บทที่ 1

หลักการเบื้องต้นของเครื่องมือวัดไฟฟ้า

1.1 ความรู้เบื้องต้นของเครื่องมือวัดไฟฟ้า

บทนำ (Introduction)

การวัด(Measurement) เป็นพื้นฐานสำหรับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกสาขา การวัดเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับมนุษย์ในชีวิตประจำวัน ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ได้มีการพัฒนารูปแบบและหลักการของการวัดขึ้นมาจากอดีตพร้อม ๆ กัน กับวิวัฒนาการของมนุษยชาติ มีการค้นพบหรือการศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่าง ๆ เพื่อดัดแปลง หรือพยายามควบคุมธรรมชาติให้เอื้ออำนวยต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์ รวมถึงที่ใช้ในกระบวนการควบคุมการผลิตในอุตสาหกรรม สิ่งเหล่านี้ไม่ว่าจะมองในด้านคุณภาพ ปริมาณ หรือความสะดวกปลอดภัย จะต้องอาศัยการวัดที่ละเอียดถูกต้องเป็นพื้นฐาน ไม่ว่ากระบวนการที่ได้กล่าวถึงนั้น จะง่ายหรือสลับซับซ้อนเพียงใด

1.1.1 นิยามของการวัด

การวัดเป็นขั้นตอนดำเนินการพื้นฐาน เพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้และเพื่อควบคุมระบบ ได้มีความพยายามค้นคว้าหาปรัชญารากฐานของการวัดมาตั้งแต่สมัยกรีกโบราณ มีการปรับปรุงทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดให้สอดล้องเหมาะสมกับวิทยาการสาขาใหม่ ๆ ที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม เพื่อหานิยามของคำว่า การวัดที่เหมาะสม ลองพิจารณาถึงธรรมชาติและคุณสมบัติของการวัดดังนี้

เริ่มแรก การวัด คือ การกำหนดตัวเลขให้กับคุณสมบัติ (Properties) ของวัตถุหรือของเหตุการณ์ดังนั้น มันจึงเป็นการบรรยายถึงคุณสมบัติขิงวัตถุหรือของเหตุการณ์และไมใช่ตัววัตถุหรือเหตุการณ์ เราอาจวัดความยาวของวัตถุ ความต้านทานไฟฟ้าของวัตถุและอื่น ๆ ซึ่งขณะนี้เราละไว้ในฐานที่เข้าใจว่า ทุกคนที่เกี่ยวข้องมีความเข้าใจชัดเจนถึงแนวคิดเกี่ยวกับคุณสมบัตินั้น ๆ แล้วก่อนที่จะลงมือทำการวัด ดังนั้นในขั้นตอนแรกจะต้องมีการกำหนดความต้องการ สำหรับผลการวัด ตัวอย่างเช่น เราจะต้องการรู้เกี่ยวกับความสำคัญของความร้อน ก้อนที่จะเริ่มมีการออกแบบเทอร์โมมิเตอร์ แม้ว่าความต้องการการออกแบบที่ตามมา และการประยุกต์ของระบบการวัดจะค่อนข้างตรงไปตรงมาและชัดเจนในงานวิทยาศาสตร์กายภาพ เช่น ฟิสิกส์ หรือวิศวกรรม แต่มันจะไม่ง่ายหรือไม่

ชัดเจนในวิทยาการ เช่น การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม ถ้าหากเราต้องการทำการวัดคุณภาพชีวิต หรือความรู้สึกสบายเมื่ออยู่ในห้องสีต่าง ๆ กัน เป็นต้น เนื่องจากคุณสมบัติเป็นเรื่องนามธรรม ดังนั้น สิ่งที่เราเกี่ยวข้องก็คือการปรากฏของคุณสมบัติ ตัวเลขที่กำหนดให้นั้นคือ measure เมื่อเรากำหนดตัวเลขให้แก่คุณสมบัติของวัตถุหนึ่ง และกำหนดอีกตัวเลขหนึ่ง (ด้วยกระบวนการเดียวกัน) ให้แก่คุณสมบัติย่างเดียวกันของอีกวัตถุหนึ่ง เราหมายความว่า การปรากฏของคุณสมบัติทั้งสองไม่แตกต่างกันและถ้าหากตัวเลขที่กำหนด (โดยการวัด) ให้แก่การปรากฏของคุณสมบัติที่จำเพาะในกลุ่มของวัตถุกลุ่มหนึ่งสามารถเรียงตามลำดับขนาดที่เพิ่มขึ้น จะหมายถึงว่า จะมีความสัมพันธ์ที่มาจากการสังเกต (Empirical) ซึ่งเป็นผลให้เราสามารถเรียงวัตถุตามลำดับเดียวกันกับเมื่อเทียบกับการปรากฏของคุณสมบัติ สิ่งที่ได้อธิบายข้างต้นนี้แสดงว่า การวัดเป็นกระบวนการของการเปรียบเทียบระหว่างการปรากฏของคุณสมบัติ กับอีกการปรากฏหนึ่งของคุณสมบัติเดียวกัน

ต่อไป การวัดเป็นกระบวนการลักษณะ “Objective” ซึ่งหมายถึงว่า ตัวเลขที่กำหนดแก่คุณสมบัติโดยการวัด (ภายในขอบเขตของความผิดพลาด) จะต้องเป็นอิสระต่อผู้สังเกต เป็นเรื่องธรรมดาที่กรรมการจะให้ค่าการตัดสินบนสเกล 0-10 สำหรับคุณสมบัติเช่น ความเหมาะสมกับตำแหน่งงาน ตัวเลขที่เป็นผลมาจากการให้ค่าลักษณะนี้ไม่ถือว่าเป็น measure นอกเสียจากว่า มีการจัดตั้งหรือกำหนดโดยกระบวนการให้ค่า (หรือคะแนน) ว่าจะให้ตัวเลขเดียวกัน (ภายในขอบเขตของความผิดพลาดที่ยอมรับได้) โดยใช้ขั้นตอนดำเนินการเดียวกัน

นอกจากนั้น การวัดเป็นกระยวนการ “Empirical” ซึ่งหมายถึง จะต้องเป็นผลจากการสังเกตหรือการทดลอง ไม่ใช่จากทฤษฎีหรือความผิด

จะเห็นว่ารูปแบบของการวัดในทางปฏิบัติก็คือ การเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มาตรฐานจะเป็นตัวแทนทางกายภาพของหน่วย (Unit) ของการวัดที่ใช้ (ซึ่งก็คือขนาดมาตรฐานของคุณสมบัติ) โดยทั่วไปในทางวิทยาศาสตร์กายภาพ ค่าตัวเลข (Measure) ที่ให้แก่ค่าที่วัด จะแสดงอัตราส่วนของขนาดของคุณสมบัติต่อขนาดมาตรฐานซึ่งถือว่าเป็นหนึ่ง ดังนั้นมาตรฐานจะต้องมีคุณสมบัติเดียวกับคุณสมบัติของวัตถุที่จะวัด นอกจากนั้นมาตรฐานนี้จะต้องเป็นที่ยอมรับ.โดยผู้คนในวงการเดียวกัน ถ้าหากมีการติดต่อสื่อสารกันถึงผลของการวัด

การวัดทางไฟฟ้า หมายถึง การเปรียบเทียบปริมาณทางไฟฟ้าที่ต้องการวัดกับปริมาณไฟฟ้ามาตรฐานที่กำหนดไว้เช่น ปริมาณมาตรฐานของกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ หมายถึง ปริมาณกระแสไฟฟ้าในตัวนำที่มีความยาวเป็นอนันต์ มีพื้นที่หน้าตัดเล็กมากจนไม่ต้องนำมาคิด โดยวางขนาน 1 เมตรในสุญญากาศแล้วทำให้เกิดแรงระหว่างตัวนำทั้งสองขนาด 2×10^{-7} N ต่อความยาว 1 เมตร ถ้าหากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้มีขนาดเป็น 10 เท่าของปริมาณการแส

ไฟฟ้ามาตรฐาน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 10 แอมแปร์เป็นต้น

เนื่องจากเครื่องมือวัดไฟฟ้าเป็นเครื่องมือวัดที่ใช้วัดค่าปริมาณทางไฟฟ้า ซึ่งค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดทางไฟฟ้าก็คือ หน่วยทางไฟฟ้า (Electrical unit) มี 6 หน่วยด้วยกันคือ

1) กระแสไฟฟ้า (Electric current :1) หน่วย แอมแปร์ (Ampere: A) 1 แอมแปร์ คือ ค่ากระแสคงที่ในลวดตัวนำที่มีความยาวไม่จำกัด วางขนานกันห่างกัน 1 เมตร มีพื้นที่หน้าตัดเล็กมาก (ไม่ต้องนำมาคิด) ในสุญญากาศ จะทำให้เกิดแรงระหว่างตัวนำทั้งสองเท่ากับ $2x10^{-7}$ นิวตัน ต่อความยาว (N/m)
2) ปริมาณของประจุ (Quantity of charge :Q) หน่วย คูลอมบ์ (Coulomb :C) 1 คูลอมบ์ คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ไหลนาน 1 วินาที โดยใช้กระแส 1 แอมแปร์
3) แรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือค่าความต่างศักย์ดาไฟฟ้า(Electromotive force or potential different:V) หน่วย โวลต์(Volt :V) ความต่างศักย์ 1 โวลต์ คือ ความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุดบนสายไฟที่มีกระแสคงที่ 1 แอมแปร์ และกำลังที่ใช้ระหว่างจุดทั้งสองเท่ากับ 1 วัตต์
4) ความต้านทาน(Resistance :R) หน่วย โอห์ม (Ohm:Ω) ความต้านทาน 1 โอห์ม คือ ความต่างศักย์บนตัวนำระหว่างจุดสองที่มีความต่างศักย์
5) ความเหนี่ยวนำ(Inductance : L) หน่วย เฮนรี (Henry : H) 1 การเหนี่ยวนำไฟฟ้าของวงจรปิดซึ่งมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1 โวลต์ เกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าในวงจรแปรผันสม่ำเสมอในอัตรา 1 แอมแปร์ต่อวินาที
6) ความจุ (Capacity : C) หน่วย ฟารัด(Farad : F) 1 ฟารัด คือ ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุระหว่างเพลตซึ่งมีความต่างศักย์ 1 โวลต์ เมื่อวัดความจุไฟฟ้าเท่ากับ 1 คูลอมบ์

วัตถุประสงค์ของการวัดและเครื่องวัดไฟฟ้า

ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจะสอดคล้องกับความก้าวหน้าในศิลปะของการวัดในลักษณะที่ขนานกันไป ในความเป็นจริงแล้วจะสามารถกล่าวได้ว่า วิธีการที่เร็วที่สุดในการเข้าถึงสถานะทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของชาติใดให้ดูที่การวัดที่ใช้ และวิธีการใช้ข้อมูลที่สะสมโดยการวัด เหตุผลสำหรับการนี้ค่อนข้างง่ายเพราะว่า ขณะที่มีความเจริญก้าวหน้าทางวิทาศาสตร์และเทคโนโลยี ก็จะมีการค้นพบปรากฏการณ์และความสัมพันธ์ใหม่ ๆ ซึ่งทำให้มีความต้องการวัดชนิดใหม่พร้อม ๆ กันนั้น

ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทำให้เราสามารถสร้างการวัดชนิดใหม่ที่เพิ่มเข้าไปเพื่อความเข้าใจซึ่งในทางกลับกันจะนำไปสู่การค้นพบใหม่ ซึ่งทำให้มีความเป็นไปได้และความต้องการการวัดเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้น มันจึงเป็นเหมือนสัจพจน์ที่ว่าวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่สลับซับซ้อนจะต้องร่วมกับการวัดที่สลับซับซ้อน ขณะที่วิทยาศาสตร์ในระดับต้นก็จะใช้กับเทคนิคการวัดเบื้องต้นเช่นกัน

ขณะที่ศิลปะของการวัดได้ก้าวหน้าขึ้น เทคโนโลยีของการทำการวัดจะอิงกับวิธีทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มากขึ้น มีเหตุผลหลายประการในการใช้การวัดและเครื่องวัดไฟฟ้า

1. เมื่อเราได้แปลงสาระให้อยู่ในรูปไฟฟ้า มันก็พร้อมสำหรับการโพรเซสหรือการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ในวิถีทางที่เหมาะสมกับงานจำเพาะที่หลากหลาย
2. ปรากฏการณ์เกือบทั้งหมด เช่น อุณหภูมิ ระยะทาง แสง สี เสียง ความดัน ฯลฯ สามารถแปลงเป็นการชี้แสดงด้วยไฟฟ้าสำหรับการโพรเซสและแปรความหมาย
3. การวัดไฟฟ้ามีความไวสูง ทำการวัดได้อย่างรวดเร็ว
4. สามารถทำการวัดระยะไกล (Remote) ได้
5. สามารถใช้ผลของการวัดในการควบคุม

1.1.2 มาตรฐานที่เกี่ยวกับการวัด

ปัจจุบันนี้เป็นที่ยอมรับกันว่าประเทศไทยกำลังอยู่ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงไปสู่การเป็นประเทศอุตสาหกรรม การค้าขายไม่ว่าจะเป็นภายในหรือกับภายนอกประเทศก็ตาม สิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ก็คือ สำหรับใช้ในการวัดตามข้อตกลงซื้อขายทุกประเทศในโลกมองเห็นความสำคัญและตระหนักถึงความรับผิดชอบในระบบมาตรฐานการวัดของชาติรวมทั้งเป็นหน้าที่ ๆ จะต้องจัดให้ระบบมาตรฐานการวัดให้ได้รับความเชื่อถือกันและกันด้วย นับได้ว่ามาตรฐานการวัดเป็นพื้นฐานสำคัญที่รองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมของชาติทีเดียว ในบทนี้มีเนื้อหาเพื่อความรู้ความเข้าใจด้านการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด และความสำคัญของมาตรฐานการวัดที่มีต่อการพัฒนาอุตสาหกรรม

1) ประวัติความเป็นมา

ในสมัยกลางศตวรรษที่ 19 ซึ่งเป็นสมัยที่การค้าในประเทศยุโรปขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็วและประกอบกับความเจริญทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้เริ่มขยายตัวมากขึ้น ประเทศอังกฤษและประเทศในเครือจักรภพได้พยายามจัดระบบมาตรฐานการวัดขึ้นในการประชุมหลายครั้งในยุโรปก็ได้พยายามวางรากฐานหน่วยการวัด “ความยาว” และ “น้ำหนัก” ขึ้น ในที่สุดในปี

พ.ศ. 4512 ประเทศอังกฤษและฝรั่งเศสก็ได้ตกลงกันจัดตั้งระบบการวัดโดยใช้หน่วย “เมตริก” ระหว่างชาติขึ้นสำเร็จ โดยมีประเทศอื่น ๆ อีก 24 ประเทศเห็นชอบ ต่อมาในราว พ.ศ.2418 ได้มีข้อตกลงในการใช้ “เมตร” เป็นหน่วยในการวัดความยาว และ “กิโลกรัม” เป็นหน่วยในการวัดน้ำหนัก และเป็นต้นกำเนิดองค์การระหว่างประเทศเกี่ยวกับการวัด หรือที่เรียกกันว่า Bureau International Poidset Measures (BIPM)

