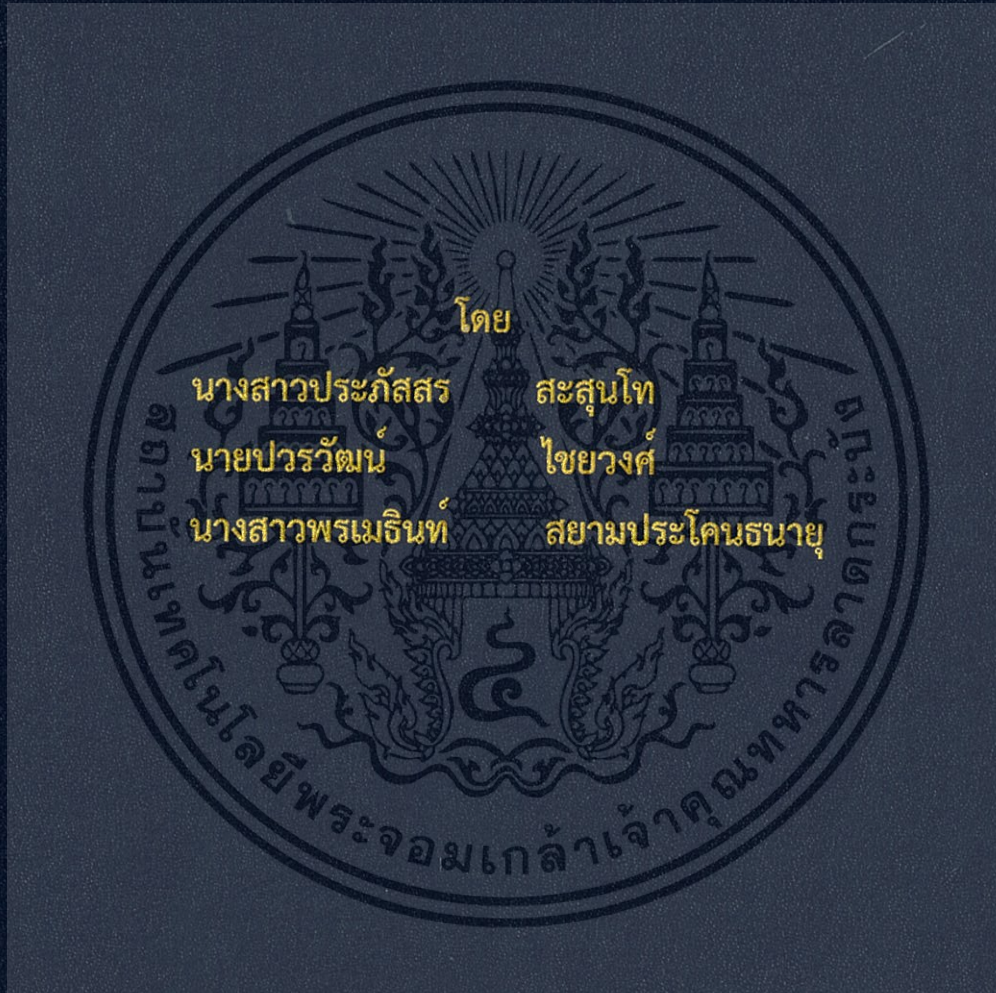


ดาวเทียมจำลองขนาดเล็ก T302  
T302 PICO SATELLITE SIMULATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ดาวเทียมจำลองขนาดเล็ก T302  
T302 PICO SATELLITE SIMULATION



โดย

นางสาวประภัสสร	สะสุนโท	55010709
นายปวรวัฒน์	ไชยวงศ์	55010734
นางสาวพรเมธินท์	สยามประโคนธนายุ	55010823



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **144377**  
วันเดือนปี **24 พ.ย. 2559**

อาจารย์ที่ปรึกษา  
ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์

b. **12819633**  
i. ....

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว  
  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น กรุณาอย่าให้ผู้อื่นนำเอกสารนี้ไปใช้  
ไม่ว่าโดยวิธีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
KMITL วิศวกรรมโทรคมนาคม  
Telecommunications Engineering

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว  
  
กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น กรุณาอย่าให้ผู้อื่นนำเอกสารนี้ไปใช้  
ไม่ว่าโดยวิธีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
KMITL วิศวกรรมโทรคมนาคม  
Telecommunications Engineering

ดาวเทียมจำลองขนาดเล็ก T302  
T302 PICO SATELLITE SIMULATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ดาวเทียมจำลองขนาดเล็ก T302

T302 PICO SATTELLITE SIMULATION

ผู้จัดทำ

1. นางสาวประภัสสร สะสุนโท 55010709
2. นายปวรวัฒน์ ไชยวงศ์ 55010734
3. นางสาวพรเมธินท์ สยามประโคนธนายุ 55010823



(ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาศิพงษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ เรื่อง ดาวเทียมจำลองขนาดเล็ก T302 สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาศิพงษ์ ในด้านการให้คำปรึกษา แนะนำแนวคิดและความรู้เพื่อนำมาใช้ในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ จึงขอขอบพระคุณท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังกล่าวเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณบรรณารักษ์ และห้องสมุดต่างๆ อาทิ เช่น ห้องสมุดสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และขอบคุณสื่ออิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่ใช้ในการสืบค้นข้อมูลที่สำคัญในการจัดทำปริญญาานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และเพื่อนๆ ที่คอยให้คำปรึกษา ให้กำลังใจและคอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุนด้านทุนทรัพย์ รวมไปถึงเพื่อนร่วมงานที่ทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวประภัสสร สะสุนโท  
นายปวรวัฒน์ ไชยวงศ์  
นางสาวพรเมธินท์ สยามประโคนธนาญ  
ผู้จัดทำ

ดาวเทียมจำลองขนาดเล็ก T302  
T302 PICOS ATTELLITE SIMULATION

โดย นางสาวประภัสสร สะสุนโท 55010709  
นายปวรวัฒน์ ไชยวงศ์ 55010734  
นางสาวพรเมรินทร์ สยามประ โคนธนาญ 55010823

อาจารย์ที่ปรึกษา ศศ.ดร. สุทธิชัย นพนาถิพงษ์

**บทคัดย่อ**

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบการจำลองดาวเทียมภายใต้น้ำหนัก1กิโลกรัม ซึ่งถูกทำการจำลองขึ้นมาที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยในปริญญา นิพนธ์นี้เราได้นำเสนอแนวคิดเบื้องต้นของระบบการสื่อสารผ่านทางดาวเทียมที่ระดับความสูง ที่กำหนด ถ้าเมื่อดาวเทียมที่จำลองถึงระดับความสูงที่กำหนดไว้แล้วก็จะสามารถปรับสมดุลของตัวมันเองได้อัตโนมัติ จากนั้นจะส่งข้อมูลมายังภาคพื้นดินและได้ทำการจำลองผ่านทางโปรแกรม STK ซึ่งเป็น โปรแกรมที่ช่วยในเรารู้ถึงลักษณะการทำงานต่างๆของดาวเทียมที่เราทำการศึกษาเพื่อจำลองการโคจร ของดาวเทียม

**ABSTRACT**

THIS THESIS PROPOSES THE DESIGN OF A MICROWAVE COMMUNICATIONS SYSTEM FOR AN UNDER 1 KG PICO-SATELLITE SIMULATION THAT IS BEING DESIGNED AND BUILT AT KING MONGKUT'S INSTITUTION OF TECHNOLOGY. AS EXPLAINED IN THE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROPOSED COMMUNICATIONS SYSTEM BY LEAD THE SIMULATION SATELLITE TO ALTITUDE DEFINED BY BALLOON. IF THE SIMULATION SATELLITE COME TO ALTITUDE DEFINED IT CAN ADJUST ITSELF AUTOMATICALLY. THEN IT WILL TRANSMISSION DATA TO EARTH STATION AND SIMULATION IN STK TO SIMULATE THE ORBIT OF SATELLITE.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า	
กิตติกรรมประกาศ	I	
บทคัดย่อ	III	
สารบัญ	IV	
สารบัญรูป	VI	
สารบัญตาราง	VIII	
<b>บทที่ 1</b>	<b>บทนำ</b>	
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
<b>บทที่ 2</b>	<b>ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>	
	2.1 การสื่อสารผ่านดาวเทียม	2
	2.2 ARDUINO PRO MINI	12
	2.3 GPS	14
	2.4 NRF24L01+PA+LNA MODULE	16
<b>บทที่ 3</b>	<b>การออกแบบและการจัดทำโครงการ</b>	
	3.1 การออกแบบ	18
	3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	29
	3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	29

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4	ผลการทดลอง	
	4.1 การทดลองโดยใช้โปรแกรม STK	30
	4.2 การทดสอบคุณภาพเสียง	37
	4.3 การระบุพิกัดหรือตำแหน่งของตัวดาวเทียม	39
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ	
	5.1 สรุปผล	43
	5.2 ข้อเสนอแนะ	43



## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	วงโคจรแบบโพล่า ออบิทเป็นวงกลม	2
2.2	วงโคจรแบบโพล่า ออบิทเป็นวงกลมและวงรี	4
2.3	วงโคจรแบบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าโลกหมุนหรือวงโคจรค้างฟ้า	5
2.4	วงโคจรประเภทต่างๆ	6
2.5	วงโคจรของดาวเคราะห์เป็นวงรี	7
2.6	การสร้างวงรี	7
2.7	ภาคตัดกรวยชนิดต่างๆ	8
2.8	พื้นที่ที่กวาดไปช่วงเวลาเท่ากัน ย่อมมีขนาดเท่ากัน	9
2.9	บอร์ด ADUINO PRO MINI	13
2.10	GPS MODULE	15
2.11	NRF24L01+PA+LNA MODULE	16
3.1	บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบตรวจจับและสั่งการดาวเทียม	17
3.2	โครงสร้างของดาวเทียม	18
3.3	โครงสร้างภายในของดาวเทียม	19
3.4	T302 PICO SATELLITE SIMULATION	20
3.5	อุปกรณ์ภาครับ	21
3.6	วงจร PRE-AMPLIFIER	22
3.7	วงจร TRANSMITTER	23
3.8	ภาคการระบุพิกัด GPS	24
3.9	BATTERY	25

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.10	บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบรับ - ส่งสัญญาณเสียง	26
4.1	พื้นที่รับสัญญาณของสถานีภาคพื้นดิน และการโคจรของดาวเทียมแบบ 3 มิติ	30
4.2	ภาพการจำลองดาวเทียมในแบบ 2 มิติ	31
4.3	BEAM ของสายอากาศที่เราได้กำหนดลงไป	31
4.4	ระยะเวลาในการติดต่อสื่อสารในระยะเวลา 1 วัน	32
4.5	LLA POSITION ของดาวเทียม	33
4.6	LLA POSITION ของดาวเทียมในรูปแบบกราฟ	22
4.7	มุม AZIMUTH , ELEVATION และ RANGE ของการสื่อสารกับดาวเทียม	34
4.8	กราฟ AZIMUTH , ELEVATION และ RANGE ของการสื่อสารกับดาวเทียมใน 1 เดือน	34
4.9	อุปกรณ์ภายในดาวเทียมจำลอง	36
4.10	การวัดระดับเสียงที่ระดับความสูง 15 เมตร	37
4.11	การวัดระดับเสียงที่ระดับความสูง 50 เมตร	38
4.12	การส่งพิกัดของดาวเทียมไปยังภาครับ	39
4.13	มือไม่ได้รับค่าของพิกัด	40
4.14	ค่าที่รับพิกัดของดาวเทียมได้ทุกๆ 5 วินาที	41

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ย่านความถี่ในการใช้งานสำหรับสื่อสารดาวเทียม	12
4.1	การต่อ ADUINO+NRF24L01 PA+LNA	35
4.2	ผลการทดลองโดยบุคคลเป็นผู้ให้คะแนนระดับคุณภาพของเสียง	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ดาวเทียมเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการที่จะสร้างขึ้น และมักมีขนาดใหญ่ทั้งต้องใช้งบลงทุนมูลค่าหลายพันล้านบาท ในปัจจุบันนี้การที่จะเริ่มสร้างดาวเทียมขนาดใหญ่ คงจะเป็นเรื่องที่ยากมากหรือแทบเป็นไปไม่ได้สำหรับประเทศที่มีต้นทุนต่ำ จึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะจัดทำปริญญานิพนธ์นี้ขึ้นมาเพื่อศึกษาและจำลองดาวเทียมขนาดเล็กขึ้นมาให้ใช้งานในการทวนสัญญาณเสมือนจริงได้ และมีต้นทุนในการสร้างที่ต่ำ

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีต่างๆที่นำมาใช้ในการออกแบบ และสร้างดาวเทียมขนาดเล็ก
2. เพื่อศึกษาโครงสร้างและจำลองการออกแบบดาวเทียมขนาดเล็กได้
3. เพื่อให้สามารถทดลองใช้งานในการทวนสัญญาณเสมือนจริงได้
4. เพื่อใช้เป็นความรู้พื้นฐานและนำไปพัฒนาในการสร้างเป็นดาวเทียมขนาดเล็ก

### 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ศึกษาจำลอง และสร้างดาวเทียมขนาดเล็กเพื่อเป็นการเรียนรู้เทคโนโลยีดาวเทียมสามารถนำไปพัฒนาดาวเทียมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยการนำดาวเทียมที่ได้ทำการจำลองขึ้นไปปล่อยที่ระยะที่กำหนดโดยอาศัยบอลูนในการปล่อย เมื่อถึงระยะที่กำหนดแล้วดาวเทียมสามารถปรับสมดุลของตัวมันเองได้อัตโนมัติ จากนั้นจะทำการส่งข้อมูลที่ได้จากตำแหน่งนั้นลงมาโดยมีการร้องขอจากสถานีภาคพื้นดิน

ออกแบบโครงสร้างในการทำดาวเทียมขนาดเล็กพร้อมทั้งสร้างและจำลองให้สามารถทดลองใช้งานในการทวนสัญญาณเสมือนจริงได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การสื่อสารผ่านดาวเทียม (Satellite Communication)

มนุษย์ได้คิดค้นดาวเทียมขึ้นมาเพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ในระยะทางไกลๆ โดยดาวเทียมที่สร้างขึ้นในสมัยแรกๆนั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนคลื่นวิทยุความถี่ไมโครเวฟ ต่อมาได้มีการพัฒนาให้มีการติดตั้งอุปกรณ์รับส่งคลื่นไมโครเวฟเข้าไปในตัวดาวเทียมเพื่อใช้ทวนสัญญาณความถี่ไมโครเวฟแล้วแปลงความถี่ให้แตกต่างกันก่อนส่งมายังโลก ดาวเทียมสามารถโคจรรอบโลกได้โดยอาศัยแรงดึงดูดของโลกส่งผลให้โคจรรอบโลกได้ในลักษณะเดียวกันกับดวงจันทร์และดวงอาทิตย์ นับตั้งแต่การประดิษฐ์คิดค้นดาวเทียมขึ้นมาทำให้โลกเกิดสิ่งใหม่ๆ และอำนวยความสะดวกประโยชน์ให้มนุษย์อย่างมากมายทั้งในอดีตปัจจุบันและอนาคต

##### 2.1.1 ประวัติการสื่อสารผ่านดาวเทียม

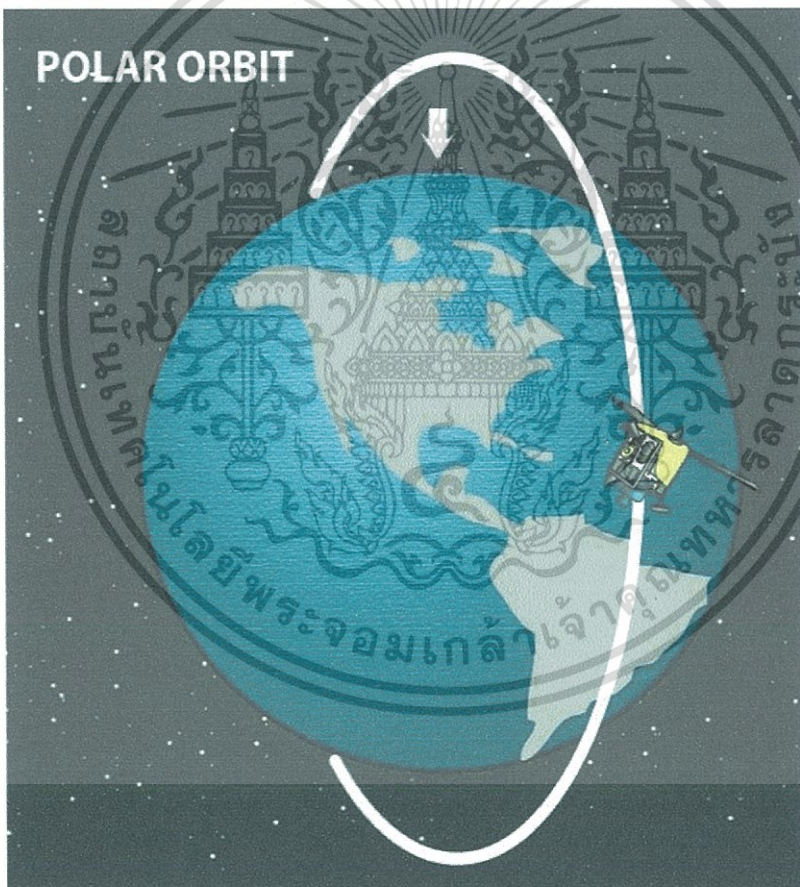
ดาวเทียมเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งได้ถูกส่งขึ้นไปโคจรรอบโลกครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2500 โดยสหภาพโซเวียตได้ส่งดาวเทียมขึ้นไปชื่อสปุตนิก 1 (Sputnik 1) เพื่อทำหน้าที่ตรวจสอบการแผ่รังสีของชั้นบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ ต่อมาในปี พ.ศ. 2501 สหรัฐอเมริกาได้ส่งดาวเทียมชื่อเอ็กซ์พลอเรอร์ 1 (Explorer 1) ขึ้นสู่อวกาศ และได้ส่งดาวเทียมชื่อ สกอร์ (Score) เพื่อใช้เป็นดาวเทียมสื่อสารซึ่งถือว่าเป็นการสื่อสารผ่านดาวเทียมเป็นครั้งแรกของโลกทำให้สหภาพโซเวียตและสหรัฐอเมริกาเป็นสองประเทศผู้นำทางด้านการศึกษาทางอวกาศ ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2503 สหรัฐอเมริกาได้ส่งดาวเทียมชื่อเอ็กโค่ 1 (Echo 1) ขึ้นไปเพื่อทำหน้าที่ในการสะท้อนคลื่นวิทยุสู่โลกได้เป็นผลสำเร็จโดยทดลองถ่ายทอดสัญญาณโทรศัพท์และโทรทัศน์และในปี พ.ศ. 2506-2507 สหรัฐอเมริกาได้ส่งดาวเทียมชื่อ ซิงคอม 1 (Syncom 1) ซึ่งเป็นดาวเทียมที่เคลื่อนที่รอบโลกด้วยความเร็วที่โลกหมุนรอบตัวเองซึ่งใช้ถ่ายทอดข่าวสารจากทวีปอเมริกาเหนือไปยังทวีปอเมริกาใต้ โดยเป็นสัญญาณพูดโทรศัพท์ข้ามทวีป และได้ส่งดาวเทียมชื่อ รีเลย์ 2 (Relay 2) เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่นเป็นครั้งแรก รวมถึงการจัดตั้งสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศมีจำนวนสมาชิก 11 ประเทศและได้จัดตั้งองค์การโทรคมนาคมทางดาวเทียมระหว่างประเทศ หรืออินเทลแซต (INTELSAT) ขึ้น ให้บริษัทคอมแซต (COMSAT) ของสหรัฐอเมริกาเป็นผู้จัดการธุรกิจต่างๆ

## 2.1.2 วงโคจรของดาวเทียม

การโคจรของดาวเทียมนั้นมีพื้นฐานมาจากหลักการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีความเร็วสูงที่กล่าวไว้ว่าถ้าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมากๆประมาณ 8 กิโลเมตรต่อวินาที วัตถุจะไม่ตกลงสู่พื้นโลกและสามารถเคลื่อนที่รอบโลกได้ซึ่งดาวเทียมเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงโดยหนีแรงดึงดูดของโลกก็จะทำให้ดาวเทียมสามารถโคจรรอบโลกได้ซึ่งวงโคจรของดาวเทียมสามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

2.1.2.1 วงโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun-Synchronous Orbit) วงโคจรนี้แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะดังนี้

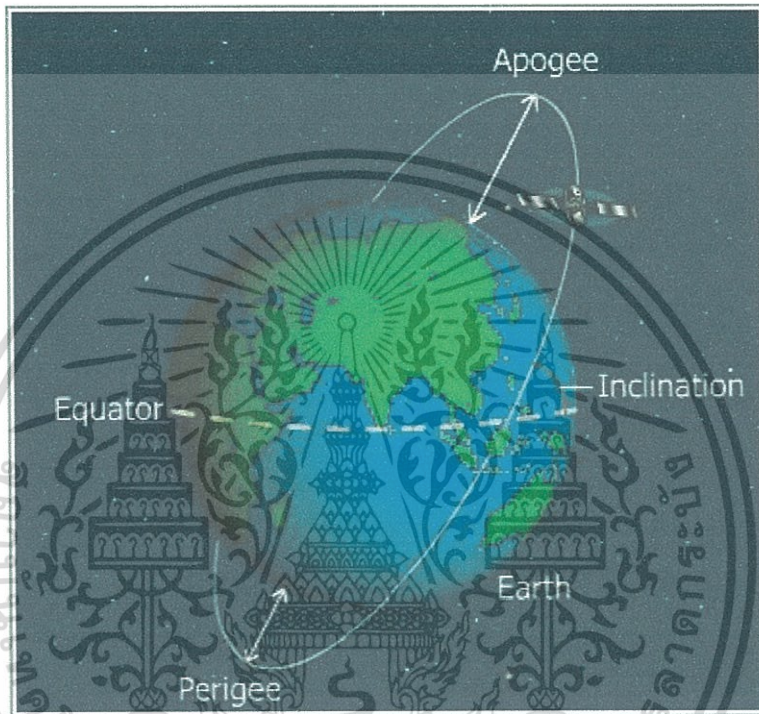
1) โพล่า ออบิท (Polar Orbit) เป็นวงโคจรที่มีลักษณะเป็นวงกลมโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางในแนว ขั้วโลก ซึ่งวงโคจรนี้จะมีระยะความสูง 500-1,000 กิโลเมตรจากพื้นโลก



