สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องระบุตำแหน่งผ่านโทรศัพท์มือถือ

GPS VIA MOBILE PHONE

โดย

นายขจรศักดิ์ พ่วงตระกูลศิริ

นางสาวฉลองรัตน์ วงษ์สมัย

นายภัทรพงษ์ ยมนา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 50215
วัน,เดือน,ปี 27 เม.ย. 2547

.b.....
.i.....

เครื่องระบุตำแหน่งผ่านโทรศัพท์มือถือ

GPS VIA MOBILE PHONE

โดย

นาย ขจรศักดิ์ พ่วงตระกูลศิริ	42010034
นางสาว ฉลองรัตน์ วงษ์สมัย	42010065
นาย ภัทรพงษ์ ยมนา	42010253

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. สุทธิชัย นพนาคีพงษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **เครื่องระบุตำแหน่งผ่านโทรศัพท์มือถือ**

GPS VIA MOBILE PHONE

ผู้จัดทำ **1. นาย ขจรศักดิ์ พ่วงตระกูลศิริ 42010034**

2. นางสาว ฉลองรัตน์ วงษ์สมัย 42010065

3. นาย ภัทรพงษ์ ยมนา 42010253

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. สุทธิชัย นพนาคีพงษ์)

โครงงานที่ 451424

เครื่องระบุตำแหน่งผ่านโทรศัพท์มือถือ
GPS VIA MOBILE PHONE

โดย นาย ขจรศักดิ์ พ่วงตระกูลศิริ 42010034
นางสาว ฉลองรัตน์ วงษ์สมัย 42010065
นาย ภัทรพงษ์ ยมนา 42010253

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. สุทธิชัย นพนาคีพงษ์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ มีจุดประสงค์เพื่อระบุตำแหน่งของบุคคลหรือวัตถุ โดยใช้วิธีการติดต่อกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ไร้สาย ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับอุปกรณ์ GPS เมื่อมีสัญญาณโทรศัพท์เรียกเข้ามา ตัวรับสัญญาณจะตรวจสอบสัญญาณที่เข้ามา จากนั้นจะทำการติดต่ออุปกรณ์ GPS เพื่อนำค่าตำแหน่งพิกัดของวัตถุที่ได้ มาแสดงผลให้ผู้ใช้งานได้ทราบ

ABSTRACT

This thesis proposes to indicate the personal or object positions by contacting with wireless mobile method linking with GPS equipment. Signal receiver will detect telephone signal when it sends. After that it will be connected to GPS equipment in order to display a position to user.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	**1**
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	**2**
2.1) ลักษณะทั่วไปของระบบ GPS	2
2.2) ส่วนประกอบของเครื่องรับสัญญาณ GPS	4
2.3) หลักการทำงานของ GPS	5
2.3.1) ขั้นตอนที่ 1 การรับสัญญาณจากดาวเทียมเพื่อให้ได้ตำแหน่ง	6
2.3.2) ขั้นตอนที่ 2 การวัดระยะจากดาวเทียม	6
2.3.3) ขั้นตอนที่ 3 การได้เวลาที่ถูกต้อง	7
2.3.4) ขั้นตอนที่ 4 หาตำแหน่งของดาวเทียม	10
2.3.5) ขั้นตอนที่ 5 การช้าของสัญญาณในการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ	11
2.4) ประเภทของเครื่องรับสัญญาณ GPS	13
2.4.1) เครื่องรับแบบเรียงลำดับสัญญาณดาวเทียม	13
2.4.2) เครื่องรับที่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมพร้อมกันได้ตั้งแต่ 4 ดวงขึ้นไป	14
2.5) รหัสสุ่มเทียม (Pseudo Random Code)	14
2.6) การวัดด้วยวิธีอนุพันธ์ (Differential GPS)	16
2.7) มาตรฐาน และ โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารของ GPS	17
2.7.1) รูปแบบประโยคของ NMEA (NMEA Sentence)	18
2.8) วงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่โทรศัพท์ (DTMF DECODER)	23
2.8.1) โครงสร้างของ MT8870	23
2.8.2) ฟังก์ชันการทำงานภายในของ MT8870	25
2.9) ทฤษฎีและหลักการของไอซีบันทึกเสียง ISD2590	31
2.9.1) ทฤษฎีของ ไอซีบันทึกเสียง ISD2590	31
2.9.2) หลักการของ ไอซีบันทึกเสียง ISD2590	35
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	**39**
3.1) บล็อกไดอะแกรม ระบบการทำงาน	39
3.2) วงจรถอดรหัสสัญญาณ DTMF (DTMF Decorder)	39
3.3) วงจรตรวจจับสัญญาณเรียกเข้า (Ringing tone Detector)	40
3.4) วงจรบันทึกเสียง (Voice Recorder)	40

3.5) วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ 41
3.6) โฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบ 41

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง **43**
4.1) การทำงานของวงจรภาคถอดรหัสสัญญาณ DTMF 43
4.2) การทำงานของวงจรตรวจสอบสัญญาณเรียกเข้า (Ringing tone detector circuit) 45
4.3) วงจรบันทึกเสียง 47
4.4) ส่วนข้อมูลพิกัดตำแหน่งจาก GPS 50
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป **52**

ภาคผนวก
กิตติกรรมประกาศ
หนังสืออ้างอิง

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1	แสดงรายละเอียดของดาวเทียม GPS	1
รูปที่ 2-1	แสดงตำแน่งและการโคจรของดาวเทียม GPS รอบโลก	2
รูปที่ 2-2	แสดงการโคจรของดาวเทียม GPS รอบโลก	3
รูปที่ 2-3	แสดงสถานีควบคุมระบบดาวเทียม GPS 5 แห่ง	4
รูปที่ 2-4	แสดงส่วนประกอบของระบบดาวเทียม GPS	4
รูปที่ 2-5	แสดงการวัดตำแหน่งบนพื้นโลก	5
รูปที่ 2-6	แสดงการนำหนทางบก ทางอากาศ และทางน้ำ	6
รูปที่ 2-7	แสดงการทำงานของระบบ GPS	8
รูปที่ 2-8	แสดงการทำงานของระบบ GPS	8
รูปที่ 2-9	แสดงการวัดด้วยวิธีอนุพันธ์ (Differential)	17
รูปที่ 2-10	แสดงโครงสร้างภายในของ MT8870	18
รูปที่ 2-11	แสดงรายละเอียดขาของ MT8870	18
รูปที่ 2-12	แสดงความถี่ที่ได้จากภาคกรองความถี่	19
รูปที่ 2-13	แสดงแผนภูมิเวลา (timing diagram) ของ MT8870	21
รูปที่ 2-14	แสดงการต่อวงจรภาคอินพุท	22
รูปที่ 2-15	แสดงวงจรตรวจสอบสัญญาณแบบอย่างง่ายและแสดงการกำหนดเวลา Guard time	23
รูปที่ 2-16	แสดงวงจรกำเนิดความถี่	24
รูปที่ 2-17	แสดงวงจรใช้งานเบื้องต้นของ MT8870	25
รูปที่ 2-18	บล็อกไดอะแกรมภายในไอซีบันทึกเสียง ISD2590	26
รูปที่ 2-19	แสดงการจัดขาของ ISD2590	26
รูปที่ 3-1	แสดงบล็อกไดอะแกรม ระบบการทำงาน	40
รูปที่ 3-2	แสดงการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ กับอุปกรณ์อื่นๆ	41
รูปที่ 3-3	แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบ	42
รูปที่ 4-1	แสดงวงจรภาคถอดรหัสสัญญาณ DTMF	43
รูปที่ 4-2	แสดงวงจรตรวจสอบสัญญาณเรียกเข้า	45
รูปที่ 4-3	แสดง อินพุต ของสัญญาณ Ringing	46
รูปที่ 4-4	แสดง Output ของสัญญาณ Ringing	46
รูปที่ 4-5	แสดงการต่อไอซีบันทึกเสียง ISD2590 (Voice Recorder)	47

รูปที่ 4-6 ข้อมูลดิบที่ถูกส่งออกมาจากตัวเครื่อง GPS เมื่อนำมาเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางโปรแกรม Hyperterminal 50
รูปที่ 4-7 ข้อมูลดิบที่ถูกส่งออกมาจากตัวเครื่อง GPS เมื่อนำมาเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางโปรแกรม Hyperterminal ในกรณีที่ GPS ไม่สามารถรับข้อมูลได้ 50

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 แสดงค่าที่ถอดรหัสได้จากความถี่ต่างๆ 20

ตารางที่ 2-2 แสดงโหมดการทำงานของ ไอซี ISD2590 29

ตารางที่ 2-3 แสดงการทำงานของโหมด push-bottom 31

ตารางที่ 4-1 แสดงผลลัพธ์จากการกดพัลส์ที่แป้นโทรศัพท์มือถือ และสังเกตที่ไฟ LED 44

ตารางที่ 4-2 แสดงวิธีควบคุมการทำงานของ ISD2590 ในโหมดที่ 2 แบบเรียงลำดับ 48

ตารางที่ 4-3 แสดงวิธีควบคุมการทำงานของ ISD2590 ในโหมดที่ 2 แบบไม่เรียงลำดับ 48

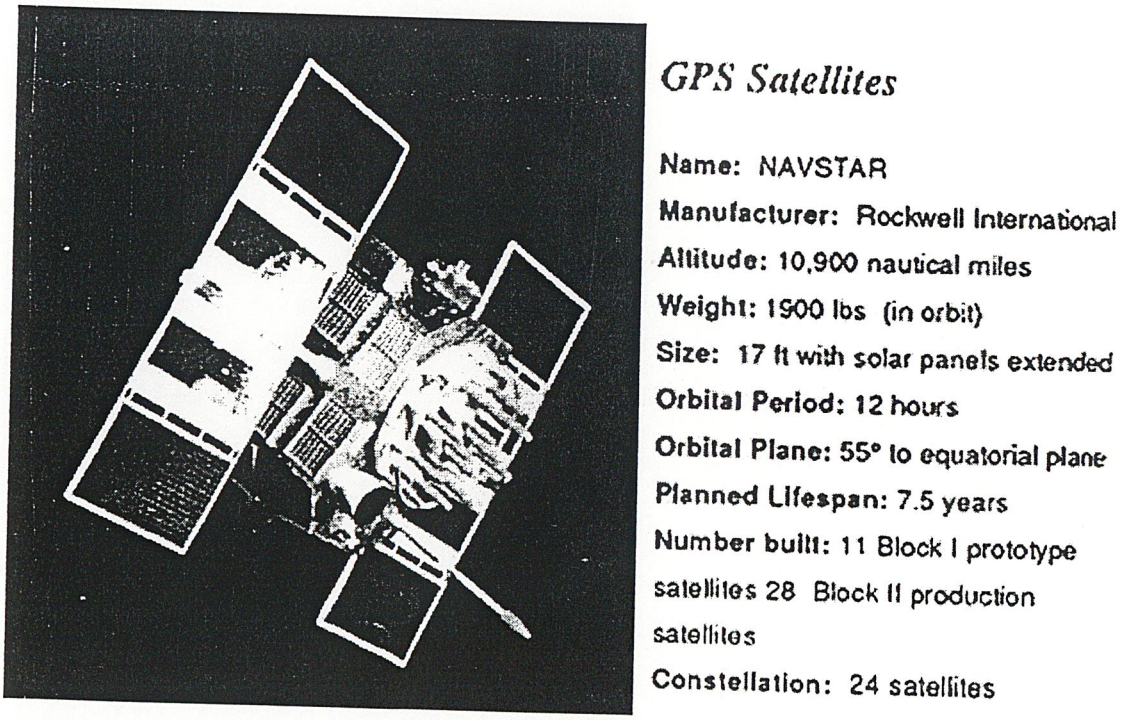
ตารางที่ 4-4 แสดงผลการทดลองของวงจรบันทึกเสียง (Voice Recorder) 49

ตารางที่ 4-5 แสดงค่าพิกัดต่างๆ ที่ทำการบันทึกทุกๆ 1นาที ในขณะที่อยู่นิ่ง 51

บทที่ 1
บทนำ

สิ่งที่มนุษย์เราต้องใช้ตั้งแต่เริ่มเดินทางรอบโลก คือ สิ่งที่ช่วยบอกเราได้ว่ากำลังเดินทางไปยังตำแหน่ง ใด ๆ โดยที่ก่อนหน้านี้ เรายังไม่เคยมีเครื่องมือที่นำมาใช้บอกตำแหน่งและทิศทางที่สมบูรณ์เลย จะมีก็เพียงแต่ เข็มทิศเท่านั้นที่ใช้บอกทิศทาง ดังนั้น กระทรวงกลาโหม ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ดำเนินการโครงการ Global Positioning System หรือ "GPS" ขึ้น GPS จะใช้ดาวเทียมจำนวน 24 ดวง โคจรอยู่ในระดับสูงที่พ้นจากคลื่นวิทยุรบกวนของโลกและวิธีการที่สามารถให้ความถูกต้อง เพียงพอที่จะใช้ชี้บอกตำแหน่งได้ทุกแห่งบนโลกตลอดเวลา 24 ชั่วโมง จากการนำมาใช้งานจริงจะให้ความถูกต้องสูง

ปัจจุบันมีการนำ GPS มาใช้งานในหลายสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับงานสำรวจ อาทิเช่น ภูมิศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ สิ่งแวดล้อม ได้แก่ การนำ GPS มาใช้ในการกำหนดขอบเขตและจุดที่แน่นอนของป่าสงวน และอุทยาน ใช้ในการบอกตำแหน่งเพื่อใช้ออกงานวงรอบ (TRAVERS) การใช้ GPS ในการสำรวจภูมิประเทศเพื่อทำแผนที่เส้นชั้นความสูง (Contour) และงานถนนหรือแม้แต่การนำ GPS มาใช้ตรวจสอบรายละเอียดความถูกต้องของงานโครงข่ายสามเหลี่ยมและงานวงรอบ เป็นต้น



รูปที่ 1-1 แสดงรายละเอียดของดาวเทียม GPS

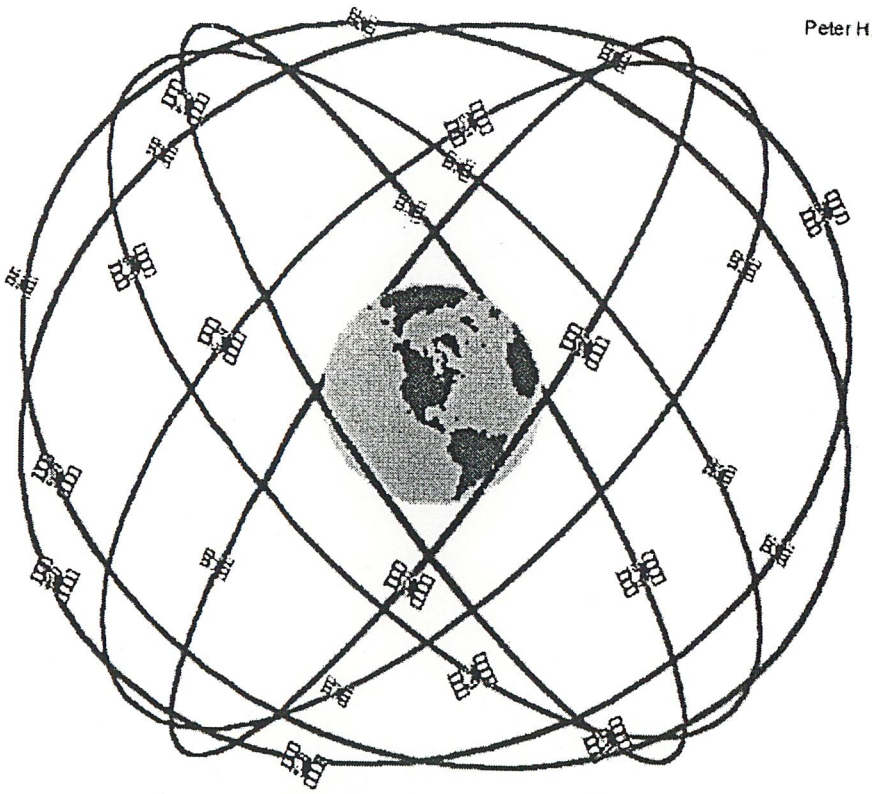
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1) ลักษณะทั่วไปของระบบ GPS ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่

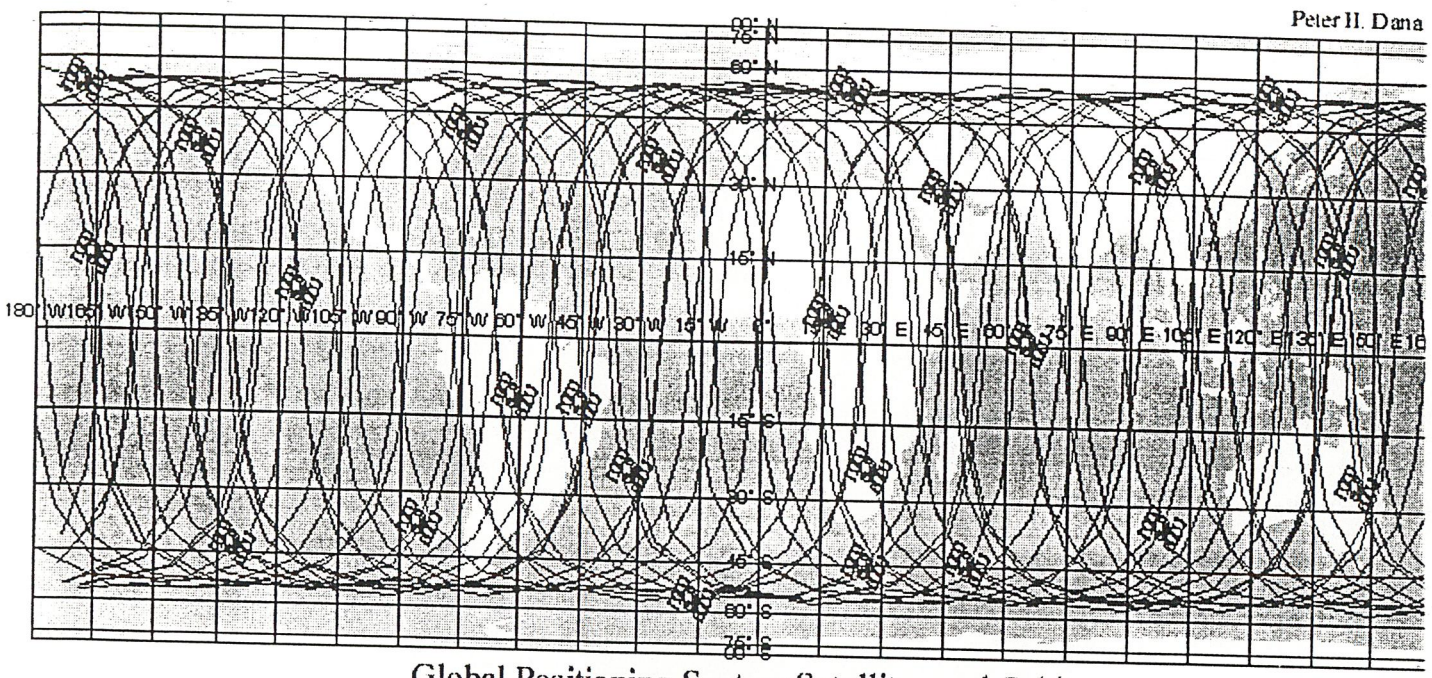
2.1.1) ส่วนอวกาศ (Space Segment)

ในระบบดาวเทียม GPS จะประกอบด้วยดาวเทียมทั้งหมด 24 ดวง โดยดาวเทียมจำนวน 21 ดวง จะใช้ในการบอกค่าพิกัด ส่วนที่เหลือ 3 ดวง จะสำรองเอาไว้ ดาวเทียมทั้ง 24 ดวงนี้จะมีวงโคจรอยู่ 6 วง โคจรด้วยกัน โดยแบ่งจำนวนดาวเทียมวงโคจรละ 4 ดวง และมีรัศมีวงโคจรสูงจากพื้นโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร (12,600 ไมล์) วงโคจรทั้ง 6 จะเอียงทำมุมกับเส้นศูนย์สูตร (Equator) เป็นมุม 55 องศา ในลักษณะสานกันคล้ายลูกตะกร้อ ดาวเทียมแต่ละดวงจะใช้เวลาในการโคจรครบรอบ 12 ชั่วโมง นั่น คือ คาบของการโคจรเป็น 12 ชั่วโมง/รอบ ความถี่ที่ใช้ในการบอกตำแหน่งค่าพิกัดของดาวเทียมแต่ละดวงมี 2 ความถี่ คือ ความถี่ Link1(L1) : 1,575.42 MHz และ ความถี่ Link2(L2) : 1,227.60 MHz



GPS Nominal Constellation
24 Satellites in 6 Orbital Planes
4 Satellites in each Plane
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination

รูปที่ 2-1 แสดงตำแหน่งและการโคจรของดาวเทียม GPS รอบโลก



รูปที่ 2-2 แสดงการโคจรของดาวเทียม GPS รอบโลก

2.1.2) สถานีควบคุม (Control Station Segment)

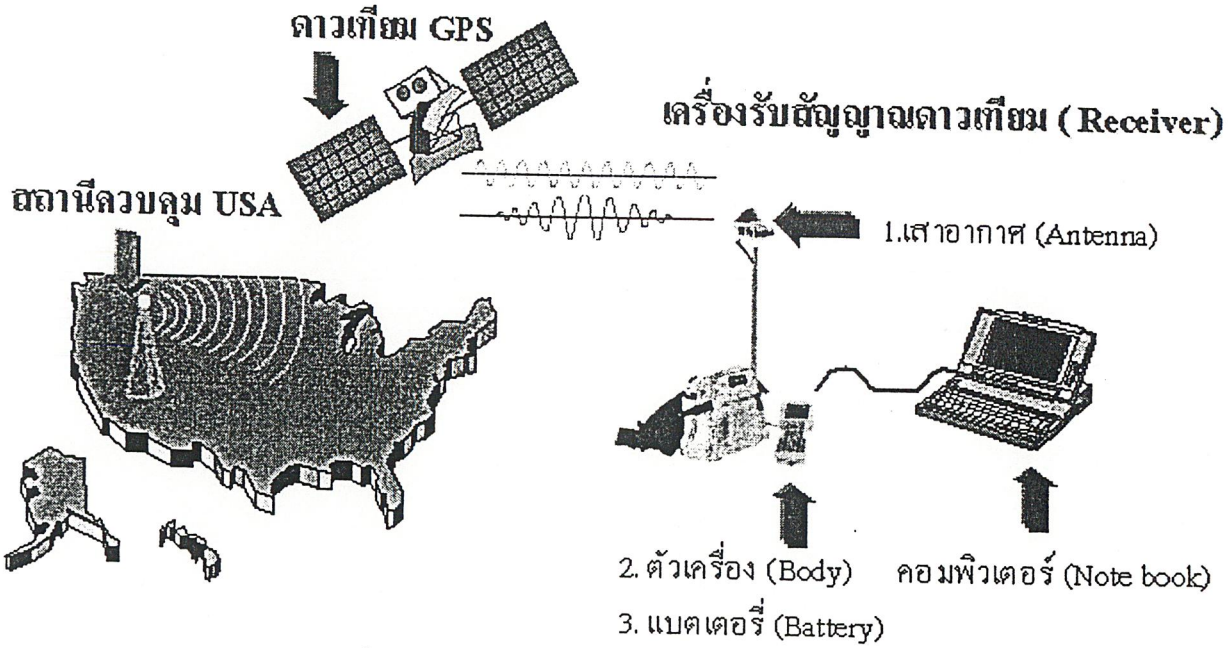
ในส่วนของสถานีควบคุมจะประกอบด้วย 5 สถานีย่อย (Monitor Station) ตั้งอยู่ที่เมือง Diego Garcia, Ascension Island, Kwajalein, และ Hawaii ส่วนสถานีควบคุมหลัก (Master Control Station) 1 สถานี ซึ่งเป็นศูนย์ควบคุมการทำงานของระบบดาวเทียม GPS ตั้งอยู่ที่เมือง Colorado Springs รัฐ Colorado สหรัฐอเมริกา สถานีควบคุมต่าง ๆ เหล่านี้มีหน้าที่คอยติดต่อสื่อสาร (Tracking) กับดาวเทียม ทำการคำนวณผล (Computation) เพื่อบอกตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง และส่งข้อมูลที่ได้ไปยังดาวเทียมอยู่ตลอดเวลา ทำให้ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลที่ทันสมัยอยู่เสมอ

2.1.3) ส่วนผู้ใช้ (Use Segment)

ผู้ใช้ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับพลเรือน (Civilian) และส่วนที่เกี่ยวกับทางทหาร (Military) ในส่วนของผู้ใช้จะมีหน้าที่พัฒนาเครื่องรับสัญญาณ (Receiver) ให้ทันสมัยและสะดวกแก่การใช้งาน สามารถที่จะใช้ได้ทุกแห่งในโลก และให้ค่าที่มีความถูกต้องสูง

Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

รูปที่ 2-3 แสดงสถานีควบคุมระบบดาวเทียม GPS 5 แห่ง



รูปที่ 2-4 แสดงส่วนประกอบของระบบดาวเทียม GPS

2.2) ส่วนประกอบของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

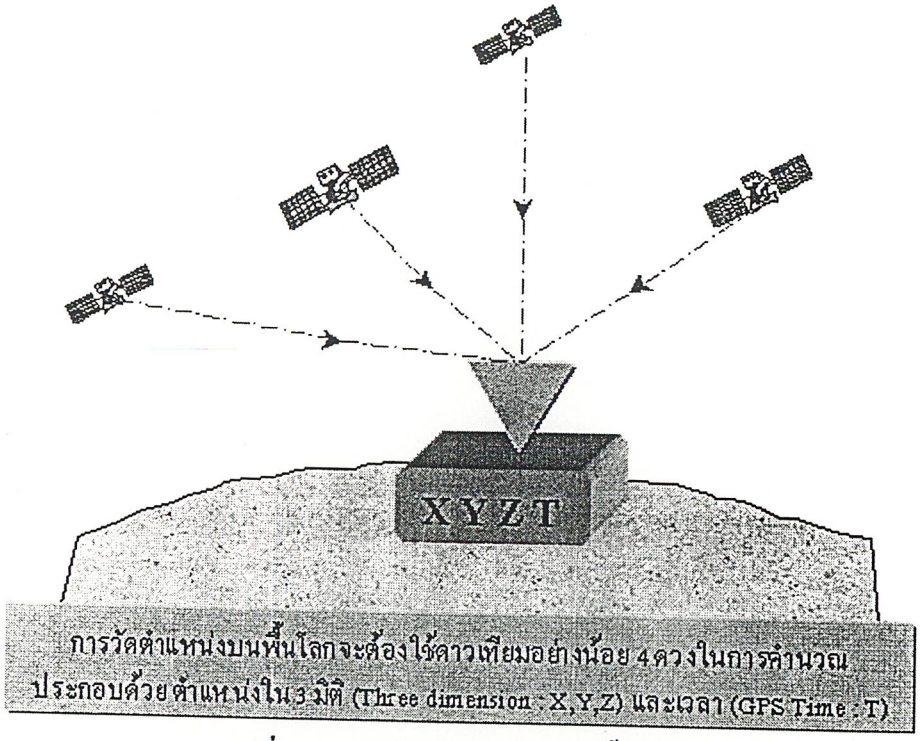
2.2.1) ตัวเครื่อง (Body)

2.2.2) ส่วนให้พลังงาน (Power Supply)

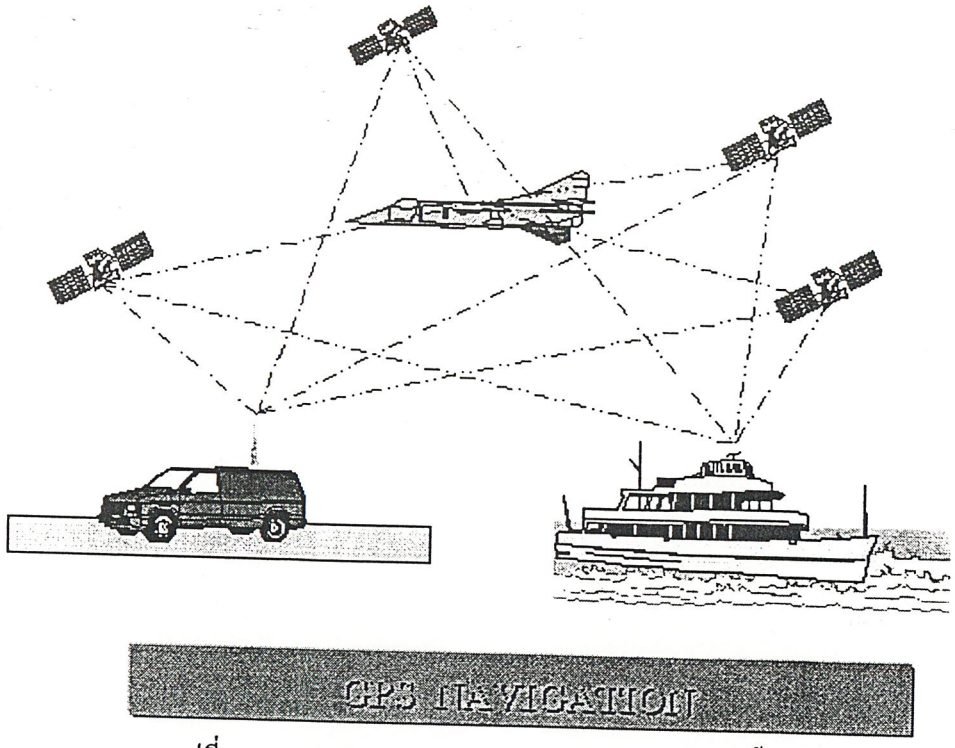
2.2.3) ส่วนเสาอากาศ (Antenna)

2.3) หลักการทำงานของ GPS แบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การรับสัญญาณจากดาวเทียมโดยหลักการรูปสามเหลี่ยมระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ
ขั้นตอนที่ 2 GPS วัดระยะโดยใช้เวลาเดินทางของคลื่นวิทยุ
ขั้นตอนที่ 3 ในดาวเทียมและเครื่องรับจำเป็นจะต้องมีนาฬิกาที่ละเอียดสูงมาก
ขั้นตอนที่ 4 นอกจากระยะทางแล้วจะต้องทราบตำแหน่งของดาวเทียมที่อยู่ในอวกาศด้วย
ขั้นตอนที่ 5 ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) และชั้นบรรยากาศโลก (Atmosphere) ความเร็วคลื่นวิทยุเดินทางได้ช้าลง จึงต้องทำการแก้ไขจุดนี้ด้วย



รูปที่ 2-5 แสดงการวัดตำแหน่งบนพื้นโลก



รูปที่ 2-6 แสดงการนำหนทางบก ทางอากาศ และทางน้ำ

ขั้นตอนที่ 1 การรับสัญญาณจากดาวเทียมเพื่อให้ได้ตำแหน่ง

GPS จะต้องหาระยะระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ GPS ดาวเทียมจะเป็นเหมือนหมุดหลักฐานสำหรับการวัดระยะ สิ่งที่เราต้องรู้เพื่อใช้ในการคำนวณ คือ ตำแหน่งดาวเทียมดวงนั้นเพื่อให้ได้ระยะทางที่ถูกต้อง สมมติว่าเราอยู่ห่างจากดาวเทียม A 11,000 ไมล์ ขณะเดียวกันเราหาได้ว่าระยะจากดาวเทียม B 12,000 ไมล์ ดังนั้นตำแหน่งเรา จึงอยู่ที่ทรงกลมที่มีศูนย์กลางที่ดาวเทียม A กับดาวเทียม B รัศมี 11,000 ไมล์ และ 12,000 ไมล์ ตัดกัน ดังนั้น ถ้าเราได้ระยะจากดาวเทียมดวงที่ 3 ก็บอกตำแหน่งได้แน่นอนยิ่งขึ้น เช่น เรารู้ว่าระยะจากดาวเทียม C 13,000 ไมล์ ก็จะบอกตำแหน่งที่ทรงกลมตัดกันอยู่เพียง 2 จุดเท่านั้น เราวัดหาระยะ ดาวเทียมดวงที่สี่ หรือจากการวัดระยะดาวเทียม 3 ดวงก็สามารถบอกตำแหน่งได้เลย เพราะ 2 ค่าที่ได้จะมีอยู่หนึ่งค่าที่ไม่เป็นจริง เพราะอยู่ห่างจากโลกเรามาก ในกรณีที่รู้ค่าความสูงของตำแหน่งที่วัดแน่นอน เช่น ในทะเล ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องวัดดาวเทียมดวงที่ 4 เครื่องมือรังวัดบางเครื่องจะให้เลือกใช้วัดแบบ 2D คือ พิกัดราบอย่างเดียว แต่ถ้าต้องการได้ตำแหน่ง 3D ต้องวัดจากดาวเทียม 4 ดวง

ขั้นตอนที่ 2 การวัดระยะจากดาวเทียม

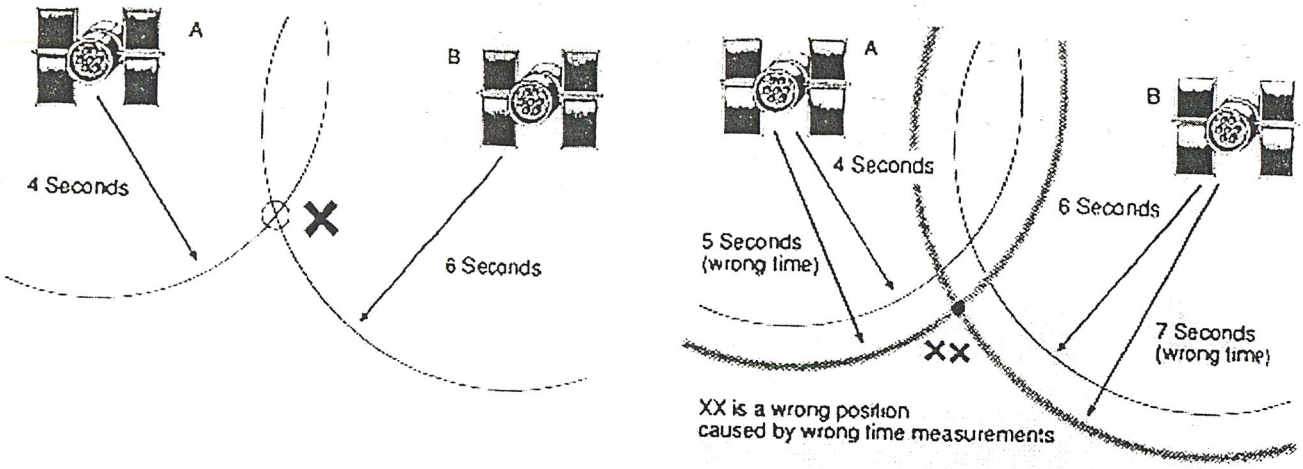
จากการที่ GPS ต้องรู้ระยะทางจากเครื่องรับถึงดาวเทียมจึงต้องมีวิธีการหาระยะ วิธีการหาระยะใช้สมการง่าย ๆ คือ อัตราความเร็วคูณด้วยเวลา ตัวอย่างเช่น ถ้ารถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. เวลา 2 ชม. รถยนต์จะเคลื่อนที่ได้เป็นระยะทางเท่าใด การคิดใช้ความเร็ว (60 กม./ชม.) ได้ระยะทาง (120 กม.) ระบบ GPS ทำงานเพื่อหาว่าสัญญาณวิทยุที่ส่งมาจากดาวเทียมจนถึงเครื่องรับใช้เวลาเดินทางนานเท่าใดแล้วนำเวลาที่หาได้มาคำนวณระยะทาง คลื่นวิทยุเดินทางด้วยความเร็วแสงคือ 186,000 ไมล์ต่อวินาที

