดงการทำงานของวงจรขยายคลาส–บี

2.12.3 วงจรขยายคลาส–เอบี

วงจรขยายนี้จะมีการไบอัสแรงดันเพื่อให้จุดทำงานของทรานซิสเตอร์อยู่สูงกว่าจุดคัทออฟเล็กน้อยกระแสคอลเลคเตอร์ไหลในวงจรเพียงเล็กน้อยในขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุต i_b เข้ามา วงจรขยายสัญญาณคลาส–เอบี นี้นิยมใช้กันมากในการขยายเสียงแบบเครื่องขยายเสียงในภาคกำลัง โดยการต่อวงจรพุชพูล (Push Pull) เช่นเดียวกับวงจรขยายคลาส–บี

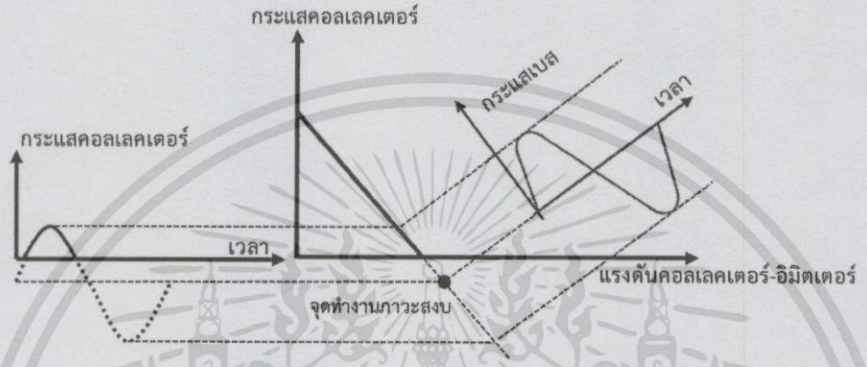


รูปที่ 2.27 แสดงการทำงานของวงจรขยายคลาส-เอบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.4 วงจรยายคลาส–ซี

วงจรชนิดนี้แปลกกว่าทุกชนิดที่กล่าวมาแล้วคือ วงจรจะได้รับการไบอัสให้จุดทำงานของทรานซิสเตอร์ต่ำกว่าจุดคัทออฟ หรือไม่มีกระแสในวงจรในขณะที่ไม่มีสัญญาณเข้ามาทางด้านอินพุต (i_b) โดยทั่วไปวงจรขยายจะให้ประสิทธิภาพการทำงาน (ทางด้านกำลังงาน) สูงสุด แต่ไม่เหมาะที่จะนำมาทำเป็นวงจรขยายเสียงเพราะจะทำให้เกิดการเพี้ยนอย่างมาก วงจรนี้เหมาะที่จะใช้ในวงจรที่ใช้กับสัญญาณที่มีความถี่คงที่เช่น วงจรจำพวกกำเนิดสัญญาณความถี่สูง วงจรมอดูเลตสัญญาณวงจรเครื่องส่งในภาคกำลัง เป็นต้น การทำงานจะได้กระแสคอลเลคเตอร์ไหลเป็นพัลส์ดังแสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 การทำงานของวงจรขยายคลาส–ซี

2.13 มาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สาย (WLAN)

เพื่อให้ระบบเครือข่ายไร้สายสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ จึงต้องมีองค์ประกอบของมาตรฐานร่วมต่างๆ ในหลายประประเภท ในที่นี้ขอกล่าวถึงมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง 2 ส่วน ได้แก่ มาตรฐานการสื่อสาร และมาตรฐานของอุปกรณ์ที่ใช้ทั่วไป

2.13.1 มาตรฐานของการสื่อสารเครือข่ายไร้สาย (Wireless Standard)

คือ มาตรฐานการส่งผ่านข้อมูลแบบไร้สาย โดย Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) เป็นสถาบันที่กำหนดมาตรฐานการทำงานของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สายที่ใช้สัญญาณคลื่นย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz ในระดับสากล อันได้แก่ มาตรฐาน IEEE802.11a, b และ g ตามลำดับ ซึ่งแต่ละมาตรฐานมีความเร็ว และคลื่นความถี่สัญญาณที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มหลักๆ ดังนี้

2.13.1.1 มาตรฐาน IEEE802.11b

เป็นมาตรฐานที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั้งต่างประเทศ และในประเทศไทย เป็นมาตรฐาน WLAN ที่ทำงานที่คลื่นความถี่ 2.4 GHz (คลื่นความถี่นี้สามารถใช้งานในประเทศไทยได้) มีความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลที่ความเร็ว 11 Mbps และมีผลิตภัณฑ์บางรุ่นระบุว่าเป็น IEEE802.11b+ ที่เข้าถึงข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุด 22 Mbps อยู่ด้วย

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย ภายใต้มาตรฐานนี้ถูกผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก และที่สำคัญแต่ละผลิตภัณฑ์มีความสามารถทำงานร่วมกันได้ อุปกรณ์ของผู้ผลิตทุกยี่ห้อ ต้องผ่านการตรวจสอบจากสถาบัน Wi-Fi Alliance เพื่อตรวจสอบมาตรฐานของอุปกรณ์และความเข้ากันได้ของแต่ละผู้ผลิต ปัจจุบันนี้นิยมนำอุปกรณ์ WLAN ที่มาตรฐาน 802.11b ไปใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์กรธุรกิจสถาบันการศึกษา สถานที่สาธารณะ และกำลังแพร่เข้าสู่สถานที่พักอาศัยมากขึ้น มาตรฐานนี้มีระบบเข้ารหัสข้อมูลแบบ WEP ที่ 128 บิต

2.13.1.2 มาตรฐาน IEEE802.11g

เป็นมาตรฐานใหม่ที่เริ่มใช้แพร่หลายมากขึ้นที่ย่านความถี่ 2.4 GHz โดยสามารถรับส่งข้อมูลที่ความเร็ว 36 Mbps ถึง 54 Mbps ซึ่งเป็นความเร็วที่สูงกว่ามาตรฐาน 802.11b ซึ่ง 802.11g สามารถปรับระดับความเร็วในการสื่อสารลงเหลือ 2 Mbps ได้ มาตรฐานนี้เป็นที่ยอมรับจากผู้ใช้เป็นจำนวนมาก และกำลังจะเข้ามาแทนที่ 802.11b ในอนาคตอันใกล้

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นนี้มีบางผลิตภัณฑ์ใช้เทคโนโลยีเฉพาะตัวเข้ามาเสริมทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นจาก 54 Mbps เป็น 108 Mbps แต่ต้องทำงานร่วมกันเฉพาะอุปกรณ์ที่ผลิตจากบริษัทเดียวกันเท่านั้น ซึ่งความสามารถนี้เกิดจากชิป (Chip) กระจายสัญญาณของตัวอุปกรณ์ที่ผู้ผลิตบางราย สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณเป็น 2 เท่าของการรับส่งสัญญาณได้ แต่ปัญหาของการกระจายสัญญาณนี้จะมีผลทำให้อุปกรณ์ไร้สายในมาตรฐาน 802.11b มีประสิทธิภาพลดลงด้วยเช่นกัน

2.13.1.3 มาตรฐาน IEEE802.11a

เป็นมาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สายที่มีประสิทธิภาพสูง ทำงานที่ย่านความถี่ 5 GHz มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ 54 Mbps ซึ่งสามารถทำการแพร่ภาพและข่าวสารที่ต้องการความละเอียดสูงได้ อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลสามารถปรับระดับให้ช้าลงได้ เพื่อเพิ่มระยะทาง หรือการเชื่อมต่อให้มากขึ้น เช่น 54, 48, 36, 24 และ 11 Mbit เป็นต้น ปัจจุบันคลื่นความถี่ 5 GHz นี้ยังไม่ได้ใช้งานอย่างแพร่หลาย ดังนั้น ปัญหาการรบกวนคลื่นความถี่จึงมีน้อย ต่างจากคลื่นความถี่ 2.4 GHz ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายทำให้สัญญาณของคลื่นความถี่ 2.4 GHz ถูกรบกวนจากอุปกรณ์ประเภทอื่นที่ใช้คลื่นความถี่เดียวกันได้ ระยะทางการเชื่อมต่อประมาณ 300 ฟุตจากจุดกระจายสัญญาณ Access Point

หากเทียบมาตรฐาน IEEE802.11a กับ 802.11b แล้ว ระยะทางจะได้น้อยกว่า 802.11b ที่คลื่นความถี่ต่ำกว่า และทั้ง 2 มาตราฐานนี้ไม่สามารถทำงานร่วมกันได้ ขณะที่ประเทศไทยไม่อนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ 5 GHz จึงไม่เห็นอุปกรณ์ WLAN มาตรฐาน 802.11a จำหน่ายในประเทศไทย

2.13.2 มาตรฐานของอุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย (Wireless Equipment)

อุปกรณ์เครือข่ายที่ใช้เพื่อการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างคอมพิวเตอร์มีอยู่ 2 แบบหลัก คือ แบบภายใน (Built-in) กับแบบภายนอก ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 4 ชนิด ได้แก่

2.13.2.1 Access Point

เป็นอุปกรณ์กระจายสัญญาณไปยังอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณในเครือข่าย มีทั้งแบบ 1 เสาสัญญาณ หรือ 2 เสาสัญญาณ โดยที่ตัว A/P ทำหน้าที่เหมือนกับสวิตช์ (Switch) ในระบบเครือข่ายใช้สาย และบางรุ่นทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ให้กับระบบเครือข่ายใช้สายปกติ โดยมี Port RJ45 รวมอยู่ด้วย 4-8 Port หรืออาจเป็นเราท์เตอร์หรือ Print Server ได้ด้วย

2.13.2.2 PC Card (PCMCIA)

เป็นอุปกรณ์รับส่งสัญญาณที่ใช้ติดตั้งกับคอมพิวเตอร์พกพา เพื่อให้สามารถรับสัญญาณจาก A/P หรืออุปกรณ์ไร้สายอื่นๆ ซึ่งทำหน้าที่เหมือนกับ LAN Card แบบ PCMCIA ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.2.3 PCI Card

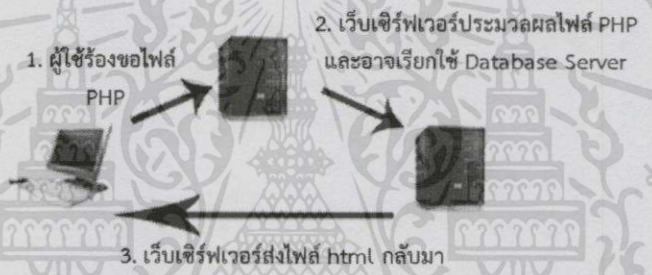
ใช้ติดตั้งลงบน CI-Slot บนเครื่องคอมพิวเตอร์ลักษณะเดียวกับ NIC-Card (LAN Card) แต่ส่งสัญญาณผ่านเสาอากาศที่ติดตั้งมาด้วยแทนการส่งสัญญาณผ่านสายทองแดง

2.13.2.4 USB

ใช้ติดตั้งกับพอร์ต USB ทำงานในลักษณะเดียวกับ NIC-Card (LAN Card) แต่ส่งสัญญาณผ่านเสาอากาศที่ติดตั้งมาด้วยแทนการส่งสัญญาณผ่านสายทองแดง

2.14 ทฤษฎีเกี่ยวกับ PHP (Personal Home Page Tool)

PHP ย่อมาจากคำว่า "Personal Home Page Tool" เป็น Server side script ที่มีการทำงานที่ฝั่งของเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ ซึ่งรูปแบบในการเขียนคำสั่งการทำงานนั้นจะมีลักษณะคล้ายกับภาษา Perl หรือภาษา C และสามารถที่จะใช้ร่วมกับภาษา HTML ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้การเขียนโปรแกรมบนเว็บไซต์ทำได้ง่ายยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.29 Server Side Script

จากรูปเป็นการทำงานของเว็บเพจที่ฝังสคริปต์ภาษา PHP ไว้ เมื่อเว็บบราวเซอร์ร้องขอไฟล์ PHP ไฟล์ใด เว็บเซิร์ฟเวอร์จะเรียก PHP Engine ขึ้นมาแปล และประมวลผลคำสั่งที่อยู่ในไฟล์ PHP นั้น โดยอาจมีการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล หรือเขียนข้อมูลลงไปยังฐานข้อมูลด้วย หลังจากนั้นผลลัพธ์ในรูปแบบ HTML (และสคริปต์ที่ทำงานทางฝั่งบราวเซอร์ เช่น Client-Side JavaScript) จะถูกส่งกลับไปยังบราวเซอร์ บราวเซอร์ก็จะแสดงผลตามคำสั่ง HTML ที่ได้รับมา ซึ่งย่อมไม่มีคำสั่ง PHP ใดๆ หลงเหลืออยู่ เนื่องจากถูกแปลและประมวลผลโดย PHP engine ที่ฝั่งเซิร์ฟเวอร์ไปหมดแล้ว ให้สังเกตว่าการทำงานของบราวเซอร์ ในกรณีนี้ไม่แตกต่างจากกรณีของเว็บเพจธรรมดา เพราะสิ่งที่บราวเซอร์ต้องกระทำก็คือการร้องขอไฟล์จากเว็บเซิร์ฟเวอร์ จากนั้นก็รอรับผลลัพธ์กลับมาแล้วแสดงผล ความแตกต่างจริงๆ อยู่ที่การทำงานทางฝั่งเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งกรณีหลังนี้ เว็บเพจ (ไฟล์ PHP) จะผ่านการประมวลผลก่อน แทนที่จะถูกส่งไปยังบราวเซอร์เลยทันที

การฝังสคริปต์ PHP ไว้ในเว็บเพจ ช่วยให้สร้างเว็บเพจแบบ Dynamic ได้ ซึ่งหมายถึงเว็บเพจที่มีเนื้อหาสาระหรือหน้าตาเปลี่ยนแปลงไปได้ในแต่ละครั้งที่ผู้ใช้เปิดดู โดยขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่างๆ เช่น ข้อมูลที่ผู้ใช้ส่งมาให้ (ผ่านมาทางฟอร์มของ HTML) ข้อมูลในฐานข้อมูล ฯลฯ

PHP เป็นภาษาจำพวก Scripting Language คำสั่งต่างๆ จะเก็บอยู่ในไฟล์ที่เรียกว่าสคริปต์ (Script) และเวลาใช้งานต้องอาศัยตัวแปลชุดคำสั่ง ตัวอย่างของภาษาสคริป เช่น JavaScript, Perl เป็นต้น ลักษณะของ PHP ที่แตกต่างจากภาษาสคริปต์แบบอื่นๆ คือ PHP ได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

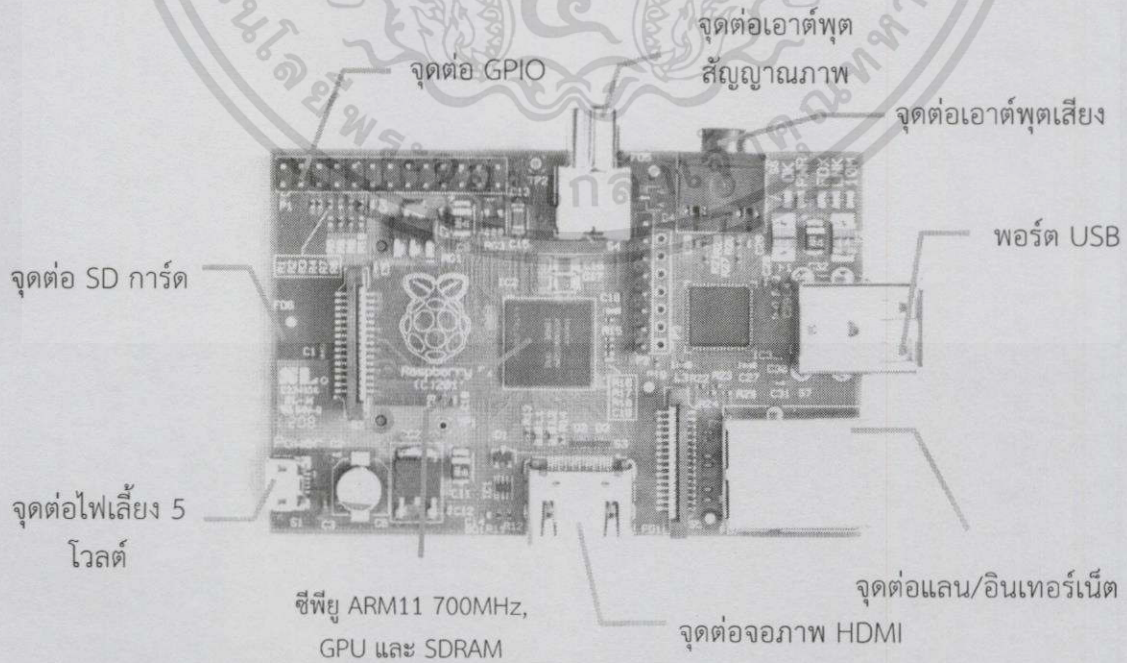
การพัฒนาและออกแบบมาเพื่อใช้งานในการสร้างเอกสารแบบ HTML โดยสามารถสอดแทรกหรือแก้ไขเนื้อหาได้โดยอัตโนมัติ ดังนั้นจึงกล่าวว่า PHP เป็นภาษาที่เรียกว่า Server-Side หรือ HTML-Embedded Scripting Language เป็นเครื่องมือที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ช่วยให้สามารถสร้างเอกสารแบบ Dynamic HTML ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีลูกเล่นมากขึ้น

เนื่องจากว่า PHP ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของตัว Web Server ดังนั้นถ้าจะใช้ PHP ก็จะต้องดูก่อนว่า Webserver นั้นสามารถใช้สคริปต์ PHP ได้หรือไม่ ตัวอย่างเช่น PHP สามารถใช้ได้กับ Apache Web Server และ Personal Web Server (PWP) สำหรับระบบปฏิบัติการ Windows 95/98/NT ในกรณีของ Apache สามารถใช้ PHP ได้สองรูปแบบคือ ในลักษณะของ CGI และ Apache Module ความแตกต่างอยู่ตรงที่ว่า ถ้าใช้ PHP เป็นแบบโมดูล PHP จะเป็นส่วนหนึ่งของ Apache หรือเป็นส่วนขยายในการทำงานนั่นเอง ซึ่งจะทำงานได้เร็วกว่าแบบที่เป็น CGI เพราะว่าถ้าเป็น CGI แล้ว ตัวแปลชุดคำสั่งของ PHP ถือว่าเป็นแค่โปรแกรมภายนอก ซึ่ง Apache จะต้องเรียกขึ้นมาทำงานทุกครั้งที่ต้องการใช้ PHP ดังนั้น ถ้ามองในเรื่องของประสิทธิภาพในการทำงาน การใช้ PHP แบบที่เป็นโมดูลหนึ่งของ Apache จะทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า

2.15 บอร์ด Raspberry Pi

Raspberry Pi เป็นบอรดไมโครคอมพิวเตอร 32 บิตขนาดเล็กแบบแผนเดี่ยวที่บรรจุความสามารถไวมากมาย โดยได้รับการพัฒนาจากสหราชอาณาจักรที่ต้องการนำเทคโนโลยีมาส่งเสริมการเรียนการสอนขั้นพื้นฐานของวิทยาการคอมพิวเตอร์ในโรงเรียน บอร์ด Raspberry Pi รองรับระบบปฏิบัติการ Linux บรรจุลงใน SD การ์ดสำหรับการพัฒนาไปสูบอรด Embedded Linux พรอมจุดเชื่อมตออุปกรณ์อินพุต เอาตพุตทั้งผ่านพอร์ต USB, LAN, HDMI, ซองสัญญาณภาพ และ GPIO สำหรับตอกับวงจรหรืออุปกรณอิเล็กทรอนิกส์

2.15.1 คุณสมบัติทางเทคนิคและส่วนประกอบ



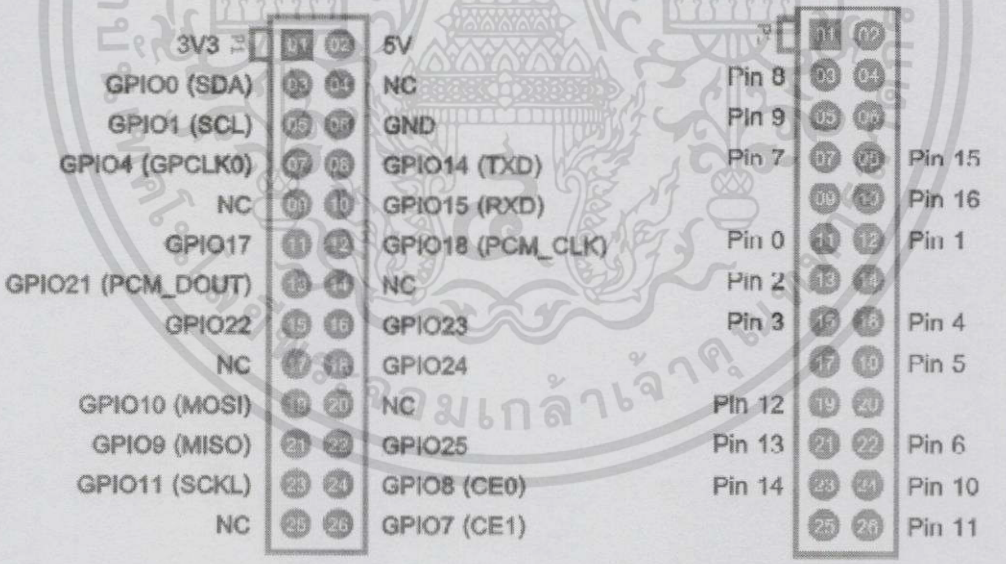
รูปที่ 2.30 ส่วนประกอบของบอร์ด Raspberry Pi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชิปควบคุมหลัก Broadcom BCM2835 หรือเทียบเทาซึ่งรวมซีพียู , หน่วยประมวลกราฟิกหรือ GPU และหนวยความจำ SDRAM ไวภายในตัวถังเดียวกัน
- หนวยประมวลผลกลางหรือซีพียู ARM11 ความเร็ว 700 MHz
- หนวยประมวลกราฟกหรือ GPU Broadcom VideoCore IV รองรับการแสดงผลผ่านจอภาพที่ใชจุดตอแบบ HDMI
- หนวยความจำ SDRAM 256 เมกะไบต์
- จุดตอ USB 2.0 (2 พอรต), แจก RCA และ HDMI เอาตพุตสัญญาณวิดีโอสำหรับตอกับโทรทัศนหรือจอแสดงผลที่มีจุดต่อแบบ RCA ตัวเมียหรือ HDMI, จุดต่อเอาตพุตเสียงเปนแจกหูฟง 3.5 มม., จุดต่ออีเธอรเน็ตหรือจุดตอระบบแลน, คอนเน็กเตอรหรือจุดตอพอรตอินพุตเอาตพุต (General Purpose Input/Output: GPIO) ที่มีขาตอบัส SPI (Serial Peripheral Interface Bus), I2C, I2S, ขาสัญญาณรับส่งข้อมูลอนุกรมหรือ UART และซ็อกเก็ตของ SD การดสำหรับเสียบ SD การดที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการแลว
- ความตองการไฟเลี้ยง +5 โวลต์ 700 มิลลิแอมป์ เปนอยางนอย

2.15.2 การจัดการขา GPIO

บอรด Raspberry Pi มีขาอินพุตเอาตพุตดิจิตอลหรือ GPIO สำหรับติดตอกับอุปกรณภายนอกรวม 17 ขาโดยมีการจัดเรียงขามาตรฐานตามรูปชาย และหากใชโปรแกรม WiringPi จะมีการจัดเรียงขาอินพุตเอาตพุตใหมตามรูปทางขวา



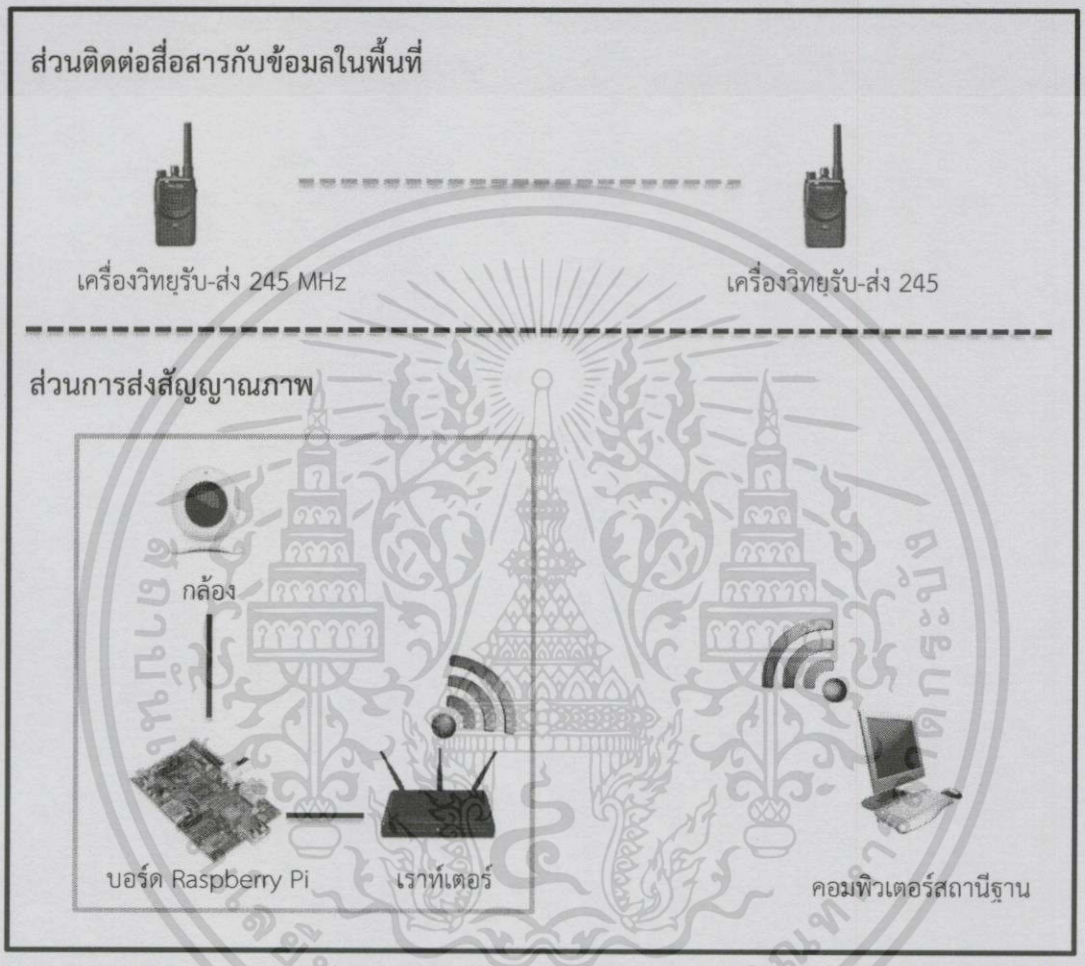
(ก) ขา GPIO มาตรฐาน (ข) ขา GPIO โดยใช้โปรแกรม WiringPi

รูปที่ 2.31 ขา GPIO ของบอร์ด Raspberry Pi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ

3.1 ภาพรวมของระบบ



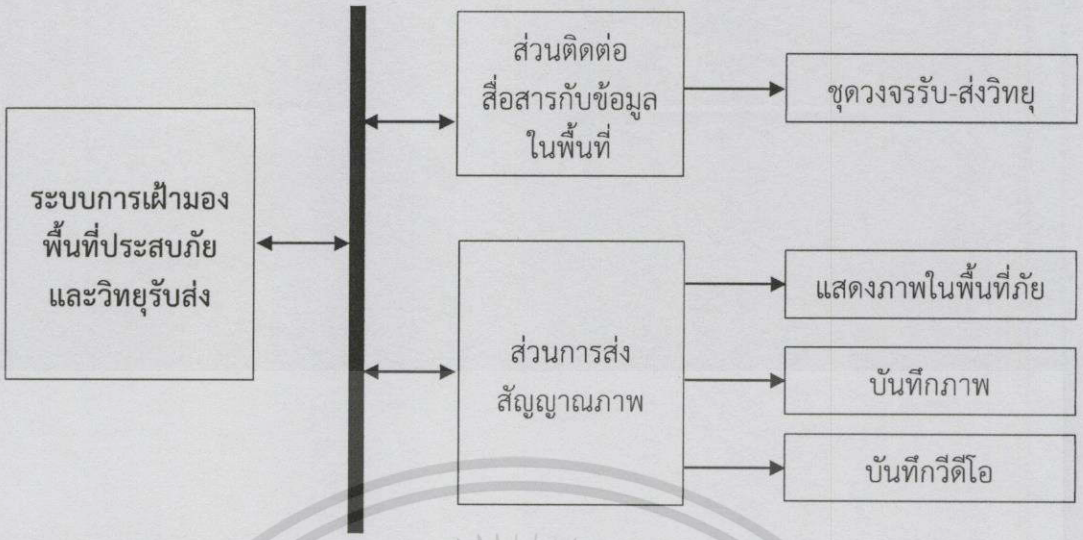
รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบ

จากรูปที่ 3.1 ระบบการเฝ้ามองพื้นที่ประสบภัยและวิทยุรับส่งจะแบ่งเป็นการทำงานหลักๆ ออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. ส่วนติดต่อสื่อสารกับข้อมูลในพื้นที่ เป็นส่วนของวิทยุรับ-ส่งในคลื่นความถี่ 245 MHz ซึ่งเป็นคลื่นความถี่สาธารณะ เป็นตัวติดต่อกับผู้ลงพื้นที่ประสบภัยหรือข่าวสารนอกสถานี

2. ส่วนการส่งสัญญาณภาพเป็นส่วนของการถ่ายภาพจากกล้องที่ต่อกับบอร์ด Raspberry Pi แสดงผลบนเว็บบราวเซอร์ที่ได้จัดเก็บเว็บไซต์ของการดูภาพจากกล้องอยู่ในตัวบอร์ด เพื่อสำหรับการดูภาพจากพื้นที่ประสบภัยพิบัติและสามารถที่จะบันทึกภาพและบันทึกวีดีโอได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ส่วนต่างๆ ของระบบและหน้าที่ของส่วนต่างๆ

3.2 ส่วนติดต่อสื่อสารกับข้อมูลในพื้นที่

สร้างเครื่องส่งวิทยุระบบ FM แถบความถี่แคบ (NBFM: Narrow Band FM) ที่ใช้งานในย่าน VHF โดยที่เน้นไปในแนวเพื่อการศึกษา เครื่องที่ทดลองสร้างนี้จึงเป็นเครื่องที่สร้างได้ง่าย วงจรไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากและอุปกรณ์ที่ประกอบลงบนแผ่นพริ้นต์ไม่ได้วางใกล้ชิดกันมากเพื่อต้องการให้มีความสะดวกในการใส่อุปกรณ์ การบัดกรีและการปรับแต่ง ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดในการทดลองที่ทำให้อุปกรณ์ใดๆ บนแผ่นพริ้นต์เสียหาย การถอดสับเปลี่ยนอุปกรณ์จะทำได้โดยง่ายอีกด้วย

รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องรับส่ง

3.2.1 หลักการทำงานของเครื่องรับส่ง

จากบล็อคไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานในรูปที่ 3.3 ไมโครโฟนจะส่งสัญญาณเสียงเข้าไปขยายที่ภาคสัญญาณเสียง (Audio Amplifier) สัญญาณเสียงที่ออกจากภาคขยายสัญญาณจะถูกส่งต่อเข้าไปมอดูเลต (Modulate) กับสัญญาณความถี่วิทยุ 40 MHz ซึ่งผลิตขึ้นจากภาคออสซิลเลตที่ควบคุมความถี่ด้วยแร่คริสตอล 40 MHz จะเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเสียงที่เข้ามาผสมด้วย ซึ่งเป็นไปตามหลักการมอดูเลตคลื่นสัญญาณในระบบ FM จากนั้นสัญญาณความถี่ 40 MHz ที่ผ่านการผสมกับสัญญาณเสียงแล้วจะถูกส่งไปยังภาคทวีคูณความถี่ (Frequency Multiplier) เพื่อทวีความถี่ขึ้นไปอีก 6 เท่าจากความถี่ 40 MHz เป็น 245 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณความถี่วิทยุ 245 MHz ที่ได้จะถูกส่งไปขยายสัญญาณให้มีกำลังแรงขึ้นที่ภาคขยายกำลังความถี่วิทยุ 245 MHz (245 MHz RF Amplifier) ก่อนส่งสัญญาณออกอากาศที่สายอากาศ (Antenna)