สำหรับประเทศไทยเรานั้น พระบาทสมเด็จพระพุทธเจ้าหลวงได้ทรงมีพระราชปรารภเมื่อประมาณ พ.ศ.2440 ที่จะวางระเบียบการชั่ง ตวง วัด ให้เป็นหลักฐานมีการเริ่มงานครั้งแรกที่กระทรวงเกษตรพาณิชยการ ต่อมาสมัยกระทรวงเกษตรตราธิการได้ยกร่างพระราชบัญญัติอัตราถังและทะนาน ร.ศ.119 ขึ้นทูลเกล้าถวายด้วยเหตุที่ประเทศไทยมีสินค้าข้าวเป็นสินค้าสำคัญ แต่เสนาบดีสภาเห็นว่าเมื่อทำแล้วควรจะเพิ่มการชั่งและวัดเข้าด้วย จึงได้มีพระราชบัญญัติวัด ตวงและชั่ง ร.ศ.119 ขึ้นเป็นครั้งแรกและต่อมาราว พ.ศ.2542 สำนักงานระหว่างประเทศว่าด้วย มาตราชั่ง ตวง วัด (BIPM) ได้มีหนังสือมาเชิญประเทศไทยเข้าเป็นสมาชิก พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวได้ทรงตั้งคณะกรรมการขึ้นพิจารณาและต่อมาก็ได้ทรงมีพระบรมราชานุมัติให้เข้าเป็นสมาชิก และนำเอาการวัดระบบเมตริกเข้ามาใช้ในประเทศ มีการโอนงานจากกระทรวงเกษตรตราธิการไปจัดทำในกระทรวงพาณิชย์ เมื่อ พ.ศ.2463 และตราพระราชบัญญัติมาตราชั่ง ตวง วัด พุทธศักราช 2466 ขึ้นเมื่อวันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ.2466 ซึ่งน่าจะนับได้ว่าเป็นกฎหมายสำคัญในเรื่องมาตรฐานการวัดเป็นครั้งแรกในประเทศไทย

เมื่อ ปี พ.ศ.2504 ผู้เชี่ยวชาญสหประชาชาติได้ทำการสำรวจพบว่าประเทศไทยยังขาดงานด้านซ่อมและสอบเทียบอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ จึงได้เสนอรัฐบาลไทยให้จัดตั้งศูนย์ซ่อมและสอบเทียบอุปกรณ์ขึ้นภายในสถานวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทยในสมัยนั้น (ปัจจุบันสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย จุดประสงค์ของการจัดตั้งศูนย์นี้ก็คือการจัดให้มีมาตรฐานอ้างอิง เพื่อสำหรับไว้ใช้สอบเทียบเครื่องมือวัดต่าง ๆ ของชาติรวมทั้งให้บริการการซ่อมเครื่องมือต่าง ๆ เหล่านี้ด้วยศูนย์ซ่อมและสอบเทียบในสมัยเริ่มแรกได้รับความช่วยเหลือจากสหประชาชาติ ต่อมาหลังจากนั้นประมาณ 5 ปี สหประชาชาติได้ถอนตัวออกไปและเมื่อปี พ.ศ.2517 ประเทศญี่ปุ่นได้เข้ามาให้ความช่วยเหลือด้านการจัดตั้งห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ให้กับสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย จนกระทั่งถึงปัจจุบันตลอดระยะเวลานานถึง 8 ปี โดยการช่วยเหลืองทางด้านอุปกรณ์และเครื่องมือ การฝึกอบรมพนักงานรวมทั้งส่งผู้เชี่ยวชาญมาฝึกสอนและให้คำแนะนำจนถึงปัจจุบันความช่วยเหลือก็ยังคงกระทำอยู่ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทยได้เปลี่ยนชื่อเป็นสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ.2522 ปัจจุบันมีเครื่องมือและมีความสามารถให้บริการด้าน

สอบเทียบเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและแสง ได้โดยเทียบค่าความถูกต้อง โดยตรงกับ Electrotechnical Laboratory (ETL) ซึ่งเป็นสถาบันที่รับผิดชอบเกี่ยวกับมาตรฐานการวัดทางไฟฟ้าของประเทศญี่ปุ่น

2) การดำเนินการเกี่ยวกับมาตรฐานการวัด

ก. การถ่ายทอดความถูกต้อง การดำเนินการเกี่ยวกับมาตรฐานการวัดนี้เป็นการถ่ายทอดความถูกต้องของมาตรฐานอ้างอิง เริ่มต้นจากต้นแบบหรือหน่วยมาตรฐานจากองค์การระหว่างประเทศ (BIPM) หรือ เรียกว่าสอบเทียบความถูกต้องระหว่างมาตรฐานอ้างอิงของ BIPM กับของแต่ละประเทศสมาชิก ประเทศสมาชิกจะมีมาตรฐานอ้างอิงเรียกว่ามาตรฐานอ้างอิงของชาติไว้สำหรับการสอบเทียบความถูกต้องกับมาตรฐานที่ใช้งานอยู่ภายในประเทศของตน ข้อแตกต่างระหว่างมาตรฐานอ้างอิงกับมาตรฐานอ้างอิงระหว่างชาติที่ BIPM เครื่องมือที่ใช้สำหรับเป็นมาตรฐานอ้างอิงของชาตินี้จึงมีราคาแพงมาก แต่ละประเทศควรมีไว้เพียงแห่งเดียวในแต่ละเรื่อง ส่วนมาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปนั้นมีค่าความถูกต้องต่ำกว่าอาจมีได้หลายระดับ ค่าความถูกต้องของมาตรฐานที่ใช้ในโรงงานไม่จำเป็นจะต้องมีค่าความถูกต้องสูงมากนัก แต่ที่สำคัญก็คือต้องมีการสอบเทียบตามกำหนดเวลาเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อการประหยัดงบประมาณในการซื้อเครื่องมือที่มีราคาแพงเกินความจำเป็น

ข. การดำเนินงานในระดับพื้นภูมิภาค ดังได้กล่าวมาแล้วว่าการดำเนินการเกี่ยวกับมาตรฐานการวัดนี้เป็นการถ่ายทอดหรือสอบเทียบค่าความถูกต้องกับมาตรฐานอ้างอิงของ องค์การระหว่างประเทศหรือของโลก และเนื่องจากความเจริญอย่างรวดเร็วทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในด้านการวัดนี้ ประเทศที่พัฒนาแล้วกับประเทศด้อยพัฒนาจึงมีความแตกต่างกันมากในทางวิชาการ กลุ่มประเทศในเครือจักรภพกลุ่มประเทศอาเซียน และกลุ่มประเทศในภาคพื้นแปซิฟิก จึงได้รวมตัวกันขึ้น ตั้งแต่ ปี พ.ศ.2520 เป็นโครงการร่วมมือด้านมาตรฐานการวัด เรียกว่า Asia Pacific Metrology Program ปัจจุบันมีประเทศที่เข้าร่วมในโครงการ 17 ประเทศคือ ออสเตรเลีย บังคลาเทศ จีน ฟิจิ ฮ่องกง อินเดีย อินโดนีเซีย เกาหลี มาเลเซีย เนปาล นิวซีแลนด์ ฟิลิปินส์ ปากีสถาน ปาปัวกินี สิงคโปร์ ศรีลังกา และไทย โครงการความร่วมมือนี้ มีจุดประสงค์เพื่อช่วยเหลือซึ่งกันและกันระหว่างประเทศที่มีความเจริญแล้วกับประเทศที่ยังไม่ได้พัฒนา โดยเน้นหนักในเรื่อง

- การบริหารข่าวสารเกี่ยวกับระบบการวัดของชาติ
- การบริการทางด้านฝึกอบรมเจ้าหน้าที่
- การบริการการสอบเทียบมาตรฐานระหว่างพื้นภูมิภาค

การดำเนินงานโครงการเอเชียและแปซิฟิกเมทโทรโลยีโปรแกรมนี้ ดำเนินงานโดยมีคณะกรรมการดำเนินงาน ปัจจุบันมีประเทศเกาหลีเป็นผู้ประสานงาน มีการสอบเทียบมาตรฐานระหว่างพื้นภูมิภาคมาแล้วหลายเรื่อง ได้แก่

- แรงดันและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (AC. Voltage and Current)
- เสียง (Acoustics)
- ความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง (DC.Resistance)
- แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงกับชนิดแบตเตอรี่ (DC.Voltage , Standard Cell)
- แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดอิเล็กทรอนิกส์ (DC.Voltage,Electronic Reference)
- ความยาว (Length)
- น้ำหนัก (Mass)
- แสง (Photometry)
- อุณหภูมิ (Temperature)
- เวลาและความถี่ (Time and Frequency)

ในการปฏิบัติแต่ละเรื่องนั้น ประเทศที่เป็นแกนกลาง (Coordinatingation) จะสร้างหรือได้รับตัวมาตรฐานที่เรียกว่า *travelling Standards* แล้วส่งไปตามประเทศต่าง ๆ ที่ร่วมในโครงการการเพื่อสอบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงของชาติอยู่ในระดับเดียวกัน ทั้งนี้โดยได้รับความช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดจาก National Measurement Laboratory (NML) แห่ง Commonwealth Scientific Industrial Research Organization (CSIRO) ประเทศออสเตรเลีย National Physics Laboratory (NPL) ประเทศอังกฤษ, BIPM และ UNESCO

ค. ศาสตร์ของการวัด มาตรวิทยา (Metrology) หรือวิทยาศาสตร์ของการวัด-ปริมาณ ในปัจจุบันมีความสำคัญเพิ่มขึ้นกว่าในอดีตมาก ทั้งนี้เนื่องจากความเจริญทางด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี การติดต่อค้าขายมีมากขึ้นในปัจจุบันเรากล่าวได้ว่า มาตรวิทยาจะเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันตั้งแต่เช้าจนถึงเวลาเข้านอน นับตั้งแต่ปริมาณยาสีฟันในหลอด ปริมาณนมในกล่อง ปริมาณแก๊สในถังแก๊สในครัว ปริมาณน้ำมันรถยนต์ที่เติมในปั๊ม มาตรประปา มาตรไฟฟ้าที่เดินอยู่ตลอดเวลาหรือความดันในยางรถยนต์ ซึ่งปริมาณของสินค้าเหล่านี้ส่วนใหญ่ได้รับการควบคุมดูแลให้ถูกต้องโดย พระราชบัญญัติ ชั่ง ตวง วัด ของกระทรวงพาณิชย์หรือตามที่เรียกกันว่า มาตรวิทยาเชิงพาณิชย์ (legal metrology)

ไม่เฉพาะแต่ปริมาณหรือน้ำหนักสินค้า เช่นตัวอย่างข้างต้นนี้ที่เกี่ยวข้องกับมาตรวิทยาคุณภาพสินค้า เช่น คุณภาพหลอดไฟฟ้า คุณภาพของพัดลม บัลลาสต์ วิทยุ โทรทัศน์ ถังแก๊สและวาล์ว เหล็กเส้นก่อสร้างตลอดถึงรถยนต์ที่เราใช้เป็นต้น จะต้องมีการควบคุมคุณภาพให้ถูกต้อง ซึ่งจะต้องใช้ความรู้ทางมาตรวิทยาเข้าควบคุมประกันว่าขบวนการผลิตและควบคุมคุณภาพ สินค้าเหล่านั้นจะได้สินค้าที่ใช้ได้ประโยชน์และปลอดภัยอย่างแท้จริงระบบมาตรวิทยาทางวิทยาศาสตร์

ในด้านการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกสาขานี้ ความรู้เรื่องการวัดปริมาณหรือมาตรวิทยาจะเป็นความสำคัญอันดับแรก กล่าวได้ว่าความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ปัจจุบันอาศัยความรู้ความสามารถในการวัดปริมาณได้ถูกต้องละเอียดขึ้นมากความรู้ความเข้าใจธรรมชาติอย่างถูกต้องจะเพิ่มขึ้นหรือกฎเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ที่มนุษย์ค้นพบมีรากฐานมาจากการทดลองพิสูจน์ ซึ่งใช้ความรู้ในการวัดปริมาณเป็นหลักเป็นส่วนใหญ่

เนื่องจากมาตรวิทยามีความสำคัญและจำเป็นในกิจกรรมที่เกี่ยวกับความเป็นอยู่ของประชาชนความเจริญก้าวหน้าของเศรษฐกิจการค้าและวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีมาตรวิทยาจึงเป็นระบบงานในระดับประเทศและระหว่างประเทศแทนที่จะเป็นเพียงวิชาการหรือศาสตร์สาขาหนึ่ง เช่น ศาสตร์สาขาอื่น ๆ และทุกประเทศจำเป็นต้องพัฒนาระบบมาตรวิทยาขึ้น ความเข้าใจถึงความสำคัญของระบบมาตรวิทยาและแนวทางการพัฒนาจึงสำคัญยิ่ง ระบบมาตรวิทยาจะดำเนินไปได้อย่างไรได้ผลจะต้องอาศัยปัจจัยสำคัญที่ขาดเสียไม่ได้ คือ

- การใช้ข้อตกลงเรื่องใช้หน่วยของการวัด – ปริมาณให้ตรงกัน และเป็นหน่วยระหว่างประเทศ
- การใช้และเก็บรักษาเครื่องมือมาตรฐานของหน่วย ให้ถูกต้องตามมาตรฐานระหว่างประเทศ หรือจัดให้มีมาตรฐานแห่งชาติด้านมาตรวิทยา
- การดำเนินการให้กิจกรรมต่าง ๆ ใช้หน่วยการวัดและการวัดปริมาณถูกต้องตรงตามมาตรฐานแห่งชาติ
- การออกกฎหมายควบคุม ให้ผู้ซื้อและผู้ขายสินค้าตกลงกันได้ในเรื่องการใช้หน่วยและดำเนินการให้เกิดความถูกต้องในการวัดปริมาณ เพื่อให้เกิดความเป็นธรรมในการค้าขาย (พ.ร.บ. ชั่ง ตวง วัด)

ระบบมาตรวิทยาของประเทศจะเป็นตัวเชื่อมโยง ระหว่างมาตรฐานกำหนด และคุณภาพสินค้าหรือตัวสินค้าผู้ผลิตในประเทศและผู้ซื้อในต่างประเทศ ผู้ซื้อและผู้ขายสินค้าในประเทศ หากไม่มีระบบมาตรวิทยาที่ให้การสอบเทียบปรับตั้งเครื่องมือให้ถูกต้องตามมาตรฐานสากลแล้วก็จะไม่สามารถมั่นใจได้ว่า ผลิตภัณฑ์ได้ผลิตถูกต้องตามมาตรฐานกำหนดหรือไม่ รายงานผลการวิเคราะห์ทดสอบถูกต้องหรือไม่ ผู้ซื้อหรือผู้ใช้สินค้าจะได้รับความเป็นธรรมหรือไม่

ปัญหาสำคัญของระบบมาตรวิทยาของประเทศไทย ปัจจุบันมีทั้งแนวดิ่งเพราะแนวระดับในทางแนวดิ่ง คือการยกระดับห้องปฏิบัติการของประเทศให้เป็นที่ยอมรับระหว่างประเทศหรือได้มาตรฐานระหว่างประเทศ ในทางแนวกว้างจึงจำเป็นต้องมีการร่วมมือระหว่างรัฐและเอกชนให้การบริการสอบเทียบปรับตั้ง รักษาเครื่องมือ วิเคราะห์วิจัยการผลิตตามระยะเวลา ให้เป็นไปตามมาตรฐานแห่งชาติ

แนวทางการพัฒนาระบบมาตรวิทยาของประเทศ จึงต้องพัฒนาทั้งแนวดิ่งและแนวกว้าง แนวดิ่งคือการรักษามาตรฐานแห่งชาติให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนแรก จัดหาบุคลากร ห้องปฏิบัติการมาตรวิทยารักษามาตรฐานแห่งชาติให้เป็นไปตามมาตรฐานระหว่างประเทศ