ดังนั้นถ้าเรารู้เวลาแน่นอนที่ดาวเทียมเริ่มปล่อยสัญญาณวิทยุ และเวลาที่เราเริ่มรับสัญญาณนั้นได้ ก็จะได้เวลาที่คลื่นวิทยุเดินทาง ทำเวลาเป็นวินาทีคูณกับ 186,000 ไมล์ ก็จะได้ระยะทางจากเครื่องรับถึงดาวเทียม เราต้องได้ระยะเช่นนี้ 3 ค่า จากดาวเทียมสามดวง จึงจะนำมาหาตำแหน่งได้ เมื่อเป็นเช่นนี้แน่นอนนาฬิกาจะต้องเป็นนาฬิกาที่ดีมาก เพราะเวลาที่วัดได้จะต้องน้อยมากเพราะแสงเดินทางเร็วมาก โดยปกติถ้าดาวเทียมดวงที่ส่งสัญญาณอยู่เหนือศีรษะเราพอดีเวลาที่คลื่นวิทยุจะใช้เวลาเดินทางถึงเราเพียง 0.06 วินาทีเท่านั้น

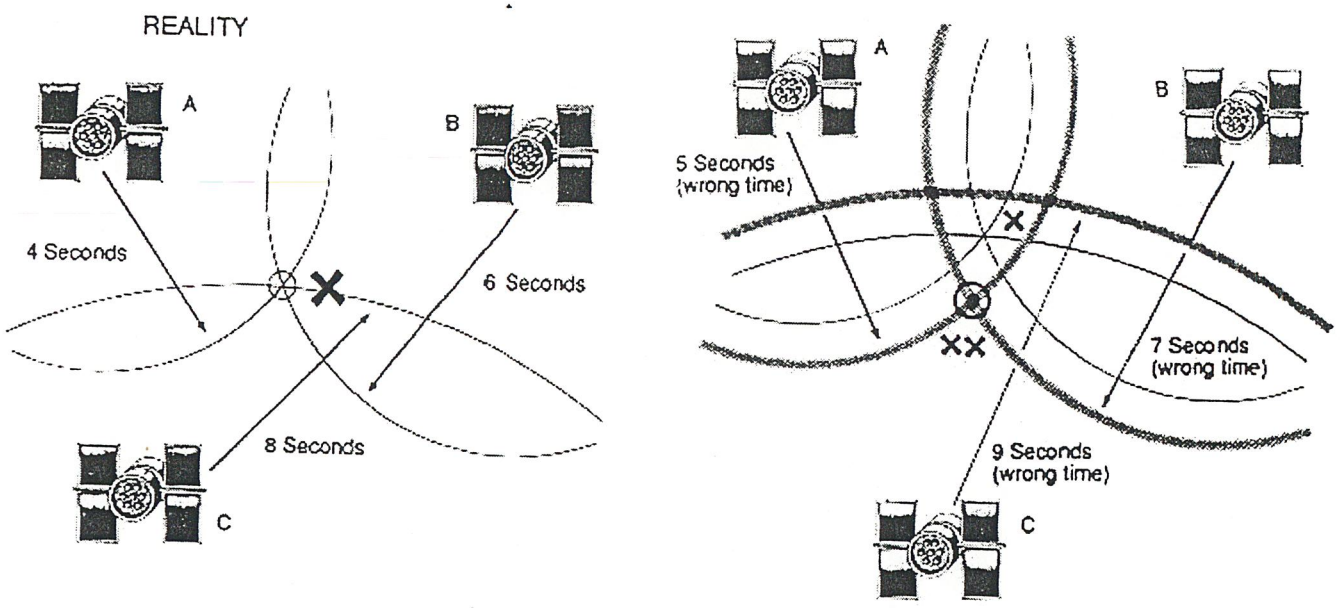
ด้วยเหตุนี้ GPS จึงได้นำเอาวิวัฒนาการทางอิเลคทรอนิคส์มาใช้เพื่อให้ได้ความถูกต้องของเวลาในระดับที่ GPS ต้องการ ต้องใช้นาฬิกาอิเลคทรอนิคส์ที่มีราคาแพงมาก ซึ่งให้เวลาที่ละเอียดถูกต้องสูง แต่ GPS จำเป็นต้องรู้เวลาที่ละเอียดยิ่งกว่ามาก นาฬิกาดาวเทียมจะอ่านเวลาได้เป็นนาโนเซคกัน หรือ 0.000000001 วินาที เรารู้เวลาที่สัญญาณเริ่มส่งจากดาวเทียมได้อย่างไร เคล็ดลับที่สำคัญในการหาเวลาการเดินทางของคลื่นวิทยุก็คือ ต้องรู้ว่าเวลาที่แน่นอนที่สัญญาณเริ่มออกเดินทางจากดาวเทียม ผู้ออกแบบเครื่อง GPS ใช้หลักการจำลองแบบสัญญาณที่ส่งจากดาวเทียม และสัญญาณที่อยู่ในเครื่องรับให้เป็นแบบเดียวกัน ดังนั้นเครื่องทั้งสองจะต้องสร้างรหัสในเวลาที่ตรงกัน (Pseudo Random Code) ดังนั้นสิ่งที่เราต้องกระทำก็คือการรอรับรหัสที่ดาวเทียมปล่อยออกมาและมองย้อนกลับไปว่าเครื่องของเราได้เริ่มสร้างรหัสที่มีรูปเหมือนกันแล้วเป็นเวลานานเท่าใด เวลาที่แตกต่างก็คือเวลาที่คลื่นวิทยุใช้เดินทางมาถึงเครื่องรับ ข้อดีของการใช้รหัสที่ส่งเป็นชุดหรือตัวเลขหลายตัวเราสามารถเปรียบเทียบหาตรงเวลาใดก็ได้ตามต้องการ ไม่จำเป็นต้องใช้เลขหนึ่งอย่างเดียว ใช้ตัวเลขคู่ใดก็ได้ รหัส Pseudo Random ใน GPS ไม่ใช่ตัวเลขตามตัวอย่างที่กล่าวมาทั้งในดาวเทียมและเครื่องรับจะสร้างชุดรหัสเชิงตัวเลขที่ซับซ้อน การที่ต้องสร้างให้ซับซ้อนก็เพื่อสามารถนำรหัสทั้งสองมาเปรียบเทียบกันได้ง่ายและไม่วุ่นวายและยังมีเหตุผลทางวิชาการประกอบด้วย รหัสซ้ำซ้อนนี้ทำให้มองเห็นเหมือนคลื่นวิทยุที่ต่อเนื่องกันยาวๆ

ขั้นตอนที่ 3 การได้เวลาที่ถูกต้อง

แสงเดินทางด้วยความเร็ว 186,000 ไมล์/วินาที จะเกิดอะไร ถ้าเครื่องรับนับเวลาคลาดไป 1/10 วินาที ผลคือการวัดเราจะผิดไปถึง 1,860 ไมล์ และเราจะรู้ได้อย่างไรว่าเครื่องรับและดาวเทียมได้สร้างรหัสตรงเวลาเดียวกันหรือไม่ ปัญหานี้สามารถอธิบายได้คือ ในดาวเทียมใช้นาฬิกาอะตอม ซึ่งจะให้เวลาที่ถูกต้องในดาวเทียมแต่ละดวงจะมีนาฬิกาอะตอมนี้ติดตั้งอยู่ถึง 4 เครื่อง ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าจะต้องใช้เวลาจากนาฬิกาเครื่องใดเครื่องหนึ่งอย่างแน่นอน นาฬิกาอะตอมไม่ได้เดินด้วยพลังงานอะตอม ที่ให้ชื่ออะตอมเพราะว่าใช้การวัดจังหวะจากอนุภาคของสารเฉพาะ เหมือนเครื่องเคาะจังหวะ อะตอมนี้จะให้เวลาที่แน่นอนและถูกต้องที่สุดที่มนุษย์เราได้ประดิษฐ์มา ดังนั้นถ้านาฬิกาบอกเวลาเที่ยง 12.00 น. ก็หมายถึงเวลาเที่ยง 12.00 จริง โชคดีที่มีวิธีให้หาเวลาได้ถูกต้องใช้งานได้ทั้งที่เครื่องรับ GPS ติดนาฬิกาที่มีความถูกต้องธรรมดาเท่านั้น และวิธีนั้นก็คือ จะต้องทำงานวัดระยะจากดาวเทียม สำหรับกรณีนี้เพิ่มอีกหนึ่งดวงเพื่อใช้ในการปรับแก้เวลาของเครื่องรับที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นเพียงแนวคิดที่ธรรมดา เป็นฐานข้อมูลของการทำงานของเครื่อง GPS (ดูรูปที่ 2-4 ประกอบ) จะแสดงให้เห็นว่าการวัดระยะจากดาวเทียมเพิ่มอีกหนึ่งดวงช่วยได้อย่างไร



รูปที่ 2-7 แสดงการทำงานของระบบ GPS



รูปที่ 2-8 แสดงการทำงานของระบบ GPS

สมมติว่า นาฬิกาในเครื่องรับส่วนใหญ่เป็นควอทซ์ไม่เที่ยงตรงเท่ากับนาฬิกาอะตอม โดยนาฬิกาเครื่องรับเดินช้า 1 วินาที ดังนั้นตัวเครื่องบอกเวลาเที่ยง เวลาจริงก็จะเป็น 12:00:01 น. ปกติเราใช้หน่วยวัดระยะไมล์หรือกิโลเมตร แต่เนื่องจากระยะทางคำนวณจากเวลา ดังนั้นจะใช้เวลาแทนระยะทาง ซึ่งจะช่วยให้เห็นความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาได้ชัดขึ้น สมมุติความจริงเราอยู่ห่างจากดาวเทียม A เป็นเวลา 4 วินาที และห่างจากดาวเทียม B เป็นเวลา 6 วินาที ในแบบรูปสองมิติ หาเส้นตัดกันได้ สมมุติตัดกันได้ X ดังนั้นที่ X คือตำแหน่งที่เราอยู่จริงซึ่งเราควรจะได้ ถ้านาฬิกาทำงานถูกต้อง แต่ถ้านาฬิกาเครื่องรับช้าไป 1 วินาที เครื่องรับก็จะบอกระยะจาก A 5 วินาที และระยะจากดาวเทียม B 7 วินาที และมีเส้นตัดกันที่จุด XX ดังนั้นที่ XX ตำแหน่งที่เครื่องรับจะบอกเวลา และถ้าเราไม่มีวิธีที่จะรู้ว่าเครื่องรับเดินช้า ก็ต้องถือว่าตำแหน่งที่

ได้ถูกต้องแล้ว แต่ระยะที่ได้อาจคลาดเคลื่อนเป็นกิโลเมตรก็ได้ และเราจะรู้ว่าไม่ถูกต้องก็เมื่อเราเดินตามที่เครื่องบอกแล้วจุดนั้นไม่ตรงกับความเป็นจริง เช่น เข้าไปในภูเขาหิน แต่ในการคำนวณจะไม่แสดงให้เรารู้ได้เลย ตามหลักวิชาตรีโกณเพื่อหาตำแหน่ง ต้องวัดระยะทางเพิ่มอีกหนึ่งเส้นตามรูปสองมิติที่แสดงเป็นระยะจากดาวเทียมเป็นดวงที่สาม สมมติว่าถ้าระยะจริงจากดาวเทียม C 8 วินาที จะเห็นวงกลมทั้งสามวงตัดกันตามรูป ต่อไปขอให้เราเพิ่มระยะทางของรัศมีแต่ละวงอีกหนึ่งวินาทีตามค่าช้าของนาฬิกาแสดงในรูปด้วยเส้นประ จะเป็นระยะเทียม (Pseudo Range) ที่เกิดจากการที่นาฬิกาเดินช้า คำว่า Pseudo Range ที่ใช้ในวงกลม GPS เพื่อบอกว่าระยะนั้นยังมีค่าผิดพลาดอยู่ (ปกติค่าความผิดพลาดเกิดจากเวลา) จากภาพจะสังเกตเห็นว่าวงกลมจากดาวเทียม A ดาวเทียม B ตัดกันที่จุด XX แต่วงกลมจากดาวเทียม C จะไม่ตัดตรงจุดเดียวกัน ดังนั้นจึงไม่มีจุดที่จะเกิดขึ้นได้จริง จากการที่ระยะห่างจากดาวเทียม A 5 วินาที ดาวเทียม B 7 วินาที และดาวเทียม C 9 วินาที ภายในเครื่องรับ GPS จะมีโปรแกรมที่จะนำเอาชุดของการวัดที่ไม่สมบูรณ์มาคำนวณ และหาค่าที่นาฬิกาเดินคลาดเคลื่อนมาปรับแก้ให้ถูกต้อง ดังนั้นคอมพิวเตอร์จะเริ่มทำการลบ (หรือบวก) เวลาให้กับทุก ๆ การวัดโดยเท่า ๆ กัน จนกว่าจะได้ค่าคำตอบที่ทุก ๆ ระยะมาตัดกันที่ตำแหน่งเดียวกัน ด้วยโปรแกรมก็จะพบว่าโดยการลบเวลาหนึ่งวินาทีออกจากระยะที่วัดได้ ก็จะทำให้วงกลมทั้งสามตัดกันที่จุดเดียวกัน จึงได้ว่านาฬิกาเดินช้าไป 1 วินาที ความจริงในการคำนวณหาคำตอบในคอมพิวเตอร์ใช้การหาจากสมการพีชคณิต 4 สมการ สำหรับหาค่าที่ต้องการรู้ 4 ค่านั่นเอง และก็จะได้ค่าที่ต้องแก้เวลาของนาฬิกาได้ แนวคิดก็เหมือนเดิมคือการที่รับสัญญาณจากดาวเทียมเพิ่มอีกหนึ่งดวง สามารถขจัดความคลาดเคลื่อนของเวลาที่เกิดจากนาฬิกาเดินไม่ถูกต้องได้ การวัดหาค่าแบบ 3 มิติ ต้องการใช้ดาวเทียม 4 ดวง แบบ 3 มิติ ได้ค่าการวัดถึง 4 ค่าเพื่อจะได้กำจัดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น เพราะว่าเวลาทำงานจะต้องตรวจดูเวลาในตารางดาวเทียมเพื่อสามารถวัดหาตำแหน่งได้ถูกเวลานั้นต้องมีดาวเทียมขึ้นอยู่อย่างน้อย 4 ดวง ระบบ GPS เมื่อการปล่อยดาวเทียมครบถ้วนก็จะมีดาวเทียมใช้งานได้ 24 ดวง ดังนั้น จะมีดาวเทียมมากกว่า 4 ดวง บนท้องฟ้าเสมอทุกตำแหน่ง ตอนที่ดาวเทียม GPS ยังไม่ปล่อยให้ครบ บางคนใช้ GPS ผสมกับระบบอื่น ๆ เช่น ระบบ LORAN ซึ่งจะให้ความถูกต้องใกล้เคียงกับ GPS การทำเช่นนี้โดยการใช้ดาวเทียม GPS เป็นจุดบังคับให้ระบบ LORAN การออกแบบเครื่องรับ GPS จะต้องทำให้สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ 4 ดวงด้วย โดยมีหลักอยู่ว่า ถ้าต้องการให้เครื่องแสดงผลการวัดต่อเนื่อง และเป็นแบบทันทีทันใด(Real Time) เครื่องรับต้องมีช่องรับสัญญาณ 4 ช่อง โดยช่องรับสัญญาณหนึ่งช่องจะรับสัญญาณจากดาวเทียมแยกแต่ละดวงจึงสามารถรับสัญญาณ 4 ดวงในเวลาพร้อมกันได้ ในการใช้งานบางครั้งก็ไม่ต้องการความถูกต้องและแสดงผลรวดเร็วทันที กรณีนี้ เรื่องรับสัญญาณช่องเดียวอาจเป็นการเพียงพอ เครื่องรับที่มีช่องรับสัญญาณช่องเดียวจะทำการรับดาวเทียม 4 ดวงได้โดยการจัดลำดับเรียงการรับสัญญาณจากดาวเทียมจนครบ 4 ดวง แล้วจึงนำค่ามาคำนวณผลเวลาที่ใช้ในการรับและการคำนวณนี้ อาจใช้เวลาระหว่าง 2 - 30 วินาที ซึ่งในบางครั้งก็เร็วพอเพียงแล้ว แต่เครื่องรับประเภทนี้จะทำงานในการหาความเร็วได้ไม่ดี การใช้หาความเร็วเป็นการใช้ประโยชน์อย่างหนึ่งของเครื่อง GPS เครื่อง GPS สามารถแสดงความเร็วในการเดินทางได้ถูกต้องมาก และในขณะที่ทำการรับสัญญาณจากดาวเทียมอยู่นั้น ถ้าเครื่องรับมีการเคลื่อนไหว เครื่องรับประเภท 1 ช่องสัญญาณมีผลทำให้การวัดเกิดความผิดพลาดได้มากข้อเสียอีกประการหนึ่งของเครื่องรับสัญญาณช่องเดียวเกิดขึ้น เมื่อดาวเทียมส่งรายงานสภาพระบบ (System Condition Message) สำหรับการเปลี่ยนรับดาวเทียมดวงใหม่ ซึ่งต้องใช้เวลา

ติดต่อถึง 30 วินาที ขณะนั้นจะทำให้เครื่องไม่สามารถทำงานคำนวณบอกทิศทางได้ ที่นิยมใช้ก็คือเครื่องรับที่มี 2 ช่องรับสัญญาณ ช่องหนึ่งจะทำการวัดคำนวณหาเวลา ในขณะที่อีกช่องหนึ่งพยายามจับคลื่นวิทยุจากดาวเทียมดวงต่อไปที่จะทำการวัด เมื่อช่องแรกวัดเสร็จก็สามารถเปลี่ยนไปรับสัญญาณดาวเทียมดวงใหม่ได้ทันทีโดยไม่ต้องเสียเวลาในการค้นหาและรับสัญญาณดาวเทียมอีกช่องที่สองจึงทำหน้าที่คล้ายกับผู้ดูแลทำความสะอาดบ้าน และค้นหาดาวเทียมดวงต่อไปที่จะรับสัญญาณต่อและเมื่อไม่ใช้สำหรับการจับดาวเทียม ช่องที่สองก็สามารถทำงานในการวัดหาเวลาได้ เช่นเดียวกันวิธีการสองช่องรับสัญญาณนี้ช่วยให้การรับสัญญาณเรียงดาวเทียมได้เร็วขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และวิธีนี้เครื่องสามารถแสดงตำแหน่งที่คำนวณได้เร็ว ซึ่งเรียกว่าการ Updating Position ประโยชน์อีกประการหนึ่งก็คือ เครื่องรับสองช่องสามารถให้โปรแกรมรับดาวเทียมได้มากกว่า 4 ดวงก็ได้ ดังนั้น ในขณะทำงานบอกทางอาจมีดาวเทียมดวงหนึ่งดวงใดรับสัญญาณขาดหายไป ก็จะสามารถใช้ดาวเทียมนี้สำรองใช้แทนโดยไม่ให้การนำทางขาดตอน

ขั้นตอนที่ 4 ต้องรู้ตำแหน่งของดาวเทียมก่อน

ตามที่กล่าวมาทั้งหมดเราสมมติว่ารู้ตำแหน่งของดาวเทียมมาแล้ว จึงสามารถสร้างรูปสามเหลี่ยมขึ้นมาได้ แต่เราจะรู้ตำแหน่งของดาวเทียมที่อยู่สูงถึง 11,000 ไมล์ ได้อย่างไร ความสูงเช่นนี้จะไม่ทำให้มีคลื่นรหัสจากโลกไปรบกวนได้ วัตถุที่อยู่สูงขึ้นไปเช่นนี้ผ่านพ้นจากชั้นบรรยากาศของโลก หมายความว่าวงโคจรดาวเทียมรอบโลกแสดงได้ด้วยสมการคณิตศาสตร์ ธรรมดาเหมือนกับดวงจันทร์ที่หมุนรอบโลกเป็นเวลาล้านๆ ปี โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดาวเทียม GPS เดินตามวงโคจรตามแนวที่กำหนดไว้แน่นอนกองทัพอากาศสหรัฐมีหน้าที่นำดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรตามแผนที่กำหนดไว้ในโครงการ และเนื่องจากในอวกาศว่างเปล่าไม่มีแรงเสียดทาน ดาวเทียมก็จะโคจรอยู่ในวงที่แน่นอนตามกำหนด วงโคจรของดาวเทียมแต่ละดวงถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าแล้ว และเครื่องรับ GPS สามารถรับตารางดาวเทียมไว้ในหน่วยความจำคอมพิวเตอร์ได้ ตารางดาวเทียมจะบอกได้ว่าในท้องฟ้าจะมีดาวเทียมดวงไหนขึ้นลงเวลาใดบ้างมีการติดตามการโคจรของดาวเทียมทุกดวงอย่างสม่ำเสมอแน่นอน สมการวงโคจรของดาวเทียมจะต้องถูกต้องตามตัวเลขของมันเองอยู่แล้ว แต่เพื่อให้ทุกอย่างถูกต้องสมบูรณ์ กระทรวงกลาโหมสหรัฐจึงต้องทำการติดตามการโคจรของดาวเทียมทุกดวงอย่างสม่ำเสมอการที่ต้องติดตามดาวเทียมนี้เป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ต้องสร้างดาวเทียม GPS ให้หมุนเร็วกว่าการหมุนของโลก ดาวเทียมหมุนรอบโลกทุก 12 ชั่วโมง และจะโคจรผ่านสถานีติดตามดาวเทียมของ DoD วันละ 2 ครั้ง ซึ่งทำให้สถานีติดตามนี้สามารถวัดความสูง ตำแหน่ง และความเร็วของดาวเทียมได้อย่างถูกต้อง ความแปรเปลี่ยนของวงโคจรที่สถานีติดตามค้นหาก็คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของอีฟีเมอริส (Ephemeris Error) ปกติจะมีขนาดน้อยมากโดยเกิดจากแรงดึงดูดของดวงจันทร์และดวงอาทิตย์ และเกิดจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่มีต่อดาวเทียม เมื่อ DoD วัดหาตำแหน่งดาวเทียมได้ ค่าตำแหน่งใหม่นี้ก็จะถูกส่งกลับเข้าไปบันทึกไว้ในดาวเทียมอีก ดาวเทียมดวงนั้นก็จะส่งค่าแก้นี้พร้อมกับข่าวสารเวลาให้เครื่องรับ ข้อสำคัญคือ ดาวเทียม GPS ไม่เพียงแต่ส่งรหัส Pseudo Random สำหรับการหาเวลาเท่านั้น แต่ส่งข่าวสารข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของวงโคจรและค่าความสมบูรณ์ของระบบด้วยเครื่องรับ GPS ใช้ข่าวสารข้อมูลนี้ควบคู่กับข้อมูลตารางดาวเทียมในเครื่องรับในการคำนวณตำแหน่งที่ถูกต้องของดาวเทียม

ขั้นตอนที่ 5 การช้าของสัญญาณในการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ

เราทราบแล้วว่าในระบบ GPS ได้จัดทำทุกส่วนให้ได้ความถูกต้อง เช่น ใช้นาฬิกาอะตอมในดาวเทียม และมีการวัดระยะเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งระยะเพื่อใช้ขจัดความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาในเครื่องรับ และข้อความส่งจากดาวเทียมจะมีรายงานค่าปรับแก้วงโคจรทุกนาที แต่ก็ยังมีสาเหตุของความคลาดเคลื่อนอีกสองสามประการที่กำจัดได้ยาก ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดเห็นได้ชัดที่สุด เกิดจากบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งเป็นชั้นของอนุภาคประจุไฟฟ้า อยู่สูงจากโลกระหว่าง 80-120 ไมล์ อนุภาคเหล่านี้มีผลต่อความเร็วของแสง และความเร็วของสัญญาณวิทยุจากดาวเทียม GPS เช่นกัน บางคนอาจคิดว่าความเร็วของแสงเป็นค่าคงที่อยู่ตลอดเวลา แต่แสงเดินทางด้วยความเร็วคงที่เมื่ออยู่ในสุญญากาศ ซึ่งอยู่ในชั้นอวกาศที่สูงมาก แต่เมื่อแสงหรือสัญญาณวิทยุเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่น เช่น ชั้นที่มีอนุภาคประจุไฟฟ้าที่หนาหลายไมล์ย่อมทำให้ความเร็วลดลงบ้าง และการที่คลื่นวิทยุเดินทางช้าลงนี้จะทำให้ระยะที่ได้ไม่ถูกต้อง ถ้าหากว่าใช้ความเร็วของแสงคงที่ มีสองวิธีที่จะใช้ลดความคลาดเคลื่อนของระยะทางจากการที่สัญญาณเดินทางช้า ทางที่หนึ่งเราต้องรู้ค่าความแปรเปลี่ยนเฉลี่ยรายวันตามสภาพบรรยากาศชั้นไอโอเฟียร์ความหนาแน่นปานกลางจึงสามารถนำมาเป็นค่าแก้กับทุกค่าที่วัดได้ ซึ่งได้ความถูกต้องสูงขึ้น แต่สภาพอากาศตามความเป็นจริง จะไม่คงที่ปานกลางตลอดเวลา ดังนั้น การนำค่าเฉลี่ยมาใช้ จะไม่ถูกต้องทั้งหมด อีกทางหนึ่งโดยการวัดหาค่าความแปรความเร็วของสัญญาณวิทยุ โดยการวัดความเร็วสัมพัทธ์ของสัญญาณสองแบบที่ส่งมาจากดาวเทียมพร้อมกัน วิธีการนี้เป็นแขนงวิชาฟิสิกส์ที่ผู้ศึกษาจำนวนน้อยมีแนวคิดพื้นฐานดังนี้ เมื่อแสงผ่านชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์จะเดินทางช้าลงเป็นอัตราส่วนกลับกับความถี่ของสัญญาณยกกำลังสอง ถ้าความถี่ยิ่งต่ำการเดินทางจะยิ่งช้าลง วิธีนี้ใช้การเปรียบเทียบเวลาที่สัญญาณจาก GPS ที่มีความถี่ต่างกันเดินทางถึงเครื่องรับก็จะได้ค่าเวลาที่คลื่นเดินทางช้าไป วิธีการแก้แบบนี้มักใช้กับเครื่อง GPS ที่มีความละเอียดถูกต้องสูง ที่เรียกว่าเครื่องรับความถี่คู่ (Dual Frequency) จะช่วยขจัดค่าความคลาดเคลื่อนจากไอโอโนสเฟียร์ได้เป็นส่วนมากหลังจากเดินทางผ่านบรรยากาศ ชั้นไอโอโนสเฟียร์ซึ่งอยู่สูงกว่า ก็ถึงชั้นบรรยากาศโลกที่มีละอองไอน้ำในอากาศซึ่งมีผลต่อความเร็วของสัญญาณเช่นกันดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนจึงเกิดเช่นเดียวกับที่เกิดในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์แต่ค่าคลาดเคลื่อนดังกล่าวยังไม่มีการปรับแก้ได้ซึ่งรวมอยู่ในค่าความคลาดเคลื่อนรวมของการบอกตำแหน่งโดยเครื่อง GPS เป็นระยะประมาณ 25 เมตรเท่านั้น ยังมีสาเหตุอื่นที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้อีก ได้แก่ ความเที่ยงของนาฬิกา นาฬิกาอะตอมในดาวเทียมที่ว่าถูกต้องมากแล้ว ก็ยังมีความคลาดเคลื่อนได้เหมือนกับ DoD ติดตามความเที่ยงของนาฬิกาอะตอมและทำการปรับแก้แต่ก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างเล็กน้อย ซึ่งอยู่ในความคลาดเคลื่อนรวมของเครื่อง GPS เช่นเดียวกัน เครื่องรับที่ตั้งอยู่บนพื้นดินก็มีส่วนทำให้ผิดพลาดได้เช่นกัน การคำนวณทางคณิตศาสตร์ในโปรแกรมของเครื่องทำให้ต้องเลือกตัดค่าสังเกตบางค่าทิ้ง บางครั้งเมื่อถูกรบกวนด้วยคลื่นวิทยุ อาจทำให้รหัส Psudo Random มีลักษณะผิดเพี้ยนทำให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำงานไม่ถูกต้อง ความคลาดเคลื่อนอาจมีขนาดเล็กมากหรือขนาดใหญ่มากก็ได้ ค่าที่ใหญ่ก็สามารถรู้ได้ง่ายกว่าเพราะเห็นได้ชัด แต่ถ้ามีค่าเล็กน้อยก็เป็นการยากที่จะหาได้พบ ความคลาดเคลื่อนแบบนี้มีผลทำให้การบอกตำแหน่งผิดไปประมาณ 0.5 ถึง1เมตร

ความคลาดเคลื่อนอีกอย่างหนึ่งที่ได้เกิดจากดาวเทียมและเครื่องรับก็คือ Multi-path Error ความคลาดเคลื่อนจากจำนวนเส้นทางที่มีมากกว่า 1 เส้นทาง เกิดจากการที่สัญญาณที่ส่งจากดาวเทียมตกกระทบไปยังวัตถุอื่นแล้วจึงสะท้อนเข้าเครื่องรับสัญญาณส่วนนี้ไม่เป็นสัญญาณจากดาวเทียมมีผลต่อการรับเหมือนกับที่เกิดกับการรับสัญญาณทีวีเช่นเดียวกัน คือทำให้เกิดภาพพร่าซ้อนให้เห็นบนจอ GPS รุ่นใหม่ ใช้วิธีการประมวลผลที่ดีขึ้น และการใช้เสาอากาศที่ป้องกันสัญญาณซ้อนได้ แต่ในบางครั้งถ้าเกิดรุนแรงมาก ก็จะมีผลต่อการวัด GPSได้เหมือนกัน สาเหตุของการเกิดการคลาดเคลื่อนทั้งหมดที่กล่าวมาเป็นผลทำให้การวัด GPS ไม่แน่นอน ซึ่งความหมายว่าแทนที่จะกล่าวว่าของอยู่ห่างไป 10 ฟุต (3.5 เมตร) พอดี ต้องกล่าวว่าของอยู่ห่างไป 10 ฟุต บวกหรือลบเศษหนึ่งส่วนสิบนิ้ว เป็นต้นหรือเปรียบเทียบให้เห็นได้อีกอย่างเช่นเหมือนกับเรากำลังใช้ไม้บรรทัดที่ปลายข้างที่ใช้วัด หักหรือลบไป ทำให้ไม่สามารถบอกระยะที่แน่นอนที่เดียวได้ แต่ยังดีที่มีค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดรวมกันแล้วก็จะมีไม่มาก ผลการใช้ GPS จะบอกตำแหน่งได้ถูกต้องอยู่ในระยะไม่เกิน 25 เมตร และจะถูกต้องยิ่งขึ้นถ้าเครื่องรับคุณภาพดี เพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องที่ดีที่สุด เครื่องรับที่ดีจะใช้หลักการของวิชาเรขาคณิต ที่เรียกว่า Geometric Dilution of Precision (GdoP) ซึ่ง GdoP เป็นค่าที่ชี้ให้เห็นความถูกต้องของตำแหน่งที่เครื่องรับ GPS แสดงให้เห็นโดยค่าตำแหน่งที่คำนวณได้มาจากการหาระยะจากดาวเทียมหลายดวง ลักษณะการประกอบรวมกลุ่มของดาวเทียมรูปเรขาคณิตหรือขนาดของมุมของดาวเทียมแต่ละดวงภายในกลุ่ม จะมีส่วนทำให้ความคลาดเคลื่อนเพิ่มหรือน้อยลงได้ เหมือนกับคนเล่นสนุกเกอร์ที่ต้องเลือกลูกที่มีมุมแทงลูกให้ลงหลุมได้ง่าย ซึ่งบางลูกอยู่ในมุมที่ดีแทงได้เต็มลูก บางลูกต้องแทงบางมากอาจผิดได้ ดูจากรูปจะเห็นว่าผลที่เกิดจาก GdoP ระยะที่วัดได้อยู่บนเส้นวงกลมที่ดาวเทียมเป็นจุดศูนย์กลาง และเนื่องจากระยะที่วัดได้มีขนาดไม่แน่นอนเส้นรอบวงจึงเป็นเส้นหนา เช่น ระยะแทนที่จะเป็น 10,000 ไมล์ ก็จะเป็นรัศมีระยะ 10,000 +/- 0.001 ไมล์ (9,999.999 ถึง 10,000.001 ไมล์) ดังนั้นเวลาวาดเส้นรอบวงจะมีความกว้างเป็นแถบ ขนาด 0.002 ไมล์ ดังนั้น ตำแหน่ง X ที่เราเคยใช้เป็นแถบสี่เหลี่ยม "X" หรืออาจพูดได้ว่าเนื่องจากผลลัพธ์ไม่แน่นอนตำแหน่งจึงไม่อยู่เป็นจุด แต่จะอยู่ในที่หนึ่งที่ใดก็ได้ในแถบสี่เหลี่ยมนี้ ดังนั้น GDoP จะได้มาจากมุมระหว่างดาวเทียมที่จะทำให้เกิดรูปแถบสี่เหลี่ยมขึ้น รูปสี่เหลี่ยมที่เกิดขึ้นอาจสวยงามดีได้ฉาก หรือยืดยาวและโตก็ได้ สรุปได้ว่าถ้าจะให้ได้ผลดีควรจะเลือกวัดจากกลุ่มดาวเทียมที่มุมระหว่างดาวเทียมมีขนาดโต ด้วยเหตุนี้ในเครื่องรับ GPS จะมีโปรแกรมให้วิเคราะห์ตำแหน่งของดาวเทียมที่อยู่บนท้องฟ้า และเลือกวัดจากชุดดาวเทียม 4 ดวง ที่มีค่า GdoP ดีที่สุด ในเครื่องรับประเภทละเอียดก็จะเลือกวัดจากดาวเทียมที่เห็นในท้องฟ้าขณะนั้น โดยวิธีนี้จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนจาก GdoP เหลือน้อยที่สุด

2.4) ประเภทของเครื่องรับสัญญาณ GPS แบ่งออกได้ ดังนี้

2.4.1) เครื่องรับแบบเรียงลำดับสัญญาณดาวเทียม หรือ เครื่องที่มีการรับดาวเทียมโดยการเรียงลำดับ ปกติเครื่องรับ GPS จะต้องมีข้อมูลจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง จึงสามารถคำนวณหาตำแหน่งที่ได้ เครื่องรับที่ใช้เรียงลำดับใช้ช่องรับสัญญาณเพียงช่องเดียว รับข้อมูลจากดาวเทียมดวงหนึ่งระยะหนึ่งแล้วเปลี่ยนไปยังอีกดวงหนึ่ง เครื่องประเภทนี้จะมีแผงวงจรเล็ก ดังนั้นจึงมีราคาถูกกว่าและใช้กำลังน้อยกว่า ข้อเสียของการเรียงลำดับสัญญาณอาจเกิดขาดตอนและทำให้มีผลต่อความถูกต้องของผลที่ได้ ในกลุ่มนี้จะมี "Starved Power" Single-Channel Receivers, Two Chanel Receivers, และเครื่องแบบเก่า Fast-Multiplexing Single Receivers

