บทที่ 2

การศึกษาการวัดและเครื่องวัดทางไฟฟ้า

2.1 การวัด

ตามประวัติศาสตร์ของการวัดของมนุษย์เริ่มต้นด้วยการวัดความยาว โดยต่างคนก็เอาความยาวของฝ่ามือตนเองเป็นหน่วยวัดมาตรฐาน ซึ่งแน่นอนความยาวที่แต่ละคนวัดออกมา จึงไม่เท่ากัน จนกระทั่งกษัตริย์อียิปต์ชื่อ "PHAROH KHUFU" ซึ่งเป็นผู้ทำให้มีการก่อสร้างปิรามิดชื่อ "THE GREAT KHUFU PYRAMID" ก่อนคริสต์ศักราชประมาณ 2,900 ปี ได้เป็นผู้กำหนดความยาวมาตรฐาน ซึ่งได้ถูกวัดลงบนหินแกรนิตสีดำ โดยมีชื่อเรียกว่า "ROYAL EGYPTIAN CUBIC" ซึ่งหลังจากได้มีการกำหนดความยาวมาตรฐานใช้กันอย่างแพร่หลายแล้ว ปรากฏว่าชนชาติอียิปต์มีความเจริญก้าวหน้ามาก กล่าวคือ สามารถสร้างปิรามิดใหญ่ ๆ ได้เป็นผลสำเร็จ (ศุภชัย เติมทอง, 2532)

รูปแบบและหลักของการวัด ได้มีการพัฒนาขึ้นมาจากอดีตพร้อม ๆ กับวิวัฒนาการของมนุษย์ชาติมีการค้นพบศึกษาและค้นคว้าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่าง ๆ มีการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในกิจการต่าง ๆ เช่น การคมนาคม การสื่อสาร เป็นต้น เพื่ออำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันรวมถึงในขบวนการควบคุมการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม สิ่งเหล่านี้ไม่ว่าจะมองในด้านคุณภาพ ปริมาณ จะต้องอาศัยการวัดที่ละเอียดถูกต้องเป็นพื้นฐาน ไม่ว่าขบวนการดังกล่าวจะง่ายหรือสลับซับซ้อนเพียงใด แม้ว่าตัวมนุษย์เองจะมีขีดความสามารถสูง แต่มีขอบเขตที่จำกัดทางด้านการวัด มนุษย์มีขีดจำกัดในการรับรู้หรือบอกถึงปริมาณทางไฟฟ้า หรือปริมาณทางฟิสิกส์อื่น ๆ โดยใช้ประสาทสัมผัสอย่างเดียว แต่มีปริมาณบางอย่างที่ไม่สามารถรู้ได้ด้วยประสาทสัมผัส เช่น ความต้านทางไฟฟ้า นอกจากนั้นปริมาณบางอย่างจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ถ้าเข้าไปสัมผัสโดยตรง ดังนั้นมนุษย์จะต้องอาศัยอุปกรณ์บางอย่างเข้ามาเป็นตัวกลางถ่ายทอด สิ่งที่ต้องการจะรู้ให้เข้ามาอยู่ในรูปแบบที่มนุษย์รับรู้ได้

2.2 มาตรฐานการวัด

มาตรฐานการวัด คือ การแทนหน่วยของการวัดให้เป็นกายภาพ โดยการแทนหน่วยของการวัดโดยใช้มาตรฐานที่เป็นวัสดุ (material) หรือปรากฏการณ์ธรรมชาติ รวมถึงค่าคงที่ทางกายภาพหรือทางอะตอม (เอก ไชยสวัสดิ์, 2527)