ขั้นตอนที่สอง ศึกษาวิจัย พัฒนาการวัดปริมาณในส่วนที่เกี่ยวข้องกับมาตรวิทยา เพื่อประโยชน์ด้านวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ใช้หลักการที่ว่าประเทศที่มีความรู้เทคโนโลยีการวัดปริมาณในระดับสูงย่อมสามารถเป็นผู้นำทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีได้

อย่างไรก็มีขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน ในทางแนวกว้าง คือการทำให้การวัดทดสอบในกิจกรรมทุกสาขาเป็นไปตามมาตรฐานแห่งชาติ (Traceable to the national standards) ขั้นตอนนี้ต้องอาศัยเวลาความร่วมมือระหว่างรัฐและเอกชนและต้องอาศัย

- มาตรฐานแห่งชาติที่เป็นที่ยอมรับ เชื่อถือทั้งภายในประเทศและระหว่างประเทศ
- มีการลงทุนด้านบริการ สอบเทียบ ปรับตั้ง ทั้งในภาครัฐและเอกชน อย่างกว้างขวางเพียงพอเพื่อทำให้การกระจายความถูกต้องของมาตรฐานแห่งชาติไปยังกิจกรรมต่าง ๆ ได้ผล อย่างแท้จริง

ง. การกระจายความเป็นมาตรฐานไปสู่ผู้ใช้งาน ความจำเป็นที่จะต้องมีมาตรฐานของการวัดเพื่อให้การวัดไม่ว่าจะทำการวัดที่ห้องปฏิบัติการใดก็ตาม ให้ผลถูกต้องตรงกัน มาตรฐานของการวัดแบ่งได้เป็น 4 ระดับด้วยกันคือ

- มาตรฐานระหว่างประเทศ (International Standards)
- มาตรฐานแห่งชาติ (National Standards)
- มาตรฐานขั้นรอง (Secondary Standards)
- มาตรฐานขั้นใช้งาน (Working Standards)

มาตรฐานระหว่างประเทศ (International Standards) กำหนดโดย International Bureau of Weights and Measures (BIPM) ซึ่งถือได้ว่าเป็นมาตรฐานที่ความถูกต้องสูงสุด ส่วนมาตรฐานระดับอื่น ๆ จะมีความถูกต้องรองลงมาตามลำดับ โดยมาตรฐานเหล่านั้นจะต้องสอบกลับได้ (traceability) ถึงมาตรฐานระหว่างประเทศ ดังนั้นการวัดโดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่ได้รับการสอบเทียบและสอบย้อนกลับได้ถึงมาตรฐานระหว่างประเทศ ไม่ว่าจะวัด ณ ที่ใดจะให้ผลที่ถูกต้องตรงกันหมด

BIPM เป็นหน่วยงานสากลที่ทำหน้าที่เก็บรักษามาตรฐานระหว่างประเทศ เพื่อการวัดปริมาณและเป็นหน่วยงานที่กำหนดคำนิยามของระบบหน่วยระหว่างประเทศ (The International System of Units หรือ SI) ได้กำหนดคำนิยามของหน่วยรากฐาน (base units) ดังนี้

เมตร คือ ระยะทางที่แสงเคลื่อนที่สุญญากาศในระยะเวลา 1/299,792 วินาที

กิโลกรัม คือ หน่วยของมวล ซึ่งเท่ากับมวลแบบประถมระหว่างประเทศของกิโลกรัม

วินาที คือ ระยะเวลาเท่ากับ 9,192,631,770 คาบกับการแผ่รังสีที่สมนัยกับการเปลี่ยนระดับไอเปอร์ไฟน์สองระดับของอะตอมซีเซี่ยม-133 ในสถานะพื้นฐาน

แอมแปร์ คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าซึ่งถ้ารักษาให้คงที่อยู่ในตัวนำ 2 เส้น ที่มีความยาวอนันต์มีพื้นที่ภาคตัดขวางกลมเล็กมาก จนไม่จำเป็นต้องคำนึงและวางอยู่คู่ขนานห่างกัน 1 เมตร ในสุญญากาศแล้ว จะทำให้เกิดแรงระหว่างตัวนำทั้งสองเท่ากับ 2×10^{-7} นิวตันต่อความยาว 1 เมตร

เคลวิน คือ หน่วยของอุณหภูมิทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งเท่ากับ 1/273.15 ของอุณหภูมิทางเทอร์โมไดนามิกของจุดสามสภาวะของน้ำ (Tri-state of water)

โมล คือ ปริมาณสารของระบบที่ประกอบด้วยองค์ประกอบของมูลฐาน ซึ่งมีจำนวนเท่ากับจำนวนอะตอมใน 0.012 กิโลกรัมของคาร์บอนด์–12 เมื่อใช้โมลต้องระบุองค์ประกอบมูลฐาน ซึ่งอาจจะเป็นอะตอม โมเลกุล ไอออน อิเล็กตรอน อนุภาคอื่น ๆ หรือกลุ่มของอนุภาคตามที่กำหนด

แคนเดลา คือ ความเข้มแห่งการส่องสว่างในทิศทางที่กำหนดให้ของแหล่งกำเนิดซึ่งแผ่รังสีเอกรงค์ด้วยความถี่ 540×10^{12} เฮิรตซ์ และมีความเข้มการแผ่รังสีในทิศทางนั้น เท่ากับ 1/683 วัตต์ ต่อ สเตอเรเดียน

สำหรับคำนิยามของหน่วยอนุพันธ์ (derived units) และหน่วยเสริม (supplementary units) ดูได้จากเอกสารมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.235 ปริมาณและหน่วยต่าง ๆ ทางกายภาพ)

มาตรฐานแห่งชาติ (National Standards) คือ มาตรฐานของการวัดที่มีค่าความละเอียดถูกต้องสูงสุดของประเทศ ซึ่งจะต้องมีหน่วยงานที่รับผิดชอบในการจัดหาดูแลรักษาและให้บริการถ่ายทอดความถูกต้องไปให้มาตรฐานขั้นรองและขั้นใช้งานต่อไป

เนื่องจากเครื่องมือมาตรฐานแห่งชาติจะต้องเป็นเครื่องมือที่มีความละเอียดถูกต้องสูงสุดของประเทศ การที่จะลงทุนซื้อเครื่องมือวัดมาตรฐานใหม่ทั้งหมดเป็นการลงทุนที่สูงมาก จึงจำเป็นที่จะต้องสร้างระบบเครือข่ายเครื่องมือวัดมาตรฐาน ให้เป็นระบบเครื่องมือวัดมาตรฐานของชาติที่จะต้องร่วมมือประสานงานและร่วมกันรับผิดชอบ ตลอดจนจะต้องมีการประสานงานกันอย่างใกล้ชิดกับต่างประเทศซึ่งระบบดังกล่าวนี้กรมวิทยาศาสตร์จะเป็นหน่วยประสานงาน เพื่อให้การดำเนินการเป็นไปอย่างประหยัด และมีประสิทธิภาพสูง

สำหรับบัญชีเครื่องมือวัดมาตรฐานแห่งชาติ ได้มีการจัดทำขึ้นโดยคณะอนุกรรมการแห่งชาติว่าด้วยมาตรวิทยา ตามที่ได้รับมอบหมายจากคณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยมาตรวิทยาและการรับรองมาตรฐานห้องปฏิบัติการ และคณะกรรมการแห่งชาติฯ ได้พิจารณาเสร็จเรียบร้อยแล้ว

โดยที่คณะกรรมการแห่งชาติ ชุดนี้ได้รับการแต่งตั้งตามมติคณะรัฐมนตรี เพื่อทำหน้าที่ตามโครงการพัฒนาระบบมาตรวิทยา

มาตรฐานขั้นรองและขั้นใช้งาน (Working Standards) เป็นมาตรฐานของการวัดที่มีค่าความละเอียดถูกต้อง รองลงมาจากมาตรฐานแห่งชาติตามลำดับ โดยที่ห้องปฏิบัติการที่ทำหน้าที่ให้บริการในการสอนเทียบปรับตั้งเครื่องมือวัดจะเก็บรักษามาตรฐานขั้นรอง ส่วนห้องปฏิบัติการที่ทำหน้าที่ในการให้บริการวัด วิเคราะห์ทดสอบมักจะเก็บรักษามาตรฐานขั้นใช้งาน เพื่อใช้ในการสอบเทียบ ตรวจสอบเครื่องมือวัดที่ใช้งานอยู่ ซึ่งความละเอียดถูกต้องของมาตรฐานขั้นใช้งานนี้จะไม่สูงเท่ามาตรฐานขั้นรอง

การกระจายความเป็นมาตรฐาน หมายถึง การถ่ายทอดค่าความถูกต้องจากมาตรฐานระดับสูงสุด คือ มาตรฐานระหว่างประเทศลงไปตามลำดับจนถึงมาตรฐานขั้นใช้งาน

เพื่อให้มาตรฐานในระดับต่าง ๆ ที่ใช้กันอยู่ในห้องปฏิบัติการมีความถูกต้องและสอดคล้องกับมาตรฐานระหว่างประเทศอยู่ตลอดเวลา มาตรฐานเหล่านี้จะต้องได้รับการสอบเทียบตามกำหนดเวลาที่เหมาะสม จากนั้นจึงจะนำมาตรฐานในระดับที่ต้องการไปทำการสอบเทียบ/ตรวจสอบเครื่องมือวัดอีกทอดหนึ่ง เครื่องมือวัดที่ผ่านการสอบเทียบ/ตรวจสอบอยู่สม่ำเสมอ จึงเป็นเครื่องมือที่เชื่อถือได้ว่าผลของการวัดมีความถูกต้อง และเป็นที่ยอมรับทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังนั้นการกระจายความเป็นมาตรฐานจึงเป็นการส่งเสริมห้องปฏิบัติการในการพัฒนาขีดความสามารถของการวัด วิเคราะห์ ทดสอบ รวมทั้งการวิจัยและพัฒนา

จ. การสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด ลักษณะทั่วไปของการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดเครื่องมือวัดไม่ว่าจะเป็นโวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ หรือเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าอื่น ๆ จะต้องมีการสอบเทียบมาตรฐานเป็นระยะ เพื่อตรวจสอบว่าเครื่องมือวัดนั้น ๆ ยังมีค่าของความเที่ยงตรงของการวัดอยู่ในกำหนดหรือไม่ แนวทางเบื้องต้นที่สุดได้แก่วิธีการเปรียบเทียบการวัดโดยนำมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบไปวัดเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงตรงและแม่นยำกว่า เมื่อนำเครื่องมือวัดทั้งคู่มาวัดปริมาณทางไฟฟ้าอันเดียวกัน Bench-type เครื่องมือวัด ชนิดดิจิตอลโดยทั่วไปมักจะมีค่าความเที่ยงตรงเพียงพอที่จะใช้ในการสอบเทียบมาตรฐาน เครื่องมือวัดอื่น ไม่ว่าจะเป็นดิจิตอลด้วยกันหรือเครื่องมือวัดแบบแอนะลอก เครื่องมือวัดชนิด โพเทนซิโอมิเตอร์ ก็สามารถนำมาใช้ในการสอบเทียบได้เช่นกัน ซึ่งสามารถใช้ในการสอบเทียบตัวต้านทานและเป็นตัวแบ่งแรงดันสำหรับสอบเทียบแอมมิเตอร์ กับโวลต์มิเตอร์ได้

1.1.3 ค่าความผิดพลาดของเครื่องวัด (Errors Measurement)

ความคลาดเคลื่อน หมายถึง ปริมาณหรือตัวเลขที่แสดงความแตกต่างระหว่างค่าที่แท้จริงของสิ่งที่เราวัด (Expected Value) และค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด (Measured Value)

ความคลาดเคลื่อนอาจจำแนกได้ 3 ประเภท คือ

1.1 ความคลาดเคลื่อนโดยผู้วัด (Gross Errors)

1.2 ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Errors)

1.3 ความคลาดเคลื่อนแบบแรนดอม (Random Errors)

1) ความคลาดเคลื่อนจากผู้วัด (Gross Errors)

เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขณะใช้เครื่องวัด เช่นการอ่านค่าจากเครื่องวัดผิดพลาด การบันทึกข้อมูลในการทดสอบผิดพลาด หรือการใช้เครื่องวัดผิดวิธี

2) ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Errors)

เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากองค์ประกอบต่าง ๆ ในการระบวนการใช้เครื่องวัด ประกอบด้วย

- ความคลาดเคลื่อนในเครื่องวัด (Instrument Errors) ความคลาดเคลื่อนเกิดจากการเสียดสีภายในของเดือยกับแบริ่ง หรือการคายตัวหรือการตึงตัวสปริงก้นหอยสามารถลดได้โดยการบำรุงรักษา การควบคุมเครื่องวัดอย่างถูกวิธี

- ความคลาดเคลื่อนจากสภาพแวดล้อม (Environmental Errors) ความคลาดเคลื่อนนี้เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมขณะใช้เครื่องวัด เช่น บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง หรือบริเวณที่มีความชื้นไม่เหมาะสม ซึ่งอาจทำให้การทำงานของเครื่องวัดเกิดความคลาดเคลื่อนได้

- ความคลาดเคลื่อนในการสังเกตเพื่ออ่านค่าจากสเกล (Observational Errors) ความคลาดเคลื่อนนี้เกิดจากการสังเกตของผู้อ่านค่ามองไม่ตั้งฉากกับเข็มและสเกล การแก้ไขทำได้โดยการใช้กระจกหรือแถบสะท้อนแสงติดอยู่ในระนาบเดียวกับสเกล สำหรับการอ่านค่าที่ถูกต้อง ต้องมองเห็นเข็มกับภาพของเข็มทับซ้อนกันสนิท

3) ความคลาดเคลื่อนแบบแรนดอม (Random Errors)

ความคลาดเคลื่อนนี้เป็นความคลาดเคลื่อนที่มีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับความคลาดเคลื่อนโดยผู้วัด และความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ จะมีความสำคัญเฉพาะกรณีที่ต้องการความถูกต้องในการวัดสูงเท่านั้นสำหรับการคำนวณหาต้องใช้วิธีการทางสถิติ

วิธีการค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด

กำหนดให้

e = ความคลาดเคลื่อนของการวัด

Yn = ค่าที่แท้จริงของสิ่งที่วัด

Xn = ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด

$$e = Xn - Yn \qquad \text{……. (1-1)}$$

นอกจากนี้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหาได้จาก

$$\text{Percent errors} = \frac{e}{Yn} \times 100\,(\%) \qquad \ldots\ldots\ldots (1\text{-}2)$$

แทนค่าสมการที่ 1-1 ในสมการที่ 1-2 จะได้

$$\text{Percent errors} = \frac{Xn - Yn}{Yn} \times 100\ (\%) \qquad \ldots\ldots\ldots (1\text{-}3)$$

ความถูกต้องและความเที่ยงตรง (Accuracy and precision)

ความถูกต้อง (Accuracy) และความเที่ยงตรง (precision) สองคำนี้มีความหมายใกล้เคียงกันมากลองพิจารณาดูความหมาย

ความถูกต้อง (Accuracy) หมายถึง ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดเข้าใกล้เคียงกับค่าที่เป็นจริงมากเพียงใดสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$A = 1 - \frac{Xn - Yn}{Yn} \qquad \ldots\ldots\ldots (1\text{-}4)$$

$$a = 100\% - \text{Percent errors} = A \times 100\ \% \qquad \ldots\ldots\ldots (1\text{-}5)$$

เมื่อ

A = ความถูกต้อง (Accuracy)

a = เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง (%)