2.4.1.1) Starved-Power Single Receivers เครื่องแบบนี้ออกแบบให้พกพาได้และสามารถทำงานได้ด้วยถ่านไฟฉายขนาดเล็ก การจำกัดการใช้กระแสไฟโดยให้ปิดการทำงานตัวเองโดยอัตโนมัติ เมื่อแสดงตำแหน่งครั้งสองครั้งใน 1 นาที เหมาะสำหรับใช้งานบอกตำแหน่งส่วนตัว เช่น นักไต่เขาหรือแล่นเรือในเวลากลางวัน โดยไม่ต้องมีถ่านไฟฉายหลายก้อน นับว่าเป็นเครื่องที่ใช้การได้ สามารถให้ความถูกต้องที่ดีกว่าระบบ LORAN และทำงานได้ทุกที่บนโลก ข้อเสีย คือ ความถูกต้องของ GPS ไม่ดี และต่อเชื่อมกับอุปกรณ์อื่นไม่ได้ และไม่ สามารถใช้วัดหาความเร็วได้ การที่หาความเร็วไม่ได้ เนื่องจากต้องปิดเครื่องเองในระหว่างการวัด เพราะว่าเครื่องใช้แผงวงจรนาฬิกาที่กินไฟน้อย (นาฬิกาจะต้องเดินอยู่ตลอดเวลา) นาฬิกาที่ใช้จึงไม่ให้ความถูกต้องเท่าที่ควร

2.4.1.2) Single Channel Receivers เหมือนกับแบบค่าข้างบน เป็นเครื่องรับสัญญาณห้องเดียวใช้ทำงานหาระยะจากดาวเทียมทุกดวง แต่ที่ไม่เหมือนคือเครื่องรับช่องเดียวแบบมาตรฐานไม่จำกัดที่กำลังไฟ ดังนั้นจึงทำการรับต่อเนื่องได้ มีผลทำให้ความถูกต้องสูงกว่า และใช้วัดหาความเร็วได้จากที่มีเพียงช่องเดียวที่ต้องใช้ทั้งการรับข้อมูลดาวเทียมและคำนวณหาระยะ จึงไม่สามารถหาตำแหน่งต่อเนื่องได้ ยิ่งกว่านั้นตามเหตุผลของวิชาการ ความไม่เที่ยงตรงของนาฬิกามีผลโดยตรงต่อความถูกต้องของการวัดหาความเร็ว เครื่องราคาถูกบางชนิดใช้นาฬิการาคาถูกเพื่อให้ราคาเครื่องลดลง จึงทำให้ค่าความเร็วที่แสดงมาเชื่อถือไม่ได้

2.4.1.3) Fast-Multiplexing Single Receivers เครื่องประเภทนี้เหมือนกับเครื่องทั้งสองประเภทข้างบนซึ่งรับช้า แต่เครื่องรับนี้สามารถเปลี่ยนดาวเทียมได้เร็วกว่ามาก ข้อดี คือ สามารถทำการวัดได้ในขณะที่กำลังรับข้อมูลจากดาวเทียม ดังนั้นเครื่องทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และการที่มีนาฬิกาไม่เที่ยงจึงมีผลต่อเครื่องประเภทนี้น้อย เครื่องแบบนี้ต้องการใช้แผงวงจรที่ค่อนข้างซับซ้อนและราคาพอ ๆ กับเครื่องแบบสองช่องรับสัญญาณที่ใช้เครื่องซึ่งให้ความถูกต้องสูงกว่าและมีลักษณะการยืดหยุ่นการใช้งานได้ดีกว่า

2.4.1.4) Two-Channel Sequencing Receivers การเพิ่มช่องรับสัญญาณขึ้นอีกหนึ่งช่องช่วยให้เครื่องเพิ่มขีดความสามารถขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ข้อหนึ่งความแรงสัญญาณ Signal-to-Noise เป็นสองเท่าทันที หมายถึงสามารถจับสัญญาณภายใต้สภาวะที่ไม่ดีได้และสามารถรับดาวเทียมดวงที่อยู่ระดับต่ำใกล้เส้นขอบฟ้าได้ จากการที่ช่องหนึ่งสามารถรับข้อมูลตำแหน่งอย่างต่อเนื่องได้ในขณะที่อีกช่องหนึ่งค้นหาดาวเทียมดวงต่อไป เครื่องแบบสองช่องนี้จะทำงานแบบนำร่องได้โดยไม่ต้องมีการขาดตอน และความเร็วก็จะมีค่าที่ถูกต้องขึ้น ความจริงเครื่องรับสองช่องที่มีคุณภาพดีก็สามารถใช้คำนวณหาและตัดค่าที่เวลาของนาฬิกา

เครื่องรับไม่ดีทิ้งเพื่อใช้ในการวัดหาความเร็ว ข้อเสียของเครื่องแบบสองช่องคือ มีราคาสูงกว่าและกินไฟมากกว่า ในเครื่องรับรุ่นใหม่บ้างก็มักใช้แบบ IC ที่สามารถเพิ่มช่องรับสัญญาณที่สองในราคาที่ไม่ต่างกับราคานาฬิกาดี ๆ หนึ่งเรือน แต่กระนั้นเครื่องแบบสองช่องยังมีราคาแพงกว่าเครื่องแบบช่องเดียวมาก ทั้งนี้เนื่องจากผู้ใช้สองช่องมักต้องการความถูกต้องและต้องการเครื่องที่แข็งแรงและสามารถควบคุมสังเกตการณ์แสดงผลที่ดีกว่า

2.4.2) เครื่องรับที่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมพร้อมกันได้ตั้งแต่ 4 ดวงขึ้นไป (Continuous Receivers) และสามารถแสดงผลค่าตำแหน่งและความเร็วได้ทันที การรับดาวเทียมได้ทั้ง 4 ดวง พร้อมกับที่มีค่าในการวัดหาในขณะที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งรวดเร็วหรือต้องการความถูกต้องสูง ดังนั้นเครื่องแบบนี้จึงนำมาใช้ในงานรังวัดและทางด้านวิทยุ ซึ่งจะพบว่าจะมีช่องรับสัญญาณทั้ง 4 , 5 , 8 , 10 และ 12 ช่อง นอกจากข้อดีที่ใช้วัดตำแหน่งอย่างต่อเนื่องได้แล้ว เครื่องรับ GPS แบบหลายช่องสามารถช่วยขจัดปัญหา GDoP ได้อีกด้วย คือ แทนที่จะรับดาวเทียม 4 ดวงใดก็ได้ จะคำนวณหาค่า GDoP ดาวเทียม 4 ดวงของกลุ่มดาวเทียมที่ขึ้นอยู่ และทำการวัดจากดาวกลุ่มที่มีค่า GDoP ต่ำสุด เครื่องรับ 4 ช่องสัญญาณ สามารถให้ค่า Signal to Noise Ratio เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของเครื่อง 2 ช่อง และเป็นสี่เท่าของเครื่องรับแบบช่องเดียว และโดยการเปรียบเทียบค่าการรับของแต่ละช่อง เครื่องสามารถปรับตั้งค่าพิกัดเทียมระหว่างช่องรับสัญญาณซึ่งช่วยทำให้การวัดมีความถูกต้องดีขึ้น นอกเหนือ จากข้อดี ข้อเสียที่กล่าวแล้ว ยังมีข้ออื่นมาพิจารณาอีก คือ มีเครื่องแบบใหม่สามารถได้ค่าความถูกต้องสูงมาก โดยการใช้ทั้งรหัส Pseudo Random ที่กล่าวมาแล้ว และใช้ความถี่ของคลื่นพาห์ (Carrier Frequency) ซึ่งทำให้เครื่องรับทำงานมีความเที่ยงสูงที่ รหัส Pseudo Random ไม่สามารถให้ได้ และใช้ในการวัดหาเวลาได้แม่นยำ มากขึ้น ซึ่งช่วยในการบอกตำแหน่งได้ดีขึ้นด้วย และมีบางเครื่องที่ไม่ต้องใส่ค่าประมาณตำแหน่งและเวลา โดยประมาณ ให้เครื่องก่อนทำการวัด เครื่องรับแบบนี้ใช้ตัวเองใส่ค่าเริ่มตำแหน่งได้โดยตัวมันเอง ข้อที่ควรพิจารณา คือ การต่อเชื่อมกับอุปกรณ์อื่นและความสะดวกบางเครื่องแสดงได้เฉพาะพิกัดภูมิศาสตร์ บางเครื่อง ไม่สามารถต่อเข้ากับเครื่องมืออื่นหรือคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (PC) ได้ และข้อใหญ่ที่ต้องพิจารณา ความแข็งแรงทนทานถ้าต้องใช้เครื่องทำงานในพื้นที่ทะเล หรือในพื้นที่ป่าเขา การใช้ไฟและความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นตัวชี้สำคัญที่จะต้องเอาใจใส่ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าอัตราของค่าความผิดพลาดจะเพิ่มเป็นสองเท่าของความร้อนในเครื่องเพิ่มทุก7 องศาฟาเรนไฮต์ เครื่องรับรุ่นใหม่ปัจจุบันได้เพิ่มคุณค่าให้แก่เครื่องรับ GPS อีกหลายประการ เช่น ใช้การประมวลผลที่ซับซ้อน แสดงผลด้วยจอภาพรายละเอียด เครื่องรับ GPS อาจแสดงจุดตำแหน่งบนแผนที่ที่ได้วาดไว้แล้วให้เห็นทันที

2.5) รหัสสุ่มเทียม (Pseudo Random Code)

ท่านอาจมีข้อสงสัยว่าทำไมต้องใช้รหัส Pseudo Random ทำไมไม่รับสัญญาณวิทยุธรรมดา เช่น ดาวเทียม TV เป็นความจริงที่แนวคิดการสร้างรหัส Pseudo Random เป็นเรื่องปกปิดรู้เฉพาะไม่กี่คน แต่ระบบนี้ช่วยให้ระบบ GPS ทำงานได้ผลและราคาไม่แพง ซึ่งต่อไปท่านพูดได้ว่า โดยการใช้รหัส Pseudo Random จะทำ

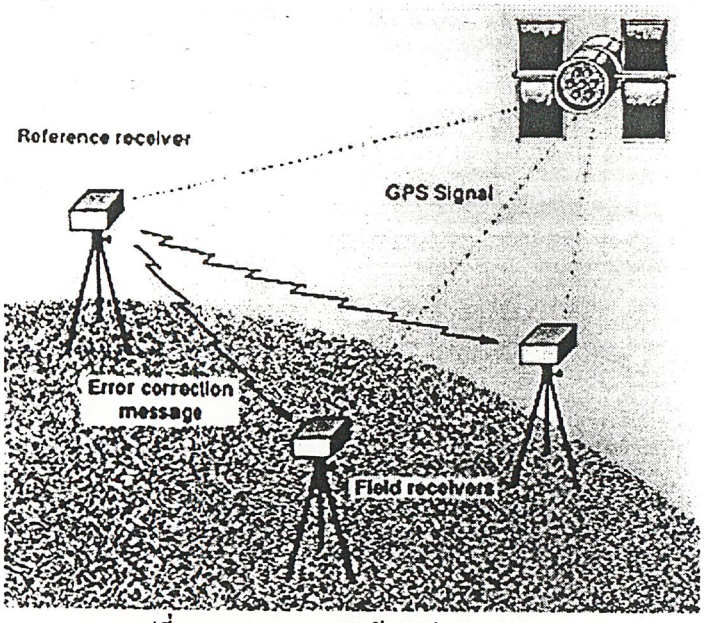
ให้ GPS กลายเป็นเครื่องใช้ทั่วไปที่ทุกคนใช้ได้ ก่อนหน้านี้ได้กล่าวถึงการทำงานโดยการใช้รหัส Pseudo Random มาแล้ว เครื่อง GPS สามารถหาเวลาที่ต่างกันระหว่างเครื่องรับกับดาวเทียมได้อย่างไร แต่นั่นเป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น เหตุผลที่สร้าง Pseudo Random code ก็คือการประหยัด จะเปรียบเทียบให้เห็นชัดต้องดูจากดาวเทียมทีวี ซึ่งกระจายเสียงด้วยสัญญาณกำลังแรงดีมาก แต่ส่วนเครื่องรับบนโลกยังต้องใช้จานรับดาวเทียมทรงโค้งกลมขนาดใหญ่ ลองนึกดูถ้าGPS ต้องใช้จานรับแบบเดียวกันจะต้องมีความเทอะทะขนาดไหน และยิ่งกว่านั้นดาวเทียมทีวีหยุดนิ่งบนท้องฟ้า แต่ดาวเทียม GPS โคจร ซึ่งต้องรับโดยหมุนไปหาตำแหน่งดาวเทียมทั้ง 4 ดวง จะต้องเป็นที่ยุ่งยากมากขึ้น การใช้ Pseudo Random ช่วยให้ลดความจำเป็นอื่นทั้งหมดในการส่งข้อมูล ดังนั้นการส่งสัญญาณ GPS จึงกินกำลังไฟน้อย และสัญญาณ GPS อ่อนมากที่ไม่รับเอาสัญญาณวิทยุรบกวนอื่นสัญญาณวิทยุรบกวนอื่นเกิดขึ้นเป็นคลื่นไม่เป็นรูปแบบ รหัส Pseudo Random ดูก็คล้ายคลื่นวิทยุรบกวนนี้มาก แต่มีข้อแตกต่างที่สำคัญคือ เรารู้รูปร่างของคลื่นแล้ว ถ้าหากว่านำเอาคลื่น Pseudo Random ไปเปรียบเข้ากับคลื่นวิทยุรบกวน การเปรียบเทียบจะแบ่งคลื่นออกเป็นช่วงเวลา ตามรูปให้ส่วนที่เหมือนกันเป็น "X" จะเห็นตามตัวอย่างจากที่คลื่นไม่มีรูปแบบแบบสุ่มโอกาสที่เกิดขึ้นได้เหมือนกันประมาณครึ่งหนึ่งถ้าเราให้ค่าคลื่นที่เหมือนกันเป็น 1 และที่ไม่เหมือนกันเป็น -1 จะพบว่าหลังจากเปรียบเทียบนาน ๆ จะได้ค่าสุดท้ายเป็น 0 แต่ถ้า GPS เริ่มส่งสัญญาณเข้าเครื่องรับที่มีรูปแบบเหมือนกับ Pseudo Random สัญญาณนี้ถึงแม้จะอ่อน จะถูกทำให้แรงขึ้นแล้วนำมาเปรียบเทียบกันได้และถ้าเราเลื่อนรหัสที่ส่งจากดาวเทียม เราก็จะได้คลื่นที่เข้ากันได้มากขึ้นและคะแนนก็จะมากขึ้นเรื่อยๆ ยิ่งเปรียบเทียบนานตัวเลขจะเพิ่มมากขึ้นและจากที่ผลการเปรียบเทียบให้ผลตรงกันข้ามคลื่นวิทยุรบกวนซึ่งจะมีค่าเกือบศูนย์ ช่วงเวลานี้จะส่งกำลังขยายให้แก่สัญญาณดาวเทียมมากขึ้นเป็นพันเท่า รหัส Pseudo Random ช่วยให้เราจับสัญญาณที่อ่อนมากได้ ซึ่งหมายถึงในเครื่อง GPS ไม่ต้องใช้ไฟมาก และมีวิธีการเพิ่มความแรงสัญญาณ เครื่องรับจึงใช้เสาอากาศขนาดเล็กได้ ทำไมดาวเทียมอื่นไม่ใช้วิธีนี้ ดาวเทียมทั่วไปต้องมีจานรับขนาดใหญ่มากติดตามบ้านที่เห็นทั่วไป ทั้งนี้เพราะสัญญาณ GPS มีข้อมูลน้อย ต้องการเพียงให้หาเวลาได้เท่านั้นตรงกันข้ามกับสัญญาณทีวีที่ข้อมูลมาก หรือถ้าพูดเชิงวิชาการก็ต้องว่าเป็นสัญญาณที่มีแถบกว้างสูงมาก หลักการของ Pseudo Random Code มีการทำงานในการเปรียบเทียบสัญญาณเหมือนกันหลาย ๆ รอบ การเปรียบเทียบนี้จะทำให้ช้าเมื่อเทียบกับแบบที่ต้องใช้สัญญาณทีวี ดังนั้นวิธีการ GPS จึงนำมาใช้กับดาวเทียม TV ไม่ได้

ยังมีเหตุผลอื่นอีกสองข้อของการใช้รหัส Pseudo Random ข้อหนึ่งคือในเวลาสงคราม DoD สามารถควบคุมไม่ให้ศัตรูใช้ระบบนี้ได้ ถึงแม้เวลาปกติ DoD ยังคงเป็นผู้พิเศษในการควบคุมระบบอยู่ดี รหัส Pseudo Random มี 2 แบบ คือ C/A code และ P-code ดังนั้น บางคนจึงคิดว่า C/A code นี่ถูกต้องน้อยกว่า P-code รหัส P-code เก็บไว้ใช้เฉพาะทางราชการทหารและ P-code นี้จะไม่เกิดการติดขัด DoD ยังสามารถลดความถูกต้องของ C/A code ได้ การทำโดยมาตรการ Selective Availibility หรือ S/A วิธี S/A ที่สำคัญก็คือการทำให้นาฬิกาดาวเทียมบอกเวลาคลาดเคลื่อน ถ้าใครนำเวลานี้ไปใช้ก็จะได้ตำแหน่งที่มีความคลาดเคลื่อนมาก ประโยชน์อีกข้อของ Pseudo Random คือ ดาวเทียมทุกดวงสามารถใช้คลื่นความถี่เดียวกันได้ โดยไม่เกิดการรบกวนต่อกัน ดาวเทียมแต่ละดวงจะมี Pseudo Random code เป็นของเฉพาะตัว ดังนั้นเวลาเครื่องรับนำรหัสมาใช้ต้องให้ถูกตามหมายเลขดาวเทียมนั้นด้วย

2.6) การวัดด้วยวิธีอนุพันธ์ (Differential) หรือ D-GPS คือ สุดยอดของความถูกต้อง

GPS เป็นเครื่องมือทำหน้าที่แสดงพิกัดบนโลกเราที่ถูกต้องที่สุดที่เคยมีมา แต่ยังมีวิธีการทำให้ถูกต้องได้ยิ่งขึ้นอีกโดยการใช้วิธีที่เรียกว่า "Differential GPS" แบบนี้จะทำให้ได้ความถูกต้องที่ดีกว่าหนึ่งเมตร และเป็นการนำเครื่อง GPS ไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้อีกด้วย GPS สำหรับการสำรวจรังวัด ช่างสำรวจได้ใช้ GPS มาเป็นเวลาหลายปีแล้วสำหรับการคำนวณหาตำแหน่งที่ถูกต้องเป็นเซนติเมตร วิธีการนี้เป็นส่วนที่ใช้วิธี Differential การวัดให้ความ ถูกต้องละเอียดมากนี้ จะต้องตั้งเครื่องเก็บข้อมูล GPS ที่สถานีเป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที จะต้องรู้ค่าจุดอ้างอิงหรือ Reference Point และใช้ซอฟแวร์คำนวณงาน การใช้ GPS ทำงานสะดวกและประหยัดช่างสำรวจคนเดียวสามารถทำงานที่ต้องใช้คนหลาย ๆ คน ได้ในเวลาเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการรังวัดแบบเดิม ไม่ต้องปีนเขาสูงที่เป็นที่ตั้งของหมุดในโครงข่ายสามเหลี่ยมเพื่อการส่องกล้องเล็งแนวให้ได้ระยะห่างไกล ๆ อีกต่อไป วิธีการรังวัดด้วย GPS แบบใหม่ ที่เรียกว่า Kinematics ซึ่งอยู่ในระหว่างการพัฒนาจะทำให้การทำงานเป็นแบบอัตโนมัติมากขึ้น ช่างสำรวจต้องทำเพียงเดินไปยังจุดที่ต้องการวัด แล้วกดปุ่มเท่านั้น เครื่อง GPS ก็จะบันทึกตำแหน่งที่วัดที่แน่นอนได้ เคล็ดลับของการที่ให้ความถูกต้องสูงนี้มีพื้นฐานมาจากแนวคิดที่เราวางเครื่อง GPS เครื่องหนึ่งไว้ที่จุดที่รู้ตำแหน่งบนโลกแล้ว (Reference Point) เราสามารถที่จะหาค่าความคลาดเคลื่อนของค่าตำแหน่งที่ได้จากดาวเทียมได้แน่นอน ดังนั้นที่จุดนี้ GPS ทำหน้าที่เหมือนจุดอ้างอิง และสามารถใช้ค่าปรับแก้เดียวกันนี้กับเครื่อง GPS ตัวอื่นที่อยู่บริเวณเดียวกันได้และสามารถนำไปใช้เป็นค่าแก้สำหรับการคำนวณตำแหน่งใช้เช่นเดียวกัน แนวคิดนี้ใช้การได้เพราะดาวเทียมอยู่สูงมากที่ค่าความคลาดเคลื่อนที่รับได้ในเครื่องรับเครื่องหนึ่งจะมีค่าเท่ากับค่าความคลาดเคลื่อนในเครื่องอื่นที่อยู่บริเวณเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณของดาวเทียมเป็นสัญญาณที่ธรรมดา ค่าตัวคงที่ตัวเดียวก็จะมีผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดสาเหตุอื่นไม่ว่าเกิดจากนาฬิกาเครื่องรับนาฬิกาดาวเทียม ตำแหน่งดาวเทียมหรือการที่สัญญาณเดินทางเข้าไปในชั้นบรรยากาศ รายงานผลคลาดเคลื่อนของเครื่องที่จุดอ้างอิงถูกส่งไปยังเครื่องรับอื่นได้ 2 รูปแบบ คือ วิธีการหนึ่งก็คือการส่งด้วยวิธีผ่านวิทยุหรือระบบสื่อสารไปที่เครื่องรับแล้วให้คอมพิวเตอร์ ประมวลตามความคลาดเคลื่อนที่จุดอ้างอิง เครื่องนั้นก็จะคำนวณหาตำแหน่งที่ถูกต้องได้ อีกวิธีหนึ่งโดยการเปลี่ยนเครื่องที่จุดอ้างอิงให้เป็นเหมือนดาวเทียมที่ส่งสัญญาณออกได้แบบเดียวกับดาวเทียมโดยการใช้ Pseudo Random Code แต่จะมีข้อมูลค่าแก้ในข่าวสารด้วย เครื่องรับที่จุดอื่นก็จะรับคลื่นจากดาวเทียมนี้ด้วยช่องรับสัญญาณที่ว่างอยู่ และนำไปแก้โดยวิธีเดียวกับที่ใช้แก้ค่าของอีฟีเมอริสที่รับได้จากดาวเทียมจริง ระบบนี้จะไม่มีข้อเสียในเรื่องสัญญาณรบกวน ซึ่งมีสภาวการณ์เช่นเดียวกับที่การรับสัญญาณจากดาวเทียม

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2-9 แสดงการวัดด้วยวิธี Differential

2.7) มาตรฐาน และ โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารของจีพีเอส

มาตรฐาน NMEA – 0183 หรือ โปรโตคอล NMEA 183

มาตรฐาน NMEA (The National Marine Electronics Association) คือ การอินเตอร์เฟสทางไฟฟ้า และโปรโตคอลการสร้างข้อมูล สำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์

ในมาตรฐาน NMEA-0183 ตัวอักขระที่ใช้ส่งข้อมูลคือ ASCII Text ใช้อัตราการส่งข้อมูล(Baud Rate) 4800 bps, 8 เดต้าบิต,ไม่มีพาริตี้บิต และมีหนึ่งสต็อปบิต โดยจะอยู่ในรูปของประโยค (Sentence) แต่ละประโยคเริ่มต้นด้วย ดอลล่าร์ซายน์ ($) ตัวอักษรที่ตามมาอีก 2 ตัวคือ Talker ID หรือ Device ID เช่น "GP" ใช้เพื่อบ่งชี้ว่าเป็นข้อมูล GPS ตัวอักษรที่ตามมาอก 3 ตัวคือ Sentence ID หรือตัวกำหนดรูปแบบประโยค (Sentence Formatter) หรือจะเรียกว่าชื่อประโยค (Sentence Name) ตามมาด้วยฟิลด์ข้อมูลจำนวนหนึ่ง ซึ่งถูกแบ่งแยกด้วยเครื่องหมายคอมม่า (comma) และสิ้นสุดด้วยเช็คซัม (Checksum) ที่สามารถเลือกได้ว่าจะมีหรือไม่ และจบลงด้วย แคเรียรีเทิร์น (Carriage Return/Line Feed : CR/LF) ประโยคอาจจะมีตัวอักษรถึง 82 ตัวรวมกับ $ และ CR/LF แล้ว

ถ้าข้อมูลสำหรับฟิลด์ไม่สามารถหาค่าได้ ฟิลด์จะถูกเว้นข้ามไป แต่คอมม่าซึ่งทำหน้าที่แบ่งฟิลด์ยังคงถูกส่งไปโดยไม่เว้นช่องว่าง เพราะในแต่ละฟิลด์มีความยาวไม่คงที่หรือไม่มีข้อมูล เครื่องรับจะระบุตำแหน่งของฟิลด์ข้อมูลที่ต้องการโดยการนับเครื่องหมายคอมม่า เช็คซัมที่เลือกได้ว่าจะมีหรือไม่จะประกอบด้วย "*" และสองบิตของเลขฐานสิบหก (2 hex digits) แทนการ Exclusive OR ของตัวอักษรทั้งหมด แต่ไม่รวม "$" และ "*" ในการใช้งานจะมีความต้องการใช้เช็คซัมในบางประโยค

50215

ส่วนโปรโตคอล NMEA 183 คือโปรโตคอล มาตรฐาน ถูกนำมาใช้โดยเครื่องรับ GPS เพื่อส่งข้อมูล NMEA เอาท์พุตจะเป็นโปรโตคอล EIA-422A แต่เราสามารถนำไปใช้งานร่วมกับ RS-232 ได้ โดยใช้มาตรฐานของ NMEA-0183 นั้นเอง

2.7.1) รูปแบบประโยคของ NMEA (NMEA Sentence)

Sentence	Description
$GPGLL	Geographic position - latitude / longitude
$GPGGA	Global positioning system fixed data
$GPRMC	Recommended minimum specific GNSS data
$GPGSA	GNSS DOP and active satellites
$GPGSV	GNSS satellites in view
$GPVTG	Course over ground and ground speed

สามารถแจกแจงรายละเอียดของแต่ละประโยคได้ ดังนี้

$GPGLL Sentence (Position)

Example (signal not acquired): $GPGLL,0000.0000,N,00000.0000,E,235947.000,V*2D

Example (signal acquired): $GPGLL,4250.5589,S,14718.5084,E,092204.999,A*2D

Field	Example	Comments
Sentence ID	$GPGLL	
Latitude	4250.5589	ddmm.mmmm
N/S Indicator	S	N = North, S = South
Longitude	14718.5084	dddmm.mmmm
E/W Indicator	E	E = East, W = West
UTC Time	092204.999	hhmmss.sss
Status	A	A = Valid, V = Invalid
Checksum	*2D	
Terminator	CR/LF	

$GPGGA Sentence (Fix data)

Example (signal not acquired):

$GPGGA,235947.000,0000.0000,N,00000.0000,E,0,00,0.0,0.0,M,,,,0000*00

Example (signal acquired):

$GPGGA,092204.999,4250.5589,S,14718.5084,E,1,04,24.4,19.7,M,,,,0000*1F

Field	Example	Comments
Sentence ID	$GPGGA	
UTC Time	092204.999	hhmmss.sss
Latitude	4250.5589	ddmm.mmmm
N/S Indicator	S	N = North, S = South
Longitude	14718.5084	dddmm.mmmm
E/W Indicator	E	E = East, W = West
Position Fix	1	0 = Invalid, 1 = Valid SPS, 2 = Valid DGPS, 3 = Valid PPS
Satellites Used	04	Satellites being used (0-12)
HDOP	24.4	Horizontal dilution of precision
Altitude	19.7	Altitude in meters according to WGS-84 ellipsoid
Altitude Units	M	M = Meters
Geoid Seperation		Geoid seperation in meters according to WGS-84 ellipsoid
Seperation Units		M = Meters
DGPS Age		Age of DGPS data in seconds
DGPS Station ID	0000	
Checksum	*1F	
Terminator	CR/LF	

$GPRMC Sentence (Position and time)

Example (signal not acquired): $GPRMC,235947.000,V,0000.0000,N,00000.0000,E,,,041299,,*1D

Example (signal acquired):$GPRMC,092204.999,A,4250.5589,S,14718.5084,E,0.00,89.68,211200,,*25

Field	Example	Comments
Sentence ID	$GPRMC	
UTC Time	092204.999	hhmmss.sss
Status	A	A = Valid, V = Invalid
Latitude	4250.5589	ddmm.mmmm
N/S Indicator	S	N = North, S = South
Longitude	14718.5084	dddmm.mmmm
E/W Indicator	E	E = East, W = West
Speed over ground	0.00	Knots
Course over ground	0.00	Degrees
UTC Date	211200	DDMMYY
Magnetic variation		Degrees
Magnetic variation		E = East, W = West
Checksum	*25	
Terminator	CR/LF	

$GPGSA Sentence (Active satellites)

Example (signal not acquired): $GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,0.0,0.0,0.0*30

Example (signal acquired): $GPGSA,A,3,01,20,19,13,,,,,,,,,40.4,24.4,32.2*0A

Field	Example	Comments
Sentence ID	$GPGSA	
Mode 1	A	A = Auto 2D/3D, M = Forced 2D/3D
Mode 1	3	1 = No fix, 2 = 2D, 3 = 3D
Satellite used 1	01	Satellite used on channel 1
Satellite used 2	20	Satellite used on channel 2
Satellite used 3	19	Satellite used on channel 3
Satellite used 4	13	Satellite used on channel 4
Satellite used 5		Satellite used on channel 5
Satellite used 6		Satellite used on channel 6
Satellite used 7		Satellite used on channel 7
Satellite used 8		Satellite used on channel 8
Satellite used 9		Satellite used on channel 9
Satellite used 10		Satellite used on channel 10
Satellite used 11		Satellite used on channel 11
Satellite used 12		Satellite used on channel 12
PDOP	40.4	Position dilution of precision
HDOP	24.4	Horizontal dilution of precision
VDOP	32.2	Vertical dilution of precision
Checksum	*0A	
Terminator	CR/LF	

$GPGSV Sentence (Satellites in view)

Example (signal not acquired): $GPGSV,1,1,01,21,00,000,*4B

Example (signal acquired): $GPGSV,3,1,10,20,78,331,45,01,59,235,47,22,41,069,,13,32,252,45*70

Field	Example	Comments
Sentence ID	$GPGSV	
Number of messages	3	Number of messages in complete message (1-3)
Sequence number	1	Sequence number of this entry (1-3)
Satellites in view	10	
Satellite ID 1	20	Range is 1-32
Elevation 1	78	Elevation in degrees (0-90)
Azimuth 1	331	Azimuth in degrees (0-359)
SNR 1	45	Signal to noise ration in dBHZ (0-99)
Satellite ID 2	01	Range is 1-32
Elevation 2	59	Elevation in degrees (0-90)
Azimuth 2	235	Azimuth in degrees (0-359)
SNR 2	47	Signal to noise ration in dBHZ (0-99)
Satellite ID 3	22	Range is 1-32
Elevation 3	41	Elevation in degrees (0-90)
Azimuth 3	069	Azimuth in degrees (0-359)
SNR 3		Signal to noise ration in dBHZ (0-99)
Satellite ID 4	13	Range is 1-32
Elevation 4	32	Elevation in degrees (0-90)
Azimuth 4	252	Azimuth in degrees (0-359)
SNR 4	45	Signal to noise ration in dBHZ (0-99)
Checksum	*70	
Terminator	CR/LF	

$GPVTG Sentence (Course over ground)

Example (signal not acquired): $GPVTG,,T,,M,,N,,K*4E

Example (signal acquired): $GPVTG,89.68,T,,M,0.00,N,0.0,K*5F

Field	Example	Comments
Sentence ID	$GPVTG	
Course	89.68	Course in degrees
Reference	89.68	T = True heading
Course		Course in degrees
Reference	89.68	M = Magnetic heading
Speed	0.00	Horizontal speed
Units	N	N = Knots
Speed	0.00	Horizontal speed
Units	K	K = KM/h
Checksum	*5F	
Terminator	CR/LF	

2.8) วงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่โทรศัพท์ (DTMF DECODER)

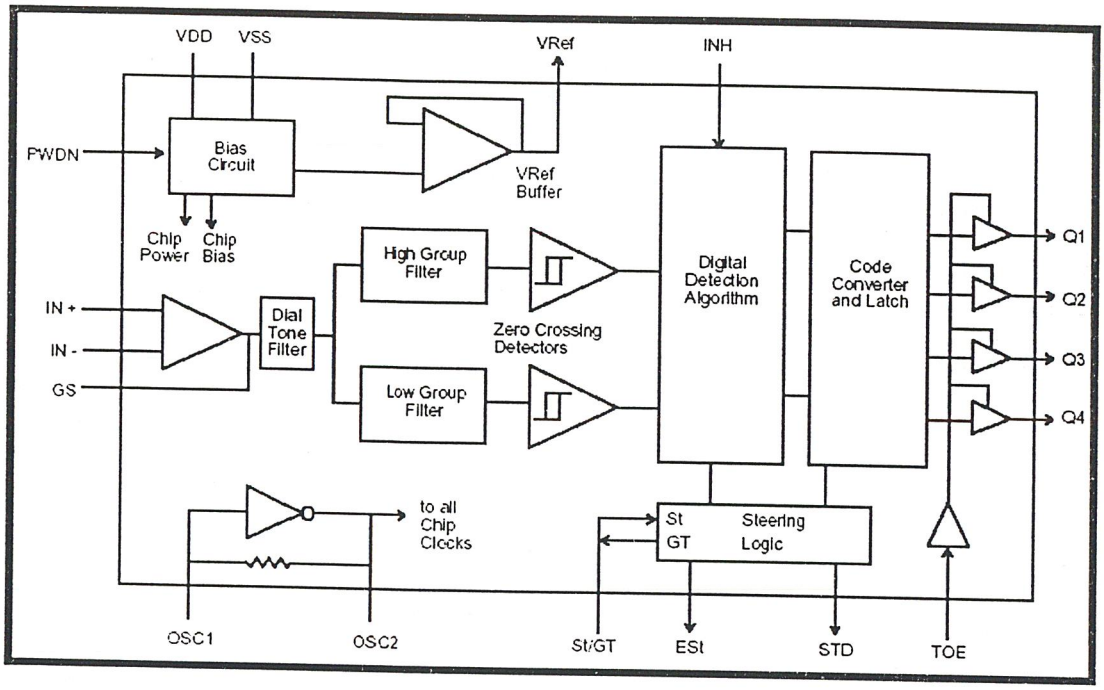
MT 8870 เป็นไอซีที่ใช้สำหรับถอดรหัสความถี่ปุ่มกดหมายเลขโทรศัพท์ (ชนิด Tone หรือ DTMF) ให้เป็นรหัสตัวเลขดิจิตอล โดย ไอซี MT8870 จะทำหน้าที่แปลงความถี่โทรศัพท์ DTMF ให้เป็นสัญญาณดิจิตอลเลขฐานสองขนาด 4 บิต ซึ่งคุณสมบัติการทำงานมีดังต่อไปนี้

- เป็นตัวรับและถอดความถี่โทรศัพท์ (DTMF receiver)
- ใช้กระแสไฟฟ้าน้อย และใช้ไฟเลี้ยงระดับเดียวกับ TTL
- สามารถปรับเวลาป้องกัน หรือ การ์ดไทม์ (Guard time) ได้
- เป็นไอซีคุณภาพสูง