2.2.1 ชนิดของมาตรฐาน สามารถแบ่งตามหน้าที่และการประยุกต์ได้เป็น

1) **มาตรฐานนานาชาติ (International Standard)** นิยามโดยที่ประชุมใหญ่มาตราชั่งตวงวัดระหว่างชาติ โดยตกลงแทนหน่วยของการวัดให้ใกล้เคียง และเที่ยงตรงที่สุดที่เทคโนโลยีในการผลิตและการวัดจะเอื้ออำนวยให้ มาตรฐานนานาชาตินี้ จะถูกตรวจและทดสอบค่าอย่างสม่ำเสมอ โดยการวัดแบบสัมบูรณ์ในรูปของหน่วยพื้นฐาน (ความยาว มวล เวลา กระแส อุณหภูมิ และความเข้มของการส่องสว่าง) มาตรฐานเหล่านี้ จะถูกเก็บรักษาอยู่ที่สำนักงานมาตราชั่งตวงวัดระหว่างชาติ (Le Bureau International Des Poids Et Measures, BIPM) แต่ไม่ได้ใช้สำหรับการเปรียบเทียบ (comparison) หรือใช้ปรับเทียบ (calibration)

2) **มาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standard)** เก็บรักษาอยู่ที่ห้องปฏิบัติการมาตรฐานแห่งชาติ ในส่วนต่าง ๆ ของโลก เช่น National Bureau Standard (NBS) ในวอชิงตัน จะเป็นผู้เก็บมาตรฐานปฐมภูมิสำหรับทวีปอเมริกาเหนือ มาตรฐานปฐมภูมิจะแทนหน่วยพื้นฐานและหน่วยสืบทอดทางกลและไฟฟ้าบางส่วน และจะถูกปรับเทียบโดยอิสระโดยการวัดสัมบูรณ์ที่ห้องปฏิบัติการแห่งชาติแต่ละแห่ง มาตรฐานปฐมภูมิจะใช้แต่เพียงภายในห้องปฏิบัติการแห่งชาติเท่านั้น โดยใช้สำหรับตรวจสอบและปรับเทียบมาตรฐานทุติยภูมิ

3) **มาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard)** ใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงหลักในห้องปฏิบัติการการวัด (ในอุตสาหกรรม) โดยเก็บรักษาในห้องปฏิบัติการแต่ละแห่ง โดยปกติมาตรฐานทุติยภูมินี้ จะถูกส่งไปปรับเทียบและเปรียบเทียบกับมาตรฐานปฐมภูมิ ที่ห้องปฏิบัติการมาตรฐานแห่งชาติ ดังนั้นมาตรฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรมนี้ จึงได้รับการตรวจสอบค่าที่วัดได้ในเทอมของมาตรฐานปฐมภูมิ

4) **มาตรฐานในการปฏิบัติงาน (Working Standard)** ใช้ในห้องปฏิบัติการการวัด สำหรับการตรวจสอบและปรับเทียบเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไป หรือใช้ในอุตสาหกรรม ในการปฏิบัติการวัดแบบเปรียบเทียบ เช่นในโรงงานผลิตตัวต้านทานค่าละเอียด

จะใช้ตัวต้านทานมาตรฐาน (Ohm standard) ในส่วนควบคุมคุณภาพเพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ทดสอบ ในกรณีนี้จะตรวจสอบว่าการวัดยังอยู่ในขอบเขตของความถูกต้องที่ต้องการหรือไม่

2.2.2 มาตรฐานอ้างอิงของกองทัพอากาศ

กองทัพอากาศมีระบบมาตรฐานมานานแล้ว เครื่องวัดในสมัยแรก ๆ ส่วนมากเป็นเครื่องวัดทางกล และกายภาพที่ไม่ต้องการความแม่นยำในการใช้งานมากนัก การปรับเทียบมาตรฐานอาจกระทำได้โดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดชนิดเดียวกัน ต่อมาเมื่อกองทัพอากาศมีระบบอาวุธยุทโธปกรณ์ที่ทันสมัยยิ่งขึ้น ทำให้ต้องการเครื่องวัดที่มีความแม่นยำเที่ยงตรงสูงในการซ่อมบำรุง ประกอบกับอาวุธยุทโธปกรณ์และบริภัณฑ์สนับสนุนส่วนใหญ่จัดซื้อจากสหรัฐอเมริกา จึงจำเป็นต้องส่งเครื่องวัดเหล่านั้น ไปปรับเทียบมาตรฐานที่กองทัพอากาศสหรัฐอเมริกา ทำให้กองทัพอากาศต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก

ในปี พ.ศ. 2506 สหรัฐอเมริกาได้ช่วยเหลือในการจัดตั้งห้องปฏิบัติการมาตรฐานเครื่องวัด ตามโครงการช่วยเหลือทางทหาร คือ กองซ่อมปรับเทียบมาตรฐานเครื่องวัด กรมสื่อสารทหารอากาศ (PRECISION MEASUREMENT EQUIPMENT LABORATORY, PMEL) มีหน้าที่รักษา และถ่ายมาตรฐานบรรดาเครื่องวัดต่าง ๆ ในกองทัพอากาศ ให้อยู่ในมาตรฐานสากล โดยการส่งชุดมาตรฐานของกองทัพอากาศไทย ไปรับการถ่ายมาตรฐานจาก THE AEROSPACE GUIDANCE AND METROLOGY CENTER (AGMC) มลรัฐ OHIO ซึ่งเป็นสถาบันมาตรฐานทางด้านเครื่องวัดของกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกา นับว่าเป็นหน่วยงานทางการมาตรฐานที่สมบูรณ์แบบแห่งแรกในประเทศไทย (ศุภชัย เติมทอง, 2532)

2.3 เครื่องมือวัด

เครื่องวัดแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1) เครื่องวัดประเภท I (CATEGORY I PME) เป็นเครื่องวัดติดตั้งเฉพาะที่ ซึ่งติดตั้งในระบบหรือในระบบย่อย รวมอยู่ในระบบอื่น ๆ เช่น เครื่องวัดที่ติดตั้งบนแผงหน้าปัดเครื่องบิน รถถัง และแผงควบคุมการยิงตอร์ปิโดร์ เป็นต้น

2) เครื่องวัดประเภทที่ II (CATEGORY II PME) เป็นเครื่องวัดใช้งานพิเศษเฉพาะอย่าง เพื่อตรวจ ซ่อมบำรุง และปรับเทียบมาตรฐานเครื่องวัดประเภท I เช่น เครื่องมือตรวจวิเคราะห์การทำงานของเครื่องยนต์ จรวด อาวุธปล่อย

3) เครื่องวัดประเภท III (CATEGORY III PME) หมายถึงเครื่องวัดใช้งานทั่วไป (Common Use) โดยมีความสมบูรณ์และสำเร็จรูปในตัวเอง เช่น ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ (Digital voltmeter) เครื่องนับความถี่ (Frequency counter) และเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator) เป็นต้น เครื่องวัดประเภทนี้ใช้ในการซ่อมบำรุง ทดสอบ ปรับเทียบและหาข้อขัดข้องของเครื่องวัดประเภท II

4) เครื่องวัดประเภท IV (CATEGORY IV PME) หมายถึงเครื่องมาตรฐานการวัดหรือเครื่องมือมาตรฐานอ้างอิง ที่ใช้สำหรับการปรับเทียบเครื่องวัดประเภท III และเครื่องวัดประเภทที่ IV นี้ ได้รับการเทียบมาตรฐานจากมาตรฐานสากล

2.4 เครื่องวัดทางไฟฟ้า

เครื่องวัดทางไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ในห้องปฏิบัติการ โรงงานอุตสาหกรรม และหน่วยซ่อมบำรุงต่าง ๆ ความแม่นยำในการวัดขึ้นอยู่กับเครื่องวัดจะมีประสิทธิภาพแค่ไหน มีความละเอียดในการวัดเพียงใด และการปรับเทียบกับมาตรฐานเป็นไปตามกำหนดระยะเวลาหรือไม่ นอกจากนี้ยังขึ้นกับสภาพแวดล้อมทางการใช้งาน ได้แก่ แรงดันกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิห้อง ความดันบรรยากาศ ความชื้น ลักษณะการว่างเครื่องวัด และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การปรับเทียบเครื่องวัดทางไฟฟ้าจำเป็นจะต้องมีการตรวจสอบการทำงานของเครื่องวัดทางไฟฟ้าในแต่ละฟังก์ชันก่อน เพื่อให้ทราบว่าจะปรับเทียบตรงจุดไหนของเครื่องวัด