รูปที่ 2.1 วงโคจรแบบโพล่าออบิทเป็นวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

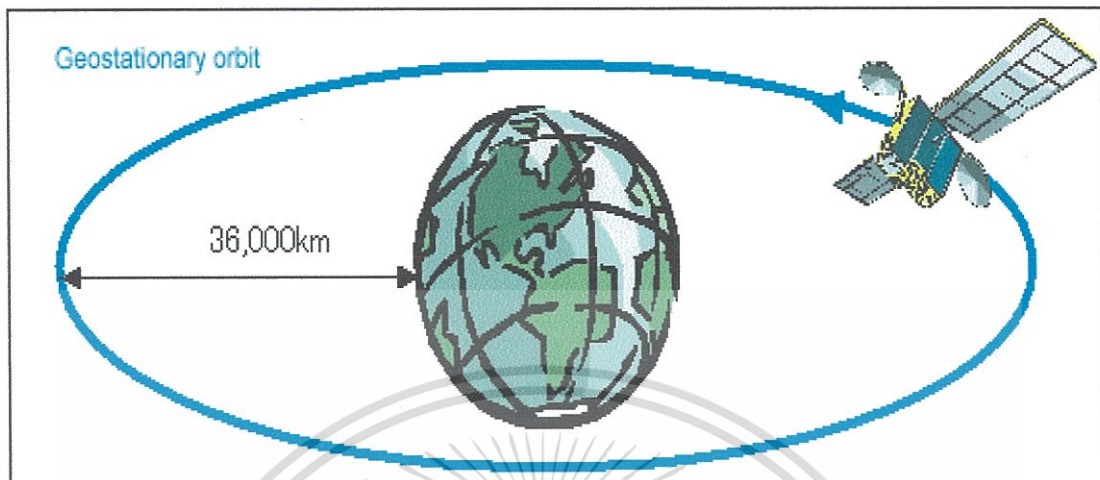
2) อินโคล ออบิท (Inclined Orbit) เป็นวงโคจรที่มีลักษณะเป็นทั้งวงกลมและวงรี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเอียงหรือมุมที่ทำกับระนาบศูนย์สูตรซึ่งวงโคจรนี้จะมีระยะความสูง 5,000-13,000 กิโลเมตรจากพื้นโลก



รูปที่ 2.2 วงโคจรแบบโพล่าออบิทเป็นวงกลมและวงรี

2.1.2.2 วงโคจรแบบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าโลกหมุน (Equatorial Orbit) เป็นวงโคจรรูปวงกลมมนตามแนวระนาบกับเส้นศูนย์สูตรโดยเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วที่หมุนรอบตัวเอง ซึ่งจะใช้เวลาในการโคจร 24 ชั่วโมงต่อรอบ ทำให้เหมือนกับว่าดาวเทียมลอยนิ่งอยู่กับที่จึงเรียกวงโคจรนี้ว่าวงโคจรค้างฟ้า ระยะความสูงของดาวเทียมจากพื้นโลกมีค่าประมาณ 35,800 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



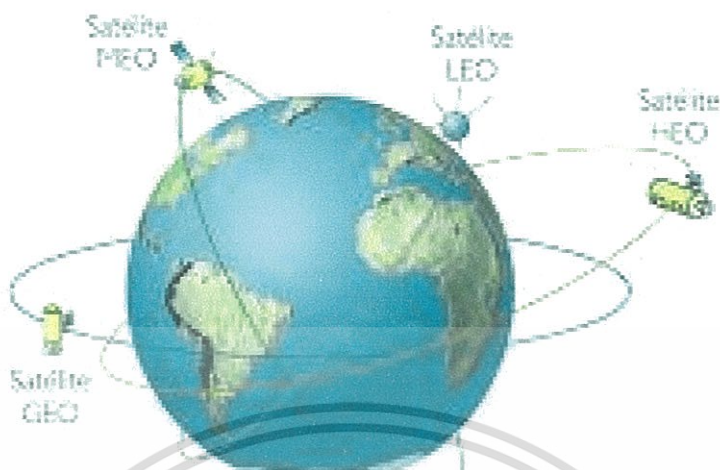
รูปที่ 2.3 วงโคจรแบบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าโลกหมุนหรือวงโคจรค้างฟ้า

ดาวเทียมจะโคจรรอบโลกตามแนวการหมุนของโลกหรือในแนวเส้นศูนย์สูตรซึ่งวงโคจรของดาวเทียมเมื่อแบ่งตามระยะความสูงจากพื้นโลกสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ

1) วงโคจรระยะต่ำ (Low Earth Orbit) วงโคจรนี้อยู่สูงจากพื้นโลกไม่เกิน 1,000 กิโลเมตรดาวเทียมที่มีวงโคจรลักษณะนี้ส่วนใหญ่จะใช้ในการสำรวจสถานะแวดล้อมและสังเกตการณ์ซึ่งไม่สามารถใช้งานครอบคลุมบริเวณใดบริเวณหนึ่งได้ตลอดเวลา

2) วงโคจรระยะปานกลาง (Medium Earth Orbit) วงโคจรนี้อยู่สูงจากพื้นโลกตั้งแต่ 1,000 กิโลเมตรขึ้นไป ส่วนใหญ่ใช้ในทางอวกาศวิทยุ และติดต่อสื่อสารบางพื้นที่

3) วงโคจรประจำที่ (Geostationary Earth Orbit) วงโคจรนี้สูงจากพื้นโลกประมาณ 35,800 กิโลเมตรซึ่งเป็นเส้นทางโคจรอยู่ในแนวเส้นศูนย์สูตรดาวเทียมที่มีวงโคจรลักษณะนี้ส่วนใหญ่ใช้เพื่อการสื่อสาร



รูปที่ 2.4 วงโคจรประเภทต่างๆ

### 2.1.3 ประเภทของดาวเทียม

ซึ่งแบ่งตามลักษณะการใช้งานดังนี้

- 1) ดาวเทียมสื่อสาร ใช้เพื่อการสื่อสารโทรคมนาคม
- 2) ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร
- 3) ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา
- 4) ดาวเทียมบอกตำแหน่ง
- 5) ดาวเทียมสมุทรศาสตร์
- 6) ดาวเทียมสำรวจอวกาศ
- 7) ดาวเทียมจารกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

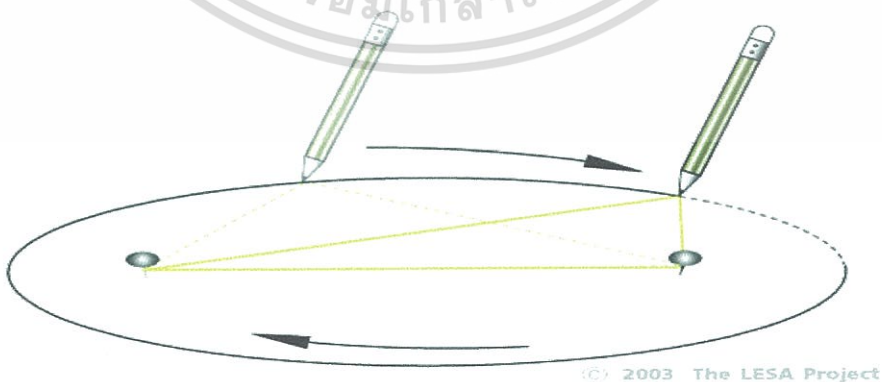
### 2.1.4 กฎของเคปเลอร์ (Kepler's laws)

นักปราชญ์ในยุคก่อนเชื่อว่า วงโคจรของดาวเคราะห์เป็นรูปวงกลมที่สมบูรณ์ จนกระทั่ง โยฮานเนส เคปเลอร์ (Johannes Kepler) นักดาราศาสตร์ชาวเยอรมันซึ่งมีชีวิตอยู่ในระหว่าง ค.ศ.1571 – 1630 ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลตำแหน่งของดาวเคราะห์ ที่ได้จากการตรวจวัดจากการสังเกตการณ์อย่างละเอียด แล้วทำการคำนวณย้อนกลับ พบว่าผลของการคำนวณซึ่งถือเอาวงโคจรเป็นรูปวงกลมนั้น ไม่สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการสังเกตการณ์ แต่กลับสอดคล้องกับผลของการคำนวณซึ่งถือเอาวงโคจรเป็นรูปวงรี ในปี ค.ศ.1609 เคปเลอร์ได้ประกาศว่า “ดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี โดยมีดวงอาทิตย์อยู่ที่โฟกัสจุดหนึ่ง” (กฎข้อที่ 1 กฎของวงรี)



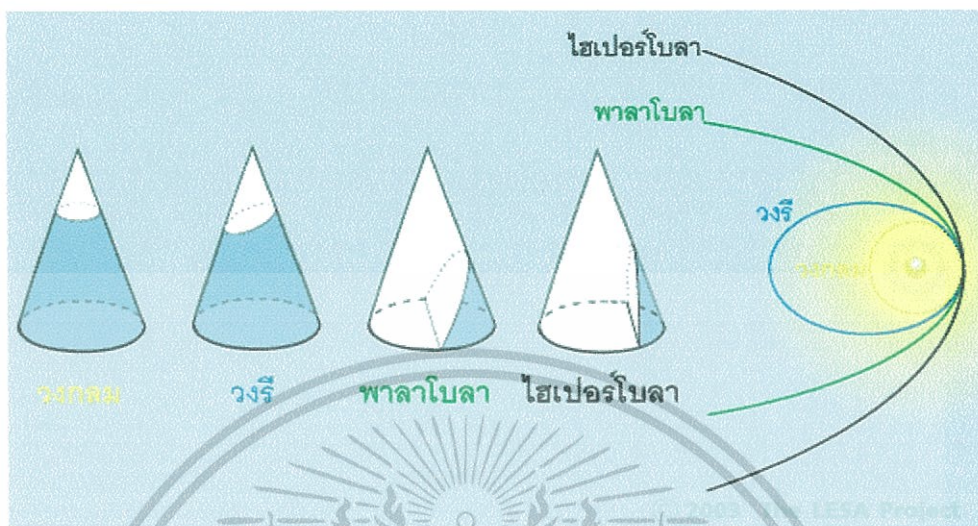
รูปที่ 2.5 วงโคจรของดาวเคราะห์เป็นวงรี

การสร้างวงรี สามารถทำได้โดย 2 วิธีคือ วิธีซึ่งเชือก สร้อยสามเหลี่ยมระหว่างจุดโฟกัส 2 จุดและปลายดินสอ จากนั้นลากดินสอรอบจุดโฟกัส โดยให้เส้นเชือกตึงอยู่ตลอดเวลา ดังภาพที่ 2.6 และ 2.7



รูปที่ 2.6 การสร้างวงรี

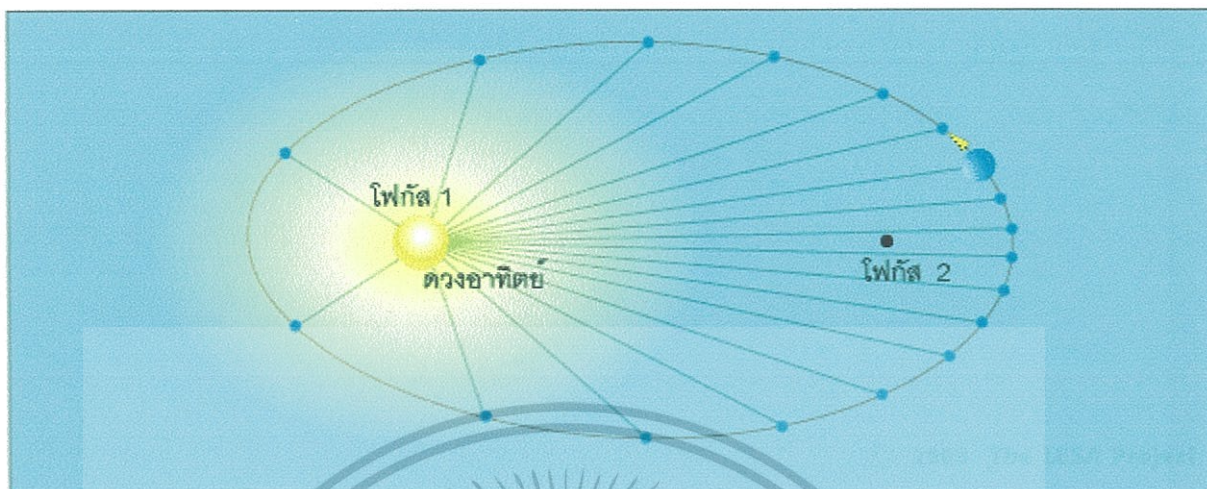
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ภาคตัดกรวยชนิดต่างๆ

ในปีเดียวกัน เคปเลอร์พบว่า ความเร็วในวงโคจรของดาวเคราะห์มีค่าคงที่ แต่จะเคลื่อนที่เร็วเมื่อเข้าใกล้ดวงอาทิตย์ และเคลื่อนที่ช้าลงเมื่อออกห่างจากดวงอาทิตย์ เคปเลอร์พบว่า “เมื่อดาวเคราะห์เคลื่อนที่ตามวงโคจรไปในแต่ละช่วงเวลา 1 หน่วย เส้นสมมติที่ลากโยงระหว่างดาวเคราะห์กับดวงอาทิตย์ จะกวาดพื้นที่ในอวกาศไปได้เท่าๆ กัน” (กฎข้อที่ 2 กฎของพื้นที่เท่ากัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 พื้นที่ที่กวาดไปช่วงเวลาที่เท่ากัน ย่อมมีขนาดเท่ากัน

เก้าปีต่อมา ในปี ค.ศ.1618 เคปเลอร์พบว่า พื้นที่ของคาบวงโคจรของดาวเคราะห์ (คำว่า “พื้นที่” หมายถึง กำลังสอง) จะแปรผันตาม ปริมาตรของระยะห่างจากดวงอาทิตย์เสมอ (คำว่า “ปริมาตร” หมายถึง กำลังสาม) หรือพูดอย่างง่ายว่า “กำลังสองของคาบวงโคจรของดาวเคราะห์ รอบดวงอาทิตย์ จะแปรผันตาม กำลังสามของระยะห่างจากดวงอาทิตย์” เมื่อนำค่ายกกำลังสอง ของคาบวงโคจรของดาวเคราะห์  $p^2$  มาหารด้วย ค่ากำลังสามของระยะห่างจากดวงอาทิตย์  $a^3$  จะได้ ค่าคงที่เสมอ ( $p^2/a^3 = k$ ,  $k$  เป็นค่าคงที่) มิว่าจะเป็นดาวเคราะห์ดวงใดก็ตาม กฎข้อที่ 3 นี้ เรียกว่า “กฎฮาร์โมนิก” (Harmonic Law)

### สรุปกฎเคปเลอร์

- ข้อที่ 1 ดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี โดยมีดวงอาทิตย์จุดศูนย์กลาง
- ข้อที่ 2 เส้นตรงที่เชื่อมโยงระหว่างดาวเคราะห์กับดวงอาทิตย์จะกวาดเป็นพื้นที่ที่เท่าๆกันใน ช่วงเวลาที่เท่ากัน
- ข้อที่ 3 กำลังสองของคาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ แปรผันตามกำลังสามของระยะห่างจากดวงอาทิตย์ ( $p^2/a^3 = k$ ,  $k$  เป็นค่าคงที่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.5 ส่วนประกอบของดาวเทียม

ดาวเทียมเป็นเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อน มีส่วนประกอบหลายๆ อย่างสามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดแต่แต่ละส่วนมีระบบควบคุมการทำงานแยกย่อยกันไป มีองค์ประกอบใหญ่ๆ ของดาวเทียม ดังนี้

2.1.5.1 โครงสร้างของดาวเทียม เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากส่วนหนึ่ง เพราะเป็นส่วนประกอบภายนอกของดาวเทียมที่จะต้องมึ้น้ำหนักเบาและทนน้ำหนักของโครงสร้างจะต้องมีประมาณ 20-25% ของน้ำหนักรวม

2.1.5.2 ระบบเครื่องยนต์ เป็นส่วนที่ทำงานคล้ายกับเครื่องอัดและปล่อยอากาศ ซึ่งระบบส่วนนี้จะทำงานภายในสุญญากาศโดยไม่รบกวนสิ่งแวดล้อม

2.1.5.3 ระบบพลังงาน เป็นส่วนที่ผลิตพลังงานให้กับดาวเทียม ส่วนนี้จะมีแผงพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับรับพลังงาน เพื่อเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าให้กับดาวเทียม

2.1.5.4 ระบบควบคุมและบังคับ เป็นส่วนที่ประมวลผลคำสั่งต่างๆ ให้กับดาวเทียมสำหรับ ติดต่อสื่อสารกับโลกซึ่งภายในจะประกอบด้วยคอมพิวเตอร์

2.1.5.5 ระบบสื่อสารและนำทาง เป็นส่วนที่นำทางให้ดาวเทียมเคลื่อนที่ในวงโคจรที่กำหนด ซึ่งในส่วนนี้จะมีอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนซึ่งทำงานโดยแผงควบคุมอัตโนมัติ

2.1.5.6 อุปกรณ์ควบคุมระดับความสูง เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รักษาระดับความสูงให้สัมพันธ์กับพื้นโลก และดวงอาทิตย์ทั้งนี้ก็เพื่อให้ดาวเทียมสามารถรักษาระดับให้โคจรได้

2.1.5.7 เครื่องมือบอกตำแหน่ง เป็นส่วนที่กำหนดการเคลื่อนที่ของดาวเทียม

## 2.1.6 ระบบการสื่อสารดาวเทียม

ดาวเทียมสื่อสาร เป็นดาวเทียมที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารทั้งในประเทศและระหว่างประเทศ ตลอดจนการคมนาคมขนส่งช่วยในการควบคุมเส้นทางและบอกตำแหน่งที่อยู่ โดยดาวเทียมจะทำหน้าที่เป็นสถานีรับส่งคลื่นวิทยุสื่อสารติดต่อกับสถานีภาคพื้นดินช่วยให้กิจการสื่อสารทางโทรศัพท์ โทรพิมพ์ โทรสารและการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ระหว่างประเทศเป็นไปอย่างทั่วถึงและรวดเร็ว สำหรับประเทศไทยใช้บริการของดาวเทียมอินเทลเสตและดาวเทียมपालา ประเทศอินโดนีเซีย ดาวเทียมเพื่อการสื่อสารนั้นจะทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณซึ่งในดาวเทียมจะติดตั้งอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุเพื่อใช้รับและถ่ายทอดสัญญาณสู่พื้นโลก โดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในตัวดาวเทียมนั้นได้มาจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งระบบการสื่อสารด้วยดาวเทียมนั้นจะมีองค์ประกอบ 2 ส่วนคือ (Space Segment) ซึ่งได้แก่ ตัวดาวเทียม และส่วนภาคพื้นดิน (Ground Segment) ซึ่งได้แก่ สถานีรับส่งภาคพื้นดินศูนย์โทรคมนาคม สถานีภาคพื้นดินแต่ละแห่งนั้นสามารถเป็นได้ทั้งสถานีรับและสถานีส่ง จึงทำให้สถานีภาคพื้นดินแต่ละแห่งมีทั้งเครื่องรับและเครื่องส่ง ส่วนดาวเทียมนั้นจะเป็นเพียงสถานีทวนสัญญาณและส่งสัญญาณไปยังจุดหมายปลายทางที่สถานีภาคพื้นดินอื่นๆ และสัญญาณจากสถานีรับส่งภาคพื้นดินจะส่งไปยังศูนย์โทรคมนาคม แล้วศูนย์โทรคมนาคมจะส่งสัญญาณไปยังสถานีโทรทัศน์สถานีวิทยุปลายทางการสื่อสารผ่านดาวเทียมสามารถกระทำได้โดยสถานีภาคพื้นดินส่งคลื่นความถี่วิทยุผสมกับสัญญาณข่าวสารขึ้นไปยังดาวเทียมซึ่งเรียกว่าความถี่เชื่อมโยงขาขึ้น (Up-Link Frequency) โดยปกติความถี่ไมโครเวฟขาขึ้นจะใช้ประมาณ 6 กิกะเฮิร์ต เครื่องรับภายในตัวดาวเทียมจะรับสัญญาณเข้ามาทวนสัญญาณให้แรงขึ้นพร้อมกำจัดสัญญาณรบกวนออกไป ก่อนส่งสัญญาณกลับมายังพื้นดิน ทั้งนี้ดาวเทียมจะทำการเปลี่ยนความถี่คลื่นไมโครเวฟให้แตกต่างไปจากความถี่ขาขึ้นแล้วจึงส่งความถี่ไมโครเวฟที่ผสมสัญญาณข่าวสารกลับลงมาเรียกว่าความถี่เชื่อมโยงขาลง (Down-Link Frequency) โดยปกติความถี่ไมโครเวฟขาขึ้นจะใช้ประมาณ 4 กิกะเฮิร์ต

ซึ่งย่านความถี่ไมโครเวฟนี้จะถูกแบ่งเป็นย่านความถี่ย่อยๆ เพื่อกำหนดใช้งาน ทั้งนี้แต่ละย่านความถี่จะมีการกำหนดชื่อเรียกเป็นภาษาอังกฤษ

## ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ในการใช้งานสำหรับสื่อสารดาวเทียม

ย่านความถี่	ชื่อย่าน
225 – 390 MHz	p
350 – 530 MHz	J
1350 – 2700 MHz	L
2500 – 2700 MHz	S
3400 – 6425 MHz	C
7250 – 8400 MHz	X
10.95 – 14.50 GHz	Ku
17.70 – 21.20 GHz	Kc
27.50 – 31 GHz	K
36 – 46 GHz	Q
46 – 56 GHz	V
56 – 100 GHz	W

