บทที่ 7
การวัดเวลาและความถี่

เวลาเป็นสิ่งสำคัญที่มีความหมายต่อกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์มาโดยตลอด การที่โลกหมุนรอบดวงอาทิตย์ เป็นการกระตุ้นเตือนของธรรมชาติให้เราได้สำนึกถึงวันเวลาที่ผ่านไปอย่างไม่หยุดนิ่ง ด้วยเหตุนี้มนุษย์จึงได้คิดค้นอุปกรณ์สำหรับบอกเวลาขึ้น พัฒนาการด้านเวลาได้เริ่มจากนาฬิกาแดด นาฬิกาน้ำ นาฬิกาทราย มาจนถึงนาฬิกาที่ใช้ลูกตุ้มแกว่ง ใช้กลไกของลานสปริง ใช้สัญญาณไฟฟ้าหมุนมอเตอร์ จนปัจจุบันนี้นาฬิกาอะตอมได้ชื่อว่าเป็นนาฬิกาที่ให้ความเที่ยงตรงและเชื่อถือได้ดีที่สุด

เนื่องด้วยโลกเป็นบริวารของดวงอาทิตย์ อยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ประมาณ 93 ล้านไมล์โดยเฉลี่ย ดวงอาทิตย์นอกจากเกื้อกูลให้สิ่งที่มีชีวิตบนโลกดำรงชีวิตอยู่ได้แล้ว ยังทำให้เกิดปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ บนโลกหลายอย่าง เช่น กลางวัน กลางคืน ฤดูกาล น้ำขึ้น น้ำลง สุริยุปราคา และจันทรุปราคา เป็นต้น ซึ่งนับว่ามีความสำคัญต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก การที่มีกลางวันและกลางคืนนี้เอง จึงทำให้มนุษย์เรายึดเอาความนานของกลางวันและกลางคืนมาเป็นสิ่งกำหนดเวลาขึ้น เพื่อใช้สำหรับทำความเข้าใจกันในเรื่องการนับอายุ การกำหนดพิธีการทางศาสนา การบันทึกเหตุการณ์เกี่ยวกับประวัติศาสตร์ การติดต่อนัดหมาย ฯลฯ กล่าวอีกนัยหนึ่ง เวลาก็คือ ความนานที่สามารถวัดได้

7.1 นิยามหน่วยรากฐานเวลาและความถี่

7.1.1 เวลา (Time)

ในหน่วยระบบสากล กำหนดวินาที เป็นหน่วยรากฐานของเวลา ซึ่งรู้จักกันว่าเป็น **เวลาอะตอม** (atomic time) มีนิยามว่า **วินาที** (second, s) คือ ระยะเวลาเท่ากับ 9,192,631,770 คาบของการแผ่รังสีที่สมนัยกับการเปลี่ยนระดับไฮเปอร์ไฟน์สองระดับของอะตอมซีเซียม-133 ในสถานะพื้นฐาน ซึ่งได้จากการประชุมใหญ่ว่าด้วยมาตราชั่งตวง วัด ครั้งที่ 13 พ.ศ.2510 (ค.ศ.1967) เวลาอะตอมจึงเป็นเวลามาตรฐานใหม่และใช้เป็นหน่วยหลักสำหรับนับเวลาเรื่อยมาจนถึงปัจจุบันนี้

ในสมัยก่อนเราใช้**วันดวงอาทิตย์จริง** (apparent solar day) หรือเรียกย่อๆ ว่า **วันจริง** ซึ่งคือระยะเวลาที่ล่วงไปในระหว่างที่จุดศูนย์กลางดวงอาทิตย์ผ่านเมริเดียนเดียวกันสองครั้งถัดไป เริ่มต้นวันเมื่อจุดศูนย์กลางดวงอาทิตย์อยู่บนเมริเดียนเบื้องล่าง เรียกว่า **เที่ยงคืนจริง** (apparent midnight) และแบ่งออกเป็น 24 ชั่วโมงจริง ใน 1 ชั่วโมงจริงยังแบ่งออกเป็นนาทีและวินาทีจริง ขณะที่จุดศูนย์กลางดวงอาทิตย์อยู่บนเมริเดียนเบื้องบน เรียกว่า **เที่ยงวันจริง** (apparent noon) ซึ่งจะเป็นเวลา 12 นาฬิกาจริง นาฬิกาที่ใช้วัดเวลา คือ **นาฬิกาแดด** (Sundial) เวลาที่อ่านได้เรียกว่า **เวลาจริง** (apparent solar time)

ความนานของวันจริงในแต่ละวันไม่เท่ากัน จะเปลี่ยนแปลงไปเสมอ เนื่องจาก

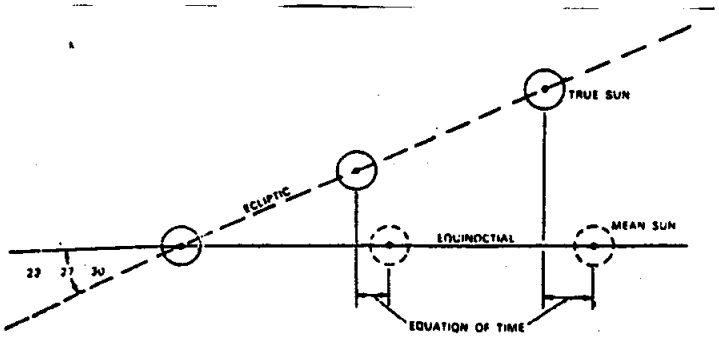
1. โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีและโคจรด้วยความเร็วไม่เท่ากัน ช้าบ้าง เร็วบ้าง

2. พื้นวงโคจรของโลกไม่ได้เป็นพื้นเดียวกันกับพื้นอิเควเตอร์ของโลก คือเอียงเป็นมุมประมาณ 23.5 องศา

3. ขณะที่โลกหมุนรอบตัวเอง แกนโลกยังแกว่งอีกด้วย

4. ความฝืดที่เกิดจากแรงดึงดูดของดวงจันทร์ ทำให้เกิดน้ำขึ้น น้ำลง

เมื่อความนานของวันจริงแต่ละวันยาวไม่เท่ากันด้วยเหตุ 4 ประการดังกล่าว จึงไม่สามารถที่จะสร้างนาฬิกา(เครื่องจักรกล) ให้วัดความนานที่เปลี่ยนไปต่างๆ ทุกๆ วันของวันจริงได้ ฉะนั้นจึงได้กำหนดหลักเกณฑ์ของวันขึ้นใหม่ โดยให้มีความนานคงที่ เพื่อจะได้สร้างนาฬิกาสำหรับใช้วัดได้ วันที่กำหนดขึ้นใหม่นี้เรียกว่า **วันดวงอาทิตย์สมมติ** (mean solar day) หรือเรียกสั้นๆ ว่า **วันสมมติ**



รูปที่ 7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างวันจริงและวันสมมติ

สมมติให้มีจุดๆ หนึ่ง เรียกว่า **ดวงอาทิตย์สมมติ** (mean sun) เคลื่อนไปตามอิเควเตอร์ท้องฟ้า(อิควินอคเชียล) โดยให้ออกจากจุดราศีเมษพร้อมกับดวงอาทิตย์จริงแล้วกลับมาถึงจุดราศีเมษอีกพร้อมกัน ซึ่งเป็นเวลา 1 ปี ดังนั้นความนานใน 1 ปี จึงเท่ากัน ดวงอาทิตย์จริงออกจากจุดราศีเมษแล้วกลับมาถึงจุดราศีเมษอีกครั้งหนึ่งในเวลา 365.24224 วัน แต่ความนานของแต่ละวันไม่เท่ากัน ส่วนดวงอาทิตย์สมมติก็ออกจากจุดราศีเมษแล้วกลับมาถึงจุดราศีเมษอีกในเวลา 365.24224 วันเหมือนกัน แต่ความนานของแต่ละวันเท่ากัน หมายความว่านำเอาความนานของวันจริงแต่ละวันที่นานไม่เท่ากันตลอดทั้งปี มาเฉลี่ยให้แต่ละวันมีความนานคงที่เท่าๆ กันทุกวัน

ในรูปที่ 7.1 จะทำให้เข้าใจง่ายขึ้น สมมติว่าดวงอาทิตย์จริงกับดวงอาทิตย์สมมติออกจากจุดราศีเมษพร้อมกันในวันแรก ความนานของวันจริงจะน้อยกว่าวันสมมติเพียงเล็กน้อย ในวันที่สองความนานของวันจริงจะยิ่งน้อยกว่าวันสมมติมากขึ้น ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า วันสมมติ คือระยะเวลาที่ล่วงไปในระหว่างที่ดวงอาทิตย์สมมติผ่านเมริเดียนเดียวกันสองครั้งถัดไป เริ่มต้นวันเมื่อดวงอาทิตย์สมมติอยู่บนเมริเดียนเบื้องล่าง เรียกว่า **เที่ยงคืนสมมติ** (mean midnight) แบ่งออกเป็น 24 ชั่วโมงสมมติ ใน 1 ชั่วโมงสมมติ แบ่งออกเป็น 60 นาที ใน 1 นาทีแบ่งออกเป็น 60 วินาที ขณะเมื่อดวงอาทิตย์สมมติอยู่บนเมริเดียนเบื้องบน เรียกว่า **เที่ยงวันสมมติ** (mean noon) นาฬิกาที่ใช้ตั้งเวลา เรียกว่า **นาฬิกาสมมติ** (mean solar clock) เวลาที่อ่านได้ เรียกว่า **เวลาสมมติ** (mean solar time หรือ meantime)

ผลต่างระหว่างเวลาจริงกับเวลาสมมติ คือ **เศษเวลา** (equation of time) ในเวลาใดเวลาหนึ่ง ผลต่างนี้ในแต่ละวันจะไม่เท่ากันตลอดทั้งปี บางครั้งวันจริงก็นานกว่าวันสมมติ และบางครั้งวันจริงก็เร็วกว่าวันสมมติ ผลต่างมีได้ตั้งแต่ 0 วินาทีถึงประมาณ 17 นาที