3.2.2 รายละเอียดการทำงานของวงจร

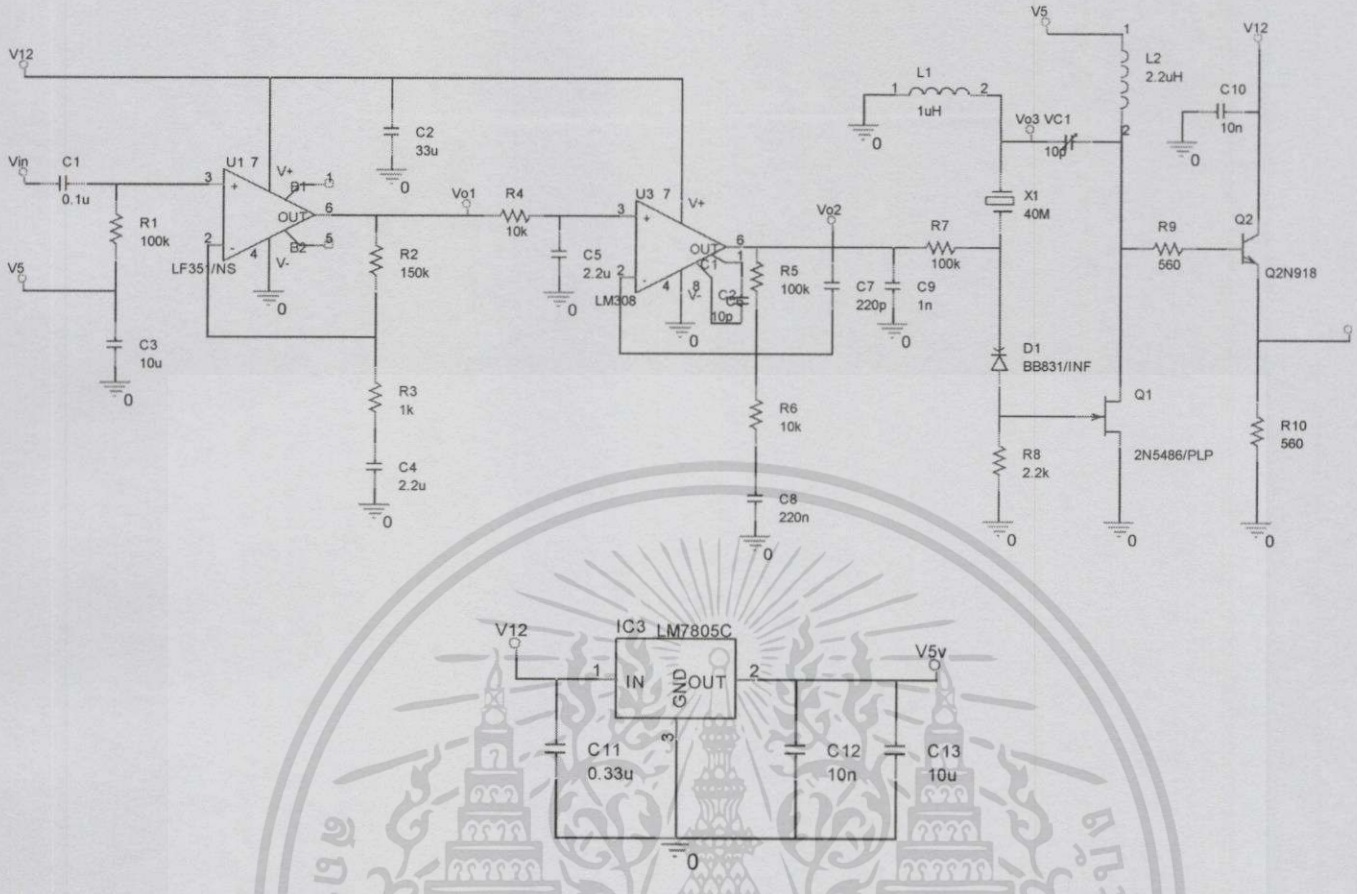
ในรูปที่ 3.4 เป็นวงจรขยายสัญญาณเสียง (Audio Amplifier) และวงจรออสซิลเลเตอร์ ซึ่งควบคุมความถี่ด้วยแร่คริสตอล วงจรออสซิลเลเตอร์ดังกล่าวนี้ ถึงแม้จะมีการควบคุมความถี่ด้วยแร่คริสตอล แต่ก็เป็นวงจรที่มาให้ความถี่เปลี่ยนแปลงได้บ้างเล็กน้อย เมื่อมีสัญญาณเสียงเข้ามาผสมด้วยเพื่อต้องการให้มีผลในการผสมสัญญาณแบบ FM สัญญาณเสียงจากไมโครโฟนจะถูกขยายด้วย IC1 และ IC2 เพื่อต้องการให้ได้ระดับสัญญาณสูงมากพอที่จะไปไบอัสให้กับวาริแคปไดโอด (Varicap Diode) หรือ D1 เกนการขยายสัญญาณของวงจรขยายเสียงนี้หาได้จากอัตราส่วนของ R2 กับ R3 และ R5 กับ R6 จากค่าที่ใช้ในวงจรเกนที่ได้มีค่าประมาณ 1,661 เท่า

ไฟจ่าย +5 โวลต์ ที่ผ่านตัวต้านทาน R1 เข้าไปยังขา 3 ซึ่งเป็นขาอินพุตสัญญาณบวกของ IC1 เพื่อเป็นการจัดค่าไฟเฉลี่ยที่ตกคร่อมวาริแคปไดโอด D1 โดยไอซีออปแอมป์ (IC1 IC2) ทั้งสองตัวในวงจรจะรวมกันทำหน้าที่ในการรักษาระดับแรงไฟนี้

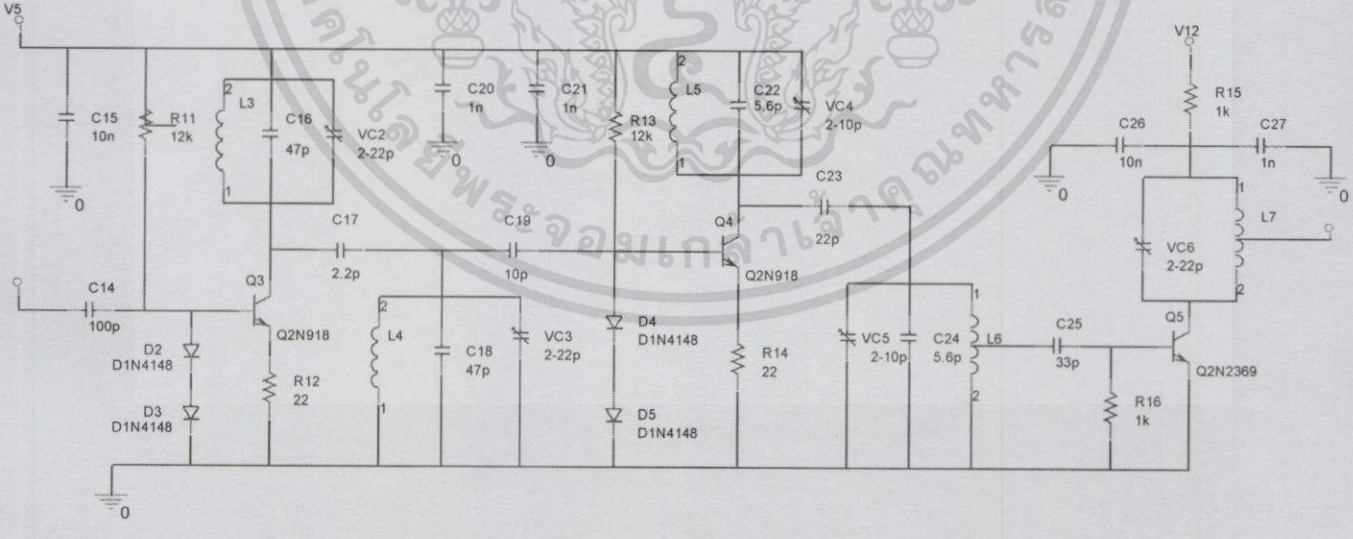
การตอบสนองความถี่ของวงจรขยายสัญญาณเสียงจะถูกวงจรกรองผ่านความถี่ (Band-Pass Filter) มี R3 กับ C4 และ R6 กับ C8 ทำหน้าที่ผ่านความถี่ต่ำ (Low-Pass) ลงกราวด์ในขณะที่ R4 กับ C5 และ R5 กับ C7 จะเป็นตัวผ่านความถี่สูงลงกราวด์ การจำกัดการตอบสนองความถี่ของภาคขยายสัญญาณเสียงจะช่วยลดสัญญาณเสียงรบกวนที่นอกเหนือไปจากช่วงความถี่สัญญาณพูดไปด้วยในตัวและเป็นการสอดคล้องกับมาตรฐานของเครื่องส่งในระบบ NBFM ที่จำกัดความเบี่ยงเบนของคลื่น FM ที่ส่งออกอากาศไม่ให้เกินกว่า +5 kHz เป็นที่ทราบกันว่าการส่งกระจายคลื่น FM ด้วยการเบี่ยงเบน (Deviation) ขนาดนี้ไม่สามารถขยายสัญญาณเสียงได้ครบตลอดช่วงความถี่เสียง 20 Hz ถึง 20,000 Hz และในความเป็นจริงแล้วการใช้วิทยุรับส่งมีจุดประสงค์เพื่อติดต่อสื่อสารกันเพียงต้องการให้ได้ข้อความที่ชัดเจนพอสมควรเท่านั้น ดังนั้นการตอบสนองความถี่ได้ดีที่ความถี่ 110 Hz ถึง 4.6 kHz ของวงจรภาคขยายเสียงในเสียงในเครื่องส่งนี้จึงเพียงพอต่อการใช้งานได้เป็นอย่างดี

วงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมความถี่ด้วยแร่คริสตอล ทำงานด้วย FET Q1 ซึ่งต่อวงจรแบบฮาร์ดเลย์ออสซิลเลเตอร์ (Hartley Oscillator) โดยมี L1, VC1 และ L2 ต่อร่วมกันเป็นวงจรจูนที่ความถี่ 40 MHz วาริแคปไดโอด D1 ทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนค่าความจุ (Capacitance) ซึ่งต่ออนุกรมกับแร่คริสตอลเพื่อต้องการให้เกิดผลการมอดูเลตทางด้านความถี่ตามจุดประสงค์และค่าความถี่ที่เบี่ยงเบนไปจากความถี่กลาง (Centre Frequency) เนื่องจากการมอดูเลตนี้เรียกว่า พีคดีวิเอชั่น (Peak Deviation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

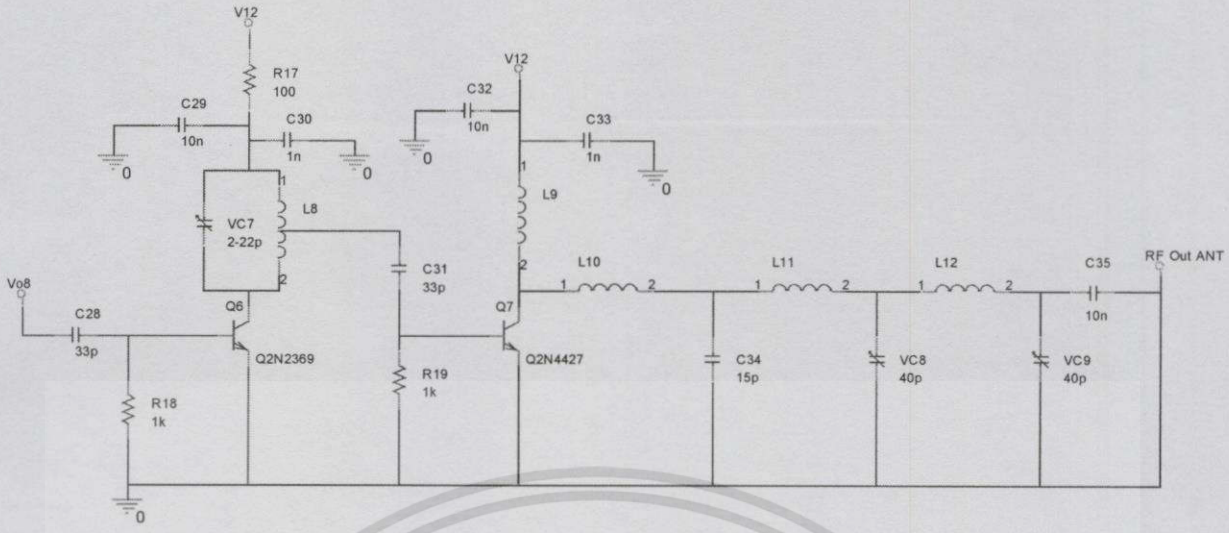


รูปที่ 3.4 วงจรภาคขยายสัญญาณเสียงและวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์



รูปที่ 3.5 ภาคทวีคูณความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ภาคขยาย RF และภาคกรองสัญญาณออก

วงจรออสซิลเลเตอร์ในที่นี้ไม่สามารถทำงานกับแร่คริสตอลที่ใช้ความถี่โอเวอร์โทนที่ 3 (Third Overtone) ได้เนื่องจากความถี่โอเวอร์โทนที่ 3 ของแร่คริสตอลจะทำให้ได้ค่าพีคดีวิเอชั่นที่จำกัดซึ่งมีค่าน้อยเกินไปและจากค่าอุปกรณ์ของวงจรจูนในที่นี้ก็ไม่สามารถจูนที่ความถี่ฐาน (Foundamental Frequency) หรือที่ความถี่โอเวอร์โทนใดๆ ของแร่คริสตอลแบบความถี่โอเวอร์โทนที่ 3 ได้ด้วย

การต่อสวิตช์เลือกเพื่อต้องการใช้เลือกค่าความถี่จากคริสตอลหลายๆ ตัว ในการเปลี่ยนช่องความถี่นั้นไม่สามารถใช้กับวงจรนี้ได้เนื่องจากค่ารีแอคแตนซ์สะสมระหว่างสาย (Stray Reactances) จะเป็นตัวการทำให้ระดับค่าพีคดีวิเอชั่นต่ำลงมาได้เช่นกัน ทรานซิสเตอร์ Q2 ถูกต่อวงจรแบบคอมมอนคอลเลคเตอร์ (Common Collector) เพื่อต้องการให้เป็นโหลดอิมพีแดนซ์สูง (High Impedance Load) แก่วงจรออสซิลเลเตอร์สำหรับทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์หรือเป็นตัวกันชนในการดึงสัญญาณซึ่งจะมีผลทำให้ภาคออสซิลเลเตอร์มีเสถียรภาพมากขึ้น

สัญญาณจากภาคออสซิลเตอร์มีค่าความถี่ประมาณ 40 MHz (ขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของแร่คริสตอล) จะถูกส่งต่อไปยังภาคทวีคูณความถี่ (วงจรในรูปที่ 3.5) ซึ่งมีทรานซิสเตอร์ Q3 ทำหน้าที่เป็นตัวทวีความถี่ขึ้นไป 3 เท่าจากความถี่ 40 MHz เป็น 120 MHz และทรานซิสเตอร์ Q4 จะเป็นทวีความถี่ 120 MHz ขึ้นไปอีก 2 เท่าเป็น 245 MHz

การทวีคูณความถี่ของวงจรนี้เกิดขึ้นได้โดยใช้หลักการส่งพัลส์สั้นๆ (Short Pulse) เข้าไปในวงจรจูนในขณะที่เป็นช่วงเว้นสัญญาณของขบวนพัลส์ช่วงสั้น วงจรจูนจะออสซิลเลตอย่างต่อเนื่องกันไปจนครบรอบจนถึงพัลส์ลูกใหม่เข้ามา ปฏิกิริยานี้จะมีผลทำให้เกิดการออสซิลเลตอย่างต่อเนื่องขึ้นในวงจรจูนด้วยความถี่เรโซแนนซ์ของตัวมันเอง จากวงจรทวีคูณความถี่ในที่นี้มี Q3 เป็นตัวสร้างขบวนพัลซ์สั้นๆ จากความถี่ที่ส่งเข้ามาทางอินพุต ทำให้เกิดการออสซิลเลตขึ้นในวงจรจูน L3, C16 และ VC2 เป็นสัญญาณออกต่อเนื่องสม่ำเสมอที่ความถี่ 120 MHz ซึ่งเป็นความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรจูนนี้ ไดโอด D2 และ D3 เป็นตัวควบคุมแรงดันสัญญาณอินพุตให้มีค่าพีค 1.2 โวลต์ โดยสม่ำเสมอ

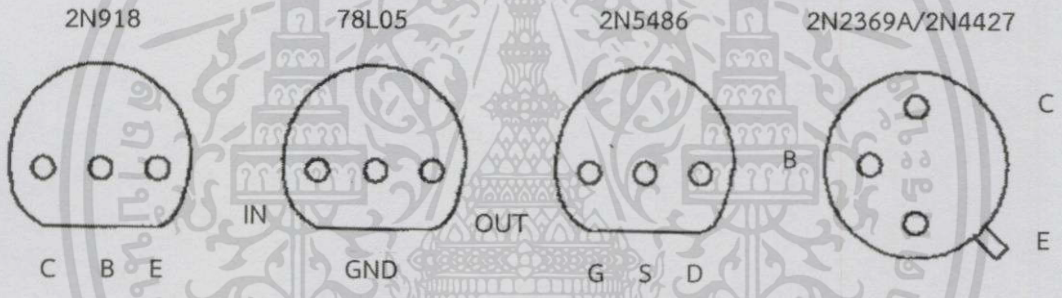
ในขณะเดียวกันที่ตามปกติจะมีแรงดันตกคร่อมตรงขาเบส-อีมิตเตอร์เท่ากับ 0.6 โวลต์ ดังนั้นจึงมีแรงดันพีค (Peak Voltage) 0.6 โวลต์ ตกคร่อมที่ R12 และจะทำให้ได้ค่ากระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอลเลคเตอร์สูงสุดที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q3 ค่อนข้างคงที่จึงเป็นผลทำให้ได้ส่วนสูง (Amplitude) ของสัญญาณออกมีความแน่นอนมากขึ้น แม้ระดับสัญญาณที่เข้ามาทางอินพุตจะมีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างก็ตาม

วงจรจูนซึ่งประกอบด้วย L4, C18 และ VC3 ทำหน้าที่เป็นวงจรจูนที่สอง (Second Tune Circuit) เพื่อต้องการจูนให้ได้ความถี่ฮาร์โมนิค (Harmonic) ที่บริสุทธิ์ยิ่งขึ้น ทรานซิสเตอร์ Q4 ทำหน้าที่ในการทวีความถี่ 120 MHz ขึ้นไปเป็นความถี่ 245 MHz ซึ่งใช้หลักการทำนองเดียวกันที่ได้อธิบายมาแล้ว โดยมีการจัดค่าของวงจรจูนซึ่งประกอบด้วย L5, C22, VC4 ให้มีความถี่เรโซแนนซ์ที่ 245 MHz และใช้วงจรจูน VC5, C24 และ L6 ทำหน้าที่เป็นวงจรจูนที่สองเพื่อจูนซ้ำอีกครั้งให้ได้ความถี่ฮาร์โมนิคบริสุทธิ์ที่ 245 MHz

ตามปกติของวงจรจูนทั่วไปที่ประกอบด้วยคอยล์และทริมเมอร์จะสามารถจูนเอาความถี่ฮาร์โมนิคอันดับใดๆ จากความถี่ฐานได้ แต่สำหรับวงจรจูนที่ใช้ในการทวีความถี่ตามวงจรนี้ต้องการให้จูนได้เฉพาะความถี่ฮาร์โมนิคที่ต้องการเท่านั้น ดังนั้นที่ VC2, VC3, VC4, และ VC5 ซึ่งเป็นทริมเมอร์สำหรับใช้ปรับจูนความถี่จึงต้องมีตัวเก็บประจุค่าคงที่ (C16, C18, C22 และ C24) ต่อคร่อมขนานอยู่ด้วย



รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งขาทรานซิสเตอร์

สุดท้ายสัญญาณ RF ความถี่ 245 MHz ที่ได้จะถูกขยายกำลังขึ้นด้วย Q5, Q6 และ Q7 ซึ่งถูกจัดให้เป็นตัวขยายคลาสซี (Class C) เนื่องจากธรรมชาติของการขยายแบบคลาสซีจะทำให้เกิดเป็นพัลซ์ความถี่ขึ้นทางเอาต์พุต ดังนั้นจึงต้องมีวงจรจูน (VC6 , L7, L8 และ L9) ที่ขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์เพื่อให้ได้สัญญาณออกเป็นคลื่น RF รูปไซน์ (Sinusoidal) อย่างแท้จริง ซึ่งเป็นไปตามรูปที่ 3.6

ตัวต้านทาน R15 และ R17 ที่ต่อจากแหล่งจ่ายไฟมาเข้า Q5 ในรูปที่ 3.5 และ Q6 ในรูปที่ 3.6 ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันไม่ให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวนี้ดึงกระแสมากเกินไป ในขณะที่มีการปรับจูนความถี่

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Law Pass Filter) ที่ประกอบด้วย L10, C34, L11, VC8, L12, VC9 และ C35 ขณะทำหน้าที่เป็นตัวกรองความถี่ 480 MHz ซึ่งเป็นความถี่ฮาร์โมนิคที่ 2 ของความถี่ 240 MHz ออกและในขณะเดียวกันจะทำหน้าที่เป็นตัวแมทช์ชิ่งอิมพีแดนซ์ของวงจรให้เข้ากับอิมพีแดนซ์ของโหลด 50 โอห์มด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ขั้นตอนการประกอบวงจร

การสร้างเครื่องส่งตามวงจรนี้จะแยกพริ้นต์ออกเป็น 2 แผ่น ที่แผงพริ้นต์แผ่นเล็กประกอบด้วยภาคขยายสัญญาณเสียงและภาคสร้างความถี่ FM 40 MHz

ส่วนที่แผ่นพริ้นต์แผ่นใหญ่จะประกอบด้วยภาคทวีคูณความถี่ 6 เท่าและภาคขยายกำลังความถี่วิทยุ 245 MHz ทั้งนี้เพื่อต้องการให้มีความสะดวกและคล่องตัวเมื่อต้องการออกแบบเปลี่ยนแปลงวงจรใหม่จะทำได้ง่าย สามารถแยกสร้างแผ่นพริ้นต์แต่ละภาคนำมาสับเปลี่ยนเพื่อทดลองต่อร่วมใช้งานด้วยกันได้

สำหรับตัวเก็บประจุแบบอิเลคโตรลิติคหรือทรานซิสเตอร์บางตัวที่มีขาต่อลงกราวด์ด้านกราวด์เพลนถ้าติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้ลงแนบชิดกับแผ่นพริ้นต์มากเกินไป จะทำให้ไม่สามารถบัดกรีขาอุปกรณ์ด้านต่อลงกราวด์ลงบนกราวด์เพลนได้ ในกรณีนี้จะต้องยกตัวอุปกรณ์ให้สูงขึ้นจากแผ่นพริ้นต์บ้างเล็กน้อย โดยกะระยะช่องว่างที่ยกลอยสูงขึ้นให้เพียงพอต่อการบัดกรีขาอุปกรณ์ลงบนกราวด์เพลนได้โดยสะดวก

ทรานซิสเตอร์ Q7 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขยายกำลัง RF ในภาคสุดท้ายต้องติดตั้งครีบระบายความร้อนก่อนบัดกรีลงบนแผ่นพริ้นต์หากไม่มีการระบายความร้อนในขณะทำงานทรานซิสเตอร์ตัวนี้จะร้อนมาก หลังจากติดครีบระบายความร้อนแล้ว ถ้าเครื่องส่งทำงานปกติลองใช้มือจับที่ครีบระบายความร้อนของทรานซิสเตอร์ตัวนี้จะรู้สึกอุ่นๆ

3.2.4 การปรับแต่ง

เริ่มต้นการปรับแต่งที่แผงพริ้นต์แผ่นเล็ก (ประกอบด้วยภาคสร้างสัญญาณ FM ความถี่ 40 MHz และภาคขยายสัญญาณเสียง) ก่อนอื่นตรวจตราการจ่ายไฟ 12 โวลต์ ที่ป้อนเข้าแผงวงจรให้ถูกต้อง จากนั้นให้ต่อออสซิลโลสโคปเข้าที่เอาต์พุตสัญญาณ 40 MHz ของแผงพริ้นต์ (ตรงขาอีมิตเตอร์ของ Q2) แล้วใช้ไขควงที่ทำด้วยฉนวนปรับแต่งที่ทริมเมอร์ VC1 จนกระทั่งได้สัญญาณ AC ที่ 40 MHz ปรากฏบนจอออสซิลโลสโคป

ขั้นตอนต่อไปเป็นการทดสอบภาคขยายสัญญาณเสียงโดยการป้อนสัญญาณเสียงค่าน้อยๆ ความถี่ประมาณ 1 kHz หรือโดยการต่อไมโครโฟนเข้าทางจุดต่อสัญญาณเข้าของภาคขยายสัญญาณเสียงพร้อมกับพูดส่งสัญญาณเสียงผ่านเข้าไปทางไมโครโฟนแล้วตรวจสอบสัญญาณขยายที่ออกทางขา 6 ของ IC2 ที่จุดนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างมากประมาณ 1 โวลต์ ถึง 2.9 โวลต์ เมื่อปลดแรงไฟ 12 โวลต์ ที่ต่อเข้ากับวงจรขยายสัญญาณเสียงออก

ต่อไปเป็นการปรับแต่งที่วงจรทวีคูณความถี่บนแผงพริ้นต์แผ่นใหญ่ (ประกอบด้วยภาคทวีคูณความถี่ 6 เท่าและภาคขยายกำลัง RF) เริ่มต้นด้วยการต่อพ่วงไฟจ่าย 5 โวลต์ และ 12 โวลต์ จากพริ้นต์แผงเล็กมาใช้ร่วมกับพริ้นต์แผงใหญ่และต่อสัญญาณออก 40 MHz มาเข้าที่อินพุตของภาคทวีความถี่ส่วนที่เอาต์พุตของภาคขยายกำลัง RF ซึ่งเป็นจุดต่อเข้ากับสายอากาศให้ต่อกับดัมมี่โหลด (Dummy Load) 50 โอห์ม ที่ทนกำลังวัตต์ขนาด 1.5 วัตต์ ต่อเนื่องได้เป็นเวลานาน

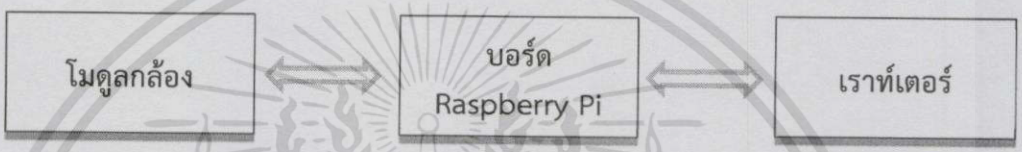
นำออสซิลโลสโคป 500 MHz ที่ใช้สายโพรบวัดสัญญาณชนิดค่าคาปาซิแตนซ์ต่ำ) มาวัดคร่อมที่คอยล์ L3 แล้วหมุนปรับแต่งที่ VC2 จนได้สัญญาณพีค (Peak Signal) เสร็จแล้วย้ายไปวัดคร่อมที่คอยล์ L4 และปรับแต่งที่ VC3 จนได้สัญญาณพีคเช่นกัน จะสังเกตได้ว่าทริมเมอร์ VC2 และ VC3 ต่างก็อยู่ในวงจรจูนที่มีความถี่เรโซแนนซ์เดียวกัน ดังนั้นการปรับจูนที่ VC2 และ VC3 จึงอยู่ในตำแหน่งที่ได้จากค่าคาปาซิแตนซ์ใกล้เคียงกันซึ่งการปรับจูนที่ทริมเมอร์ VC4 และ VC5 ก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปย้ายไปปรับแต่งที่ L5/VC4, L6/VC6 และ L7/VC7 ตามลำดับ ในขั้นตอนนี้เป็นการปรับแต่งที่ความถี่ 245 MHz ฉะนั้นสายโพรบ (Probe) ที่ใช้ในการตรวจวัดจะต้องเป็นสายโพรบที่มีค่าคาปาซิแตนซ์ต่ำๆ เพียงไม่กี่พิโกฟารัดเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อไม่ต้องการให้มีค่าคาปาซิแตนซ์จากภายนอกเข้าไปพ่วงกับคาปาซิแตนซ์ในวงจรจูนมากจะทำให้ผลในการจูนไม่แน่นอนได้

แบนด์วิดท์การใช้งานของเครื่องส่งนี้อยู่ในช่วง 5 MHz ซึ่งกว้างเพียงพอต่อการคลอบคลุมความถี่ในย่าน 245 MHz กำลังส่ง RF ออกอากาศอยู่ในระหว่าง 1.2 วัตต์ ถึง 1.5 วัตต์ ค่าเบี่ยงเบนสัญญาณ FM (FM Deviation) วัดได้ประมาณ +5 kHz อยู่ในมาตรฐานของของการกระจายเสียงในระบบ NBFM

3.3 ส่วนการส่งสัญญาณภาพ



รูปที่ 3.8 ส่วนการส่งสัญญาณภาพ

การทำงานของส่วนนี้บอร์ด Raspberry Pi จะทำการเชื่อมต่อกับโมดูลกล้องซึ่งเป็นกล้องที่ใช้กับบอร์ดของ Raspberry Pi โดยเฉพาะ โดยที่บอร์ดจะทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ เก็บหน้าเว็บเพจของการทำงานไว้ ซึ่งเว็บเพจที่ทำขึ้นสามารถดูภาพปัจจุบันที่กล้องถ่ายอยู่ได้และยังสามารถที่จะสั่งการทำงานของกล้องให้ทำการบันทึกภาพหรือวีดีโอได้

การบันทึกภาพจากกล้องสามารถแบ่งการบันทึกได้เป็น 2 แบบ คือการบันทึกภาพขณะนั้นและการตั้งค่าให้บันทึกภาพอัตโนมัติ โดยภาพที่ได้จากการบันทึกจะถูกเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูลในตัวบอร์ด โดยที่ชื่อไฟล์จะขึ้นต้นด้วยคำว่า Image จากนั้นจะตามด้วยลำดับไฟล์ภาพ วันที่และเวลาตามลำดับ ส่วนการบันทึกวีดีโอบนเว็บเพจสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบเช่นกัน คือบันทึกวีดีโอขณะนั้น และบันทึกวีดีโอจากการตรวจจับการเคลื่อนไหว โดยที่ชื่อไฟล์ของวีดีโอจะขึ้นต้นด้วยคำว่า Video จากนั้นตามด้วยลำดับไฟล์วีดีโอที่บันทึก วันที่และเวลาตามลำดับ

โมดูลกล้องนั้นสามารถที่จะทำการตั้งค่าต่างๆ ของกล้องได้ เช่น การตั้งค่าขนาดของภาพหรือวีดีโอ การตั้งค่าเวลาในการบันทึกภาพ การตั้งค่าความสว่างของภาพ เป็นต้น

นอกจากนี้ บอร์ด Raspberry Pi จะเชื่อมต่ออยู่กับเราท์เตอร์ (Router) เพื่อใช้สำหรับการดูภาพจากผู้ใช้งาน โดยที่ผู้ใช้งานจะทำการเข้าไปที่เราท์เตอร์ที่ต่อกับบอร์ดเพื่อให้อยู่ในเครือข่ายเดียวกัน จากนั้นจะเรียกใช้ไอพีแอดเดรสของตัวบอร์ด Raspberry Pi ทำการดูภาพจากหน้าเว็บเพจได้ สำหรับระยะทางในการติดต่อนั้นจะขึ้นอยู่กับระดับความแรงของตัวเราท์เตอร์ ซึ่งเราท์เตอร์จะเป็นตัวส่งข้อมูลหน้าเว็บเพจมายังผู้ใช้งานรวมถึงการส่งข้อมูลภาพที่แสดงยังหน้าเว็บเพจด้วย

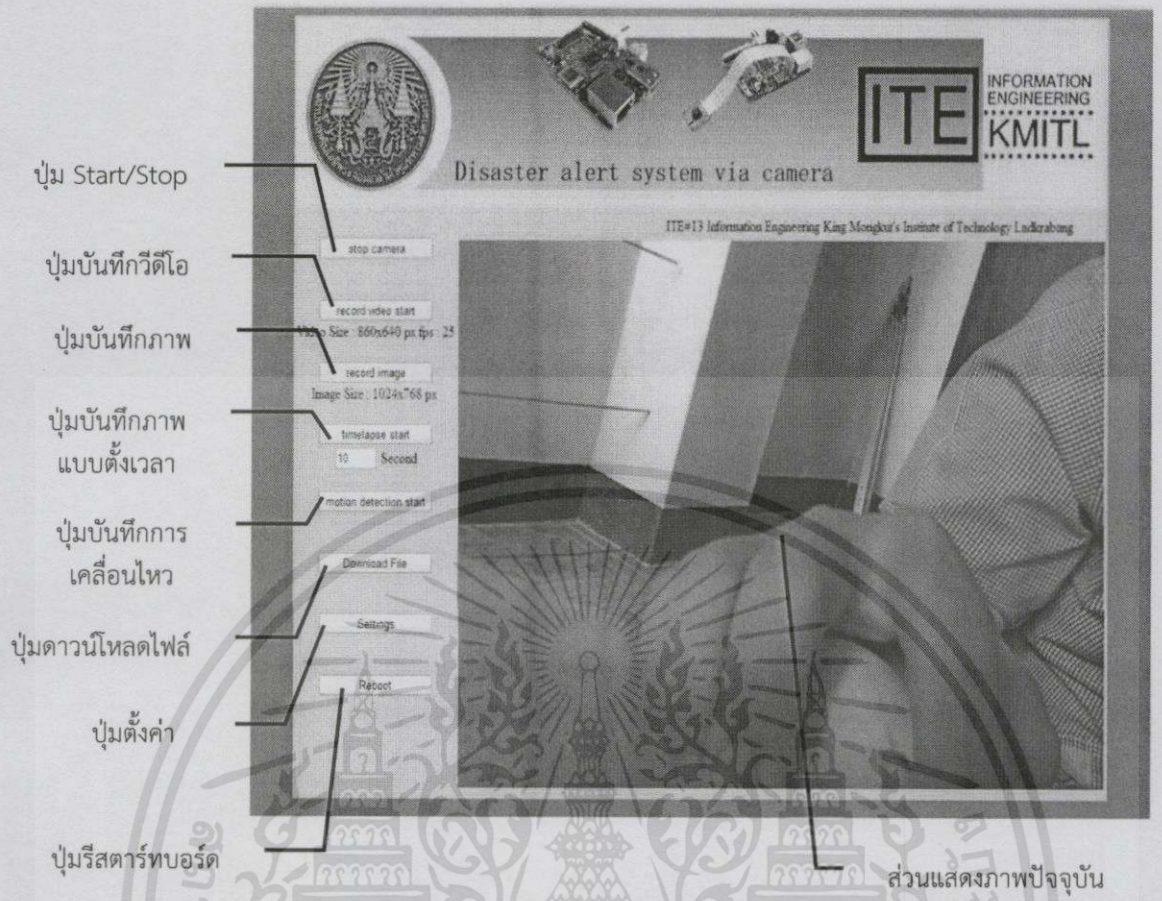
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การออกแบบหน้าโฮมเพจ

เว็บไซต์จะถูกเก็บไว้ยังบอร์ด Raspberry Pi ที่ทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ โดยหน้าโฮมเพจเป็นหน้าที่ใช้สำหรับดูภาพปัจจุบันที่กล้องจับภาพอยู่ ซึ่งหน้าโฮมเพจนี้จะประกอบด้วยส่วนและปุ่มต่างๆ ดังนี้