ความเที่ยงตรง (Precision) หมายถึง ค่าที่อ่านได้จากการวัดแต่ละครั้งเข้าใกล้เคียงกันมากเพียงใดเมื่อทำการวัดสิ่งเดียวกันหลายๆครั้ง

เราสามารถหาค่าความเที่ยงตรงในการวัดได้จากสมการ

$$\text{Precision} = 1 - \left| \frac{Yn - \overline{Xn}}{\overline{Xn}} \right| \qquad \ldots\ldots\ldots (1\text{-}6)$$

เมื่อ

Xn = ค่าที่อ่านได้แต่ละครั้งจากการวัด

$\overline{Xn}$ = ค่าเฉลี่ยของการวัด

ดังนั้นจะได้สมการที่ 1-7

$$\overline{Xn} = \frac{\sum X}{n} = \frac{X1 + X2 + X3 + X4 + ... + Xn}{n} \quad \text{..... (1-7)}$$

เมื่อ

$\sum X$ = ผลรวมของค่าที่อ่านได้แต่ละครั้งจากการวัด

n = จำนวนครั้งที่ทำการอ่านค่า

จากความหมายของ ความถูกต้อง และความเที่ยงตรง จะเห็นได้ว่าในการวัดมีความสัมพันธ์กันมาก กล่าวคือ ถ้าเครื่องวัดใดมีความถูกต้องสูง ก็ย่อมมีความเที่ยงตรงสูงตามไปด้วย แต่ถ้าเครื่องวัดใดมีความเที่ยงตรงสูงบางที ความถูกต้องอาจจะต่ำก็ได้เพราะค่าความถูกต้องของเครื่องวัด นั้นต้องได้ทดสอบ เปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานก่อน ส่วนค่าความเที่ยงตรงจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะของเครื่องวัดนั้น อีกสิ่งหนึ่งที่ทำให้เครื่องวัดมีความถูกต้องและความเที่ยงตรงเปลี่ยนแปลงได้คือผู้ใช้ที่ขาดทักษะและความระมัดระวังในขณะใช้เครื่องวัด

ตัวอย่าง 1.1 วงจรไฟฟ้ามีแรงดันตกคร่อมความต้านทาน 30 V เมื่อ นำโวลต์มิเตอร์ไปวัดปรากฏว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่อ่านค่าได้ 29 V จงคำนวณหาค่าต่อไปนี้

1). ความผิดพลาดสัมบูรณ์

2). เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด

3). ความถูกต้อง

4). เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง

วิธีทำ

1). ความผิดพลาดสัมบูรณ์

จากสมการที่ 1-1

$e = Xn - Yn$

เมื่อ $Yn = 30$ V

$Xn = 29$ V

$\therefore e = 29\ V - 30\ V$

= - 1 V **ตอบ**

2). เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด

จาก Percent errors $= \left|\frac{Xn - Yn}{Yn}\right| \times 100\%$

Percent errors $= \left|\frac{29V - 30V}{30V}\right| \times 100\%$

= 3.33 % **ตอบ**

3). ความถูกต้อง

จาก $A = 1 - \left|\frac{Xn - Yn}{Yn}\right|$

$= 1 - \left|\frac{29V - 30V}{30V}\right|$

= 0.967 **ตอบ**

4). เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง

จากสมการ

$a = A \times 100$

$= 0.967 \times 100\%$

= 96.7 % **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.2 จากตารางที่ 1.1 ผลการบันทึกค่าของการวัดแรงดันไฟฟ้าในห้องทดลองจำนวน 10 ครั้งจงคำนวณหาค่าความเที่ยงตรงของการวัดในครั้งที่ 5

ตารางที่ 1.1 ผลการบันทึกค่าของการวัดแรงดันไฟฟ้าในห้องทดลอง

จำนวนการวัดครั้งที่	ค่าผลการวัดที่ได้ Xn (V)
1	98
2	102
3	101
4	97
5	100
6	103
7	98

8	106
9	107
10	99

วิธีทำ จากสมการ

$$\overline{Xn} = \frac{\sum x}{n}$$

$$= \frac{98 + 102 + 101 + 97 + 100 + 103 + 98 + 106 + 107 + 99}{10}$$

$$\overline{Xn} = 101.1$$

จากสมการ $\text{Precision} = 1 - \left|\frac{Yn - \overline{Xn}}{\overline{Xn}}\right|$

$$= 1 - \left|\frac{100 - 101.1}{101.1}\right|$$

$$\text{Precision} = 1 - 0.011$$

$$= 0.989$$

ดังนั้นค่าความเที่ยงตรงของการวัดครั้งที่ 5 มีค่าเท่ากับ 0.989

สามารถทำให้เป็น เปอร์เซ็นความเที่ยงตรงได้คือ

$$\text{Precision} = 0.989$$

$$\% \text{ Precision} = 0.989 \times 100\%$$

เปอร์เซ็นความเที่ยงตรง = 98.9 %

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.3 การวัดค่ากระแสไฟฟ้า 10 μA โดยใช้แอมป์มิเตอร์จำนวน 8 ครั้ง ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของเข็มในเครื่องวัด ซึ่งบันทึกค่าในตารางที่ 1.2 เป็นมุมดังตารางข้างล่าง จงคำนวณหาค่าความเที่ยงตรงของการวัดครั้งที่ 4

ตารางที่ 1.2 ตารางการเบี่ยงเบนของเข็มชี้ (องศา)

จำนวนการวัดครั้งที่	กระแสไฟฟ้า (μA)	การเบี่ยงเบนของเข็ม

		(องศา)
1	10	20.10
2	10	20.00
3	10	20.20
4	10	19.80
5	10	19.70
6	10	20.00
7	10	20.30
8	10	20.10

วิธีทำ จากสมการ

$$\overline{Xn} = \frac{\sum X}{n}$$

$$= \frac{20.10 + 20.00 + 20.20 + 19080 + 19.70 + 20.00 + 20.30 + 20.10}{8}$$

$$\overline{Xn} = 20.02 \text{ องศา}$$

จากสมการ

$$\text{Precision} = 1 - \left| \frac{Yn - \overline{Xn}}{\overline{Xn}} \right|$$

แทนค่า

$$= 1 - \left| \frac{19.80 - 20.02}{20.02} \right|$$

$$\text{Precision} = 1 - 0.011$$

$$= 0.989$$ **ตอบ**

ตังอย่างที่ 1.4 วงจรไฟฟ้ามีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ถูกต้อง 5 โวลต์ แต่ใช้โวลต์มิเตอร์วัดได้ 4.5 โวลต์ จงคำนวณหาค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ และเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสมบูรณ์ และเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด

วิธีทำ จากสมการ

$$e = Xn - Yn$$

เมื่อ $Yn = 5 \text{ V}$

$Xn = 4.5 \text{ V}$

$\therefore \quad e = 4.5\text{V} - 5\text{ V}$

$$= \quad -0.5\ \text{V}$$

จากสมการ

$$\text{Percent error} = \left|\frac{e}{Yn}\right| \times 100\%$$

$$= \left|\frac{-0.5\text{V}}{5\text{V}}\right| \times 100\%$$

$$= 10\ \% \qquad \textbf{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 1.5 โวลต์มิเตอร์ตัวหนึ่งมีย่านการวัดเต็มสเกล 200 โวลต์ และมีค่าความถูกต้อง $\pm 1\%$ เมื่อนำไปวัดแหล่งจ่ายไฟฟ้า 50 V จงหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของโวลต์มิเตอร์

วิธีทำ หาค่าความผิดพลาด (e) จากการเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง กับย่านวัดเต็มสเกล

จากสมการ $\text{Percent error} = \dfrac{e}{Yn} \times 100$

$$e = \frac{\pm 1}{100} \times 200\text{V}$$

$$= \pm 2\ \% \qquad \textbf{ตอบ}$$

จากสมการ $\text{Percent error} = \left|\dfrac{e}{Yn}\right| \times 100\%$

เมื่อ $Yn = 50\ \text{V}, \quad e = 2\ \text{V}$

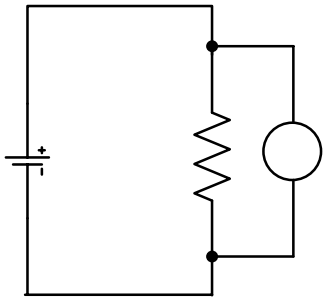
$$\therefore \quad \text{Percent error} = \left|\frac{2\text{V}}{50\text{V}}\right| \times 100\%$$

$$= 4\ \% \qquad \textbf{ตอบ}$$

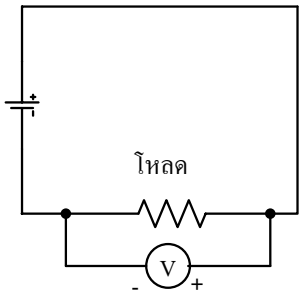
การต่อโวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์เข้ากับวงจร

หลักพื้นฐานของการต่อโวลต์มิเตอร์และแอมป์มิตอร์เข้ากับวงจรมีดังนี้

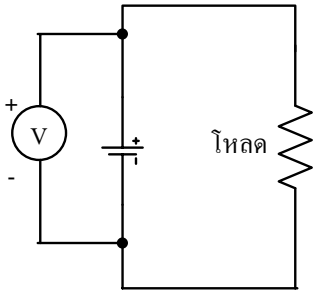
1. โวลต์มิเตอร์ ต้องต่อขนานกับโหลดเสมอและถ้าเป็นโวลต์มิเตอร์กระแสตรงจะต้องคำนึงถึงขั้วด้วย เพราะถ้าขั้วผิดเข็มของเครื่องวัดจะเบี่ยงเบนไปไม่ถูกทิศทางอาจทำให้ปลายเข็มเสียหายได้ดังรูปที่ 1.1 ถึง 1.4



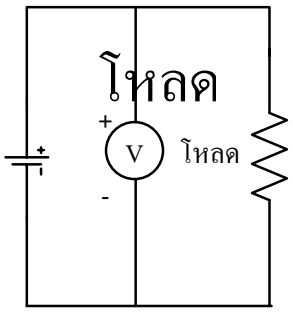
รูปที่ 1.1 การต่อโวลต์มิเตอร์แบบที่ 1



รูปที่ 1.2 การต่อโวลต์มิเตอร์แบบที่ 2



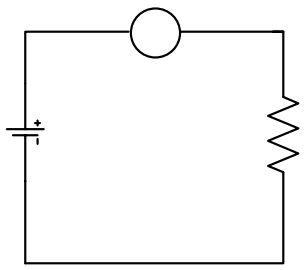
รูปที่ 1.3 การต่อโวลต์มิเตอร์แบบที่ 3



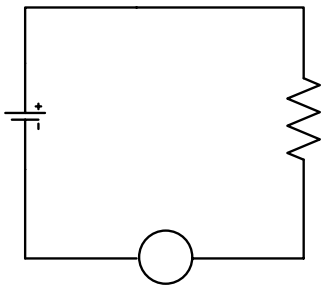
รูปที่ 1.4 การต่อโวลต์มิเตอร์แบบที่ 4

+ V -

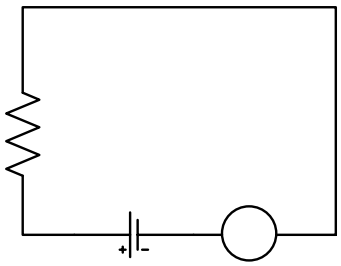
2. แอมมิเตอร์ ต้องต่ออนุกรมกับโหลดเสมอ โดยต่อขณะแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของ วงจรหยุดทำงาน ถ้าเป็นแอมป์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงต้องคำนึงถึงขั้วของแอมป์มิเตอร์ด้วย เพราะถ้าต่อขั้วผิดเข็มของเครื่องวัดจะเบี่ยงไม่ถูกทิศทาง อาจทำให้ปลายเข็มเสียหายได้ ดังรูปที่ 1.5 ถึง 1.8



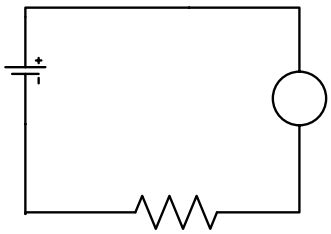
รูปที่ 1.5 การต่อแอมมิเตอร์แบบที่ 1



รูปที่ 1.6 การต่อแอมมิเตอร์แบบที่ 2



รูปที่ 1.7 การต่อแอมมิเตอร์แบบที่ 3

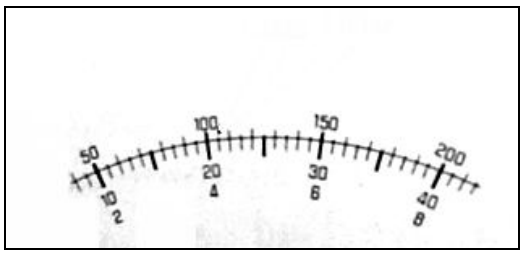


รูปที่ 1.8 การต่อแอมมิเตอร์แบบที่ 4

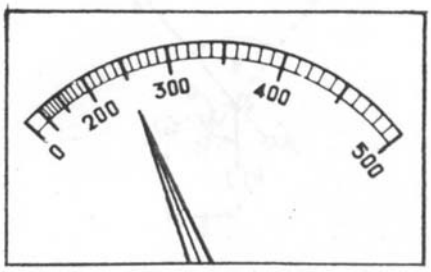
โหลด

การอ่านสเกลบนหน้าปัด

การอ่านสเกลบนหน้าปัดมิเตอร์ ช่องความกว้างบอกขนาดของปริมาณไฟฟ้าที่ปรากฏบนด้านหน้าของเครื่องวัดเรียกว่า สเกล มีทั้งชนิดที่มีตัวเลขกำกับ และไม่มีตัวเลขกำกับดังแสดงในรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 สเกลแบบลิเนียร์



รูปที่ 1.10 สเกลแบบนัลลิเนียร์

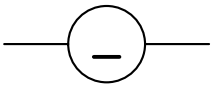
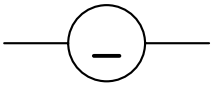
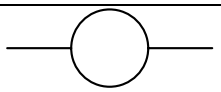
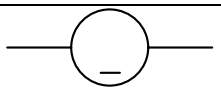
สเกลแบบลิเนียร์ ระยะห่างระหว่างช่องของสเกลจะเท่ากันทุกช่อง ค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่แสดงบนสเกลแต่ละช่องจะเท่ากัน แสดงใน รูปที่ 1.9

สเกลแบบนัลลิเนียร์ ระยะห่างระหว่างช่องของสเกลจะไม่เท่ากัน แสดงใน รูปที่ 1.10

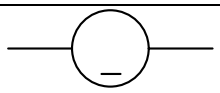
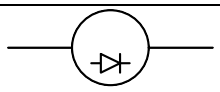
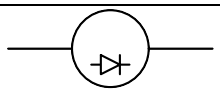
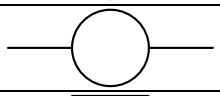
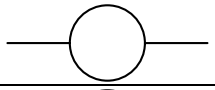
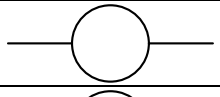
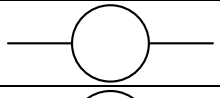
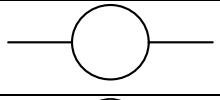
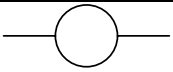
1.2 เครื่องมือวัดแบบเข็มชี้

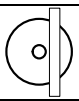
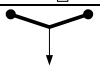
1.2.1 สัญลักษณ์ต่าง ๆ ของเครื่องวัดไฟฟ้าแบบเข็มชี้