เครื่องวัดทางไฟฟ้ามีหลายแบบ อาทิ โวลต์มิเตอร์ โอห์มมิเตอร์ มัลติมิเตอร์ เครื่องกำเนิดสัญญาณ ลอจิกอะนาไลเซอร์ (Logic Analyzer) ออสซิลโลสโคป เครื่องนับความถี่ เป็นต้น ในการวิจัยนี้จะใช้ มัลติมิเตอร์ เครื่องกำเนิดสัญญาณ และเครื่องนับความถี่เป็นกรณีศึกษา

2.4.1 มัลติมิเตอร์ (Multimeter)

อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในด้านอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า ที่มีใช้ในปัจจุบันนี้ หากเกิดข้อขัดข้องขึ้นมา เครื่องมือที่ช่างใช้ในการตรวจสอบหาข้อขัดข้องที่ใช้ง่าย มีความคล่องตัวและรวดเร็ว คือ มัลติมิเตอร์ เนื่องจากมีขนาดเล็กและสามารถวัดได้หลายอย่าง เช่น วัดแรงดันไฟตรง (DC voltmeter) วัดแรงดันไฟสลับ (AC voltmeter) วัดความต้านทาน (Ohm meter) และวัดกระแสไฟตรง (DC ampmeter) เป็นต้น

มัลติมิเตอร์ สามารถแบ่งตามการแสดงผลออกเป็น 2 แบบ คือแสดงผลโดยใช้เข็มชี้ เรียกว่าอะนาลอกมัลติมิเตอร์ (analog multimeter) และแบบแสดงผลเชิงเลข เรียกว่าดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (digital multimeter) ซึ่งสามารถลดความผิดพลาดในการวัดซึ่งเกิดจากองค์ประกอบทางกลในมิเตอร์แบบอะนาลอก

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ บางทีเรียกว่า ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ (digital volt meter, DVM) บางรุ่นสามารถที่จะส่งผลลัพธ์ไปยังเครื่องพิมพ์ รวมทั้งสามารถที่จะควบคุมการปฏิบัติงานโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ ทำให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ตัวอย่างได้แก่ HP3435A Digital Multimeter, HP3437A System Voltmeter, HP3455A Digital Voltmeter ในการวิจัยนี้จะใช้ HP3455A เป็นกรณีศึกษา

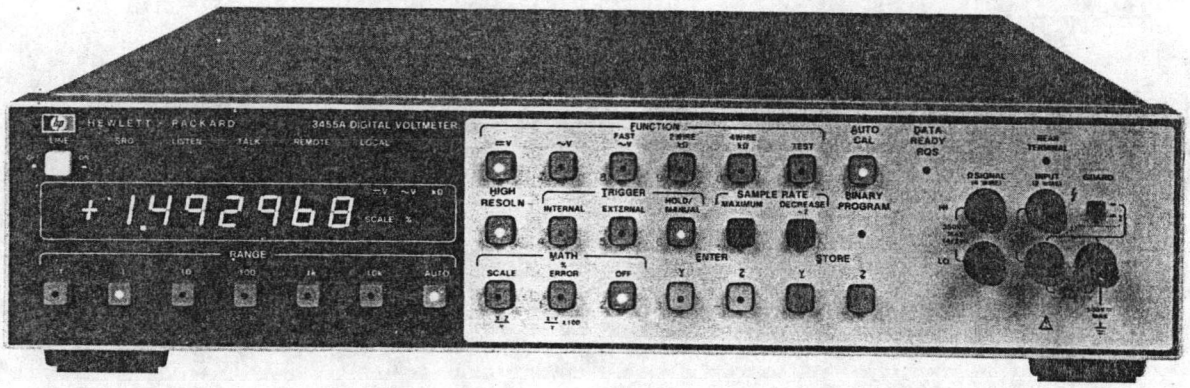
HP3455A Digital Voltmeter แสดงผลได้ 5 1/2 หลัก (digit) หรือ 6 1/2 หลัก (ในกรณีของ high resolution mode) ซึ่งเป็นเครื่องวัดมาตรฐานสำหรับวัดไฟตรง ไฟสลับ และความต้านทาน มีความไวในการวัดไฟตรง (sensitivity) เป็นหน่วยไมโครโวลต์ สามารถวัดความต้านทานได้ทั้งแบบ 2 สายและ 4 สาย (2-wire and 4-wire) และสามารถวัดไฟสลับได้ในย่านความถี่ 30 Hz - 250 kHz นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการทดสอบตัวเอง (self test) และสามารถต่อเชื่อมกับ IEEE-488 bus ได้