- ส่วนแสดงภาพที่กล้องถ่ายอยู่ จะแสดงภาพขณะนั้นที่กล้องได้จับภาพ
- ปุ่ม Start/Stop สำหรับการสั่งการทำงานให้เปิดการทำงานหรือปิดการทำงานของกล้อง เมื่อทำการปิดการทำงานของกล้อง จะไม่สามารถบันทึกภาพและวีดีโอได้
- ปุ่ม Record Video สำหรับการบันทึกวีดีโอจากกล้อง เมื่อต้องการบันทึกวีดีโอจะต้องกดปุ่มนี้ จากนั้นปุ่มจะเปลี่ยนเป็น Record Video Stop สำหรับการหยุดการบันทึกวีดีโอในขณะที่ทำการบันทึกวีดีโออยู่ ปุ่มบันทึกภาพและวีดีโอปุ่มอื่นจะไม่สามารถใช้งานได้ ไฟล์วีดีโอที่ได้จะทำการบันทึกอยู่ภายในโฟลเดอร์ของบอร์ดโดยมีชื่อขึ้นต้นด้วย Video ตามด้วยลำดับของไฟล์วีดีโอ วันที่และเวลาตามลำดับ สำหรับขนาดวีดีโอที่ตั้งไว้ในเบื้องต้นมีขนาดเท่ากับ 800x600 พิกเซล และจำนวนเฟรมต่อวินาทีเท่ากับ 25 เฟรมต่อวินาที
- ปุ่ม Record Image สำหรับการบันทึกภาพ เมื่อต้องการบันทึกภาพจะต้องกดปุ่มนี้ ไฟล์ภาพที่ได้จะทำการบันทึกอยู่ภายในโฟลเดอร์ของบอร์ดโดยมีชื่อขึ้นต้นด้วย Image ตามด้วยลำดับไฟล์ภาพที่บันทึก วันที่และเวลาตามลำดับ สำหรับขนาดของภาพที่บันทึกจะมีขนาดเท่ากับ 1024x768 พิกเซล
- ปุ่ม Timelapse Image สำหรับการบันทึกภาพอัตโนมัติจากการตั้งค่าเวลาที่ใช้ในการบันทึกภาพต่อไป เมื่อต้องการตั้งค่าเวลาที่ใช้ในการบันทึกภาพต่อไป สามารถตั้งค่าได้ในช่องข้างล่างปุ่ม ซึ่งจะมีหน่วยเป็นวินาที หากกดปุ่มนี้ ระบบจะทำการอ่านค่าตัวเลขจากช่องใส่เวลา และจะทำการบันทึกภาพทันที จากนั้นจะรอตามเวลาที่ใส่เพื่อที่จะทำการถ่ายภาพต่อไปเรื่อยๆ หากต้องการหยุดการทำงานให้กดปุ่มเดิมซ้ำ ในขณะที่ใช้งานปุ่มนี้อยู่ ปุ่มบันทึกภาพและวีดีโอปุ่มอื่นๆ จะไม่สามารถใช้งานได้
- ปุ่ม Motion Detection สำหรับการบันทึกวีดีโอขณะที่มีการเคลื่อนไหวภายในภาพของกล้อง เมื่อต้องการใช้งาน ให้กดปุ่มนี้ ระบบจะเข้าสู่โหมดการจับภาพการเคลื่อนไหว เมื่อภาพมีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้น ระบบจะทำการบันทึกวีดีโอทันทีจนกระทั่งภาพจะหยุดการเคลื่อนไหว ไฟล์ที่ได้จะเป็นไฟล์ชนิดวีดีโอเช่นเดียวกันการบันทึกวีดีโอ หากต้องการหยุดการทำงาน ให้กดปุ่มนี้อีกครั้งหนึ่ง ในขณะที่ใช้งานปุ่มนี้อยู่ ปุ่มบันทึกภาพและวีดีโอปุ่มอื่นจะไม่สามารถใช้งานได้
- ปุ่ม Download File คือปุ่มที่ใช้เรียกหน้าเว็บเพจการดาวน์โหลดไฟล์ภาพหรือวีดีโอที่ทำการบันทึกไว้ หากกดปุ่มนี้ จะเข้าสู่หน้าเว็บเพจดาวน์โหลดไฟล์ภาพและวีดีโอ
- ปุ่ม Settings คือปุ่มที่ใช้สำหรับเรียกหน้าเว็บเพจการตั้งค่าต่างๆ เกี่ยวกับกล้อง หากกดปุ่มนี้ จะเข้าสู่หน้าเว็บเพจการตั้งค่ากล้อง
- ปุ่ม Reboot สำหรับการรีสตาร์ทบอร์ด Raspberry Pi ใหม่หากเกิดความผิดพลาดเกิดขึ้น เมื่อกดปุ่มนี้ บอร์ด Raspberry Pi จะทำการรีสตาร์ทใหม่และจะกลับมาใช้งานหน้าเว็บไซต์ได้เหมือนเดิม โดยค่าที่ตั้งไว้จากหน้าเว็บเพจตั้งค่า จะกลับสู่ค่าเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ส่วนประกอบบนหน้าโฮมเพจ

3.3.2 เว็บเพจหน้าดาวน์โหลดไฟล์

เว็บเพจหน้าดาวน์โหลดไฟล์จัดทำขึ้นเพื่อสามารถที่จะดูภาพหรือวีดีโอที่บันทึกไว้ โดยการใช้ภาษา PHP ในการเขียนเชื่อมต่อกับบอร์ดและไฟล์ในโฟลเดอร์ที่อยู่ภายในบอร์ด เมื่อเข้าสู่หน้าเว็บเพจนี้ จะทำการตรวจสอบไฟล์ว่ามีอยู่หรือไม่ หากพบไฟล์ซึ่งเป็นไฟล์รูปภาพหรือไฟล์วีดีโอ จะทำการแสดงชื่อไฟล์บนหน้าเว็บเพจ หากมีการเรียกดูไฟล์เกิดขึ้น ระบบจะแสดงรูปภาพหรือวีดีโอขึ้นบนหน้าเว็บเพจดังรูปที่ 3.10 โดยหน้าเว็บเพจดาวน์โหลดไฟล์นี้ มีส่วนประกอบดังนี้

- ปุ่ม Back สำหรับการกลับสู่หน้าโฮมเพจ
- ปุ่ม Download สำหรับการทำการดาวน์โหลดรูปภาพหรือวีดีโอมาเก็บไว้ยังเครื่องผู้ใช้งาน โดยปุ่มนี้จะแสดงเมื่อมีการเลือกไฟล์ภาพหรือไฟล์วีดีโอให้แสดงดังรูปที่ 3.10
- ปุ่ม Delete สำหรับการทำการลบไฟล์ภาพหรือไฟล์วีดีโอที่เลือกไว้ โดยปุ่มนี้จะแสดงเมื่อมีการเลือกไฟล์ภาพหรือไฟล์วีดีโอ
- ปุ่ม Delete all สำหรับการลบไฟล์ภาพและไฟล์วีดีโอทั้งหมดที่มีอยู่
- ชื่อไฟล์ภาพหรือไฟล์วีดีโอ คือไฟล์ที่ทำการบันทึกไว้โดยจะมีขนาดไฟล์บอกไว้ด้านหลังชื่อไฟล์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 เว็บเพจหน้าดาวน์โหลดไฟล์

3.3.3 เว็บเพจหน้าตั้งค่ากล้อง

เว็บเพจหน้าตั้งค่ากล้องทำขึ้นเพื่อต้องการที่จะตั้งค่ากล้องในค่าต่างๆ ผู้ใช้งานสามารถที่จะทำการตั้งค่าหรือเข้ามาสู่หน้าเว็บเพจนี้โดยการกดปุ่ม Settings ที่หน้าโฮมเพจ สำหรับค่าที่ตั้งไว้เป็นเพียงการตั้งค่าเริ่มต้นของกล้องเท่านั้น หากมีการตั้งค่ากล้อง เว็บเพจจะทำการบันทึกค่าลงในไฟล์คอนฟิก (Configuration) ทันที ซึ่งไฟล์คอนฟิกนี้เป็นไฟล์ในการระบุค่าที่ใช้ในการบันทึกภาพหรือแสดงภาพปัจจุบัน

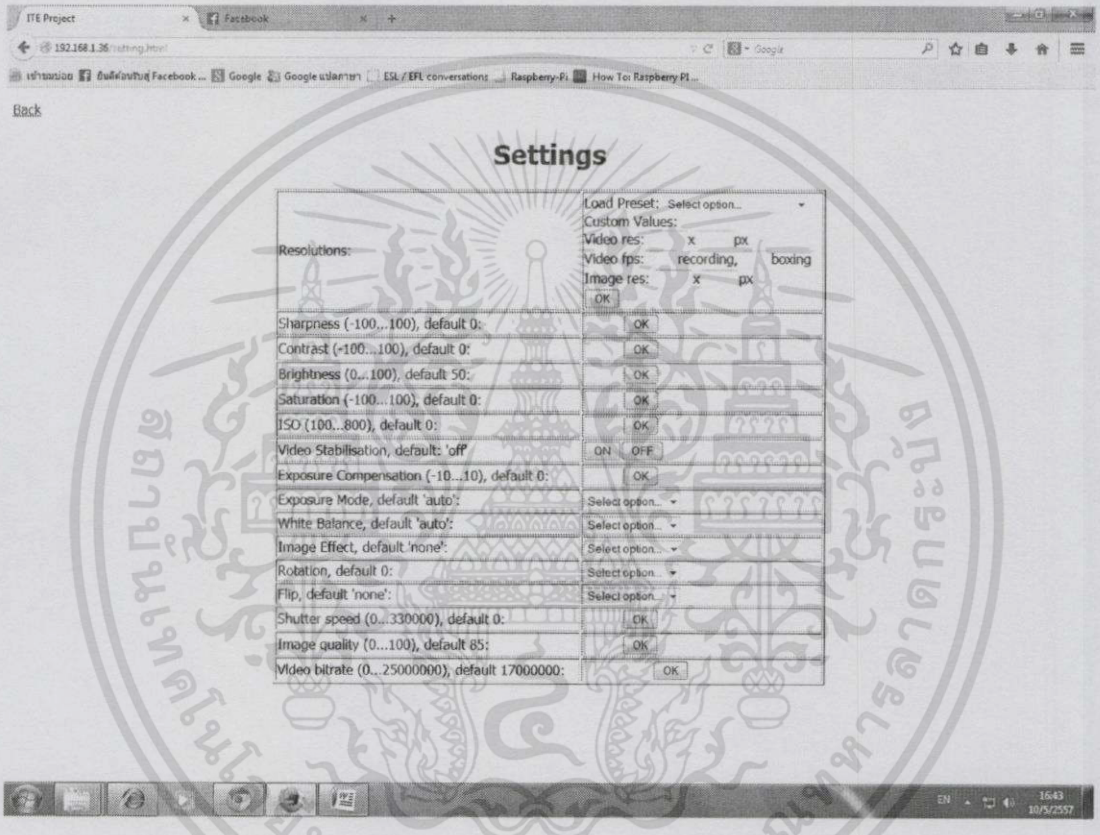
สำหรับค่าที่สามารถทำการตั้งค่าสำหรับกล้องได้มีดังนี้

- Resolutions คือการตั้งค่าขนาดของรูปภาพ ขนาดของไฟล์วีดีโอ รวมทั้งจำนวนเฟรมต่อวินาทีที่ใช้สำหรับบันทึกวีดีโอ ค่าเดิมที่ตั้งไว้สำหรับขนาดของรูปภาพเท่ากับ 1024x768 พิกเซล และขนาดของไฟล์วีดีโอเท่ากับ 800x600 พิกเซล fps เท่ากับ 25 เฟรมต่อวินาที

- Sharpness ค่อเดิมที่ตั้งไว้คือ 0
- Contrast ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 0
- Brightness ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 50
- Saturation ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 0
- ISO ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 0
- Video Stabilisation ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ off
- Exposure Compensation ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 0
- Exposure Mode ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ auto

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- White Balance ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ auto
- Image Effect คือการเลือกเอฟเฟ็กต์ให้กับภาพ ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ none
- Rotation คือองศาสำหรับหมุนภาพ ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 0
- Flip ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ none
- Shutter speed คือค่าความเร็วชัตเตอร์ ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 0
- Image Quality คือคุณภาพของไฟล์ภาพสำหรับบันทึกโดยมีหน่วยเป็นเปอร์เซนต์ ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 85
- Video Bitrate ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 17000000



รูปที่ 3.11 เว็บเพจหน้าตั้งค่ากล้อง

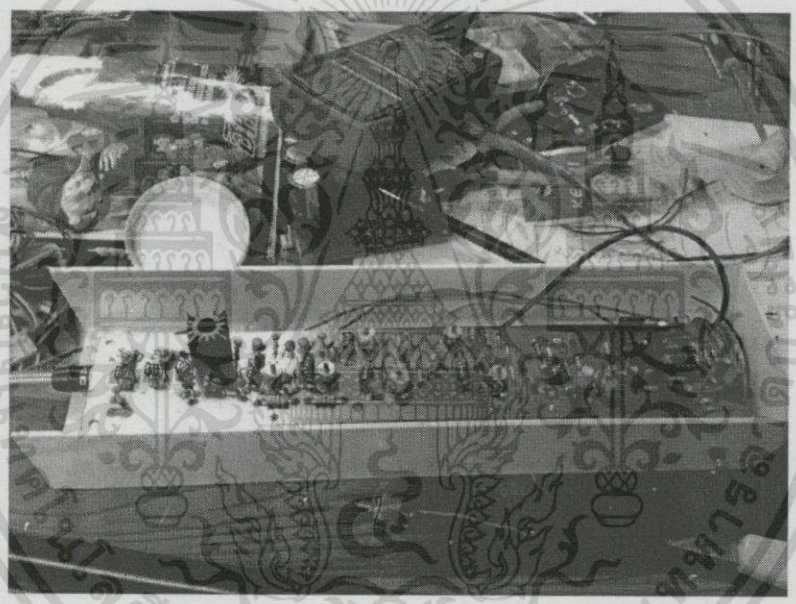
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองส่วนติดต่อสื่อสารกับข้อมูลในพื้นที่

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. สเปคตรัมอนาไลเซอร์
2. ออสซิลโลสโคป 500 MHz
3. มัลติมิเตอร์
4. ดัมมี่โหลด 50 โอห์ม
5. ฟังชั่นเจนเนอร์เรเตอร์



รูปที่ 4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.2 ผลการทดลอง

จากวงจรการใช้งานเมื่อจ่ายไฟให้วงจร IC1 และ IC2 จะเป็นตัวขยายแรงดันประมาณ 1661 เท่า และจะเป็นตัวรักษาระดับแรงดันเพื่อจ่ายให้ D1 มีค่าเฉลี่ยคงที่ เมื่อคิดอัตราการขยายสัญญาณของ IC1 และ IC2 จะได้ดังนี้

ที่ IC1 A1 = 1+ R2/R3 = 1+150k/1k = 151 เท่า
ที่ IC2 A2 = 1+ R5/R6 = 1+100k/10k = 11 เท่า
AT = A1*A2 = 151*11 = 1661 เท่า

จากวงจรที่ภาคขยายสัญญาณเสียงและภาคออสซิลเลเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เมื่อนำเอาฟังก์ชั่นเจนเนอร์เรเตอร์ (Function Generator) มาจ่ายความถี่ให้กับจุดต่อไดนามิกไมโครโฟน เริ่มแรกให้จ่ายที่ความถี่น้อยๆ โดยเริ่มที่ความถี่ 0 Hz สูงขึ้นเรื่อยๆ จะพบว่าที่ความถี่ประมาณ 110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hz เมื่อนำออสซิลโลสโคปมาจับที่ขา 6 ของ IC1 ก็จะมีสัญญาณออกโดยสัญญาณที่จะป้อนเป็นสัญญาณไซน์ และเมื่อนำเอาออสซิลโลสโคปมาจับที่ขา 6 ซึ่งเป็นเอาต์พุตของ IC2 จะพบว่ามันมีสัญญาณออกมาโดยสัญญาณที่ได้จะมีลักษณะเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) เหตุที่เป็นแบบนี้เพราะว่าวงจรมีเกนการขยายที่สูงทำให้เกิดการขลิบของสัญญาณ เพราะฉะนั้นถ้าต้องการให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณไซน์เหมือนอินพุตก็ให้ลดขนาดลง จะได้เอาต์พุตที่เป็นไซน์ จากนั้นก็เริ่มจ่ายความถี่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะพบว่า เมื่อฟังก์ชั่นเจนเนอร์เรเตอร์ จ่ายความถี่ที่ประมาณ 4.6 kHz ก็จะไม่มีสัญญาณเอาต์พุตที่ IC1 และ IC2

จากการที่ความถี่เริ่มออกที่ 110 Hz เป็นเพราะว่าวงจรถูกออกแบบไว้ที่ความถี่คัทออฟ 110 Hz ซึ่งเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ในวงจรคือ R3, C4 และ R6, C8 ซึ่งจะกรองเอาความถี่ที่ต่ำกว่า 110 Hz ผ่านลงกราวด์ไป และที่ความถี่สูงกว่า 110 Hz จะออกสู่เอาต์พุต แต่เมื่อความถี่ถึงประมาณ 4.6 kHz ก็จะมีวงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter) ซึ่งจะมีความถี่คัทออฟเท่ากับ 4.6 kHz ในวงจรคือ R4, C5 และ R5,C7 จะกรองเอาความถี่ที่สูงกว่า 4.6 kHz ผ่านลงกราวด์ไป จะพบว่าความถี่ที่ออกไปจะอยู่ในช่วง 110 Hz ถึง 4.6 kHz ซึ่งวงจรจะทำงานเหมือน Band Pass Filter ซึ่งจะเป็นแบบ Narrow Band จะมีแบนด์วิดท์ประมาณ 5 kHz ซึ่งจะเป็นรูปแบบของการส่งแบบ FM จากนั้นก็จะเปลี่ยนจากฟังก์ชั่นเจนเนอรีเรเตอร์เป็นสัญญาณเสียงพูดผ่านไมค์ ก็จะได้สัญญาณแบบไม่เป็นรายคาบออกที่ IC2 และความถี่ดังกล่าวจะถูกส่งไปมอดูเลตกับภาคออสซิลเลเตอร์ต่อไป

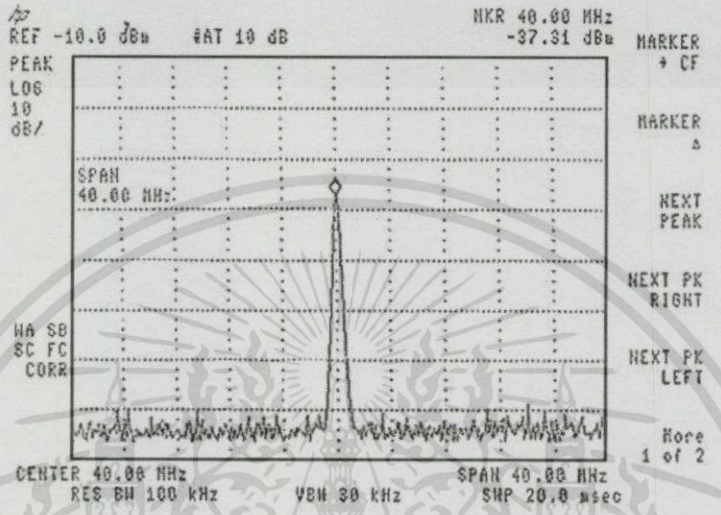
เมื่อจ่ายไฟผ่านคริสตอลออสซิลเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.2 จะจ่ายความถี่ออกมาที่ 40 MHz เมื่อมีความถี่เสียงจาคภาคขยายสัญญาณเสียงเข้ามามอดูเลตทางความถี่สัญญาณก็จะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย คือจะได้ความถี่ประมาณ 40.83 MHz เท่านั้น ถ้าใช้ออสซิลโลสโคปมาจับเกือบจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงเลย แต่ถ้าใช้สเปคตรัมอนาไลเซอร์ก็จะเห็นการเปลี่ยนแปลงโดยการอ่านจากหน้าจอ การที่จะปรับให้ความถี่แน่นอนนั้นทำได้โดยการปรับ VC1 การปรับจะปรับจนกว่าจะได้สัญญาณพีคโดยที่ R8 จะเป็นตัวที่จะทำให้สัญญาณที่ออกมาสมบูรณ์ในที่นี้ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ 2.2 กิโลโอห์ม ถ้าค่าน้อยกว่านี้สัญญาณที่ได้จะมีลักษณะบิดเบี้ยวไม่สมบูรณ์ เมื่อใช้ RF โพรบต่อกับมิเตอร์และวัดค่าต่างๆ ที่ภาคขยายสัญญาณเสียงและภาคคริสตอลออสซิลเลเตอร์จะมีค่าต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงการวัดค่าต่างๆ ที่ภาคออสซิลเลเตอร์

ตำแหน่ง	แรงดัน (โวลต์)	การเปลี่ยนแปลง
ขา + ของ C3	4.9	-
ขา 6 ของ IC1	4.9	เมื่อพูดผ่านไมค์แรงดันจะเปลี่ยนแปลง
ขา 4 ของ D1	3.4	ถ้าวัดที่จุดนี้เครื่องส่งจะหยุดทำงาน
ขา G ของ Q1	0	ถ้าวัดที่จุดนี้เครื่องส่งจะหยุดทำงาน
ขา D ของ Q1	4.9	ถ้าวัดที่จุดนี้เครื่องส่งจะหยุดทำงาน
ขา B ของ Q2	4.9	ถ้าวัดที่จุดนี้เครื่องส่งจะหยุดทำงาน
ขา C ของ Q2	11.95	ถ้าวัดที่จุดนี้เครื่องส่งจะหยุดทำงาน
ขา E ของ Q2	4.1	ถ้าปรับ VC1 แรงดันจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง

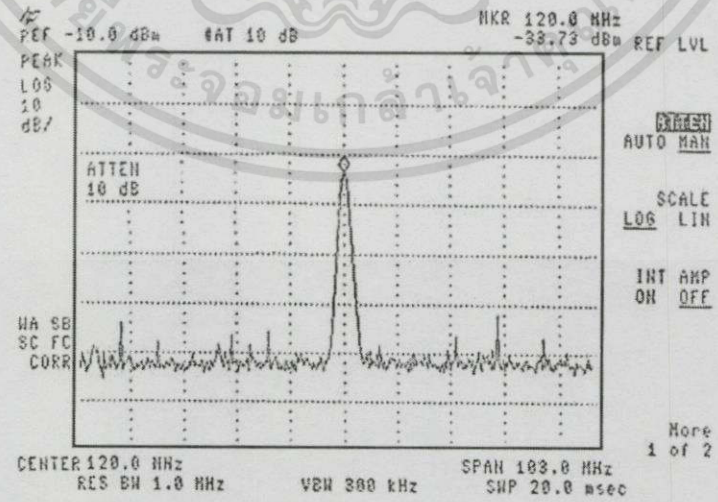
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำวงจรภาคออสซิลเลเตอร์ ไปต่อเข้ากับภาคขยายและภาคทวีคูณความถี่กับภาคขยายกำลัง RF และที่สำคัญคือต้องต่อดัมมี่โหลดที่เอาต์พุตของเครื่องส่งโดยนำความต้านทาน 50 โอห์ม 5 วัตต์ มาต่อ ในการทดลองใช้ตัวต้านทาน 25 โอห์ม 5 วัตต์ 2 ตัว มาต่ออนุกรมกัน จากนั้นนำออสซิลโลสโคปมาจับสัญญาณที่ด้านเอาต์พุตของภาคออสซิลเลเตอร์ และปรับ VC2 จะได้ความถี่ 40 MHz ออกมาแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่เอาต์พุต 40 MHz ของภาคออสซิลเลอร์

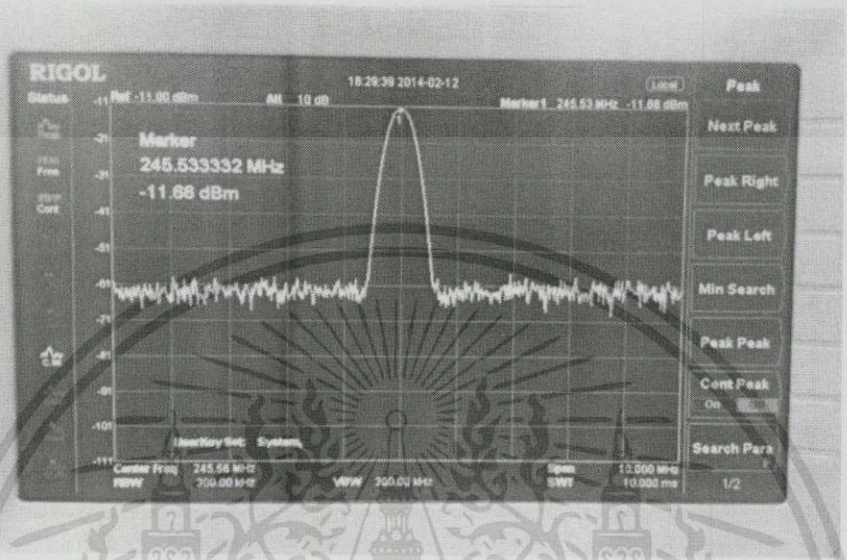
นำออสซิลโลสโคปมาจับที่ C19 ที่คัปปลิ้งสัญญาณออกมาจาก Q3 ซึ่งความถี่ 40 MHz ถูกคูณด้วย 3 เท่า จะได้ความถี่ออกมา 120 MHz ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เพื่อให้สัญญาณที่ออกมามีลักษณะที่สมบูรณ์ที่สุดต้องปรับ VC2 และ VC3 โดยการปรับ VC2 ก็เพื่อให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 120 MHz และการปรับ VC3 ก็เพื่อให้ได้ความถี่ฮาร์โมนิคที่ดีที่ 120 MHz ในที่นี้ก็คือให้ได้สัญญาณมีค่าพีคที่สุดนั้นเอง



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณที่ C19 ความถี่ 120 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำออสซิลโลสโคปไปจับที่ C25 จะได้สัญญาณที่คัปปลิ้งออกมามีค่า 245 MHz ซึ่งเกิดจากความถี่ 245 MHz ถูกคูณด้วย 2 เท่าที่ Q4 แสดงดังรูปที่ 4.4 เพื่อให้ได้สัญญาณที่ออกมามีลักษณะที่สมบูรณ์ที่สุดต้องปรับ VC4 และ VC5 ก็เพื่อให้ได้ความถี่ฮาร์โมนิคที่ดีที่ 245 MHz ในที่นี้ก็เพื่อให้สัญญาณมีค่าพีคที่สุดเช่นกัน



รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณที่ C25 ความถี่ 245 MHz

จากการทดลอง เมื่อใช้ออสซิลโลสโคปวัดค่าตามจุดต่างๆ ที่ภาคทวีคูณความถี่และภาคขยายสัญญาณ RF และภาคกรองสัญญาณออกจะได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าตามจุดต่างๆ ที่ภาคทวีคูณความถี่และภาคขยายสัญญาณ RF และภาคกรองสัญญาณออก

ตำแหน่ง	ความถี่ (MHz)	แรงดัน (Vp-p)	แรงดัน (Vrms)
ที่จุด VC3	121.38	147.2 mV	207.5 mV
ที่จุด VC4	240.22	604.4 mV	853.8 mV
ที่จุด VC5	242.76	704.6 mV	954.2 mV
ที่จุด VC6	242.96	708.1 mV	996.5 mV
ที่จุด VC7	243.80	810.2 mV	1.1 V
ที่จุด VC8	244.60	813.5 mV	1.1 V
ที่จุด VC9	244.83	815.6 mV	1.2 V
ที่จุด OUTPUT	245.53	840.8 mV	1.3 V

4.1.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในภาคเครื่องส่งนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยทักษะในการปรับแต่ง และต้องใช้ความพยายามในการปรับเพราะต้องทำการปรับหลายๆ ครั้ง เพื่อที่จะให้ได้สัญญาณที่ออกสู่สายอากาศสมบูรณ์ที่สุด ในที่นี้ก็คือรูปของสัญญาณที่ออกมาต้องเป็นสัญญาณไซน์ที่สมบูรณ์ มีกำลังส่งสูงสุดเท่าที่จะปรับจูนได้ก็คือการลดทอนของสัญญาณจะต้องน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของภาคออสซิลเลเตอร์นั้นสัญญาณที่ออกมาเป็น 40 MHz ถ้าออกมาไม่เป็นที่ต้องการหรือไม่มีสัญญาณ ก็ทำการปรับ VC1 จนกระทั่งได้สัญญาณพีคโดยจะมีความถี่เสียงเข้ามามอดูเลตด้วยซึ่งในภาคขยายตรง IC2 ต้องลดแอมปริจูดของสัญญาณให้เป็นไซน์เพื่อให้เอาต์พุตเป็นไซน์ที่สมบูรณ์ อาจจะใช้ออสซิลโลสโคปหรือมัลติมิเตอร์ถ้าเป็นไปได้ก็ใช้สเปคตรัมอนาไลเซอร์เลยจับและเทียบค่าดูแต่ถ้าปรับแล้วสัญญาณออกมาไม่สมบูรณ์ก็ต้องไปดูที่ R8 ว่าค่าที่ใช้เหมาะสมหรือไม่ ถ้าไม่เหมาะสมก็ให้เปลี่ยนค่าใหม่

ที่ภาคขยาย RF จะจูนเอาความถี่เรโซแนนซ์ออกมา ซึ่งจะเป็นแบบ RC เรโซแนนซ์ เพราะฉะนั้น C จะเป็นแบบปรับค่าเพื่อที่จะจูนให้ได้ความถี่ตามต้องการซึ่งการคำนวณหาความถี่เรโซแนนซ์จะเป็นไปตามสมการที่ 4.2 เพื่อวิเคราะห์หาค่า C เพื่อที่จะทำให้เกิดการเรโซแนนซ์

จากรูปที่ 3.8 คำนวณหาค่า L สมการที่จะทำได้โดยใช้สมการที่ 4.1 คือ

$$L = \frac{N^2 r^2}{245(0.9x+l)}; (\mu F) \qquad (4.1)$$

N = 5 รอบ

r = 2.7 mm.

l = 7.5^2 mm.