ตารางที่ 1.3 แสดงสัญลักษณ์ต่าง ๆ ของเครื่องวัดไฟฟ้าแบบเข็มชี้

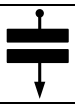
สัญลักษณ์	ความหมาย
	แอมมิเตอร์กระแสตรง
	โวลต์มิเตอร์กระแสตรง
	แอมมิเตอร์กระแสสลับ
	แอมมิเตอร์กระแสตรงและกระแสสลับ

ตารางที่ 1.3 (ต่อ) แสดงสัญลักษณ์ต่าง ๆ ของเครื่องวัดไฟฟ้าแบบเข็มชี้

สัญลักษณ์	ความหมาย
	โวลต์มิเตอร์กระแสตรงและกระแสสลับ
	แอมมิเตอร์กระแสสลับซึ่งมีวงจรเรียงกระแส
	โวลต์มิเตอร์กระแสสลับซึ่งมีวงจรเรียงกระแส
	วัตต์มิเตอร์
	กิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์
	แอมแปร์ฮาวร์มิเตอร์
	เพาเวอร์แฟคเตอร์มิเตอร์
	ฟรีเควนซีมิเตอร์
	โอห์มมิเตอร์
	อินดักแตนซ์มิเตอร์
	คาปาซิแตนซ์มิเตอร์

	มูฟวิ่งคอยล์มิเตอร์
	มูฟวิ่งคอยล์แบบไอออนมิเตอร์
	อีเล็กโทรไดนามิคมิเตอร์
	อินดักชันมิเตอร์
	ฮอทไวร์มิเตอร์

ตารางที่ 1.3 (ต่อ) แสดงสัญลักษณ์ต่าง ๆ ของเครื่องวัดไฟฟ้าแบบเข็มชี้

สัญลักษณ์	ความหมาย
	อิเล็กโทรสแตติกมิเตอร์
	ไวเบรติงรีดมิเตอร์
	เครื่องวัดไฟฟ้าแบบเทอร์โมคัปเปิล
1.5	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการวัด 1.5 %
	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความยาวสเกล 1.5 %
	วางแนวนอนขณะใช้งาน
	วางแนวตั้งฉาก 90 องศาขณะใช้งาน
	วางแนว 60 องศาขณะใช้งาน
	แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบความเป็นฉนวนระหว่างวงจรไฟฟ้าของเครื่องวัดกับกล่องของเครื่องวัด 2 kV

1.2.2 โครงสร้าง

เครื่องวัดไฟฟ้าสามารถแบ่งชนิดตามลักษณะการทำงานได้ 2 ชนิดคือ

1. เครื่องวัดไฟฟ้าแบบอะนาลอก (Analog Instrument) เป็นเครื่องวัดที่ใช้หลักการของเข็มเคลื่อนที่บนสเกลหน้าปัด ซึ่งมีข้อจำกัดคือ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดชนิดนี้ค่าความถูกต้องสูงเฉพาะแสดงค่าตัวเลขหลักหน่วยถึงหลักสิบเท่านั้น สำหรับหลักร้อยจะเป็นค่าโดยประมาณ

ก. แอมมิเตอร์

ข. โวลต์มิเตอร์

ค. วัตต์มิเตอร์

ง. มัลติมิเตอร์ (แบบเข็มชี้)

รูปที่ 1.11 แสดงเครื่องวัดไฟฟ้าแบบอะนาลอก

2. เครื่องวัดไฟฟ้าแบบดิจิตอล (Digital Instrument) เป็นเครื่องวัดที่แสดงผลการวัดออกมาเป็นตัวเลข สามารถนำไปใช้วัดได้ทั้งกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและความต้านทาน ซึ่งก็คือการรวมแอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์และโอห์มมิเตอร์ในเครื่องเดียวกัน จะมีช่วงแสดงค่าความถูกต้องสูงกว่าเครื่องวัดแบบอะนาลอก แต่ไม่อาจสามารถชดเชยความสามารถของเครื่องวัดแบบอะนาลอก ดังนั้นเครื่องวัดแบบอะนาลอกยังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน

I

รูปที่ 1.12 แสดงเครื่องวัดแบบดิจิตอล

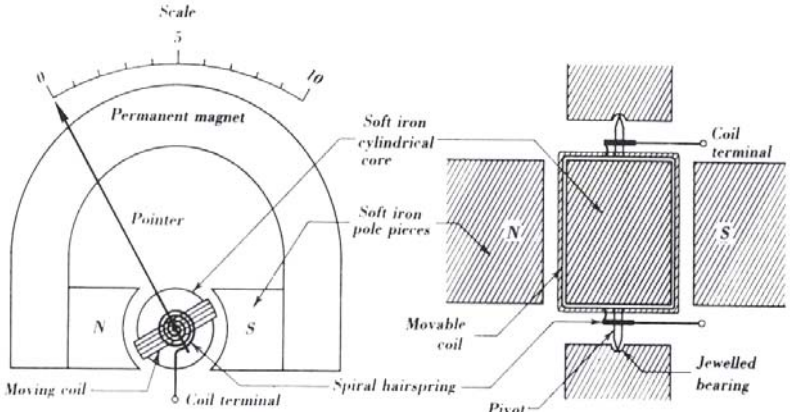
1.2.3 หลักการทำงานของเครื่องวัดแบบอะนาลอก

ส่วนเคลื่อนไหวของมิเตอร์ (Meter movement) นับว่าเป็นส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการแสดงค่า การบ่ายเบนของเข็มมิเตอร์จะขึ้นอยู่กับการที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในส่วนเคลื่อนไหว จนทำให้เกิดการบ่ายเบนของเข็มชี้ขึ้น เข็มชี้จะชี้ค่าของปริมาณต่าง ๆ บนสเกลซึ่งแล้วแต่การกำหนดสเกลในการวัดค่า เช่น แอมแปร์ โวลต์ วัตต์ โอห์ม และอื่น ๆ มีด้วยกัน 5 ชนิด

1. เครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่หรือชนิดมูฟวิ่งคอยล์ (Moving-coil movement)
2. เครื่องวัดชนิดไดนาโมมิเตอร์
3. เครื่องวัดชนิดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่ (Iron Van Meter)
    - 3.1 แบบแรงดูด
    - 3.2 แบบแรงผลัก
    - 3.3 แบบแรงดูดและแรงผลักร่วมกัน
4. เครื่องวัดชนิดเทอร์โมคัปเปิล หรือขดลวดความร้อน (Thermocouple Meter)
5. เครื่องวัดแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic type Instrument)

1) เครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่หรือชนิดมูฟวิ่งคอยล์ (Moving-coil movement)

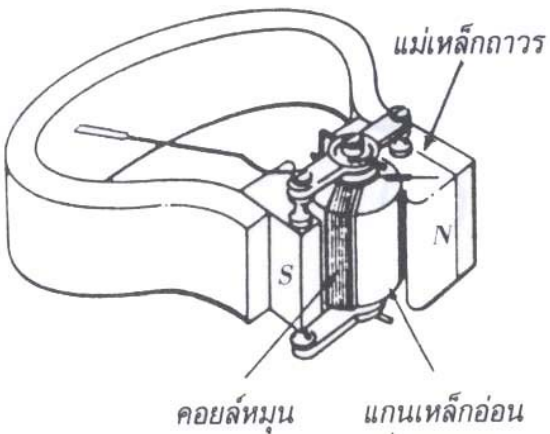
ส่วนเคลื่อนไหวชนิดมูฟวิ่งคอยล์หรือชนิดขดลวดเคลื่อนที่เป็นเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้ผลของสนามแม่เหล็ก 2 ชุดคือ สนามแม่เหล็กถาวร กับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ผลักดันกัน ทำให้เกิดขดลวดเคลื่อนที่ ส่งผลให้เข็มชี้บ่ายเบนไป โครงสร้างของส่วนเคลื่อนไหวชนิดมูฟวิ่งคอยล์แสดงดังรูปที่ 1.13



รูปที่ 1.13 แสดงโครงสร้างของเครื่องวัดไฟฟ้าชนิดคอยล์หมุน

เครื่องวัดชนิดคอยล์หมุนประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ

1. สปริงก้นหอย (Spiral hairspring)
2. แม่เหล็กถาวร (Permanent magnet)
3. ขั้วแม่เหล็กอ่อน (Soft iron pole pieces)
4. แกนเหล็กอ่อนรูปทรงกระบอก (Soft iron cylindrical core)
5. เข็มชี้ (Pointer)
6. คอยล์หมุนและกรอบของคอยล์หมุน (Moving coil)
7. แบริ่ง (Jewelled bearing)
8. สเกล (Scale)



รูปแสดง 1.14 ส่วนประกอบของเครื่องวัดชนิดคอยล์หมุน (moving-coil movement)

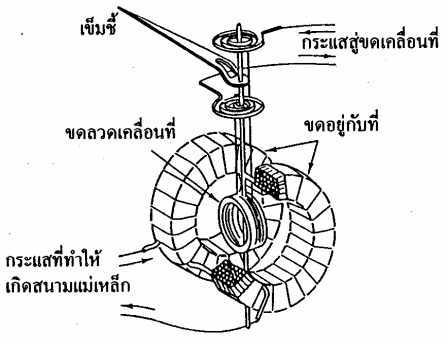
โครงสร้างประกอบด้วยขดลวดที่พันอยู่บนกรอบอลูมิเนียมสี่เหลี่ยม จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอาร์เมเจอร์ (armature) ยึดติดกับเดือยแหลมบนล่างที่มีร่องเดือยทำด้วยทับทิม อาร์เมเจอร์นี้จะวางอยู่รอบนอก ตอนกลางมีแท่งเหล็กอ่อนทรงกระบอกเป็นแกนอยู่ ด้านซ้ายและด้านขวาของอาร์เมเจอร์มีแท่งแม่เหล็กถาวรวางอยู่ มีขั้วแม่เหล็กถาวรตั้งอยู่ตรงข้ามกันระหว่างขั้วแม่เหล็กด้านซ้ายกับขั้วแม่เหล็กด้านขวา ตามรูปที่ 1.13 ขั้วแม่เหล็กด้านซ้ายเป็นขั้วใต้ (S) ขั้วแม่เหล็กถาวรด้านขวาเป็นขั้วเหนือ (N) โครงสร้างบางชนิดอาจมีขั้วแม่เหล็กด้านซ้ายเป็นขั้วเหนือด้านขวาเป็นขั้วใต้ก็ได้ในรูปที่ 1.13 แสดงขดลวดอาร์เมเจอร์พร้อมเข็มชี้และสปริงก้นหอย

เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ จะทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดสนามแม่เหล็กจะได้ด้านบนของอาร์เมเจอร์เป็นขั้วใต้ ด้านล่างของอาร์เมเจอร์เป็นขั้วเหนือ เกิดอำนาจแม่เหล็กที่ผลักดันกันระว่างแม่เหล็กถาวรกับแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้อาร์เมเจอร์เคลื่อนที่รอบตัวเองในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เข็มชี้ที่ยึดติดกับอาร์เมเจอร์ก็บ่ายเบนตามไปด้วย

ถ้าจ่ายกระแสให้ขดลวดอาร์เมเจอร์มาก ขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดสนามแม่เหล็กมาก เกิดแรงผลักดันกับแม่เหล็กถาวรมาก เข็มชี้จะบ่ายเบนไปมาก และถ้าจ่ายกระแสให้ขดลวดอาร์เมเจอร์น้อย ขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดสนามแม่เหล็กน้อยเกิดแรงผลักดันกับแม่เหล็กถาวรน้อย เข็มชี้จะบ่ายเบนไปน้อย

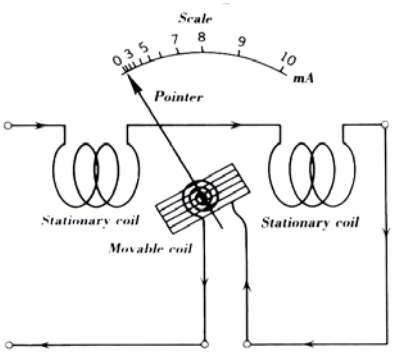
2) เครื่องวัดชนิดไดนาโมมิเตอร์

ส่วนเคลื่อนไหวชนิดชนิดไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) เป็นส่วนประกอบของเครื่องมือวัดไฟฟ้า การบ่ายเบนของเข็มจะขึ้นอยู่กับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 3 ชุด คือชุดขดลวด



อยู่กับที่จะมี 2 ขด และชุดขดลวดเคลื่อนที่โดยหมุนรอบตัวเองมี 1 ขด โครงสร้างของส่วนเคลื่อนไหวชนิดไดนาโมมิเตอร์แสดงดังรูปที่ 1.15

รูปที่ 1.15 (ก) แสดงส่วนประกอบวงจรของไดนาโมมิเตอร์



รูปที่ 1.15 (ข) แสดงส่วนประกอบวงจรของไดนาโมมิเตอร์

จากรูป 1.15 (ข) โครงสร้างประกอบด้วยขดลวด 3 ขด เป็นขดลวดอยู่กับที่ 2 ขด วางอยู่ซ้ายและขวา และเป็นขดลวดที่หมุนเคลื่อนที่รอบตัวเอง 1 ขด วางอยู่ตอนกลาง ถูกยึดติดแน่นอยู่กับแท่งเหล็กทรงกระบอกพร้อมเข็มและสปริงก้นหอย

เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดทั้งสามขด จะทำให้ขดลวดทุกขดเกิดอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นพร้อม ๆ กัน เพราะขดลวดทั้งสามขดต่ออันดับกันอยู่ ทำให้เกิดอำนาจการผลักดันขึ้นระหว่างสนามแม่เหล็กของขดลวดคงที่ และสนามแม่เหล็กของขดลวดเคลื่อนที่ ขดลวดเคลื่อนที่จะหมุนรอบตัวเอง เข็มชี้จะบ่ายเบนไป

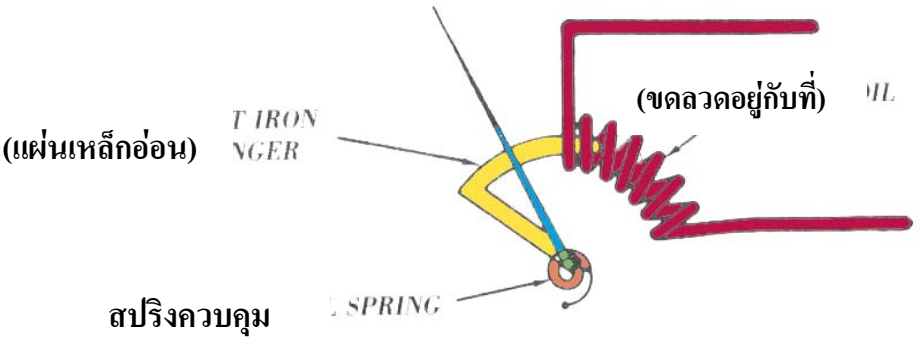
ถ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดทั้ง 3 ขดมากจะทำให้ขดลวดทั้งสามขดเกิดอำนาจแม่เหล็กมากขึ้นมีอำนาจการผลักดันสูง เข็มชี้จะบ่ายเบนไปมาก และถ้ามีกระแสไหลผ่านขดลวดทั้งสามขดน้อย จะทำให้ขดลวดทั้งสามขดเกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นน้อย มีอำนาจการผลักดันน้อย เข็มจะชี้บ่ายเบนไปน้อย

3) เครื่องวัดชนิดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่ (Iron Van Meter)

เครื่องวัดแบบแผ่นเหล็กเคลื่อนที่แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ แบบแรงดูด แรงผลัก และแบบแรงดูดและแรงผลักร่วมกัน