ในปี ค.ศ. 1656 คริสเตียน ฮิวเกนส์ (Christian Huygens) นักดาราศาสตร์และฟิสิกส์ ชาวดัทช์ ได้ประดิษฐ์นาฬิกาลูกตุ้ม (Pendulum Clock) ที่มีความถูกต้อง สามารถแบ่งวัน(อาทิตย์)จริงออกเป็น 86400 ส่วน (24 ชั่วโมง x 60 นาที x 60 วินาที) ดังนั้น จึงนิยาม 1 วินาทีว่าเป็น 1/86400 ของวันสมมติ

ในกลางปี ค.ศ. 1956 สถาบันมาตรฐาน ชั่ง ตวง วัดสากล ณ กรุงปารีส ได้กำหนดเวลามาตรฐานขึ้นใหม่ โดยใช้ความนาน 1 วินาที จาก 1 ปีสมมติของปี ค.ศ. 1900 เป็นหลัก และให้มีการประกาศแก้เวลาเป็นปีๆ ไป เวลามาตรฐานนี้ เรียกว่า **เวลาเอเฟเมริส** (Ephemeris Time หรือ ET) ดังนั้น 1 วินาทีจึงนิยามว่าเป็น 1/31556925.9747 ของ tropical year

จนกระทั่งถึงปี ค.ศ. 1967 ถึงปัจจุบัน เวลามาตรฐานจึงเปลี่ยนไปใช้เป็นเวลาอะตอม และมีนิยามของวินาทีดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ฉะนั้นประวัติความเป็นมาของวินาที จึงพอสรุปย่อๆ ได้ดังนี้ คือ

1. ก่อนปี ค.ศ. 1956

1 วินาที = วัน(ดวงอาทิตย์)สมมติ / 86,400

ซึ่งเรียกว่า วินาที(ดวงอาทิตย์)สมมติ (mean solar second)

2. ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1956-1967

1 วินาที = Tropical year ของปี ค.ศ. 1900 / 31556925.9747

ซึ่งเรียกว่า วินาทีเอเฟเมริส (ephemeris second)

3. ปี ค.ศ. 1967 จนถึงปัจจุบัน

1 วินาที = 9 192 631 770 ของการแกว่ง "ที่ไม่กระจาย" ของอะตอมซีเซียม ซึ่งเรียกว่า วินาทีอะตอม (atomic second)

7.1.2 ความถี่ (Frequency)

ความถี่มีความสัมพันธ์กับเวลา หน่วยของความถี่ คือ เฮิรตซ์ (Hertz, Hz) ตั้งขึ้นเพื่อเป็นเกียรติแก่นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ชื่อ ไฮน์ริค รูดอล์ฟ เฮิรตซ์ (Heinrich Rudolf Hertz) ความถี่ คือ จำนวนรอบของคาบการเกิดระหว่างช่วงเวลาของหนึ่งวินาที หรือกล่าวสั้นๆ ว่า ความถี่ คือ ส่วนกลับของคาบ มีหน่วยเป็นหนึ่งรอบต่อวินาที ซึ่งก็คือ 1 เฮิรตซ์ นั่นเอง

7.2 มาตรฐานเวลาและความถี่

การนับวันสมมติ ณ ที่ใดที่หนึ่ง ใช้เมริเดียนที่ผ่านตำบลที่นั้นเป็นหลักในการนับ

และเวลาที่อ่านได้จะเป็นเวลาของตำบลนั้นๆ ดังนั้นในขณะใดขณะหนึ่งเวลาของประเทศต่างๆ ทั่วโลกจึงแตกต่างกันไป เพื่อความสะดวกในการอ้างอิงหรือเปลี่ยนเวลาจากประเทศหนึ่ง ไปยังอีกประเทศหนึ่ง จึงได้ตกลงให้ถือเอาเมริเดียนที่ผ่านเมืองกรีนิช (Greenwich) ในประเทศอังกฤษเป็นหลัก ฉะนั้นวันและเวลาที่เมืองกรีนิชจึงเรียกว่า วันสากลและเวลาสากล (Universal Time หรือ UT) ประเทศใดที่อยู่ทางตะวันออกของเมืองกรีนิชจะมีเวลาเร็วกว่าที่เมืองกรีนิช และประเทศใดที่อยู่ทางตะวันตกของเมืองกรีนิช จะมีเวลาช้ากว่าที่เมืองกรีนิช สำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ทางตะวันออกของเมืองกรีนิช จึงได้กำหนดให้มีเวลาเร็วกว่าเมืองกรีนิช 7 ชั่วโมง เพราะเห็นดวงอาทิตย์ก่อนเมืองกรีนิช

เวลาสากล (Universal Time) มี 3 ระดับ คือ UT0, UT1 และ UT2

1. UT 0 คือเวลาจริง (apparent solar time) แก้ไขจากเวลาสมมติ (mean solar time) โดยเศษของเวลา (equation of time) สำหรับการเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่ของการหมุนของโลก

2. UT 1 คือเวลา UT 0 ที่นำมาแก้อัตราผิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งของขั้วโลก (polar motion)

3. UT 2 คือเวลา UT 1 ที่นำมาแก้อัตราผิดจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการหมุนรอบตัวเองของโลก การคลาดเคลื่อนเหล่านี้เป็นไปตามฤดูกาล ข้อสังเกตอย่างหนึ่งก็คือ เวลา UT 1 เป็นสเกลของของผู้เดินเรือซึ่งมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งมุมของโลก เวลา UT 2 เป็นเวลาที่สอดคล้องกับเวลาธรรมชาติมากที่สุด มีอัตราผิดเล็กน้อย การจะหาเวลา UT 2 จะหาในเวลาขณะใดขณะหนึ่งทันทีไม่ได้ จำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์ในการรักษาเวลา คือใช้นาฬิกาอะตอมมารักษาเวลา UT 2 ซึ่งเวลาอะตอม (atomic time) นี้เป็นเวลาทำนายของ UT 2 ฉะนั้นจึงเป็นการผสมระบบเวลาระหว่าง เวลาอะตอมและเวลาดวงอาทิตย์สมมติให้มีมาตราส่วนที่เข้ากันได้ เรียกระบบเวลานี้ว่า ระบบ UTC (Coordinated Universal Time) ใช้นิยามเวลาวินาทีของเวลาอะตอมเป็นความนานที่เท่ากันตลอด เวลา UTC นี้มีอัตราผิดจากเวลา UT 2 แต่มีการดำเนินการปรับแก้เวลา UTC ให้ใกล้เคียงตลอด ซึ่ง BIPM จะประกาศกำหนดการปรับแก้เวลาโดยการบวกหรือลบเวลาเข้าไปทีละ 0.1 วินาทีของเวลาอะตอม เวลา UTC กับเวลา UT 2 นี้จะ

รักษาเวลาต่างกันต้องไม่เกิน 0.1 วินาที

ปัจจุบันระบบการรักษาเวลามาตรฐานสากลใช้ระบบเวลาอะตอม มีอุปกรณ์ผลิตความถี่มาตรฐานหลักซึ่งควบคุมความถี่ด้วยพลังงานอะตอมจากธาตุซีเซียม (Caesium Frequency Standard) นอกจากนี้ยังมีเครื่องผลิตความถี่มาตรฐานรองซึ่งควบคุมความถี่ด้วยผลึกควอทซ์ ความถี่ที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตความถี่มาตรฐานมีอัตราผิดน้อยมาก จึงสามารถนำไปใช้เป็นสัญญาณเวลาเพื่อเดินนาฬิกามาตรฐานได้

นาฬิกา คือเครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นสำหรับใช้วัดความนานของเวลา ในสมัยโบราณได้ใช้ นาฬิกาแดด นาฬิกาน้ำ และนาฬิกาทราย ต่อมาได้ใช้นาฬิกาแบบที่ทำด้วยเครื่องจักรกลและแบบที่ใช้ความถี่ นาฬิกาที่ดีที่สุดจะต้องมีอัตราผิดที่คงที่และน้อยที่สุด มีความคงทนต่อสภาวะต่างๆ นานที่สุด

1. **นาฬิกาแบบใช้เครื่องจักรกล** มีหลายชนิดด้วยกัน แต่นาฬิกาที่ดีที่สุดได้แก่ นาฬิกาโครโนเมตร (Chronometer) เพราะได้สร้างขึ้นด้วยความปราณีต เครื่องจักรทุกชิ้นได้ผ่านการตรวจสอบอย่างละเอียด โลหะที่ใช้ก็ประดิษฐ์ขึ้นให้มีความยืดหดน้อยที่สุด นาฬิกานี้ได้นำไปใช้ในกิจการที่ต้องการความถูกต้องของเวลา เช่น เกี่ยวกับงานสำรวจ การเดินเรือด้วยดาราศาสตร์ เป็นต้น เพราะมีอัตราผิดไม่เกิน 1/100 วินาทีต่อวัน อย่างไรก็ตามไม่สามารถแก้ปัญหาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความฝืด และการสึกหรอ อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดอัตราผิดไม่เท่ากันได้ จึงเป็นการยากที่จะใช้นาฬิกาโครโนเมตรเป็นนาฬิการักษาเวลามาตรฐานที่เที่ยงตรงแน่นอนได้