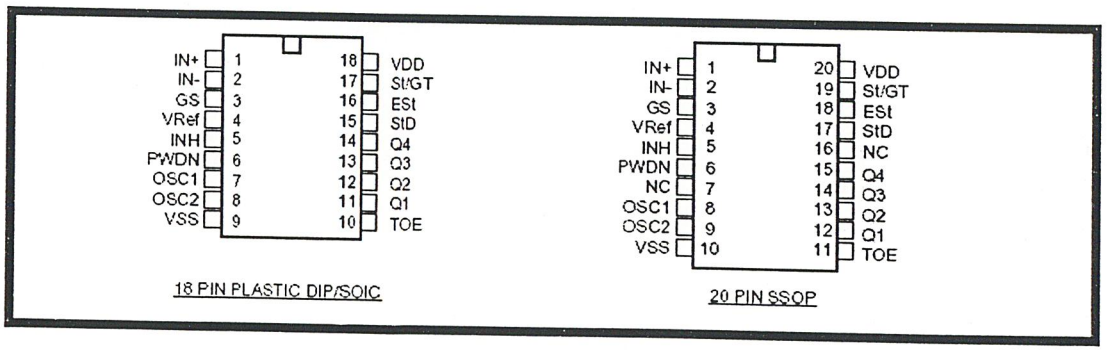
2.8.1) โครงสร้างของ MT8870

โครงสร้างภายในของไอซี MT8870 ประกอบไปด้วยวงจรกรองความถี่ และ วงจรถอดรหัสฟังก์ชันทางดิจิตอล เป็นไอซีที่สร้างโดยใช้เทคโนโลยี ISO^2-CMOS ในส่วนของวงจรกรองความถี่ใช้เทคนิคของสวิทช์ทรานซิสเตอร์ฟิลเตอร์ สำหรับกรองความถี่สูงและต่ำ ส่วนวงจรถอดรหัสใช้เทคนิคการ

นับแบบดิจิตอลเพื่อตรวจจับและถอดรหัสทั้ง 16 ความถี่ ออกเป็นเลขฐานสอง ขนาด 4 บิต และ เช็คช่วงเวลาที่สัญญาณเข้ามา ส่วนภาคอินพุตเป็นออปแอมป์ ซึ่งสามารถปรับอัตราขยายได้โดยต่ออุปกรณ์ภายนอก เอาต์พุตเป็นวงจรแลตช์ 3 สถานะ โครงสร้างของ MT8870 แสดงในรูปที่ 2-10 และรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-10 แสดงโครงสร้างภายในของ MT8870



รูปที่ 2-11 แสดงรายละเอียดขาของ MT8870

2.8.2) ฟังก์ชันการทำงานภายในของ MT8870

โครงสร้างภายในของ MT8870 ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วนคือ

1.ภาคกรองสัญญาณความถี่ (Filter section)

2.ภาคถอดรหัส (Decoder section)

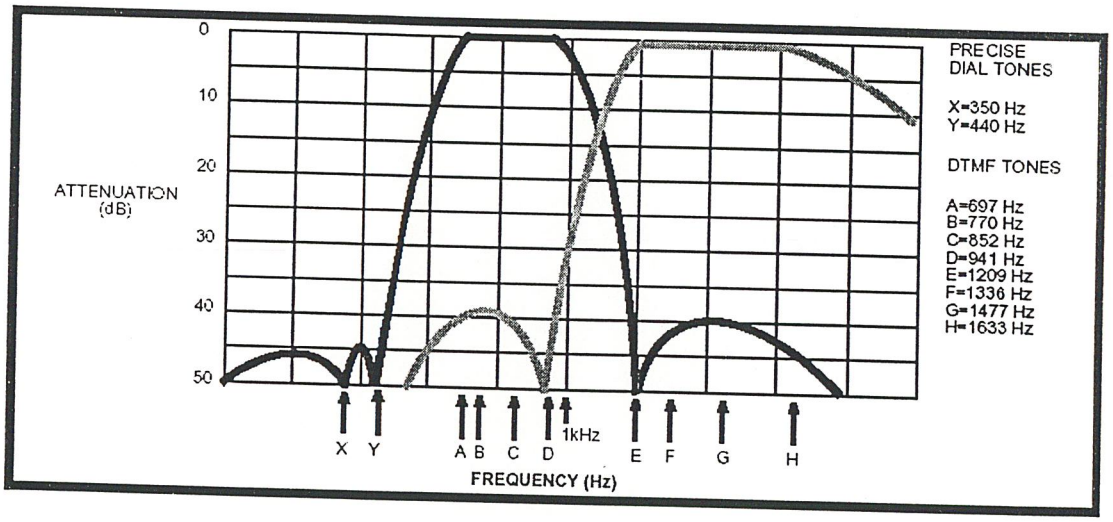
3.ภาคตรวจสอบสัญญาณ (Steering circuit)

4.ภาคกำเนิดความถี่ (Oscillator)

5.ภาคขยายสัญญาณความแตกต่าง (Differential input)

ส่วนที่ 1 ภาคกรองสัญญาณความถี่

ในส่วนนี้จะแยกสัญญาณ DTMF ที่เข้ามาออกเป็น 2 กลุ่มความถี่ คือช่วงความถี่สูงละช่วงความถี่ต่ำ โดยใช้วงจรกรองความถี่อันดับ 6 ชนิดสวิทช์คาปาซิเตอร์ (sixth - order switched capacitor band pass filters) ซึ่งความถี่ที่แยกได้มี 2 ช่วง คือ ช่วงความถี่สูงและช่วงความถี่ต่ำ



รูปที่ 2-12 แสดงความถี่ที่ได้จากภาคกรองความถี่

ส่วนที่ 2 ภาคถอดรหัส

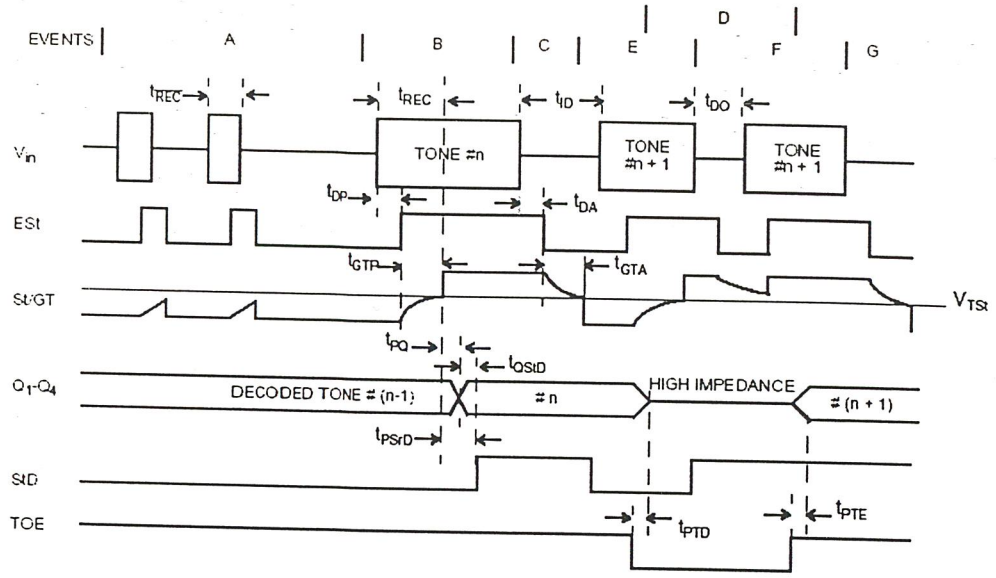
ความถี่ DTMF ที่ถูกกรองเรียบร้อยแล้ว จะผ่านเข้าวงจรถอดรหัสความถี่ออกเป็นตัวเลขโดยใช้เทคนิคการนับแบบดิจิตอล และมีการตรวจสอบความถี่ที่เข้ามาว่าเป็นความถี่มาตรฐาน DTMF หรือไม่ เพื่อป้องกันความถี่อื่นเข้ามาผสม เมื่อตรวจสอบว่าความถี่นั้นถูกต้อง สัญญาณที่ขา Est (Early Steering) ก็จะแอคทีฟ สำหรับค่าที่ถอดรหัสได้จากความถี่ต่างๆ นั้นแสดงดัง_ตารางที่ 2-1

Digit	TOE	INH	ESt	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1
ANY	L	X	H	Z	Z	Z	Z
1	H	X	H	0	0	0	1
2	H	X	H	0	0	1	0
3	H	X	H	0	0	1	1
4	H	X	H	0	1	0	0
5	H	X	H	0	1	0	1
6	H	X	H	0	1	1	0
7	H	X	H	0	1	1	1
8	H	X	H	1	0	0	0
9	H	X	H	1	0	0	1
0	H	X	H	1	0	1	0
*	H	X	H	1	0	1	1
#	H	X	H	1	1	0	0
A	H	L	H	1	1	0	1
B	H	L	H	1	1	1	0
C	H	L	H	1	1	1	1
D	H	L	H	0	0	0	0
A	H	H	L	undetected, the output code will remain the same as the previous detected code			
B	H	H	L				
C	H	H	L				
D	H	H	L				

ตารางที่ 2-1 แสดงค่าที่ถอดรหัสได้จากความถี่ต่างๆ

ส่วนที่ 3 ภาคตรวจสอบสัญญาณ

ก่อนที่จะมีการถอดรหัสความถี่ออกไปทางเอาท์พุท จะมีการตรวจสอบช่วงความถี่ที่เข้ามาว่ามีระยะเวลาตามที่กำหนดหรือไม่ โดยที่สังเกตจากระยะเวลาการกดปุ่มโทรศัพท์ ซึ่งต้องกดปุ่มให้มีช่วงความถี่ที่ออกมาเป็นช่วงเวลาที่พอเหมาะ มิฉะนั้นวงจรส่วนนี้จะไม่รับ โดยถือว่าสัญญาณนั้นไม่ถูกต้อง ส่วนช่วงเวลายาวเท่าใดสามารถตั้งได้โดยใช้ RC ต่อภายนอก สัญญาณที่ขา Est จะเป็น “High” นานใกล้เคียงกับระยะเวลาที่มีความถี่ DTMF เข้ามาทำให้แรงดัน V_C สูงขึ้น ตัวเก็บประจุ C จะคายประจุทำให้แรงดัน V_C สูงขึ้นจนถึงค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) วงจรถอดรหัสจึงจะถอดรหัสออกมาเป็นตัวเลขฐานสอง ขนาด 4 บิต รายละเอียดการทำงานดูจากแผนภูมิเวลา หรือ ไทมิ่งไดอะแกรม (timing diagram) ในรูปที่ 2-13



รูปที่ 2-13 แสดงแผนภูมิเวลา (timing diagram) ของ MT8870

อธิบายขั้นตอนการทำงาน

A – ตรวจสอบความถี่เข้ามา แต่คาบเวลาไม่ถูกต้อง เอาต์พุตไม่เปลี่ยน

B – ความถี่ # n ถูกตรวจพบและมีคาบเวลาที่ถูกต้อง ความถี่ถูกถอดรหัส และแลตช์ไว้ที่เอาต์พุต

C – จบความถี่ # n ช่วงห่างถูกต้อง เอาต์พุตยังคงแลตช์อยู่จนกว่าจะได้รับความถี่ที่ถูกต้องใหม่

D – เอาต์พุตเปลี่ยนเป็นไฮ-อิมพีแดนซ์

E – ความถี่ # (n+1) ถูกตรวจพบคาบเวลาถูกต้องความถี่ถูกถอดรหัสและแลตช์ไว้

F – ความถี่ # (n+1) หายไป ช่วงห่างไม่ถูกต้อง เอาต์พุตยังคงแลตช์อยู่

G – จบความถี่ #(n+1) ช่วงห่างถูกต้อง เอาต์พุตยังแลตช์อยู่ จนถึงความถี่ใหม่ที่ถูกต้อง

อธิบายคำศัพท์

V_{in} - สัญญาณความถี่ DTMF ที่เข้ามา

ESt - Early Steering Output ใช้แสดงความถี่ถูกต้อง

St/GT - Steering input/Guard Time Output สำหรับต่อกับ RC ภายนอก

$Q_1 - Q_4$ - เอาต์พุต BCD ขนาด 4 บิต

StD - Delayed Steering Output ใช้แสดงว่าความถี่ที่ได้รับหรือหายไป มีคาบเวลาตามที่กำหนด เพื่อแสดงความถูกต้องของสัญญาณ

TOE - Tone Output Enable (input) ใช้ควบคุม $Q_1 - Q_4$ ให้เป็นไฮ-อิมพีแดนซ์

$t_{\overline{REC}}$ - คาบเวลานานที่สุดที่ตรวจพบความถี่ DTMF แล้วยังไม่ถูกต้อง

t_{REC} - คาบเวลาสั้นสุดที่ต้องการเพื่อแสดงว่าสัญญาณถูกต้อง

t_{ID} - เวลาสั้นสุดระหว่างสัญญาณ DTMF ที่ถูกต้อง 2 สัญญาณ

t_{DO} - เวลานานที่สุดที่ให้สัญญาณหายไปได้ในคาบเวลาความถี่ที่ถูกต้อง

t_{DP} - เวลาที่ใช้ในการตรวจพบสัญญาณความถี่ DTMF ที่ถูกต้อง

t_{DA} - เวลาที่ใช้ในการตรวจการหายไปของสัญญาณความถี่ DTMF ที่ถูกต้อง

t_{GTP} - การ์ดไทม์ของการปรากฏความถี่ DTMF

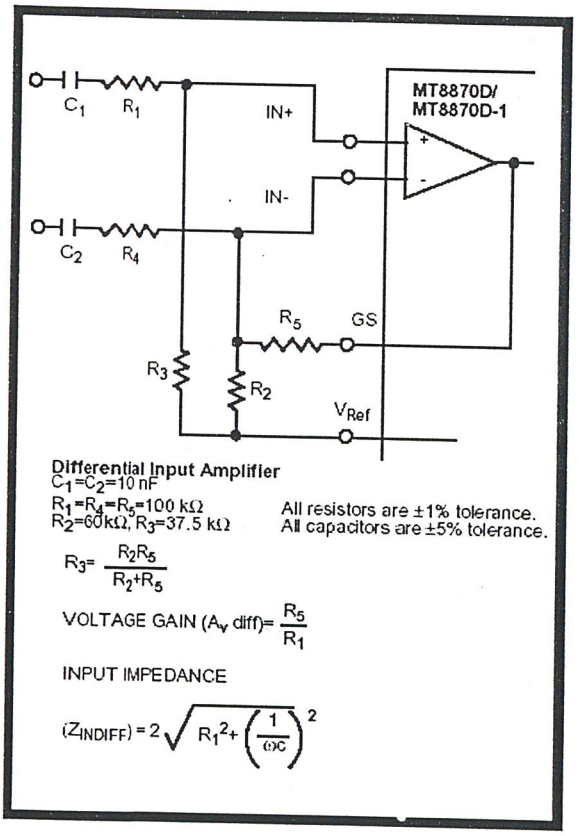
t_{GTA} - การ์ดไทม์ของการหายไปของความถี่ DTMF

ส่วนที่ 4 ภาคขยายสัญญาณความแตกต่าง

ส่วนอินพุตของ MT8870 เป็นภาคขยายออปแอมป์ที่สามารถปรับอัตราขยายได้โดยต่อวงจรภายนอกเพิ่มเข้าไป ดังรูปที่ 2.13 แสดงการต่อวงจรภายนอกเข้ากับอินพุตซึ่งสามารถคำนวณอัตราขยายความแตกต่างของอินพุตและอิมพีแดนซ์ได้ ดังนี้

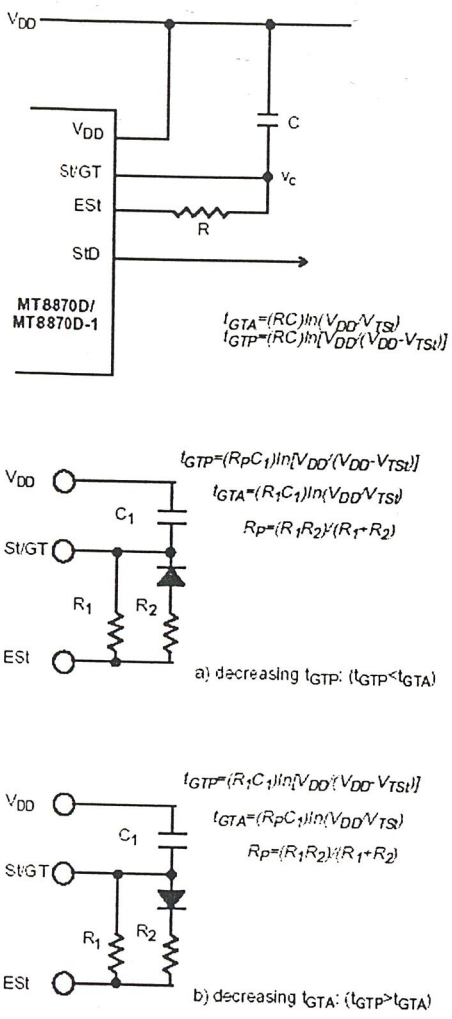
อัตราขยายแรงดัน $(A_v \text{ diff}) = R_5 / R_1$

อินพุตอิมพีแดนซ์ $(Z_{INDIFF}) = 2\sqrt{R^2 + (1/\omega c)^2}$



รูปที่ 2-14 แสดงการต่อวงจรภาคอินพุต

สำหรับการ์ดไทม์ (Guard Time) นั้นหมายถึง คาบเวลาของความถี่ที่เข้ามาซึ่งจะต้องนานเท่ากันหรือมากกว่าช่วงเวลาที่เราตั้งไว้ จึงจะได้รับการยอมรับว่าสัญญาณความถี่นั้นถูกต้อง หรือ เวลาที่เราตั้งไว้โดย RC ก็คือ การ์ดไทม์ (Guard Time) นั่นเอง เมื่อสัญญาณความถี่ที่เข้ามานานเท่ากันหรือมากกว่าเวลาที่ตั้งไว้ จึงสามารถแปลงเป็นตัวเลขได้ ถ้าสัญญาณความถี่ที่เข้ามาสั้นกว่าเวลาที่ตั้งไว้ ก็จะไม่มีการถอดรหัสเป็นตัวเลขออกไป การตั้งเวลาและคำนวณเวลาดูได้จากรูปที่ 2-14



รูปที่ 2-15 แสดงวงจรตรวจสอบสัญญาณแบบอย่างง่ายและแสดงการกำหนดเวลา Guard time

วิธีการคำนวณ

$$t_{GTA} = (RC)\ln(V_{DD}/V_{TSt})$$

$$t_{GTP} = (RC)\ln[V_{DD}/(V_{DD}-V_{TSt})]$$

การลดการ์ดไทม์ t_{GTP} ; $(t_{GTP} < t_{GTA})$

$$t_{GTP} = (R_PC_1)\ln[V_{DD}/(V_{DD}-V_{TSt})]$$

$$t_{GTA} = (R_1C_1)\ln(V_{DD}/V_{TSt})$$

โดยที่

$$R_P = (R_1R_2) / (R_1+R_2)$$

การเพิ่มการ์ดไทม์ t_{GTP} ; ($t_{GTP} > t_{GTA}$)

$$t_{GTP} = (R_1C_1)\ln[V_{DD}/(V_{DD}-V_{TSt})]$$

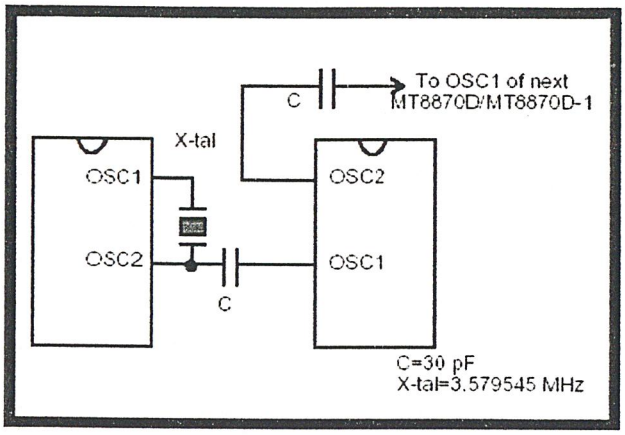
$$t_{GTA} = (R_PC_1)\ln(V_{DD}/V_{TSt})$$

โดยที่

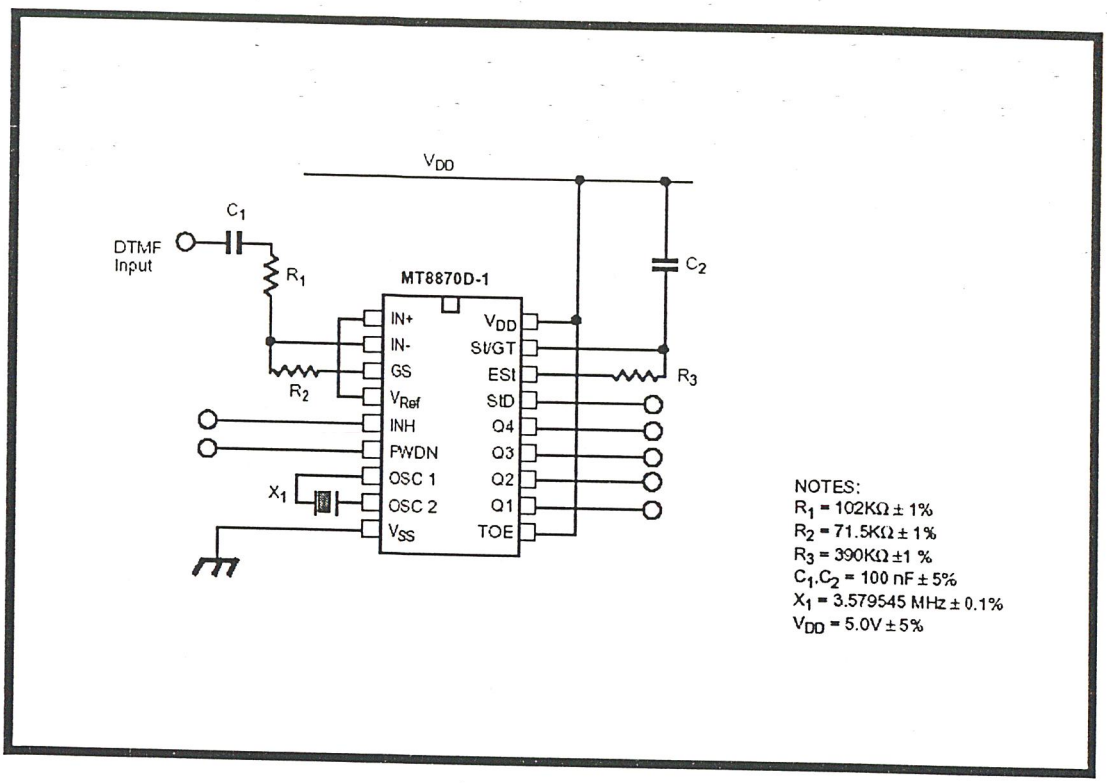
$$R_P = (R_1R_2)/(R_1+R_2)$$

ส่วนที่ 5 ภาคกำเนิดความถี่

ใน MT8870 จะมีวงจรออสซิเลเตอร์อยู่ภายใน เพียงแต่ต่อคริสตอลขนาด 3.579 เมกกะเฮิรตซ์ ก็สามารถใช้งานได้ทันที การต่อวงจรผลิตความถี่แสดงในรูป 2.16



รูปที่ 2-16 แสดงวงจรกำเนิดความถี่



รูปที่ 2-17 แสดงวงจรใช้งานเบื้องต้นของ MT8870

2.9) ทฤษฎีและหลักการของ ไอซีบันทึกเสียง ISD2590

2.9.1) ทฤษฎีของ ไอซีบันทึกเสียง ISD2590

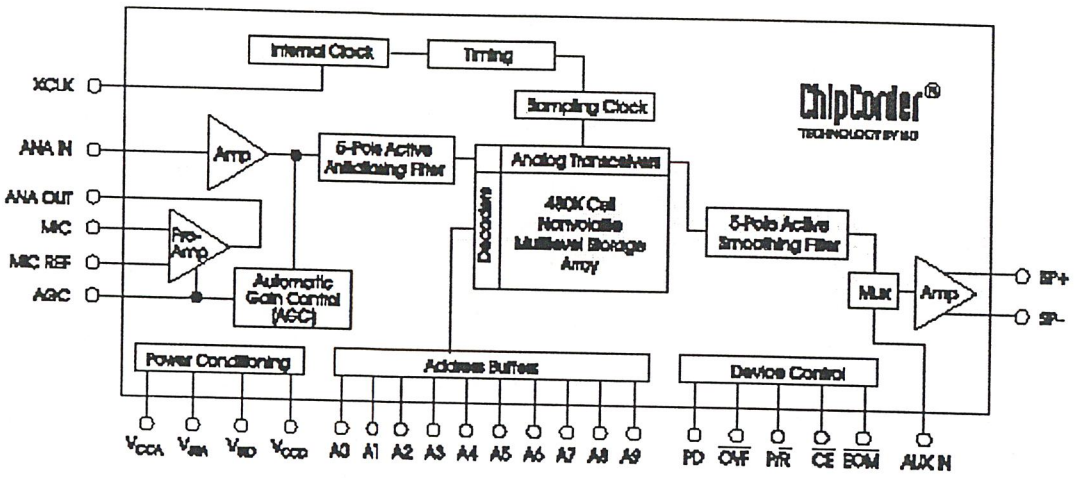
อุปกรณ์ประเภทไอซีบันทึกเสียง ISD2590 นั้นได้มีการพัฒนาความยาวในการบันทึกเสียงเพิ่มขึ้น เช่น 45 , 60 , 75 , 90 วินาที ซึ่งแตกต่างไปจากตระกูล ISD 12XX โครงสร้างการใช้งานง่ายกว่ามาก

คุณสมบัติทั่วไปของ ISD25XX

1. ใช้ไอซีเพียงตัวเดียวก็สามารถบันทึกและเล่นกลับได้ง่ายดาย
2. ไม่มีอุปกรณ์ประเภทอื่นต่อร่วมภายนอก
3. ไม่ต้องพัฒนาระบบอื่นขึ้นมาเสริมเพื่อให้ใช้งานได้
4. ให้เสียงตอบสนองที่เป็นธรรมชาติ
5. สามารถควบคุมโดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ ไมโครโปรเซสเซอร์
6. มีระยะเวลาในการบันทึกเสียงหรือเล่นกลับตั้งแต่
7. สามารถต่อเคสเคด(Cascade) ได้โดยตรง
8. ปิดการทำงานอัตโนมัติเมื่อไม่มีการบันทึกเสียงหรือเล่นกลับนานเกินไป
9. มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาในตัว
10. มีวงรอบการบันทึกถึง 100,000 ครั้ง

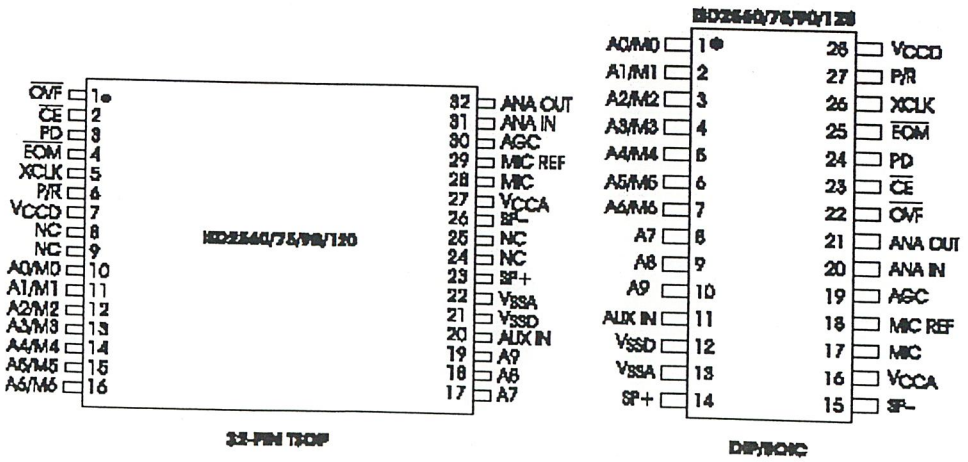
จากคุณสมบัติต่างๆที่รวบรวมอยู่ในไอซีเพียงตัวเดียวทำให้ง่ายแก่การใช้งานตั้งแต่วงจรขยายสัญญาณจากไมโครโฟน จนถึงหน่วยจัดเก็บข้อมูลที่บันทึกและขับออกลำโพง ก็ถูกรวบรวมไว้ในตัวไอซีเพียงตัวเดียวในโหมดการบันทึกจะจัดเก็บข้อมูลต่างๆไว้ในหน่วยความจำที่เป็นเซลแบบไม่ต้องการแรงดันสำรองเพื่อรักษาข้อมูลไม่ให้สูญหาย

Figure: ISD2560/75/90/120 Device Block Diagram



รูปที่ 2-18 บล็อกไดอะแกรมภายในไอซีบันทึกเสียง ISD2590

รูปแสดงบล็อกไดอะแกรมภายในของไอซีของ ISD25XX มีลักษณะคล้ายมากหากแต่มีความแตกต่างกันอยู่ในส่วนบล็อกมัลติเพล็กซ์สัญญาณอินพุทของเพาเวอร์แอมป์ภายในไอซี เพื่อการทำการเลือกที่จะขยายสัญญาณที่ถูกบันทึกเก็บไว้ หรือขยายสัญญาณจากภายนอกที่ขา AUX IN ทั้งหมดนี้เป็นข้อแตกต่างของ ISD25XX ที่ไม่เหมือนกับ ISD12XX/14XX นอกจากนั้นอัตราการทำงานของไอซีตระกูล ISD25XX ก็แตกต่างกัน



รูปที่ 2-19 แสดงการจัดขาของ ISD2590

รายละเอียดของขาอุปกรณ์

Microphone Input (MIC)

[ขา 17] จะรับสัญญาณอินพุตที่ผ่านเข้ามายังไมโครโฟนแล้วส่งผ่านสัญญาณเข้าสู่วงจร พรีแอมป์ที่ประกอบอยู่ภายในตัวไอซี ภายในประกอบด้วยวงจรควบคุมอัตราการขยายอัตโนมัติ (AGC) โดยวงจรนี้จะทำหน้าที่ควบคุมอัตราขยายวงจร พรีแอมป์ให้มีการขยายอยู่ในช่วง –15 ถึง 24 เดซิเบล ไมโครโฟนจากภายนอกจะถูกคับปลิ้งผ่านตัวเก็บประจุในลักษณะอนุกรมกับขา 17 ค่าความจุของคาปาซิเตอร์ จะกำหนดโดยคำนึงถึงค่าความต้านทานภายในของไอซี (10 k) เพื่อทำให้เกิดการคัตออฟที่ความถี่ต่ำ

Microphone Reference Input (MIC REF)

[ขา 18] จะต่อเข้ากับกราวด์ อนาล็อก (Vssa) โดยต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุเพื่อทำหน้าที่กำจัดสัญญาณรบกวนทางอินพุตขา 17 และเพื่อให้เกิดการชดเชยทางด้านสัญญาณรบกวนให้ดีกว่า 10 เดซิเบล

Analog Output (ANA OUT)

[ขา 20] จะรับสัญญาณผ่านวงจร พรีแอมป์ออกมาทางขา 21 โดยผ่านตัวเก็บประจุคับปลิ้งภายนอกคับปลิ้งสัญญาณเข้าที่ขา 20 นี้ เพื่อผ่านสัญญาณเข้าไปทำการบันทึกไว้ภายในตัวไอซี ตัวเก็บประจุคับปลิ้งภายนอกนี้จะต้องสัมพันธ์กับค่าความต้านทานภายใน 3 k ซึ่งเป็นอินพุตอิมพีแดนซ์เพื่อจะทำให้เป็นวงจรกรองความถี่แบบคัตออฟ

Automatic gain Control Input (AGC)

[ขา 19] เป็นอินพุตที่ควบคุมอัตราการขยายของพรีแอมป์ไมโครโฟนทางด้านไดนามิก เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับระดับสัญญาณที่มีย่านความถี่กว้างมากของสัญญาณทางด้านอินพุตจากไมโครโฟน และเพื่อให้ระดับสัญญาณที่ทำการบันทึกมีความผิดเพี้ยนน้อยที่สุด ขา AGC นี้จะต่อร่วมกับอุปกรณ์ RC เพื่อกำหนดค่าเวลาคงที่โดยค่าความต้านภายใน 5K และจะต่อกับตัวเก็บประจุภายนอกอีกตัวหนึ่งเพื่อผ่านลงกราวด์อนาล็อก ค่าที่เหมาะสมบางครั้งกำหนดไว้ที่ R=470 k, C=4.7 μF

Speaker Outputs (SP+/SP-)

[ขา 14, 15] เป็นขาเอาท์พุตต่อออกลำโพง ในไอซีจะมีวงจรสัญญาณความแตกต่างออกสู่ลำโพง ซึ่งมีความสามารถในการขับลำโพงเอาท์พุตได้ 50 mW ที่โหลดลำโพง 18 โอห์ม ขาเอาท์พุตนี้ ไม่สามารถต่อขนานกันหลายตัวได้ในกรณีที่ต่อคาสเคดกันหลายตัว

Power Down Input (PD)

[ขา 24] ในขณะไม่มีการบันทึกหรือเล่นกลับ ที่ขา PD จะมีสภาวะเป็น "1" ก็จะเป็นการรักษาระดับการสิ้นเปลืองกำลังงานในระดับต่ำมากๆแต่เมื่อขา VOF มีสภาวะเป็น "0" ที่แสดงถึงการเล่นกลับสิ้นสุดลงปรากฏขึ้น ขา PD ปกติจะเป็น "1" อยู่ในขณะนั้นก็จะถูกรีเซตและจะเริ่มกระบวนการบันทึกหรือเล่นกลับใหม่อีกครั้ง

Chip Enable Input $(\overline{CE})$

[ขา 23] จะต้องได้รับสัญญาณพัลส์ "0" เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงระหว่างขาเล่นกลับและการบันทึก ที่ขาแอดเดรสอินพุต และขา $P / \overline{R}$ อินพุตจะถูกแลตช์จากพัลซ์ขอบขาลงของพัลส์ที่ขา $(\overline{CE})$

Playback/Record Input ($P / \overline{R}$)

[ขา 27] เมื่อขาอินพุตควบคุมการเล่นกลับและบันทึกได้รับพัลส์ "1" จะเป็นวงรอบของการเล่นกลับ และถ้าเป็นพัลส์ "0" จะเป็นการเลือกวงรอบการบันทึก ถ้าหากได้รับพัลส์ที่ขอบขาลงของขา $(\overline{CE})$ จะเป็นการแลตช์อินพุตที่ขา $P / \overline{R}$

Address/Mode Input (A0-A9/M0-M6)

[ขา 1-10] ขาแอดเดรสและโหมดอินพุตจะมีอยู่สองฟังก์ชั่นที่อยู่กับระดับของสอง MSB ของแอดเดรส ถ้าแอดเดรสใดแอดเดรสหนึ่งของสอง MSBS เป็น "0" อินพุตก็จะมาปรากฏที่แอดเดรสบิตทั้งหมดและใช้เป็นแอดเดรส เริ่มต้นสำหรับวงรอบการบันทึกและเล่นกลับ และขาดแอดเดรสจะเกิดการแลตช์ โดยขอบขาลงของพัลส์ที่ขา $\overline{CE}$ และถ้า MSBS มีสถานะเป็น "1" ขาดแอดเดรส/โหมดอินพุตจะขึ้นมาอยู่ที่โหมดบิตทั้งหมดและเกิดการแลตช์เมื่อพัลส์ขอบขาลงปรากฏที่ขา $\overline{CE}$