แทนค่า L = 0.0749 µF

หาค่า C ที่ $f(s) = 120\ MHz$

$$f(s) = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (4.2)$$

$$C = \frac{1}{(2\pi f(s))^2 L}$$

$$C = 23.48\ PF$$

หาค่า C ที่ $f(s) = 245\ MHz$

$$C = \frac{1}{(2\pi f(s))^2 L}$$

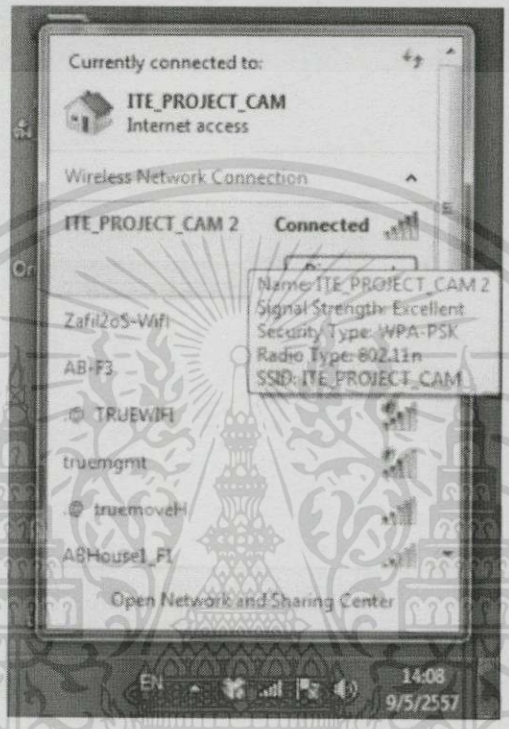
$$C = 5.63\ pF$$

ในภาคทวีความถี่ 120 MHz นั้น จะทำการจูน VC2 เพื่อให้ได้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 120 MHz ถ้าเป็นไปตามคำนวณ VC2 นั้นก็จะมีค่าเท่ากับ 23.48 พิโกฟารัต แต่บางครั้งสัญญาณที่ได้อาจจะมีการลดทอนเพราะฉะนั้นก็ต้องทำการถ่างคอยล์ เข้าออกเพื่อให้ได้สัญญาณพีคที่ความถี่ 245 MHz นั้น จากสมการที่ 4.2 ถ้าค่าของ L เพิ่มขึ้นก็จะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ลดลง ซึ่งจากสมการที่ 5.1 ค่าของ L จะขึ้นอยู่กับความยาวของคอยล์ ถ้าหดความยาวลง ค่าของ L จะเพิ่มขึ้น ทำให้ความถี่เรโซแนนซ์เพิ่มขึ้น นี้คือเหตุผลที่ต้องทำการหดหรือถ่างคอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองส่วนการส่งสัญญาณภาพ

บอร์ด Raspberry Pi เชื่อมต่อกับเราท์เตอร์เพื่อใช้ในการกระจายสัญญาณไร้สาย เมื่อต้องการดูภาพจากกล้องจะต้องเชื่อมต่อกับเราท์เตอร์ที่ต่ออยู่กับบอร์ด โดยเราท์เตอร์ที่ใช้งานจะตั้งค่าชื่อ (SSID) เป็น ITE_PROJECT_CAM และรหัสผ่านในการเชื่อมต่อ (Password) คือ 12345678 ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สาย

เมื่อทำการเข้าสู่เครือข่ายของเราท์เตอร์ที่ใช้งานแล้ว การดูภาพจากกล้องสามารถที่จะดูได้โดยการเปิดเว็บบราวเซอร์ขึ้นมา ซึ่งเว็บบราวเซอร์ที่ทำการทดลองแล้วสามารถใช้งานได้คือ Mozilla Firefox , Google Chrome , Safari เมื่อเข้าไปยังเว็บบราวเซอร์แล้ว ให้เข้าไปยังไอพีแอดเดรส (IP Address) ของบอร์ด Raspberry Pi ในที่นี้คือ 192.168.0.101 ซึ่งเป็นไอพีแอดเดรสที่ได้จากการทำงานโปรโตคอล DHCP ของเราท์เตอร์ เว็บบราวเซอร์จะแสดงเว็บเพจการดูภาพจากกล้องขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 หน้าโฮมเพจของส่วนการส่งสัญญาณภาพ

4.2.1 การสั่งเปิดหรือปิดกล้อง

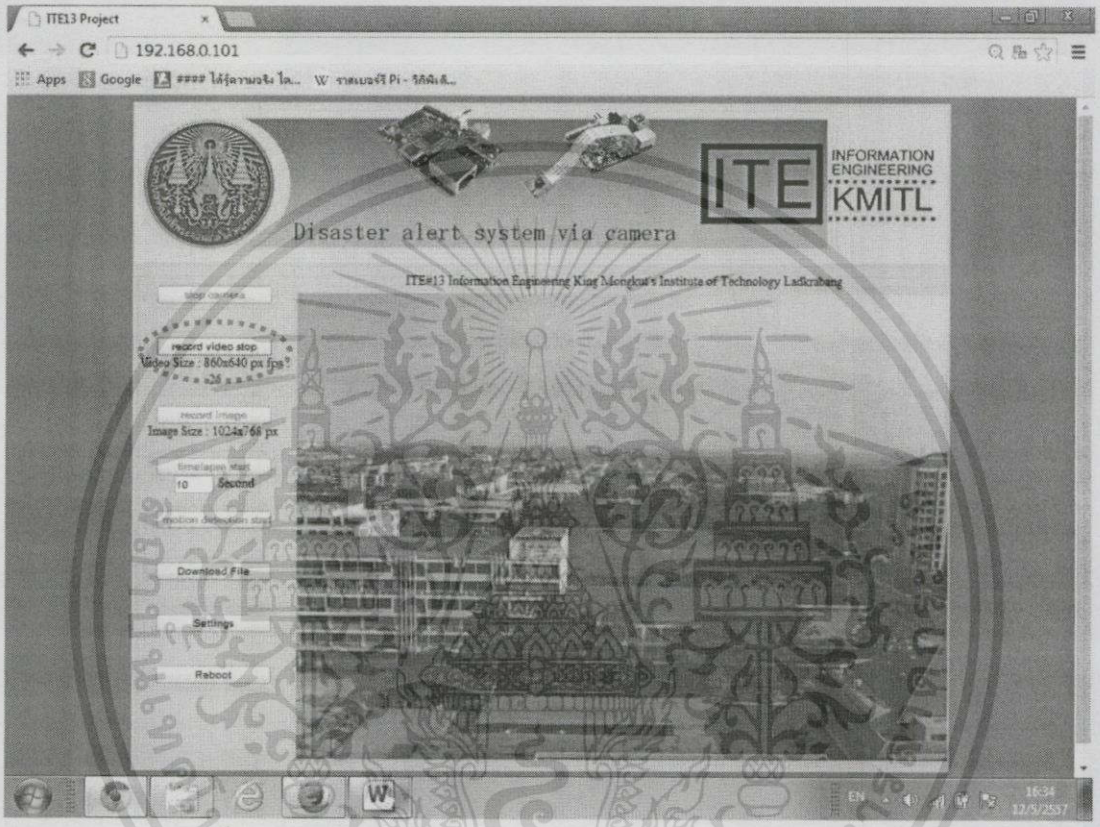
ปกติเมื่อทำการเปิดเครื่องมา กล้องจะถูกสั่งงานให้ทำงานโดยอัตโนมัติอยู่แล้ว เมื่อต้องการที่จะสั่งการให้กล้องหยุดการถ่ายหรือปิดกล้อง สามารถทำได้โดยการกดปุ่ม Stop Camera กล้องจะหยุดการถ่ายภาพ และปุ่มฟังก์ชั่นการทำงานจะไม่สามารถใช้งานได้ ดังรูปที่ 4.7 สำหรับปุ่ม Download File และปุ่ม Settings นั้นยังสามารถใช้งานได้ เมื่อต้องการเปิดการใช้งานกล้อง ให้กดปุ่ม Start camera (ปุ่มเดียวกับปุ่ม Stop camera) กล้องสามารถที่จะใช้งานได้และการตั้งค่าที่เคยตั้งค่าไว้จะกลับไปสู่ค่าเดิม

รูปที่ 4.7 หน้าโฮมเพจขณะหยุดการใช้งานกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การบันทึกวีดีโอ

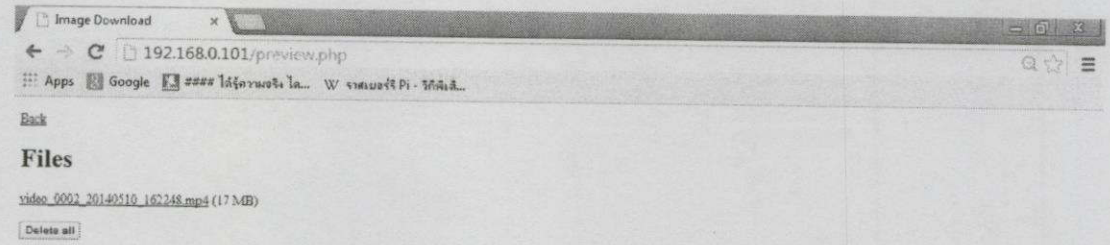
การบันทึกภาพสามารถทำงานได้โดยการกดปุ่ม Record video start บนหน้าโฮมเพจ เครื่องจะทำการบันทึกวีดีโอตลอดเวลา ปุ่มฟังก์ชั่นการทำงานปุ่มอื่นจะไม่สามารถใช้งานได้ จนเมื่อกดปุ่ม Record video stop เพื่อทำการหยุดการบันทึกวีดีโอ เครื่องจะทำการประมวลผลวีดีโอและบันทึกลงในโฟลเดอร์ภายในบอร์ด โดยจะทำการตั้งชื่อ video ตามด้วยเลขลำดับไฟล์วีดีโอ วันที่และเวลา ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.9



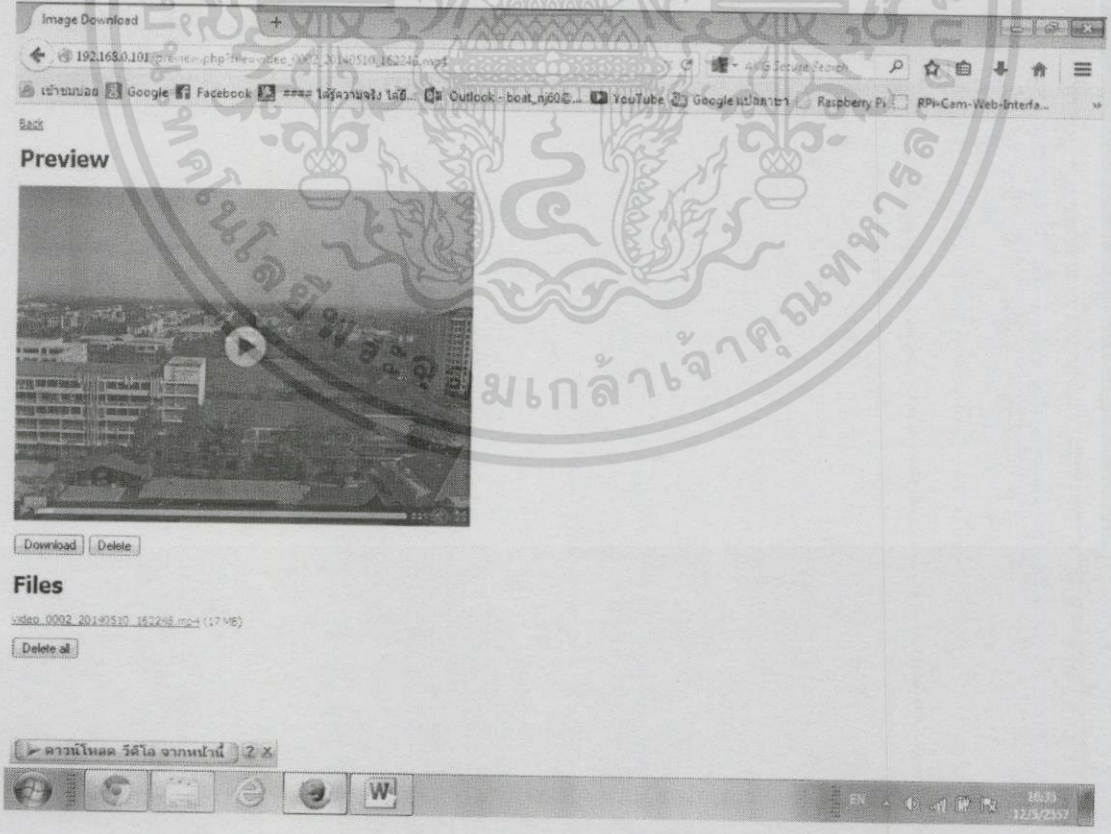
รูปที่ 4.8 ตำแหน่งปุ่มบันทึกวิดีโอ

เมื่อต้องการดูไฟล์วีดีโอบนเว็บเพจ สามารถกดเลือกไฟล์วีดีโอที่บันทึกไว้ได้ ไฟล์วีดีโอจะแสดงขึ้นเหนือชื่อไฟล์ต่าง ดังรูปที่ 4.10 ผู้ใช้งานสามารถที่จะเล่นไฟล์วีดีโอนั้นได้บนเว็บเพจหรือสามารถดาวน์โหลดไฟล์ลงมาไว้บนเครื่องของผู้ใช้งานได้โดยการกดปุ่ม Download ใต้ไฟล์วีดีโอ หรือหากต้องการที่จะลบไฟล์วีดีโอ สามารถกดปุ่ม Delete ใต้วีดีโอได้ หรือกดปุ่ม Delete all เพื่อทำการลบไฟล์ภาพและไฟล์วีดีโอทุกไฟล์ที่บันทึกไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ชื่อไฟล์วีดีโอที่บันทึก

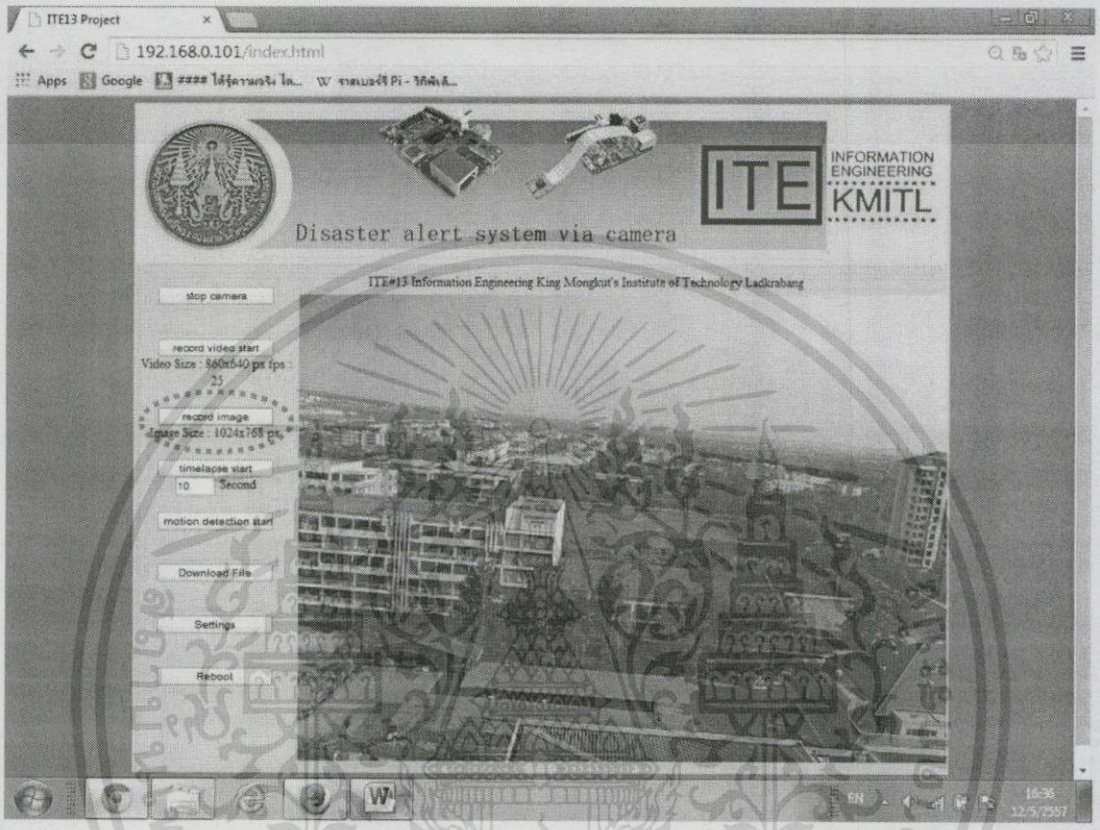


รูปที่ 4.10 ดูไฟล์วีดีโอที่บันทึกไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การบันทึกภาพ

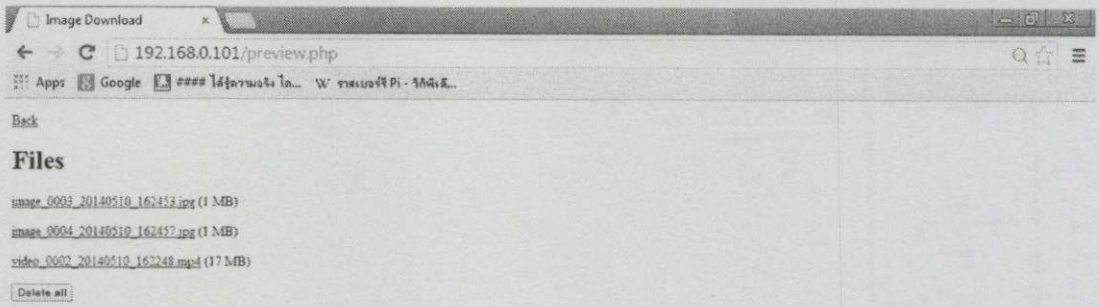
การบันทึกภาพสามารถทำงานได้โดยการกดปุ่ม Record Image บนหน้าเว็บเพจ เครื่องจะทำการบันทึกไฟล์ภาพลงในโฟลเดอร์ภายในบอร์ด โดยจะตั้งชื่อ image ตามด้วยเลขลำดับไฟล์ภาพ วันที่และเวลา ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.12



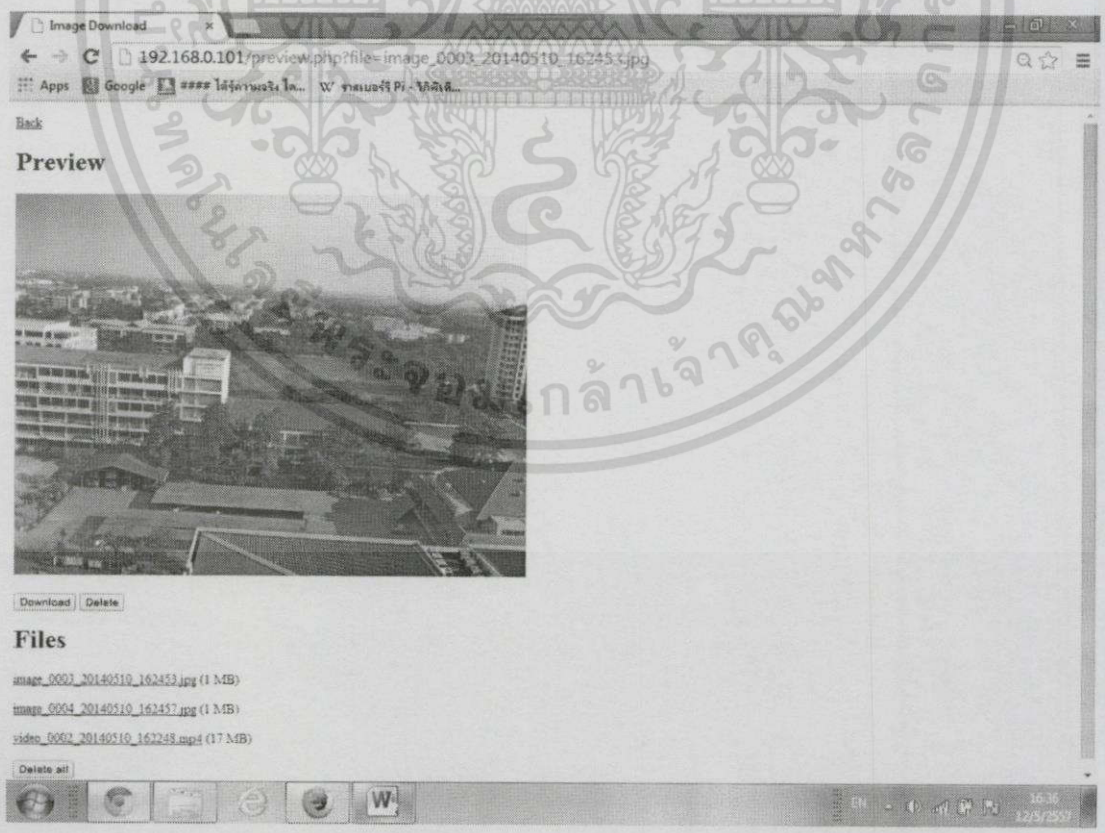
รูปที่ 4.11 ตำแหน่งปุ่มบันทึกภาพ

เมื่อต้องการดูไฟล์ภาพบนเว็บเพจ สามารถกดเลือกไฟล์ภาพที่บันทึกไว้ได้ ไฟล์ภาพจะแสดงขึ้นเหนือชื่อไฟล์ต่าง ดังรูปที่ 4.13 ผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดไฟล์ลงมาไว้บนเครื่องของผู้ใช้งานได้ โดยการกดปุ่ม Download ใต้ไฟล์ภาพ หรือหากต้องการที่จะลบไฟล์ภาพ สามารถกดปุ่ม Delete ใต้ภาพได้ หรือกดปุ่ม Delete all เพื่อทำการลบไฟล์ภาพและไฟล์วีดีโอทุกไฟล์ที่บันทึกไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ชื่อไฟล์ภาพที่บันทึก

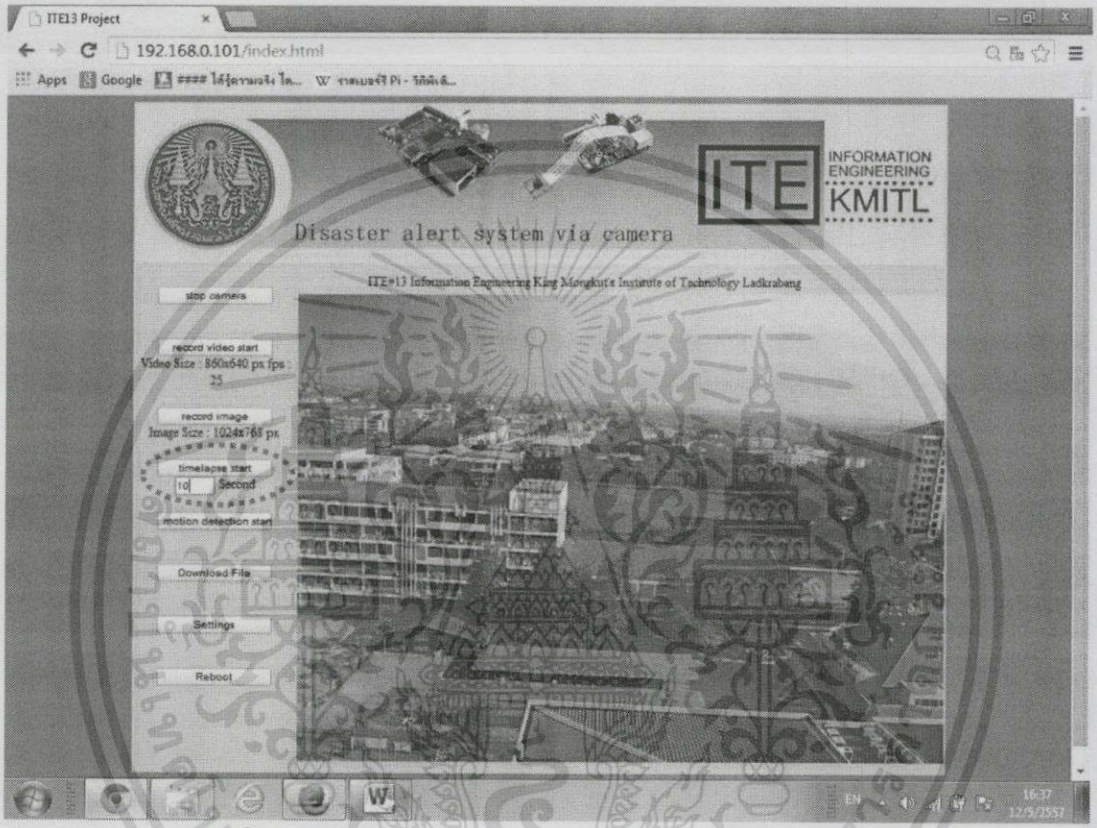


รูปที่ 4.13 ดูไฟล์ภาพที่บันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การบันทึกภาพอัตโนมัติ

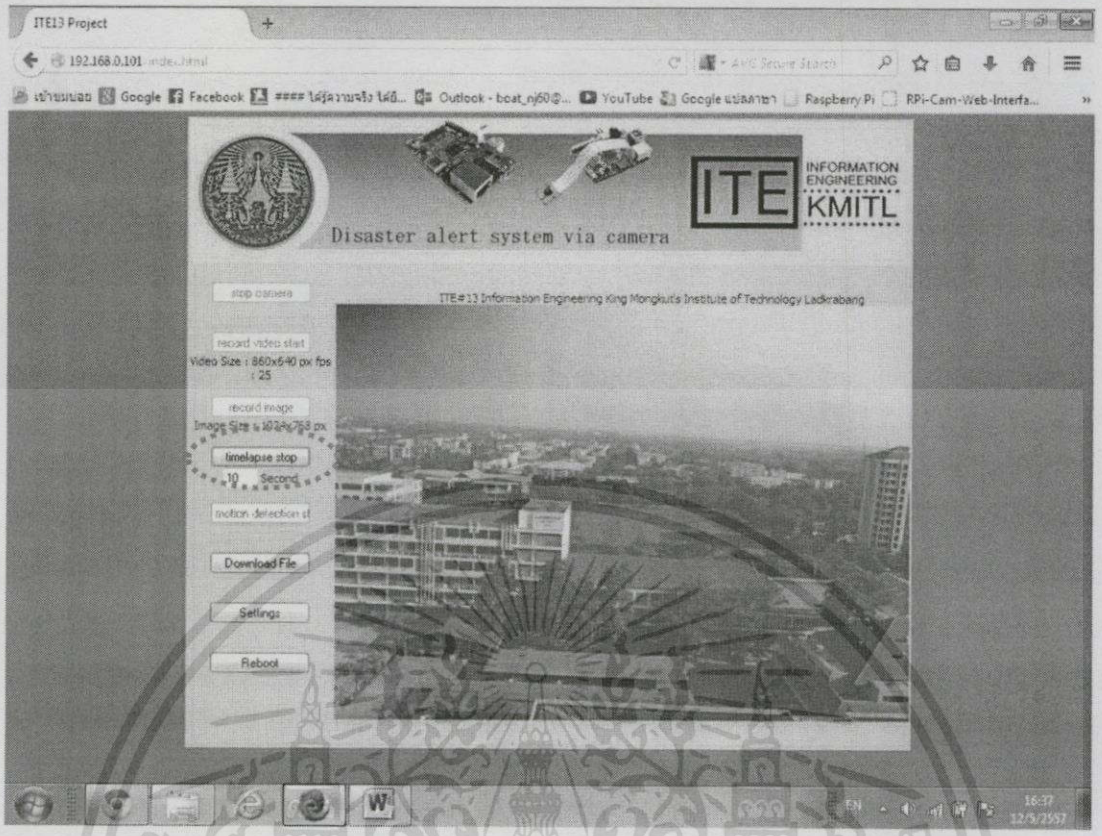
การบันทึกภาพอัตโนมัติจะต้องทำการตั้งเวลาที่ต้องการจะบันทึกภาพต่อไปทุกๆ กี่วินาที ปกติค่าที่ตั้งไว้คือ 10 วินาที การใช้งานคือผู้ใช้งานกดปุ่ม Timelapse start เพื่อเริ่มการบันทึกภาพ เครื่องจะทำการบันทึกภาพต่อไปโดยอัตโนมัติในเวลาที่ตั้งไว้ หากต้องการที่จะหยุดการใช้งาน ให้กดปุ่ม Timelapse stop (ปุ่มเดียวกับปุ่ม Timelapse start) เพื่อหยุดการใช้งานฟังก์ชั่นนี้ สำหรับไฟล์ภาพที่บันทึกไว้จะตั้งชื่อเหมือนกับการบันทึกภาพ



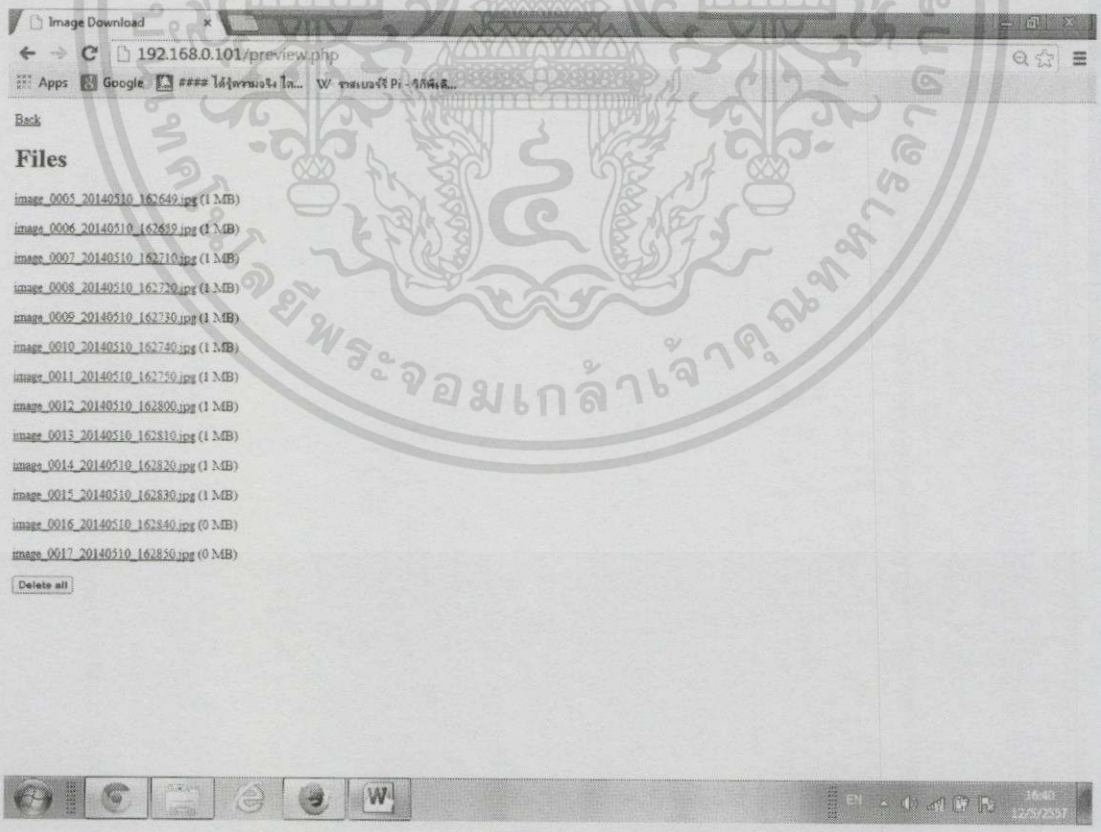
รูปที่ 4.14 ตำแหน่งปุ่มบันทึกภาพอัตโนมัติ

รูปที่ 4.16 ไฟล์ภาพที่บันทึกไว้จะเก็บอยู่ในโฟลเดอร์ภายในบอร์ด โดยในที่นี้ลองทำการตั้งเวลาที่จะบันทึกภาพทุกๆ 10 วินาที ภาพที่ได้จะเก็บเรียงลำดับตามลำดับของภาพ และภาพทุกภาพถูกบันทึกในเวลาห่างกันทุกๆ 10 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ตำแหน่งปุ่มหยุดบันทึกภาพอัตโนมัติ

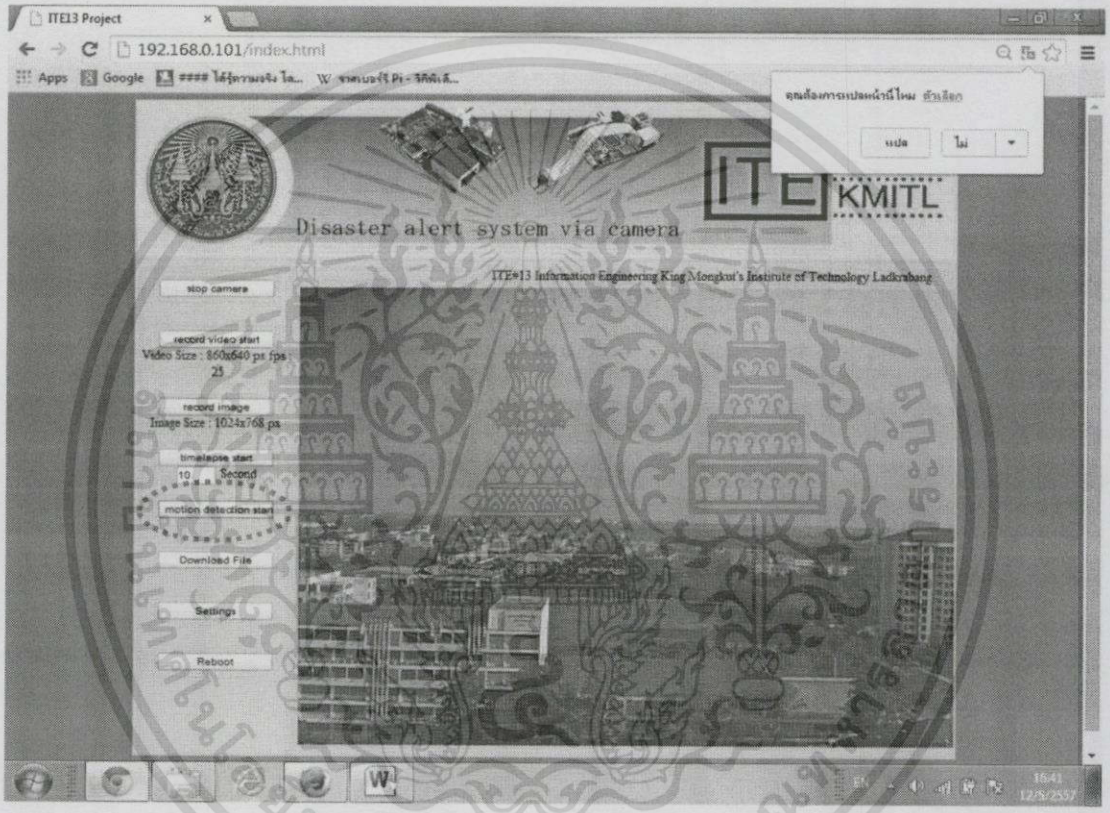


รูปที่ 4.16 ไฟล์ภาพที่บันทึกอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 การตรวจจับการเคลื่อนไหว

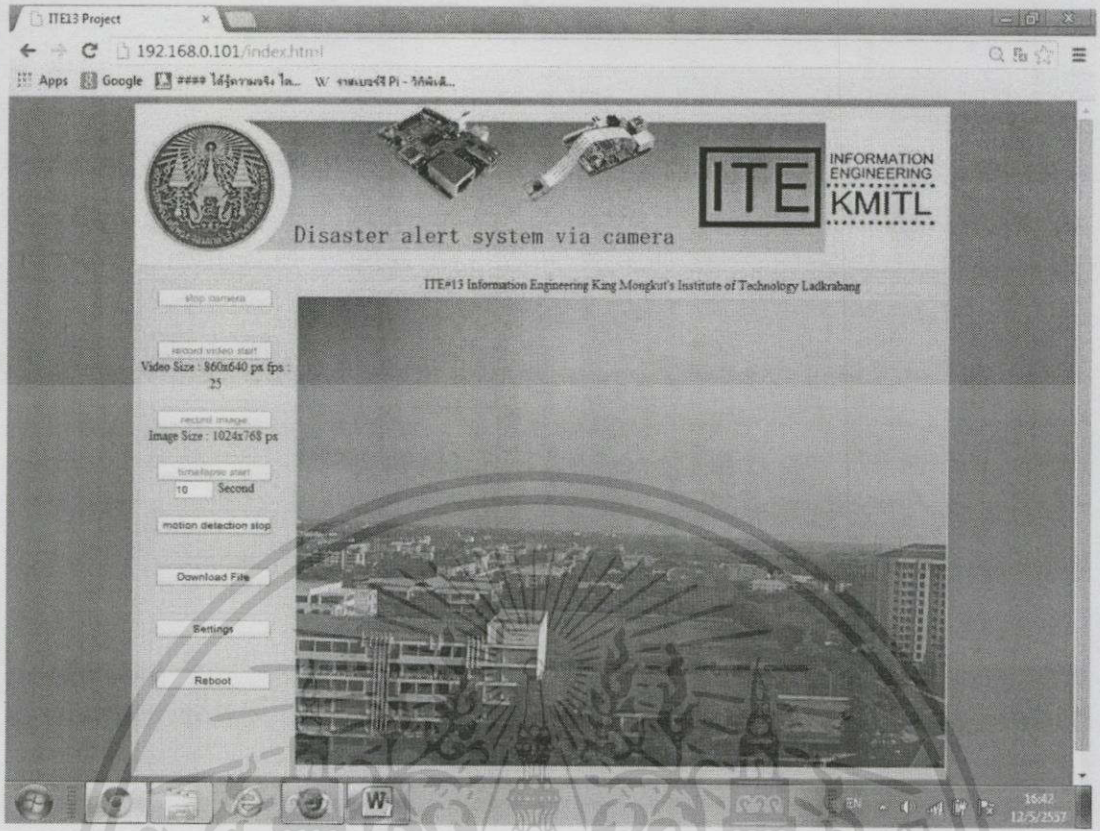
ผู้ใช้งานสามารถใช้ฟังก์ชั่นนี้โดยการกดปุ่ม motion detection start เพื่อเริ่มการทำงาน โดยเครื่องจะทำการเริ่มจับภาพ หากมีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้น เครื่องจะทำการบันทึกเป็นไฟล์วีดีโอไว้ ปุ่มจะแสดงข้อความบนปุ่มเป็น recording video จนกระทั่งหมดการเคลื่อนไหว เครื่องจะหยุดการบันทึกวีดีโอและประมวลผลเพื่อบันทึกลงโฟลเดอร์ในบอร์ดโดยใช้ชื่อไฟล์วีดีโอเหมือนกับการบันทึกวีดีโอ และเปลี่ยนข้อความบนปุ่มเป็น motion detection stop เพื่อสามารถจะหยุดการตรวจจับการทำงานได้ หากยังไม่มีการกดปุ่มหยุดการทำงาน เครื่องจะบันทึกวีดีโอเสมอเมื่อมีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้นบนภาพ ในขณะที่ทำการใช้งานฟังก์ชันนี้ ฟังก์ชั่นอื่นจะไม่สามารถใช้งานได้