2. **นาฬิกาแบบใช้ความถี่** มี 2 อย่าง คือ

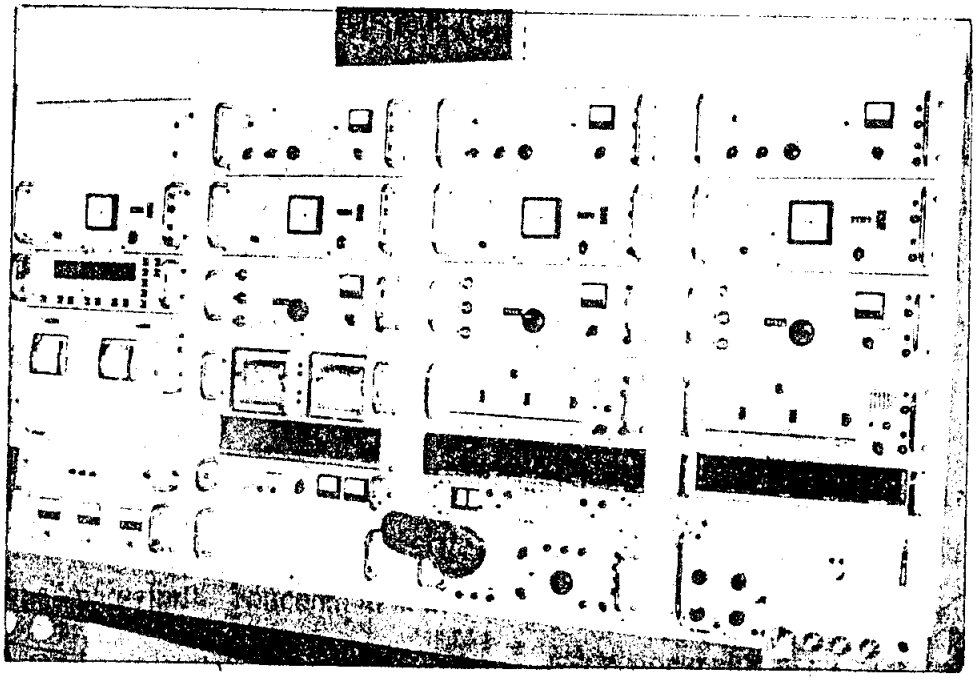
2.1 **นาฬิกาควอทซ์** (Quartz - crystal Clock) ผลึกควอทซ์ถ้าทำให้ผิดรูปไปจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า เนื่องจากเกิดความต่างศักย์ของไฟฟ้าขึ้น (แต่ในทางกลับกัน แรงดันไฟฟ้าที่ผ่านผลึกควอทซ์จะทำให้รูปร่างของผลึกควอทซ์ผิดรูปไป) คลื่นไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้ผลึกผิดรูปไปนี้ เรียกว่า Piezo electric จึงได้มีการนำเอาผลึกควอทซ์มาใช้ใน electronic oscillator ซึ่งทำให้ได้คลื่นความถี่สูงนับล้านเฮิรตซ์ คลื่นความถี่สูงนี้จะถูกทดลองด้วยเครื่องลดความถี่ (frequency divider) ให้เหลือเพียง 1000 เฮิรตซ์ แล้วจึงส่งผ่านเครื่องขยายกำลัง (amplifier) และนำ

ไปใช้หมุน synchronous electric motor ซึ่งมีแกนต่อไปหมุนเข็มชี้เวลาของนาฬิกา ด้วยอาการดังกล่าวนี้เราจะได้ความถูกต้องของเวลา นับเป็นเศษส่วนล้านของวินาทีทีเดียว

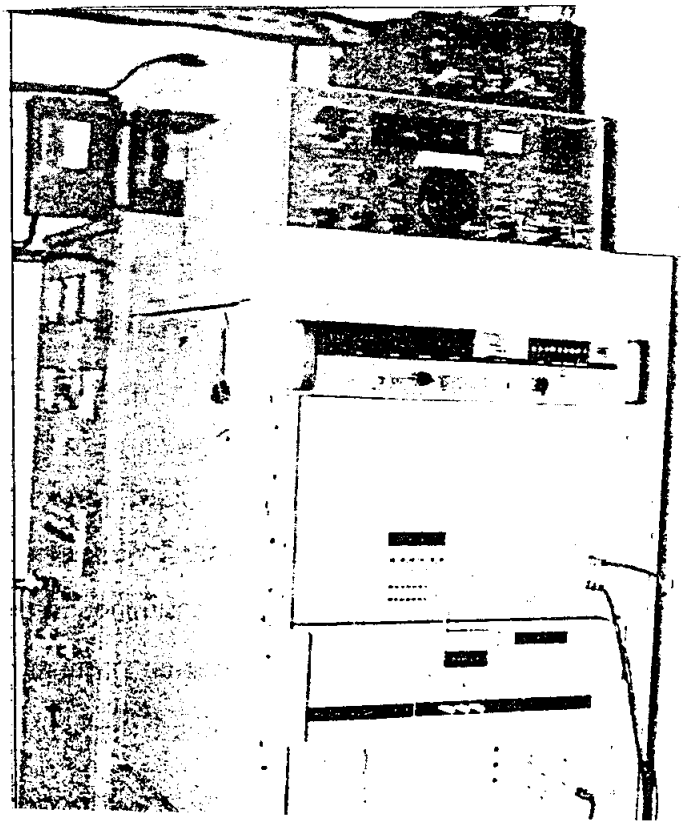
เมื่อ ค.ศ. 1922 W. G. Cody เป็นคนแรกที่นำเอาทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้าผลึก (Piezo electric) มาประยุกต์ใช้ควบคุมการรักษาความเที่ยงตรงของนาฬิกาขึ้นมาอธิบาย แต่ก็ยังไม่มีการสร้างนาฬิกาควอทซ์จนกระทั่งเมื่อ ค.ศ.1928 J.W. Horton ได้สร้างนาฬิกาควอทซ์เรือนแรกขึ้นที่หอทดลองของบริษัท เบลเทเลโฟน สหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1934 P. Sollenberger ได้นำนาฬิกาควอทซ์สำหรับควบคุมเวลาเข้ามาใช้ในการออกอากาศเทียบเวลาอัตโนมัติของหอตรวจดาวกองทัพเรือ สหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1942 หอตรวจดาวกรีนิช ประเทศอังกฤษ เริ่มใช้เวลาจากนาฬิกาควอทซ์ร่วมกับนาฬิกาลูกตุ้ม และหลังจากนั้นอีกไม่กี่ปีหอตรวจดาวทั้งสองแห่งก็เปลี่ยนมาใช้นาฬิกาควอทซ์เพียงอย่างเดียว

ผลึกควอทซ์ที่นับว่าดีที่สุด คือ ผลึกที่ได้ค้นคว้าปรับปรุงโดยชาวอเมริกัน ชื่อ A.W. Warner ซึ่งสามารถทำให้เกิดความถี่ Piezo electric 2.5×10^{6} เฮิรตซ์ ผลึกนี้จะทำให้นาฬิกามีอัตราผิดเพียง 1×10^{-12} วินาทีต่อวัน และมีอัตราเปลี่ยนเพียง $+ 0.1 \times 10^{-6}$ วินาทีต่อวัน

ในสมัยแรกๆ ของนาฬิกาควอทซ์นั้น รูปร่างของนาฬิกาค่อนข้างใหญ่ มีส่วนประกอบไม่เหมาะสมที่จะเคลื่อนย้ายไปมาและราคาก็แพงมาก ต่อมาบริษัท Patek Phillippe ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ได้ประสบความสำเร็จในการค้นคว้าและผลิตนาฬิกาควอทซ์ที่มีรูปร่างกระทัดรัด สวยงามและราคาถูกลง ทั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อให้เหมาะที่จะใช้กับงานดาราศาสตร์เดินเรือโดยเฉพาะ ดังนั้น นาฬิกาควอทซ์ขนาดเล็กจิ๋วได้เริ่มออกสู่ท้องตลาดในปี ค.ศ. 1969 เป็นต้นมา และมีการปรับปรุงเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน



รูปที่ 7.2 อุปกรณ์รักษาเวลามาตรฐานประเทศไทย



รูปที่ 7.3 นาฬิกา Caesium และ นาฬิกา Quartz

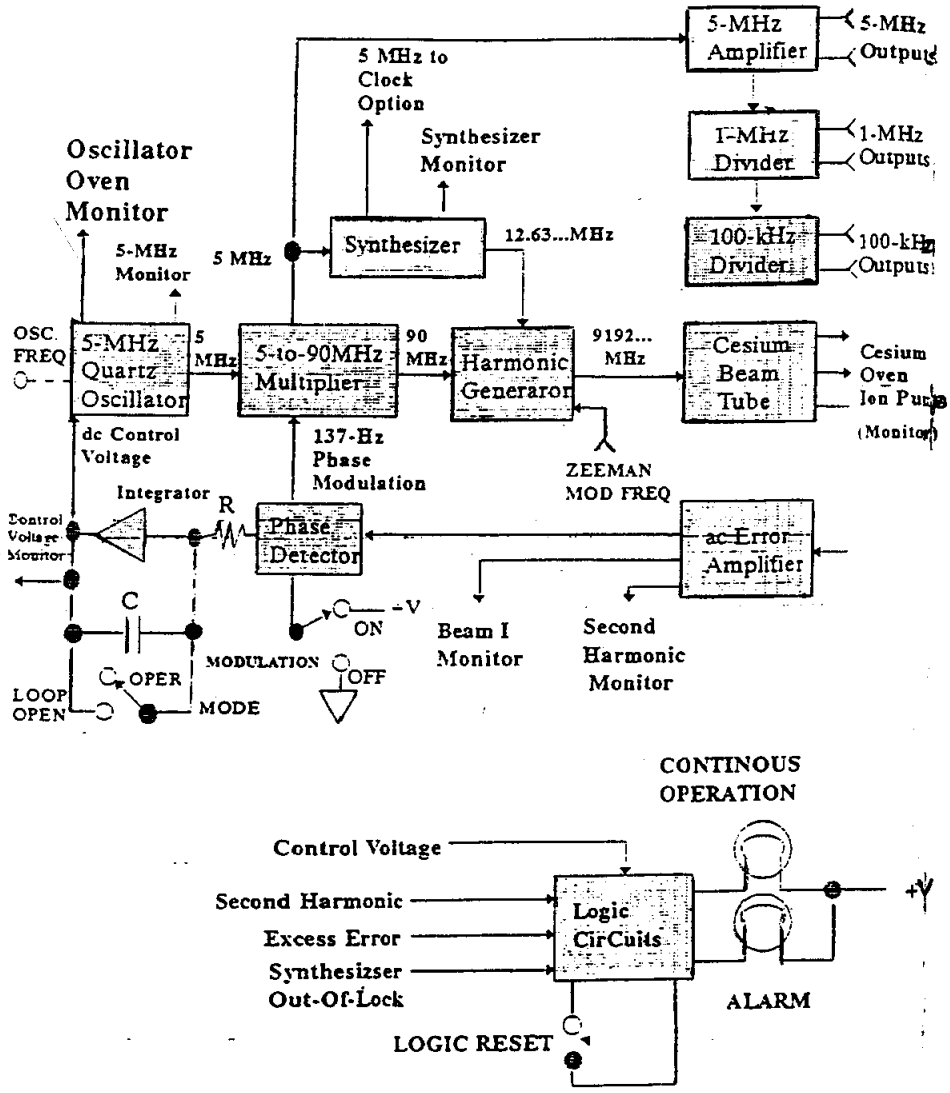
2.2 **นาฬิกาอะตอม** (Atomic Clock) นาฬิกาอะตอมมีหลักการเช่นเดียวกับนาฬิกาควอทซ์ คือใช้คลื่นความถี่สูงที่มีค่าคงที่เป็นตัวควบคุมความเที่ยงตรงของนาฬิกา ที่เรียกว่านาฬิกาอะตอมนั้นไม่ได้หมายความว่านำเอาพลังงานที่เกิดจากการแยกตัวหรือหลอมตัวของอะตอมมาใช้ หากแต่นำเอาภาวะอย่างหนึ่งมาใช้ให้เป็นประโยชน์ ภาวะเช่นนี้คือธรรมชาติของอะตอมที่มีการสั่นสะเทือนด้วยความถี่สูงอย่างคงที่ตลอดเวลา และอะตอมของธาตุชนิดเดียวกันจะมีค่าคงที่เท่ากัน ส่วนธาตุต่างชนิดกันก็จะแตกต่างกันออกไป ไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะแวดล้อมเช่นใด