External Clock Input (XCLK)

[ขา 28] เป็นขารับสัญญาณนาฬิกาภายนอก เพื่อกำหนดค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาในการสุ่มสัญญาณ แต่โดยปกติได้ระบุไว้ว่าสัญญาณนาฬิกาการสุ่มสัญญาณถูกกำหนดไว้ภายในแล้วซึ่งจะไม่ขึ้นกับอุณหภูมิภายนอกหรือย่านแรงดันไฟเลี้ยงที่ไม่คงที่การใช้งานปกติแล้วจะต่อขา 25 นี้เข้ากับ กราวด์ของไฟเลี้ยง

Overflow Output ($\overline{OVF}$)

[ขา 22] สัญญาณพัลส์ "0" จะปรากฏออกทางขาเอาท์พุตนี้เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดการเล่นกลับหรือหน่วยความทรงจำภายในไอซีได้ถูกอ่านออกมาหมดแล้วและจะแสดงเป็นภาวะหยุดการเล่นกลับพัลส์เอาท์พุตจากขา $\overline{OVF}$ นี้จะจ่ายให้กับขา $\overline{CE}$ อินพุทจนกว่าขา $\overline{OPF}$ จะได้รับพัลซ์เพื่อทำการรีเซตและเริ่มวงรอบการเล่นกลับใหม่อีกครั้ง พัลส์ที่ขา $\overline{OVF}$ นี้สามารถใช้เริ่มต้นการทำงานของ ISD25XX ในตัวถัดไปได้เมื่อถูกต่อคาสเคดกันอยู่หลายตัว

Auxiliary Input (AUX IN)

[ขา 11] จะเป็นขารับอินพุตจากภายนอก ซึ่งเป็นการมัลติเพล็กซ์สัญญาณผ่านออกไปทางเอาท์พุตของวงจรขยายภายในและขับออกสู่ขาเอาท์พุตลำโพง โดยขั้นตอนการทำงานนี้จะถูกต่อและปิดไว้ภายในตัวถังบรรจุของไอซี การใช้งานขากราวด์ทั้งสองจะเลือกต่อกับกราวด์ของเพาเวอร์ซัพพลายในส่วนที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ เพื่อไม่ต้องการให้เกิดค่าแรงดันที่แตกต่างกันระหว่างกราวด์ทั้งสอง

2.9.2) หลักการทำงานของ ISD2590

ISD2590 ได้รับการออกแบบภายในบรรจุโหมดการทำงานหลายๆโหมดเพื่อใช้งานร่วมกับส่วนประกอบอื่นๆ โหมดการทำงานเหล่านี้อธิบายได้ดังต่อไปนี้ ISD2590 จะใช้ขา แอดเดรสแทนโหมดการทำงานโดยมีบิตที่สำคัญที่สุด (MSBs) คือ high ส่วนสัญญาณแอดเดรสส่วนที่เหลือจะถูกแปลงเป็นโหมดบิต และ NOT จะถูกแปลงเป็นแอดเดรสบิต เพราะฉะนั้นโหมดการทำงานและแอดเดรสโดยตรงของ ISD2590 จะไม่สอดคล้องกันและไม่สามารถที่จะใช้งานพร้อมกันได้ สำหรับโหมดการทำงานจะต้องพิจารณาส่วนสำคัญ 2 อย่างด้วยกันคือ อย่างแรกการเริ่มต้นการทำงานจะต้องเริ่มที่แอดเดรส 0 ก่อนซึ่งเป็นแอดเดรสว่างของ ISD2590 ต่อจากนั้นจึงสามารถเริ่มต้นที่แอดเดรสอื่นๆได้ขึ้นอยู่กับการเลือกโหมดการทำงาน นอกจากนั้นตัวชี้แอดเดรสจะถูก รีเซต ไปที่ 0 เสมอ เมื่ออุปกรณ์ถูกเปลี่ยน จากการบันทึกไปเป็นการเล่นกลับและจากการเล่นกลับไปเป็นการบันทึก (ยกเว้นโหมด M6) หรือเมื่อ Power Down Cycle ถูกทำให้ทำงานอย่างที่สอง โหมดการทำงานจะทำงานเมื่อ $\overline{CE}$ เป็น LOW ที่แอดเดรสปัจจุบัน mode level ถูกสุ่มตัวอย่างและทำให้ทำงาน

โหมดควบคุม	หน้าที่	การใช้	ต่อใช้ร่วมกับ
MO	Message cueing	ข้อความเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างรวดเร็ว	M4,M5,M6
M1	Delete EOM markers	ตำแหน่ง EOM maker ที่จุดปลายของข้อความที่แล้ว	M3, M4,M5,M6
M2	nonaplicable	สำรอง	N/A
M3	looping	การเล่นกลับแบบต่อเนื่องจากแอดเดรส 0	M1,M5,M6
M4	Consective addressing	บันทึก/เล่นติดต่อกันหลายข้อความ	M0,M1,M5
M5	CE level-activated	ยอมให้หยุดข้อความ	M0,M1,M3,M4
M6	Push-bottom control	อินเตอร์เฟสกับอุปกรณ์อื่น	M0,M1,M3

ตารางที่ 2-2 แสดงโหมดการทำงานของ ไอซี ISD2590

โหมดการทำงาน (Operation Mode Description)

โหมดการทำงานสามารถต่อร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้หรือสามารถใช้เป็น Hard-Wire ให้กับการทำงานของระบบที่เราต้องการได้

[M0 - Message cueing] ยอมให้ผู้ใช้งานสามารถข้ามผ่านข้อความโดยไม่ต้องรู้ถึง Physical address ที่แท้จริงของแต่ละข้อความได้ $\overline{CE}$ low pulse แต่ละ pulse เป็นเหตุที่ทำให้ตัวชี้ตำแหน่งแอดเดรสภายในข้ามผ่านไปยังตัวข้อความตัวถัดไป โหมดนี้ควรจะใช้สำหรับการเล่นกลับเท่านั้นและใช้ร่วมกับโหมดการทำงาน M4

[M1 - Delete $\overline{EOM}$ Markers] โหมดการทำงาน M1 จะยินยอมให้ข้อความที่ได้รับการบันทึกตามลำดับรวมกันให้กลายมาเป็นข้อความเดี่ยวๆได้โดยเพียงตั้ง $\overline{EOM}$ Markers ที่ปลายข้อความที่นำมารวมกัน

[M2 - Unused] เมื่อโหมดการทำงานโหมดนี้ถูกเลือกใช้ขา M2 จะต้องเป็น LOW

[M3 - Message Looping] โหมดการทำงาน M3 ใช้สำหรับการเล่นกลับซ้ำอย่างต่อเนื่องแบบอัตโนมัติของข้อความที่อยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้นของแอดเดรสว่างเมื่อข้อความสามารถบรรจุลงใน ISD2590 อย่างสมบูรณ์แล้ว ISD2590 จะวนลูปจากจุดเริ่มต้นไปจุดสุดท้ายโดยที่ $\overline{OVF}$ ไม่เป็น LOW

[M4 - Consecutive Addressing] ระหว่างการทำงานในขณะปกติ ตัวชี้แอดเดรสจะรีเซตเมื่อข้อความถูกเล่นผ่านไปที่ $\overline{EOM}$ Markers โหมดการทำงาน M4 จะกีดกันการรีเซตของตัวชี้แอดเดรสบน $\overline{EOM}$ และไม่ยอมให้ข้อความถูกเล่นกับแบบเรียงลำดับ

[M5 - $\overline{CE}$ Level Activated] Default mode สำหรับ ISD 2590 ใช้เพื่อทำให้ $\overline{CE}$ กลายเป็น edge-activated บนการบันทึกโหมดการทำงาน M5 จะเป็นเหตุที่ทำให้ขา $\overline{CE}$ ถูกแปลงไปเป็น level-activated เพื่อที่จะไม่ให้กลายเป็น edge-activated ระหว่างการเล่นกลับในโหมดนี้ $\overline{CE}$ low จะเริ่ม playback cycle, $\overline{CE}$ high หยุด cycle และเมื่อเป็น $\overline{CE}$ low อีกครั้งจะเริ่มการเล่นที่จุดที่ซึ่งข้อความถูกทำให้หยุดโดยที่ไม่ต้องทำการรีเซตตัวชี้แอดเดรส

[M6 - Push-Buttom Mode] ชุดอุปกรณ์ ISD2590 บรรจุไปด้วยโหมดการทำงาน push-bottom โหมด push-bottom ขั้นต้นถูกประยุกต์ใช้กับต้นทุนต่ำและถูกออกแบบมาเพื่อใช้ลดอุปกรณ์ ภายนอกและวงจรให้น้อยลงเป็นการช่วยลดราคาของระบบให้น้อยลงเพื่อที่จะจัดโครงสร้างของอุปกรณ์ในโหมดการทำงาน push-bottom บิตที่มีนัยสำคัญที่สุด 2 บิต (ขา 9 และ ขา 10) ต้องเป็น high และขาโหมด M6 (ขา7) ต้องเป็น high ด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ในโหมดนี้ power จะลดลงที่จุดปลายของการเล่นกลับแต่ละครั้งหรือตอนบันทึกภายหลัง $\overline{CE}$ เป็น high

Pin name	หน้าที่ในโหมดการทำงาน push-bottom
ขา 23 , $\overline{CE}$	เริ่มต้นและหยุด push-bottom (low pulse activated)
ขา 24 ,PD	หยุดรีเซต push-bottom (high pulse activated)
ขา 25 , $\overline{EOM}$	Active – high run indicator

ตารางที่ 2-3 แสดงการทำงานของโหมด push-bottom

[ขา 23] : $\overline{CE}$ (start/pause)

ในโหมดการทำงานแบบ Push-bottom ขา CE จะทำงานเป็น LOW-going pulse activated start/pause signal ถ้าไม่ทำงาน LOW-going pulse บนสัญญาณนี้จะเริ่มการเล่นกลับหรือเริ่มการบันทึกตามระดับบนขา P/R พัลส์ต่อมาบนขา CE ก่อนจะถึง End of message ในตอนเล่นกลับหรือเกิดการ overflow จะเป็นเหตุให้อุปกรณ์หยุดทำงาน address country จะไม่รีเซตและ CE pulse อื่นๆจะเป็นเหตุที่ทำให้อุปกรณ์ทำงานต่อไปจากจุดที่ซึ่งมันถูกทำให้หยุด

[ขา 24] : PD (stop/reset)

ในโหมดการทำงานแบบ push-bottom ขา PD จะเป็นการทำงานแบบ HIGH-going pulse activated start/reset signal ซึ่ง HIGH-going pulse สามารถดูได้บน PD ในขณะที่ทำการเล่นกลับหรือบันทึกหรือเล่นกลับ

[ขา 25] : $\overline{EOM}$ (run)

ในโหมดนี้ $\overline{EOM}$ จะกลายเป็น active-High run signal ซึ่งสามารถนำไปใช้เพื่อขับ LED หรืออุปกรณ์ภายนอกอื่นๆมันจะเป็น High เมื่อใดก็ตามที่มีการบันทึกหรือเล่นกลับ

การบันทึกในโหมด push-bottom

1.) ขา PD ควรเป็น LOW โดยปกติใช้ pulldown resistor

2.) ขา $\overline{P/R}$ เป็น High

3.) ขา CE เป็น low เมื่อเริ่มการบันทึก $\overline{EOM}$ เป็น high เพื่อที่จะแสดงการทำงาน

4.) ขา $\overline{CE}$ เป็น low เมื่อหยุดการบันทึก $\overline{EOM}$ กลับไปเป็น low ตัวชี้แอดเดรสภายในจะไม่เคลียร์แต่ $\overline{EOM}$ markers จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำเพื่อที่จะชี้จุดสิ้นสุดของข้อความและขา $\overline{P/R}$ อาจจะเป็น High เกิดขึ้นในขณะนั้นต่อมา $\overline{CE}$ จะเริ่มเล่นกลับที่แอดเดรส 0

5.) ขา $\overline{CE}$ เป็น LOW การบันทึกเริ่มต้นที่แอดเดรสต่อไป $\overline{EOM}$ กลับไปเป็น high (หมายเหตุ: ถ้าขาโหมดการทำงาน M1 เป็น high บิต EOM ที่ได้เขียนขึ้นครั้งที่แล้วจะถูกลบ และการบันทึกจะเริ่มต้นที่แอดเดรสนั้น)

6.) เมื่อการบันทึกต่อๆมาเสร็จสิ้นลง final $\overline{CE}$ pulse low จะสิ้นสุด record cycle ครั้งที่แล้ว

การเล่นกลับในโหมด push-bottom

1) ขา PD ควรจะเป็น LOW
2) ขา $\overline{P/R}$ เป็น high
3) ขา CE เป็น LOW การเล่นกลับเริ่มต้น $\overline{EOM}$ เป็น high เพื่อแสดงการทำงาน
4) ถ้าขา $\overline{CE}$ เป็น LOW หรือ $\overline{EOM}$ markers กระทำอีกครั้งระหว่างการทำงานเมื่อ $\overline{EOM}$ กลับไปเป็น LOW ขา P/R อาจจะถูกทำให้เปลี่ยนไป
5) ขา $\overline{CE}$ เป็น LOW อีกครั้งการเล่นกลับจะเริ่มต้น
6) การเล่นกลับจะกระทำจากข้อ 4 และ ข้อ 5 จนกว่า PD จะเป็น HIGH หรือเกิดการ overflow เกิดขึ้น
7) ถ้าเกิดการ overflow $\overline{CE}$ low จะรีเซตตัวชี้แอดเดรสและจะเริ่มต้นการเล่นกลับจากจุดเริ่มต้นหลังจาก PD pulse

หมายเหตุ โหมด push-bottom สามารถต่อใช้ร่วมกับ M0 , M1 และ M3 ได้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

ในบทนี้เราจะพูดถึงแนวความคิดและสิ่งที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกแบบเท่านั้น เพราะเนื่องจากการทดลองสร้างจริงจะใช้เป็นวงจรพื้นฐานและวงจรการประยุกต์ใช้งานในไอซีแต่ละตัวเท่านั้น ซึ่งรูปวงจรจะแสดงไปควบคู่กับผลการทดลองในบทที่ 4 พร้อมกันนั้นจะอธิบายถึงวงจรโดยรวมทั้งหมด และอีกส่วนที่จะกล่าวถึงคือขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นศูนย์กลางของทุกวงจรและเป็นตัวสั่งการให้แสดงผล

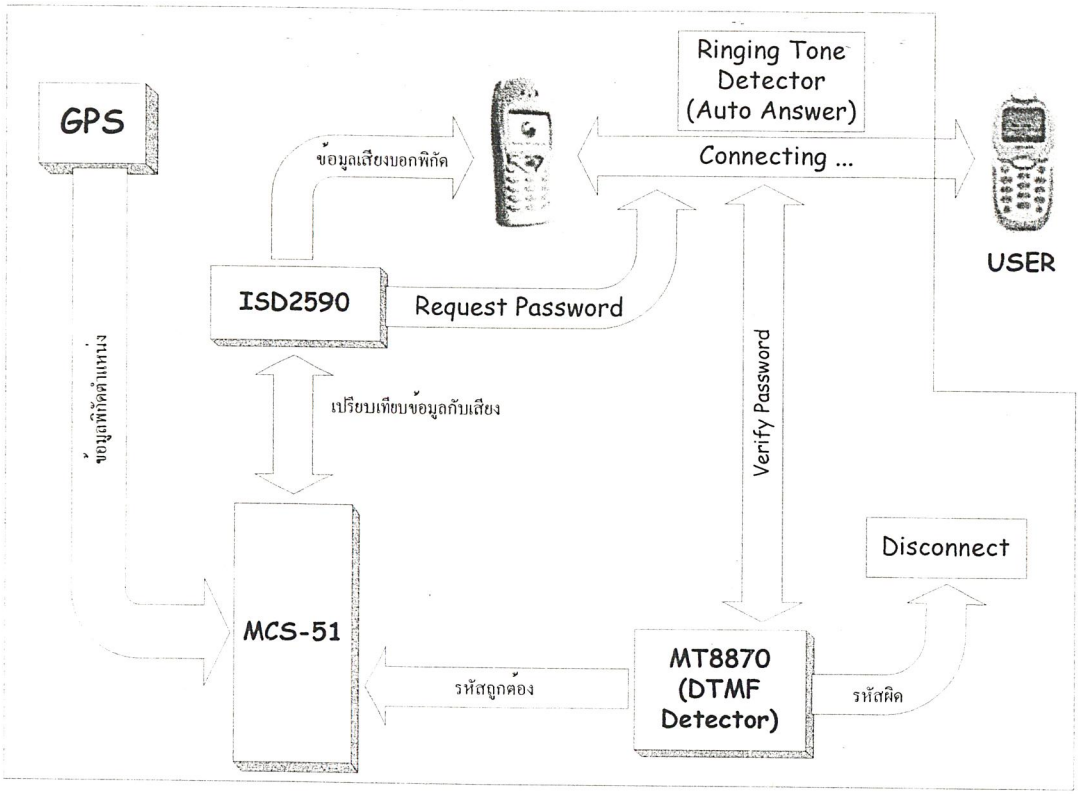
3.1) บล็อกไดอะแกรม ระบบการทำงาน

เมื่อมีการเรียกเข้าจากผู้ใช้งานเข้ามายังโทรศัพท์มือถือ จะเกิดสัญญาณเรียกเข้า (Ringing Tone) ขึ้นมา วงจรตรวจจับสัญญาณเรียกเข้า (Ringing Tone Detector) จะจับสัญญาณเรียกเข้าจากโทรศัพท์มือถือและจะขยายสัญญาณที่ได้รับ แล้วส่งสัญญาณต่อไปยังขาอินเตอร์รัพท์ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อยังไม่มีการเรียกเข้า ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการเก็บค่าตำแหน่งพิกัดจากเครื่อง GPS ลงในหน่วยความจำที่อยู่ในตัว แต่เมื่อใดที่มีการเรียกเข้ามา ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะได้รับสัญญาณอินเตอร์รัพท์ จากวงจรตรวจจับสัญญาณเรียกเข้า แล้ว จะหยุดการเก็บค่าตำแหน่งพิกัดจากเครื่อง GPS และจะทำการเรียกขอตรวจสอบรหัส ผ่าน เมื่อผู้ใช้งานส่งรหัสผ่านมาแล้ว เราจะใช้วงจร DTMF แปลงสัญญาณที่ได้รับเป็นข้อมูล เพื่อทำการตรวจสอบ ถ้ารหัสไม่ถูกต้อง จะทำการร้องขอรหัสใหม่อีกครั้งหรือตัดการติดต่อ เมื่อรหัสผ่านที่ได้รับมาถูกต้องแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำค่าพิกัดที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ ส่งต่อให้กับวงจรบันทึกเสียงเพื่อแปลงข้อมูลเป็นเสียงแล้วส่งต่อไปยังโทรศัพท์มือถือให้ผู้ใช้งานทราบต่อไป

3.2) วงจรถอดรหัสสัญญาณ DTMF (DTMF Decoder)

เป็นวงจรที่มีรูปแบบการทำงานตามเดต้าชีท เป็นวงจรที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นการใส่รหัสให้กับอุปกรณ์คือ เมื่อมีการสูญหายของวัตถุ เช่น รถ เมื่อเราต้องการทราบพิกัดของรถที่เราต้องการค้นหา เราก็จะทำการโทรศัพท์ติดต่อไปยังโทรศัพท์ที่อยู่ภายในวงจรเพื่อให้ทำการบอกพิกัดของรถ เราจะต้องใส่รหัสที่ตั้งไว้เพื่อเป็นการบอกสถานะความเป็นเจ้าของรถ ซึ่งการใส่รหัสนี้ถือเป็นการเพิ่มความปลอดภัยได้อีกอย่างเพราะถ้าหากเกิดกรณีที่มีผู้ไม่หวังดีทราบเบอร์โทรศัพท์ที่อยู่ในวงจร แล้วโทรไปก็จะทำให้ทราบตำแหน่งรถได้เหมือนกัน ดังนั้นการใส่รหัสจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาความปลอดภัยอีกขั้น

ซึ่งจากรูปวงจรภายในของไอซี DTMF จะเห็นว่าเป็นวงจร ขยายก่อนที่จะแยกความถี่ที่ผสมเข้ามาเป็นส่วนของ โลว์พาส และ ไฮพาส ซึ่งสัญญาณที่เข้าจะเป็นสัญญาณที่ผสมกัน หลังจากนั้นจะนำความถี่ที่ได้มาใส่รหัสให้กลายเป็นเลขดิจิตอล 4 บิต



รูปที่ 3-1 บล็อกไดอะแกรม ระบบการทำงาน

3.3) วงจรตรวจจับสัญญาณเรียกเข้า (Ringing tone Detector)

เป็นวงจรเริ่มต้นสิ่งที่ต้องการคือ เมื่อมีสัญญาณเรียกเข้ามาจะนำสัญญาณเรียกเข้านี้ไปทำให้เกิดการอินเตอร์รัพท์ ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งต้องการไฟ 3-5 โวลท์ ในการทริก จากการวัดสัญญาณเป็นไฟตรงที่ออกจากโทรศัพท์มือถือทาง Small talk จะได้สัญญาณไฟตรงประมาณ 1.8 โวลท์ จึงต้องมาทำการขยายให้ได้ แรงดันที่ต้องการ เลือกสร้างวงจรขยายด้วยทรานซิสเตอร์ ที่ได้อัตราขยายประมาณ 2 เท่า ซึ่งจะแสดงผลด้วยการทำให้ LED มีไฟติด

3.4) วงจรบันทึกเสียง (Voice Recorder)

เป็นอีกวงจรที่มีรูปแบบการใช้งานสำหรับตัวมันเองโดยเฉพาะ เราใช้วงจรนี้เพื่อใช้บันทึกเสียงที่ใช้สำหรับการบอกค่าพิกัดตำแหน่ง โดยจะบันทึกเสียงแต่ละคำพูดเก็บเป็นหนึ่งข้อความ โดยที่เลขหรือคำพูดแต่ละตัวจะถูกเก็บไว้ที่ข้อความต่างๆ เรียงลำดับกันไปตามที่ต้องการ หรือตามที่ได้ออกแบบไว้ การนำมาใช้งาน จะนำคำพูดเหล่านั้นมาเล่นเรียงกันทีละข้อความ ตามที่ต้องการสื่อให้เกิดความหมาย ซึ่งตัวอย่างในการเก็บเสียงคำพูดที่ข้อความต่างๆนั้นเป็นผลการทดลองซึ่งจะรวมอยู่ในบทที่ 4

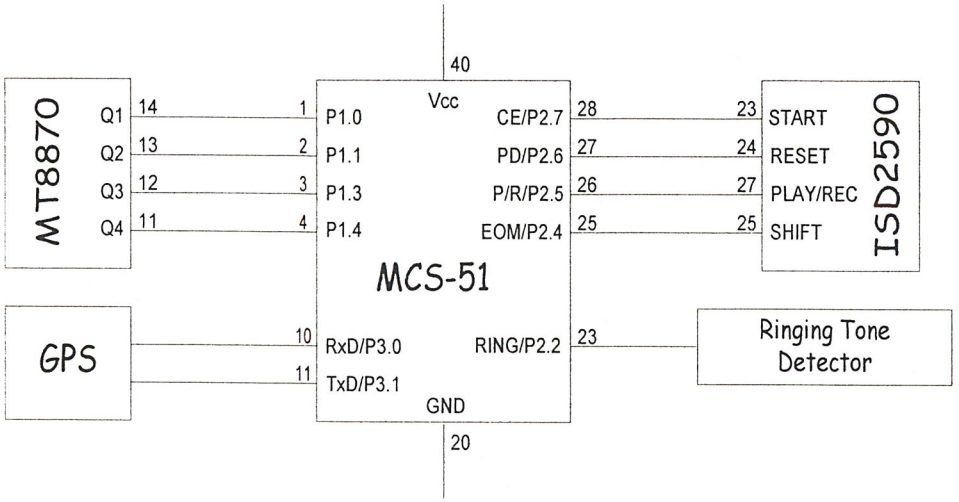
3.5) วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

เราใช้เป็นศูนย์กลางในการประมวลผล และสั่งการการทำงานของแต่ละวงจร รวมถึงการแสดงผลของวงจรต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้จากบล็อกไดอะแกรม ว่าเอาท์พุตของทุกวงจร จะเข้ามาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งหมด ในการเขียนโปรแกรม จะแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

3.5.1) โปรแกรมรับค่าข้อมูลพิกัดตำแหน่งจากเครื่อง GPS มาเก็บในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.5.2) โปรแกรมเปรียบเทียบรหัสผ่านจากวงจร DTMF (ไอซี MT8870)

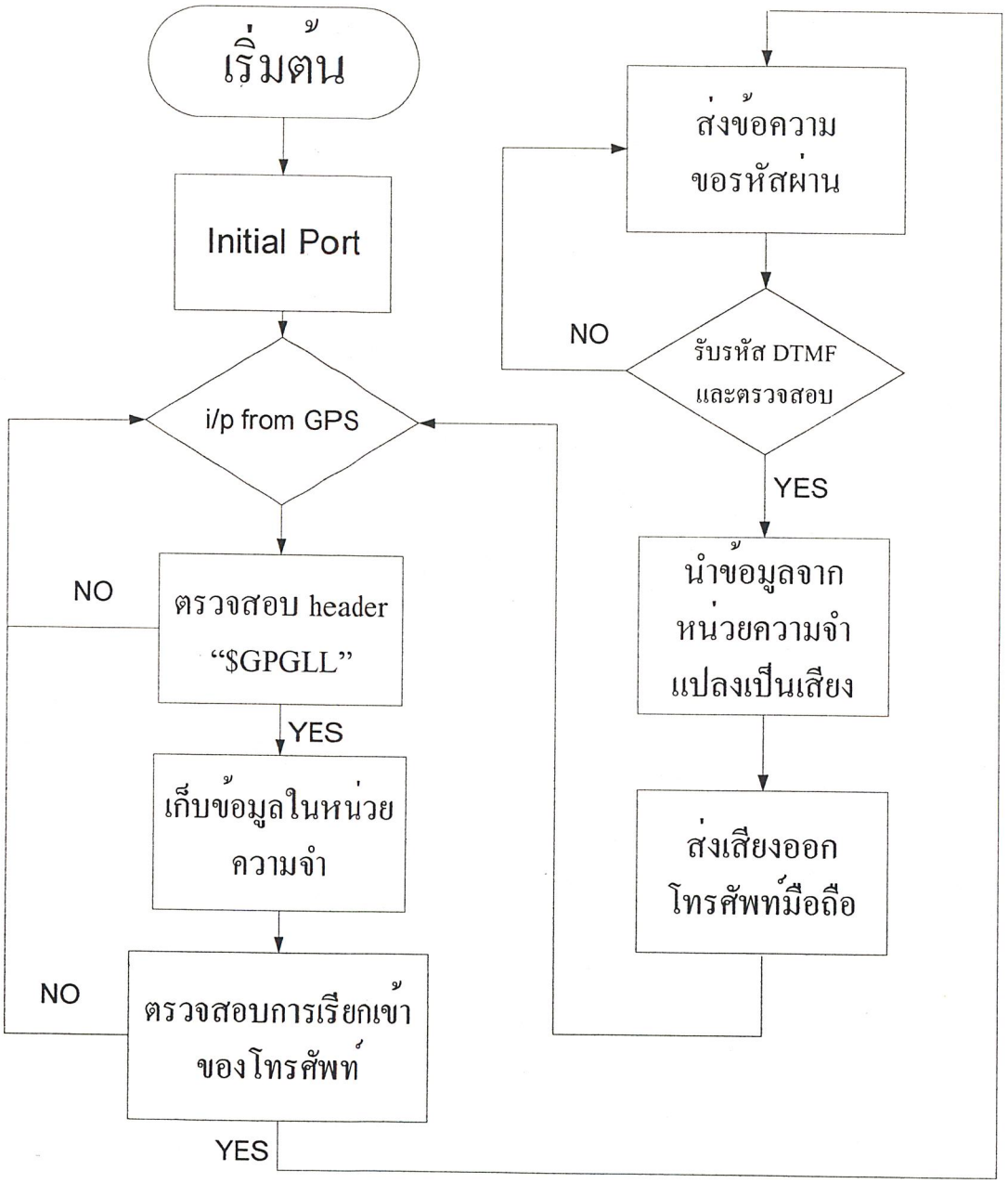
3.5.3) โปรแกรมเปรียบเทียบข้อมูลกับเสียงที่บันทึกไว้ในไอซีบันทึกเสียง ISD2590



รูปที่ 3-2 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ กับอุปกรณ์อื่นๆ

3.6) โฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบ

โดยปกติแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเก็บค่าตำแหน่งพิกัดจากเครื่อง GPS ไว้ในหน่วยความจำ เมื่อเกิดอินเตอร์รัพท์ขึ้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะหยุดการเก็บค่าพิกัดไว้ก่อน และจะไปรับค่าข้อมูลจากวงจรตรวจจับสัญญาณ DTMF เพื่อตรวจสอบรหัสผ่าน ถ้ารหัสผ่านถูกต้อง ก็จะส่งข้อมูลตำแหน่งของ GPS ที่อยู่ในหน่วยความจำไปยังวงจรบันทึกเสียง เพื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลพิกัดตำแหน่งที่ได้มาจาก GPS กับข้อมูลเสียงที่ถูกบรรทุกอยู่ในไอซี ISD2590

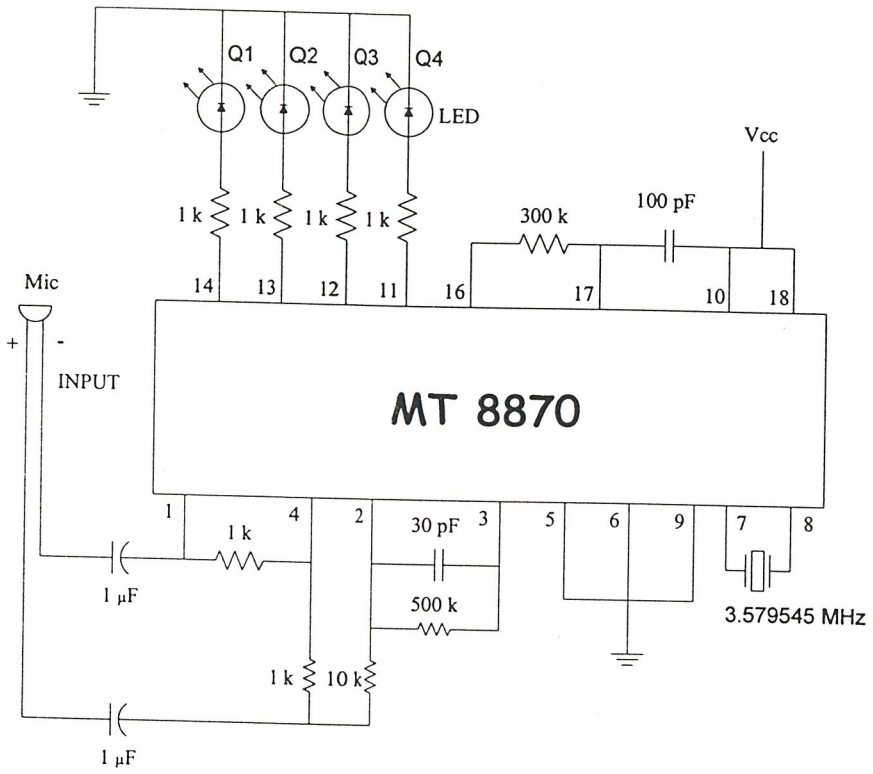


รูปที่ 3-3 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบ

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1) การทำงานของวงจรภาคถอดรหัสสัญญาณ DTMF



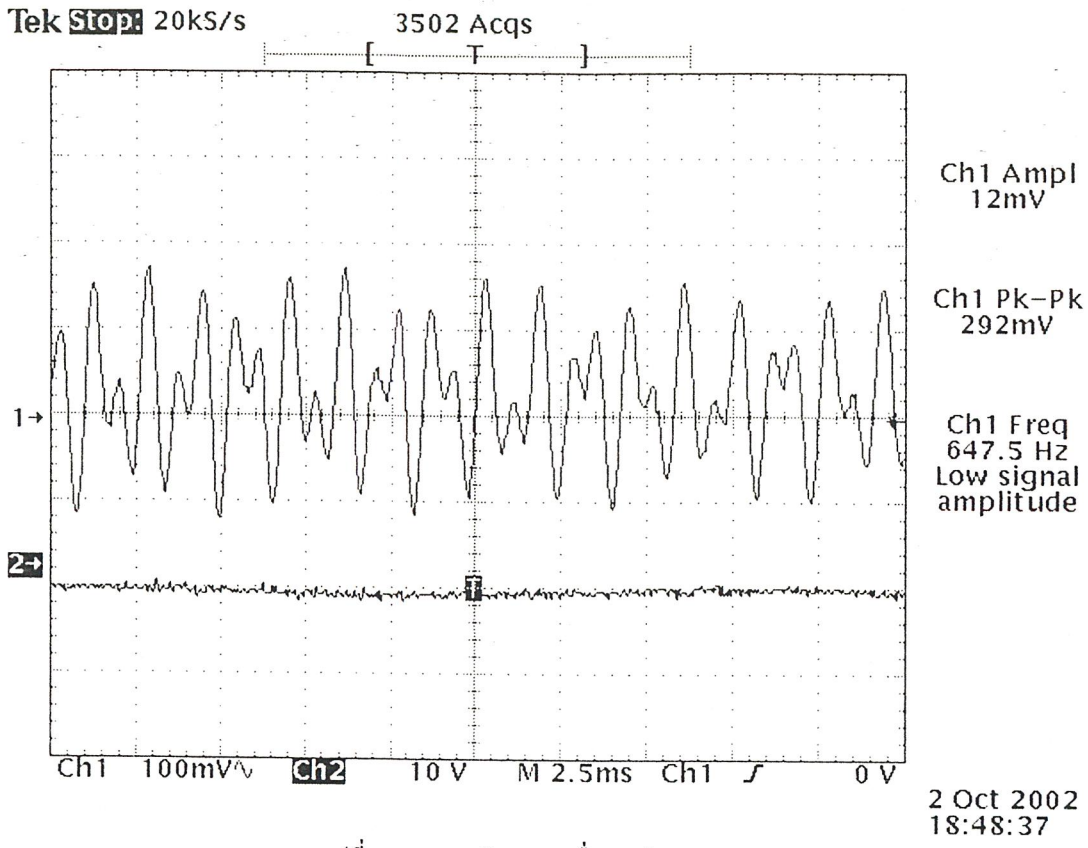
รูปที่ 4-1 แสดงวงจรภาคถอดรหัสสัญญาณ DTMF

จากรูปที่ 4-1 เป็นวงภาคถอดรหัสสัญญาณ DTMF โดยจะทำหน้าที่ในการรับเอาสัญญาณ DTMF ที่เข้ามาแล้วเปลี่ยนความถี่ DTMF ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ฐานสอง สี่บิท ออกจากทางด้านเอาท์พุทการทำงานของวงจรถอดรหัสสัญญาณ DTMF การทำงานของวงจรใช้ไอซีเบอร์ MT8870 เป็น DTMF Decoder ซึ่งจะรับสัญญาณ DTMF เข้ามาทางอินพุทผ่าน ตัวต้านทาน R 100 k , 39 k , 56 k และคาปาซิเตอร์ 0.01 ไมโครฟารัด ซึ่งประกอบกันเป็นวงจรเนทเวิร์ค เพื่อเปรียบเทียบสัญญาณที่เข้ามาทางอินพุตและจากนั้นจะทำการถอดรหัสสัญญาณที่เข้ามาทางอินพุต ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล เลขฐานสอง (BCD) โดยสัญญาณที่ถอดรหัส เป็นสัญญาณดิจิตอลแล้วส่งออกที่ขา 11-14 ของ MT8870 แล้วส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ขา 1-4 (P1.0 – P1.3) ส่วน ที่ขา 7 และ ขา 8 ของ MT8870 จะต่อคริสตอลออสซิลเลเตอร์ (x-tal) ความถี่ 3.579 MHz ไว้เพื่อให้เป็นตัวกำเนิดฐานเวลาให้กับการทำงานของ MT8870