รูปที่ 4.17 ตำแหน่งปุ่มตรวจจับการเคลื่อนไหว

สำหรับการดูวีดีโอที่บันทึกการตรวจจับการเคลื่อนไหวนี้ ดูได้โดยการกดไปที่ปุ่ม Download file เพื่อไปยังหน้าเว็บเพจการดูไฟล์ที่บันทึกไว้ และสามารถดาวน์โหลดไฟล์ลงสู่เครื่องผู้ใช้งานได้เช่นเดียวกับการดูภาพและวีดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



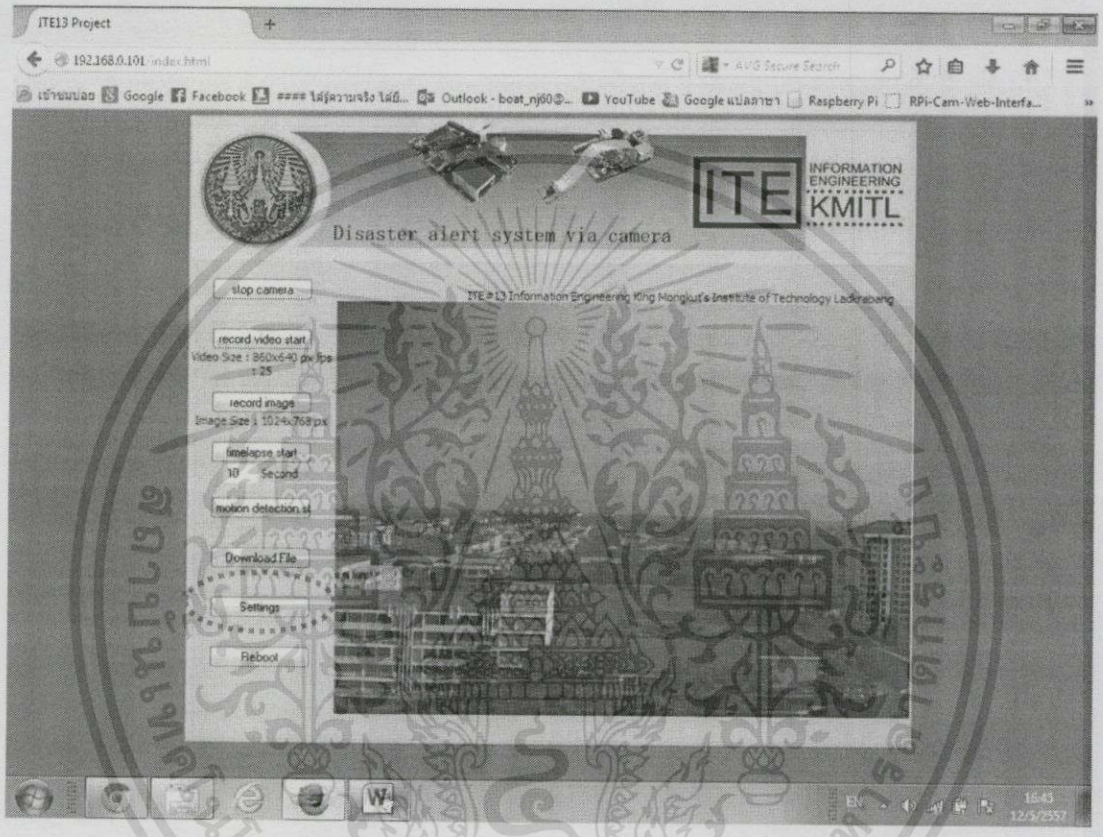
รูปที่ 4.18 หน้าโฮมเพจเมื่อใช้งานการตรวจจับการเคลื่อนไหว

รูปที่ 4.19 หน้าโฮมเพจขณะบันทึกวีดีโอในการตรวจจับการเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

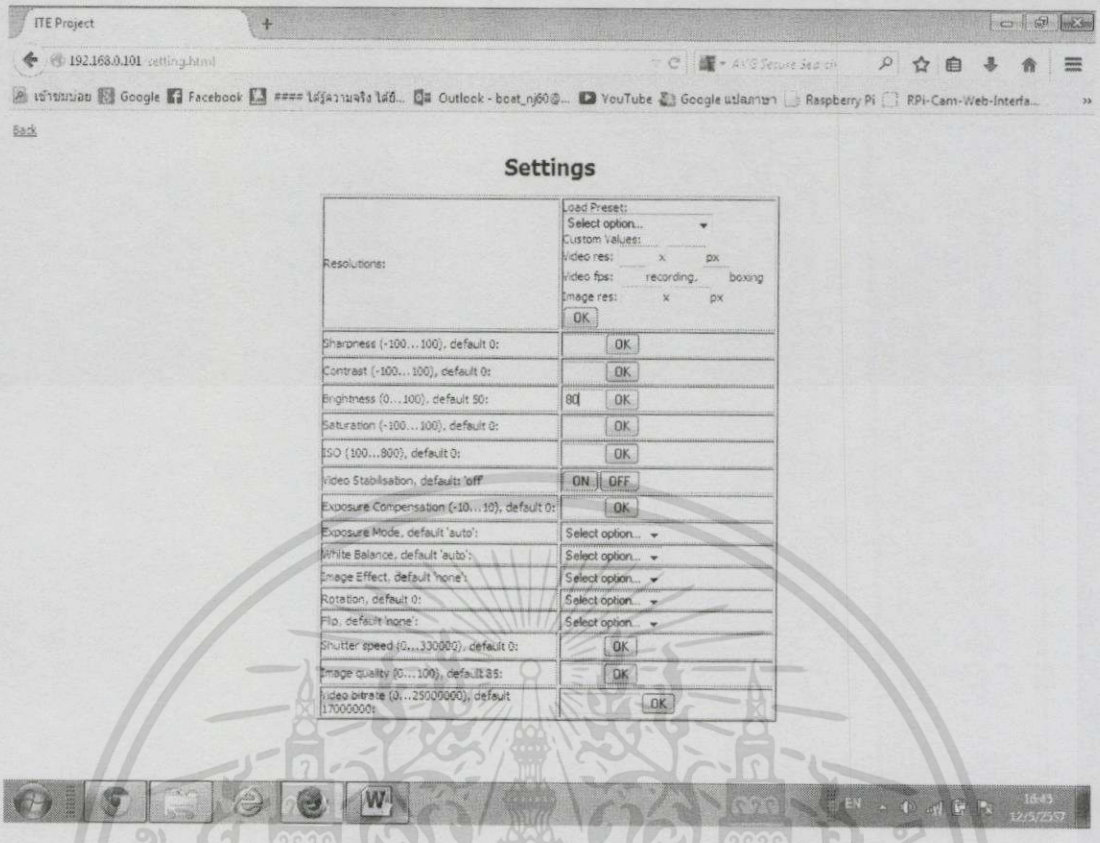
4.2.6 การตั้งค่ากล้อง

เมื่อต้องการตั้งค่าการถ่ายภาพหรือวีดีโอ สามารถทำการตั้งค่าได้โดยการกดปุ่ม Settings เพื่อเรียกใช้หน้าเว็บเพจการตั้งค่าต่างๆ ของกล้อง ดังรูปที่ 4.21 ผู้ใช้งานสามารถที่จะตั้งค่าได้โดยการใส่ค่าที่ต้องการลงไปในช่องที่ต้องการจะตั้งค่าหรือเลือกรูปแบบได้ เมื่อตั้งค่าเสร็จแล้วให้กดปุ่ม OK หลังค่าที่ตั้ง แล้วกดปุ่ม Back เพื่อทำการกลับสู่หน้าโฮมเพจ หากมีการเปิดใช้งานเครื่องใหม่หรือรีสตาร์ทเครื่อง ค่าที่ตั้งไว้จะกลับสู่ค่าปกติ

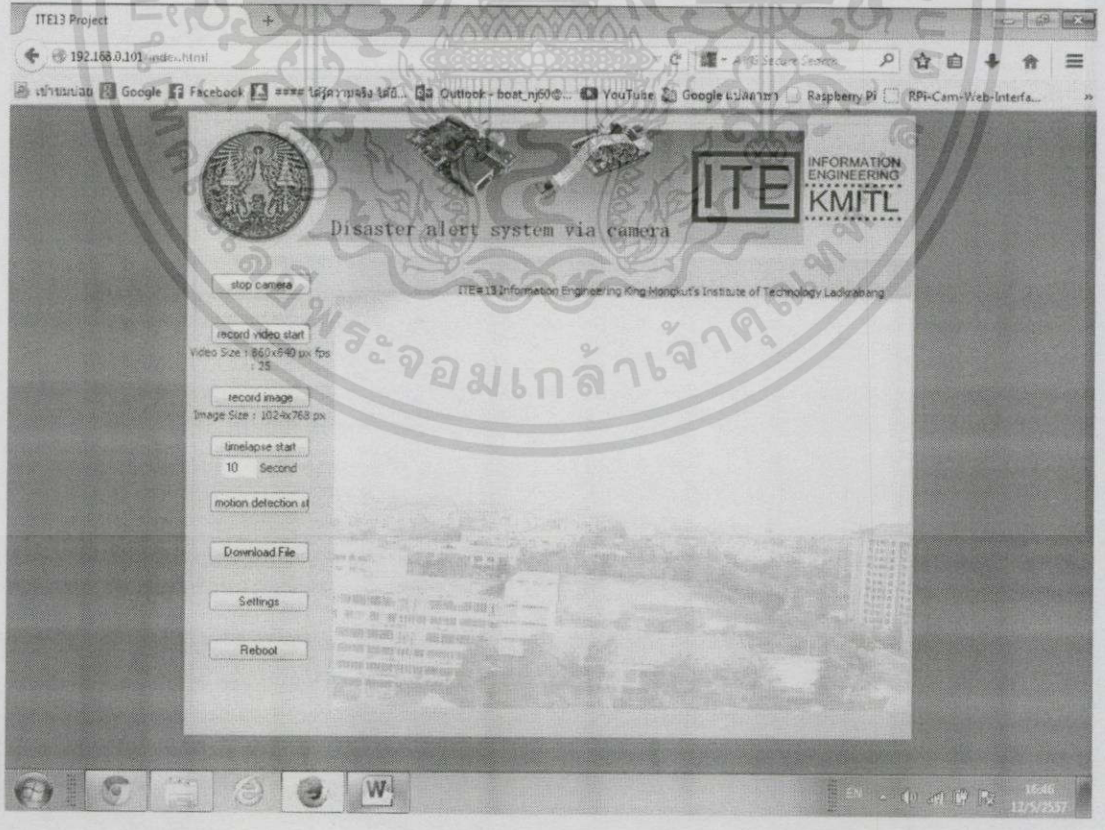


รูปที่ 4.20 ตำแหน่งปุ่มตั้งค่ากล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 หน้าเว็บเพจการตั้งค่ากล้อง

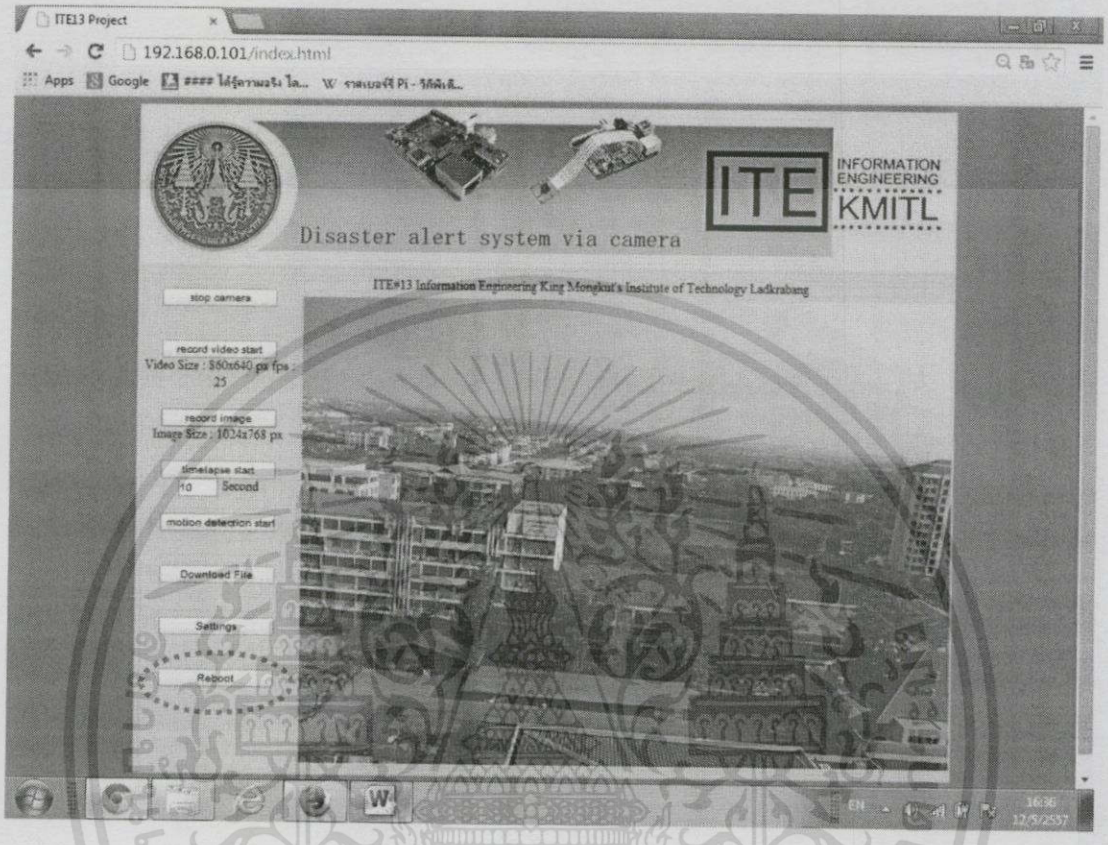


รูปที่ 4.22 ภาพจากกล้องหลังการตั้งค่าความสว่างของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 การรีสตาร์ทเครื่อง

เมื่อต้องการปิดแล้วเปิดเครื่องใหม่ สามารถกดปุ่ม Reboot เพื่อทำการรีสตาร์ทบอร์ดได้ โดยค่าต่างๆ ของกล้องจะกลับสู่ค่าเดิมที่ตั้งไว้ แต่ไฟล์ภาพและวีดีโอที่บันทึกไว้ยังคงอยู่



รูปที่ 4.23 ตำแหน่งปุ่ม Reboot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงานปริญญานิพนธ์

จากการทดลองของตัวปริญญานิพนธ์สามารถแบ่งสรุปผลการทำปริญญานิพนธ์ได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนติดต่อสื่อสารกับข้อมูลในพื้นที่ และส่วนการดูภาพจากพื้นที่ประสบภัยพิบัติ โดยส่วนการติดต่อสื่อสารนี้ได้ทำการวัดค่าสัญญาณที่ออกจากวิทยุรับส่งด้วยเครื่องสเปคตรัมอนาไลเซอร์ เพื่อให้ได้ขนาดของสัญญาณและกำลังส่งที่มากขึ้นและสมบูรณ์ที่สุด

ในส่วนที่สอง บอร์ด Raspberry Pi จะเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ทำการบรรจุเว็บเพจที่ใช้ในการสั่งการทำงานจากกล้องที่ต่ออยู่กับบอร์ด เพื่อทำการดูภาพในปัจจุบัน โดยสามารถที่จะบันทึกภาพและวีดีโอในฟังก์ชั่นโหมดต่างๆ ได้ และนำเอาภาพเก็บไว้ในโฟลเดอร์ภายในบอร์ด ซึ่งสามารถดูภาพหรือวีดีโอจากเว็บเพจ หรือสามารถที่จะดาวน์โหลดไฟล์ภาพหรือวีดีโอนั้นลงสู่เครื่องที่ต่ออยู่ได้ โดยบอร์ด Raspberry Pi จะต่อเข้ากับตัวเราท์เตอร์เพื่อใช้ในการกระจายสัญญาณไร้สายได้ โดยระยะทางจะขึ้นอยู่กับความแรงของตัวเราท์เตอร์ด้วย

5.2 ปัญหาที่พบในการดำเนินปริญญานิพนธ์

1. การหาซื้ออุปกรณ์ในการทดลองวงจรวิทยุค่อนข้างที่จะหาซื้อได้ยาก เพราะจะมีขายเพียงบางร้านเท่านั้น

2. การหาเครื่องมือในการทดลอง เนื่องจากปกติเครื่องมือทั่วไปจะใช้วัดแรงดันหรือกระแสเท่านั้น แต่เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความถี่ไม่ว่าจะเป็นสเปคตรัมหรือออสซิลโลสโคปโดยเฉพาะในความถี่สูงจำเป็นต้องไปใช้ที่ตึกภาควิศวกรรมโทรคมนาคม

3. ปัญหาเกี่ยวกับการออสซิลเลตของสัญญาณมีมาก ทำให้การจูนสัญญาณจะต้องกระทำอย่างละเอียดและถูกต้องทุกๆ ภาคของวงจร

4. ในส่วนของบอร์ด Raspberry Pi มีปัญหาคือ เฟิร์มแวร์ของ Raspberry Pi เวอร์ชั่นล่าสุดไม่รองรับการติดต่อระหว่างคำสั่งกับตัวอุปกรณ์ ทำให้เกิดการผิดพลาดขึ้นในขณะสั่งการทำงาน

5. คำสั่งและวิธีการตั้งค่าไอพีแอดเดรสให้กับบอร์ด Raspberry Pi แบบคงที่ ยังไม่สามารถทำงานได้

6. ปัญหาของไฟเลี้ยงที่จ่ายให้กับตัวเราท์เตอร์คือไฟ 12 โวลต์ และตัวบอร์ด Raspberry Pi ใช้ไฟ 5 โวลต์ แต่กระแสไฟไม่เพียงพอต่ออุปกรณ์ทั้ง 2 ตัว

5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา

1. ในการหาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางตัว เช่น ไอซีบางตัวของเครื่องรับส่งวิทยุจะใช้เบอร์แทน เนื่องจากไม่สามารถหาไอซีตัวที่ต้องการได้

2. ปัญหาจากตัวเฟิร์มแวร์ที่อัพเดทรุ่นล่าสุดและเกิดความผิดพลาด ใช้เฟิร์มแวร์รุ่นก่อนทำการอัพเดทแทนรุ่นล่าสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การค้นหาไอพีแอดเดรสของบอร์ด ใช้การดูไอพีแอดเดรสจากตัวเราท์เตอร์ว่ามีบอร์ด Raspberry Pi ที่เชื่อมต่ออยู่ใช้ไอพีแอดเดรสใด

4. ไฟที่ต่อให้กับตัวเราท์เตอร์ใช้ไฟบ้านต่อเพื่อให้กระแสเพียงพอกับบอร์ด Raspberry Pi ที่ต่อกับแบตเตอรี่

5.4 การนำปริญญานิพนธ์ไปประยุกต์ใช้ในอนาคต

1. สามารถนำปริญญานิพนธ์นี้ไปใช้กับการส่งสัญญาณภาพที่อาจจะนำไปติดกับเรือบังคับหรือเครื่องบินบังคับเพื่อใช้ในการดูภาพได้

2. นำปริญญานิพนธ์นี้ไปใช้งานในด้านอื่นๆ เช่น ระบบกล้องรักษาความปลอดภัยที่สามารถต่ออุปกรณ์วัดค่าต่างๆ ได้เพื่อแสดงข้อมูลที่วัดค่าลงบนเว็บ

3. สำหรับการเก็บข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ให้ได้เยอะนั้น อาจใช้การนำเอาบอร์ดต่อเข้ากับเซิร์ฟเวอร์ภายนอกได้เช่น ระบบ NAS (Network Attach Storage) เพื่อสามารถเก็บข้อมูลได้เยอะมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] บรรเจิด ตันติกัลยาภรณ์, "เครื่องรับส่ง (เล่ม 8)", เครื่องรับส่ง

[2] ประดิษฐ์ วัชรพิบูลย์, "เครื่องส่งวิทยุและโทรทัศน์", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2534

[3] สุชาติ กังวารจิตต์, "เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร", บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2531

[4] สุชาติ กังวารจิตต์, "หลักการทำงานเครื่องรับส่งวิทยุและระบบสื่อสาร", บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพ, 2538

[5] Peter Membrey and David Hows, "Learn Raspberry Pi with Linux", Apress, 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
คุณสมบัติของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติ

ส่วนของการติดต่อสื่อสารจากข้อมูลในพื้นที่

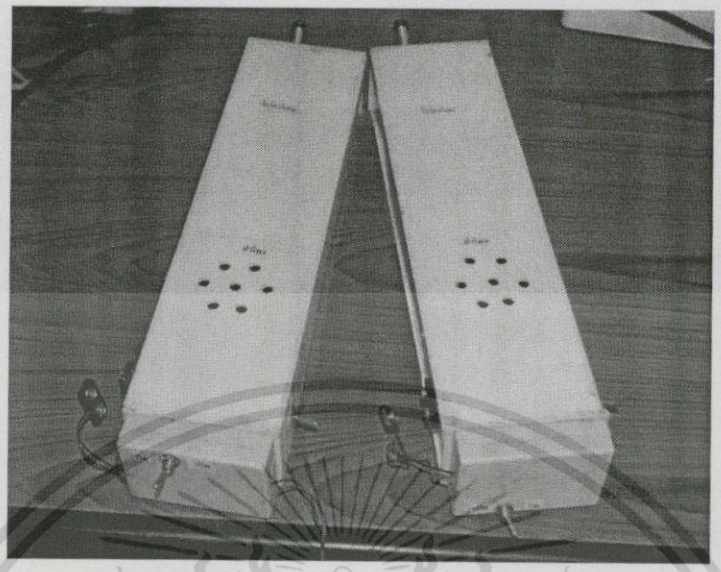
- วงจรวิทยุรับส่งในย่านความถี่ 245 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะ
- ระยะทางในการรับส่งประมาณ 300 เมตร ถึง 500 เมตร

ส่วนของการส่งสัญญาณภาพ

- สามารถดูภาพแบบ Real Time ได้ โดยดูผ่านทางหน้าโฮมเพจบนเว็บบราวเซอร์
- สามารถบันทึกวีดีโอได้
- สามารถบันทึกภาพได้จากการกดถ่ายภาพ และตั้งเวลาอัตโนมัติในการถ่ายรูป
- สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้จากโหมด Motion Detection
- สามารถดาวน์โหลดไฟล์ภาพหรือวีดีโอที่บันทึกลงสู่คอมพิวเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของการติดต่อสื่อสารกับข้อมูลในพื้นที่

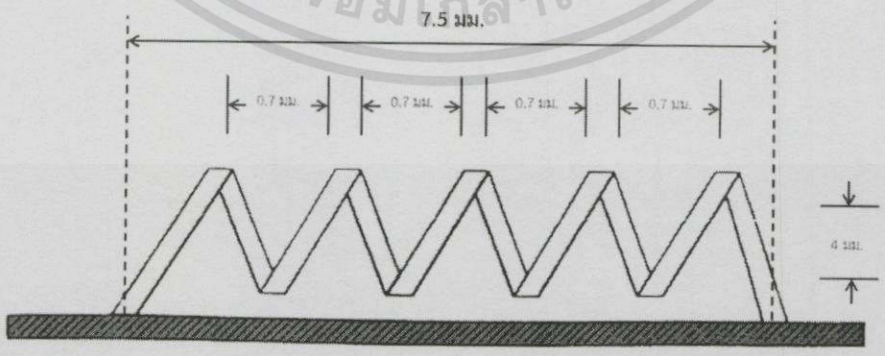


รูปที่ ก.1 วิทยุรับส่งย่านความถี่ 245 MHz

การพันคอยล์

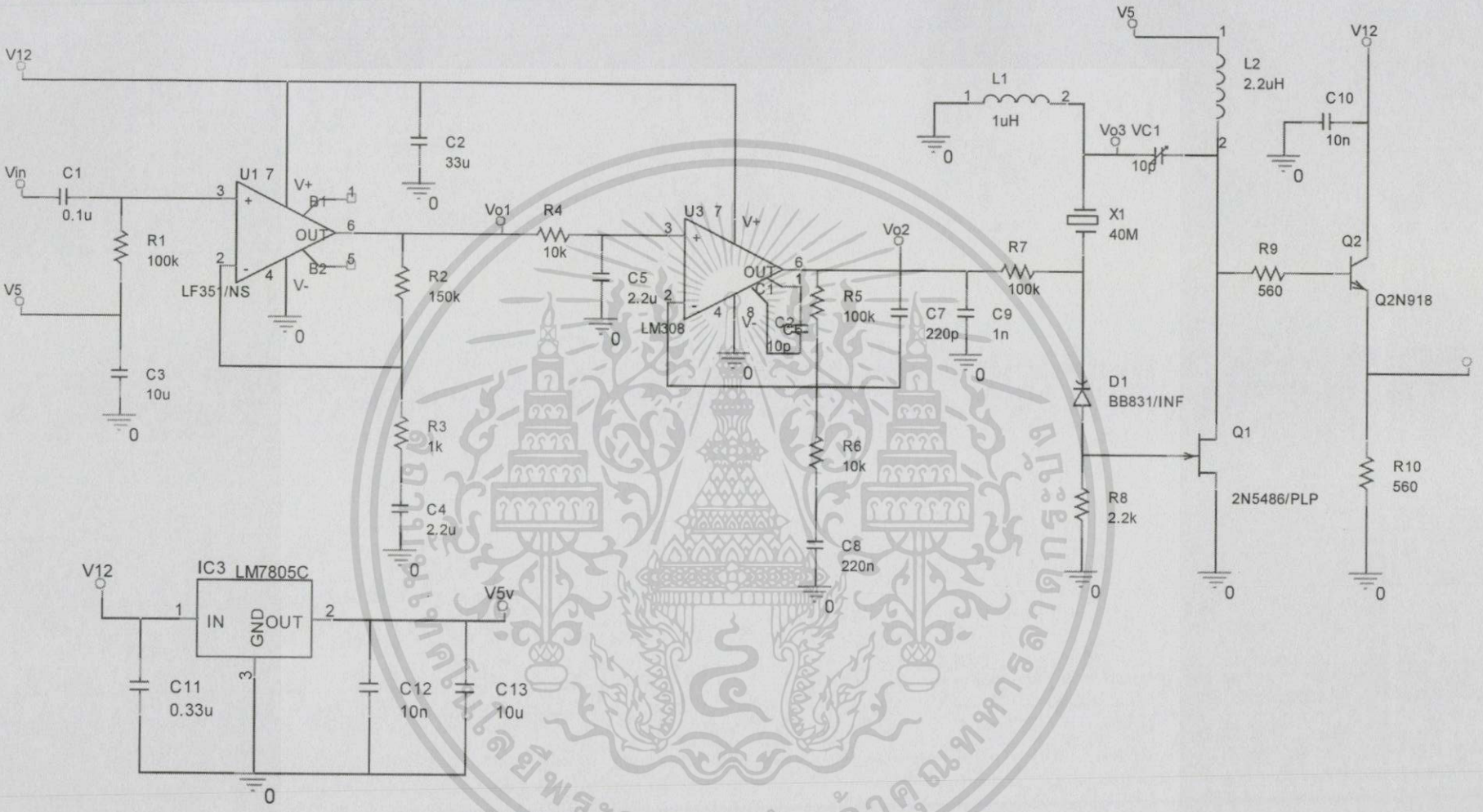
มีคอยล์จำนวน 9 ตัวที่ต้องพันได้แก่ L1, L4, L5, L6, L7, L8 และ L10, L11, L12 คอยล์ทั้ง 9 ตัวนี้พันเหมือนกันหมด โดยพันด้วยลวดเบอร์ 22 SWG จำนวน 5 รอบเส้นผ่าศูนย์กลางคอยล์ประมาณ 4 มม. (แกนอากาศหรือไม่มีแกน) เมื่อพันเสร็จถ่างคอยล์ออกให้มีช่องว่างระหว่างคอยล์เท่ากับความหนาของเส้นลวดที่ใช้พันคอล์ (ดูรายละเอียดจากรูปอธิบายการพันคอยล์รูปที่ ก.2)

มีแท็ปคอยล์ที่ L6, L7 และ L8 โดยการบัดกรีต่อแท็ปสายเข้าทางด้านบนของคอยล์ คอยล์ L6 แท็ปที่ 4.5 รอบ (หรือรอบที่ 4 เมื่อนับโดยมองจากด้านบนของคอยล์) ในการนับให้เริ่มจากปลายขาคอยล์ด้านที่ต่อลงกราวด์ส่วนคอยล์ L7 และ L8 แท็ปที่ 1.5 รอบ (หรือรอบที่ 2 เมื่อมองจากด้านบนของขดคอยล์) โดยเริ่มนับจากขาคอยล์ด้านที่ต่อเข้ากับไฟบวก ในกรณีที่ใช้ลวดอาบน้ำยามาพันเป็นขดคอยล์เมื่อต้องการบัดกรีแท็ปคอยล์หรือบัดกรีติดตั้งคอยล์ลงบนแผ่นพริ้นต์จะต้องขูดขาขดคอยล์ก่อนการบัดกรีมิฉะนั้นจะบัดกรีไม่ติด

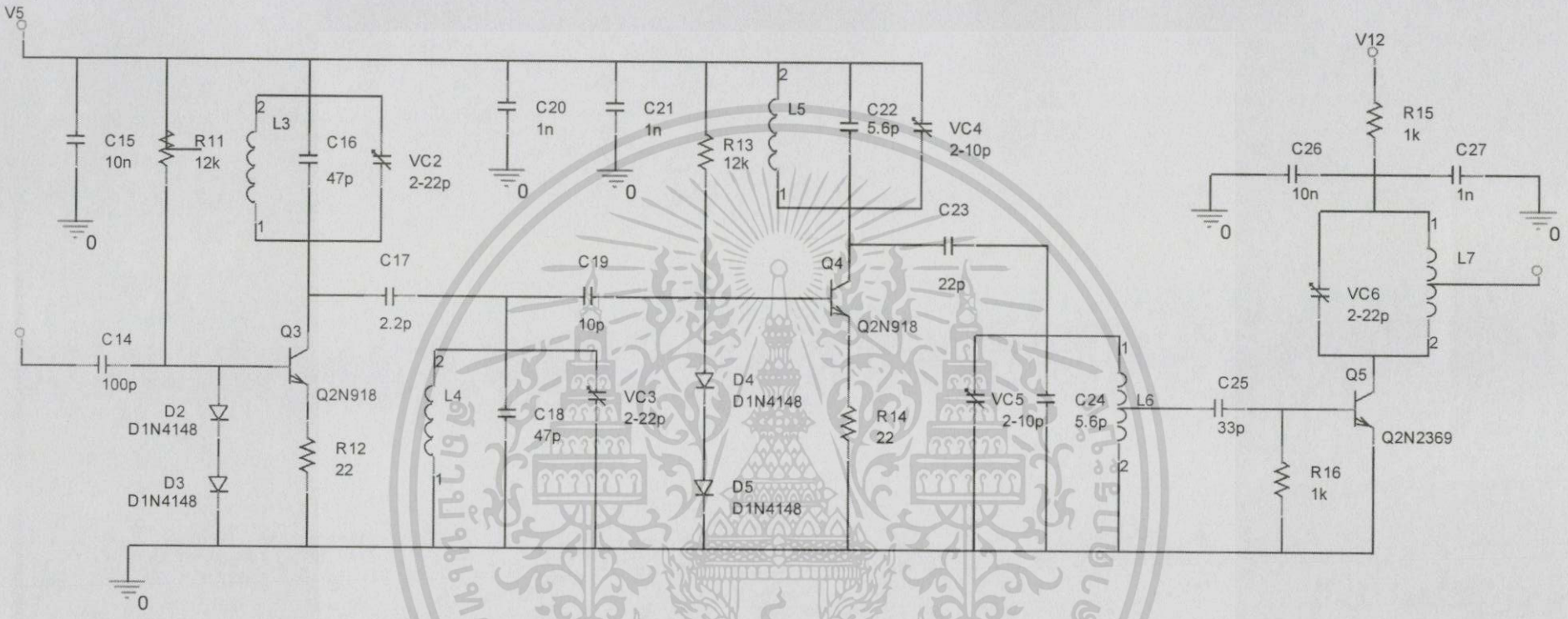


รูปที่ ก.2 แสดงการพันคอยล์ L3, L4, L5, L6, L7, L8, L10, L11 และ L12 โดยใช้ลวดทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.7 มม. (#22SWG) เส้นผ่าศูนย์กลางคอยล์ 4 มม. (5/32 นิ้ว) แกนอากาศ, พันเสร็จถ่างขอคอยล์ออกกว้างประมาณ 7 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