นาฬิกาอะตอมเรือนแรกสร้างขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1949 ที่กรุงวอชิงตัน ดีซี สหรัฐอเมริกา โดย H. Lyons เรียกว่า นาฬิกาแอมโมเนีย (Ammonia Clock) ใช้อะตอมของไนโตรเจนในโมเลกุลของก๊าซแอมโมเนียมเป็นตัวดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความถี่ 23,870 เมกะเฮิรตซ์ ทำให้สามารถวัดความถี่ของสัญญาณได้ถูกต้องถึงสามในร้อยล้านส่วน ต่อมานาฬิกาอะตอมได้ใช้ซีเซียมอะตอมเป็นตัวดูดกลืนพลังงาน ถูกสร้างขึ้นเป็นครั้งแรกโดย NPL ประเทศอังกฤษในปี ค.ศ.1955 ความถี่ของสัญญาณอยู่ที่ 9 192 631 770 เฮิรตซ์ ซึ่งมีความเที่ยงตรงของสัญญาณสูงมาก โดยมีความคลาดเคลื่อนของสัญญาณน้อยกว่าสามในแสนล้านส่วน ดังนั้นในปัจจุบันนาฬิกาที่ใช้การกำทอนของซีเซียมอะตอม จึงเป็นมาตรฐานสูงสุดในการอ้างอิงใดๆ ทางเวลาและความถี่ แม้ว่าต่อมาจะได้มีการพัฒนาเอารูบิเดียม (Rubidium) มาใช้ในด้านเวลาและความถี่ก็ตาม แต่การทำงานของอุปกรณ์หลักยังต้องมีซีเซียมเป็นตัวกำหนดสัญญาณมาตรฐานเบื้องต้นอยู่

นาฬิกาอะตอมทำงานโดยอาศัยปรากฏการณ์การดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของอะตอมสาร และกำทอนด้วยความถี่ที่ทราบค่าแน่นอนที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงความถี่ (line width) ที่แคบ เป็นกลไกในการควบคุมการสั่นของผลึกควอทซ์ให้มีความถี่ที่เที่ยงตรงมากจนแทบไม่น่าเชื่อว่าจะเป็นไปได้ เช่น ในกรณีของนาฬิกาอะตอมเรือนแรกของโลกที่สร้างขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1948 โดย NBS ประเทศสหรัฐอเมริกา อาศัยการดูดกลืนของไนโตรเจนอะตอมในโมเลกุลของก๊าซแอมโมเนีย ให้ความถูกต้องของการสั่นของผลึกควอทซ์ถึงสามในร้อยล้านส่วน

การใช้ลำอนุภาคซีเซียมอะตอมควบคุมความถี่

ในเชิงอิเล็กทรอนิกส์แล้ว คล้ายกับว่าเรามีวงจร quartz oscillator อยู่อันหนึ่ง ซึ่งมีการ feedback เพื่อปรับความถี่ของวงจรโดยใช้การดูดกลืน หรือการกำทอนของอะตอมสารที่เหมาะสมเป็นตัวควบคุมการ feedback ในวงจรนั้น ซึ่งจะใช้การสั่นของซีเซียมอะตอมเป็นตัวควบคุมและใช้แผนภาพวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของ Caesium Beam Frequency Reference Model 5062C ของ HP มาอธิบาย ดังรูปที่ 7.4

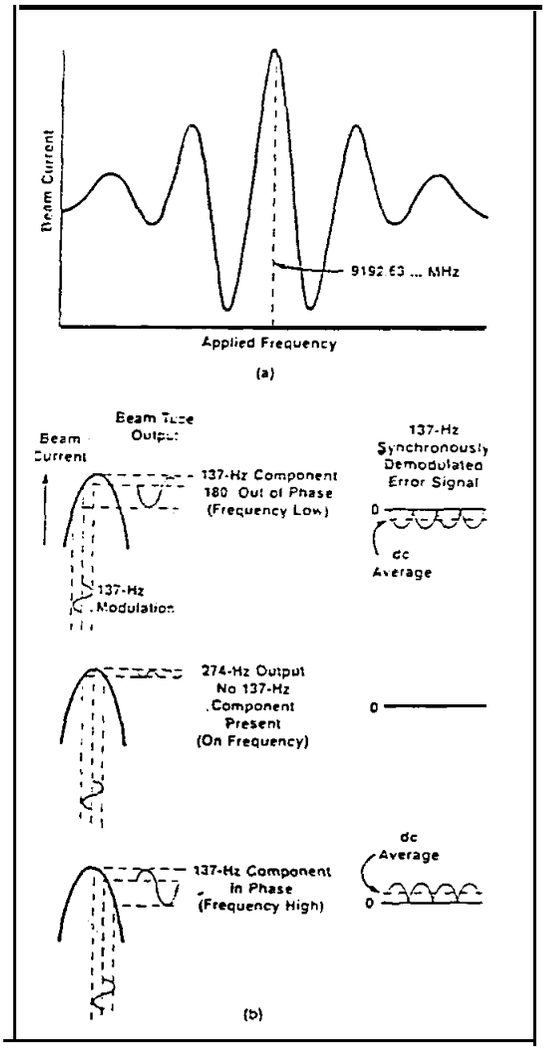


รูปที่ 7.4 แผนภาพของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของ Caesium Beam Frequency Reference Mode 5062 C ของ HP

เริ่มจากสัญญาณไฟฟ้าจาก quartz oscillator ที่ถูกปรับด้วยแรงดันไฟฟ้าในวงจรซึ่งมีความถี่ 5 MHz จะถูกนำไปคูณขยายด้วย RF multiplier ให้มีความถี่สูงขึ้นเป็น 90 MHz แล้วผ่านเข้าไปใน harmonic generator กับ step recovery diode เพื่อให้ความถี่ของสัญญาณสูงขึ้นเป็น 9180 MHz และเนื่องจากอะตอมของซีเซียมจะกำทอนที่ 9192.63177 MHz โดยมีช่วงความถี่ของการกำทอนแคบมากเพียง 1260 Hz เท่านั้น (ดูรูปที่ 7.4) ดังนั้นจึงต้องมีการสังเคราะห์ความถี่อีก 12.63177 MHz เติมเข้าไปกับสัญญาณ 9180 MHz เพื่อให้ได้ความถี่ 9192.63177 MHz ตามต้องการ ซึ่งสัญญาณ 5 MHz ที่นำมาใช้สังเคราะห์นี้แบ่งเอามาจากสัญญาณ 5 MHz ที่ได้นำไปคูณขยายนั่นเอง

ถึงแม้ว่าช่วงความถี่ของการกำทอนจะแคบเพียง 1260 Hz แต่เพื่อให้ทราบถึงความถูกต้องของความถี่ที่นำมากระตุ้นอะตอมซีเซียม ปกติสัญญาณ 9192.63177 MHz นี้จะถูก modulate ด้วยความถี่ 137 Hz ตลอดเวลา ซึ่งหากความถี่ของสัญญาณที่นำมากระตุ้นอยู่ตรงใจกลางของ resonance peak พอดี จะมีเพียง second harmonic component 274 Hz ปรากฏใน beam current output จะไม่มีองค์ประกอบของ 137 Hz ปรากฏด้วย แต่ถ้าความถี่ของสัญญาณต่ำกว่าหรือสูงกว่าความถี่ของการกำทอน ทั้งแอมปลิจูดและเฟสของสัญญาณ 137 Hz จะมีอยู่ใน beam current output ด้วย ซึ่งอาจตรวจสอบความถูกต้องของความถี่ของสัญญาณที่กระตุ้นนี้ได้ด้วยการกรองและขยายเฉพาะสัญญาณความถี่ 137 Hz และ 274 Hz ด้วย AC error amplifier ถ้าความถี่ถูกต้องสัญญาณ 274 Hz ก็จะถูกส่งไปยัง second harmonic monitor เพื่อแจ้งถึงความถูกต้องของความถี่ขณะนั้น แต่ถ้าความถี่ไม่ถูกต้องไม่ว่าจะมากหรือน้อยกว่าความถี่ของการกำทอนของอะตอมซีเซียมก็ตาม แอมปลิจูดของสัญญาณ 137 Hz ที่ใช้เป็นตัว modulate ก็จะถูกนำไปแปลงเป็นแรงดันกระแสตรง ตามสัดส่วนของความถี่ที่เบี่ยงเบนไปจากความถี่ของการกำทอน และเฟสของสัญญาณจะเป็นตัวกำหนด polarity ของแรงดัน ซึ่งเมื่อป้อนสัญญาณกระแสตรงนี้ย้อนกลับมายัง quartz oscillator แล้ว สัญญาณส่วนนี้จะเป็นตัว feedback ที่ควบคุมให้ quartz oscillator ทำงานที่ความถี่ 5 MHz ได้อย่างเที่ยงตรงตลอดเวลา ด้วยความคลาดเคลื่อนน้อยมาก แม้จะรวมผลกระทบจากอุณหภูมิและ