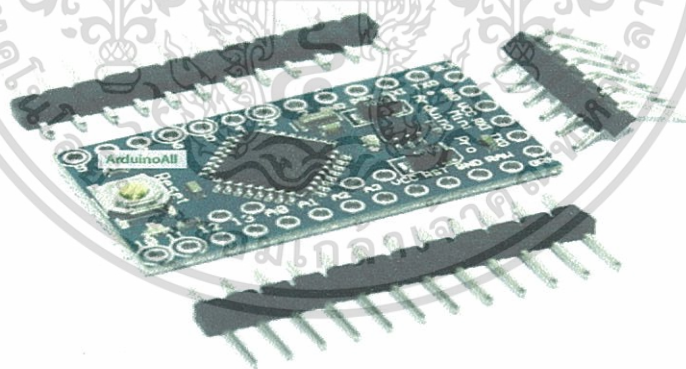
## 2.2 Arduino Pro Mini

อูโน้ยูโน้ เป็นระบบที่ใช้พัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต้นแบบ ซึ่งออกแบบมาให้ใช้งานง่ายทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ กลุ่มเป้าหมายผู้ใช้งานอูโน้ ได้แก่ ศิลปิน นักประดิษฐ์ ใช้ในงานอดิเรก หรือใครก็ตามที่สนใจในงานประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ อูโน้ มีผู้เริ่มสร้างเป็นชาวอิตาลี ในต้นปี 2005 ผู้ที่เริ่มสร้างอูโน้ ชื่อว่า Massimo Banzi และ David Cuartielles ซึ่งอาศัยอยู่ในเมือง Ivrea ทางตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศอิตาลี สองคนนี้ตั้งใจสร้างอุปกรณ์ประเภทไมโครคอนโทรลเลอร์ราคาถูกที่นักเรียนนักศึกษาสามารถเข้าถึง และซื้อเข้ามาเป็นเจ้าของได้ โรงงานเล็กๆ ในเมืองที่วานี้ก็ถูกใช้เป็นที่ผลิตบอร์ด Arduino เวอร์ชันแรก โดยใช้ชื่อโครงการว่า Arduino of ivrea นอกจากจะตั้งใจให้ราคาของอุปกรณ์นั้นถูกเมื่อเทียบกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอื่นๆ ในท้องตลาดแล้ว พวกเขายังตั้งใจให้ Arduino สามารถพัฒนาโดยโปรแกรมที่ แจกฟรี ภายใต้อิฐเงื่อนไขในการใช้งานลักษณะ Open Source ดังนั้นจึงเลือกใช้การพัฒนาบนพื้นฐานของระบบ Wiring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์เปรียบเหมือนกับสมองของมนุษย์ คือ มีหน้าที่คิด คำนวณทางคณิตศาสตร์ คำนวณทางลอจิก สั่งการมีส่วนร่วมความจำ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณ หรือประมวลผลต่างๆ แต่จะไม่สามารถทำงานได้เอง เปรียบได้กับ อุปกรณ์ส่วนควบ (Accessories) อื่น เช่น เซนเซอร์ มอเตอร์ ระบบสื่อสารผ่านอินเทอร์เน็ต ระบบแสดงผลผ่านจอภาพ เป็นต้น ดังนั้นโดยสรุป คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการคิดคำนวณ รับค่าจากระบบวัดผลภายนอกเข้ามาประมวลผล เพื่อสั่งการตอบสนองออกไปที่อุปกรณ์ต่อเชื่อมอื่นๆ อุดูโนเวอร์ชันแรกปรากฏต่อสายตาชาวโลกในเดือนกันยายน ปี 2006 เรียกชื่อว่า Arduino Mini ถึงปัจจุบัน อุดูโน มีบอร์ดหลายแบบให้เลือกใช้งานตามความถนัดและความเหมาะสมมากกว่า 20 รุ่น แต่ละรุ่นก็มีขนาด ความจุ ความเร็ว จำนวนขาพอร์ตอินพุต เอาท์พุต แตกต่างกันไป ทำให้เป็นที่นิยมมากขึ้นเรื่อยๆ

Arduino Pro Mini เป็น อุดูโน ขนาดเล็กแต่มีความสามารถเท่ากับ Arduino Uno เลย เพราะใช้ ic atmega 328 เหมือนกันเพียงแต่ตัดฟังก์ชันติดต่อ USB ออก เวลาจะโปรแกรมจึงต้องใช้บอร์ด USB to UART ช่วย เบิร์นโปรแกรมลงบอร์ด Arduino Pro Mini



รูปที่ 2.9 บอร์ด ADUINO PRO MINI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายละเอียด Arduino Pro Mini

- Arduino Pro Mini ATmega328 /16MHz
- PCB ขนาด 0.8 mm
- Arduino Pro Mini ขนาด 33.3\*18.0 mm
- Arduino Pro Mini ไม่มีพอร์ต USB
- Arduino Pro Mini รองรับ Auto-Reset (เวลาโปรแกรมไม่ต้องกดรีเซ็ตเอง)
- Arduino Pro Mini ใช้ไฟ 5 V
- กระแสเอาต์พุตสูงสุด 150 mA
- น้ำหนักประมาณ 1.7 g
- DC อินพุต สูงสุด 12 V
- ขาอะนาล็อก 8 ขา
- ขาดิจิตอล I/O 14ขา
- Flash Memory ขนาด 32 KB
- SRAM 2KB
- EEPROM 1 KB

## 2.3 GPS ( Global Positioning System)

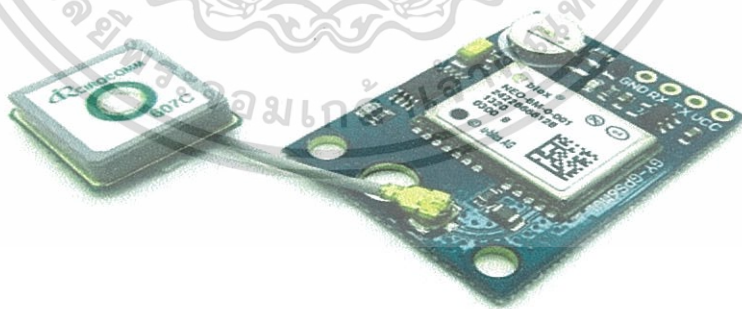
### 2.3.1 การทำงานของระบบ GPS

ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก หรือ GPS (Global Positioning System) คือระบบบอกตำแหน่งบนพื้นผิวโลก โดยอาศัยการคำนวณจากความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาจากดาวเทียมที่โคจรรอบโลกซึ่งทราบตำแหน่ง ทำให้ระบบนี้สามารถบอกตำแหน่ง ณ จุดที่สามารถรับสัญญาณได้ทั่วโลก โดยเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส รุ่นใหม่ๆ จะสามารถคำนวณความเร็วและทิศทางนำมาใช้ร่วมกับโปรแกรมแผนที่ เพื่อใช้ในการนำทางได้

### 2.3.2 NEO-6M Ublox/u-blox GPS Module

#### คุณสมบัติของ NEO-6M Ublox/u-blox GPS Module

- GPS modules NEO-6M, 3V power supply Universal
- Module with ceramic destined antenna, super signal
- EEPROM power down to save the configuration parameters data
- LED signal indicator
- With data backup battery
- The default baud rate: 9600
- Mounting Hole 3mm
- Module size 23mm \* 30mm
- Antenna size :25mm\*25mm
- Cable Length:50mm

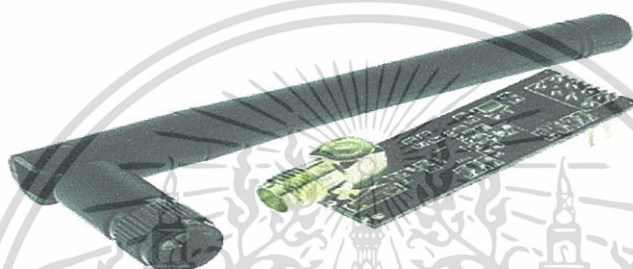


รูป 2.10 GPS Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 NRF24L01+PA+LNA Module

โมดูลสื่อสารไร้สายความถี่ 2.4G nRF24L01+ พร้อมวงจรขยายสัญญาณส่งและเสาอากาศที่เพิ่มขึ้น ทำให้ส่งได้ไกลมากกว่า 500 เมตร ใช้งานง่ายมีไลบรารีพร้อมใช้งานสอน วิธี ใช้งาน NRF24L01 Module โมดูลสื่อสารไร้สาย NRF24L01 ความถี่ 2.4G ร่วมกับ Arduino



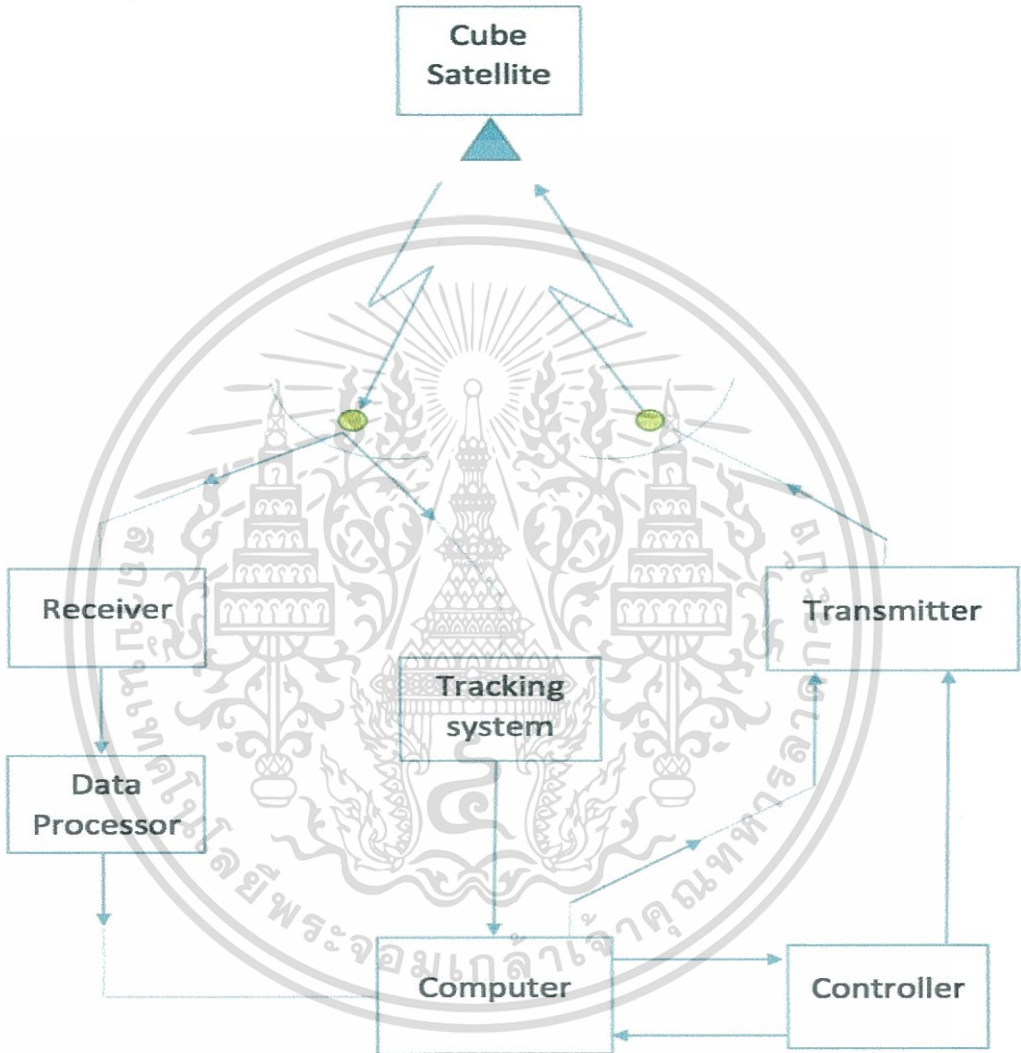
รูปที่ 2.11 NRF24L01+PA+LNA Module

### รายละเอียด NRF24L01+PA+LNA Module

- Voltage: 3-3V
- Max output power: +20 dBm
- Working current in transmit mode: 115 mA
- Working current in receiver mode: 45 mA
- Current in mode: 4.2 uA
- Operating temperature: -20-70 degree
- Receiver sensitivity: -92dBm in 2Mbps mode, -95dBm in 1Mbps mode, -104dBm in
- PA growth: 20dB
- LAN growth: 10dB
- LAN noise figure: 2.6dB
- Antenna growth: 2dBI
- 2M rate: 520m

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปฏิญญานิพนธ์



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบตรวจจับและสั่งการดาวเทียม

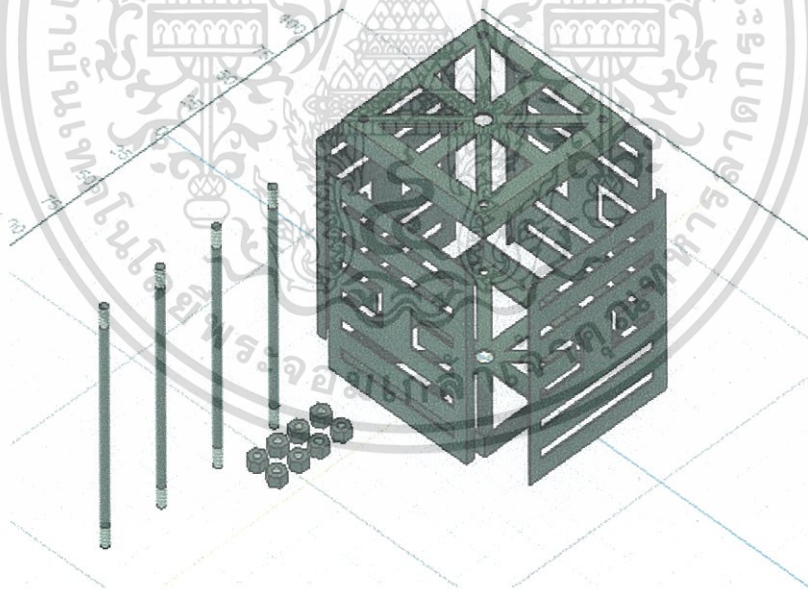
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 การออกแบบ

จากบล็อกไดอะแกรมได้แสดงถึงการทำงานระบบตรวจจับและสั่งการดาวเทียมโดยข้อมูลที่รับจากดาวเทียมจะแยกเป็นตำแหน่งของดาวเทียมโดยตำแหน่งของดาวเทียมจะมีการระบุตำแหน่งให้สถานีภาคพื้นดินได้รับทราบเพื่อจะสามารถติดต่อกับดาวเทียมได้ จากนั้นดาวเทียมยังสามารถส่งข้อมูลที่เก็บไว้ในตัวบันทึกข้อมูลในดาวเทียมส่งมายังสถานีภาคพื้นดินได้โดยภาคพื้นดินสามารถติดต่อและส่งค่าของข้อมูลไปยังดาวเทียมได้ผลตอบสนองที่ถูกต้องและแม่นยำ

#### 3.1.1 โครงสร้างของดาวเทียม

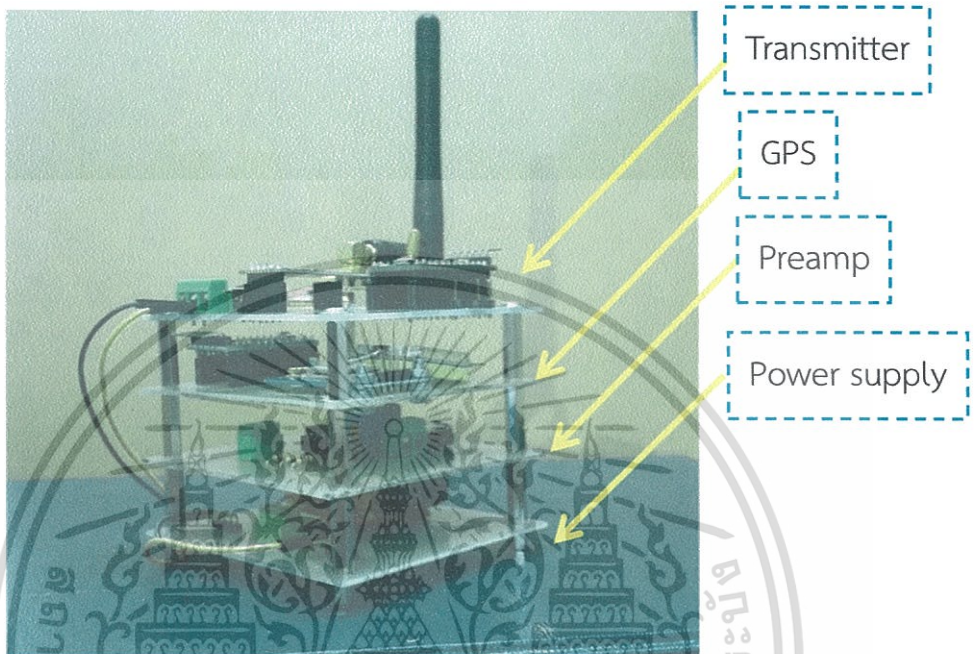
โครงสร้างจะใช้อะลูมิเนียมที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร เพราะมีความทนต่อการกัดกร่อน และทนความร้อน อีกทั้งยังมีน้ำหนักที่เบา โดยมีขนาดของโครงสร้างอยู่ที่ 10cm x 10cm x 10cm (ไม่รวมแผงโซลาร์เซลล์และสายอากาศ)



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของดาวเทียม

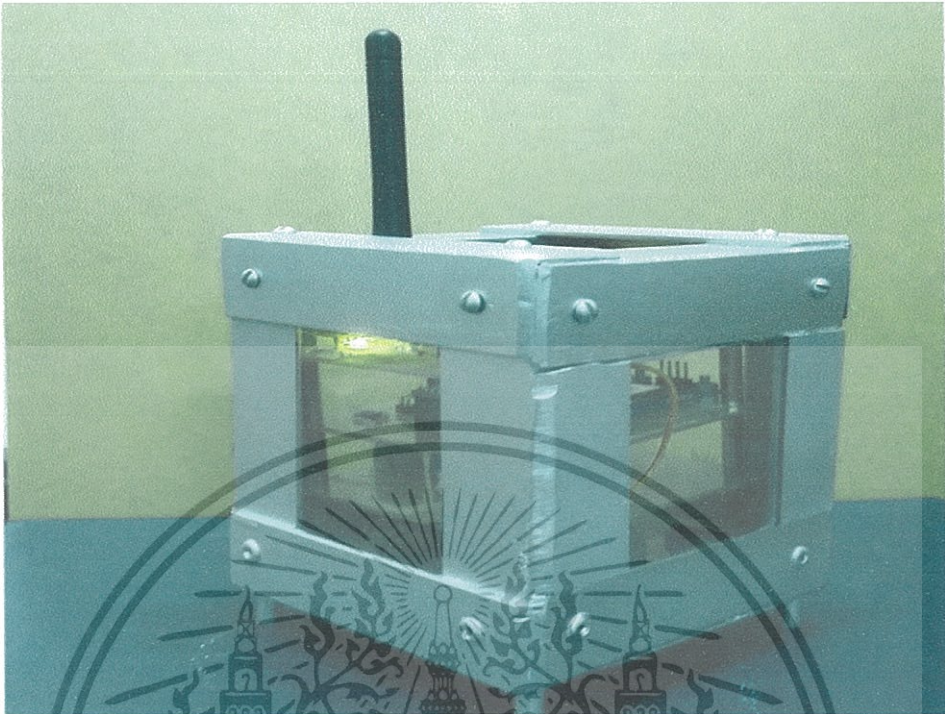
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 การออกแบบภาคส่ง



รูป 3.3 โครงสร้างภายในของดาวเทียม

โดยการจัดวางอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.3 ชั้นที่ 1 คือ Transmitter ซึ่งจะประกอบด้วยสายอากาศ ชั้นที่ 2 คือตัว GPS ใช้สำหรับวัดและตรวจจับพิกัดของตัวดาวเทียม ส่วนชั้นที่ 3 คือวงจรพรีแอมป์ซึ่งใช้ในการขยายสัญญาณ และชั้นที่ 4 คือ power supply ซึ่งเป็นตัวจ่ายพลังงานให้กับตัวดาวเทียม โดยตัว power supply จ่ายไฟขนาด 7.4 โวลต์

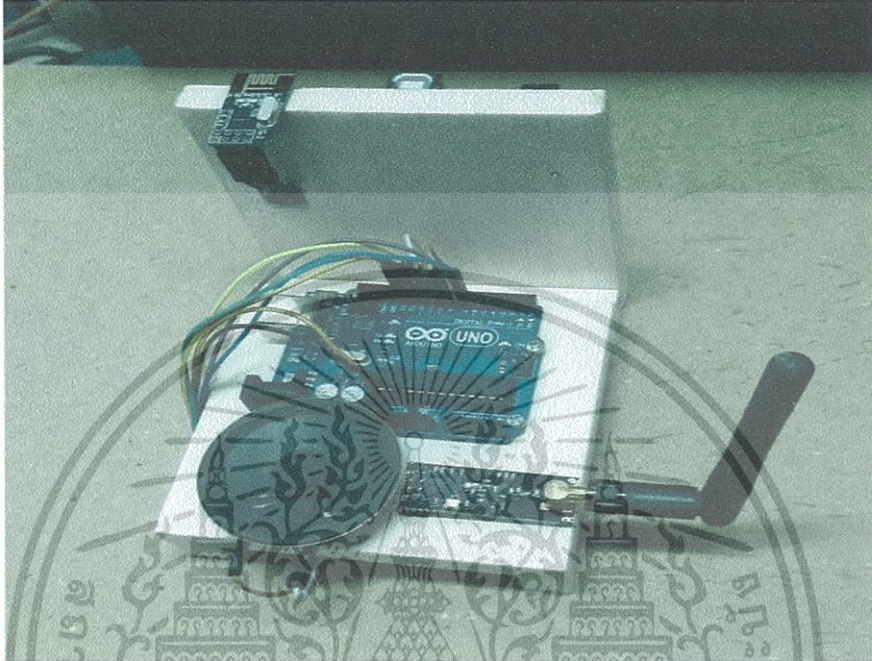


รูปที่ 3.4 T302 PICO SATELLITE SIMULATION

เมื่อทำการประกอบชิ้นต่างๆของตัวดาวเทียมเข้าด้วยกันแล้วนำเข้าไปเก็บไว้ใน Structure ที่เป็นอะลูมิเนียมซึ่งน้ำหนักทั้งอุปกรณ์ภายในและน้ำหนักของตัว structure รวมกันแล้วไม่เกิน 1 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 การออกแบบภาครับ