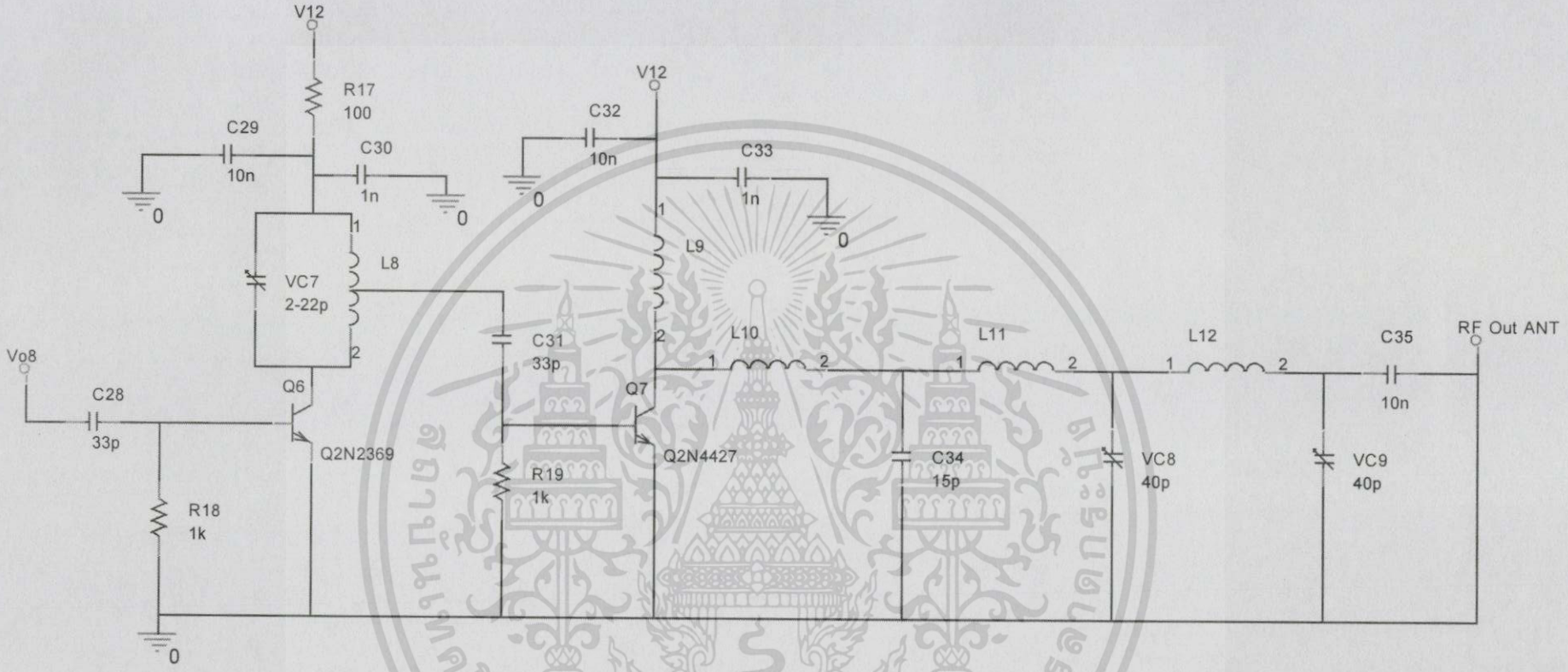


รูปที่ ก.3 วงจรภาคขยายสัญญาณเสียงและวงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์



รูปที่ ก.4 ภาคขยาย RF และภาคกรองสัญญาณออก

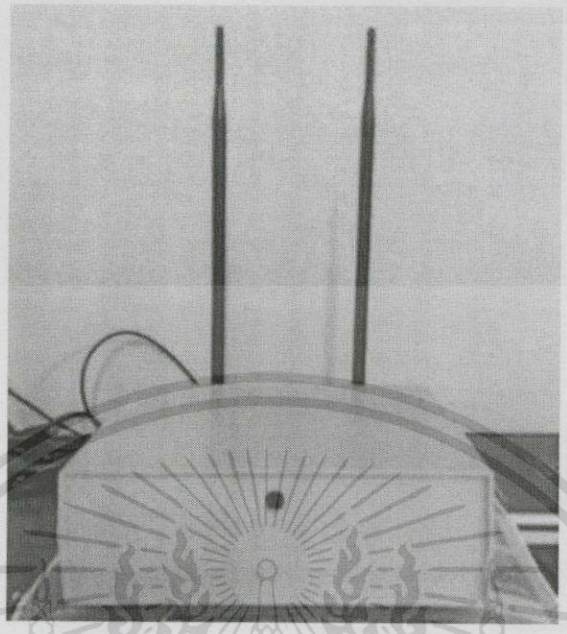
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ ก.5 วงจรภาคทวีคูณความถี่

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

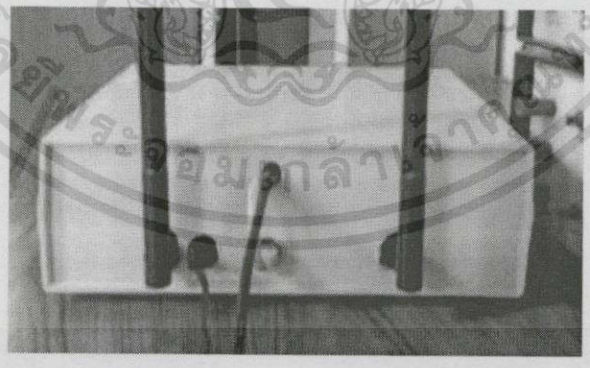
ส่วนของการส่งสัญญาณภาพ



รูปที่ ก.6 เครื่องส่งสัญญาณภาพ

ส่วนนี้บอร์ด Raspberry Pi จะทำการเชื่อมต่อกับโมดูลกล้องซึ่งเป็นกล้องที่ใช้กับบอร์ดของ Raspberry Pi โดยเฉพาะ โดยที่บอร์ดจะทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ เก็บหน้าเว็บเพจของการทำงานไว้ ซึ่งเว็บเพจที่ทำขึ้นสามารถดูภาพปัจจุบันที่กล้องถ่ายอยู่ได้และยังสามารถที่จะสั่งการทำงานของกล้องให้ทำการบันทึกภาพหรือวีดีโอได้

ระยะทางที่สามารถส่งสัญญาณได้จะขึ้นอยู่กับความแรงของเสาเราท์เตอร์ โดยจากการวัดสามารถเชื่อมต่อได้ในระยะประมาณ 100 เมตร



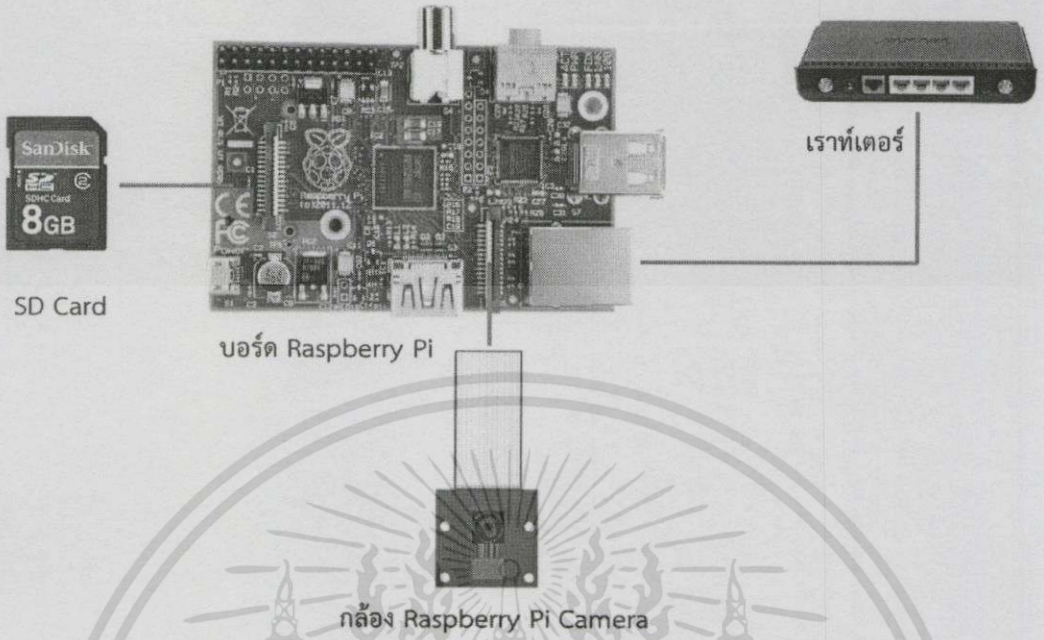
รูปที่ ก.7 ด้านหลังของเครื่องส่งสัญญาณภาพ

การต่อไฟเลี้ยงวงจรและเราท์เตอร์

- ไฟเลี้ยงตัวเราท์เตอร์ใช้ไฟ 12 โวลต์
- ไฟเลี้ยงบอร์ด Raspberry Pi ใช้ไฟ 5 โวลต์ และกระแส 1 แอมแปร์ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่ออุปกรณ์ส่วนของการส่งสัญญาณภาพ



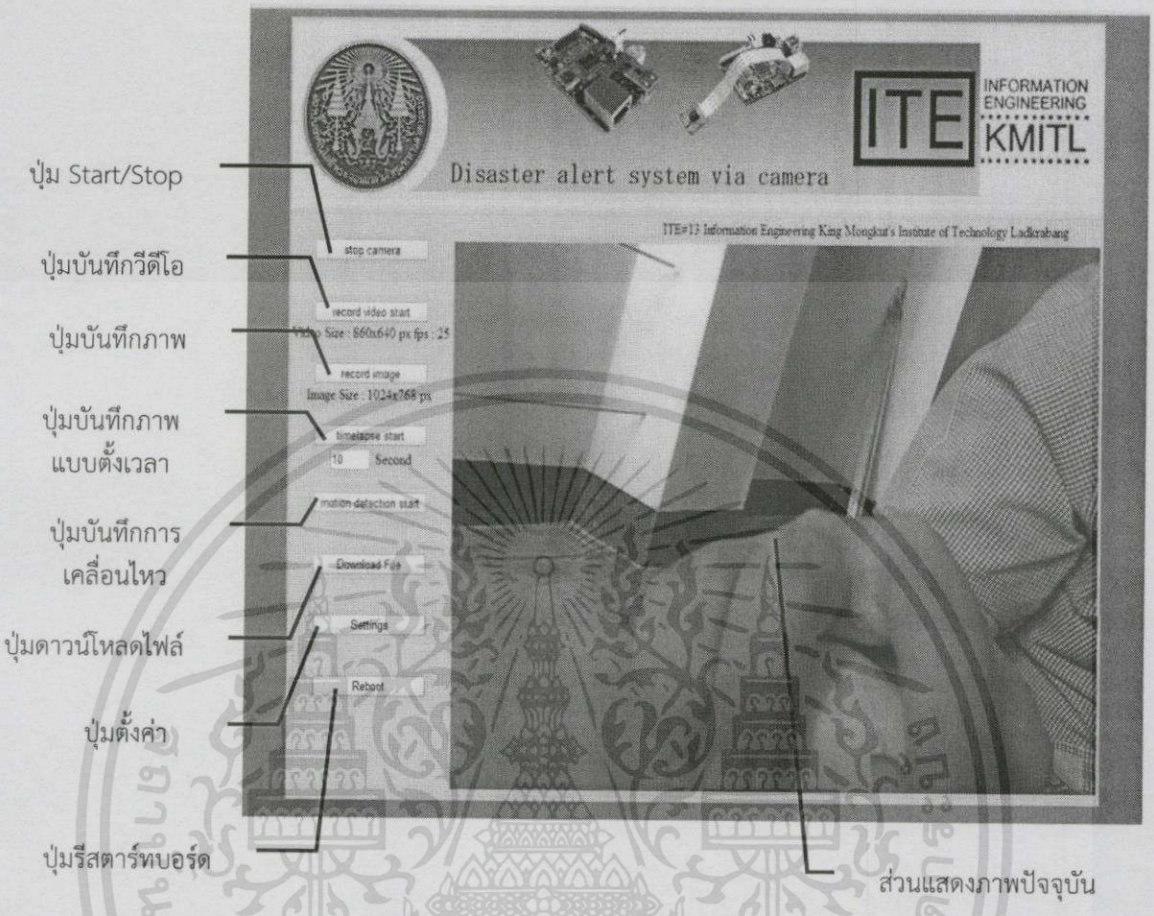
รูปที่ ก.8 การต่อบอร์ด Raspberry Pi

การต่ออุปกรณ์เข้ากับบอร์ด Raspberry Pi ต่อได้ดังนี้

- เสียบ SD Card ที่ลง Raspbian OS ไว้แล้ว เข้าที่ช่องเสียบ SD Card ด้านหลังของบอร์ด
- ต่อสาย Ethernet ที่พอร์ตด้านหลังของตัวเราท์เตอร์ เข้ากับพอร์ต Ethernet หรือพอร์ต LAN ของบอร์ด Raspberry Pi
- ต่อสายแพรของกล้อง Raspberry Pi Camera เข้ากับพอร์ตกล้องของบอร์ด Raspberry Pi ที่อยู่ด้านหลังของพอร์ต LAN โดยดึงแถบสีดำขึ้น แล้วเสียบสายแพรที่ติดอยู่กับกล้องเข้าไปในช่องเสียบสายแพรให้สุดโดยให้ฝั่งที่มีทองแดงอยู่หันเข้าหากัน จากนั้นดันแถบสีดำปิดลงไปให้แน่น เพื่อทำให้สายแพรไม่หลุดออกจากบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าโฮมเพจ



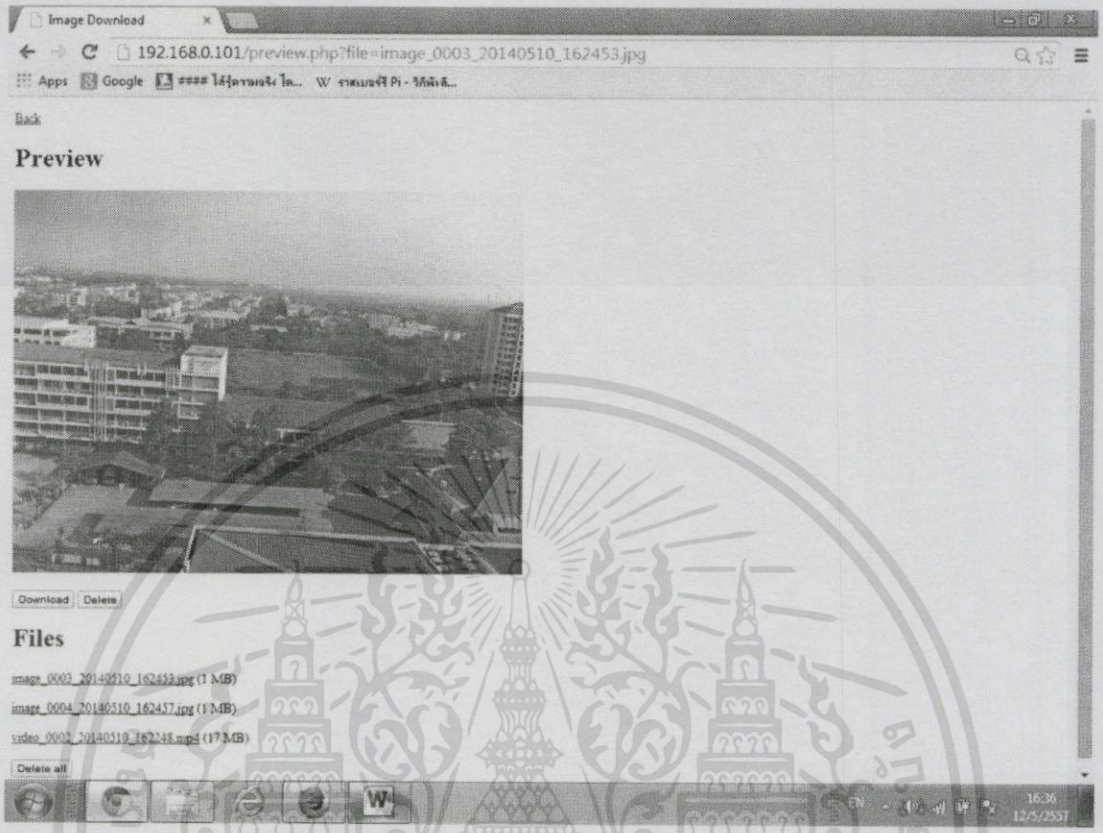
รูปที่ ก.9 หน้าโฮมเพจ

ปุ่มต่างๆ บนหน้าโฮมเพจมีดังนี้

- ปุ่ม Start หรือ Stop สำหรับการสั่งการทำงานให้เปิดหรือปิดการทำงานของกล้อง
- ปุ่ม Record Video สำหรับการบันทึกวีดีโอจากกล้อง
- ปุ่ม Record Image สำหรับการบันทึกภาพ
- ปุ่ม Timelapse Image สำหรับการบันทึกภาพอัตโนมัติจากการตั้งค่าเวลาที่ใช้ในการบันทึกภาพต่อไป
- ปุ่ม Motion Detection สำหรับการบันทึกวีดีโอขณะที่มีการเคลื่อนไหวในภาพของกล้อง
- ปุ่ม Download File คือปุ่มที่ใช้เรียกหน้าเว็บเพจการดาวน์โหลดไฟล์ภาพหรือวีดีโอที่ทำการบันทึกไว้
- ปุ่ม Settings คือปุ่มที่ใช้สำหรับเรียกหน้าเว็บเพจการตั้งค่าต่างๆ
- ปุ่ม Reboot สำหรับการรีสตาร์ทบอร์ด Raspberry Pi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าเพจดาวน์โหลด



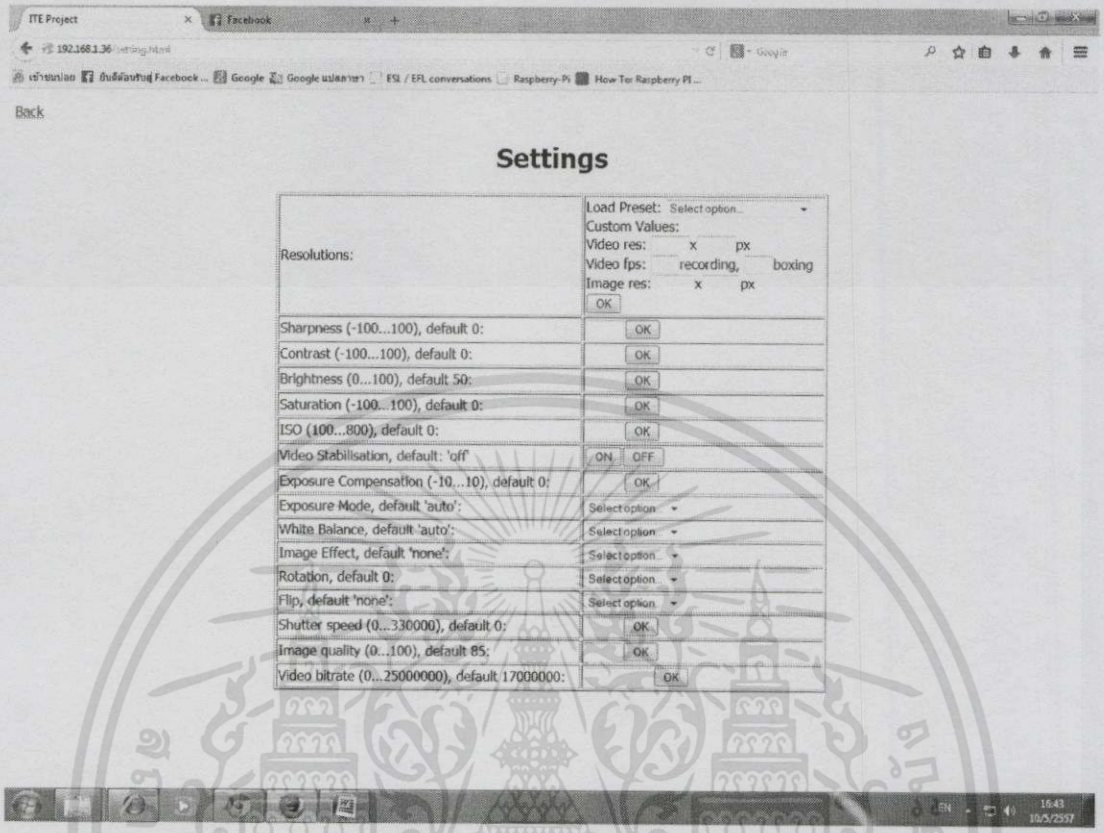
รูปที่ ก.10 หน้าเพจดาวน์โหลด

ส่วนประกอบต่างๆ บนหน้าเพจดาวน์โหลด

- ปุ่ม Back สำหรับการกลับสู่หน้าโฮมเพจ
- ปุ่ม Download สำหรับการทำการดาวน์โหลดรูปภาพหรือวีดีโอมาเก็บไว้ยังเครื่องผู้ใช้งาน
- ปุ่ม Delete สำหรับการทำการลบไฟล์ภาพหรือไฟล์วีดีโอที่เลือกไว้
- ปุ่ม Delete all สำหรับการลบไฟล์ภาพและไฟล์วีดีโอทั้งหมดที่มีอยู่
- ชื่อไฟล์ภาพหรือไฟล์วีดีโอ คือไฟล์ที่ทำการบันทึกไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าเพจการตั้งค่า



รูปที่ ก.11 หน้าเพจตั้งค่า

ค่าต่างๆ ที่สามารถตั้งค่ากล้องได้บนเพจการตั้งค่า

- Sharpness ค่อเดิมที่ตั้งไว้คือ 0
- Contrast ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 0
- Brightness ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 50
- Saturation ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 0
- ISO ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 0
- Video Stabilisation ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ off
- Exposure Compensation ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 0
- Exposure Mode ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ auto
- White Balance ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ auto
- Image Effect คือการเลือกเอฟเฟ็กต์ให้กับภาพ ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ none
- Rotation คือองศาสำหรับหมุนภาพ ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 0
- Flip ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ none
- Shutter speed คือค่าความเร็วชัตเตอร์ ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 0
- Image Quality คือคุณภาพของไฟล์ภาพสำหรับบันทึกโดยมีหน่วยเป็นเปอร์เซนต์ ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 85
- Video Bitrate ค่าเดิมที่ตั้งไว้คือ 17000000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
วิธีการติดตั้งและตั้งค่าส่วนเฝ้าระวังภัยผ่านกล้อง

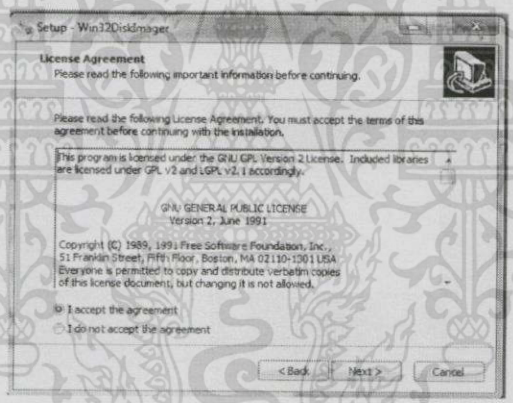
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งโปรแกรม Win32 Disk Imager สำหรับเขียน SD Card

1. ดับเบิลคลิกที่ตัวติดตั้งโปรแกรมจะได้หน้าต่างข้างล่างขึ้นมาจากนั้นกดที่ปุ่ม Next

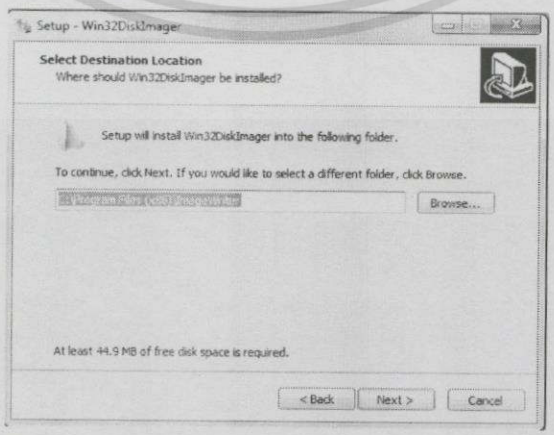
รูปที่ ข.1 การติดตั้งโปรแกรม Win32 Disk Imager

2. เลือก I accept the agreement และกดที่ปุ่ม Next



รูปที่ ข.2 การติดตั้งโปรแกรม Win32 Disk Imager

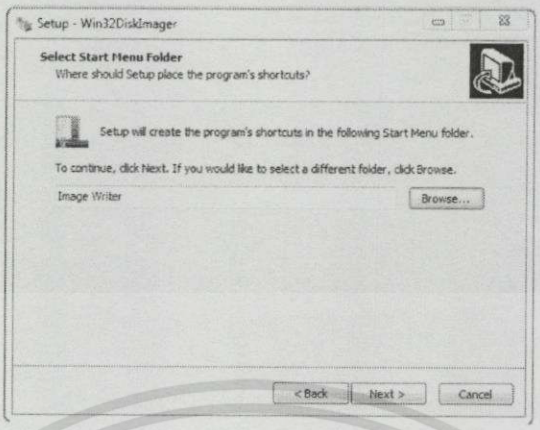
3. เลือกโฟลเดอร์ที่จะติดตั้งโปรแกรมจากนั้นกดปุ่ม Next เพื่อทำการติดตั้งโปรแกรม



รูปที่ ข.3 การติดตั้งโปรแกรม Win32 Disk Imager

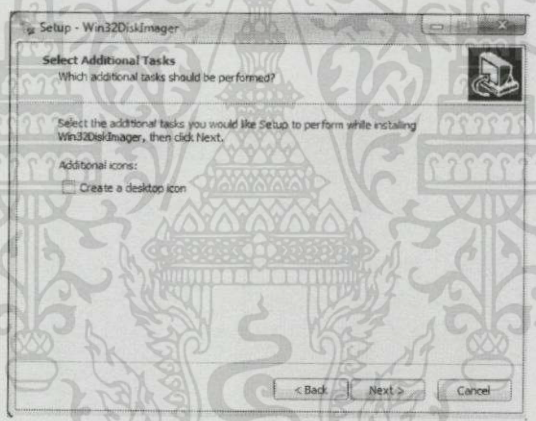
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เลือกโฟลเดอร์ที่จะสร้าง shortcut ของโปรแกรมบน Start Menu แล้วกดที่ปุ่ม Next



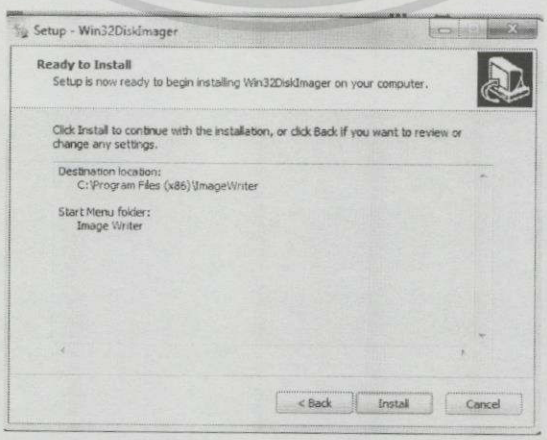
รูปที่ ข.4 การติดตั้งโปรแกรม Win32 Disk Imager

5. หากต้องการแสดงไอคอนโปรแกรมบนหน้าเดสก์ท็อป ให้คลิกที่ช่อง Create a desktop icon จากนั้นกดที่ปุ่ม Next



รูปที่ ข.5 การติดตั้งโปรแกรม Win32 Disk Imager

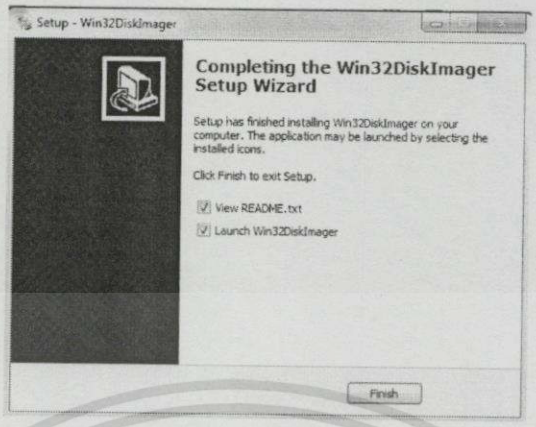
6. กดปุ่ม Install เพื่อทำการติดตั้งโปรแกรม



รูปที่ ข.6 การติดตั้งโปรแกรม Win32 Disk Imager

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. กดปุ่ม Finish เพื่อเสร็จสิ้นการติดตั้ง



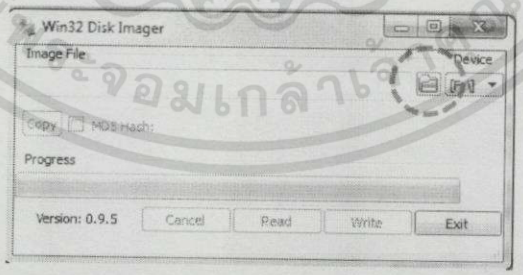
รูปที่ ข.7 การติดตั้งโปรแกรม Win32 Disk Imager

การติดตั้ง Raspbian OS ลง SD Card สำหรับระบบปฏิบัติการของ Raspberry Pi

1. เปิดโปรแกรม Win32DiskImager ที่ติดตั้งไว้ จะได้หน้าต่างข้างล่างขึ้นมา

รูปที่ ข.8 การติดตั้งโปรแกรม Win32 Disk Imager

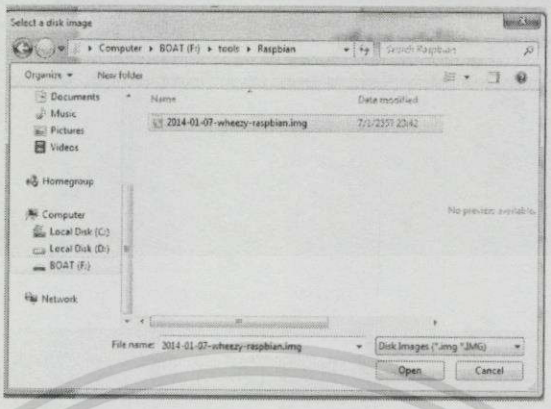
2. คลิกที่รูปแฟ้มเพื่อทำการเลือกอิมเมจไฟล์ของ Raspbian OS



รูปที่ ข.9 การติดตั้งโปรแกรม Win32 Disk Imager

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือกไฟล์อิมเมจ 2014-01-07-wheezy-raspbian.img ที่อยู่ในโฟลเดอร์ Raspbian (หรือดาวน์โหลด OS ที่ http://www.raspberrypi.org/downloads/) แล้วกดปุ่ม Open

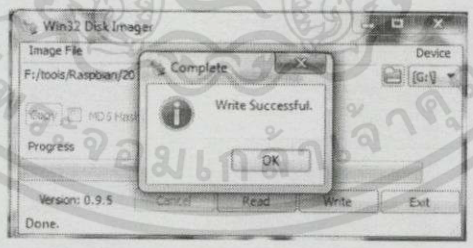


รูปที่ ข.10 การติดตั้งโปรแกรม Win32 Disk Imager

4. เลือกไดรฟ์ของ SD Card แล้วกดปุ่ม Write เพื่อทำการเขียน OS ลงบน SD Card

รูปที่ ข.11 การติดตั้งโปรแกรม Win32 Disk Imager

5. หน้าจอแสดงการเสร็จสิ้นการลง OS บน SD Card

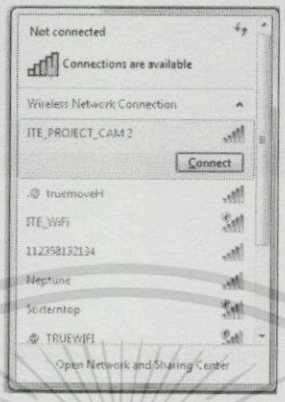


รูปที่ ข.12 การติดตั้งโปรแกรม Win32 Disk Imager

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดู IP Address ของบอร์ด Raspberry Pi จากเราท์เตอร์

1. เลือกเครือข่าย Wireless Network Connection เป็น ITE_PROJECT_CAM และรหัสผ่านคือ 12345678

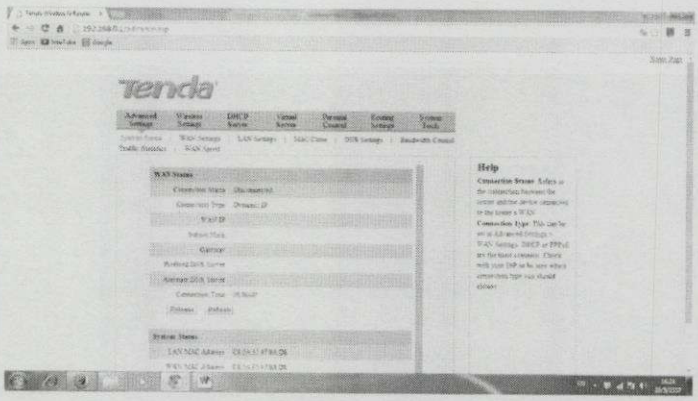


รูปที่ ข.13 การดู IP Address ของบอร์ด Raspberry Pi

2. เลือกเครือข่าย Wireless Network Connection เป็น ITE_PROJECT_CAM

รูปที่ ข.14 การดู IP Address ของบอร์ด Raspberry Pi

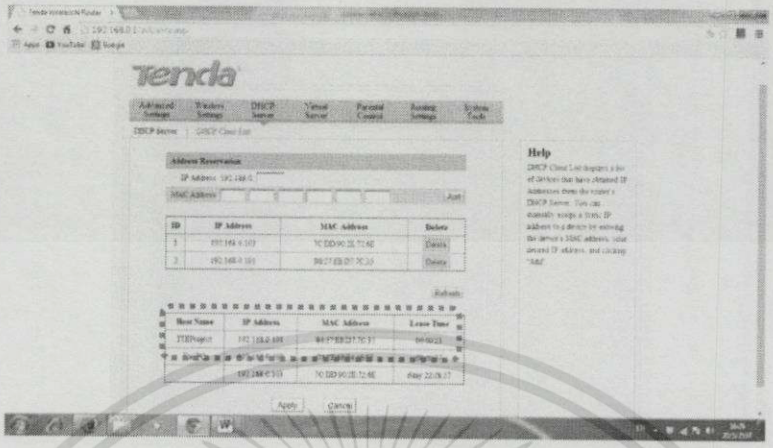
3. เลือก Advanced Settings จะได้ดังรูป



รูปที่ ข.15 การดู IP Address ของบอร์ด Raspberry Pi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