สนามแม่เหล็กแล้วก็จะไม่เกิน $3x10^{-11}$ ส่วน ซึ่งที่ 5 MHz จะคลาดเคลื่อนเพียง +150 μHz หรือคิดเป็นเวลาแล้วจะไม่เกิน $+2.6x10^{-6}$ วินาทีต่อวัน



รูปที่ 7.5 (a) แสดงความสัมพันธ์ของกระแส (Caesium beam tube output) ที่เกิดขึ้นขณะเกิดการกำทอน

(b) แสดงการเกิดองค์ประกอบ 137 Hz และ 274 Hz เมื่อ modulate สัญญาณที่ใช้กระตุ้น Caesium beam ด้วยความถี่ 137 Hz ซึ่งเมื่อกรองสัญญาณให้เป็นกระแสตรงแล้วจะถูกนำไปใช้เป็นแรงดันทางไฟฟ้าที่ควบคุมให้ผลึกควอทซ์สั่นด้วยความถี่ที่เที่ยงตรงที่สุดตลอดเวลา

การรักษามาตรฐานเวลาและความถี่ด้วยดาวเทียม GPS

เวลาและความถี่ที่เที่ยงตรงไม่ใช้สินค้าที่จะเก็บรักษาไว้ในยุ้งฉางได้ เมื่อถึงเวลาก็หยิบเอาออกมาใช้งานได้ ที่จริงแล้วมันจะต้องถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้งานตามความต้องการของมัน และยังจะต้องถูกสอบย้อนไปถึงมาตรฐานขั้นปฐมภูมิได้อีกด้วย

ในหลายสิบปีที่ผ่านมานิยามของคำว่า "ถูกต้องอย่างสูง" ได้เปลี่ยนไปอย่างมากมาย ในอดีตเราเรียกเครื่องจับเวลาว่า โครโนเมตร ซึ่งนาฬิกาเรือนนั้นจะต้องมีความผิดพลาดไม่เกิน 30 วินาทีต่อเดือน สำหรับวันนี้เราคิดว่า เวลาที่ถูกต้องอย่างสูงซึ่งได้มาจากมาตรฐานแห่งชาติที่เรียกว่า UTC (Coordinated Universal Time) มีความถูกต้องสูงถึงกว่า 1 ไมโครวินาที ($1x10^{-6}$ วินาที)

การกระจายระบบข่าวสารของเวลา และการทำให้เวลามีความละเอียดและบริสุทธิ์อย่างต่อเนื่องได้มุ่งไปสู่การประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง รวมไปถึงการแก้ปัญหาที่แก้ไม่ได้มาก่อนในอุตสาหกรรม โดยผ่านสิ่งที่เรียกว่า เครื่องมือของเวลา (Tool of Time) ตัวอย่างของผู้ใช้เครื่องมือนี้ คือ อุตสาหกรรมอวกาศ อุตสาหกรรมเครื่องมือวัดการดาราศาสตร์ การทหาร การกระจายเสียง อุตสาหกรรมน้ำมัน มหาวิทยาลัย โรงไฟฟ้า อุตสาหกรรมเครื่องคำนวณ สถาบันวิจัย นักวิทยาศาสตร์ และรัฐบาล เป็นต้น

เนื่องจากเวลาไม่สามารถจะเก็บไว้ใช้ได้ จึงได้มีการพัฒนาวิธีการกระจายเวลาและความถี่หลายวิธีด้วยกัน เช่น สถานีวิทยุ WWV และ WWB ของ NIST (National Institute of Standards and Technology) MSF ของ NPL (National Physical Laboratory) และสถานีวิทยุอื่นๆ ในทำนองนี้อีกทั่วโลก

ความเบี่ยงเบนของคลื่นพาห์ของความถี่ของสถานีเหล่านี้ ในแต่ละวันจะไม่เกิน $5x10^{-12}$ อย่างไรก็ตาม จากการที่สถานีเหล่านี้ตั้งอยู่บนพื้นดิน สัญญาณเหล่านี้ถูกรบกวนจากแหล่งกำเนิดต่างๆ มากมาย ดาวเทียมอยู่กับที่ GOES (Geostationary Operational Environment Satellite) ซึ่งให้เวลาที่มีความถูกต้องเท่าเทียมกันกับระบบการกระจายเสียงที่กล่าวมาแล้ว แต่สามารถรับได้ดีกว่ามาก (สัญญาณจาก GOES สามารถรับได้ในซีกตะวันตกของสหรัฐอเมริกา)

ความก้าวหน้าในการออกแบบเครื่องรับสัญญาณจากสถานีในอวกาศ คือ

NAVSTAR Global Positioning System (GPS) ได้เปิดศักราชใหม่สำหรับเวลาและความถี่มาตรฐาน ซึ่งเป็นสัญญาณที่สามารถรับได้ทั่วโลก ทำให้ผู้ใช้สามารถรับสัญญาณเวลาและความถี่ที่อ้างอิงเวลา UTC ได้ จนถึงทุกวันนี้เครื่องรับที่ผลิตขึ้นมาเพื่อการพาณิชย์ มีราคาถูก ใช้งานง่าย ไม่ค่อยมีปัญหาในการใช้งาน ได้กลายเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการรักษาเวลาและความถี่ที่สอบกลับไปสู่เวลาพิกัดสากล UTC

NAVSTAR Global Positioning System (GPS) ดาวเทียมบอกตำแหน่งบนพื้นโลก NAVSTAR GPS ได้รับการพัฒนาและส่งขึ้นใช้เมื่อไม่นานมานี้ โดยกระทรวงกลาโหม สหรัฐอเมริกา เพื่อเป็นระบบช่วยเดินอากาศ ในอนาคต ระบบ GPS จะเป็นระบบช่วยเดินอากาศที่ถูกต้องที่สุดที่เคยนำมาใช้ และเวลานี้ก็เป็นระบบที่เหนือกว่าระบบอื่นๆ ในการกระจายเวลาและความถี่ที่เที่ยงตรงสู่ผู้ใช้ เมื่อระบบนี้ได้รับการนำมาใช้อย่างสมบูรณ์ในทศวรรต 1990 ซึ่งจะมีดาวเทียมรวมทั้งสิ้น 24 ดวง จะทำให้ผู้ใช้บริการทั่วโลกสามารถทราบเวลาซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการบอกตำแหน่งบนพื้นโลกได้อย่างถูกต้องที่สุดอย่างไม่เคยมีมาก่อน

ดาวเทียมทั้ง 24 ดวงจะมี atomic clock ซึ่งรักษาเวลาผิดพลาดไม่เกิน 100 นาโนวินาที จากเวลา UTC-USNO ในระบบที่สมบูรณ์ของ GPS จะประกอบด้วยดาวเทียม 6 วงโคจรในแต่ละวงโคจรจะมีดาวเทียม 4 ดวง อยู่สูงจากพื้นโลก 19,650 กิโลเมตร (ครึ่งหนึ่งของระยะความสูงของดาวเทียมแบบคงที่บนพื้นโลก) ดังนั้นจึงมั่นใจได้ว่า ณ ที่จุดใดๆ บนพื้นโลก จะต้องสามารถเห็นดาวเทียมทั้ง 4 ดวงตลอดเวลา แม้ในปี ค.ศ. 1991 ยังมีดาวเทียมที่ปล่อยไปแล้วเพียง 15 ดวง ก็ยังทำให้การตัดสินตำแหน่ง ความเร็ว และเวลาที่ถูกต้องกระทำได้อย่างง่ายดายยิ่ง ถ้าได้ทราบตำแหน่งที่แน่นอนของสายอากาศเครื่องรับในครั้งแรกเท่านั้น ดาวเทียมเพียงดวงเดียวก็สามารถทำให้การตัดสินและการรักษาเวลาของระบบได้รับความถูกต้องตามต้องการ

เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการใช้งาน เครื่องรับ GPS จะต้องติดตามสัญญาณที่กระจายออกมาจากดาวเทียมทั้ง 4 ดวง ที่มองเห็นอยู่พร้อมกันทั้งหมด ด้วยการวัดเวลาที่มาถึงจากดาวเทียมทั้ง 4 ดวง จะทำให้ทราบถึงเวลาของปีและตำแหน่งของเครื่องรับได้ทันที ถ้าเราทราบความเร็วของสัญญาณวิทยุ (ประมาณเท่ากับความเร็วแสง) และเวลา

ที่สัญญาณจากดาวเทียมแต่ละดวงส่งมา ระยะห่างของดาวเทียมจะได้จากการแก้สมการ 4 สมการที่มีตัวไม่ทราบค่า 4 ตัว ผลที่ได้คือ ตำแหน่งแน่นอนของสายอากาศเครื่องรับ (เส้นรุ้ง เส้นแวง และความสูง) รวมไปถึงค่าแก้สำหรับค่าเวลาของปีสมมติที่ผู้ใช้ใส่เข้าไว้ในตอนแรก

รูปที่ 7.6 ดาวเทียม GPS

ความถูกต้องของความถี่ของ GPS คือ 1 ส่วนใน 10^{12} และส่งข่าวสารบอกผู้ใช้ให้ทราบถึงความแตกต่างระหว่างเวลาของ GPS และ UTC ด้วยความเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 100 นาโนวินาที ด้วยความสูงประมาณ 19,650 กิโลเมตร หรือ 10,611 น็อต ทำให้ดาวเทียม GPS อยู่ในลักษณะที่เรียกว่า half-synchronous orbit