การตรวจสอบการทำงานของ HP3455A จะทำการตรวจสอบความแม่นยำในการวัดไฟตรง ไฟสลับ และโอห์ม ดังต่อไปนี้

1) การตรวจสอบความถูกต้องในการวัดไฟตรง (DC Accuracy Test) จะตรวจสอบการทำงานในย่าน 0.1 V - 1000 V โดยใช้ Fluke 5440B Direct Volts Calibrator เป็นเครื่องมาตรฐานอ้างอิง ป้อนไฟตรงให้ตามค่าที่กำหนดในคู่มือ แล้วนำค่าที่อ่านได้จาก HP3455A มาเปรียบเทียบกับค่าสูงสุดและต่ำสุดที่กำหนดไว้ ถ้าอยู่ในช่วงที่กำหนดก็ถือว่ามีความแม่นยำในการวัดไฟตรงที่เชื่อถือได้ แต่ถ้าไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด ก็จะนำไปปรับเทียบต่อไป

2) การตรวจสอบความถูกต้องในการวัดไฟสลับ (AC Accuracy Test) จะตรวจสอบการทำงานในย่าน 1V - 1000V ที่ความถี่ระหว่าง 30 Hz - 350 kHz โดยใช้ Fluke 5200A Programmable AC Calibrator เป็นเครื่องมาตรฐานอ้างอิงป้อนไฟสลับให้แก่ HP3455A ตามค่าที่กำหนดในคู่มือ แต่สำหรับแรงดันไฟฟ้า 1000V จะต้องใช้ Fluke 5205A Precision Power Amplifier ช่วยขยายแรงดันไฟที่ออกมาจาก 5200A ก่อนที่จะป้อนให้แก่ HP3455A

3) การตรวจสอบความถูกต้องในการวัดความต้านทาน (OHMS Accuracy Test) จะทำการตรวจสอบการวัดความต้านทานในช่วง 0.1 โอห์ม - 10,000 โอห์ม ทั้งแบบ 2 สายและแบบ 4 สาย โดยใช้ Fluke 5450A Resistance Calibrator เป็นเครื่องมาตรฐานอ้างอิง



รูป 2.1 HP3455A Digital Voltmeter

2.4.2 <u>เครื่องกำเนิดสัญญาณ</u> (Signal Generator)

เครื่องกำเนิดสัญญาณ เป็นเครื่องวัดแบบหนึ่งซึ่งสามารถให้กำเนิดสัญญาณ AC ที่มีความถี่ใด ๆ ตามที่ต้องการได้ สัญญาณที่สร้างขึ้นมานี้จะเป็นแบบผสมคลื่น (Modulated) หรือเป็นแบบไม่ผสมคลื่นก็ได้ สัญญาณที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ นำไป ใช้ในการตรวจปรับวงจรจูนต่าง ๆ ตรวจซ่อม และตรวจสอบความไวของเครื่องรับ

เครื่องกำเนิดสัญญาณถูกแบ่งจำพวกออกตามลักษณะการใช้งานต่าง ๆ เช่น เครื่องกำเนิดสัญญาณไซน์ความถี่ต่ำ (low-frequency sine-wave generators) เครื่องกำเนิดสัญญาณคลื่น (function or waveform generators) เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ที่กวาดต่อเนื่อง (sweep frequency generators) เครื่องสังเคราะห์สัญญาณความถี่ (frequency synthesizers) และเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ (pulse generators) ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้บางเครื่องสามารถสร้างสัญญาณได้มากกว่าหนึ่งชนิด แต่บางเครื่องถูกออกแบบมา