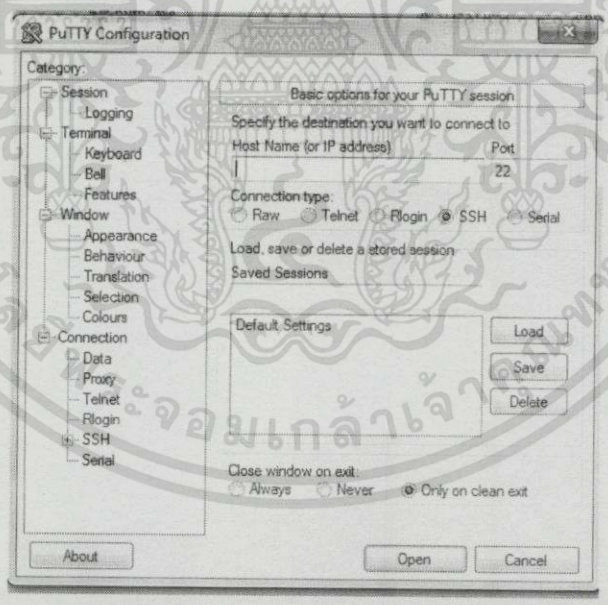
4. เลือก DHCP Server และเลือก DHCP Client List จะได้ดังรูป สังเกตุตารางที่ 2 ว่า ITEProject ใช้ IP Address ใดอยู่ ในที่นี้ใช้ IP Address 192.168.0.101



รูปที่ ข.16 การดู IP Address ของบอร์ด Raspberry Pi

การติดตั้งส่วนของการดูภาพลงบอร์ด Raspberry Pi

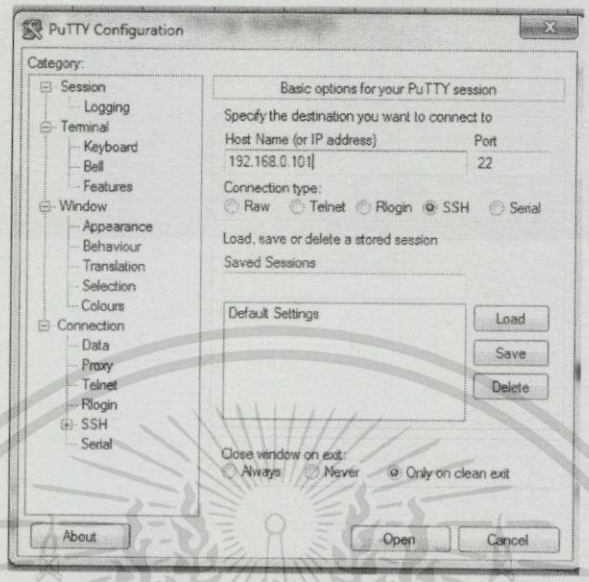
1. เปิดโปรแกรม Putty ที่อยู่ในโฟล์เดอร์ Putty (Tools>Putty) โดยเลือกไฟล์ putty.exe จะแสดงหน้าต่างขึ้นมาดังรูป



รูปที่ ข.17 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

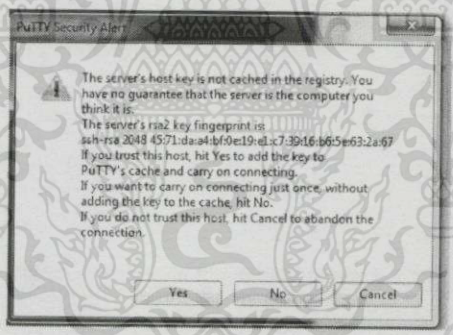
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใส่ IP Address ของบอร์ด Raspberry Pi ลงไปในช่อง Host Name (or IP Address) ในที่นี้คือ 192.168.0.101 จากนั้นกดปุ่ม Open



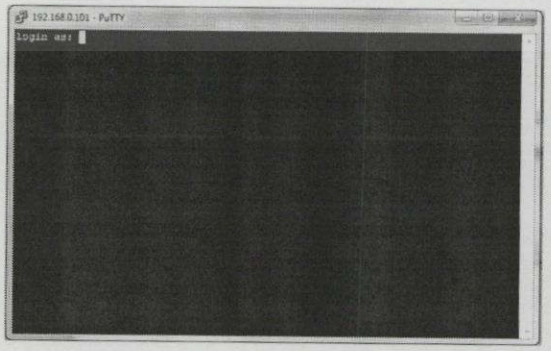
รูปที่ ข.18 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

3. กดปุ่ม Yes เพื่อยืนยันการเชื่อมต่อกับบอร์ด



รูปที่ ข.19 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

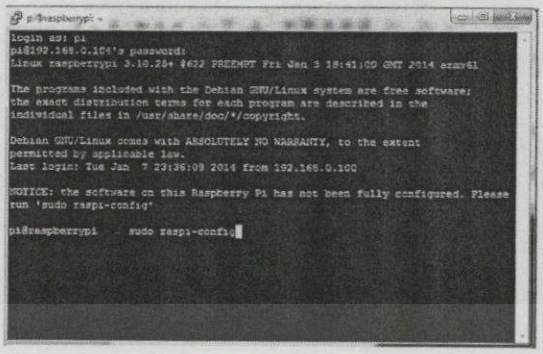
4. ใส่ Login เป็น pi กดปุ่ม Enter จากนั้นใส่รหัสผ่านเป็น raspberry แล้วกดปุ่ม Enter



รูปที่ ข.20 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

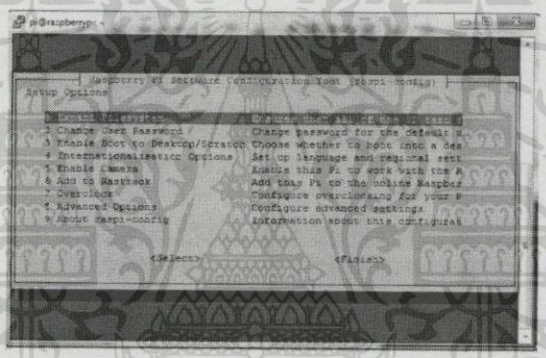
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. พิมพ์คำสั่ง sudo raspi-config เพื่อทำการตั้งค่าบอร์ด



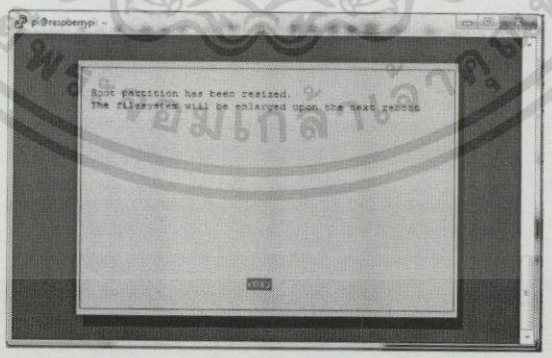
รูปที่ ข.21 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

6. หน้าต่างแสดงหน้าจอการตั้งค่าขึ้นมา อันดับแรกให้เลือก Expand Filesystem แล้วกดปุ่ม Enter บนคีย์บอร์ด



รูปที่ ข.22 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

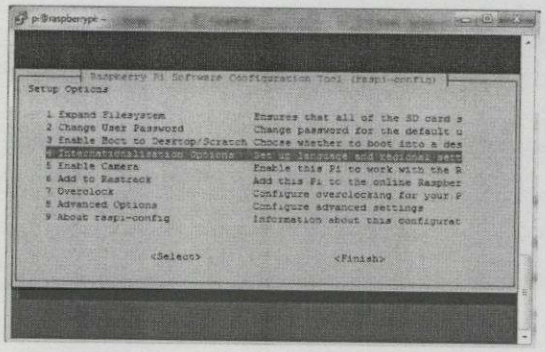
7. กดปุ่ม Enter บนคีย์บอร์ดอีกครั้งเพื่อยืนยันการทำงาน



รูปที่ ข.23 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

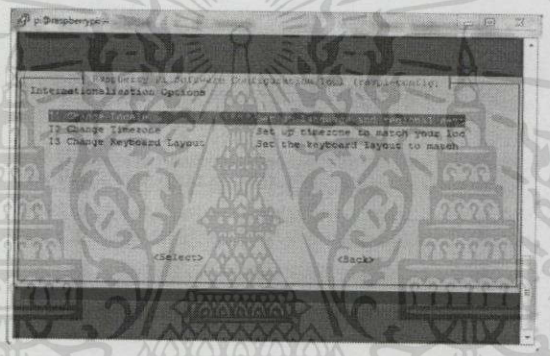
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เลือก Internationalisation Options เพื่อทำการตั้งค่าภาษาและประเทศ



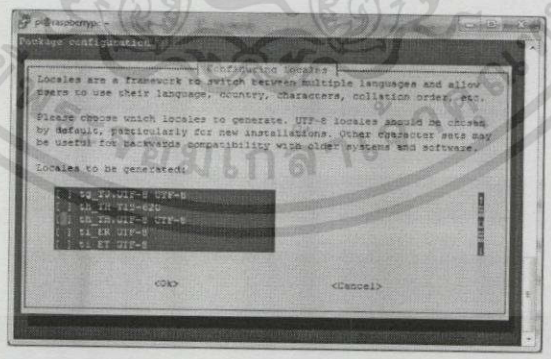
รูปที่ ข.24 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

9. เลือก Change Locale แล้วกดปุ่ม Enter บนคีย์บอร์ด



รูปที่ ข.25 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

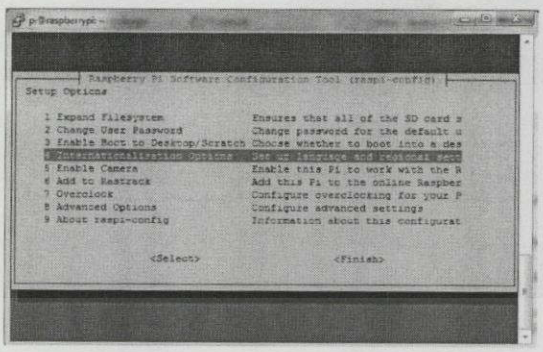
10. เลือก th_TH.UTF-8 UTF-8 แล้วกดปุ่ม Enter บนคีย์บอร์ด แล้วกดปุ่ม Enter อีกครั้ง



รูปที่ ข.26 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

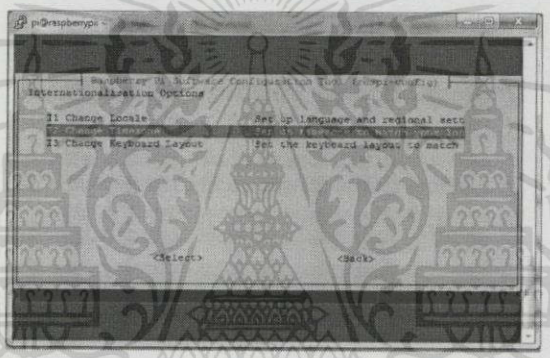
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เลือก Internationalisation Options เพื่อทำการตั้งค่าเวลา



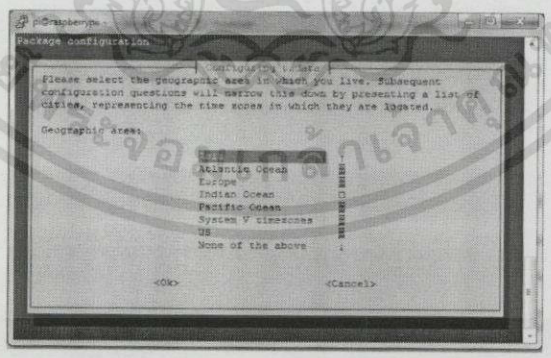
รูปที่ ข.27 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

12. เลือก Change Timezone แล้วกดปุ่ม Enter บนคีย์บอร์ด



รูปที่ ข.28 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

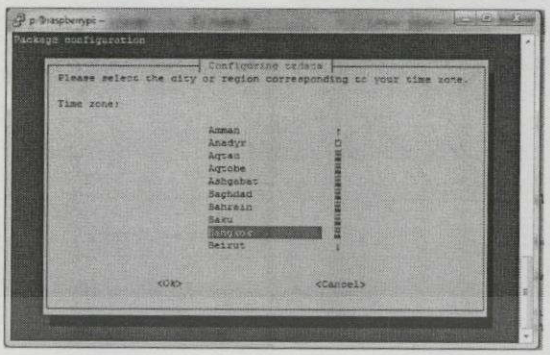
13. เลือก Asia แล้วกดปุ่ม Enter บนคีย์บอร์ด



รูปที่ ข.29 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

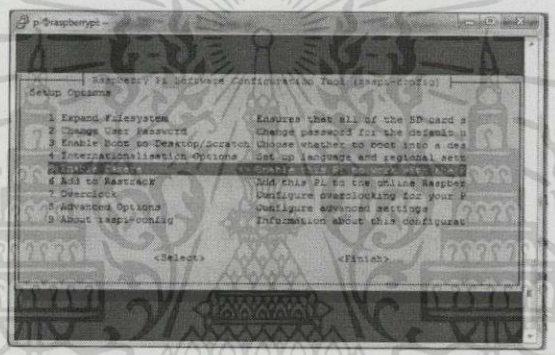
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. เลือก Bangkok แล้วกดปุ่ม Enter บนคีย์บอร์ด



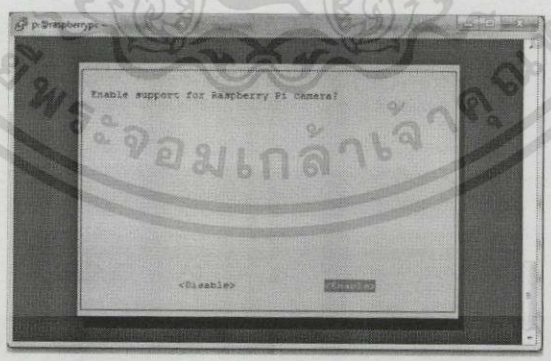
รูปที่ ข.30 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

15. เลือก Enable Camera เพื่อเปิดการใช้งานกล้อง แล้วกดปุ่ม Enter บนคีย์บอร์ด



รูปที่ ข.31 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

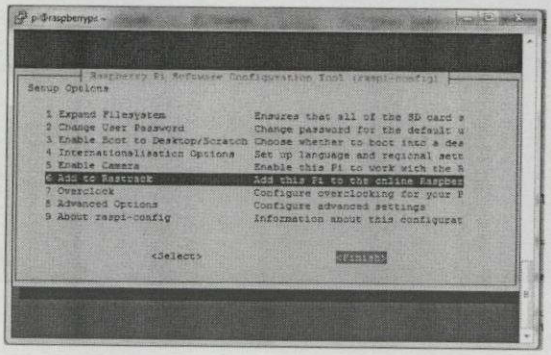
16. เลื่อนไปที่ Enable แล้วกดปุ่ม Enter บนคีย์บอร์ด



รูปที่ ข.32 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

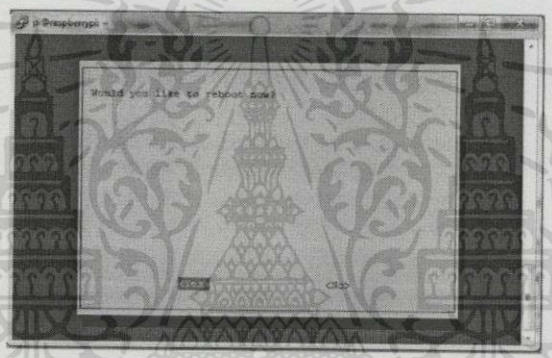
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. กดปุ่ม Tab บนคีย์บอร์ด จากนั้นเลื่อนไปที่ Finish แล้วกดปุ่ม Enter บนคีย์บอร์ด



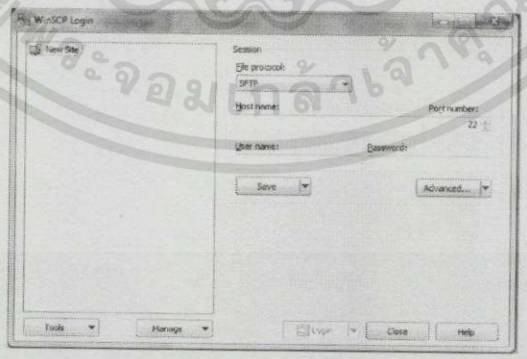
รูปที่ ข.33 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

18. กดปุ่ม Enter เพื่อทำการรีสตาร์ทบอร์ด



รูปที่ ข.34 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

19. เปิดโปรแกรม WinSCP ที่อยู่ในโฟล์เดอร์ WinSCP (Tools>WinSCP) โดยเลือกไฟล์ WinSCP.exe จะแสดงหน้าต่างขึ้นมาดังรูป

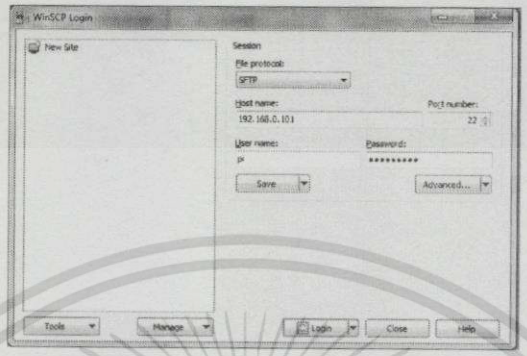


รูปที่ ข.35 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

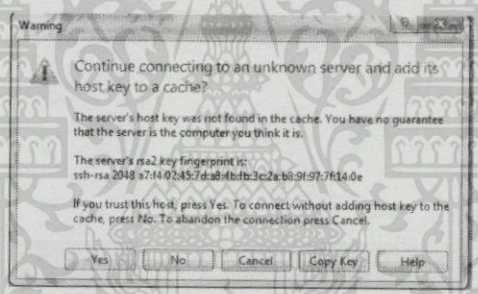
20. ใส่ค่าต่างๆ ลงในโปรแกรมดังนี้ แล้วกดปุ่ม Login

- ช่อง Host name ใส่ 192.168.0.101 (IP Address ของบอร์ด)
- ช่อง User name ใส่ pi
- ช่อง Password ใส่ raspberry



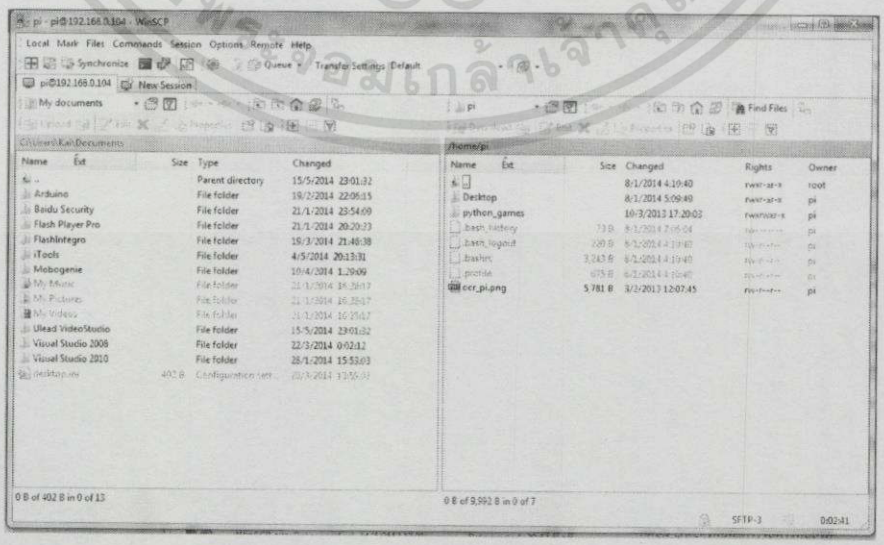
รูปที่ ข.36 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

21. กดปุ่ม Yes เพื่อยืนยันการทำงาน



รูปที่ ข.37 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

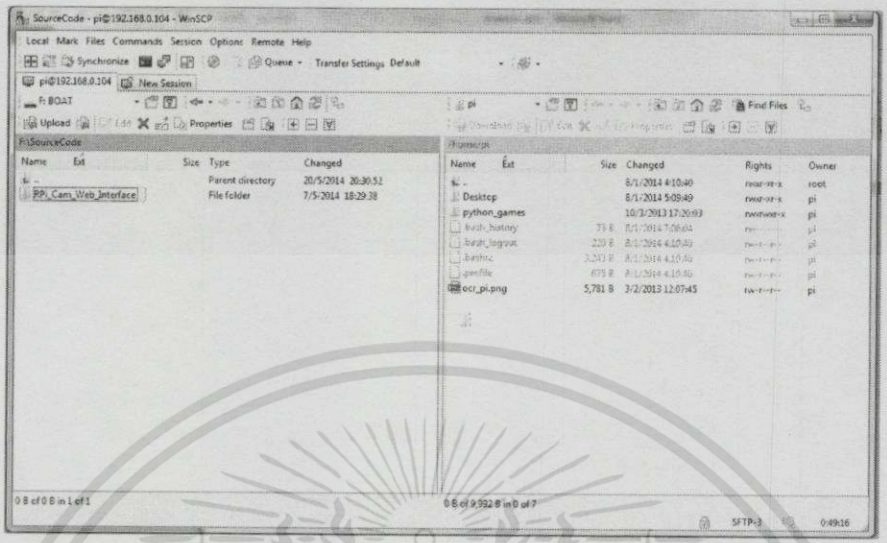
22. หน้าจอแสดงโปรแกรมย้ายไฟล์จากคอมพิวเตอร์ไปยังบอร์ดจะปรากฏขึ้นดังรูป



รูปที่ ข.38 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23. ทางด้านซ้ายให้เลือกโฟลเดอร์ SourceCode แล้วทำการลากโฟลเดอร์ RPi_Cam_Web_Interface มายังด้านขวา

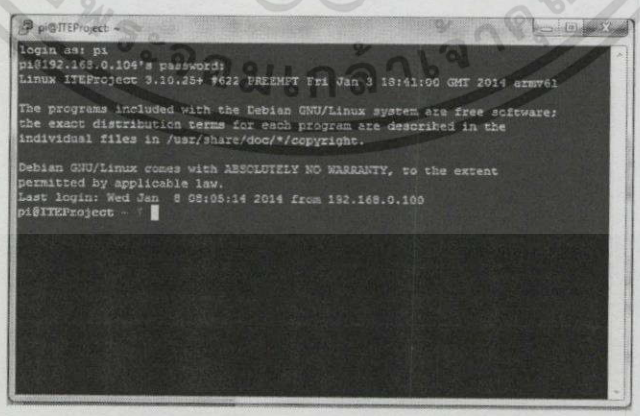


รูปที่ ข.39 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

24. กดปุ่ม OK เพื่อยืนยันการคัดลอกโฟลเดอร์ไปยังบอร์ด

รูปที่ ข.40 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

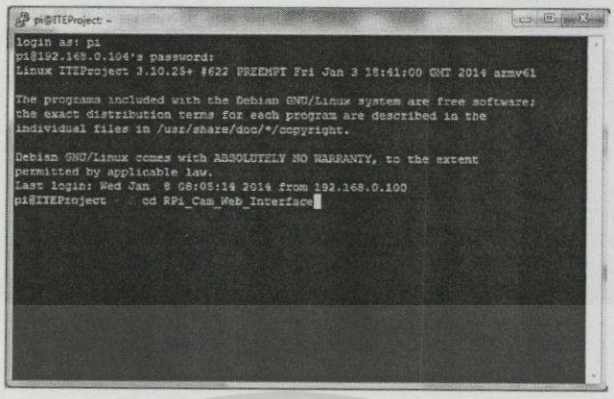
25. ไปยังโปรแกรม Putty เพื่อทำการติดตั้งและเปิดใช้งาน



รูปที่ ข.41 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

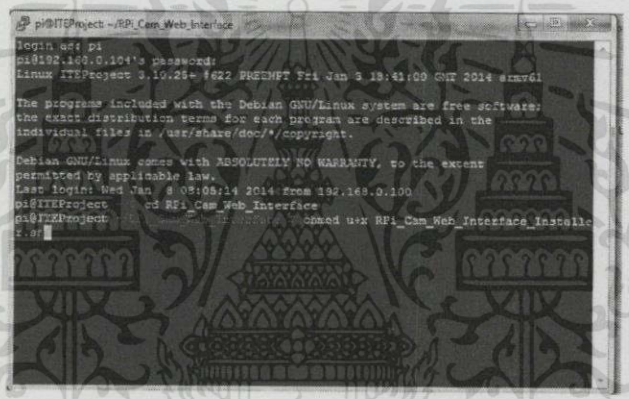
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

26. พิมพ์คำสั่ง cd RPi_Cam_Web_Interface แล้วกดปุ่ม Enter บนคีย์บอร์ด



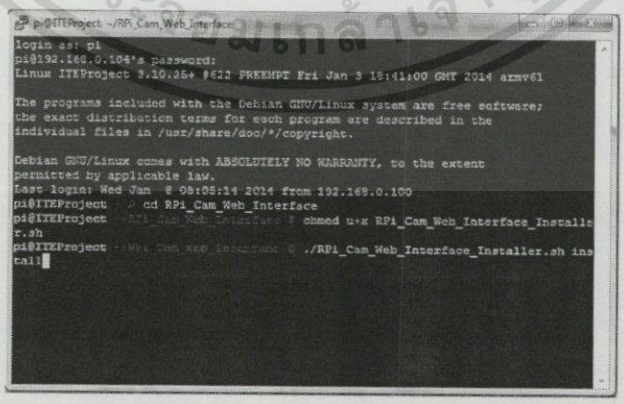
รูปที่ ข.42 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

27. พิมพ์คำสั่ง chmod u+x RPi_Cam_Web_Interface_Installer.sh แล้วกดปุ่ม Enter



รูปที่ ข.43 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

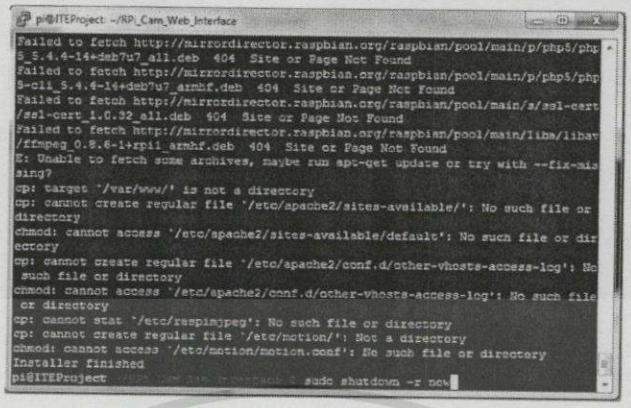
28. พิมพ์คำสั่ง ./RPi_Cam_Web_Interface_Installer.sh install แล้วกดปุ่ม Enter เพื่อทำการติดตั้ง



รูปที่ ข.44 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29. พิมพ์คำสั่ง sudo shutdown –r now แล้วกดปุ่ม Enter เพื่อรีสตาร์ทบอร์ด



รูปที่ ข.45 การติดตั้งส่วนของการดูภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

Datasheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

December 1994

LM108/LM208/LM308 Operational Amplifiers

General Description

The LM108 series are precision operational amplifiers having specifications a factor of ten better than FET amplifiers over a −55°C to +125°C temperature range.

The devices operate with supply voltages from ±2V to ±20V and have sufficient supply rejection to use unregulated supplies. Although the circuit is interchangeable with and uses the same compensation as the LM101A, an alternate compensation scheme can be used to make it particularly insensitive to power supply noise and to make supply bypass capacitors unnecessary.

The low current error of the LM108 series makes possible many designs that are not practical with conventional amplifiers. In fact, it operates from 10 MΩ source resistances, introducing less error than devices like the 709 with 10 kΩ sources. Integrators with drifts less than 500 μV/sec and analog time delays in excess of one hour can be made using capacitors no larger than 1 μF.

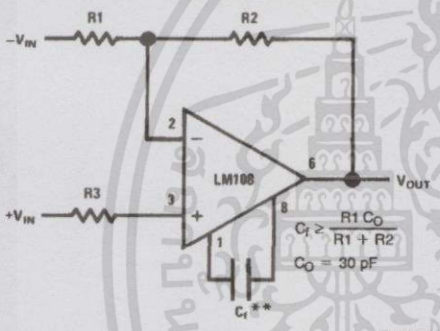
The LM108 is guaranteed from −55°C to +125°C, the LM208 from −25°C to +85°C, and the LM308 from 0°C to +70°C.

Features

- Maximum input bias current of 3.0 nA over temperature
- Offset current less than 400 pA over temperature
- Supply current of only 300 μA, even in saturation
- Guaranteed drift characteristics

Compensation Circuits

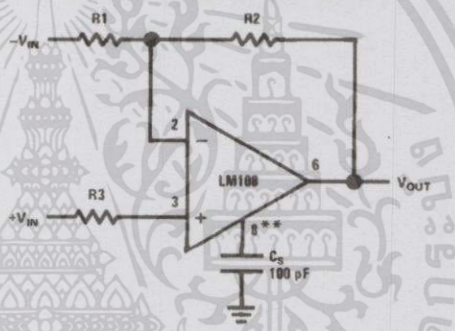
Standard Compensation Circuit



TL/H/7758–1

**Bandwidth and slew rate are proportional to $1/C_f$

Alternate* Frequency Compensation

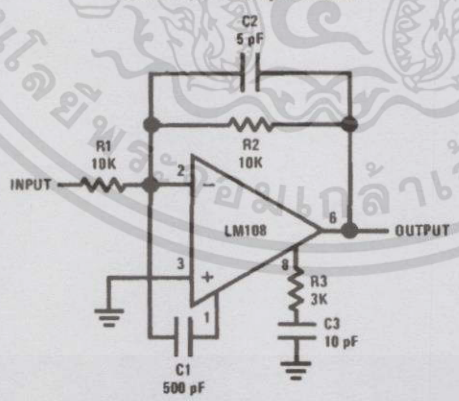


TL/H/7758–2

*Improves rejection of power supply noise by a factor of ten.

**Bandwidth and slew rate are proportional to $1/C_s$

Feedforward Compensation



TL/H/7758–3

©1995 National Semiconductor Corporation TL/H/7758

RRD-B30M115/Printed in U. S. A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.
(Note 5)

	LM108/LM208	LM308
Supply Voltage	±20V	±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW
Differential Input Current (Note 2)	±10 mA	±10 mA
Input Voltage (Note 3)	±15V	±15V
Output Short-Circuit Duration	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range (LM108)	−55°C to +125°C	0°C to +70°C
(LM208)	−25°C to + 85°C	
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C	−65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)		
DIP	260°C	260°C
H Package Lead Temp		
(Soldering 10 seconds)	300°C	300°C
Soldering Information		
Dual-In-Line Package		
Soldering (10 seconds)	260°C	
Small Outline Package		
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	
Infrared (15 seconds)	220°C	
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
ESD Tolerance (Note 6)	2000V	

Electrical Characteristics (Note 4)

Parameter	Condition	LM108/LM208			LM308			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25°C$		0.7	2.0		2.0	7.5	mV
Input Offset Current	$T_A = 25°C$		0.05	0.2		0.2	1	nA
Input Bias Current	$T_A = 25°C$		0.8	2.0		1.5	7	nA
Input Resistance	$T_A = 25°C$	30	70		10	40		MΩ
Supply Current	$T_A = 25°C$		0.3	0.6		0.3	0.8	mA
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25°C$, $V_S = \pm 15V$ $V_{OUT} = \pm 10V$, $R_L \geq 10\ k\Omega$	50	300		25	300		V/mV
Input Offset Voltage				3.0			10	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage			3.0	15		6.0	30	μV/°C
Input Offset Current				0.4			1.5	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current			0.5	2.5		2.0	10	pA/°C
Input Bias Current				3.0			10	nA
Supply Current	$T_A = +125°C$		0.15	0.4				mA
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15V$, $V_{OUT} = \pm 10V$ $R_L \geq 10\ k\Omega$	25			15			V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15V$, $R_L = 10\ k\Omega$	±13	±14		±13	±14		V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 4) (Continued)

Parameter	Condition	LM108/LM208			LM308			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Voltage Range	$V_S = \pm 15V$	±13.5			±14			V
Common Mode Rejection Ratio		85	100		80	100		dB
Supply Voltage Rejection Ratio		80	96		80	96		dB

Note 1: The maximum junction temperature of the LM108 is 150°C, for the LM208, 100°C and for the LM308, 85°C. For operating at elevated temperatures, devices in the H08 package must be derated based on a thermal resistance of 160°C/W, junction to ambient, or 20°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

Note 2: The inputs are shunted with back-to-back diodes for overvoltage protection. Therefore, excessive current will flow if a differential input voltage in excess of 1V is applied between the inputs unless some limiting resistance is used.