ซึ่งหมายความว่า มันจะโคจรรอบโลกทุก ๆ 12 ชั่วโมง แต่ควรสังเกตว่าเวลาในที่นี้เป็นเวลาไซเดอเรียล (sidereal time) ซึ่งสั้นกว่าเวลาสมมติ (solar time) อยู่ประมาณวันละ 4 นาที ดาวเทียมแต่ละดวงจะส่งข้อมูลด้วยช่อง Link 2 ช่อง ซึ่งประกอบด้วย Link 1 (L_1) ส่งด้วยความถี่ 1575.42 MHz และ Link 2 (L_2) ส่งด้วยความถี่ 1227.60 MHz

ในเครื่องรับแบบที่ยุ่งยากมากๆ สัญญาณทั้งสองช่องจะให้สำหรับการหาความผิดพลาดของ Ionosphere Group Delay ดาวเทียมจะส่งรหัส (code) ออกมา 2 รหัส คือ P-code (Precise or Protected code) และ C/A-code (Clear/Acquisition code) สำหรับ P-code จะถูกจำกัดให้ใช้กับทางทหารเท่านั้น ส่วน C/A-Code นั้นจะให้ใช้ในกิจกรรมพลเรือน และมีอยู่ในช่อง L_1

ด้วยเหตุนี้เครื่องรับ GPS ทั่วไปจึงรับได้เฉพาะช่อง L_1 เท่านั้น ถึงแม้ว่าการทำงานจริงๆ ของเครื่องรับ GPS จะมีความยุ่งยากมาก แต่ผู้ใช้จะพบว่ามันเป็นการใช้งานเวลาที่ง่ายที่สุด ในการใช้งานเครื่องรับ GPS จะหาตำแหน่งของดาวเทียม แก้ปัญหาการเดินทางของสัญญาณ หาตำแหน่งของตัวเอง (เครื่องรับ) คำนวณ propagation delay แก้ปัญหา coppler phase shift เนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของดาวเทียม สร้างข้อมูลของวันและเวลา และสัญญาณ 1 PPS ที่ตรงกันกับเวลา UTC การทำงานโดยอัตโนมัติที่กล่าวมาแล้วข้างต้นยังไม่เคยมีมาก่อนในระบบการกระจายเวลาในระบบที่เคยเป็นมาในอดีต จึงเป็นที่เชื่อมั่นได้ว่า GPS จะเป็นระบบที่ได้รับความนิยมสูงสุดในอนาคตอันใกล้นี้

การรักษาเวลามาตรฐานของประเทศไทย กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ทำหน้าที่ในการรักษาเวลามาตรฐานประเทศไทย ตลอดจนบริการแจ้งสัญญาณเทียบเวลาให้แก่ประชาชนเพื่อให้ใช้เวลาตรงกันทั่วประเทศ ซึ่งใช้ระบบเวลาอะตอม และระบบเวลา GPS สำหรับการเปรียบเทียบเวลาจากต่างประเทศเพื่อให้ได้เวลาสากลนั้น ดำเนินการโดยรับสัญญาณเวลาจากต่างประเทศทางเครื่องรับวิทยุ จากประเทศที่มีอุปกรณ์รักษาเวลามาตรฐานที่อยู่ในระดับเดียวกันหรือสูงกว่า ปัจจุบันนี้รับสัญญาณวิทยุจากสาธารณรัฐประชาชนจีน และรับสัญญาณความถี่ (Frequency Receiver) จากประเทศญี่ปุ่น สัญญาณวิทยุหรือสัญญาณความถี่ที่รับมานี้เพื่อการตรวจสอบหาอัตราผิดแล้วนำมาดำเนินการปรับแต่งอุปกรณ์เวลาให้

อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตลอดเวลา

กรมอุทกศาสตร์ให้บริการเวลาเพื่อการปรับเทียบให้กับหน่วยงานต่างๆ และบริการประชาชนทั่วไป แยกเป็นระบบได้ดังนี้

1. **สัญญาณเสียงระบบสหรัฐ** ระบบนี้จะส่งสัญญาณทางสายจากนาฬิกามาตรฐานของแผนกดาราศาสตร์ ซึ่งเป็นสัญญาณจังหวะเสียงสั้นและเสียงยาว เข้ารหัสแล้วส่งรหัสนี้ไปที่กรมสื่อสารเพื่อส่งออกทางวิทยุระบบ FM 6500 KHz ให้แก่หน่วยเรือต่างๆ ของกองทัพเรือ และหน่วยของกองทัพเรือที่อยู่ในพื้นที่ห่างไกล เพื่อรับฟังและปรับเทียบเวลา โดยปกติกรมสื่อสารจะปล่อยสัญญาณเวลาเพื่อการปรับเทียบในเวลา 0800, 1100 และ 2000 ของทุกวัน

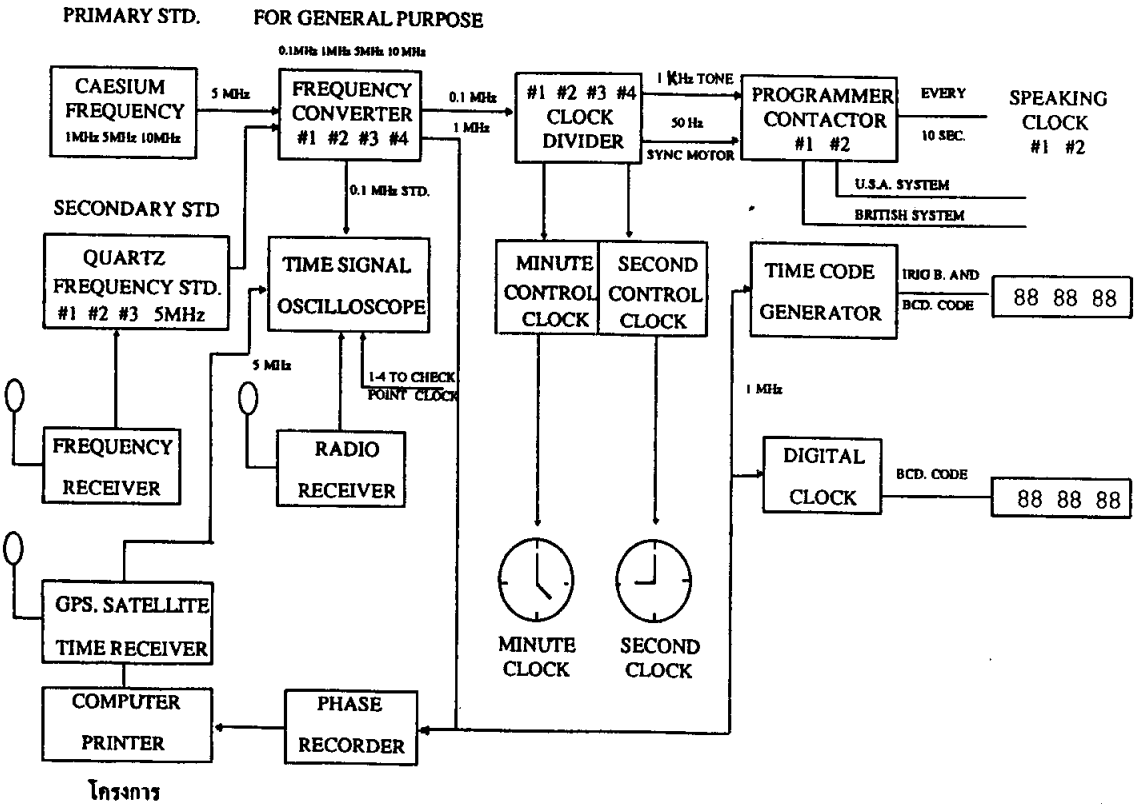
2. **สัญญาณเสียงระบบอังกฤษ** ระบบนี้จะส่งสัญญาณเสียงสั้นและเสียงยาวเข้ารหัสระบบมาตรฐานอังกฤษ แล้วส่งสัญญาณรหัสไปที่กรมสื่อสารเพื่อปล่อยออกทางวิทยุกระจายเสียง สส.ทร. FM 88.5 MHz และ AM ความถี่ 1120 KHz เพื่อให้ประชาชนทั่วไปที่เปิดวิทยุรับฟังความถี่นี้ สามารถรับฟังสัญญาณเวลาได้ โดยจะเทียบเวลาทุกต้นชั่วโมง

3. **ระบบบอกเวลาทางโทรศัพท์** ระบบนี้จะบอกเวลาทุกๆ 10 วินาทีด้วยเครื่องบอกเวลา โดยสัญญาณเสียงทางสายโทรศัพท์สาธารณะ ซึ่งประชาชนทั่วไปสามารถเทียบเวลาได้โดยทางโทรศัพท์หมายเลข 181 ซึ่งสัญญาณเวลานี้บริการตลอด 24 ชั่วโมง

4. **สำหรับระบบสัญญาณเวลาที่ส่งให้กับนาฬิกา DIGITAL** ซึ่งติดตั้งภายในกองทัพเรือจำนวน 8 เรือนจะรับสัญญาณเวลาจาก Frequency Converter ของนาฬิกาซีเซียม เพื่อให้หน่วยบัญชาการมีเวลามาตรฐานในการสั่งการเดียวกัน

Greenwich mean time (GMT) เป็นเวลามาตรฐานโดยการกำหนดเมริเดียนที่ผ่านเมือง Greenwich เป็นเมริเดียนมาตรฐานสำหรับใช้ในการอ้างถึงเวลาเป็นเวลามาตรฐานสากล (universal time) และยังใช้เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับมุมเวลา (Hour Angle) ของวัตถุท้องฟ้า GHA (Greenwich Hour Angle)

Local mean time (LMT) เป็นเวลาสมมติที่เมริเดียนของผู้ตรวจ ณ ตำบลที่ใดก็ได้ ดวงอาทิตย์ผ่านเมริเดียนเบื้องบนผู้ตรวจเป็นเวลาเที่ยง (1200) ผ่านเมริเดียนเบื้องล่างเป็นเวลา 2400