1. เครื่องวัดแบบแรงดูด (Attraction Movement)

เครื่องวัดชนิดนี้ประกอบด้วยส่วนที่อยู่กับที่ ซึ่งเรียกว่า Field coil และส่วนที่เคลื่อนที่ได้ซึ่งทำจากแผ่นเหล็กอ่อน (Soft iron plunger)



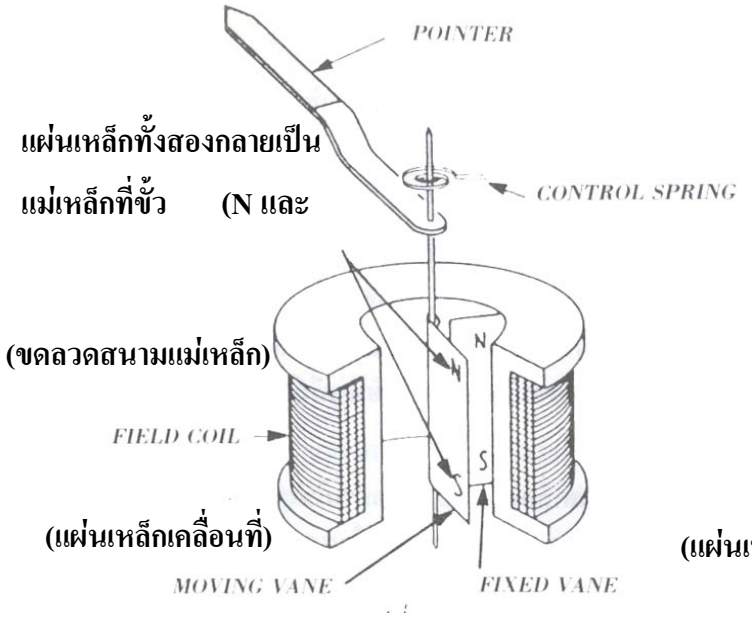
รูปที่ 1.16 แสดงเครื่องวัดแบบแรงดูด (Attraction Movement)

จากรูปส่วนที่เคลื่อนที่จะมีกลไกเชื่อมกับสปริงควบคุม (Control Spring) และเข็มชี้ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน field coil จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นที่บริเวณนั้น ซึ่งทำให้เกิดการเหนี่ยวนำและเกิดแรงดูดแผ่นเหล็กอ่อนเคลื่อนตัวเข้าไป เข็มของเครื่องวัดจึงเบี่ยงเบนไปได้ และเมื่อเกิดความสมดุลระหว่างแรงดูดของ field coil กับแรงที่เกิดจากสปริง เข็มจะหยุดนิ่ง

4) เครื่องวัดแบบแรงผลัก (Repulsion Movement)

การเบี่ยงเบนของเข็มในเครื่องวัดชนิดนี้เกิดจากแรงผลักของแผ่นเหล็กอ่อน 2 แผ่น มีส่วนประกอบที่สำคัญดังรูปที่ 1.17 จะเห็นได้ว่ามีแผ่นเหล็กอ่อน 2 แผ่น แผ่นหนึ่งติดอยู่กับแกนเคลื่อนไหวของเครื่องวัด ซึ่งเราเรียกว่า(Moving vane) อีกแผ่นหนึ่งติดอยู่กับขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ ซึ่งเรียกว่าแผ่นเหล็กอยู่กับที่ ซึ่งเรียกว่า (Fixed vane)

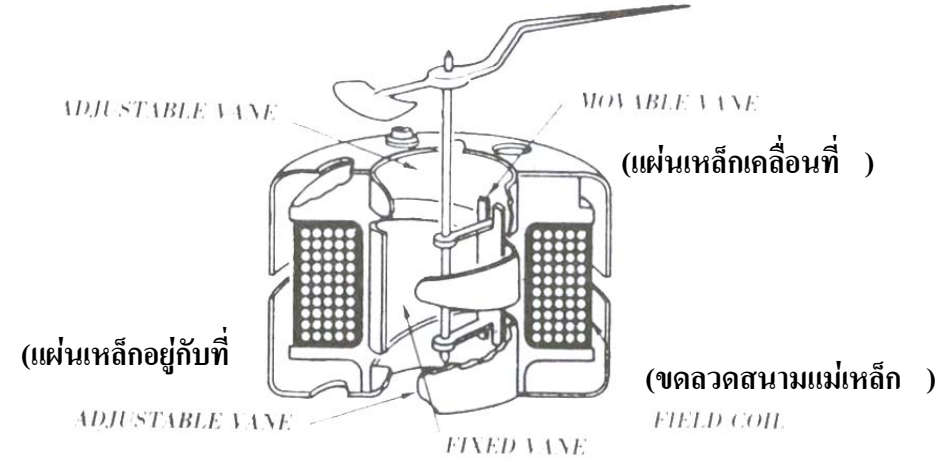
เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน(Field Coil) ทำให้เกิด ฟลักซ์แม่เหล็กและเกิดการเหนี่ยวนำที่แผ่นเหล็กทั้งสองเหมือนกัน และมีแรงผลักระหว่างแผ่นเหล็กทั้งสองทำให้เกิดแรงบิดไปหมุนแกนของเครื่องวัดจนกระทั่งเข็มเบี่ยงเบนได้ และเมื่อแรงผลักของแผ่นเหล็กทั้งสองกับ สปริงควบคุมสมดุลกับเข็มจึงหยุดเคลื่อนไหว



รูปที่ 1.17 แสดงส่วนประกอบของเครื่องวัดแบบแรงผลัก (Repulsion Movement)

5) เครื่องวัดแบบแรงดูดและแรงผลักร่วมกัน (The Repulsion - Attraction Movement)

ข้อแตกต่างของเครื่องวัดแบบแรงดูดและแรงผลักร่วมกัน ที่แตกต่างกับเครื่องวัดแบบแรงดูดและแรงผลัก คือ เข็มในเครื่องวัดสามารถเบี่ยงเบนได้ถึง 250^0 แต่เครื่องวัดแบบแรงดูดและแรงผลัก เบี่ยงเบนประมาณ 90^0 เท่านั้น



รูปที่ 1.18 แสดงเครื่องวัดแบบแรงดูดและแรงผลักร่วมกัน

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องวัดชนิดนี้ คือ แผ่นเหล็กอ่อน 2 คู่ วางตัวอยู่ในสนามแม่เหล็ก (เกิดจาก Field Coil) คู่หนึ่งจะออกแรงผลัก อีกคู่หนึ่งออกแรงดูดเพื่อให้เกิดการเบี่ยงเบนของเข็ม เมื่อขดลวดสนามแม่เหล็กเริ่มได้รับไฟฟ้ากระแสสลับ การเบี่ยงเบนของเข็มจะอาศัยแรงผลักของ(Fixed vane แผ่นกลาง) กับ(Movable vane) แต่เมื่อเข็มเบี่ยงเบนในช่วงท้ายสเกล Adjustable vane จะดูดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่ เพื่อชดเชยแรงผลักในตอนแรก ทำให้การเบี่ยงเบนของเข็มในเครื่องวัดชนิดนี้มีมุมเพิ่มขึ้น เครื่องวัดแบบแผ่นเหล็กเคลื่อนที่นี้มีความถูกต้องไม่สูงนัก นิยมนำไปใช้วัดไฟฟ้ากระแสสลับที่แผงสวิทช์หรือแผงควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในรถยนต์ เป็นต้น

ลักษณะพิเศษของเครื่องวัดชนิดนี้คือ

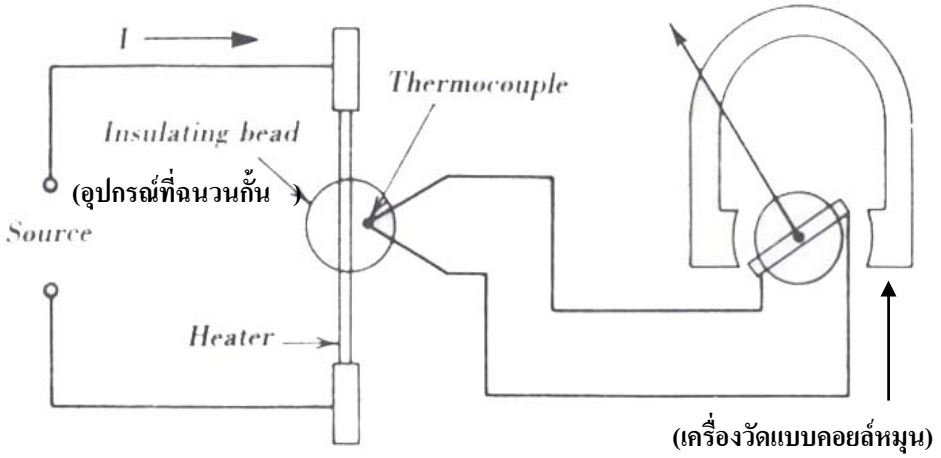
1. ขดลวดที่พันอยู่ภายในเครื่องวัด มีค่า Self – inductance (L) อยู่จำนวนหนึ่ง ถ้าความถี่สูงขึ้น ค่าอิมพีแดนซ์ของเครื่องวัดย่อมสูงขึ้นด้วย ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดซึ่งทำให้เข็มเบี่ยงเบนจะมีค่าลดลง (I = E/Z) การเบี่ยงเบนของเข็มจึงคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้

2. เนื่องจากการเบี่ยงเบนของเข็มชี้ขึ้นอยู่กับจำนวนฟลักแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กถ้าบริเวณรอบ ๆ เครื่องวัดมีสนามแม่เหล็ก อาจส่งผลกระทบต่อจำนวนฟลักซ์แม่เหล็กภายในเครื่องวัดได้

3. เนื่องจากส่วนเคลื่อนที่ของเครื่องวัดชนิดนี้ประกอบด้วยแผ่นแม่เหล็ก เมื่อเครื่องวัดนี้ไปวัดไฟฟ้ากระแสตรงที่มีปริมาณมากเกินไปจะเกิดความสูญเสียเกี่ยวกับฮีสเตอร์ซีส(Hysteresis Loss) แผ่นเหล็ก ทำให้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

6) เครื่องวัดแบบเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Meter)

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องวัดชนิดนี้ได้แก่ เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดคอยล์หมุน ลวดความร้อน (Heater) และเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งประกอบด้วยโลหะ 2 ชนิด เชื่อมปลายข้างหนึ่งต่อเข้าด้วยกัน และบรรจุไว้ภายใน(Insulating bead) เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากลวดความร้อน



รูปที่ 1.19 แสดงส่วนประกอบของเครื่องวัดแบบเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Meter)

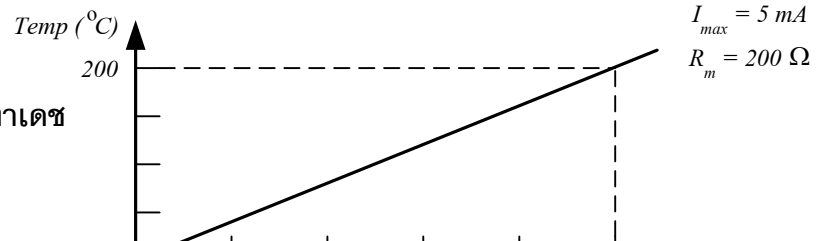
ปกติลวดความร้อน (Heater) ที่แสดในรูป จะมีความต้านทานจำนวนหนึ่ง ดังนั้นเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ลวดความร้อน (I^2R) แล้วส่งอุณหภูมิ (ซึ่งเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านลวดความร้อน) มายังเทอร์โมคัปเปิล เทอร์โมคัปเปิลจะส่งสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าปริมาณต่ำ (หน่วยเป็น mv) ไปยังส่วนที่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของเข็ม

หลักการทำงานของเครื่องวัดชนิดนี้อาศัยความร้อนที่เกิดจาก I^2R จึงวัดทั้งค่าไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ โดยมีความถูกต้องสูง คือ $\pm$ 1 % ของค่าที่ทำให้เข็มเบี่ยงเบนเต็มสเกล เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องวัดจะเห็นว่า ตัวกำเนิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้า input (ได้แก่ กระแสไฟฟ้า ลวดความร้อน และเทอร์โมคัปเปิล) ไม่เกี่ยวข้องกับอินดักแตนซ์ของลวด ดังนั้นเครื่องวัดชนิดนี้จึงนำไปใช้ในย่านการวัดที่มีความถี่สูง ๆ คือประมาณ 100 MHz

ข้อจำกัดของเครื่องวัดชนิดนี้ คือ ไม่อาจทนกระแสไฟฟ้า Over load ได้ดีนัก เพราะขณะ Over load กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านลวดจะสูงกว่ากระแสไฟฟ้าปกติมาก ลวดความร้อนอาจละลายและขาดได้

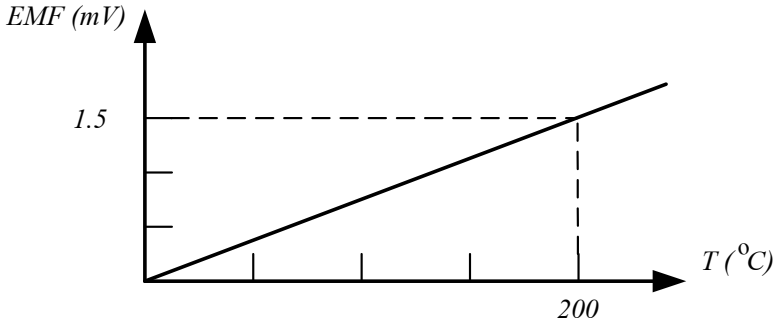
ตัวอย่างที่ 1.6 จงหาค่า R_S ของโวลต์มิเตอร์แบบเทอร์โมคัปเปิลที่ตั้งย่านการวัดได้ 3 ตำแหน่ง คือ 5 V , 10 V และ 25 V โดย $R_m = 200\,\Omega$ และมีรายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะดังกราฟต่อไปนี้

- การเปลี่ยนแปลงระหว่างกระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิที่ลวดความร้อน (Heater)

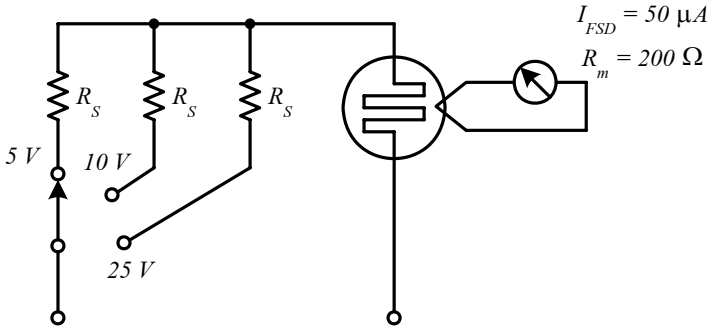


รูปที่ 1.20 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิที่ลวดความร้อน

- การเปลี่ยนแปลงระหว่างแรงดันไฟฟ้า และอุณหภูมิที่จุดต่อของเทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 1.21 การเปลี่ยนแปลงระหว่างแรงดันไฟฟ้า และอุณหภูมิที่จุดต่อของเทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 1.22 วงจรเทียบเคียงของโวลต์มิเตอร์แบบเทอร์โมคัปเปิล

วิธีทำ

จากรูปที่ 1.20 ทำให้ทราบกระแสไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 5 mA ดังนั้น