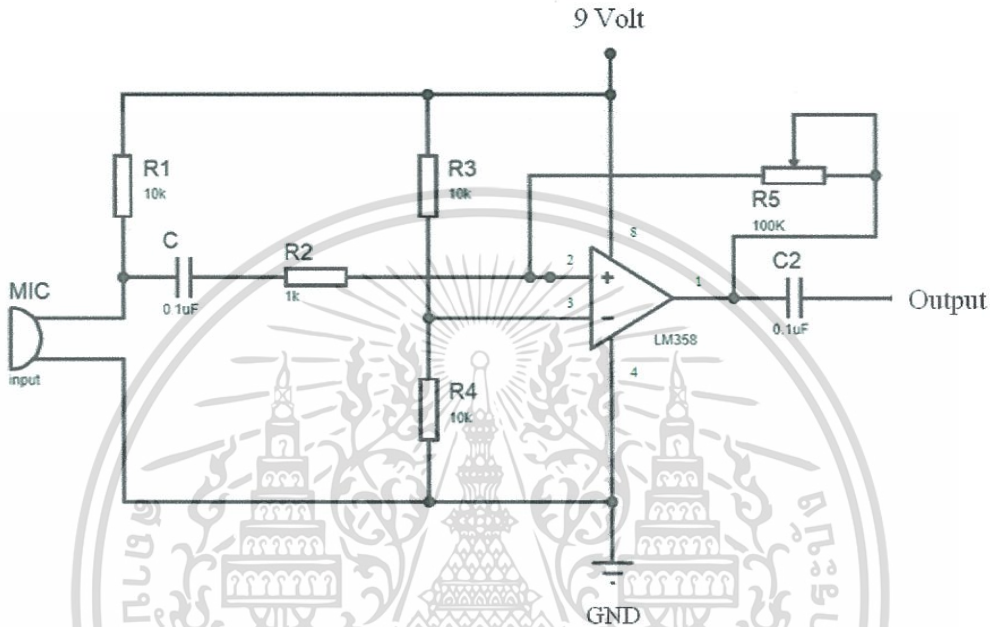


รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ภาครับ

สัญญาณที่ส่งมาจากภาคส่งจะเป็นเสียงเพลงซึ่งภาครับและภาคส่งใช้ความถี่เดียวกัน คือ 2.4 GHz ภาครับจะใช้บอร์ด Arduino และโมดูล NRF24L01 และได้ข้อมูลของพิกัดดาวเทียม ณ ขณะนั้น โดยใช้อุปกรณ์ชนิดเดียวกัน แต่จะต่างกันที่ช่องของการรับข้อมูล

### 3.1.4 การออกแบบวงจร

#### 3.1.4.1 วงจร Pre-Amplifier

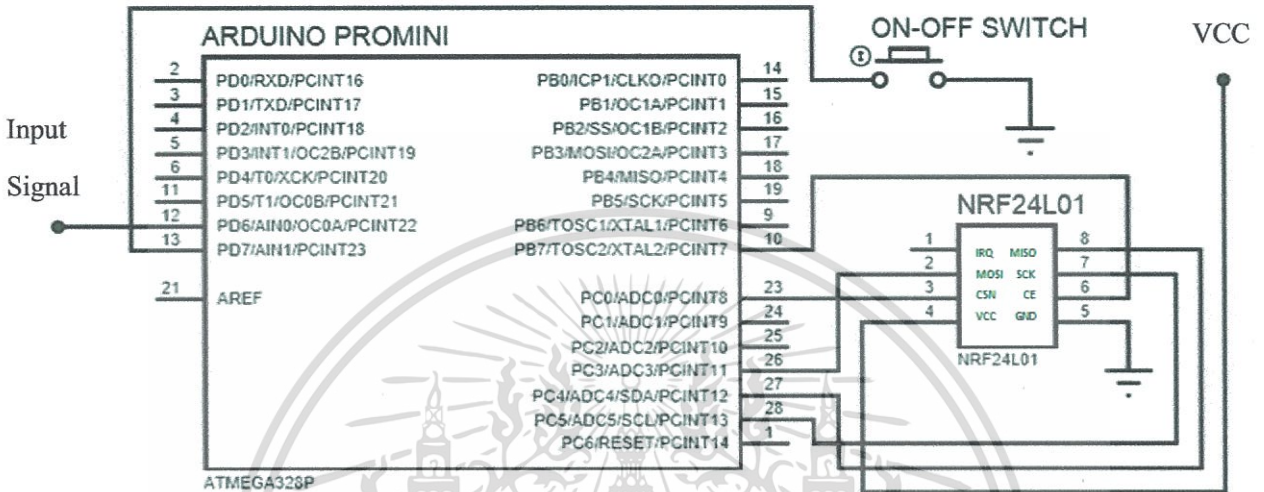


รูปที่ 3.6 วงจร Pre-Amplifier

ใช้สำหรับขยายเสียง (voice) เพื่อให้มีกำลังส่งเพิ่มขึ้นซึ่งมีอัตราการขยาย 100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

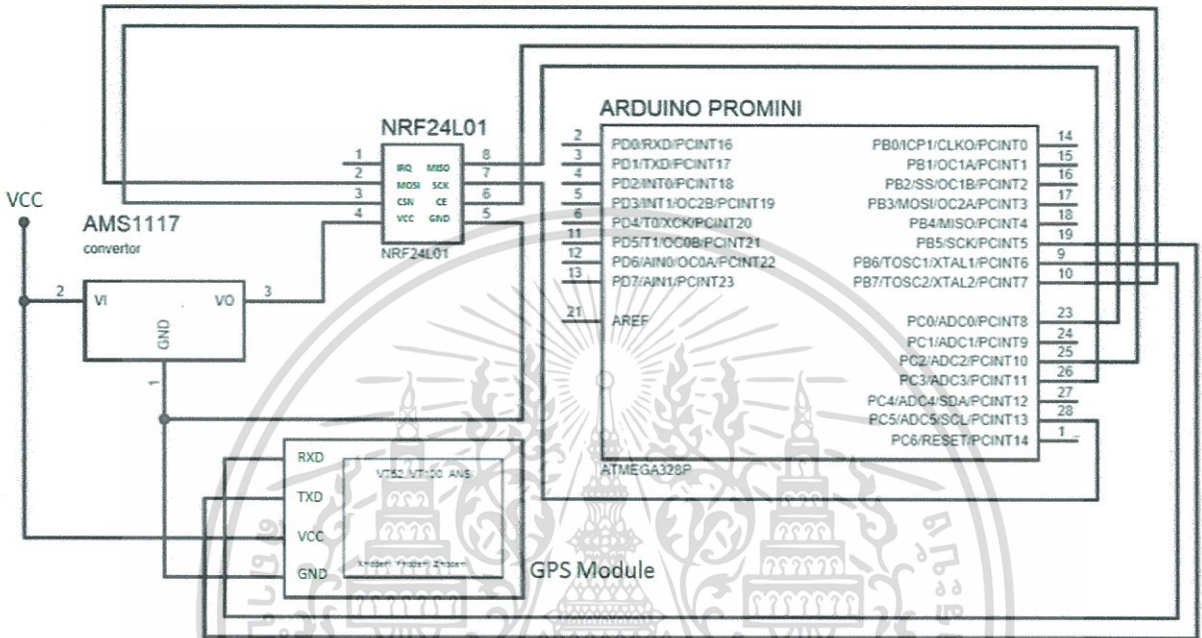
## 3.1.4.2 วงจร Transmitter



รูปที่ 3.7 วงจร Transmitter

วงจร Transmitter ใช้สำหรับกระจายสัญญาณจากด้านบนลงมายังด้านล่างโดยใช้ความถี่ที่ส่งเท่ากับ 2.4 GHz ซึ่งเราใช้ตัวส่งคือโมดูล nrf24L01 โดยโมดูลตัวนี้มีการส่งสัญญาณแบบดิจิตอล ซึ่งเป็นการส่งที่มีความเร็วสูงทำให้ไม่สามารถรับกำลังที่ส่งออกไปได้

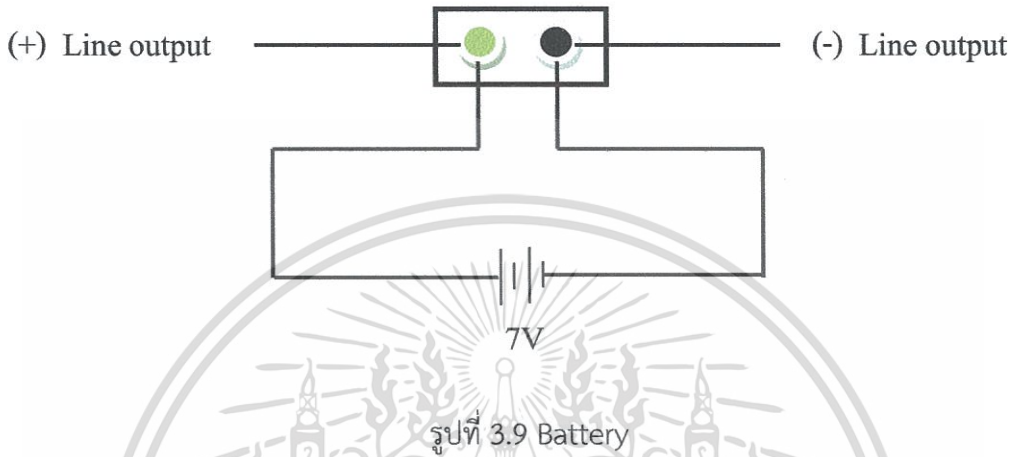
### 3.1.4.3 ภาคการระบุพิกัด (GPS)



รูปที่ 3.8 ภาคการระบุพิกัด GPS

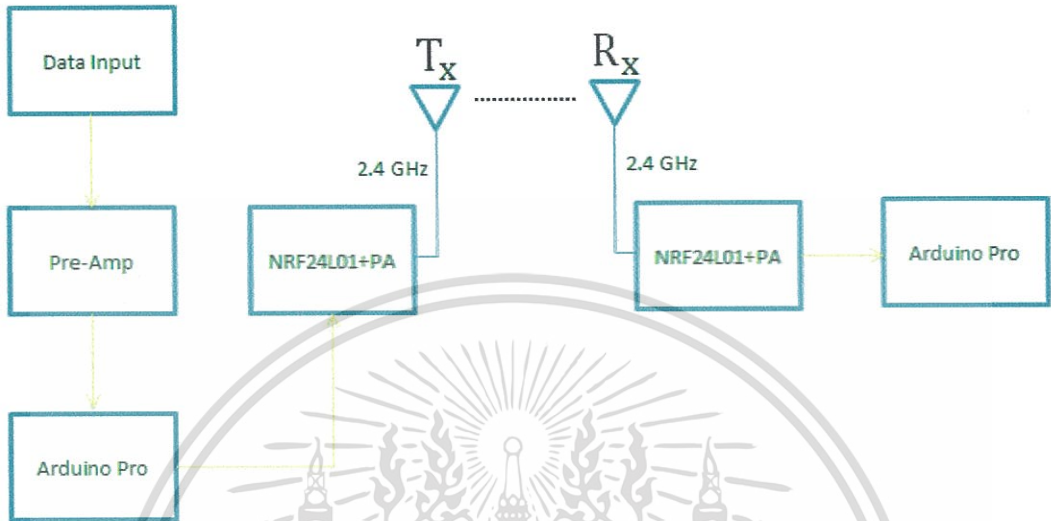
การออกแบบ GPS เพื่อใช้ในการตรวจจับพิกัด ซึ่งภายในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งใน Arduino pro mini328 เป็นตัวควบคุมการรับส่งข้อมูล โดยมี GPS MODULE เป็นตัวรับค่ามาจากดาวเทียมที่เหนือกว่าอีกที เพื่อระบุพิกัดของตนเอง แล้วจากนั้นจะส่งค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเก็บค่าและส่งค่าพิกัดไปยังภาครับ โดยผ่านตัวส่งที่ใช้คือ NRF24L01 MODULE ซึ่งเป็นตัวรับตัวส่งแบบดิจิตอล มีความถี่ที่ 2.4 GHz

## 3.1.4.4 Battery



การออกแบบใช้ battery ขนาด 7.4 โวลต์ จ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ภายในระบบของดาวเทียม ซึ่งเราได้เลือกใช้แบตเตอรี่ประเภท Li-Po เนื่องจากมีขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา

### 3.1.5 ออกแบบการรับ - ส่งสัญญาณเสียง



รูป 3.10 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบรับ - ส่งสัญญาณเสียง

บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานด้วยการใส่สัญญาณ stereo เข้าไปในวงจร ปรี่แอมป์ ซึ่งเป็นพรีออนเอนท์โดยใช้ IC เบอร์ LM358 เป็นตัวช่วยในการขยายสัญญาณ จากนั้นสัญญาณพรีแอมป์ส่งผ่านเข้าไปยังบอร์ด Arduino Pro Mini เพื่อเก็บค่าไว้แล้วส่งให้ โมดูล 2rf24L01 ที่เป็นตัวส่งสัญญาณที่มีความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นสายอากาศแบบOmni (สายอากาศแบบรอบทิศทาง) เป็นตัวส่งสัญญาณไปยังภาครับ ในส่วนของภาครับใช้โมดูล 2rf24L01 ที่มีความถี่ 2.4 GHz ส่งข้อมูลไปยังบอร์ด Arduino Pro Mini

### 3.1.6 การคำนวณหาค่าการโคจร

จากความสูงที่เรากำหนดเพื่อปล่อยดาวเทียมขึ้นไปเหนือจากพื้นดินเป็นระยะทาง 360 กิโลเมตรซึ่งอยู่ใน stationary ของ LEO (Low Earth Orbit) หาคความเร็วได้จากกฎข้อที่ 1 ของเคปเลอร์ ซึ่งแสดงดังสมการดังนี้

$$F_{in} = m \left( \frac{\mu}{r^2} \right) \quad (3.1)$$

และ

$$F_{out} = \left( \frac{v^2}{r} \right) \quad (3.2)$$

โดยที่

$m$  = มวลของดาวเทียม

$v$  = ความเร็วในวงโคจรของดาวเทียม

$r$  = ระยะทางจากจุดศูนย์กลางของโลกจนถึงดาวเทียม

$\mu$  = ค่าคงที่ Kepler ( $3.986004 \times 10^5 \text{ km}^3/\text{s}^2$ )

และ

$$F_{in} = F_{out} \quad (3.3)$$

จะได้

$$v = \frac{\mu^{\frac{1}{2}}}{r} \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสูงที่กำหนดไว้คือ 360 กิโลเมตรทำให้ทราบความเร็วของวงโคจรดาวเทียม หาได้จากสมการที่ (3.4)

$$v = \frac{(3.986004 \times 10^5)}{(6378+360)} \left( \frac{\text{km}^3/\text{s}^2}{\text{km}} \right)$$

$$v = 7.69 \text{ km/s}$$

$$v = 7690 \text{ m/s}$$

หาคาบของดาวเทียม จากสมการ

$$T = \frac{2\pi r}{v} \quad (3.5)$$

จะได้

$$T = \frac{2\pi(6378+360)}{7.69} \frac{\text{km}}{\text{km/s}}$$

$$T = 5505.35 \text{ s}$$

ดังนั้นจะได้คาบเวลาเท่ากับ 5505.35 วินาที หรือ คาบเวลามีค่าเท่ากับ 1 ชั่วโมง 31 นาที ซึ่งหมายความว่าดาวเทียมที่ความสูง 360 กิโลเมตร จากพื้นโลกที่ได้กำหนดไว้จะมีความเร็ว 7.69 km/s โดยมีการเคลื่อนที่ 1 รอบใช้เวลา 1 ชั่วโมง 31 นาที ดังนั้นทำให้ในเวลา 1 วัน จะมีการเคลื่อนที่ทั้งหมด 16 รอบ

### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1) คอมพิวเตอร์	1 เครื่อง
2) Arduino Pro-mini	2 ตัว
3) NRF24L01+PA+LNA Module	2 ชุด
4) Oscilloscope	1 เครื่อง
5) GPS UBlox Neo-6M	1 ตัว
6) โทรศัพท์มือถือ	1 เครื่อง
7) ลำโพง	1 ตัว

### 3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

#### 3.3.1. การทดสอบการส่งและการรับ

- 1) เขียนโปรแกรมเพื่อทำการเชื่อมต่อช่องทางการส่งและรับข้อมูลของแต่ละภาคส่วน
- 2) ทำการอัปโหลดโปรแกรมลงในโมดูลของทั้งภาคส่งและภาครับ
- 3) ทดลองส่งสัญญาณไปให้ภาครับ

#### 3.3.2. การทดสอบการส่งและการรับในระยะต่างๆ

- 1) ขั้นตอนนี้ทำต่อจากในขั้นตอนที่ 3.3.1. โดยการปรับระยะการรับสัญญาณ
- 2) ปรับระยะการรับส่งเป็น 1, 2, 3, 4.... เมตร เพื่อหาค่ากำลังในการส่งแต่ละระยะ

#### 3.3.3. การทดสอบการรับส่งโดยมีสิ่งกีดขวาง

- 1) ขั้นตอนนี้ทำต่อจากในขั้นตอนที่ 3.3.1. โดยการปรับระยะการรับสัญญาณ
- 2) ปรับระยะการรับส่งเป็น 1, 2, 3, 4.... เมตร เพื่อหาค่ากำลังในการส่งแต่ละระยะ

ขณะที่มีสิ่งกีดขวางอยู่

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลองโดยใช้โปรแกรมSTK

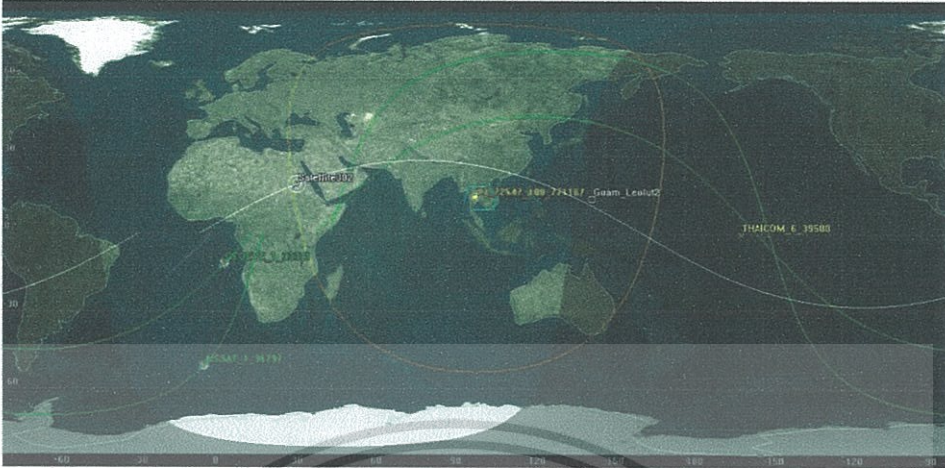
ทำการจำลองสภาพแวดล้อม และคำนวณการเคลื่อนที่ของดาวเทียมหากต้องการที่จะนำดาวเทียมไปโคจรจึงจำเป็นต้องศึกษาลักษณะการโคจร วิถีวงโคจรของดาวเทียม รวมถึงค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องของกับดาวเทียม



รูปที่ 4.1 พื้นที่รับสัญญาณของสถานีภาคพื้นดิน และการโคจรของดาวเทียมแบบ 3 มิติ

โดยโปรแกรมจะสามารถจำลองวงโคจรของดาวเทียมได้ระยะต่าง ๆ ได้ รวมถึงกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของดาวเทียม เพื่อให้โปรแกรมสามารถคำนวณได้อย่างแม่นยำ เช่น ความสูงของดาวเทียมเหนือพื้นโลก, ค่าเบี่ยงเบนของวงโคจร, สถานีปล่อยดาวเทียม ฯลฯ และหากนำภาพ 3 มิติมาอยู่ในรูป 2 มิติ จะได้ รูปดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ภาพการจำลองดาวเทียมในแบบ 2 มิติ

โดยดั่งภาพด้านบนจะเห็นว่าดาวเทียมอยู่ทั้งหมด 4 ดวง ที่มีการโคจรที่แตกต่างกันออกไป รวมถึงดาวเทียมค้างฟ้าที่ไม่มีเส้นการโคจรในแบบ 2 มิติ ส่วนวงกลมสีแดงคือ รัศมีของภาคพื้นดินที่สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ หากมองในภาพ 3 มิติ จะเห็นเป็นรูปคล้ายกรวย ซึ่งในภาพ 3 มิติ เราสามารถแสดงความสูงที่สถานีภาคพื้นดินรับได้อีกด้วยซึ่งเปรียบเสมือน sensor ตรวจจับสัญญาณดาวเทียมภาคพื้นดิน



รูปที่ 4.3 beam ของสายอากาศที่เราได้กำหนดลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้แล้ว ดาวเทียมจะมี beam ของสายอากาศที่สามารถครอบคลุมการติดต่อสื่อสารกับ สถานีภาคพื้นดินสามารถจำลองได้ตามภาพด้านบน จะทำให้โปรแกรมสามารถคำนวณหาระยะเวลา ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดินได้ โดยจะออกมาในรูปดังต่อไปนี้

07 Apr 2016 22:35:48  
 Satellite-Satellite302-To-Place-13\_72547\_100\_771167-Sensor-Sensor1: Access Summary Report

Satellite302-To-Sensor1

Access	Start Time (UTCg)	Stop Time (UTCg)	Duration (sec)
1	8 Apr 2016 12:06:15.484	8 Apr 2016 12:13:13.992	418.508
2	8 Apr 2016 13:41:16.885	8 Apr 2016 13:50:10.862	533.977
3	9 Apr 2016 02:48:26.543	9 Apr 2016 02:57:37.730	551.187
4	9 Apr 2016 04:26:39.528	9 Apr 2016 04:31:42.385	302.857