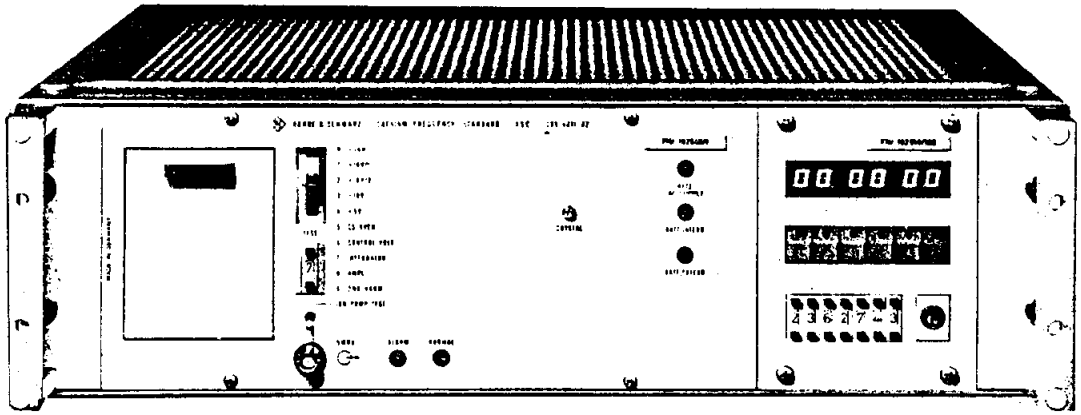


รูปที่ 7.7 ผังการทำงานระบบรักษาเวลามาตรฐานประเทศไทย

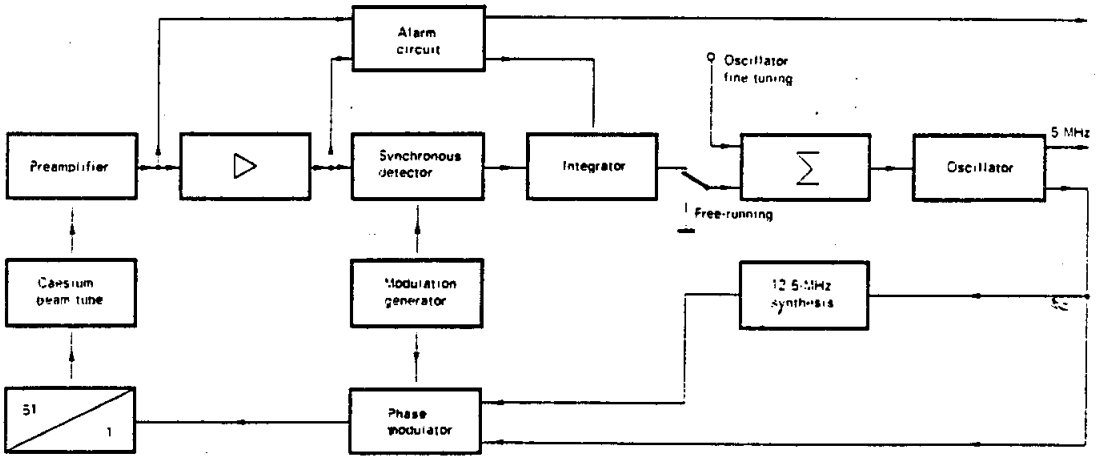
7.3 การวัดเวลาและความถี่

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดเวลาและความถี่ มีดังต่อไปนี้

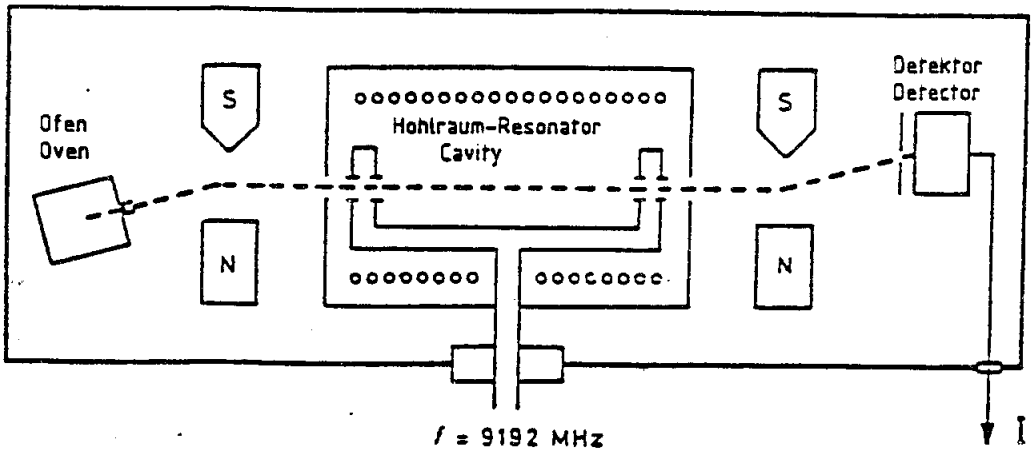
1. **เครื่อง Caesium Frequency Standard XSC** เครื่องนี้เป็นมาตรฐานปฐมภูมิ ซึ่ง output frequency ได้จาก caesium beam tube เครื่องนี้ไม่ต้องมีการสอบเทียบใหม่ตลอดเวลาการใช้งาน ลักษณะของเครื่องนี้ดูจากรูปที่ 7.8 และรูปที่ 7.9 เป็นบล๊อกไดอะแกรมง่ายๆ ของเครื่อง Caesium Frequency Standard กับรูปที่ 7.10 เป็น Principle diagram of the Caesium Beam Tube ซึ่งจะให้รูปที่ 7.11 เป็น Beam Tube Ramsey Response



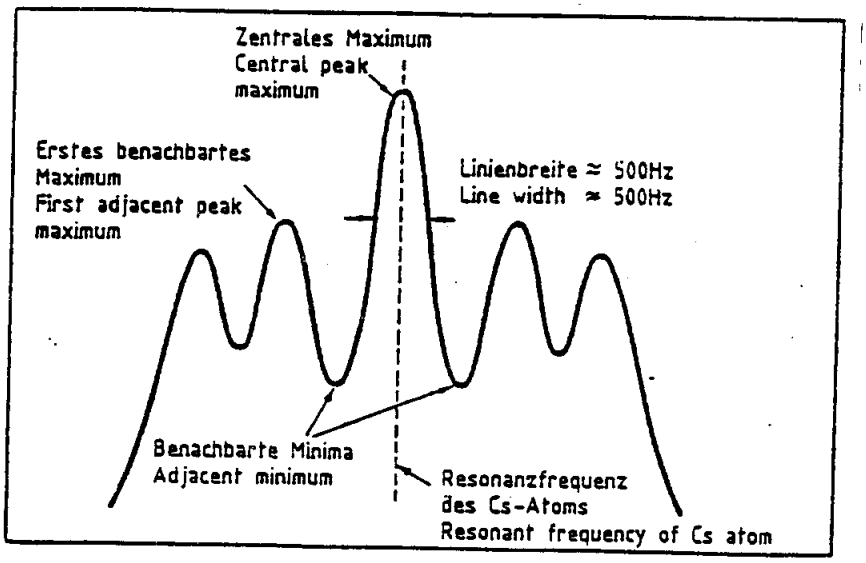
รูปที่ 7.8 Caesium Frequency Standard XSC with Digital Clock CADM



รูปที่ 7.9 Simplified block diagram of Caesium Frequency Standard XSC (basic unit only)