เพื่อในงานเฉพาะอย่างเท่านั้น ตัวอย่างของเครื่องกำเนิดสัญญาณ ได้แก่ HP8656B signal generator, HP8672A synthesized signal generator, HP612A UHF signal generator ในการวิจัยนี้จะใช้ HP8656B เป็นกรณีศึกษา

HP8656B signal generator ให้กำเนิดสัญญาณความถี่ 100 kHz ถึง 990 MHz แอมปลิจูด (amplitude) ตั้งแต่ +13 dBm ถึง −127 dBm สามารถผสมคลื่นได้ทั้งแบบ AM และ FM นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการต่อเชื่อมกับ IEEE-488 bus ได้

การตรวจสอบ HP8656B จะใช้ HP8902A Measuring Receiver และ HP11722A Sensor module เป็นเครื่องมาตรฐานอ้างอิง โดยทำการตรวจสอบดังนี้

1) การตรวจสอบความถูกต้องและความเรียบของสัญญาณที่ออกมา (Output Level Accuracy and Flatness) จะทำการตรวจสอบความแม่นยำและความคงที่ของสัญญาณที่ส่งออกมาในย่านความถี่ 3 MHz ถึง 990 MHz และแอมปลิจูดระหว่าง +13 dBm ถึง −127 dBm

2) การตรวจสอบความถูกต้องของการผสมคลื่นทางแอมปลิจูด (AM Indicator Accuracy) จะทำการตรวจสอบความแม่นยำในการผสมคลื่นทางแอมปลิจูด ที่ความถี่ 100 MHz 240 MHz 400 MHz และ 990 MHz โดยผสมกันทางแอมปลิจูด 10% 30% 70% และ 90%

รูป 2.2 HP8656B Signal Generator

3) การตรวจสอบการผสมคลื่นทางเฟส (Incidental Phase Modulation Test จะตรวจสอบการผสมคลื่นทางเฟส กับสัญญาณภายใน โดยผสมกัน 30% ความถี่ตั้งแต่ 0.1 - 990 MHz

4) การตรวจสอบความเพี้ยนที่เกิดจากการผสมคลื่นทางแอมปลิจูด (AM Distortion Test) จะตรวจสอบความเพี้ยนอันเกิดจากการผสมคลื่นทางแอมปลิจูด ที่ความถี่ 100 MHz 240 MHz 400 MHz และ 900 MHz โดยผสมกันทางแอมปลิจูด 10% 30% 70% และ 90%

5) การตรวจสอบความถูกต้องของการผสมคลื่นทางความถี่ (FM Indicator Accuracy Test)

2.4.3 <u>เครื่องนับความถี่</u> (Frequency counter)

เครื่องนับความถี่เป็นเครื่องวัดที่ใช้สำหรับตรวจสอบความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณต่าง ๆ ว่ามีความถูกต้องตามที่เราต้องการหรือไม่ เครื่องนับความถี่มีสองระบบ คือ Supper-Heterodyne และ Digital สำหรับระบบ Supper-Heterodyne เป็นระบบเก่า การใช้มีความยุ่งยาก ล่าช้า และเกิดความผิดพลาดในการวัดได้ง่าย ปัจจุบันจึงนิยมใช้ระบบ Digital

เครื่องนับความถี่ นอกจากใช้วัดความถี่แล้ว ยังสามารถใช้วัดคาบสัญญาณ (period) เปรียบเทียบสัญญาณ 2 สัญญาณด้วยวิธีสัดส่วน (ratio mode) แสดงช่วงเวลาระหว่างจุด 2 จุดบนคลื่น (time interval) และวัดเฟส (phase measurement) ตัวอย่างของเครื่องนับความถี่ได้แก่ HP5328A Universal Counter, HP5300 A/B Measuring System, HP5345A Electronic Counter ในการวิจัยนี้จะใช้ HP5328A เป็นกรณีศึกษา