Global Statistics

Min Duration	4	9 Apr 2016 04:26:39.528	9 Apr 2016 04:31:42.385	302.857
Max Duration	3	9 Apr 2016 02:48:26.543	9 Apr 2016 02:57:37.730	551.187
Mean Duration			451.632	
Total Duration			1806.529	

รูปที่ 4.4 ระยะเวลาในการติดต่อสื่อสารในระยะเวลา 1 วัน

และดาวเทียมจะต้องมีพิกัดเพื่อให้สถานีภาคพื้นดินติดต่อสื่อสารได้ โดยดาวเทียมจะส่งข้อมูลพิกัด มาในรูปแบบดังต่อไปนี้ ซึ่งเป็นการระบุ Latitude , Longitude , Altitude เพื่อให้ภาคพื้นดิน สามารถติดตามการโคจรของดาวเทียมได้

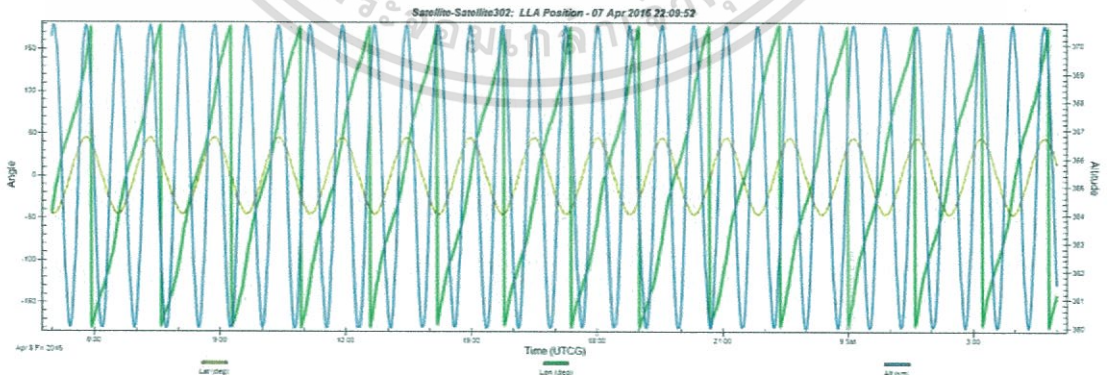
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Satellite-Satellite302: LLA Position

Time (UTCG)	Lat (deg)	Lon (deg)	Alt (km)	Lat Rate (deg/sec)	Lon Rate (deg/sec)	Alt Rate (km/sec)
8 Apr 2016 05:00:00.000	-44.107	-43.300	370.316348	-0.012436	0.084970	0.004638
8 Apr 2016 05:50:00.000	44.935	147.065	370.625337	-0.006040	0.087524	-0.002254
8 Apr 2016 06:40:00.000	-41.214	-23.670	369.241060	0.022796	0.077095	-0.008425
8 Apr 2016 07:30:00.000	33.875	162.245	366.607116	-0.034535	0.062647	-0.011893
8 Apr 2016 08:20:00.000	-24.200	-15.172	363.569547	0.041553	0.051290	-0.011536
8 Apr 2016 09:10:00.000	13.204	165.134	361.107290	-0.045228	0.044581	-0.007454
8 Apr 2016 10:00:00.000	-1.595	-15.706	360.016436	0.046522	0.042102	-0.000959
8 Apr 2016 10:50:00.000	-10.083	163.321	360.650413	-0.045790	0.043511	0.005848
8 Apr 2016 11:40:00.000	21.307	-16.791	362.803761	0.042831	0.049013	0.010759
8 Apr 2016 12:30:00.000	-31.427	165.056	365.779764	-0.036852	0.059116	-0.012194
8 Apr 2016 13:20:00.000	39.521	-10.008	368.618431	0.026520	0.073142	0.009703
8 Apr 2016 14:10:00.000	-44.351	178.464	370.407183	-0.010981	0.085706	0.004097
8 Apr 2016 15:00:00.000	44.794	8.870	370.572525	-0.007559	0.087077	-0.002821
8 Apr 2016 15:50:00.000	-40.727	-162.089	369.061508	0.023968	0.075914	-0.008836
8 Apr 2016 16:40:00.000	33.149	23.526	366.358407	-0.035274	0.061545	-0.012016
8 Apr 2016 17:30:00.000	-23.332	-154.124	363.331700	0.041965	0.050562	-0.011329
8 Apr 2016 18:20:00.000	12.261	26.047	360.957103	-0.045416	0.044224	-0.006984
8 Apr 2016 19:10:00.000	-0.627	-154.841	360.002542	0.046537	0.042073	-0.000377
8 Apr 2016 20:00:00.000	-11.034	24.219	360.777316	-0.045637	0.043803	0.006352
8 Apr 2016 20:50:00.000	22.194	-155.775	363.030353	0.042467	0.049667	0.011024
8 Apr 2016 21:40:00.000	-32.186	26.286	366.032830	-0.036184	0.060156	0.012134
8 Apr 2016 22:30:00.000	40.061	-148.484	368.816485	0.025432	0.074357	0.009338
8 Apr 2016 23:20:00.000	-44.564	40.244	370.486659	-0.009503	0.086360	0.003546
9 Apr 2016 00:10:00.000	44.621	-129.334	370.507961	-0.009063	0.086537	-0.003382
9 Apr 2016 01:00:00.000	-40.217	59.467	368.873567	0.025104	0.074714	-0.009227
9 Apr 2016 01:50:00.000	32.408	-115.216	366.107378	-0.035981	0.060468	-0.012111
9 Apr 2016 02:40:00.000	-22.454	66.910	363.098370	0.042356	0.049866	-0.011097
9 Apr 2016 03:30:00.000	11.315	-113.047	360.816829	-0.045589	0.043895	-0.006499
9 Apr 2016 04:20:00.000	0.341	66.023	360.000751	0.046539	0.042069	0.000205
9 Apr 2016 05:00:00.000	15.680	-140.700	361.550332	-0.044652	0.045665	-0.008613

รูปที่ 4.5 LLA Position ของดาวเทียม

โดยสามารถปรับเปลี่ยนเวลาในการส่งพิกัดดาวเทียมได้โดยในภาพจะเป็นการอัปเดตข้อมูลของพิกัดดาวเทียม ทุกๆ 50 นาที เพื่อให้เห็นว่าใน 1 วันจะมีข้อมูลมากน้อยเพียงใด ซึ่งหากนำค่าเหล่านี้มาทำเป็นกราฟก็จะได้กราฟดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.6 LLA Position ของดาวเทียมในรูปแบบกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และนอกจาก Latitude , Longitude , Altitude แล้วยังมีมุม Azimuth , elevation , range ซึ่งทั้งมุม Azimuth และ มุม elevation เป็นมุมที่ใช้บอกตำแหน่งของดาวเพื่อตั้งกล้องดูดาว หรือบอกตำแหน่งของดาวเทียมวงโคจรเพื่อตั้งจานดาวเทียมให้ถูกทิศทาง ซึ่งก็เป็นมุมที่สำคัญในการติดต่อสื่อสารกับดาวเทียม ซึ่งจะสามารถ simulation ได้ดังรูปต่อไปนี้

07 Apr 2016 22:37:09  
Satellite-Satellite302-To-Place-13\_72547\_100\_771167-Sensor-Sensor1: Inview Azimuth, Elevation, & Range

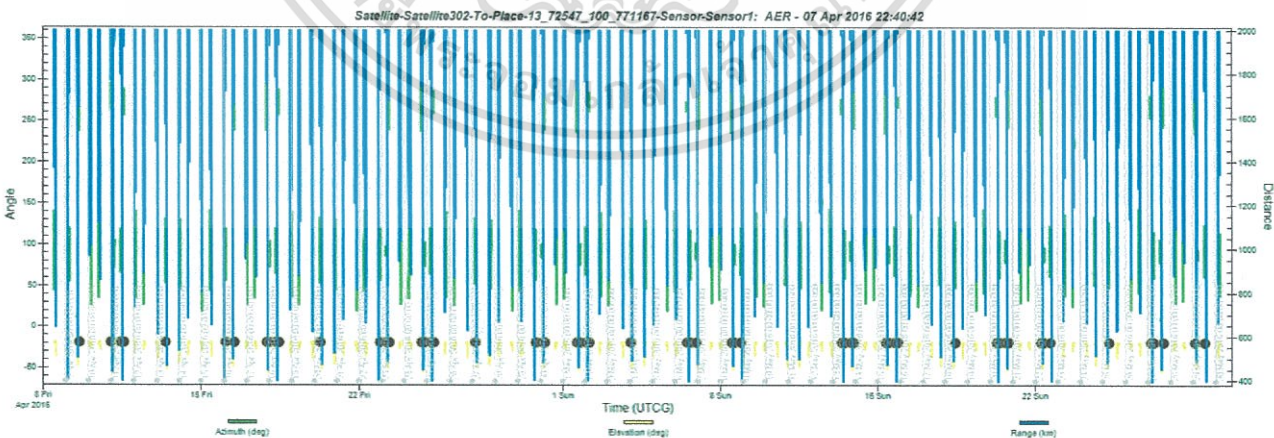
Satellite302-To-Sensor1 - AER reported in the object's default AER frame

Time (UTC)	Azimuth (deg)	Elevation (deg)	Range (km)
8 Apr 2016 12:06:15.484	44.248	-18.916	1999.989264
8 Apr 2016 12:07:15.000	53.634	-19.400	1716.746651
8 Apr 2016 12:08:15.000	66.596	-20.246	1495.300783
8 Apr 2016 12:09:15.000	83.202	-20.986	1370.971367
8 Apr 2016 12:10:15.000	101.504	-20.985	1371.183728
8 Apr 2016 12:11:15.000	118.120	-20.242	1496.048438
8 Apr 2016 12:12:15.000	131.100	-19.396	1718.305403
8 Apr 2016 12:13:13.992	140.439	-18.916	1999.994091

Global Statistics

Min Elevation	8 Apr 2016 12:09:44.905	92.323	-21.101	1354.684030
Max Elevation	8 Apr 2016 12:13:13.992	140.439	-18.916	1999.994091
Mean Elevation		-19.886		
Min Range	8 Apr 2016 12:09:44.903	92.323	-21.101	1354.684030
Max Range	8 Apr 2016 12:13:13.992	140.439	-18.916	1999.994091
Mean Range		1646.067466		

รูปที่ 4.7 มุม Azimuth , elevation และ range ของการสื่อสารกับดาวเทียม



รูปที่ 4.8 กราฟ Azimuth , elevation และ range ของการสื่อสารกับดาวเทียมใน 1 เดือน

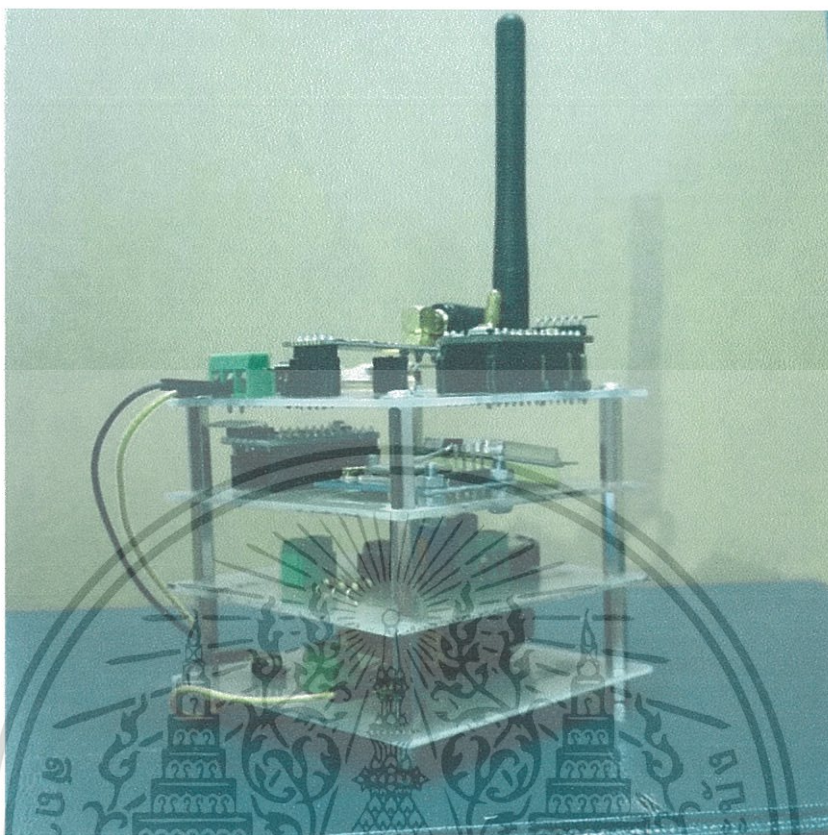
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งข้อมูลดังกล่าวที่ได้ทำการ simulation มากก็เป็นข้อมูลเบื้องต้นของการติดต่อสื่อสารกับดาวเทียม ซึ่งเป็นส่วนของ ซอฟต์แวร์ และยังมีดาวเทียมจำลองที่ได้ทำขึ้น โดยอ้างอิงจากดาวเทียมต้นแบบ ซึ่งการจำลองนี้จะใช้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกันภายในดาวเทียมเพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลกับสถานีภาคพื้นได้ ในงบประมาณที่ต่ำ เพื่อเป็นการศึกษาการทำงานของดาวเทียมและการออกแบบดาวเทียม โดยสายอากาศของดาวเทียมนั้น จะใช้เป็น NRF24L01+PA+LNA ซึ่งเป็นโมดูลสื่อสารไร้สายที่มีวงจรมีสัญญาณภายในอุปกรณ์ ซึ่งสามารถติดต่อสื่อสารได้ไกลถึง 1 km (ภาครับ + ภาคส่ง) ซึ่งถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่ราคาถูกและสามารถใช้งานได้ในระยะใกล้ต่อการศึกษาการทำงานของดาวเทียมจำลองนี้ จึงใช้แทนสายอากาศ

ตารางที่ 4.1 การต่อ Aduino+NRF24L01 PA+LNA

Aduino pro mini Board	NRF24L01 PA+LNA
+3.3 V	VCC
GND	GND
8	CSN
7	CE
11	MOSI
13	SCK
-	IRQ
12	MISO

นอกจากนี้ยังมีส่วนของ Power supply , GPS , Amplifier โดย Power supply จะเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับดาวเทียมจำลองนี้ GPS ใช้บอกพิกัดในระนาบ XYZ เพื่อให้ทราบพิกัดของดาวเทียมจำลองนี้เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารกันกับสถานีภาคพื้นดิน โดยในงานวิจัยนี้จะจำลองการส่งข้อมูลเป็นสัญญาณเสียง จากดาวเทียมจำลองสู่สถานีภาคพื้นดินซึ่งจะเหมือนกับการ Audio Broad Casting ทั้งนี้เพื่อให้สะดวกต่อการวัดความถูกต้องของสัญญาณที่ได้รับมาแบบ Real time เพื่อที่จะ



รูปที่ 4.9 อุปกรณ์ภายในดาวเทียมจำลอง

สามารถทดสอบระยะเวลาการติดต่อสื่อสารของดาวเทียมจำลองนี้กับสถานีภาคพื้นซึ่งจะใช้สายอากาศเป็น Module NRF24L01 PA+LNA ทั้งสองฝั่ง ซึ่งผลการทดสอบสัญญาณในระยะ Line of sight ที่ความสูงของภาครับแตกต่างกัน ได้ผลดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดสอบคุณภาพเสียง

ตาราง 4.2 ผลการทดลองโดยบุคคลเป็นผู้ให้คะแนนระดับคุณภาพของเสียง

ระดับคุณภาพของสัญญาณเสียงของภาครับเมื่อภาคส่งมีการเคลื่อนที่								
ความสูง ( เมตร )	ระยะในแนวนราบ ( เมตร )							
	100	200	300	400	500	600	700	800
15	●	●	●	●	●	●	●	●
50	●	●	●	●	●	●	●	●

หมายเหตุ -  
 ● : คุณภาพสัญญาณดี  
 ● : คุณภาพสัญญาณพอใช้  
 ● : ไม่สามารถรับสัญญาณได้

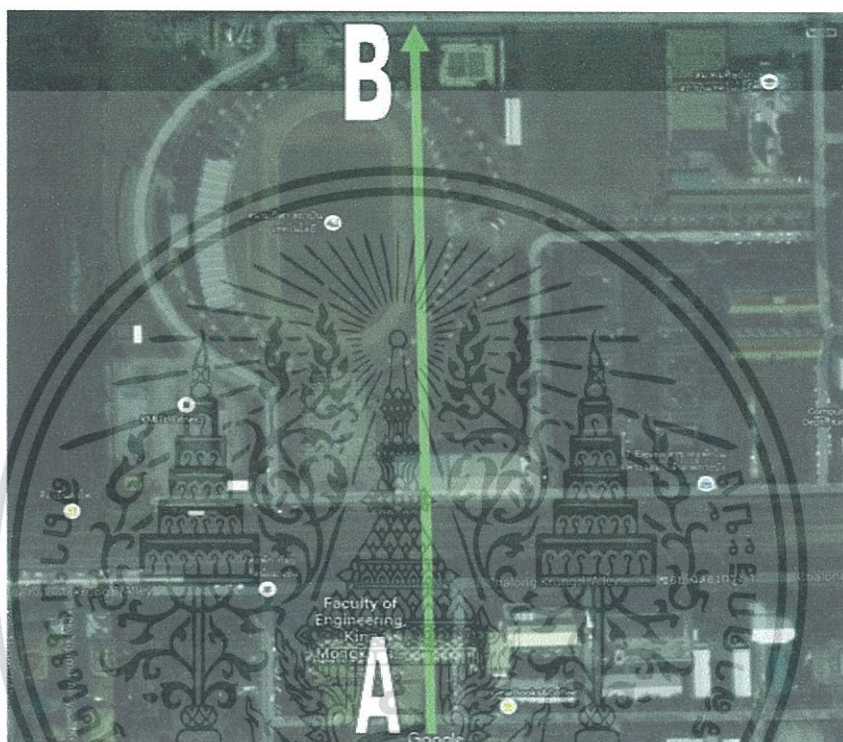
โดยสถานที่ในการทดลองสัญญาณนั้นในระยะความสูงของภาครับ 15 เมตร คือ



รูปที่ 4.10 การวัดระดับเสียงที่ระดับความสูง 15 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งภาครับจะอยู่ที่ชั้นสูงสุดของอาคาร และภาส่งจะเคลื่อนที่ออกจากภาครับ จากจุด A ไปจนถึงจุด B ซึ่งเป็นระยะสูงสุดของ Line of sign ในการทดลองนี้ ส่วนความสูงของภาครับที่ 50 เมตร จะอยู่ตรงบริเวณชั้นสูงสุดของตึก 12 ชั้น ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.11 การวัดระดับเสียงที่ระดับความสูง 50 เมตร

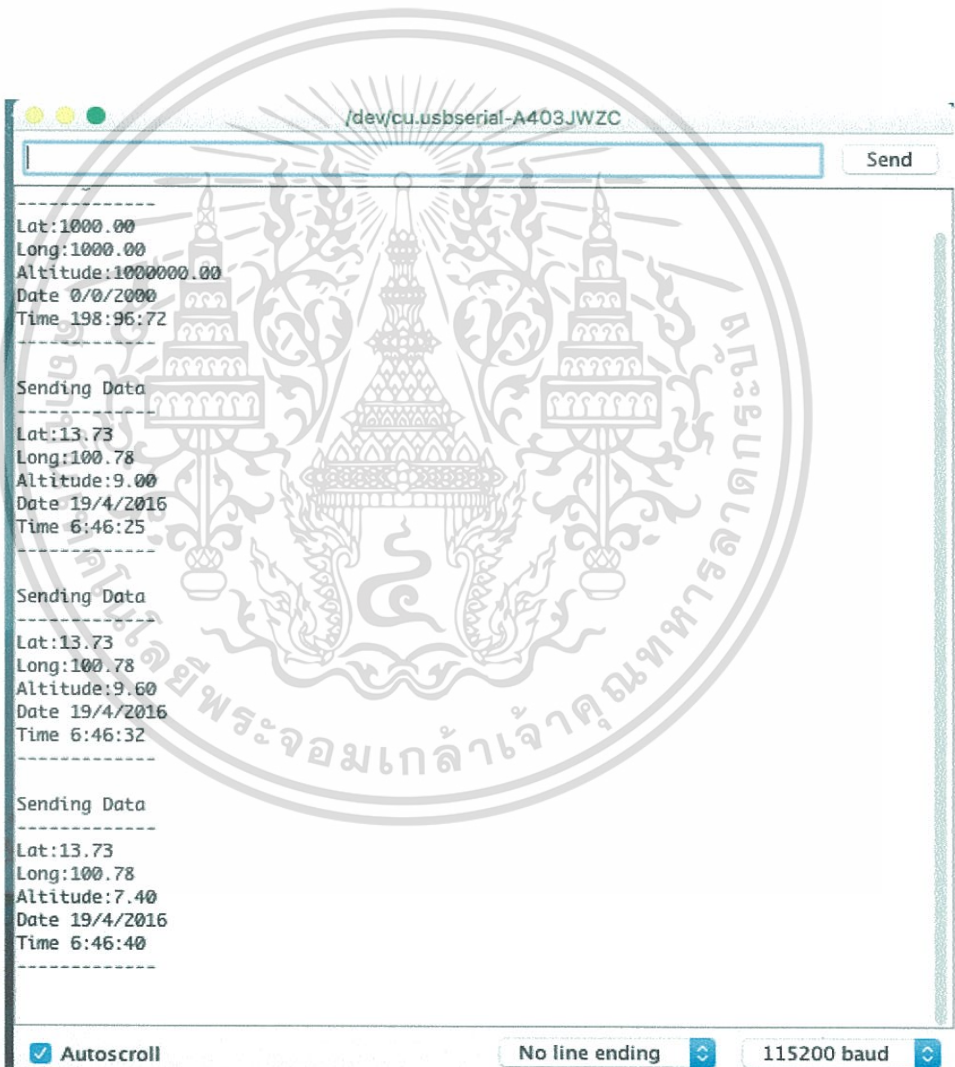
ซึ่งภาครับจะอยู่ที่ชั้นสูงสุดของตึก 12 ชั้น และภาส่งจะเคลื่อนที่ออกจากภาครับ จากจุด A ไปยังจุด B ซึ่งเป็นระยะสูงสุดของ line of sign ในการทดลองนี้ เนื่องจากไม่สามารถเก็บผลการทดลองได้ไกลกว่าระยะดังกล่าวได้ เนื่องจากทัศนียภาพของสภาพแวดล้อมเหล่านั้นบดบังสัญญาณในการติดต่อสื่อสารของ NRF24L01 PA+LNA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การระบุพิกัดหรือตำแหน่งของดาวเทียม