ที่พิสัยวัด 5 V

$$R_S = \frac{E}{I_{max}} - R_h = \frac{5\ V}{5\ mA} - 200\ \Omega$$

$$= 1\ k\Omega - 200\ \Omega$$

$$R_S = 800\ \Omega$$

ที่พิสัยวัด 10 V

$$R_S = \frac{E}{I_{max}} - R_h = \frac{10\ V}{5\ mA} - 200\ \Omega$$

$$= 2\ k\Omega - 200\ \Omega$$

$$R_S = 1.8\ k\ \Omega$$

ที่พิสัยวัด 25 V

$$R_S = \frac{E}{I_{max}} - R_h = \frac{25\ V}{5\ mA} - 200\ \Omega$$

$$= 5\ k\Omega - 200\ \Omega$$

$$R_S = 4.8\ k\ \Omega$$

$$I_{FSD} = \frac{V_m}{R_m} = \frac{10\ mV}{200\ \Omega} = 50\ \mu\ A$$ **ตอบ**

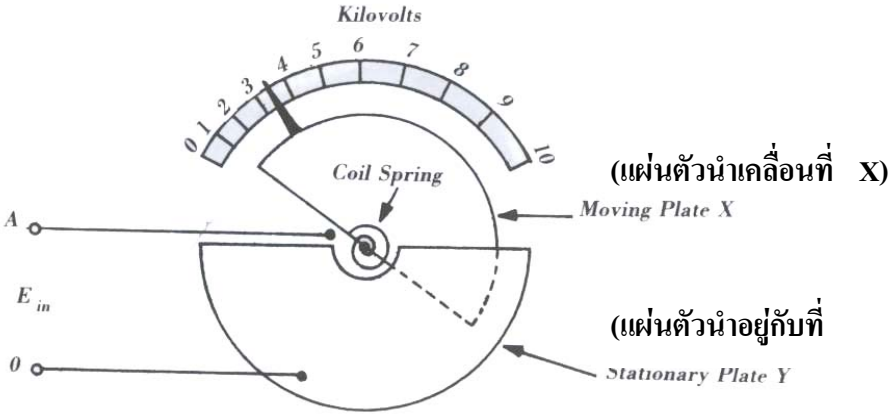
7) เครื่องวัดแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic type Instrument)

เครื่องวัดชนิดนี้เป็นเครื่องวัดที่อาศัยแรงจากไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force) ที่เกิดขึ้นบนแผ่นเหล็กตัวนำ 2 แผ่นที่มีขั้วต่างกันเป็นตัวการทำให้เข็มเบี่ยงเบน

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องวัดแบบไฟฟ้าสถิตมีดังนี้

1. แผ่นตัวนำ 2 แผ่น คือ แผ่นที่เคลื่อนที่ (Moving Plate X) ซึ่งมีเข็มติดอยู่และ(Stationary Plate Y) (แผ่นตัวนำอยู่กับที่ Y)

2. ลวดสปริง (Coil Spring)



รูปที่ 1.23 แสดงเครื่องวัดแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic type Instrument)

จากรูป 1.23 ถ้าจ่ายแรงดันไฟฟ้า input ที่ต้องการวัดค่าที่ขั้ว A และ B จะทำให้แผ่นตัวนำทั้งสองแผ่นมีขั้วต่างกันและทำงานเช่นเดียวกับคาปาซิเตอร์ที่กำลังทำการประจุ ทำให้เกิดแรงบิดขึ้นที่แผ่นตัวนำทั้งสอง ซึ่งแปรค่าตามแรงดันไฟฟ้า input ยกกำลัง 2 (E^2_{in}) ส่งผลให้แผ่นตัวนำ

X ถูกดึงดูดตามทิศทางการเพิ่มขึ้นของประจุที่เกิดจากแผ่นตัวนำทั้งสอง ทำให้เข็มที่ติดอยู่ที่แผ่นตัวนำ X เกิดการเบี่ยงเบน เมื่อแรงบิดที่เกิดจากแผ่นตัวนำ X และ Y กับแรงบิดควบคุมที่เกิดจากลวดสปริงสมดุลกัน เข็มจะหยุดเคลื่อนไหว เนื่องจากการเบี่ยงเบนของเข็มของเครื่องวัดชนิดนี้แปรตามแรงดันไฟฟ้ายกกำลัง 2 จึงเหมาะสมกับการวัดแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ นอกจากนี้ยังใช้วัดไฟฟ้ากระแสตรงได้ด้วย

ลักษณะพิเศษของเครื่องวัดชนิดนี้ คือ

1. มีความเที่ยงตรงสูงเนื่องจากแรงบิดของเครื่องวัดขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้า E^2_{in} ที่เกิดจากแผ่นตัวนำทั้งสองโดยตรง ไม่ต้องผ่านสนามแม่เหล็กที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก

2. เนื่องจากแรงบิดที่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของเข็มขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้ากำลังสองนี้เองเครื่องวัดชนิดนี้จึงเหมาะสมกับการวัดกำลังไฟฟ้าที่มีค่าสูงตั้งแต่ 1000V ขึ้นไป

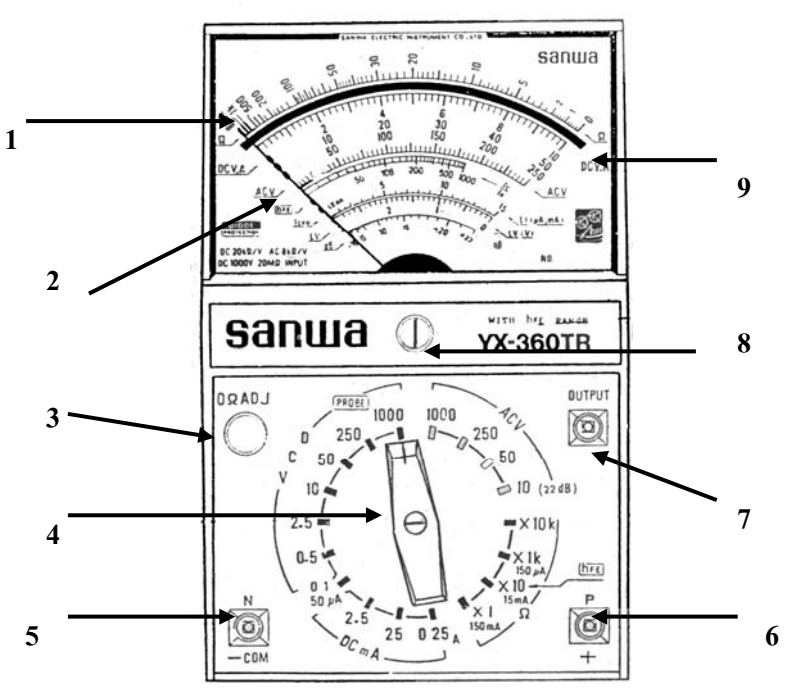
หน้าที่และคุณสมบัติของเครื่องวัดไฟฟ้า (Functions and Characteristics of Instrument)

ส่วนมากเครื่องวัดจะใช้ในการป้อนข้อมูลเกี่ยวกับ ค่าปริมาณต่าง ๆ จากการวัดบางทีอาจกำหนดให้เห็นการแสดงค่าปริมาณของการวัดซึ่งรวมถึงเครื่องวัดที่ใช้ในการควบคุมปริมาณ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า เครื่องวัดมีหน้าที่พื้นฐาน 3 ประการคือ การแสดงผลการวัด (Indicating) การบันทึก (Recording) และการควบคุม (Controlling) เครื่องวัดบางชนิดอาจมีหน้าที่ใช้งานเพียงอย่างเดียว หรืออาจทั้งสามหน้าที่ก็ได้ โดยทั่วไปเครื่องวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ จะมีหน้าที่พื้นฐานที่กำหนด คือการแสดงผลการวัด และการบันทึกค่าผลการวัด ส่วนเครื่องวัดที่ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม (Industrial Process) จะมีหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุม (Control) ซึ่งเป็นการควบคุมระบบอัตโนมัติ (Automatic System) คุณสมบัติของเครื่องวัดที่ดีมีค่าความไวสูง (High Sensitivity) โดยสามารถวัดสัญญาณที่มีค่าแอมปลิจูดต่ำ ซึ่งค่าความไวสูงสามารถทำได้โดยการเพิ่มค่า อิมพีแดนซ์ด้าน (Input Impedance) ให้สูงมากขึ้นและเมื่อเรานำเอาเครื่องวัดไปใช้ต้องไม่มีผลต่อการลดสัญญาณเนื่องจากโหลด

มัลติมิเตอร์ (Multimeter)

มัลติมิเตอร์ หมายถึง เครื่องวัดไฟฟ้าที่สามารถวัดปริมาณไฟฟ้าได้หลายๆอย่างรวมกัน เช่น สามารถวัดได้ทั้งกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความต้านทานไฟฟ้า ภายในเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียวกัน เป็นเครื่องวัดไฟฟ้าที่ใช้หลักการอย่างเดียวกับเครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ (Moving coil)หรือแบบ PMMC ทั่วๆไปแต่มัลติมิเตอร์สามารถนำไปใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เป็น A.C. หรือ D.C. และค่าความต้านทาน

มัลติมิเตอร์ หรือบางทีเรียกว่า VOM ซึ่งย่อมาจากคำว่า Volt Ohm Miliamp สร้างขึ้นเพื่อความสะดวกในการใช้งาน โดยทั่วไปจะมีค่ากระแสของขดลวดเคลื่อนที่ เท่ากับ 50 μA และค่าความไวในการวัด เท่ากับ 20 kΩ / V



รูปที่ 1.24 แสดงส่วนประกอบของมัลติมิเตอร์ Sanwa รุ่น YX–360 TR

แสดงส่วนประกอบของมิเตอร์

หมายเลข 1 คือ สเกลหน้าปัดมิเตอร์

หมายเลข 2 คือ เข็มชี้

หมายเลข 3 คือ ปุ่มปรับ 0 Ω ขณะใช้เป็น Ohmmeter (Zero Ohm Adjust)

หมายเลข 4 คือ สวิตช์ตัวเลือกย่านการวัด

หมายเลข 5 คือ ขั้วต่อขั้วลบ (-) ใช้ต่อสายวัดสีดำ

หมายเลข 6 คือ ขั้วต่อขั้วบวก (+) ใช้ต่อสายวัดสีแดง

หมายเลข 7 คือ ขั้วต่อเอาต์พุต ขั้วนี้มีตัวเก็บประจุต่ออันดับอยู่ใช้ร่วมขั้วต่อ (-) เพื่อวัด ความดัง(dB) วัดสัญญาณเสียงที่ไม่ต้องการไฟตรง (DC) และวัดสัญญาณไฟสลับในโทรทัศน์

หมายเลข 8 คือ สกรูไว้ปรับเข็มชี้ให้ตรงศูนย์

หมายเลข 9 คือ ฝากระจกครอบสเกลหน้าปัด

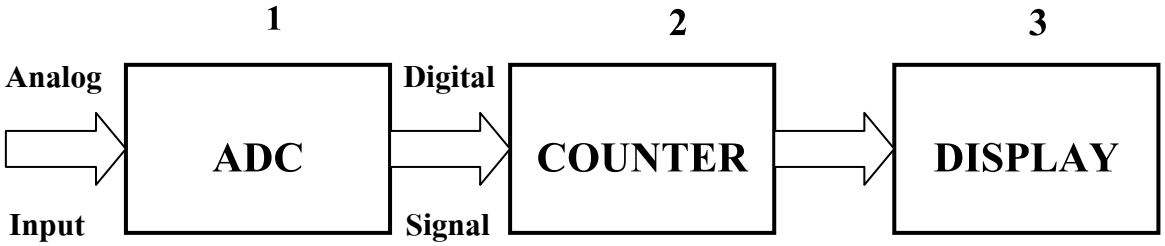
1.3 เครื่องวัดแบบตัวเลข (ดิจิตอลมัลติมิเตอร์)

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ คือ เครื่องวัดที่แสดงผลการวัดออกมาเป็นตัวเลข สามารถนำไปใช้วัดได้ทั้งกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและความต้านทาน ซึ่งคือ การรวมแอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์และโอห์มมิเตอร์ในเครื่องเดียวกัน จะมีช่วงแสดงค่าความถูกต้องสูงกว่าเครื่องวัดแบบอะนาลอก

เมื่อเข้าการใช้งานของมัลติมิเตอร์แบบเข็มหรือแบบอะนาลอกแล้ว การทำความเข้าใจและการใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์จะง่ายเข้า เพียงแต่ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ได้ใช้การเบี่ยงเบนของเข้ม แต่การสำรวจผลของกระแสหรือแรงดัน แปรสภาพเป็นตัวเลขดิจิตอล และแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขตรงหน้าปัดเครื่อง ซึ่งลายละเอียดการทำงานส่วนต่าง ๆ สามารถแจกแจงรายละเอียดได้ดังนี้

1.3.1 หลักการและวงจรดิจิตอลมัลติมิเตอร์

หลักการเบื้องต้น เมื่อกล่าวถึงระบบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ให้สั้นและง่ายที่สุดอาจเขียนบล็อกไดอะแกรมเบื้องต้น ได้ตามรูปที่ 1.26 ที่มีวงจรสำคัญ 3 ส่วน ด้วยกันคือ



รูปที่ 1.26 แสดงบล็อกไดอะแกรม ดิจิตอล มัลติมิเตอร์ เบื้องต้น

1. วงจรเปลี่ยนข้อมูลจากอะนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) เนื่องจากระบบดิจิตอลคือระบบข้อมูลตัวเลขที่ต้องอาศัยลักษณะความเป็นสวิตช์และวงจรเกตเป็นหลัก มิใช่ระบบที่มาสำรวจระดับความแรงสัญญาณโดยตรง ดังนั้นเราต้องมีหน่วยแปลงข้อมูลจากข้อมูลธรรมดาที่เป็นข้อมูลอะนาลอก (Analogue) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีเฟส มีความแรงที่แตกต่างกันไป ให้เป็นข้อมูลในระบบดิจิตอล (Digital) ซึ่งเป็นค่าในระบบตัวเลขฐาน 2 เรียกวงจรในส่วนนี้ว่าวงจร ADC ซึ่งย่อมาจากคำว่า Analogue-to-Digital Converter โดยการเทียบค่าออกมาว่าขนาดแรงดัน-กระแส-ความต้านทาน ขนาดเท่านี้คิดเป็นค่าแทนด้วยตัวเลขเท่าไร ซึ่งจำนวนตัวเลขคิดค่าออกมาเป็นจำนวนหลัก (Bit) เช่น ตัวเลข 4 บิตจะมีการตรวจสอบรายละเอียดทั้งหมด 64 ระดับ หากเป็นตัวเลข 8 บิตมีการตรวจสอบตัวเลข 256 ระดับเป็นต้น แล้วแต่ว่าเครื่องนั้นใช้ข้อมูลกี่บิต จำนวนค่าบิตที่มีค่ามากย่อมให้ความแม่นยำมากตามไปด้วย

2. วงจรนับ (Counter) เนื่องจากข้อมูลไม่ว่าจะเป็นแรงดันไฟ-กระแส ล้วนเป็นข้อมูลอะนาลอกที่มีขนาด มีเฟส มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา วงจรของดิจิตอลมัลติมิเตอร์จึงต้องทำการสำรวจระดับความแรงของข้อมูลดังกล่าวออกมาเป็นระยะๆ โดยการอ้างอิงกับเวลาเพื่อสำรวจ amplitudes ของข้อมูลนั้นๆ เมื่อสำรวจออกมาแล้วจึงส่งผลเข้าสู่วงจรนับว่าข้อมูลดังกล่าวนี้มีการเคลื่อนเป็นฟัลซ์หรือตัวเลขในระบบดิจิตอล มากน้อยแค่ไหนในเวลาหนึ่งๆ ให้วงจรนับเป็นตัวสำรวจออกมาด้วยความเร็วมากกว่าความถี่ต้นทางที่ส่งเข้ามา หรือมากกว่าความถี่ 50 เฮิรตซ์