HP5328A Universal Counter สามารถใช้วัดความถี่ได้ในช่วง 0-100 MHz วัดช่วงเวลาระหว่างจุด 2 จุดบนคลื่นได้ละเอียดถึง 100 nano-sec. วัดช่วงเวลาเฉลี่ยได้ระหว่าง 10 pico-sec. - 10 sec. สามารถแสดงผลได้ 9 หลัก และมีคุณสมบัติในการต่อเชื่อมกับ IEEE-488 bus ได้ (Hewlett-Packard, 1980)

การตรวจสอบ HP5328A นี้ จะใช้ HP8656B Signal Generator เป็นเครื่องป้อนความถี่มาตรฐานให้ โดยมีการตรวจสอบดังนี้

1) การตรวจสอบความไวในการวัด (Sensitivity Test)

(1) ช่อง A (Channel A) ตรวจสอบที่ความถี่ 10Hz - 100MHz

(DC) และ 20 Hz - 100 MHz (AC)

(2) ช่อง B (Channel B) ตรวจสอบที่ความถี่ 10Hz - 100MHz (DC) และ 20 Hz - 100 MHz (AC) โดยใช้ HP8656B อีกเครื่องหนึ่งมาตรวจสอบสัญญาณที่ออกมาจากเครื่องนับความถี่ที่ต้องการตรวจสอบ

(3) ช่อง C (Channel C) ตรวจสอบที่ความถี่ 30MHz - 500MHz

2) การตรวจสอบคาบเวลาและคาบเวลาเฉลี่ย (Period and Period Average Test)

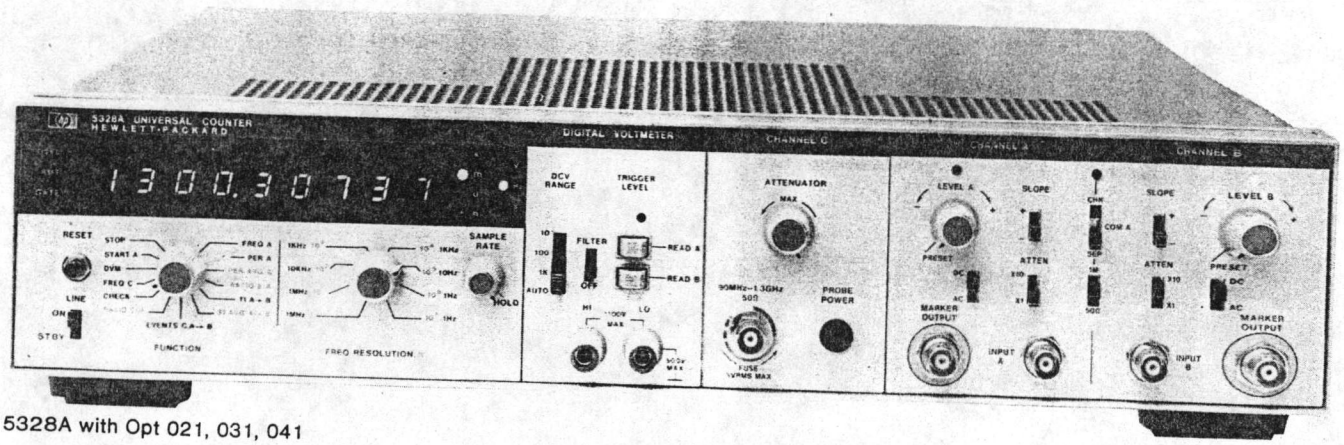
3) การตรวจสอบสัดส่วน (Ratio Test)

4) การตรวจสอบห้วงเวลาและห้วงเวลาเฉลี่ย (Time Interval and Time Interval Average Test)

(1) TI A -> B

(2) TI AVG A -> B, (+) to (-)

(3) TI AVG A -> B, (-) to (+)



5328A with Opt 021, 031, 041

รูป 2.3 HP5328A Universal Counter