เราได้ทำการใช้ GPS MODULE ในการระบุพิกัดของดาวเทียมนี้ ซึ่งจะทำการรับค่าตำแหน่งจากดาวเทียมที่อยู่เหนือกว่าอีกชั้นหนึ่ง และจึงทำการส่งค่าพิกัดของตัวเองลงมาจะภาครับด้านล่าง

ผลของการทดลองจะแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.12 การส่งพิกัดของดาวเทียมไปยังภาครับ

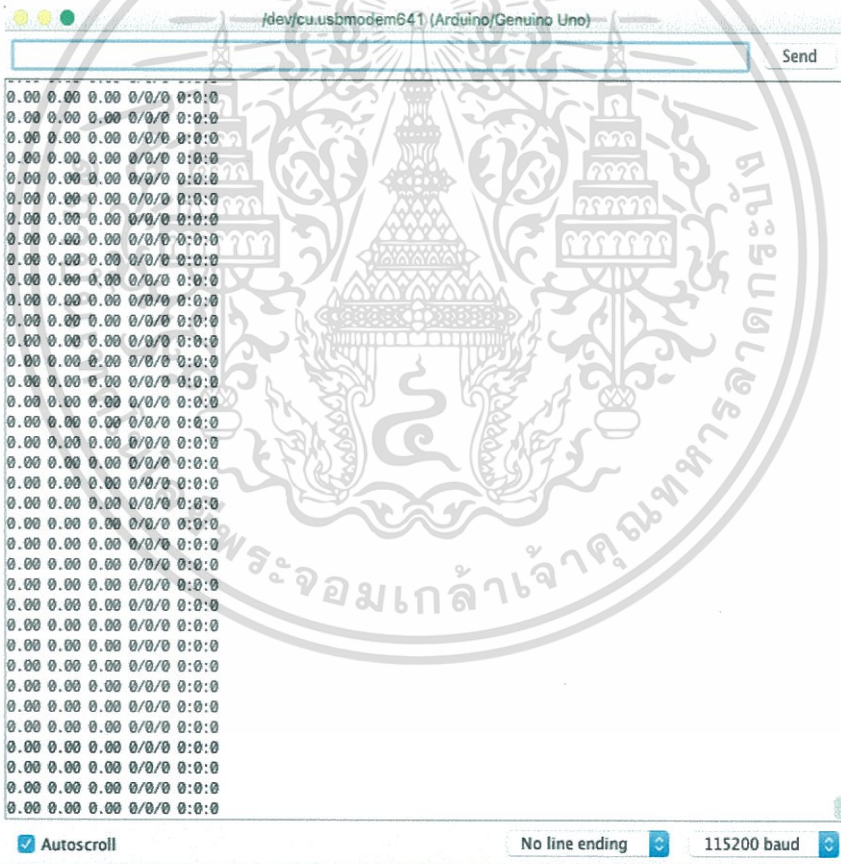
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 เมื่อตัว GPS MODULE ได้รับค่าจากดาวเทียมที่อยู่เหนือกว่าแล้ว ก็ เรา ก็จะทำการส่งไปยังภาคพื้น ซึ่งเราได้ทำการให้ส่งค่าเพียงแค่ 5 ค่าเท่านั้น คือ ค่าละติจูด ลองจิจูด ความสูงจากพื้นดิน วันที่ และเวลาขณะที่ได้รับค่านั้น

อย่างเช่นกรณีนี้เราได้ค่าที่ส่งไปคือ

ละติจูดที่	13.73
ลองจิจูดที่	100.78
วันที่	19/04/2016
เวลา	06.46.40

ต้องทำการบวกไปอีก 7 ชม. จึงจะได้เวลาตามประเทศไทยคือ 13.46 น.



รูปที่ 4.13 เมื่อไม่ได้รับค่าของพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 คือกรณีที่มีการส่งผิดพลาดหมายความว่าไม่ได้รับข้อมูลจากตัวดาวเทียมลงมา ทำให้ไม่สามารถระบุพิกัดได้นั่นเอง เกิดการสื่อสารที่ผิดพลาด

```

/dev/cu.usbmodem641 (Arduino/Genuino Uno)
Send
13.73 100.77 24.60 19/4/2016 18:19:24
13.73 100.77 25.20 19/4/2016 18:19:24
../16 8:19:32
13.73 100.77 24.90 19/4/2016 18:19:38
13.73 100.77 24.40 19/4/2016 18:19:43
13.73 100.77 24.80 19/4/2016 18:19:48
13.73 100.77 24.80 19/4/2016 18:19:53
13.73 100.77 25.40 19/4/2016 18:19:58
13.73 100.77 27.00 19/4/2016 18:20:06
13.73 100.77 27.90 19/4/2016 18:20:13
13.73 100.77 28.20 19/4/2016 18:20:21
13.73 100.77 28.30 19/4/2016 18:20:26
13.73 100.77 28.80 19/4/2016 18:20:31
13.73 100.77 29.10 19/4/2016 18:20:37
13.73 100.77 29.90 19/4/2016 18:20:42
13.73 100.77 31.10 19/4/2016 18:20:47
13.73 100.77 32.20 19/4/2016 18:20:52
13.73 100.77 33.50 19/4/2016 18:20:57
13.73 100.77 34.90 19/4/2016 18:21:02
13.73 100.77 37.70 19/4/2016 18:21:07
13.73 100.77 39.60 19/4/2016 18:21:12
13.73 100.77 40.30 19/4/2016 18:21:17
13.73 100.77 41.50 19/4/2016 18:21:22
13.73 100.77 43.50 19/4/2016 18:21:27
13.73 100.77 46.10 19/4/2016 18:21:32
13.73 100.77 47.10 19/4/2016 18:21:37
13.73 100.77 44.80 19/4/2016 18:21:42
13.73 100.77 41.70 19/4/2016 18:21:47
13.73 100.77 40.60 19/4/2016 18:21:52
13.73 100.77 41.60 19/4/2016 18:21:57
13.73 100.77 42.00 19/4/2016 18:22:02
Autoscroll No line ending 115200 baud

```

รูปที่ 4.14 ค่าที่รับพิกัดของดาวเทียมได้ทุกๆ 5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปนี้คือเมื่อตัวรับด้านล่างได้รับสัญญาณจากทางด้านบน ซึ่งจะมีข้อมูลที่ส่งมาตามที่เราได้กำหนดให้ตัวดาวเทียมส่งมาแล้ว เราตีความได้ว่าเช่น ค่าที่ส่งมาคือ 13.73 100.77 41.50 19/4/2016 18.21.22

นั่นหมายความว่า ขณะเวลา 18.21.22 น.บวกไปอีก7ชม. คือ 01.21.22น. ของวันที่ 20/4/2016 ดาวเทียมดาวนี้อยู่ที่พิกัด ละติจูดที่ 13.73 ลองติจูดที่ 100.77 และมีความสูง 41.51 เมตรจากพื้น (ความสูงที่เกิดจากการที่เรานำอุปกรณ์ขึ้นไปยังที่ความสูง 40 .51 m เท่านั้น) และจากการส่งของสัญญาณจะได้รับค่ามาทุกๆ 5 วินาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบและจำลองการสร้างดาวเทียมขนาดเล็ก ซึ่งต้องมีทั้งการรับ การส่งข้อมูลระหว่างดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดิน เพื่อให้ดาวเทียมสามารถทวนสัญญาณเสมือนจริงได้ โดยดาวเทียมนั้นจะประกอบไปด้วย ระบบรับ-ส่งสัญญาณ ระบบพลังงานที่ทำให้ดาวเทียมและอุปกรณ์ต่างๆในดาวเทียมสามารถใช้งานได้ และระบบกลไกทางด้านโครงสร้างของดาวเทียม ซึ่งเมื่อรวมกันแล้วจะทำให้สามารถพัฒนาเป็นดาวเทียมขนาดเล็กได้ โดยการทดลองนี้เป็นส่วนหนึ่งของระบบดาวเทียม ซึ่งได้มีการออกแบบและกำหนดลักษณะของดาวเทียมขนาดเล็กที่สร้าง จากนั้นออกแบบโครงสร้างการรับการส่งข้อมูล และการทดลองสมดุลงเบื้องต้น ซึ่งการทดลองทำการรับการส่งข้อมูลนั้นเบื้องต้นสามารถรับส่งข้อมูลได้ตามที่ต้องการ แต่หากต้องการที่จะวัดกำลังงานในขณะที่รับ-ส่งข้อมูลนั้น จากการทดลองไม่สามารถทำได้เนื่องข้อมูลที่รับ-ส่งมีความเร็วในการรับ-ส่ง สูงมากและเป็นเทคโนโลยีใหม่ซึ่งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณนั้นไม่สามารถรับค่าได้นอกจากนี้การทดลองเพื่อทำการปรับสมดุลงเบื้องต้นนั้นทำให้เราทราบถึงความเร่งเชิงมุม ณ ขณะที่วัตถุอยู่ในลักษณะต่างๆ เพื่อที่จะนำไปประมวลผลแล้วส่งไปยังส่วนของมอเตอร์ขับเคลื่อนที่จะทำให้เกิดการรักษาสมดุลง ณ ตำแหน่งเดิมต่อไป ซึ่งปริญญานิพนธ์นี้จะมีการพัฒนาต่อไปเป็นดาวเทียมขนาดเล็กตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นารออกแบบและจำลองการสร้างดาวเทียมขนาดเล็กที่ใช้งบประมาณต่ำเพื่อที่จะสามารถพัฒนาเป็นดาวเทียมที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ โดยมุ่งเน้นไปที่การศึกษาระบบการทำงานของกลไกในดาวเทียมและอุปกรณ์สื่อสารทางภาคพื้นดินเพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสารกับดาวเทียมที่สร้างขึ้นมาได้

## บรรณานุกรม

- [1]Gerard Maral and Michel Bousquet.(2009). Satellite Communications System (5thEd).Singapore: Markono Print Media Pte Ltd.
- [2]Miya,K.(1975). Satellite Communications Engineering.Japan:The Lattice Company Ltd.
- [3] K.N.Raja Rao.(2004). Fundamentals of Satellite Communication. New Delhi. Jay Print private Ltd.
- [4]<http://www.lesa.biz/space-technology/satellite/types-of-satellites>
- [5]ดร.ประสิทธิ์ ทีฆพุดิ. (2536). การสื่อสารดาวเทียม(พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร: ส.เอเชียเพลส
- [6]“ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศ.”  
<http://suanpalm3.kmutnb.ac.th/teacher/FileDL/wiset147254917231.pdf>



ภาคผนวก ก

โปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ไลบรารีในการรับและส่งข้อมูลผ่าน NRF24L01

```
#if ARDUINO < 100
#include <WProgram.h>
#else
#include <Arduino.h>
#endif
#include <stdint.h>
#include "RF24Audio.h"
#include "RF24.h"
#include <userConfig.h>
General Variables
volatile boolean buffEmpty[2] = {true,true}, whichBuff = false, a, lCntr=0,
streaming = 0, transmitting = 0;
volatile byte buffCount = 0;
volatile byte pauseCntr = 0;
unsigned int intCount = 0;
byte txCmd[2] = {'r','R'};
byte buffer[2][buffSize+1];
char volMod = -1;
byte bitPos = 0, bytePos = 25;
byte bytH;
byte radiolIdentifier;
#if defined (tenBit)
unsigned int sampl;
byte bytL;
#endif
unsigned long volTime = 0;
#if defined(__AVR_ATmega1280__) ||
defined(__AVR_ATmega2560__) || (__AVR_ATmega32U4__) ||
(__AVR_AT90USB646__) || defined(__AVR_AT90USB1286__) ||
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

( __AVR_ATmega128__ )
||defined(__AVR_ATmega1281__)||defined(__AVR_ATmega2561__ )
#define rampMega
#endif

const byte broadcastVal = 255;

RF24Audio::RF24Audio(RF24& _radio, byte radioNum): radio(_radio){
radi = radio;
radiolIdentifier = radioNum;
}

void RF24Audio::begin(){
radio.begin();
#if defined (ENABLE_LED)
pinMode(ledPin,OUTPUT);
#endif
pinMode(speakerPin,OUTPUT); pinMode(speakerPin2,OUTPUT);
pinMode(TX_PIN,INPUT_PULLUP); pinMode(VOL_UP_PIN,INPUT_PULLUP);
pinMode(VOL_DN_PIN,INPUT_PULLUP); pinMode(REMOTE_TX_PIN,INPUT_PULLUP);
pinMode(REMOTE_RX_PIN,INPUT_PULLUP);
radio.setAutoAck(0); //
radio.setDataRate(RF_SPEED);
radio.setCRCLength(RF24_CRC_8);
radio.openWritingPipe(pipes[0]);
radio.openReadingPipe(1,pipes[1]); pipe
radio.openReadingPipe(2,pipes[radiolIdentifier + 2]);
radio.startListening();
timerStart();
RX();
#if !defined (MANUAL_BUTTON_HANDLING)
TIMSK0 |= _BV(OCIE0B);
#endif
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void vol(bool upDn){
if(upDn==1){ volMod++;}
else{ volMod--; }
}

void RF24Audio::volume(bool upDn){
vol(upDn);
}

void RF24Audio::setVolume(char vol) {
volMod = vol - 4 ;
}

void RF24Audio::timerStart(){
ICR1 = 10 * (1600000/SAMPLE_RATE);
TCCR1A = _BV(COM1A1) | _BV(COM1B0) | _BV(COM1B1);
TCCR1A |= _BV(WGM11);
TCCR1B = _BV(WGM13) | _BV(WGM12) | _BV(CS10);
}

#ifdef MANUAL_BUTTON_HANDLING
void handleButtons(){
boolean state = digitalRead(TX_PIN); // รับสถานะของขาส่งข้อมูล
if(!state) // ขาสถานะ low เริ่มทำการส่งข้อมูล
#ifdef RX_ONLY
if(!transmitting){ // ทำเมื่อการส่งยังไม่สำเร็จ
transmitting = 1; // เซ็ตตัวแปรของภาคส่ง
TX(); // ปรับเข้าสู่โหมดส่งข้อมูล
}
}else{ // เมื่อ TX อยู่ในสถานะ low
#endif
if(transmitting){ // เมื่อยังคงสถานะการส่งข้อมูล
RX(); transmitting = 0; // เริ่มต้นรับข้อมูลและทำการหยุดส่งข้อมูล
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
if(!digitalRead(VOL_UP_PIN)){ // ถ้าสถานะขา Volume เป็น high ทำการเพิ่มเสียงขึ้น
if(millis()-volTime > 200){
vol(1); volTime = millis();
}
}else
if(!digitalRead(VOL_DN_PIN)){
if(millis()-volTime > 200){
vol(0); volTime = millis();
}
}
if(!digitalRead(REMOTE_TX_PIN)){ // เริ่มต้น remote recording และส่งข้อมูลเสียง
if(!transmitting){ // ถ้ายังส่งข้อมูลไม่เสร็จ
radi.stopListening(); // หยุดรับข้อมูลและเขียนค่าขอครั้งที่สองเพื่อได้ค่าที่ดีขึ้น
radi.write(&txCmd,2);
radi.write(&txCmd,2);
radi.startListening();}
delay(200);
}else
if(!digitalRead(REMOTE_RX_PIN)){ // เมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูลจะทำการ หยุดการ
remote recording โดยจะหยุดส่งเป็นเวลาเท่ากับ delay
delay(2000);
}
}
#endif

void rampDown(){
int current = OCR1A;
if(current > 0){
for(int i=0; i < ICR1; i++){
#ifdef rampMega
OCR1B = constrain((current + i),0,ICR1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

OCR1A = constrain((current - i),0,ICR1);
#else
OCR1B = constrain((current - i),0,ICR1);

OCR1A = constrain((current - i),0,ICR1);
#endif
//for(int i=0; i<10; i++){ while(TCNT1 < ICR1-50){} }
delayMicroseconds(100);
}
}
}
void rampUp(byte nextVal){
/*int current = OCR1A;
if(current > 0){
for(int i=0; i < ICR1; i++){
#if defined(rampMega)
OCR1B = constrain((current - i),0,ICR1/2);
OCR1A = constrain((current + i),0,ICR1/2);
#else
OCR1B = constrain((current + i),0,ICR1/2);
OCR1A = constrain((current + i),0,ICR1/2);
#endif
//for(int i=0; i<10; i++){ while(TCNT1 < ICR1-50){} }
delayMicroseconds(100);
}
}*/
//digitalWrite(12,HIGH);
#if defined(rampMega)
unsigned int resolution = ICR1;
OCR1A = 0; OCR1B = resolution;
for(int i=0; i < resolution; ++i){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

OCR1B = constrain(resolution-i,0,resolution);
}
#endif
byte tmp = 200;
unsigned int mod;
if(volMod > 0){ mod = OCR1A >> volMod; }else{ mod = OCR1A << (volMod*-1); }
if(tmp > mod){
for(unsigned int i=0; i<buffSize; i++){ mod = constrain(mod+1,mod, tmp); buffer[0][i]
= mod; }
for(unsigned int i=0; i<buffSize; i++){ mod = constrain(mod+1,mod, tmp); buffer[1][i]
= mod; }
}else{
for(unsigned int i=0; i<buffSize; i++){ mod = constrain(mod-1,tmp ,mod);
buffer[0][i] = mod; }
for(unsigned

void handleRadio(){
sei(); // เปิดการใช้งาน nested interrupts
radi.read(&buffer[n],32); // อ่านข้อมูลจาก payload
buffEmpty[n] = 0; // แสดงให้เห็นว่าบัฟเฟอร์ว่างพร้อมที่จะทำงาน
pauseCntr = 0; // ปิดการใช้งานลำโพงเมื่อไม่มีข้อมูล
TIMSK1 |= _BV(ICIE1); // เปิดใช้งาน interrupts vector ที่ทำงานในฟังก์ชันนี้
}else{ pauseCntr++; } // เมื่อไม่มี payload ในบัฟเฟอร์
if(pauseCntr > 50){ // หากไม่ได้รับมากกว่า 50 ครั้งจะทำการปิดใช้งานลำโพง
pauseCntr = 0; // เริ่มต้นนับค่าใหม่
rampDown(); // ลดเสียงลง
streaming = 0; // แสดงให้เห็นว่าการสตรีมมิ่งจะหยุดทำงาน
TIMSK1 &= ~(_BV(TOIE1) ); // ปิดการใช้งาน TIMER1 เมื่อมีข้อมูลมากเกินไป
#ifdef ENABLE_LED
TCCR0A &= ~_BV(COM0A1); // ปิดการใช้งาน TIMER0 เมื่อสถานะ LED ON
#endif

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

TCCR1A &= ~(_BV(COM1A1) | _BV(COM1B1) | _BV(COM1B0)); // Disable speaker output
}
}else
if(!streaming){
if(radi.available()){ // เมื่อ payload ทำงาน
TIMSK1 &= ~_BV(ICIE1); // เมื่อมีการเรียกข้อมูลจาก interrupt ทำการปิดมัน
sei();
radi.read(&buffer[0],32); // อ่านข้อมูลในบัฟเฟอร์
switch(buffer[0][0]){
#if !defined (RX_ONLY)
case 'r': if(buffer[0][1] == 'R' && radioidentifier < 2){ // เมื่อรับคำสั่งนี้ให้ทำการส่งข้อมูลแบบดิจิทัล
TX();
}
break;
#endif
default: streaming= 1; // เริ่มต้นทำการสตรีมมิง
TCCR1A |= _BV(COM1A1) | _BV(COM1B1) | _BV(COM1B0); //เปิดใช้งานลำโพง
rampUp(buffer[0][31]); // เพิ่มเสียงลำโพง
//buffEmpty[0] = false; // ตั้งค่าสถานะของบัฟเฟอร์หน่วยความจำ
//buffEmpty[1] = true;
TIMSK1 |= _BV(TOIE1); //เปิดใช้งาน overflow vector
#if defined (ENABLE_LED)
TCCR0A |= _BV(COM0A1); // เปิดใช้งานการแสดงผล LED วัดค่า
#endif
break;
}
TIMSK1 |= _BV(ICIE1);
}
}
}

void RX(){ // เริ่มต้นการรับข้อมูล

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

TIMSK1 &= ~_BV(OCIE1B) | _BV(OCIE1A); // ปิดการใช้งาน transmit interrupts
ADCSRA = 0; ADCSRB = 0; // ปิดการใช้งาน Analog to Digital Converter (ADC)
buffEmpty[0] = 1; buffEmpty[1] = 1; // ทำการเคลียร์บัฟเฟอร์
#if defined (oversampling) // ตั้งค่าการ sampling
ICR1 = 10 * (800000/SAMPLE_RATE); // ตั้งค่าเวลาสำหรับ 2X oversampling
#else
ICR1 = 10 * (1600000/SAMPLE_RATE); // ตั้งค่าเวลาที่ sample rate speed ปกติ
#endif
radi.openWritingPipe(pipes[0]); // Set up reading and writing pipes
radi.openReadingPipe(1,pipes[1]);
radi.startListening(); // ออกจากโหมดการส่งข้อมูล
TIMSK1 = _BV(ICIE1); // เปิดการใช้งานการตรวจจับ interrupt vector
}
boolean nn = 0;
volatile byte bufCtr = 0;
volatile unsigned int visCtr = 0;
ISR(TIMER1_CAPT_vect){
bufCtr++; visCtr++; // ติดตามการนับจังหวะการ trigger ของ interrupt
if(bufCtr >= 16){ // ทุกๆ 16 ครั้งให้ทำขั้นตอนนี้
handleRadio(); // ตรวจสอบข้อมูลที่เข้ามาเมื่อไม่ได้ส่งข้อมูล
bufCtr = 0; // Reset this counter
if(visCtr >= 32 && streaming){
OCR0A = buffer[whichBuff][0] << 2;
visCtr = 0; // เริ่มต้นการนับใหม่
}
}
}
}
}