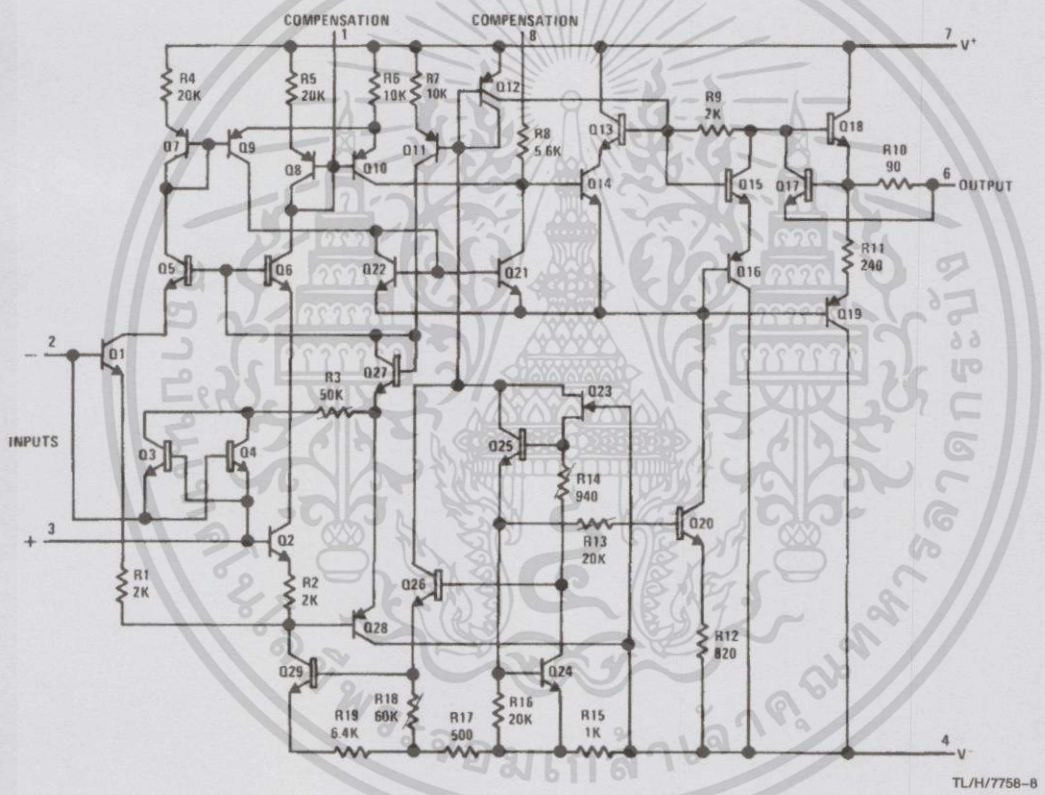
Note 3: For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 4: These specifications apply for $\pm 5V \leq V_S \leq \pm 20V$ and $-55°C \leq T_A \leq +125°C$, unless otherwise specified. With the LM208, however, all temperature specifications are limited to $-25°C \leq T_A \leq 85°C$, and for the LM308 they are limited to $0°C \leq T_A \leq 70°C$.

Note 5: Refer to RETS108X for LM108 military specifications and RETs 108AX for LM108A military specifications.

Note 6: Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.

Schematic Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N5486

JFET VHF/UHF Amplifiers

N−Channel — Depletion

ON Semiconductor®

http://onsemi.com

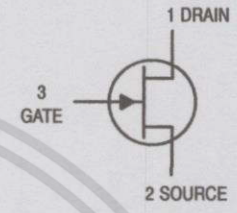
Features

- Pb−Free Packages are Available*

MAXIMUM RATINGS (T_J = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Drain−Gate Voltage	V_{DG}	25	Vdc
Reverse Gate−Source Voltage	V_{GSR}	25	Vdc
Drain Current	I_D	30	mAdc
Forward Gate Current	$I_{G(f)}$	10	mAdc
Total Device Dissipation @ T_C = 25°C Derate above 25°C	P_D	350 2.8	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	−65 to +150	°C

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.



TO−92 (TO−226AA)
CASE 29−11
STYLE 5

MARKING DIAGRAM

2N5486 = Device Code
A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week
▪ = Pb−Free Package
(Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
2N5486	TO−92	1000 Units / Bulk
2N5486G	TO−92 (Pb−Free)	1000 Units / Bulk

*For additional information on our Pb−Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

© Semiconductor Components Industries, LLC, 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS						
Gate−Source Breakdown Voltage	(I_G = −1.0 μAdc, V_{DS} = 0)	$V_{(BR)GSS}$	−25	–	–	Vdc
Gate Reverse Current	(V_{GS} = −20 Vdc, V_{DS} = 0) (V_{GS} = −20 Vdc, V_{DS} = 0, T_A = 100°C)	I_{GSS}	– –	– –	−1.0 −0.2	nAdc μAdc
Gate Source Cutoff Voltage	(V_{DS} = 15 Vdc, I_D = 10 nAdc)	$V_{GS(off)}$	−2.0	–	−6.0	Vdc
ON CHARACTERISTICS						
Zero−Gate Voltage Drain Current	(V_{DS} = 15 Vdc, V_{GS} = 0)	I_{DSS}	8.0	–	20	mAdc
SMALL−SIGNAL CHARACTERISTICS						
Forward Transfer Admittance	(V_{DS} = 15 Vdc, V_{GS} = 0, f = 1.0 kHz)	$\|y_{fs}\|$	4000	–	8000	μmhos
Input Admittance	(V_{DS} = 15 Vdc, V_{GS} = 0, f = 400 MHz)	$Re(y_{is})$	–	–	1000	μmhos
Output Admittance	(V_{DS} = 15 Vdc, V_{GS} = 0, f = 1.0 kHz)	$\|y_{os}\|$	–	–	75	μmhos
Output Conductance	(V_{DS} = 15 Vdc, V_{GS} = 0, f = 400 MHz)	$Re(y_{os})$	–	–	100	μmhos
Forward Transconductance	(V_{DS} = 15 Vdc, V_{GS} = 0, f = 400 MHz)	$Re(y_{fs})$	3500	–	–	μmhos
Input Capacitance	(V_{DS} = 15 Vdc, V_{GS} = 0, f = 1.0 MHz)	C_{iss}	–	–	5.0	pF
Reverse Transfer Capacitance	(V_{DS} = 15 Vdc, V_{GS} = 0, f = 1.0 MHz)	C_{rss}	–	–	1.0	pF
Output Capacitance	(V_{DS} = 15 Vdc, V_{GS} = 0, f = 1.0 MHz)	C_{oss}	–	–	2.0	pF

COMMON SOURCE CHARACTERISTICS ADMITTANCE PARAMETERS

(V_{DS} = 15 Vdc, $T_{channel}$ = 25°C)

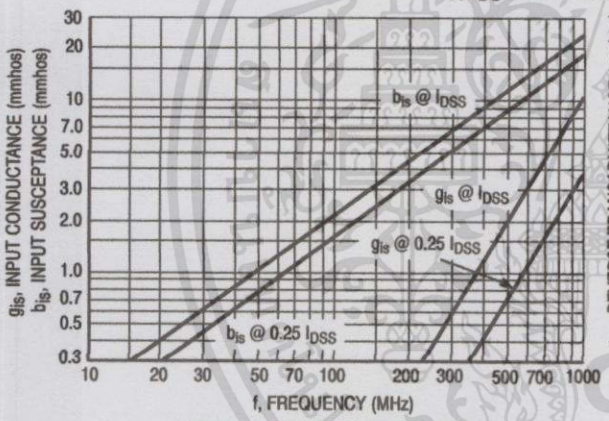


Figure 1. Input Admittance (y_{is})

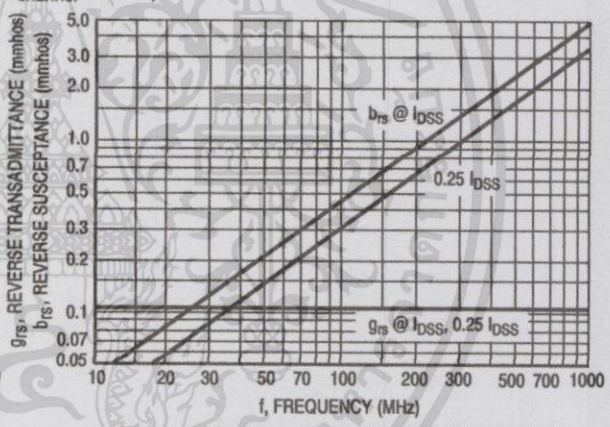


Figure 2. Reverse Transfer Admittance (y_{rs})

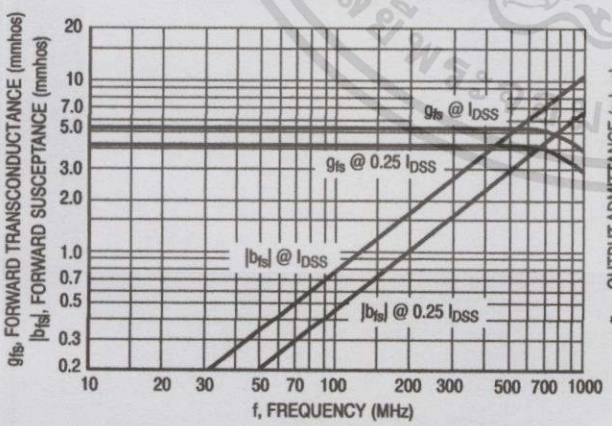


Figure 3. Forward Transadmittance (y_{fs})

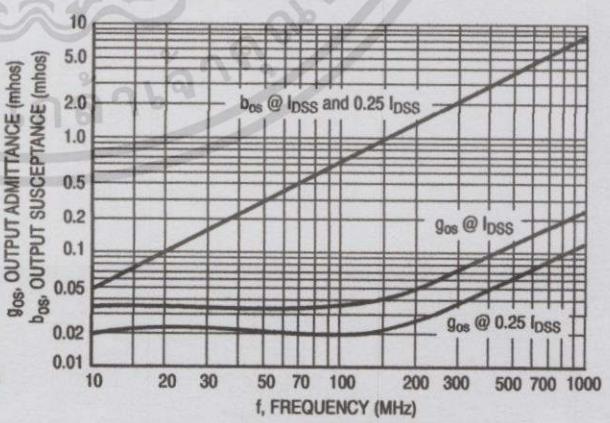


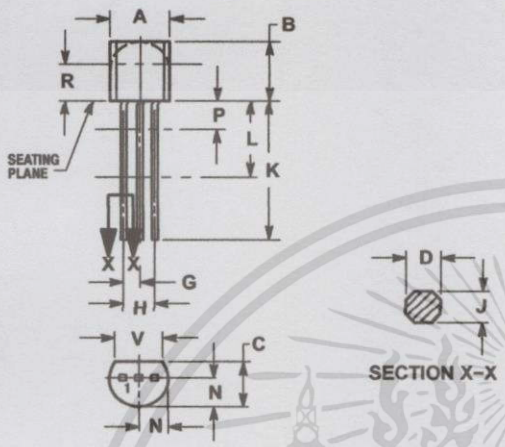
Figure 4. Output Admittance (y_{os})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N5486

PACKAGE DIMENSIONS

TO−92 (TO−226AA)
CASE 29−11
ISSUE AL



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. *LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND* BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

	INCHES		MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.165	3.18	4.19
D	0.016	0.021	0.407	0.533
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	----	12.70	----
L	0.250	----	6.35	----
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	----	0.100	----	2.54
R	0.115	----	2.93	----
V	0.135	----	3.43	----

STYLE 5:
PIN 1. DRAIN
2. SOURCE
3. GATE

ON Semiconductor and ON are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303−675−2175 or 800−344−3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303−675−2176 or 800−344−3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800−282−9855 Toll Free USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81−3−5773−3850

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: http://www.onsemi.com/orderlit

For additional information, please contact your local Sales Representative

2N5486/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N918

NPN SILICON RF TRANSISTOR

TO-72 CASE

Central Semiconductor Corp.

www.centralsemi.com

DESCRIPTION:

The CENTRAL SEMICONDUCTOR 2N918 type is an NPN silicon RF transistor, manufactured by the epitaxial planar process and designed for high frequency amplifier and oscillator applications.

MARKING: FULL PART NUMBER

MAXIMUM RATINGS: (T_A=25°C unless otherwise noted)

	SYMBOL		UNITS
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	30	V
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	15	V
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	3.0	V
Continuous Collector Current	I_C	50	mA
Power Dissipation	P_D	200	mW
Power Dissipation (T_C=25°C)	P_D	300	mW
Operating and Storage Junction Temperature	T_J, T_{stg}	-65 to +200	°C
Thermal Resistance	Θ_{JA}	87.5	°C/W
Thermal Resistance	Θ_{JC}	58.3	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: (T_A=25°C unless otherwise noted)

SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	MAX	UNITS
I_{CBO}	V_{CB}=15V		10	nA
I_{CBO}	V_{CB}=15V, T_A=150°C		1.0	µA
BV_{CBO}	I_C=1.0µA	30		V
BV_{CEO}	I_C=3.0mA	15		V
BV_{EBO}	I_E=10µA	3.0		V
$V_{CE(SAT)}$	I_C=10mA, I_B=1.0mA		0.4	V
$V_{BE(SAT)}$	I_C=10mA, I_B=1.0mA		1.0	V
h_{FE}	V_{CE}=1.0V, I_C=3.0mA	20		
f_T	V_{CE}=10V, I_C=4.0mA, f=100MHz	600		MHz
C_{ob}	V_{CB}=10V, I_E=0, f=1.0MHz		1.7	pF
C_{ob}	V_{EB}=0, I_E=0, f=1.0MHz		3.0	pF
C_{ib}	V_{EB}=0.5V, I_C=0, f=1.0MHz		2.0	pF
P_o	V_{CB}=15V, I_C=8.0mA, f=500MHz	30		mW
G_{pe}	V_{CB}=12V, I_C=6.0mA, f=200MHz	15		dB
η	V_{CB}=15V, I_C=8.0mA, f=500MHz	25		%
NF	V_{CE}=6.0V, I_C=1.0mA, R_G=400Ω, f=60kHz		6.0	dB

R1 (11-September 2012)

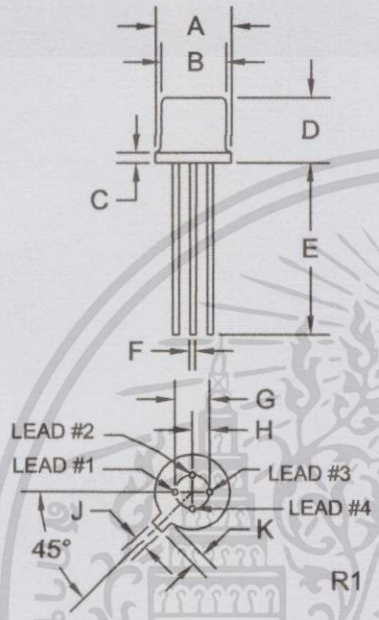
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N918

NPN SILICON RF TRANSISTOR

Central Semiconductor Corp.

TO-72 CASE - MECHANICAL OUTLINE



DIMENSIONS				
	INCHES		MILLIMETERS	
SYMBOL	MIN	MAX	MIN	MAX
A (DIA)	0.209	0.230	5.31	5.84
B (DIA)	0.175	0.195	4.45	4.95
C	-	0.030	-	0.76
D	0.170	0.210	4.32	5.33
E	0.500	-	12.70	-
F (DIA)	0.016	0.019	0.41	0.48
G (DIA)	0.100		2.54	
H	0.050		1.27	
J	0.036	0.046	0.91	1.17
K	0.028	0.048	0.71	1.22

TO-72 (REV: R1)

LEAD CODE:
1) Emitter
2) Base
3) Collector
4) Case

MARKING:
FULL PART NUMBER

R1 (11-September 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N2369A

NPN SILICON TRANSISTOR

TO-18 CASE

Central Semiconductor Corp.

www.centralsemi.com

DESCRIPTION:

The CENTRAL SEMICONDUCTOR 2N2369A is an epitaxial planar NPN Silicon Transistor designed for ultra high speed saturated switching applications.

MARKING: FULL PART NUMBER

MAXIMUM RATINGS: (T_A=25°C)	**SYMBOL**		**UNITS**
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	40	V
Collector-Emitter Voltage	V_{CES}	40	V
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	15	V
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	4.5	V
Continuous Collector Current	I_C	200	mA
Peak Collector Current	I_{CM}	500	mA
Power Dissipation	P_D	360	mW
Power Dissipation (T_C=25°C)	P_D	1.2	W
Operating and Storage Junction Temperature	T_J, T_{stg}	-65 to +200	°C
Thermal Resistance	Θ_{JA}	486	°C/W
Thermal Resistance	Θ_{JC}	146	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: (T_A=25°C unless otherwise noted)

SYMBOL	**TEST CONDITIONS**	**MIN**	**MAX**	**UNITS**
I_{CBO}	V_{CB}=20V		400	nA
I_{CBO}	V_{CB}=20V, T_A=150°C		30	µA
BV_{CBO}	I_C=10µA	40		V
BV_{CES}	I_C=10µA	40		V
BV_{CEO}	I_C=10mA	15		V
BV_{EBO}	I_E=10µA	4.5		V
$V_{CE(SAT)}$	I_C=10mA, I_B=1.0mA		200	mV
$V_{CE(SAT)}$	I_C=10mA, I_B=1.0mA, T_A=125°C		300	mV
$V_{CE(SAT)}$	I_C=30mA, I_B=3.0mA		250	mV
$V_{CE(SAT)}$	I_C=100mA, I_B=10mA		500	mV
$V_{BE(SAT)}$	I_C=10mA, I_B=1.0mA	700	850	mV
$V_{BE(SAT)}$	I_C=30mA, I_B=3.0mA		1.15	V
$V_{BE(SAT)}$	I_C=100mA, I_B=10mA		1.6	V
h_{FE}	V_{CE}=0.35V, I_C=10mA	40	120	
h_{FE}	V_{CE}=0.35V, I_C=10mA, T_A=-55°C	20		
h_{FE}	V_{CE}=0.4V, I_C=30mA	30		
h_{FE}	V_{CE}=1.0V, I_C=100mA	20		

R0 (10-March 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

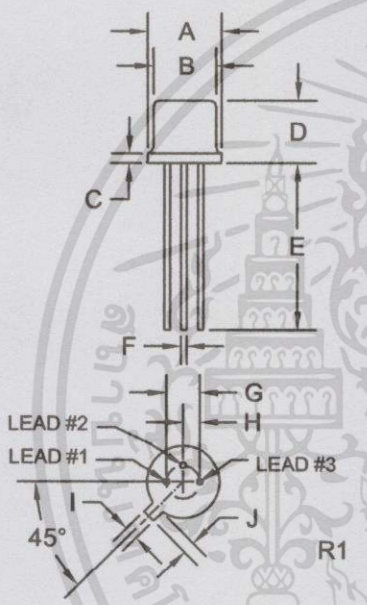
2N2369A

NPN SILICON TRANSISTOR

ELECTRICAL CHARACTERISTICS - Continued: (T_A=25°C unless otherwise noted)

SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	MAX	UNITS
f_T	V_{CE}=10V, I_C=10mA, f=100MHz	500		MHz
C_{ob}	V_{CB}=5.0V, I_E=0, f=140kHz		4.0	pF
t_{on}	V_{CC}=3.0V, I_C=10mA, I_{B1}=3.0mA, I_{B2}=1.5mA		12	ns
t_{off}	V_{CC}=3.0V, I_C=10mA, I_{B1}=3.0mA, I_{B2}=1.5mA		18	ns
t_s	V_{CC}=10V, I_C=10mA, I_{B1}=I_{B2}=10mA		13	ns

TO-18 CASE - MECHANICAL OUTLINE



DIMENSIONS				
	INCHES		MILLIMETERS	
SYMBOL	MIN	MAX	MIN	MAX
A (DIA)	0.209	0.230	5.31	5.84
B (DIA)	0.178	0.195	4.52	4.95
C	-	0.030	-	0.76
D	0.170	0.210	4.32	5.33
E	0.500	-	12.70	-
F (DIA)	0.016	0.019	0.41	0.48
G (DIA)	0.100		2.54	
H	0.050		1.27	
I	0.036	0.046	0.91	1.17
J	0.028	0.048	0.71	1.22

TO-18 (REV: R1)

LEAD CODE:
1) Emitter
2) Base
3) Collector

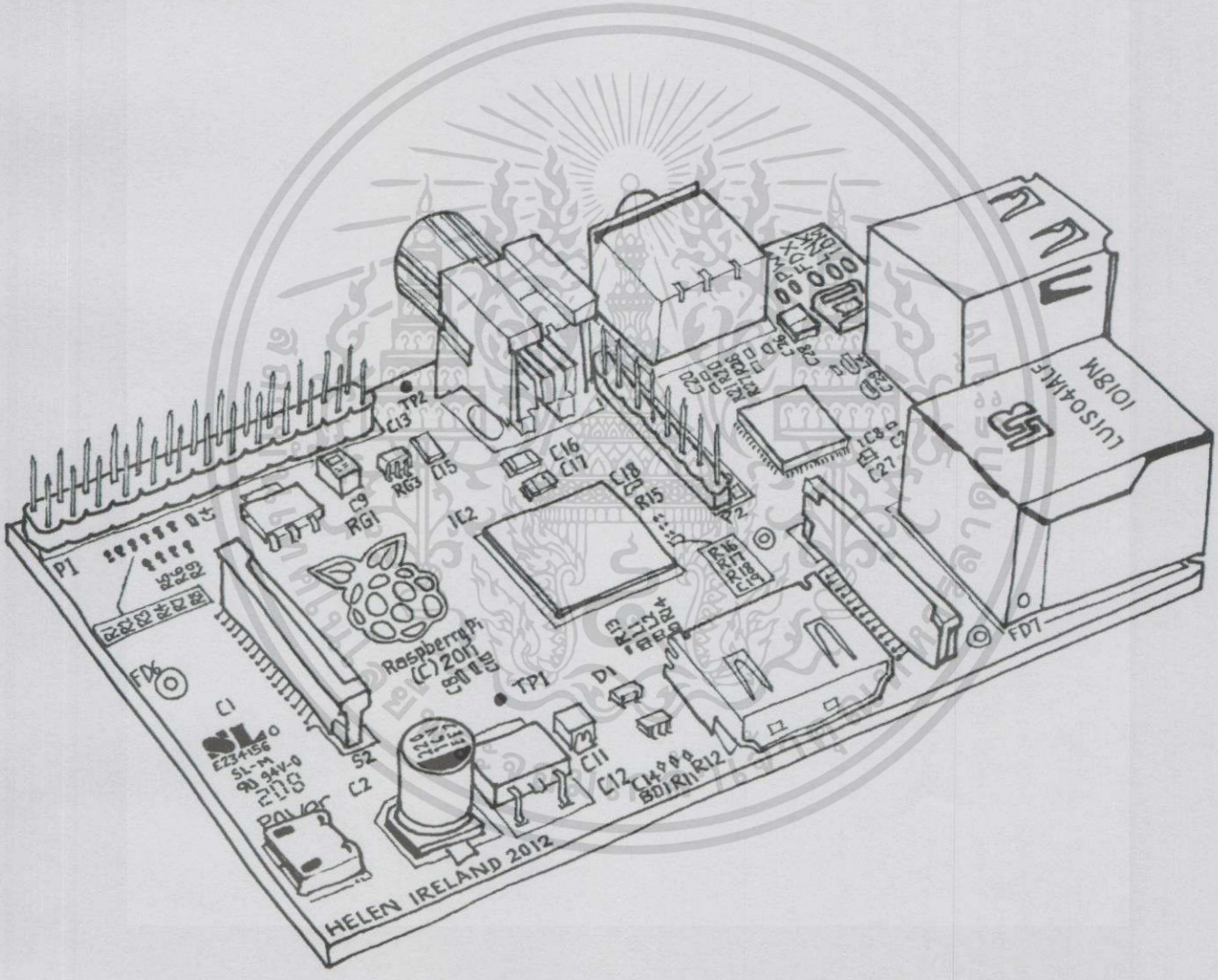
MARKING: FULL PART NUMBER

R0 (10-March 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Raspberry Pi
Education Manual

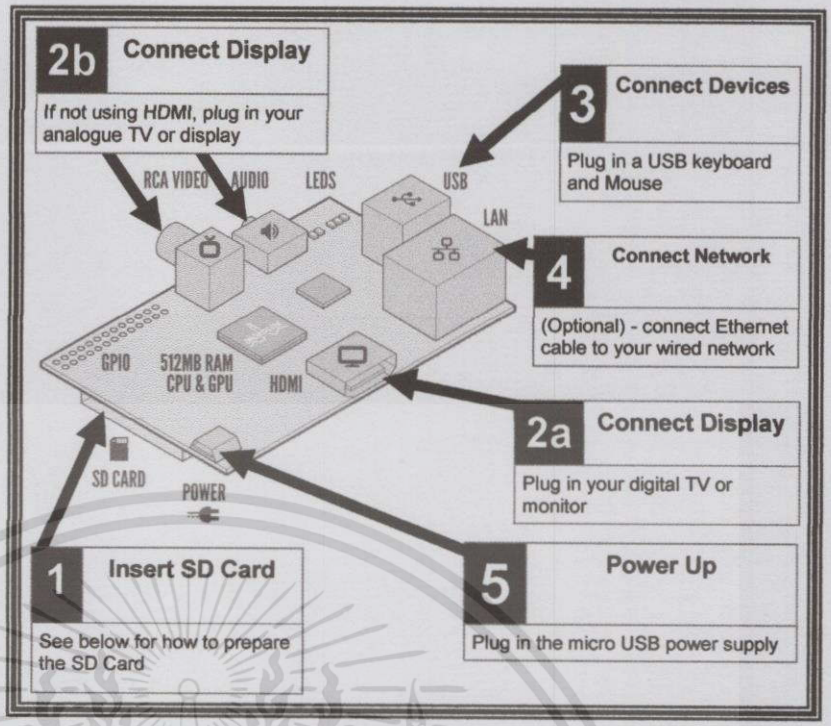
Version 1.0 December 2012



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Raspberry Pi Quick Start Guide



Peripherals you will need

Before you start using your Raspberry Pi, there are a number of peripherals you will need. Some are essential, others are optional.

1. **SDHC Card** - this is required as the Raspberry Pi will only boot from an SDHC card. The minimum recommended size is 4Gb, class 4 (the class indicates the speed of the card). Branded SD cards are also recommended.

2a. **HDMI to HDMI / DVI lead** - If connecting to a HDTV or monitor with a HDMI input, a HDMI to HDMI cable will be required. If your monitor has a DVI input, then a HDMI to DVI cable will be required.

2b. **RCA video lead** - If connecting your Pi to an older analogue display (such as an old TV), a standard RCA composite video lead will be required.

3. **Keyboard and Mouse** - Most standard USB keyboards and mice should work, however keyboards and mice which use a lot of power (such as wireless models) may need a powered USB hub to function properly with the Pi.
4. **Ethernet (network) cable** - A network connection allowing access to the Internet is optional, however it will make updating the Raspberry Pi and installing new software much easier.
5. **Power adapter** - The Pi's power input is micro USB, so to power it you will need both a micro USB to USB cable and a USB to mains power adapter. The power adapter must provide at least **700mA at 5V**; any less than this and your Pi won't work properly. The supply can be above 700mA.

Other optional accessories

- **Wireless USB network adapter** - If your Pi isn't within easy access of a wired network port, a wireless USB network adapter can be used for access to a network and the Internet. Please note that as the Pi only has two built-in USB ports, you will likely need to purchase a powered USB hub (see below) in order to use the wireless adapter along with a keyboard and mouse.
- **Powered USB hub** - If you are just using a keyboard and mouse with your Pi, then you probably won't require a USB hub. However, if you plan on connecting any additional USB devices such as memory sticks or wireless adapters, a powered USB hub will be required. A USB hub without it's own power supply is not recommended as other power sources may not provide enough power.
- **Audio lead** - If connecting your Pi to a HDMI device with speakers, you will not need any additional audio cables. If connecting to an external audio device such as normal PC speakers, a 3.5mm to 3.5mm audio cable will be required. If connecting to an analogue device with speakers (such as an old TV), a 3.5mm to 2x RCA phono audio cable will be required.

Operating System

Before using your Raspberry Pi, you will need an SDHC card containing a Raspberry Pi OS (the OS is the software which controls everything, like Windows on a PC or OSX on a Mac). Pre-installed SDHC cards can be purchased, which require no further setup. However, if you wish to load a Raspberry Pi OS on to an SDHC card manually, please refer to the documentation found at: www.wishtrac.com/pi-help

Booting your Raspberry Pi (Raspian Wheezy/Debian Wheezy OS)

Once you have connected the peripherals in order as shown on the diagram, your Raspberry Pi will start to boot. When the various processes have loaded, you will be prompted for a raspberry pi login and password:

Login: pi
Password: raspberry

Please note that no characters will appear on screen when typing the password, not even asterisks (***). This is completely normal.

When you have correctly entered the login and password, you will then see the prompt **pi@raspberry ~ $**. You can start the desktop from here by typing **startx** and pressing enter.

If you need any additional help setting up your Raspberry Pi, please refer to **www.wishtrac.com/pi-help**

Wishtrac

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

applications

- cellular phones
- toys
- PC multimedia
- digital still cameras

ordering information

- **OV05647-G04A** (color, chip probing, 200 µm backgrinding, reconstructed wafer)

features

- 1.4 µm x 1.4 µm pixel with OmniBSI technology for high performance (high sensitivity, low crosstalk, low noise)
- optical size of 1/4"
- automatic image control functions: automatic exposure control (AEC), automatic white balance (AWB), automatic band filter (ABF), automatic 50/60 Hz luminance detection, and automatic black level calibration (ABLC)
- programmable controls for frame rate, AEC/AGC 16-zone size/position/weight control, mirror and flip, cropping, windowing, and panning
- image quality controls: lens correction, defective pixel canceling
- support for output formats: 8-/10-bit raw RGB data
- support for video or snapshot operations
- support for LED and flash strobe mode
- support for internal and external frame synchronization for frame exposure mode
- support for horizontal and vertical sub-sampling
- standard serial SCCB interface
- digital video port (DVP) parallel output interface
- MIPI interface (two lanes)
- 32 bytes of embedded one-time programmable (OTP) memory
- on-chip phase lock loop (PLL)
- embedded 1.5V regulator for core power
- programmable I/O drive capability, I/O tri-state configurability
- support for black sun cancellation

key specifications

- **active array size:** 2592 x 1944
- **power supply:**
  core: 1.5V ± 5% (with embedded 1.5V regulator)
  analog: 2.6 ~ 3.0V (2.8V typical)
  I/O: 1.7V ~ 3.0V
- **power requirements:**
  active: TBD
  standby: TBD
- **temperature range:**
  operating: -30°C to 70°C (see table 8-2)
  stable image: 0°C to 50°C (see table 8-2)
- **output formats:** 8-/10-bit RGB RAW output
- **lens size:** 1/4"
- **lens chief ray angle:** 24° (see figure 10-2)
- **input clock frequency:** 6~27 MHz
- **S/N ratio:** TBD
- **dynamic range:** TBD
- **maximum image transfer rate:**
  QSXGA (2592 x 1944): 15 fps
  1080p: 30 fps
  960p: 45 fps
  720p: 60 fps
  VGA (640 x 480): 90 fps
  QVGA (320 x 240): 120 fps
- **sensitivity:** TBD
- **shutter:** rolling shutter / global shutter
- **maximum exposure interval:** 1968 x t_{ROW}
- ***pixel size:*** 1.4 µm x 1.4 µm
- **well capacity:** TBD
- **dark current:** TBD
- **fixed pattern noise (FPN):** TBD
- **image area:** 3673.6 µm x 2738.4 µm
- **die dimensions:** 5520 µm x 4700 µm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 signal descriptions

table 1-1 lists the signal descriptions and their corresponding pad numbers for the OV5647 image sensor. The die information is shown in section 9.

table 1-1 signal descriptions (sheet 1 of 2)

pad number	signal name	pad type	description
1	AVDD	power	power for analog circuit, 2.8V
2	AGND	power	ground for analog circuit
3	DOGND	power	ground for digital I/O
4	SCL	input	SCCB clock input
5	SDA	I/O	SCCB data I/O
6	DVDD	power	power for digital core circuit, 1.5V (connect to 0.1uF capacitor to ground)
7	SGND	power	ground for pixel array
8	GPIO1	I/O	GPIO 1
9	GPIO0	I/O	GPIO 0
10	STROBE	I/O	strobe output
11	FREX	I/O	frame exposure control
12	DOVDD	power	power for digital I/O, 1.7 ~ 3.0V
13	VREF2	reference	reference analog circuit (connect to 0.1uF capacitor to ground)
14	VREF1	reference	reference for analog circuit (connect to 0.1uF capacitor to ground)
15	PWDN	input	power down control (active high with internal pull-down resistor)
16	DVDD	power	power for digital core circuit, 1.5V (connect to 0.1uF capacitor to ground)
17	RESETB	input	hardware reset (active low with internal pull-up resistor)
18	AVDD	power	power for analog circuit, 2.8V
19	AGND	power	ground for analog circuit
20	TM	input	test mode (active high with internal pull down resistor)
21	DOGND	power	ground for digital I/O
22	DVDD	power	power for digital core circuit, 1.5V (connect to 0.1uF capacitor to ground)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

table 1-1 signal descriptions (sheet 2 of 2)

pad number	signal name	pad type	description
23	DVDD	power	power for digital core circuit, 1.5V (connect to 0.1uF capacitor to ground)
24	DOVDD	power	power for digital I/O, 1.7 ~ 3.0V
25	DOGND	power	ground for digital I/O
26	AVDD	power	power for analog circuit, 2.8V
27	HREF	I/O	DVP HREF output
28	PCLK	I/O	DVP PCLK output
29	VSYNC	I/O	DVP VSYNC output
30	DOVDD	power	power for digital I/O, 1.7 ~ 3.0V
31	D0	I/O	DVP data bit 0
32	D1	I/O	DVP data bit 1
33	D2	I/O	DVP data bit 2
34	D3	I/O	DVP data bit 3
35	D9/MDN0	I/O	DVP data bit 9/ MIPI data lane0 negative output
36	D8/MDP0	I/O	DVP data bit 8/ MIPI data lane0 positive output
37	EVDD	power	power for MIPI circuit, 1.5V (connect to DVDD)
38	D7/MCN	I/O	DVP data bit 7/ MIPI clock negative output
39	D6/MCP	I/O	DVP data bit 6/ MIPI clock positive output
40	EGND	power	ground for MIPI TX circuit
41	D5/MDN1	I/O	DVP data bit 5/ MIPI data lane1 negative output
42	D4/MDP1	I/O	DVP data bit 4/ MIPI data lane1 positive output
43	EGND	power	ground for MIPI TX circuit
44	PVDD	power	power for PLL circuit, 2.8V (connect to AVDD)
45	XCLK	input	system input clock
46	DOVDD	power	power for digital I/O, 1.7 ~ 3.0V
47	DVDD	power	power for digital core circuit, 1.5V (connect to 0.1uF capacitor to ground)
48	DOGND	power	ground for digital I/O
49	AVDD	power	power for analog circuit, 2.8V
50	AGND	power	ground for analog circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้