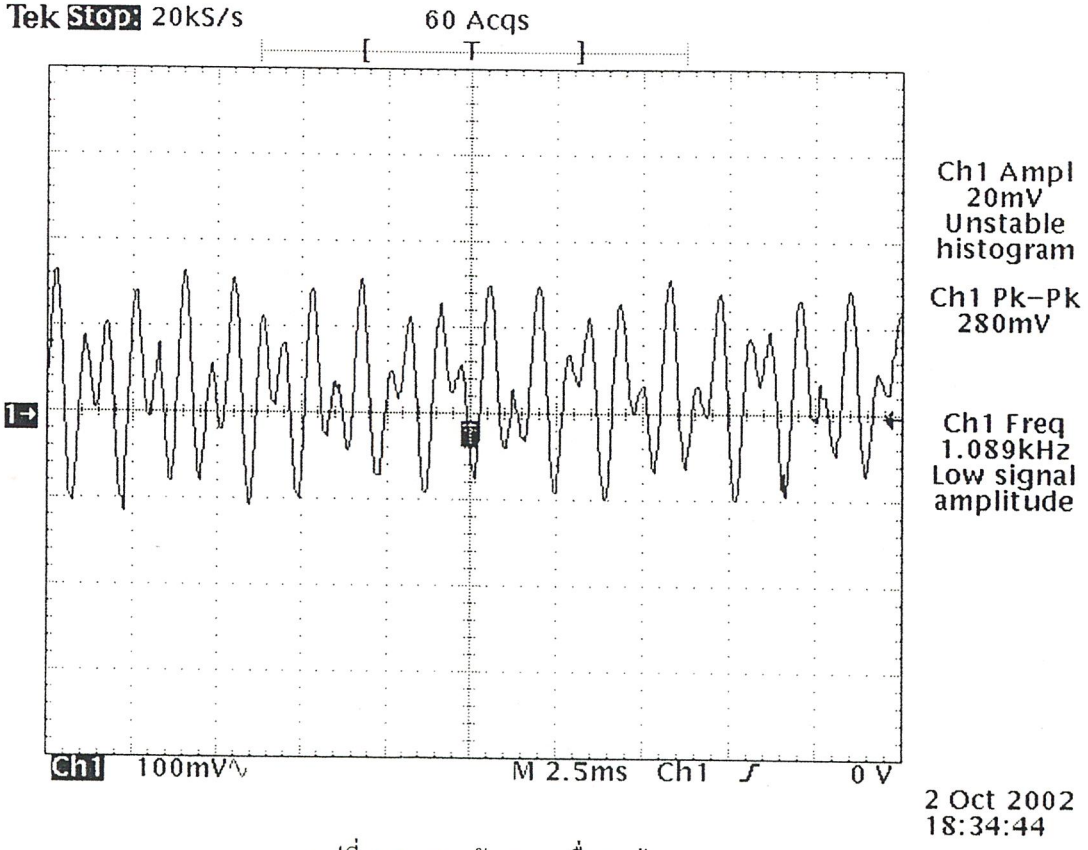
ผลการทดลอง เมื่อกดพัลส์ที่แป้นโทรศัพท์มือถือ และสังเกต LED ทั้ง 4 ดวง (Q1-Q4)

พัลส์	Q1	Q2	Q3	Q4
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
0	1	0	1	0
*	1	0	1	1
#	1	1	0	0

ตารางที่ 4-1 แสดงผลลัพธ์จากการกดพัลส์ที่แป้นโทรศัพท์มือถือ และสังเกตที่ไฟ LED (โดยที่กำหนดให้ ไฟ LED ติด = 1, ไฟ LED ดับ = 0)

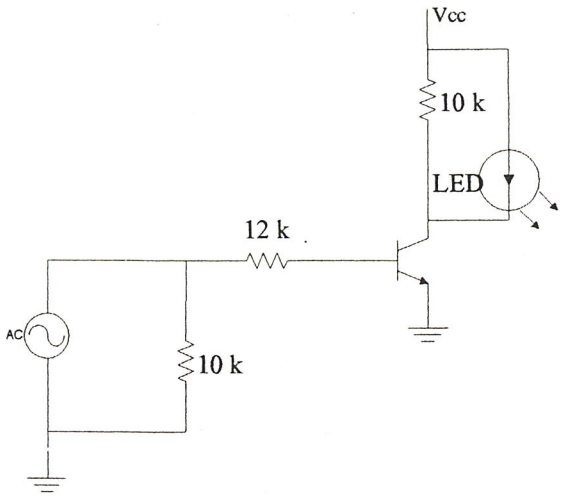


รูปที่ 4-2 แสดงสัญญาณเมื่อกดปุ่มหมายเลข 1



รูปที่ 4-3 แสดงสัญญาณเมื่อกดปุ่มหมายเลข 5

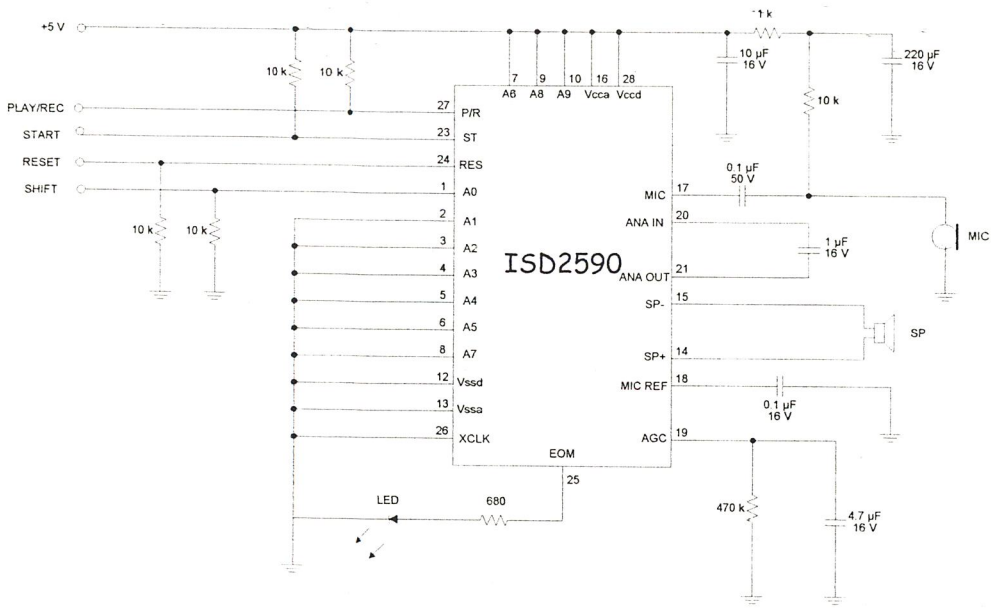
4.2) การทำงานของวงจรตรวจสอบสัญญาณเรียกเข้า (Ringing Tone Detector Circuit)



รูปที่ 4-4 วงจรตรวจสอบสัญญาณเรียกเข้า (Ringing tone detector circuit)

จากรูปเป็นวงจรตรวจสอบสัญญาณเรียกเข้า (Ringing tone detector circuit) ซึ่งสัญญาณเรียกเข้า (Ringing tone) หรือที่เรียกอย่างหนึ่งว่าสัญญาณกระดิ่ง สัญญาณเรียกเข้านี้จะมีขนาดของสัญญาณประมาณ 90-110 Vpp มีความถี่ 25 Hz วงจรนี้จะทำการตรวจจับสัญญาณกระดิ่งว่าสัญญาณกระดิ่งที่เข้ามานั้นว่ามีจำนวนครั้งเท่ากับจำนวนที่เรากำหนดไว้หรือยัง การทำงานของวงจรเริ่มจากสัญญาณเรียกเข้านี้จะผ่านวงจรบริดจ์ (Bridge rectifier) ซึ่งประกอบไปด้วยไดโอด D1- D4 สัญญาณ Ringing tone เมื่อผ่านวงจรบริดจ์แล้ว จะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ประมาณ 20 โวลท์ และรักษาระดับแรงดันให้คงที่ด้วยซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) ให้เหลือแรงดันประมาณ 15 โวลท์ และจะถูกลดแรงดันให้เหลือ 2-3 โวลท์ ด้วยตัวต้านทาน R3 เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ (Transistor) ทำงานได้ ตัวต้านทาน R1 และตัวเก็บประจุ C1 ที่ต่ออยู่จะเป็นตัวคับปลิ้ง (Coupling) สัญญาณเรียกเข้า และจำกัดกระแสและแรงดันของสัญญาณเรียกเข้า ตัวต้านทาน R2 และตัวเก็บประจุ C2 ทำหน้าที่ กรองสัญญาณให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบยิ่งขึ้น แรงดันไฟตกคร่อม R2 จะถูกจ่ายไบอัสให้กับขา เบสของทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะมีตัวต้านทาน R3 ทำหน้าที่จำกัดกระแสให้ เมื่อมีสัญญาณเรียกเข้ามาที่คู่สายโทรศัพท์ จะทำให้ขาคอลเลคเตอร์(Collector) ของทรานซิสเตอร์ ต่อลงกราวด์ เนื่องจาได้รับไบอัสตรงทำให้แรงดันตกเป็นศูนย์ขาคอลเลคเตอร์ขานี้จะไปต่ออยู่กับขาอินเตอร์รัพท์ของไมโครคอนโทรลเลอร์เกิดการอินเตอร์รัพท์ขึ้น

4.3) วงจรบันทึกเสียง (Voice Recorder)



รูปที่ 4-5 แสดงการต่อไอซีบันทึกเสียง ISD2590 (Voice Recorder)

จากรูปเป็นการต่อไอซี ISD2590 แบบโหมดที่ 2 หรือแบบบันทึกเสียง/เล่นเสียง หลายๆข้อความ การใช้งานก็จะมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ

1.) การบันทึกข้อความเรียงลำดับ คือการบันทึกเรียงทีละข้อความตั้งแต่ข้อความที่1 จนถึงข้อความสุดท้าย

2.) การเล่นข้อความเรียงลำดับ คือการเล่นข้อความเรียงลำดับตั้งแต่ข้อความที่1 จนถึงข้อความสุดท้าย

3.) การเล่นข้อความไม่เรียงลำดับ คือการเล่นข้อความแบบข้ามช่องไปมา หรือจะเล่นช่องไหนก่อนก็ได้ โดยที่ไม่ต้องเรียงตามลำดับช่องที่บันทึกไว้ หลักการเล่นข้อความไม่เรียงลำดับนี้ วิธีการสั่งเลื่อนข้อความก่อนอื่นจะทำการป้อนพัลส์บวกที่ขา RESET เพื่อเตรียมตัวเล่นข้อความ การเล่นข้อความจะขึ้นอยู่กับการป้อนสัญญาณพัลส์ลบที่ขา START หลังจากที่ขา SHIFT ได้รับลอจิก “1” แล้ว สมมติว่าต้องการเล่นข้อความที่ 4 ก่อนหลังจากที่ทำการรีเซตแล้ว ก็จะต้องป้อนสัญญาณพัลส์ลบที่ขา START 3 ครั้งโดยครั้งที่ 1 จะเลื่อนไปหาข้อความที่ 2, ครั้งที่ 2 จะเลื่อนไปหาข้อความที่ 3, ครั้งที่ 3 จะเลื่อนไปหาข้อความที่ 4 นั้นเอง เมื่อต้องการเล่นข้อความใดๆต่อไป ก็จะต้องกลับไปเริ่มต้นรีเซตใหม่ แล้วใช้หลักการเลื่อนข้อความเช่นเดิม ไปยังข้อความที่ต้องการจะเล่นถัดไป

การบันทึกเรียงลำดับ		การเล่นเรียงลำดับ	
ขาอินพุต	สภาวะ	ขาอินพุต	สภาวะ
RESET	SETBIT	RESET	SETBIT
PLAY/REC	“0”	PLAY/REC	“1”
START	CLEARBIT	START	CLEARBIT
ข้อความที่ 1			
START	CLEARBIT	ฟังข้อความที่ 1	
START	CLEARBIT	START	CLEARBIT
ข้อความที่ 2			
START	CLEARBIT	ฟังข้อความที่ 2	
START	CLEARBIT	START	CLEARBIT
ข้อความที่ 3			
START	CLEARBIT	ฟังข้อความที่ 3	

ตารางที่ 4-2 แสดงวิธีควบคุมการทำงานของ ISD2590 ในโหมดที่ 2 แบบเรียงลำดับ

การเล่นไม่เรียงลำดับ			
ขาอินพุต	ขาอินพุต	สภาวะ	สภาวะ
RESET	SETBIT	RESET	SETBIT
PLAY/REC	“1”	PLAY/REC	“1”
SHIFT	“1”	SHIFT	“1”
START	CLEARBIT	START	CLEARBIT
SHIFT	“0”	START	CLEARBIT
START	CLEARBIT	START	CLEARBIT
ฟังข้อความที่ 2		SHIFT	“0”
		START	CLEARBIT
		ฟังข้อความที่ 6	

ตารางที่ 4-3 แสดงวิธีควบคุมการทำงานของ ISD2590 ในโหมดที่ 2 แบบไม่เรียงลำดับ

จากการทดลองได้บันทึกเสียงไว้ ดังนี้

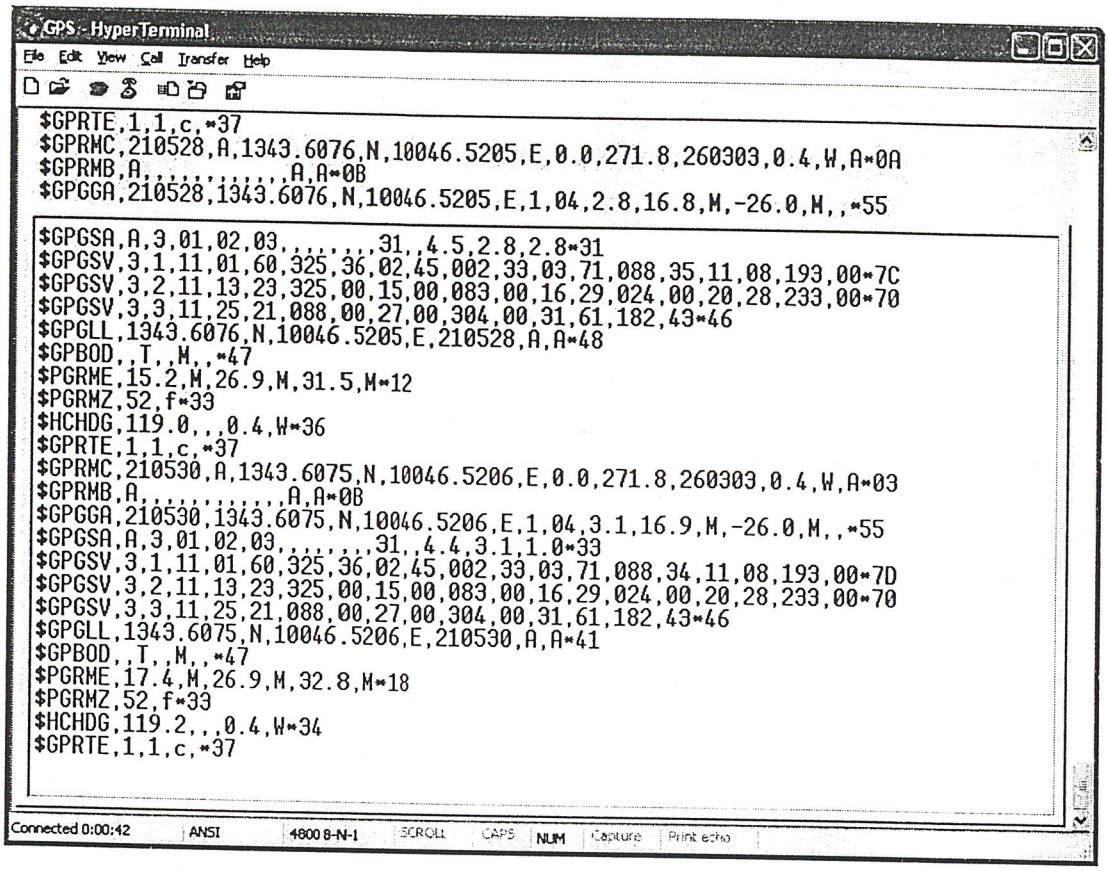
ลำดับที่	คำพูด
ข้อความที่ 1	หนึ่ง
ข้อความที่ 2	สอง
ข้อความที่ 3	สาม
ข้อความที่ 4	สี่
ข้อความที่ 5	ห้า
ข้อความที่ 6	หก
ข้อความที่ 7	เจ็ด
ข้อความที่ 8	แปด
ข้อความที่ 9	เก้า
ข้อความที่ 10	ศูนย์
ข้อความที่ 11	กรุณากดรหัสผ่าน

ลำดับที่	คำพูด
ข้อความที่ 12	พิกัดในขณะนี้ คือ
ข้อความที่ 13	เอ็กซ์ (X)
ข้อความที่ 14	วาย (Y)
ข้อความที่ 15	เท่ากับ
ข้อความที่ 16	จุด
ข้อความที่ 17	องศา
ข้อความที่ 18	ลิปดา
ข้อความที่ 19	เหนือ
ข้อความที่ 20	ใต้
ข้อความที่ 21	ตะวันออก
ข้อความที่ 22	ตะวันตก

ตารางที่ 4-4 แสดงผลการทดลองของวงจรบันทึกเสียง (Voice Recorder)

4.4) ส่วนข้อมูลพิกัดตำแหน่งจาก GPS

เนื่องจาก GPS จะส่งข้อมูลมาทางพอร์ตอนุกรมเป็นแพ็คเก็จ ทุก 1 วินาทีต่อเนื่องไปเรื่อยๆ เมื่อนำมาเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เพื่อดูว่าข้อมูลที่ได้เป็นเช่นไร จะได้ผลลัพธ์ ดังนี้



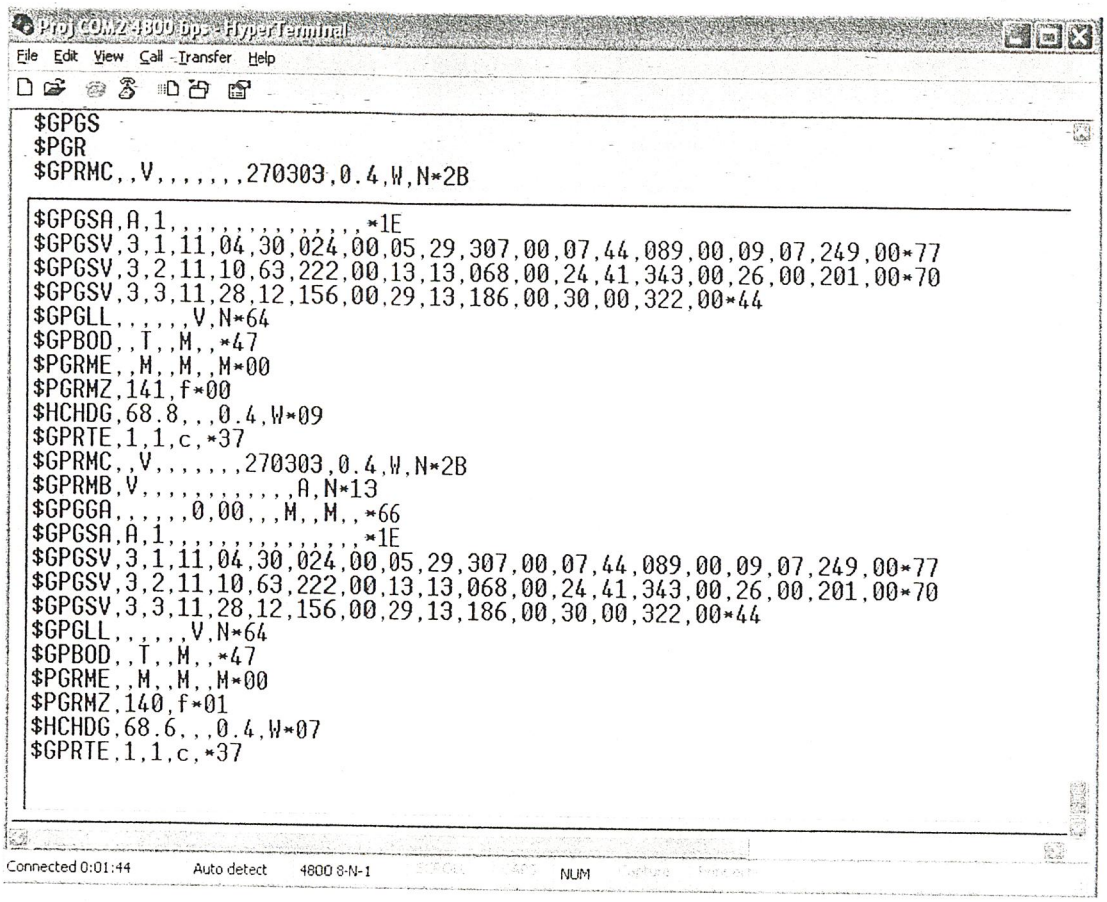
รูปที่ 4-6 ข้อมูลดิบที่ถูกส่งออกมาจากตัวเครื่อง GPS เมื่อนำมาเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางโปรแกรม Hyperterminal

แต่เนื่องจากเราสนใจเฉพาะพิกัดตำแหน่งละติจูด(X) และลองติจูด (Y) เท่านั้น จากการอ้างอิงมาตรฐาน NMEA183 ในการนำมาใช้งานจริงจึงพิจารณาเพียงแค่ประโยค (Sentence ID) ที่เป็น "$GPGLL"เท่านั้น ดังตัวอย่างจากรูป เช่น $GPGLL,1343.6075,N,10046.5206,E,210530,A,A*41 เมื่อถอดความตามมาตรฐาน NMEA183 จะได้ข้อมูลว่า

ละติจูด (X) เท่ากับ 13 องศา 43.6075 ลิปดา หรือ 13 องศา 43 ลิปดา 36.45 ฟิลิปดา องศาเหนือ (N)

ลองติจูด (Y) เท่ากับ 100 องศา 46.5206 ลิปดา หรือ 100 องศา 46 ลิปดา 31.326 ฟิลิปดา องศาตะวันออก (E)

ส่วนในกรณีที่ GPS รับสัญญาณไม่ได้ หรือไม่มีสัญญาณนั้น ข้อมูล จะถูกส่งออกมาในรูปที่มีเครื่องหมายคอมม่า(,) ติดกันไป ซึ่งโดยปกติแล้ว เครื่องหมายคอมม่าจะมีไว้เพื่อคั่นข้อมูลแต่ละชุด ดังนั้นเมื่อรับข้อมูลมาแล้วปรากฏว่าเป็นเครื่องหมายคอมม่าติดกัน แสดงว่า GPS ไม่สามารถติดต่อกับดาวเทียมได้



รูปที่ 4-7 ข้อมูลดิบที่ถูกส่งออกมาจากตัวเครื่อง GPS เมื่อนำมาเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางโปรแกรม Hyperterminal ในกรณีที่ GPS ไม่สามารถรับข้อมูลได้

เวลาปกติ	UTC	ละติจูด (X)	ลองติจูด (Y)
14.43	074258	1343.6056,N	10046.5258,E
14.44	074402	1343.6040,N	10046.5270,E
14.45	074504	1343.6044,N	10046.5260,E
14.46	074610	1343.6046,N	10046.5276,E
14.47	074702	1343.6049,N	10046.5265,E
14.48	074758	1343.6052,N	10046.5264,E
14.49	074856	1343.6067,N	10046.5281,E
14.50	074950	1343.6074,N	10046.5277,E
14.51	075106	1343.6023,N	10046.5297,E
14.52	075202	1343.6069,N	10046.5231,E

ตารางที่4-5 แสดงค่าพิกัดต่างๆ ที่ทำการบันทึกทุกๆ 1นาที ในขณะที่อยู่นิ่ง เป็นเวลา 10 นาที

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

จากการศึกษาในตอนแรกในส่วนของวงจรบันทึกเสียงนั้นที่ใช้วิธีต่อให้วงจรทำงานตามตัวอย่างใน ดาต้าชีทของไอซีเองนั้น พบได้ว่ามีความยุ่งยากเมื่อนำมาใช้งานโดยผ่านการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพราะว่าตามดาต้าชีทนั้นจะเก็บข้อมูลเสียงเป็นแอดเดรสซึ่งความยาวของแต่ละเสียงก็จะกินความยาวของแอดเดรสไม่เท่ากัน และยังมีปัญหาในการคาบเกี่ยวระหว่างเสียงในแต่ละแอดเดรสได้อีก การควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องใช้พอร์ต 0 ทั้งพอร์ทและพอร์ทสองอีก 2 ขา ซึ่งจะเห็นความยุ่งยากมากและเมื่อรวมเป็นวงจรควบคุมทั้งหมด จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องรับภาระในการควบคุมมากและตัวโปรแกรมเองก็มีความซับซ้อนและเมื่อมีปัญหาก็จะยากแก่การตรวจเช็ค

ดังนั้นจึงลองศึกษาหาวงจรการใช้งานในรูปแบบอื่นมาแทนซึ่งเป็นวงจรที่เก็บข้อมูลเสียงเป็นพัลส์เรียงลำดับแทนคือ พัลส์ลูกที่ 1 จะเป็นข้อความที่ 1 ลูกที่ 2 จะเป็นข้อความที่ 2 และมีปุ่ม SHIFTในการเลื่อนตำแหน่งพัลส์ไปยังข้อความเสียงที่ต้องการ ไม่จำเป็นต้องเรียงลำดับซึ่งจะเข้าใจง่ายกว่าในการสั่งงานจากไมโครคอนโทรเลอร์แต่วิธี ยังมีปัญหาด้านฮาร์ดแวร์ ที่ต้องมี ไอซีสวิทช์เพิ่มเข้ามาเพื่อช่วยในการสั่งทำงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรขยายซึ่งจะเพิ่มความยุ่งยากที่ตัวอุปกรณ์แทน

ภาคผนวก

ISD2500 Series

Single-Chip Voice Record/Playback Devices
32-, 40-*, 48-*, 64-**, 60-, 75-, 90-, and 120-Second Durations

FEATURES

- Easy-to-use single-chip voice Record/Playback solution
- High-quality, natural voice/audio reproduction
- Manual switch or microcontroller compatible Playback can be edge- or level-activated
- Single-chip durations of *32*, 40*, 48*, 64**, 60, 75, 90, and 120 seconds
- Directly cascadable for longer durations
- Automatic Power-Down (Push-Button Mode)
  - Standby current 1 µA (typical)
- Zero-power message storage
  - Eliminates battery backup circuits
- Fully addressable to handle multiple messages
- 100-year message retention (typical)
- 100,000 record cycles (typical)
- On-chip clock source
- No algorithm development required
- Single +5 volt power supply
- Available in die form, DIP, SOIC, and TSOP packaging
- Industrial temperature (-40°C to +85°C) versions available

1

ISD2500 SERIES SUMMARY

Part Number	Duration (Seconds)	Input Sample Rate (KHz)	Typical Filter Pass Band (KHz)
ISD2560	60	8.0	3.4
ISD2575	75	6.4	2.7
ISD2590	90	5.3	2.3
ISD25120	120	4.0	1.7
*ISD2532**	*32*	*8.0*	*3.4*
*ISD2540**	*40*	*6.4*	*2.7*
*ISD2548**	*48*	*5.3*	*2.3*
*ISD2564**	*64*	*4.0*	*1.7*

* *Advance information: ISD2532/40/48/64 devices.*

GENERAL DESCRIPTION

Information Storage Devices' ISD2500 ChipCorder® Series provides high-quality, single-chip Record/Playback solutions for 32- to 120-second messaging applications. The CMOS devices include an on-chip oscillator, microphone preamplifier, automatic gain control, antialiasing filter, smoothing filter, speaker amplifier, and high density multi-level storage array. In addition, the ISD2500 is microcontroller compatible, allowing complex messaging and addressing to be achieved.

Recordings are stored in on-chip nonvolatile memory cells, providing zero-power message storage. This unique, single-chip solution is made possible through ISD's patented multilevel storage technology. Voice and audio signals are stored directly into memory in their natural form, providing high-quality, solid-state voice reproduction.

DETAILED DESCRIPTION

Speech/Sound Quality

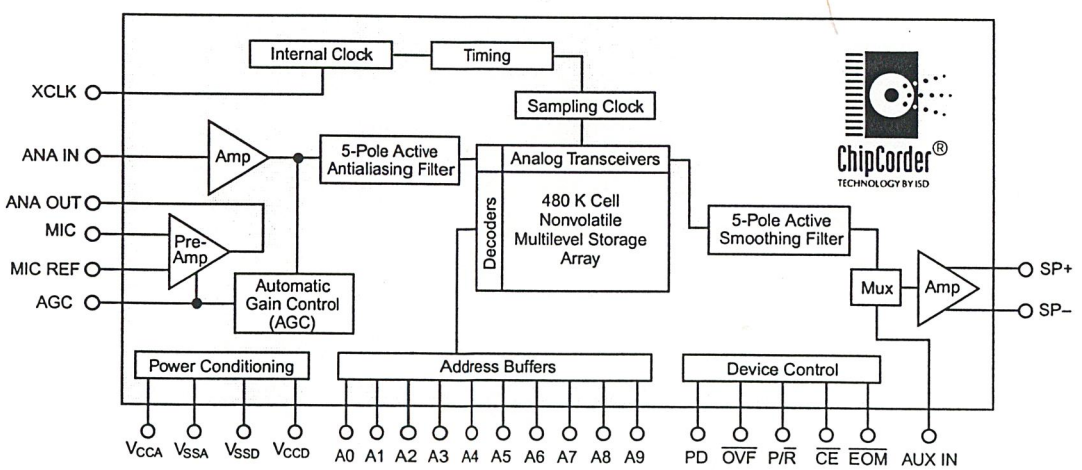
The ISD2500 Series includes devices offered at 4.0, 5.3, 6.4, and 8.0 KHz sampling frequencies, allowing the user a choice of speech quality options. Increasing the duration within a product series decreases the sampling frequency and bandwidth, which affects sound quality. Please refer to the ISD2500 Series Summary table on page 1-79 to compare filter pass band and product durations.

The speech samples are stored directly into on-chip nonvolatile memory without the digitization and compression associated with other solutions. Direct analog storage provides a very true, natural sounding reproduction of voice, music, tones, and sound effects not available with most solid-state digital solutions.

Duration

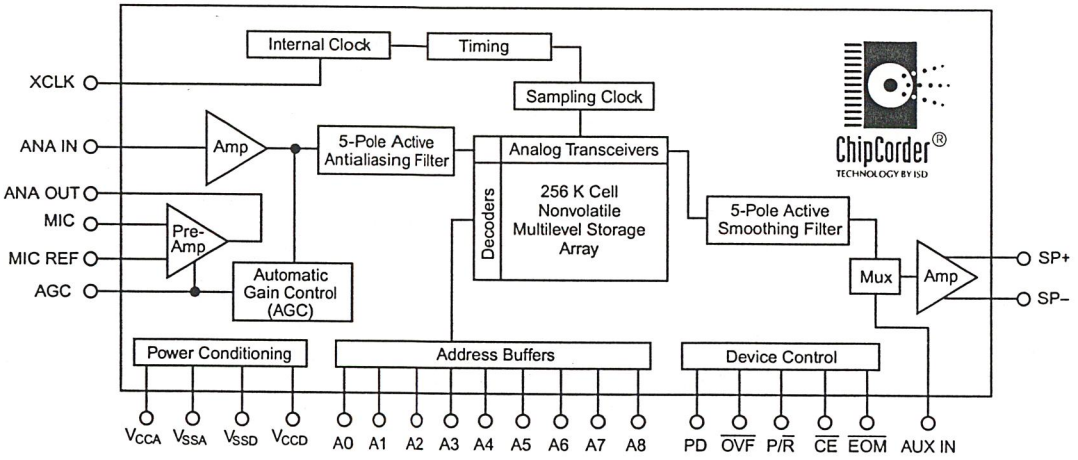
To meet end system requirements, the ISD2500 Series offers single-chip solutions at *32*, 40*, 48*, 64**, 60, 75, 90, and 120 seconds. Parts may also be cascaded together for longer durations.

ISD2560/75/90/120 DEVICE BLOCK DIAGRAM



 * *Advance information: ISD2532/40/48/64 devices.*

*ISD2532/40/48/64** DEVICE BLOCK DIAGRAM



EEPROM Storage

One of the benefits of ISD's ChipCorder technology is the use of on-chip nonvolatile memory, providing zero-power message storage. The message is retained for up to 100 years typically without power. In addition, the device can be re-recorded typically over 100,000 times.

Microcontroller Interface

In addition to its simplicity and ease of use, the ISD2500 Series includes all the interfaces necessary for microcontroller-driven applications. The address and control lines can be interfaced to a microcontroller and manipulated to perform a variety of tasks, including message assembly, message concatenation, predefined fixed message segmentation, and message management.

Programming

The ISD2500 Series is also ideal for playback-only applications, where single or multiple messages are referenced through buttons, switches, or a microcontroller. Once the desired message configuration is created, duplicates can easily be generated via an ISD programmer.

PIN DESCRIPTIONS

Voltage Inputs (V_{CCA}, V_{CCD})

To minimize noise, the analog and digital circuits in the ISD2500 Series devices use separate power busses. These voltage busses are brought out to separate pins and should be tied together as close to the supply as possible. In addition, these supplies should be decoupled as close to the package as possible.

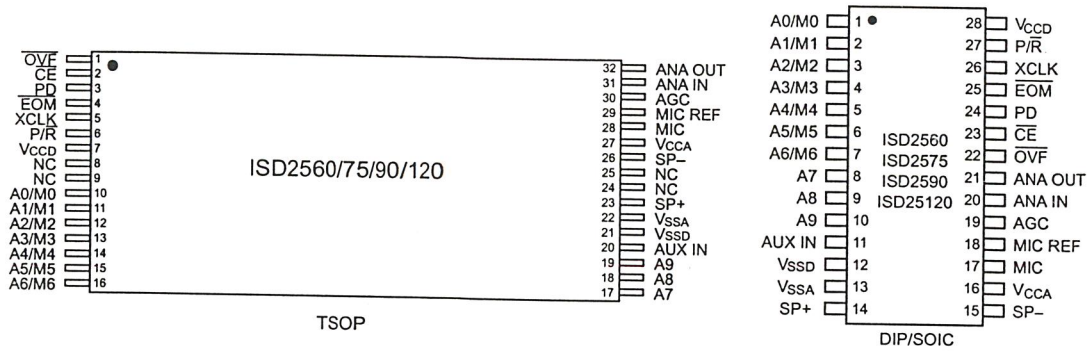
Ground Inputs (V_{SSA}, V_{SSD})

The ISD2500 Series of devices utilizes separate analog and digital ground busses. These pins should be connected separately through a low-impedance path to power supply ground.