```

```
ISR(TIMER1_OVF_vect){
```

```
if(buffEmpty[whichBuff] ){ whichBuff=!whichBuff; }else{ // เมื่อบัฟเฟอร์ทั้ง 2 วางทำการ รีเทิร์นค่า
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#if defined (oversampling) // เมื่อมีการรันที่ 2X speed ทำการโหลดข้อมูลทุกๆ 2 ครั้ง
if(!Cntr){Cntr = !Cntr;return;} !Cntr=!Cntr;
#endif
#if !defined (tenBit)
Standard 8-Bit Audio Playback
if(volMod < 0 ){ // ทำการโหลด audio sample เข้าสู่การเปรียบเทียบเวลา
OCR1A = OCR1B = (buffer[whichBuff][intCount] >> volMod*-1);
}else{
OCR1A = OCR1B = buffer[whichBuff][intCount] << volMod;
}
intCount++;
if(intCount >= buffSize){ // เมื่อบัฟเฟอร์ว่างให้ทำขั้นตอนนี้
intCount = 0; // เริ่มต้นการนับตัวอย่างใหม่
buffEmpty[whichBuff] = true; // ระบุว่าบัฟเฟอร์ว่างเปล่า
whichBuff = !whichBuff; // สวิตซ์บัฟเฟอร์เพื่ออ่านข้อมูล
}
#else
sampl = buffer[whichBuff][intCount]; // โหลด 8 บิตของตัวอย่างในบัฟเฟอร์ชั่วคราว
bitWrite( sampl, 8, bitRead( buffer[whichBuff][bytePos],bitPos));
bitPos++;
bitWrite(sampl, 9, bitRead(buffer[whichBuff][bytePos],bitPos));
bitPos++; // ติดตามตำแหน่งของบิตข้อมูล
if(volMod < 0 ){ // โหลดตัวอย่างเสียงเทียบกับเวลา
OCR1A = OCR1B = sampl >> (volMod*-1); // นำข้อมูลไปแสดงผลที่ลำโพง
}else{
OCR1A = OCR1B = sampl << volMod;
}
if(bitPos >=8){
bitPos = 0;
bytePos = bytePos+1;
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

intCount++;
if(intCount >= 25){ // เมื่อบัฟเฟอร์ว่างให้ทำขั้นตอนนี้
bytePos = 25;
bitPos = 0;
intCount = 0; // เริ่มต้นการนับตัวอย่างใหม่
buffEmpty[whichBuff] = true;
whichBuff = !whichBuff;
}
#endif
}
}
Transmission (TX) Section
#if !defined (RX_ONLY) // เมื่อภาคส่งทำงาน
void RF24Audio::broadcast(byte radiID){
if(radiID == radioidentifier){ return; } // เมื่อต้องการส่ง address ให้ทำการรีเทิร์นค่า
noInterrupts(); // ปิดการใช้งาน interrupt เมื่ออยู่ในโหมดส่งข้อมูล
if(radiID == broadcastVal){
radio.openWritingPipe(pipes[1]); // ใช้สำหรับการส่งข้อมูลมากกว่า 1 ผู้ใช้งาน
}else{
radio.openWritingPipe(pipes[radiID + 2]); // เปิดการใช้งานช่องส่งเมื่อมีผู้ใช้งานตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป
} // ขั้นตอนนี้จะทำให้ผู้ใช้งานที่ฝั่งรับได้รับค่าที่เหมือนกัน
interrupts(); // เป็นสื่อสารแบบส่วนตัวระหว่างอุปกรณ์
}
ISR(TIMER1_COMPA_vect){ // ทำการส่งออกข้อมูลตัวอย่างเมื่อบัฟเฟอร์เต็ม
if(buffEmpty[!whichBuff] == 0){ // เมื่อบัฟเฟอร์พร้อมสำหรับการส่งข้อมูล
a = !whichBuff; // ตั้งค่าบัฟเฟอร์
TIMSK1 &= ~(_BV(OCIE1A)); // ปิดการใช้งาน interrupt vector
sei();
//radi.startFastWrite(&buffer[a],32);
radi.writeFast(&buffer[a],32);
buffEmpty[a] = 1; // แสดงให้เห็นว่าบัฟเฟอร์ว่างเปล่า

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

TIMSK1 |= _BV(OCIE1A); // เริ่มต้นการใช้งาน interrupt vector อีกครั้ง
}
}
//Transmission buffering interrupt
ISR(TIMER1_COMPB_vect){
#if !defined (tenBit)
buffer[whichBuff][buffCount] = bytH = ADCH;
#if defined (speakerTX)
if(volMod < 0 ){ OCR1A = bytH >> (volMod*-1);
}else{ OCR1A = bytH << volMod;
}
#endif
#else
buffer[whichBuff][buffCount] = bytL = ADCL;
bytH = ADCH;
bitWrite(buffer[whichBuff][bytePos],bitPos, bitRead(bytH,0));
bitWrite(buffer[whichBuff][bytePos],bitPos+1, bitRead(bytH,1));
bitPos+=2;
if(bitPos >= 8){ bitPos = 0; bytePos = bytePos+1; }
#if defined (speakerTX)
sampl = bytL;
sampl |= bytH << 8;
if(volMod < 0 ){ OCR1A = sampl >> (volMod*-1);
}else{ OCR1A = sampl << volMod;
}
#endif
#endif
buffCount++;
#if !defined (tenBit)
if(buffCount >= 32){
#else // 10-bit mode

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(buffCount >= 25){
bytePos = 25;
bitPos = 0;
#endif
buffCount = 0;
buffEmpty[!whichBuff] = 0;
whichBuff = !whichBuff
}
}
void TX(){
TIMSK1 &= ~(_BV(ICIE1) | _BV(TOIE1));
#if defined (ENABLE_LED)
TCCR0A &= ~_BV(COM0A1);
#endif
radi.openWritingPipe(pipes[1]);
radi.openReadingPipe(1,pipes[0]);
radi.stopListening();
streaming = 0;
buffCount = 0; buffEmpty[0] = 1; buffEmpty[1] = 1;
byte pin = ANALOG_PIN;
#if defined(analogPinToChannel)
#if defined(__AVR_ATmega32U4__)
if (pin >= 18) pin -= 18;
#endif
pin = analogPinToChannel(pin);
#elif defined(__AVR_ATmega1280__) || defined(__AVR_ATmega2560__)
if (pin >= 54) pin -= 54;
#elif defined(__AVR_ATmega32U4__)
if (pin >= 18) pin -= 18;
#elif defined(__AVR_ATmega1284__) || defined(__AVR_ATmega1284P__) || defined(__AVR_ATmega
defined(__AVR_ATmega644P__) || defined(__AVR_ATmega644PA__)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (pin >= 24) pin -= 24;
#else
if (pin >= 14) pin -= 14;
#endif
#if defined(ADCSRB) && defined(MUX5)
ADCSRB = (ADCSRB & ~(1 << MUX5)) | (((pin >> 3) & 0x01) << MUX5);
#endif
#if defined(ADMUX)
ADMUX = (pin & 0x07) | _BV(REFS0);
#endif
ICR1 = 10 * (1600000/SAMPLE_RATE);
#if !defined (speakerTX)
rampDown();
TCCR1A &= ~(_BV(COM1A1));
#endif
TCCR1A &= ~(_BV(COM1B1) | _BV(COM1B0) );
#if !defined (tenBit)
ADMUX |= _BV(ADLAR);
#else
ADMUX &= ~_BV(ADLAR); //Don't left-shift result in 10-bit mode
#endif
ADCSRB |= _BV(ADTS0) | _BV(ADTS0) | _BV(ADTS2);
byte prescaleByte = 0;
if( SAMPLE_RATE < 8900){ prescaleByte = B00000111;} //128
else if( SAMPLE_RATE < 18000){ prescaleByte = B00000110;}
else if( SAMPLE_RATE < 27000){ prescaleByte = B00000101;}
else if( SAMPLE_RATE < 65000){ prescaleByte = B00000100;}
else { prescaleByte = B00000011;}
ADCSRA = prescaleByte;
ADCSRA |= _BV(ADEN) | _BV(ADSC);
TIMSK1 = _BV(OCIE1B) | _BV(OCIE1A);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}  
#endif
```