3. วงจรแสดงผล (Display) เป็นการแปรผลข้อมูลดิจิตอลออกมาเป็นตัวเลขอะนาลอกด้วยระบบถอดรหัสข้อมูล (Decoder) เพื่อให้ผู้ใช้เครื่องอ่านข้อมูลออกมาโดยตรงระบบการทำงานของมัลติมิเตอร์แบบนี้จึงมีหลักการของวงจรดิจิตอลเคาน์เตอร์อยู่จำนวนหนึ่งดังนั้นหากจะเพิ่มลูกเล่นจากเครื่องวัดธรรมดาให้เป็น ดิจิตอล ฟรีเควนซี่ เคาน์เตอร์ จึงเพียงแต่เพิ่มเติมวงจรเข้าไปเล็กน้อยเท่านั้น

ชื่อประกอบของหน่วย (Unit Prefixes)

ชื่อประกอบของหน่วยในระบบ มีพื้นฐานมาจากการยกกำลังของเลขฐาน 10 ด้วยตัวเลขต่าง ๆ กัน แล้วกำหนดเป็นชื่อประกอบเข้ากับหน่วยในระบบ ช่วยให้อ่านและเขียนได้ง่ายขึ้นไม่ว่าจะมากหรือน้อยเป็นไปตามตารางที่ 1.4 แสดงชื่อประกอบหน่วยในระบบ SI

ตารางที่ 1.4 แสดงชื่อที่เรียกสัญลักษณ์ค่าเลขยกกำลัง

ชื่อ	สัญลักษณ์	ค่าเลขยกกำลัง
เอกซะ(exa)	E	10^{18}
เพตะ(peta)	P	10^{15}
เทรา (tera)	T	10^{12}
จิกกะ (giga)	G	10^{09}
เมกกะ (mega)	M	10^{06}
กิโล(kilo)	k	10^{03}
เฮกโต (hecto)	h	10^{02}
เดคา(deca)	da	10
เดซิ(deci)	d	10^{-1}
เซนติ(centi)	c	10^{-2}
มิลลิ(milli)	m	10^{-3}
ไมโคร(micro)	μ	10^{-6}
นาโน(nano)	n	10^{-9}
พิคโค(pico)	p	10^{-12}
เฟมโต(femto)	f	10^{-15}
แอทโต(atto)	a	10^{-18}

ตัวอย่างที่ 1.7 กำหนดให้ milli (m) = 0.001

micro (μ) = 0.000001

จงหาค่าต่อไปนี้

1) 0.035 A ให้อยู่ในรูป milliampares

2) 0.0035 A ให้อยู่ในรูป microampares

วิธีทำ

(1) 0.035 A

$= 35 \times 10^{-3} = 35$ mA

(2) 0.0035 A

$= 3{,}500 \times 10^{-6} = 3{,}500\ \mu$A **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.8 กำหนดให้: kilo (K) = 1,000, mega (M) = 1,000,000 จงหาค่าต่อไปนี้

1) 470,000 ให้อยู่ในรูป kiloohm

2) 470,000 ให้อยู่ในรูป megaohm

วิธีทำ

1) 470,000 Ω

$= 470 \times 10^{3}\ \Omega$

$= 470$ KΩ **ตอบ**

2) 470,000 Ω

$= 0.47 \times 10^{6}\ \Omega$

$= 0.47$ MΩ **ตอบ**

การคูณและหารที่อาศัยหลักการยกกำลังของเลข 10 (Multiplication and Division with power of 10)

ในการศึกษากฎต่าง ๆ เกี่ยวกับทฤษฎีทางไฟฟ้า บางครั้งตัวเลขอยู่ในรูปของการยกกำลังของเลข 10 มีวิธีการดังนี้

- การคูณมีหลักการคือ นำกำลังของเลข 10 มาบวกกัน

เช่น $10^{5} \times 10^{6} = 10^{5+6} = 10^{11}$

- การหารมีหลักการ คือ นำกำลังของเลข 10 มาลบกัน

เช่น $10^5 \div 10^6 = 10^{5-6}$

$= 10^{-1}$ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.9 จงหาค่าของ $(3\times 10^6)(4\times 10^3)$

$= 3\times4\times10^6\times 10^3$

$= 12 \times 10^{6+3}$

$= 12\times 10^9$ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.10 จงหาค่าของ $(12\times 10^6) \div (4\times 10^3)$

$= 12/4\times10^{6-3}$

$= 3 \times 10^3$ **ตอบ**

1.3.2 โครงสร้างและการแสดงผลแบบตัวเลข

1. หน้าปัด เพื่อการแสดงผลของการวัดเป็นตัวเลข 3 หลักครึ่ง ใช้การแสดงผลเป็นตัวเลขและอักษรด้วยหลอดผลึกเหลว (LCD)

1.1 แสดงเครื่องหมายลบเมื่อวัดแรงดันไฟหรือกระแสเป็นแรงดันหรือกระแสลบ

1.2 ตัวเลข 1 หากแรงดันหรือกระแสหรือค่าความต้านทานที่ส่งเข้ามาทางอินพุตของมัลติมิเตอร์มีระดับเกินกว่าความสามารถในการวัดของมัลติมิเตอร์หรือที่เรียกว่า Overage มันจะแสดตัวเลขตัวนี้ออกมาเป็นเลข 1 ส่วนเลขอีกสามตัวจะแสดงผลออกมาเป็นค่า 000 พร้อมกันนั้นบัซเซอร์ (Buzzer) จะส่งเสียงดัง “บี๊บ” ยกเว้นแต่เรนจ์วัดค่าความต้านทานเท่านั้นที่ถึงแม้ค่าที่วัดจะเกินกว่าพิกัดของมัลติมิเตอร์จะไม่เกิดเสียงบี๊บแต่อย่างใด

1.3 แสดงค่าหน่วย (VA & MΩ) เป็นการแสดงค่าหน่วยของการวัดในแต่ละย่านวัด

โดยคำว่าย่านวัดอาจจะใช้คำทับศัพท์ภาษาอังกฤษว่า “เรนจ์” (Range) ซึ่งการแสดงหน่วยมีการแสดงออกมาเป็นค่า mV, mA, V, A, Ω ขึ้นอยู่กับว่าผู้ใช้จะวัดอะไร

1.4 ตัวอักษร AC เมื่อทำการวัดหรือกระแสไฟสลับเราจะกดปุ่มเลือก DC/AC ให้เลือกย่านวัดเป็น AC ตัวอักษร AC ที่หน้าปัดจะแสดงผลออกมา

1.5 ตัวอักษร LO Ω เมื่อจะวัดค่าความต้านทานในวงจร ทราบกันอยู่แล้วว่าความต้านทานของอุปกรณ์ในวงจรอาจจะมีความแน่นอนน้อยมาก เพราะไม่รู้ว่ามันไปขนานอยู่

กับอุปกรณ์อะไรบ้าง ผลของการขนานนั้นมีผลต่อความต้านทานทำให้ค่าความต้านทานของอุปกรณ์ต่ำ การใช้ย่านวัด LO Ω เพื่อตรวจสอบการขาดออกจากกันของอุปกรณ์ และเพื่อป้องกันแรงดันไฟที่อาจจะตกค้างอยู่ไหลเข้ามิเตอร์

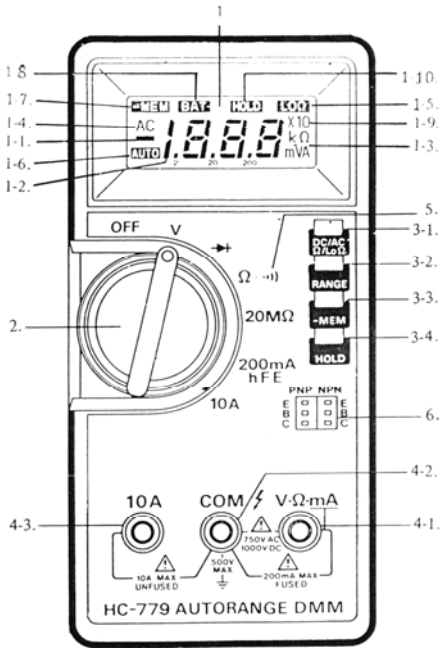
1.6 อักษร AUTO หมายถึงคำว่า การปรับพิสัยแบบอัตโนมัติ ใช้เพื่อการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และค่าความต้านทานเท่านั้น ในกรณีที่เราไม่ทราบว่าแรงดันไฟที่จ่ายให้วงจรเท่าไร เราสามารถทำให้มัลติมิเตอร์ปรับย่านวัด (Range) ให้เออย่างอัตโนมัติ โดยย่านวัดของแรงดันของแรงดันไฟตรงมันจะเริ่มต้นย่านวัดตั้งแต่ 200 มิลลิโวลต์ และสำหรับแรงดันไฟสลับจะเริ่มต้นย่านวัดตั้งแต่ 2 โวลต์ การจะให้เกิดการทำงานแบบออโต้เรนจ์ทำได้โดยการกดปุ่ม “AUTO” จนกระทั่งหลอดแอลซีดี (LCD) ซึ่งเป็นผลึกแร่เหลวที่หน้าปัดเครื่องโชว์คำว่า “AUTO” ออกมา ส่วนจะวัดแรงดันไฟตรง, แรงดันไฟสลับ หรือความต้านทาน ให้กดปุ่มเลือกโวลต์ (V) หรือโอห์ม (Ohm) แล้วกดปุ่มโฮลด์ (HOLD) ค้างไว้เป็นเวลา 2 วินาที

1.7 อักษร MEM เป็นค่าย่อยของคำว่าเมเมอรี่ (Memory) หมายถึงการจำเมื่อทำการวัดหาค่าออกมาได้แล้วในกรณีที่ต้องการบันทึกค่าหรือต้องการให้มิเตอรีค้างค่าตัวเลขเอาไว้เราจะใช้การบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำของมิเตอร์โดยมักจะแสดงตัวเลขออกมา 2 หลัก ในกรณีที่เปลี่ยนเรนจ์ไปสภาพการทำงานของเมเมอรี่จะหายไปทันที

1.8 อักษร BAT หมายถึงการตรวจสอบสภาพของแบตเตอรี่ภายในตัวของมัลติมิเตอร์เอง ปกติมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลจะใช้แบตเตอรี่ 9 โวลต์ หากหน้าปัดโชว์คำว่า “แบต” (BAT) ออกมาแล้วนั่นหมายถึงถ่านภายในเครื่องไม่อยู่ในสภาพที่จะใช้งานได้อย่างเที่ยงตรงเมื่อเอาไปใช้วัด

1.9 ตัวอักษร XIO ส่วนใหญ่จะมีเพียงบางรุ่นเพื่อเป็นมาตรการขยายย่านวัดสำหรับเรนจ์ 20 เมกะโอห์ม

1.10 อักษร HOLD แสดงออกมาเมื่อกดปุ่มโฮลด์ (HOLD)



รูปที่ 1.25 รายละเอียดภายนอกของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ รุ่น HC - 774

2. สวิตช์เลือกพิสัยวัด ให้หมุนเลือกพิสัยวัดตามความประสงค์หรือจะออฟเครื่องไว้ (OFF)

3. ปุ่มกดเลือกฟังชั่นการทำงาน

3.1 ปุ่มเลือกกลุ่มการทำงานเพื่อเลือกว่าจะวัดโอห์ม (Ω), กิโลโอห์ม (kΩ), เลือกว่าจะวัดกระแสสลับ (AC) หรือกระแสตรง (DC)

3.2 ปุ่มเปลี่ยนพิสัยวัด (RANGE)

3.3 ปุ่มกดเพื่อให้ค้างค่าตัวเลข (MEM) ให้หน่วยความจำแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข 2 หลัก

3.4 ปุ่มโฮลด์ (HOLD) กดเพื่อให้ข้อมูลมีการค้างโชว์อยู่ในภาคแสดงผล

4. จุดเสียบสายวัด

4.1 จุดเสียบสายวัดเมื่อต้องการวัดโวลต์ โอห์ม, มิลลิแอมป์ ซึ่งต้องใช้สายมิเตอร์สีแดงเสียบไว้ สามารถวัดได้ทั้งไฟตรงและไฟสลับ

4.2 จุดเสียบสายลบหรือจุดคอมม่อน (COM) ใช้เสียบสายมิเตอร์ลบหรือสายดำเมื่อต้องการวัดทุก ๆ ย่านวัด

4.3 จุดเสียบสายมิเตอร์บวกเมื่อต้องการวัดค่ากระแสจำนวนมาก (10 A) โดยต้องหมุนสวิตช์เลือกไปที่ 10 A ด้วยเช่นเดียวกัน

5. สัญญาณขับออก บัซเซอร์ (BUZZER) เป็นลำโพงบางๆ ที่เรียกว่าเพี๊ยซโซอิเล็กตริกซึ่งใช้อยู่วงจรสัญญาณเสียง เมื่อทำการวัดความต้านทานของอุปกรณ์แล้วความต้านทานนั้นมีค่าตั้งแต่ 19 โอห์มลงมา ลำโพงนี้จะมีเสียงดังออกมาด้วยความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ เพื่อประโยชน์ของการตรวจสอบความต่อเนื่องของวงจรโดยที่ไม่ต้องมองหน้าปัดใช้ประโยชน์ได้แม้จะใช้ในที่มีแสงสว่างน้อย เพราะใช้การทดสอบด้วยเสียง และเมื่อทำการวัดแล้วมีค่าการวัดตั้งแต่ค่าตัวเลข 2000 ขึ้นไปเสียงนี้จะดรางขึ้นอีกเรียกว่าเกิดโอเว่อร์เรนจ์ดังที่ได้กล่าวมา และเมื่อมีการเปลี่ยนเรนจ์จากออโต้เรนจ์เป็นแมนนวลหรือแบบธรรมดา เสียงนี้จะดังขึ้นสั้นๆ ประมาณ 15 มิลลิวินาที เพื่อบอกให้เจ้าของเครื่องรับทราบ

6. ซ็อกเก็ต เพื่อตรวจสอบค่าอัตราขยายของทรานซิสเตอร์ (h_{fe})

แบบฝึกหัดบทที่ 1

1. จงให้คำนิยาม หน่วยทางไฟฟ้า (Electrical Unit) ดังนี้
    a. Ampere
    b. Coulomb
    c. Volt
    d. Ohm
    e. Henry
    f. Farad
2. มาตรฐานของการวัดแบ่งเป็นกี่ระดับ อะไรบ้าง อธิบายมาพอสังเขป
3. จงบอกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานขั้นรองและขั้นใช้งาน
4. ค่าความคลาดเคลื่อนแบ่งออกได้กี่ประเภท
5. ค่าความเที่ยงตรงหมายถึง
6. วงจรไฟฟ้ามีแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน 50 V เมื่อนำโวลต์มิเตอร์ไปวัด อ่านค่าได้ 52 V จงคำนวณหาค่าต่อไปนี้
    a. ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์
    b. ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
    c. ค่าความถูกต้อง
    d. ค่าเปอร์เซ็นต์ ความถูกต้อง
7. จงเขียนสัญลักษณ์ของเครื่องวัดดังต่อไปนี้
    a. แอมมิเตอร์กระแสตรงและกระแสสลับ
    b. โวลต์มิเตอร์กระแสสลับซึ่งมีวงจรเรียงกระแส
    c. กิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์
    d. มูฟวิ่งคอยล์มิเตอร์
    e. อิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์
8. จงอธิบายหลักการทำงานของเครื่องมือวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ (Moving Coil)

- -