Power Down Input (PD)

When not recording or playing back, the PD pin should be pulled HIGH to place the part in a very low power mode (see I_{SB} specification). When $\overline{OVF}$ pulses LOW for an overflow condition, PD should be brought HIGH to reset the address pointer back to the beginning of the Record/Playback space. The PD pin has additional functionality in the M6 (Push-Button) Operational

ISD2560/75/90/120 DEVICE PINOUTS



Mode described later in the Operational Mode section.

1

Chip Enable Input ($\overline{CE}$)

The $\overline{CE}$ pin is taken LOW to enable all Playback and Record operations. The address inputs and Playback/Record input (P/$\overline{R}$) are latched by the falling edge of $\overline{CE}$. $\overline{CE}$ has additional functionality in the M6 (Push-Button) Operational Mode described later in the Operational Mode section.

Playback/Record Input (P/$\overline{R}$)

The P/$\overline{R}$ input is latched by the falling edge of the $\overline{CE}$ pin. A HIGH level selects a Playback cycle while a LOW level selects a Record cycle. For a Record cycle, the address inputs provide the starting address and recording continues until PD or $\overline{CE}$ is pulled HIGH or an overflow is detected (i.e. the chip is full). When a Record cycle is terminated by pulling PD or $\overline{CE}$ HIGH, an End-Of-Message (EOM) marker is stored at the current address in memory. For a Playback cycle, the address inputs provide the starting address and the device will play until an EOM marker is encountered. The device can continue past an EOM marker in an operational mode, or if $\overline{CE}$ is held LOW in address mode. (See page 1-85 for more Operational Modes).

End-Of-Message / RUN Output (EOM)

A nonvolatile marker is automatically inserted at the end of each recorded message. It remains there until the message is recorded over. The EOM output pulses LOW for a period of T_{EOM} at the end of each message.

In addition, the ISD2500 Series has an internal V_{CC} detect circuit to maintain message integrity should V_{CC} fall below 3.5V. In this case, EOM goes LOW and the device is fixed in Playback-only mode.

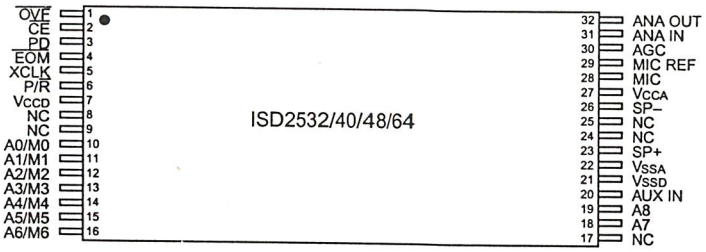
When the device is configured in Operational Mode M6 (Push-Button Mode), this pin provides an active-HIGH RUN signal, indicating the device is currently recording or playing. This signal can conveniently drive an LED for a visual indicator of a Record or Playback operation in process.

Overflow Output ($\overline{OVF}$)

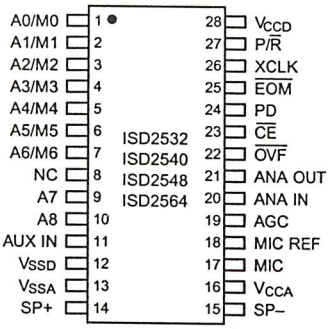
This signal pulses LOW at the end of memory space, indicating the device has been filled and the message has overflowed. The $\overline{OVF}$ output then follows the $\overline{CE}$ input until a PD pulse has reset the device. This pin can be used to cascade several ISD2500 devices together to increase Record/Playback durations.

* *Advance information: ISD2532/40/48/64 devices.*

*ISD2532/40/48/64** DEVICE PINOUTS



TSOP



DIP/SOIC

Microphone Input (MIC)

The microphone input transfers its signal to the on-chip preamplifier. An on-chip Automatic Gain Control (AGC) circuit controls the gain of this preamplifier from -15 to 24 dB. An external microphone should be AC coupled to this pin via a series capacitor. The capacitor value, together with the internal 10 K ohm resistance on this pin, determines the low-frequency cutoff for the ISD2500 Series passband. See ISD's *Application Notes and Design Manual* in this book for additional information on low-frequency cutoff calculation.

Microphone Reference Input (MIC REF)

The MIC REF input is the inverting input to the microphone preamplifier. This provides a noise-canceling or common-mode rejection input to the device when connected to a differential microphone.

Automatic Gain Control Input (AGC)

The AGC dynamically adjusts the gain of the preamplifier to compensate for the wide range of microphone input levels. The AGC allows the full range of whispers to loud sounds to be recorded with minimal distortion. The "attack" time is determined by the time constant of a 5 KΩ internal resistance and an external capacitor (C2 on the schematic on page 1-100) connected from the AGC pin to V_{SSA} analog ground. The "release" time is determined by the time constant of an external resistor (R2) and an external capacitor (C2) connected in parallel between the AGC Pin and V_{SSA} analog ground. Nominal values of 470 KΩ and 4.7 µF give satisfactory results in most cases.

Analog Output (ANA OUT)

This pin provides the preamplifier output to the user. The voltage gain of the preamplifier is determined by the voltage level at the AGC pin.

Analog Input (ANA IN)

The analog input pin transfers its signal to the chip for recording. For microphone inputs, the ANA OUT pin should be connected via an external capacitor to the ANA IN pin. This capacitor value, together with the 3.0 KΩ input impedance of ANA IN, is selected to give additional cutoff at the low-frequency end of the voice passband. If the desired input is derived from a source other than a microphone, the signal can be fed, capacitively coupled, into the ANA IN pin directly.

External Clock Input (XCLK)

The external clock input for the ISD2500 devices has an internal pull-down device. These devices are configured at the factory with an internal sampling clock frequency centered to ±1% of

* *Advance information: ISD2532/40/48/64 devices.*

specification. The frequency is then maintained to a variation of ±2.25% over the entire commercial temperature and operating voltage ranges. The internal clock has a ±5% tolerance over the industrial temperature and voltage range. A regulated power supply is recommended for industrial temperature range parts. If greater precision is required, the device can be clocked through the XCLK pin as follows:

Part Number	Sample Rate	Required Clock
ISD2560	8.0 KHz	1024 KHz
ISD2575	6.4 KHz	819.2 KHz
ISD2590	5.3 KHz	682.7 KHz
ISD25120	4.0 KHz	512 KHz
*ISD2532**	*8.0 KHz*	*1024 KHz*
*ISD2540**	*6.4 KHz*	*819.2 KHz*
*ISD2548**	*5.3 KHz*	*682.7 KHz*
*ISD2564**	*4.0 KHz*	*512 KHz*

These recommended clock rates should not be varied because the antialiasing and smoothing filters are fixed, and aliasing problems can occur if the sample rate differs from the one recommended. The duty cycle on the input clock is not critical, as the clock is immediately divided by two. ***IF THE XCLK IS NOT USED, THIS INPUT MUST BE CONNECTED TO GROUND.***

Speaker Outputs (SP+/SP-)

All devices in the ISD2500 Series include an on-chip differential speaker driver, capable of driving 50 milliwatts into 16 Ω from AUX IN (12.2 mW from memory).

The speaker outputs are held at V_{SSA} levels during record and power down. It is therefore not possible to parallel speaker outputs of multiple ISD2500 devices or the outputs of other speaker drivers.

NOTE

Connection of speaker outputs in parallel may cause damage to the device.

A single output may be used alone (including a coupling capacitor between the SP pin and the speaker). These outputs may be used individually with the output signal taken from either pin. Using the differential outputs results in a 4:1 improvement in output power.

NOTE

Never ground or drive an unused speaker output.

Auxiliary Input (AUX IN)

The Auxiliary Input is multiplexed through to the output amplifier and speaker output pins when CE is HIGH, P/$\overline{R}$ is HIGH, and Playback is currently not active or if the device is in Playback overflow. When cascading multiple ISD2500 devices, the AUX IN pin is used to connect a Playback signal from a following device to the previous output speaker drivers. For noise considerations, it is suggested that the auxiliary input not be driven when the storage array is active.

Address/Mode Inputs (Ax/Mx)

The Address/Mode Inputs have two functions depending on the level of the two Most Significant Bits (MSB) of the address (A8 and A9 for the ISD256075/90/120 devices, and A7 and A8 for the *ISD2532/40/48/64** devices).

If either or both of the two MSBs are LOW, the inputs are ***ALL*** interpreted as address bits and are used as the start address for the current Record or Playback cycle. The address pins are inputs only and do not output internal address information as the operation progresses. Address inputs are latched by the falling edge of $\overline{CE}$.

If both MSBs are HIGH, the Address/Mode Inputs are interpreted as Mode bits according to the Operational Mode table on page 1-85. There are six operational modes (M0..M6) available as indi-

* *Advance information: ISD2532/40/48/64 devices.*

OPERATIONAL MODES TABLE

Mode Control	Function	Typical Use	Jointly Compatible*
M0	Message cueing	Fast-forward through messages	M4, M5, M6
M1	Delete EOM markers	Position EOM marker at the end of the last message	M3, M4, M5, M6
M2	Not applicable	Reserved	N/A
M3	Looping	Continuous playback from Address 0	M1, M5, M6
M4	Consecutive addressing	Record/Play multiple consecutive messages	M0, M1, M5
M5	$\overline{CE}$ level-activated	Allows message pausing	M0, M1, M3, M4
M6	Push-button control	Simplified device interface	M0, M1, M3

NOTE: *An asterisk (*) indicates additional operational modes which can be used simultaneously with the given mode.*

1

cated in the table. It is possible to use multiple operational modes simultaneously. Operational Modes are sampled on each falling edge of $\overline{CE}$, and thus Operational Modes and direct addressing are mutually exclusive.

OPERATIONAL MODES

The ISD2500 Series is designed with several built-in operational modes that provide maximum functionality with minimum additional components. These are described in detail below. The operational modes use the address pins on the ISD2500 devices, but are mapped outside the valid address range. When the two Most Significant Bits (MSBs) are HIGH (A8 and A9 for the ISD2560/75/90/120 devices, and A7 and A8 for the *ISD2532/40/48/64** devices), the remaining address signals are interpreted as mode bits and not as address bits. Therefore, operational modes and direct addressing are not compatible and cannot be used simultaneously.

There are two important considerations for using operational modes. First, all operations begin initially at address 0, which is the beginning of the ISD2500 address space. Later operations can begin at other address locations, depending on the operational mode(s) chosen. In addition, the address pointer is reset to 0 when the device is changed from Record to Playback, Playback to Record (except M6 mode), or when a Power-Down cycle is executed.

Second, Operational Modes are executed when $\overline{CE}$ goes LOW and the two MSBs are HIGH. This Operational Mode remains in effect until the next LOW-going $\overline{CE}$ signal, at which point the current address/mode levels are sampled and executed.

OPERATIONAL MODES DESCRIPTION

The Operational Modes can be used in conjunction with a microcontroller, or they can be hard-wired to provide the desired system operation.

M0 — Message Cueing

Message Cueing allows the user to skip through messages, without knowing the actual physical addresses of each message. Each $\overline{CE}$ LOW pulse causes the internal address pointer to skip to the next message. This mode should be used for

* *Advance information: ISD2532/40/48/64 devices.*

Playback only, and is typically used with the M4 Operational Mode.

M1 — Delete EOM Markers

The M1 Operational Mode allows sequentially recorded messages to be combined into a single message with only one EOM marker set at the end of the final message. When this operational mode is configured, messages recorded sequentially are played back as one continuous message.

M2 — Unused

When operational modes are selected, the M2 pin should be LOW.

M3 — Message Looping

The M3 Operational Mode allows for the automatic, continuously repeated playback of the message located at the beginning of the address space. A message *CAN* completely fill the ISD2500 device and will loop from beginning to end without $\overline{OVF}$ going LOW.

M4 — Consecutive Addressing

During normal operations, the address pointer will reset when a message is played through to an EOM marker. The M4 Operational Mode inhibits the address pointer reset on $\overline{EOM}$, allowing messages to be played back consecutively.

M5 — $\overline{CE}$-Level Activated

The default mode for ISD2500 devices is for $\overline{CE}$ to be edge-activated on Playback and level-activated on Record. The M5 Operational Mode causes the $\overline{CE}$ pin to be interpreted as level-activated as opposed to edge-activated during Playback. This is specifically useful for terminating Playback operations using the $\overline{CE}$ signal.

In this mode, $\overline{CE}$ LOW begins a Playback cycle, at the beginning of the device memory. The Playback cycle continues as long as $\overline{CE}$ is held LOW. When $\overline{CE}$ goes HIGH, Playback will immediately end. A new $\overline{CE}$ LOW will restart the message from the beginning unless M4 is also HIGH.

M6 — Push-Button Mode

The ISD2500 Series of devices contain a Push-Button operational mode. The Push-Button mode is used primarily in very low-cost applications and is designed to minimize external circuitry and components, thereby reducing system cost. In order to configure the device in Push-Button operational mode, the two most significant address bits must be HIGH, and the M6 mode pin must also be HIGH. A device in this mode always powers down at the end of each Playback or Record cycle after $\overline{CE}$ goes HIGH.

When this operational mode is implemented, several of the pins on the device have alternate functionality:

Pin Name	Alternate Functionality in Push-Button Mode
$\overline{CE}$	Start/Pause Push-Button (LOW pulse-activated)
PD	Stop/Reset Push-Button (HIGH pulse activated)
$\overline{EOM}$	Active-HIGH Run Indicator

$\overline{CE}$ Pin (START/PAUSE)

In Push-Button Operational Mode, $\overline{CE}$ acts as a LOW-going pulse-activated START/PAUSE signal. If no operation is currently in progress, a LOW-going pulse on this signal will initiate a Playback or a Record cycle according to the level on the P/$\overline{R}$ pin. A subsequent pulse on the $\overline{CE}$ pin, before an End-Of-Message is reached in Playback or an overflow condition occurs, will cause the device to pause. The address counter is not reset, and another $\overline{CE}$ pulse will cause the device to continue the operation from the place where it was paused.

PD Pin (STOP/RESET)

In push-button Operational Mode, PD acts as a HIGH-going pulse-activated STOP/RESET signal. When a Playback or Record cycle is in progress and a HIGH-going pulse is observed on PD, the

current cycle is terminated and the address pointer is reset to address 0, the beginning of the message space.

$\overline{\text{EOM}}$ Pin (RUN)

In Push-Button Operational Mode, $\overline{\text{EOM}}$ becomes an active-HIGH RUN signal which can be used to drive an LED or other external device. It is HIGH whenever a Record or Playback operation is in progress.

Recording in Push-Button Mode

1. The PD pin should be LOW, usually using a pulldown resistor.
2. The P/$\overline{\text{R}}$ pin is taken LOW.
3. The $\overline{\text{CE}}$ pin is pulsed LOW. Recording starts, $\overline{\text{EOM}}$ goes HIGH to indicate an operation in progress.
4. The $\overline{\text{CE}}$ pin is pulsed LOW. Recording pauses, $\overline{\text{EOM}}$ goes back LOW. The internal address pointers are not cleared, but an EOM marker is stored in memory to point to the message end. The P/$\overline{\text{R}}$ pin may be taken HIGH at this time. Any subsequent $\overline{\text{CE}}$ would start a playback at address 0.
5. The $\overline{\text{CE}}$ pin is pulsed LOW. Recording starts at the next address after the previous set EOM marker. $\overline{\text{EOM}}$ goes back HIGH.

NOTE

If the M1 operational mode pin is also HIGH, the just previously written EOM bit is erased, and recording starts at that address.)

6. When the recording sequences are finished, the final $\overline{\text{CE}}$ pulse LOW will end the last Record cycle, leaving a set EOM marker at the message end. Recording may also be terminated by a HIGH level on PD, which will leave a set EOM marker.

Playback in Push-Button Mode

1. The PD pin should be LOW.
2. The P/$\overline{\text{R}}$ pin is taken HIGH.
3. The $\overline{\text{CE}}$ pin is pulsed LOW. Playback starts, $\overline{\text{EOM}}$ goes HIGH to indicate an operation in progress.
4. If the $\overline{\text{CE}}$ pin is pulsed LOW or an EOM marker is encountered during an operation, the part will pause. The internal address pointers are not cleared, and $\overline{\text{EOM}}$ goes back LOW. The P/$\overline{\text{R}}$ pin may be changed at this time. A subsequent Record operation would not reset the address pointers and the recording would begin where Playback ended.
5. $\overline{\text{CE}}$ is again pulsed LOW. Playback starts where it left off, with $\overline{\text{EOM}}$ going HIGH to indicate an operation in progress.
6. Playback continues as in steps 4 and 5 until PD is pulsed HIGH or overflow occurs.
7. If in overflow, pulling $\overline{\text{CE}}$ LOW will reset the address pointer and start Playback from the beginning. After a PD pulse, the part is reset to address 0.

NOTE

Push-button mode can be used in conjunction with modes M0, M1, and M3.

Good Audio Design Practices

ISD products are very high-quality single-chip voice Recording and Playback systems. To ensure the highest quality voice reproduction, it is important that good audio design practices on layout and power supply decoupling be followed. See the *ISD Application Notes and Design Manual* in this book for details.

ISD1000A COMPATIBILITY

The ISD2500 Series of devices is designed to provide upward compatibility with the ISD1000A family. When designing with the ISD2500 Series, the following differences should be noted.

Addressing

The ISD2560/75/90/120 devices have 480K storage cells designed to provide 60 seconds of storage at a sampling rate of 8.0 KHz. This is approximately four times the storage of the ISD1000A family. To enable the same addressing resolution, two additional address pins have been added. The address space of each device is divisible into 300 increments with valid addressing from 00 to 13F Hex. Some higher addresses are mapped into the Operational Modes. All other addresses are invalid.

The ISD2532/40/48/64 devices have 256K storage cells designed to provide 32 seconds of storage at a sampling rate of 8.0 KHz. This is twice the amount of storage of the ISD1000A family. To enable the same addressing resolution, one additional address pin has been added. The address space of each device is divisable into 320 increments with valid addressing from 00 to 13F Hex.

Overflow

The ISD1000A Series combined two functions on the $\overline{\text{EOM}}$ pin: end-of-message indication and overflow. The ISD2500 separates these two functions. Pin 25 (PDIP package) remains as $\overline{\text{EOM}}$, but outputs only the EOM signal indication. Pin 22 (PDIP package) becomes $\overline{\text{OVF}}$ and pulses LOW only when the device reaches its end of memory, or is "full." This change allows easy message cueing and addressability across device boundaries. This also means that the M2 operational mode found in the ISD1000A family is not implemented in the ISD2500 Series.

Push-Button Mode

The ISD2500 Series includes an additional Operational Mode called Push-Button mode. This provides an alternative interface to the Record and Playback functions of the part. The $\overline{\text{CE}}$ and PD pins become redefined as edge-activated "push-buttons." A pulse on $\overline{\text{CE}}$ initiates a cycle, and if triggered again, pauses the current cycle without resetting the address pointer (i.e., a Start or Pause function). PD stops any current cycle and resets the address pointer to the beginning of the message space (i.e., a Stop and Reset function). Additionally, the $\overline{\text{EOM}}$ pin functions as an active-HIGH run indicator, and can be used to drive an LED indicating a Record or Playback operation is in progress. Devices in the Push-Button mode cannot be cascaded.

Looping Mode

The ISD2500 Series can loop with a message that completely fills the memory space.

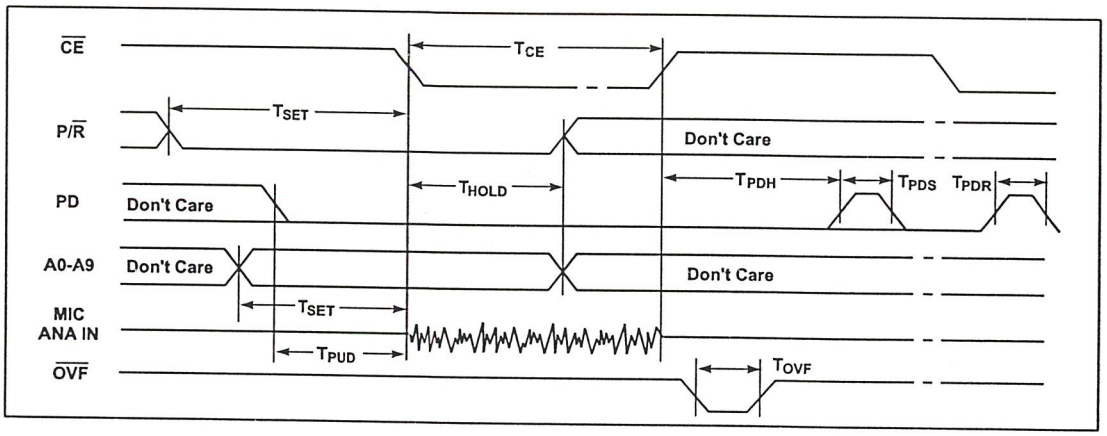
NOTE

Additional descriptions of ISD2500 device functionality and application examples are provided in the ISD Application Notes and Design Manual in this book.

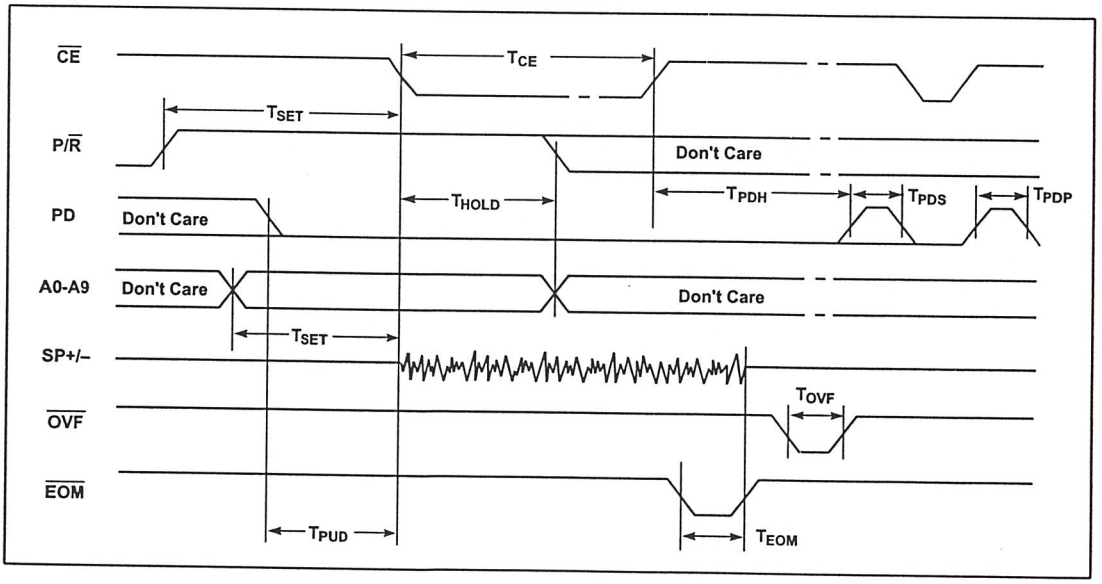
* *Advance information: ISD2532/40/48/64 devices.*

TIMING DIAGRAMS

Record



Playback



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (PACKAGED PARTS)

Condition	Value
Junction temperature	150° C
Storage temperature range	–65° C to +150° C
Voltage applied to any pin	(V_{SS} – 0.3 V) to (V_{CC} + 0.3 V)
Voltage applied to any pin (Input current limited to ±20 mA)	(V_{SS} – 1.0 V) to (V_{CC} + 1.0 V)
Lead temperature (soldering – 10 seconds)	300° C
V_{CC} - V_{SS}	– 0.3 V to + 7.0 V

NOTE: *Stresses above those listed may cause permanent damage to the device. Exposure to the absolute maximum ratings may affect device reliability. Functional operation is not implied at these conditions.*

OPERATING CONDITIONS (PACKAGED PARTS)

Condition	Value
Commercial operating temperature range(1)	0° C to +70° C
Industrial operating temperature range(1)	–40° C to +85° C
Supply voltage (V_{CC})(2)	+4.5 V to +5.5 V
Ground voltage (V_{SS})(3)	0 V

NOTES:
1. *Case temperature.*
2. *$V_{CC} = V_{CCA} = V_{CCD}$.*
3. *$V_{SS} = V_{SSA} = V_{SSD}$.*

DC PARAMETERS (PACKAGED PARTS)

Symbol	Parameters	Min(2)	Typ (1)	Max(2)	Units	Conditions
V_{IL}	Input Low Voltage			0.8	V	
V_{IH}	Input High Voltage	2.0			V	
V_{OL}	Output Low Voltage			0.4	V	I_{OL} = 4.0 mA
V_{OH}	Output High Voltage	V_{CC}–0.4			V	I_{OH} = – 10 µA
V_{OH1}	$\overline{OVF}$ Output High Voltage	2.4			V	I_{OH} = – 1.6 mA
V_{OH2}	$\overline{EOM}$ Output High Voltage	V_{CC}–1.0	V_{CC}–0.8		V	I_{OH} = – 3.2 mA
I_{CC}	V_{CC} Current (Operating)		25	30	mA	$R_{EXT} = \infty$ (3)
I_{SB}	V_{CC} Current (Standby)		1	10	µA	(3)
I_{IL}	Input Leakage Current			±1	µA	
I_{ILPD}	Input Current HIGH w/Pull Down			130	µA	Force V_{CC} (4)
R_{EXT}	Output Load Impedance	16			Ω	Speaker Load
R_{MIC}	Preamp In Input Resistance	4	9	15	KΩ	MIC and MIC REF Pins
R_{AUX}	AUX INPUT Resistance	5	11	20	KΩ	

* *Advance information: ISD2532/40/48/64 devices.*

DC PARAMETERS (PACKAGED PARTS) – CONTINUED

Symbol	Parameters	Min(2)	Typ (1)	Max(2)	Units	Conditions
$R_{ANA\ IN}$	ANA IN Input Resistance	2.3	3	5	KΩ	
A_{PRE1}	Preamp Gain 1	21	24	26	dB	AGC = 0.0 V
A_{PRE2}	Preamp Gain 2		–15	5	dB	AGC = 2.5 V
A_{AUX}	AUX IN/SP+ Gain		0.98	1.0	V/V	
A_{ARP}	ANA IN to SP+/- Gain	21	23	26	dB	
R_{AGC}	AGC Output Resistance	2.5	5	9.5	KΩ	

NOTES:
1. *Typical values @ T_A = 25° C and 5.0 V.*
2. *All Min/Max limits are guaranteed by ISD via electrical testing or characterization. Not all specifications are 100% tested.*
3. *V_{CCA} and V_{CCD} connected together.*
4. *XCLK pin only.*

1

AC PARAMETERS (PACKAGED PARTS)

Symbol	Characteristic		Min(2)	Typ (1)	Max(2)	Units	Conditions
F_S	Sampling Frequency	— *ISD2532**		*8.0*		*KHz*	*(7)*
		— *ISD2540**		*6.4*		*KHz*	*(7)*
		— *ISD2548**		*5.3*		*KHz*	*(7)*
		— *ISD2564**		*4.0*		*KHz*	*(7)*
		— ISD2560		8.0		KHz	(7)
		— ISD2575		6.4		KHz	(7)
		— ISD2590		5.3		KHz	(7)
		— ISD25120		4.0		KHz	(7)
F_{CF}	Filter Pass Band	— *ISD2532**		*3.4*		*KHz*	*3 dB Roll-Off Point (3) (8)*
		— *ISD2540**		*2.7*		*KHz*	*3 dB Roll-Off Point (3) (8)*
		— *ISD2548**		*2.3*		*KHz*	*3 dB Roll-Off Point (3) (8)*
		— *ISD2564**		*1.7*		*KHz*	*3 dB Roll-Off Point (3) (8)*
		— ISD2560		3.4		KHz	3 dB Roll-Off Point (3) (8)
		— ISD2575		2.7		KHz	3 dB Roll-Off Point (3) (8)
		— ISD2590		2.3		KHz	3 dB Roll-Off Point (3) (8)
		— ISD25120		1.7		KHz	3 dB Roll-Off Point (3) (8)

AC PARAMETERS (PACKAGED PARTS) – CONTINUED

Symbol	Characteristic		Min(2)	Typ (1)	Max(2)	Units	Conditions
T_{REC}	Record Duration	— *ISD2532**		*32.0*		*sec*	
		— *ISD2540**		*40.0*		*sec*	
		— *ISD2548**		*48.0*		*sec*	
		— *ISD2564**		*64.0*		*sec*	
		— ISD2560	58.1	60.0	62.0	sec	Commercial Operation
		— ISD2560	56.5	60.0	63.8	sec	Industrial Operation
		— ISD2575	72.6	75.0	77.5	sec	Commercial Operation
		— ISD2575	70.7	75.0	79.7	sec	Industrial Operation
		— ISD2590	87.1	90.0	93.0	sec	Commercial Operation
		— ISD25120	116.1	120.0	123.9	sec	Commercial Operation
T_{PLAY}	Playback Duration	— *ISD2532**		*32.0*		*sec*	*(7)*
		— *ISD2540**		*40.0*		*sec*	*(7)*
		— *ISD2548**		*48.0*		*sec*	*(7)*
		— *ISD2564**		*64.0*		*sec*	*(7)*
		— ISD2560	58.1	60.0	62.0	sec	Commercial Operation(7)
		— ISD2560	56.5	60.0	63.8	sec	Industrial Operation(7)
		— ISD2575	72.6	75.0	77.5	sec	Commercial Operation(7)
		— ISD2575	70.7	75.0	79.7	sec	Industrial Operation(7)
		— ISD2590	87.1	90.0	93.0	sec	Commercial Operation(7)
		— ISD25120	116.1	120.0	123.9	sec	Commercial Operation(7)
T_{CE}	$\overline{CE}$ Pulse Width			100		nsec	
T_{SET}	Control/Address Setup Time			300		nsec	
T_{HOLD}	Control/Address Hold Time			0		nsec	
T_{PUD}	Power-Up Delay	— *ISD2532**		*25.0*		*msec*	
		— *ISD2540**		*31.3*		*msec*	
		— *ISD2548**		*37.5*		*msec*	
		— *ISD2564**		*50.0*		*msec*	
		— ISD2560	24.1	25.0	27.8	msec	Commercial Operation
		— ISD2560	23.5	25.0	28.5	msec	Industrial Operation
		— ISD2575	30.2	31.3	34.3	msec	Commercial Operation
		— ISD2575	29.3	31.3	35.2	msec	Industrial Operation
		— ISD2590	36.2	37.5	40.8	msec	Commercial Operation
		— ISD25120	48.2	50.0	53.6	msec	Commercial Operation
T_{PDR}	PD Pulse Width Record	— *ISD2532**		*25*		*msec*	
		— *ISD2540**		*31.25*		*msec*	
		— *ISD2548**		*37.5*		*msec*	
		— *ISD2564**		*50.0*		*msec*	
		— ISD2560		25		msec	
		— ISD2575		31.25		msec	
		— ISD2590		37.5		msec	
		— ISD25120		50.0		msec	

* *Advance information: ISD2532/40/48/64 devices.*

AC PARAMETERS (PACKAGED PARTS) – CONTINUED

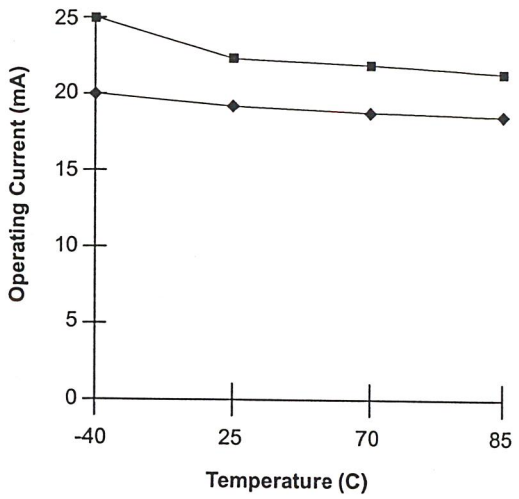
Symbol	Characteristic		Min(2)	Typ (1)	Max(2)	Units	Conditions
T_{PDP}	PD Pulse Width Play	— *ISD2532**		*12.5*		*msec*	
		— *ISD2540**		*15.625*		*msec*	
		— *ISD2548**		*18.75*		*msec*	
		— *ISD2564**		*25.0*		*msec*	
		— ISD2560		12.5		msec	
		— ISD2575		15.625		msec	
		— ISD2590		18.75		msec	
		— ISD25120		25.0		msec	
T_{PDS}	PD Pulse Width Static			100		nsec	(6)
T_{PDH}	Power Down Hold			0		nsec	
T_{EOM}	EOM Pulse Width	— *ISD2532**		*12.5*		*msec*	
		— *ISD2540**		*15.625*		*msec*	
		— *ISD2548**		*18.75*		*msec*	
		— *ISD2564**		*25.0*		*msec*	
		— ISD2560		12.5		msec	
		— ISD2575		15.625		msec	
		— ISD2590		18.75		msec	
		— ISD25120		25.0		msec	
T_{OVF}	Overflow Pulse Width			6.5		µsec	
THD	Total Harmonic Distortion			1	2	%	@ 1 KHz
P_{OUT}	Speaker Output Power			12.2	50	mW	R_{EXT} = 16 Ω (4)
V_{OUT}	Voltage Across Speaker Pins				2.5	V p–p	R_{EXT} = 600 Ω
V_{IN1}	MIC Input Voltage				20	mV	Peak-to-Peak (5)
V_{IN2}	ANA IN Input Voltage				50	mV	Peak-to-Peak
V_{IN3}	Aux Input Voltage				1.25	V	Peak-to-Peak; R_{EXT} = 16 Ω

NOTES:
1. *Typical values @ T_A = 25° C and 5.0 V.*
2. *All Min/Max limits are guaranteed by ISD via electrical testing or characterization. Not all specifications are 100% tested.*
3. *Low-frequency cutoff depends upon the value of external capacitors (see Pin Descriptions).*
4. *From AUX IN; if ANA IN is driven at 50 mV p-p, the P_{OUT}=12.2 mW, typical.*
5. *With 5.1 KΩ series resistor at ANA IN.*
6. *T_{PDS} is required during a static condition, typically overflow.*
7. *Sampling Frequency and Playback Duration can vary as much as ±2.25% over the commercial temperature range and voltage range and ±5% over the industrial temperature and voltage range. For greater stability, an external clock can be utilized (see Pin Descriptions).*
8. *Filter specification applies to the antialiasing filter and the smoothing filter.*

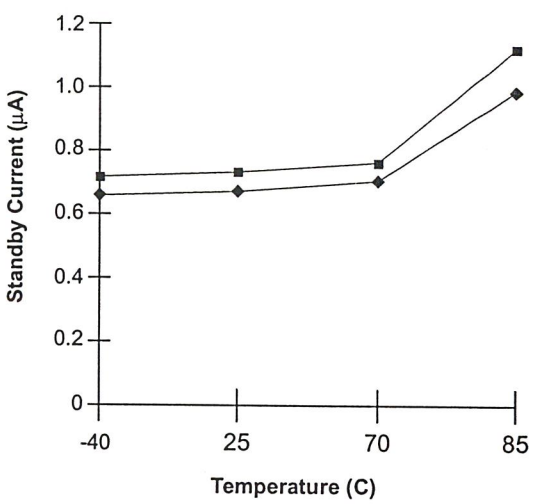
* *Advance information: ISD2532/40/48/64 devices.*

TYPICAL PARAMETER VARIATION WITH VOLTAGE AND TEMPERATURE (PACKAGED PARTS)

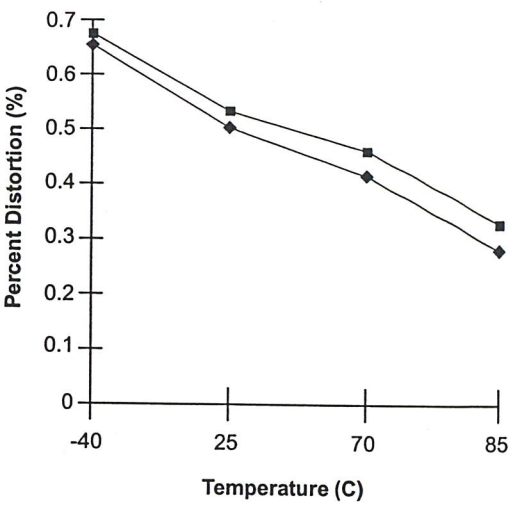
RECORD MODE OPERATING CURRENT (I_{CC})



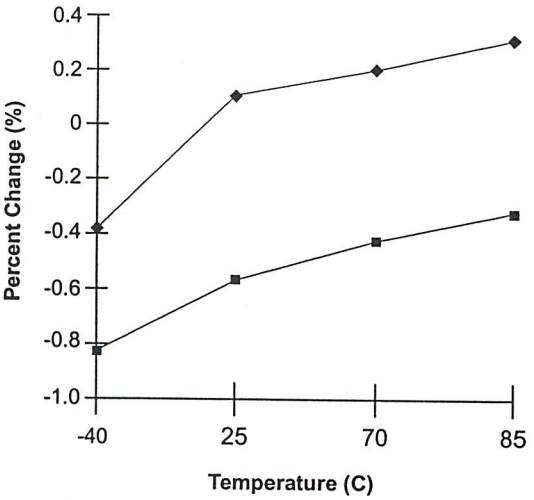
STANDBY CURRENT (I_{SB})



TOTAL HARMONIC DISTORTION



OSCILLATOR STABILITY



■ 5.5 Volts ◆ 4.5 Volts

* *Advance information: ISD2532/40/48/64 devices.*

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (DIE)

Condition	Value
Junction temperature	150° C
Storage temperature range	–65° C to +150° C
Voltage applied to any pad	(V_{SS} – 0.3 V) to (V_{CC} + 0.3 V)
Voltage applied to any pad (Input current limited to ± 20 mA)	(V_{SS} – 1.0 V) to (V_{CC} + 1.0 V)
V_{CC} - V_{SS}	– 0.3 V to + 7.0 V

NOTE: *Stresses above those listed may cause permanent damage to the device. Exposure to the absolute maximum ratings may affect device reliability. Functional operation is not implied at these conditions.*

OPERATING CONDITIONS (DIE)

Condition	Value
Commercial operating temperature range	0° C to +50° C
Supply voltage (V_{CC})(1)	+4.5 V to +6.5 V
Ground voltage (V_{SS})(2)	0 V

NOTES: *1. $V_{CC} = V_{CCA} = V_{CCD}$.*
2. $V_{SS} = V_{SSA} = V_{SSD}$.