## การตั้งค่าผู้ใช้งานสำหรับการส่งข้อมูลผ่าน NRF24L01

```
#define SAMPLE_RATE 24000 // กำหนด sample rate  
#define RF_SPEED RF24_1MBPS // RF24_250KBPS จะทำงานที่ 13-20khz+  
sample rate, RF24_1MBPS จะทำงานที่ 24-44khz+, RF24_2MBPS จะทำงานที่มากกว่า 44khz+  
#define ANALOG_PIN A0 // กำหนดขาสำหรับป้อนสัญญาณขาเข้า  
#define ENABLE_LED // ตั้งค่าการแสดงผล LED ที่ขา 6  
#define TX_PIN A1 // เมื่อมีการ triggered เกิดขึ้นที่ขานี้ให้ทำการส่งข้อมูล  
#define VOL_UP_PIN A2 // เมื่อมีการ triggered เกิดขึ้นที่ขานี้ให้ทำเพิ่มเสียงขึ้น  
#define VOL_DN_PIN A3 // เมื่อมีการ triggered เกิดขึ้นที่ขานี้ให้ทำลดเสียงลง  
#define REMOTE_TX_PIN A4  
#define REMOTE_RX_PIN 4  
#define buffSize 32 // ขนาดของบัฟเฟอร์ที่ใช้งาน  
  
#if defined(__AVR_ATmega1280__) || defined(__AVR_ATmega2560__) ||  
(__AVR_ATmega32U4__) || (__AVR_AT90USB646__) || defined(__AVR_AT90USB1286__) ||  
(__AVR_ATmega128__)  
|| defined(__AVR_ATmega1281__) || defined(__AVR_ATmega2561__)  
#define rampMega  
  
#if !defined (speakerPin) // ขาที่เชื่อมต่อกับลำโพงของบอร์ด mega  
#define speakerPin 11 // ตั้งค่าให้อยู่ที่ขา 11 (speaker +)  
  
#if !defined (speakerPin2) // ตั้งค่าให้อยู่ที่ขา 12 (speaker -)  
#define speakerPin2 12  
#endif  
#endif
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#if defined (ENABLE_LED)
#define ledPin 13
#endif
#else // สำหรับบอร์ดอื่นเช่น Uno,Nano เป็นต้น

#if !defined (speakerPin)
#define speakerPin 9 // ตั้งค่าให้อยู่ที่ขา 9 (speaker +)
#endif

#if !defined (speakerPin2) // ตั้งค่าให้อยู่ที่ขา 10 (speaker -)
#define speakerPin2 10
#endif

#if defined (ENABLE_LED) // ตั้งค่าแสดงผล LED ที่ขา 6 เมื่อได้รับ payload
#define ledPin 6
#endif
#endif
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904



ON Semiconductor®

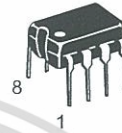
<http://onsemi.com>

## Single Supply Dual Operational Amplifiers

Utilizing the circuit designs perfected for Quad Operational Amplifiers, these dual operational amplifiers feature low power drain, a common mode input voltage range extending to ground/ $V_{EE}$ , and single supply or split supply operation. The LM358 series is equivalent to one-half of an LM324.

These amplifiers have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. They can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V, with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

- Short Circuit Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V (LM258/LM358)  
3.0 V to 26 V (LM2904, A, V)
- Low Input Bias Currents
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Single and Split Supply Operation
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness of the Device without Affecting Operation



PDIP-8  
N, AN, VN SUFFIX  
CASE 626

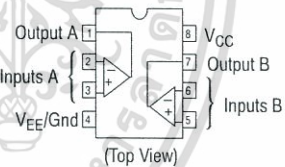


SO-8  
D, VD SUFFIX  
CASE 751



Micro8™  
DMR2 SUFFIX  
CASE 846A

### PIN CONNECTIONS



### ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

### DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 11 of this data sheet.

LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904



Figure 1.

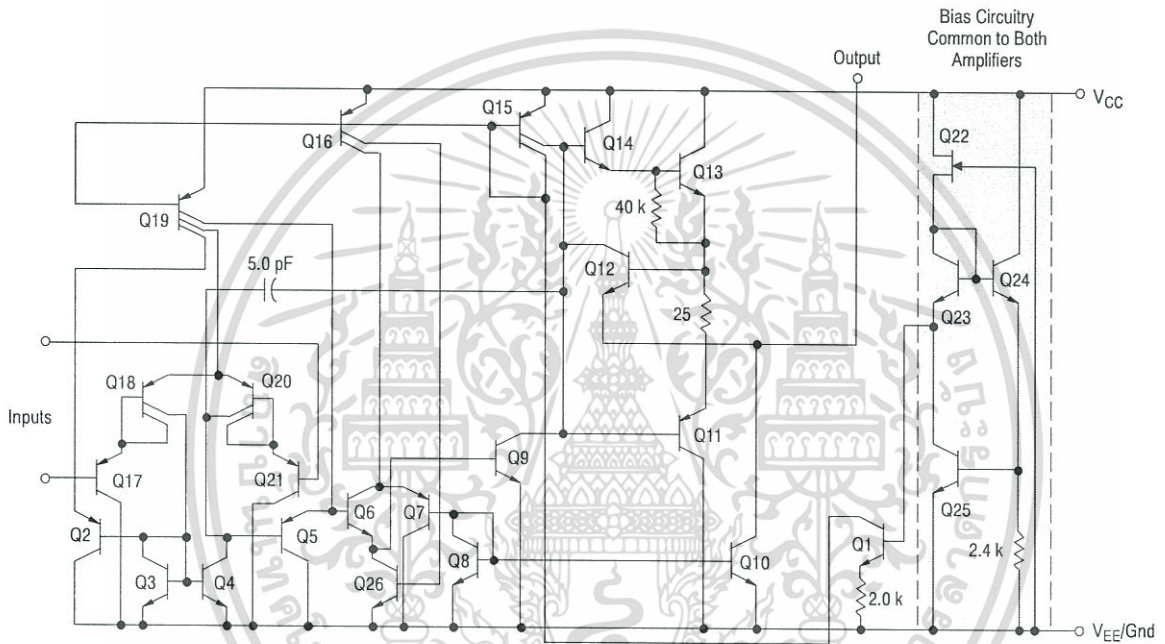


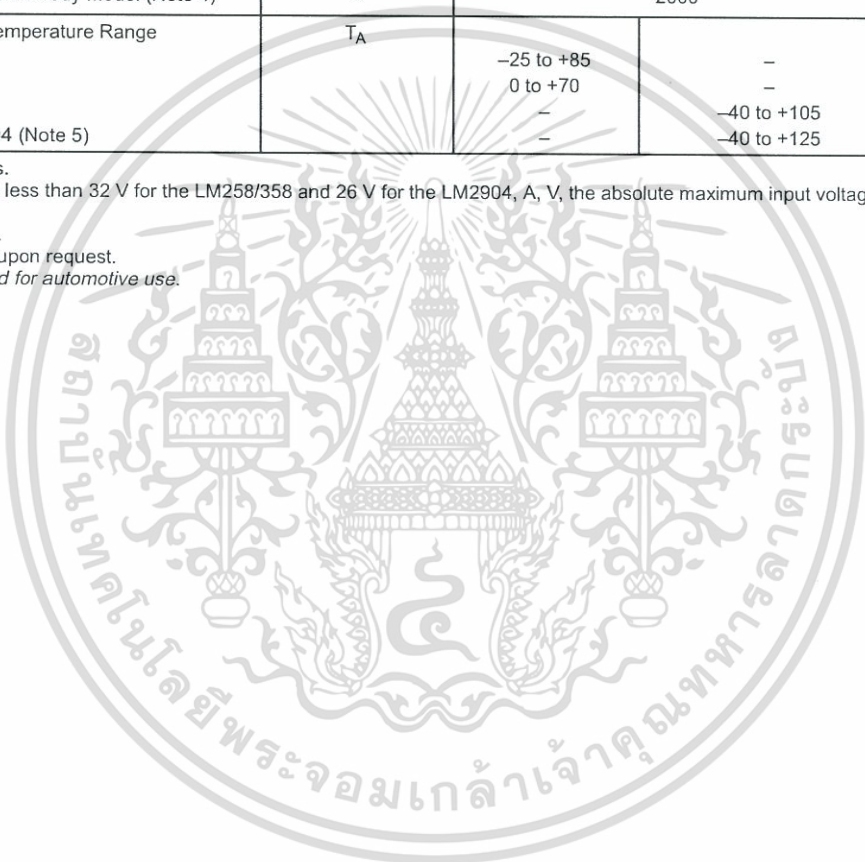
Figure 2. Representative Schematic Diagram  
(One-Half of Circuit Shown)

## LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904

**MAXIMUM RATINGS** ( $T_A = +25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	LM258 LM358	LM2904, LM2904A LM2904V, NCV2904	Unit
Power Supply Voltages Single Supply Split Supplies	$V_{CC}$ $V_{CC}, V_{EE}$	32 $\pm 16$	26 $\pm 13$	Vdc
Input Differential Voltage Range (Note 1)	$V_{IDR}$	$\pm 32$	$\pm 26$	Vdc
Input Common Mode Voltage Range (Note 2)	$V_{ICR}$	-0.3 to 32	-0.3 to 26	Vdc
Output Short Circuit Duration	$t_{SC}$	Continuous		
Junction Temperature	$T_J$	150		$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction-to-Air (Note 3)	$R_{\theta JA}$	238		$^\circ\text{C/W}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55 to +125		$^\circ\text{C}$
ESD Tolerance – Human Body Model (Note 4)	–	2000		V
Operating Ambient Temperature Range	$T_A$			$^\circ\text{C}$
LM258		-25 to +85	–	
LM358		0 to +70	–	
LM2904/LM2904A		–	-40 to +105	
LM2904V, NCV2904 (Note 5)		–	-40 to +125	

1. Split Power Supplies.
2. For Supply Voltages less than 32 V for the LM258/358 and 26 V for the LM2904, A, V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
3.  $R_{\theta JA}$  for Case 846A.
4. ESD data available upon request.
5. *NCV2904 is qualified for automotive use.*



# LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V<sub>CC</sub> = 5.0 V, V<sub>EE</sub> = Gnd, T<sub>A</sub> = 25°C, unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LM258			LM358			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage V <sub>CC</sub> = 5.0 V to 30 V (26 V for LM2904, V), V <sub>IC</sub> = 0 V to V <sub>CC</sub> - 1.7 V, V <sub>O</sub> = 1.4 V, R <sub>S</sub> = 0 Ω T <sub>A</sub> = 25°C T <sub>A</sub> = T <sub>high</sub> (Note 6) T <sub>A</sub> = T <sub>low</sub> (Note 6)	V <sub>IO</sub>	–	2.0	5.0	–	2.0	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage T <sub>A</sub> = T <sub>high</sub> to T <sub>low</sub> (Note 6)	ΔV <sub>IO</sub> /ΔT	–	7.0	–	–	7.0	–	μV/°C
Input Offset Current T <sub>A</sub> = T <sub>high</sub> to T <sub>low</sub> (Note 6)	I <sub>IO</sub>	–	3.0	30	–	5.0	50	nA
Input Bias Current T <sub>A</sub> = T <sub>high</sub> to T <sub>low</sub> (Note 6)	I <sub>IB</sub>	–	–45	–150	–	–45	–250	
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current T <sub>A</sub> = T <sub>high</sub> to T <sub>low</sub> (Note 6)	ΔI <sub>IO</sub> /ΔT	–	10	–	–	10	–	pA/°C
Input Common Mode Voltage Range (Note 7), V <sub>CC</sub> = 30 V (26 V for LM2904, V) V <sub>CC</sub> = 30 V (26 V for LM2904, V), T <sub>A</sub> = T <sub>high</sub> to T <sub>low</sub>	V <sub>ICR</sub>	0	–	28.3	0	–	28.3	V
Differential Input Voltage Range	V <sub>IDR</sub>	–	–	V <sub>CC</sub>	–	–	V <sub>CC</sub>	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ, V <sub>CC</sub> = 15 V, For Large V <sub>O</sub> Swing, T <sub>A</sub> = T <sub>high</sub> to T <sub>low</sub> (Note 6)	A <sub>VOL</sub>	50 25	100 –	– –	25 15	100 –	– –	V/mV
Channel Separation 1.0 kHz ≤ f ≤ 20 kHz, Input Referenced	CS	–	–120	–	–	–120	–	dB
Common Mode Rejection R <sub>S</sub> ≤ 10 kΩ	CMR	70	85	–	65	70	–	dB
Power Supply Rejection	PSR	65	100	–	65	100	–	dB
Output Voltage–High Limit T <sub>A</sub> = T <sub>high</sub> to T <sub>low</sub> (Note 6) V <sub>CC</sub> = 5.0 V, R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ, T <sub>A</sub> = 25°C V <sub>CC</sub> = 30 V (26 V for LM2904, V), R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ V <sub>CC</sub> = 30 V (26 V for LM2904, V), R <sub>L</sub> = 10 kΩ	V <sub>OH</sub>	3.3 26 27	3.5 – 28	– – –	3.3 26 27	3.5 – 28	– – –	V
Output Voltage–Low Limit V <sub>CC</sub> = 5.0 V, R <sub>L</sub> = 10 kΩ, T <sub>A</sub> = T <sub>high</sub> to T <sub>low</sub> (Note 6)	V <sub>OL</sub>	–	5.0	20	–	5.0	20	mV
Output Source Current V <sub>ID</sub> = +1.0 V, V <sub>CC</sub> = 15 V	I <sub>O+</sub>	20	40	–	20	40	–	mA
Output Sink Current V <sub>ID</sub> = –1.0 V, V <sub>CC</sub> = 15 V V <sub>ID</sub> = –1.0 V, V <sub>O</sub> = 200 mV	I <sub>O–</sub>	10 12	20 50	– –	10 12	20 50	– –	mA μA
Output Short Circuit to Ground (Note 8)	I <sub>SC</sub>	–	40	60	–	40	60	mA
Power Supply Current (Total Device) T <sub>A</sub> = T <sub>high</sub> to T <sub>low</sub> (Note 6) V <sub>CC</sub> = 30 V (26 V for LM2904, V), V <sub>O</sub> = 0 V, R <sub>L</sub> = ∞ V <sub>CC</sub> = 5 V, V <sub>O</sub> = 0 V, R <sub>L</sub> = ∞	I <sub>CC</sub>	– –	1.5 0.7	3.0 1.2	– –	1.5 0.7	3.0 1.2	mA

6. LM258: T<sub>low</sub> = –25°C, T<sub>high</sub> = +85°C  
LM2904/LM2904A: T<sub>low</sub> = –40°C, T<sub>high</sub> = +105°C  
NCV2904 is qualified for automotive use.

LM358: T<sub>low</sub> = 0°C, T<sub>high</sub> = +70°C  
LM2904V & NCV2904: T<sub>low</sub> = –40°C, T<sub>high</sub> = +125°C

7. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is V<sub>CC</sub> – 1.7 V.
8. Short circuits from the output to V<sub>CC</sub> can cause excessive heating and eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

# LM358, LM258, LM2904, LM2904A, LM2904V, NCV2904

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ ,  $V_{EE} = \text{Gnd}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LM2904			LM2904A			LM2904V, NCV2904			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to $30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $V_{IC} = 0\text{ V}$ to $V_{CC} - 1.7\text{ V}$ , $V_O \approx 1.4\text{ V}$ , $R_S = 0\ \Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ (Note 9) $T_A = T_{\text{low}}$ (Note 9)	$V_{IO}$	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	-	-	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{\text{high}}$ to $T_{\text{low}}$ (Note 9)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to $T_{\text{low}}$ (Note 9)	$I_{IO}$	-	5.0	50	-	5.0	50	-	5.0	50	nA
Input Bias Current $T_A = T_{\text{high}}$ to $T_{\text{low}}$ (Note 9)	$I_{IB}$	-	-45	-250	-	-45	-100	-	-45	-250	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to $T_{\text{low}}$ (Note 9)	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Common Mode Voltage Range (Note 10), $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $T_A = T_{\text{high}}$ to $T_{\text{low}}$	$V_{ICR}$	0	-	24.3	0	-	24.3	0	-	24.3	V
Differential Input Voltage Range	$V_{IDR}$	-	-	$V_{CC}$	-	-	$V_{CC}$	-	-	$V_{CC}$	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ , $V_{CC} = 15\text{ V}$ , For Large $V_O$ Swing, $T_A = T_{\text{high}}$ to $T_{\text{low}}$ (Note 9)	$A_{VOL}$	25	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Channel Separation 1.0 kHz $\leq f \leq 20\text{ kHz}$ , Input Referenced	CS	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	dB
Common Mode Rejection $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	CMR	50	70	-	50	70	-	50	70	-	dB
Power Supply Rejection	PSR	50	100	-	50	100	-	50	100	-	dB
Output Voltage—High Limit $T_A = T_{\text{high}}$ to $T_{\text{low}}$ (Note 9) $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ , $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $R_L = 10\text{ k}\Omega$	$V_{OH}$	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	V
Output Voltage—Low Limit $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ , $R_L = 10\text{ k}\Omega$ , $T_A = T_{\text{high}}$ to $T_{\text{low}}$ (Note 9)	$V_{OL}$	-	5.0	20	-	5.0	20	-	5.0	20	mV
Output Source Current $V_{ID} = +1.0\text{ V}$ , $V_{CC} = 15\text{ V}$	$I_{O+}$	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA
Output Sink Current $V_{ID} = -1.0\text{ V}$ , $V_{CC} = 15\text{ V}$ $V_{ID} = -1.0\text{ V}$ , $V_O = 200\text{ mV}$	$I_{O-}$	-	10	20	-	10	20	-	10	20	mA $\mu\text{A}$
Output Short Circuit to Ground (Note 11)	$I_{SC}$	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Power Supply Current (Total Device) $T_A = T_{\text{high}}$ to $T_{\text{low}}$ (Note 9) $V_{CC} = 30\text{ V}$ (26 V for LM2904, V), $V_O = 0\text{ V}$ , $R_L = \infty$ $V_{CC} = 5\text{ V}$ , $V_O = 0\text{ V}$ , $R_L = \infty$	$I_{CC}$	-	1.5	3.0	-	1.5	3.0	-	1.5	3.0	mA

9. LM258:  $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$   
LM2904/LM2904A:  $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$   
NCV2904 is qualified for automotive use.

LM358:  $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$   
LM2904V & NCV2904:  $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$

10. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is  $V_{CC} - 1.7\text{ V}$ .

11. Short circuits from the output to  $V_{CC}$  can cause excessive heating and eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

# Advanced Monolithic Systems

## AMS1117

### 800mA LOW DROPOUT VOLTAGE REGULATOR

#### FEATURES

- Three Terminal Adjustable or Fixed Voltages\*  
1.5V, 1.8V, 2.5V, 2.85V, 3.3V and 5.0V
- Output Current of 800mA
- Operates Down to 1V Dropout
- Line Regulation: 0.2% Max.
- Load Regulation: 0.4% Max.
- SOT-223 and TO-252 package available

#### APPLICATIONS

- High Efficiency Linear Regulators
- Post Regulators for Switching Supplies
- 5V to 3.3V Linear Regulator
- Battery Chargers
- Active SCSI Terminators
- Power Management for Notebook
- Battery Powered Instrumentation

#### GENERAL DESCRIPTION

The AMS1117 series of adjustable and fixed voltage regulators are designed to provide 800mA output current and to operate down to 1V input-to-output differential. The dropout voltage of the device is guaranteed maximum 1.3V at maximum output current, decreasing at lower load currents.

On-chip trimming adjusts the reference voltage to 1%. Current limit is also trimmed, minimizing the stress under overload conditions on both the regulator and power source circuitry.

The AMS1117 devices are pin compatible with other three-terminal SCSI regulators and are offered in the low profile surface mount SOT-223 package and in the TO-252 (DPAK) plastic package.

#### ORDERING INFORMATION:

PACKAGE TYPE		OPERATING JUNCTION TEMPERATURE RANGE
TO-252	SOT-223	
AMS1117CD	AMS1117	0 to 125° C
AMS1117CD-1.5	AMS1117-1.5	0 to 125° C
AMS1117CD-1.8	AMS1117-1.8	0 to 125° C
AMS1117CD-2.5	AMS1117-2.5	0 to 125° C
AMS1117CD-2.85	AMS1117-2.85	0 to 125° C
AMS1117CD-3.3	AMS1117-3.3	0 to 125° C
AMS1117CD-5.0	AMS1117-5.0	0 to 125° C

\*For additional available fixed voltages contact factory.

#### PIN CONNECTIONS

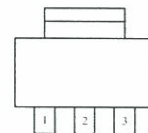
##### FIXED VERSION

- 1- Ground
- 2-  $V_{OUT}$
- 3-  $V_{IN}$

##### ADJUSTABLE VERSION

- 1- Adjust
- 2-  $V_{OUT}$
- 3-  $V_{IN}$

SOT-223 Top View



TO-252 FRONT VIEW



Advanced Monolithic Systems, Inc. 6680B Sierra Lane, Dublin, CA 94568 Phone (925) 556-9090 Fax (925) 556-9140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Note 1)

Power Dissipation	Internally limited
Input Voltage	15V
Operating Junction Temperature	
Control Section	0°C to 125°C
Power Transistor	0°C to 150°C
Storage temperature	- 65°C to +150°C

## Soldering information

Lead Temperature (10 sec)	300°C
Thermal Resistance	
TO-252 package	$\phi_{JA} = 80^\circ\text{C/W}$
SOT-223 package	$\phi_{JA} = 90^\circ\text{C/W}^*$

\* With package soldering to copper area over backside ground plane or internal power plane  $\phi_{JA}$  can vary from 46°C/W to >90°C/W depending on mounting technique and the size of the copper area.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Electrical Characteristics at  $I_{OUT} = 0 \text{ mA}$ , and  $T_J = +25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

Parameter	Device	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Reference Voltage (Note 2)	AMS1117	$I_{OUT} = 10 \text{ mA}$ $10 \text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 800 \text{ mA}$ , $1.5 \text{ V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 12 \text{ V}$	1.238	1.250	1.262	V
			<b>1.225</b>	<b>1.250</b>	<b>1.270</b>	V
Output Voltage (Note 2)	AMS1117-1.5	$0 \leq I_{OUT} \leq 800 \text{ mA}$ , $3.0 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$	1.485	1.500	1.515	V
			<b>1.476</b>	<b>1.500</b>	<b>1.524</b>	V
	AMS1117-1.8	$0 \leq I_{OUT} \leq 800 \text{ mA}$ , $3.3 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$	1.782	1.800	1.818	V
			<b>1.773</b>	<b>1.800</b>	<b>1.827</b>	V
	AMS1117-2.5	$0 \leq I_{OUT} \leq 800 \text{ mA}$ , $4.0 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$	2.475	2.500	2.525	V
			<b>2.460</b>	<b>2.500</b>	<b>2.560</b>	V
	AMS1117-2.85	$0 \leq I_{OUT} \leq 800 \text{ mA}$ , $4.35 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$	2.82	2.850	2.88	V
			<b>2.79</b>	<b>2.850</b>	<b>2.91</b>	V
	AMS1117-3.3	$0 \leq I_{OUT} \leq 800 \text{ mA}$ , $4.75 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$	3.267	3.300	3.333	V
			<b>3.235</b>	<b>3.300</b>	<b>3.365</b>	V
	AMS1117-5.0	$0 \leq I_{OUT} \leq 800 \text{ mA}$ , $6.5 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$	4.950	5.000	5.050	V
			<b>4.900</b>	<b>5.000</b>	<b>5.100</b>	V
Line Regulation	AMS1117	$I_{LOAD} = 10 \text{ mA}$ , $1.5 \text{ V} \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 12 \text{ V}$		0.015	0.2	%
				<b>0.035</b>	<b>0.2</b>	%
	AMS1117-1.5	$3.0 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$		0.3	5	mV
				<b>0.6</b>	<b>6</b>	mV
	AMS1117-1.8	$3.3 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$		0.3	5	mV
				<b>0.6</b>	<b>6</b>	mV
	AMS1117-2.5	$4.0 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$		0.3	6	mV
				<b>0.6</b>	<b>6</b>	mV
	AMS1117-2.85	$4.35 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$		0.3	6	mV
				<b>0.6</b>	<b>6</b>	mV
	AMS1117-3.3	$4.75 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$		0.5	10	mV
				<b>1.0</b>	<b>10</b>	mV
	AMS1117-5.0	$6.5 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 12 \text{ V}$		0.5	10	mV
				<b>1.0</b>	<b>10</b>	mV
Load Regulation (Notes 2, 3)	AMS1117	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 3 \text{ V}$ , $10 \text{ mA} \leq I_{OUT} \leq 800 \text{ mA}$		0.1	0.3	%
				<b>0.2</b>	<b>0.4</b>	%
	AMS1117-1.5	$V_{IN} = 5 \text{ V}$ , $0 \leq I_{OUT} \leq 800 \text{ mA}$		3	10	mV
				<b>6</b>	<b>20</b>	mV
	AMS1117-1.8	$V_{IN} = 5 \text{ V}$ , $0 \leq I_{OUT} \leq 800 \text{ mA}$		3	10	mV
				<b>6</b>	<b>20</b>	mV
	AMS1117-2.5	$V_{IN} = 5 \text{ V}$ , $0 \leq I_{OUT} \leq 800 \text{ mA}$		3	12	mV
				<b>6</b>	<b>20</b>	mV

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Electrical Characteristics at  $I_{OUT} = 0$  mA, and  $T_J = +25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

Parameter	Device	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Load Regulation (Notes 2, 3)	AMS1117-2.85	$V_{IN} = 5V, 0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		3 <b>6</b>	12 <b>20</b>	mV mV
	AMS1117-3.3	$V_{IN} = 5V, 0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		3 <b>7</b>	15 <b>25</b>	mV mV
	AMS1117-5.0	$V_{IN} = 8V, 0 \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}$		5 <b>10</b>	20 <b>35</b>	mV mV
Dropout Voltage ( $V_{IN} - V_{OUT}$ )	AMS1117-1.5/-1.8/-2.5/-2.85/-3.3/-5.0	$\Delta V_{OUT}, \Delta V_{REF} = 1\%, I_{OUT} = 800\text{mA}$ (Note 4)		<b>1.1</b>	<b>1.3</b>	V
Current Limit	AMS1117-1.5/-1.8/-2.5/-2.85/-3.3/-5.0	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 5V$	<b>900</b>	<b>1,100</b>	<b>1,500</b>	mA
Minimum Load Current	AMS1117	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 12V$ (Note 5)		<b>5</b>	<b>10</b>	mA
Quiescent Current	AMS1117-1.5/-1.8/-2.5/-2.85/-3.3/-5.0	$V_{IN} \leq 12V$		<b>5</b>	<b>10</b>	mA
Ripple Rejection	AMS1117	$f = 120\text{Hz}, C_{OUT} = 22\mu\text{F}$ Tantalum, $I_{OUT} = 800\text{mA}$ , $(V_{IN} - V_{OUT}) = 3V, C_{ADJ} = 10\mu\text{F}$	<b>60</b>	<b>75</b>		dB
	AMS1117-1.5/-1.8/-2.5/-2.85	$f = 120\text{Hz}, C_{OUT} = 22\mu\text{F}$ Tantalum, $I_{OUT} = 800\text{mA}$ , $V_{IN} = 6V$	<b>60</b>	<b>72</b>		dB
	AMS1117-3.3	$f = 120\text{Hz}, C_{OUT} = 22\mu\text{F}$ Tantalum, $I_{OUT} = 800\text{mA}$ , $V_{IN} = 6.3V$	<b>60</b>	<b>72</b>		dB
	AMS1117-5.0	$f = 120\text{Hz}, C_{OUT} = 22\mu\text{F}$ Tantalum, $I_{OUT} = 800\text{mA}$ , $V_{IN} = 8V$	<b>60</b>	<b>68</b>		dB
Thermal Regulation	AMS1117	$T_A = 25^\circ\text{C}, 30\text{ms}$ pulse		<b>0.008</b>	<b>0.04</b>	%W
Adjust Pin Current	AMS1117	$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}, 1.5V \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 12V$		<b>55</b>	<b>120</b>	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
Adjust Pin Current Change	AMS1117	$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 800\text{mA}, 1.5V \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 12V$		<b>0.2</b>	<b>5</b>	$\mu\text{A}$
Temperature Stability				<b>0.5</b>		%
Long Term Stability		$T_A = 125^\circ\text{C}, 1000\text{Hrs}$		<b>0.3</b>	<b>1</b>	%
RMS Output Noise (% of $V_{OUT}$ )		$T_A = 25^\circ\text{C}, 10\text{Hz} \leq f \leq 10\text{kHz}$		<b>0.003</b>		%
Thermal Resistance Junction-to-Case					<b>15</b>	$^\circ\text{C/W}$

Parameters identified with **boldface type** apply over the full operating temperature range.

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics. The guaranteed specifications apply only for the test conditions listed.

**Note 2:** Line and Load regulation are guaranteed up to the maximum power dissipation of 1.2 W. Power dissipation is determined by the input/output differential and the output current. Guaranteed maximum power dissipation will not be available over the full input/output range.

**Note 3:** See thermal regulation specifications for changes in output voltage due to heating effects. Line and load regulation are measured at a constant junction temperature by low duty cycle pulse testing. Load regulation is measured at the output lead  $\sim 1/8"$  from the package.

**Note 4:** Dropout voltage is specified over the full output current range of the device.

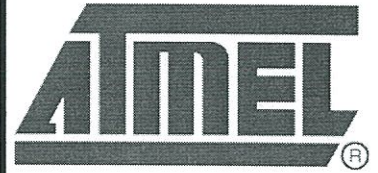
**Note 5:** Minimum load current is defined as the minimum output current required to maintain regulation. When  $1.5V \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 12V$  the device is guaranteed to regulate if the output current is greater than 10mA.

Advanced Monolithic Systems, Inc. 6680B Sierra Lane, Dublin, CA 94568 Phone (925) 556-9090 Fax (925) 556-9140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Features

- High Performance, Low Power AVR<sup>®</sup> 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
  - 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory
  - 256/512/1K Bytes EEPROM
  - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM
  - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
  - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C<sup>(1)</sup>
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    - In-System Programming by On-chip Boot Program
    - True Read-While-Write Operation
  - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Six PWM Channels
  - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
    - Temperature Measurement
  - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
    - Temperature Measurement
  - Programmable Serial USART
  - Master/Slave SPI Serial Interface
  - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I<sup>2</sup>C compatible)
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
  - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
  - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
  - 23 Programmable I/O Lines
  - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
  - 1.8 - 5.5V
- Temperature Range:
  - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
  - 0 - 4 MHz@1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz@2.7 - 5.5.V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V
- Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C
  - Active Mode: 0.2 mA
  - Power-down Mode: 0.1 µA
  - Power-save Mode: 0.75 µA (Including 32 kHz RTC)



8-bit **AVR<sup>®</sup>**  
Microcontroller  
with 4/8/16/32K  
Bytes In-System  
Programmable  
Flash

ATmega48A  
ATmega48PA  
ATmega88A  
ATmega88PA  
ATmega168A  
ATmega168PA  
ATmega328  
ATmega328P

Summary

Rev. 8271BS-AVR-04/10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# nRF24L01+

## Single Chip 2.4GHz Transceiver

### Preliminary Product Specification v1.0

#### Key Features

- Worldwide 2.4GHz ISM band operation
- 250kbps, 1Mbps and 2Mbps on air data rates
- Ultra low power operation
- 11.3mA TX at 0dBm output power
- 13.5mA RX at 2Mbps air data rate
- 900nA in power down
- 26µA in standby-I
- On chip voltage regulator
- 1.9 to 3.6V supply range
- Enhanced ShockBurst™
- Automatic packet handling
- Auto packet transaction handling
- 6 data pipe MultiCeiver™
- Drop-in compatibility with nRF24L01
- On-air compatible in 250kbps and 1Mbps with nRF2401A, nRF2402, nRF24E1 and nRF24E2
- Low cost BOM
- ±60ppm 16MHz crystal
- 5V tolerant inputs
- Compact 20-pin 4x4mm QFN package

#### Applications

- Wireless PC Peripherals
- Mouse, keyboards and remotes
- 3-in-1 desktop bundles
- Advanced Media center remote controls
- VoIP headsets
- Game controllers
- Sports watches and sensors
- RF remote controls for consumer electronics
- Home and commercial automation
- Ultra low power sensor networks
- Active RFID
- Asset tracking systems
- Toys

All rights reserved.

Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written permission of the copyright holder.  
March 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Liability disclaimer

Nordic Semiconductor ASA reserves the right to make changes without further notice to the product to improve reliability, function or design. Nordic Semiconductor ASA does not assume any liability arising out of the application or use of any product or circuits described herein.

All application information is advisory and does not form part of the specification.

## Limiting values

Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the specifications are not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.

## Life support applications

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Nordic Semiconductor ASA customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Nordic Semiconductor ASA for any damages resulting from such improper use or sale.

Data sheet status	
Objective product specification	This product specification contains target specifications for product development.
Preliminary product specification	This product specification contains preliminary data; supplementary data may be published from Nordic Semiconductor ASA later.
Product specification	This product specification contains final product specifications. Nordic Semiconductor ASA reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design and supply the best possible product.

## Contact details

Visit [www.nordicsemi.no](http://www.nordicsemi.no) for Nordic Semiconductor sales offices and distributors worldwide

### Main office:

Otto Nielsens vei 12  
 7004 Trondheim  
 Phone: +47 72 89 89 00  
 Fax: +47 72 89 89 89  
[www.nordicsemi.no](http://www.nordicsemi.no)



## Writing Conventions

This product specification follows a set of typographic rules that makes the document consistent and easy to read. The following writing conventions are used:

- Commands, bit state conditions, and register names are written in *Courier*.
- Pin names and pin signal conditions are written in *Courier bold*.
- Cross references are underlined and highlighted in blue.

## Revision History

Date	Version	Description
March 2008	1.0	

### Attention!

Observe precaution for handling Electrostatic Sensitive Device.



# NEO-6

## u-blox 6 GPS Modules

### Data Sheet

#### Abstract

Technical data sheet describing the cost effective, high-performance u-blox 6 based NEO-6 series of GPS modules, that brings the high performance of the u-blox 5 positioning engine to the miniature NEO form factor.

These receivers combine a high level of integration capability with flexible connectivity options in a small package. This makes them perfectly suited for mass-market end products with strict size and cost requirements.



16.0 x 12.2 x 2.4 mm

[www.u-blox.com](http://www.u-blox.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการ



**Document Information**

<b>Title</b>	NEO-6
<b>Subtitle</b>	u-blox 6 GPS Modules
<b>Document type</b>	Data Sheet
<b>Document number</b>	GPS.G6-HW-09005-E
<b>Document status</b>	

**Document status information**

Objective Specification	This document contains target values. Revised and supplementary data will be published later.
Advance Information	This document contains data based on early testing. Revised and supplementary data will be published later.
Preliminary	This document contains data from product verification. Revised and supplementary data may be published later.
Released	This document contains the final product specification.

**This document applies to the following products:**

Name	Type number	ROM/FLASH version	PCN reference
NEO-6G	NEO-6G-0-001	ROM7.03	UBX-TN-11047-1
NEO-6Q	NEO-6Q-0-001	ROM7.03	UBX-TN-11047-1
NEO-6M	NEO-6M-0-001	ROM7.03	UBX-TN-11047-1
NEO-6P	NEO-6P-0-000	ROM6.02	N/A
NEO-6V	NEO-6V-0-000	ROM7.03	N/A
NEO-6T	NEO-6T-0-000	ROM7.03	N/A

This document and the use of any information contained therein, is subject to the acceptance of the u-blox terms and conditions. They can be downloaded from [www.u-blox.com](http://www.u-blox.com).

u-blox makes no warranties based on the accuracy or completeness of the contents of this document and reserves the right to make changes to specifications and product descriptions at any time without notice. Reproduction, use or disclosure to third parties without express permission is strictly prohibited. Copyright © 2011, u-blox AG.

u-blox® is a registered trademark of u-blox Holding AG in the EU and other countries. ARM® is the registered trademark of ARM Limited in the EU and other countries.