รูปที่ 7.10 Principle Diagram of the Caesium Beam Tube

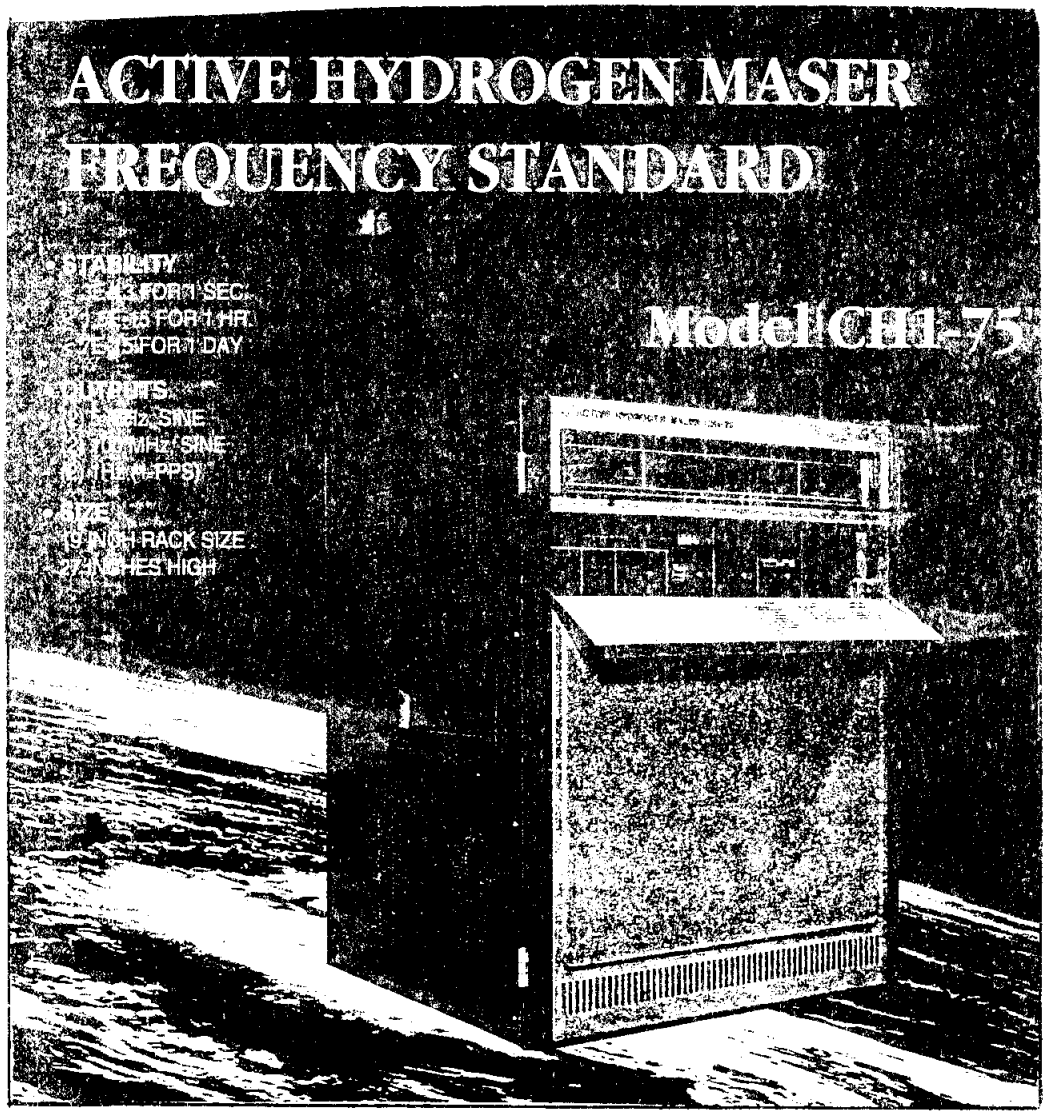


รูปที่ 7.11 Beam Tube Ramsey Response

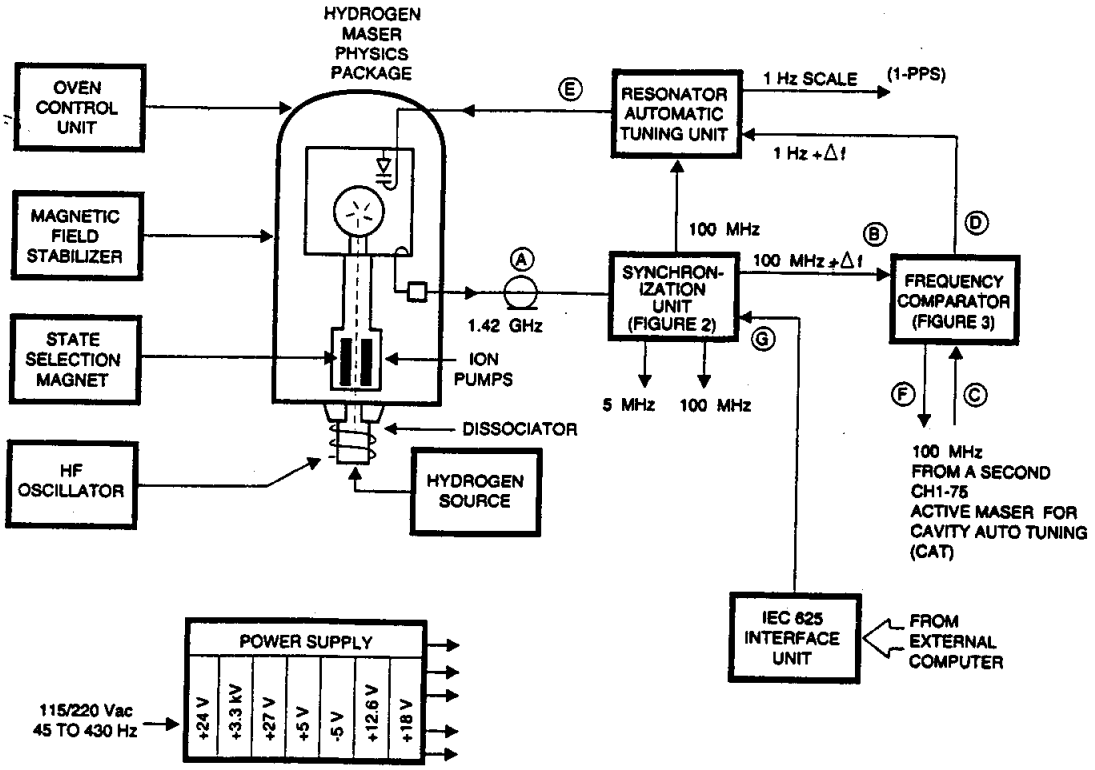
2. เครื่อง **Active Hydrogen Maser Frequency Standard (CH1-75)**

ดูรูปของเครื่องนี้ได้จากรูปที่ 7.12 มี quartz crystal oscillator 5 MHz และ

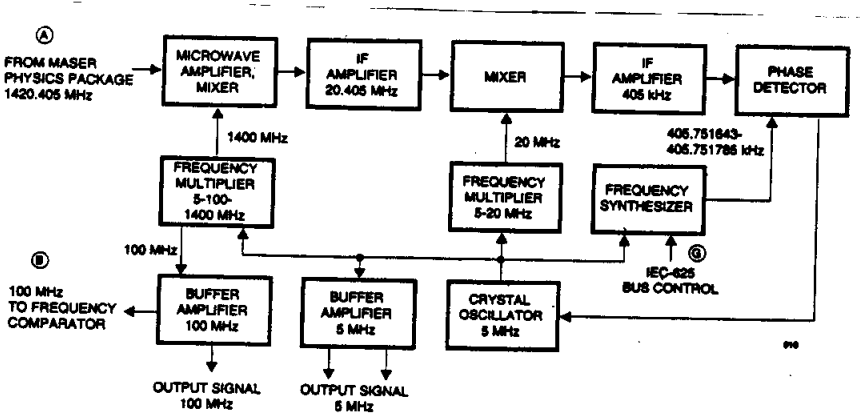
มี phase lock ต่อการเปลี่ยนระดับไฮเปอร์ไฟน์ของอะตอมไฮโดรเจน บล็อกไดอะแกรม ของเครื่องดูได้จากรูปที่ 7.13 และรูปที่ 7.14 เป็น Synchronization Unit Block Diagram



รูปที่ 7.12 Active Hydrogen Maser Frequency Standard (CH1-75)



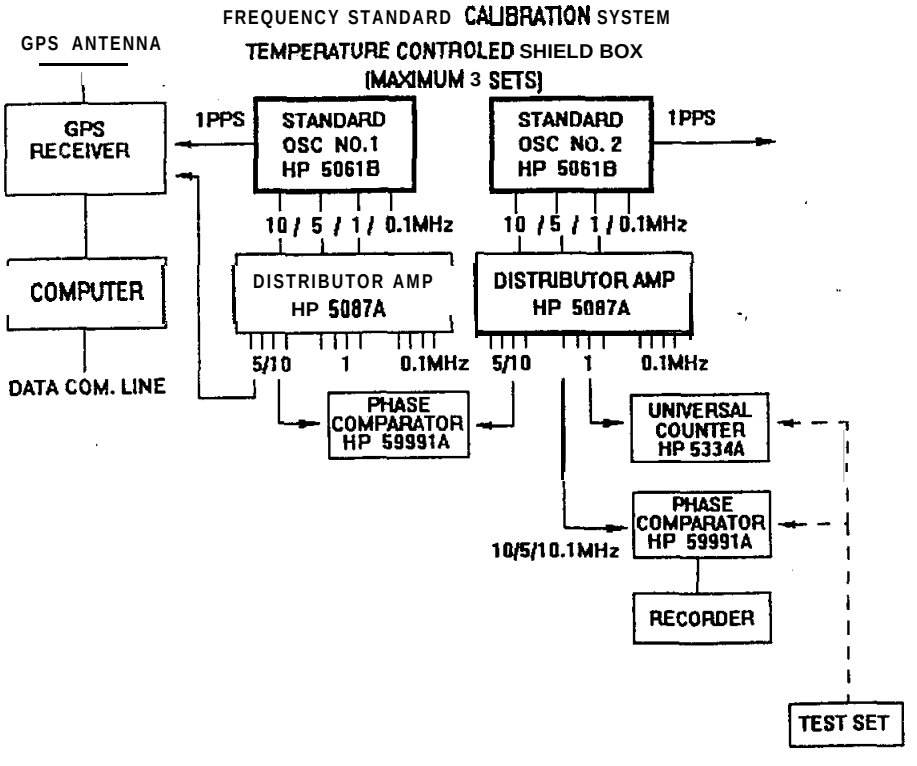
รูปที่ 7.13 Block Diagram - Active Hydrogen Maser



รูปที่ 7.14 Synchronization Unit Block Diagram

7.4 การสอบเทียบเวลาและความถี่

7.4.1 **Frequency Standard Calibration System** ควบคุมอุณหภูมิด้วย shield box ซึ่งเป็นเครื่องวัดเวลาและความถี่ที่ศูนย์มาตรฐานเวลาและความถี่กรมไปรษณีย์โทรเลข บล๊อกไดอะแกรมดังในรูปที่ 7.15



รูปที่ 7.15 Frequency Standard Calibration System

HP 5061B คือ Caesium Beam Frequency Standby

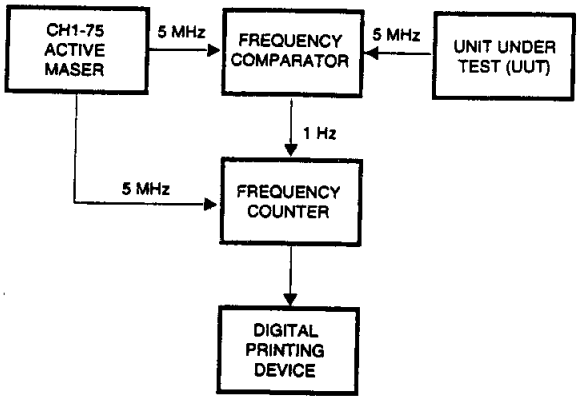
HP 5087A คือ Amplifier

HP 59991A คือ Phase Comparator

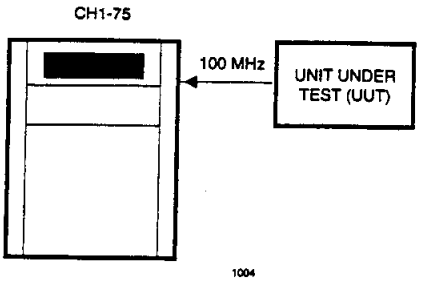
HP 5334A คือ 100 MHz Universal Counter

7.4.2 Active Hydrogen Maser Frequency Standard (CH1-75)

การสอบเทียบมาตรฐานความถี่อะตอมดังในบล๊อกไดอะแกรมรูปที่ 7.16



Frequency standard calibration block diagram using external frequency comparator.



Frequency standard calibration block diagram using the built-in comparator and a frequency counter.

รูปที่ 7.16 Block Diagrams for Calibration