1

DC PARAMETERS (DIE)

Symbol	Parameters	Min(2)	Typ (1)	Max(2)	Units	Conditions
V_{IL}	Input Low Voltage			0.8	V	
V_{IH}	Input High Voltage	2.0			V	
V_{OL}	Output Low Voltage			0.4	V	I_{OL} = 4.0 mA
V_{OH}	Output High Voltage	V_{CC}–0.4			V	I_{OH} = – 10 µA
V_{OH1}	$\overline{OVF}$ Output High Voltage	2.4			V	I_{OH} = – 1.6 mA
V_{OH2}	$\overline{EOM}$ Output High Voltage	V_{CC}–1.0	V_{CC}–0.8		V	I_{OH} = – 3.2 mA
I_{CC}	V_{CC} Current (Operating)		25	30	mA	$R_{EXT} = \infty$ (3)
I_{SB}	V_{CC} Current (Standby)		1	10	µA	(2)
I_{IL}	Input Leakage Current			±1	µA	
I_{ILPD}	Input Current HIGH w/Pull Down			130	µA	Force V_{CC} (4)
R_{EXT}	Output Load Impedance	16			Ω	Speaker Load
R_{MIC}	Preamp In Input Resistance	4	9	15	KΩ	MIC and MIC REF Pads
R_{AUX}	AUX INput Resistance	5	11	20	KΩ	
$R_{ANA\ IN}$	ANA IN Input Resistance	2.3	3	5	KΩ	

DC PARAMETERS (DIE) -- CONTINUED

Symbol	Parameters	Min(2)	Typ (1)	Max(2)	Units	Conditions
A_{PRE1}	Preamp Gain 1	21	24	26	dB	AGC = 0.0 V
A_{PRE2}	Preamp Gain 2		– 15	5	dB	AGC = 2.5 V
A_{AUX}	AUX IN/SP+ Gain		0.98	1.0	V/V	
A_{ARP}	ANA IN to SP+/- Gain	21	23	26	dB	
R_{AGC}	AGC Output Resistance	2.5	5	9.5	KΩ	

NOTES:
1. *Typical values @ T_A = 25° C and 5.0 V.*
2. *All Min/Max limits are guaranteed by ISD via electrical testing or characterization. Not all specifications are 100% tested.*
3. *V_{CCA} and V_{CCD} connected together.*
4. *XCLK pad only.*

1

AC PARAMETERS (DIE)

Symbol	Characteristic		Min(2)	Typ (1)	Max(2)	Units	Conditions
F_S	Sampling Frequency	— *ISD2532**		*8.0*		*KHz*	*(7)*
		— *ISD2540**		*6.4*		*KHz*	*(7)*
		— *ISD2548**		*5.3*		*KHz*	*(7)*
		— *ISD2564**		*4.0*		*KHz*	*(7)*
		— ISD2560		8.0		KHz	(7)
		— ISD2575		6.4		KHz	(7)
		— ISD2590		5.3		KHz	(7)
		— ISD25120		4.0		KHz	(7)
F_{CF}	Filter Pass Band	— *ISD2532**		*3.4*		*KHz*	*3 dB Roll-Off Point (3) (8)*
		— *ISD2540**		*2.7*		*KHz*	*3 dB Roll-Off Point (3) (8)*
		— *ISD2548**		*2.3*		*KHz*	*3 dB Roll-Off Point (3) (8)*
		— *ISD2564**		*1.7*		*KHz*	*3 dB Roll-Off Point (3) (8)*
		— ISD2560		3.4		KHz	3 dB Roll-Off Point (3) (8)
		— ISD2575		2.7		KHz	3 dB Roll-Off Point (3) (8)
		— ISD2590		2.3		KHz	3 dB Roll-Off Point (3) (8)
		— ISD25120		1.7		KHz	3 dB Roll-Off Point (3) (8)
T_{REC}	Record Duration	— *ISD2532**		*32.0*		*sec*	
		— *ISD2540**		*40.0*		*sec*	
		— *ISD2548**		*48.0*		*sec*	
		— *ISD2564**		*64.0*		*sec*	
		— ISD2560	58.1	60.0	62.0	sec	Commercial Operation
		— ISD2575	72.6	75.0	77.5	sec	Commercial Operation
		— ISD2590	87.1	90.0	93.0	sec	Commercial Operation
		— ISD25120	116.1	120.0	123.9	sec	Commercial Operation

* *Advance information: ISD2532/40/48/64 devices.*

AC PARAMETERS (DIE) – CONTINUED

Symbol	Characteristic		Min(2)	Typ (1)	Max(2)	Units	Conditions
T_{PLAY}	Playback Duration	— *ISD2532**		*32.0*		*sec*	*(7)*
		— *ISD2540**		*40.0*		*sec*	*(7)*
		— *ISD2548**		*48.0*		*sec*	*(7)*
		— *ISD2564**		*64.0*		*sec*	*(7)*
		— ISD2560	58.1	60.0	62.0	sec	Commercial Operation(7)
		— ISD2575	72.6	75.0	77.5	sec	Commercial Operation(7)
		— ISD2590	87.1	90.0	93.0	sec	Commercial Operation(7)
		— ISD25120	116.1	120.0	123.9	sec	Commercial Operation(7)
T_{CE}	$\overline{CE}$ Pulse Width			100		nsec	
T_{SET}	Control/Address Setup Time			300		nsec	
T_{HOLD}	Control/Address Hold Time			0		nsec	
T_{PUD}	Power-Up Delay	— *ISD2532**		*25.0*		*msec*	
		— *ISD2540**		*31.3*		*msec*	
		— *ISD2548**		*37.5*		*msec*	
		— *ISD2564**		*50.0*		*msec*	
		— ISD2560	24.1	25.0	27.8	msec	Commercial Operation
		— ISD2575	30.2	31.3	34.3	msec	Commercial Operation
		— ISD2590	36.2	37.5	40.8	msec	Commercial Operation
		— ISD25120	48.2	50.0	53.6	msec	Commercial Operation
T_{PDR}	PD Pulse Width Record	— *ISD2532**		*25*		*msec*	
		— *ISD2540**		*31.25*		*msec*	
		— *ISD2548**		*37.5*		*msec*	
		— *ISD2564**		*50.0*		*msec*	
		— ISD2560		25		msec	
		— ISD2575		31.25		msec	
		— ISD2590		37.5		msec	
		— ISD25120		50.0		msec	
T_{PDP}	PD Pulse Width Play	— *ISD2532**		*12.5*		*msec*	
		— *ISD2540**		*15.625*		*msec*	
		— *ISD2548**		*18.75*		*msec*	
		— *ISD2564**		*25.0*		*msec*	
		— ISD2560		12.5		msec	
		— ISD2575		15.625		msec	
		— ISD2590		18.75		msec	
		— ISD25120		25.0		msec	
T_{PDS}	PD Pulse Width Static			100		nsec	(6)
T_{PDH}	Power Down Hold			0		nsec	

1

AC PARAMETERS (DIE) – CONTINUED

Symbol	Characteristic	Min(2)	Typ (1)	Max(2)	Units	Conditions
T_{EOM}	EOM Pulse Width — *ISD2532**		*12.5*		*msec*	
	— *ISD2540**		*15.625*		*msec*	
	— *ISD2548**		*18.75*		*msec*	
	— *ISD2564**		*25.0*		*msec*	
	— ISD2560		12.5		msec	
	— ISD2575		15.625		msec	
	— ISD2590		18.75		msec	
	— ISD25120		25.0		msec	
T_{OVF}	Overflow Pulse Width		6.5		µsec	
THD	Total Harmonic Distortion		1	3	%	@ 1 KHz
P_{OUT}	Speaker Output Power		12.2	50	mW	R_{EXT} = 16 Ω (4)
V_{OUT}	Voltage Across Speaker Pins			2.5	V p–p	R_{EXT} = 600 Ω
V_{IN1}	MIC Input Voltage			20	mV	Peak-to-Peak (5)
V_{IN2}	ANA IN Input Voltage			50	mV	Peak-to-Peak
V_{IN3}	Aux Input Voltage			1.25	V	Peak-to-Peak; R_{EXT} = 16 Ω

1

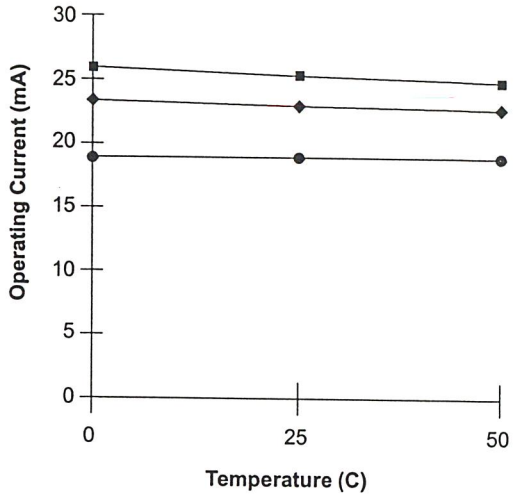
NOTES:

1. *Typical values @ T_A = 25° C and 5.0 V.*
2. *All Min/Max limits are guaranteed by ISD via electrical testing or characterization. Not all specifications are 100% tested.*
3. *Low-frequency cutoff depends upon the value of external capacitors (see Pin Descriptions).*
4. *From AUX IN; if ANA IN is driven at 50 mV p-p, the P_{OUT}=12.2 mW, typical.*
5. *With 5.1 KΩ series resistor at ANA IN.*
6. *T_{PDS} is required during a static condition, typically overflow.*
7. *Sampling Frequency and Playback Duration can vary as much as ±2.25% over the commercial temperature range and voltage range. For greater stability, an external clock can be utilized (see Pin Descriptions).*
8. *Filter specification applies to the antialiasing filter and the smoothing filter.*

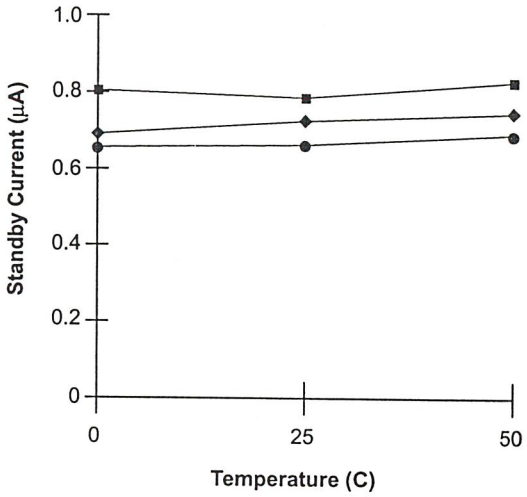
* *Advance information: ISD2532/40/48/64 devices.*

TYPICAL PARAMETER VARIATION WITH VOLTAGE AND TEMPERATURE (DIE)

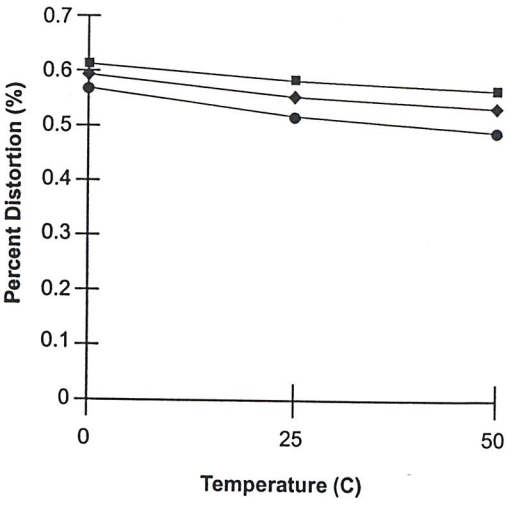
RECORD MODE OPERATING CURRENT (I_{CC})



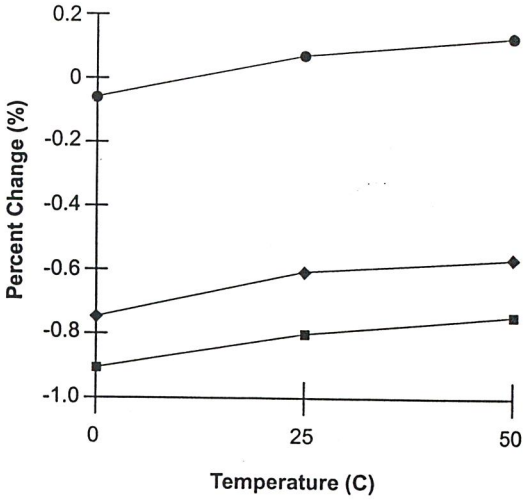
STANDBY CURRENT (I_{SB})



TOTAL HARMONIC DISTORTION



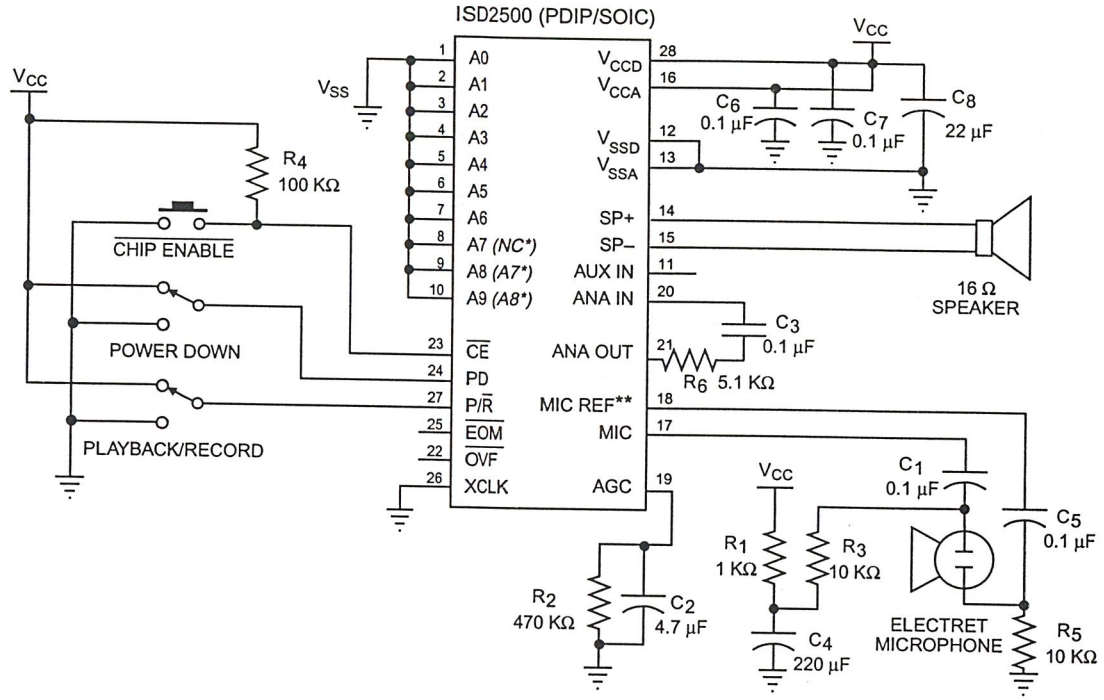
OSCILLATOR STABILITY



■ 6.5 Volts ◆ 5.5 Volts ● 4.5 Volts

1

ISD2500 APPLICATION EXAMPLE – DESIGN SCHEMATIC



NOTES: * *Pin identifications for the ISD2532/40/48/64 devices which differ from those of the ISD2560/75/90/120 devices are indicated.*

** *If desired, pin 18 (PDIP package) may be left unconnected (microphone preamplifier noise will be higher). In this case, pin 18 must not be tied to any other signal or voltage. Additional design example schematics are provided in the Application Notes and Design Manual in this book.*

APPLICATION EXAMPLE – BASIC DEVICE CONTROL

Control Step	Function	Action
1	Power up chip and select Record/Playback mode	1. PD = LOW, 2. P/$\overline{R}$ = As desired
2	Set message address for Record/Playback	Set addresses A0–A9
3A	Begin Playback	P/$\overline{R}$ = HIGH, $\overline{CE}$ = Pulsed LOW
3B	Begin Record	P/$\overline{R}$ = LOW, $\overline{CE}$ = LOW
4A 4B	End Playback End Record	Automatic PD or $\overline{CE}$ = HIGH

 * *Advance information: ISD2532/40/48/64 devices.*

APPLICATION EXAMPLE – PASSIVE COMPONENT FUNCTIONS

Part	Function	Comments
R1	Microphone power supply decoupling	Reduces power supply noise
R2	Release time constant	Sets release time for AGC
R3, R5	Microphone biasing resistors	Provides biasing for microphone operation
R4	Series limiting resistor	Reduces level to prevent distortion at higher supply voltages.
R6	Series limiting resistor	Reduces level to high supply voltages
C1, C5	Microphone DC–blocking capacitor Low-frequency cutoff	Decouples microphone bias from chip. Provides single-pole low-frequency cutoff and common mode noise rejection.
C2	Attack/Release time constant	Sets attack/release time for AGC
C3	Low-frequency cutoff capacitor	Provides additional pole for low-frequency cutoff
C4	Microphone power supply decoupling	Reduces power supply noise
C6, C7, C8	Power supply capacitors	Filter and bypass of power supply

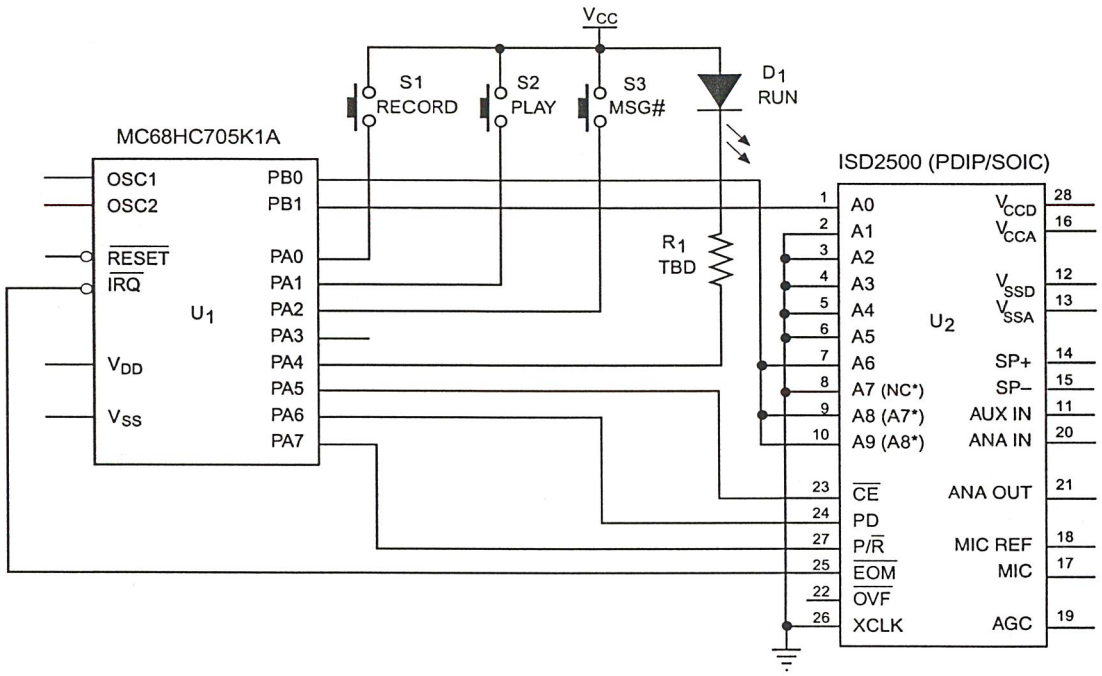
EXPLANATION

In this simplified block diagram of a microcontroller application, the Push-Button mode and message cueing are used. The microcontroller is a 16-pin version with enough port pins for buttons, an LED, and the ISD2500 Series device. The software can be written to use three buttons: one each for play and record, and one for message selection. Because the microcontroller is interpreting the buttons and commanding the ISD2500 device, software can be written for any functions desired in a particular application.

NOTE

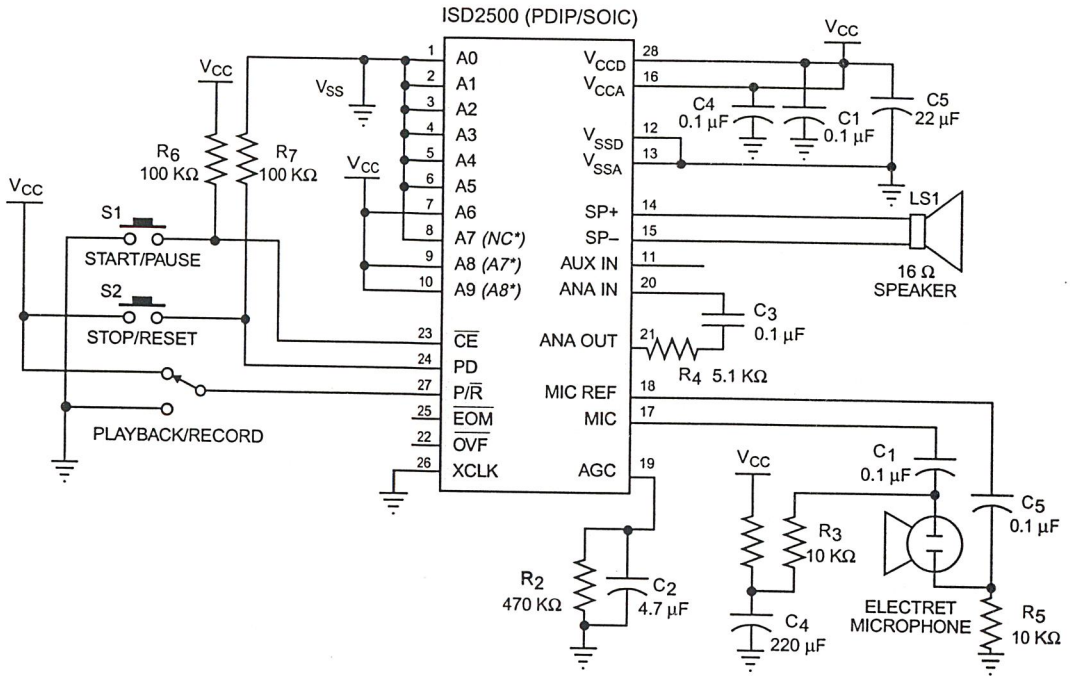
ISD does not recomend connecting address lines directly to a microprocessor bus. Address lines should be externally latched.

ISD2500 APPLICATION EXAMPLE – MICROCONTROLLER/ISD2500 INTERFACE



NOTES: * *Pin identifications for the ISD2532/40/48/64 devices which differ from those of the ISD2560/75/90/120 devices are indicated.*

ISD2500 APPLICATION EXAMPLE – PUSH-BUTTON



NOTES: * *Pin identifications for the ISD2532/40/48/64 devices which differ from those of the ISD2560/75/90/120 devices are indicated.*

** *For more details, please refer to the ISD Application Notes and Design Manual.*

APPLICATION EXAMPLE – PUSH-BUTTON CONTROL

Control Step	Function	Action
1	Select Record/Playback mode	P/$\overline{R}$ = As desired
2A	Begin Playback	P/$\overline{R}$ = HIGH $\overline{CE}$ = Pulsed LOW
2B	Begin Record	P/$\overline{R}$ = LOW $\overline{CE}$ = Pulsed LOW
3	Pause Record or Playback	$\overline{CE}$ = Pulsed LOW
4A	End Payback	Automatic at EOM marker or PD = Pulsed HIGH
4B	End Record	PD = Pulsed HIGH

APPLICATION EXAMPLE – PASSIVE COMPONENT FUNCTIONS

Part	Function	Comments
R2	Release time constant	Sets release time for AGC
R4	Series limiting resistor	Reduces level to prevent distortion at higher supply voltages
R6, R7	Pull-up and pull-down resistors	Defines static state of inputs
C1, C4, C5	Power supply capacitors	Filters and bypass of power supply
C2	Attack/Release time constant	Sets attack/release time for AGC
C3	Low-frequency cutoff capacitor	Provides additional pole for low-frequency cutoff

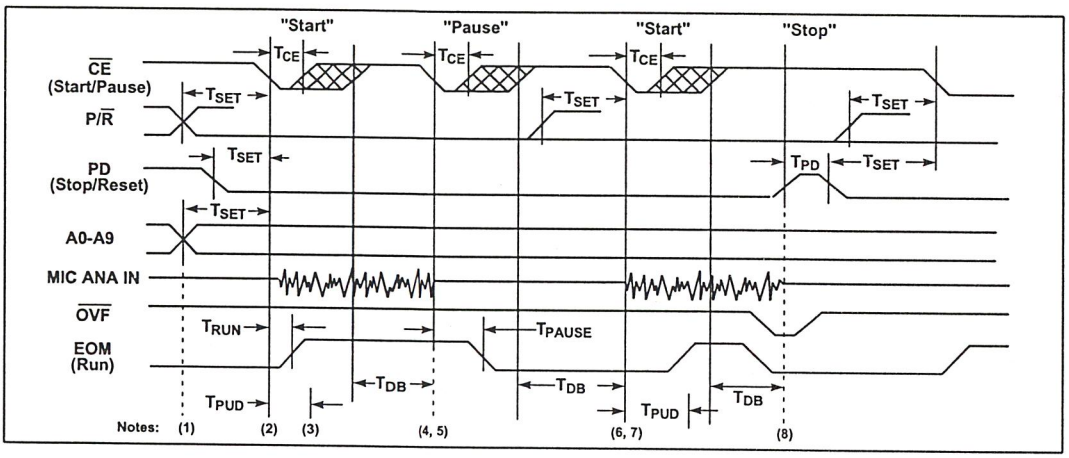
1 PUSH-BUTTON PARAMETERS

Symbol	Characteristic		Min	Typ (1)	Max	Units	Conditions
T_{CE}	$\overline{CE}$ Pulse Width [Start/Pause]			300		nsec	
T_{SET}	Control/Address Setup Time			300		nsec	
T_{PUD}	Power-Up Delay	— *ISD2532**		25		msec	
		— *ISD2540**		31.25		msec	
		— *ISD2548**		37.25		msec	
		— *ISD2564**		50.0		msec	
		— ISD2560		25		msec	
		— ISD2575		31.25		msec	
		— ISD2590		37.25		msec	
		— ISD25120		50.0		msec	
T_{PD}	PD Pulse Width [Stop/Reset]			300		nsec	
T_{RUN}	$\overline{CE}$ to $\overline{EOM}$ HIGH		25		400	nsec	
T_{PAUSE}	$\overline{CE}$ to $\overline{EOM}$ LOW		50		400	nsec	
T_{DB}	$\overline{CE}$ HIGH Debounce	— *ISD2532**	70		105	msec	
		— *ISD2540**	85		135	msec	
		— *ISD2548**	105		160	msec	
		— *ISD2564**	135		215	msec	
		— ISD2560	70		105	msec	
		— ISD2575	85		135	msec	
		— ISD2590	105		160	msec	
		— ISD25120	135		215	msec	

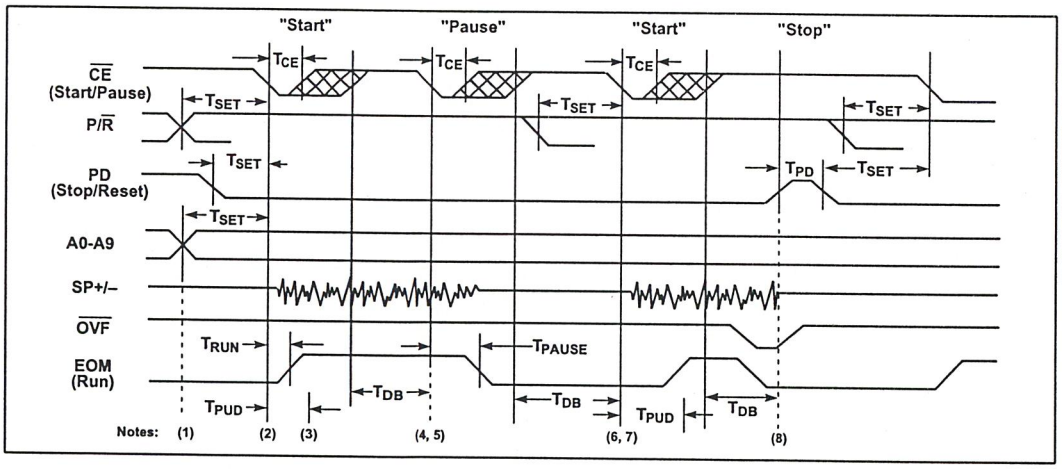
 * *Advance information: ISD2532/40/48/64 devices.*

TIMING DIAGRAMS

Push-Button Mode Record



Push-Button Mode Playback

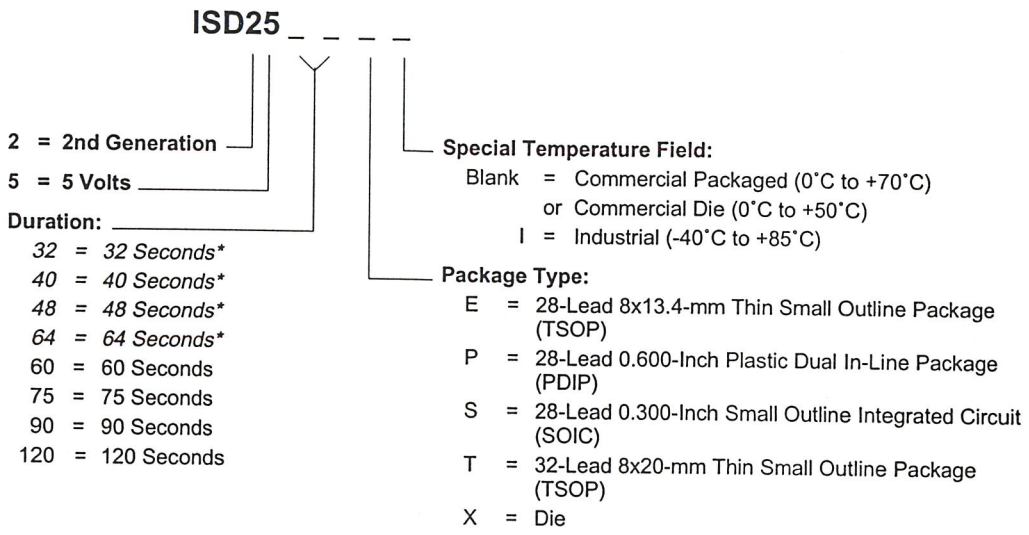


NOTES:

1. *A9, A8, and A6 = 1 for push-button operation.*
2. *The first $\overline{CE}$ LOW pulse performs a Start function.*
3. *The part will begin to play or record after a power-up delay T_{PUD}.*
4. *The part must have $\overline{CE}$ HIGH for a debounce period TDB before it will recognize another falling edge of $\overline{CE}$ and pause.*
5. *The second $\overline{CE}$ LOW pulse, and every even pulse thereafter, performs a Pause function.*
6. *Again, the part must have $\overline{CE}$ HIGH for a debounce period TDB before it will recognize another falling edge of $\overline{CE}$, which would restart an operation. In addition, the part will not do an internal power down until $\overline{CE}$ is HIGH for the TDB time.*
7. *The third $\overline{CE}$ LOW pulse, and every odd pulse thereafter, performs a Resume function.*
8. *At any time, a HIGH level on PD will stop the current function, reset the address counter, and power down the device.*

ORDERING INFORMATION

Product Number Descriptor Key



1

When ordering ISD2500 Series devices, please refer to the following valid part numbers.

Part Number	Part Number	Part Number	Part Number
ISD2560E	ISD2575E	ISD2590E	ISD25120P
ISD2560EI	ISD2575EI	ISD2590P	ISD25120X
ISD2560P	ISD2575P	ISD2590S	
ISD2560PI	ISD2575PI	ISD2590T	
ISD2560S	ISD2575S	ISD2590X	
ISD2560SI	ISD2575SI		
ISD2560T	ISD2575T		
ISD2560TI	ISD2575TI		
ISD2560X	ISD2575X		

For the latest product information, access ISD's worldwide website at http://www.isd.com.

* *Advance information: ISD2532/40/48/64 devices.*

บรรณานุกรม

[1.] Hofmann-Wellenhof B., H. Lictenegger and J. Collin, Global Positioning System Theory and Pratice, (Springer-Verlag Wien New York, 1994)

[2.] บุษกร กาญจนาลัย, "GPS: Global Positioning System", Wireless Communication Journal, ปีที่3, ฉบับที่ 10, (มีนาคม 2539) หน้า 28-42

[3.] รศ.สมยศ จุณณะปิยะ , "การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์" ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,พิมพ์ครั้งที่ 3 , 2543

[4.] ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล และ วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, "เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์",Innovative Experiment (inex)

[5.] นิตยสาร อิเล็กทรอนิกส์ เซมิคอนดักเตอร์, "โครงงานรอเรียกตามบัตรคิว", ฉบับที่ 233 (มีนาคม 2545) หน้า 150-159